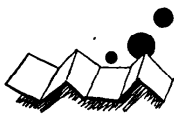


解説



航空機産業における CAD/CAM†

中 村 潤‡

1. ま え が き

今日の航空機は省エネルギー、低公害といった経済的、社会的要求を受け一方、機体は大型化、複雑化、高速化しその開発に多額の費用を要するようになってきた。そして世界の厳しい市場競争の中で、開発によるリスクの分担、資金負担の分散、市場の確保のため国際間での共同開発が活発化している。昭和53年から始まった日、米、伊共同による B767 旅客機の開発はその契機となった。

これらに併行して、いくつかの国産による開発機が国内の企業や研究所の協力の形で進められ、我が国の航空機産業は戦後の再開以降もっとも多忙化しているといえよう。

航空機の CAD/CAM はこれらの国際共同や国産の開発プロジェクト、あるいは一部にライセンスによる軍用機の生産に対応して順次整備、充実化を図ってきた。なかでも米国企業との共同開発では、相手の CAD/CAM が衆知の如く世界的にリードした立場にあるだけに設計や製造情報のコンピュータ化が進み、その情報交換はいわゆる磁気テープを媒体にして行われることが多い。これらを受けて自社の設計、生産体制の中で円滑に流していくには、他社との CAD/CAM システム間のインターフェースもさることながら、自社内に独自のシステムを確立しておくことが必要であり、我が国航空機産業の CAD/CAM が推進された動機の一つともなっている¹⁾。

2. CAD の背景

航空機は空気力によって生ずる揚力を利用して飛行する製品であり、その設計過程は空気力学や運動力学を背景に比較的解析的に進められている。またできるだけ軽量化するために、設計はわずかの重量も削減す

ることに常に努力が注がれる。一方安全性、信頼性の保証は最大の要求であり、いわば重量削減と安全性という相矛盾した2つの組合せの中で製品価値としての性能品質と経済性が追求される。

そのため、基本計画、基本設計の段階では数多くの机上モデルが創成され、個々のモデルについて重量見積、安全性確認、性能評価が繰り返される。これらの中から要求仕様を満たす最適の機体を短期間に、十分な精度をもって取捨選択していくのは計算機の援助なくしては為し得ないといっても過言ではない。

図-1 は航空機の設計から生産に至る開発日程の例とその間の主な計算機の利用分野を示すものである。設計の初期の段階では計画要求の諸数値を入れて要求を満たす航空機の諸元を探索するためのコンピュータプログラム PASPA (Program for Automated Search and Parametric Analysis) が国内共同により既に開発されている²⁾。また 図-2 は机上モデルの段階で行われる種々の評価の一例で、戦闘機の着陸時にパイロットから見た前方の視界域を表示したものである。同じ視界をグラフィックディスプレイを用いて動画的にシミュレーションした例もある³⁾。

計算機の役割は設計そのものを自動化するものではなく、あくまでも計算機のもつスピードと正確さにより設計者の創造力と総合判断力を支援するものである。このための設計システムを従来より広義に CAD と呼び、今日 CAD/CAM が整備される以前に先行して進められていた⁴⁾。

3. CAD/CAM の推移

新しい航空機が大型化し、複雑化し、同時に多数の開発、生産プロジェクトが重なってややもすると開発期間が長期化しようとする傾向の中で、市場要求から開発期間は従来以上に短縮化されねばならない。そのために設計と生産とを一体とした作業の効率化が急務となってきた。従来とかく設計を支援する CAD と NC によって代表される CAM とに個別に向けられ

† CAD/CAM in Aircraft Industries by Jun NAKAMURA (Aircraft Div., Kawasaki Heavy Industries Ltd.).

‡ 川崎重工業(株)航空機事業本部

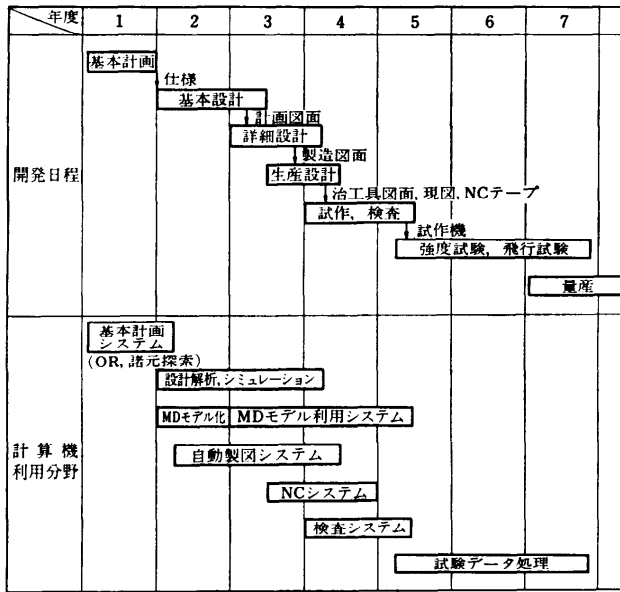


図-1 航空機開発日程の例と主な計算機利用分野

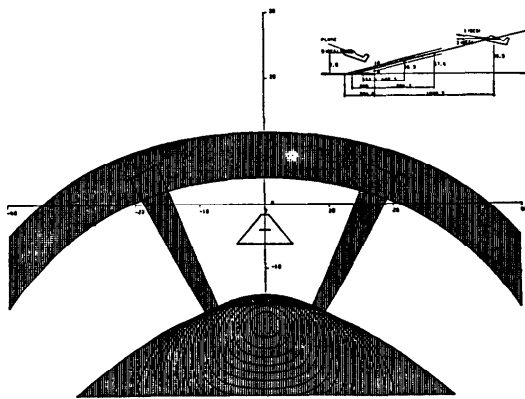


図-2 着陸時のパイロットの前方視界域

ていた努力が、むしろ設計で作成した CAD 情報を CAM に直接結びつけて全体的効果を生み出す方向に向けられてきたのは当然といえよう。もっとも設計と生産との直結化は従来からもいくつかの形で進められてはいた。

1つは MD/NC と呼ぶシステムで、設計で創成した機体外形モデルの数値情報を NC に結びつけ、部

品やツールの製作の一部を自動化するものである⁵⁾。MDとNCについては次章以下で述べる。

もう1つは無寸法図面と呼ぶ設計図と現図とを兼ねた図面の採用である。

図-3はその例で文字通り寸法記入のない図面である。以前には板金部品(アルミ板のプレス加工によって成形する部品)は製造図面からその寸法指示に従って、マイラ(温度伸縮の少ない透明材料)の上に現寸大で、展開形に現図を書き直し、これをアルミ原板上に接触転写し、その後切断して手作業で仕上げていた。無寸法図面は設計図面をそのままアルミ板上に転写するか、またはデジタル化してNC切断に結びつけるので寸法の記入は不要である。これ自体はCAD/CAMとは関係ないが、設計と生産とを直結することにより従来の現図作業を省力した改善の1つである。しかしその反面、設計側にとっては図面をマイラ上に現寸大で、しかも部品の製造公差

(0.25 mm)以下の製図公差で作面せねばならず、またプレス加工前の展開形状と加工後の成形形状の両方を作面せねばならぬ等余分の手間がかかる問題点があった。この解決手段として無寸法図面の機械作画が望まれ、自動製図システム導入の契機ともなった。しかしその導入は単に製図作業の省力化だけでなく、むしろ設計段階にコンピュータ内で作られた機体外形モデルから形状情報を自動的に図面作画に反映し、更に数値情報化図面を直接生産に流し、特にNCパートプログラムの作成を自動化するものである。

以下当社航空機部門におけるCAD/CAMの事例として図-4に示すようなMDシステム、自動製図システム、NC/検査システムとその間のインタフェースについて説明する。

4. MD (Master Dimension) システム

航空機の外形は空気抵抗を少なくするよう、また翼は適切な空力特性を生ずるよう滑らかな曲面に整形される。これを曲面体とみなして数式で表現する。図-5は数式曲面によって表現されたヘリコプタの外形を示すが、全体はパッチと呼ぶ数式単位曲面を連続に接合

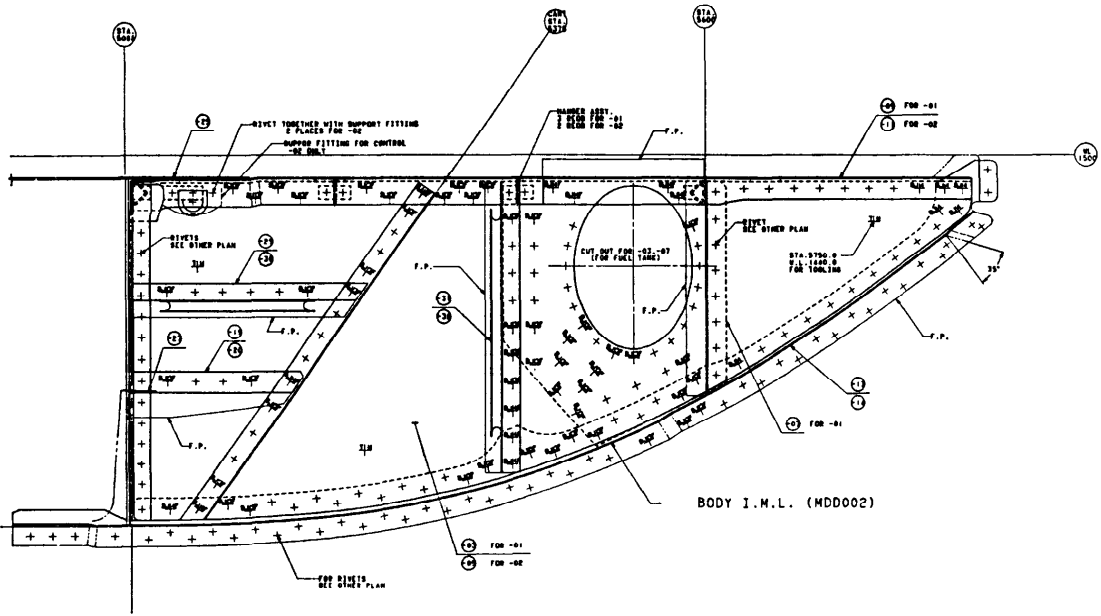


図-3 無寸法図面の例

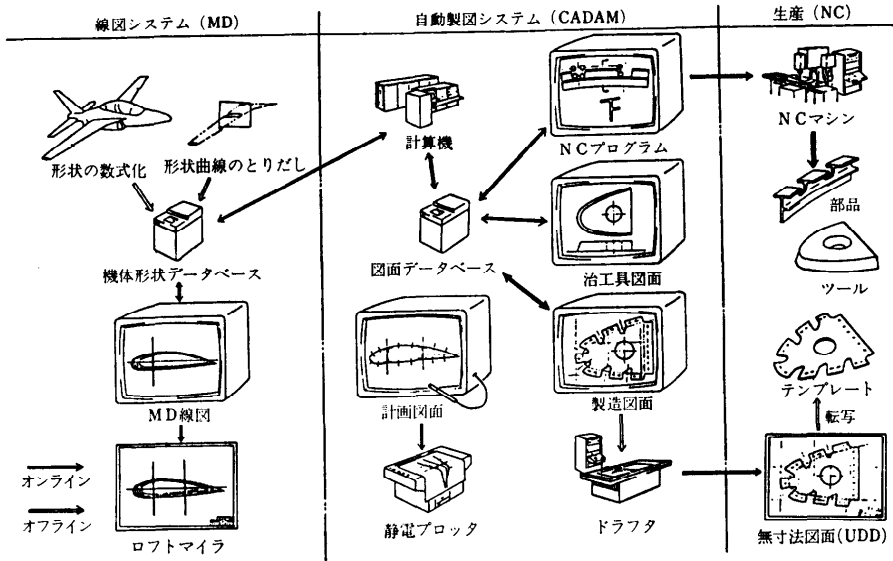


図-4 CAD/CAM の全体図

して組立てる。航空機の曲面創成に利用されるパッチには主に2種あり、1つはBi-Cubic サーフェースで欧州の航空機企業の多くがこれによっている。他はコントロールカーブ方式と呼ぶもので、図-6 に示すように機体形状を特徴づける一種の補助空間曲線とその間の補間曲線により曲面を形成させる。円錐曲線で補

間したものを CONIC サーフェース、3次式で補間したものを CUBIC サーフェースと呼ぶ。この方法は主に米国企業で利用されており、当社では国際共同開発時の機体形状情報の互換性を考慮して主に後者を使用している。

以前は手書きで作成した線図と呼ぶ計画図面をもと

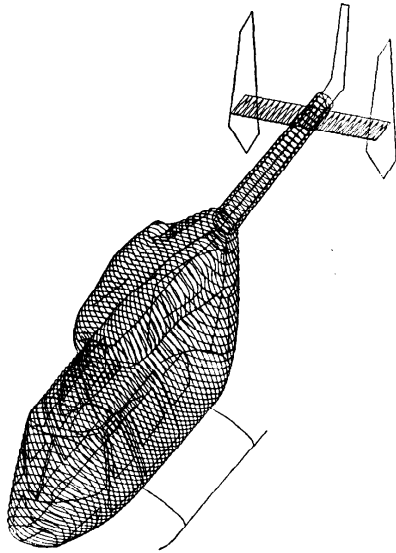


図-5 ヘリコプタの数式モデル

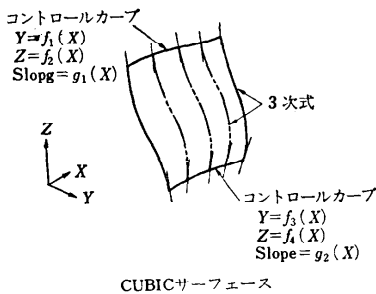
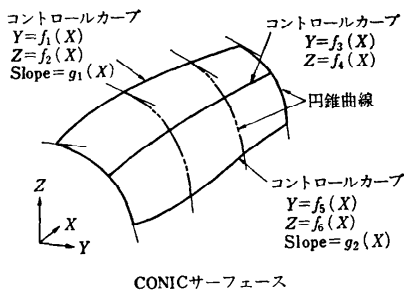


図-6 数式曲面の例

に、現寸大の現図に展開し、更にこれから実物大の石膏モデルを作りこれがあらゆる生産活動のマスタ（原器）となっていた。しかし機体形状が数式化されてからはこれをデータベース化しマスタとしている。

数式モデル化へのアプローチは空気力学的な検討を

ふまえて、机上で解析的に、試行錯誤的に行う。この点自動車産業のように、物理的な粘土モデルを作って、その測定点をベースに数式モデル化すると出発点で異なるように思う。

航空機の設計過程でも模型を作らないわけではない。たとえば風洞試験用の模型やモックアップと呼ぶ実物大の木型模型があるが、これらは創成された機体モデルの試験や実物確認を行うもので、むしろ机上の数式モデルの3次元ハードコピーと見なすべきものである。しかし、現状では模型の製作費が高価で、また製作期間を要し、今後は計算機による数値風洞、数値モックアップに置換っていくものと予想される。

機体形状の数式モデル化は設計評価の上で有用であるばかりでなく、自動製図システムや NC、検査に接いで生産期間の短縮と品質向上に寄与する効果大きい。しかし、データベース化した数式モデルの内容はいわば補助曲線や補間式の係数であって、このような数値をそのまま生産に適用することはできない。そこで図-7 に示すように数式曲面を必要な平面で数値的にカットし、曲線としてとりだす。曲線は更に補間公差 (CHT-Chord Height Tolerance) の規定した点列として表現し、これを自動製図システム、NC、あるいは検査のための入力情報として使用する。点列データには X, Y, Z 座標以外に数式曲面に立てた法線ベク

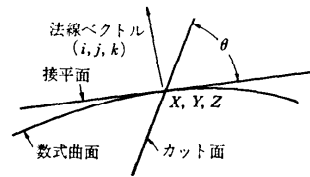
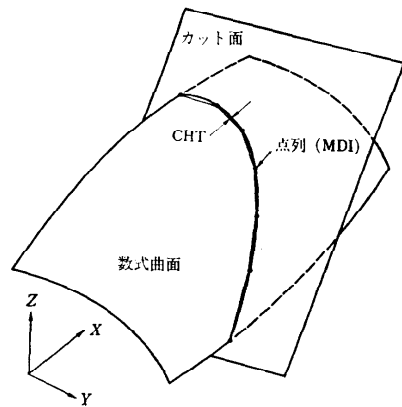


図-7 数式曲面の数値カット

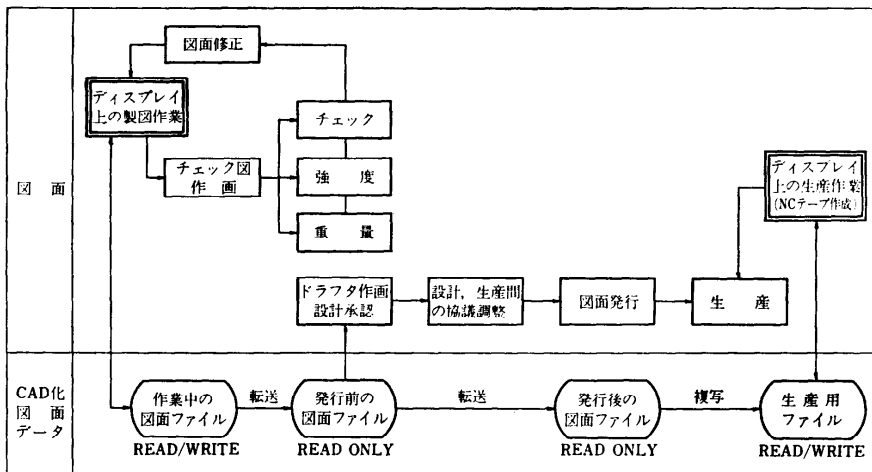


図-8 CAD 化図面とそのデータの管理体制

トルの方向余弦 (i, j, k) や接平面とカット面とのなす角 θ 等を付加する。これらは板の曲げ加工, 4 軸以上の NC 加工, 外形面からオフセットした面の加工などで欠かすことのできない情報となる。

このような点列データを MDI (Master Dimension Identifier) と呼び、一部の海外企業との間で標準化して共同開発時の CAD データの一交換手段となっている。

以上のように機体の外形をコンピュータ内で数式に表現し、その数式モデルから図面や生産に必要な情報をとりだすまでを MD (Master Dimension) システムという。

5. 自動製図システム

航空機設計作業の多くは解析, 試験等であり, 製図作業の占める比率は他産業に比して比較的小さいかも知れない。それでも大型機 1 機分で数万点にもおよぶ部品を図面化する作業量はぼう大となる。しかも基本設計, 詳細設計の段階で各々計画図と製造図の 2 種類の図面を作成する。計画図は強度, 重量, 寸法, スペース等の検討, 確認を目的とし, 図面修正の頻度も多い。製造図は製造に対する設計要求を指示したもので計画図とは目的を異にする。

解析や評価作業については従来から種々の CAD アプリケーションが整備され, また TSS の普及もあって設計者自身が比較的計算機に慣れ親しんでいる。一方製図作業については経験の重視されるドラフトマンの領域があり, 電算化の困難な分野であった。以前よ

り MD システムの一貫として機体形状線の作画や, NC 用の APT に類似した作画言語により製図の一部を機械化してはいたものの, ドラフトマン自ずから作画コマンドで製図するやり方には抵抗があったし, 図面上の作画を 100% 機械化するには効率が悪かった。

このような背景の中で先に述べた如く無寸法図面の採用と相まって, ドラフトマン自ずから操作する自動製図システムとして米国 CADAM 社の CADAM を導入した。しかし, これは単に製図作業の省力化だけでなく, 計画図, 製造図, 治工具図, 現図といった一連の図面情報の流れの中で, 数値情報化された図面 (これを CAD 化図面と呼ぶ) を他の図面の中で利用し, 更に NC 加工にもその情報を直接適用することにより設計, 生産全体の効率化を計るものである。

図面上必要な機体形状曲線は数式モデル (MD) のデータベースから点列情報 (MDI) をとりだし, 補間して図面の一部として組込む。前述した無寸法図面の例 (図-3) で, BODY IML とあるのはデータベースにある機体形状を示し, 同時にそのデータの識別番号 (MDD 002) を付記する。

国際共同開発時に CAD 化図面の数値化情報による交換について論議されてはいるが, 現状ではターンキー型の CAD システムを含め異種の自動製図システム間で数値情報形式に互換性を欠き, MD 情報の様に磁気テープ媒体による交換には至っていない。しかし, 計算機で作った図面の数値形式を標準化する動きが各国にあり, 近い将来実現することが予想される。

設計で作成した CAD 化図面のデータベースを下流

の生産で直接利用しようとする
と、一方ではデータベースの管理
上の問題が重要となる。その背景
に次の様な問題が論議され、これ
らを明確にするための管理基準が
必要となってきた。

(1) 生産に利用されるデータ
ベースをどうやって設計承認する
か、また承認のサインはどうする
か。

(2) 設計変更が組込まれてい
るかをどう識別するか。

(3) 自動製図システムにより
作成した図面とデータベース内の
データとどちらが正となる情報
か。

(4) 図面とデータベース内の
データとの一致はどうやって保証
するか。

図-8 は CAD 化図面とそのデータの管理体制の一
例を示すものである。自動製図システムから機械作
画された図面が承認され生産用に発行される手順に
従い、CAD データを順次作業ファイル、発行前
ファイル、発行後ファイルに転送し、データも図面
と共に発行する。発行後のファイルは READ ONLY
とすることにより図面とデータとの一致を保証し、
また生産用には常に発行後ファイルからコピーして
使用することにより設計検討中のものを生産する
ことを防止する。

6. NC 加工, 検査システム

航空機の機械加工部品はねじれ面をもった 4 軸、5
軸の NC 加工部品が多い。NC テープ作成のための
自動プログラミングに APT を利用しているが、多軸
加工の必要性から、当社では CAM-I の APT4 をオ
リジナルとする自社改良型の APT を使用している。

APT 自体は歴史的にも古く、優れたシステムとし
て長い間活用し、今日では必要不可欠のツールとな
っているが、一方では次の様な問題点が生じてきた。

(1) 自己完結型であって、CAD 等の他のシステ
ムとのインタフェースが考慮されていない。

(2) 言語形式でプログラムするのでグラフィック
ディスプレイを使用した対話性が考慮されていない。

前者では APT の外で作った曲面や形状のデータ

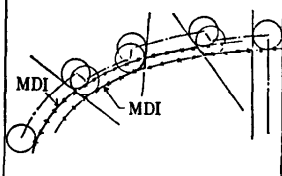

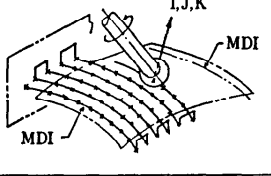
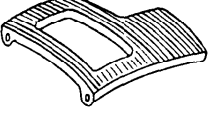
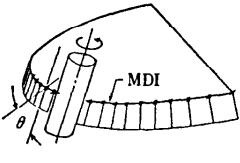

切削の種類	機能内容	対象部品例
2次元切削		
3次元曲面切削		
フォーミング ブロックの切削		

図-9 APT の追加機能

APT 内で処理するのに難があり、MD システムで
作成した数式曲面もその一つである。そこで、MD
と APT とのインタフェースをとるために数式曲面
からとりだした点列 (MDI) を自動的に読み込み、
あたかも APT のもつ曲面や曲線と同様の扱いで
切削制御できる改修を加えた。主な追加機能を
図-9 に示すが、3次元曲面に対しては細かい
ピッチ間隔をもつ MDI 曲線の集合によって
切削する。また図示した様なフォーミング
ブロックの加工に対しては点列情報に板曲
げ角度 θ を付加し、カット軸の傾きを制御
する。角度 θ は各点の法線ベクトルから求め、
スプリングバックやテーパカッタの角度補正
を加えて APT に引渡す。

後者については、APT は自動プログラミング
システムとはいうものの部品の形状定義と
カット動作の制御をプログラムして記述する
ものであるから、プログラム過程でミスが多
く、その修正や検証に時間を要する。この
点を改善してパートプログラムの翻訳、演
算実行部分とその修正を対話処理化し、
TSS の元で APT を使って来たが、これは
CAD 情報を生産に直結させるという本質
的改善までには至らなかった。

自動製図システム (CADAM) の導入後、
その NC プログラム機能を利用して、
図面の CAD 化データを用いてグラフィック
ディスプレイ上で対話による NC プログ
ラム作業に移りつつある。しかし、現状
ではすべての設計図面が CAD 化されて
いるわけではない。

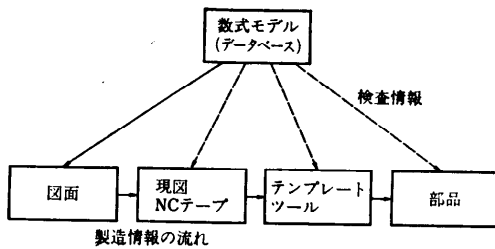


図-10 数式モデル化による検査情報の流れ

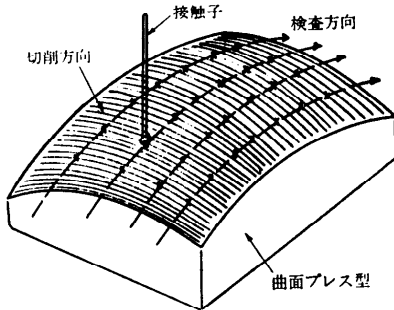


図-11 曲面プレス型の検査

で、やはり従来のバッチ、又は TSS による APT 処理が多いが、今後は図面の CAD 化を計る際 NC 加工に接する部品図面を優先させて CAD 化する様設計、生産間の事前調整が全体効率を上げる上での決め手となってくると思われる。

設計、生産が CAD/CAM 化されてくると、一方では検査体制にも変化を生じる。従来の図面では検査に必要な部品寸法はすべて図面上に指示されており、その寸法値がいわゆる正寸法となる。しかし機体形状が数式化され、部品形状の一部がデータベース内にあり、その識別番号で指示した図面では検査情報を図面から得ることができない。無寸法図面の場合も同様の問題が生じる。検査情報は図-10 に示すように製造情報の流れとは別に、データベース内の数式曲面や図面の CAD 化データから直接とりだす。しかし、この事はむしろ検査の独立性が維持できる利点をもつ。例えば、図-11 に示す曲面のプレス型の場合、曲面切削は前述したように数式曲面から一方向にピッチ間隔で刻

んだ点列 (MDI) に沿って NC 加工するが、その検査情報は指定の数式曲面から別途にクロスした方向に点列座標をとりだし、3次元測定機の接触子をその方向に沿って測定する。このように検査の情報をその源に求める独立の体制により、従来の寸法の転記ミスや製造過程で生じる累積誤差が後の生産工程に伝播するのを防止する。

データベースからとりだす検査情報は基本的には NC 情報と同じであるが、主に使用される3次元測定機や検査工具に個有な補正を加える等独自の検査システムを CAD/CAM と並行して整備して来た。

7. あとがき

航空機の CAD/CAM は設計から生産までをデータベースにより直結させて開発期間全体の短縮化を図るという認識のもとに、各構成システムとその間のインタフェースを整備し、ようやく CAD/CAM 体制の基盤が築けた段階と考える。今後の課題は更に上流の設計プロセスに逆のぼり、解析やシミュレーションを含めた CAE (Computer Aided Engineering) と CAD/CAM とのギャップを埋めることにある。その手段として、組立部品を3次元幾何モデル化する技術、それを支援するエンジニアリングデータベースと設計者自身が効果的に使用できる設計ツールの進歩に今後を期待したい。

参考文献

- 1) 中村 潤：航空機工業の CAD/CAM とそれに伴う課題、日本機械学会関西支部第 98 回講習会教材、pp. 85-98 (1982)。
- 2) 日本航空宇宙工業会：航空機の諸元研究総合概要報告、(昭 50 年—昭 53 年 3 月)。
- 3) 中村 潤：グラフィックディスプレイを用いた航空機設計システム、日本航空宇宙学会誌、Vol. 294, No. 26, pp. 368-374 (1978)。
- 4) 日本航空宇宙工業会：航空宇宙工業動向、No. 19, (3 月 1979 年)。
- 5) 山田照明他：航空機技術の波及効果について、川崎技報第 62 号、pp. 183-194 (1976)。

(昭和 57 年 9 月 2 日受付)

