



# NASA's Top Model

過酷な条件下でのサブスケール UAV 機のテスト飛行

航空機の限界に挑戦するアクロバット飛行の実演は、見ている観客にスリルと感動を呼び起こします。現在、NASA では無人機 (UAV) を用いた、より過酷な飛行条件での研究を行っています。

NASA の空中サブスケール輸送機研究施設 (Airborne Subscale Transport Aircraft Research facility : AirSTAR) では、実機を使うと危険性とコストが著しく高くなってしまふような飛行条件を研究するために、無人機 (UAV) を使用しています。この研究で、飛行制御コンピュータの役割を果たしているのが、無線通信を用いた dSPACE システムです。

#### スケーリング効果： より小さく、より強く、より速く

航空分野における安全性向上のために、NASA の技術陣は、通常ではあり得ない異常な条件下での飛行力学を解明し、制御された安全な飛行を維持する自動化システムを設計しようと日夜研究に取り組んでいます。構造的な損傷、油圧システムの故障、または着氷などの異常事態が発生して、機体の性能が大きく変化すると、制御不能に陥る場合があります。その結果、従来の自動操縦装置は効かなくなり、パイロットは、さまざまな制御が複雑に連動し、操作特性が周期的に変動あるいは分散した状況に直面します。このような飛行条件を研究するために、サブスケール UAV 機が設計され、パイロット操縦テストに向けて高度に自動化された地上局と

統合されました。UAV 機はフルスケールの輸送機の 1/18 の大きさに縮小されているため、このテストモデルではパイロットの入力に対する応答がフルスケール機よりもはるかに早くなっています。しかし、機体の配置形状に合わせて質量分布と密度を縮小する綿密な構造設計により、このサブスケール機では、フルスケールシステムの動的な結合特性および応答特性が保持されています。この機体を用いた飛行テストの結果を時間的に (倍率の平方根で) スケールアップすることで、フルスケールの動的挙動を予測することができます。これにより、商用輸送機の目的用途との関連性が保持されますが、危険性が高い実験や、構造的な負荷がフルスケール機で実行可能な限度を大幅に上回るような実験を実行することが可能になります。

図 1 : UAV 機 (移動地上局の前から撮影) によるテスト飛行は、旅客機の飛行制御コンピュータ用の機能を最適化するのに役立ちます。







- ① ナビゲーションディスプレイ：位置、機首方位、および範囲限界のトップダウンビュー
- ② 航空機構成情報ディスプレイ：地表面投影位置、エンジン設定、テストパターン詳細およびシステムステータスの各種インジケータ
- ③ プライマリヘッドアップディスプレイ：対気速度、高度、g 荷重、飛行経路情報、および警告の各種インジケータの表示を航空機の視界（OTW）に重ねて映し出す総合的な情報投影装置
- ④ セカンダリナビゲーションディスプレイ（安全のための予備）
- ⑤ セカンダリヘッドアップディスプレイ（安全のための予備）
- ⑥ アナログ地上追尾カメラビュー
- ⑦ アナログ機首カメラビュー
- ⑧ 個別モード選択スイッチ（欠陥エミュレーションアルゴリズムおよび制御アルゴリズムを起動）

図2：テストパイロットステーション。dSPACE システムが、UAV 機と無線通信をしながら、継続的にリアルタイムの計算タスクを実行することにより、テストパイロットが望む操作をすべて地上から実現できるようになっています。

### dSPACE システムによる飛行制御

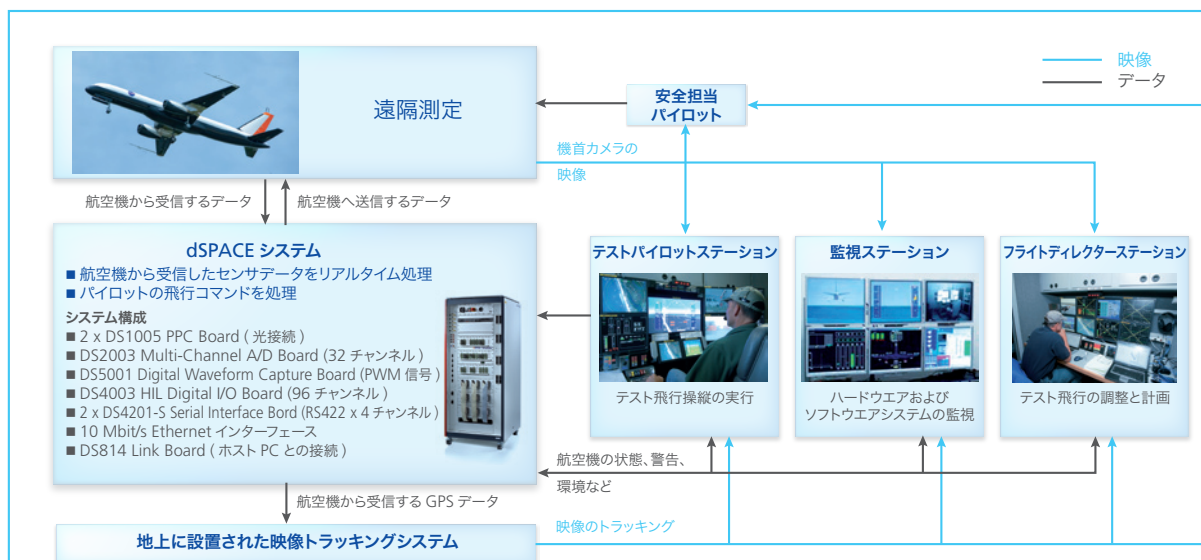
機体は小さくても、NASA がテスト対象としているアルゴリズムは非常に大きなものになる可能性があります。制御理論やリアルタイムシステムの同定は、通常は、MATLAB®/Simulink® などのモデルベースのシミュレーションツールで実装されたアルゴリズムのプロトタイプを使用して、研究者の机上で進められます。AirSTAR プログラムの目的の 1 つは、このアルゴリズムを、飛行テスト用のリアルタイムシステムに合わせて再調整するために必要な時間を削減し、研究者コードを処理するのに十分な計算能力を実現することにあります。この再調整プロセスを迅速に行う

ことで、技術開発の初期段階で実世界でのテスト結果を提供することが可能になり、現在進行中の研究に対して必要な情報と方向性を示すことができます。この機能を実現するために、dSPACE システムが採用されました。dSPACE システムは地上に設置され、高帯域幅の遠隔測定リンクを介して機体と通信します。

AirSTAR 試験施設には、UAV 機自体だけでなく、その機体の操縦と監視を行うための移動地上局が設けられています。地上局のコンピュータシステムは、複数の CPU が搭載された dSPACE ユニットと、互いに接続された数台のワークステーションから構成され、ディスプレイ表示内

容の生成とデータのログへの記録を行います。dSPACE システムの CPU の 1 つは「運航処理システム」を備えており、パイロットの入力の処理（離散、アナログおよび PWM 入出力）、機体との間の遠隔測定ストリームの管理（RS422 シリアルインターフェース）、およびリアルタイムディスプレイに表示するデータの適合と処理（UDP インターフェース）を実行します。dSPACE システムに搭載された 2 つ目の CPU は、飛行中に起動されるさまざまな制御アルゴリズムを研究するためのものであり、機体を設計通りに構成した場合と欠陥を持たせた場合について調査が行われます。これらの制御アルゴリズムは、飛

図3：移動式 AirSTAR 試験施設の概略図。dSPACE システム上に構築された飛行制御システムが、UAV 機から遠隔計測データを受信し、パイロットのコマンドおよびその他のパラメータを UAV 機に送信します。3 つの制御局の 1 つ（テストパイロットステーション）の詳細については、図2を参照してください。



## AirSTAR における標準的なテスト飛行

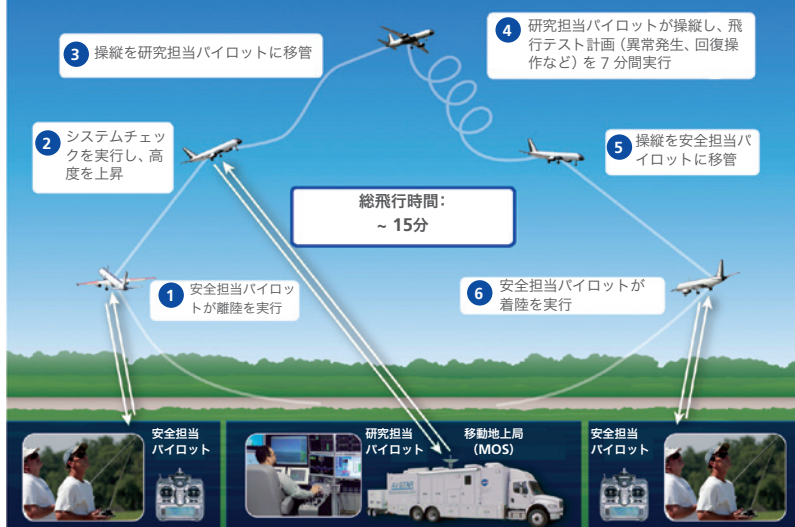


図4：標準的なテスト飛行手順。制御不能シナリオおよび適切な回復操作手順について重点的に研究調査されます。

行実験ごとに規定通りに交換され、機体のシミュレーションモデルを使用して Simulink で開発およびプロトタイプ設計が行われたコードを実装します。この2つ目のコード専用のCPUを使用することで、高レベルの計算能力を発揮できるようになるだけでなく、マスターCPUでソフトウェアの動作を監視し、何らかの欠陥(コ

## 標準的なテスト飛行手順

UAV機は、約15分間の継続飛行が可能です。機体の視認を行う2人目のパイロット(安全担当パイロット)が離陸フェーズと着陸フェーズを実行し、所定の高度に達したら、UAV機をテストパイロットに移管します。飛行プログラムの残り時間はすべてテストパイロットが操作を行い、移動地

## 「dSPACEシステムを使用することにより、UAV機を用いたテスト飛行中の複雑なリアルタイム計算に要求される性能を実現することができました」

Tommy Jordan 氏、NASA ラングレイ研究センター

ドのロックアップ、セグメンテーション障害、制御の効かない異常動作など)が生じた場合にはそれを分離して、自動的に運航処理システム用コントローラに制御を返すことができるようになります。遠隔測定ストリームは200 Hzで70チャンネル以上の生データを提供しますが、リアルタイムの適当処理、修正処理、さらに派生変数の計算により、このデータセットの量は著しく増大します。500個以上の変数を200 Hzでディスクにストリーム送信する際には、dSPACEのホストPC光リンクを経由して接続されます。これらの変数には、飛行中の制御アルゴリズムを研究するための内部変数の記録用に指定された75個の変数が含まれます。このデータセットは、着陸してから数分以内にMATLABファイルとして利用可能になります。これにより、研究者はテスト結果を把握し、必要に応じて、飛行テスト実施時にテスト計画を変更することができます。

上局内でシミュレータに似たディスプレイから機体を操縦します。NASA航空安全プログラムの一環として実施されているこのテスト飛行の公表されている目標は、特に、いわゆる制御不能シナリオ(搭載システムの欠陥を伴った過酷な飛行状況)を分析し、適切な回復操作手順を評価することにあります。テストパイロットは、飛行制御システムの支援がある場合とない場合の飛行を選択することができます。また、自由に設定した欠陥シナリオを適用して、操縦翼面をロックアップしたり機体の動的応答を不安定にすることもできます。UAV機の構造的強度を上回らないようにするために、負荷保護アルゴリズムで、推進力と操縦翼面の設定を監視し、緊急時に入力を制限することができます。さらに安全担当パイロットは常に、テスト飛行に対する最優先の制御権、つまり、いつでも介入し、テストパイロットからUAV機の制御を引き継ぐことができる権限を持っています。

## まとめと展望

NASAでは、AirSTAR試験施設を使用して、UAV機を用いたテスト飛行を実施し、商用航空における致命的事故のかなりの比率を占める制御不能事故を含む、異常な飛行状況を研究調査しています。地上に設置された飛行制御システムは、dSPACEシステムとして実装され、UAV機が収集した計測値およびテストパイロットの飛行コマンドをリアルタイムで処理し、航空用ディスプレイのデータの生成をサポートして、飛行後の分析用テストデータを記録します。このシステムの今後の計画としては、テスト条件の拡張、アルゴリズムの複雑化、および本システムを別の機体へ導入することが挙げられます。本システムは非常に柔軟な設計になっているため、地上処理システムは、そのアーキテクチャとソフトウェアにほとんど変更を加えることなく、これらの変更に対応することができます。

Tommy Jordan  
NASA Langley Research Center  
USA

Tommy Jordan氏は、米国、NASA ラングレイ研究センターのAirSTARプロジェクト担当マネージャーです。

