

Title	製品系列統合化設計とそのタスク構造
Author(s)	藤田, 喜久雄; 石井, 浩介
Citation	日本機械学会論文集 C編. 65(629) P.416-P.423
Issue Date	1999-01
Text Version	publisher
URL	<a href="http://hdl.handle.net/11094/3391">http://hdl.handle.net/11094/3391</a>
DOI	
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## 製品系列統合化設計とそのタスク構造\*

藤田 喜久雄<sup>†</sup> 石井 浩介<sup>‡</sup>

### Product Variety Design and its Task Structuring

Kikuo FUJITA and Kosuke ISHII

This paper discusses product variety design and its task structure. Product variety design here refers to an engineering challenge for designing multiple models within a product family or across families simultaneously. This type of design problems must assess the standardization and commonalization of modules, assemblies, parts across different models, etc. The design optimization for these issues can give product performance advantages in the aspects of cost, process complexity and so forth. However, it includes various difficulties beyond ordinary design situation for a single model. Under this circumstance, this paper defines the formal representation of product variety design, and proposes a structure of design tasks involved in product variety. The analysis of typical design cases reveals several characteristics of product variety design, and identifies unique and essential tasks for simultaneously designing multiple models: correlation analysis, competing against system constraints, control variable selection, coverage distribution and combination selection. These discussions lead the formal definition of product variety optimization problems and the possibilities of computational approaches toward this direction.

**Key Words** : Product Variety, Product Family, Design Tasks, Design Engineering, Design Optimization

### 1 緒言

製造性設計 (Design for Manufacturability, DFM) において一応の研究成果が得られつつある現在、複数の製品 (群) の間で部品の共通化・共有化を行なって、それにより製品のコスト競争力を向上させようとする動きが注目されるようになってきている。製造性設計<sup>(1)</sup>は、製品開発の様々な局面、特に製造に関する側面を統合的に考えるようにして、機能やコストを総合的に最適化しようとするものであるが、上記のような状況では複数の製品を同時に考慮する必要があることから、従来の製造性設計における方法論では対応することのできない内容を含んでおり、製品種や製品世代に渡っての新しい方法論が必要となる。このような状況を受けて、製品系列設計 (Design for Product Variety) に関する研究<sup>(2)(3)</sup>が行なわれつつあり、製品アーキテクチャ<sup>(4)(5)</sup>に関する検討なども行なわれてきている。しかし、有効な設計法を構成するためには因子の分析や評価を行うアナリシスだけではなく、シンセシスのための方法論を構築することが重要であるはずである。

本研究では、以上のような視点のもと、一連の製品

群を統合的に設計するための問題の表現方法を検討し、そのような状況におけるシステム制約の役割や、製品系列における対応範囲と設計特徴量との関係について考察する。続いて、製品系列設計におけるタスク構造を提案し、製品系列に固有のタスク内容を特定化する。これによって、製品系列統合化設計問題を最適化する上での着眼点を明確にする。なお、従来の製造性設計がいわゆるコンカレントエンジニアリングにおける垂直統合を基本としたものであったことに対して、製品系列の設計に関わる問題が異なる製品にまたがった水平統合を必要とするものであることから、本研究では、新たな次元での統合化を必要とする点に着目して「製品系列統合化設計」と呼ぶことにする。

### 2 製品系列統合化設計問題

**2.1 設計最適化における閉ループ性** 製品系列統合化設計は、複数の製品を同時に設計するという問題である。一般に、最適な設計は機能とコストとのトレードオフによって定まるが、複数の製品を対象とした場合には、市場動向と設計・製造に関わる諸問題とが相互に影響しあうため、製品系列に対する最終的な利益が定まる状況は図 1 にも示すように、複雑なものとなる。すなわち、設計すべき製品群やそれらの特

\*原稿受付 1998 年 3 月 18 日

<sup>†</sup>正員, 大阪大学大学院工学研究科 (〒 565-0871 吹田市山田丘 2-1) .

<sup>‡</sup>正員, スタンフォード大学機械工学科 (Stanford, California 94305-4021, U.S.A.)

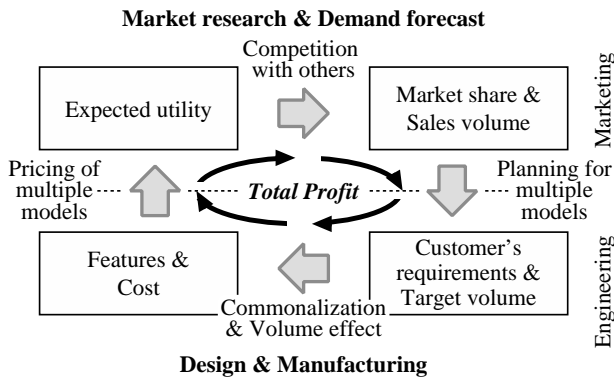


Fig. 1 Cyclic chart on optimality of product variety

徴、さらにそれぞれの生産計画量は市場動向による需要予測に基づいて設定される一方で、設計・製造計画は全体としてのコストを最小化しつつ要求機能を満足することを目指して行なわれる。この際、部品の共通化やそれによって生じる量産効果などによって製品コストが定まり、ひいては、製品の市場競争力を決定することになる。しかしながら、この競争力こそが例えば前述の生産計画量を決定づけることになる。したがって、最終利益は市場調査から設計活動への一方向的な手順では予測できないこととなる。以上のことは、製品系列統合化設計の問題が、単一の製品を対象とする場合には配慮する必要のなかった様々な不確実性を伴わざるを得ないことを示している。

**2.2 製品系列の構造と表現** 製品系列統合化設計を考えるには、まず、その基底として、複数の製品にまたがる仕様や構造における多様性を表現するための方法を定める必要がある。

そのような内容に関して、Pine<sup>(6)</sup>やUlrich<sup>(4)</sup>は製品アーキテクチャの選定が重要であることを指摘している。製品アーキテクチャとはシステム構造におけるモジュール間の関係についての様式とでもすることができるが、ここでは、彼らによる分類を整理・拡充して、以下の分類を考えることにする。すなわち、モジュール化構造を、同じモジュールを異なる製品に用いる「モジュール共有化」と異なるモジュールを同じ基盤構造に用いて類似した製品を構成する「モジュール交換」の二つに分類する(なお、モジュール化構造を導入しない一体構造は、製品系列の視点からは望ましくないものと考え、ここでの分類の対象外とする)。また、モジュール構造の実装方法に関しては、スロット方式、バス方式、接続面共有方式、断面共有方式に分類し、スロット方式に関しては、専用スロット方式と選択スロット方式とに分類することにする。一方、

製品の属性に関しては、各属性がとり得る範囲の様式を、数量タイプ、2値タイプ、排他タイプに分類し、数量タイプはさらに連続量タイプと離散量タイプに、排他タイプはさらにモジュール選択タイプと付加属性タイプに、それぞれ、分類することにする。

製品系列の設計においては、以上のアーキテクチャと属性の双方を最適化する必要がある。それらの全体は対象製品の物理的内容に起因する様々な形式の制約条件(以下では、「システム制約」と呼ぶ)によって規定されるはずであり、なかでも、機能と形状特徴との間の数学的関係は典型的なものとなるはずである。

**2.3 製品系列設計におけるコスト構造** 製品の開発・製造に関わるコストは、一般には、固定費と変動費、直接費と間接費などとして分類される<sup>(7)</sup>が、複数の製品を同時に考える場合にはその状況が若干異なってくる。すなわち、変動費は、製品種類数(異なるモジュールや部品の数も含めて)に関わるものと、製造個体数に関わるものとに分類されるべきであり、このうち、前者は、従来の単一製品に関する分類では固定費とされていたものである。また、製品系列を対象とした場合の間接費は単一の製品を対象とする場合よりも不透明であり、最適設計を考える上で重要なポイントとなる<sup>(8)</sup>。一方、単一製品の製造性設計に関して、そのコストを削減するための方策が様々な検討されている<sup>(9)</sup>ものの、それらのなかには複数の製品を対象とした場合には必ずしも有効でないものも多く、例えば、一体化部品が複数製品製造時には切換えコストを増加させることになることもある。

以上の製品系列に起因する諸内容は不確実で複雑であることから、それらを最適化するためには、適切なレベルでの適切な取り扱いを導入して、何らかの評価を行なえるようにしようとする観点も必要となる。

### 3 製品系列設計におけるシステム制約

**3.1 システム制約の種別** システム制約の内容は製品系列におけるアーキテクチャやモジュール構造の適合性を左右するものであるが、数学的な視点からは、個別の制約が等式であるか不等式であるかが重要であると考えられる。つまり、等式制約は実体と機能の間に一対一対応を要請する一方、不等式制約はそのような一対一の関係を越えて、共通化や共有化を可能にし、個別製品の適用可能範囲を拡大させ得るものであり、このような関係のもとで、異なる製品に対してモジュールを共通化するなどのことが可能になるとらえるべきである。

図2は、2つの属性変数の間における典型的な関係

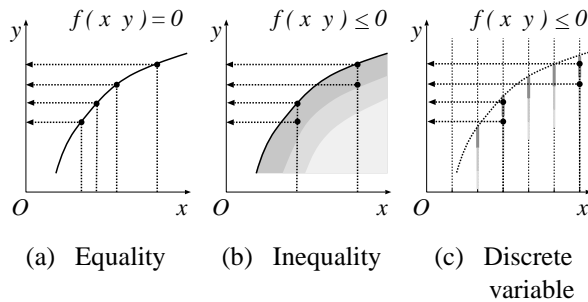


Fig. 2 System constraints

を示したものである。(a)は、システム制約が等式であり、2変数が連続量である場合を示しており、異なる性能を実現するには異なる実体が必要であるということになる。(b)は、システム制約が不等式であり、2変数が連続量である場合であり、このときには、一方の変数を固定した場合でも他方の変数がある範囲で変動可能であることから、そのような自由度により特定の設計でもってある性能範囲に対応することもできる。しかしながら、等号が成り立っているところから外れるにつれて、一般には、システムの性能は劣化するはずであり、そのことから、そのような自由度はある種の範囲に抑えられるはずである。(c)は、システム制約が不等式であり、かつ、2変数が離散量である場合であり、(b)に比べて実行可能な設計が離散量の性質によりさらに制約されることになる。

一方、製品ユーザの視点からは、直接個々の機能がみえるかどうか重要な点である。そのことから、機能は「直接機能(visible function)」と「背後(間接)機能(hidden function)」に区別することができる。図2との関係において直接機能を考えると、不等式制約のもとでは背後機能の過剰な部分を隠すことが可能であって、それによって直接機能の多様性を保持したままモジュールや部品の共通化を行うこともできることになる。

**3.2 製品群における共通性と相違性** 次に、一連のシステムとシステム制約のもとでの製品系列の内容についての表現方法について示す。ここでは、図3に示すようなシステム・モジュール・属性からなる階層に基づいて表現するものとし、製品の多様性は、それらの各レベルで実現可能であるものとする。

このような表現階層のもとで、共通化や個別化をどのレベルで行なうべきかを検討するためには、それらのコストと機能特徴におけるメリットとデメリットとの間の均衡を考える必要がある。そのようなとき、代表的な設計特徴と機能要目との間の適切な粒度(granularity)におけるシステム制約は製品系列を評

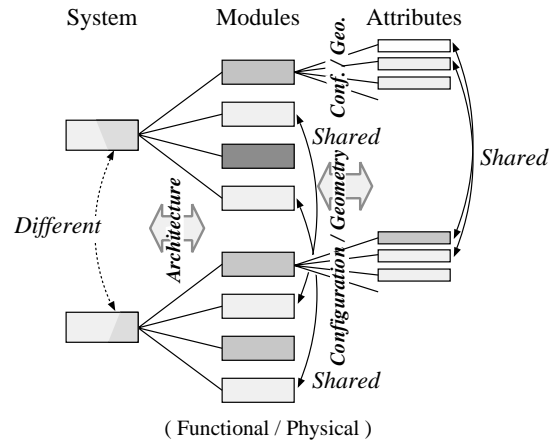


Fig. 3 System, modules and attributes

価していく上での媒体となり、それらの関係式の系によって製品やモジュール間の代替性は決定されるはずである。ここでの代替性とは、あるアーキテクチャやモジュール(部品やサブシステム)を異なる製品群に対してどの程度まで共通的に使用できるかを意味する。そのような関係は、図2に示したような等式や不等式が構成する全体状況、すなわち、仕様からのずれがどの程度まで許容できるか、背後機能はそれに伴う余分なコストとの均衡を保ったままでどの程度まで付与することができるか、などに従って定まってくるものと理解できる。

一方、システム制約は上記のように支配的な要因ではあるものの、それによって規定される傾向を超越して製品の多様化を実現することも重要であり、例えば、副次的な機能モジュールの付加により基盤アーキテクチャの適用可能範囲を拡大することなども考えられる。

以上のことから、製品群においてシステム制約は支配的でもあり、限定的でもあるという両方の視点から、製品系列統合化設計を考えていく必要が生じる。

**3.3 モジュールの組合せと機能範囲の拡大** 上記のような設計表現のもとで、ある種の極端な状況を想定すれば、製品系列統合化設計の特質を見出すことができる。仮に、製品系列設計を既存のモジュールを組み合わせて製品(全体システム)を構成していくものとして考えれば、システム制約はそのような組合せを制限するものであり、何らかの目的関数を導入して、実現可能な組合せから市場ニーズに合致した組合せにまで絞り込んでいく必要もある。一方、そのような組合せ状況をモジュールの属性を決定するという視点から考えれば、属性値を決定することによってシステムの動作ポイントを市場ニーズの範囲に分配してい

く状況をみることもできる。一方、このような組合せや分配に対して、アーキテクチャの選定は、いわゆる概念設計に対応するものでもあり、それらの内容に対する潜在的な可能性を定めるものであると考えられる。

#### 4 製品系列統合化設計におけるタスク構造の解析

**4.1 汎化タスクとその意義** 設計に限らず、情報処理活動は一般にそれぞれに対象問題の潜在的な性質を受けた独自の処理様式を持っており、そのような内容を抽象化した上で汎化タスク (generic task) として類別することは、コンピュータ化のための前提であるのみならず、処理内容を理解する上でも効果的である<sup>(8)</sup>。そのことは、製品系列統合化設計においても同様に当てはまるはずであり、コンピュータ化に向けて設計タスクの構成や構造を明確化することは潜在的な問題構造を理解する上でも重要である。その際には、単一の製品に関する汎化設計タスクが製品系列の問題を考える場合の基盤となるはずである。Dym は、そのような汎化設計タスクに関して、以下の点を指摘している<sup>(9)</sup>。

- 設計活動は、設計 (design)・検証 (verify)・評価 (critique)・修正 (modify) の4つの汎化タスクから構成される。
- 設計タスクは、構造 (structure) シンセシタスク・形態 (configuration) シンセシタスク・属性具体化タスクの3つに分類することができる。

**4.2 製品系列統合化設計問題におけるタスク構造** ここでは、前節での議論を踏まえた上で、上記の2つの分類、すなわち、システム構造・形態・属性のそれぞれに関わる段階からなる系列と設計・検証・評価・修正からなる系列との双方に基づいて、製品系列設計における設計タスクの構造をそれらの順序に従って以下のように定義する。

- (1) 設計要求の分析タスク … 設計目標を確立し、多様な設計要求とそれらの間の相関性を分析する。
- (2) システム構造のシンセシタスク … システム構造とその変形を確立するためのタスクレベルであり、基盤となるシステム構造を確立するための「システム構造設計」、システム要素間における論理的な相関関係を分析するための「論理的相関性解析」、アーキテクチャを選定し、適切なモジュールのサイズを定めるための「アーキテクチャの選定」、製品群を展開する可能性をさらに広げるために、副次的なシステム構造を付け加えるための「論理的制約に対する副次的構造の付

与」の各タスクから構成される。

- (3) 形態のシンセシタスク … 製品形態とその変形を定めるためのタスクレベルであり、基盤となる形態を確立するための「形態設計」、物理的あるいは幾何的屬性間の相関関係を数量的に分析するための「数量的相関性解析」、個別の設計要求を制御するための属性変数を選定するための「制御属性の選定」、形態レベルにおいて、製品群を展開する可能性を広げるための副次的な要因を付け加えるための「数量的制約に対する副次的形態の付与」の各タスクから構成される。
- (4) 製品群の具体化タスク … 具体的な製品群を確立するためのタスクレベルであり、属性値を具体化することによって、システムを構成するモジュールを確定するための「属性値の具体化」、実行可能なものの中から、モジュールと属性の具体的な組合せを定めて、個々の製品を具体化するための「モジュール組合せの選定」の各タスクから構成される。

以上の内容は大枠では単一製品に対する設計タスクと同様であるが、第2段階のシステム構造と第3段階の形態に関するタスク群は、製品群の多様性を拡大するための可能性を探求するものである一方、第4段階における製品群の具体化においては、製品系列を確定するために具体的な製品を確認して定めるものとなっている。このことは、前者のタスクが組合せ論的には実現可能であるけれども採用されないモジュール組合せなどの仮想的な内容を含んでおり、それらが最終タスクで排除されることを意味している。

以下では、個々のタスクの詳細や事例を示す。

**4.3 設計要求の分析** 設計要求はすべてのタスクに対する入力となるものであり、製品系列設計においては、個々の機能の重要性のみならず、顧客ニーズの分布やそのような分布における個別機能間の相関などを十分に分析する必要がある。

**4.4 システム構造のシンセシス** システム構造のシンセシスは、製品系列全般にわたる基本的な機能レベルとその展開範囲を定める上で、重要である。

**4.4.1 システム構造設計** 単一の製品を設計する場合においても、システム構造のシンセシスにおける内容については、いくつかの処方的な設計方法が提案されているに留まっており、汎用的で強力な方法論が確立されるには至っていない。したがって、製品系列統合化設計においてもそのタスク内容を明確に示すことはできないが、いくつかの優れた設計事例をあげることはできる。例えば、スイスアーミーナイフは、ナ

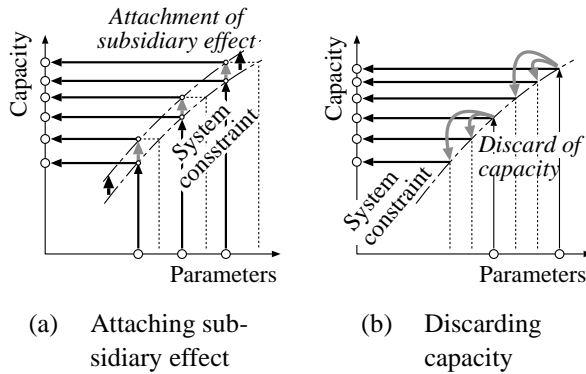


Fig. 4 Overcoming a system constraint

イフやドライバー、はさみなどのいくつかの部品を重ね合わせるにより数多くの種類の製品を構成しており、この場合の製品系列は、複数の2値タイプの多様性から構成されており、モジュール交換型の断面共有選択型アーキテクチャを用いている成功例とみることができる。

**4.4.2 論理的相関性解析とアーキテクチャの選定** モジュール構造におけるアーキテクチャの種類やモジュールの大きさは、効果的に製品系列を構成する上で重要である一方で、製品システムにおける物理的制約を様々な面で受けていると考えられる。例えば、適切なモジュールのサイズに関しては、小さいモジュールはモジュール交換の単位を小さくして組合せによる製品種の可能性を拡大できる一方、大きなモジュールを用いれば、製造過程を単純化することが可能であり、コスト低減の面では優位である。そのような柔軟性とコストのバランスは、製品系列設計における最適性を左右するものの一つである。

このタスクにおける設計問題についても、いくつかの事例をみることができる。スウォッチは、個々の部品の寸法を標準化する一方、様々な色彩や模様の部品を組み合わせることによって、多様な腕時計を製造しており<sup>(6)</sup>、この場合は、排他タイプで付加属性タイプの製品系列が、モジュール間インターフェースの標準化によるモジュール交換型専用スロット方式によるアーキテクチャによって実現されているとみることができる。このほか、サーバー型ワークステーションにおいて、モジュールサイズを小さくすることにより、システム構成の柔軟性を低コストで確保した事例や、ハードディスクのディスク枚数を標準化してモジュールサイズを大きく取ることにより、製造コストを低減した事例などもみることができる。

**4.4.3 論理的制約に対する副次的構造の付与** 副次的なサブシステムを付与して補充的な機能を加えた

り、組み込み済のシステム機能の一部を捨てたりすることは、基本となるシステム構造を統一したままで製品群を構成するための有効な方法であり、全体としてのコスト低減につながる可能性が大きい。図4は、そのような状況における数学的な関係を示している。(a)は、元来の性能容量に余剰な容量を付加することにより、3種類の基本設計を6種類の設計に拡張している状況であり、(b)は、支配パラメータによって定まる性能容量からその一部を捨てることにより、2種類の基本設計を6種類の設計に拡張している状況である。

これらのような製品系列設計はシステム構造に由来する物理的な制約をどのようにして克服するかという問題であり、その際の鍵はシステム構造に潜在的な前提条件に着目することであると考えられる。

**4.5 形態のシンセシス** 形態シンセシスは基本機能はもとより製造に関わる諸要因を左右するため、製品系列設計においても重要なタスクレベルである。

**4.5.1 形態設計** 形態設計は上述のシステム構造設計を受けて行なわれるが、製品系列統合化設計の場合には、その段階で既に複数の構造が想定されている場合もあることから、単一の製品を設計する場合とは異なり、仮想的なシステム要素も想定しながら形態の設計を進めていく必要がある場合もある。また、特定のシステム構造に対して異なる形態を導入することが適切である場合もあるため、そのような判断についても考慮する必要がある。

IBM PC型のパーソナルコンピュータは単一のシステム構造に対して複数の形態が用いられている製品事例の典型である。つまり、電気的なバス構造は製造業者やモデルを越えて共通であるものの、それらの多くがデスクトップ、サブタワー、フルタワーなどの異なるモデルを提供している。また、それらの各モデルは拡張のための空スロットを持っており、その意味において、仮想的な要素に対しても設計を行なう必要がある。

そのような状況は多目的部品の設計において、なかでも排他タイプの機能を持つ製品種を実装する場合において、特徴的である。例えば、ある自動車用空調ユニットのハウジングにおいては、異なるモデルのための異なるアクチュエータを共通のハウジングに据え付ける設計が行なわれており、具体的には、双方のアクチュエータの固定部が相互に付け捨てられている。このような設計を行うためには、ハウジングのモールドラインの設計とともに、形態や形状を定める上での特別な配慮が必要となる。

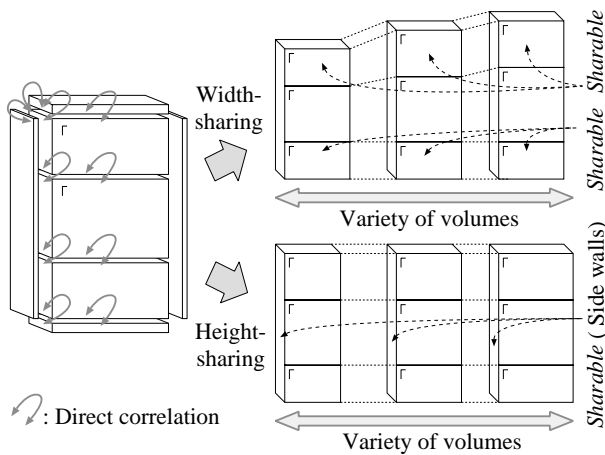


Fig. 5 Correlation map and control variable selection

**4.5.2 数量的相関性解析と制御属性の選定** 個々の要求項目を制御するための設計変数の選定は、コストと直結した製造方法との関係が深いため、製品系列設計において重要なタスクである。このようなタスクにおいては、既にある程度設計が定まりつつあることから、情報処理としての質が良く、その内容を明確に定義することも可能である。すなわち、制御属性を選定するタスクは以下の予備分析と選択操作の2つの段階から構成されているものとして行うことができる。

- (1) まず、設計変数となり得る属性量の間の大まかな関係に関する相関関係を把握する。
- (2) 次に、一連の従属変数のなかから効果的な属性変数を設計変数として選択する。

第1段階に関しては、詳細な関係を把握するのではなく、製品系列統合化設計における処理内容に対して適当な粒度の関係を導出することが第2段階を効率的に行なう上で重要であり、第2段階に関しては、第1段階により得られる関係が主要な製品性能やコストなどに関する関係を含んでいることが必要となる。

例えば、直方体の容積を縦・横・高さのうちのどの変数によって制御するかについては、いくつかの自由度が存在する。図5は、このような操作に関する冷蔵庫のモジュール設計の事例を示している。図の左では、個々のモジュールの代表寸法がどのように関係しているかが「相関関係マップ」として示されており(矢印は直接的な関係を示す)、図の右では、制御属性に関する2通りの選択が示されている。モジュールの幅を共通化した設計では、積み重ねることになるモジュールのいくつかは、製品群にわたってそれぞれに共通化することも可能である。一方、モジュールの高さを共通化した設計では、側面外壁のみが共通化可能とな

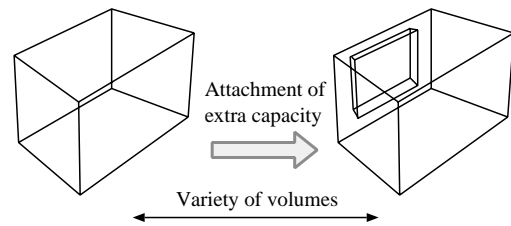


Fig. 6 Geometric competition against system constraints

る。このような制御属性の選定は、何らかの最適性に関する基準に基づいて適切に行なわれるべきものである。

**4.5.3 数量的制約に対する副次的形態の付与** このタスクは、論理制約に関わるそれと類似のものであるが、製品の基本的なシステム挙動を対象とするのではなく、形態や形状に付随する内容を対象とする点で異なっている。望ましい副次的形態を見出す方法は、同様に、前提条件に着目することであろうが、その内容は物理挙動に関するものと形態や形状に関わるものとは自ずと異なっているはずであり、少なくとも、製造における加工方法やコストとの競合関係などによって相当制約づけられているはずである。

図6はこのようなタスクの一例を示したものである。直方体の容積は基本的には縦・横・高の積であるため、設計変数をそれらの3つに限定すれば、異なった容積を確保するためには、それらのいずれかを制御変数とする必要がある。しかし、例えば背面を何らかの方法で押し出して付加的な容積を確保することができれば、同一の基本寸法に対して異なる容積を生み出すことができ、状況によっては個別部品を共通化することにより製造コストを削減することも可能になる。

**4.6 製品群の具体化** 本タスクレベルは、処理すべき情報の構造が既に確定しており、その構造の範囲内で変数を定めて、組合せを選択する問題となる。

**4.6.1 属性値の具体化** 各種属性の値を定める際には、関係する設計変数・制約条件・目的関数の性質が重要であり、製品系列統合化設計においてはおよそ以下ようになる。

設計変数 … 異なる製品の数、その背後にある異なったモジュールや部品の数、個々のモデルや部品の属性値など。ただし、製品数が設計条件として既与の場合もあり得る。

制約条件 … 要求機能を少なくともあるレベルで満足すること。また、システム構造や形態から規定される各種の制約を満足すること(これは、製造

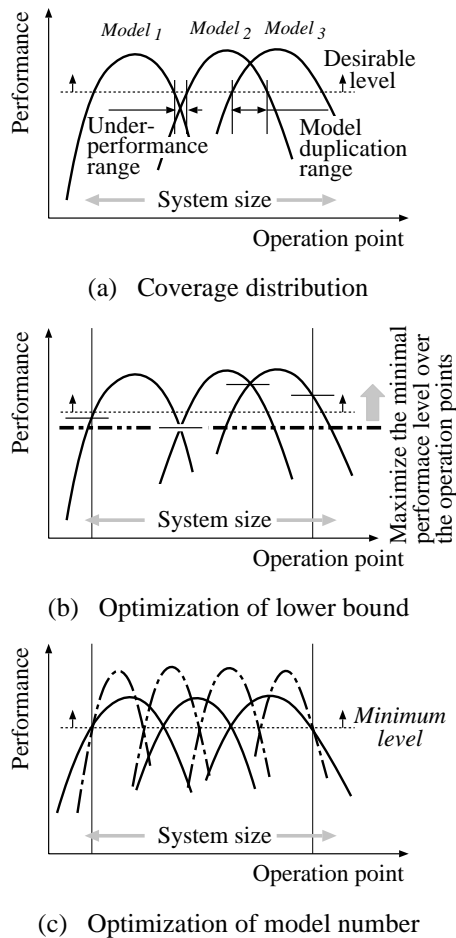


Fig. 7 Coverage distribution optimization

方法などがシステム構造や形態に伴って既に決定されており、それらの内容が諸属性間にある種の制約を課することなどによる)。

目的関数 … 何らかの利益指標を最大化することが理想的であるが、例えば、総コストの最小化なども考えられる。しかし、それらの内容には非常に多くのことを含んでいるため、単純に異なった製品や部品の種類数の削減や、材料費や加工費の削減などに置き換えざるを得ない場合もある。

以上のような問題を解くことができれば、製品種類数のみならず部品や製造プロセスの完全な共通性を定めることができるが、一般的な傾向としては、コスト削減のためには部品種の削減が望ましいと考えられるものの、そのことが個別製品の機能範囲を狭くすることにもなると考えられる。

図7は、そのような状況を概念的に示したものであり、システムサイズに対するシステム性能の対応範囲をどのように割り付けるかに関するものである。工学システムは一般にはシステム制約による最適な動作ポイントを持っていることから、そのような点から動作

ポイントがずれるにしたがって、最適な性能を達成することができなくなる傾向にあり、一方で、そのようなずれの範囲が小さければ、ある程度の満足が行く動作が行えるようになっている。システム性能を一定値以上に保ったまま、ある動作範囲に対応するためには、複数種のシステムが必要であり、以上のことがある面で製品系列統合化設計を要請している。つまり、劣った設計では、ある範囲に対するシステムが存在しなかったり、性能範囲が重なりあっているシステムが存在するなどの状況を生じる(図中(a))。一方で、性能の下限値をできるだけ上げるように、システム群の各サイズを最適化することも考えられる(図中(b))。また、性能下限値を保ったまま、システム種類数を減少させることも考えられ、そのことがピーク性能の低下につながるものの、コストとのバランスを考えれば、望ましい場合もあり得る(図中(c))。

以上のような最適化問題の具体的な状況は、相当に込み入ったものになることが予想される。少なくとも、各種の組合せ的な要因が含まれていることから、適切な経験則を導入したり、適度な小規模の副問題に分割するなどのことが必要であると考えられる。

4.6.2 モジュール組合せの選定 属性値を具体化することができれば、それによって各モジュールが具体的に定まり、それらの組合せとして一連の製品群を決定できることになる。しかしながら、モジュール性が高く、組合せ的に様々な製品を構成できるような場合においては、構成可能な製品のすべてが必要なものでもないし、製造すべき適切なものの全体でもないとするべきである。また、設計に先立って想定された製品種類は、十分な工学的検討を経ていないこともあり、このタスクに至るまでの工学的かつ数理的な検討を踏まえた上で、あらためて、実行可能な組合せの中から、最終的な製品種は決定されるべきであるとも考えられる。そのような選別に関しては、以下のようなことが言える。

- 製造コストに関して製品の生産個数は重要な因子であり、製品系列を考えるにあたっては、個別製品種毎の生産個数は非常に重要である。
- 一般に、多品種生産においては、加工をベースとした生産方式よりも組立てをベースとした生産方式の方はコスト面で有利であるとされており<sup>(10)</sup>、後者の場合には、必要性が低い製品種を付随するコストがほとんどないような状態で製品系列に加えることも可能である場合がある。

冷蔵庫のドアの再設計の事例(図8)<sup>(2)</sup>は、以上のタスクに関して、その重要性を良く示している。その事



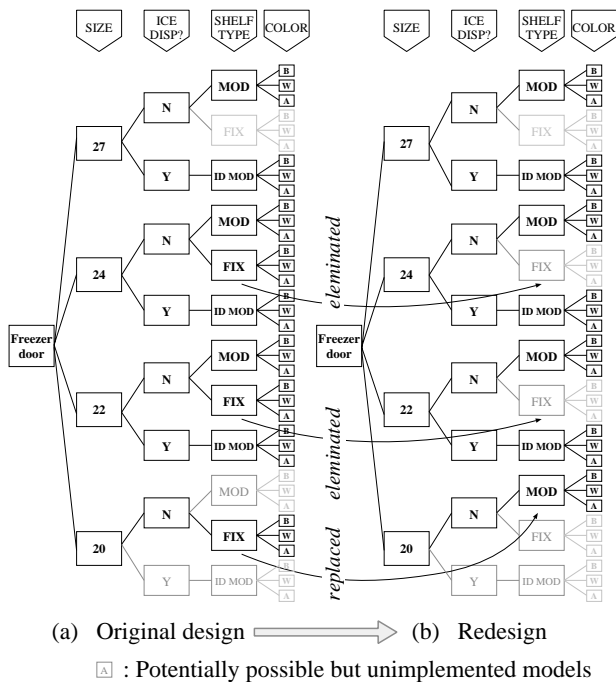


Fig. 8 Combination selection ... Refrigerator door redesign

例においては、いくつかの製品が製品系列から削除され、あるものは別のものと入れ替えられており、それによって、製品の競争力を向上させる一方、製造コストの低減も可能であるとしている。上述の視点からすれば、本事例は、潜在的に可能な製品種の中から適切な組合せを選別したものと見なすことができる。

4.7 各タスクにおける設計評価 以上の各タスクにおいては、それぞれに何らかの評価指標が必要となる。構造や形態に関わるタスクは、仮想的な要因による不確定要素を含んでおり、したがって、評価指標としては、製品系列を効果的に構成するための潜在的な可能性に関する指標が必要となる。一方、具体化に関するタスクでは、そのような仮想的な要因を排除することそのものがタスクの内容であることから、相対的には明確な指標を導入することができるものと考えられる。

各タスクレベルにおける評価指標の候補としては、主にシステム構造に関する「プロセスレベルでの共通性」、主に形態レベルに関する「加工方法や組立て方法レベルでの共通性」、主に設計属性の具体化レベルに関する「部品やモジュールレベルでの共通性」などの共通性指標をあげることができる。これらの各指標の内容は個々の事例に関係するため、広く一般的に定義することは容易ではないと考えられるが、何らかの

指標を導入することは設計シンセシスの立場からすれば、設計者にとって有用なものとなると考えられる。

## 5 結言

本研究では、製品系列統合化設計における製品系列の表現とタスク構造について論じ、系統的な方法論とコンピュータ手法の確立に向けて、その基本となる設計表現法と設計処理における様相を分類した。タスク構造の分析を通じて、製品系列統合化設計に特有のいくつかのタスクを見いだすことができ、単一製品の設計問題との相違が明確化されるとともに、コンピュータ手法の確立に向けての問題構造を定式化することができた。今後は、具体的な個別問題の分析を行って、本研究で提案した全体的な枠組みを具体的に検証するとともに、コンピュータ援用による製品系列の最適設計法を構成していく必要があると考えている。

## 文献

- (1) Nevins, J. L. and Whitney, D. E., (ed.), *Concurrent Design of Products & Processes — A Strategy for the Next Generation in Manufacturing*, (1989), McGraw-Hill.
- (2) Ishii, K., Juengel, C. and Eubanks, C. F., "Design for product variety: key to product line structuring," *Proceedings of the 1995 Design Engineering Technical Conferences*, DE-Vol. 83, Vol. 2, (1995), pp. 499-506, ASME.
- (3) Martin, M. V. and Ishii, K., "Design for variety: a methodology for understanding the costs of product proliferation," *Proceedings of the 1996 Design Engineering Technical Conferences*, (1996), Paper #: 96-DETC/DTM-1610, ASME.
- (4) Ulrich, K., "The role of product architecture in the manufacturing firm," *Research Policy*, Vol. 24, (1995), pp. 419-440.
- (5) Ulrich, K. T. and Eppinger, S. D., *Product Design and Development*, (1995), McGraw-Hill, Inc.
- (6) Pine, B. J., *Mass Customization: the New Frontier in Business Competition*, (1993), Harvard Business School Press.
- (7) Pahl, G. and Beitz, W., *Engineering Design — A Systematic Approach, Second Edition*, (Translated by Wallace, K. et al.), (1996), Springer.
- (8) Chandrasekaran, B., "Generic Tasks in Knowledge-Based Reasoning: High-Level Building Blocks for Expert System Design," *IEEE Expert*, Vol. 1, No. 3, (1986), pp. 23-30.
- (9) Dym, C. L., *Engineering Design — A Synthesis of Views*, (1994), Cambridge University Press.
- (10) Whitney, D. E., "Nippondenso Co. Ltd.: A Case Study of Strategic Product Design," *Engineered in Japan* (Liker, J. K., Ettl, J. E. and Campbell, J. C., editors), (1995), pp. 115-151, Oxford University Press.