

2011年初めに計画されている SHEFEX II 熱シールド実験のコンピュータ画像。ペイロードノーズコーンのナビゲーションシステムは、打ち上げ前に dSPACE システムを使用して集中的なテストを受けます。

Beating the Heat

SHEFEX II 熱シールド実験用の
ナビゲーションシステムのテスト

ドイツ航空宇宙センターでは、新しい宇宙グライダーを開発するに当たって、SHEFEX II プログラムの新しい熱シールド技術の調査を行っています。高高度の研究ロケットの先端に取り付けられたノーズコーンは、2011年初めの打ち上げに向けて、複数の平面パネルで構築された新型の熱シールドがテストされることになっています。これによってメンテナンスが簡単になり、現在の宇宙船の熱シールドよりもコストが安くなります。ペイロードを収容した再突入ノーズコーンは、dSPACE システム上で綿密な事前テストを受けています。

新型の熱シールド

米国のスペースシャトルの熱シールドは、さまざまな形をした 20,000 枚を超える曲面パネルで構成されており、各パネルはシャトル上の特定の箇所にのみ合うように作られています。これは、パネルの製造コストと熱シールドのメンテナンスコストが高いことを意味します。ドイツ航空宇宙センター (DLR) は、SHEFEX II (Sharp Edge Flight Experiment : 鋭いエッジをもつ飛行実験機) でまったく異なるアプローチを試みています。パネルはすべて平面であり、その形状もごく数種類の基本的なものに限られています。これにより製造が簡素化され、熱シールドに必要なメンテナンス作業も少なく済みます。さらに、熱シールドの切子面のある形態は、鋭いコーナーとエッジがあることにより、空力的特性が良くなっています。SHEFEX 技術を用いた宇宙グライダーは組み立てるのが簡単なので、コストがかからず、しかもスペースシャトルと同じ精度で着陸することができます。SHEFEX プログラムは、高高度のテストロケット飛行で新しい熱シールド技術をテストすることを目的としています。

IMU、GPS、および恒星によるナビゲーション

ペイロードノーズコーンは、地球への帰還時に、カナードと呼ばれる 4 枚の小さい安定板によって誘導されます。その速度、位置、および姿勢 (飛行方向と縦軸を一致させる) を、あらゆる時点で知る必要があります。これらの変数を計測するために、次の 3 つの異なるナビゲーションシステムが使用されます。

- 慣性計測装置 (IMU) : ペイロードノーズコーンの高度なダイナミクスと、その軌道に関連する姿勢を監視します (サンプリングレート : 400 Hz)。
- 全地球測位システム (GPS) : 位置と速度を計測します (サンプリングレート : 1 Hz)。
- 恒星追跡器 (Star Tracker) : カメラを用いて恒星によってナビゲートします (サンプリングレート : 1 Hz)。

この 3 つのシステムを組み合わせることで、精度と信頼性が確保されます。

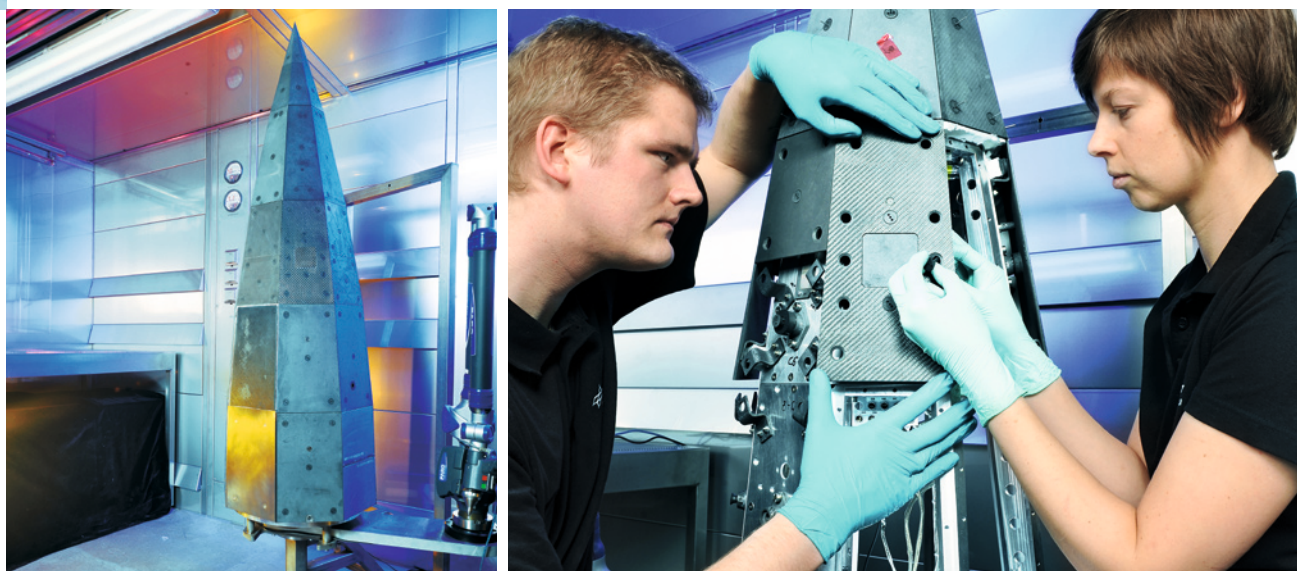
dSPACE システムの役割は、実際の飛行の前に、ナビゲーション信号を含む飛行シーケンスをシミュレーションして、すべての部品間の相互作用をテストすることです。

dSPACE システムによる飛行シミュレーション

地上のナビゲーションシステムテスト用の dSPACE システムは、基本的に、DS1006 Processor Board (現在の飛行姿勢に応じて軌道とナビゲーションシステム信号を計算する) および各種の I/O ボード (ナビゲーションシステムに接続する) で構成されています。

テストはいくつかの段階に分かれています。最初の段階では、実験のセットアップは dSPACE システムとナビゲーションコンピュータのみで構成されます。実際のナビゲーション装置 (IMU、GPS、恒星追跡器) はまだ接続されません。このため、それらの信号はすべて dSPACE システムによってシミュレーションされます。このテストフェーズでは、ナビゲーションソフトウェアの基本機能の妥当性確認と最適化を行います。ナビゲーション装置は、最初のフェーズが完了した段階で接続されます。

図 1 : 左 : ペイロードノーズコーンは 2 m を少し超える長さを持ち、平面耐熱パネルを備えています。
右 : パネルの取り付け作業。パネルの下に、温度センサ、圧力センサ、およびその他の機内計測用の装置が配置されています。



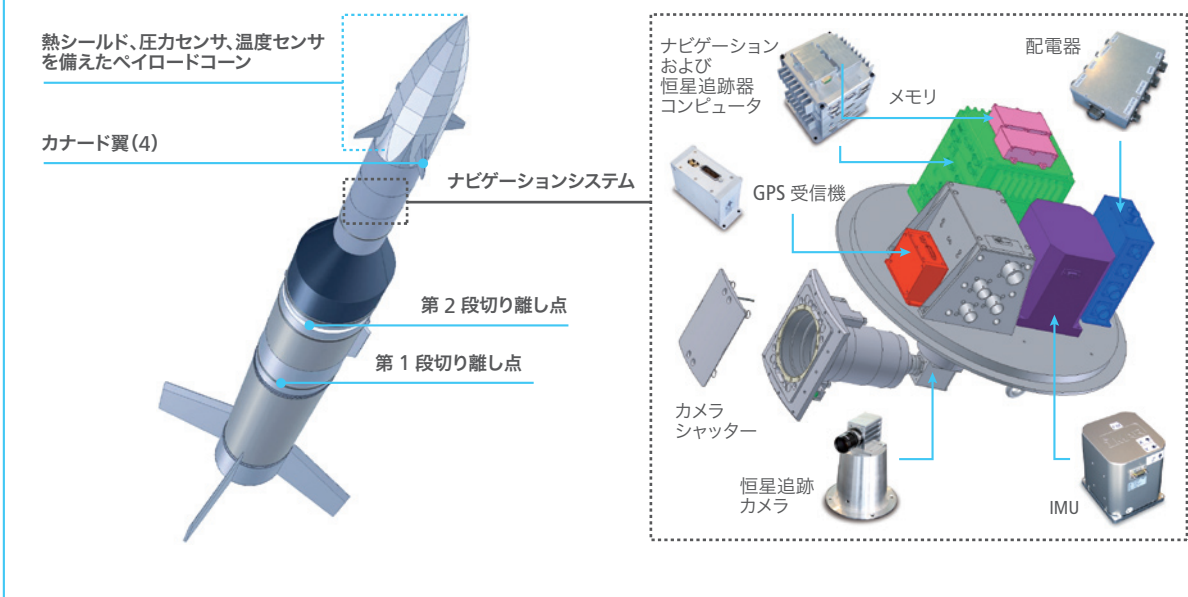


図2：ブラジルの2段式固体燃料ロケットは、12 mを少し超える長さを持ち、熱シールドとナビゲーションシステムを搭載したノーズコーンを約140 kmの高度まで運びます。

第二段階では、GPS ナビゲーションをテストできるように、GPS と GPS 信号ジェネレータを接続します。第三段階では、IMU を接続します。IMU は ACUTRONIC 回転テーブル上に設置され、宇宙船のさまざまな動きがシミュレーションされます (図 3)。最後の段階で、恒星追跡器をセットアップに結合します。恒星追跡器は、Jenoptik 星空シミュレータからシミュレーションされた恒星マップを受け取ります。処理する速度が速いため、GPS 計測における時間の遅れが、ナビゲーション結果に大きな影響を与えます。このため、計測信号をナビゲーションコンピュータの内部クロックと同期させることが、重要な焦点となります。制御モデルは、MATLAB®/Simulink® を用いて開発されます。各テストの信号と設定は、ランタイム時に試験用ソフトウェア dSPACE ControlDesk® によって観測され視覚化されます。

高度 140 km からマッハ 10 で落下

ロケットは、2011 年にオーストラリアのウーメラの試験場から打ち上げられることになっています。140km の高度に到達すると予想されており、約 10 分間飛行を続けます。飛行後、熱シールドを備えたペイロードノーズコーンは、約 830 km 離れた砂漠にパラシュートで落下し軟着陸する予定です。ナビゲーションには飛

行全体を通して、GPS ではなく IMU が使用されます。GPS は、地球の大気圏への再突入時の短時間に障害が起こることが予想されるからです。この障害は、ペイロードノーズコーンが分離され、速度が極超音速から亜音速に急激に低下することが原因です。このとき、高速回転するきりもみ状態となり、GPS アンテナで信号を受信することが事実上不可能になります。遠地点では恒星追跡器が作動し、恒星の位置を格納されている恒星の地図と比較して、軌道に対するペイロードノーズコーンの相対的な姿勢を決定します。

REX フリーフライヤ、再利用可能な宇宙グライダー

再突入フェーズでは、ペイロードノーズコーン内にある約 160 個のセンサが、熱シールドの圧力と温度の分布に関する大量のデータを収集します。SHEFEX のエンジニア達は、さまざまな断熱技術を研究しています。そのほとんどは DLR が独自に開発したセラミック繊維によるものです。その内の 1 つは、断熱層を形成する耐熱パネルの小穴から気体を排出する、能動冷却システムとなっています。これは宇宙旅行の歴史全体の中で、能動冷却を使用する初めてのケースになります。これらの新しい熱シールド技術に関するテストは、長期開発プロジェクトの一部となっています。最終的な目標は、REX フ

Stephen Steffes 氏

同氏は、ドイツのプレーメンにあるドイツ航空宇宙センターで、SHEFEX ナビゲーションシステムの研究に従事しているプロジェクトエンジニアです。



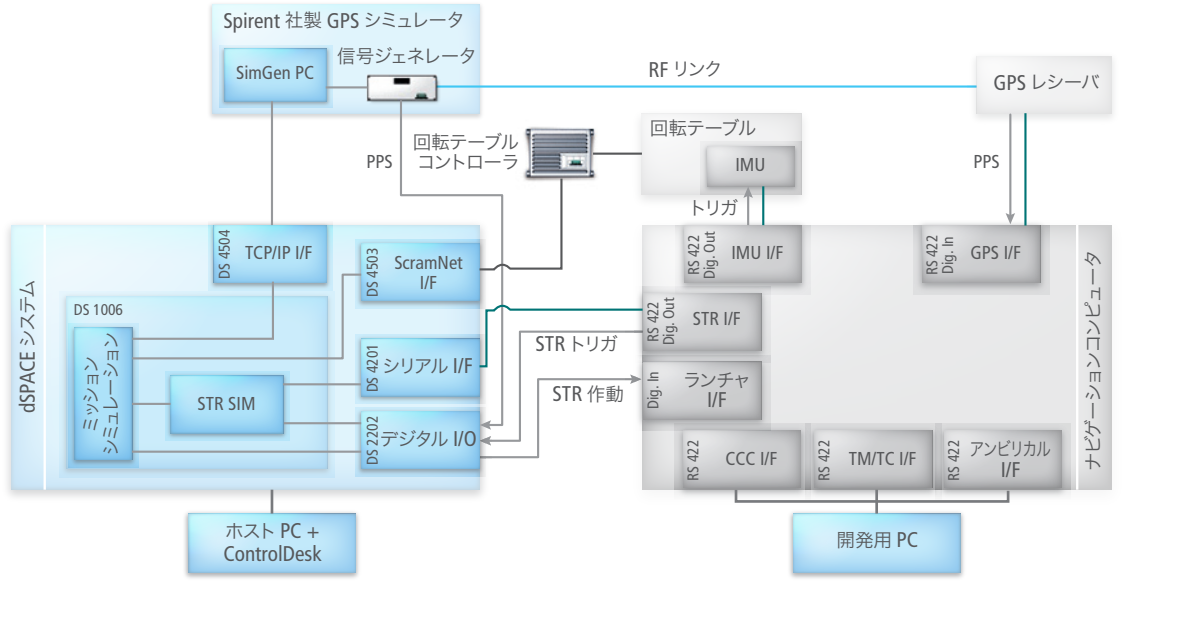


図3：テストシナリオの一例。dSPACE システムは、ナビゲーションコンピュータをテストします。このコンピュータには、実際の部品として GPS と慣性計測装置 (IMU) が接続されます。恒星追跡器 (STR SIM) は、dSPACE システムによってシミュレーションされます。

「dSPACE システムを使用すれば、地上でミッション全体をシミュレーションし、ナビゲーションシステムの細部に至るまでテストすることができます」

Stephen Steffes 氏、DLR (ドイツ航空宇宙センター)

フリーフライヤと呼ばれるまったく新しい型の宇宙グライダーを開発することです。2020 年頃には REX フリーフライヤが利用可能になり、実験機を無重力環境から地球に帰還させることができるようになります。

Stephen Steffes
ドイツ航空宇宙センター

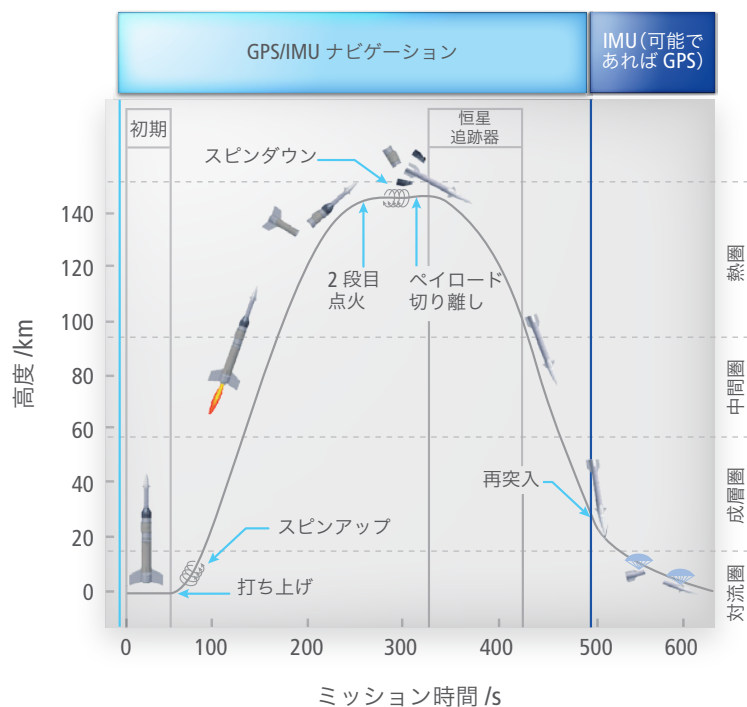


図4：約 10 分の飛行中にすべてのナビゲーションシステムが使用されます。再突入時に約 160 個のセンサが、熱シールドの温度と圧力の分布を計測します。