



技術解説

# CIMを支える基礎技術とその動向

岩田 一 明\*

## 1. はじめに

製造業における生産性、経済性の向上を指向した、省力化、自動化、無人化への動きは1950年代なかばに始まったが、その後の変化は目まぐるしいものがある。いま、製造業の変遷を振りかえり、また、今後の変化を筆者なりに推測すると、図1のようなイメージが画ける。すなわち、1980年代まで、企業内の自動化は太線で囲む分野を主対象として発達してきたが、各分野の結合はかなり限定されていた。しかし、

1990年代に入ると、殆どすべての企業分野において相互の結合が指向され、キーワードとして、「統合、融合」、「知識」、「マンマシン」、があげられるようになった。更に、21世紀には「分裂」、「知恵」、「人間の高度化」といったキーワードが注目されるようになるものと思われる。いずれにしても、現段階の大きな特徴は製造分野における情報と物流の戦略的な統合処理にあるものといえよう。

製造と一言にいても多種の機能が相互に複雑にからみ、同時に情報の流れと物の流れが交

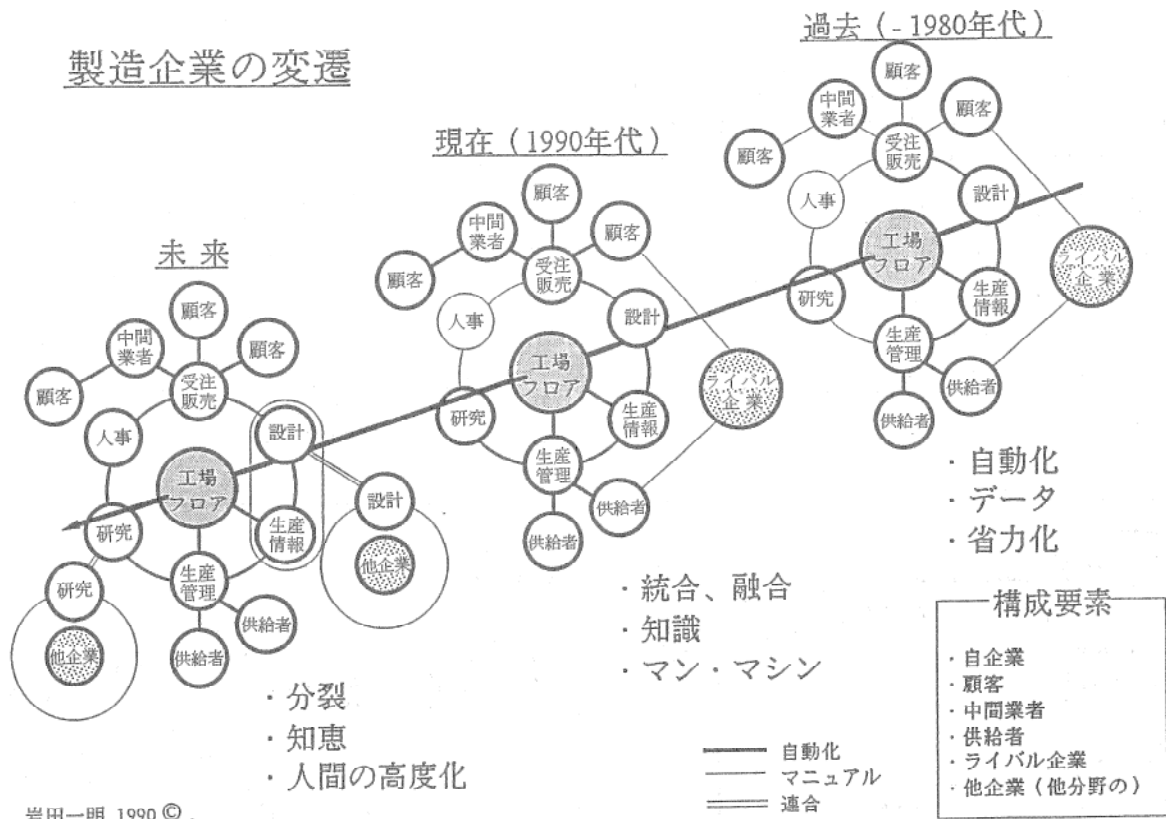


図1 製造企業の変遷

\* 岩田一明(Kazuaki IWATA), 大阪大学, 工学部 電子制御機械工学科, 教授

錯する。企業のモデル化を意図して、ISO/TC 184/SC5/WG1で考慮された諸機能間の相関例

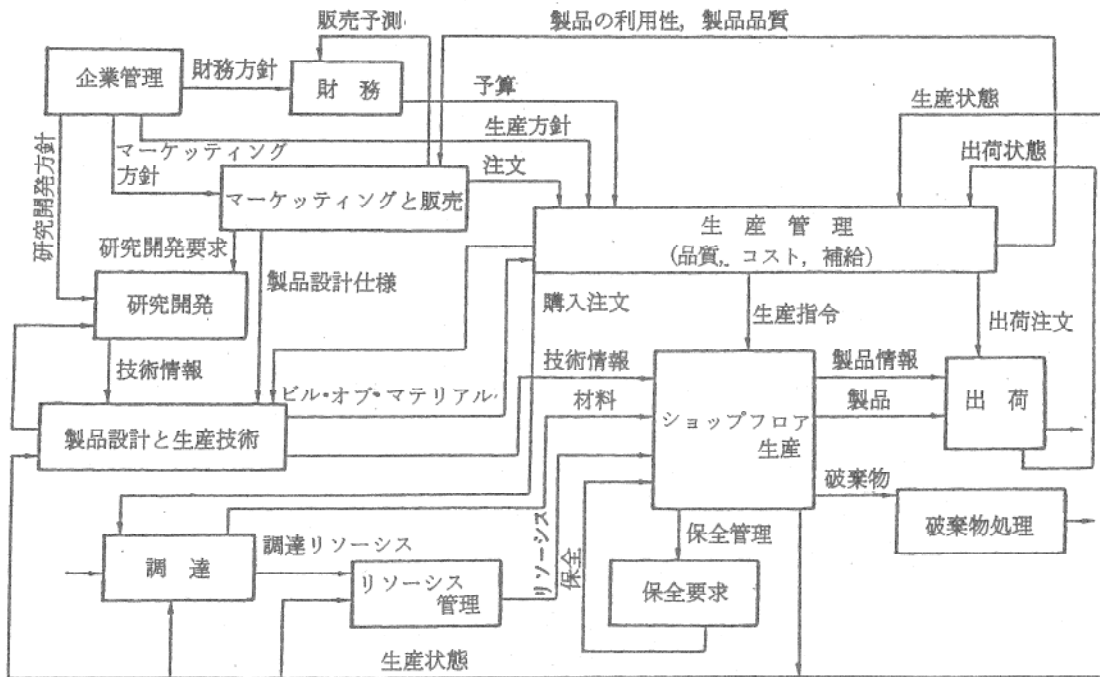


図2 参照モデルの作成にあたって考慮された製造の諸機能間の相関 (代表例)[ISO TC184/SC5/WG1-1987]

を図2に示す。機能の数は研究者によってかなりこととなるが、ここでは12の機能を主対象としている。これら諸機能の統合を目指して、コンピュータを陽に表現した概念がCIM (Computer Integrated Manufacturing) である。CIMはすでに多くの実用化システムとして構築され、その有効性を示す評価例も多々、発表されている。ここしばらくは、CIMあるいはSIS (Strategic Information System) への関心の高まりは続きそうである。

以下、CIMにかかわる基礎的な考え方と諸技術について述べてみたい。すなわち、2節で、

CIMの基礎概念を述べた後、次いで、3節と4節ではCIMのモデル化の基礎となるフレームワーク並びにレファレンスモデルを解説する。続いて、5節ではCIMモデル化の手法、さらに、6節と7節ではCIMの基本的インフラストラクチャであるネットワークとデータベースを述べ、最後の8節では、主要要素技術を概観する。

## 2. 基礎概念

CIMは1節でも触れたように、ユーザのニーズを入力として完成品を出力する一連の処理、

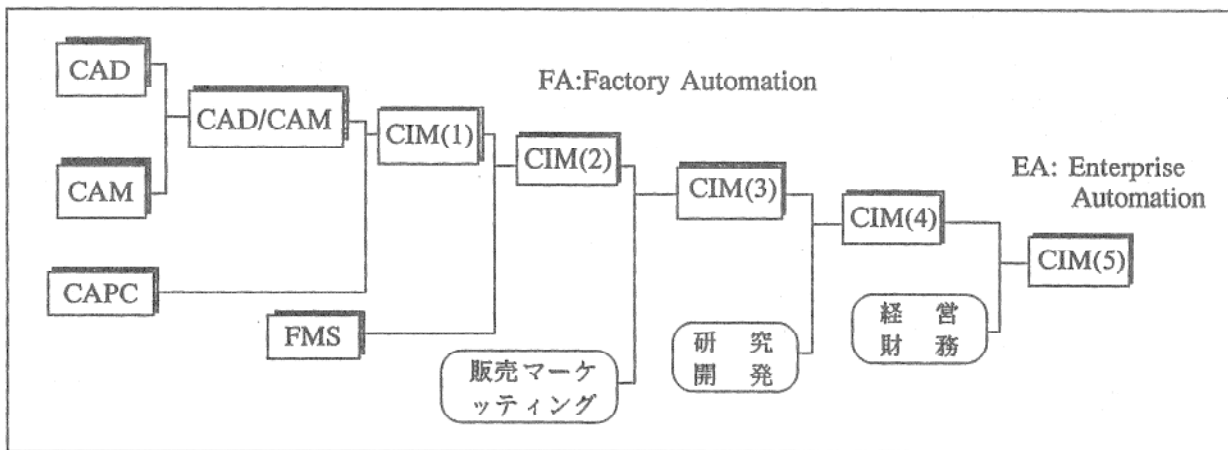


図3 CIMの概念とレベル

すなわち製品設計、生産設計、生産制御、生産管理、生産プロセスの統合的処理を指向するものとして提案された。しかし、関心を寄せる企業や研究者が増加するに従って、基本概念は多様化し、また、曖昧さをますますようになった。

従来から提案されている種々の概念を整理すると図3のようにまとめることができる。設計の自動化はCAD (Computer-Aided Design, コンピュータ援用設計) という名称で1960年の初頭に、また、生産の自動化は数値制御工作機械とその自動プログラミングとして1950年代半ばに誕生した。なお、この内容はCAM (Com-puter-Aided Manufacturing, コンピュータ援用製造) とほぼ同じであるが、用語としてのCAMはCADと対比する形で、1960年代後半に現われている。

CADとCAMは当初、異なった分野の専門家によって開発されていたが、実用化が進むにつれて両技術は本質的に一貫処理されるべきと認識されるようになった。CADとCAMを統合するには、両者の中間に位置づけられるCA PPP (Computer-Aided Process Planning, コンピュータ援用工程設計) が不可欠の技術で

あることから、この技術開発を中心にCAD/CAMのシステム開発が進められた。

他方、生産管理を中心とした管理部門の自動化はCAD/CAMの技術部門とは全く独立した形で1950年代始めより開発され、これはCAPC (Computer-Aided Production Control, コンピュータ援用生産管理) と呼ばれることが多い。しかし、生産現場からみると、CAPCはCAD/CAMと統合化して処理されるべきことから両者の統合システムが開発の対象となった。ここではこれを第1レベルのCIMという意味でCIM(1)と呼ぶこととする。

CAD/CAMとCAPCの統合は生産情報処理の範囲を主対象としていた。ところが実際に製品を生産するには生産設備や機械など物のフローを扱うハードウェアも含めて考えることが必要である。この考え方にしたがって、生産の情報処理とハードウェアを統合化し、かつ自動化を計ろうとする動きが表われた。我が国ではこれを一般にFA (Factory Automation, ファクトリ・オートメーション) と呼ぶ。これはCIMという観点から見れば、第2レベルのCIMとしてCIM(2)と位置づけることができる。

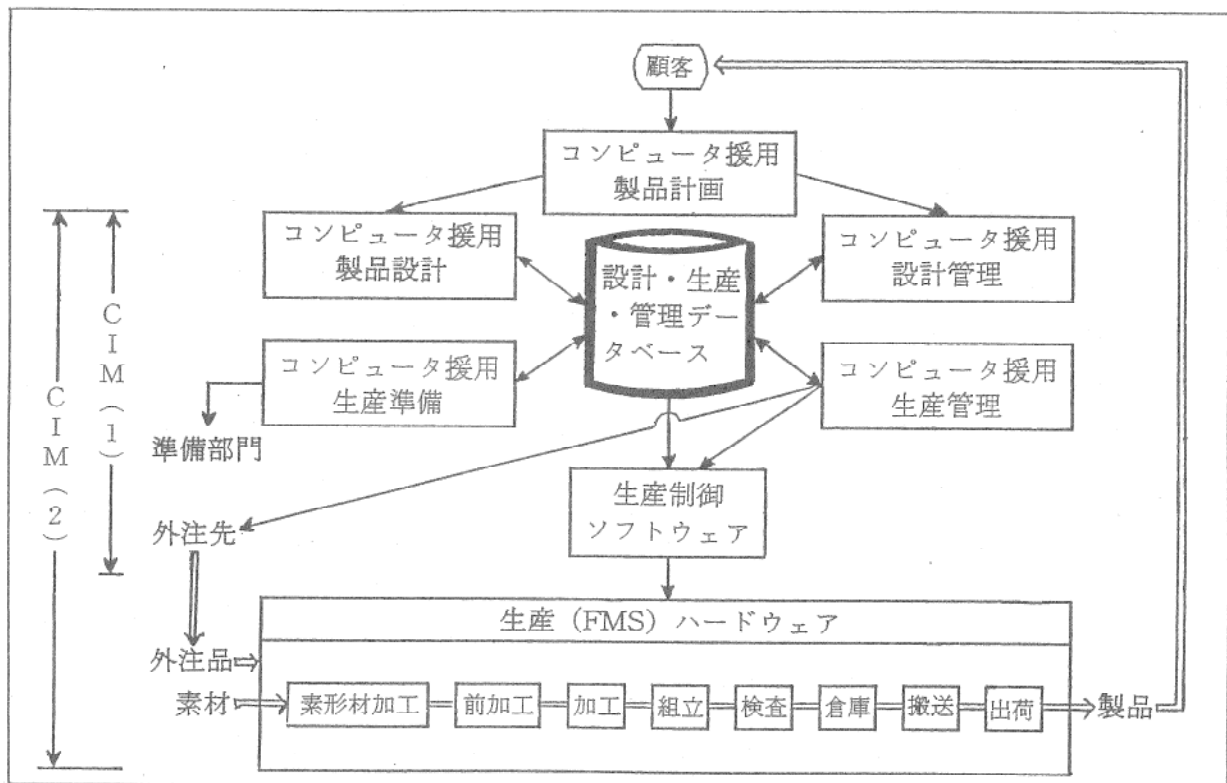
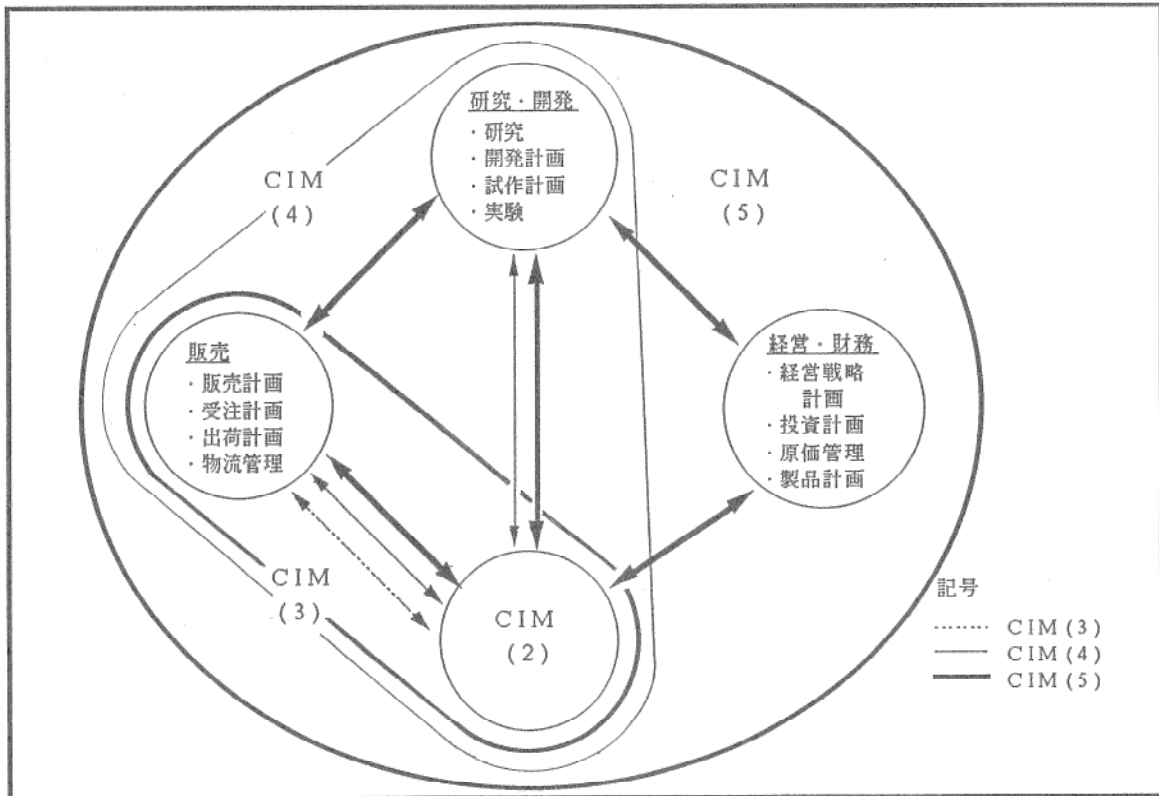


図4 CIM (1), (2) レベルの基本構成



マーケティング・販売の統合

図5 CIM(3),(4),(5)レベルの基本構成

図4にCIM(1)及びCIM(2)の基本構成を示す。

しかし、製造された製品は販売されることによって、はじめて企業活動としての価値を生むということに着目すると、CIM(2)はさらに販売やマーケティングと統合されることが望まれる。いわゆる、製販一体といわれるレベルで、従来のFAやCIM(2)より一段と統合化が進められている意味から、ここではCIM(3)と呼ぶ。現段階で企業がCIMといった場合、CIM(3)を対象とすることが多い。

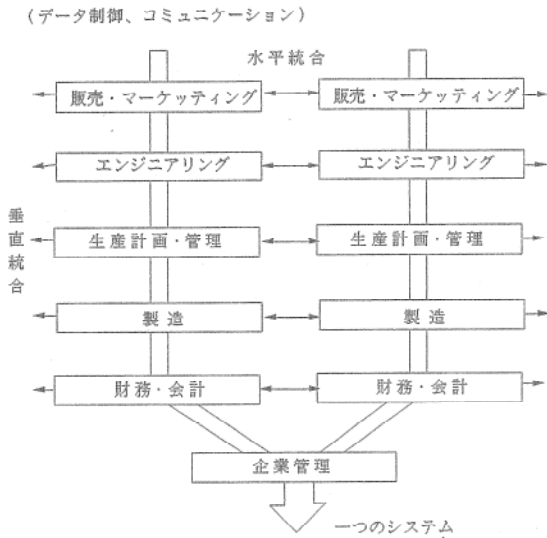
企業全体の活動を自動化するとともに実時間を把握するという観点からみると図1に示す様に研究・開発、経営や財務も統合化されることが求められるようになる。これらはそれぞれCIM(4)、CIM(5)とここでは呼んでおく。CIM(5)の段階になると企業全体の統合化された自動化が実現されることから、筆者はこれをEA(Enterprise Automation, 企業オートメーション)と命名している。CIM(3)からCIM(5)レベルの基本構成を図5に示す。ここで、統

合の意味について、多面性のあることを付言しておきたい。すなわち、一言で統合といっても図6にみるように、垂直統合、水平統合及び両者の統合があり、夫々でアーキテクチャやインフラストラクチャが異なるからである。

### 3. CIMフレームワーク (CIM Framework)

CIMシステムの開発・設計・運用、又、標準化にあたっては、CIMのフレームワークを明確にしておくことが必要である。CIMのフレームワークについては従来より種々の提案が行われているが、まず重要なことはどの様な座標軸をもってシステムを把握するかという、いわゆる次元の問題である。

“次元”を検討した研究としては、図7に示すTNOのBohumsらの提案が代表的である。そこでは、モデリング、言語、視点、コンポジション、スコープ、表現、プロダクト・ライフ・サイクル、実現性、汎用性の9次元を示し、中でも、モデリングと言語が最も重要な次元と述べている。モデリングは、実体、実体のモデル、



インフラストラクチャへのニーズ:

- 運用データのコミュニケーション
- データより有用な情報の生成
- 運用データの制御
- 処理の制御

図6 統合の二面性

モデルのモデル、又、言語は、CIMモデル、CIMベースモデル、ベースモデルの夫々3レベルから成り立つ。

このフレームワークと、従来の代表的な提案

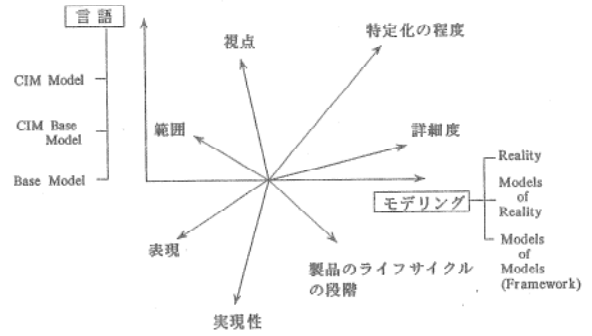


図7 CIMフレームワークの次元 (Bohms(TNO)ら) -1990.5-

である、CAM-IのCIMアーキテクチャ及びECの共同プロジェクトであるESPRIT I CIM-OSAのレファレンス・アーキテクチャを対応させてみると、図8に示すようになる。CAM-Iの考え方ではCIMフレームワークが暗黙的であり、視点以外のレベルは考慮されていない。他方、CIM-OSAはフレームワークの取扱いが明示的であり、同時に視点、スコープ(包括性)、実現性(モデル)についても検討している。

CIM-OSAのフレームワークの詳細は図9

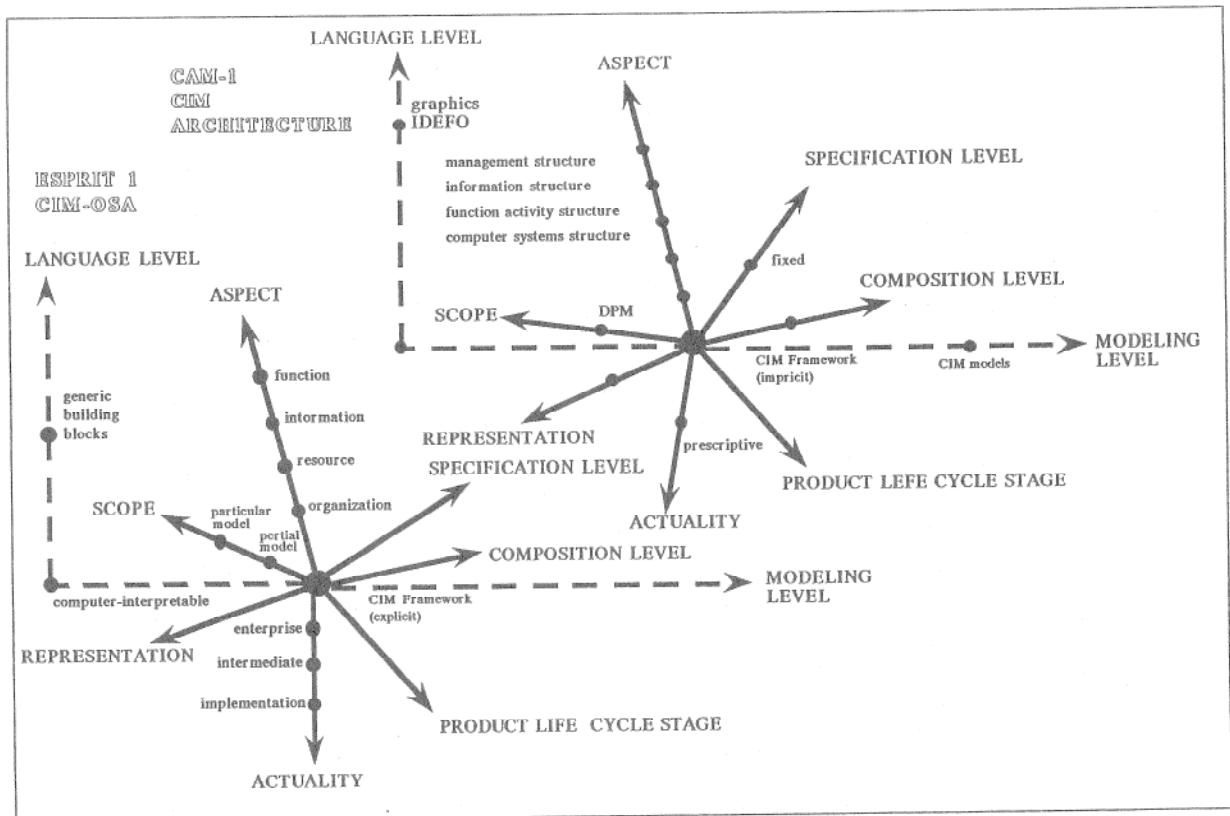


図8 The descriptive CIM Framework applied (1990, TNO)

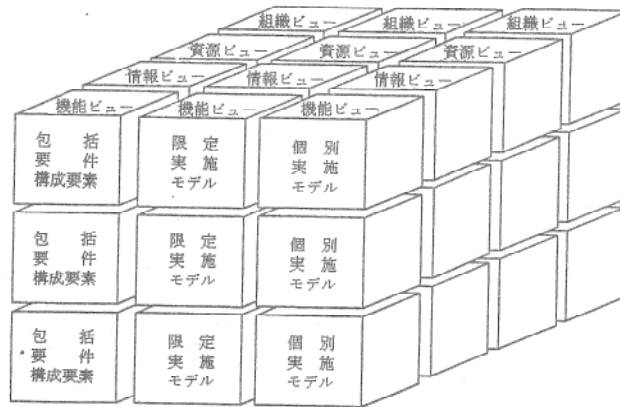
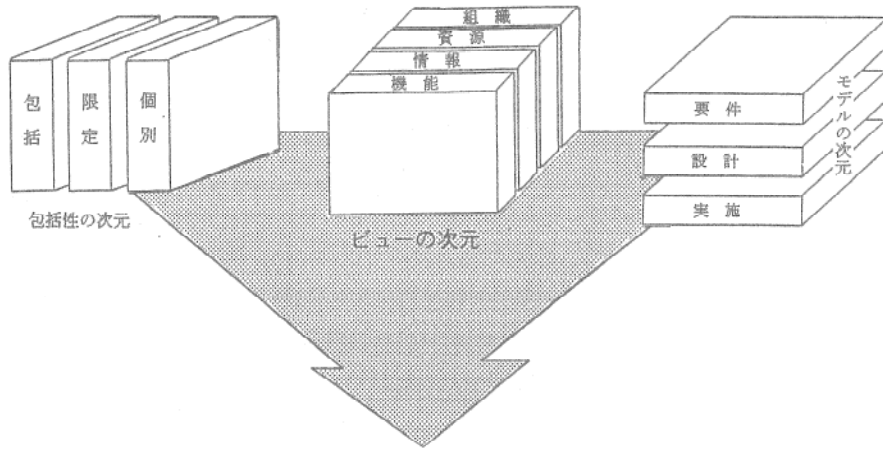


図9 企業モデル化の枠組み

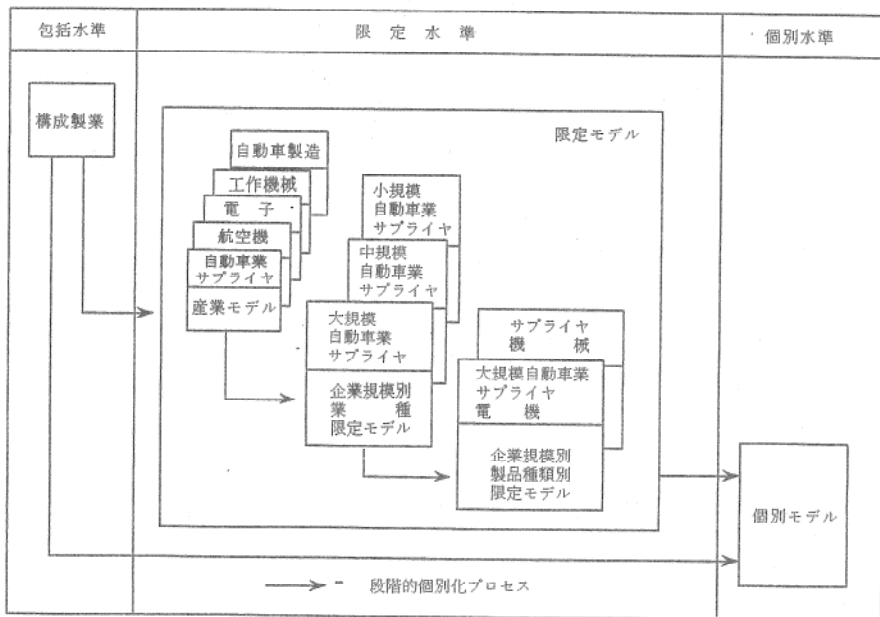
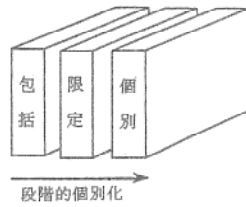


図10 包括性の次元・限定モデルの役割

の様に要約される。ここでは包括性の次元として、包括、限定、個別を、視点の次元として、機能、情報、資源、組織を、又、モデルの次元として、要件、設計、実施を取り上げ、その結果、3×4×3のモジュラーからなる枠組みを作成した。次いで、図9の枠組を用いて、個々の企業のモデルを作成するには図10のフローに従うと実現できることを明らかにしている。このCIM-OSAのフレームワークはISOにおけるシステム統合のフレームワークとして標準化が検討されていることから、今後の動向に留意が必要である。

4. レファレンス・モデル (Reference model)

CIMを理解し、異ったベンダーの機械や情報処理を相互に接続してシステムを構築するには、標準的なモデルが基礎となる。このため、CIMレファレンス・モデルと呼ぶ概念が長年

表1 従来から検討された CIM Reference Model

起点:ISOのOSI (Open System Interconnections) に相当するモデルの作成  
ISO DIS 7498 (1980.12) - Communication 標準.

1. ISO/TC 184/SC 5/WG1.....Reference Model for Shop Floor Standards, Part 1 (1988) Part 2 (1990)
2. ESPPIT, CIM-OSA/AMICE.....Reference Architecture Specification, Nr. 688 (1989-5)
3. Internatinal Purdue Workshop on Industrial Computer Systems.....A Reference Model for CIM, A Description from the Viewpoint of Industrial Automation, (1998-5)
4. National Institute of Standards and Technology (NIST), AMRF.....1981以降発表
5. PROCOS-AS, Dmmark.....A Management and Control Architecture for Factory-Floor Systems (1989).
6. Society of Manufacturing Engineers.....A New CIM Model (1989).
7. CAM-I ATPC (Advanced Technical Planning Committee).....An Architecture of CIM
8. CEN/CENELEC AMTWG)ARC.....
9. ESPRIT IMPPACT.....

に亘って論じられてきた。このレファレンス・モデルは通信の分野における OSI (Open Systems Interconnection) の7階層モデルを念頭においたものである。

従来から検討されてきた CIMレファレンス・モデルの代表例を整理すると表1のようになる。

これらモデルの特徴的なことは、

- (a) 多レベルであり、機能面からみた階層構造を使用している。
- (b) 各レベルでは命令が上位から下位へ分解される。
- (c) 最終の意思決定と制御は最下位のレベルで実施される。
- (d) 階層構造の視点のみでは十分に記述できない。

階層	役割	
企業 [Enterprise]	企業経営, 財務, マーケティングと販売, 研究と開発	
部門/工場 [Facility]	製品設計と生産工学, 生産管理, 調達, 搬出, 廃棄材料処理 素材管理, 保守管理	
ショップフロア生産 [Shop Floor Production]	セクション/エリア [Section/Area]	生産の監視と調達 ジョブのサポート ジョブのリソースの割付
	セル [Cell]	ショップフロア生産行程における ジョブのシーケンスとその監視
	ステーション [Station]	ショップフロア生産行程の制御 指令と調達
	設備 [Equipment]	指令にもとづいてショップフロア 生産のジョブを実行

図11 製造の階層モデル [ISO TC184/SC5/WG1-1988]

(e) 多くのアーキテクチャは上下方向のコントロールの流れのみを許容している。の様に集約できる。 [Purdue Univ. 国際ワークショップ]

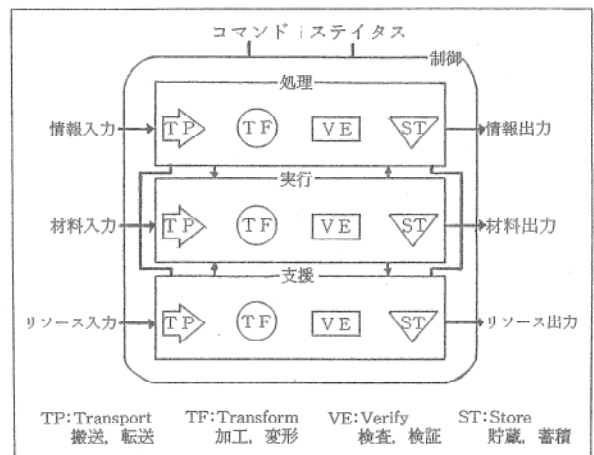


図12 生産活動の一般化モデル [ISO TC184/SC5/WG1 国内委員会]

ISO/TC184/SC5で定義されたモデルは図11の様に、企業、部門/工場、セクション/エリア、セル、ステーション、設備の6段階を採用した。下位4階層はまとめてショップフロア生産と呼ぶ。このショップフロア生産の企業内での位置づけは図2にみることができる。図11の生産活動の本質を考えると、図12の様なモデルとして表現することができるものと考えられる。アクティビティは物も情報も Transform, Transport, Store, Verify の4要素に集約化できるとの考え方である。

### 5. CIMモデル化の手法

CIMの構築にあたっては、そのモデルを設計する手法、さらにはツールが必要となる。モデル化の手法は表2に例示するように種々の手法が開発され、実用化されてきた。また、これら手法を開発用ツールとしてまとめた design/ IDEF, SFaST™ など、多種類のツールが市場に現われ、利用されるようになってきた。

この小文では手法やツールの詳細に触れる余裕はないので省略するが、CIMに適した手法やツールの開発は、成熟したとは到底言い難く、今後の発展に期待されるところが多い。この際、手法やツールをどの様な視点から評価するのか、たとえば、モデルの記述限界や制約条件、ユーザインタフェースなど、をあらかじめ明確にしておくことが重要であろう。

表2 CIMモデル化の手法(代表例)

• SADT/IDEF	
IDEFO .....	機能モデル作成技法(1981)
IDEFI .....	情報モデル作成技法(1981)
• Data Flow Diagram	
• GRAIMethod(GRAI Grid+GRAINet) .....	フランスGRAIプロジェクト
• Entity/Relationship Method	
• System Engineering Methodology(SEM).....	デンマークGEMSプロジェクト(1985)
• Extended Petri-Nets	
• Express .....	ISO STEP 記述言語
• XSpec™ (eXecutable Specification) .....	ITI(U.S.A)(1990)システム設計の方法論
• MIFD(Material Information Flow Diagram) .....	依田氏提案(1988)
• MOSYS .....	西ドイツIPK

### 6. CIMネットワーク

企業内に設置されたCADシステム、NC工作機械、AGV、ロボットなど、異機種間の情報を任意にコミュニケーションし、統合するには、

相互通信に関する規約が必要である。このため、従来からOSIで制定された、開放型システム間の相互通信規格OSIに準拠した工場内LANの通信規約(Manufacturing Automation Protocol)の開発と標準化が進められてきた。

CIMネットワークを構築するにあたって、特に留意すべき事項としては、Rayらによると、次の3項目があげられる。

- (a) マルチプロセスの実時間コミュニケーションの効率並びにフレキシビリティの向上。
- (b) 異った設備、機器、環境への良好な適応性。
- (c) 分散ネットワークの管理と制御の容易性。

CIMネットワークの1例を図13に示す。図13で、幹線LANとしてブロードバンドMAP、セルネットとしてキャリアバンドMAPと光MAPなどが具現化されてきた。又、1988年、1989年には国際的なレベルでの接続のデモンストレーションも実施された。

トポロジ、伝送方法、伝送レートなどが異なる場合にCIMネットワークを相互接続する主な方法として、リピータ、ブリッジ、ルータ、ゲートウェイがある。これらの概念は図14に示す通りである。

OSI参照モデルの中で製造への応用面から留意しておきたいのがMMS(Manufacturing Message Specification)とコンパニオン・スタンダードである。MMSはCIMやプロセス

コントロールの環境においてプログラマブル・デバイス(Programmable Device)とのメッセージ通信を提供する様に設計された応用層プロトコル(特定応用サービス要素)である。MMSはプログラマブルデバイス全般に適用す



\*CIMモデルによる表現  
(ISO TC184/SC5)

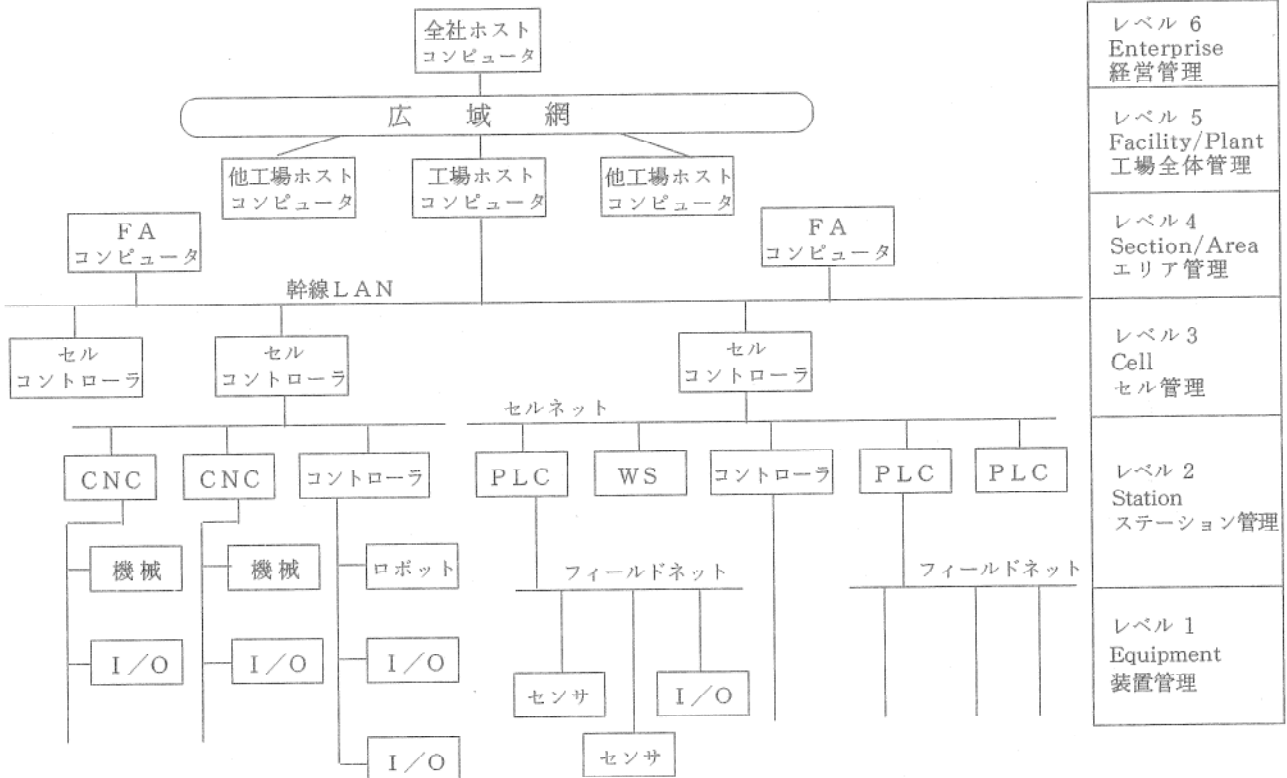


図13 FAシステム構成とCIMモデル

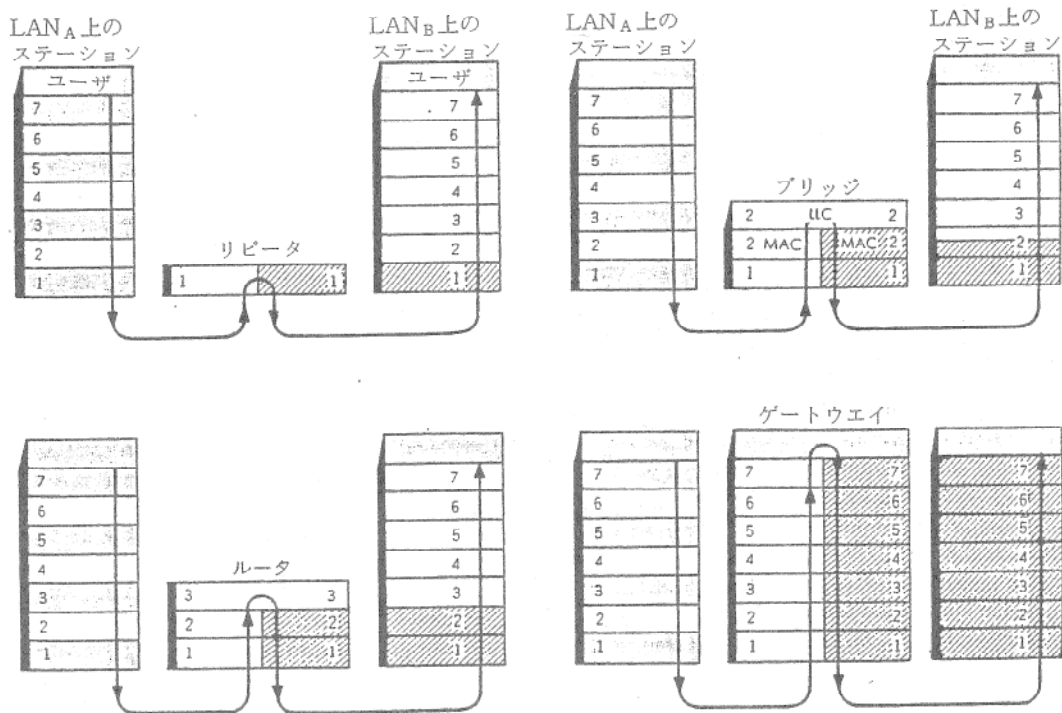


図14 LANの相互接続

る汎用的な標準となっている。NC、PLC（プログラマブル・ロジック・コントローラ）、ロボット・コントローラ、などについては、搬送

用に必要な装置固有の情報をMMSの仕様にもとづいてコンパニオン・スタンダードで規定することが検討されている。

CIM ネットワークはすでに実用化のレベルに達しているとはいうものの、さらに検討すべき種々の研究課題も残されている。例えば、A. Ray によると以下の諸課題を指摘している。

- (a) 統合的ネットワーク・プロトコルの仕様と解析。
- (b) ネットワーク・プロトコルの試験と標準。
- (c) 光及びワイヤレス通信媒体。
- (d) 実時間の通信・制御とフォールト・トレランス。
- (e) ネットワークの管理と制御。

なお、(b) のうち、conformance test については、我が国でもセンタが開設され、サービスが始まっている。

### 7. CIM データベース

CIM に関連する諸活動では多種多量の情報を利用する。例えば、販売、製品設計、生産設計、生産管理、在庫部品、治工具、工程管理、仕掛在庫、品質検査、セル制御などにかかわるデータが対象となる。

CIM を対象としたデータベースについては NIST (IENBS) や IBM などから種々の提案が行われている。NIST で実施された AMRF プロジェクトでは、異種分散 DBMS-IMDAS

(Integrated Manufacturing Database Administration System) が提案された。

IMDAS のアーキテクチャは図 15 の様なハイブリット形の構成となっているが、データ管理の満すべき要件として次の諸項目を考慮したと報告している。

- (I) マルチベンダ異種構成システムのネットワークの統合機能。
- (II) 混在した DBMS の統一的なデータ。
- (III) 構成サブシステムの自由な分離と再統合。
- (IV) 下位構成システムの制御の即時性。
- (V) 障害の検出と回復の機能。

上述した IMDAS の様な試みもあるが、望ましいアーキテクチャについては本格的な検討が始まった段階といえるであろう。そこで、以下、著者らが実施した CIM データベースに関する実態調査の結果から、2, 3 の要点をまとめておこう。まず、調査は図 16 に示すデータベース構成図を示し、実用化の程度と標準化の必要性をたずねた。次いで、CIM データベースシステムの将来像を考えたときの問題点を自由記述してもらった。その結果、販売、製品設計、生産管理、在庫管理、工程管理のデータベースに較べて、生産設計、設備制御のデータベースは相対的に稼働しているものが少ないこと、し

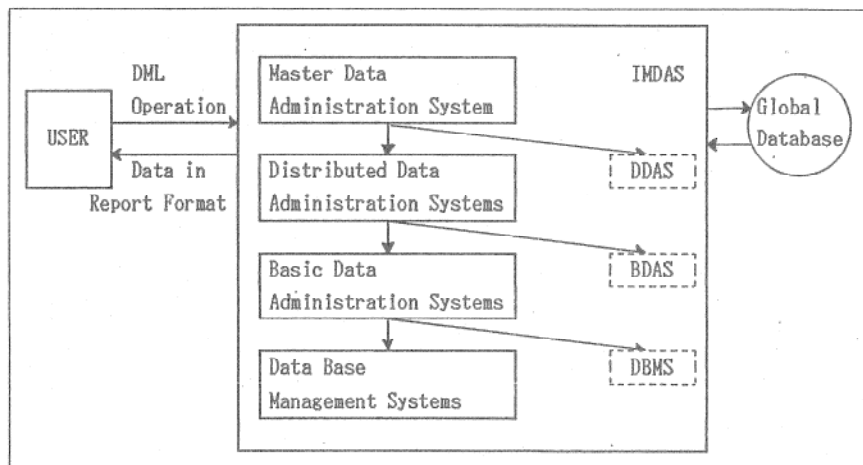


図15 IMDAS (Integrated Manufacturing Database Administration System) の概念と階層構造 (NBS)

なお、図中の記号、

BDAS: コマンド変換, データ変換, 通信機能.

DDAS: 分散DBの制御と管理機能.

MDAS: 全体ディレクトリ管理 (分散DBの整合性管理) 機能.

を意味する。

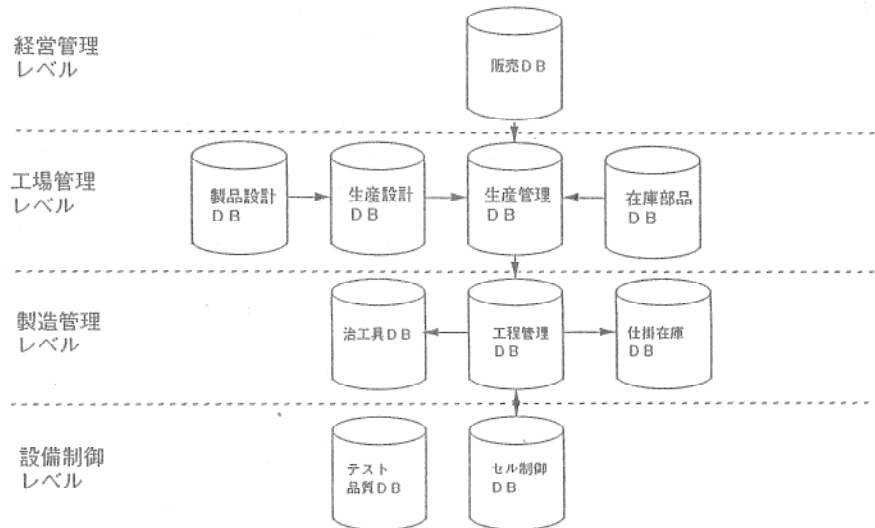


図16 CIMデータベース構成図

かし、全般として、個別的なデータベースの実用化の程度は高いことが明らかとなった。

次いで、標準化の要求の高いのは、製品設計や生産設計のデータベースといった比較的生産の上流側にあるデータベースである。さらに、将来問題については、(i) データベースの論理レベルや物理レベルの夫々における集中化と分散化に関するガイドと標準化 (ii) 目的別データベースの分散化と協調性 (iii) データベース・アクセス・インタフェースの標準化 (iv) 知識ベースとの結合、など多数の項目が指摘されている。

## 8. 要素技術

CIMシステムは、販売・マーケティング、製品設計、生産設計（工程設計、作業設計）、資材所要量計画、在庫管理、生産計画、生産管理、工程管理、制御機器、各種の固有設備（加工装置、組立装置、ロボット、搬送装置、倉庫、計測・検査機器など）などの諸要素から構成される。従って、これらの諸要素の基礎技術とそのシステム化の展開については十二分の理解が求められることは言うまでもない。

ここでは、これら要素技術のうち、生産設計に的を絞って最近の動向に触れることとしたい。

CIMの観点から、特に生産設計で検討すべき課題をまとめると、以下ようになる。すなわち、

1. 製品工場モデル、プロセスモデルなどのCIMデータベースを中核とする製品設計、生産設計、生産管理および生産制御の統合化。
2. 生産に関する経験則やノウハウなどの知識情報の利用。
3. シミュレーション技術の有効な活用。
4. 塑性加工、切削・研削、組み立ておよび検査を含む生産工程設計の実用化。
5. 生産スケジュールを考慮できる動的工程設計の実現、などである。

### 8.1 製品、工場、プロセスのモデル

以下では、これらの課題の要点についてみてみよう。製品モデルは、対象製品に関する情報を表現するものであり、これには製品の設計、生産、管理に関する情報が含まれる。例えば、製品設計から生産設計、生産制御にいたる技術情報処理について考えると、各々の製品に関連する技術情報、すなわち、(a) 製品の要求仕様および要求機能、(b) 製品の構造および形状情報、(c) 製品の精度、あらかさなどの情報、(d) 塑性加工、切削・研削加工、組み立ておよび検査などに関する生産工程情報、(e) 数値制御データなどの生産制御情報、および (f) 製品設計者、生産工程設計者の意志決定基準および意図、などがある。そして、これらの情報が、各対象製品について表現されていることが要求される。また、これらの内容は、意志決定プロ

セスおよび生産プロセスの進展に伴い、動的に追加、修正されていく。

工場モデルは、生産プロセスに含まれる生産設備、作業員およびその他の工場の資源などに関するものであり、これは静的な情報と動的な情報を含んでいる。静的な情報には、各々の生産設備の機能、能力および平均稼働率など、作業員についてはその資格および平均勤務時間など、資源については電気、ガス、水道および各種のソフトウェアなどに関する情報が含まれる。また、動的な情報には、ある時刻における生産設備および作業員の作業内容、作業位置、作業スケジュールなど、および各種資源の状態に関する情報が含まれる。

プロセスモデルは、設計プロセスおよび生産プロセスの進展に伴う製品の状態の変化過程を追跡するためのモデルであり、設計プロセスと製品情報との関係、生産設備、作業員および各種の資源などが生産対象製品の変化に与える作用および影響などを表現するモデルである。

以上のように、製品モデル、工場モデルおよびプロセスモデルは、CIMにおける意志決定を統合化するためのデータベースの主要な構成要素であり、これらのモデルを介してのみ情報を伝達することで、それぞれの意志決定システム間の情報の整合性が確保できるとともに、情報の重複も避けることが可能となる。

CIMのための製品モデルの研究、開発は多数の大学、研究機関で行われており、またISO（国際標準化機構）による製品モデルの交換標準に関する議論も進められている。しかし、個々の企業および製品の種類により、さらに対象とするアプリケーションの種類により、製品モデルに含まれるべき情報の内容が異なるため、一般的な製品モデルのデータ構造は開発されていない。以下、製品モデルに関する最近の研究、開発動向の中から、生産設計に関して重要と考えられる製品精度のモデリングおよび形状特徴（Form Feature）を含む製品モデルについて簡単に説明する。

#### 8.1.1 製品精度のモデリング

生産設計において、生産方法、生産順序あるいは生産機械を決定する場合、製品の構造、形

状および寸法などの幾何学的情報以外に、製品に許容される精度に関する情報が極めて重要となる。そのため、精度に関する情報が幾何情報と関連した形式で製品モデルに記述されていることが必要となる。例えば、JISで定義されている幾何偏差および公差に関するデータを、(1) 形体、(2) データム、(3) 公差域の形状、(4) 公差域の方向、(5) 基準寸法、(6) 公差値（上の寸法許容値）、(7) 公差値（下の寸法許容値）の7つの項目で統一的に表現し、製品の形状モデルと統合化する手法が提案されている。

また、製品精度は、製品や部品に対する要求機能を生産プロセスに対する制約条件に変換したものであり、設計者の設計意図を表わしているととらえることができる。この観点から、製品精度を形状に関する幾何学的な拘束条件としてとらえ、これらを論理式の形式で一般的に記述する手法が提案されている。

製品精度のモデリングに関しては、従来のJISの定義の見直しを含め、さらに議論が進められることが期待される。

#### 8.1.2 形状特徴を含む製品モデル

生産設計においては、製品や部品に含まれる穴や溝などの局所的な形状に着目し、これら局所的な形状に対して生産方法、生産機械などを選択することが一般的に行われている。しかし、これらの局所形状は、製品モデルにおける形状モデルの単位、例えば境界表現（B-Reps：Boundary Representation）における形状要素（面、線、点）、あるいは構成立体幾何（CSG：Constructive Solid Geometry）における基本立体、には直接対応しないことが多い。このため、近年、これらの形状特徴の情報を製品モデル内に表現する手法が検討され、形状モデルから形状特徴を認識する手法、あるいは形状特徴の組合せで形状モデルを構成する手法、などが提案され、工程設計などに利用されている（図17参照）。

しかし、形状特徴の明確な定義がなされていないこと、対象とする生産方法により形状特徴の種類が異なること、などの問題点が指摘されており、今後、形状特徴の定義ならびに形状特徴の分類、整理に関する方法論を含めた研究、

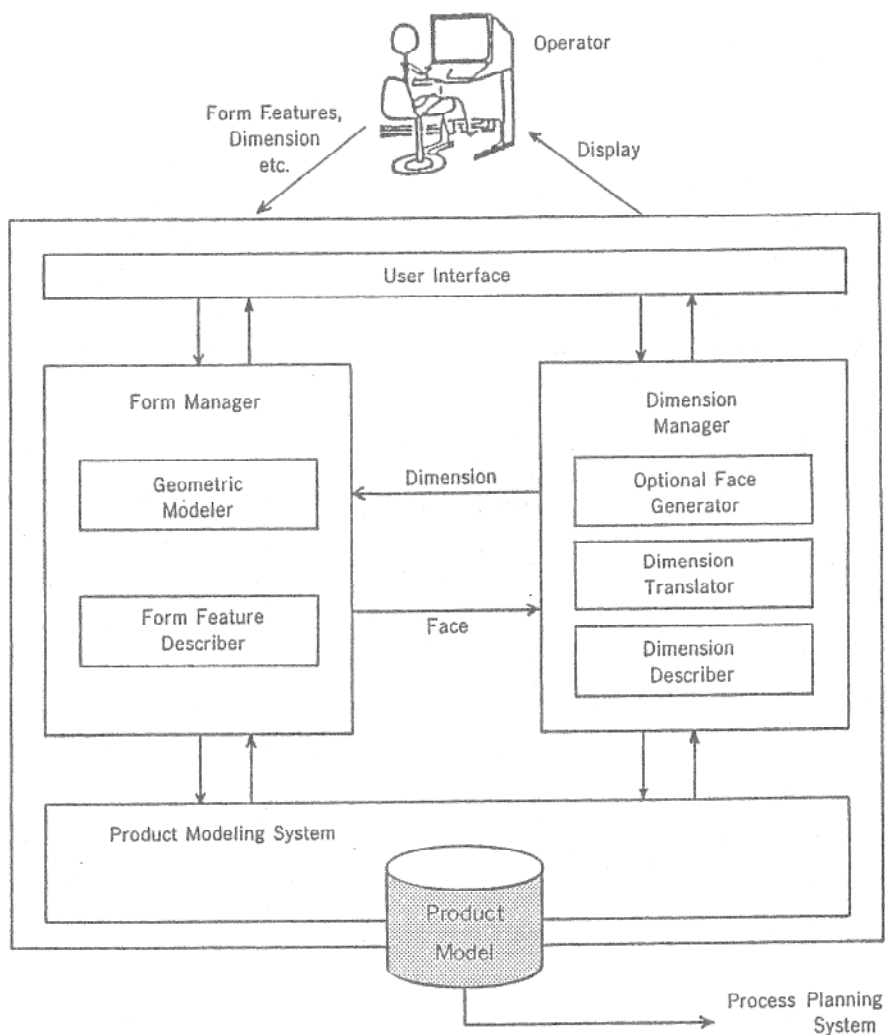


図17 形状特徴を用いた製品モデリング (4)

開発が望まれる。

### 8.2 生産設計と知識, ノウハウ

生産設計における意志決定を、コンピュータを用いて自動化するには、熟練技術者の持つ経験則やノウハウなどのいわゆる知識情報をコンピュータ上で表現し、利用することが重要となる。そのため、生産設計に対する知識工学およびエキスパートシステムの適用が活発に行われつつあり、特に工程設計の分野においては、最近の数年間に開発が急速に進み、研究レベルのみならず工場レベルで適用可能なシステムの開発も行われるようになった。

知識工学やエキスパートシステムを生産設計に適用する場合に、考慮すべき最も重要な問題は、以下の2つにまとめられる。すなわち、

(1)意志決定のどの部分にどのような知識を利

用すべきか。

(2)知識をどのような形式で表現するか。  
である。

(1)の問題については、生産設計における意志決定プロセスを詳細に分析、整理し、各プロセスに対して、論理的なアルゴリズムが構築可能であるか、あるいは経験的な知識に基づく処理が必要であるかを判断することが必要となる。例えば、切削・研削加工の工程設計におけるヒアリングの結果に基づき、工程設計の情報処理の流れとその中で知識に基づく処理が必要な部分をまとめると、図18のようになる。

(2)の知識表現については、知識工学の分野で研究、開発が継続的に行われてきている。従来より提案されてきた代表的な知識表現方法としては、ツール、一階述語論理、フレームおよ

びセマンティックネットワークがあげられる。これらの知識表現を用いて生産準備関連の具体的な知識の記述を試みた例によると、ルール、フレームおよびセマンティックネットワークの適用範囲がかなり広いと考えられる。これまで開発された知識ベース工程設計システムでは、ルール、フレームまたは両者の組合せによる知識表現を用いているものが多い。

今後、この分野における最も重要な研究課題として、生産加工に関する深い知識の表現と利用の方法論の確立があげられる。すなわち、生産加工プロセスに関連して確立されてきた各種の理論式、実験式、シミュレーションプログラムなどの理論的、解析的な断片的知識をいかにコンピュータ上で表現し、利用するかという問題である。これに関連して、有限要素法解析を加工条件の設定あるいは塑性加工の型設計などに応用する研究が始められており、今後の発展が期待される。

### 8.3 生産設計におけるシミュレーション

生産設計におけるシミュレーションの主な役割は、設計された生産工程にしたがって実際の生産プロセスを制御した場合に、所定の製品が

得られるか否かをコンピュータ上の計算により確認することである。このためには、工場モデル、プロセスモデルならびに生産対象製品のモデルに基づき、実際の生産プロセスを追跡し、最終製品の形状、寸法、精度などを評価することが必要となる。

シミュレーションの手法は、切削・研削加工、組立、塑性加工など、対象とする生産方法により異なるが、シミュレーションで解析すべき内容としては、以下の3項目が重要と考えられている。(1) 製品の形状および寸法(干渉チェックも含む)。(2) 製品の精度およびあらさ。(3) 製品の応力、ひずみなどの内部状態。

(1) に関しては、切削・研削加工および組立の場合、対象製品を剛体として取り扱うため、形状モデルに基づく幾何学的な運動のシミュレーションプログラムを利用したシステムが開発され、特に、3次元の干渉チェックに対して有効に利用されている。これに対して、塑性加工の場合には、製品自身の変形挙動が問題となるため、主として差分法や有限要素法を用いたシミュレーション手法が適用され、鋳造時の製品の変形挙動、あるいは射出成形時の材料の流れの解

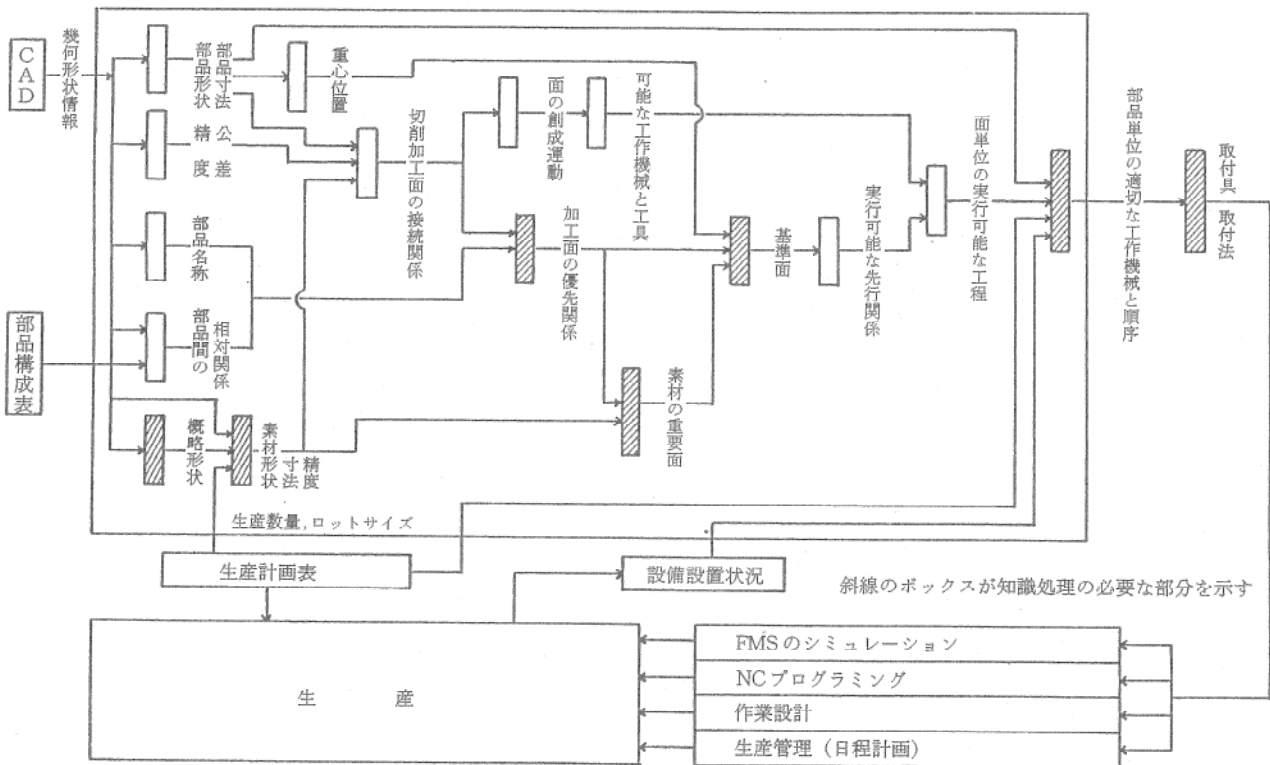


図18 工程設計における処理の流れと知識の必要性

析を行うプログラムなどが開発され、利用されている。

(2) については、主として切削・研削工程の仕上げ加工時に重要となるが、切削・研削プロセスにおける仕上げ面生成機構のモデル化が困難なため、厳密なシミュレーションは、現状では、容易ではない。簡易的な方法として、切削力による工具の変形による幾何学的誤差から仕上げ面の精度やあらさを求める手法が検討されている。また、加工精度については、フレキシブルなモジュラー治具の提案、治具の設計システムあるいは治具と工作物の変形状態の解析システムなどの開発が行われており、工作物、治具、工具を含めた加工プロセスのシミュレーションに関する検討が今後進められるものと期待される。

(3) では、製品内部の応力やひずみなどの状態が問題となるため、有限要素解析などの製品内部を取り扱えるモデリングおよび解析手法が必要となる。この分野では、塑性加工プロセスに関する研究が進んでおり、例えば、射出成形製品の内部応力およびひけの解析などはその代表例である。しかし、切削・研削加工の場合には、切りくずの分離という破壊現象を取り扱う必要があるため、有限要素法によるシミュレーションが困難であり、現在、いくつかの研究機関で、主として2次元切削過程のシミュレーションに関する研究、開発が進められているところである。

#### 8.4 生産工程設計の流れと基本構成

機械製品の製造は、基本的には次のような手順にしたがうものと考えられる。すなわち、まず、鋳造、塑性加工などにより素形材を成形し、その後、必要に応じて切削、研削などの機械加工やラッピング、ポリッシングなどの仕上げ加工を行うことで部品を完成させ、最後に、これらを組み立てて最終製品を完成させる。さらに、これらの途中で、必要に応じて検査工程、熱処理・表面処理プロセスなどを行う。ただし、これらのプロセスは単純にシーケンシャルに行われるのではなく、並列処理やフィードバックが含まれる。

このような複雑な生産工程を設計するには、

塑性加工、切削・研削加工、組立などの工程を独立に考えるのではなく、素形材から完成製品にいたる製造プロセス全体を考慮したうえで生産工程の設計を行うことが重要である。このような観点から、生産工程設計システムの全体構成の一例を図19に示す。ただし、簡単化のため、図ではフィードバックは省略している。それぞれの工程設計プロセスを簡単にまとめると次のようになる。

##### (1) 部品展開

製品設計の結果として得られた製品モデルを、組立および切削・研削加工の可能性を考慮しながら、複数の部品のモデルに分解する。このプロセスでは、機能的には一体で製造すべきものを、組み立て加工の可能性および組み立てと部品加工に関するコスト、工数などの観点からいかに複数の部品に分割するかが重要な問題になる。

##### (2) 素形材の設計

部品のモデルに基づき、その素形材の形状、寸法、製造方法などを決定する。ここでは、鋳造、塑性加工などの素形材製造にかかわるコストや工数と、切削・研削加工に必要なコストや工数とのトレードオフを考慮した意志決定が必要である。また、溶接などの組み立て工程の一部および熱処理・表面処理なども考慮する必要がある。

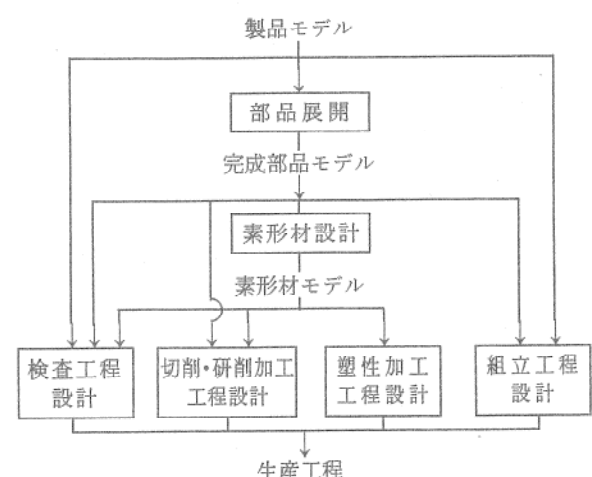


図19 生産工程設計システムの全体構成

##### (3) 切削・研削加工の工程設計

部品ならびに素形材のモデルより、切削・研削加工などの工程設計を行う。また、熱処理・

表面処理工程，組み立て後の調整加工工程，検査工程なども考慮することが必要となる．ここで，部品の所定の形状，精度を切削・研削加工で実現できなければ，部品展開および素形材設計へフィードバックすることもある．

#### (4) 塑性加工の工程設計

素形材のモデルならびに製造法に基づき，その塑性加工工程の設計を行う．また，熱処理・表面処理・検査工程なども考慮する．ここで，素形材の製造が不可能ならば，素形材の設計へフィードバックすることが必要となる．塑性加工の工程設計においては，金型の形状および寸法の設計も極めて重要な問題である．

#### (5) 組み立て工程設計

製品のモデルおよび部品のモデルに基づき，部品から製品を組み立てる工程の設計を行うとともに，組み立てに必要な治具などの設計を行う．また，組み立て後の調整加工，検査工程なども考慮する．組み立てができない場合，部品展開へフィードバックする．

#### (6) 検査の工程設計

検査工程は，上記の切削・研削加工，塑性加工および組み立て工程の中に含まれる工程中検査と，製品が完成した後に行われる性能や品質の検査とに大別される．このうち，完成後の最終検査については，他の工程と独立に設計できるが，工程中検査については，他の工程の設計と同時に考慮することが必要となる．

### 8.5 スケジュールリングを考慮した動的工程設計システム

生産工程設計は，ある特定の生産対象製品の生産手順，生産機械などを設計するものである．これに対して，生産スケジュールリングでは，ある生産計画期間に生産される複数の製品の生産工程に基づき，各製品の各生産工程に特定の生産設備および作業者を割り付け，ガントチャートを作成する．

従来，生産工程設計と生産スケジュールリングは独立したプロセスとして取り扱われてきた．すなわち，生産工程設計では，単一の製品に対して複数組の生産順序および生産設備の候補を設計しておき，生産スケジュールリングでは，これらの生産工程の候補のなかから適切なものを

選択しながら，ある生産期間に製造される全ての製品について生産設備および作業者の割り付けを行い生産スケジュールを決定してきた．しかし，この方法では，超多品種少量生産に対応しきれないとの認識が生じ，生産工程設計と生産スケジュールリングを同時に行おうという考え方が提案されつつある．以下では，DPP（動的工程設計；Dynamic Process Planning）システムを例に取り，工程設計と生産スケジュールリングの統合化について検討する．

DPPシステムの基本構成は，図20に示すように，前述の工程設計システムKAPPSと生産スケジューラを組み合わせたものであり，生産スケジューラは生産プロセスのシミュレータ（汎用言語SIMANを用いて開発）を含んでいる．ノウハウベースには，工程設計ならびに生産スケジュールリングに必要なノウハウが，KAPPSと同様，フレームの形式で格納されている．

このシステムの基本的な考え方は，生産プロセスを汎用性のある工作機械（例えば，マシニングセンタおよびターニングセンタ）を主体に構成し，工程設計では，これらの工作機械の状態ならびに将来のスケジュールを考慮しながら部品の工程を各工作機械に割り付けるとともに生産スケジュールも同時に決定しようとするものである．この考え方に基づく処理手順は以下のようなになる．

(1) 生産対象部品の生産工程を設計する．

(2) 生産プロセスの現状を参照して，最も早く作業にかかれる工作機械の工具の状態から実際に加工が可能か否かを判定する．加工が可能な場合，その工作機械に部品を割り付ける．

(3) 工具の状態から加工が不可能な場合，以下の3つの戦略の中から，適切なものを，ノウハウベース内のノウハウに基づき，選択する．

- ・その機械に必要な工具を追加する．
- ・他の代替工作機械に割り付ける．
- ・工程を分割して他の代替工作機械に割り付ける．

(4) (1) から (3) の処理を，ある生産期間に生産すべき全ての部品について行う．

以上の処理を，具体的な生産工場のモデルに



9. 終りに

製造業におけるCIMへの関心は極めて高く、一種のブームの感がある。しかし、CIMは未来永ごうに続く切り札的な技術ではないことに留意しておく必要がある。絶え間なき変遷の過程の一里塚である。次の一里塚はどちらの方向であろうか。

昨今、欧米では製造業の復権への並々ならぬ意欲を見せはじめた。我が国も国際協調の立場からIMS (Intelligent Manufacturing Systems) を提案した。今後、よりスマートな協調と競合の時代に入っていくものと予想される。この流れの中で、CIMにも関連して、特に留意しなければならないのが概念 (Concept) の重要性であろう。

新しい変化を模索する意味から筆者らは製造における戦略と新しい文化 (製造文化と呼ぶ) の構築に向けての思索を始めた。絶え間ない変化へ対応する一つの試みと考えている。

最後に、本小文がCIMの基礎を理解する上で、少しでもお役に立てば望外の喜びである。

【参考文献】紙面の都合で省略。

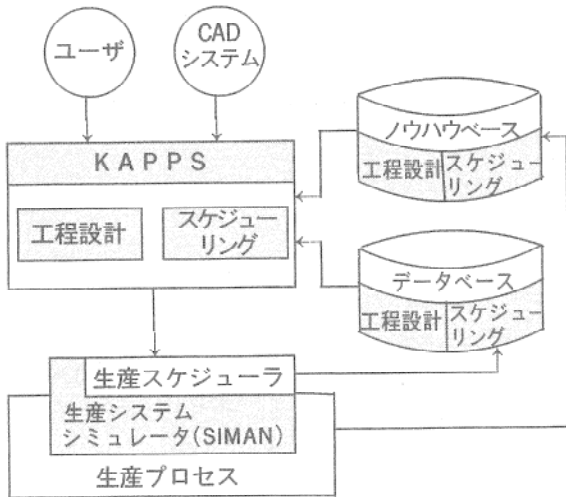


図20 工程設計とスケジューリングの統合

適用した場合、工程設計と生産スケジューリングを個別に行う通常の方法に比較して、工作機械の負荷が平均化され、動的工程設計の有効性が確認されている。

このような工程設計と生産スケジューリングの統合化の試みは、最近注目をあつめつつある「Simultaneous Engineering」のひとつの試みといえ、将来のCIMを実現する上で重要な検討例であるとみることができよう。

