

## 解説

# CAD/CAM における情報の役割†



穂坂 衛††

### 1. ま え が き

最近のエレクトロニクスやコンピュータ関係の雑誌だけでなく、機械関係の雑誌にもグラフィックス端末や、それをを用いた CAD/CAM システムの広告が目立ち、また学会や各種団体では、CAD/CAM に関する会誌の特集やセミナー開催の会告も多く見受けられる。これはこの方面の技術が急速に実用化の段階に達したことで、機器のコストの低下により導入し易くなったことで需要が増大していることを示すものであろう。CAD/CAM への関心は、今や大企業だけでなく、中小の製造業まで及んできたようで、その理由をあげてみると、

(1) 従来から設計、製造へのコンピュータの適用を積極的にすすめてきた大企業——航空宇宙、自動車、造船、電機、コンピュータ等——の成果がわかってきた上に、専門的なコンピュータの知識を必要としないいわゆるターンキーシステムが市場に登場した。

(2) 熟練した職人が減ってきた上に、熟練を必要とする作業が増加してきた。

(3) 作業の合理化や使用部品の標準化が必要になってきた。

(4) 製品に対する多様な要求、その変化に対し、速い応答が必要になった。

(5) NC 工作機械やロボットの導入が不可欠となってきた。

(6) 製品の質の向上、リードタイムの減少が必要となった。

(7) 新しい技術を習得しておく必要性が生じた。

このようにして、CAD/CAM の関心が増大し、その市場も拡大を続けるため、機器の種類も増えるという効果が生じたのである。設計部門は製造部門に較べると、合理化のできにくい所であったが、このよう

な情勢になると、今まで導入に慎重であった企業の経営者も一転して、急速な導入派に変わり、すぐにも成果を生むことを要求するようになる。

これらの機器の主要な目的は、図面作成の省力化である。ここでは CAD の D は製図 (Drafting) を意味しているのであるが、設計 (Design) が製図と同義語である範囲では、それなりの成果をあげてきた。しかしその成果をより拡大すべく、各個所で機器の導入が行われ範囲が広がると、次第に作業の境界における不整合や、人手による準備作業の増大、システムの発展による情報の継承の難しさ、他システムとの方式の相異による情報の交換の不便さ等が次第に表面化してきた。

これらの対策として、一方においては、情報表現の標準化や、コンピュータや表示機器に依存しないグラフィックスの核となるソフトウェアの標準化等<sup>1)</sup>の考えが促進され、他方では、設計作業や設計対象のモデル化、最適なマンマシン・インタラクション<sup>2)-4)</sup>やエンジニアリングのデータベース等<sup>5), 6)</sup>、未解決の問題に対する研究や討論が国際的にも盛んになってきた。

生産性をあげるには、単に設計、製造のなかのルーチン作業の自動化だけでは限界に近づいてくる。設計作業における図面作成や、工作機械の NC 制御は、現在の CAD/CAM を代表しているように見えるが、これは企業の活動中の一部分であって、可能であるならば製品要求の分析から製品の使用に至るまで、情報と「もの」の生成、伝達と利用が円滑に、合理的に行われる総合的なシステムの要素として捕える必要がある。このことは、企業の規模の大小に関係なく生ずることであって、技術部門に限定しても、設計から完成に至るまでの作業の種類は、企業の規模に大きく依存するわけではないし、一部分を下受けする会社においても、情報の受け入れ、引渡しは、親の企業の CAD/CAM 情報システムとの一貫性を保つことがなければ、合理化の実があげられないからである。

この解説では CAD/CAM システムを構築する上

† Information Processing and CAD/CAM by Mamoru HOSAKA (Tokyo Denki University).

†† 東京電機大学

で、情報はどの様な形で現れるのか、それは他の情報システムと何処が異なり、何が難しく、総合化に対して何がネックとなっているのか、またその解決に向けての最近の研究についても触れる。

この分野の研究は、学術的にも興味ある所が多いが、一方応用の詳細は、企業の機密に属することが多いため、客観的な実証の公表が難しい。その反面、それ程でない研究に、PR 的要素が入り込んでいることもあるし、そのような外国文献の批判のない受売りがあったりして、誤解を人に与える恐れもある。これらには十分注意はするが、筆者の理解にも限界はあるし、実例では筆者が知っているものの一部を示すだけに限り紙面の限界もあり、マンマシン・インタラクションや、グラフィックス、データ記述の標準化問題などは省いてしまわざるを得なかった。

## 2. 工業設計、製造における図面の役割

工業設計は、与えられた目標を具体的に実現する「もの」を作るために、要求の仕様を明確にし、概念設計より始めて、試行錯誤を繰り返す、作るべき「もの」の細部に至るまでの構造、構成部品、材料を規定していく情報生成の作業であり、製品の製作費用、信頼性、保守性、市場性などを最適化していくことが同時に要求される。製造の作業は設計によって決定された情報をもとにして、材料や部品を調達し、加工や組立に必要な機械と作業を決定し、費用や所要時間を算定し、加工の制御情報を作り実行させ、部品を組み立て、製品が仕様合っているかの検査を行い、更に必要な文書の作成を行うことである。

設計技術者は情報を集め、知識を動員し、創意を働かせ、作るべき対象を心に思い浮かべ、それを図面として表現する。図面は設計者の思考の過程を具体的にまとめるにも必要であり、第三者に対しては製作対象についての情報を伝える記録となり、製造や検査、強度や性能計算等における基本データを与えるものである。またこの図をもとにしてそれぞれの目的に応じた各種の図面、例えば組立図、部品図、説明図、実装図等も作られる。このように設計製造における諸作業は、情報の生成記録とその解釈に関係することが大部分なのである。これらの作業において、既存の設計データがそのまま、あるいはわずかの変更によって利用できるならば、人の知的労力と時間の節減になるだけでなく、製品の信頼性や性能も予測ができ、全体として大変なコスト低減につながる。新しく設計しなけ

ればならぬものについては、制約となる条件のもとで目標と評価の規準を定め、問題解決の筋道をたて、試行錯誤の収束を早め、設計結果の明確な記述によって検証と情報の伝達理解を容易ならしめることが必要である。

設計の過程においては、設計者の創意と経験、知識と共に、各種の標準、規格、製作、使用の状況等、総合的な判断が常に要求され、図面はそれらの結果の集積が表現されているため、設計は図面製作だけが仕事ではないのに、この図面の製作ということが、しばしば設計ということと混同されてきた程である。完成された図面は、設計し製作すべき対象の記述であって、単に対象の投表図だけでなく、各部の寸法、公差、材料、製作上の注意事項、仕上、参照すべき部品の図面番号等が数字や記号、注となって記入されている。この図面の検証は第三者によって何段階も行われ、それをパスして始めて、正式な図面として登録され、貯蔵され管理された配布が行われるのである。

設計が確定したあとの行程は、図面情報をもとにして、製造工程の手順の設定、労働力や工作機械の割当、素材の準備が行われる。必要によっては、各担当部署がさらに、それぞれの目的のため、図面の詳細化や簡略化を行うことになる。製造会社においては、各製品に対する図面は極めて多種、多量になるため、その管理は大変であるが、その会社にとっては貴重な財産である。しかし図面は現に製作中のものはもちろん、製品となって使用中のものでも、設計ミスが発見、改良や性能向上の要求、その他多くの理由で設計の変更を行わねばならぬ事態がしばしば発生する。それはまず関係する図面の変更が先行し、製造、製品に及ぶ。また図面は極めて多くの目的に使われることは、製造会社で図面の前につける目的別の形容詞が 20~30 にもなることから想像できるであろう。

このように図面は、設計情報の蓄積であり、また製作されるべき世界の記述である。それを多くの人が多様な目的で参照するのであるから、コンピュータ的といえば、データベースの役割を担っているといえる。しかし通常のビジネスや情報検索用のデータベースと異なるのは、対象の記述の体系が全く異なること、情報要素へのアクセスの方法が異なること、さらに本質的に異なると思えることは、データ記述自体が設計という行為であることである。したがって、外の世界を記述する概念スキーマはデータベース管理者によって静的に定められて、それで対象記述の枠組が決定され

るという従来のデータベースの考え方が、そのまま、適用できるかどうかは問題がある。

図面は人が設計すべき対象を理解し記述し易いように、長い間かかって発展してきた画法(記述法)であり、表現法については、ある程度の基準、規格は存在するが、図面の詳細度、配置や参考情報の付加等は人の経験と常識にまかされている。そのため第3者が図面を理解するには、規約や基準の他に経験と常識が必要となる。また図面を理解させ易くするため、特徴を強調したり、ときには詳細情報の隠蔽や省略化、部分の構造の分解詳細表現が行われるが、これも人の主観に頼る所が多く、明確に規則化された方法があるわけではない。

このように図面は人が対象を記述するためと、他の人に設計情報を伝達し、対象を理解させ、利用できるようにするため作られたものであるから、コンピュータが直接に図面の情報を理解することは、現状では不可能である。しかし人が図面を作ることは、大きな労力を必要とするため、コンピュータが安値になれば図面作成のためだけでも、コンピュータの利用価値はある。現在グラフィック・ディスプレイの上に、オンラインでインタラクティブに図面を作ってゆくことが、比較的容易にできるようになったため、いわゆるターンキーシステムが普及するようになった。また大型のコンピュータを用いて、このやり方を大規模化し、多くのCRTターミナルと結び、図面作製とそのファイル化を行うことが大企業で採用されるようになったのである。

### 3. エンジニアリングデータベースの可能性

人が設計、製造の中心的役割を果し、コンピュータは、人の補助の道具として用いるのであれば、多量の図面の管理や図面の磁気的メディアへ貯蔵、それにより図面の検索と図の再現ができ、それを他に伝送することができれば、コンピュータシステムは少なくとも図面データ・ファイル作成・管理の役は果すであろう。設計情報の大部分が図面に集約されているから、コンピュータはその意味内容を取扱わないにしても、人が図面のファイルを用いるのであれば、これでも差支えない。インデクスには、図面番号だけでなく図面内容を伝えるキーワード的な記述を附けることは必要であろう。

このような人の介入を無くし、表現内容を理解する作業もコンピュータに行わせようとするならば、この

ような図面記述をそのままコンピュータに貯えられるようにしても、コンピュータは人の代行をしてくれない。その理由はコンピュータは図面を読みとれず、たとえそれができたとしても、その意味を理解することも、創造的に対象を構成して図面として表現することもできないからである。したがって、図面情報が中心となる設計製造方式では、コンピュータの役割は、主流となる情報の生成処理ではなく、図面を清書することや、人が図面を解釈し、なすべき仕事を限定した後のデータ処理の仕事や、図面を清書するときの指令の集まりを蓄えて、図面の再生や修正に利用することなどであった。このような補助の仕事だけでなく、主流となる情報の取扱いにコンピュータを導入し、設計より製造、組立、検査、完成に至るまでの諸作業を合理化するためには、作るべき対象の情報生成、管理の一元化、エンジニアリングデータベースの利用に加えて、人の創意、知識の効果的活用が可能なコンピュータ採用方式を開発する必要が生じたのである。

設計製造において図面による情報表現と伝達が必要なのは、諸作業に人が介在しているためである。もしコンピュータが、人が作成する図面の表現する意味情報を作って蓄えることができ、かつ人が図面を読み、理解し、新しい情報を作成したり、図面を変更、追加したりできると、コンピュータが人の指示によってそれと等価な情報を作成したり、等価な図面の変更、追加ができることが可能であるとしたならば、設計・製造のプロセスにおけるコンピュータの役割は、部分的な作業ではなく、一貫して製造対象の情報生成と処理を受け持たすこととなるであろう。またそのような情報がデータベースとして蓄えられるならば、類似設計の検索、利用が可能となるであろう。

このようになると人とコンピュータの関係は、従来と異なってくる。人が主導権をとる場合は、人は進行するプロセスにマクロな指令を与えることと、コンピュータでは不可能な創造性を必要とする作業を受け持つことになり、コンピュータには有能な補助設計者の役を割り当てればよいことになる。これとは反対に、コンピュータに主導権をゆずり、人はコンピュータの要求する情報を供給する補助者の役になるシステムも考えられる。これらが成立するための条件は、前述の等価な図面をコンピュータが取り扱えること以外に、通常の図面や説明図等をコンピュータが等価な図面情報から作って人に供給し、人に設計進行状況や試行錯誤の結果を適切に示したり、その結果に対して、人の

指示やデータを受けたりすることが、容易にできるようしておくことである。

図面情報と等価な情報をもつということは、コンピュータが独自で図面を描いたり、図面のパターンを認識するプログラムをもつということではなく、図面で表現されている対象のもつ性質に関する情報がコンピュータ内部にも存在し、それを生成し、処理できるプログラム群があるということなのである。このような対象の記述を、コンピュータ内部に蓄えられたモデル表現(略して内部モデル)という。そのモデルの細部の情報にアクセスし、またモデル自体を変更できるプログラムの存在によって、内部モデルは意味をもち、理解の対象となし得る。このとき、図面を作ったり、データを拾い出したり、加工したりする人の仕事にコンピュータのプログラムは対応する。この意味において、図面は人にとって対象のモデル記述であるといえる。このようになれば、内部モデルから製作図も説明図も組立図も分解図も生成できるし、製造のプロセスプランニングもNC加工や組立、検査の制御情報も、コンピュータで自動的に作成できる可能性がでてくる。さらに内部モデルの集まりは、製品や部品の倉庫に対応しているのだから、そのなかのものを取り出して直ちに利用できるし、その情報を分類し、組織化して検索の対象とすることができれば、エンジニアリングデータベースとなり得るのである。

またモデル化の考えは、製作対象についてだけでなく、製作環境にも適用できるから、素材から加工、部品の組立、動作、検査などの諸機械の運動制御も、対象を含めてシミュレートできる。また設計製作や使用に伴う各種の文書の作成、保守等もかなりの程度人手を省き、しかも正確なものができる可能性がある。このように従来の図面と人との関係を、モデルとコンピュータとの関係に置き換えることが基本的に重要であることが理解できるであろう。

ここでいうエンジニアリングデータベースは、通常のビジネスや情報検索のためのデータベースとは性格が異なっていることに注意しなければならない。通常のデータベースでは、概念スキーマの変化は、使用中に変更されることは稀であり、もしあるとすればデータベース管理者の役目である、利用者はそれぞれの利用の形態を定めた外部スキーマに従って、データを検索したり、値を変更したりするだけで、モデル変更に対応する概念スキーマの変更はないのである。

これに対し、設計とはモデル製作、定義の仕事であ

るとするならば、モデルの構造記述、変更は設計者の仕事であり、最終のモデルが完成する前から、いくつもの代案、設計計算や、シミュレーションによってモデルは参照され、必要に応じて変更を受ける。また他の部分の設計の進行と共に、新しい関係や情報も付加され、検証を受け矛盾が除かれてデータベースとして安定する。利用者はそれぞれの外部スキーマに従ってデータにアクセスし、材料の調達、工程の計画や加工、製造機械の制御、検査、組立等に必要な情報を取り出すことになるのである。

データベースが、外部の実体を記述するモデルであるならば、それは製造過程の検査、製品として検査等を、実体を製作する前にシミュレートできるわけであるからモデルの適否や評価ができる。必要なら、前に戻って設計プロセスの変更を行い、新しいプランで再びモデルを作り再評価を行うことが可能になるであろう。このように、総合的CAD/CAMに利用できるデータベース構築は、対象の記述、表現、その動的な性格から、今まで発展してきたデータベースのモデル概念では、十分に賄いきれない所がある。

#### 4. データベース構築の一例

前章に述べた設計、製造情報の特質と、その一貫した関係とその利用を考えると、従来となえられてきたデータベースの主要な3つのモデルは、どれもそのままでは適用しにくいように見える。その理由を簡単にあげれば、リレーショナルデータモデルでは、設計すべき対象の中に含まれる多くの要素(データベース語では実体)とそれらの間の関係を、表形式に記述することになるが、設計すべきものとの対応が直接的ではなく、また各種の関係間の関係も直接的な記述として現われず、対象物は階層的構造をもつ要素を多くもつのが普通であるのに、それが陽に出ないためその対象の動的な変化に、簡単に対処できるかどうか不明である。矛盾のない変更維持のために第3正規形を保持することは、対象物の記述とその起り得る処理との間の対応がかなり面倒のように思える。

階層的データモデルにおいては、設計対象の中に含まれている要素は全体が必ずしも階層的ではないから、実体同志の関係や参照は、外部モデルの記述や処理を直接に反映しない。冗長な構造をとらざるを得ないためデータ更新に際して、矛盾の発生が起り易いであろう。

ネットワークモデルは、外部モデルを分析して、対

応した記述を作ることが他のモデルより容易のように思える。しかし、余りに対象に依存し過ぎること、データへのアクセス方法の複雑さがあるため、設計対象の記述構造を知らなくても、必要な処理のためにデータへのアクセスが容易でなければ、利用者は困るであろう。

設計すべき対象とその生成処理に適したデータモデルとそれの記述、処理言語とも関連して、CAD/CAM の分野でのデータベース構築とそれの多面的利用に関しては、未だ十分に解決していないように思える。物理的空間を占める現実の「もの」を、実体、属性、関係で記述するのは原理的に可能であっても、三次元空間を点める物体を設計するのに、実は多くの拘束条件や制限条件を明示しないで自明としている。もしコンピュータだけで処理を進めていくのであれば処理の結果の構造やデータについて、これらの条件が破られているかどうかは、常にチェックされなければ、実現不可能のものをコンピュータは取扱っていることになる。一方人が図面をもとに、外部モデルを作っていく時にも、人の推理の誤りのため別の種類の矛盾が生ずる可能性が住々にして発生する。したがって現状では、コンピュータによる全自動か、人だけにたよる設計方式では、何れも最適の目標に到達することは望めず、マンマシンの協力は欠かせないであろう。そのためよいコミュニケーションの手段は極めて大切である。インタラクティブ・コンピュータ・グラフィックスは有効なコミュニケーションの手段を与える。

いわゆるターンキーシステムは、CRT を介した図面の段階での対象取扱いであるから、対象理解はすべて人に頼るため、従来形式の図面作成と処理に機能は限定される。しかし、図面作成の省力化、図面ファイルの磁気的貯蔵ができるため非常に普及しつつある。一方図面の意味をコンピュータが取扱う段階で、図面のもつ役割をカバーするエンジニアリングデータベースは、データベースの理論的手法が未だ完全でないことと、設計対象表現の記述方法に対しても、実用上何処の深さまで詳細化しておくべきか、未だ十分検討されていない。

しかし理論的に明確な答がでるまで、設計製造情報のコンピュータによる管理ができないわけではない。筆者らの GEOMAP システムは<sup>1)</sup>、設計対象のモデル記述と処理のため開発されたものであるが、データベースのデータ要素作成の基盤を与えるため、木村、山口らは、それをを用いて重電機工場における総合 CAD

/CAM データベースシステムを構築した<sup>5)</sup>。このシステムの構造を図-1 に、そこでの取扱う情報の関係を図-2 に示す、DBMS は転置型の ADABAS を利用している。前章で述べた理想とはまだ距離があるのは、実用を急ぐための妥協である。これでの情報の取扱いについて説明する。

### (1) 核情報

3次元の部品は、幾何モデル生成処理システム GEOMAP によって、内部のモデル記述に自動的に変換を受ける。これは3次元物体の特性を十分利用できるようなデータ構造をもち、その幾何学的な要素だけでなく、製作上の技術情報も附加され、データベースのデータ要素として圧縮して貯えられる。その部品が加工や組立等の幾何学的シミュレーションのときには、始めのデータ構造に自動的に再展開される。幾何構造および属性データは、プロセスシーケンスや NC プログラム自動作成の際に有効に用いられる。

この核情報の中に、対象物体の CRT 表示のための処理を高速化し、人とのコミュニケーションを良くするため2次元図形の構造をも保持している。

### (2) 製品構成情報

一つの製品は、多くの部品から階層的に構成されており、また特定の部品、および部品グループは、一つの製品の各所で用いられている。これらの要素とその結合関係および、グループ化や、それと他との関係がつけられる。このような製品および部品ファイルは過去に作られた製品も含めて技術情報、関係図面、客先等々の情報が附随する。構成情報は設計および製造時に自動的に作られる。

ここで取扱う製品は大型機械で注文製産品であり、標準化された部品から組立てられるわけでないため、同一系列に属する構成部品を、パターンとして登録し、パラメータを定めれば、その系列の特定なものが容易に生成されるようになっている。これらのパターンはまたファイルを形成する。このパターンが特定されると、単にその記述が容易に生成されるだけでなく、製造におけるプロセスシーケンスや NC プログラムまで、原形パターンから、変化を受けて生成される。これは標準化できない部分を、標準的に取扱う手法として有効な方法である。

### (3) 図面

図面の種類は一つの製品に対して極めて多い。それらをデータベースに貯えられた製品モデルから全部自動的に作り出すには、表現内容やその形式の自動的判

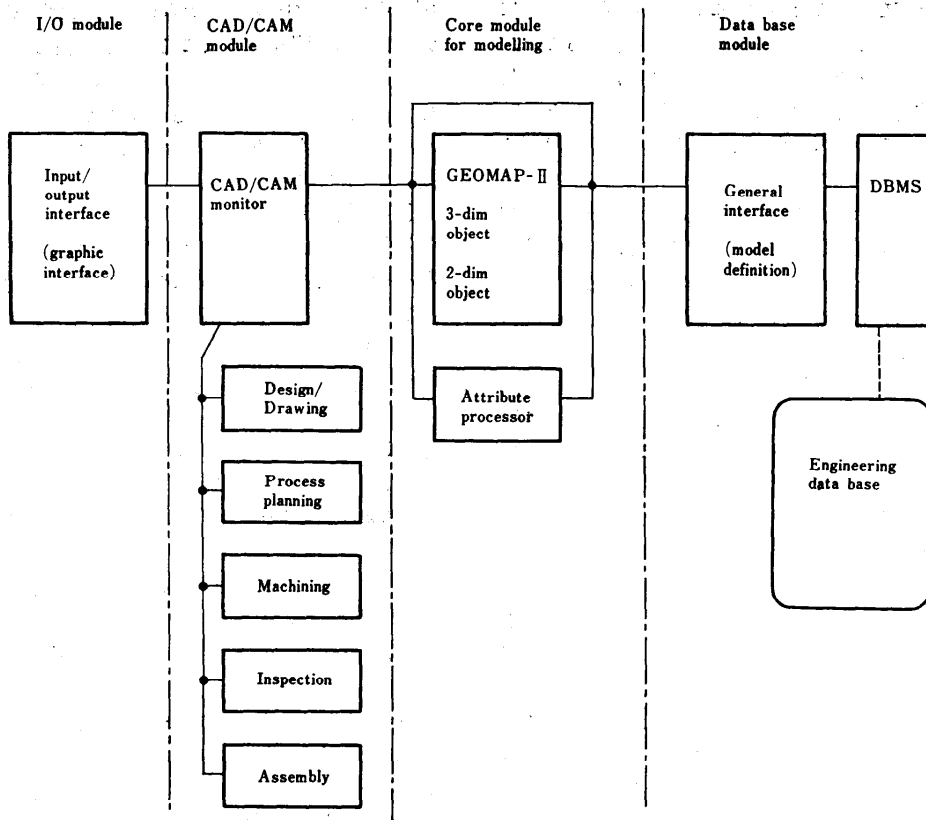


図-1 総合 CAD/CAM システムの構成

断が必要となるが、それは難しいので人の指示は欠かすことができない。このシステムでは、それを考慮し、あらかじめ3次元モデルよりの投象ファイルを自動的に作り、その図面化のときに記入する各種の記号、数値等を集めた図シンボルファイルを用意する。これらの材料は内部モデルの変更に対し、自動的に更新される。図面の形態は使用箇所、目的によって異なるため、必要なデータをこれらのファイルより抽出して使用個所の CRT 端末に送る。そこで要求者が、目的に合うように、CRT 上で図面を編集し、ハードコピーにするという方法をとっている。

#### (4) プロセスプランニング

製品を構成する各部品は、展開されて部品表、材料表となってファイルされる。この部品は CAM の基本単位であり、CAD システムと強く関係する。この部品に関するデータはすべて、これらのファイルより得られる。製作工程の設計は先づ相似の部品の抽出、プロセスシーケンスの決定、各プロセスに対する標準作

業時間の算定が行われる。これは部品の特性、部品集合のファイルの情報と、工程ファイルと行程カタログのファイル情報より算定されるのであるが、算定された結果は、後者のファイルの中に、後のため資料となって貯えられる。

#### (5) 製造環境

製作部品の形状や属性のファイルからの情報、工具や工作機械ファイルからの情報がとり出され、NC プログラムが自動生成される。前述のパターンのカテゴリに属する部品であるならば、NC マクロファイルよりプログラムは選択されるため、自動化がさらに高度になる。

上述のシステムはすでに実用化されており、その適用の結果例については、紙面の都合で省略するが、原論文には、構造部品がどの様に表示され、応力分布が算定され、部品が組立られ、プロセスプランニングデータや、部品の原材料よりの切り出し、NC プログラムよりのカットパスの生成された実例が示されて

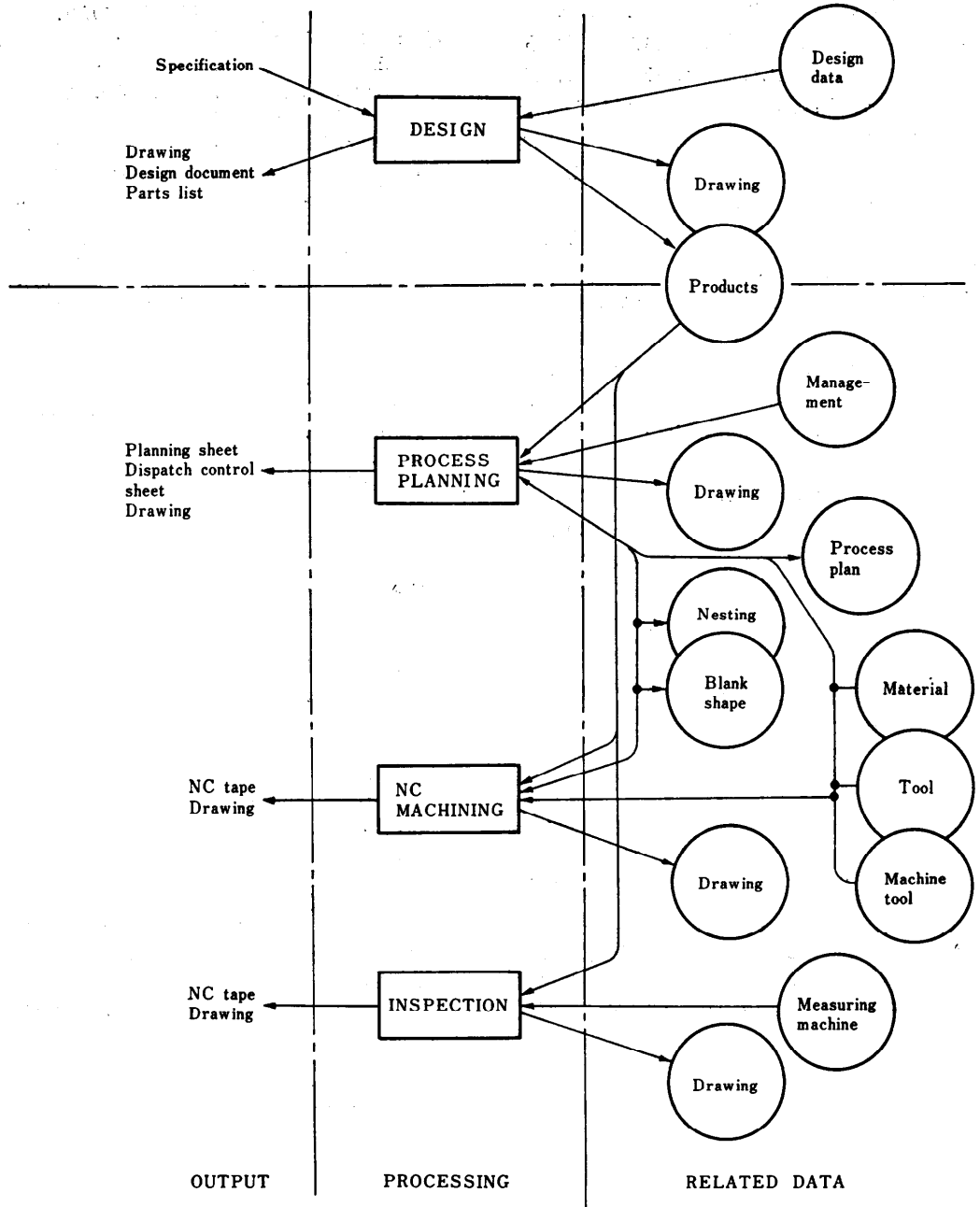


図-2 ある工場の設計製造プロセスにおける情報の流れ

いる。

以上述べた例は、現実の工場の作業を基盤とした総合的な CAD/CAM のためのエンジニアリングデータベースの構築であったが、必ずしも論理的に統一のとれたものではない。これとは別に、われわれは汎用の

基本的なシステムを考えており<sup>6),10)</sup>、それについては本誌で木村が書くであろう。

### 5. あとがき

CAD/CAM における情報工学的問題を、明らかに

するためにわれわれは工業界の要求をきき、未解決の問題は何であるかを明確にすることに努力し、それらの理論的面の解決に力を入れてきた。そのために、工業図面の表現と表現内容に対応して、人は何をしてきたかを調べなければならなかった。1960年代のCADの夢は、図面の表現する意味内容を捕えることをしなかったために失敗に終わった。70年代後半からのターンキーシステムの成功は、図面の意味の取扱いを人にまかせてしまった所にある。

学術的にいっても、将来の総合化されたCAD/CAMシステムを考えると、われわれは、図面の表わす所の意味、およびそれを生成、処理、利用する行為を、最少限の人の介入で、コンピュータ上で実現できなければならぬと考えている。単に部品レベルの幾何モデルの取扱いはすでに過去の問題で、それが総合化されたCAD/CAMシステムの中で、どの様に利用されるか、データベースはどのように構築し利用していくかという中で、それは評価されなければならない。将来のシステムの中で最も重要な要素の一つは、マンマシン・インタラクションであるが、これについては論ずる余裕がなかったし、この他多くの書くべき事を紙面の都合で略せざるを得なかった。CAD/CAM関係の文献目録は文献8)に詳しい。

### 参考文献

- 1) Hosaka, M. and Kimura, F.: An interactive geometric design system with handwriting input, Information Processing 77, North-Holland, pp. 167-172 (1977).
- 2) Hosaka, M. and Kimura, F.: Synthesis methods of curve and surfaces in interactive CAD, Proc. Conf. Interactive technique inCAD, 78 CH 1289-80 IEEE Computer Society, pp. 151-156 (1978).
- 3) Hosaka, M. and Kimura, F.: Theory and Methods for three dimensional free-form shape construction, J. Info. Proc., Vol. 3. No. 3, pp. 140-151, IPSJ (1980).
- 4) Hosaka, M. and Kimura, F.: Interactive input methods for free-form shape design, Man/machine Communication in CAD/CAM, ed. by S. Sata, pp. 103-118, North-Holland (1981).
- 5) Kimura, F., Yamaguchi, Y., Sasaki, Y., Kido, K. and Hosaka, M.; Construction and uses of an engineering database in design and manufacturing environments, File Structures and Databases for CAD, pp. 95-116, ed. by J. Encarnacao, North-Holland (1982).
- 6) Kimura, F., Sata, T. and Hosaka, M.: Integration of design and manufacturing activities based on object modelling, Prolamat 82, (to appear in Computers in Industry, from North-Holland).
- 7) Hosaka, M. and Kimura, F.: Using handwriting action to construct engineering objects, Computer, Vol. 15, No. 11, IEEE Computer Society (1982).
- 8) Barsky, B. A.: Computer-Aided Geometric Design, bibliography with key words and classified index; Computer Graphics and Applications, Vol. 1, No. 3, IEEE Computer Society (1981).
- 9) 穂坂(編): 幾何モデルとその応用に関する研究: 昭和 54・55 年度科研費補助金研究成果報告書 (1981).
- 10) 佐田(編): 計算機内幾何モデルによる機械生産の総合化に関する研究: 昭和 56 年度科研費補助金研究成果報告書 (1982).
- 11) 穂坂: グラフィックス基本ソフトウェアの国際標準化への努力, 図形と画像 Vol. 3, No. 3 (1982).

(昭和 57 年 10 月 13 日受付)