

平成 19 年度 修士論文

モジュラー・デザインの経済効果と経営体質強化効果に関する実証研究

提出日 平成 20 年 1 月 31 日

主指導教官 日野 三十四

副指導教官 村松 潤一

副指導教官 井上 善海

所 属 広島大学大学院社会科学研究科

マネジメント専攻博士課程前期

学籍番号 XXXXXXXXXX

氏 名 塩見 浩介

<目次>

1. 研究の背景と目的	
1-1 背景	1
1-2 研究の目的	2
2. 部品少数化の経済効果に関する学術理論	3
2-1 原価計算論	4
2-2 技術原価論	4
2-3 価値工学論	5
2-4 活動基準原価計算・活動基準原価管理論	5
3. 部品少数化の経済効果に関する先行研究	7
3-1 日産自動車論文	7
3-2 トヨタ自動車論文	8
3-3 日本電装論文	10
3-4 広島大学・越智論文	11
3-5 スカニア社調査報告	12
3-6 VRP方法論	15
4. モジュラー・デザイン方法論	21
5. X社におけるモジュラー・デザインの実証研究	30
5-1 活動の経過と成果	30
5-2 モジュラー・デザインの経済効果の具現化	40
5-3 成果・効果の整理と分析および結論	45
5-3-1 成果・効果の整理による結論	45
5-3-2 成果・効果の分析による結論	48
6. 実践への提言と今後の研究課題	49
6-1 実践への提言	49
6-2 今後の研究課題	50

1. 研究の背景と目的

1-1 背景

最近の製造業が抱えている問題のひとつは「次々と製品を出さなければ、所定の業績を納めることはおろか、企業の存続すら難しい」ということである。10年以上前に開発した製品と市場で現在の売上高を確保し続ける事は不可能だ。ましてや売上高を伸ばそうという意思があるとすれば、市場にみあった製品の品種を揃えなければならない。

かつては商品企画のために市場細分化を行い、消費者を性別と年齢層に分けて要求を分析するデモグラフィック戦略による市場細分化で事足りたが、近年では顧客のライフスタイルや好み、信条などで顧客や市場を分析するサイコグラフィック戦略が主流になっている。したがって近年は商品に個性的・差別的な特徴が必要になっており、一層便利で高性能かつ多機能という顧客の要求を新しい技術で可能にしなければ、企業の優位性が保てなくなっている。

こうして企業は多くの多様な製品を扱うこととなり、「豊富な製品の時代」を迎えている。そして激しい企業間競争を繰り広げることによって製品の寿命は短くなり、必然的に製品開発サイクルは短くなる。まさしく多様化、短命化、短サイクル化の時代である。必然的に部品の種類も多様化、短命化、短サイクル化となり、それに伴って部品を製造する各種の機械設備、金型、治具、検査具、工具、材料なども多様化、短命化、短サイクル化になっている。これらはすべて地球上のエネルギー資源を使用して作られるので、製品の多様化、短命化、短サイクル化はエネルギーの乱用を促進している。限りある地球資源を乱用し続けるマーケティング手法では、地球環境の破壊という形で我々人類に深刻な影響を及ぼす。

しかしながら人は一度手に入れた利便性を簡単に手放すことはない。顧客の要求である製品の多様化、短命化、短サイクル化に対応しながらも、部品種類は増やさないマーケティング概念が近年模索されてきた。ジョー・パイン[1992]が提唱したマス・カスタマイゼーションはその代表である。

マス・カスタマイゼーションは、部品の種類を少なくすることによって部品の大量生産（マス・プロダクション）を実現しつつ、製品としてはそれらの組み合わせを変えることによって個別の顧客に対応する（カスタマイゼーション）という概念であり、21世紀型のマーケティング手法として一時脚光を浴びた。しかしパインは、マス・カスタマイゼーショ

ンを実現する具体的な方法論を開発できなかったため、いまやマス・カスタマイゼーションという言葉聞く機会も少なくなった。製品の多様化と部品の少数化¹は二律背反課題であり、パインはそれを克服できなかったのである。

この二律背反課題を克服することは、企業が古くから取り組んできた“標準化”や“価値工学(VE: Value Engineering)”といった手法の枠を超えている。“標準化”では市場多様化に対応できないし、“VE”だけではコストは下がっても部品の種類が増える可能性がある。

日本のバブル経済が崩壊した 1990 年、企業は固定費の削減を目指していっせいに部品種類削減、共通化²に走り出した。その主な手段は製品の種類削減と旧型部品の流用であり、巷には魅力の乏しい商品が溢れだした。日本のバブル経済崩壊後の経済低迷が長期化した、いわゆる“失われた十年”のひとつの理由は、製品の種類削減、旧型部品の流用化による魅力が乏しい商品を市場に提供したことであると考えられる。

日野[2002]は、バブル崩壊が始まった 1990 年に、顧客の要求である製品の多様化と、会社と地球の要求である部品の少数化を両立するモジュラー・デザインの研究を始め、実践に基づく理論であるモジュラー・デザイン方法論を開発した。顧客の多様化・短命化・短サイクル化要求を満たしつつ企業の永続的成長と地球環境保全を図ろうとするモジュラー・デザインは、まさに 21 世紀型の製品開発方法であり、広く普及させることが必要である。

しかしモジュラー・デザインは、経営的視点から見て重要な部品少数化による経済効果(キャッシュフロー効果)と定性的な経営体質強化効果についてはまだ十分な研究がされていない状況にあり、モジュラー・デザインを広く普及する上でひとつの障害になっている。

1-2 研究の目的

部品少数化による経済効果を明らかにする学術的理論を調査した。伝統的な原価計算論、原価の発生を業務の末端レベルから解析する技術原価論、原価低減の有効な手段として広

¹ 部品少数化とは、組織が管理する総部品種類の削減と製品 1 台当たりの構成部品点数の削減の両方を含めた語である。部品共通化とほぼ同じ概念だが、部品少数化は目的語であり、部品共通化は手段語である。

² 共通化とは、旧型製品から部品を流用すること(carry-over)と他の製品から部品を持ってきて共用すること(carry-across)によって部品種類の増加を抑制する手段の総称である。標準化した部品を使用することによって部品種類抑制を実現する方法を含めている場合もあり、この場合は部品少数化とほぼ同じ概念になる。

く普及している VE，原価は業務活動(Activity)の結果発生するという発想から展開された活動基準原価計算・活動基準原価管理論(Activity Based Costing / Activity Based Management: ABC/ABM)を調査したが，学術的理論の世界において部品少数化の経済効果を明らかにする有効な理論は存在しなかった。しかし ABC/ABM は，部品種類によって発生するアクティビティに着目すれば，部品少数化の経済効果を明らかにできる可能性があることがわかった。

先行研究では，日産自動車の海原論文，トヨタ自動車の福島論文，広島大学の越智論文，ジョンソンらによるスウェーデンのバス・トラック製造会社・スカニアにおけるモジュラー・デザインの調査報告，日本電装（現デンソー）の長良・太田らによる論文，そして日本能率協会コンサルティングによる VRP (Variety Reduction Program)が見当たった。これらの中で，ジョンソンによる報告は，モジュラー・デザインによる部品少数化の定量的経済効果を明らかにしていること，長良・太田らの論文はモジュール化による部品少数化を製造・物流革新までつなげてその効果を最大化していること，VRP からは部品少数化によるコスト効果は一般論ではなく能動的に取り組んで明らかにすべきであるとしていること，などに大きな示唆を得た。しかしジョンソンは経済効果を算出したプロセスを明らかにしておらず，長良・太田らは経済効果を明らかにしていない，VRP は製造工場における現状改善レベルなのであまり大きな効果を得られそうにない，という問題があった。

以上のように，学術的理論においても先行研究においても，部品少数化による経済効果・経営体質強化効果を明確にする理論や方法論はまだ存在しない。そこで本研究では，21 世紀型の製品開発方法であるモジュラー・デザインを広く普及させるために，次のふたつを目的とする。

第一に，モジュラー・デザインによる定量的な経済効果と定性的な経営体質強化効果を明らかにする。

第二に，モジュラー・デザインによって経済効果と経営体質強化効果があるとした場合，モジュラー・デザインの各種の方法と経済効果および経営体質強化効果の因果関係を明らかにする。

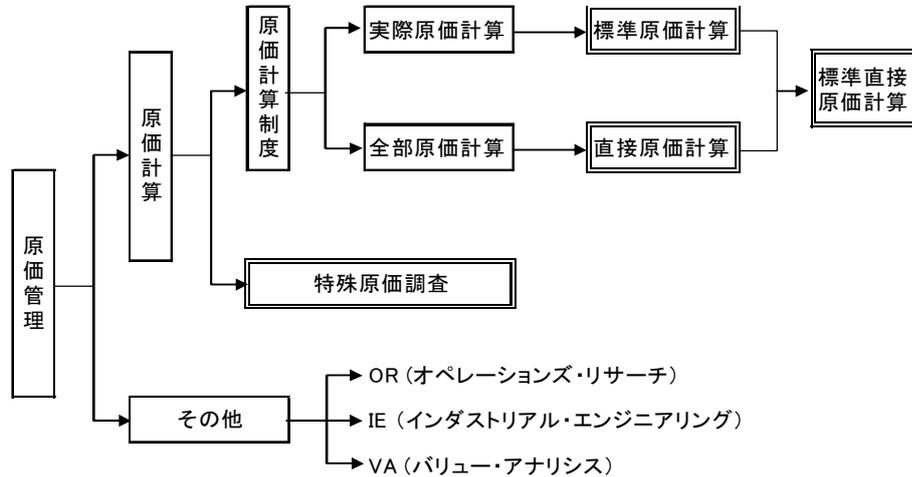
2. 部品少数化の経済効果に関する学術理論

モジュラー・デザインは，製品の多様化と部品の少数化を両立する手法だが，経済効果

を論ずる学術理論の中で部品少数化による効果を論じた理論があるかを調査した。

2-1 原価計算論

伝統的な原価計算論は、図1の体系で示される。



(西澤[年代不明]をもとに筆者作成)

図1 原価計算論の体系

すなわち、原価計算論は原価管理論の一部であり、原価計算制度と特殊原価調査に分類される。原価計算制度は、実際に発生した実際原価計算と、固定費も含めた全部原価計算に分類される。一方、実際原価の妥当性を評価するために、標準原価計算論が生まれた。また固定費を含めた全部原価計算論は恣意的な原価計算になりやすいため、変動費を中心に原価を計算する直接原価計算論が発展した。現代では、標準原価計算論と直接原価計算論を融合させた標準直接原価計算論が一般に用いられている。

原価計算論は、勘定科目からコストをつかみ、組織部門別に集計する。つまり、どのようなコストが部門別にいくら発生したかはわかるものの、それ以上の掘り下げは不可能である。また、部品の種類が原価に及ぼす影響を論じていない。部品種類が原価に及ぼす影響は、製品開発、製造、販売などの現場に現れてくるので、あえて関係する部分を示すなら図1の中の「その他」にあるOR (Operations Research), IE (Industrial Engineering), VA (Value analysis)の中に解答があると思われるが、原価計算論の中では具体的に展開されていない。

2-2 技術原価論

宮田[1985]と橋本ら[1988]は、原価の発生を業務の末端レベルから技術的に解析する技術

原価論を展開し、部品の種類と直接連動して増減する用具費（型費、治具費、検査具費、専用工具費）で部品の種類費を管理する理論を提示した。確かに用具費は、部品の種類と直接連動して増減するし、管理費と違って物理的な費用なので金額を見積もりしやすい。そして用具費は部品原価の 30～40 パーセントを占めるといわれているので、部品の種類を管理する上で適しているといえる。しかし、部品の種類が及ぼす影響範囲は用具費にとどまらず、設計費、購買管理費、工程管理費、アフターサービス費など幅広い。技術原価論は本研究の目的からすると部分的な参考にとどまる。

2-3 価値工学論

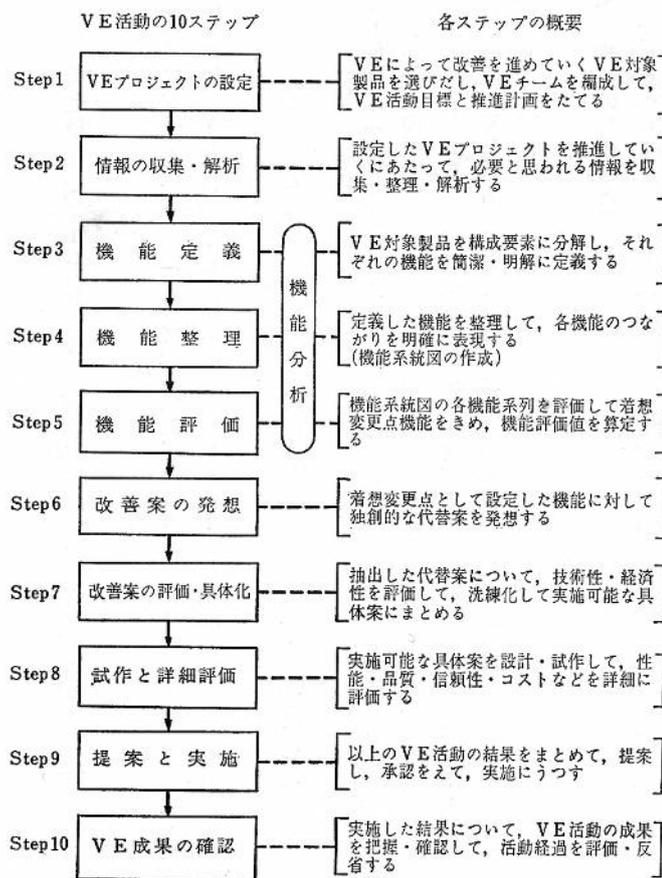
原価低減の有効な手段として広く普及している VE は、二見[1981]によれば、その活動ステップは図 2 のように示される。

図 2 でわかるように、VE は個別の製品や個別の部品の機能に着目して価値の最大化を追求する理論であり、製品を越えての部品の共通化については論じていない。

マツダ株式会社コストコントロール部 VE 課[1979]が（株）ジェムコ日本経営の指導を受けて作成した GVE³マニュアルでは、VE を行なったあとに部品の共通化を行なうという手順になっているが、まだ考え方のレベルにとどまっており、共通化によるコストの算出については触れていない。

2-4 活動基準原価計算・活動基準原価管理論(ABC/ABM)

林[2002]は、ABC/ABM につい



(二見[1981])

図 2 VE 活動のステップ

³ GVE の“G”の意味は定かでないが、類似の製品や部品を広く調査して VE をする方法なので、“Group”の意味であると思われる。

て以下のように述べている。

ABCとは「Activity-Based Costing」の略で、Costingとは原価計算のことである。つまり、ABCとは会社の活動をベースにした原価計算という意味であり、「活動基準原価計算」と訳される。

ABCは1980年代、当時のアメリカ製造業の競争力を著しく低下させた「高コスト体質」の発生原因を正確に把握する目的でアメリカにおいて誕生し、当初は製品コストの歪みをなくし、正しい製品コストを計算するシステムとして注目された。

1990年代になると、正しい製品コストだけでなく、同時にプロセスやアクティビティ(活動)を改善してコスト管理にも利用可能なことが判明した。この段階を「活動基準原価管理(ABCM=Activity-Based Costing Management)」といい、ABCは単なるコスト分析ではなく、品質管理や顧客満足など、コスト以外の業績評価基準にも使えることが明らかになった。これが「活動基準原価管理(ABM=Activity-Based Management)」である。これらをまとめてABC/ABMと呼ぶ。

ABC/ABMでは、以下の6つのことが明らかになる。

- ①ビジネスプロセスの実態
- ②経営資源がどのように使われたか
- ③付加価値を生まないコスト
- ④ビジネスプロセスにおける低能率、低生産性の原因
- ⑤製品/サービス/受注のコスト構造
- ⑥不適切な配賦による製品/サービスコストの歪み

ABC/ABMの特徴は、経営資源(リソース)、活動(アクティビティ)、原価集計対象(コストオブジェクト)の3つの概念を取り入れていることである。原価計算論では「間接コストはなぜ発生するか」という点について深く考察してこなかったが、ABC/ABMでは、これらのコストは「アクティビティを維持するためのコスト」と考える。

(以上、林[2002]による)

部品種類削減・部品少数化は部品を超えて発生するコストにおいて効果が出るものと考えられるため、ABC/ABMの利用によって部品少数化の経済的効果を定量的に明らかにすることは可能性があると考えられる。

3. 部品少数化の経済効果に関する先行研究

次に、部品少数化・共通化の経済効果に関する先行研究を調査した。

3-1 日産自動車論文

日産自動車の海原[1971]は、標準化が製品開発の質を保証し、そのスピードを速めるのに基本的役割を果たしているとして述べている。製品開発に必要な標準化は次の二つに分類されるとしている。1つは、製品開発を支える企画・設計・試作・実験・調達・製造・諸管理・販売にわたるあらゆる局面の認識・方法・手順・システムの標準化であり、もう1つは製品自体の構成部分の時系列的標準化および製品相互間での標準化である。そして、その標準化概念の中には、「企業全体の最良の経済性を目的とすること」、「企業を構成する人々の協力により行う集団的活動であること」、「その内容はものごとの複雑化を防ぎ、単純化または統一化のためのルールを作り、それを活用すること」の3つを挙げている。

また、一般に社内標準が制定された後も、元の複雑ないし混乱に戻ろうとするため、標準化活動は長期にわたる社内攻防戦であると述べている。それは、標準化の目的において、社内全体の経済性が最良となるということは、全体を構成する部分の全てが同時に最大の利益をもたらす訳ではなく、例えば材料費の節減は得られたが加工費が増え、社内的に利害が対立する場合があるということである。それはつまり、標準化を進めていく上で、企業全体として広い視野で長期的に標準化活動の経済的利益を評価する必要があるということである。

そして製品を構成する部品の標準化、共用化の経済性評価は、
 (1)「ある部品について多数の製品の間で標準化した場合、企業全体として発生する経済効果」と(2)「ある製品の構成部品の何点かについて、標準部品を採用した場合、その製品原価の中で発生する経済効果」の2つに分けられるとして、いずれも表1に示す部品標準化による

表1 部品標準化による効果項目

区分	効果項目
調達	①集中購入による価格低減
	②購入計画の容易化
	③発注購買業務の能率化
設計	①設計ミス減少、品質不良予防
	②開発工数低減
	③余裕時間の新技術開発への投入
	④図面管理、設計資料管理の容易化
製造	①設備稼働率の向上、作業停止時間の減少
	②設備の専用化・自動化による品質・能率の向上
	③仕掛品の減少
	④型、治工具、検査具類の保有減、維持経費の減少
	⑤作業員の訓練容易、作業安全度向上
	⑥諸管理の合理化が可能
検査	①検査ロットが大きくなり、相対的検査数量減少
	②専用検査設備の採用による精度能率の向上
	③検査ミス減少
	④検査待ちストックの減少、手待ち時間の減少
サービス	①配給の迅速化
	②部品ストックの減少、在庫面積、保管施設の減少
	③包装・梱包の合理化
	④ユーザー要求に対する処理の合理化

る効果項目を金額表示としてそれぞれ積み上げればよいとした。

一般にロット（月産個数）とコストの関係は、**図3**に示すような関係があり、月産数が増えると低減する生産設備の償却負担と増加する諸管理費・経費の和がコストになる。そこで（1）のケースと（2）のケースに対して積算する数式を提示している。

しかし海原は、どちらともその内容精度を上げようとするれば、相当大変であり時間もかかり、効果算出のために多大な工数をかける事は得策ではなく、それに時間をかけるぐらいなら標準化の実施活動に努力を傾ける方が良策である、と結んだ。

海原が作成した経済性計算式は、**表1**の効果項目がすべて定量的になっていることを前提としているが、**表1**の項目を定量化すること自体が難しいのだから、確かに海原の結論にならざるを得ないだろう。そういう意味でこの論文は、製品の標準化・部品の共通化の進め方の部分は大いに参考になるものの、共通化による経済性評価については、**表1**の項目をリストアップしたこと以外に参考になる点はない。

3-2 トヨタ自動車論文

トヨタ自動車の福島[1978]は、製品企画段階からすすめるトヨタの部品共通化活動の変遷について述べている。当初は現行部品を対象とした削減活動であったが、次第に設計者が主体的に考えるための資料を充実させ、“創る設計より選ぶ設計”へと移行した。それによって設計者は、自分が設計しようとする部品にどんな類似部品があり、それが、重量・コストの面でも、どんな関係にあるかの概要を簡単に知ることが出来るようになった。そして、新規に部品を設計する場合、「現存するものより優れたものにしなければならない」という、設計者本来の自覚は強まることになった。部品共通化活動に対する批判的な意見を持つ人々も包含して、関係者が一丸となって部品共通化に取り組むためには、トップの強い意向と、強力な推進者のもとに、柔軟性のある推進方法をとることが重要であると指

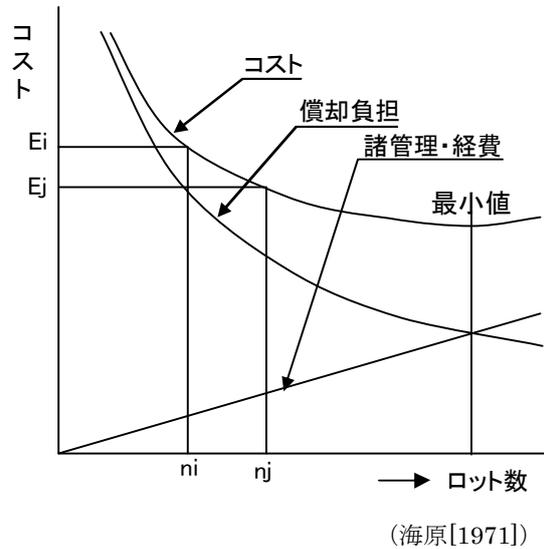


図3 ロットとコストの関係

摘している。

そして残された課題として次の4項目を挙げた。

- ① 対象品目を拡大していく。
- ② 新車種の開発にもっと前向きに関与していく。
- ③ 電算機をもっと活用して設計者の負担を軽くしたり，部品共通化への動機付けになる資料を提供していく。
- ④ コスト評価の面で，直接の部品コスト以外の費用低減を評価し，共通化の推進に寄与できないかを検討する。

福島は，④について定量的に評価する「部品共通化コスト計算図表」を参考として示したが，管理費などという間接費用を計算に入れるのは，なじみが薄く，趣旨に賛同する人はかなり多かったものの，基準として使うには至っていないと述べた。

提示された図表は，日産自動車の海原が示した**表1**の各項目の総和に対して部品種類数による影響度合いを示したものであり，一步前進している。**表1**に示す業務を担当している管理・間接部門の部門費は品番数（会社として管理している部品番号の数，すなわち部品種類の総数）に比例するという前提に立ち，1部品の管理コストは管理・間接部門費を品番数で割った値であるとした。そして，共通化活動で1部品を削減する場合，それによって発生する設計変更費用から低減される管理費を差し引いた値がマイナスならば共通化してもよい，プラスならば共通化してはならないと判定するという計算図表である。

この図表が使われるに至らなかった要因は，次のふたつの理由からであると考察される。

- ① 現存する部品の種類削減を対象にしているため，部品種類を削減したとしてもすでに投資してしまっている製造コスト（開発費，製造設備費，型具費，製造人件費など）の回収には結びつかないので，部品を維持する管理・間接部門費の低減効果だけを扱っており，部品共通化によるコスト効果が小さく，共通化してはならないと判定されるケースが増える可能性がある。
- ② 仮に設計変更費よりも管理費の低減が大きく，共通化が承認されたとしても，社内外の組織に広く薄く存在する管理費をキャッシュフロー効果として現出することができず，机上の“遊び”になる。

福島の論文もまた，部品種類削減・共通化の効果を経済効果に結びつけることができなかった論文である。

文中に 担当役員の“軽量，コンパクト，低コスト，共通化，を設計基本理念とし，その上に立って要求された性能を満足し，要求された耐久性を満足させよ”とか，“共通化は現状が基準で，現在あるものの中から選ぶのが原則である。但し，軽量，コンパクトになるのなら新たに設計しても良い”とかの言葉があり，部品共通化による経済効果の論議はトヨタ独特の精神論で乗り切っていることが推測される。

3-3 日本電装論文

日本電装（株）（現デンソー）の長良[1986]と太田ら[1987]は，自社の自動車用新型ラジエータの量産化を実現していく中で，研究段階から標準化への取り組みを指向し，推進してきた内容について報告した。

まず製品開発の構想には，研究から量産までの全てのステップについての基本理念が含まれるべきものと考えている。新型ラジエータはどうあるべきか，納入先要請，社内事情など様々な条件について検討し，「世界一の製品を，世界一のラインで」を製品開発における基本方針とした。製品の性能，重量，コスト，品質などの開発目標値は，他社の製品トレンドおよびあらゆる分野からの熱交換器改良限界の追求などから，今後 10 年間にわたり世界をリードできる製品レベルとすることとした。

更に，年々高度化する社会ニーズにこたえるためには，単に個々の新技術を開発するだけでなく，製品開発と生産システム開発の有機的結合をはかることが不可欠であるとした。そこで，最適設計された小型高性能ラジエータに不可欠な基礎技術を開発し，次にモジュラー・デザイン技法⁴を用いて最少の構成部品種類数で最大の製品仕様数を実現した。続けて製造性を向上するために，製品や部品に 2 進数の信号穴を設けて識別の自動化を行い，部品の自動ピッキングや自動組み立てなどにつなげて，最終的に従来 7 本あった製造ラインを 1 本にまとめ，生産指示から出荷までをコンピュータで管理する総合的な FMS (Flexible Manufacturing System) 工場を実現した。

(以上，長良[1986]と太田ら[1987]による)

一般に生産技術部門の悩みは，次に製造する製品はわかるが，次の次，さらにその次に製造する製品の仕様がわからないため，長期的・大局的視点での生産設備計画が困難であるということである。したがって当面製造するための生産設備を設計・導入し，次の製品

⁴ この論文では「モジュラー・デザイン技法」との言葉を用いていないが，彼らが採用した方法は明らかにモジュラー・デザイン技法である。

の製造のときにはせつかく新設した生産設備をすべて取り壊して再び新しい生産設備を新設計・導入することを繰り返すことになる。

長良と太田らは、VEで10年間競争力がある製品（ラジエータ）を開発し、かつ全世界の顧客（自動車メーカー）が要求しているすべてのラジエータの最小と最大の大きさを調査し、さらに最小から最大までの製品を規則正しい仕様ピッチ（モジュール数）で配列した。したがって生産設備の計画では10年という長期的視点で考えることができ、かつ最小から最大まで規則的に変化する製品全体を捉えることができたので、製造組み立ての自動化、段取り替えなどの自動化もしながら効率的・効果的に製品を製造する全体最適・長期最適な設備対応ができたのである。

長良と太田らは、この活動によってどの程度の製造原価低減ができたのかを述べていないが、生産性向上による大幅な原価低減を実現したことが推察される。この論文は、本研究の方向性を示唆する重要な論文である。

3-4 越智論文

広島大学の越智[1993]は、「自動車産業における部品の共通化」の中で次のように述べている。

1980年代のバブル経済の時代には日本の自動車メーカーは消費者ニーズの多様化に対応するため多品種少量生産を行なってきたが、バブル経済が崩壊した1990年代以降における問題は「製品多様化に伴う固定費の増加と円高による輸出のコスト競争力の低下」にある。更に、製品のライフサイクルも短縮化傾向にあり、それに対応するための新工場建設のための設備投資等、いわゆる固定費増加の負担が経営をいっそう苦しくさせている。

また、1990年をピークに自動車の生産台数は減少傾向にありながら、部品の管理点数⁵は生産台数が減少しても、なお増加し続けており、その部品の管理年数は10数年以上に及ぶことになる⁶ので、それが自動車メーカーにとっての大きな負担となっている。そのため、各メーカーとも部品の種類数削減のために、部品の共通化に取り組み始めている。

そのため越智は、部品共通化の概念の体系化と、その有効性の検証を研究の目的として本論文を書いた。越智は、部品共通化の方法やアプローチについての調査を行い、部品の

⁵ 部品管理点数とは、全社で管理している部品番号の数（すなわち部品種類数）をいう。

⁶ 自動車は、製品の生産打ち切り後も自動車は市場で数十年使われるので、その補修用の部品（実際は部品を製造するための機械設備、用具、材料など）も数十年間管理しなければならぬ。そのための管理費は非常に大きい。

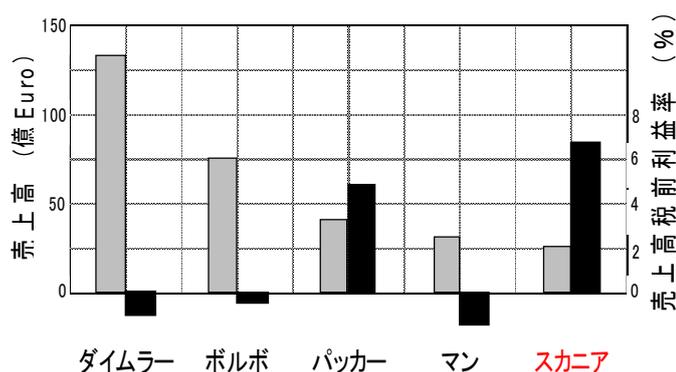
共通化が製品または部品の在庫量，引き取り量，生産指示量にどのような影響を与えるかを理論的に明らかにした。

しかし，研究の対象を製造工場の一工程に限定しており，工場全体や経営全体に対して部品共通化の効果を明らかにするという今回の研究目的からすると合致しない。

3-5 スカニア社調査報告

スウェーデンのバス・トラックメーカーのスカニア社は 1950 年からモジュラー・デザインを志向して，製品の用途や外観が異なっても少数のモジュラー部品を計画的に組み合わせ設計する独自のモジュラー・デザイン体制を確立した。思想は玩具のレゴ・ブロックであり，デンマークのレゴ社と共同でモジュラー・デザインの優位性を訴求するキャンペーンを張ったりもしている。

スカニア社は，**図 4** に示すように，売上高では中堅メーカーだが利益率では大手の利益率を大幅に超えている。過去 70 年間赤字なし，2007 年度の経済指標でも世界有数の高収益企業にランクされている。スカニア社のモジュラー・デザインがスカニア社の高収益性を保証していることが想定される。



(日経産業新聞[2002.11.19]から筆者作成)

図 4 スカニア社の収益状況

ジョンソンら[2002]は，スカニア社のモジュラー・デザインに関する調査を行い，次のように報告している。

- ① 今日，スカニアのトラック用モジュールは，3 タイプの運転室，4 タイプのエンジン，4 タイプの変速装置，そして 15 タイプの車台からなっている。これらを組み合わせることによって様々な顧客の要求に個別に対応するわけであるが，難問は，どのようなサイズであれ，ひとつのモジュールが他のモジュールの全てのサイズにぴったり合うようにモジュールを標準化することである。⁷
- ② それぞれのモジュールは，また，さらに小さい自己完結型のモジュールを含んでいる。同様に，動力を車輪に伝える同一の車軸を種々組み合わせれば，多様な車台モジュール

⁷ 「難問」といながら，スカニア社はこの問題を克服したと暗にいつている。

ルを作ることができる。⁸

- ③ スカニアの設計技師たちは、予測できる顧客条件をすべてカバーして、モジュールが適正に機能するように、個々のサブモジュール、コンポーネントや部品が満たさなければならない詳細な設計仕様を定義し、トラックが必要とする部品の仕様をも示すマトリックスを生み出した。スカニアは、顧客注文に応じてトラックを設計しない。顧客注文に適応した部品仕様をこのマトリックスから「引き出す」のだ。
- ④ 顧客と収益を犠牲にして部品点数⁹の複雑性を減らす考え¹⁰は、スカニアとは無縁である。そのような行為は、事実上顧客をふるいにかけることを意味し、例え可能だとしても、そこから得られる結果はスカニアにとって耐えられるものではない。特定のトラックや顧客の多様性を排除し、高コスト・低使用頻度の部品番号を減らす代わりに、スカニアの設計技師たちは、全てのトラックで部品の共通性を高めるよう動機付けられている。
- ⑤ 顧客ニーズの違いにより異なった部品を作る必要があるときでさえ、スカニアの設計者たちは、同じツーリングで出来るだけ多くの多様性が生み出せるように部品を設計しようとする。¹¹
- ⑥ 同じ部品を多目的に使用するという共通化の達成度を測定するために、スカニアの設計技師たちは「密度指数」と称する測定基準を用いている。この指数は、値ゼロから1までの範囲を持ち、個々のトラックの全ての部品が独自のものなら値ゼロとなり、個々のトラックで全ての部品が同じであるときには、値1がつけられる。
- ⑦ 一般的にいつて、設計上のどんな多様化にとっても、密度指数が1に向かって動けば動くほどよい。しかし、この法則には例外がある。製品の主要なモジュールまたはモジュール式のサブシステムの設計と製造を現在流行の外部委託（アウトソーシング）している¹²企業の場合だ。そのような外注により、企業はその製品と工程システムの設計における複数の部品点数を、おそらくたったひとつの点数（つまり外注しているモジュールまたはサブシステムを代表する部品番号）と取り替えるようになる。他の条件が変わらなければ多くのものを一つの品番に変えるこの取り替えにより、密度指数は値1に向かって動いていく。特に、外注品目の多様化が、外注する企業の帳簿に記載されな

⁸ これを一般に「入れ子構造」という。

⁹ ここでいう部品点数とは、部品種類数である。

¹⁰ 製品の多様化を排除することによって部品種類を削減しようとする安易な考え方のことである。

¹¹ 特に意匠がらみの部品はモジュール化部品を使用できないので新しい部品を生むことになるが、ツーリングだけは共通化しようとしているという意味である。

¹² この方式をアウトソーシング型複合部品化生産という。サブアセンブリの単位を大きくしたり、複数部品を一体整形化することで複合部品化し、それをアウトソーシングすることをいう。

いほど多くの異なった部品を含んでいる場合にはなおさらだ。このようにモジュール全体もしくはコンポーネントのサブシステムを外注することは、おそらくコストを低減するが、それはたぶん短期間のことだろう。長期的には、主要なコンポーネントを外注することによって、設計能力や製品性能に対するコントロール能力が失われ、それが全体的なパフォーマンスを減じることにつながる¹³。

- ⑧ モジュール化がコストに及ぼす影響が、製造そのものを越えて流通機能とアフターサービスにまで及ぶことはいうまでもない。スカニア自身が見積もるところによると、コンポーネントの製造コストは、製造されるコンポーネントの数量を 2 倍にするごとに約 10 パーセント下落する。そして部品の発注・保管による流通費は、部品点数が半分に減ると、約 10 パーセント低下する。
- ⑨ かつてスカニアは、この見積り（筆者注：⑧のモジュール化によるコスト低下効果のこと）をもとに 1980 年代のヨーロッパでの同社の事業を、同社とほぼ同数のトラックを製造・販売しながら、約 2 倍の部品点数を必要としている競争相手と比較することで、モジュール化とコンポーネントの標準化計画が利益にどのように影響を及ぼすかを計算した。（開発コストや節約コストを）総計すると当時、年間の税引前利益が 13 億スウェーデン・クローネ(SEK)（約 150 億円）から 38 億 SEK（約 450 億円）に及んだ 10 年間に、スカニアは競争相手より毎年 10 億 SEK（約 120 億円）多い税引前利益を享受していたという計算になった。
- ⑩ 1990 年代初め、スカニアはほとんど同等の競争相手に比べ、車種の多様性で上回りながら同じくらいの台数を売り、しかもその台数を作るのにわずか半分の異なる部品点数しか必要としなかったのは偶然ではない。少数の部品点数ではるかに多様な最終製品を生み出すこの能力が、スカニアが、何十年もヨーロッパのトラックメーカーの間で卓越した収益性を誇っているおもな理由である。

ジョンソンらの報告の⑧、⑨、⑩は、本研究がもっとも重視している部分である。しかしジョンソンらはこれらのデータが得られたプロセスを何ら示していないので、研究の示唆は得られるが具体的な研究方法を得ることができない。

¹³ トヨタやホンダも、複合部品化生産はやり方によっては生産性向上の効果があるとしながらも、コアとなる複合部品（それがなければ製品機能を維持できない部品）をアウトソーシングすると社内の技術力が低下して将来的に品質・コストが悪化するといった否定的であり、ノン・コア部品（それがなくとも製品機能を維持できる部品。オプションやアタッチメントなど）以外はインハウス型でその可能性を追求している。

3-6 VRP 方法論

先に述べた VE は、主に単一の製品のコストダウンを行うが、VRP (Variety Reduction Program)は、製品群または製品ファミリー全体のコストダウンを図るのが狙いである。

バラエティとは、製品や工程、設備、作業の多様な状況と、製品設計や生産の仕方の多様な様子を指している。VRP とは市場ニーズのバラエティに対応しつつ、いかに生産上のバラエティを少なくするかを行う手法である。この手法は 1970 年代に日本能率協会で開催され、当初は自動車部品メーカーに適用された。その後、VRP の効果が認められ、産業機械、建設機械、家電製品など広く普及した。

市場ニーズの多様化による製品の多品種化やモデルチェンジの短サイクル化は、製品開発力の向上を促したが、一方で生産効率を著しく阻害した。VRP では、製品の基本機能を決定する基本的な部品やユニットは「固定」とし、顧客ニーズに合わせる「変動」要素と意識的に区分する。そしてその区分を生産システムに組み込んでコストダウンを図るのである。

日本能率協会コンサルティングの高達ら[1983]は、VRP の概要を紹介した。VRP では、以下の五つの視点から製品および生産構造を分析し、コストダウン設計のガイドラインを作成する。

(1) 固定・変動分析

固定・変動の定義は製品の多様化と簡素化ニーズの矛盾を取り除くために、製品のタイプ相互間に亘って、変えなくても良い部分を固定とおき、変えねばならない部分を変動と置く。尚、一部寸法のみを変える程度は準変動とおく。「固定・変動」の考え方は変動部分を市場のニーズにそって設定し、バラエティの豊かさを売りものにするのに比べ、固定部分は機能的設計に徹し、その合理性を売りものにするということである。

(2) 組み合わせ

組み合わせとは製品の多様化を簡素化することである。更にいうなら、ニーズの矛盾を取り除くために、部品やユニットを簡素化し、互換性を考え、部品・ユニットの組み合わせで製品の多様化をはかることである。つまり、組み合わせすべき要素を見出す事、そして、各要素にどのような種類を準備すべきかの検討が重要となる。

(3) 多機能化

1 つの部品でいろいろな機能を果たすような設計が出来ないかという発想にたった考え

方が多機能化である。VRP では機能を無くせないかと考える「排除」、2つ以上の機能を1つの部品で果たすことが出来ないかと考える「結合」、組み付け順序を入れ換えてみる「交換」、そしてもっとシンプルなものに出来ないかと考える「簡素化」の4つのコンセプトを総称して多機能化と名付けている。

(4) レンジ設定

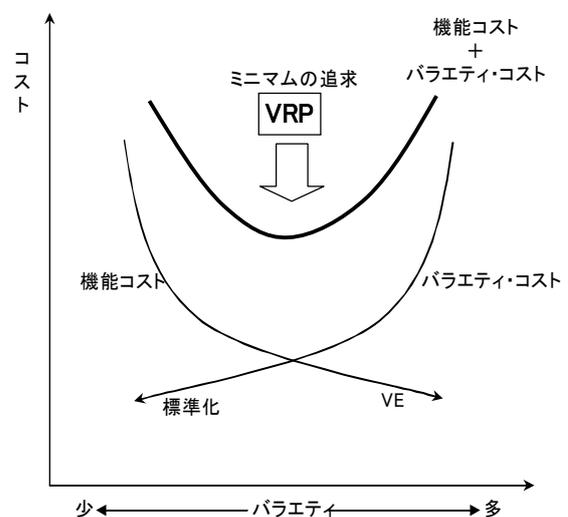
製品や生産システムで設定される数値は、ある範囲であれば、いろいろなタイプの製品に共通して使用できるものがある。その、ある範囲であれば、一定の基準数値が使用できるという範囲が「レンジ」である。

(5) 系列化

製品や生産システムに使用される数値について、都合の良いレベルや傾向を見出し、その系列上で決めていくことによって、従来あった不都合なバラエティを削減していこうという考え方が系列である。“標準数”や“建築モジュール数列”はこの考え方によるものとなっている。¹⁴

以上のように、VRP のコンセプトがかなり具体的に述べられている点で興味深い。そして高達は、コストを「機能コスト（製品の機能を満たすために生ずるコスト）」と「バラエティ・コスト（いろいろなものがあるから生まれるコスト）」に分け、**図5**に示すように、それぞれは相反する傾向を示し、目標とする点はU字型のミニマム点であると述べた。

バラエティを少なくしようとする「大は小を兼ねる」部品を設計することになるので機能コストが増えるのである。本研究の目的は、このミニマム点をどのようにして探り当てるかということであるが、その



(高達[1983])

図5 機能コストとバラエティ・コストの関係

¹⁴ 高達は標準数や建築モジュール数について特に説明していない。後述のモジュラー・デザイン方法論に出てくるので参照されたし。

点については高達成には触れていない。

同じく日本能率協会コンサルティングの鈴江ら[1988]は、高達成らの機能コストとバラエティ・コストの考えを発展させ、コストは「ファンクション・コスト(F コスト)」と「バラエティ・コスト (V コスト)」と「コントロール・コスト (C コスト)」に分けられるとし、一般的な製造業においては、表2に示すようなそれぞれの比率を占めると述べた。

種類コスト (V+C コスト) が全体のコストの 50%近くを占めるという結果に大きな関心を持たされたが、それについては述べられていない。

しかし鈴江らは、VRP によるコスト低減見積と実施方策について、次のように述べた。

VRP においては、現状の水準をベースにコストダウンのための重点活動課題を抽出する。重点課題活動の設定は、対象となる製品群の特性分析、コスト分析、部品状態分析、生産工程状態分析、管理点分析の結果に基づき、コストダウンのためには、何をすべきかという課題を明確にすることである。コスト分析からは、機種別、装置別、費目別の重点がどこにあるのかを把握し、コストダウン目標の割当てを行う。また、部品、生産工程、管理点の分析結果より、「どこに、どのくらい、何が、なぜ多いのか、どう減らすべきか」という点について、明確にする。加えて、製品群の持つ特性や関係者に対するインタビューによって分析結果に対する背景を明確にする。

そして、VRP 活動プロジェクトの前提として、成果目標が設定されるが、具体的な活動を行うには、この目標値をブレイクダウンする必要がある。一般的には、一つの機能をもったブロック単位で検討するのに手頃な単位に目標値を割当てて。このように、成果目標から活動目標となるコストダウン額の割り当てを行う。また、この割当ての際に、活動の活性化を計るため、チーム内の目標値として、当初設定された目標値を上まわる数字を決める場合もある。そして、V コスト、F コスト、C コストの低減は次のように進める。

(1) V コストについて

「部品あたりの生産量」と「工程あたりの類似性」を増加させることにより、V コスト

表2 F, V, C コストの比率

		見込み型製品 (自動車、 家電製品等)	受注型製品 (重電製品等)
		単品コスト	Fコスト
種類コスト (隠れたコスト)	Vコスト	20-30%	20-30%
	Cコスト	10-30%	30-40%

(日本能率協会コンサルティングによる)

Fコスト(Function cost):仕様・機能・構造に関するコスト
e.g. 材料費、加工費、組立費、検査費、出荷・梱包費
Vコスト(Variety cost):製造工程種類に起因するコスト
e.g. 段取費、金型費、設備費、習熟効果、機会損失費
Cコスト(Control Cost):間接業務を発生させるコスト
e.g. 設計費、発注費、現品管理費、品質管理費

(鈴江ら[1988]のデータを元に筆者作成)

の削減をはかるため、部品種類・生産工程種類を削減する。

部品、生産工程の種類が多さに起因するVコストの削減に当り、まず対象となる製品群の市場・顧客が要求する真のニーズは何かを解明し、何が変動し、何が固定なのかをポリシーとして決める。ニーズを追求する項目としては、バラエティの発生源となる「数値」「方式・仕様」「構成」について、直接影響を与えるものについて行う。

このポリシー設定に当って、まずニーズの発生源であるターゲット市場、顧客を明確にし、それに対応した対象機種の特徴、製品仕様を明確にする。この特徴から、各製品に要求されるニーズ項目をリストアップする。このニーズというのは、あくまで市場・顧客ニーズの解明であり、設計者ニーズと混同しないように注意することが必要である。

次に、抽出されたニーズについて、それらを達成する手段を想定し、機種群の中で横にらみしたとき、それらを固定にするのか変動にするのかを決める。固定-変動ポリシーに基づき、VRPテクニックを適用しながら製品構造の基本を決める仕様と方式について、固定部分を増やすための検討を行う。この検討結果は製品仕様を決定することになるので十分に検討する必要がある。ただ単に、横にらみの流用化ということではなく、市場・顧客の要求するニーズを踏まえ、新仕様・新方式の採用を含めて統合・集約案を設定する必要がある。

同様に工程経路についても現状のパターンの統合・集約化をはかる。工程経路パターン
の統合・集約化を検討する際に、製品・部品の類似性に注目することがまず重要である。そして、思い切って既成の枠を広げて、着眼・着想してみる事が必要である。物を造る立場で考えると、設備・治工具等のハード面、ノウハウなどのソフト面について制約があり、どうしても見方が狭くなる恐れがあるが、既成概念を捨てて、制約事項を思い切って改善課題として真正面から取り上げてみるという態度も必要である。

次に統合・集約化された、仕様・方式パターンに基づき、寸法数値の「固定変動」化・「組合せ」化を検討する。部品の各寸法のどこの部分は固定化し、どこの部分は変動化させるかを明確にする。

生産工程についても、部品と同様に、統合・集約化された工程経路パターンに基づき、固定工程を明確にしていく。これは当然ながら製品構造の「固定-変動」化の結果に基づいて、検討を行なう。

Vコストダウン方策の検討として、部品・寸法の固定-変動化および、工程の固定-変

動化に基づき決定された固定部分について、コストを下げるための方策を立案する。方策の立案は部品あたりの生産量の増加による面と、工程あたりの類似性の増加による面との両面から行なう。

最後に検討結果について、方式数、工程経路数、固定部分数、固定工定数、V コストダウン方策アイデア数などについて現状と検討後、削減率をまとめる。

(2) F コストについて

F コストを削減するために、統合・集約化された方式・工程経路について、その構造と生産工程の成り立ちを見直し、部品・工程点数の削減をはかる。F コストダウンには、VRP の「多機能・集約」テクニックを適用する。

F コストダウンのために、統合・集約された方式・タイプについて、製品構造と生産工程の成り立ちを検討し、多機能化・集約化をはかる。検討に先立ち、どのレベルから検討をするべきか方向付けを行なうことを「多機能・集約化ポリシーの設定」という。

まずは「仕様面からの検討」に入る。「仕様面の検討」というのは、現在の部品が持つ種々の仕様に対し、余剰・過剰な仕様がないか、見直しを行なうことである。この検討はまず、現在の仕様とその仕様が決められた理由を明らかにする。そしてその理由そのものの妥当性についても見直す。その後、余剰・過剰な仕様を洗い出し、排除・改善案を検討する。

次に「機能面からの検討」に入る。「機能面からの検討」とは、要求機能を果たす手段、つまり方法の変革を行なうことである。方法の変革は基本的に従来品よりも「部品数が少ない」「工程数が少ない」「材料が安い」「コストが安い」ものでなければならない。このために必要機能の排除・結合・簡素化を行い、一部品多機能化を目指す。この検討は、各部品の持つ機能を明確にし、一部品多機能化を検討していく。

更に「構造面からの検討」に入る。「構造面からの検討」とは、方法を実現する部品の使い方、つまり構造の変革を行なうことである。いくつかの部品の集まりに対し、部品の排除・結合・簡素化という見方で検討し、一部品多部品化を目指す。個々の部品同士を突き合わせながら、一部品多部品化を検討していく。この場合の注意点として、“従来と同じ二つの部品を単純に一つにする” 式の案は、「材料費、加工・組立費が安くなる」という見込みが得られない限り、採用しないことである。

次いで、1 つ 1 つの部品について、その簡素化および材料費削減案の検討を行なう。この場合簡素化とは、単純化と容易化という二つの面から検討を加えていく。単純化は文字

通り、余分なものを持たない部品であり、容易化というのは「しやすい」ということを目指した部品である。

そして、生産工程数の削減と工数低減に入る。「工程、加工点、作業点、加工仕様」の数を削減する。この工程数削減の際には

- ① 出来る限り枝葉工程を削除し流れの簡素化をはかる
- ② 1つの部品は1工法で完成させるように検討する
- ③ 1工程多作業化により、工程のフレキシブル化を高める
- ④ 加工一組立における職能別編成からの脱皮
- ⑤ 排除・結合・簡素化・入替により数の削減
- ⑥ 削減は、「工程→加工点→作業点→仕様→工数」の順序で考える

等のことを考慮する。

まとめとして、多機能集約化ポリシーに沿って検討した内容を、「部品点数、工程数、材料費、工数」について削減量をまとめる。

(3) Cコストについて

部品数の削減に伴うCコストの削減量を把握するとともに、管理点の削減・簡素化によりCコストダウンをはかる。

管理点分析により、各管理点での必要負荷時間（人員数）を明確にする。一方、VRP5テクニックの適用により、部品数の削減が出来れば、各管理点での仕事量（パラメータ）が削減され、Cコストダウンに繋がる。ただし、部品数の削減と各管理点での仕事量の削減は一律とはいえない。その関係を影響度という形で見積る。この結果に基づいて、各管理点のCコストの削減量を把握する。

部品数、生産工程数の削減に伴う仕事量の減少によるCコストダウンを行なった後、管理フローおよび各管理点の内容についての改善を行い、さらにCコストダウンをはかる。仕事量の減少によるCコストダウンを行なった後、各管理点の仕事量のアンバランスや、管理フローパターンの削減を計り、管理点の集約化を検討する。次に各管理点での業務処理方式をレベルアップし、所要工数の削減を検討する。

以上のように、鈴江らは部品種類削減効果である種類コスト（V+Cコスト）に着眼するだけでなく、Fコストにも着眼して総合的にコストを低減する方策を示した。

Vコストの削減方策は、要するに部品種類に着眼したIE (Industrial Engineering)を用

いた工場内の工程合理化である。これはそれなりの効果が期待できる。

F コストの削減は、通常の部品の VE 手法以外に製造工程数の削減と工数の削減についての独自の考えを展開している点が新しい。

C コストの削減は、工場内の管理コストを対象にしているのも、定型的で定常的な工場内の C コストであればその削減方法と削減効果を明確にすることは比較的容易であろう。C コストにおいて重要なことは、表 1 に示すように、全社で発生する管理コストの削減であり、これについては触れられていない。

総合的に鈴江らの研究がいろいろとしたことは、次の 2 点であると考察する。

- ① 部品種類コストは、部品種類がどの程度下がったらいくらコストが下がるかという一般論で捉えるべきではなく、部品種類を削減することによって従来の煩雑な仕事をどこまで簡素化できるかという能動的なアプローチを取るべきである。
- ② 事務間接部門で発生する C コストは、コスト見積・削減の対象にしない方が無難である。

4. モジュラー・デザイン方法論

日野[2002]はトヨタ自動車の研究をしており、トヨタ自動車の強みは、トヨタ独特の経営システムを持つこと以外に、大幅な部品共通化能力を持つことであることを発見した。

表 3 は、日野[2002]によるバブル経済最盛期におけるトヨタの部品共通化能力である。部品管理点数とは全社で管理している部品番号の数（すなわち総部品種類数）であり、車種仕様数とは全社で販売している自動車の種類数である。MD 指数とは、部品管理点数を製品仕様数で割った値であり、1 台の製品仕様が専用で持つ部品種類の平均値である。自動車は 3 万点の部品でできているといわれるのに MD 指数ではこんな値になる理由は、製品仕様間で部品を広く共用しているからである。当時の日本の自動車各社の MD 指数は 200 前後であったとのことであり、トヨタの優れた部品共通化能力を示すデータである。1984 年から 1990 年にかけて部品管理点数が急増しているが、MD 指数は漸減していることも、トヨタの部品共通化能力の高さを示す点で見逃せない。

表 3 トヨタの部品共通化能力

	1984/4	1990/11
部品管理点数	730,000	1,200,000
車種仕様数	19,349	37,000
MD指数	37.7	32.4

(日野[2002]より筆者作成)

トヨタは 2000 年から 2003 年に掛けて、MD 指数をいっそう低減させる CCC 21 (Construction of Cost Competitiveness for 21st Century) という全社・全グループ活動を行い、トータル 1 兆円のコスト低減を行った。そして引き続き、CCC21 活動を拡張した VI (Value Innovation) 活動を行っている。トヨタ自動車の世界のジェネラル・モーターズを追い抜くことは時間の問題といわれるが、このような活動が、トヨタが世界一になる財務的保証をしていると考えられる。

モジュラー・デザインの理想像は、玩具のレゴ・ブロックである。レゴは、少ない部品種類で自動車、飛行機、ビルディングなどの多様な製品を作ることができる。

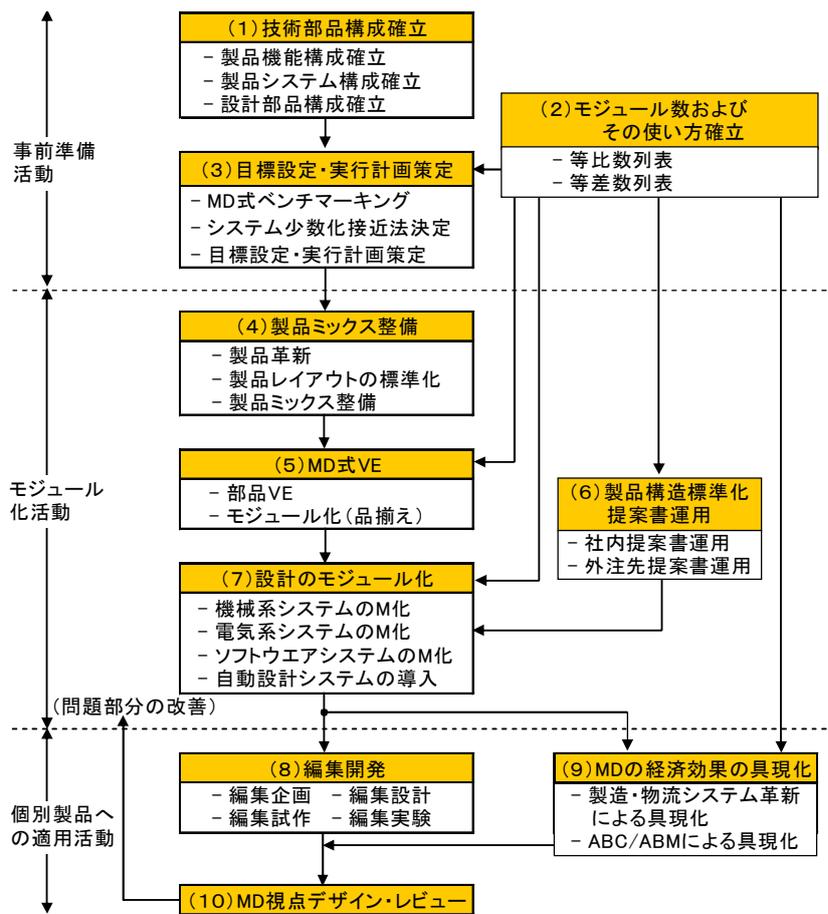
近年の製品は多様化・短命化が進み、またメカ、エレキ、ソフトが融合して高度・複雑になっている。このような時代に対応するためには、設計的アプローチで製品の多様化と部品少数化を両立させる体系的なモジュラー・デザイン方法論が必要である。

日野[2007]は、図 6 に示すように、モジュラー・デザイン方法論は 10 のステップの活動から成るとした。以下、順にその概要を示す。

(1) 技術部品構成確立

部品をモジュール化するためには、はじめに製品の構成を標準化することが必要である。製品は、製品機能、それを実現する製品システム、さらにそれを部品として実現する設計部品という流れで設計されるので、製品の構造も製品機能構成、製品システム構成、設計部品構成の 3 つを標準化する。

それらはまた、機械系システム (メカ)、電気系システム (エレキ)、製品組み込みソフトウェア (ソフト) のすべてを包含した一元的な構成である。



(日野[2007]をもとに筆者作成)

図6 モジュラー・デザイン 10 の活動ステップ

(2) モジュール数及びその使い方確立

種類削減の基本的な方法は、製品、製品システム、部品の各仕様に適用する数値を使用制限することである。制限する数値は、顧客要求を満たす上で必要最小限の製品仕様数になり、かつ部品の互換性が高まる合理的な数値が望ましい。国際標準化機構(ISO)は、以上のそれぞれの目的を実現するために、それぞれ等比数列の「ISO 3-1973 “Preferred numbers - Series of preferred numbers” (日本工業規格では JIS Z8601 「標準数」)」と等差数列の「建築モジュール数」を用意している。ここでは総称して「モジュール数」と呼ぶ。

モジュール数の存在と目的と使い方が一般に知られていないため、モジュール数は世間でほとんど使われていない。モジュール数には応用版や電機業界版などがあるので、詳細なモジュール数の種類とその使い方を組織標準として確立する。

(3) 目標設定・実行計画策定

一般に部品共通化の目標は「30%削減」などのように精神論的に設定される。共通化の対象部品も、経験的に可能性がありそうな部品だけを虫食いの的に抽出される。すべての目標は常に競争会社の製品のレベルを見た上で、かつ合理的な接近法で設定されねばならない。またすべての部品はつながっているのだから、全体として最大の種類削減をするためには全部の部品を対象にすることが必要である。そこで次の3つのステップを踏んで目標設定・実行計画策定を行う。

(a) MD 式ベンチマーキング

共通化の目標が精神論的に設定される理由は、競争社の共通化レベルを知ることができないという思い込みによる。競争社の複数製品を一括購入してテアダウン¹⁵し、群で比較すれば、競争社製品の MD 指数¹⁶、製品をまたいで部品を共用している部品共用率、平均構成部品点数、さらに競争社の共通化思想やその手段を知ることができる。この共通化分析を目的とした群で比較するテアダウンを「MD 式ベンチマーキング」と称する¹⁷。MD 式ベンチマーキングを行えば、改善すべき要の部分が明確にわかるし、競争社の製品も目の前にあるので改善のヒントも得られやすい。競争社の製品の購入が困難な場合でも、強い意志を持てば、必ず有効な方法とか情報が見つかったりするものである。

(b) システム少数化接近法決定

製品システム¹⁸の種類削減の接近法として、VRP が普及した「固定・変動分析」がある¹⁹。しかし機械系システムにおいては固定と変動の2種類の接近法で済むことはなく、製品システムの特성에応じていろいろな要因を加味した接近が必要になる。そこで、製品システムの機能特性、専用/汎用特性などの特성에応じて、各種のモジュラー・デザインの方法の中から適切な少数化法を選択する「システム少数化接近法」を用いて接近

15 テアダウンとは、競争社の製品を分解して部品レベルで技術力を比較する手法であり、一般の企業に広く浸透している。

16 ここでの MD 指数は、全体での総部品種類数を製品数で割った値である。

17 通常、テアダウンは1：1で比較するので、その限りでは永久に競争社製品の共通化の程度はわからない。群で比較する MD 式ベンチマーキングは、日野教授によって初めて開発された方法である。

18 本論でいう製品システムとは、製品の機能を実現するシステムと部品を総称していう。

19 固定とは、数種類に標準化すること、変動とは製品ごとに個別に仕様を決めることをいう。

する。

(c) 目標設定・実行計画策定

MD 式ベンチマーキングの結果と決定した製品システム少数化接近法を眺めながら、設計部品構成のすべてに対して少数化の根拠ある目標設定をし、優先順位を付けて実行計画を立てる。

(4) 製品ミックス整備

製品ミックスとは、顧客要求と企業体力を考慮して、最少の製品種類で最大の顧客を獲得できるように、全体として整合が取れた製品ラインとラインごとの製品アイテムを定めることをいう。

一般の企業では、市場または顧客からの要求がある度に製品を設計しているため、全体として振り返ってみると、重複と乖離が入り交じった不整合な多機種製品ミックスになっていることが多い。顧客の獲得数が最大になっていないという問題以外に、重複製品間では不要な部品を発生させており、乖離がある製品間では部品の共用化が進まない。製品ミックス整備は、このような現象を防止することを目的とした活動である。

(a) 製品革新

現在の製品技術のまま製品ミックスを作ってもすぐに競争力がなくなって使い物にならないので、初めに、将来に繋がる製品ミックスにするために、VE で基準製品²⁰の技術を革新する。

(b) 製品レイアウトの標準化

製品ごとに部品のレイアウトが異なると、部品に対する要求の機能や性能は同じでもレイアウトに合わせた形状だけが異なる部品を生みやすい。そこで、製品ラインをまたいで製品レイアウト（製品内のシステムや部品のレイアウト）を相似形の状態に標準化する。

(c) 製品ミックスの整備

最後に顧客要求調査を行って、製品の基本構造を決定する主要な仕様の最小値と最大値を定め、その間に適切な等比モジュール数を適用して、必要にして十分な製品ライン数（製品バリエーション）を設定する。さらに製品ラインごとに詳細の製品アイテムを

²⁰ 基準製品とは、全バリエーションの中心的な基準となる製品をいい、派生品は基準製品をモディファイして設計する。

定めて全体の製品ミックスを決定する。

以上の製品ミックス整備活動で競争力がある製品を開発できるので、製品の表層部分は短命化・短サイクル化に対応して変更しながらも基本機能部分は短命化・短サイクル化を防止できる。また必要にして十分な製品ミックスになるのでトータルの機種数が少なくなるとトータルの部品数も少なくなり、さらに規則的に変化する製品ラインになるので機種間で部品の共用化が進む。

このようにしてできあがった製品ミックスをもとに、(9)の製造・物流システム革新につなげて経済効果を具現化する。

(5) MD式VE

(a) 部品VE

部品においても製品ミックス整備活動と同じように、部品をモジュール化する前に部品VEを行って数年間競争力がある技術レベルにする。部品VEは、機能VE、レイアウトVE、部品点数削減VEを総動員して行う。部品VEの結果得られた競争力がある部品構造を、標準モデルとして設定する。

(b) モジュール化（品揃え）

標準モデルをもとに、顧客要求の調査を行って最小から最大の大きさを決め、その間にモジュール数を適用して全部品のバリエーションを品揃えする。この活動は、(7)設計のモジュール化と平行して行う。

以上のようにしてできあがったモジュール部品をもとに、(9)の製造・物流システム革新につなげて経済効果を具現化する。

製品ミックス整備にしてもMD式VEにしても、製品の技術レベルは数年間競争力を持たせるので製造設備もその間変更する必要がなく、また製品システムの仕様の最小値、最大値およびその間を規則的に変化するモジュールピッチが事前に分かっているため、完全無人自動化工場のような製造・物流システムの思い切った革新が可能になり、大きなキャッシュフロー効果が期待できる。製品と部品がVEで革新され、かつモジュール化されているからできる製造・物流システム革新である。²¹

(6) 製品構造標準化提案書運用

設計者は、顧客要求は大体わかっているが、社内外の後工程の要求は詳細には把握して

²¹ この部分は、「3-3 日本電装論文」を参考にして作成された方法である。

いない。社内外の後工程部門は、ツーリングの種類削減・共通化、段取り替えの時間短縮、工程内外の在庫や在庫スペースの削減などの観点から、製品や部品の構造や仕様に対して固定（いくつかは標準化）・準変動（条件付き変動）・変動（自由に設定）などの要求事項を整理し、「製品構造標準化提案書」として設計部門に提供する。設計部門はこの要件書を、次の（7）の設計手順書に反映する。

（7）設計のモジュール化

設計のモジュール化とは、設計方式を擦り合わせ型²²からモジュラー型にすることである。機械系システム、電気系システム、製品組み込みソフトウェアシステムによって設計のモジュール化のアプローチが異なる。

（a）機械系システムのモジュール化

モジュラー・デザインの対象はボルト・ナットのような汎用部品だけでなく、製品専用の機能部品を主たる対象にしている。機能部品は、製品構造の垂直・水平関係で複雑なインターフェースを持っているので、機能部品をモジュール化するためには、垂直・水平のインターフェースを見えるようにしなければならない。その手段が設計手順書を作成することであり、設計手順書を作成する過程で機能部品のモジュール化を進める。設計手順書は、製品システムをモジュール化する手段であるだけでなく、品質・コスト・納期（開発リードタイム）面にも大きな効果がある、新人の即戦力化が可能になる、設計者に余裕が出るので創造的設計にシフトできる、将来の自動設計につなげることができる、開発リードタイム短縮によって顧客の獲得数が増え売上高が増えるなどの効用も期待できる。

（b）電気系システムのモジュール化

電気系システムは、電源システムなどのように、機能が異なる製品を超えて共用できる可能性がある。類似機能の電気製品をまたいだ製品システム構成を作り、製品システム構成の機能を実現する階層構造の回路ブロック図を作り、回路ブロック図単位で設計部品構成（実装回路基板とその構成部品）を作成することによって、類似機能電気製品のモジュール化ができる。

²² 擦り合わせ型とは、東京大学の藤本隆宏教授が日本企業に推奨している設計の思想である（藤本[2004]など）。製品ごとに部品間のインターフェースを微調整しながら最高の品質の製品を追求する考え方だが、擦り合わせ型設計では多くの部品種類が生まれる。モジュラー・デザインは、モジュール化部品の組み合わせでも高品質の製品を設計できるようにすることを追求する。

(c) 製品組み込みソフトウェアのモジュール化

いまや殆どの製品にはマイクロコンピュータや IC チップが採用されて電子制御用のソフトウェアが組み込まれている。携帯電話に組み込まれているソフトウェアは、かつての大型汎用コンピュータのソフトウェアを超える規模であり、バグの発生による不具合問題が多発して製品回収などが増えてきた。そういう意味からも、バグがない組み込みソフトウェアのモジュール化は非常に重要な課題である。

組み込みソフトウェアは、内部メモリデータ、入力装置、出力装置も絡んで設計されるので、ソフトウェア同士だけでなくそれらとのインターフェースをマトリクス状態で見えるようにする。その後、構造化されたソフトウェア（ソフトウェアモジュール）単位でプログラミングすることによって、バグのないソフトウェアシステムのモジュール化が実現できる。

(d) 自動設計システムの導入

部品（ソフトウェアを含む）の標準化が定着しない理由の一つに、“探すよりも描くほうが速い”がある。つまり、標準化した部品の中から製品の要求性能や要求レイアウトに合った部品を探すとなると、標準化した部品の組み合わせの数（つまり標準部品数の掛け算の数）だけ設計検討しなければならず、検討時間が膨大になって出図納期に間に合わない、それよりも要求性能や要求レイアウトに合わせた個別最適の部品図面を描くほうが速い、ということである。

そこでモジュラー・デザインは、部品組み合わせの設計検討を自動化するコンピュータによる自動設計システムの導入を必須の条件にしており、「知識獲得・自動プログラミングシステム（K-CAPS: Knowledge Capture and Automated Design System）」²³を提供する。

マイクロソフトのエクセル上で設計計算プログラムを組むと、説明変数がセル番号になって意味不明になり、また設計計算のプロセスが裏に隠れてしまうので、どのような計算ロジックなのかが第三者にわからず、設計の効率化は進むが技術がブラックボックスになって技術の伝承が難しくなる。K-CAPS は、目的変数も説明変数も通常の変数記号が使える、設計のロジックがデザイン・ルールとしていつも表面に示される、計算式だけでなく論理式も使えるため設計計算式同士をつなげた大きな設計の単位での自動計

²³ K-CAPS は日野教授が考案した。

算ができる，設計ロジックの記述ごとに論理的なチェックをして設計者に次のロジックの記述を促したりエラーがあれば改善を促したりする，ひとつの設計単位のデザイン・ルール記述が完了すると自動設計システムが完成するというシステムである。技術がホワイトボックスになるので設計の効率化と技術の伝承を両立する上で効果的である。

なお，(c)製品組み込みソフトウェアシステムのモジュール化の方法は，K-CAPSの応用版である²⁴。

(8) 編集開発

編集開発とは，製品企画～設計～試作～試験の一連のプロセスで「編集」という概念を取り入れることによって，最小の労力で最大の設計開発の成果を出す手法である²⁵。ここでの最大のねらいは，個別製品設計の際に上述のモジュール化された部品や仕様を最大に用いて編集企画・編集設計すること，および敢えてモジュール化しなかったデザイン関連部品なども既存部品流用化や新設部品共用化を行なって貪欲に部品の少数化を追求すること，のふたつである。

(9) MDの経済効果の具現化

この部分は先行研究調査で明らかになったように，(i)モジュラー・デザインの成果を製造・物流システム革新につなげてキャッシュとしての経済効果を明らかにする方向と，(ii)ABC/ABMの手法を応用してモジュラー・デザインによるFコスト，Vコスト，Cコストの低減量を見積り，具現化するという方向がある。いずれもまだ深い研究が成されていないため方法論としては確立していない。よって本研究の主要な目的部分である。

(10) MD視点デザイン・レビュー

(9)までで作りに上げてきたモジュラー・デザイン体制が持続的に成長するように，既にISO9000などによって定着しているデザイン・レビューの場で，(i)モジュラー・デザインの実行状況，(ii)モジュラー・デザインの成果状況，(iii)ルール外新規部品の再発防止策，(iv)設計手順書などのモジュラー・デザイン関連業務標準の新設・改訂状況，の4項目をデザイン・レビュー・チェックリストに入れてレビューする。

²⁴ 製品組み込みソフトウェアシステムのモジュール化も，日野教授が考案した。

²⁵ 編集開発は，日本能率協会コンサルティングの商品である。(高逵[1992]参照)

5. X社におけるモジュラー・デザインの実証研究

2007年7月末より12月末まで、日野教授によるX社へのモジュラー・デザインの指導が行なわれたので、本研究の目的であるモジュラー・デザインによる経営的効果をX社で実証的に明らかにするために日野教授に同行した。ここでいう経営的効果とは、経済効果と経営体質強化効果のふたつを含めていう。モジュラー・デザイン方法論は、第4章で示したように、単に経済効果ばかりでなく、数値では表しにくい定性的な経営体質強化効果も多大であることが推察されたためである。

X社で対象とした製品は、製品Aと製品Bの2つであった。X社へは2週間に一度訪問して、製品Aと製品Bに対してそれぞれ1日ずつ指導した。本研究の目的である経営的効果の実証化は両方の製品で行ったが、製造・物流システム革新活動を伴った製品Aについて主に研究した。

5-1 活動の経過と成果

モジュラー・デザインの指導は、第4章モジュラー・デザイン方法論の順番に従って行われたので、活動の経過と成果も第4章の順番に沿って述べる。

(1) 技術部品構成確立

<経過>

はじめに、製品システム構成を作成し、次に設計部品構成を作成した。製品システム構成の各項目に機能定義をしたので、同時に製品機能構成も作ったことになる。

設計者は部品という概念は常に意識しているが、部品を設計する前に製品のシステムを設計しているという意識が薄かったので、製品システム構成と設計部品構成の作成に3ヶ月ぐらいを要した。なお、(2)以降の活動はこの活動と平行して行われたので、他の活動が3ヶ月間停滞していたわけではない。

X社は自発的に、完成した製品システム構成をもとに設計チェック項目一覧表と試験検査項目一覧表を整理した。

<成果>

設計チェック項目一覧表と試験検査項目一覧表はどちらも製品システム構成をもとに作成しているので、製品システム構成を介して両社がリンクし、相互の関係の整合性を確認できるようになった。

設計部門は多くの設計情報を用いた情報処理部門といえる。よって設計者は多くの設計

情報を保有しているが、これらのすべてを同様に製品システム構成または設計部品構成をもとに整理すれば、すべての設計情報を関連づけて見ることができるようになり、設計情報の整合化と強化ができ、設計情報を有効に活用した設計ができるようになることが考えられる。

近年、製造業の究極のシステムとして、PLM/CPC (Product Lifecycle Management / Collaborative Product Commerce)が注目されている。PLM/CPCとは、製品ライフサイクルの期間中、製品情報をシームレスに管理するシステムであり、そのために企業内の製品に係わる部門の情報流通を協調させるシステムのことである。PLM/CPCの成否は、製品企画、設計、生産技術、調達、製造、物流、販売、アフターサービスにおける部品表 (BOM: Bill of Material)の構築にかかっており、就中、各社がまだあまり持っていない設計部品表構築の成否が鍵を握っている。今回作成した技術部品構成は設計部品表の中核に位置するものなので、X社が近いうちにPLM/CPCを構築する礎を築いたといえる。

(2) モジュール数及びその使い方確立

<経過>

X社は、従来からも、製品や部品の種類数がむやみに増えないようにするために、等比数列の「ISO 3-1973 “Preferred numbers - Series of preferred numbers” (日本工業規格ではJIS Z8601「標準数」)」を個別製品で個別的に使用してきた。モジュール数にはほかに組み立て寸法に適用して部品の互換性を高めるための等差数列の「建築モジュール数」があること、モジュール数は個別の製品や部品に適用するだけでなく製品ミックス全体および派生部品全体に適用することによって、最少の製品数と部品数で最大の顧客を獲得できるようになることを教育指導した。

X社は、以上の考えを実践で吸収しながら、設計部門の全設計者にモジュール数とその使い方を教育した。

<成果>

X社は、今後は組織全体でモジュール数を適用し、最少の製品数と最少の部品数で最大の顧客要求に対応できる製品の設計をすることが期待できる。(経営体質強化効果)

(3) 目標設定・実行計画策定

(a) MD式ベンチマーキング

<経過>

製品 A は大型の製品でかつ受注品なので、他社の製品を直接購入できない。そこで X 社は、先に確立した設計部品構成をもとにして、競争社である Y 社と Z 社の製品をカタログベースで機能、構造²⁶、特徴、部品点数²⁷、部品種類数などの比較を行い、競争社製品比較一覧表を作成した。

<成果>

競争社製品比較一覧表に基づき、各社製品の“良いところ取り”をした次期新形機の目標仕様を決定した。

(b) 製品システム少数化接近法決定

<経過>

今回の対象製品は産業財であり、その構造は一般の意匠を重視する複合構造的な消費財製品に比べて比較的シンプルであったので、モジュラー・デザイン方法論のシステム少数化接近法を適用しないで、一般に普及している分かりやすい固定・変動分析にて対応した。

<成果>

設計部品構成をもとにして検討した結果、設計部品構成の大半を固定にすることに決め、個別の顧客に対応する必要性がある一部分のみを変動とした。

(c) 目標設定・実行計画策定

<経過>

上記の(a)と(b)の活動の過程で今後の X 社の製品の部品点数・部品種類数と製品構造の目標設定を行い、実行計画を策定した。

<成果>

実行計画は 2008 年 3 月までに実行完了することになった。

X 社は、この活動によって競合他社の部品共用化度や自社を含めたそれぞれの強みと弱みがわかり、今後の勝てる新製品開発に役立つデータが出来た。つまり、新製品開発での外れな製品を開発することがなくなり、自社製品の特徴が薄れてしまうことが無くなった。このやり方は、次の新型機や次世代機の開発において踏襲されるようになる。

²⁶ 製品の構造は設計の考え方や思想の結果として生まれるので、設計思想比較といっても良い。

²⁷ 部品点数とは、1 台の製品を構成する部品の総数をいう。同じ部品種類であっても複数個存在する場合はそれらの数を勘定する。

(4) 製品ミックス整備

(a) 製品革新

<経過>

製品 A は、従来、その主要な構成部品は外注の鋳造で作られ、それを社内で削り出して部品にした後に製品として組み立てる構造をしていた。X 社は以前から、鋳造ではなく鉄板で製造できれば、大幅な材料費の節減ができるというアイデアを持っていた。このアイデアを今回のモジュラー・デザイン活動で実現することを製品革新と位置づけた。

<成果>

製品の主要な構成部品を鋳物製で外注していたということは、「3-5 スカニア社報告」に出てきたアウトソーシング型複合部品化生産をしていたことと同じである(脚注 12 参照)。鋳物による成形部品を外注すると、スカニア社がいう「密度指数」は 1 に近づき、社内の生産工程は短縮されて、一見、製造コストが下がっているようになる。しかし鋳物で部品を作るとどこか一部の部品仕様が異なっても全体の型を作り直し、新しく部品を作らなければならない。その結果、外注費用が高くなり、トータルでコスト高になることが多い。モジュラー・デザインはこのような現象を避けるために、材料を鋳物から鉄板に変えとか製造方法を変えるなどの工夫で部品構造を細分化(モジュール化)し、異なる部品仕様の部分だけ該当するモジュール部品に差し替えることによって製品多様化に対応する(これを「入れ子構造」という。脚注 8 参照)。

部品構造を一体成形からモジュール構造に変えたとき、アウトソーシングするか内製に持ってくるかは、外注工場の製造能力、品質確保能力、労働人件費コストおよび社内の余剰能力などを勘案して決めるが、スカニア社、トヨタ、ホンダがいうように、アウトソーシングすると長期的に技術力が低下して品質・コスト面で不利になるので(脚注 13 参照)、可能な限りインハウス型で対応することが望ましい。

X 社は、外注メーカーが鉄板製品の製造能力を持たないため、内製化することにした。当然、社内の工程数は増え、製造コストは上がるが、材料費や外注費低減との差し引きでトータルコストは大幅に下がると見込んだのである。

この決定は、モジュール化が本来持っている威力、すなわち製品多様化に対しても入れ子構造で対応できる可能性をもっているのですから大きな F コスト、V コスト、C

コスト（表 2 参照）低減という経済効果や、内製することによってモノづくり能力が高まるといった経営体質強化効果を発揮することが期待できるものである。

(b) 製品レイアウトの標準化

<経過>

製品 A は単機能製品であったので製品レイアウトの標準化の意識を強くは持っていなかったが、製品構造全体が結果的に相似形化されたので、製品レイアウトの標準化ができたことになった。

<成果>

今後は製品レイアウトの標準化を意識することにより、より少ない部品種類で製品を設計できる可能性が増える。またレイアウトが標準化されていると製造工場での生産性も高まるので製造コストの低減が見込まれる。

(c) 製品ミックスの整備

<経過>

鉄板製の製品において、製品の基本構造を決定する基本仕様特性に MD 式ベンチマーキングの成果を反映しながら最小値と最大値を定め、その間に等比モジュール数を適用して、最少の製品数で最大の顧客を獲得できる製品ミックスを確立した。

<成果>

- ・ 鋳物製品では 27 の基本製品数を持っていたが、鉄板製品では 3 分の 1 の 9 つに減らすことができた。
- ・ 基本製品数を 3 分の 1 に削減したことにより、今後の 1 製品当たりの設計時間もほぼ 3 分の 1 になり、C コストの主要な要素である設計人件費が 1 製品設計当り約 600 万円相当の低減が見込まれた。
- ・ 設計者を解雇することはしないので 600 万円のキャッシュフロー効果にはつながらないが、顧客との仕様の擦り合わせなどの付加価値が高い顧客獲得活動に充てることにしたので、売上増加という形で解雇よりも大きな経済効果として還元されることが期待できる。
- ・ 製品を鋳物から鉄板製にしたことと基本製品数を 3 分の 1 にしたことにより、材料仕込み期間が 30% 短縮でき、それに伴い製品本体の納品期間が 15% 短縮できる見通しを得た。この 15% の納品期間短縮は非常に大きな競争力につながる。これまで

の製品が納品期間の遅さで失注した件数から逆算して、今後、15%納品期間短縮による受注件数増加を予測することになった。受注増加は原価低減と相まって重畳的な経済効果を生み出すことになる。

- ・ 鋳物製品は今後ともしばらく並行的に継続生産するので、鋳物製品でも同様の検討を行ったところ、やはり 27 の基本製品数を 9 つに減らすことができた。これに伴い納品期間も短縮できるため、詳細の見積りは未定だが、受注数の増加が期待できる。

以上の活動による経済効果の具現化は、(9) MD による経済効果の具現化にて行う。

(5) MD 式 VE

<経過>

製品 A の鉄板製品について、筐体部分の板厚を VE で限界設計を追求した。その上で板厚に等差数列を適用することによって、最少の部品種類で極限の薄さの板厚を実現したつもりだったが、競争会社の鉄板製品の板厚よりまだ若干厚いので、さらに限界設計を追求中である。

製品 B でも MD 式 VE の検討を行った。製品 B では、製品への入り口と出口に騒音を低減するためのサイレンサを設けていたが、両方のサイレンサは共通品を使用していた。VE で限界設計を追求した結果、サイレンサの内部の部品は共用しながら、入り口用と出口用の専用のサイレンサにすることによって、構成部品種類をあまり増やすことなくトータルの材料費を大幅に削減できる構造を案出した。

<成果>

- ・ 製品 B のサイレンサの活動によって、年間数百万円の材料費の低減ができた。
- ・ 図 5 に示すように、部品の種類を削減しすぎると機能コストが増えて、トータルコストが逆に増えることがある、従ってサイレンサの例は、適切なバラエティにすることが必要であることを示した好例である。今後は過剰共通化に対しても警戒心が作用する効果が期待できる。
- ・ 今回は期間の関係で製品 A や B を構成しているすべての部品で MD 式 VE を行うことはできなかった。今後すべての部品に対して MD 式 VE を行えば、トータルとして大きな成果が期待できる。
- ・ 本来は、MD 式 VE は (9) MD の経済効果の具現化に結びつけるわけだが、これも

今回は期間の関係でそこまで活動を展開できなかった。

(6) 製品構造標準化提案書運用

<経過>

従来から X 社では、加工・組み立てする上で製品や部品が特殊な仕様になっていること
によって余分な製造コストが掛かっている部位について、社内外から改善提案を出しても
らう提案制度が運用されており、コスト低減効果を得ていた。しかしその提案制度は、指
針や着眼点を明示していなかったため F コストの低減に関する提案が多く、V コストや製
造面における C コスト低減に関する提案は殆ど出ていなかった。

今回は、V コスト低減に焦点を当てた提案を出してもらうために、(i)部品種類削減、(ii)
部品点数削減、(iii)難加工の容易化、(iv)複数部品一体化、(v)形状・寸法統一、(vi)検査
基準の統一、(vii)型具・特殊具削減、(viii)段取り替え短縮のための仕様変更、という 8 項目
の指針・着眼点を明示して改善提案を出してもらった。2007 年 12 月末までに社内から製
品 A について 12 件、製品 B について 13 件、社外から両方含めて 16 件の提案が出た。

<成果>

2007 年 12 月末の時点における社内提案によるコスト低減額は製品 A が年間 465 万円、
製品 B は 1,843 万円であり、採用率を 40%としてもそれぞれ年間 186 万円、737 万円が
見込まれた。社外からの提案も含めて現在進行中であり、正確な金額の集計は先になるが、
かなり大きい成果が期待できる。

(7) 設計のモジュール化

(a) 機械系システムのモジュール化

<経過>

製品 A の鉄板製品はまだ基準製品の設計段階であったため、鋳物製品で設計手順書を
整理し、その過程で部品または部品図面枚数の削減検討を行った。

<成果>

- ・ X 社は、従来は、設計の流れをおおまかに示したジェネラルフローチャートや、マイ
クrosoft・エクセルを使用した個別の設計計算プログラムをもっていたが、設計の
一つの単位での体系的・系統的な設計手順書を持っていなかった。今回の活動で、鋳
物製品 A を設計する設計手順書を 100%作成した。
- ・ 設計手順書を作成する過程で削減できた鋳物製の製品システム・部品の種類数は、表 4

のとおりであった。このように、製品システム・部品の種類削減は大きな成果を得たが、鋳物製品はすでに設備投資が済んだ製品なので、種類数を削減してもその経済的効果は余り計上できなかった。

表 4 鋳物製品 A での製品システム・部品の種類削減

製品システム・部品仕様	活動成果	
	従来の種類数	活動後の種類数
顧客仕様合わせ部分	相手合わせ構造（無限数）	1機種1構造
製品基本機能部分	個別最適設計（無限数）	1機種2構造
構成部品のモジュール化	なし	7部品
吐出筐体構造	390図面数	13図面数
製品サポート構造	142図面数	13図面数
軸支え構造	197図面数	52図面数
製品本体支え構造	182図面数	13図面数
配管数	個別設計（無限数）	26図面数
製品カバー	個別設計（無限数）	13図面数

- ・しかし製品システム・部品の種類削減をしたことおよび設計手順書が完備できたことにより、従来に比べて鋳物製品の設計時間が 5 分の 1 程度に削減された（削減時間と削減人件費は未算定）。
- ・浮いた設計者を顧客との仕様の打ち合わせなどの付加価値の高い業務にシフトすることにしたため、売り上げの増加が見込まれる。
- ・今後は設計手順書に従って設計することによって、品質・コストの改善，設計リードタイムの短縮が見込まれる。
- ・設計手順書は入社 1 年目の新人でも使えるレベルを目標に作成したので，新人の即戦力化ができる。
- ・設計手順書によって設計手順が“見える化”されたので，後輩がよりよい設計方法を考え出すことができるようになり，時代とともに設計手順が成長して技術革新が期待できる。
- ・設計手順書はコンピュータプログラムの“素”なので，設計の自動化システムを開発しやすくなった。

- ・鉄板製品の設計手順書は、今回完備した鋳物製品の設計手順書のほとんどを流用または部分修正で作成できるはずである。また細分化された鉄板構成の特性を生かしてモジュール化を目指すことで、従来の鋳物製品の設計に比べて設計時間が 5 分の 1 に、見積り・計画時間が 2 分の 1 に削減される見込みとなった。

(b) 電気回路系システムのモジュール化

今回は時間の関係で取り組めなかった。

(c) 製品組み込みソフトウェアのモジュール化

<経過>

モジュラー・デザインでは、製品組み込みソフトウェアのモジュール化方法は、理論としては構築されていたが実際の適用例がなく、その効用の程は明らかでなかった。今回 X 社における適用活動が最初であった。製品 A は組み込みソフトウェアを使用していなかったため、製品 B で取り組んだ。しかし X 社の事情で、2007 年 11 月から 12 月にかけての 2 ヶ月の短期活動となった。

短期活動であったため、本来なら新しくソフトウェアを開発する段階で行う活動であるが、既存のソフトウェアを本モジュール化方式で展開し直し、ソフトウェアにバグが潜んでいないか、効率的なソフトウェア構造になっているかを事後検証する活動にした。

また、本来はソフトウェアの他に、ソフトウェアシステムを構成する内部メモリデータ、入力装置、出力装置のすべてを対象にすべきだが、時間の関係で特定のソフトウェア部分に絞って活動した。

<成果>

- ・特定のソフトウェア部分であったが、その範囲ではバグは潜んでいないことがわかった。バグが潜んでいないことがわかったこと自体が大きな成果であり、今後はこのソフトウェアを安心して使えることになった。
- ・バグではないが、プログラムが冗長に設計されていることがわかった。担当者は従来から、このソフトウェアは冗長であると感じていたが、どの部分がどのように冗長であるかが明瞭にわかった。
- ・以上のように、ソフトウェアのモジュール化方法論が有効であることがわかった。これによって、ソフトウェアの品質向上と開発期間短縮が期待できる。
- ・X 社はかつて、ソフトウェアのバグ発生で度々顧客に迷惑を掛けてきた。顧客からの

損失金額の求償については「勘弁してもらった」とのことだが、今後も勘弁してもらえないかわからないし、バグ発生による信用失墜は今後の受注にも影響する。ソフトウェアのモジュール化方法は、バグ発生による求償費用の削減と信用向上による受注増加が期待できる。

(d) 自動設計システムの導入

<経過>

今回は、K-CAPS がまだ実用性がないプロトタイプしかなかったため、設計手順書は基本的にペーパー（マイクロソフトのワード）上に記述した。一方、K-CAPS のプロトタイプに製品 A の設計手順の一部を搭載してデモンストレーションを行った。

<成果>

X 社は、設計効率化のためにエクセルで設計の自動化を進めていたが、技術のブラックボックス化になって技術伝承が停滞するジレンマに悩んでいた。K-CAPS のデモンストレーションを見て、設計の効率化と技術伝承が両立できる可能性を確認した。

(8) 編集開発

今回は時間の関係で取り組めなかったが、今回の活動を今後の同様の活動で活かせるように、報告書にまとめる、または業務標準にまとめることにした。これによって今回の活動が一過性で終わることなく、X 社の中で永続的に引き継がれ、モジュラー・デザイン方法論が進化していくことが期待できる。

(9) MD の経済効果の具現化

本項は、本研究の中心部分なので、5-2項にまとめる。

(10) MD 視点デザイン・レビュー

今回は時間の関係で十分に取り組めなかったが、今後モジュラー・デザイン活動が永続的に継続するように、「4. (10) モジュラー・デザイン視点デザイン・レビュー」に示した(i)モジュラー・デザインの実行状況、(ii)モジュラー・デザインの成果状況、(iii)ルール外新規部品の再発防止策、(iv)設計手順書などのモジュラー・デザイン関連業務標準の新設・改訂状況、の4項目をX社のデザイン・レビュー・チェックリストに入れて運営することにした。これによってX社のモジュラー・デザイン活動が永続的に受け継がれ、進化していくことになる。

5-2 MDの経済効果の具現化

この項は、5-1項の(8)までの活動によってどのような経済効果が得られたのかを定量的に明らかにする活動である。本研究の主な研究対象の部分である。

モジュラー・デザイン方法論では、経済効果の具現化アプローチは(4)製品ミックス整備活動の成果と(5)MD式VEの成果のふたつを製造・物流システム革新に結びつけて製造コスト削減という経済効果を明らかにする方法と、ABC/ABMを用いて個別の部品種類削減の成果を全社的な事務・間接コスト(Cコスト)削減という経済効果として具現化する方法と、2種類のアプローチを考慮していた。

(1) 製造・物流システム革新による経済効果

今回はMD式VEの成果がまだほとんど出ていないので、主に製品ミックス整備活動を製造・物流システム革新に結びつけることによって経済効果を具現化する活動に取り組んだ。

<経過>

当方から図7に示すふたつのワークシートを提供した。これらのワークシートで、従来の鋳物製品での工程投資量と投資金額を明らかにし、鉄板製品にしたときのそれらを見積もることによって、それらの差し引きから経済効果を明らかにしようとするIE的な工程分析アプローチである。

図7の工程投資表は、製品を製造するための工程・作業単位に人(Man)、設備(Machine)、材料(Material)、その他(Etc.)の資源の投資量を明らかにするワークシートであり、図7工程投資金額表はそれらを金額換算した表である。金額換算の計算式はワークシートの下欄に示した。このワークシートは、まだ現場での使用実績がないため論理的に考えられた様式である。よってこのワークシートは、着眼が的確でなかったり不足項目があったりするかもしれないが、意図することは十分に伝わる。

X社の生産部門技術者は、このワークシートを見たとき、我が社では慣習的に

もっとマクロな見積り方をしているのでこのマイクロなやり方は流儀に合わない、と難色を示した。そこで、マクロな見積りでも精度が出るならX社の流儀でも良いことにして、前へ進めることにした。

結果的にはX社の生産技術者は、基本的に図7の方式に則って工程分析に取りかかった。図7の2枚のワークシートを使い勝手をよくするために一枚の工程投資金額表にまとめた。また、数値制御プログラムや原図を作成する作業費、型具・治具・検査具・工具などの用具費、工程の一部分を外注に出す外注作業費、工程が滞りなく流れるようにするために必要な要員の工程管理費、新規の設備投資費、そして金額にはならないが重要な項目である製造リードタイムを追加して、X社の製造現場の実態に合うように工程投資金額表の様式を改良していった。

しかし最初からこの工程投資金額表に数値を入れることができないので、はじめにモノの流れを示した工程図（フローチャート）を作成し、さらに工程内の作業項目を明らかにし、次に工程内の作業単位で投資量を明らかにして、最後にそれを金額換算して工程投資金額表に記入していった。最終的に非常に詳細で具体的な工程図と工程投資金額表が作成され、データの精度が高まった。

現行の鋳物製品は現物が流れているので、工程図と工程投資金額表はすぐに作成できた。新しい鉄板製品は図面がまだ基本図しかなく詳細図がないこと、また最も効果的な製法を考えたり、既存設備を最大に利用するよう工夫を加えたりするために時間を要した。最終的に、製品Aの基準となる製品についてその主要な3つの構造部分の工程投資金額表が完成した。

<成果>

- ・ 鋳物から鉄板にすることによって、3つの主要構造部分を製造するための材料費、加工費、外注作業費などのFコストが41%削減、段取り費、型費、設備費などのVコストが46%削減、工程管理工数などの工場内Cコストが5倍増となった。Cコストの絶対値は無視できるレベルだったので、トータルとして42%のコスト低減(月間数千万円、年間数億円の合理化利益)が見積もられた。製品を鋳物から鉄板にし、且つ内製にしたので、社内の工程数が増え、加工費、部分作業外注費、段取り費、設備費が増えたが、材料費や型費の低減が大きく、差し引きで大きな利益が見積もられたのである。
- ・ 鉄板を成形したり位置決めしたりするために新規の設備開発及び設備購入が必要になった。これらの設備投資の回収期間は8.2ヶ月との計算結果になった。新規に投資する設備は10年以上使うので、9ヶ月目以降、10年以上の間、毎月数千万円、毎年数億円のキャッシュフロー利益が入ることになる。

- ・ 減価償却法で新規設備投資の財務効果を見ると（設備の償却期間は 12 年）、合理化利益に比較して償却費は非常に小さいので、差し引きでも毎年数億円の財務的利益を稼ぎ出す計算になった。
- ・ 今回 X 社が開発した新規設備は、まだ他社が持っていない新技術であり、大きな競争力になる。
- ・ 新規開発設備と新規購入設備は他の製品の製造にも使用できるので、今回は計算しなかったが、設備共用による経済効果がある。
- ・ （4）製品ミックス整備で示したように、製品バリエーションが鋳物時代に比べて大幅に削減されるので、それによる V コストと C コストのさらなる低減が見込まれる。
- ・ 今回は（5）MD 式 VE と（6）設計のモジュール化の活動が一緒に就いたばかりなので、まだこれらの成果が出ていないが、いずれこれらの成果もプラスアルファとして経済効果が期待できる。
- ・ 現行の鋳物製品も基本製品数が 3 分の 1 に削減できたので、外注メーカーが製品ごとに製作していた木型数が約 2 分の 1 になり、年間数百万円のコストが削減できる見込みを得た。鋳物製品の製造・組み立て設備はすでに設備投資が済んでしまっているので、設備削減によるコスト低減効果はない。

（2）ABC/ABM による全社的な経済効果

今回は時間の関係で取り組めなかった。しかし日野教授が M 社と S 社で類似の経験をしたことがあったので、この経験をもとに考察した。

M 社では、一つの新しい部品を生むと全社で 50 万円の部品新設費が発生するので、VE などで新しい部品を生むとき、その原価低減額が 50 万円以上なら生んでも良い、未満なら生んではならないという部品新設基準を持っていた。50 万円の根拠は、そのうちの半分は部品を新設するときが発生する設計費、図面費、型具費、専用設備投資費、関係部署への通知費、在庫処分費などの一時的に発生する部品新設費用であり、残りの半分は新設部品を廃止するまで各部署が部品を管理し続ける部品管理費(全社的 C コスト)であった。部品管理費は、部品に携わっている設計管理部門、購買部門、生産技術部門、製造部門、アフターサービス部門の総部門費を現在全社で管理している部品種類の総数で割って算出した値であった。

S 社も同様の部品新設基準を持っていた。S 社には 13 の事業部があり、事業部ごとに多

少数値は異なっていたが、ほぼ 50±15 万円の範囲であった。算出法は M 社と全く同じであった。

M 社と S 社のやり方は、「3-2 トヨタ自動車論文」での部品共通化判定基準と基本的に同じである。そしてトヨタ論文の設計変更費（＝新しく部品を設計して古い複数の部品を廃止するときに一時的に発生する部品新設費）は平均 25 万円、部品管理費も平均 25 万円であったことから、部品新設費は組織や業種を超えてほぼ同じ金額であることが推定される。

モジュラー・デザインは、新しく製品を作るときに新しい部品の発生を抑制する方法なので、M 社、S 社およびトヨタ論文の部品管理費の部分だけが流用できる。モジュラー・デザインで新設しなかった部品 1 点当たりの部品管理費(全社的 C コスト)は 25 万円を節約できるということになる。

しかしこの方法は、部品管理費 25 万円の算出法が総部門費を総部品種類数で割るというマクロ的な方法なので、キャッシュフローが伴う経済効果になり得ない。

そこでミクロ的に実態を分析する ABC/ABM によるアプローチが考えられるが、ABC/ABM にも次の問題が予想される。

①部品管理費（全社的 C コスト）とは表 1 に示す効果項目の集計値であるが、表 1 の各項目を見ればわかるように、このように全社に広く薄く存在する項目を ABC で測定することは、多大な労力を必要とすることが予想される。

②仮にすべての C コストを測定できて、1 つの部品削減によって全社単位で数人削減等の算出ができたとしても、部門単位で見たら 1 人に満たない 0.1 人とか 0.01 人削減というような数字になって、キャッシュフローにならないことが予想される。

そもそもモジュラー・デザインは、新しく部品を生まないことによって新たな部品管理費を生まないというリスク回避が目的なので、それをキャッシュに結びつけること自体困難である。したがってモジュラー・デザインによる全社にまたがる C コスト効果を ABC で明らかにし、ABM で具現化することは、労多くして実り少なしという結果が予想されるので得策ではない。

モジュラー・デザインの経済効果は、前項（1）製造・物流革新による経済効果で具現化することにして、全社にまたがる C コストは、次の方策で対応することがよいと考える。

① 設計担当者などがモジュラー・デザインで現行製品から 1 部品減らしたら“見なし

効果”として 25 万円のコスト低減ができたものとし、人事考課制度や社内表彰制度などで適切に評価する。人事考課制度や社内表彰制度で評価すれば、社員の部品部品種類削減共通化に対する動機付けができるので、経営としては十分な見返りが期待できる。

② 部門の管理者は、日常の業務を“谷”管理方式で管理する。日常の業務には山谷があるものだが、“谷”管理方式とは、要員や設備機械・事務機器などを業務の谷に合わせて手配し、業務の山の時の工数不足に対しては残業、休日出勤、他部署からの応援、パートタイマー、期間要員などでやりくりし、機械・機器不足に対しては他部署の機械・機器の利用、レンタル、リースの利用などで対応する方式である。谷管理方式は常に投資を最小化しようとする働きがあるので、モジュラー・デザインで目に見えにくい C コストの効果が出ても、管理者が何らかの方法でその効果を必ず刈り取って経済効果に転じてくれることが期待できる。²⁸

5-3 成果・効果の整理と分析および結論

活動によって直接得られる結果物を「成果」、直接的・間接的に得られる経済効果と経営体質強化効果を「経営的效果」と定義して、5-1 および 5-2 の活動の経過と成果を、考察を加えつつ整理すると添付表 1～3 になる。

5-3-1 成果・効果の整理による結論

添付表 1～3 を総合的に眺めると、モジュラー・デザインによる経営的效果は次のようになる。

<経済効果>

- ・ 製品ミックス整備活動を製造・物流システム革新につなげることによる経済効果が、鋳物製品比鉄板製品で 42.3%削減（年間数億円レベル）が見積もられ、これが最大の効果。内訳は鋳物から鉄板に製品革新した材料費削減効果が大きい。
- ・ モジュール化で基本製品数を 3分の1にした種類削減効果はまだ計上できていないが、おそらく鋳物から鉄板にした材料費削減効果に比べたらかなり小さいであろう。
- ・ MD 式 VE や設計のモジュール化による効果は今後出てくるが、鋳物から鉄板にした

²⁸谷管理方式は、トヨタ自動車の常識的な管理方式である。トヨタ自動車の部品共通化が非常に進んでいることは第 1 章で述べたが、部品共通化による全社的な C コスト効果を谷管理方式で確実に経営的效果に還元していることが予想される。これもトヨタの強みであろう。

材料費削減効果に比べればやはり小さいであろう。

- 従って製品 A での結論は、MD 方法論の中の製品ミックス活動における製品革新による効果が非常に大きかったといえる。
- 同時にモジュラー・デザイン活動を行った製品 B での製品革新の内容は、製品 A で鋳物から鉄板にしたことによる材料費削減効果のような大きな革新のアイデアはなかった。しかしモジュラー・デザインの 10 の方法論を用いることによって製品全体にわたってかなりの種類削減が可能になった、これは今回の活動では未算定だが、製品 B では種類削減による経済効果が大きく見積もられる感触を得た。
- 製品 A でも B でも、種類削減による開発期間短縮・納品短縮が見込まれており、従来納品期間の競争で失注していた注文を獲得でき、売上高向上の可能性がある。
- また設計手順書の作成や部品種類削減により、設計工数の大幅な削減が可能になった。この浮いた工数を新規受注獲得業務や新技術開発業務に振り分けることによって、さらなる売上高向上の可能性がある。

<経営体質強化効果>

- 最も大きい経営体質強化効果をもたらしたモジュラー・デザインの方法は、設計のモジュール化の中の設計手順書の作成である。設計手順書を作成することによって、部品種類削減効果のほかに、設計品質の向上、コストの低減、設計期間短縮の効果が得られた。
- さらに設計手順書は、新人の即戦力化、設計技術革新の促進、創造的設計へのシフト、設計の自動化システム開発の促進などが可能になる。これらはいずれ製品の品質向上、コスト低減、リードタイム短縮に還元されるので、経営の体質強化効果は計り知れない。
- モジュラー・デザインが提供する K-CAPS は、設計手順書の作成を支援し、その結果をホワイトボックスのまま自動設計システムにするシステムなので、設計手順書以上の経営体質強化効果がある。
- 製品組み込みソフトウェアシステムのモジュール化方法論は、バグ混入の未然防止ができるので、バグ発生による損失を未然に回避でき、信用力向上にもつながる。製品組み込みソフトウェアがますます増えてくる今後において、ソフトウェアのモジュール化方法は非常に効果的である。

- ・ 技術部品構成を確立したことは、モジュール化推進の基盤ができたというだけでなく、これを用いて設計技術情報の一元管理の可能性ができたということである。設計活動は、技術に関する情報処理業務なので、技術情報を整然と行なえるかどうかはその効率と効果を決定する。X 社が今後積極的に技術部品構成を使用して技術情報管理に取り組めば、早期に PLM/CPC を確立できる可能性があり、かなり先の話になるかもしれないが業界の覇者になる可能性を秘めているといえる。

<結論>

以上をまとめると、本研究の第一の目的「モジュラー・デザインによる定量的な経済効果と定性的な経営体質強化効果を明らかにする」に対しては、X 社での実証研究では、**添付表 1～3**に示すように、両者ともに対して大きな効果があることがわかった。この研究の過程からいえる結論は、次の 3 点である。

- ・ モジュラー・デザインがねらう経済効果は、部品少数化による種類コストの低減であるが、全社的な事務・間接部門の種類コストを ABC/ABM で削減することは、労力対成果の観点から得策ではなく、事務・間接部門、特に最大の価値創出部門である設計部門において現れる定性的な経営体質強化効果を評価することがよい。
- ・ 部品少数化による定量的な経済効果は、部品少数化の成果を製造・物流システム革新に反映して製造コストを低減することによって具現化できる。しかしながら部品少数化による経済効果よりも、モジュラー・デザインの MD 式ベンチマーキング、製品革新、MD 式 VE などの各種方法によって発生する材料費、部品費、変動費などの F コスト低減効果のほうが大きい²⁹。モジュラー・デザインの価値は、単純に種類削減策に限定しないで、F コスト低減策も包含している点にあるといえる。
- ・ モジュラー・デザインによる経済効果の程度は一概に論ずることはできず、製品特性、製品革新のアイデアの有無、MD 式 VE に取り組む時間、組織の意欲の程度などの要因によって変わる。特に大きな要因は、組織の意欲の程度であろう。今回の X 社の例は、製品革新のアイデアが熟しつつあるときに、事業所長や部長・スタッフのリーダーシップのもとで若手の専任者が意欲を持って取り組んだことが大きな成果を生んだ事例である。逆にいえば、企業の取り組み姿勢によっては、あまり効果が出ないこと

²⁹ 日野教授はある大手の企業でモジュラー・デザインを指導したときに年間百億円のコスト低減を実現したことがあるが、その内訳のほとんどは F コスト低減であったという事例とも符合する。

もあり得るということである。³⁰

5-3-2 成果・効果の分析による結論

<分析>

本研究の第二の目的「モジュラー・デザインの各種の方法と経済効果および経営体質強化効果の因果関係を明らかにする」に対しては、添付表1～3ではわかりにくい。そこで、図6のモジュラー・デザイン方法論の10の活動項目が添付表1～3の経済効果と経営体質強化効果に及ぼした影響関係をDSM (Design Structure Matrix)方式で分析し、モジュラー・デザインの方法と成果・効果の因果関係の一般化・理論化を試みた。DSMとは、図8に示す構造である。

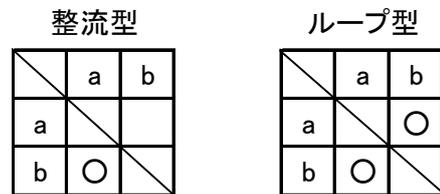
DSMは、上辺と左辺に同じ項目を同じ順番で並べ、上辺の情報が左辺に流れる部分に「○」を付ける。図8の整流型ではaからbに情報が一方向に流れるだけなので整流である。ループ型は、対角線に対して直角方向の対称部分に「○」があるので、情報がa→b→a→b・・・と流れて永久ループになる。

DSMは、システムを構成する要素間の複雑なインプット・アウトプット関係を簡潔に示すことによって全貌の把握を容易にし、システムをより簡潔にする改善ポイントを発見したりループを解消する方法を案出したりすることを支援し、またはループが発生する部分を集約して自己完結モジュールにすることを支援するためなどに用いられる。

モジュラー・デザインによる成果・効果の関係をDSMで分析した結果を、添付図1に示す。なお、経済効果には相互関係がないので、添付図1の上辺に経済効果を示さなかった。一方、今回のX社の実証研究では登場しなかったF、V、Cコスト効果項目も考えられる範囲で列挙した。

<結論>

添付図1から、第二の研究目的「モジュラー・デザインの各種の方法と経済効果および経営体質強化効果の因果関係を明らかにする」に対する結論は次の通りである。



(ボールドウインら[2004])

図8 DSMの構造

³⁰ 日野教授がモジュラー・デザインを指導した中であまり効果を出せなかった企業は、経営者・管理者・スタッフがリーダーシップを発揮しないで担当者任せにしていたとのことであった。

- ・ モジューラー・デザインの 10 の方法の間にも因果関係がある。モジュール化の準備活動（図 6 の左端参照）である技術部品構成確立，モジュール数及びその使い方確立，目標設定・実行計画策定は，それ以後のモジュール化活動に大きく寄与していることがわかる。しかしこれらは，経営体質強化効果や経済効果に直接貢献するものではない。
- ・ 製品ミックス整備活動，MD 式 VE，製品構造標準化提案制度運用は，本来はモジュール化活動の環境条件を整えるために準備された項目であることがわかる。しかしこれらは，結果的に直接材料費削減，設備投資額削減，工場の生産性向上，商品力向上による売上高増加にも影響し，モジューラー・デザインによる経済効果の具現化に大きく寄与していることがわかる。
- ・ モジューラー・デザイン，特に設計のモジュール化は，全体的に経営体質強化効果が大きいことがわかる。そして経営体質強化効果は，製品開発期間短縮・納品期間短縮，技術力向上，機会創出などを通じて，現時点では算出が難しいが，開発部門費削減，不具合による求償費の削減，売上高増加などの経済効果に結びつく可能性を持っている。

6. 実践への提言と今後の研究課題

6-1 実践への提言

以上の実証研究を通じての実践への提言は以下の通りである。

- ① モジューラー・デザインによる効果は全社的に発生するが，事務・間接部門における効果を定量的に算出し，キャッシュフローとして具現化することは労力対成果の観点から行わないほうがよい。
- ② モジューラー・デザインは総合的・体系的な方法であり，部品少数化の活動だけでなく製品革新，部品革新の活動も含むので，製造・物流システム革新に結びつけることにより，キャッシュフローに直結する材料費低減なども実現できる。活動の成果は組織の取り組み姿勢にもよるが，モジューラー・デザインは確実に経済効果が得られる方法論である。
- ③ モジューラー・デザインによって，直接キャッシュフローに繋がらないが将来の経営を左右する多くの重要な経営体質強化効果も得られる。モジューラー・デザインは，今日，明日の経営に貢献するだけでなく，将来的な経営にも貢献する有効な方法論である。

6-2 今後の研究課題

添付図1に見られるように、モジュラー・デザインによる経営体質強化効果は、売上高増加の効果も期待できる。特に、製品開発期間短縮、納品期間短縮は近年の企業競争力の重要な要素であり、少々値段が高くても納期が短ければ販売競争に勝てる時代になってきた。モジュラー・デザインでコストを下げることができ、さらに期間短縮で売上高を増加できれば重疊的な経済効果が得られる。今回も、過去に納期競争で負けて失注した件数データに基づいて、期間短縮と売上高増加の関係をシミュレーションしようとしたが実現できなかった。これが今後の第一の研究課題である。

今回、製品Aで大幅なコスト低減を実現したが、X社はコスト低減分をすべて自社の利益として計上することになっていた。しかし、コスト低減分の適切な量を売値低下に還元すれば売上台数が増えて営業利益が向上する可能性もある。コスト低減分のどの程度を売値低下に還元すれば営業利益が最大になるのかを研究することが第二の研究課題である。

添付表1 MDによる成果・効果表

MD 活動項目	経営的效果	
	活動成果	経済効果
(1) 技術部品構成確立	<ul style="list-style-type: none"> 製品機能構成、製品システム構成、設計部品構成を確立。 製品システム構成に対する設計チェック項目一覧表及び、製品システム構成に対する試験検査項目一覧表を作成。 	<p>経営体質強化効果</p> <ul style="list-style-type: none"> 製品機能、システム、部品の全容が標準化されたので、設計の都度、構成を考える無駄や構成漏れ等によるミスを回避可能。(設計品質向上) 設計チェック項目一覧表と試験検査項目一覧表が共通の製品システム構成でリンクするので、相互の情報関連が明確になり、関連の不整合の排除や関連の強化が可能。(設計知識一元管理) 同様に、設計部門が持っている多くの設計情報を製品システム構成や設計部品構成で管理すれば、設計情報を有効に関係づけて活用する設計が出来るようになり、設計品質の向上、コスト低減、設計期間短縮が可能。(設計知識一元管理) 製造業の究極システム「PLM/GPC」に大きく接近。(PLM/GPCへの接近)
(2) M数及びその使い方確立	<ul style="list-style-type: none"> モジュール数の使い方を全設計者に教育。 	<p>経済効果</p> <p>—</p>
(3) 目標設定・実行計画策定	<ul style="list-style-type: none"> 競合他社Y社とZ社の製品をカタログベースで機能、構造、特徴、部品種類などの比較一覧表を作成。 モジュール化対象部品(固定)と除外部品(変動)を決定。 競合社製品比較一覧表に基づき、それぞれの"良いところ取り"をした次期新形機の目標仕様を決定。 	<p>—</p>
(4) 製品ミックス整備	<ul style="list-style-type: none"> 鉄板・鋳造製品から大幅な材料費低減が期待できる鉄板製品へ製品革新。 製品構造全体を相似形化し、製品レイアウトを標準化。 製品の主要機能に等比モジュール数を適用することによって、鋳造品の27の基本製品数を鉄板製品では9に減らす製品ミックスに整備。 	<p>—</p>
	<ul style="list-style-type: none"> 鉄板製品に革新したことによる製造・物流システム革新効果は(9)を参照 基本製品数を3分の1に削減したことにより、1製品あたりの設計時間が3分の1に低減(1製品当たり600万円相当の人性低減)。 基本製品数削減により、材料仕込み期間が30%、それに伴い製品本体の納品期間が15%短縮可能。これによって材料費低減と売上増加が見込まれるが未算定。 設計者の浮いた時間を顧客獲得活動に充てることで、売り上げ増加の見込みだが未算定(余剰人員の付加価値業務へのシフト) 	<p>—</p>
鋳物製品	<ul style="list-style-type: none"> 鉄板製と同様の検討を行ない、27の基本製品数を9つに削減。 	<p>(同上)</p>
		<p>(同上)</p>

注1:この表は、特に断りがない部分は製品Aの鉄板製品での活動を示す。

注2:活動成果とはモジュール・デザイン活動によって直接得られる結果物をいい、経営的效果とは経営に対して効果がある経済効果と経営体質強化効果をいう。

添付表2 MDによる成果・効果表（総表）

MD 活動項目	活動成果	経営的効果	
		経済効果	経営体質強化効果
(5) MD式VE	<ul style="list-style-type: none"> 筐体部分の板厚をVEで限界設計を迫り、その上でモジュール数を適用することによって、最少のコストでかつ最少の部品数で対応が可能。 製品Bの入り口用・出口用のサイレンサは共通部品であったが、VEで限界設計することによって、サイレンサ内部の部品は共用しながら入り口用・出口用専用のサイレンサを設計。 	<ul style="list-style-type: none"> 製品Bのサイレンサの材料費を削減。今後同様の手法で、製品を構成する全部の部品に設計・製造連携VEを適用することによって、部品種類を削減しなからトータルの大幅な材料費低減の見込み。 今回はMD式VEは緒に就いたばかりなのであまり成果が出ていないが、今後成果が出るとともに(9)製造・物流システム革新につなげて製造コスト削減につなげる。 	<ul style="list-style-type: none"> 製品Bのサイレンサの事例は、過剰な部品共通化は材料費を増やすのでトータルコストが増えることがある(図5参照)ことを示した好例。今後は過剰共通化に対しても警戒心が働くので、トータルベスタのコスト追求の体質ができたい。(設計技術力の向上)
(6) 製品構造化提案運用	<ul style="list-style-type: none"> 2007年12月末までに社内から製品Aについて12件、製品Bについて13件、社外からは両方の製品について合計で16件の提案が提出。 	<ul style="list-style-type: none"> 社内提案によるコスト低減見込み額は、製品Aが年間465万円、製品Bは1,843万円。採用率40%としてもそれぞれ年間186万円と737万円のコスト低減見込み。 	—
(7) 設計のモジュール化	<ul style="list-style-type: none"> 鉄板製品 基準製品の仕様確定・詳細設計中であるため、未着手。 設計手順書を100%作成。 製品システム・設計部品の種類を従来の設計方式に比べて10分の1に削減。 設計手順書の一部にK-CAPSを適用したところ、技術の伝承をいつ設計の自動化ができるという有用性を確認。 製品Bの組み込みソフトウェアに対してソフトウェアのモジュール化方法を適用し、ソフトウェアのモジュール化を実施(今回は時間の関係で一部分のみ)。 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄物製品と同様の効果が見込まれるほか、鉄板製品であるが故のモジュール化効果が期待。 設計手順書を作成したことおよび製品システム・設計部品の種類を削減したことによって設計時間が5分の1に削減(設計者の削減人件費は未算定)。 浮いた設計者を顧客との仕様打ち合わせ等の戦略的業務やより付加価値の高い製品の技術開発にシフトできるため、売上げ増加の見込み。(未算定)(余剰人員の付加価値業務へのシフト) ソフトウェアのバグ問題による損失金額の回避と信用向上による売上向上が期待。 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄物製品と同様の効果が見込まれる。 設計手順書の完成で、品質・コスト・リードタイムの改善、部品種類の削減という4拍子揃った設計が可能。(設計技術力の向上) 設計手順書完成によって新人の即戦力化が可能。(設計品質向上) 設計手順が“見える化”されているので、後輩がよりよい設計方法を考え出すようになり、技術革新が期待。(設計技術力の向上) 浮いた設計時間を創造的設計にシフトできるので付加価値の高い製品が可能。(余剰人員の付加価値業務へのシフト) 設計手順書で設計の自動化システムの開発が可能。(開発期間短縮) K-CAPSを設計手順書作成時に使用することにより設計の技術伝承をいつ設計の自動化が可能。(設計技術力の向上、開発期間短縮) 今後の製品組み込みソフトウェアを開発するときにソフトウェアのモジュール化方法を適用することによって、バグのない簡潔なプログラムを効率的に開発が可能。(ソフトウェア品質の向上、開発期間短縮)
(8) 編集開発	<ul style="list-style-type: none"> 今回は時間の関係で取り組めなかったが、今後、今回の活動を技術報告書または業務標準としてまとめることにした。 	—	<ul style="list-style-type: none"> 今回の活動を技術報告書または業務標準としてまとめることにより、今回の活動が一過性で終わることなく、X社の中で永続的に引き継がれ、モジュラー・デザイン方法論が進化していくことが期待できる。(設計技術力の向上)

添付表3 MDによる成果・効果表(密)

MD活動項目	活動成果	経済効果	経営的效果
<p>(9) MDによる経済効果の具現化</p>	<p><製造・物流システム革新による経済効果> ・製品Aの主要な3つの構成部品について、鋳物製品と鉄板製品の詳細な工程と工程内作業を示した工程図(モノの流れ図)を作成した。 ・工程図に従い、工程・作業ごとの人、設備、材料、その他資源の投資について、鋳物製品は現状値を、鉄板製品は累積値を記入した「工程投資金額表」を作成した。</p>	<p>・鋳物から鉄板製にすることで、材料費、加工費、外注作業費などのFコストを41%削減。 ・段取り費、型費、設備費などのVコストを46%低減。 ・一方工程内管理工数などのCコストが5倍増、ただしFコスト、Vコストに対してCコストの絶対値は無視できる程度。 ・F、V、Cコストで、42.3%(年間数億円レベル)のCコスト削減の見込み。 ・新規設備投資が必要になるが、投資回収期間法で見ると投資回収期間は8ヶ月となった。鉄板製品の生産は最低でも10年以上継続するので、9ヶ月目以降は継続して年間数億円レベルのキャッシュフローが可能。 ・減価償却法(償却期間12年)で見ると、鉄板製品にしたことによる合理化利益が償却費に比べて圧倒的に大きいので、初年度から毎年数億円の財務的利益が可能。 ・これらの新規設備は他の製品でも共用できるので、その効果も勘定可能。(未算定) ・(4)製品ミックスの整備で示したように、基本製品数が3分の1になったことによる効果(主にVコストとCコスト)は、現在まだ基準製品の設計中なので見積もれなかったが、今後、プラスチックの活動が期待。 ・(5)MD式VEと(7)設計のモジュール化の活動が縮じつぱらとして経済効果が期待。 ・今後ともしばらく平行生産する現行の鋳物製品はすでに設備投資が済んでしまっているため製品種類や部品種類が減っても大きな効果は出ないが、製品ごとに製作していた型具費が年間数百万円のCコスト削減の見込み。</p>	<p>経営体質強化効果 ・自社開発する新規の設備は他社にない効率的な設備なので、大きな競争力になる。</p>
<p>(10) MD視点・デザイン・レビュー</p>	<p>今回は時間の関係で取り組めなかったが、今後、デザイン・レビューの仕組みにモジュラー・デザイン活動状況をチェックする項目を入れることにした。</p>	<p>—</p>	<p>・戻なし効果をもとに人事考課や社内表彰制度で評価することにより、部品共通化、種類削減に対するいっそうの動機付けが可能。 ・部門の管理者による日常管理方式を”谷”管理方式に切り替えることにより、1部品の新規発生を抑制することによって生じる広く薄いCコスト効果も、管理者が何らかの方法で必ず刈り取って経営効果に還元することが期待。 これによって、モジュラー・デザイン活動が継続的に受け継がれ、進化していくことが期待。(設計技術力の向上)</p>

添付図1 MD活動項目と成果の因果関係

MD活動項目	MD活動項目										経営体質強化効果																		
	技術部品構成確立	モジュール数及びその使い方確立	目標設定・実行計画策定	システム少数化接近法決定	目標設定・実行計画策定	製品ミックス整備	製品レイアウトの標準化	製品ミックスの整備	部品VEによる標準モデル確立	モジュール化(品揃え)	製品構造標準化提案書運用	機械系システムのM化(設計手順書作成)	電気系システムのM化(設計手順書作成)	製品組み込みソフトウェアのモジュール化	自動設計システム(K-CAPS)の導入	編集開発	製造・物流システム革新による具現化	ABC/ABMによる具現化	MD視点デザイン・レビュー	期間短縮	納品期間短縮	設計知識一元管理	設計技術力の向上	設計品質向上	設計品質向上	余剰人員の付加価値業務へのシフト	PLM/CPCへの接近		
MD活動項目	技術部品構成確立	モジュール数及びその使い方確立	目標設定・実行計画策定	システム少数化接近法決定	目標設定・実行計画策定	製品ミックス整備	製品レイアウトの標準化	製品ミックスの整備	部品VEによる標準モデル確立	モジュール化(品揃え)	製品構造標準化提案書運用	機械系システムのM化(設計手順書作成)	電気系システムのM化(設計手順書作成)	製品組み込みソフトウェアのモジュール化	自動設計システム(K-CAPS)の導入	編集開発	製造・物流システム革新による具現化	ABC/ABMによる具現化	MD視点デザイン・レビュー										
	MDの経済効果の具現化	製造・物流システム革新による具現化	ABC/ABMによる具現化																										
	MD視点デザイン・レビュー																												
	期間短縮	製品開発期間短縮	納品期間短縮																										
	技術力向上	設計知識一元管理	設計技術力の向上																										
	機会創出	設計品質向上	設計品質向上																										
	余剰人員の付加価値業務へのシフト																												
	PLM/CPCへの接近																												
	経済効果	F-Cost削減(製品機能実現費)	直接材料費	購入素材/部品費																									
		スクラップ節減費																											
		間接材料費(工場消耗品費)																											
		設備費																											
		用具費	型具費																										
			治工具費																										
			検査具費																										
		生産性向上費	段取り替え費																										
			製造標準時間短縮																										
			仕損費低減																										
	工場内外在庫費																												
	在庫保管スペース費																												
	製造人件費	製造直接人件費																											
		製造間接人件費																											
	経常研究費	試作費																											
		委託用役費																											
	設計変更による修繕費	金型修正費																											
		設備修正費																											
	試験設備費	投資額																											
	設計開発人件費																												
	アフターサービス費	サービス資材費用																											
	部門共通費	部品種類起因の教育訓練費																											
		部品種類起因業務の人件費																											
	収益改善	品質クレーム費、不具合求償費低減																											
		売上台数増加																											

参考文献

- ・ H・トーマス・ジョンソン，アンデルス・ブルムズ「トヨタはなぜ強いのか」(河田信 訳 日本経済新聞社，2002年)
- ・ カーリス・Y・ボールドウィン，キム・B・クラーク「デザイン・ルール モジュール化パワー」(安藤晴彦訳 東洋経済新報社，2004年)
- ・ ジョー・パイン「マス・カスタマイゼーション革命」(江夏健一，坂野友昭監訳 日本能率協会マネジメントセンター，1994年)
- ・ 越智さゆり「自動車産業における部品の共通化」(広島大学大学院社会科学研究所，1993年)
- ・ 太田和宏・花井嶺郎「フレキシブルオートメーションと設計」(日本機械学会誌，1985年4月)
- ・ 海原陽「製品開発と標準化管理」(自動車技術，Vol.25, No.9, 1970年)
- ・ 鈴江歳夫「コスト 1/2 計画」(日本能率協会マネジメントセンター，1994年)
- ・ 高逵秋良・鈴江歳夫「VRP 部品半減化計画」(日本能率協会，1984年)
- ・ 陳豊隆「ABC・ABM の基礎テキスト」(櫻井通晴監修 日本能率協会マネジメントセンター，1997年)
- ・ 長良敏夫「第 29 回標準化全国大会報文集 SR ラジエータの開発と標準化」(日本規格協会，1986年)
- ・ 西澤脩「財務管理」(日本マンパワー，年代不明)
- ・ 橋本賢一・宮田武「見積り原価計算」(日本能率協会，1988年)
- ・ 林總「ABC/ABM」(日本実業出版社，2002年)
- ・ 日野三十四「製品多様化と部品少数化の二律背反を克服するモジュラー・デザイン方法論」(日本バリュー・エンジニアリング協会，VE 研究論文集，2007年)
- ・ 日野三十四「トヨタ経営システムの研究」(ダイヤモンド社，2002年)
- ・ 福島佐千男「製品企画段階からすすめるトヨタの部品共通化」(IE 誌増刊号，1978年)
- ・ 藤本隆宏「日本のもの造り哲学」(日本経済新聞社，2004年)
- ・ 二見良治「VE の技法」(日刊工業新聞社，1981年)
- ・ マツダ株式会社コストコントロール部 VE 課「GVE」(マツダ，1980年)
- ・ 宮田武「製品の開発・設計管理」(日刊工業新聞社，1985年)