

# ユーザー事例: Contour Aerospace

## (コンター・エアロスペース)

Modern Machine Shop Magazine (2000 年 7 月)

### ツールパスの検証と最適化の事例

CAMとCNCとの間で働くソフトウェアの潜在的な価値を  
まったく異なる2つの工場で例証する

By JEFF WERNER  
CGTech

経費を減らし効率を増やしたい工場では、自動化装置や高速機械によく投資する。しかし、工場の多くが理解していないのだが、求める節約は必ずしも作業現場で使うハードウェアから来なくてもよい。節約は事務所のソフトウェアからもたらされる。コンピューターでちょっと時間を使い、NC ツールパスを現場に送る前に適切かつ完璧に準備すれば、機械の段階で非常にたくさん節約できる。この準備作業用に特別に開発されたツールが、NC 検証ソフトウェアである。

今では多くの工場で、プログラムを検証するための検証ソフトウェアに依存している。ソフトウェアは第1号の部品が良好であることを保証できるため、オペレーターはその部品の加工を監視するために機械の側に立つ必要がない。このように、ドライランとテスト部品の加工は、過去のものになった。

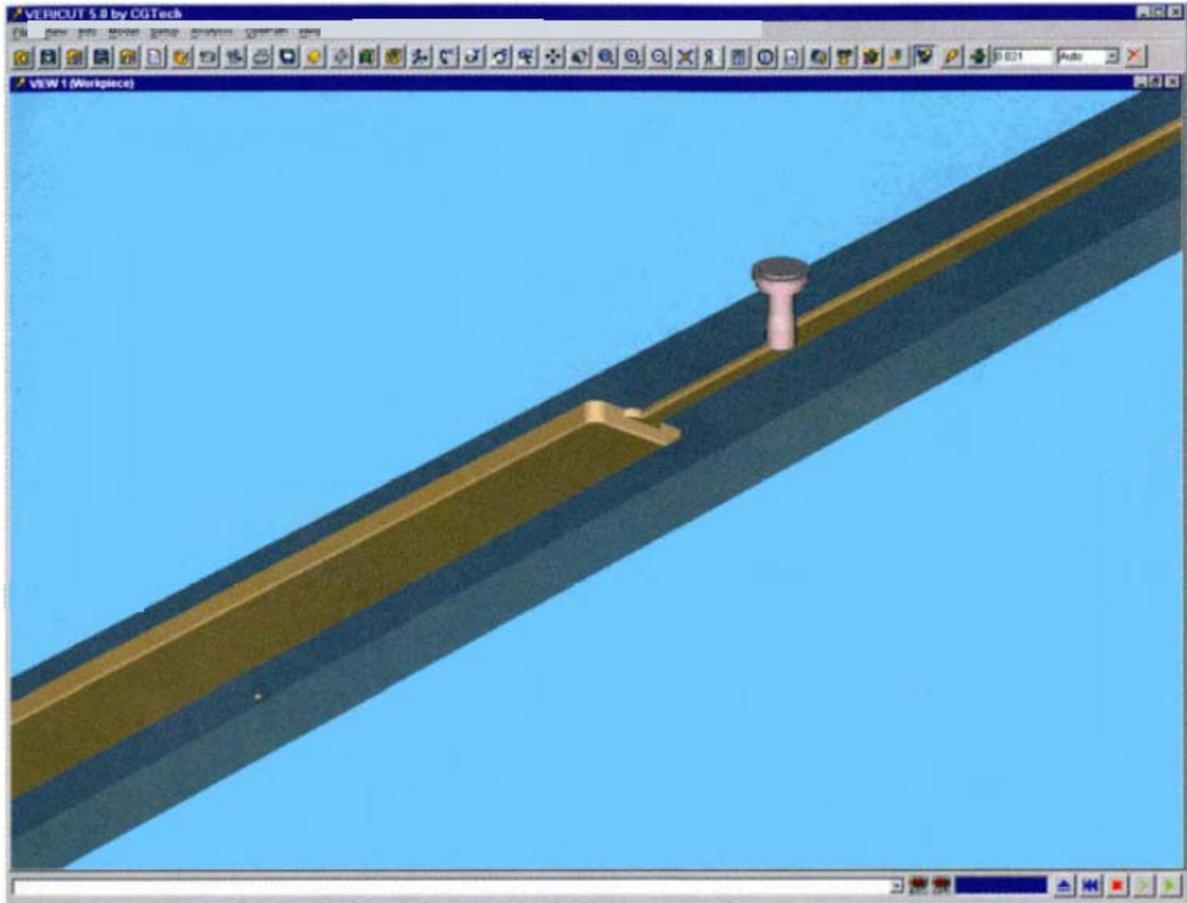
加えて検証ソフトウェアでは送り速度の自動最適化機能を提供でき、それによりいくつかの効果が得られる。送り速度に関するいっそう洗練された制御の結果として、サイクルタイム、部品の加工品質、工具寿命はいずれも改善される。「最適化」された送り速度のプログラムを使うと、オペレーターが機械から別の方に注意をそらしやすくなるかもしれない。

#### 検証

NC 検証ソフトウェアにより、プログラマーは、ツールパスファイルが作業現場に送られて金属を削り始める前に、ツールパスが完璧であることをチェックできる。これは費用がかかる機械の衝突の可能性を低くするだけでなく、検証作業サイクル中の再加工を減らし、しばしば物理的な検証作業自体をまったくなくしてしまう。いろいろな工場でわかったことだが、これは材料コスト、人件費、加工時間に関しての大きな節約を意味することになる。

そのような工場の1つが、ワシントン州エバレットにある航空宇宙産業用の部品やサブアセンブリーのメーカー、**Contour Aerospace** である。生産工程に検証ソフトウェアを導入する前までは、Contour の製作チームでは試作部品を切削し、それを並べて、検査を行っていた。問題があれば、生産に行く前に NC プログラムを修正し、別の試作部品を切削し、再検査しなければならなかった。

「大きな部品では、これは大変に時間がかかった」と NC プログラミングマネージャーの Dan Hornung が言う。同社では長さ 20 フィートから 40 フィートの翼桁を製作しており、このような部品の検証作業を現場ではなくコンピューター上で行えることは、重要な長所となる。



Contour Aerospace ではこれまで、長さ 20 フィートから 40 フィートの翼桁の試作部品を切削するのに大変な労力と加工時間を使っていた。しかし、図のような翼桁のプログラムは、検証ソフトウェアを使って確認される。

いろいろと異なった種類の大きな部品のメーカーに、インディアナ州マンシーにある **Delaware Machinery & Tool** がある。Delaware Machinery は、エンジンブロックやトランスミッションケースを製作するための大型ダイキャストモデルの設計、製造を専門にしている。同社はまた、最新の製造ソフトウェア技術を使うということで有名だ。フォード、GM、クライスラー向けの最初のトランスミッションダイの CAD を使った設計、製造は、Delaware が行なった。

今では、この作業現場のソフトウェアツールキットには検証ソフトウェアが含まれている。「コンピューターでツールパスをチェックすることで、作業現場での検証作業回数を減らし、余計なものを減らしてくれる」と CAM マネージャーの Dennis Main は言う。

このソフトウェアはプログラミングプロセスの合理化にも役立っている。仮想的な材料モデルの中に設計モデルを埋め込むことで、削り込みをチェックする機能がある。ユーザー指定の許容範囲をもとに、切削工具が設計モデルと接触すれば、エラーが報告される。

CGTech のベリカットは、両方の工場で使っているソフトウェアである。Delaware の Main は次のように言う。「コードをポスト処理した後、ベリカットで電極のジョブ用の G コードを実行し、スパークギャップ用のアンダーカットを電子的にチェックできる。我々は部品を意図的に 0.02 インチ削りこみ、次に加工されたままのモデルを CAD モデルと比較し、すべての領域でグラフィックブランクまで切削されたことを確認する。そして、電極のどの部分でもオーバーバーンしないことを検証する」 この機能により、Delaware では、厳しい機械加工の許容値の要件を満たしている。

Contour の Hornung は同じようなメリットを認識している。「一定の削りこみ防止機能は、我が社でボーイング 777 の部品を生産し始めた頃に、本当に役に立ち始めた。というのも、そのとき、顧客がソリッド設計モデルに移行したからだ」

## 最適化

Delaware にとって、検証ソフトウェアのアドオンモジュールとして送り速度の最適化機能があることを現場が知ったのは、エンジニアリング部長の Dan Swartz が検証ソフトウェアのアップデートコースに 1 人のエンジニアを送ったときだった。そのエンジニアは、自社の機械加工の工程を劇的に改善する方法を見て、興奮して帰ってきた。

最適化機能により、ソフトウェアは NC ツールパスファイルを読み、切削条件と工具負荷に基づき、現在の送り速度をより適切な値に自動調整する。それぞれの個別切削箇所に合わせて調整された送り速度で機械加工するため、工作機械の効率は上がり、その結果、部品の加工時間は短くなる。Delaware のチームの計算では、黒鉛電極の機械加工で送り速度の最適化により、機械の稼働時間を 30% 節約している。「ある場合には 45% になったことがある」と Swartz は言う。

送り速度の最適化は、NC ツールパスファイル(G コードか APT フォーマット)を読み、動作をいくつかの小さな区間に分割して行う。それぞれの区間で除去される材料の体積に基づき、遭遇した切削条件に対して最適な送り速度をソフトウェアで割り当てる。次に、送り速度の設定以外は同じにした新しいツールパスを出力する。工具パスの軌跡は変更しない。

このソリューションは、2 つの領域における最善を提供したと言える。一方では、NC プログラムが機械にかけられる前に、最適化が自動的に行われる。他方、最適化は特殊な切削条件に対応するように、NC プログラマーや機械工の専門的知識を利用する。ユーザーは、事前に決めた機械加工条件に対し、理想的な送り速度を入力する。パラメーターには、工作機械の性能(馬力、スピンドルタイプ、早送り移動速度、クーラントやその他の能力)、治具やクランプの剛性、切削工具の性能(材質、設計、刃の長さや数量)がある。これらのパラメーターにより、切削のそれぞれの区間で最適な送り速度を計算するためのチップの厚さ、体積除去率、進入送り速度やその他の値が決まる。

一般的に、異なった材料や機械加工方法に対しては、異なったタイプの最適化技術が適している。たとえば、アルミ構造の部品を平面粗加工する場合には一定の深さで材料を除去するが、径方向の切削幅はサイクル中に大きく変動する。このようなオペレーションで、一定の体積除去率を維持することは、変動する切削幅に対応して、材料へ進行する工具を最大速度に保つ。ツールパスを検証するために使うのと同じ情報により、それぞれのツールパスの区間での材料除去体積を決めることができる。次に、NC プログラマーや工作機械オペレーターが提供する情報に基づき、ソフトウェアで適切な送り速度を割り当てる。

工具鋼の金型キャビティの中仕上や仕上加工は、まったく違ったオペレーションになる。ここでの切削は、工具がワークの輪郭をなぞる際に広範囲に変動するチップ負荷によって、一般に特徴づけられる。一定のチップ負荷を得るため、それぞれの切削の区間での最大チップ厚さに基づき、送り速度は最適化される。ソフトウェアでは、材料がその輪郭に沿ってどこで工具と当たるかを考慮に入れ、チップ厚さが一定であるように送り速度を修正する。ボールエンドミルで切削する場合や、小さなステップオーバーでサーフェスの等高線加工をする場合には、これは特に重要である。一定の最大チップ厚さを維持するため、送り速度は切削中、絶えず変化する。その結果、工具寿命とサーフェス仕上げの両方が改善される。

Contour Aerospace のエンジニアたちは、最適化されたツールパスファイルで機械加工する効果をすぐに理解した。「ポケット加工のような領域では、大きな節約ができた」と Hornung は言う。最適化によって、作業現場では保守側の送り速度を使うことがなくなった、と彼は言う。さらに、「最適化された送り速度により、スピンドル負荷はたいてい 80 から 90% 程度とずっと一定になり、正確にポケットを加工するため手動で送り速度を変更することがなくなった」

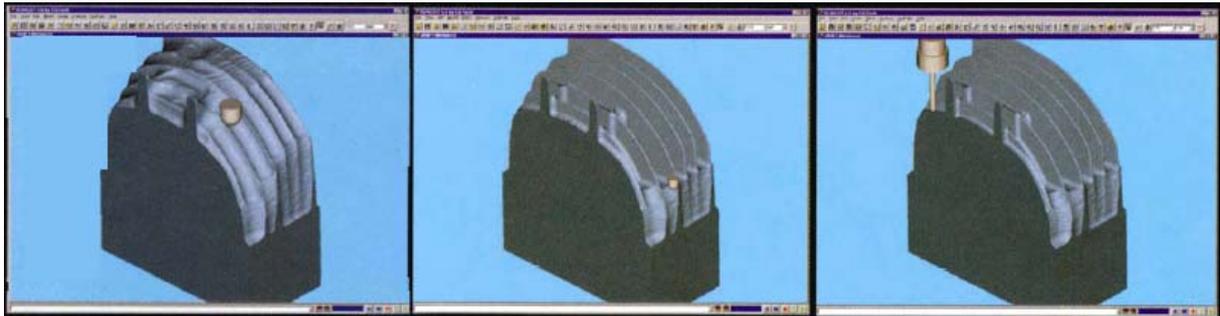
Contour で製造している典型的な部品に、ビジネスジェット機、ガルフストリーム IV の尾翼の桁とリブがある。部品の粗加工のために同社では、30 馬力のスピンドルと 2 インチの超硬インサートカッターを持つ 3 スピンドル、3 軸のガントリー機械を使う。尾翼の桁用の材料ブロックは、加工前には長さ 480 インチ、重量 2,500 ポンドあるが、加工中に材料の 95% がなくなり、最終部品の重量は 128 ポンドになった。

「このような部品では、ソフトウェアを使って一定の体積除去率、この場合は毎分 85 立方インチを維持し、スピンドル負荷を希望する値に保つ」と Hornung は言う。部品の粗加工を最適化することで、Contour では加工時間を約 25% 削減した。「これは 1 年で何千ドルも節約したことになる」と彼は言う。

## プロセスの改善

ソフトウェアの最適化は機械加工時間を短縮するだけでなく、全体の製造環境をさらに効率的にする。ツールパスの最適化前には、Delaware の黒鉛電極加工部署では、十分な先読み機能が備わっている高速ミル加工機を、充分、利用することができていなかった。Main によると、それらの機械は「複雑な入り組んだ形状を機械加工するには、あまり効果が上がらなかった。」軸が方向転換する領域では機械が遅くなり、重切削の領域では遅くならないという傾向があったため、手作業での送り速度調整が必要だった。このため現場では、仕事のたびに1台の機械に1人のオペレーターを割り当てなければならなかった。短時間でもオペレーターが機械を離れなくてはならないときには、戻るまで送り速度を下げなくてはならなかった。

最適化ソフトウェアはこれを変えた。今では、最適化したプログラムをかけるときには、オペレーターは1度に2台以上の機械を運転できる。「本当に経費を削減し、人的資源の生産性を増やしてくれた」と Swartz は言う。



一定のチップ負荷を維持する送り速度の最適化を使うと、Delaware Machinery では非常に薄いフィンの電極を加工しても損傷の可能性が極めて少ない

これはまた、「もっと賢い」プロセスも生み出す。たとえば、Contour Aerospace の機械には、いろいろなコントローラが付いている。「この最適化ソフトウェアの良いところは、ある特定のコントローラを考慮に入れられることであり、我々はそれぞれの個別の機械とコントローラの組み合わせに応じて、最も効率的な送り速度を使っている」と Hornung は言う。

加えて、たいいていの作業現場には、異なる機械、カッター、切削条件、材料の種類に応じた最善の送り速度がわかっている「現場の専門家」が少なくとも1人はいる。この情報をソフトウェアに貯めこむことで、現場の誰でも入手可能な「機械加工データベース」を作成する。この情報ライブラリーは、たとえオペレーター、機械、シフトが違って、毎回同じ機械加工結果をもたらすことができる。「最適化された送り速度によって、加工結果は常に変わず、全般的に部品の品質が良くなる」と Delaware Machinery の Main は言う。

実際に、部品の品質の改善は、金型メーカーの Delaware にとっては大きな利点である。というのも、この現場では大変な労働時間を磨きにかけていたためである。最適化ソフトウェアにより、この現場では労働集約プロセスをなくすことができた。一定のチップ負荷で機械を運転することで、より滑らかな加工面がもたらされるからだ。

工具もずっと良さそうに見える。「改善した送り速度と一定のチップ負荷により、我が社の工具寿命は延び、工具交換にかかる時間も短くなった」と Main は言う。

Contour Aerospace の Hornung も同意する。最適化した送り速度で機械を運転すれば、現場ではより正確に工具の寿命を予想できる、と彼は言う。Contour では、磨耗したインサートの交換で生産を止める頻度が減った。

## 考え方の違い

Delaware Machinery はどのように最適化ツールパスから利益を受けているかに関する良い例として、小さな冷却フィンを多く含む小さいエンジンブロックの最近の仕事がある。「この仕事は、必ずしも我が社で専門に扱うタイプの仕事ではないが、昔はやっていた」と Swartz は言う。「かつては、この電極を機械加工し、取り扱うときには、フィンが簡単に壊れやすいので、本当に注意深く行う必要があった」しかし今回は、最適化の結果で、より一定のチップ負荷と切削圧力により、現場では破損についても問題は何もなかった。「この能力によって、我が社は新しいタイプのビジネスを取れるようになる」と彼は言う。

Contour Aerospace はまた、目標を絞った送り速度で、部品の品質改善を狙っている。「送り速度は最適化ソフトウェアによって事前に決まるため、誰が機械の側にいても、毎回同じ運転を行う。これは、品質ベースのばらつきの削減とリーン生産努力をサポートする」と Hornung は言う。

そして、コンピューターで最適化された送り速度を使うことは、手作業で送り速度をオーバーライドする代わりとして、プログラマー、オペレーター、経営層も同じように受け入れている、と彼は言う。「最初一部の人は、我々を見て気が狂ったのかと思っていた。彼らは、部品の切削を始めるときには、通常 80 ipm 付近で送り速度が一定になるのを見ることに慣れていたので。最適化したプログラムでは、最初から送り速度は上下に変動する」大部分の人が納得するのは、結果を見てからだ、と彼は言う。