

日本からアジア圏までの広域資源循環システムの
設計と開発に関する研究

Design and Development of a Wide-Area Resource
Recycling System in Japan and Asia

2011 年 3 月

胡 浩

日本からアジア圏までの広域資源循環システムの
設計と開発に関する研究

Design and Development of a Wide-Area Resource
Recycling System in Japan and Asia

2010年3月

早稲田大学大学院環境エネルギー研究科
環境エネルギー専攻 環境配慮デザイン研究

胡 浩

目次

第1章 序論	
1.1 本研究の背景と必要性	1-1
1.2 本研究の目的	1-24
1.3 本論文の構成	1-27
第2章 環境性・経済性の両者を対象としたBAS評価手法の開発	
2.1 目的と従来研究	2-1
2.2 BAS評価手法の開発コンセプトと全体のフロー	2-3
2.3 統合化指標 ELP の活用	2-5
2.4 中間処理および最終処分・リサイクルの評価方法の確立	2-8
2.5 収集・回収の評価手法の確立	2-27
2.6 BAS評価手法と環境省廃棄物処理システムの指針との整合性の検討	2-35
2.7 BAS評価ソフトウェアの開発	2-38
2.8 まとめ	2-47
第3章 一般廃棄物の国内レベルでの広域的な資源循環システムの検討	
3.1 目的と従来研究	3-1
3.2 市川市と近隣2市をモデルとした一般廃棄物処理システムにおけるBAS評価	3-2
3.3 BAS評価ソフトによる三重県の広域灰溶融処理の有効性の検証	3-29
3.4 BAS評価ソフトの有効性の検証	3-39
3.5 まとめ	3-40
第4章 希少性・有害性廃棄物の国内レベルでの広域的な資源循環システムの検討 ～溶融飛灰資源化を例としたシステムモデルの構築と展開～	
4.1 目的と従来研究	4-1
4.2 排出と受入側双方における溶融飛灰資源化の現状調査	4-3
4.3 溶融飛灰山元還元プロセスによる資源化の検証	4-12
4.4 溶融飛灰山元還元の環境負荷の推定	4-18
4.5 トレーサビリティを確保した静脈物流管理システムの開発	4-32
4.6 溶融飛灰山元還元の静脈物流管理データベースの構築	4-38
4.7 自治体間連携ルールの検討と展開	4-49
4.8 情報開示の在り方の検討と展開	4-58
4.9 まとめ	4-61
第5章 リサイクルポートを活用した循環資源海上輸送のあり方の検討 ～実証試験を通じたトレーサビリティツールの検証を含めて～	
5.1 目的と従来研究	5-1
5.2 リサイクルポートを活用した海上輸送の実証試験の概要	5-3
5.3 トレーサビリティツールの適用性の検証	5-7
5.4 内航海運物流管理データベースの構築に向けた検討	5-27
5.5 実証試験の環境負荷削減効果の推定	5-28
5.6 まとめ	5-34
第6章 海外連携レベルでの広域的な資源循環システムの構築に向けた検討 ～トレーサビリティを核としたコンソーシアム型国際資源循環管理システムの開発～	
6.1 目的と従来研究	6-1
6.2 国際資源循環管理システムのあり方と構想	6-2
6.3 コンソーシアム型サプライチェーンの構築に向けた検討	6-8
6.4 国際資源循環における静脈物流トレーサビリティシステムの開発	6-15
6.5 国際資源循環物流管理データベースの構築に向けた検討	6-35
6.6 ASPを活用した情報共有・管理システムの検討	6-36

目次

6.7	まとめ	6-42
第7章	日中間を対象とした国際資源循環システムの実証 ～廃プラスチックとミックスメタル等を対象とした排出から処理までの実証試験～	
7.1	目的と従来研究	7-1
7.2	日中国際資源循環に関する実証試験のための事前調査	7-3
7.3	日中国際資源循環に関する実証試験の概要	7-8
7.4	ミックスメタルを対象とした実証試験（バラ積船）の結果と考察	7-18
7.5	廃プラスチックと銅スクラップを対象とした実証試験（コンテナ船）の結果と考察	7-27
7.6	国際静脈物流におけるトレーサビリティツールの有効性の検証	7-49
7.7	まとめ	7-59
第8章	結論および今後の展望	
8.1	結論	8-1
8.2	今後の展望	8-8

参考文献

謝辞

Appendix

研究業績

第 1 章

序 論

第1章 序論

1. 1 本研究の背景と必要性

1. 1. 1 日本国内の廃棄物・資源循環の広域処理を巡る動向と従来研究

近年、地球温暖化、エネルギー枯渇や大気汚染等の環境問題が地球規模で指摘され、先進国のみではなく発展途上国においてもサステナブル発展あるいは循環型社会の構築が目標として掲げられている。

日本では、1970年代からの大量生産・大量消費さらに大量廃棄の高度な成長期時代を経て、廃棄物の複雑化・多様化等に伴うさまざまな問題が顕在化してきた¹⁻¹⁾。狭隘な国土や高い人口密度からヨーロッパや中国等の他国と比べ、埋立処分場が不足しており、最終処分ではなく3R (Reduce、Reuse、Recycle) の推進、さらに焼却処理によるごみの減容化が進められている。また近年ダイオキシン対策の一つとして一般的なストーカ式焼却炉だけではなく、さらに灰溶融、ガス化溶融といった新しい技術も開発・普及されてきた。減容化のみではなくメタルの資源回収も可能になってきている。さらに近年、溶融プロセスのあとに出てくる溶融飛灰の埋立により重金属類の流出に起因する生態系への影響や環境汚染の懸念から、溶融飛灰の山元還元技術が開発・推進されてきた。飛灰中のレアメタル等の有価金属を回収して再利用することにより、資源循環が実現されるとともに有害物質の適切な管理システムが構築されている。また、資源枯渇の問題に対応して、携帯電話やパソコンなど都市生活において大量に廃棄される電子機器中の希少資源を回収する技術開発が盛んに行われ、「都市鉱山」の概念が提唱・評価されてきた。また、温暖化対策やエネルギー枯渇の問題に対応してカーボンニュートラルの観点からバイオエタノールやバイオディーゼルといったバイオマスを利用した新しい技術開発が行われている。さらに近年、東アジアにおける新興国や途上国の台頭に伴う旺盛な資源需要に応じて日本から金属スクラップや E-Waste の海外への流出が顕著に見られる。そのほか、環境基本法に記載されている大気汚染、水質汚濁、土壌汚染、騒音、振動、悪臭および地盤沈下といった公害問題の経験から、ばいじんや窒素酸化物 (NO_x)、塩化水素 (HCl) 等への排ガス対策技術および排水対策技術が開発・導入されてきた。

また法体系では、1990年代から循環型社会への転換を目指して廃棄物の処理及び清掃に関する法律¹⁻²⁾ (以下、廃棄物処理法と略す) の改正、2000年の循環型社会形成推進基本法および資源有効利用促進法の公布、さらに個別物品の特性に応じて、容器包装リサイクル法、家電リサイクル法、食品リサイクル法、建設資材リサイクル法および自動車リサイクル法の制定など、多くの施策を打ち出している。

つまり、今日の廃棄物処理や資源循環の方法や方式が多様化しており、その環境パフォーマンス、経済性および社会的受容性を考慮したうえで、一体どこでどのような処理方式やシナリオが目的に応じた最適な組み合わせなのかという議論が必要であり、廃棄物処理や資源循環の現行システムの見直しが急務となっている。こうしたなかであって、廃棄物を原料あるいは材料として活用す

るリサイクルのためには、適切な加工・利用先への移送の重要性が認識されており、広域化によるリサイクルが進められている。こうしたきっかけの一つには、1997年の「ダイオキシン類発生防止等ガイドライン」¹⁻³⁾(新ガイドライン)の策定があり、各都道府県にごみ処理の広域化計画の作成が求められた。また最近の動向では、第2次循環型社会形成推進基本計画¹⁻⁴⁾が2008年3月25日に閣議決定され、地域の特性や循環資源の性質等に応じた最適な規模の循環を形成する「地域循環圏」の構築、および国際的な循環型社会の構築が本計画のポイントとして挙げられ、とくに日本国内における広域化への対応と東アジアにおける適切な資源循環のための施策が重要であると指摘された。そのほか、経済面においても社会コストミニマムの観点から広域処理によるコストの低減が求められている。

この地域では廃棄物であるが、他地域に持っていくと資源物としてリサイクル可能な環境を作り上げてきたが、処理方式の選択肢が複数存在し、排出段階から、長距離での輸送段階、資源化处理段階までを含めてトータルな評価による適正な広域資源循環システムの構築と提案が必要である。したがって、図1.1に示すように廃棄物や循環資源の広域処理の適正化を図るためには、安全・安心なリサイクル、低環境負荷のリサイクル、高度で確実な資源化および効率的なリサイクルの4点を実現する必要がある。

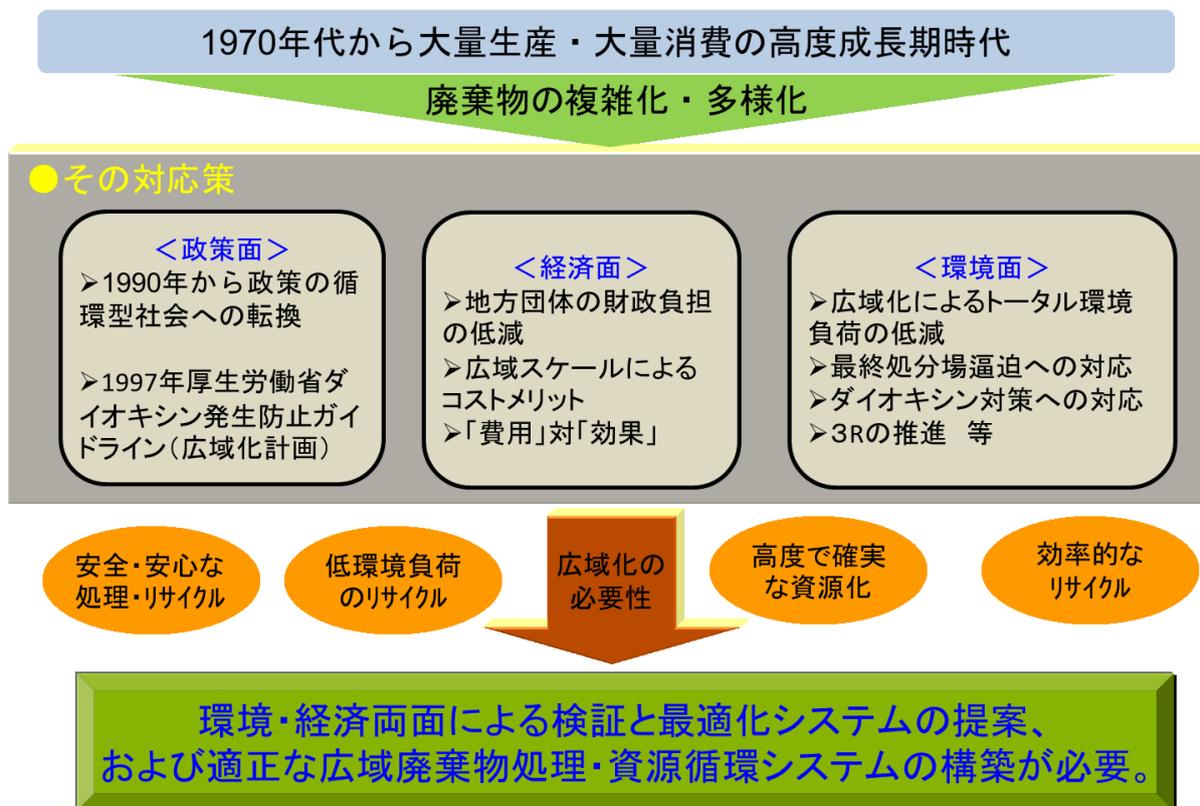


図1.1 国内における広域化の必要性

また、処理対象物の種類や特性によって適正な広域化システムを実現させるための考え方や方法が異なってくるが、達成させる目標は同じである。ここで、

処理段階での適正処理はさることながら、広域処理の特徴である長距離輸送段階における安全・安心の確保、さらにシステム全体の適正化・正当化を評価するための手法の確立、また地域住民の理解を確保するための適切な情報公開、および排出と受入側双方におけるルールづくり等が重要な課題である。

ここで、従来研究を調査したところ、このような課題を体系的に整理・分析する包括的な研究がほとんど行われていない。以下に、廃棄物の種類によって一般廃棄物と希少性・有害性廃棄物に大別して、静脈産業における物流管理と合わせて、それぞれに関連する動向と従来研究を整理した。

(1) 一般廃棄物処理の広域化

廃棄物処理法では表 1.1 に示すように、一般廃棄物の処理について法第六条の二に示すように、市町村が自区域内で発生する廃棄物を自ら処理することを原則としているが、廃棄物の減量化やリサイクルを推進するため、特例として一般廃棄物では第九条の九および産業廃棄物では第十五条の四の三に定められるものは、環境大臣の認定を受ける上で広域的な処理を行うことができるという広域認定制度¹⁻⁵⁾を設けている。本制度は、製品が廃棄物となったものであって、拡大生産者責任に則り、当該廃棄物の処理を当該製品の製造、加工、販売等の事業を行う者（製造事業者等）が広域広域的に行うことにより、当該廃棄物の減量その他その適正な処理が確保されることを目的として、廃棄物処理業に関する法制度の基本である地方公共団体毎の許可を不要とする特例制度である^{1-5,6)}。環境省告示により広域的処理に係る特例の対象となる一般廃棄物を表 1.2 に示す。平成 22 年 10 月 1 日時点での一般廃棄物広域認定制度の認定を受けた企業を表 1.3 に示す¹⁻⁷⁾。また、平成 22 年 12 月 24 日時点での産業廃棄物を対象とした産業廃棄物広域認定制度を受けた企業は 300 社以上に及んでいる¹⁻⁸⁾。

表 1.1 廃棄物の処理及び清掃に関する法律（一部抜粋）¹⁻¹⁾

第六条の二 市町村は、一般廃棄物処理計画に従って、その区域内における一般廃棄物を生活環境の保全上支障が生じないうちに収集し、これを運搬し、及び処分しなければならない。

（一般廃棄物の広域的処理に係る特例）

第九条の九 環境省令で定める一般廃棄物の広域的な処理を行い、又は行おうとする者（当該処理を他人に委託して行い、又は行おうとする者を含む。）は、環境省令で定めるところにより、次の各号のいずれにも適合していることについて、環境大臣の認定を受けることができる。

- 一 当該処理の内容が、一般廃棄物の減量その他その適正な処理の確保に資するものとして環境省令で定める基準に適合すること。
- 二 当該処理を行い、又は行おうとする者（その委託を受けて当該処理を行い、又は行おうとする者を含む。次項第二号において同じ。）が環境省令で定める基準に適合すること。
- 三 前号に規定する者が環境省令で定める基準に適合する施設を有すること。

(産業廃棄物の広域的処理に係る特例)

第十五条の四の三 環境省令で定める産業廃棄物の広域的な処理を行い、又は行おうとする者(当該処理を他人に委託して行い、又は行おうとする者を含む。)は、環境省令で定めるところにより、次の各号のいずれにも適合していることについて、環境大臣の認定を受けることができる。

- 一 当該処理の内容が、産業廃棄物の減量その他その適正な処理の確保に資するものとして環境省令で定める基準に適合すること。
- 二 当該処理を行い、又は行おうとする者(その委託を受けて当該処理を行い、又は行おうとする者を含む。次項第二号において同じ。)が環境省令で定める基準に適合すること。
- 三 前号に規定する者が環境省令で定める基準に適合する施設を有すること。

表1.2 広域的処理に係る特例の対象となる一般廃棄物¹⁻⁶⁾

- 1 廃スプリングマットレス(スプリングマットレス又はその部品若しくは附属品が一般廃棄物となったものをいう。)
- 2 廃パーソナルコンピュータ(パーソナルコンピュータ又はその部品若しくは付属品が一般廃棄物となったものをいう。)
- 3 廃密閉型蓄電池(密閉型鉛蓄電池、密閉型アルカリ蓄電池又はリチウム蓄電池が一般廃棄物となったものをいう。)
- 4 廃開放型鉛蓄電池(開放型鉛蓄電池が一般廃棄物となったものをいう。)
- 5 廃二輪自動車(道路運送車両法(昭和26年法律第185号)第2条第3項に規定する原動機付自転車又は道路運送車両法施行規則(昭和26年運輸省令第74号)別表第一に規定する小型自動車(二輪自動車に限る。)若しくは軽自動車(二輪自動車に限る。)が一般廃棄物となったものをいう。)
- 6 廃FRP船(FRP(ガラス繊維を熱硬化性樹脂を用いて積層することにより成型したものをいう。)を使用した船舶が一般廃棄物となったものをいう。)
- 7 廃消火器(消火器の技術上の規格を定める省令(昭和39年自治省令第27号)第1条の2第1号に規定する消火器若しくはその部品若しくは附属品又は消火器用消火薬剤の技術上の規格を定める省令(昭和39年自治省令第28号)第1条の2から第8条までの規定に適合する消火薬剤が一般廃棄物となったものをいう。)
- 8 廃火薬類(火薬類取締法(昭和25年法律第149号)第2条第1項に規定する火薬類が一般廃棄物となったものをいう。)
- 9 廃印刷機(印刷機又はその部品若しくは付属品が一般廃棄物となったものをいう。)
- 10 廃携帯電話用装置(携帯電話用装置又はその部品若しくは付属品が一般廃棄物となったものをいう。)

(平成15年11月28日環境省告示第131号)

最終改正(平成20年10月9日環境省告示第75号)

表1.3 一般廃棄物広域認定制度の認定を受けた企業¹⁻⁷⁾

認定年月日	一般廃棄物の種類	認定を受けた者
平成16年 6月30日	廃パーソナルコンピュータ	一般社団法人 パソコン3R推進センター
平成16年 8月27日	廃二輪自動車	本田技研工業株式会社
平成16年 9月 9日	廃二輪自動車	川崎重工業株式会社
平成16年 9月 9日	廃二輪自動車	スズキ株式会社
平成16年 9月 9日	廃二輪自動車	ヤマハ発動機株式会社
平成16年10月 1日	廃二輪自動車	株式会社成川商会
平成16年10月 1日	廃二輪自動車	株式会社MV・AGUSTA・JAPAN
平成16年10月 1日	廃二輪自動車	Piaggio Group Japan 有限会社
平成16年10月 1日	廃二輪自動車	株式会社福田モーター商会
平成16年10月 1日	廃二輪自動車	株式会社キムコ・ジャパン
平成16年10月 1日	廃二輪自動車	株式会社プレストコーポレーション
平成16年10月 1日	廃二輪自動車	(株)ブライト
平成16年10月 1日	廃二輪自動車	ドウカティ・ジャパン株式会社
平成16年10月 1日	廃二輪自動車	ビー・エム・ダブリュー(株)
平成16年10月 1日	廃二輪自動車	トライアンフ・ジャパン(株)
平成16年10月 1日	廃二輪自動車	(株)エムズ商会
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	シャープ株式会社
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	株式会社東芝
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	ソニー株式会社
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	富士通株式会社
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	アップルジャパン株式会社
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	セイコーエプソン株式会社
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	株式会社日立製作所、日立コンシューマエレクトロニクス株式会社
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	沖電気工業株式会社
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	デル株式会社
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	日本サムスン株式会社
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	株式会社リコー
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	三菱電機インフォメーションテクノロジー株式会社
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	東京特殊電線株式会社
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	株式会社ナナオ
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	パナソニック株式会社
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	日本ビクター株式会社
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	LG Electronics Japan 株式会社
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	日本ユニシス株式会社
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	NECパーソナルプロダクツ株式会社
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	日本アイ・ビー・エム株式会社
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	株式会社アイ・オー・データ機器

第1章 序論

平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	カシオ計算機株式会社
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	株式会社アドテック
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	株式会社パツファロー
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	株式会社ユニットコム
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	三洋電機株式会社
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	日本ヒューレット・パッカー株式会社
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	ロジテック株式会社
平成16年11月25日	廃パーソナルコンピュータ	株式会社ワコム
平成17年 3月 1日	廃二輪自動車	伊藤忠オートモービル株式会社
平成17年 3月10日	廃パーソナルコンピュータ	プリンストンテクノロジー株式会社
平成17年 6月 2日	廃パーソナルコンピュータ	株式会社KOUZIRO
平成17年 7月 5日	廃パーソナルコンピュータ	Gateway株式会社
平成17年 7月 5日	廃パーソナルコンピュータ	株式会社サードウェーブ
平成17年10月24日	廃二輪自動車	ハーレーダビッドソンジャパン株式会社
平成17年11月29日	廃FRP船	社団法人日本舟艇工業会
平成17年12月 5日	廃パーソナルコンピュータ	レノボ・ジャパン株式会社
平成17年12月 5日	廃パーソナルコンピュータ	三菱電機株式会社
平成18年 8月24日	廃パーソナルコンピュータ	上新電機株式会社
平成19年 3月12日	廃パーソナルコンピュータ	株式会社マウスコンピューター
平成19年 3月30日	廃火薬類	社団法人日本火薬銃砲商組合連合会
平成19年 4月18日	廃パーソナルコンピュータ	オンキヨー株式会社
平成19年 8月 2日	廃パーソナルコンピュータ	NECディスプレイソリューションズ株式会社
平成20年 3月25日	廃パーソナルコンピュータ	株式会社グリーンハウス
平成20年 9月30日	廃パーソナルコンピュータ	ベンキュージャパン株式会社
平成20年11月 4日	廃インクカートリッジ	キヤノン株式会社セイコーエプソン株式会社他4社
平成21年3月31日	廃パーソナルコンピュータ	日本エイサー株式会社
平成21年10月28日	廃パーソナルコンピュータ	株式会社 ProjectWhite
平成21年12月28日	廃消火器	社団法人日本消火器工業会
平成22年10月 1日	廃携帯電話用装置	株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ

また、公害問題の一つとしても捉えられているダイオキシン問題について、豊かな生活により人々のライフスタイルの変化によるごみ質の変動から、平成9年度一般廃棄物のごみ焼却処理施設の排ガス中のダイオキシン濃度が1.5～28ng-TEQ/m³N¹⁻⁹)と高くなっていた。また、ダイオキシン類の各種発生源からの排出状況は明らかではないが、ごみ焼却炉からの排出が総排出量の8～9割を占めているとの報告¹⁻³⁾があり、1997年に厚生省から「ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガイドライン」が制定された。続いて、小規模な市町村では発生するごみの量が少なく全連続化焼却が困難であり、隣接市町村と連携した広域化処理が推進され、各自治体にごみ処理の広域化計画の作成が求められた¹⁻³⁾。さらに、1998年度に廃棄物処理施設整備費国庫補助金交付要綱が改正され、ごみ焼却施設の補助対象規模を原則100t/day以上と規定し、間欠運転の小規模

施設を集約化し、広域処理によるごみ処理施設の全連続化、処理能力の大型化を推進している¹⁻¹⁰⁾。

こういった政策動向をきっかけに一般廃棄物処理システムを対象に広域処理の最適化に関する研究調査が多く行われてきた^{1-11~23)}。その一部を表 1.4 に示す。

表 1.4 日本国内での一般廃棄物の広域処理にかかわる従来研究

分類	年度	研究題名	研究者	概要
広域化の評価提案	2002	コストおよびエネルギー消費量による一般廃棄物広域化シナリオの比較に関する研究	羽原浩史 松藤敏彦ら (北海道大学大学院)	まず広域化の制約条件となる収集輸送条件を検討した。つぎに広域化を想定した場合の中心都市や周辺自治体の人口規模等の広域モデルを設定し、LCA 的な観点から広域化によるコスト、エネルギー消費量の変化を計算した。
	2003	ごみ処理システムの広域化計画に関する最適化モデル分析	荒井康裕ら (東京都立大学)	地区の統合・再編化に関する適正規模の検討、並びに選択すべき処理シナリオの最適化モデル分析を試みた。具体的に、費用関数の推定および埋立処分量を考慮した最適化モデルの分析を行っている。
	2003	環境負荷と費用からみた廃棄物処理広域化の規模に関する研究	佐々木努 松岡譲等ら (京都大学)	廃棄物処理広域化の評価モデルを開発し、総費用、環境負荷(CO ₂ 、NO _x 、SO _x)、さらに交通量の変化を広域化規模の関数として表し、最適規模の検討を行った。
	2005	都市ごみ処理システムの分析・計画・評価～マテリアルフロー・LCA 計画プログラム～	松藤敏彦 (北海道大学)	自治体でのごみ処理計画をシミュレートし、処理システムの概略設計を示し、同時に処理別のユーティリティ使用量、コスト、エネルギー消費量などを計算する実用プログラム H-IWM (Excel 版)を提供すると共に、計算方法の詳細などを解説。
	2005	廃棄物処理・リサイクルの広域化のトレードオフについて	藤井実 (国立環境研究所)	廃棄物処理・リサイクルの広域化における収集・運搬や施設における単位処理量あたりのコスト、エネルギー消費量等の増減について、広域化のメリット、デメリットを分析する。
	2008	廃棄物固形燃料化政策を導入する広域的な一般廃棄物処理システムに関する公共政策の評価	安田八十五ら (関東学院大学)	15 市町村の現状分析を行い、収集、中間処理、最終処分の各段階で政策代替案を設定した。政策代替案ごとに財務分析、LCA 分析、社会的費用便益分析を行った。
	2009	一般廃棄物処理の広域化と島嶼地域の特性(費用ケーススタディ)	瀬口浩一ら (琉球大学)	離島を含めた広域化に関して、沖縄本島に近接、および遠方の離島と沖縄本島の地方団体間での有効性を検討する。具体的にモデルケースにおける費用の仮想計算を行った。
特定自治体での取り組み	2002	長野県における一般廃棄物処理と廃棄物移動	栗島英明 (筑波大学大学院)	廃棄物処理問題研究への地理学からの取り組みとして、市町村による一般廃棄物処理と廃棄物移動について、長野県を事例に考察した。
	2003	倶知安町のごみ行政の状況：広域処理と循環型社会への取り組み	西江栄二 (倶知安町役場環境対策課)	倶知安町のダイオキシン対策によるごみ処理広域化への対応や循環型社会への取り組みと、その課題について整理した。
	2003	石川県における一般廃棄物処理と広域化	神谷浩夫ら (金沢大学)	石川県におけるごみ広域化の現状を把握し、広域行政に注目しながら市町村間および市町村内での施設立地状況を検証し、広域化と並ぶごみ処理費用削減である民間委託の進展度合いを明らかにすること。

これらの研究のなかには、i) エネルギー消費量や CO₂、NO_x、SO_x といった環境面および収集運搬から処理までの総費用といった経済面における広域化処理の最適化システムの評価・提案、および ii) 特定市町村の事例を取り上げた広域化の検討、のような研究が数多く行われてきた。

広域化の評価・提案では、北海道大学の羽原氏、松藤氏らが LCA 的な観点から広域化のコスト、エネルギー消費量等の変化を分析している。また、このような評価を計算する実用プログラム H-IWM の Excel 版の開発を行っている。荒井氏らがごみ処理システムの広域化計画について、費用関数の推定および埋立処分量を考慮した最適化モデルの分析を行った。藤井氏らがコストとエネルギー消費量の観点から広域化のメリットとデメリットの分析を行った。さらに、空間的な特殊性を持つ離島を含めた広域化に関して、瀬口氏らが沖縄本島に近接および遠方の離島と本島地方団体間での広域化の有効性を検討し、費用の観点からモデルケースのシミュレーションを行った。

また、特定自治体を対象とした研究では、栗島氏が地理学の観点から一般廃棄物処理と廃棄物移動について長野県の事例を考察した。西江氏が倶知安町のダイオキシン対策による広域化の取り組みとその課題について整理を行った。神谷氏が石川県の広域化の検証を行った。こういった特定地域の事例考察から共通する課題としてごみ処理の負担、不法投棄対策、および製造者処理責任の明確化等が挙げられる。

しかし、従来研究では環境面での評価において、エネルギーの消費や排ガスといった単一指標での評価が主流であり、同一評価の中にある環境カテゴリー間のトレードオフの存在が課題となっている。また、人類社会の発展に伴い、人々のライフスタイルの変化や環境に対する意識が変化しているなかで、地球温暖化、廃棄物処理問題や大気汚染等といった環境カテゴリーに対する重要視の度合いが変化している。廃棄物処理システムにおいてこういった面も考慮した環境負荷の統合化評価の適用に関する研究が欠如しているといえる。

(2) 希少性・有害性廃棄物の広域化

廃棄物の種類によってレアメタル等の希少資源が含有され、資源セキュリティや最終処分場の延命化との観点から広域化によるリサイクルの価値があるものは多く存在する。

日本では狭い国土から溶融技術が開発・普及されてきた。とくに近年、ガス化溶融炉が注目され、その施設数が年々増加する傾向である¹⁻²⁴⁾。それにともない、溶融プロセスの副産物である溶融メタル・スラグおよび溶融飛灰が大量に発生している。とくに、溶融飛灰の中に亜鉛 (Zn) や、銅 (Cu)、鉛 (Pb) など、また溶融メタルの中にも貴金属などの有価金属が含有されており¹⁻²⁵⁾、資源確保または長年の埋立による重金属類の溶出懸念の解消といった観点からの資源化処理、または最終処理・処分の方法の選択が近年の論点となっている。また、都市では大量に廃棄されるパソコン、電子基板や携帯電話等の家電製品には、レアメタル等の有価金属が多く含有され、その希少資源が多いことから「都市鉱山」と呼ばれている。独立行政法人物質・材料研究機構での調査結果

によると、日本の「都市鉱山」において、金は、約 6,800 トンと世界の現有埋蔵量 42,000 トンの約 16%、銀は、60,000 トンと 22%におよび、他にもインジウム 61%、錫 11%、タンタル 10%と世界埋蔵量の一割を超える金属が多数あることが分かった¹⁻²⁶⁾。とくに深刻な経済不況の中で、電子基板や携帯電話のような都市鉱石を適切な処理先への広域化処理による資源の回収や確保が重要な取り組みであると考えられる。

一方で、電子基板や溶融飛灰のような重金属類やダイオキシン類等の残留性有機汚染物質(POPs)が含まれることから、不適切に処理処分すると健康や生態系への影響が生じる有害性のものもある。このほか、ポリ塩化ビフェニル(PCB)は 1974 年に「化学物質の審査および製造等の規制に関する法律」により製造、輸入、使用が禁止されたが、これまでの蓄積による環境汚染が懸念されてきた¹⁻²⁷⁾。また、放射性廃棄物のうち放射線濃度が十分低いものを産業廃棄物として処理できる「クリアランス制度」が 2012 年 5 月に導入され、200 リットル入りドラム缶に換算して約 25 万本現存する放射性廃棄物の約半分が対象となる。環境省はトレーサビリティを確保するためマニフェストの仕組みを適用し、トレーサビリティの重要性が強調された¹⁻²⁸⁾。また近年、石綿(アスベスト)の飛散等による人の健康や環境被害を防止するために、2006 年に「石綿による健康等に係る被害の防止のための大気汚染防止法等の一部を改正する法律案」が閣議決定された。また同年、廃棄物処理法施行令および海洋汚染等および海上災害の防止に関する法律施行例の一部の改正、および廃棄物処理法施行規則等の改正に至った^{1-29~31)}。

このような特殊性を持つ廃棄物は数多く存在しており、廃棄物処理法では、特別管理一般廃棄物と特別管理産業廃棄物と分類されている。「一般廃棄物または産業廃棄物のうち、爆発性、毒性、感染性その他の人の健康又は生活環境に係る被害を生ずるおそれがある性状を有するものとして政令で定めるもの」¹⁻²⁾と規定されている。特別管理廃棄物の一覧を表 1.5 に示す。

表1.5 特別管理廃棄物の一覧¹⁻³²⁾

主な分類		概要	
特別管理一般廃棄物	PCB使用部品	廃エアコン・廃テレビ・廃電子レンジに含まれるPCBを使用する部品	
	ばいじん	ごみ処理施設の集じん施設で生じたばいじん	
	ダイオキシン類含有物	ダイオキシン特措法の廃棄物焼却炉から生じたもので、ダイオキシン類を3ng/g以上含有するばいじん、燃え殻、汚泥	
	感染性一般廃棄物	医療機関等から排出される一般廃棄物であって、感染性病原体が含まれ若しくは付着しているおそれのあるもの	
特別管理産業廃棄物	廃油	揮発油類、灯油類、軽油類(難燃性のタールピッチ類等を除く)	
	廃酸	pH2.0以下の廃酸	
	廃アルカリ	pH12.5以上の廃アルカリ	
	感染性産業廃棄物	医療機関等から排出される産業廃棄物であって、感染性病原体が含まれ若しくは付着しているおそれのあるもの	
	特定有害産業廃棄物	廃PCB等	廃PCB及びPCBを含む廃油
		PCB汚染物	PCBが付着等した汚泥、紙くず、木くず、繊維くず、プラスチック類、金属くず、陶磁器くず、がれき類
		PCB処理物	廃PCB等又はPCB汚染物の処理物で一定濃度以上PCBを含むもの
		指定下水汚泥	下水道法施行令第13条の4の規定により指定された汚泥
		鉱さい	重金属等を一定濃度以上含むもの
		廃石綿等	石綿建材除去事業に係るもの又は大気汚染防止法の特定粉じん発生施設から生じたもので飛散するおそれのあるもの
		ばいじん又は燃え殻	重金属等及びダイオキシン類を一定濃度以上含むもの
		廃油	有機塩素化合物等を含むもの
		汚泥、廃酸又は廃アルカリ	重金属、有機塩素化合物、PCB、農薬、セレン、ダイオキシン類等を一定濃度以上含むもの

このような希少資源あるいは有害性物質の含有による特殊性を持つ廃棄物の資源化を図るために、高度なリサイクル技術を要することになり、当該地域のインフラの整備状況や輸送環境といった地域特性から広域化による資源化処理のケースが多い。この場合は、資源化の対象となる廃棄物の特殊性によって適正な広域化処理を実現させるためには、排出者責任の観点から長距離輸送を含めた安全性、環境性ならびに資源性の確保が重要であり、トレーサビリティによる厳重な管理や地域住民の理解等の特別な考慮が必要である。その際に、トレーサビリティの実現やステークホルダーに環境性・経済性の両面による迅速な情報共有・管理を実現するための技術開発もさることながら、排出者、輸送業者および受入施設がコンソーシアム（企業連合）方式による静脈サプライチェーンの構築、および排出と受入双方におけるルールづくりといったソフト面での検討も必要不可欠である。

上述の内容を含めた希少性・有害性廃棄物の広域化に関するシステムモデルの構築が必要であり、従来研究ではこのような課題を包括的に研究する事例はほとんどないといえる。そこで本研究は、第4章に希少性・有害性の両者を併せ持つ特別管理一般廃棄物の溶融飛灰を例として取り上げ、システムモデルの構築とその展開について述べる。以下に特別管理一般廃棄物である溶融飛灰の処理の現状¹⁻³³⁾を整理した。

a) 溶融飛灰の安定化処理の定義

特別管理一般廃棄物である飛灰の中間処理方法については、平成4年7月厚生省告示第194号（平成17年12月22日改正）の「特別管理一般廃棄物及び特別管理産業廃棄物の処分又は再生の方法として厚生大臣が定める方法」による5種類の中間処理方法が適用されているが、溶融飛灰は、このうち表1.6に示すイ（セメント固化）、ロ（薬剤処理）およびハ（酸その他の溶媒による安定化）のいずれかの方法で処理することが義務づけられている¹⁻³⁴⁾。

表1.6 告示による飛灰の中間処理方法¹⁻³⁴⁾

種類	処理方法
イ（セメント固化）	セメント固化設備を用いて重金属が溶出しないよう化学的に安定した状態にするために十分な量のセメントと均質に練り混ぜるとともに、適切に造粒し、又は成形したものを十分に養生して固化する方法。
ロ（薬剤処理）	薬剤処理設備を用いて十分な量の薬剤と均質に練り混ぜ、重金属が溶出しないよう科学的に安定した状態にする方法。
ハ（酸その他の溶媒による安定化）	酸その他の溶媒に重金属を十分に溶出させたくえで脱水処理を行うとともに、当該溶出液中の重金属を沈殿させ、当該沈殿物及び脱水処理に伴って生ずる汚泥について、重金属が溶出しない状態にし、又は製錬工程において重金属を回収する方法。

イ) セメント固化

セメント固化はセメント中のケイ酸カルシウムなどの組成鉱物が水と結合し、水和物結晶を生じて硬化する過程において、有害物質の吸着や固溶化を伴い、またセメントの強いアルカリ性によって、有害物質の難溶性化合物を生成して固化体中に沈着、固化する原理に基づいている。さらに固化体は透水性が低く、物理的および化学的な安定性が高いので、有害物質の封じ込めに優れた効果を発揮することになる。

飛灰のセメント固化処理には、一般的にポルトランドセメントが使用されているが、重金属類の含有量が多い飛灰や消石灰等のアルカリを多く含む飛灰等については、その程度に応じて超早強セメント、特殊セメント等が使用される。セメントの種類と特長は、表1.7に示すとおりである。

ロ) 薬剤処理

飛灰中の重金属類の無害化に有効と考えられる薬剤としては、液体キレート剤等がある。液体キレート剤は重金属類と反応して強固なキレート結合を形成し、不溶性の重金属キレート化合物になる。

また、飛灰中の重金属の不溶化に有効と考えられる薬剤の性状を表1.8に示す。ここで示した重金属固定剤は、すべて液体キレート剤で、SとNを含むキレート形成基を持つ化合物または高分子化合物であり、Hg、Cd、Cu、Pb、Ni、Cr、Zn、Mn、Fe等の金属不溶化に有効である。

表1.7 セメントの種類と特長

固化剤	項目		
	用途	特長	セメント価格比*
ポルトランドセメント	重金属含有量の少ないばいじん	普通の土木建築用のセメントで、水和して硬化(結晶化)する際に有害物を吸着する。	1
超早強セメント	塩類を多く含有するばいじん	早強性があり、塩類による固化物の膨潤が少ない。	3.8
特殊セメント	六価クロム、鉛を多く含むばいじん	早強性と共に6価クロム、鉛に効果があり、全体に良くバランスのとれた固化剤である。	4.5
ポルトランドセメントと添加剤の併用	重金属含有量の多いばいじん	添加剤は含有金属により、適切なもの加える。汎用性はないが安価な処理が可能。	1.0+ α * ²

注:*1 ポルトランドセメントを1とする。

*2 「 α 」は添加剤の種類により異なる。

表1.8 重金属固定剤の性状

薬剤	外観	比重 (at25°C)	pH	添加量 (%)	荷姿(kg)	単価 (固定剤を100として)
高分子重金属固定剤 A	淡黄色 透明液状	1.10~1.30	11~12	1~5	20,200 コンテナ	40~50
高分子重金属固定剤 B	淡黄色 透明液状	1.05~1.15	9~10	1~5	20,200 ローリー	100
重金属固定剤 C	淡黄色 透明液状	1.10~1.20	12~13	1~5	20,200 ローリー	100
重金属固定剤 D	淡黄色 透明液状	1.05~1.15	12~13	1~5	20,200 ローリー	40~50

注:1) pHは、10%水溶液の値

2) ばいじん量に対する重量%

ハ) 酸その他の溶媒による安定化

酸その他の溶媒による安定化法は、図1.2に示すように分類できる。

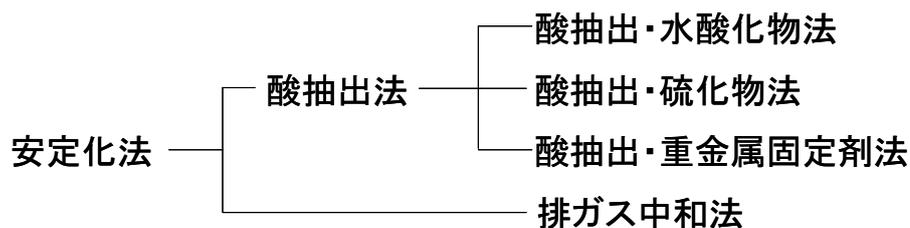


図1.2 酸その他の溶媒による安定法の分類

①酸抽出法

・酸抽出・水酸化物法

酸抽出・水酸化物法は、飛灰中の重金属類などを硫酸や塩酸などの酸で抽出（以下、酸抽出という）し、さらに苛性ソーダを加えて、重金属水酸化物として不溶化し、沈殿、脱水する方法である。

・酸抽出・硫化物法

酸抽出・硫化物法は、飛灰中の重金属などを汚水でスラリー状とした後、酸抽出し、さらに水酸化ソーダなどを加えて、重金属硫化物として不溶化し、脱水する方法である。

・酸抽出・重金属固定剤法

酸抽出・重金属固定剤法は、酸抽出・硫化物法における水酸化ソーダの代わりに、重金属固定剤（液体キレート剤）を使用し、重金属キレート化合物にする方法である。

②排ガス中和法

排ガス中和法は、飛灰を水または汚水等に懸濁して、飛灰中の重金属類および塩類を溶液側に溶出させ、ごみ燃焼排ガスの一部を吹き込み、排ガス中に含まれている炭酸ガスにより重金属類を炭酸塩とし、必要に応じて沈殿分離したのち、脱水処理する方法である。

b) 安定化処理の現状

最も多く採用されている方式は薬剤処理であり、次に多いのは、薬剤処理とセメント固化の併用処理である。

セメント固化は、平成3年の法改正以前に建設もしくは計画された施設に多く採用されているが、以後、その数は減少している。その理由として、廃掃法の改正により、鉛の溶出基準が3mg/lから0.3 mg/lと強化されたため、溶融飛灰の性状によっては、セメントのみでの溶出防止が難しくなったことが考えられる。

酸その他の溶媒による安定化は、稼動中、稼動予定の施設とも採用されていない。その理由として、この方法は湿式処理となるため、排水処理が不可欠となり、放流先等の排出基準を満足する必要があることが考えられる。

東京23区清掃一部事務組合が溶融飛灰の処理・処分の状況についてアンケート調査した結果（平成15年発行の資料）によると、溶融飛灰の処理方法については、確認できた55施設のうち、セメント固化が6施設（11%）、薬剤処理が16施設（29%）、薬剤処理とセメント固化の組み合わせが30施設（55%）および酸その他の溶媒による安定化が3施設（5%）となっている。

c) 溶融飛灰安定化処理の問題点

溶融飛灰の特徴は、鉛、亜鉛等の重金属類と塩の割合が高いことである。このことが、資源化の動機であると同時に処理・処分の最大の難点であるといえる。

① 重金属溶出防止

埋立処分を前提とした中間処理において、特に問題となるのは鉛の溶出防止である。鉛は酸性、アルカリ性どちらの領域においても可溶化するため、中間処理で不溶化処理を施しても埋立処分地においては酸性雨や処分環境の影響を受け、再溶出する可能性が否定できない。このように、溶融飛灰を埋立処分する場合は、埋立処分場における重金属の溶出防止が重要となっている。

② 塩の溶出防止

溶融飛灰は、塩化ナトリウム、塩化カリウム等の塩が主成分となっている。塩は、セメント固化や溶剤固化では溶出を止めることはできないため、これらの方法で中間処理を行った場合は、埋立処分場で溶出する。

現在、塩は規制項目となっていないが、埋立処分場の排水処理施設からの放流先が河川である場合は、農業用水として利用されている場合もあるので注意を要する。

(3) 静脈物流の管理

人々の環境意識の向上に伴い、大量な廃棄物が排出される動脈産業の技術体系や社会経済システムが、環境配慮デザインの影響を受け入れて循環型社会への転換に努力しつつある。そこで動脈産業からの廃棄物や再生資源を高効率にリサイクル・リユースあるいは適切に処理・処分させるために、動脈と静脈間の有機的な融合を支えているのは静脈物流であり、そのシステムの設計や管理方法が重要である。とくに上述のような広域化処理を進める場合には、対象となる廃棄物や資源物の特性によって不適切に処理・処分するとその有害性による環境汚染や人の健康に悪影響をもたらしかねない。不法投棄の問題も静脈物流の段階で起こる場合が多い。したがって、広域処理システム全体の環境性・経済性ならびに社会性を考慮したうえで、適切な加工や処理先への長距離の輸送の重要性が強く認識され、近年静脈物流の管理に関する研究の数が増えてきた^{1-35~45)}。日本国内における静脈物流の管理にかかわる従来研究を調べ、その一部を表 1.9 に整理した。

また近年、動脈産業では、効率的な生産やマーケティングのために Supply Chain Management (SCM) の概念のもとで、Radio Frequency Identification (RFID) 技術や GPS、バーコードといった IT 技術が適用され、最適化を目指した物流システムやネットワークの開発とその実用化の取り組みが進められている¹⁻⁴⁶⁾。これに対して静脈系産業では、企業の社会的責任 (CSR) との観点から自ら排出した廃棄物や再生資源がどのように処理されているかに関する情報開示が求められている。このほか不法投棄等の不正行為を防ぐためにも静脈物流におけるトレーサビリティシステムの開発が近年行われてきたが、管理対象物の違いによってシステムの組み方や使用方法が異なってくるため、汎用性の高いシステムの開発が必要と考えられる。

表1.9 日本国内での静脈物流管理にかかわる従来研究^{1-35~45)}

分類	年度	研究題名	研究者	概要
物流管理	2002	建設ロジスティクスの研究その11 静脈物流システムの設計	中村裕幸 (清水建設技術研究所)	建設ロジスティクスの根幹をなす静脈物流システムの設計を行っている。都内に静脈物流センターを設置し、小口による巡回回収が特長。また、トレーサビリティの実現と関連情報の一元化管理を提唱。
	2003	静脈物流システムの開発	中村裕幸 (清水建設技術研究所)	首都圏の建設作業所を対象とした静脈物流システムを設計し、設計案の実証を国土交通省よりの委託事業として、建設副産物集中管理システムによる実証試験を行った。
	2006	IC タグを用いた医療廃棄物のトレーサビリティの実証実験について	福田弘之 (クレハ環境株式会社)	感染性産業廃棄物処理における総合的なトレーサビリティシステムの開発にあたり、IC タグの耐久性(衝撃・荷重・摩擦・耐水)に関する実験を行い、実用に耐えうるものであるとの結果を得た。
	2008	建設廃棄物トレーサビリティシステムの開発	住友林業株式会社	通信機能付きデジタルカメラによって撮影された廃棄物の荷姿写真と廃棄物毎に取り付けたICタグ情報等の情報をバンディターミナル経由で統合管理するシステムを開発している。
海上輸送	2000	海上輸送を利用した資源循環型社会システムの構築	水上裕之 (財団法人新産業創造研究機構)	ITの導入を考慮した新しい概念造りが必要であると提唱しており、海上輸送を利用した静脈物流システムの基礎概念の構築に向けた検討を行った。とくに、「特定家庭用機器再商品化法」に対応するシステムの検討を行った。
	2008	瀬戸内静脈物流～循環資源を共同で運ぶ専用船～	乗越晃 (中電技術コンサルタント株)	循環資源の船舶による共同輸送事業を展開している。H17から「船舶による瀬戸内静脈物流システム」の基本計画を検討し、事業化の可能性の検討を行った。H19年度は事業開始の準備として、主に事業PRと荷主となる業者の募集を行った。

また近年、地球温暖化の防止への取り組みとして陸上でのトラック輸送から海上輸送へのモーダルシフトが進められている。国土交通省では「港湾を核とした総合的な静脈物流システムの構築」の事業化に向けた取り組みを推進しており、リサイクルポート（総合静脈物流拠点港）の指定を行っている。2006年現在までに全国では21港が指定されている¹⁻⁴⁷⁾。首都圏で発生する大量な廃棄物や再生資源をスケールメリットの活かせる低環境負荷の海上輸送により、静脈物流の円滑化を推進している。また、日本は島国であり、有人離島が315あり、総人口737,083人、総面積7,738km²である¹⁻⁴⁸⁾。人口や面積規模から離島に処理施設を建設するより、大陸にあるエコタウンや大規模施設との連携¹⁻⁴⁹⁾によるスケールメリットを図ったほうが環境・経済両面とも有利である。現状の循環資源輸送の特徴として、同一島、近隣自治体での別々な取り組み、個別品目ごとの取り組み、各主体の事情にもとづいた品目ごとの既存輸送ルートを用いた個別的なその都度の輸送、また本土では、複数の地域への個別陸上輸送

などがあげられ、これらにより循環資源輸送の効率が下がっている。このような非効率性を打開するためには、近隣の島々と連携して複数の循環資源を一括輸送し、背後にリサイクル企業群を擁するリサイクルポートへ船舶によって直航し、リサイクル工場群に輸送する広域リサイクルネットワークシステムの構築が必要である。

1. 1. 2 アジアにおける国際資源循環を巡る動向と従来研究

近年、中国をはじめとするアジア圏の新興国や途上国の台頭に伴い、資源の需要が旺盛になり、日本から鉄スクラップや廃プラスチック等の輸出が進展しており、国際的な循環資源の移動が活発化している。

図 1.3 に示すように先進国から途上国、とくに東アジア諸国への鉄スクラップの移動が顕著であることがわかる¹⁻⁵⁰⁾。財務省貿易統計によると、近年鉄スクラップや銅スクラップ、プラスチック等の再生資源の輸出量も急激に増加していることがわかる¹⁻⁵¹⁾。一方で、E-waste については、解体された後の鉄、銅やプラスチック等は素材として輸出されているのはわかるが、中古家電や中古パソコン等の輸出量は判明されていない。廃家電の国内フローについて、経産省・環境省の推定結果（2005 年度）を用いて独立行政法人国立環境研究所が再計算した結果を図 1.4 に示す。廃家電四品目（テレビ、エアコン、冷蔵庫・冷凍庫、洗濯機）の 2005 年度発生量の 2,129 万台の中で再商品化以外のものは、国内で処理されるのが 442 万台であり、輸出中古家電が 518 万台になっており、国内処理より国外へ輸出しているほうが上回っている。日本から輸出する廃家電の中で、ある部分は非鉄スクラップの形で不適正な輸出を継続的に行っているとされる。したがって、計算結果の貿易統計との乖離、および中古取扱業者等の構造に課題が残され、国際資源循環全体として透明性が求められる。

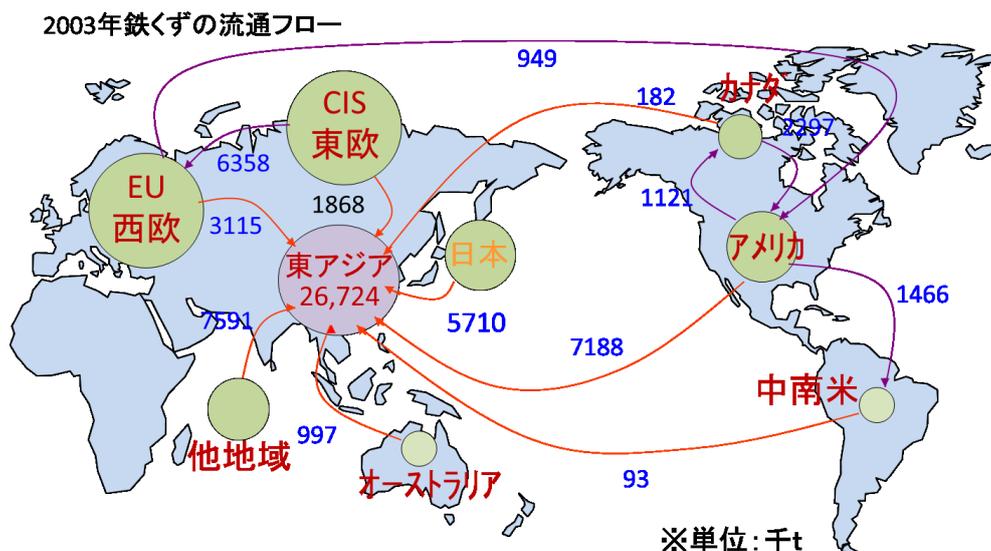


図1.3 鉄くずの流通フロー (2003) ¹⁻⁵⁰⁾

独立行政法人国立環境研究所のデータ解析によると、2001年における日本・中国・香港の間のテレビの動きについて、中国内で製造された約3,100,000台の新品テレビが日本に輸入していたのに対して、約半分程度の中古テレビを香港に輸出していた。しかし、香港の貿易統計では、20万台程度の中古テレビしか記録されておらず、大部分の中古テレビの輸入は把握されていなかった実態が見られた。また、これらの中古テレビは香港経由で中国大陸をメインにアジア諸国に不正輸入がなされる場合が多いと言える¹⁻⁵²⁾。輸入された中古家電の大部分は小規模なりサイクル業者において処理処分がなされる。この中で、環境汚染が顕著であり、2002年にNGO団体に指摘された代表的な街が中国広東省汕頭市貴嶼鎮である(図1.5)。ここで、外国から輸入される中古テレビ、パソコン等のE-wasteを集約し、選別を行い、ICチップ等の有価パーツは販売ショップへ、鉄くず等は金属スクラップ業者へ、プリンタ基板は分別作業へ売却する。図1.6は小規模なりサイクル業者がプリント基板を処理している建屋外部の写真である。建屋内部では基板をストーブで加熱させ、鉛ハンダを落とし、ICチップを外す作業を行っている。作業員が鉛ガス中毒を防ぐために換気ファンが設置されているが、鉛ガスが発生している場所で作業していることがわかった。また、ICチップを外した後の基板は道端に放置されているのがわかる。図1.7はE-wasteの残さと生活ごみと混ざって放置される写真であり、自然着火で常に煙が出ている状態が確認された。小規模なりサイクル工場では、排水処理施設が整備されておらず、河川へ放流することで水汚染になるケースが多々見られる。また、このような現象は中国のみではなく、ベトナム、インド等の途上国においても同様にある(図1.8)¹⁻⁵³⁾。

以上の点を鑑みて、国際資源循環における先進国での排出側から途上国における最終処分までのルートを確認可能なシステムが必要であり、システム全体の透明性を確保し、環境意識を向上させることが緊要な課題になっていると言える。

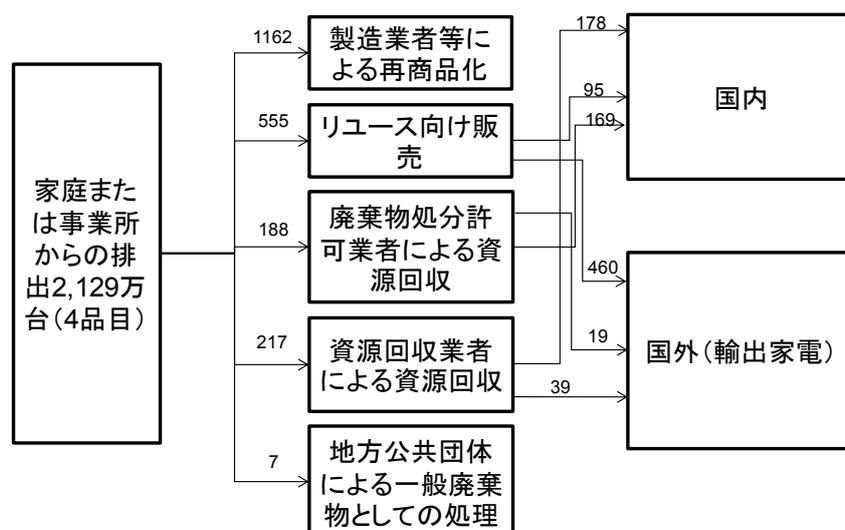


図1.4 日本国内の廃家電のフロー¹⁻⁵²⁾

E-wasteによる 環境汚染



貴嶼(Guiyu)鎮



E-wasteの小規模リサイクルが活発なところ

浙江省台州市

広東省汕頭市

図1.5 中国の E-Waste による環境汚染の顕著な地域（貴嶼）¹⁻⁵²⁾

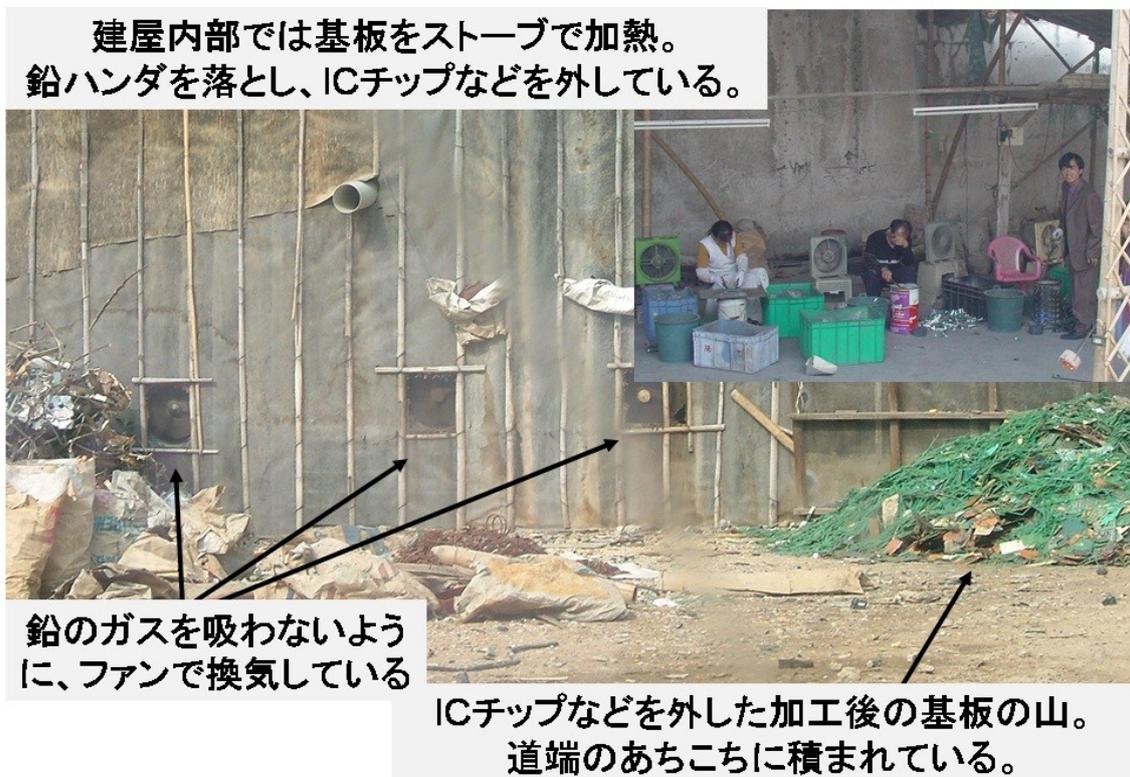


図1.6 小規模リサイクル業者の作業



図1.7 ごみの野積みによる自然着火¹⁻⁵²⁾



図1.8 家の庭先で行われるアルミ精錬の様子（ベトナム）¹⁻⁵³⁾

ここで、従来研究を調査して表 1.10 と表 1.11 に整理した。

全体を通して、日本では、国際資源循環に関する調査は多く行われているが、学術論文の掲載は少ない^{1-54~61)}。中谷らが使用済みペットボトルを対象に日本国内と日中間で実施する場合の比較分析を行っている。吉野氏が拡大輸出者責任制度の経済的厚生の数理的な計算を行っている。細田氏が経済学的な視点から国際資源循環の方法論やあり方を解説している。小島氏（アジア経済研究所）らがアジア地域における循環資源貿易の現状を調査して既存する問題点を整理し、これらを管理するレジームの構築に向けた論点等を整理している。また、松岡氏らがトレーサビリティの確保に向けた検討を行っており、国際資源循環における第三者認証機関の役割とその重要性を提唱している。途上国での研究として中国を例に調査した結果、中国の視点から廃棄物資源を輸入する場合のコストと収益の分析および環境面でのリスク分析等の研究は数多く行われている。また、中国物資再生協会では輸入再生資源を利用して国際大循環の促進が必要と提唱している。

表1.10 国際資源循環にかかわる従来研究

分類	年度	研究題名	実施主体・研究者	概要
日本	2008	使用済みペットボトルの国内リサイクルと日中間リサイクルの比較分析	中谷隼・藤井実 (国立環境研究所)	日本で発生した使用済みペットボトルの国内リサイクルと日中間リサイクルを、エネルギー消費および再生樹脂の品質の観点から比較分析した。
	2010	拡大輸出者責任の数理計算について	吉野敏行 (人間環境大学)	「拡大輸出者責任制度」の経済的厚生を数理的に計算している。この制度はアジア諸国へ輸出される使用済み家電に「廃製品輸出負担金」を課し、それを ODA としてアジア諸国の環境産業へ技術的支援を行う仕組みである。
	2006	3Rと国際資源循環～経済学的視点からの検討～	細田衛士 (慶応大学)	国際資源循環に係る汚染の拡散を未然に防ぎ3Rを効率的に進めるためには、生産物連鎖上でのもののフローの制御が必要であると主張し、これを実現するためのポイントを整理した。
	2006	アジアにおける循環資源貿易の管理レジームの形成に向けて	小島道一 (アジア経済研)	アジア地域における循環資源貿易の問題点を概観する上で、将来のアジアにおける循環資源貿易に関する管理レジームの構築に向けた論点の整理。
	2010	国際資源循環におけるトレーサビリティ確保に向けた第三者認証機関の取り組みと今後の課題	松岡浩史 (一般社団法人資源循環ネットワーク)	トレーサビリティ確保に向けた取り組みの現状について紹介すると共に、国際資源循環におけるトレーサビリティ確保に向けた第三者認証機関にとっての今後の課題についての整理し、国際資源循環の円滑化を図っていく。
中国	2010	中国廃棄物原料輸入のコストと収益分析	何佳・周楽文 (南京大学)	一次回収、輸入、二次加工等の段階から中国廃棄物原料輸入の経済、環境、および社会的コストと収益に関して分析を行った。全体の効果・利益コストと収益の分析モデルの構築を行っている。
	2006	輸入再生資源を利用した国際大循環の促進	中国物資再生協会 ・輸入再生資源工作委員会	原料として利用可能な固体廃棄物・再生資源を十分に利用することで、中国の資源不足を補い、環境汚染等の負の影響を最小限に抑えることで、国際的な循環型社会の形成に努力する必要があると、呼びかける。
	2008	環境リスクと価値に基づいた輸入固体廃棄物分類のモデルに関する研究	高松 (天津大学)	輸入廃棄物資源の量の増加にともない、潜在的な環境汚染を防ぐための輸入管理や制限の重要性が高まっている。そこで、環境リスクと価値に基づいた輸入固体廃棄物分類のモデルに関する研究を行っている。

表1.11 国際資源循環にかかわる日本の主要なレポート・プロジェクト

分類	年度	レポート/プロジェクト	実施主体	概要	
日本	経済産業省	2004	持続可能なアジア循環型経済社会圏の実現へ向けて	産業構造審議会	アジア各国と連携を図りながら、経済成長著しく、経済関係の緊密なアジア地域において、「持続可能なアジア循環型経済社会圏」の構想を推進していくことを提唱している。
		2007～2008	(北九州市-青島市)都市間連携による循環型都市協力事業	経産省/中国国家発展改革委員会	北九州市の循環型社会構築の取組みに関する経験やノウハウを活用し、青島市の循環型都市構築に対する協力を行うことを目的に、青島市再生資源産業建設計画の策定、および廃家電回収処理モデルプロジェクト建設について、技術・設備の導入の可能性を検討する。
		2008～2009	(北九州-天津)国際循環システム対策費-(北九州-天津)地域リサイクル産業を活かした循環資源のトレーサビリティに関する検討	NTT データ経営研究所	使用済みプラスチックを対象に北九州-天津間のトレーサビリティへの RFID の適用から実証試験を経て、実運用段階における第三者認証機関の創設まで検討を行っている。
		2007～2009	(広東省-兵庫県)広東省における循環型発展に向けた政策・循環経済実験区モデル調査	財団法人ひょうご環境創造協会	文献、アンケート、現地調査を通して、兵庫県と広東省の協力事業を具体化するにあたって、広東省のニーズの把握や兵庫県における協力事業の可能性の検討及び具体案を作成した。
		2008	(上海市-川崎市)中国上海市における循環型経済の発展に向けた政策・循環型経済実施区モデルの状況調査	経済産業省産業技術環境局リサイクル推進課	上海市域で多数存在する循環型の工業団地や工業廃棄物再生循環利用基地構想などの計画推進に際し、川崎市の循環型社会形成に向けた活動経験を生かせるかについて、実現可能性を調査した。
		2010	天津市における循環型都市構築を目的としたモデル事業	経済産業省	天津経済技術開発区(TEDA)の日系企業を中心とした廃棄物のリサイクルシステム構築のための事業化調査及び覚書を締結した。
	環境省	2010	川崎市-瀋陽市連携による環境にやさしい都市支援事業	日本環境省中国環境保護部	川崎市及び瀋陽市における資源循環に関する政策交流を進めると共に静脈産業に関する技術情報の共有等を図る。また、川崎市のエコタウンにおけるリサイクル事業などを瀋陽市へ事業を展開していくことを検討する。

また近年、国としてとくに日中間の資源循環やエコタウン関連の協力事業が盛んに行われている。産業構造審議会では2004年にアジア各国との連携を図り、「持続可能なアジア循環型経済社会圏」の構想を提示し、その重要性を示した。続いて、経済産業省と中国発展改革委員会が主体となって北九州市と中国青島市間の都市間連携事業、北九州市と中国天津市において、実証試験を通して地域リサイクル産業を活かした循環資源のトレーサビリティの検討を行っている。そのほか、兵庫県と中国広東省、川崎市と上海市、また最近の動向では川崎市と中国遼寧省瀋陽市とも環境にやさしい都市支援事業を展開している。日本は急速な経済・工業発展のバブル時代を経て、技術開発や社会システムの構築、および公害問題対策等の豊富な経験および先進的な思想から、中国のような途上国への技術的・方法論的な支援を行ってアジア循環型経済社会圏の構築に取り組んでいる。これは日中両国にとっても今後発展の方向性として位置づけられ、日中協力の重要性が示されている。

しかし全体を通して、環境汚染を未然に防止するための国際資源循環管理するシステムに関して、トレーサビリティの確保や情報管理の一元化等の具現化したシステム構築とその実証研究の数が少なく、研究の内容としてもまだ初期段階にあり、さらなる深めた研究が必要であるといえる。

1. 1. 3 国内外における廃棄物処理・資源循環の広域化を巡る問題点と対応

上述のように国内外において廃棄物処理や資源循環の広域化が進められている。しかしながら、一方でこうした動向に対しては、その環境対応に関する情報共有の欠如、不適正な処理・処分、不法投棄等の発生への懸念、さらに海外へ展開する場合は、相手国内における処理の不透明性等から広域化・国際化に逡巡の傾向も見られる。

日本国内での不法投棄の問題では、代表的な例として戦後最大級の産業廃棄物の不法投棄事件といわれた豊島問題がある。昭和50年代後半から香川県土庄町豊島の西部に、地元の産業廃棄物処理業者が、大量の産業廃棄物を持ち込み、約7ヘクタールの土地に、汚染土壌を含む約60万トンの産業廃棄物などが不法投棄された事件である(図1.9)。60万トンという膨大な産業廃棄物が不法投棄された現場には残されており、現場から完全に撤廃されるのに10年という歳月を要するという。この10年の間、住民は土壌汚染や海洋汚染といった環境リスクが新たに生み出されていないか処分地で行われる事業を監視し、それらのリスクを抱えたまま生活していかななくてはならない。たとえ産業廃棄物の処理が完了したとしても、不法投棄により受けた風評被害など、全てが元の美しい豊島へと戻るわけでは無いからである。香川県側においては、産業廃棄物の処理に膨大な予算が必要であり、豊島住民を不安にさせないためだけではなく、県民の理解を得るためにも、安全で的確な処理をしていかななくてはならない。こうした環境リスクを共有した事業者、住民間の双方を理解した上での積極的な協力、情報共有が重要である¹⁻⁶²⁾。そのほか、青森県・岩手県境での不法投棄事案では、排出事業者で過失のあった数社に対し、社名の公表や原状回復の措置命令が発せられる事態に至った事例がある¹⁻⁶³⁾。環境省の産業廃棄物の不法

投棄や不適正処理事案に関する調査では、平成20年度に新たに判明したと報告のあった不法投棄事案の件数は308件（前年382件）、不法投棄量は20.3万トン（同10.2万トン）であった。投棄量5,000トン以上の大規模事案として報告のあったものは4件であり、全体の1.3%となった¹⁻⁶⁴⁾。



図1.9 豊島産業廃棄物投棄現場（90年11月撮影）¹⁻⁶⁵⁾

このような不法投棄事件に対して、環境省の取り組みとして廃棄物処理法についてこれまで数次にわたって改正を行い、規制の強化を行ってきた。しかし、平成16年3月にも岐阜市において大規模な不法投棄事案が発覚するなど、依然として厳しい状況にある。このため環境省では「不法投棄撲滅アクションプラン」を取りまとめ、同年6月に公表した。また、不法投棄等の未然防止や拡大防止を図り、廃棄物等の排出事業者である企業が、廃棄物等の適正処理・リサイクルを推進するために、産業構造審議会環境部会廃棄物・リサイクル小委員会では、企業内における経営者、廃棄物管理担当部門、現場の廃棄物管理担当者のそれぞれを対象とした内容が盛り込まれている「排出事業者のための廃棄物・リサイクルガバナンスガイドライン」が作成・公表された^{1-63,66)}。不法投棄の問題のみではなく日本国内における、とくに有害性廃棄物等の不適正な処理・処分に起因する土壌や大気等の環境汚染や生態系への影響が生じる事例も多々見られる。

また、国際分業化の深刻化にともなう国際社会のニーズに応じた国際資源循環においても、受入側発展途上国での処理・処分の不透明性による環境汚染の懸念やリスクが大きいといえる。例えば、需要先の環境基準を満たさない問題が顕在し、中国では2004年5月から2005年9月までの間に日本の廃プラに対して一時的な輸入停止措置¹⁻⁶⁷⁾を採った。多くの日本企業が倒産の危機に直面し、中国の労働者もかなり影響されていた。中国政府は悪質な業者を締め出すため、同年7月から、中国向けの海外再生資源輸出業者を登録制にした。登録には環境規格ISO14000シリーズの取得や品質保持など厳しい条件が定められた¹⁻⁶⁷⁾。それに対して、日本側はこの事件を教訓に、海外と再生資源貿易を継続的に実施していくためには、更なる品質確保や相手国の環境法規制への理解や遵守を進めるべく、排出者責任をしっかりと守る必要がある。特に不適に処理されると環境汚染を引き起こしかねない再生資源排出者に対しては、説明責任あるいはCSRの一部としてとらえるべきであり、透明性を高め、適正処理処分を確認可能な体制が要求される。一方で、受入側途上国において不正処理処分の取り締まりを強化することが求められる。中国では現状として小規模な資源

化処理業者が一般的¹⁻⁶⁸⁾であり、技術レベルが低く、環境汚染や労働衛生上の問題を引き起こしている場合が多い。また、国際取引の場合、お互いの商習慣や環境意識が異なり、環境面における相手国の理解や協力を得ることは一層難しい。

1. 2 本研究の目的

科学技術の進歩により我々は、生活の豊かさや利便性を獲得するとともに、医療技術や防災技術により生活上のリスクの低減を目指してきた。一方で現在、様々な化学物質の人体への影響や地球温暖化等の環境問題のように、複雑で潜在的、また間接的でありながら、無視することの出来ない新しいリスクが発現してきている。このようなリスクの変容と社会対応の変化により、様々な側面でリスクコミュニケーションが必要とされている。なぜなら、いかなる問題においても100%安全というレベルは元来存在せず、人間はある程度のリスクにさらされたうえで、ベネフィットとのバランスを考慮しながら生きている。そのため、リスクを冷静に評価し、ベネフィットとのバランスを見誤らない感覚を養っていく必要がある。それには、行政、事業者、住民間の情報共有は必要不可欠であり、それを実現するのがリスクコミュニケーションなのである。

リスクコミュニケーションを時間軸で考えると、当該行為を実施する前の準備段階、実施段階および実施後の段階に分けることができる。それぞれの段階においてリスクに対する認識と適切な対応をとることが必要である。

国内外を問わずに、前述のような不法投棄や不適切な処理・処分の問題等をマクロ的に考えるといくつかの要因が考えられる。排出事業者たる企業や自治体が当該廃棄物等の処理に踏み切る前段階における広域化計画等の策定において、経済性と環境的効果を含めてその正当性・適切性に関する判断材料としての情報欠如が挙げられる。とくに有害性のある廃棄物や再生資源の広域化、あるいは廃棄物資源の越境移動を図るときには、実施する前の段階で関連企業や自治体、さらには第三者評価機関等のステークホルダー間の調整や意思決定が必要である。事前準備段階、計画段階、実行段階のような段階別に取り組むべき内容を整理して、確実に適正処理を確保できるような体制を事前に構築していくことが重要である。そのためには、主体的企業の統括的責任のもとでコンソーシアム型リサイクルチェーンを構築して対応することが考えられる。

排出者責任の観点から、適正な処理・処分はもちろんのこと、長距離輸送を含めたシステム全体の安全・安心の確保が広域化の選択に当たっては重要となる。廃棄物・循環資源の受入側では、その処理に当たる企業等での確実な資源化とともに、周辺住民の安心感の醸成にも努めなければならない。そのためにトレーサビリティの実現や適切な情報開示等によるステークホルダー間のリスクコミュニケーションが重要であり、総じて以下に示す4点を実現させる必要がある。

- ① 適正な静脈物流、資源の有効利用・残渣の適正処理が実現される包括的システムの構築

- ② 上記システムのすべてにわたっての環境汚染防止措置の適用
- ③ 上記システムに沿って循環資源が流通していることを確認可能な仕組みの構築（トレーサビリティの確保）
- ④ 主体的企業の統括的責任の明確化および情報開示

以上より、国内外を問わずに適切な廃棄物処理や資源循環の広域化を実現するための思想的なものは同じであると考えられる。廃棄物や循環資源の種類、現地でのインフラ等の地域特性、あるいは国際的な越境移動であるかどうかによって具体的な対応方法が異なり、それぞれは広域化というキーワードで類似しており、お互いに学び合う方法論が存在する。これらを包括的に分析し、体系的に整理することで、日本国内のみならず海外へ展開する場合の広域化のあり方または方法論を明確化させる必要がある。

そこで本研究は図 1.10 に示すようにまず、廃棄物処理や資源循環の広域化・国際化の意義を的確に評価するために、環境性・経済性の両者を考慮した **Best Available System**（以下 **BAS** と略す）評価手法の開発と実運用を通してその検証を行う。つぎに、広域化処理対象物を一般廃棄物と希少性・有害性廃棄物に分類し、それぞれの広域化のあり方の検討を行う。具体的には、適正な広域化を実現するための、排出と受入双方におけるルールづくりや主体的企業等のステークホルダーによるコンソーシアム型リサイクルチェーンの構築とその運用、特別管理一般廃棄物の溶融飛灰を例に取り上げた静脈物流トレーサビリティシステムの開発と実証、および情報開示のあり方の検討等を通して、適正処理が実現される包括的システムの構築を試みる。そして、地域循環圏の形成に向けて低環境負荷で効率的な静脈物流の検討として、トレーサビリティと環境負荷の観点からリサイクルポートを活用した海上輸送のあり方の検討を行う。さらに海外へ展開する場合を想定して、トレーサビリティを核とした国際資源循環情報管理システムを開発するとともに、日中間を対象とした実証試験を通してシステムの検証、改善と提案を行う。

以上のように多方面からの視点で包括的システムの構築を通して、日本からアジア圏までの廃棄物や循環資源の広域化処理システムのあり方を明確にすることを目的とする。また、本研究の全体像を図 1.11 示す。

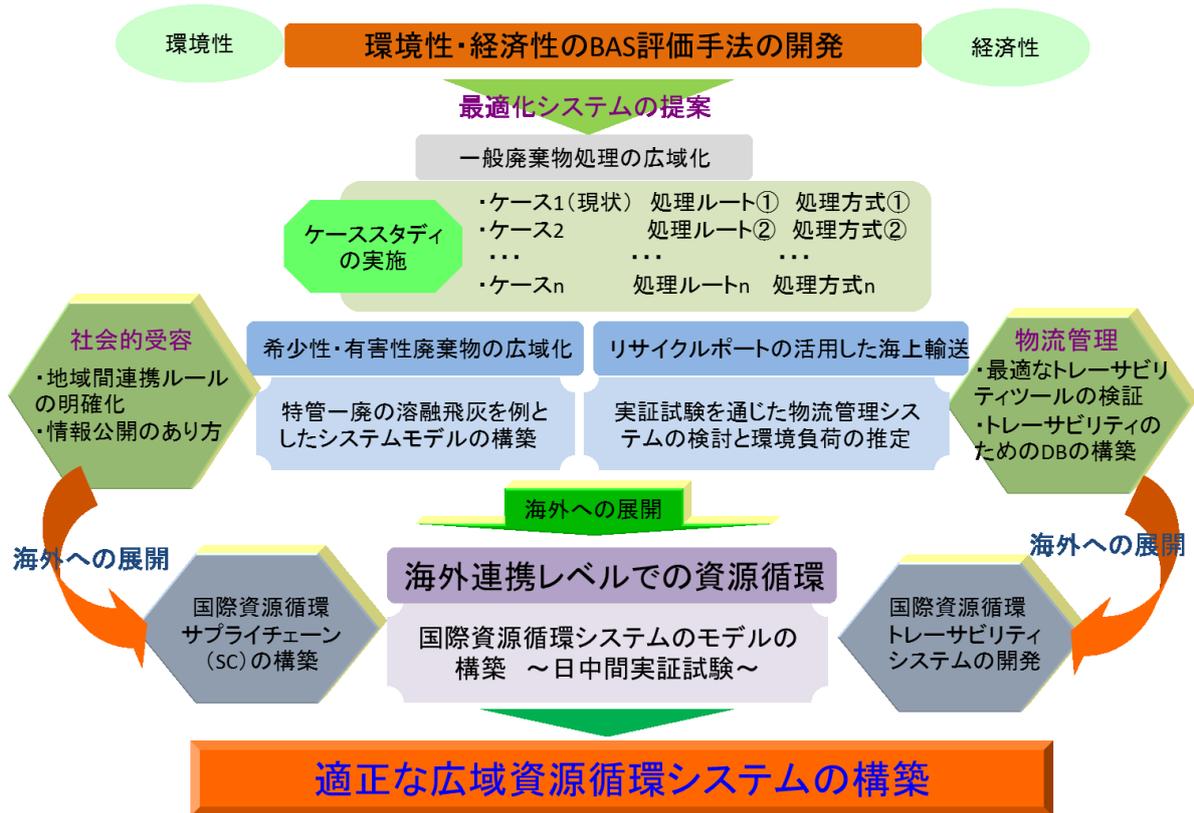


図1.10 研究目的

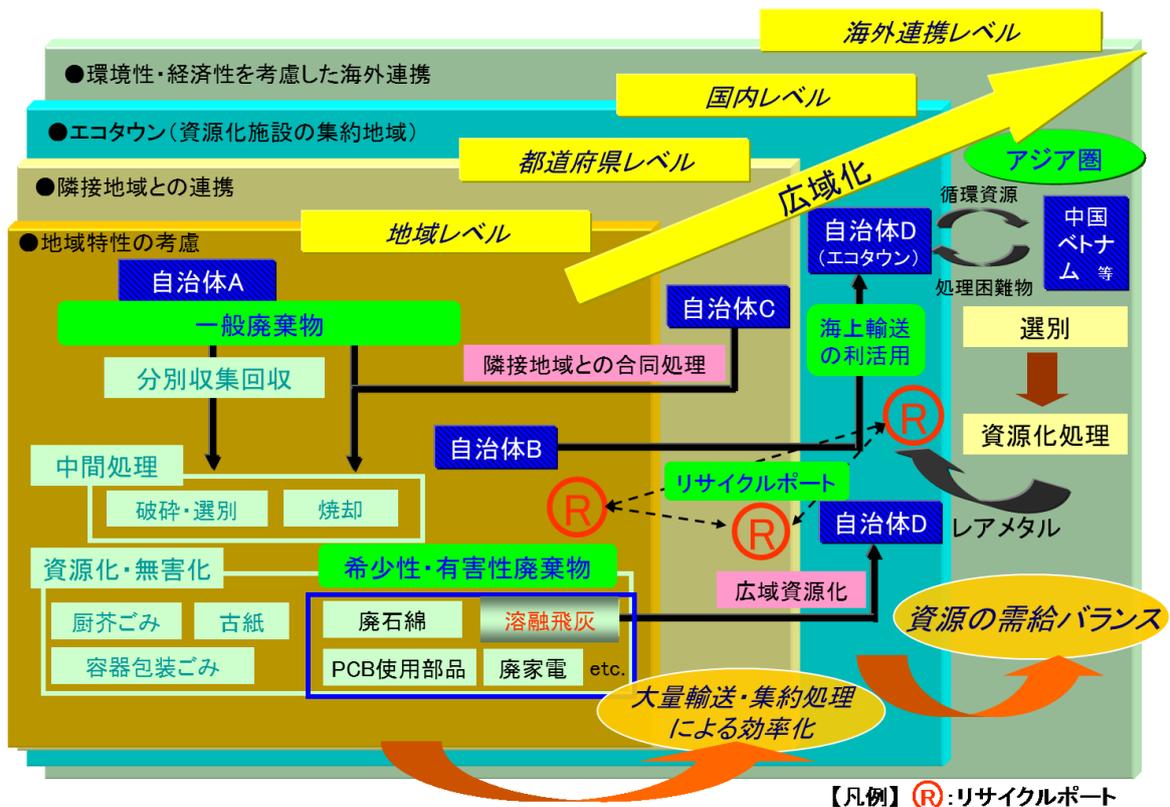


図1.11 本研究の全体像

1. 3 本論文の構成

本論文は、8章から構成されている。

第1章では、本研究の背景、目的を明らかにするとともに、日本国内の廃棄物や循環資源の広域処理と日中間の国際資源循環に関する従来研究を整理し、本研究の新規性・独自性・必要性を示した。さらに、国内外における廃棄物処理・資源循環の広域化をめぐる問題点とその対応について述べている。

第2章では、環境性・経済性の両者を考慮したBAS評価手法の開発について述べている。

処理対象物の排出から収集・運搬、中間処理、最終処分まで多岐にわたるプロセスに対応可能なBAS評価手法の開発を行った。環境負荷の推定に関しては、統合化指標ELP (Environmental Load Point) を活用することで、単一指標のみではなく9つのインパクトカテゴリーを統合的に評価可能であり、各段階におけるトレードオフの解消を実現できる。コストの推定に関しては、LCC (Life Cycle Cost) の考え方にに基づき、実績値と推定値を用いて評価を行う。

BASの中核部分となる中間処理の評価に関しては、プラントメーカー12社よりの施設別・規模別の性能・環境情報をベースに、各社専門家集団によるブレインストーミングによって、単純焼却や焼却発電、ガス化溶融、灰溶融、溶融飛灰の山元還元、灰水洗、破碎等の中間処理に関するLCI (Life Cycle Inventory) データベース (以下、DBと表記) を構築した。このDBを活用することによって、新設や計画に当たっての推定評価が可能となる。施設の実態評価では、実績値の活用も可能であり、高度な評価が可能な設計としている。また、収集・回収に関してはグリッドシティモデルを導入し、シミュレーション精度の向上を図っている。さらに開発したBAS評価手法をパッケージ版ソフトウェアとして実現している。

第3章では、開発したBAS評価手法を用いて日本国内の一般廃棄物処理システムの広域化に関する最適化モデルの検討について述べている。

千葉県市川市を例に、収集・回収から中間処理、最終処分までの一貫を評価範囲とし、処理方法の変更を行う場合のシナリオ評価を行い、現状と比較した場合の環境負荷とコストの変化を定量的に示した。その結果、ガス化溶融と山元還元を組み合わせたケースが費用対効果の面で最も有効であることを示した。しかしながら、対象としたいずれのケースも環境負荷の低減がコスト増を招く結果となっており、コスト削減策が必要である。その対応の一例として、実現性の高い隣接の船橋・松戸市との3市による広域灰溶融の導入を検討した。その結果、広域処理することによって約6%のコスト削減効果が得られることを示した。

さらに、三重県での広域灰溶融処理の先進事例を対象に実績値に基づく評価

を行い、広域灰溶融の有効性を確認した。上記の2例によって、実績値・デフォルト値の2パターンでBAS評価ソフトが活用できることを確認した。

第4章では、溶融飛灰の山元還元をモデルに、有害性・希少性廃棄物の日本国内での広域的な資源循環システムの構築とその展開について述べている。

まず、排出側自治体143施設および受入企業9社を対象に、山元還元の意向と受入の現状に関して、アンケートおよび現地調査を実施し、その実状を取りまとめた。また、ELPとCO₂等の単一指標を用いてLCAの観点から溶融飛灰の処理方式による最適化の検討を行い、山元還元の有効性を示した。

次いで、トレーサビリティを確保した溶融飛灰情報管理システムの実現を目的にGPSやバーコード等のIT技術を活用したシステムの開発およびその実証試験を実施し、ITツールの適用性を検討するとともに、今後の技術開発や研究の方向性を明確化させた。さらに、排出から貯蔵、搬出、処理および最終的な資源化までを対象とした溶融飛灰物流管理DBのフォーマットの設計を行った。ここでは画像情報の重要性を示すとともに、それらを含めた情報の取得を行った。

安全・安心な広域処理システムを担保するために、排出側と受入側双方における自治体間ルールの検討を行った。その展開として、受入側が北九州市の企業を対象に計画から実運用段階までにわたって、このルールの適用を図り、加えてさらに関連自治体へのヒアリング調査を通して、システムの高度化を実施した。

第5章では、広域化処理に対してその環境負荷とコストの低減を図るために、リサイクルポートを活用した海上輸送の効果と静脈物流管理ツールの有効性に関する検証について述べている。

環境的効果および社会コストミニマムの観点から大量かつ安価でスケールメリットを生かせる海上輸送が可能なリサイクルポートの利活用が推進されている。また、その近辺にはリサイクル施設の集積および背後地域にある既存動脈施設との連携といったポテンシャルが期待され、現在全国で21港が指定されている。しかし、その実用化に向けて港湾や地域住民の理解を獲得するためには、さらなる安全性・信頼性の高い静脈物流管理を含めたシステムの構築が求められている。

そこで本研究は、平成20年度に国土交通省が実施主体となるリサイクルポートを活用した静脈物流海上輸送の実証試験に参画して、GPSやRFID等のトレーサビリティツールの適用性の検証を行い、各種ツールそれぞれの有効性と管理特性を検討・整理した。産業廃棄物保管ヤードやAIS (Automatic Identification System) 受信機等、リサイクルポートや船舶に特有の既存インフラの利活用と合わせて技術導入の課題とその対応策に関する検討を行った。また、今後深め

た研究開発に向けて海上輸送を介したトレーサビリティのための静脈物管理DBのフォーマットを設計するとともに一部のデータを収集した。さらに、統合化指標ELPを用いてLCAの観点から海上輸送の環境負荷の推定を行い、トラックでの陸上輸送の場合は燃料消費と排ガスによる環境負荷が大きく、海上輸送に変更することで、大幅な環境負荷の軽減が可能であることを示した。

第6章では、以上の研究結果にふまえ、広域化を海外へ展開する場合、相手国における環境汚染を防止し、国際資源循環システムの透明性を向上させるために求められる汎用性の高い国際資源循環管理システムの開発について述べている。

金属くず、廃プラスチック等の一般品目を対象に三層構造の国際資源循環管理システムの開発を行った。国際資源循環のあり方として主体的企業の統括的責任のもとで構築するグリーンコンソーシアムで対応することが考えられる。そこで第一層では、国際資源循環管理システムのベースとなるコンソーシアム型サプライチェーンの構築に向けた検討を行う。関係主体にあたる企業や学識専門家集団と共同でコンソーシアムの形成フローをモデリングして、関係主体それぞれの役割を計画から実運用までの段階別に整理した。第二層では、IT技術を適用してトレーサビリティを確保したシステムの開発を行う。ここでは今までの研究結果にふまえ、国際資源循環のフローに適用する場合の検討を行い、日本から中国までのトレースシナリオを想定して実際に運用する際の情報取得方法や手順等を整理した。また、EIR (Equipment Interchange Report) といった国際間における通関手続きに含まれる情報管理もツールの一つとして本システムに組み込んだ。また国際資源循環の物流管理におけるトレーサビリティのためのDBフォーマットを設計した。さらに第三層では、取得した情報の共有化について、日本と相手国における関係者間の効率的な共有・管理を実現するために、ASP (Application Service Provider) システムの導入に向けた検討を行い、適用する際の留意点等を整理した。

第7章では、開発した国際資源循環管理システムの有効性を検証するために実施した、日中間を対象とした国際資源循環システムの実証試験について述べている。

銅スクラップ、ミックスメタルと廃プラスチックを対象に、バラ積み船とコンテナ船による国際資源循環管理システムの実証試験を行った。具体的にはまず、実証試験の事前調査として、中国におけるE-Wasteを含めた関連品目の法規制の動向および循環資源の輸入手続きフローに関する現状調査を行い、中国内での法規制の現状を明確にした。つぎに、国際資源循環にかかわる両国での関係主体企業と共同で事前調整を通して実証試験を行い、開発した国際資源循環管理システムの有効性を確認するとともに、両国での既存課題とその対応策

第1章 序論

を整理し、今後の研究の方向性を明確化させた。実証試験では、日本側排出事業者から中国での最終処分までを一貫した試験を行った。とくに、今まで研究してきた国内でのトレーサビリティシステムと異なる点として、中国現地でのインフラストラクチャーの整備状況および作業員の IT リテラシー等の現状の中に本システムを導入する際の検証を行い、存在する課題とその対応策を整理した。また、情報の共有・管理に関しては、中国現地作業員による ASP システムの運用試験を行い、その有効性を確認できた。最後に、実証試験の結果に踏まえ、日中間の現状に沿って実際に導入可能なトレーサビリティシステムの提案を行った。

第8章では、本論文のまとめとして、本研究で得られた成果を要約するとともに、今後の研究展望について述べる。

第2章

環境性・経済性の両者を対象とした BAS 評価手法の開発

第2章 環境性・経済性の両者を対象としたBAS評価手法の開発

2.1 目的と従来研究

近年、我々を取り巻く環境問題はより重大な問題として扱われている。経済社会活動の拡大や生活様式の変化により廃棄物処理や資源枯渇など地球規模へと多岐にわたり、その対策として循環型社会の構築が掲げられている²⁻¹⁾。

こうしたなかにあつて、地域の生活や生産活動に伴い、さまざまな形で廃棄物が排出されている。そして現在一般廃棄物発生量の8割近くが焼却処理されている²⁻²⁾。この廃棄物をエネルギーとして活用することは、化石燃料の消費抑制やCO₂などの排出抑制に貢献する一つの手法といえる。すなわち、ごみ焼却処理施設で大量に発生する焼却排熱を、発電用や周辺地区の冷暖房・給湯用熱源として有効に活用したり、ごみを加工して固形燃料化し、燃料として利用することにより、省エネルギーを推進することが可能となる。このように廃棄物発電は、①エネルギーの安定供給の確保に貢献する石油代替エネルギーとして、②最終処分場の延命につながる埋立量の削減として、③エネルギー問題、地球環境問題、地域社会問題の改善に貢献するものとして意義あるものと考えられている。また、焼却施設から排出される残渣においても適正な処理・有効利用といったことが求められている。これまでに残渣の減容化を目的として、灰溶融・ガス化溶融処理方法が多くの自治体に採用されてきた^{2-3,4)}。こういった従来技術に加え、残渣をセメント原料として利用する灰水洗技術も、最終処分場の延命に有効となる新たな処理・技術として考えられている。資源循環型社会において、上記のような廃棄物を資源として有効利用する技術が地球環境保全に果たす役割は大きくなっていくと言える。

こういった枠組みの中で、廃棄物処理の責任を受け持つ地方自治体が、今後各自治体において最適となる広域化処理計画等の策定を進めていく上で、環境負荷の定量的な評価やその削減に伴う費用の推定を行う必要がある。具体的には、自治体では廃棄物処理を取り巻く様々な条件の変化、また処理基本計画の立案のために、従来の処理方法の一部または大幅な見なおしを行うことが考えられ、事前に施策に対して環境性・経済性の両者を考慮した評価を行うことが必要とされている。一般廃棄物処理システムは、ごみの排出段階から収集・輸送・中間処理・リサイクル・最終処分等の多岐にわたるプロセスで構成されていることから、それに対応した評価手法の構築が必要である。

その際、環境負荷を定量的にはかる尺度が必要となるが、その試みとしてライフサイクルアセスメント(LCA)が注目されている。LCAは、製品およびサービスなどが環境に及ぼす資源・エネルギーの消費や各種の負荷を原料採取－生産－流通－使用－リサイクル・廃棄にわたるライフサイクルを通じて、いわゆる「ゆりかごから墓場まで」にわたって、定量的に分析・評価する手法である²⁻⁵⁾。LCAは環境問題を客観的且つ効果的に処するために有効なものであるが、その手法に関しては各国で開発が試みられ、国際的にもISOにおいて標準化が図られているものの、未だ定まった手法といったものは存在しない。

ここで、廃棄物処理システムを対象とした環境負荷とコストの評価・提案に

関する既往の研究を調べた^{2-6~17)}。北海道大学の羽原氏、松藤氏らがLCA的な観点から広域化のコスト、エネルギー消費量等の変化を分析し、評価を計算する実用プログラムH-IWMのExcel版の開発を行っている。荒井氏らのごみ処理システムの広域化計画について、費用関数の推定および埋立処分量を考慮した最適化モデルの分析を行った。藤井氏らがコストとエネルギー消費量の観点から広域化のメリットとデメリットの分析を行った。しかし、既往の研究では、環境面について、そのほとんどがエネルギーの消費または排ガスといった単一指標での評価にとどまっている。評価対象プロセスの各段階におけるインパクトカテゴリー間にはトレードオフが存在する可能性がある。その解消および生態系への影響、水質汚染等のカテゴリーを含めた統合的な視点からの評価・分析が欠けているといえる。

そこで、本研究においては、これまでに、インパクトアセスメント手法の一例としてアンケート調査によるカテゴリー重要度をもとに、統合化指標ELP (Environmental Load Point)²⁻¹⁸⁾を提案している。LCAは主に製品に関してその適用が進められているが(Product Life Cycle Assessment: PLCA)、今後は技術分野に関しても適用する必要があると考えられるため、LCAをエネルギー関連、廃棄物処理などの技術分野にも拡張させ、発電やごみ処理等の施設に適用し新技術導入時における環境影響を評価する、技術のライフサイクルアセスメント(Technology Life Cycle Assessment: TLCA)手法として開発²⁻¹⁹⁾、TLCA手法の向上を目標に研究を行ってきた。図2.1に示すように、このTLCAの概念を用いて統合化指標ELPを導入して、廃棄物処理や資源循環におけるコスト削減方策の実効性評価と3R・エネルギー回収・適正処理効果の検証を可能とする評価ツールとして「BAS評価ソフト」を開発することを目的とする。

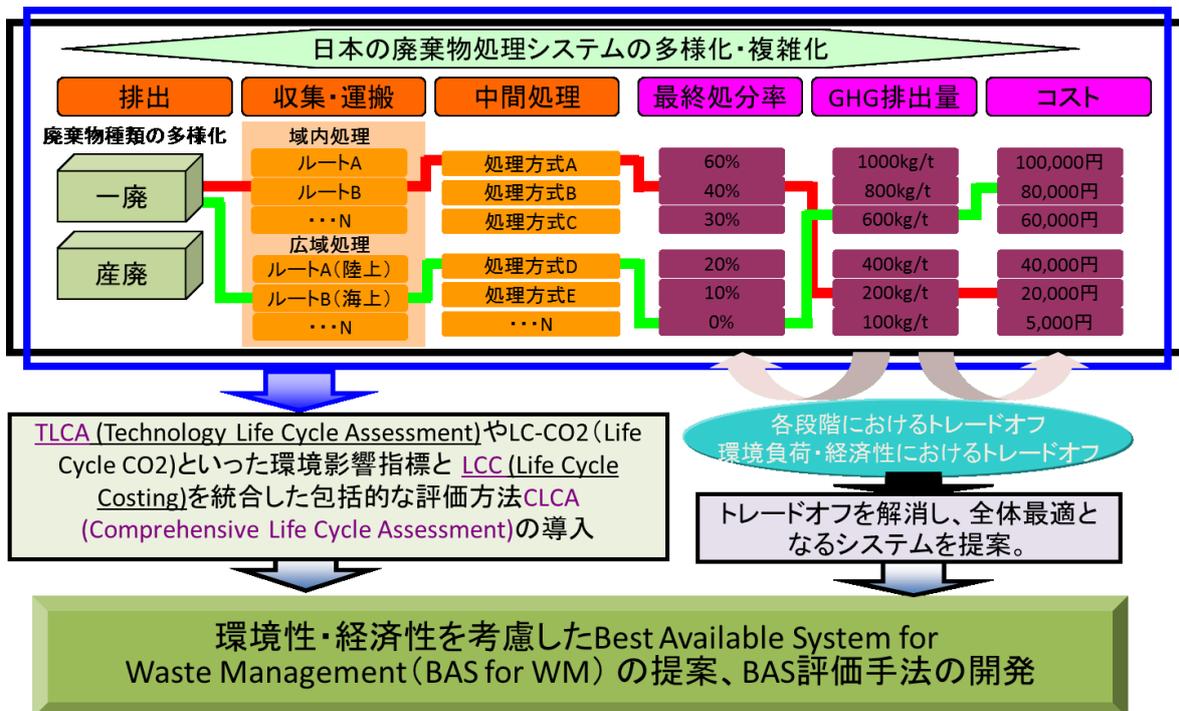


図2.1 BAS評価手法の開発の必要性

2.2 BAS評価手法の開発コンセプトと全体のフロー

2.2.1 開発コンセプト

BAS評価手法は、収集・回収－中間処理－輸送－最終利用・最終処分の一連の廃棄物処理・リサイクルシステムをLCA、LCC（Life Cycle Costing）の観点から環境負荷・経済性を包括的に評価する手法である。環境負荷評価は、LCAの考え方を廃棄物処理・リサイクル技術に応用したTLCAの考え方に基づき、筆者らが別途で研究開発を行っている統合化指標ELPを導入して評価を行う。TLCAの概念は図2.2に示す。プラントの建設から撤去・リサイクルと、機器などの資源採取から廃棄・リサイクルを通しての投入・排出が人体や生態系などに及ぼす環境負荷を定量的に評価する方法である。

廃棄物処理システムの広域化が進んでいく中で、地域レベル、国内レベル、さらには国外連携レベルでのBASを検討していくことが必要となる。BAS評価手法は、図2.3に示すように、自治体等の関係者が現状の廃棄物処理システムの現状把握や改善検討、新たな処理システムの策定を行う際の環境負荷・経済性の実効性評価ツールとして開発することを目的としている。また、「BAS評価手法」をパッケージングしてソフトウェアとして「BAS評価ソフト」の作成を行う。その際、以下に示す特長を有するソフトとして開発を行った。

- ① LCA・LCCの観点から収集・回収から最終利用・最終処分まで一連の一般廃棄物処理システムを評価範囲としていること。
- ② 評価の基盤となる焼却・溶融等の環境負荷データ（処理規模に応じた投入/排出量、発電効率等）が、プラントメーカーの設計・計画値に基づきデータベース化されていること。
- ③ 上記の観点から、評価シナリオごとのリサイクル率、エネルギー回収、最終処分等に関する指標が算出可能であること。
- ④ さらに、筆者らが開発した環境負荷統合化指標ELP（Environmental Load Point）を適用することでより総合的な評価・考察が可能としていること。

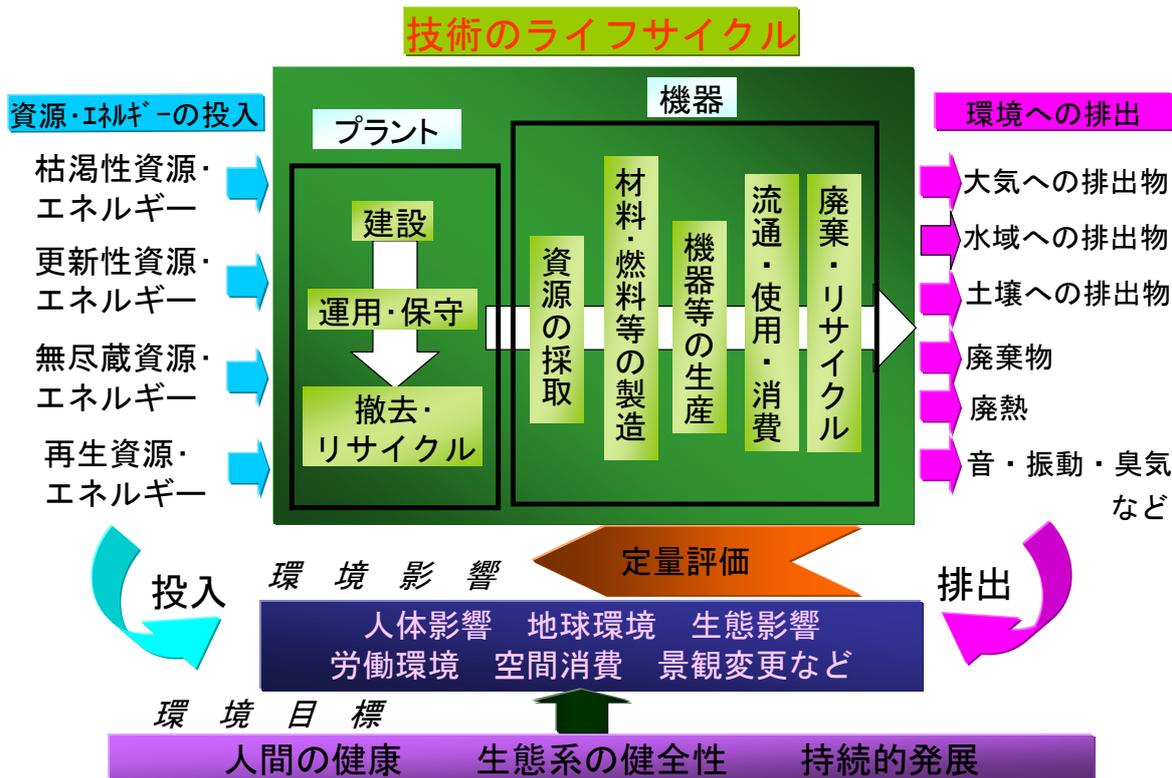


図2.2 TLCA の概念

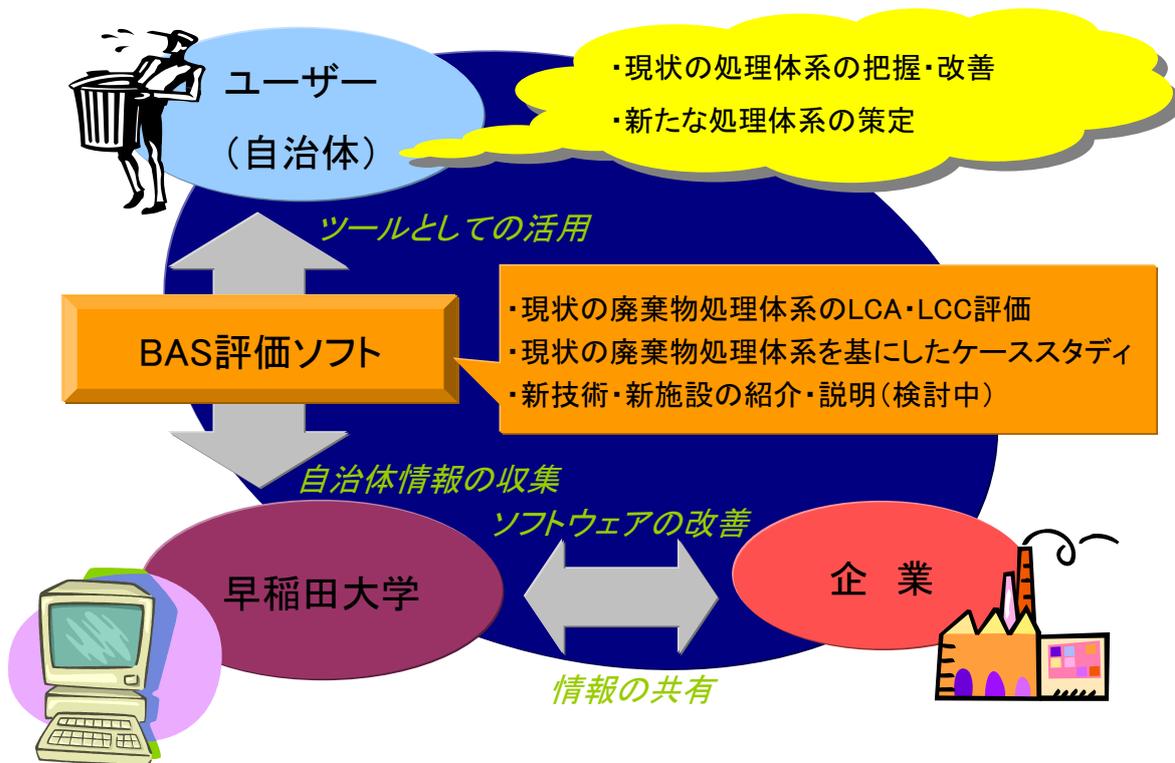


図2.3 BAS 評価手法の活用方策

2. 2. 2 BAS 評価における全体のフロー

図 2.4 に示すように、BAS 評価ソフトは、現状の一般廃棄物処理システムに対応したごみ質の設定、分別・収集区分の設定を行った上で、中間処理、最終処分・リサイクルの評価を行う流れとなっている。評価結果を保存し、分別・収集区分の変更や処理方式の変更等を行った場合の環境負荷と経済性(コスト)との比較を行うことが可能なケーススタディ機能を有している。さまざまな一般廃棄物の分別区分に対応した設定が可能となるよう配慮していること、処理技術の組み合わせを選択する方式によってさまざまな処理方式を評価可能としていること、デフォルト値によって評価に必要なデータが不足している場合にも評価可能としていること等の特長がある。

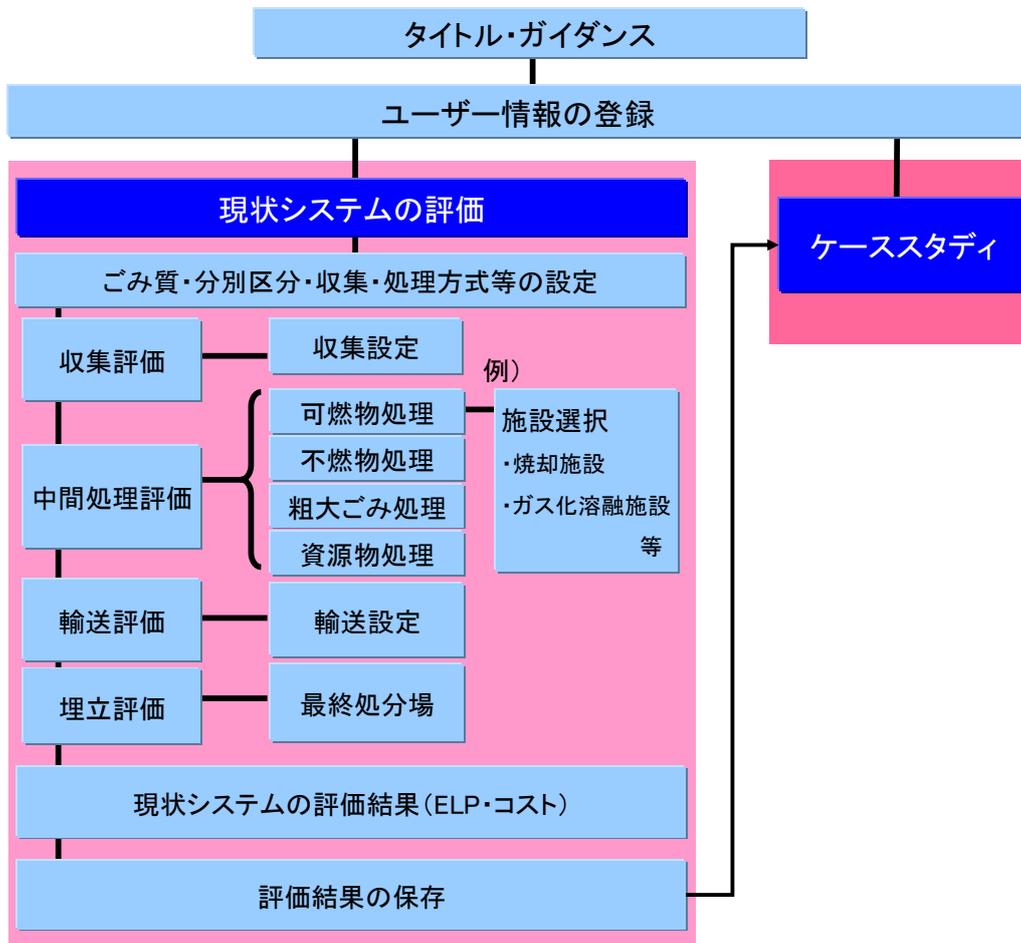


図2.4 BAS 評価における全体のフロー

2. 3 統合化指標 ELP の活用

環境問題への認識については、多方面における全体的な視点で捉えることが重要であり、LCA の統合化手法の開発が行われている。統合評価の方法は、大きく3つに分類される。すなわち、基準値換算法 (Distance to Target)、費用換算法 (Manetarization) およびアンケート法 (Panel Method) である。

基準値換算法とは、科学的あるいは政治的な環境上の目標に対する乖離度に応じて環境問題の優先順位を決定しようする方法であり、その代表例としてオ

ランダのEco-indicator法²⁻²⁰⁾、スイスのEco-point法²⁻²¹⁾が挙げられる。

費用換算法とは、環境影響として発生する全てのインパクトカテゴリーへの寄与を通貨単位で表現し、統合化を行うものである。支払い意思額による評価が一般的であるが、①対策の実施に最大いくら払うか(Willing to Pay)、対策が実施されないときいくらを保証が必要か(Willing to Accept)という観点から評価する。スウェーデンで開発されたEPS(Environment Priority Strategies for Product Design)²⁻²²⁾の考え方を導入している。

アンケート法は、環境への影響を改善する優先順位をアンケート調査を基に相対的に決定する手法である。早稲田大学永田研究室では9つのインパクトカテゴリー(エネルギー枯渇、地球温暖化、オゾン層破壊、酸性雨等)を設定し、本手法によりカテゴリー間のウェイト付けを行い、統合化指標ELPとして統合化している。本研究では、環境面での評価においてはこの統合化指標ELPを導入して、BAS評価手法の開発を行う。統合化指標ELPの算出方法の概略を以下に説明し、詳細についてはアペンディックスを参照する。

この手法においては特性解析段階での重み付けに表2.1の係数を用いている。また、ELPは図2.5に示す式で表される。カテゴリー重要度に加えて、個別環境項目ごとの年間投入・排出量をカテゴリー間の重み付けに用いる方法である。したがって、扱うことのできる個別環境項目が限定されるが、評価対象が単独でも統合化指標が得られ、全く異なる分野のものでも比較評価するのに適している。ELPでは、インパクトカテゴリーとして、エネルギー枯渇、地球温暖化、オゾン層破壊、酸性雨、資源消費、大気汚染、海洋・水質汚染、廃棄物処理問題、生態系への影響の9つを取り上げている。関連文献等を参考に、CO₂、NO_x、BODや重金属等の各個別環境項目に対する各カテゴリー内の重み付け係数を整理し、これを用いて各カテゴリーの指標値を得る「特性解析」を行う。

さらに、この「特性解析」の結果にアンケート調査より得たカテゴリー重要度(図2.6)²⁻²³⁾を乗じ合算することで、統合化指標ELPが求められる。なお、この際、規準化には日本の年間総投入・排出量を用いている。すなわち、はじめにカテゴリーjごとの各個別環境項目kの重み付け係数(C_{j, k})に、原油、石炭などの年間総投入量およびCO₂、NO_xなどの年間総排出量(TQ_k:世界値と日本値を設定したが今回は日本値を使用)を乗じ合算する。この値をカテゴリーごとの年間総負荷(A_j)とする。次に各個別項目の投入・排出量(Q_{i, k})に重み付け係数(C_{j, k})を掛け、年間総負荷(A_j)で割り、カテゴリーごとの指標(CP_{i, j})、すなわち「特性解析」を行う(iは対象とする製品や事象を意味する)。カテゴリーごとの指標(CP_{j, k})にアンケートから得られたカテゴリー重要度(W_j)を掛けELP_iを算出する。なお、同じ物質でも複数のカテゴリーに存在する場合(例えば、SO_xは酸性雨と大気汚染に存在する)は、両者において考慮する。そして、インベントリー分析からの投入・排出量を掛け合算することでELPを算出する。

この方法によって、評価される製品(もの)ごとに統合化された指標が得られることから、全く機能単位が異なるもの同士(例:自動車とPETボトル)を評価する上ではこの方法が有効となる。

表2.1 ELPにおけるインパクトカテゴリーと重み付け係数

インパクトカテゴリー	重み付け係数	対象項目数
エネルギー枯渇	低発熱量/可採年数 (原油=1)*2	5
地球温暖化	GWP ₁₀₀ *1 (CO ₂ =1)*2	38
オゾン層破壊	ODP (CFC-11=1)*2	24
酸性雨	AP [酸化化ポテンシャル] (SO _x =1)*2	7
資源の消費*3	1/可採年数 (鉄鉱石=1)*2	32
大気汚染	1/環境基準 (SO _x =1)*2	10
海洋・水質汚染	1/環境基準 (BOD=1)*2	37
廃棄物処理問題	1 [重量換算]	1
生態系への影響	ECA [水圏生態毒性定量化ファクター] (Cr=1)*2	32

*1 IPCCの最新データより *2 括弧内の項目を1として相対化

*3 原油の消費を含まず

[ELP]

$$A_j = \sum_k (C_{j,k} \times TQ_k)$$

$$ELF_k = \sum_j (C_{j,k} \times W_j / A_j) \times 10^{16}$$

$$ELP_i = \sum_k (ELF_k \times Q_{i,k})$$

ELP_i : i製品あるいは事象の統合化指標

A_j : jカテゴリーごとの年間総負荷

C_{j,k} : jカテゴリー内のk項目の重み付け係数

TQ_k : k項目の年間投入・排出量(kg)*

W_j : jカテゴリーの重要度

ELF_k : k項目の統合化係数(ELP/kg)

Q_{i,k} : i製品あるいは事象におけるk項目の投入・排出量(kg)

添字 i : 製品あるいは事象

j : インパクトカテゴリー

k : 個別環境項目

*年間投入・排出量は日本値、世界値を設定

図2.5 ELPの算出方法

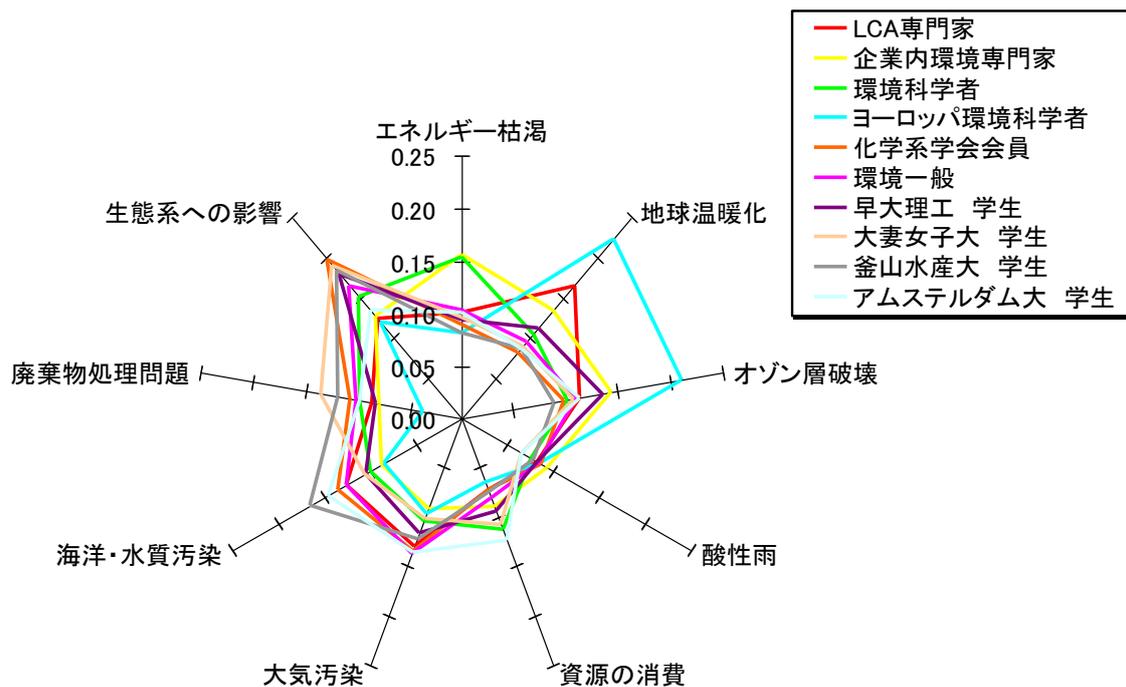


図2.6 統合化指標 ELP におけるカテゴリ重要度 (AHP 階層法)

2.4 中間処理および最終処分・リサイクルの評価方法の確立

一般廃棄物処理システムの評価では、「中間処理および最終処分・リサイクル」と「収集・回収」の評価に大別することができる。本節では、前者について具体的な評価方法を記述し、後者については2.5節で詳述する。

2.4.1 中間処理等における環境負荷・コストの算出方法

原則的には、対象となる中間処理の評価範囲について、環境負荷データおよびコストデータに関する集計を行うことにより評価を行う。環境負荷に関しては、対象となる処理施設の LCI (Life Cycle Inventory) データを用いて前述の統合化指標 ELP に換算して評価を行うこととなる。図 2.7 に示す投入・排出量およびコストを集計することによって、ELP およびコストを算出する。

ここで、焼却処理施設において、投入ごみの発熱量により施設でのエネルギー投入量および焼却発電量等が左右され、シミュレーションを正確に実施するために、投入ごみの質と組成に関するデータを入力することが必要であり、ごみ質・組成の正しい推測や設定方法の検討が必要である。また、環境負荷に関するデータは、プラントメーカーによる設計・計画値にもとづいて集約されており、実測データがない場合でもシミュレーションできるように、あらかじめデフォルト値の設定を行っている。

このような BAS 評価を実施することによって、現在施行している処理体系を変更することで、環境負荷・コストがどれだけ変化するかを示し、その結果

より改善策の検討を行うことができる。具体例としては、焼却施設の選択（単純焼却・ガス化溶解など）、新たな資源化施設の導入、広域処理等が挙げられる。

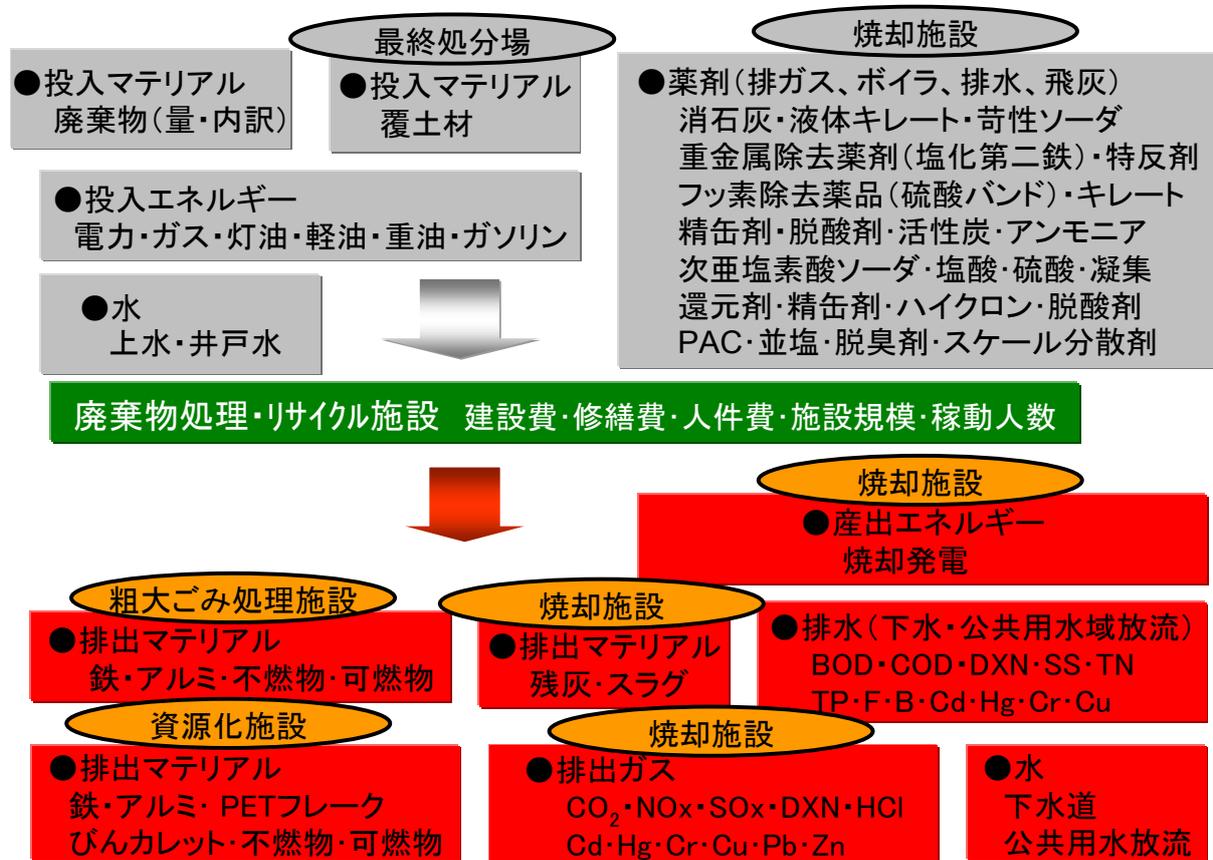


図2.7 中間処理施設等における集計データ

2.4.2 ごみ質・組成の設定方法

焼却処理での発電量やその他のエネルギー関連の計算を行うために、ごみの焼却による発熱量の推測が重要となる。ごみの三成分（可燃分、水分、灰分）および元素組成を適切に設定し、評価対象都市ごみの種類別組成がわかっているならば、燃焼用空気量、燃焼生成ガス量、熱分解生成ガス、およびごみ発熱量等の算出が可能となる。

本評価手法では、熱計算上常用する発熱量を低位発熱量とする。ごみの可燃分の元素分析値をもとに可燃分高位の発熱量を Steuer の式 (1) により実測値と近い値が求められる²⁻²⁴⁾。さらに、式 (2) と連立して低位発熱量を算出することができる。自治体等のさまざまな分別区分に対応した評価が行えるように配慮し、ごみを計 59 種類に分類して詳細な設定を行う。また、ごみ質の詳細データが不明な自治体にも推測評価ができるように、あらかじめごみ質設定のデフォルト値として平成 10 年東京都清掃研究所研究報告第 28 号のデータを引用して設定している²⁻²⁵⁾ (表 2)。なお、変更したい場合は訂正可能な設計となし

ている。

$$Hh=339.4(c-3 \times \frac{0}{8})+238.8 \times 3 \times \frac{0}{8}+1445.6(h-\frac{0}{16})+104.8s \text{ (kJ/kg)} \dots(1)$$

$$Hl=Hh-25(9h+W) \dots(2)$$

ただし、 Hh : ごみ高位発熱量 kJ/kg

Hl : ごみ低位発熱量 kJ/kg

h : 湿りごみ中水素分 %

W : 湿りごみ中水分 %

o, h, c, s : 可燃分中重量 %

表2.2 ごみ質設定デフォルト値 (抜粋)

	3成分			可燃分中の化学成分						
	可燃分 %	水分 %	灰分 %	C %	H %	O %	N %	燃焼性S %	揮発性Cl %	
紙										
飲料用紙パック	78	20	2	44	6	49	0.2	0.02	0.4	
ダンボール	78	20	2	44	6	49	0.2	0.02	0.4	
その他紙製容器包装	75	20	5	44	6	49	0.2	0.02	0.4	
容器包装廃棄物以外の紙	70	20	10	44	6	49	0.2	0.02	0.4	
厨芥	18	78	4	47	7	42	3.8	0.1	0.4	
繊維	79	20	1	46	6	43	1.6	0.13	0.7	
草木	52	45	3	48	6	43	1.2	0.03	0.3	
その他可燃物	33	57	10	44	6	49	0.2	0.02	0.4	
プラスチック										
PET	74	26	0	62	4	34	0	0.01	0	
その他プラスチック製容器包装	71	26	3	74	11	11	0.2	0.02	3.9	
容器包装廃棄物以外のプラスチック	71	26	3	74	11	11	0.2	0.02	3.9	
ゴム・皮革	72	14	14	66	8	18	1.1	0.33	4.7	
鉄										
スチール容器缶	0	5	95	0	0	0	0	0	0	
容器包装廃棄物以外の鉄	0	5	95	0	0	0	0	0	0	

出典:平成10年 東京都清掃研究所研究報告 第28号

2.4.3 LCI データベースの構築・分析とデフォルト値の設定方法

本研究では、筆者らが2002年より現在まで「OSTEC (大阪科学技術センター) 廃棄物処理技術 LCA 研究会」と共同で、会員企業を対象に一般廃棄物処理

システムに関するLCA・LCCデータベースを構築している。このなかで、日本国内にある主要プラントメーカー計14社からの施設の設計・計画値を集約できて、ほぼ全プラント種類のデータを網羅している。このデータベースをもとに、環境負荷・経済性の実効性評価が可能なBAS評価手法とソフトウェアの開発を行っている。本研究で開発するBAS評価手法の対応可能な中間処理方法とDBの構築状況を表2.3に示す。また、その一部の内容を抜粋して、(1)焼却処理、(2)焼却発電および(3)排ガス処理のデータベースの構築と分析について、以下に記述する。

表2.3 BAS評価手法におけるDBの構築状況

対応可能な処理方法	デフォルト算出画面	DB
単純焼却	○	○
焼却発電	○	○
ガス化溶融	○	○
灰溶融	○	○
灰水洗	○	○
山元還元	○	○
エコセメント化	○	○
破碎処理	○	○
古紙	○	○
缶	○	×
PET	○	○
ビン	○	×
古布	○	×
炭化	○	×
メタン発酵	○	×
コンポスト化	○	×
エタノール化	○	×
BDF化	○	×
廃プラ油化	○	×
廃プラ高炉燃料化	○	×
乾電池	○	×
蛍光管	○	×
最終処分	○	×

(1) 焼却処理のデータベースの構築とデフォルト値の設定方法

焼却処理については、ストーカ式焼却炉、灰溶融とガス化溶融を対象にプラントメーカーから1997年と2006年のデータを収集した。これらの平均をもって焼却処理のデフォルト値の設定を行っている。

焼却施設（ストーカ式）、灰溶融およびガス化溶融におけるINPUT/OUTPUT

のデフォルトの設定方法を示す。ストーカ式焼却とガス化溶融のデータについては、ごみ投入量 600t/d、発熱量 2400kcal/kg と仮定した場合のデータとなっている。所内消費電力・補助燃料についてはアンケートの結果より算出したごみ 1 トンあたりの投入量によって定める。排出ガス量・排ガス処理薬剤はガス化溶融炉と同様に、後述する「排ガス処理と費用対効果のためのアンケート調査」をとおして取得したデータより、排ガス処理方式ごとに投入薬剤の投入量を定める。また、発電電力量はガス化溶融炉と大きな差異がないため、後述する「廃棄物焼却施設（ガス化溶融炉）発電効率解析のためのアンケート調査」より取得したデータを焼却施設の発電にも適用する。なお、主灰は灰分の 9 割、飛灰は灰分の 1 割として算出を行う。

表 2.4、表 2.5 と表 2.6 にストーカ式焼却炉、灰溶融とガス化溶融の LCI データベースを示す。

表2.4 焼却処理（ストーカ式）LCIデータベース

項目			単位	1997年	2006年						
				平均(97年)	平均	A社	B社	C社	D社	E社	
INPUT	対象ごみ投入量		kg/d	6.00E+05							
	所内消費電力		kWh/d	6.95E+04	7.23E+04	7.92E+04	5.95E+04	8.40E+04	6.00E+04	7.89E+04	
	燃料(補助燃料)	灯油	kg/d		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00		
		コークス	kg/d		0.00E+00		0.00E+00	0.00E+00			
	排ガス処理薬剤	消石灰	kg/d	8.86E+03	9.64E+03	1.76E+04	5.94E+03		6.55E+03	8.48E+03	
		活性炭	kg/d	4.74E+02	2.81E+02	0.00E+00	1.14E+02		6.34E+02	3.77E+02	
		アンモニア	kg/d	6.97E+02	1.18E+03	1.87E+03	1.04E+03		1.51E+03	3.04E+02	
		尿素	kg/d		0.00E+00		0.00E+00				
苛性ソーダ		kg/d		0.00E+00		0.00E+00					
OUTPUT	排出ガス量	CO2	kg/d	5.99E+05	6.27E+05	6.41E+05	6.00E+05		6.34E+05	6.34E+05	
		NOx	kg/d	4.10E+02	2.37E+02	1.73E+02	2.97E+02		1.60E+02	3.17E+02	
		SOx	kg/d	2.33E+02	2.64E+02	2.30E+02	3.17E+02		2.84E+02	2.25E+02	
		HCl	kg/d	1.76E+02	1.67E+02	1.96E+02	1.21E+02		1.60E+02	1.92E+02	
		DXNs	kg/d	3.60E-07	5.06E-05	2.02E-04	0.00E+00		1.71E-07	3.94E-07	
		ばいじん	kg/d	6.76E+01	4.84E+01	4.05E+01	7.36E+01		4.00E+01	3.94E+01	
	副産物	メタル	kg/d		0.00E+00		0.00E+00				
		スラグ	kg/d		0.00E+00		0.00E+00				
	残渣	焼却灰	kg/d	8.92E+04	8.91E+04	8.74E+04	8.84E+04	8.69E+04	8.96E+04	9.30E+04	
		焼却飛灰	kg/d	1.71E+04	2.56E+04	3.17E+04	2.00E+04	3.97E+04	1.94E+04	1.71E+04	
		焼却不適物	kg/d	4.75E+03	0.00E+00		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
		溶融飛灰	kg/d		0.00E+00		0.00E+00				
		溶融不適物	kg/d		0.00E+00		0.00E+00				
	発電電力		kWh/d	3.19E+05	3.45E+05	3.12E+05	3.46E+05	3.15E+05	4.19E+05	3.32E+05	

表2.5 灰溶融 LCI データベース

項目		単位	1997年	2006年						
			平均(97年)	平均	A社	B社	C社	D社	E社	
INPUT	対象ごみ投入量(焼却主灰+飛灰)	kg/d	1.06E+05	1.04E+05	8.91E+04	1.33E+05	1.11E+05	9.41E+04	9.20E+04	
	所内消費電力	kWh/d	8.83E+04	1.04E+05	9.12E+04	1.67E+05	8.80E+04	8.47E+04	8.96E+04	
	燃料(補助燃料)	灯油	kg/d	1.67E+02	1.06E+03	0.00E+00	2.95E+03	5.10E+02	7.20E+02	1.14E+03
		コークス	kg/d	2.42E+03	0.00E+00		0.00E+00	0.00E+00		
	排ガス処理薬剤	消石灰	kg/d		3.54E+02		6.24E+02			8.30E+01
		活性炭	kg/d		1.36E+01		1.40E+01			1.32E+01
		アンモニア	kg/d		—					
		尿素	kg/d		—					
	苛性ソーダ	kg/d		—						
OUTPUT	排出ガス量	CO2	kg/d		1.05E+04					1.05E+04
		NOx	kg/d		5.00E+00					5.00E+00
		SOx	kg/d		3.00E+00					3.00E+00
		HCl	kg/d		3.00E+00					3.00E+00
		DXNs	kg/d		5.65E-09					5.65E-09
		ばいじん	kg/d		1.00E+00					1.00E+00
	副産物	メタル	kg/d	1.57E+03	3.15E+03	3.50E+03	1.77E+03	9.50E+02	9.40E+02	8.59E+03
		スラグ	kg/d	8.84E+04	7.96E+04	7.68E+04	9.54E+04	7.76E+04	7.52E+04	7.29E+04
	残渣	焼却灰	kg/d		—					
		焼却飛灰	kg/d		—					
		焼却不適物	kg/d		—					
		溶融飛灰	kg/d	7.27E+03	7.25E+03	5.64E+03	7.56E+03	7.10E+03	1.13E+04	4.68E+03
		溶融不適物	kg/d	6.50E+03	8.20E+03	1.05E+04	1.03E+04	7.20E+03	5.38E+03	7.59E+03
発電電力	kWh/d		—							

表2.6 ガス化溶融 LCI データベース

項目		単位	1997年	2006年								
			平均(97年)	平均	A社	B社	C社	D社	E社	F社	G社	
INPUT	対象ごみ投入量	kg/d	6.00E+05	6.00E+05	6.00E+05	6.00E+05	6.00E+05	6.00E+05	6.00E+05	6.00E+05	6.00E+05	6.00E+05
	所内消費電力	kWh/d	9.54E+04	1.10E+05	9.17E+04	1.04E+05	1.08E+05	1.16E+05	9.00E+04	1.20E+05	1.43E+05	
	燃料(補助燃料)	灯油	kg/d	3.46E+03	4.53E+02	0.00E+00	4.84E+02	7.20E+02	2.00E+02	7.00E+02	6.80E+02	3.84E+02
		コークス	kg/d	6.30E+03	6.00E+03		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00		2.40E+04	
	排ガス処理薬剤	消石灰	kg/d	7.04E+03	6.00E+03	6.42E+03	5.92E+03	6.04E+03		6.55E+03	3.60E+03	7.49E+03
		活性炭	kg/d	3.26E+02	2.69E+02	0.00E+00	2.13E+02	1.50E+02		6.34E+02		3.50E+02
		アンモニア	kg/d	1.52E+03	9.86E+02	2.23E+03	2.56E+02	-		1.51E+03	3.90E+02	5.47E+02
		尿素	kg/d		1.85E+03	0.00E+00	3.70E+03	-				
苛性ソーダ		kg/d		0.00E+00	0.00E+00		-					
OUTPUT	排出ガス量	CO2	kg/d	6.21E+05	6.44E+05	6.34E+05	5.96E+05	6.34E+05		6.33E+05	7.30E+05	6.34E+05
		NOx	kg/d	3.64E+02	3.27E+02	1.58E+02	2.96E+02	8.11E+02		1.59E+02	2.20E+02	3.17E+02
		SOx	kg/d	1.75E+02	2.77E+02	1.92E+02	3.15E+02	5.64E+02		2.83E+02	8.00E+01	2.25E+02
		HCl	kg/d	1.70E+02	1.94E+02	1.92E+02	1.20E+02	3.22E+02		1.59E+02	1.80E+02	1.92E+02
		DXNs	kg/d	3.40E-07	4.96E-05	1.98E-04		1.98E-07		1.70E-07		3.94E-07
		ばいじん	kg/d	5.20E+01	5.03E+01	3.95E+01	7.36E+01	3.95E+01		4.00E+01	7.00E+01	3.94E+01
	副産物	メタル	kg/d	9.93E+03	8.52E+03		0.00E+00	1.45E+04	4.60E+03	9.00E+03		1.45E+04
		スラグ	kg/d	7.04E+04	6.81E+04	6.92E+04	3.76E+04	7.39E+04	6.27E+04	5.80E+04	1.00E+05	7.54E+04
	残渣	焼却灰	kg/d					-				
		焼却飛灰	kg/d					-				
		焼却不適物	kg/d					-				
		溶融飛灰	kg/d	1.70E+04	1.89E+04	2.51E+03	2.80E+04	8.20E+03	3.85E+04	1.95E+04	1.50E+04	2.04E+04
		溶融不適物	kg/d	2.31E+04	1.02E+04	1.48E+04	2.94E+04	0.00E+00	7.30E+03	2.00E+04	0.00E+00	0.00E+00
	発電電力	kWh/d	3.30E+05	3.27E+05	3.30E+05	2.88E+05	3.46E+05	2.68E+05	3.82E+05	3.60E+05	3.17E+05	

(2) 焼却発電に関するアンケート調査・分析とデフォルト値の設定方法

廃棄物の焼却発電の評価にあたり、プラントメーカーへの「廃棄物焼却施設（ガス化溶融炉）発電効率解析のためのアンケート調査」²⁻²⁶⁾を通して LCI データベースを構築するとともに、焼却発電の発電効率について、①処理規模、②蒸気条件、③投入ごみの発熱量との関係について検討を行った。

表 2.7 に示す 12 ケースについて、廃棄物発電に関するアンケート調査を行った。表 2.8 に調査項目を示す。

表2.7 評価ケース

ケース	施設規模	蒸気条件	投入ごみ
1	100t/d	300°C × 30ata	1600, 2000, 2400 kcal/kg
2		400°C × 40ata	
3		450°C × 60ata	
4		500°C × 100ata	
5	300t/d	300°C × 30ata	
6		400°C × 40ata	
7		450°C × 60ata	
8		500°C × 100ata	
9	600t/d	300°C × 30ata	
10		400°C × 40ata	
11		450°C × 60ata	
12		500°C × 100ata	

表2.8 調査項目

回答項目	定義				
買電電力 kWh/d	買電量				
発電電力 kWh/d	発電量(A)				
発電効率 %	発電効率=(A) / {(ごみ入熱量)+(外部投入熱量)}				
売電電力 kWh/d	売電量(B)				
%	所内率 = [(A)-(B)] / (A) × 100				
所内率	<table border="1"> <tr> <td>廃棄物処理施設分 %</td> <td>(廃棄物処理設備にて使用している所内電力) / (A) × 100</td> </tr> <tr> <td>発電分 %</td> <td>(発電設備にて使用している所内電力) / (A) × 100</td> </tr> </table>	廃棄物処理施設分 %	(廃棄物処理設備にて使用している所内電力) / (A) × 100	発電分 %	(発電設備にて使用している所内電力) / (A) × 100
廃棄物処理施設分 %	(廃棄物処理設備にて使用している所内電力) / (A) × 100				
発電分 %	(発電設備にて使用している所内電力) / (A) × 100				

表 2.9、表 2.10 と表 2.11 に発電に関するアンケート結果、表 2.12 にイニシャルコスト・ランニングコストに関するアンケート結果を示す。

表2.9 発電に関するアンケート結果その1 (処理規模 100t/d)

ごみの処理規模 t/d	100											
	1,600				2,000				2,400			
投入ごみの発熱量 kcal/kg												
蒸気条件	300°C 30ata	400°C 40ata	450°C 60ata	500°C 100ata	300°C 30ata	400°C 40ata	450°C 60ata	500°C 100ata	300°C 30ata	400°C 40ata	450°C 60ata	500°C 100ata
買電電力 kWh/d	5,731	3,940	1,737	457	1,177	446	0	0	0	0	0	0
投入ごみの発熱量 kWh/d	186,047	186,047	186,047	186,047	232,558	232,558	232,558	232,558	279,070	279,070	279,070	279,070
投入燃料 kWh/d	15,118	15,118	18,663	23,904	15,118	15,118	18,663	23,904	15,118	15,118	18,663	23,904
投入熱量合計 kWh/d	206,897	205,105	206,447	210,407	248,854	248,123	251,222	256,462	294,188	294,188	297,733	302,974
発電電力 kWh/d	21,434	23,646	27,580	30,807	28,523	32,111	37,057	40,930	38,629	43,794	49,970	55,047
発電効率 %	10.36	11.53	13.36	14.64	11.46	12.94	14.75	15.96	13.13	14.89	16.78	18.17
所内電力 kWh/d	26,789	26,866	27,483	27,900	28,160	28,237	29,043	29,443	30,131	30,154	31,160	31,577
売電電力 kWh/d	377	720	1,833	3,363	1,540	4,320	8,013	11,487	8,497	13,640	18,810	23,470
送電効率 %	0.18	0.35	0.89	1.60	0.62	1.74	3.19	4.48	2.89	4.64	6.32	7.75

表2.10 発電に関するアンケート結果その2 (処理規模 300t/d)

ごみの処理規模 t/d	300											
	1,600				2,000				2,400			
投入ごみの発熱量 kcal/kg												
蒸気条件	300°C 30ata	400°C 40ata	450°C 60ata	500°C 100ata	300°C 30ata	400°C 40ata	450°C 60ata	500°C 100ata	300°C 30ata	400°C 40ata	450°C 60ata	500°C 100ata
買電電力 kWh/d	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
投入ごみの発熱量 kWh/d	558,140	558,140	558,140	558,140	697,675	697,675	697,675	697,675	837,210	837,210	837,210	837,210
投入燃料 kWh/d	36,385	36,385	47,431	63,320	36,385	36,385	47,431	63,320	36,385	36,385	47,431	63,320
投入熱量合計 kWh/d	594,525	594,525	605,571	621,460	734,060	734,060	745,106	760,995	873,595	873,595	884,641	900,530
発電電力 kWh/d	77,191	88,057	99,853	111,170	103,326	115,114	130,513	143,020	136,557	152,540	172,590	189,000
発電効率 %	12.98	14.81	16.49	17.89	14.08	15.68	17.52	18.79	15.63	17.46	19.51	20.99
所内電力 kWh/d	59,194	60,094	58,977	59,527	62,831	63,069	62,207	62,853	67,360	67,546	67,110	67,677
売電電力 kWh/d	17,997	27,963	40,877	51,643	40,494	52,046	68,307	80,167	69,197	84,994	105,480	121,323
送電効率 %	3.03	4.70	6.75	8.31	5.52	7.09	9.17	10.53	7.92	9.73	11.92	13.47

表2.11 発電に関するアンケート結果その3 (処理規模 600t/d)

ごみの処理規模 t/d	600											
	1,600				2,000				2,400			
投入ごみの発熱量 kcal/kg	300℃ 30ata	400℃ 40ata	450℃ 60ata	500℃ 100ata	300℃ 30ata	400℃ 40ata	450℃ 60ata	500℃ 100ata	300℃ 30ata	400℃ 40ata	450℃ 60ata	500℃ 100ata
蒸気条件												
買電電力 kWh/d	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
投入ごみの発熱量 kWh/d	1,116,280	1,116,280	1,116,280	1,116,280	1,395,350	1,395,350	1,395,350	1,395,350	1,674,420	1,674,420	1,674,420	1,674,420
投入燃料 kWh/d	59,697	59,697	77,501	102,835	59,697	59,697	77,501	102,835	59,697	59,697	77,501	102,835
投入熱量合計 kWh/d	1,175,977	1,175,977	1,193,781	1,219,115	1,455,047	1,455,047	1,472,851	1,498,185	1,734,117	1,734,117	1,751,921	1,777,255
発電電力 kWh/d	166,105	190,434	210,467	242,685	219,929	249,862	276,173	307,787	285,617	325,797	360,729	396,546
発電効率 %	14.12	16.19	17.63	19.91	15.11	17.17	18.75	20.54	16.47	18.79	20.59	22.31
所内電力 kWh/d	104,639	105,075	101,971	103,414	107,590	107,996	104,863	106,306	114,937	114,923	112,215	113,792
売電電力 kWh/d	61,466	85,359	108,497	139,271	112,339	141,866	171,310	201,481	170,680	210,873	248,514	282,754
送電効率 %	5.23	7.26	9.09	11.42	7.72	9.75	11.63	13.45	9.84	12.16	14.19	15.91

表2.12 各ケースのコスト

ケース	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
建設費 円/t	11,059	11,290	11,834	12,329	8,477	8,631	8,770	9,161	7,749	7,915	8,124	8,574		
人件費 円/t	5,637	5,637	5,298	5,298	1,930	1,930	1,826	1,826	1,019	1,019	982	982		
用役費 円/t	電気	基本料金	719	718	753	767	476	476	482	484	389	388	390	
		買電料金	43	22	18	18	8	8	8	8	6	6	6	
		売電料金	-631	-1,029	-1,467	-1,834	-1,801	-2,228	-2,815	-3,247	-2,315	-2,882	-3,435	-3,914
	燃料	灯油	188	188	254	338	87	87	157	242	53	53	113	187
		コークス	229	229	267	267	229	229	267	267	200	200	229	229
	用水		156	156	161	161	104	105	106	106	96	100	102	102
	薬品	キレート	326	326	346	346	324	324	344	344	286	286	298	298
		消石灰	216	216	222	222	218	218	225	225	238	238	247	247
		活性炭	87	87	81	81	85	85	78	78	75	75	68	68
		アンモニア	87	87	86	86	79	78	76	76	103	102	104	104
その他		139	138	165	165	128	128	153	153	154	155	181	181	
その他		168	168	147	147	114	114	114	114	89	88	91	91	
補修費 円/t		4,923	5,045	5,594	5,882	2,952	3,037	3,300	3,520	2,309	2,378	2,556	2,722	
合計 (建設費・売電料金除く) 円/t		12,917	13,015	13,392	13,777	6,733	6,817	7,136	7,442	5,017	5,090	5,362	5,607	
合計 (建設費除く) 円/t		12,286	11,987	11,925	11,943	4,932	4,588	4,321	4,196	2,703	2,208	1,926	1,693	
合計 (売電料金除く) 円/t		23,976	24,305	25,226	26,107	15,211	15,448	15,905	16,603	12,766	13,004	13,486	14,181	
合計 円/t		23,344	23,277	23,760	24,273	13,409	13,220	13,090	13,356	10,452	10,123	10,051	10,267	

以上のアンケート結果をもとに、廃棄物発電処理施設における処理規模・蒸気条件および投入ごみの発熱量が発電効率に与える影響について検討を行った。各処理規模において投入されるごみの発熱量と発電効率および送電効率の関係を図 2.8 に蒸気条件ごとに整理して示す。発電効率について、処理規模に注目すると、100t/d と比較して 300t/d においては約 3%、600t/d においては約 4% の発電効率が向上している。また蒸気条件に注目すると 300℃×30ata における発電効率は 10～15%、500℃×100ata における発電効率は 14～21% となっており、蒸気条件をより高温高圧とすることで発電効率を大幅に向上できることがわかる。また、送電効率に関しては処理規模が小さくなるとそれに伴い所内率が増加するため、大幅に低下することがわかった。

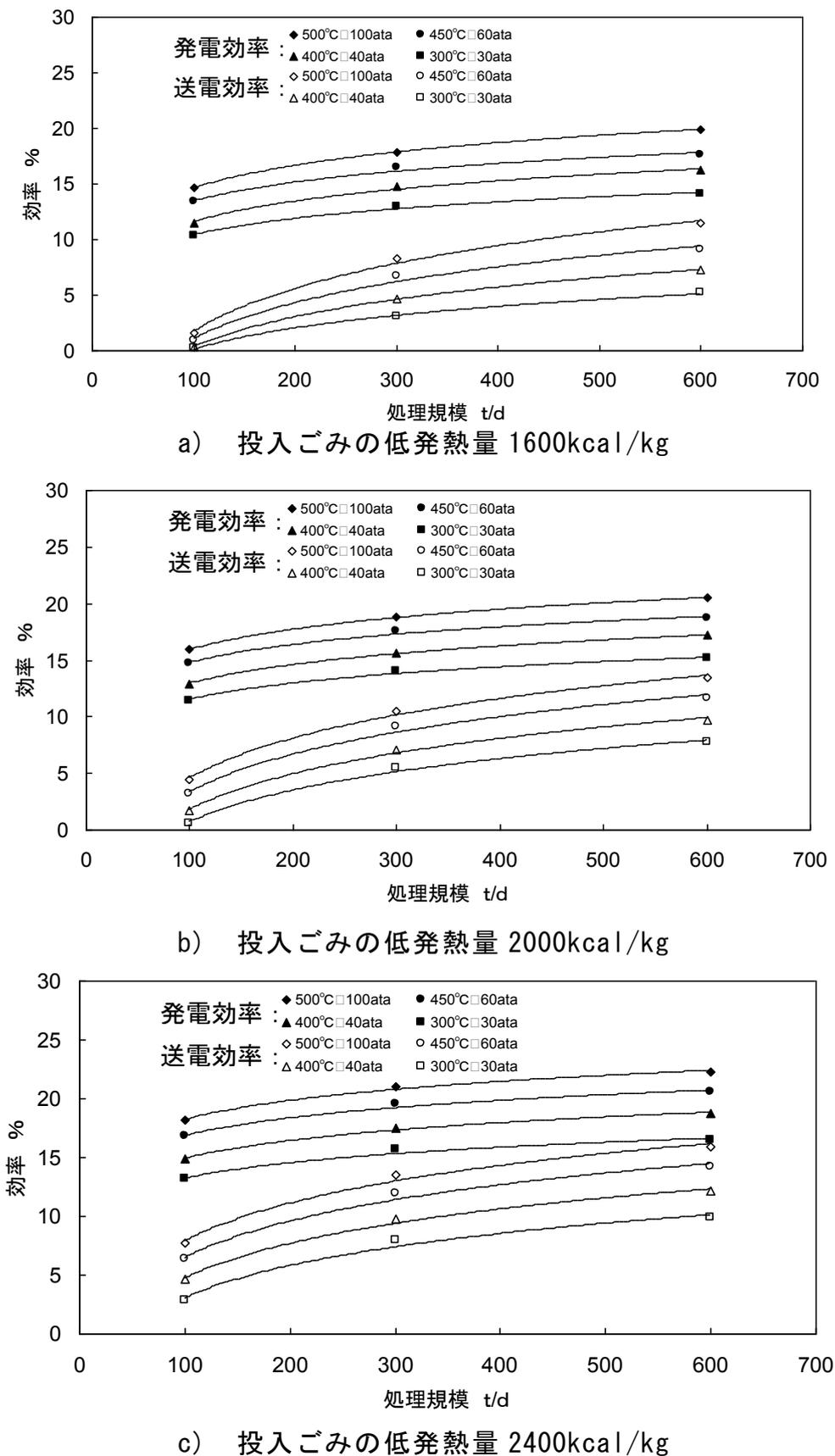


図2.8 各低発熱量における処理規模と発電効率の関係

廃棄物の焼却発電に関するデフォルト値の設定方法を示す。先に述べた「廃棄物焼却施設発電効率解析のためのアンケート調査」より取得したデータをもとにデフォルト値を算出・設定する。このアンケート調査はごみ処理規模、ごみ発熱量、蒸気条件ごとの買電電力、発電電力、発電効率、売電電力、所内率を調査しているため、ごみ処理規模、ごみ質に対応したデフォルト値を与えることができる。算出例として、処理規模 450t/d ごみ発熱量 1800kcal/kg 蒸気条件 400°C40ata の発電効率を算出する。まず、図 2.8 に示す 3 つのごみ発熱量ごとの処理規模と発電効率の関係を示す。これより 450t/d における発電効率をそれぞれ求め、さらに図 2.9 に示すようにごみ発熱量について発電効率の比例補間を行って、発電効率を算出する。

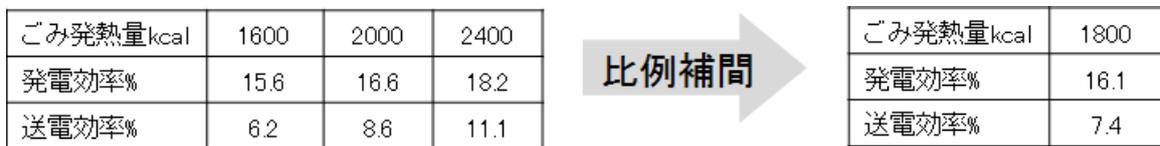


図2.9 比例補間による発電・送電効率の算出例

(3) 排ガス処理のデータベースの構築と分析

600t/day 規模の直接溶融処理施設における投入排出の流れを図 2.10 に示す²⁻²⁷⁾。この図より施設内で発生する環境負荷を大きく投入されるエネルギーおよび資材、発電によるエネルギー回収、排ガス成分、埋立と区分されると考えられる。そこで各区分で発生する ELP の内訳を整理して図 2.11 に示した。この図より、排ガスに由来する ELP が大半を占めており、直接溶融施設において排ガス処理による環境負荷削減を行うことが有効であると考えられる。そこで、排ガス処理の高度化による環境負荷削減効果について検討を行った。

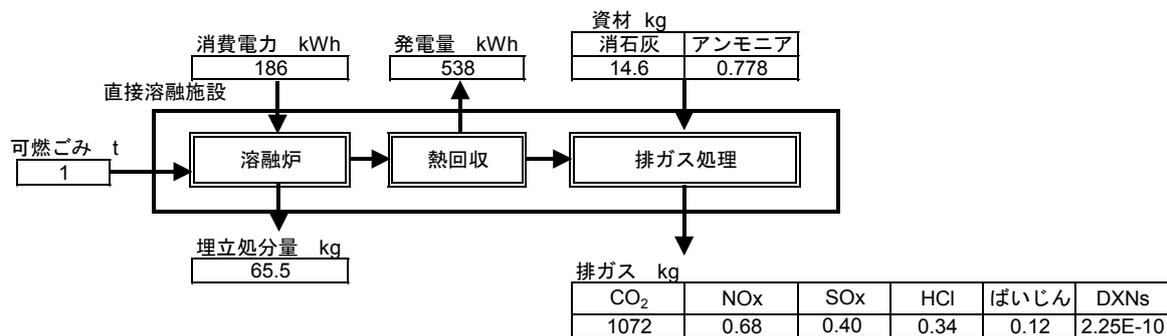


図2.10 直接溶融処理施設における投入排出の流れ

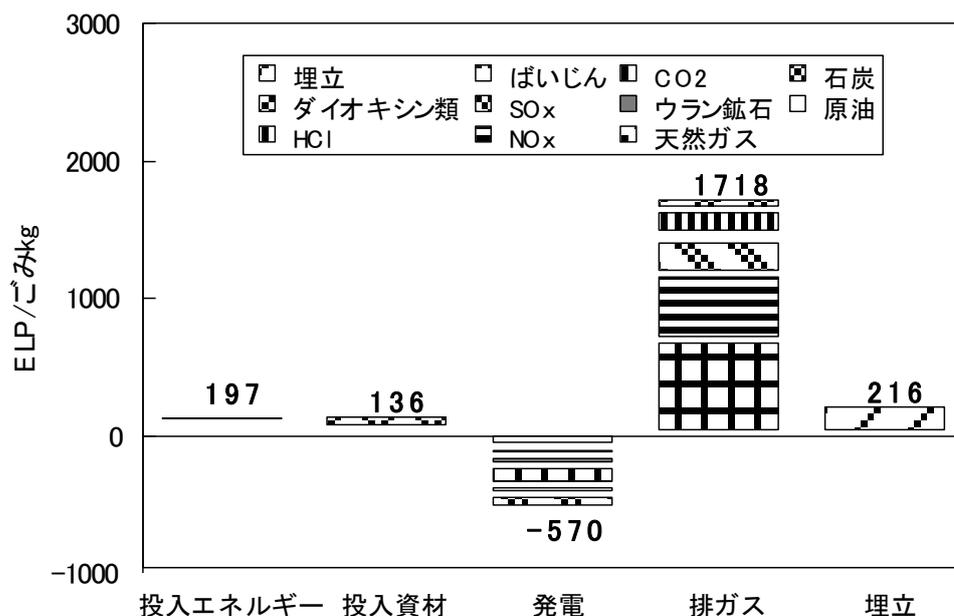


図2.11 直接溶融処理施設における ELP 発生の内訳

まず、排ガス処理についてメーカー各社を対象に「排ガス処理と費用対効果のためのアンケート調査」を行い、ユーティリティとコストに関するデータベースの構築を行っている。表 2.13 にアンケートの調査結果を示す。

表2.13 排ガス処理と費用対効果のためのアンケート調査結果

●NOx処理											※各社は2006年度データ。
①尿素吹込法											
NOx排出濃度	処理前濃度	ppm	平均(97年度)	平均(06年度)	A社	B社	C社	D社	E社	F社	G社
	限界削減濃度	ppm	1.0E+02	1.4E+02	2.1E+02	1.0E+02	1.5E+02	1.0E+02	1.5E+02	1.5E+02	1.0E+02
投入薬剤	尿素	kg/y	7.3E+05	2.4E+06	1.2E+07	3.9E+05	1.1E+06	6.5E+05	8.5E+05	1.4E+06	6.9E+05
	ごみあたり量	kg/t	4.2E+00	1.3E+01	6.6E+01	2.2E+00	6.3E+00	3.7E+00	4.8E+00	6.2E+00	3.9E+00
コスト	建設費	円	7.0E+07	3.6E+07	1.5E+07	7.0E+07	7.5E+06		3.0E+07	8.4E+07	1.2E+07
	補修費	円/y	5.0E+06	1.7E+06	2.7E+06	2.0E+06			1.0E+06	2.2E+06	4.0E+05
②触媒脱硝法											
NOx排出濃度	処理前濃度	ppm	平均(97年度)	平均(06年度)	A社	B社	C社	D社	E社	F社	G社
	限界削減濃度	ppm	1.0E+02	1.4E+02	2.1E+02	1.0E+02	1.5E+02	1.0E+02	1.5E+02	1.5E+02	1.0E+02
投入薬剤	アンモニア	kg/y	4.4E+05	4.1E+05	6.5E+05	3.4E+05	1.8E+05	4.4E+05	4.0E+05	5.0E+05	3.7E+05
	ごみあたり量	kg/t	2.5E+00	2.3E+00	3.7E+00	1.9E+00	1.0E+00	2.5E+00	2.3E+00	2.3E+00	2.1E+00
コスト	建設費	円	7.6E+08	7.5E+08	2.8E+08	9.0E+08	7.5E+08		1.3E+09	1.2E+09	1.0E+08
	補修費	円/y	3.2E+07	4.9E+07	2.3E+07	6.0E+07			1.2E+08	2.6E+07	2.0E+07
●HCl・SOx処理											
①消石灰吹込法											
HCl排出濃度	処理前濃度	ppm	平均(97年度)	平均(06年度)	A社	B社	C社	D社	E社	F社	G社
	限界削減濃度	ppm	1.0E+02	3.8E+02	4.1E+02	4.0E+02	2.0E+02	4.5E+02	4.0E+02	4.0E+02	4.1E+02
SOx排出濃度	処理前濃度	ppm	2.2E+01	2.8E+01	3.0E+01	2.0E+01	1.0E+01	2.5E+01	3.0E+01	3.0E+01	5.0E+01
	限界削減濃度	ppm	6.0E+02	5.3E+01	2.0E+01	7.0E+01	1.0E+01	5.0E+01	7.5E+01	7.0E+01	7.4E+01
投入薬剤	消石灰	kg/y	1.8E+01	2.5E+01	2.0E+01	2.0E+01	1.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	2.0E+01	5.0E+01
	ごみあたり量	kg/t	2.9E+06	2.0E+06	1.9E+06	2.4E+06	2.0E+06	1.9E+06	1.8E+06	2.2E+06	1.7E+06
コスト	建設費	円	1.6E+08	2.0E+08	3.0E+08	5.3E+08	1.0E+08		4.0E+07	1.7E+08	4.0E+07
	補修費	円/y	1.3E+07	7.2E+06	2.2E+07	1.1E+07			1.0E+06	2.2E+06	4.0E+05
②湿式洗煙法											
HCl排出濃度	処理前濃度	ppm	平均(97年度)	平均(06年度)	A社	B社	C社	D社	E社	F社	G社
	限界削減濃度	ppm	6.0E+02	3.8E+02	4.1E+02	4.0E+02	2.0E+02	4.5E+02	4.0E+02	4.0E+02	4.1E+02
SOx排出濃度	処理前濃度	ppm	7.6E+00	9.3E+00	2.0E+01	5.0E+00	5.0E+00	1.0E+01	5.0E+00	1.0E+01	1.0E+01
	限界削減濃度	ppm	1.0E+02	5.3E+01	2.0E+01	7.0E+01	1.0E+01	5.0E+01	7.5E+01	7.0E+01	7.4E+01
投入薬剤	苛性ソーダ	kg/y	9.5E+00	8.3E+00	1.0E+01	5.0E+00	5.0E+00	1.0E+01	1.0E+01	1.0E+01	1.0E+01
	ごみあたり量	kg/t	5.3E+06	3.4E+06	3.6E+06	4.3E+06	8.3E+05	2.5E+06	4.0E+06	2.5E+06	6.3E+06
コスト	建設費	円	3.0E+01	1.9E+01	2.1E+01	2.4E+01	4.7E+00	1.4E+01	2.3E+01	1.2E+01	3.6E+01
	補修費	円/y	1.6E+09	1.4E+09	9.2E+08	1.7E+09	2.0E+09		9.0E+08	2.4E+09	4.8E+08
③Na系薬剤吹込み法											
HCl排出濃度	処理前濃度	ppm	平均(97年度)	平均(06年度)	A社	B社	C社	D社	E社	F社	G社
	限界削減濃度	ppm	3.8E+02	4.1E+02	4.0E+02	2.0E+02	4.5E+02	4.0E+02	4.0E+02	4.0E+02	4.1E+02
SOx排出濃度	処理前濃度	ppm	1.5E+01	2.0E+01	7.0E+01	1.0E+01	5.0E+01	7.5E+01	7.0E+01	7.4E+01	
	限界削減濃度	ppm	5.3E+01	2.0E+01	7.0E+01	1.0E+01	5.0E+01	7.5E+01	7.0E+01	7.4E+01	
投入薬剤	Na系薬剤	kg/y	1.5E+01	2.7E+06						1.0E+01	2.0E+01
	ごみあたり量	kg/t	2.7E+06	1.4E+01						2.7E+06	2.8E+06
コスト	建設費	円	1.4E+01	1.6E+08					1.2E+01	1.6E+01	
	補修費	円/y	8.0E+05						4.0E+07	2.7E+08	
●DXNs処理											
①触媒反応塔											
DXNs排出濃度	処理前濃度	ng/Nm3	平均(97年度)	平均(06年度)	A社	B社	C社	D社	E社	F社	G社
	限界削減濃度	ng/Nm3	1.0E-01	1.3E+00	1.0E-01	1.0E+00	2.0E-01	2.0E+00	3.0E+00	2.0E+00	5.0E-01
投入薬剤	活性炭	kg/y	4.3E-02	5.3E-02	5.0E-02	1.0E-02	1.0E-01	5.0E-02	5.0E-02	1.0E-01	1.0E-02
	ごみあたり量	kg/t									
コスト	建設費	円	1.1E+09	6.0E+08	2.8E+08	9.0E+08	6.5E+08			1.1E+09	1.0E+08
	補修費	円/y	7.1E+07	3.9E+07	2.3E+07	6.0E+07	6.0E+07			3.3E+07	2.0E+07
②活性炭吹込法											
DXNs排出濃度	処理前濃度	ng/Nm3	平均(97年度)	平均(06年度)	A社	B社	C社	D社	E社	F社	G社
	限界削減濃度	ng/Nm3	1.0E-01	1.3E+00	1.0E-01	1.0E+00	2.0E-01	2.0E+00	3.0E+00	2.0E+00	5.0E-01
投入薬剤	活性炭	kg/y	7.5E-02	6.0E-02		5.0E-02	1.0E-01	5.0E-02	1.0E-02	1.0E-01	5.0E-02
	ごみあたり量	kg/t	1.9E+05	8.7E+04		1.0E+05	6.6E+04	1.9E+05	4.2E+04	7.8E+04	5.1E+04
コスト	建設費	円	1.1E+00	4.8E-01		5.8E-01	3.8E-01	1.1E+00	2.4E-01	3.6E-01	2.9E-01
	補修費	円/y	9.4E+07	6.0E+07		1.5E+08			3.0E+07	4.9E+07	1.0E+07
③活性炭吸着法											
排出濃度	処理前濃度	ng/Nm3	平均(97年度)	平均(06年度)	A社	B社	C社	D社	E社	F社	G社
	限界削減濃度	ng/Nm3	1.0E-01	1.3E+00	1.0E-01	1.0E+00	2.0E-01	2.0E+00	3.0E+00	2.0E+00	5.0E-01
投入薬剤	活性炭	kg/y	2.1E-02	1.0E-02		1.0E-02		1.0E-02	1.0E-02	1.0E-02	
	ごみあたり量	kg/t	2.0E+05	3.6E+05		2.3E+05			3.0E+05	5.5E+05	
コスト	建設費	円	1.1E+00	1.8E+00		1.3E+00			1.7E+00	2.5E+00	
	補修費	円/y	1.6E+09	1.8E+09		1.1E+09			1.8E+09	2.5E+09	
④触媒反応塔+活性炭吹込法											
排出濃度	処理前濃度	ng/Nm3	平均(97年度)	平均(06年度)	A社	B社	C社	D社	E社	F社	G社
	限界削減濃度	ng/Nm3	1.0E-01	1.3E+00	1.0E-01	1.0E+00	2.0E-01	2.0E+00	3.0E+00	2.0E+00	5.0E-01
投入薬剤	活性炭	kg/y	1.5E-02	2.9E-02	1.0E-02	1.0E-02	1.0E-01	1.0E-02	1.0E-02	5.0E-02	1.0E-02
	ごみあたり量	kg/t	1.9E+05	8.1E+04	6.6E+04	1.0E+05	6.6E+04	1.9E+05	1.7E+04	7.8E+04	5.1E+04
コスト	建設費	円	1.1E+00	4.5E-01	3.8E-01	5.8E-01	3.8E-01	1.1E+00	9.7E-02	3.6E-01	2.9E-01
	補修費	円/y	9.2E+08	8.1E+08	3.0E+08	1.1E+09	6.5E+08		1.7E+09	1.1E+09	8.0E+07

このアンケートで取得したデータをもとに分析を行っていく。

表 2.14 に NO_x および HCl 各排ガス処理方式における削減濃度および処理に要するコストを示す。表中の削減濃度平均はアンケートによる排ガス処理方式の下限の平均値を示す。また、電力の増減について、NO_x 処理方式においては触媒脱硝、HCl 処理方式においては消石灰吹込みにおける消費量を基準に相対値を取っている。各処理方式を比較すると、触媒脱硝、湿式洗煙が尿素吹込み、消石灰吹込みと比べて設備費などイニシャルコストが大幅に増加することが分かる。ランニングコストについては NO_x、HCl とともに 3~4 倍程度増加する。湿式洗煙においては苛性ソーダのコストが大きくなっている。

表2.14 NO_x および HCl 処理方式の削減濃度および処理コスト

排ガス種類		NO _x		HCl	
処理方式名		尿素吹込み	触媒脱硝	消石灰吹込み	湿式洗煙
削減濃度平均	ppm	78.57	20.63	23.75	6.83
イニシャルコスト		16.06	183.82	36.04	376.99
ランニングコスト	補修費	13.05	128.59	158.81	199.20
	電力の増減	-116.44	0.00	0.00	226.80
	尿素	178.25	0.00	0.00	0.00
	アンモニア	0.00	108.89	0.00	0.00
	消石灰	0.00	0.00	361.28	0.00
	苛性ソーダ	0.00	0.00	0.00	477.59
	活性炭	0.00	0.00	0.00	0.00
	水	0.00	0.00	0.00	9.36
	その他薬剤	0.00	0.00	15.98	23.25
ランニングコスト合計	円/ごみt	74.85	237.48	536.08	936.20
コスト合計		90.92	421.30	572.12	1313.18

ダイオキシン類についても同様にアンケート結果の整理を行った。各処理方式について表 2.15 に濃度範囲および処理コストを示す。

表2.15 ダイオキシン類処理方式の削減濃度および処理コスト

排ガス種類		DXNs			
処理方式名		活性炭吹込み	触媒反応塔	触媒反応塔+ 活性炭吹込	活性炭吸着
削減濃度平均	ng-TEQ/Nm ³	0.08	0.04	0.02	0.02
イニシャルコスト		18.84	256.28	209.70	372.99
ランニングコスト	補修費	126.37	261.07	252.20	79.45
	電力の増減	-23.74	0.00	2.07	-21.42
	尿素	0.00	0.00	0.00	0.00
	アンモニア	0.00	0.00	0.00	0.00
	消石灰	0.00	0.00	0.00	0.00
	苛性ソーダ	0.00	0.00	0.00	0.00
	活性炭	312.77	0.00	312.75	201.35
	水	0.00	0.00	0.00	0.00
	その他薬剤	0.00	0.00	0.00	1.04
ランニングコスト合計	円/ごみt	415.40	261.07	567.02	260.42
コスト合計		434.23	517.35	776.72	633.41

排ガス量のデフォルト値の算出方法について示す。各排ガス成分の排出量を濃度から算出するため、ごみ質から乾きベースの燃焼ガス量および濃度の算出を行う。以下に燃焼排ガス量と濃度の算出式を示す。

・ 乾き燃焼ガス量 V_g Nm^3/kg

$$V_g = (\mu - 0.21) V_{ao} + 1.867 (c) + 11.2 (h) + 0.7 (s) + 0.8 (n)$$

焼却炉の場合 $\mu = 2$

ガス化熔融炉の場合 $\mu = 1.3$

$$V_{ao} = 8.89 (c) + 26.7 \{ (h) - (o) / 8 \} + 3.33 (s)$$

・ 排ガス濃度

$$(\text{CO}_2 \text{濃度}) = 1.867 (c) / V_g * 100 [\%]$$

$$(\text{O}_2 \text{濃度}) = 0.21 V_{ao} (\mu - 1) / V_g * 100 [\%]$$

SO_x ・ NO_x ・ HCl ・ DXNs は燃焼時の濃度を理論的に算出することは困難であることと、アンケート結果の排ガス削減データを活かすため、以下の値に固定する。

$$(\text{NO}_x \text{濃度}) = 100 \text{ [ppm]} \quad (\text{O}_2 12\% \text{換算値})$$

$$(\text{HCl 濃度}) = 600 \text{ [ppm]} \quad (\text{O}_2 12\% \text{換算値})$$

$$(\text{SO}_x \text{濃度}) = 100 \text{ [ppm]} \quad (\text{O}_2 12\% \text{換算値})$$

$$(\text{DXNs 濃度}) = 0.1 \text{ [ng-TEQ/Nm}^3\text{]} \quad (\text{O}_2 12\% \text{換算値})$$

また、ばいじんも燃焼時の排出量の理論的算出は困難なため、設定を行わない。大気排出時はろ過式集塵機（バグフィルター）を用い、規制値 0.02g/Nm^3 として排出されることとする。

SO_x ・ NO_x ・ HCl ・ DXNs は、各排ガス処理方式に対応した削減後の濃度（ $\text{O}_2 12\%$ 換算値）から、排出量を定める。各処理方式の削減後の濃度は、表 2.13 に示す「排ガス処理と費用対効果のためのアンケート調査」結果をもとに決定する。さらに、以下に示す $\text{O}_2 12\%$ 換算式より換算し、乾きガス量を乗じて各排ガス成分の量を算出していく。この場合、ユーザーに入力してもらうのは排ガス処理方式か、大気排出時の測定値となり、操作の簡略化が図れる。

$$C = (21 - 12) / (21 - O_s) * C_s$$

C：有害物質の酸素換算値

O_s ：排ガス中の酸素濃度

C_s ：有害物質の実測値

2. 4. 4 各種処理方式の組み合わせによる評価 OUTPUT 例

図 2.11 は、2006 年度に更新したデータベースにもとづき、焼却処理と灰処理技術の組み合わせによる ELP 算出結果を示している。図 2.12 には、各施設の ELP およびコストの算出結果の一例を示した。同図から、最終処分、焼却施設、

粗大ごみ、資源化施設と ELP が低減されている一方、コストは増加する傾向にあることがわかる。なお、本評価ソフトでは ELP による評価を中心に述べているが、ELP 算出の過程で個別の投入・排出量の集計を行っているため、評価結果を CO₂ 排出量、一次エネルギー消費量、最終処分量などの個別指標で表現することも可能である。

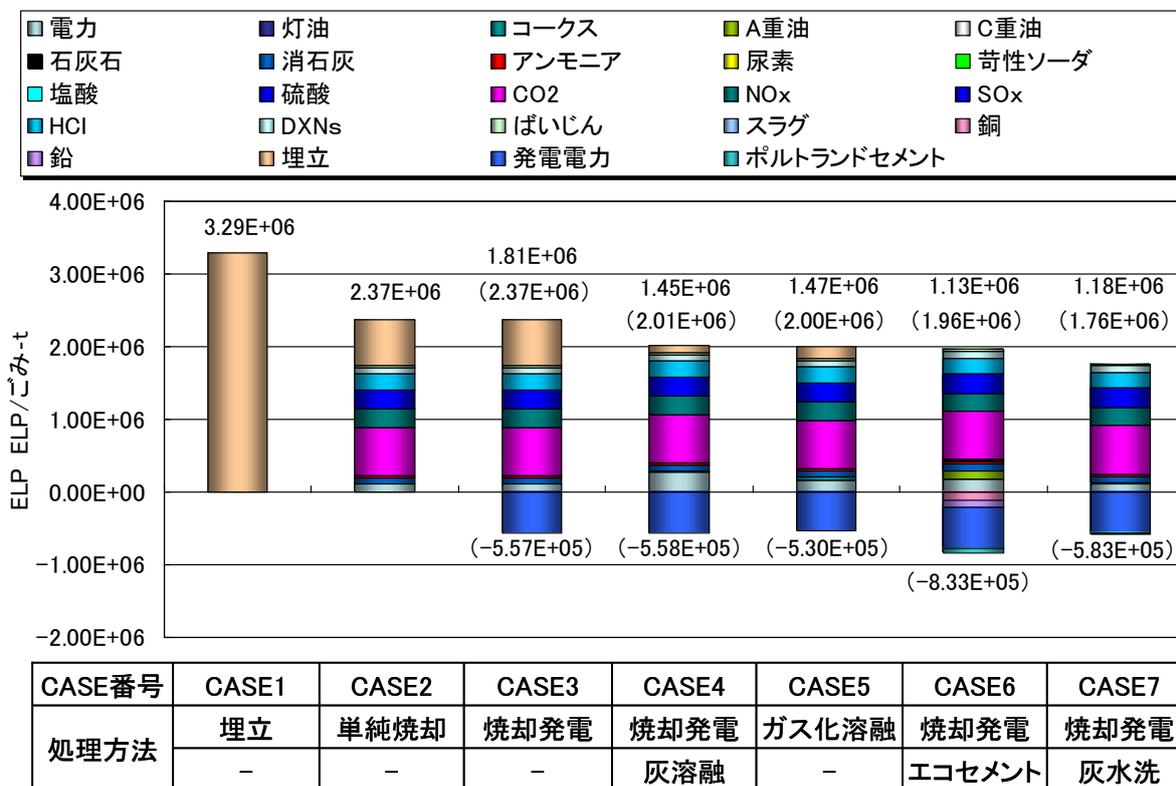


図2.12 処理技術の組み合わせによる ELP の評価結果

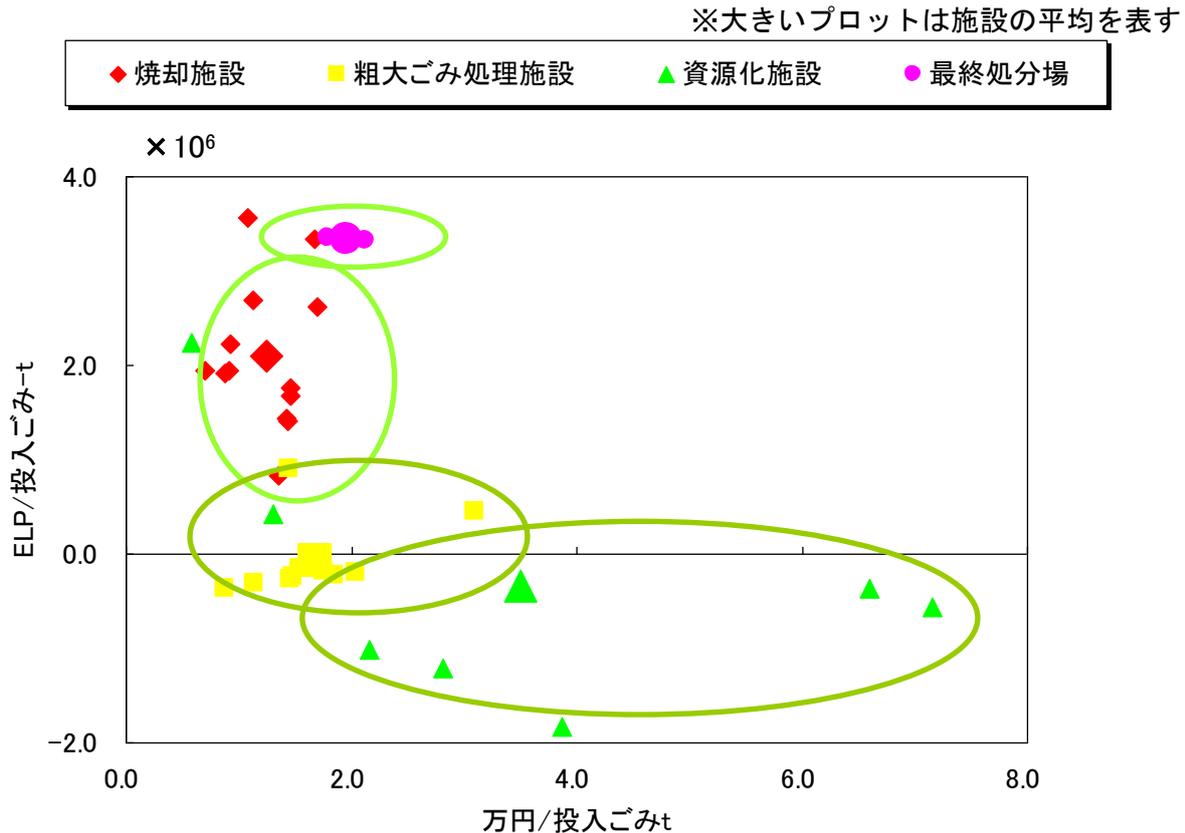


図2.13 各施設の ELP とコストの関係

2.5 収集・回収の評価手法の確立

2.5.1 収集・回収における走行距離算出のシミュレーションモデルの確立

収集・回収の環境負荷に関しては、前述の統合化指標 ELP に換算し評価を行う。収集・回収の環境負荷は、収集車両の燃料（軽油、CNG、BDF 等）、排ガス（CO₂、NO_x、SO_x、PM）を評価対象とする。したがって、ごみ種別の収集車両の仕様（例：2t パッカー車、軽油、燃費等）と保有台数および総走行距離がわかれば、ELP を算出することが可能である。自治体等が、実測データを集計していればそれを入力することで評価が可能であるが、総走行距離等は不明な場合がある。そこで、そのような場合にも環境負荷が算出可能なシミュレーションモデルを用意している。図 2.14 に走行距離算出のシミュレーションモデルのフローを示し、以下にその算出方法について示す。

①1 日 1 台あたりのトリップ数

ごみ積み込み時間 t_1 [h]、輸送速度 v [km/h]、資源化施設までの距離 d [km]、ごみ積下時間 t_2 [h]として、1 トリップあたりの所要時間 t [h/trip]を次式により算出する。

$$t = t_1 + 2 \times d / v + t_2$$

1 日の作業時間 tl [h/d]を 1 トリップあたり所要時間 t で除すことによって、1 日 1 台あたりトリップ数 $trip$ [trip/d]を算出する。

$$trip = tl / t$$

②年間1台あたり輸送可能量

1台あたり積載可能量 w_{car} [t/台]を、車両容量 cp [m^3]とごみかさ比重 ρ [t/m^3]を乗じることにより算出する。

$$w_{car} = cp \times \rho$$

1日1台あたり輸送可能量 w_{day} [t/d/台]を、1台あたり積載可能量 w_{car} と1日1台あたりトリップ数 $trip$ を乗じることにより算出する。

$$w_{day} = w_{car} \times trip$$

さらに、年間1台あたり輸送可能量 w_{year} [t/y/台]は、1日1台あたり輸送可能量に年間輸送日数を乗じることにより算出する。

$$w_{year} = w_{day} \times day$$

③必要車両台数

必要車両台数 N [台]は、各自治体の回収量 W [t/y]を年間1台あたり輸送可能量 w_{year} で除することによって算出する。

$$N = W / w_{year}$$

④1台あたり年間総走行距離

1台あたり年間走行距離 d_{car} [km/y/台]は、経済手順において燃料費等を算出するために必要である。資源化施設までの距離 d [km]の2倍(往復)に年間のトリップ数を乗じることにより算出する。年間のトリップ数は、1日1台あたりトリップ数 $trip$ に年間輸送日数 day を乗じることにより算出する。

$$d_{car} = (d \times 2) \times trip \times day$$

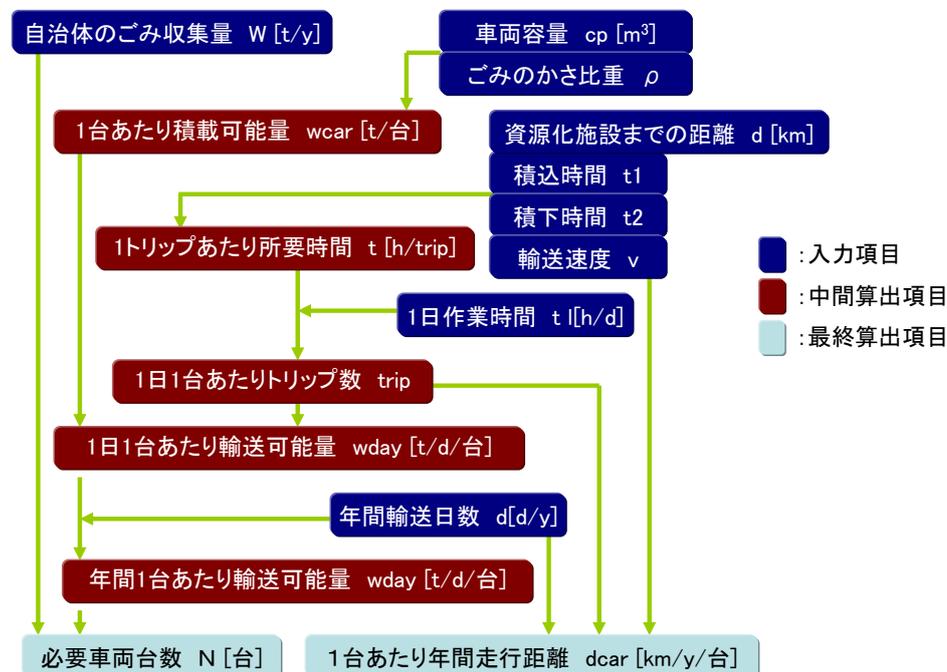


図2. 14 収集・回収における走行距離算出のシミュレーションモデル

2. 5. 2 収集・回収におけるコスト算出のシミュレーションモデルの確立

コストは、人件費、燃料費、一般管理費、車両関係費を含む。収集運搬の委

託を行っている場合には、委託費を評価に含むこととなる。

算出方法は、プラスチック処理促進協会による廃プラスチック収集輸送等に関するデータソフトの応用²⁻²⁸⁾を参考とし、以下のシミュレーションモデルを確立した。環境負荷と同様に、詳細情報が不明な場合は、このシミュレーションモデルによってコストを推定する。図 2.15 に全体フローを示す。車両単価と減価償却年数を設定し、減価償却額を算出する。これに、人件費、燃料費等を積算することによって経費合計を算出し、これを収集量で除することによって収集コストを算出する。

① 1台あたり年間経費

1台あたり年間経費の内訳は、車両減価償却費、人件費、燃料費、修繕費、その他の経費および一般管理費とする。

車両減価償却費 $Ec1$ [千円/台/y]は、1台あたり車両単価 pc [千円/台]、残存価格率 0.1、耐用年数 $ydep$ [y]とすると、

$$Ec1 = pc \times 0.9 / ydep$$

起債利子 $Ec2$ [千円/台/y]は、元利均等償還方式により利子を直線で近似した平均値とする。元利均等償還方式による利子は償還初年度において起債全額に利率を乗じたものであり、最終年度における利子はほとんどゼロとなる。そこで、この利子の変化を直線で近似し、平均値を求めると次式のようになる。

$$Ec2 = pc \times ri / 2$$

修繕費 $Ec3$ [千円/台/y]は、走行距離に比例する部分と一定部分に分けて計上する。走行距離に比例する部分はタイヤの交換費である。走行距離あたり消耗品費 pw [円/km]に1台あたり年間走行距離 $dcar$ を乗じて求める。修繕費はこれに一定部分1台あたり修繕費 rp [千円/台/y]を加えて求める。

$$Ec3 = dcar \times pw + rp$$

税金・保険料 $Ec4$ [千円/台/y]は、1台あたり税金・保険料から求める。

$$Ec4 = tax$$

その他の経費 $Ec5$ [千円/台/y]は、車庫費、タイヤ以外の消耗品費、事故費などであり、1台あたり年間一定額 oth [千円/台/y]を見込む。

$$Ec5 = oth$$

燃料費 $Ec6$ [千円/台/y]は、1台あたり年間走行距離 $dcar$ に燃費 q [km/l]と燃料単価 pf [km/l]を考慮して算出する。

$$Ec6 = dcar / q \times pf$$

人件費は $Ec7$ [千円/台/y]は、1台あたり搭乗者数 nm [人/台]に搭乗者人件費 wm [千円/y/人]を乗じて求める。搭乗者人件費には、賞与、退職引当金、労働保険料、法定福利費、福利厚生費を含むものとする。

$$Ec7 = nm \times wm$$

一般管理費 $Ec8$ [千円/台/y]は、 $Ec1 \sim Ec7$ までの合計（直接費）の一定比率を見込むこととする。一定比率を一般管理費率 ro [%]とする。

$$Ec8 = (Ec1 + Ec2 + Ec3 + Ec4 + Ec5 + Ec6 + Ec7) \times ro$$

1台あたり年間経費 Ec [千円/y]は $Ec1 \sim Ec8$ の総和として得られる。

$$Ec = Ec1 + Ec2 + Ec3 + Ec4 + Ec5 + Ec6 + Ec7 + Ec8$$

②年間必要経費

年間必要経費 E [千円/y]は、1台あたり年間経費 Ec [千円/台/y]に必要車両台数 N [台]を乗じて算出する。

$$E = Ec \times N$$

③収集コスト

収集コスト C [円/t]は、年間必要経費 E [千円/y]を自治体毎の収集量 W で除することによって算出する。

$$C = E / W$$

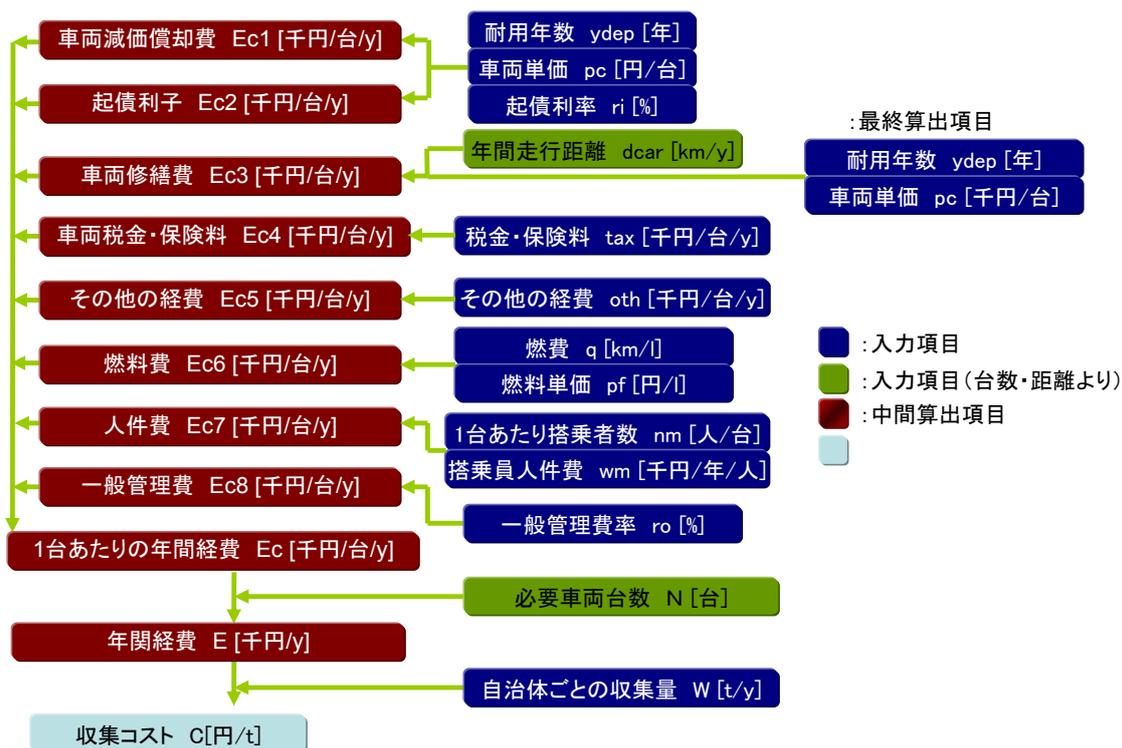


図2.15 収集・回収におけるコスト算出のシミュレーションモデル

2.5.3 シミュレーションモデルの精度の検証

シミュレーションによって算出した値と自治体からアンケートによって入手した走行距離およびコストの実測値との整合性を検証した結果を図2.16に示す。走行距離やコストが大きくなる大都市においては、誤差が若干大きくなっているが、概ね相関がとれているといえる。今後、サンプル数を増やしてその精度を高めていく必要があるが、BAS評価ソフトでは先に述べたモデルで対応するものとする。

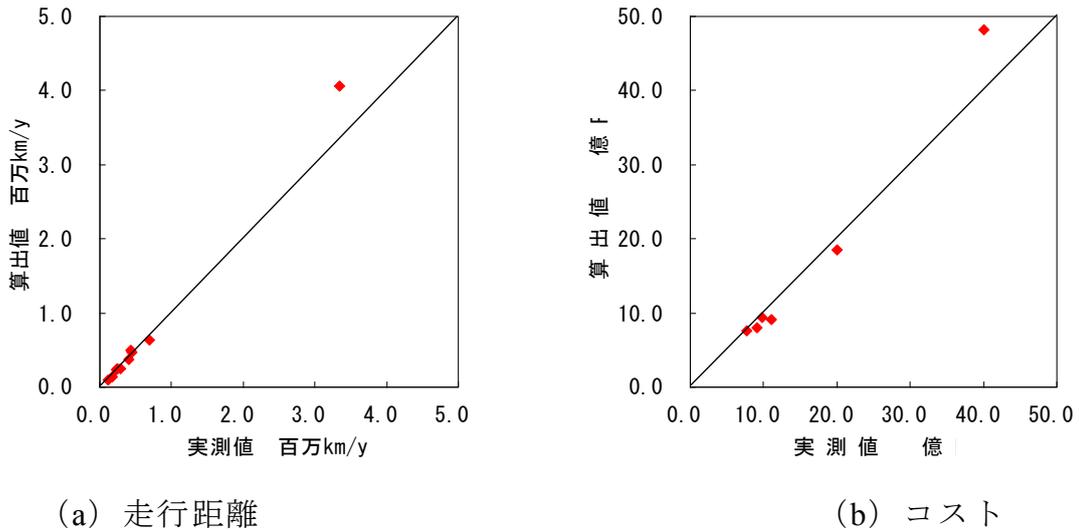


図2.16 シミュレーションモデルの検証

2.5.4 グリッドシティモデルを用いた収集回収評価の高度化

(1) グリッドシティモデルの概要

グリッドシティモデルとは、都市構造が均一で格子状であるものと仮定して、距離等の推計を行うモデルである(図2.17)。ごみの回収は、まず清掃工場から出発した回収車が自分の担当エリアに移動し、そのエリア内の各ステーションを回り、ごみの回収を行う仕組みで行われている。途中でこれ以上回収できなくなった場合、清掃工場に戻りごみを捨て、空荷にしてから再度担当エリアに行き回収を行うこととなっている。この挙動をグリッドシティモデルへ適用することで年間走行距離と、必要となる車両台数の推計することが可能²⁻²⁹⁾となる。グリッドシティモデルによる走行距離、必要車両台数の算出フローを図2.18に示す。モデルに以下の項目を入力することによって各自治体の廃棄物の収集に係る年間の総走行距離、必要車両台数が算出される。

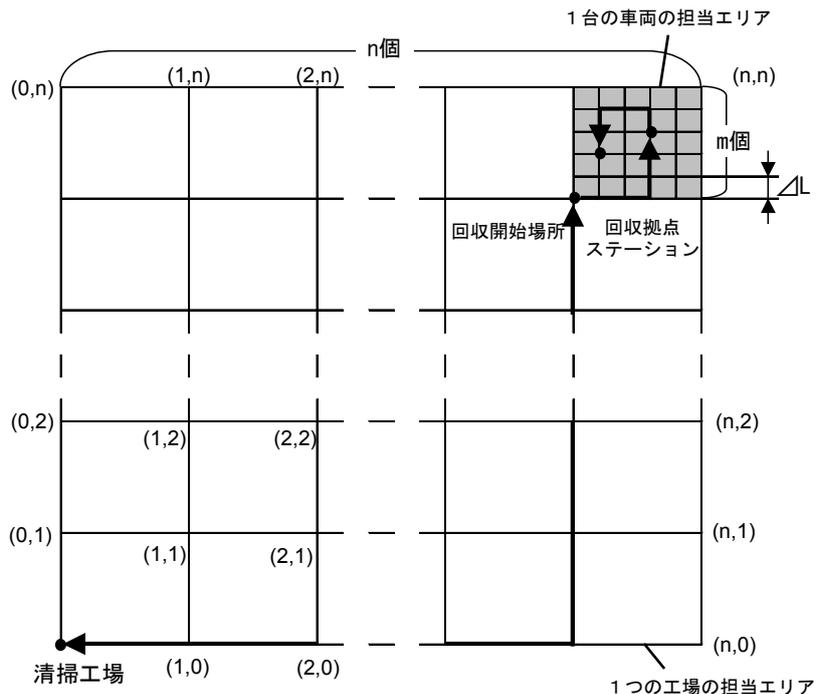


図2.17 グリッドシティモデルの概念図

Input項目

- ① 年間収集量[t/y]
- ② 可住地面積[km²]
- ③ 拠点/ステーション数[箇所]
- ④ 1拠点/ステーションにおける年間収集日数
- ⑤ 年間作業日数[d/y]
- ⑥ 収集車1台の積載量[t/台]
- ⑦ 収集車が1箇所の拠点/ステーションで消費する作業時間[min]
- ⑧ 収集車が拠点/ステーション間を移動する速度[km/h]
- ⑨ 1日の作業時間[h/d]

算出値

- ◆ 1拠点/ステーションで1回で収集される量[t/回・箇所]
- ◆ 1台の積載量の制約下において車両1台が清掃工場に帰らずに収集できる拠点/ステーション数[箇所]
- ◆ ステーション間隔[km]
- ◆ 収集車がステーション間を移動する時間[min]
- ◆ 収集車が担当エリアと拠点/ステーションを往復する時間[min]
- ◆ 1拠点/ステーションに要する時間[min]
- ◆ 一日の作業時間の制約下において1台が一日に収集できる拠点/ステーション数[箇所]
- ◆ 往復回数[回]
- ◆ 一日の作業時間と一台の積載量の制約下において1台が一日に収集できる拠点/ステーション数[箇所]

Output項目

- ① 必要車両台数[台]
- ② 総走行距離[km/y]

図2.18 グリッドシティモデルにおける走行距離の算出フロー

以下にグリッドシティモデルにおける走行距離の算出式を示す。

- ・各車両の担当エリア内の走行距離 L_1

$$L_1 = n^2 \times m^2 \times \Delta L$$

- ・清掃工場までの往復距離 L_2

$$L_2 = 2 \left(\sum_{h=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{n-1} (k+h) \times m \times \Delta L \right) \times R$$

$$= 2(n^2(n-1) \times m \times \Delta L) \times R$$

- ・年間総走行距離 D_T は前述の2式を用いて以下の手順で算出される。

$$L = (L_1 + L_2) \times d$$

$$= ((n^2 \times m^2 \times \Delta L) + (2(n^2(n-1) \times m \times \Delta L) \times R)) \times d$$

$$\begin{cases} S = n^2 \times m^2 \times \Delta L^2 \\ R \cdot D = G / n^2 \end{cases}$$

$$= (S / \Delta L + 2(G / (R \cdot d)) \times (n-1) \times m \times \Delta L) \times R \times d$$

$$= (S / \Delta L + 2(G / D(S)^{0.5} / d - (S \cdot R \cdot G / D / d)^{0.5})) \times d$$

S : 可住地面積 [km²]

R : 往復回数 [回]

G : ゴミ排出量 [kg/回]

ΔL : ステーション間距離 [km]

D : 収集車積載量 [t/台]

d : 1ステーションの年間収集回数[回/年]

(2) グリッドシティモデルにおける推計値の妥当性

グリッドシティモデルによる推計値の妥当性を示すため、先のモデルに各項目への入力を行なうことで走行距離の算出を行った。例として各市の可燃ごみにおける入力値を表 2.16 に示す。A、B、C市の3市の各収集区分にこのモデルを適用して算出した推計値と、各市からアンケート調査によって得た実測値の関係を図 2.19 に示す。これより、平均誤差は 5.7%となり概ね近似していることがわかった。これより、グリッドシティモデルによる推計値の妥当性が確認できた。

表2. 16 各市可燃ごみの収集区分でのグリッドシティモデルへの入力値

市町村名	A	B	C
年間収集量 t/y	125,960	179,384	115,495
可住地面積 km ²	56.39	85.64	61.33
ステーション数箇所 箇所	17,583	14,913	12,279
収集頻度	週3回	週3回	週3回
年間作業日数 d/y	298	304	305
1台あたりの積載量※1 t/台	1.675	1.675	1.675
1ステーションでの作業時間※2 min	1	1.65	1.28
移動速度※2 km/h	25	25	25
1日の作業時間 h	5	5	5

※1 B、C市は不明であったため、A市のデータを使用した。

※2 不明であったため、予測値を入力した。作業時間についてはA市を基準に1ステーションでの排出量に比例させた。

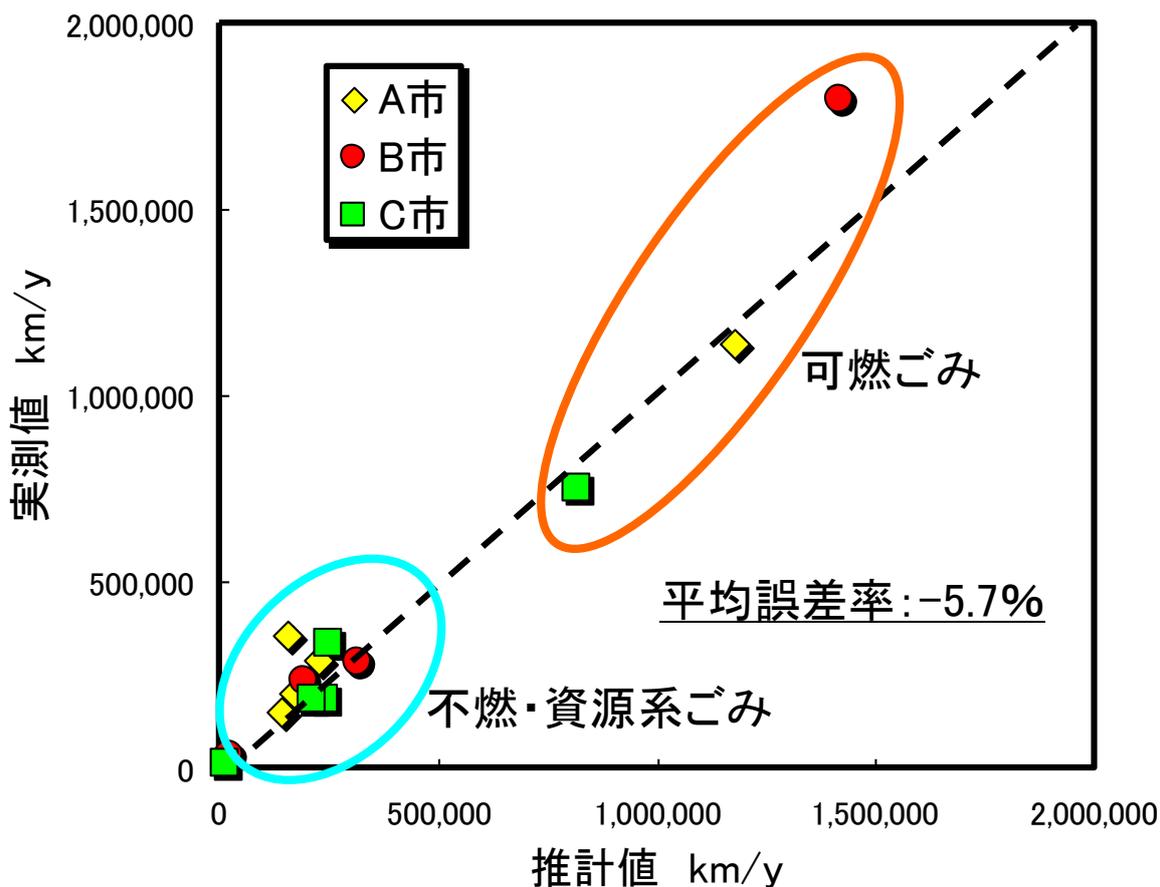


図2. 19 グリッドシティモデルにおける推計値と実測値の比較

2.6 BAS評価手法と環境省廃棄物処理システムの指針との整合性の検討

環境省が提示した「市町村における循環型社会づくりに向けた一般廃棄物処理システムの指針」²⁻³⁰⁾（以下指針と略す）と本手法の整合性について検討を行った^{2-31~33)}。

(1) 適用範囲と評価指標の比較

指針が定める指針の適用範囲と、評価指標の一覧と、各事項に対してBAS評価手法での対応状況および対応可否についてを表2.17に示す。適用範囲については、環境省の定める範囲は本評価手法では網羅している。評価指標については、計算課程で資源回収率や最終処分量などのデータは存在するため、概ね対応済みである。ただし、温室効果ガスの算定方法については、これまでELP算出のためのCO₂算定方法と、環境省の定める算定方法とで異なる部分がある。

表2.17 BAS評価手法の環境省指針への対応状況

目 項	環境省指針	対応可否	備考
適用範囲	市町村が自らの事務として行うもの	○	—
	委託により行うもの	○	—
	許可業者に行わせるもの	○	—
	法施行規則第2条第2号又は第2条の3第2号に規定する者に行わせるもの	○	—
	市町村が何らかの関与を行って実施されている集団回収	○	—
	※家リ法における処理については適用外	—	家リ法については、BAS評価手法でも現在は評価できていない。
	※容リ協会によって引き取られるものの再商品化については適用外	—	廃プラのリサイクルにおける工程の評価は、処理によっては可能。
評価指標	人口一人一日当たりごみ総排出量	○	対応可能
	廃棄物からの資源回収率	○	対応済み
	廃棄物からのエネルギー回収量	○	対応済み
	廃棄物のうち最終処分される割合	○	対応済み
	廃棄物処理に伴う温室効果ガスの人口一人一日当たりの排出量	△	対応済み(廃棄物における温室効果ガスの算定方法について要検討)
	住民満足度	×	—
	人口一人当たり年間処理経費	△	費用の算定方法について要検討
	資源回収に要する費用	△	費用の算定方法について要検討
	エネルギー回収に要する費用	△	費用の算定方法について要検討
	最終処分減量に要する費用	△	費用の算定方法について要検討
	その他、自治体独自の評価項目	○	統合化指標 ELP によるアウトプットが可能

○:容易にソフトへの実装が可能 △:ソフトへの実装前の検討が必要 ×:実装させる予定無し

(2) 温室効果ガス排出量の算定方法の比較

現状の ELP 算出過程における温室効果ガス計上項目と、環境省が定める計上項目との比較を行った。以下に、一般廃棄物処理システムの各段階における温室効果ガス計上項目の比較について示す。

(a) 収集過程

自動車の走行、HFC 封入カーエアコン使用台数、カーエアコンの HFC 廃棄量については、実測データとして取得しにくい項目であるため、環境省の定める初期値を用いることで、BAS 評価手法への実装することは可能である。収集過程における温室効果ガス算出方法の比較を表 2.18 に示す。

表2.18 収集過程における温室効果ガス算出方法の比較

項目	詳細	対象ガス	本手法	環境省	備考
燃料使用	ガソリン	CO ₂	○	○	燃料を使用することにより発生するCO ₂
	軽油	CO ₂	○	○	
	LPG	CO ₂	○	○	
	購入電気	CO ₂	○	○	
	CNG	CO ₂	○	○	
自動車の走行	ガソリン・LPG	CH ₄	△	○	—
		N ₂ O	△	○	—
	軽油	CH ₄	△	○	—
		N ₂ O	△	○	—
HFC 封入カーエアコン使用台数		HFC-134a	△	○	—
カーエアコンの HFC 廃棄量		HFC-134a	△	○	—

○:項目に対応 △:項目への対応は容易 ×:項目に対応していない

(b) 中間処理過程

燃料使用に関して、本手法は環境省の示す指針に概ね対応済みである。中間処理過程における温室効果ガス算出方法の比較を表 2.19 に示す。廃棄物燃料に関しては原単位が分かれば評価が可能である。また、連続焼却式・准連続焼却式・バッチ焼却式における CH₄、N₂O の項目に関しては、実測データとして取得しにくい項目であるため、環境省の定める初期値を用いることで、本手法へ実装することは可能である。大きな相違点としては、「廃プラスチック以外の一般廃棄物」および「焼却発電」の項目が挙げられる。まず前者については、本手法では紙類や厨芥類を含め、成分として炭素を含む物全てを対象として CO₂ を計上している。また、後者については、本手法では、焼却発電により、電力会社において発電する際に発生する当量の CO₂ 分を削減分として計上している。

表2.19 中間処理過程における温室効果ガス算出方法の比較

項目	詳細	対象ガス	本手法	環境省	備考
燃料使用	灯油	CO ₂	○	○	燃料を使用することにより発生。
	A重油	CO ₂	○	○	
	B重油又はC重油	CO ₂	○	○	
	LPG	CO ₂	○	○	
	LNG	CO ₂	○	○	
	都市ガス	CO ₂	○	○	
	コークス	CO ₂	○	○	
	廃棄物燃料	CO ₂	△	○	
	薬剤	CO ₂	○	×	薬剤の製造工程で発生。
	購入電気	CO ₂	○	○	—
一般廃棄物焼却量	連続焼却式・准連続焼却式・バッチ焼却式	CH ₄	△	○	—
		N ₂ O	△	○	—
	廃プラスチック	CO ₂	○	○	—
	廃プラ以外の一廃	CO ₂	○	×	紙類や厨芥類から排出されるCO ₂ も考慮
	焼却発電	CO ₂	○	×	スーパーごみ発電は環境省も考慮。
	工場排水	BOD	○	○	環境省はBODからCH ₄ 、N ₂ Oを算出している。

○:項目に対応 △:項目への対応は容易 ×:項目に対応していない

(c) 最終処分過程

直接埋立処分される項目については、埋め立てられるものの成分により変化してしまい、実測データとして取得しにくいいため、環境省の定める初期値を用いることで、本手法へ実装することは可能である。また、廃棄物燃料に関しては原単位が分かれば評価が可能である。最終処分過程における温室効果ガス算出方法の比較を表2.20に示す。

表2.20 最終処分過程における温室効果ガス算出方法の比較

項目	詳細	対象ガス	永田研	環境省	備考
燃料使用	灯油	CO ₂	○	○	燃料を使用することにより発生
	A重油	CO ₂	○	○	
	B重油又はC重油	CO ₂	○	○	
	LPG	CO ₂	○	○	
	LNG	CO ₂	○	○	
	都市ガス	CO ₂	○	○	
	コークス	CO ₂	○	○	
	廃棄物燃料	CO ₂	△	○	
購入電気		CO ₂	○	○	—
直接埋立 処分	食物くず	CH ₄	△	○	—
	天然繊維くず	CH ₄	△	○	—
	紙くず	CH ₄	△	○	—
	木くず	CH ₄	△	○	—

○:項目に対応 △:項目への対応は容易

2.7 BAS評価ソフトウェアの開発

2.7.1 BAS評価ソフト開発の目的

これまでの本研究では、LCAを技術分野に拡張させ、廃棄物処理システムを主とした評価を行ってきた。その過程において、自治体や廃棄物処理関連業者の方々のご協力により、廃棄物処理施設・処理技術や収集・輸送の貴重なデータを積み重ねることが出来た。

本研究の今後の狙いとしてLCA・LCCの評価に留まらずに、一般の消費者にも広くLCAを知って頂くため、これまでの研究成果を有効に環境教育・指標として活用していただけるように普及に努めていかなければならない。その一環として、現状システムの評価と分別収集・輸送方法、処理施設、リサイクル技術等、今後の廃棄物処理システムの計画を策定する際のツールとなることを目的として、開発したBAS評価手法をパッケージングして、主に自治体を対象とした一般廃棄物処理の評価ソフトウェア「BAS for WM」の開発を行っている。

2.7.2 BAS評価ソフトの出力機能

以下に、現在作成したソフトウェアの機能およびソフト制作会社に提出した改善企画書を基に、機能の説明を示す。

- 1) ELP算出機能—データベースと入力データより、ELPを算出する。
- 2) コスト算出機能—データベースと入力データより、コストを算出する。
- 3) ELP-コスト比較機能—算出したELP・コストを表示し、データベースの他の自治体のデータとも比較できる。
- 4) 単一指標の算出機能—データベースと入力データより、指標別に算出する。

5) ケーススタディ機能—現状のモデルに対し、施設条件を変えた場合等、ケースを想定し、比較できる。

2. 7. 3 BAS 評価ソフトの実際画面の遷移

以下にBASソフトの流れに従った主要な画面の遷移を示す。

(1) ごみ質・組成の設定

本ソフトでは、表 2.21 に示すように自治体等のさまざまな分別区分に対応した評価が行えるように配慮している。ここでの設定は、焼却処理での発電量（低発熱量・三成分・元素組成より）、排ガス量（三成分・元素組成より）や、収集時の効率（かさ比重より）の算出に影響する。表 2.21 に示した分類ごとのごみ質・組成の設定（低発熱量・三成分・元素組成・素材構成・かさ比重）を行うが、図 2.20 に示すようにあらかじめ、デフォルト値を設定しているため、変更したい場合のみ訂正・入力を行う。

表 2. 21 BAS 評価ソフトにおけるごみの分別区分

(下線:資源ごみとして回収可能)

分類1	分類2	分類1	分類2	分類1	分類2		
紙類	新聞・ちらし	プラスチック包装	パック・カップ類	小型家庭製品	石・陶磁器		
	雑誌・書籍・ノート		ボトル類		小型木製製品		
	段ボール		ネット類		小型プラスチック製品		
	紙パック		チューブ類		小型ガラス製品		
	紙箱・厚紙		発砲スチロール		小型金属製品		
	OA用紙		ポリ袋・ラップ類		乾電池		
	感熱紙・カーボン紙		トレイ		蛍光管・電球		
	油污れ及び水に塗れた紙類		その他プラ類		その他(危険物)		
	金属・ビニルが使用されている紙類 防水加工されている紙類		缶		スチール飲食料缶	大型家庭製品	家具
	その他紙類				アルミ飲食料缶		じゅうたん・カーPET
厨芥類	汚れの落ちない缶	乗り物					
食用油	食用油	ガスボンベ・スプレー	家電製品	石・土砂(多量のもの・大きいもの)			
繊維類	古布	飲食料用ワンウェイビン		小型家電製品			
	衣類	飲食料用リターナブルビン		大型家電製品			
	汚れた・破れた古布	汚れの落ちないビン	パソコン				
草木類	剪定枝(少量のもの・短いもの)	われビン	家電リ法対象	冷蔵庫			
	剪定枝(多量のもの・長いもの)	飲食料用PETボトル		テレビ			
	その他草木	汚れの落ちない飲食料用PETボトル		洗濯機			
皮革類	皮革類	PETボトル	PETボトル	エアコン			
ゴム類	ゴム類	飲食料用以外のPETボトル		—			

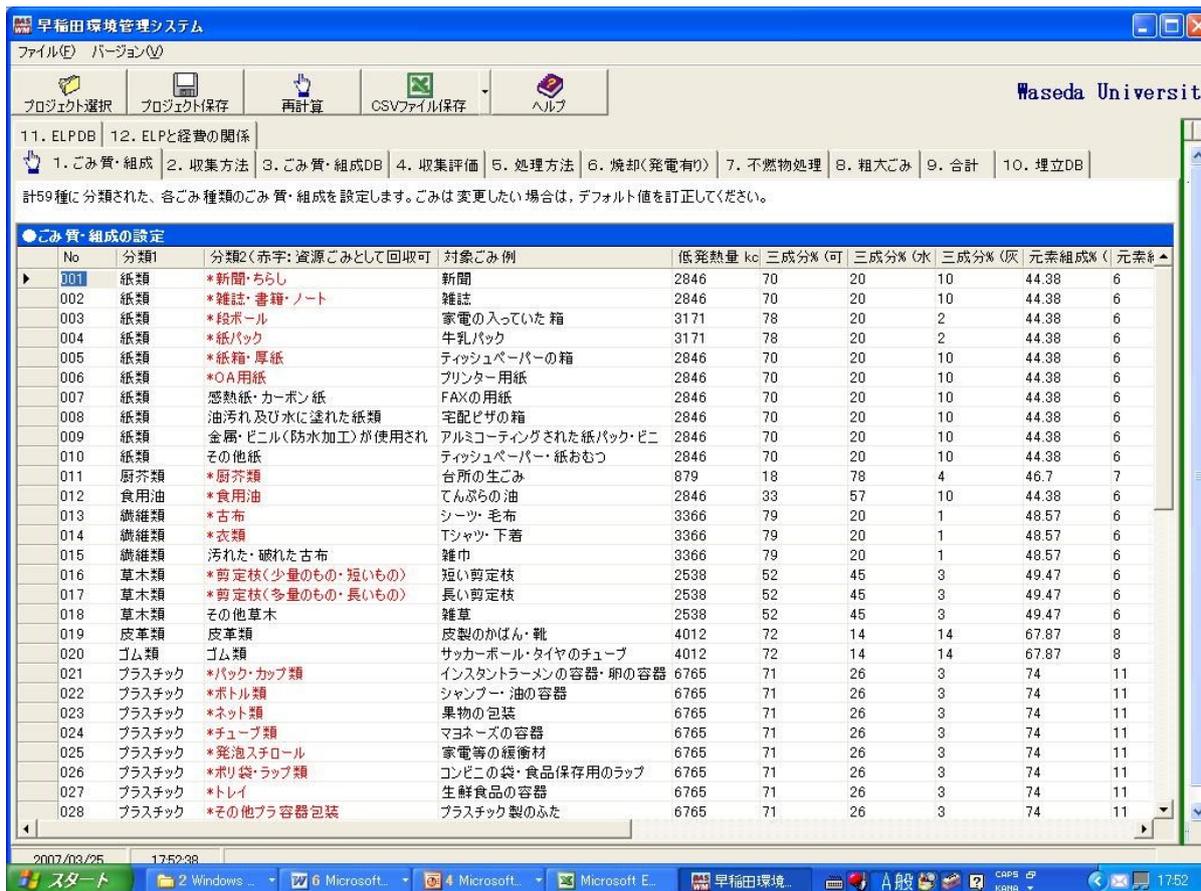


図2.20 ごみ質・組成の設定画面

(2) 分別・収集区分の設定

次に、分別収集区分の設定を行う。図 2.21 に示すように分類されている各品目がどの区分で収集されているかを設定し、区分ごとの収集量を入力する。区分の設定は、①資源ごみとして回収可能なごみ、②資源ごみとして回収不可能なごみの2段階で行う。振り分けた結果は、図 2.22 のように表示され、この際に分別区分の名称を適宜、設定することを可能としている(例:「可燃ごみ」を「もえるごみ」に変更)。

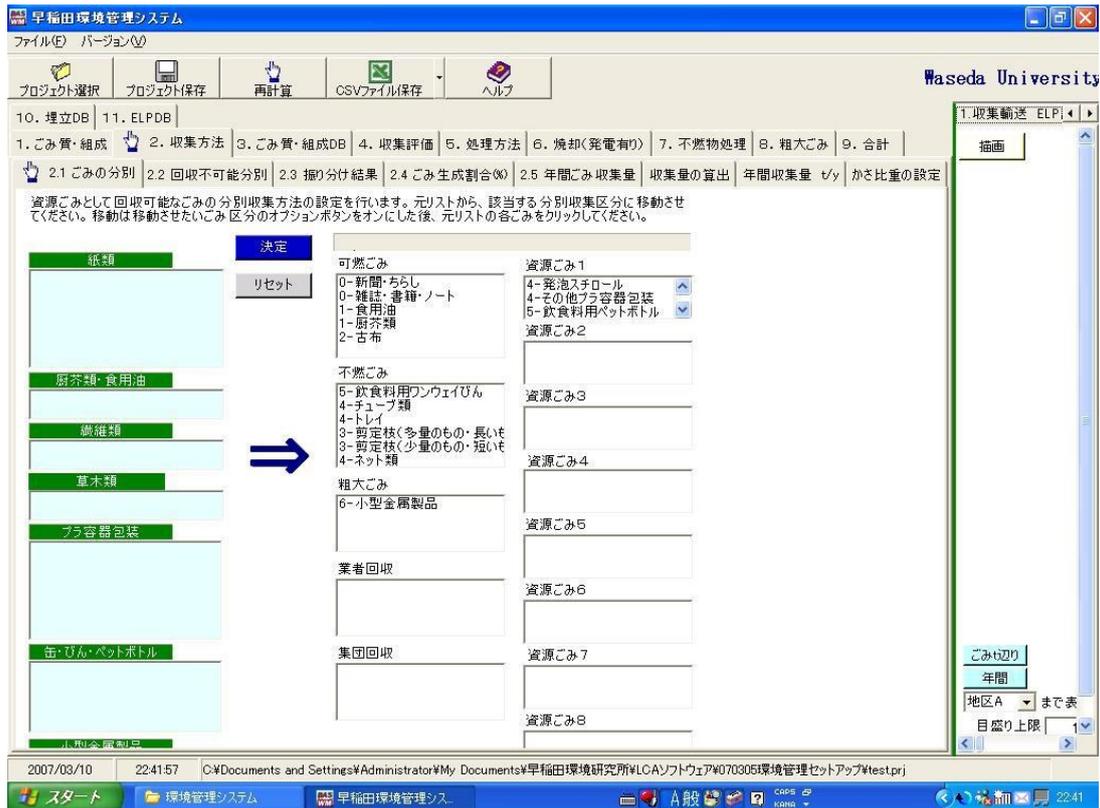


図2.21 分別・収集区分の設定画面

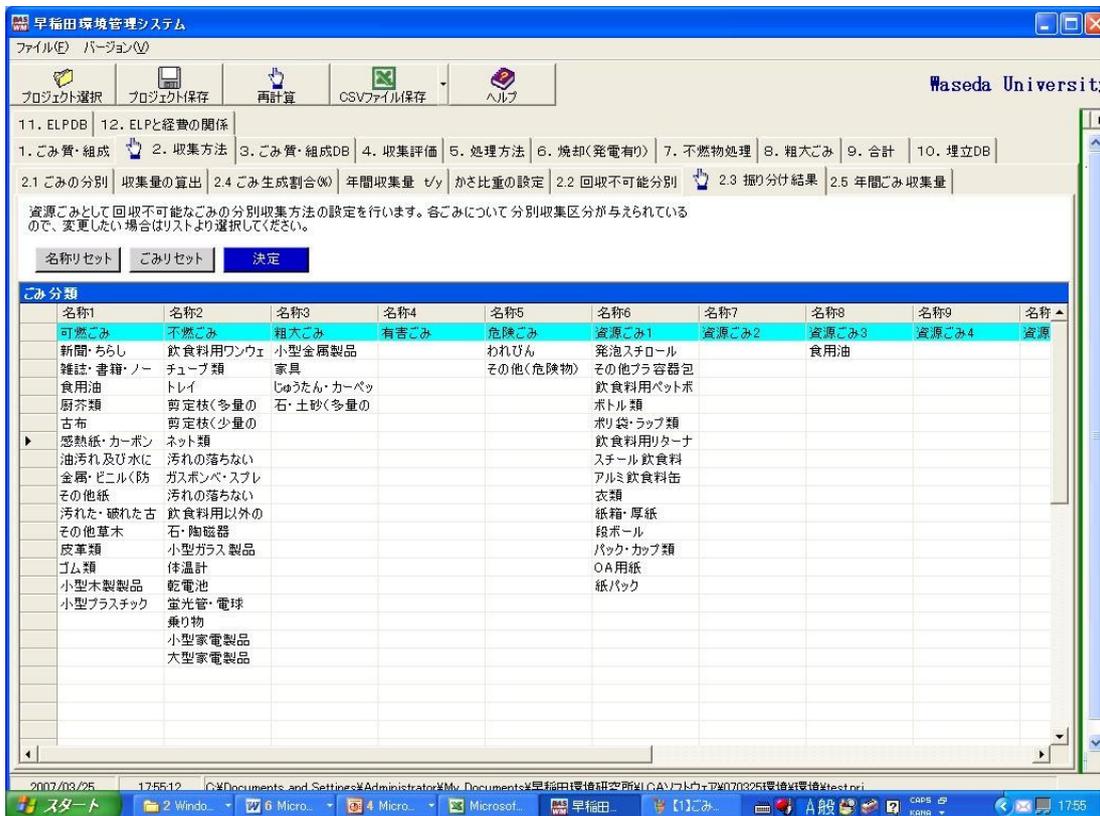


図2.22 分別・収集区分の振り分け結果

(3) 収集・回収の評価

収集の評価は、2.5節で述べたように使用車両や収集日数、走行距離などの設定を行うことでELPおよびコストを算出する。中間処理等を含まず、収集の部分だけの評価を行うことも可能であるため、収集・運搬の見直しの検討を行う際にも活用することができる。入力画面例として、収集車両の設定画面(図2.23)、収集経費の設定画面(図2.24)、収集の評価画面(図2.25)を示す。

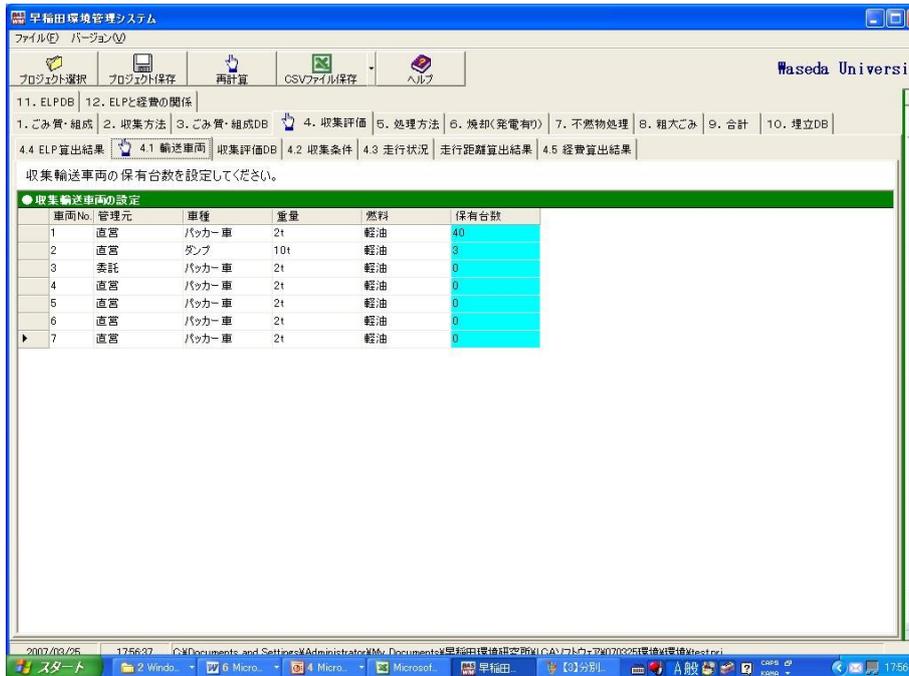


図2.23 収集車両の設定画面

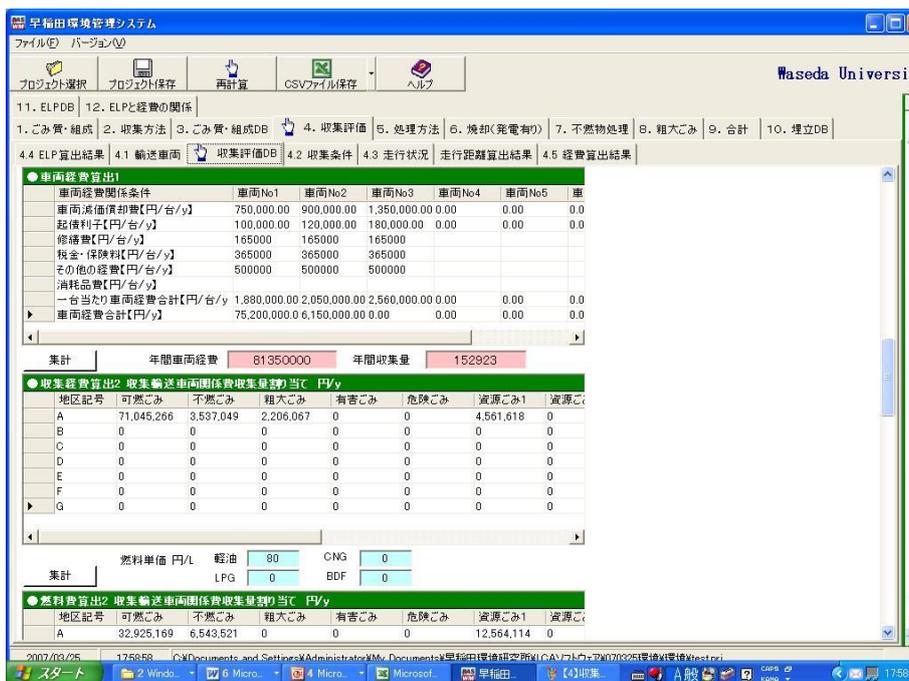


図2.24 収集経費の設定画面

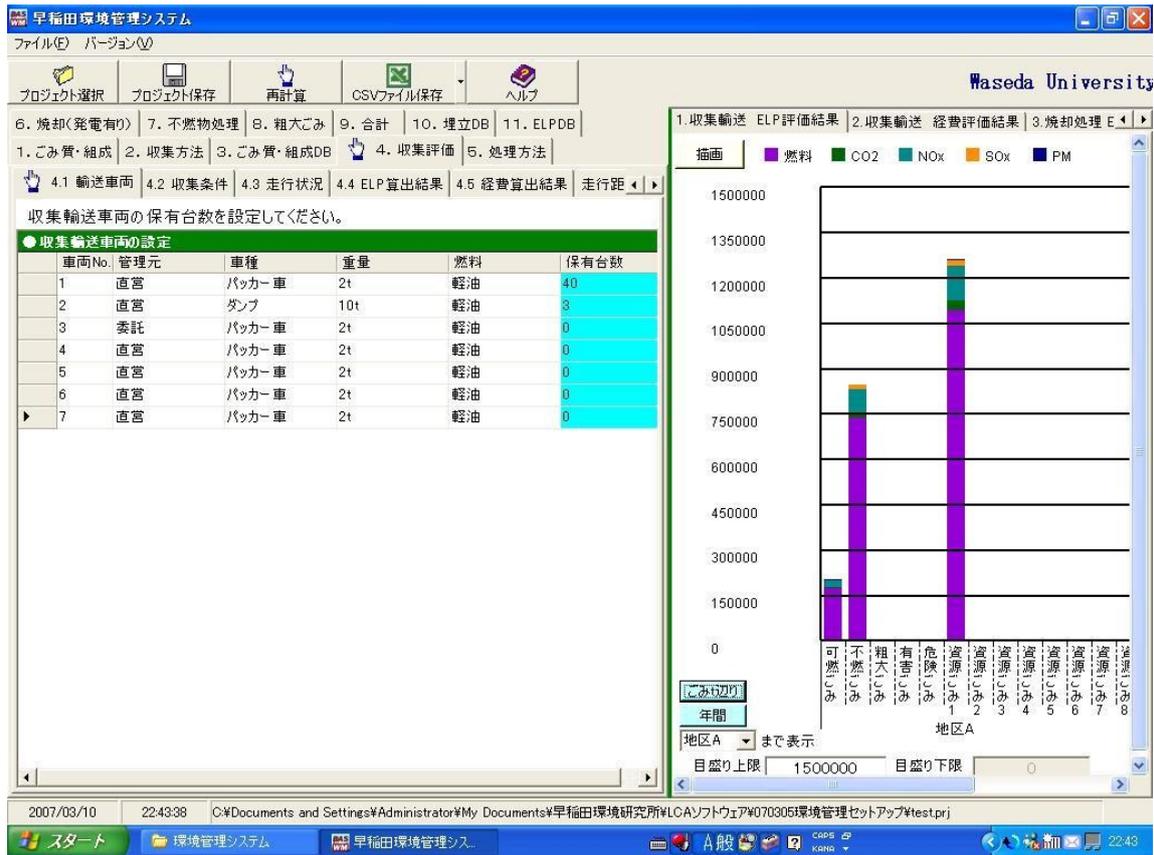


図2.25 収集の評価画面

(4) 中間処理の評価

設定したごみの分別区分ごとの処理方式を選択することで、評価が可能となっている。焼却処理の場合の処理フローの選択画面を図 2.26 に示す。

可燃ごみを例にとると、まず、収集したごみの施設への投入量を設定する(図 2.27)。複数の施設が存在する場合は、振り分けが可能な仕様となっている。また、収集したごみの組成も確認することを可能としている。次に、処理施設に関する情報を入力する。焼却施設の場合は、炉形式、処理能力、年間稼動日数等を入力する(図 2.28)。入力が完了すると、図 2.29 に示すような投入・排出量および ELP 算出結果が表示される。こうした入力を分別区分ごとに行うことで、廃棄物処理システム全体の評価を可能としている。また、コストについても同様に評価が可能である。

第2章 環境性・経済性の両者を対象としたBAS評価手法の開発

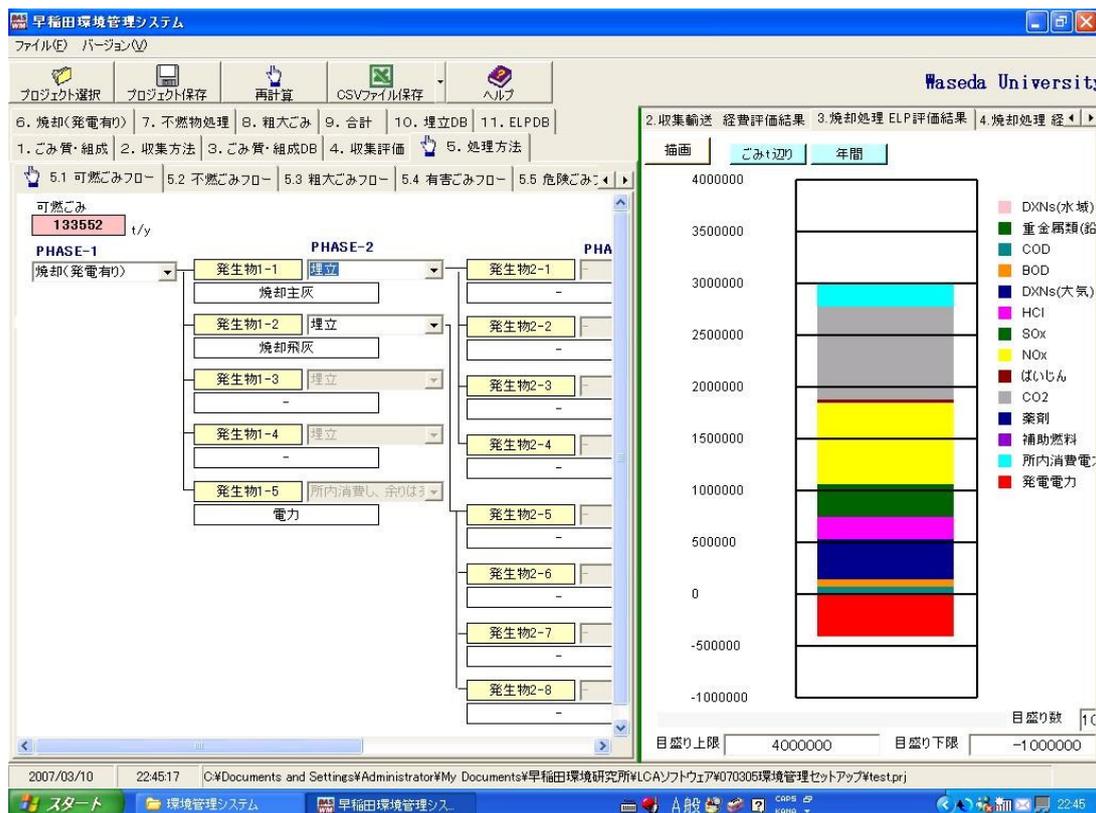


図2.26 処理技術の評価画面（可燃ごみの例）

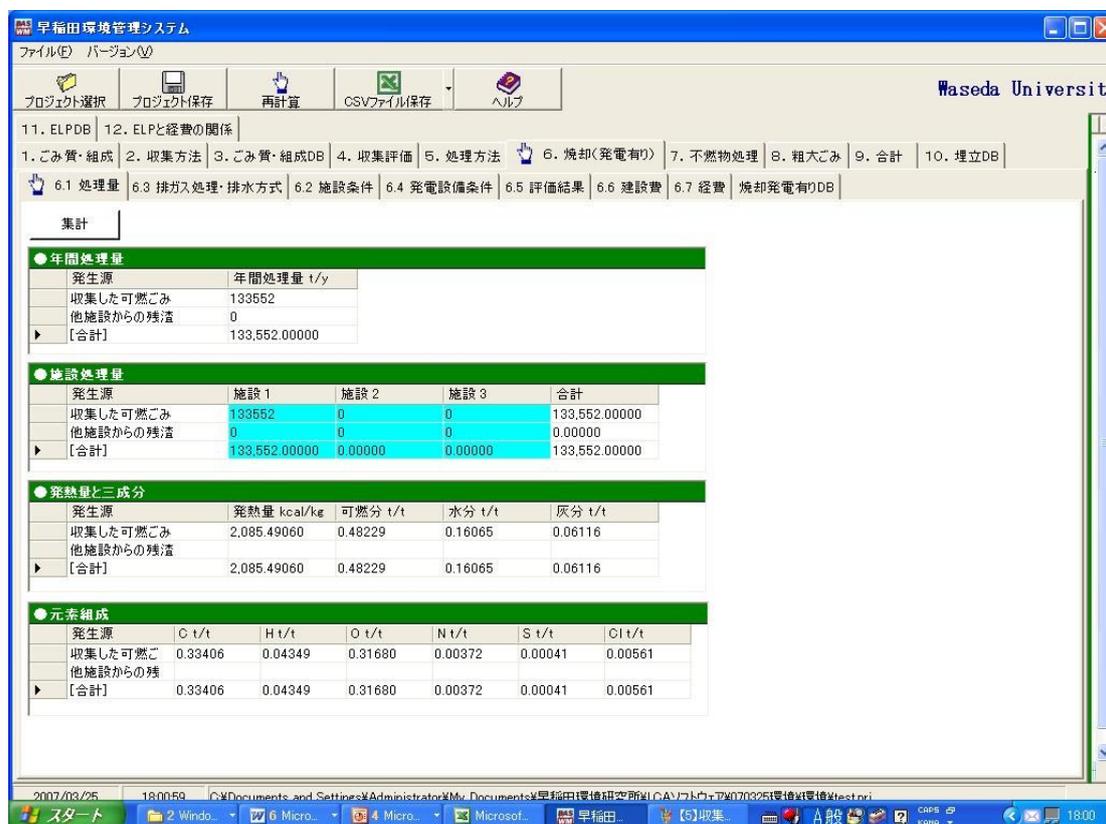


図2.27 施設投入量の設定画面

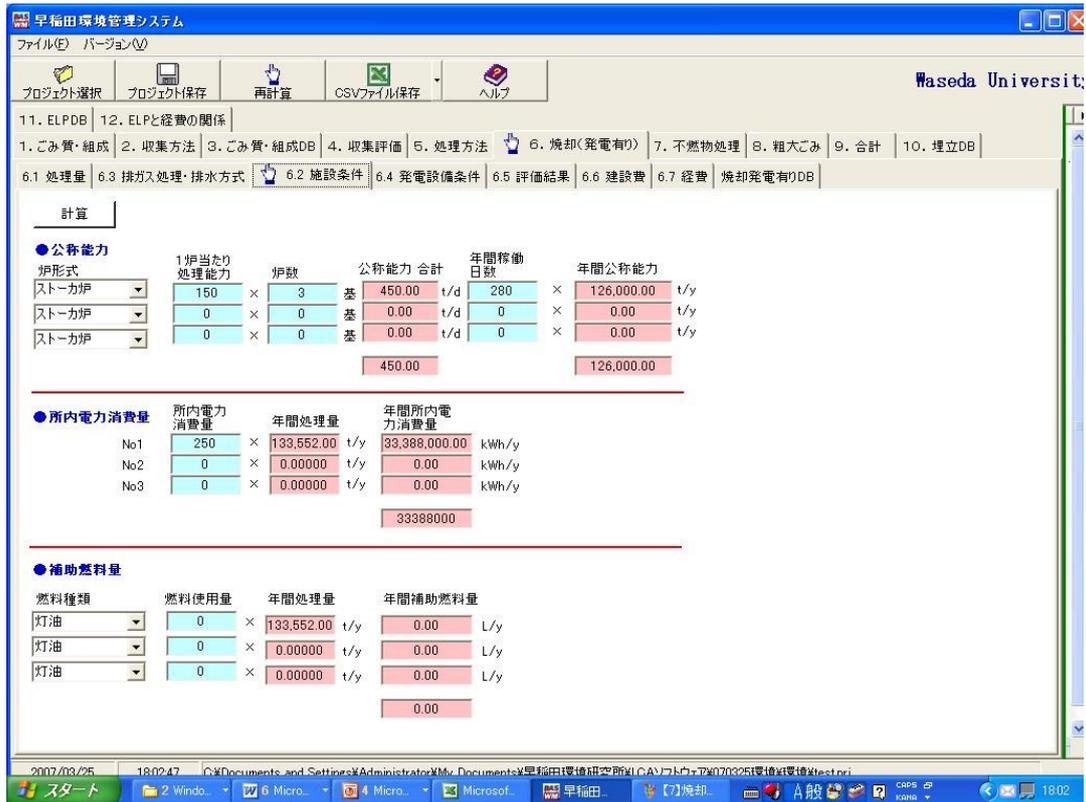


図2.28 施設の基本情報の設定画面

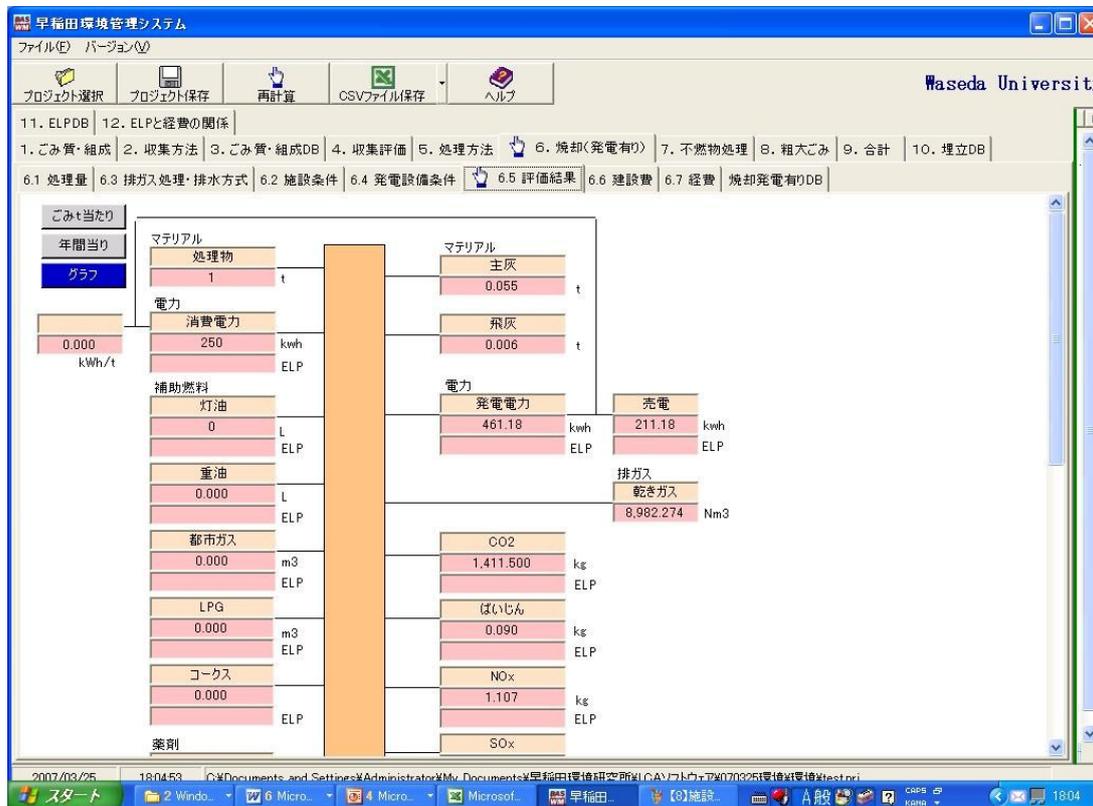


図2.29 投入・排出量およびELPの算出結果

(5) 処理システム全体の評価

処理システム全体の評価では、ELP算出の過程で個別の投入・排出量の集計を行っている。そのため、一般廃棄物処理システム全体の評価結果は、ELPに加え、「廃棄物からの資源回収率」、「廃棄物からのエネルギー回収率」、「最終処分される割合」、「1人1日あたりの温室効果ガス排出量」といった個別指標で表現することが可能である。このことにより、本ソフトのケーススタディ機能を用いることで、各個別指標における市町村間の比較も容易に行うことが可能である。図2.30に個別指標で表現した処理システム全体の評価結果を示し、図2.31に統合化指標で評価したシステム全体の結果を示す。

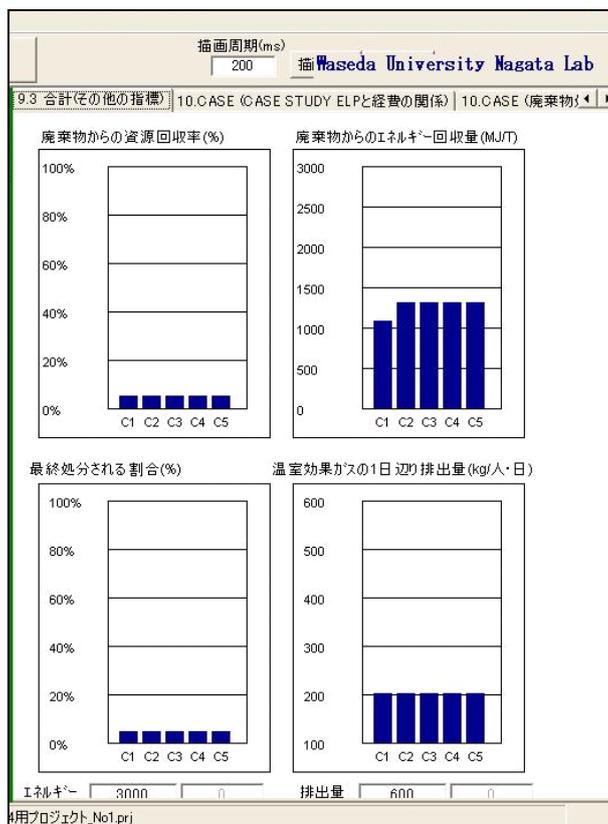


図2.30 個別指標による処理システム全体の評価結果

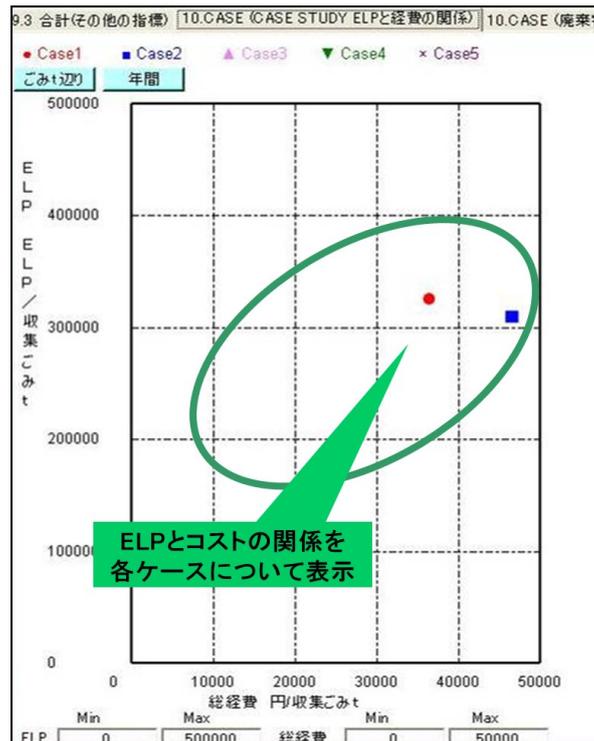


図2.31 統合指標による処理システム全体の評価結果

2.8 まとめ

国内外を問わずに、適正な広域的な資源循環システムを構築するためには、その前段階からの情報収集やシミュレーション等を通してシステムの事前評価や推定を行い、システムの正当化・適正化を検討する必要がある。自治体や企業等の広域化処理計画や環境経営戦略等の施策を策定するための検討材料として、科学的な根拠を提示することが求められている。そこで、第2章では、LCA・LCC的な手法を導入して、一般廃棄物処理システムにおける環境性・経済性の両者を対象としたBAS評価ツールの開発およびその検証を行った。研究の途中で得た結果や知見を以下に整理した。

- ・ 廃棄物処理システムを対象として収集・回収から多方式の焼却処理、焼却残さの処理、破碎等の中間処理を経て最終処分までを評価可能な環境性・経済性のBAS評価手法の開発を行った。
- ・ 環境負荷の推定に関しては、統合化指標 ELP を活用することで、単一指標のみではなく9つのインパクトカテゴリーを統合的に評価可能であり、各段階におけるトレードオフの解消を実現できる。コストの推定に関しては、LCC の考え方にもとづき、実績値と推定値を用いて評価可能な設計としている。
- ・ BAS の中核部分となる中間処理等の評価に関しては、プラントメーカー14社から施設別・規模別の性能・環境情報をベースに、各社専門家集団によるブレインストーミングによって、単純焼却や焼却発電、ガス化溶融、灰溶融、溶融飛灰の山元還元、灰水洗、破碎等の中間処理に関する

ライフサイクルインベントリーデータベースを構築した。

- ・ このDBを活用することによって、新設や計画に当たっての推定評価が可能となる。施設の実態評価では、実績値の活用も可能であり、高度な評価が可能な設計としている。
- ・ 収集・回収の評価に関してはグリッドシティモデルの導入を検討し、シミュレーション精度の向上を図った。
- ・ また、BAS評価ソフトの評価項目は環境省「一般廃棄物処理システムの指針（平成19年6月）」との整合性を項目別に比較し、対応状況及び対応の可能性について検討した。その結果、適用範囲については、環境省の定める範囲は本ソフトでは網羅していることがわかった。
- ・ さらに、一般の消費者や企業、自治体にも広くLCAを知って頂くため、これまでの研究成果を有効に環境教育の面でも活用されるように、その普及に向けた努力として、開発したBAS評価手法をパッケージングして、一般廃棄物処理の評価ソフトウェア「BAS for WM」の開発を行った。

自治体が処理システムの具体的な改善策の検討において、工程別に環境負荷・経済効果を把握することが重要であるといえる。今までの研究で環境負荷の低減策を検討した結果、その導入により一定の効果が見込まれるものの、コストの負担はほとんど増加する傾向が示されている。これは概念的には理解されている事項といえる。しかしながら、こうした点を定量的に把握することに意義があり、循環型社会の高度化を目指すにあたって極めて重要であると考えられる。また、自治体財政が逼迫されるなかで、環境負荷の削減とコストの削減が両立できないのは重要な課題である。循環型社会の構築を目指すなかで、社会コストミニマムでいかにBASを実現するかを真剣に議論していかなければならない。こうした検討はなるべく計画の初期の段階から実施していくことが望ましい。一般廃棄物処理システムの改善は、一定期間の議論を経て、検討されるべきものである。数ある評価軸のひとつとしてLCA的なアプローチが採用され、意思決定を支援するツールとして、こうした評価手法が確立されていくことを期待したい。

第3章

一般廃棄物の国内レベルでの広域的な 資源循環システムの検討

第3章 一般廃棄物の国内レベルでの広域的な資源循環システムの検討

3.1 目的と従来研究

廃棄物処理・リサイクルシステムは、循環型社会のなかで極めて重要な役割をになうことはいうまでもない。とりわけ、一般廃棄物処理システムに関しては、最終処分場の逼迫やダイオキシン対策、さらには3R(Reduce, Reuse, Recycle)への取り組み等の観点から、そのシステム自体が多様化・複雑化している³⁻¹⁾。1997年のごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガイドラインの策定、廃棄物処理法の改正、循環型社会形成推進基本計画の制定等の法体系の改正や変動^{3-2~9)}をきっかけに、一般廃棄物処理システムの見直しが行われている^{3-10~21)}。こうしたなかであって、環境性・経済性の観点から Best Available System (BAS) を提案していくことが循環型社会の構築を目指していくなかで肝要となる。LCA や LCC によって、自治体等が廃棄物処理・リサイクルシステムの改善・高度化を検討する際に、定量的な評価指標をもって科学的な論拠を提示することが可能である。

従来研究^{3-10~21)}では、北海道大学の松藤敏彦氏、羽原浩史氏らが CO₂ 等の排ガス、エネルギー消費量とコストの観点から一般廃棄物広域化を対象として評価手法の開発と検証、東京都立大学の荒川康裕氏ら、埋立処分量といった特定指標の観点からのアプローチ、また京都大学の佐々木努氏、松岡譲氏らが広域化する際、交通量の変化を広域化規模の関数として環境負荷 (CO₂、NO_x、SO_x) と費用を表現するモデルの開発を行っている。また、各自治体においては自区域または近隣地域間を対象に限定的な条件をもとに広域化の検討を行っているケースが多い^{3-7~12)}。エネルギー枯渇、地球温暖化や埋立処分量といった単一指標では、対処できないトレードオフが存在する場合の検討として、統合化手法の導入・検討が有効であり、且つ、汎用性の高い評価手法や研究方法の確立とその検証に関する研究が欠けているといえる。

そこで、本研究は第2章で統合化指標 ELP を導入して、LCA・LCC 的な手法を用いて一般廃棄物処理システムを対象に BAS 評価ソフトの開発を行った。本章では、第2章で開発した BAS 評価ソフトを用いて、日本国内における一般廃棄物の広域的な資源循環システムを検討するとともに、BAS 評価ソフトの有効性の検証を行うことを目的とする。

具体的には、千葉県と三重県を対象にその現状システムの評価とケーススタディを通して最適化モデルの検討を行う。一般廃棄物処理システムの BAS を検討するにあたって、その都市規模・地域特性を考慮する必要がある。そこで、千葉縣市川市とその近隣の船橋市、松戸市をモデルとした焼却・熔融とバイオマスの有効利用等のベストミックスや広域化等のコスト縮減方策の可能性を検討することとした。これらに、BAS 評価ソフトを用いたケーススタディを実践し、コスト縮減方策の実効性評価と 3R・エネルギー回収・適正処理による環境負荷削減効果の検証を行った。

また、埋立地の逼迫により焼却灰の熔融処理といった方策が今後普及していくと考えられるが、これらの技術は処理コストが埋立と比較し大きく増加して

しまうことがわかっている。そこで、できる限り処理コストを縮減させてこれらの技術を導入するには、複数の市町村が大規模な一つの処理施設を共有するといったスケールメリットを狙った広域連携システムが必要となる。その先進的な事例として、三重県環境保全事業団による三重県内の市町村の広域灰溶融処理が挙げられる。そこで本研究は、この三重県における広域灰溶融の先進的な事例についてBAS評価手法を適用し、その有効性を検証することとした。

3.2 市川市と近隣2市をモデルとした一般廃棄物処理システムにおけるBAS評価

3.2.1 市川・船橋・松戸市の現状処理システムの評価

(1) 3市の一般廃棄物処理の現状

a. 3市の位置関係と人口・面積・ごみ排出量³⁻²²⁾

まず、市川・船橋・松戸市の地域性を見るため、各市の位置関係を図3.1に、人口・面積・ごみ排出量を表3.1に示す。これら3市は千葉県西部に位置し、東京都心の近隣に位置していることから、千葉県の中でも人口は千葉市に次いで多くなっている。そのため、3市の人口数は千葉県全56市町の内の24.7%を占め、ごみ排出量も23.4%を占めている。

また、3市を比較すると人口密度は都心に近い市川市が最も高く、家庭系ごみの一日一人当たりの排出量も多くなっている。しかし、事業系ごみについては船橋市が最も多くなっており、一般廃棄全体での一人当たりの排出量は船橋市が最も多いことがわかる。松戸市については、人口や面積は市川市と同程度であるが、一日一人当たりの排出量が1割程度少なくなっている。



図3.1 千葉県3市と保有施設の位置関係

表3.1 千葉県3市の人口・面積・ごみ排出量

項目	市川市	船橋市	松戸市
人口 人	454,434	566,843	468,523
面積 km ²	57.44	85.69	61.33
人口密度 人/km ²	7,911	6,615	7,639
一般ごみ総排出量 t/y	166,891	222,050	152,709
家庭系 t/y	123,930	148,313	108,574
事業系 t/y	42,961	73,737	44,135
一日一人当たりの排出量 g/人・d	1,006(747)	1,073(717)	893(635)

※()内数値は家庭系ごみの排出量

b. 3市の分別状況

次に、3市の分別状況について表3.2に示す。これより、市川市と松戸市は資源回収に積極的な分別区分を行っていることがわかる。一方で船橋市はプラスチック製容器包装ごみの分別を行っていない。そのため、焼却処理率（直接焼却量とその他の中間処理施設からの残渣の焼却量の焼却総量）を見ると、市川市と松戸市はそれぞれ81.7%、84.3%であるのに対し、船橋市は94.0%と高くなっている。

表3.2 千葉県3市の分別区分

分別区分	市川市	船橋市	松戸市
可燃ごみ	○(週3回)	○(週3回)	○(週3回)
不燃ごみ	○(週1回)	○(月1回)	○(月1回)
資源ごみ	紙類	○(週1回)	○(週1回)
	缶類	○(週1回)	○(週1回)
	ビン類	○(週1回)	○(週1回)
	PETボトル	○(週1回)	△(随時)
	プラスチック	○(週1回)	×
	布類	○(週1回)	○(週1回)
有害ごみ	○(週1回)	×(不燃に含む)	○(週1回)
粗大ゴミ	○(随時)	○(随時)	○(随時)

○:分別を行っている △:拠点回収を行っている ×:分別を行っていない ()内は収集頻度

c. 3市の保有処理施設

3市の保有する処理施設を表3.3に示す。

市川市は焼却発電と破碎処理の合同施設を市内に1施設のみ保有しており、缶・ビンの資源ごみはストックヤードを設けて選別・保管を行っており、プラスチック製容器包装とPETボトルは民間へ処理委託している。

船橋市は焼却発電施設を市内に2施設保有しており、各施設に焼却残渣の資源化施設を有している。北部清掃工場は流動床式であるため、焼却されない残

渣の一部を選別し骨材化させるといった資源化施設である。南部清掃工場はストーカ式であり、排出される焼却灰を焼結固化方式で骨材化させるといった資源化施設である。しかしながら、両資源化施設ともに処理能力に制限があり、全量を資源化させることができないため、市外の焼却灰を処理委託しているといった状況である。また、その処理委託も埋立処分のみならず、市外の灰溶融やセメント化へ委託している。リサイクルセンターでは缶・ビン・PET ボトルを選別・圧縮梱包を行っている。

松戸市は、焼却施設を2施設保有しているが、1施設のみが発電を行っている。リサイクルセンターでは船橋市同様、缶・ビン・PET の選別・圧縮梱包を行っており、プラ容器包装は破碎選別施設で選別・保管されている。また、最終処分上の残余年数が短いため、市内のごみや処理残渣の少量はエコセメント処理、その他ほとんどは市外へ埋立処分委託されている。

表3.3 市川・船橋・松戸市の保有する施設

市名	施設の種類	施設名	処理規模
市川市	焼却発電	市川クリーンセンター	600t/d
	破碎選別		75t/d
船橋市	焼却発電	船橋市北部清掃工場	435t/d
	焼却残渣資源化		22t/d
	焼却発電	船橋市南部清掃工場	375t/d
	焼却灰資源化		25t/d
	破碎選別	船橋市破碎選別処理施設	92t/d
	リサイクルセンター	船橋市リサイクルセンター	105t/d
松戸市	単純焼却	松戸市クリーンセンター	200t/d
	焼却発電	松戸市和名ヶ谷クリーンセンター	300t/d
	破碎選別	松戸市日暮クリーンセンター	80t/d
	リサイクルセンター	松戸市資源リサイクルセンター	42.75t/d
	最終処分場	松戸市日暮最終処分場	-

(2) 評価条件

3 市の一般廃棄物処理システム全体の評価を行うに当たって、まず各市の処理フローの把握と評価範囲を定める必要がある。図3.2～4に各市の処理フローと評価範囲を示す。評価範囲は、収集回収工程から、中間処理工程、最終処理工程までとする。また、各工程の評価において用いるデータは特に断りがない限り、各市からの提供データによるものである。

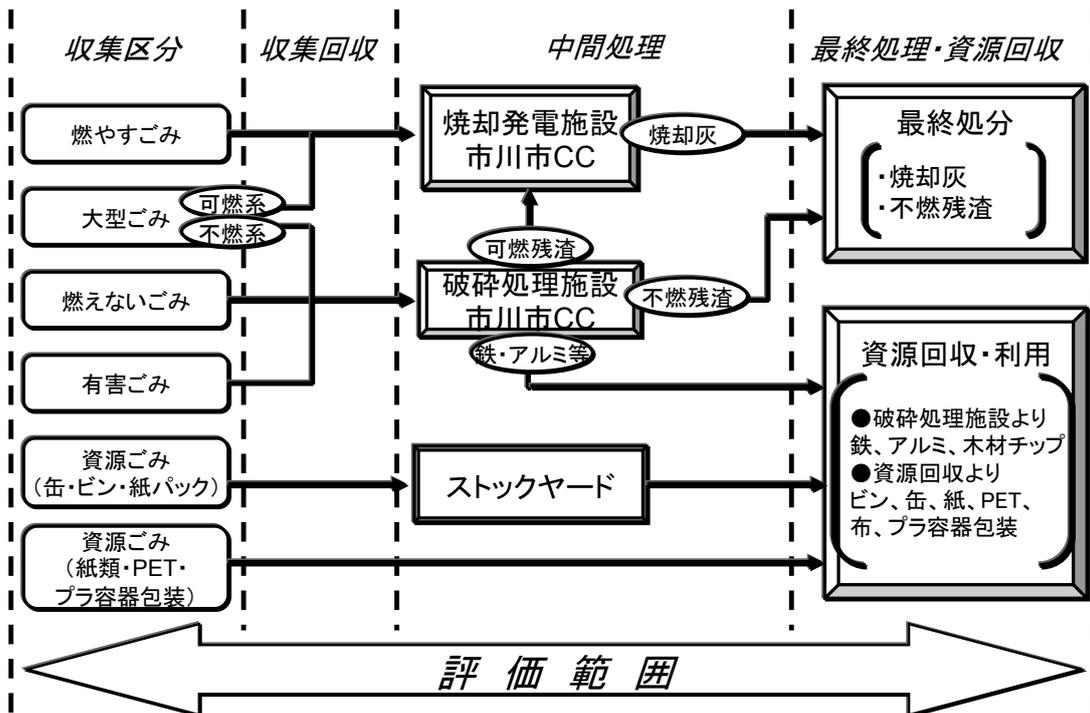


図3.2 千葉県市川市のごみ処理フロー

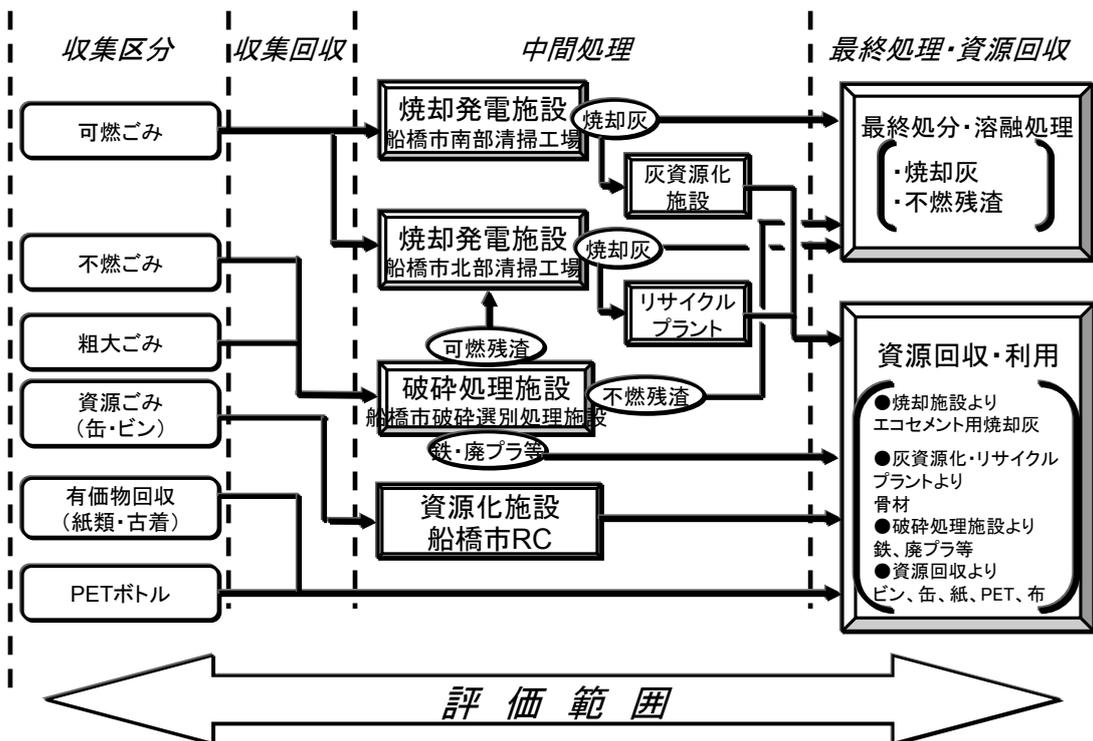


図3.3 千葉県船橋市のごみ処理フロー

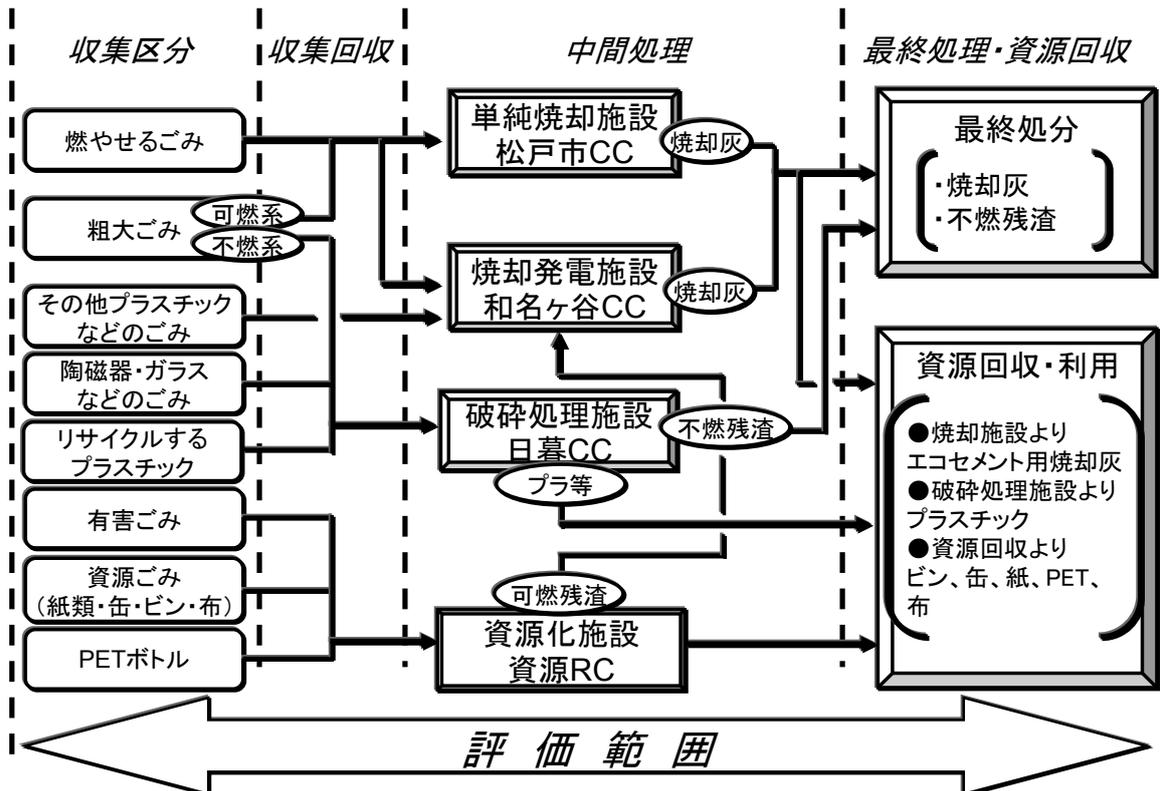


図3.4 千葉県松戸市のごみ処理フロー

(3) 各工程における ELP の算出

a. 収集回収工程

収集回収工程については、車両種ごとの年間総走行距離から、表 3.4 に示す車両サイズと使用燃料ごとの燃料消費量、排出ガス量の排出原単位を用いることで年間の投入・排出量を決定し、それを基に ELP の算出を行う。2t 車の中でもパッカー車や平ボディ車といったものが存在し、それぞれ燃費や排ガス発生量は異なるが、本評価では 2t 車の排出原単位は表 3.4 に統一することとする。

表3.4 2t車における投入・排出原単位³⁻²³⁾

項目		単位	2t 車 (軽油)	2t 車 (CNG)
投入	CNG	kg/km	0	0.14
	軽油	kg/km	0.14	0
排出	CO ₂	kg/km	0.44	0.39
	NO _x	kg/km	0.00155	0.0006
	SO _x	kg/km	0.00008	0
	PM	kg/km	0.00013	0

まず、各市の車種別保有車両台数を図 3.5 に、車種別年間総走行距離を図 3.6 に、面積・人口当たりの総走行距離を図 3.7 に示す。

車種別で見ると、市川市は CNG 車の保有割合が大きく、他市と比較して環境に配慮した収集回収への取り組みが積極的であると言える。しかしながら、面積・人口当たりの総走行距離を見ると、市川市は他市と比較し、1.4 倍程度走行距離が大きくなってしまっていることがわかる。その原因としては、収集回収の大部分を占める可燃ごみについて、市川市は焼却施設を市内の南端に 1 施設のみしか所有していないために北部のごみを回収するのに長距離を移動しなくてはならないといった点が挙げられる。その点、船橋市と松戸市は南北または東西に焼却施設を 2 施設保有しているため、効率良く収集回収を行うことができる。

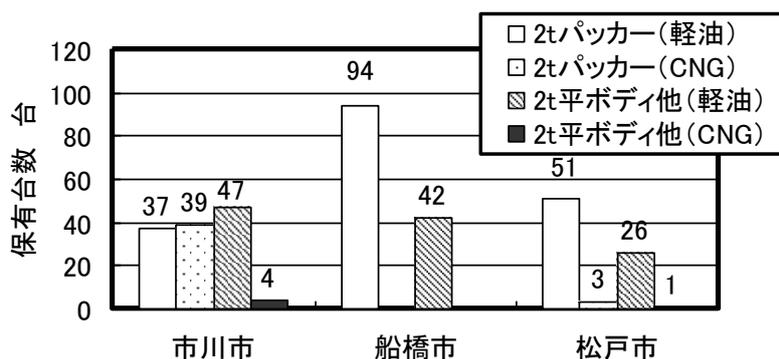


図3.5 各市の車両保有台数

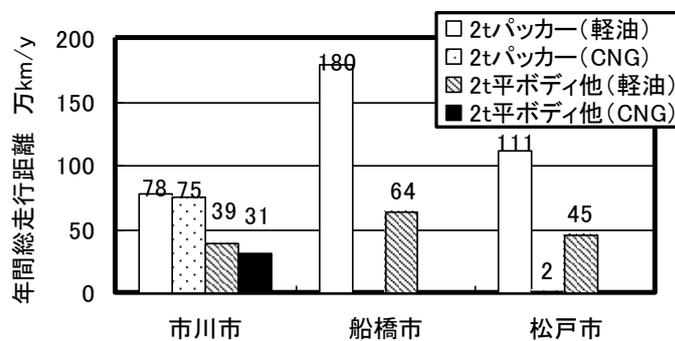


図3.6 各市の車両ごとの年間走行距離

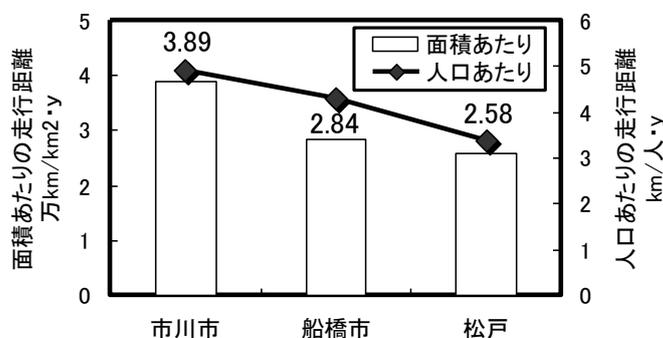


図3.7 各市の面積・人口あたりの走行距離

これらの車両種ごとの走行距離から算出した ELP の算出結果を図 3.8～9 に示す。収集回収においては、軽油消費における影響が大きいことがわかる。そのため、走行距離では市川市が最も大きかったが、CNG 車の利用割合が高いことから、ELP では最も小さくなるといった結果となった。

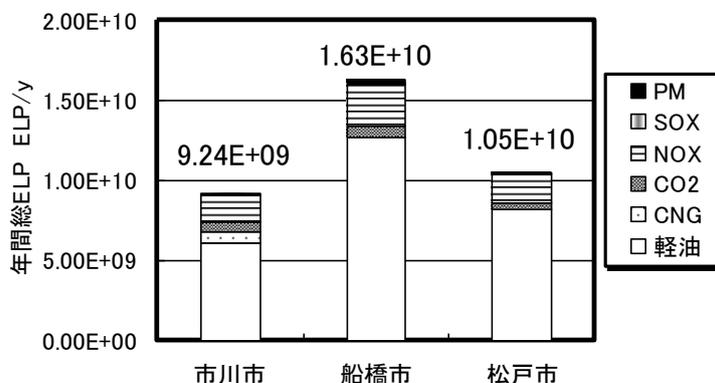


図 3.8 走行距離から算出した ELP

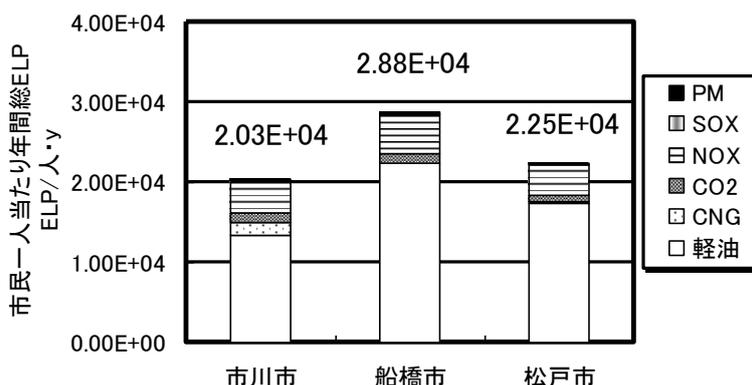


図 3.9 市民一人当たりの年間総 ELP

b. 焼却処理工程

焼却処理工程については、施設ごとのエネルギー（電力・燃料等）、薬剤（消石灰、アンモニア等）、排出ガス（CO₂、NO_x、SO_x、HCl、DXNs）等の投入・排出量をもとに ELP を算出する。排出される焼却残渣、焼却灰の負荷については、最終処分段階において計上するものとする。

各焼却処理施設の基本データを表 3.5 に示す。以後、施設の名称についてはここに示される施設略称を用いる。5 施設ともに処理規模は中～大規模であり、全連続運転式となっている。発電を行っているのは 5 施設中 4 施設である。しかし、発電能力は市川市の 7,000[kW] 以外は、処理規模の割に低く設定されている。その理由としては、船橋②については建設当時にまだ電力の自由化がされておらず、自施設消費分を賄える程度しか発電する意味がなかったことや、松戸②では設備電圧の関係からこれ以上の発電を行うには設備の更新を行わなければならないといったことが、各施設へのヒアリング調査より明らかとなった。

表3.5 各市の保有する焼却処理施設の概要

施設略称	市川	船橋①	船橋②	松戸①	松戸②
稼働年度	1994	1992	1989	1980	1995
処理能力[t/d]	600	435	375	200	300
処理方式	ストーカ	流動床	ストーカ	ストーカ	ストーカ
炉型式	全連続運転	全連続運転	全連続運転	全連続運転	全連続運転
産廃の受け入れ	無	無	無	無	有
発電能力[kW]	7,000	1,500	1,600	-	2,238
排煙処理設備	電気集塵	バグフィルター	電気集塵	電気集塵	バグフィルター
年間処理量[t/年]	135,936	108,972	103,397	44,279	80,184
稼働率	0.68	0.74	0.76	0.64	0.76

各施設へ投入されるごみ質・組成を表3.6に示す。船橋市はプラスチック製容器包装の分別を行っておらず、船橋①②ともにプラスチック類の占める割合が大きいため、発熱量も高くなっていることがわかる。

表3.6 各処理施設へ投入されるごみ質

施設略称		市川市		船橋①		船橋②		松戸①		松戸②	
項目[単位]		湿	乾	湿	乾	湿	乾	湿	乾	湿	乾
組成	紙類[%]	27.5	44.9	41.4	40.2	ND	40.4	48.4	56.6	45.7	46.4
	厨芥類[%]	29.3	7.5	11.6	7.8	ND	7.3	36.0	22.9	17.2	7.3
	布・草木類[%]	17.4	15.9	18.1	16.2	ND	17.6	8.3	9.6	12.2	12.8
	プラスチック・ゴム類[%]	23.6	23.4	22.3	28.6	ND	29.5	6.5	9.7	18.9	27.1
	その他 [%]	6.0	8.4	5.6	7.3	ND	5.3	0.9	1.3	6.1	6.5
三成分	水分[%]	37.5		37.1		32.1		47.1		44.4	
	灰分[%]	7.3		8.8		8.1		11.6		6.4	
	可燃分[%]	55.3		54.1		59.9		41.3		49.3	
低位発熱量[kcal/kg]		2,752		2,927		3,353		2,073		2,474	
見かけの比重[kg/m3]		155		184		186		208		152	
元素分析	炭素C[%]	26.01		33.10		30.93		25.91		27.61	
	水素H[%]	3.92		5.47		5.21		3.50		4.40	
	硫黄S[%]	0.05		0.01		0.01		0.03		0.05	
	窒素N[%]	0.54		0.50		0.42		0.46		0.78	
	塩素Cl[%]	0.55		0.37		0.39		0.30		0.68	
	酸素O[%]	24.20		14.70		22.93		11.14		15.76	

各施設の有害排気ガス濃度の実測値を表3.7に示す。これより、各施設により濃度に差があることがわかるが、これは施設の立地条件によるものである。例えば、市川と船橋②は特にHClの濃度が他市説よりも高くなっているが、この2施設は臨海部の工業地帯に設置されているため、排出ガス濃度の自主規制値（目標値）が緩く設定されている。一方で、松戸②のような住宅街に設置されている施設は自主規制値も厳しく設定しており、それをクリアするために排

ガス処理技術を導入しているため、総じて排ガスの濃度は低く抑えられている。

表3.7 各処理施設の大気排出ガス濃度（実測値）

施設略称	市川	船橋①	船橋②	松戸①	松戸②
SO _x [ppm]	2.9	1.0	17.3	1.0	0.9
NO _x [ppm](12%換算)	85.9	61.0	45.0	51.5	30.2
ばいじん[g/m ³ N](12%換算)	0.1	0.002	0.001	0.001	0.001
HCl[mg/m ³ N](12%換算)	20.7	2.3	38.7	2.0	1.0
ダイオキシン類[ng-TEQ/m ³ N]	0.04	0.17	0.36	0.18	0.0037

各施設の投入・排出量に基づいて算出した年間総 ELP と、処理量 1t あたりの ELP 評価結果を図 3.10 に示す。これより、焼却施設における ELP は CO₂ や NO_x、DXNs といった排出ガスによる影響が大部分を占めていることがわかる。中でも、船橋②は DXNs による影響が顕著である。また、船橋の 2 施設は他施設と比べ、処理量あたりの CO₂ の排出量が多いことも見てとれる。これは船橋市のごみの中に占める炭素 C 分の割合が大きいからであり、C 分の多いごみ種はプラスチック類であることから、市川・松戸市が実施しているプラスチック製容器包装の分別を船橋市では行っていないことがその理由の一つであると言える。

処理量 1t あたりで見ると、最も ELP が高くなっているのは船橋②で、次いで発電を行っていない松戸①という結果となった。最も ELP が低くなったのは、5 施設の中で最も新しい松戸②であった。よって、焼却処理施設における ELP の差異は焼却発電の有無、投入ごみ中の炭素量、立地条件に伴う排ガスの自主規制値によって生じると言える。

さらに、各市の市民一人あたりの焼却処理における年間 ELP を図 3.11 に占めす。これより、焼却処理については船橋市が最も ELP が高く、松戸市が最も低くなるといった結果となった。これより、船橋市が最も高くなった要因は、市民一人あたりのごみ排出量および焼却処理率が高いことと、DXNs の排出抑制が他市よりも進んでいないことが挙げられる。一方、松戸市が最も低くなった理由は、市民一人あたりのごみ排出量が少ないことと、住宅街に施設があるために DXNs をはじめとする有害ガスの排出抑制が進んでいることが挙げられる。

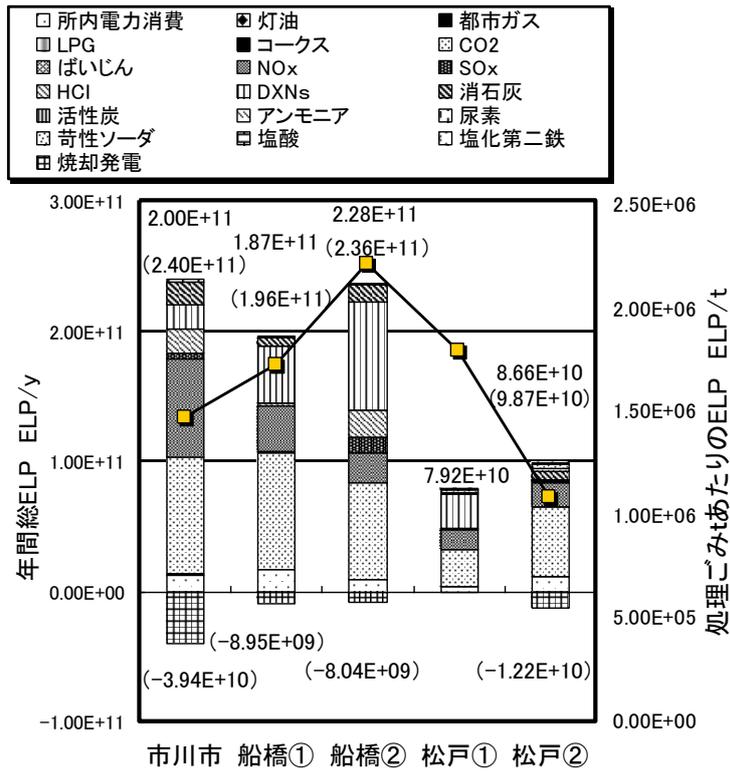


図3.10 各焼却処理施設の年間 ELP

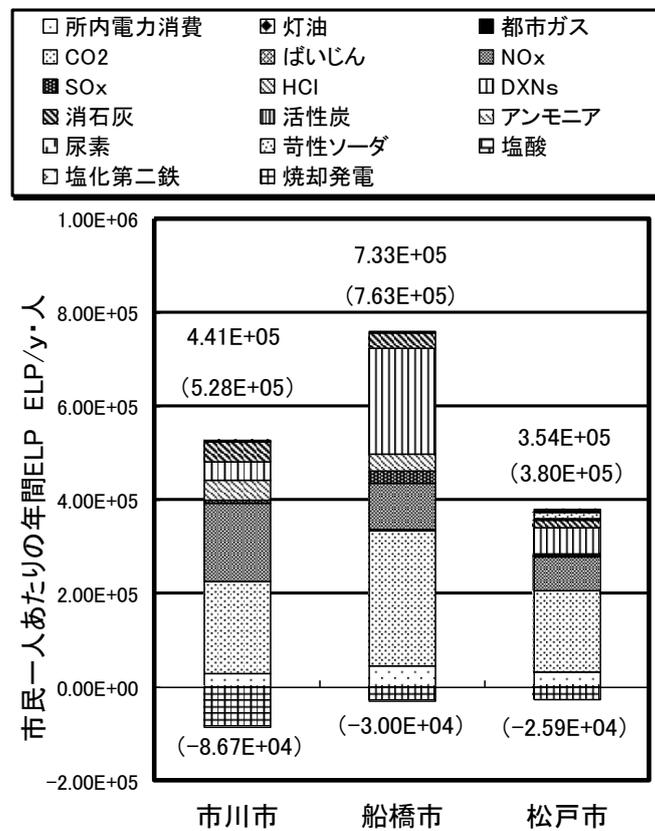


図3.11 市民一人当たりの年間総 ELP

c. 破砕処理工程

破砕処理工程については、施設ごとのエネルギー（電力・燃料）の投入量と、選別された資源物を基に ELP を算出する。選別された資源回収物のうち、鉄・アルミ・剪定枝チップについてはそれぞれ資源回収による環境負荷削減効果を以下のように計上することとした。

- 鉄・アルミ：等量の各素材のバージン材製造の ELP にグレード（＝ {資源化物の売却価格/バージン材の価格}）を乗じたものをマイナス分として計上
 - 剪定枝チップ：等量の原木消費における ELP をマイナス分として計上
- また、廃プラ、廃タイヤ等については処理委託費を払ってリサイクル業者に引き渡しているため、ELP 削減分を考慮しないこととした。

各市の破砕処理施設の市民一人あたりの年間 ELP の算出結果を図 3.12 に示す。これより市川市では、粗大ごみ等から選別された鉄・アルミの回収によって、大きく ELP がマイナスとなっている。松戸市では、金属系の粗大ごみは資源化処理施設で処理を行なっているため、破砕処理施設で鉄やアルミは選別されていないため、ELP 削減効果は見られない。

d. 資源化処理工程

資源化処理工程については、破砕処理同様、施設ごとのエネルギー（電力・燃料）と選別された資源物を基に ELP を算出する。資源回収物による ELP 削減効果は破砕処理同様に以下のように計上することとした。

- 鉄（スチール缶含む）・アルミ（アルミ缶含む）・PET：等量の各素材のバージン材製造の ELP にグレード（＝ {資源化物の売却価格/バージン材の価格}）を乗じたものをマイナス分として計上

また、市川市では資源化施設は保有しておらず、ストックヤードでの選別・保管をおこなっている。ストックヤードを経由して引き取られる資源物については後述の直接資源化工程に計上する。

各市の資源化施設の市民一人あたりの年間 ELP の算出結果を図 3.13 に示す。これより、船橋市では缶の回収量が多いため、アルミの資源回収による ELP の削減効果が顕著である。また、松戸市では、缶の以外に、金属系粗大ごみの選別による金属・非鉄金属類の回収による ELP 削減効果も見てとれる。

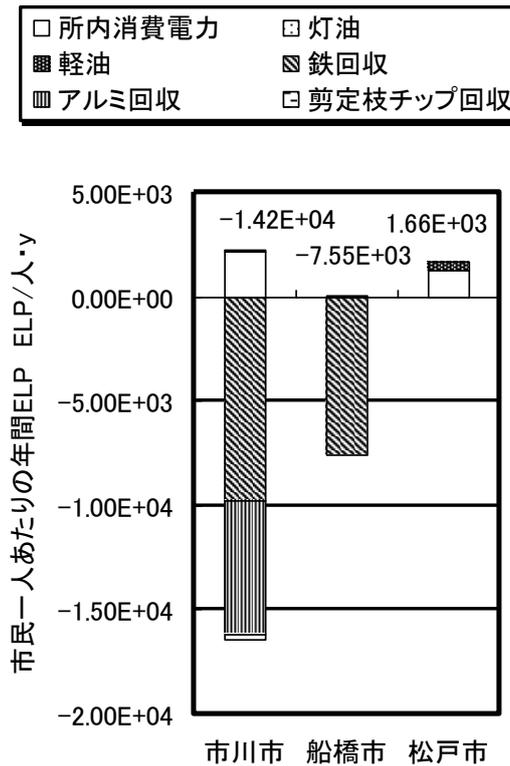


図3.12 各破碎処理施設の市民一人あたりの ELP

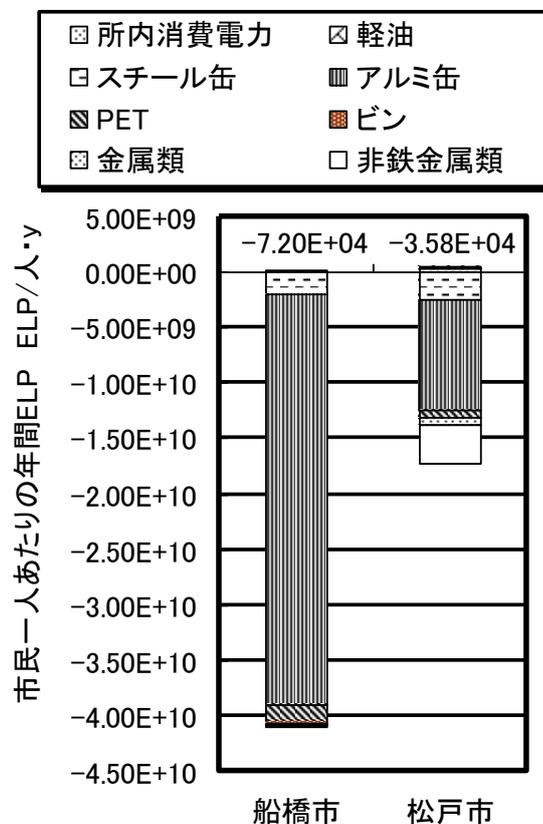


図3.13 各資源化処理施設の市民一人あたりの ELP

e. 焼却灰資源化工程

船橋市には、焼却灰の埋立処分量削減のため、焼却灰の資源化を行う施設を2施設保有している。しかしながら、一方の施設データのみしか入手することができなかつたため、本評価では入手できた焼結固化方式（焼却灰を焼き固めることで路盤材等の骨材として利用する方法）の資源化施設の評価のみを実施することとする。

焼却灰の資源化施設も他施設同様にエネルギーと資源物を基にELPの算出を行う。資源物である骨材のELP削減効果は以下のように計上することとした。

- 骨材：等量の砂利を採取するために消費されるエネルギー分におけるELPをマイナス分として計上

船橋市の焼却灰資源化施設の市民一人あたりの年間ELPの算出結果を図3.14に示す。骨材による削減効果は非常に小さいため、ほとんど削減効果は得られない。しかしながら、焼却灰資源化における削減効果の本質は埋立量の削減にあるため、その効果は埋立処分も含めた総合評価で効いてくる。

f. 直接資源化

直接資源化とは、中間処理施設を経由せずに収集後にそのままリサイクル業者や問屋に売却または処理委託されるものや集団回収から直接売却されるものと定義し、その売却における環境負荷削減効果を計上する項目とする。また、ここで用いているデータは各市のHP^{3-22,24)}などで公表されているデータを用いている。各種資源物のELP削減効果は破碎処理や資源化処理工程での計上方法と同様とする。

各市の直接資源化におけるELPの比較を図3.15に示す。各市ともに紙類はそのまま売却を行っているため、そのELP削減効果は大きいことがわかる。また、船橋市は集団回収の紙類以外は市の資源化施設で資源化処理している。

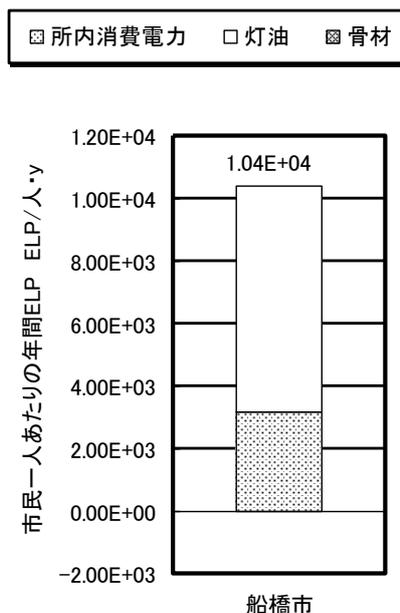


図3.14 灰資源化施設の市民一人あたりのELP

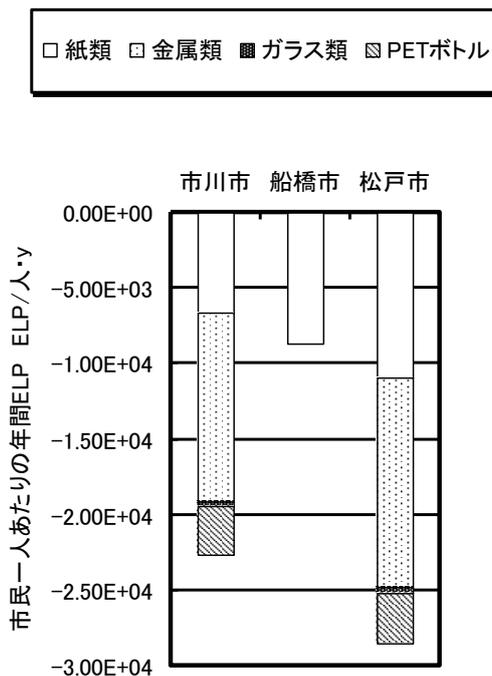


図3.15 直接資源化の市民一人あたりの ELP

g. 最終処分工程

最終処分工程については、各市とも市外へ処理委託しており、埋立処分場におけるエネルギー投入量等が明らかでないため、埋立処分量のみから ELP の算出を行う。また船橋市については、焼却灰を埋め立て以外に、エコセメントや溶融への処理委託を一部行ってはいるが、その内訳が不明なため全量埋め立てられるとして算出を行った。よって、船橋市の埋め立て処分における ELP については実際よりも大きくなってしまっている。

各市の最終処分における ELP の算出結果を図 3.16 に示す。これより、市川市が最も埋め立て処分量が多いことがわかった。

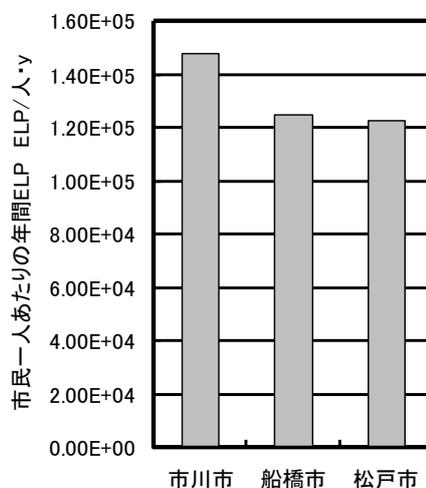


図3.16 最終処分の市民一人あたりの ELP

(4) 各市の処理システム全体における ELP の比較

先の各処理工程における ELP の算出結果を合算することで、各市の一般廃棄物処理システム全体の年間総 ELP と市民一人あたりの ELP 評価結果を図 3.17、18 に示す。

年間総 ELP で見ると、船橋市が他市よりも大幅に大きくなっていることがわかる。この要因としては船橋市の市民人口が多いことから、ごみ排出量も多いということが挙げられる。しかし、市民一人あたりでの年間 ELP での比較で見ても、その差はある程度縮まるものの、船橋市が最も高く、次いで市川、松戸市となっている。この順は、各市の市民一人あたりのごみ排出量と同じ順となっており、やはり環境負荷を低減させるには、ごみの排出量を低減させることが最も効果的であることが確認できる。

また、ELP の工程内訳で見ると、各市ともに焼却処理工程における割合が最も大きいことがわかる。次いで最終処分工程となっている。よって、ごみ排出量の低減の次に重要となってくるのは、焼却量を削減するために、紙類、プラスチック類の分別を推進することや、厨芥類を分別処理することと、焼却灰を溶融処理し、溶融スラグの有効利用を行うことであると言える。

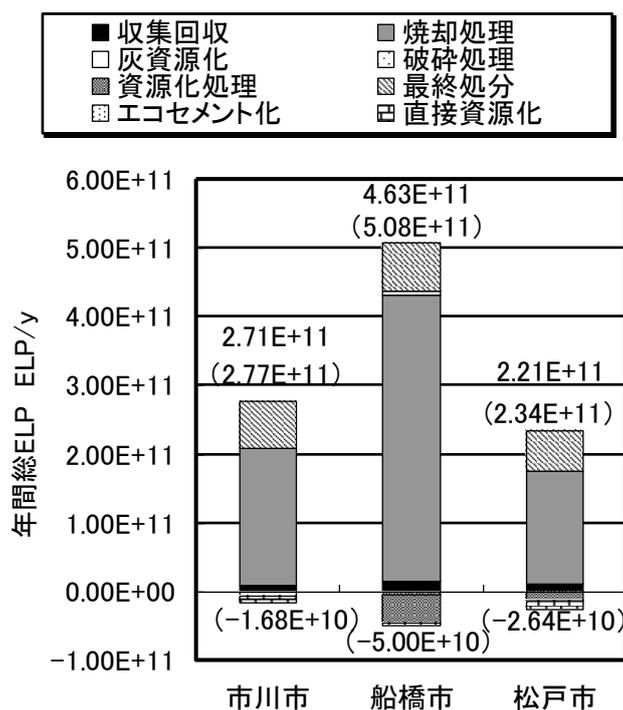


図3.17 各市の処理システム全体の年間総 ELP

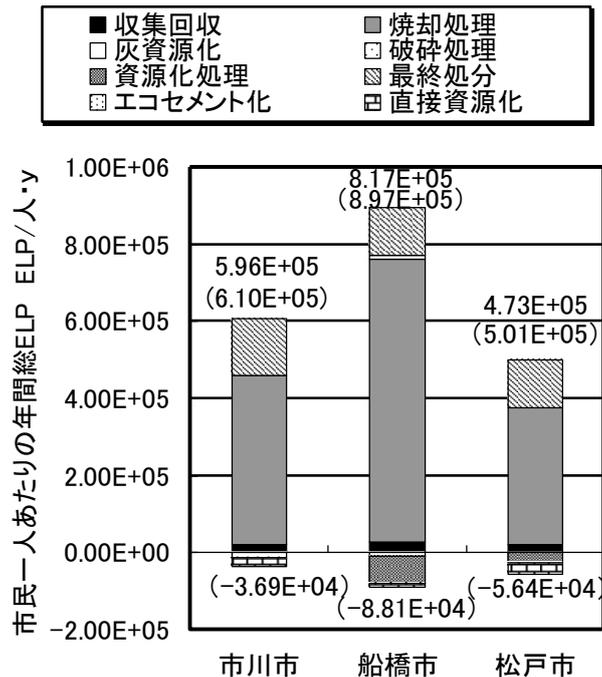


図3.18 各市の市民一人あたりの年間総 ELP

3.2.2 市川における BAS の検討

3 市の処理システム全体の評価結果から得た考察として、焼却量の削減、焼却灰の減容化を挙げたが、それらの方策を行うことで ELP がどの程度低減できるか、さらには経費がどの程度変化するかを BAS ソフトのデータベースに組み込まれているプラントメーカーの設計値等を基に推計することで、定量的に示す BAS 評価を実施することとした。

また用いるデータベースについては、実測値とある程度の乖離が生じていることは否めないため、ケーススタディを行う上では現状処理システムに用いる主要の施設インベントリデータについても実測値ではなく、同処理方法におけるデータベースより算出したデフォルト値を適用している部分があることを断っておく。

(1) 市川市の BAS 評価モデル

まず、BAS 評価を行う上での基本となる評価モデルについては図 3.2 と同様である。評価範囲は、先の 3 市の評価同様に収集回収から最終処分までとする。各工程における年間経費の算出方法は以下に示す通りである。

◆ 収集回収

➤ 車両関係費

車両単価 (600 万円) を耐用年数 (7.5 年) で除したものの、保険、修繕費。

➤ 燃料費

消費燃料代 (燃費消費量、燃料単価より算出)。

➤ 人件費

作業員人数（直営 60 名、委託 198 名）に単価（直営 700 万円/人・y、委託 500 万円/人・y）を乗じたもの。

◆ 中間処理（焼却、破砕処理施設）

➤ 施設建設費

施設建設費（焼却 200 億円、破砕 10 億円）を耐用年数（20 年）で除じたもの。

➤ 補修・維持管理費

建設費の 3%。

➤ 用役費

電力・燃料・副資材・薬剤の投入量に単価を乗じたもの。

➤ 人件費

作業員人数（焼却 20 名、破砕 10 名）に単価（700 万円/人・y）を乗じたもの。

◆ 最終処分・資源回収

➤ 処理費

各処理量・回収量に処理・売却単価を乗じたもの。

以上の算出方法によって算出した各工程における経費を図 3.19～23 に示す。

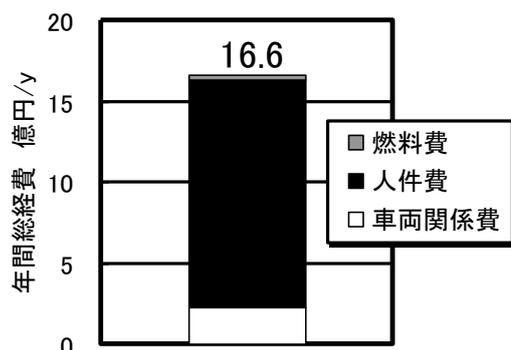


図 3.19 収集回収工程の年間経費

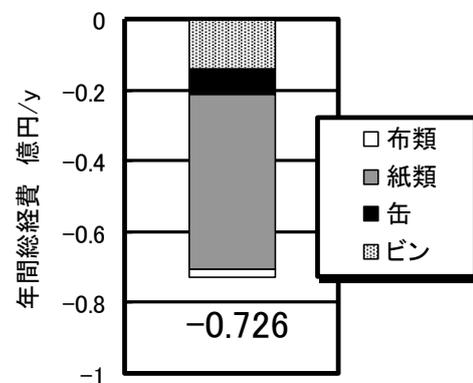


図 3.20 直接資源化の年間経費

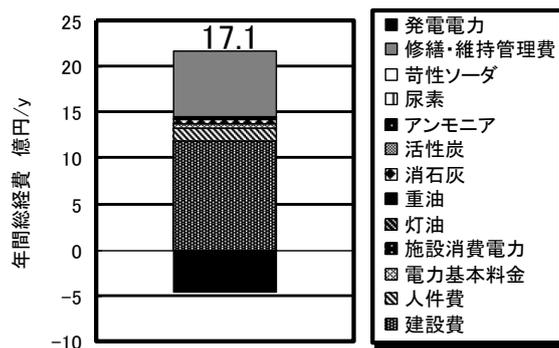


図3.21 焼却処理工程の年間経費

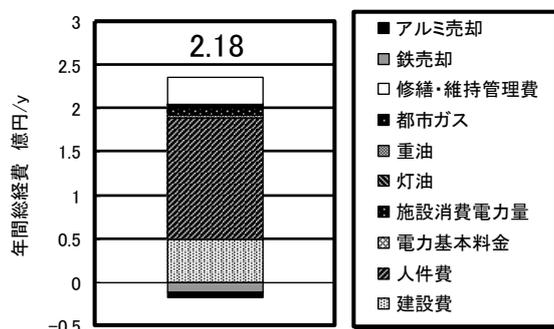


図3.22 破碎処理工程の年間経費

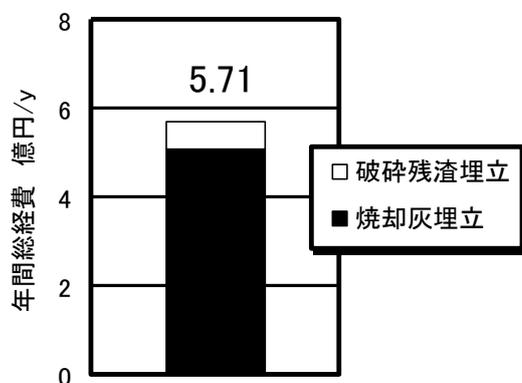


図3.23 最終処分工程の年間経費

次に、各工程における ELP の算出について示す。各工程の ELP は以下のデータを基に算出を行った。

- 生活系ごみ収集回収
 - アンケート調査による実績データを用いて算出した。
- 焼却発電施設
 - BAS ソフトのデフォルトより算出した。
- 破碎処理施設
 - 主な施設 I/O データは BAS ソフトのデフォルトより算出した。資源回収

物は実績データに基づいて算出した。

➤ 最終処分・直接資源化

最終処分量は、上記の焼却発電・破砕処理において設定されたデフォルト値に基づき算出した。直接資源化量は実績データより算出した。

以上の算出方法より算出した各工程の ELP 算出結果を図 3.24～28 に示す。

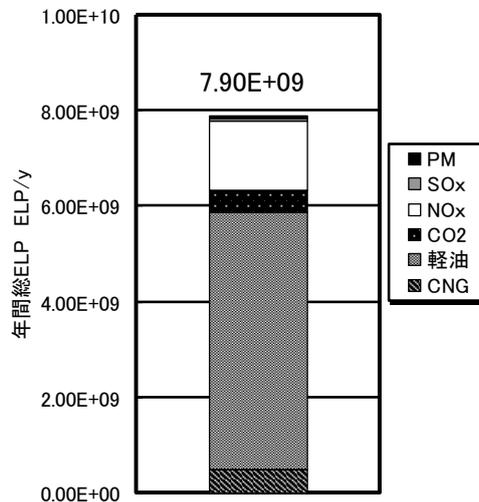


図3.24 収集回収工程の年間 ELP

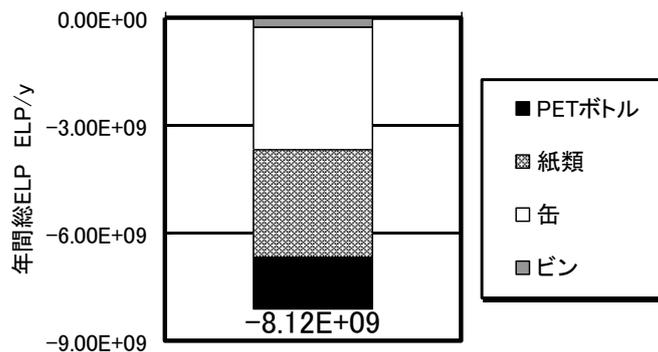


図3.25 直接資源化の年間 ELP

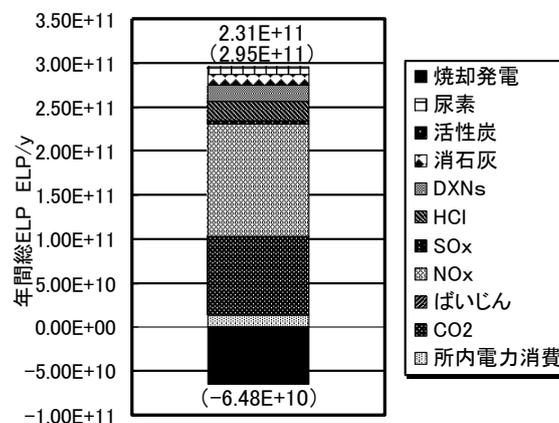


図3.26 焼却処理工程の年間 ELP

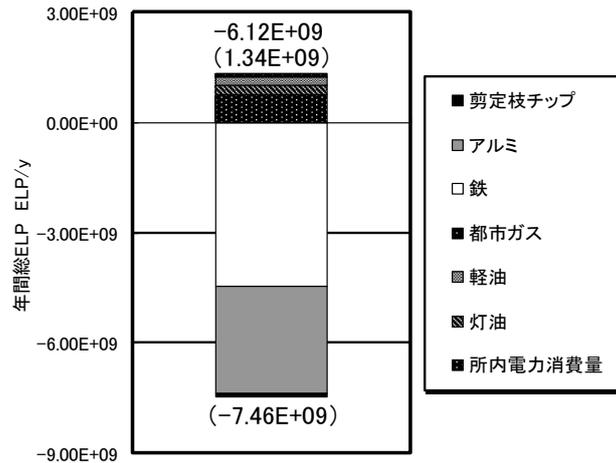


図3.27 破碎処理工程の年間 ELP

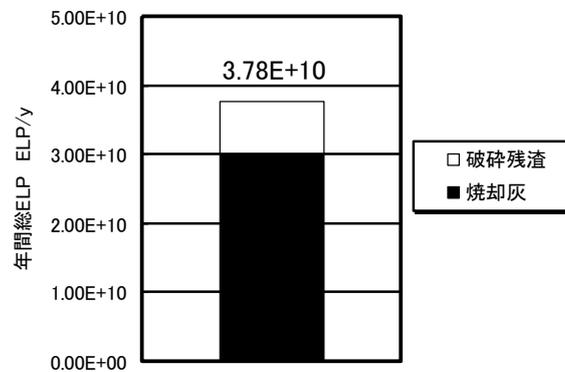


図3.28 最終処分工程の年間 ELP

以上の算出した各工程の ELP と経費について、横軸に経費、縦軸に ELP として各工程の ELP と経費の関係を図 3.29 に示す。これより、焼却処理は ELP とコストの両面で影響が大きいことがわかり、次いで最終処分となっている。よって、環境負荷・経費の削減方策へのターゲットとしては、先にも述べたとおり、焼却量の削減と熔融による焼却灰の減容化が有効であると言える。また、収集回収は、ELP は小さいものの、経費の影響が焼却処理と同等であることがわかる。よって、収集体系の変更による効率化といった方策も重要であると言える。

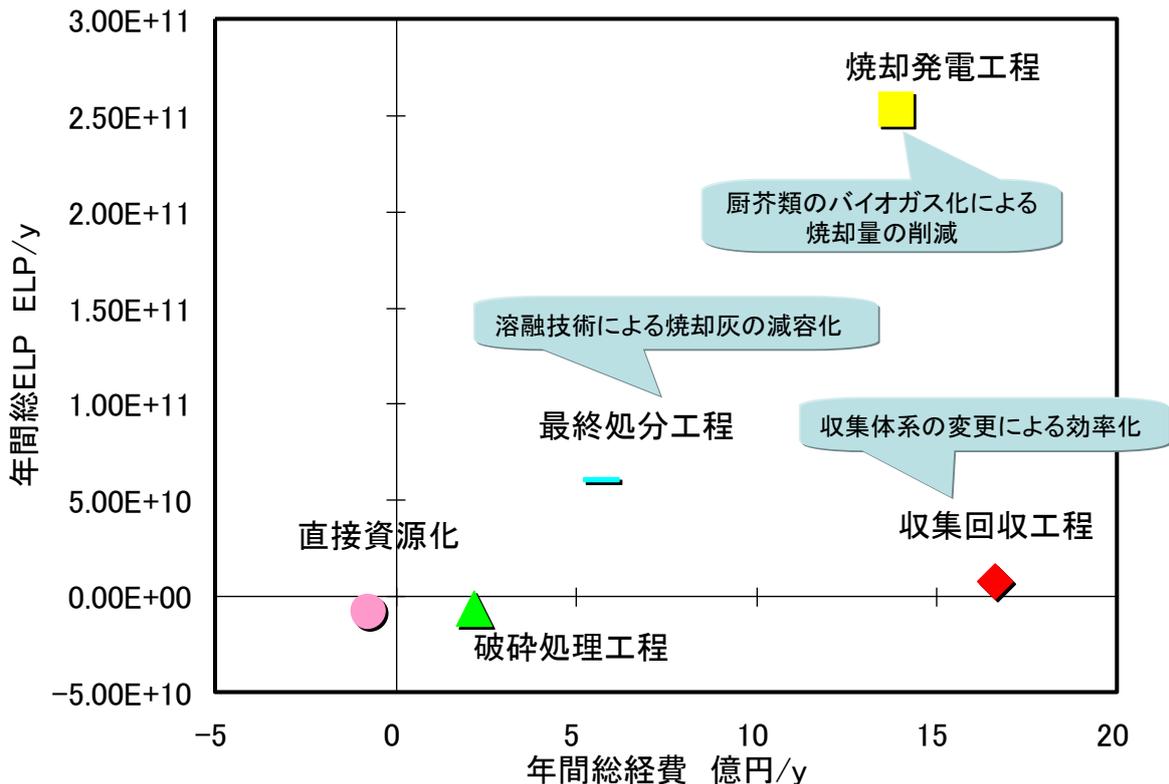


図3. 29 各工程の ELP とコストの関係

(2) 処理技術の変更におけるケーススタディ

そこで、BAS ソフトのデータベースを用い、図 3.30 に示す CASE でケーススタディを行うこととした。CASE1 を現状とし、CASE2～5 は溶融技術の導入という観点から、CASE2 を灰溶融設備を導入し焼却灰を溶融する場合、CASE3 を CASE2 で排出される溶融飛灰を山元還元する場合、CASE4 を焼却発電をガス化溶融炉に変更する場合、CASE5 を CASE4 で排出される溶融飛灰を山元還元する場合とし、CASE6 は焼却量の低減という観点から厨芥類を分別してバイオガス化処理する場合とした。

経費については、表 3.8 に示す処理単価を基に算出を行い、ELP については、BAS ソフトのデータベースを基に算出した。

横軸に経費、縦軸に ELP をとった各 CASE の経費と ELP の関係を図 3.31 に示す。経費については、灰溶融の導入またはガス化溶融への変更によって CASE2～4 で経費が現状より大きくなるといった結果となった。山元還元についてはその量が少量であるため、あまり経費の変化は見られない。また CASE6 の場合、収集回収における経費の増加分に加え、バイオガス化の処理コストの増加によって CASE1 より大幅に経費が大きくなるといった結果となった ELP については、CASE2～5 について最終処分量の低減によって現状より ELP は小さくなった。また CASE6 については焼却量の低減によって焼却工程の ELP が削減され、現状より大幅に ELP は小さくなった。ELP 削減で最も効果的なのは CASE6 のバイオガス化を行う場合であるが、一方で経費は大幅に増加してしまうことがわかる。また CASE1 から経費 1 億円増加あたりの ELP の削減値とし

ではCASE5が最も高い結果となった。

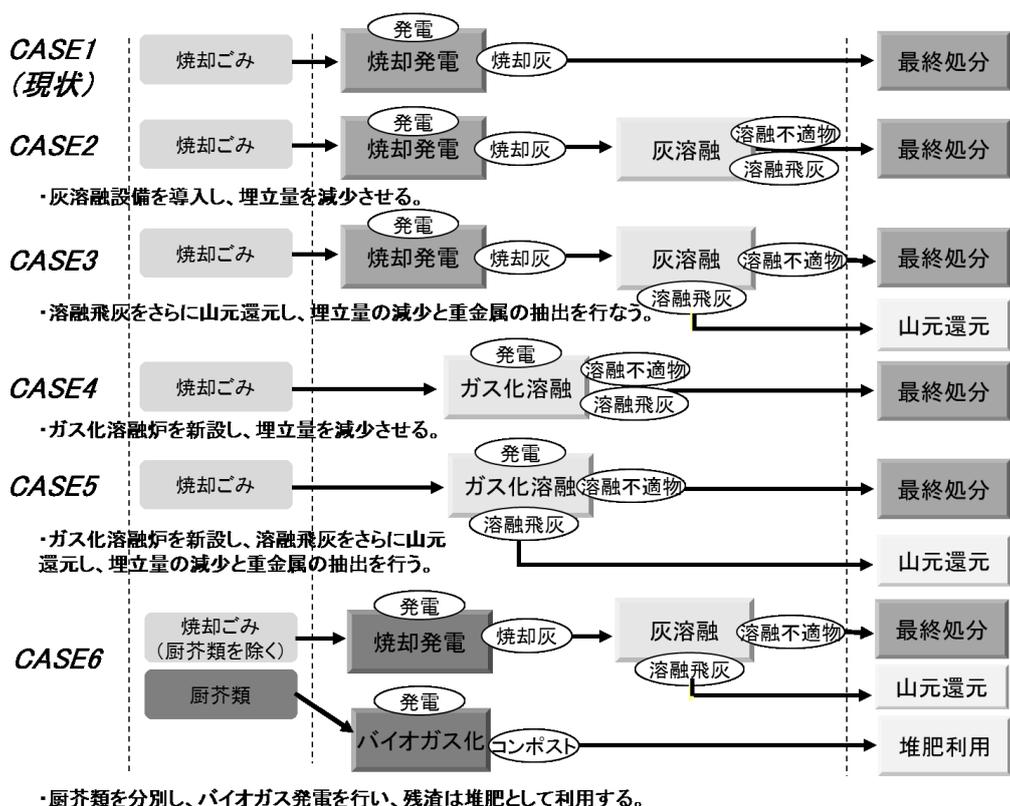


図3.30 各CASEのシナリオ

表3.8 各処理工程の処理コスト

項目	焼却発電	灰溶融	ガス化溶融	焼却発電 (厨芥除く)	溶融飛灰 山元還元	埋立	厨芥類 バイオガス化
処理量 t/y	135,936	10,091	135,936	97,154	-	-	-
建設費 ^{※1} 千円/y	1,000,000 ^{※2}	171,008 ^{※3}	1,026,353 ^{※4}	588,235	-	-	-
人件費 ^{※5} 千円/y	140,000	105,000	210,000	140,000	-	-	-
用役費 千円/y	123,665	132,536	183,918	84,315	-	-	-
修繕・補修費 ^{※6} 千円/y	600,000	102,605	615,812	600,000	-	-	-
売電収入 千円/y	-504,898	0	-394,674	-549,209	-	-	-
合計 千円/y	1,358,766	511,148	1,641,409	863,340	-	-	-
処理/委託単価 千円/t	10.0	50.6	12.1	8.89	50.0 ^{※7}	27.9 ^{※8}	35.0 ^{※9}

※1 建設費は、耐用年数20年を基準として算出している。但し、厨芥分別時は処理量の低下による耐用年数の延命分を考慮して算出。

※2 市川市CC(破碎施設込み)の建設費の252億円のうち、200億円分が焼却炉であると仮定し算出。

※3 三重県環境保全事業団の溶融炉(240t/d)の109.4億円から規模比率の0.6乗より算出。

※4 北九州市新門司工場(720t/d)の229億円から規模比率の0.6乗より算出。

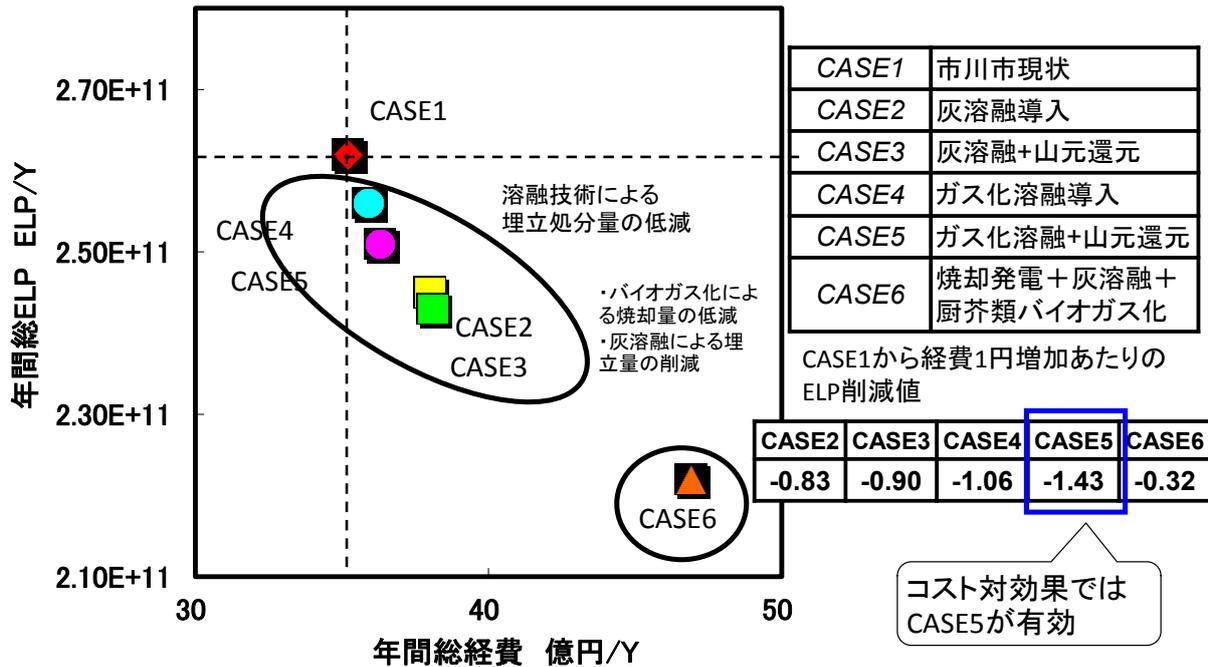
※5 NEDO 廃棄物発電導入マニュアル³⁻²⁵⁾を基に、作業員人数を焼却発電20人、灰溶融15人、ガス化溶融30人と独自に設定して算出。

※6 建設費の3%として算出。

※7 溶融飛灰資源化研究会報告書³⁻²⁶⁾より設定。

※8 市川市実績の委託費(運搬費込み)より算出。

※9 厨芥類バイオガス化事業者における事業系一般廃棄物、産業廃棄物のヒアリング値。



※ BASソフトのデータベースを基に算出を行う推定値型ケーススタディにおける評価結果。

図3.31 各CASEの経費とELPの関係

以上の評価結果について、各CASEにおける効果についてELP、コストのみならず資源化量、エネルギー回収量、CO2排出量、最終処分量といった個別指標について相対比較したものを表3.9に示す。

表3.9 各シナリオの相対評価

CASE	シナリオ	ELP	コスト	最終 処分量	資源化 量	エネルギー 回収量	CO2 排出量
1	焼却発電+最終処分(現状)	100	100	100	100	100	100
2	焼却発電+灰溶融+埋立	93	108	32	121	100	102
3	焼却発電+灰溶融+山元還元	92	108	26	121	100	102
4	ガス化溶融+埋立	98	102	40	118	95	103
5	ガス化溶融+山元還元	96	103	27	118	95	104
6	焼却発電+バイオガス化+灰溶融+山元還元	90	131	30	121	126	101

資源回収量としては、直接資源化や破碎処理施設から回収された鉄等の資源回収に加え、溶融スラグやメタルもその回収対象物として示している。そのため、資源回収量増加の大部分はスラグによるものである。また、CO2の算定方法については、ELPの算出工程で出力されるCO2量となっているため、環境省の定める算定方法とは一部異なっている。今後、環境省の算定方法への対応をしていく。

また、この結果より最終処分量については CASE2~5 で大幅な減少が見られるが、一方で CO2 排出量は増加してしまっているといったトレードオフの関係が見て取れる。よって、埋立地の問題、CO2 対策のどちらを優先にするかによって取るべきシナリオは異なってくるのがわかる。しかし、当ソフトウェアの特徴の一つである統合化指標 ELP を用いれば、トレードオフにあるこれらの要素を統合的に評価することが可能となっている。今回の ELP 評価（化学系学会一般会員での重み付けによる）では、CASE2~4 については総合的には現状よりも有効であるといった結果となった。

しかし一方で、各シナリオでコストは増加してしまっていることがわかる。よって、これらの経済的な負担を軽減させながら、熔融技術やバイオガス化技術を導入していくためには、広域連携によるスケールメリットが必要となってくるといえる。

3. 2. 3 3市の合同処理における連携システムの評価

市川市と広域連携を行なう市町村として、船橋市と松戸市を挙げた。市川市、船橋市は最終処分場を保有しておらず、松戸市も最終処分場を保有しているものの、残余年数がわずかで埋立物については現在ほとんど域外に処理委託しているため、この3市の抱える共通の問題点として、最終処分が挙げられる。

そこで、最終処分量を削減させることが共通の課題となっており、その方策としては焼却量の削減と焼却灰の資源化または減容化が挙げられる。焼却量の削減としては紙類の資源回収率の向上と厨芥類の分別処理が挙げられる。焼却灰の資源化・減容化については、熔融技術の導入、焼却灰の資源化が挙げられる。

厨芥類の分別処理については、スーパーエコタウンにあるバイオエナジーへ民間処理委託するといった方法と、厨芥処理施設を新設する方法が考えられる。熔融技術の導入としては、現在の焼却施設をガス化熔融炉に転換させることと、灰熔融炉を新設する方法が挙げられる。しかし、ガス化熔融炉の転換については、現在の施設の更新年度などの時期的な制限があってしまう。焼却灰の資源化については、千葉県市原市のエコセメント化への処理委託が考えられる。しかし、実情としてはエコセメントへの処分委託はコストが高すぎるため、市川市は既にエコセメントへの委託を行っていない。

そこで、現実的な方策としては、3市合同で厨芥処理施設や灰熔融施設を新設することが有効であると考えられる。さらに、厨芥類の分別に伴う焼却処理量の低下に対し、焼却処理施設を減らし稼働率を向上させれば、コストメリットも期待することができると考えられる。

そこで、先に行った3市全体の評価結果を踏まえ、3市の広域連携の検討として、灰熔融の合同処理におけるケーススタディを行った。CASE1を現状とし、CASE2では各焼却施設が灰熔融設備を併設した場合、CASE3では3市合同で一つの大規模な灰熔融設備を設置した場合とした。CASE3の設置箇所については市川市 CC に併設した場合とした（表 3.10~11）。

また、評価範囲は焼却処理から最終処分のみならず、先に行った収集回収や

破碎処理等の中間処理も含み、さらに合同処理を行なうにあたって生じる施設間の焼却灰輸送工程も含んでいる。

表3.10 各 CASE のシナリオ

CASE	シナリオ
1	焼却処理+埋立(現状ケース)
2	焼却発電+施設ごとの灰溶融+埋立
3	焼却発電+3市合同での灰溶融+埋立

表3.11 市川市 CC までの距離

施設略称	距離 km
船橋①	16.8
船橋②	2.8
松戸①	8.5
松戸②	10.1

ケーススタディを行う際、焼却処理、灰溶融における施設のインベントリデータは BAS ソフトのデフォルト算出値を使用し、その他の工程は実測ベースでの値を用いた。さらに、経費については、表 3.12 における処理コストから算出した。

表3.12 各施設へ併設させた場合の灰溶融の処理コスト

項目	市川	船橋①	船橋②	松戸①	松戸②	3市合同
処理量 t/y	10,092	8,690	7,641	3,749	6,523	36,695
建設費 ^{※1} 千円/y	171,008	156,332	144,717	94,406	131,609	371,018
人件費 ^{※2} 千円/y	105,000	105,000	105,000	105,000	105,000	245,000
用役費 千円/y	132,536	114,127	100,348	49,239	85,662	481,911
修繕・補修費 ^{※3} 千円/y	102,605	93,799	86,830	56,644	78,9664	222,611
合計 千円/y	511,148	469,258	436,895	305,289	401,237	1,320,541

※1 建設費は、耐用年数 20 年とし、三重県環境保全事業団の溶融炉(240t/d)の 109.4 億円から規模比率の 0.6 乗より算出。

※2 NEDO 廃棄物発電導入マニュアル³⁻²⁵⁾を基に、作業員人数を焼却施設併設の灰溶融炉は 15 人、単独の灰溶融炉は三重県環境保全事業団廃棄物処理センターより 35 人として算出。

※3 建設費の 3%として算出。

各 CASE の年間総 ELP と総経費の 3 市の合算値を図 3.32、33 に示す。CASE1 と 2 の比較より、溶融技術の導入によって埋立による負荷が削減され、総合的に ELP が削減されていることがわかる。しかし一方で、経費については埋立処分費が削減されるが灰溶融における処理費がそれ以上に増加してしまっている

ため、先の市川市単独での CASE スタディと同様に総合的にコストは増加してしまっている。

CASE2 と 3 の比較については、データベースの都合上（一つの規模におけるインベントリデータしか保持していないため）処理におけるインベントリデータのスケールメリットが反映できず、ELP の変化見られない。また、CASE3 には施設間輸送工程の負荷も含まれているが、その値は微小なため、ほとんど影響がない。一方で経費についてはスケールメリットが反映され（主に建設費、人件費による）、CASE3 は CASE2 より経費が低減されていることがわかる。

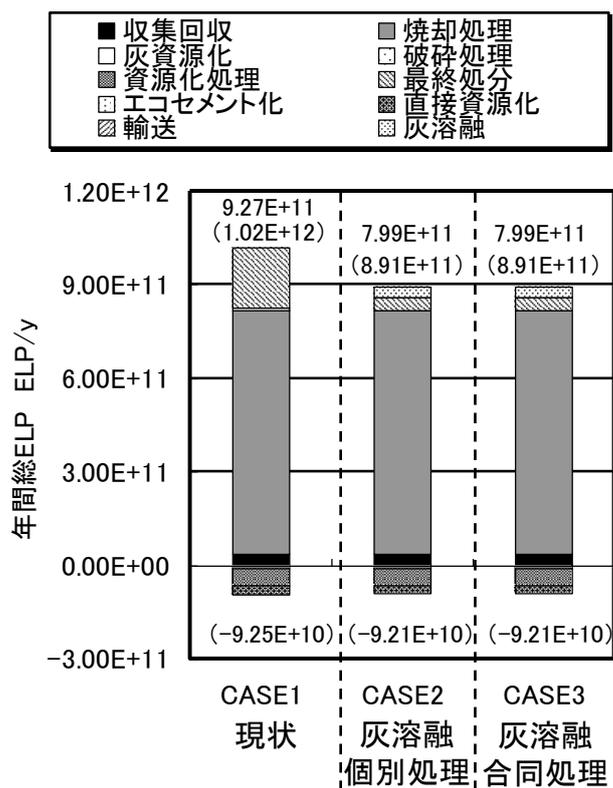


図3.32 各 CASE における 3 市の総 ELP

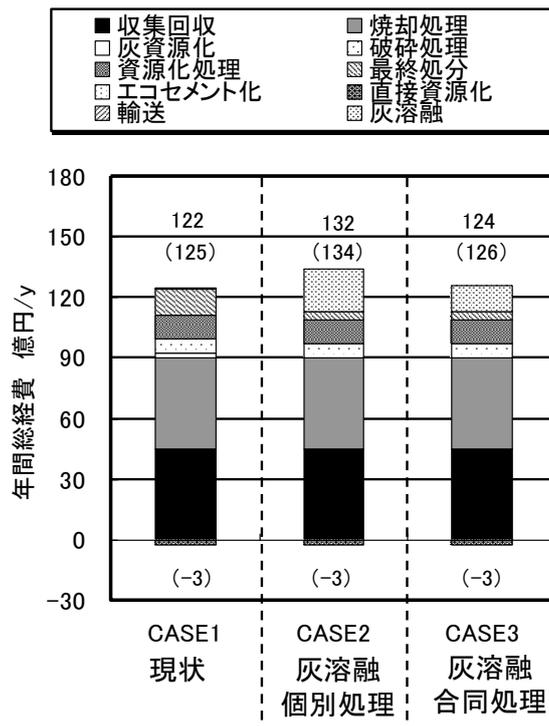


図3.33 各CASEにおける3市の総経費

先のELPと経費を、縦軸と横軸にとった各CASEのELPと経費の関係を図3.34に示す。これよりCASE1に対し、CASE2の個別での溶融技術の導入によりELPは-14%削減され、一方で経費は+7.5%増加するといった結果となった。さらにCASE3の3市合同での溶融技術の導入によりコストをCASE2より6.1%削減できることが可能となり、CASE1と約1%程度の経費負担の増加で溶融技術を導入することが可能になるという結果となった。

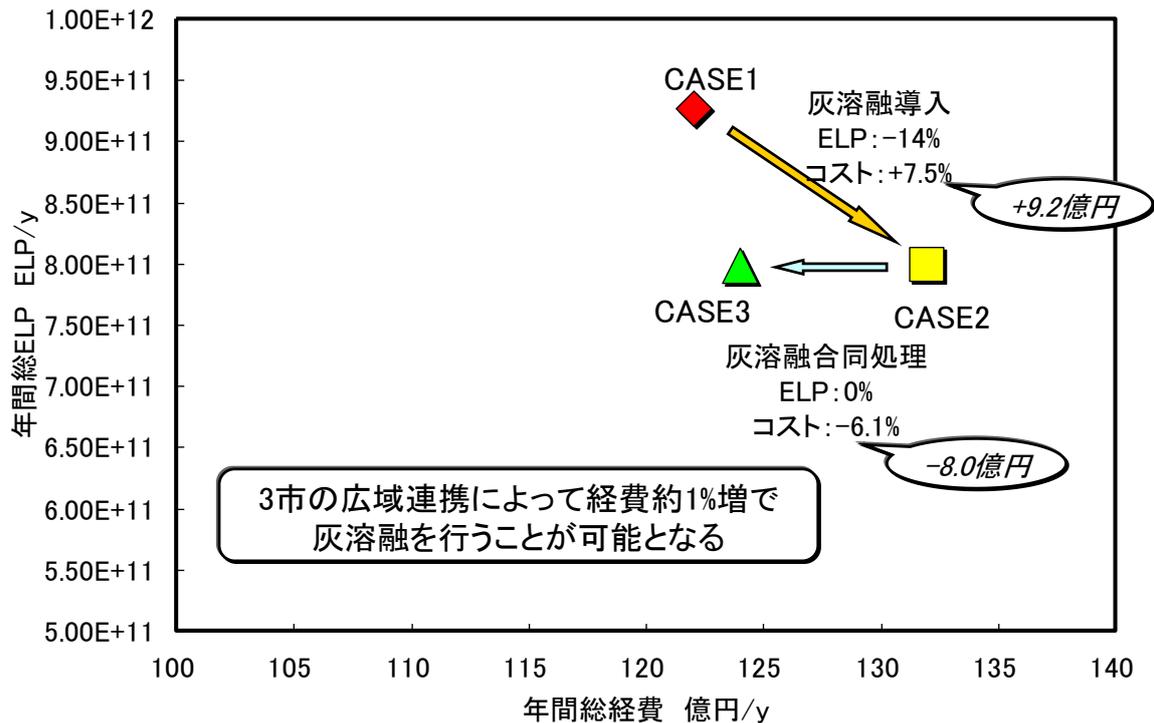


図3.34 各CASEのELPとコストの関係

よって、今後の埋立処分地の逼迫に伴い、灰溶融ならびにガス化溶融といった、現状よりも処理コストの増大が避けられない処理技術を導入する場合には、いくつかの市町村が合同で処理施設を共有するといった連携システムを取る事によって経費を少しでも縮減させる必要があると言える。

3.3 BAS評価ソフトによる三重県の広域灰溶融処理の有効性の検証

3.3.1 三重県環境保全事業団の事業概要

三重県環境保全事業団による灰溶融の広域処理事業の概要³⁻²⁷⁾を示す。灰溶融の処理方式は表3.13に示す通り外熱式熱分解キルン+回転式表面溶融炉で規模は240t/dとなっている。処理対象となるのは主に一般廃棄物焼却灰であり、その他に産業廃棄物系の可燃物も受け入れている。また受入先については14市町村、4組合、1広域連合に加え、125社の企業からの産廃を受け入れている。平成18年度の受入実績を表3.14に示す。

当事業の役割としては、三重県内の一般廃棄物焼却施設から排出される焼却残渣の無害・安定化及び減容・資源化、燃えがら、汚泥等の産業廃棄物の無害・安定化及び減容・資源化、廃プラスチック類等のサーマルリサイクルである³⁻²⁸⁾。

表3.13 廃棄物処理センターの概要

処理方式	外熱式熱分解キルン+回転式表面溶融炉
処理規模	240t/d (80t/d×3 炉)
処理対象物	一般廃棄物焼却残渣 [171t/d]、 産業廃棄物 (汚泥、紙くず、木くず、繊維くず、厨芥残渣、ゴムくず、廃プラスチック類、燃え殻、ばいじん等) [69t/d]

表3.14 平成18年度の受入状況³⁻²⁹⁾

区分	分類	計
市町村 廃棄物	一般廃棄物 (焼却残渣)	44,088
	産業廃棄物 (下水汚泥)	2,444
	小 計	46,533
産業 廃棄物	燃え殻	3,003
	汚泥	1,849
	廃プラスチック類	3,423
	紙くず	1
	木くず	6
	動植物性残渣	0
	ばいじん	1,216
	小 計	9,498
合 計		56,031

3.3.2 灰溶融炉処理の ELP 評価

当事業の有効性を示すために、まず現状の灰溶融処理における処理工程の ELP 評価を行う。当処理施設の処理フローと、アンケート調査によって得られた平成18度のインベントリデータを図3.35に示す。焼却灰は磁選別後に溶融炉に投入される一方で、汚泥類、廃プラ類はまず熱分解し、その後溶融炉へ投入される。発生した溶融スラグは一度ストックヤードに保管され、ほぼ全量250円/tで売却されている。また、溶融飛灰も全量山元還元されており、ゼロエミッションが構築されている。

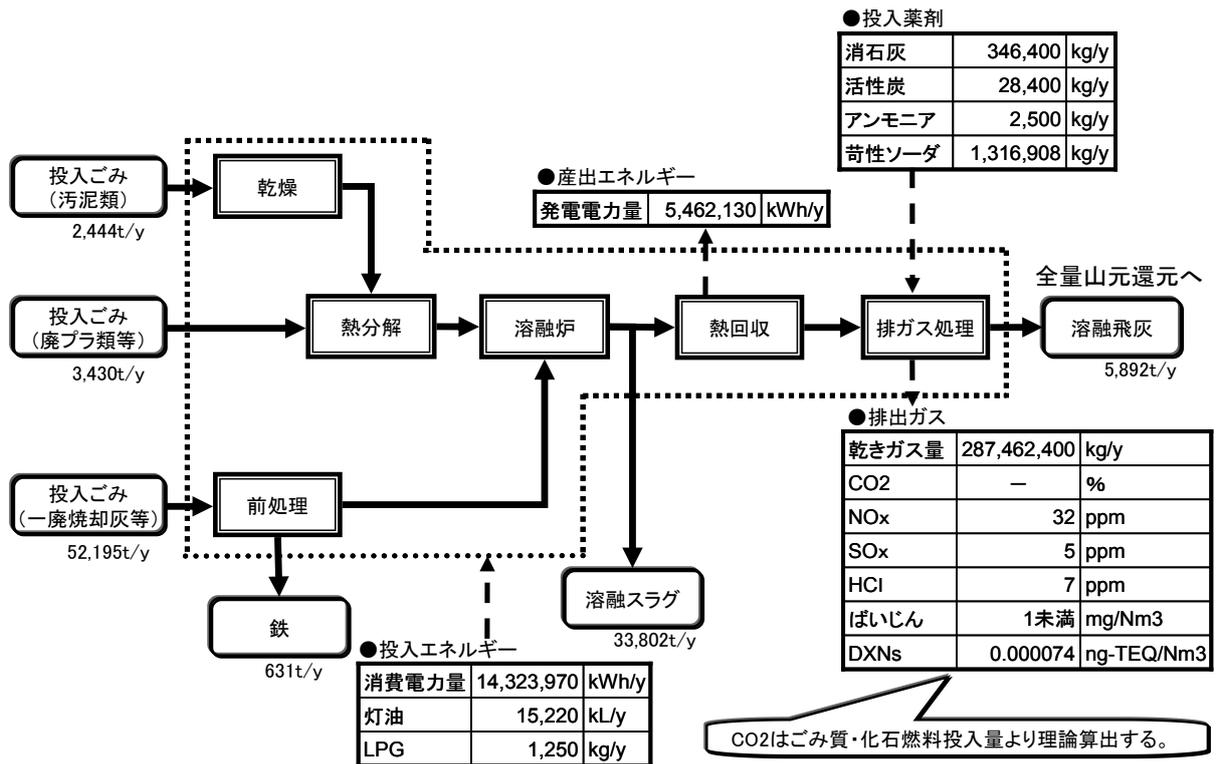


図3.35 廃棄物処理センターの処理フローとインベントリデータ

上記インベントリデータに基づき算出した溶融処理の ELP 評価結果を図 3.36 に示す。これより、灯油の消費による影響と、CO₂ 排出による影響が大きな割合を占めていることがわかる。さらに、CO₂ の排出源も表 3.15 に示すように、灯油の燃焼より発生する量が大きな割合を占めているため、半分以上が灯油の使用に寄与していることがわかる。

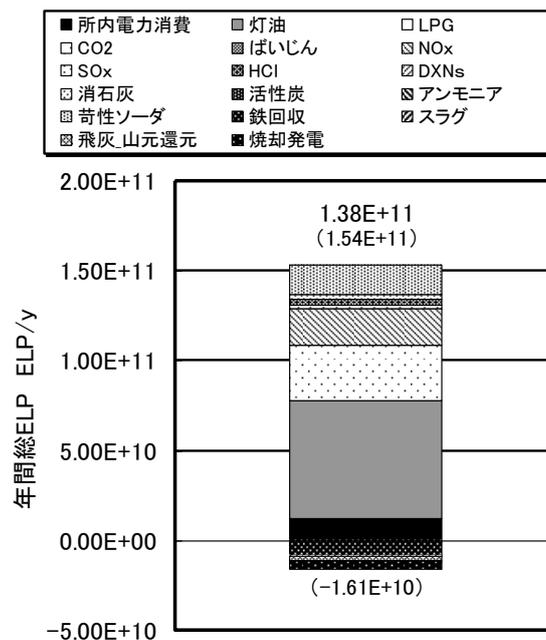


図3.36 溶融処理の ELP 評価結果

表3.15 CO₂排出量の由来内訳

項目		単位	数値
廃棄物由来		kg-CO ₂ /y	1.09E+07
化石燃料由来	灯油	kg-CO ₂ /y	3.79E+07
	LPG	kg-CO ₂ /y	3.75E+03

次に、当事業では溶融スラグ・飛灰を全量リサイクルしているため、その効果を示すため、図3.37の4つのCASEで比較した。CASE2、3のような溶融をしてもスラグを有効利用できずに埋め立ててしまっている場合、埋立物の容積は減少させることができても重量自体は変化しないために（埋立処分のELPは重量に重み付けを乗じて算出。）、溶融施設で発生する負荷が加算され、総合的には大幅に負荷が大きくなってしまいうことがわかる。しかしながら、スラグを当事業のように全量有効利用できていれば、全量埋立と比較し、28.1%のELPが低減されることがわかる。

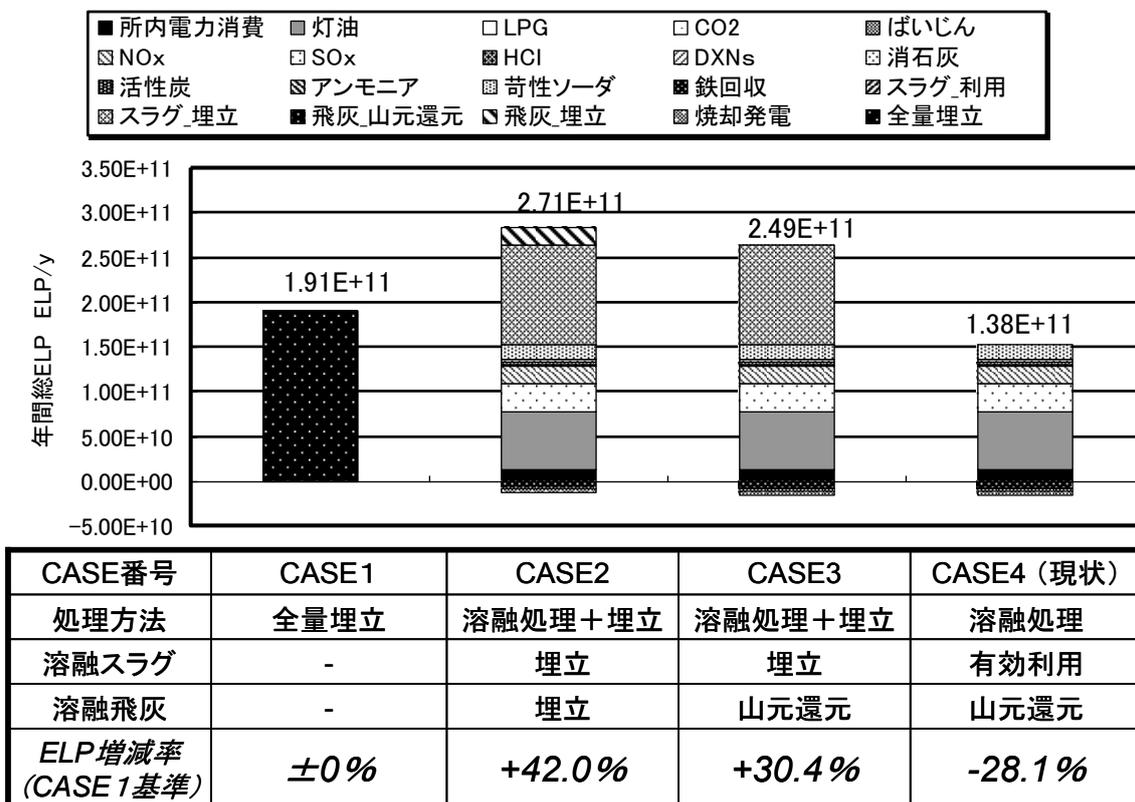


図3.37 灰溶融処理によるELPの低減効果

3.3.3 灰溶融処理の経費の実態調査

H18年度の三重県環境保全事業団の廃棄物処理センターにおける処理経費を表3.16に示し、図示したものを図3.38に示す。受入単価は一般廃棄物焼却灰と汚泥が28円/kg、産廃が30円/kgであった。しかし、原油価格の高騰に伴い、次年度からは焼却灰の受入単価を35円/kgに値上げすることである。前処

理で選別される鉄は、逆有償で再資源化処理委託を行っており、スラグは 250 円/t で売却している。また、発生した溶融飛灰は運搬費込みで約 48 円/kg で山元還元されている。

修繕費については、稼動 4 年目で初めての耐火物の補修を行ったため、例年よりも多くなっている。灰溶融の処理コスト（建設費・修繕費・人件費・用役費）を算出すると、42 円/kg といった結果となった。

表3. 16 廃棄物処理センターの処理経費

項目		単位	数値
建設費		円/y	643,529,412
修繕費		円/y	667,825,000
人件費		円/y	220,500,000
用役費	買電	円/y	167,228,071
	灯油	円/y	678,952,000
	消石灰	円/y	12,077,559
	活性炭	円/y	10,522,380
	アンモニア	円/y	450,000
	苛性ソーダ	円/y	37,531,905
受入収入	一廃焼却灰受入	円/y	-1,234,472,400
	汚泥受入	円/y	-68,440,400
	産廃受入	円/y	-284,946,000
資源売却	鉄売却	円/y	8,600,729
	スラグ売却	円/y	-7,800,000
飛灰処理委託費		円/y	280,856,156

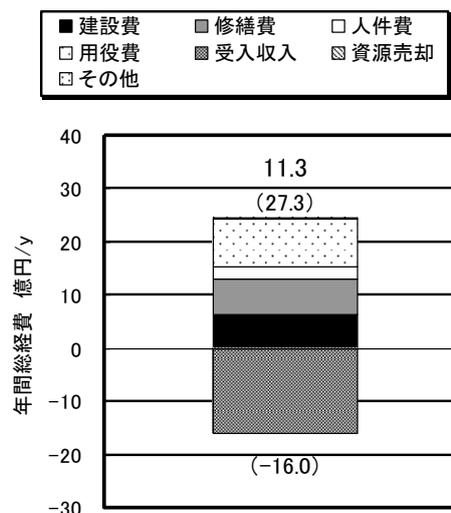


図3. 38 廃棄物処理センターにおける灰溶融処理事業の年間総経費

3.3.4 広域灰溶融処理の有効性の検証

(1) 評価シナリオのケース設定

当事業の有効性を検証するため、図3.39に示すケーススタディを行った。各CASEのシナリオについて示す。CASE0は当事業の現状のシステムで、三重県内の各自治体で発生した焼却灰を当処理センターに集約し広域処理する場合、CASE1は各自治体が焼却灰を全量埋め立て処分する場合、CASE2は連続式の比較的規模の大きい焼却処理施設のみが灰溶融設備を導入し、小規模な施設は埋め立て処分する場合として、各CASEについて、環境負荷 ELP とコストを試算し、比較を行うこととした。

ケーススタディの前提条件を示す。評価範囲は各自治体から焼却灰が輸送、もしくは自区域内で灰溶融する工程から広域灰溶融、埋立、エコセメント処理の工程までとする。また、灰溶融から発生するスラグは全量有効活用、飛灰は山元還元されるものとする。その他、補足事項を以下に示す。

- ・ 処理対象物は一般廃棄物焼却残渣のみとする。
- ・ CASE1、2の埋立処分地の場所は、三重県廃棄物処理センターと同じ位置に配置されていると仮定して輸送工程を評価する。
- ・ CASE2の焼却施設に灰溶融炉を設置するのは全連続式の中～大規模な焼却施設のみとし、その他の小規模な施設は埋立処分委託とする。
- ・ CASE2で設置する灰溶融炉のインプット・アウトプットデータは、三重県廃棄物処理センターのデータから処理量比で算出を行ったため、電力や燃料の投入量のスケールメリットは表れない。
- ・ 灰溶融炉から発生するスラグ・飛灰はそれぞれ有効利用・山元還元するものとし、その工程の負荷も灰溶融工程に含めることとする。

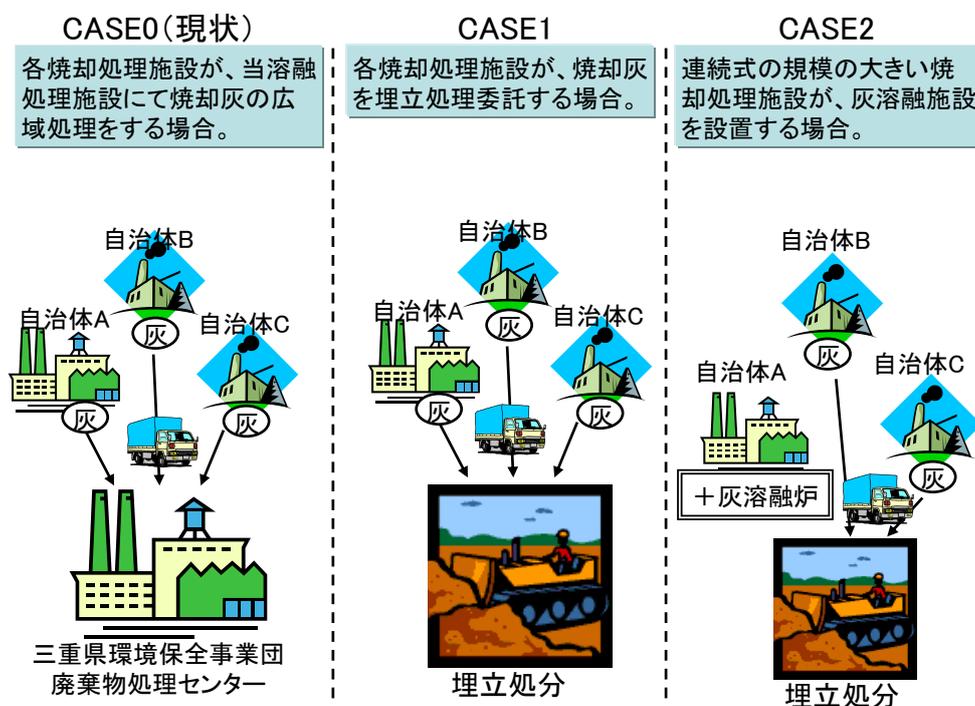


図3.39 各CASEのシナリオ

次に、一般廃棄物焼却残渣の受入状況を表3.17示す。ここに示すとおり、多くの施設より焼却灰を集約しているため、広域連携による有効性は大きなものと思われる。一部の施設は規模が大きく（100t/d以上）、連続式であるため、灰溶融炉を併設させることができるが、それ以外の施設は、小規模のバッチ式であるため灰溶融炉を設置することは現実的ではない。各施設からの輸送距離はyahoo地図情報より調査した。輸送回数は10tトラックで輸送するとして算出した。これより、年間での輸送距離は25.9万kmとなった。

表3.17 平成18年度の一般廃棄物焼却残渣の受入・運搬状況

番号	搬入元(市町村及び施設名)	施設規模 t/d	H18年受入量 t/y	輸送距離 ^{※1} km	運搬回数 ^{※2} 回/y	総輸送距離 km/y
一般廃棄物焼却	1 いなべ市あじさいクリーンセンター	40	1,182	23	118	5,368
	2 菰野町清掃センター	40	1,242	9	124	2,161
	3 四日市市楠衛生センター	15	375	15	37	1,110
	4 四日市市北部清掃工場	450	11,095	12	1,110	25,740
	5 鈴鹿市清掃センター	270	7,632	16	763	24,117
	6 津市西部クリーンセンター	240	7,868	31	787	49,096
	7 津市河芸美化センター	10	727	20	73	2,864
	8 津市おおたかクリーンセンター	130	4,248	33	425	28,207
	9 多気町美化センター	15	395	53	40	4,211
	10 伊勢広域環境組合処理施設	240	6,631	52	663	69,360
	11 志摩市大王清掃センター	20	238	86	24	4,094
	12 尾鷲市クリンクルセンター	45	808	109	81	17,550
	13 紀北町海山リサイクル(RDF焼却灰)	20	71	98	7	1,396
	14 熊野市クリーンセンター	30	781	132	78	20,572
し尿系残渣焼却	15 鈴鹿市(し尿し渣等焼却灰)	270	65	16	7	205
	16 朝明広域(し尿し渣等焼却灰)	300	439	11	44	922
	17 津市安芸津衛生(し尿し渣等焼却灰)	157	175	28	18	966
	18 紀北クリーン(し尿し渣等焼却灰)	28	34	98	3	668
	19 桑名員弁広域連合(し尿し渣等焼却灰)	164	20	22	2	88
	20 奥伊勢(し尿し渣等焼却灰)	20	62	69	6	858
小計		-	44,088	-	-	259,553

※1 搬入元と処理センターまでの距離(yahoo地図情報調べ)。

※2 10tトラックで運搬することとし、年間受入量を10tで除した算出値。

(2) 各ケースの ELP 評価

各 CASE における ELP 算出結果の比較を図 3.40 に示す。これより、CASE0 に対し全量埋め立てた場合の CASE1 は 70.8%、CASE2 の大規模な施設にのみ個別で灰溶融炉を設置した場合は 9.8%増加するといった結果となった。よって、CASE0 と 2 の比較より見られる広域化による環境負荷の削減効果は、小規模の市町村でも灰溶融を行うことが可能となるといった処理方法の選択肢拡大であると言える。

また、CASE2 における個別灰溶融による輸送距離の短縮は、輸送における影響自体が全体での占める割合が微小であるため、ほとんど効果が表れない。よ

って、遠い箇所からでも広域に集約させることは環境負荷の面では効果的であると言える。

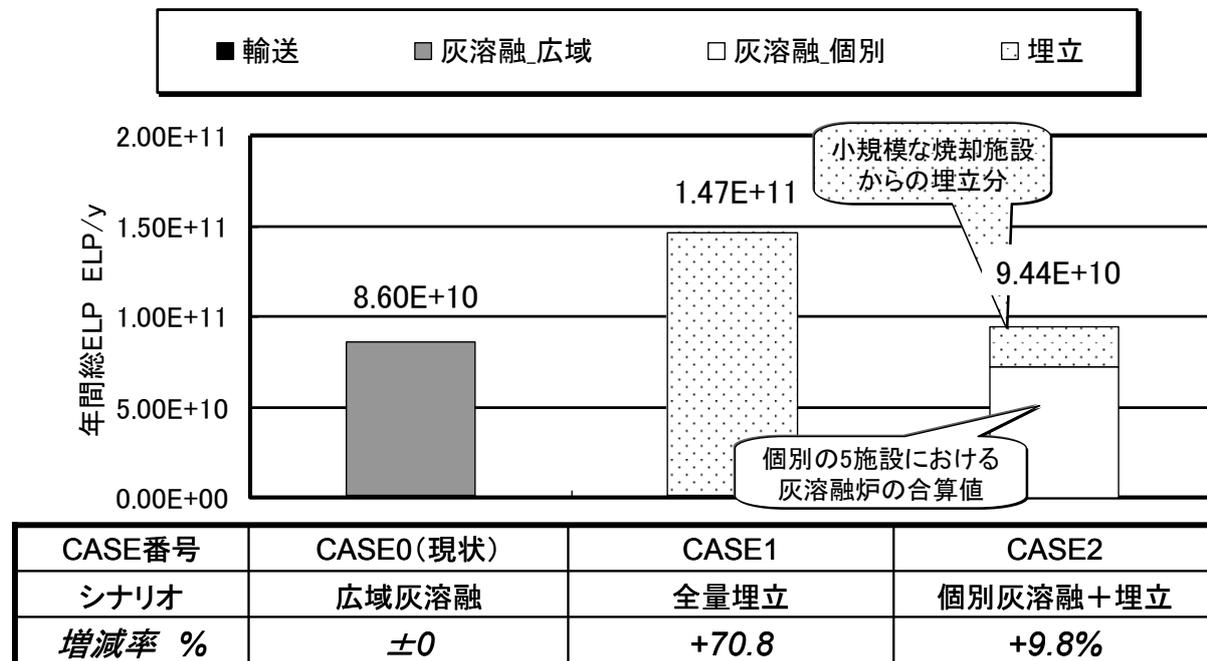


図3.40 各CASEのELPの比較

(3) 各ケースのコスト評価

次に、各CASEの処理経費を試算するために用いた灰溶融の処理コストを表3.18に示す。環境保全事業団の廃棄物処理センターのコストはH18年度の処理総量（産廃も含む）から一般廃棄物焼却灰処理量で按分したものとした。各施設の建設費・修繕費は、環境保全事業団の廃棄物処理センターの規模を基準に0.6乗則を用いて算出した。人件費は、焼却施設への併設の場合は1施設あたり作業員15人として算出した。

これより、処理コストは各施設に個別に併設すると、施設によっては現状の倍以上となっていることがわかる。

表3.18 各設置状況における灰溶融の処理コスト

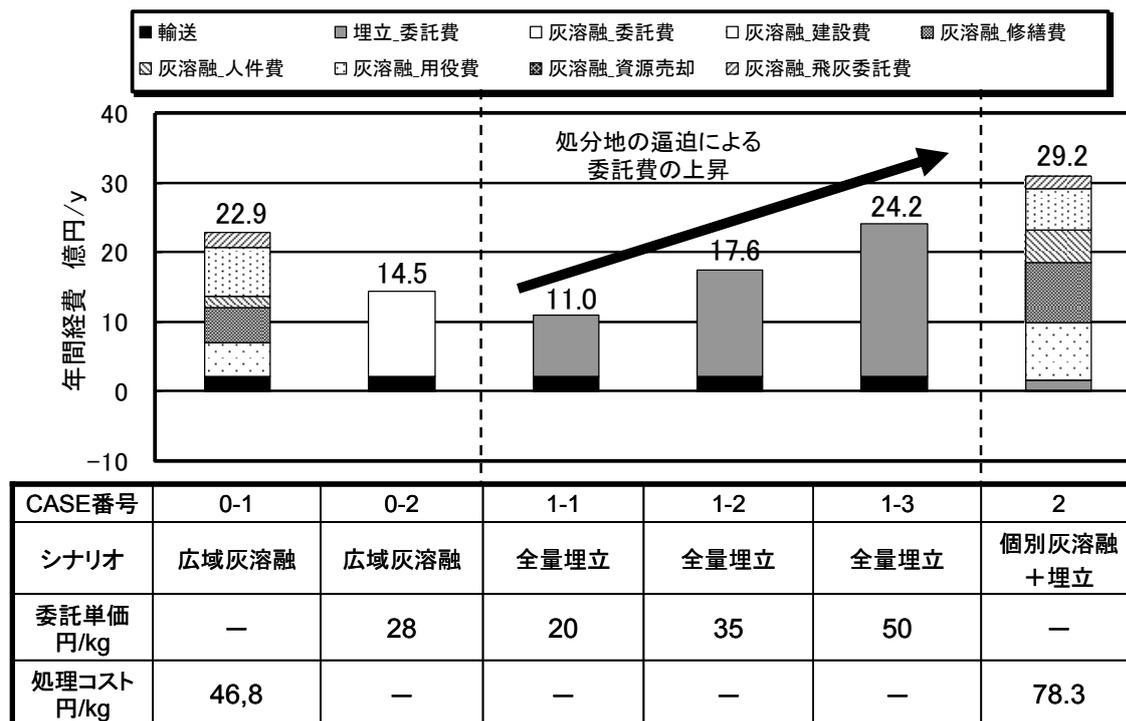
項目	単位	環保団 処理センター ^{※1}	四日市市 北部清掃工場	鈴鹿市清掃 センター	津市西部 クリーンセンター	津市おたか クリーンセンター	伊勢広域
処理量	t/y	44,088	11,095	7,632	7,868	4,248	6,631
建設費 ^{※2}	円/y	488,592,920	212,955,239	170,135,508	173,272,865	119,707,855	156,372,133
修繕費 ^{※2}	円/y	507,039,089	220,995,078	176,558,745	179,814,549	124,227,264	162,275,753
人件費 ^{※3}	円/y	167,412,300	94,500,000	94,500,000	94,500,000	94,500,000	94,500,000
買電	円/y	126,966,150	31,951,620	21,978,798	22,658,436	12,233,482	19,096,097
灯油	円/y	515,487,147	129,724,731	89,234,714	91,994,068	49,668,378	77,530,842
消石灰	円/y	9,169,759	2,307,612	1,587,355	1,636,439	883,528	1,379,160
活性炭	円/y	7,989,006	2,010,470	1,382,957	1,425,722	769,759	1,201,571
アンモニア	円/y	341,658	85,980	59,144	60,972	32,920	51,386
苛性ソーダ	円/y	28,495,703	7,171,076	4,932,821	5,085,356	2,745,627	4,285,841
鉄売却	円/y	6,530,013	1,567,315	1,078,121	1,111,459	600,086	936,716
スラグ売却	円/y	-5,922,068	-1,614,604	-1,110,650	-1,144,994	-618,192	-964,979
飛灰処理委託	円/y	213,237,075	53,662,099	36,912,946	38,054,384	20,545,885	32,071,508
合計	円/y	2,065,338,751	755,316,617	597,250,459	608,469,256	425,296,593	548,736,029
処理コスト	円/t	46,846	68,077	78,256	77,335	100,117	82,753

※1 環境保全事業団の廃棄物処理センターのコストはH18年度の処理総量(産廃も含む)から一般廃棄物焼却灰処理量で按分したもの。

※2 各施設の建設費・修繕費は、環境保全事業団の廃棄物処理センターの規模を基準に0.6乗則を用いて算出。

※3 人件費は、焼却施設への併設の場合は1施設あたり作業員15人として算出。

先の灰溶融の処理コストと、図3.41に示す埋立への委託単価を用いて算出した各CASEの経費の比較を示す。CASE0は、実際に負担されている処理コストと、排出者側からの委託単価の2通り、埋立については、委託単価を20、35、50円/kgの3通りで示した。これより排出者側からの負担経費で比較すると、CASE0は比較的良い結果となるが、実際にかかっている処理コストで見ると、かなり多くの経費がかかっていることがわかる。今後、埋立処分地が逼迫し、埋立の委託費も上昇していくことが予想されるが、現状ではしばらくは埋立のほうが経済的には良いと思われる。また、CASE2の個別での溶融炉の設置ではCASE0と比べ、建設費・修繕費・人件費において経費が大きく増加してしまうことがわかる。よって、広域化による経費削減の効果は、建設費や人件費のスケールメリットによる処理コストの縮減であると言える。



※ 運搬にかかる委託コストは一律5,000円/tとして算出。

図3.41 各CASEの年間経費の比較

(4) 各ケースのELPとコストの関係

最後に、各CASEのELPと経費の関係を図3.42に示す。

溶融処理を行なうCASE0と2は全量埋立と比較して、ELPは大幅に削減できているが経費も増大していることがわかる。今後、処分地の委託単価が50/kgまで上昇しても、個別での溶融炉の設置のほうが経費が大きいことがわかる。しかし、当事業のように広域化を行うことによって小規模の自治体も溶融処理を実現することができ、さらに溶融施設の規模の増大によるスケールメリットによって、ELPで9.8%、コストで27.7%の削減効果があることがわかった。

これより、複数の市町村が大規模な一つの処理施設を共有するといったスケールメリットを狙った広域連携システムは、環境負荷と経費において大きな効果があることがわかった。

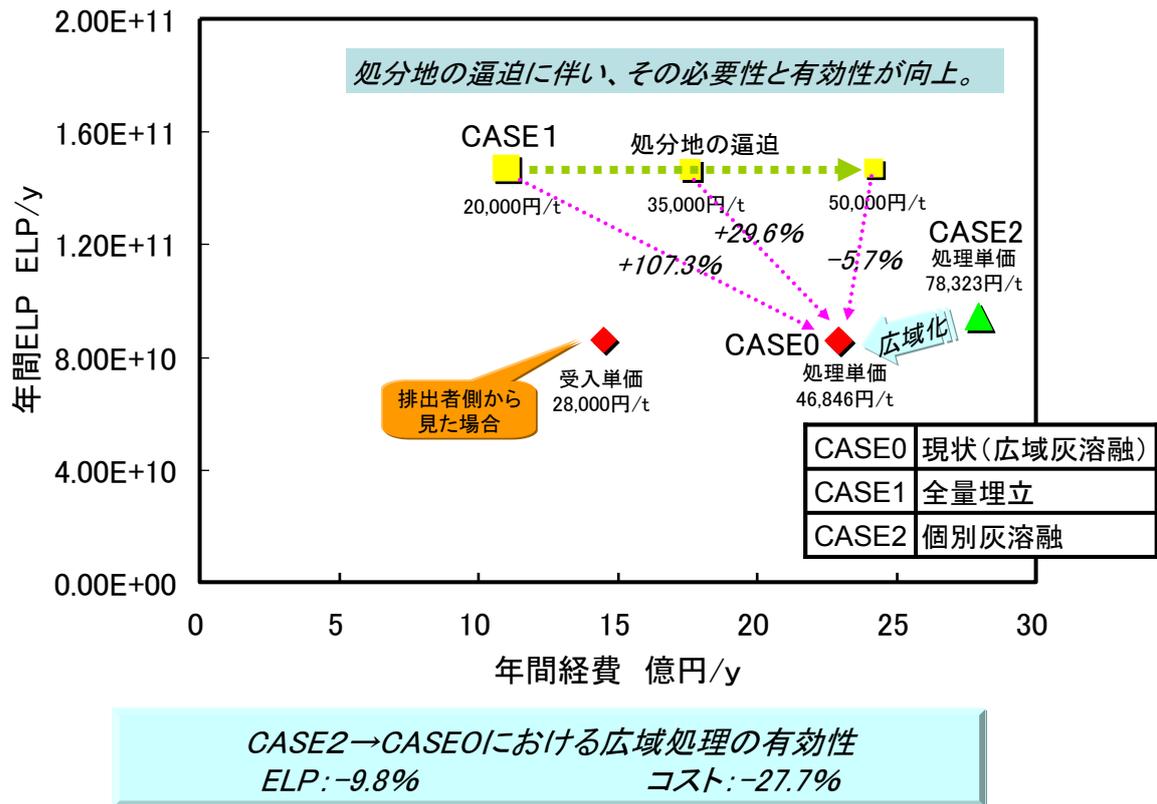


図3.42 各CASEのELPと経費の関係

3.4 BAS評価ソフトの有効性の検証

以上より、千葉県と三重県をモデルにBAS評価ソフトの実績値とデフォルト値による評価を適用することで、自治体等における一般廃棄物処理システムの環境負荷・経済性の現状把握、処理方式の変更によるケーススタディなどが実施可能であることを示した(図3.43)。

また、当ソフトの特徴の一つである統合化指標ELPを使用することでトレードオフの解消の有効性を改めて確認した。そのほか、市川市の現状における新技術の導入の検討に関しては、溶融技術やバイオ化技術等を導入するとコストが増加してしまうのに対応し、広域連携によるスケールメリットを図る必要がある、3市の合同処理における連携システムの評価を行い、自治体が計画段階においてもデフォルト値を用いた推定評価の有効性を確認した。

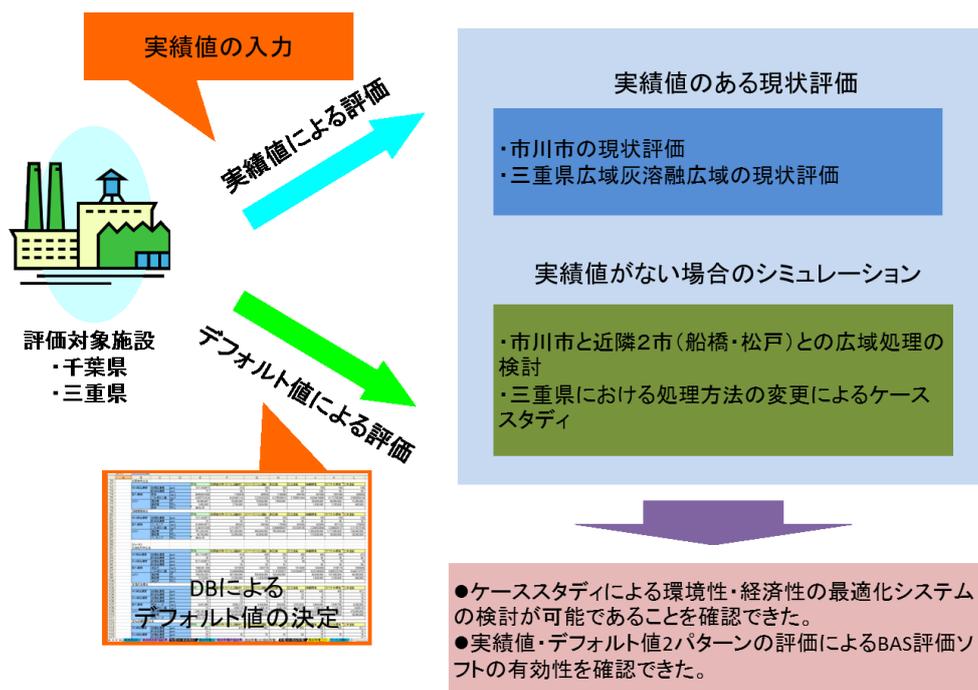


図3.43 BAS 評価ソフトの検証

3.5 まとめ

第2章で開発したBAS評価ソフトを用いて、千葉県3市と三重県をモデルとして一般廃棄物処理システムの現状評価と最適化処理方式・シナリオの検討を行うとともに、BAS評価ソフトのデータベースによるデフォルト値による評価の有効性を検証した。研究の途中で得られた知見を以下に示す。

- ・千葉県市川市とその近隣の船橋市、松戸市をモデルとして、処理現状のごみ収集・回収、中間処理、資源化、最終処分の各工程及び処理システム全体のLCA評価を実施し、各市の評価結果を比較しながら考察した結果、環境負荷を低減させるには、ごみの排出量を低減させることが最も効果的であることが確認できた。
- ・また、ELPの工程内訳で見ると、各市ともに焼却処理工程における割合が最も大きいことがわかる。次いで最終処分工程となっている。よって、ごみ排出量の低減の次に重要となってくるのは、焼却量を削減するために、紙類、プラスチック類の分別を推進することや、厨芥類を分別処理することと、焼却灰を溶融処理し、溶融スラグの有効利用を行うことであると言える。
- ・市川市を対象にBAS評価を実施し、中間処理方法の変更によるケーススタディを行い、現状と比較した場合の環境負荷、コストの変化を定量的に示した。
- ・その結果、ガス化溶融プラス山元還元の場合が費用対効果の面で一番有効であることがわかった。また、資源回収量としては溶融スラグの割合が回収量増大の要因となっていることがわかった。

- ・ また、灰溶融、ガス化溶融およびバイオガス化施設等の新技術の導入シミュレーションにより、環境負荷の削減効果が得られることがわかったが、いずれもコスト増の結果となっている。
- ・ 費用削減の検討として広域灰溶融のシミュレーションを行った結果、広域することによって約6%の費用削減効果が得られた。
- ・ 広域灰溶融処理の先進事例として、三重県環境保全事業団での処理を対象に実績データにもとづいた評価を行い、広域灰溶融の有効性の検証を行った。
- ・ 三重県環境保全事業団における灰溶融施設のインベントリと経費のデータを入手し、ELP評価と処理コストを算出した。
- ・ ケーススタディを通して、現状の広域灰溶融を実施する場合と、個別に灰溶融炉を導入する場合のシミュレーションとの比較を行い、広域連携によってELPで9.8%、経費で27.7%の削減効果が得られることがわかった。現行の広域灰溶融処理の有効性を検証できた。
- ・ 以上の検討の結果、実績値・デフォルト値の2パターンの評価によるBAS評価ソフトの有効性を確認できた。

平成13年5月に、環境省から「廃棄物の減量その他その適正処理に関する施策の統合的かつ計画的な推進を図るための基本的な指針」³⁻³¹⁾が発表され、焼却処理を中心とした広域化処理を推進し、最適な処理シナリオの選択が必要であると呼びかけている。こうしたなかで、自治体が広域化処理に踏み切るまえの段階でその適正化・正当化を的確に判断していかなければならない。

以上のようにBAS評価手法を用いた検討を通して、自治体が新技術の導入、統合・廃止、あるいは広域化計画等の策定、適正な広域化圏域の決定を行うときの科学的論拠として提示することが可能である。また、地方自治体における財政的な負担軽減の検討としても重要な意味を持っている。

科学技術の進歩や人間社会の発展に伴い、人々の存在する地域環境や環境に対する意識が変化していくものであり、ときには資源枯渇、ときには地球温暖化のように環境カテゴリーに対する重要度の認識が変わってくる。したがって、CO₂や最終処分量といった単一指標のみでの評価ではなく、生態系への影響や水質汚染等の他指標との統合的な視点からの評価が重要である。これもBAS評価手法の特長の一つである。

また、新技術に関するデータベースの拡充によるBAS評価ソフトの拡張機能が備えている点も一つの特長であり、今後自治体での試用から普及に向けての可能性が期待される。なお、廃棄物処理問題においては、住民・地域関係者の合意形成³⁻³²⁾が必要であり、上述のような評価結果をステークホルダーへの説明材料やサステナブルレポートとしての活用や情報開示³⁻³³⁾も重要であると考えられる。

第4章

希少性・有害性廃棄物の国内レベルでの
広域的な資源循環システムの検討

～溶融飛灰資源化を例としたシステム
モデルの構築と展開～

第4章 希少性・有害性廃棄物の国内レベルでの広域的な資源循環システムの構築と展開

～溶融飛灰資源化を例としたシステムモデルの構築と展開～

4.1 目的と従来研究

近年、日本国内における廃棄物発生量の増加とその質的变化によって、処理段階におけるダイオキシン対策やその後の最終処分の問題を背景とした廃棄物処理方策の検討が多く自治体や企業で進められている。このなかで、廃棄物処理法⁴⁻¹⁾では、「一般廃棄物および産業廃棄物のうち、爆発性、毒性や感染性その他の健康又は生活環境にかかわる被害が生ずるおそれがある性状を有するもの」をそれぞれ特別管理一般廃棄物と特別管理産業廃棄物として区分し、品目によってその処理方法および管理体制等を特別に定めている。また、その適正な移動や処理を確保するための manifests 制度や、事業所ではなく事業場ごとに特別管理産業廃棄物管理責任者を設置する制度など^{4-1~2)}、厳重な管理体制が施されている。このなかで、溶融飛灰や電子機器部品等、一部のものは金 (Au)、銀 (Ag)、パラジウム (Pd) 等の希少性資源も含有されているため、資源セキュリティの観点から回収してリサイクルするほうが望ましい。

このような有害性・希少性のある廃棄物あるいは循環資源を適正に処理・処分・資源化を実現させるために、受入側として高レベルの技術力や設備といったインフラが求められ、対応可能な地域が限定されている。このため、広域的な処理・処分を行わざるを得ないケースが多い。この場合は、図 4.1 に示すように排出側と受入側自治体、処理企業、長距離的な輸送を担う物流業者間の綿密な調整を通じたリスクマネジメントが必要であり、不防備で行うと、ニューマンエラーや不注意、確認ミス等による事故や異常事態が発生してしまい、対象物の有害性が拡散するリスクがある。しかし、関連法規制では基本的な最低限の管理方法しか規制されておらず、安全・安心に至るまでには自主的なシステム構築や導入等の取り組みが必要である。

このため、①排出事業者の工場で廃酸をドラム缶に移し替え中、廃酸とドラム缶の残留物が反応して爆発しドライバーが死亡、②運搬中に廃液が入った容器が腐食により漏れ出し、道路上への流出、③廃溶剤のドラム缶を処理場でフォークリフトにより荷降ろし中に落下させ、漏れた溶剤に引火等の事故事例が報告されている⁴⁻³⁾。さらなる安全・安心な広域資源循環システムの構築が求められている。

そこで本研究は、希少性・有害性の両者を兼備する特別管理一般廃棄物の溶融飛灰を代表例として取り上げ、他品目の参考ともなる希少性・有害性廃棄物の広域的な資源循環システムのモデルを構築することを本章の目的とする。

その背景には、焼却処理における溶融処理は、廃棄物の減量化による最終処分場の維持・管理および延命化に寄与するとともに、資源の循環的利用を促進するための有効な手段となる^{4-4~6)}。廃棄物処理過程のひとつである溶融処理では、発生するスラグの再利用は多く検討がなされている^{4-7~8)}が、同時に発生す

る溶融飛灰の取り扱いに関しては、そのほとんどが埋立処理されているのが現状である。とくに、溶融飛灰中に含まれる重金属の溶出^{4-9~14)}は、地下水の汚染や生態系への影響が懸念され、それを防ぐためには十分に配慮の行き届いた処理と管理が求められる。これらを鑑みた場合、重金属を含有した溶融飛灰の埋立処理をすることは、多くのリスクを伴うことがわかると同時に、見方によっては高い価値を有する重金属類は回収して再利用した方が、資源循環が実現されるとともに、有害物質の適切な管理システムが構築されることになる。その結果として、環境負荷および環境リスクを低減させることにつながり、環境配慮型の廃棄物処理システムが実現されることになる。

これらの背景を総合して、溶融飛灰の取り扱いについては、

- ・ 適切な保管と輸送
- ・ 溶融飛灰中の重金属類の回収
- ・ 適切な最終処分

が必要となる。その過程の中で、発生した溶融飛灰は受入可能な管理者が限定的であることから、以下の要件・項目を含めた包括的な研究を行い、希少性・有害性廃棄物の広域化モデルとして、溶融飛灰を取り上げた広域的な資源循環システムモデルの構築を目的とする。

- ① 自区域内処理の原則を見直し、発生側と受入側双方が連携できる体制の整備
- ② 安全かつ適切に保管・輸送の実現、およびインフラ整備や共通認識の醸成
- ③ 信頼ある技術基準に基づく溶融飛灰中の重金属類の回収技術の確立
- ④ マニフェストによる有害物質の管理とそれに関わる情報システムの構築

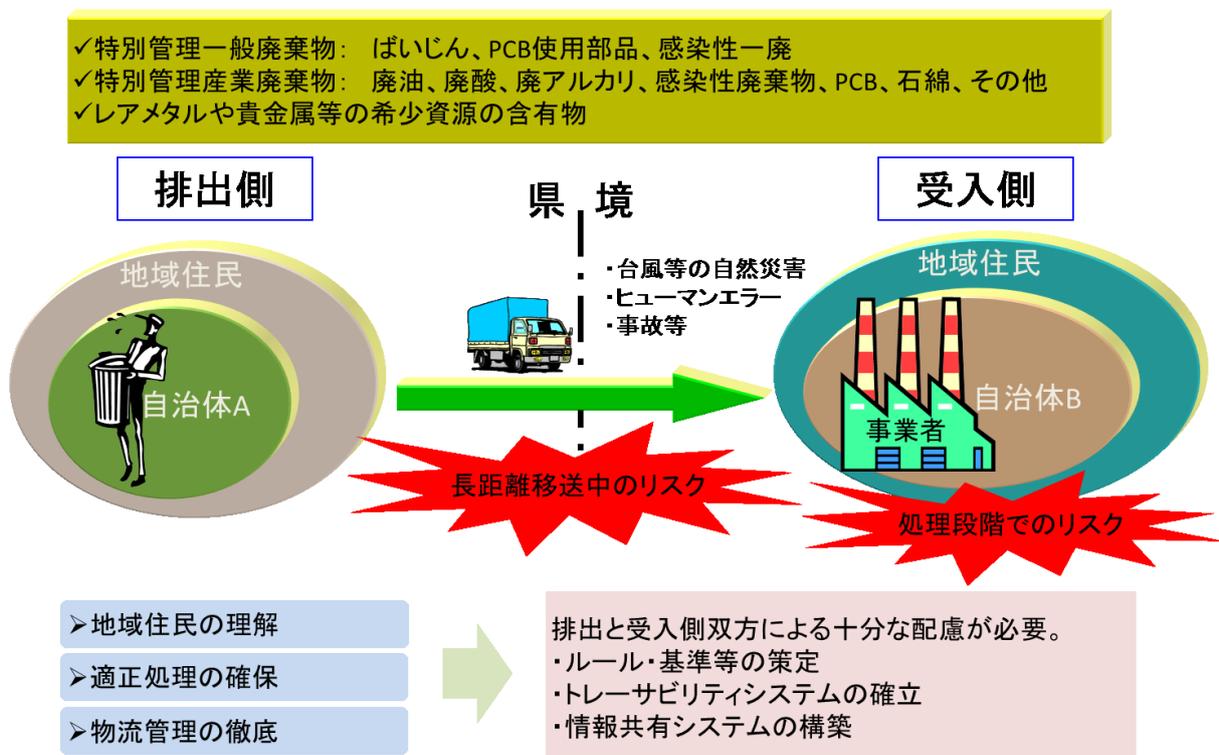


図4.1 有害性廃棄物の広域処理における適正管理の必要性

4. 2 排出と受入側双方における溶融飛灰資源化の現状調査

4. 2. 1 溶融飛灰の山元還元に関する自治体向けアンケート調査

山元還元事業の推進を図るために、自治体側の山元還元の意向、溶融飛灰の発生量、最終処分場の残存量、および処理コスト等の現状把握を目的として、社団法人日本産業機械工業会エコスラグ利用普及センターの協力を得て、早稲田大学環境総合研究センター溶融飛灰資源化研究会（筆者らが主体となって運営している研究会、以下溶融飛灰資源化研究会と略す。）と（独）国立環境研究所循環型社会・廃棄物研究センターとの共同体制で、溶融施設を保有している自治体を対象にアンケート調査を実施した。

2007年12月にアンケートを実施し、翌年2月に144施設より回答を得た。解析対象は2005年度の実績値を有する廃棄物溶融施設とし、このうち、ガス化溶融施設および灰溶融施設の計125施設とした。また、2005年度末時点での廃棄物溶融施設数は170施設であり、その74%を対象としたこととなる⁴⁻¹⁵⁾。

調査の結果、溶融飛灰の年間発生量の合計は195,000tと推計され、このうちガス化溶融施設からは136,000t、灰溶融施設からは59,000tである。アンケートの解析結果を項目別に以下に示す。また、設問によって有効回答数が大きく異なった。

(1) 溶融飛灰の山元還元に関する意向

図4.2に示すように溶融飛灰の処理現状では、薬剤処理してから埋立あるいはセメント処理しているのが大半を占めていることがわかる。図4.3に溶融飛灰の山元還元に関する意向を示す。すでに実施しているのが1/4程度である。一方で考えていない自治体も1/4強を占めていることがわかる。2005年の調査結果と比べ二極端化されている。また、情報不足のため判断を回避した自治体が増えていることがわかる。山元還元事業の推進には情報公開の必要性が示唆された。

図4.4に山元還元の導入条件に関する調査結果を示す。コストを条件にしている自治体が一番多く、技術と将来安定的な受入を条件としているのがほぼ一緒であった。処理コストの解析については図4.9を参照する。

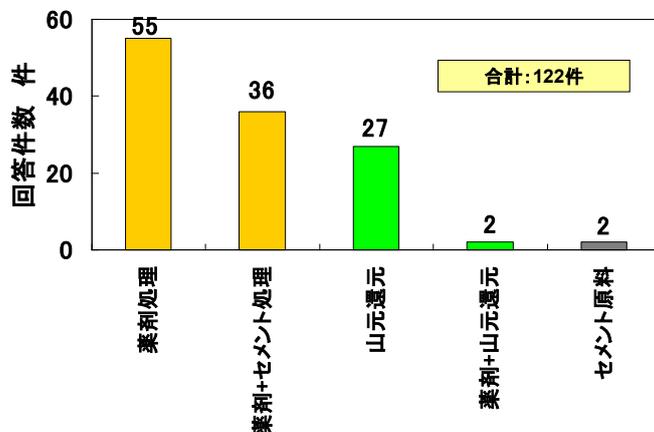
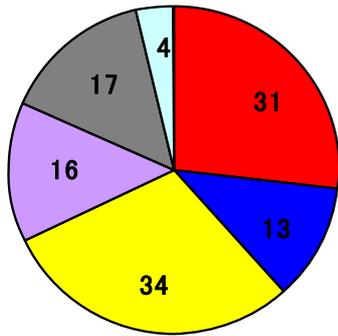


図4.2 溶融飛灰の処理現状

●2007年度調査結果

質問した自治体の数：144
有効回答数：115

- 既に実施している
- 将来実施を検討している
- 考えていない
- 情報不足のため判断を回避した
- 条件が合えば実施したい
- 条件が合わず断念



●調査結果の年度間比較

- 既に実施している
- 将来実施を検討している
- 情報不足のため判断を回避した
- 考えていない

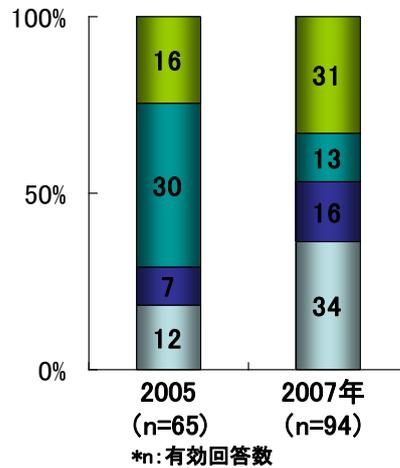
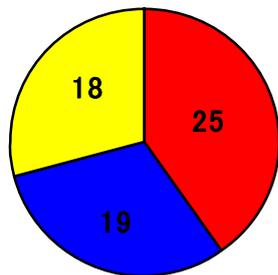


図4.3 溶融飛灰の山元還元に関する意向

●山元還元の導入条件

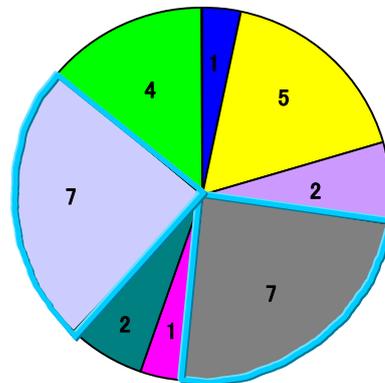
回答内容	回答数
コストを条件とする	25
技術を条件とする	19
将来の安定的な受入	18
合計	62

- コストを条件
- 技術を条件とする
- 将来の安定的な受入



●山元還元を実施している自治体
有効回答数:29

- 北海道
- 東北
- 関東
- 北陸
- 東海
- 近畿
- 中国
- 四国
- 九州・沖縄



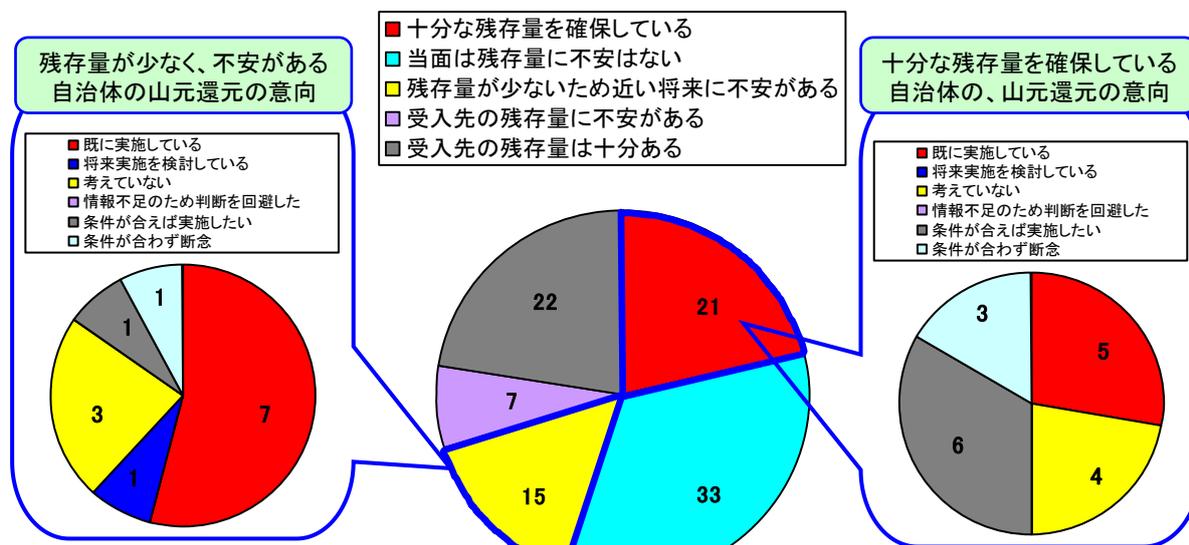
東海、四国地方が山元還元を実施している自治体が多い。

図4.4 山元還元の導入条件とすでに実施している自治体

(2) 最終処分場の現状に関して

図4.5に示しているように、十分な残存量を確保している自治体と、当面残存量に不安はない自治体が半分以上占めていることがわかる。十分な残存量を確保している自治体の山元還元の意向について、「条件が合えば実施したい」、「すでに実施している」あるいは「条件が合わず断念」といった自治体が約8

割占めていることから、ある部分の自治体は、十分な残存量の確保にもかかわらず、山元還元を実施して循環型社会の構築へ貢献したい意識は十分あると考えられる。これに対して、残存量が少なく不安がある自治体について、すでに実施しているのが半分以上占めていることから、最終処分場残存量の不安は山元還元へ踏み切る一つのきっかけであると考えられる。また、最終処分場の残存容量について、2005年と比べ大きな変動は見られなかった。



※1 質問した自治体数: 144、有効回答数: 76
 ※2 複数回答があったものも含めて全てカウントしている。

図4.5 最終処分場の残存量

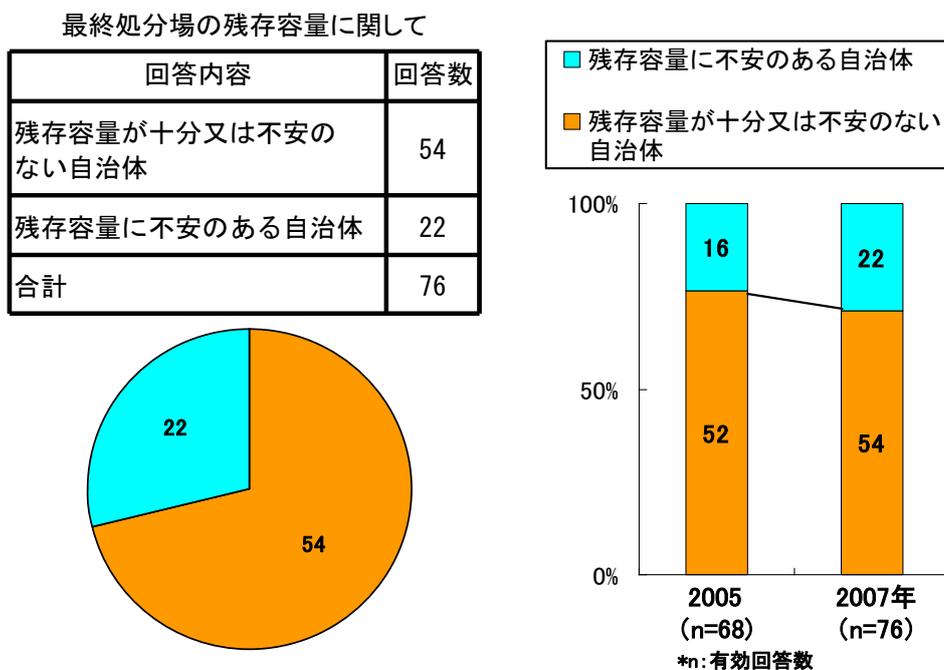


図4.6 最終処分場の残存量と前回調査の比較

図4.7に示しているように、最終処分先の地域によって平均輸送距離が約11倍と大幅に異なる。輸送距離の増加により、コストと環境負荷両面に影響が出てくると思われる。また、自区域内で処分しているのと、他地域で処分している自治体数が約半々で分けられていることがわかる。関東甲信地域では、東京都以外は他地域で処理している自治体数が他地域と比べはるかに多いことがわかった。主として、東北地方に出していることがわかった(図4.8)。また、近畿地方のほぼすべての自治体が大阪湾に埋立処分していることがわかる。九州地区も海上埋立処分場保有していることから、自区域内で処分しているのが多い。

●最終処分場の処分先について

有効回答数 : 94

●最終処分場の地方ごとの内訳

地方		北海道	東北	関東甲信	北陸	東海	近畿	中国	四国	九州・沖縄	合計
自治体数	自区域内で処分	5	10	5	6	4	2	3	1	10	46
	他地域で処分	1	4	22	3	4	7	4	0	3	48

●処理施設から最終処分場までの平均距離

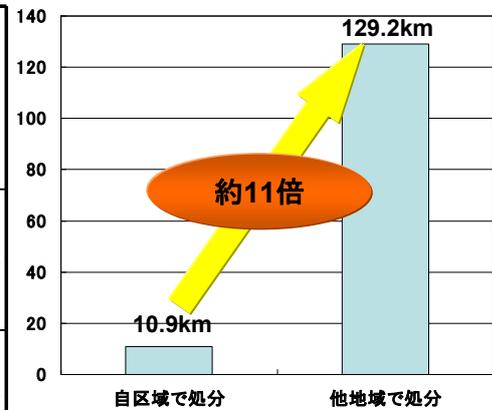


図4.7 最終処分場の処分先について

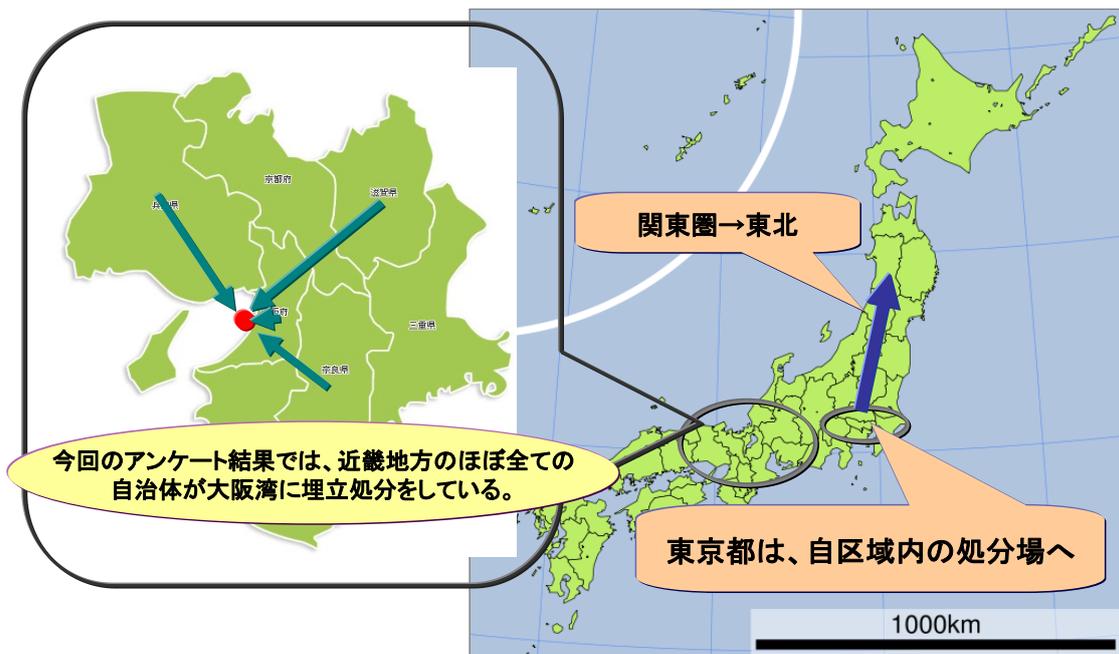


図4.8 他地域での最終処分状況

(3) 溶融飛灰の処理コスト

図4.9に埋立処分と山元還元の処理コストの比較を示す。山元還元事業に高価なイメージはあるが、「安定化処理と埋立の合計費用」と「山元還元と輸送の合計費用」の平均値を見るとほぼ一緒であることがわかる。この中で、コスト削減をきっかけに山元還元事業に踏み切った自治体も存在する。一方で、十分な最終処分残存量を確保している自治体の中にも環境負荷削減を目的として山元還元を実施している環境意識の高い自治体も存在する。安全・安心な広域資源化処理システムモデルの構築を行い、適切に情報発信していくことでさらなる山元還元事業の推進を図ることが可能であると考えられる。

また、見方を変えて、バラつきのある個別自治体を除くと、山元還元事業の推進においてコストの課題が依然と存在するのが現状である。これについて、環境パフォーマンスの徹底評価と適切な情報開示の重要性が見られるほか、ちょっとしたコストの差で政策面における支援手法の検討にも必要と考えられる。

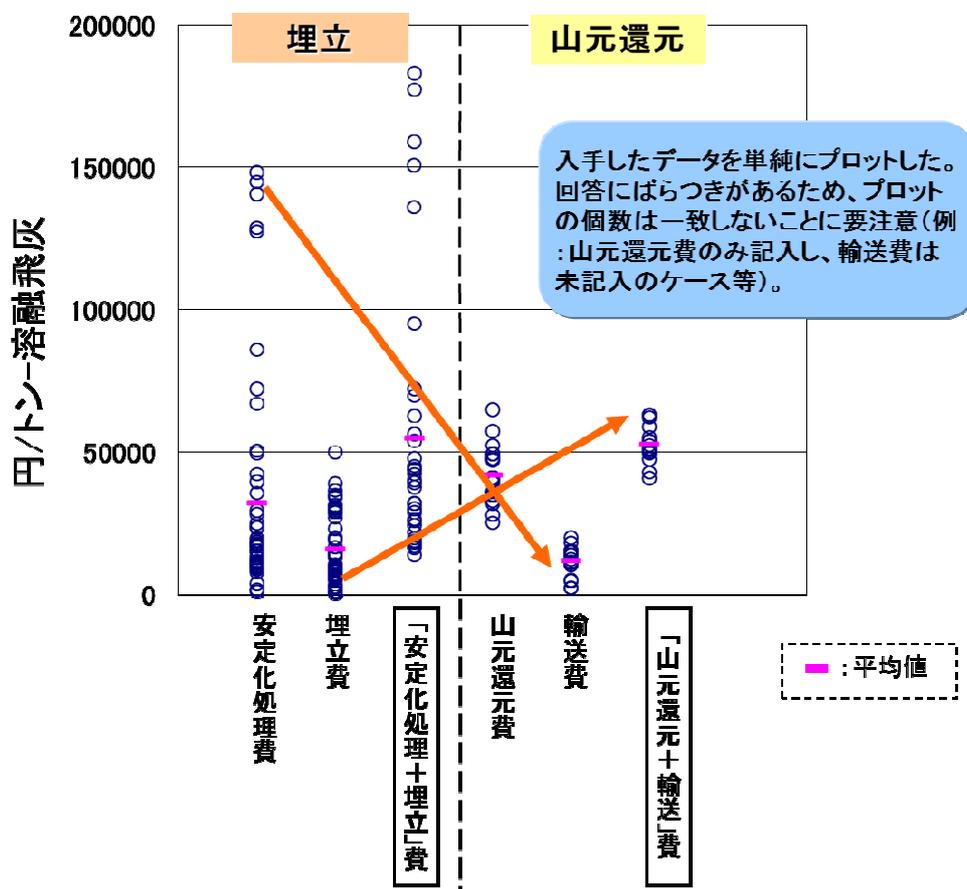


図4.9 溶融飛灰の処理コスト

4. 2. 2 受入企業における溶融飛灰の受入現状調査

(1) 調査目的

溶融飛灰の資源化事業の現状および受入の意向は、アンケート調査の結果より図4.10に示すとおりである。溶融飛灰の山元還元を社会システムとして定着させていくためには、溶融飛灰の受入側企業の情報を体系的に整理し、自治体

等を中心に広く公開していく必要があると考えられる。そこで、溶融飛灰資源化研究会の会員企業を対象にアンケート調査を実施し、溶融飛灰の受入に関する現状を把握することを試みた。



図4. 10 溶融飛灰資源化事業の現状と受入の意向

(2) 調査項目

a) 基本情報

受入事業者もしくは事業所に関する基本情報を調査した。調査項目は以下のとおりである。

- ① 企業名
- ② 事業所名
- ③ 所在地
- ④ 資源化技術
 - 1) 方式
 - 2) 概要
 - ・ 前処理
 - ・ 本処理
 - ・ リサイクル・廃棄対象物と搬出先(業者名)
 - ・ 概要の説明
 - 3) 施設処理能力
 - ・ 施設処理能力
 - ・ 決定要因(上記の処理能力の決定要因)

- 4) 処理量
 - ・ 現状
 - ・ 目標
 - 5) 受入条件
 - ・ 受入可能な溶融飛灰（乾灰・固化灰・キレート処理灰・キレート処理セメント処理灰）
 - ・ その他、受入性状・組成等
 - 6) その他特記事項（事業概況・エコタウン、リサイクルポート等との連携等）
- b) 処理フロー
資源化技術もしくは処理フローの概要を図示する。
- c) 定量データ
当該技術のマテリアルフローを調査した。溶融飛灰 1000dry-kg あたりの投入（エネルギー、工業用水、薬剤等）や排出（資源化物、排ガス、排水等）の量や性状を調査した。得られたデータに基づき以下の観点から整理した。
- ① 溶融飛灰中の重金属（Zn、Pb、Cu）の回収率
 - ② 排ガス・排水性状
- d) 受入溶融飛灰の性状
受入溶融飛灰の平均的な性状を示した。
- e) 回収物質の品質評価
溶融飛灰の処理が、回収物質に影響を与えないことを示す根拠もしくは定量データを整理した。
- f) 物流情報
安全安心な物流管理システムの検討に必要な基本情報を追加して整理した。

(3) 調査対象

溶融飛灰資源化研究会会員企業に調査を依頼した。回答していただいた企業と溶融飛灰受入事業所の一覧を表 4.1 に示す。

表4.1 アンケートの回答企業と受入事業所一覧

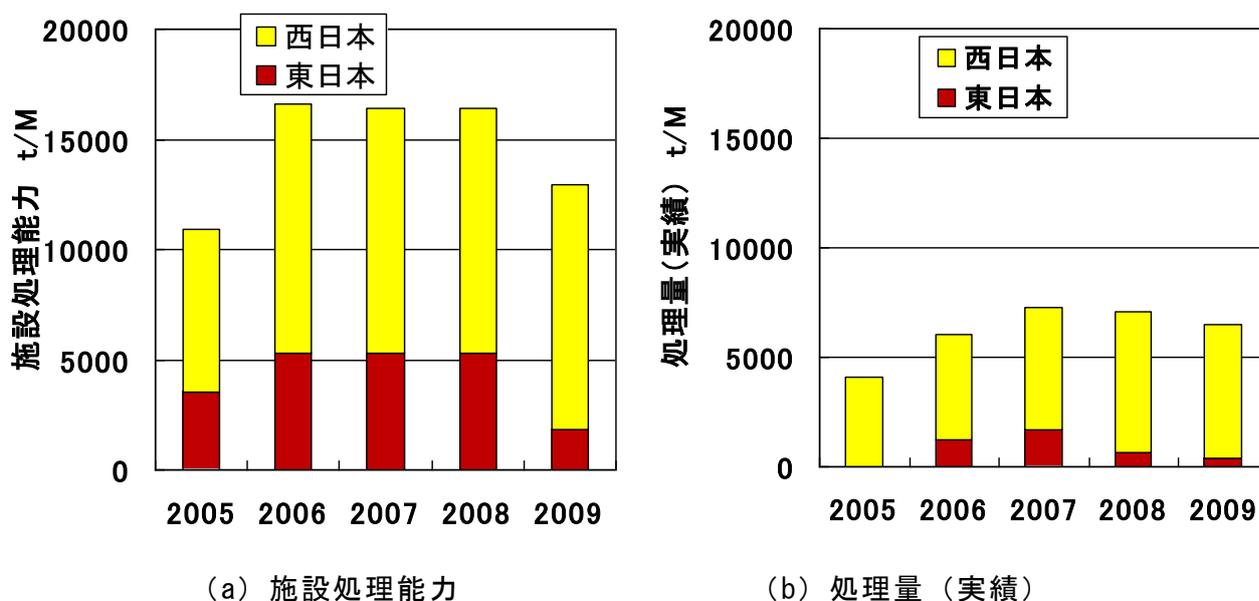
回答企業(会員企業)	溶融飛灰の受入事業所
光和精鋳株式会社	光和精鋳株式会社(福岡県北九州市)
三井金属鋳業株式会社	三池製錬株式会社(福岡県大牟田市)
三菱マテリアル株式会社	三菱マテリアル株式会社直島製錬所(香川県直島町) 小名浜製錬株式会社(福島県いわき市)
中部リサイクル株式会社	中部リサイクル株式会社本社事業所(愛知県名古屋市)
日鋳金属株式会社	日鋳環境株式会社(茨城県日立市)

(4) 調査結果

表 4.2、4.3 に調査結果のうち基本情報を要約したものを示す。回答があった

企業のうち、施設処理能力に関する回答があったのは5事業所であり、その施設処理能力の合計は約12920t/月（約15.5万t/年）であり、2006、2007、2008年度と比べ、3500t/月減少し、それは東日本における処理能力の減少に起因することがわかる。現在、事業化検討段階である事業所もあるので、日本全体としての施設処理能力は現段階では不確定である。2005年から現在まで得られたアンケート結果の比較を図4.11に示す。処理実績（一廃と産廃の区別なし）は、2009年度で約6466t/月（約7.8万t/年）となり、全体的には2008年度より約600t/月減少した。西と東日本両方の処理実績が減ったことがわかる。処理能力の合計の約50%となっている。

受入可能な溶融飛灰の性状に関しては概ね明らかとなった。乾灰、湿灰の受入を希望する事業所が多く、前者ではジェットパック、後者ではコンテナ、トラック輸送などで受入れるのが望ましい傾向となった。また、乾式処理を行う事業所ではキレート処理灰も受入可能であるが、薬剤処理は避けるのが望ましいとの回答が得られた。



注1) 中部以西を「西日本」とした。受入事業所の所在地を意味するのであって、排出自治体の所在地を意味するのではない。

注2) 2005年度から2009年度までともに該年度の3月時点で回答を得たアンケート調査結果に基づき集計した。

注3) 処理量（実績）に関しては、一廃と産廃の区別をせず溶融飛灰の処理量を集計した。

図4.11 溶融飛灰の施設処理能力と処理量（実績）の年度別の比較

表4.2 溶融飛灰の受入に関するアンケート調査結果の概要（その1）

事業所名		光和精鋳(株)	三池製錬(株)	三菱マテリアル(株) 直島製錬所	小名浜製錬(株)
所在地		福岡県北九州市	福岡県大牟田市	香川県直島町	福島県いわき市
資源化技術		塩化揮発方式	溶融処理	湿式法	湿式法
施設処理能力 t/月		3200	5000	2100	1820
処理量 t/月	現状	1100	3250	1300	350
	目標	3200	5000	1700	1820
受入可能な飛灰および受入条件		<ul style="list-style-type: none"> ・制限なし。 ・乾灰はジェットパック、湿灰はフレコンで受入れる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・乾灰、湿灰、キレート処理灰。 ・飛散防止のため 15%加湿が望ましい。 ・水銀含有量 10ppm 以下（社内基準）。 ・キレート等の薬剤処理は不要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・湿灰。 ・飛散を防止するために加湿し、専用のダンプや密閉したバックナー、専用のタンクローリー車によりフェリーを経由して再資源化施設まで運搬。 	<ul style="list-style-type: none"> ・乾灰、湿灰。 ・DXN 類濃度が 3ng-TEQ 以下であること。 ・水分 35%以下。 ・5mm 以上の塊状物が混入しないこと。 ・Pb < 1%、Al₂O₃ < 8%、MgO < 2%、As < 0.10%、Hg < 50ppm の規格以上の場合は別途ペナルティーを徴収
その他特記事項		前処理としての抽出工程の増強が完成した。それまでは既存の抽出設備で月間 500t 程度の事業規模であったが、設備増強後は月間 3200t の受入計画を進める。	2009 年度処理実績： 39,000t/年	・香川県直島町のエコタウンプランのハード事業の一部。	<ul style="list-style-type: none"> ・一般廃棄物処理業（ばいじん）の許可取得（平成 19 年 1 月）。 ・地元自治体（いわき市）との 3 社協定

表4.3 溶融飛灰の受入に関するアンケート調査結果の概要（その2）

事業所名		中部リサイクル(株)	日鉱環境(株)
所在地		愛知県名古屋市	茨城県日立市
資源化技術		溶融処理	湿式(浸出-硫化-中和)法
施設処理能力 t/月		800	現状、自社分のみ
処理量 t/月	現状	370	0
	目標	800	検討中
受入可能な飛灰および受入条件		<ul style="list-style-type: none"> ・乾灰、湿灰、キレート処理灰。 ・飛散防止のため15%加湿が望ましい。 ・水銀含有量 10ppm 以下(社内基準)。 ・キレート処理は不要。 ・荷姿: 15%程度の加湿物はバラ積み、低含水率の物はフレコン、ジェットパック車で受入 	—
その他特記事項		<ul style="list-style-type: none"> ・平成 15 年 8 月認可を受け、営業操業を開始した。 ・平成 17 年 3 月第 1 回愛知環境賞優秀賞を受賞。 ・平成 18 年 7 月増設。 	—

4.3 溶融飛灰山元還元プロセスによる資源化の検証

4.3.1 評価対象の北九州モデルの概要

広域移動を必要とする一般廃棄物の溶融飛灰を、安全に資源化処理するために、光和精鉱(株)、北九州市と新日本製鉄(株)Grが共同で、早稲田大学の協力のもとで、独自の溶融飛灰資源化処理システムを確立し、「北九州モデル」と呼ぶ。図4.12に北九州モデルの概要を示す。

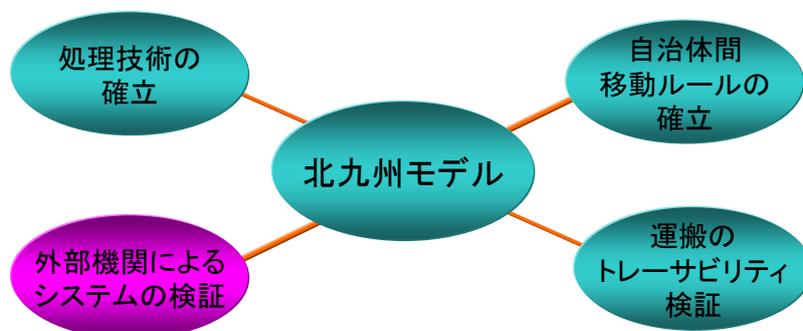


図4.12 北九州モデルの概要

北九州モデルでの受入企業である光和精鉱株式会社の技術の概要を表 4.4 に示し、処理フローの概要を図 4.13 に示す。

表4.4 光和精鉱(株)における溶融飛灰資源化技術の概要

企業名		光和精鉱株式会社
所在地		北九州市戸畑地区大字中原 46 の 93
資源化技術	方法	塩化揮発方式
	概要	<p>前処理： 飛灰は水抽出及び酸抽出を行い、可溶性塩類を分離する。</p> <p>本処理： 前処理で残った抽出残分を、焙焼・塩化揮発処理を行い非鉄金属をガス状塩化物として分離回収する。</p> <p>リサイクル／廃棄対象物と搬出先： 廃棄対象物は発生しない。 搬出先は製鉄業及び非鉄製錬業</p>
施設処理能力(t／月)		3,200t(H19年に2700t増設)
※2010年3月時点		

た実証試験における課題⁴⁻¹⁶⁾として挙げられた廃塩酸の使用実績を図4.14に示す。当社2009年の廃塩酸の使用比率は約36%であり、年々廃塩酸の使用比率を増やしており、環境負荷削減へ取り組みの姿勢が見られる。今後資源化プロセスにおいて更なる環境負荷の低減に向けて、この使用比率をさらに高めることが期待される。

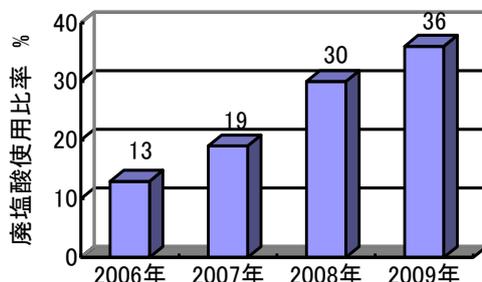


図4.14 廃塩酸使用比率の実績

(2) 溶融飛灰の抽出バランス

2009年1月から12月までの溶融飛灰の抽出バランスを図4.15に示す。同図より、抽出残渣における成分分布は、実証試験時⁴⁻¹⁶⁾とほぼ同様となっていることを確認した。したがって、後工程の塩化揮発の原料管理の容易性と製品品質の安定性が確保できているといえる。

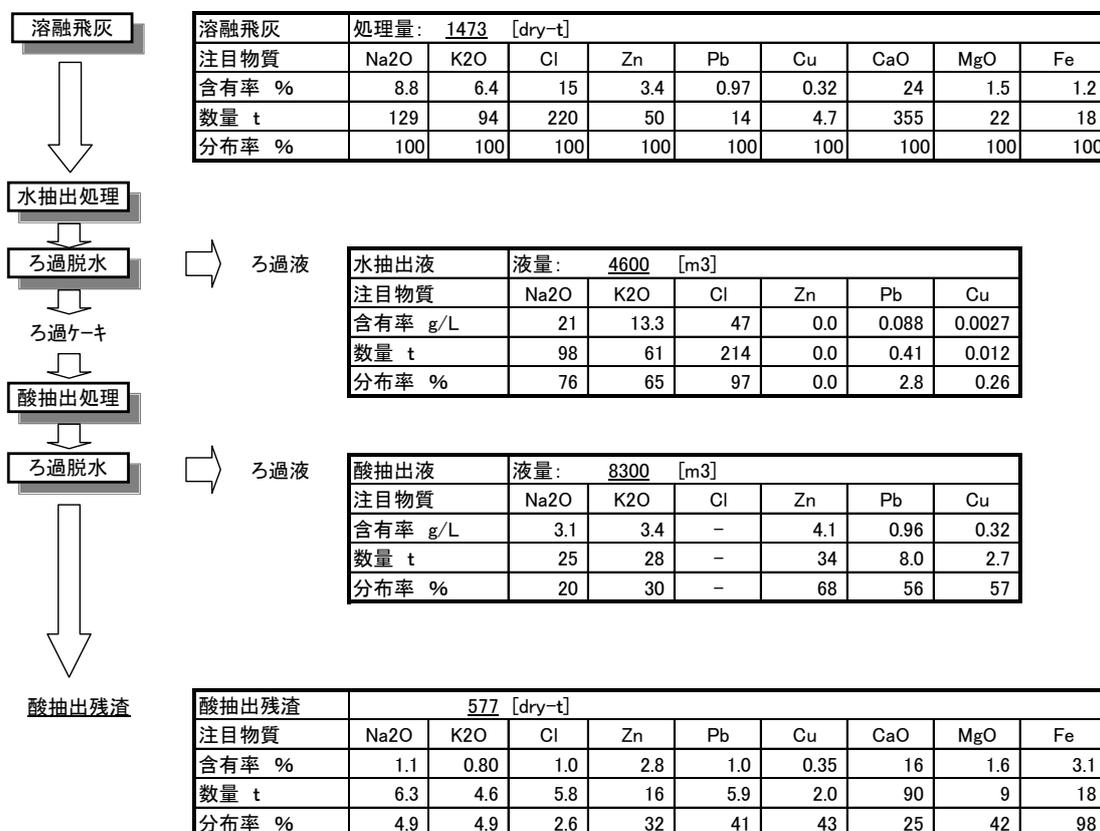


図4.15 溶融飛灰の抽出バランス (H21年1~12月)

(3) 重金属類の分布率 (Zn、Pb、Cu)

抽出処理、塩化揮発処理で分離された Zn、Pb、Cu などは還元、中和処理でメタルないし水酸化物で回収され非鉄金属製錬原料となる。抽出処理～塩化揮発の全工程を通じてのメタル分布率 (Zn、Pb、Cu) を図 4.16 に示す。高炉用ペレットに残る当該元素はいずれも 10%以下である。また、水酸化鉄は、ペレット原料へ戻すことによって、含有する Zn、Pb、Cu は非鉄製錬原料として回収される。したがって、飛灰中の Zn、Pb、Cu は 90%以上が再資源化されることになる。

なお、ペレット中の亜鉛、鉛は高炉で還元揮発し製鉄ダストとともに捕集されるが、この製鉄ダストは高炉ペレットの原料として戻ってくるので実質的には完全に回収される。

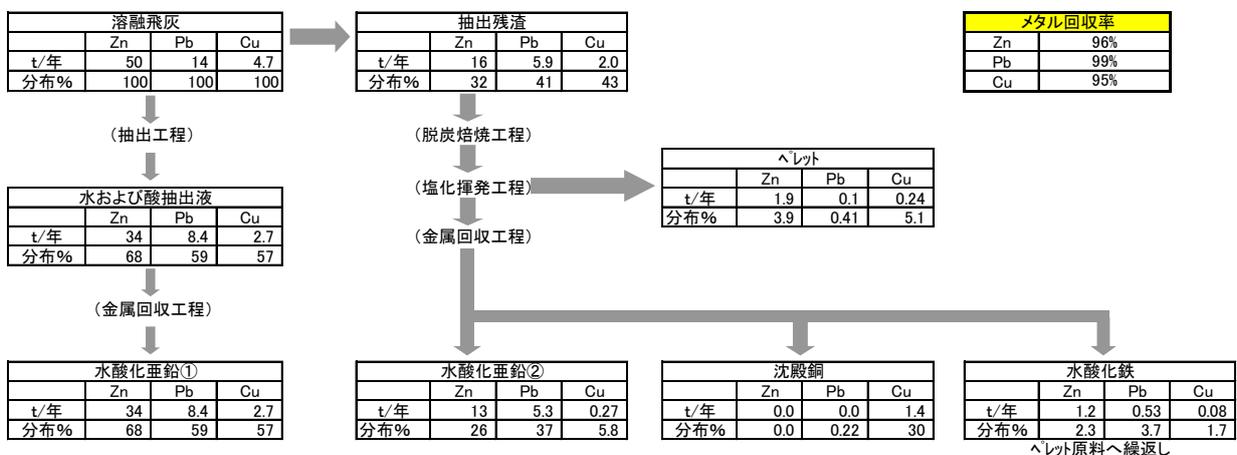
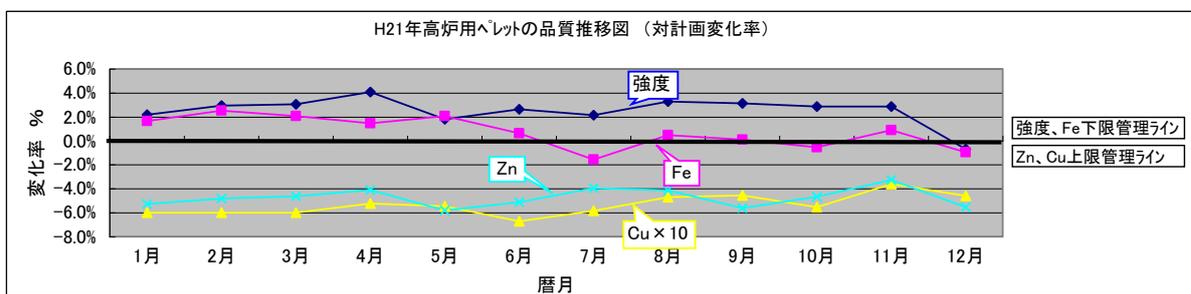


図4.16 重金属類の分布率 (Pb、Zn、Cu)

(4) 高炉用ペレットの生産量と品質の推移

図 4.17 に高炉用ペレットの品質の推移を示す。同図より、強度、Fe、Zn、Cu ともに品質を満足していることが確認できる。



製品ペレット実績(対計画の変化率)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
強度	2.2%	2.9%	3.1%	4.1%	1.8%	2.6%	2.1%	3.3%	3.1%	2.9%	2.9%	-0.7%
Fe	1.6%	2.5%	2.0%	1.5%	2.1%	0.6%	-1.5%	0.5%	0.1%	-0.5%	0.9%	-1.0%
Cu	-6.0%	-6.0%	-6.0%	-5.2%	-5.5%	-6.7%	-5.8%	-4.7%	-4.6%	-5.5%	-3.6%	-4.6%
Zn	-5.3%	-4.8%	-4.6%	-4.1%	-5.8%	-5.1%	-3.9%	-4.1%	-5.6%	-4.7%	-3.3%	-5.6%

図4.17 高炉用ペレットの生産量と品質の推移

(5) 排ガス・排水性状

排ガス・排水性状の測定結果を表4.5、表4.6に示した。いずれも規制値を満足していることが確認できる。

表4.5 H21年工場排ガス測定データ

	項目	単位	規制値	H21.1	H21.3	H21.5	H21.7	H21.9	H21.11
焙焼炉 排ガス	排ガス量	Nm ³ /h		33000	29000	32000	33000	32000	32000
	ばいじん	mg/Nm ³	100	10	12	64	11	25	65
	Nox	ppm	180	126	159	136	154	50	123
	Sox	ppm	100	23	18	24	35	27	21
	HCl	mg/Nm ³	700	3.8	0.5	0.5	7.4	1.0	5.3
	CO	ppm	100	15	5	15	6	21	8
	CO ₂	%		11	11	11	10	11	12
	DXNs	ng-TEQ/Nm ³	1			0.061			
塩化揮発炉 排ガス	排ガス量	Nm ³ /h		17000	16000	13000	12000	18000	19000
	ばいじん	mg/Nm ³	40	15.5	12.0	20.0	1.0	19.0	18.0
	Nox	ppm	220	196	155	184	177	83	181
	Sox	ppm	100	16	19	16	17	10	14
	HCl	mg/Nm ³	290	3.8	1.1	0.7	1.2	1.7	1.7
	CO	ppm	100	3	39	4	13	47	14
	CO ₂	%		7.8	10.6	9.9	14	11.9	9.4
	DXNs	ng-TEQ/Nm ³	0.1			0.007			

表4.6 H21年工場排水分析値

項目 単位 規制値	Pb mg/L 0.1	Cd mg/L 0.1	COD mg/L 15	PH 5~9	Hg mg/L 0.005	CN mg/L 1	As mg/L 0.1	Se mg/L 0.1	Cu mg/L 3	T-P mg/L 16	T-N mg/L 120	DXNs pg-TEQ/L 10
1月	0.01	0.01	5.1	7.9	ND	0.13	0.01	0.03	ND	0.09	16	
2月	0.01	0.01	5.5	8.0	ND	ND	0.02	0.02	ND	0.02	21	
3月	0.01	0.01	4.7	7.7	ND	0.16	0.01	0.02	ND	0.01	23	
4月	0.01	0.01	5.6	8.1	ND	ND	0.01	0.02	ND	0.02	13	
5月	0.01	0.01	6.7	8.1	ND	ND	0.01	0.02	ND	0.23	17	1.1
6月	0.01	0.02	6.4	8.1	ND	0.17	0.01	0.02	ND	0.01	28	
7月	0.01	0.02	6.2	8.1	ND	ND	0.01	0.02	ND	0.01	14	
8月	0.02	0.01	5.5	7.8	ND	ND	0.02	0.01	ND	0.02	13	
9月	0.01	0.01	5.7	8.0	ND	ND	0.01	0.02	ND	0.02	11	
10月	0.01	0.01	5.4	8.0	ND	ND	0.01	0.02	ND	0.02	20	
11月	0.01	0.02	4.9	7.3	ND	0.12	0.01	0.01	ND	0.02	5.7	
12月	0.01	0.01	5.3	7.5	ND	ND	0.02	0.03	ND	0.02	12	

(6) DXN 類の分布

DXN 類の分布率を図4.18に示している。DXN 類の破壊率は99.9%と確実に分解されていることが確認できる。

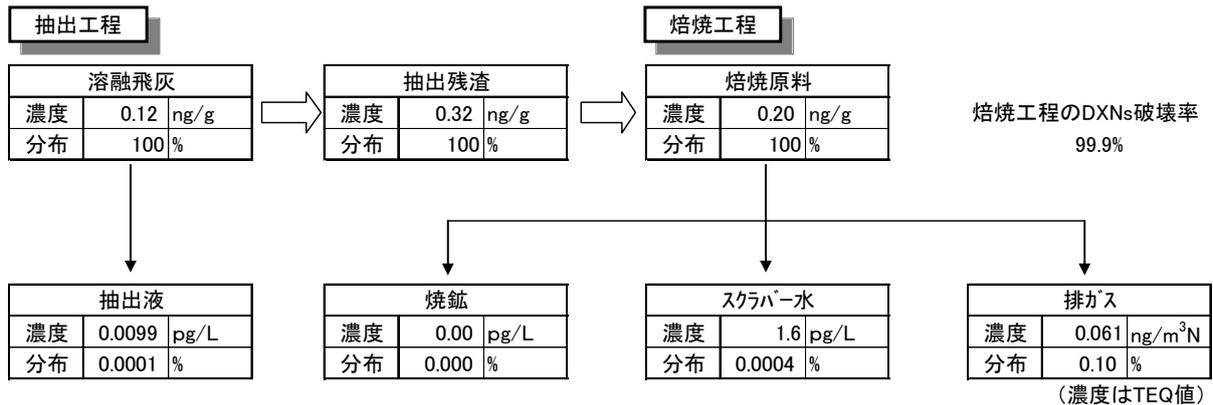


図4. 18 DXN 類の分布

4. 4 溶融飛灰山元還元環境負荷の推定

4. 4. 1 溶融飛灰山元還元プロセスのライフサイクル評価

溶融飛灰の山元還元による再資源化と埋立処分における環境負荷を LCA の観点から評価・比較することを試みた。溶融飛灰の資源化や輸送に要する物質、エネルギー、環境負荷物質、資源循環による重金属の資源回収の効果等を総合的に把握するために、各種の環境負荷を統合して1つの指標で表現する統合評価を行った。今回の評価では、統合化指標 ELP^{4-17~20)}を採用した。

(1) 評価対象

北九州モデルの受入企業である光和精鉍株式会社の溶融飛灰資源化プロセスを評価の対象とする。

(2) 評価範囲

評価範囲を図 4.19 に示す。前処理工程、焙焼施設、塩化揮発施設、重金属回収工程を評価範囲とする。

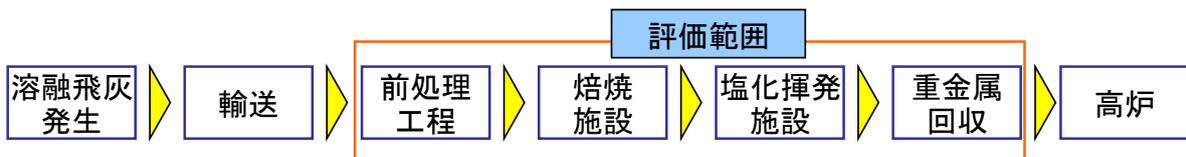


図4. 19 評価範囲

(3) 前提条件

評価対象は電力、上水、塩酸、薬剤等の投入エネルギーおよび副資材、排ガス (CO₂、NO_x、SO_x、ばいじん、DXNs 等)、排水 (COD、DXNs 等) とする。また溶融飛灰から回収されるマテリアル (亜鉛、鉛、銅) をマイナスの環境負荷として評価する。廃油、転炉ガス等の二次的に活用されるエネルギーは評価に含まない。また、溶融飛灰の処理に直接寄与しない製鉄ダストや鉄鉍石は評価に含まない。

さらに、評価を行うにあたって、特筆すべき点を以下に記す。

- ① 造粒工程で使用する塩化剤は塩化カルシウム (CaCl_2) である。しかし、直接、塩化カルシウムを投入しているのではなく、造粒原料に産廃である塩化鉄液を散布し、それに購入品である石灰を添加するという作業を行っている。そのため、この工程での投入薬品を石灰石とする。
- ② また、同様に排水処理工程で使用する薬剤は水硫化ナトリウム (硫化水素ナトリウム、 NaHS) である。この薬剤により、金属回収後の液に微量に残る金属元素を硫化物にして沈殿回収する。併せて水硫化ナトリウムは一般的に還元剤として用いられていることから、還元剤として硫化物を製造する硫酸バンドで代替評価することとした。

(4) 評価に用いたインベントリデータ

図 4.20 に示す 2009 年の実績データを用いた。また、比較対象として図 4.21 に示す 2008 年の実績データを採用した。

第4章 希少性・有害性廃棄物の国内レベルでの広域的な資源循環システムの構築と展開

光和精鉱(株)溶融飛灰処理システムにおけるLCA評価用データ
H21年1月～12月実績

2010.1.28
光和精鉱(株)

H21年飛灰処理実績 メタル収支
抽出工程

一廃飛灰	□			抽出			残渣						
	飛灰処理量 t-wet	t-dry	残渣 t-dry	水抽出液 m3	酸抽出液 m3	合計 m3	Zn t	Pb t	Cu t	Zn t	Pb t	Cu t	Fe t
合計	1,631	1473	577	4600	8300	12900	34.1	8.4	2.7	16.1	5.9	2.0	17.9
飛灰t当り(乾量基準)							0.0232	0.0057	0.0018				

塩化揮発工程

	揮発率			揮発メタル			ペレット中の飛灰メタル			
	Zn %	Pb %	Cu %	Zn t	Pb t	Cu t	Zn t	Pb t	Cu t	Fe t
	88	99	88	14.2	5.8	1.8	1.93	0.06	0.24	17.9
飛灰t当り(乾量基準)				0.010	0.004	0.001	0.0013	4E-05	2E-04	0.012

抽出工程ユーティリティー

		飛灰t当り
電力	KWH	164
用水	t	11.7
35%塩酸	t	0.89 (内、廃塩酸36%)
NaOH	t	0.0146
NaSH	t	0.0018
NaClO	t	0.0000
生石灰	t	0.0367

再資源化物量

抽出メタル+塩化揮発メタル		
Zn	Pb	Cu
32.8	9.7	3.0

(kg/飛灰t)

35%塩酸使用実績

購入塩酸	838	(t/年)
廃塩酸	473	(t/年)

塩化揮発工程ユーティリティー

	焙焼	塩化揮発	
	飛灰t当り	飛灰t当り	
電力	44.0	28.8	
用水	0.87	0.45	t
40%水マグ	0.015		排煙脱硫剤
燃料ガス		35.9	m3N 転炉ガス (CO 30%) ドライヤー熱源, 燃料廃油代替
燃料廃油		0.023	t
CaO		0.005	t CaCl2生成用(廃塩鉄を石灰中和)
排塩脱硫CaO		0.001	t 排煙脱硫剤
炭酸カルシウム		0.015	t 酸液中和剤
鉄スクラップ		0.001	t Cuセメンテーション用
Fe中和石灰		0.002	t
Zn中和石灰		0.008	t
水硫化ソーダ		0.0001	t 排水処理
35%塩カル		0.0108	t 塩化剤

OUTPUT

焙焼排ガス

	飛灰t当り
排ガス量	1062 m3N
DXN	65 ng
CO2	115 m3N
SOX	0.026 m3N
NOX	0.132 m3N

塩化揮発キルン排ガス

	飛灰t当り
排ガス量	295 m3N
DXN	2 ng
CO2	31 m3N
SOX	0.005 m3N
NOX	0.048 m3N

補足

焙焼炉残差配合 4.8t/d →元飛灰換算 12.3t/d
ペレットに入る残渣 3.6t/d
焙焼炉の灼熱減量25%として4.8*0.75=3.6

飛灰t当り算出の換算乗数

焙焼炉 4.8/280/12.3= 0.00140
塩化揮発 3.6/380/12.3= 0.00077

焙焼工程、塩化揮発工程の換算乗数の考え方

工程の物量は全原料に対する量なので飛灰相当分はその比率で表される。

飛灰相当分は1日当たりの量なので元飛灰t当たりの量はその量12.3tで割った数値とする。

排水

	m3/d	飛灰t当り
排水	15610	12.1 m3
	濃度	
Pb	mg/L	0.01
Zn	mg/L	ND
Cu	mg/L	ND
Cd	mg/L	0.012
Cr6+	mg/L	ND
As	mg/L	0.012
Se	mg/L	0.019
COD	mg/L	6
DXN	pg/L	1.1

図4. 20 光和精鉱(株)における溶融飛灰資源化プロセスの2009年投入・排出量

光和精鉱(株)溶融飛灰処理システムにおけるLCA評価用データ
H20年1月～12月実績

2009.1.22
光和精鉱(株)

H20年飛灰処理実績 メタル収支

抽出工程

一廃飛灰	飛灰処理量			残渣			抽出			残渣			
	t-wet	t-dry	t-dry	水抽出液 m3	酸抽出液 m3	合計 m3	Zn t	Pb t	Cu t	Zn t	Pb t	Cu t	Fe t
合計	2,376	1945	791	7000	7800	14800	20.8	5.4	4.6	15.4	4.7	3.2	22.7
	飛灰t当り(乾量基準)						0.0107	0.0028	0.0024				

塩化揮発工程

	揮発率			揮発メタル			ペレット中の飛灰メタル			
	Zn %	Pb %	Cu %	Zn t	Pb t	Cu t	Zn t	Pb t	Cu t	Fe t
	88	99	88	13.5	4.7	2.8	1.84	0.05	0.38	22.7
	飛灰t当り(乾量基準)			0.007	0.0024	0.001	0.0009	2E-05	2E-04	0.012

抽出工程ユーティリティー

		飛灰t当り
電力	KWH	166
用水	t	11.7
35%塩酸	t	0.83 (内、廃塩酸30%)
NaOH	t	0.0134
NaSH	t	0.0033
NaClO	t	0.0091
生石灰	t	0.0238

再資源化物量

抽出メタル+塩化揮発メタル		
Zn	Pb	Cu
17.7	5.2	3.8

(kg/飛灰t)

35%塩酸使用実績

購入塩酸	1138	(t/年)
廃塩酸	484	(t/年)

塩化揮発工程ユーティリティー

	焙焼	塩化揮発	
	飛灰t当り	飛灰t当り	
電力	47.9	28.6	
用水	0.90	0.47	t
40%水マグ	0.018		排煙脱硫剤
燃料ガス		13.4	m3N 転炉ガス (CO 30%) ドライヤー熱源
燃料廃油		0.037	t
CaO		0.004	t CaCl2生成用(廃塩鉄を石灰中和)
排塩脱硫CaO		0.001	t 排煙脱硫剤
炭酸カルシウム		0.016	t 酸液中和剤
鉄スクラップ		0.003	t Cuセンセーション用
Fe中和石灰		0.004	t
Zn中和石灰		0.006	t
水硫化ソーダ		0.0001	t 排水処理
35%塩カル		0.0067	t 塩化剤

OUTPUT

焙焼排ガス

	飛灰t当り
排ガス量	1083 m3N
DXN	303 ng
CO2	124 m3N
SOX	0.030 m3N
NOX	0.115 m3N

塩化揮発キルン排ガス

	飛灰t当り
排ガス量	290 m3N
DXN	7 ng
CO2	27 m3N
SOX	0.005 m3N
NOX	0.046 m3N

補足

焙焼炉残差配合 4.9t/d →元飛灰換算 12.1t/d
ペレットに入る残渣 3.7t/d
焙焼炉の灼熱減量25%として4.2*0.75=3.15

飛灰t当り算出の換算乗数

焙焼炉 4.9/280/12.1= 0.00145
塩化揮発 3.7/380/12.1= 0.00080

焙焼工程、塩化揮発工程の換算乗数の考え方

工程の物量は全原料に対する量なので飛灰相当分はその比率で表される。
飛灰相当分は1日当たりの量なので元飛灰t当たりの量はその量12.1tで割った数値とする。

排水

排水	濃度	
	m3/d	飛灰t当り
	15610	12.5 m3
Pb	mg/L	0.01
Zn	mg/L	ND
Cu	mg/L	ND
Cd	mg/L	ND
Cr6+	mg/L	ND
As	mg/L	ND
Se	mg/L	0.019
COD	mg/L	6
DXN	pg/L	0.32

図4. 21 光和精鉱(株)における溶融飛灰資源化プロセスの2008年投入・排出量

(5) 評価結果（年度間比較）

ELPの算出結果を図4.22に示す。同図では、工程ごとのELPを年度ごとに比較して示している。また、同図は実績どおり塩酸の環境負荷をカウントした場合である。塩酸のELPが全体の大半を占めていることがわかる。塩酸以外の部分の詳細を図4.23に示す。以下に工程ごとの年度間比較について述べる。

① 抽出工程

2009年では塩酸使用量（廃塩酸含む）が0.89tとなっており、廃塩酸使用割合が36%となった。抽出工程合計のELPは2008年と比べ、変化が見られなかった。

② 焙焼工程

焙焼工程では、DXNsによる環境負荷の減少が顕著であったため、焙焼全工程合計のELPは減少した。

③ 塩化揮発工程

図4.22より塩化揮発工程は、全工程のELPのわずか1%を占めていることがわかる。塩化剤、還元剤、排ガスの量も少なく、環境にやさしい工程であるといえる。

④ 排水

評価結果より、排水工程の環境負荷はCODとDXNsに起因することがわかる。今年はDXNsによる環境負荷が昨年より増加したことにより、排水工程のELPが増加した。

⑤ 金属回収工程

評価の結果、昨年と比べ、Cuの回収量が半減にもかかわらず、ZnとPbの回収量が大幅に増加した。これは飛灰組成の差異に起因することだと考えられる。

⑥ 全工程

2008年も2007年と同様に、抽出工程における塩酸使用に伴う環境負荷の、全工程合計の環境負荷に占める割合が非常に大きいことがわかる。また、金属回収工程におけるメタル回収による環境負荷の削減分も顕著であるといえる。

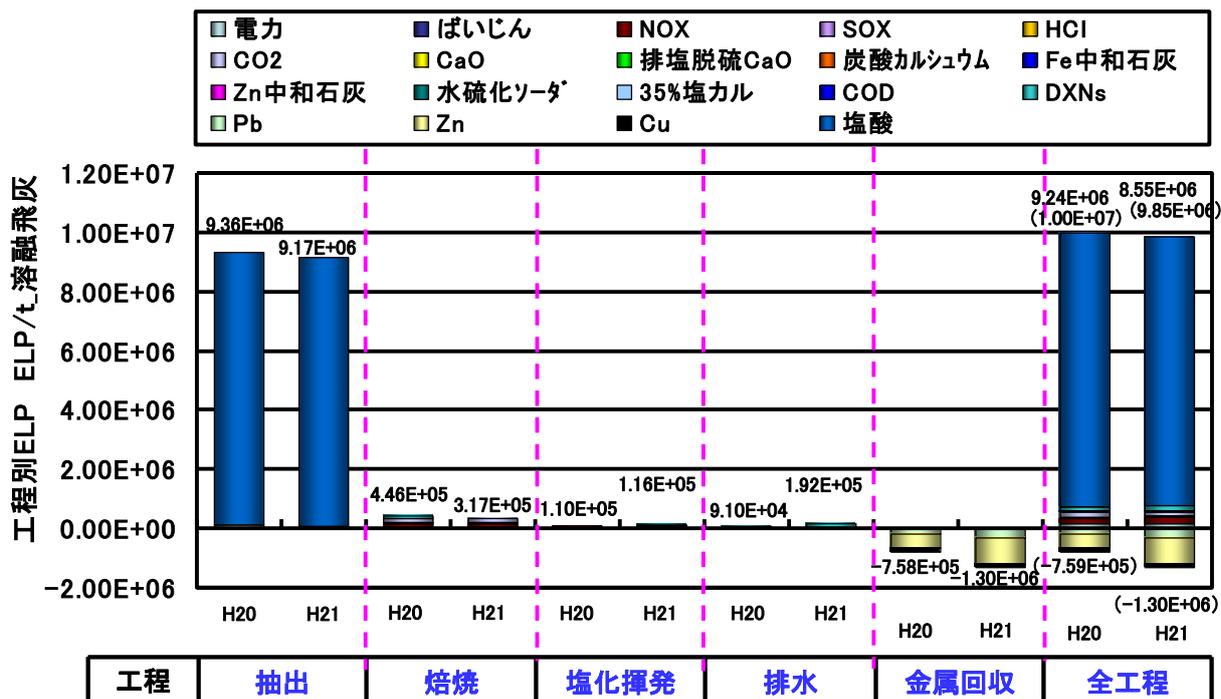


図4.22 ELPによる評価結果（年度間比較）

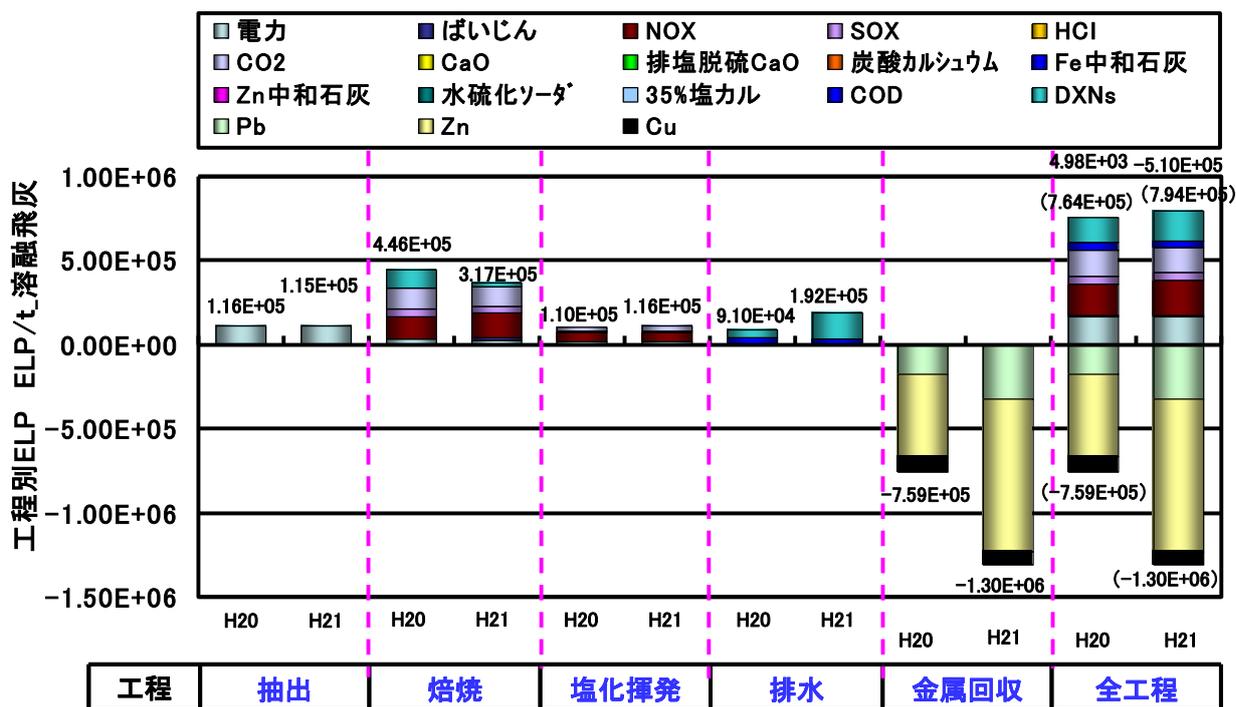


図4.23 ELPによる評価結果（年度間比較）～塩酸以外～

(6) ケーススタディ

上述したように、抽出工程で塩酸を使用した場合、全工程合計の ELP に占める、抽出工程における ELP の割合は非常に大きくなり、環境負荷は増大する。つまり、現状では、環境負荷が大きい工程は抽出工程であり、山元還元の目的の一つである金属回収による環境負荷削減効果は微々たるものとなっている。

そこで、抽出工程での塩酸使用に着目し、ケーススタディを行った。インベントリデータは2009年のデータを用いることとする。評価シナリオとしては、塩酸を100%新規に購入するCASE1、現状である廃塩酸を36%使用するCASE2、廃塩酸を100%使用するCASE3とした。

また、参考として溶融飛灰1tを全量埋立した場合の、「重量のみを考慮」と「重金属の溶出による有害性を考慮」した場合の2ケースを想定し、ELPの評価を行った。これらの各CASEにおけるELP評価結果を図4.24に示す。

同図より、CASE3の廃塩酸を100%使用した場合に比べ、CASE1及びCASE2のELPは大幅に上回っていることがわかる。溶融飛灰の埋立の評価に対する考え方によって、埋立より環境負荷が大幅に上回るケースも存在する。これより、抽出工程において廃塩酸の使用割合を増加させることは、環境負荷の削減に大きく貢献できることがわかる。

以上から、今回の評価結果から、溶融飛灰の資源化プロセスにおける環境負荷低減に向けて、抽出工程における廃塩酸の使用比率を高め、金属回収量を増やすことが期待される。

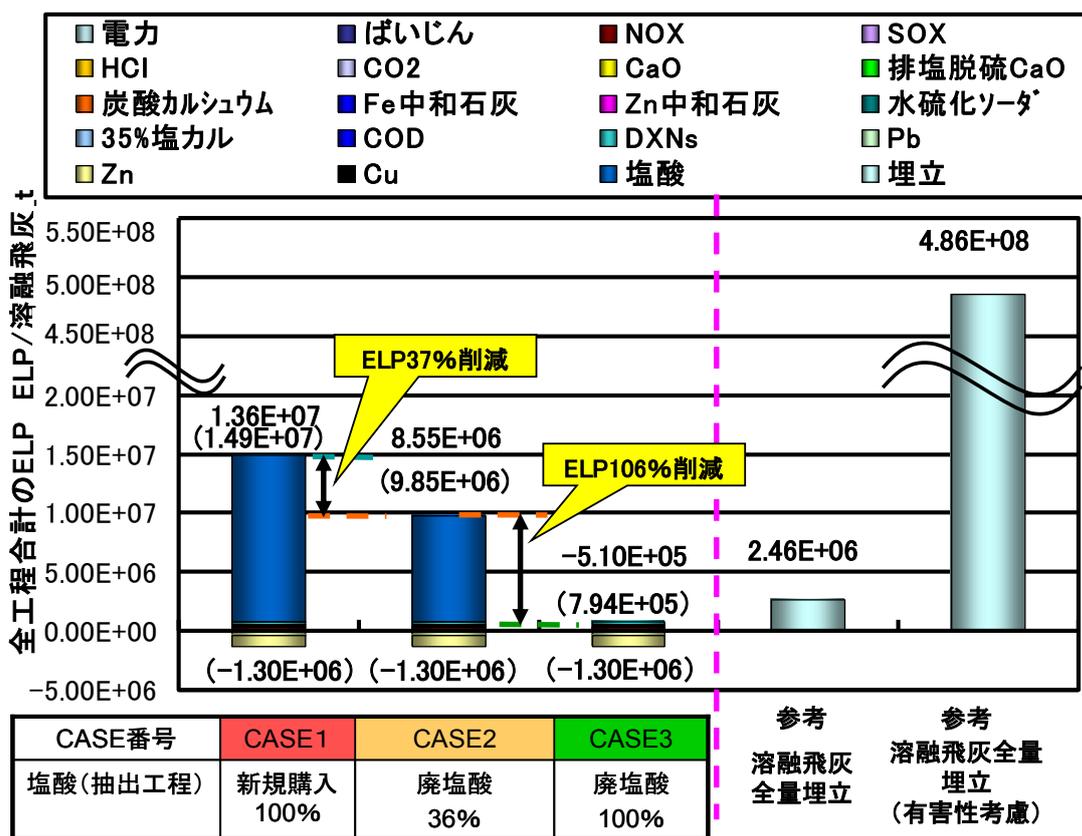


図4.24 塩酸使用割合によるケーススタディのELP評価結果

4. 4. 2 焼却処理から溶融飛灰資源化までのトータルライフサイクル評価

(1) 目的

溶融飛灰の資源化処理の環境負荷は、資源化プロセスのみではなく、その発生元である廃棄物の溶融プロセスにも影響しており、それに範囲を拡大した環境パフォーマンスを把握することを目的として、北九州市新門司工場を対象に、その実操業データを用いて溶融プロセスのライフサイクル評価を試みた。今回の評価では、近年地球温暖化、最終処分場の逼迫や資源セキュリティへの注目が向上していることから、GHG（GHG: Green House Gas）、最終処分量や資源化量といったの単一指標、および統合化指標 ELP を用いて評価を行った。

(2) 新門司工場評価の概要

新門司工場の焼却方式はシャフト式ガス化溶融で、処理能力は 720t/日（240t/日×3 炉）、平成 19 年 3 月に稼動した。図 4.25 に示すように、当工場は、北九州市門司区および小倉南区、面積計 244.26km²、人口 319731 人、133241 世帯（平成 21 年 9 月 1 日時点）の家庭ごみの収集処理を行っている^{4-21~23}。当工場はスラグの JIS 規格（JISA5031 と JISA5032）を取得し、溶融物の全量流通化が達成されている。今後は溶融飛灰の山元還元を採用を検討し、完全ゼロエミッション可能なごみ処理プロセスを目指している。そこで当工場の LCA 評価を行う。図 4.26 に示すように、ガス化溶融プロセスおよびそこから出たスラグや飛灰の最終処理・処分プロセスへのエネルギーや薬剤等の投入、および廃ガス等の排出といったランニング部分のみを評価範囲とした。ごみの収集回収、溶融施設の建設、および最終処理・処分施設の建設にかかわる環境負荷を評価範囲外とした。新門司工場におけるガス化溶融施設の処理フローと実測値インベントリ項目を図 4.27 に示す。LCA 評価では、実測値に基づく継続的な評価を行うことで、環境影響指標の変動によるごみ質の変化等を検証し、最終処理処分方法の組み合わせによるケーススタディを実施することで、当工場のごみ処理プロセスの Best Available System（以下 BAS）を検討する。



図4.25 新門司工場における家庭ごみ収集エリア

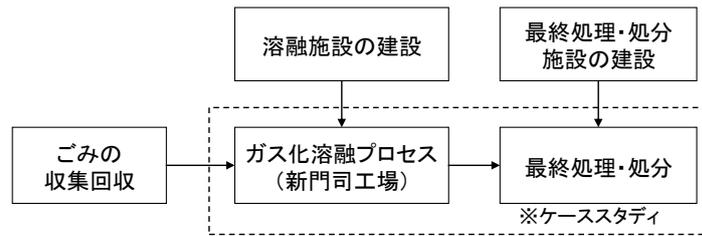
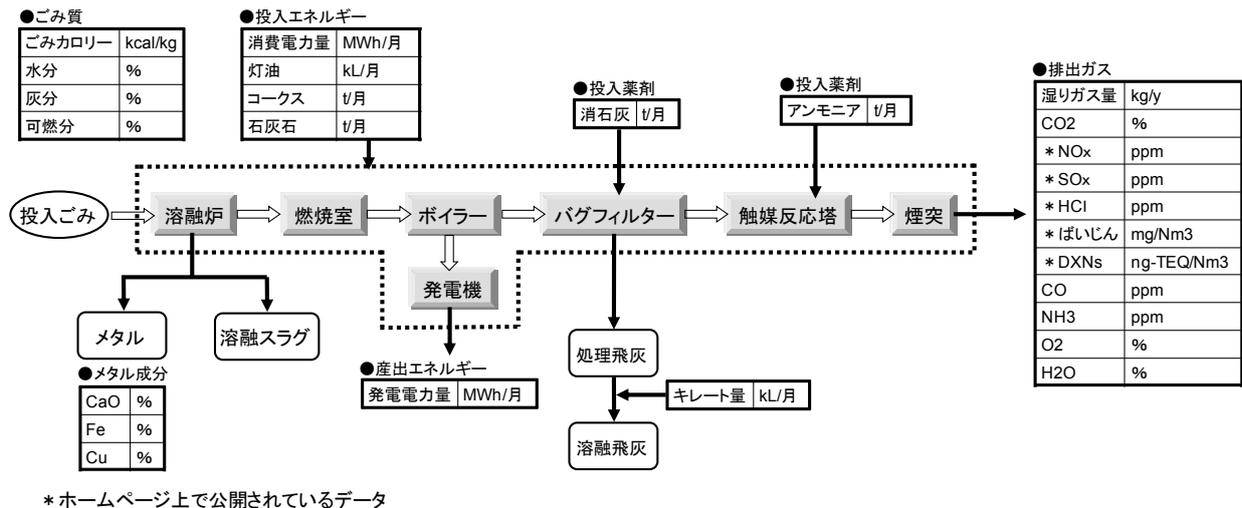


図4.26 評価範囲



* ホームページ上で公開されているデータ

図4.27 新門司工場におけるガス化溶融施設の処理フロー

(3) インベントリ分析

本研究では、北九州市新門司工場における平成19年4月から平成20年3月までの実操業インベントリデータを用いて評価を行った。ごみ質の変動を検証するため、四半期ごとに季節に合わせて整理してまとめた。LCI分析では、GHG、最終処分量、および再資源化量に注目し分析を行った。また、直接環境負荷（投入および排出による直接的な環境負荷分）、間接環境負荷（投入資材やエネルギーを製造するために発生する間接的な環境負荷分）、および環境負荷削減効果（資源化物をバージン材として製造するために必要な環境負荷分）ともに評価に計上する。GHGについては、CO₂、CH₄を対象としてGWP100年値（CO₂:1、CH₄:25）を用いて算出している⁴⁻²⁴。燃料エネルギーからのCO₂換算については環境省⁴⁻²⁵の原単位を用いて算出し、施設のCO₂実測値から燃料由来CO₂排出量を差し引くことで、ごみ由来CO₂排出量の算出を行っている。また、バイオマス由来CO₂を考慮しないカーボンニュートラルの考え方もあるが、全体的なグロス排出量を把握することも必要だという考えからカウントした場合も検討した。家庭ごみ中に、プラスチック類の割合を15%と推定し、ごみ由来CO₂排出量からこの比率を乗じてプラ由来CO₂とバイオマス由来CO₂の分類を行っている。その結果、ガス化溶融プロセスのトンあたりのCO₂排出原単位は、251.9kg-CO₂/t-ごみ（バイオマス以外）となった。うち、ごみ由来CO₂（プラ）は165.3kg-CO₂/t-ごみであり、全体の約66%を占めていることがわかる。また、

バイオマスをカウントした場合の原単位は 1188.6kg-CO₂/t-ごみと大きくなり、うち、バイオマス由来は約 79%を占めていることがわかる。ガス化溶融プロセスにおける季節別 GHG 排出量を図 4.28 に示す。

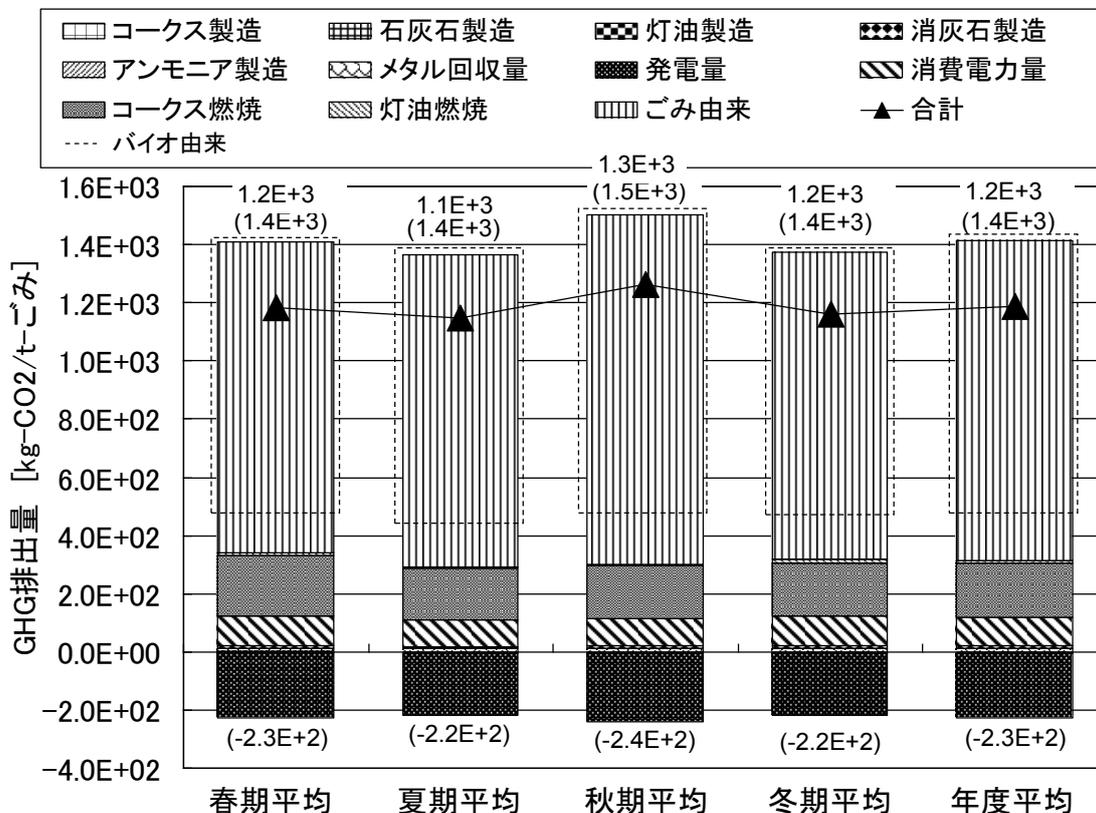


図4.28 ガス化溶融プロセスにおける GHG 排出量

同図から、年間を通してごみトン当たりの GHG 排出量の変動が少なく、±10%以内となっていることがわかる。うち、ごみ由来の CO₂ 排出量が一番大きな割合を占めており、コークスの燃焼と消費電力による CO₂ も顕著であることがわかった。また、焼却発電による GHG 削減量は全体の 19%程度を占めており、焼却発電の効果が確認された。

また、スラグの有効利用および溶融飛灰の山元還元の有効性を検証することを目的として、資源化や最終処分方法の組み合わせによるケーススタディを行った。再資源化のためのメタル、スラグと飛灰の輸送は評価範囲外とした。ケースの設定については表 4.7 に示す 3 ケースとした。

表4.7 ケースの設定

CASE	1	2 (現状)	3
スラグ	埋立	リサイクル	リサイクル
メタル	埋立	リサイクル	リサイクル
溶融飛灰	埋立	埋立	リサイクル

埋立については、NEDO の原単位⁴⁻²⁶⁾を用いて算出した。回収メタルの粗鋼、粗銅および生石灰は、未踏科学技術協会⁴⁻²⁷⁾と資源年報⁴⁻²⁸⁾の原単位を用いた。また、ケース3の溶融飛灰の山元還元における温室効果ガス排出量の概算として、0.73t-CO₂/t-溶融飛灰(公開資料⁴⁻²⁹⁾)をもとに算出)を用いて計算する。当工場では、年間を通してごみトンあたりの平均飛灰発生量が41.48kg/t-ごみであり、この値を持って計算を行う。一般廃棄物の焼却処理より発生する溶融飛灰の性状については山元還元事業者である光和精鉱(株)の実績値⁴⁻²⁹⁾を用いた。飛灰中金属類の含有率⁴⁻²⁹⁾(Cu0.4%、Zn1.9%、Pb0.52%)にメタル回収率⁴⁻²⁹⁾(Cu95%、Zn95%、Pb99%)を乗じることで飛灰中メタルの再資源化原単位を算出した。この原単位に溶融飛灰の発生量を乗じてメタル回収量を算出した。

ケーススタディの結果を図4.29、図4.30と図4.31に示す。この結果からGHG排出量について、溶融スラグとメタルの資源化の有効性が確認され、現状の排出量が一番少なく、Case3の山元還元プロセスによりGHG排出量が微増していることがわかる(図4.29)。ただし、図4.30に示すように、溶融飛灰を山元還元することによって最終処分量をゼロに達することができる。また、飛灰中の金属類を抽出し、さらに銅、亜鉛と鉛といった有価金属類を再資源化することが可能である(図4.31)。このように、GHG単一指標の観点から見ると、山元還元は悪い方向にあるが、最終処分量と再資源化量の他指標から見れば、その有効性は示されていることがある。各単一指標間のトレードオフを解消し、統合化指標を用いた評価が必要である。

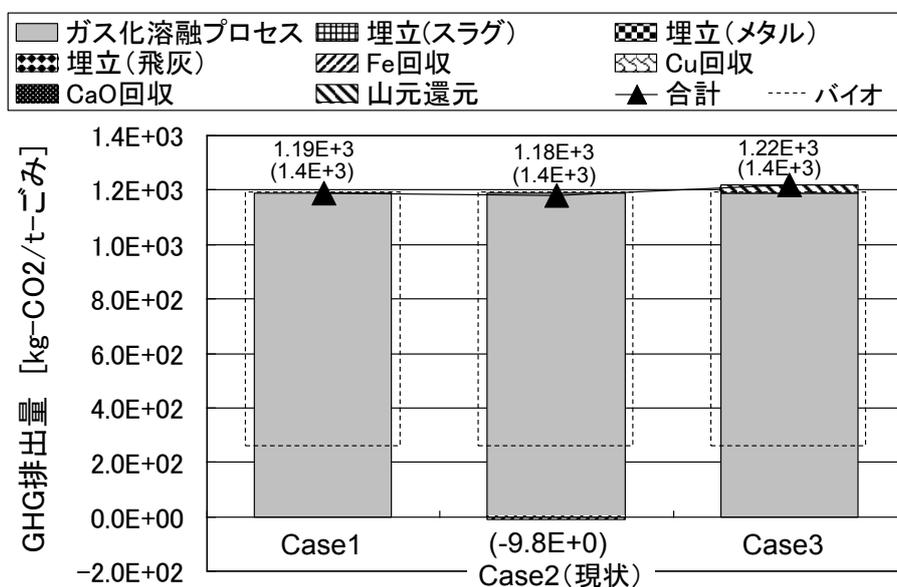


図4.29 年間ごみトンあたりのGHG排出量

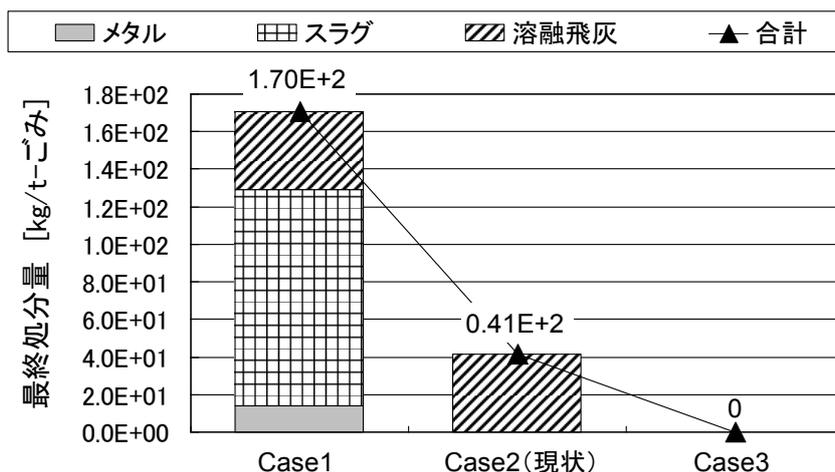


図4.30 年間ごみトンあたりの最終処分量

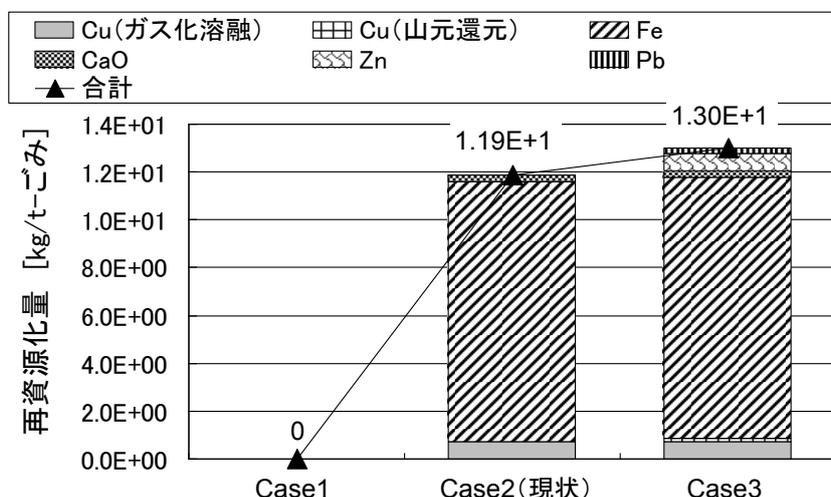


図4.31 年間ごみトンあたりのメタル再資源化量

(4) インパクト評価

統合化指標 ELP を用いてインパクト評価を行った。計上する環境負荷項目と計上方法を表 4.8 に示す。それぞれの環境負荷項目の LCI データについては文献値を引用した。

① 新門司工場の現状評価

当施設では、現状として熔融スラグ・メタルは再利用され、生飛灰は埋立処分されている。この現状を対象に、ごみトンあたりの ELP 評価結果を図 4.32 に示す。灯油の比重を 0.8kg/L として計算している。年間を通して投入ごみの処理による ELP の変動が±10%以内となり、ほぼ一定の値を示していることがわかる。熔融処理の ELP の増減は、ごみ質の変動傾向と比例することにより、ELP の変動が少ないのは、ごみ質が安定しているためだと考えられる。評価の結果より、ごみ燃焼由来 CO₂ の占める ELP が年度平均では、約 63.1%となり、一番大きい割合を占めていることがわかる。つぎに、還元剤として使用されるコークスについては、燃焼時の GHG 排出による地球温暖化への影響および資

源消費の2つのカテゴリーに環境負荷が課せられ、総 ELP が顕著であることがわかる。また、消費電力、NOx および生飛灰の埋立による環境負荷も無視できない割合を占めている。一方で、発電電力とメタル回収による環境負荷の削減分は、年度平均では、それぞれ総 ELP の 46.8%と 16.1%を占めており、焼却発電およびガス化溶融方式によるメタル回収の有効性は確認できたといえる。

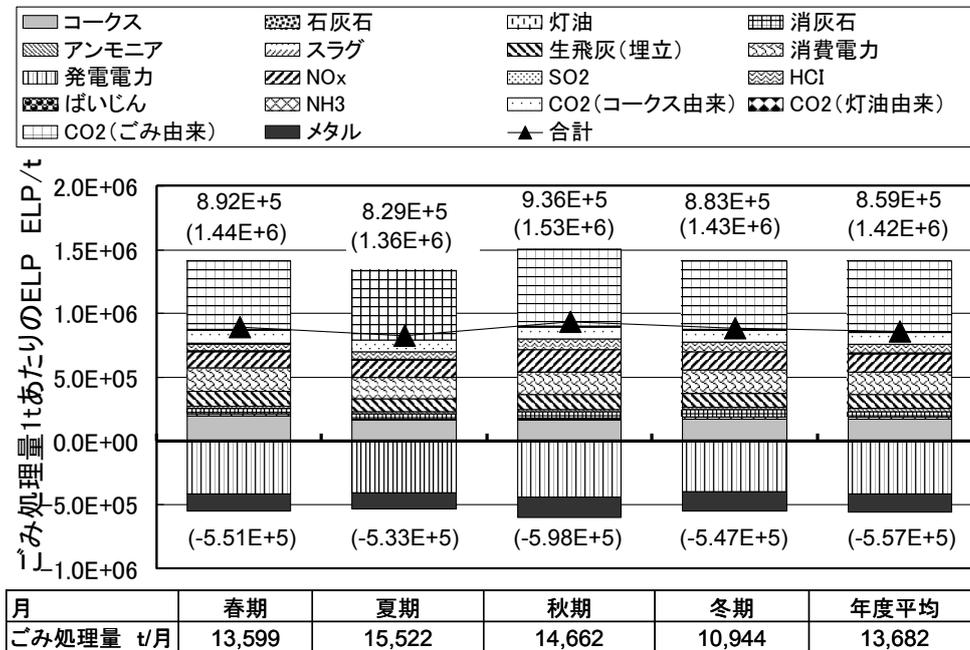


図4. 32 ガス化溶融プロセスの ELP 評価結果

表4. 8 環境負荷項目とその計上方法

計上項目		計上方法	
投入	消費電力	電力会社の発電により発生する原料消費や投入エネルギーを負荷分として計上	
	副資材	コークス ⁴⁻³⁰⁾	コークス製造における原料消費や投入エネルギーを負荷分として計上
		石灰石 ⁴⁻³¹⁾	石灰石製造における原料消費や投入エネルギーを負荷分として計上
		灯油 ⁴⁻³¹⁾	灯油製造における原料消費や投入エネルギーを負荷分として計上
		消石灰 ⁴⁻³²⁾	消石灰製造における原料消費や投入エネルギーを負荷分として計上
		アンモニア	アンモニア製造における原料消費や投入エネルギーを負荷分として計上
		キレート	キレート材製造における原料消費や投入エネルギー、および埋立による環境負荷を負荷分として計上
排出	排気ガス	CO ₂	大気に排出される CO ₂ の温暖化影響を負荷分として計上
		NO _x	大気に排出される NO _x の大気汚染と酸性雨影響を負荷分として計上
		SO _x	大気に排出される SO _x の大気汚染と酸性雨影響を負荷分として計上
		HCl	大気に排出される HCl の大気汚染と酸性雨影響を負荷分として計上
		ばいじん	大気に排出されるばいじんの大気汚染を負荷分として計上
		NH ₃	大気に排出される NH ₃ の酸性雨影響を負荷分として計上
	発電電力 ⁴⁻³¹⁾	電力会社の発電により発生する原料消費や投入エネルギーの負荷当量を削減分として計上	
	資源化物	スラグ	当量の砂利採取により発生する投入エネルギーの負荷を削減分として計上
メタル		メタル内に含まれる物質(鉄、銅、生石灰)当量の資源枯渇(バージン材と同等扱い)における負荷分を削減分として計上	
飛灰	飛灰当量の埋立による廃棄物処理問題を負荷分として計上		

※引用されていない項目は、早稲田大学永田勝也研究室 ELP 統計データベースより。

今回の評価では、エネルギー枯渇、地球温暖化、オゾン層破壊、酸性雨、資源消費、大気汚染、海洋・水質汚染、廃棄物処理問題、および生態系への影響の9つのインパクトカテゴリーを対象としたが、オゾン層破壊および生態系への影響の2つの領域には、インパクトが見られなかった。その他のカテゴリーへのインパクト評価結果を図4.33に示す。評価の結果より、GHGの排出による地球温暖化への影響がELP全体の約71.5%を占めていることがわかる。この中で約9割がごみ燃焼由来のGHGであることがわかる(図4.28)。また、統合化指標ELPでは、バイオマス由来GHGを含め、全体的なグロス環境負荷を把握し、計上している。つぎに、排ガスによる大気汚染への影響がELP全体の30%を占めている。この中で、NO_x、SO_xとHClが酸性雨への影響もあり、酸性雨への環境負荷は約12%と顕著であった。生飛灰の埋立による廃棄物処理問題への影響は約13%であり、大きな割合を占めていることがわかる。また、資源の消費とエネルギー枯渇の2領域には、メタルの回収と焼却発電により、それぞれ全体の約17%と8%の環境負荷削減分が見られた。また、生態系への影響にも少ないながら環境負荷削減分が確認できた。

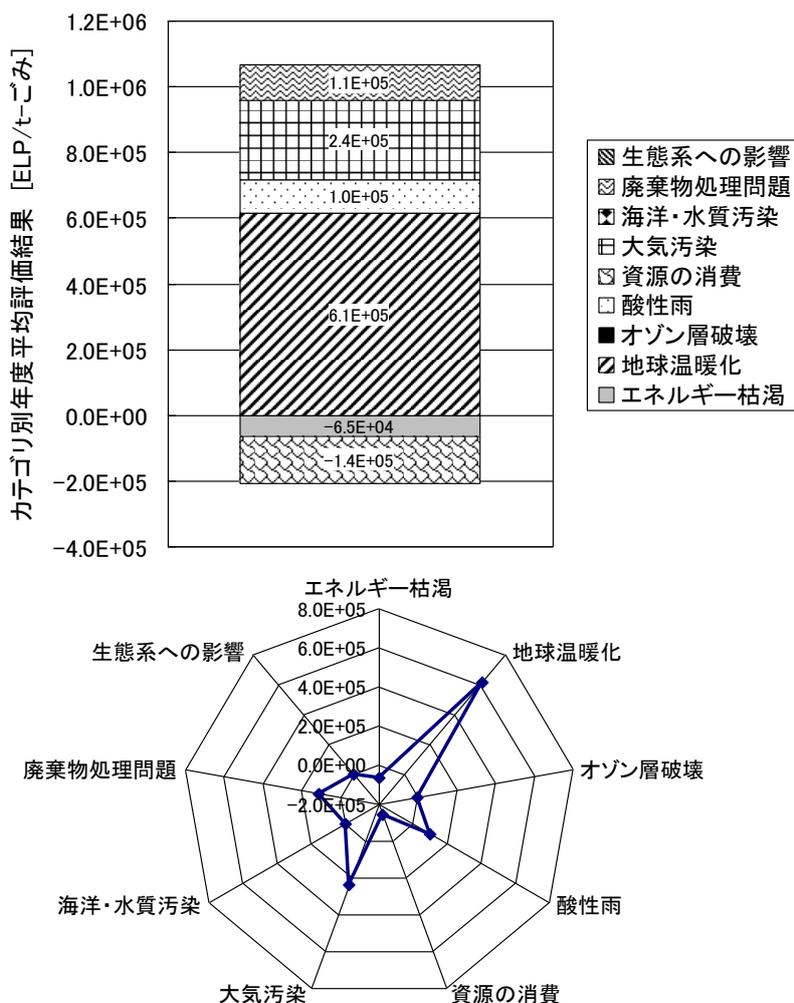


図4.33 カテゴリー別 ELP 評価結果

② ケーススタディによる資源有効利用の評価

トータル的な視点から資源の有効利用および溶融飛灰の山元還元の有効性を検証するために、前述（表 4.7 参照）と同様なケースを設定し、統合化指標 ELP を用いて最終処分方法の組み合わせによるケーススタディを行った。今回は、溶融飛灰の埋立の評価について、重量のみを考慮する従来の考え方をしている。飛灰中に含まれる重金属類の埋立に起因するポテンシャル的な生態系への影響等は考慮していない。その結果を図 4.34 に示す。評価結果から、CASE1 に比べ CASE2 はスラグとメタルの有効利用（＝埋立量の削減＋砂利代替）により ELP が約 36%減少し、さらに飛灰を山元還元（＝埋立量の削減＋重金属類の回収）する CASE3 は新門司工場の現状である CASE2 に比べ、ELP が約 12%減少されている。これより、今回の評価結果では環境面においてスラグ・メタルの再資源化、および飛灰の山元還元の有効性が示されたといえる。しかし、経済面においてコスト大の問題で溶融飛灰の山元還元は現在検討中である。今後廃棄物処理システムにおける環境・経済両面による BAS の評価や提案が必要とされている。そのために、環境・経済両方においてさらなるデータ収集が期待される。

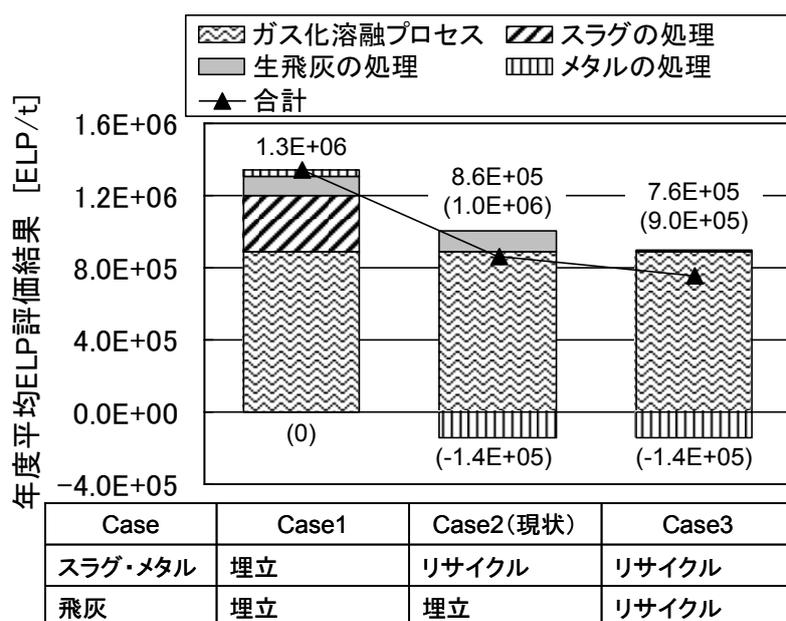


図4.34 ケーススタディ評価結果

4.5 トレーサビリティを確保した静脈物流管理システムの開発

2008 年に行われた溶融飛灰の山元還元に関する自治体と受入側企業との意見交換会⁴⁻³³⁾等において、排出側自治体等の関連団体から特管物である溶融飛灰の安全安心な物流輸送への関心が増えていることがわかった。廃棄物の減量化の促進を図り、国レベルの規制緩和措置として、H19 年 10 月に再生利用認定制度^{4-34~35)}に新しく追加されたばいじんについても、事業者に対して適切な情報公開、再生利用の有効性・透明性の担保について特記した。溶融飛灰の広域資源化処理システムにおいて、物流管理の信頼性・透明性を向上させるため、

北九州モデルを対象にトレーサビリティを確保した物流管理システムの開発を行い、実証試験を通してその検証を行った。

4. 5. 1 北九州モデル実証試験⁴⁻¹⁶⁾における溶融飛灰の運搬管理の現状

北九州市の実証試験においては、排出側の自治体が保管していた固化灰をフレコンバッグに梱包し、ウィング車で輸送し、積替えなしで排出元から直接受入元である光和精鉱に搬入した。フレコンバッグとウィング車を図4.35に示す。運搬ルートは、市の事業計画書によって決定した。交通事故などのやむ得ないルート変更に関しても、あらかじめ計画書によって定めた。



図4. 35 フレコンバッグとウィング車

4. 5. 2 開発したバーコード・GPS を活用した溶融飛灰輸送システムの概要

(1) システムの特徴

バーコード・GPS を活用した本システムの特徴を述べる。本システムを導入することで、これまでにあった問題点解決し、以下に示すような効果が期待できる。まず、全体を通して、作業の透明性・明確性の確保ができる。また、輸送時には指定輸送ルートの遵守、また、不測の事態に対する情報伝達が可能となる。このようなシステムを第3者が管理することで、信頼性の向上が図れる。バーコードとGPSで得た情報を既存の電子マニフェストシステムと連携することで、データ整理においても、簡便となる。他のシステムに比べ、バーコードを用いることでより安価なシステムを構築することができる。また、バーコードリーダーが遠隔で読み取ることができるため、現在行われている作業に対して新たな作業が増えず、作業者にとっては負担が少ないという点が挙げられる。

【システム導入の効果・特徴】

- ・ 作業の透明性・明確性の確保。
- ・ 指定ルートの遵守。不足の事態に対する情報伝達。
- ・ 第3者による管理により信頼性の向上。
- ・ 既存の電子マニフェストシステムとの連携。
- ・ 安価にシステムを構築することが可能。
- ・ 作業者にとって、負担が少ない。

(2) 溶融飛灰輸送管理の流れ

溶融飛灰輸送管理の流れを示す。表 4.9 にシステムの管理情報について示す。排出側は、倉庫搬出時にフレコンのバーコードを読み取り、トラック積載のフレコンの個数 Q_1 、積載重量 H_1 、排出時間 T_1 をチェックする。輸送時には、GPS により、運行状況、位置情報を管理する。これにより、指定ルートへの遵守、不自然な長時間の停車を管理することが可能である。最後に受入側では、倉庫搬入時にバーコードを読み取り、トラック積載のフレコンの個数 Q_2 、積載重量 H_2 、受入時間 T_2 をチェックする。また処理時には、処理時間 T_3 、 Q_3 をチェックする。 Q_3 が Q_1 、 Q_2 を処理した段階でこの一連の作業が終了ということになる。

表4.9 システムの管理情報

【排出側】	【輸送】	【受入側】
<ul style="list-style-type: none"> ・ 倉庫搬出時にフレコン単位での情報(バーコード) ・ トラック積載のフレコンの個数(Q_1) ・ トラック積載重量(H_1) ・ 排出日時(T_1) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ GPS による運行状況・位置情報 ・ 指定ルートの遵守 ・ 長時間の停車 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 倉庫搬入・処理時のフレコン単位での情報(バーコード) ・ トラック積載のフレコンの個数(Q_2) ・ トラック積載重量(H_2) ・ 処理個数(Q_3) ・ 受入日時(T_2)、処理日時(T_3)

(3) 管理システム

図 4.36 に管理システムイメージ図を示す。どの段階でバーコード、積載個数、重量、日時を読み取るのかを管理システムイメージを用いて説明する。

- ① 倉庫から搬出するときに、フレコン単位のバーコード情報を管理する。これによりトラック積載のフレコンの個数 Q_1 が確定する。
- ② 排出側でのトラック積載重量 H_1 を計量する。重量はドライバーが携帯電話を用いてサーバーに重量を送信する。この時点をもって、排出日時 T_1 とする。
- ③ GPS により輸送時の位置と時間情報がリアルタイムに転送される。
- ④ 受入側でのトラック積載重量 H_2 を計量する。同じく重量はドライバーが携帯電話で送信する。この時点が受け入れ日時 T_2 とする。
- ⑤ 倉庫に搬入するときに、フレコン単位のバーコード情報を管理する。これにより Q_2 が確定する。
- ⑥ 保管庫から処理するために搬出されるときに、バーコード情報より Q_3 と処理時間 T_3 を管理する。

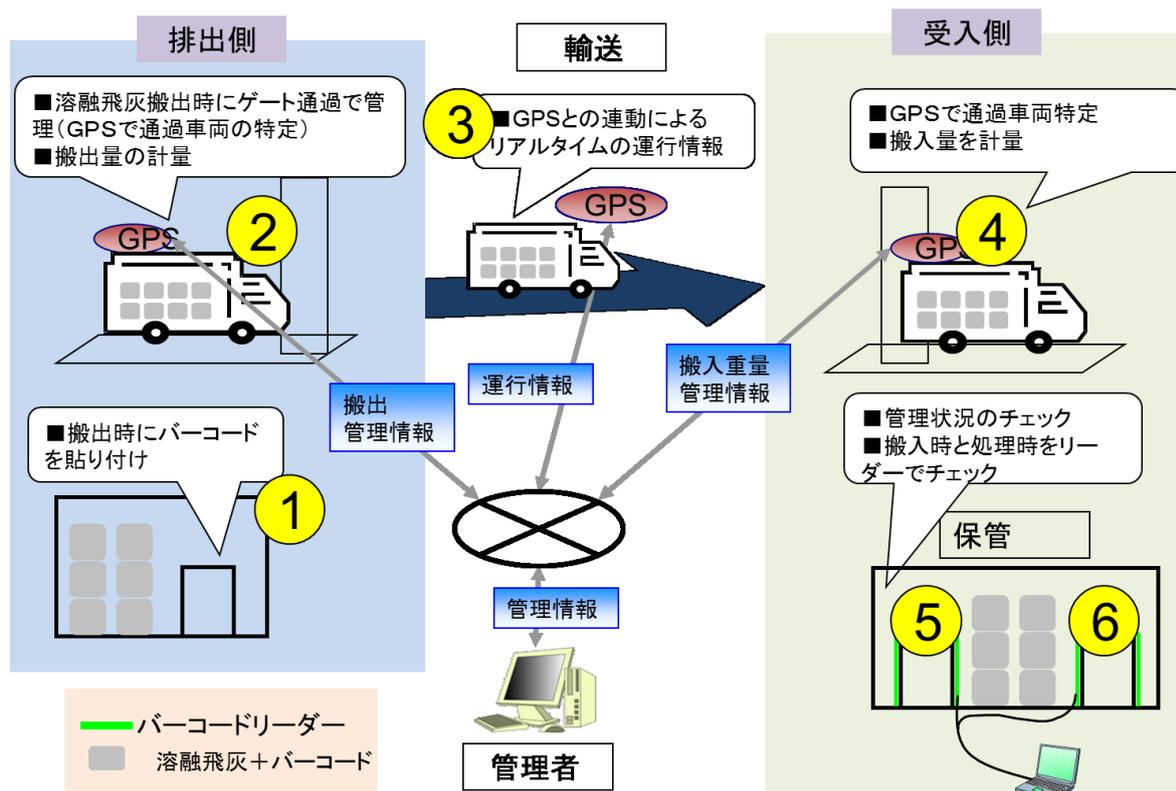


図4.36 管理システムイメージ

4.5.3 ブラウザ画面

(1) 運搬状況

運搬状況を示すブラウザ画面を図4.37に示す。GPSにより、5分間隔で現在地をサーバーに発信し、その位置情報をネット上で公開する。管理項目は指定輸送ルート以外の走行をしていないか、不自然な同一地点での停車をしていないかという2点で、これらを違反した場合には、管理者・ドライバーなどの関係者に警告メールが配信される。運搬作業番号のプルダウンリストから番号を選択することで、他の運搬状況を確認できる。また、地図上の←・→をクリックすることで、トラックがいつどこにいるかが確認できる。備考は、運搬中のコースアウトや停車によるアラートが発生した場合、その回数と内容が表示される。



図4. 37 運搬状況

(2) 運搬履歴

運搬履歴を示すブラウザ画面を図 4.38 に示す。バーコードで読み取った情報はこのようにまとめられる。運搬作業番号が運搬状況と特別一般廃棄物電子管理票と1対1対応していて、作業番号をクリックすると運搬状況、管理票に移動することができる。



図4. 38 運搬履歴

(3) 特別一般廃棄物電子管理票

特別一般廃棄物電子管理票を示すブラウザ画面を図 4.39 に示す。交付番号は

作業番号と一致している。重量や運搬年月日は、ドライバーが携帯電話を用いてサーバーに送信した時点で自動的に表示される。廃棄物内容一覧にバーコードリーダーに読み取られたバーコードの一覧が表示される。この個数が違う場合も警告の対象となる。処理年月日が表示されことで、一連の作業番号の作業が終了したことになる。自動記入されることで、迅速に管理票を作成することができ、また、偽装の不可能な管理票となっている。

早稲田大学 特別管理一般廃棄物電子管理票			
交付年月日	2005年12月7日	交付番号	0000000001
排出事業者	氏名又は名称: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX		
	電話番号0942-yy-yyyy		
	住所: YYYYYYYYYYYYYYYYYY		
産業廃棄物	種類(普通の産業廃棄物)		
	種類(特別管理産業廃棄物)ばいじん		
	重量5トン	荷姿フレコンバッグ詰め コンテナ収納	産業廃棄物の名称溶融飛灰
			処分方法 塩化揮発法
廃棄物内容一覧 コンテナ番号: uid001, uid002 フレコンバッグ一覧:			
中間処理の場所	委託契約書の通り		
運搬受託者	氏名又は名称〇〇運送		
	電話番号0942-zz-zzzz		
	住所: ZZZZZZZZZZZZZZZZ		
		引受数量5トン	運搬年月日 2005年12月7日
運搬先事業場	氏名又は名称光和精鉱		
	電話番号093-aaa-aaaa		
	住所福岡県北九州市		
		引受数量6トン	運搬年月日 2005年12月7日
処分受託者	氏名又は名称光和精鉱		
	電話番号093-aaa-aaaa		
	住所福岡県北九州市		
		引受数量6トン	処理年月日

図4.39 特別一般廃棄物電子管理票

4.5.4 GPS履歴取得試験

GPS履歴取得試験について、試験方法を以下に示す。今回の試験では、溶融飛灰の運搬業者ではなく自分たちの車で、実際に用いるGPS端末を車載し実際の指定ルートを走行し、試験した。検証として、高速道路のSA（サービスエリア）で休憩し、同一地点で長時間滞在した。

- ・ 実際に用いるGPS端末を車載し、指定ルートを走行する。
- ・ 位置情報は5分間隔でサーバーに送信する。
- ・ 送信された位置情報を地図上に履歴としてプロットする。
- ・ 地図上の履歴から、指定ルート以外の走行、また、同一地点の滞在がわかるかを確認する。
- ・ 指定ルートは排出元から光和精鉱構内。
- ・ 最短距離ではなく市街地を離れたルート。
- ・ 検証として、高速道路のSAで休憩し、同一地点の滞在で長時間滞在した。

GPS履歴取得試験結果を図4.40に示す。今回の試験では実際の地図を使用しているが、実際はデータ容量の圧縮を目的に簡略化した地図を用いることを考えている。排出元を出発し、大体等間隔で時刻と位置が表示される。高速に乗り、間隔が広がるが、ある部分で他のところに比べ間隔が狭いところがある、これは不自然な停車が予想される。実際にはSA(サービスエリア)で休憩した。また、光和精鉱付近で同一地点に滞在した地点があり、時刻と位置のマークが重複している。これらは警告対象となり、メールを配信する。



図4.40 GPS履歴取得試験結果

4.6 溶融飛灰山元還元の静脈物流管理データベースの構築

4.6.1 排出と受入双方を対象とした溶融飛灰の静脈物流管理に関するデータ収集

(1) アンケートや現地調査を通じた情報収集

特定荷姿の溶融飛灰のトレーサビリティシステムを構築するためには、その荷姿、輸送車両、資源化处理等、飛灰の排出から資源化处理、さらに再資源化物の行き先までの情報を把握することが肝要である。とくに資源化处理時や輸送時等の関連箇所での溶融飛灰の取り扱いの実際の画像情報を収集し、適宜開示していくことで、排出・受入両方の自治体や企業においても現場感のある情報交換が安心につながり重要な情報であると考えられる。

そのために、溶融飛灰の排出から最終資源化までの飛灰の取り扱い実情を排出側自治体と受入側企業を対象に、現地調査やアンケート調査を通して情報収集を行った。調査項目と調査対象を表4.10と表4.11に示す。調査結果の概要を表4.12、表4.13と表4.14に示す。

表4.10 調査項目

排出側自治体	受入れ側企業
① 施設の基本情報 溶融炉式、処理能力、飛灰発生量、処理方法等	② 資源化処理前の情報 受け入れる飛灰の種類、荷姿、輸送車両、荷卸および保管状況
② 飛灰排出の流れ 溶融炉より飛灰の排出、移送、薬剤処理方法や装置等	③ 構内移動情報 溶融飛灰の受入設備、保管場所から受入設備への構内移動方法、距離
③ 飛灰の保管 保管設備、期間等	④ 資源化処理後の状況 再生製品の情報、行き先・使い方・処理方法、処理残渣の有無
④ 飛灰の排出 積み出し装置、方法、輸送車両等	⑤ ITの導入状況 ICタグおよびバーコード導入の有無

表4.11 調査対象

排出側自治体	受入企業	
関東地方3工場 九州地方2工場	溶融飛灰資源化研究会の会員企業を対象とした。	
	回答企業	溶融飛灰の受入事業所
	光和精鉱株式会社	光和精鉱株式会社(福岡県北九州市)
	三井金属鉱業株式会社	三池製錬株式会社(福岡県大牟田市) 株式会社 MTR、大平洋金属株式会社(青森県八戸市)
	三菱マテリアル株式会社	三菱マテリアル株式会社直島製錬所(香川県直島町) 小名浜製錬株式会社(福島県いわき市)
	中部リサイクル株式会社	中部リサイクル株式会社本社事業所(愛知県名古屋市)

表4.12 受入企業における調査結果まとめ(乾灰)

荷姿	輸送車両	荷卸	保管場所	構内移動	受入設備	構内移動距離
ジェットパック		圧送	ホッパー	スクリーコンベア	ホッパー	0m
					脱塩処理施設	—
					レパルプ槽	—
				水洗槽	10m~20m	
コンテナ (トラック+鉄道)		ダンプ	ヤード	ホイールローダー	水洗槽	10m~20m
				ショベルカー	ホッパー	約100m
フレコン	ウイング車	フォークリフト	専用倉庫	フォークリフト	水洗槽	10m~20m (倉庫内)
					溶解槽	倉庫内
					レパルプ槽	不明
	コンテナ (トラック+鉄道)				水洗槽	10m~20m (倉庫内)
	平ボディトラック		テントハウス倉庫		飛灰溶解槽	約100m
	不明		専用倉庫		脱塩施設	不明

表4.13 受入企業における調査結果まとめ（湿灰）

荷姿	輸送車両	荷卸	保管場所	構内移動	受入設備	構内移動距離
コンテナ (トラック+鉄道)		フォーク リフト	専用倉庫	ホイールローダ	水洗槽	10m~20m
				バケットフォーク	溶解槽	10m~20m
			ヤード	ショベルカー	レパルプ槽	不明
天蓋付きダンプトラック		ダンプ	専用倉庫	ホイールローダ	水洗槽	10m~20m
			専用倉庫	ショベルカー	レパルプ槽	不明
			—(直接投入)	—	溶解槽	0m
フレ コン	ウイング車	フォーク リフト	専用倉庫	フォークリフト	ホッパー	約 100m
					水洗槽	10m~20m
			溶解槽		10m~20m	
	コンテナ (トラック+鉄 道)		専用倉庫		水洗槽	10m~20m
					溶解槽	10m~20m
	平ボディート ラック		ヤード		レパルプ槽	10m~20m
			テントハウス倉 庫		飛灰溶解槽	約 100m
不明	専用倉庫	脱塩施設	不明			

表4.14 排出側自治体における飛灰の取り扱い現状調査結果（一部抜粋）

ル ー ト	溶融飛灰の保管状況			輸送				計量	マニフェス ト
	・排出	・貯留	・積み出し	・荷姿	・輸送方法	・コスト	・輸送中の配慮		
1	飛灰処理 タンク	飛灰処 理タンク	直接専用コ ンテナへ積 み出し	乾灰バラ のコンテ ナ	専用コンテ ナのトラック +鉄道輸送	専用コンテナは高価な 印象はあるが、それほ ど影響はなかった。コ ストのメインはトラック 輸送の距離に依存す る。	地域内から車両 が出るときに飛 散防止のためコ ンテナを水洗い。	当施設 で計量 し、計量 伝票を 保管。	・一廃マニ フェスト
2	排出、加 湿と積込 が一体と なった装 置	フレコン	フォークリフ ト	湿灰の 二重フレ コン包装	20t ウィング 車輸送	高速回避によりコスト ダウン。	受入自治体が推 奨している産業 用道路の使用で 高速を回避。	当施設 で計量 し、計量 伝票を 保管。	・産廃マニ フェストを 活用
3	排出、加 湿と積込 が一体と なった装 置	フレコン	フォークリフ ト	湿灰のフレ コン包装	トラック輸送	受入自治体の指定ル ールとして高速道路を 使用。	独特な急斜面の 地形よりエアクッ ションが装備した 車両一台のみが 使用されている。	受入側 企業に て計量。 伝票を 保管。	・産廃マニ フェストを 活用 ・域外通 知

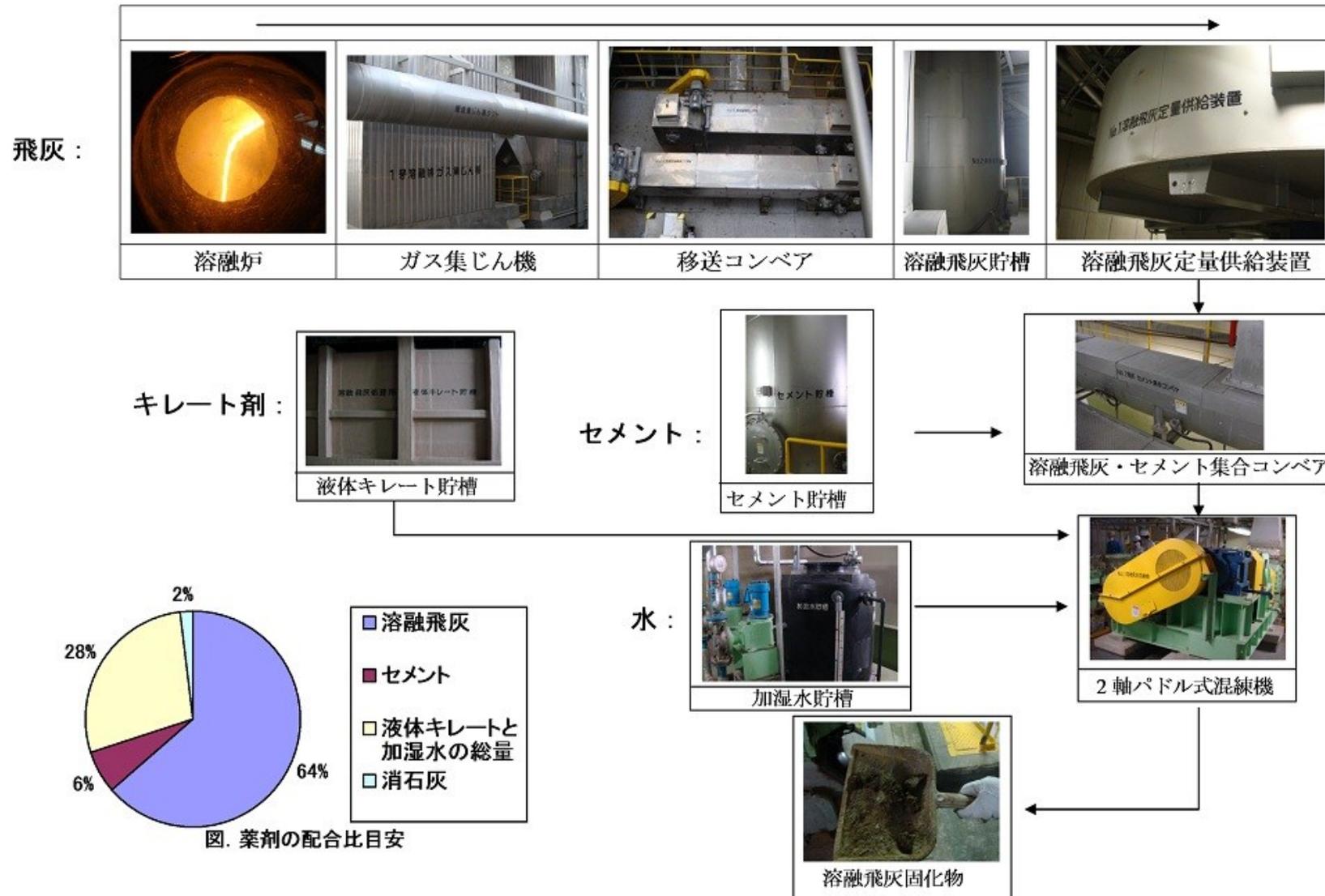
(2) 収集した詳細情報例

a. 排出側自治体を対象とした情報収集例（関東地方 A 工場）

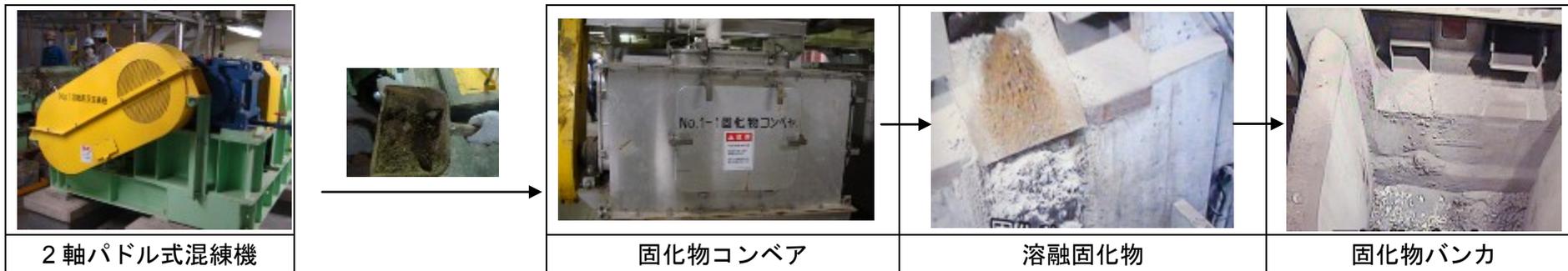
1) 基本情報

調査日	2010年2月25日（木）
溶融炉	放射式表面溶融炉 処理能力：180t/d(90t/d*2 炉)
溶融飛灰の発生量	・ 飛灰発生量 (2009年1月～12月実績値)：3691.21t
処理方法	・ 薬剤による混練り後埋立：3691.21t (100%)
埋立先	関東地方にある埋立処分場
扱っている飛灰の種類	<input type="checkbox"/> 乾灰 <input type="checkbox"/> 湿灰 <input checked="" type="checkbox"/> 固化灰
飛灰の固化	施設内で行う。
搬出状況	天蓋車

2) 溶融固化灰製造の流れ



3) 飛灰の保管状況



4) 飛灰の排出状況



※排出頻度：1炉およそ40回/月

b. 受入側企業を対象とした情報収集例 (B社)

表4.15 資源化処理前の物流管理の状況 (乾灰)

受入飛灰の種類	荷姿	輸送車両	荷卸し	保管場所
<p>■ 生灰</p>	<p>■ 乾灰 (乾粉)</p> <p>■ フレコンバック</p> 	<p>■ ウイング車</p> 	<p>■ フォークリフト</p> 	<p>■ 専用</p> <p>フレコンバック</p> 
		<p>■ コンテナ+トラック+鉄道</p> 	<p>■ フォークリフト</p>	
	<p>■ バラ</p> 	<p>■ ジェットパック車</p> 	<p>荷卸し方法 :</p> 	<p>バラ</p> <p>■ 専用</p> 
		<p>□ コンテナ+トラック</p>	<p>—</p>	

表4.16 資源化処理前の物流管理の状況（湿灰）

受入飛灰の種類	荷姿	輸送車両	荷卸し	保管場所
<p>■ 生灰</p>	<p>■ 湿灰（調湿）</p> <p>■ フレコンバック</p> 	<p>■ ウィング車</p> 	<p>■ フォークリフト</p> 	<p>■ 専用</p> 
		<p>■ コンテナ+トラック+鉄道</p> <p>➢ コンテナ種類： （JR5t コンテナ）</p> 	<p>■ フォークリフト</p> 	
	<p>■ バラ</p> 	<p>□ コンテナ+トラック（鉄道を使用せず）</p> <p>■ コンテナ+トラック+鉄道</p> <p>➢ コンテナ種類： ()</p>  <p>➢ トラック種類： ()</p> 	<p>—</p> <p>荷卸し方法：</p> 	<p>■ 専用</p> 
		<p>■ その他天蓋付ダンプトラック)</p> 	<p>荷卸し方法：</p> 	

表4.17 構内移動

保管場所	構内移動方法	受入設備	保管場所から受入設備までの大体の距離 [m]
■ 乾灰	■ フォークリフト 	設備名：(飛灰水洗槽) 	専用倉庫内でフレコンを開梱して、飛灰の山をつくる。ホイールローダにて、水洗設備へ投入。その間、10~20m。
	■ 移動方法：(ホイールローダ) 	飛灰水洗槽へ投入 	同上
■ 湿灰	■ フォークリフト 	設備名：(飛灰水洗槽) 	同上
	■ 移動方法：(ホイールローダ) 	飛灰水洗槽へ投入 	同上

表4. 18 資源化処理後の状況

再生 製品	<p>■銅 製品概要：(銅マット)</p> 	<p>■亜鉛 製品概要：(粗酸化亜鉛)</p> 	<p>■鉛 製品概要：(粗酸化鉛)</p> 	<p>■その他（具体的に） (スラグ)</p> 
行き先/ 使い方/ 処理方法	銅製錬所 / 自溶炉・電解精製	亜鉛製錬所 / 電解採取もしくはISP 溶鋳炉	亜鉛製錬所→鉛製錬所 / 電解精製	セメント原料 土木資材
残渣の 有無	□有 ■無 有の場合は処理方法：()			

表4. 19 飛灰管理におけるITの導入状況

	IC タグ	バーコード
使用の有無	□有 ■無	□有 ■無

4. 6. 2 溶融飛灰の静脈物流管理に関するデータベースの構築に向けた検討

以上のような実際の写真つきの情報をソフトウェアとしてデータベースに集約し、排出と受入側自治体、資源化処理工場、輸送業者および第三者評価機関といったステークホルダーへの情報提供・共有することで、トレーサビリティシステムの効率化の検討、資源化処理システムの高度化等に役立つ。また、排出側自治体として、溶融飛灰の受入企業、輸送方式および管理方式等を選択する際の検討材料となり、画像イメージングの提供により安心感が向上し、山元還元事業の推進効果も得られると考えられる。以上を考慮して以下の特長を有するデータベースフォーマットを設計し、ある程度の情報を拡充した。

- ・ 実際の画像つきの DB となっていること。
- ・ データ拡張性の高いデザインとなっていること。
- ・ 選択方式によるシナリオの設計が可能なこと。

作成したデータベースの一部を図 4.41 に示す。

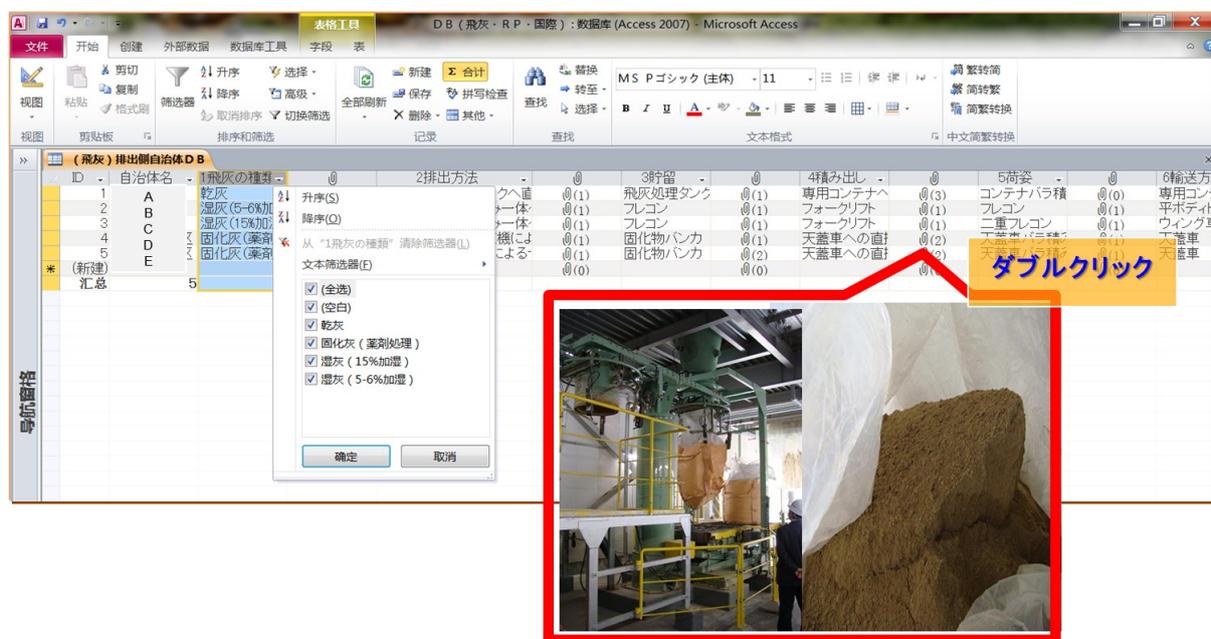


図4.41 溶融飛灰の静脈物流管理に関するデータベース（一部）

4. 7 自治体間連携ルールの検討と展開

4. 7. 1 自治体間協議の意義⁴⁻³⁶⁾

ダイオキシン対策等に伴い溶融炉が普及する中で、循環型社会づくりの地域の牽引役を担う自治体にとって、自らが排出する溶融飛灰リサイクルは、重要な課題である。一方、この対策に関して、「一般廃棄物は自区内処理」という一般的な考え方に沿えば、溶融飛灰リサイクルもまた、個々の団体が個々の区域内に施設を整備することとなる。これは、社会全体の仕組み、技術、コスト等の効率面から見れば非現実的であり、溶融飛灰リサイクルは、当然、「広域処理」の形をとることとなる。

しかしながら、現在の自治体における広域処理に目を向ければ、取り組んで

いる団体は限定的であり、また、その対応も対処的かつバラバラである。本来の「廃棄物の広域処理の仕組みはどうあるべきか」という命題に対して何ら具体的な整理ができないまま、広域処理という現実が進んでいる状況にある。

さらに、循環型の仕組みづくりを図っていく上で、自治体のみならず、運搬事業者、リサイクル事業者という民間セクターが深く関わっていくこととなるが、その役割を円滑に進めていくためには、自治体としての広域処理に係るしっかりとした考えがベースとなるものである。

このため、本研究では、広域的飛灰リサイクルを円滑に実施するために必要な自治体間ルールの整理を行うとともに、併せて、そのルールに則った中での関係者の具体的役割を明らかにすることを目的とする。

4. 7. 2 自治体間連携における課題と対応⁴⁻³⁷⁾

溶融飛灰の資源化に関する課題およびその解決のための検討ポイントを整理すれば、以下の4点となる。

(1) 「自区内処理」の呪縛からの解放

廃棄物のリサイクルを阻害している要因の一つとして、「自らの区域から出た廃棄物はその区域内で処理する。」といういわゆる「自区内処理の原則」がある。リサイクルシステムは、従来の「自治体のごみを集め、運び、焼く・埋め立てる」という形に比較し、複雑なものであり、これを地域の大小を問わず画一的に従来型の地域内という枠組みで構築することは困難である。

とりわけ、溶融飛灰リサイクルの場合、拠点が全国どこでも簡単に整備できるような単純な技術ではなく、広域を前提としなければ推進は図れない。そこで、検討に当たっては、従来の枠組みを無視するというのではなく、当然尊重はしなければならないが、だからだめというのではなく、その枠組みの解放するために、何を担保しなければならないのかを整理することが重要である。また、必要に応じてそのための制度の改定も考えなければならないと考えられる。

(2) 広域処理における出す側の自治体の「処理責任」の確立

処理責任については、「処理する場の確保」、「コストの負担」という現実的な部分に目がいきがちで、広域処理が行われる場合、処理する場の確保ができないからコストを負担し他地域で処理してもらおう、したがって処理先との契約が終われば、以後の処理は他地域にお任せするという「狭義的な処理責任」の考えが一部に見受けられる。確かに、手続き論として法制上はクリアしているわけであるが、本来の法制上の目的は、確実かつ円滑な処理を確保するためであり、広域であるが故に従来とは異なる別途の対応が必要な事項も出てくるわけであり、この視点から、出す側の自治体として処理責任を果たすために何をなすべきかを整理しなければならない。

(3) 「協働作業システム」の整備

溶融飛灰処理システムを構築する中で、関係者は、出す側、受ける側の両自治体に加えて、運送、保管、リサイクルを担う民間事業者と多岐にわたる。

また、これらの民間セクターの作業には、広域を前提とした産業廃棄物処理と異なり、2以上の自治体の政策・考え方が絡まり、円滑な実施を図るために

は複数の関係の糸が絡まないような綿密な調整が必要となる。

さらに、その関係者の存在する地域が離れることにより、情報の伝達、確認も従来以上の注意が必要である。

したがって、これらの課題に対応するためには、役割分担を考える以前に、公的セクター、民間セクターを問わない全体の協働作業という視点からシステムを整理することが肝要である。

(4) 受ける自治体内における「安全、安心のための万全の仕組み」の確立

広域処理を行う場合、特に問題となるのは、受ける側の住民の意向である。結果から述べれば、これが、自治体の広域政策の大きな壁となっている。一方、壁になる要因を解析すれば、1つは、「何故、他都市のごみを処理しなければならないのか。」であり、この点については、循環型社会づくりの政策の一環としての全体の考え、システムを明示し、理解を得る必要がある。2点目は、「住民の安全に対する不安」である。これは、広域であるが故に、地元の自治体だけで安全を担保するには限界があるという点にあり、この不安を解消して初めて地元の理解が得られるものである。

したがって、まずは(2)、(3)の考え方の確立を図ることがベースとなるが、さらには、従来以上の綿密なチェック体制、情報公開体制が不可欠であり、これらについて、関係自治体間で整理することが必要である。また、理解を得るため、地域メリットも考慮する必要がある。

4. 7. 3 自治体間ルールづくりにおける段階の整理

前述のような視点から、今回のルールを整理するためには、いくつかの段階が必要となってくる。

(1) 事前準備段階

飛灰のリサイクルに取り組もうとすれば、まず、受入可能なリサイクル事業者の検索、当該区域を管轄する自治体の意向等を当てることとなる。この場合、排出自治体や管轄する自治体のそれぞれの基本的な考え方がしっかりしていなければ、その後の調整が場当たりの可能性が高くなり、結果として住民不安につながるものである。

したがって、正式な協議の場ではないが、この段階においても、関係者それぞれがしっかりとしたスタンスを固め、調整に臨むことが必要である。

(2) 計画段階

排出、管轄両団体での基本方針のすり合わせが調えば、正式な協議に入ることとなる。ここでは、運搬、処理に係る具体的な内容について協議することとなるが、この段階で重要なことは、安全性の担保について、関係者が綿密な調整を図り、総合的な視点から問題ないかどうかを整理することにある。

また、この整理に基づき、関係者の安全性の確保に関する役割を明確に認識することが重要である。さらに、住民不安の解消に向けて、情報公開の手法、内容について考えを統一しておくことも重要である。

(3) 実施段階

事前準備、計画各段階を経て、実行に移ることとなるが、当然のことながら、

この段階で重要なことは、約束された事項の確実な実施である。

一方、担当者の交代等の状況の変化、慣れ等からくるミスは全く起こりえないことではなく、それを確実に防ぐための仕組みがこの段階で必要である。また、実行内容のレビュー、必要に応じての対策の改善等も重要である。

4. 7. 4 各関係主体間の関係と役割

溶融飛灰は特別管理一般廃棄物となることから、排出元以外の自治体に所在する処理事業者に処理の委託を行う場合には、廃棄物処理法において当該自治体に対して、一般廃棄物の処理を行う処理事業者名、所在地、処理開始日及び処理方法を通知して協議を行うこととされている。また、処理の委託を1年以上継続するときは処理の状況について実地に確認を行うこととされている。

従来から、一般廃棄物、特に特別管理一般廃棄物を資源として活用するための域外処理について、処理事業者において技術的、環境保全性等において十分な対応がなされている場合でも、処理先自治体の様々な制約事項等で資源循環が阻害されている現状にある。

これには様々な要因があると思われる、過去の事例等から排出者が当該処理委託事業に対して十分な責任を果たしていないことも一因であると考えられる。

そこで、本溶融飛灰資源化にあたり、排出者側の責任を明確にし、処理先自治体、資源化事業者、運搬事業者との連携を図り、必要な情報提供と情報交換を図ることが重要であると考え、各種処理センターが処理の中心となっている場合も含めて、各団体のルールづくりについて、計画段階及び実行段階に区分して検討した。その概要を表4.20に示す。図4.42に溶融飛灰資源化処理フローを北九州市を例に示す。ここで、処理センターとは、例えば、(財)三重県環境保全事業団や東京二十三区清掃一部事務組合など、廃棄物処理事業を所管の自治体から委任されている団体・センターを指す。

表4.20 団体間におけるルールづくりマトリックス

相手側 主体	処理センター	委託先自治体	資源化事業者	運搬事業者
処理センター	.....	<ul style="list-style-type: none"> 【事前調整】 ・資源化計画協議 ・飛灰資源化の概要 ・処理責任 ・処理能力 ・環境影響 【計画】 ・資源化計画策定 ・資源化委託の通知 【実施】 ・実施報告 ・情報公開 	<ul style="list-style-type: none"> 【事前調整】 ・飛灰資源化の概要 ・処理責任 ・処理能力 ・環境影響 【計画】 ・資源化計画策定 ・資源化委託 【実施】 ・実施報告 ・資源化状況の確認 ・情報公開 	<ul style="list-style-type: none"> 【事前調整】 ・運搬計画の概要 【計画】 ・運搬計画 ・収集運搬委託 【実施】 ・運搬指示と到着の確認 ・運搬状況の確認
委託先自治体	<ul style="list-style-type: none"> 【事前調整】 ・資源化計画の協議と指示 ・基本審査 【計画】 ・資源化計画の審査 ・安全性の確認 【実施】 ・報告の受領 ・情報公開	.....	<ul style="list-style-type: none"> 【事前調整】 ・資源化計画の協議と指示 ・基本審査 【計画】 ・資源化事業の審査 ・安全性の確認 【実施】 ・報告の受領 ・情報公開 ・資源化状況の確認	.....
資源化事業者	<ul style="list-style-type: none"> 【事前調整】 ・資源化設備の概要 ・処理能力 ・環境影響 【計画】 ・資源化委託契約 【実施】 ・資源化実施報告 ・環境調査報告 ・確認調査の受入 ・情報公開 	<ul style="list-style-type: none"> 【事前調整】 ・資源化事業の協議 【計画】 ・資源化計画 【実施】 ・資源化実施報告 ・環境調査報告 ・確認調査の受入 ・情報公開	.....	<ul style="list-style-type: none"> 【計画】 ・運搬計画の協議 ・連絡体制 【実施】 ・運搬計画の確認
運搬事業者	<ul style="list-style-type: none"> 【事前調整】 ・運搬計画の協議 【計画】 ・運搬委託 【実施】 ・運搬実施報告 ・運搬計画の確認	.....	<ul style="list-style-type: none"> 【計画】 ・運搬計画の協議 ・連絡体制 【実施】 ・運搬計画の確認	.....

第4章 希少性・有害性廃棄物の国内レベルでの広域的な資源循環システムの構築と展開

溶融飛灰飛灰リサイクル手続きフロー（案）北九州市の例

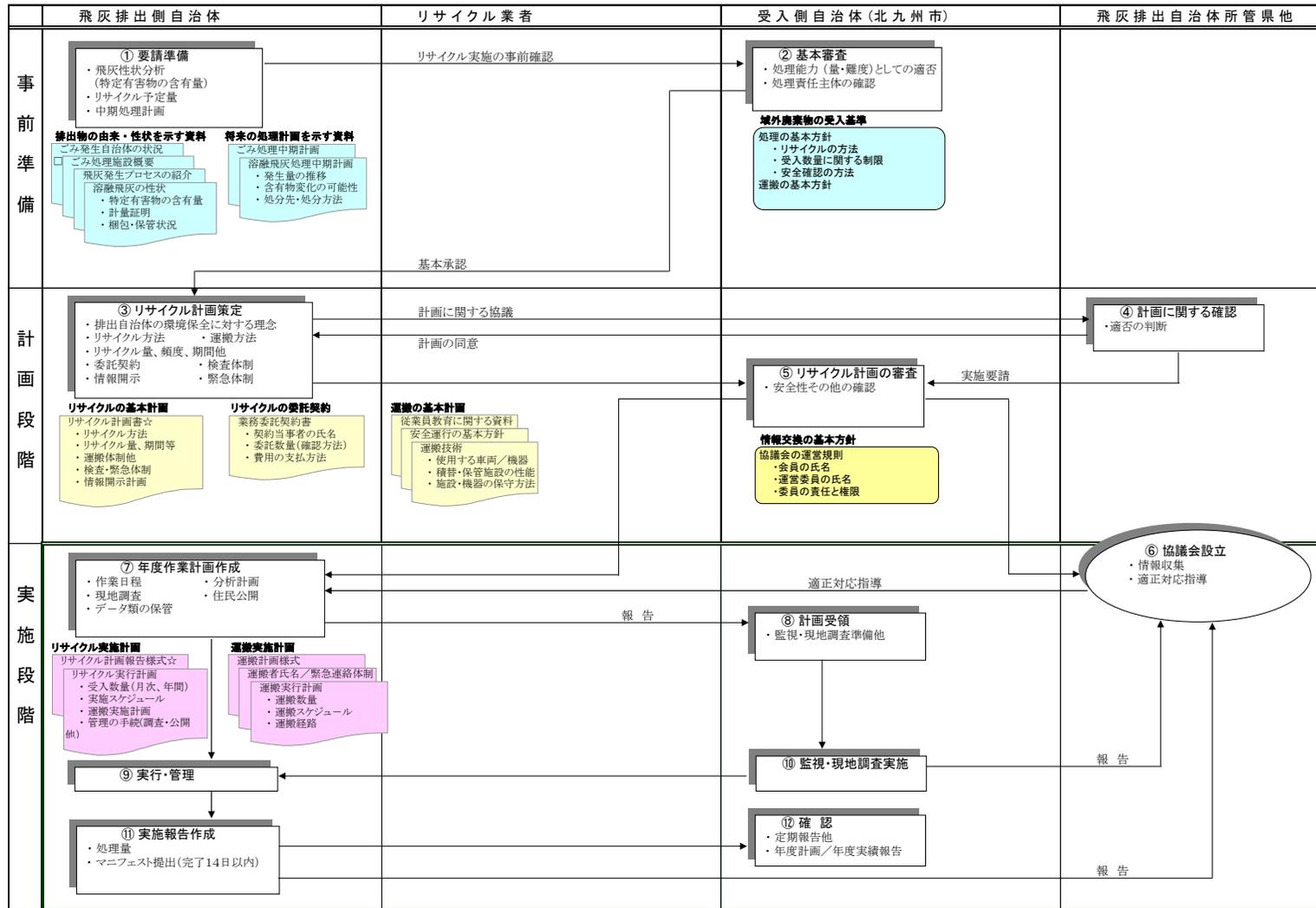


図4.42 溶融飛灰資源化処理フロー（北九州市の例）

4. 7. 5 北九州モデルにおける自治体間ルールの展開とその検証

光和精鉱株式会社における溶融飛灰の資源化事業は、図 4.42 に示す自治体間ルールのもとに実施されている。事業化したあとも、関係者間で情報共有を行い、そのルールの確実な実施を継続的に確認することが必要である。ここで、事業化したあとの自治体間ルールや排出側自治体の意向を現地調査を通して調査を行った。

その結果、関係者にヒアリングを行ったところ、光和精鉱より「北九州溶融飛灰連絡協議会」に対して、処理の進捗状況、溶融飛灰処理に関する各自治体からの打診状況、本研究に関わる協議事項等が電子メール等により情報共有がなされていることを確認した。

また、システムの現状と課題を把握し、山元還元の推進手法の検討を目的として、北九州モデルに参画している排出側自治体の関係者を対象に H19、H20 と H21 の 3 年連続で現地ヒアリングとアンケート調査を実施した。調査の結果を表 4.21 に示す。今後、処理規模の増加に伴い、排出側の自治体や運搬事業者との協議事項も増えていくことが予想される。その中、全体のルールの実施状況を確実に検証していく必要がある。

なお、本事業は 2006 年より実施し、数年の安定運転を経過し、現在の北九州モデルにおける自治体間ルールについては、図 4.43 に整理した。

表4.21 北九州モデルにおける排出側自治体へのヒアリング調査結果まとめ

調査項目	H19 年度調査結果 (4 自治体対象)	H20 年度調査結果 (3 自治体対象)	H21 年度調査結果 (3 自治体対象)	備考
山元還元に踏み切ったきっかけ	①循環型社会の構築(4) ②埋立処分場の逼迫(2) ③コストの削減(1) ④周辺住民の埋立反対(1)	—	—	<ul style="list-style-type: none"> コストの削減をきっかけに山元還元に踏み切った自治体も存在する。 山元還元事業の推進を図るために、地域住民の影響力を生かし、適切に情報発信していくことが重要といえる。
溶融飛灰山元還元の課題	①コストの削減(4) ②適切な情報開示(1) ③安定的な受入(1)	①コストの削減(3) ②安定的な受入(1)	①コストの削減(3) ②安定的な受入(1)	<ul style="list-style-type: none"> 前年度「資源化に関する情報が不十分」欄にチェックマークされていたケースについて、法基準を遵守している分析結果の報告や情報開示等、その後の対応により次年度より満足している回答が得られた。 安定的な受入が課題の自治体では、リスク分散の意味で、最終処分を他地域に委託しているケースがある。
自治体間ルール	①安全安心なシステムとして満足している。(2) ②どちらとも言えない(1) ③もっと情報開示してほしい(1)	①安全安心なシステムとして満足している。(3)	①安全安心なシステムとして満足している。(3)	<ul style="list-style-type: none"> 事業を始めた当初と比較し、翌年に3つの自治体ともに安全安心なシステムとして満足していることが確認できた。 どちらとも言えないケースについて、山元還元を始めてから2年を経て、受け入れ側企業と自治体に対する信頼関係が築かれ、安心に至ったと示唆された。

※括弧()内の数字は回答した自治体数。

※H19とH20にヒアリングしたのは同じ自治体である。

第4章 希少性・有害性廃棄物の国内レベルでの広域的な資源循環システムの構築と展開

北九州モデル構図	<p>事前協議→正式通 確認後事前了承→正式了</p> <p>協議・相談 立入検査・指導・監督</p> <p>契約</p>		《受入側自治体》 北九州市 の基本的な考え方	<p>【循環型社会構築に向けた広域受入によるリサイクルの促進】 北九州市では、環境保全と産業振興を統合した政策であるエコタウン事業を展開するなど、リサイクル産業振興を市の基本的な施策として位置付けています。そのため、確実にリサイクルを実施すると本市が確認した民間企業に対して、公開の都市計画審議会の付議を経た上で、一般廃棄物処理施設の設定許可を行うとともに、本市廃棄物処理計画において、リサイクル目的の市外からの一般廃棄物の広域受入を規定しています。</p> <p>【北九州モデル】 一方で、リサイクル目的といえども一般廃棄物を域外から受け入れる側の市民にとっては、自区内処理の原則という誤解、ごみに対する「不安感」「不信感」「嫌悪感」が存在することは事実であり、市民の理解が広域的なリサイクルシステム成立には不可欠です。</p> <p>そのため、早稲田大学溶融飛灰資源化研究会の総合監修の下で、光和精鋳の資源化システムについて安全性や環境負荷、再生品の品質等の技術面とともに、特別管理一般廃棄物の広域的移動に関して排出元と受入側双方の自治体間の合意形成のためのルール作りに関する実証試験を行いました。この実証試験を踏まえ、受入側の本市は排出元自治体と事前協議を行い廃棄物の性状や搬送ルート等を確認することにより市民の安心・安全を担保し、また、許可権者として光和精鋳の指導監督、さらに、第三者機関として早稲田大学がリサイクルシステムを評価するという、適正・円滑な溶融飛灰の広域リサイクルシステムを構築しています。</p>										
	事業所 事業名 所在地 資源化技術・方式 処理施設能力 許可	光和精鋳株式会社 戸畑製造所 福岡県北九州市戸畑区大字中原46-93(新日本製鐵(株)戸畑構内) 塩化揮発法 3,200トン/月 ①業の許可 特別管理産業廃棄物処分業許可 第07670003555号 ②施設の許可 一般廃棄物処理施設設置許可 許可番号24			北九州市担当者 北九州市環境局環境政策部環境首都政策課 Tel:(093)582-2187 Fax:(093)582-2196 循環型社会推進係長 敷田 E-mail:hiroshi_shikita01@city.kitakyushu.lg.jp 坂寄 E-mail:yohio_sakazaki01@city.kitakyushu.lg.jp									
受入対象	受入品目 ◎溶融飛灰 ○焼却飛灰 △焼却灰 ◎乾灰 ◎湿灰 ○キレート処理灰 △キレート処理セメント固化灰 受入基準 ダイオキシン類 : 3ng-TEQ/g未満 ※水銀を含有するばいじんのお引取も可能です。	事前協議 【排出自治体→北九州市】 ・入札、見積合せ等に光和精鋳(株)を指名する際、事前に北九州市と協議を行なう。 ・電話/E-mailにて連絡後、下記書類を送付する。 「廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令第4条第9号イの規定に関する事前協議について(要請)」 (添付書類-1) 「運行経路報告書」 (添付書類-2) 【北九州市→排出自治体】 ・内容確認の上、北九州市長名による「受入了承」文書を送付する。	ルール 通知 【排出自治体→北九州市】 ・光和精鋳(株)への委託決定後、北九州市へ通知する。 ・電話/E-mailにて連絡後、下記書類を提出する。 「廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令第4条第9号イの規定に基づく通知について(通知)」 (添付書類-3)											
輸送	輸送方法・荷姿 <table border="1"> <thead> <tr> <th>輸送距離</th> <th>輸送方法</th> <th>荷姿</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">近～中距離</td> <td>トラック</td> <td>ジェットパッカー車 天蓋付ダンプ ウイング車、平ボディ車</td> <td>バラ(乾灰) バラ(湿灰) フレコン</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">中～長距離</td> <td>JR+トラック</td> <td>専用コンテナ JRコンテナ</td> <td>バラ(湿灰) フレコン</td> </tr> </tbody> </table>	輸送距離	輸送方法	荷姿	近～中距離	トラック	ジェットパッカー車 天蓋付ダンプ ウイング車、平ボディ車	バラ(乾灰) バラ(湿灰) フレコン	中～長距離	JR+トラック	専用コンテナ JRコンテナ	バラ(湿灰) フレコン	送 輸送ルート ・市街地への環境負荷を下げるため、可能な限り、高速道路を走行するものとする。 (北九州市内は、原則として北九州都市高速道路を走行すること。) 運搬会社 ・特別管理産業廃棄物・ばいじんに関し、北九州市の収集運搬許可を取得していること。	その他 マニフェストの交付 処理委託に関し、マニフェストを交付する。 システムの検証 ・早稲田大学によるシステム検証を年一回行う。 ・検証結果は、早稲田大学溶融飛灰資源化研究会のHP及びシンポジウムにて公表する。
輸送距離	輸送方法	荷姿												
近～中距離	トラック	ジェットパッカー車 天蓋付ダンプ ウイング車、平ボディ車	バラ(乾灰) バラ(湿灰) フレコン											
	中～長距離	JR+トラック	専用コンテナ JRコンテナ	バラ(湿灰) フレコン										

図4.43 北九州モデルにおける自治体間ルール等の実施体制

4.8 情報開示の在り方の検討と展開

4.8.1 北九州モデル専用情報開示 WEB サイトの作成と公開

環境省では、「廃棄物情報の提供に関するガイドライン」⁴⁻³⁸⁾の公布等、適切な情報公開を呼びかけている。山元還元事業を推進するために適切な情報開示が求められている。北九州モデルをさらに充実な情報開示を実現、地域住民、自治体や研究機関等のステークホルダーへの情報伝達を実現するために、2008年に北九州モデル専用の情報開示 WEB サイトのデザインと作成を行い、2009年に正式に公開した。

作成した WEB サイトは、北九州モデルの概念をすばやく閲覧者に伝わるようにトップページを設計した。サイトでは表 4.22 に示すように、大きく「会社概要」、「事業概要」、「研究成果報告」と「第三者評価」の4つの項目に簡潔でわかりやすくデザインし、操業データや環境影響評価等に関する情報の開示は「研究成果報告」項目に詳細に開示している。その他、関連サイトへのリンク、サイトマップやお問い合わせ等も設置してある。

WEB サイトの画面例を図 4.44、図 4.45 に示す。現在も北九州モデル専用情報開示 WEB サイトとして公開中である：<http://www.kitakyushu-model.jp/>

表4.22 作成した WEB サイトの概要

項目	内容
トップページ	<ul style="list-style-type: none"> 北九州モデルの概要 光和精鉱、北九州市、新日鉄 Gr と早稲田大学の連携体制
会社概要	<ul style="list-style-type: none"> 光和精鉱株式会社の会社概要
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> 北九州モデルの5つの特徴 北九州モデルによる資源化プロセスの概要
研究成果報告	<ul style="list-style-type: none"> 光和精鉱における資源化処理の ①基本情報、②処理フロー、③定量評価、④受入溶融飛灰のデータ、⑤回収物質の品質評価、⑥LCA による評価、⑦自治体間ルール、⑧物流管理、八つの情報開示項目に分けて、早稲田大学の第三者評価を受けた上で、的確に情報開示を行っていく。 当初の実証試験を含めて各年度の第三者評価報告書といった形で適切に開示していくことが望ましい。 適宜開示項目を追加可能なレイアウトにしてある。
第三者評価	<ul style="list-style-type: none"> 第三者評価機関である早稲田大学溶融飛灰資源化研究会の概要。
リンク	<ul style="list-style-type: none"> 関連サイトとして、光和精鉱株式会社のホームページ、早稲田大学溶融飛灰資源化研究会のホームページ、その他、北九州市、新日鉄についても適宜追加していく。

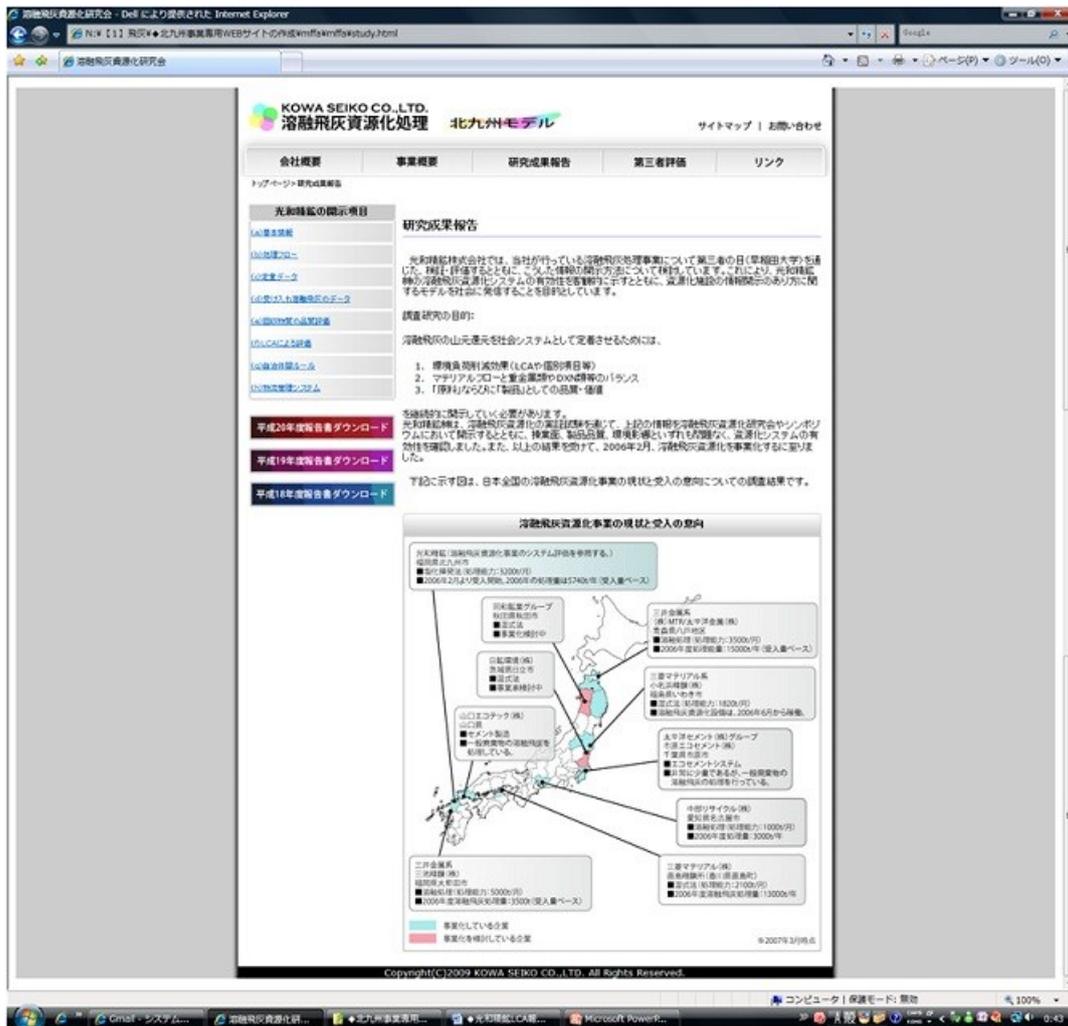


図4.44 情報開示 WEB サイトの画面その1



図4.45 情報開示 WEB サイトの画面その2

4.8.2 排出側自治体向け飛灰処理簡易第三者評価報告書の作成

山元還元事業は受入企業の立地の強い地域性から、県境を越える広域的な処理が一般的である。排出責任の観点から各自治体が自ら排出した飛灰はどのように処理されているか、それに伴う環境影響はどうなっているかなどについては気にしているところであり、迅速な状況報告と第三者による評価結果の報告が、安全安心な飛灰処理に必要で重要な一環である。そこで、早稲田大学が第三者の立場から受入企業である光和精鉱(株)の飛灰処理状況とそれに伴う環境負荷の評価結果に関する報告書の簡易版を作成した。各排出側自治体にフィードバックすることで、山元還元システムの信頼性の向上が考えられる。実際に作成した簡易評価報告書については、巻末資料を参照する。

4.8.3 一般市民向け飛灰山元還元説明資料の作成と関係者への意見徴収

第4.7.5節で述べた北九州モデルにおける自治体間ルールの運用状況に関する検証として、排出側自治体関係者へのヒアリング調査を実施した結果から、地域住民を含めたステークホルダーへの情報発信・伝達することが山元還元事業の推進に当たり重要な要素であることを改めて認識した。

そこで、一般市民にも溶融飛灰の山元還元に関する活動を理解して頂くために、「一般市民向け説明冊子」を作成し、排出側自治体関係者より意見徴収を行った。その結果、一般市民の見学時の説明資料として使用するなど、積極的にその活用方法を検討したいという結果が得られた。一方で、一般市民向けの資

料なので、さらにわかりやすくする必要があるのであるとの意見も頂いた。

今後市民や自治体と交流しながら改善して行きたい。作成した冊子（パンフレット）を巻末に掲載した。

4.9 まとめ

特別管理一般廃棄物である溶融飛灰を例として取り上げて、希少性・有害性廃棄物の広域的な資源循環システムのモデル構築を行い、さらに事業化した後のシステムの高度化の検討を行った。

排出側自治体 144 施設および受入企業 9 社を対象に、山元還元の意向と受入現状調査を行った。調査の結果、溶融飛灰の年間発生量の合計は 195,000t/年と推計され、このうちガス化溶融施設からは 136,000t/年、灰溶融施設からは 59,000t/年である。すでに山元還元を実施している自治体が 1/4 程度であり、考えていないのも 1/4 強占めていることがわかった。また、情報不足のため判断を回避した自治体が 2005 年と比べ増えていることがわかった。山元還元事業の推進には情報発信・共有の必要性が示唆された。また、2010 年 3 月時点の受入側での溶融飛灰処理能力の合計は約 12920t/月（約 15.5 万 t/年）である。処理実績（一廃と産廃の区別なし）は、2009 年度で約 6466t/月（約 7.8 万 t/年）となっており、処理能力の合計の約 50%を占めていることがわかった。

北九州モデルにおける溶融飛灰資源化プロセスを対象に適正処理の確保における検討として、その操業データの検証および LCA 的な観点から統合化指標 ELP を用いて評価・検証を行った。2009 年の操業データを検証したところ、溶融飛灰中から重金属類が適切に回収され、品質（高炉ペレット）、環境影響（排ガス・排水）の観点からも問題なく、安定的な操業がなされていることを確認できた。また、LCA 的な観点から評価を行ったところ、前処理における塩酸の使用に伴う環境負荷が支配的になっていることがわかった。環境負荷削減のために毎年廃塩酸の使用比率を増やしているが、大量の廃塩酸の確保が課題として挙げられている。また、ケーススタディの結果より、溶融飛灰の資源化プロセスにおいて環境負荷を低減させるために、抽出工程における廃塩酸の使用比率を高め、金属の回収量を増やす必要がある。こうしたデータを年度ごとに管理していくことによって、環境負荷が発生しているプロセスの把握・改善に有効であることを確認できた。さらに、焼却処理工場から溶融飛灰の資源化までのトータルなライフサイクル評価を行った結果、山元還元を実施することでシステム全体の ELP がさらに約 13%削減できることを確認できた。

安全・安心な溶融飛灰の広域化処理システムを実現するために、長距離的な物流移動の管理が重要であり、GPS やバーコードを用いて、WEB サイトを利用した高効率な情報共有ツールを含めたトレーサビリティシステムの開発とその検証を行った。その結果、GPS を用いた経路の追跡による適正運搬の確認が有効であり、情報管理システムと合わせて異常時の警告メールの配信等のオプション機能が付けられ、その有効性を検証できた。また、バーコードで管理する情報を WEB システムに送信・共有され、電子マニフェスト機能としての有効性と便益性を確認できた。今後の課題として、WEB サイトを利用した情報共有

システムと一体化して、さらなるオプション機能の充実による業務作業の簡略化の実現が期待される。

物流の管理を含め、特別管理廃棄物である溶融飛灰の広域資源化処理に踏み切るためには、排出側自治体として十分な検討がなされることになる。その検討材料として、画像付きの溶融飛灰静脈物流管理データベースの構築を行った。実際の画像（写真）付き、新規技術のための拡張性の高いデザインとなっていることや、選択方式によるシナリオの設計が可能といった特長を有している。

また、排出と受入双方での目的の共有、意思の決定や実施体制を整えるための検討として、自治体間ルールを事前準備段階、計画段階および実行段階の段階別での対応を整理し、各関係主体間の関係と役割を明確にさせた。また、北九州モデルの事業化したあとの検証として、排出側自治体（4自治体）を対象に調査した結果、安全安心なシステムとして満足するまで若干期間が要する場合があります。排出と受入双方の信頼性が重要であることが示唆された。

さらに、上記すべての情報を地域住民、自治体、関係主体企業や研究機関等のステークホルダーへの情報伝達を実現するために、2008年に北九州モデル専用の情報開示WEBサイトのデザインと作成を行い、2009年に正式に公開した。また、第三者評価の結果を排出側自治体にフィードバックできる簡易第三者評価報告書を作成した。また、地域住民の理解を得ることが必要不可欠であり、一般市民向け説明冊子を作成し、関係者への意見徴収を行った。今後関係自治体や地域住民と交流しながら、改善していく予定である。

第 5 章

リサイクルポートを活用した循環資源海上輸送の
あり方の検討

～実証試験を通じたトレーサビリティツールの
検証を含めて～

第5章 リサイクルポートを活用した循環資源海上輸送のあり方の検討 ～実証試験を通じたトレーサビリティツールの検証を含めて～

5.1 目的と従来研究

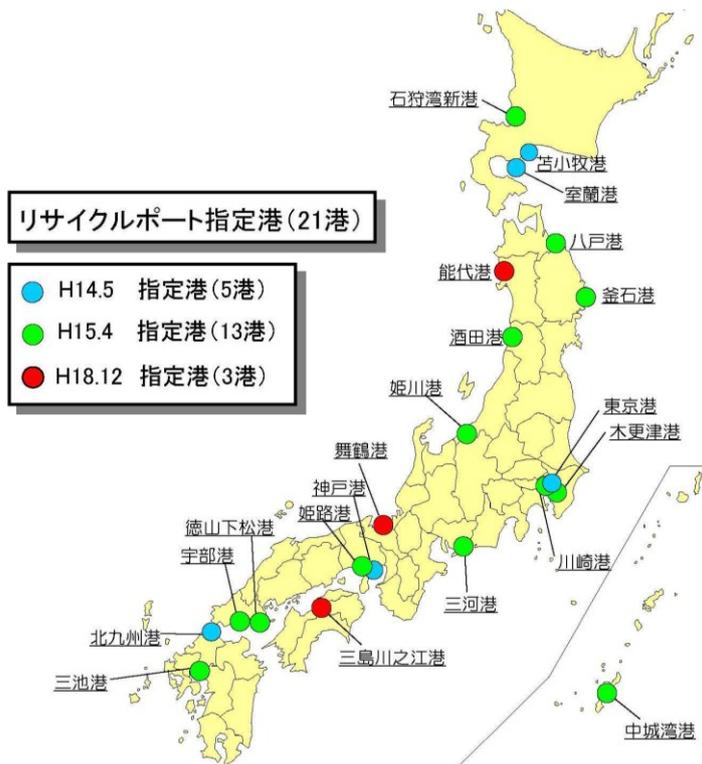
循環型社会の高度化に向けて、一方の地域では廃棄物であって、他方に持っていくと資源として利用可能な状況があることから、適切な3Rの推進による循環資源の広域的な流動が求められている。その環境的効果および社会コストミニマムの観点から、適材適所のリサイクルを円滑的に実施するために、静脈物流を担う輸送機関として、環境負荷が少なく、低コストで効率的な輸送の実現といった役割が期待されている。そこで、大量かつ安価でスケールメリットを生かせる海上輸送が可能なリサイクルポートの果たす役割が益々重要になってきている。リサイクルポートでは、循環資源を専門的に取り扱う岸壁や排水溝といった静脈インフラの整備、近辺にはリサイクル施設の集積、およびその背後地域にある既存の動脈施設との連携等の高いポテンシャルによって、効率的なリサイクルを実現可能であると考えられる。また、静脈物流では動脈物流とは異なり、JIT (Just In Time) の需要が薄れる⁵⁻¹⁾ことから、首都圏のような廃棄物や循環資源が大量に発生する地域における広域的なリサイクルのための効率的な輸送が実現可能であり、さらに静脈物流におけるリサイクルポートの活用の適性が見られる。

国土交通省港湾局では、静脈物流の拠点化や低コスト、および環境負荷の小さい海上輸送を活用したネットワークの形成を図るために、循環型社会形成推進基本計画（平成15年3月閣議決定）において位置付けられている「港湾を核とした総合的な静脈物流システムの構築」の事業化に向けた取り組みを推進している⁵⁻²⁾。さらに、第2次循環型社会形成基本計画（平成20年3月閣議決定）においては、広域的な資源循環の考え方にもとづき、地域特性や循環資源の性質等に応じた最適な規模の循環の形成による重層的な「地域循環圏」の構築⁵⁻³⁾といった内容が新たに充実・強化され、リサイクルポートの活用の重要性が指摘されている。

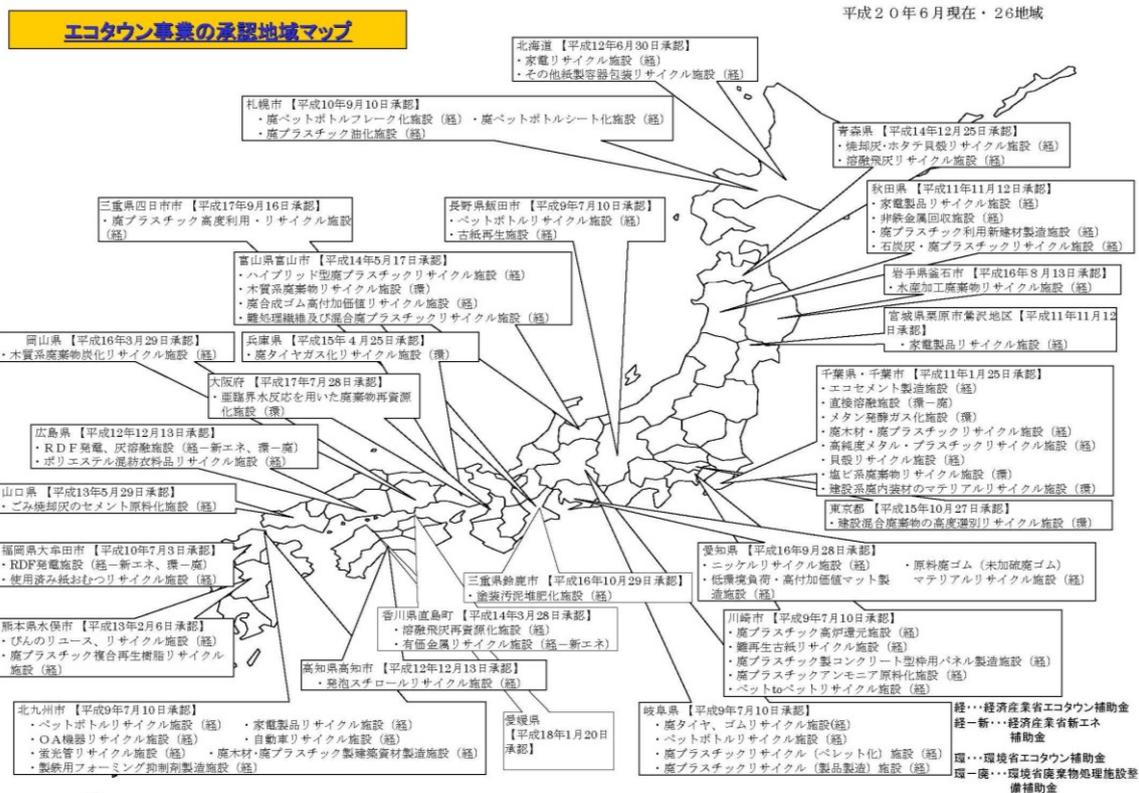
現在、リサイクルポートは全国で21港が指定^{5-4)~5)}されており、その位置（図5.1）はリサイクル産業の集積しているエコタウン（図5.2）⁵⁻⁶⁾の付近に大概配置されていることがわかる。リサイクルポートの推進として、国土交通省では循環資源の取り扱いに関する弾力的な運用、周辺環境への影響軽減のための対策、リサイクル施設の立地等に対するインセンティブの導入、および循環資源取扱施設の適切な計画⁵⁻⁷⁾等が提唱されている。また、民間事業者による積替・保管施設などの港湾機能高度化施設整備事業に対して、補助制度⁵⁻²⁾による支援が実施されており、年々一定の効果が挙げられている。

しかしながら一方で、廃棄物処理法の規制による「自区域内処理」の呪縛から開放できない自治体、あるいは、不法投棄や産業廃棄物の処理に起因する環境汚染の問題が生じた事例のある自治体や地域では、他地域より廃棄物資源の入港に対して、抵抗感がある場合も存在する⁵⁻⁸⁾。さらなる安全性・信頼性の高

第5章 リサイクルポートを活用した循環資源海上輸送のあり方の検討



出典：国土交通省ホームページより転載
 図5.1 リサイクルポート指定港の配置



出典：経産省ホームページより転載
 図5.2 エコタウン承認地域マップ

い海上輸送物流管理システムの構築が求められている。国土交通省では、H18年に港湾を核とした静脈物流システム事業化検討委員会（委員長：永田勝也早稲田大学教授）において、海上輸送の特性を活かしたコンソーシアム方式によるリサイクルチェーンの構築が提言⁵⁻⁹⁾され、排出と受入双方を含めた事業者連合による管理・調整の仕組みの重要性が強調されていた。その管理の手段や調整の材料として、排出と受入の双方における安全から安心へとつなぐためのシステムの設計と開発が重要であり、トレーサビリティの実現が必要である。

ここで、動脈産業で活用されているRFIDやGPSといったITツールを用いて、輸送される廃棄物や資源物の性状、重量等の基本情報や、どこでどのように処理されるのか、および処理後の状況等、広域処理におけるトレーサビリティの確保に必要な情報の取得とその共有化を図ることが可能である。廃棄物や循環資源の安全的な処理・処分を確認したうえで、さらにこれらの情報を画像化してほかの情報と合わせて、排出と受入双方の自治体や企業における事前協議の素材として活用することで、トレーサビリティの実現とその見える化による安心の確保が可能であると考えられる。

水上裕之氏ら（財団法人新産業創造研究機構）がH12年のときから、すでにITの導入を考慮した新しい概念造りが必要であると提唱しており、海上輸送を利用した静脈物流システムの基礎概念の構築に向けた検討を行った⁵⁻¹⁰⁾。乗越晃氏ら（中電技術コンサルタント株式会社）が、循環資源の船舶による共同輸送事業を展開しており、H17年から「船舶による瀬戸内静脈物流システム」の基本計画を検討し、事業化の可能性の検討を行い、H19年度は事業開始の準備として事業PRと荷主となる業者の募集等の活動を行った⁵⁻¹¹⁾。しかし、今の段階にきて、リサイクルポート退いては港湾におけるIT技術の適用に関する研究報告はほとんど行われていない^{5-10~13)}。

そこで、本研究は、H20年度に国土交通省が主体となって行われた循環資源の海上輸送実証試験に参画し、さらなる信頼性と効率性の向上を図るための物流管理システムの高度化の検討として、第4章で検討を行ったトレーサビリティツール（GPSやRFID等）をリサイクルポートを活用した海上輸送での適用性に関する検証を行い、その結果を整理した。また、リサイクルポートを活用した物流管理のためのDBの構築に向けた検討として、DBのフォーマットを設計し、情報収集を行った。さらに、陸上輸送と比較し、海上輸送に変更することによる環境負荷削減効果の推定を行い、その効果を定量的に示した。

5.2 リサイクルポートを活用した海上輸送の実証試験の概要

5.2.1 実証試験の目的

現状にある課題の把握と改善策の検討のため、循環資源の排出事業者からリサイクルを行う受入事業者までの、海上輸送・陸上輸送を含めた一貫とした輸送の実証試験を行い、

- ① 循環資源の海上輸送において具体的に生じる技術的課題（取り扱い技術の標準化の遅れ、港湾インフラの制約等）、制度的課題（法律、条例、要綱、非文の個別指導等）、社会的・慣習的課題（一般貨物と循環資源との商習

慣の差異、循環資源の流入・通過に対する地域の忌避等)等を把握するとともに、

- ② 海上輸送の信頼性を向上させる技術的方策（適切な梱包方法や荷役方法、確実な輸送を担保するための情報管理技術等）の有効性を検証し、海上輸送の一層の進展のための知見を得る⁵⁻⁸⁾。

本研究は、上記国土交通省の実施目的と合わせ、物流管理システムへのIT技術の適用性と環境負荷の削減効果に関する検討を中心に、実証試験に参画し、その結果を筆者らの観点からまとめ、分析・整理したものである。

5. 2. 2 各実証ケースの設定

実証試験は、表5.1に示す4つのケースを設定し、それぞれの輸送対象物や荷姿を変えて行うこととした。各ケースの実施スケジュールと輸送ルートを表5.2と図5.3に示す。今回の実証試験では、汎用的な海上輸送システムとなるように、実証試験検討委員会を通して、4つのケースにかかわる各関連事業者間で協力しあい、輸送方法や情報管理の方法等について共通化を図った。

GPSやICタグ等、情報管理において使用する機材を表5.3に示す。

表5.1 実証試験の概要

Case	輸送品	輸送ルート	輸送形態	実験の概要
1	廃プラ	川崎－神戸－川口	定期コンテナ船によるコンテナ輸送	小口輸送による効率的な広域輸送システムの構築・集荷地域の拡大と複数航路の利用拡大
2	廃プラ 鋳物砂	神戸－高松－呉－山口	バージ船によるコンテナフィーダー輸送	循環資源の大量発生地域である首都圏・近畿圏から複数の需要先へ輸送
3	木くずチップ 鋳物砂	酒田－姫川	一般貨物船によるバルク混載輸送	定期航路のないエリアにおける効率的な混載輸送システムの構築
4	建設発生土	沖縄－鹿児島－大分	一般貨物船および定期コンテナ船による離島からの輸送	沖縄－九州間の静脈物流システムの構築と循環資源の拡大

表5.2 各ケースの実施スケジュール

Case	実施日(2009年)	地点	作業の概要	
1	2月17日	排出事業者(発)	・積み込み	
		↓	○陸上輸送	
		川崎港(着)	・港湾作業・受入	
			—	□保管
	2月18日	川崎港(発)	・港湾作業・積み出し	
		↓	○海上輸送	
	2月20日	神戸港(着)	・港湾作業・受入	
		—	□保管	
	2月25日	神戸港(発)	・港湾作業・積み替え	
		↓	○海上輸送	
	2月27日	宇部港(着)	・港湾作業・受入	
		宇部港(発)	・積み込み	
↓		○陸上輸送		
受入事業者(着)		・受入・保管・処理		
2	2月23日	排出事業者(発)	・積み込み	
		↓	○陸上輸送	
		神戸港(着)	・港湾作業・受入	
			—	□保管
	2月24日	神戸港(発)	・港湾作業・積み出し	
		↓	○海上輸送	
	2月27日	徳山港(着)	・港湾作業・受入	
		徳山港(発)	・積み込み	
↓		○陸上輸送		
	受入事業者(着)	・受入・保管・処理		
3	3月13日	排出事業者(発)	・積み込み	
		↓	○陸上輸送	
		酒田港(着)	・港湾作業・受入	
			—	□保管
	3月14日	酒田港(発)	・港湾作業・積み出し	
		↓	○海上輸送	
	3月15日	姫川港(着)	・港湾作業・受入	
		—	□保管	
3月16日	姫川港(発)	・港湾作業・積み出し		
	↓	○陸上輸送		
	受入事業者(着)	・受入・保管・処理		
4	1月28日	排出事業者(発)	・積み込み	
		中城港(着)	・港湾作業・受入	
	ケース4試験中止			
		志布志港(予定)	—	
		大分港(予定)	—	
	受入事業者(予定)	—		



図5.3 各ケースの実証ルート

表5.3 実証試験に使用する機材一覧

管理目的	使用機材			
	Case1	Case2	Case3	Case4
画像管理	・デジタルカメラ	・デジタルカメラ	・デジタルカメラ	・デジタルカメラ
重量管理	・トラックスケール	・トラックスケール	・トラックスケール	・トラックスケール
軌跡管理	・IC タグ ・ハンディリーダー ・携帯 GPS (FOMA) ・AIS 情報			
封印状態管理	・プラスチックシール	・プラスチックシール	・プラスチックシール	・プラスチックシール
情報共有・管理	・情報管理センターでの管理	・携帯電話 (au) ・情報管理センターでの管理	・情報管理センターでの管理	・情報管理センターでの管理

5. 2. 3 実証試験の結果

本実証試験では、ケース 1、ケース 2 とケース 3 は、予定とおりに最後まで実証試験を遂行できたが、ケース 4 に関して事前協議を行った鹿児島県から、

- ① 過去に民間の産業廃棄物処理会社が志布志港に首都圏の廃棄物を荷揚げして県内の産業廃棄物処分場に搬入しようとし、現地で大きな問題となったことがあること、
- ② 現在志布志港では家畜飼料等が取り扱われており、現地は風評被害を敬遠する可能性があることから、

国が行う実証試験の目的であっても、廃棄物等の持ち込みについて短期間で地元の理解を得ることが難しいと思われる旨の意見を得た⁵⁻⁷⁾。このため、本ルートの実験は中城湾港での保管までで中止し、それ以降の輸送は行わないこととした。搬出した建設発生土は沖縄本島内の残土処分場で処分した⁵⁻⁷⁾。

以上の事例から、廃棄物の広域処理における自治体側や周辺住民の理解を得るために、適正処理はさることながら、安全・安心で信頼性の高い物流管理トレーサビリティシステムの開発と確立が重要であると考えられる。こういった観点から、第4章で述べた自治体間ルールにおける事前調整や第三者評価機関の役割の重要性も一層高まっているといえる。

5. 3 トレーサビリティツールの適用性の検証

以上の結果を踏まえて、IT 技術を適用し、トレーサビリティの確保による物流管理システムの高度化が必要であると考えられる。そこで本研究は、主としてケース 1 とケース 4 の実施に参加し、携わっていたため、ケース 1 を例として実証試験の詳細について述べる。ケース 2 とケース 3 については、実証試験の検討委員会において共有された情報をもとに筆者の視点で整理した。

5. 3. 1 ケース 1（川崎－宇部）における情報管理の検証結果

各種トレーサビリティツールを用いた情報管理に関する作業の一覧を表 5.4 に示す。各ツールの特性を適切に組み合わせることでトレーサビリティの実現を試みる。

表5.4 ケース1における情報管理の作業一覧

場所	作業内容		使用機材
排出事業者	画像管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 梱包状態画像撮影 ・ 重量計測画像撮影 ・ 荷積状態画像撮影 ・ 輸送状態画像撮影 ・ 封印状態画像撮影 等 	デジタルカメラ
	重量管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 計量状態確認 	トラックスケール
	軌跡管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ IC タグへの入力 ・ IC タグの取付け ・ IC タグの読取り(通過点管理)／読み取りデータはセンターへ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 防水用 IC タグ ・ ハンディ型リーダー
	封印状態管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 封印状態確認 	プラスチックシール
川崎港	画像管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 荷役作業画像撮影 等 	デジタルカメラ
	軌跡管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ IC タグの読取り(通過点管理)／読み取りデータはセンターへ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 防水用 IC タグ ・ ハンディ型リーダー
	封印状態管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 封印状態確認 	プラスチックシール
海上輸送	軌跡管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ GPS データ取得保存 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 携帯 GPS (FOMA) ・ AIS 情報
神戸港	画像管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 荷役作業画像撮影 等 	デジタルカメラ
	軌跡管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ IC タグの読取り(通過点管理)／読み取りデータはセンターへ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 防水用 IC タグ ・ ハンディ型リーダー
	封印状態管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 封印状態確認 	プラスチックシール
海上輸送	軌跡管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ GPS データ取得保存 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 携帯 GPS (FOMA) ・ 船舶 GPS
宇部港	画像管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 荷役作業画像撮影 等 	デジタルカメラ
	軌跡管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ IC タグの読取り(通過点管理)／読み取りデータはセンターへ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 防水用 IC タグ ・ ハンディ型リーダー
	封印状態管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 封印状態確認 	プラスチックシール
受入事業者	画像管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 重量計測画像撮影 ・ 荷降状態画像撮影 ・ 輸送状態画像撮影 ・ 封印状態画像撮影 等 	デジタルカメラ
	重量管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 計量状態確認 	トラックスケール
	軌跡管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ IC タグの読取り(通過点管理)／読み取りデータはセンターへ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 防水用 IC タグ ・ ハンディ型リーダー
	封印状態管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 封印解除状態確認 	プラスチックシール

(2) 画像情報の管理

収集した画像情報の一部を表 5.5 に示す。

表5.5 ケース1における画像情報

	
<p>対象プラスチック廃棄物(圧縮梱包後)</p>	<p>積込時の状態</p>
	
<p>コンテナ閉鎖時の状態</p>	<p>コンテナの封印</p>
	
<p>IC タグの貼付状態</p>	<p>トラック輸送開始</p>
	
<p>川崎港 入口</p>	<p>川崎 港湾施設における荷降ろし</p>
	
<p>輸送船</p>	<p>神戸港への到着</p>

画像情報の管理では、異なる時点での画像内容を確認・照合することで、管理対象物、封印番号、コンテナ番号、荷姿および背景等の周辺環境といった輸送関連情報の変化を確認することが可能である。また、デジタルカメラの機能によって日付や日時を画像に表示することが可能であり、日時の照合も含めてトレーサビリティツールとして活用可能であることを確認できて、デジカメの有効性を検証できた。実証試験での照合内容を表5.6に示す。

表5.6 ケース1における画像情報

出発時点での封印番号	港湾到着時の封印番号
	
工場出発	川崎港湾入り口
	
神戸港出発	宇部港到着
	

(3) 軌跡の管理

本実証試験では、AIS (Automatic Identification System) 情報による軌跡管理を川崎港から神戸港の間で実施した。ただし、神戸港から宇部港の間については AIS 情報の取得が行えなかったことから、船舶 GPS データを取得した。あわせて、比較参照のため、川崎港から神戸港の間について、携帯電話 (FOMA) を利用したデータ取得も行った。FOMA のデータ取得間隔は 15 分毎と設定した。

その結果、いずれの軌跡管理の方法によっても必要なデータを基本的に取得できることが確認された。一方で、AIS 情報については、船舶の大きさによって取得できないケースが内航船の場合には、かなり存在すること、また、神戸付近における軌跡データに見られるとおり、大規模港湾近くであっても必要なデータの取得が困難になり、船舶が陸上部を通過した軌跡を描く等の課題も見られる。

また、携帯電話を利用した軌跡データの取得は、当初の想定ほど途切れることが少なく、概ね安定的に軌跡管理を行えることが確認された。ただし、携帯電話の基地局の関係で、一部のデータが途切れる現象は生じている。

船舶に GPS 装置を搭載し、得られるデータを BOX PC に蓄積する方法は、安定的に軌跡データを取得・蓄積することが可能である。船舶 GPS と BOX PC を稼働させるためには電源が必要であるが、通常の船舶であれば、問題なく稼働させることが可能であると考えられる。

GPS 装置、船舶 AIS および携帯電話 (FOMA) により取得したデータを電子地図上に表示した奇跡をそれぞれ表 5.7、表 5.8 と表 5.9 に示す。



図5.4 BOX PC データ蓄積装置と船への設置

表5.7 船舶 GPS データ

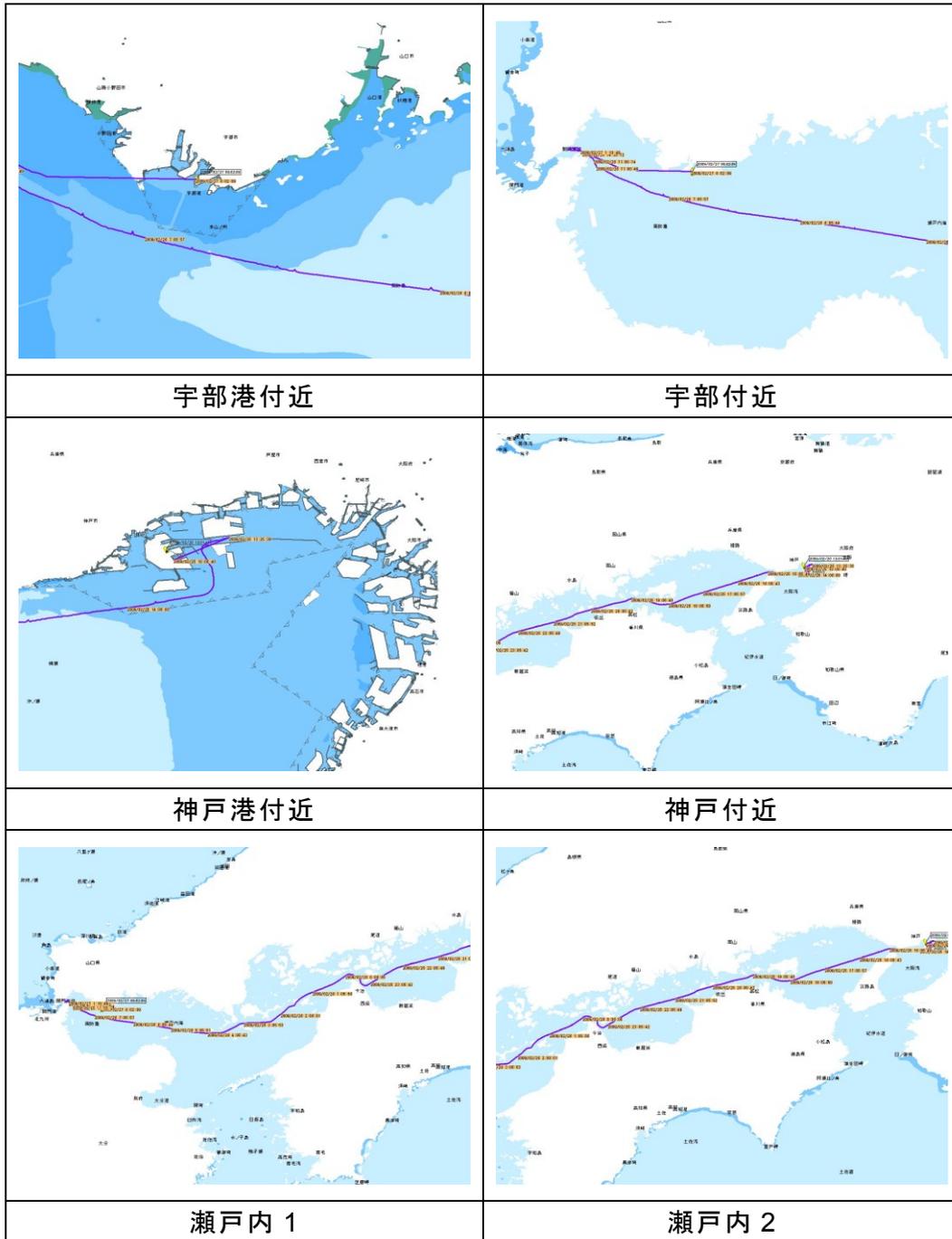


表5.8 船舶 AIS データ

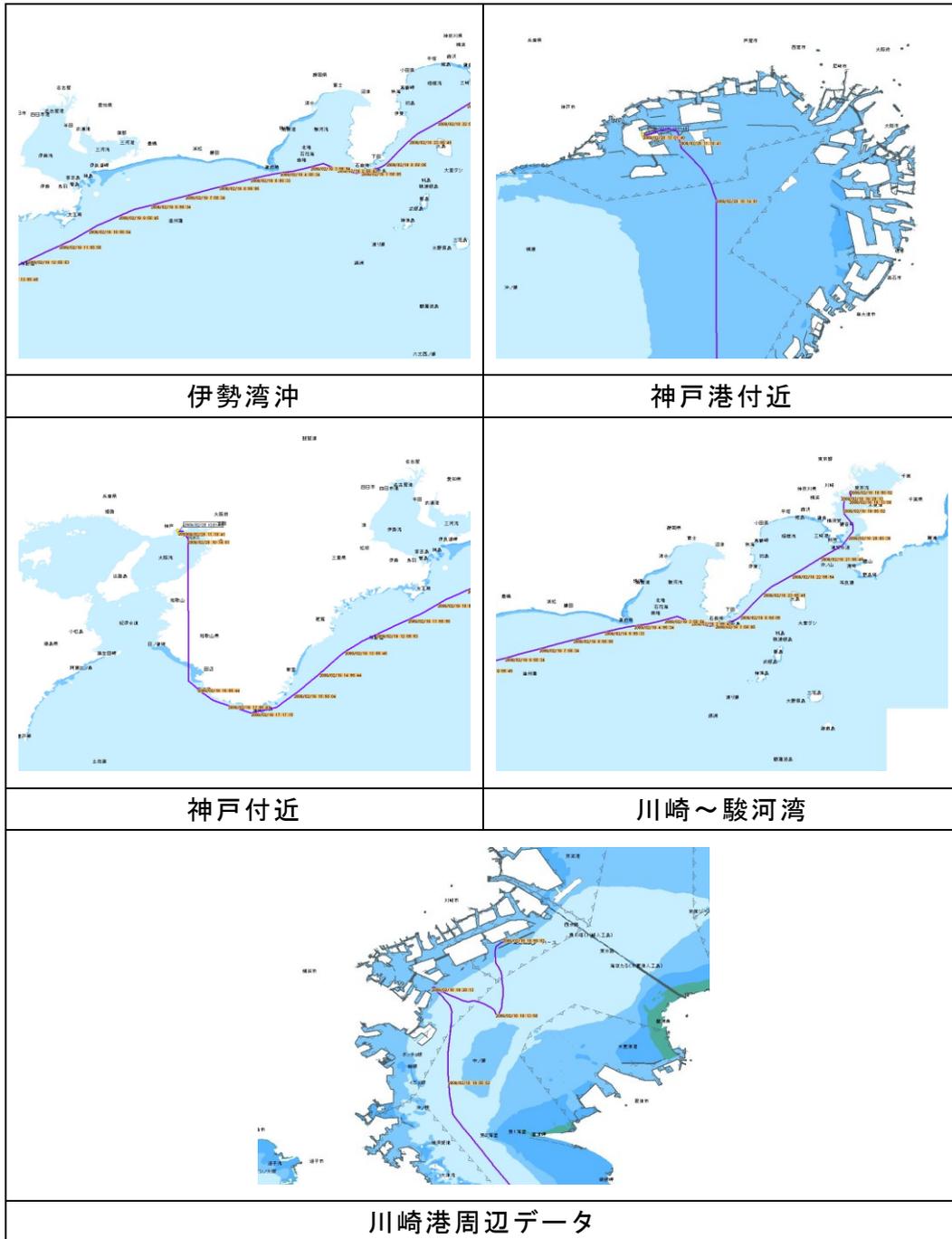
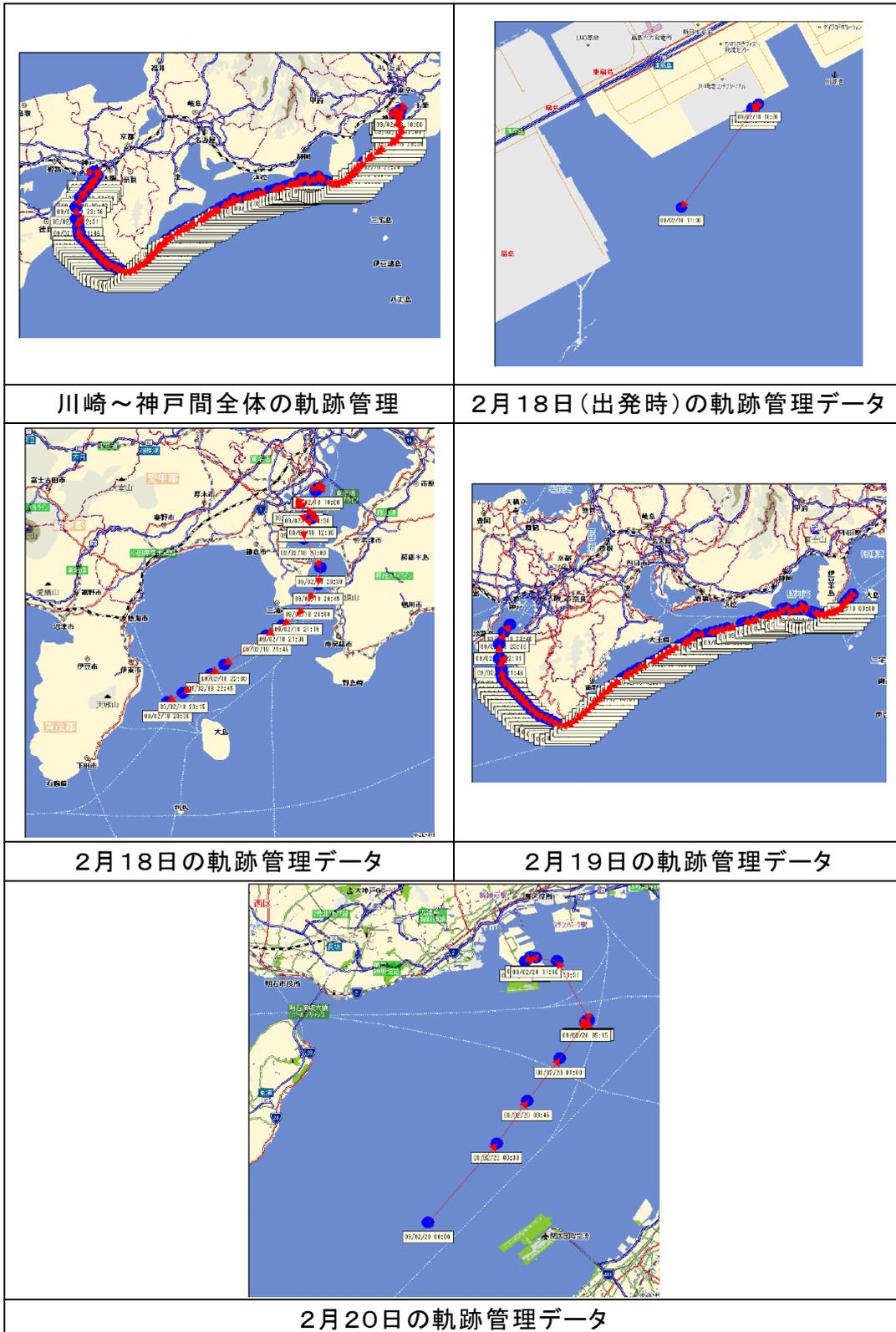


表5.9 携帯電話 (FOMA) データ



(4) 重量の管理

重量の計測は、トラックスケール（台貫）を利用して実施している。排出側事業者において使用したトラックスケールを図5.5に示す。重量の計測作業は、今回の実験のために特別に実施したものではなく、通常業務の一環として実施されたものである。また、重量計測は、排出事業者及び受入事業者において（いずれもトラックスケールを利用して）実施されており、それぞれの計測結果の照合は表5.10に示すとおりである。

表5.10より、排出事業者と受入事業者における重量の差はマニフェストに記載した排出事業者重量の1%程度であることを確認できた。

表5.10 重量計測の照合結果

	排出事業者	受入事業者
重量計測データ	5,500kg	5,560kg



図5.5 排出事業者におけるトラックスケール

(5) 封印状態の管理

コンテナの封印はプラスチックシールを利用して実施している。この作業は上記重量の計測と同様に、特に実証のために実施したものではなく、通常の業務の一環として実施されたものである。封印状況の写真の一部を表5.11に示す。

表5.11 封印状況の写真（一部）

	
<p>コンテナの封印（川崎）</p>	<p>IC タグの貼付状態（川崎）</p>
	
<p>神戸港到着時点の封印状態</p>	<p>宇部港到着後の封印状態</p>

実証試験の結果、通常業務の一環として実施されている封印管理によって、輸送途上でコンテナの開閉等が行われていないことを確認可能であることを検証できた。

（6）マニフェスト情報の管理

本実証試験に係るマニフェスト情報は次のとおりである。今回の実証試験では、紙マニフェストを使用しており、取得した情報を情報管理センターにおいて電子化している。これにより、マニフェスト情報は全て情報管理センターに管理されており、ID とパスワードを入力することにより、関係者が閲覧可能なシステムになっているため、高効率な情報共有・管理の実現が可能である。

実際に使用したマニフェストの例を以下に示す。

産業廃棄物マニフェスト情報管システム整備実証事業
NTT DATA HOKURIKU CORPORATION

廃棄物状況詳細

マニフェスト番号 0000000221 廃棄物状況 排出最終確認完了

管理番号 17

排出事業者情報

事業者名称 株式会社タケエイ code 1030

住所 東京都港区芝公園2-4-1

TEL 03-6361-6830

FAX 03-6361-6835

事業所名称 川崎リサイクルセンター施設番号 1

住所 川崎市川崎区浮島町 10-11

TEL 044-2801531

FAX

収集運搬業者情報

事業者名称 日本通運株式会社 code 2035

住所 東京都港区東新橋 1-9-3

TEL 03-6251-1275

FAX

事業所名称 横浜支店 施設番号 1

住所

TEL

FAX

処理・保管業者情報

事業者名称 井本商運株式会社 code 3015

住所 兵庫県神戸市中央区京町0

TEL 078-322-1600

FAX 078-322-1610

事業所名称 川崎コンテナターミナル施設番号 1

住所 川崎市川崎区東扇町 92

TEL 044-266-5178

FAX

廃棄物情報

廃棄物名 廃プラスチック類 NationalCode R0003

1形状 圧縮梱包 量・単位 5500.0kg

処理方法 その他(積み替え保管)

業務情報

	排出日	17/02/09 10:20
	担当者	桑折 達男
排出	運転手	滝本 正宏 運転手 No.o212
	輸送手段	トラック
	車種	車両番号 5020
	受入日	17/02/09 11:00
受入	担当者	藤田 昌行
	不許可事由	
	処理日	17/02/09 11:20
処理	担当者	藤田 昌行
	最終確認日	17/02/09 11:25
	責任者	藤田 昌行
最終確認	最終確認日	17/02/0 12:04
	責任者	桑折 達男

(7) IC タグを用いた情報管理

本実証試験では、物流管理の効率化、確実化の向上を図るために、IC タグの適用について検討を行った。今回の試験では、海上での湿気および雨天時での正常使用を確保するために、防水用 IC タグを使用した。また、電波法による許可の関係で、大型リーダーの代わりにハンディ型リーダーを適用して試験を行った。IC タグでの管理はコンテナ単位での管理を試みた。管理データの内容はマニフェストに紐付けられる番号とした。図 5.6 に読み取り時の様子と IC タグの写真を示す。

実証試験の結果、IC タグの適用によるデータ管理の有効性を確認できた。防水用 IC タグの使用により、雨天時や海上の湿気のなかでの使用も問題なく実施されたことを確認でき、その有効性を検証できた。

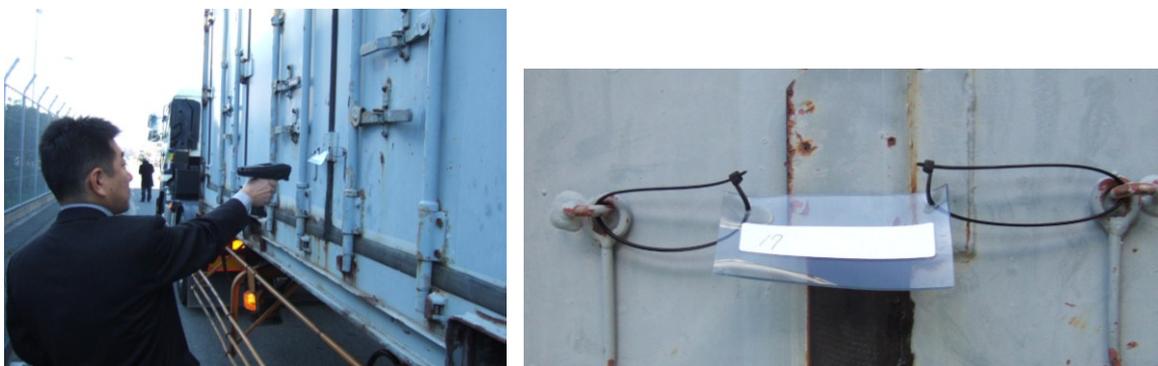


図5.6 読み取り時の様子と IC タグ

また、今回の試験では、その適用可能性の検証を目的に、マニフェストに紐付けられる番号のみを管理対象としたが、今後 IC タグでの管理内容を豊富化させることで、情報管理の高度化が図れると考えられる。また、ハンディ型リーダーを使用した結果、個別に読み取る必要があり、作業が増えてしまうこととなった。今後大型の据え置き型リーダーを設置することで、非接触で同時複数読み取りが可能なメリットを活かすことが可能であると考えられる。

5. 3. 2 ケース 2（神戸ー宇部）における情報管理の検証結果

(1) 使用機器の仕様に関する課題

- 画像撮影を行うときに、GPS 情報、コデイツコードの取得に時間がかかってしまい、多少作業を待たせることがあった（カメラ起動に 30 秒ほど、画像のアップロードに 1 分ほど）。ただし、携帯メーカーに確認したところ、今回使用した携帯電話が世代の古い携帯電話だったため、アプリの起動速度、通信速度等が遅い事が判明、現在の機器であれば待たせることなくすぐに立ち上がることが可能であると確認した。
- バッテリーの仕様上、容量が残っていても 4 時間までしか給電（携帯電話に充電）できない仕様となっていたため、1 日に 1 度程度バッテリーの給電ボタンを押してもらった必要があった（今回は 4 時間の充電で携帯電話が 1 日半程度持った）。
- 経路情報取得時に、一部基地局の場所などに位置情報が飛んでしまい、情報ミスが発生していた。これは海上において、圏外になったときなどに、情報が飛んでしまうことが確認されている。携帯電話のキャリア（ドコモや au など）によっても圏外になる場所が変わってくると思われる。また、携帯電話本体の GPS についても機種の影響を受けられると思われるが、今回、陸上輸送においてはほぼ誤差なく運搬を行っていることから、圏内の精度については問題ないことが確認できる。

(2) 現場の状況による課題

- 排出現場が非常に狭いところで、コンテナを積んだトレーラーが入って行くにはかなり厳しいところで、何度も切り返しながら工場に入った。そのため、このような場所では、ダンプなどの中型車等を利用し、港で積み替え作業等を行うなど、付近の安全、交通状況を考える必要があると考えられる。
- マニフェストの数量（重量）について、排出現場にトラックスケールがあったが、トレーラーが大きかったため、トラックスケールに乗れなかった。また、トラックへの積みつけ時も、廃プラスチックを選択しながら積み込みを行ったため、事前に廃プラスチックのみで計測するということができなかった。そのため、重量については処理場についてからの計測のみとなった。受入事業者にて実施した計測の結果、重量は 4,920kg であることが確認された。
- 処理場の中が撮影禁止となっており、受入企業の許可されたカメラでのみ

撮影可能となっていたので、撮影を依頼し、後日データで頂いた。GPSデータは問題ないとのことで、GPSデータは処理場の中まで取得できた。

5. 3. 3 ケース3（酒田－姫川）における情報管理の検証結果

情報管理のために実施した作業を表5.12に示し、使用した機材を表5.13に示す。

表5.12 ケース3における情報管理の作業一覧

場所	作業内容	
排出事業者	画像管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 梱包状態画像撮影 ・ 重量計測画像撮影 ・ 荷積状態画像撮影 ・ 輸送状態画像撮影 ・ 封印状態画像撮影 等
	重量管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 計量状態確認
	軌跡管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ IC タグへの入力 ・ IC タグの取付け(対象はフレコン入り鑄物砂) ・ IC タグの読取り(通過点管理)／読み取りデータはセンターへ
酒田港	画像管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 荷役作業画像撮影 等
	重量管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 喫水を利用した重量管理を実施
	軌跡管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ IC タグの読取り(通過点管理)／読み取りデータはセンターへ
	封印状態管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 封印状態確認
海上輸送	軌跡管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ GPS データ取得保存
姫川港	画像管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 荷役作業画像撮影 等
	軌跡管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ IC タグの読取り(通過点管理)／読み取りデータはセンターへ
	封印状態管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 封印状態確認
受入事業者	画像管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 重量計測画像撮影 ・ 荷降状態画像撮影 ・ 輸送状態画像撮影 ・ 封印状態画像撮影 等
	重量管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 計量状態確認
	軌跡管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ IC タグの読取り(通過点管理)／読み取りデータはセンターへ

表5.13 使用した機材一覧

管理目的	使用した機材等
画像管理	・デジカメ
重量管理	・トラックスケール(台貫)
軌跡管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ IC タグ(バーコードについても試行) ・ ハンディリーダー ・ 船舶 GPS 及び BOX PC ・ 携帯 GPS(FOMA) (注:AIS 情報による管理は実施できず。)
封印状態管理	・プラスチックシール

(1) バラ積み貨物の管理について

今回の実証試験では、フレコン詰めされた鋳物砂と木くずを混在しない形で、混載輸送を行った。フレコンについては、1袋毎にICタグを取付け、その読取り等を行った。木くずについては、陸上輸送から海上輸送までを含めて、画像管理、重量管理、GPSによる軌跡管理を行った。バラ積み貨物の場合、船舶搭載後のバラ積み貨物にICタグを貼付することは物理的に難しい。ICタグでの情報管理と、重量管理や経路管理を中心とする軌跡管理の組み合わせにより、安全安心な輸送の担保が得られると考えられる。

(2) 使用機材に関する課題について

使用機材について、第5.3.1節にも述べるように、据え置き型リーダーによるICタグの読取りを行うため、正式には電波法にもとづくアンテナ設置の許可が必要である。今回の実証試験では、ハンディ型リーダーにより対応した。また、アンテナの設置、GPS設備等の設置を行うためには、電源が必要であり、バッテリーだけでは船舶による数日間の輸送におけるデータ取得が難しいことを確認できた。

また、軌跡管理を行う場合、AIS情報は船舶が小さかったこともあり、情報を入手することができなかった。一方、船舶GPSおよび携帯電話GPSではともに軌跡管理を行うことが可能であることが確認された。ただし、携帯GPSを利用する場合、基地局との位置関係によってはデータが途切れてしまう可能性がある。また、船舶GPSの場合にはデータを電子地図上に落とし込む場合にデータの異常が発生する懸念があることが確認された。いずれの場合も、軌跡管理の目的が、あくまで適正なルートで循環資源を輸送したことの確認であるならば、微細なメッシュで区切ったデータは必要とならない可能性もあると考えられ、最低限の確認は可能であると考えられるが、どの程度の正確性を求めるかによって判断は異なってくると考えられる。

また、ICタグ等の情報媒体を利用する場合、船舶輸送を考慮に入れると防水性のものを利用することが望ましいと考えられる。

(3) 1次元バーコードについて

本実証では、IC タグに加え、1次元バーコードの貼付読み取りについても行ってみた。1次元バーコードを読み取るためには、バーコードと読み取り機の間隔を近くする必要がある。また、バーコードが水にぬれた場合や汚れた場合には、読み取りが難しくなることもあった。バーコードそのものは非常に安価な管理媒体でありコストメリットは大きい一方で、実際の活用においては読み取りの手間がIC タグ、携帯画像等に比較して、かなり重くなることが確認された。

(4) 合理化の可能性について

ケース1と同じように、IC タグ等の情報媒体を取り付けた循環資源の数が限定的である場合、読み取り作業そのものは極めて簡素に対応が可能である。一方で、タグの調達、書き込み、取付け等の追加作業が発生することも事実であり、こうした追加作業に見合うだけのメリットが求められる。

既に医療用廃棄物の輸送にIC タグを取付け、それを読み取るだけで電子マニフェスト対応を可能とするサービスが実用化されている^{5-14,15)}。このように、IC タグの読み取りは、単純に場所を通過したことの確認に留まらず、読み取った情報および同情報に紐付けられている循環資源に関する付帯情報を簡単にやり取りできる特徴があることから、そうした情報の利用と一体化させることが循環資源の輸送業務の合理化・効率化に貢献できると考えられる。特に、循環資源の海上輸送の場合、港湾荷役事業者など輸送に関連するプレーヤーが多く、各プレーヤーは業務終了後3日以内に業務が終了した旨の報告が必要である。この報告についても、IC タグの読み取り等と連動させて自動化することで各事業者の負担軽減を実現できる可能性がある。ただし、バラ積み貨物の場合、タグの取付けそのものが困難なケースも想定され、その場合には、伝票等を利用する方法等で対応する。

5.3.4 各種トレーサビリティツールの適用性の整理

(1) マニフェスト情報との関係

マニフェスト情報と各関係事業者との関係については、以下のとおり整理することができる。

排出事業者	収集運搬事業者	中間処理事業者		収集運搬事業者	最終処分事業者
		処分事業者の立場	排出事業者の立場		
①登録	②報告	③報告	④報告	⑤報告	⑥報告
		⑦報告			



また、マニフェストに記載すべき情報は以下のように整理することができる。

表5.14 マニフェストへの記載情報

記載者	記載情報
排出事業者	◆ 交付年月日
	◆ 交付担当者
	◆ 排出事業者（氏名・名称、住所）
	◆ 排出事業場（名称、所在地）
	◆ 産業廃棄物の種類、数量、荷姿、処分方法
	◆ 最終処分の場所
	◆ 運搬受託者（氏名・名称、住所）
	◆ 運搬先の事業場（名称、所在地）
	◆ 処分受託者（氏名・名称、住所）
運搬担当者	◆ 積替え、又は、保管
運搬担当者	◆ 氏名
処分事業者	◆ 担当者
	◆ 場所の名称、所在地、電話番号

以上のマニフェストにおいて求められる情報は、いずれも基本的な情報であり、電子マニフェストに参加すれば関係者は全ての情報を共有化することができる。現状として、電子マニフェストは一次マニフェストにおいて普及が進みつつあるが、二次マニフェストについては、必ずしも普及していないと言われている。今回の実証試験はケース4を除き、いずれも二次マニフェストに関する実証試験である。

また、今回の実証試験で利用したICタグ、デジカメ、GPS等により管理される情報は、いずれもマニフェスト情報と紐付けて管理することが可能であり、電子マニフェスト対応に活用することが可能である。加えて、今回の実証試験で試行した情報管理システムでは、マニフェスト対応以上に循環資源の軌跡情報や各種画像情報を含め、トレーサビリティの確保も可能となる。さらに、情報管理センター機能を利用すれば、受入事業者が求めるマニフェスト情報以上の細かな情報等を排出事業者から提示することも可能となる。そのほか、港湾施設（リサイクルポート）における配船の効率化や保管スペースの効率的な管理など、循環資源の物流業務全般の効率化に資する効果を生み出すことも可能である。

これらの付加情報をどのように評価していくか、あるいは、今後、どのように利用していくかによって、管理する情報の広さや深さ、また、必要な情報システムのレベルも異なってくると考えられる。

(2) 情報技術の比較

実証試験の対象とした循環資源の荷姿は、加工した循環資源のコンテナ梱包、循環資源のフレコン詰めとバラ積みの混載、フレコン詰め循環資源のコンテナ梱包に大別することができる。それらの荷姿毎に、情報管理（軌跡管理、画像管理、重量管理、封印状態管理）のために利用した情報技術との相関を整理すると表 5.15、表 5.16 と表 5.17 になる。

表5. 15 荷姿と軌跡情報管理技術との関係

荷姿		情報管理システム／軌跡管理	
		通過点管理	軌跡（経路）管理
		循環資源が特定の場所を通過したことの確認。通過した時間も同時に確認可能	循環資源を搭載した船舶の移動経路の管理。移動場所毎の時間も同時に確認可能
コンテナ	循環資源の直接梱包	<ul style="list-style-type: none"> ・コンテナの管理は IC タグとアンテナ（ハンディリーダー）によって比較的容易。 ・管理対象コンテナ数が増加すると、ハンディリーダーよりもアンテナの方が効率的。一方、法制度の関係もあり、逆の場合はハンディのほうが効率的（アンテナを設置する場合は、電波法などの関連や、設置場所に留意する必要がある） ・画像と GPS の組合せはコンテナを含め幅広い対象に適用可能 ・バーコードとリーダーの組合せはコストメリットあるものの、読取作業に手間を要する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・船舶 GPS と BOX PC の組合せにより、船舶の位置情報を確認可能 ・携帯 GPS によっても船舶の位置情報を確認可能。但基地局の整備状況によっては情報の連続性に課題を抱えるケースあり ・AIS 情報については、入手できないケースもあり（船舶の大きさ等の影響）
	フレコン詰め循環資源のコンテナ梱包	<ul style="list-style-type: none"> ・IC タグの場合、コンテナ内部のフレコン単位の管理も比較的、容易 ・画像と GPS の組合せの場合、コンテナ内部の対象物の管理は難しい可能性あり 	
バラ積み	フレコン詰め	<ul style="list-style-type: none"> ・フレコンの管理は IC タグとアンテナ（ハンディリーダー）によって比較的、容易 ・管理対象フレコン数が増加すると、ハンディリーダーよりもアンテナの方が効率的。一方、法制度の関係もあり、逆の場合はハンディのほうが効率的（アンテナを設置する場合は、電波法などの関連や、設置場所に留意する必要がある） ・画像と GPS の組合せはコンテナを含め幅広い対象に適用可能 ・バーコードとリーダーの組合せはコストメリットあるものの、読取作業に手間を要する。 	
	バラ積み	<ul style="list-style-type: none"> ・IC タグとアンテナ（ハンディリーダー）によるバラ積み状態の循環資源の管理は難しい。 ・画像と GPS の組合せはバラ積み状態の循環資源等にも適用可能。 	

表5. 16 荷姿と重量情報管理技術との関係

荷姿		情報管理システム／重量管理 重量管理そのものは、情報技術によるものではなく、計量技術による。
コンテナ	循環資源の直接梱包	・看貫（トラックスケール） ・船舶に積み込んだ状態の場合には喫水の変化データをもとにした推計値も可能。但し、誤差が大きい
	フレコン詰め循環資源のコンテナ梱包	・フレコンについては、軽量器を利用することも可能（フォークリフトとの組合せ等）
バラ積み	フレコン詰め	・フレコンについては、軽量器を利用することも可能（フォークリフトとの組合せ等） ・看貫（トラックスケール）
	バラ積み	・船舶に積み込んだ状態の場合には喫水の変化データをもとにした推計値も可能。但し、誤差が大きい

表5. 17 荷姿と画像情報管理技術との関係

荷姿		情報管理システム／画像管理・封印管理 画像管理は、デジカメによって簡単に実施することが可能。また、封印状態については、電子的に管理することも可能であるが、プラスチックシール等により簡単に実施することが可能。
コンテナ	循環資源の直接梱包	・デジカメ / ・プラスチックシール
	フレコン詰め循環資源のコンテナ梱包	・デジカメ / ・プラスチックシール
バラ積み	フレコン詰め	・デジカメ / ・プラスチックシール
	バラ積み	・デジカメ / ・プラスチックシール

(3) 関係者の意見⁵⁻⁸⁾

1) 排出事業者のご意見

- 実証試験における情報管理について、手間を要するという印象はない。
- どこまでの情報管理が必要かという点については検討が必要であるが、きちんとした形で情報を管理し、例えば、船舶輸送に係る多くの関連事業者におけるマニフェスト情報の報告等が簡易化されるのであれば、それなりの意味はあると考える。
- また、受入事業者の要求する情報はマニフェスト情報よりも細かいレベ

ルであることが多く(例:搬送するフレコンが濡れているかいないか等)、タグを利用した情報管理システムによってそうした付帯情報の提供まで可能になると、受入事業者にとってのメリットは大きい。また、排出事業者として情報提供業務が簡素化されるのであれば、そのメリットも期待できる。

2) 輸送事業者のご意見

- 実証試験における情報管理について、手間を要するという印象はない。
- 輸送事業者としては、排出事業者からの受託作業を行っており、安全安心な輸送サービスを提供するという点では役立つものと考えられる。さらに、今後、危険性の高い廃棄物等を輸送することを視野に入れた場合、周辺住民への安全安心の提供の面でもメリットがあるように感じる。
- 一方、事業者としての輸送責任を果たすという点からみると、もともと安全安心な輸送を実現することは当然のことでもあり、安心のための情報管理が非常に重要というほど優先度が高いと感じているわけではない。
- マニフェスト対応において、輸送事業者としては受入事業者の捺印を得た上で排出事業者に報告を行わなくてはならない。輸送事業者の業務が終了して捺印をいただくまでの間で待機時間が生じることもある。例えば、タグの読み取りを行うことで電子マニフェスト対応が可能となり、こうした待機時間を削減できるのであれば、実務上のメリットも得られることとなり、魅力度が増す。

3) 受入事業者のご意見

- 実証試験における情報管理について、手間を要するという印象はない。同時に、受入事業者としては、きちんと物が届いてくれればよいと考えており、特記すべきメリットも感じている訳ではない。
- 電子マニフェストについては、会社としては一部、既に取り組んでいる。ただし、排出事業者、輸送事業者、受入事業者の全員がそろわないと機能しないことから、普及は今一つと理解している。事実、会社としての利用頻度も今一つであり、そもそも馴染みが薄く、そのメリット等を語れる状況にはない。
- 希望として、公共埠頭を利用した循環資源の物流がもっと活発化して欲しいと考えている。今回のような安全安心を取り込んだ情報管理システムによって、公共埠頭の利用が促進され、静脈物流が活発化するのであれば、情報管理も歓迎できる。
- 排出元が異なる産業廃棄物の積み合わせを行う場合、運搬する時期・数量・荷姿等、また、その情報を処理側(受入事業者側)へ伝え、必要な手続き及び調整を積み出し側でのコーディネートが最も重要である。(関連情報等の収集整理、関係者における共有のためには電子化された情報

5. 5 実証試験の環境負荷削減効果の推定

陸上輸送から海上輸送へ踏み切るきっかけとして、適材適所のリサイクルの実現、スケールメリットによるコストの削減と同時に、環境負荷の削減も実現できる点がサステナブル発展へ導くための重要なポイントであると考えられる。そこで、陸上輸送から海上輸送へ変更することによって、どれだけの環境負荷が削減できるかについてを定量的に推定するために、LCA 的な観点からの評価を行った。

5. 5. 1 評価の前提条件

本評価では、前述した統合化指標 ELP を採用した。評価をする際、各排出業者からは一ヶ所あたり 500t を排出すると仮定して評価を行った。貨物船、トラック、鉄道輸送の t・km の投入・排出量を表 5.18 に示す。また、各ケースの輸送手段における t・km は表 5.19 のようになっている。

各ケースにおいて、コンテナ、フレコンバック、バラ積みでの輸送があるが、今回の評価ではそれらの区別はせず、重量と輸送距離で評価を行った。また、船舶、トラックの種類についても統一して評価を行った。

表5. 18 t・km 当たりの投入・排出量

投入・排出量	投入 kg/km・t			排出 kg/km・t			
	軽油	重油	電力	CO ₂	NOx	SOx	PM
貨物船 ⁵⁻¹⁶⁾	0	0.00467	0	0.00603	0.000155	0.000106	0.0000137
10tトラック(軽油) ⁵⁻¹⁷⁾	0.0942	0	0	0.289	0.00134	0.0000595	0.0000762
鉄道 ⁵⁻¹⁸⁾	0	0	0.0494	0	0	0	0

表5. 19 各ケースの t・km

ケース	ケース①					ケース②			ケース③			ケース④	
	従来(トラックのみ)	従来(トラック+鉄道)		実証試験		従来	実証試験		従来	実証試験		実証試験	
輸送手段	トラック	トラック	鉄道	トラック	船舶	トラック	トラック	船舶	トラック	トラック	船舶	トラック	船舶
t・km	485,800	6,250	529,650	6000	558,000	466,000	58,000	486,000	329,600	7,000	235,000	32,800	52,500

5. 5. 2 ケース 1 (川崎ー宇部)

従来のルートでは、タケエイ(川崎市内)から宇部興産(宇部市内)まで(971.6km)⁵⁻¹⁹⁾をトラックのみでの輸送方法と、タケエイ(川崎市内)からJR川崎貨物駅までトラック輸送(5.4km)し、JR川崎貨物駅からJR宇部駅まで鉄道輸送(1059km)⁵⁻²⁰⁾を行い、JR宇部駅から宇部興産(宇部市内)までをトラックによる輸送(7.1km)を行う、2つの輸送方法がある。実証試験で用いたル

ートはタケエイ（川崎市内）から川崎港までをトラック輸送（10km）を行い、川崎港から神戸港を船舶輸送（700km）⁵⁻²¹⁾の後に、定期コンテナ船から瀬戸内航路定期船に積み替えを行い、神戸港から宇部港まで船舶輸送（416km）し、宇部港から宇部興産（宇部市内）へトラック輸送（2km）を行う。

ケース1の評価結果を図5.8と図5.9に示す。項目別ELPで見ると、船舶輸送を行うことによって従来ルート（トラックのみ）と比較してその環境負荷削減効果が明らかであるが、従来ルート（トラック+鉄道）と比較すると、資源消費、排出ガスが増加したため、ELPは約6倍にまで増加したことがわかる。輸送手段別ELPを見ると、トラック輸送の環境負荷がもっとも大きく、つぎに海上輸送、鉄道での輸送がもっとも環境負荷が低いことがわかった。

ここでは、海上輸送のスケールメリット、リサイクルポートの保管スペース等の効率的な管理、静脈施設の集積といった多方面での利害をケースバイケースで検討する必要がある。たとえば、コスト面では、輸送対象物によって輸送コストも異なってくる。焼却残渣である焼却主灰の場合は、100km以上になると海上輸送のほうが陸上輸送と比べてコストメリットが現れはじめる。廃プラスチックの場合は、おおよそ400km以上になると海上輸送のほうがコスト的には有利であるといった報告がある⁵⁻¹⁾。

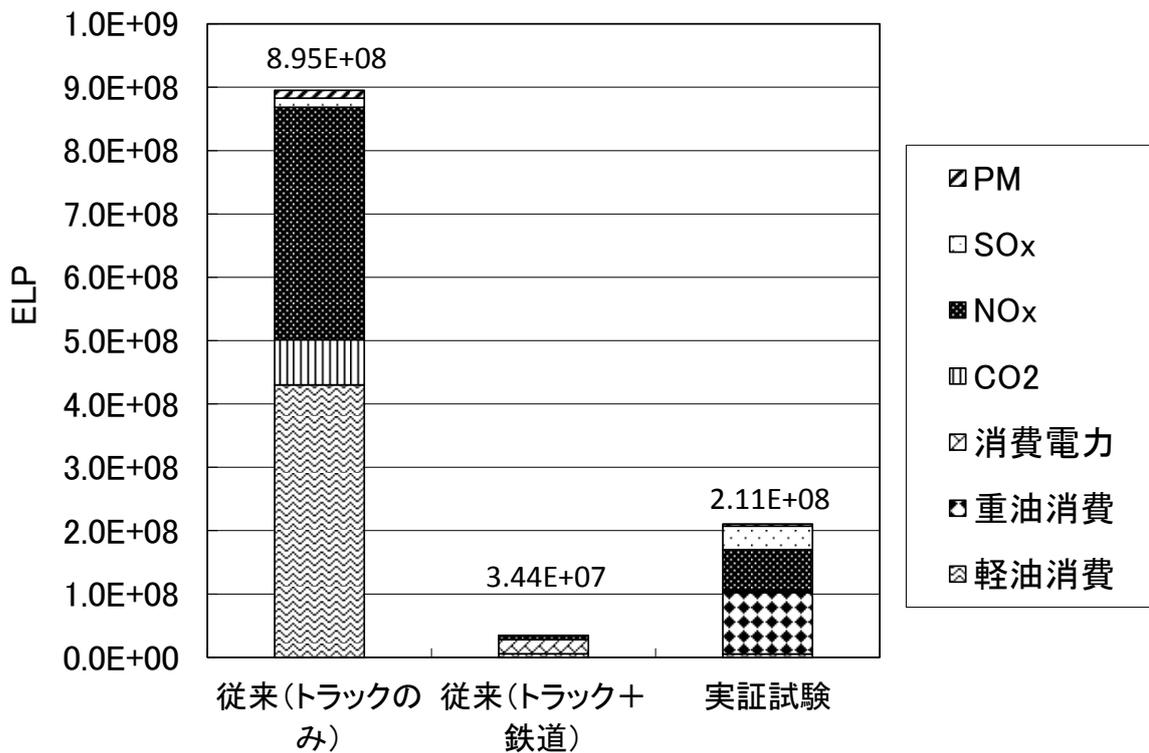


図5.8 項目別 ELP 評価結果

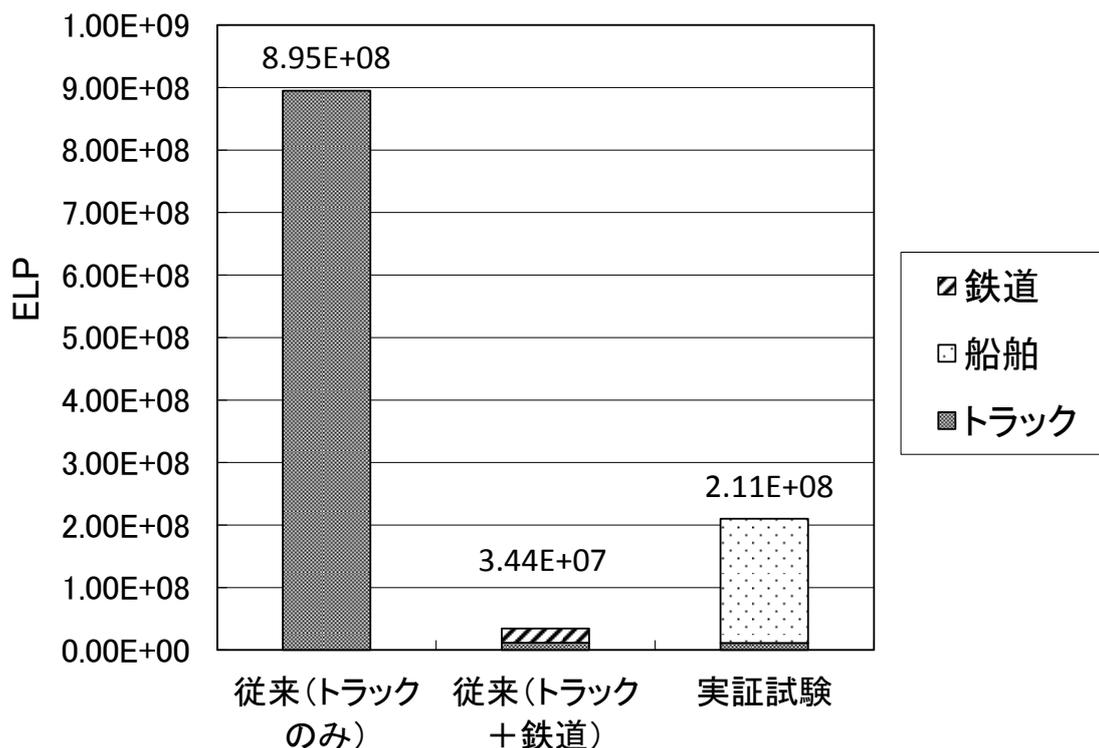


図5.9 輸送手段別 ELP

5. 5. 3 ケース 2 (神戸ー宇部)

ケース 2 の従来ルートでは西部サービス (大阪府大阪市内) からトクヤマ (山口県周南市内) にトラック輸送 (412km)、大同ゴム (香川県丸亀市内) から宇部興産 (山口県宇部市内) へトラック輸送 (345km)、友鉄工業 (広島県広島市内) から宇部興産 (山口県宇部市内) へトラック輸送 (175km) を行う。実証試験で用いたルートは西部サービス (大阪府大阪市内) から神戸港へトラック輸送 (30.6km)、大同ゴム (香川県丸亀市内) から高松港へトラック輸送 (31.4km)、友鉄工業 (広島県広島市内) から呉港までトラック輸送 (49.2km) を行い、神戸港～ (120km) ～高松港～ (181km) ～呉港～ (120km) ～徳山下松港～ (65km) の周回航路にて輸送を行う。

ケース 2 における ELP の評価結果を示す。図 5.10 より、項目別 ELP を見るとトラック輸送による資源消費、排出ガスが減少したため ELP を 8.69E+08 から 2.82E+08 へと 68% の削減をすることができた。図 5.11 より、輸送手段別に ELP を見ると従来の輸送では全てトラック輸送を行っていたところを、海上輸送を行うことによって大きく ELP を削減できたことがわかる。よって、ケース 2 では海上輸送の有効性を示すことができた。

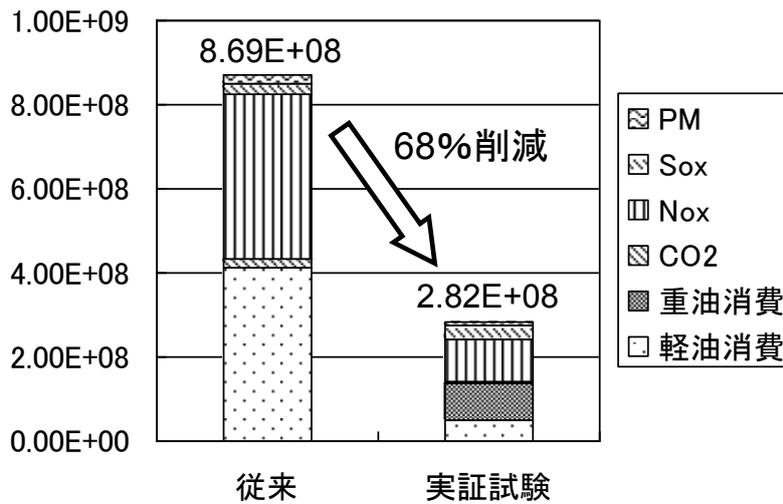


図5.10 項目別 ELP

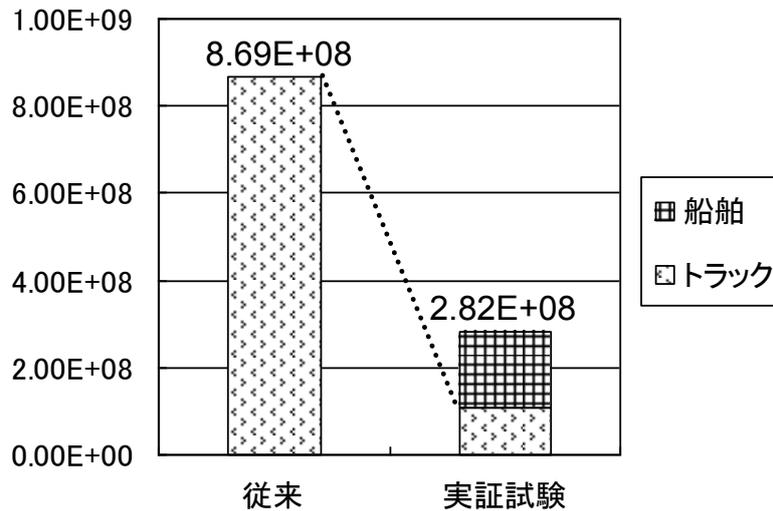


図5.11 輸送手段別 ELP

5.5.4 ケース3 (酒田-姫川)

ケース3においては現状では輸送が行われていないためトラックにて陸上輸送した場合のルートを設定した。陸上輸送を行った場合のルートは酒田港リサイクル産業センター（山形県酒田市内）から明星開発（新潟県糸魚川市内）、明星セメント（新潟県糸魚川市内）にトラック輸送（各330km）を行う。

実証試験に用いたルートは酒田港リサイクル産業センター（山形県酒田市内）へトラック輸送（12km）し、酒田港から姫川港まで船舶輸送（235km）を行い、姫川港から明星開発（新潟県糸魚川市内）、明星セメント（新潟県糸魚川市内）にトラック輸送（各2km）を行う。

ケース3の評価結果を図5.12、図5.13に示す。項目別 ELP を見ると、実証試験では陸上輸送したと仮定した場合よりも、トラック輸送による資源消費、排出ガスが削減され、ELP が大きく減少していることが分かる。また、排出業者・

受入業者共に港から近い場所にあり、輸送手段別に ELP を見ると、トラック輸送のほとんどを海上輸送に置き換えられたため、ELP は $6.15E+08$ から $9.70E+07$ へと減少し、84%の削減を行うことができた。

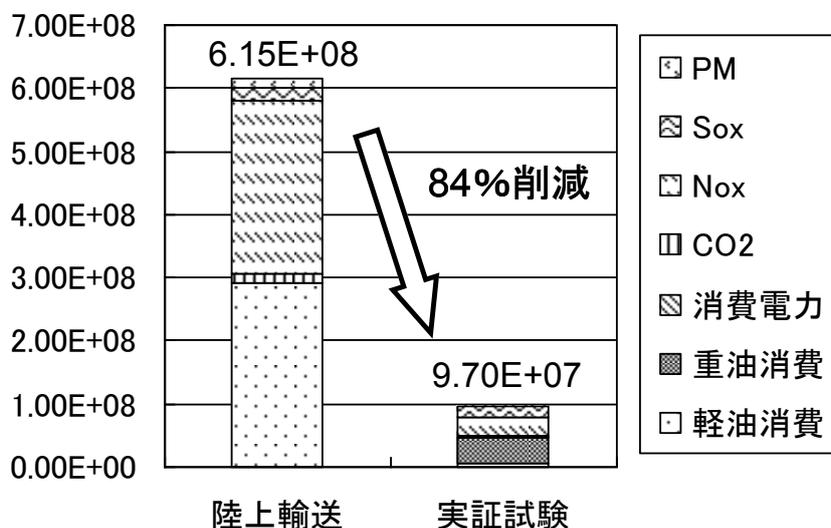


図5.12 項目別 ELP

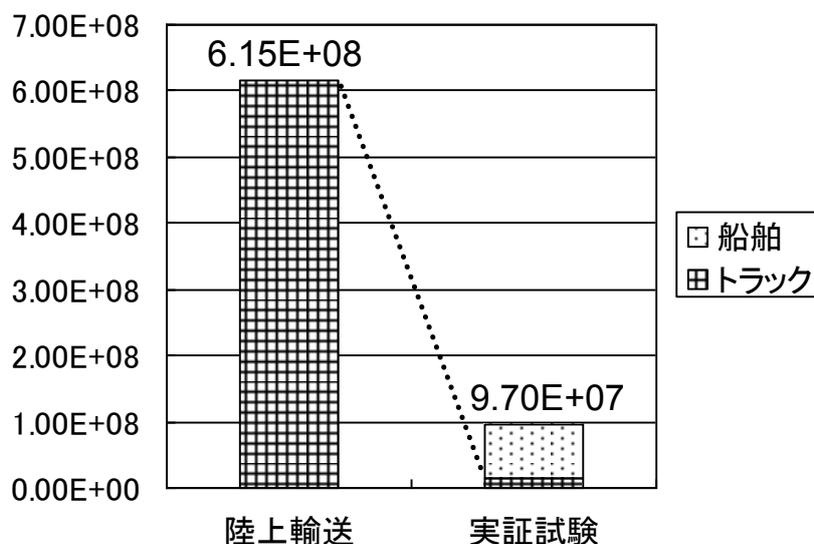


図5.13 輸送手段別 ELP

5. 5. 5 ケース 4 (中城—大分)

従来では島内で処理できない処理困難物(汚染土)を埋立していたところを、実証試験において海上輸送を行い、大分県内でセメント材料として再利用を行う。従来では沖信建設(沖縄県うるま市内)から詠谷村内の最終処分場までトラック輸送(18.1km)し、埋立を行う。

実証試験で用いたルートは沖信建設(沖縄県うるま市内)から中城湾港へトラック輸送(8.1km)を行い、中城湾港から志布志港へ船舶輸送(700km)、志布志港にて定期船から定期コンテナ船に積み替えを行い、志布志港から大分港

へ船舶輸送（350km）し、大分港から太平洋セメント（大分県佐伯市内）へトラック輸送（57.5km）、その後、セメント材料への利用を行う。

ケース4の評価結果を示す。図5.14の項目別ELPをみると、従来では埋立によるELPがほとんどを占めていることがわかる。実証試験を行うことによって、輸送による資源投入や排出ガスのELPが増加するが、埋立を行わないため大きくELPを削減することができた。

今回の実証試験では島内で処理が行えなかった汚染土の再利用を行うことができ、さらに海上輸送の有効性を示すことができたといえる。

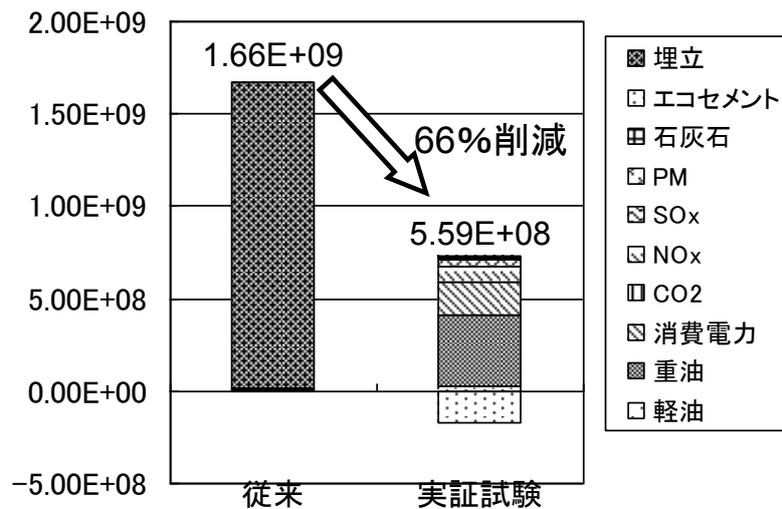


図5.14 項目別 ELP

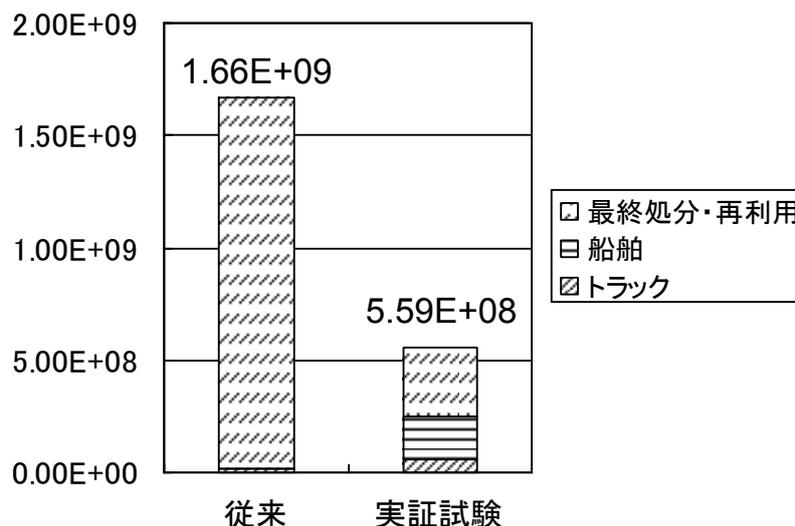


図5.15 輸送手段別 ELP

5.6 まとめ

静脈物流において、スケールメリットおよび環境負荷の低減が可能なことから陸上輸送から海上輸送へのモーダルシフトが注目されはじめている。リサイクルポートでは、静脈施設の集積、積み替え・保管スペース等のインフラの整備、効率的な配船、さらにはその背後地域にあるエコタウンや動脈施設との連携などから、静脈物流に機能的な便益が得られる。しかし、動脈物流とは異なり、排出者責任の観点から広域化における適正処理の確保、関連地域住民への配慮等が肝要であり、安全・安心な広域静脈物流におけるトレーサビリティの確保が求められている。

そこで本研究は、H20年国土交通省の「リサイクルポートを活用した静脈物流海上輸送実証試験」に参画し、静脈物流管理システムへのIT技術の適用性に関する検討を行った。また、環境面における海上輸送の有効性を検証するために、統合化指標 ELP を用いて LCA の観点からそのメリットを定量的に評価を行った。以下に得られた知見を記す。

- GPS や RFID 等のトレーサビリティツールの適用可能性の検討を行った結果、それぞれのツールに対してその活用方法によっていずれも有効であることは確認できた。また、その取り扱い時の注意事項、荷姿ごとに情報管理（軌跡管理、画像管理、重量管理、封印状態管理）のために利用した情報技術との相関等を整理した。
- たとえば、GPS では長期間にわたる海上輸送では受信機の電源確保のため、海運関係者と調整が必要である。RFID では、防水タグを使用することで雨天時でも対応可能であることを確認できた。ハンディ型リーダーを用いて検証を行った結果、少量や個別の管理に便利であることを確認できた。管理対象物が大量のときには、据え置き型（アンテナ型）リーダーの適用により車両の通過による自動かつ複数同時読み取りなどが実現可能であると考えられる。
- また、排出と受入双方の自治体および地域住民の理解を得るためには、情報の共有・発信が重要であり、それに向けた検討として内航海運物流管理データベースのフォーマットの設計を行った。
- リサイクルポートを利用して、自区域内で処理できない廃棄物を受け入れ可能な施設に輸送し、処理する実証実験についての環境負荷削減効果の推定を行った結果、トラックによる陸上輸送を船舶による海上輸送に変更することで大幅な環境負荷低減が可能であることを確認した。また、従来の長距離の鉄道運送から船舶に変更することで、排ガスによる環境負荷が増加してしま、環境的效果から見れば鉄道のほうが海上輸送より優れている結果となった。
- ここで、経済的効果やリサイクルの実現効率といった面からも総合的に判断して、リサイクルポートの機能的なベネフィットを考慮に入れてケースバイケースの検討が必要であると考えられる。

以上の結果より、今後安心につなげる安全なシステムの構築のためには、トレーサビリティシステムの実現、さらには社会システムとして定着させていくための作業効率化の実現が必要である。そのため、さらに深めた研究や技術開発が必要であり、リサイクルポートの機能的なベネフィットの十分な発揮およびその推進を期待したい。

第6章

海外連携レベルでの広域的な資源循環システムの
構築に向けた検討

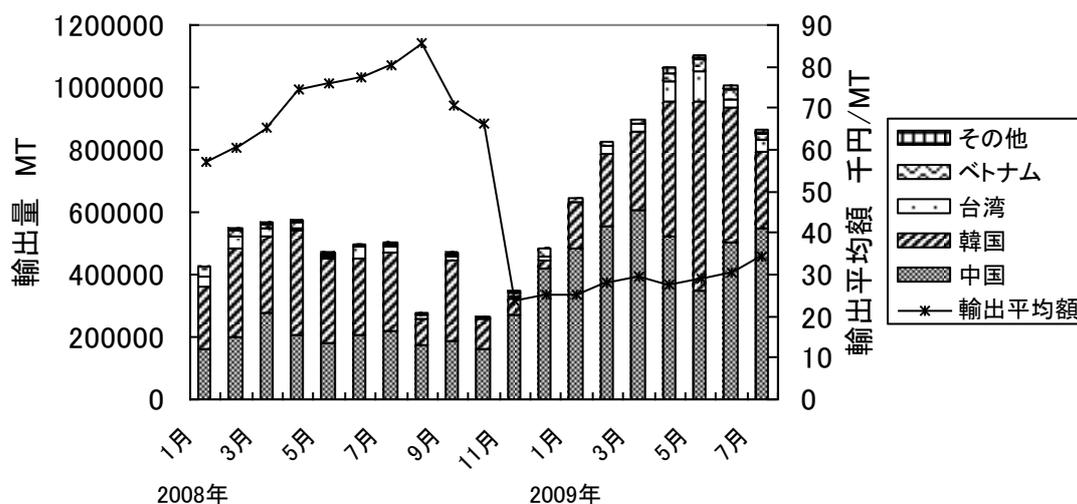
～トレーサビリティを核としたコンソーシアム型
国際資源循環管理システムの開発～

第6章 海外連携レベルでの広域的な資源循環システムの構築に向けた検討

～トレーサビリティを核としたコンソーシアム型国際資源循環管理システムの開発～

6.1 目的と従来研究

近年、世界各国で循環型社会の構築が目標として掲げられ、3Rのための多重多層な循環の輪の形成が急がれている⁶⁻¹⁾。こうしたなかにあつて、現在「世界の工場」・「世界の市場」と呼ばれる中国をはじめとするアジア諸国では、急速な経済発展を遂げ、生産量が飛躍的に拡大している。それに伴い資源の需要が旺盛になり、日本からアジア諸国へ鉄スクラップや廃プラスチック等の資源物の輸出量が急増している⁶⁻²⁾。2008年リーマンショックによって引き起こされた世界的な金融危機の影響で資源相場は急落しているものの、日本から鉄スクラップ(図6.1)、廃プラスチック等の輸出量は減っていない⁶⁻²⁾。国際分業化の進展および資源需給バランスの偏りに伴い、国際資源循環の動きが進展し、世界の国々の相互依存関係はますます深まっている。しかしながら、こうした動向に対して、その環境的効果に関する情報の不足や対象物の適格性、不適正な処理処分、不法投棄等に関する懸念から逡巡の傾向も見られる⁶⁻³⁾。輸出された物が解体・選別され、有効な資源として活用されている一方で、有用な資源を取り出した後の残渣⁶⁻⁴⁾が適正に処理されているか、また素材を取り出す工場での労働環境が守られているのか、という有害性の問題もクローズアップされている⁶⁻⁵⁾。また、各国の実情や政策が独立に存在し、「バーゼル条約」のような国際間に共通する法規制の不足などにより、排出側における再生資源品質確保の問題、国際間の不正輸出入、受入側途上国における廃棄物の不適正な処理・処分による環境汚染など、再生資源の越境移動には様々な問題がはらんでいる。



出典：財務省貿易統計

図6.1 日本鉄スクラップの輸出概況

このような状況から、資源循環の広域化・国際化の意義を的確に表現する情報の提供とその流れを適正化し、システムの透明性を高めていく必要がある。再生資源の越境移動や適正処理処分の方法を確認・追跡できるシステムの構築が求められている。

ここで、日本と中国（相手国の代表例として）での従来研究を調べた^{6-3~16)}。国際資源循環に関して日中両国においても研究調査が行われている。日本では、中国を対象とした調査は多いが、あくまでも現状の調査と課題や問題点の抽出・提言にとどまっている場合がほとんどである。松岡氏らが北九州と中国天津を対象に、第三者評価機関を核としたトレーサビリティのためのシステム構築を行っており、第三者評価の重要性を提唱している^{6-10~11)}。一方、中国では中国の視点からの調査・分析となる。廃棄物資源の受入国として、コスト面での収益分析および環境面でのリスク分析等が行われているが、国際資源循環の排出から受入・処理処分までのシステム全体の透明性を向上させるための技術やシステムの開発に関してはほとんど研究されていない。

そこで本研究は、国際資源循環における排出と受入両国での対応を含めたシステムの透明性を向上させるために、金属くず、廃プラスチック等の一般品目を対象に、トレーサビリティの実現に向けてIT技術を導入した汎用性の高い三層構造の国際資源循環管理システムの開発を目的とする。

6. 2 国際資源循環管理システムのあり方と構想

6. 2. 1 国際資源循環のあり方と提案するシステムの構想

循環型社会づくりの地域の牽引役を担う自治体や企業にとって、自ら排出する再生資源の越境移動を通じた資源化処理に対して、相手国での適正処理に関する情報の確認が課題となっている。国際資源循環にはさまざまな事業主体が多岐にわたり、複雑になっているため、本来「国際資源循環はどうあるべきか」という命題に対して具体的な整理ができていないまま、進んでいるのが現状である。その不透明性を打開し、安全安心且つ円滑的な国際資源循環を進行させるためには、ハード面での技術開発はさることながら、排出・受入両国に関わる事業主体間の協議を通じたソフト面での検討も必要不可欠である。そのためには、以下に示す4点を実現することが重要である。

- ① 適正な静脈物流、資源の有効利用・残渣の適正処理が実現される包括的システムの構築
- ② 上記システムのすべてにわたっての環境汚染防止措置の適用
- ③ 上記システムの沿って循環資源が流通ししていることを確認可能な仕組みの構築（トレーサビリティの確保）
- ④ 主体的企業の統括的責任の明確化・情報開示

ここで、トレーサビリティを含めたサプライチェーン・マネジメント（Supply Chain Management、以下SCMと略す）に関する研究開発が動脈産業においては生産効率の向上、流通コストの削減等を目的に数多く行われてきた。しかし、その後の回収、再利用、廃棄といった静脈側のマネジメントは対象外とされることが多い⁶⁻¹⁷⁾。再生資源を対象に管理する場合、その資源性だけではなく潜

在的な汚染性も充分認識した上で越境移動を行うべきである。厳しい環境汚染や労働衛生基準に反する事例を背景に、昨今の国際資源循環の現況を概観すると、生産効率やコストといった経済的な面を考慮する一方、システム全体の透明性の担保や説明責任が要求され、さらに言うとも企業の社会的責任（CSR）の一部として求められている⁶⁻³⁾。

それを実現するために、本研究では、図 6.2 に示す三層構造の国際資源循環管理システムを提案する。動脈産業によく使用されるトレーサビリティツールを適用して効率的な情報管理を検討するとともに、再生資源特有の汚染性、および国際間の越境移動を考慮し、関係主体間の意思確認を含めた協議および連携を図るためのサプライチェーン（Supply Chain、以下 SC と略す）を構築する。さらに、取得した情報の共有化を図り、情報共有・管理システムも付与することが望ましい。本研究が提案する国際資源循環管理システムの特徴を整理すると、以下のようなポイントが挙げられる。

- ① 相手国に進出した日系企業が国際資源循環管理システムのプロセスをコントロールする中核的な役割を担うこと。
- ② 日本国内のみならず、現地のリテラシーを鑑みて、相手国国内のトレーサビリティシステムの導入を視野に入れていること。
- ③ 他国へ展開も視野に入れた汎用性の高いトレーサビリティシステムを考慮していること。

以上の点を鑑みて、国際資源循環管理システムのモデルの構築を試みる。

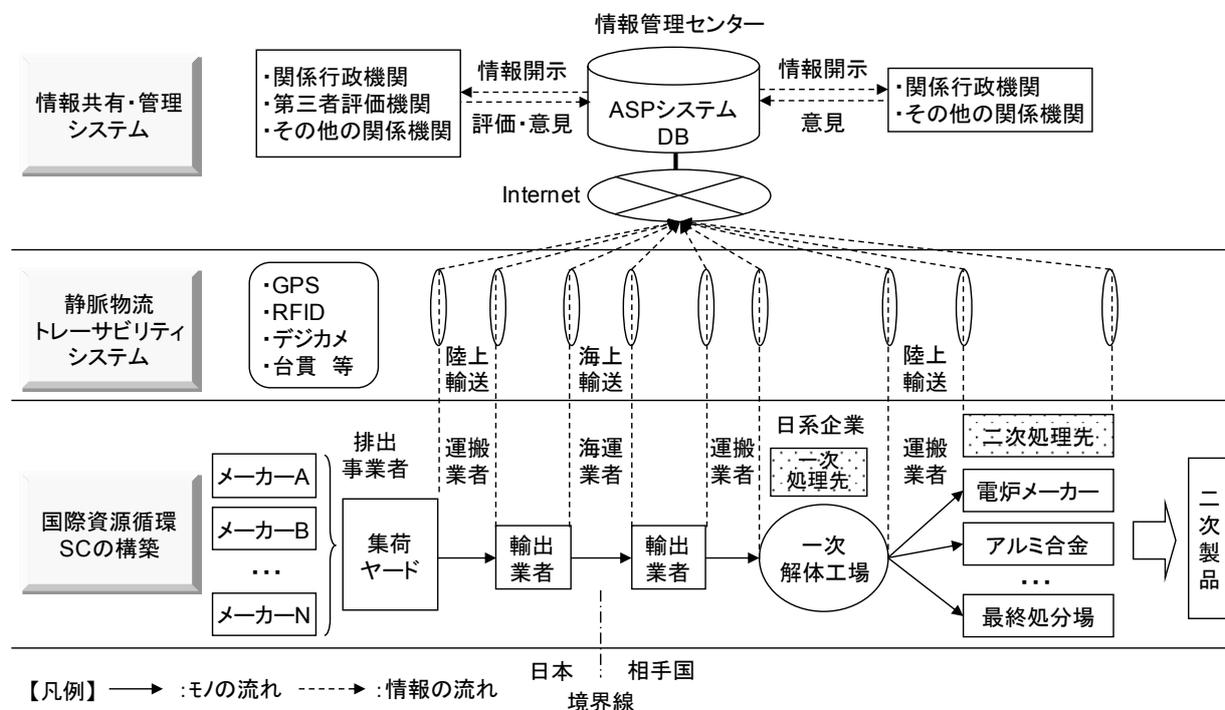


図6.2 提案する国際資源循環管理システムの概要

6. 2. 2 トレーサビリティの実現目的

トレーサビリティシステムの導入にあたり、各事業者が目的を共有する必要がある。国際資源循環を対象とするトレーサビリティシステムの導入には、大きく以下に示す3つの目的が想定される。

(1) 資源化に関する情報の信頼性確保

日本側の排出から中国側の最終処理・処分まで各段階で資源化対象物とその情報を追跡・遡及可能および情報・データをWEB上等で公開することにより、国際資源循環フローの透明性を確保することができる。事業者は自己の資源化対象物等の資源化の信頼性を担保することができる。そのほか、不正処理・処分や輸出入等の問題発生時の対応にも役立つ。

(2) 資源化対象物の安全性確保

GPS測位機、デジタルカメラ、携帯電話等の総合照合により、資源物の安全性に問題が発生した場合、その原因を容易に同時或いは遡って探索することが可能である。また、長期的なデータ収集が国際資源循環のリスク管理に貢献することとなる。

(3) 資源化対象物の適性処理の確保

トレーサビリティシステムの導入により、不正輸出入や不正処理・処分を防ぎ、信頼性のある輸送経路を確保することができ、適正な資源循環ネットワークの構築に寄与することができる。

6. 2. 3 システムの適用範囲

本システムの構想において想定される適用範囲を以下に示す。

(1) 対象となる関係主体

想定される関係主体を表6.1に示す。日本側での資源化対象物の排出から相手国での二次処理先までの各段階にかかわる関係主体を想定している。

表6.1 想定される関係主体

国境	関係主体	定義
日本	排出事業者	国内の再生資源を排出する事業者
	運搬業者	国内の再生資源の運搬を行う事業者
	輸出事業者	資源対象物を自国から外国へ輸出する事業者
	港湾管理者	日本の港湾において再生資源の保管・バンニング等を行う事業者
相手国	海運事業者	資源対象物の輸出手続き及び海上運搬を行う事業者
	港湾管理者	相手国の港湾において再生資源の保管・バンニング等を行う事業者
	輸入事業者	資源対象物を外国から自国へ輸入する事業者
	運搬事業者	相手国において再生資源の運搬を行う事業者
	資源化事業者（一次処理先）	資源物を資源化する事業者
	二次処理先	一次処理先から排出される再生資源を再利用・処理等を行う事業者
共通	第三者評価機関	国際資源循環システムの運用状況を客観的に評価する機関

(2) 資源化対象品目

資源化対象品目は、廃プラスチック、鉄くず、ミックスメタルやハーネス等の一般品目を想定している。

(3) 荷姿⁶⁻¹⁸⁾

上記の荷姿は、国際資源循環の物流上の特徴である長距離の海上輸送により、コンテナ（裸積み、フレコン）船とバラ積み船で大別される。フレコン単位での管理を行うことで、より細かい単位での管理が可能となるため、フレコンの使用が望ましい。ただし、フレコンで管理困難の物は、やむを得ず裸積みで管理する。また、内容物（有害性の高いもの、希少価値が高いもの）によっては、フレコンやダンボールによって単品管理を行い、RFID タグ等による管理を行うことが有効である。また、バラ積みの場合は、車両単位で管理することになる。代表的な資源対象物の現状や荷姿例を以下に示す。

① 古紙

古紙は日本国内の回収量の内、15%程度が海外に輸出されており、その内80%が中国向けで、残りが台湾、韓国、タイ等になっている。日本の場合、古紙輸出の8割は商社が扱っている。古紙の輸送形態は、バラ積み船で輸送した場合、古紙の端材が飛び散って海を汚染する可能性が高く、一般的にコンテナとなる。ベーリング（圧縮梱包）されたブロックをコンテナに積み込んで出荷

する方法が一般的である。

また、過去においては、「再生用古紙」として日本からフィリピン向けに輸出されたコンテナに医療系廃棄物が混入していたという事件も起こっており、適正な資源循環に向けて課題も残っている。コンテナ単位でほぼ最終処理先（製紙メーカー）までいくことを考えると、出荷時点での管理がポイントになると考える。荷姿の例を以下に示す。



図6.3 梱包済古紙と積み込みの様子

② 廃プラスチック

廃プラスチックの輸出は90年代半ば以降10万トン／年で推移していたが、2000年代に入ると急激な伸びを示している。輸出先は中国向けが9割を超えている。また輸出向けの廃プラスチックのほとんどはプラスチック原料として利用されており、日本で発生する廃プラスチックの MATERIAL リサイクルの半分以上（57.3%）を占めている。輸送形態としては一般的にコンテナ船が利用されている。

廃プラスチックは比重が軽く、積載効率を高めるために圧縮、破碎等の減容処理を行った上で輸出している。圧縮物についてはブロック状のまま、破碎物はフレコンバックに入れた状態で、コンテナに詰めて出荷している。コンテナは通関時を除いては途中開封されることなく、相手国の1次受入先までそのまま搬入されるので、その間のリスクは少ないと考える。さらにコンテナ輸送においては、出荷時点で封印及びシール番号が付与され、入荷時の開封前に、船荷証券上のシール番号と現物番号との突合作業を行っており、輸送システムそのものが既に高い信頼性を有していると考えられる。従い、出荷時の管理（対象品目以外の混入物の確認等）がポイントとなる。荷姿の例を以下に示す。



図6.4 圧縮済廃プラスチックと積み込みの様子



図6.5 コンテナの封印と出荷

③ ミックスメタル（金属樹脂混合屑）

日本国内では選別コストの問題でマテリアルリサイクルが困難とされるミックスミックスメタル（金属樹脂混合屑）だが、相手先国での解体・選別を前提として、中国を中心に大量に輸出されている。

ミックスメタルは通常、バラ積み船といわれる石炭や鉄鉱石などを積む 1000 トンクラス以上の大型船で輸送されている。同船の特徴としては、荷崩れしやすい荷物を積むことから両サイドが総て大きな空洞になっており、また甲板上にハッチカバーが備え付けられている。品物は国内の処理工場からトレーラー等で港まで運ばれてきて、直接トラックの荷台から船倉に重機で移し変えを行う。積込完了後、ハッチカバーで蓋をするので、輸送途上での飛散等は起こりにくいと考えられる。さらにハッチカバーを閉じる際には封印され、相手国側の港に届くまで開封されることはないのので、盗難、海洋投棄等のリスクも限りなく低いといえる。

コンテナ船の場合はフレコンバックや、圧縮物、重量物等、ある程度まとまった単位毎に分かれて積込されるので、出発、到着ポイントでの照合が可能だが、バラ積み船の場合は裸のまま雑多に積み込みされてしまうので、入りと出の照合による追跡管理は非常に難しいといえる。荷姿の例を以下に示す。

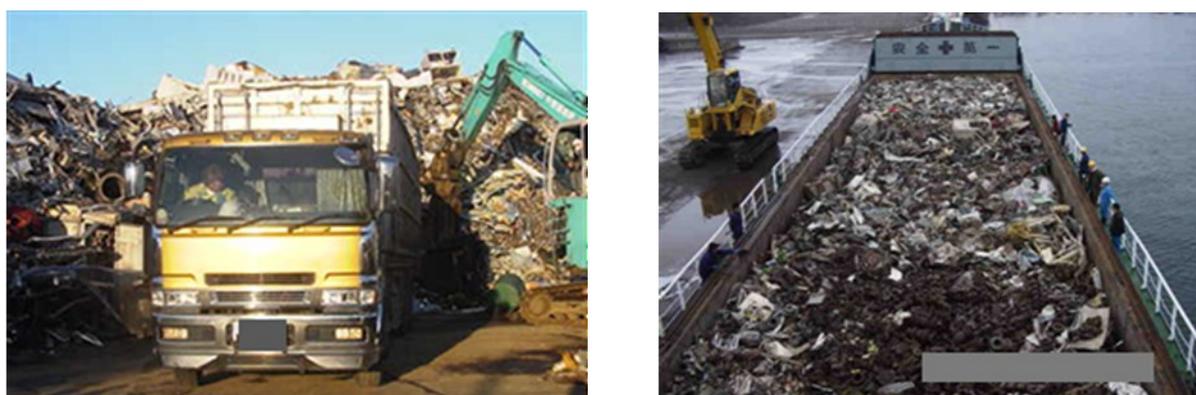


図6.6 出荷ヤードから出発時と日本側港での荷姿

④ 非鉄スクラップ

アルミ、銅、ステンレス等の非鉄スクラップについては、素材そのものの価値が高いこともあり、切断等の処理でサイズ調整を行った上で、フレコンバックに梱包しコンテナ輸送を行っている。フレコンバックの場合、RFID タグやバーコード等の取り付けが容易なことから、1 袋単位からの追跡管理が可能である。またコンテナ船での実証試験において、この形状での輸送は品質面の確保及び追跡管理の確実性が高いことが判明している。下図にフレコンテと積み込み時の写真を添付する。



図6.7 フレコンバックとコンテナへの積み込み状態

6.3 コンソーシアム型サプライチェーンの構築に向けた検討

国内外を問わず、広域的な資源循環システムを構築していくためには、①資源化対象物の排出・受入にあたってのルール・基準等の策定、②資源化・物流管理等に関わる技術の開発、③情報の共有、の三点が重要である⁶⁻¹⁸⁾。特に再生資源の越境移動については、日中間においてすでに多くの問題が存在している。中国では2004年に日本の廃プラに対して一時的な輸入停止措置⁶⁻¹⁹⁾を採った。中国政府は悪質な業者を締め出すため、同年7月から、中国向けの海外再生資源輸出業者を登録制にした。登録には環境規格 ISO14000 シリーズの取得や品質保持など厳しい条件が定められた^{6-19,20)}。それに対して、日本側はこの

事件を教訓に、海外と再生資源貿易を永続的に実施していくためには、更なる品質確保や相手国の環境法規制への理解や遵守を進めるべく、排出者責任をしっかり守る必要がある。特に不適に処理されると環境汚染を引き起こしかねない再生資源排出者に対しては、説明責任あるいはCSRの一部としてとらえるべきであり、透明性を高め、適正処理処分を確認可能な体制が要求される。一方で、受入側途上国において不正処理処分の取り締まりを強化することが求められる。中国では現状として小規模な資源化処理業者が一般的⁶⁻²¹⁾であり、技術レベルが低く、環境汚染や労働衛生上の問題を引き起こしている場合が多い。また、国際取引の場合、お互いの商習慣や環境意識が異なり、環境面における相手国の理解や協力を得ることは一層難しい。

このような教訓や現実を鑑み、トレーサビリティシステムに着手する前段階として、排出側・受入側の双方における循環型システムの構築に向けた強い取り組み意志の確認と“痛み”、“安全・安心”の共有を図ることが要求される。国際資源循環において、排出事業者、陸運業者、輸出入業者、海運業者、一次処理先、二次処理先等、日中双方多方面の関係主体が関わり、プロジェクトを遂行するにはコンソーシアム（企業連合）を組み、安全性や効率性を最大限に発揮するためにSCを構築することが望まれる⁶⁻²²⁾。適正な国際資源循環SCの構築に向けて、いくつかの段階を踏む必要がある⁶⁻²³⁾。図6.8に国際資源循環システムの構築に向けたフローを示す。同図では、海外に進出した資源化事業者（一次処理先）を中心に据え、排出事業者と二次処理先に対して取るべきステップを「SCの確立」、「事前準備」、「計画段階」、「実行段階」の各フェーズに分けて示している。これらの事業活動を客観的に評価する主体としての「第三者評価機関」の役割についても整理してある。ここでは、ITツールを活用したトレーサビリティシステムは、あくまでも「実行段階」における処理の透明性を担保するためのツールであるといえる。信頼性のある国際資源循環システムを構築するためには、その前段階における排出事業者や二次処理先との調整・連携・情報共有も必要不可欠である。

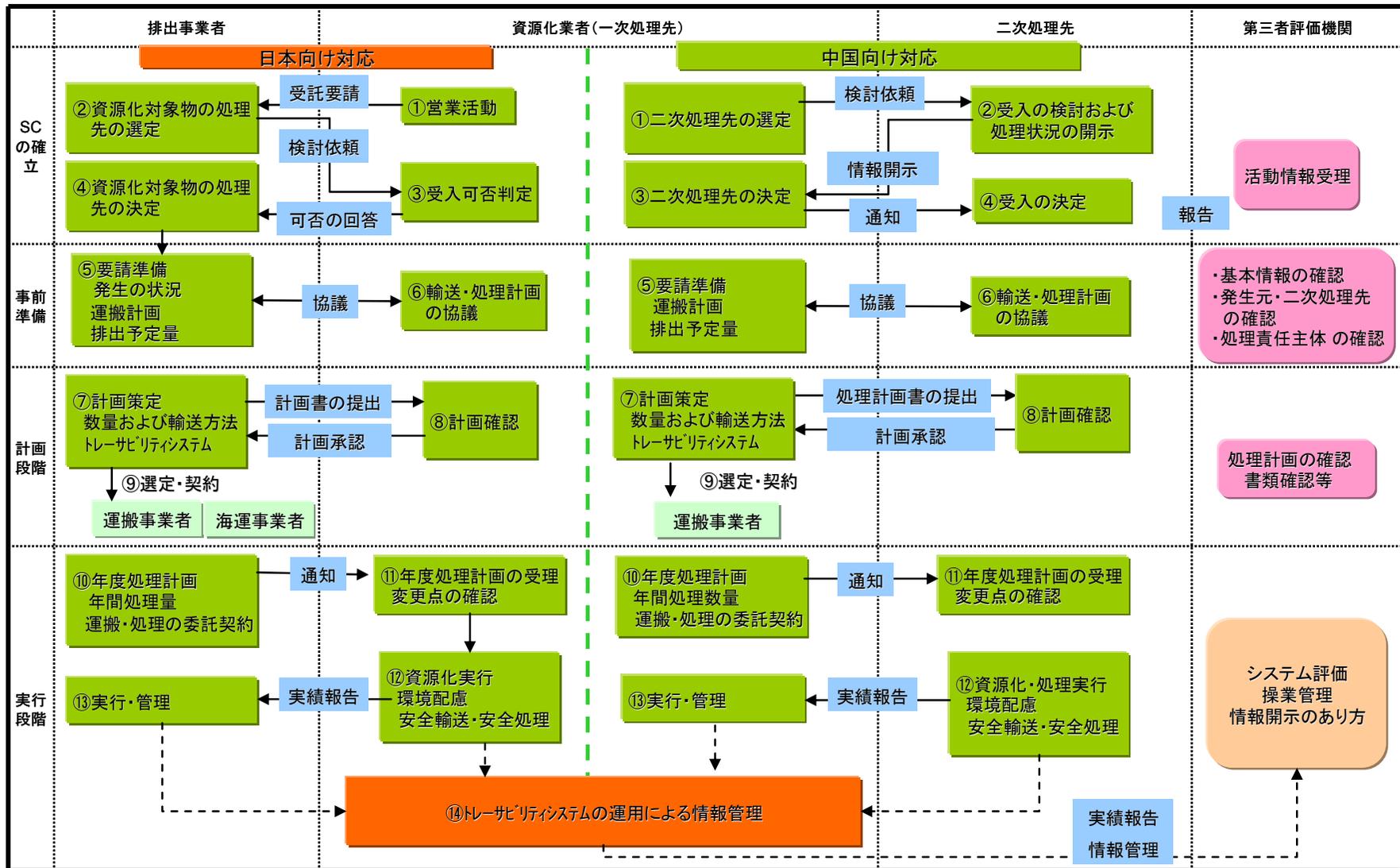


図6.8 国際資源循環管理システムの構築に向けたフロー

6. 3. 2 コンソーシアム方式によるサプライチェーンの確立

国際資源循環において、排出事業者、陸運業者、輸出入業者、海運業者、一次処理先、二次処理先等、日中双方多方面の関係主体が関わり、プロジェクトを遂行するにはコンソーシアム（企業連合）を組み、安全性や効率性を最大限に発揮するためにSCを構築することが望まれる。将来更なる効率性、円滑性の向上を図るために、国土交通省が指定を行っているリサイクルポートとの連携も視野に入れて研究を進めている。

具体的に、一次処理先は、インフラが整った段階で受入可能な資源化対象物についての受託要請とコンソーシアムへの呼びかけを排出事業者に対して展開することとなる。その際、排出物の性状・量・荷姿などを精査し、受入の可否を慎重に判断することが重要である。一方、中国国内においても、資源化対象物の種類に応じて、想定されるマテリアルフローを基に、信頼性のある二次処理先を予め選定することが要求される。こうした二次処理先の選定にあたっては、表6.2に示すような観点から二次処理先との協議を進める必要があると考える。まず、二次処理先の施設・処理技術に関する基本情報の開示を要求し、それらの情報を基に受入先として、適切かつ十分な技術・体制を有しているかを確認する。また、それらの情報のみならず、現地調査・ヒアリングにより、処理対象物の保管状況、作業環境等をチェックし、適正な処理を行っていることを把握する。さらに、トレーサビリティシステムの運用に関する理解や協力姿勢についても確認し、継続的に取引を行う対象としてふさわしいかを総合的に判断する必要がある。

表6.2 二次処理先の選定にあたってのポイント

項目	確認事項	評価・チェックの観点
施設・処理技術に関する基本情報の開示	<ul style="list-style-type: none"> ・企業概要 ・処理対象物 ・処理技術の概要 (保有設備、マテリアルフロー等を含む) ・処理能力 ・処理量 ・受入費用 ・受入条件 等 	企業および施設の基本情報を含む二次処理先の選定にあたって必要となる基本的な情報の開示を要求し、受入先として適切な十分な技術・体制を有しているかを確認する。
現地確認・ヒアリング	<ul style="list-style-type: none"> ・処理状況 ・処理対象物等の保管状況 ・環境基準等の対応状況 ・作業環境 ・管理者・作業員のモチベーション 等 	上記の基本情報を基に、現地確認を行い、適正な処理を行っているか否かを確認する。
トレーサビリティシステムに関するインフラ・リテラシー	<ul style="list-style-type: none"> ・インターネット等の活用状況 ・トレーサビリティシステムの運用に関するリテラシー・協力姿勢 等 	トレーサビリティシステムの導入にあたり、一定の趣旨を理解しそれを運用するリテラシーや協力姿勢を有しているか否かを確認する。

6. 3. 3 事前準備段階

国際資源循環に取り組もうとすれば、排出事業者、陸運業者、輸出入業者、海運業者、一次処理先、二次処理先等のコンソーシアムメンバーの共通認識が醸成できていなければ、その後の調整が場当たりのになる可能性が高くなり、結果として信頼性の欠如につながる可能性が否定できない。したがって、正式な協議の場ではないが、この段階においても、関係者それぞれがしっかりとしたスタンスを固め、調整に臨むことが必要である。

6. 3. 4 計画段階

排出事業者、資源化事業者（一次処理先）、二次処理先での基本方針のすり合わせが調えば、正式な協議に入ることとなる。ここでは、運搬、処理に係る具体的な内容について協議することとなるが、この段階で重要なことは、リスク管理による安全性の担保について、関係者が綿密な調整を図り、総合的な視点から問題ないかどうかを整理することにある。とりわけ、どのようなトレーサビリティシステムを導入するかもこの段階で協議することとなる。また、この整理に基づき、関係者の安全性の確保に関する役割を明確に認識することが重要である。さらに、情報公開の手法、内容について考えを統一しておくことも十分に検討しておく必要がある。

6. 3. 5 実効段階

事前準備、計画各段階を経て、実行に移ることとなるが、当然のことながら、この段階で重要なことは、約束された事項の確実な実施である。

一方、担当者の交代等の状況の変化、慣れ等からくるミスは全く起こりえないことではなく、それを確実に防ぐための仕組みがこの段階で必要である。また、実行内容のレビュー、必要に応じての対策の改善等も重要である。トレーサビリティシステムの運用は、こうした実行をチェックするひとつのツールであるといえる。

また、「第三者評価機関」の役割の中に示した「操業管理」とは、トレーサビリティシステムの運用のみならず、定期的な現地調査や関係者インタビュー等によって、共通の問題意識を持って事業に臨んでいくためのスキームである。具体的な実施方法は、今後検討していく必要があるが、トレーサビリティシステムの運用に協力する事業者に対しては、それ相当のインセンティブを与え、運用ルールを逸脱した行為を行った場合には罰則規定を適用するなど状況に合わせた仕組みを構築することが重要である。

なお、上記の各段階において第三者評価機関は、各々の計画の進捗状況・実行状況を客観的に把握することで透明性を高めるとともに、トレーサビリティシステムの重要性等を現地企業に対して教育・啓蒙する役割を担うことを想定している。

また、表 6.3 には、国際資源循環管理システムの構築に関わる関係主体の定義とその果たすべき役割を示した。こうした責任区分を明確にしておくことも重要である。同図では、関係各主体の定義、役割に加え、トレーサビリティシ

システムの運用にあたって管理すべき情報と使用・運用が想定されるトレーサビリティの具体的な手法（GPS、RFID タグ/バーコード、デジタルカメラ等）を併せて示している。

表6.3 想定される関係主体

関係主体	定義	国際資源循環管理システムにおける役割	管理情報	トレーサビリティの具体的な手法
排出事業者	資源化対象物を排出する事業者	<ul style="list-style-type: none"> 資源化対象物の品質管理 排出事業者が特定できる荷姿での排出 排出する資源化対象物に関する情報管理・情報開示 	<ul style="list-style-type: none"> 事業者に関する情報 資源化対象物に関する情報(由来物・品質・量・保管状況等) 	<ul style="list-style-type: none"> デジタルカメラ 重量 管理伝票 等
輸出・入事業者	資源対象物を自国から外国へ輸出、或いは外国から自国へ輸入する事業者	<ul style="list-style-type: none"> 妥当な輸出手続きの実行 運搬、海運等の関連事業者との調整 	<ul style="list-style-type: none"> 事業者に関する情報 輸出する資源化対象物の情報 	<ul style="list-style-type: none"> 管理伝票
運搬業者	資源化対象物の運搬を行う事業者	<ul style="list-style-type: none"> 適切な運搬の実施 排出事業者が特定できる状態での搬出 運搬方法(荷姿・車両・運搬経路・搬出先等)に関する情報管理・情報開示 	<ul style="list-style-type: none"> 事業者に関する情報 運搬経路 荷姿・搬出量 	<ul style="list-style-type: none"> GPS測位機 デジタルカメラ 重量 管理伝票 携帯電話 等
港湾管理者	港湾において資源化対象物の保管・パッキング等を行う事業者	<ul style="list-style-type: none"> 港湾における資源化対象物の適切な保管・パッキング等 資源化対象物と出荷(入荷)ロットの紐付け 	<ul style="list-style-type: none"> 管理者に関する情報 資源化対象物と出荷(入荷)ロットの紐付けに関する情報 	<ul style="list-style-type: none"> デジタルカメラ 管理伝票 等
海運事業者	資源対象物の輸出手続きおよび海上運搬を行う事業者	<ul style="list-style-type: none"> 資源化対象物の海上輸送 資源化対象物と輸送船の紐付け 	<ul style="list-style-type: none"> 事業者に関する情報 資源化対象物と輸送船の紐付けに関する情報 荷姿・搬出量 	<ul style="list-style-type: none"> デジタルカメラ 管理伝票 等
資源化事業者(一次処理先)	資源化事業者を資源化する事業者	<ul style="list-style-type: none"> 資源化対象物の一次処理(破碎・選別等) 二次処理先の選定 トレーサビリティシステムの運用による情報管理 地元政府機関等との調整 第三者評価機関との情報共有 	<ul style="list-style-type: none"> 事業者に関する情報 処理状況に関する情報(マテリアルフロー・品質・量・保管状況・二次処理先への搬出状況等) 	<ul style="list-style-type: none"> デジタルカメラ 重量 管理伝票 等
二次処理先	一次処理先から排出される資源化対象物を再利用・処理等を行う事業者	<ul style="list-style-type: none"> 一次処理先から供給された資源化対象物の適正な再利用・処理 処理状況に関する情報管理・情報開示 	<ul style="list-style-type: none"> 事業者に関する情報 処理状況に関する情報(品質・量・保管状況・搬出状況等) 	<ul style="list-style-type: none"> デジタルカメラ 重量 管理伝票 等
第三者評価機関	国際資源循環管理システムの運用状況を客観的に評価する機関	<ul style="list-style-type: none"> 国際資源循環管理システムの運用状況の評価・操業管理・情報公開 各種国内外機関との調整 	<ul style="list-style-type: none"> 評価結果等に関する情報 	<ul style="list-style-type: none"> 評価レポート等

6. 4 国際資源循環における静脈物流トレーサビリティシステムの開発

6. 4. 1 トレーサビリティシステム導入に向けて

国際資源循環において活用可能なトレーサビリティツールとして、GPS、デジタルカメラ、携帯電話、RFID タグ、EIR、管理伝票及び台貫等が挙げられる。これらのツールを目的に応じて最適に組み合わせ、十分に活用することでトレーサビリティの管理を実現できると考えられる。IT 技術を駆使したトレーサビリティの考え方は動脈産業にはよく研究・利用されている^{6-24~28)}が、静脈産業にはコストや作業手間等の課題から導入されにくいのが現状である。しかし、国際資源循環においては、多国籍の業者が関わり、双方における責任や CSR の観点からはその責任を遡上可能なトレーサビリティシステムの実現が求められている。

日本国内では、ハードウェア、ソフトウェアのインフラは十分整備されており、内容によっては直ちに導入可能なものもある。ただし、動脈においても同様な課題が挙げられているが、管理システムとしてどのレベルまで導入していくかは、コスト面も鑑みて詳細に検討していく必要がある。

一方、中国国内においても、ハードウェア、ソフトウェアの基礎的なインフラは整っており、簡易的な追跡管理システムであれば、比較的短期間での導入が可能だと思われる。ただし、実施に際しては、関係機関との調整及び関連企業への説明、教育が重要になってくる。この為、事前に十分な根回しや説明を行い良好な関係を構築する必要がある。特に中国国内の企業は、環境対応やリスク管理の手段としてのトレーサビリティの重要性を日本企業ほど認識していないため、実現に向けては日本国内以上の努力と時間が必要となる。

6. 4. 2 適用可能なトレーサビリティツールの選定

様々なトレーサビリティツールを複合的に活用することによって、実用性の高い管理システムの構築を実現することが可能だと考えられる。各種ツールの概要と役割を表 6.4 に整理した。

表6.4 各種トレーサビリティツールの概要

トレーサビリティツール	概要
GPS 測位機	車両の運搬経路を記録し、適切に運搬されたことを確認することができる。GPS 機能付きの携帯電話も活用可能である。
RFID タグ/バーコード	フレコンやコンテナに添付することで、運搬対象物の履歴を効率的に管理することが可能である。RFID は、経済的な面で課題があるが、有害性が高いもの、希少価値が高いものを運搬する場合には有効となる。
デジタルカメラ	コンテナ No.、車両 No.、荷姿等を画像として記録する。これらの情報を照合することによって、適切な運搬がなされたことを確認する。
台貫	重量のバランスをチェックすることによって、適切な運搬がなされたことを確認する。
封印	コンテナ等における封印を意味する。排出事業者から一次処理先まで封印されたまま運搬するのも有効な手段のひとつであるといえる。
管理伝票	運搬の記録や重量や画像撮影の記録をチェックするために活用する。
携帯電話	海外では GPS 等が活用できないあるいは普及していない可能性がある。その場合には、携帯電話によって発着の確認等を行い、補完する方法が有効である。
EIR	EIR とは、船会社が陸運会社に対して発行するコンテナの受渡の証明書である(バラ積み船の場合は発行されない)。同一貨物に関して IN(受取:日本側)と OUT(受渡:中国側)の2枚が発行され、両方の EIR を照合することで、国際間の移動についてのトレーサビリティを担保することが可能である。
ASP	各種ツールにより得た情報を WEB 上にアップロードすることによって、関係主体間の情報共有が円滑に行えたとともに、効率的な情報管理が可能となる。

(1) GPS 測位機

1) 移動経路の確実な把握が可能

GPS 測位機を利用し、1分毎に測位、結果を記録することにより、日時、緯度、経度の情報が手軽且つ確実に入手できる。また測位地点を連続して記録することで移動経路の管理、記録に効果がある。

2) 移動管理、経路の担保に有効

Geographic Information System (GIS) に測位した記録をポイントすることにより移動ルート of 把握、また将来的なルートの担保に役立つことから、トレーサ

ビリティに有効である。

3) 中国国内での GPS 測位機の使用について

GPS 測位機に限らず、精密機器を中国国内で業務に利用する際には、当局の許可製品でなければ問題が起こる可能性がある（PC 関連、RFID 機器等）。このため、中国国内で販売されている GPS 測位機を使用するか、適切な対応を取ることを推奨する。実証試験時に用いた日本側使用機と中国側使用機を以下に示す。

表6.5 GPS 測位機製品仕様（日本側使用機の例）

製品名/型式	ケータイサイト GPS / PDC-GPS（アイ・オー・データ機器）
コネクタ形状	USB MiniB
インターフェイス	USB 1.1
外形寸法	51.2(W)×29.5(H)×69.7(D)mm
質量	約 55 g (電池含まず)
電源	単 4 アルカリ乾電池 2 本または単 4 ニッケル水素電池 2 本、USB インターフェイス、DC アダプタ（5V）
測地系	TOKYO(初期値)/WGS84
GPS アンテナ	内蔵アンテナ(外部アンテナ使用、可能内蔵アンテナとの自動切り替えにも対応)
受信周波数	1575.42MHz(L1 帯 C/A コード)
受信方式	マルチチャンネル(8 チャンネル)、32 コリレータ、連続捕捉
受信感度	-130dBm(内蔵アンテナにて)
測位更新レート	5 秒(可変)
単独測位精度	位置 ; 25m、CEP(50%)(SA OFF)
初期化特性	通常の電源投入時初期測位時間コールドスタート/5 分以下ウォームスタート/50 秒以下ホットスタート/30 秒以下
再捕捉時間	2sec 以内(90%)
動的特性	速度 350m/sec(MAX)、加速度 2G



図6.9 GPS 測位機の概観（日本側使用機の例）

表6.6 GPS 測位機製品仕様（中国側使用機の例）

製品名/型式	etrex / VISTA（GARMIN 社製）
インターフェイス	純正 PC 接続ケーブル（USB）
外形寸法	5.1(W)×11.2(H)×30.0(D)mm
質量	約 150 g（電池含まず）
電源	単 3 アルカリ乾電池 2 本（3V）
位置精度	約 15mRMS（利用条件により前後する。）
GPS アンテナ	内蔵アンテナ
衛星受信	12 チャンネル並列受信
衛星補足時間	15-45 秒
初期化	約 5 分
データ更新時間	1 秒毎
インターフェイス	NMEA0183 RTCM104(DGPS)
利用可能温度	- 15 度 C から +70 度 C
電子コンパス	一度単位
記録可能ポイント数	約 10,000（10トラックまで圧縮保存可）



図6.10 GPS測位機の概観（中国側使用機の例）

(2) デジタルカメラ

1) 状況の把握に有効

再生資源を運搬する車両のナンバー、車種、運び出す場所、搬入した場所を特定できるよう確実に画像の撮影を行うことができれば、画像内容の比較・照合を行うことで、適正な運搬が行われたことを証明するツールとなり得る。

2) 日時の管理に有効

撮影機械によっては撮影日時を画像にプリントできるものもあり、日時の管理にも非常に有効である。特に車両の運搬に関しては、搬出日時と搬入日時を車両1台ごとに記録し、搬出から搬入までにかかった時間を算出することが可能になる。各車両の運搬にかかった時間を比較し、突出して時間のかかった車両が無いことを確認できれば、適正な運搬ルートで且つ適正な運行を行ったことを確認する1つの手段として確立する。さらに他のツール（GPS測位機、RFID機器、台貫等）で得られた日時データと整合性を確認することで、適正な運搬が行われたことを証明する確度の高いデータとなる。

3) 紛失、未然防止における一定の効果

搬出時と搬入時において、再生資源の積み荷状態、背景を撮影し、搬出時と搬入時の画像を照合することで、積み荷の紛失を確認する手段として一定の効果がある。また、再生資源の盗難に対しても一定の抑止効果がある。

4) 国際間移動の追跡管理における有効性

海上輸送においては、船倉を密閉するための封印錠を日本出港時と中国入港時に撮影し、出港時には封印が確実にされたこと、入港時には封印が解かれていないことを確認する為に画像データが非常に有効である。さらにこの確認作業により海上輸送時に積み荷の紛失が無かった、あるいはあり得ないことを証明する根拠となる。

しかし、バラ積み船のトレーサビリティにおいては、出港時の船倉満載時の

画像と入港時の船倉密閉扉解放時の画像を照合する際、内容物が種々雑多であることから、差を確認することが困難な場合もある。画像取得は船倉の密閉確認においては有効であるが、その他運搬の適正さを確認するためには他のツールとの組み合わせが必要である。また、画像を撮影することで、ある程度、盗難を抑止できることも効果の 1 つであると考ええる。

(3) 携帯電話

ドライバーからの携帯電話による発着連絡に一定の効果がある。運搬途上においてポイント毎にドライバーの現在位置の確認を実施すれば、簡易的な移動管理も実施可能と考える。また緊急時の連絡にも有効である。基本的に人が行う作業であり、信頼性の部分からも確実な把握とはいえないが、中国国内では携帯電話の普及やネットワークインフラの整備も進んでいることから手軽に利用できる状況にある。

(4) RFID タグ

コンテナ船での個別に包装（ダンボール、プラスチック・ボックス、フレコンバック等）されたものに対して、移動履歴の管理に十分効果を発揮することできるが、高価のため適用上効果対コストの検討を行う必要がある。バラ積み船においても、タグの貼付対象物を限定し、運用可能だと考える。実証試験時に用いたリーダー/ライターの仕様を表 6.7、外観を図 6.11 に示し、RFID タグの仕様を表 6.7、概観を図 6.12 に示す。

表6.7 RFID リーダー/ライター製品仕様

機種/メーカー	ZER-863X / 松下電器産業株式会社
電源	単 4 形アルカリ乾電池 2 個
使用周波数	13.56MHz
電波強度	微弱無線局
液晶表示部	白黒ドットマトリックス LCD (LED 方式) 16 桁×2 行
表示 LED 部	2 色 LED (色 : 緑/赤)
メモリ	記憶データ件数 : 最大 500 件
赤外線通信	IrDA SIR Ver1.0 準拠、IrOBEX 対応プロトコル
通信速度	最大 38,400bps
伝送方式	半二重伝送
質量	約 90 g (電池を含む)
外形寸法	55(W)×22(H)×96(D)mm
適合規格	VCCI クラス B



図6.11 RFID タグのリーダー/ライター

表6.8 RFID タグの製品仕様

製 造	Phillips 社
加 工	リンテック株式会社
チ ッ プ	I-CODE SLI
仕 様	ISO15693 対応 パッシブ・タグ



図6.12 RFID タグの概観

(5) 管理伝票

処理ルートにおいて資源物を引き継ぐ際、管理伝票として受渡と受取業者の間に資源物の内容、運搬、重量及び日付等を記録し、事後照合、第三者評価及びデータベースの構築等の活用必須である。また、リテラシー面での要求度も低く、容易に扱うことができる。管理伝票の例を図6.13に示す。

第6章 海外連携レベルでの広域的な資源循環システムの構築に向けた検討

交付年月日		年 月 日	交付番号	備考				
排出者	排出者(氏名又は名称)		No.					
	住所		コンテナ: コンテナNo.、バラ: 車両No.					
	事業所(氏名又は名称)		交付者氏名					
	住所							
資源化対象物	資源化対象物の種類		荷姿・数量	重量(①)	搬出先	処理方法		
	<input type="checkbox"/> 廃プラスチック <input type="checkbox"/> アルミくず <input type="checkbox"/> 銅くず <input type="checkbox"/> 鉄くず	<input type="checkbox"/> ミックスメタル <input type="checkbox"/> 古紙 <input type="checkbox"/> ハーネス <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> コンテナ <input type="checkbox"/> フレコンバック詰め(袋) <input type="checkbox"/> 裸積み <input type="checkbox"/> バラ積み	t				
運搬事業者	運搬事業者	積替え・保管	運搬年月日	管理情報				
	氏名又は名称及び住所 (排出事業者-港湾)	氏名又は名称1: 所在地1: (港湾[日本])	(排出事業者出発) 年 月 日	GPS <input type="checkbox"/>	画像		重量	署名
			(港湾[日本]到着) 年 月 日		<input type="checkbox"/> 車両No. <input type="checkbox"/> 封印部 <input type="checkbox"/> コンテナNo.	<input type="checkbox"/> 内容物 <input type="checkbox"/> 車両全体 <input type="checkbox"/>	①に記載	
	氏名又は名称及び住所 (海上輸送)	氏名又は名称2: 所在地2: (港湾[中国])	(港湾[日本]出発) 年 月 日	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 車両No. <input type="checkbox"/> 封印部 <input type="checkbox"/> コンテナNo.	<input type="checkbox"/> 車両全体 <input type="checkbox"/> 船舶全体 <input type="checkbox"/>	t	
			(港湾[中国]到着) 年 月 日		<input type="checkbox"/> 車両No. <input type="checkbox"/> 封印部 <input type="checkbox"/> コンテナNo.	<input type="checkbox"/> 船舶全体 <input type="checkbox"/> 車両全体 <input type="checkbox"/>	t	
	氏名又は名称及び住所 (港湾-資源化事業者)		(港湾[中国]出発) 年 月 日	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 車両No. <input type="checkbox"/> 封印部 <input type="checkbox"/> コンテナNo.	<input type="checkbox"/> 内容物 <input type="checkbox"/> 車両全体 <input type="checkbox"/>	②に記載	
(資源化事業者到着) 年 月 日								
資源化事業者	氏名又は名称 所在地: 処理担当者	引受数量(②)	t	処理年月日・署名 年 月 日				

図6.13 管理伝票例

(6) EIR

EIRとは、船会社が陸運会社に対して発行するコンテナの受渡の証明書である。バラ積み船の場合は発行されないのが要注意である。同一貨物に関してIN（受取：日本側）とOUT（受渡：中国側）の二枚が発行され、両方のEIRを照合することで、国際間の移動についてのトレーサビリティを担保することが可能である。具体的には、日本側・中国側それぞれの陸送トラックのドライバーに対して直接手渡される。

船会社が一番困ることは、輸出側、輸入側の両方ともに貨物の所有権を放棄した場合であり、船会社が貨物を預かって処理することになる。このような問題の対策として、事前にトレーサビリティシステムで取得した各種データを用いることで、両社の責任の所在を協議できるような仕組みがあると良い。

(7) 台貫

1) 積み荷紛失の確認

積み替え毎の重量計測結果の照合は、積み荷紛失が無かったことを証明する為に非常に有効な手段である。また日本及び中国国内の陸上運搬経路は、GPS測位機によるデータ取得、デジタルカメラ画像取得により適正運搬が確保され

ることで、人為的な積み荷の紛失が発生しにくい状態が担保されるが、重量計測を行うことにより、更に不作為な積み荷の紛失の発生を発見することが可能となり、詳細な運搬管理の補完ツールとなる。但し、現状では中国の業者の中に小秤を設置していないところもあり、フレコンバック等個別梱包単位での詳細な重量計測（1kg単位）ができない可能性がある。この場合、大きいスケールで重量計測を行い、誤差の許容範囲を設定するなど、小秤のないケースでのルール設定を行うことが重要である。

2) マテリアルバランス（素材別重量構成）による検証

マテリアルバランスデータは日中間におけるトータル重量の照合はもとより、残渣物の比率や有害物質の混入が確認でき、再資源化物の品質面でのチェック機能として有効である。

(8) ASP

ASPとは、ユーザがWebブラウザを使って、提供企業が保有するサーバにインターネットを通じてアクセスし、アプリケーションソフトを利用するシステムである。そのためユーザは個々のパソコンにアプリケーションソフトをインストールする必要がなく、必要なときにだけ利用することができるため、初期に多額の費用がかかるスタンドアロン方式（パソコン上で稼動するアプリケーションソフト）よりも安価に利用できるメリットがある。またソフトは提供企業が定期的にバージョンアップを行うため、ユーザがパソコン1台ずつインストールし直す手間が不要となることも大きなメリットである。

各種トレーサビリティツールの管理特性を表6.9に整理してまとめた。また、トレーサビリティツールの選定は、日本のみならず相手国でのITリテラシー、物流の現状およびインフラ整備状況を調査した上で実施すべきであると考えられる。第7章では、日中間での資源循環をモデルとした場合のトレーサビリティツールの検証事例が述べられている。

表6.9 各種トレーサビリティツールの管理特性

管理特性 トレーサビリティツール	①日時の証明	②適正経路のリアルタイムの軌跡取得	③出発地・受入地の特定情報	④内容物紛失確認	⑤内容物の入れ替え確認	⑥資源物の内容、出所、行き先、重量及び日付等の基本情報	⑦緊急時対応	⑧適切な情報管理・共有
		<ul style="list-style-type: none"> ・運搬時間の算出 ・移動履歴の管理 ・適切運搬の確認 ・不正処理・処分の抑制 ・緊急時対応方法の検討や責任の遡及 	<ul style="list-style-type: none"> ・移動履歴の管理 ・随時運搬状況のチェック ・異常事態の早急発見 ・不正処理・処分の抑制 ・緊急時対応方法の検討や責任の遡及 	<ul style="list-style-type: none"> ・到着確認 ・異常事態の発見 ・適切運搬の確認 ・不正処理処分の抑制 ・緊急時対応方法の検討や責任の遡及 	<ul style="list-style-type: none"> ・異常事態の発見 ・適切運搬の確認 ・不正処理処分の抑制 	<ul style="list-style-type: none"> ・異常事態の発見 ・適切運搬の確認 ・不正処理処分の抑制 	<ul style="list-style-type: none"> ・基本情報の把握 ・取得した情報との整合性確認 ・移動履歴の管理 ・不正処理・処分の抑制 ・緊急時対応方法の検討や責任の遡及 	<ul style="list-style-type: none"> ・安全安心の確保 ・信頼性の確保 ・適正な物流管理	・高効率な情報管理を実現 ・不正処理処分の抑制 ・第三者評価機関への迅速な情報提供 ・緊急時対応方法の検討や責任の遡及 ・環境意識の向上
GPS	◎	◎	◎	×	×	×	×	×
RFID	○	×	○	×	×	◎	×	×
携帯電話	△	△	△	×	×	×	◎	×
デジタルカメラ	○	×	△	○	◎	×	×	×
台貫	×	×	×	◎	△	×	×	×
封印	×	×	×	◎	◎	×	×	×
管理伝票	△	×	○	×	×	○	×	△
EIR※	△	×	◎	◎	◎	○	×	×
ASP	×	×	×	×	×	×	×	◎

注)◎：非常に有効 ○：有効 △：可能 ×：不可
 ※EIRは海上輸送の引き継ぎ際にコンテナ船のみを対象に発行される管理伝票である。

6.4.3 追跡ルートの確定

資源対象物は日本発生と相手国にある日系企業発生の二つの発生元がある。日本発生を①、相手国発生を②とし、それぞれの追跡ルートを図6.14に示す。両国から発生した再生資源物は選定された一次処理先で資源化され、残した残渣は管理型処分場に処分される。また、持続可能な国際資源循環システムを構築するには、一次処理先で発生する処理困難物を日本に戻して処理・処分を行うことが望ましい。

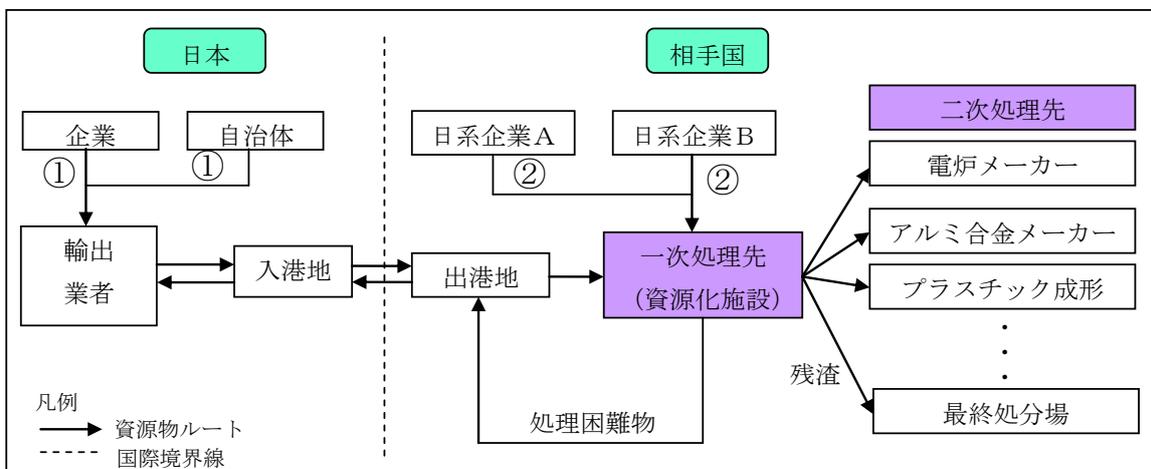


図6.14 再生資源の追跡ルート

6. 4. 4 トレーサビリティシステムの運用方法

本研究では、国際資源循環の物流上の特徴である長距離の海上輸送により、コンテナ（裸積み、フレコン）とバラ積みの2通りに大別して、トレーサビリティシステムの運用方法について検討する。また、資源物対象品目と荷姿によって輸送方法が異なる。本研究では「排出事業者（日本）～一次処理先（相手国）」、「排出事業者（相手国）～一次処理先（相手国）」、「一次処理先（相手国）～二次処理先（相手国）」と「再資源化困難物を日本へ」に分類して、トレーサビリティシステムとその運用方法について述べる。

◆**排出事業者（日本）～一次処理先（相手国）**

「コンテナ」と「バラ積み」それぞれに対応したトレーサビリティシステムとその運用方法について説明している。

◆**排出事業者（相手国）～一次処理先（相手国）**

「バラ積み」に対応したトレーサビリティシステムとその運用について説明する。

◆**一次処理先（相手国）～二次処理先（相手国）**

相手国内での追跡は、その対象物が「有価物」か「残渣」かによって大きく対応が異なる。したがって、「有価物」と「残渣」それぞれに対応したトレーサビリティシステムとその運用方法について説明している。

◆**再資源化困難物を日本へ**

(1) 排出事業者（日本）～一次処理先（相手国）

i) コンテナ

コンテナ輸送の場合に、導入を推奨するトレーサビリティシステムを図 6.15 に示す。同図に示す「運用主体」が、トレーサビリティシステムの運用に関わる実質的な作業を行うことになる。

◆日本国内輸送：排出事業者～輸出事業者～港湾（日本）

- ・ トレーサビリティシステムの運用主体：運搬事業者が以下に示す作業を実施する。
- ・ 使用ツールと管理情報
 - **GPS 測位機**：運搬車両に取り付け、運搬経路等を記録する。車両数が多い場合には、全車両に取り付けるのではなく、サンプリングによって対応する。
 - **デジタルカメラ**：以下に示す画像を撮影する。背景等と併せて撮影することにより確実な照合が可能となる。
 - ◇ **車両 No.**：排出時と港湾到着時に撮影し、照合する。
 - ◇ **封印部分**：排出時と港湾到着時に撮影し、照合する。
 - ◇ **コンテナ No.**：排出時と港湾到着時に撮影し、照合する。
 - ◇ **内容物**：排出時に撮影する。一次処理先まで、税関による検査以外にコンテナが開封されることはないのので、一次処理先到着時点の画像と照合する。
 - ◇ **個別梱包**：他社荷と混載された状態で移動するケースが想定される。この場合、排出時と輸出業者到着時にサンプリングで撮影し、照合する。輸出業者出発時に再度撮影し、一次処理先到着時の画像と照合する。
 - ◇ 上記に加えて、撮影記録により**日時情報**を併せて管理する。
 - **台貫**：排出時に重量測定を行い、一次処理先到着時の**重量**の整合性がとれているかを照合する。
 - **封印**：輸出業者から出発時にコンテナの封印がなされていることを目視等により確認する。
 - **管理伝票**：事業者に関する情報、運搬対象物、荷姿・重量等の基本情報に加え、上記の作業項目に関するチェック欄、署名欄を設けた複写式の管理伝票によって確実性を担保する。

◆海上輸送：港湾（日本）～港湾（相手国）

- ・ 使用ツールと管理情報
 - **EIR**：事業者に関する情報、運搬対象物、重量、搬出目的等の基本情報に加え、運転者署名欄を設けた受取書によって海上輸送の確実性を担保する。
- ・ 海上輸送区間でもGPS等を用いることが望ましいが、その取り付けは難しいのが現状である。したがって、本マニュアルでは、海上輸送に関しては特別な措置を講じず、適切な輸出手続きをとることを推奨するにとどめる。
- ・ 今後、国際資源循環の拠点として港湾の機能が高度化されることが期待されるが、その動向に合わせた対応をとることが重要である。

◆相手国内輸送：港湾（相手国）～一次処理先（相手国）

- ・ トレーサビリティシステムの運用主体：一次処理先の担当者または運搬事業者が以下に示す作業を実施する。
- ・ 使用ツールと管理情報
 - **GPS 測位機**：原則として全車両に取り付け、運搬経路等を記録することが望まれる。
 - **デジタルカメラ**：日本で記録した画像との照合を図るために、以下に示す画像を撮影する。背景等と併せて撮影することでより確実な照合が可能となる。
 - ◇ **車両 No.**：港湾搬出時と一次処理先到着時に撮影し、照合する。
 - ◇ **封印部分**：港湾搬出時と一次処理先到着時に撮影し、照合する。
 - ◇ **コンテナ No.**：港湾搬出時と一次処理先到着時に撮影し、照合する。
 - ◇ **内容物**：一次処理先に到着し、コンテナを開封した時点で撮影する。排出時点で撮影した画像と照合する。
 - ◇ **個別梱包**：一次処理先に到着し、コンテナを開封した時点で撮影する。輸出業者出発時点で撮影した画像と照合する。
 - ◇ 上記に加えて、撮影記録により日時情報を併せて管理する。
 - **台貫**：一次処理先到着時に重量測定を行い、それまでに測定した重量の整合性がとれているかを照合する。
 - **封印**：一次処理先到着時にコンテナの封印がなされていることを目視等により確認する。
 - **管理伝票**：日本国内と同様、相手国内版の管理伝票を作成し対応する。
 - **携帯電話**：携帯電話による発着確認を行うことで確実性を担保する。

使用ツール等	管理情報	排出事業者	陸上輸送	輸出者	陸上輸送	港湾(日本)	海上輸送	港湾(相手国)	陸上輸送	一次処理先	
GPS測位機	運搬経路	●	全車両orサブリンク			●	—	●	全車両 ●		
デジタルカメラ	画像	車両No.	●	照合	●	照合	●	—	●	照合 ●	
		封印部			●	照合	●		●	照合 ●	
		コンテナNo.			●	照合	●	照合	●	照合 ●	
		内容物	●	照合	●	—	照合	—	—	—	●
	個別梱包	●	照合	●	—	照合	—	—	—	●	
	日時情報	●		●	—	●	—	●	—	●	
台貫	重量	●	照合	●	—	照合	—	—	—	●	
封印	封印の確認			●	確認	●		●	確認	●	
EIR(機器受取書)	コンテナNo.・日時等					●	照合	●			
管理伝票	重量・内容物等	●	—	●	—	●	確認	●	—	●	
携帯電話	発着確認	—		—	—		—	●	確認	●	
トレーサビリティシステムの運用主体		排出事業者、輸出業者、運搬事業者(ドライバー)					—	一次処理先の担当者もしくは運搬事業者(ドライバー)			

図6.15 「排出事業者(日本) — 一次処理先(相手国)」における管理モデル(コンテナ)

ii) バラ積み

バラ積み輸送の場合に、導入を推奨するトレーサビリティシステムを図 6.16 に示す。

◆日本国内輸送：排出事業者～港湾（日本）

- ・ トレーサビリティシステムの運用主体：運搬事業者が以下に示す作業を実施する。
- ・ 使用ツールと管理情報
 - **GPS 測位機**：運搬車両に取り付け、**運搬経路**等を記録する。車両数が多い場合には、全車両に取り付けるのではなく、サンプリングによって対応する。
 - **デジタルカメラ**：以下に示す画像を撮影する。背景等と併せて撮影することでより確実な照合が可能となる。バラ積みの場合には、車両 1 台が管理の最小単位となりうるため、それに対応した画像を記録する。
 - ◇ **車両 No.**：排出時と港湾到着時に撮影し、照合する。
 - ◇ **車両全体**：排出時と港湾到着時に運搬対象物と併せて撮影し、照合する。
 - ◇ **船舶全体**：積み込み作業中もしくは作業完了後の船舶全体を撮影し、相手国到着後の画像と照合する。
 - ◇ 上記に加えて、撮影記録により**日時情報**を併せて管理する。
 - **台貫等**：排出時は、台貫によって**重量測定**を行い、船舶では汽水線によって**重量管理**を行う等運搬対象物トータルでの重量を把握する。
 - **封印**：船舶全体での**封印**がなされていることを目視等により確認する。
 - **管理伝票**：事業者に関する情報、運搬対象物、荷姿・重量等の基本情報に加え、上記の作業項目に関するチェック欄、署名欄を設けた複写式の管理伝票によって確実性を担保する。

◆海上輸送：港湾（日本）～港湾（中国）

- ・ コンテナの場合と同様、海上輸送に関しては特別な措置を講じず、適切な輸出手続きをとることを推奨するにとどめる。
- ・ 今後、国際資源循環の拠点として港湾の機能が高度化されることが期待されるが、その動向に合わせた対応をとることが重要である。とりわけ、バラ積みの場合には、飛散防止などの措置を講ずることが重要である。

◆相手国内輸送：港湾（相手国）～一次処理先（相手国）

- ・ トレーサビリティシステムの運用主体：一次処理先の担当者または運搬事業者が以下に示す作業を実施する。
- ・ 使用ツールと管理情報
 - **GPS 測位機**：原則として全車両に取り付け、運搬経路等を記録することが望まれる。
 - **デジタルカメラ**：日本で記録した画像との照合を図るために、以下に示す画像を撮影する。背景等と併せて撮影することでより確実な照合が可能となる。
 - ◇ **船舶全体**：港湾到着時に撮影し、日本出港時の画像と照合する。
 - ◇ **車両 No.**：港湾搬出時と一次処理先到着時に撮影し、照合する。
 - ◇ **車両全体**：港湾搬出時と一次処理先到着時に撮影し、照合する。
 - ◇ 上記に加えて、撮影記録により**日時情報**を併せて管理する。
 - **台貫等**：港湾搬出時と一次処理先到着時に重量測定を行い、それまでに測定した**重量**の整合性がとれているかを照合する。
 - **封印**：港湾到着時に船舶全体の封印がなされていることを目視等により確認する。
 - **管理伝票**：国内と同様、中国国内版の管理伝票を作成し対応する。
 - **携帯電話**：携帯電話による発着確認を行うことで確実性を担保する。

使用ツール等	管理情報	排出事業者	陸上輸送	港湾 (日本)	海上 輸送	港湾 (相手国)	陸上輸送	一次処理先
GPS測位機	運搬経路	●	全車両orサブリンク	●	—	●	全車両	●
デジタルカメラ	画像	車両No.	●←---照合--->●	●	—	●←---照合--->●	●	●
		車両全体	●←---照合--->●	●	—	●←---照合--->●	●	●
		船舶全体	—	—	●←---照合--->●	—	—	—
	日時情報	●	—	●	—	●	—	●
台貫等	重量 (全量のマテリアルバランス)	●←---照合--->●	●←---照合--->●	●←---照合--->●	●←---照合--->●	●←---照合--->●	●	
封印	封印の確認(船舶)	—	—	●←---確認--->●	—	—	—	
管理伝票	重量・運搬物等	●←---確認--->●	●←---確認--->●	●←---確認--->●	●←---確認--->●	●←---確認--->●	●	
携帯電話	発着確認	—	—	—	—	●←---確認--->●	—	
トレーサビリティシステムの運用主体		運搬事業者(ドライバー)			—	一次処理先の担当者もしくは 運搬事業者(ドライバー)		

図6.16 「排出事業者（日本）～一次処理先（相手国）」における管理モデル（バラ積み）

(2) 排出事業者（相手国）～一次処理先（相手国）

相手国側発生元は、資源物の品質の確保と日系企業の排出ニーズに応じて、主として日系企業を想定している。相手国国内輸送の場合はバラ積みのみとなる。

◆相手国内輸送：排出事業者（相手国）～一次処理先（相手国）

- ・ トレーサビリティシステムの運用主体：運搬事業者が以下に示す作業を実施する。
- ・ 使用ツールと管理情報
 - **GPS 測位機**：原則として全車両に取り付け、**運搬経路**等を記録することが望まれる。
 - **デジタルカメラ**：以下に示す画像を撮影する。背景等と併せて撮影することでより確実な照合が可能となる。
 - ◇ **車両 No.**：排出時と一次処理先到着時に撮影し、照合する。
 - ◇ **車両全体**：排出時と一次処理先到着時に撮影し、照合する。
 - ◇ **内容物**：排出時と一次処理先到着時に撮影し、照合する。
 - ◇ 上記に加えて、撮影記録により**日時情報**を併せて管理する。
 - **台貫**：一次処理先到着時に重量測定を行い、排出時に測定した**重量**の整合性がとれているかを照合する。
 - **管理伝票**：日本国内と同様、相手国内版の管理伝票を作成し対応する。
 - **携帯電話**：携帯電話による発着確認を行うことで確実性を担保する。

使用ツール等	管理情報	排出事業者	陸上輸送	一次処理先
GPS測位機	運搬経路	●	全車両orサブリンク	●
デジタルカメラ	画像	● ←	照合	→ ●
		● ←	照合	→ ●
		● ←	照合	→ ●
	日時情報	●	—	●
台貫	重量	● ←	照合	→ ●
管理伝票	重量・内容物等	● ←	確認	→ ●
携帯電話	発着確認	● ←	確認	→ ●
トレーサビリティシステムの運用主体		運搬事業者(ドライバー)		

図6.17 「排出事業者（相手国）～一次処理先（相手国）」における管理モデル（バラ積み）

(3) 一次処理先（相手国）～二次処理先（相手国）

i) 有価物

相手国内における有価物は、残渣等と比較すると不法投棄等の危険性は低いものの、一次処理先からの出荷時点の情報は確実に抑えておく必要がある。図6.18にその管理モデルを示す。

- ◆相手国内輸送：一次処理先（相手国）～二次処理先（相手国）：有価物
- ・ トレーサビリティシステムの運用主体：一次処理先の担当者または運搬事業者が以下に示す作業を実施する。
 - ・ 使用ツールと管理情報
 - **GPS 測位機**：可能な範囲で車両に取り付け、**運搬経路**等を記録することが望まれる。導入が難しい場合には、**携帯電話**による発着確認を行うことによって補完する。
 - **デジタルカメラ**：以下に示す画像を撮影する。背景等と併せて撮影することにより確実な照合が可能となる。
 - ◇ **車両 No.**：一次処理先から搬出する時点で撮影する。
 - ◇ **荷姿**：一次処理先から搬出する時点で撮影する。
 - ◇ **内容物**：一次処理先から搬出する時点で撮影する。
 - ◇ 上記に加えて、撮影記録により**日時情報**を併せて管理する。
 - **台貫**：一次処理先から搬出する時点で重量測定を行う。
 - **管理伝票**：国内と同様、相手国内版の管理伝票を作成し対応する。二次処理先から伝票の写しを返送してもらう等によって確実に運搬されたことを確認する。
 - **携帯電話**：携帯電話による**発着確認**を行うことで確実性を担保する。

使用ツール等	管理情報	一次処理先	陸上輸送	二次処理先
GPS測位機	運搬経路	▲ 導入が可能な範囲で使用もしくはサンプリング		
デジカメ	画像	車両No.	●	—
		荷姿	●	—
		内容物	●	—
		日時情報	●	—
台貫	重量	●	確認	—
封印	—	—	—	—
EIR	—	—	—	—
管理伝票	重量・内容物等	●	確認	●
携帯電話	発着確認	●	確認	●
トレーサビリティシステムの運用主体		一次処理先・運搬事業者 (ドライバー)		

図6.18 「一次処理先（相手国）－二次処理先（相手国）」における管理モデル（有価物）

ii) 残渣

残渣は、環境汚染や不法投棄を引き起こす可能性があるため、重点的に管理を行う必要がある。図6.19にその管理モデルを示す。

- ◆相手国内輸送：一次処理先（相手国）～二次処理先（相手国）；残渣
- ・ トレーサビリティシステムの運用主体：一次処理先の担当者または運搬事業者が以下に示す作業を実施する。
 - ・ 使用ツールと管理情報
 - **GPS 測位機**：原則として全車両に取り付け、**運搬経路**等を記録することが望まれる。
 - **デジタルカメラ**：以下に示す画像を撮影します。背景等と併せて撮影することでより確実な照合が可能となる。
 - ◇ **車両 No.**：搬出時と二次処理先の到着時に撮影し、照合する。
 - ◇ **荷姿**：搬出時と二次処理先の到着時に撮影し、照合する。
 - ◇ **内容物**：搬出時と二次処理先の到着時に撮影し、照合する。
 - ◇ 上記に加えて、撮影記録により**日時情報**を併せて管理する。
 - **台貫**：搬出時と二次処理先の到着時に重量測定を行い、照合する。
 - **管理伝票**：国内と同様、相手国内版の管理伝票を作成し対応する。二次処理先から伝票の写しを返送してもらう等によって確実に運搬されたことを確認する。
 - **携帯電話**：携帯電話による**発着確認**を行うことで確実性を担保する。

使用ツール等	管理情報	一次処理先	陸上輸送	二次処理先
GPS測位機	運搬経路	●	全車両	●
デジカメ	画像	車両No.	● ← 照合 → ●	●
		荷姿	● ← 照合 → ●	●
		内容物	● ← 照合 → ●	●
		日時情報	● ← 照合 → ●	●
台貫	重量	● ← 照合 → ●	●	
封印	—	—	—	—
EIR	—	—	—	—
管理伝票	重量・内容物等	● ← 照合 → ●	●	
携帯電話	発着確認	● ← 照合 → ●	●	
トレーサビリティシステムの運用主体		一次処理先・運搬事業者 (ドライバー)		

図6.19 「一次処理先（相手国）－二次処理先（相手国）」における管理モデル（残渣）

(4) 再資源化困難物を日本へ

資源物輸出相手国の多くは発展途上国であり、静脈産業のインフラは充分ではないケースも想定される。資源化するには技術的に要求度の高い資源物に対して、相手国の処理現状を考慮し、適正に処理・処分を行うことが重要である。ここで、高度な技術力を持つ日本との国際間広域処理を行うことが有効な手段である。将来的には、現地で発生した資源化困難物を本システムの一次処理先に集約し、日本へ戻して資源化処理を行うことも視野に入れる必要がある。

6. 5 国際資源循環物流管理データベースの構築に向けた検討

前章 4.6.2 節と 5.4 節で述べた「溶融飛灰の静脈物流管理に関するデータベース」と「内航海運物流管理データベース」と同様のコンセプトで、「国際資源循環データベース」の構築に向けた検討として、国際資源循環データベースのフォーマットを設計し、中国を例としてある程度の情報を収集した(図 6.20)。ここでも同じく DB のポイントとして、実際の写真画像付きであること、安易にデータを追加可能な設計となっていること、および選択方式によるシナリオの設計が可能なが挙げられる。

その活用方法の一つとして、日本での排出事業者たるものが安全・安心な国際資源循環システムを検討する際の検討材料として活用可能である。また、トレーサビリティシステムの高度化の検討においても重要な基礎情報となる。

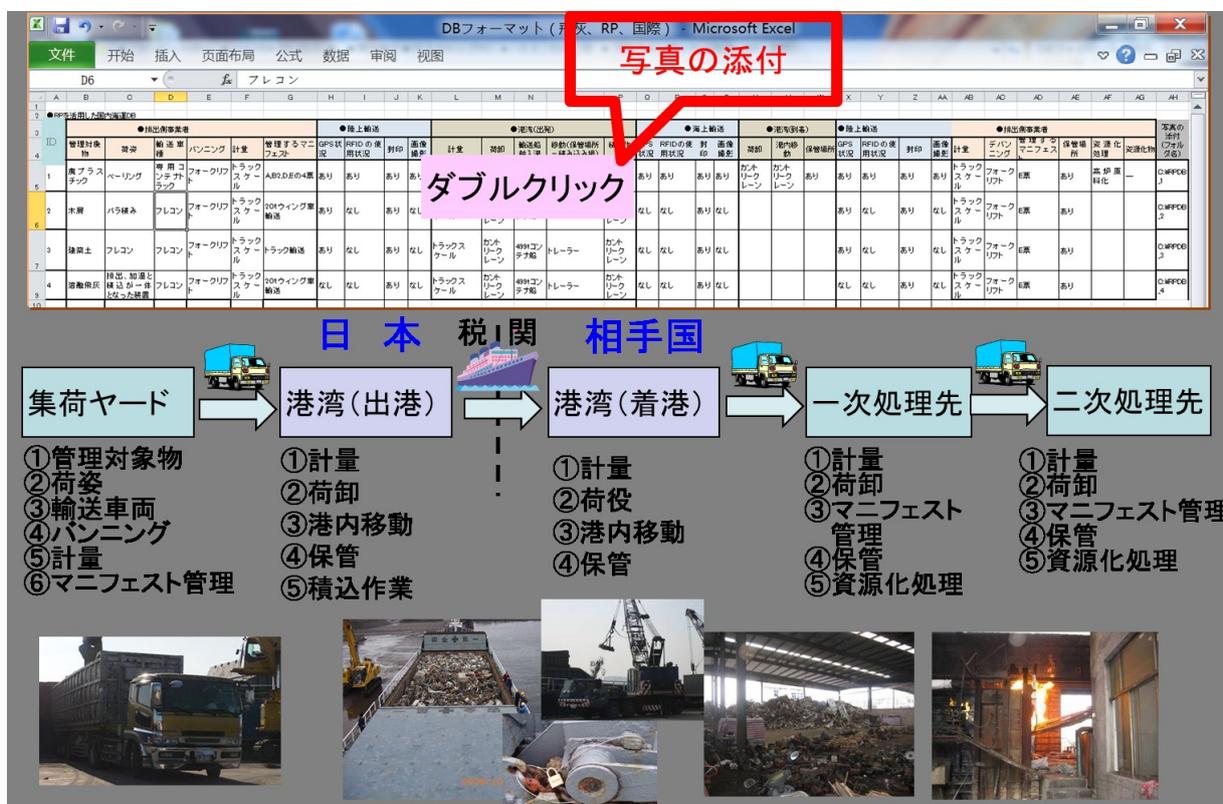


図6.20 国際資源循環物流管理データベースのイメージ

6.6 ASP を活用した情報共有・管理システムの検討

各種トレーサビリティツールで取得した情報の一元化管理を行い、システム利用者をはじめ、第三者評価機関および国内外の行政機関等のステークホルダーへ迅速な共有化の実現が重要である。取得した情報・データは、①適正な運搬が行われたことの確認、②問題発生時の緊急対応、③その他情報の収集といった目的により、関係者間で共有される必要がある。しかし記録媒体を物理的に収受する方法では、情報の取得に時間がかかってしまい、荷物と情報の流れが乖離する状況が発生する。このため不測事態への対応が困難となり、情報のリアルタイムでの共有化が求められる。情報共有の方法としては、パソコンに共通のアプリケーションソフトを持ち、共通の形式でインターネット通信網によりデータのやり取りを行うことが最適である。

しかし、パソコン上で稼働するアプリケーションソフトは定期的にバージョンアップの必要性が発生する。個々のパソコンにインストールされたアプリケーションソフトをバージョンアップするためには、パソコン1台ごとにバージョンアップするためのプログラムをインストールする必要性が発生する。これに係る作業において、手間と人件費が発生する。

この問題を解決するために Web 上に汎用的なソフトウェアを公開する ASP の仕組みを採用することが最適であると考えられる。ASP とはアプリケーションソフトをインターネットを通じて顧客にレンタルする事業者のことである。ユーザは WEB ブラウザを使って個人の PC にソフトをインストールせずにアプリケーションを利用できるシステムとなっている。このためソフトの定期アップデート等の作業も ASP 事業者の方で実施することにより、多数のユーザが広範囲での使用に便利である。ASP の概要について図 6.21 に示す。この仕組みを採用することで、ユーザは Web にアクセスするだけで、常に最新バージョンのアプリケーションソフトを利用でき、さらにバージョンアップにかかる手間と人件費も発生しないことになる。ただし、実際に現地業者が GPS 測位機からデータを取り出し、情報共有するため ASP にアップロードするとした場合、これらの操作を行うために相当なスキルを必要とする。輸出相手国の作業員の語学能力と IT リテラシーに応じて、中国語バージョンの作業マニュアル或いは中国語版サイトを作成し、作業員教育を徹底する必要がある。また、GPS 測位機にて記録されたデータ形式もメーカーにより形式が異なる為、データのコンバート作業が発生する可能性が高い。これを防ぐために、採用する GPS 測位機を統一することを推奨する。

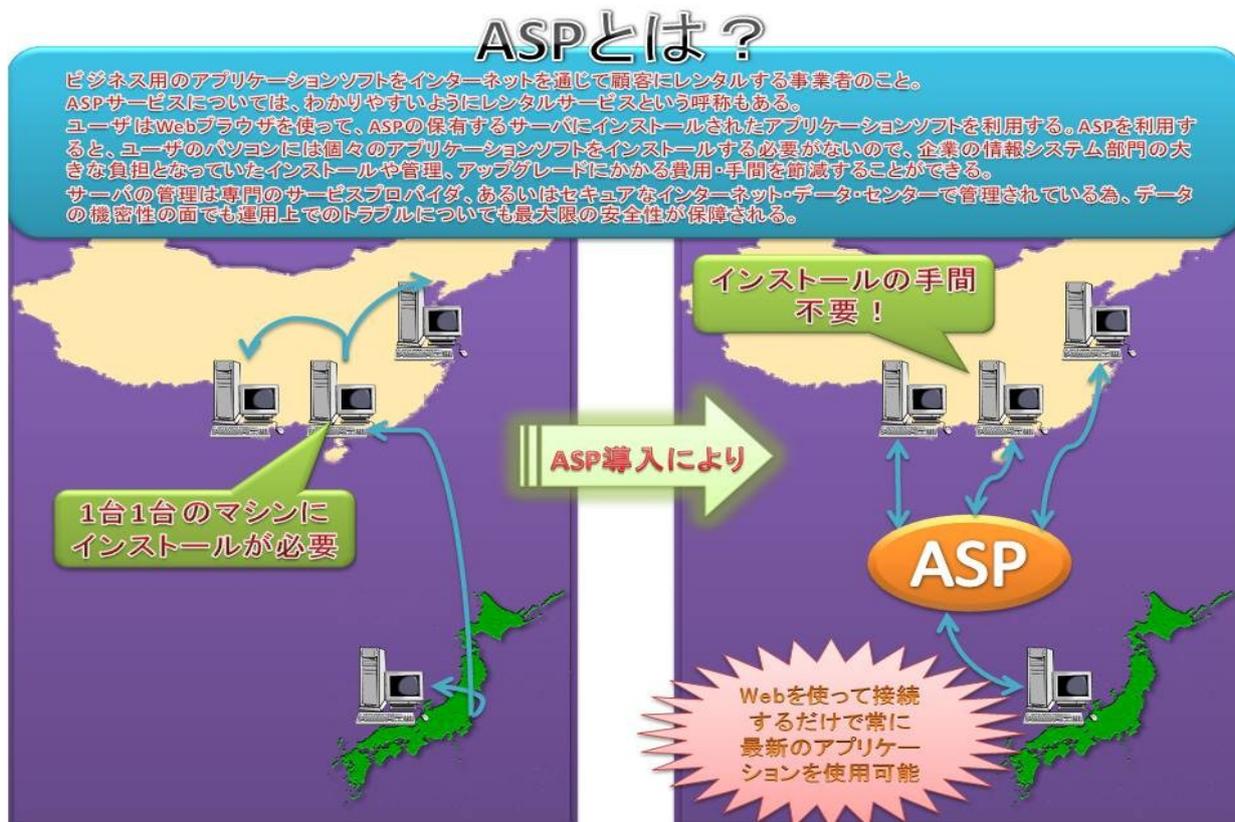


図6.21 ASPの概要

本研究は、アースデザインインターナショナル株式会社（以下 edi 社と略す）の協力を得て、既存の ASP ソフトである「産業廃棄物追跡管理システム」を取り上げて、その適用性について検討を行う。当ソフトは日本国内で利用されている産業廃棄物管理票（マニフェスト）の項目に準拠している。「産業廃棄物追跡管理システム」の運用手順を以下に示す。

- ① 車輜への積込み、荷降ろし時にデジタルカメラで画像を記録する。
- ② 運搬車輜に GPS 測位機を取り付けて運行経路を記録する。
- ③ 現場で取得した画像、GPS データを電子マニフェスト情報と併せてインターネットを利用して edi データセンター¹に送信する。情報は整理及びデータベース化され、管理が行われる。

排出事業者、収集運搬事業者、中間処理・最終処分事業者の各端末（パソコンや携帯電話）からはブラウザを使用し、edi データセンターのデータベースから当該廃棄物の処理状況等を確認できる。概要図を図 6.22 に示す。国際資源循環管理システムの運用に提案する ASP システム運用フローを図 6.23 に示す。

¹ edi データセンターは、Earth Design International 社が運営するデータ・サーバ・センターである。

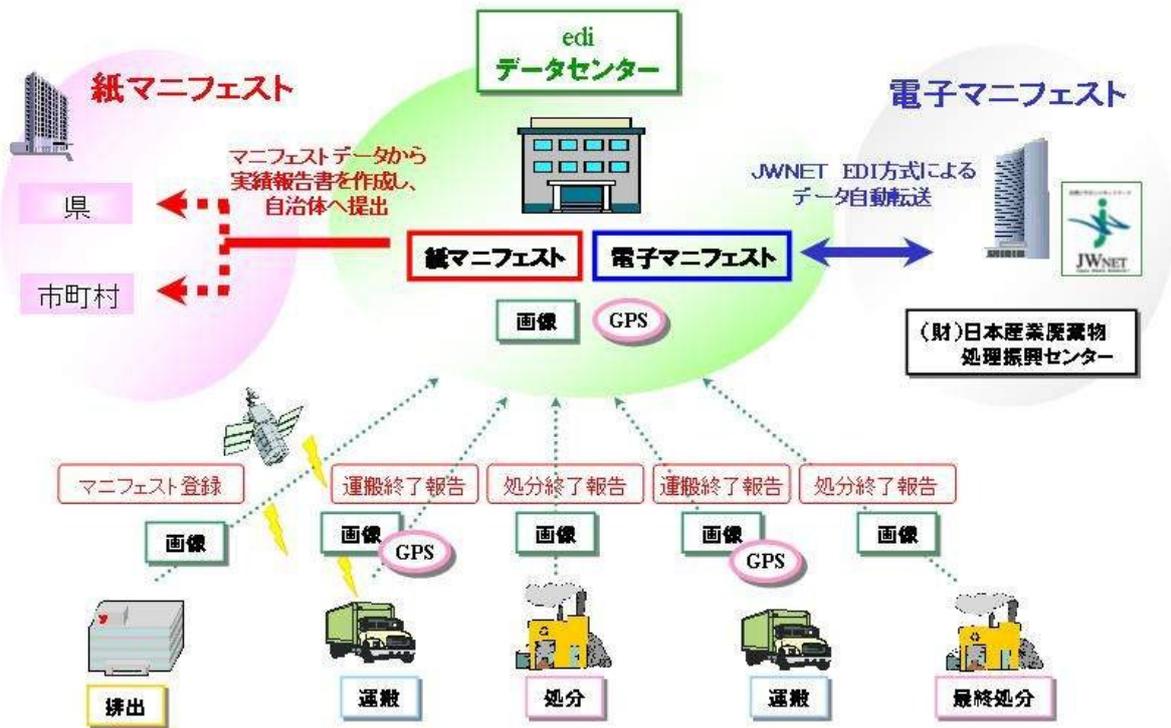


図6.22 「産業廃棄物処理過程追跡管理システム」の概要図

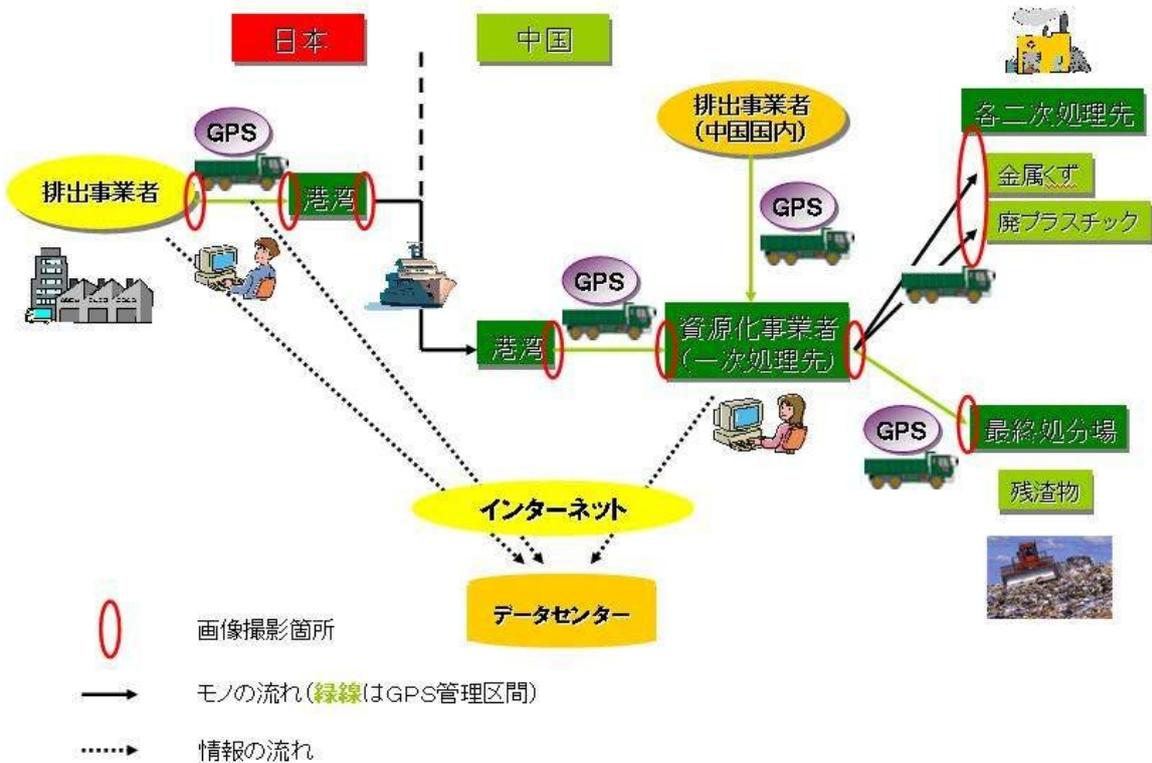


図6.23 提案するASPシステム運用フロー

また、システムの画面についてを以下に示す。

(1) 登録画面

管理票（マニフェスト）に記載されている項目を入力するマニフェスト登録画面を図6.24に示す。赤字が入力必須項目であり、マニフェスト登録に限らず、各登録項目は事前に情報登録（マスタ登録）を行う為、必要最低限の入力で登録が完了する。また過去のマニフェスト情報をコピーして新規マニフェストを簡単に登録することも可能である。

図6.24 マニフェスト登録画面

(2) 情報閲覧画面

登録された全マニフェスト情報を検索、閲覧するマニフェスト情報一覧画面を図6.25に示す。

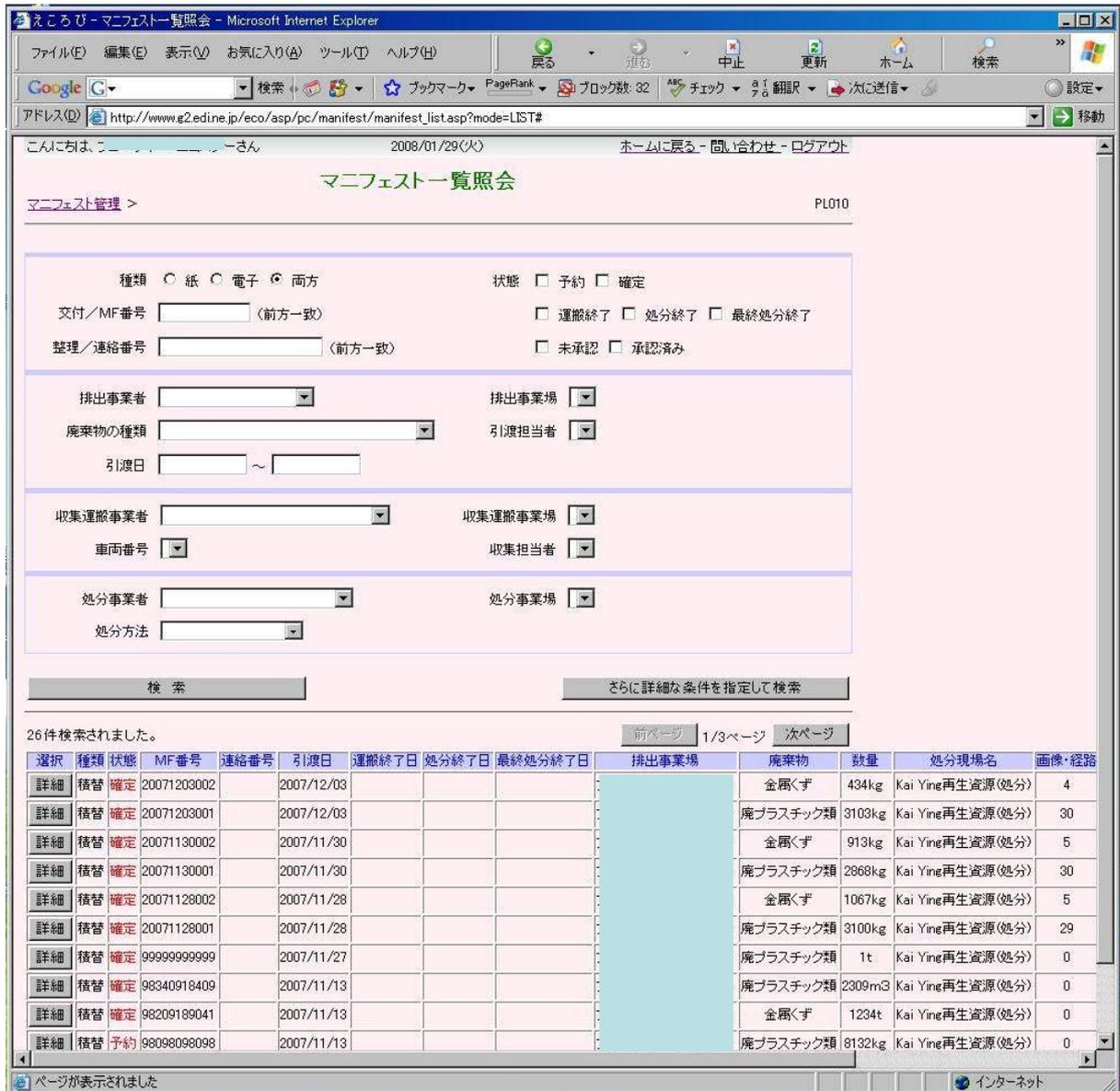


図 6. 25 マニフェスト情報一覧画面

情報一覧画面の機能としては、登録済みマニフェストの並び替え、各処理終了の日付による処理の進捗確認、画像や GPS データの添付枚数の確認が挙げられる。検索方法としては、①マニフェスト番号、②整理/連絡番号、③マニフェストの状態（予約、確定、運搬終了、処分終了、最終処分終了、未承認、承認済み）、④引渡し日、⑤廃棄物の種類、⑥排出事業者、排出事業場別、⑦収集運搬事業者別、⑧処分事業者、処分事業場別での条件設定が可能である。さらに事業者、事業場の住所・電話番号、荷姿、処分方法と上記全メニューの組み合わせ検索が可能である。

(3) csv 出力結果表示画面

csv 出力結果表示画面を図 6.26 に示す。マニフェスト一覧照会画面で抽出したデータを csv データで出力し、データベース化することが可能である。利用

者が社内で所有するシステムに転送することができ、データの集計・加工が可能である。

	E	I	J	R	S	T	U	V	X	AO	AP	BO
1	交付番号	引渡日	引渡時間	排出事業者名称	排出事業	排出事	排出事	排出事	排出事業	廃棄物種類名	廃棄物数量	運搬事業者名称(区
2	20071203002	20071203	1155		100-0011	東京都				金属くず	434	
3	20071203001	20071203	1202		100-0011	東京都				廃プラスチック類	3103	
4	20071130002	20071130	1105		100-0011	東京都				金属くず	913	
5	20071130001	20071130	1400		100-0011	東京都				廃プラスチック類	2868	
6	20071128002	20071128	1053		100-0011	東京都				金属くず	1067	
7	20071128001	20071128	1023		100-0011	東京都				廃プラスチック類	3100	

図6.26 csv 出力結果表示画面

(4) 詳細情報画面

マニフェスト詳細画面の機能を以下に示す。

- 排出場所から処分場所までのすべて区間の会社名等が参照できる。
- 画像データ、GPS データの添付、閲覧できる。
- 画像をクリックすると拡大表示される。
- 排出事業場、廃棄物の種類、運搬区間、処分場などの区分ごとに画像を添付することができる。
- マニフェスト情報と画像を同画面で見比べることができる。
- 受渡確認表の出力できる。
- マニフェストの修正、取消、コピー予約、コピー登録機能が搭載されている。

マニフェスト一覧照会画面からさらに登録されたマニフェストの詳細情報を閲覧する画面（マニフェスト詳細画面）を図 6.27 に示す。ここでは、添付した画像や GPS データも閲覧することができる。



図6.27 マニフェスト詳細画面

6.7 まとめ

本章では、広域化を海外へ展開する場合、相手国における環境汚染を防止し、国際資源循環システムの透明性を向上させるためにトレーサビリティを核とした汎用性の高い三層構造の国際資源循環管理システムの開発を行った。

具体的に、国際資源循環に対しては、まず主体的企業が統括的責任を明確にし、その責任の基でグリーンコンソーシアムを構築して対応することが考えられる。そこで第一層として、国際資源循環管理システムのベースとなるコンソーシアム型サプライチェーンの構築に向けた検討を行う。関係主体にあたる企業や学識専門家集団と共同でコンソーシアムの形成フローをモデル化して、関

係主体それぞれの役割を計画から実運用までの段階別に整理した。第二層としては、IT 技術を適用してトレーサビリティを確保した静脈物流システムの開発を行う。ここではこれまで国内向けに構築した同様のシステムを国際資源循環のフローに適用する場合の検討を行い、日本から中国までのトレースシナリオを想定して実際に運用する際の情報取得方法や手順等を整理した。また、EIR といった国際間における通関手続きに含まれる情報管理も、ツールの一つとして本システムに組み込んだ。また、国際資源循環の物流管理におけるトレーサビリティのための DB フォーマットを設計した。さらに第三層では、取得した情報の共有化について、日本と相手国における関係者間の効率的な実現方策のための ASP システムの導入に向けた検討を行い、適用する際の留意点等を整理した。

上記で開発したシステムの実際に運用するにあたっては、システムの導入コストといった経済性の考慮のみならず、排出側の説明責任、受入側の適正処理の確保といった双方の責任を明確化させる必要がある。これについては、国際資源循環分野において先進国と途上国間の環境・経済両面における利害関係の分析を行い、公平にもとづいて双方の責任バランスを検討する必要がある。そのために、国際資源循環において適用可能な LCA・LCC による定量評価手法の開発や適用も求められる。

本研究で提示したのは、あくまでも原則的な考え方である。本来あるべき国際資源循環システムの効率化・円滑化を実現するためには、まだ多くの課題が残されている。そこで、動脈側での経験を学び、携帯電話の機能的な活用⁶⁻²⁹⁾や通信機能付きデジタルカメラ⁶⁻³⁰⁾等の技術の開発や適用を積極的に試みる。今後トレーサビリティシステムの実運用を通じて、新たな技術開発や改良・高度化を継続的に行い、さらなる高度な資源循環トレーサビリティシステムの実現を目指して、適正な国際資源循環ネットワークの構築に寄与することを期待したい。また、本研究での成果を国際資源循環実施運用マニュアル⁶⁻³¹⁾にまとめ、各関係者の参考になれば幸い。

第7章

日中間を対象とした国際資源循環 システムの実証

～廃プラスチックとミックスメタル等を対象
とした排出から処理までの実証試験～

第7章 日中間を対象とした国際資源循環システムの実証

～廃プラスチックとミックスメタル等を対象とした排出から処理までの実証試験～

7.1 目的と従来研究

1980年代から、事前協議なしで有害廃棄物の国境を越える移動が行われ、環境汚染が生じ、最終的な責任の所在が不明確という問題が頻繁に起こられている。廃棄物の越境移動による環境汚染を未然に防止するために、世界的に共通する法制度として、バーゼル条約⁷⁻¹⁾が制定され、相次ぐ加入国が増え、一定の効果が挙げられている。しかし、各国においてそれぞれの国内での管理・評価水準が異なり、共通化を図ることが困難なことから、法制度の面では資源対象物の品質管理等について依然と問題が存在しており、途上国での環境汚染の事故事例が多々見られる。ここで、中国を例として海外先進国からの廃棄物資源の輸入による資源物品質基準の未満、品質管理手続きの不備、または不適正な処理・処分による環境汚染等の事故事例^{7-2~8)}を調査し、表7.1に示した。中国内外において、不正輸入・密輸の実態が見られ、品質の管理や責任の遡上、説明の義務等が求められている。また、中国内での適正処理の確保も重要であり、排出者として適正な処理工場の選定が重要であると考えられる。

このような環境汚染や不正行為等を防ぐために、他視点からの検討が必要であり、資源物の安全性や排出者の信頼性等を担保可能、および資源物の越境移動に関する情報がいつでもどこでも確認できるシステムが求められ、トレーサビリティの必要性と重要性が強く認識されている。

そこで本研究において、国際資源循環システムの透明性を担保するために、第6章では、ITツールを用いて各国の参考となりうる汎用性の高いトレーサビリティを核とした国際資源循環管理システムの開発を行った。本章では、日中間を対象に、その実証に関する検討を行うことを目的とする。

適正な国際資源循環システムを構築するためには、図7.1に示すような要件を達成する必要があると考えられる。同図では、中国に進出したリサイクル工場を拠点とした日中間の資源循環システムのモデルを例に明らかにすべきポイントを明示している。すなわち、本事業の目的を達成するためには、

- ① 中国向け資源化対象物の質の管理の徹底
- ② トレーサビリティシステムによるフロー全体の適正管理・透明性の確保
- ③ ゼロエミッション・環境対応型のリサイクルシステムの構築（再資源化困難物は、日本へ）
- ④ 日中間の再生部品・再生素材等の市場の確保

を実現する必要がある。さらに、海外と国内の資源循環のバランスをとることの重要性や信頼性・継続性を担保するために、再生資源の受入施設の評価・認定・情報開示および受入にあたってのルール・基準の策定等を実施する機関の創設も必要であることを示している。

こうした全体構想に基づき、上記の実現に向けた第一段階として、中国国内

のリサイクル等の処理実態調査および GPS、デジタルカメラ等の IT 技術を活用したトレーサビリティシステムの導入の可能性に関する検討を行うべきであり、本研究は中国における E-Waste を含めた関連品目の法規制の動向および循環資源の輸入手続きに関する現状調査を経て、日中間を対象として国際資源循環管理システムのモデル構築を目指し、実証試験を行った。

表7.1 中国での廃棄物資源の輸入・処理に起因する事故事例^{7-2~8)}

類別	時間	対象国/地域	事故事例	理由
輸入時の問題発生	2004年5月	日本	中国政府は2004年5月初めに、生活ごみなどが混じていたとの理由で、日本から廃プラの輸入を全面的に停止した。	「不純物が0.1%以下」という中国の国内品質基準を満たしていない。
	2006年3月	フィリピン	中国福建省晋江検疫局が管轄内の埠頭で、フィリピンから輸入したコンテナの中で大量の洗浄していない瓶、蓋、われ瓶、容器包装廃棄物およびその他の生活廃プラ等が入っていることを発見した事件があった。	中国の国内品質基準を満たしていない。
	2007年1月	不明	中国広東省黄埔新塘税関が東洲港湾において輸入するコンテナを検査する際に、15コンテナ合計252490キログラムの悪臭廃棄物が入っていることが確認された。血袋、ゴム瓶、マスク、綿棒等、医療廃棄物と見られる。	中国広東省東莞市の製紙会社関連の不正輸入事件である。どの国からの輸入品なのかは不明確。
	2009年	韓国	中国嘉善S商貿会社が2009年5月から9月の間、合計9回(185.7トン)韓国から紡織くずを輸入した。インチョン港からの発送であるが、関連資料の中に発送国はイランと記してある。これは韓国での船積み前検査を逃すための行為であり、中国寧波検疫局によって取り締まった。	イランでは中国国家指定の検査機構がないため、船積み前検査なしでも中国国内で当局の検査を受けることが可能である。
処理時の問題発生	2004年	中国広東省貴嶼鎮	不適正な電子廃棄物の処理によって、鉛、カドミウム、水銀等の有害物質の環境汚染、人体への影響が大きいことが指摘され、広東省貴嶼鎮が海外から輸入した再生資源を含めて不正処理による環境汚染の嚴重な地域となっている。毎年約100万トンの電子廃棄物が出し入れしている。	経済的な利益が大きい点を重視し、潜在的な環境汚染や人の健康影響への認識が薄いためであると考えられる。
	2007年6月	中国広東省清遠	全世界で約7割の電子廃棄物が中国に排出されていると指摘し、清遠龍塘鎮では毎年約100トンの電子廃棄物を処理し、そのなか、不正処理による環境汚染や毒性による児童発育への影響が嚴重であると指摘している。	同上
	2010年4月	中国河南省鄆陵	中国河南省鄆陵馬欄県崔馬村付近で、不正処理を行っている輸入廃棄物処理工場合計86社を規制当局に取り締まった事件があった。この86社は海外から輸入された廃棄物を中心に処理を行っているという。	同上

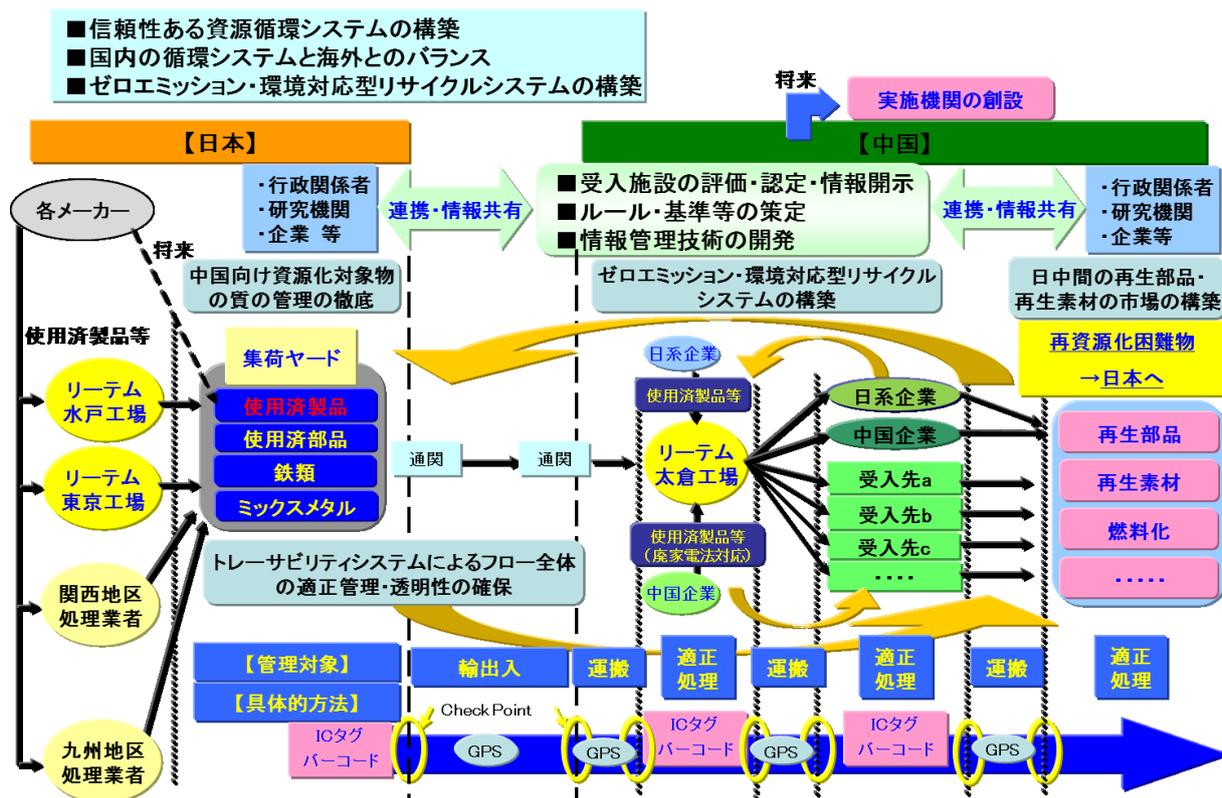


図7.1 日中国際資源循環プロジェクトの全体構想

7.2 日中国際資源循環に関する実証試験のための事前調査

資源化対象物を外国に輸出する際、国際条約や相手国での関連法規による規制等が存在し、必要なライセンスを取得したり、関係機関による検査を受けたりすることで、適正な対応を取ることが必要である。そこで実証試験の事前調査として中国内における関連法制度の動向を調べた。

バーゼル条約と中国内における廃棄物等の輸出入に関する法規制の概要を以下に示し、中国向け資源化対象物の輸出に関連する各種確認・許可事項を表7.2に示す。

表7.2 中国向け再資源化物輸出 各種確認・許可事項

項目	手続	備考
輸出者（日本側）のライセンス取得	国家質量監督検査総局に登録申請 → 輸出企業として登録許可を受ける	必須
輸入者（中国側）のライセンス取得	国家環境保護局から輸入許可を受ける ※中国国が制定した規準によって発行される → 主として環境保護施設の整備状況の確認	必須
中国に輸入可能な廃棄物原料かの確認	「国が輸入を制限する原料としての利用可能な廃棄物リスト」に記載されているものに限る。	必須
バーゼル条約で規制されている有害廃棄物に該当するかの確認	特定有害廃棄物に該当する場合 →経済産業大臣の承認を受けていることの証明	任意
	特定有害廃棄物に該当しない場合 →特定有害廃棄物等に該当しないことの証明 ①分析結果等により客観的に有害性の有無が判断できる資料の提示 ②輸出入後にリサイクルされることが判断できる資料の提示 ③廃棄物処理法の廃棄物でないことが判断できる資料の提示	
廃棄物に該当するかの確認	廃棄物に該当しない場合 →廃棄物に該当しないことの証明	任意
	廃棄物に該当する場合 →環境大臣の確認が必要	必須
船積み前検査 対象品目：鉄鋼くず、非鉄金属くず、 廃モーター、廃電線、廃プラスチック、古紙、繊維くず、スラグ類、五金くず（廃家電等）	輸入業者が輸出国（日本）の港から輸出される前に、国家質量監督検査検疫局または同局の指定検査機関（日中商品検査株式会社、CCIC-JAPAN）による輸入廃棄物の船積み前の検査を受ける。 →検査をパスすれば中国の荷上港において当地の商品検査局がこれを確認する。 注）廃プラの検査については CCIC-JAPAN 社が行う。	必須
輸入通関（中国側）	廃棄物、再生資源については「関税法」の規定を受けて海関（＝税関）の審査を受ける。	必須

○ バーゼル条約⁷⁻¹⁾

事前の協議なしに有害廃棄物の国境を越える移動が行われ、環境汚染が生じ、最終的な責任の所在が不明確であるという問題に対して、OECD 及び国連環境計画 (UNEP) で検討が行われた後、1989年3月、スイスのバーゼルにおいて「有害廃棄物の国境を越える移動及びその処分の規制に関するバーゼル条約 (バーゼル条約)」が作成され、1992年5月5日に効力が発生した。2007年12月現在締約国数は170カ国・機関である。我が国は1993年に同条約に加入し、同年効力を生じた。中国では1992年に同条約に加入し、同年8月20日効力を生じた。

バーゼル条約では、有害廃棄物の定義、輸出時の許可制や事前通告制及び不適正な輸出時の処分法等の規定が定められている。

○ 輸入禁止輸出禁止貨物リスト⁷⁻⁹⁾

「中華人民共和国対外貿易法」、「中華人民共和国貨物輸出入管理条例」および「危険廃棄物越境移転制限およびその措置に関するバーゼル条約」等の関連法令に基づき、旧中華人民共和国対外貿易経済合作部 (現商務部)、海関総署及び国家質量監督検閲検疫総局等の規制当局により、2001年から2006年まで輸入禁止貨物リストを6次と輸出禁止貨物リストを4次発行した。

とくに、2002年1月1日より施行した「輸入禁止貨物リスト (第3次)」では、バーゼル条約に対応して輸入禁止の廃棄物、廃液等について詳細な規定が定められている。その内容を表7.3に示す。2008年まで実行され、2008年3月より次に示す「輸入固体廃棄物管理目録」に更新された。

表7.3 輸入禁止貨物リスト（第3次）

番号	商品コード	商品名称
1	2620.2100	加鉛ガソリンを含むスラッジ（加鉛アンチノック化合物のスラッジを含む）
2	2620.6000	ヒ素、水銀、タリウムおよびその混合物を含有する灰と残留物（ヒ素、水銀、タリウムおよびその化合物の抽出或いは生産に用いるもの）
3	2620.9100	アンチモン、ベリウム、カドミウム、クロムおよびその混合物を含有する灰と残留物（アンチモン、ベリウム、カドミウム、クロムおよびその化合物の抽出或いは生産に用いるもの）
4	2621.1000	都市ごみ焼却による灰、スラグ
5	2710.9100	ポリ塩化ビフェニル、ポリ臭化ビフェニルを含む廃油（ポリ塩化ターフェニルを含む廃油も含める）
6	2710.9900	その他の廃油
7	3006.8000	廃棄薬物（有効保存期間超過等の原因により元の用途に適さない薬品）
8	3825.1000	都市ごみ
9	3825.2000	下水道堆積土砂
10	3825.3000	医療廃棄物
11	3825.4100	廃棄ハロゲン化物の有機溶剤
12	3825.4900	その他の廃棄有機溶剤
13	3825.5000	廃棄する金属酸洗液、油圧油およびブレーキオイル（廃棄する不凍液を含む）
14	3825.6100	主に有機成分を含有する化工廃棄物（その他化学工業および関連工業の廃棄物）
15	3825.6900	その他の化工廃棄物（その他化工工業および関連工業の廃棄物）
16	3825.9000	その他コード番号が未列記の化工副産物および廃棄物
17	7112.3010	銀或いは銀化合物を含有する灰（主に銀の再生に用いるもの）
18	7112.3090	その他の貴金属或いは貴金属化合物を含有する灰（主に貴金属の再生に用いるもの）

出典：日本環境省廃棄物・リサイクル対策部 WEB サイト

○ 輸入固体廃棄物管理目録⁷⁻¹⁰⁾

固体廃棄物の輸入に起因する環境汚染を防止するために、中国国家環境保護総局、商務部、国家発展改革委員会、海関総署と国家質量監督検閲検疫局が、「固体廃棄物汚染環境防治法」、「バーゼル条約」とその他の関連法規に基づき、「輸入禁止固体廃棄物リスト」、「輸入を制限する原料として利用可能な廃棄物リスト」と「輸入を自動許可する原料として利用可能な固体廃棄物リスト」（輸入固体廃棄物管理リストと略称する）の発布に関する公告（2008年第11号）を発表した。2008年3月1日より効力を生じる。同時に「輸入禁止貨物リスト」（第3次、第4次、第5次）を廃止した。

新しい管理リストは以前のバージョンの内容の調整を行った。詳細な内容については中国国国家質量監督検験検疫総局 WEB サイトを参照されたい。

http://www.aqsiq.gov.cn/zwgk/jlgg/jlgkzh/200803/t20080305_65216.html

その他、輸入される廃棄物は次に示す中国国国家標準に規定される基準内の物でなければならない。

- 原料として利用可能な固体廃棄物の輸入に関する環境保護抑制基準（中国国国家標準）⁷⁻¹¹⁾

「中華人民共和国固体廃棄物汚染環境防治法」の徹底、原料として利用不能な固体廃棄物の輸入により生じる環境汚染の防止、原料として利用可能な廃棄物の適正な輸入管理を規制するために、国家環境保護総局により 13 項目の輸入廃棄物の検査基準が発表され、2006 年 2 月 1 日に効力を生じた。13 項目のリストを表 7.4 に示す。

表 7. 4 輸入可能な固体廃棄物基準

対象項目	国家標準	検査基準
廃骨料	GB 16487.1-2005	GB5085, SN0570, SN0573
精錬くず	GB 16487.2-2005	GB5085, SN0570, SN0576
木・木製品の廃棄物	GB 16487.3-2005	GB5085, SN0570, SN0572
古紙または板紙	GB 16487.4-2005	GB5085, SN0570, SN0574
繊維品廃棄物	GB 16487.5-2005	GB5085, SN0570, SN0575
鉄くず	GB 16487.6-2005	GB5085, SN0570, SN0581
非鉄金属くず	GB 16487.7-2005	GB13015, GB5085, SN0570, SN0571
廃モーター	GB 16487.8-2005	GB13015, GB5085, SN0570, SN0577
廃電線・ケーブル	GB 16487.9-2005	GB13015, GB5085, SN0570, SN0580
ミックスメタル	GB 16487.10-2005	GB13015, GB5085, SN0570, SN0579
解体する船舶及びその他浮き構造物	GB 16487.11-2005	GB13015, GB5085, SN0570, SN0578
廃プラスチック	GB 16487.12-2005	GB5085, SN0570, SN0625
廃自動車プレス	GB 16487.13-2005	GB13015, GB5085, SN0570

出典：中国国国家環境保護総局固体廃棄物管理センターWEB サイト

7.3 日中国際資源循環に関する実証試験の概要

国際資源循環における荷姿は、大きくコンテナとバラ積みに大別されるため、この2通りに分けて実証試験を行った。実証試験その1では、バラ積み船によるミックスメタル（金属樹脂混合屑）の輸送を対象として、再生資源輸出における品質管理とトレーサビリティシステム付与の検証を行った。実証試験その2では、コンテナ船による輸送を対象としてトレーサビリティシステム付与の検証に加え、情報共有・管理システムについての検討を行った。

7.3.1 対象品目と荷姿

実証試験その1（バラ積み船）は、ミックスメタル（金属樹脂混合屑）の輸送を対象として、再生資源輸出における品質管理とトレーサビリティシステム付与の検証を行った。

実証試験その2（コンテナ船）は、東京都スーパーエコタウン（大田区城南島）に立地する株式会社フューチャー・エコロジー様に御協力頂き、同社の家電リサイクルセンターから発生する廃プラスチック、銅スクラップを試験対象品目とした。

実証試験の概要を表7.5に示す。

表7.5 実証試験の概要

	実証試験その1 (バラ積み船)	実証試験その2 (コンテナ船)		
実施期間	2006年11月-2007年1月	一回目: 2006年12月-2007年1月 二回目: 2007年11月-2008年1月		
追跡ルート	日本側集荷ヤード→日本側輸出業者→中国側輸入業者→1次解体先→2次処理先			
対象品目	ミックスメタル (金属樹脂混合屑)	廃プラ	銅スクラップ	
		 ※コンテナ内はフレコンバック毎に梱包		
20 フィートコンテナ				
実証試験に使用するトレーサビリティツール	ツール	仕様		使用目的
	①GPS  (日本側使用機外観)	製品名/型式 コネクタ形状 外形寸法 質量 電源 受信周波数 動的特性	ケータイサイト GPS / PDC-GPS USB MiniB 51.2(W)×29.5(H)×69.7(D)mm 約 55 g (電池含まず) 単 4 アルカリ乾電池 2 本または単 4 ニッケル水素電池 2 本、USB インターフェイス、DC アダプタ (5V) 1575.42MHz(L1 帯 C/A コード) 速度 350m/sec(MAX)、加速度 2G	運搬経路の把握、管理
②RF ID	リーダー・ライタ  タグ 	機種/メーカー 電源 使用周波数 メモリ 通信速度 質量 外形寸法 製造 チップ 仕様	ZER-863X/松下電器産業株式会社 単 4 形アルカリ乾電池 2 個 13.56MHz 記憶データ件数: 最大 500 件 最大 38,400bps 約 90 g (電池を含む) 55(W)×22(H)×96(D)mm Phillips 社 I-CODE SLI ISO15693 対応 パッシブ・タグ	積み替え状況、日時、場所、担当者等の基本情報の管理
③デジカメ	汎用型デジカメ使用		積み替え状況、積み荷の管理	
④携帯電話	汎用型携帯電話使用		移動状況の把握、管理	
⑤台貫	汎用型台貫使用		計測重量の把握	
⑥封印	汎用型封印使用		紛失防止等、荷物の管理	
⑦管理伝票	汎用管理伝票使用		輸送状況の管理	
⑧Equipment Interchange Receipt (実証試験その2のみ)	指定様式使用		コンテナ国際間移動の情報管理	

7. 3. 2 追跡ルートと作業手順

(1) 実証試験その1 (バラ積み船)

今回の試験では、日本国内のスクラップ専門商社に協力を仰ぎ、千葉県市原市の集荷ヤードを追跡開始場所として中国国内（浙江省台州市、図 7.2 参照）の2次処理先までの追跡確認を行った。表 7.6 に追跡ルートを示し、表 7.7 に実証試験その1における作業手順を示した。

表7.6 追跡対象ルートと協力先企業

場 所		協 力 会 社 等	
①	集荷ヤード	スクラップ専門商社	
②	出港地	千葉港(千葉県市原市)	
③	入港地	台州港(中華人民共和国 浙江省台州市)	
④	1次処理先	台州傲徳金属有限公司(")	
⑤	2次処理先	鉄	乾忠物資有限公司(")
		アルミ	回收利用有限公司(")
		銅	浙江金杯銅業有限公司(")
		ステンレス	鄭標不銹鋼有限公司(")
		廃プラスチック	台州市路橋安洋塑業有限公司(")
		残渣	台州市最終処分場(")

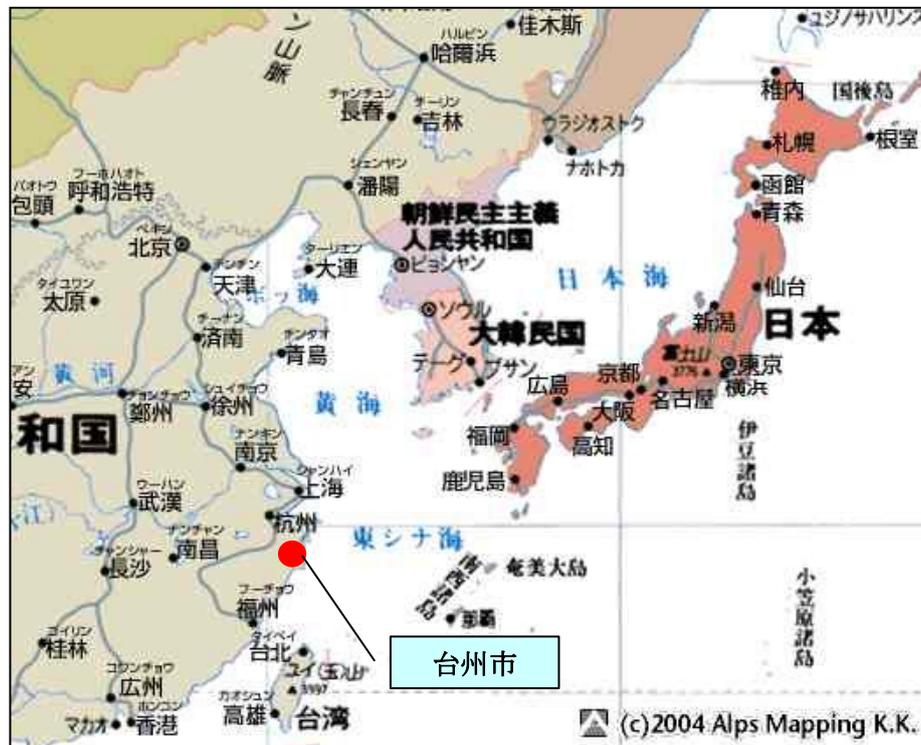


図7.2 中国浙江省台州市位置

表7.7 実証試験その1（バラ積み船）の作業手順

場 所	トレーサビリティシステム関連作業				
集荷ヤード (千葉県市原市)	①写真撮影 ②GPS 測位機取り付け ③RFID タグ取り付け ④計量(台貫)				
↓ 移動(陸路)					
千葉港(千葉県市原市)	①写真撮影 ②GPS 測位機回収 ③計量(船舶による目視計量) ④バラ積み船ジャバラ蓋封印(南京錠取り付け)				
↓ 移動(航路)					
台州港 (浙江省台州市)	①写真撮影 ②GPS 測位機取り付け ③計量(台貫) ④ドライバーからの出発連絡(携帯電話) ⑤バラ積み船ジャバラ蓋開封(南京錠破壊)				
↓ 移動(陸路)					
1次処理先 台州傲徳金属有限公司	<table border="1"> <tr> <td>入荷</td> <td>①写真撮影 ②GPS 測位機回収 ③ドライバーからの到着連絡(携帯電話) ④RFID タグ読み込み</td> </tr> <tr> <td>出荷</td> <td>①写真撮影 ②GPS 測位機取り付け ③計量 ④ドライバーからの出発連絡(携帯電話) ⑤RFID タグ取り付け</td> </tr> </table>	入荷	①写真撮影 ②GPS 測位機回収 ③ドライバーからの到着連絡(携帯電話) ④RFID タグ読み込み	出荷	①写真撮影 ②GPS 測位機取り付け ③計量 ④ドライバーからの出発連絡(携帯電話) ⑤RFID タグ取り付け
入荷	①写真撮影 ②GPS 測位機回収 ③ドライバーからの到着連絡(携帯電話) ④RFID タグ読み込み				
出荷	①写真撮影 ②GPS 測位機取り付け ③計量 ④ドライバーからの出発連絡(携帯電話) ⑤RFID タグ取り付け				
↓ 移動(陸路)					
2次処理先 鉄、銅、アルミ、ステンレス、廃プラスチック、残渣物	①写真撮影 ②GPS 測位機回収 ③計量 ④ドライバーからの到着連絡(携帯電話) ⑤RFID タグ読み込み				

(2) 実証試験その2（コンテナ船）

実証試験その2も実証試験その1と同様に、日本国内排出企業から中国内2次処理業者までのルートを設定し、追跡管理を行った。実証試験その2の追跡ルートと協力先企業を表7.8に示し、詳細なシステム運用のフローチャートを図7.3に示す。

表7.8 追跡対象ルートと協力先企業

場 所		協 力 会 社 等	
①	排出事業者	株式会社フューチャー・エコロジー (東京都大田区)	
②	輸出事業者	スクラップ専門商社 (千葉県千葉市)	
③	出港地	東京港 (東京都品川区)	
④	入港地	上海港 (中華人民共和国 上海市)	
⑤	1次処理業者	凱鷹再生資源(太倉)有限公司 (中華人民共和国 江蘇省太倉市)	
⑥	2次処理業者	プラスチック	常州日豊造粒 (中華人民共和国 江蘇省常州市)
		鉄	太倉市金倉銅業有限公司 (中華人民共和国 江蘇省太倉市)
		銅	太倉市金倉銅業有限公司 (中華人民共和国 江蘇省太倉市)
		残渣	太倉市柯林固廢処置有限公司 (中華人民共和国 江蘇省太倉市)

第7章 日中間を対象とした国際資源循環システムの実証

場所	実作業	トレーサビリティ関連作業						作業主体者		
		作業内容		トレーサビリティシステム フローチャート						
排出事業者	トラック積み込み	①写真撮影 (a)フレコンバック(管理番号付) (b)車両番号 ②GPS取り付け ③計量(台貫) ④管理伝票の記入	GPS 取り付け	画像	重量	管理伝票 記入		排出事業者		
↓移動(陸路)トラック輸送										
輸出事業者	トラック到着時	①写真撮影 (a)フレコンバック(管理番号付) (b)車両番号 ②GPS取り外し ③計量(台貫) ④管理伝票記入	GPS 回収	画像 照合	重量 照合	管理伝票 記入		輸出事業者		
	コンテナ車への積替 出発時	①写真撮影1(封印前) (a)空コンテナ(コンテナ番号付) (b)中身1(1/3の状態) (c)中身2(2/3の状態) (d)積完了状態(コンテナ番号付) ②コンテナ封印 ③写真撮影2(封印後) (a)車両番号&コンテナ番号 (b)封印部分 ④GPS取り付け ⑤計量(台貫) ⑥管理伝票記入 ⑦EIRのコピー受取 ←	GPS 取り付け	画像	重量	封印	EIR (写し)			
↓移動(陸路)コンテナ車輸送										
東京港(東京都港区)	コンテナのコンディション チェック 通関、荷揚げ	①写真撮影 (a)車両番号&コンテナ番号 (b)封印部分 ②GPS取り外し ③EIR(機器受取書)の受取 ④管理伝票記入	GPS 回収	画像 照合		管理伝票 記入	EIR	コンテナ車 ドライバー		
↓移動(航路)コンテナ船輸送										
上海港(中国上海市)	港内 荷おろし、通関 ゲート内 コンテナの車載	①EIR(機器受取書)の受取 ①GPS取り付け ②写真撮影 (a)車両番号&コンテナ番号 (b)封印部分 ③携帯電話で出発確認	GPS 取り付け	画像 照合	開封・封印		EIR 照合	コンテナ車 ドライバー		
↓移動(陸路)コンテナ車輸送										
一次処理先 (中国)	荷受、解体・選別	①上海港から出発の時刻記録 ②到着時刻の記録 ③計量(台貫) ④GPS取り外し ⑤写真撮影1(開封前) (a)車両番号&コンテナ番号 (b)封印部分 ⑥コンテナ開封 ⑦写真撮影2(開封後) (a)コンテナ扉を半分開いた状態 (b)コンテナ扉を全部開けた状態 (c)フレコンバック(管理番号付) ⑧EIRのコピー ← ⑨管理伝票記入	GPS 回収	画像 照合	重量 照合	開封	管理伝票 記入	EIR (写し)	携帯電話 到着確認	1次処理業者 (担当者)
	出荷(→2次処理先)	①計量 ②GPS取り付け ③写真撮影(a)前方から車両番号&荷姿 (b)後方から荷姿 ④管理伝票記入 ⑤出発時刻記録 ⑥2次処理先に到着時刻の記録 ←	GPS 取り付け	画像	重量		管理伝票 記入		携帯電話 出発確認	1次処理業者 (担当者)
↓移動(陸路)トラック輸送										
2次処理先	(残渣物) 荷受、最終処分	①携帯電話で到着確認 ②計量(台貫) ③GPS取り外し ④写真撮影(a)前方から車両番号&荷姿 (b)後方から荷姿 ⑤管理伝票記入	GPS 回収	画像 照合	重量		管理伝票		携帯電話 到着確認	電話確認以外 の項目→ 2次処理業者
(有価物)	荷受・各処理	①携帯電話で到着確認 ②計量(台貫) ③管理伝票記入			重量 照合		管理伝票 確認			

図7.3 システム運用のフローチャート(コンテナ船)

7.3.3 実証試験に使用した機器と検証方法

(1) 実証試験に使用した機器

1) GPS 測位機 (実証試験その1およびその2共通)

表7.9 GPS 測位機製品仕様（日本側使用機）

製品名/型式	ケータイサイト GPS / PDC-GPS（アイ・オー・データ機器）
コネクタ形状	USB MiniB
インターフェイス	USB 1.1
外形寸法	51.2(W)×29.5(H)×69.7(D)mm
質量	約 55g(電池含まず)
電源	単 4 アルカリ乾電池 2 本または単 4 ニッケル水素電池 2 本、USB インターフェイス、DC アダプタ(5V)
測地系	TOKYO(初期値)/WGS84
GPS アンテナ	内蔵アンテナ(外部アンテナ使用、可能内蔵アンテナとの自動切り替えにも対応)
受信周波数	1575.42MHz(L1 帯 C/A コード)
受信方式	マルチチャンネル(8 チャンネル)、32 コリレータ、連続捕捉
受信感度	-130dBm(内蔵アンテナにて)
測位更新レート	5 秒(可変)
単独測位精度	位置 ; 25m、CEP(50%)(SA OFF)
初期化特性	通常の電源投入時初期測位時間コールドスタート/5 分以下ウォームスタート/50 秒以下ホットスタート/30 秒以下
再捕捉時間	2sec 以内(90%)
動的特性	速度 350m/sec(MAX)、加速度 2G



図7.4 GPS 測位機外観（日本側使用機）

中国国内で使用した GPS 測位機の製品仕様について表 7.10 に、外観を図 7.5 に示す。なお中国国内での使用が認められた機器を実証試験に採用するため、本機については上海市内の GPS 専門店にて購入した。

表7.10 GPS 測位機製品仕様（中国側使用機）

製品名/型式	etrex / VISTA (GARMIN 社製)
インターフェイス	純正PC接続ケーブル(USB)
外形寸法	5.1(W)×11.2(H)×30.0(D)mm
質量	約 150g(電池含まず)
電源	単 3 アルカリ乾電池 2 本(3V)
位置精度	約 15mRMS(利用条件により前後します。)
GPS アンテナ	内蔵アンテナ
衛星受信	12 チャンネル並列受信
衛星補足時間	15-45 秒
初期化	約 5 分
データ更新時間	1 秒毎
インターフェイス	NMEA0183 RTCM104(DGPS)
利用可能温度	-15 度Cから+70 度C
電子コンパス	一度単位
記録可能ポイント数	約 10,000(10トラックまで圧縮保存可)



図7.5 GPS 測位機外観（中国側使用機）

2) RFID タグ（実証試験その1）

表7.11 RFID リーダー・ライター製品仕様

機種/メーカー	ZER-863X / 松下電器産業株式会社
電源	単 4 形アルカリ乾電池 2 個
使用周波数	13.56MHz
電波強度	微弱無線局
液晶表示部	白黒ドットマトリックス LCD(LED 方式) 16 桁×2 行
表示 LED 部	2 色 LED(色:緑/赤)
メモリ	記憶データ件数 : 最大 500 件
赤外線通信	IrDA SIR Ver1.0準拠、IrOBEX 対応プロトコル
通信速度	最大 38,400bps
伝送方式	半二重伝送
質量	約 90g(電池を含む)
外形寸法	55(W)×22(H)×96(D)mm
適合規格	VCCI クラス B



図7.6 RFIDリーダー・ライターの外観

表7.12 RFIDタグ（製品仕様）

製造	Phillips 社
加工	リンテック株式会社
チップ	I-CODE SLI
仕様	ISO15693 対応 パッシブ・タグ

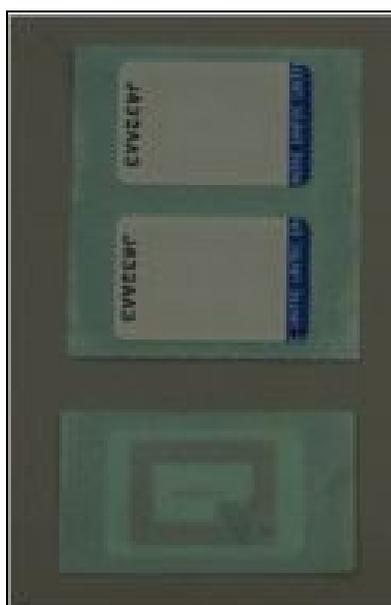


図7.7 RFIDタグの外観

3) 携帯電話（実証試験その2）

表7.13 携帯電話製品仕様

製品名/型式	NEC 製:N903i
機能	画像撮影機能、GPS 位置情報機能有、動画撮影機能、フラッシュ機能、ズーム機能有
撮像素子	CMOS/CMOS
撮影サイズ	QXGA(2048 × 1536、UXGA(1616 × 1212)、SXGA(1280 × 960)、VGA + 縦(480 × 690)、VGA(640 × 480)、VGA 縦(480 × 640)、CIF(352 × 288)ピクセル
ファイル形式	JPEG
カメラ有効画像素	約 320 万画素
外部メモリー対応	microSDTM 最大対応容量:2GB
GPS 機能	有(画像に GPS 位置情報を添付する機能有)
位置取得	三菱電機(株)の位置時間証明サービス「COCO-DATES」のアプリをインストールし、定期的に緯度・経度を測位することにより、車両の運行軌跡を管理することが可能
使用条件	GPS の電波状況が良好であること



図7.8 携帯電話の外観

(2) トレーサビリティツールの検証方法

1) 実証試験その1 (バラ積み船)

手軽に携帯できる IT 機器を利用し、再生資源の移動に対し追跡・監視を行い、システムの有用性を検討した。具体的には、GPS 測位機、デジタルカメラ、RFID タグ、携帯電話、台貫を使用し、状況を把握・確認し、実際の物流との整合性を確認した。以下にトレーサビリティ機器毎の検証方法を示す。

- ・ GPS 測位機を使用し再生資源の移動経路を記録する。
- ・ デジタルカメラを使用し再生資源の積替え状況を撮影する。
- ・ RFID タグを使用し再生資源の積替え時期を記録する。
- ・ 携帯電話を利用し車両の出発、到着時の場所、日時の確認を行う。
- ・ 台貫等での重量計測結果を照合し物流量の結果検証を行う。

2) 実証試験その2 (コンテナ船)

トレーサビリティツール毎に実施した検証方法を以下に示す。

- ・ GPS 測位機を使用し再生資源の移動経路を記録する。

- ・ デジタルカメラを使用し再生資源の積替え状況を撮影・記録する。
- ・ 携帯電話を利用し車両の出発、到着時の場所、日時の確認を行う。
- ・ 台貫等での重量計量結果を照合し物流量の結果検証を行う。
- ・ 管理伝票を使用し、各積み替えポイントでの移動確認を行う。
- ・ EIR (EQUIPMENT INTERCHANGE REPORT: 機器受取書) を利用し、IN (日本側受渡) と OUT (中国側受取) を照合し国際間移動の確認を行う。

7. 4 ミックスメタルを対象とした実証試験 (バラ積船) の結果と考察

7. 4. 1 日本国内 (陸路) における移動の追跡・監視

(1) 追跡・監視の方法

日本側の追跡開始場所 (集荷ヤード) から出港地 (千葉港) までの移動に関して、以下要領で追跡・監視を行った。また図 7.9 にフローチャートを示した。

1) GPS 測位機による移動経路の確認

追跡開始場所 (集荷ヤード) に蓄積された再生資源が、港湾まで適正に移動したことを確認するためには、運搬車両が適正な経路を辿って港湾まで確実に運搬が実施されたことを証明する必要がある。当該運搬車両に対し、それぞれ運搬経路情報を蓄積するための GPS 測位機を設置した。

2) 画像による積替え状況の確認

荷主手配の車両に適正に積載され、積荷の紛失が無かったことを証明するために、出発・到着時において当該車両の画像をデジタルカメラで撮影、記録した。撮影時には、場所、車両、積載物を特定できるように、風景、車両番号、積み降ろしの状況を画像に収めた。また画像には日時も記録した。

3) 計測結果の照合による確認

追跡開始場所 (集荷ヤード) において、運搬車両毎の重量を台貫にて計測し、さらに港湾においてバラ積み船の喫水線の位置による目視の重量計測を実施した。これにより出発・到着時における再生資源の総重量の比較が可能となり、運搬物の紛失有無の確認を行った。

4) RFID タグによる積替え日時の履歴確認

再生資源が中国側に入荷された際に、それらが日本から出荷されたものであることを証明するため、追跡開始場所にて RFID タグを、任意に抽出した大小様々な対象物の特定箇所に添付した。以降、各積み替えポイント毎に、日時、RFID タグ、リーダー・ライターの固有番号を記録し履歴管理を行う。

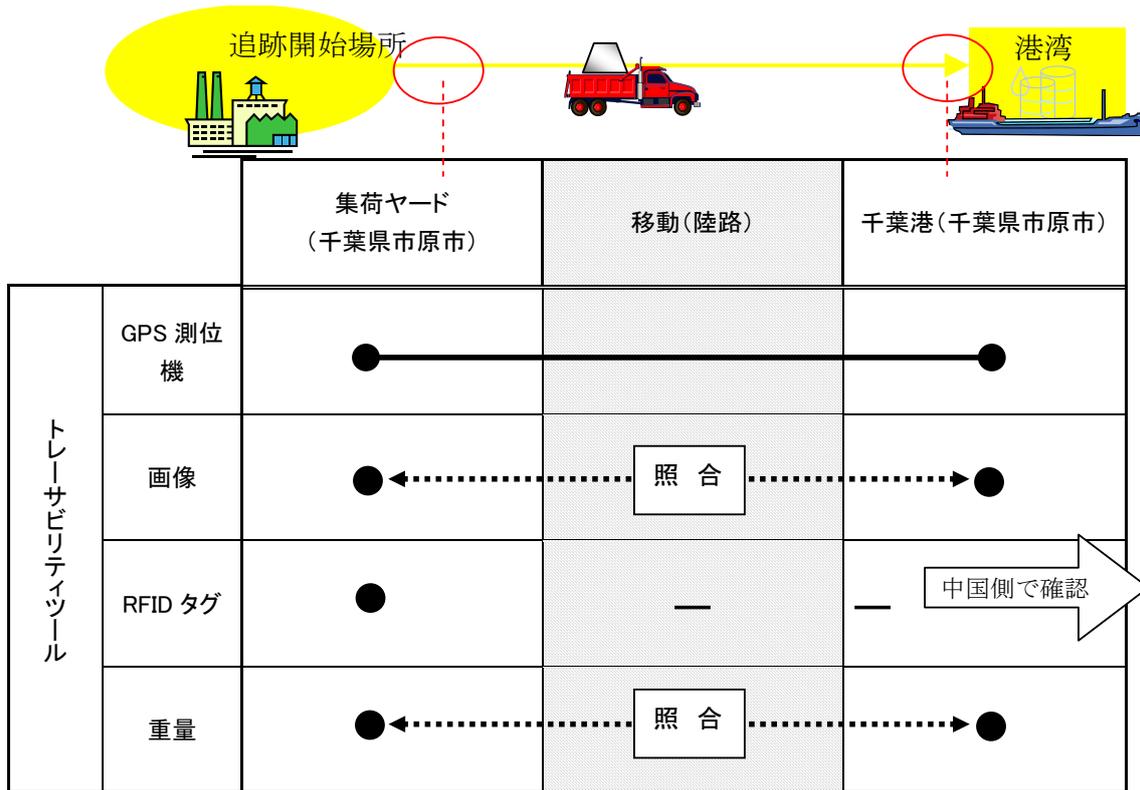


図7.9 日本国内（陸路）における移動の追跡・監視 フローチャート

(2) 追跡・監視の結果

1) GPS 測位機による移動経路の記録

追跡開始場所（集荷ヤード）から千葉港まで再生資源を積載した車両に GPS 測位機を搭載し、取得したデータを表 7.14 に示す。さらに取得された GPS 測位機の緯度経度情報を、図 7.10 に示す通り、電子地図上に展開すると、集荷ヤードから千葉港までの適正な運搬経路を確認することができた。この結果から、運搬車両が適正な経路を辿って移送を行ったことが証明された。

表7.14 追跡開始場所（集荷ヤード）～千葉港 GPS 取得データ（抜粋）

年月日時分秒	緯度	経度
20061125072848	N35.29.29.84	E140.09.06.49
20061125072948	N35.29.53.36	E140.08.51.95
20061125073048	N35.30.20.60	E140.08.49.14
20061125073148	N35.30.28.22	E140.08.48.59
20061125073248	N35.30.48.89	E140.08.40.30



図7.10 追跡開始場所（集荷ヤード）～千葉港までの経路

2) 画像による積替え状況記録の照合

追跡開始場所（集荷ヤード）から千葉港まで運搬を行った車両に対し、再生資源を積載する前後で画像を撮影、記録した。追跡開始場所にて再生資源の積載を完了した時点の画像と埠頭で積載物を船舶に積替える時点の画像とを比較した結果、車両ナンバー、背景、荷姿及び日時の記録が照合でき、荷主の手配した運搬車両が再生資源を適正に運搬したことが証明された。照合結果を表7.15に示す。

表7.15 集荷ヤード、千葉港における画像照合結果（一部抜粋）

集荷ヤード出発時	千葉港到着時
 <p>2006/11/25/06:55</p>	 <p>2006/11/25/07:48</p>
 <p>2006/11/25/10:22</p>	 <p>2006/11/25/11:05</p>
 <p>2006/11/25/15:55</p>	 <p>2006/11/25/16:10</p>

3) 重量計測結果の照合

再生資源を運搬した全車両について、①追跡開始場所（集荷ヤード）を出発する際に据付の台貫で積荷満載時の重量を計測し、②さらに全運搬車両から船舶への積載終了後、バラ積み船の喫水線位置の目視確認による積載重量を計測した。①の結果を表 7.16 に示し、②の結果を図 7.11 に示す。

①と②の計測値を比較した結果、①が 724.38t、②が 740.0 t であった。両計測値の差は 15.62t と 5%程度の誤差が生じているが、千葉港での計測は、港湾担当者の経験からくる喫水線の目視確認による方法のため、機械による計測とではもともと計量基準に違いがあり、また誤差の範囲も小さいことから、この時点では、概ね問題ないと判断された。

最終的な重量計測による照合については、中国側における計測結果との比較で判断することとする。

表7.16 台貫重量計測結果（11月25日出荷分）

順番	車番(後)	車番(前)	品名	重量(kg)
1	17		ミックスメタル	16,290
2	1293	7394	ミックスメタル	19,580
3	1293	7394	ミックスメタル	16,380
4	1439		機械物	10,890
5	17		ミックスメタル	20,350
6	1293	7394	ミックスメタル	20,820
7	494	3301	ミックスメタル	16,940
8	17		ミックスメタル	21,860
9	1293		ミックスメタル	19,170
10	494		ミックスメタル	21,040
11	17		ミックスメタル	20,520
12	1293		ミックスメタル	19,390
13	494		ミックスメタル	21,560
14	17		アルミ箱	9,130
	17		アルミ	1,510
15	1293		ミックスメタル	20,380
16	494		ミックスメタル	19,400
17	17		アルミ	4,010
	17		ミックスメタル	8,720
18	1439		機械物	6,940
	1439		機械物	6,220
19	3130		ミックスメタル	19,430
20	522		熱交大 機械	23,920
21	1439		銅巻 トランス 機械	16,090
22	138		ミックスメタル	23,390
23	998		熱交	7,880
24	522		白タンク	8,230
25	1439		アルミタンク	2,270
26	1439		機械(テーブル)	10,230
27	138		ミックスメタル	19,310
28	522		ステンタンク大	2,620
			合計	454,470

貨物個数		
貨物重量 (グロス)	1,400,000-TNE	740,000,000-KGM
貨物容積	1,400,000-MTG	740,000-MTG
インボイス価格	FOB-JPY-	FOB-JPY-
FOB価格		
記事 (税関用)		社内整理番号
記事 (通関業者用)		利用者整理番号 01884
[税関通知欄]		
H18.11.24 に輸出許可した申告番号 23719898410 について、輸出許可内容変更申請 23719898411 に基づき、変更したので通知します。		
輸出許可内容変更承認日	H18.11.28	千葉税関支署長

図 7. 11 加加傾戦里里 (翱八迎関言類より印刷)

7. 4. 2 1次処理先における解体・選別終了の確認

今回バラ積み船で輸出した再生資源全量について、中国側の1次処理先において解体・選別及び2次処理先への出荷が適正に終了したことを確認するため、入荷日と処理終了後とでそれぞれ画像に記録した。結果として、場所、背景、日時の記録が照合でき、適正に処理が終了したことを確認できた。表 7.17 に処理開始日と終了後の画像照合結果を示す。

表7.17 1次処理先における処理開始日と終了後の画像照合（一部抜粋）

処理開始日	処理終了日
	
	

ここで、RFID タグによる積替え日時履歴確認と固体識別を行った。

日本側の追跡開始場所（集荷ヤード）で再生資源に貼付した RFID タグについて、中国側の1次処理先である台州傲徳金属有限公司において読込を試みた。まず RFID タグ貼付対象物の特定については、一部の大型サイズのもの（3メートル四方を超えるもの）は可能であったが、それ以外のものについては他の雑多な再生資源に混ざって発見できなかった。

目視により特定できた対象物に貼付された RFID タグについては読込を行ったものの、貼付対象物が金属製であることから、本体と RFID タグのアンテナが電波干渉をおこし、データ取得はできなかった。図 7.12 に現地での写真を添付する。

今回の結果から、バラ積み船の輸送において RFID タグを使用する場合、貼付対象物は相当の大型サイズでないと固体識別が難しいことが判明した。従い RFID タグによる管理は大型対象物に限定されることになる。また、アンテナの電波干渉の問題に関しては、誤作動防止用シートや電波干渉そのものを防ぐタグが販売されており、これらを利用することで対応可能と考える。しかしコスト増となることは確実であり、運用上の障壁となることが想定される。



図7.12 中国現地における RFID 読み取りの実施

また、台州港において、再生資源を積載した運搬車両のドライバーの中から任意に数名を抽出し、出発、到着のタイミングにおいて、携帯電話で1次処理先の管理者に連絡を入れるよう依頼した。全てのドライバーから出発、到着の連絡が滞りなく行われ、車両が適正に移動したことが確認された。

7.4.3 マテリアルバランス（素材別重量構成）による検証

1次処理先における選別・出荷記録を入手し、今回バラ積み船で輸出した再生資源全量についてのマテリアルバランス（素材別重量構成）として取りまとめた。その結果を表7.18に示す。

表7.18 マテリアルバランス（素材別重量構成比）

No.	素材品目	重量(トン)	構成比(%)
1	鉄屑	628.6	86.67%
2	雑銅屑	22.17	3.06%
3	黄銅屑	5.82	0.80%
4	ステンレス屑	27.75	3.82%
5	アルミ屑	17.50	2.41%
6	残渣	23.5	3.24%
	合計	725.34	100.0%

(1) 再生資源の品質面の検証

残渣物の割合は全体量の僅か3.2%であった。そして残りの96.8%については有価物として中国内で流通したことを鑑みると、再生資源としての質的な面からは特に問題ないことが証明された。

(2) 日本－中国間での総重量による照合

①日本側の追跡開始場所での計測重量は724.38tであり、②中国側1次処理先での選別・出荷後のトータル重量である725.34tと比較すると、両計測値の差

は 0.96t であり、誤差は 0.13% と非常に小さなものであった。さらに①から②の移動において重量の減少が無かったことから、輸送物の紛失、盗難や不法投棄の発生もなく、適正な輸送であったことが証明された。

7. 4. 4 中国側での最終処理・処分までの全体フローの検証

中国側の 1 次処理先において解体・選別後に出荷される各再生資源の最終処理・処分までのフローを図 7.13 の通り確認した。2 次処理先に関しては、追跡による実証試験も含め、全業者を訪問し、確認作業を行った。

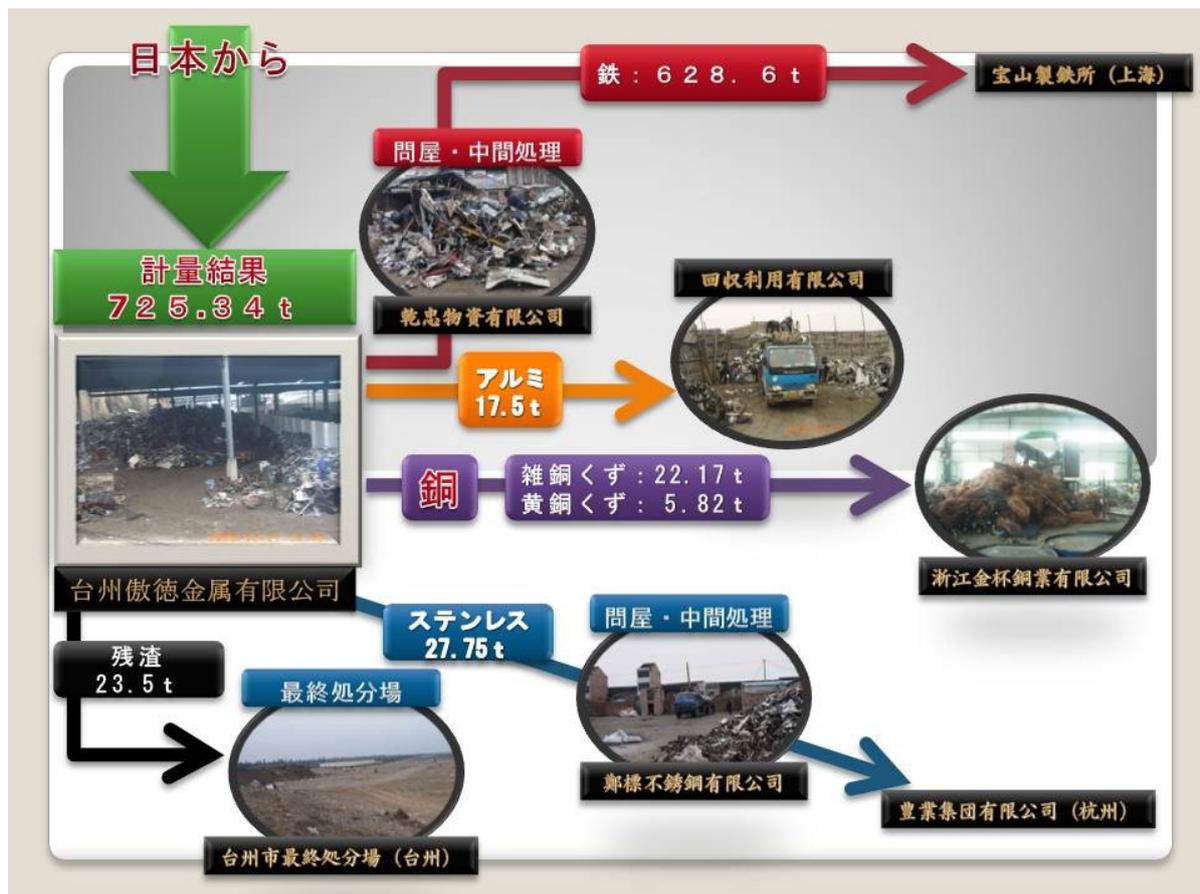


図7.13 中国内最終処理・処分場までのマテリアル・フロー

有価物の出荷先である各リサイクル業者においては中間処理又は最終処理、最終製品等の状況が確認できた。また残渣物の出荷先である最終処分場に関しては、処分が完了した状況は確認できたが、日本では標準整備が義務付けられている集排水等の設備もなく、環境汚染が進んでいる実態がみてとれた。図 7.14、図 7.15 に現地での写真を添付した。



図7.14 最終処分場の正門と台貴



図7.15 最終処理場の内部

7. 5 廃プラスチックと銅スクラップを対象とした実証試験（コンテナ船）の結果を考察

7. 5. 1 日本国内における移動の追跡・監視 1（排出事業者～輸出業者）

（1）追跡・監視の方法

資源物を排出事業者から輸出業者まで3回に分けて輸送を実施し、それぞれの移動に関して以下の要領で追跡・監視を行った。

- A) GPS 測位機を当該運搬車両に取り付け、排出事業者から輸出業者までの移動経路の確認を行った。
- B) 出発・到着時において、当該運搬車両及び対象物の個別梱包の画像をデジタルカメラで撮影し、また画像には日時も記録した。両地点での画像照合による確認を行った。
- C) 出発・到着時において、それぞれ当該運搬車両毎及び個別梱包毎の重量を計測し、計測結果の照合による確認を行った。
- D) 排出事業者に管理伝票を発行してもらい、中国国内1次処理先までの移動に関して、積み替えポイント毎に関係主体に記載してもらい、追跡確認作業を行った。

(2) 追跡・監視の結果

追跡・監視の実施により得られた結果を以下に示す。

1) GPS 測位機による移動経路の記録

排出事業者から輸出業者まで再生資源を積載した車両にGPS測位機を搭載し、取得したデータサンプルを表7.19に示す。さらに取得されたGPS測位機の緯度経度情報を、図7.16に示通り、電子地図上に展開すると、排出事業者から輸出業者まで適正な運搬経路を確認することができた。この結果から、運搬車両が適正な経路を辿って移送を行ったことが証明された。

表7.19 追跡開始場所（排出事業者）～輸出業者（一部）

年月日時分	緯度	経度
2007/11/28 14:07	35/34/47.48	139/45/30.63
2007/11/28 14:12	35/35/27.08	139/45/29.03
2007/11/28 14:15	35/36/15.86	139/45/30.29
2007/11/28 14:22	35/37/40.58	139/47/14.62
2007/11/28 14:27	35/38/35.37	139/49/36.76



図7.16 排出事業者～輸出業者までの経路

2) 画像による照合記録

排出事業者から輸出業者まで運搬を行った車両に対し、再生資源を積載する前後で画像を撮影、記録した。排出事業者にて再生資源の積載を完了した時点の画像と輸出業者で積載物を荷降ろしする前の画像とを比較した結果、車両ナンバー、背景、荷姿及び日時の記録が照合でき、運搬車両が再生資源を適正に運搬したことが証明された。また車両に積載される個別梱包毎に管理番号を付与し、同様に両地点で画像を撮影・記録した。その結果、個別の梱包物単位で

も適正に移動がなされたことが証明された。表 7.20、表 7.21 に撮影した画像の照合結果の抜粋を示す。

表7.20 画像照合結果（排出事業者～輸出業者）（抜粋）

	排出事業者	輸出業者
車両 番号	 2007/11/28 14:14	 2007/11/28/15:51
	 2007/11/28	 2007/11/30/15:54

表7.21 個別梱包物画像照合結果（銅スクラップ）（抜粋）

排出事業者	輸出業者
 FEM128-01 2007/11/28 13:44	 FEM128-01 2007/11/28 16:41
 FEM128-02 2007/11/28 13:35	 FEM128-02 2007/11/28/16:41

3) 重量による照合記録

再生資源を運搬した車両について、①排出事業者を出発する際に据付の台貫で重量を計測し、②輸出業者到着後も同様に台貫による重量計測を実施した。もっとも差が大きいのは第1回目で、両計測値の差は0.012tと0.11%程度の誤差が生じているが、誤差の範囲も大きくないことから、特段問題ないと判断された。その結果を表 7.22 に示す。

また運搬車両に積載された個別梱包単位でも、両地点で小秤による重量照合

を実施した。その結果、一部荷物に若干の誤差が生じているものの、全て3%以下であることから、輸送物の紛失、盗難や不法投棄の発生もなく、適正な輸送であったことが証明された。表7.23に個別梱包毎の重量計測結果を示す。

表7.22 運搬車両重量照合結果

	重量(kg)	排出事業者	輸出業者
1回目	グロス重量	11,267	11,255
2回目	グロス重量	10,901	10,900
3回目	グロス重量	10,657	10,661

表7.23 重量計測結果（廃プラスチック）

排出事業者 計量データ					輸出業者 計量データ						
出荷日	廃プラスチック 単位:kg				入荷日	廃プラスチック 単位:kg					
	梱包管理番号	ネット重量	風袋	グロス重量		梱包管理番号	ネット重量	風袋	グロス重量		
07-11-28	FEP1128	-01	404	2	406	07-11-28	FEP1128	-01	403	2	405
		-02	286	2	288			-02	280	2	282
		-03	396	2	398			-03	395	2	397
		-04	411	2	413			-04	410	2	412
		-05	405	2	407			-05	405	2	407
		-06	404	2	406			-06	404	2	406
		-07	397	2	399			-07	397	2	399
		-08	381	2	383			-08	380	2	382
		合計		3,084	16			3,100	合計		3,074	16	3,090
07-11-30	FEP1130	-01	303	2	305	07-11-30	FEP1130	-01	303	2	305
		-02	446	2	448			-02	445	2	447
		-03	304	2	306			-03	304	2	306
		-04	397	2	399			-04	396	2	398
		-05	431	2	433			-05	429	2	431
		-06	263	2	265			-06	261	2	263
		-07	391	2	393			-07	389	2	391
		-08	317	2	319			-08	317	2	319
		合計		2,852	16			2,868	合計		2,844	16	2,860
07-12-3	FEP1203	-01	371	2	373	07-12-3	FEP1203	-01	371	2	373
		-02	397	2	399			-02	396	2	398
		-03	394	2	396			-03	394	2	396
		-04	390	2	392			-04	390	2	392
		-05	371	2	373			-05	371	2	373
		-06	393	2	395			-06	393	2	395
		-07	393	2	395			-07	394	2	396
		-08	378	2	380			-08	378	2	380
		合計		3,087	16			3,103	合計		3,087	16	3,103
総合計		9,023	48	9,071	総合計		9,005	48	9,053		

4) 管理伝票

システム運用に使用した管理伝票（廃プラスチック）を図 7.17 に示す。日本側排出事業者から中国側 1 次処理先までは同じ管理伝票を使用する。

管理伝票								
交付年月日 : 2007 年 12 月 3 日			交付番号 : RTM1203P					
排出者	事業者詳細		交付担当者	署名				
	排出者:							
	住所:							
	事業所:							
住所:								
資源化対象物	資源化対象物の種類		荷姿	※梱包管理番号	重量			
	<input checked="" type="checkbox"/> 廃プラスチック <input type="checkbox"/> ミックスメタル <input type="checkbox"/> アルミくず <input type="checkbox"/> ハーネス <input type="checkbox"/> 銅くず <input type="checkbox"/> 古紙 <input type="checkbox"/> 鉄くず <input type="checkbox"/> その他 ()		<input checked="" type="checkbox"/> フレコンバック (24 袋) <input type="checkbox"/> コンテナ裸積み <input type="checkbox"/> パラ積み <input type="checkbox"/> ボックス (箱) <input type="checkbox"/> その他 ()	FEP1128-01~08 FEP1130-01~08 FEP1203-01~08	Net Weight 9023kg Gross Weight 9071kg			
輸出者	事業者詳細		輸送形態	荷姿	※梱包管理番号	重量	担当者氏名	署名
	輸出者:		<input checked="" type="checkbox"/> コンテナ (20F, 40F) <input type="checkbox"/> パラ積み船 <input type="checkbox"/> その他 ()	<input checked="" type="checkbox"/> フレコンバック (24 袋) <input type="checkbox"/> コンテナ裸積み <input type="checkbox"/> パラ積み <input type="checkbox"/> ボックス (箱) <input type="checkbox"/> その他 ()	FEP1128-01~08 FEP1130-01~08 FEP1203-01~08	Net Weight 9070 Gross Weight 11,255		
	住所:							
	事業所:							
住所:								
運搬事業者	①排出者→輸出者		②輸出者→日本港		③中国港→1次処理業者			
	会社名							
	担当者名							
	出発時間		12月5日 11時05分		12月21日 10時52分			
到着時間		12月5日 15時11分		12月21日 13時45分				
署名								
資源化業者	事業者詳細		引受数量	処理年月日	署名			
	会社名:		9.08T	2007 年 12 月 21 日				
	住所:							
	担当者:							

図 7.17 管理伝票

7. 5. 2 日本国内における移動の追跡・監視 2 (輸出業者～出港地)

輸出業者から東京港まで運搬を行った車両（コンテナ車）に対し、再生資源を積載する前後で画像を撮影、記録した。輸出業者で再生資源の積載を完了した時点の画像と港到着時点の画像とを比較した結果、コンテナ番号、車両ナンバー、封印番号、背景及び日時の記録が照合でき、運搬車両が再生資源を適正に運搬したことが証明された。表 7.24 に廃プラスチックを撮影した画像の照合結果を例に示す。

また車両に積載される個別梱包毎に管理番号を付与し、輸出業者出発時に画像を撮影・記録した。港での写真撮影は不可能なため、最終的な照合については、中国側 1 次処理先での画像取得結果との比較で判断することとする。

表7. 24 輸出業者～出港地における画像照合結果（廃プラスチック）

	排出事業者	輸出業者
車両番号		
コンテナ番号		
中身		中国国内 1 次処理業者と照合
封印		

7. 5. 3 国際間における追跡・監視（出港地：東京港～入港地：上海港）

(1) 追跡・監視の方法

出港地（東京港）から入港地（上海港）までの移動に関して以下の要領で追跡・監視を行った。

- A) 東京港へコンテナを受渡す時に発行される EIR(IN)と、上海港からコンテナからを引き渡される時に発行される EIR(OUT)を照合し国際間移動の確認を行った。
- B) コンテナ車の東京港への到着時と上海港からの出発時とでそれぞれ、当該

車両をデジタルカメラで撮影・記録した。また画像には日時を記録した。

(2) 追跡・監視の方法

追跡・監視の実施により得られた結果を以下に示す。

1) EIR による照合

東京港で発行された EIR(IN)と上海港で発行された EIR(OUT)とを照合した結果、コンテナ番号の内容が全て同じであることから国際間の移動が適正になされたことが確認できた。EIR の写しを図 7.18、図 7.19、図 7.20 と図 7.21 にそれぞれ示す。

EQUIPMENT INTERCHANGE RECEIPT
(機器受取書)

BL/BOOKING/回送NO. TTSSM0749302

IN/OUT	OPERATOR (船会社)	PLACE OF RECEIPT/DELIVERY (搬入出場所)		
IN		品川 東海運CY		
CARRIER (搬入出者)		DATE AND TIME (搬入出日時)		
OTHER 01		2007.12.5 15:11		
CONTAINER NO. (コンテナ番号)		TYPE	LENGTH	HEIGHT
HAHU2013843		DRY	20	8.6
GROSS WT(KT)		9,070		
STATUS (状態)		PURPOSE OF GATE-IN/GATE-OUT (搬入出目的)		
FULL		1 FROM/TO SHIPPER CONSIGNEE (荷主)	6 LEASE IN FROM LESSOR REDELIVERY TO LESSOR (リースパン借入れ)	
DAMAGED (損傷)		2 FROM/TO CFS (CFS)	7 RETURNED FROM LESSEE LEASE OUT TO LESSEE (リースパン返却)	
SEAL NO. (シール番号)		3 EMPTY POSITIONING (空パン送)	8 REPAIR (修理)	
0233406		4 IMPORT FEEDER (輸入フィーダ)	0 OTHERS ()	
COMMODITY (品名)		5 EXPORT FEEDER (輸出フィーダ)		
PARTY (荷主, 修理業者, その他)		PLACE OF DEPARTURE (出発地)	DESTINATION (仕向地)	
その他荷主			SHANGHAI	
PLACE OF RETURN (返却予定場所)		PORT OF DESTINATION (揚予定港)	RETURN STATUS (返却状態)	
		CNSHA	<input type="checkbox"/> LOADED (実入り) <input type="checkbox"/> EMPTY (空)	
SCHEDULED LINE, VESSEL VOY (船積予定航路, 船名, 次航)		YARD LOCATION (庫蓋先)		
		S42-06-1		

INSPECTION AT THE TIME OF RECEIPT/DELIVERY
(搬入出時検査内容)

CONTAINER CONDITION (コンテナの状態)				REFFER UNIT (冷凍装置)	CHASSIS/BOGIE (シャーシー/ボギー)	REFFER TEMPERATURE (冷凍温度)
DAMAGE (損傷)関係		CLEANING (クリーニング)関係		SOUND (正常)	SOUND (正常)	SETTING (設定) °C °F
SOUND (正常)	DEFECTIVE (異常)	CLEAN (正常)	TO BE CLEANED (清掃)	DEFECTIVE (異常)	DEFECTIVE (異常)	
修理不要	仮修理済 小修理必要 中修理必要 大修理必要	クリーニング 不要	満掃 水洗い 温水洗浄 化学洗浄			

IDE (コンテナ/シャーシー外面)

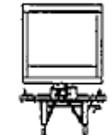
Left side (左側面)



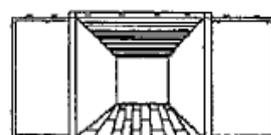
Right side (右側面)



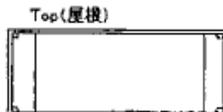
Front (前面)



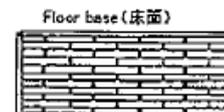
CONTAINER INSIDE (コンテナ内面)



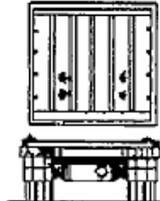
Top (屋根)



Floor base (床面)



Rear (後面)



Reverse side (床蓋)



REMARKS (摘要)

HEAD ID (ヘッド番号) SIGNATURE (署名)

図7.18 EIR(IN) 廃プラスチック

EQUIPMENT INTERCHANGE RECEIPT
(機器受取書)

IN/OUT		OPERATOR (船会社)		BL/BOOKING/回送NO. TTSSM0749303			
IN				品川 東海運CY			
OTHER 01		CARRIER (搬入出者)		DATE AND TIME (搬入出日時)			
				2007.12.6 9:14			
CONTAINER NO. (コンテナ番号)		TYPE	LENGTH	HEIGHT	GROSS WT(KT)		
FSCU3504215		DRY	20	8.6	12,530		
STATUS (状態)		PURPOSE OF GATE-IN/GATE-OUT (搬入出目的)					
FULL		1 FROM/TO SHIPPER CONSIGNEE (荷主)		6 LEASE IN FROM LESSOR (リースパン 借入れ)		REDELIVERY TO LESSOR (リースパン 却)	
DAMEGED (損傷)		2 FROM/TO CFS (CFS)		7 RETURNED FROM LESSEE (返却 受取り)		LEASE OUT TO LESSEE (貸出)	
SEAL NO. (シール番号)		3 EMPTY POSITIONING (空バン 送)		8 REPAIR (修理)		0 OTHERS ()	
0233582		4 IMPORT FEEDER (輸入フィー ダ)					
COMMODITY (品名)		5 EXPORT FEEDER (輸出フィー ダ)					
PARTY (荷主, 修理業者, その他)		PLACE OF DEPARTURE (出発地)		DESTINATION (仕向地)			
その他荷主				SHANGHAI			
PLACE OF RETURN (返却予定場所)		PORT OF DESTINATION (揚予定港)		RETURN STATUS (返却状態)			
		CNSHA		<input type="checkbox"/> LOADED (実入り) <input type="checkbox"/> EMPTY (空)			
SCHEDULED LINE, VESSEL VOY (船積予定航路, 船名, 次航)				YARD LOCATION (蔵番先)			
				S42-04-2			

INSPECTION AT THE TIME OF RECEIPT/DELIVERY
(搬入出時検査内容)

CONTAINER CONDITION (コンテナの状態)				REFFER UNIT (冷凍装置)	CHASSIS/BOGIE (シャーシー/ボギー)	REFFER TEMPERATURE (冷凍温度)
DAMAGE (損傷)関係		CLEANING (クリーニング)関係		SOUND (正常)	SOUND (正常)	SETTING (設定) °C °F
SOUND (正常)	DEFECTIVE (異常)	CLEAN (正常)	TO BE CLEANED (クリーニング不要)	DEFECTIVE (異常)	DEFECTIVE (異常)	
修理不要	仮修理済 小修理必要 中修理必要 大修理必要	清掃 水洗い 温水洗浄 化学洗浄				
IDE (コンテナ/シャーシー外面)		Front (前面)		CONTAINER INSIDE (コンテナ内面)		
Left side (左側面)	Right side (右側面)					
		Rear (後面)		Reverse side (床裏)		
Top (屋根)	Floor base (床面)					
REMARKS (概要)						
HEAD ID (ヘッド番号)		SIGNATURE (署名)				
31						

図7.19 EIR(IN) 銅スクラップ



上海航華國際船務代理有限公司
CHINA SAILING INTERNATIONAL SHIPPING AGENCY LTD.
集裝箱裝卸 / 棧倉交接單

OUT

EQUIPMENT INTERCHANGE RECEIPT

21200712201418

007/12/20 15:27

NO.

運箱人 (CONTAINER USER/Haulier) 5 大船		堆箱地點 (PLACE OF DELIVERY) 外一期 (揚高北一號80號)	
(DELIVERED TO)		由何/收貨地點 (PLACE OF RECEIPT) 集裝碼頭 (寧工路4649號)	
次 (VESSEL/VOYAGE NO.) NOTRANS YOKOHAMA/0749W	集裝箱號 (CONTAINER NO.) BAFU2013543	尺寸/款型 (SIZE/TYPT) 20 GP	櫃種 (CMT. CODE) HAS
船號 (V. NO.) 110071002986	鉛封號 (SEAL NO.) 0233406	裝箱日期 (DATE OF STOWING) 2007/12/14	裝箱人員編號 (EMP. NO.) 20377
狀態 (PPS OF GATE-OUT/STATUS) 拆箱 / 重箱	進出日期/地點 (DATE OF GATE-IN/STATUS) 回場 / 空箱	出堆日期 (DATE OF OUT) 12/23	出堆地點 (PLACE OF OUT) RD 0533
出檢檢查記錄 (INSPECTION AT THE TIME OF INTERCHANGE)			
箱 (GP CNTR)	冷藏集裝箱 (REF CNTR)	保潔集裝箱 (SPECIAL CNTR)	蓋板機 (GEN SET)
(SOUND) (DEFECTIVE)	正常 (SOUND) 異常 (DEFECTIVE)	正常 (SOUND) 異常 (DEFECTIVE)	正常 (SOUND) 異常 (DEFECTIVE)
損及代號 (DAMAGE & CODE)	BR 破損 (BROKEN)	D 凹損 (DENT)	M 丟失 (MISSING)
			DR 污穢 (DIRTY)
			DL 危險 (DANGEROUS)
左側 (LEFT SIDE)	右側 (RIGHT SIDE)	前部 (FRONT)	後部 (REAR)
頂部 (TOP)	底部 (BOTTOM)	集裝箱內部 (INTERNAL)	
狀, 請注明程度及尺寸 (REMARK)			
打單費: ¥10 上/下車費: ¥50		中轉港代碼: 目的港:	

(2) 用箱人運箱人

除列明者外, 集裝箱及集裝箱設備交接時完好無損, 鉛封完整無誤

THE CONTAINER/ASSOCIATED EQUIPMENT INTERCHANGED IN SOUND CONDITION AND SEAL INTACT UNLESS OTHERWISE STATED

用箱人/運箱人簽署

碼頭值班員簽署

堆場值班員簽署

(CONTAINER USER/Haulier'S SIGNATURE)

(TERMINAL CLERK'S SIGNATURE)

(DEPT CLERK'S SIGNATURE)

図7.20 EIR(OUT) 廃プラスチック



上海航华国际船务代理有限公司
CHINA SAILING INTERNATIONAL SHIPPING AGENCY LTD.
集装箱发放/设备交接单

OUT

EQUIPMENT INTERCHANGE RECEIPT 2007/12/27 8030
NO.

用箱人/运箱人 (CONTAINER USER/HAULIER) 121 达威		提箱地点 (PLACE OF DELIVERY) 上海外高桥北一路90号	
发往地点 (DELIVERED TO)		返回/收箱地点 (PLACE OF RETURN) 上海外高桥北一路90号	
船名/航次 (VESSEL/VOYAGE NO.) SINGAPORE	集装箱号 (CONTAINER NO.) TCLU3594515	尺寸/类型 (SIZE/TYPE) 20 高	营运人 (CNTR. OPER.) HLS
提单号 (B/L NO.) 0011007100	铅封号 (SEAL NO.) 000000	免费期限 (FREE TIME PERIOD) 2007/12/27	运载工具牌号 (TRUCK, WAGON, BARGE NO.)
出场目的/状态 (PPS OF GATE-OUT/STATUS) 出场	进箱目的/状态 (PPS OF GATE-IN/STATUS) 进箱	出场日期 (TIME OUT) 月 日 时 分	进箱日期 (TIME IN) 月 日 时 分
出场检查记录 (INSPECTION AT THE TIME OF INTERCHANGE)			
普通集装箱 (GP CNTR)	冷藏集装箱 (RF CNTR)	特种集装箱 (SPECIAL CNTR)	发电机 (GEN SET)
正常 (SOUND)	正常 (SOUND)	正常 (SOUND)	正常 (SOUND)
异常 (DEFECTIVE)	异常 (DEFECTIVE)	异常 (DEFECTIVE)	异常 (DEFECTIVE)
坏记录及代号 (DAMAGE & CODE) UT 出场	凹 破 损 (BROKEN)	D 凹 损 (DENT)	DR 污 箱 (DIRTY)
		丢 失 (MISSING)	DI 污 迹 (DIRTY BEL)
左 侧 (LEFT SIDE)	右 侧 (RIGHT SIDE)	前 面 (FRONT)	后 面 (REAR)
顶 部 (TOP)	底 部 (FLOOR BASE)	集装箱内部 (CONTAINER INTERIOR)	
有异状, 请注明程度及尺寸 (REMARK)			
除列明者外, 集装箱及集装箱设备交接时完好无损, 铅封完整无误			

(1) 码头堆场

THE CONTAINER/ASSOCIATED EQUIPMENT INTERCHANGED IN SOUND CONDITION AND SEAL INTACT UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

用箱人 运箱人签署 (CONTAINER USER/HAULIER'S SIGNATURE) 码头值班员签署 (TERMINAL CLERK'S SIGNATURE) 堆场值班员签署 (DEPT. CLERK'S SIGNATURE)

图7.21 EIR(OUT) 铜スクラップ

2) 画像による照合記録

東京港と上海港でそれぞれ当該コンテナ車両に対しデジタルカメラで撮影した結果得られた画像照合データを表 7.25 と表 7.26 に示す。本照合データより、コンテナ番号が同一であり、また日時記録も適正であることから、適正に国際間移動がなされたことが証明された。

表7.25 東京港、上海港における画像照合結果（廃プラスチック）

	東京港	上海港
コンテナ番号		

表7.26 東京港、上海港における画像照合結果（銅スクラップ）

	東京港	上海港
コンテナ番号		

7. 5. 4 中国国内における移動の追跡・監視（入港地～中国国内一次処理先）

(1) 追跡・監視の方法

再生資源の入港地（上海港）から中国国内 1 次処理先までの移動に関して、以下の要領で追跡・監視を行った。

- A) GPS 測位機を当該運搬車両に取り付け、上海港から中国国内 1 次処理先までの移動経路の確認を行った。
- B) 上海港出発時において、当該運搬車両の画像をデジタルカメラで撮影、記録した。また中国国内 1 次処理先到着時に運搬車両及び対象物の個別梱包毎の画像を同様にデジタルカメラで撮影し、画像には日時も記録した。両

地点での画像照合による確認を行った。

- C) 中国国内 1 次処理先到着時に、当該運搬車両毎及び個別梱包毎の重量を計測し、計測結果の照合による確認を行った。
- D) 排出事業者発行の管理伝票に対し、上海港出発時及び中国国内 1 次処理先到着時にそれぞれの関係主体に記載してもらい、追跡確認作業を行った。
- E) 運搬車両のドライバーによる携帯電話での出発、到着連絡を実施した。上海港出発時にドライバーより 1 次処理先の管理者に対し携帯電話（ドライバー個人所有のもの）で連絡を入れてもらい、運搬車両の現在位置とその日時の管理を行った。

(2) 追跡・監視の結果

追跡・監視の実施により得られた結果を以下に示す。

1) GPS 測位機による移動経路の記録

上海港から中国国内 1 次処理先まで再生資源を積載したコンテナ車両に GPS 測位機を搭載し、取得した GPS 測位機の緯度経度情報を図 7.23、7.22 に示す通り、電子地図上に展開すると、上海港から中国国内 1 次処理先までの適正な運搬経路を確認することができた。この結果から、運搬車両が適正な経路を辿って移送を行ったことが証明された。中国の地図ソフトの精度は低いものの、移動経路の確認手段としては問題無いレベルであると考えられた。



図7.22 上海港～中国国内 1 次処理先までの経路（廃プラスチック）



図7.23 上海港～中国国内1次処理先までの経路（銅スクラップ）

2) 画像による照合記録

上海港から中国国内1次処理先まで運搬を行った車両(コンテナ車)に対し、再生資源を移動する前後で画像を撮影、記録した。上海港出発時点の画像と中国国内1次処理先到着時点の画像とを比較した結果、コンテナ番号、車両ナンバー、封印番号、背景及び日時の記録が照合でき、運搬車両が再生資源を適正に運搬したことが証明された。しかし銅スクラップの移動に関しては、一部、画像の撮り漏れ等が発生した。表7.27を例に廃プラスチックを撮影した画像の照合結果を示す。

また一次処理先到着後、車両に積載されていた個別梱包の画像を撮影・記録した。日本側輸出業者出発時に撮影した画像と照合した結果、管理番号、荷姿、背景及び日時の記録が照合でき、再生資源が全て適正に移動されたことが証明できた。表7.22、7.23に撮影した画像の照合結果の抜粋を示す。

表7.27 上海港～中国国内1次処理先における画像照合結果（廃プラスチック）

	上海港	一次処理先
コンテナ 車両番号		
コンテナ 番 号		
中 身		
封 印		

表7.28 個別梱包画像照合結果（廃プラスチック）（抜粋）

	輸出業者		東京港	上海港	一次処理先	
						
						
						
フレコンバック						
						
					□ ※ 管理番号札なし	
						
						

※管理番号タグが外れており、日本側輸出業者でのコンテナ積み込みの際に紐が切れて紛失したものと思われる。本荷物に関しては、フレコンバックに直に記載した管理番号のみで照合した。

表7.29 個別梱包画像照合結果（銅スクラップ）（抜粋）

	日本側輸出業者	東京港	上海港	中国側一次処理先
銅 ス ク ラ ッ プ				
				

3) 携帯電話利用によるドライバーからの出発確認

上海港から1次処理先に出発する前にドライバーから1次処理先の担当者に出発報告の電話を入れてもらった。1次処理先の担当者は電話連絡の入った時刻を記録しておき、ドライバーが管理伝票に記載した出発時刻との照合を後で行い、また到着時刻との整合性を検証した。その結果、時刻が照合でき、また運搬時間も適正であったことから再生資源の移動が適正に行われたことが確認できた。

4) 重量計測結果による照合

再生資源を運搬した車両（コンテナ車）及び車両に積載されていた管理対象荷物の個別梱包単位に関して、それぞれ台貫による重量計測を実施した。港での重量計測が実施できないことから、日本側輸出業者出発時点の計測結果と照合を行った。それぞれの計測値を比較した結果、運搬車両重量については、①廃プラスチックが0.02tの誤差、②銅スクラップが0.015tの誤差であった。誤差の範囲も大きくないことから、特段問題ないと判断された。①の結果を表7.30に、②の結果を表7.31に示す。運搬車両に積載された個別梱包単位の計測結果としては、一部荷物に若干の誤差が生じているものの、全て1%以下であることから、輸送物の紛失、盗難や不法投棄の発生もなく、適正な輸送であったことが証明された。また、1次処理先では小秤がなかったため、台貫で全ての管理対象荷物の重量計測を行った。表7.32、7.33に両地点での個別梱包毎の重量計測結果を示す。

表7.30 運搬車両重量照合結果（廃プラスチック） 単位：kg

	日本側輸出業者	中国側一次処理先
ネット重量	9,070	9,080
グロス重量	11,255	11,235

表7.31 運搬車両重量照合結果（銅スクラップ） 単位：kg

	日本側輸出業者	中国側一次処理先
ネット重量	9,200	9,200
対象物ネット重量	1,160	1,160
グロス重量	12,530	12,515

表7.32 個別梱包重量照合結果（廃プラスチック）

輸出業者 計量データ					一次処理先 計量データ				
入荷日	廃プラスチック 単位:kg				入荷日	廃プラスチック 単位:kg			
	梱包管理番号	ネット重量	風袋	グロス重量		梱包管理番号	グロス重量		
07-11-28	FEP1128	-01	403	2	405	07-12-21	FEP1128	-01	400
		-02	280	2	282			-02	280
		-03	395	2	397			-03	400
		-04	410	2	412			-04	420
		-05	405	2	407			-05	420
		-06	404	2	406			-06	400
		-07	397	2	399			-07	400
		-08	380	2	382			-08	380
合計		3,074	16	3,090	合計			3,100	
07-11-30	FEP1130	-01	303	2	305	07-12-21	FEP1130	-01	320
		-02	445	2	447			-02	460
		-03	304	2	306			-03	300
		-04	396	2	398			-04	400
		-05	429	2	431			-05	440
		-06	261	2	263			-06	260
		-07	389	2	391			-07	400
		-08	317	2	319			-08	320
合計		2,844	16	2,860	合計			2,900	
07-12-3	FEP1203	-01	371	2	373	07-12-21	FEP1203	-01	300
		-02	396	2	398			-02	400
		-03	394	2	396			-03	400
		-04	390	2	392			-04	400
		-05	371	2	373			-05	380
		-06	393	2	395			-06	400
		-07	394	2	396			-07	400
		-08	378	2	380			-08	380
合計		3,087	16	3,103	合計			3,060	
総合計		9,005	48	9,053	総合計			9,060	

注) 計量データに関しては、小秤がなく、トラックスケールで計量したため、詳細な数字ではない。トラックスケールは20kg刻みに計量（表示）できる。

表7.33 個別梱包重量照合結果（銅スクラップ）

輸出業者 計量データ				一次処理先 計量データ			
出荷日	銅スクラップ(異物付) 単位:kg			入荷日	銅スクラップ(異物付) 単位:kg		
	梱包管理番号	ネット重量	風袋		グロス重量	梱包管理番号	グロス重量
07-12-05	FEM1128 -01~02C	545	3	548	07-12-28	FEM1128 -01~02C	540
合計		545	3	548	合計		540
07-12-05	FEM1130 -01~02C	420	3	423	07-12-28	FEM1130 -01~02C	440
合計		420	3	423	合計		440
07-12-05	FEM1203 -01C	192	3	195	07-12-28	FEM1205 -01C	180
合計		192	3	195	合計		180
総合計		1,157	9	1,166	総合計	□	1,160

注) 計量データに関しては、小秤がなく、トラックスケールで計量したため、詳細な数字ではない。トラックスケールは 20kg 刻みに計量（表示）できる。

5) 管理伝票による追跡確認

日本側排出業者から中国国内 1 次処理業者までの各移動ポイントで、それぞれの関係主体より管理伝票への記載をお願いした。その結果、全てのポイントで各関係主体より適正に記載がなされており、再生資源の中国側 1 次処理業者までの移動が適正に行われたことが確認できた。

7. 5. 5 中国国内一次処理先におけるマテリアルバランスの検証

中国国内 1 次処理先にて、搬入された各再生資源の処理（解体・選別）が行われた。その結果得られたマテリアルバランス（素材別重量構成比）を表 7.34 と表 7.35 に示す。

表7.34 マテリアルバランス（廃プラスチック）

No.	素材品目	重量(kg)	構成比(%)
1	プラスチック(ペレット)	1,780	19.65%
2	プラスチック(フレーク)	7,140	78.81%
3	残渣	140	1.55%
	合計	9,060	100%

表7.35 マテリアルバランス（銅スクラップ）

No.	素材品目	重量(kg)	構成比(%)
1	銅屑	660	55.93%
2	黄銅屑	320	27.12%
3	鉄屑	20	1.70%
4	残渣	180	15.25%
	合計	1,180	100%

7.5.6 「産業廃棄物追跡管理システム」を用いた情報共有

取得した画像、GPS 運行軌跡、台貫計量等に関するデータを1次処理先の現地作業員に「産業廃棄物処理過程追跡管理システム」へのデータ入力、添付作業を頼んで、現地作業員のITリテラシーに関する検証を行った。その結果、問題なくスムーズに情報のアップデートができ、ASPシステムの導入において作業面での可能性が確認された。得られた詳細情報画面（マニフェスト詳細画面）の抜粋したものを図7.24、7.25に示す。

また、今回の試験では、中国一次処理先の作業員を対象に安全な作業方法等の事前教育・研修を行い、産業廃棄物追跡管理システムの使い方等を教わったことを前提としている。また、今回の試験で使用した「産業廃棄物処理過程追跡管理システム」は日本語バージョンのみとなっており、今後中国語バージョンの作成が必要と考えられる。

第7章 日中間を対象とした国際資源循環システムの実証

最終処分の場所	
委託契約書に記載のとおり	
収集運搬情報（区間1）	
運搬事業者	運搬先の事業場
運搬担当者 車両番号	運搬先区分 積替・保管施設 運搬方法 車両
>> 運搬時えころび画像(9)	
収集運搬情報（区間2）	
運搬事業者	運搬先の事業場
運搬担当者 車両番号	運搬先区分 積替・保管施設 運搬方法 車両
>> 運搬時えころび画像(1)	
収集運搬情報（区間3）	
運搬事業者	運搬先の事業場
運搬担当者 車両番号	運搬先区分 積替・保管施設 運搬方法 船舶
>> 運搬時えころび画像	
収集運搬情報（区間4）	
運搬事業者	運搬先の事業場
運搬担当者 車両番号	運搬先区分 処分(中間・最終) 運搬方法 車両
>> 運搬時えころび画像(1)	
処分情報	
処分事業場	処分方法 選別
>> 処分時えころび画像(7)	

図7.25 詳細情報画面(2)
 (日本側排出企業～中国側1次処理先：廃プラスチック ※抜粋)

7. 6 国際静脈物流におけるトレーサビリティツールの有効性の検証

バラ積み船およびコンテナ船の2つの実証試験を通して、各種トレーサビリティツールの実用性評価を行った。コストと効果に加え、現在及び将来のIT利用状況なども鑑みて、導入実現性の観点からそれぞれの検証を行った。その結果を以下に示す。

7. 6. 1 トレーサビリティツールの費用対効果の検証

日本国内では、GPS 測位機、RFID タグ、バーコード、デジタルカメラ等は動脈物流における管理システムとして活用されており、認知度も高い。一方、静脈物流向けに関しては、動脈に比較してIT化が不十分であり、コスト負担が増加することもあり、導入企業は少ない。今後の普及については、技術革新等によりハードウェアが廉価で購入できる環境が整う必要がある。また、中国国内で有価物として流通している再生資源に関しては、不法投棄されにくいため、流通時の厳重な管理は不要という考え方もある。

このため、国際資源循環管理システムの構築、普及に際して、コスト負担が大きな障害になることが想定される。したがって、トレーサビリティシステムの導入に関して、コスト面からも十分な検証を行うことが重要である。参考のために表7.36に一般的に想定できる範囲で評価したものを示し、ツールごとの個別評価を以下に示す。

表7.36 各ツールの費用対効果

No.	ツール	特徴	コスト	効果
1	RFID 機器	積替え状況（日時、場所、担当等）の管理	高	低
2	GPS 測位機	運搬経路の把握、管理	中	高
3	デジタルカメラ	積替え状況、積荷の把握、管理	中	高
4	携帯電話	移動状況の把握、管理	中	中
5	計量	計測重量の把握、管理	低 [※]	中
6	伝票	内容の管理	低	低
7	EIR	国際間移動の情報管理	低	低

※既存の設備投資として台貫が導入されていることが前提

1) GPS 測位機

GPS 測位機自体にかかるコストは、機器の購入費と、電源供給にかかる電池購入費および地図ソフト購入費となる。しかし、恒常的にGPS 測位機を車両に搭載するのであれば、車両から電源を確保可能な型式を購入することで、ランニングコストは考慮の必要がなくなる。現在、中国国内で購入可能なGPSは日本円換算で1台5~6万円程度であり、搭載する車両台数分の費用を必要とする。初期費用は高額となることも考えられるが、陸上輸送の管理においては非常に

効果が高く、基本的には採用の方向で検討すべきと考える。

ただし、中国では現在市販されている地図ソフトは道路情報等が少なく簡易的なものが多く、表示精度等にやや難がある。詳細なものは非常に高額のため、運用上取り入れていくことは難しいとされる。現状の表示レベルで運用を行いつつ、中国側の地図ソフトの充実や価格低減の動向に応じて対応を取る必要がある。

2) デジタルカメラ

デジタルカメラ自体にかかるコストは、購入費以外はバッテリー充電にかかる電気代程度であり、負担は大きくない。しかし、陸上輸送においては、車両1台ごとに撮影を行うことになるため、搬出場所で1名、搬入場所で1名、計2名の作業コスト（人件費）が発生する。日本国内、中国国内で人件費が異なり、また、個人や会社によってもばらつきがあるため、現段階では正確なコストの算出は難しい。しかしながら、少なくともバラ積みの陸上輸送において画像撮影は適正な運搬管理を行う上で効果が高いことが判明しており、トレーサビリティを行うためのツールとして必須であると考えられる。

3) 携帯電話

現在、中国国内において携帯電話の普及率が高くなっていること、また、現状の運搬における連絡手段として日常的に運転手の個人所有の携帯電話が利用されていることを鑑みて、携帯電話の購入費用は考慮しなくてもよいと判断する。したがって、携帯電話にかかるコストは通話料のみとなる。

4) RFID タグ

動脈物流においては、入荷年月日、製造年月日等のデータの履歴管理を行うことで、各種在庫管理、物流管理等に効果的に利用されている。一方、静脈物流においては、管理対象物の重要性の度合いで利用価値が異なってくる。

静脈物流の管理においては、上記データの履歴管理を行うだけでは、効果は限定される。RFID タグのデータへ運搬する貨物に一意のコードナンバーを付し、日本側の排出会社と受け入れる中国側一次処理業者を特定可能な情報データを書き込むことで、追跡管理として非常に有効となる。さらに、RFID 機器により、RFID タグの読み込み、既存データとの照合（内容、数量等）を短時間で確実に行うことで業務の効率化につながる。

したがって、単品管理が不可能なバラ積み運搬においては RFID タグを使用した運用が困難であるが、コンテナ輸送においては高レベルの物流管理が可能となる。RFID への書き込みデータの一例を図 7.26 に示す。しかし、現状のタグ1枚あたりの価格は100円前後と高く、コストパフォーマンスの面から採用は難しいといえる。

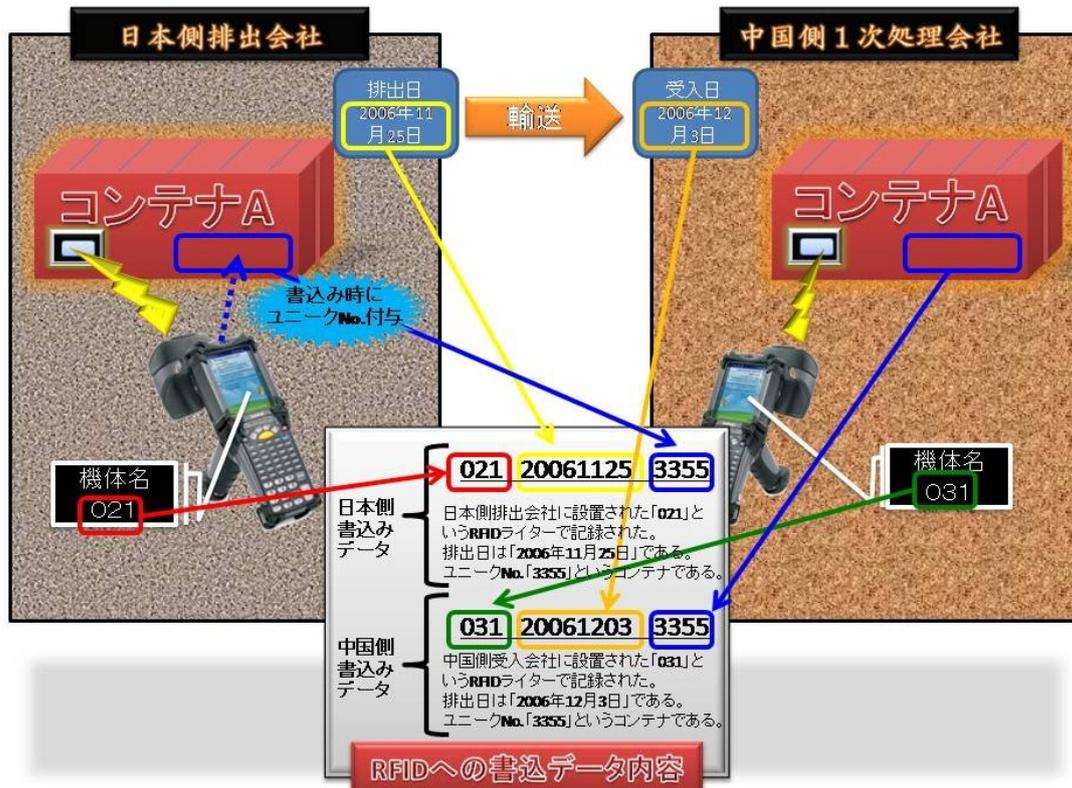


図7.26 RFID への書込みデータ内容の例

5) 管理伝票

伝票に関しては、印刷・製本費を算出しなければならないが、どの区間でどのような様式（複数綴りであるか1枚であるか等）を使用するかによりコストも異なる。しかし、他のシステムと比較して安価であることは確実で、また、リテラシー面での要求度も低い。追跡管理面での効果は限られるものの、導入に対して大きな問題もないと考える。

6) EIR

EIR の原本は海上輸送の引き継ぐ際に発行される受取（日本側）と受渡（中国側）の2枚である。現状、既に発行されているものであるため、追加的な費用はほとんどかからず、通常運用程度である。その他の費用は、管理用複写代のみであり、費用対効果に優れる手段であるといえる。海上輸送の管理伝票のひとつとして活用できる。

7) 台貫

計量に関しては、現状、全測量ポイントに台貫が設置済みであり、計量を行うこと自体も慣習化していることから、設備購入等のインシヤルコスト、作業人件費のランニングコストともに考慮する必要はないと考える。

7. 6. 2 トレーサビリティツール使用上の留意点と検証結果

1) GPS による運搬経路の把握

日本側排出から中国側2次処理先まで再生資源を積載した車両にGPS測位機を搭載し、1分毎に取得した日時、緯度、経度の位置データを電子地図上に展開すると、適正な運搬経路を辿って移送されたことが確認できた。中国では安価で入手可能な地図ソフトの精度は低いものの、移動経路の確認手段として十分可能だと考えられる。また、日本側港では搬入受付時間が決まっているため（通常17:00で終了）、出発時間など、十分なタイムマネジメントが必要である。当日に間に合わず翌日搬入する場合、運送会社の倉庫に到着した時点で画像撮影、GPS電源切りの作業を行い、翌日出発時に再び画像撮影、GPS電源入れの作業を行うなど事前のルール設定が必要である。試験運用の結果より特に留意すべき点を以下に示す。

① 電源の確保

市販のGPS測位機の場合、乾電池または車両に据付のシガー・ソケットからバッテリー電源を確保する必要がある。アイドリングストップの都度電源供給が途絶えることがある。長時間を要する海上輸送においては、乾電池による電源供給では電池切れにより運搬途中からデータの取得が不可能となる。このため船舶から有線接続にて電源を確保することが有効となるが、船舶運航会社の協力を得なくてはならないことや、GPS測位機自体の紛失・盗難に対策が必要なのが課題として挙げられる。

② 車両積み替え時の取り扱い

中国の物流システムにおいて、途中で車両間の積み替えが発生する可能性がある。大都市圏発便の輸送においては比較的容易にGPSを車両に搭載することが可能であるが、車両積み替え後の車両に関しては、GPS付け替えの協力を得ることに困難が想定され、本システムの導入にあたり、コンソーシアムスキームの中で中国側輸送業者との事前調整を図ることが望ましい。

③ 測位結果データの回収

このスキームを恒常的に中国内で行う場合、取得したデータの回収も課題として挙げられる。現地業者がGPS測位機からデータを取り出し、情報共有するためASPシステムにアップロードするために相当なスキルが必要となり、現地業者へ徹底的な教育を導入初期に行い、確実にオペレーションを行えるようにする必要がある。また、GPS測位機にて記録されたデータ形式も製造メーカーにより異なるため、採用するGPS測位機を統一することで読み取り時のコンバートの必要性を避けることを推奨する。

2) RFID 適用の検証結果

小型化、非接触等のメリットがあるRFIDの適用を検討してみる。リーダーの番号、読み込み日時とユニークNo.といった特定可能なデータ情報を日本側で事前書き込み、中国側一次処理先で読み取って照合作業を行った。その結果、バラ積み船の場合、大型サイズのタグ貼付対象物しか特定できず、単品管理は不適だと思われるが、特別に管理する価値のあるものに対しては有効であ

ると考える。コンテナ輸送においては RFID による追跡管理は非常に効率的で有効であることが確認できた。ただし、タグのコストは1枚80円前後と比較的に高い。ミックスメタル等に使用する時の電波干渉を避けたり、雨天時の使用を考慮したりすると、対金属性タグや防水用タグが必要となり、さらにコスト増につながる。また、現場作業員の IT リテラシーによって作業マニュアルの作成や事前教育が必要となる。

なお、リーダー・ライターは据え置き型のもの、ハンディターミナルのもの等があり、使用環境によって適切な選定と取り扱いが必要となる。少数の特別管理対象物についてはハンディ型の方が便利であるが、大量で特定荷姿のものに対しては非接触機能を生かし、大型アンテナを立てて複数同時読み取りを行って効率の向上を図る必要がある。そのためにリーダー・ライターやアンテナの仕様の選定、アンテナの設置箇所、シナリオ設定のための荷姿の特定等を検討し、更なる RFID を活用した静脈物流システムの研究開発が求められる。

3) 画像撮影の検証結果

画像撮影を行って照合作業を行った結果、再生資源を運搬する車両のナンバー、車種、運び出す場所、搬入した場所、封印、および資源化物の処理状況を特定できるよう確実に画像の撮影を行うことができれば、画像内容の比較・照合を行うことで、適正な運搬が行われたことを証明するツールとなり得ることが分かった。撮影機械によって撮影日時を画像にプリントできるものが一般的であり、日時の管理にも十分活用できる。特に車両の運搬に関して、搬出日時と搬入日時を記録することで運搬にかかった時間も算出可能になる。さらにほかのツールで得られた日時情報との整合性を確認することで、適切な運搬、処理を証明するツールとして有効であることを確認できた。ただし、撮影枚数が荷物の数によって大量になり、情報共有システムにアップロードするのに莫大な手間がかかることになる。また、システムサーバーの容量を考慮して画像解像度の最適化も必要である。これを解決するためには、サンプリングして検証を行うことが考えられるが、確実に情報を抑えたい場合には、静脈物流上の用途に合わせて専用デジカメの開発が必要となる。すでに、通信機能付きデジカメの開発と応用に関する先行研究⁷⁻¹²⁾が行われており、ハード面における技術力の向上による効率化が期待される。

4) 携帯電話活用の検証結果

今回ドライバーからの携帯電話による発着連絡を実施した結果、ドライバーの現在位置と運搬状況を確認できた。運搬途上においてポイント毎に実施すれば簡易的な移動管理も実施可能だと考える。ただし、基本的に人が行う作業であり、信頼性の部分から確実な把握とはいえないが、中国内では携帯電話の普及やネットワークインフラの整備も進んでいることから手軽に利用できる状況にある。なお、緊急時の連絡にも必須なアイテムである。

今の時代の携帯電話は撮影機能、通信機能、さらに GPS 機能も簡単に搭載することが可能である。実際に携帯電話を活用した農作物トレーサビリティシス

テム開発⁷⁻¹³⁾の先行研究が行われている。Java アプリケーションによる入力送信システムの作成、データ蓄積機能等の IT を駆使して静脈物流専用携帯電話といったハード的な技術開発を行うことで作業効率の向上を図ることができる。

5) マテリアルバランス（素材別重量構成）の検証

1 次処理先における選別・出荷記録を入手し、今回バラ積み船で輸出した再生資源全量についてのマテリアルバランス（素材別重量構成）として取りまとめた。①日本側の追跡開始場所での計測重量は 724.38 t であり、②中国側 1 次処理先での選別・出荷後のトータル重量である 725.34 t と比較すると、両計測値の差は 0.96 t であり、誤差は 0.13% と非常に小さなものであった。さらに①から②の移動において重量の減少が無かったことから、輸送物の紛失、盗難や不法投棄の発生もなく、適正な輸送であったことが証明された。また、再生資源の品質面でのチェック機能としても有効であることを確認できた。

6) 取得した情報の共有化

各種トレーサビリティツールで取得した情報を一元化管理を行い、システム利用者をはじめ、第三者評価機関および国内外の行政機関等のステークホルダーへ迅速に共有化させる方法として、ASP システムが最適だと考えられる。ASP とはアプリケーションソフトをインターネットを通じて顧客にレンタルする事業者のことである。ユーザは WEB ブラウザを使って個人の PC にソフトをインストールせずにアプリケーションを利用できるシステムとなっている。このためソフトの定期アップデート等の作業も ASP 事業者の方で実施することにより、多数のユーザが広範囲での使用に便利である。

今回はアースデザインインターナショナル(株)の協力を得て既存の ASP システムである「産業廃棄物追跡管理システム」を用いて実証試験を行った。当ソフトは日本国内で利用されている産業廃棄物管理票（マニフェスト）の項目に準拠している。管理伝票の区間毎に画像や GPS データを添付して、適切な運搬・取り扱いとなっているか、管理伝票の情報が実際の物流と整合性がとれているかを画像や GPS データ等との照合で検証を行った。また、当システムは日本語バージョンのみとなっており、中国側においてはデータアップロードに関する作業マニュアルを作成し、研究スタッフ立会のもとで試験を行った。その結果、日中両方とも効率的な情報管理・共有ができて、ASP システムの有効性を検証することができた。また、図 7.27 に示すように、ASP システムに登録した情報を CSV ファイルとして出力する機能を備えているため、簡単にデータベース化することができる。

今後収集データの分析上の利便性を考慮した DB フォーマットの設計を行って、日中資源循環専用 ASP システムの開発が求められる。さらに中国語バージョンを備えたシステム開発で現地作業員への事前教育をしっかりと行った上で効率的な情報共有システムの実現を期待できる。

	E	I	J	R	S	T	U	V	X	AO	AP	BO
1	交付番号	引渡日	引渡時間	排出事業者名称	排出事業	排出事	排出事	排出事	排出事業	廃棄物種類名	廃棄物数量	運搬事業者名称
2	20071203002	20071203	1155		100-0011	東京都				金属くず	434	
3	20071203001	20071203	1202		100-0011	東京都				廃プラスチック類	3103	
4	20071130002	20071130	1105		100-0011	東京都				金属くず	913	
5	20071130001	20071130	1400		100-0011	東京都				廃プラスチック類	2868	
6	20071128002	20071128	1053		100-0011	東京都				金属くず	1067	
7	20071128001	20071128	1023		100-0011	東京都				廃プラスチック類	3100	

図7.27 データベースのインターフェース

7.6.3 各種トレーサビリティツールの実効性評価

国際資源循環管理システムにて導入するトレーサビリティシステムの選択にあたり、各ツールの実用性について検証を行う必要がある。表7.37に各ツールの管理特性を示した。さらにその結果を踏まえ、表7.38にて各移動ポイントと経路における実用性の評価を示した。

表7.37 各トレーサビリティツールの管理特性
(○：有効、△：可能、×：不可)

	RFID タグ	GPS 測位機	デジタル カメラ	携帯電話	台貫	EIR	管理 伝票
日時の証明	○	○	△	△	△	△	△
適正経路の 軌跡取得	×	○	×	△	×	×	×
運搬容器の 密閉性証明	×	×	○	×	△	△	×
出発地・受入 地特定情報	○	○	△	△	△	○	△
内容物紛失 の確認	×	×	△	×	○	○	×
緊急時対応	×	×	×	○	×	×	×

表7.38 各移動ポイントと経路におけるトレーサビリティツール実用性評価
(○：有効、△：可能、×：不可)

		GPS 測位機	デジタ カメラ	RFID タグ	携帯電 話	台貫	EIR	管理 伝票
集荷ヤード		○	○	△	×	○	—	○
陸路運搬		○	×	—	×	—	—	—
出港地 (日本)	入	○	○	△	×	×	○	○
	出	×	○	△	×	△	○	○
航路運搬		×	×	—	×	—	○	—
入港地 (中国)	入	×	○	△	×	×	○	○
	出	△	○	△	○	○	○	○
陸路運搬		△	×	△	○	—	—	—
中国側 1次 処理先	入	△	○	△	○	×	—	○
	出	△	○	×	○	○	—	○
陸路運搬		△	×	×	○	—	—	—
中国側 2次 処理先	入	△	○	×	○	△	—	○
	出	—	—	—	—	—	—	—

上記各評価より、各ツールを単独で使用しても、ある程度の追跡管理は可能であると考えられるが、国際間の資源循環という点を鑑みると、2種類以上の管理手法を実施することが望ましい。ハードウェアの故障等も考えた場合、リスクヘッジにもなり、またそれぞれのツールの不足部分を補完し合うことで、より確実性の高い追跡管理システムが実現できると考える。そこでさらにトレーサビリティシステムの組み合わせごとにコスト、追跡管理効果を検証し、それを踏まえた実用性評価を表7.39（バラ積み船輸送の場合）、表7.40（コンテナ船輸送の場合）に示す。

表7.39 各ツールの組合せによる実用性評価 ※バラ積み船輸送の場合
(◎：有効 ○：可能 △：困難)

No.	R F I D タ グ	G P S 測 位 機	デ ジ タ ル カ メ ラ	携 帯 電 話	計 量	伝 票	管理概要	コ ス ト	効 果	実 用 性
1	○	○					積替え日時の履歴管理＋移動経路	高	中	△
2	○		○				積替え日時の履歴管理＋積替え状況管理	高	中	△
3	○			○			積替え日時の履歴管理＋移動状況管理	高	中	△
4	○				○		積替え日時の履歴管理＋計測重量管理	高	中	△
5	○					○	積替え日時の履歴管理＋内容の管理	高	中	△
6		○	○				移動経路＋積替え状況管理	中	高	◎
7		○		○			移動経路＋移動状況管理	中	中	○
8		○			○		移動経路＋計測重量管理	中	中	○
9		○				○	移動経路＋内容の管理	中	中	○
10			○	○			積替え状況管理＋移動状況管理	中	中	○
11			○		○		積替え状況管理＋計測重量管理	中	中	○
12			○			○	積替え状況管理＋内容の管理	中	中	○
13				○	○		移動状況管理＋計測重量管理	低	低	△
14				○		○	移動状況管理＋内容の管理	低	低	△
15					○	○	計測重量の管理＋内容の管理	低	低	△

表7.40 各ツールの組合せによる実用性評価 ※コンテナ船輸送の場合
(◎：有効 ○：可能 △：困難)

No.	RFIDタグ※	GPS測位機	デジタルカメラ	携帯電話	計量	伝票&EIR	管理概要	コスト	効果	実用性
1	○	○					積替え日時の履歴管理+移動経路	高	中	○
2	○		○				積替え日時の履歴管理+積替え状況管理	高	中	○
3	○			○			積替え日時の履歴管理+移動状況管理	高	中	○
4	○				○		積替え日時の履歴管理+計測重量管理	高	中	○
5	○					○	積替え日時の履歴管理+内容の管理	高	中	○
6		○	○				移動経路+積替え状況管理	中	高	◎
7		○		○			移動経路+移動状況管理	中	中	○
8		○			○		移動経路+計測重量管理	中	中	○
9		○				○	移動経路+内容の管理	中	中	○
10			○	○			積替え状況管理+移動状況管理	中	中	○
11			○		○		積替え状況管理+計測重量管理	中	中	○
12			○			○	積替え状況管理+内容の管理	中	中	○
13				○	○		移動状況管理+計測重量管理	低	低	△
14				○		○	移動状況管理+内容の管理	低	低	△
15					○	○	計測重量の管理+内容の管理	低	低	△

※RFID タグ:コンテナ自体、またはコンテナ内部が単品管理可能な個別梱包の場合の管理には可能(○)、その他の荷物の管理には無効

7.7 まとめ

第6章で開発した国際資源循環管理システムの実証研究として、本章では、開発したシステムの検証および日中間において運用する際の課題抽出や実運用に向けた検討を目的に、日中間を対象に銅スクラップ、ミックスメタルと廃プラスチックを対象とした、バラ積み船とコンテナ船による国際資源循環管理システムの実証試験を行った。

今回の実証試験では、まず実証試験の事前調査として中国における E-Waste を含めた関連品目の法規制の動向および循環資源の輸入手続きフローに関する現状調査を行い、中国内での法規制の状況を明確にした。

また今回の試験では、国内外の関係主体がコンソーシアムを形成して取り組んでいるため、SCの構築は円滑に進めた。各種トレーサビリティツールの国際的な静脈物流への適用性の検証に位置づけ、すべて汎用型ツールを用いた実証とした。その結果、国際資源循環システムの各段階におけるツールそれぞれの運用手順を整理し、留意点と課題を洗い出し、その対策を提示した。ここで、両国にわたる多数の主体企業が存在しているなかで、トレーサビリティツールの機能を十分に発揮するために、たとえば、RFID とリーダー、GPS 受信機、さらには使用する ASP システムへのアップロードするデータの形式等の統一性が求められる。また、日中間の言葉の統一、または書類等の中国語への対応等が必要である。また、システム全体としてコストの低減や作業効率性の向上を図る必要があり、現時点では民間ベースにおいて実際の導入までは、まだ研究開発に時間を要すると考えられるが、各種ツール適用の有効性を確認でき、今後の研究方向性を明確化させた。

さらに、取得した情報の効率的な共有・管理方法として ASP システムの導入試験を行った。中国側においてはデータアップロードに関する作業マニュアルを作成して、現地作業員に対して事前研修を行い、かつ研究スタッフ立会のもとで試験を行った。その結果、日中両方とも効率的な情報管理・共有ができて、ASP システムの有効性を検証することができた。また ASP システムに登録した情報を CSV ファイルとして出力する機能を備えているため、簡単にデータベース化することが可能であることを確認できた。今後収集データの分析上の利便性を考慮した DB フォーマットの設計を行って、日中資源循環専用 ASP システムの開発が求められる。さらに中国語バージョンを備えたシステム開発で現地作業員への事前教育をしっかりと行った上で効率的な情報共有システムの実現を期待できる。

以上の研究より得た知見から日中間において現段階で実施可能な資源循環システムのモデル⁷⁻¹⁴⁾を図 7.28 に示した。

IC タグ・バーコードでの情報管理は日本国内ならびに中国でも十分有効であるが、コスト面であるべくこれらは使用しない形で信頼性を確保するモデルとしている。また、GPS の使用区間も、海上輸送時は電源確保の問題から使用しないこととし、国内の輸送と中国国内の港湾から 1 次処理先までと、汚染性の高い残渣等について付与することが望ましいといえる。また、重量や画像データについてはデータ量が多くなると、作業上の手間と管理上の手間が大きくな

第7章 日中間を対象とした国際資源循環システムの実証

るため、コンテナ・トラック単位での管理を行うか、サンプリングによって一部のものに対してのみ実施するといった管理に留める必要があると言える。

本実証を経て、実運用までのシステムの効率化・高度化の必要性和数々の課題が抽出され、適性な国際資源循環システムの形成に向けては、本研究はまだ初期段階にあるといえる。今後中国に進出している日系企業をはじめ、本システムの導入や実運用を通してシステムの高度化に関する研究が期待される。なお、本研究は経済産業省の委託研究として行われており、その成果を報告書^{7-15~17)}およびトレーサビリティを確保した資源循環ネットワークの構築のための実施マニュアル⁷⁻¹⁸⁾としてまとめられ、日中両国において国際資源循環の推進活動を行っている。

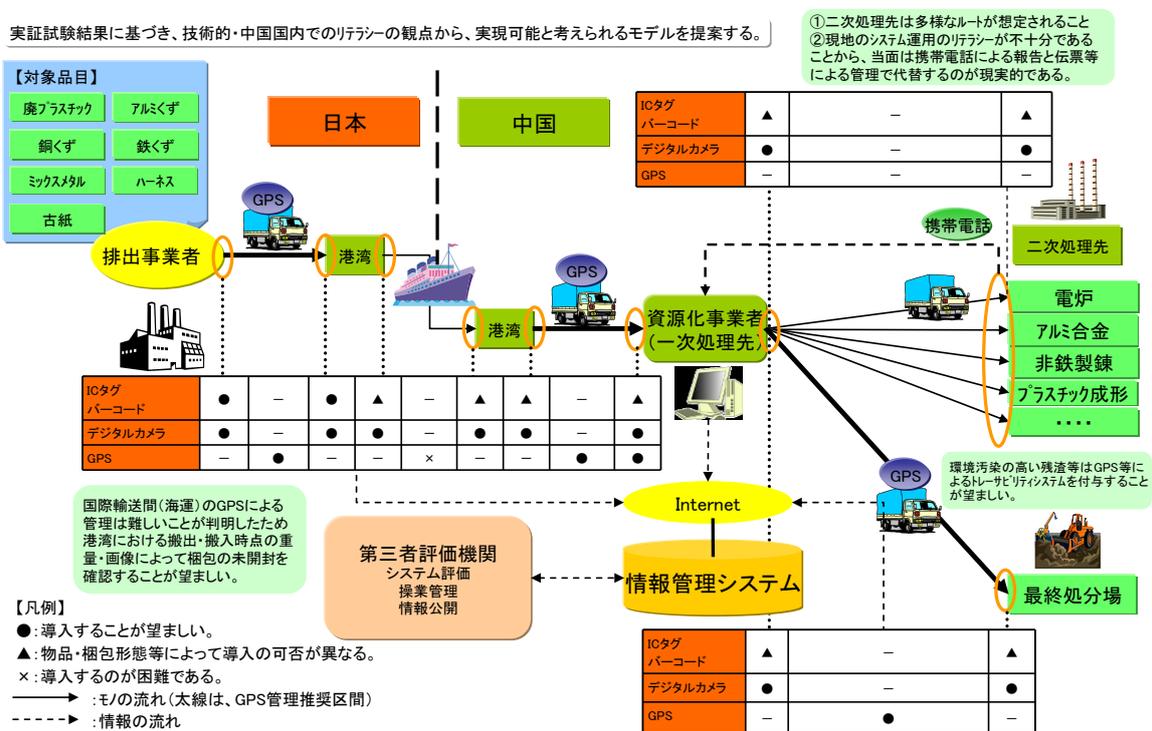


図7.28 提案する日中国際資源循環システムモデル

第 8 章

結論および今後の展望

第 8 章 結論および今後の展望

8. 1 結 論

本研究はまず、廃棄物処理や資源循環の広域化・国際化の意義を的確に評価するために、環境・経済両面を考慮した Best Available System 評価手法の開発を行った。また開発した手法を用いて処理対象物の種類に応じて、その広域化のあり方を検討・整理し、とくに希少性・有害性廃棄物の広域的な資源循環システムのモデル構築を行った。また、長距離静脈物流における海上輸送のあり方の検討としてリサイクルポートでのトレーサビリティの実現に向けた検討を行った。さらに海外へ展開する場合を想定して、トレーサビリティを核とした国際資源循環情報管理システムを開発するとともに、日中間を対象とした実証試験を行った。以上を通して日本からアジア圏までの適正な広域資源循環システムのあり方を明確にすることを試みた。

以下に本研究で得られた知見を整理する。

8. 1. 1 環境性・経済性の両者を対象とした BAS 評価手法の開発

LCA・LCC 的な手法を導入して、一般廃棄物処理システムにおける環境性・経済性の両者を対象とした BAS 評価ツールの開発およびその検証を行った。

- ・ 廃棄物処理システムを対象として収集・回収から多方式の焼却処理、焼却残さの処理、破碎等の中間処理を経て最終処分までを評価可能な環境性・経済性の BAS 評価手法の開発を行った。
- ・ 環境負荷の推定に関しては、統合化指標 ELP を活用することで、単一指標のみではなく 9 つのインパクトカテゴリーを統合的に評価可能であり、各段階におけるトレードオフの解消を実現できる。コストの推定に関しては、LCC の考え方にもとづき、実績値と推定値を用いて評価可能な設計としている。
- ・ BAS の中核部分となる中間処理等の評価に関しては、プラントメーカー 14 社から施設別・規模別の性能・環境情報をベースに、各社専門家集団によるブレインストーミングによって、単純焼却や焼却発電、ガス化溶融、灰溶融、溶融飛灰の山元還元、灰水洗、破碎等の中間処理に関するライフサイクルインベントリーデータベースを構築した。
- ・ この DB を活用することによって、新設や計画に当たっての推定評価が可能となる。施設の実態評価では、実績値の活用も可能であり、高度な評価が可能となる設計としている。
- ・ 収集・回収の評価に関してはグリッドシティモデルの導入を検討し、シミュレーション精度の向上を図った。
- ・ また、BAS 評価ソフトの評価項目は環境省「一般廃棄物処理システムの指針（平成 19 年 6 月）」⁸⁻¹⁾との整合性を項目別に比較し、対応状況及び対応の可能性について検討した。その結果、適用範囲については、環境省の定める範囲は本ソフトでは網羅していることがわかった。

- ・ さらに、一般の消費者や企業、自治体にも広く LCA を知って頂くため、これまでの研究成果を有効に環境教育の面でも活用されるように、その普及に向けた努力として、開発した BAS 評価手法をパッケージングして、一般廃棄物処理の評価ソフトウェア「BAS for WM」の開発を行った。

自治体が処理システムの具体的な改善策の検討において、工程別に環境負荷・経済効果を把握することが重要であるといえる。今までの研究で環境負荷の低減策を検討した結果、その導入により一定の効果が見込まれるものの、コストの負担はほとんど増加する傾向が示されている。これは概念的には理解されている事項といえる。しかしながら、こうした点を定量的に把握することに意義があり、循環型社会の高度化を目指すにあたって極めて重要であると考えられる。また、自治体財政が逼迫されるなかで、環境負荷の削減とコストの削減が両立できないのは重要な課題である。循環型社会の構築を目指すなかで、社会コストミニマムでいかに BAS を実現するかを真剣に議論していかなければならない。こうした検討はなるべく計画の初期の段階から実施していくことが望ましい。一般廃棄物処理システムの改善は、一定期間の議論を経て、検討されるべきものである。数ある評価軸のひとつとして LCA 的なアプローチが採用され、意思決定を支援するツールとして、こうした評価手法が確立されていくことを期待したい。

8. 1. 2 一般廃棄物の国内レベルでの広域的な資源循環システムの検討

開発した BAS 評価ソフトを用いて、千葉県3市と三重県をモデルとして一般廃棄物処理システムの現状評価と最適化処理方式・シナリオの検討を行うとともに、BAS 評価ソフトのデータベースによるデフォルト値による評価の有効性を検証した。

- ・ 千葉県市川市とその近隣の船橋市、松戸市をモデルとして、処理現状のごみ収集・回収、中間処理、資源化、最終処分の各工程及び処理システム全体の LCA 評価を実施し、各市の評価結果を比較しながら考察した結果、環境負荷を低減させるには、ごみの排出量を低減させることが最も効果的であることが確認できた。
- ・ また、ELP の工程内訳で見ると、各市ともに焼却処理工程における割合が最も大きいことがわかる。次いで最終処分工程となっている。よって、ごみ排出量の低減の次に重要となってくるのは、焼却量を削減するために、紙類、プラスチック類の分別を推進することや、厨芥類を分別処理することと、焼却灰を熔融処理し、熔融スラグの有効利用を行うことであると言える。
- ・ 市川市を対象に BAS 評価を実施し、中間処理方法の変更によるケーススタディを行い、現状と比較した場合の環境負荷、コストの変化を定量的に示した。
- ・ その結果、ガス化熔融プラスチック山元還元の場合が費用対効果の面で一番

有効であることがわかった。また、資源回収量としては溶融スラグの割合が回収量増大の要因となっていることがわかった。

- また、灰溶融、ガス化溶融およびバイオガス化施設等の新技術の導入シミュレーションにより、環境負荷の削減効果が得られることがわかったが、いずれもコスト増の結果となっている。
- 費用削減の検討として広域灰溶融のシミュレーションを行った結果、広域することによって約 6%の費用削減効果が得られた。
- 広域灰溶融処理の先進事例として、三重県環境保全事業団での処理を対象に実績データにもとづいた評価を行い、広域灰溶融の有効性の検証を行った。
- 三重県環境保全事業団における灰溶融施設のインベントリと経費のデータを入手し、ELP 評価と処理コストを算出した。
- ケーススタディを通して、現状の広域灰溶融を実施する場合と、個別に灰溶融炉を導入する場合のシミュレーションとの比較を行い、広域連携によって ELP で 9.8%、経費で 27.7%の削減効果が得られることがわかった。現行の広域灰溶融処理の有効性を検証できた。
- 以上の検討の結果、実績値・デフォルト値の 2 パターンの評価による BAS 評価ソフトの有効性を確認できた。

平成 13 年 5 月に、環境省から「廃棄物の減量その他その適正処理に関する施策の統合的かつ計画的な推進を図るための基本的な指針」⁸⁻²⁾が発表され、焼却処理を中心とした広域化処理を推進し、最適な処理シナリオの選択が必要であると呼びかけている。こうしたなかで、自治体が広域化処理に踏み切るまえの段階でその適正化・正当化を的確に判断していかなければならない。

以上のように BAS 評価手法を用いた検討を通して、自治体が新技術の導入、統合・廃止、あるいは広域化計画等の策定、適正な広域化圏域の決定を行うときの科学的論拠として提示することが可能である。また、地方自治体における財政的な負担軽減の検討としても重要な意味を持っている。

科学技術の進歩や人間社会の発展に伴い、人々の存在する地域環境や環境に対する意識が変化していくものであり、ときには資源枯渇、ときには地球温暖化のように環境カテゴリーに対する重要度の認識が変わってくる。したがって、CO₂ や最終処分量といった単一指標のみでの評価ではなく、生態系への影響や水質汚染等の他指標との統合的な視点からの評価が重要である。これも BAS 評価手法の特長の一つである。

また、新技術に関するデータベースの拡充による BAS 評価ソフトの拡張機能が備えている点も一つの特長であり、今後自治体での試用から普及に向けての可能性が期待される。なお、廃棄物処理問題においては、住民・地域関係者の合意形成⁸⁻³⁾が必要であり、上述のような評価結果をステークホルダーへの説明材料やサステナブルレポートとしての活用や情報開示⁸⁻⁴⁾も重要であると考えられる。

8. 1. 3 希少性・有害性廃棄物の国内レベルでの広域的な資源循環システムの構築

特別管理一般廃棄物である溶融飛灰を例として取り上げて、希少性・有害性廃棄物の広域的な資源循環システムのモデル構築を行い、さらに事業化した後のシステムの高度化の検討を行った。

排出側自治体 144 施設および受入企業 9 社を対象に、山元還元の意向と受入現状調査を行った。調査の結果、溶融飛灰の年間発生量の合計は 195,000t/年と推計され、このうちガス化溶融施設からは 136,000t/年、灰溶融施設からは 59,000t/年である。すでに山元還元を実施している自治体が 1/4 程度であり、考えていないのも 1/4 強占めていることがわかった。また、情報不足のため判断を回避した自治体が 2005 年と比べ増えていることがわかった。山元還元事業の推進には情報発信・共有の必要性が示唆された。また、2010 年 3 月時点の受入側での溶融飛灰処理能力の合計は約 12920t/月（約 15.5 万 t/年）である。処理実績（一廃と産廃の区別なし）は、2009 年度で約 6466t/月（約 7.8 万 t/年）となっており、処理能力の合計の約 50%を占めていることがわかった。

北九州モデルにおける溶融飛灰資源化プロセスを対象に適正処理の確保における検討として、その操業データの検証および LCA 的な観点から統合化指標 ELP を用いて評価・検証を行った。2009 年の操業データを検証したところ、溶融飛灰中から重金属類が適切に回収され、品質（高炉ペレット）、環境影響（排ガス・排水）の観点からも問題なく、安定的な操業がなされていることを確認できた。また、LCA 的な観点から評価を行ったところ、前処理における塩酸の使用に伴う環境負荷が支配的になっていることがわかった。環境負荷削減のために毎年廃塩酸の使用比率を増やしているが、大量の廃塩酸の確保が課題として挙げられている。また、ケーススタディの結果より、溶融飛灰の資源化プロセスにおいて環境負荷を低減させるために、抽出工程における廃塩酸の使用比率を高め、金属の回収量を増やす必要がある。こうしたデータを年度ごとに管理していくことによって、環境負荷が発生しているプロセスの把握・改善に有効であることを確認できた。さらに、焼却処理工場から溶融飛灰の資源化までのトータルなライフサイクル評価を行った結果、山元還元を実施することでシステム全体の ELP がさらに約 13%削減できることを確認できた。

安全・安心な溶融飛灰の広域化処理システムを実現するために、長距離的な物流移動の管理が重要であり、GPS やバーコードを用いて、WEB サイトを利用した高効率な情報共有ツールを含めたトレーサビリティシステムの開発とその検証を行った。その結果、GPS を用いた経路の追跡による適正運搬の確認が有効であり、情報管理システムと合わせて異常時の警告メールの配信等のオプション機能が付けられ、その有効性を検証できた。また、バーコードで管理する情報を WEB システムに送信・共有され、電子マニフェスト機能としての有効性と便益性を確認できた。今後の課題として、WEB サイトを利用した情報共有システムと一体化して、さらなるオプション機能の充実による業務作業の簡略化の実現が期待される。

物流の管理を含め、特別管理廃棄物である溶融飛灰の広域資源化処理に踏み

切るためには、排出側自治体として十分な検討がなされることになる。その検討材料として、画像付きの溶融飛灰静脈物流管理データベースの構築を行った。実際の画像（写真）付き、新規技術のための拡張性の高いデザインとなっていることや、選択方式によるシナリオの設計が可能といった特長を有している。

また、排出と受入双方での目的の共有、意思の決定や実施体制を整えるための検討として、自治体間ルールを事前準備段階、計画段階および実行段階の段階別での対応を整理し、各関係主体間の関係と役割を明確にさせた。また、北九州モデルの事業化したあとの検証として、排出側自治体（4自治体）を対象に調査した結果、安全安心なシステムとして満足するまで若干期間が要する場合があり、排出と受入双方の信頼性が重要であることが示唆された。

さらに、上記すべての情報を地域住民、自治体、関係主体企業や研究機関等のステークホルダーへの情報伝達を実現するために、2008年に北九州モデル専用の情報開示WEBサイトのデザインと作成を行い、2009年に正式に公開した。また、第三者評価の結果を排出側自治体にフィードバックできる簡易第三者評価報告書を作成した。また、地域住民の理解を得ることが必要不可欠であり、一般市民向け説明冊子を作成し、関係者への意見徴収を行った。今後関係自治体や地域住民と交流しながら、改善していく予定である。

8. 1. 4 リサイクルポートを活用した循環資源海上輸送のあり方の検討

静脈物流において、スケールメリットおよび環境負荷の低減が可能なことから陸上輸送から海上輸送へのモーダルシフトが注目されはじめている。リサイクルポートでは、静脈施設の集積、積み替え・保管スペース等のインフラの整備、効率的な配船、さらにはその背後地域にあるエコタウンや動脈施設との連携などから、静脈物流に機能的な便益が得られる。しかし、動脈物流とは異なり、排出者責任の観点から広域化における適正処理の確保、関連地域住民への配慮等が肝要であり、安全・安心な広域静脈物流におけるトレーサビリティの確保が求められている。

そこで本研究は、H20年国土交通省の「リサイクルポートを活用した静脈物流海上輸送実証試験」に参画し、静脈物流管理システムへのIT技術の適用性に関する検討を行った。また、環境面における海上輸送の有効性を検証するために、統合化指標 ELP を用いて LCA の観点からそのメリットを定量的に評価を行った。以下に得られた知見を記す。

- GPS や RFID 等のトレーサビリティツールの適用可能性の検討を行った結果、それぞれのツールに対してその活用方法によっていずれも有効であることは確認できた。また、その取り扱い時の注意事項、荷姿ごとに情報管理（軌跡管理、画像管理、重量管理、封印状態管理）のために利用した情報技術との相関等を整理した。
- たとえば、GPS では長期間にわたる海上輸送では受信機の電源確保のため、海運関係者と調整が必要である。RFID では、防水タグを使用することで雨天時でも対応可能であることを確認できた。ハンディ型リーダーを用い

て検証を行った結果、少量や個別の管理に便利であることを確認できた。管理対象物が大量のときには、据え置き型（アンテナ型）リーダーの適用により車両の通過による自動かつ複数同時読み取りなどが実現可能であると考えられる。

- ・ また、排出と受入双方の自治体および地域住民の理解を得るためには、情報の共有・発信が重要であり、それに向けた検討として内航海運物流管理データベースのフォーマットの設計を行った。
- ・ リサイクルポートを利用して、自区域内で処理できない廃棄物を受け入れ可能な施設に輸送し、処理する実証実験についての環境負荷削減効果の推定を行った結果、トラックによる陸上輸送を船舶による海上輸送に変更することで大幅な環境負荷低減が可能であることを確認した。また、従来の長距離の鉄道運送から船舶に変更することで、排ガスによる環境負荷が増加してしま、環境的効果から見れば鉄道のほうが海上輸送より優れている結果となった。
- ・ ここで、経済的効果やリサイクルの実現効率といった面からも総合的に判断して、リサイクルポートの機能的なベネフィットを考慮に入れてケースバイケースの検討が必要であると考えられる。

以上の結果より、今後安心につなげる安全なシステムの構築のためには、トレーサビリティシステムの実現、さらには社会システムとして定着させていくための作業効率化の実現が必要である。そのため、さらに深めた研究や技術開発が必要であり、リサイクルポートの機能的なベネフィットの十分な発揮およびその推進を期待したい。

8. 1. 5 海外連携レベルでの広域的な資源循環システムの構築に向けた検討

資源循環の広域化を海外へ展開する場合、相手国における環境汚染を防止し、国際資源循環システムの透明性を向上させるためにトレーサビリティを核とした汎用性の高い三層構造の国際資源循環管理システムの開発を行った。

具体的に、国際資源循環に対しては、まず主体的企業が統括的責任を明確にし、その責任の基でグリーンコンソーシアムを構築して対応することが考えられる。そこで第一層として、国際資源循環管理システムのベースとなるコンソーシアム型サプライチェーンの構築に向けた検討を行う。関係主体にあたる企業や学識専門家集団と共同でコンソーシアムの形成フローをモデル化して、関係主体それぞれの役割を計画から実運用までの段階別に整理した。第二層としては、IT技術を適用してトレーサビリティを確保した静脈物流システムの開発を行う。ここではこれまで国内向けに構築した同様のシステムを国際資源循環のフローに適用する場合の検討を行い、日本から中国までのトレースシナリオを想定して実際に運用する際の情報取得方法や手順等を整理した。また、EIRといった国際間における通関手続きに含まれる情報管理も、ツールの一つとして本システムに組み込んだ。また、国際資源循環の物流管理におけるトレーサビリティのためのDBフォーマットを設計した。さらに第三層では、取得した

情報の共有化について、日本と相手国における関係者間の効率的な実現方策のためのASPシステムの導入に向けた検討を行い、適用する際の留意点等を整理した。

上記で開発したシステムの実際に運用するにあたっては、システムの導入コストといった経済性の考慮のみならず、排出側の説明責任、受入側の適正処理の確保といった双方の責任を明確化させる必要がある。これについては、国際資源循環分野において先進国と途上国間の環境・経済両面における利害関係の分析を行い、公平にもとづいて双方の責任バランスを検討する必要がある。そのために、国際資源循環において適用可能なLCA・LCCによる定量評価手法の開発や適用も求められる。

本研究で提示したのは、あくまでも原則的な考え方である。本来あるべき国際資源循環システムの効率化・円滑化を実現するためには、まだ多くの課題が残されている。そこで、動脈側での経験を学び、携帯電話の機能的な活用⁸⁻⁵⁾や通信機能付きデジタルカメラ⁸⁻⁶⁾等の技術の開発や適用を積極的に試みる。今後トレーサビリティシステムの実運用を通じて、新たな技術開発や改良・高度化を継続的に行い、さらなる高度な資源循環トレーサビリティシステムの実現を目指して、適正な国際資源循環ネットワークの構築に寄与することを期待したい。

8. 1. 6 日中間を対象とした国際資源循環システムの実証

上述のように開発した国際資源循環管理システムの実証研究として、システムの検証および日中間において運用する際の課題抽出や実運用に向けた検討を目的に、日中間を対象に銅スクラップ、ミックスメタルと廃プラスチックを対象とした、バラ積み船とコンテナ船による国際資源循環管理システムの実証試験を行った。

今回の実証試験では、まず実証試験の事前調査として中国におけるE-Wasteを含めた関連品目の法規制の動向および循環資源の輸入手続きフローに関する現状調査を行い、中国内での法規制の状況を明確にした。

また今回の試験では、国内外の関係主体がコンソーシアムを形成して取り組んでいるため、SCの構築は円滑に進めた。各種トレーサビリティツールの国際的な静脈物流への適用性の検証に位置づけ、すべて汎用型ツールを用いた実証とした。その結果、国際資源循環システムの各段階におけるツールそれぞれの運用手順を整理し、留意点と課題を洗い出し、その対策を提示した。ここで、両国にわたる多数の主体企業が存在しているなかで、トレーサビリティツールの機能を十分に発揮するために、たとえば、RFIDとリーダー、GPS受信機、さらには使用するASPシステムへのアップロードするデータの形式等の統一性が求められる。また、日中間の言葉の統一、または書類等の中国語への対応等が必要である。また、システム全体としてコストの低減や作業効率性の向上を図る必要があり、現時点では民間ベースにおいて実際の導入までは、まだ研究開発に時間を要すると考えられるが、各種ツール適用の有効性を確認でき、今後の研究方向性を明確化させた。

さらに、取得した情報の効率的な共有・管理方法として ASP システムの導入試験を行った。中国側においてはデータアップロードに関する作業マニュアルを作成して、現地作業員に対して事前研修を行い、かつ研究スタッフ立会のもとで試験を行った。その結果、日中両方とも効率的な情報管理・共有ができて、ASP システムの有効性を検証することができた。また ASP システムに登録した情報を CSV ファイルとして出力する機能を備えているため、簡単にデータベース化することが可能であることを確認できた。今後収集データの分析上の利便性を考慮した DB フォーマットの設計を行って、日中資源循環専用 ASP システムの開発が求められる。さらに中国語バージョンを備えたシステム開発で現地作業員への事前教育をしっかりと行った上で効率的な情報共有システムの実現を期待できる。

以上の研究より得た知見から日中間において現段階で実施可能な資源循環システムのモデルの提案を行った。

IC タグ・バーコードでの情報管理は日本国内ならびに中国でも十分有効であるが、コスト面でなるべくこれらは使用しない形で信頼性を確保するモデルとしている。また、GPS の使用区間も、海上輸送時は電源確保の問題から使用しないこととし、国内の輸送と中国国内の港湾から 1 次処理先までと、汚染性の高い残渣等について付与することが望ましいといえる。また、重量や画像データについてはデータ量が多くなると、作業上の手間と管理上の手間が大きくなるため、コンテナ・トラック単位での管理を行うか、サンプリングによって一部のものに対してのみ実施するといった管理に留める必要があると言える。本実証を経て、実運用までのシステムの効率化・高度化の必要性と数々の課題が抽出され、適的な国際資源循環システムの形成に向けては、本研究はまだ初期段階にあるといえる。今後中国に進出している日系企業をはじめ、本システムの導入や実運用を通してシステムの高度化に関する研究が期待される。なお、本研究は経済産業省の委託研究として行われており、その成果を報告書^{8-7~9)}およびトレーサビリティを確保した資源循環ネットワークの構築のための実施マニュアル⁸⁻¹⁰⁾としてまとめられ、日中両国において国際資源循環の推進活動を行っている。

8. 2 今後の展望

8. 2. 1 研究成果の社会への還元を目指して

本論文では、日本国内からアジア圏までを研究範囲とし、対象資源物の種類別に広域的な資源循環システムのあり方やシステムの構築等の検討を行った。また、既存課題の抽出や研究の方向性を明確化させたため、今後は多方面への展開が考えられる。

このなかで、地域企業や行政からの協力を得ることが必要不可欠であり、産学連携による課題の解決が求められる。ここで、企業や自治体等のステークホルダーを集め、大学で研究会の組織によるコンソーシアムでの対応が考えられる。または、大学での研究成果を円滑かつ効率的に社会への還元を目指して、大学発ベンチャーへの挑戦も検討してみる（図 8.1）。



図8.1 研究成果の社会への還元

8. 2. 2 BASの実現に向けての課題と対応⁸⁻¹¹⁾

自治体では、表 8.1 と 8.2 に示すような課題を抱えている。そのため、BAS 活用にあたっては、そうした実情を踏まえて 3R 化改革のためのガイドラインなどを踏まえた客観的かつ科学的な根拠を与える計画ツールとなりうるようなものに仕上げる必要がある。

具体的には、市町村合併による焼却施設等の廃棄物処理施設の再編成（過剰分の合理化含む）の急務や、3R 対応の必要性に加えて、市町村の財政効率化に対する社会的要請、地球温暖化対策や地域循環圏構築、資源戦略など新たな環境命題への対応など様々な課題への対応が必要となっている。そうした状況を踏まえて、BAS 評価ソフトの評価項目を活用した対比などについての期待は高まっている。

表8.1 一般廃棄物処理事業の背景

自治体の抱える課題	自治体における対応の内容
・3Rへの対応	・3R化改革のためのガイドラインなどを踏まえた、発生抑制対策、リサイクル事業の強化、処理システムの効率的・合理的な選択
・市町村合併による施設数・規模の調整	・非効率を解消するための、エリア内の施設規模等を再検討・計画の見直し
・自治体財政の逼迫化	・PFI事業及び官民共同事業として長期包括的運営の導入など、民間活用も含めた継続的な取組強化が求められている。
・ダイオキシン削減対策の施設補修後7年以上計画している施設	・合理的な更新計画の追求
・CO ₂ 削減	・廃棄物処理施設における地球温暖化対策の強化(廃棄物処理システムにおける温室効果ガス排出抑制対策推進事業)
・未規制物質の排出規制強化	・排ガス高度処理等への対応

表8.2 市町村の3R化改革のためのガイドライン策定の経緯

時期	項目	概要
平成17年2月	中央環境審議会意見具申	◇生活環境の保全、公衆衛生の向上、公害問題解決に加え、循環型社会形成の観点から一般廃棄物処理の実施
平成17年5月	廃棄物処理法基本方針改訂	【国の役割】 ◇一般廃棄物処理事業のコスト分析方法 ◇有料化の進め方 ◇標準的な分別収集区分、適正な循環利用や適正処分の考え方
平成19年6月	3R化ガイドライン策定	◇一般廃棄物会計基準(コスト分析のガイドライン) ◇一般廃棄物処理有料化の手引き(有料化のガイドライン) ◇一般廃棄物処理システム指針(分別収集、処分等のガイドライン)

一般廃棄物処理事業は、図8.2に示すように、自治体に処理責任があるが、処理主体は、財政効率化を踏まえて、近年、民間活力の利用などが進められてきた。しかし、実際には、事業リスクの移転や、民間事業の事業性や、許認可取得のハードルなどを巡り、PFIや、長期運営委託の実績が伸び悩む状況が生じつつあるといわれている。

一方、地球温暖化対策についても、廃棄物分野における温室効果ガスの排出量は増加傾向にあることから、廃棄物分野での対策が必要なことを踏まえて、新たに廃棄物処理システムにおける温室効果ガス排出抑制対策推進事業として、下記対応が考えられている。

- ◇ 各廃棄物処理プロセスにおける温室効果ガス排出実態調査
- ◇ 実態調査を踏まえた具体的対策の評価・検討、モデル実証(施策例)

- ・白煙防止装置の廃止
- ・市町村合併・広域化に伴う収集・運搬の効率化
- ・中低温排熱の新しい熱利用システム
- ・ごみの低カロリー化に対応した焼却施設の運転方法の改善 etc...

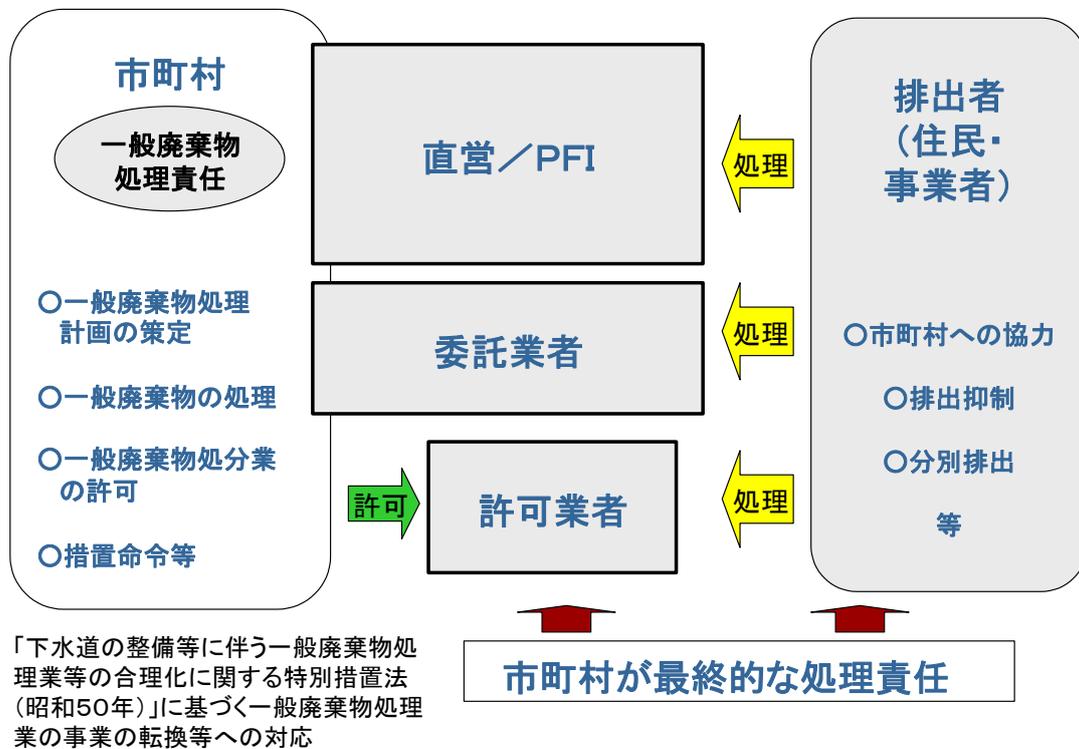


図8.2 ごみ処理事業の計画責任の状況

民間での事業化に向けては、図8.3のように許認可等必要な課題が多く、行政との連携が必須条件となっている。

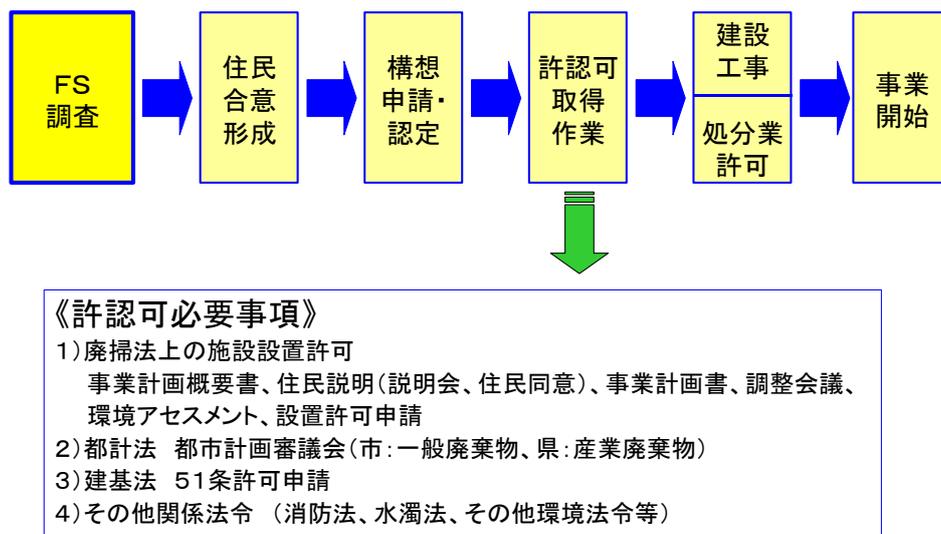


図8.3 事業計画における許認可等必要事項

今後に向けては、行政、事業者、市民が連携の上で、BASシステムを用いた計画シミュレーションを行い、客観的かつ科学的な論拠を取り上げた上で、自治体・事業者が連携の上で、設備（用地含む）・人材・ノウハウを相互に活用し、当該地域にとって、効率的・合理的なリサイクルシステムの形成を目指して、官民連携による循環型社会構築モデルを推進することが必要と考えられる。

8. 2. 3 早稲田大学溶融飛灰資源化研究会としての研究展開

溶融飛灰の管理、処理および再資源化の重要性を鑑み、それらを効率的に進めるべく、主体間での共通認識の醸成とともにシステムを構築するための実効的活動を行うべく、2003年より早稲田大学永田勝也教授を代表として「早稲田大学溶融飛灰資源化研究会」を発足した。本研究会では、広く産業界全体、学界、行政が一体となって議論を行い、循環型社会の構築のため、技術面からの検討もさることながら、社会システムとして溶融飛灰処理システムを構築するための検討を行うことを目的としている（図8.4）⁸⁻¹²。

長年の間、溶融飛灰の広域資源化に関するシステムモデルの構築やその実証を通して、事業化に至った成果事例もあり、数々の成果が挙げられている。また、研究成果の普及促進に向けて、毎年早稲田大学小野記念講堂においてシンポジウムを開催しており、2010年まで合計7回を開催した。また、研究会（年1回）の開催を通じて、排出側・受入側の共通認識を醸成する。その他、会議や見学会は個別研究テーマの進捗や会員の要望等を踏まえて企画・実施を行っている。2009年度の会員リストを表8.3に示す。

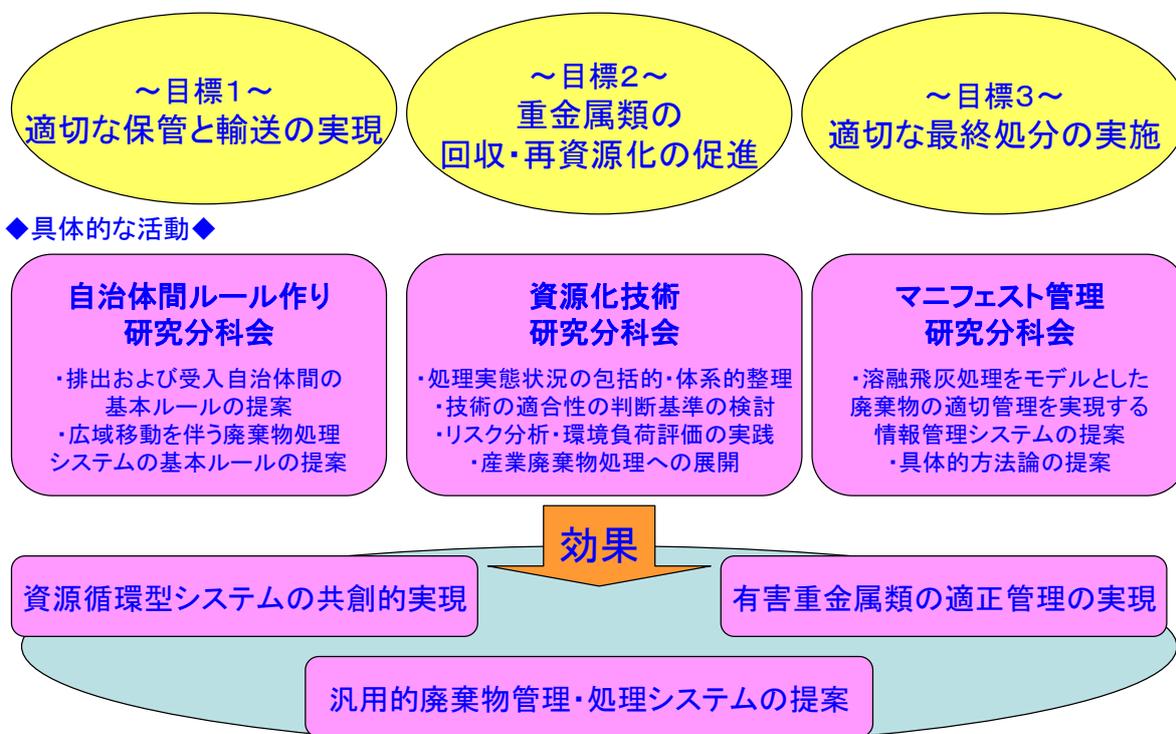


図8.4 早稲田大学溶融飛灰資源化研究会の目的

表8.3 2009年度の会員リスト

種別	企業・団体名
企業 (10社)	小名浜製錬株式会社
	光和精鉱株式会社
	JFEエンジニアリング株式会社
	新日鉄エンジニアリング株式会社
	住友金属工業株式会社
	中部リサイクル株式会社
	日鉱金属株式会社
	三井金属鉱業株式会社
	三菱マテリアル株式会社
	リサイクルポート推進協議会
自治体会員・ 団体会員 (15団体)	諫早市
	大分市
	大牟田市
	香川県
	春日井市
	釜石市
	可茂衛生施設利用組合ささゆりクリーンパーク
	北九州市
	泉北環境整備施設組合
	東京都
	東京二十三区清掃一部事務組合
	豊川宝飯衛生組合
	三重県
財団法人三重県環境保全事業団	
宗像市	
オブザーバー	日本鉱業協会

今後の研究テーマを以下に示す。

- ・ 溶融飛灰の広域資源化トレーサビリティシステムの検討
現在まで行ってきたトレーサビリティシステムの構築の研究結果、および蓄積した基礎データをもとに、トレーサビリティツールおよび適用方法等、実用可能な溶融飛灰トレーサビリティ管理に向けた検討を行う。
- ・ 自治体間ルールの高度化に向けた検討
自治体へのヒアリング調査を継続的に実施し、その実態を把握することを試みる。これらの結果を自治体連絡協議会等へフィードバックし、その課題解決に向けた討議を行う。
- ・ 溶融飛灰の山元還元システムへの LCA の適用とその活用方法の検討
溶融処理を含めた評価等を実際の施設に適用するとともに、その活用方法(サステナブルレポートとしての情報開示や内部での説明資料としての活用等)について検討する。

8. 2. 4 国際資源循環システムの高度化

本研究では、中国に進出している電子廃棄物のリサイクル工場である株式会社リーテムと共同で日中国際資源循環システムの開発とその実証研究を行った。その成果の一つとして日中間での実情に沿った日中資源循環トレーサビリティシステムの提案を行った。

株式会社リーテムの中国太倉工場が 2011 年秋頃に稼動する予定となっており、今後太倉工場との連携を通してさらなるシステムの改良・高度化および事業化を目指して、現場の視点から作業簡略化を考慮したトレーサビリティシステムの在り方の検討を行う。また、事業化したあとのデータ分析の利便性を考慮して、適切なデータベースフォーマットの検討を含めて情報共有管理システムの開発を行う（図 8.5）。

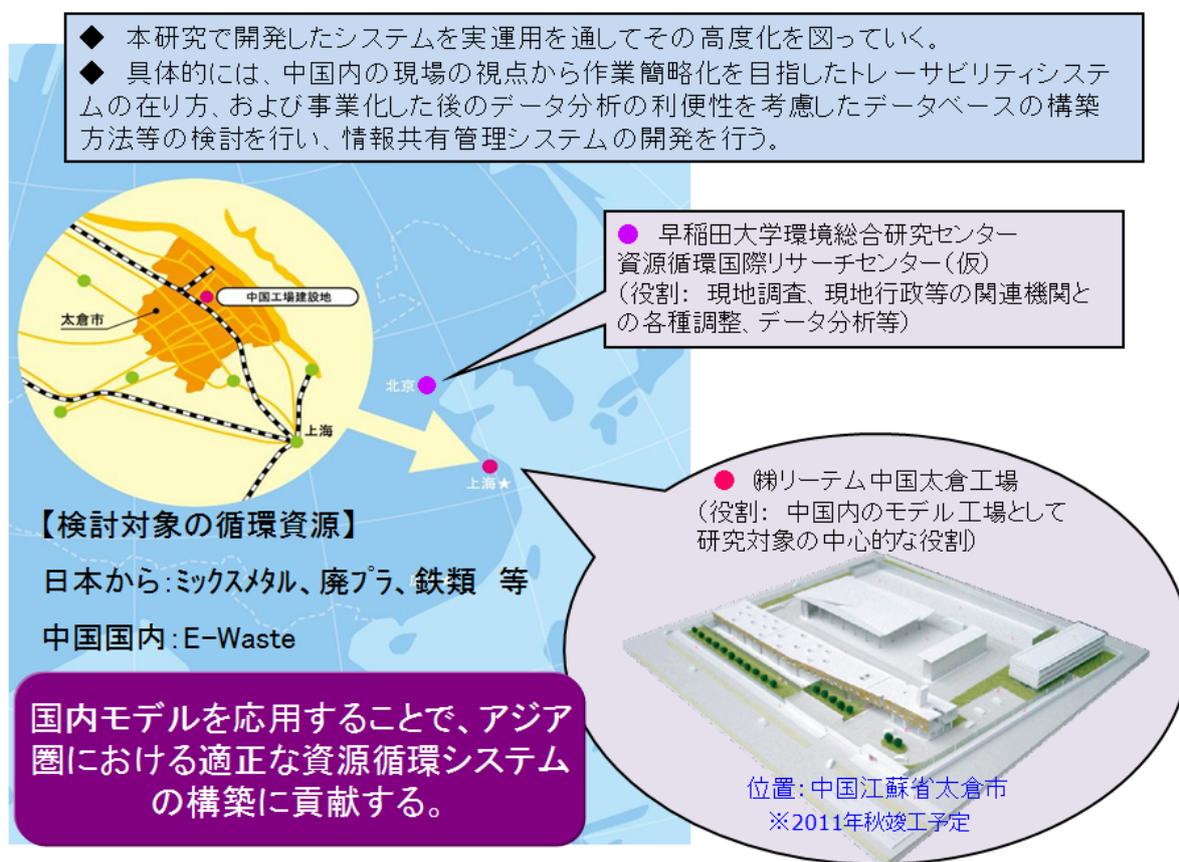


図8.5 中国現地での研究展開の体制

また、日中資源循環を研究するに当たってその環境的効果を定量的に評価し、その有効性を検証することが重要である。そこで、LCA 的な手法を用いた検討が考えられるが、国際間に適用するために、日本のみではなく相手国（中国）においてもデータベースの構築や文献・アンケートを通じた調査分析が必要不可欠である。

そこで今後の研究展開として、統合化指標 ELP の中国への適用に関して研究を行う。具体的に、中国において LCA 評価手法関連研究の調査を実施し、中国内での LCA 研究の現状と課題を把握する。また、ELP を中国に適用するために、

関連文献を調査し、CO₂、NO_x等の各個別環境項目に対する各カテゴリ内の重み付け係数を整理し、これらを用いて各カテゴリの指標値を得る「特性解析」を行う。さらに、北京大学の学生の協力のもとで、中国でのアンケート調査を実施し、カテゴリ重要度の決定を行う予定である。

今後は、上記の内容を中心に、国際資源循環システムの高度化および事業化に向けて継続的に研究開発を行っていく予定である。

8. 2. 5 日中の架け橋としての展開

筆者は中国からの留学生であり、日中環境ビジネスの架け橋として活動したく、2006年より大学発ベンチャー企業を立ち上げた。「和製循環メジャー」の形成に向けて日系企業の中国への進出をサポートし、日中環境ビジネスの推進活動をすでに展開している。大学での研究成果を日中両国のグローバル社会への還元を目指して、今後大学発ベンチャーとして本格的な挑戦を始める。

その背景、目的および事業内容を以下に示す。

これからの時代は世界的にサステナブル発展を目指す時代になっている。世界的に不況のなかで、経済復活の観点からも環境新ビジネスの推進は世界各国で政策的な面においても重要な位置づけとなっている。

とくに、近年、新興国の中国では、「世界の工場」から「世界の市場」に移りつつ、環境面への配慮意識が向上し、国家戦略として環境・経済両立できるサステナブル発展への道を模索し続けている。これに対して、日本の環境産業は世界トップランナーであり、環境技術やノウハウの蓄積が世界をリードしている。こうしたなかであって、アジア圏において特に日中間で国レベルの国際協力事業が行われている。しかし、中国の歴史から政策面、制度面および経済面においても独特な背景や商習慣があり、スムーズに進んでいるとはいえない。その重要な課題の一つとして、とくに中小企業レベルでの日中環境ビジネスのための適切な情報共有システムが確立されていないことが挙げられる。日本では優れている環境技術を持っている企業は多いが、その海外へ展開するための初期費用や人員配置、異文化への対応等、総じて海外へ展開するための環境が整っていない理由で、海外へ進出する意欲が薄れている。

そこで、我々は大学での研究成果を活かし、日中間においてWEBサイトを活用した簡易、安価、且つ即時に情報伝達が可能な日中環境ビジネスの情報集約型マッチングWEBサイト(JC-Green Market)の開発に取り組んでいる。さらに、中国の国情に沿った環境専門性、およびマーケティング等を含めた包括的なコンサルティングを提供することで、日中環境ビジネスのプラットフォームの形成に向けて努めている(図8.6)。

JC-Green Market(以下JC-GMと略す)とは、会員制の日中環境ビジネスのマッチング・情報共有のWEBサイトである。日本側サイトと中国側サイトの2つのWEBサイトによって構成される。日本側ユーザー企業が日本側サイトにおいて環境技術や製品情報をアップロードし、我々が翻訳して中国側サイトに掲載することによって、中国側ユーザー企業が無料且つ簡易に日本の環境技術

や製品のリアルな情報を把握でき、日本側ユーザー企業と直接商談可能な B to B の WEB サイトシステムとして設計している（図 8.7）。

これによって、日中環境ビジネスにおける情報交流・共有の円滑化を図り、日本の先進的なサステナブルテクノロジーを生かした海外への進出方式、アジア圏における循環型経済発展の方式を模索しつつ、日中間における新たな環境ビジネスモデルの創出が期待できると考えられる（図 8.8）。

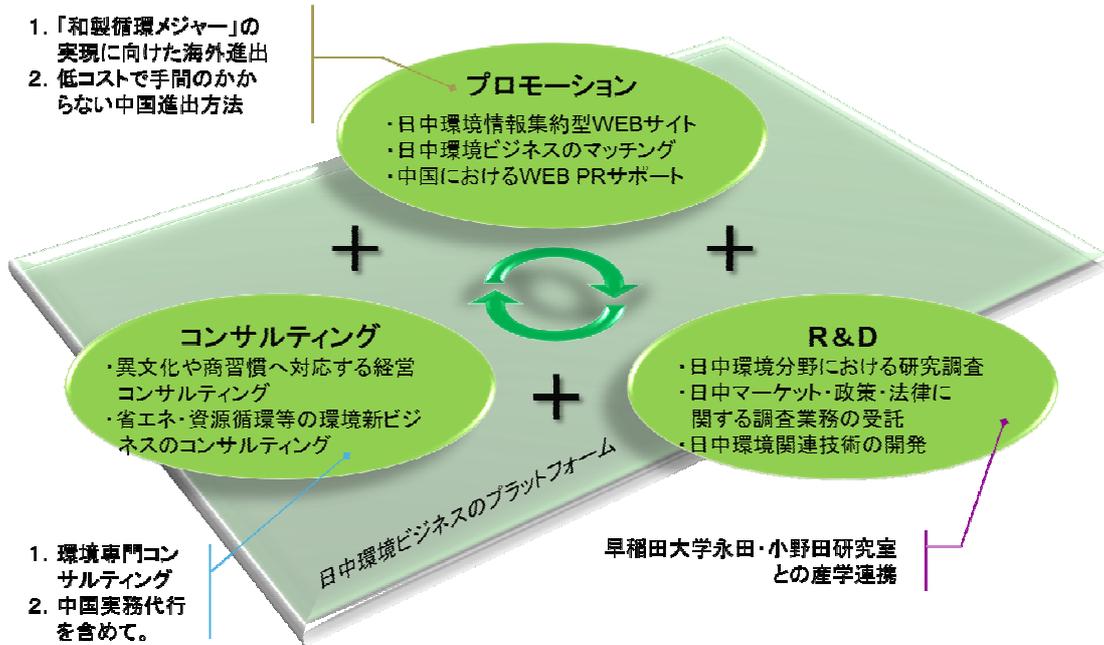


図8.6 日中の架け橋として活動したい内容



図8.7 JC-Green Market の概要

日本から世界へ、世界の日本へ！

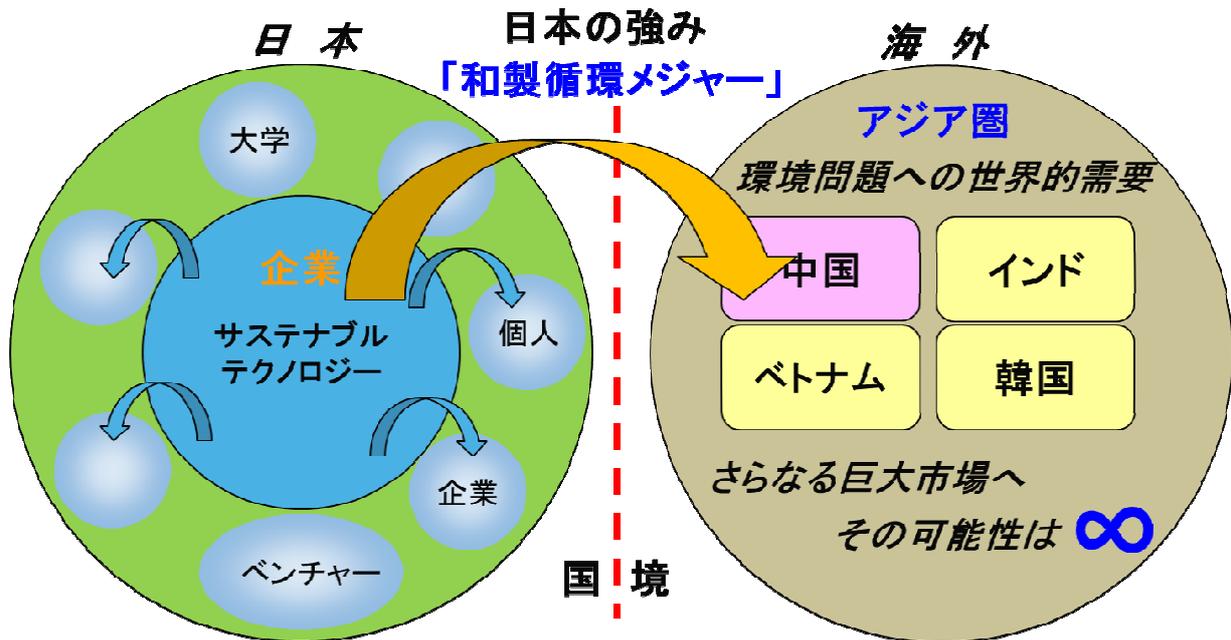


図8.8 国境を越えるオープンイノベーション

参考文献

- 1-1) 永田勝也、廃棄物処理の現状と展望、日本エネルギー学会大会講演要旨集(5)、1996、87-105
- 1-2) 廃棄物の処理および清掃に関する法律、最終改正：平成 22 年 5 月 19 日法律第 34 号
- 1-3) 旧厚生省、ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガイドライン、1997
- 1-4) 環境省、第 2 次循環型社会形成推進基本計画、2008
- 1-5) 環境省、広域認定制度、<http://www.env.go.jp/recycle/waste/kouiki/leaflet.pdf>
アクセス日 2011 年 1 月 3 日
- 1-6) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部、広域認定制度申請の手引き（改訂版）、最終改定平成 21 年 8 月
- 1-7) 環境省、一般廃棄物広域認定制度の認定状況、
http://www.env.go.jp/recycle/waste/kouiki/jokyo_2.html
アクセス日 2011 年 1 月 3 日
- 1-8) 環境省、産業廃棄物広域認定制度の認定状況、
http://www.env.go.jp/recycle/waste/kouiki/jokyo_1.html
アクセス日 2011 年 1 月 3 日
- 1-9) 環境省報道発表資料、平成 9 年度ダイオキシン類排出実態調査結果について、1998 年 7 月 16 日
- 1-10) 厚生省環境整備課、廃棄物処理施設整備費国庫補助金交付要綱、1998
- 1-11) 羽原浩史、松藤敏彦、田中信壽、井上真智子、コストおよびエネルギー消費量による一般廃棄物広域化シナリオの比較に関する研究、環境システム研究論文集 30、2002、323-332
- 1-12) 荒井康裕、稲員とよの、小泉明、ごみ処理システムの広域化計画に関する最適化モデル分析、環境システム研究論文集 31、2003、267-276
- 1-13) 佐々木努、藤原健史、松岡譲、環境負荷と費用からみた廃棄物処理広域化の規模に関する研究、環境システム研究論文集 31、2003、277-285
- 1-14) 松藤敏彦著、都市ごみ処理システムの分析・計画・評価：マテリアルフロー・LCA 計画プログラム、2005、技報堂出版社
- 1-15) 藤井実、廃棄物処理・リサイクルの広域化のトレードオフについて、廃棄物学会誌 16(6)、2005、328-333
- 1-16) 安田八十五、菊地直人、廃棄物固形燃料化政策を導入する広域的な一般廃棄物処理システムに関する公共政策の評価、自然人間社会 44、2008、21-36
- 1-17) 瀬口浩一、三木潤一、一般廃棄物処理サービスの広域化・大規模化と島嶼地域の特性：費用関数とケース・スタディに基づく分析、琉球大学・経済研究 77、2009、29-39
- 1-18) 栗島英明、長野県における一般廃棄物処理と廃棄物移動、経済地理学年

参考文献

- 報 48(1)、2002、71-88
- 1-19) 西江栄二、倶知安町のごみ行政の状況：広域処理と循環型社会への取り組み、衛生工学シンポジウム論文集 11、2003、7-13
- 1-20) 表良一、西胆振における廃棄物広域処理の取り組み、衛生工学シンポジウム論文集 11、2003、19-21
- 1-21) 神谷浩夫、濱名拓郎、石川県における一般廃棄物処理と広域化、日本海域研究所報告 34、2003、185-203
- 1-22) 石井信之、広域的処理実現に向けた取り組みの一例について、廃棄物学会誌 16(6)、2005、317-327
- 1-23) 環境省、首都圏の廃棄物の広域移動の状況について、1998、1999、2000
<http://www.env.go.jp/recycle/waste/koiki/index.html>、アクセス日 2011 年 1 月 3 日
- 1-24) 環境省：一般廃棄物の排出及び処理状況等（平成 20 年度実績）について、9-10、http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h20/index.html、アクセス日 2010 年 9 月 19 日
- 1-25) 環境新聞：溶融飛灰・溶融メタルの山元還元、2008 年 11 月 5 日付
- 1-26) 独立行政法人物質・材料研究機構、わが国の都市鉱山は世界有数の資源国に匹敵、2008 年 1 月 11 日、アクセス日 2011 年 1 月 4 日
<http://www.nims.go.jp/news/press/2008/01/p200801110.html>
- 1-27) 立川裕隆、吉本範男、石川学、わが国における PCB 廃棄物と広域処理体制、環境技術 34(2)、2005、21-28
- 1-28) 環境新聞、放射線障害防止法のクリアランス制度ドラム缶約 12 万本分が対象、2010 年 7 月 14 日刊行
- 1-29) 石綿による健康等に係る被害の防止のための大気汚染防止法等の一部を改正する法律、2006、
http://www.env.go.jp/air/asbestos/pdfs/lawh18_005a.pdf、アクセス日 2011 年 1 月 4 日
- 1-30) 廃棄物の処理および清掃に関する法律施行令及び海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律施行令の一部を改正する政令、2006、
http://www.env.go.jp/air/asbestos/laws_haiki.html、アクセス日 2011 年 1 月 4 日
- 1-31) 廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行規則等の一部を改正する省令、2006、http://www.env.go.jp/air/asbestos/laws_haiki.html、アクセス日 2011 年 1 月 4 日
- 1-32) 環境省 HP、特別管理廃棄物規制の概要、
http://www.env.go.jp/recycle/waste/sp_contr/index.html、アクセス日 2011 年 1 月 4 日
- 1-33) 厚生省告示第 194 号、特別管理一般廃棄物及び特別管理産業廃棄物の処分又は再生の方法として厚生大臣が定める方法、平成 17 年 12 月 22 日改正
- 1-34) 早稲田大学環境総合研究センター溶融飛灰資源化研究会、第 2 年度研究

報告書、2005

- 1-35) 中村裕幸、建設ロジスティクスの研究その 11 静脈物流システムの設計、日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）、2002、113-114
- 1-36) 中村裕幸、浜田耕史、大竹利幸、辻雅哉、松田祐晴、阿久津好太、名知洋子、椎野潤、静脈物流システムの開発その 1) 首都圏を対象とした静脈物流システムの設計、日本建築学会大会学術講演梗概集、2003、1037-1038
- 1-37) 大竹利幸、中村裕幸、辻雅哉、浜田耕史、松田祐晴、阿久津好太、名知洋子、椎野潤、静脈物流システムの開発その 2) 実験概要、日本建築学会大会学術講演梗概集、2003、1039-1040
- 1-38) 辻雅哉、中村裕幸、大竹利幸、浜田耕史、松田祐晴、阿久津好太、名知洋子、椎野潤、静脈物流システムの開発その 3) 副産物情報管理の一元化、日本建築学会大会学術講演梗概集、2003、1041-1042
- 1-39) 浜田耕史、中村裕幸、大竹利幸、辻雅哉、松田祐晴、阿久津好太、名知洋子、椎野潤、静脈物流システムの開発その 4) システムの適用結果 1、日本建築学会大会学術講演梗概集、2003、1043-1044
- 1-40) 松田祐晴、中村裕幸、大竹利幸、辻雅哉、浜田耕史、阿久津好太、名知洋子、椎野潤、静脈物流システムの開発その 5) システムの適用結果 2、日本建築学会大会学術講演梗概集、2003、1045-1046
- 1-41) 阿久津好太、中村裕幸、大竹利幸、辻雅哉、浜田耕史、松田祐晴、名知洋子、椎野潤、静脈物流システムの開発その 6) まとめ及び今後の課題、日本建築学会大会学術講演梗概集、2003、1047-1048
- 1-42) 吉永陽一、大川登志男、田鍋実、西名慶晃、猪子正邦、静脈物流ネットワークの計画・評価、鉄と鋼 90(11)、2004、119-124
- 1-43) 水上裕之、久保雅義、上田一郎、海上輸送を利用した資源循環型社会システムの構築、日本航海学会論文集 104、2001、217-224
- 1-44) 乗越晃、瀬戸内静脈物流：循環資源を共同で運ぶ専用船、日本船舶海洋工学会誌 19、2008、13-15
- 1-45) 古井恒、家電リサイクルと静脈物流、物流問題研究 35、2000、53-88
- 1-46) 美藤信也、SCM 組織間関係の情報連携と構造分析：日本物流業におけるロジスティクス成果の視点から、大阪産業大学経営論集 11(13)、2010、435-450
- 1-47) 国土交通省ホームページ、
<http://www.mlit.go.jp/kowan/recycleport/recycleport1.html>、アクセス日 2011 年 1 月 6 日
- 1-48) 日本離島センター、離島統計年報、2001
- 1-49) 経済産業省、原料及び製品の広域連携調査票
http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/3r_policy/policy/pdf/ecotown_list.pdf、アクセス日 2011 年 1 月 6 日
- 1-50) 社団法人日本鉄源協会資料、2003
- 1-51) 財務省貿易統計、<http://www.customs.go.jp/toukei/srch/index.htm>、アクセ

参考文献

ス日 2011 年 1 月 6 日

- 1-52) 国立環境研究所、公開シンポジウム 2006 資料、2006
- 1-53) 株式会社リーテム、トレーサビリティを確保した資源循環ネットワークの運用に関する調査報告書平成 18 年度、2006
- 1-54) 中谷隼、藤井実、吉田綾、寺園淳、森口祐一、平尾雅彦、使用済ペットボトルの国内リサイクルと日中間リサイクルの比較分析、廃棄物学会論文誌 19(5)、2008、328-339
- 1-55) 吉野敏行、拡大輸出者責任の数理計算について、人間環境論集 (9)、13-24、2010
- 1-56) 細田衛士、3R と国際資源循環：経済学的視点からの検討、廃棄物学会誌 17(2)、2006、49-59
- 1-57) 小島道一、アジアにおける循環資源貿易の管理レジームの形成に向けて、廃棄物学会誌 17(2)、2006、86-93
- 1-58) 松岡浩史、国際資源循環におけるトレーサビリティ確保に向けた第三者認証機関の取り組みと今後の課題、廃棄物資源循環学会誌 21(4)、2010、245-249
- 1-59) 何佳、周楽分、中国廃棄物原料輸入のコスト：収益分析、国際貿易、2010、179-181、(中国語)
- 1-60) 中国物資再生協会輸入再生資源工作委員会、輸入再生資源を利用した国際大循環の促進、環境経済雑誌第 35 期、2006、32-34、(中国語)
- 1-61) 高松、環境リスクと価値に基づいた輸入固体廃棄物分類のモデルに関する研究、科技管理研究 2008 第 5 期、2008、74-76、(中国語)
- 1-62) 下村健太、豊島における情報共創システムの開発に関する研究、早稲田大学大学院環境エネルギー研究科修士論文、2009
- 1-63) 産業構造審議会環境部会廃棄物・リサイクル小委員会、排出事業者のための廃棄物・リサイクルガバナンスガイドライン、2004
- 1-64) 環境省報道発表資料、産業廃棄物の不法投棄等の状況（平成 20 年度）について（お知らせ）、2010 年 2 月 15 日
- 1-65) 香川県ホームページ、
http://www.pref.kagawa.jp/kankyo/gakushu/progam_2/program/sima/siryoku/picture.htm、
アクセス日 2011 年 1 月 8 日
- 1-66) 橋詰博樹、産業廃棄物の不法投棄対策の現状と今後の課題、環境技術 34(1)、2005、57-62
- 1-67) 朝日新聞、「廃プラ」どこへ行く中国が輸入停止、2004 年 5 月 29 日付
- 1-68) 株式会社日本能率協会総合研究所、中国環境産業年鑑 2008 年版、2008、161-162

- 2-1) 永田勝也、廃棄物処理の現状と展望、日本エネルギー学会大会講演要旨集(5)、1996、87-105
- 2-2) 環境省：一般廃棄物の排出及び処理状況等（平成 20 年度実績）について、http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h20/index.html、アクセス日 2010 年 9 月 19 日、pp.6
- 2-3) 環境省、環境白書平成 21 年版、2009、161-165
- 2-4) 東京二十三区清掃一部事務組合、一般廃棄物処理基本計画、2010、14-20
- 2-5) 永田勝也、小野田弘士、風間祥吾、LCA 的手法による廃棄物処理システムの評価、廃棄物学会研究発表会後援論文集(16)、2005、83-85
- 2-6) 羽原浩史、松藤敏彦、田中信壽、井上真智子、コストおよびエネルギー消費量による一般廃棄物広域化シナリオの比較に関する研究、環境システム研究論文集 30、2002、323-332
- 2-7) 荒井康裕、稲員とよの、小泉明、ごみ処理システムの広域化計画に関する最適化モデル分析、環境システム研究論文集 31、2003、267-276
- 2-8) 佐々木努、藤原健史、松岡譲、環境負荷と費用からみた廃棄物処理広域化の規模に関する研究、環境システム研究論文集 31、2003、277-285
- 2-9) 松藤敏彦著、都市ごみ処理システムの分析・計画・評価：マテリアルフロー・LCA 計画プログラム、2005、技報堂出版社
- 2-10) 藤井実、廃棄物処理・リサイクルの広域化のトレードオフについて、廃棄物学会誌 16(6)、2005、328-333
- 2-11) 安田八十五、菊地直人、廃棄物固形燃料化政策を導入する広域的な一般廃棄物処理システムに関する公共政策の評価、自然人間社会 44、2008、21-36
- 2-12) 瀬口浩一、三木潤一、一般廃棄物処理サービスの広域化・大規模化と島嶼地域の特長：費用関数とケース・スタディに基づく分析、琉球大学・経済研究 77、2009、29-39
- 2-13) 栗島英明、長野県における一般廃棄物処理と廃棄物移動、経済地理学年報 48(1)、2002、71-88
- 2-14) 西江栄二、倶知安町のごみ行政の状況：広域処理と循環型社会への取り組み、衛生工学シンポジウム論文集 11、2003、7-13
- 2-15) 表良一、西胆振における廃棄物広域処理の取り組み、衛生工学シンポジウム論文集 11、2003、19-21
- 2-16) 神谷浩夫、濱名拓郎、石川県における一般廃棄物処理と広域化、日本海城研究所報告 34、2003、185-203
- 2-17) 石井信之、広域的処理実現に向けた取り組みの一例について、廃棄物学会誌 16(6)、2005、317-327
- 2-18) 永田勝也、LCA における統合評価手法の開発、第 2 回エコバランス国際会議講演集、(1998)、136-137
- 2-19) 永田勝也、納富信、小野田弘士、片野光裕、風間祥吾、金子正、長田守弘、技術のライフサイクルアセスメント(TLCA)に関する検討：廃棄物処理システムにおける BAS の提案とソフトウェアの開発、日本機械学会

参考文献

- 環境工学総合シンポジウム講演論文集 2005(15)、2005、117-120
- 2-20) Mark Goedkoop、Renilde Spriensma、The Eco-indicator 99 A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment Methodology Report 1999、Pre Consultants B.V.
- 2-21) Braunschweig、Method For Ecobalance (Methodik Fur Oekobilanzen)、1998、Buwal Schriftenreihe Umwelt Nr 、297
- 2-22) Bengt Steen、A systematic approach to environmental strategies in product development (EPS)、Version 2000 – General system characteristics、1999、CPM report
- 2-23) 永田勝也、LCA におけるインパクトアセスメント手法の開発 (その 1) : 指標統合化のためのカテゴリー重要度の推定について、日本機械学会第 5 回環境工学総合シンポジウム講演論文集、1995、151-154
- 2-24) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)、(2002) 廃棄物発電導入マニュアル (改訂版)、2002、
- 2-25) 豊田素子・占部武生、容器包装廃棄物対応ごみ質変化計算ソフトの作成、平成 10 年東京都清掃研究所報告(28)、31-37
- 2-26) 財団法人大阪科学技術センター、地球環境技術推進懇談会、廃棄物処理技術の LCA 研究会、第 1 年度研究報告書、2003、3-9
- 2-27) 小清水勇、資源循環技術のライフサイクルアセスメントに関する研究、早稲田大学大学院環境エネルギー研究科 2007 年度修士論文、2008、付録 17-21
- 2-28) 社団法人プラスチック処理促進協会、廃プラスチック収集輸送等に関するデータソフトの応用、2000
- 2-29) 包装廃棄物のリサイクルに関する定量分析研究会・野村総合研究所、包装廃棄物のリサイクルに関する定量分析、1995
- 2-30) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課、市町村における循環型社会づくりに向けた一般廃棄物処理システムの指針、2009
- 2-31) 小野田弘士、永田勝也、切川卓也、堤恵美子、狩谷順二、加賀山保一、小林均、河井鉦輔、平成 18 年度廃棄物処理等科学研究報告書「一般廃棄物処理システムにおける環境負荷・経済性の実効性評価手法に関する研究 (K1859)」、2007
- 2-32) 小野田弘士、永田勝也、切川卓也、堤恵美子、狩谷順二、加賀山保一、小林均、河井鉦輔、平成 19 年度廃棄物処理等科学研究報告書「一般廃棄物処理システムにおける環境負荷・経済性の実効性評価手法に関する研究 (K1960)」、2008
- 2-33) 小野田弘士、永田勝也、切川卓也、堤恵美子、狩谷順二、加賀山保一、小林均、河井鉦輔、平成 20 年度廃棄物処理等科学研究報告書「一般廃棄物処理システムにおける環境負荷・経済性の実効性評価手法に関する研究 (K2030)」、2009

- 3-1) 小野田弘士、LCA からみた循環型社会、第 23 回環境工学連合講演会講演論文集、2009、47-52
- 3-2) 廃棄物の処理および清掃に関する法律、最終改正：平成 22 年 5 月 19 日法律第 34 号
- 3-3) 旧厚生省、ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガイドライン、1997
- 3-4) 環境省、第 2 次循環型社会形成推進基本計画、2008
- 3-5) 環境省、広域認定制度、<http://www.env.go.jp/recycle/waste/kouiki/leaflet.pdf>
アクセス日 2011 年 1 月 3 日
- 3-6) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部、広域認定制度申請の手引き（改訂版）、最終改定平成 21 年 8 月
- 3-7) 環境省、一般廃棄物広域認定制度の認定状況、
http://www.env.go.jp/recycle/waste/kouiki/jokyo_2.html
アクセス日 2011 年 1 月 3 日
- 3-8) 環境省、産業廃棄物広域認定制度の認定状況、
http://www.env.go.jp/recycle/waste/kouiki/jokyo_1.html
アクセス日 2011 年 1 月 3 日
- 3-9) 厚生省環境整備課、廃棄物処理施設整備費国庫補助金交付要綱、1998
- 3-10) 羽原浩史、松藤敏彦、田中信壽、井上真智子、コストおよびエネルギー消費量による一般廃棄物広域化シナリオの比較に関する研究、環境システム研究論文集 30、2002、323-332
- 3-11) 荒井康裕、稲員とよの、小泉明、ごみ処理システムの広域化計画に関する最適化モデル分析、環境システム研究論文集 31、2003、267-276
- 3-12) 佐々木努、藤原健史、松岡譲、環境負荷と費用からみた廃棄物処理広域化の規模に関する研究、環境システム研究論文集 31、2003、277-285
- 3-13) 松藤敏彦著、都市ごみ処理システムの分析・計画・評価：マテリアルフロー・LCA 計画プログラム、2005、技報堂出版社
- 3-14) 藤井実、廃棄物処理・リサイクルの広域化のトレードオフについて、廃棄物学会誌 16(6)、2005、328-333
- 3-15) 安田八十五、菊地直人、廃棄物固形燃料化政策を導入する広域的な一般廃棄物処理システムに関する公共政策の評価、自然人間社会 44、2008、21-36
- 3-16) 瀬口浩一、三木潤一、一般廃棄物処理サービスの広域化・大規模化と島嶼地域特性：費用関数とケース・スタディに基づく分析、琉球大学・経済研究 77、2009、29-39
- 3-17) 栗島英明、長野県における一般廃棄物処理と廃棄物移動、経済地理学年報 48(1)、2002、71-88
- 3-18) 西江栄二、倶知安町のごみ行政の状況：広域処理と循環型社会への取り組み、衛生工学シンポジウム論文集 11、2003、7-13
- 3-19) 表良一、西胆振における廃棄物広域処理の取り組み、衛生工学シンポジウム論文集 11、2003、19-21

参考文献

- 3-20) 神谷浩夫、濱名拓郎、石川県における一般廃棄物処理と広域化、日本海
域研究所報告 34、2003、185-203
- 3-21) 石井信之、広域的処理実現に向けた取り組みの一例について、廃棄物学
会誌 16(6)、2005、317-327
- 3-22) 千葉県ホームページ、アクセス日 2008 年 8 月 13 日、
http://www.pref.chiba.lg.jp/syozoku/e_ichihai/haikibutu/seisou/seisou.html
- 3-23) 産業環境管理協会、LCA データベース、2008
- 3-24) 千葉縣市川市、市川市じゅんかん白書、2006
- 3-25) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)、廃棄物発電導入マニ
ュアル (改訂版) 資料編、2002、pp.37
- 3-26) 早稲田大学環境総合研究センター、溶融飛灰資源化研究会第 3 年度研究
報告書、2006
- 3-27) 財団法人三重県環境保全事業団ホームページ、アクセス日 2008 年 8 月
20 日、<http://www.mec.or.jp>
- 3-28) 財団法人三重県環境保全事業団、産業廃棄物適正処理に関する自主情報
公開届出書、2007
- 3-29) 財団法人三重県環境保全事業団、平成 18 年度の受入状況、アクセス日
2008 年 8 月 25、<http://www.mec.or.jp/haiki/kadojokyo/kadojokyo18/>
- 3-30) 三重県、自主情報公開ガイドライン (平成 19 年 4 月改定)、2007
- 3-31) 環境大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課、「廃棄物の減量
その他その適正な処理に関する施策の統合的かつ計画的な推進を図る
ための基本的な指針」について一国の基本方針について、都市清掃
54(243)、2001、415-418
- 3-32) 高橋富男、古市徹、廃棄物計画のための市民参加と住民合意、廃棄物学
会誌 13(3)、2002、128-137
- 3-33) 永田勝也、小野田弘士、永井裕二、切川卓也、兼子洋幸、胡浩、廃棄物
処理・リサイクルにおける安全・安心対応策に関する検討、廃棄物学会
研究発表会講演論文集(17)、2006、330-332

- 4-1) 廃棄物の処理および清掃に関する法律、最終改正：平成 22 年 5 月 19 日法律第 34 号
- 4-2) 厚生省生活衛生局水道環境部環境整備課（監修）、財団法人廃棄物研究財団（編集）、特別管理一般廃棄物ばいじん処理マニュアル（特別管理廃棄物シリーズ）、1993
- 4-3) 月刊環境ビジネス 2008 年 9 月号、連載「入門廃棄物道場」、2008
- 4-4) 早稲田大学環境総合研究センター溶融飛灰資源化研究会、平成 20 年度研究報告書、2009
- 4-5) 環境省、一般廃棄物の排出及び処理状況等（平成 19 年度実績）について、8-9、http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h19/index.html（アクセス日 2010.02.20）
- 4-6) 環境新聞、溶融飛灰・溶融メタルの山元還元、2008 年 11 月 5 日付
- 4-7) 社団法人日本産業機械工業会エコスラグ利用普及センター、道路用溶融スラグ品質管理および設計施工マニュアル、2007
- 4-8) 社団法人日本産業機械工業会エコスラグ利用普及センター、平成 18 年度再生資源（溶融固化物）の利用拡大に関する調査研究報告書、2007
- 4-9) 肴倉宏史、宮脇健太郎、有害物質・溶出：環告 13 号溶出試験の役割と課題、廃棄物資源循環学会誌 20(6)、2009、287-291
- 4-10) 白土定治、谷口昌平、宮崎則幸、溶融飛灰溶出液とキレート基付加高分子表面積の重金属類回収への影響、廃棄物学会研究発表会講演論文集第 17 回、2006、348-350
- 4-11) 山崎友紀、森山美果、辻本総一郎、白波瀬彰彦、久保田晃平、水熱反応を利用したスラグや飛灰中の重金属の溶出制御、法政大学多摩研究報告 23、2008、99-109
- 4-12) 植村政也、水谷聡、山田攻男、炭酸化処理した焼却飛灰セメント固化物からの金属の溶出挙動：拡散溶出試験による評価、廃棄物学会研究発表会講演論文集 18 回、2007、624-626
- 4-13) 齋藤真理、堀雅宏、最終処分のための飛灰の重金属溶出制御、廃棄物学会研究発表会講演論文集 17 回、816-818、2006
- 4-14) 泊正雄、坂本栄治、荒川剛、都市ゴミ焼却炉飛灰および溶融飛灰からの重金属溶出防止に関する基礎研究(2)、近畿大学九州工学部研究報告 30、2002、15-25
- 4-15) 肴倉宏史、大迫政浩、鄭昌煥、小野田弘士、永田勝也、溶融飛灰・溶融メタルの処理・処分と資源化の現状に関する調査、都市清掃 62(288)、2009、191-197
- 4-16) 早稲田大学環境総合研究センター溶融飛灰資源化研究会、北九州市溶融飛灰資源化実証試験報告書、2006
- 4-17) 永田勝也、小野田弘士、片野光祐、LCA による溶融飛灰資源化の環境負荷評価、廃棄物学会研究発表会講演論文集(17)、2006、595-597
- 4-18) 永田勝也、LCA における統合評価手法の開発、第 2 回エコバランス国際会議講演集、1998、136-137

参考文献

- 4-19) 永田勝也、LCAにおけるインパクトアセスメント手法の開発(その1-6)、日本機械学会第5回環境工学総合シンポジウム95講演論文集、1995、151-158
- 4-20) 永田勝也、LCAにおけるインパクトアセスメント手法の開発(その4)：アンケート調査に基づくカテゴリー重要度の特性について、日本機械学会第6回環境工学総合シンポジウム96講演論文集、1996
- 4-21) 北九州市ホームページ、<http://www.city.kitakyushu.jp/> (アクセス日 2010.02.20)
- 4-22) 北九州市、北九州市の推計人口、http://www.city.kitakyushu.jp/pcp_portal/PortalServlet?DISPLAY_ID=DIRECT&NEXT_DISPLAY_ID=U000004&CONTENTS_ID=1191 (アクセス日 2010.02.20)
- 4-23) 新門司工場パンフレット、アクセス日 2010.02.20
<http://www.city.kitakyushu.jp/file/26030300/shisetsu/sinmoji.pdf>
- 4-24) IPCC、Climate Change 2007 : Working Group I Report “The Physical Science Basis”、2007
- 4-25) 環境省、温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル Ver.2.3、2008
- 4-26) 新エネルギー・産業技術総合開発機構、(社)産業環境管理協会：エネルギー使用合理化手法国際調査、1995
- 4-27) 未踏科学技術協、「環境負担性評価システム構築のための基礎調査研究」調査報告書、1995
- 4-28) 資源年報、石油等消費動態統計、1994
- 4-29) 早稲田大学環境総合研究センター溶融飛灰資源化研究会、第6回公開シンポジウム資料、2009
- 4-30) 社団法人プラスチック処理促進協会、プラスチック製品の使用量の増加が地球環境に及ぼす影響評価報告書、1993
- 4-31) 社団法人産業環境管理協会、LCAデータベース、2006
- 4-32) 資源年報、石油等消費動態統計、1996
- 4-33) 早稲田大学環境総合研究センター溶融飛灰資源化研究会、2008年度研究会資料、2008
- 4-34) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部、再生利用認定制度申請の手引き(平成20年4月改訂版)、2008
- 4-35) 環境省ホームページ、一般廃棄物再生利用認定制度の認定状況、http://www.env.go.jp/recycle/waste/sai-nin/jokyo_2.html、アクセス日 2011年1月15日
- 4-36) 黒木清篤、出原年男、竹内博次、溶融飛灰資源化に対する排出側の対応と展望、三重県環境保全事業団研究報告(12)、2006、55-63
- 4-37) 早稲田大学環境総合研究センター溶融飛灰資源化研究会、第2年度研究報告書 2005、2005
- 4-38) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部、廃棄物情報の提供に関するガイドライン、2006

- 5-1) 中国経済産業局、瀬戸内海エリアにおける静脈物流システム構築に関する調査報告書、2000
- 5-2) 国土交通省ホームページ、アクセス日 2010 年 11 月 28 日、
<http://www.mlit.go.jp/kowan/recycleport/recycleport1.html>
- 5-3) 環境省、第 2 次循環型社会形成推進基本計画、2008
- 5-4) 国土交通省ホームページ、アクセス日 2010 年 11 月 29 日、
http://www.mlit.go.jp/kowan/recycleport/recycleport1_files/01.pdf
- 5-5) リサイクルポート推進協議会ホームページ <http://www.rppc.jp/port.html>
アクセス日 2010 年 1 月 28 日
- 5-6) 経済産業省、エコタウン事業認証地域マップ、2008
- 5-7) 国土交通省港湾局、港湾における循環資源取扱に関するガイドライン、2004
- 5-8) 国土交通省港湾局、実証試験を踏まえた循環資源の海上輸送技術等検討業務報告書、2009
- 5-9) 循環型社会形成促進のための海上輸送円滑化検討委員会、財団法人港湾空間高度化環境研究センター、循環型社会形成促進のための海上輸送円滑化に関する調査報告書（リサイクルポートの充実に向けて）、2006
- 5-10) 水上裕之、久保雅義、上田一郎、海上輸送を利用した資源循環型社会システムの構築、日本航海学会論文集 H13 年 3 月 104 号、2001、217-224
- 5-11) 乗越晃、瀬戸内静脈物流（循環資源を共同で運ぶ専用船）、日本船舶海洋工学会誌第 19 号、2008、13-15
- 5-12) 財団法人運輸政策研究機構、循環資源物流に対応した内航海運活性化方策に関する調査研究報告書、2008
- 5-13) 財団法人運輸政策研究機構、循環資源物流に対応した内航海運活性化方策に関する調査研究報告書、2009
- 5-14) 上田忠彦、医療廃棄物処理における電子マニフェストシステム、いんだすと 22(6)、2007、12-17
- 5-15) 医療タイムス、医療廃棄物処理に新たな動き 2008 年 4 月からマニフェストの報告が義務化－FDM システムで電子マニフェストまで自動化、医療タイムス(1826)、2007、10-17
- 5-16) 亀山道弘、平岡克英、船舶運行のインベントリ分析、独立行政法人海上技術安全研究所研究発表会講演集(4)、2004、221-226
- 5-17) 独立行政法人産業技術総合研究所、JEMAI-LCA マニュアル、2006
- 5-18) 産業環境管理協会、LCA データベース、2008
- 5-19) ナビタイムホームページ、<http://www.navitime.co.jp/>、アクセス日 2010 年 10 月 25 日
- 5-20) JR 貨物ホームページ、関東支社コンテナ列車時刻表、
<http://www.jrfreight.co.jp/transport/area/index.html#kanto>、アクセス日 2011 年 1 月 21 日
- 5-21) グーグルマップホームページ、<http://maps.google.co.jp/>、アクセス日 2010 年 10 月 25 日

参考文献

- 6-1) 永田勝也、廃棄物の処理とリサイクルの展望：資源循環型社会に向けて、廃棄物学会誌 9(4)、1998、291-301
- 6-2) 財務省貿易統計、<http://www.customs.go.jp/toukei/srch/index.htm>、2010
- 6-3) 細田衛士、3R と国際資源循環：経済学的視点からの検討、廃棄物学会誌 17(2)、2006、49-59
- 6-4) 寺園淳、アジアにおける E-waste 問題、廃棄物学会誌 17(2)、2006、69-77
- 6-5) 小島道一、アジアにおける循環資源貿易の管理レジームの形成に向けて、廃棄物学会誌 17(2)、2006、86-93
- 6-6) 中谷隼、藤井実、吉田綾、寺園淳、森口祐一、平尾雅彦、使用済ペットボトルの国内リサイクルと日中間リサイクルの比較分析、廃棄物学会論文誌 19(5)、2008、328-339
- 6-7) 吉野敏行、拡大輸出者責任の数理計算について、人間環境論集 (9)、13-24、2010
- 6-8) 吉野敏行、日本の循環資源輸出と中国の循環型社会形成の現状、人間環境論集 6(2007)、1-14
- 6-9) 吉田綾、中国における家電リユース・リサイクル、市民がつくるごみ読本「C&G」第 10 号、廃棄物学会、2006、54-59
- 6-10) 松岡浩史、国際資源循環におけるトレーサビリティ確保に向けた第三者認証機関の取り組みと今後の課題、廃棄物資源循環学会誌 21(4)、2010、245-249
- 6-11) 環境新聞、資源循環ネットワーク 国際資源循環トレーサビリティシステムへ、2010 年 6 月 28 日付
- 6-12) 布施正暁、鹿島茂、日本からの使用済み自動車輸出量の推計、廃棄物学会論文誌 18(5)、2007、305-313
- 6-13) 何佳、周樂分、中国廃棄物原料輸入のコスト：収益分析、国際貿易、2010、179-181、(中国語)
- 6-14) 中国物資再生協会輸入再生資源工作委員会、輸入再生資源を利用した国際大循環の促進、環境経済雑誌第 35 期、2006、32-34、(中国語)
- 6-15) 高松、環境リスクと価値に基づいた輸入固体廃棄物分類のモデルに関する研究、科技管理研究 2008 第 5 期、2008、74-76、(中国語)
- 6-16) 劉陽中、一緒に固体廃棄物船積み前検査から逃げ出す事例、中国検疫検疫 2010 第 4 期、2010、43-44
- 6-17) 齋礼、電子タグ応用システム構築に向けたシステムコストと要求仕様に対する課題と将来の展望、システム/制御/情報 50(4)、2006、140-145
- 6-18) 株式会社リーテム、平成 18 年度経済産業省委託事業、トレーサビリティを確保した資源循環ネットワークの構築に関する調査報告書、2006
- 6-19) 朝日新聞、2004 年 5 月 29 日付
- 6-20) 環境新聞、2004 年 6 月 17 日付
- 6-21) 株式会社日本能率協会総合研究所、中国環境産業年鑑 2008 年版、2008、pp.161
- 6-22) 財団法人港湾空間高度化環境研究センター、循環型社会形成促進のため

- の海上輸送円滑化に関する調査報告書、2006、33-39
- 6-23) 早稲田大学環境総合研究センター、溶融飛灰資源化研究会第2年度研究報告書、2004、33-39
- 6-24) 宇田川佳久、情報システム開発標準におけるトレーサビリティの事例と今後、情報処理 51(2)、2010、150-158
- 6-25) 舞田正志、養殖生産物のトレーサビリティ：現状と課題、日本水産学会誌 76(6)、2010、1129-1131
- 6-26) 黒台昌弘、名倉浩、澤正樹、GIS と RFID を組み合わせた構造物トレーサビリティの開発と導入、土木情報利用技術論文集 19、2010、55-60
- 6-27) 山崎徹、トレーサビリティシステムの実態とその戦略的活用について：水産業におけるトレーサビリティシステム、龍谷ビジネスレビュー(11)、2010、93-106
- 6-28) 安原洋、鋼製小物の個別管理の将来、医機学 78(12)、2008、948-952
- 6-29) 新田仁、竹田裕紀、宝珍輝尚、越村惣次郎、松下隆、携帯電話を活用した農作物トレーサビリティ支援システム、情報処理学会論文誌 48(3)、2007、1010-1019
- 6-30) 住友林業株式会社、新築系建設廃棄物トレーサビリティシステムの開発、平成 20 年度次世代循環型社会形成推進技術基盤整備事業補助金技術開発報告書、2008
- 6-31) 株式会社リーテム、トレーサビリティを確保した資源循環ネットワークの構築のための実施マニュアル、2008

参考文献

- 7-1) 外務省ホームページ、アクセス日 2011 年 1 月 25 日
<http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/kankyo/jyoyaku/basel.html>
- 7-2) 朝日新聞、「廃プラ」どこへいく：中国は輸入停止、2004 年 5 月 29 日付
- 7-3) 東方今報、2010 年 4 月 2 日付（中国語）
- 7-4) 金羊網新快報、2007 年 6 月 8 日付（中国語）
- 7-5) 人民日報、2004 年 5 月 17 日付（中国語）
- 7-6) 明潔、我が国における輸入廃棄物原料の監督・管理に存在する問題と対策、対外経貿実務 2008(3)、2008、39-42（中国語）
- 7-7) 劉陽中、一緒に固体廃棄物船積み前検査から逃げ出す事例、中国檢驗檢疫 2010 第 4 期、2010、43-44（中国語）
- 7-8) 欧陽欽芬、黄文金、輸入環境保護不合格廃プラスチックは無視できない、中国檢驗檢疫 2007 第 7 期、43-44（中国語）
- 7-9) 日本環境省廃棄物・リサイクル対策部ホームページ、アクセス日 2010 年 1 月 12 日、http://www.env.go.jp/recycle/yugai/china_law.html
- 7-10) 中国国家質量監督檢驗檢疫総局ホームページ、
http://www.aqsiq.gov.cn/zwgk/jlgg/jlgkzh/200803/t20080305_65216.html
アクセス日 2009 年 6 月 18 日
- 7-11) 中国国家環境保護総局固体廃棄物管理センターホームページ、
http://ncswm.sepa.gov.cn/bzgf/200612/t20061201_96898.htm
アクセス日 2009 年 6 月 18 日
- 7-12) 住友林業株式会社、新築系建設廃棄物トレーサビリティシステムの開発、平成 20 年度次世代循環型社会形成推進技術基盤整備事業補助金技術開発報告書、2008
- 7-13) 新田仁、竹田裕紀、宝珍輝尚、越村惣次郎、松下隆、携帯電話を活用した農作物トレーサビリティ支援システム、情報処理学会論文誌 48(3)、2007、1010-1019
- 7-14) 胡浩、小野田弘士、中島賢一、永田勝也、トレーサビリティを核とした国際資源循環管理システムの構築、環境資源工学 2010 夏季号 57(2)、2010、53-60
- 7-15) 株式会社リーテム、平成 17 年度経済産業省委託事業、トレーサビリティを確保した資源循環ネットワークの構築に関する調査報告書、2005
- 7-16) 株式会社リーテム、平成 18 年度経済産業省委託事業、トレーサビリティを確保した資源循環ネットワークの構築に関する調査報告書、2006
- 7-17) 株式会社リーテム、平成 19 年度経済産業省委託事業、トレーサビリティを確保した資源循環ネットワークの構築に関する調査報告書、2007
- 7-18) 株式会社リーテム、トレーサビリティを確保した資源循環ネットワークの構築のための実施マニュアル、2008

- 8-1) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課、市町村における循環型社会づくりに向けた一般廃棄物処理システムの指針、2009
- 8-2) 環境大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課、「廃棄物の減量その他その適正な処理に関する施策の統合的かつ計画的な推進を図るための基本的な指針」について一国の基本方針について、都市清掃 54(243)、2001、415-418
- 8-3) 高橋富男、古市徹、廃棄物計画のための市民参加と住民合意、廃棄物学会誌 13(3)、2002、128-137
- 8-4) 永田勝也、小野田弘士、永井裕二、切川卓也、兼子洋幸、胡浩、廃棄物処理・リサイクルにおける安全・安心対応策に関する検討、廃棄物学会研究発表会講演論文集(17)、2006、330-332
- 8-5) 新田仁、竹田裕紀、宝珍輝尚、越村惣次郎、松下隆、携帯電話を活用した農作物トレーサビリティ支援システム、情報処理学会論文誌 48(3)、2007、1010-1019
- 8-6) 住友林業株式会社、新築系建設廃棄物トレーサビリティシステムの開発、平成 20 年度次世代循環型社会形成推進技術基盤整備事業補助金技術開発報告書、2008
- 8-7) 株式会社リーテム、平成 17 年度経済産業省委託事業、トレーサビリティを確保した資源循環ネットワークの構築に関する調査報告書、2005
- 8-8) 株式会社リーテム、平成 18 年度経済産業省委託事業、トレーサビリティを確保した資源循環ネットワークの構築に関する調査報告書、2006
- 8-9) 株式会社リーテム、平成 19 年度経済産業省委託事業、トレーサビリティを確保した資源循環ネットワークの構築に関する調査報告書、2007
- 8-10) 株式会社リーテム、トレーサビリティを確保した資源循環ネットワークの構築のための実施マニュアル、2008
- 8-11) 小野田弘士、永田勝也、切川卓也、堤恵美子、狩谷順二、加賀山保一、小林均、河井鉦輔、平成 20 年度廃棄物処理等科学研究報告書「一般廃棄物処理システムにおける環境負荷・経済性の実効性評価手法に関する研究 (K2030)」、2009
- 8-12) 早稲田大学環境総合研究センター溶融飛灰資源化研究会、平成 21 年度研究報告書、2009

謝 辞

本研究を進めるにあたって終始ご指導賜りました早稲田大学大学院環境エネルギー研究科永田勝也教授に厚く御礼申し上げます。本論文をまとめるにあたり、適切なお助言・ご指導いただきました早稲田大学環境総合研究センター小野田弘士准教授に深謝致します。また、本論文を審査していただきました永田勝也教授、勝田正文教授、中垣隆雄准教授、小野田弘士准教授に深く感謝の意を表します。

本研究の一部は、環境省廃棄物処理等科学研究費補助金および経済産業省の委託事業として行われました。

また、本研究の遂行にあたり、財団法人大阪科学技術センター地球環境技術推進懇談会廃棄物処理技術の LCA 研究会、早稲田大学溶融飛灰資源化研究会、実証試験を踏まえた循環資源の海上輸送技術検討委員会および国際資源循環調査委員会に多大なお協力・ご指導を賜りました。

新日鉄エンジニアリング株式会社長田守弘様、神鋼環境ソリューション秩父薫雅様、日立造船福士様、三井造船佐藤様をはじめとした OSTEC（大阪科学技術センター）廃棄物処理技術 LCA 研究会の皆様、新日鉄エンジニアリング水谷様、東京二十三区清掃一部事務組合松坂様、石野様、中園様、高木様、光和精鉱株式会社米澤様、高橋様、三菱マテリアル立屋敷様、小名浜製錬奥様、三井金属横本様、中部リサイクル横田様、三重県環境保全事業団黒木様をはじめとした早稲田大学溶融飛灰研究会の皆様、太平洋セメント福原様、NTT データ経営研究所村岡様、NTT 北陸菅本様、EX 都市研究所小林様をはじめとした実証試験を踏まえた循環資源の海上輸送技術検討委員会の皆様、株式会社リーテム中島会長様、山崎様、柳様、アースデザインインターナショナル藤本様をはじめとした国際資源循環調査委員会の皆様に深く御礼申し上げます。

また、本研究の遂行にあたり、貴重なデータをご提供いただきました三重県環境保全事業団様、千葉県千葉市をはじめとする自治体の皆様に深謝いたします。

また、毎年、研究をともにしてきた早稲田大学大学院環境エネルギー研究科永田・小野田研究室の皆様には多大なるご協力をいただきました。研究のみならず、大学関連の仕事や生活面においても、いつも適切なお助言・ご指導をいただきました早稲田大学大学院環境エネルギー研究科切川卓也助教に感謝したいと思います。

最後に、いつも励ましてくれた両親、四国に在住している叔父、叔母、および幼いときから育てて頂いた中国にいらっしゃる祖父（故）、祖母、叔父、叔母をはじめとした故郷の親族の皆様に、最大な敬意を表します。

◇ご協力いただきました関係者の皆様に厚く御礼申し上げます◇

Appendix

< 統合化指標 ELP の概要 >

1. カテゴリー内の重み付け係数

指標統合化を行うためには、その前段階でカテゴリー内での重み付けによる特性解析を行う必要がある。以下にカテゴリー内の重み付け係数の設定法を示す。

(1) エネルギー枯渇

エネルギー枯渇に寄与する物質に関しては、その低位発熱量 (MJ/kg) と可採年数の逆数 (可採埋蔵量/年間生産量) の積を重み付け係数とした。エネルギー枯渇係数は原油を 1 として相対化したものである。表 1.1 に可採埋蔵量、年間生産量、表 1.2 にエネルギー枯渇係数を示す。

表 1.1 可採埋蔵量、年間生産量および低位発熱量

個別項目		可採埋蔵量	年間生産量	低位発熱量 MJ/kg	可採年数 年
原油 (バレル)	oil	*1 9.97E+11	*1 2.19E+10	*5 4.27E+01	4.56E+01
石炭 (t)	coal	*2 1.04E+12	*2 4.75E+09	*6 2.64E+01	2.19E+02
天然ガス (m ³)	natural gas	*1 1.38E+14	*1 2.16E+12	*7 4.94E+01	6.39E+01
ウラン鉱石 (精鉱t)	uranium ore	*3 2.00E+06	*3 2.70E+04	*8 1.11E+03	7.41E+01
原木 (ha)	wood	*4 3.59E+09	*4 1.15E+07	*9 1.67E+01	3.12E+02

注) *1 Oil&Gas Journal, 1992.

*2 世界エネルギー会議, 1992.

*3 OECD, NEA, IAEA, 1992.

*4 WRI, World Resources, 1992.

可採埋蔵量: 森林および林地の面積, 年生産量: 年間平均森林減少面積.

*5 火力原子力発電技術協会, 火力原子力発電必携, 1993.

*6 資源エネルギー庁編, コールノート, 1992.

*7 東京ガス ヒアリング.

*8 PRe Consultants, SimaPro 2.0, 1993.

*9 (社) プラスチック処理促進協会, ファクトシート, 1992.

表 1.2 エネルギー枯渇係数

個別項目		重み付け係数 1/kg
原油	oil	1.00E+00
石炭	coal	1.29E-01
天然ガス	natural gas	8.25E-01
ウラン鉱石	uranium ore	1.60E+01
原木	wood	5.72E-02

(2) 地球温暖化

地球温暖化に寄与する物質に関しては、地球温暖化ポテンシャル（GWP：Global Warming Potential）100年値を用いた。GWPはCO₂を1とした相対的パラメータである。表1.3に地球温暖化係数（GWP₁₀₀）を示す。

表 1.3 地球温暖化係数

	個別項目	重み付け係数 1/kg	
	二酸化炭素	CO ₂	1.00E+00
	メタン	methane	2.45E+01
	亜酸化窒素	N ₂ O	3.20E+02
	フロン-11	CFC-11	4.00E+03
	フロン-12	CFC-12	8.50E+03
	フロン-13	CFC-13	1.17E+04
	フロン-113	CFC-113	5.00E+03
	フロン-114	CFC-114	9.30E+03
	フロン-115	CFC-115	9.30E+03
	HCFC-22	HCFC-22	1.70E+03
	HCFC-123	HCFC-123	9.30E+01
大	HCFC-124	HCFC-124	4.80E+02
	HCFC-141b	HCFC-141b	6.30E+02
	HCFC-142b	HCFC-142b	2.00E+03
気	HCFC-225ca	HCFC-225ca	1.70E+02
	HCFC-225cb	HCFC-225cb	5.30E+02
	四塩化炭素	tetrachloromethane	1.40E+03
へ	メチルクロロホルム	methyl chloroform	1.10E+02
	ハロン-1301	HALON-1301	5.60E+03
	HFC-23	HFC-23	1.21E+04
の	HFC-32	HFC-32	5.80E+02
	HFC-43-10mee	HFC-43-10mee	1.60E+03
	HFC-125	HFC-125	3.20E+03
排	HFC-134	HFC-134	1.20E+03
	HFC-134a	HFC-134a	1.30E+03
	HFC-152a	HFC-152a	1.40E+02
出	HFC-143	HFC-143	2.90E+02
	HFC-143a	HFC-143a	4.40E+03
	HFC-227ea	HFC-227ea	3.30E+03
	HFC-236fa	HFC-236fa	8.00E+03
	HFC-245ca	HFC-245ca	6.10E+02
	クロロホルム	chloroform	5.00E+00
	塩化メチレン	methylene chloride	9.00E+00
	六フッ化硫黄	sulphur hexafluoride	2.49E+04
	過フルオロメタン	perfluoromethane	6.30E+03
	過フルオロエタン	perfluoroethane	1.25E+04
	過フルオロシクロブタン	perfluorocyclo-butane	9.10E+03
	過フルオロヘキサン	perfluorohexane	6.80E+03

(3) オゾン層破壊

オゾン層の破壊に寄与する物質に関しては、オゾン層破壊ポテンシャル（ODP：Ozone Depletion Potential）を用いた。ODPはCFC-11を1とした相対的パラメータである。表1.4にオゾン層破壊係数を示す。

表 1.4 オゾン層破壊係数

	個別項目		重み付け係数 1/kg
大 気 へ の 排 出	1,1,1-トリクロロエタン	1,1,1-trichloroethane	1.20E-01
	フロン（ハード）	CFC(hard)	1.00E+00
	フロン（ソフト）	CFC(soft)	5.50E-02
	フロン-11	CFC-11	1.00E+00
	フロン-113	CFC-113	1.07E+00
	フロン-114	CFC-114	8.00E-01
	フロン-115	CFC-115	5.00E-01
	フロン-12	CFC-12	1.00E+00
	臭化メチル	CH ₃ Br	6.00E-01
	ハロン-1201	HALON-1201	1.40E+00
	ハロン-1202	HALON-1202	1.25E+00
	ハロン-1211	HALON-1211	4.00E+00
	ハロン-1301	HALON-1301	1.60E+01
	ハロン-2311	HALON-2311	1.40E-01
	ハロン-2401	HALON-2401	2.50E-01
	ハロン-2402	HALON-2402	7.00E+00
	HCFC-123	HCFC-123	2.00E-02
	HCFC-124	HCFC-124	2.20E-02
	HCFC-141b	HCFC-141b	1.10E-01
	HCFC-142b	HCFC-142b	6.50E-02
	HCFC-22	HCFC-22	5.50E-02
	HCFC-225ca	HCFC-225ca	2.50E-02
	HCFC-225cb	HCFC-225cb	3.30E-02
	四塩化炭素	tetrachloromethane	1.08E+00

(4) 酸性雨

酸性雨等の酸性化に寄与する物質に関しては、酸性化ポテンシャル（AP：Acidification Potential）を用いた。APはSO_xを1とした相対的パラメータである。表1.5に酸性化係数を示す。

表 1.5 酸性化係数

	個別項目		重み付け係数 1/kg
大 気 へ の 排 出	窒素酸化物	NO _x (NO ₂)	7.00E-01
	一酸化窒素	NO	1.07E+00
	硫黄酸化物	SO _x (SO ₂)	1.00E+00
	アンモニウム	ammonium	1.88E+00
	塩化水素	HCl	8.80E-01
	フッ化水素	HF	1.60E+00
	アンモニア	NH ₃	1.88E+00

(5) 資源の消費

エネルギー物質を除いた資源物質の消費に関しては、可採年数の逆数（可採埋蔵量／年間生産量）を用いた。資源消費係数は鉄鉱石を1として相対化した。表1.6に可採埋蔵量、年間生産量、表1.7に資源消費係数を示す。

表 1.6 可採埋蔵量、年間生産量

個別項目		可採埋蔵量 t	年間生産量 t	可採年数 年
鉄鉱石	iron ore	1.47E+11	9.43E+08	1.56E+02
ボーキサイト	bauxite	2.18E+10	9.91E+07	2.20E+02
銅	Cu	3.52E+08	8.83E+06	3.99E+01
鉛	Pb	7.00E+07	3.45E+06	2.03E+01
亜鉛	Zn	1.47E+08	7.04E+06	2.09E+01
アンチモン	Sb	4.20E+06	8.28E+04	5.07E+01
ヒ素	As	1.00E+06	5.50E+04	1.82E+01
ビスマス	Bi	8.95E+04	3.32E+03	2.70E+01
カドミウム	Cd	5.35E+05	2.07E+04	2.58E+01
クロム	Cr	1.03E+09	1.20E+07	8.61E+01
コバルト	Co	3.31E+06	3.87E+04	8.55E+01
ガリウム	Ga	1.10E+05	7.10E+01	1.55E+03
金	Au	4.20E+04	1.91E+03	2.20E+01
インジウム	In	1.69E+03	1.10E+02	1.54E+01
水銀	Hg	1.30E+05	5.76E+03	2.26E+01
ニッケル	Ni	4.90E+07	8.39E+05	5.84E+01
白金族	Pt	5.60E+04	2.70E+02	2.07E+02
希土類元素		4.50E+04	5.00E+01	9.00E+02
レニウム	Re	2.70E+03	2.90E+01	9.31E+01
セレン	Se	8.00E+04	1.45E+03	5.52E+01
銀	Ag	2.80E+05	1.40E+04	2.00E+01
タリウム	Tl	3.77E+02	1.60E+01	2.36E+01
スズ	Sn	4.28E+06	2.10E+05	2.04E+01
タングステン	W	2.57E+06	4.30E+04	5.97E+01
モリブデン	Mo	*1 1.20E+07	*2 9.91E+04	1.21E+02
マンガン	Mn	*1 4.80E+09	*3 2.39E+07	2.01E+02
バナジウム	V	*1 2.70E+07	*4 3.17E+04	8.51E+02
タンタル	Ta	*1 3.50E+04	*5 2.89E+02	1.21E+02
マグネシウム	Mg	*1 3.40E+09	*1 3.09E+06	1.10E+03
ゲルマニウム	Ge	*6 8.60E+06	*7 1.33E+02	6.49E+04
リチウム	Li	*1 8.40E+06	*1 5.60E+03	1.50E+03
ジルコニウム	Zr	*8 5.80E+07	*9 9.69E+05	5.99E+01

注) *1 Mineral Commodity Summaries, 1993.

*2 工業レアメタル.

*3 Roskill The Economics of Manganese 6th Edition, 1991.

*4 Roskill The Economics of Vanadium 7th Edition, 1989.

*5 CLUMBIUM AND TANTALIUM MINERALS YEARBOOK, 1988.

*6 Mineral Commodity Profiles, 1983.

*7 Roskill The Economics of Germanium 6th Edition, 1990.

*8 Mineral Commodity Summaries, 1983.

*9 Roskill The Economics of Zirconium 6th Edition, 1990.

* 注の無いものはUSBM, 1990, 資源エネルギー庁, 1990, アルム出版社.

表 1.7 資源消費係数

	個別項目	重み付け係数 1/kg	
原 材 料	鉄鉱石	iron ore	1.00E+00
	ボーキサイト	bauxite	7.10E-01
	銅	Cu	3.92E+00
	鉛	Pb	7.70E+00
	亜鉛	Zn	7.49E+00
	アンチモン	Sb	3.08E+00
	ヒ素	As	8.60E+00
	ビスマス	Bi	5.80E+00
	カドミウム	Cd	6.05E+00
	クロム	Cr	1.82E+00
	コバルト	Co	1.83E+00
	ガリウム	Ga	1.01E-01
	金	Au	7.11E+00
	インジウム	In	1.02E+01
	水銀	Hg	6.93E+00
	ニッケル	Ni	2.68E+00
	白金族	Pt	7.54E-01
	希土類元素		1.74E-01
	レニウム	Re	1.68E+00
	セレン	Se	2.83E+00
	銀	Ag	7.82E+00
	タリウム	Tl	6.63E+00
	スズ	Sn	7.67E+00
	タングステン	W	2.62E+00
	モリブデン	Mo	1.29E+00
	マンガン	Mn	7.77E-01
	バナジウム	V	1.84E-01
	タンタル	Ta	1.29E+00
	マグネシウム	Mg	1.42E-01
	ゲルマニウム	Ge	2.41E-03
	リチウム	Li	1.04E-01
	ジルコニウム	Zr	2.61E+00

(6) 大気汚染

大気中へ排出される環境汚染物質のうち、人の健康に影響を及ぼす物質に関して、わが国の環境基本法の環境基準値、大気汚染防止法の有害物質の想定環境濃度などの逆数から重み付け係数を算出した。基準値に幅がある場合には、最も厳しい値を採用し、SO_x を 1 として相対化した。表 1.8 に大気汚染係数を示す。

表 1.8 大気汚染係数

	個別項目	重み付け係数 1/kg	
大 気 へ の 排 出	硫黄酸化物	SO _x (SO ₂)	1.00E+00
	一酸化炭素	CO	9.16E-03
	ばいじん	particulates	1.09E+00
	窒素酸化物	NO _x (NO ₂)	1.40E+00
	1,1,1-トリクロロエタン	1,1,1-trichloroethane	8.06E-01
	カドミウム	Cd	1.24E+02
	塩素	Cl	3.69E+00
	塩化水素	HCl	7.25E-01
	フッ素	F	3.69E+01
	鉛	Pb	1.09E+01

(7) 海洋・水質汚染

海洋・水質汚染に寄与する物質に関しては、環境基本法に基づく水質汚濁に係わる人の健康の保護に関する物質および水質汚濁防止法で定める生活環境項目のうち、係数設定が困難である水素イオン濃度（pH）、大腸菌群数を除いた物質をカテゴリー個別項目とした。重み付け係数は主に環境基準値、水質汚濁防止法排水基準値の逆数から算出し、BOD(生物化学的酸素要求量)を1として相対化した。表 1.9 に水質汚濁係数を示す。

表 1.9 水質汚濁係数

	個別項目	重み付け係数 1/kg	
水 域 へ の 排 出	カドミウム	Cd	2.00E+03
	全シアン	T-CN	2.00E+02
	鉛	Pb	2.00E+03
	六価クロム		4.00E+02
	ヒ素	As	2.00E+03
	総水銀	T-Hg	4.00E+04
	アルキル水銀	R-Hg	6.67E+06
	PCB	PCB	6.67E+04
	ジクロロメタン	dichloromethane	1.00E+03
	四塩化炭素	tetrachloromethane	1.00E+04
	1,2-ジクロロエタン	1,2-dichloroethane	5.00E+03
	1,1-ジクロロエチレン	1,1-dichloroethylen	1.00E+03
	シス-1,2-ジクロロエチレン	cis-1,2-dichloroethylen	5.00E+02
	1,1,1-トリクロロエタン	1,1,1-trichloroethane	2.00E+01
	1,1,2-トリクロロエタン	1,1,2-trichloroethane	3.33E+03
	トリクロロエチレン	TCE	6.67E+02
	テトラクロロエチレン	PCE	2.00E+03
	1,3-ジクロロプロペン	1,3-dichloropropen	1.00E+04
	チウラム	thiuram	3.33E+03
	シマジン	simazine	6.67E+03
	チオベンカルブ		1.00E+03
	ベンゼン	benzene	2.00E+03
	セレン	Se	2.00E+03
	生物化学的酸素要求量	BOD	1.00E+00
	化学的酸素要求量	COD	1.00E+00
	浮遊物質	SS	2.86E-01
	ルマンキサン抽出物質含有量・鉱油含有量		4.00E+00
	ルマンキサン抽出物質含有量・動植物油脂含有量		6.67E-01
	フェノール類	Ph-OH	4.00E+00
	*1 原油	cruid oil	4.00E+00
	*1 多環芳香族炭化水素	PAH	4.00E+00
	銅	Cu	6.67E+00
	亜鉛	Zn	4.00E+00
溶解性鉄	S-Fe	2.00E+00	
溶解性マンガン	S-Mn	2.00E+00	
クロム	T-Cr	1.00E+01	
フッ素	F	1.33E+00	
窒素含有量	T-N	1.00E+00	
リン含有量	T-P	2.00E+01	

注) *1 フェノール類の値を使用。

(8) 廃棄物処理問題

廃棄物処理問題に関しては、固形廃棄物の排出量 (kg) そのものをポテンシャルとし、それぞれの物質について重み付けは行わず、固形廃棄物排出係数を1とした。

(9) 生態系への影響

生態系への影響に関しては、オランダの RIVM : 国立公衆衛生・環境保全研究所 (National Institute of Public Health and Environmental Protection) において 2 つのグループの定量化ファクター、水圏の生態系ファクター (ECA : Ecotoxicological Classification Factor for Aquatic Ecosystems)、陸界の生態系ファクター (ECT : Ecotoxicological Classification Factor for Terrestrial Ecosystems) が設定されている。今回生態毒性係数として、陸界へ影響は地下水への影響と同等であり、水圏の生態系影響に含まれると考え、ECA のみを用いた (SimaPro2.0 より)。生態毒性係数を表 1.10 に示す。

表 1.10 生態毒性係数

	個別項目	重み付け係数 1/kg	
水 域 へ の 排 出	1, 1, 2, 2-テトラクロロエタン	1, 1, 2, 2-tetrachloroethane	2.00E-02
	1, 2-ジクロロエタン	1, 2-dichloroethane	9.40E-04
	2, 5, 2-トリクロロビフェニル	2, 5, 2-trichlorobiphenyl	1.00E+02
	吸着可能有機ハロゲン	AOX	9.40E-04
	ヒ素	As	2.00E-01
	ベンゼン	benzene	2.90E-02
	ベンゾピレン	benzo (a) pyrene	4.00E+01
	カドミウム	Cd	2.00E+02
	クロロベンゼン類	chlorobenzenes	1.60E-01
	クロロフェノール類	chlorophenols	5.60E+00
	コバルト	Co	1.00E+00
	クロム	Cr	1.00E+00
	原油	cruoid oil	5.00E-02
	銅	Cu	2.00E+00
	炭化水素	CxHy	5.00E-02
	脂肪族炭化水素	CxHy aliphatic	5.00E-02
	芳香族炭化水素	CxHy aromatic	2.90E-02
	塩素系炭化水素	CxHy chloro	9.40E-04
	シアニド	Cyanide	5.00E-02
ダイオキシン	dioxin	1.40E+03	
ヘキサクロロビフェニル	hexachlorobiphenyl	1.00E+02	
水銀	Hg	5.00E+02	
イソプロパノール	isopropanol	5.00E-02	
多環芳香族炭化水素	PAH	4.00E+01	
鉛	Pb	2.00E+00	
ペンタクロロフェノール	pentachlorophenol	5.60E+00	
ガソリン	petrol	5.00E-02	
フェノール	phenol	5.90E+00	
ポリクロロビフェニル類	polychlorobiphenyls	1.00E+02	
四塩化炭素	trichloromethane	1.70E-01	
塩化ビニル	vinylchloride	9.40E-04	
亜鉛	Zn	3.80E-01	

以上、各カテゴリ内の指標の設定方法をまとめて、対象項目数とともに表 1.11 に示す。それぞれ括弧内に示すように相対化を行っている。特記すべきは、資源の消費のカテゴリに原則として、原油や木材等のエネルギーの枯渇で考慮した個別環境負荷項目は含めないことである。これは以下の理由による。

- ①原油等にはプラスチックなど原材料として用いられる場合もあるが、サーマルリサイクルまで考慮すると、はじめからポテンシャルエネルギーを内包させておくべきである。
- ②原油等をエネルギーの枯渇と資源の消費の両カテゴリで評価することは、過度の環境負荷をこれらに負わせることになるかと判断される。

表 1.11 カテゴリ内の重み付け係数

物質	重み付け係数	類
石油	1.00	1
石炭	0.50	1
木材	0.50	1
電力	0.50	1
ガス	0.50	1
水	0.50	1
その他	0.50	1
資源	0.50	1
エネルギー	0.50	1
その他	0.50	1

2. カテゴリ重要度を用いた指標統合化手法

アンケートにより推定したカテゴリ重要度を指標統合化に反映させるため、ELP を提案する。

ELP は、はじめにカテゴリごとの重み付け係数 ($C_{j,k}$) に、原油、石炭などの年間投入量および CO_2 、 NO_x などの年間排出量 (TQ_k : 世界値、日本値を設定したが今回は日本値を使用) を乗じ合算する。この値をカテゴリごとの年間総負荷 (A_j) とする。次にカテゴリごとの重み付け係数にアンケートから得られたカテゴリ重要度 (W_j) を掛け、年間総負荷で割り、個別環境項目ごとに合算して統合化係数 (ELF_k) を算出する。同じ物質でも複数のカテゴリに存在する場合 (例えば、 SO_x は酸性雨および大気汚染に存在する) は、物質ごとに合計して ELF とした。そして、インベントリー分析からの投入・排出量を掛け合算することで ELP を算出する。以上を数式で表現すると、図 2.1 の通りになる。

この方法は、個別環境項目の年間投入・排出量 (表 2.1) を用いて規準化

(Normalization) を行っていると考えることができるが、この値が不明の個別環境項目が多く、考慮できる項目が限定される欠点がある。しかし評価される製品(もの)単独で統合化指標が得られ、全く機能単位が異なるもの(例:自動車とPETボトル)を評価する上ではこの方法が有効となる。

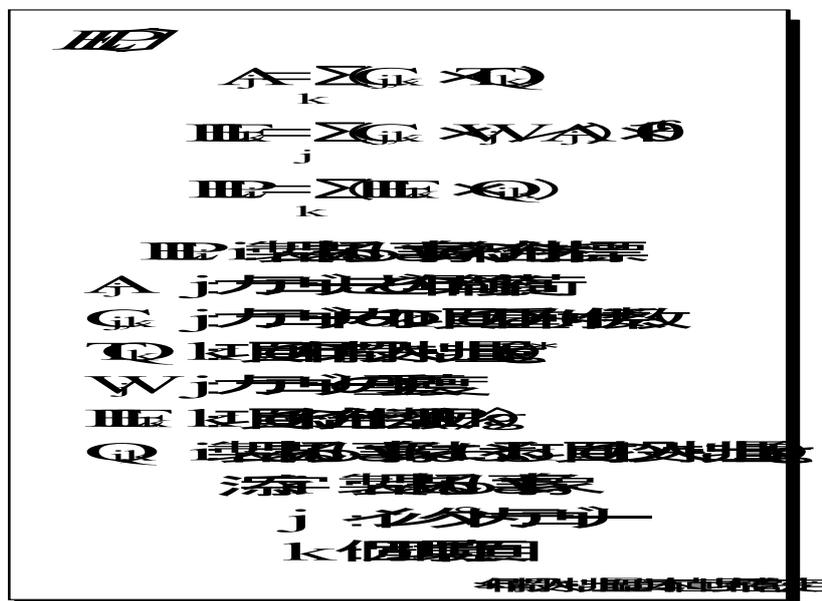


図 2.1 ELPの算出方法

表 2.1 対象物質の年間投入・排出量 (その1)

個別項目		年間投入・排出量 kg	
原	原油	oil	2.64E+11
	石炭	coal	*1 1.30E+11
	天然ガス	natural gas	*1 4.26E+10
	ウラン鉱石	uranium ore	*1 1.75E+09
	原木	wood	*2 4.84E+10
	鉄鉱石	iron ore	1.23E+11
	ボーキサイト	bauxite	1.25E+10
	銅	Cu	1.27E+09
	鉛	Pb	2.71E+08
	亜鉛	Zn	2.64E+08
材	アンチモン	Sb	6.57E+06
	ビスマス	Bi	5.12E+05
	カドミウム	Cd	2.51E+06
	クロム	Cr	1.05E+09
	コバルト	Co	4.81E+06
	ガリウム	Ga	1.90E+04
	金	Au	4.24E+05
	インジウム	In	4.80E+04
	水銀	Hg	5.40E+04
	ニッケル	Ni	5.90E+07
料	白金族	Pt	6.70E+04
	希土類元素		4.40E+03

注) *1 資源エネルギー庁, 総合エネルギー統計.
 *2 FAO, Yearbook of Forest Product, 1991,
 FAO, Forest Resources, 1985,
 林野庁, 林業統計要覧, 1993.

表 2.2 対象物質の年間投入、排出量（その2）

	個別項目		年間投入・排出量 kg
原 材 料	セレン	Se	5.09E+05
	銀	Ag	8.53E+05
	スズ	Sn	3.38E+07
	タングステン	W	3.10E+06
	モリブデン	Mo	*3 1.02E+07
	マンガン	Mn	*4 1.62E+06
	バナジウム	V	*5 3.80E+06
	タンタル	Ta	*6 1.29E+05
	マグネシウム	Mg	*7 1.96E+07
	ゲルマニウム	Ge	*8 1.90E+04
	リチウム	Li	*7 6.52E+05
	ジルコニウム	Zr	*7 1.69E+08
大 気 へ の 排 出	二酸化炭素	CO ₂	*11 1.13E+12
	窒素酸化物	NO _x (NO ₂)	*11 1.48E+09
	硫黄酸化物	SO _x (SO ₂)	*11 8.76E+08
	亜酸化窒素	N ₂ O	*11 4.70E+07
	メタン	methane	*11 1.34E+09
	非メタン炭化水素	NMHC	*12 1.39E+09
	ばいじん	particulates	*12 1.01E+08
*9 水 域	生物化学的酸素要求量	BOD	*14 7.80E+08
	化学的酸素要求量	COD	*14 1.56E+09
*10 固	固形廃棄物	Solid Waste	*15 3.60E+11

- 注) *3 Roskill The Economics of Molybdenum 4th Edition, 1985.
 *4 Roskill The Economics of Manganese 7th Edition, 1991.
 *5 Roskill The Economics of Vanadium 5th Edition, 1986.
 *6 Roskill's Metal Databook 2nd Edition, 1980.
 *7 Roskill's Metal Databook 6th Edition, 1985.
 *8 Roskill The Economics of Germanium 5th Edition, 1988.
 *11 OECD, ENVIRONMENTAL INDICATORS, 1994.
 *12 環境庁, 環境白書, 1980, 環境庁委託調査資料.
 *13 OECD, ENVIRONMENTAL DATA COMPENDIUM, 1993.
 *14 中西淳子, 水の環境戦略, 岩波書店, 1994.
 *15 OECD, The State of The Environment, 1991.
 * 注の無いものはUSBM 1990,
 資源エネルギー庁, 1990, アルム出版社.

本研究では、これまでに実施した海外を含む全 10 対象にアンケートを行ってきた。そのアンケートによるカテゴリー重要度を用い算出した統合化係数 (ELF : Environmental Load Factor) を表 2.3、表 2.4 に示す。

表 2.3 統合化係数 ELF (その 1)

	個別項目		E L F ELP/kg				早大理工 学生
			A財団会員企業		化学系B学会		
			L C A 専門家	環境 一般	企業内 環境専門家	一般 会員	
原 材 料	原油	oil	3.33E+03	3.56E+03	5.16E+03	3.20E+03	3.31E+03
	石炭	coal	4.28E+02	4.58E+02	6.63E+02	4.11E+02	4.25E+02
	天然ガス	natural gas	2.74E+03	2.94E+03	4.25E+03	2.64E+03	2.73E+03
	ウラン鉱石	uranium ore	5.32E+04	5.70E+04	8.25E+04	5.12E+04	5.29E+04
	原木	wood	1.90E+02	2.04E+02	2.95E+02	1.83E+02	1.89E+02
	鉄鉱石	iron ore	5.71E+03	6.66E+03	7.08E+03	6.23E+03	7.96E+03
	ボーキサイト	bauxite	4.06E+03	4.73E+03	5.03E+03	4.43E+03	5.66E+03
	銅	Cu	2.24E+04	2.61E+04	2.78E+04	2.44E+04	3.12E+04
	鉛	Pb	4.40E+04	5.13E+04	5.46E+04	4.80E+04	6.13E+04
	亜鉛	Zn	4.27E+04	4.99E+04	5.30E+04	4.66E+04	5.96E+04
	アンチモン	Sb	1.76E+04	2.05E+04	2.18E+04	1.92E+04	2.45E+04
	ビスマス	Bi	3.31E+04	3.86E+04	4.11E+04	3.61E+04	4.62E+04
	カドミウム	Cd	3.46E+04	4.03E+04	4.29E+04	3.77E+04	4.82E+04
	クロム	Cr	1.04E+04	1.21E+04	1.29E+04	1.13E+04	1.45E+04
	コバルト	Co	1.04E+04	1.22E+04	1.29E+04	1.14E+04	1.46E+04
	ガリウム	Ga	5.76E+02	6.72E+02	7.14E+02	6.28E+02	8.03E+02
	金	Au	4.06E+04	4.74E+04	5.03E+04	4.43E+04	5.66E+04
	インジウム	In	5.80E+04	6.77E+04	7.20E+04	6.33E+04	8.09E+04
	水銀	Hg	3.95E+04	4.61E+04	4.90E+04	4.31E+04	5.51E+04
	ニッケル	Ni	1.53E+04	1.78E+04	1.90E+04	1.67E+04	2.13E+04
	白金族	Pt	4.30E+03	5.02E+03	5.34E+03	4.69E+03	6.00E+03
	希土類元素		9.92E+02	1.16E+03	1.23E+03	1.08E+03	1.38E+03
	セレン	Se	1.62E+04	1.89E+04	2.01E+04	1.76E+04	2.26E+04
	銀	Ag	4.46E+04	5.21E+04	5.53E+04	4.87E+04	6.22E+04
	スズ	Sn	4.38E+04	5.11E+04	5.43E+04	4.78E+04	6.11E+04
	タングステン	W	1.50E+04	1.75E+04	1.85E+04	1.63E+04	2.09E+04
	モリブデン	Mo	7.37E+03	8.60E+03	9.14E+03	8.04E+03	1.03E+04
	マンガン	Mn	4.44E+03	5.18E+03	5.50E+03	4.84E+03	6.19E+03
	バナジウム	V	1.05E+03	1.22E+03	1.30E+03	1.14E+03	1.46E+03
	タンタル	Ta	7.37E+03	8.60E+03	9.14E+03	8.04E+03	1.03E+04
マグネシウム	Mg	8.11E+02	9.47E+02	1.01E+03	8.85E+02	1.13E+03	
ゲルマニウム	Ge	1.37E+01	1.60E+01	1.71E+01	1.50E+01	1.92E+01	
リチウム	Li	5.95E+02	6.94E+02	7.38E+02	6.49E+02	8.30E+02	
ジルコニウム	Zr	1.49E+04	1.74E+04	1.85E+04	1.63E+04	2.08E+04	
大 気 へ の 排 出	二酸化炭素	CO ₂	1.16E+03	7.04E+02	9.49E+02	6.31E+02	8.45E+02
	窒素酸化物	NO _x (NO ₂)	7.57E+05	8.24E+05	6.84E+05	8.58E+05	7.61E+05
	硫黄酸化物	SO _x (SO ₂)	7.87E+05	8.53E+05	7.68E+05	8.94E+05	8.06E+05
	亜酸化窒素	N ₂ O	3.73E+05	2.25E+05	3.04E+05	2.02E+05	2.70E+05
	メタン	methane	2.85E+04	1.73E+04	2.33E+04	1.55E+04	2.07E+04
	非メタン炭化水素	NMHC	2.39E+05	2.63E+05	1.70E+05	2.69E+05	2.28E+05
	ばいじん	particulates	3.22E+05	3.53E+05	2.28E+05	3.62E+05	3.07E+05
	フロン	CFCs	1.64E+07	1.46E+07	1.86E+07	1.35E+07	1.82E+07
*1 水 域	生物化学的酸素要求量	BOD	6.15E+05	6.46E+05	4.26E+05	7.18E+05	5.42E+05
	化学的酸素要求量	COD	6.15E+05	6.46E+05	4.26E+05	7.18E+05	5.42E+05
*2 固	固形廃棄物	solid waste	2.72E+03	3.36E+03	2.51E+03	3.70E+03	2.81E+03

注) *1 水域への排出.

*2 固形廃棄物.

表 2.4 統合化係数 ELF (その2)

	個別項目		E L F ELP/kg				
			大妻女子大 学生	環境科学者	釜山水産大 学生	アムステルダム大 学生	ヨーロッパ 環境科学者
原 材 料	原油	oil	3.43E+03	5.23E+03	2.87E+03	3.37E+03	2.65E+03
	石炭	coal	4.41E+02	6.73E+02	3.69E+02	4.33E+02	3.41E+02
	天然ガス	natural gas	2.83E+03	4.32E+03	2.37E+03	2.78E+03	2.19E+03
	ウラン鉱石	uranium ore	5.49E+04	8.37E+04	4.59E+04	5.38E+04	4.24E+04
	原木	wood	1.96E+02	2.99E+02	1.64E+02	1.92E+02	1.52E+02
	鉄鉱石	iron ore	9.28E+03	9.16E+03	6.39E+03	9.87E+03	5.04E+03
	ボーキサイト	bauxite	6.60E+03	6.51E+03	4.54E+03	7.01E+03	3.58E+03
	銅	Cu	3.64E+04	3.59E+04	2.51E+04	3.87E+04	1.98E+04
	鉛	Pb	7.15E+04	7.06E+04	4.92E+04	7.60E+04	3.88E+04
	亜鉛	Zn	6.95E+04	6.86E+04	4.79E+04	7.39E+04	3.77E+04
	アンチモン	Sb	2.86E+04	2.82E+04	1.97E+04	3.04E+04	1.55E+04
	ビスマス	Bi	5.38E+04	5.31E+04	3.71E+04	5.72E+04	2.92E+04
	カドミウム	Cd	5.62E+04	5.55E+04	3.87E+04	5.97E+04	3.05E+04
	クロム	Cr	1.69E+04	1.66E+04	1.16E+04	1.79E+04	9.15E+03
	コバルト	Co	1.70E+04	1.67E+04	1.17E+04	1.80E+04	9.21E+03
	ガリウム	Ga	9.37E+02	9.24E+02	6.45E+02	9.95E+02	5.09E+02
	金	Au	6.60E+04	6.51E+04	4.54E+04	7.01E+04	3.58E+04
	インジウム	In	9.43E+04	9.31E+04	6.50E+04	1.00E+05	5.12E+04
	水銀	Hg	6.43E+04	6.35E+04	4.43E+04	6.83E+04	3.49E+04
	ニッケル	Ni	2.48E+04	2.45E+04	1.71E+04	2.64E+04	1.35E+04
	白金族	Pt	7.00E+03	6.91E+03	4.82E+03	7.44E+03	3.80E+03
	希土類元素		1.61E+03	1.59E+03	1.11E+03	1.71E+03	8.75E+02
	セレン	Se	2.63E+04	2.60E+04	1.81E+04	2.80E+04	1.43E+04
	銀	Ag	7.26E+04	7.16E+04	5.00E+04	7.71E+04	3.94E+04
	スズ	Sn	7.12E+04	7.03E+04	4.90E+04	7.57E+04	3.87E+04
	タングステン	W	2.43E+04	2.40E+04	1.67E+04	2.58E+04	1.32E+04
	モリブデン	Mo	1.20E+04	1.18E+04	8.25E+03	1.27E+04	6.51E+03
	マンガン	Mn	7.22E+03	7.12E+03	4.97E+03	7.67E+03	3.92E+03
	バナジウム	V	1.70E+03	1.68E+03	1.17E+03	1.81E+03	9.25E+02
	タンタル	Ta	1.20E+04	1.18E+04	8.25E+03	1.27E+04	6.50E+03
	マグネシウム	Mg	1.32E+03	1.30E+03	9.08E+02	1.40E+03	7.16E+02
	ゲルマニウム	Ge	2.24E+01	2.21E+01	1.54E+01	2.38E+01	1.21E+01
リチウム	Li	9.67E+02	9.55E+02	6.66E+02	1.03E+03	5.25E+02	
ジルコニウム	Zr	2.42E+04	2.39E+04	1.67E+04	2.58E+04	1.32E+04	
大 気 へ の 排 出	二酸化炭素	CO ₂	6.89E+02	7.72E+02	6.60E+02	6.21E+02	1.56E+03
	窒素酸化物	NO _x (NO ₂)	6.43E+05	6.66E+05	7.68E+05	7.10E+05	6.57E+05
	硫酸酸化物	SO _x (SO ₂)	6.71E+05	7.11E+05	8.00E+05	7.04E+05	7.22E+05
	亜酸化窒素	N ₂ O	2.20E+05	2.47E+05	2.11E+05	1.99E+05	5.00E+05
	メタン	methane	1.69E+04	1.89E+04	1.62E+04	1.52E+04	3.83E+04
	非メタン炭化水素	NMHC	2.01E+05	1.95E+05	2.41E+05	2.51E+05	1.75E+05
	ばいじん	particulates	2.71E+05	2.63E+05	3.24E+05	3.38E+05	2.36E+05
	フロン	CFCs	1.47E+07	1.38E+07	1.24E+07	1.41E+07	2.78E+07
*1 水 域	生物化学的酸素要求量	BOD	5.61E+05	5.03E+05	8.65E+05	7.20E+05	4.12E+05
	化学的酸素要求量	COD	5.61E+05	5.03E+05	8.65E+05	7.20E+05	4.12E+05
*2 固	固形廃棄物	solid waste	4.64E+03	3.17E+03	4.05E+03	3.11E+03	1.16E+03

注) *1 水域への排出.

*2 固形廃棄物.

研究業績

分類	著者(申請者含む)、題名、発行掲載誌名/発表場所・巻号・頁、発行/発表年月
査読論文	<p>胡浩、小野田弘士、永田勝也、実操業データに基づいた一般廃棄物溶融プロセスのライフサイクル評価、都市清掃 2011 年 1 月号第 64 巻第 299 号、pp.83-89、2011</p> <p>胡浩、小野田弘士、中島賢一、永田勝也、トレーサビリティを核とした国際資源循環管理システムの構築、環境資源工学 2010 夏季号第 57 巻第 2 号、pp.53-60、2010</p> <p>Hao HU、Hroshi ONODA、Kenichi NAKAJIMA and Katsuya NAGATA、Building a Traceability System for International Resource Recycling、Proceedings of the IWEE 2009、International Workshop on Environment & Engineering、No.2C2、pp.1-12、2009.11</p> <p>Hao HU、Hiroshi ONODA、Kenichi NAKAJIMA and Katsuya NAGATA、A Traceability System for International Resource Recycling: Basic Concept and the Communication between Enterprises Concerned、Proceeding of The 3rd International Conference on Waste Management and Technology、pp.344-352、2008.11</p>
受賞	<p>日本機械学会第 18 回環境工学総合シンポジウム(2008)、研究奨励表彰受賞</p>
口頭発表	<p>胡浩、小野田弘士、村岡元司、永田勝也、リサイクルポートを活用した循環資源海上輸送の実証試験：物流管理システムへの IT 技術の適用と環境負荷の検証、エネルギー資源学会第 27 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2011.1</p> <p>皆川雅志、胡浩、小野田弘士、永田勝也、石橋洋一、長田守弘、ガス化溶融炉併設型 Eta ノール化施設の環境負荷評価、第 21 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集、2010.11</p> <p>皆川雅志、野辺篤、劉婧、胡浩、小野田弘士、永田勝也、長田守弘、資源循環システムのライフサイクルアセスメントに関する研究：BAS 評価ソフトの改良と広域処理における活用例、日本機械学会第 20 回環境工学総合シンポジウム 2010 講演論文集、2010.7</p>

	<p>皆川雅志、小西洋紀、小沢俊明、胡浩、小野田弘士、永田勝也、長田守弘、自治体の廃棄物処理における広域化と BAS 評価、環境経済・政策学会 2009 年大会要旨集、2009.9</p> <p>小西洋紀、胡浩、小野田弘士、永田勝也、溶融飛灰資源化の現状と展望、第 20 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集、pp.173-175、2009.9</p> <p>皆川雅志、小西洋紀、小沢俊明、胡浩、小野田弘士、永田勝也、埋立地再生事業における環境負荷評価、第 20 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集、pp.54-56、2009.9</p> <p>永田勝也、小野田弘士、胡浩、小沢俊明、小西洋紀、皆川雅志、資源循環システムのライフサイクルアセスメントに関する検討、日本機械学会第 19 回環境工学総合シンポジウム 2009 講演論文集、2009.7</p> <p>中島賢一、胡浩、日本から流出する E-waste の動向、環境資源工学 2008 冬季号第 55 巻第 4 号、pp.192-197、2008.11</p> <p>Hao HU、Takafumi NAKAJIMA、Yu KOSHIMIZU、Hiroshi ONODA、Kenichi NAKAJIMA、Shuji OWADA and Katsuya NAGATA、A Model of International Resource Recycling Network with Traceability between Japan and China、日本機械学会第 18 回環境工学総合シンポジウム 2008 講演論文集、pp.217-218、2008.7</p> <p>胡浩、小野田弘士、中島賢一、永田勝也、トレーサビリティを確保した国際資源循環ネットワークの構築に向けた検討、第 27 回エネルギー・資源学会研究発表会 2008 講演論文集、pp.21-24、2008.6</p> <p>胡浩、小池裕也、飯本武志、小佐古敏荘、放射性廃棄物分野における大容量データ管理システムへの IC タグの適用性に関する研究、日本原子力学会「2007 年秋の大会」ポスターセッション要旨集、2007.9</p> <p>胡浩、小池裕也、飯本武志、小佐古敏荘、放射線管理における RFID 技術の適用に関する検討、第 44 回アイソトープ・放射線研究発表会講演要旨集、2007.7</p> <p>胡浩、小池裕也、飯本武志、小佐古敏荘、放射線管理における RFID 技術の適用に関する検討、日本保健物理学会第 41 回研究発表会講演要旨集、2007.6</p>
--	---

<p>Shuichi KOMIYA、Hao HU、Yuya KOIKE、Takeshi IIMOTO and Toshiso KOSAKO、Evaluation of Induced Radioactivity and Dose Rates in Concrete in Electron Accelerators by FLUKA、日本保健物理学会第 41 回研究発表会講演要旨集、2007.6</p> <p>胡浩、小池裕也、飯本武志、小佐古敏莊、放射線による IC タグの損傷に関する研究、日本原子力学会「2007 年春の大会」ポスターセッション要旨集、2007.3</p> <p>永田勝也、小野田弘士、永井祐二、村岡元司、切川卓也、兼子洋幸、胡浩、廃棄物処理・リサイクルにおける安全・安心対応策に関する検討、第 17 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.109-111、2006.11</p> <p>永田勝也、小野田弘士、永井祐二、村岡元司、切川卓也、兼子洋幸、胡浩、安全設計解析手法の開発、第 17 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.110-112、2006.11</p> <p>永田勝也、小野田弘士、永井祐二、村岡元司、兼子洋幸、胡浩、廃棄物処理施設における情報公開・共有システムの検討、社団法人環境科学会 2006 年会一般講演・シンポジウムプログラム、pp.40-41、2006</p> <p>Hao HU、Yuya KOIKE、Takeshi IIMOTO、Katusya NAGATA and Toshiso KOSAKO、Discussion on Safety Analysis Method for Radioactive Waste Facility、Proceeding of The Second Asian and Oceanic Congress for Radiological Protection、2006.10</p> <p>永田勝也、小野田弘士、切川卓也、永井祐二、村岡元司、兼子洋幸、胡浩、廃棄物処理・リサイクルにおける安全・安心対応策の検討（安全設計解析手法の開発）、日本機械学会第 16 回環境工学総合シンポジウム 2006 講演論文集、pp.167-170、2006.7</p>
--