

## シンセシスにおけるモデル

— 溝口プロジェクトでの取り組み —

特集 プロジェクト研究

小野里 雅彦\*

## Models in Synthesis

— An Approach in Mizoguchi's Project —

Key Words : Synthesis, Object Modeling, State Modeling

## 1. はじめに

現在、私は(財)日本学術振興会の未来開拓研究推進事業「シンセシスの科学」プロジェクトの中の「人工知能による協調的シンセシスの方法論」に参加させていただいている。本学の産業科学研究所教授、溝口理一郎先生から、新しくスタートするこの溝口プロジェクトへの参加のお誘いを受けたのは、ちょうど私の所属する講座の岩田一明教授の退官が間近に迫っていた時期であった。岩田先生が退官された後の研究費をどう工面しようか、と思案していた最中だったので、溝口先生からの申し入れは大変に有り難く、また、嬉しかった。それとともに、これまで長い間、保留していた問題に、いよいよ本腰を入れて取り組む時が訪れたのかな、との思いを抱いた。

現在、私は電子制御機械工学専攻の設計生産工学講座生産システム学領域という研究室に所属しており、その主な研究対象はコンピュータによる生産システムの高度化である。この研究分野に取り組んでほぼ十年になるが、それ以前にはしばらく設計の研究に関わっていた。東京大学の吉川弘之教授(現：放送大学学長)の指導でロボット研究で修士を終え、

吉川研究室の助手となったときに、「一般設計学 (General Design Theory)」の研究を始めた。一般設計学とは、様々な領域での設計に対して、横断的に成り立つ設計の公理的な体系を構築することを目指して、1970年代の後半に吉川先生が提唱されたものである<sup>1,2)</sup>。一般設計学が提示する理論の有効性を実証する手段として考えられたのが、高度な設計支援システムを構築することであり、そのための構築手法の確立が私の研究テーマとなった。

折りしも世間では知識工学ブームであり、設計の分野でも設計エキスパート・システムやインテリジェントCADが学会等で広く関心を集めていた<sup>3,4)</sup>。IF-THENのプロダクションルールや、ミンスキーのフレーム理論に基づいた表現手法を用いて、設計のプロセスや対象を記述することが盛んに試みられた。こうした流れの中で、私自身は一般設計学という数学的構造、知識工学で基礎となる論理的構造、そして機械設計の中核をなす対象世界の幾何学的構造という、三つの異なる構造のギャップを、何とか埋めようと悪戦苦闘していた。しかしながら、これといった研究成果をあげることもできず、二年半の後、神戸大学におられた岩田先生の元へと異動することになった。異動して間もなく人工知能の設計への応用のブームも、潮が引くように去っていったが、それは私の中ではやり残した研究として常に頭の片隅にあった。

当時の研究手法を振り返ってみると、設計の対象世界の“豊かな”モデルの不在が、研究と実用で十分な成果が得られなかった原因だと考えられた。人工知能側は概念的な記号の世界に閉じてしまい、設計側は幾何による表現に固執した。今一度、設計過程の数学的体系、知識の論理体系、そして対象世界



\*Masahiko ONOSATO  
1960年4月13日生  
1985年3月東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻(修士課程)修了  
現在、大阪大学大学院・工学研究科電子制御機械工学専攻、助教授、博士(工学)、生産システム学  
TEL 06-6879-7340  
FAX 06-6879-7247  
E-Mail onosato@mech.eng.osaka-u.ac.jp

の物理的体系の三つの体系を相互に結ぶモデルの  
世界が作れるのではないかと、そう考えるようになった  
とき、幸いにも今回のプロジェクトに参加する機会  
を得ることができた。

## 2. シンセシスにおけるモデル

モデルという言葉は、様々な分野において広く使  
われている一般的でかつ重要な用語であるが、その  
言葉からイメージされる意味内容は、分野によりか  
なり異なっている<sup>5)</sup>。ここでは、まず本プロジェクト  
で対象としている、物理的な実体としての製品の、  
シンセシスにおけるモデルを考え、アナリシスとの  
違いを比較してみることにする。

アナリシスにおけるモデルは、通常、以下のプロ  
セスで作成され、利用される(図1(a)参照)。

- 1) 対象世界に存在する個物や現象を観察し、(対  
象観察)
- 2) 特定の観点からの情報のみを抽出し、(情報抽  
出)
- 3) 得られた情報と、それらに成立する関係や  
構造を仮定することでモデルとし、(モデル化)
- 4) 作成されたモデルを用いて、対象の性質、挙動  
などの新しい情報を導出し、(解析)
- 5) モデルから得られた情報を用いて対象世界を推  
定したり予測したりする。(情報適用)

ここでのモデルは既存の対象世界を近似するもの  
であり、来るべき(あるいは過ぎ去った)対象世界を予  
測するものである。そうした意味においてアナリシ  
スのモデルは現実存在する対象世界により規定さ  
れている。

では、製品のシンセシスのモデルの方はどのよ  
うなプロセスを経るのであろうか。大きな流れとし  
ては、

- 1) 対象世界に存在してほしい機能を考え、(機能  
要求定義)
- 2) それを満足する製品の物理的な存在形態を規定  
し、(モデル定義)
- 3) モデルとして与えられた内容の情報を、物理的  
な実体として実現し、(実体化)
- 4) 実体化された製品が、機能要求を満足してい  
るかどうかを検証する。(機能要求検証)

となろう(図1(b)参照)。このときのモデルは、現  
実世界の存在する対象がどうあるべきかという、現  
実が従うべき規範を与えていることになる。

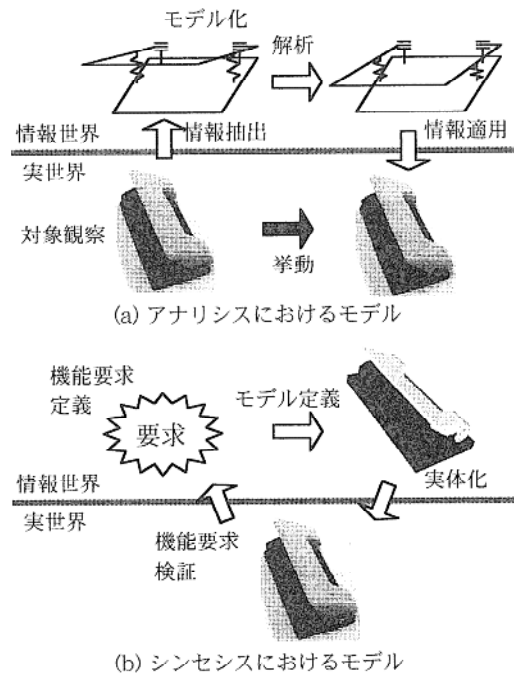


図1 アナリシスとシンセシスにおけるモデルの考え方

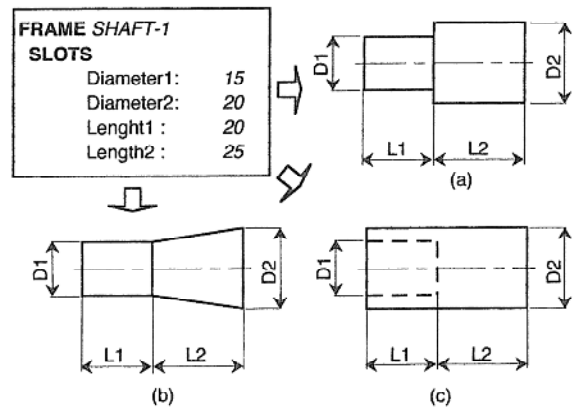


図2 属性による対象表現のもつあいまいさ

シンセシスにおけるモデルがアナリシスと大きく  
異なる点は、製品のモデルに対して、現実世界にお  
いて製品が物理的に矛盾無く存在しうる、という存  
在可能性(feasibility)と、それを実際に現実世界に  
存在させる手順を構成できる、という製造可能性  
(manufacturability)を保証することにある。アナ  
リシスにおけるモデルでは、既に存在しているもの  
を対象にすることで、存在可能性や製造可能性を意  
識する必要がない。

この違いを別の観点からみてみよう。アナリシス  
のモデルでは、実際の存在物をリファレンスとして  
持つことができるが、シンセシスでは現実世界にリ

ファレンスがあるとは限らない。図2に示す設計対象物のフレーム表現の簡単な例に考えてみよう。これは設計エキスパート・システムでよく用いられた表現手法である。ここで設計対象は4つの属性により表現されている。設計者が図2(a)に示す段付きシャフトを考えているとすると、フレーム表現のそれぞれの属性のもつ物理的な意味が図2(a)の上で解釈できる。ところが、フレーム表現自身は、図2(b)のテーパ付きシャフトや、図2(c)の穴付きシャフトを記述しているとも考えることもできる。さらには属性名を意味の無い単なる区別のラベルと考えると、4つの属性を持つあらゆる対象物がこのフレーム表現に当てはまる。フレーム表現が一意に解釈できるとすると、その背後に図2(a)で与えられる構造をリファレンスとして仮定しているからに外ならない。

シンセシスとは未だ現実に存在しないものを、新たに生み出す行為である。よって、そこで定義されるモデルは、その解釈を与えるリファレンスが設計前には存在しないと考えるべきである。かつての設計エキスパート・システムは、既存の設計のパラメータを修正するレベルにとどまったのも、予めリファレンスが存在することを前提にする方法論に頼ったためである。シンセシスに求められるモデルは、外部の解釈に依存することなく、対象物の存在可能性を検証し、それを実体化する方法(具体的には加工や組立方法)を生成できる情報と仕組みをもった、“豊かな”モデルである。

### 3. 状態モデリングによるアプローチ

それでは、シンセシスに必要な対象世界の“豊かな”モデルとは、いったいどのようなものであるのか。当研究グループでは以下の4つの性質を持ったものを考えている。

- 1) 3次元の空間と時間の明示的な取り扱いができること。(時空間性)
- 2) 物質、運動、力、電磁気、熱、光など、物理世界の多様な内容を総合的に表現できること。(多相性)
- 3) 表現される要素の間に、形式的な演算操作を行うことができること。(演算可能性)
- 4) 設計の全過程に対応できるように、不確定から確定までの属性や関係の内容を、制約として整合的かつ連続的な取り扱いができること。(制

約記述性)

これらの性質をすべて兼ね備えたモデルの世界を実現することは、方法論が確立していない現状では、決して容易なことではない。ただ、こうした考え方を部分的にでも実現しようと、本研究グループでは状態モデリングというアプローチを提案し、研究開発を行っている<sup>9)</sup>。

状態モデリングとは、対象表現のスキーマを、従来のCADシステムなどで用いられてきた静的な部品中心から、動的な状態中心へと変えるもので、以下にあげる特徴を持つ。

- 1) 物理的対象世界を記述の対象としており、すべては時空間の中の任意の点のもつ性質へと還元して考える。
- 2) 同一の時空強度を有する時空間の領域を状態素と呼び、モデルの基本単位とする。状態素は〈空間領域, 時間区間, 時空強度値〉の3つ組で表現される。
- 3) 部品などの実体は、そこに含まれる状態素の集合として外延的に表現される。
- 4) 物理的な属性は、時空強度と空間領域および時間区間から演算可能な形で構成される。
- 5) 時空間は物質相、力学相、電気相、磁気相、熱相、光学相、音相の7つの相を有しており、各相ごとに状態素の管理を行う。
- 6) 同一の相内および異なる相間の物理的な関係を、物理法則(制約)に従って整合性の維持および推論を行う。
- 7) 空間、時間、時空強度値に関する属性および関係に対して、不確定な表現を許す。

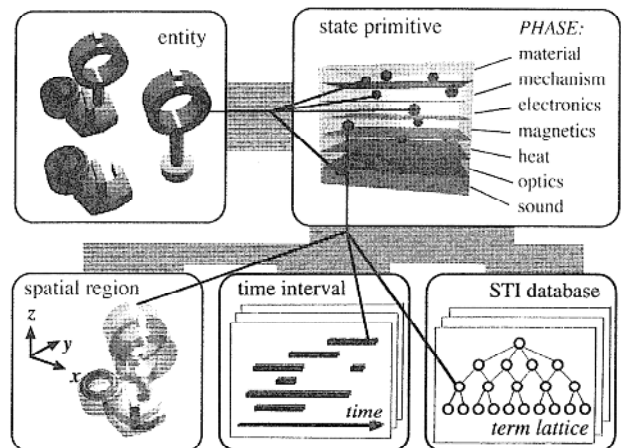


図3 状態モデリングの概念図

図3に状態モデリングの概念図を示す。現在、状態モデリングの概念に基づいたモデリング・システムの実装を行っている。これは、溝口プロジェクトにおいて、設計エージェントが協調的に設計を進める際の、共通のワークスペースとしての機能を提供するものである。

#### 4. 協調シンセシス用ヒューマン・インタフェースの開発

溝口プロジェクトにおいて、本研究室ではもう一つの役割を担っている。それは、人工的なエージェントによる協調的シンセシスの中に、人間の設計者や技術者などを自然に取り込む仕組みを実現することである。そのためには、デジタル情報からなるモデルの世界を、人間が直観的に理解し、操作可能なものへと橋渡しする、ヒューマン・インタフェースが必要となる。現在、次にあげる3つの異なる用途のヒューマン・インタフェースの開発を進めている。

- 1) 4次元ディスプレイ：状態モデリングで作られる時空間の情報を、デザインレビューなどの場で複数の人間に対して提示するもの。70インチのステレオ立体視用のプロジェクタと3次元マウス、立体音場提示装置などから構成される。(図4参照)
- 2) バーチャル・デザイン・ワークベンチ：一人用のヒューマン・インタフェースで、設計されている製品を高いリアリティをもって視覚的、力覚的に提示し、設計者からのフィードバックを直接的な空間内操作により実現するもの。メガネなしステレオ立体視液晶ディスプレイと力覚提示装置などから構成される。(図5参照)
- 3) デジタル・ファクトリー・コミュニケーター：モデル世界の情報を現実世界に投影する拡張現実感技術を用いたインタフェースで、設計のデータや用いられた知識を、工場や利用場所などのフィールドで利用可能にするもの。情景と情報提示画面を重ねて見ることのできるシースルー型のHMD(Head Mounted Display)、CCDカメラ、携帯型コンピュータ、無線LAN、音声認識装置などから構成される。

これらのインタフェースを介して、設計者や技術者などの人間が、豊かなモデル世界の中で、製品のモデルを自由に見て回ったり、人工的なエージェン



図4 4次元ディスプレイ

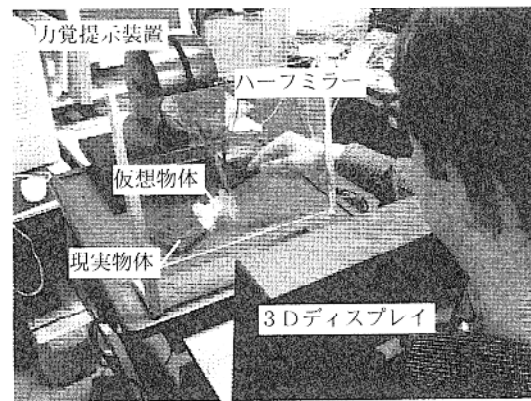


図5 バーチャル・デザイン・ワークベンチ

トと協調して作り上げたりできる環境を実現したいと考えている。

#### 5. おわりに

未来開拓研究推進事業でのプロジェクト「人工知能による協調的シンセシスの方法論」において、当研究グループは、私と寺本孝司助手により進められている。本稿では研究の背景と目的、これまでの取り組みについて説明してきた。現在、プロジェクトが始まって約一年半が経過したところであり、中間的な成果物を出すべく努力をしている。

今回の研究テーマには、大きな予算を付けていただき、また共同研究者としては、溝口理一郎教授をはじめとして、知識工学、設計工学などの分野の強力なメンバーが参加されていることから、私自身としても、なんとか実りのある研究成果を出したいと思っている。

最後に、本稿を読まれた皆様から、本研究に対す

るご意見, ご助言, ご批判などを頂けたら幸いです。

参 考 文 献

- 1) 吉川弘之：“一般設計学序説 — 一般設計学のための公理的方法 —”，精密機械, Vol.45, No.8, 906-912 (1979)
- 2) H. Yoshikawa：“General Design Theory and a CAD System”，Man-Machine Communication in CAD/CAM, North-Holland, 35-53 (1981)
- 3) 吉川弘之・富山哲男編著：“インテリジェントCAD(上) — 理念とパラダイム —”，朝倉書店 (1990)
- 4) 吉川弘之・富山哲男編著：“インテリジェントCAD(下) — テクノロジと展望 —”，朝倉書店 (1990)
- 5) 木村英紀：“モデルとは何か”，数理科学, Vol.423, 5-10 (1998)
- 6) 小野里雅彦, 岩田一明：“設計対象の物理的記述のためのモデリングフレームワーク”，精密工学会誌, Vol.63, No.10, 1395-1399 (1977)