



シミュレーションが羽ばたく

Cutting Tool Engineering

2008年10月号

Bryan Jacobs、CGTech

**GE Aviation はシミュレーションソフトを使うことで、
高価な失敗のリスクを犯すことなく、アイデア豊富な機械加工にトライできる**

最新の CNC シミュレーションソフトウェア技術を使い、GE Aviation (ケバック州プロモント) の R&D エンジニアたちは、複雑な課題に対し創造的な解決策を生み出している。そのような課題の 1 つが、ボーイング 787 Dreamliner やボーイング 747-8 に搭載される GEnx ジェットエンジンの 18 枚のコンポジット製ファンブレードのチタン前縁部を製造する工程の開発だった。



GE Aviation

GEnx は GE の次世代ターボファンエンジンで、
ボーイング 787 Dreamliner を含む
中型・長距離用の航空機向け

GE_{Enx} エンジンでは、これに匹敵する現在のエンジンと比べて、かなりの運用コストの改善がもたらされる。これまでに1,100 台以上の GE_{Enx} エンジンの注文があり、GE Aviation の歴史上、最速で販売したエンジンである。このエンジンの軽量で「超高バイパス」ファンブレードには、コンポジット材料と特殊コーティングが使われている。

超高バイパスとは、ファンブレードや他のエンジン部品の設計における空気力学的な改良のことを言っている。これは、燃費効率を改善し、ベースとなる GE CF6 エンジンと比べてエンジン騒音は 30%減っている。

ブレードは無欠陥の炭素繊維強化エポキシコンポジットで製造されるが、これはファイバーにシワや空隙がないことを意味する。各ブレードには、プリプレグテープのプライ 400 枚があり、ベースから先端までプライは薄くなっている。ブレードは、モデルに応じて、53,000~75,000 ポンドのエンジン推力を発生させる。

前縁部の製造法

6-4 チタン合金の前縁部はファンブレードに取り付けられ、先端の鋭いコンポジットがすり減ったり、異物によって損傷を受けたりすることを保護している。これまで GE Aviation では、航空機エンジンの前縁部の機械加工は、加工特許を持つ社外の下請会社に発注していた。しかし、GE_{Enx} エンジンの需要が高いため、GE Aviation では自社の機械加工能力を増強して、社外の供給能力を補完する必要が生じた。



GE Aviation の R&D 研究開発エンジニアたちは、GE_{Enx} エンジンで使われるコンポジット製ファンブレードのチタン前縁部の製造工程開発に挑戦した

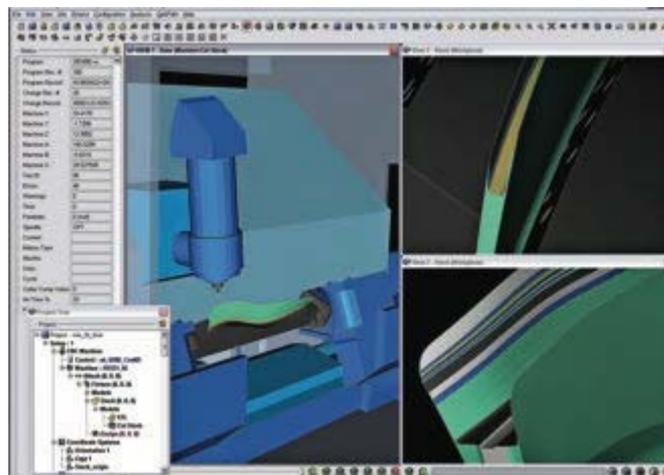
GE Aviation の新製品採用担当マネージャーAlain Ouellette は、前縁部を社内で製造するための費用対効果の良いソリューションを見つける仕事を任せられ、2005 年 1 月に、エンジニア、デザイナー、プログラマーたちを召集した。GE Aviation では、StarragHeckert の 5 軸ミル加工機を使ってブレードの前縁部の機械加工を計画した。

GE Aviation の NC プログラマーBenoit Courtemanche は、5 軸ミル加工プログラムを使ってブレードを機械加工する方法を模索したが、それが機能することを管理者に証明する方法が必要だった。工程の証明のため、彼は Vericut 6.0 シミュレーションソフトウェアを使うことにした。このプロジェクト以前、GE Aviation では Vericut を干渉チェックだけで使っていたが、現在ではマシンシミュレーションを行い、ビデオを作成し、新製品の機械加工の実現可能性をデモするために Vericut の機能を使っている。

「工程提案を管理者にことばで説明しようとすれば、非常に難しかったはずだ」と Courtemanche は語る。「私は Vericut シミュレーションのビデオを、ただ彼らに見せただけだ。これは、管理者や他部門との意思疎通を図るには素晴らしい道具だ」 CGTech (カリフォルニア州アーヴィン) で開発された Vericut ソフトウェアは、CNC 機械加工をシミュレーションし、エラーや干渉の可能性、つまり非効率な箇所を検出する。

NC プログラマーは、プログラムを機械にかける前に Vericut でエラーを修正でき、そのため手動での動作検証がなくなる。Vericut ではワークレベルでの材料除去を表示し、生産現場にあるかのように工作機械のすべてをシミュレーションする。このソフトウェアは NC コントローラもシミュレーションし、機械損傷の可能性を減らすための拡張コントローラ機能もサポートしている。ソフトウェアのマシンシミュレーションモジュールでは、機械のすべての構成要素間の干渉やニアミスを検出する。構成要素としては、直線軸、ヘッド、タレット、回転テーブル、スピンドル、ツールチェンジャー、治具、ワーク、切削工具、ユーザー定義のその他の対象物がある。ユーザーは構成要素の周囲にニアミス領域を設定して近接警報を出すことができ、またストロークリミットのエラーも検知できる。

GENx 前縁部に対し 5 軸ミル加工工程が機能することを証明するため、すべての工程の要素が Vericut の仮想環境でテストされた。GE Aviation 機械工場の StarragHeckert 工作機械には直径 17 インチ、長さ 41 インチの円筒形の作業範囲があり、Courtemanche の第一段階は、この機械で前縁部が機械加工できるか、を決めることだった。このオペレーション用に設計されなければならない機械全体、治具、新しい工具が、Vericut ですべてシミュレーションされた。それにより、前縁部の製造に StarragHeckert 工作機械を使うことができる、と決まった。



GENx 前縁部に対し 5 軸ミル加工工程が機能することを証明するため、すべての工程の要素が Vericut の仮想環境で最初にテストされた

空飛ぶ V 形状

前縁部の最終形状は、3 フィートの V 形状で壁厚は 0.01 インチまで減る。V の内側は最大深さ 5 インチで、その幅は 5/16 インチから 3/4 インチの範囲で変わる。その結果、切削工具は最小限のスペースのなかで深いキャビティに伸びなければならない、L/D は大きくなる。

V 形状の部品の内側と外側は、頂部から底部まで細かなレベルに分けて切削される。各レベルで荒取りと仕上げのパスを処理してから、次のレベルに移行する。前縁部のそれぞれに、200 以上のレベルが存在する。異なる長さの複数の工具を使うことで、最小長さで可能な限り最も剛性のあるカッターを機械が常に使うことを確実にしている。

GE Aviation のプログラム上の最大の問題は、彼らの NX4 CAM ソフトウェアで 5 軸動作を作る際に、残っている材料の情報がまったくないことだった。これは干渉の可能性につながる。GE は Vericut を使ってから、潜在的な干渉の大部分が工具ホルダーで起こっていることを発見した。深いポケット加工が必要なミル加工では、焼きばめ工具ホルダーを修正して、2 枚の壁の間の空間に収まるようにした。たとえば、ある部分でキャビティ深さが 7 インチに近い場合でも、工具はホルダーから 4.5 インチ以上出ることはない。

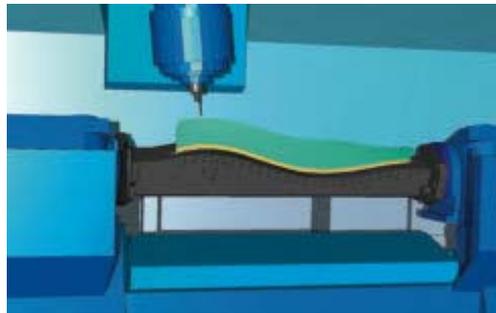
Courtemanche は Vericut を使って、工具ホルダーを検出し V 形状内部の工具干渉を予測した。工具ホルダーの一部は、部品の壁から 0.01 インチまで接近する。干渉を検知すると、Courtemanche は 5 軸動作を再プログラムして CAM システム上に新しい仮想サーフェスをつくり、なめらかな高速ミル加工ツールパスを作成した。新しいツールパスにはリード角と傾斜角を含んでおり、部品形状に沿ってホルダーをいろいろな角度に振ることができる。この工程は何百回と繰り返された。

「この工程の詳細を作業するために、Vericut は過去 2 年半の間、1 日 16 時間、稼動していた。実際の機械で新しい工程をテストしようとしても、不可能だったろう。どんなにおかしいと思われても、今はあらゆるアイデアを試すことができる」と Courtemanche は言う。

一旦、加工工程が仮想環境で証明されると、次に機械に回された。最初の前縁部は、チタンの塊から切り出しされ、完了までに 110 時間以上かかった。チタンの塊ではなく鍛造品を用いて、Vericut で設計・モデル化して、工程を見直したところ、加工時間は 46 時間になった。この鍛造品には V 形状の基部に大きなタブがあり、部品はその部分を長いバイスでつかんで保持する。部品の加工が完了すると、底部に 2 つの小さなタブを持つだけになる。オペレーターは部品を取り上げ、飛行機の模型のプラスチック部分を切り離すように、手でタブを折って離す。

次に部品は検査され、許容値の範囲内であることを確認する。GE Aviation では、「自由状態」検査と呼ぶ方法を使う。これは、検査中に部品を拘束しないことを意味する。通常、前縁部のような薄壁の部品は、公称形状に対して拘束されて厚さと外面だけのチェックを行う。自由状態検査では、内外の表面のすべてを、どんな偏差も見逃さないツァイス CMM(座標測定機)でスキャンする。

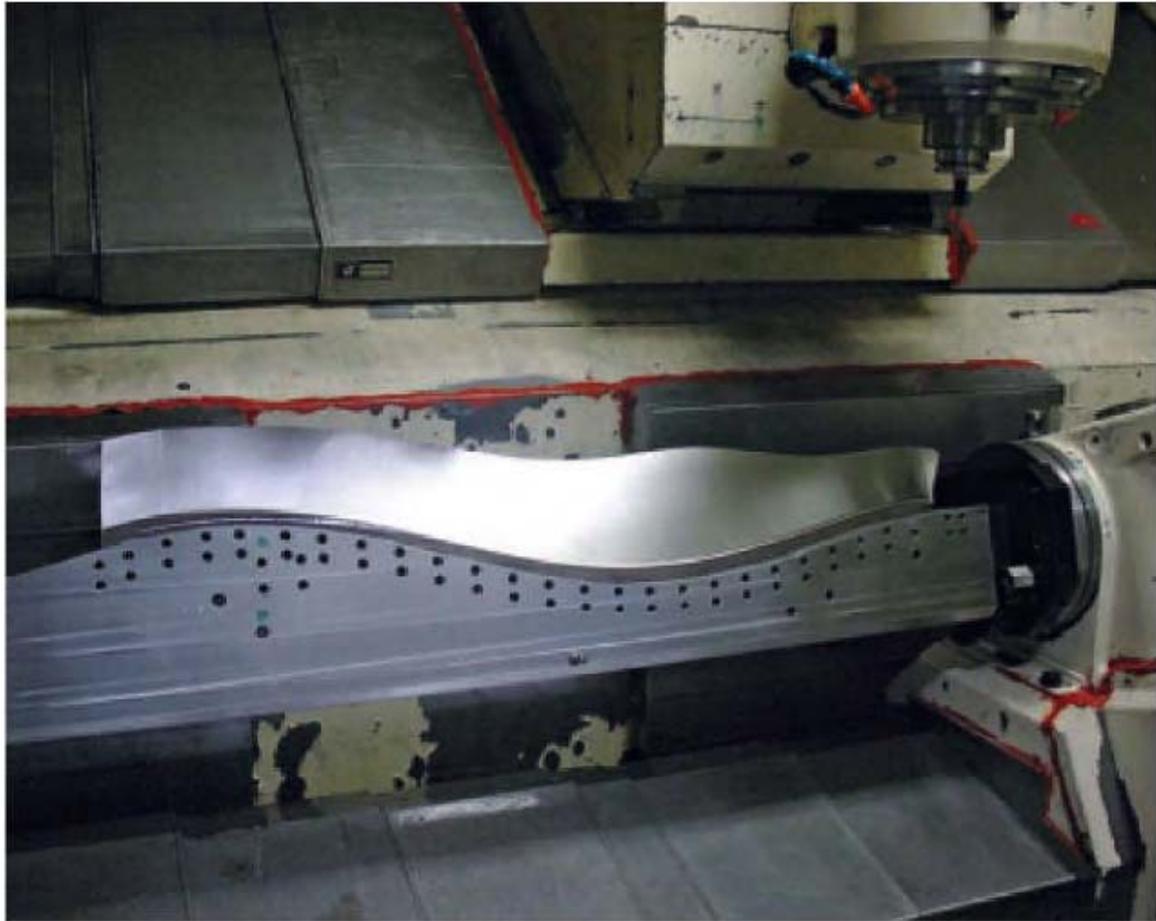
新しい機械加工の工程は大変うまくいったため、GE Aviation では生産を増やすために、さらに 2 台の工作機械を購入しようとしている。工作機械の新しい技術、Vericut の OptiPath モジュールの使用、新しい工具やクーラントや荒取り方法の適用によって、GE Aviation での 1 つの前縁部の全加工時間は 24 時間未満に下がることになるだろう。



Vericut は、GE Aviation のミル加工工程の検証および新しい工作機械の発注仕様の作成に使われた。仮想機械の寸法を Vericut で修正してから、GE 特別注文の新しい工作機械を作るためにその仮想モデルを StarragHeckert に渡した。

仮想機械の作成

2008 年秋から GE Aviation では、新しい特別注文の StarragHeckert の工作機械で、前縁部の製造を開始する。GE Aviation では工作機械の購入過程で Vericut を使った。たとえば、Courtemanche は新しい機械の仕様決めで、自分の要求に最も近い現在の StarragHeckert の工作機械の Vericut モデルを分析した。それから新しい仕様に向かうよう、機械の寸法を Vericut で修正した。工程を再度、仮想環境で検証してから、特別注文の新しい工作機械を作るため、そのモデルを StarragHeckert に渡した。



最初のチタン前縁部の機械加工には、5 軸の StarragHeckert 工作機械を使った。部品の加工が完了すると、底部に 2 つの小さなタブが残る。オペレーターは部品を取り上げ、飛行機の模型のプラスチック部分を切り離すように、手でタブを折って離す。

「実際の機械がなくても、Vericut を使えば最新の機械技術をテストできる。Vericut がなかったら、工程に最適な機械ではなく、工程を検証したときの機械とまったく同じものの購入にならざるを得なかっただろう。」と Courtemanche は語る。

GE Aviation ではこれまで 60 枚の前縁部を製造し、加工工程は何度も変更された。そのような変更があっても、これまで機械干渉は一度もなく、材料のスクラップも最小限に抑えられた。

前縁部の製造プロジェクトの成功により、GE Aviation の R&D チームは他の進行プロジェクトを洗い直している。「Vericut 以前は、新しい工程の検証には 1 週間かかることがあった。今では、1 日以下でできる。これにより、自分たちの作業方法を見直すことができるようになった」と Courtemanche は語った。