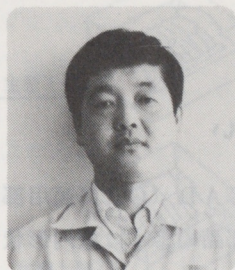
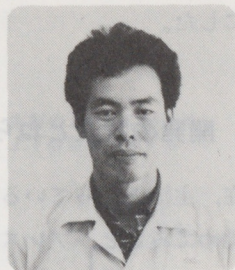


試作鋳造型製作の CAD/CAM化



生技開発室
佐野優規



AM技術第2課
米田俊彦

1. はじめに

自動車エンジン事業部では、5年前の1982年にトヨタ自動車向けの新DOHCシリーズの第1弾として4バルブの2ℓ6気筒の1G-GEUをラインオフさせた。この開発を通じて様々な問題が浮かび上って来た。一方では、開発や製造のプロセスへのコンピューター利用が急激に発展している状況であった。この様な状況のなかで、開発のプロセスにコンピューターを持ち込むことで問題の解決を図れないか、と考えて取り組んで来たのが鋳造部品のCAD/CAM化である。

1-1 なぜ鋳造部品か？

コンピューター導入の端緒は、やはりCADであった。当時のシステムは、今では陳腐化してしまったCALMAシステムで、初歩的なNC加工に適用出来る機能がついたものであった。一方、前述した開発を通じての問題の中で主たるものは以下の様なものであった。

●試作品がうまく出来ない。

・インテークマニホールド

複雑な3次元形状で、手加工では抜勾配や肉厚を正確に作れず中子が弱くなり、ばりや砂落ちが多発。

●形状の再現性不良

・吸排気ポート、燃焼室、インテークマニホ

ールド

図面は同じでも試作次元により形状が異なる。又、金型になることにより、形状が変わる。

これにより、型が変わるたびに評価確認が必要で新たな問題も生じてくるという状況であった。特にそれが鋳造部品に多かった為に、鋳造部品の型製作のNC加工によりその問題の解決を図ること、即ち鋳造型製作のCAD/CAM化がテーマとして浮かび上って来たものである。

1-2 なぜUNICAD/SCULPTORか？

型の製作方法により分類すると、2次元（例えばワイヤカットによるプレス打抜き型）、2½次元（例えば大多数のダイカスト型）、及び3次元（自由曲面の連続したプレス型、鋳造型等）がある。我々の取り上げた鋳造部品のインテークマニホールド、吸排気ポート等は、凹凸の激しい3次元の複合した面をもっており、社内に存在したCAD/CAMソフトで型加工のトライをしたが、満足に行くレベルで型が削れたものはなかった。

そこで、社外のソフトを探し、日本ユニバック(株)のUNICAD/SCULPTORでトライをしたところ、完成できる見通しが立つレベルで型が削れることが解った。特に、自在にモデリングが行なえる面処理機能と、安定した複合曲面カッターパス計算機能に優れていた為、日本ユニバック(株)と協

力して鋳造型CAD/CAMシステムを作り込むことにした。

2. 開発の背景とねらい

現在、主流となっているCAD/CAM適用部品を眺めてみると、プレス部品のように板内形状を基準として板厚分のオフセットをし、プレス方案を加えて上下型にて部品を製作するもの、樹脂部品のように、外観形状を基準に肉厚分のオフセットを考慮し、内側にリブ形状、他にランナー、ゲート等の型方案を付加し、キャビティ、コアにより部品を製作するものなどがある。

エンジン鋳造部品の場合には、樹脂部品に似た電算処理工程を踏める、カバー、ケース類の他に、主型、中子型等、複数の型により部品製作を行う、エンジン性能部品図1や吸気系部品がある。

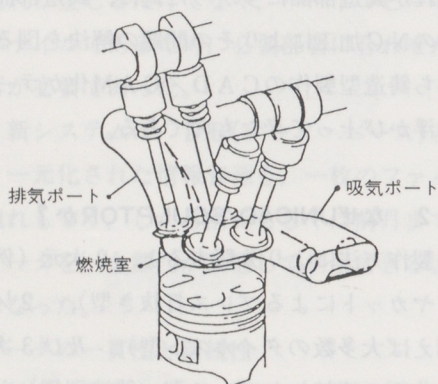


図1 エンジン性能部品

従来、エンジン性能部品は、直接性能に影響を及ぼす割には完ぺきな形状定義がされておらず、高度な技術を持った技能者が勘と経験を頼りに形状のアレンジを行いながら試作型製作を行っており、技能者の個人差による品質、精度のバラツキ、対称形状での部品のバラツキ、高技能者不足等の問題が提起されており、試作から生産、生産から更新型、新規開発において不確実な要素の入り込むケースが多かった。そこで、エンジン性能に影

響を及ぼす鋳造部品のCAD/CAMによる試作型開発を行うにあたり、重点目標として下記4項目を設定した。

- (1)エンジン鋳造部品の品質、精度向上
- (2)試作工数の低減
- (3)後工程（機械加工等）工数低減
- (4)波及効果として、エンジン形状不確定部の解消

これらを達成するためのキーとなる技術を、5項目抽出した。

- (1)自由自在にモデリングが行える面処理機能の強化と利用技術の獲得
- (2)UDL(Unicad Design Language)を使用し、利用技術を折り込んだCAM専用機能の開発
- (3)特別な教育を必要としない、CL(Cutter Location)計算用パートプログラム創成機能
- (4)安定した、複合曲面CL計算機能
- (5)CL編集効率を上げるための会話型CL編集機能

3. エンジン性能部品のモデリング

世間一般に、CADとCAMとは、太いパイプで繋がっており、設計で作られたCADデータは、そのままCAMとして利用できNCによる型彫りが総て行えると考えられがちである。確かに、一部の部品に於いては、これも現実なのであろうが、エンジン鋳造部品は、この例には乗らない。もし、この流れに乗せるものとしたら、設計から製造までの総てを知り尽くし、CAD操作も巧みなスーパー・エンジニアが作ったCADデータは、比較的素直にCAMに繋がると言うことにはなる。そこで現実には、エンジン鋳造部品のCAD/CAM業務をCAD、CAMの中のCAD（以下、CAM/CADと記す。）、CAMの3つに分類し、CADにて作成されるデータをCADデータ、CAM/CADで作成されるデータをプロダクトデ

ータと呼ぶことにし、工程、組織を分類した。この概要を図2に示す。

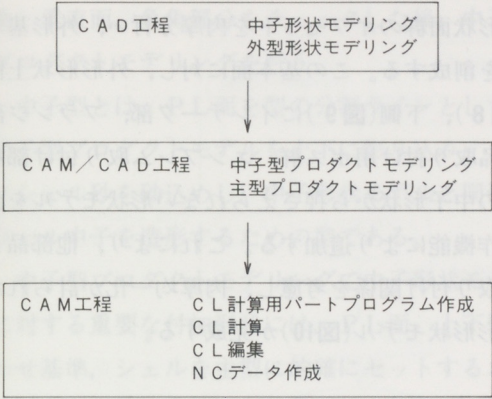


図2 鋳造部品CAD/CAM化

この項では、試作鋳造の工法を、図3で説明し鋳造の概要を理解願った後、それぞれの工程でモデリングが、どの様に展開されてゆくか、インターク・マニホールドを例に取って説明する。

試作鋳造工程

- (1)中子上下型に砂込めを行い、シェル中子(砂)を造形
- (2)主型下型に上から砂を乗せて主型下砂型を造形
- (3)主型上型に上から砂を乗せて主型上砂型を造形
- (4)主型下砂型にシェル中子をセット
- (5)主型上砂型をその上にセット
- (6)鋳物材を上から流し込む
- (7)鋳物が冷却後シェル中子を壊し、砂をかき出す

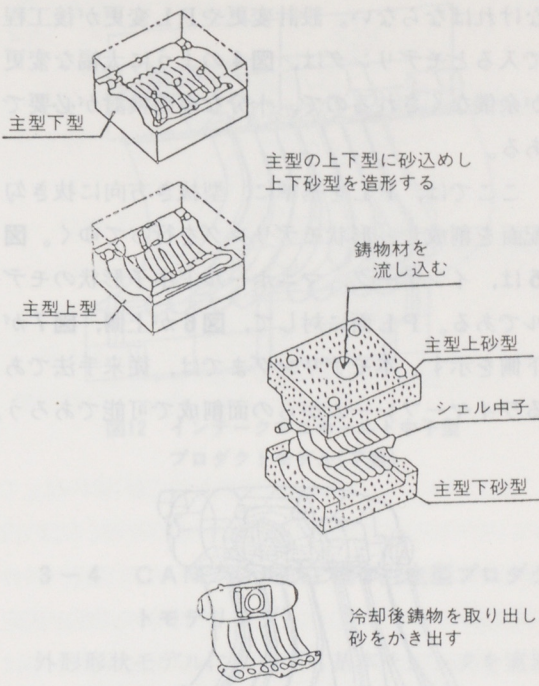
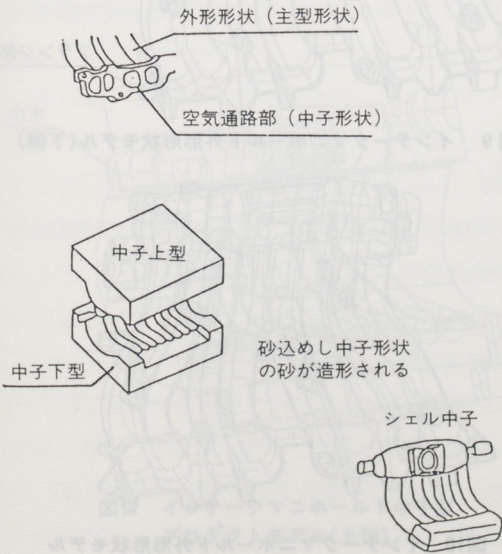


図3 試作鋳造工法

3-1 CAD工程1(中子形状モデリング)

インターク・マニホールドに於いて中子形状とは、空気の通路を指すが、モデリング前に、部品形状の押さえ寸法、部品の注記要件(指示なきR, 徐々に変化、抜き勾配等)と型方案上で大切なPL(Parting Line)、型抜き方向が、決定されてい

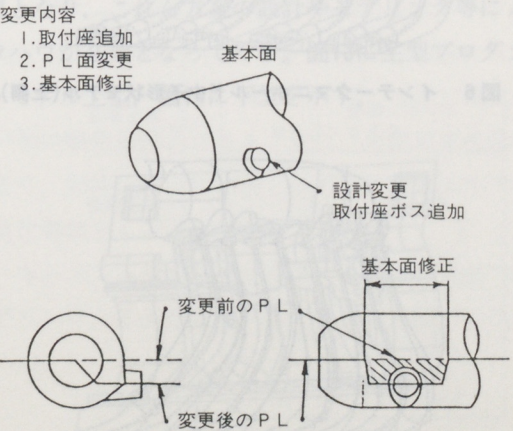


図4 設計変更による面モデル修正

なければならない。設計変更やPL変更が後工程で入るとモデリングは、図4のように大幅な変更が余儀なくされるので、十分な事前検討が必要である。

ここでは、PLを基準に、型抜き方向に抜き勾配面を創成し、形状モデリングを行ってゆく。図5は、インテーク、マニホールド中子形状のモデルである。PL面に対して、図6が上側、図7が下側を示す。本モデリングまでは、従来手法であるワイヤーフレームからの面創成で可能であろう。

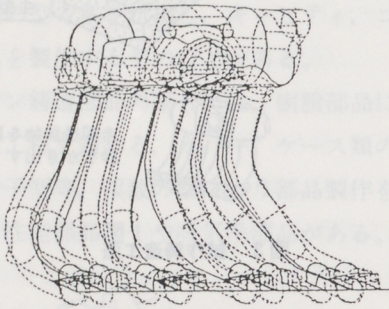


図5 インテークマニホールド中子形状モデル

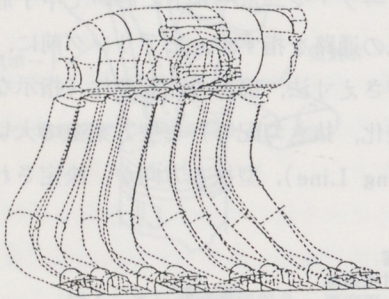


図6 インテークマニホールド中子形状モデル(上側)

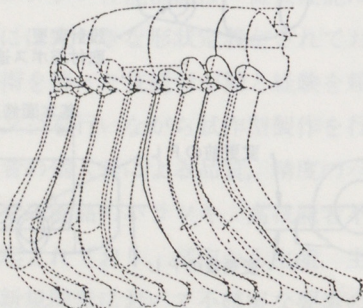


図7 インテークマニホールド中子形状モデル(下側)

3-2 CAD工程2(外形形状モデリング)

外形形状は、部品肉厚均一化を計り、軽量化を目指すための鍵を握っている。モデリングは、中子形状面群のオフセットを肉厚分行き、外形基本面を創成する。この基本面に対し、外形形状上側(図8)、下側(図9)にインテーク部、フランジ部、部品取り付け用ボス群、エンブレム取り付け部などの中子形状から押さえられない形状モデルを面操作機能により追加する。これにより、他部品との取り付け関係を考慮し、肉厚均一化が計られた外形形状モデル(図10)が完成する。

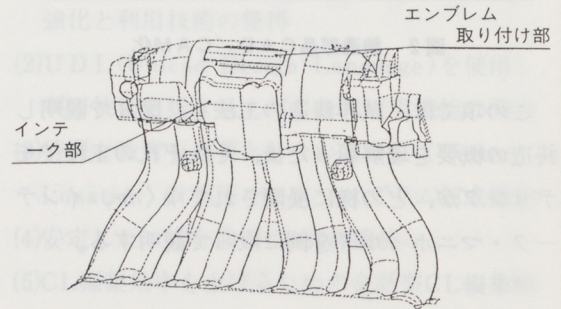


図8 インテークマニホールド外形形状モデル(上側)

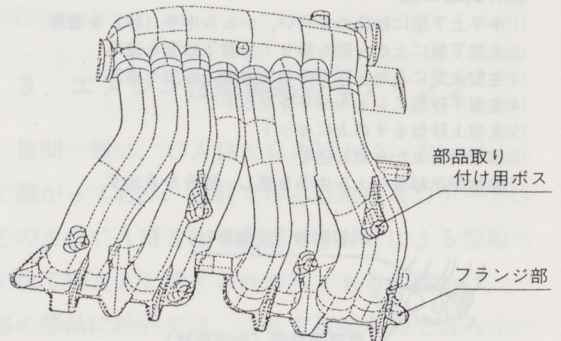


図9 インテークマニホールド外形形状モデル(下側)

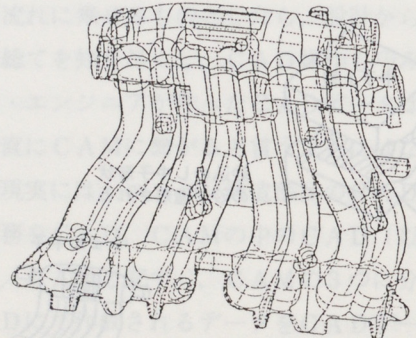


図10 インテークマニホールド外形形状モデル

3-3 CAM/CAD工程1 (中子型プロダクトモデリング)

中子形状モデルについて、型抜きの可否を見る為、垂直面、負角部分をチェックした後、中子型プロダクトモデリングを行う。

中子型とは、PL面を型の分割ラインとして、中子型プロダクトモデルを上下に彫り込み、これにシェル砂を砂込めし、中子形状モデルと同形のシェル中子を造形するための型である。

中子型プロダクトモデリングで中子形状モデルに対する重要な付加形状には、PL面、上下型合わせ基準、シェルを主型に的確にセットするために用いる巾木があり、これらを順次モデリングして行く。ここで最も重要な事は、それぞれのモデリングが正しく行われても、主型とシェルの巾木にズレが生じれば casting 部品としては不良品となる。したがって、プロダクトモデリングにも十分な配慮が必要となる。

中子型プロダクトモデル上型を図11に、下型を図12に示すが、この場合のPL面は、中子型プロダクトモデルが彫り込みとなるため、PL面と中子プロダクトモデルとは、別体加工ができ、モデリング工数低減を狙って、PL面と中子プロダクトモデルとの、面相貫は行っていない。

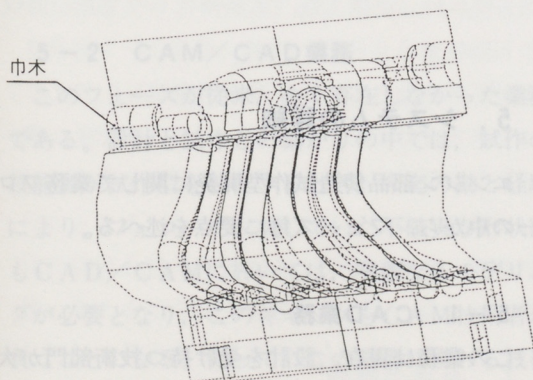


図11 インテークマニホールド中子型プロダクトモデル(上型)

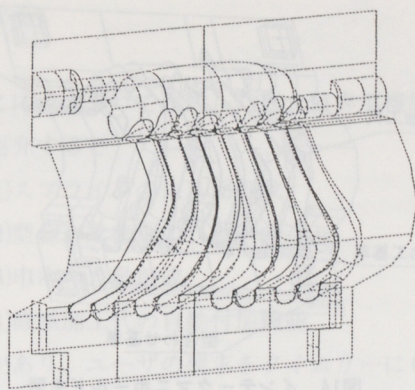


図12 インテークマニホールド中子型プロダクトモデル(下型)

3-4 CAM/CAD工程2 (主型プロダクトモデリング)

外形形状モデルについても基本チェックを実施後、主型プロダクトモデリングを行う。

外形形状を形作る型を主型と呼んでおり、PL面を型の分割ラインとして、主型プロダクトモデルを、それぞれ凸形状に彫り、砂込めを行って主型(砂型)を造形する。

主型プロダクトモデリングで外形形状モデルに対する重要な付加形状は、中子型と同様、PL面、型合わせ基準、巾木その他、素材に機械加工を行う部分の総てに、機械加工代面形状の織り込み、及び機械加工精度を上げるための機械加工基準が必要となり、これら方案の設計やモデリング等にノウハウが必要となってくる。図13に主型プロダクトモデル上型、図14に下型を示す。

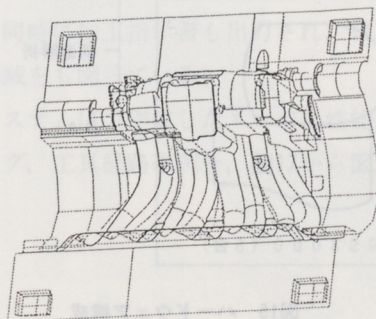


図13 インテークマニホールド主型プロダクトモデル(上型)

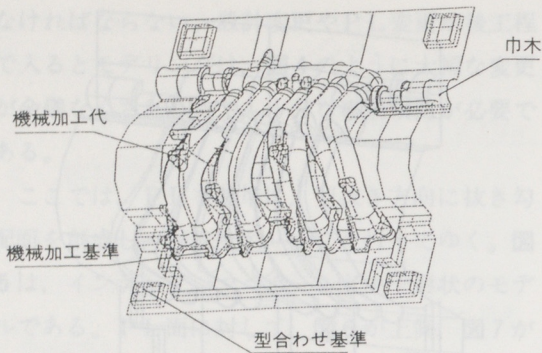


図14 インテークマニホールド主要
プロダクトモデル(下型)

以上、エンジン部品試作鋳造型を製作する上での、モデリングに関する実例を挙げたが、この段階での技術レベル、精度、モデリング工数が試作型開発に於けるCAD/CAM利用の成否を決定し、基礎技術としてCAD面操作機能がある事は言うまでもなく、これに、いかに専用機能を付加するかに掛っている。

4. システム構成

コンピュータは、UNIVAC1100/83を使用して、図15に示すごとく各種アプリケーションと共用している。

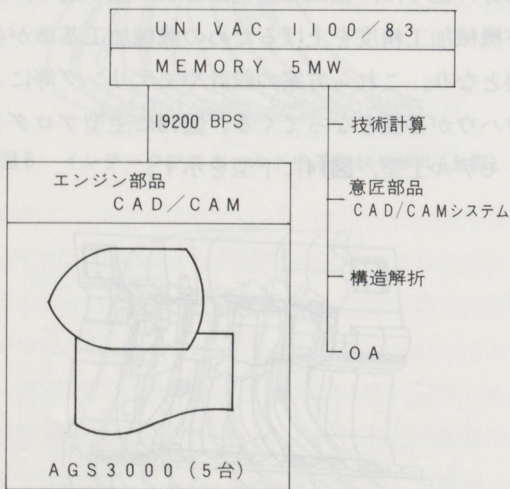


図15 ハードウェア構成

エンジン部品CAD/CAMシステムは、UNICAD/SCULPTORを利用しており、ソフトウェアは図16の構成となっている。

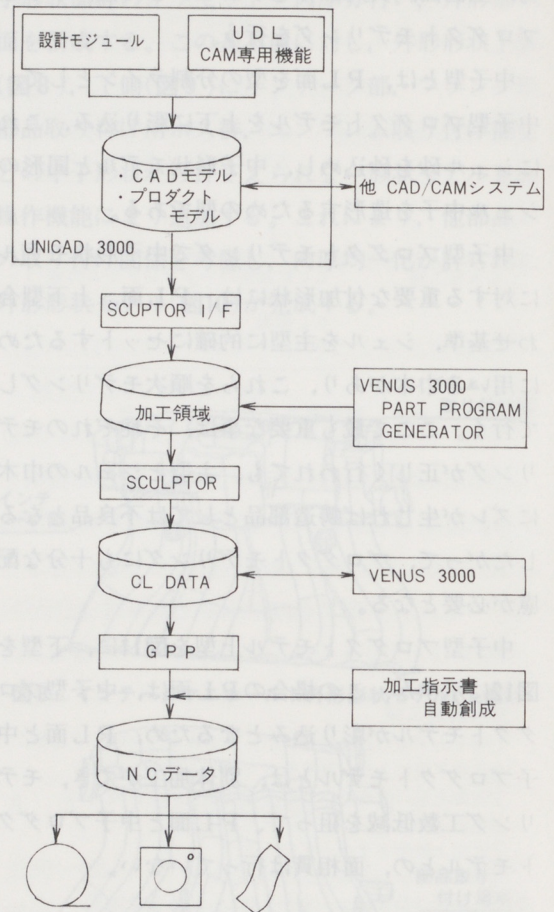


図16 エンジンCAD/CAMソフトウェア構成

5. システムの詳細

エンジン部品鋳造試作型開発に関して業務フローの中から、フェーズ毎に要点を述べる。

5-1 CAD業務

この業務は現在、設計を受け持つ技術部門が大部分担当している。

従来、CAD業務と言うと図面を作るだけ、三次元形状創成に於いても、図面レベルでのモデリ

ングに留ることが多かったが、CAM工程を意識したモデリングとなると、なかなか簡単にはいかない。今迄、図面注記欄に何気なく記述していた“指示ナキ抜き勾配ハ2度スル”も、いざモデリングをしてみると大変な苦労がある。また、これらは、設計工数の増大に繋がり実現の可能性を阻む要因となっていた。したがって、システム側でも極力、設計者の負担軽減を考慮した機能を提供する事が重要となる。

ポイントとしては

- (1)充実した曲線曲面の操作機能
- (2)充実した部分面操作機能
- (3)充実した曲線、曲面のチェック、評価機能
- (4)曲面構成点の拡張
- (5)複合面フィレット機能
(フィレット：曲面群がぶつかった部位のR面)
- (6)充実した表示制御機能

などである。そこで、上記諸機能の充実を図るため、日本ユニバック㈱に機能追加、改良の要求をした。UNICAD/SCULPTORはバージョンを重ねるに従い機能が充実して来た。

現在モデリング業務は、上記機能に加え三次元グラフィックディスプレイ・AGS 3000の機能、利用技術、ノウハウの蓄積により格段に進歩し工数低減が計られている。

5-2 CAM/CAD業務

このフェーズが従来、全く存在しなかった業務である。設計と試作との繋がりの中では、試作の技能者が試作型を製作するとき、今迄の勘と経験により、フォローアップしていた不確実な形状部もCAD/CAMに於いては、明確なるモデリングが必要となり、このギャップをCAM技術者が負うことになる。従って、この業務に携わる技術者は、前後工程の技術把握が不可欠となる。そこで、電算機、モデリングに余り気を使わなくても面創成が行える様に、CAM専用機能の構築が必

要となる。

ここに、マクロで作成したCAM専用機能の一部を紹介すると

- (1)スプラインの抜き面創成
- (2)型合わせ基準の自動創成
- (3)巾木の自動創成
- (4)機械加工代の自動付加機能

等があり、ユーザの要求をタイムリーにCAM専用機能として、リリースしている。

5-3 CAM業務

CAMの定義をSCULPTOR I/FからNCデータ作成までと位置づけているが、このフェーズでの最重点項目は“誰にでも使いこなせるシステム”であり、ユーザに特別な教育を施さなくても業務が行えるように極力配慮した。

CL計算用パートプログラム作成には、かなりの教育が必要となっていたが、SPG (Sculptor Part Program Generator) にて、表形式のパートプログラム創成機能を使用することにより、誰でも表を埋めるだけでCL計算が可能となる。

CL編集に関しては、SCULPTORの安定化で、不正パスが激減しており、CL編集機能の効率を上げる事により問題のないレベルに到達するであろう。

NCデータ作成のためのパートジェネレータ機能は、加工標準も充実しており、加工部署別にNCデータが、紙テープ、フロッピーディスク、磁気テープの媒体に出力される。更に、自動創成機能により、同時に加工指示書も出力され、後工程での負担軽減をも図っている。

本システムにて作成したエンジン性能部品のモデリング、工具経路事例を、図17から図21に示す。

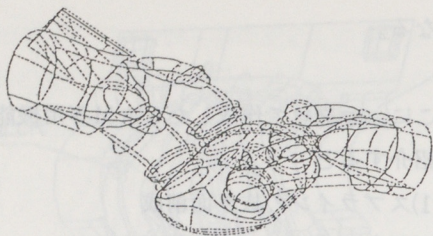


図17 エンジン性能部品モデル

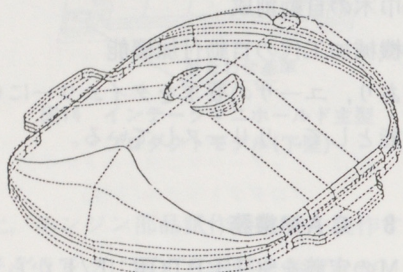


図18 燃焼室モデル

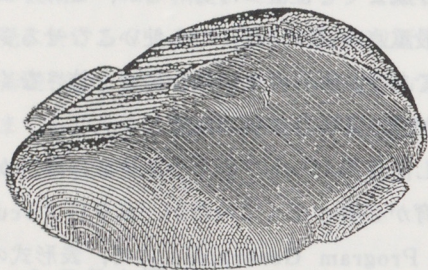


図19 燃焼室工具経路

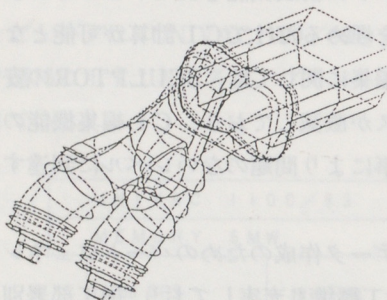


図20 吸気ポートモデル

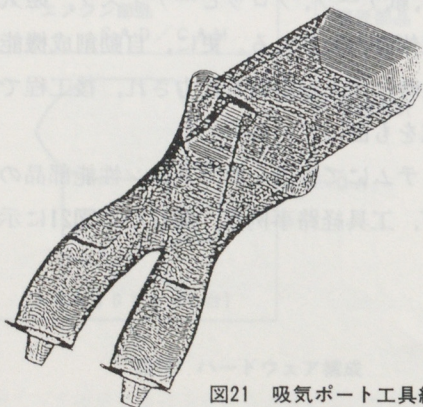


図21 吸気ポート工具経路

6. システムの効果

エンジン部品 casting 試作型開発により、直接、間接効果に関して、社内各部門より報告をうけているが、本項では、インテーク・マニホールドを例に取り、注目すべき効果に絞って述べる。

- (1) 本システムにより主型上下型が別々に製作可能となり、上下型の砂込めが同時に行えることで砂型製造工数が半減した(図22)。
- (2) インテーク・マニホールド等の筒物部品は、従来工法と比較し、かなりの軽量化を実現した。
- (3) 鋳造部品は、中子型、主型、シェル砂、鋳物材と品質の悪化を招く要因が多く、これによる試作鋳造、寸法検査が繰り返し行われていたが、本システムでは試作鋳造、寸法検査の工数が半減した。
- (4) 機械加工基準の高精度化により、機械加工時の不良率が半減した。

以上、直接、間接に効果測定ができたものについて挙げたが、更に、

- (5) 試作部品は従来、生産型での部品と異なり部品精度、品質等に甘い箇所が見受けられていたが、本システムにより生産型相当品が試作時点で作られ、試験、生産移行がスムーズに行われ、実験工数、生産移行トラブルが低減した。
- (6) 従来工法では、伸尺等の問題もあり、試作トラブル要因が不明確であったが、精度の押さえが明確になり、ノウハウの蓄積が可能となった。

などの、波及効果も計り知れない。

7. 今後の課題

前項で述べた効果は確認できたが、エンジン鋳造部品のCAD/CAM化としては、第1ステップ

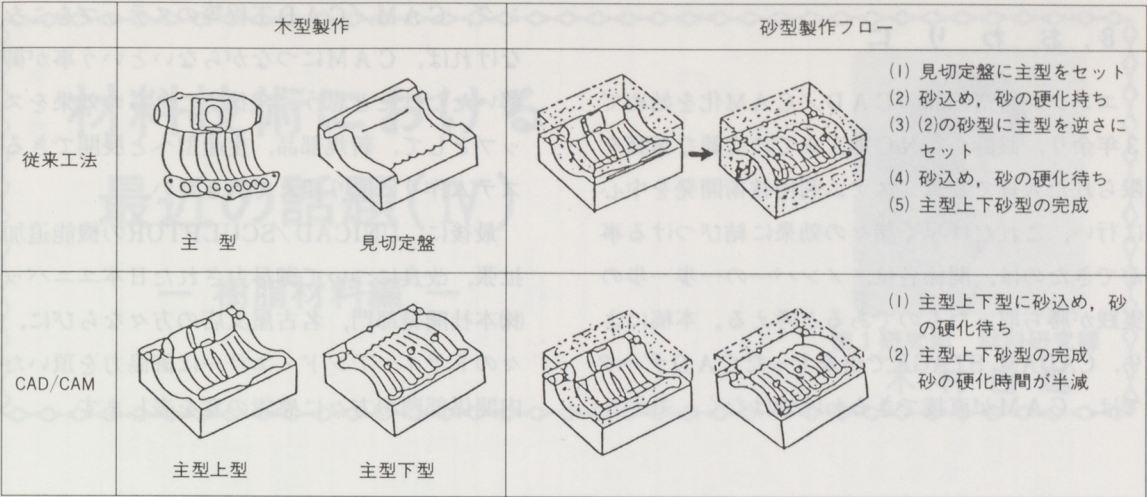


図22 インテークマニホールド主型試作工法

ブを通過した段階であり、更に効果を上げるべくやるべき課題は多いと判断している。

まず、一般的に見て設計段階で詳細な casting 方案、型方案、製造方案まで詰める事は難かしいと考えられるので、エンジン casting 部品の完全な CAD/CAM 化を目指すには、開発業務フロー、業務分担、組織の見直し等が必要となってくる。

また、CADデータとプロダクトデータの間には、未だに相当のギャップがある事は否めず、ここをいかに埋めるかが、今後、金型直彫り展開への鍵となるであろう。ここで、プロダクトデータ自動変換機能（プロダクトモデリングを自動的に行う機能）がクローズアップされるが、全自動化を目指すべく分析、検討、開発を今後も続けて行く。更に、製造サイドから見ると試作データを生産に適用するには、試作時点から生産を考えた諸々の方案が必要となり、特にPLの早期決定が不可欠となる。しかし試作では、精度、品質のよい試作部品を早く作ることが目標であり、生産では、良いものを型寿命を考慮しながら、総てに効率よく部品を作る事が重要である。これらの見地から、まだまだデータの一元化には紆余曲折もあろうが、試作型での実績、ノウハウを蓄積し標準化を図りたいと考えている。

CAM業務では、仕上げ加工の大きな問題は無くなっているが、荒取りに多くの問題が残されていると考える。荒取り工数が加工工数の多くを占める現在、自由に荒取りが行える機能開発も重要な要素となり得るであろう。

一例として、金型直彫りをトライした場合の工数、金額の低減効果を、従来方式を100として比較し、試算した結果を図23に示す。

A	従来方式	微い型ハンド加工，金型微い加工
B	微い型NC	微い型NC加工，金型微い加工
C	NC直彫り	金型NC直彫り

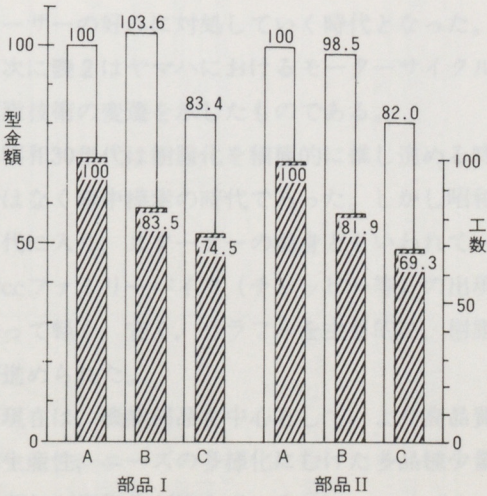


図23 金型直彫りの効果

8. お わ り に

エンジン鋳造部品のCAD/CAM化を始めて3年余り、設計からNC加工までの広範な業務を限られた人員で電算システム利用技術開発を中心に、これだけ早く諸々の効果に結びつける事ができたのは、関係各位、メンバーの一步一步の実践が勝ち取ったものであると考える。本稿により、CADAM, STAGEで出来上ったCADデータでは、CAMが直接できるわけではなく、モデリ

ング、CAM/CAD工程等のステップをこなさなければ、CAMにつながらないという事が御理解いただけたと思う。今後、これらの効果をステップとして、新規部品、生産型へと展開できるシステム作りに取り組んで行きたい。

最後に、UNICAD/SCULPTORの機能追加、拡張、改良について御尽力された日本ユニバック(株)本社開発部門、名古屋支店の方々ならびに、数々のトライ・アンド・エラーに御協力を頂いた社内関係部門の方々に感謝の意を表します。

図18 鋳造部モデル

部品の開発から大の工場に上り、CAD/CAM化される。これは、設計から加工までの一連の流れを、コンピュータ上で再現し、加工の工程を最適化する。これにより、加工の精度を高め、加工時間を短縮することができる。また、加工の工程を最適化することで、加工のコストを削減することができる。これは、加工の工程を最適化することで、加工の精度を高め、加工時間を短縮することができる。また、加工の工程を最適化することで、加工のコストを削減することができる。

工場/鋳造部	工場/機械部	加工/鋳造部	A
工場/鋳造部	工場/機械部	加工/鋳造部	B
工場/鋳造部	工場/機械部	加工/鋳造部	C



図21 鋳造部・機械部の加工部数