

高速高精度モックアップモデル造り技術の開発

Development of High-Speed and High-Precision Production Technology for Mock-up Models

岡田 充 弘*
Mitsuhiro OKADA

姉 川 総 一**
Soichi ANEKAWA

要 旨

モックアップモデルの NC 加工において、従来 3 軸加工が主体であった NC 加工に対して、開発日程短縮と高精度品質を目指した同時 5 軸加工技術と高速加工技術を開発した。従来の NC 加工の仕組みについて、インフラ、ハードとソフト、および加工技術を含めシステム全体の見直しを行った。そして、さらに CAD/CAM ソフトと NC 機側のハードをリンクさせた新しい仕組みを開発することにより、同時 5 軸 NC 加工と 3 軸高速加工が可能になった。それと同時に、高精度 NC データ供給の高速化も行なった。これら新しい造り技術の業務展開を可能にした結果、モックアップの NC 加工スピードは従来に比較して 5 倍に向上した。

ABSTRACT

Technologies for 5-axis machining and high-speed machining were developed with the objective of shortening development schedules and achieving higher-precision quality in NC machining of mock-up models than with conventional NC machining, which consists mainly of 3-axis machining. The conventional NC machining setup was subjected to overall review, including the infrastructure, hardware, software, and machining technology. A new setup that links CAD/CAM software with the NC hardware was then developed, making it possible to perform 5-axis NC machining and 3-axis high-speed machining. The delivery of high-precision NC data was also made faster at the same time. These new production technologies were made capable of operational deployment, and as a result the NC processing speed for mock-ups was increased by a factor of five over conventional methods.

1. はじめに

モックアップモデルの造り技術の開発は、フルスケールモデルを基本として NC 加工スピードと品質の向上、それらを達成するための加工技術の向上、技術者の育成を含めて進めてきた。

旧式の道具から最新式の道具に入れ替えるだけでも、道具の性能向上により効率を向上させることは可能だが、最新式の道具とコンピュータ技術、それを扱う技術者等、全体のバランスが崩れて、思った性能を発揮できない場合も想定される。目標を高く設定し、計画を充分練って実行することが必要である。

開発の目標として、NC 加工スピードの 3 倍高速化と 10 倍高精度化を定めた。この目標を達成するためにどのような

な課題があるかを具体的に検討した結果、高速高精度 NC 機が必要であり、さらに NC データ作成の高速化も必要な要件であることがわかった。

従来、デザイン面の形状は NC 加工後の手仕上げに頼っていたのでモックアップモデルでは CAD データが正確に確認できなかった。そのため確認モデルを製作する機会が多かった。

今回、モックアップの加工スピード向上のために高速化と高精度化にトライすることから始め、次に Fig. 1 に示す同時 5 軸加工技術によって 3 軸加工から同時 5 軸加工で加工することが可能になり、NC 機の性能向上による相乗効果も手伝って目標を達成することができた。その結果、確認用モデルを作ることなく CAD データをモックアップモデルで確認保証できるようになった。その成果と技術をここに紹介する。

* 和光研究所

** 栃木研究所

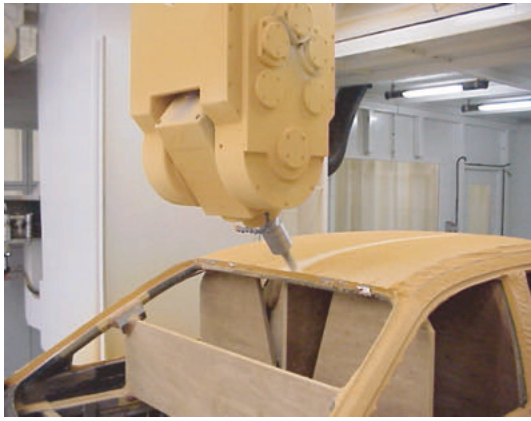


Fig. 1 View of 5-axis machining

2. 開発の目標

目標の NC 加工スピードの3倍速を達成させるための開発は、

- ・同時5軸高速高精度 NC 機の開発(ハード)
 - ・同時5軸 NC データ作成の開発 (ソフト)
- に大別される。

同時5軸高速高精度NC機の開発の具体的な目標要件は、

1. 荒加工時間の短縮 1/3
2. 仕上加工時間の短縮 1/3

同時5軸 NC データ作成の開発については、

1. 5軸加工ソフトの開発と実用化
3. NC データ作成時間の短縮 1/2

とし、これらの目標要件を達成することが重要課題である。

3. 同時5軸高速高精度 NC 機の開発

3.1. 仕様

NC 機のサイズは、フルスケールモックアップが1台分入る大きさのため、Fig. 2に示すようにZ軸が長く模型や小型機に比べ精度や加工条件が不利であるが、必要な精度を維持できる構造とした。同時5軸ヘッドは、この機械の重要なユニットであり、加工精度、剛性、加工速度を以前より向



Fig. 2 5-axis NC machine

上させた新設計のものを開発した。NC コントローラは、RTCP制御を前提に開発した。NC機の安定性と高速加工に絶え得る強度、加工時の共振を抑えるため、鋳鉄構造体を採用した。

スピンドルはビルトインタイプなので、高速回転対応等を考慮し、HSK テーバを採用した。

加工実速度は直線軸 20 m/min(回転軸は同期)を基本とし、耐久性は従来と同等、NC機の保守管理を充分考慮した仕様にした。またハード側の各回転軸のバックラッシュをゼロにする必要がある。各回転軸のスケールフィードバックでそれらの位置精度は保証されるが、工具先端部分の位置は精度保証されていないので誤差がゼロにならない。軸の座標反転時の数 μ mの誤差を無くすることが課題である。

3.2. RTCP と同時5軸 NC 機の動作

Fig. 3 に示すように、RTCP(Rotating Tool Center Point)の ON/OFF によって NC の動作が全く異なることが注意点である。以前はこの機能が無く RTCP/OFFの状態であった。NCデータ作成時のヘッドのシミュレーションと実際のNC機の動作が異なるので、データー作成にはそれなりの経験が必要である。当初、RTCP 導入直後は NC コントローラソフトの不具合が多くあったが、不具合を解消し現在は自動運転できるまでになった。NCデータ作成時のヘッドシミュレーションもリアルな表示になり、NC機の動作と一致することが出来るようになり、事前に確認することが可能になった。また NC 機の使用に関して、F 指令値は刃先の速度になるので、F 指令値よりも動作が早くなり、バランスの取れた速度制御が必要になる。

3.3. 同時5軸加工のテスト

同時5軸加工は、構造上可動部分が多いため、NC機メーカーの静的精度保証だけでは十分でなく、動的保証をトライ

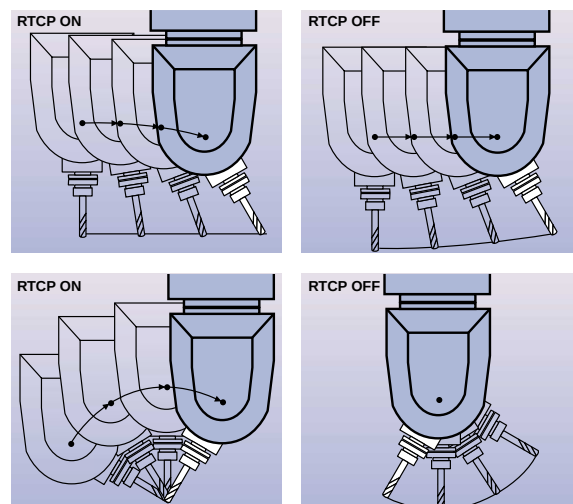


Fig. 3 Movement of RTCP on/off

アルの時点に十分にテストすることが重要であると考え、動的テストの方法は、NC機メーカー各社で統一されたものは無く、球面の加工、テーパコーンの加工、実際の製品での加工等が用いられている。

以前は同時5軸加工がまだ一般的でなかったため、試行錯誤の繰り返しであった。今回、RTCPのON/OFFの差異を確認した一対のサンプルをFig. 4に示す。このサンプルは測定が容易なように、平面を同時5軸で加工する仕様とした。これはNC機の組み立ての総合精度確認と同時5軸制御の動的基本動作、および同時5軸ヘッドと各軸の位置関係を確認する目的がある。

RTCPがOFFの場合Fig. 4に示すように、洗濯板状になってしまう。このテストピースは、表面を長手方向にB軸(C軸)を+45度から-45度に変化させ、ボール工具で形状加工したものである。

加工条件は以下の通りである。

- ・トレランス 0.005 mm
- ・加工ステップ 0.4 mm
- ・工具 $\phi 20$ ボールエンドミル
- ・回転数 10 000 rpm
- ・加工速度 1 500 mm/min

NCデータは全く同じデータを使用しているにもかかわらず、加工結果がNC機の制御のON/OFFの違いによって異なる点が特徴である。言うまでもなく、RTCP/ONの状態が基本である。但し、加工形状とNCデータの品質によっては、OFFの状態でも加工が可能なものもある。これらの加工結果をもとに計測を行ない、各XYZBC軸の静的位置精度とワーク形状誤差が発生していないかどうかを確認する。同時にNCコントローラーの同期調整も行ないながら動的動作も確認する。

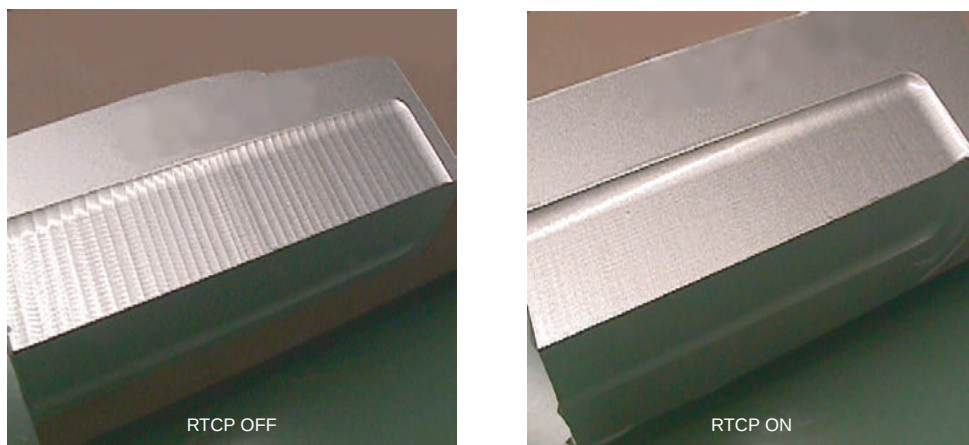


Fig. 4 Result of RTCP on/off

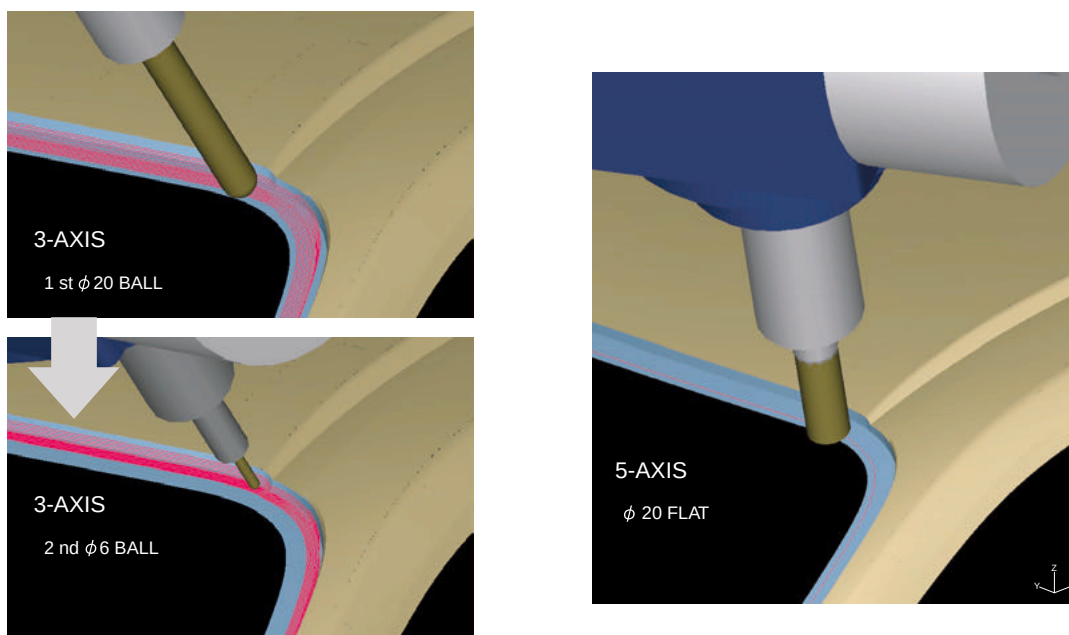


Fig. 5 Difference between 3-axis machining and 5-axis machining

この検査で不具合が出た場合、NC 機の組み立てに問題があるかどうか原因を究明し、同時5軸ヘッドの組み付けを再確認し、不具合を解決しなければならない。

次に、実際の形状加工を行ない各所の精度と動作を検証する。

このように、同時5軸 NC 機の精度保証は、導入時のトライアル期間に基本3軸以外に多くの時間を費やして調整する必要がある。

4. 同時5軸 NC データソフトの開発

4.1. 同時5軸 NC データ作成ソフトについて

現在市販されているパソコン CAM ソフトの多くは2軸、3軸加工に対しては十分な性能を発揮するが、固定5軸加工になると、使い勝手が悪くなったり、それ事体に対応していないものもある。更に、同時5軸加工の NC データ作成においては、機能が限定されていて、モックアップモデルの加工に適しているものが数少ない。そこで、モデル加工に適した開発を行なって同時5軸 NC データの作成を可能にした。

4.2. 同時5軸輪郭加工用 NC データの作成

従来のモックアップモデルはFig. 5のように、3軸のNC データをボールエンドミルで加工していた。この加工方法は、従来の NC 加工の主流であった。これはモックアップモデル加工では欠かせない機能である。ここでは Fig. 5 のようにウィンドウ部分の NC 加工プロセスの加工方法を比較して紹介する。

3軸加工方法は以下の通りの順序である。

- | | | | |
|-----|----------|------|------|
| 1工程 | φ 20 ボール | 荒 加工 | 複数パス |
| 2工程 | φ 20 ボール | 仕上加工 | 複数パス |
| 3工程 | φ 6 ボール | 荒 加工 | 複数パス |
| 4工程 | φ 6 ボール | 仕上加工 | 複数パス |

1工程から4工程は各々往復複数パスで加工するので、加工時間が長く、最小 3R の削り残しも発生してしまう。

同時5軸加工方法は下記の通りの順序である。

- | | | | |
|-----|-----------|------|------|
| 1工程 | φ 20 フラット | 荒加工 | 1本パス |
| 2工程 | φ 20 フラット | 仕上加工 | 1本パス |

結果として、工程が 1/2 になり加工時間が 1/3 に短縮された。更に、加工後の削り残しが無くなり加工品質も向上した。

このように同時5軸加工はフラットエンドミルを使うことが可能になるので、加工工程削減の革新的な方法であることが分かる。

その特徴は以下の通りである。

- ・加工時間短縮
- ・加工品質の向上
- ・工具費用の削減
- ・NC データ作成時間の削減(工程の削減)
- ・輪郭形状 CAD モデル作成時間の削減

近年、NC 機の高速高精度化によって早く加工することに対しては進歩が見られる。しかし、同じ加工速度でも、場所によっては同時5軸加工方法を取り入れた方が高速化よりも効果的であることが分かる。

4.3. 同時5軸面加工用 NC データの作成

同時5軸加工の機能の内、面加工機能も重要な機能の一つである。これは、デザイン面(複数の面)を面沿いにフラットやコーナラジラスエンドミルで加工出来る機能である。

通常は、同時5軸加工より3軸加工の方が確実に安定して加工出来る。しかし、モックアップモデルの場合は広い面をボールエンドミルで細かく高速に加工するよりも、同時5軸加工でコーナラジラスエンドミルで加工したほうが有利である。以前は、5軸面加工ソフトの不具合があり、削り残しが発生していた。フィレット形状部が Fig. 6 の左図に示すように品質が悪かったため、3軸加工で高速に細かく加工する方法しかなかった。それは NC データの加工方向にも影響するが、形状が変化する場所になると5軸NCデータの品質が悪くなると同時に5軸ヘッドの動作の変化も大

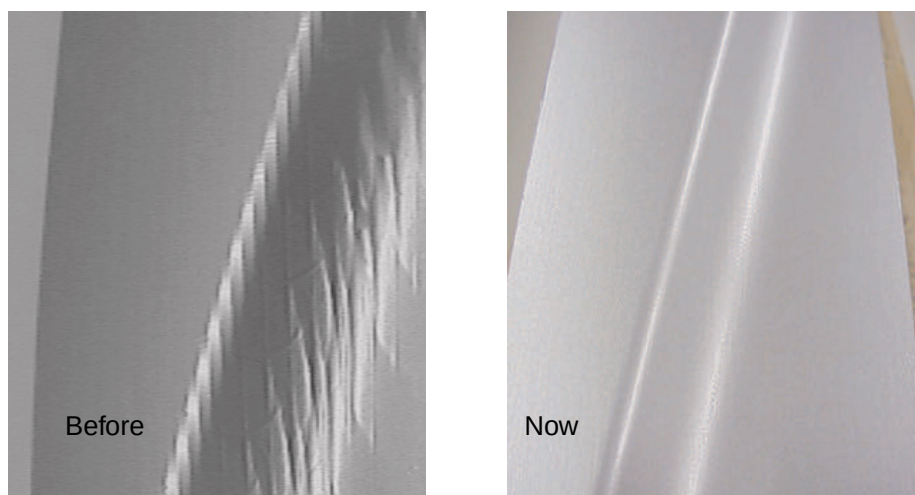


Fig. 6 Result of fillet on part using 5-axis machining

きくなる。この5軸ヘッドの変化を小さくすることにより、フィレット形状部の同時5軸面加工が可能になった。

Fig. 6 の加工条件は下記の通りである。

- ・トレランス 0.005 mm
- ・加工ステップ 基本設定 2 mm
- ・工具 ϕ 20 R3 コーナーラジアスエンドミル
- ・加工方向 以前－ 軸方向+固定ステップ
現在－ 面沿い方向+可変ステップ

このように可変ステップによる効果が品質に現れていることが分かる。

4.4. 共同開発で達成した新機能

加工ステップが一定の同時5軸 NC データ場合、Fig. 7 のように形状が変化する場所に削り残しが発生する。それを解消するために、Fig. 8のような可変ステップ加工が必要になる。同時5軸加工でフラットエンドミルを使用する場合は特に重要な機能である。この機能は、「コンスタントスキャロップハイト」と呼び、高品質なデザイン面を高品質で加工する機能として必要なものである。この機能を5軸の姿勢変化制御と組み合わせて開発した。

従来3軸加工ボールエンドミルの場合はFig. 9のように加工ステップを細かくし、削り残し量をスキャロップハイトで0.005 mm以下に設定されていれば、ほぼ高品質な表面精度が得られる。この原理を5軸に利用したものである。

具体例として、この同時5軸加工をルーフ部分で適用し

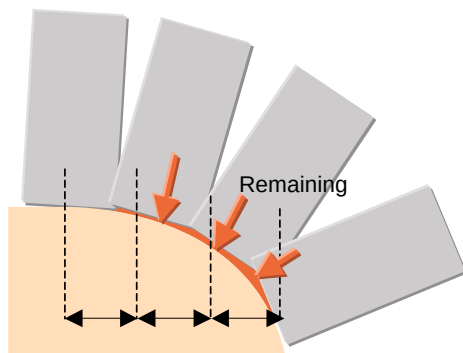


Fig. 7 Constant step over 5mm

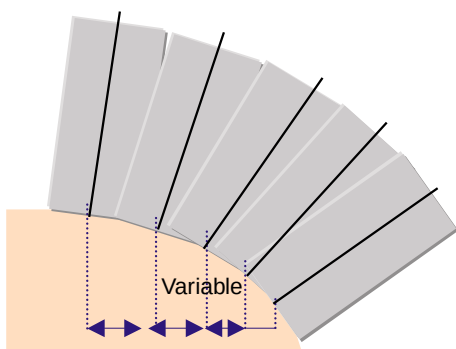


Fig. 8 Variable step over 3-7mm

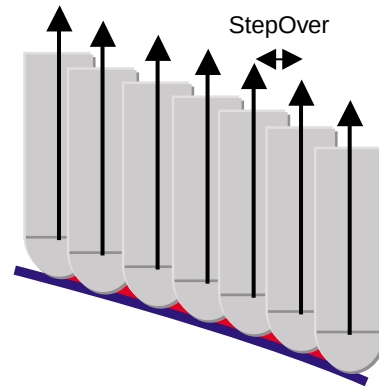


Fig. 9 3-axis milling with step over 0.77mm

た時のシミュレーションをFig. 10に示す。5軸ヘッド部分の表示と回転軸のシミュレーションによって、最適 NC データの作成が容易である。この場合は、5軸ヘッドの干渉は殆ど発生しないが、複雑な形状になるとこの表示が大変有効である。この時の加工条件は下記の通りである。

- ・トレランス 0.005 mm
- ・加工ステップ スキャロップハイト 0.005 mm にて指定
- ・工具 ϕ 40 フラットエンドミル
- ・加工方向 面沿い方向+可変ステップ
- ・加工速度 20 m/min

ルーフのようななだらかなデザイン面で、加工面積が広い場合は、同時5軸加工には最適な形状である。大きなフラットエンドミルが使えるため3軸加工と比較した場合、加工時間を1/10に短縮できた。また、品質についても加工結果をFig. 11に示すように、左側の5軸加工面と右側の3軸加工面では加工方法の違いによる品質の差が分かる。しかしながら、データ作成時間の短縮については削減が難しい。NCパス計算は早いですが、5軸加工用NCデータのシミュレーションでのチェックは5軸ヘッドの動作もチェックしなければならないので3軸加工の時よりも時間がかかる。

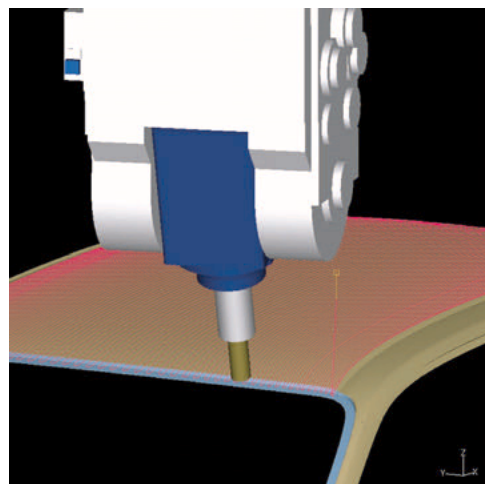


Fig. 10 Simulation by 5-axis machining with flat endmill

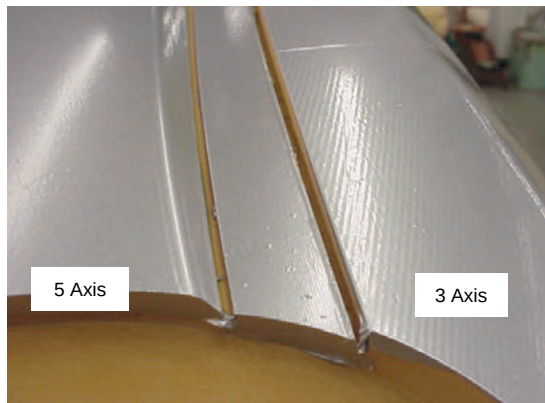


Fig. 11 Difference between 5-axis machining and 3-axis machining

参考にボールエンドミルの場合の加工条件は下記の通りである。

- ・トレランス 0.005 mm
- ・加工ステップ 0.65 mm
- ・工具 $\phi 30$ ボールエンドミル
- ・加工方向 X軸方向 (加工軸 45 度傾斜)
- ・加工速度 30 m/min

参考に同時5軸加工後のルーフ全体の形状を Fig. 12 示す。

3軸加工面に比較して5軸加工面は蛍光灯のハイライトもはっきりと光って良く見える。加工面品質の良いことが分かる。

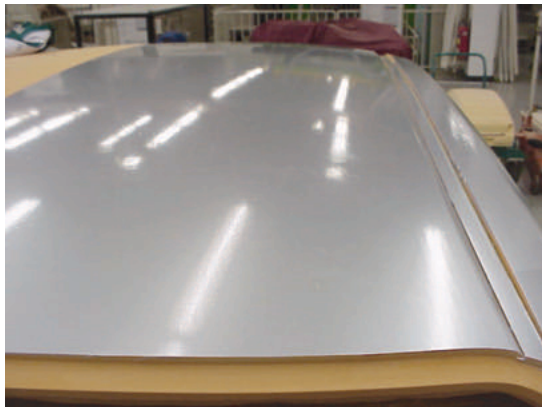


Fig. 12 Result of 5-axis machining

5. 開発の成果

本テーマの目標要件に対して、その結果は次の通りである。

加工時間の短縮の施策に対して、荒加工時間、NC データ作成時間および仕上加工時間はそれぞれの目標を達成した。あわせて同時5軸加工ソフトの開発と実用化も達成し、全ての項目を達成した。とくに、同時5軸加工技術開発は、加工スピードを追求するだけでなく加工方法を工夫することで加工時間が削減できることがわかり、それ同時に加工

品質も改善できることが確認できた。

以上の結果により、目標の3倍高速化に対して、目標を大巾に上回る5倍の高速化を達成した。

6. まとめ

モックアップモデルの NC 加工において、従来3軸加工が主体であった NC 加工に対して、同時5軸加工技術を核技術として開発を行ってきた。この分野では、ソフト・ハード共に汎用性のある加工技術がまだ少なく、独自の技術で造り込みを行なった。

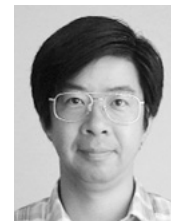
その結果、同時5軸 NC 加工技術の実用展開が出来るようになり、3軸加工の高速化による相乗効果も加わり加工時間が短縮できた。さらに、NC データの供給については、シミュレーションで確認された品質の良い NC データをタイムリーに供給できる仕組みを構築した。これらの新しい造り技術の展開によって、モックアップモデルの NC 加工スピードを5倍高速化することができた。

この新技術を完成するにあたり、内外の多くの人達の多大なるご協力をいただき感謝いたします。

■ 著 者 ■



岡田 充 弘



姉 川 総 一