

電 算 機 利 用 に よ る プ レ ス 型 仕 上 援 助 シ ス テ ム

「 測 定 ・ 解 析 ・ 加 工 シ ス テ ム の 開 発 ・ 実 用 化 」

新 木 廣 海 ， 丹 羽 茂 樹 ， 牧 野 利 一 ， 吉 仲 良 司

ト ヨ タ 自 動 車 ( 株 ) 電 算 部 第 1 技 術 電 算 課

本論文は、電算機・測定機を用いたCAF(Computer Aided Finishing)ともい  
うべき、プレス型曲面仕上援助システムについて述べる。

本システムにより、プレス型曲面形状の仕上基準は、従来の実体モデルから  
コンピュータ内に表現された数値モデルに置き換えられた。その結果、自動車  
のボデー開発工程におけるCAD/CAMシステムの統合が完結し、デザインか  
ら生産準備に至るトータルCAD/CAMシステムが実現した。

本システムは、1982年から実用化し、プレス型曲面形状の品質向上、仕上  
工数50%減など大きな効果を得て、ボデー開発のリードタイムを西期的に短縮  
している。

Computer-Aided Finishing System for Stamping Die manufacturing

H i r o m i A R A K I , S h i g e k i N I W A , T o s h i k a z u M A K I N O , R y o j i Y O S H I N A K A

Engineering Systems Development Staff No. 1 Information Systems Dept. TOYOTA MOTOR CORPORATION

1, TOYOTA-CHO, TOYOTA, AICHI, 471, JAPAN

This paper describes the finishing support system of a stamping die free-form surface utilizing computers and measurement instruments which can be properly called CAF(Computer Aided Finishing).

In this system, the primary standard is a numerical model which expresses the stamping die free-form surface in the computer in place of a physical model.

The realization of this CAF system has achieved an integration of CAD/CAM systems for automobile body development and all design and production preparation has been thus based on CAD/CAM systems.

This system has been in operation since 1982, and its application has led to an increase in stamping die quality, to a reduction up to 50% in man-hours in stamping die finishing and also to a drastic improvement in lead time for the body development.

## 1. はじめに

トヨタ自動車におけるボデー開発工程のCAD/CAM化は、最近著しい発展をとげ、プレス型製作分野においても、特に機械加工工程を中心にNC技術の導入とあいまって、形状データベース(幾何モデル)に基づくプロセスが取り入れられてきた。しかし、それに継ぐプレス型仕上工程は、従来から機械化が極めて困難な分野とされており、依然としてモデル合わせに基づく熟練作業者の手仕上げに頼らざるを得なかった。

このような、合わせモデルと作業者の経験とカンによる仕上工程は、精度にも限界があり、トライ・補正も含め多大の工数・期間を要し、従来からプレス型製作工程のボトルネックの一つであった。

そこで、このプレス型仕上工程に、CAF(Computer Aided Finishing)ともいべき新しいCAD/CAM技術として『測定・解析・加工システム』を開発・導入した。

その結果、前工程のスタイルデザイン・ボデー設計・プレス型設計の各システムと、後工程のCAMシステム、すなわちプレス型のNC加工システムと仕上げのCAFシステムが統合され、一貫したトータルシステムが実現した。前工程の各CADデータは、CAMシステム用数値モデルとして一元化され、ボデー開発工程の設計・生産準備をCAD/CAMデータに基づいて行なう体制が整った。図1にボデー開発工程の流れを示す。[1],[2],[3],[4],[5]

本システムの適用により、プレス型曲面形状の品質向上、仕上工数50%減が達成できた。

また、ボデー開発工程全体として、リードタイム短縮など画期的効果が得られた。

## 2. システムの概要

本システムの機器構成を図2に示す。主なシステム機器は、ホストコンピュータ、三次元測定機、マイクロプロセッサ、およびカラーディスプレイ端末であり、これらがオンラインで結ばれている。数値モデルはホストコンピュータに格納される。測定機は、簡易なNC機能も持った仕上作業専用のものである。本システムで開発した、新しいプレス型曲面仕上げのプロセスを図3に示す。

従来方式の確認モデルと紅ガラによる赤当たり

チェックに代え、新方式ではプレス型を測定し、測定結果とデータベースの差違をディスプレイ上にカラー差分値表示する。従来の赤当たりチェックと違い、仕上げ作業者はこのカラー表示に基づき、プレス型形状を全体として定量的に把握できるため、迅速、かつ的確な補正が可能になる。

これを実現するため、後述するように、種々の機能を開発したが、むしろ、このシステムの最大の特長は、『測定』とそれに基づく補正量・補正箇所の『解析

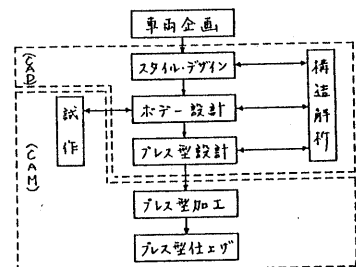


図1. ボデー開発工程の流れ

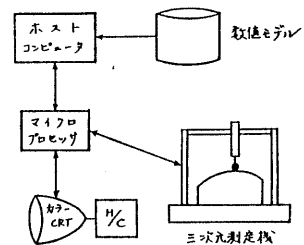


図2. システム機器構成

・表示』，及び『補正加工』のサイクルを，マン・マシン一体となった一つのシステムとして実現したことにある。(図4)

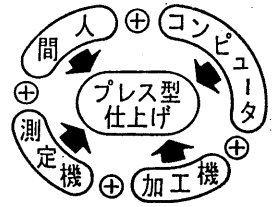
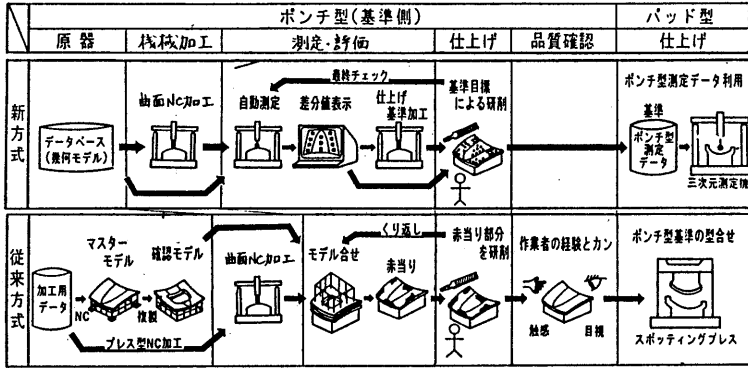


図4. 人間・機械系の実現

図3. プレス型仕上げプロセス

自動車ボデー部品のプレス型曲面形状の仕上げ作業は，1/100mmの精度を要し，熟練作業者の判断力と微妙なタッチが要求される。筆者らは，ロボットによる仕上げの自動化も一部研究しているが，現状技術では，実用化はまだ難しいと判断し，むしろ人の積極的活用を図った。

人間の不得意な点は，作り出すべき形状(数値モデル)と現在の形状(プレス型)との差違を，定量的に把握することである。本システムではこの点で機械系が人を補う。

機械の不得意な点は，全体の形状が数値モデルとどのような傾向をもって違っているか，の判断が困難な点である。この点は，人の総合的な判断力に頼る。かつ，1/100mm精度の微妙なタッチを要求される研削作業は，人にまかせる。しかし，本システムでは，もはや人に高度なスキルを要求しない。

このように，人と機械が相互補完する，人間・機械系システムとすることを，システム構築の基本とした。

### (1) インタラクティブ機能の実現

図5に，システム機能の体系図を示す。ホストコンピュータ，マイクロプロセッサ，測定機コントローラに，各種機能およびデータを最適配置となるように分散した。

測定・補正加工の基準としては，従来のマスターモデルに対応した幾何モデルであるマスターデータを用いる。測定すべき点については，標準的なメッシュデータを，予めバッチ処理により，マスターデータから計算し，仕上げ基準データとしてファイルに貯える。次に，基準データをホストからマイクロプロセッサに伝送し，外部メモリに格納する(基準データ管理)。ここでの処理の効率化のため，外部メモリとのI/Oでは『Unix』のバーチャルI/O機能を組込んでいる。

測定はカラーディスプレイからの指示で開始し，基準データを基にオンラインで三次元測定機を駆動・制御する(測定機制御)。マイクロプロセッサは，基準データの三次元座標値(X, Y, Z)と，その法線ベクトル値(i, j, k)

をNCコントローラに与える。この情報から測定動作点への展開処理は、NCコントローラが担当する。

基準データ不足の場合は、測定機による指示点に基づき、マイクロプロセッサからホストに計算指令を出す。ホストは、リアルタイムOSのもとで測定用基準データを計算し（マスターデータ検索・曲面演算）、この情報を用いて、通常的面直自動測定を行うことが可能である。

差分値解析・表示は、基準データと測定データとの、法線ベクトル方向の誤差を解析し、ディスプレイに視覚的にカラー差分値表示する。また、必要に応じてこの差分値分だけの補正加工を、専用加工ヘッドを用いて行う。この他に、

マイクロプロセッサでは、ログ機能が他の処理と同時並行処理されており、ホストの監視機能からの問い合わせに即座に対応し、稼働状況を通信制御プログラム、回線を介してホストに伝送することが可能である。

このような分散処理体系を採用した目的は、効率的な人間・機械系のインタラクティブなコミュニケーションを可能にすること、高速測定を実現することが第一であるが、次のような点も併せてねらいとした。

- ① ハードウェアの変更に対応容易なシステムとする。
- ② システム運用の基本となるデータ群をホストコンピュータで一括管理し、データのメンテナンス性を確保する。
- ③ 測定時には、マイクロプロセッサにも基準データを持たせ、ホストコンピュータのダウン時の対策とする。

#### (2) 測定の効率化と精度向上

従来は、測定形状が認識できないことから、プレス型との干渉回避動作が必要であり、また座標軸方向の測定のため、高速、かつ高精度測定が困難であった(図6)。新方式においては、数値モデルを使って、測定すべき曲面形状を、三次元測定機に事前に認識させるという新しい測定方法をとる。数値モデル上に測定候補点を選択し、これらの測定候補点の特性として座標値と法線ベクトルを計算し、三次元測定機に渡す。この基準データから測定対象物の形状を判断し、測定プローブを測定対象点まで最高速で接近させ、面に対して垂直方向から接触させる。その結果、触圧が面に垂直にかかり、プローブがすべること

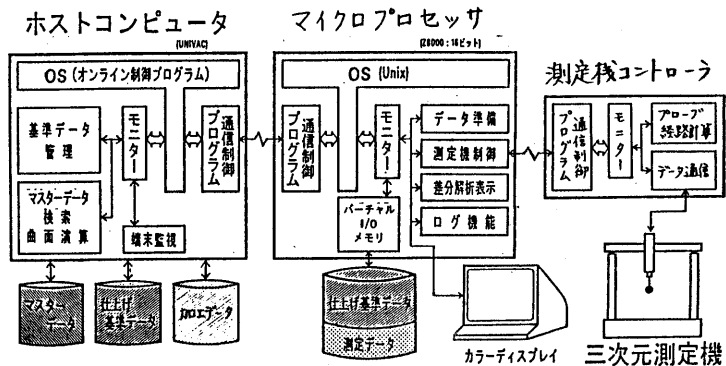


図5. ソフトウェア機能の分散処理体系

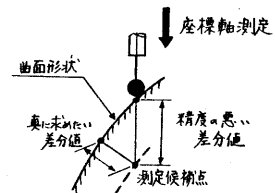


図6. 従来測定法

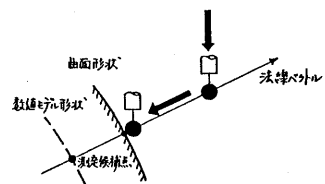


図7. 新測定法

なく高精度な測定が可能となる。(図7)

従来の測定機は、測定対象物の形状を、注意深く測ってみて初めて知るといった、いわば手さぐりの測定法をとっていた。

それに対して本システムでは、数値モデルにより測定対象物の形状を事前に認識しているという、インテリジェントな測定法をとっている。そのため、測定機はワークに対して最短のプロープ経路で測定することが可能になり、高速・高精度を実現している。

### (3) 5軸測定ヘッドの開発

急傾斜面、負角プロファイル面などを測定するため、写真1の小型軽量5軸測定ヘッドを開発した。このヘッドには、ハーモニックドライブ機構を採用し、1/1000度の高精度割出しを実現した。

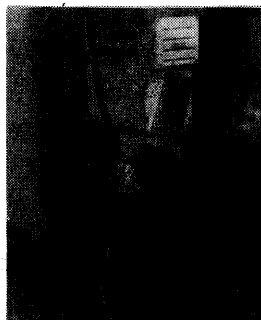


写真1. 5軸測定ヘッド 写真2. 加工ヘッド

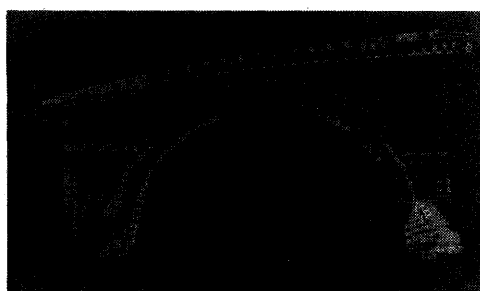
### (4) 加工ヘッドの開発

三次元測定機を利用して、直接に補正加工を行うための専用加工ヘッドも新たに開発した。(写真2) 加工ヘッドは、小型軽量化のためエアーモータを採用し、5,700rpm・6φカッターで、切削代2mmの曲面加工能力を持つ。

これらの技術開発により、測定時間は1点当り3secとなり、測定・補正加工のサイクルを、インラインで回すことが可能となった。

## 4. 適用結果

フェンダーでの適用結果を写真3に示す。このように、仕上げ後の曲面が許容値内精度(0.2mm)に仕上げられている事が、ディスプレイ上で容易に確認できる。



(仕上げ前)

(仕上げ後)

写真3. 新プロセスによる仕上げのカラー表示

本システムは、1982年から適用を開始し、実用化した。現在では、プレス型仕上げラインに全面的に適用している。

本システムの適用により、プレス型曲面形状の品質向上、仕上工数低減など大きな効果が得られ、ボデー開発のリードタイムを画期的に短縮できた。

## 5. まとめ

この『測定・解析・加工システム』により，作業者は，測定機からプレス型を出し入れすること無く，インラインでカラーディスプレイ上の測定結果を見ながら，インタラクティブに補正加工，測定が可能となるなど，「測定機⊕加工機⊕コンピュータ⊕人間」といった，新しいマン・マシンシステムを形成することができた．これにより，我々の狙い通り，仕上げ工程の工数・期間短縮，および精度向上が図られた．

本システムの実用化により，自動車のボデー開発工程におけるCAD/CAMシステムの統合が完結した．その結果，デザインから生産準備に至るトータルCAD/CAMシステムが実現している．

今後の課題としては，次のようなことがある．

1. 非接触測定方式による，より高速な測定技術の開発
2. ロボットによる，自動曲面研削機能の開発
3. 数値モデルとプレス品間の差違の情報を，前工程のプレス型設計CADシステムへフィードバックする機能の開発

などである．

## 謝辞

本開発に多大なご支援をくださった，東京大学・名誉教授・穂坂衛先生をはじめ，ご協力いただいた関係各位に感謝いたします．

## 参考文献

- [1] 東 他：「An Interactive CAD System for Construction of Shapes with High Quality Surfaces」  
CAPE '83 Proceedings
- [2] 蔵永 他：「The Development of the CADETT System」  
ISATA '81 Proceedings, Vol.1  
Stockholm September 1981
- [3] 高橋 他：「Stamping Die CAD at Toyota」CAMP '83 Proceedings
- [4] 新木 他：「Replacement of Physical Models for Stamping Dies with Numerical Data Based on Integrated CAD/CAM」  
PROLAMAT '85 Proceedings
- [5] 新木 他：「Computer-Aided Finishing System for Stamping Die Manufacturing」CAMP '85 Proceedings