

**CFRP AFP(Automated Fiber Placement)と構造解析最前線**

CAE ソリューションズ 高岡秀年

AFP はロボットの手先にレイアップマシンを装着し、様々な曲面形状を持つ製品の積層に用いられており、近年普及が進んでいます。その一方で、AFP は部位ごとにオリエンテーションが変化するため FEM 構造解析は非常に手間がかかります。本技術レターでは、AFP の概要と AFP の構造解析の自動化に対応したソリューションを紹介します。

図 1. Automated Dynamics AFP Machine

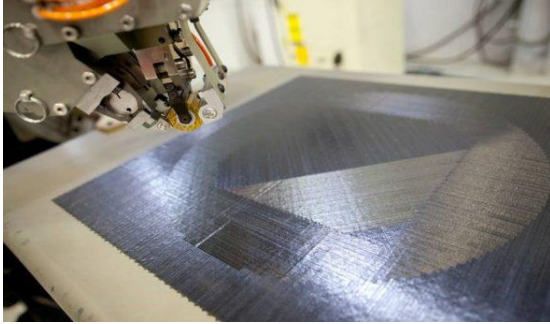


図 2. VERICUT Composite Simulation with NASA's ISAAC Robot AFP Machine

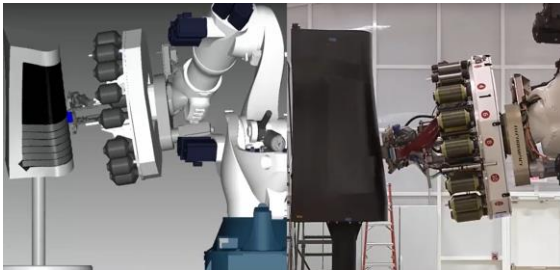
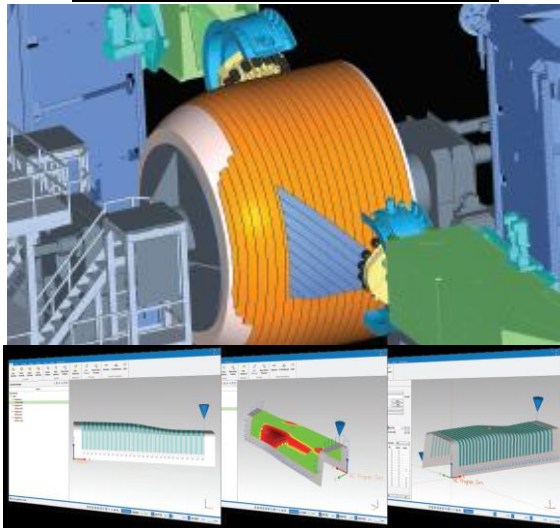


図 3. AFP シミュレーションソフト(VCP/VCS)



このため実際の積層方向、さらにはトウのドロップ(終端)におけるギャップやオーバーラップを FEM 構造解析において考慮するには、手作業で材料方向を実際のオリエンテーションに合わせる修正作業を要素単位で行うなど工数がかかる作業が必要であるため、実形状と解析モデルの乖離をある程度許容したまま解析をすることがありました。

**AFP(Automated Fiber Placement)とは :**

CFRP 製品の製法の一つに AFP と呼ばれる手法があります(図 1、2 参照)。ロボットの手先にレイアップマシンを装着し、様々な曲面形状を有する部品を自動的に積層する技術です。近年、自動化が進み、一般的な製造方法として広まっています。一般的には以下の特徴があります。

- ✓ 素材 : 約 3mm~25mm 幅のテープまたはトウ
- ✓ 製法 : コースごとに複数のトウを積層
- ✓ 特徴 : トウは複雑な曲面形状に適切な積層特性を与えるためにステアリング積層される。

**AFP の積層構成デザインツール :**

複雑な曲面形状へのトウパスのデザインは、一般的に Robot AFP Machine 製造元のソフトウェアにおいて計算されます。このソフトウェアは、一般的に CAD モデルを読み込み、トウパスのシミュレーションを行います(図 3 参照)。ソフトウェアは、CAD サーフェスとプライの境界情報を読み取り、指定した製造基準や要件に従ってプライをデザインします。また、レイアップパスのシミュレーションを行い、部品とマシンが衝突しないように製造上の制約条件を満たすように NC プログラムが作成されます。

**AFP の FEM 解析上の課題 :**

このように複雑な曲面形状に Robot AFP Machine によりトウパスがレイアップされるため、指示従来の積層方法とは異なり、指示した積層方向から繊維方向がずれるため、以下の製造上の問題について設計において考慮する必要があります。

- ✓ AFP によるトウパスは、決まった方向(0/45/90)のオリエンテーションにはならない。最新の航空宇宙の標準は、0/45/90 のオリエンテーションのみである。
- ✓ トウ・ステアリングの製造制約として、トウの端部において、ギャップやオーバーラップが発生する(図 4 参照)。

図 4. AFP の製造制約：ギャップ、オーバーラップ

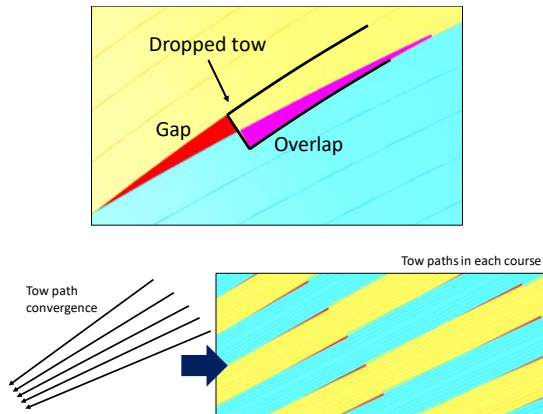
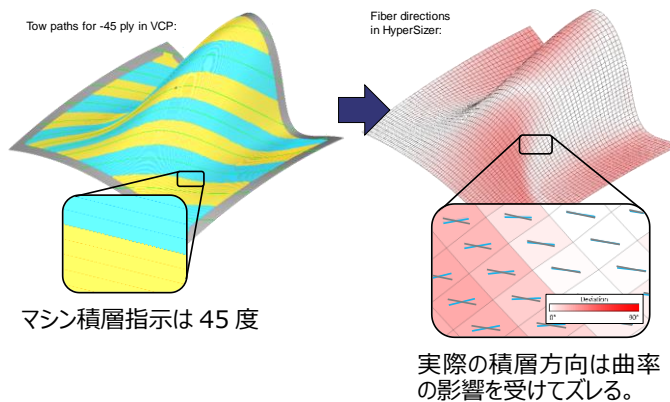


図 5. 実際の繊維方向をモデルにマッピング



## AFP の構造解析に対応した解析ツール HyperSizer :

米国 Collier Research 社の CFRP 構造解析ソフト HyperSizer は、VCP や iCPS などの Robot AFP machine 用ソフトウェアと連携し、AFP に指示した積層方向と実際の繊維方向(オリエンテーション)のズレを考慮した構造解析を NASTRAN, Abaqus, ANSYS と連携して行うことが可能です。

HyperSizer による実繊維方向インポートは以下の手順にて行うことが出来ます。

- ① FEM 要素中心の座標を HyperSizer から AFP ソフトウェアに出力
- ② 要素中心の繊維と直行方向ベクトルを AFP ソフトウェアから HyperSizer にインポート
- ③ マッピング完了(図 5 参照)

強度解析については、従来の手法であるマシン指示の積層方向に基づく結果は安全余裕(M.S.)がプラスで強度は問題ありませんでした。しかし、実際の繊維方向を反映したモデルによる強度解析結果は、安全余裕(M.S.)がマイナスとなる部分(図 6(b)のオレンジと赤い部分)が発生し強度不足となりました。

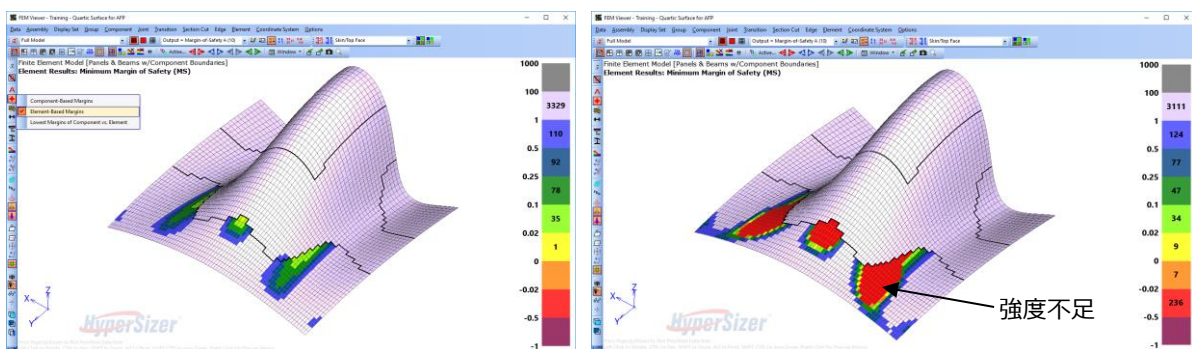
よって、AFP の設計は実際の繊維方向を解析モデルに反映することが極めて重要であると言えます。

HyperSizer は、その他にもギャップやオーバーラップによる積層厚さを要素毎に等価板厚に置き換えるなど、AFP に適合した強度解析を正確に行う機能が備わっています。(以上)

図 6. 安全余裕(M.S.)マップ

(a) マシン積層方向による強度解析結果

(b) 実際の繊維方向による強度解析結果



出典 :

<https://hypersizer.com/>

<http://www.cgtech.com/wp-content/uploads/2018/06/Composites-8.1-MultiFold-WEB.pdf>