

マッハ 0.8、 40,000 フィートの挑戦

米国イリノイ州スコキーに本拠を置く MPC Products Corporation 社は、NASA が採用するアクチュエータ制御システムを開発しました。この制御システムは、大型の赤外線望遠鏡を収容する改造されたボーイング 747 の後部胴体にある大きなキャビティを覆う、キャビティドアシステム用の駆動システムを制御することを目的としています。この望遠鏡は、航空機内に搭載されるものとしては今までで最も大きく、複雑な分子、新たに形成されつつある太陽系、あるいはブラックホールなどの天体から発せられる赤外線の研究に役立ちます。MPC では、この非常にユニークなプロジェクトのために、dSPACE のツールをいくつか使用して、制御ソフトウェアを設計しています。

MPC Products Corporation 社は、4 年を超える NASA プロジェクトの最終テストフェーズを完了しつつあります。このプロジェクトは、今までで最大の望遠鏡を航空機に搭載するために、キャビティドア駆動システム (CDDS) を機械的に操作するアクチュエータ制御システムを開発することを目的としています。この反射式望遠鏡により、科学者達は、恒星、彗星、小惑星、形成されつつある太陽系、ブラックホールなどの遠くの天体を研究できるようになります。この望遠鏡は、成層圏天文台 (改造されたボーイング 747SP) の内部に常置されています。NASA ではこの天文台を SOFIA (Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy) と呼んでいます。

成層圏観測の必要性

SOFIA の望遠鏡は、2.5m の口径を持ち、最大の大きさとも高さを持つ地上望遠鏡であっても不可能な観測を可能にします。この望遠鏡は、DLR (ドイツ航空宇宙センター) から NASA に提供されたものであり、多種多様な天体から発せられた赤外線やエネルギーを検出するように設計されて



▲ 若い恒星 L1157 を可視光で見た場合 (左) と赤外線イメージで見た場合 (右)。可視光では、暗黒に見える。
クレジット : NASA, JPL Cal Tech, L. Looney (イリノイ大学)

います。大半の形態の赤外線/エネルギーは、地球の大気圏内の水蒸気によって遮断されてしまうため、地上の望遠鏡から観測することはほとんど不可能です。しかし、地上約 40,000 フィートの高さを飛ぶ SOFIA 望遠鏡は、地上の望遠鏡と比較して 100 ~ 1,000 倍の赤外線を検出する能力を持つこととなります。

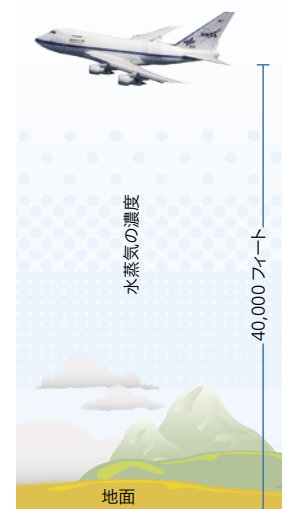
空へのドア

この卓越した観測能力を実現するために必要となる重要な工学的側面の 1 つは、CDDS の設計です。MPC のプログラマネージャ Chris Wall 氏によると、課題となるのは、40,000 フィートの高度をマッハ 0.8 (約 500mph) の速度で飛ぶ航空機上で、大きな望遠鏡のキャビティドアを開閉することができるアクチュエータ制御システムを設計することでした。速度と高度に加えて、MPC では、氷の生成、慣性負荷、重力など、その他の負荷となる要素を考慮する必要がありました。

「これは間違いなく、これまで私たちが行った中で最も総合力を問われるソフトウェアプロジェクトになりました。次の 6 ヶ月以内に、私たちは、航空機上でドアシステムを開閉できるハードウェアを (NASA に) 納める予定です」と Wall 氏は述べています。

MPC Systems の主任エンジニア Matt Polley 氏は、望遠鏡の運用には、電磁モーターを駆動して望遠鏡の位置を調節するコンピュータ化された制御システムが用いられると説明しています。望遠鏡が、観測対象に対する機体の保持位置に応じて移動するのに合わせて、ドアは望遠鏡の後ろを追って接近することが要求されます。「私たちがドア用に設

- ▲ NASA プロジェクト : Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy (SOFIA)
- ▲ 飛行中にキャビティドアを開閉する上での課題
- ▲ dSPACE のツールを使用して開発されたセーフティクリティカルな制御方式



▲ 40,000 フィート (約 12 km) の高さでは、水蒸気の濃度がほぼ 1/1000 まで減少します。

計した制御システムは、電子制御ユニットからの命令を受け
る2つの冗長駆動されたアクチュエータから成ります。位置
と速度の正確な制御が、ドア設計の重要な部分です。ドア
の動きが正確でなかったり、速過ぎたり、設定された制
限を超えたりすると、機体が損傷し、大事故を引き起
こす恐れがあります」と Polley 氏は述べています。

アルゴリズム設計

アクチュエータ制御システムを開発するために、MPC の
チームは、dSPACE のツールを利用してシステムの動
作環境をシミュレートするテスト装置を設計しました。

**「これは間違いなく、これまで私たちが行った中で
最も総合力を問われるプロジェクトになりました」**

Chris Wall, MPC Products Corporation

モジュール型のシステムの構築には、リアルタイムで高速な
サンプリングレートを実現する dSPACE DS1005 プロセッ
サボード、dSPACE リゾルバカード、dSPACE エンコーダ
カード、そして多様な I/O の種類を必要とするアプリケー
ション用に設計された dSPACE DS2201 アナログ/デジ
タル Multi-I/O ボードが使用されました。Polley 氏が言う
ように、制御設計を微調整し、実際の運行時に CDDS に
発生する空力的負荷と重力負荷をシミュレートするための
制御方法を生み出すために、dSPACE のさまざまなツール
が使用されました。設計プロセスの一部として、400 を超え
るシステムレベルの要件を考慮に入れる必要がありました。
「このプロジェクトで最も重要な要素の1つは、航空機の運
行中にアクチュエータに発生する横揺れ負荷と重力負荷を
シミュレートすることでした」と Polley 氏は述べています。
「この動作は線形関数として定義できないため、閉ループ

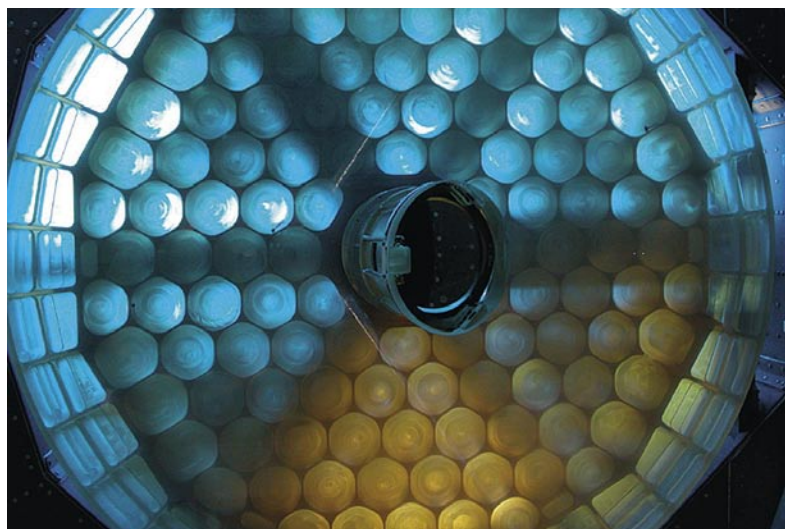


制御を実行する、専用のコンピュータシステムを
作る必要がありました。このシステムは、負荷とい
う点で非常に大きく、トルク出力が比較的低い私
たちの標準的な動力計よりも複雑です」 Polley 氏はさら
に続けて、「ソフトウェア開発の特徴を私たちの手で捉えるこ
とが最も大きな課題でした。私たちは、開発プロセスを促進
するために、dSPACE のさまざまなツールを使用しました。

**「制御設計を微調整し、40,000 フィートの高度での
実際の運行時に、NASA の SOFIA プログラムのキャ
ビティドア駆動システムに発生する空力的負荷と重
力負荷をシミュレートするための制御方法を生み出
すために、dSPACE のさまざまなツールが使用され
ました」**

Matt Polley, MPC Products Corporation

これらのツールは、適応性が非常に高く、MPC でも複数の
プロジェクトで使用されています」と述べています。



◀ 天体からの光を 2.5m の
SOFIA の主鏡を通して観測。
左写真は鏡に不透明な
アルミニウムコーティングが
施される前に撮影したもの。
写真：Stratospheric
Observatory for Infrared
Astronomy (SOFIA)
Education and Public
Outreach (E/PO)
Universities Space
Research Association
(USRA)



▲ テスト飛行中のボーイング 747SP。SOFIA 赤外線望遠鏡は機体後部に設置されます。

テストフェーズ

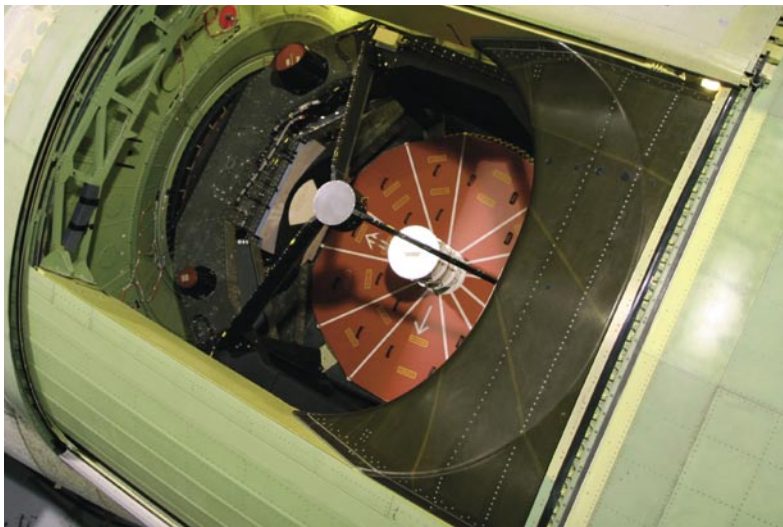
MPC は、最初の開発ユニット製作の最終段階を完了しつつあります。MPC では、運行中および空中で望遠鏡と CDDS に発生する可能性のある、考えられる限りのあらゆる状況をシミュレートすることにより、アクチュエータ制御設計が正常に機能することを実証する“テストのみ”のフェーズを開始する準備を行っています。NASA は、2008 年の 8 月に装置を入手し、独自に CDDS のテストを開始する予定です。

「私たちは、素晴らしいチームを擁しています。私たちは、

NASA と直接連携して、彼らの期待に応えられるようソフトウェアの効率化を図ってきました。共同作業もたくさん行っています」と Wall 氏は述べています。MPC は、NASA の現場に行き、SOFIA 航空機に搭載されるキャビティアシストシステムとアクチュエータ制御システムの統合という面から NASA をサポートする予定です。また MPC は、ドア開放飛行テストの実施準備をすることで NASA を支援します。このテストでは、星座の赤外線画像が初めて撮影されることになっています。

<SOFIA 公式サイト>
www.sofia.usra.edu

<MPC Products Corporation>
www.mpcproducts.com



◀ NASA の Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy の心臓部となる望遠鏡は SOFIA 747 の機体後部に収容されています。ドアがまぶたのように開閉します。

写真提供：NASA、USRA (Universities Space Research Association)、および L-3 Communications Integrated Systems