



岐阜大学機関リポジトリ

Gifu University Institutional Repository

Title	石炭火力での木質バイオマス混焼の可能性評価(本文 (Fulltext))
Author(s)	西山, 明雄; 神原, 信志; 守富, 寛
Citation	[火力原子力発電] vol.[58] no.[3] p.[219]-[228]
Issue Date	2007-10-15
Rights	Thermal and Nuclear Power Engineering Society (火力原子力発電技術協会)
Version	出版社版 (publisher version) postprint
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12099/27452

この資料の著作権は、各資料の著者・学協会・出版社等に帰属します。

石炭火力での木質バイオマス混焼の可能性評価

(Feasibility Study for the Woody Biomass Co-combustion in Coal Fired Power Plant)

西山 明雄^{*1}・神原 信志^{*2}・守富 寛^{*2}
 (A. Nishiyama) (S. Kambara) (H. Moritomi)

木質バイオマスを大型微粉炭火力発電所で経済的に混焼するプロセスを決定するために、独自に開発したプロセスシミュレータを用いて検討を行った。愛知県における木質バイオマスの利用可能量とそのコストを推算したうえで、4種の混焼プロセスを仮定して発電コストを比較した。

最新鋭火力発電所でのバイオマス混焼は、バイオマスエネルギー変換技術として他に類をみない約40%もの高い発電効率が期待できる。建設廃材を使用するケースでは、発電コストに十分なメリットが生じることがわかった。一方、森林バイオマスは価格が高いため、現状では発電コストは石炭専焼よりも高くなるが、RPSクレジットや環境税の付与によってバイオマスの環境価値が高まればバイオマス混焼発電事業が経済的に成立することがわかった。

1. はじめに

京都議定書の発効（2005年2月）にともない、温室効果ガス排出量低減のため、自然エネルギーや再生可能エネルギーの導入促進が期待されている。特に、豊富な資源量をもつ木質バイオマスは、発電用エネルギーとして利用技術開発の気運が高まっている^{(1),(2)}。

木質バイオマスはカーボンニュートラルであるばかりでなく、灰分、窒素分、硫黄分などの含有量が少ないため、窒素酸化物や硫黄酸化物、ばいじん、灰処理などの環境負荷も少ないという特長を有している。一方で、木質バイオマスのエネルギー利用における課題として、低コストでバイオマスを調達すること、高いエネルギー回収効率を実現すること、低コストの前処理設備を開発することがあげられる。

都市部で発生する建設廃材はチップ燃料として流通市場が確立されているが、山中に放置されている林地残材は、貴重な資源でありながら、搬出コストが高いため利用が困難とされている。しかし、このような森林バイオマスの利用は、森林整備の観点からも期待されており、積極的な利用が求められている。

木質バイオマスの大規模な利用法として、既存微粉炭

火力ボイラでの混焼利用が考えられる⁽³⁾。この場合、既設の高効率発電設備を有効利用できるため、小規模(数千kWから数万kW規模)のバイオマス発電所をあらたに建設するよりも発電コストを低減でき⁽⁴⁾、低廉なバイオマス利用法として有望視されている。最近では発電事業者と自治体および森林組合が協力して、森林資源のエネルギー利用への取組みも国内で始まっている⁽⁵⁾。

木質バイオマスの混焼利用にあたっては、それに含まれる多量の水分がプラント性能に及ぼす影響を事前に検討する必要がある。発電効率の著しい低下が予想される場合は、バイオマスの前処理設備（乾燥装置や粉碎装置）の追加を検討しなければならない。

本研究では、木質バイオマス大型微粉炭火力発電所で経済的に混焼するためのプロセスを決定することを目的に、バイオマス混焼プロセスシミュレータを開発し、バイオマスコスト、プラント特性、発電コストを評価したので報告する。

2. 評価方法

2.1 評価の概要

評価は、新たに開発したバイオマス混燃プロセスシミュレータを用いて行った。このシミュレータは「バイ

*1 株式会社シーテック
 (C-Tech Corporation, Ltd.)

*2 岐阜大学大学院工学研究科環境エネルギーシステム専攻
 (Gifu University)

原稿受付 平成18年10月11日

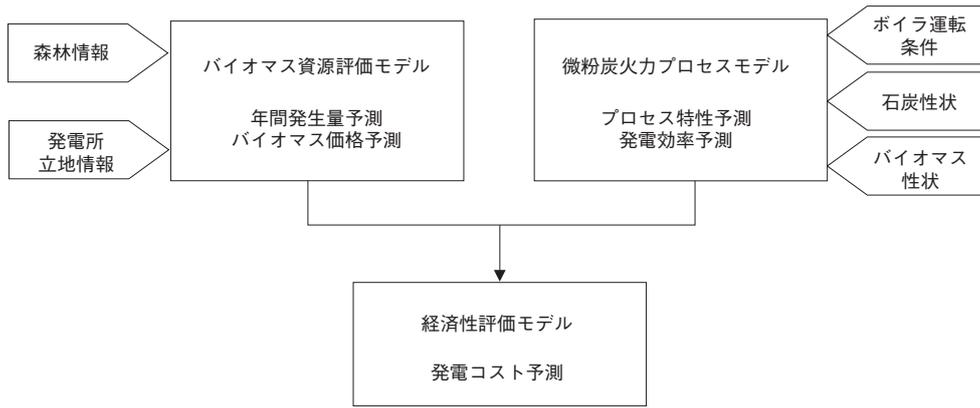


図1 木質バイオマス混燃プロセスシミュレーターの概要

「バイオマス資源評価モデル」、「微粉炭火力プロセスモデル」、「経済性評価モデル」の3つの計算モデルから構成される。図1にその概要を示す。「バイオマス資源評価モデル」では、年間発生量とバイオマス価格を推算する。「微粉炭火力プロセスモデル」では、混燃時の発電プラント特性の変化（給炭量、未燃分、NOx・SOx発生量、補機動力、灰発生量、発電効率など）を推算する⁽⁶⁾。また、「経済性評価モデル」では以上二つのモデルから推算されたバイオマス価格とプラント性能をもとに発電コストを推算する。プロセスシミュレータには化学プラントの解析によく用いられるAspen PlusやOmegaLand、CHEMCADなど多種のソフトウェアがあるが、これらには石炭や木質バイオマスなどの固体燃焼プロセスの特性計算やバイオマス資源評価機能はないため、本研究で

は独自のプロセスシミュレータを開発した。

本研究では、豊富な森林資源を有し微粉炭火力発電所が林立する愛知県三河地区をモデルケースとして検討した。

2.2 バイオマス発生量とバイオマス価格の計算

バイオマス混燃率を具体的に決定するためには、まず資源量（年間発生量）を見積る必要がある。また、バイオマス混燃時の発電コストを予測するためには、山林からバイオマスを搬出するコストを考慮してバイオマス価格を算定する必要がある。ここではバイオマス発生量とバイオマス価格の計算法について述べる。

2.2.1 バイオマス発生量の推算方法

バイオマスの年間発生量は、収集範囲の大小によって変化するため、合理的な見積りが必要である。本研究で

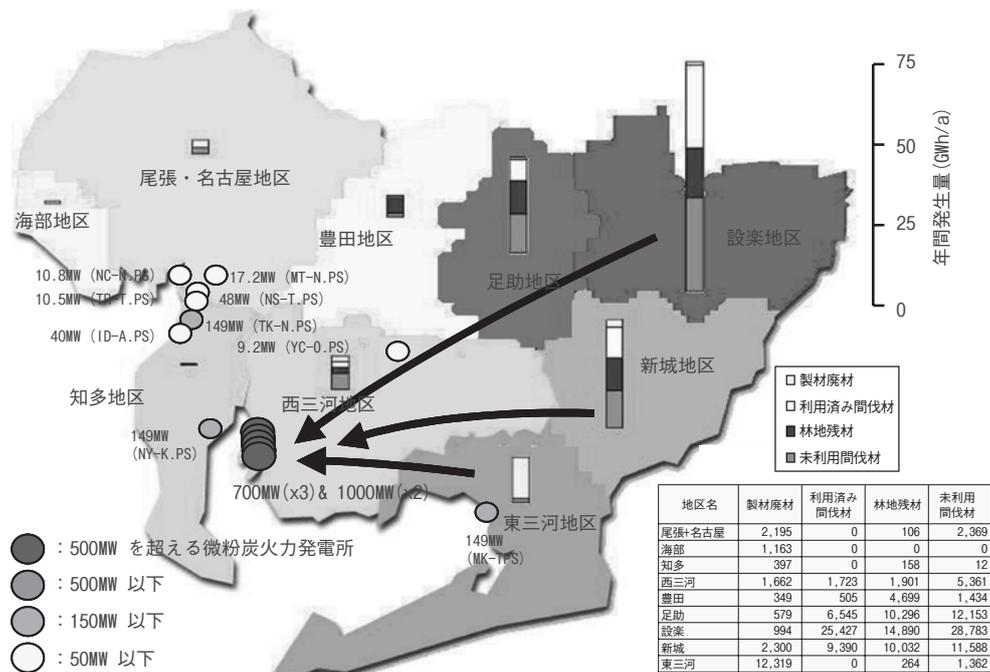


図2 愛知県内の木質バイオマスの年間発生量

は、山林から発生する木質バイオマスとして「未利用間伐材」, 「林地残材」, 「製材廃材」の3つを、また都市部から発生する木質バイオマスとして「建設廃材」を考慮し、文献調査により各々の年間発生量を推定した。ここで「未利用間伐材」とは除伐や間伐の作業で発生する小径の木材のうち活用されていない資源を言い、「林地残材」とは樹木の伐採や造材の過程で発生する枝、葉、梢、端材など製品価値の無い低質材の総称である。「製材廃材」とは、製材所などの木材加工場で発生する廃棄物で、樹皮やおが屑などである。「建設廃材」とは周知の通り建築現場から発生する端材や廃材である。

未利用間伐材の年間発生量は、愛知県林業統計書⁽⁷⁾をもとに、地区ごとの未利用間伐材量を市町村の人工林蓄積量に応じて案分し、各市町村ごとに算出した。

林地残材の年間発生量は、主伐量に林地残材の発生割合をかけることで各市町村の年間利用可能量として推定した。主伐量は素材生産量(統計書より)から未利用間伐材量(上述の計算値)を差し引いて求めている。林地残材の発生割合は様々な値が報告されているが、ここでは立川(2004)の研究⁽⁸⁾を参考に0.30とした。

製材廃材の年間発生量は、素材生産量に製材廃材発生比率⁽⁹⁾をかけることで各市町村ごとに推定した。

図2は愛知県における木質バイオマスの年間発生量の推算結果を9つの地区別に示したものである。これより、未利用間伐材と林地残材の発生量は新城、設楽、足助地区で多く、製材廃材は豊橋を中心とする東三河地区が主要発生地であることがわかる。本報では、これらの地域で発生したバイオマスを西三河地域にある大型火力発電所に供給することを想定する。

建設廃材は、建設リサイクル法施行以降、資源化や燃料利用のニーズが高まり、大規模市場が形成された。その年間発生量は、愛知県調査報告⁽¹⁰⁾から得た。

2.2.2 バイオマス価格の推算方法

次に、未利用間伐材、林地残材、製材廃材それぞれのバイオマス価格の推算方法を示す。

まず、未利用間伐材の搬出コスト CT_1 は次式で定義する。

$$CT_1 = C_1 + C_2 + C_3 \quad (1)$$

C_1 : 未利用間伐材の価格 (¥/m³)

C_2 : 発生場所から車載までのコスト (¥/m³)

C_3 : 発電所まで輸送するコスト (¥/m³)

ここで C_1 は¥0とした。 C_2 は地形条件や作業方法で大きく異なる。最近では、林野庁を中心に高性能林業機械(スキッド、フォワーダ、フェラーバンチャ、ハーベスタ、プロセッサ、タワーヤード、スイングヤードなど)の導入による効率の良い作業方法が推進されている。平成16年度にはすでに約2,700台の高性能機械が現場で使用されている。このような状況を考慮し、 C_2 の値は、高性能林業機械を主体とする間伐作業の全国平均コスト8,255 ¥/m³とした⁽¹¹⁾。 C_3 は発電所までの間伐材輸送コストで、林野庁の研究⁽¹²⁾に基づき次式で算出した。

$$C_3 = 26.7 \times L_T + 1518 \quad (2)$$

L_T : 車載場所から発電所までの輸送距離 (km)

林地残材の搬出コスト CT_2 は、佐々木の研究⁽¹³⁾より(3)式で推算した。林地残材は、一般に林道端まで搬出した後、作業場に集積される(土場という)。すなわち、既に土場に林地残材が集積していることを勘案すれば、残材の購入コストと収集コストはともに¥0とみなせる。よって、林地残材の価格は輸送コストのみとなる。林地残材の輸送方法は、グラップルクレーン付10 tトラックに残材をそのまま積み込んで、直接発電所へ輸送することを想定した。

$$CT_2 = 30.3 \times L_T + 1788 \quad (3)$$

製材廃材のコストは、種類によって取引価格が異なり、「木質系バイオマス取引価格調査結果」⁽¹⁴⁾によれば、端材(燃料用)1,500 ¥/t、背板(製紙用、燃料用)4,000 ¥/t、チップ(製紙用)9,000 ¥/t(いずれも全国平均価格)となっている。製材廃材の平均コストは、これらの加重平均により5,000 ¥/wet-tonとした。

建設廃材のコストもまた、取引条件によって大きく異

表1 木質バイオマス種類別の燃料価格算定結果(発電所渡し)

種類	供給地区	平均輸送距離 (km)	燃料単価 (¥/wet-t)
未利用間伐材	設楽地区	85	15,100
	新城・足助地区	75	14,700
林地残材	設楽地区	85	5,500
	新城・足助地区	75	5,100
製材廃材	東三河地区 (豊橋市)	50	5,000
建設廃材	尾張・名古屋地区 (名古屋市南部)	35	3,000

なるが、全国木質資源リサイクル協会連合会の調査⁽¹⁵⁾では、1,000-3,000 円/wet-ton、富士総合研究所の報告⁽¹⁴⁾では2,500 円/wet-tonとされている。ここでは、今後の建設廃材の需要増による価格高騰を考慮し、その価格を3,000 円/wet-tonに設定した。

このようにして推算した未利用間伐材、林地残材、製材廃材、建設廃材の燃料単価を表1にまとめた。

2.3 バイオマス混焼プロセス

バイオマスの性状（水分や粒径）やバイオマス供給量によっては、前処理システムが必要となる場合がある。前処理システムの追加が発電コストにおよぼす影響を検討するため、本研究では表2に示す4プロセス（プロセスIからIV）を仮定し評価した。これらの具体的なプロセスフローは図3に示す。

表2 評価を行なう混焼プロセスの概要

プロセス	バイオマス調達方法	バイオマス含水率(wet%)			前処理システムの構成
		発生時	輸送時	燃焼時	
I	建設廃材チップを購入	20%	20%	20%	前処理なし。既設のボイラ設備をそのまま流用し、チップの受入設備のみを追加。
II	間伐材、林地残材、製材廃材を山元乾燥後に受入れ	50%	20%	20%	プロセスIのシステムに破碎システムを追加。
III	間伐材、林地残材、製材廃材を高含水のまま直接利用	50%	50%	20%	プロセスIIに破碎・乾燥システムを追加。
IV	間伐材、林地残材、製材廃材を高含水のまま直接利用	50%	50%	20%	プロセスIIIにバイオマス専用の微粉碎機とバイオマス専用バーナ燃焼システムを追加。

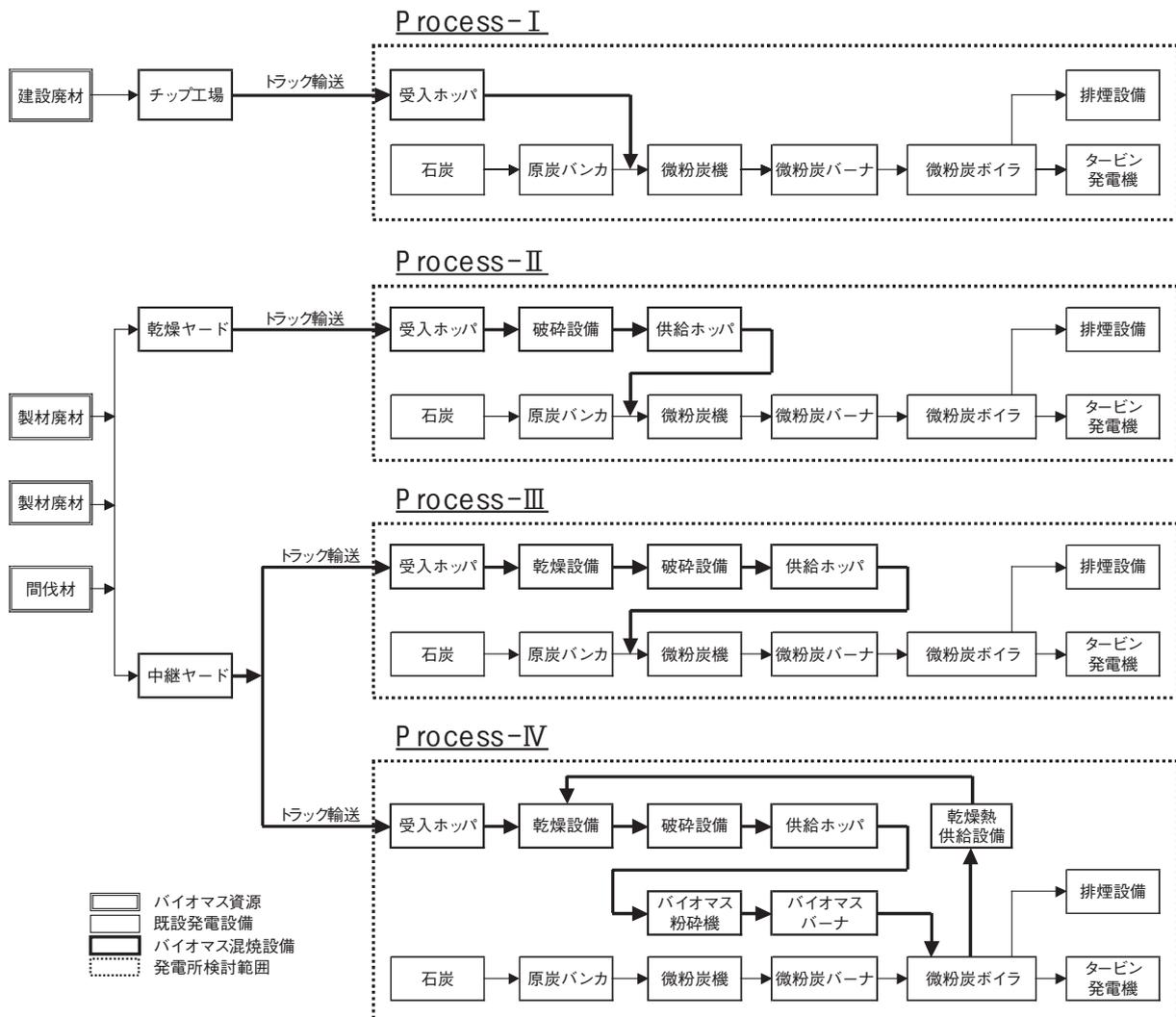


図3 4つのバイオマス混焼プロセスフロー

プロセスIは、乾いた建設廃材チップを燃料として用いるケースで、前処理システムを省略できる。プロセスIIは、森林バイオマス（未利用間伐材、林地残材、製材廃材）を発生元で乾燥するケースで、発電所には破碎設備が必要となる。この場合、発生元での乾燥により重量が減少するため、輸送コストは安価となる。プロセスIIIは、森林バイオマスを湿ったままの状態 で発電所まで輸送するケースで、発電所内に乾燥・破碎設備が必要となる。プロセスIVは、高い混焼率を達成できるように考慮したケースである。微粉炭機で石炭と木質バイオマスを混合粉砕する場合、微粉炭機の性能上バイオマスの混焼率は重量比で1～3%、入熱比では2%程度までが限界であると報告されている⁽³⁾。プロセスIVでは、バイオマス専用の粉砕機と専焼バーナを、追加して、混焼率約20%（入熱比）の積極的なバイオマスの利用を目標としたプロセスである。

2.4 微粉炭火力プロセスシミュレータ

神原ら⁽⁶⁾が開発した微粉炭火力プロセスシミュレータを用いて、バイオマス混焼時のプロセス評価を行なった。このシミュレータは、表3に示すように設備ごとの計算モデルからなり、プロセスの特性を精度良く予測できる。木質バイオマスは微粉炭に比較して燃焼速度が極めて速いため⁽¹⁶⁾、バイオマスの燃焼速度が混焼時に律

速となることはなく、微粉炭燃焼用のプロセスシミュレータをそのまま利用できる。

評価対象とした微粉炭火力発電所は、700 MWの最新鋭高効率石炭火力である。評価に用いたバイオマスと石炭の性状を表4に示す。木質バイオマス燃料は(A)と(B)の2種類を評価した。建設廃材由来の平均的含水率のチップ燃料であるバイオマス(A)をプロセスIの評価に用いた。バイオマス(B)は森林由来の高含水率の不定形燃料であり、プロセスII、III、IVの評価に用いた。また、石炭も2炭種について検討した。石炭(A)は発電所で用いられる一般的な瀝青炭である。これに対し、石炭(B)は高水分炭（亜瀝青炭）で、ミルやファン、排ガス処理設備の負荷が大きくなることが予想される。バイオマス混焼の可能性評価は、表5に示す8ケースの条件で行った。

2.5 経済性評価

次に、バイオマス混焼プロセスの経済性評価を行うための、発電コスト、環境価値、燃料対価の計算方法について述べる。

2.5.1 発電コスト評価

前述の微粉炭火力プロセスシミュレータでは、給炭量（入熱）と所内動力、ユーティリティ消費量を予測し、発電端プラント効率と発電コストを算出している。これにバイオマス前処理システム導入コストおよび運転員増

表3 微粉炭火力発電プロセス予測モデルとその計算内容

プロセス	計算モデル
ミル	神原ら(1997)のミルモデル ⁽⁶⁾ を用いた給炭量およびミル動力の計算
燃焼炉	完全混合燃焼モデル ⁽¹⁴⁾ による火炉出口ガス温度計算。 NOx・未燃分モデル ⁽⁶⁾ および上記火炉出口ガス温度によるボイラ燃焼性能の計算
ファン	給炭量と未燃分にもとづいた燃焼計算およびファン性能曲線からの動力の計算
火炉及び対流伝熱部	スラッキング・ファウリングモデル ⁽⁶⁾ による燃焼灰によるリスクの評価
環境装置	DeNOxモデル ⁽⁶⁾ によるアンモニア消費量の計算 DeSOxモデル ⁽⁶⁾ によるファン動力と石灰石消費量の計算 EPモデル ⁽⁶⁾ による消費電力量の計算

表4 評価に用いた木質バイオマスおよび石炭の性状

項目	単位	ベース	バイオマス(A) 建設廃材系	バイオマス(B) 森林・製材 廃材系	石炭(A) 標準炭	石炭(B) 高水分炭
高位発熱量	MJ/kg	無水	20.93	20.93	31.08	30.76
水分	wt. %	到着	20.0	50.0	9.4	14.7
灰分	wt. %	無水	0.5	0.5	11.9	4.7
揮発分	wt. %	無水	88.9	88.9	26.5	45.4
固定炭素	wt. %	無水	10.6	10.6	61.6	49.9
H.G.I.	-	恒湿	-	-	75	50
C	wt. %	無水	50.4	50.4	76.3	71.6
H	wt. %	無水	5.6	5.6	4.5	4.6
N	wt. %	無水	1.1	1.1	1.9	1.6
S	wt. %	無水	0.01	0.01	0.52	0.66

表5 プロセスシミュレーションの検討条件

ケース	プロセス	炭種	バイオマス 種類
1	I	(A)	(A)
2	II	(A)	(B)
3	III	(A)	(B)
4	IV	(A)	(B)
5	I	(B)	(A)
6	II	(B)	(B)
7	III	(B)	(B)
8	IV	(B)	(B)

表6 発電コスト計算項目と計算方法

	項目	計算方法
1.	燃料費 1)バイオマス代 2)石炭燃料費	表1による。 但し、バイオマス(B)は間伐材40 wt%+林地残材40 wt%+製材廃材20 wt%(ウェットベース)混合物と仮定した。 15,000¥/wet-ton
2.	運転経費 1)運転員費 2)補修費 3)ユーティリティ費 4)灰処理費 5)諸経費	バイオマス設備専従者として運転員1名を増員するものとし、現状の運転員費に追加経費(年間500万円/人)を計上した。 バイオマス混焼に伴う追設設備の年間補修費を、その建設費の2%と算定した。 プロセス計算結果に基づき、排煙脱硝装置のアンモニア代、排煙脱硫装置の石灰石、補機消費動力の電気代を見込んだ。 フライアッシュおよびクリンカ処理費を3,000¥/ton(発電所渡し)とした。 上記1)~4)の金額の10%を諸経費として加算した。
3.	資本費 1)減価償却費 2)固定資産税 3)借入金返済金 4)借入金金利 5)建設費補助	バイオマス混焼に伴う増設設備に対する償却費を計上した。15年償却で、残存率は10%として定額法により計算した。但し、年間の償却費は15年間の平均値とした。 税率1.4%とした。 バイオマス混焼設備の建設費時の自己負担額の全額を15年均等返済するものとした。 年利2.5%とした。 バイオマス混焼追加設備の建設費に対して1/3の公的補助を受けるものとした。

員などの運転経費を算定する機能を追加した。発電コストの算定項目の内訳と計算方法を表6に示す。なお、利用率は91.3% (定格負荷700 MWで年間8,000時間稼動)とした。

2.5.2環境価値の評価

バイオマスは「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」(RPS法, 2003年4月)により、新エネルギー等電気相当分(以下、RPSクレジットと言う)として価値を持つことになった。「電気事業者による新エネルギー等電気の利用に関する特別措置法の運用に関する留意事項等」(経済産業省通知, 2003年2月13日)では、RPSクレジットに対する上限価格を11 ¥/kWhとすると定められ、その範囲で各電気事業者が個々の諸条件より判断し決定する。本検討では、現相場を参考にkWhあたり¥0-¥6とした場合を検討した⁽¹⁷⁾。

さらに、木質バイオマスはカーボンニュートラルの燃料としてみなされるので、環境税が導入された場合は環境税を節税できるという価値を持つことになる。環境省より税率を炭素1トンあたり¥2,400とする案が示されているが(平成16年11月)、税率や導入時期などその後も議論が続いている。本報では、2,400 ¥/ton-炭素の環境税率が施行されたことを想定して、炭酸ガス削減コスト C_{Carbon} を(4)式で算定し考察する。

$$C_{\text{Carbon}} = (RC_1 - RC_0) / (W_0 - W_1) \quad (4)$$

RC_0 : 石炭専焼時年間運転経費 (¥/年)

RC_1 : 混焼時の年間運転経費 (¥/年)

W_0 : 石炭専焼時炭酸ガス排出量 (t/年)

W_1 : 混焼時の炭酸ガス排出量 (バイオマス輸送燃料から排出される炭酸ガスを含む) (t/年)

2.5.3バイオマス燃料対価

表1からわかるように、未利用間伐材や林地残材の価格は石炭に対して高コストと言わざるを得ない。これらの価格がどのような水準ならばバイオマス混焼が採算にのるか検討することも重要である。

そこで、混焼プロセスの採算確保が可能なバイオマス燃料価格(以下、バイオマス燃料対価という)を各ケースで推定した。すなわち、石炭専焼時に対して、バイオマス混焼により発電コストが増加した場合はその増加分をバイオマス燃料価格から差し引くことで燃料対価を算定する。逆に混焼時の発電コストが石炭専焼よりも減少した場合には、差額分をバイオマス燃料価格に上乗せして対価を算定する。いわば、損益分岐点におけるバイオマスの燃料価格である。バイオマス燃料対価 CT_{corr} は(5)式で求める。

$$CT_{\text{corr}} = CT_{\text{FR}} + \Delta C_{\text{PG}} \times 700,000 / G_{\text{fuel}} \quad (5)$$

CT_{corr} : バイオマス燃料対価 (¥/wet-ton)

CT_{FR} : バイオマス搬出コスト (¥/wet-ton)

ΔC_{PG} : 混焼時の発電コスト増加額 (¥/kWh)

G_{fuel} : 燃料消費量 (wet-ton/h)

3. 結果と考察

3.1 バイオマス利用可能量の予測結果

愛知県内の利用可能な林地残材、未利用間伐材、製材

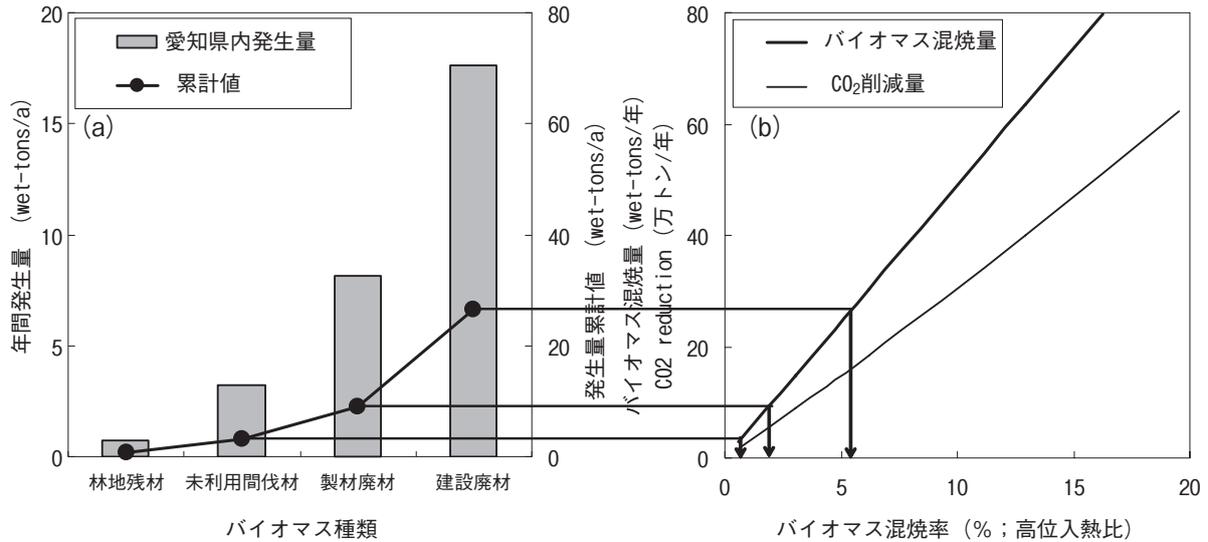


図4 (a)愛知県内のバイオマス種類別年間発生量, (b)700 MW火力発電所における混焼率とバイオマス混焼量およびCO₂削減量

廃材ならびに建設廃材の年間発生量の算定結果を図4(a)に示す。累積量は折れ線グラフ(右軸)で示す。図4(b)は、700 MW微粉炭火力発電所におけるバイオマス混焼率(高位発熱量基準, 入熱量比ベース)に対する混焼必要量およびCO₂削減量である。図4(a)と(b)の関係から、愛知県で発生するバイオマス全量を700 MW発電所で混焼するとした場合の、達成可能な混焼率を求めることができる。両図より、林地残材と未利用間伐材だけの利用では、約1%の混焼率しか実現できないことがわかる。製材廃材を加えると約2%, 建設廃材まで加えると6%程度まで混焼率を引き上げることができる。このときのCO₂削減量は年間約19万トンとなる。

将来的には、森林整備促進に伴う森林バイオマスの搬出量増加、他県からの受入れ、さらには輸入チップの利用などにより増加が予想されるため、経済性評価では混焼率20%(入熱比)まで拡大して検討した。

3.2 発電端・送電端プラント効率の予測結果

バイオマス混焼率の変化に対する発電端プラント効率ならびに送電端プラント効率(高位発熱量基準)の変化

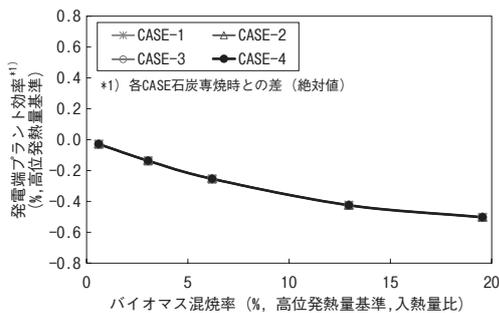


図5 各ケースでのバイオマス混焼率に対する発電端プラント効率の変化

を、ケース1-4(表5)について、それぞれ図5と図6に示す。ただし、図縦軸の効率は、バイオマス混焼時の効率から石炭専焼時の効率を差し引いた値で示している。図5からわかるように、混焼率の増加にともなって発電端プラント効率は低下するが、ケースによる差異はほとんどみられない。混焼率増加による発電端プラント効率の低下は、水分の増加が原因である。水分の増加は排ガス量を増加させるとともにガス温度を上昇させるため、ボイラ効率を低下させる。ここでは、どのケースにおいてもバイオマスのボイラ入口水分を20%一定と設定したため(表2)、このような結果となっている。石炭専焼に比較して混焼率6%(入熱比)の時の効率低下は、約0.3%と予測された。

送電端プラント効率も同様に混焼率の増加に伴って低下するが(図6)、ケースによって差がみられる。図2に示したように、ケース番号が大きくなるほど前処理システムは複雑化する。その結果、所内動力が増加し効率の低下が大きくなる。また混焼率が増加するほどケース間の差は拡大することがわかる。

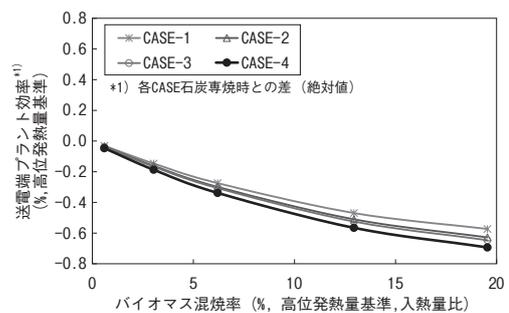


図6 各ケースでのバイオマス混焼率に対する送電端プラント効率の変化

バイオマスの混焼は発電効率の低下を招くことは必至ではある。しかしながら、たとえ20%のバイオマスを混焼したとしても、その送電端プラント効率の低下は0.6~0.7%であり、視点を変えると、最新鋭火力発電所で木質バイオマスを混焼利用することによって、約40%ものエネルギー変換効率を期待できることになる。これは、他のバイオマスエネルギー変換技術と比較すると、類を見ない高効率バイオマス発電プロセスといえよう。

3.3 ミルシステムへの影響評価結果

図7に、バイオマス混焼率に対するミル動力の予測結果をケース別に示す。ミル動力は、石炭(A)を専焼した時の動力を100%として相対値で示している。

瀝青炭がベースであるケース1~3は、混焼率増加にともなってミル動力は微増する。ただし、ミル入口のバイオマス性状(水分と粒径)は同じであるため、この3つのケースではミル動力値は等しくなる。これに対し、高水分炭がベースであるケース7は、瀝青炭ベースのケースに比較してミル動力は顕著に増加することがわかる。

ケース4と8は、バイオマス専用ミルを設置するプロセスIVであるため、ミル動力にバイオマスは直接関係しないが、バイオマス混焼率の増加にともない給炭量が減少するため、ミル動力は減少する。

以上の予測結果から、瀝青炭をベースとする場合はプロセスIからIIIが適し、高水分炭をベースにしてバイオマスを混焼する場合は、ケース7とケース8の比較からプロセスIVが適することがわかる。

次にミルシステム制御系への影響を考察する。ミルシステムでは、空気予熱器出口のホットエアと空気予熱器前のコールドエアの流量バランスを、各々のダンパ開度を制御することにより、ミル出口温度を一定に保っている。石炭に比較して高水分のバイオマスがミルに供給されることによって、ダンパ制御が不能になることが懸念される。

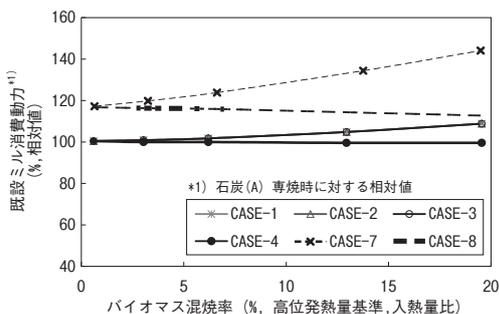


図7 各ケースでのバイオマス混焼率に対するミル動力の変化

図8にバイオマス混焼率に対するホットエアダンパ開度の予測結果を示す。混焼率の増加による燃料中水分の増加は、ホットエアダンパ開度の増加をもたらし、ケース1~3では混焼率20%(入熱比)の時、ダンパ開度は約80%となり制御限界に近くなる。また高水分炭ベースのケース7では、石炭単味でさえダンパの制御限界に近く、バイオマス混焼は困難であると予想される。それに対してケース4と8(プロセスIV)では、バイオマスの乾燥・粉砕システムが独立であるため問題は見られない。

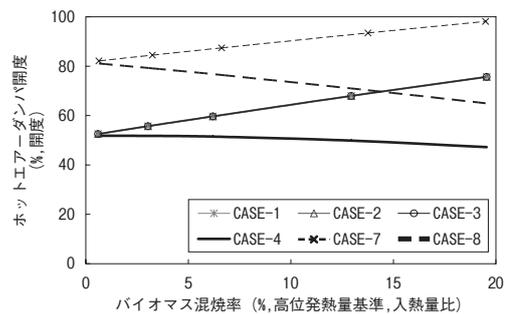


図8 各ケースでのバイオマス混焼率に対するホットエアダンパ開度の変化

本検討より、既設の設備に大きな負荷をかけることなく、多炭種でバイオマス混焼を可能とし、しかも混焼率を高くする運転の場合、プロセスIVが適すると評価できる。

3.4 発電コスト評価結果

図9に、バイオマス混焼率と発電コスト(石炭(A)専焼時との差額)の関係をケース1~4について示す。ケース1では、バイオマス混焼率の増加にともない発電コストは減少する。これは、石炭に比べ安価な建設廃材チップを使用した効果である。また、ケース2は、バイオマス発生元で乾燥するため輸送コストを他のケースよりも抑制でき、発電コストの増加は極めて少ない。一方、高価格である森林バイオマスを用いるケース3と4で

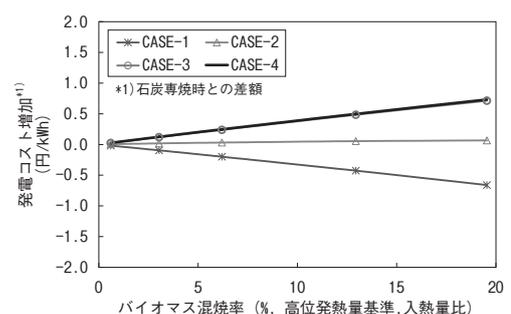


図9 各ケースでのバイオマス混焼率と発電コストの関係

は、混焼率を増せば増すほど発電コストは増加する。しかし、ケース4の前処理システムがケース3より高価であるわりには、両者の発電コストの差はわずかである。

3.5 環境価値評価結果

ここでは、バイオマス燃料の環境価値を考察する。図10は、RPSクレジットを0～6 円/kWhとした場合の発電コストの増減をケース別に予測した結果である。ここでのバイオマス混焼率は現実的な3% (入熱比) と仮定した。4 円/kWhのRPSクレジットが見込まれれば、ケース1はもちろんのこと、ケース2と3でも石炭専焼時の発電コストより低くなる。ケース4では、4 円/kWhで石炭専焼と同等となり、それ以上で発電コストのメリットが生じ、バイオマス前処理プロセス導入の意義が十分見い出される。

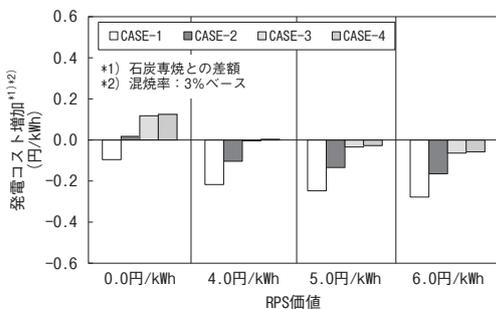


図10 RPSクレジットを付与した時の各ケースにおける発電コストの変化

次に環境税の効果について考察する。図11に (4) 式によるCO₂削減コスト (1トンのCO₂を削減するためにかかる経費) の予測結果を示す。但しCO₂削減量は、環境税率と比較するために (4) 式に基づき炭素1トン当たり換算している。バイオマス混焼率は3% (入熱比)、RPSクレジットを0～6 円/kWhを計算条件とした。環境税が仮に環境省案の2,400 円/ton-炭素 (図中破線矢印) で施行されるとすると、CO₂削減コストが破線より下であればバイオマス混焼の意義があることを意味する。

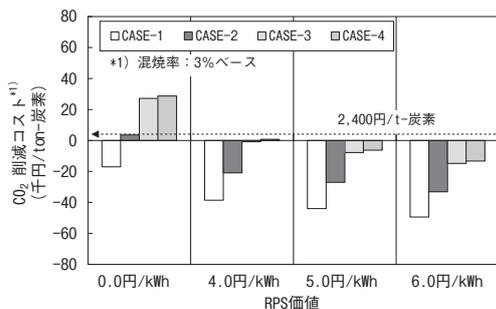


図11 RPSクレジットを付与した時の各ケースにおけるCO₂削減コストの変化および環境税の影響

環境税が施行された場合、ケース1は、たとえRPSクレジットがなくてもバイオマス混焼のメリットが生じる。ケース2と3では、4 円/kWhのRPSクレジットが付けば、同様にケース4はそれ以上のRPSクレジットが付けば混焼システム導入による投資は回収可能と評価できる。

3.6 木質バイオマスの燃料対価

ここでは、バイオマス混焼発電プラントにおいて、損益分岐点となるバイオマス燃料対価を検討した。この計算においても、バイオマス混焼率を3% (入熱比) とした。RPSクレジットも同様に0～6 円/kWhで計算した。

図12に各ケースにおける燃料対価の計算結果を示した。RPSクレジットが0 円の場合、燃料対価は、ケース2, 3, 4でそれぞれ8,000 円/t, 1,900 円/t, 1,500 円/tとなる。この場合、製材廃材や林地残材であれば価格が見合うものの、未利用間伐材の利用は困難である (表1より間伐材価格は15,000 円/t前後)。RPSクレジット4 円/kWhが付与されれば、燃料対価はケース2, 3, 4でそれぞれ15,400 円/t, 9,300 円/t, 8,900 円/tとなり、ケース2であれば未利用間伐材を利用することは可能となる。また、ケース3, 4でも、製材廃材や林地残材と適当に組み合わせることで利用可能になる。

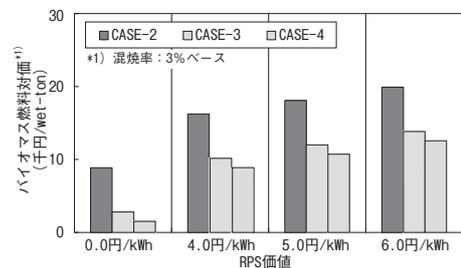


図12 RPSクレジットに対するバイオマス燃料対価の試算結果 (ケース別)

4. まとめ

700MW大型微粉炭火力発電所での経済的な木質バイオマス利用法を決定するために、「バイオマス資源モデル」、「微粉炭火力プロセスモデル」、「経済性評価モデル」の3つの計算モデルから構成されるプロセスシミュレータを構築し、バイオマス混焼プロセスの経済性評価により以下の結論を得た。

- 1) 愛知県の森林バイオマス全量を使用しても700 MW発電所で2% (入熱比) 程度のが可能にすぎないが、建築廃材の利用により6% (入熱比) の混焼率が可能となることがわかった。

- 2) 最新鋭火力発電所でバイオマス混焼利用した場合、バイオマスエネルギー変換技術では他に類を見ない、約40%の高い発電効率が期待できる。
- 3) バイオマス混焼は、高水分炭をベースにするとミルシステム（ホットエアダンプ）が制御不能になることが予測された。多炭種でバイオマス混焼が可能で、かつ混焼率も高くする場合は、バイオマス前処理プロセスを付加する必要がある。
- 4) 安価な建設廃材チップを混焼すると発電コストを低減できるが、高コストの森林バイオマスの利用は発電コストを増加させる。発電コストはバイオマス燃料価格に大きく支配され、バイオマスを発生元で乾燥し発電所まで輸送するケースが、発電コストの増加をもっとも抑制できる。
- 5) 木質バイオマスにRPSクレジット4 ¥/kWhの環境価値が付与されれば、発電コストに十分なメリットが生じることが推算された。2,400 ¥/ton-炭素の環境税を仮定した場合、RPSクレジットが無くてもコストメリットが生じるプロセスがある。
- 6) バイオマス混焼発電事業の損益分岐点となるバイオマス燃料対価を計算した。RPSクレジット4 ¥/kWhが付与されれば、バイオマス燃料対価は15,400 ¥/t（ケース2）となり、未利用間伐材を利用することは可能となる。

全国で大規模森林整備事業による山の手入れが計画されているが、この事業で搬出される森林資源の活用先が模索されている。林業関係者の努力で進められている新しい伐採・搬出技術の導入が進み、搬出コスト低減できれば、高性能の微粉炭火力発電所での森林資源の利用は経済性の点から見て、最も現実的なバイオマス利用方法のひとつとして大いに期待できる。

謝 辞

森林バイオマスの発生量評価ならびにコスト算定にあたっては、京都大学名誉教授 神崎康一先生、(株)森のエネルギー研究所 大場龍夫氏、菅野明芳氏に多くのアドバイスをいただいた。ここに謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) 小木, バイオマス・エネルギー：変換技術の現状と将来展望, 火力原子力発電, 54 (563), 42-50 (2003)

- (2) 土樋, 田村, 木質バイオマス発電所（能代バイオ発電所）の建設, 火力原子力発電, 54 (563), 51-57 (2003)
- (3) 鈴木, 西条火力発電所における木質バイオマス混焼の概要・既存火力発電設備を利用したCO₂排出量削減への取り組み, 電気評論, 90 (12), 74-77 (2005)
- (4) 木内規之, 石炭・木質バイオマス混焼技術の研究開発, フォーカスNEDO, 第15号, 16 (2004)
- (5) 中国電力プレス発表, 下関発電所1号機における木質バイオマス混焼の実証試験開始について (2004.12.21付)
- (6) S.Kambara and T.Yamada, A Comprehensive Evaluation System of Coal Quality Impacts on Pulverized Coal Combustion Boilers, Effects of Coal Quality on Power Plants 5th Int. Conf., Kansas City (U.S.A), (eds) Harding N.S. and Mehta A.K, 5,15-29 (1997)
- (7) 平成14年度愛知県林業統計書 愛知県, 10-110 (平成16年3月)
- (8) 立川, 全木集材により発生した土場残材の集積状況と残材発生量の調査事例, 機械化林業No.609, 1-4 (2004)
- (9) 伊神, 村田, 製材工場における木質残材の発生と利用, 森林総合研究所研究報告, 12, 111-114 (2003)
- (10) 愛知県, あいち建設リサイクル指針, 3-5 (2002)
- (11) 林野庁, 平成15年度素材生産費等調査報告書, 145, (2004)
- (12) 林野庁, 平成11年度素材生産費等調査報告書, 122, (2000)
- (13) 佐々木, チップ材・土場残材・梢端材の運搬コスト, 岩手県林業技術センター研究成果速報 No.176 (2005)
- (14) 富士総合研究所, 木質系バイオマス取引価格調査結果 (2003)
- (15) NPO法人全国木質資源リサイクル協会連合会, 建設副産物のバイオマス活用, INDUST (2006)
- (16) 松田, 池村, 長谷川, 岩瀬, 脇元, 木質バイオマスの燃焼速度, 材料とプロセス, 18 (4), 1111 (2005)
- (17) (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構, バイオマスエネルギー導入ガイドブック (第2版), 19-20 (2005.09)