

# 入出力を中心とした機能表現と動詞を中心とした機能表現の比較と分析

A comparative analyses of two function modeling: input-output approach and verb-noun phrase approach

- 正 吉岡真治 (学術情報センター) Ralf Stefan Lossack (東大) 正 梅田靖 (東大) 正 富山哲男 (東大)  
Masaharu YOSHIOKA, National Center for Science Information Systems,  
3-29-1, Ootsuka, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan  
Ralf Stefan LOSSACK, the University of Tokyo  
Yasushi UMEDA, the University of Tokyo  
Tetsuo TOMIYAMA, the University of Tokyo

For modeling synthesis process, it is necessary to deal with specification, designer's intention, and so on. Therefore, function modeling plays a crucial role in model of synthesis. There are two major function modeling approach. One is input-output approach and the other is verb-noun phrase approach. In this paper, we compare these two approach based on the two design support system. DIICAD-Entwurf is a system based on input-output approach and FBS modeler is based on verb-noun phrase approach. We compare these two systems with example of robot gripper design and discuss each advantages and drawbacks.

*Key Words:* Synthesis, Design, Function, Function Modeling

## 1 緒言

設計という作業においては、設計者の要求に基づいて設計解の提案や選択と言った様々な作業を行う。そのため、この設計者の要求を適切に表現するための機能モデリングの研究は、シンセシスのモデル化には欠かせない要素である。そこで本研究では、設計のモデル化において広く用いられている2つの機能表現方法である、入出力を中心とした機能表現と動詞を中心とした機能表現の比較を、これらの方法に基づいてインプリメントされた実際の設計支援システムの比較を通じて考察する。ここでは、前者の入出力を中心とした機能表現に基づく設計システムである DIICAD-Entwurf [1] と後者の動詞を中心とした機能表現に基づく設計システムである FBS モデラ [2] を、例題に適用し、その結果を踏まえた上で両者の利点と欠点について議論する。

## 2 機能モデリングの現状と2つの機能モデリングシステム

Chakrabarti ら [3] によると、現在の機能モデリングの研究のアプローチは次の3つに分類される。

- 動詞を中心とした機能表現  
実際に設計者が設計対象の働きについて述べるために用いる動詞と名詞の組み合わせによって表現する方法
- 入出力を中心とした機能表現  
主にドイツ流設計方法論 ([4] など) で用いられている方法で機能をエネルギー、物質、情報の入出力として表現する方法
- 状態変換による機能表現  
機能を発現前と発現後の状態変化によって表現する方法

これらの各々の機能表現の方法はそれぞれ利点欠点があるため、これらの表現形式は目的に応じて使い分けられていることが多い。そこで、本研究では、これらの機能表現の形式を具体的なシステムにおける表現形式を参考にしながら分析し、その各々の特徴を明らかにするとともに各々の適用範囲について議論する。

そこで、本研究では、動詞を中心とした機能表現に基づいた FBS モデラにおける機能表現と入出力を中心とした機能表現に基づいた DIICAD-Entwurf における機能表現を比較し、分析を行う。状態変換による機能表現については、FBS モデラにおける状態の変化の記述に類似していることもあり、今回の明示的な比較対象からは除外した。

## 2.1 FBS モデラ

FBS モデラの FBS とは Function Behavior State の略であり、概念設計段階において扱われる機能を、動詞を中心とした機能表現を用いてモデル化し、設計者を支援するツールである。この枠組では、機能を単独で表現することには意味がないと考え、その機能を実現するための挙動と関連付けて表現する。また、設計対象の機能については、抽象的な問題である要求仕様から具体的なサブ機能へと分解することによって得られる機能の階層構造によって表現する。この FBS モデラでは、機能に関する知識を Tab.1 に示す機能プロトタイプ知識の形式で記述する。この内、実現挙動を表現するフィジカルフィーチャとは設計対象の構造とその上に起こる物理現象の組合せを表現した一種の機構ライブラリである。また、状態遷移テーブルとは、機能が対象とする構造の属性値の遷移を表現したものであり、この遷移テーブルから QPAS[5] を用いることにより属性値の遷移を実現するフィジカルフィーチャを導出可能にするものである。

Tab. 1: Definition of function prototype

Item	Contents
Name	Verb + objective
Decomposition knowledge	Network of subfunctions
Realized behavior	Physical feature
	State transition table

FBS モデラでは、この機能プロトタイプ知識に基づいて次の手順で概念設計をすすめる。

1. 要求仕様の入力  
機能プロトタイプの一つないし複数個を機能仕様として選択する。
2. 機能階層の構築  
機能分解知識を用い機能仕様をサブ機能に分解していき、機能階層を作成する。
3. 機能と実現挙動の対応付け  
機能と実現挙動の関係の知識を用いることにより、機能から実

現挙動を起こすフィジカルフィーチャへと対応付け、実現構造を得る。

4. 各サブ機能の実現挙動間の関係付け  
各々のサブ機能に対応するの実現構造をつなぎ合わせることで、全体の実現挙動間の関係付けを行う。
5. 設計対象の評価  
最終的に出来上がった実現構造に対し、定性推論システム [6] を用いて挙動シミュレーションを行い、設計解の妥当性を検証する。

## 2.2 DIICAD-Entwurf

DIICAD-Entwurf の DIICAD は Dialog-Oriented Integrated and Intelligent CAD の略で、Entwurf とはポンチ絵などを用いて行う設計の初期段階からの支援を目標としていることを意味している。

この DIICAD-Entwurf では、FBS モデラと同様の動詞を中心とした機能表現と入出力を中心とした機能表現を併用する。この DIICAD-Entwurf では、FBS モデラの様な明示的な機能分解の具体例を示す知識が存在しないが、動詞を中心とした機能を入出力を中心とした機能に変換する際には事例ベース的な知識を用い、入出力を中心とした機能については機能分解の方法を示すルールを用いる。また、機能とその実現構造の対応付けは、Tab.2 に示す形式で表現される Solution pattern と呼ぶ知識を用いて関係をつける。この定義において、物理原則を属性値の入出力関係を数式によって表現し、その機能の発現する条件と共に機能と対応づける。Tab.2 では、機能と物理原則との対応関係を例にとり知識を記述しているが、この Solution pattern は機能と物理現象の関係についてだけでなく、物理原則とそれを実現する幾何形状などについても同様な形式で記述される。

Tab. 2: Definition of solution pattern

Item	Contents (Example)
Supposition	Function
Solution	Physical Principle
Environment	Geometric Boundary, Physical Constraints,...

DIICAD-Entwurf では次の手順で概念設計を支援する。

1. 設計仕様の表現  
機能的設計仕様を動詞を中心とした機能表現を用いて表現する。また、それ以外の仕様を、制約条件によって表現する。
2. 動詞を中心とした機能に対する機能分解  
動詞を中心とした機能モデルの機能を分解し、機能階層構造を構築する。この機能分解の過程は設計者が手動で行う。
3. 入出力を中心とした機能表現への変換  
動詞を中心とした機能モデルから入出力を中心とした機能モデルへと変換を行う。この変換過程においては、入出力を中心とした機能について、その機能の入出力関係を表現した Solution pattern の知識と、設計仕様として与えられた制約条件や他の機能との関係を考慮して、事例ベース的な知識を用い、変換過程を支援する。この変換過程において、必要に応じて入出力を中心とした機能についても機能分解を行う。
4. 実現構造への対応付け  
ここで得られた機能モデルと Solution pattern の組み合わせに基づき実体構造への対応付けを行う。さらに各々の実体構造に対する幾何形状のライブラリと、その幾何形状において機能が

作用する面や線を表示した Effective Geometry の情報を用いることにより、全体を組み立てた幾何情報を作成し、最終的な解とする。

5. 設計解の評価  
設計解の評価は Solution pattern によって表現された属性値の入出力関係の式を用いた評価などによって行うが、最終的な解の正当性の評価は設計者が行う。

## 3 設計事例への適用

この 2 つの機能モデリングシステムの比較を行うために、ロボットアームの先端に取りつけてワークピースを取扱う機構の設計を例にとりシステムの挙動について述べる。さらに、このシステムの挙動並びに知識記述に関して得られた知見を元に 2 つの機能表現の比較と 2 つの機能モデリングシステムの比較を行う。

### 3.1 FBS モデラによる設計支援

FBS モデラでは、まず要求機能として「ワークピースを取扱う」という機能を設計仕様として与え、設計を開始する。この要求機能から機能分解を行い、2 つの「板に力を加える」という機能と「板の間にものを置く」という機能に分解した。さらに、「板に力を加える」機能に対し、「力を発生させる」という機能と「力の向きを変える」という機能に分解すると共に、「力を発生させる」というについては機能共有することにして機能階層を構築した。さらにこれらの機能を実現するフィジカルフィーチャを選択し、これらのフィジカルフィーチャを組み合わせることにより設計解を得た (Fig.1)。

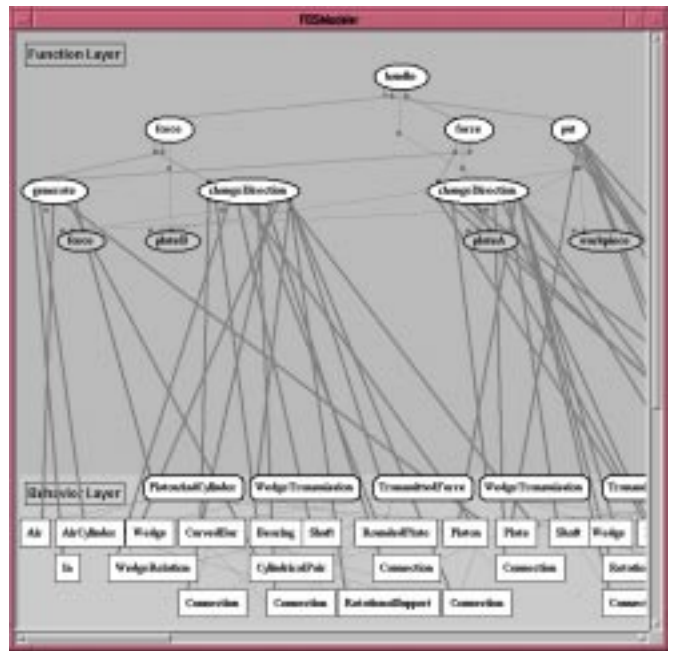


Fig. 1: Design result of FBS modeler

### 3.2 DIICAD-Entwurf による設計支援

DIICAD-Entwurf では、まず要求機能として「ワークピースを取扱う」という機能と制約条件として空気圧による入力存在を設計仕様として与え、設計を開始する。この要求機能から機能分解を行い、Fig.2 の様に機能階層構造を構築した。さらに、この様にして得られた機能を入出力を中心とした機能に対応づける (Fig.3-(1))。次に、この入出力を中心とした機能に対し、Solution pattern を用いて Fig.3-(2) に示す数式で表現された物理原則に対応付け、最後に、Fig.3-(3) に示す Effective Geometry で表現される実体の幾何情報を含んだ設計解を得た (Fig.3)。

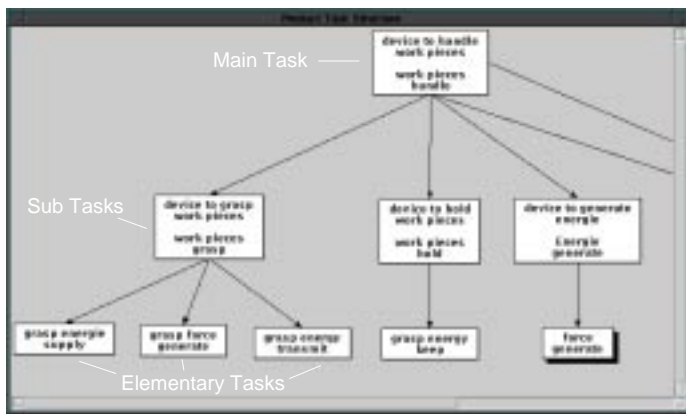


Fig. 2: Function decomposition in DIICAD-Entwurf

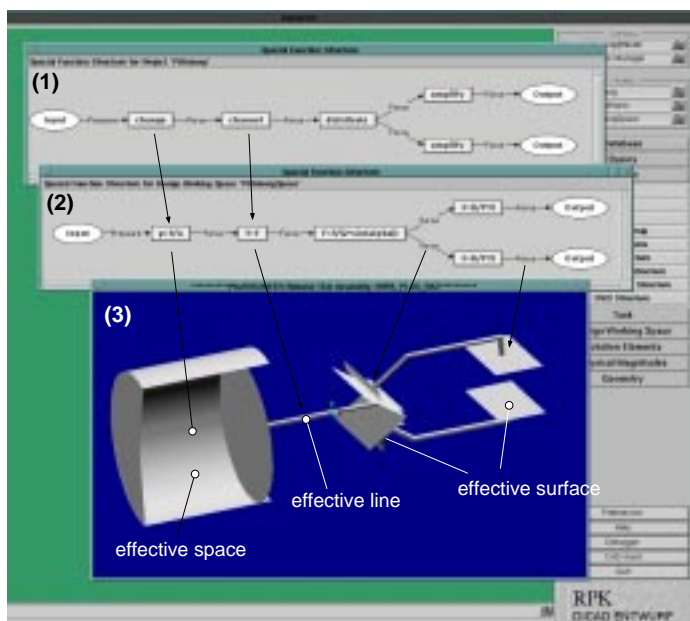


Fig. 3: Embodiment in DIICAD-Entwurf

### 3.3 2つのシステムの比較と考察

FBS モデラも DIICAD-Entwurf も共に、基本的にはドイツ流設計方法論 [4] に基づいた機能から物理原則を考えて実体へという設計の流れを踏まえたシステムである。そこで、[4] で用いられている要求機能、機能、物理原則、実体化という4つの設計段階の表現レベルを用いて2つのシステムにおける表現形式を整理する。Tab.3-(a) に示した通り、要求機能の表現については、2つのシステムにおいて共に動詞を中心とした機能表現が用いられている。これは、動詞を中心とした機能表現の記述の自由度の高さから来るものであると考えられる。これに対し、物理原則に対応づけるような具体的な機能の表現になると各々のシステムによって表現形式が異なる。

次に、各々のシステムにおける支援の可能性について、要求機能、機能、物理原則、Effective Geometry、幾何的情報の各段階について比較した結果を Tab.3-(b) に示す。入出力を中心とした機能表現では、入出力として考える属性のタイプや変換の種類を示す動詞の統制が可能であり、その結果として、機能知識の整理がうまくできるという利点がある。DIICAD-Entwurf ではこの機能表現の利点を利用するために、実現構造への対応関係を導く前の段階で

入出力関係を中心とした機能表現へと変換しており、機能分解の操作や、機能の実現構造の探索を効率よく行うことを可能にしている。これに対し、FBS モデラでは、動詞を中心とした機能表現による記述の自由度の高さのために、似たような機能に関する知識が存在していても、その機能の類似度ははかる尺度が存在しないために、これらの知識をうまく利用できないという問題がある。一方、入出力を中心とした機能表現は、その表現形式のために静的な機能を記述しにくいという問題点がある。例えば、動詞を中心とした機能表現を用いて「ものを固定する」と表現される機能を考えるときには、入力としての力に対してそれと同等の反力を出力すると言った形で表現され直観的に理解しにくい記述となる。また、知識の記述者が異なるためでもあるが、FBS モデラと DIICAD-Entwurf では機能分解の形式が異なっている。これは、DIICAD-Entwurf が出力としての「ワークピースを取扱う」という機能に加え、制約条件としての入力の種類を限定したことが機能分解の際に影響を与えたためと考えられる。

また、機能表現のアプローチ以外の方法からシステムについて考察すると次の2点が大きく異なる。FBS モデラは機能を挙動と対応づけてモデル化していることから、挙動シミュレーションの結果を用いて機能の評価を行う枠組があるが、DIICAD-Entwurf では、このような評価は設計者にまかされている。また、DIICAD-Entwurf では幾何形状の生成までを支援の対象としているが、FBS モデラ単体では幾何形状を扱う枠組がない。しかし、KIEF(Knowledge Intensive Engineering Framework) システム [7] を用いることにより、幾何形状を含む他の情報の利用が考慮されている。

これらの結果を踏まえると、この2つの機能モデリング手法の特徴は次のようにまとめられる。

- 入出力を中心とした機能モデリング  
機能に関する表現形式が統制できることにより、機能知識に関する整理がうまくでき、その結果として計算機による支援をうまく行うことができる。しかし、その記述の自由度が制限されているために表現能力に問題がある。
- 動詞を中心とした機能モデリング  
その記述の自由度の高さを生かして設計者の直観に沿った機能表現が可能である。しかし、この記述の自由度の高さは機能知識に関する整理を困難にしている。

この事は、これらの2つの機能モデリングは相補的な関係にあり、この2つのモデリング手法をうまく組み合わせることにより、各々のモデリング手法を単体で用いた場合よりも柔軟かつ機能知識もうまく整理された設計支援が可能であると考えられる。そこで、各々の利点を生かした形で機能設計を行うためには、Fig.4に示すようにユーザの要求を表現するような記述の自由度が必要となる段階では動詞を中心とした機能モデリングを行い、物理原則に対応づけるような具体的な段階では入出力を中心とした機能モデリングを利用する方法を提案する。ここで2つのモデリングシステムの統合という観点から再度考察すると、DIICAD-Entwurf は (1),(2),(3),(5) を FBS モデラは (2),(4) の支援を目指しており、その各々の利点を生かすような統合を行う必要がある。

### 4 結言

本研究では、設計における機能のモデル化で広く用いられている2つの機能モデリングの手法である入出力を中心とした機能表現と動詞を中心とした機能表現について、そのインプリメントである DIICAD-Entwurf と FBS モデラを例にとり比較を行い、その利点欠点について議論した。その結果、機能知識の整理に役立つ入出力を中心とした機能表現と設計者の直観的な理解に役立つ動詞を中心とした機能表現をうまく組み合わせることにより、より柔軟な機能モデリングが可能になる事を提案し、DIICAD-Entwurf と

Tab. 3: Comparison of the approach of FBS modeler and DIICAD-Entwurf

(a) Comparison of representation for design stage

Design Stage \ System	FBS modeler	DIICAD-Entwurf
Level1 Function requirements	Verb-noun approach	Verb-noun approach
Level2 Function	Verb-noun approach (Function prototype knowledge)	Verb-noun approach and input-output approach
Level3 Physical principle	Physical feature (Qualitative reasoning system)	Solution pattern (Mathematical equation)
Level4 Embodiment		Effective Geometry

(b) Comparison of computational support capability

	Problem Specification		Solution Finding		Presentation		Evaluation	
	FBS	DIICAD	FBS	DIICAD	FBS	DIICAD	FBS	DIICAD
Requirement	-	-	-	○	-	-	-	-
Function				○				○
Principle	-							○
Effective Geometry	-		-		-		-	○
Geometry							-	○

:Support, ○:Manual, :Support by using KIEF system, -:No modeling method

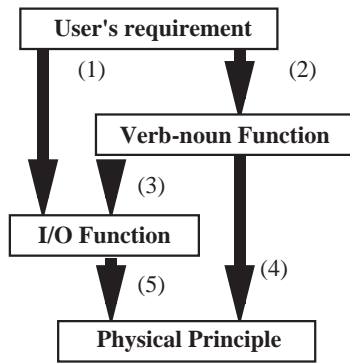


Fig. 4: Function Design Flow based on the combinational usage of the two function representation

FBS モデラを組み合わせたモデリング手法の統合化の方向性について述べた。

これからの課題としては、実際に DIICAD-Entwurf と FBS モデラを組み合わせるにより、この 2 つの機能モデリング手法の統合を試み、その有用性についての議論を進めていく必要がある。

謝辞

なお、本研究の一部は、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業「シンセシスのモデル論」プロジェクト (JSPS-RFTF 96P00701) の研究費によって実施された。

参考文献

[1] H. Grabowski and R.S Lossack. Knowledge based design of complex products by the concept of design working spaces. In S. Finger, M. Mäntylä, and T. Tomiyama, editors, *IFIP WG 5.2 Workshop Knowledge Intensive CAD-2 proceedings*, pp. 79–98, 1996.

[2] 梅田靖, 富山哲男, 吉川弘之. 機能設計支援のための FBS モデリングの提案. 精密工学会誌, Vol. 63, No. 6, pp. 795–800,

1997.

[3] Amaresh Chakrabarti and Lucienne Blessing. Special issue: Representing functionality in design. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing (AIEDAM)*, Vol. 10, No. 4, pp. 251–253, September 1996.

[4] G. Pahl and W. Beitz. *Engineering Design: Systematic Approach*. Springer-Verlag, Berlin, 1988. (設計工学研究グループ訳, 『工学設計 - 体系的アプローチ -』, 培風館, 1995年).

[5] M. Ishii and T. Tomiyama. A synthetic reasoning method based on a physical phenomenon knowledge base. In J. Sharpe, editor, *AI System Support for Conceptual Design, Proceedings of the 1995 Lancaster International Workshop on Engineering Design*, pp. 109–123, 1996.

[6] 桐山孝司, 富山哲男, 吉川弘之. 設計対象モデルの統合化のためのメタモデルの研究. 人工知能学会誌, Vol. 6, No. 3, pp. 426–434, 1991.

[7] 吉岡真治, 富山哲男. 知識集約型工学のための計算機フレームワークの研究. 第7回設計工学・システム部門講演論文集, pp. 105–108. 日本機械学会, 1997.