CAD/CAM と画像ターミナル

真 名 垣 昌 夫[†]

製造業における設計・製造活動の支援を目的とした CAD/CAM システムの技術動向と課題，特に図形処理および CAD/CAM システムにおける設計者とシステムとのインタフェースデバイスであるグラフィックディスプレイについて述べる．ソフトウェア面では幾何モデルの実用研究，製品モデルへの発展が課題であり，ハード面では CAD/CAM ワークステーションが主課題である．

1. ま え が き

生産活動の理想的な形態として，生産の多様化と自動化を目指す“ファクトリーオートメーション”への追求が盛んに行われている．生産活動の総合的支援を意図したファクトリーオートメーションの情報処理系として，生産管理，製造ライン制御，設計支援の各システムの研究，開発がなされてきた¹⁾．

生産管理システムは早くから研究開発が行われ，すでに多くの企業で導入され，実用レベルで効果をあげている．製造ラインの制御も古くは CNC (Computer Numerical Control)，自動化倉庫等が早期に実用化され，現在では産業ロボット，メカトロニクスを中心に発展しつつある．

現在，最も注目され，研究開発されているのが，設計・製造分野すなわち製品設計・生産製造分野での一貫したコンピューター利用，“CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing)”である．

CAD は 1960 年代初めに I. E. Sutherland による SKETCHPAD に始まり，グラフィックディスプレイの応用として，また CAM は APT (Automatic Programming Tool) に端を発し NC (Numerical Control) プログラミングの分野でと，それぞれ独自に図形処理として発展した．1970 年代に入りグラフィックディスプレイの実用普及が始まり，図形処理技術の発展とともに設計支援システムの研究開発が活発化した．その結果，機械図面等の作図や NC プログラムの作成，

出力を狙いとする CAD, CAM システムが実用レベルとなり，ターキーメーカー中心に市場に供された．

この動きと並行して，製品や部品の幾何形状を 3 次元空間でそのまま設計，表現する幾何モデラーの研究が進んだ²⁾．他方，LSI 技術の発展等によりコンピューターグラフィックスの技術も発達し，ラスター形ディスプレイに代表される高性能，安価なディスプレイ端末が出現し，コンピューターソフト/ハード両面の技術とも相まって，1980 年を境とし CAD/CAM 統合システムが実現されるようになった．

本稿では，CAD/CAM システム実現上，不可欠な要素技術であるディスプレイターミナルについて，CAD/CAM の観点より焦点をあて，ハード/ソフト両面の技術の現状と課題，エンジニアリングワークステーションとしての要請について述べる．

2. CAD/CAM システム

CAD/CAM システムの支援対象範囲は，図 1 に示すように設計・製造活動を中心とする．この CAD/CAM システムは，定形業務から設計者を解放し，より創造的活動に従事させるとともに，その作業を支援することにより，高い品質の製品設計，製造を実現することを基本的な狙いとしている．

2.1 CAD/CAM システムの現状

現在，実用レベルの CAD/CAM システムは製図支援機能に重点を置いた製図システムである．すなわち設計者が製図板を用いた 2 次元図形を対象とする作業をグラフィックディスプレイ相手に置きかえたものである．

このタイプのシステムは，既設計結果を用いる編集

[†] 日本電気株式会社 C&C システム研究所
“Graphic Terminal in CAD/CAM Systems” by Masao Managaki
(NEC Corporation, Kawasaki)

図 1 生産活動と CAD/CAM

表 1 製図用 CAD システム機能例

連番	コマンド名	機 能
	通 称	
1	WORK	作業場の操作
2	WINDOW	画面のコントロール
3	POINT	点の作成
4	LINE	線の作成
5	CIRCLE	円の作成
6	SPLINE	スプライン曲線の作成
7	TYPE	線種情報操作
8	RELIMIT	図形の伸縮
9	CORNER	面とり
10	OFFSET	オフセット
11	DIMENS	寸 法
12	MISC	ユーティリティコマンド
13	GROUP	グループ操作
14	DRAW	図面ファイル操作
15	PATTERN	パターン、シンボル操作
16	INQ	情報検索
17	ANAL	技術計算
18	DELETE	削除一般
19	ATRB	属性操作
20	AUX	補助図作成
21	PARA	パラメトリック定義、呼び出し
22	CATALOG	コマンドカタログ作成、実行
23	MTN	メンテナンス一般
24	PLOT	プロッター出力
25	QUIT	システム終了
1	KEYBOARD	キーボード入力要求
2	IND	座標指示要求
3	CANCEL	パラメーターキャンセル
4	Y/N	簡略入力、処理コントロール
5	BREAK	コマンドキャンセル

設計に有効であり、その機能も表 1 に示すように、点、線、円等の図面構成要素を対話的に迅速に描く機能が充実している。最近ではデータベース機能を備え、CAD 周辺の解析や部品展開、NC プログラミング等のアプリケーションと結合した対話形システムも開発、実用化されている¹⁵⁾。

製図中心の CAD/CAM システムの開発と並行して、設計本来の対象である 3 次元物体を中心とした 3

次元図形処理“幾何モデラー”の研究開発、実用化が試行されている。製品や部品の厳密な 3 次元モデルをコンピュータ内部に作成し、解析等の設計評価や工程設計等の CAM との結合を容易にするとともに、設計者の描くイメージをディスプレイ上で設計する試みである。

2.2 CAD/CAM システム構成

製図システムは、ミニコンピュータに、数台のグラフィックディスプレイを結合したターンキーシステムを初めとし、中・大形コンピュータをホストとし複数アプリケーションとの結合を目指した汎用システムも徐々に開発、実用化された。

さらには単目的のパーソナルコンピュータベースのシステムも実用化され、ミニコンピュータなみの能力をもつエンジニアリングワークステーションも開発されている。

ディスプレイデバイスは最近ほとんどラスタータイプが用いられ、ディスプレイ側に数メガバイトのメモリー、ベクトル演算等のファームウェアを有するインテリジェントディスプレイが使用されている。入力機器はキーボードやライトペン、マウス、タブレット等のポインティングデバイスが中心であり、操作性での一工夫が必要である。

3. CAD/CAM 図形処理と画像ターミナル

CAD/CAM システムにとり、設計・製造対象物を表現する製品モデルは基本要素であり、研究段階にある。現在、その中核となる形状を表現する幾何モデル技術が確立しつつある。

3.1 幾何モデル、図形処理

CAD/CAM における図形処理の基盤は形状を作り上げ表現する幾何モデリングである^{4)~6)}。幾何モデルには、表 2 に示すようにワイヤフレーム、サーフェイス、ソリッドの 3 種のモデルがある。処理速度の面から、ワイヤフレーム、サーフェイスモデルを用いたシステムが商用化されている。

しかし、これらのモデルは物体表現上のあいまいさ、情報欠損などのモデルの厳密性に欠けるため、厳密なモデルであるソリッドモデルが CAD/CAM の中核幾何モデルとして注目され、表 3 に示すように数多く研究開発されている⁶⁾。ソリッドモデルの多くは多面体や解析面で構成したプリミティブと呼ぶ基本形状の組合せ（集合演算）で 3 次元形状を構築するモデラーが多い。図 2 に、2 次元形状の組合せから 3 次元形状を生成、さらに組合せて所要の物体を設計する過程を示す。

表 2 幾何モデルの特徴

次元	手 法	モデリング手順	例	特 徴 / 用 途
2	ワイヤフレームモデル	基本線素(点, 線, 円弧など)からワイヤフレームを作成		<ul style="list-style-type: none"> ・CAD/CAM統合は困難 ・製図 ・計算時間が少なく対話能力に優れる
	ワイヤフレームモデル	基本線素(点線, 曲線など)から立体のワイヤフレームを作成		<ul style="list-style-type: none"> ・CAD/CAM統合は困難 ・簡易3次元表現 ・製図イラスト
3	サーフェイモデル	<ul style="list-style-type: none"> ・基本面素(平面パッチ, 自由曲面の接続) ・スイープ, 回転などの操作		<ul style="list-style-type: none"> ・隠れ線, 断面処理が困難 ・曲面中心の設計向き ・NC, 解析
	ソリッドモデル	<ul style="list-style-type: none"> ・基本立体(円柱, 角錐など)の組合せ(集合演算) ・スイープ, 回転などの操作		<ul style="list-style-type: none"> ・CAD/CAM統合可 ・形状完全表現(隠れ線, 断面処理可) ・NC, 解析, ボリューム解析 ・干渉チェック

表 3 幾何モデル

システム	プ リ ミ テ イ ブ	開 発 機 関
SHAPES TIPS	円錐, 円筒, 球, 楕円曲面 平面, 円筒, 直方体, 球, フィレット, 平方体, 回転体, 他	DRAPER研究所 (アメリカ) 北海道大学 (日 本)
GDP/GRIN PADL-1 PADL-2 SYNTHAVISION	直方体, 円筒, 円錐, エッジ, 半球, 掃引体, 回転体 直方体, 円筒のみ 直方体, 円筒, トーラス, 円錐, 球 平行六面体, エッジ, 円筒, 楕円錐台, 自由曲面, 他	IBM (アメリカ) ROCHESTER大学 (アメリカ) ROCHESTER大学 (アメリカ) MAGI (アメリカ)
GM solid	直方体, 円筒, 円錐, 球, 自由曲面	GENERAL MOTORS (アメリカ)
U. M. /BORKIN BUILD-2 CADD COMPAC DESIGN EUCLID EUKLID GEOMAP GEOMOD GLIDE MEDUSA PROREN-2 ROMULUS SOLID DESIGN UNIGRAPH 3DFORM	直方体, エッジ, 四面体, 円筒, 掃引体, 回転体, 他 直方体, 円筒, APT-like エッジ, 正多面体, 直方体 点, 面, 体, Bezier 曲面 直方体, 円筒, 円錐, 多角錐, 掃引体 円筒, 円錐 平面, 円筒, 円錐, エッジ, フィレット	MICHIGAN大学 (アメリカ) CAMBRIDGE大学 (イギリス) MCAUTO (アメリカ) BERLIN工科大学 (西ドイツ) MDSI (アメリカ) MATRA/DATAVISION (フランス) FIDES (ス イ ス) 東京大学 (日 本) SDRC (アメリカ) CARNEGIE MELLON大学 (アメリカ) CIS (イギリス) RUHR大学 (西ドイツ) SHAPEDATA (イギリス) COMPUTER VISION (アメリカ) MCAUTO (アメリカ)
AD2000 ANVIL4000 ALPHA-1 CATIA	スプライン, 球, 円筒, トーラス, 円錐面, 回転体, 他 スプライン, フィレット, 六面体, 掃引体, 自由曲面, 他 スプライン 立方体, 平行六面体, 球, 円筒, 円錐, トーラス	MCS (アメリカ) MCS (アメリカ) UTA大学 (アメリカ) DASSULT (フランス)

自由曲線, 曲面の設計に対しては, パッチ方式で曲面を補間してゆく Coons らの双 n 次パッチに代表される内挿法から, 必ずしも曲面上にない点(制御点)をサンプリングし, それらの点列から所要の曲面を生成してゆく Bezier や B-spline に代表される近似法へと変化してきている⁷⁾. 特に形状の表現能力, 局所変更能力に優れている B-spline 曲面の研究開発が盛んである. 写真 1 に B-spline 関数を用いた曲面生成例を示す.

また, これらの幾何モデラーで形成された 3 次元形

状に対して, 現実感を付与する研究も数多く行われている⁷⁾⁸⁾. なかでもラスタースキャン形ディスプレイに適した隠れ面消去アルゴリズムとしてスキャンライン方式がある⁹⁾. これは上方のスキャンラインから下方へ 1 本のスキャンライン上で, 隠れ面の検出, 消去, 可視面の表示を行うアルゴリズムであり, ディスプレイのピクセル毎に表示を行う.

写真 2 のように表示の現実感を求め, このアルゴリズムの上に光の反射等をモデル化した照明モデル等¹⁰⁾を付与し表現する研究がコンピューターグラフィック

図 2 ソリッドモデル構築例

(a) 曲面作成例

(b) 局所修正例

写真 1 B スプライン関数曲面生成例

写真 2 ジューディング絵

スの分野の研究として行われている。

3.2 CAD/CAM グラフィックターミナル

設計が物体の形状を主として扱う作業であることから、人間とコンピューターとのインタフェースデバイスとしてグラフィックディスプレイが用いられている¹¹⁾¹²⁾。表 4 に示すように性能、コスト面で優れているラスタertypeディスプレイが主流となりつつある。また表 5 の性能諸元に示すように、ディスプレイデバイス側にインテリジェント機能を付加し、ホストコンピューターとの機能、負荷分担を図るとともに、対話処理に耐える性能を実現する動きがある。

表4 グラフィックディスプレイの特徴

	ストレージ	リ フ レ ッ シ ュ	
		ランダム	ラスタ
線 質	良	高線質	斜線が階段状
分 解 能	4,000×4,000	2,000×2,000	1,000×1,000
表示ベクトル数	無制限	15,000~50,000本	無制限
表示の明るさ	暗 い	良	明るい
カ ラ ー	2色まで	4色まで	非常に多い
塗りつぶし	可	不 可	可
動的表示	不 可	高 速	普 通
知的機能	低	高	高
価 格	600万~1,000万	1,200万~2,300万	400万~1,000万

表5 ラスタースキャン形ディスプレイ主要性能

諸 元	内 容
ディスプレイモニター	20インチ, 60 Hz (30 Hz, 1 : 2 インタレース)
表示分解能	1,280×1,024, 1,400×1,024
カラー	カラーパレット: ~32,768色 同時表示: 16~4,096
プロセッサ	16ビット, 32ビット
メモリー	256 KB ~ 8 MB
フレームメモリー	4 ~ 20プレーン
速 度	ショートベクトル: 10 ⁵ 本/sec ピッキング: 10 ⁴ 本/sec
データ構造	階層構造
他	3次元ベクトル演算, 日本語処理, 隠面, シェーディング, ぬりつぶし, ローカルインタラクション (ポジショニング, 回転etc)

3.3 CAD/CAM ワークステーション

32ビットマイクロプロセッサは端末のイメージを変え、スーパーミニコンピューターなみの処理性能をもつ廉価な高機能な CAD/CAM ワークステーションの実現が図られつつある。図3に示すような構成をもつ CAD/CAM ワークステーションが備えるべき機能を以下に列挙する。

- (1) 互 換 性: 標準 OS (UNIX など), 標準バス (例 MULTIバス)
- (2) 高 性 能: 32ビットマイクロプロセッサ

図3 CAD/CAM ワークステーション例

- (3) OS : マルチタスク/シングルユーザー, 同一画面上で多くの視点を与えるマルチウィンドウ, 仮想記憶
- (4) 言語: 高水準言語 (FORTRAN, C ...)
- (5) 基本ソフト: データベース管理システム, グラフィック標準 (GKS, ...)
- (6) 通信機構: ローカルエリアネットワーク (イーサネット他) RS232C/449 などの接続インタフェース
- (7) メモリー: 主記憶...数メガバイト
2次元記憶...固定ディスク, ...
- (8) 入力デバイス: キーボード, タブレット, ポインティングデバイス, ...
- (9) 他ソフト: テキストエディター, グラフィックエディター, デバックングツール

このような CAD/CAM ワークステーションを想定したときの問題は、ホストコンピューターとワークステーションの機能分担の決定である。図4にその境界案を示す。ワークステーションはユーザー側の要求か

図4 ホストコンピューター/ワークステーション機能分担

ら現れたものであり、将来の CAD/CAM デバイスの一方方向を示したものであるといえる¹³⁾¹⁴⁾。

3.4 グラフィック標準

CAD/CAM システムにおいては、目的、環境に応じて多種多様なディスプレイデバイスを使用する。このことから、ハードウェアに従属しないシステムの互換性、特にプログラムやデータの互換性が問題となる。

このハードウェアや言語等に独立なグラフィックス標準の作業が ISO (International Standard Organization) や ANSI (American National Standards Institute) を中心に進められている。その代表的なものに GKS (Graphische Kernsysteme), PHIGES (Programmer's Hierarchical Interactive Graphics Standard), IGES (Initial Graphics Exchange Specification) である。

ANSI 提案の CORE の機能をも吸収しつつある。GKS は、言語の規定ではなくグラフィックソフトウェアの持つべき機能を規定しており、図形のもつ構造をアプリケーションの問題としてとらえている。3次元への拡張は GKS-3D として標準化作業が進められている。

PHIGES は、グラフィックサポートシステム、応用プログラムとのインタフェースにおける機能仕様を定める。特にグラフィックデータの変更、幾何学的/階層的な関連、それらの動的扱いを重視し、従来アプリケーション側で行っていた機能を基本図形処理としてとりこもうとしている。

IGES は、多くのターンキーシステム間のデータ交換を目指したものである。現在ではワイヤフレームモデルを対象に作業が進められており、今後はソリッドモデルへも拡張する予定である。

上記以外にもグラフィック関係の標準規格作業が進められており、まだ数多くの問題点をかかえている⁵⁾。

4. む す び

CAD と CAM は、グラフィックディスプレイの出現により研究が始まり、その発展とともに CAD、CAM 技術も進展し、一部では実用化されている。特にラスタースキャン形ディスプレイの出現、高性能マイクロプロセッサの出現は、CAD、CAM における図

形処理技術の発展、その実用化を急速なものとし、データベース等のコンピューターソフトの発展にもささえられ、統合 CAD/CAM システムを現実のものとしている。

今後、グラフィックターミナルは、CAD/CAM 分野における設計者・システムインタフェースの基本デバイス、装置として、廉価・高性能化、高い操作性等の要求に答えること、そして CAD/CAM ワークステーションの実現が重要な課題であると考えられる。

(昭和 59 年 7 月 30 日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 木村文彦: "FA における情報処理技術の役割", 情報処理, 25, 4, pp. 283-295 (Apr., 1984)
- 2) R. Hillyard: "A Taxonomy of Engineering Geometric Modelling Systems", Conf. CAD/CAM Technology in Mech. Eng., pp. 331-339 (1982)
- 3) A. A. G. Requicha: "Representations for Rigid Solids", Computing Surveys, 12, 4, pp. 437-464 (Dec., 1980)
- 4) M. Managaki: "Multi-layered Database Architecture for CAD/CAM Systems", IFIP Working Conf. CAD Data Base, pp. 281-294 (1982)
- 5) 穂坂衛: "コンピューターグラフィックス標準化の動向", 情報処理学会, グラフィックスと CAD 研究会, 12-5 (Mar., 1984)
- 6) "CAE に関する調査研究報告", (財)日本情報処理開発協会, 56-R 004 (Mar., 1982)
- 7) R. F. Riesenfeld: "Application of B-Spline Approximation to Geometric Problems of Computer-Aided Design", Ph. D. Thesis Univ. of Utah. UTEC-CSC-73-R6 (Mar., 1973)
- 8) W. M. Newman, R. F. Sproull: "Principle of Interactive Computer Graphics", McGraw-Hill (1979)
- 9) S. D. Roth: "Ray Casting for Modelling Solids", Comp. Graphics and Image Processing, 18 (1982)
- 10) Bui Tuong Phong: "Illumination for Computer-generated Images", Univ. Utah UTEC-CSC-73-129 (1973)
- 11) R. J. Hubbard: "Computer Graphics and Displays", Computer Aided Design, 16, 3, pp. 127-133 (May, 1984)
- 12) P. Sniger: "Mid-range CAD/CAM/CAE Systems Dominate Graphic Display Terminals", Mini-Micro Systems, pp. 224-231 (July, 1984)
- 13) M. R. Martin: "Work Station Market Issues", IEEE, CG&A-4, 4, pp. 77-80 (Apr., 1984)
- 14) E. L. Busick: "Changing Resource Mix Affects Future Role of CAD/CAM Workstations", Comp. Technology Review, 4, 1, pp. 143-155 (Winter, 1984)
- 15) 真名垣ほか: "CAE-2 のシステム", NEC 技報, 36, 6, pp. 77-85 (1983)
- 16) 真名垣, 川越ほか: "3次元形状処理システムの構想と実現", 情報処理学会, グラフィックスと CAD 研究会 (June, 1984)
- 17) M. Managaki, K. Kawagoe: "A Parametric Man/Machine Interaction on with Semantic Data", Comp. and Graphics, 7, 3-4, pp. 233-242 (1983)
- 18) S. Kuno, M. Managaki, et al: "ATHENA: A Knowledge Based CAD System", ISDS, pp. 32-37 (July, 1984)