



技術解説

CAD/CAM システム

岩 田 一 明*

1. はじめに

「CAD」, 「CAM」, 「CAD/CAM システム」という言葉が, ここ1両年, 生産技術にたずさわる国内外の産業界の人々の間で流行語のようにして使われている。また, 生産に関する日米の国家的プロジェクトにも「CAD/CAM システム」の関係が取り上げられ進捗が計られている。たとえば, 米国における ICAM¹⁾ (Integrated Computer Aided Manufacturing; 5ヶ年計画, 総予算約200億円), IPAD²⁾ (Integrated Programs for Aerospace-Vehicle Design; 5ヶ年計画, 総予算20億円), ICAD (Integrated Computer Aided Design; 1980年開始) や我が国における超高性能レーザ応用複合生産システム³⁾ (7ヶ年計画, 総予算120億円) などである。

CAD (Computer Aided Design; コンピュータ援用設計) および CAM (Computer Aided Manufacturing; コンピュータ援用生産(又は製造))の用語が文献に登場したのは, 夫々1963年と1969年のことであるから古い話ではない。ここ10年余から20年ぐらいの間のことである。CAD と CAM を統合した CAD/CAM システム (コンピュータ援用設計・生産システム) さらに生産管理面も含めた IMS (Integrated Manufacturing System; 総合生産システム) といった用語は CAM と時を同じくして現われているから, やはり10年ほどの歩みである。従って, この分野は10~20年の間に, 概念形成から基礎研究, 応用研究, そして一般的普及という一つのサイクルを経過したこととなる。

CAD/CAM システムは, 当初の頃には自動

設計・生産とか, コンピュータ利用設計・生産といった名称で呼ばれていたこともあるが, 最近ではコンピュータ (計算機) 援用設計・生産システムに落ち着いている。このシステムの内容は, 名は体を表わすのたぐいで, 設計・生産分野にコンピュータを有効に利用することによって, 生産性, 信頼性, 柔軟性などに富んだソフトウェア並びにハードウェアシステムを構築しようとするものである。

以下, 本解説では, まず CAD/CAM システムの基本構成について述べた後, 最近とくに話題になっている2つの項目, すなわち, 製品 (部品) 形状記述法と高レベル自動プログラミングについて基本概念と現状に触れてみたい。そして最後に, 今後の動向と問題点について一べつすることとしたい。

2. CAD/CAM システムの基本構成

CAD/CAM システムは「コンピュータ及び関連情報機器を有効かつ適切に利用しながら, ニーズを満たす機能・性能をもった製品を, 合理的に設定された評価基準にもとづいて設計し, 生産することを目的とするシステム」⁴⁾と定義され, その基本構成をまとめると図1に示すようになる。ここでは, 製品計画, 技術設計 (製品設計と生産設計), 生産管理, 生産コントロール指令, 生産プロセスの各システムが含まれ, これらが階層構造をなしていることがわかる。ここで, 生産コントロール指令より上流の流れは情報処理を, 一方, 生産プロセスは実際の物の流れを対象としていることに留意しておきたい。

なお, これらシステムを本質的に理解してコンピュータ援用システムを作成するには, 人間とコンピュータとの役割と協調関係を明確にしておくことがとくに重要である。人間とコンピュータとは夫々得意とするところが本質的に異

*岩田一明 (Kazuaki IWATA), 神戸大学, 工学部生産機械工学科, 教授, 工学博士

なっているから、これらの媒体をどうするか、従来の経験やデータを夫々がどの様に利用するかなどについて充分なポリシーをもった上でシステムを設計することが必須である。

3. 製品情報の入力処理と幾何モデル

図1に示した情報処理の流れにおいて、製品

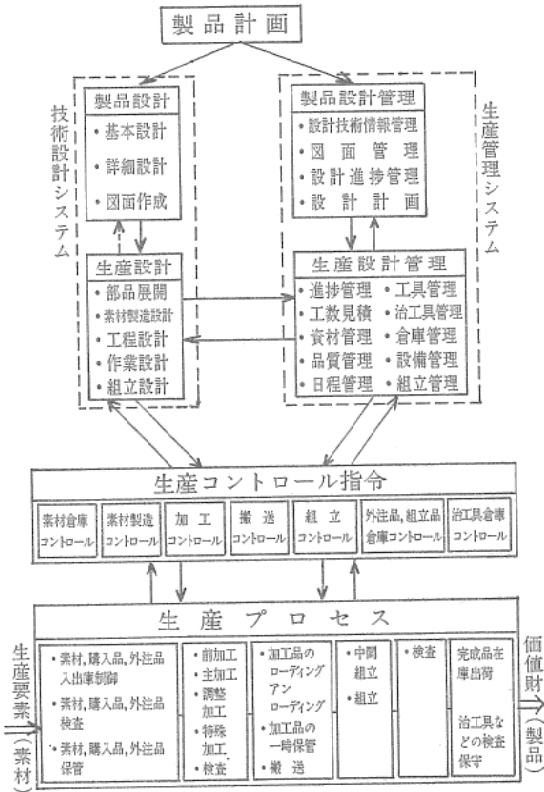


図1 CAD/CAM システムの基本構成

設計, 生産設計, 生産コントロール指令を統合的にかつ自動的に一貫して処理するソフトウェアの開発が目下の急務である. 従来, 製品設計の自動化の分野は設計技術者に, 一方, 生産設計や生産コントロール指令の自動化の分野は生産技術者によって別々に取り扱われてきた. これら, 両分野の統合化を効果的に行うためには設計・生産に共通して使用でき, コンピュータの外部から自由に処理, 操作を行える部品もしくは製品モデルをコンピュータ内部に構築することが必要である. もし, 一旦このモデルができ上がると, あとは対話形式あるいはアルゴリズム形式などを利用して, コンピュータの内部で各種の演算や操作, たとえば強度計算とかパターン認識などを容易に行うことができる. このようなモデルを幾何モデル, モデルの作成を幾何モデリングと呼んでいる.

それでは幾何モデルをコンピュータの内部に作成するにはどのような部品もしくは製品情報を, どのような形で入力し処理すればよいであろうか. このことに関する研究は1973年に発表されて以来, 表1に示すように多くの試みがなされてきた⁵⁾. 主な考え方は設計者が頭に浮べた図面をタブレットなどの装置を媒体にして直接入力する方法と, 一旦スケッチなり図面化された情報を記述言語もしくは記号で入力する方法に大別される. 表中の合成法, 創成法及び両

表1 形状入力法の研究と開発 (代表例)

	システム名	主な研究者	基本的な考え方
手書き図面の直接入力	GEOMAP	穂坂・木村	<ul style="list-style-type: none"> 手書き平面図形とトポロジカルな結合関係 標準立体の和, 差, 積
合成法	GLIDE EUCLID TIPS-1 SHAPES BUILD PADL	Eastman Engli 沖野・嘉数 Laning Braid Voelcker	<ul style="list-style-type: none"> 平面から構成される多面体とブール・オペレータ 同上 基本形状セグメントの集合 二次曲面からできるコンポーネントとブール・オペレータ 基本立体要素の和と差および移動, 回転, 伸縮 基本立体要素とブール・オペレータ
合成法と創成法の組合せ法	COMPAC CIMS/DEC	Spur 岩田ら	<ul style="list-style-type: none"> 部材エレメントの和と差 ベクトル連鎖で記述した部材エレメントの集合と縮約
創成法	MELTS この他多数	竹山ら	<ul style="list-style-type: none"> 形状要素の接続

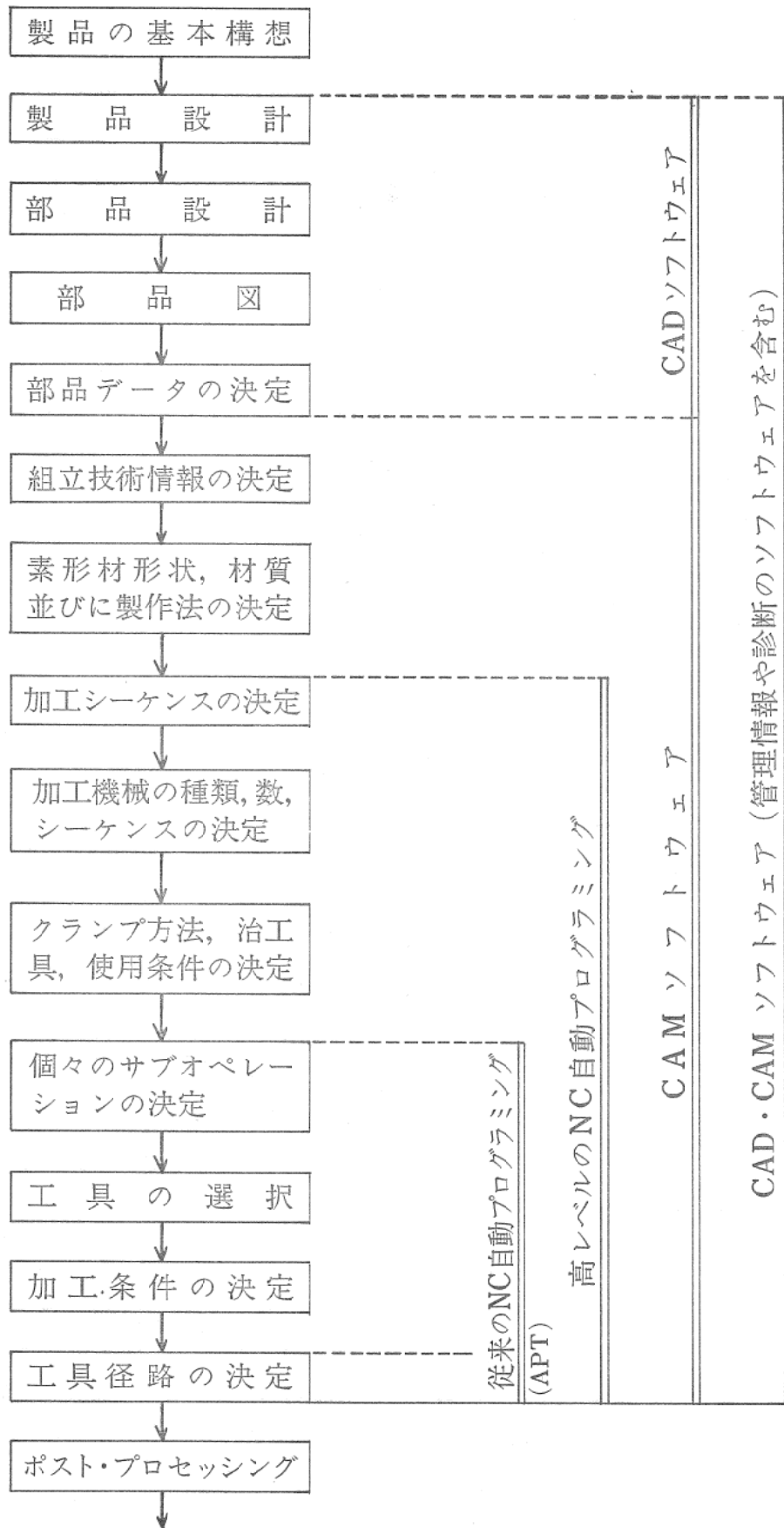


図2 機械部品生産における情報の流れと高レベルNC自動プログラミング

者の組合せ法は後者に含まれる。

合成法は基本立体要素あるいは標準立体と呼ばれる直方体、円柱、円錐、柱体、錐体などをブール・オペレータを用いて演算したり、あるいは集合演算をほどこして、対象製品や部品のモデルを構成させるものである。一方、創成法は部品の輪郭を形状要素（形状ベクトルあるいは機能要素）の連鎖として表現する。また、創成法と合成法の組合せ法は部材の輪郭要素をベクトル連鎖で表現し、次いで部材間の結合を集合と縮約により合成させる方法である⁹⁾。

従来から市販されている CAD システム、たとえば、コンピュータビジョン、カルマー、アプリコン、ガーバーなどは、システムによって若干の差異があるものの、基本的な分類としては自動製図に属するもので、上でのべた幾何モデルを用いたコンピュータ援用設計のレベルには到達していない。恐らく、ここ 2、3年の内に、手書き図面の直接入力法や合成法にもとづく実用的な CAD システムが市場に登場するものと思われる。従来タイプを第一世代の CAD と呼ぶならば新しくでてくる商品は第 2 世代の CAD といわれることとなろう。その際、表 1 に示した提案手法のうち、どの方法にもとづいて実用化が計られるかについては、設計計算の効率性、加工・検査・組立などで生じる形状や精度の変化過程の演算の容易性と正確さなどが評価の基準となるであろう。要するに、CAD/CAM/CAT (Computer Aided Testing) の共通のモデルとなりうるかどうかというところに主眼をおいて判断されることとなろう。とにかく、提案としては一応出揃った状態にあると思われるので、今後、選択、集約化、標準化の方向に進んでいくものと推測される。

4. CAM ソフトウェア——高レベル自動プログラミング——

機械部品を対象とした場合の設計・生産の情報処理の流れは図 2⁹⁾ の様にまとめられる。工具径路の自動決定用の NC 自動プログラミングは 1952 年から APT (Automatically Programmed Tools) の名称で開発され、今では全世界で広く使用されていることは衆知のところである。その後、1960 年代半ばには EXAPT

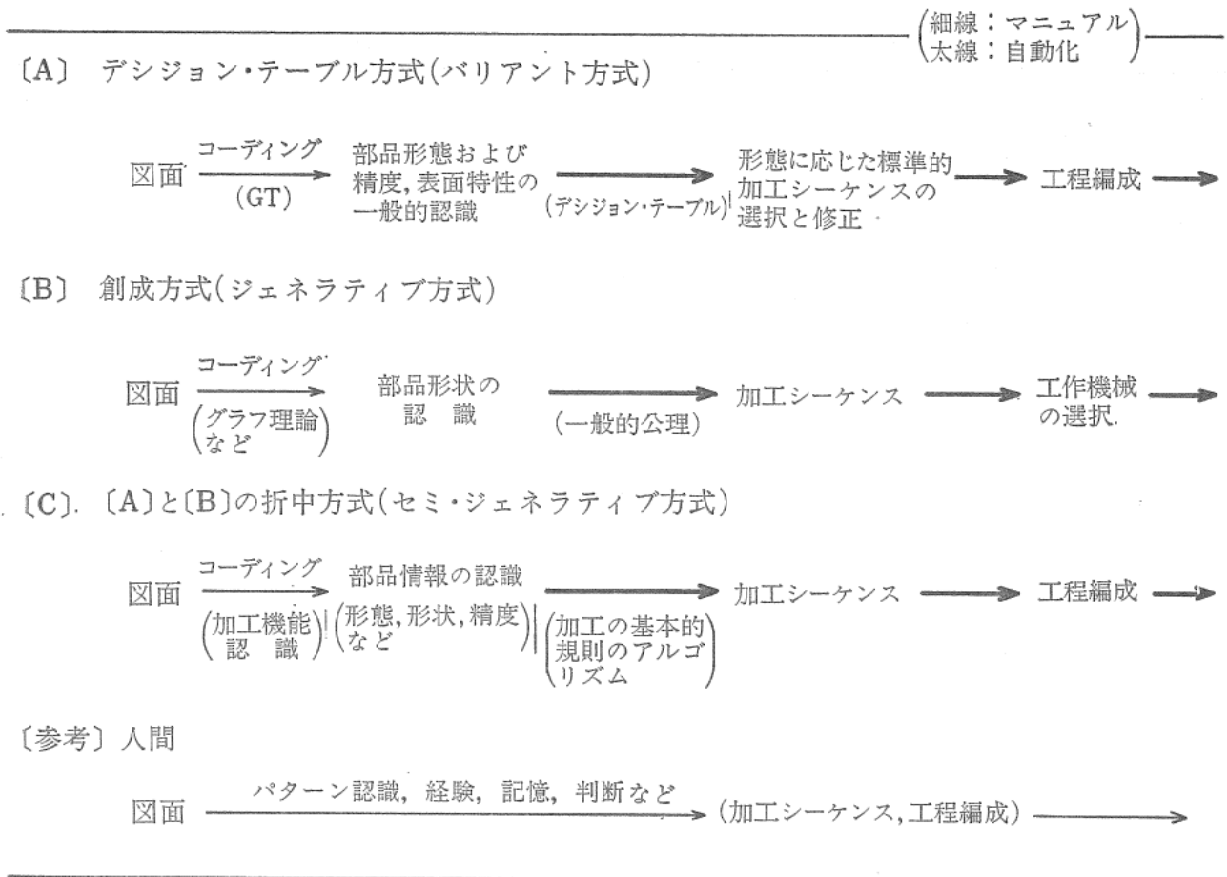
(Extended Subset of APT) が西ドイツにおいて、また MITURN がオランダにおいて個々のサブオペレーションの決定から工具径路の決定までを含む形で開発された。現在、なお開発が続けられているが、一部は実用化されており、我が国でも数社が使用していると伝えられる。APT 及び EXAPT レベルの NC 自動プログラミングを従来レベルあるいは作業設計レベルの自動プログラミングと呼ぶ。

1960 年代の終りになると従来レベルの自動プログラミングと部品設計の間に位置する工程設計の自動化の必要なことが明らかとなり、工程設計を含むいわゆる高レベルの自動プログラミングが研究されるようになった。すなわち、加工シーケンス、加工機械の種類・数・シーケンス、クランプ・治具などの情報処理の自動化である。

ところが、工程設計は生産技術上のノウハウのかたまりのようなところであるため、自動化といっても一筋縄には到底いかないというのがこれまでの経験である。1970 年代は研究者達がいろいろと試行錯誤を重ねてきたが、1980 年代前半にはかなりすっきりとした形でシステムが作られるようになり、1980 年代後半からは本格的な実用化が始まるものと予想される。そこで、ここでは、従来から提案されている基本的な考え方を整理するとともに、システム開発の現状について少し触れておきたい。

まず、工程設計の自動化に際しての基本的な考え方をまとめると表 2 のようになる。〔A〕は過去の経験を集大成したアルゴリズムやデータにグループ・テクノロジー (GT) の手法を有効に利用しようとするもので、デジション・テーブル方法とかバリエーション (variant) 方式とか呼ばれる。従来、実用化が試みられているのはこの方法で、最も現実的で着実なアプローチといえるが、過去の経験以上の何物も新しく生まれてこないという短所をもっている。〔B〕は設計図面情報から幾何形状、技術情報を自動的に認識し、そこに生産技術に関する一般公理を適用して、制約条件内で最適な方法を創成しようとするもので、創成方式とかジェネラティブ (generative) 方式と呼ばれている。理論的

表2 工程設計の自動化の基本的な考え方



なアプローチといえるが、これまでのところ、形状認識、形状と生産との関連を理論的に求める方法論など、解決されていない問題が多い。

〔C〕は〔A〕と〔B〕の折衷方式で、セミ・ジェネラティブ (semi-generative) 方式とも呼ばれる。これは部品形状から加工形状を認識すること及び加工形状から加工法と加工シーケンスを探索する際に、公理と過去の経験を加味した基本的規則 (アルゴリズム) を作り、それらの組合せ演算より適正な工程を探索しようとするものである。

これまで開発されてきている代表的なシステムをまとめると表3のようになり、世界的趨勢は創成方式に移りつつある。なお、1980年後半における米国の調査から、今後の動向が注目されるのはCAM-1におけるジェネラティブ工程設計 (XPS-1 システム)⁷⁾、ユナイテッド・テクノロジー社のCMPPシステム⁸⁾である。また分類システムとしてのDCLASS⁹⁾も検討に値するものと思われる。

5. あとがき

以上、CAD/CAM ソフトウェアシステムの現状の一端に触れたが、この他、フレキシブル生産システム、産業用ロボットを含む搬送、組立、検査システムなど、生産プロセス、とくにハードウェアに関する新しい動向などにも見るべきものがある。しかし、ここでは紙面の都合により省略させていただくことをお許し願いたい。

CAD/CAM システムは1980年代における生産ソフトウェア分野の目玉として、今後さらに自動化、最適化、総合化が進み、1980年代後半には実用化が計られるであろう。もし実現すると、設計・生産分野へのインパクトはかなり大きなものになるものと思われる。これらの実現には、次に示す種々の方法論が研究される必要がある。

(a) 3次元パターン認識、(b)大規模数理計画法、(c)大規模スケジューリング理論、(d)多次元因子のグループ化理論、(e)機能—構造変換論、

表3 工程設計自動化の代表例

開発場所	開発年	システム名	基本的考え方 の類別
(国外)			
1. NAKK (ノルウェイ)	1969年	AUTOPROS (Automated Process Planning System)	A
2. Berlin T.H. (西ドイツ)	1974年	CAPSY (Computergestutztes Arbeits-Planungs-System)	C
3. CAM-I (国際的)	1975年→	CAPP (CAM-I Automated Process Planning)	A
4. Purdue Univ. (アメリカ)	1975年→	CMS (The Optimal Planning of Computerized Manufacturing Systems)	A
5. United Technologies Corporation (アメリカ)	1976年→	CMPP	C
6. CAM-I	1978年→	Coupling of COMPAC, CAPSY and CAPP	C
7. Budapest Tech. Univ. (ハンガリー)	1979年	Semi-generative process planning system	C
8. Tipnis Associates, Inc. METCUT Research Associates, Inc. and G. E. (アメリカ)	1978年	PRO-CAM System	C
9. Technical Univ., Tallinn (ソ連)	1979年	The part-family oriented CAPP system	C
10. Technische Hochschule "Otto V. Guericke" (東ドイツ)	1979年	AUTOTECH	C
(国内)			
1. 日立製作所	1968年	GT手法による工程、標準時間の自動設定システム	A
2. IMSS研究会	1972年	CAPP (Computer Aided Process Planning System)	A
3. 東大	1973年	Decision of Machining Sequence by Functional Analysis of Machine Tool	B
4. 三菱重工	1974年	機械加工自動方案見積システム	A
5. CIMS研究会	1976年→	CIMS/PROシステム (Computer-aided Integrated Manufacturing System/Production Planning)	C
6. 東大・三菱電機	1977年	API	C

注) 記号 A: 過去の経験にもとづくデシジョン・テーブル方式
 B: 部品情報認識にもとづく創成方式
 C: AとBの折中方式
 →印: 開発進行中

(f)ソフトウェア工学, (g)設計者, 作業者の思考, 想像, 経験, 意思決定の方法論。

今後におけるこの分野の発展は社会, 経済, 国際, 自然, 技術, 労働などの諸環境の変化の影響を受けながら進むであろうが, それについても従来実用化されている基本的な生産ソフトウェアのほとんど大部分が外国産であることは一考を要しよう。今後において世界的規模で使用されるCAD/CAMソフトウェアが我が国から誕生し育つことを願いながら筆をおきたい。

参考文献

- 1) D. E. Wisnosky & D. L. Shunk: An Overview of the Air Force Program for Integrated Computer Aided Manufacturing (ICAM); SME Technical paper, MS 77-254, pp. 1-23 (1977).
- 2) H. A. Crowell, R. P. Dube & R. Magedson: IPAD Geometry Design, First Annual Conference on Computer Graphics in CAD/CAM Systems, pp. 307-329 (1979).
- 3) T. Ohmi, M. Kanai & F. Honda: Research and Development of a Flexible Manufacturing System Complex Provided with Laser—A Japanese National Project; Technical paper, The Workshop on Flexible Manufacturing Systems, pp. 1-6 (1978).
- 4) 精機学会総合生産システム研究分科会: 機械生産システム用語辞典 (1978).
- 5) 岩田: 機械的生産システムに関する入門的解説12項, 日本機械学会 関西支部 第88回講習会, pp. 1-17 (1980).
- 6) 岩田: CAD・CAMシステム—ソフトサイエンスからの期待—, システムと制御, Vol. 23, No. 5, pp. 213-224 (1979).
- 7) CAM-I: Functional Specification for an Experimental Planning System, XPS-1, Report R-80-ppp-03, pp. 1-27 (1980).
- 8) W. S. Mann: A Computer Process Planning Technology, United Technologies Co. Report (1976).
- 9) D. K. Allen & R. P. Millett: Introduction to the DCLASS Information System, Brigham Young University, pp. 1-14 (1980).