

気球を用いて高度 25 km まで上昇した無人宇宙船 (USV) は、一連の飛行操作と大量の計測データの収集を行いながら、2 分半近く滑空します。

無人宇宙船のオンボードコンピュータのテスト

Diving Back to Earth



Centro Italiano Ricerche Aerospaziali (イタリア航空宇宙研究センター：CIRA) では、無人宇宙船 (USV) を使用して、将来の宇宙輸送機の開発に不可欠となる技術を研究しています。テスト飛行に使用されたオンボードコンピュータは、飛行前に dSPACE ツールを使用した包括的なテストを受けました。

使い捨てロケットに代わるもの

スペースシャトルの時代が 2011 年半ばの最終飛行で幕を閉じる前から、世界中のさまざまな研究施設で代替手段の開発プログラムが進められていました。何といても、再利用可能な宇宙輸送機というアイデアは、非常に魅力的なものです。なぜなら、使い捨てロケットと比べて、コストが節減され、宇宙ごみを出さなくて済むという大きな可能性を秘めているからです。たとえば、燃え尽きたロケットの

「段」が有害な廃棄物として地球の周りを回ることがなくなります。CIRA は、熱力学、弾性、熱シールド技術、ナビゲーション技術、飛行力学など、将来の再利用可能な宇宙輸送機の開発に関するあらゆる重要な側面を研究するための「空飛ぶ研究所」として USV を使用しています。この USV は既に 2 回のテスト飛行を行っており、外殻にかかる圧力、風力や温度条件などの要素に関する有益なデータを提供しました。



図 1：全長約 9 m の USV は、オンボードコンピュータのみで誘導され、無動力状態で滑空しながら地球に帰還します。



垂直降下、サイズ XXL

2回目のテスト飛行は、2010年4月11日に実施されました。このとき、USVは最初に気球を利用して高度25 kmまで上昇しました。気球から切り離された後、2分間の滑空を実行して、その間計測プログラムを実施しながら、最終的にパラシュートでサルジニア島沿岸沖の海中に降下しました(図3)。2分間のほとんどはマッハ1前後の速度で滑空を続けましたが、約マッハ1.2を記録した区間もありました。飛行中、USVは、オンボードコンピュータでUSVを安全に誘導するために必要となるすべてのデータ(飛行高度、速度、加速度など)を絶え間なく収集し続けました。オンボードコンピュータ自体は、飛行前からdSPACEシステムを使用して集中的なテストプログラムを受けていました。

自律滑空用の飛行誘導システム

滑空する機体を着水するまでの間制御するために、USVでは各種のセンサを使用して、その位置、高度、速度、加速度などに関するデータを収集します。

イムで処理し、その結果を使用して操縦翼面の調整に必要な指令値を算出して、USVの自律滑空飛行が確実に計画どおりに進むようにします。「私たちはdSPACEシステムを使用してすべてのセンサの値を含む飛行をシミュレートしています」と、CIRAの誘導、ナビゲーションおよび制御(GNC)研究所の担当者であるGiovanni Cuciniello氏は説明しています。「つまり、USVが離陸する前でもオンボードコンピュータをテストできるということです」USVには、飛行中に外殻にかかる圧力分布を計測する300個を超える圧電センサなど、あらゆる種類のセンサが取り付けられています。エンジニアはこのデータを使用して、USVの形状などを最適化することができます。

飛行制御システムのテスト

飛行制御システムのテストに使用するdSPACEシステム(図4)は、DS1005プロセッサボード(入力されたセンサ値をもとに飛行シーケンスを算出)と、オンボードコンピュータに接続するための各種のI/Oボードで構成されています。試

「私たちは、dSPACEシステムを利用することで、実際に飛行する前に、オンボードコンピュータの機能を包括的にテストすることができました」

Giovanni Cuciniello氏、CIRA

- 磁力計(地球の磁場に基づいてUSVの高度を決定します)
 - 加 速 度 セ ン サ (MEMS (micro-electric mechanical systems) 加速度計)
 - 光ファイバージャイロスコープ (USVの軌道に基づいて高度を決定します)
 - GPS センサ (位置と速度を計測するグローバルポジショニングシステム)
 - 大気データシステム (例: 背圧センサを使用してマッハ数を決定します)
- オンボードコンピュータは、これらのすべてのシステムからの計測データをリアルタ

験ソフトウェア dSPACE ControlDesk は、試験全体を監視・制御するために使用されます。ControlDeskによって通常実行されるタスクは、シミュレートされた環境を監視および記録することですが、場合によっては、気球上昇速度を上げたり自由飛行中の突風強度を変えるなど、その環境を変更することもできます。またControlDeskを使用すると、シミュレートされた気球と機体のサブシステムに欠陥を生成して、システムの応答を分析することもできます。従来の研究開発手法と比較すると、dSPACE リアルタイム制

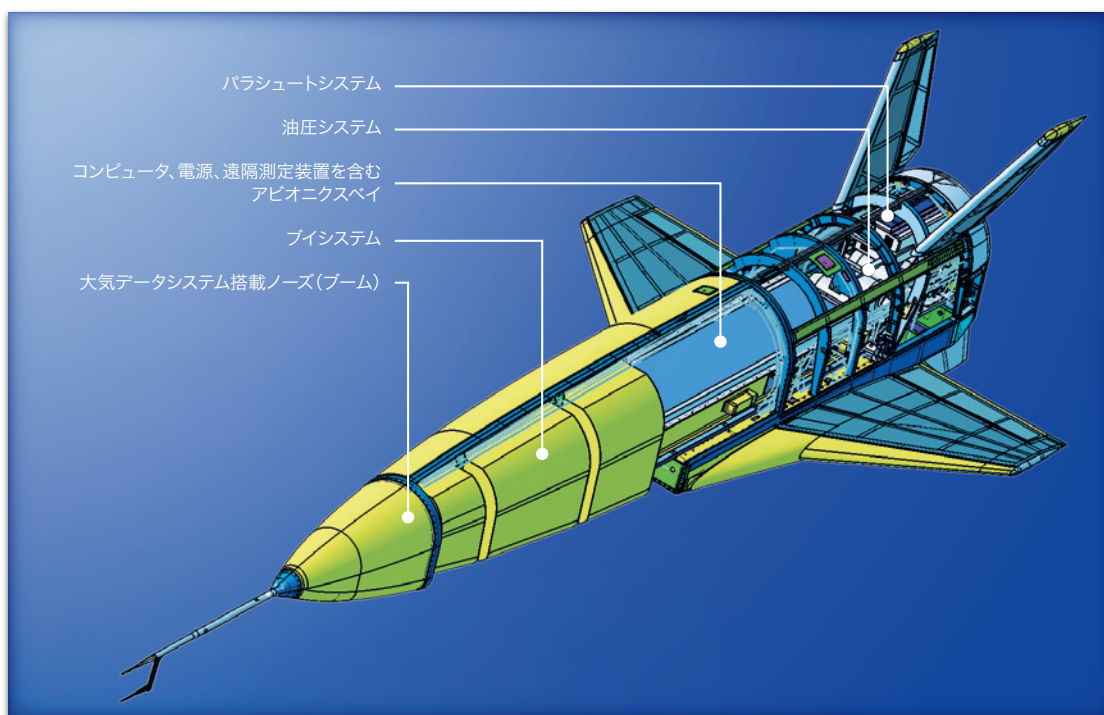


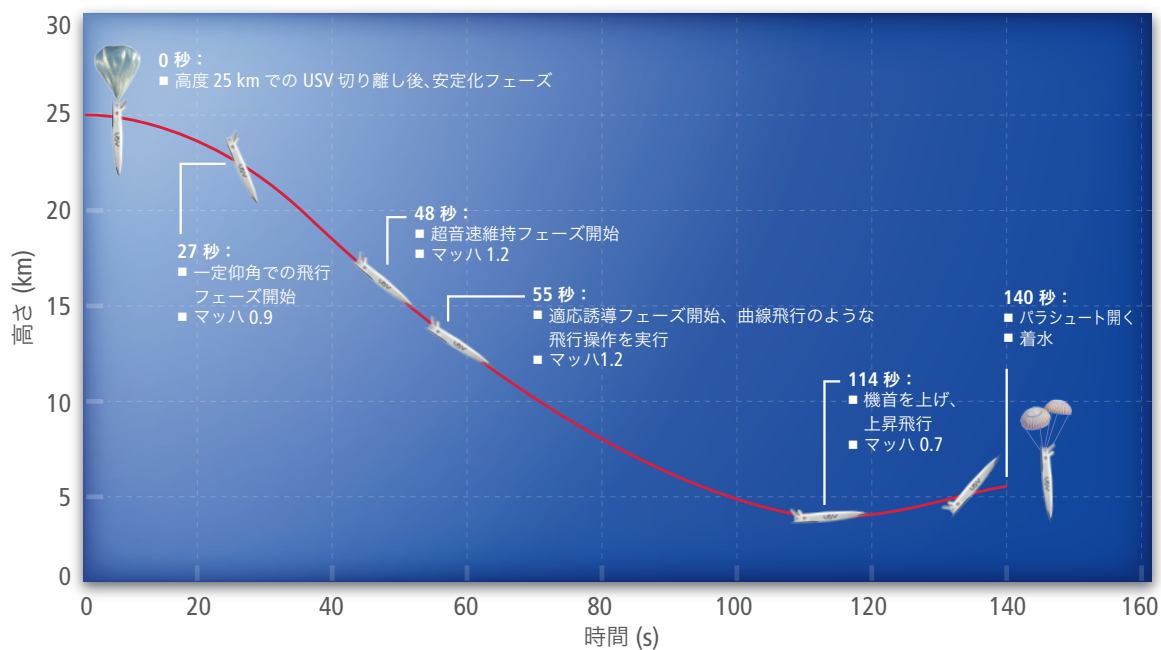
図 2 : USV の構造。USV の外殻には、数百の圧力センサなどの装置が取り付けられています。

御プラットフォームを使用した場合、飛行制御システムの開発が迅速かつ完全に行えるようになります。この利点として、システム開発サイクルにおける時間とコストの削減およびシステムの信頼性の向上が挙げられます。

テストは、(1) SIL (Software-in-the-Loop)、(2) 地上の機体での移動テスト、(3) HIL (Hardware-in-the-Loop) という 3 つの段階で実施されます。

1. SIL (Software-in-the-Loop) : これは、飛行制御ソフトウェアの基本機能をチェックするための事前テストです。dSPACE システムは、USV の飛行力学特性とそのすべてのセンサをシミュレートし

図 3 : 2 分間の滑空飛行中、外殻センサに取り付けられたセンサがあらゆる種類の飛行操作中に大量の計測データを収集します。



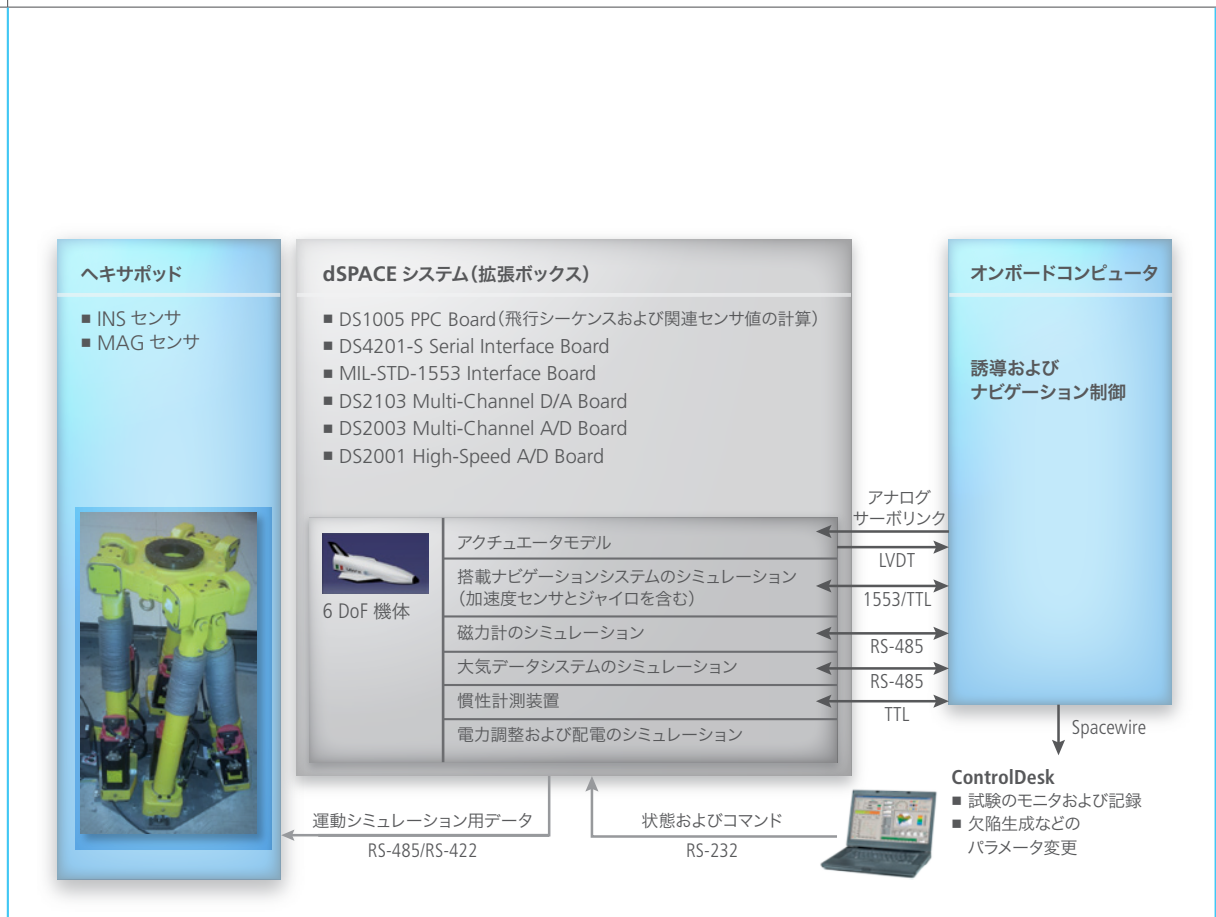


図4：dSPACE システムは飛行力学とセンサ/アクチュエータのモデルをリアルタイムで演算します。このデータを使用してオンボードコンピュータをテストします。これと並行して、実際のセンサを取り付けたヘキサポッドによって現行の飛行動作が実行されます。

ます。モデルはすべて、MATLAB®/Simulink® であらかじめ開発されたものです。実際のセンサは、この段階ではまだ統合されていません。

2. 移動テスト：実際のセンサを機体に取り付けて、飛行中に（単独および相互作用環境で）適切に機能するかどうかをテストしました（たとえば、絶えず変化する GPS データや加速度の値が正常に処理されているかどうかなど）。

3. HIL (Hardware-in-the-Loop)：最後にこの手順で（図 4）、その後のミッションで使用するものとまったく同じオンボードコンピュータをテストします。手順（1）の SIL (Software-in-the-Loop) テストと同様にこの手順でも、dSPACE システムは、飛行力学とすべてのセンサの値をシミュレートします。その後このデータは、オンボードコンピュータに渡されます。その応答によって、実際のセンサを取り付けられたヘキサポッドが制御されます。

今後の目標：熱シールドのテスト

USV1 を用いて実施された 2 回の飛行を受けての、次なる無人システム USV3 の目標は、軌道から着陸するまでの再突入ミッションを実行することです。このミッションを実行するために、クールの欧州宇宙基地から地球低軌道（高度 200 ~ 300 km）に向けて USV3 が欧州 VEGA ロケットによって打ち上げられます。軌道を数周した後、USV3 は軌道を離脱し、極超音速で再突入を開始し、

「dSPACE リアルタイムシステムによって、開発時間の短縮、コストの削減、そしてシステム全体の信頼性の向上を図ることができます」

Giovanni Cuciniello 氏、CIRA





著作権：ESA – S. Corvaja, 2012

図 5：2012 年 2 月 13 日に新しい欧州 VEGA ロケットの初飛行となる打ち上げが行われました。CIRA の USV を軌道に打ち上げることが、このロケットの将来の飛行ミッションの 1 つとなる予定です。

自律飛行で大気中を通り抜け、極超音速から超音速、遷音速、そして亜音速領域へと減速して、従来の滑走路に着陸します。「USV に搭載されたすべてのシステムが、外殻の温度が約 2000 °C になっても計画どおりに機能するかどうかを調べることは非常に好奇心がそそられます」と、CIRA の Giovanni Cuciniello 氏は述べています。CIRA の USV プログラムの長期的な目標は、航空機のように地上から離陸し、軌道高度に到達してから、世界中のすべての飛行場に着陸できる宇宙輸送機を開発することです。■



下記サイトで USV1 の完全落下飛行テストの離陸の準備からパラシュートによる着陸までの様子をご覧ください。
www.youtube.com/watch?v=BhoXgWKjVL0

Giovanni Cuciniello 氏

同氏は、CIRA (イタリア、カプア) の誘導、ナビゲーションおよび制御 (GNC) 研究所の所長です。

