

論文・解説

34

## 金型加工における機械加工時間短縮 Machining Time Reduction in Die Manufacturing

大田 敦史\*<sup>1</sup> 西本 光毅\*<sup>2</sup> 井筒 幸雄\*<sup>3</sup>  
Atsushi Ohta Mitsuki Nishimoto Yukio Izutsu

### 要 約

プレス金型設計・製作では、機械加工後の磨き・調整などの職人技に依存しない金型造りを目指している。これまで、機械加工の高精度化により磨き・調整作業は大幅に削減された。しかし、高精度化の取り組みは機械加工時間を増加させ、更なる低コスト化、期間短縮等の要求に応える上で大きな課題となっている。

そこで、機械加工途中の現場作業による調整がなく、加工時間短縮を目的として、平均送り速度を向上させる高速加工技術の開発に取り組んだ。特に、加工途中の工具破損、送り速度調整の要因となっていた一定送り速度による加工に対して、工具の一刃にかかる切削量が常に一定となる可変送り速度制御技術を開発し、従来に比べ平均送り速度を大幅に向上させることができた。

### Summary

In designing and manufacturing stamping dies, we aim to establish a manufacturing process independent of craftsman work, such as polishing and adjustment after machining. The attainment of high machining accuracy has so far dramatically eliminated most polishing and adjustment work. The high accuracy machining, however, has increased machining time, which has become a bottleneck in responding to the needs of further cost reduction and shorter time to the market.

Our purpose is, therefore, to shorten the machining time without need for feed rate adjustment by machine operators. For this purpose, we have developed the technology of improving average cutting speed, and more particularly the cutting feed rate variable control which can attain a constant cutting load, as compared to the constant cutting feed rate which causes tool breakage due to a change in the cutting load. Finally we increased the average cutting speed dramatically. This paper reports how we have attained machining time reduction in die manufacture.

### 1. はじめに

自動車製造各社は、新車開発期間の短縮に取り組んでおり、自動車パネル用プレス金型においても、金型製作期間の短縮が強く求められている。この要求に応えるため、技術革新を積み重ね、金型製作はその姿を「職人の技による造り込み」から「精密加工と数値保証組み立て」へと変わりつつある。

金型製作は、型のベースになる鋳物などを機械加工で削り、組み立てるといった工程から成り立っている。この中に

は、労力を必要とする機械加工後の型磨き、上下型組み付けによるクリアランス調整などの職人技が必要とされてきた。しかし、高度な技能を持つ職人の育成には、多大な時間を必要とするものであった。

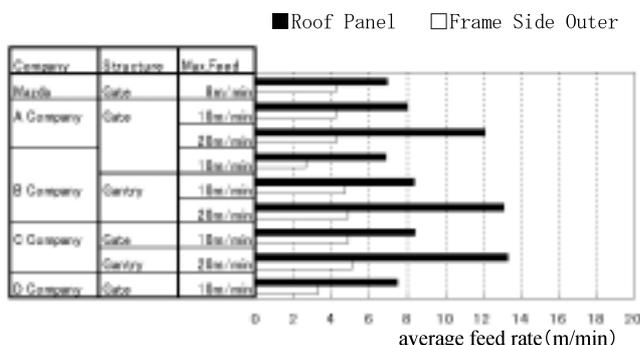
そこで、職人技を最小限とした型造りを追究するために機械加工精度を画期的に向上させ、加工のみで必要精度を満足させる、そして、加工面の精度を生かした型を組み立てる方法に変えることで磨き・調整作業を削減してきたのがこれまでの取り組みである (Fig.1)。

\*1~3 車体技術部  
Body Production Engineering Dept.



Fig.1 High Precision Surface Machining

Table 1 Comparison of Average Feed Rate



しかしながら、この機械加工精度の追究は、緻密な切削や切削に必要なNCデータ量の増大を伴い機械加工時間が増大する結果となった。従って、新しい金型造りの実現のためには、機械加工時間を大幅に削減できる高速加工の実現が重要な課題となっている。

## 2. 高速加工の考え方

当社では、加工を早く終わらせることを高速加工の目的としている。近年、最高送り速度が20m/minを超える大型NC加工機が登場する中、自動車プレス部品の中で最大級であるサイドフレームアウトや比較的形状が複雑な内板部品では、Table 1に示すように、各社新鋭機を最高指示送り速度で加工しても全体の切削距離を実加工時間で割った値である平均送り速度はほとんど上がっていない<sup>(1)</sup>。

しかも、このような高速加工機の効果を得やすい金型全体の仕上げ加工の割合は4割程度である (Fig.2)。残り6割は金型全体の荒加工、隅部の小径工具による加工で占めているが、これらの加工は高速加工機使用時でも極めて平均送り速度が低いことがわかる (Fig.3)。

一方、常に新鋭機への更新、新規導入することは投資負担が大きく、また、現在の新鋭機もいずれ時代遅れとなるため旧式機の有効活用による生産性向上も求められている。

よって当社では、現有設備を使いきることを、そして次世代の設備を使いきる技術を開発していくことを重視し、平均送り速度を向上させることを目指している。

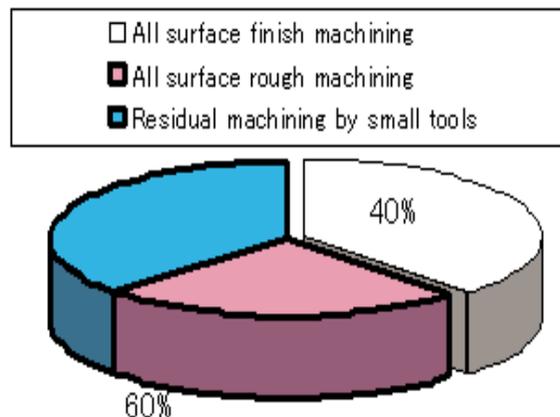


Fig.2 Rate of Machining Time

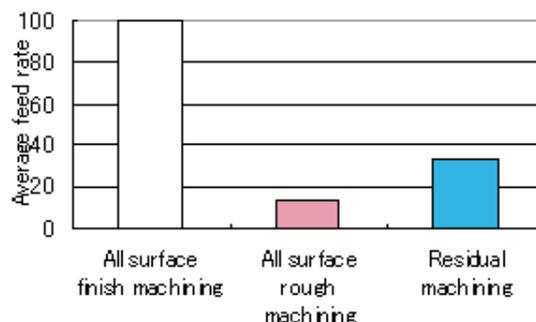


Fig.3 Comparison of Average Feed Rate Classified by Machining Process

## 3. 加工現場の実態と課題

自動車ボデー生産のためのプレス金型は、その多くが自由曲面で構成されているため凹凸によって切削量が変動しやすい。特に、小径工具を必要とする凹コーナー部においては急激な切削量変動が発生し、速くかつ一定送り速度の加工では、工具のチッピング、折損が発生して加工機の連続稼働を妨げていた。Fig.4は一定送り速度で加工を行った場合の切削荷変動を表しているが、NC加工機の減速制御によってコーナー部の実送り速度が平坦部の1/10以下になっているにもかかわらず、切削荷は10倍に急増していることがわかる。

そのため、切削量が急変する加工では、通常、経験則に基づき最悪の条件で遅くかつ一定の送り速度を指令せざるを得ない。また、場合によってはNCデータの指令値通りでは加工機を動かさない。つまり、加工機の制御だけでは不十分で、作業者の判断を頼りに加工音や工具の振れ方によって送り速度調整を行うため過剰な減速を与えてしまう。このように、加工現場には未だ現状設備でさえ使い切れていない実態が多く存在している。

一方、加工機の主軸負荷を電流などで検知しフィードバック制御で送り速度を可変する方法も知られている。しか

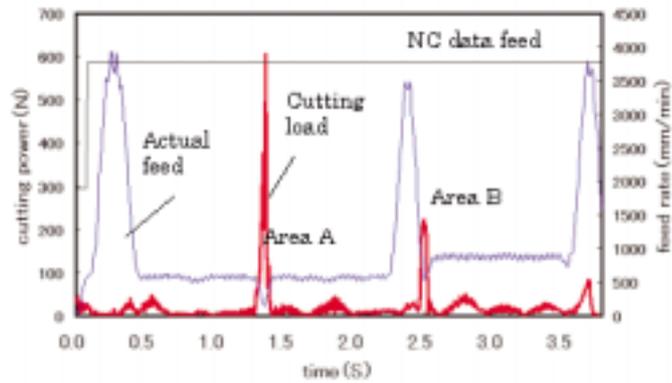
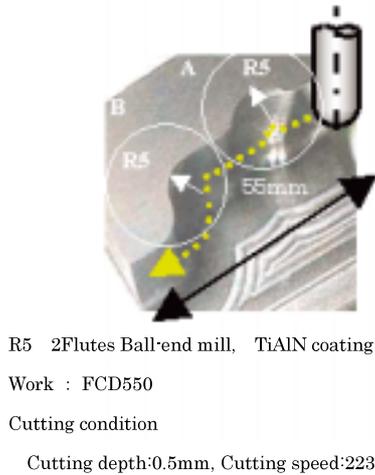


Fig.4 Cutting Load in Constant Feed Rate

し、比較的低切り込みの仕上げ加工では、負荷変動を検知しにくくこれを適用できる切削工程は限定される。

これらのことから、平均送り速度を向上させるためには、加工前に切削量変動を認知して安定させて速く削ることが可能な送り速度可変制御が重要と考えた。

#### 4. 開発技術

以上のことから、NC加工機を動かすNCデータによる送り速度可変制御の開発に取り組んだ。加えて、送り速度可変制御の効果を発揮するための切削工具選択、ツールパス適正化など周辺技術の開発も同時に取り組んできた。

##### 4.1 切削量変動に強い最適ツーリングの選択

切削工具の突き出し長Lと工具径Dの比(L/D)が小さいほど高速加工に適している。特に、小径工具による切削ではL/Dは重要な項目である。

ツールパス作成の簡易性から一旦全てのツールパスを計算し、そのツールパスに応じた工具長の自動設定を行う。また、決定された工具長が切削に適さない場合は、Fig.5のように1つのツールパスを分割して工具長を再決定する。

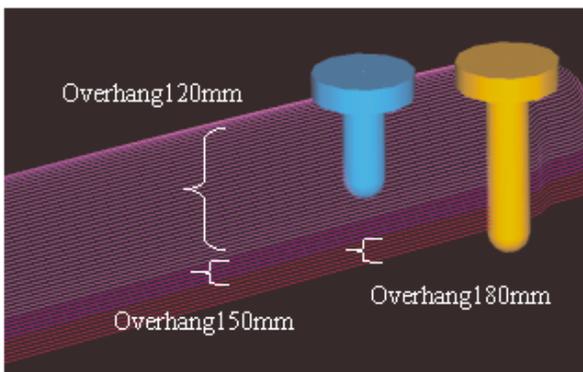


Fig.5 Tool Path Division by Tool Overhang

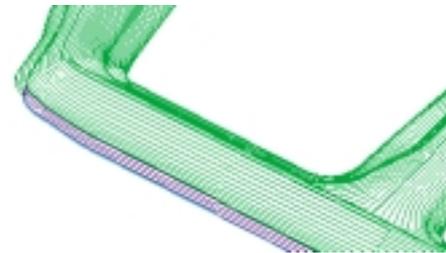


Fig.6 Machining Along Surface

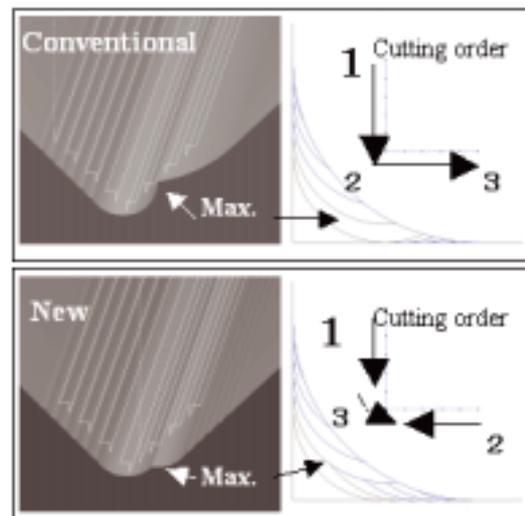


Fig.7 Maximum Cutting Volume in Concave Corner

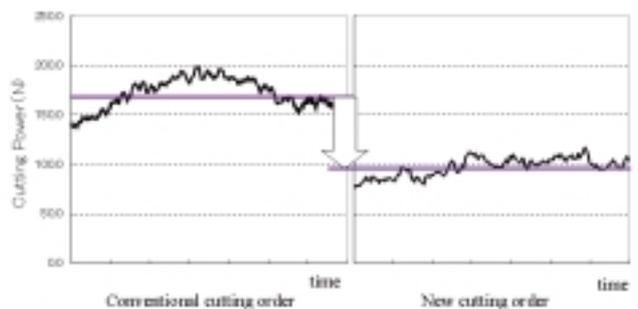


Fig.8 Decreasing Cutting Load by Cutting Order

4.2 切削量変動が少ない加工方法の設定

工具進行方向に対して切削量が急変することを防止するために、自由曲面の形状でもFig.6のような等高線に近い形状沿い加工を行う。この加工法は、加工機の減速制御も少なく高速加工に適している。

4.3 最大切削量が少ない加工順序の設定

切削条件が最悪となる最大切削量を削減できればより速く加工できる。そこで、凹コーナ部加工では、Fig.7のようにユニークな三分割外追い込み加工を行って最大切削量を削減する。Fig.8は、加工順序の違いによって切削負荷の最大値も半減できることを示しており、切削順序適正化が有効であることがわかる。

4.4 送り速度可変制御技術の開発

更に送り速度向上のためには、切削量を一定にした送り速度設定が重要であり、以下の方法で対応している。

適切な送り速度を求めるためには、切削負荷を評価して設定するべきである。しかしながら、CADデータ、ツールパスなどから切削負荷を直接算出することは技術的にも計算時間的にも難しいため、切削負荷と強い相関のある切削体積で代替し計算を簡素化した。工具一刃当たりで削り取る体積をどの場所でも同一にできるように、切削量を求めながら切削量が一定となる送り速度を逆算することが特徴である。

しかしながら、連続的に送り速度を変化させると加工機への指令数が多くなり、比較的高速域においては処理回数が増大によって逆に加工機の減速がかかる場合があるため送り速度指令数をある程度まとめる処理が必要となる。そこで、送り速度変化率を一定に与えることでこの変動範囲内では送り速度をある値にまとめ、高速域はより速い速度で、切削負荷変動が大きい低速域はよりきめ細かい送り速度が設定できるようにした (Fig.9上図)。

一刃一定体積とするための体積評価は、NCデータの構成点間を1mmごとに分割して行い、10mm間で11個の送り

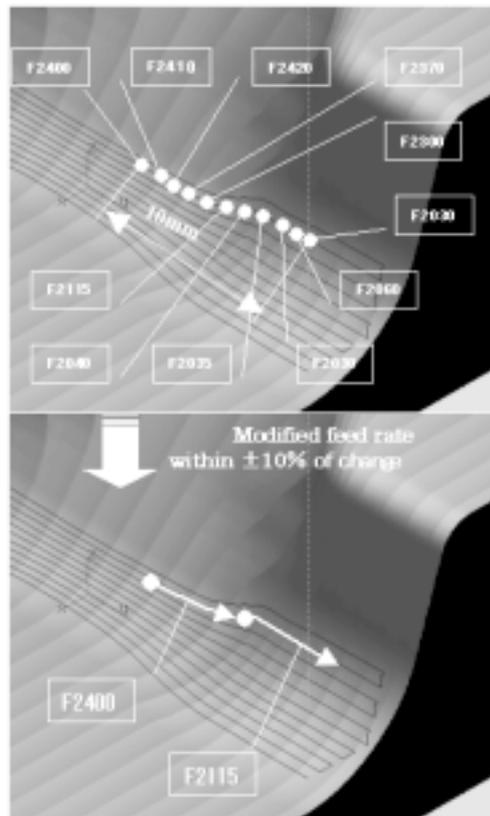
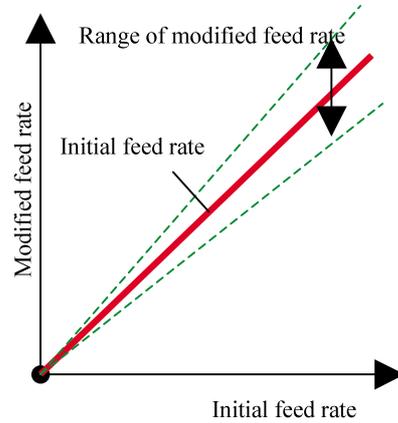


Fig.9 Smoothing of Feed Rate



R5 2 Flutes Ball-end mill, TiAlN coating, Length 60mm  
 Work : FCD550  
 Cutting condition  
 Cutting depth:0.5~1.5mm, Cutting speed:223m/min

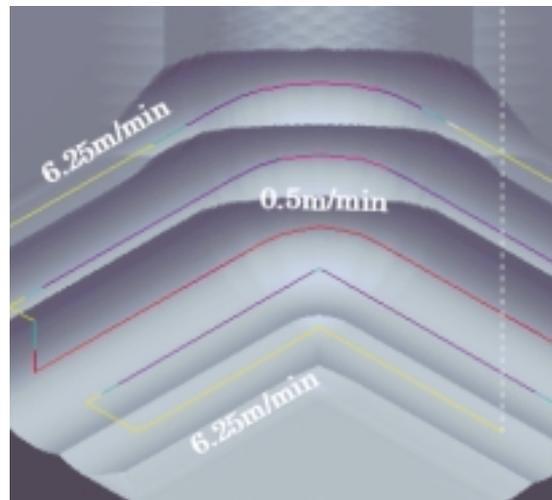


Fig.10 Result of Feed Rate Variable Control

速度指示が算出される。これを2個の指示に集約した事例をあげている (Fig.9下図)。

#### 4.5 接触面積を評価した送り速度制御

工具の一刃で削る体積を一定にすることが基本であるが、金型形状によってはU字溝形状が存在し、このような形状の場合は工具の両刃当たりとなって切削条件が悪化する。そこで、ワークとの接触面が工具刃全体のどれくらいを占めているかを判断して適切な減速をかけている。

### 5. 適用事例紹介

送り速度可変制御の適用事例を紹介する。フロントフェンダのプレス金型における凹コーナ部での小径工具による切削事例をFig.10に示す。

NCデータの送り速度設定値はFig.10の右図のように切削量に応じて変化させることが可能となっている。従来、凹コーナ部全体を0.5m/min以下の一定送り速度で加工したものが、切削量の少ない範囲は6m/min以上、切削量の最も多いコーナ中心部のみ0.5m/minの低い送り速度で可変制御している。その結果、平均送り速度は3倍以上向上でき機械加工時間短縮に結びついた (Fig.11)。

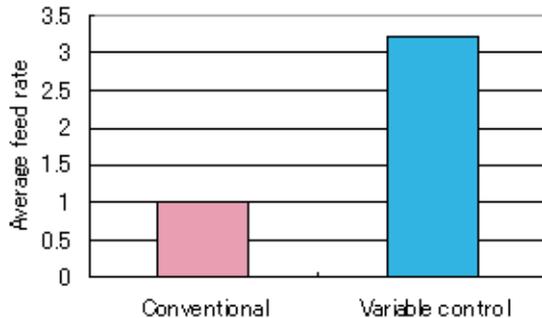


Fig.11 Comparison of Average Feed Rate

### 6. まとめ

現在のNC加工機のCNC制御装置だけでは、機械能力を有効活用することは困難であった。そこで、NCデータによる切削量を考慮した可変送り速度制御によって、新旧NC加工機能力に合わせた切削条件を設定することで設備によらず平均送り速度を向上させることができた。そして、安定した加工によって人による調整を不要とし無人加工の実現にもつながった。

また、製造業、特に金型製造業発展のために、この技術を有効活用する目的でCAMソフトウェアとして社外展開を行い多くの金型メーカーで採用されつつある。今後も、日本の製造業発展に貢献する技術にしていきたい。

### 参考文献

- (1) 西山為裕ほか：99年から21世紀を見据えた高速・高能率加工の狙い，型技術，Vol.14，No.1，p.44-49 (1999)

#### 著者



大田敦史



西本光毅



井筒幸雄