

# 機能修飾子を用いた設計対象表現

○三田工業 下村芳樹, 奈良先端大 武田英明, 東大 梅田靖, 富山哲男

## Representation of Design Objects using Functional Modifier

Yoshiki Shimomura, Hideaki Takeda, Yasushi Umeda, Tetsuo Tomiyama

The most important subjects to realize the computer aid for conceptual design includes representation and making sense of functions which represent designer's intention. In this paper, we classify functions into *functional feature* which represents a designer's intention directly and *functional modifier* which qualifies functional features, and propose a more intuitive framework to designers for functional representation of design objects using functional modifiers. Moreover, by using this framework, we propose *FEP (Functional Evolution Process)* model which represents functional evolutions of design objects as a design process. The driving force of a design process is evaluation of functional modifiers in the FEP model. For representing the evaluation of functional modifiers, we introduce the idea of "*amount of function*" into the FEP model.

**Key Words:** Design, CAD, Functional Representation, FBS Model, FEP Model

### 1. 緒言

本報では機能を、設計者の意図を直接的に表現する機能本体と、それを修飾することで機能の表現力を高める機能修飾子に分類することで、より設計者の直観に沿った対象の機能の表現手法を提案する。またこの枠組を用いて、設計における機能展開の在り方と要求仕様の明確化の過程の関係について考察を行ない、実際の設計事例の分析を行なう。さらにこの結果から、設計作業における対象の機能表現の機能評価に基づく詳細化過程を表現する枠組 FEP (Functional Evolution Process) モデルを提案する。

### 2. 機能と対象表現

著者らはこれまでに、設計対象を機能とその機能を実現可能な挙動との関係により表現する枠組 FBS モデル<sup>1)</sup>に関する提案を行なっている。設計対象の機能をモデル化すると、一般にその表現は全体機能と部分機能という機能の階層構造を成す<sup>2)</sup>。この時全体機能から部分機能への展開は、設計者によるタスク分割により発生するものと物理的因果関係に基づく補間によるものの2つが考えられる<sup>3)</sup>。

しかし、設計対象をモデル化することの目的に、設計者の意図の保存を考えた場合、これら2つの機能間

の関係のみを用いて対象を記述するだけでは不十分であり、機能に挙動を対応付ける際の選択基準、設計時に用いる機能の表現単位の変更というある種の設計過程をも同時に表現する必要がある。つまり完全な機能知識のもとでは、全ての修飾的な表現は機能に含んだ形で表現され、機能間の関係はタスク分割的な関係と物理的な因果関係に還元される。しかし、本来完全な機能知識というものが存在しない以上、この「修飾的な表現を含む機能」が常に存在するとは限らず、それが実際の設計に多く見受けられる本質的な問題であると考えられる。このことは、設計における要求仕様の不完全性、変更可能性とも関連する。つまり、設計における仕様は外部から与えられるものではあるが完全ではなく、ここでいう機能の表現単位の変化として表現される仕様明確化の過程は、曖昧である仕様を明確化していく一つの設計過程そのものであるといえる。そして本研究の立場では、機能を仕様記述言語であると考え、設計者の意図は設計過程における機能の表現単位の変化、つまり仕様明確化の過程にも含まれるものとして扱う。

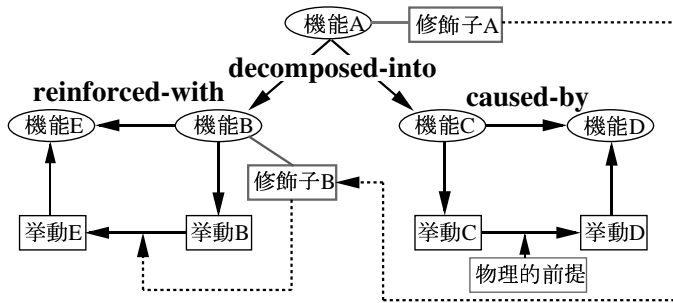


図 1: 機能展開の種類

### 3. 機能修飾子

「美しく」や「同時に」は、共に機能的表現に見受けられる修飾的な表現である。しかし「同時に」という表現は機能間(あるいは挙動間)の関係を制約するものであり、本研究では、このような部分機能間の関係に対する制約を機能関係 (FR:Functional Relation) と呼ぶ。

一方、「美しく」といった表現は、主たる機能を修飾することで機能の記述力を高めることを目的とするものである。そしてこの表現は、主たる機能にどの挙動を対応付けるかの選択基準、あるいはこの挙動選択を含めた対象の物理的な基本構造が決定した後に、状態(挙動)に対する制約として具体化するものである。本研究では、このような制約的表現を機能修飾子 (FM:Functional Modifier) と呼ぶ。つまり本研究においては、設計者は修飾子を用いることで、前節に述べた設計時に用いる機能、及び機能の表現単位を制御し、最終的に機能と修飾子を共に具体化することで要求仕様を明確化するものと仮定する。

#### 3.1. 機能修飾子による機能展開

ここでは機能の展開方法として、(1)タスク分割による機能展開、(2)因果関係による機能展開、(3)修飾子による機能展開の三つを仮定し、これらの機能展開の結果である機能間の関係を各々、decomposed-into 関係、caused-by 関係、reinforced-with 関係と呼ぶ。この機能展開の様子を図 1 に示す。さらに以上の仮定に基づき、武田らの設計実験<sup>4)</sup>における機能展開の過程を表現したものを図 2 に示す。

図 1 において、まず機能 A は部分機能 B, C にタスク分割される。そして機能 C の実現挙動として挙動 C が選ばれると、挙動 C を実現する為に必要な挙動 D が設計者によって選択される。この挙動 D に対して主に説明の為に機能抽出を行なった結果が機能 D であり、機能 C と caused-by 関係により繋がれる。一方、機能 B の実現挙動として挙動 B が選ばれると、挙動 B による仕様に対する充足度の向上を実現する為に挙動 E が設計者によって選択される。この挙動

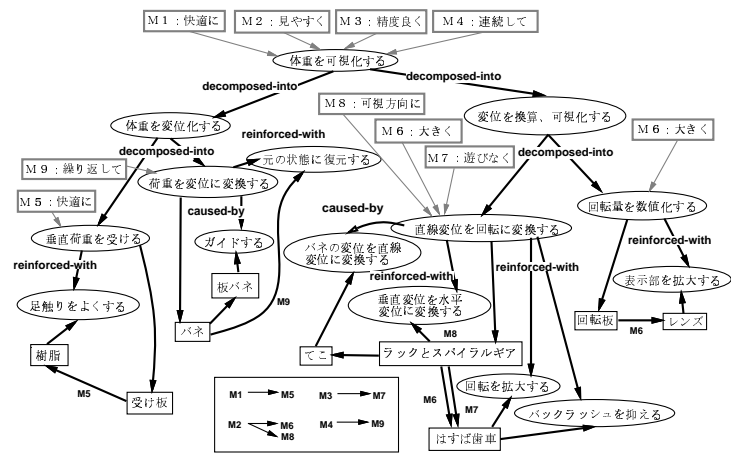


図 2: 設計実験 (B-2) に見られる機能展開

E は、機能 B が修飾子 A の具体形である修飾子 B によって修飾されることによって付与された、いわば挙動 B の範囲を制約、補強する為の挙動である。そして挙動 E もまた挙動 D と同様に機能抽出が行なわれ、その結果は reinforced-with 関係により繋がれる。

#### 4. 修飾子の具体化と機能評価

一般に、設計者は修飾子を用いることによって機能自体の持つ情報量を増やし、より要求仕様に近い機能表現を実現していると考えられる。そして仕様が明確化されていくに従って、機能はより具体的な形へと展開され同時に機能に対する修飾子も機能に対する制約として具体化されると考えられる。

しかし図 2 を見ても明らかのように、修飾子の具体化は機能の展開に対して単調では無い。修飾子は修飾先の機能が展開されることに伴ってその展開先での異なる修飾表現へと変化するが、全ての部分機能(あるいは実現挙動)に分配されるわけではない。つまり機能に対する修飾的な表現が機能の展開に伴ってどう変化するかは、機能の部分機能へのタスク的、あるいは因果的な分解方法に依存している。しかし一般に機能のタスク的分解は、設計者の主観に任されており、従って修飾子の具体化においても同様のことがいえる。

一方、このように修飾子の具体化によって説明される設計仕様の明確化の過程は、設計者による設計対象の機能的な評価結果によって駆動される補強的な作業であると考えられるが、人の機能評価に関する判断基準は主観的であり、工学において機能を扱う上での一つの問題点となっている<sup>5)</sup>。

本研究では、人間の修飾的な機能に関する評価は、場を限定することによって物理的な制約条件に対する評価に具体化することが可能であると仮定する。つまり機能修飾子は制約条件の人間に対する意味付

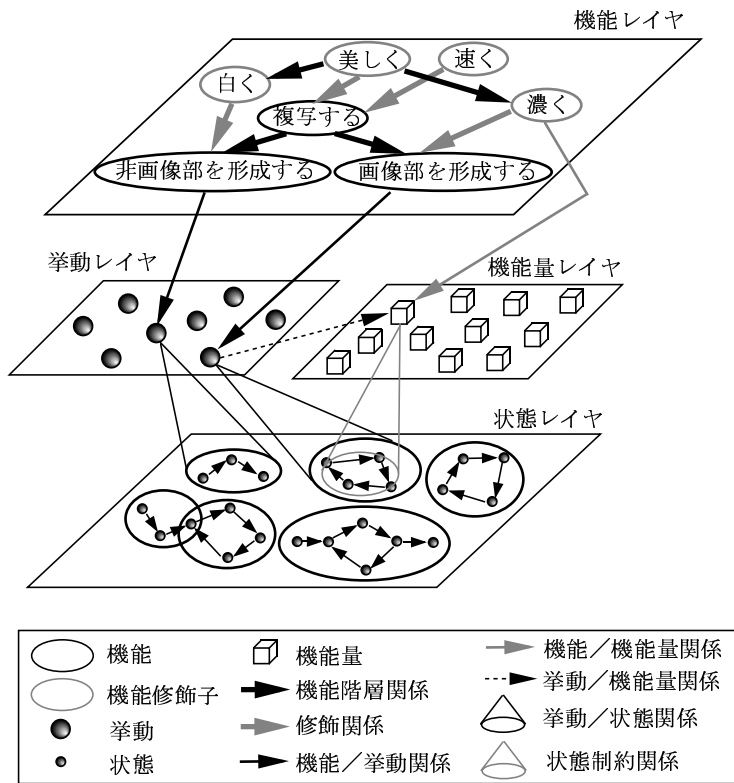


図3: 機能, 挙動, 状態, 制約条件間関係

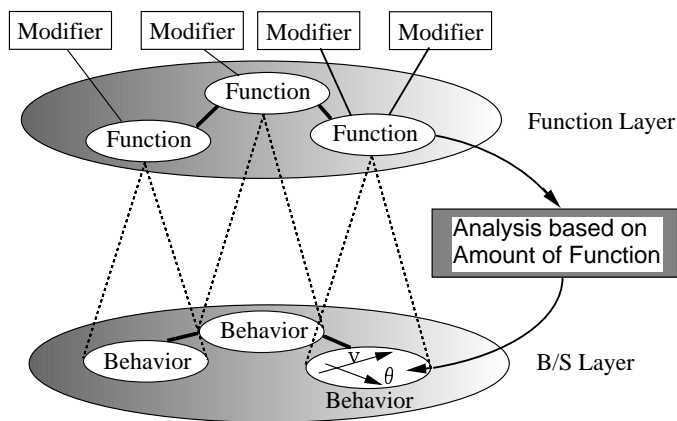


図4: 機能量による機能空間への距離付け

けであり、逆に制約条件は機能修飾子の物理的表現であるという表裏の関係を考える。以上の仮定の基で、機能評価の主観性とは、制約条件におけるパラメータの選択とその基準値の設定方法に現れるとし、機能修飾子の表現の枠組みとして機能量 (amount of function)<sup>6)</sup> の概念を導入することにより、この機能量を用いて設計者の機能修飾子に対する評価をモデル化する (図3参照)。そしてこれを用いることにより、設計対象上での機能修飾子の具体化の様子を表現するが、これは機能空間に対するの挙動空間からの距離付けであるとも考えられ、このとき機能量自体が機能空間における距離概念を与えることになる (図4)。

#### 4.1. 機能量

機能量は、対象の機能と制約条件の対応付けに感性工学<sup>7)</sup>の手法を利用している。感性工学は、評価対象

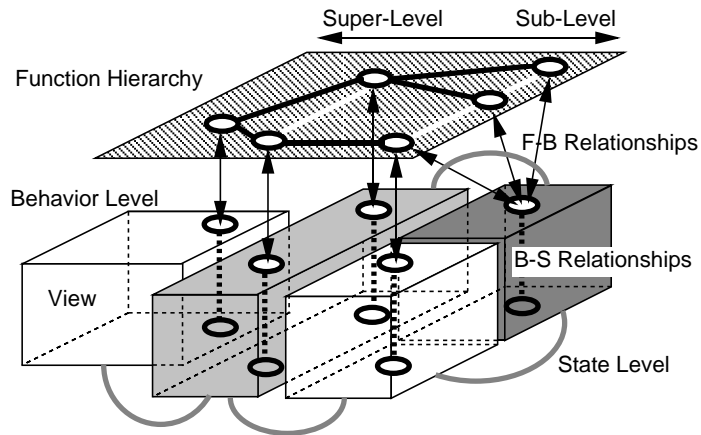


図5: FBS モデラの構成

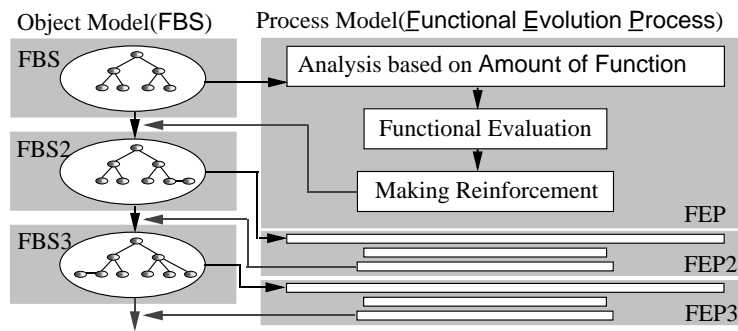


図6: FEP モデルによる設計過程表現

に対する主観的な評価を客観的に評価可能な物理量に対応付け、定量的に扱うことを目的としており、主観的な評価の在り方を心理試験と統計処理の組み合わせによって数値化するが、機能量では主観性の確率を母集団中で機能が発現すると認める人の割合とし、母集団の取り方を決めることで、機能発現の場に対する特定の範囲、つまり場の定義域<sup>8)</sup>を与えている。

そして、機能と同様に主観的作用する抽象的な概念である情報に対する情報量の定義との対比によって、機能量を以下の式によって得られるものとして定義する。

$$F(p) = -\log_2(1-p) \quad (1)$$

$$\bar{F} = -\sum_{i=1}^M p_i \log_2(1-p_i) \quad (2)$$

(但し、 $p, p_i$  は主観性の確率値)

#### 5. FEP モデル

本研究では設計過程の各時点での対象の構造を、対象を機能概念を含んでモデリング可能な手法である FBS (Function, Behavior and State) モデル<sup>9)</sup> (図5参照) を用いて表現する。そしてこれに基づき、設計対象に対する評価と補強というサイクリックな設計仕様明確化の過程、すなわち対象の機能的表現の進化過程を表現する枠組 FEP (Functional Evolution Process) モデル (図6) を提案する。FBS モデルによって表現される各設計時点における個々の対象モデルを FEP

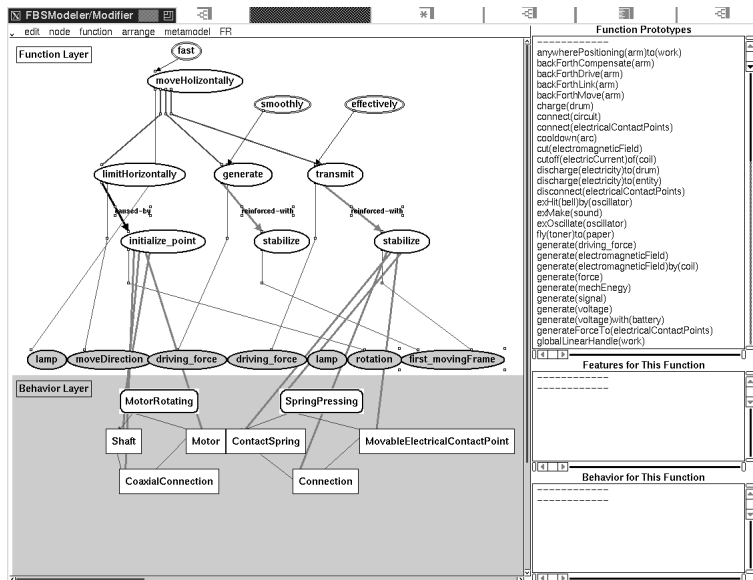


図 7: FBS/m による設計対象表現

モデルによって連続的に管理することにより、設計対象の機能的表現かつ、それが設計の詳細化によって進化していく過程を表現することが可能となる。この時 FEP モデルにおける機能評価は、機能量によって実現される。

### 5.1. インプリメンテーション

著者等は現在 SUN UNIX 上の Object Works\Smalltalk を用いた FEP モデルに基づく設計シミュレータの開発を行っており、既に FBS モデラをベースにした対象表現システム **FBS モデラ /m (modifier)**(図 7) の開発をほぼ完了している。FBS モデラ /m では FBS モデラ上での機能表現に加え、機能修飾子、3つの機能関係、設計者による動的な機能定義インタフェース等の拡張が行なわれており、従来に比べより設計者の直観に沿った対象記述が可能となっている。

### 6. 挙動の抽象度とアスペクト

これまでに述べたように、機能修飾子による制約は主たる機能の実現挙動との対応付けを含めた対象の物理的な基本構造が決定した後に、状態(挙動)に対する従属的な制約として具体化するものであるが、一方、機能にどの実現挙動を対応付けるか、あるいは複数存在する機能の分割方法からどの分割方法を選ぶかの選択基準であるとも考えられる。これは設計者が対象の機能構造を考える場合に、その実現方法を抽象的に考えているという仮説となり、この抽象的な実現方法を計算機上の機能知識の一部として表現することが可能となれば、より有用な設計支援を実現できる可能性がある。

本研究では、この抽象的な実現方法を抽象度の異なる挙動として表現し、設計過程における各アスペクト

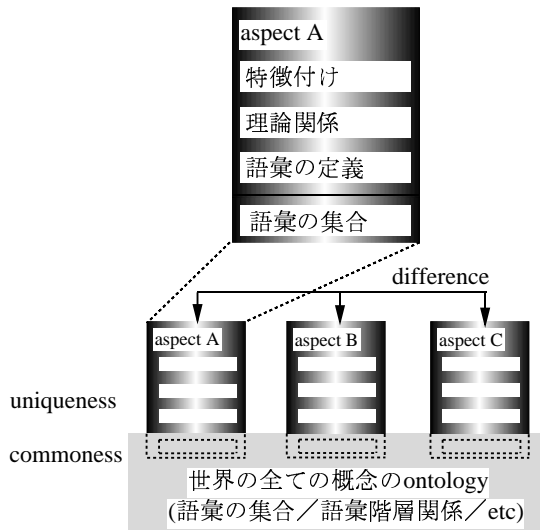


図 8: 理想的オントロジーとアスペクト

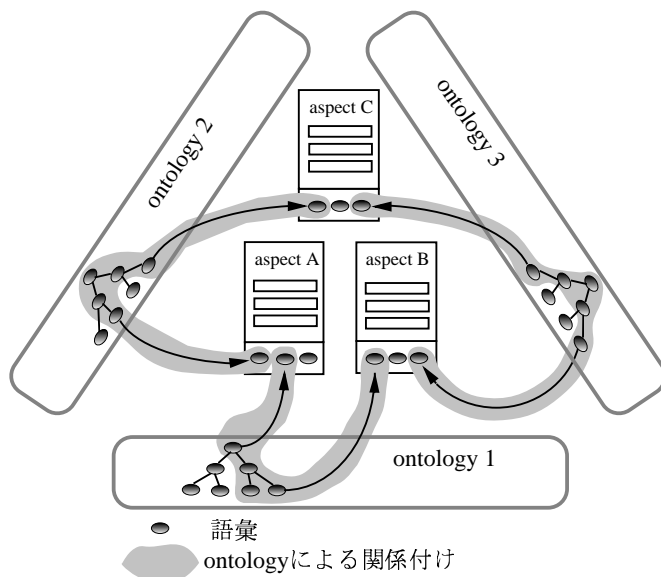


図 9: オントロジーによる複数アスペクトの関係付け (視点)<sup>10</sup>間の関係をもって挙動の抽象度を管理することを考える。その為には実際にアスペクトを何らかの方法で仮定しなければならないが、その方法として挙動の表現形式や機能表現中の語彙からの視点の逆抽出を行なうといった方法が考えられる。より具体的には、アスペクトを語彙と文法と意味が規定された一つの世界であると考え、そこで用いられる語彙概念の集合とそれらの関係を与えるものがオントロジー<sup>11</sup>であると仮定する(図 8)。そして機能・挙動の表現上に現れる語彙をオントロジー内の語彙関係によって整理することにより、実際の設計表現からのアスペクト抽出を行なう。しかし、ここでいうアスペクトとは図 8 に示したような厳密な定義に耐えるものではなく、単にオントロジーに含まれる語彙の部分集合であるとする。また、図 8 に示すような理想的なオントロジーは現実には存在せず、実際には複数のオントロジーを組

合せることになると考えられる。しかしこの程度の簡易的なアスペクト定義であっても、各オントロジーに含まれる語彙概念間の階層関係を用いて、異なるアスペクト間の種々の関係(アスペクトの包含関係等)(図9)を表現することができ、ここでいう挙動の抽象度を管理することは十分可能であると考えられる。

## 7. 結論及び展望

本報では機能修飾子と呼ばれる機能的表現を導入し、より設計者の意図を反映した対象表現手法を提案した。また、設計対象の機能表現の進化を機能的な評価過程を含む設計の詳細化過程として表現する手法としてFEP(Functional Evolution Process)モデルを提案した。さらに、FEPモデルに含まれる機能評価の枠組として機能量を導入することにより、機能の修飾表現に対する充足度を表現することを提案した。

今後は、本手法に基づく設計シミュレータを完成し、手法の正当性を検証すると共に、オントロジーに基づく視点管理システムとの統合によって、実際的な設計支援ツールとしての応用可能性についてさらに検討を行なっていく。

## 参考文献

- 1) Y. Umeda, H. Takeda, T. Tomiyama, and H. Yoshikawa. Function, behaviour, and structure. In *AIENG'90 Applications of AI in Engi-*

- neering*, pp. 177-193. Computational Mechanics Publications and Springer-Verlag, 1990.
- 2) G. Pahl and W. Beitz. *Engineering Design: A Systematic Approach*. Springer-Verlag, Berlin, 1988.
- 3) 大道憲哉, 下村芳樹, 梅田靖, 富山哲男. 細胞型機械の構築(第4報) - 機能情報を用いた構造決定 -. 1994年度精密工学会春季大会講演論文集, 1994. 229-230.
- 4) 武田英明, 濱田進, 富山哲男, 吉川弘之. 設計実験における実験方法の検討と作図過程の分析. 精密工学会誌, Vol. 58, No. 11, pp. 1849-1854, 1992.
- 5) 富山哲男, 吉川弘之. 機能論構築を目指して - 設計の立場から -. 精密工学会誌, Vol. 56, No. 6, pp. 6-10, 1991.
- 6) 下村芳樹, 森幸広, 谷川貞夫, 梅田靖, 富山哲男. 機能量に基づく機能表現(第一報) - 主観性確率を用いた統計的アプローチ -. 1993年度精密工学会秋季学術講演会講演論文集, pp. 159-160, 1993.
- 7) 長町三生. 感性工学. 海文堂, 1988.
- 8) 吉川弘之. 信頼性工学. コロナ社, 1979.
- 9) 梅田靖, 富山哲男, 吉川弘之. 機能冗長に基づく自己修復機械設計方法論. 第10回設計シンポジウム講演論文集, pp. 155-164, 1992.
- 10) 桐山孝司. 定性物理を用いた設計対象表現論. PhD thesis, 東京大学大学院工学系研究科, 1991.
- 11) 淵一博(監修), 溝口文雄, 古川康一, 安西祐一郎(編). 定性推論とオントロジー - 定性推論の基礎的原理 -. 定性推論. 共立出版, 1989.