

自動車のCAD/CAMにおける立体形状処理

大地正樹 安本篤之 岡田吉誼 (マツダ(株))

1 はじめに

近年、自動車産業では、顧客ニーズの多様化、商品ライフサイクルの短縮化に伴い、商品開発の生産性向上、開発期間短縮を实現させるための有効なツールとして、CAD/CAM (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing) システムの開発、導入が強かに進められている。当社では1966年からCAD/CAMシステムの研究、開発に着手し、1970年にバッチ処理のGNCシステム (Graphic engineering & Numerical Control)、1980年にはグラフィックディスプレイ装置を使用した会話型システムのGNC2システム (Geometric modeling & Numerical Control 2) を自社開発した。

このシステムは、図1のように自動車のデザイン、基本設計、詳細設計、生産準備の広い領域にわたる業務を一貫して支援する3次元形状処理システムである。まずデザイン段階でボデー形状を構成する曲線、曲面がデータベース内に作成される。次に基本設計ではデザインからの図形データを元に基本的な構造を決定する。決定後、詳細設計へと移り、部品単位で設計が行われる。設計段階を終え、生産準備領域に移行する。この領域では3次元形状データを元に型設計が行われ、型製作のためのNCマシンのNCデータへと変換される。このNCデータにより自動的に型が切削される。

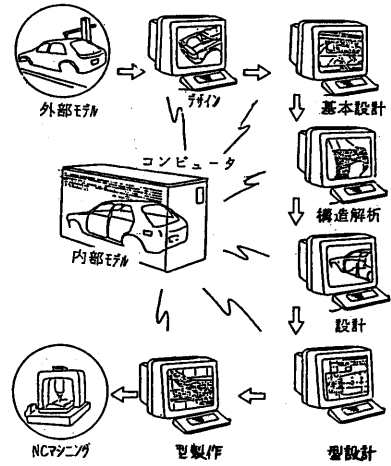


図1 一貫処理

GNC2システムはワイヤフレーム、サーフェスモデルで構築されており、このシステムの適用には不向きな領域が2つあった。

- 1 デザイン領域.....グラフィックディスプレイ上に表示される線画ではクリエモデルのような実車感覚での視覚検討は不可能
- 2 鋳、鍛造部品領域.....鋳、鍛造部品はボデー内外板に比べ形状の構成面が多く、処理が煩雑になるため、工数、コスト面でCAD/CAM化のメリットが少ない。

この2つの領域に対し、前者には「イメージ処理システム」、後者には「ソリッドモデルシステム」を新規開発し、対応をとった。

ここでは、この2つのシステムの位置づけ、概要、適用例等について個別に述べ、あわせて将来展望についても触れる。

2. イメージ処理システムとソリッドモデルシステムの位置づけ

イメージ処理システムとソリッドモデルシステムは、図2のようにそれぞれGNC2システムを核として稼動しており、GNC2システムのサブシステムとして位置づけられる。

イメージ処理システムはGNC2システムで作成されたデータをもとにイメージ画像を作成し、図形データをチェックする役割を担う。

ソリッドモデルシステムは幾何学形状(角柱、円柱など)の多い、鋳、鍛造部品のモデリング、処理を容易にする。この利点を生かし、鋳、鍛造部品のモデリングからNC切削までの一貫処理を実現した。

以上のように、イメージ処理システムは上流のデザイン検討領域の充実をほかり、ソリッドモデルシステムは、今までのボデー形状主体の通用領域から鋳、鍛造部品開発領域へと通用の幅を広げることで、より総合的なCAD/CAMシステムとなった。

以下、2つのシステムを個別に紹介する。

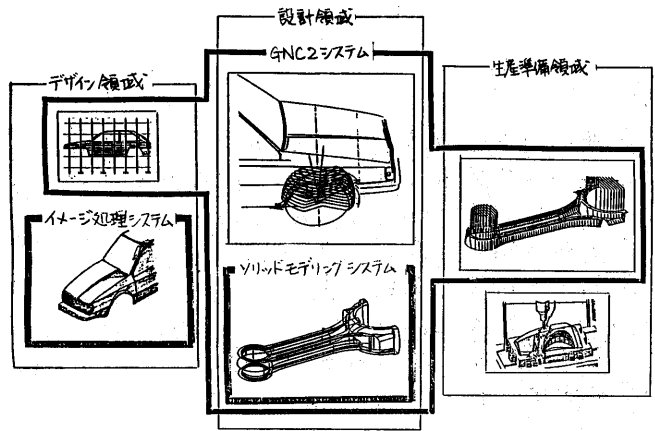


図2 システムの位置づけ

3 イメージ処理システム

3-1 スタイリングデザイン

デザイン部門の主な業務は、与えられたコンセプト、主要諸元、性能などを元にして、現実の“モノ”のスタイルを創り出し、決定することである。ここでは視覚や感性が重要なファクターとなる。図3は自動車スタイリングデザインプロセスである。このプロセスにおいては、デザイナーが創造的に描いたイメージをモデルが形あるもの(クレイモデル、木型、石膏モデル)に変換し、それらを視覚的に評価するということが繰り返される。

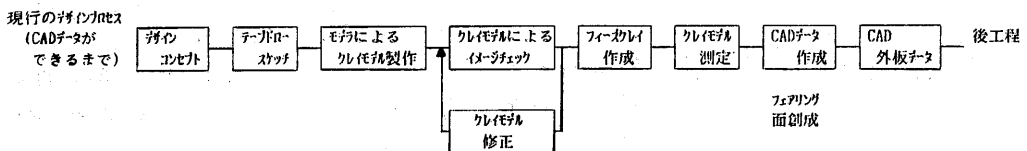


図3 スタイリングデザインプロセス

現行のスタイリングデザインプロセスにおいて、CADはデザインイメージを3次元情報として後工程に伝達する役割を果たしており、それだけがCADに求められる役割であれば、現GNC2システムでも十分機能を発揮している。図4にGNC2システムによるボデー外板のサーフェスモデルを示す。

しかし、この線画ではデザイナーの真の要求に充分答えることができない。デザ

イナがCADシステムに望んでいるのは最終製品となつた時の色、感じ、光線の反射具合等の様子を食めて、モデル作成以前に確認できる事である。

モデルを作ることなく、最終製品の様子をグラフィックディスプレイに表示することが可能ならば、モデルの作成工数を大幅に削減することができ、ディスプレイ上で多数案のデザイン検討が行え、デザイン品質の向上につながる。

視覚・感性を必要とする創造活動は主に、感覚的な世界であり、精密な数値を必要とする論理的なCADでは支援しにくいと言われてきた。しかし近年のコンピュータ性能の向上、グラフィックディスプレイの発達により、創造活動へのCADの適用が見直されてきた。我々はこのためのシステムを「イメージ処理システム」と呼ぶことにし、先行検討を重ねた上、1984年5月より開発に着手した。図5はイメージ処理システムを適用した時のデザインプロセスである。

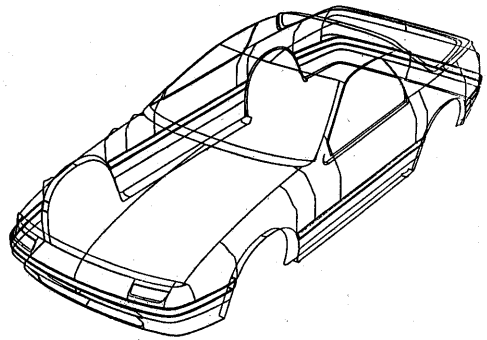


図4 サーフェスモデル

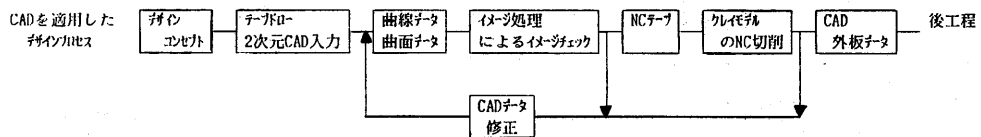


図5 イメージ処理適用後のデザインプロセス

3-2 基本方針

イメージ処理システムはデザイン部門での実用化を第1目標に開発された。そのためにはシステムが次のような特徴を持つ必要があり、これをイメージ処理システム開発の方針とした。

- (i) CADシステムであるがNCと形状データは一元化されていること。
- (ii) デザイナーやモデラーが容易に扱えるような会話型システムであること。
- (iii) 膨大な画像データを効率よくアクセスできるような専用画像データベースを持つシステムであること。

3-3 運用機器構成

イメージ処理システムを運用するための機器構成を図6に示す。グラフィックディスプレイにはRGBを各8ビットで1670万色同時表示可能な専用画像表示装置とGNCシステムとの兼用である最大256色表示のIBM5080を利用しており、解像度はいずれも1024×1024ピクセルである。これらはシェーディングイメージを出力するためだけに使用しているため、会話型指示を行うためには、キャラフターディスプレイを利用している。

IBM5080は材質、光源、視線方向等の設定確認と形状確認のためのラフイメージ表示用、専用画像表示装置はデザイン評価のための詳細イメージ表示用として利用している。

専用画像表示装置はホストコンピュータとの画像データ転送時間を短縮するため、チャンネル直結とし、光ケーブルでデサインオフィスまで接続している。さらに写真等の二次元画像データを入力するためにTVカメラとも接続し、RGB信号をデータバスへ転送することもできる。

表1 イメージ処理機能一覧表

光源	定義	点光源 線光源 平行光線 スポットライト
	スイッチ	ON OFF
	移動(コピー)	平行移動(コピー) 回転移動(コピー)
	輝度変更	光源 外周光
	消去	
色	定義	
	変更	形状 光源
材質	定義	プラスチック 金属 ガラス その他
	変更	
背景	一定	一定色
	背景面	背景データベースからの選択
視線	パースペクティブ	
	ノーマル	
シェーディング	詳細シェーディング (PIXEL単位の輝度計算)	
	GOURAUD (輝度補間)	
	PHONG (法線ベクトル補間)	
	レイ・トレーシング (光線追跡)	
処理タイプ	会話型シェーディング	
	バッチ型シェーディング	
その他システム機能	データベース	
	SHOW, NOSHOW GNC2インターフェース	

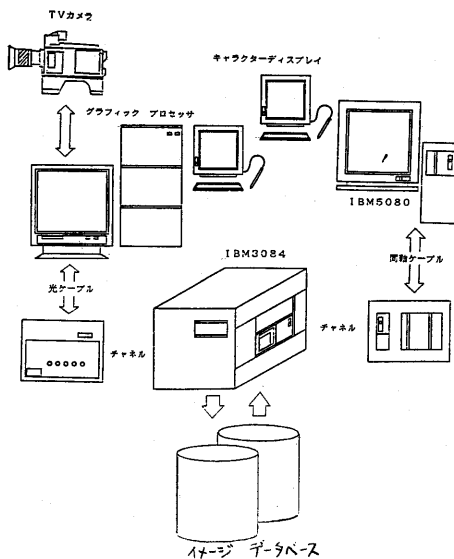


図6 イメージ処理システム運用機器構成

3-4 システムの機能

イメージ処理システムの機能は表1のようになる。これはいずれも階層を持ったメニュー形式である。ホド一全体のシェーディングはかなりの演算時間を要するので、バッチ処理によりCPU負荷の少ない夜間に計算させておき、翌日画像を評価することも可能である。

3-5 ソフトウェア

当社が用いているシェーディング方法は3つあり、Gouraud, Phong のアルゴリズム、及び多面体近似によらない詳細シェーディングアルゴリズムである。利用者は計算時間、画像品質を考慮しながら最適な計算手法を選択できる。

多面体近似のGouraud, Phong のシェーディングアルゴリズムにおいて、当社では全ピクセルに対して密着率と呼ぶ値をデータベースに貯えておくことにより視線方向を変更しない場合のシェーディングを高速に行っている。密着率とは、多面体内の各ピクセルと多面体頂点との距離比の係数であり、これによって各ピクセルの法線ベクトルが容易に求められる。

3-6 データベース

膨大な画像データを効率よく貯えるため、表2に示すように6つのファイルを持ち、各ファイルはインデックスデータにより関連付けられている。

イメージ処理システムから見た、業務の最大単位をジョブと呼び、このジョブ

は、視線方向ごとのフレームと呼ばれるデータを複数含んでいる。また各フレームはピクセルごとの符号率を圧縮した形でピクセルワークファイルに貯えている。背景ファイルはジョブから独立しており、どんなジョブにも適当な背景を組み合わせることが可能である。RGBファイルはフレームの中に複数存在し、スクリーンイメージそのままでのデータになっている。

3-7 今後の課題

イメージ処理システムは基本部分の開発を終了し、デザイン部への適用を推進中である。内装部品等はシステムを適用することにより、かなりの効果を上げているが、ボデー外板は映り込み等の表現が不十分なため、リアリティに欠けている。今後はこれらを解決し、かつ実用的なシステムの開発を行いたい。

4 ソリッドモデルシステム

鋳、鍛造部品開発の領域では以前、ワイヤフレーム、サーフェスモデルのGNCシステムでトライアルを重ねられた。しかし、鋳、鍛造部品はボデー内外板に比べ形状が複雑であるため、オペレーションが煩雑となり、計算処理も多大な時間を費し、工数、コスト面でCAD/CAM化は困難であった。そこで、鋳、鍛造部品を対象としたソリッドモデルシステムを開発し、鋳、鍛造部品開発における設計から生産準備までの一貫処理を可能にし、開発の効率化、製品品質向上を図った。

4-1 開発方針

開発にあたり、以下の点を基本方針とした。

- (i) 鋳、鍛造部品を対象とし、その立体形状を正確にモデリングする。
- (ii) 鋳、鍛造部品の設計から生産準備領域までをサポートする一貫処理システムとする。
- (iii) 既存のGNCシステムのワイヤフレーム、サーフェスモデルへの変換を可能にする。
- (iv) オペレーションはGNCシステムと同様な会話型メニュー選択方式をとり、実務に適用可能な計算時間で処理する。

以上の基本方針を基に、拡張性、柔軟性に優れ、設計者にとって使いやすいシステムの開発を目指した。

4-2 機能

(1) 形状定義

形状定義操作は、プリミティブ(基本形状)とセットオペレーション(集合演算)を用いて会話的に入力し、段階を追って複雑な形状を定義する方法を行う。

表2 イメージデータベース使用ファイル一覧

	名称	内容
1.	インデックスファイル	イメージ処理の各JOB(最大単位)についての情報を格納している。
2.	イメージファイル	イメージ処理の3次元形状データ、色、材質情報、画面座標情報等を格納している。
3.	RGBファイル	イメージ処理の1画成分のデータを1024*1024のRGBピクセルデータとして格納している。
4.	ピクセルワークファイル	イメージ処理の1画成分の各ピクセルにおける法線ベクトルやZ値などを一時的に格納している。
5.	ピクセルファイル	イメージ処理において、色、材質、線径等を変更する際に計算時間を短縮すべく法線ベクトルやZ値などを格納している。
6.	背景ファイル	イメージ処理において、背景画を必要とする際に背景のRGBデータを1024*1024ピクセルとして格納している。

アリティには図7に示す10種類の基本エレメントを、立体同士の集合演算には図8に示す3種類の合成方法を用意している。また、形状の変化や付加、削除などの変更操作も形状定義には重要であり、そのためモディファイオペレーションを用意している。このオペレーションにより、フィレット面の作成、新しい境界面の追加、任意の面での削除処理など、ソリッドモデルの局所的な修正を行うことができる。

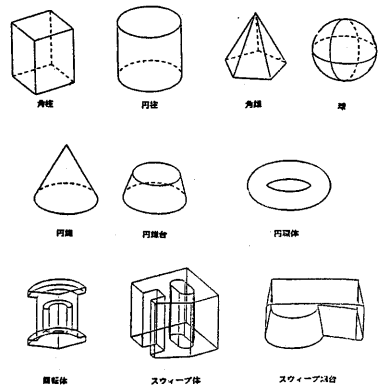


図7 アリティの種類

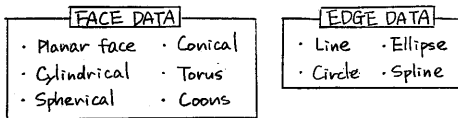


図9 ジオメトリデータ

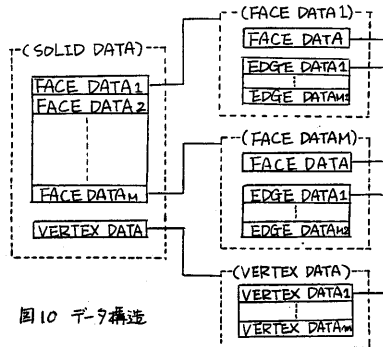


図10 データ構造

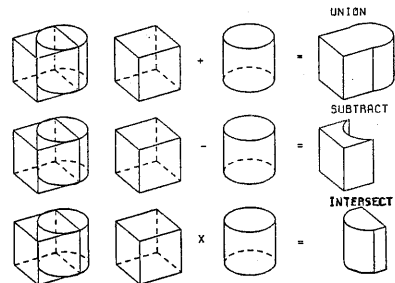


図8 セットオペレーションの種類

(2) 内部表現

ソリッドモデルの内部データは、形状を立体内部と外界との境界面で表現する Boundary Representation (B-Reps) を用いている。この B-Reps データはジオメトリとトポロジの2種類の情報で構成されている。ジオメトリの情報とは、図9に示す境界面、境界線の図形データ (FACE DATA, EDGE DATA) で、トポロジの情報とは、ジオメトリ情報の関連性を持つデータ (SOLID DATA, VERTEX DATA) である。

一般的に、B-Reps の表現方法は、面、線、点をポイントにより関連付け、ネットワーク構造、又は何階層かのツリー構造を用いるため、データ構造が複雑になる。しかし、当システムでは図10に示すように、個々の境界面の情報内に面と境界線のデータを同時に持つことにより、境界面とその面の境界線の関連性を表現し、さらに面と面、境界線と境界線の相対的位置関係を頂点の情報 (VERTEX DATA) 内に持つことにより簡単なデータ構造で形状を表現している。

(3) アプリケーション機能

このソリッドモデルシステムは、設計から生産準備までの一貫処理を可能にするシステムであり、アプリケーション機能として設計、生産準備領域を対象にし

に機能を用意している。(図11)

この画面表示は対話操作性を上げるため、通常は立体の裏の線が見えるワイヤフレーム表示(図11の接続ングロッド)を用い、オプションとして隠線消去表示機能(図11のクラッチハウジング)、カラー陰影表示機能を備えている。

(4) 特徴

鋳、鍛造部品は、角柱、円柱などの幾何学的形状が主とはいえ、部分的に自由形状を含んでいる。そのためソリッドモデルを実用化するためには自由曲面の取り扱いも重要で、当システムでは自由曲面(クーンズ曲面)を導入し、自由形状表現を可能にしている。

また、当システムではソリッドモデルの各境界面、境界線をワイヤフレーム、サーフェスモデルとして取り扱うことを可能とし、かつサーフェスモデルからソリッドモデルへ変換することもでき、形状の取り扱いに柔軟性を付せている。(図12)

4-3 モデリング例と適用例

エンジンの燃焼室のモデリング例を図13に示す。①プリミティブ(球、円柱、円錐、スワイプ体)を3次元空間上に定義する。②~⑤ソリッド定義機能により、プリミティブと3種類のセットオペレーション(UNION, SUBTRACT, INTERSECT 図中では+、-、xで表示)を逐次入力することでソリッドモデルが徐々に定義される。⑥最後にRがけ部分に自由曲面を張り付けで完成する。同様な手順を繰り返して作成した部品例を図14、15に示す。図14はクランクシャフトの例であり、このモデルにより、重量、重心、慣性モーメントなどが、計算される。図15はクラッチハウジングのモデルからNCカッタ軌跡を発生させたものである。

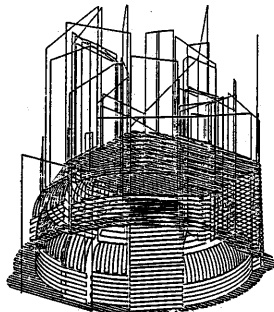


図15 クラッチハウジング製品モデル
及びカッタ軌跡

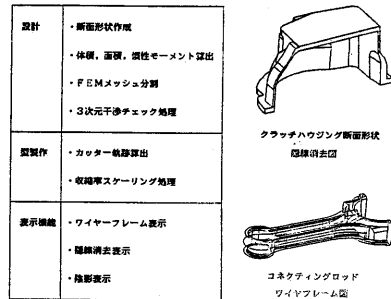


図11. 応用機能

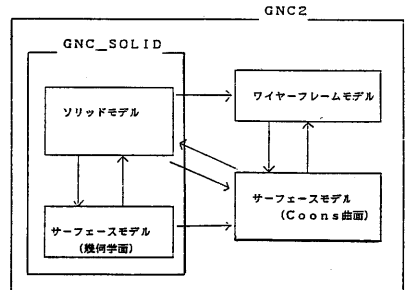


図12 ソリッドモデルと他モデルの互換性

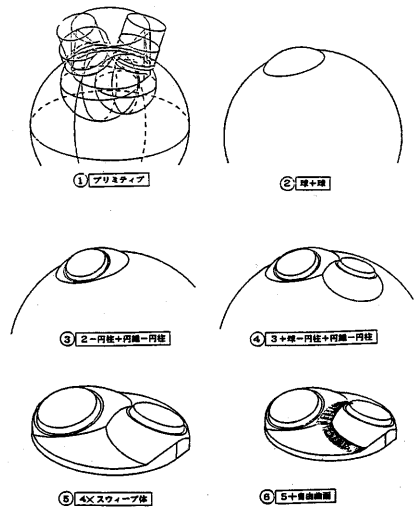


図13 エンジン燃焼室モデリング例

```
<< WEIGHT >> 32.48134 KG 重量
<< G-CENTER >> 2.173, -0.864, 0.0 KG
<< I-MOMENT >> 78250.7KGmm2 慣性モーメント
```

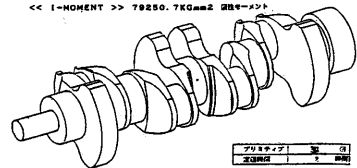


図14 クランクシャフト

4-4 比較と評価

ソリッドモデルとサーフェスモデルの実用性を比較するため、鋳造部品であるエンジン燃焼室の形状定義からモデルのNC切削までこの2つのモデリング方法で実施した。その結果に基づきソリッドモデルの評価を行う。(図16、表3)

形状定義で比較すると、燃焼室の形状は、球面円錐面などの幾何学的形状が主体であり、プリミティブとセットオペレーションを用いるソリッドモデルでは定義操作が簡単のため、サーフェスモデルの1/2の時間で行うことができる。

また、NCカット軌跡を作成する場合、サーフェスモデルでは各面が独立して重なり合っているためカットが形状に食い込みないよう設計者が個々の面について指示する必要がある。ソリッドモデルでは境界面同士の関係等の情報を持っているため、1回のオペレーションで自動的に干渉処理をしたカット軌跡が作成される。そのため、サーフェスモデルに比べ、

カット軌跡作成は1/6、干渉処理は1/6以下の時間を行うことができる。

以上の処理に費やす計算機のCPU時間を比較すると、サーフェスモデルはソリッドモデルの約5倍のCPU時間がかかる。

また、燃焼室の設計を行う場合、容量計算が重要である。従来その容量算出にハンド処理で20~30時間必要であったが、ソリッドモデルで計算すると、形状定義から始めて3~4時間で求めることが可能となり、かつ精度についても誤差が±1%から±0.5%へ向上した。

以上のことから幾何学的曲面を主体とする形状については、ソリッドモデルはサーフェスモデルよりも形状の取り扱いに優れていると言える

5 まとめ

最近騒がれているコンピュータグラフィックスの中にはスーパーコンピュータを用いて力まかせのライティングアルゴリズムにより美しい画像を出力しているものもあるが、このままでは企業の問題解決のためのシステムとして直接は応用不可能である。当社のイメージ処理システムとソリッドモデルシステムは実用を第一に考えられたシステムであり、ソフトウェアは数学的な論理性よりも処理効率の高い、耐久性のあるロジックが採用され数学的に解決できないような問題に対しさまざまな逃げロジックを入れることで解決しているものもある。実際ソリッドモデルシステムで一番の難題は、データ構造の仕組みでも、隠線消去でもなく、図形データの誤差によるデータ論理性の矛盾にどう対処するかであったし、イメージ処理システムでは、データ作成の効率化、CPUコスト削減に多大なエネルギーを費やしている。

今後、この2つのシステムの通用領域拡大、機能強化のため改良を続け、企業として最新システムの実用化をめざし、現場のニーズに応えられるシステムの開発を行ってみたい。

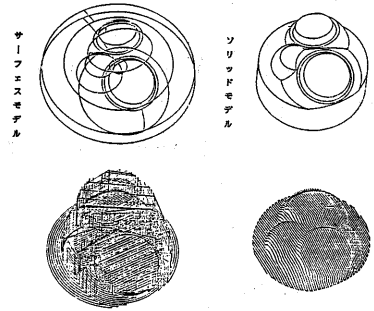


図16 サーフェスモデルとソリッドモデル

表3 モデル製作工数の比較

従来の方法	手加工による石膏モデル製作					20時間			
サーフェスモデル	形状定義	カット軌跡作成	0.5時間	5時間	3時間	18時間	4時間	仕上げ	31時間
	2.5時間			1.5時間			2.0時間		
ソリッドモデル	形状定義	NC切削	仕上げ	7.5時間			CPU時間450(秒)		
	カット軌跡干渉処理			カット軌跡作成					
				10	20	30	時間		