

切削負荷解析による送り速度の最適化と自動化システムの開発

Optimization of Feed Rate through Cutting Load Analysis and Development of an Automated System

森 拓也^{*1} 辻井 徹^{*1}

Takuya Mori Toru Tsuji

*1 コンプレッサ事業部 アルミ技術部

1 はじめに

金型は一点物であることが多く、またその出来栄が製品の品質や性能に影響を及ぼすことから高い精度が要求され、かつては機械加工やミガキ、組付け作業を行う高度な熟練技能者の手に頼った金型づくりが行われていた。

それが現在はCAD/CAM(Computer Aided Design/Manufacturing)の登場と進歩(2次元から3次元データへの推移)、工作機械や測定機の精度向上・高度化、設計から製造にまでのプロセスを統合するソフトウェアによる効率化、といった技術革新によりIT化・自動化が進んでいる。

当社でも、2010年ごろから製品設計部門と金型製作部門が連携したIT化を進めており、金型製造の各セクションにデジタルツールを導入し連携させ、プロセス全体を効率化し、生産性向上・リードタイム短縮に貢献してきた。

	従来	現在
日程、生産管理	手書き帳票(エクセル)	システム化(ソフト/BIツール) (Business Intelligence)
金型設計	図面設計(3次元CAD) (CAD:Computer Aided Design)	モデル設計(3次元CAD) (CAD:Computer Aided Design)
加工データ作成	手動作成(3次元CAM) (CAM:Computer Aided Manufacturing)	データ連携自動作成(3次元CAM) (CAM:Computer Aided Manufacturing)
機械加工	3軸制御	5軸制御
計測	3次元測定(図面)	3次元/非接触測定(3次元モデル)

図1 金型におけるデジタル化の推移
Fig.1 Transition to Digitalization in Mold

1.1 電動コンプレッサ用金型の需要の変化

電気自動車等の電動車の普及に伴い、自動車開発のスピード感が高まっている。コンプレッサ事業部においても車両メーカーからは一層の短納期開発の要求があり、金型加工現場においてもより早く金型を供給することが求められるようになって

きている。しかしながら、電動車に搭載されるモータ駆動式のコンプレッサ(以下、電動コンプレッサ)はモータを内蔵していることからコンプレッサ自体が大型化しており、ハウジングの金型も大型化、複雑化することで金型の加工時間が増加する傾向にある。

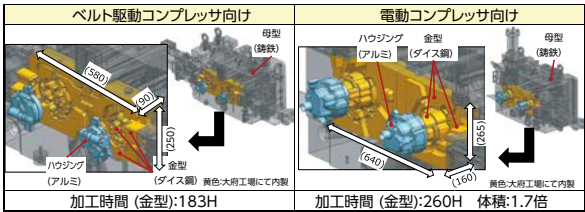


図2 ハウジングと金型の比較
Fig.2 Comparison of Housing and Molds for Compressors

2 切削負荷解析と加工時間短縮

2.1 金型加工について

金型加工は大量生産と比較し、以下のような特徴がある。

- ・一点物かつ多品種
- ・被削性が悪く、加工が困難な材料を使用
- ・金属ブロックから必要な形状を切削する。総削り出し加工(図3)

表1 大量生産と金型加工の比較
Table1 Mass Production and Mold Manufacturing

特徴	設備	機種	材質	加工方法
ハウジング加工 (大量生産)		専用機	アルミ (主にADC12)	部分加工
金型加工 (一点物)		汎用機	熱間工具鋼 (SKD61)	総削り出し
		多品種	加工しにくい	



図3 総削り出し加工のイメージ
Fig.3 Machining by cutting away material

2.2 切削負荷解析ソフト導入の背景

金型加工における加工時間短縮のアイテムとして、以下の3つが挙げられる。

- 1) 焼き入れ前工程での荒取り範囲を増やす
→焼き入れ前に正確な3次元モデルと加工プログラムが必要となり、設計者と加工プログラム作成者の工数が増加。
- 2) 切削工具の大径化
→切削時の熱の影響によるひずみや溝部の多い部品では適用できない等、適用範囲が限定的。
- 3) 送り速度(工具の移動速度)の高速度化
→切削形状や突出し量に合わせた条件選定が必要。不適切な場合、工具破損が発生し刃具費が増加。

近年、切削負荷解析による送り速度の最適化が実用化されたことを受けて、3)の送り速度の高速度化による加工時間短縮に取り組んだ。

2.3 送り速度の現状と課題

金型加工では、刃具と被削材と多点での接触を伴う、高負荷部(図4)に合わせて送り速度を調整している。

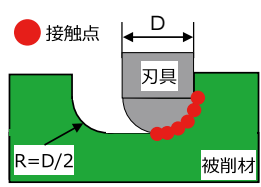


図4.高負荷部イメージ
Fig.4 High Force Area

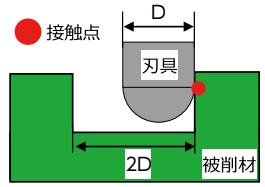


図5.低負荷部イメージ
Fig.5 Low Force Area

その結果、負荷が低い安定区域(図5)であっても、不必要に速度を落として加工している状況である(制限速度が80km/hの高速道路を先の方にカーブがあるからと60km/hで走り続けるようなもの)。

実際には、切削負荷がピークに達するのは加工全体のごく一部(図6上、Point A～D)であるた

め、図7の「Ideal」のように、送り速度を落として高負荷部(Point A～D)を加工し、残りは高速で加工することができれば、全体の平均送り速度は上昇させて加工時間短縮に繋げることができる。

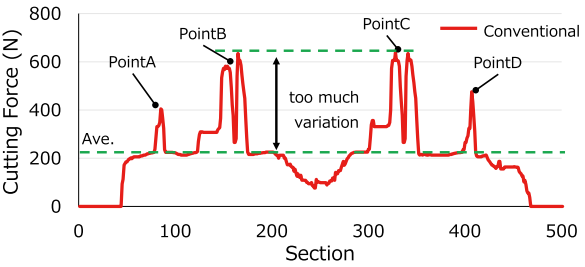


図6 切削負荷グラフ
Fig.6 Cutting Load Graph

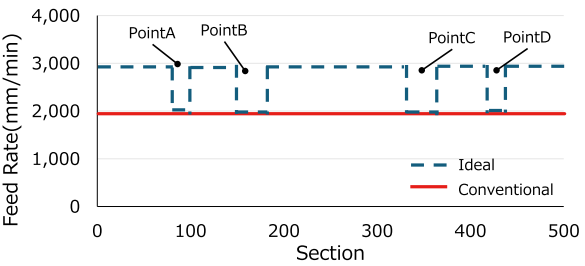


図7 送り速度の現状と理想
Fig.7 Current Status and Ideal of Feed Rate

2.4 切削負荷解析による送り速度の最適化

現状のCAMでは、送り速度は一定値だが、近年加工プログラムに基づき切削負荷を解析し、送り速度を変動させ負荷を均一にする技術が登場した。

表2 従来と切削負荷解析による最適化の比較
Table2 With and Without Optimization

	切削負荷	送り速度	負荷変動
従来NCデータ (負荷解析無し)	高い↑ 低い↓	常に一定	大
最適化NCデータ (負荷解析有り)	高い↑ 低い↓	遅く(負荷減)↓ 速く(負荷増)↑	小

切削負荷解析による加工プログラムの最適化を実施すると、図8、図9の赤線から青線のように最適化される。

切削負荷のしきい値を超えると送り速度を減速させて切削負荷を低減、切削負荷がしきい値以下の場合には送り速度を加速させて切削負荷がしきい値に近づくよう調整する。

これにより切削負荷の変動を小さくし、送り速度の平均値を上昇させることができる。

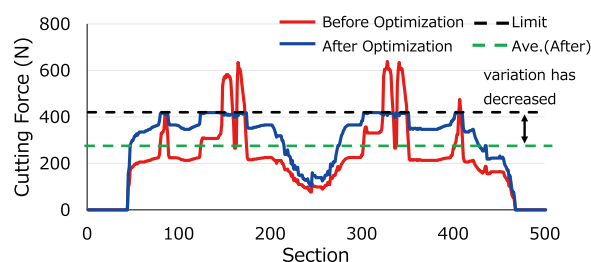


図8 最適化前後の切削負荷
Fig.8 Cutting Load Before and After Optimization

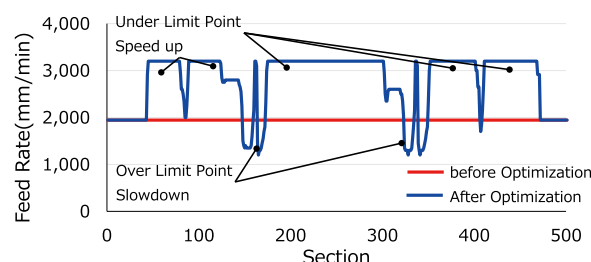


図9 最適化前後の送り速度
Fig.9 Feed Rate Before and After Optimization

加工時間を比較すると、最適化前の加工プログラムでは1個当たり約55.7時間かかっていたところ、最適化後は約47.3時間まで短縮できた(約15%削減)。

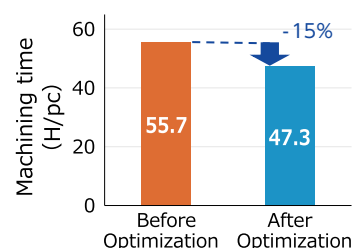


図10 切削負荷最適化による加工時間比較
Fig.10 Comparison of Machining Time

また、加工時間を約15%低減するように送り速度を上昇させても、刃先の摩耗は最適化前後で程度となった(図11、12)。

これは、切削負荷の変動が少なくなったことや高負荷部では送り速度をしっかりと減速できていることが要因として考えられる。



図11 刃先摩耗(最適化前)
Fig.11 Tool Tip (Before)



図12 刃先摩耗(最適化後)
Fig.12 Tool Tip (After)

3 解析作業自動化の取り組み

3.1 切削負荷解析導入における課題

加工時間の短縮に活用できる切削負荷解析だが、以下のような課題がある。

- 1) 金型部品毎の切削負荷解析
→解析する形状と刃具の組み合わせによって切削負荷が変動するため、部品毎の解析が推奨される。
- 2) 切削負荷のしきい値の調整
→最適化後に刃具欠損が多発する場合、しきい値の調整が必要だが、一点物である金型では調整が困難。
- 3) 作業工程の増加
→導入前後で比較すると切削負荷の解析と最適化工程が追加(図13)になり、NC作成者の負担が増加。
- 4) 切削負荷解析ソフトのライセンス数の不足
→解析時間が最大2時間(部品当たり)程度必要。全ての金型に適用するにはライセンス数が不足。

これらの課題に対して、表3のような対策を行った。

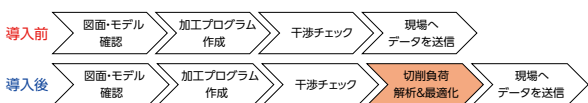


図13 負荷解析導入前後の加工プログラム作成フロー
Fig.13 Comparison of Programming Workflows

表3 切削負荷解析導入における課題と対策
Table3 Challenges and Countermeasures

No.	課題	対策
1)	しきい値の選定(加工部品毎)	類似形状の金型を解析・データベース化
2)	しきい値の調整	※コンプレッサ用金型に特化しているため
3)	作業工程の増加	事前準備の効率化ツールの開発 ※(株)JTIS共同開発
4)	ライセンス数の不足	自動化システムの開発

3.2 ITツールの選択背景

近年のデジタル化の流れにより、ITツールが多様化し、高度な専門知識を必要とせずに扱えるものも登場しており、シンプルなツールやChatbotを用いて、業務効率を向上させる開発が可能になった。

ただし効果的なツール選定には、各ツールの特性を理解し、求められる機能を満たすものを選ぶことが重要である。

例えば、切削負荷解析ソフトの設定ファイルは

テキストベースのため、事前準備の効率化は開発難易度が低いExcel(マクロ)を選定。

一方自動化ツールは、切削負荷解析と最適化以降の作業の自動化も視野に入れて、Pythonを選定した。

Pythonは、汎用性の高いプログラミング言語であり、ライブラリが豊富なため開発がしやすいという特徴がある。

表4に示すツールのうち、上記2つは他のツールでも開発可能だが、RPAは実装の難易度が高く、費用も高額になるため今回は除外した。

表4 ITツールの選定
Table4 Selection of IT Tools

ツールの検討	評価		
	品質	コスト	納期
Excel (マクロ)	○	○	○
Python	○	○	△
RPA	△	×	×

RPA(Robotic Process Automation)

3.3 事前準備の効率化ツール

1) ツーリング設定ファイルの作成ツール

従来は、作業者が加工指示書(Excelファイル)を参照し、ライブラリから選んだ刃具やホルダを一つずつ選択して手動でツーリング設定ファイルを作成していた。

一本のツーリング設定には約1分必要であり、数十本の刃具を使用する金型加工の場合、設定ファイル作成には40~80分を要していた。

これを解決するために、加工指示書の情報をライブラリと連携させるマクロを開発し、ツーリング設定ファイルの自動生成を実現し、作業時間を数秒に短縮させた。

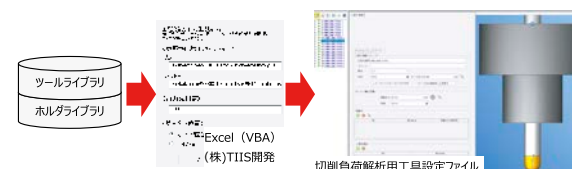


図14 ツーリング設定ファイルの作成ツール
Fig.14 Tool for Creating Tooling Setup Files

2) 切削負荷解析の設定ファイルの作成ツール

従来は、切削負荷解析ソフトの操作画面を介してマシン、3次元モデル、座標系、加工プログラム等の設定が必要で、一部品あたり12分の時間がかかっていた。

ソフトウェアのライセンスが不足すると、設定のための待機時間が生じるうえに、解析開始にはユーザによる操作が必要なため、翌日に持ち越すこともあった。

本ツールでは専用のExcelフォーマットから切削負荷解析の設定ファイルを生成させる。

ファイル名にルールを設けることで自動作成も可能になり、1部品あたり1分で作成できるようになった。

これにより切削負荷解析ソフトを立ち上げることなく準備作業ができるようになった。

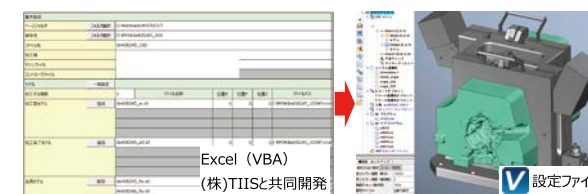


図15 切削負荷解析の設定ファイルの作成ツール
Fig.15 Tool for Creating Simulation Configuration

3.4 自動解析システム

1) 切削負荷解析と最適化の自動化システム

切削負荷解析と最適化の導入によって、作業者の工数とライセンス数の不足が問題となっていた。

これを解決するため、切削負荷解析ソフトのスクリプトコマンド機能に注目し、タスクスケジューラとPythonを使用して“複数の切削負荷解析と最適化処理を自動で実行するシステム”を開発した(図16)。

これにより、従来は手動で開始する必要があった解析開始を無人化し、夜間の無人となる時間帯を活用することでライセンス数不足の問題を解消した。

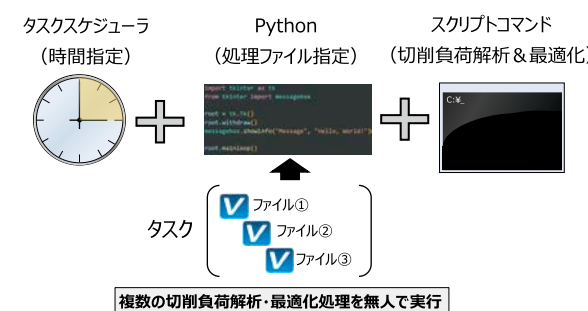


図16 切削負荷解析と最適化の自動化システム
Fig.16 Automated System for Cutting Force Analysis

3.5 効率化ツール開発による効果

前述のITツール導入によって、切削負荷解析により増加した工数を92%以下に抑えることができた。

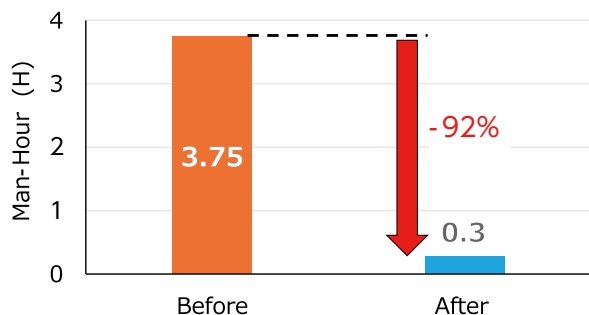


図17 効率化ツール開発による効果
Fig.17 Effects of Developing Efficiency Tools

4 まとめ

切削負荷解析による送り速度最適化によって、複雑な形状の金型であっても、切削負荷に合わせた送り速度でNCデータを提供することができるようになった。

しかし、加工プログラム作成者の負担は増加してしまうため、実際に使用する人に寄り添ったアプリケーション開発を行い、工数増加による負担軽減に取り組んだ。

今回紹介した効率化ツールはいずれも市民開発によるもので、このような取り組みが活発化してきたのは、ITデジタル推進部によるデジタル人材育成教育が各部門の担当者にまで波及してきたことが大きい。

非IT人材がデジタルツールという武器を手に入れることで、業務改善・効率化の提案や実現スピードが大幅に向上できると考えている。

■著者紹介■



森 拓也

辻井 徹