

# 13 モジュール設計支援ツールの開発（第1報）

佐々木憲吾，小鳥田博夫，河野洋輔，坂元康泰

## Development of modular design support tool. (1st Report)

SASAKI Kengo, KOTORIDA Hiroo, KOUNO Yousuke and SAKAMOTO Yasuhiro

The modular design technique being to be used as cost down and weight reduction method. But effective technique for modular design is not developed so much. This report describes development of a modular design support tool.

This tool is constructed by two phases. First phase is consisted of part characteristics, material characteristics and part connective relation. Second phase is consisted of productivity. By using this tool, machine designer is able to find well-chosen parts integral pattern.

キーワード：モジュール，モジュラー，インテグラル，構想設計

### 1 緒 言

製造業におけるコストダウン・軽量化への要求は依然として大きく、従来から改良・改善を重ねてきた製品にとっては、個々の部品レベルでの対応では限界に近い状況となっている。そこで、部品を統合化・一体化したシステムとして捉え、新たにコストダウン・軽量化を狙う手法として、モジュール型設計手法が注目されている。

モジュール設計は、コストダウンや軽量化のみならず、品質・機能向上・納期短縮等につながる効果的な設計手法であるとして、自動車産業をはじめとする様々な製造業において取り入れられつつある。しかしながら、モジュールとしての効果的な設計手法が確立されていないため、設計者は試行錯誤しながらモジュール設計を行っているのが現状である。

本研究では、設計者がモジュール設計を行う際の構想設計を効果的に支援する、モジュール設計に特化した設計支援ツールの開発を行うことを目標とする。本報では、そのためのモジュール設計の考え方を明らかにした後、支援ツールの基本構成を明らかにする。

### 2 モジュール設計の分類

モジュール設計は、多くのメリットがあるとして様々な製品に展開されつつある。ところが、対象製品によってモジュール化の概念が異なっている。藤本らは、製品に対するモジュール設計の型を表1のように分類している<sup>1)</sup>。

オープン型とはインターフェイスのルール化が進んだ形態を表す。標準化されたルールを守ることで、

表1 モジュール設計の分類

	モジュラー型	インテグラル型
オープン型	パソコン 自転車	/
クローズ型	工作機械 LEGO (おもちゃ)	

一つの部品に様々なメーカーが参入することができる。これに対しクローズ型とは、インターフェイサーが標準化されておらず、グループ内で閉じている形態を表す。インテグラル型は、そもそもインターフェイサーを持たないので、クローズ型に属する。

さらに、目代らはモジュラー型とインテグラル型に対する機能と部品の相関差異を図1のように整理している<sup>2)</sup>。

まずモジュラー型とは、製品内の部品が他の部品と機能面で相互依存していないタイプの製品を意味する。したがって、モジュラー型の製品は、部品同士が予め共通化されたインターフェイスで接続されており、ある部品を設計する際にインターフェイサーさえ守っていれば、他の部品の設計と独立して行うことができる。これにより、複数部品を同時並行的に設計する

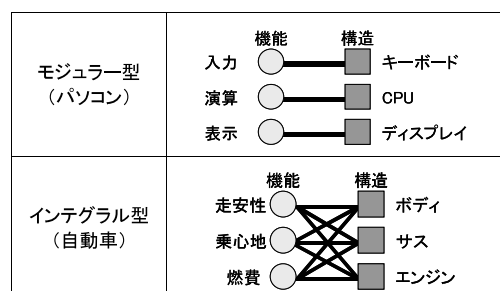


図1 モジュラー型とインテグラル型の機能と部品の相関

ことが可能となり、コストダウンを図ることができる。

一方インテグラル型とは、製品内の部品が他の部品と機能面で相互依存しているタイプの製品を指す。したがって、インテグラル型の製品は、部品同士を機能面ですり合わせながら設計を進める必要がある。一見不利に思えるインテグラル型の製品であるが、中央集権的な設計を行うことにより、無駄のない最適化の進んだ設計を行うことができる。

以上のように分類すると、モジュラーオープン型のパソコンとインテグラルクローズ型の自動車では全く属性が異なると言えるが、いずれの業界も「モジュール」という言葉を利用しているので注意が必要である。モジュラー型の製品は、システム複雑性を低減させ、開発リードタイムの短縮によるコストダウンや組合せ自由度の拡大を狙っている。一方、インテグラル型の製品は、機能のすり合わせによる一体化により部品点数を削減させ、製造コストや組立性の改善により新たなコストダウンを狙っている。

自動車業界では今、特にモジュール型設計を強力に押し進めている。そこで、独自に県内自動車部品サプライヤにおけるモジュール化動向を調査したところ、その多くが材料変更と、それに伴う成形法変更による軽量化・部品点数削減・コストダウンに主眼を置いていることが分かった。表1の分類によると自動車はインテグラル型の製品であるため、設計はセットメーカ主導で行われている。セットメーカでは、特に上記の機能すり合わせによる一体化された部品を「機能統合型モジュール」と呼び、広く導入を進めている。また、元々日本の工業製品は、インテグラル型の製品が強いと言われている<sup>1)</sup>。

そこで、本研究では県内自動車産業からのニーズが高く、他の多くの自社製品を持つ企業にとっても効果的であると考えられる機能統合型モジュール（インテグラル型モジュール）を設計する際に有用なツールを開発する。

### 3 部品の特性や生産性を考慮した組合せ選択法

機能統合型モジュールの主な役割は、部品一体化による部品点数削減・組立性の改善と、それに伴うコストダウン・軽量化である<sup>3)</sup>。設計者は機能統合型モジュールを設計する際に、材料変更・成形法変更・レイアウト変更等により部品一体化の可能性を探ることとなる。設計プロセスの中で設計者が上記の可能性を探る段階は、詳細設計から遡り概念設計の段階となる。概念設計の段階では部品の形状情報はあまり必要ではなく、図1のような関連図を用いて考えることができる。

機能統合を行う際、設計者はどの部品とどの部品が一体化できるのかを考える。この作業には多分にVE（Value Engineering）的要素が必要となるが、この作業は後に別工程で行うとして、本研究ではまず思考漏れがなく、機能面で間違いがなく、生産性も考慮した上で可能な限り多くの部品一体化パターンを抽出することとした。

式(1)は、 $n$ 個の部品からなる製品、またはアセンブリにおける一体化可能パターン総数 $N_n$ の算出式である。

$$N_n = \sum_{i=2}^n n C_i \quad (1)$$

$n=5$ では $N_5=26$ であるが $n=10$ では $N_{10}=1013$ と指数関数的に増加する。

実際の設計において、設計者は $N_n$ 通りの選択を全て考慮するわけではない。設計者は、部品の素性が一体化に向いているか否か、強度面で材料変更に耐え得るか否か、一体化して生産できるか否か等の判断を、自身の設計ノウハウに基づいて行っているのが現状である。しかし、 $N_n$ が指数関数的に増加すると、設計者にとって思考漏れがない状態で部品一体化を考慮ことや、数例の一体化パターンの中で、どのパターンがどれだけ優れているかを判断することは困難となる。そこで、この段階での設計者の思考プロセスを再現し、簡単な数値入力による具体的な数値出力を持って結果が比較できるよう、2段階のPhaseとPhase内の数Stepによる部品一体化パターン導出法を提案した。表2は各PhaseとStepのプロセス概要である。

#### 3.1 『Phase 1 部品特性・材料・接続関係による選択』

##### 【Phase 1 -Step 1 部品特性による選択】

$N_n$ は全ての構成部品を対象としたが、実際は一体化対象外の構成部品が含まれている。例えば、他の構成部品に対して相対的な動きを持つ部品は、一体化してしまうと動きの機能を失ってしまうため対象外となる。そこで、Phase 1 -Step 1では、各部品の一体化に対する特性による選択を行い、以下の構成部品を総部品点数 $n$ から除外する。

1. 構成部品、あるいはアセンブリが、汎用品である場合。例えば電球はこれに属する。
2. 構成部品、あるいはアセンブリが、他の構成部品に対して相対的な動きを持つ場合。例えばモータはこれに属する。

表2 各PhaseとStepの概要

Phase 1	Step 1	部品特性による選択
	Step 2	材料特性による選択
	Step 3	部品の接続性による選択
Phase 2	生産性考慮による選択	

3. 構成部品,あるいはアセンブリが,ネジのように締結機能のみを持つ場合。締結機能のみを持つ部品は,その部品によって互いに締結される部品同士を一体化,または部品同士に締結機能を持たせることで省略できる可能性が高いため,後の設計変更に任せる。

**【Phase 1 -Step 2 材料特性による選択】**

自動車の機能統合型モジュールでは,材料変更による部品一体化が数多く行われている。特に部品の樹脂化や金属化による一体成形が効果的である。また,機能性材料で造られた構成部品がある場合,その部品自体の材料変更はできないが,逆に周辺部品を機能性材料で成形することで一体化できる可能性がある。

そこで,Phase 1 -Step 2では,材料特性による選択を行い,以下の選択パターンをStep 1の結果から除外する。

1. 機能性材料で造られた構成部品がある場合,同じ機能性材料へ材料変更できない構成部品を含む選択パターン。
2. 金属への材料変更を考えた場合,金属へ材料変更ができない構成部品を含む選択パターン。
3. 樹脂への材料変更を考えた場合,樹脂へ材料変更ができない構成部品を含む選択パターン。

**【Phase 1 -Step 3 部品の接続性による選択】**

同じ材料に変更できる可能性を持つ構成部品が連続していなければ一体化することはできない。言い換えれば,同じ材料に変更できない構成部品を介して連結する場合,一体化可能パターンから除外する。

**3.2 『Phase 2 生産性による選択』**

Phase 1では部品特性・材料特性・接続関係の側面しか考慮しておらず,実際の生産にどの程度適しているかを判断することはできない。そこで,Phase 2ではPhase 1の結果に対して生産性のロジックを与え,数値による生産性の比較を行う。

Phase 2ではPhase 1のそれぞれの選択に対し「生産性」,「組立性」,「低コスト」,「軽量化」の各パラメータに,寄与度に応じて1, 4, 9の値を与える。与える数値基準としては,一体化による各パラメータへの寄与が現状維持に近い場合を4とし,現状より悪くなる場合を1,良くなる場合を9とする。さらに,寄与が完全にない場合0の値を与える。各選択に対する全ての値の積を取ることによって,生産性に対する効果が絶対的に比較可能な数値として現れる。ここに,1, 4, 9の値自体には大意はなく,同一得点を減らすため3と9のように約数となる数値を避け,QFDの手法と同様に積算結果のコントラストを大きくする

ためにある程度の差が与えられた数値を採用した。

最終的に,Phase 2で算出された数値の大きい一体化パターンが,生産性にも優れているということになる。

**4 試 行 例**

Phase 2までのプロセスを,図2のモータアセンブリに適用した。部品数  $n=13$ であり,全ての一体化可能パターン数  $N_{13}=8178$ と膨大になる。

**4.1 『Phase 1』**

**【Phase 1 -Step 1】**

表3はPhase 1 -Step 1のプロセスである。この結果,選択可能部品数は  $n=6$ ,一体化可能パターン数は57となる。

**【Phase 1 -Step 2】**

表4は,bushingsとgrommetを機能性材料とした場合における,Phase 1 -Step 2における機能性材料と金属化・樹脂化可能選択である。Phase 1 -Step 2結果,一体化可能パターン数は30となる。

**【Phase 1 -Step 3】**

Phase 1 -Step 3では,同じ材料で連結できないパターンが削除される。Phase 1の結果,一体化可能パターン数は20となる。

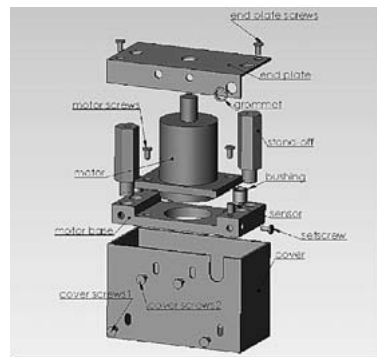


図2 モータアセンブリ

表3 Phase 1 -Step 1 部品特性

No.	部品名	選択可否 (○:可, ×:否)
1	motor base	○
2	stand-offs	○
3	bushings	○
4	sensor	× (汎用部品)
5	set screw	× (締結単機能部品)
6	motor	× (相対的な動き)
7	motor screws	× (締結単機能部品)
8	end plate	○
9	grommet	○
10	end plate screws	× (締結単機能部品)
11	cover	○
12	cover screws 1	× (締結単機能部品)

表4 Phase 1-Step 2 材料特性

		motor base	bushing	stand offs	end plate	grommet	cover
機能材	bs-M (M)	1	1	1	1	0	1
	gr-M (R)	0	0	0	1	1	1
Metal		1	0	1	1	0	1
Resin		0	0	0	1	0	1

(1:変更可, 0:変更不可)

#### 4.2 『Phase 2』

表5は、Phase 1のそれぞれの選択に対し「生産性」、 「組立性」、 「低コスト」、 「軽量化」の各パラメータに、 寄与度に応じて0, 1, 4, 9の値を与え、 一体化の効果を積算したものである。表6は、表5から算出された、 一体化の効果が高い上位6パターンである。

表6の結果では、最も効果が高いとされる得点一位の2パターンは、同じgrommetを含むため両立できない。そこで、樹脂の機能材料であるgrommetと一体化した際に、軽量化の効果が高いcoverとの一体化を選択した。また、得点3位のパターンは、cover-grommetの一体化とは独立して行うことができるため、採用した。これにより、部品点数は $n=13$ から $n=11$ に減少した。また、組立性評価ツールDFA (Design for Assembly: 米BDI社製)による評価では、組立性

表5 Phase 2 一体化の効果

No.	生産性	組立性	低コスト	軽量化	得点
1	4	9	9	4	1296
2	1	9	1	4	36
3	1	1	1	4	4
4	1	0	1	4	0
5	1	1	1	4	4
6	0	0	1	4	0
7	0	0	1	4	0
8	9	9	9	9	6561
9	9	9	9	9	6561
10	1	0	1	9	0
11	1	9	1	4	36
12	1	1	1	4	4
13	1	9	1	4	36
14	1	0	1	4	0
15	1	0	1	4	0
16	1	1	1	4	4
17	0	0	1	4	0
18	0	0	1	4	0
19	0	0	1	4	0
20	1	0	1	9	0

表6 一体化の効果が高い組合せ

No.	パターン内容	材料	得点
8	end plate & grommet	grommet-M	6561
9	cover & grommet	grommet-M	6561
1	base & bushings	bushing-M	1296
2	base & bushings & stand-offs	bushing-M	36
11	base & stand-offs	Metal	36
13	stand-offs & end-plate	Metal	36

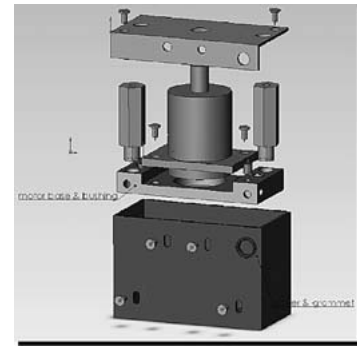


図3 設計変更例

を表すDFA指数が6.5から7.4へと上昇した。さらに、大物部品であるcoverの樹脂化は、コストダウンと軽量化の効果も大きいと考えられる。図3は、以上の結果から提案した設計変更案である。

現状では以上の工程を一般的な表計算ソフトを用いて行った。しかし、これには非常に多くの時間と労力が必要となるだけでなく、選択ミスも多い。そこで、今後設計者が表3~5の数値と部品同士の接続関係を段階的に入力するだけで、自動的に表6の結果を得ることを可能とするモジュール設計支援ツールの開発を行う。この結果を基に、設計者は機能統合化モジュールの可能性を検討することとなる。

## 5 結 言

本年度の研究では、モジュール設計の分類により、県内企業からのニーズが高い機能統合型モジュール（インテグラル型モジュール）の設計支援ツールの開発を開始した。

内容は、3 Step からなる部品特性・材料・接続関係を考慮したPhase 1と、実際の生産性を考慮したPhase 2から構成した。これにより、構成部品の一体化可能パターンを具体的な数値として比較することが可能となった。概念設計段階で適切な指針を持つことは、後の設計から生産工程において非常に有効である。

今後は、ツール化するためのプログラミングと並行して、現在のPhaseプロセスの見直し、部品と機能との関係等にも配慮した新たなPhaseプロセスの追加を行う。

## 文 献

- 1) 藤本隆宏, 武石彰, 青島矢一編, ビジネスアーキテクチャ
- 2) 目代武史, 第4回モジュール・システム化研究会資料, モジュール化の理論
- 3) 岩城富士大, バリユー・エンジニアリング, No.215 (2003. 3)