

先端技術センターシステム設計グループにおける飛翔体装置開発

浦口 史寛（国立天文台先端技術センター）

概要

国立天文台先端技術センターにおける飛翔体装置開発支援の歴史は長いですが、近年は計画や設計の段階から関与している。先端技術センターの一組織であるシステム設計グループでは、様々な天文プロジェクト向け観測装置の設計や検証を支援する中、太陽飛翔体実験を皮切りに JAXA 科学衛星ミッションにも取り組んでいる。本講演では主に熱構造設計ならびにシステムズエンジニアリングの各分野について飛翔体装置開発への貢献を紹介する。

1. はじめに

国立天文台先端技術センター(Advanced Technology Center, ATC)は、高度な観測装置の設計から製作・試験までを一貫して実施する"ものづくり"のための組織である。その ATC を構成するグループのひとつ「システム設計グループ」は、かつてのワークショップを起源とする技術系職員で構成される集団であり、以下の4チームが様々な天文プロジェクト向け観測装置の設計や検証を支援している。

- 光学系の設計から迷光や公差の解析・試作・計測・組立までを行う「光学設計チーム」
- 熱および構造について概念検討から性能評価までを行う「熱構造設計チーム」
- アンテナ・望遠鏡に特化した受信装置の設計・開発・製造・保守を行う「検出器設計チーム」
- 目的や機能、制約条件を整理し、実現のための構成設計を支援し、開発工程の構築と各工程におけるグループ間連携を促進する「システムズエンジニアリングチーム」

ATC における飛翔体開発としては ひので 衛星の開発支援が有名だが、本グループはどのような位置付けになるだろうか。以下、歴史を追って探ってみる。

国立天文台年次報告によれば、90年代中頃からのちの ひので につながる太陽観測衛星の関連技術がプロジェクト支援という枠組みで名を残している。2000年になると JAXA 宇宙科学研究所からの製造依頼が現れ、飛翔体関連の部品製作が増加した。2006年、ひので打ち上げ後には設備を有効活用するスペースチャンバーショップが設置されている。そして2013年、太陽観測ロケット実験の光学解析が行われたことを皮切りに、同実験に熱構造設計、検出器設計が参加し、近年の科学衛星開発支援ではシステムズエンジニアリングの分野でも関与することになった。

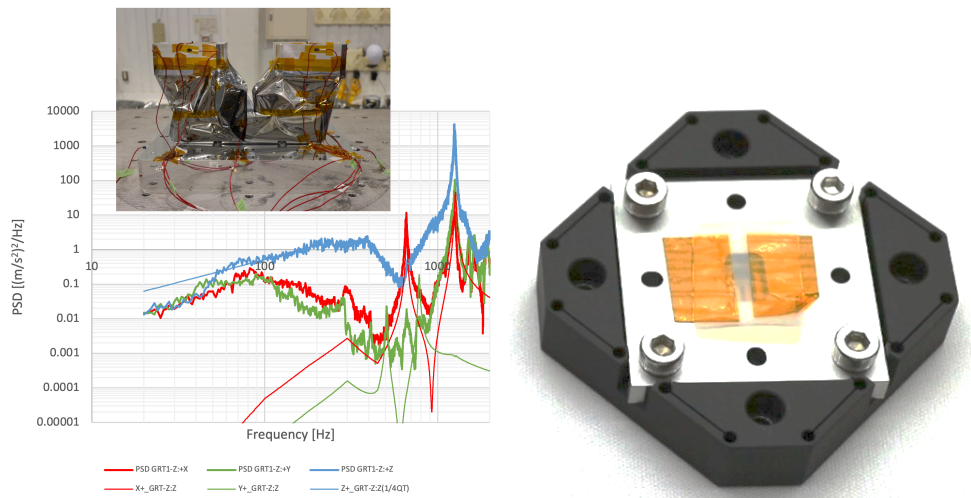
注目すべきは製造・検査から物理設計・機能設計、そして要求定義と上流設計に徐々にシフトしてきた、すなわちシステムズエンジニアリングにおけるエンティティ V を遡上してきた点である。各チームはシステム設計だけでなく組立、試験、検証も視野に活動しており、グループ全体でシステム実現にも取り組んでいる。これは光学システム構築にむけた理想的な体制であり、近年は飛翔体開発においてもその能力を活かして貢献しているといえる。

2. 実績

光学設計については他講演に詳しい。ここでは熱構造設計とシステムズエンジニアリングの各分野における飛翔体開発支援の実績を紹介する。

太陽観測ロケット実験 CLASP2ⁱⁱ

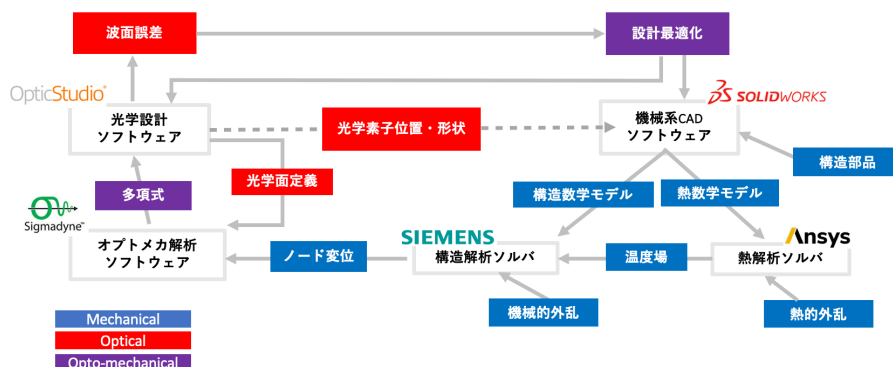
構造検証支援と搭載部品設計を担当した。CLASP2はCLASPⁱⁱⁱの一部構造を変更した再飛翔ミッションであり、その新規構造が打ち上げ時の機械環境に対して耐性があることを示す必要があった。ここではランダム応答解析やCLASP振動試験結果を活用しながら、新規構造の単体試験における負荷が、打ち上げならびに射場振動試験と比較して十分であることを推定するなど、検証ロジックの構築を支援した。また、分光器スリットのホルダー設計では、熱構造連成解析による微細加工部の熱応力推定をもとに応力緩和構造を設計した。ATC製造設計グループによって製作されたフライト品は、ATCで設計から製造まで行なった最初に宇宙に行った部品となった。



左：新規構造の振動試験と数学モデルコリレーション結果、右：スリットホルダー（黒色部分）

国際大気球太陽観測実験 SUNRISE-III/SCIP^{iv}

コンポーネント設計と組立を担当した。ここで確立した光学熱構造設計は本グループの得意分野のひとつとなった。その設計手法はJAXA研究開発報告(JAXA-RR-22-008, p. 51-63)に詳しいが、光学設計のループに熱構造設計が入り込み、外乱による劣化を模擬した光学面形状を、光学設計者の"言葉"で返すという仕組みである。SCIPでは装置全体を数学モデル化し、波面誤差を指標としたend-to-endの性能推定とバジェット管理に本手法を活用した。



光学熱構造設計のフロー。赤が光学設計、青が熱構造設計の担当で、紫が共同作業となる

高感度太陽紫外線分光観測衛星 SOLAR-C^v

ミッション部サブシステム開発における望遠鏡-搭載機器インタフェース調整支援，メーカー開発仕様書の作成・維持，搭載部品設計を担当している．SOLAR-Cでは日本製の望遠鏡に搭載される海外製の機器が十を超える．各々の機器に対し，機械環境条件を含めた構造インタフェースの詳細な議論に参加して，望遠鏡の設計・開発状況説明や合意形成を支援している．また望遠鏡メーカーに向けた開発仕様書について，要求書立案ならびにメーカーとの合意・調整，制定後の構成管理などを担当している．搭載部品設計では，機械設計だけではなく，特殊工程と識別された表面処理の認定や工程管理，ATC 製造設計グループが加工を担当するにあたっての工具・工程・検査のトレーサビリティ確保など，信頼性や品質管理を考慮した設計を行なっている．

赤外線位置天文観測衛星 JASMINE/DBU^{vi}

コンポーネント概念検討における熱構造設計，技術要素試験，要求定義支援を担当している．担当コンポーネントは赤外線検出器を 170K に維持するための検出器ボックスユニット (DBU) と呼ばれる．概念検討におけるさまざまなトレードオフにクイックに対応するため，熱設計には 1D CAE を用いている．検出器冷却に用いるペルチェ素子とグラファイトを使った排熱パスは，運用温度域での動作保証や特性把握が十分でないため，熱構造設計チームで評価を行なっている．DBU に対する要求や制約の管理はシステムズエンジニアリングチームが支援している．



左：製作中の SOLAR-C 搭載部品(BBM)，うしろは表面処理の工程認定・管理用のクーポン

右：JASMINE/DBU の CAD 図と，特性評価中のペルチェ素子（上）とグラファイトストラップ（下）

3. 過去、現在と未来

ATC の歴史を振り返ると、飛翔体開発の始まりは太陽グループによる実験であった。2010 年代に活発化したひので衛星に続く次世代の活動においては、同グループが ATC を指導する立場として存在した。これがシステム設計グループの飛翔体開発の基礎をつくったと考えてよいだろう。

しかしながら熱構造分野については担当する要員は一名のみであり、飛翔体実験で得られたノウハウが属人化する懸念があった。本来は複数名で対応し、技術と技能を維持することが望ましいところだったが、近年 JASMINE に参加した際、ATC センター長のリーダーシップによりチームによる開発支援体制が構築された。これにより台内の飛翔体開発への支援を持続的に行える見通しが立ったといえよう。

システムズエンジニアリングの強化も ATC スペースミッション機器開発チームとの共同作業で進んできた。スペースミッション機器開発チームはこの分野に深い知見を持ち、日頃の設計活動を通じた指摘は多くの示唆に富む。この学びをグループとして活かし、特定の技術分野に注意しすぎず、コンテキストを含めた最適設計の視点をもたなければならない。

ATC の特徴のひとつに「横串」と呼ばれるプロジェクト横断的な関与がある。衛星開発は機微情報がとくに多く、横串を通すのは決して容易ではないが、先行ミッションでの Lessons Learned を、ミッション完了を待たずに後続ミッション担当のメンバーと共有するなど、飛翔体開発においてもその強みを活かすことが可能だろう。

以上、今後も現状の理想的な体制を維持・強化し、ATC による設計を文字通り軌道にのせたい。

ⁱ 国立天文台年次報告(和文), <https://www.nao.ac.jp/about/reports/annual-report-ja/>

ⁱⁱ CLASP2, https://solarwww.mtk.nao.ac.jp/Rocket_balloon_experiments/CLASP2/index_j.html

ⁱⁱⁱ CLASP, <https://hinode.nao.ac.jp/KakenS/CLASP.shtml>

^{iv} 国立天文台 SUNRISE-3/SCIP プロジェクト, <https://solarwww.mtk.nao.ac.jp/sunrise-scip/>

^v 次世代太陽観測衛星「SOLAR-C」, <https://solar-c.nao.ac.jp>

^{vi} 国立天文台 JASMINE プロジェクト, <http://jasmine.nao.ac.jp>