

## 解説



# オブジェクト指向による CAD/CAM のためのモデリングとデータベース†

木村 文彦††

## 1. はじめに

設計生産の自動化を目指す CAD/CAM (Computer Aided Design and Manufacturing) 技術は、近年著しく進展し、実用的な技術として企業の現場に定着しつつある。技術の発展の内容をみると、個別の設計製造技術の進歩もさることながら、それを計算機化する情報処理技術の進歩に支えられている面が大きいことが分かる。そのような技術の一つとして、本稿では、オブジェクト指向の考え方や言語が、CAD/CAM におけるモデリングやデータベースの構築法に及ぼした影響を論ずる。

CAD/CAM の研究開発の歴史は古く、膨大な量のソフトウェアが実用に供されてきた。しかし、設計生産作業を、その初期の製品企画段階から最後の製品出荷をへて、保守作業に至るまで、一貫して情報化し、合理化しようという統合 CAD/CAM あるいは CIM (Computer Integrated Manufacturing) が議論されるようになったのは比較的新しく、その基礎技術はいまだに確立したとは言えない<sup>1), 2)</sup>。

なかでも重要な基礎技術は、設計生産の対象となる製品をいかに記述するか、設計生産の過程をいかに扱うか、これらの基礎となる種々の技術知識をいかに表現し、設計生産活動に役立てるか、などである。これらの問題に対して着実な努力が続けられてきたが、従前の情報処理技術を補完する技術として、最近では人工知能や知識工学などの技術の適用が盛んに試みられるようになってきた。オブジェクト指向の方法も、同様の理由で注目されてきたものであるが、前者と関連をもちつつ、独自の視点を提供するものとして、評価されている。

本稿では、オブジェクト指向言語による CAD/CAM システムの実現を論ずるというよりは、より広くオブジェクト指向の考え方あるいはパラダイムが、上記の問題の解決にいかに関与しているか、を論じてみたい。CAD/CAM の対象となる製品は多岐にわたり、製品によりその手法がかなり異なっているのが技術の現状である。筆者の専門のせいもあり、ここでは機械製品を主な対象として考えることにする。

## 2. CAD/CAM におけるモデリングとデータベース

### 2.1 モデリングとデータベースに対する要求

設計や生産準備の過程は、対象製品の機能に対する要求条件や仕様を与えられて、それらを満たす製品の構造を確定し、それを製造するために必要となる生産プロセスに対する制御情報や管理情報を生成する過程である。情報処理的に言えば、対象製品を記述するモデルを生成、処理、伝達、蓄積していくモデリングとデータベースの問題と考えられる。

設計生産作業が計算機化される以前は、人間がこれらの情報処理の主体であり、「図面」を媒体として、作業を進めていた。作業に応じて多種多様な図面が描かれ、人間はそこから必要な情報を必要な形式で読み取って、次の作業のための図面を作成していった。

設計生産作業の全体を、あるいはその一部でも計算機化していくためには、従来の図面に代わるような記述の「枠組」として、モデリングやデータベースが必要になる。設計作業においては、すでに出来上がった製品を計算機のためにモデル化するのではなく、最終製品のモデルをだんだんと作り上げていくことが本質的なのである。最初は曖昧で不完全な要求条件が与えられ、最終的には整合性のとれた詳細な製品定義情報が生成される。

上述のような CAD/CAM のためのモデリングとデータベースにとって重要なことは、統合性と多様性

† CAD/CAM Modelling and Database based on Object Oriented Approach by Fumihiko KIMURA (Department of Precision Machinery Engineering, Faculty of Engineering, University of Tokyo).

†† 東京大学工学部精密機械工学科

である。

統合性とは、種々の設計生産作業の間で、必要な情報を、内容を損なうことなく、表現し、伝達することである。たとえば、設計者がもともと抱いていた製品に対する設計意図を生産準備段階へ正確に伝えていくとか、製造法より派生する製品構造の不都合な点を設計段階へフィードバックすること、などがある。従来は、作業ごとの自動化システムが個別に開発され、情報がうまく受渡しできないために、全体としての自動化が効率良く達成できなかった。

多様性とは、同じ対象製品のモデルが種々の異なった側面で扱われることで、たとえば次のような側面を考えることができる<sup>3)</sup>。

- ・詳細化：たとえば、構造解析と機械加工では、明らかに異なった精度のモデルを必要とする。また、製品全体構造と構成部品では、記述の詳細度が異なる。

- ・多視点：たとえば、機構の力学的特性を調べるには集中質量系のモデルが適切であるし、精密に機構の衝突をチェックするには形状の忠実な立体モデルが必要となる。また、概念設計と詳細設計では、構造的に異なったモデルを必要とする。

- ・階層化：穴を考える場合に、作業に応じて、穴全体を対象としたり、その底面や側面を個別に扱ったりする。

- ・系列化：内容や構造が非常に類似していて、互いに関連しているモデルが系統的に構成されることがある。ある親機種からいくつかのファミリー機種を設計する場合などである。

上記のようなモデリングとデータベースに対する多様な要求に対応する方法を考えていく。モデリングでは、モデル化されるものの意味やその表現形式、モデルの生成処理方式などが問題となる。これらを、おのおのモデルの対象記述、およびモデリングの過程と呼ぶことにする。データベースでは、大量のモデルデータの蓄積、管理が問題となる。これらの問題は互いに関連しているが、本稿ではモデリングの問題を主に考える。以下では簡単のために、モデリングとデータベースを合わせてモデリングと略称することにする。

## 2.2 問題点とその解決の方策

設計生産作業は、試行錯誤の過程であり、上記のようなモデルは、生成され、更新を繰り返されて、その処理の間には、互いに不整合なデータも扱う必要がある。しかし、最終的には、物理的に製造しうる製品のモデルとなるべく、意味的に整合のとれたものになっ

ていなければならない。

このような問題は、CAD/CAM データベースの問題として、多くの検討がなされてきたが、伝統的なデータベース理論では扱いにくい問題として認識されていた<sup>4)</sup>。代表的な問題点は次のようである。

- ・新しいモデルの生成（モデルの動的取り扱い）
- ・不定型データの扱い
- ・モデル間の整合性
- ・モデルの表現能力（複雑な関係）

従来の有向グラフ的データ構造を基礎とするデータモデルは、その構造の意味付けを手続的にしか記述できず、モデルが複雑になると、その表現や管理が困難となった。拡張の仕方が ad hoc になり、全体が整合的にみえなくなる、ということである。関係モデルを拡張して、上記の要求を満たそうという研究も多くみられたが、複雑なモデルを自然に書ける、という意味においては成功したとは言えない。

この問題の解決のために多くの試みがなされてきたが、情報処理の立場からは、知識情報処理技術の導入が最近注目されている。知識表現言語により設計知識や対象物のモデルを記述し、処理しよう、というわけである。オブジェクト指向も、この観点からの一つのパラダイムとして有効であると考えられている。

具体的にモデリングの問題を考えるためには、前節に触れたように、モデルの対象記述とモデリングの過程に分けるのが便利である。たとえば、モータの詳細な記述とそれらを生成する各種の計算手続きなどである。この両者の情報をいかに統合的、整合的に扱えるか、ということが前述の問題解決のために重要である。設計生産自動化の問題においては、対象製品により、また作業の進め方により、どちらかの側面に重点が置かれてきた。機械製品の場合には一般的には対象記述に重点があるが、定型化されたパラメトリック設計では、ほとんど設計手続きだけしか用いない場合もある、というぐあいである。

モデルの対象記述とモデリング過程の問題は、知識表現における宣言的表現と手続的表現の問題に似たところがある。その長短を論ずることは必要であるが、表現したい情報の性質や用い方により、適切な表現形式が採れるようになっていくことが重要である。従来の表現形式はこの点において、十分な柔軟性をもっていなかった。

現在知られている知識表現形式のどれを探っても、それだけでは十分ではないであろう。それらを組み合

わせて用いるマルチパラダイムの考え方が当面有効であろうと思われる。オブジェクト指向方式は、対象も過程もオブジェクトとして記述するというふうにみることができる。そのようにすることにより、前述の問題点に対処することができ、一つの有効な表現形式を提供するものであると考えられる。

次章でもう少し詳細に論ずるが、オブジェクト指向方式は、対象やその処理手続きが、定型化、体系化されているときに有効である。一般にはそれだけでは十分ではなく、他の方式と組み合わせる必要がある。たとえば、一つの有効な考え方として、オブジェクト指向方式による対象の属性の表現をもとに、述語論理を用いて対象の関係を記述していく方法がある<sup>6)</sup>。

オブジェクト指向方式には、もちろんモデル表現以外に、プログラミング方法などについての重要な側面があり、CAD/CAM システム開発に有効と考えられるが、これについても次章で触れる。

### 3. オブジェクト指向方式によるモデリング

オブジェクト指向方式といっても、いろいろ特徴があるが、議論を分かりやすくするため、次の三つに分けて考えてみよう。

- ・モデルの階層的表現
- ・情報隠蔽によるモデルの抽象化
- ・インクレメンタルプログラミングによるプロトタイピング

これらは、互いに関連しあっているが、前章に述べた CAD/CAM のモデリングに関する問題点を念頭において、特徴的な事柄をまとめてみる。

#### 3.1 モデルの階層的表現

オブジェクト指向方式によれば、スーパークラスとサブクラス、インスタンスなどの概念により、対象製品やそれに関連する情報を階層的にモデル化できる。クラスに関する性質（属性）の継承を利用すれば、定型化、体系化された情報を効率良く表現することができる。

機械設計では、標準化された部品をカタログ的に整理しておいて、それらを組み合わせて設計を進める標準化された設計も多い。たとえば、軸受には、すべり軸受やころがり軸受があり、ころがり軸受には、玉軸受やころ軸受がある、といったぐあいである。これらがオブジェクトとして体系的に表現されていれば、適当なメッセージをやりとりしながら、条件にあう部品のインスタンスを作り出し、必要な設計を進めていく

ことができる。

同様の概念は、形状モデルの階層的表現にも有効である<sup>7)</sup>。たとえば、複雑な軸部品のある面とある面とが同じ基礎形状からできていたとすれば、それらは同じ基本的性質を継承しており、種々の技術作業にその情報が有効に用いられる。

設計対象物の表現だけでなく、定型的な設計手順も同様の方式で書き下すことができる。この場合には、オブジェクトは、あるまとまった設計手順となり、それらの手続きがデータ駆動的に呼び出されることにより、設計作業が進行していく。この方式によれば、設計手順がある程度トップダウン的に整理されていれば、自然に、かつ柔軟にインプレメントできるので有用である。文献に表れたものは少ないようであるが<sup>8)</sup>、実際には多くの所で似たような研究開発が進んでいるのではないかと推察される。もちろん、他の方式に拠っても実現することはできるが、定型化されたものについては、オブジェクトという概念で、その対象表現や処理過程が統一的に表現できるので、オブジェクト指向の考え方が最も自然である、ということであろう。

#### 3.2 情報隠蔽によるモデルの抽象化

オブジェクトとメソッドによるデータ構造の抽象化は、プログラミングにおけるモジュラリティを高めるのに有効である。CAD/CAM システムにおいては、表現対象が複雑であるため、どのような方式を採用にせよデータの構造は複雑になる。また、最初からすべてのことを考慮して、完全な構造を作っておくことはとてもできないので、構造の追加、変更が随時必要である。

形状モデリングなどで、典型的な例をみることができる。たとえば、立体形状の稜線や頂点のデータやそれらの関連情報の表現形式は、モデリングの都合上さまざまな形式になりうるが、応用から形状データを利用するときには、そのような形式の違いは重要でないことが多い。しかし、通常のデータ構造を用いているかぎり、応用プログラムはデータ形式の変更の影響を常に受け、全体のモジュラリティがきわめて悪くなる。このようなことを克服するために、必要な形状モデルの要素をオブジェクトの形で取り込み、応用プログラムとのモジュラリティを良くした試みがある<sup>9)</sup>。

また、情報隠蔽を積極的に利用して、データの整合性の制御を行わせる考え方もある。

### 3.3 インクレメンタルプログラミングによる プロトタイピング

ソフトウェア開発において、オブジェクト指向方式によるプロトタイピングは、一般にきわめて有効であるが、CAD/CAM システム開発においては、一層その効果が大いと思われる。これは、今までモデル表現能力の観点から考えてきたオブジェクト指向の特徴を補完するものである。

CAD/CAM システムの開発においては、最初に完全なシステム仕様を固めて、それに従って開発を進めるということは、よほど定型な場合を除いてほとんど考えられない。まず、本質的に重要と思われる部分を実現し、実際の使用による検討を踏まえて、仕様がだんだん、詳細化、正確化される。これにともない、内部のデータモデルや処理手続きも大きな変更を受け、それらの整合性を保ちながらシステムを開発していくのは大変面倒な作業となる。

上記のような問題点について、オブジェクト指向方式のプログラミング環境が有効である、と言われているが<sup>5)</sup>、真に実用的な評価はされておらず、今後の検討が必要である。

## 4. オブジェクト指向による実現例

実質的にオブジェクト指向の概念に基づき、またオブジェクト指向言語を用いて実現された CAD/CAM

のためのモデリングシステムは多いと思われるが、文献に明記されているものは少ない。以下に一例を紹介するが、他にも良い例は多いであろう。

### 4.1 PRIDE<sup>6)</sup>

PRIDE は、対象領域を明確に定め、定型化された設計手順を実装しようとしているものである。対象としては、複写機などのピンチローラによる紙送り系の設計を採り上げているが、同種の対象に広く適用できる方法であろう。設計を行うプランとして、部分問題への分解、部分問題の解決、要求仕様に反する失敗の検出と他の解候補の生成など、いわゆる generate-test-analyze-modify というパラダイムを採用している。実現には LOOPS を用いている。

まず、設計知識を書くために、図-1 に示すような多くのクラスを用意している。個別の設計に従って設計プランがトリート構造状に書かれ、このトリートに従ってゴールが分解され、他のゴールを呼び出す形で、設計が進行する。設計が進行する様子が 図-2 に示してある。これらのゴールは、すべて 図-1 に示したクラスのオブジェクトとして書かれる。

図-3 には、一例として、“Decide Number and Location of Roll Stations” という設計オブジェクトを示してある。このゴールは、4つのサブゴールに分解され、それぞれのサブゴールは他の設計オブジェクトによって満たされる。anteGoals はスーパーゴールを

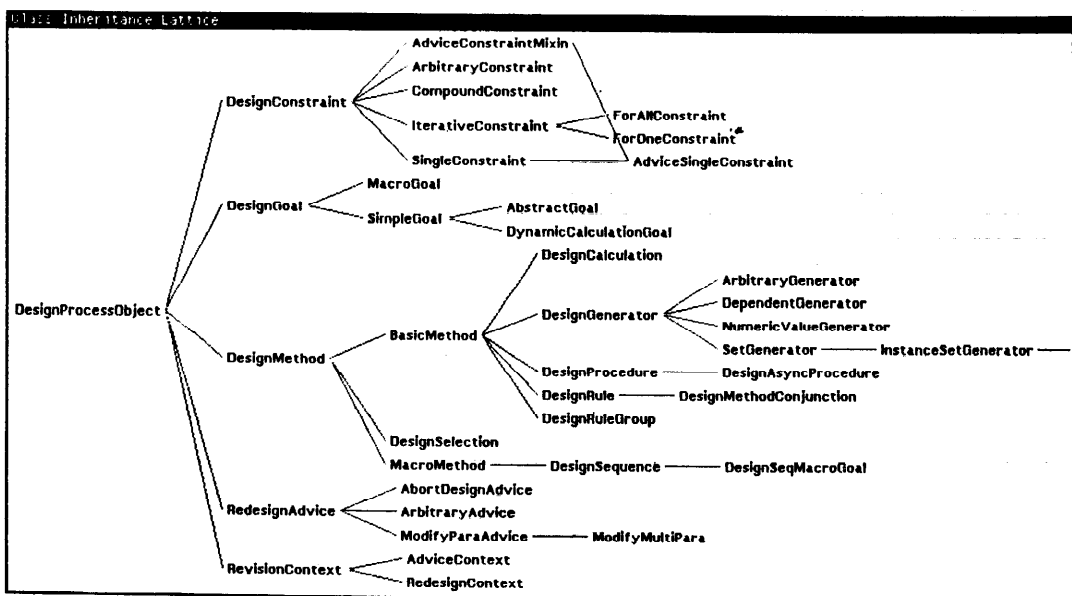


図-1 設計知識を記述するためのクラス

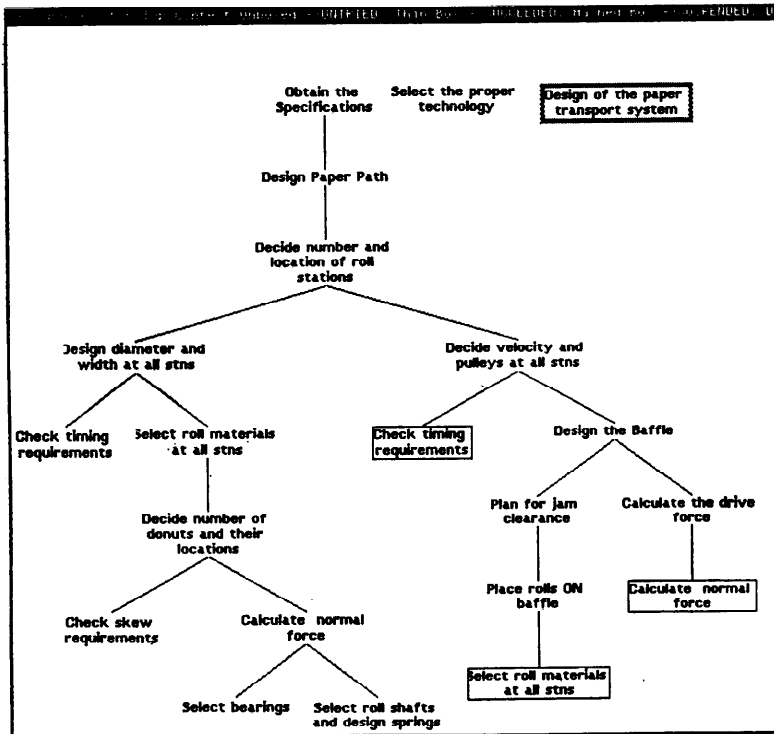


図-2 部分問題への分解による設計プラン

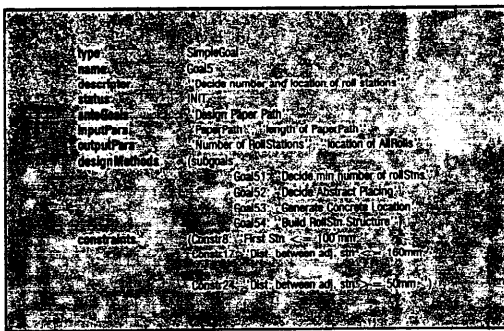


図-3 設計オブジェクトの一例

指し, inputPara はこのゴールの実行前に決まっていなければいけない設計パラメータ, outPara はこのゴールの実行により決定されるパラメータである. また, constraints は決定されたパラメータが満たすべき条件式である.

全体として, 設計のゴールを部分ゴールに分解し, パラメータの決定がデータフロー的に設計を駆動していくようになっている.

#### 4.2 COMET/LM<sup>6)</sup>

COMET/LM は, 複雑な設計対象の記述を目指す

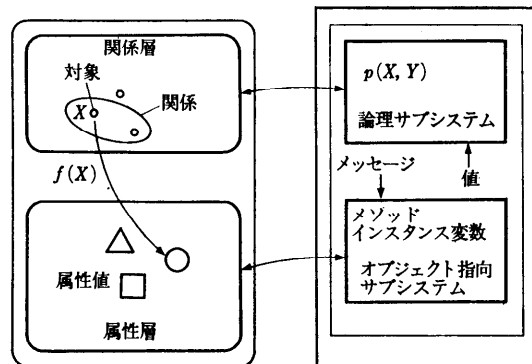


図-4 対象記述の枠組

て考案されたモデル記述の枠組である. オブジェクト指向方式による対象の属性の表現をもとに, 述語論理を用いて対象の関係を記述していく論理型データベースの方式により, 従来のモデル記述法の不十分な点を乗り越えようとしたものである.

図-4 にその基本構成を示す. 本方式では, 対象, その属性, それらの間の関係などを明確に意味付けし, 形式的操作が行えるようにした. すなわち, 対象は定数項, 関係は述語, 属性は関数として扱われる. 対象

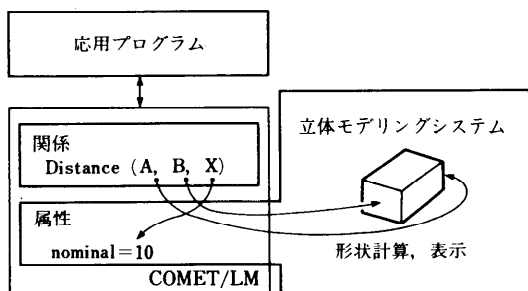


図-5 形状モデルを含む対象記述

の関係付けを述語論理として設定することにより、種類の視点で、関係付けられた対象を捉え直すことができる。また、属性を、対象からデータへの関数としてオブジェクト指向的に捉えることにより、単なるデータ値の属性と、手続きを必要とする属性とを同等に扱える。

この記述形式を、形状モデルをふくむ対象記述に適用した例を図-5 に示す。個々の形状モデルのデータは、オブジェクト指向的に表された属性として操作でき、一般的な幾何学的拘束関係は述語論理部で扱われる。このような枠組により、機械製品の寸法公差、組み立て拘束、形状特徴などのモデルを扱うことができた。

この他にも多くの例があるようであるが、オブジェクト指向言語を用いながらオブジェクト指向的でなかったり、オブジェクト指向的考え方立ちながら、具体的な実現では明確でないものなど、いろいろあり、状況は複雑である。CAD/CAM のためのモデリングは複雑であり、オブジェクト指向だけではまかないきれず、マルチパラダイムになってしまうということであろう。

## 5. おわりに

CAD/CAM のためのモデリングやデータベースの構築におけるオブジェクト指向方式の影響を概観して

きた。おそらく、具体的なプログラミング方法論や実装の技法としての影響はあまり大きくなく（明確でなく）、むしろ対象や過程をどのように捉えるか、という点での影響が大きかったように思われる。その点で、本稿でも、計算機内の表現と処理の話が主体となったが、今後は、マンマシンインタフェースを主体とするプログラミングや実行の環境における意義をもっと追及する必要があるであろう。

## 参 考 文 献

- 1) 木村文彦：CAD/CAM システム構築のための基礎技術，情報処理，Vol. 24，No. 1，pp. 17-25 (1983)。
- 2) 木村文彦：FA における情報処理技術の役割，情報処理，Vol. 25，No. 4，pp. 283-295 (1984)。
- 3) 鈴木宏正：東京大学工学部博士論文 (1986)。
- 4) 柳生孝昭：CAD のための data metamodel，日本ユニバック技報，No. 6 (1984)。
- 5) Tomiyama, T. and ten Hagen, P. J. W.: Organization of Design Knowledge in an Intelligent CAD Environment, pp. 119-152, Expert Systems in Computer Aided Design, North Holland, Amsterdam (1987)。
- 6) Sata, T., Kimura, F., Suzuki, H. and Fujita, T.: Designing Machine Assembly Structure Using Geometric Constraints in Product Modelling, Annals of CIRP, Vol. 34, No. 1, pp. 169-172 (1985)。
- 7) Kojima, T., Imamura, S., Inoue, K., Sekiguchi, H., Hattori, M. and Ito, S.: Use of Object Oriented Concept on Product Modeling System, Proc. ICPE, pp. 801-806 (1987)。
- 8) Mittal, S., Dym, C. L. and Marjaria, M.: An Expert System for the Design of Paper Handling Systems, IEEE Computer, Vol. 19, No. 7, pp. 102-114 (1986)。

(昭和 63 年 2 月 25 日受付)