

重点研究テーマ

次世代型スタートラッカの研究

The Development of Next Generation Star Tracker

システム誘導技術グループ(Expert Group for Guidance, Control, and Dynamics)

関口 毅 川井 洋志 浅野 貢 稲場 典康 鈴木 秀人

Takeshi Sekiguchi, Hiroshi Kawai, Mitsugu Asano, Noriyasu Inaba and Hideto Suzuki

Abstract

JAXA has been developing Next Generation Star Tracker. Star Tracker (STT) is an attitude sensor, which consists of hood, lenses, CCD, and some electric circuits. In acquisition mode, images of the stars detected by CCD are compared with a star catalogue to determine its absolute orientation of a spacecraft without a-priori attitude information. STT can be more accurate attitude sensor than earth sensor plus sun sensor system.

Advanced Land Observation Satellite (ALOS) mounts STT of large size to fulfill its high attitude accuracy requirement. On the other hand, we have been developing an autonomous STT whose size, power and mass is smaller than ALOS/STT. It is named Next Generation Star Tracker.

1. はじめに

近年では、ミッションの高精度化/高機能化に伴い、宇宙機の姿勢センサとしてスタートラッカ (STT) に注目が集まっている。STT はカメラで恒星を撮像し、その画像から取り出した恒星パターンとセンサ自身がもつ恒星カタログを比較することで、慣性空間におけるカメラ視線軸周りの姿勢を検出する。従来から宇宙機の姿勢センサとして広く使われている地球センサや太陽センサと比較すると、STT は1台で3軸姿勢決定が可能であり、また、高精度な姿勢検出が可能な反面、アルゴリズム負荷が大きくシステムが複雑であるので開発要素が大きい。

旧 NASDA 衛星では環境観測技術衛星 (ADEOS-II)、陸域観測技術衛星 (ALOS) に STT が搭載されている。特に、ALOS に搭載する STT は厳しい指向決定精度を満足するために、厳しい温度コントロールが必要であり、大規模な構造になっている。そこで、次世代型 STT は高精度なミッションに対応できる精度を満足しつつ、なおかつ高機能・小型軽量化を目標とした汎用型 STT として開発を進めている。

2. 研究の概要

次世代型 STT の目標スペックを Table1 に示す。

Table 1 Specification of Star Tracker

恒星同定率	99.9%以上
位置検出精度	ランダム 3[arcsec]以下
静止時	バイアス 4[arcsec]以下
高精度姿勢決定モード(3 σ)	
トラッキング可能恒星数	20 個
最大更新出力周期	10[Hz]
トラッキング可能姿勢レート	2[deg/s]
質量	フード無しで 3[kg]以下
消費電力	10[W]以下 (温度制御なし)

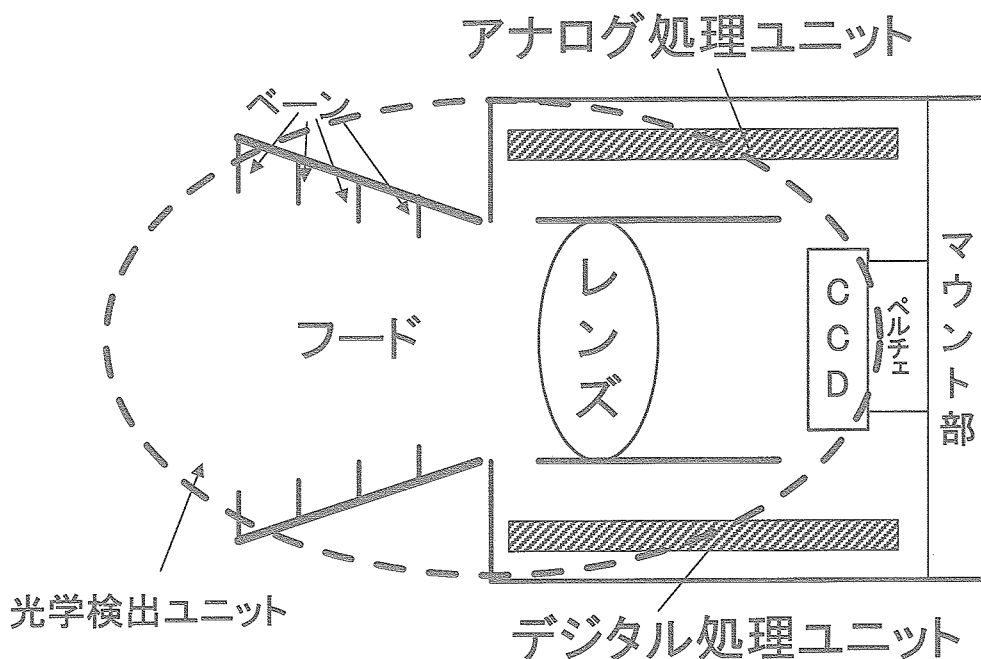


Figure 1 Hardware Configuration of Star Tracker

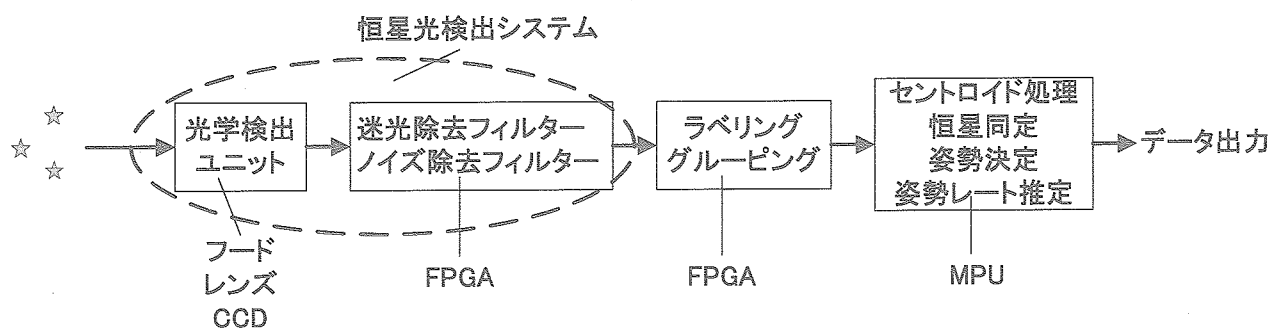


Figure 2 Star Tracker Data Flow

次世代型 STT は、アプリアリな姿勢情報なしで慣性空間における姿勢計測が可能であり、その恒星同定率は全天の任意の姿勢で 99.9% を目標としている。また、衛星が静止している状態での高精度姿勢決定モードにおいて、恒星位置検出精度はトータルで 5[arcsec] 以下であり、海外一般の STT と比較して十分な精度である。さらに、最大更新周期 10[Hz] は衛星のジャイロレス化をにらんだ設定を意味する。そして、今後の想定される高速マヌーバミッションに対応するため、2[deg/s] のトラッキング可能姿勢レートを目標としている。その他、軽量かつ低消費電力を狙って目標スペックをまとめた。これらのスペックを満足させる構成案を Figure 1 に示す。

衛星軌道から計測可能な可視光は恒星光だけでなく、さらに明るい光源として太陽光や、地球や衛星構体からの反射光などが存在する。それらの光が CCD へ照射されると撮像画像から恒星を抽出することが困難となり、姿勢計測不可能となる可能性がある。そこで、センサ正面にフードを取り付ける。フードは妨害光回避角以上から入ってくる光を、黒色処理したフード内部及びベーンで散乱・吸収させて減衰させることで、CCD への迷光を防ぐ役割をもつ。

CCD は入射された光量に応じてピクセルごとに電荷を発生する。CCD 素子のピクセル分解能より高い精度での恒星位置検出を行うため、レンズの焦点距離からずらした位置に CCD を設置し、デフォーカスさせてセントロイド計算で星像中心を求める。10[Hz] でのデータ更新のため早い読み出し速度が必要であり、また、S/N を改善するためペルチェ素子を使って CCD を冷却する。以上、フードとレンズと CCD を合わせて光学検出ユニットと呼ぶ。

Figure 2 に STT の計測フローを示す。CCD 撮像画像から得られたデータは、アナログ処理ユニットとデジタル処理ユニット内で姿勢計測処理が行われる。そのため、FPGA を利用して高速で迷光除去フィルター処理とノイズ除去フィルター処理を行い、恒星同定に必要な情報を取り出す。以上、光学検出ユニットからノイズ除去フィルターまでを恒星光検出システムと本稿では定義する。

恒星同定は、モード毎にアルゴリズムを切り替える。アприオリな姿勢情報がない時は、恒星離角などのパターンと STT 内部にもつ全天恒星カタログを比較するマッチング処理を行い、それ以降は、エリアを予測して同定するダイレクト・マッチング処理を高速で行う。センサからは姿勢値の他に姿勢レートも姿勢制御系 (AOCS) へ出力する設計である。

本研究は平成 13 年度より開始している。平成 14 年度は、光学検出ユニットの解析/試作/評価を実施した。平成 15 年度は、それらの成果を踏まえて、恒星光検出システムの解析/試作/評価を中心として実施した。以下、本稿では STT の姿勢決定精度に大きく影響する恒星光検出システムの迷光/ノイズ除去性能について紹介する。

3 成果の概要

3.1 恒星光検出システムの検討

軌道上において、STT が計測対象とするのは恒星光である。しかしながら、太陽光や地球、衛星構体からの反射光など、STT にとって外乱となる光は多い。それらを称して迷光と呼ぶ。また、STT の回路から発生する雑音なども存在し、STT の姿勢決定精度を悪化させる原因となる。迷光除去やノイズ除去は高精度な STT を実現するのに不可欠であり、我々はハードウェアとソフトウェアの両面から恒星光検出システムを検討した。

ハードウェアからみると、STT 光学系前面にとりつけたフードで迷光が CCD へ入射するのを防ぐ役割をもつ。そのため、フードの形状、ベーンの配置、表面塗装について設計/解析を実施し、その性能を評価した。ソフトウェアからみると、迷光を除去するために孤立ピクセル除去フィルター及び迷光を除去するためのフィルターを検討し、その性能を実機にて確認した。

3.2 恒星光検出システム(光学検出ユニット)の評価

平成 14 年度において試作した光学検出ユニットの概容を述べる。ALOS/STT は CCD へ入射される迷光を十分に落とすため、大型の 2 段フードを採用している。それに対して、次世代型 STT では、フードは小型軽量を目指すため 1 段フードを採用する。フード内部は黒色処理により妨害光の減衰を行う。また、ベーンを適宜設置して妨害光が CCD へ直接照射されるのを防ぐ。鏡筒では、妨害光が CCD へ到達するのを防ぐため、解析をおこなって、形状の最適化を実施した。試作したフードとレンズの写真を Figure 3 と Figure 4 に示す。

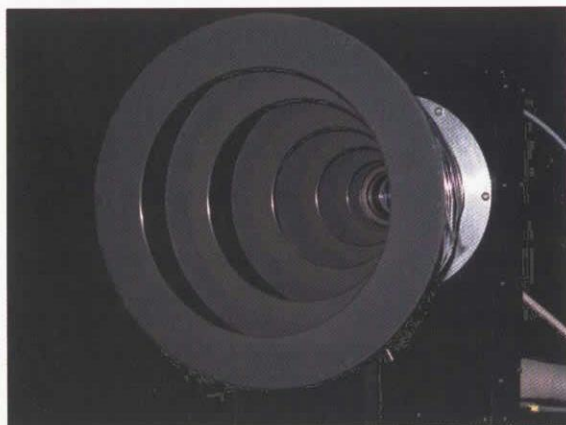


Figure 3 Small Hood



Figure 4 Lenses



Figure 5 Experimental Configuration of Stray Light

妥当性が確認できた。

平成 14 年度は、試作した光学検出ユニットの迷光特性を、CCD を使って評価した。それに対して、平成 15 年度は、迷光特性評価試験における検出素子として実績のあるフォトマルを用いて、フードとレンズの迷光特性を測定し、CCD を使った場合の結果の妥当性の確認を目的とした。試験コンフィギュレーションを Figure 5 に示す。暗室内に平行光光源とジンバル軸に乗った光学検出ユニットを設置する。入射角が 0[deg]における光源出力、ND フィルタの透過率を測定時間を基準として、ジンバル軸角度とフォトマルへの入射光の関係を測定した。

Figure 6 に測定した減衰率を示す。検出素子として CCD を用いた場合とフォトマルを用いた場合で数値的に良く似た結果が得られたことから、平成 14 年度に実施した検出素子として CCD を用いた迷光解析の

CCDとフォトマルによる測定結果比較

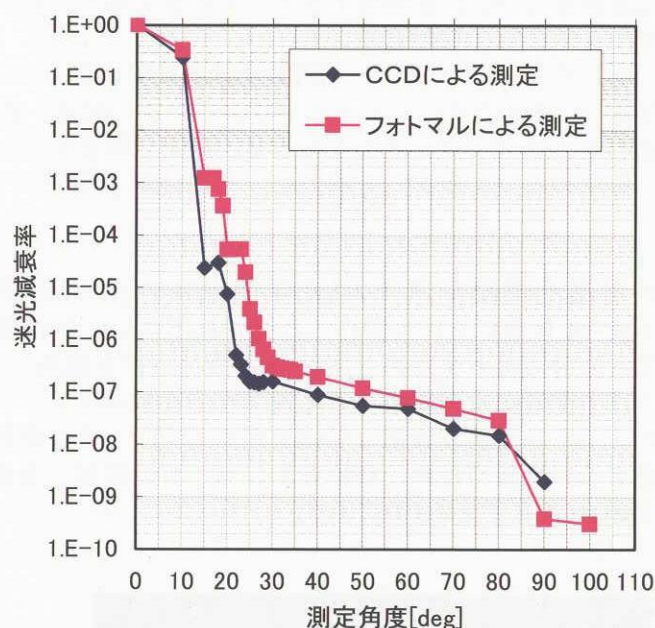


Figure 6 Stray Light Reduction Ratio

3.3 迷光除去フィルターとノイズ除去フィルターの検討/評価

光学検出ユニットでの撮像画像には、恒星光だけでなく、太陽光、地球や衛星構体からの反射光も入り込む。これらの迷光の影響をソフトウェアからいかにして低減化し、恒星光だけを取り出すようにするのが迷光除去フィルターの役割である。ここで注目するのは、恒星光が数ピクセル(<10[pix]程度)程度の狭い領域に広がる信号であり、つまりは空間的に高い周波数を持っているのに対し、迷光が CCD 画素全体になだらかに広がる信号であり、つまりは空間的に低い周波数が主となる違いを利用する。そこで、光学検出ユニットから得られた撮像画像を、設定したローパスフィルターを通し、得られた結果を迷光レベルと見なす。そして、画素ごとに検出光量と迷光レベルの差をもって恒星光と見なすのであ

る。

ノイズ除去フィルターとしては、孤立ピクセル除去フィルターを適用する。これは、恒星光が数ピクセルの領域をもつ信号となるのに対して、回路雑音などによる信号が、高々1～2ピクセルの領域をもつ信号になることを利用している。つまり、迷光除去フィルターを通した画像から、2ピクセル以下の連結をもつ信号をノイズと見なして除去するのである。

平成15年度はFPGAに迷光除去フィルターとノイズ除去フィルターを組み込み、模擬撮像画像に対してフィルターの性能を確認する試験を実施した。Figure 7に実験システムを示す。



Figure 7 Experimental Configuration of Stray Light Reduction Filter

また、試験結果を Figure 8 Figure 9 に示す。Figure 8 は下から太陽光が入り込んだ画像を模擬している。この画像に対して、迷光除去フィルターをかけた結果、Figure 9 のように迷光の影響を取り除くことができ、恒星光を抽出することができたことが分かる。

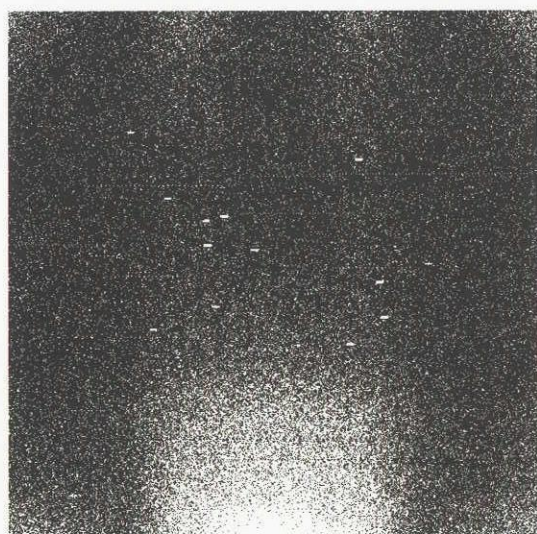


Figure 8 Noisy Image



Figure 9 Star Lights Image

4. まとめ

平成 15 年度に実施した作業項目のうち、恒星光検出システムに係る部分について記述した。その結果、ハードウェアからもソフトウェアからも迷光除去が機能していることが分かった。

平成 16～17 年にかけて、CCD 及び MPU の電気回路部を製作し、STT として機能する BBM を製作し、その性能を評価する予定である。

参考文献

- [1] 川井洋志 他，次世代型スタートラッカのシステム開発，第 46 回宇宙科学技術連合講演会，2002 年
- [2] 高安星子 他，次世代型スタートラッカの自律化，第 47 回宇宙科学技術連合講演会，2003 年