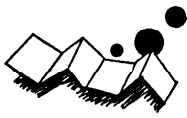


解説



形状設計におけるコンピュータ・グラフィックス†

津田 順 司**

1. はじめに

設計に計算機を使って設計者の行う作業を援助し能力化する CAD システムは、今日、完全に実用期に入ったと言われている。しかし、よく調べて見ると、CAD システムが実際に使われ効果を挙げているのは、特定の分野の特定の対象に適用されたものに限られており、広範囲の普及には至っていないのが現状である。本稿でとりあげる 3 次元形状の設計の分野も、実用化の遅れている分野の一つで、現在、盛んに研究開発が進められている段階にある。

さて、機械製品をはじめとして工業製品のほとんどは 3 次元形状物体であるから、これらの製品を設計するに当っては、個々の部品や製品全体の形状を具体的に定める必要があり、形状は必須の設計項目の一つであると言うことができる。形状設計の作業は、簡単に要約すると、設計目的に由来する諸要求を満足するような設計対象物の形状イメージを明らかにし、これを具体的な幾何モデルの形に定着させて行く作業であると言うことができる。ここで、設計結果の幾何モデルは、設計者の頭の中に作られた 3 次元形状のイメージであり、物理的な実体のないものであるから、実際の設計では、これを目で見える形に表現することが必要であり、別に各種の表現媒体によってこれを表現するための作業が行われる。言うまでもなく、この目的で最も広く使われているものは図面であり、場合によっては、模型が使われることもある。また、図面や模型で不足している情報を補う目的で、設計文書が作られることも多い。以上の説明から明らかなように、形状設計における主要な実作業は、図面や模型、設計文書の作成作業であるということができる。

以上のような事情と技術的な困難さの理由とから、これまでの 3 次元形状設計の CAD 化のアプローチでは、図面作成や模型作成、文書作成など現行行われている実作業を個別に機械化することが考えられてきた。しかし、このような個別システムのアプローチでは、設計データを一元管理するようなトータルな CAD システムを実現することは困難であり、将来の発展を望むことが難しいという問題点が指摘されていた。

これに対して、最近、まったく新しい発想に基づくアプローチが考えられており、今後の 3 次元 CAD システムの主流になり得る可能性を持つものとして注目されている。この新しいシステムは、計算機の内部に設計対象物の幾何モデルを構築し操作できるようにすることによって、設計者がグラフィック端末に向かって計算機と対話しながら 3 次元形状の設計を進めることができるようなシステムの実現を目指すものである。このようなシステムによれば、設計結果の 3 次元幾何モデルそのものが計算機の内部に完成されるから、そのデータを各種のシミュレータや加工システムなど他の応用システムに直接引渡すことが可能となり、CAD/CAM 一貫システムの実現を目指すことが可能となる。

2. 形状設計システムとグラフィックス技術¹⁾

図-1 に、形状設計で現在行われている 3 次元幾何モデルの表現方法を図式的に示す。ところで、形状設計システムは、設計者がその端末に向かって計算機と対話をしながら設計作業を行うことができるシステムであるが、ここでの作業対象物は、図面や文書、模型などの図形(画像)データであるから、このシステムは、本質的に対話型グラフィック・システムであることが要求される。形状設計システムは、つぎのような機能構造を持つシステムとして実現される必要がある。

① 設計者の行う作業の対象物(図面、模型など)を計算機の内部に作成し記憶できる機能

† Computer Graphics Techniques Applied for 3D Object Design by Junji TSUDA (Systems Development Laboratory Hitachi, Ltd.).

** (株)日立製作所システム開発研究所

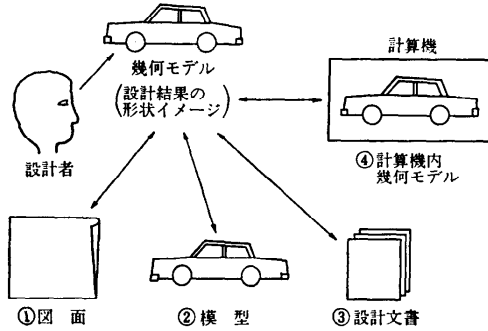


図-1 3次元幾何モデルの表現法

- ② 計算機内部に作られた作業対象物を端末のディスプレイ装置に常時モニタ表示できる機能
 - ③ 端末のユーザと計算機プログラムの双方から計算機内部に作られた作業対象物にアクセスすることができ、これを操作することができる機能
 - ④ 計算機内部に作られた作業対象物を、ファイルに蓄積し管理できる機能
 - ⑤ 計算機内部に作られた作業対象物から必要なデータを抽出し後続の各種 CAD/CAM プログラムに引渡すことができる機能
- などである。

図-2に、このような機能構造を持つ3次元形状設計システムの概略の構成を示す。

このような構成のシステムによれば、設計者は、製図板や模型作成台に向っているのと同様の感覚で、端末に向って作業を行い計算機の内部に図面や模型を作り上げて行くことが可能となる。そのため、このようなシステムは、“電子製図板”とか“電子模型作成台”といった名前と呼ばれることもある。最近、CAD/CAM の分野で広く実用化が進んでいるいわゆる対話型グラフィック・システムは、このような対話型図形処理機能を極めて汎用的に実現するシステムとして開発されてきており、したがって、ここでの形状設計の用途でも、それらをそのまま利用することが可能である。

このような対話型グラフィック・システムの技術動向については、2次元図形の処理技術は完全に実用期に入ったと言ってよいが、3次元図形および画像の処理技術については、現在まだ研究開発の段階にあり、本格的な実用期を迎えるのは1980年代の後半に入ってからと予想されている。そのため、現在のところ機械製品など3次元形状を対象とするCADについて

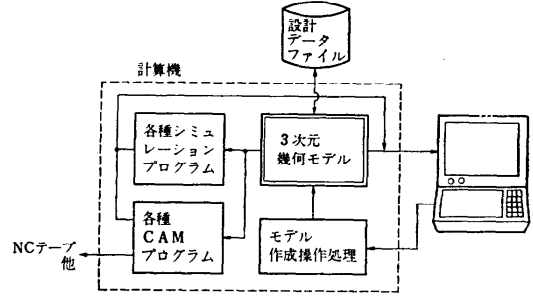


図-2 3次元形状設計システムの機能構成

は、製図や図面の編集設計など2次元図形処理で可能な範囲にシステムの実用化が限定されているのが現状である。

3次元形状を対象とするグラフィックス技術については、計算機の内部に対象形状の正確なモデルを構築するいわゆる幾何モデリング (Geometric Modeling)^{2)~4)}の技術が基本的に重要である。この技術は、図形処理の分野では極めて高度な技術とされ、すでに10年以上の研究の歴史を持つが、まだ完全に実用化できる段階に達しておらず、最近ようやく、用途を限定した専用システムが実用化され始めたところである。これまでに開発されてきた幾何モデリングの方式は、大きくつぎの3種類に分類される。

- ① ワイヤフレームモデル (針金細工方式)
- ② サーフェースモデル (貼紙細工方式)
- ③ ソリッドモデル (積木細工方式)

3次元形状をワイヤフレームによって表現する方法は、計算機処理が簡単であり、現在の小形計算機を用いたCADシステムは、この方式を採用しているものが多い。入力の方でも、図面に描かれる曲線は、ほぼワイヤフレームと対応しており、図面からのモデルの入力も比較的容易である。しかしながら、このモデルは、対象形状を正しく表現するものではなく、そのため用途も形状の概略設計を行う範囲に限定される問題がある。そのため、ワイヤフレームに自動的に曲面を張れるようにする方向での機能拡張が試みられている。しかし、このようなアプローチでは、一般に、設計者の意図に忠実な曲面を創成することが難しい問題がある。これに対して、サーフェースモデルは、3次元形状の表面を適当に分割した小曲面 (パッチ) を単位として設計者がこれらを任意に定義できるようにし、これらの小曲面を組合せて全体形状を表現するものである。この方法は、複雑な曲面も分割を細かくす

ることによって正確に表現することができ、曲面設計向きであると言うことができる。サーフェースモデルにおける形状入力、具体的には、各パッチ単位に曲面形状を定義し、同時に、各パッチのモデル空間における配置位置かあるいはパッチ相互の結合関係を指定することによって行われる。各パッチの曲面形状としては、関数曲面、自由曲面、およびフィレットの3種類が考えられる。ここに、フィレットとは、隣接する二つの曲面間を滑らかに接続するような指定断面形状を持つ曲面を言う。入力における各曲面の指定方法としては、関数曲面については、数式による指定が、自由曲面については、その曲面形状を定義できる代表的な曲線（通常はパッチの周囲の境界曲線）の形状と適当な曲面補間法とが指定される。またフィレットについては、対象とする隣接2曲面とフィレットの断面形状を表わすパラメータとが指定される。計算機の内部では、処理アルゴリズムを共通化するため、各曲面パッチは共通のデータ形式によって表現されるのが普通であり、一般には、適当な間隔でサンプルされた格子状の点列データとして表現されるのが普通である。このモデリング方式を実現する上での主要な技術課題としては、自由曲面およびフィレットを高精度に創成することができる曲面の補間創成技術と、曲面間の交線あるいは接触曲線を高速・高精度かつ安定に計算することができる曲面間相貫処理技術とがあげられる。つぎに、最後のソリッドモデルは、直方体や円柱など少数の基本となる立体（Primitive）を用意し、これらの基本立体を集合演算操作によって組み合わせることによって複雑な3次元形状を表現できるようにするもので、基本立体だけを用いる範囲では形状データの入力が不要であることや幾何学的に厳密な形状処理が可能となるなどの特徴があり、これまでに開発されたモデラ²⁾の多くは、この方式のものである。現在は、自由曲面の取扱いを可能とすべく、先に述べたサーフェースモデルで各曲面パッチに表・裏を定義したものを考え、これを上記の基本立体と同様に取扱えるようにする方向で、機能の拡張が図られている。

3. 3次元形状の入力技術

ここで、3次元形状の入力というのは、計算機の外部で表現された3次元形状を入力して内部のモデルに変換することを意味している。ここでは、3次元形状の計算機外部での表現法を外部表現法と呼び、内部での表現法を内部表現法と呼ぶことにする。このように

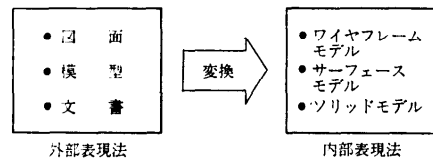


図-3 3次元形状の入力

定義すると、入力技術は、外部表現法から内部表現法に変換するための技術であると言うことができる。以上の定義をまとめて図-3に示す。

このうち外部表現法は、古くから行われているもので、すでに確立されたものとなっている。すなわち、スケッチや三面図などの図面と、木や粘土などを使って作られる模型と、がそれである。言うまでもなく、これらは、人間が目で見えて認識することを前提とするものである。これらの外部表現法によって表現された形状データを、計算機に入力する方法としては、大別してつぎのようなものが行われている。

① 模型を作り、その表面の曲面データを3次元測定機を用いて入力する方法

② 図面を用い、そこに描かれた線図形データをディジタイザまたはオートディジタイザを用いて入力する方法

③ 専用の形状記述言語を用いて対象形状を記述し入力する方法

①の方法は、原理的には単純であり、現在も多く行われているものであるが、模型を作る必要があることと、高価な3次元測定機を必要とする問題点があり、最近では、入力のための模型作りを不要にする他の方式への転換が検討されるようになってきている。

②の方法は、図面を入力しその図面が表わしている3次元形状のモデルを計算機に自動作成させることを考えるものである。それには、計算機による図面理解を可能にする必要があるが、この技術はまだ基礎研究の段階にあり、実用化はかなり遠い将来のことになると思われる。これに対して、計算機による完全な図面理解を期待せず、対話型システムにして、人間が図面理解の部分を分担するようなシステムの開発も試みられている。しかし、この方式も、曲線データを精度よく入力することが難しいため正確な幾何モデルを作成することが、困難な問題があり、これまでに実用化された例はないようである。一方、ディジタイザやオート・ディジタイザを用いて図面を入力するシステムは、入力された図面データをそのままの形で処理する

対話型図面編集システムとしては、現在でも、広く実用に供されている。最後に、③の専用形状記述言語を用いる方法は、図面理解と図面から言語への表現法の変換との作業を人間に分担させるもので、人間の作業負担が大きい問題を別にすれば、技術的には最も実現性の高い方法であると考えられる。このような形状記述言語としては、すでにNC加工システムや3次元CADの分野で数多くのもが開発されている。人間が、3次元形状を正しく把握しこれを言語的に表現するには、一般にかなりの時間を要するため、このような言語入力方式を対話型システムで実現してもあまり効果がないのが普通である。

3次元形状の入力については、以上に説明したいずれの方法を行うにしても、入力準備のために多大の時間が必要であり、入力ネックが深刻な問題となっている。例えば、筆者らの開発した意匠設計システムを例にとると、このシステムでは③の言語による入力方法を行っているが、電気掃除器の外装形状を入力するのに2~4人・日の工数を要している。具体的な入力の方法は、デザイナーの作成したデザイン図をもとに、そこに描かれた曲線の情報のみを用いてプログラムを作成するものであり、自動図面読取装置の実用化が待たれている。

4. 3次元形状のディスプレイ技術

本章では、コンピュータの内部に作られた3次元幾何モデルを、端末のディスプレイ装置にモニタ表示するためのディスプレイ技術について説明する。前章で定義した言葉を使えば、ディスプレイ技術は、前述の内部表現法によって表現された幾何モデルを、人が目で見えて理解できるような外部表現法による表現に変換する技術である。ここでのディスプレイは、コンピュータの内部に作成された3次元幾何モデルが設計者の意図した通りのものになっているかどうかを目視によって確認するために行われるものであり、チェックの目的に応じてさまざまなディスプレイ方法が行われている。理想的には、コンピュータ内部の幾何モデルをあたかもテレビ・カメラで撮影しているような自然なディスプレイが行えることが望ましいが、これを行うことは一般に処理時間の点から実用性がなく、画像を線画に置き換えるなどのディスプレイの簡易化が行われている。その他、複数の視点から見た像を同時に一つの画面上に表示する多面表示、幾何モデルを任意の曲面で切断した時の断面を表示する断面表示、意匠形状でハイライトライ

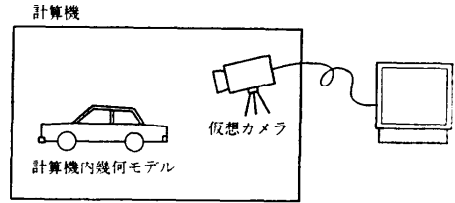


図-4 計算機内幾何モデルのディスプレイ方式 (原理)

ンを強調して表示するような強調表示など、種々のディスプレイ方法が工夫されている¹⁾。

図-4に、このようなディスプレイ・システムの原理的な実現方式を示す。すなわち、その原理は、コンピュータの内部の幾何モデルが存在する同じ空間に仮想的なテレビカメラを持ち込み、この仮想カメラでモデルを撮影して端末のモニタに表示することを考えるものである。より正確に言えば、仮想カメラによるモデル撮影の模様を計算機上に模擬的に実現(シミュレート)する方式である。この場合、複数台のカメラを設けて多面表示を行ったり、またカメラに断面撮影機能などの特殊機能を持たせたりすることは容易に可能であることは言うまでもない。

ところで、ユーザの側から言えば、モデルのディスプレイは、それを肉眼で直接見ているのと同じくらいリアルに表示されることが理想的である。このようなリアルなディスプレイを追求する研究は、現在、米国を中心にして盛んであり、すでに、実物を撮影したカラー写真との差がほとんど無いようなリアルなディスプレイが可能な技術レベルに達している。また、ディスプレイを高速化する方向での研究も盛んであり、実時間動画もすでに可能となっている。しかしながら、このような画像のリアル性や表示の高速性を追求したディスプレイ・システムは、非常に高価であり、研究目的や特殊な専用システムにしか使われていないのが現状である。

一方、CADの分野では、ディスプレイは、設計結果の目視確認ができればそれでよく、あまり高品質なものである必要はないとの意見もあり、また実用化のためには、高速かつ安価なシステムであることが必須の要件であることから、現状、グラフィック端末としては、モノクロでベクトル表示のみが行えるものが最も多く使われている。また、最近では、7~63色の範囲で、カラーのグラフィック表示が行えるシステムも使われ始めている。しかし、これらのシステムでは、ディスプレイ処理のほとんどは、ソフトウェア的に行わ

れており、3次元形状のディスプレイでは、処理時間が長くなる問題がある。とくに射影変換処理や輪郭線抽出処理、隠線消去処理などには時間がかかり、処理のハードウェア化、高速アルゴリズムの開発¹⁾などの対策が求められている。

5. 自動図面作成技術

図面は、設計結果を表現するための有効な手段の一つとして、古くから使われて来たもので、今日でも、ほとんどの設計現場では、図面に依存した作業が行われていると言っても過言ではない。ところで、図面を設計結果の表現法の一つとして見るとき、これは、計算機の利用が全く考えられなかった時代の表現法である。これに対して、先に説明した幾何モデルは、計算機の利用を考えることによって考案された新しい表現法である。したがって、図面と幾何モデルとは、設計対象物の表現法という点では同じであるが、存在の前提を異にしているため両立しない関係にあるとすることができる。つまり、幾何モデリング方式のCADシステムで、図面が出力されることはまず考えられず、また、このシステムが普及するに伴って図面の使用が減少して行くと言うことである。しかしながら、このシステムが実用化され全面的に普及するようになるのは、かなり遠い将来のことと考えられ、今後、相当の長期間にわたって、図面の重要性が減少することはまず無いと考えられる。したがって、製図作業や図面の編集作業などを能率化するシステムは、今後とも広く使われることになるとと思われる。

ところで、図面作成技術の現状については、現在、CAD/CAM の分野に広く普及してきている対話型グラフィック・システムが、主として図面の作成・編集の用途に使われ効果を挙げている状況から、ほぼ完全に実用化段階にきていると考えて間違いないと思われる。しかしながら、現状のシステムについては、図面の初期入力に時間がかかるという入力ネックの問題は依然解決されておらず、このことが、システムの使用効率を高める上で大きな妨げとなっている。自動図面読取装置の早期実用化が待たれるところである。

6. グラフィック端末の標準化動向²⁾

CAD/CAM では、今後開発されるソフトウェアの量が膨大になって行くことが予想されており、ソフトウェアの流通性の確立が重要な課題となりつつある。現在、この方向では、ユーザ・プログラムとグラフィ

ック端末の間のインタフェースを標準化しようとする国際的な活動が行われている。現在、提案されているものは二つあり、一つは、米国 ACM-SIGGRAPH によってまとめられた CORE⁶⁾であり、他の一つは欧州においてまとめられた GKS⁷⁾である。後者の GKS は、ISO でとりあげられ、国際規格とするための作業が進められている。

さらに今一つの大きな課題は、グラフィック・システムを使って作られた結果のグラフィック・データを製造メーカーの異なるシステム間で交換可能とすることである。これについては、国際的な標準化の動きはまだ行われていないようであるが、米国においては、軍、NASA、NBS などを中心となり、これに GE や Boeing など大手のユーザ会社が参加し、IGES (Initial Graphics Exchange Specification)⁸⁾ と呼ばれる図形データ交換形式仕様の提案がまとめられつつある。

7. む す び

3次元形状を対象とする形状設計システムについて、システム構成とグラフィックス利用の側面を中心に最近の技術動向を説明した。3次元形状をそのまま計算機の内部にモデル化する幾何モデリングの技術は、今後、この方面の主流技術の一つになって行くことは間違いないと思われる。しかし、この技術は、まだ研究開発の段階にある。現在、実用に供し得るものは2次元システムで、そのため、図面の作成・編集などの製図用途にしか使えないのが実情である。3次元幾何モデリング技術の早期実用化が望まれるところである。

参 考 文 献

- 1) Newman, W. M. and Sproull, R. F.: Principles of Interactive Computer Graphics, McGraw Hill (1981).
- 2) Baer, A., Astman, C. E. and Henrion, M.: A Survey of Geometric Modeling, Carnegie Mellon Univ., Inst. Physical Planning, Rep. 66 (Mar. 1977).
- 3) Forest, A. R.: A Unified Approach to Geometric Modeling, Computer Graphics, Vol. 12, No. 3, p. 264 (Aug. 1978).
- 4) Braid, I. C.: The Synthesis of Solids Bounded by Many Faces, CACM, Vol. 18, No. 4, pp. 209-216 (Apr. 1975).
- 5) Newman, W. M. and van Dam, A.: A Brief History of Efforts towards Graphics Standard-

- ization, Comput. Surv. Vol. 10. No. 4 (1978).
- 6) Status Report of the Graphics Standards Planning Committee of ACM/SIGGRAPH, Computer Graphics, Vol. 11, No. 3, Fall (1977).
- 7) Graphical Kernel System (GKS) Functional Description, ISO/TC, 97/SC 5 (May 1981).
- 8) Nagel, R. W., Braithwaite, W. W. and Kennicatt, R. P.: Initial Graphics Exchange Specification Version 1.0, NBS Publication, NBSIR 80-1978 (R) (1981).

(昭和57年10月18日受付)