

「ESPRi」上のCAMシステムの開発と実用化

Development and Practical Application of a CAM System based on "ESPRi"

土屋光生 Mitsuo Tsuchiya 山田典男 Norio Yamada 三邊和治 Kazuharu Minabe

●技術本部 開発支援室

要旨 近年、各社でダウンサイ징が進められている中、当社においても設計～製造同一プラットホーム化によりコンカレントエンジニアリングを実現すべく、統合CAD/CAM/CAEシステム「ESPRi」を自社開発してきた。CAMシステムにおいては、効率的な加工手法の提供と「ESPRi」との親和性を考慮し、CL計算ソルバーとしてUNISYS社製の「SCULPTOR」を用い、プリ／ポストは「ESPRi」上での自社開発とした。その結果、等高線加工、隅取り加工そして筋彫り加工といった効率的加工方法を利用して試作品の削り出しと金型加工時間の50%短縮を実現した。

1 はじめに

従来、ヤマハ発動機(株)（以下、当社という）ではデザインから製造の各工程で個別に適したメインフレームを中心のコンピュータシステムを使用してきた。しかし、システムの利用技術が増し、各システムが成長するにつれ、電算費用の増大と各システム間でのデータ交換負荷の増大が問題となり、また、ユーザーのシステムに対する要望も高度化してきた。そのため、コンカレントエンジニアリングとダウンサイ징の実現、そしてユーザー要望の吸収を狙い、EWSをプラットホームとする統合CAD/CAM/CAEシステム「ESPRi」の自社開発へと踏み切った。

新システムでは開発・保守負荷の低減と機能要件の理由から、CAM/CAEのソルバーに市販品を使用している。特にCAMについては、CL(Cutter Location)計算ソルバーにUNISYS社製「SCULPTOR」を使用している。

本稿では、新システム「ESPRi」上のCAM機能の開発と市販ソルバーの融合について、考慮点、利用方法、適用・効果を説明する。

2 新システム「ESPRi」について

当社が開発した新システム「ESPRi」の概要を図1に示すが、この「ESPRi」は、2次元、3次元のCAD/CAM/CAE及び線図処理、技術計算、図面管理、データ交換機能をあわせ持つ統合CAD/CAM/CAEシステムである。各機能は共通のデータベースを使用することで、データの流通性を高めており、プロッタ出力機能やユーザー管理機能なども有している。

また、CL計算などのようにリアルタイム性を要しない処理に対しては、JOB投入管理機能にて外部ソルバー

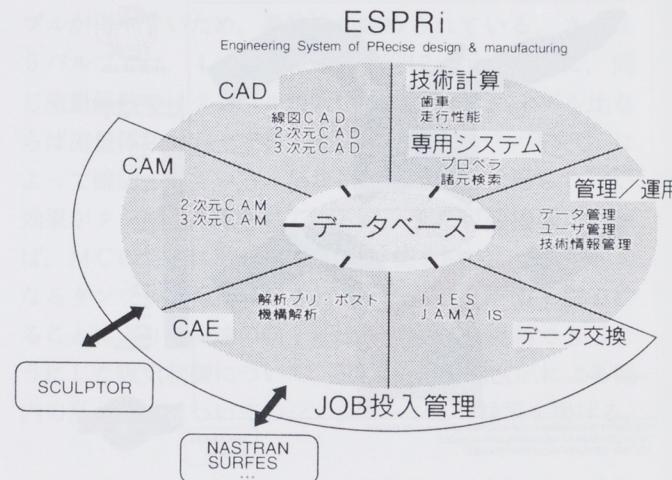


図1 ESPRi概要
とのインターフェイスを実現している。

CAMに関しては、従来のCAM専用システム「UNICAD」を廃止(UNISYSホストコンピュータを撤去)し、CAM機能を「ESPRi」上に統合した。これによって、約200台あるどの「ESPRi」端末からでも従来以上の機能が、使用可能となった。図2に新旧のシステム構成を示す。

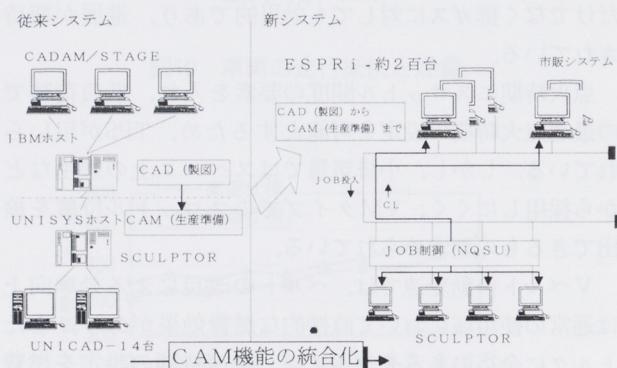


図2 システム構成図

3 3次元CAM機能概要

3次元CAMに関連した業務を、下記各工程に沿って、CAM機能について説明する。

3.1 3次元形状定義

「ESPRi」3次元CAD機能を使用して加工物の形状を定義（モデリング）する。（3次元CAM機能にCADの機能を含んでいるため、実際にはシステムを切り替える必要はない。）

形状定義は、抜きこう配や型割りといった製造要件を折り込み、面定義機能を用いて行う。

3.2 CL計算プリ処理

プリ（事前）処理は、さらに次の2工程に分かれる。

3.2.1 CL計算入力形状定義

3.1で作成した形状に対し、加工軸を意識した副座標定義や、伸び尺を意識したスケール掛けなどを行い、CL計算の入力形状を定義する。1つの基本3次元形状に対し、加工工程ごとに加工用の形状（CL計算入力形状）を切り出して使用する。副座標定義や加工対象部分の限定は通常のCAD機能を用い、計算入力形状の切り出しはCAM機能を用いて行う。

3.2.2 CL計算投入

切り出した形状に、加工残し代、加工ピッチ、加工領域などの条件を指示し、CL計算JOBを「ESPRi」から投入し、実行する。「SCULPTOR」は様々な加工方法をサポートしているが、当社で使用する加工法についてJOB投入機能を用意してある。また、計算の種類によっては、CLの基本形状を必要とするものもあり、CAMシステムはこの基本形状作成機能も有している。

3.3 CL計算

CL計算にはUNISYS社製CL計算ソルバー「SCULPTOR」を、実行JOBの制御は「NQSU」という自社開発機能を使用している。「NQSU」はJOBの実行、取り消し、実行状況確認、アカウント情報の作成及び蓄積の機能を持つ。

「SCULPTOR」がサポートしている加工方法の代表的なものを表1に紹介する。⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾

表1 SCULPTOR機能

加工方法	径路計算機能	工具		
		ボール	ラジアル	テーパ
荒加工	突き加工	○	○	×
	等高線加工	○	○	×
稜線加工	ベンシル加工	○	○	○
	隅取り加工	○	○	○
領域仕上加工	直線走査（スキャン）加工	○	○	○
	ガイド曲線走査加工	○	○	○
	面沿い加工	○	×	×
	等高線加工	○	×	×
	立て壁沿い加工	○	×	○

○：使用可能 ×：使用不可

3.3.1 走査線加工

図3に示すようにスキャン加工、等方向加工ともよばれる最も一般的な加工方法の一つであり、X軸など任意のベクトル方向に平行に等ピッチで加工を行う。

立ち壁部と平坦部で工具にかかる負荷が著しく変化する可能性もあるため、切削速度を大きくできないという弱点もある。

CL計算時間は短く、木型、金型を問わず広く利用している。

3.3.2 等高線加工

図4に示すように、深さ方向に一定の高さの領域を各層ごとに切削する手法で、1層加工中に深さ方向の移動が起こらないため、工具への負荷が一定に保て、切削速度を大きくできるため、等高線による荒加工は加工時間を大幅に短縮できる。ただし、平坦に近い部分では削り残しが多くなる。

走査線加工と比較して、10倍ほどの電算資源（メモリ、ワークスペース、CPU時間など）を必要とするため、現EWS環境になって初めて実用化が可能となった。

現在、等高線加工は立ち壁部加工、削り出し加工、金型加工には欠かせない加工方法である。また、CL計算時間は長いが簡単に利用できる環境にあり、従来走査線加工を使用していた加工の半数以上が等高線加工に移行している。

3.3.3 積線加工

隅取り加工が代表的なものである。図5に示すように、小径凹R部（隅の部分）を大径の工具で加工すると加工残りが発生する。この部分を仕上げるために、凹R部に沿って加工する手法を指す。

全体として高速加工を行うために、工具への加工負荷が大きく変動する隅部を先に隅取り加工で除去しておく場合もある。自動的に加工残り範囲を判定し、この部分を切削するCLを作成する機能が有用である。しかし、案内線作成など前処理に工数がかかるため、現在は必要最小限の部位に限り適用している。

案内線の自動作成と立ち壁-平坦部間の小径凹R部加工の効率化が今後の課題である。

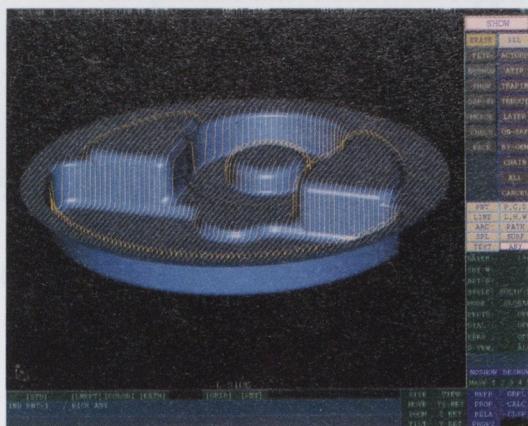


図3 走査線加工

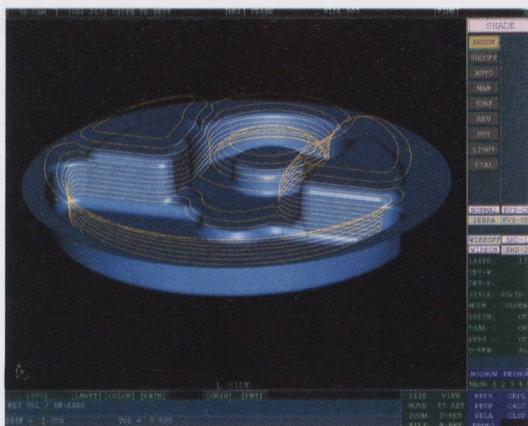


図4 等高線加工

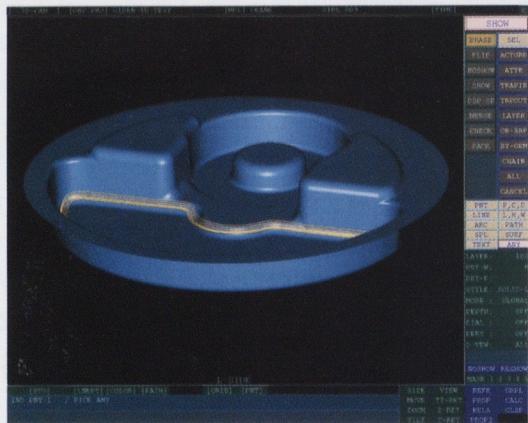


図5 隅取り加工

3.4 CL計算ポスト処理

ポスト（後）処理も次の2工程に分かれる。

3.4.1 CL編集

「SCULPTOR」によって計算されたCLを、加工の順番や加工開始位置を合わせるために編集することが多い。CAMシステムにはこの編集機能も持つが、表2にその機能一覧を示す。

表2 ESPRi編集機能

CL編集機能

PNTMOD	経路点間への点の挿入、経路点の置き換え
NOCUT	点指示、またはクリップ領域指示による非切削区間化
TRIM	基本経路の各種分割、延長、スライス
FAIR	経路点の間引き、微小切削区間の削除
DIRECT	基本経路方向の各種整列
ORDER	基本経路の順番ソート、変更
LINK	経路、基本経路の結合
ERASE	基本経路、経路点の削除
ATTR	工具諸元、経路名の変更
APROCH	円弧、直線アプローチの付加、 基本経路乗り移り部の作成
OFFSET	基本経路の各種オフセット
INFO	各種経路情報の表示

3.4.2 NCデータ作成

最終的に作成されたCLデータをもとに、加工機の条件を指示し「SCULPTOR」の機能を用いてNCデータを作成する。（この作業をポストと呼ぶことが多い。）

3.5 加工

オンラインでNCデータを加工機に渡して加工を行う、DNC機能の汎用的なものを自社開発した。この機能は、高速加工（8m／分）に追従可能なPC版高速転送機能を有し、現在試作加工部門で使用している。

4 開発と融合の考慮点

「SCULPTOR」を導入し、「ESPRi」から効率的な利用環境を実現するために、主に次に述べる3点に注力した。

4.1 データ変換

「ESPRi」から「SCULPTOR」を利用するには、形状データを「ESPRi」图形データ形式から、「SCULPTOR」图形データ形式⁽⁶⁾に変換する必要があった。この変換機能を開発するにあたり、透過性とユーザーインターフェイスを特に考慮した。

4.1.1 透過性

データ変換の透過性を高めるために、下記の点に注意した。

形式—ファイル形式、数値形式

図形要素—要素種類

構 造—面境界線、頂点などの構造情報

精 度—離れのしきい値

最 大 値—構成点数、面のパッチ数、
面の穴や境界の数、要素数

制 制—限縮面、閉じた面

「ESPRi」上のCAMシステムの開発と実用化

「ESPRi」にしかない図形要素は、「SCULPTOR」の持つ図形要素に近似することで対応した。

精度については、「SCULPTOR」の離れのしきい値が「ESPRi」より大きいことが確認できたため、特に対策は必要なかった。構成点数など各種最大値はUNISYS殿の協力を得て、それぞれ最大データを作成し、稼働確認を行った。

縮退や閉じた面のように「SCULPTOR」の機能制約を受ける図形は、実行時に必ず「SCULPTOR」機能による制約図形の切り取りを行うことで対応し、開発した変換機能での対応は必要なかった。変換機能が高い透過性を持てたのも、この切り取り機能の頑強さによるところが大きい。

4.1.2 ユーザーインターフェイス

「ESPRi」はすべての作業がその上で完結することを目標にしており、各機能とも同様のユーザーインターフェイスを持つことで、操作の煩雑さの低減を狙っている。CAM機能のユーザーインターフェイスも他機能と同様にすることで実現した。これにより、ユーザーは「ESPRi」以外のシステムを意識せずに作業を行うことができている。また、「ESPRi」と「SCULPTOR」間の高いデータ透過性が、これを可能とした。

実際には、「ESPRi」と「SCULPTOR」の図形データを2重持ちすることで、ユーザーには「ESPRi」のデータのみを意識させている。また、基本形状データからCL計算入力形状データを作成する時に、内部的に「SCULPTOR」形状データも作成しているため、仮に変換に不具合があれば、この段階でユーザーは不具合を認識できる。（実際には、この作業での不具合はほとんど発生していない。）

そして、基本形状データのみを最終的に管理する運用になっているため、加工段階で作成されるCL計算入力形状・パステータは加工が終了するとすべて消去され、2重持ちによるディスク容量などの非効率化を防いでいる。

4.2 CL計算JOB投入

「SCULPTOR」がサポートする多数の加工方法のそれぞれに、多数のパラメータが存在する。パラメータの設定をその都度ユーザーが行うのでは、非効率的である。

そこで、JOB投入機能を作成する際には、下記項目を考慮した。

1) 投入手順の簡略化

必要最小限のパラメータ設定、複数JOBの一括投入、投入機能のパネル形式化

2) 加工の標準化

全社共通、部署別、部品別

3) 履歴の保持

設定パラメータ履歴、加工方法履歴

4) 各部門個別対応

加工機の種別などによる個別設定の吸収

JOB投入の機能は加工方法ごとにパネル形式とし、必要最小限のパラメータ設定で指示できるようにしている。指示可能なパラメータについても、社内での標準的な値を省略時設定にすることで、ユーザーは変更したい部分のみ指示すればよい。加工領域指示はCAD機能の利用、加工ピッチ指示はカスプ指定のピッチ自動計算などにより、パラメータ指示の簡略化を図っている。

また、加工方法とその設定パラメータを工程データとし、複数工程データを工程データベースとして利用できる機能を提供した。図6に示すように、工程データベースには、複数の工程データを加工データとして、一括して登録が可能である。登録された手順は簡単に再利用可能なため、類似品の生産準備効率化、工程の標準化に貢献している。

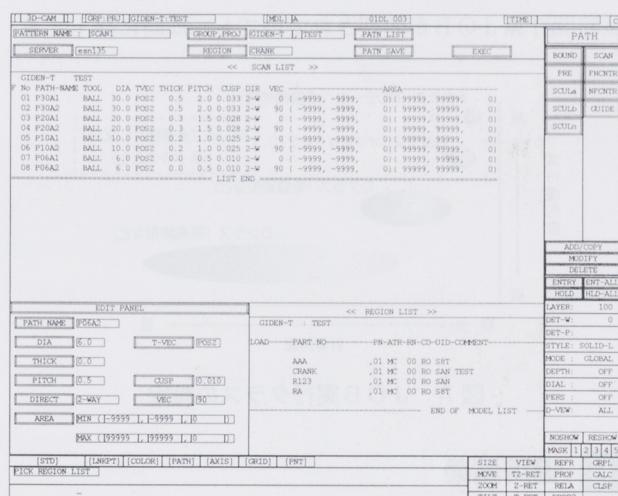


図6 JOB投入画面

全社的に標準化が図られたCL計算JOB投入機能に対して、ポスト処理は各部門の加工機の制約などで共通化が図れない部分があった。全社共通使用のポスト投入パネルと、各部門個別仕様パネルの両方を提供して対応している。NCデータの作成部門と加工部門が異なる場合も、加工部門仕様のポスト投入機能を使用すれば、加工部門の持つ加工機の仕様にあわせたデータが作成できることになる。

4.3 実行JOB投入管理

CL計算ソルバーとして「SCULPTOR」を導入するにあたり、予想使用量やCPU性能などを元に、メインフレームでの使用実績と比較して「SCULPTOR」

R」用EWS台数を算出した。

さらに、導入効果を高めて効率的な利用を行うために、下記のような効果を狙った。

- 1) ユーザー部門業務の増減吸収
- 2) 管理・運用負荷の低減
- 3) 各CPUごとの計算負荷の平均化
- 4) JOB実行待ち時間の低減

まず、複数計算ソルバーを各部門ごとではなく電算室に集中し、全社共通利用することで、ユーザー部門ごとの業務の増減吸収と管理運用負荷の低減を図った。

そして、「NQSU」を用い、JOBの実行CPU決定を使用状況によって行う（つまり、あいている所で計算する）ことでCPUごとの計算負荷の平均化を図った。

また、「SCULPTOR」で提供される加工方法及びポスト処理を、計算負荷によって4グループに分類し、図7に示すようにそれぞれに実行クラスを設定した。これにより、軽い計算負荷のJOBが、先に実行されている重いJOBのために待たされることがなくなり、JOB実行待ち時間も低減されている。例えば、ポストのように短時間で終了するJOBは、事前に等高線のような長時間計算JOBが処理されていても、即時に終了する。

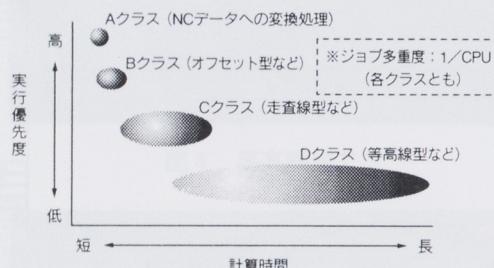


図7 JOB実行クラスの設定

5 適用結果

自社開発システム「ESPRi」を「SCULPTOR」と融合させ、利用することで、従来の「UNICA D/SCULPTOR」（メインフレーム版）を用いた場合と比較して、平均5割ほど作業工数の低減が図れた。

中でも効果が著しかったものはプロペラやエンジン部品であり、6割以上工数が削減されている。

次に、現在ESTY「3DY PRJ」にて検討が行われている、クランクケースのNC削り出しによる試作品加工の適用事例を示す。

5.1 クランクケース削り出し適用事例

ESTY「3DY PRJ」カテゴリAでは、クランクケースNC削り出しの実現とそのリードタイムを3次元形状作成後3日とすることを目指して活動している。我々技術電算グループも積極的に参加し、削り出しの実現に向けて、3次元CAM新機能と利用技術開発を行ってい

る。

第1回目のクランクケース加工時の試行結果を表3に、クランクケースを図8に示す。この結果を受け、課題となった機能と工程に対して改良と利用技術開発を行い、現在試行中のクランクケース削り出しへの適用を提案し、支援を行っていく。

表3 第1回試行結果

確認項目	目標	試行結果
①上下割りケースでの工法確認 1. 工程、工順	工程を5→3	1. 縦形高速M/Cで2工程 横形高速M/Cで1工程 (3工程分)(生技開発から借用) 2. 基本肉厚2.3±0.5 平面度40μ
2. 精度確認 (加工歪み)	肉厚±0.05 平面度100μ	
②L/T (工数) の確認 1. モデリング	120h	1. メルコ依頼 (社内負荷大) 160h
2. NCデータ作成工数	40h	2. トライ＆エラーで70h ESPRiの能力アップが必要 (シーディング、バス計算)
3. 試加工工数 4. サイクル工数	50h 30h	3. 試加工は82h(昼夜直) 4. サイクル加工は21h/個 (一昼夜DNC運転で1個/日)

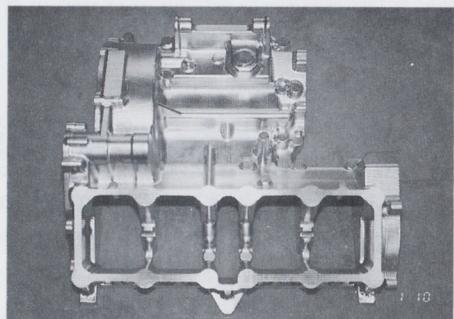


図8 削り出しクランクケース

6 今後の展開

「ESPRi」への業務移行が終了した現在、今後のCAM関連機能の作業項目として、機能の安定化や「SCULPTOR」新機能への対応などがある。また、当面の大きなテーマとして、加工残り部の自動検出と自動CL作成機能の実現を検討している。モデリング機能については専用機能化や一括処理による効率アップと共に、ソリッドモデリング技術の試行と検証を進めていく。いずれも、自社開発システムの強みを生かし、また社外の技術を活用して、当社業務の特性に合った仕様とタイマリーな機能提供により、業務効率アップに貢献ていきたいと考える。

新開拓モーセの車前二

7 おわりに

UNISYSとユーザー部門の協力により、新システム「ESPRi」CAM機能に市販ソルバーを融合させたことで、効率的開発と業務適用が図れた。結果として、ユーザー部門の大幅工数削減も実現できた。

また、本CAM機能の完成により、CAD/CAM/CAE、及び周辺各機能がそろい、「ESPRi」を中心とした開発業務のコンカレント化実現に向けて、システム側の基礎固めが終了した。今後は機能面での改良とともに、3次元設計の推進を軸とした、設計～製造の業務プロセスを一体と考えた開発支援活動を進めていく。

■参考文献

- (1) 日経CG編著：「CADの基礎知識」、日経BP社
- (2) 「NC複合曲面加工システムSCULPTOR解説書」、日本UNISYS(株)
- (3) 「スキャニングNC加工システムUNICAD/SCAN操作解説書」、日本UNISYS(株)
- (4) 酒井喜嗣：「SCULPTORにおける境界切削工具経路の計算方法」、UNISYS技報、12号
- (5) 大庭克治：「接触計算に基づく複合曲面NCシステムの開発」、UNISYS技報、19号
- (6) 谷本茂樹：「サーフェスモデルとソリッドモデルの統合」、UNISYS技報、32号

他参考として、

「プレス技術1990年7月号」日刊工業新聞社、

「型技術1993年8月号」日刊工業新聞社

適用事例資料提供 E STY事務局

■著者



土屋 光生



山田 典男



三邊 和治