

宇宙デブリ観測技術の研究

R&D on Space Debris Observation Technology

宇宙先進技術研究グループ スペースデブリサブグループ
Advanced Space Technology Research Group, Space Debris Subgroup

中島厚、柳沢俊史、星野健、藤原勉

Atsushi Nakajima, Toshifumi Yanagisawa, Takeshi Hoshino and Tsutomu Fujiwara

Abstract

About fifty years have passed since the first launch of the artificial satellite in the earth orbit. During the time, several thousand rockets and satellites have launched and the total mass will be estimated several thousand tons. These expensive rockets and satellites turn out debris when they finish their missions. Many of the debris still move around the earth, which brings increased anxiety of collision with the satellites in service or the International Space Station(ISS) under construction. Therefore, in the Institute of Space Technology and Aeronautics(ISTA), JAXA, the debris problem has been investigated comprehensively from the viewpoint of observation, protection and prevention of occurrence. This paper describes the results of the observation research area.

1. はじめに

人類がロケットや人工衛星による宇宙活動を開始して以来、多くの使用済みロケットや人工衛星、或いは爆発したこれらの残骸(総称して宇宙デブリ)が多数軌道上に存在し、今後の宇宙活動に支障をきたす段階になりつつある。静止軌道においては、ミッション終了後の衛星はリオービットにより軌道高度を変えて衝突を回避しているが、過去の爆発により発生した多数の微小デブリは、運用衛星に対する衝突危険性は依然存在する。現在、軌道が確定されている静止軌道近傍のデブリの大きさは50cm程度であるが、国際的にも20cmサイズのデブリ検出が必要とされている。一方、高度約1,500km以下に存在する低軌道デブリは、特に太陽同期軌道に関してはデブリ同士の衝突の確率が最も高い軌道であり、将来的には能動的な除去の必要性も出てくるものと思われる。低軌道デブリは一般にレーダー観測により軌道決定が行われており、決定可能な最小のデブリサイズは10cm程度である。又、落下間近のデブリの軌道決定・落下予測も重要な課題であり、高度が低いことから多数の観測サイトのデータにより予測精度を向上させる必要がある。更に国際宇宙ステーションISSの運用において、極微小デブリに関してはバンパーにより防御しているが、より大きなサイズのデブリに対する防御技術の開発も緊急を要している。

平成16年度では、平成15年度に引き続き、これら静止高度の微小デブリ検出技術を確立するために、光学観測施設の整備・データ取得、CCDカメラ及び画像処理ソフト開発を行った。また低軌道デブリに対しても、光度変化観測からその運動推定技術の開発を継続している。

2. 研究の概要

JAXA 総合技術研究本部のスペースデブリサブグループでは、観測技術の研究、防御技術の研究及び発生防止技術の研究を総合的に行っている。本文では光学望遠鏡による観測技術の研究成果をまとめた。

2. 1 光学観測技術の研究

総研本部(旧航空宇宙技術研究所)では 1999 年から宇宙デブリを光学的に観測するための技術開発を行ってきた。現在、観測施設として、低軌道デブリの追尾観測を主とする X-Y マウント方式の低軌道衛星追尾装置を調布本所に設置し、又、静止軌道デブリ観測として長野県入笠山に赤道儀式望遠鏡を設置し、データ取得を行いつつ、デブリ検出能力向上を目指した研究開発を行っている。

現在のデブリ環境とそれに対する光学観測技術研究との関連は下記のように要約される。

- (1) 高度 800km~1,000km 及び 1,500km に分布
- (2) 低軌道デブリの 10cm サイズまではカタログ化されている
- (3) 静止デブリは増加の一途をたどり、約 50cm 以上のデブリはカタログ化

(1)は自然落下が基本であるが、寿命が長い間その間にデブリ同士の衝突可能性が出てきた場合は能動的な除去作業が必要となる。近年のデブリ数の増加により、衝突発生確率は高まっており、早急な対策が必要である。低軌道デブリ観測装置では、光学的に追尾観測を行って、光度変化からそのデブリの姿勢運動(主に回転周期)を求め、これによりデブリの角運動量を推定し、将来の捕獲・投棄システム設計に資する。(2)はレーダ観測結果で、現状技術では光学観測は困難であるが、後述するように通過痕から検出する可能性はあると考えている。(3)に関しては、50cm 以下のデブリが運用衛星にとって脅威となっているため、より小さなデブリの検出が重要課題である。

図 1 は、光学とレーダーによる観測可能領域を表したもので、横軸がデブリサイズ、縦軸が軌道高度である。光学観測は、高度数千 km 以上のデブリ観測に、レーダーはそれ以下の高度に対し観測可能となっていた。本研究では、技術開発により、20cm サイズの小さな静止デブリ検出を目指し、低軌道デブリに関しては、10cm サイズの微小デブリの通過痕から軌道上の分布を推定する事の可能性を求め、又、低軌道大型デブリに関しては、形状並びに姿勢運動推定を行い、将来の回収或いは落下予測精度向上に寄与することを目的としている。

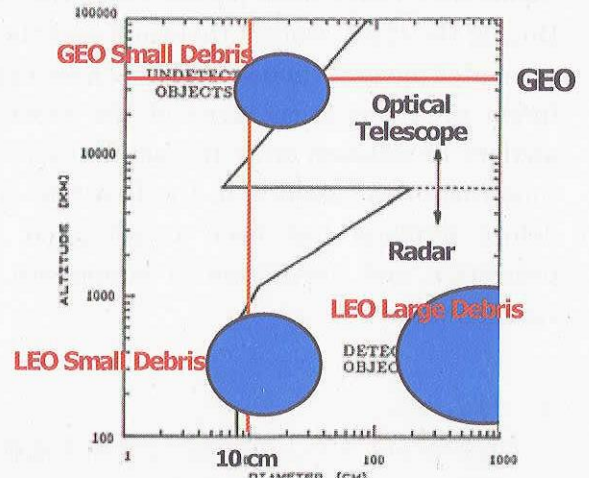


Fig.1 Detectable debris size for variable orbital altitude

3. 成果の概要

3. 1 光学観測技術の研究(1)-(4)

平成 16 年度における光学観測技術は以下の 3 項目を研究目標とし実行した。

3.1.1 微小静止デブリ検出技術の開発

光学望遠鏡による静止デブリ観測の手法は、望遠鏡を固定して静止軌道付近を比較的短時間露光(5 秒~10 秒)してデータを取得する。恒星は線像となり、運用中の静止衛星は点像となる。静止デブリは若干の軌道傾斜角を持っているため恒星とは別の線像(点像に近い)として区別される。しかしながらこの方法では、検出能力は望遠鏡の口径に依存し、検出限界をあげるためにより大型の望遠鏡が必要となる。本研では、多数の画像を重ね合わせ、S/N を上げると共にデブリを自動検出するソフトを開発中である。図 2 はその原理で、短時間露光の画像を数百枚取得し、デブリの動きに合わせて画像を重ね合わせ、メジアン

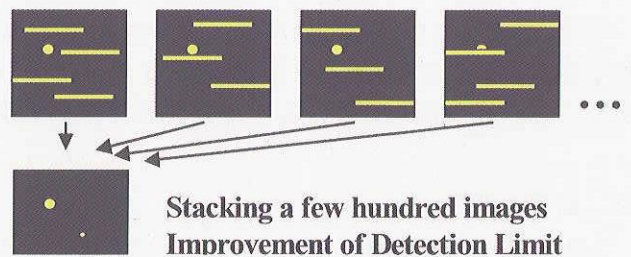


Fig.2 Stacking method for faint debris detection

をとって画像処理を行うことにより、1枚の画像では見つけられない暗いデブリの検出が可能となる。平成16年度はこの原理を用いた静止デブリ自動検出ソフトを試作し、標高約1,800mにある入笠山光学観測所の口径35cmの望遠鏡で得られた画像を利用してその試作ソフトの有効性を確かめた。試作ソフトでの解析の結果、50cmサイズの静止デブリの検出に成功した。図3に実際に取得した観測画像を、図4に試作ソフトによって検出された静止衛星及び静止デブリを示す。尚、本手法を取り入れて、小惑星や彗星等の移動天体を自動的に検出するソフトウェアは既に実用化されている(技術移転推進課題)。



Fig.3 Observation data at Nyukasayama facility

3.1.2 高速読み出し大型 CCD カメラの開発

現在使用している光学検出器は、ペルチェ冷却による1K×1Kあるいは2K×2K裏面照射型 CCD カメラで、比較的小型軽量のためハンドリングは良好である。将来的には、観測の効率化を図るためにも、より広視野で高速読み出し・書き込みの必要性があり、更に、リモート観測のためにはメンテナンスフリーの検出器冷却技術が必要である。このような要求を満たすカメラ開発として、複数の検出素子を持つモザイク CCD カメラの開発に着手している。一例として、2K×4K素子を2枚並べた4K×4K(1600万画素)モザイク

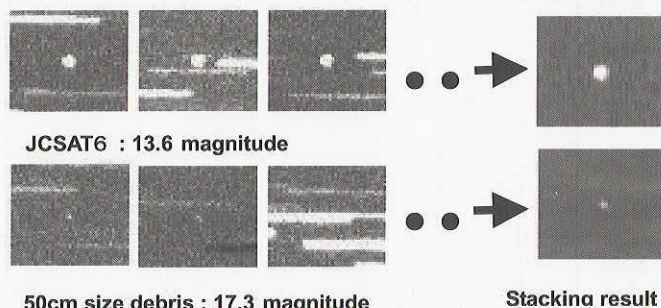


Fig.4 Detection of GEO satellite and debris by developing software



Fig.5 Large mosaic CCD camera

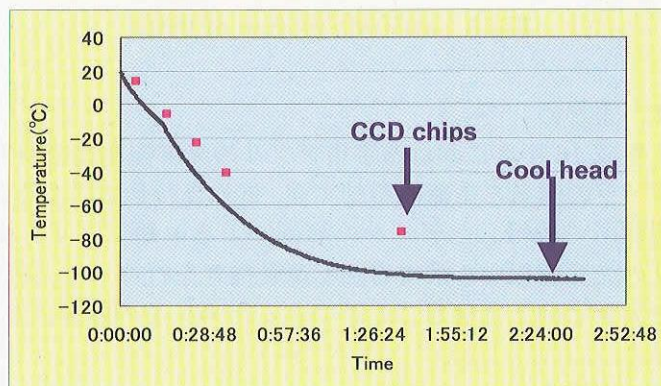


Fig.6 Cooling temperature for time

CCD カメラで、カメラ全体の概観を図5に示す。図6は冷凍機冷却能力評価のための実験結果である。冷却能力としては、冷凍ヘッドは-100°C以下、CCD素子本体は-80°Cまでの冷却を実現し、ほぼ設計どおりの結果が得られた。

低軌道デブリ光学追尾観測技術の開発

低軌道衛星追跡装置(図7参照)は、口径 35cm、焦点距離 3910mm のシュミットカセグレン望遠鏡を搭載し、低軌道の衛星やデブリを追尾しながら画像を取得し、その形状や姿勢運動を地上から推定することが可能である。本装置により、既に大気圏に突入したミール宇宙ステーションや現在構築中の ISS の姿を鮮明に捉えている。より高度の高いデブリに対しては、その光度変化から回転運動を推定することが可能である。平成 16 年度は光度が明るく、既に運用を終了した低軌道衛星を数多く観測した。その中から光度変化が顕著だったものを示す。



Fig.7 LEO debris tracking facility

図8は高度約 600km の ISIS1 (1996-009B)の光度変化を示したもので、強い反射と弱い反射が交互にあり約 42 秒周期で回転していることが分かる。また図9は高度約 1000km の COSMOS2180RB (1992-008B)の光度変化であり、回転周期は約 81 秒だった。

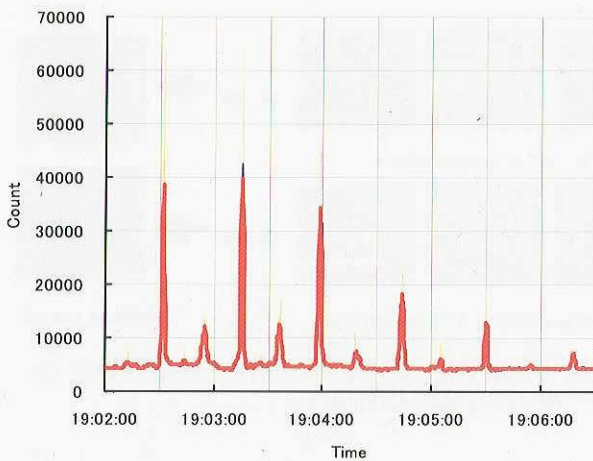


Fig.8 attitude motion of ISIS1

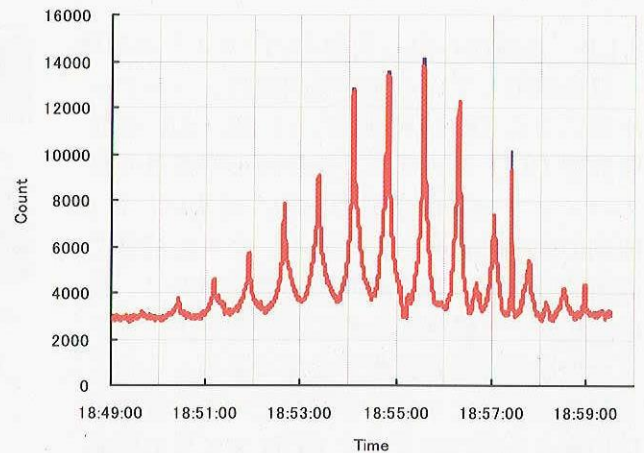


Fig.9 attitude motion of COSMOS2180RB

4. まとめ

平成 16 年度における宇宙デブリの光学観測技術研究は、平成 15 年度に引き続き、検出器である CCD カメラの開発と冷凍機冷却実験、重ね合わせ法による微小デブリ検出ソフトの試作と JAXA 入笠山光学観測所で取得したデータの解析による未知デブリの検出並びに低軌道衛星追尾装置による低軌道デブリの光度変化から求まる回転運動推定を行なった。特にデブリ検出ソフトは、光学観測装置の検出限界を大きく向上させることができるため、その開発に重点を注いでいる。

[参考文献]

- [1] 中島厚他：R&D on Space Debris Optical Observation Technologies, 24th ISTS, Miyazaki, June2004
- [2] 柳沢俊史他：Motion and Shape Determination of LEO Debris using Optical Telescope, 24th ISTS, Miyazaki, June2004
- [3] 黒崎裕久他：光学望遠鏡による低軌道デブリの回転運動の観測、第 48 回宇宙科学技術連合講演会、福井、2004 年 10 月
- [4] 柳沢俊史他：The Stacking Method;The Technique to Detect Small Size of GEO Debris, American Astronautical Society, vol.109, Oct. 2004