

平成 22 年 度

次世代生産システムソフトウェア技術に関する調査研究
報 告 書

平成 23 年 3 月

社団法人 日本工作機械工業会

KEIRIN



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp>

目 次

1. はじめに	1
2. 調査研究の概要	2
2.1 活動計画	2
2.2 組織構成・開催状況	2
3. 先端ソフトウェアの技術の最新動向	4
3.1 機械の運動特性を考慮したNCデータ生成に関する研究	4
3.2 JIMTOF 2010における最新ソフトウェア技術	11
4. 次世代生産システムソフトウェアの将来像	33
5. おわりに	44

1. は じ め に

2008年のリーマンショックによる世界同時不況で、2009年の日本の工作機械生産額は前年比56.5%減の58億8,900万ドルとなり、1982年から世界第1位を維持してきた生産額は第3位に転落した。この年、中国が前年比9.0%増の109億5,000万ドルで世界第1位となった。2010年の日本の工作機械生産額は前年比81.6%増の105億8,000万ドルとなり、ドイツを抜いて第2位に浮上した。しかし、中国は前年比27.0%増の146億8,000万ドルで2年連続世界第1位となった。また、韓国、台湾の生産額もイタリアの生産額を抜き、工作機械の生産国として台頭してきている。日本で生産される工作機械を、中国、韓国、台湾で生産される工作機械と差別化する上で、複雑形状部品の加工に不可欠な5軸工作機械や製造リードタイムの短縮に貢献する複合作業機械の進化は不可欠である。

ところで、経済産業省中国経済産業局の平成21年度地域活性化推進調査（NOVA調査）「自動車の電子化に係る欧州産学官連携と地域産業振興調査」によれば、『自動車技術にソフトウェア（マイコン制御）が最初に活用されたのは1970年末であったが、自動車に求められる機能が高度化するなかで、近年、その重要性は急速に高まっている。例えば、エンジンのソフトウェアによる制御は、排気ガス規制への対応や燃費の向上において非常に大きな役割を担っている。[中略]現在の車両系ソフトウェアの体系は1,000万ステップのものばかり、開発には200人の技術者が5年以上従事する必要があるとされる。[中略]2020年には1億ステップ（2,000人の技術者でも5年以上を開発に費やす必要がある規模）を超えると予想している。』

これは、製品を差別化して競争力を高めるために、ソフトウェアでハードウェアの機能を引き出すことの重要性を示している。工作機械に当てはめれば、5軸加工や複合加工といった加工作業の多様化や効率化の要求に応えるために、高度な機能を備えたハードウェアの性能を引き出すことのできるソフトウェアの開発が求められていることになる。加工ノウハウや切削条件、工具情報などのデータベース管理ツール、作成したNCプログラムを事前に検証するマシンシミュレータなどが必要とされる。また、多様化する工作機械ごとにCAMやソフトウェアをカスタマイズする方法やソフトウェアの統合をスムーズにするインタフェースの標準化を急ぐ必要がある。

(社)日本工作機械工業会では、平成17年度以降、我が国の工作機械・生産加工関連ソフトウェアの現状を詳細に調査・分析するとともに、必要とされるソフトウェア技術と、それら技術開発を進める上で取組むべき課題を明確にするための活動を行ってきた。本報告書は、これまでの活動を引き継いだ「先端ソフトウェア技術調査専門委員会」が、平成22年度に検討した次世代CAMに求められる技術課題をまとめたものである。

最後に、本専門委員会の調査研究活動にご協力とご尽力をいただいた参加企業の関係各位に深く感謝いたします。

平成 23 年 3 月

先端ソフトウェア技術調査研究専門委員会
委員長 白 瀬 敬 一
(神 戸 大 学)

2. 調査研究の概要

2.1 活動計画

2.1.1 調査研究のテーマ

次世代生産システムソフトウェア技術に関する調査研究

2.1.2 調査研究の目的

工作機械産業では、様々なユーザーニーズに対応するため、機械本体の高速・高精度・高機能化を進めるとともに、その周辺技術であるCAD・CAM・CAE・シミュレーションをはじめとする各種ソフトウェアによる設計作業・工程集約・加工技術支援等、各種機能の強化について取り組みが行われてきた。

こうした取り組みはそれぞれのプロセス個別の高度化を中心に進められており、より高度な知能化・自動化を目指す上では、製品設計から実加工、さらには加工結果の活用という一連のプロセスを有機的に連携させるためのソフトウェアシステムが必要となる。

しかし、こうした次世代ソフトウェアとして目指すべき具体的な将来像については業界としての共通認識が確立されていないため、将来に向けて効率的な研究開発を推進していくための指針として、ロードマップのような資料が必要となっている。

そこで、将来あるべきソフトウェア技術の姿を明確にするとともに、その実現に向けて取り組むべき技術課題を抽出し、我が国工作機械関連ソフトウェア技術の高度化指針を示すことを目的として、本調査研究を実施する。

2.1.3 調査研究期間

本調査研究の実施期間は、平成22年度1年間とする。

2.1.4 調査研究組織

(社)日本工作機械工業会・技術委員会・研究開発部会内に「生産システムソフトウェア応用化技術調査研究専門委員会」を設置するとともに、その傘下に「工具情報XML化WG」、「工作機械形状情報標準化WG」の2つのワーキンググループを設置して調査研究を推進した。

2.2 組織構成・開催状況

2.2.1 先端ソフトウェア技術調査研究専門委員会

委員長 白瀬 敬一 神戸大学大学院 教授

委員 笹原 弘之 東京農工大学大学院 教授

委員	田中文基	北海道大学大学院	准教授
同	森重功一	電気通信大学大学院	准教授
同	金子順一	埼玉大学工学部	助教
同	山田 聡	(株)CGTech	カントリーマネージャ
同	小泉 哲	(株)C&Gシステムズ	商品企画統括部長
同	高野英之	(株)ジェービーエム	関東支社技術事業部課長
同	老田和郎	ライコムシステムズ(株)	取締役社長
同	西川昌弘	(株)ソフィックス	取締役社長
同	中島秀人	大昭和精機(株)	IT事業部次長
同	大石重雄	(株)ジェイテクト	研究開発センター加工システム研究部主幹
同	片野清彦	倉敷機械(株)	情報機器開発室室長
同	武井勝彦	(株)牧野フライス製作所	製造ソフトウェア事業部 開発セクションマネージャ
同	天谷浩一	(株)松浦機械製作所	取締役技術本部長
同	武澤泰則	(株)松浦機械製作所	技術本部開発研究マネージャ
同	佐藤智典	三菱電機(株)	名古屋製作所NCシステム部 NCシステム開発グループグループマネージャー
同	中村隆之	(株)森精機製作所	制御ソフト・ハード開発部MAPPS課 マネージャー
同	國光克則	オークマ(株)	FAシステム本部ソフト製品部副参事
同	伊藤哲也	ヤマザキマザック(株)	技術生産本部開発設計事業部 NCソフト開発部第3グループグループリーダー
同	紙谷健生	シーメンス・ジャパン(株)	モーションコントロール工作機 械本部技術部課長
事務局	八賀聡一	(社)日本工作機械工業会	事務局長・技術部長
同	山本元芳	(社)日本工作機械工業会	技術部次長
同	丑久保雅之	(社)日本工作機械工業会	技術部課長代理
同	笹川哲平	(社)日本工作機械工業会	技術部

2.2.2 委員会・WG開催状況

第1回	平成22年10月12日(火)	機械振興会館	出席21名
第2回	平成23年1月20日(木)	機械振興会館	出席15名
第3回	平成23年3月16日(水)	機械振興会館	出席8名

3. 先端ソフトウェアの技術の最新動向

3.1 機械の運動特性を考慮したNCデータ生成に関する研究

3.1.1 はじめに

近年の汎用NC工作機械には、被削物に対する相対的な工具姿勢を加工中に変更可能な同時5軸制御機能が標準的に搭載されつつあり、工具姿勢の決定がNCプログラムの作成において重要な役割を占めるようになってきている。従来の工具姿勢決定は工具軸・シャンクと被削物・把持具との衝突回避を主な目的としており、加工対象物上に設定された座標系を用いてアドホックな手順で干渉のない工具姿勢を探索する手法⁽¹⁾や、加工対象面と工具との相対姿勢の状態をコンフィギュレーション空間に展開して連続的に参照する手法⁽²⁾、加工対象面に対応する姿勢決定用のルールド曲面を設定する手法⁽³⁾等が提案されている。

一方、多軸制御加工における実加工時間、加工精度および加工面の性状には直進軸と回転軸/傾斜軸間の動作の同期が大きな影響を与える⁽⁴⁾ことが報告されている。近年では特に回転軸/傾斜軸の駆動システムへのダイレクトドライブモータの導入により直進軸が回転軸の加速に追従できない問題が発生している。それらの中でもトラニオン型テーブルを有する多軸制御工作機械においては、テーブルまたは加工対象物上に設定される座標系そのものが回転軸と傾斜軸の駆動によって機械座標系に対して大きく運動する傾向を有する。そのため、加工対象物上に設定された座標系上のみを考慮して工具姿勢を決定する従来の手法では、工作機械の構造・運動特性を反映し、直進軸の運動状態を陽に考慮して工具姿勢の決定およびNCデータの生成を行うことは難しかった。

3.1.2 研究目的

本研究は、テーブル旋回型多軸加工機を用いて行われるボールエンドミル加工を対象としており、機械の運動特性を考慮したNCデータを生成する多軸制御加工向けCAMソフトウェアアルゴリズムの開発を目的とする。図3.1.1に本研究にて考慮する工具姿勢決定の概要を示す。本研究における開発内容は以下の通りである。

- (1) 多軸制御加工向け工作機械・加工状態記述法の開発⁽⁵⁾: 工具刃先中心の通過軌跡上の各点 (CL: CutterLocation) において、工作機械の有する座標系に基づき、回転軸/傾斜軸に対する指令値の組み合わせとそれぞれの指令値における干渉有無や工具加工面間相対姿勢、ポスト処理後の直進軸への指令値を記述する新しい状態記述法を開発する。
- (2) 工作機械駆動位置情報を用いたNCデータ生成法の開発: CL上での加工状態を連続的に参照し、各CLにおいて設定した条件 (直進軸変化速度、回転軸/傾斜軸変化速度、直進軸総移動距離、干渉回避等) を満たすことの可能な連続的な工具姿勢変化を探索・計画する手法を開発する。

(3) 並列処理計算技術の導入による処理時間の短縮:各CLにおける加工状態の導出と、多数のCLでの状態を参照したNCデータ（工具姿勢変化）の生成について、従来のCPUを用いた幾何演算に加えて超並列計算機能を有するグラフィックハードウェア（GPU）を用いた集合演算を利用する新しい処理アルゴリズムを開発し、現実的な時間での処理が可能なシステムの実現を図る。

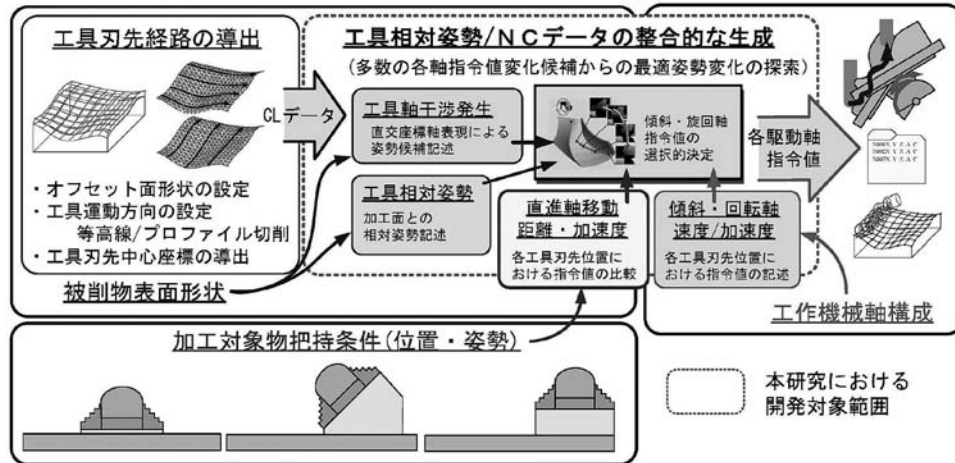


図3.1.1 本研究で開発した工具姿勢決定・NCデータ生成手法の考慮内容

3.1.3 開発手法の構成

本研究で開発した工具姿勢計画法の概要を図3.1.2に示す。開発手法では、ポスト処理前に工具座標系上で定義された工具経路に対し、工具経路上での工具刃先中心位置に対応するCLにおいて、回転軸/傾斜軸への指令値に対する干渉の状態、加工面に対する工具相対姿勢、直進軸への機械座標系での指令位置等の情報を、M-Map (Machine/Mercator Map) と呼ばれる状態記述法によって可視化する。M-Mapでは、回転軸/傾斜軸への各指令値が直交座標系の横軸/縦軸の座標に相当し、微小な間隔で各軸を区切られた各領域における加工の状態が離散的な色情報の分布として表される。

そして、工具が静止状態から移動して次の静止状態まで移行するまでの一連の切削送り指令に対し、その間に通過するCLにおけるM-Mapを参照してCAVE (Configuration Array

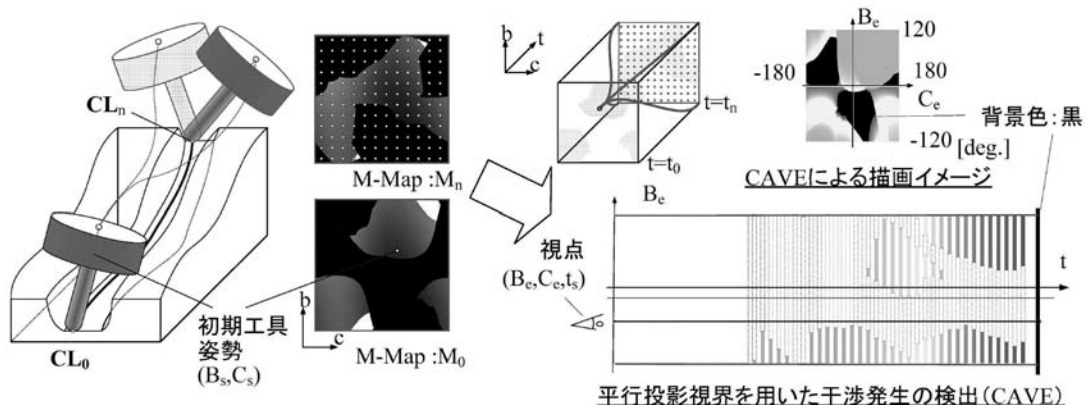


図3.1.2 各CLにおける回転軸/傾斜軸角度候補に対する状態可視化と最適姿勢変化探索

for Visual Estimation) と呼ばれる時空情報を設定する。CAVEの参照結果から、干渉回避と工作機械の各軸への指令値の連続性、および工程・機械運動特性に関する最適化目標を満たす工具姿勢を導出することによってNCデータを生成する。

回転軸/傾斜軸に連続的な指令値を与える事の可能な工具姿勢の計画にあたって、本研究ではまず多数の工具姿勢変化候補を設定し、次に各候補における干渉発生を検出と評価項目との適合性を比較することにより、有限の計算量の元で複数の目標を満たす工具姿勢変化を特定するアルゴリズムを開発している。工具姿勢変化候補の設定および探索の際に設定する評価指標には、加工対象物の種類・形状および工程の種類に応じて様々なものが考えられる。これらのうち、本研究では以下(a)~(c)の処理アルゴリズムを開発し、工具姿勢候補の設定方法と評価実施を行うシステムを実現した。

- (a) 多数の工具姿勢変化候補に対する高速な干渉有無の判定手法の開発
- (b) 傾斜軸、回転軸への指令値の連続性の確保と工具-加工対象面の相対姿勢の維持が可能な工具姿勢変化の特定
- (c) 工作機械直進軸の総移動距離が最小となる工具姿勢変化の特定

計算および計画アルゴリズムの実装手法の検討では、試作ソフトウェアシステムを一般的なデスクトップPC上でグラフィックスライブラリ (OpenGL、GLSL) およびGPGPU向け汎用超並列計算ライブラリ (CUDA) を用いて構築した。検証に際しては自作のCAMソフトウェアモジュールおよび商用CAMソフトウェアシステム (ESPRIT) を用いて工具刃先経路を生成し、これのもとで工具姿勢の計画を実施している。

以下では、本研究で開発した(1)多軸制御加工向け工作機械・加工状態記述法、(2)工作機械駆動位置情報を用いたNCデータ生成法のそれぞれに関して、(3)並列処理計算技術の導入による処理時間短縮のアルゴリズムの詳細を含めて述べる。

(1) 多軸制御加工向け工作機械・加工状態記述法 (M-Map : Machine/Mercator Map)

図3.1.3は本研究で開発したM-Mapの概要を示す。M-Mapでは2次元平面上で直交する各軸の座標を5軸制御工作機械が有する傾斜軸/回転軸のそれぞれへの指示角度とし、2次元平面上の各点に対応する指示角度が与えられた場合の各直進軸への指令値/衝突・干渉の有無/目標相対工具姿勢との隔たりをそれぞれ正規化された色情報で表す。これらを加工中工具が通過する全てのCLにおいて導出し、工具姿勢変化の計画時に工作機械の状態の変化を逐次参照しながら比較する。これにより干渉が生じず、また連続的な機械動作の可能な工具姿勢変化の陽に計画することが可能となると期待される。

このうち直進軸への指令値については、XYZ軸への指令値を各軸の可動範囲の中で0.0から1.0まで正規化した上で記述しており、これらの値を各領域のRGB値として可視化している。さらに工具と加工対象物に干渉が生じる姿勢候補に黒色 (R, G, B) = (0.0, 0.0, 0.0) を、直進軸への指令値のいずれかがオーバートラベルとなる部分には白色 (R, G, B) = (1.0, 1.0, 1.0) を設定することにより、工作機械の各軸への指令値と干渉の発生との有

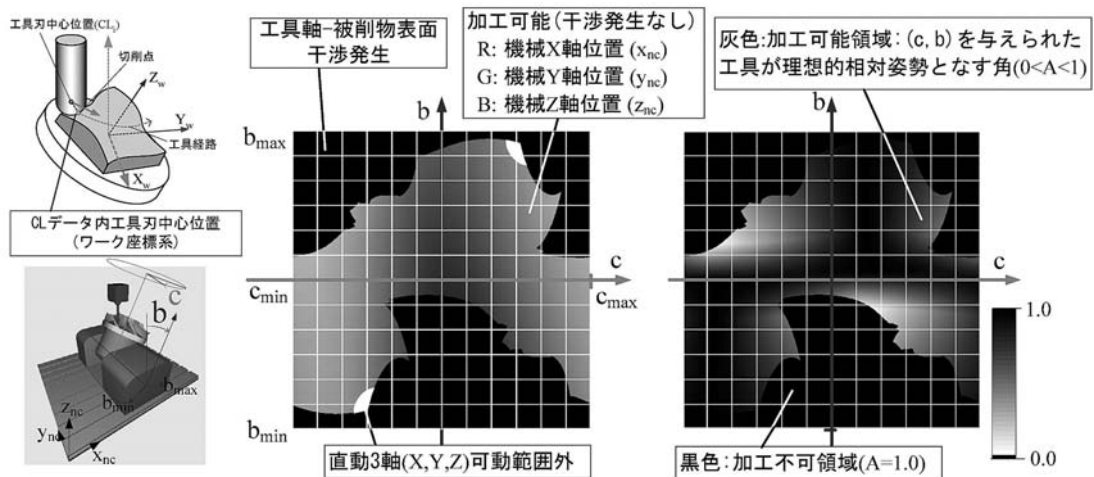


図 3.1.3 回転軸/傾斜軸指令値に対する直進3軸位置と理想的工具相対姿勢に対する隔たりの M-Map 状態記述による可視化

無を一意に記述することが可能となっている。

また、ボールエンドミルを用いた仕上げ加工において面性状維持のために重要となる加工面に対する目標工具相対姿勢からの隔たりについては、傾斜軸/回転軸にある角度を与えた場合の加工面に対する相対工具姿勢と、目標とする相対姿勢とがなす角度を 0.0 から 1.0 までの間に正規化して導出し、各領域の A 値として記述している。

工具姿勢変化を計画する際には、全ての CL における M-Map の色情報を事前に取得する必要があるが、そのためには各 M-Map 上に設定された微小領域ごとに、相当する回転軸/傾斜軸指令値における直進軸の指令位置の導出と干渉判定の実施が必須となる。これには膨大なポスト処理の計算と工具・シャンク形状と加工対象物との干渉判定を行う必要があるため、実用的な時間内での処理の干渉は難しいと考えられてきた。

そこで、本研究では干渉判定およびポスト処理について、グラフィックスハードウェアが有する超並列演算処理を導入し、大幅な処理の高速化を実現している。図 3.1.4 は各工具刃先位置および工具姿勢における干渉の検出とポスト値の導出を高速化するために開発した並列処理の概念を示す。開発手法では、まず工具と加工対象物との干渉検出を図 3.1.4(a) に示すような描画処理に置き換えて実施する。工具軸半径分オフセットした加工対象物形状に対し、工具刃先中心を視点とした視界を設定し、視点から周囲の見え方を描画すると干渉が生じない工具姿勢に相当する視線には背景色が現れる。そこで通常の透視投影視界を用いて視点周囲の見え方の描画を 6 回行い、その後図 3.1.4(c) に示すように非線形な参照関数を用いて得られた 6 枚の描画画像上の色分布から傾斜軸/回転軸への指令値の候補に対する干渉/非干渉の状態を推定する。これらの処理を GPU 内部の 3DCG 描画機構とテクスチャ演算機構上で実施することにより M-Map を構成する各指令値候補における干渉状態を高速に取得することが可能となる。

また、傾斜軸/回転軸への指令値の候補に対する直進軸への指令値の計算についても、GPU でのテクスチャ演算機能を利用し、並列計算を適用して高速化を実現している。

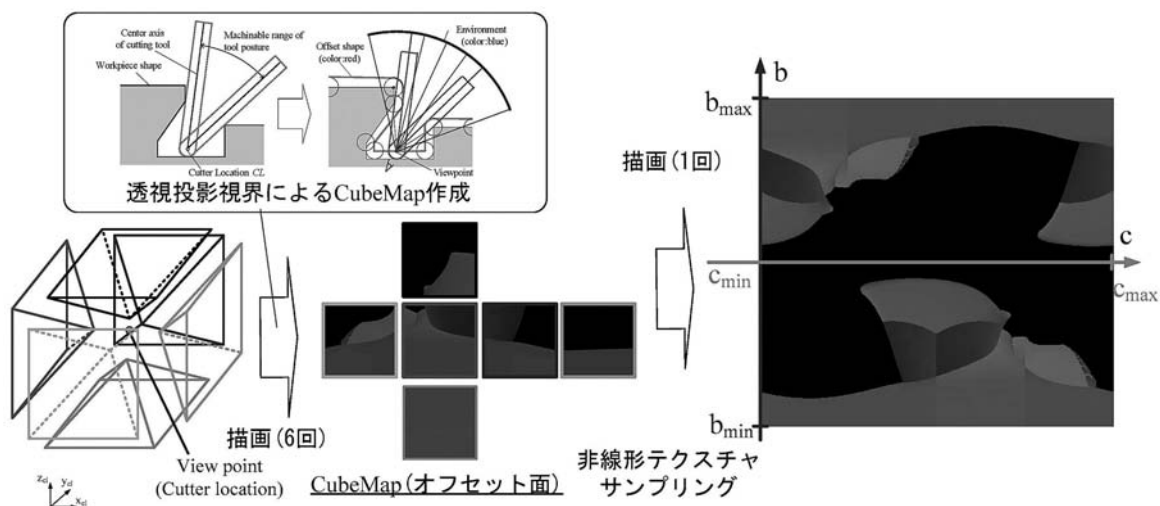
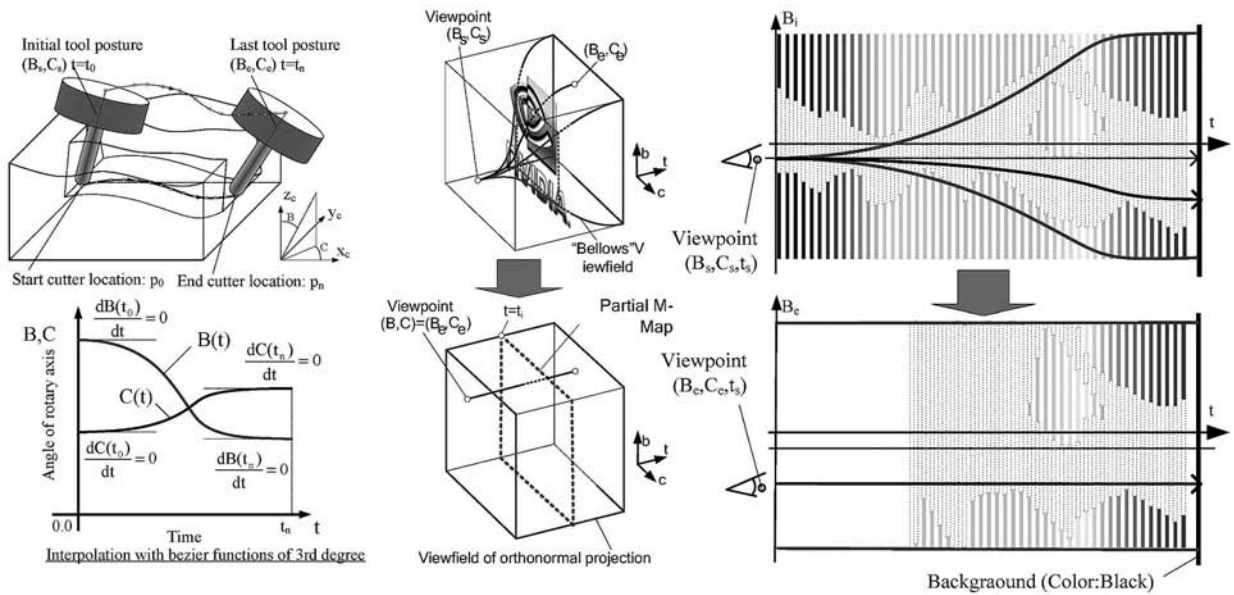


図3.1.4 透視投影視界によるCG描画を用いたM-Map情報の導出

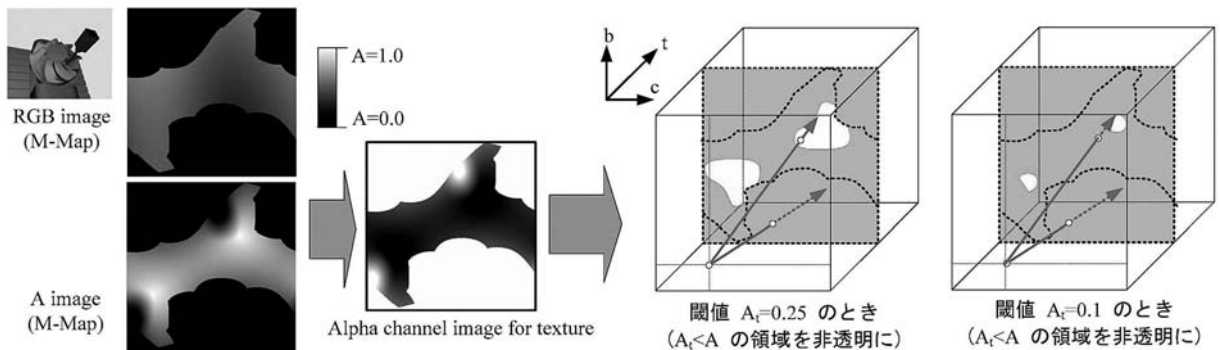
(2) 工作機械駆動位置情報を用いたNCデータ生成法（GPUによる高速探索の実現）

工具経路上に多数存在するCLに対し、M-Mapに記述された機械状態を参照して連続的な工具姿勢および工作機械動作を計画するためには、膨大なM-Map上の離散情報を高速に比較し、干渉の有無や相対姿勢の隔たりを評価する手法が必要となる。そこで本研究では、多数の工具姿勢変化候補を異なる2つの評価尺度を直交座標軸とした行列上に設定し、これらの中から工程に求められる加工条件および機械駆動条件に適合した姿勢変化候補をGPUを用いて探索的かつ高速に導出する工具姿勢変化計画法（CAVE：Configuration Arrays for Visual Estimation）を開発した。奥行きが工具刃先の切削送り中の経過時間、縦横が傾斜軸および回転軸への指令値となる3次元空間を図3.1.2で示したように想定すると、1つの工具姿勢変化候補はこの空間を通過する連続的な曲線または直線として定義されると考えられる。そこでこの工具姿勢変化候補の各CLの通過時の傾斜軸および回転軸への指令値を元に、奥行きとなる時間経過に対して、縦横を工具姿勢変化の候補を設定する際に使用するパラメータとする時空間情報を設定することを考える。各時間 t における工具姿勢変化候補がそれぞれ通過する傾斜軸および回転軸の指令値を導出し、該当する時間におけるM-Mapから色情報をサンプリングすることにより各工具姿勢変化候補における干渉の有無、直進軸の位置情報を色情報として取得することが可能となる。

図3.1.5(a)は多数の工具姿勢変化候補に対して高速な干渉有無の判定を実施するための矩形領域の透明度設定法の概念を示している。工具が最後にCLを通過する瞬間における傾斜軸および回転軸への指令値を縦横の座標値とし、切削送りの開始時と終了時に傾斜軸/回転軸の移動速度が0と仮定してその間の指令値をベジェ関数で補間すると、各工具姿勢変化候補は図3.1.2の時空間の中で時間経過に沿ってラップ状に広がる透視投影状の視野における各視線に相当する。そこで、ここでは逆にCLにおけるM-Mapの各部分の色情報をサンプリングして矩形領域上の各領域に透明度の設定を行う。加工面に対



(a) ベジエ関数を用いた2次元配列に対する回転軸/傾斜軸指令値候補の設定



(b) 目標相対工具姿勢との隔たり角度情報 (A 値) を利用した透明度設定

図3.1.5 多数の回転軸/傾斜軸指令値候補に対する描画処理による評価

する工具の相対姿勢が目標値から一定以内に収まり、かつ干渉の生じない場合のみ領域を透明に設定すると、時間軸に対して並行に視線が設定された平行投影視界において、上記の条件を満たす姿勢変化においてのみ視線上に背景色が現れるようになる。直進軸の移動距離の導出においても、ベジエ関数によって補間された加工中に通過するCLのRGB値をそのまま同様にサンプリングし、各CL間でサンプリングされたRGBの差分値を累計することにより直進3軸の総移動距離を短時間で比較することが可能となる。

図3.1.6はインペラ形状のハブ面をボールエンドミルによって加工する際の工具姿勢変化を提案したアルゴリズムによって計画した結果を示す。テーブル上面からインペラまでの距離が変更された場合、直進3軸の総移動距離は初期のCLにおける傾斜軸/回転軸指令値と最終のCLにおける傾斜軸/回転軸指令値の組み合わせによって大きく変化する。そこでここでは初期CLにおける指令値を順次変化させて比較を行い、インペラの把持条件が工具姿勢変化の最適化にもたらす影響を比較している。

検証結果では、テーブル上でのワーク高さが大きい条件において直進軸にオーバーラベルが発生し、加工が実施できない状態が生じており、CAVEの描画結果では黒色の

領域として現れる。図3.1.6の下図はそれぞれ各条件で直進軸の移動距離が最小となる工具姿勢変化を機械座標系と被削物座標系のそれぞれの上で示したものである。傾斜軸の回転中心からの加工対象物の距離によって直進軸の動作が最小となる工具姿勢変化が大きく影響をうけることがわかる。

本検証例ではB軸の可動範囲を-20～110度としたM-Mapに対して5度間隔で評価点を配置し、開始点の指令値候補数1241、終了点の指令地候補数1598に対して80点のCLにおけるM-Mapを評価したのち、工具姿勢変化の探索を行っている。1598通りの工具姿勢変化候補に対して80枚のMapを用いて各(Bs, Cs)からの総移動距離の分布を導出する場合に必要な計算時間は平均982msであり、姿勢変化候補の加工可否および総移動距離の導出に要する時間は1候補あたり平均0.61msと非常に高速に比較を実施することが可能となった。

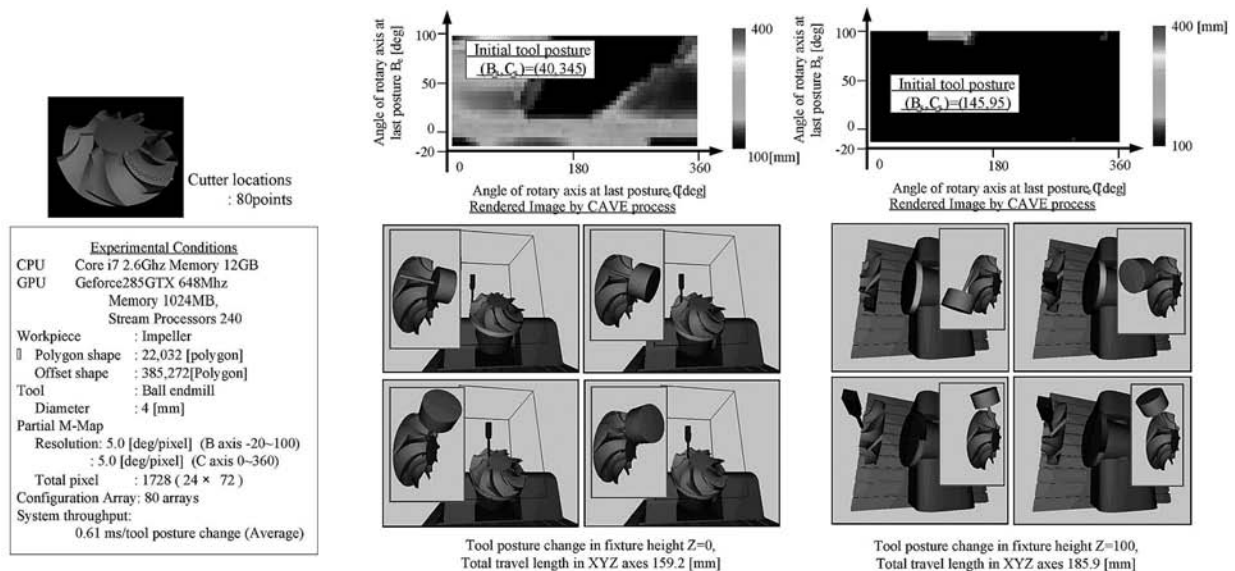


図3.1.6 回転軸/傾斜軸指令値変化候補に対する直進軸最小移動候補探索結果

3.1.4 おわりに

本研究では、同時多軸制御加工において、機械の運動特性を考慮したNCデータを生成するための新しい計画方法として、傾斜軸/回転軸への指令値を陽に考慮して連続的な工具姿勢変化を導出する手法の開発を行った。傾斜軸/回転軸への指令値が連続的に変化する条件を与え、この条件下で多数の工具姿勢変化候補を設定し、各工具姿勢変化候補における干渉発生や加工面との相対姿勢、直進3軸側の移動距離等を並列計算によって短時間に導出する。そしてこれらの中から求める条件を満たす工具姿勢変化を特定することにより、加工に関連する複数の条件を同時に満たす工具姿勢変化の導出が実現できることを確認した。また、多数の工具姿勢変化に対する干渉検出・ポスト処理等の幾何演算をグラフィックスハードウェアと呼ばれる超並列計算ユニットを用いて処理することにより、CPUのみによる場合に比べて大幅な処理時間の短縮が可能となることを実証した。

今後は、直進3軸の最大加速度、同期速度等を考慮した正確な加工所要時間や、回転軸/傾斜軸の駆動速度が加工対象面の表面粗さにもたらす影響を考慮することが可能となるよう、システムの機能を拡充する予定である。

参考文献

- (1) 竹内芳美, 清水弘幸, 出村 健, 渡辺隆弘, 伊藤哲也: ソリッドモデルに基づく5軸制御加工, 精密工学会誌, 第56巻, 第11号, pp.2063-2068(1990.11).
- (2) 森重功一, 加藤 究, 竹内芳美: C-Spaceを用いた5軸制御加工のための工具経路生成法, 精密工学会誌, 第62巻, 第9号, pp.1783-1787(1996.12).
- (3) 上田康文, 井上武浩, 石田 徹, 竹内芳美: 5軸NURBS補間加工用CAMシステムの開発: 非干渉空間を利用した工具経路の生成, 日本機械学会論文集 C編, 第74巻, 第744号, pp.2065-2071(2008.08).
- (4) 佐藤隆太, 横堀裕也, 堤 正臣: 5軸制御マシニングセンタにおける直進軸と回転軸の動的同期精度, 精密工学会誌, 第72巻, 第1号, pp.73-78(2006.1).
- (5) 金子順一, 堀尾健一郎: 同時5軸制御加工における工具姿勢の工作機械回転軸座標空間を用いた計画法: 工具姿勢決定機構への指令値候補に対する干渉状態と直進軸指令値の可視化, 精密工学会誌, 第75巻, 第4号, pp.530-535(2009.4).

(金子委員)

3.2 JIMTOF 2010における最新ソフトウェア技術

2010年10月28日～11月2日の6日間、東京ビッグサイトにおいてJIMTOF 2010（第25回日本国際工作機械見本市）が開催された。

JIMTOFは国際的に最も注目される工作機械の国際専門見本市であり、今回は23か国・地域より575社が出展した。

JIMTOFの特徴は、最先端の技術が多数発表されることにあり、出展各社はJIMTOFに併せて研究開発の成果を製品として紹介している。

ソフトウェアに関しても多くの先端技術が紹介されており、これら出展内容を整理することは、今後の動向を把握する上でも大変参考になる。

そこで、本項では、JIMTOF 2010で紹介された最新のソフトウェア技術を紹介する。

3.2.1 (株)CGTech

昨年行われたJIMTOF 2010においてCGTechはシミュレーションの分野においてその可能性を示唆するべく多くの新機能を展示した。その一部をここで紹介する。

(1) ギア加工

従来のシミュレーションでは工具、もしくは旋盤のように加工材が回転体である事しか対応できなかった。今回発表した新機能では双方が単に回転するのではなくホブ加工のように同期を取りながら加工を行うことが可能になった。この技術はミーリング工具とは常に回転体であるという既存の概念捨てることで可能となった。この技術を応用することでヘール加工などのシミュレーションも行うことができる。

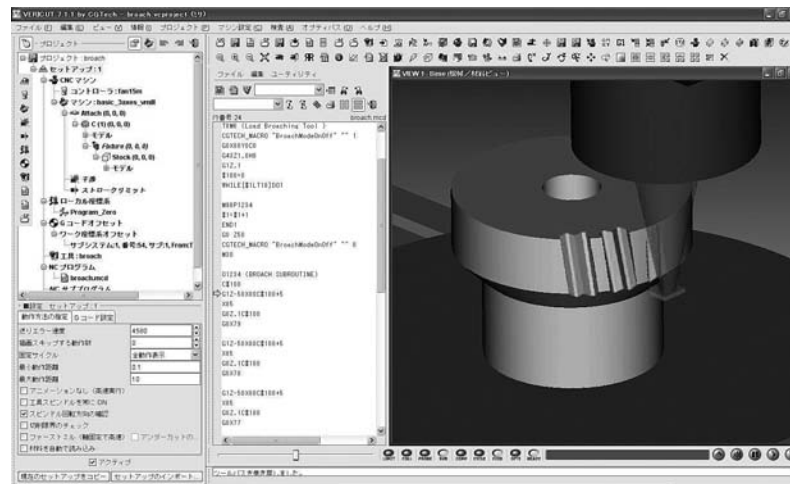


図3.2.1 ギア加工のシミュレーション

(2) 複合材を用いたシミュレーション

最近の航空機の機体は厚さ0.2ミリ程度の複合材テープ（トウ）を何層にも積層することで形状を生成する。CGTechはこの動作に対するシミュレーションを開発した。既存のシミュレータでは積層は幾何学的に行われるのみであった。今回開発したシミュレーションでは機械の特性を考慮したシミュレーションが可能となっている。これによりトウが正しく積層されているか、隙間がないか、位置関係に問題がないか、などを事前に正確に確認することができる。また、機械の動作そのものを指令するCAM及びポストプロ

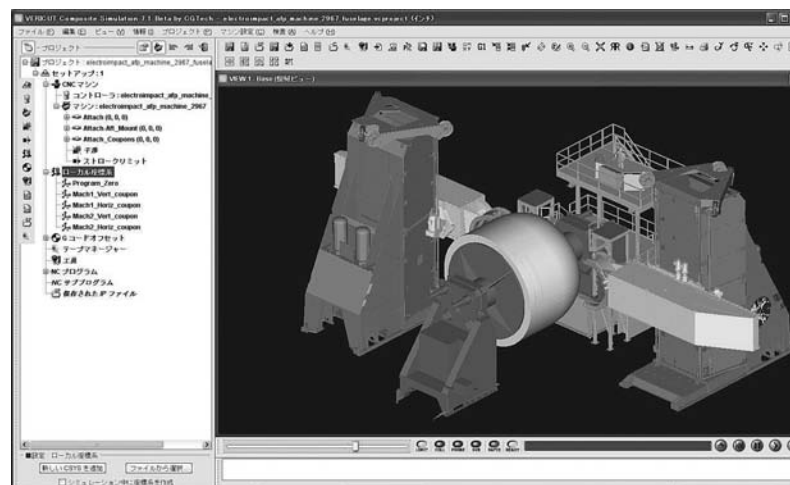


図3.2.2 複合材のシミュレーション

ロセッサも開発した。従来は機械固有のプログラミングが必要であったオペレーションが機械共通の汎用なオペレーションへと変えることができる。

(3) ロボットシミュレーション

ロボットの用途として、物を運ぶ、スポット溶接を行うなど単純な動作を繰り返す事が挙げられる。これらの動作はオンラインのティーチング作業でプログラムするのだが、ロボット切削など複雑かつ長い時間の動作を行う場合はオフラインでのプログラミングが必要になってくる。その場合は単にロボットが動作する干渉を考慮するだけでなく刻々と変化する加工材にも注意が必要になる。CGTechは既存のシミュレーション技術とロボットを融合したシミュレーションを開発した。図3.2.3は前項で紹介した複合材の積層をロボットで行ったものである。製品形状はシミュレーションが進むにつれ大きくなっていく。これらの干渉を確認することができる。

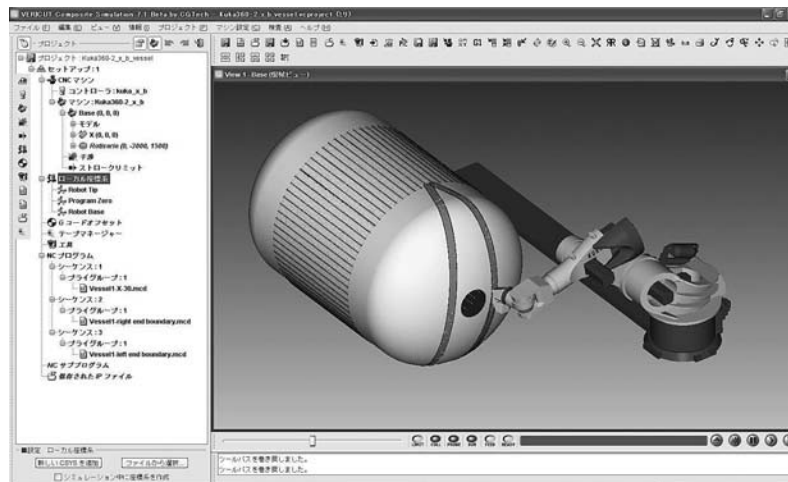


図3.2.3 ロボットシミュレーション

CGTechはパイオニアとして今後もシミュレーションの可能性を開拓することで様々な産業に貢献していきたい。

3.2.2 (株)C&Gシステムズ

金型加工において同時5軸加工が普及し始めてしばらく経つが、未だに運用が確立されていない。その理由の一つとして金型形状の適応範囲をCAMオペレータが見出せない事がある。弊社はJIMTOF 2010において、金型の同時5軸加工をキャビティ形状の加工事例で紹介した。

5軸加工は、次のような特長と効果が期待出来る。

① 任意方向からの切削

ツールセットを最適に（突出しを短く）し切削条件を落すこと無い加工が可能となり、加工面性状、加工精度、加工送り速度において効果を上げることが期待できる。

② 直彫り範囲の拡大

電極作成時間や放電加工時間の削減が可能となる。

③ ワンチャック加工

現場における段取り工数や段取り誤差の削減が実現する。この結果、切削面品質の向上につながり、後工程での工数削減も期待できる。

(1) テーマ（加工データ作成方針）

このような期待効果を踏まえ、樹脂金型におけるキャビ形状で加工事例を作成した。(図3.2.4)

今回、NCデータ作成に当たり同時5軸加工を利用し、従来の加工方法よりも仕上げ面精度(4 μ m以下)を落とさず加工時間を短縮することをテーマに取組んだ。

同時5軸加工を行う上でCAMオペレータは、機械の運動特性を理解していなくてはならない。5軸加工機では直動3軸(X, Y, Z)に加え、回転2軸(BまたはA, C)が付加されている。

この回転軸は急激な変化や反転動作が発生すると実加工速度が守れなくなり切削面品質に悪影響を与える。このため加工面の要求品質を理解し最適な工具姿勢変化を与えなくてはならない。また、工程作成において3軸加工、位置決め5軸加工、同時5軸加工を使い分けることも工程短縮のポイントとなる。

ここで、弊社CAMシステムのCAM-TOOL同時5軸加工モジュールに搭載されているスムージング機能を利用した効果を確認する。

(2) 加工概要

今回、弊社で作成した工程概要は下記の通りである。

荒取り～中仕上げ工程を「3軸加工と位置決め5軸加工」、仕上げ工程を「位置決め5軸加工と同時5軸加工」で行う工程とした。(図3.2.5)

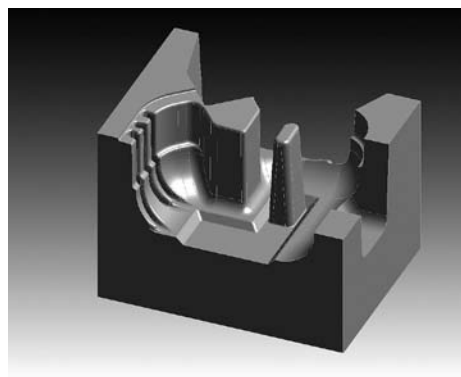
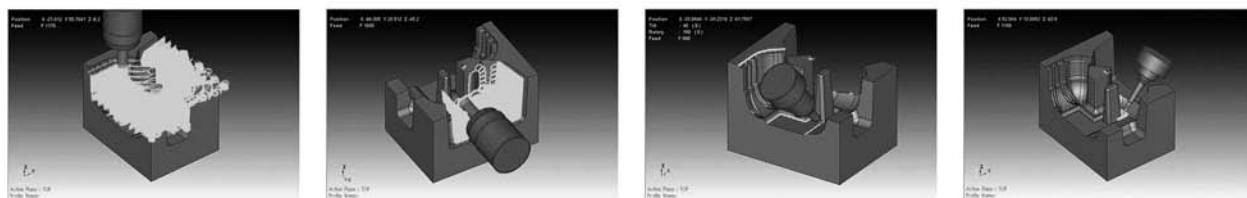


図3.2.4 キャビ形状加工事例



仕上げ工程：「位置決め5軸加工と同時5軸加工」

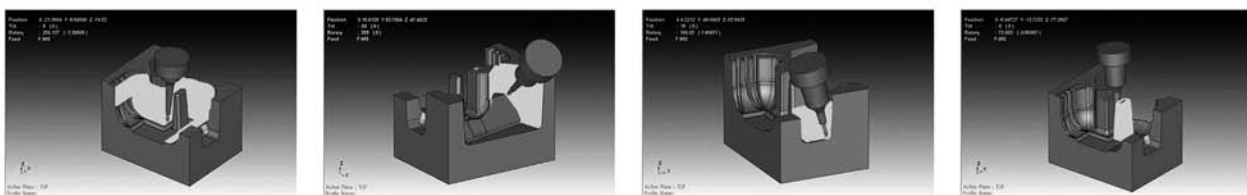


図3.2.5 荒取り～中仕上げ工程：「3軸加工と位置決め5軸加工」

表3.2.1 従来工法（3軸加工）との比較

	加工方法		従来工法	同時5軸
仕上げ面精度			4 μ m	1 μ m
加工時間	直彫加工	荒取り	3h	6h
		仕上げ	15h	15.5h
	電極加工		40h	
	放電加工		35h	
	合計		75h	21.5h

(3) 結果

加工面品質は同時5軸加工においても弊社スムーズング機能を利用することにより目的の4 μ m以下を達成し、加工時間も75時間を21.5時間に短縮することが出来た。

金型において5軸加工の効果を上げるには、周辺機器（ツーリング、バイス、工作機械他）の環境整備も重要である。CAM機能においては構造点ピッチを細かく均一に出力し、且つ工具軸制御を滑らかな動作に変換するスムーズング機能、工作機械の構造部の干渉チェックを行なうマシンシミュレーションを有することが重要なポイントとなる。

また、NCデータ作成は機械の運動特性を考慮して工程作成することも必要であり、今回のデータ作成においてはCAMオペレータのスキルが大きく依存していた。今後は、システム側でスムーズングを含めた自動回避機能を容易に行う仕組み等を含め、CAMオペレータの負担を軽減する開発に取り組んでいきたい。

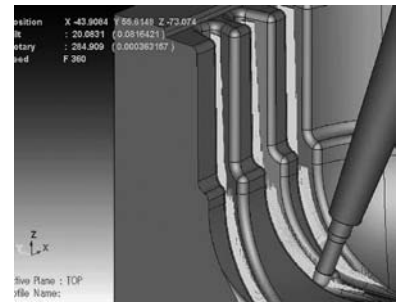
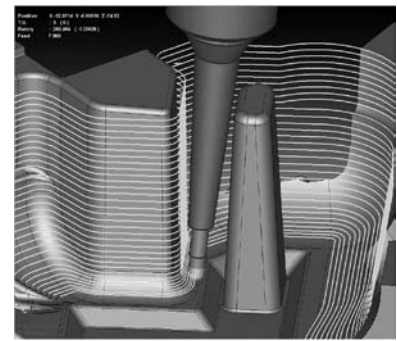


図3.2.6 同時5軸加工

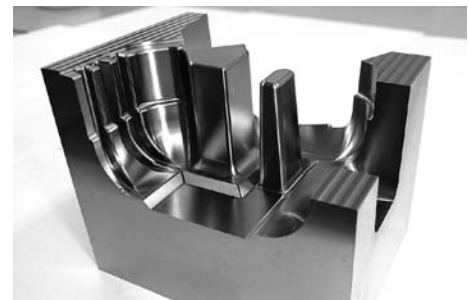


図3.2.7 切削後のワーク

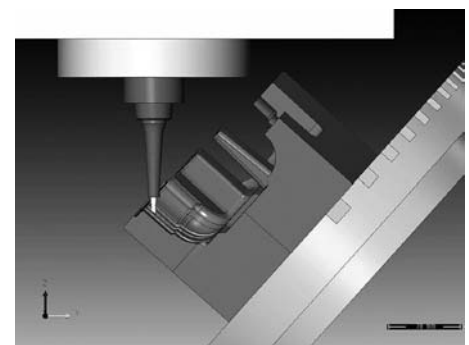


図3.2.8 マシンシミュレーション

3.2.3 大昭和精機株

工具メーカーである当社ではツーリングの自動認識システムとしてこれまで販売してきた TOOL IC Code をより安く簡単に利用できる TOOL IC Plus（簡易 TOOL IC 利用システム）を出品した。これまで TOOL IC を利用する場合には工作機械メーカーによる改造やオプション装着が必要であったが、費用も高く導入に高いハードルがあった。そのため機械側の改造を一切しなくても簡単に接続できるシステムを考案して商品化した。基本的な技術はこれまで当社が開発してきた FactoryManager 中に既に存在するが、最低限必要な機能だけを抽

出しシンプルなシステムとした。ここ数年間に販売されたFANUC社製iシリーズのCNCやSIEMENS社製840DシリーズのOPEN CNC搭載機に対応させている。今後OSPやMELDASその他CNCにも対応予定である。機能としてはTOOL IC Codeを利用したCNCとの工具オフセットの通信、工具所在管理、NCプログラム通信や編集（データサーバを含む）、機械稼働状況の自動取得と集計である。

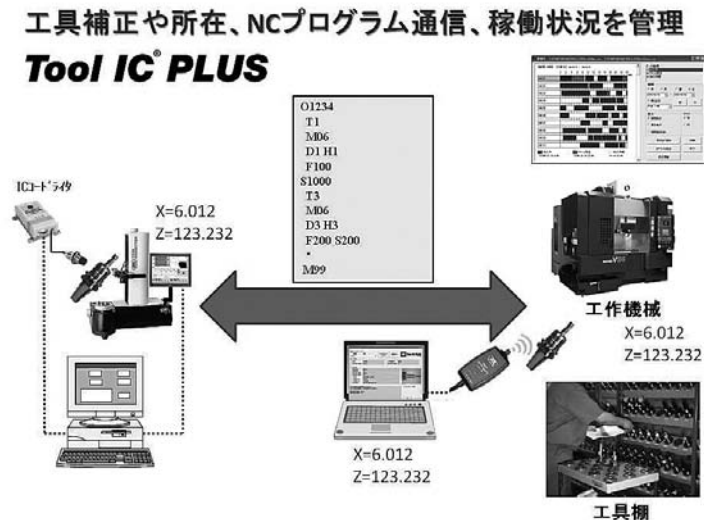


図 3.2.9 Tool IC Plus

一方、加工現場（工場）に実在する工具や過去に加工経験のある工具情報をCAM側へ転送して段取作業を効率化させ、結果的に機械稼働率を高めるCAM連動機能を出品した。工具形状データベースに加えて、加工条件データベースを新たに備えたのが特徴である。今後上記のTOOL IC Plusと組み合わせれば実際に使用した切削条件や突き出し長さなどを自動的に収集することも可能になり、CAM側では仮想の条件ではなく実績のある確実な条件で具体的な工具指示ができるようになっていくだろう。

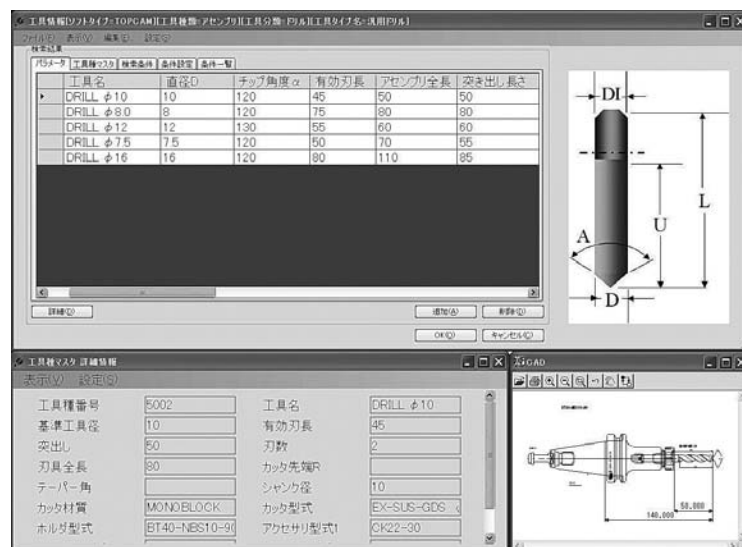


図 3.2.10 加工条件データベース

3.2.4 (株)ジェイテクト

(1) はじめに

近年、金型製作の分野においてもグローバル競争力強化のため、さらなるリードタイムの短縮が求められている。その解決手段として図3.2.11に示すような5軸マシニングセンタによる割出し5軸加工に注目が集まっている。この加工では、工具姿勢を傾けることにより工作物との干渉を避けることができるため、工具突出長の短い高剛性なツーリングが使用可能となり、加工時間の短縮や高精度化、低コスト化が期待できる。

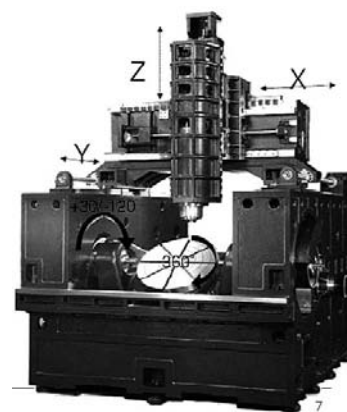


図3.2.11 5軸立形マシニングセンタ (UX570-5Axis)

図3.2.12に焼入れ鋼をボールエンドミルで荒加工する場合の工具突出長/工具径(L/D)とツーリング剛性、および切削能率の関係を示す。この図からも、工具突出長を短くすることでツーリング剛性と切削能率を大幅に向上できることが明らかである。たとえば3軸でL/D=6の加工を、割出し5軸でL/D=3まで工具突出長を短くできれば、ツーリング剛性で4倍、かつ切削能率で20倍程度まで向上する。

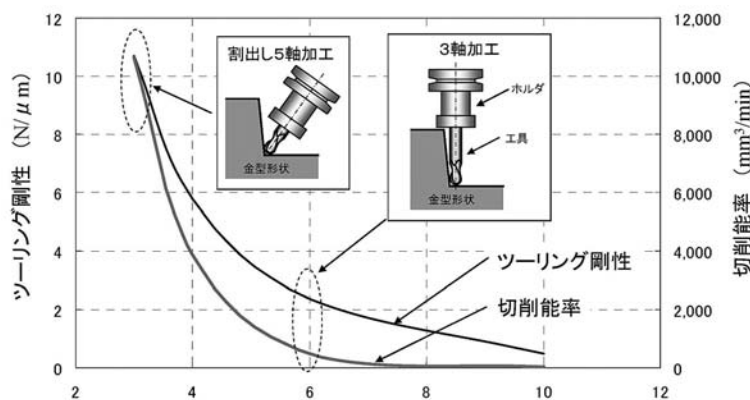


図3.2.12 工具突出長/工具径(L/D)とツーリング剛性、切削能率の関係

しかし、割出し5軸加工では工具姿勢の自由度が増えるために加工工程設計が非常に複雑であり、3軸加工に比べて設計者にはさらに高いスキルが要求されるうえ、時間を要する作業となっている。加工工程設計から加工までのトータルリードタイムを考えると、5軸により加工時間のみが短くなっても、逆に加工工程設計時間が長くなるとトータルで効果が得られない。

そこで、これまでに開発した3軸加工用の型加工工程設計支援システムの機能を拡張し、熟練技能者でなくても短時間で高能率な割出し5軸の加工工程設計が可能となる支援システムを開発した。

(2) 開発の狙い

本開発では加工工程設計の各作業を経験や勘に頼らず、定量的な評価により自動化するアルゴリズムを考案し、誰でも簡単かつ短時間に、高能率な割出し5軸加工工程を自動計算できるシステムを開発した。このシステムの狙いは、これまでの思考作業に頼った加工工程設計による加工品質のばらつきを無くし、かつ金型製作のトータルリードタイムを短縮することである。

図3.2.13に一般的な金型製作の流れを示す。加工工程設計作業は熟練技能者がこれまでの加工実績を基に、CAMなどの専用ソフトを使用して試行錯誤により決定している。特に、割出し5軸加工における加工工程設計のポイントは、工具姿勢を切り替えながら、工具突出長の短い高剛性なツーリングをできるだけ広範囲に適用することである。

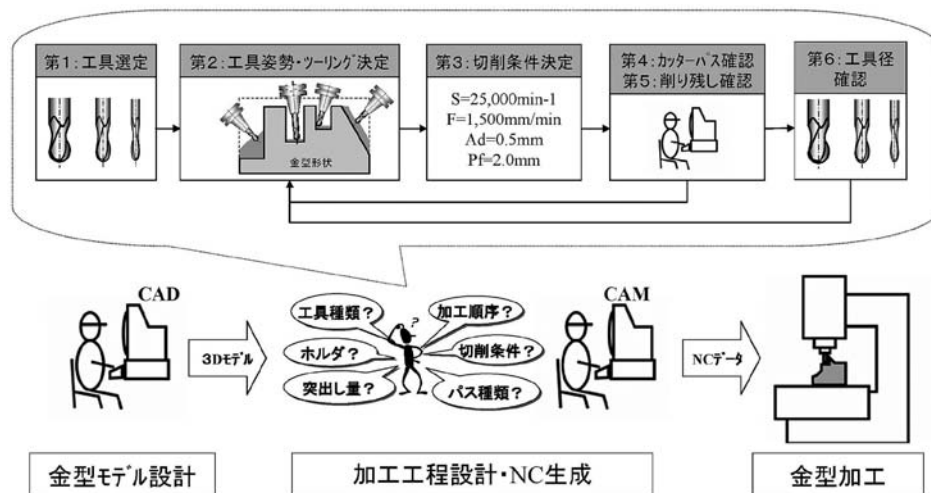


図3.2.13 金型製作の流れ

加工工程設計作業は非常に手間がかかり、経験と知識、技能を要する高度な思考作業の繰り返しである。このため、品質の良い金型を製作するためには作業時間が増加する傾向にある。また、人の能力によって加工工程に大きな差異が生じ、最終的な加工時間や加工精度に大きく影響する。

(3) システム構成の概要

開発した割出し5軸加工工程設計支援システムの全体構成と表示画面を図3.2.14に示す。初期パラメータを入力するだけで、誰でも簡単かつ短時間に、高能率な割出し5軸加工工程を自動計算できるシステムとなっている。入力には素材モデル、金型モデルおよび仕上面粗さや被削材等の加工情報となっている。出力は工具姿勢情報やツーリング情報、切削条件等のNCデータ作成に必要な全情報が得られる。

システム内部は、加工シミュレーション技術やデータベース、構造解析技術などの下記に示すモジュール6個とデータベース2種類で構成される。

- ① 入力されたSTL形式の金型形状データを独自のデータに変換するモデル変換部
- ② 集合演算により割出し5軸加工をシミュレーションする割出加工シミュレーション部

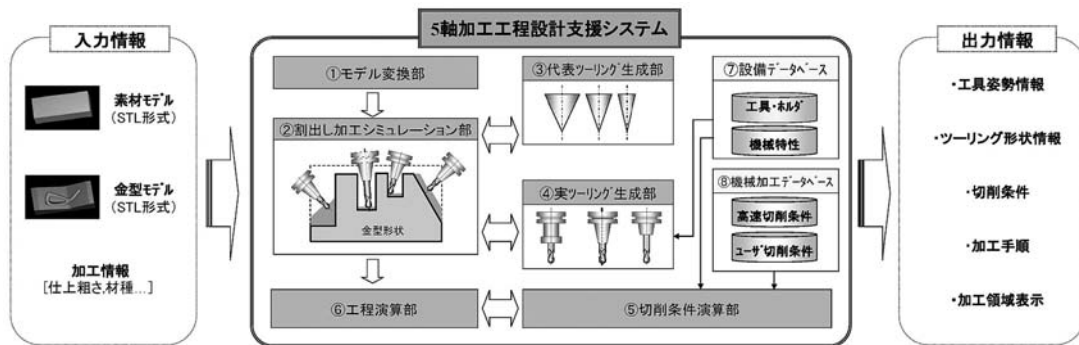


図 3.2.14 割出し5軸加工工程自動設計支援システムの構成(Mill-Plan/UH 5Axis)

- ③ 円すい状のツーリングを自動生成する代表ツーリング生成部
 - ④ 工具およびホルダの幾何形状データからツーリングを自動生成する実ツーリング生成部
 - ⑤ 自動生成したツーリングに対し切削条件を自動算出する切削条件演算部
 - ⑥ 非加工時間も含めた総加工時間が最短となる工具姿勢、ツーリング、加工手順を選定する工程演算部
 - ⑦ 工具、ホルダ、機械特性などのデータを登録している設備データベース部
 - ⑧ 切削条件のデータを登録している機械加工データベース部
- (4) モデルでの実施例

正方形ポケットモデルに対し計算試験を行ない、工作物形状に応じた高効率な割出し5軸工程を短時間で自動算出できることを確認した。計算条件として設備データベースには工具130種、ホルダ28種を登録しておき、Φ2からΦ10の工具径範囲で実施した。

本モデルの場合、比較的簡単な形状なため正方形ポケットの底にある四つのコーナに工具先端を向けた工具姿勢が有効であると感覚的にイメージできる。しかし、実際に干渉を考慮しながら正確な工具姿勢や安全なツーリング形状を求めるためには、手間と時間が必要である。

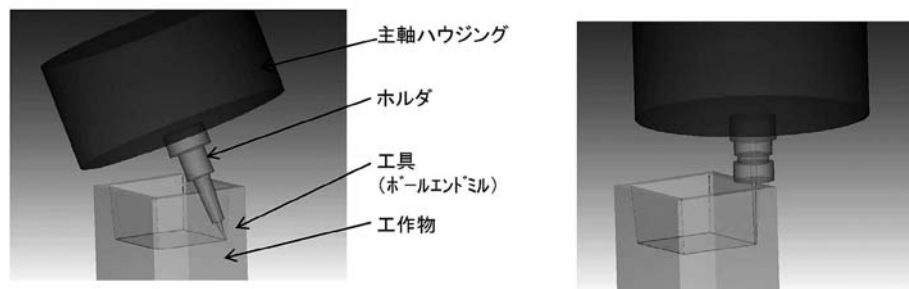
この事例に対して本システムを適用したところ、7.5分で計算が完了し、荒4工程、仕上4工程の加工工程が得られた。表3.2.2に計算結果となる荒加工工程のリストを示す。第1工程はΦ10ボールエンドミルでコーナに向けた4方向の姿勢 $(\theta, \phi) = (30, 45)$ 、 $(30, 135)$ 、 $(30, 225)$ 、 $(30, 315)$ で加工を行い、Φ5、Φ3、Φ2の順で削り残り部を隅加工していく工程となっている。

表 3.2.2 モデルの荒加工工程リスト

工程番号	工具径 (mm)	突出長 (mm)	工具姿勢 $[\theta, \phi]$ (deg)	主軸回転速度 (min ⁻¹)	送り速度 (mm/min)
1	Φ10	19	[30,45] [30,135] [30,225] [30,315]	12,423	3,000
2	Φ5	19	[30,45] [30,135] [30,225] [30,315]	19,300	2,500
3	Φ3	16	[20,45] [20,135] [20,225] [20,315]	38,300	3,500
4	Φ2	19	[20,45] [20,135] [20,225] [20,315]	33,000	1,600

図3.2.15(a)には計算で得られた割出し5軸加工でのΦ2工具姿勢とツーリングを示し、(b)に3軸加工に必要な同ツーリングを参考として示す。(a)のツーリング図から、焼きばめホルダと段付のボールエンドミルが自動選択されており、3軸加工でのツーリング(b)に比べて高剛性で干渉の無い加工に有利なツーリングが選ばれていることが分かる。また、本システムでは、機械の主軸ハウジングと工作物の干渉も考慮している。

本工程を基にCAMでカッターパスを生成し、実際の加工時間を予測した。その結果、人が設計した3軸加工と比較して加工時間を51%短縮できる高能率な工程であることが検証できた。また、従来の3軸加工では深さごとに工具突出長を切り換える必要があったが、本システムで算出した割出し5軸工程では突出長の短いツーリング1種で底面まで加工することができ、使用工具数を12本から8本に削減できるという効果も確認できた。



(a) 5軸加工工程のΦ2工具ツーリング

(b) 3軸加工工程のΦ2工具ツーリング

図3.2.15 モデルの工具姿勢とツーリング形状

3.2.5 倉敷機械(株)

(1) 形状認識による自動加工

自動でのNCデータの作成には、通常2つのアプローチが考えられている。1つは設計時に加工属性を付与し、それに基づいて加工する方法である。もう一つは、3次元モデルの形状を解析し、その結果に基づいて加工工程を割りつける方法である。

MYPACは2次元3次元が一体になったCAD/CAMであるため、上記の2方法の両方の機能を有している。MYPACで設計したものについては、設計時に付与された加工属性を元に設計完了後すぐに自動加工を行うことができる。また、他のシステムで設計されたデータについては、3次元モデルから穴、ポケット、ボスなどの加工フィーチャーを自動認識し、あらかじめ設定したパターンで自動加工することができる。これらは、加工フィーチャー認識の技術と加工工程設定の技術の融合の結果である。

自動加工に於いては、上記の加工フィーチャーの認識だけではなく、無駄のない加工を行うために、加工された部分の形状を認識し素材を更新していくことが必要である。自動加工では、それを元に適切な加工範囲、加工高さが設定される(図3.2.16)。この機能は、手動設定においても加工範囲、高さを自動で設定し、早送りでの素材への侵入、無駄なエアーカットの回避など、効率的で安全なNCデータの作成に大きく寄与する。

また、この機能により、加工順番を入れ替えた場合でも、作業者が加工範囲を再設定することなく自動で適切な範囲、高さが認識され最適なNCデータを作成することができる。

(2) 2軸2軸半形状の荒加工

2軸2軸半形状の荒加工として、『高速加工対応』『3次元モデルからの一括荒加工』という2つの機能を追加した。高速加工機を有効に活用するためには、加工負荷の均一化と曲線的な滑らかな動きが必要となる。このような加工は3次元CAMに於いていち早く取り入れられていたが、2軸2軸半加工ではあまり着目されていなかった。

MYPACでは、2次元図からでも3次元モデルからでも角丸め、トロコイド加工などの均一負荷の滑らかな動きを実現し、高速加工機的能力を100%引き出すことができる。また、3次元モデルからの一括荒加工では、3次元CAM同様、傾斜面、多段の形状などに対しても、モデルを指定するだけで全領域の荒加工が行える。この時に複数の工具を指定することにより削り残り荒加工も同時に行えるため、迅速で確実に加工効率の良い最適なNCデータの作成が行える(図3.2.17)。金型用3次元CAMで培われた技術を部品加工用2軸2軸半CAMでも活用出来るようにした。

(3) 樹脂流動解析

最近では、金型設計と合わせて樹脂流動解析の導入を検討されるお客様が増えている。解析を行うことにより、ウェルドライン、エアトラップ、流動、ソリなどの確認が事前に行え、ゲート、ランナー、水穴などを最適に設計することができる。3次元設計された金型データの水穴、ランナー、ゲートなどをそのまま利用することにより、樹脂流動解析が手軽に精度良く行える。また、解析結果を金型設計に反映させることにより、より完全な金型が設計できる。しかし、流動解析ソフトは高価であり活用が難しく、設計者一人一人が利用するというわけにはいかない。また、水穴、

ランナーなどは設計後でない位置、形状がわからない。そこで、当社は、金型設計者がさらに簡単に手軽に利用できる樹脂流動解析MYPAC GATE eXplorerを低価格でリ

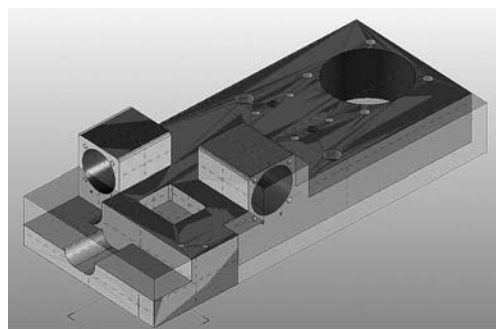


図3.2.16 加工途中形状

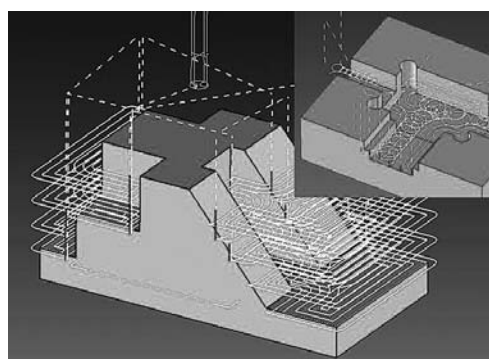


図3.2.17 2軸・2軸半形状荒加工



図3.2.18 MYPAC GATE eXplorer

ースした。MYPAC GATE eXplorerは、ゲート位置と使用樹脂を決めるだけで簡単に解析が行えるため、設計の初期段階で流動に起因する問題を予測し、金型設計を行うことができる（図3.2.18）。

3.2.6 株式会社牧野フライス製作所

(1) 情報管理ソフトウェア『MPmax』

当社は、情報管理ソフトウェア『MPmax』をJIMTOF 2010に出展した。

近年のコンピュータ技術の発展により、多くの企業で生産現場でのネットワーク化が進み、ITを活用するための環境が整ってきている。そのような状況で、ITを活用して加工機械の生産性の向上を図ることを目的としたのが『MPmax』である。

『MPmax』はWindows XP又はWindows 7上で動作するアプリケーションソフトウェアで、工作機械とイーサネット接続し、様々な情報をリアルタイムに収集・一元管理して更に解析・統計処理による生産現場の情報を“見える化”するシステムである。また、NCプログラム管理、加工部品データ管理、工具データ管理機能により、加工に必要なデータの管理とそれらデータを作業者が容易に機械へ転送する機能を有している。

『MPmax』機能一覧

- 機械リアルタイムモニタリング表示
- 機内カメラ画像表示
- Eメール通知機能
- 稼働実績表示
- アラーム分析機能・機械操作画面リモート表示
- NCプログラム/部品データ管理機能
- 工具管理機能

近年の工作機械は、標準でイーサネット接続機能を有しており、『MPmax』と接続されるカメラや電力計などの全ての機器もネットワーク接続となっている。そのため、システム構築・導入が安価で容易であるという特徴がある。

また、『MPmax』では、機械本体主操作盤近くに埋込み型パソコンが実装されるビルトインタイプと、市販パソコンをサーバパソコンとして利用するネットワークタイプの2タイプ存在する。ネットワークタイプではサーバパソコンにて工作機械のリアルタイムデータ、NCプログラムデータ、部品データ、工具データなどがデータベースにて一元管理されるが、それらのデータは、別のク

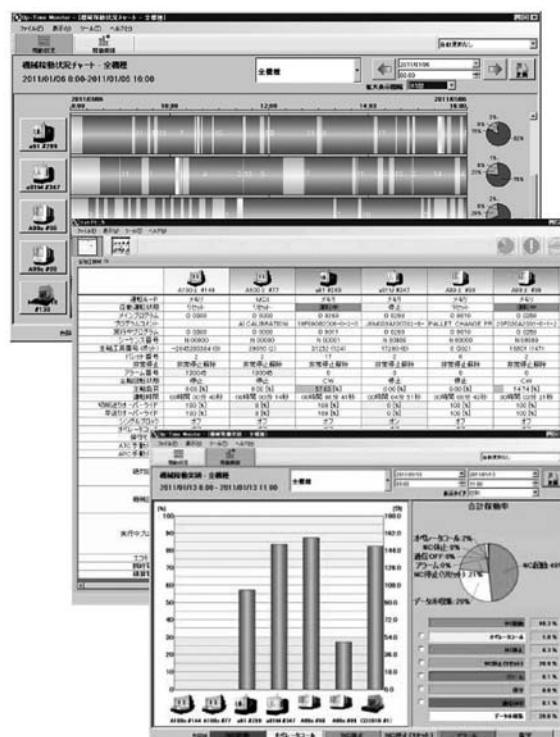


図3.2.19 MPmax画面の一例

クライアントパソコンから容易にアクセス可能である。この、サーバパソコンとクライアントパソコンの『MPmax』アプリケーション間の通信は、Microsoftのネットワーク技術である .Net リモータリングを利用したもので、柔軟なアーキテクチャの対応、高速な通信、インターネット環境への対応、柔軟なセキュリティ対応などの利点がある。

(2) 3次元CAMシステム『FF/cam V.8』

JIMTOF 2010直後の11月22日に3次元CAMシステム『FF/cam』の新しいバージョンとしてV.8を発表した。

V.8の最大の特長はマルチスレッド技術の活用と大容量データへの対応である。

マルチスレッド技術の活用では、演算処理の改良も行い、4CPU8スレッドでは軌跡計算時間を従来の1/3※に短縮できた。これにより、今まで演算時間がネックであった膨大な計算量を必要とする、仕上げ加工での大物形状や微細精密形状へのNCデータ作成にもよどみない運用が可能となる。

※マルチコア搭載PCによる弊社テスト結果

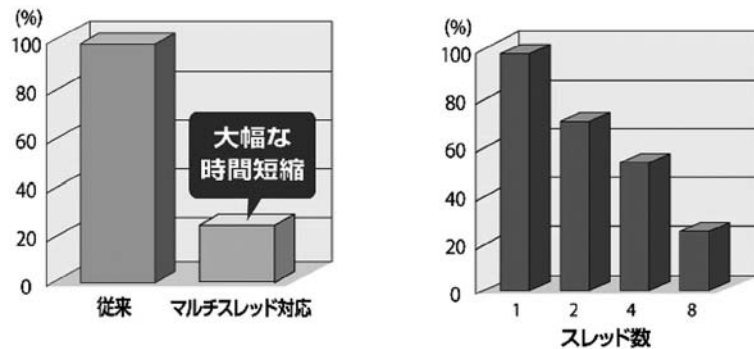


図3.2.20 軌跡計算時間比較

また、大容量データへの対応として表示の高速化を行い、表示における待ち時間を大幅に短縮した。これによりメニューを開く時間が1/3に短縮された。またモデル表示における回転や拡大、移動などの操作において形状を順次表示していくことで待ち時間をなくした。これら表示時間の短縮以外にも表示の回転中心の指定などもすばやくマウスで選択できるなど、大物形状・大容量データの扱いを簡単にした。

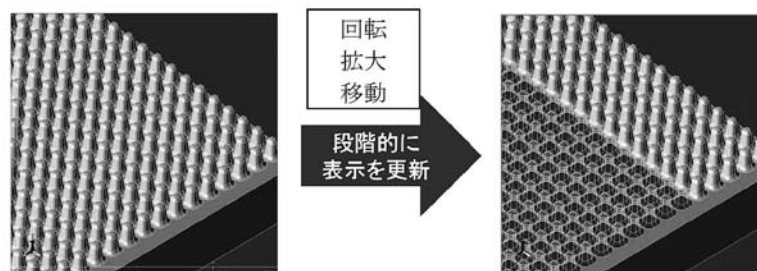


図3.2.21 段階的なモデル表示

この他、ポストプロセッサに変換テーブルを持つことで、幅広く各種工作機械用のNCデータを作成可能となった。

3.2.7 三菱電機株

(1) はじめに

三菱CNC M700/M70シリーズにはパラメータ設定やサーボ調整を支援したり、カスタム画面の作成、及びLANに接続してのモニタリングや加工プログラムの転送を行うための各種サポートツールが用意されている。ここでは生産現場での作業効率改善に適用可能な「遠隔操作ツール」、「カスタム画面作成ツール」について紹介する。

(2) 遠隔操作ツール

遠隔操作ツールはNCとLANで接続されたPC上で動作し、NCの画面操作を行ったり、加工に必要な各種NCデータ（加工プログラムや変数・工具オフセット等）をNCに対して読み書きするためのツールで、NC MonitorとNC Explorerの2つのツールで構成される。これらのツールをPCにインストールするだけでPCからNCの操作が可能になる。

① NC Monitor

NC MonitorはPC上で最大10台までのNCの画面操作を行うことができるツールである。図3.2.22のように、LAN上にあるNCの画面をPC上に表示でき、NCの画面切替や画面入力がPCから操作可能になる。

NC Monitorで操作する画面は機械オペレータが操作する画面と異なる画面であっても両者同時に画面操作可能である。現場管理者が、機械オペレータの操作を邪魔することなく、NC画面を見て機械の稼動状況を把握することができる。接続されるNCはM700(V)とM70(V)が混在してもよい。

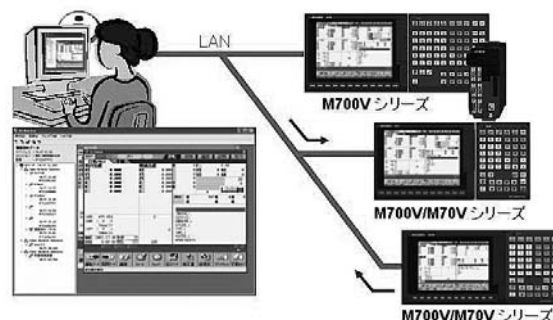


図3.2.22 NC Monitor

② NC Explorer

NC ExplorerはPCとNC間で加工プログラム等各種NCデータを送受信するためのツールである。このツールでは、各NCとそのデータ格納場所が図3.2.23のように階層化して表示される。加工プログラムや変数データ等はファイルとして扱われ、NC内のメモリやHDD等の各種データ格納場所はフォルダで表現され、ドラッグ&ドロップのような簡単操作でLAN接続されたNCに対して各種NCデータを送受信できる。

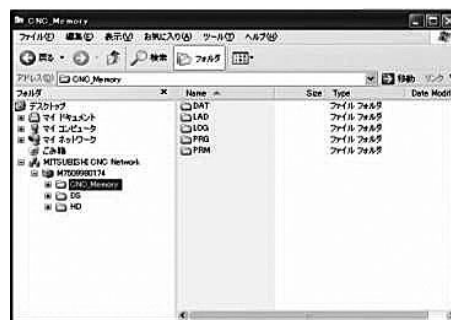


図3.2.23 NC Explorer画面

(3) カスタム画面作成ツール

NC Designerは工機メーカーや機械ユーザでNCに独自の画面を作成するためのツールで

ある。例えば「変数に値を設定して起動」を繰り返すような定型的な操作の場合は、専用画面の方が操作勝手がよく作業効率上がる。NC Designerによりこのような画面を容易に作成できる。

画面作成には2つの方式がある。一つはインタープリタ方式で、NC Designerのみで画面作成が可能であり、プログラミングが不慣れな初心者でも扱い易い画面作成方式である。NC Designerには様々な種類の標準画面部品が含まれており、この部品を組合せて画面上に配置し、各部品の動作をマクロ言語で記述することでカスタム画面を容易に作成できる。図3.2.24に画面部品配置の概念と作成された画面の例を示す。図3.2.25のようにNC

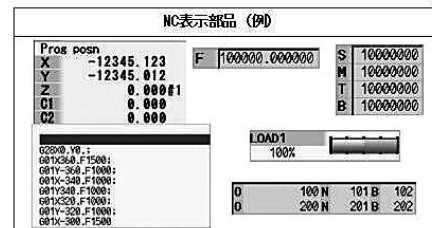
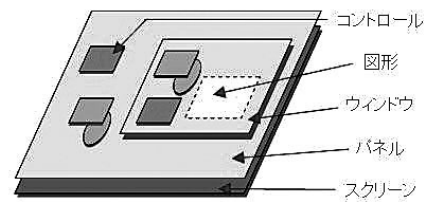


図3.2.24 NC Designer

Designerを使って画面を作成し、この画面データをNCに組込むことでNC上にカスタム画面を実現できる。

もう一方の方式はコンパイル方式で、プログラミングを必要とする画面作成方式である。コンパイル方式では標準部品使用では対応できない

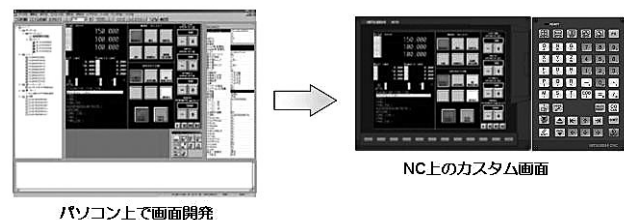


図3.2.25 NC Designerによるカスタム画面

特殊な機能や複雑な処理が可能になる。またコンパイル方式のためインタープリタ方式よりも画面の処理時間が早くなるメリットがある。

コンパイル方式を採用する場合は別途コンパイラが必要となる。

NC Designerにはインタープリタ方式で作成した画面のC言語ソースコードを出力する機能がある。インタープリタ方式で画面を作成してソースコードを出力し、それと自分で作成したソースコードを組み合わせることでコンパイルして画面を作成することができる。コンパイル方式においてはC言語ソースコード出力機能を利用することで、より少ない工数で、かつ実行時間の短いカスタム画面を作成することが可能になる。

(4) 終わりに

ここで説明した遠隔操作ツールは人が操作してNCとデータのやり取りを行うものであるが、工場内の自動化、情報化を行うためにはそのためのシステムとNCとがデータのやり取りを行う必要がある。これを可能とするために、「EZSocket」と呼ばれるミドルウェアが用意されている。「EZSocket」はNCと接続してデータ送受信を行うAPI関数であり、自動化・情報化目的のWindowsアプリケーションから利用されるDLLの形態で提供される。「EZSocket」対応ができていないNCであれば、NCとデータ授受を行なうWindowsアプリケーションの開発を効率よく行なうことができる。このように「EZSocket」は非

常に有用なツールであるが、ここでは詳細説明を割愛する。

※ Windows は、米国 Microsoft Corporation の、米国またはその他の国における登録商標または商標です。

3.2.8 (株)森精機製作所

(1) MT-Connectによる展示機の仕様、稼働状況閲覧

MT connectとは、2008年にAMT（米国製造技術協会）により発表された、XML（拡張マークアップ言語）をベースとする新たな通信プロトコルで、このオープンなインターフェースを実装している。

このインターフェースを利用することで、自社の機械の稼働状況を監視するシステム構築が可能となる。

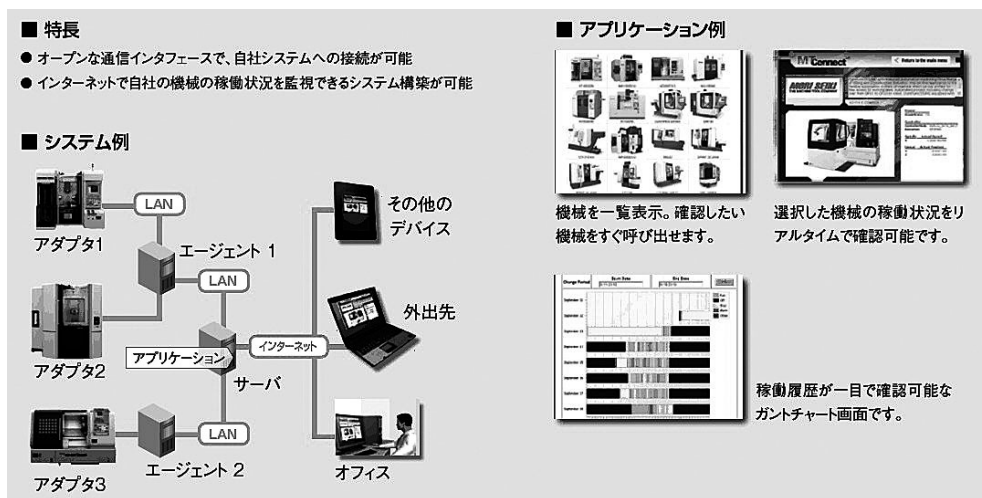


図 3.2.26 MT connect 利用例

(2) EtherNet/IP 接続による機外計測システム

EtherNet/IPにより機外計測装置と機械間で双方向のデータ転送を行う。これにより、機械パネルコンピュータ上での計測結果データ蓄積とその計測結果に応じた補正值を自動的に加工へフィードバックする自動運転サポート強化を実現した。

また、機械パネルコンピュータ上で機外計測装置側の判定値設定などが可能となり、段取り性強化も実現した。



図 3.2.27 機械側の計測結果を表示する画面

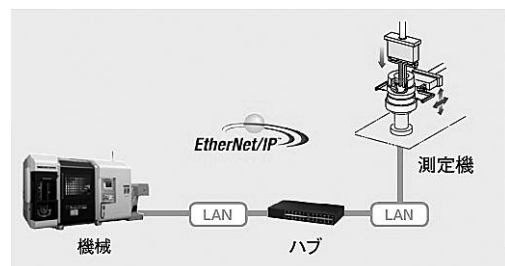


図 3.2.28 機械と機外計測装置との接続図

(3) MAPPS-AWCスケジューラ

MAPPSIVにAWCスケジュール運転機能を搭載した。あらかじめ登録された加工スケジュールにしたがってAWCから本機へワークを自動共有することで無人連続運転をサポートする。また、フレキシブルタイプでは4種類のワークサイズをサポートしており、より柔軟な連続運転が可能。



図 3.2.29 スケジュールを表示する画面



図 3.2.30 AWC内部の状態を表示する画面

(4) MAPPSIVリモート接続機能によるESPRITデモ

MAPPSIVと外部PCをLANでリモート接続し、外部PCで起動したESPRITをMAPPSIV上で操作可能とした。

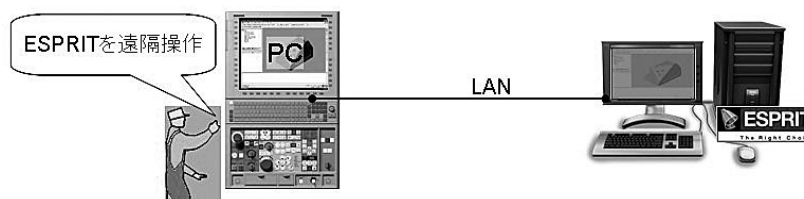


図 3.2.31 MAPPS IVと外部PCのリモート接続

ESPRITを外部PCで動作させることにより下記のようなことが可能となる。

- ① ESPRITの大容量ファイルをMAPPSIV上で扱えるようになる
- ② 外部PC上のESPRITをユーザがバージョンアップすることで、MAPPSIVとPC両方で最新のESPRITを動作させることが可能となる
- ③ ESPRITのバージョンアップにより、更に高スペックなハードが必要になった際も、ユーザ自身でPCを交換して高速化することが可能となる

3.2.9 オークマ(株)

弊社では、NC工作機械が高性能化、高機能化する中、簡単に、かつ、安心して工作機械を操作できるようにし、機械加工者に工作機械の性能を最大限に引き出してもらうことを支援するソフトウェアの開発を続けている。昨年、開催されたJIMTOF 2010では、「加工条

件探索を容易に行うこと」を狙った「加工ナビ」を提案した。

今回提案した「加工ナビM-i」「加工ナビM-g」「加工ナビL-g」は、加工効率を落とすことなく、加工時に発生する「びびり」を抑制し、製品の加工精度と加工品位を向上させることを狙っている。

生産現場では、工作機械の主軸や送り軸の高速化、工具の発達により、従来よりも加工条件を上げた高効率加工が可能になる環境が整ってきているにもかかわらず、実績に頼った加工条件が使われていることが多い。加工条件を変更すると「びびり」が発生し易くなり、その「びびり」の解決のために多くの時間を費やして対策する必要があるため、「無理して加工条件を上げなくても、従来の加工条件で加工できるならそのまま加工しよう」という心理が働いていることも考えられる。

加工ナビは、実際の加工中に発生している振動をセンサーやマイクで検出し、最適な加工条件を探索する機能であり、機械作業者が見つけにくい最適な加工条件を自動的に算出することで作業者の負担を軽減するとともに、加工条件を可視化することにより、スキルの高くない作業者の「びびり」対策に関する補助や、ベテランからの技術伝承を容易にすることを目的としている。

「びびり」には大別して「強制びびり振動」と、「自励びびり振動」があり、特に、断続切削による加振力が原因の「力外乱型強制びびり」と、工具とワーク間の加振力のフィードバックが原因となる「再生型自励びびり」が問題となることが多い。「力外乱型強制びびり」は、一刃送り量を下げる、断続切削の周波数を系の共振範囲から外す等の方法で作業者が対応できるが、「再生型自励びびり」は安定する主軸回転速度が周期的に存在するため、作業者が手作業で対応することが難しい。

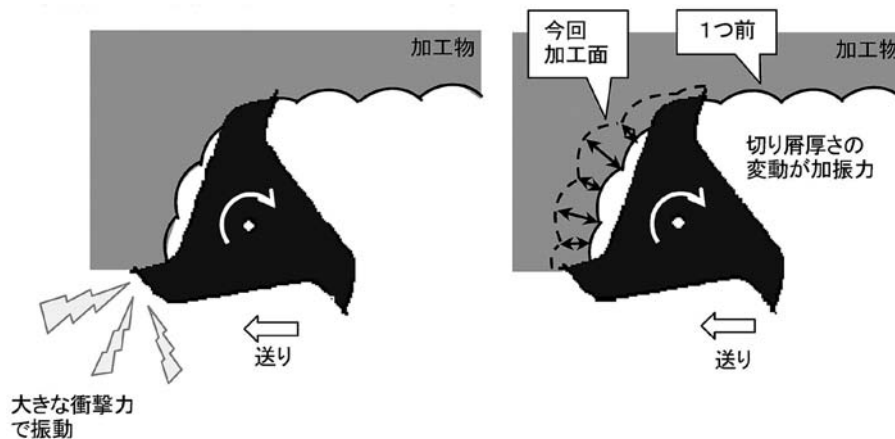


図3.2.32 強制びびり

図3.2.33 再生びびり

「再生型自励びびり」に対する最適な加工条件の探索に関しては古くから研究が行われており、インパルス加振等により機械系の動特性を測定して得られる安定限界線図を作成する方法が知られている。しかし、この動特性を測定するためには、専門の知識と高価な測定器が必要あるほか、安定限界は工具の磨耗状態等によっても変化するため、実際の生産

現場で利用されることは少ない。

これに対し、回転工具による加工中の「びびり」を抑制する「加工ナビM-i」「加工ナビM-g」では、実際の加工中に発生している振動をセンサーやマイクで測定することにより、最適な主軸回転速度を求める機能を開発した。



図3.2.34 工具のインパルス加振



図3.2.35 加工ナビM-gのマイク

一方、旋削の「びびり」を抑える方法のひとつとして、主軸回転速度を常に変更させる方法が知られており、加工中に「びびり」が発生した際、作業者が主軸回転数のオーバーライドを変化させ続けることにより「びびり」を抑えて加工する方法は作業現場でよく行われている。この作業を自動化するためには、主軸回転速度の変動振幅と変動周期を決めておく必要があるが、最適な値を見つけるには手間がかかる。

そこで「加工ナビL-g」では、多くのテストカットを踏まえ、最適な変動振幅と変動周期を瞬時に求める機能を開発した。

その結果、新しい材料、新しい工具を取り入れた新しい加工における加工条件を早く見つけられるようになるほか、古い加工条件から脱却し、工作機械の性能を最大限に引き出す高効率加工へ挑戦しようという意識改革を促すことができる。

この他に、本展示会では、経時加工寸法変化を抑える「サーモフレンドリーコンセプト」や、機械の衝突を防止する「アンチクラッシュシステム」を搭載した機械を出品した。これらの機能は、「加工ナビ」と同様に、簡単に、かつ、安心して工作機械を操作できるようにし、機械加工者に工作機械の性能を最大限に引き出してもらうことを支援する機能である。弊社では、今後も、機械加工者の無駄な負担を減らす智能化技術を組み込んだインテリジェントな工作機械の開発に取り組んでいきたいと考えている。

3.2.10 ヤマザキマザック(株)

インテリジェントメンテナンスサポート機能は、各ユニットや消耗品を常に監視し、突然の機械トラブルを防ぐ予防保全を実現する機能である。消耗部品の使用状況を確認する「消耗品点検画面」とユニットの稼働状況を確認する「ユニット稼働状況画面」の2つの機能で構成している。

(1) 消耗品点検画面

フィルターや各軸に取り付けられているワイパーなどの消耗部品の使用状況を監視・表示する。部品の交換が必要になると、部品名・グラフをマゼンタで表示する。



図 3.2.36 消耗品点検画面

また、監視している部品が交換時期に達すると、該当部品をウィンドウで表示してオペレータに部品の交換を促す。

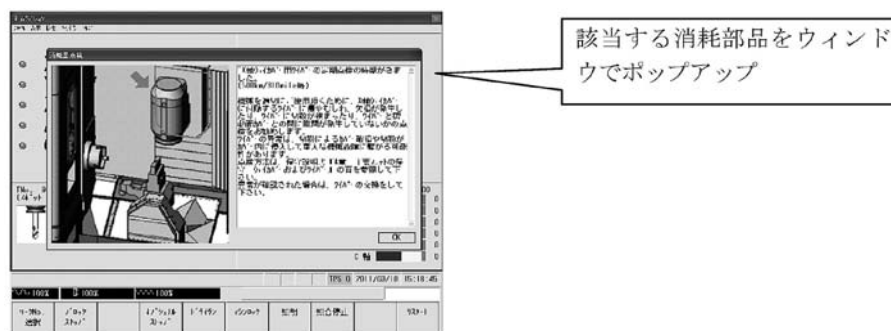


図 3.2.37 交換時期に達した部品のポップアップ表示

(2) ユニット稼働状況画面

主軸やミーリング主軸などの各ユニットの稼働状況を記録し、トラブル発生時に迅速な調査・復旧作業に役立つ情報を提供する。

これらの機能にて、ユーザの機械が突然のトラブルに見舞われることなく、安心して使用できるようになる。

3.2.11 シーメンス・ジャパン(株)

(1) SINUMERIK Operate

今回新たに SINUMERIK 840Dsl, SINUMERIK 828D 共通のユーザインターフェースとして、SINUMERIK Operateを開発した。統一された操作性とプログラム作成方法で、ユーザの作業の効率化が図れる。また、グラフィックによる操作ガイダンスでは、サイクルによるプログラム作成が非常に容易できる。

図 3.2.38 はプログラム作成時の programGUIDE 画面の一例である。旋盤、ミーリング、計測操作とも同様の画面構成/操作性であることがわかる。

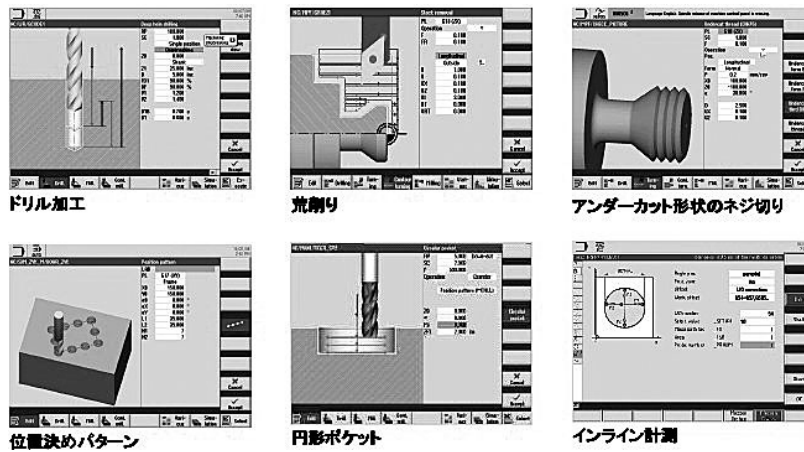


図 3.2.38 SINUMERIK Operate programGUIDE 画面

(2) SINUMERIK MDynamics

SINUMERIK MDynamicsでは、金型加工に必要な関連オプションをパッケージ化し効率のよい加工を実現可能となった。表3.2.3は、パッケージ内容を示す。

表 3.2.3 SINUMERIK MDynamics パッケージ機能一覧

	SINUMERIK 828D	SINUMERIK 840D si
	SINUMERIK MDynamics	
パッケージ内容	ミリング用システムソフトウェア <ul style="list-style-type: none"> Advanced Surface ユーザーCFカード上のユーザーメモリ拡張 	3軸ミリング 機能パッケージ <ul style="list-style-type: none"> Advanced surface ユーザーCFカード上のユーザーメモリ拡張 スプライン補間 円筒座標変換 自動計測サイクル 3次元シミュレーション リアルタイム描画 ShopMill / ShopTurn プログラミング 削り残り検出
	5軸ミリング 機能パッケージ <ul style="list-style-type: none"> Advanced surface ユーザーCFカード上のユーザーメモリ拡張 スプライン補間 円筒座標変換 自動計測サイクル 3次元シミュレーション リアルタイム描画 ShopMill / ShopTurn プログラミング 削り残り検出 5軸加工パッケージ 3次元工具径補正 キネマティック計測 	<ul style="list-style-type: none"> キネマティック座標変換 空間内補正機能 (VCS)
オプション機能	<ul style="list-style-type: none"> スプライン補間 円筒座標変換 自動計測サイクル 3次元シミュレーション リアルタイム描画 ShopMill / ShopTurn プログラミング 削り残り検知 Extended Operator functions 	<ul style="list-style-type: none"> 空間内補正機能 (VCS)
	NX CAM-SINUMERIK Advantage Program	

3軸機（もしくは面割り出しによる加工機）用のパッケージと、同時5軸加工を行うためのパッケージの2種類を準備し、ユーザ拡張メモリ、高速加工機能、計測機能をまとめることにより、ユーザがSINUMERIKの持つパフォーマンスを最大限に活かす事が可能となる。特徴的な機能をひとつ紹介すると、Advanced Surface機能では先読みアルゴリズムの見直しにより最適の加工面と最速の加工速度が実現可能となった。

(3) SINUMERIK 828D

前回のJIMTOFでは、ミッドレンジ市場をターゲットとした新たなSINUMERIK 828D（以下828Dと記載）を発表した。828Dでは、画面、CNCキーボード、CNC制御装置を一体で構成するコンパクトなユニットを採用している。また、828D本体部にはファンやハードディスク、バッテリーなどの消耗部品がないため、メンテナンスをほとんど必要と

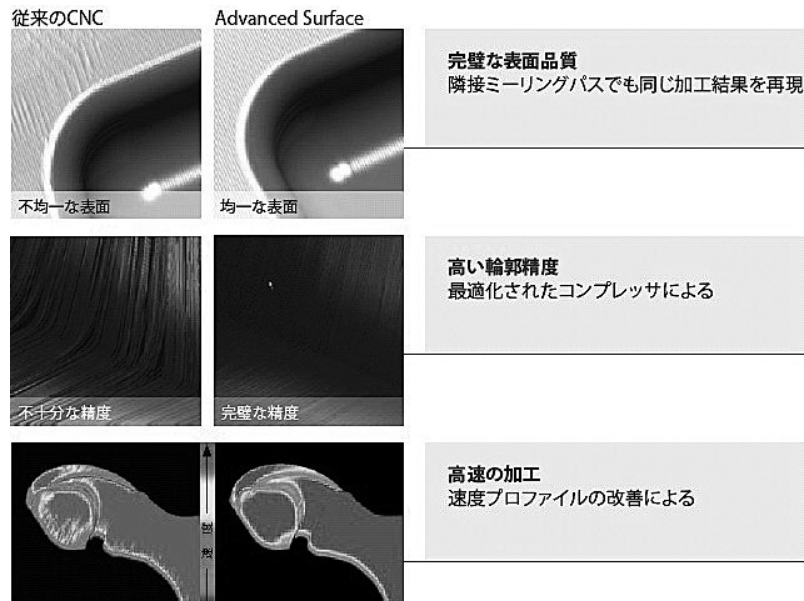


図 3.2.39 Advanced Surface の効果

しなくなった。表示部は、鮮明な10.4“TFTカラーディスプレイとフルキーボード（QWERTY）を採用しており、操作を非常に容易にする。SINUMERIK 828DのグラフィカルユーザーインターフェースはCNCダイレクトキーを採用しているため、わずかなキー操作で希望の機能にアクセスすることが可能となった。また、先に紹介したSINUMERIK Operateを採用しており、旋盤とミーリングの操作が共通なのでユーザは違和感無く操作できる。オプションとしてSINUMERIK MDynamicsも使用可能である。



図 3.2.40 SINUMERIK828D

4. 次世代生産システムソフトウェアの将来像

4.1 CAD/CAMの変遷

CAM (Computer Aided Manufacturing) はコンピュータ援用生産と訳されるように、コンピュータによる生産準備を指すが、一般には製品モデルやCADデータを基にして、①加工機械の選択、治具・工具の選択、搬送台車の運転スケジュールなどの工程設計、②NCプログラム、ロボットの動作プログラム、組立プログラム、検査プログラムなどの作業設計をコンピュータで行うことを指す。しかし、広くは機械加工用のNCプログラムを作成するためのソフトウェアとして認識されている。

CAMの起源はAPT (Automatically Programmed Tools) と呼ばれる自動プログラミングツールで、1952年に世界で最初のNCフライス盤がアメリカのMITで紹介された時期に、製品形状に沿った工具の移動経路を指令するCLデータ (工具位置データ) をコンピュータで自動的に計算するツールとして紹介されている。CLデータを計算するAPTの機能に、加工工程、工具選択、切削条件、加工順序などを決定する機能を加えたEXAPT (EXtended subset of APT) は、ドイツのアーヘン、ベルリン、シュツットガルトの3大学を中心に開発された。また、CLデータをNC工作機械に適合した形式のNCプログラムへ変換するポストプロセッサが準備された。

図4.1にCAD/CAM関連技術の変遷を示すように、CADとCAMはコンピュータの性能向上と共に個々の機能を高度化させてきたが、1980年代にコンピュータ統合生産システムと呼ばれるCIM (Computer Integrated Manufacturing system) の概念が登場する。CIMは、生産にかかわるすべての機能や情報をネットワークで結び、一元的に制御・管理して生産活動の最適化を目指すシステムであり、CAD、CAM、CAE (Computer Aided Engineering)、CAPP (Computer

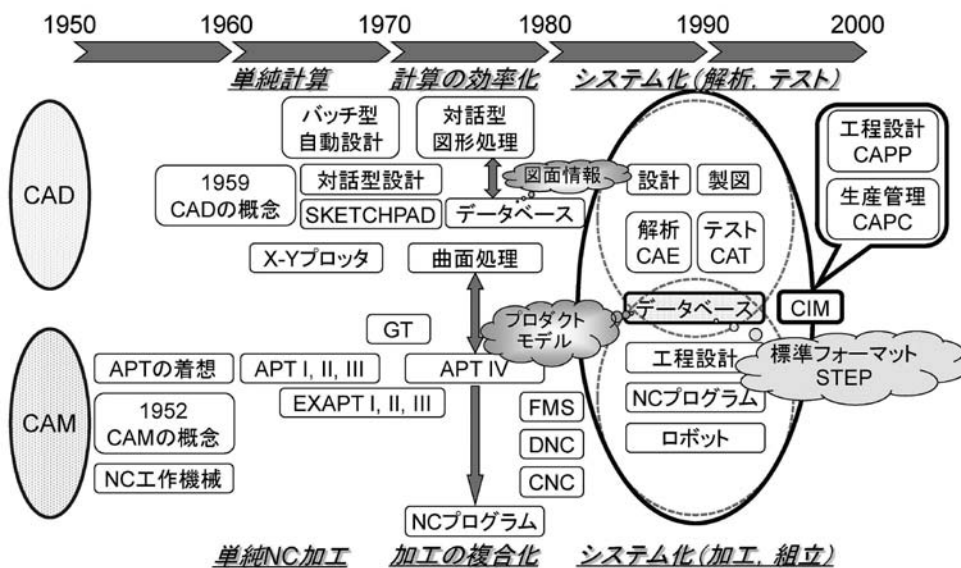


図4.1 CAD/CAM関連技術の変遷

Aided Process Planning)、CAPC (Computer Aided Production Control) などの個別の技術情報や生産情報なども統合・包括するシステムである。CIMでは製品情報をプロダクトモデルとして一元管理することが考えられ、STEPと呼ばれる標準フォーマットが国際規格として纏められている。

4.2 CAMにおける技術課題

生産にかかわるすべての機能や情報を一元的に制御・管理して生産活動を最適化するというCIMの概念が登場したものの、これまでCADやCAMが個々に進化してきたために、これらの統合化は非常に遅れている。図4.2に示すNC加工までのプロセスを見ても、CAD、CAM、ポストプロセッサ、工作機械の役割分担が明確に分かれている。また、CLデータの良否を確認するCLシミュレーションや工作機械の加工動作を検証するマシンシミュレーションも、加工トラブルが発生しないNCプログラムを作成する上で必須の機能であるが、必ずしもCAMの機能として含まれていない。

また、現行のNCプログラム（Gコード、Mコード）で加工指令を行う問題点として、

- マクロGコードの頻度が高いがCAMが対応していない。
- G01点群指令では、精度、NC処理速度に限界がある。
- ローカルなGコード、Mコードが多く、NCプログラムの汎用化が難しい。
- NC装置の新・旧やオプション機能の有無で、NCプログラムの流用ができない。
- 精度を低下させずにデータ量を減少させることのできる新しい補間方法が必要である。
- NC装置のメーカーにより書式の異なるコードがある。
- Gコードが加工機の最終動作（工具長補正、工具径補正、固定サイクル、工具先端点制御など）を決めていないために、加工中にトラブルが発生する可能性がある。

等が指摘されており、STEP-NCの普及・推進を期待する声もある。

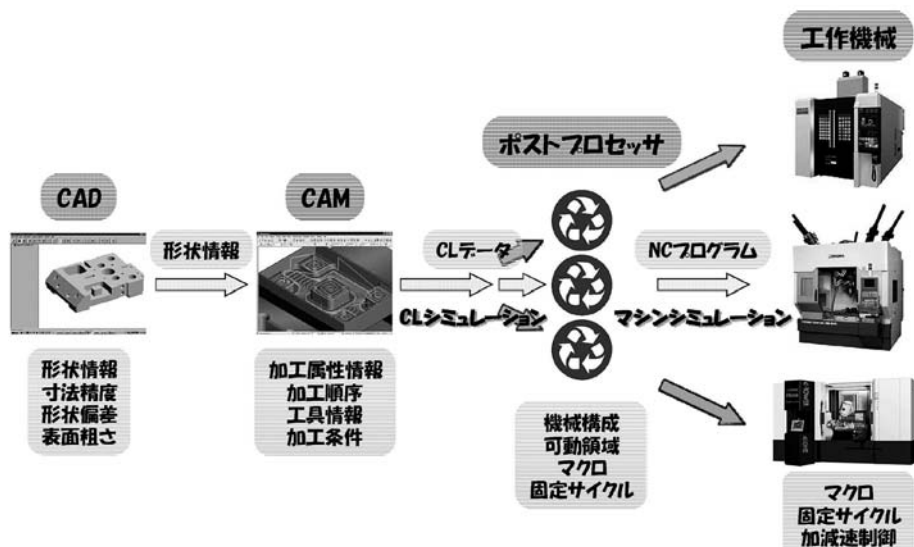


図4.2 NC加工までのプロセス

さらに図4.2で示したように、予め使用する工作機械を決めてCLプログラムを作成し、それを個々の工作機械に応じてポストプロセッサでNCプログラムに変換する現行のプロセスでは、

- NCプログラムの作成に多大な労力を要する。
- 加工トラブルが発生しないNCプログラムを作成するために試し削りを要する。
- 予め工作機械の加工動作が決められており、加工中のトラブルに対処できない。
- 予め使用する工作機械を決定するために、生産計画の変更に対処できない。
- 予め使用する工具を決定するために、工具が全て揃わないと加工を開始できない。
- 予め決定した加工条件が変更できないために、加工プロセスを制御できない。

といった潜在的な問題を抱えており、プログラミング作業の軽減とNC加工における工作機械の自律性と柔軟性の確保が達成できない。最初の2項目は、CAMの操作性（ユーザインタフェース）の改善や、NCプログラムの検証ツール（CLシミュレーション、マシンシミュレーション）の信頼性向上で解決できるが、残りの4項目は、予め作成したNCプログラムで加工指令を行う現行のNC加工では解決することができない。つまり、残りの4項目を解決するためには、NCプログラムを必要に応じて書き換えるか、予めNCプログラムを作成するのではなく、加工プロセスと並行して工具モーションコントロールを逐次行うなどの、全く新しい概念のNC加工を実現する必要がある。

一方、工作機械が高速化、多軸化、複合化と進化するに従って、その機能を最大限に引き出すために、CAMにも相応の高性能化、高機能化が求められている。全ての項目を網羅することは難しいが、委員会で纏めた技術課題を8つに分類して図4.3に示す。CLデータを生成してNCプログラムの作成を支援するというCAM本来の機能だけではなく、作成したNCプログラムで安全な機械加工を保証し、目標の加工精度や加工能率を確保できることを検証する機能も求められている。

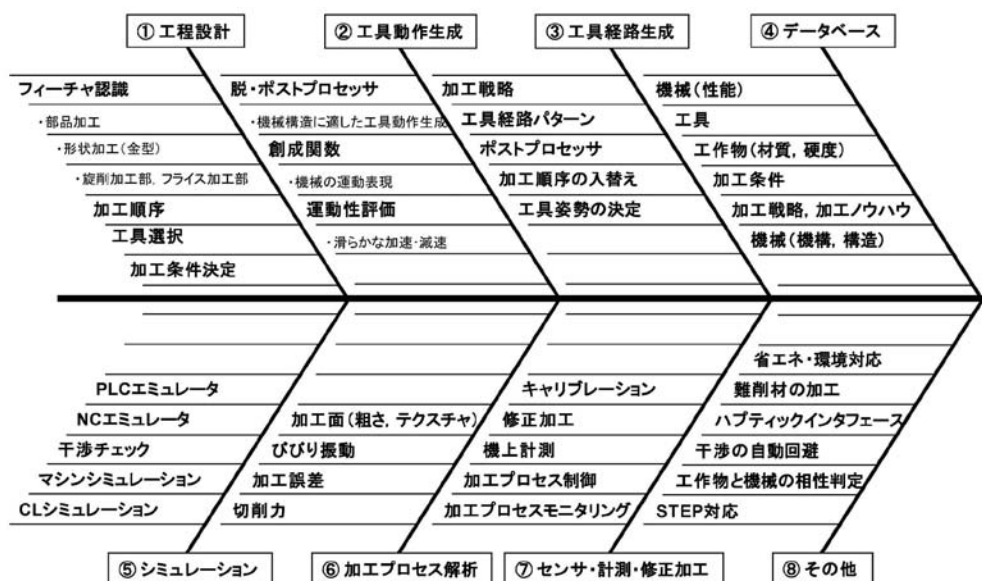


図4.3 CAMにおける技術課題

こうした機能の中でも、以下の機能がユーザに強く求められていると考えられる。

- 工程設計（加工順序、工具選択、加工条件）の自動決定 △
- 加工順序、工具選択、加工条件の評価・判定 ×
- 加工プロセスシミュレーション（実用的な計算速度で） ×
- マシンシミュレーション、干渉チェックの簡素化 △
- 構想設計（工程設計の試行錯誤） ×
- 機上計測（修正加工） △
- 機内計測（マシンシミュレーション、干渉チェック用のデータ取得） ○
- びびり振動（安定判別） 加工中判定○、加工前判定×
- 安定な加工条件（工具折損が発生しない加工条件）の選択（適応制御） ×
- 加工プロセスモニタリング（切削負荷） △

なお、各機能に付した○、△、×は、現状の技術で実現可能かどうかの判定結果を示している。△あるいは×と判定された機能については、早期の実現が望まれる。また、CAMには、ここに挙げられたシミュレーションや加工の評価・検証ツールをシームレスに使いこなせるような統合環境やユーザインタフェースの構築が望まれる。

4.3 5軸加工におけるポストプロセッサ

5軸加工の場合、CAMで作成されたCLデータを工作機械に応じたポストプロセッサでNCプログラムに変換する現行のプロセスでは、図4.4に示すように座標系変換やリニアライゼーションといった、処理がメインプロセッサに相当するCAMに含まれていない。リニアライゼーションは、図4.5に示すように、補間によって生じるオーバーカットやアンダーカットを防ぐために、中間点を追加して工具経路の偏差を修正する処理で、この処理が工具経路の精

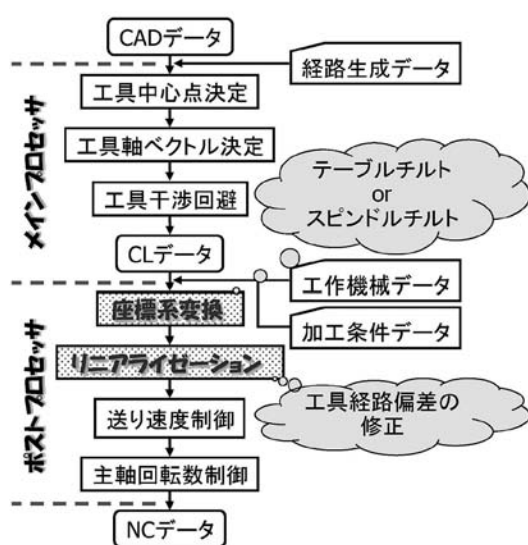


図4.4 5軸加工におけるNCプログラム作成



図4.5 リニアライゼーション

度を左右する。このため、加工面に問題が生じた場合に、CAMで作成されたCLデータそのものに問題があるのか、ポストプロセッサによる座標系変換やリニアライゼーションに問題があるのか判定が難しい場合が発生する。

また、5軸加工の場合には、工作機械の構造（回転2軸の構成）により、工具の姿勢変化を伴う機械の運動が大きく異なる。図4.6に示すように、CAMにおいてワーク座標系で工具の位置・姿勢を決めてCLデータを生成した場合に、スピンドルチルト型の機械とテーブルチルト型の機械では、機械の運動が大きく異なる。このため、工具と工作物の相対的な運動が滑らかとなるように合理的に決めようとする、工作機械の回転2軸の構成や可動範囲を考慮して工具の位置・姿勢を決める必要があるが、ワーク座標系でCLデータを生成してポストプロセッサでNCプログラムに変換する現行方式では対応できない。

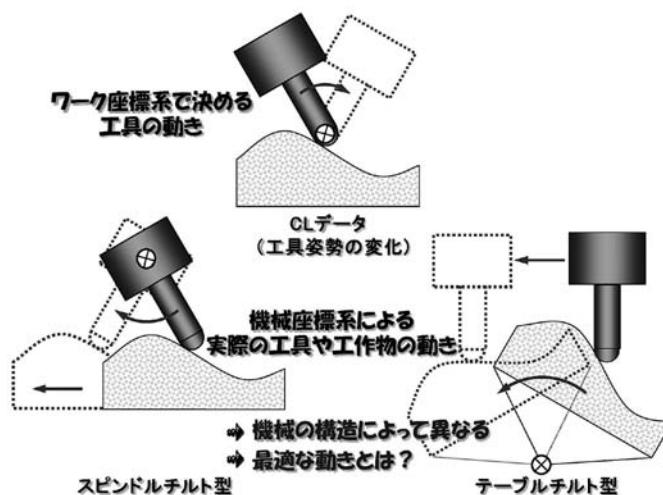


図4.6 5軸加工における工具先端点制御の難しさ

この問題は、5軸加工用CAMが3軸加工用CAMを機能拡張しただけでは不十分で、工作機械の構造（回転2軸の構成）をモデル化して工具と工作物の相対的な運動を評価しながら、工作機械の構造に適したCLデータを生成できるような機能が必要であることを示唆している。

さらに最近では、5軸加工機能として工具先端点制御機能がCNC制御装置に組み込まれており、機械を手動操作する段取り等の操作性を改善するだけでなく、ポストプロセッサによるリニアライゼーションの負担を軽減することに繋がっている。これは、工具先端点制御機能の登場で、ポストプロセッサの役割が変わることを示しており、前述したようにCAMが工作機械の構造に適したCLデータを生成できるようになれば、わざわざNCプログラムに変換することなく、直接CLデータで工作機械を制御する方式も考えられる。

4.4 次世代CAM（現状の発展型）における技術課題

次世代CAMにおける技術課題を検討する際に、“現状の発展型”と“次世代型”とに分けて考えることにした。“現状の発展型”では、現行のCAM及びCAM周辺のソフトウェア技術が進化して達成できるNC加工プロセスを想定しており（図4.7）、解決すべき技術課題を以下に示す。

1. Gコード、Mコードに代わる加工指令用CLデータの標準化
2. CNC依存の機能定義、PLC情報の定義、I/Fの定義



図4.7 NC加工までのプロセス“現状の発展型”

3. サーボ系及び駆動系の動特性定義
4. マシンシミュレーション用のモデルデータと実物の一致（情物一致）
5. 加工工程設計の自動化（半自動）

CLデータの標準化では、工具先端制御等の機能がCNC制御装置に組み込まれることを前提としている。CLデータで工作機械が制御できるようになることで、ポストプロセッサが不要となる。また、CLデータの標準化で工具経路を検証するCLシミュレータの信頼性が向上し、解析精度も向上する。

CNC依存の機能定義等では、CNC制御装置や工作機械に依存する機能の定義を標準化することで、工作機械の動作を検証するマシンシミュレータに、個々の機能を容易に実装できるようになる。

サーボ系及び駆動系の動特性定義では、主軸やテーブルを駆動する際の加速・減速が詳細に計算できるようになり、加工時間の解析精度が向上する。

マシンシミュレーション用のモデルデータと実物の一致（情物一致）は、マシンシミュレータが参照する工作機械、工具、工作物、治具の形状情報と実物が一致することを保証する技術で、情物一致が保証できればマシンシミュレーションの結果が信頼できるようになり、試し削りによる検証が不要となる。

加工工程設計の自動化（半自動）では、テンプレートに沿った加工法案の提示を想定しており、CAM操作の労力削減を実現すると共に、CAM操作の自動化を指向している。

4.5 次世代CAM（次世代型）における技術課題

“次世代型”では、CAM機能をCNCに統合してCAD/CAM/CNCの連携を強化することを想定している（図4.8）。委員会で議論した解決すべき技術課題を以下に示す。

1. プロダクトデータや加工データの標準化
2. CNCのオープン化と加工プロセスモニタリング
3. 加工結果のフィードバック
4. 加工工程設計の自動化（全自動）
5. 加工プロセスコントロール

プロダクトデータや加工データの標準化では、これまで種々のソフトウェアが個々に管理していた加工情報や切削条件データベースなどの加工データを一元管理して、CAD/CAM/CNCの連携、各種シミュレータとの連携を強化することを目指す。

CNCのオープン化では、サーボデータの入力やセンサデータの出力を可能にし、ユーザによる加工プロセスのモニタリングやコントロール等の高度利用を促進する。

加工結果のフィードバックでは、工作物の加工精度、形状偏差、表面粗さなどの加工結果をCAD/CAMへフィードバックする手段を提供することで、加工情報や切削条件データベースなどの加工データのメンテナンス、加工ノウハウのデータ化や再利用を実現する。

加工工程設計の自動化（全自動）では、CADデータの形状処理による工程設計の自動化を想定しており、作業者が思いつかない工程設計案を提示して設計作業を支援する。

加工プロセスコントロールでは、マシンを制御対象とする現行方式から、加工プロセスを制御対象とする新方式へと移行することを期待している。

“現状の発展型”と“次世代型”との大きな違いは、①CAD/CAMから工作機械に至る情報の流れが双方向となること、②CAD/CAM統合とCAM/CNC統合によりCAD/CAM/CNCの連携が強化されることである。②のCAD/CAM/CNCの連携では、CAMはプロセスプランニング（CAPP）の機能と工具のモーシヨンプランニング（MP）の機能とに分けて、モーシヨンプランニングの機能はCNCに統合し、機械の構造に応じたサーボデータを生成することを前提にしている。特に、加工と並行してサーボデータを生成することができれば、モニタリン

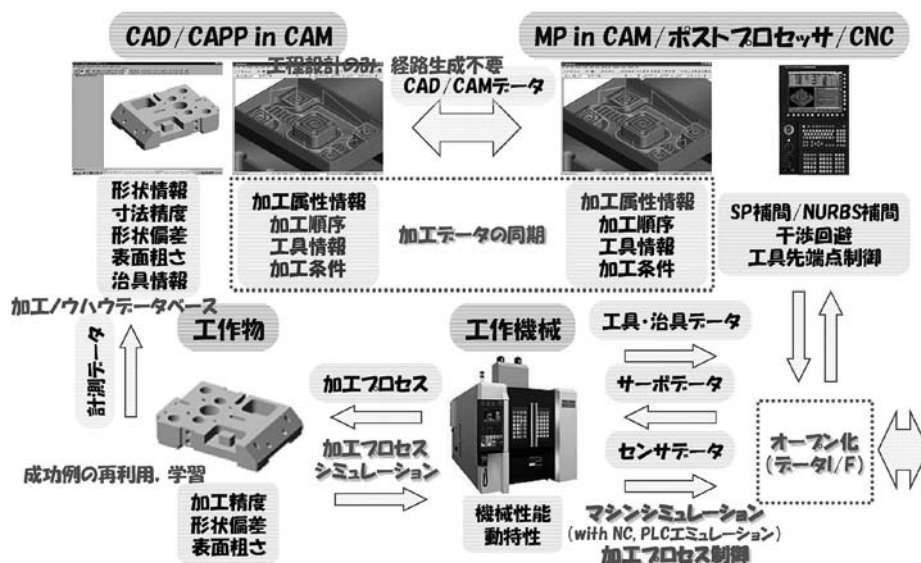


図4.8 NC加工までのプロセス“次世代型”

グされる切削負荷に応じた適応制御や、シミュレーションでは予測できない加工トラブルに対処するなど、工作機械の自律化、知能化に貢献できる。

4.6 次世代CAMの開発

次世代CAMの開発に向けて、委員会で議論した具体的な目標を以下に示す。

■ 要求仕様

- 計測データの活用と修正加工の簡素化

製品形状の計測結果として得られる STL データ [点群データ] の活用が求められる。B-rep形式のCADデータと STL データの取り扱いが必須で、修正加工用のNCプログラム生成あるいは工具モーション生成を自動化する。

- インプロセスの工具モーション生成

現行のNCプログラムで指令する方式に対して、新たな指令方法として確立する。前述したように、モニタリングされる切削負荷に応じた適応制御や、シミュレーションでは予測できない加工トラブルに対処するなど、新規の機能が実現できる。

■ 既存CAMとの差別化

- 加工ノウハウの確保（隠蔽）

CAMのカスタマイズやCAMで利用する加工データなどの加工ノウハウが海外に流出しないように、確保（隠蔽）できることを保証する。

- B-repデータと STL データ [点群データ] の利用

現行のCAMで利用されているB-repデータの他に、製品形状の計測結果として得られる STL データが利用できるようにする。リバースエンジニアリングや修正加工への活用を図る。

- 機械構造に配慮した CL データの生成（5軸加工の場合）

特に5軸加工の場合は工作機械の動作は機械構造（回転2軸の構成）の違いによって大きく異なる。工作機械の機械構造に適した CL データの生成を達成する。

- 機械性能を考慮した加工条件設定

加工条件は工具や工作物の素材を考慮して設定されるが、工作機械の性能を考慮することは稀である。工作機械の大小や主軸の性能（高速主軸かどうか）を考慮した加工条件の設定を実現する。

- 工程設計（プロセスプランニング）と作業設計（工具のモーションプランニング）の分離

工具のモーションプランニング機能をCNCに統合し、加工と並行してサーボデータを生成することで、モニタリングされる切削負荷に応じた適応制御や、シミュレーションでは予測できない加工トラブルへの対処を実現する。

- ユーザによるカスタマイズの簡素化

カスタマイズの簡素化によりCAMの操作性を改善すると共に、ユーザのノウハウの組込を容易にする。

- 工作機械メーカーによるカスタマイズの簡素化

カスタマイズの簡素化により、工作機械メーカーの独自機能の開発と組込みを促進する。

- 加工プロセスシミュレーションによる事前検証、事前評価

- 加工中の切削力、切削トルク、びびり振動発生の有無

予測結果を利用して加工中の工具折損や加工トラブルの発生を未然に防ぐ。また、工作機械の切削能力に配慮した加工条件の設定に貢献する。

- 加工面の加工誤差、形状偏差、表面粗さ

製品の寸法公差や形状精度、表面粗さを事前に保証する。また、製品の寸法公差や形状精度、表面粗さを保証しながら、加工能率を最大とする加工条件の設定に貢献する。

- 工具摩耗、工具寿命

工具交換時期を予測し、高効率で高精度な加工を実現する加工条件の設定に貢献する。

- 加工時間、加工コスト

加工時間や加工コストを高精度に予測し、使用する工具や工作機械の選択、生産計画の立案に貢献する。

- 新しいCAD/CAMへの期待

- 工具経路生成にユーザの意図を反映したい

ユーザは工具経路生成の戦略（工具経路パターン）を定義したい。ハプティックデバイス等のユーザインタフェースで、ユーザの意図を直感的に指示する方法が望ましい。

- 生産管理システムとの連携を強化したい

BOM（組立て型製造業において、製品の部品、中間品、資材などの構成を示す部品構成表）との連携、スケジューラとの連携、稼働監視、実績管理システムとの連携で、生産管理を強化したい。

- 加工が分かる設計者を育てたい

加工が実感できる仕組みが欲しい。

- 従来法との互換性を確保したい

最後に、委員会で議論した技術課題の中で、個別の企業ではなく工作機械業界として取り組むべきと思われる課題について、各委員から聴取した課題と取組策を表4.1にまとめて示す。種々の観点があるので優先順位を付けることは難しいが、特定の機能を実現する研究開発というよりも、インターフェースや標準化などのルール作りが望まれていることがわかる。

- Gコード、Mコードに代わる加工指令用CLデータの標準化

- CAD/CAM/CNC統合のためのプロダクトデータや加工データの標準化

- CNC依存の機能定義、サーボ系及び駆動系の動特性定義の標準化

- マシンシミュレーションのためのモデルデータの定義と標準化
- NC装置のモデル化、マシンシミュレーションへの実装方式の標準化
- CNCのオープン化（センサデータやサーボデータの入出力）

表4.1 業界として取り組むべきと思われるソフトウェアの技術課題

【課題】	フィーチャベースの High level NC Interface
【取組策】	STEP-NCの推進
【課題】	大学・研究所における実験システムの高度化と有用な加工実験
【取組策】	PublicなReference加工システムの構築
【課題】	3次元大規模データを利用した加工のためのCAM機能の開発
【取組策】	3次元スキャナなどによって得られるSTLデータの最適化、あるいは、STLデータに代わるデータの可能性。大規模データに対応するためにCAMが具備すべき機能など。
【課題】	プロダクトデータの利用促進
【取組策】	工作機械、工具、治具などに関する情報の標準化と、それらの情報を利用するための仕組みについて検討する。STEPの利用など。
【課題】	センサデータの入出力通信規格の制定
【取組策】	統一規格の標準化
【課題】	工作機械メーカー、工具メーカー、制御機メーカー、CAD/CAM/CAEメーカーでの連携手法が？ また、仮に次世代型が実現した場合の知的財産所有権の保護。（海外でのコピー問題）
【取組策】	現状では対策案なし。
【課題】	CLデータ標準化にするには、制約等を決め、各メーカーを統一しないとイケない。
【取組策】	CLデータ標準化を纏める委員会を発足。共通化の中にも販売競争できる要素を考える必要がある。
【課題】	CLデータの浸透。NC言語に慣れていない方へのフォロー。
【取組策】	長期間での説明等が必要。また、産業技術センターやポリテクセンター等に配置し、自由に操作、体感できる環境づくりも必要。
【課題】	見える化情報の標準化
【取組策】	見える化情報のXML化
【課題】	STEP-NCの標準化とオプション開発 次世代汎用ポストプロセッサの規格開発
【取組策】	コンソーシアム方式での開発
【課題】	CLデータの標準化
【取組策】	NCコントローラに実装すべきCLデータとしてJIS B 6325はオーバースペックなので、最低限必要な仕様だけに絞り込む。また不足している記述があれば盛り込む。（例えば5軸の工具の傾きを工具ベクトルではなく、回転軸の角度で記述するのも可とする）
【課題】	次世代加工データの標準化
【取組策】	SGML→HTML→XMLの流れから、CL DATA→Gコード→（次世代加工データ）を考えると、XMLの様な可読性が高く、シンプルな規格が望ましい。
【課題】	機械、治工具ともに精度や剛性はメーカーや製品毎に異なり、顧客が瞬時に判断できる基準がない。カタログもメーカーの姿勢によって信頼度が異なり、結局のところ使ってみないと分からない。一方この問題は理想の加工をソフトで事前計算することが困難になる要素の一つであり業界として取り組むべき。
【取組策】	機械・治工具に精度や剛性などの基準を設けて、その度合いを業界標準として定め、各メーカーに表示させる方法もある。ちょうど家電の省エネの5つ星評価と同じようであれば、どのユーザーも理解し易く、メーカーも自社の取り組みを強調できる。また、後進国の安価な製品との差別化も図りやすいはず。

<p>【課題】 現状各社各様であるCAMやシミュレーション用の情報（工具情報など）取得先を業界として統一し、保管管理、公開することで機械加工業界はCAMやシミュレーションを利用しやすくなる。</p> <p>現状工具メーカーはCAM各社に独自のフォーマットでの協力を依頼され、毎回手をかけて提出していることから、今後量が増えた時のことが懸念される。</p> <p>【取組策】 中立的な立場である工業会などで呼びかけと器を構築するのがベスト。現在はCAMメーカー各社が独自に各社の工具情報を登録しユーザへ提供しているが、それを統一統合しインターネットで情報追加変更を工具や機械メーカー各社が直接自由にできる仕組みがあれば良い。</p>
<p>【課題】 全体的枠組み+インターフェース仕様</p> <p>【取組策】 理化学研究所の開発したVCADを核として検討する。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 日本初である。公開されている。 2. ボクセルベース+Kitta Cube+長田パッチ シミュレーション/3D計測/3DCAMに強い。 3. カスタマイズ関数/機能がある。 4. 面?に属性が付けられる。 5. B-repではないので幾何形状表現に工夫がいるのでは？
<p>【課題】 STEPデータで加工に必要な情報を渡すことが出来ると思われるが、CADから出力された属性データを使用されている例は少ない。</p> <p>【取組策】 国際規格的にはSTEPなのだろうが、検討の必要がある。</p>
<p>【課題】 工具と工作物のデータベース</p> <p>【取組策】 標準フォーマットの策定</p>
<p>【課題】 機械動作とマシンシミュレーションが全く同じ動作となるようにするためには、NC装置をモデル化して、制御モデルをマシンシミュレーションに組み込む必要がある。</p> <p>【取組策】 現状の指令方式（NCプログラム）を制御モデルへの入力として、時系列に各軸の移動量を入力するフォーマットを決め、NCメーカーへ提案してモデル化を進める。</p>
<p>【課題】 現在は3次元CADデータの形式としてParasolidなどで標準化されており、パーツごとのみで使うことができるが、アセンブリしたデータ形式では標準化されているデータ形式がない。</p> <p>【取組策】 アセンブリも含めたデータ形式を標準化。CADメーカーの対応に期待。</p>
<p>【課題】 加工工程設計を自動化するためのCADで設定すべき情報の整理</p> <p>【取組策】 加工工程を設計する際に必要となる情報を、どのようにCADで設定し、どのようにCAMが受け取るのが合理的か検討する。</p>
<p>【課題】 CL生成機能が必要とする工作機械データの整理</p> <p>【取組策】 加工効率の良いパスとは何かを定義し、加工効率が良いパスを生成するCL生成機能が必要とする工作機械のデータを検討する。</p>
<p>【課題】 CLデータ・加工データの標準化</p> <p>【取組策】 標準フォーマットの策定</p>

(白瀬委員長)

5. お わ り に

これまでの活動では、機械加工や工作機械の高度化・知能化の鍵を握るCAD/CAMや各種シミュレーションといった工作機械・生産加工関連ソフトウェアの将来像や方向性について議論し、「工具情報のXML化」と「工作機械形状情報の標準化」の2つのワーキンググループで、これまでの検討結果を実証する活動を行ってきた。また、次世代ソフトウェアの技術開発を進める上で取り組むべき技術課題を検討した。ここでは、実現の時期や課題解決の難易度に違いがあるため、製品形状の3次元CADモデルの作成から工作物のNC加工までのプロセスを、“現状”、“現状の発展型”、“次世代型”に分けて必要となる技術課題をそれぞれ検討した。今年度はこれらの検討結果をもとに、多軸化、複合化、多機能化と進化する工作機械の機能を最大限に引き出すために、相応の高性能化、高機能化が求められる次世代CAMの技術課題を纏めた。

“次世代型”では、CAM機能をCNCに統合してCAD/CAM/CNCの連携を強化することを想定している。“現状の発展型”と“次世代型”との大きな違いは、①CAD/CAMから工作機械に至る情報の流れが双方向となること、②CAD/CAM統合とCAM/CNC統合によりCAD/CAM/CNCの連携が強化されることである。②のCAD/CAM/CNCの連携では、CAMはプロセスプランニングの機能と工具のモーションプランニングの機能とに分けて、モーションプランニングの機能はCNCに統合し、機械の構造に応じたサーボデータを生成することを前提にしている。特に、加工と並行してサーボデータを生成することができれば、モニタリングされる切削負荷に応じた適応制御や、シミュレーションでは予測できない加工トラブルに対処するなど、工作機械の自律化、知能化に貢献できる。

この報告書を纏めている3月11日に東北地方を襲った大地震、大津波は、我々の予想を遙かに超える未曾有の被害をもたらした。福島第一原子力発電所のトラブルは未だに予断を許さない。こうした被害を目の当たりにすると自然の脅威と人間の無力感を痛感するが、戦後の復興、神戸大震災の復興を振り返ると、我々は決して無力でないことも分かる。復興には10年あるいは20年を要すると思うが、復興から日本再生へ向けたシナリオの中で、ここで議論した次世代CAMの研究開発が、多軸化、複合化、多機能化と進化する工作機械の機能を最大限に引き出し、ものづくり技術のイノベーションに繋がることを期待したい。

最後になるが、「先端ソフトウェア技術調査研究専門委員会」の活動を支えていただいた参加企業の関係各位のご協力とご尽力に感謝申し上げます。

平成 23 年 3 月

先端ソフトウェア技術調査研究専門委員会
委員長 白 瀬 敬 一
(神 戸 大 学)

禁 無 断 転 載

平成22年度
次世代生産システムソフトウェア技術に関する調査研究
報告書

平成23年3月

©2011.3 (社) 日本工作機械工業会

東京都港区芝公園 3 - 5 - 8 〒105-0011

電話 03 (3434) 3961代