

## 小型衛星用機器の試作試験

### Research on the instruments for future micro-satellite

宇宙実証研究共同センター

○吉原 圭介, 橋本英一

Space Technology Demonstration Research Center

Keisuke YOSHIHARA, Hidekazu Hashimoto

The Space Technology Demonstration Research Center has conducted the research on a next-generation technology for micro-satellite since 2002. As a part of this research, an experimental manufacture, various test and evaluation of small satellites instruments have been implemented. This paper shows the status of research about the micro sun sensor for attitude control and the micro GPS receiver for navigation.

#### 1. はじめに

宇宙実証研究共同センターでは、平成14年度より、次世代の小型衛星技術の研究として、小型衛星用機器の試作試験を実施している。平成16年度は、小型太陽センサ、小型スタートラッカ、GPS 受信機、および、小型衛星用推進系コンポーネントの試作試験を実施した。本稿では、これらのうち、特に、宇宙科学研究本部との共同開発により研究を進めている小型太陽センサ、ならびに、車載用 GPS 受信機を改良した小型衛星用 GPS 受信機の研究開発結果について報告する。

#### 2. 研究の概要

##### 2. 1 小型太陽センサの研究

宇宙実証研究共同センターでは、次世代の小型衛星の姿勢センサとして、宇宙科学研究本部と共同で、小型太陽センサ(MSS)の研究を実施している。

この太陽センサの構成が従来の高精度太陽センサと大きく異なる点は、検出素子をリニア CCD ではなく、2次元 CMOS センサとした点である。十字状のスリットを通過する太陽光を CMOS センサで受光することで、1つの素子で直交する2軸の角度を検出することができる(Figure.1)。また、アナログ処理回路等の周辺回路が内蔵された CMOS センサの採用は、受光部回路の簡素化を実現し、センサの小型化、消費電力の低減に寄与する。また、本小型太陽センサにおいては、画像処理、および、外部インタフェース(コマンド・テレメトリ処理)を1つの FPGA で処理している。各種演算処理を単一の FPGA にて実施する設計としたことで、画像処理・信号処理ロジックの変更などの柔軟性を高めている。また、本太陽センサは、受光素子である CMOS センサ、および、光学フィルタに民生品を利用することで、従来センサに比して低コスト化を実現している。Table.1 に本小型太陽センサの主要諸元を示す。また、Figure.2 に、本センサの機能ブロック図を示す。

本研究は、平成14年度に旧宇宙科学研究所(現:宇宙科学研究本部)が着手したものであるが、平成15年度以降は、総合技術研究本部宇宙実証研究共同センターが主体となり、民生品 CMOS センサ等の放射線試験や、地上試験モデル(GTM = EM相当, Figure.3)の試作を実施してきたものである。平成16年度は、この地上試験モデルの光学性能試験を、宇宙科学研究本部の光学試験設備を使用して実施した。

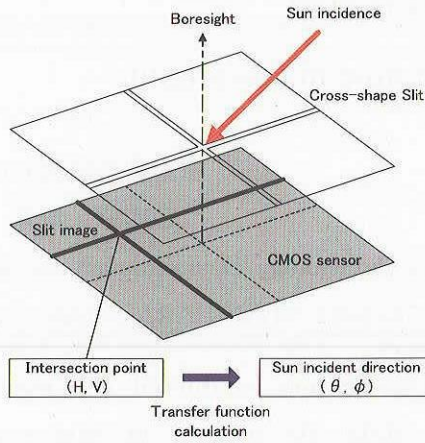


Figure.1 Measurement principle of the MSS

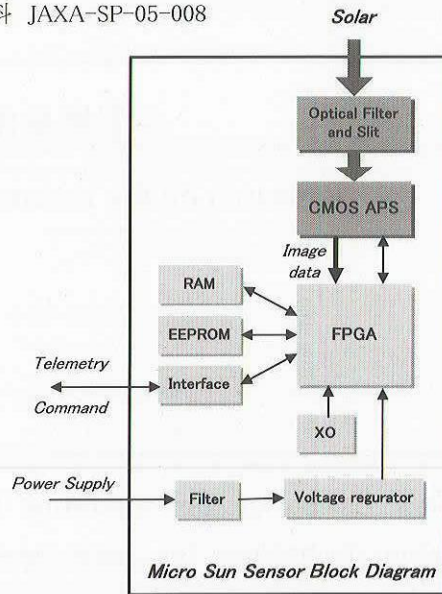


Figure.2 Block diagram of the MSS

Table.1 Main characteristics of the MSS GTM

Item	Specifications
Dimension	64mm(W) × 64mm(D) × 57mm(H)
Mass	330 ± 30g
Power	< 1.5W
FOV	H: +56/-50, V: +42/50
Bias error	< 0.1deg, 3sigma
Random error	< 0.01deg, 3 sigma

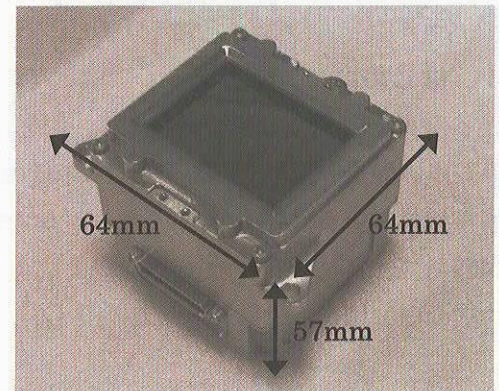


Figure.3 Picture of the MSS GTM

## 2. 2 小型衛星用GPS受信機の研究

宇宙実証研究共同センターでは、次世代の小型衛星に必要な航法機能を実現するため、システム誘導技術グループの協力の下、平成 15 年度より小型衛星用 GPS 受信機ユニットに関する研究に着手している。

本研究は、千葉工業大学の鯨生態観測衛星、ならびに、宇宙科学研究本部で開発された小型衛星 INDEX に搭載された車載用 GPS 受信機モジュールをベースに、以下 2 つのアプローチから、衛星搭載用 GPS 受信機として完成させることを最終目標として研究を進めている。

(1)車載用 GPS 受信機モジュールのファームウェアの追加改良

(2)各種環境(機械、熱、真空、EMC、放射線)への耐性を向上させることを目的とした、筐体やインタフェース回路等のハードウェアの設計試作

平成 16 年度は、平成 15 年度に引き続き、軌道上での運用性の考慮、ならびに、測位性能の向上を目的とした機能追加を目的として、車載用 GPS 受信機のファームウェアに対して改良を加えた。また、この車載用 GPS 受信機モジュールを組み込んだ、小型衛星搭載用の GPS 受信機の地上試験モデル(GTM)を試作した。さらに、車載用 GPS 受信機モジュールに使用されている民生品電子部品のうち、特に、シングルイベントラッチアップ (SEL)に対する耐性の評価が必要と考えられた部品について、カリフォルニウムを用いた SEL 感受性試験を実施した。Figure.4 に、小型衛星用 GPS 受信機のコアとなる、車載用 GPS 受信機の外観を示す。



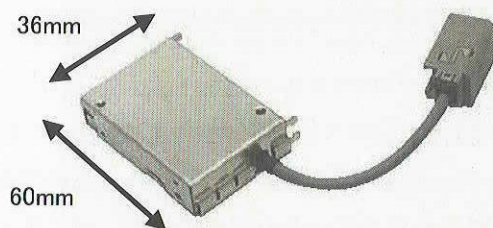


Figure.4 In-vehicle GPS receiver unit

### 3. 成果の概要

#### 3. 1 小型太陽センサの研究

2. 2節に示したように、本年度は、小型太陽センサ(MSS)地上試験モデル(GTM)の光学性能評価試験を実施した。以下に試験の概要と、小型太陽センサ GTM の光学性能評価結果についてまとめる。

##### (1) 試験の目的

本試験は、小型太陽センサ GTM の性能として、①バイアス誤差、②ランダム誤差、③ダイナミック特性の3つの観点から、センサの光学性能を評価することを目的としたものである。③のダイナミック特性は、太陽センサが回転レート有する状態（太陽センサが搭載された宇宙機が姿勢レートを有する状態を想定）における、太陽角検出性能について評価するものである。

##### (2) 試験設備

本試験に用いた試験設備は以下の通り。

- ・ 2軸ジンバル装置（宇宙科学研究本部／相模原キャンパス）  
測定角精度：各軸±1秒
- ・ 模擬太陽光源（宇宙科学研究本部／相模原キャンパス）

Figure.5 に試験設備の外観を、Figure.6 に、ジンバル装置に取り付けられた小型太陽センサの状態を示す。



Figure.5 Optical test facility at JAXA/ISAS

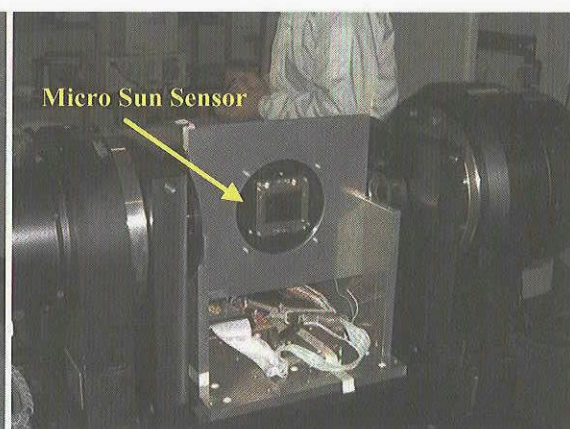


Figure.6 MSS mounted on gimbal system



## (3) 試験結果および性能の評価

## (a) バイアス/ランダム誤差の評価

本試験によって得られたバイアス誤差のプロファイルの例を Figure.7 に示す。Figure.7 の左側のグラフは、ジナルのエレベーション方向角を固定し、アジマス方向をセンサ視野全域にわたりスキヤニングしたデータである。また、右側のグラフは、逆に、エレベーション方向をスキヤニングしたものである。

これらのデータを含め、視野全領域にわたるデータの評価の結果、バイアス誤差については、センサ視野の全領域について設計上の目標値である、 $0.1\text{deg}(3\sigma)$ を達成することができていることを確認した。

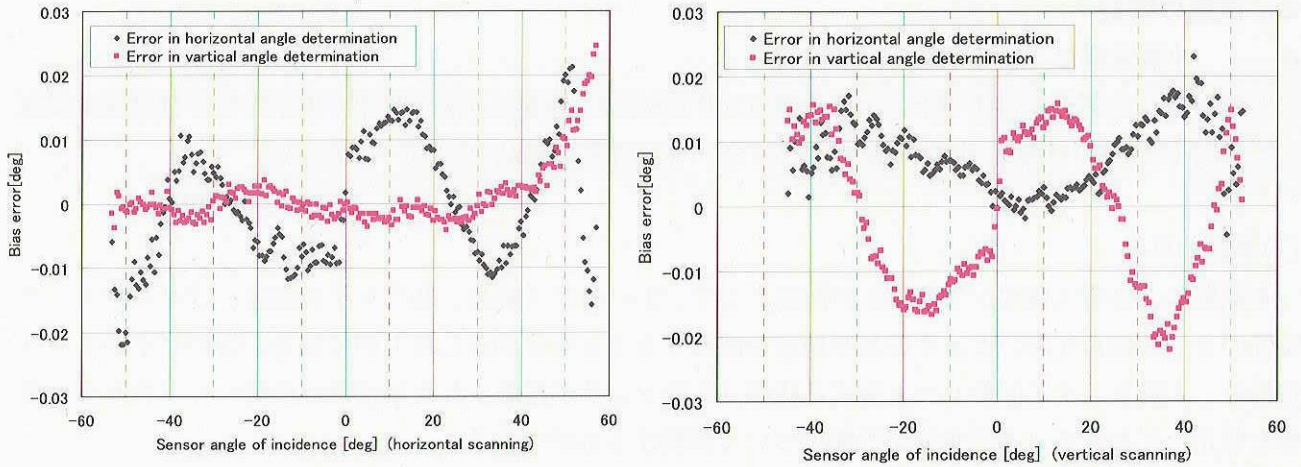


Figure.7 Typical bias error profile of the MSS GTM

本試験によって得られたランダム誤差のプロファイルの例を Figure.8 に示す。Figure.7 と同様、左側のグラフが太陽センサをアジマス方向にスキヤニングしたデータを、右側が太陽センサをエレベーション方向にスキヤニングしたデータを示す。これらのデータより、ランダム誤差は、入射太陽光の強度にほぼ反比例していることが確認された。ランダム誤差に関しても、視野全領域にわたるデータの評価の結果、設計上の目標値である、 $0.01\text{deg}(3\sigma)$ 平均値)を達成することができていることを確認した。

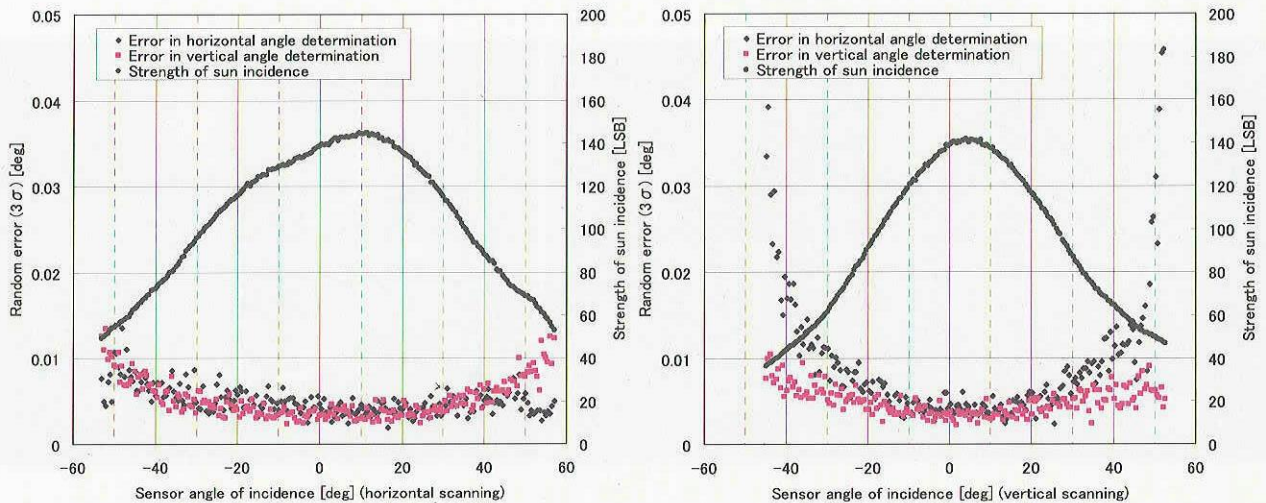


Figure.8 Typical random error profile of the MSS GTM



また、本試験により得られたバイアス誤差、ランダム誤差の評価結果について、Table.2 にまとめる。

Table.2 Summary of the test results of the MSS

Bias Error [deg]	Horizontal : < 0.0450(3 $\sigma$ ) Vertical : < 0.0450(3 $\sigma$ )
Random Error [deg]	Horizontal : < 0.0090(3 $\sigma$ ave) Vertical : < 0.0065(3 $\sigma$ ave)

### (b) ダイナミック特性の評価

本小型太陽センサに採用している CMOS センサは、ローリングシャッタ機能のみを使用する仕様としているため、太陽センサ自体が回転レートを有している場合に、検出した太陽角に誤差が生じる可能性がある。このようなダイナミック特性を評価するために、ジンバル装置を 6rpm および 12rpm の速度で回転させながら取得したデータについて、精度評価を実施した。Figure.9 にダイナミック特性試験の結果を示す。グラフには、小型太陽センサに 6rpm のレートを与えた時のデータを、レートが与えられていない静的な状態で取得したデータと比較する形でプロットしている。これらの結果から、本太陽センサは、6rpm 程度のレートにおいては、問題なく使用できることが確認された。

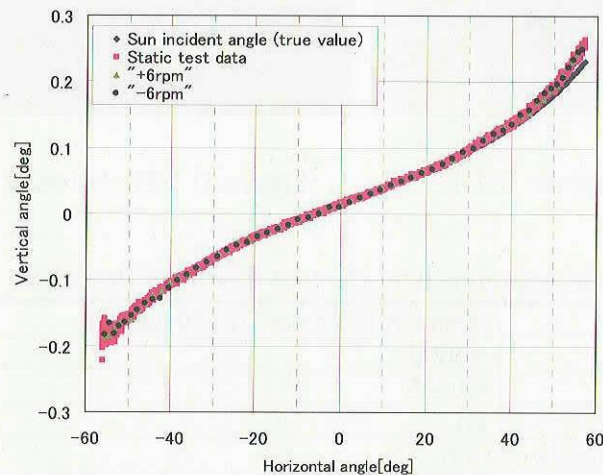


Figure.9 Typical error profile of dynamic test (6RPM)

## 3. 2 小型衛星用GPS受信機の研究

### (1) 車載用 GPS 受信機モジュールのファームウェアの改良

千葉工業大学の鯨生態観測衛星、および、宇宙科学研究本部の小型衛星 INDEX 用に、改修されていた車載用 GPS 受信機モジュールのファームウェアに対し、平成 15 年度および平成 16 年度にかけて、さらに軌道上での運用性の考慮、ならびに、測位性能の向上といった観点から、ファームウェアの改良を重ねている。平成 16 年度に実施した、主な改良内容は下記の通り。

#### (a) 搬送波位相積算値の出力機能の追加

高精度軌道決定を実施することを目的として、擬似距離等の RAW データに加え、搬送波位相積算値の出力機能を追加した。

#### (b) WGS-84 系 X, Y, Z 値での位置データの出力機能の追加

衛星搭載を前提とした利便性から、測位結果を WGS-84 系 X, Y, Z 値で出力する機能を追加した。



その他、細かな改良としては、IODC 出力、PPS 信号ヘルスステータス出力の追加等を実施している。

## (2)GPS 受信機の地上試験モデル(GTM)の試作

小型衛星用 GPS 受信機の開発方針は、ファームウェアを改良した車載用 GPS 受信機モジュールをほぼそのままの形で用いつつ、打ち上げ/宇宙環境（機械、熱、真空、EMC、放射線環境）に耐え、軌道上でその機能を果たすために必要と思われる対策を施し、搭載機器として成立させるというものである。平成 16 年度は、上記の対策を施した GPS 受信機の地上試験モデル(GTM)を試作した。Figure.10 に GPS 受信機 GTM、Figure.11 に GPS アンテナ GTM の外観を示す。また、GPS 受信機に主要諸元を Table.3 に示す。

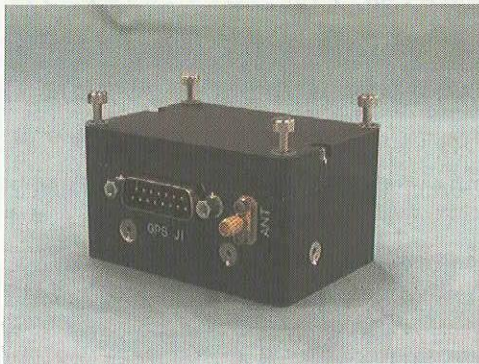


Figure.10 GPS Receiver GTM

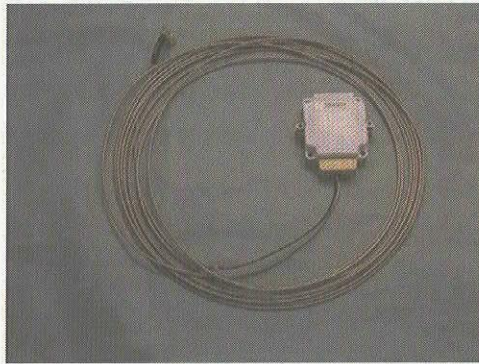


Figure.11 GPS Antenna GTM

Table.3 Summary of the test results of the MSS

Size	80mm(W)×65mm(D)×50 mm(H)
Mass	<250g
Power	<1.8W
Frequency	L1
No. of channels	8ch
Output data	PPS, Navigation data, Raw data, Ephemeris data, Carrier phase data

## (3)車載用 GPS 受信機モジュールの民生部品の放射線耐性評価

小型衛星用 GPS 受信機の中核をなす、車載用 GPS 受信機モジュールは、電子部品に一般的な民生部品を使用している。そのため、軌道上における放射線耐性、特に、シングルイベント耐性については、不明である。これらの部品のシングルイベント耐性を評価するため、平成 16 年には、シングルイベント耐性の評価が必要と判断される部品について、カリフォルニウム(Cf-252)を用いた SEL 感受性試験を実施した。試験の結果、Cf-252 の照射においては、SEL の発生は確認されなかった。

## 4. まとめ

平成 16 年度は、前年度に引き続き、次世代小型衛星用搭載機器として、小型太陽センサや小型衛星用 GPS 受信機等の研究開発を実施した。小型太陽センサおよび GPS 受信機については、地上試験モデル(GTM)の試作試験により、概ねフライト製作への目処が立った。平成 17 年度は、GTM を用いた評価を進めると共に、GPS 受信機については、フライト品の製作試験を実施する予定である。