

エンジニアリングワークステーションを用いた NC加工シミュレータ

Numerical Control Machining Simulator on Engineering Workstation

NC(Numerical Control)切削加工ではNCデータの誤りや素材の取り付けミスがそのまま製品の不良につながる。そのため、加工に先立ってNCデータに誤りがないかどうかをチェックする必要があるが、工具動作が複雑なため机上では十分なチェックができなかった。日立エンジニアリングワークステーション2050G上に実現されたNC加工シミュレータは、ソリッドモデリング技術によって加工を高い精度で模擬するNC加工シミュレータであり、工作機械の動作アニメーション、加工寸法計測、加工動作検索など視覚的、数値的検証機能によって、自由曲面加工を含むNC切削の事前チェックを効率的に行うことができる。

川島泰正* *Yasumasa Kawashima*

伊藤久美子* *Kumiko Ito*

江尻一彦** *Kazuhiko Ejiri*

1 緒言

NC(Numerical Control)切削加工では、NCデータ作成や被削材の取り付けにミスがあった場合、それはそのまま工具と治具の干渉や削り込み、削り残し^{※1)}などの加工不良の原因となる。例えば、流体機械や金型など複雑な曲面の多軸加工では、工具が三次元で複雑な動作をするため、事前に検証をしておくことは特に重要である。

そのため従来は、CAMシステムに削り込み回避動作の自動生成機能を設けたり、工具動作のアニメーションなどによって視覚的な検証を行うなどの方法によって解決が図られていた。しかし、削り込み回避動作の生成が工具としてボールエンドミルを使う場合に限られていたり、CAMシステムでは一般に考慮しない部分(例えば工具ホルダと治具など)で干渉が発生することがあるなど、対策が完全には行われていなかった。そのため、最終的には工作機械に被削材を据えずに動かしたり、テスト用の素材を使ったモデル切削をするなどの検証作業が必要であった。

これに対し、近年モデル切削などに代わる高精度な加工検証方法として、ソリッドモデリング技術を応用したNC加工シミュレータが注目されている^{1)~4)}。

NC加工シミュレータは、ソリッドモデルとして表現された被削材形状と工具包絡体(工具が所定の動作を行ったとき、工具が通過する三次元領域)との集合演算(差演算)として切削過程を模擬するもので(図1)、加工のようすをリアルな画像で、あるいは数値的に確認することができる。シミュレーションによる加工結果形状の表示例を図2に示す。

日立製作所は、このソリッドモデルによる加工シミュレーションを中心に、加工状況を全体的に把握するための工作機械アニメーション、製品寸法の良否を評価するための計測機能、加工不良の原因を見いだすための加工動作検索機能などを備えた総合的な加工検証システムを、日立エンジニアリングワークステーション2050G上で開発した。

2 システムの概要

2.1 システムのねらいと基本方式

日立製作所は本システムを加工直前の最終的な検証のためのツールと位置づけ、CAMシステムが出力したNCデータを実加工と同等の手順に沿って、一括してチェックすることをねらいとしてシステム開発を行った。

※1) 干渉、削り込み、削り残し：CAMシステムでは、一般に工具が被削材を必要以上に削り込むことを指して工具干渉といふことが多いが、本稿では工具が治具や工作機械のテーブルなどに、あるいは工具ホルダが被削材に衝突することを干渉と呼び、削り込み、削り残しと区別して用いる。

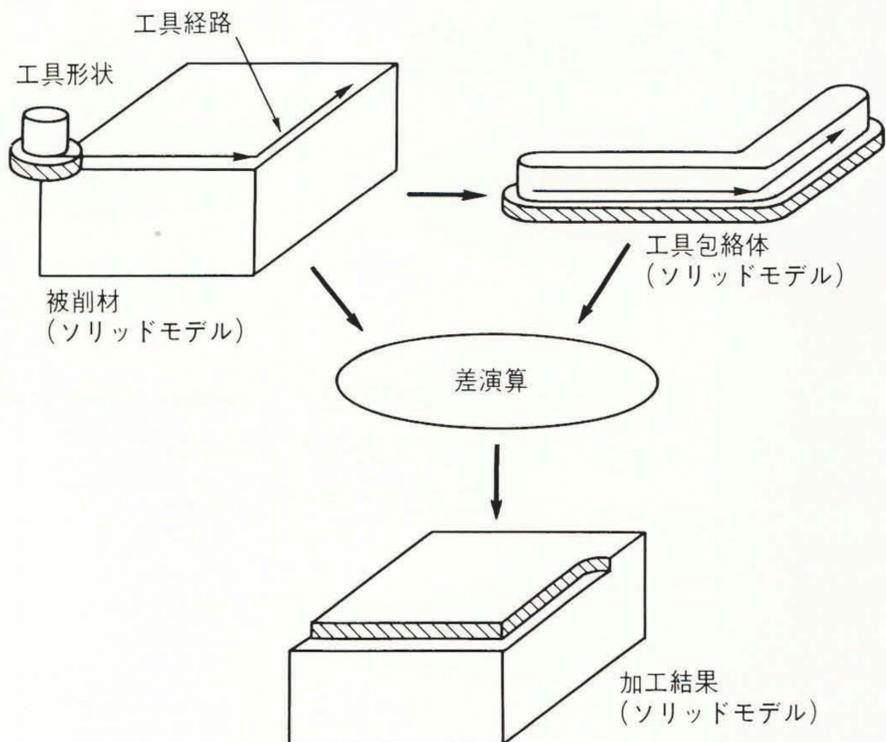


図1 ソリッドモデルベースの加工シミュレーション 加工は被削材と工具包絡体の差演算として模擬される。

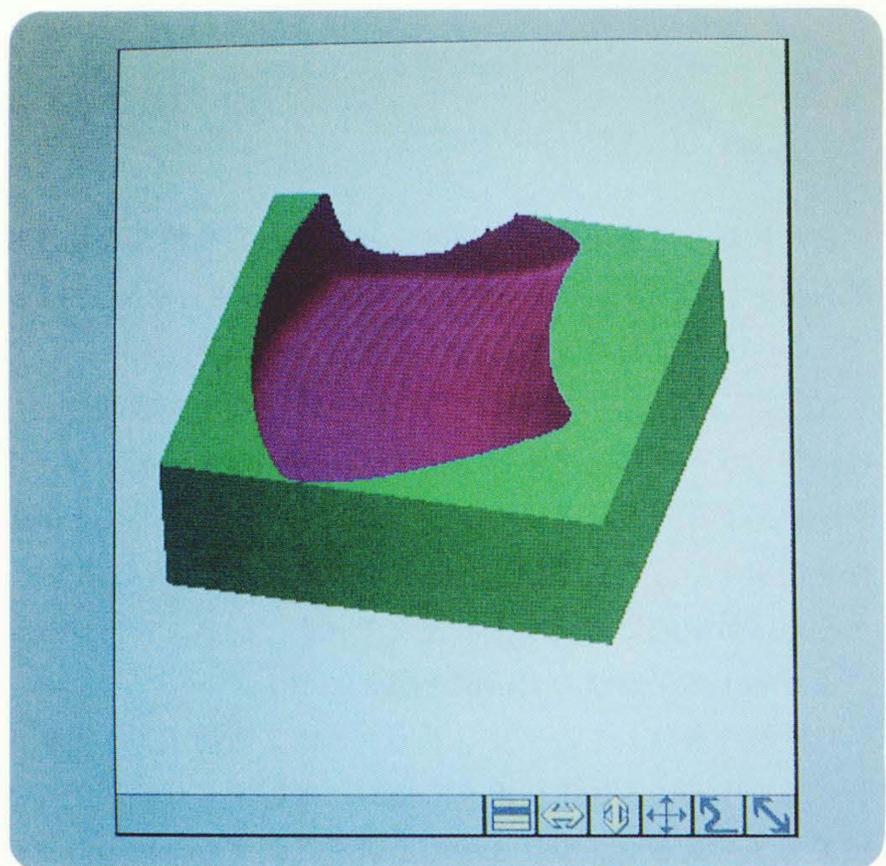


図2 加工結果の表示例 ボールエンドミルによる3軸曲面加工のシミュレーション結果である。

そのために本システムでは、現在流通している加工シミュレータの多くが、CAMシステムの内部でCLDATA (Cutler Location Data)レベルの検証を行っているのに対して、以下の方式をとることとした。

(1) システム形態

特定のCAMシステムとの接続を前提としない独立システムとする。

(2) シミュレーションの範囲

内部で工作機械をモデル化し、実際にNC装置に入力される

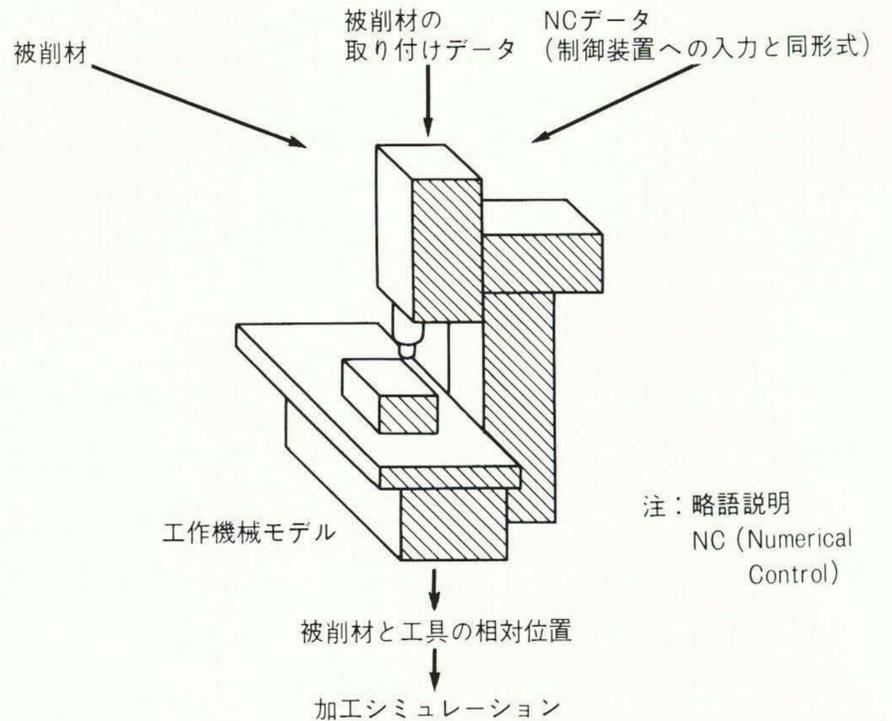


図3 本システムのシミュレーション手順 工作機械のモデルに被削材を取り付け、計算機内で工作機械を動かす。

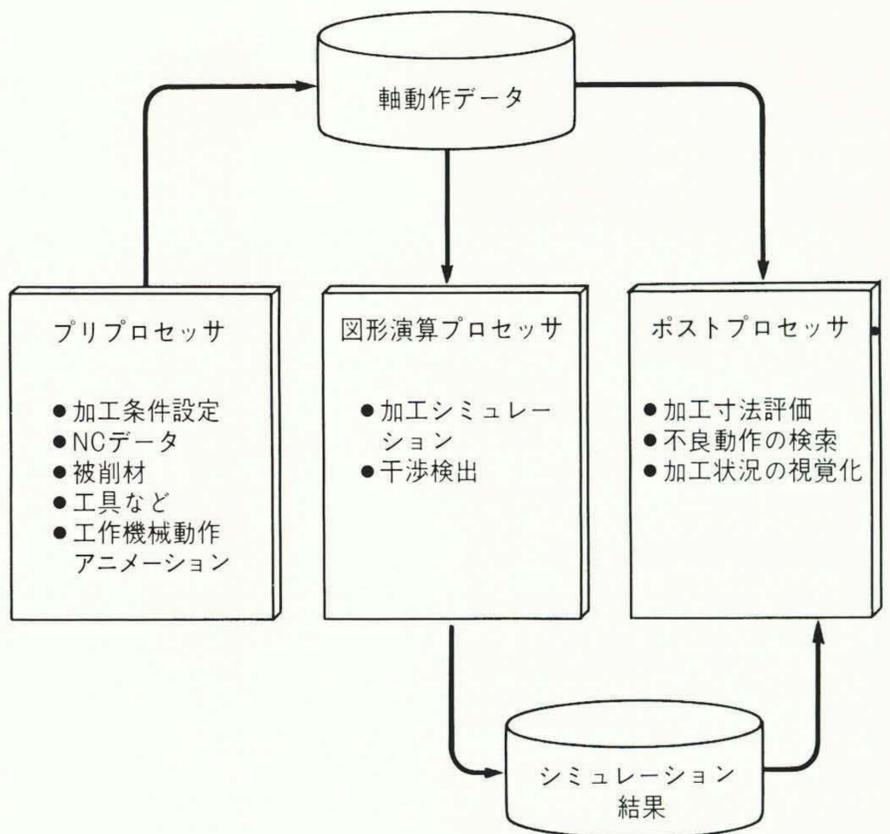


図4 システム構成 全体はプリプロセッサ、図形演算プロセッサ、ポストプロセッサの3部構成で、柔軟で効率的な加工検証支援ができる。

ものと同等のデータを用いて工作機械モデルを動かし、それによって加工を模擬する(図3)。

(3) 加工寸法評価

位置・寸法の計測手段を内蔵することにより、実際の製品の計測と同等の方法によって加工の良否を判定する。

2.2 システム構成

全体はプリプロセッサ、図形演算プロセッサ、ポストプロセッサの3部構成(図4)をとった。プリプロセッサ、ポストプロセッサは対話プログラムであり、図形演算プロセッサは

バッチ形式で実行される。それぞれの部分は、具体的には以下の機能を持つ。

- (1) プリプロセッサ
 - (a) 加工シミュレーションのためのデータ入力・編集
 - (b) 工作機械の動作アニメーション
- (2) 図形演算プロセッサ
 - (a) 加工シミュレーションの実行
 - (b) 工作機械の干渉チェック
- (3) ポストプロセッサ
 - (a) 加工寸法評価
 - (b) 不良動作の検索
 - (c) 加工状況の視覚化

3部構成の利点の一つは、ポストプロセッサの加工検証支援機能を柔軟で効率の良いものにできることである。加工状況の視覚化を例にとると、ユーザーは加工の全工程を見ることなく、加工寸法不良の原因となった動作についてだけを画面に呼び出すことができる。これは図形演算プロセッサで得られた加工シミュレーション結果のデータを、ポストプロセッサで選択的に利用することによる効果である。

また、もう一つの利点としてシステム運用の柔軟性が挙げられる。加工シミュレーションに用いられる集合演算は、図形処理の中でも負荷の重いものとして知られているが、図形演算プロセッサは対話操作を含まないために、夜間に集中して実行するなどの方法が取り得る。また、同じ理由から図形演算プロセッサは、2050G以外のUNIX^{※2)}マシンへの移植も容易である。

2.3 ハードウェア構成

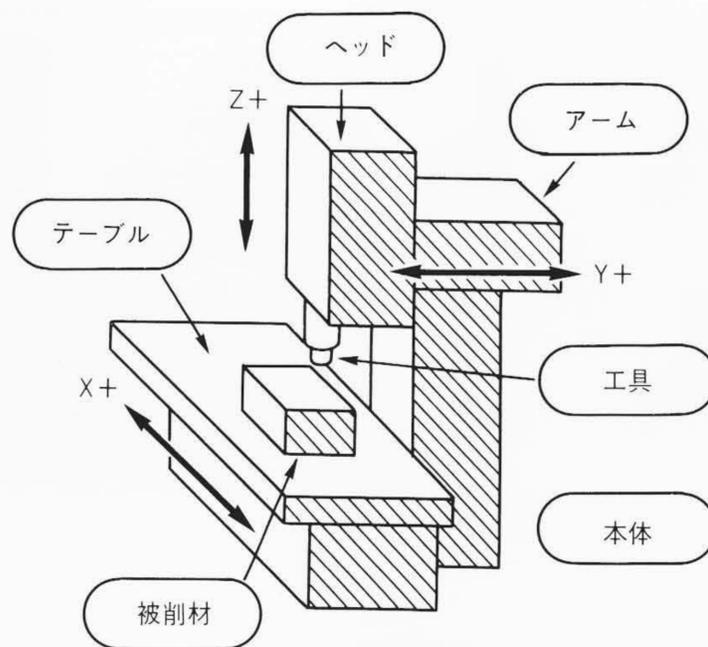
すでに述べたように、本システムは2050G上で稼動する。必要とするハードウェアは、三次元グラフィックス機構を備えた本体とダイヤル装置である。次章で述べるように、本システムの加工検証機能は、三次元グラフィックス機構の特長を生かした技術によって実現している。

3 加工検証機能の実現方法

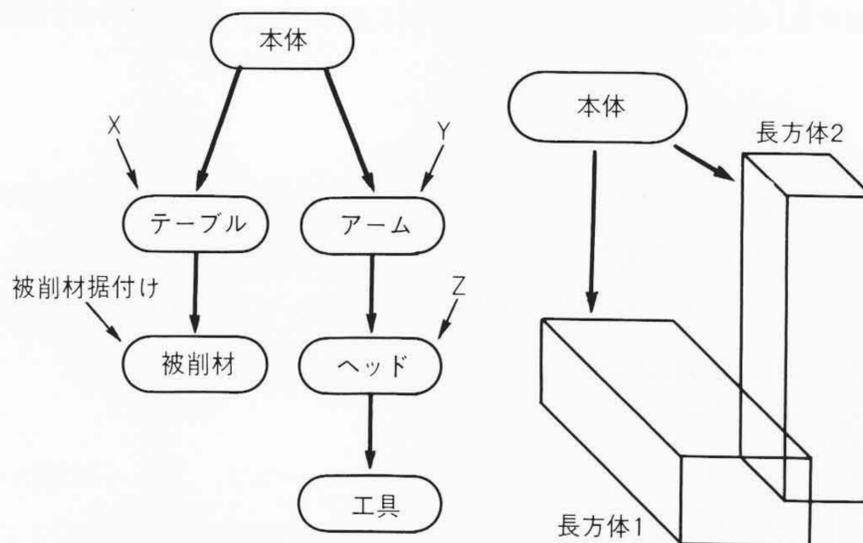
以下、本システムの備える加工検証機能のうち代表的なものを紹介する。

3.1 加工状況の可視化

前章でも触れたように、本システムでは工作機械を計算機内部にモデル化している。したがって、加工状況の可視化は素材と工具ばかりでなく、工作機械全体の表示が可能になっている。特にプリプロセッサでは、詳細な加工シミュレーションに先立つ簡易加工検証の一つとして、工作機械単体の動



(a) 工作機械の例



(b) 機構の表現

(c) 機構要素形状の表現

図5 工作機械のモデル化 工作機械は、機構要素間の関係を表す木構造と、各機構要素の形状データでモデル化する。

作アニメーション機能を設けた。

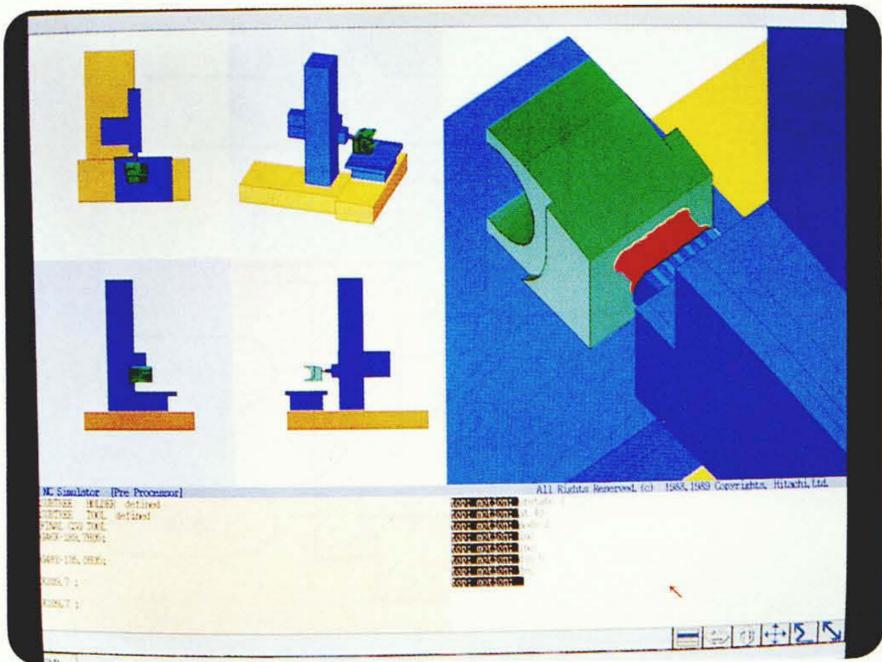
(1) 工作機械のモデル化

工作機械はほとんどすべての場合、機構的にループを持たない単純な構造をしており、サーボ軸移動はそれぞれ独立に工具動作に影響する。また機械の形状も長方形、円柱など基本的な立体の組み合わせで表現できる場合が多い。そこで本システムでは工作機械モデルを、図5に示すように、機構を表す木構造データと機構要素の形状を表す基本立体群によって構成することとした。

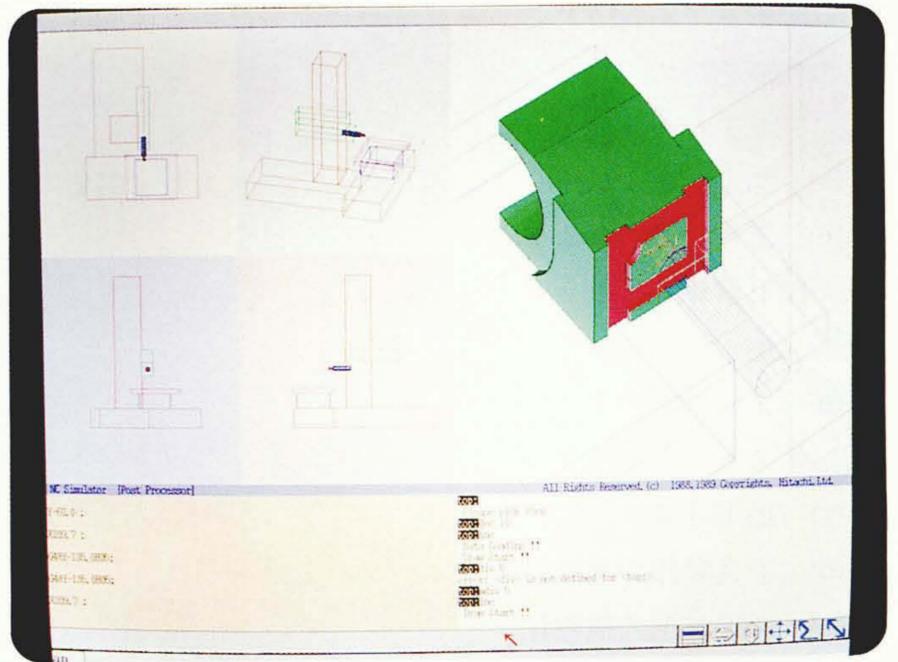
(2) 動作アニメーション

工作機械モデルの表示にはCGI(Computer Graphics Interface)準拠のグラフィックインタフェースの持つ階層セグメントの機能を用いている。階層セグメント機能は、図形位置の相対的な指定が可能なことから、ロボットシミュレータなど幾何シミュレーションの分野で広く用いられている。本システムでも、各機構要素内の図形を一つのセグメントとして登録し、各セグメントの配置は相対座標を用いて指示している。

※2) UNIX: 米国AT & T社ベル研究所が開発したオペレーティングシステムの名称であり、AT & T社がライセンスしている。



(a) プリプロセッサの画面



(b) ポストプロセッサの画面

図6 加工状態の可視化と画面構成 (a)プリプロセッサでは、加工シミュレーション前の簡易チェックとして工作機械動作アニメーションを実施する。(b)ポストプロセッサでは、加工途中のようすが見られる。画面右は被削材を固定したビュー、左側は地面を固定したビューである。

工作機械のアニメーションは、サーボ軸の移動に従って相対座標の指定を変更し、セグメントを再表示することで可能になる。プリプロセッサ、ポストプロセッサそれぞれの動作表示の例を図6に示す。

(3) 画面構成

加工状況可視化についてのくふうの一つは、ビューの使い方である。図6の画面で、上側に図形表示領域、下側にはコマンドおよびメッセージの入出力領域をとっている。図形表示領域のうち、右側は被削材を固定したときの機械の動作を表示するビュー、左側は実際の機械動作を表示するビューである。一般にCAMシステムでは、被削材の周りを工具が移動すると考えて工具経路を作成するが、多くの工作機械は被削材と工具の双方を動かして加工を行っている。上記の画面構成は、その両方の状態を提示することによって、加工の状態を認識しやすいように考慮したものである。各ビューについては視方向、中心点の移動、ズームなどができるほか、ビューの一部を切り出して新たなビューを生成するなどの操作を用意している。

3.2 加工寸法評価

加工寸法評価は削り込み、削り残しを検出するための機能である。本システムでは、前述したように位置・寸法計測機器と同等の機能を、対話的、自動的に用いて製品形状を測定する方法をとっている(図7)。ここでは、典型的な例として三次元測定機のプローブの機能を模擬して曲面の加工を評価する方法を示す(図8)。同図に示すように、プローブが要求曲面上に設定された測定点を通る軌道上で加工面の探査を行うとすると、削り込み、削り残しの量は、軌道上での要求面と加工面の距離として得られる。本システムでは加工面の探査を、直線とソリッドモデルの交点計算としてプログラム化

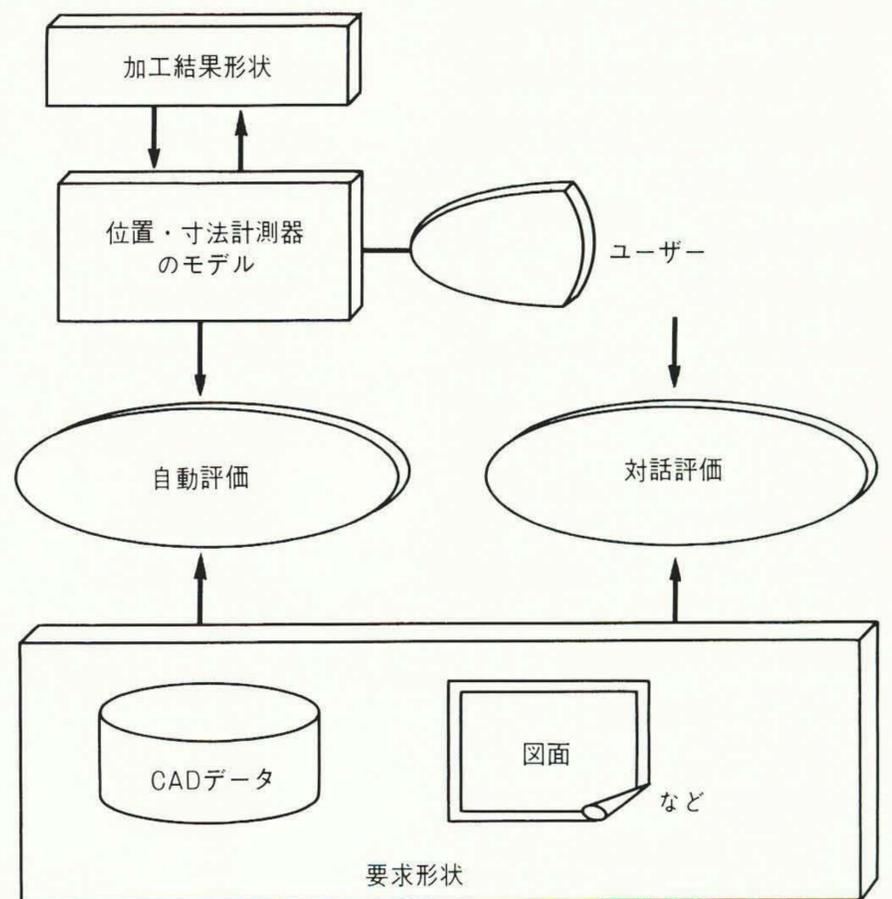


図7 加工寸法評価の仕組み システムは、計測機器と同等の機能を用意している。要求形状との比較は、対話を基本に一部自動的に行われる。

している。評価結果は、要求曲面上に設置された測定対象点ごとに、加工面とのずれの大きさ(プローブの移動距離)を示す線分が、削り込み、削り残し、公差内の3とおりに色分けされて画面出力される(図9)。削り込み、削り残しの正確な値は別途数値情報としても出力される。

3.3 加工動作検索

加工寸法評価によって削り込み、削り残しが発見されたとき、次に必要なのは不良の原因となった加工動作を捜し、そ

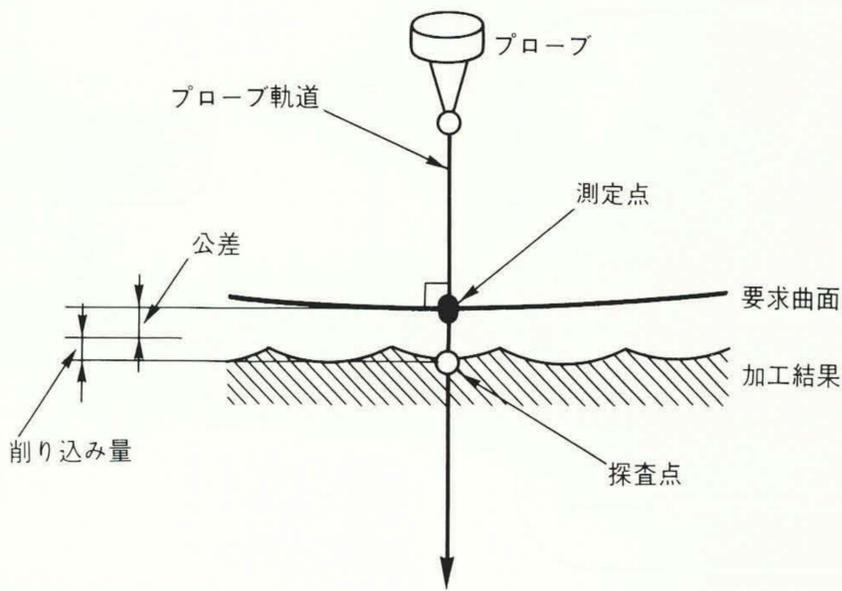


図8 曲面加工の評価方法 プローブのモデルによって加工面を探索し、要求曲面とのずれを求める。

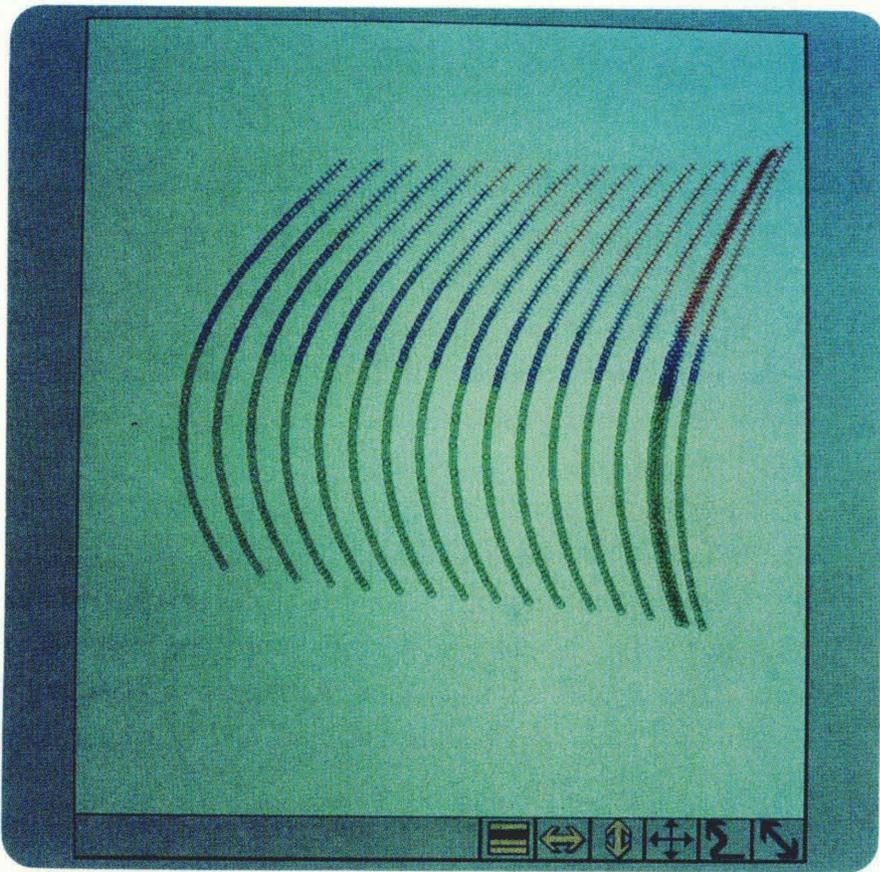


図9 曲面加工評価結果 図2で示した加工結果を、図8の方法によって評価したものである。要求曲面上の測定点について、「削り込み」(赤の×印)、「削り残し」(緑の○印)、「公差内」(青の○×印。×印は削り込み側で、○印は削り残し側であり、公差内であることを示す。)を色分けしている。

の前後の状況を確認することである。本システムでは、製品形状のうち画面上でカーソルによって指示された部分を加工した動作を検索し、加工状況を表示する機能を設けた。ユーザーは、この機能を用いれば、すべての加工動作を観察し続ける必要がなく、効率よく作業が進められる。

3.4 ソリッドモデリング

一般にこのような機能を実現するためには、加工動作に関係なく任意の加工動作をすばやく表示できなければならないが、従来の加工シミュレータでは、集合演算と表示を逐次的に進めるためにそれが困難であった。本システムでは、先に述べたように、3部構成をとってシミュレーションと検証作

業を分離することによって解決を図ったが、3部構成システムの実現に際しては信頼性の高い集合演算技法と、効率的なシミュレーション結果保存法が必要であった。日立製作所はそのため、接ぎ木モデル(Grafttree)と呼ぶソリッドモデリング方法と、除去空間法と呼ぶ加工状態の保存法⁵⁾を新たに開発し、これを用いた。接ぎ木モデルと除去空間記憶法の概念をそれぞれ図10、11に示す。

接ぎ木モデルは、Octree⁶⁾と同様の空間分割によってCSG (Constructive Solid Geometry: 代表的なソリッドモデリング法の一つ)の演算木を局所化したもので、CSGと同様の信頼性とデータの局所化による高速性とを合わせ持った、加工シミュレーションに適したソリッドモデルである。接ぎ木モデルは、部分空間ごとの境界評価による多角形近似、または空間分割で高速化された光線追跡によって表示される。一方、除去空間記憶法は、ポストプロセッサで任意の加工動作を表示するためのシミュレーション結果の記憶方法である。すなわち、各加工動作で差演算を実施するとともに、被削材から除去される形状(被削材と工具包絡体の積集合)を計算し、それを保存する。ポストプロセッサでは、最終加工結果形状と除去空間の和によって、任意動作の結果を再構成する。この和演算は、単に表示のためだけであれば2050Gが持つ三次元グラフィックス機構(Zバッファ隠れ面処理機構)を利用して、画面上でそれらを重ね描きすることで代用できる。また、除去空間をセグメントバッファに蓄えて表示・非表示を制御することで、加工のようすを動画表示することができる。

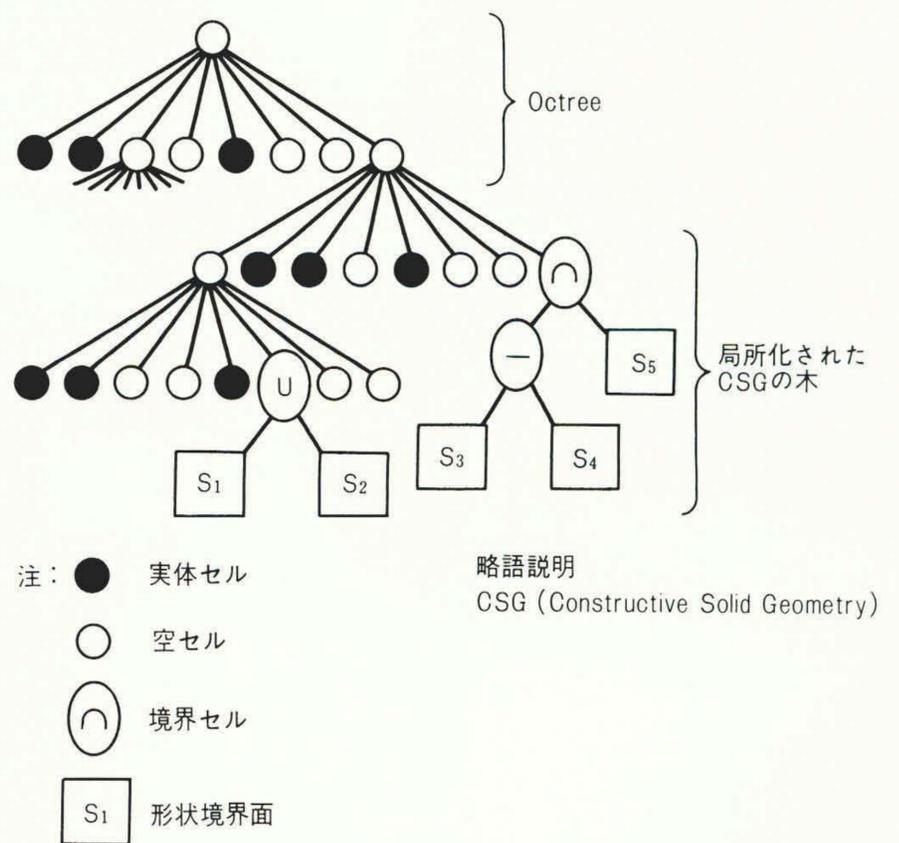
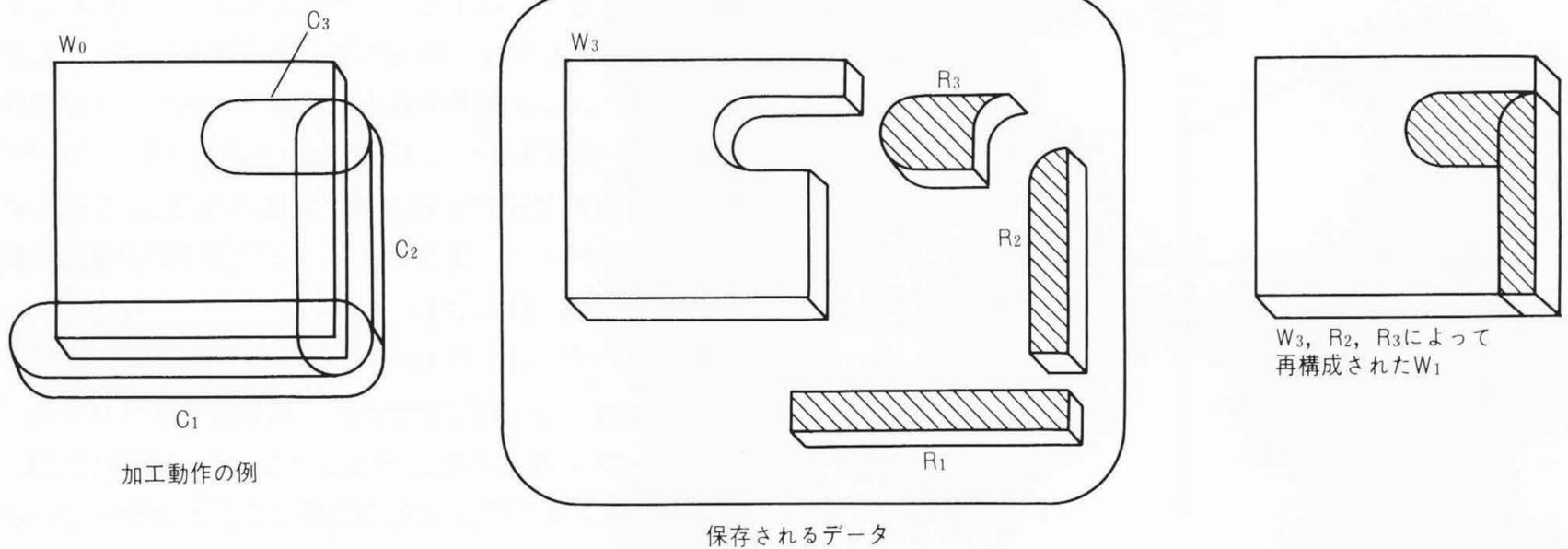


図10 接ぎ木モデル(Grafttree)の構造 接ぎ木モデルはOctree(八分木)とCSGを接いだ構造を持つ。空間はOctreeによって分割され、各部分空間(セル)ごとに形状をCSG表現する。



注： W_j , C_j , R_j は、それぞれj番目の加工動作の加工結果形状、工具包絡体および除去空間を表す。

図11 除去空間法の原理 各加工動作で除去される空間 $R_1 \sim R_N$ を記憶し、必要に応じて最終結果 W_N と重ねることによって、加工途中の被削材形状を得ることができる。

4 結 言

以上、日立製作所で開発したNC加工シミュレーションシステムを、加工検証機能を中心に紹介した。本システムは、現時点で処理の高速化などいくつかの技術課題を残しているものの、すでに社内事業所で試用が開始され、大形電機分野を中心に日立製作所製品の信頼性向上に役立つようとしている。今後課題を解決するための技術開発をさらに進め、また最新のワークステーション装置を利用することなどによって、利用効果の高いシステムに育てていく予定である。

参考文献

- 1) 沖野：TIPS/GSで開くCADの新世界，日経メカニカル (1986.1.13)
- 2) W. P. Wang, et al. : Geometric Modeling for Swept Volume of Moving Solids, IEEE CG & A 6, 12, 8(1986)
- 3) 岸波，外：Voxel表現法の機械加工シミュレーションへの応用，精密工学会誌，55, 1, 105(1989)
- 4) 南，外：ソリッドモデルベースNCシミュレータGP/SIMの開発，精密工学会誌，54, 12, 2271(1988)
- 5) Y. Kawashima, et al. : A Flexible, Quantitative Method for NC Machining Verification using Space Division Based Solid Model, New Advances in Computer Graphics, Proc. of CG International '89, Springer-Verlag, 421(1989)
- 6) Meagher, D : Geometric Modeling Using Octree Encoding, Computer Graphics and Image Processing, 19, 2, 129(1982)