

# Blade Runner

自律型インテリジェント航空機の開発とテスト





映画『ブレードランナー』の原作となったフィリップ・K・ディックのSF小説『アンドロイドは電気羊の夢を見るか?』の中心的なテーマは、自律的なハイテクマシンは夢を見ることができるかということでした。もし夢を見ることができるとしたら、ドイツ航空宇宙センターの研究用無人航空機である ARTIS やプロメテウスは何の夢を見るのでしょうか。試験飛行環境の夢や、これから実現するであろうミッションの夢、そしてもっとわくわくする未だ実現不可能なミッションの夢を見るに違いありません。



飛行システム研究所の最新型研究用航空機、プロメテウス



DLRの研究用UAV(ここで紹介するARTISなど)には、多くのオンボードシステムが搭載されています。これらは、飛行の安定化、飛行軌道の事前設定、自動離着陸などに使用されます。

### 実現不可能なミッション

ドイツ航空宇宙センター (DLR) の飛行システム研究所で調査中のミッションは、人間の搭乗には不適な、危険や汚染、単調さなどの要素に満ちています。無人航空機の開発費用を正当化できるのは、このようなミッションしかありません。それ以外のミッションについては、これまで常に有人で行われてきたのであり、そうした状況は今後も変わることはありません。しかし、誰かが - あるいは何か - 障害の多い状況に入り込んだり、被災現場を調査したり、高リスクの過酷な条件下で飛行したり、あるいは退屈な中継や飛行検査を行わなければならないような場合には、無人航空機 (UAV) がその本領を発揮することになります。理論的に、そしてある程度までは実際に、最新式の UAV は事前に指定した航路に沿って飛行することが可能であり、中には自動的な離着陸が可能なものもあります。ただし、ドイツの一般的な空域での運用が可能であったり許可されている UAV はただの一機もありません。現時点では、その周辺環境を「見て」適切に対応する能力が欠けているからです。

### 人工的な感覚器官

これが研究を始める第一歩となります。UAV がその環境を認識するには、周辺の状況を 2 次元あるいはさらに高品質の 3 次元の画像として感知するイメージセンサなどの追加の装置が必要になります。カメラ、レーダー、およびレーザースキャナをすべて使用できます。この場合、取得されたセンサデータを処理して、その結果を飛行制御に使用できるようにするには、リアルタイム処理が必須となります。また、意思決定システムあるいはミッションマネージャを開発する必要があります。これによって、環境データおよび UAV 固有のデータを受け取り、このデータを使用して選択肢の評価や意思決定を行い、必要に応じて緊急時における経路変更やミッション中止の判断を下します。さらにこの飛行制御システムは、特に、精度および航空機の飛行性能を最大限に活かす能力という観点から、厳しい要件を満たすことも必要になります。

### 飛行研究プラットフォーム

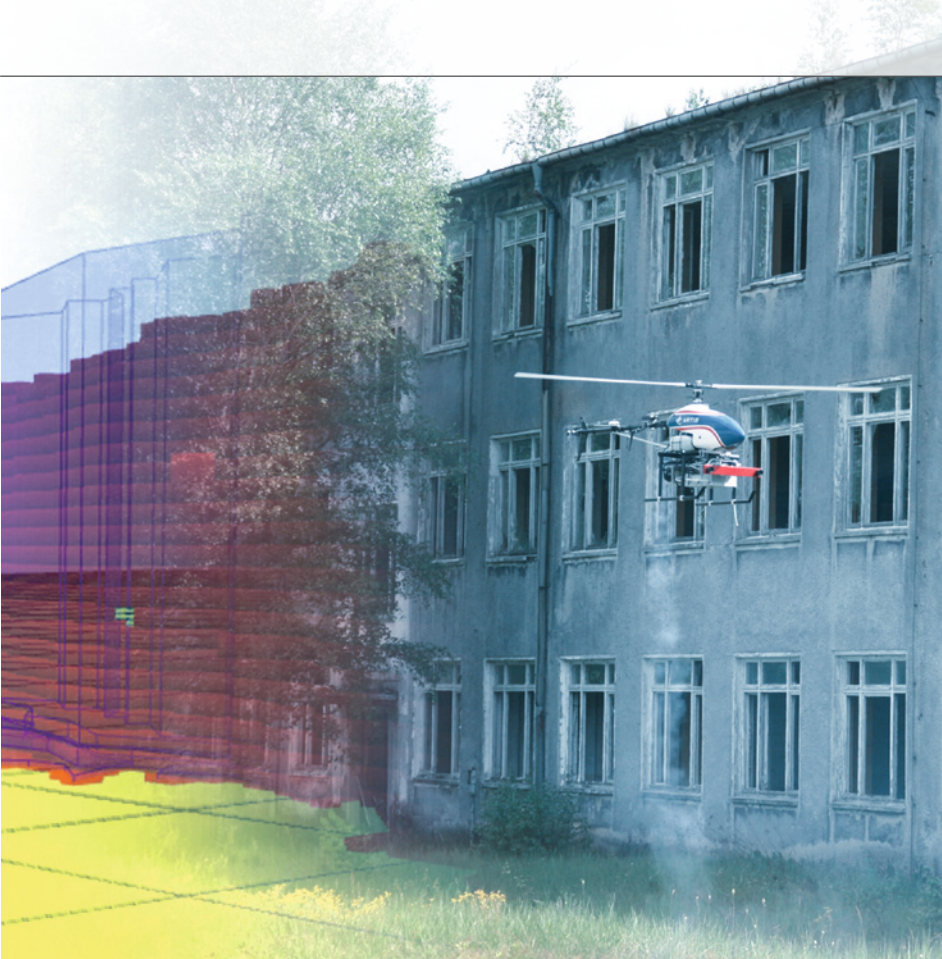
しかし、こうした困難な課題に取り組む前に、まず適切な研究のプラットフォームと

基本施設を整備しなければなりません。適切な試験プラットフォームを市販のものから探すとしても、このような非常に特殊な研究のニーズを満たすような既製のシステムは全くないことにすぐ気がつくことになります。特殊で強力なモジュール型のセンサやプロセッサ、オープンなインターフェース、さらにプログラミングのしやすさなどの機能を必要に応じて組み合わせ、大きな積載量や高いユーザビリティに対するニーズに応えるためには、独自に開発するしかありません。独自開発であれば、認証の面や顧客の期待にも対応でき、基本システム、測定装置、機内搭載の電子機器、および飛行制御プロセッサを最適な形で調整することも可能になります。

### 技術的な要素

開発された研究プラットフォームは、飛行制御コンピュータ、各種のデータ通信機器、高精度の GPS 受信システム、3 軸用加速度および回転速度センサ、および地上高測定用ソナー装置で構成されます。3 軸磁力計も含まれています。UAV を安定化して、事前に指定した軌道を飛行し、





未知の地域における完全自律飛行時の実世界のリアルタイムでのモデル化とマッピング

自動的に離着陸させるには、これらのモジュールがすべて必要になります。個々の機体には、すべて同じセンサと制御プロセスが取り付けられています。3種類のARTISヘリコプター (midiARTIS、meARTIS、およびmaxiARTIS) にはそれぞれ、通常のものとは異なる駆動コンセプト (2サイクル機関、電気駆動、またはタービン) が導入されています。ローターの直径は2~3mであり、最大離陸重量は25 kgです。これとは対照的に、プロメテウスは、ツインテールユニットを備えた推進式プロペラ飛行機です。これらの航空機は全体として、限定された空間内で非常に精密なナビゲーションが要求される作業や、長距離の高速飛行が必要とされる作業を担います。

#### 飛行動作の数学的記述

実際の飛行システムを構築する一方で、システムの機械的な飛行動作の数学的記述も行う必要があります。これは、自動的に航空機を安定化して航路に沿って進める飛行制御システムを構築するための基盤となります。物理的な関係と (風洞試験などから) 取得されたデータを結合し

て、航空機のシミュレーションモデルを作成します。このモデルのパラメータを正確に決定するために、実際の飛行システムとモデルに同じ制御入力を適用して、両方の応答を記録し、それらの応答間の差異をモデルパラメータの調整によって最小化します。モデルの動作と実装の動作に十分な整合性が見られない場合には、モデルを拡張したり、反復プロセスで改良することができます。これらの結果、制御システムに関する正確で数学的かつ分析的に扱いやすい記述が得られます。

#### 飛行制御システムモデルの開発

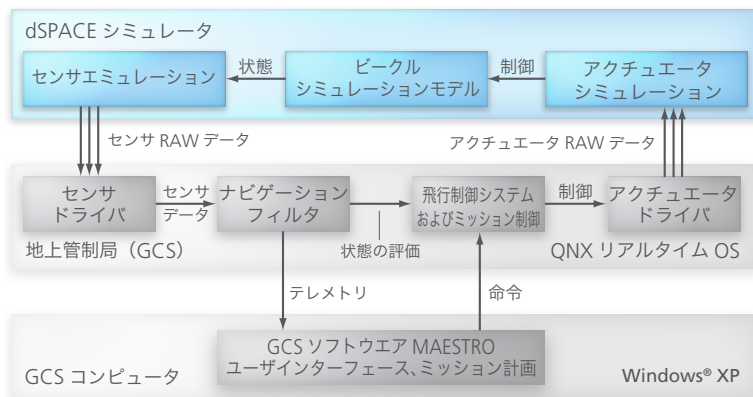
このモデルはMATLAB®/Simulink®で実装され、直ちにデスクトップシミュレーションで制御システムを開発するために使用されました。しかし飛行制御システムがそのタスクを実行するためには、機体の姿勢と位置に関する正確な情報が要求されます。このため、シミュレーションにナビゲーションアルゴリズムを組み込む必要があります。ナビゲーションでは各種のセンサが使用されるため、プロトコルおよびノイズと時間的動作に関するシミュレーションでもこれらのセンサが再現されました。

## ARTIS、自律型 UAV

ドイツのブラウンシュヴァイクにあるDLRの飛行システム研究所で、研究者達は、小型の無人ヘリコプターを使用して、ARTIS (Autonomous Rotorcraft Testbed for Intelligent Systems: インテリジェントシステム向け自律型回転翼航空機テストベッド) と呼ばれる試験用航空機を開発しています。このプロジェクトの目的は、自律型のインテリジェントな制御ロジックに対応できる新しいタイプのシステムとアルゴリズムを調査し、実験を通してそれらを評価することにあります。オンボードコンピュータやデータリンクに加え、ARTISには、衛星ナビゲーション (GPS)、慣性計測プラットフォーム、磁力計など、さまざまなセンサが備わっています。イメージセンサ (ビデオカメラなど) は特に重要です。最新式の飛行制御および飛行誘導のコンセプトに加えて、マシンの意志決定、衝突回避、および複数の飛行システム間の連携を実現する制御ロジックが、研究の主な焦点になります。また、リアルタイムのイメージ処理システムは、視覚的にサポートされたナビゲーションや実世界のモデル化に関する実験にも使用されます。

このセンサシミュレーションでは、必要となるデータを飛行力学のシミュレーションから取得します。シミュレーションには、風や突風のモデルに加えて、離着陸時の接地モデルも含まれています。UAVの地上管制局とのインターフェースは、簡単かつ実際に近い操作が行えるように設定されました。外部世界とのもう1つのインターフェースを使用することにより、シミュレーションされたシステムの環境内における位置や姿勢をビジュアル表示することもできます。これらの要素をすべて利用することにより、ミッション全体の計画、飛行、

## HIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレーション環境



dSPACE システムはすべてのセンサデータをシミュレーションします。そのため、UAV に関して試験施設内でシミュレーションされた飛行は、実際の飛行と同様の状況を再現します。

監視が試験施設内で実行できるようになります。制御システムの開発、パラメータのチューニング、プロトコルのテスト、通信テスト、およびテスト飛行の準備をすべて、この基本施設内で行うことができます。

## リアルタイムシミュレーション

飛行制御コンピュータの制御ロジックと

て dSPACE システムに移植されました。dSPACE システムでは、センサ、環境、飛行力学、およびアクチュエータのダイナミクスのリアルタイムシミュレーションを実行できます。風、センサノイズ、センサ全体の故障などの追加の条件は、dSPACE ControlDesk® 試験用ソフトウェアで簡単に設定することができます。

や、システムダイナミクスおよび環境を使用してコマンドに対する応答を計算してから、対応するセンサデータのシミュレーションを行います。夢を見る飛行機のイメージに話を戻すと、UAV は試験施設内で何事もないように駐機している間もずっと、ミッションの夢を見ながらそれに応じて反応しているのです。

「あまり人目につかないため、過小評価されがちなことなのですが、無人航空機開発の成功の要因として、セーフティパイロットシステムと、dSPACE システムによるハードウェア関連のシミュレーションの 2 つが挙げられます。この 2 つを導入することにより、試験飛行に伴う潜在的なリスクを大幅に減少することができました」

Dr.-Ing. Gordon Strickert, ドイツ航空宇宙センター (DLR)

動作を調査する場合、特に、そのリアルタイムの処理性能およびハードウェアインターフェースとの正しい接続という観点からすると、このアプローチを使用することはできません。これに対して dSPACE システムが提供したソリューションは、主として Simulink で開発されたものと同じ制御ロジックブロックを使用して、シミュレーションを分割するというものでした。ナビゲーションおよび飛行制御システムはシミュレーションから得られましたが、実行には実際の飛行制御コンピュータが使用されました。その他の制御ロジックはすべ

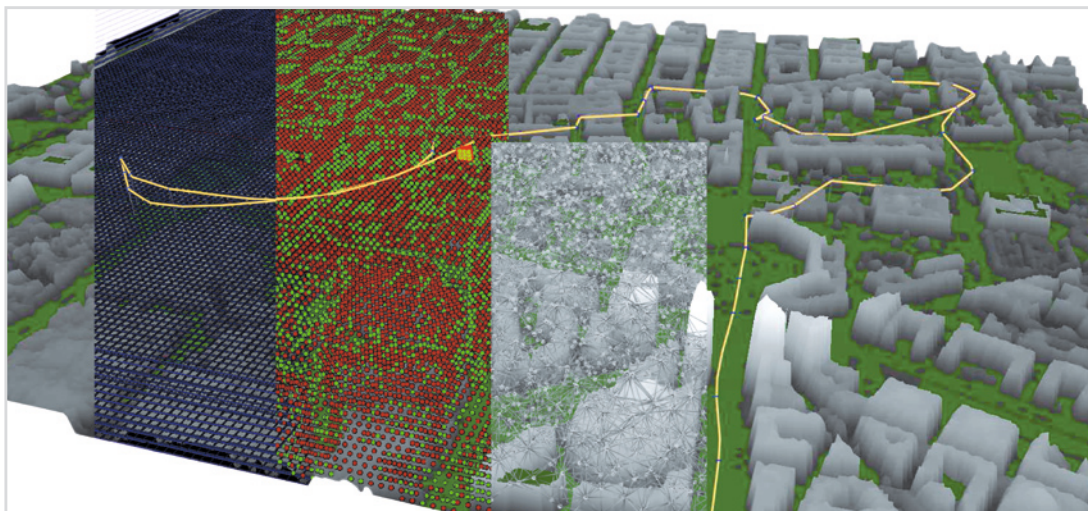
## 試験施設内での飛行

実際の作業は、飛行制御コンピュータからすべてのセンサを外して、互換性のあるコネクタプラグを介して dSPACE システムでシミュレーションされたセンサデータに置き換えるだけで済みます。飛行制御コンピュータは、実際のドライバと設定を使用してシリアルデータを処理し、ナビゲーションソリューションを計算してコマンドを生成します。このコマンドは実際のアクチュエータにより直接実行され、dSPACE システムにも返されます。dSPACE システムではそのコマンド自体

## システムテスト

この種の HIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレーションは非常に有効であることが分かっており、開発時には集中的に使用されています。サブシステムのテスト、最終的なシステムテスト、アルゴリズムの調整、インターフェースのテストなどは、常にこの環境で実行されます。このシミュレーションは、強力なビジュアル表示環境も備えており、パラメータスタディや、品質管理、そして最も重要な機能であるリアルタイムプレゼンテーションに使用されます。





### 仮想的な飛行演習

UAV は、このシミュレーション環境でさまざまな飛行演習を行ってきました。ヘリコプターの慎重なホバリング飛行から始めて、次に航路に沿った飛行、自動的な離着陸、そしていわゆる3次元スプライン経路に沿ったアグレッシブな高速飛行に至るまで、ひと通りの演習を終えています。現在はここで、自動的な実世界のモデル化と処理の手法および3次元マップの作成の手法に関するテストが行われています。これらのシミュレーションのためには、新しい環境センサをHILシミュレータに統合することも必要になることを意味しています。

### 実際のミッション

試験用 UAV は、定期的に行われる実際の飛行ミッションのテストに耐えなければなりません。このテストでは、dSPACE システムに接続されたケーブルが外され、通常のセンサが接続されます。ソフトウェアの変更や再設定は必要ありません。シミュレータ上で数え切れないほど時間を費やしたおかげで、システム動作は十分な精度に達していることが確認済みであり、試験飛行で予想外のことが起こることはめったにありません。開発チームは、シミュレーションでは再現できない、実際の複雑な効果や問題に専念することができます。

### 自律型ヘリコプター

このプロジェクトの結果として開発された ARTIS は、未知の地域を移動しながら、

その周辺環境の地図を完全に自立的に作成し、その環境内を衝突無しで運行できる、世界でも数少ない自動ヘリコプターの1つとなっています。試験飛行は、かつてマシンの夢であったものを、実体のある測定可能なものに変えているのです。■

Dr.-Ing. Gordon Strickert,  
DLR Braunschweig

複雑な低空飛行シナリオにおける自動経路プランニング

## まとめ

- 自律型無人航空機の開発
- 複雑な空間環境モデルのリアルタイムのシミュレーション
- dSPACE シミュレータ上での制御システムの最適化

Dr.-Ing. Gordon Strickert

Dr. Strickert は、ドイツのブラウンシュヴァイクにある DLR の飛行システム研究所で無人航空機の開発を担当する研究員です。

