

# バーチャル航空機による タービンエンジンのチューニング

複雑な航空機モデルの  
リアルタイムシミュレ  
ーション

タービンエミュレータを  
使った HIL シミュレ  
ーション

タービンコントローラ  
モデルの最適化

米空軍研究所 (Air Force Research Laboratory, AFRL) は、dSPACE シミュレータの HIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレーションを利用して、次世代航空機の推進システムを開発および最適化しています。実物のタービンのハードウェアコンポーネントと同時に行われるタービンと航空機モデルのリアルタイムシミュレーションにより、タービンエンジンの制御に新しい可能性が開かれました。最適化されたアルゴリズムにより航空機は、より高い高度をより速い速度で飛ぶことができ、燃料消費量および燃料再循環時の放熱を削減できます。

航空機に必要とされる電力は、電気サブシステムの増加とともに増大し続けています。これらのサブシステムは電力および推進システムの動作に直接影響するため、システム分析では無視できなくなっています。航空機全体の性能は、電力および推進システムの相互作用の組み合わせとして検討する必要があります。電力および推進サブシステムにかかる負荷が増大すると、推進力、速度、高度が不安定になり、航空機全体に影響します。その結果、エンジンの動作パラメータが多様化します。新しい機能を統合するよう設計された複雑なモデルには、多大な計算時間がかかります。

## HIL で可能となった統合システム分析

航空機 / 推進システムのリアルタイム統合に HIL (Hardware-in-the-Loop) 分析を使用することにより、非常に大きな可能性が開かれました。この手法により計算処理実行時間が大幅に短縮され、HIL 環境で

機体 / タービンエンジンモデルを使用できることが判明しました。また、実際のハードウェアコンポーネントを使用して、エンジン負荷と航空機性能の相互作用をより完全に分析できるようになりました。

このような機能のシステムレベルでの結果を判定するために、米空軍研究所 (AFRL) は、高度なモデリングと HIL シミュレーション手法による統合システム分析を盛んに行っています。

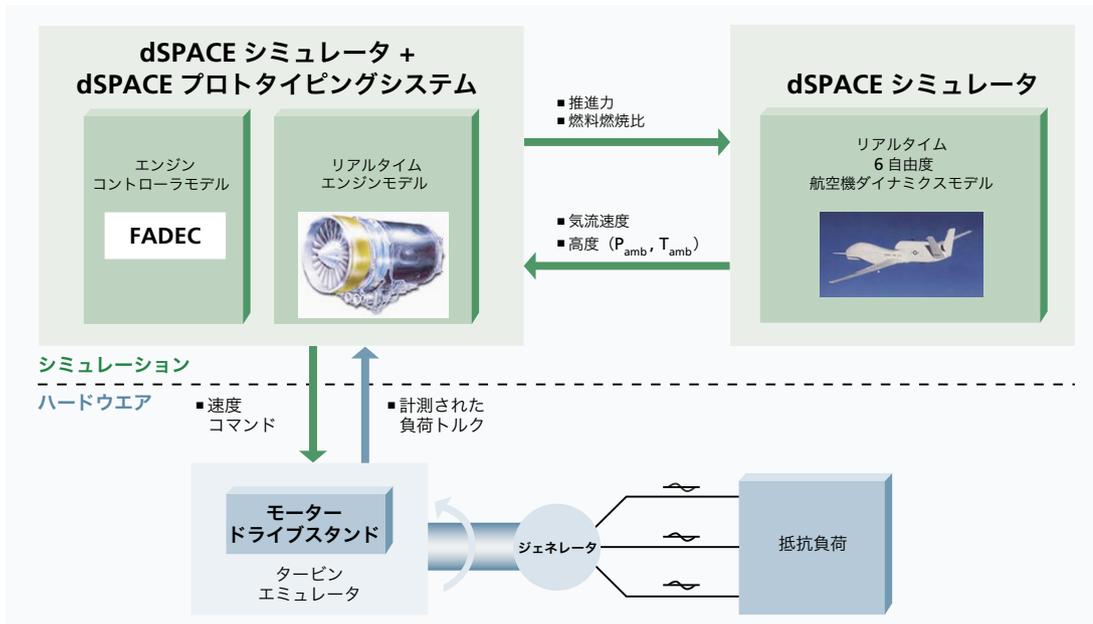
「この種類の航空機の推進力、電力、および熱の各サブシステムは、相互依存性および有害な相互作用の可能性を調査するために、テストおよび分析する必要があります」と、AFRL の上級電気エンジニアで物理学者の Peter Lamm 氏は述べています。「タービンのプロトタイプハードウェアコンポーネントでの高度なリアルタイムシミュレーションにより、費用のかかるハードウェアプロトタイピングの前に、相互依存性を予測して、有害な相互作用に対処することができます」

## バーチャル航空機

AFRL はリアルタイム HIL シミュレーションテスト設備としてバーチャル航空機のタービンエンジンおよび電力システムを作成し、推進力、電力、および熱システムにおけるサブシステムの相互作用を調査しています。大気圧、気温、気流速度などのパラメータも考慮して、リアルタイム航空機シミュレーションを行います。



▲ 次世代航空機には、  
dSPACE シミュレータを使って開発、最適化  
されたタービンエンジン制御が利用される予定です。



▲ 2 基の dSPACE シミュレータと 1 つのプロトタイプで、コントローラモデルおよび航空機システムモデルがリアルタイムに実行されます。

テストする機体には、次の 4 つの主要なコンポーネントが含まれます。

- dSPACE プロトタイプと dSPACE シミュレータ (HIL) で構成された、タービンエンジンダイナミクスと航空機のシミュレータ
- MATLAB®/Simulink® 環境で開発された、汎用タービンエンジンモデル、航空機モデル、および FADEC (Full Authority Digital Engine Control、エンジン制御電子装置)
- モータードライブスタンド、速度制御、およびトルクフィードバックで構成された航空機エンジンプールエミュレータ
- 航空機テストジェネレータおよび負荷バンクを含む電力システム

**リアルタイムでのコントローラモデルと制御対象システムの組み合わせ**

dSPACE シミュレーション環境は、内蔵のリアルタイムモデルとして動作する汎用タービンエンジンモデル、航空機モデル、および FADEC モデルという 3 つのシステムで構成されます。FADEC は dSPACE プロトタイプで実行されます。タービンモデルと航空機モデル (3 次元空間での回転と移動を含む、完全な 6 自由度の航空機ダイナミクスモデル) は、2 基の dSPACE HIL シミュレータで動作します。

**バリエーションシミュレーションテスト**

航空機、推進力、および電力の各システムモデルが、このシステムで調査されました。HIL ハードウェアコンポーネントとして低圧 (LP) ジェネレータを使い、さまざまな実験が行われました。電力負荷が適用され、解除されたときには、顕著な非線形の過渡的変動が発生しました。

**「dSPACE シミュレータがもたらした結果により、航空宇宙エレクトロニクスにおける HIL 試験の能力が確認され、重要な推進力構成の研究が最小のコストで可能になります」**

Peter Lamm 氏、米空軍研究所

これらのシミュレーションは、一定の高度と速度を保持して行われたシミュレーションとは異なる結果となりました。このような結果の差によりエンジンの回転数が急上昇する可能性があるため、過渡的事象をモデル化して航空機ダイナミクスで分析することは非常に重要となります。Lamm 氏は次のように述べています。「これらの結果により、航空宇宙エレクトロニクスにおける HIL 試験の能力が確認され、重要な推進力構成の研究が最小のコストで可能になります」

**HIL 調査による優れた性能結果**

Lamm 氏は、HIL 調査の能力はタービンエンジン制御の新しい可能性を開き、航空機がより高い高度をより速い速度で飛び、燃料消費量と燃料再循環時の放熱を削減できるよう、タービンエンジンの性能をチューニングする手段とすることを確信したと述べています。

出典：  
『Transient Analysis of an Aircraft/Propulsion System with Hardware-in-the-Loop Power Extraction』、  
Kyle L. Miller, J. Mitch Wolff, Eric A. Walters  
共著 43rd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, 2007, OH, アメリカ