

宇宙航空研究開発機構研究開発資料 JAXA Research and Development Memorandum

静止デブリ観測用光学観測施設

黒崎 裕久, 中島 厚, 柳沢 俊史

2008年2月



Japan Aerospace Exploration Agency

宇宙航空研究開発機構研究開発資料

JAXA Research and Development Memorandum

静止デブリ観測用光学観測施設

Optical Observation Facility for GEO Debris Survey

黑崎 裕久^{*1} 中島 厚^{*1} 柳沢 俊史^{*1} Hirohisa KUROSAKI ^{*1}, Atsushi NAKAJIMA^{*1} and Toshifumi YANAGISAWA^{*1}

*¹ 総合技術研究本部 宇宙先進技術研究グループ スペースデブリユニット Space Debris Unit, Advanced Space Technology Research Group, Institute of Aerospace Technology

> 2008年2月 February 2008



Japan Aerospace Exploration Agency

静止デブリ観測用光学観測施設*

黒崎 裕久*1, 中島 厚*1, 柳沢 俊史*1

Optical Observation Facility for GEO Debris Survey*

Hirohisa KUROSAKI^{*1}, Atsushi NAKAJIMA^{*1} and Toshifumi YANAGISAWA^{*1}

Abstract

Institute of Aerospace Technology(IAT) of Japan Aerospace Exploration Agency(JAXA) has been studying overall the space debris problems from the viewpoint of observation, modeling, protection and mitigation. In the field of observations, IAT/JAXA has prepared optical observation facility for R&D of space debris observation technologies at Nyukasa-highlands, the altitude of which is about 1,900m, in Nagano prefecture in 2006. The facility has two domes, in which a 35cm Newtonian optical telescope with 2K2K CCD camera and a 25cm BRC optical telescope with 2K2K CCD or 4K4K CCD camera are installed. The most important study item is to develop an automatic small size GEO debris detection software. The facility provides high-quality image data for the evaluation of the developing software and at the same time, the facility is used for GEO/GTO space debris survey and tracking observation. In this paper, JAXA's new optical observatory is introduced and some observation are described.

Keywords: space debris, optical observation facility, CCD camera

要

概

静止軌道デブリ等の観測並びに観測技術開発用に,JAXA総研本部宇宙先進技術研究グループは,小型光学観測施設 を整備した。本施設は,長野県伊那市高遠町の入笠高原の標高1,870mに設置した。2006年11月に施設の整備がほぼ終 了し,その後,機器の調整を行いつつ,デブリ観測を開始したので,施設概要と観測事例を示す。

1. まえがき

軌道上を周回する人工物体はその軌道が確定してい るものだけでも12,000個以上(2007年10月現在)に達 し,1996年以降高水準で推移している。特に,2007年1 月12日早朝(日本時間)に,中国が自国の気象衛星「風 雲1号C:FENGYUN1C」を破壊した実験は,それまで のデブリ環境を大幅に悪化させる出来事である。大部 分は運用を停止した衛星や打上げロケット及びこれら の爆発により発生した破片からなるデブリで,運用さ れている衛星は全体の6%程度である。今後,観測能力 の向上により,より小さなデブリまで軌道決定されると 共に,より多くの微小破片の群の存在も観測されるよう になり,正確な宇宙環境の把握が進められる。低軌道デ ブリ(以下,LEOデブリ)は,国際的なレーダー網の 整備により追跡され、日々軌道更新が行なわれている。 また、高高度デブリ(以下、GEOデブリ)に対しても、 世界中に光学観測施設が展開されており、より小さな デブリに対しても観測・軌道決定が行われている。口径 1mクラスの望遠鏡では10cm~20cmサイズのデブリま で検出可能といわれている。

我が国におけるデブリ観測施設は、LEO デブリに対 しては、(財)日本宇宙フォーラム(JSF)が所有する 上斎原スペースガードセンター(KSGC)のフェーズ ドアレイレーダーと、追跡観測が可能な光学系として JAXAの口径35cm望遠鏡、JSFが所有する美星スペース ガードセンター(BSGC)50cm望遠鏡及び2つの公共天 文台(陸別及び富山の1m望遠鏡)が対応可能である。 GEO デブリに対しては、BSGCの1m望遠鏡が実験的運 用観測を行っており(JAXAの委託業務)、更に研究開発

*1 総合技術研究本部 宇宙先進技術研究グループ スペースデブリユニット
(Space Debris Unit, Advanced Space Technology Research Group, Institute of Aerospace Technology)

^{*} 平成20年1月7日受付 (received 7 January 2008)



図1 世界の人工衛星・デブリ観測用光学望遠鏡システム

用としてJAXA入笠山光学観測所に口径35cm望遠鏡を 設置している。

本文は、国内外の光学観測系の現状を踏まえ、JAXA 総合技術研究本部宇宙先進技術研究グループスペースデ ブリユニットが2006年11月にほぼその整備を終了した、 JAXA入笠山光学観測所の施設とその観測機器並びに観 測事例を示す。

2. 世界の光学観測網

あらゆる軌道上のデブリを観測するために,光学及び レーダー観測施設が世界中に展開されている。特に軍事 上の理由から展開された米国の光学及びレーダーシス テムは,今日では衛星及びデブリの観測網として重要な 役割を果たしている。その中で、光学観測網としては、 現在GEODSSとして、図1に示すように、ハワイマウ イ島、米国本土テキサス州Socorro及びインド洋の島 Diego Garciaの3箇所に展開されている。前2者はGEO デブリ観測用として口径1mの望遠鏡2台とLEOデブリ 観測用口径0.4m望遠鏡1台が整備され, Diego Garcia はGEOデブリ観測用として3台の口径1m望遠鏡が配備 されている。特にマウイ島の観測所MSSS(Maui Space Surveillance Site) は,標高3,055mのハレアカラ山頂 に 位 置 し, GDODSSの 他 に, MOTIF (Maui Optical Tracking and Identification Facility) 及び研究開発施設 としてのAMOS (Air Force Maui Optical Station) が同 居している。MSSS は天文観測用に各国の大型光学望遠



図2 MSSS:マウイ島ハレアカラ山頂の衛星・デブリ 観測システム

鏡が設置されているハワイ島マウナケア山頂と似た光 景である(図2参照)。AMOSには世界最大の低軌道衛 星追跡が可能な口径3.6mの望遠鏡がある。一方,非軍 事システムとして,NASA,ESA及び日本は独自の展開 を行っているが(図1の〇部分),国際機関間デブリ調 整 会 議IADC(Inter-Agency Space Debris Coordination Committee)等で観測,データ情報については協調体制 をとっている。

2.1 NASA

NASA JSCでは,2001年12月まで口径3mの液体ミラ ー望遠鏡LMT(Liquid Mirror Telescope)と可搬型の



図3 MODEST:チリCerro Tololoにあり、ミシガン大
学が運用する、NASAデブリ観測望遠鏡

32cmシュミット望遠鏡CDT (CCD Debris Telescope) をNew Mexicoの標高約2,700mのCloudcroftに設置し て、LEOデブリやGEOデブリの観測を行ってきた。 後者の望遠鏡はマウイ島でも観測を行ってきた。現 在は、ミシガン大学が南米チリのCerro Tololo Inter-American Observatory にあるカーチス・シュミット望遠 鏡(図3)を用いてGEOデブリの観測を行っている。 このシステムは, MODEST (Michigan Orbital Debris Survey Telescope) と呼ばれており, 望遠鏡は, 口径 0.61m/0.91m, F/3.5の古典的なシュミット(1950年製) で、カメラは2.048×2.048ピクセルの裏面照射型CCD (SITe社)であり、ニュートン焦点に取り付けられてい る。視野は1.3度×1.3度で、Rフィルターを取り付け て、標準的な5秒露出(S/N=10)で18等級の物体(静 止軌道で0.5mクラス)まで検出可能である。NASAは 現在,マーシャル諸島に口径1mのデブリ観測用望遠 鏡を設置する計画を立てている。MCAT (Meter-Class Autonomous Telescope)と称されるこの計画は, NASA とAMOSが共同で進めているもので、米国の高精度軌 道決定ネットワークの一環として展開される予定であ る。

2.2 ESA^{1), 2)}

ESAの施設は、スペイン領カナリー諸島テネリフに ある口径1mの望遠鏡で、レーザー通信実験(Artemis 衛星)やデブリ観測用に建設され、ESA'sOGS(Optical Ground Station)と称される。焦点距離は13.3mもあるが、 デブリ観測用には、特殊な2次鏡とレデューサーにより 焦点距離を4.47mにしている。その結果,2,048×2,048 ピクセルのCCDを4個モザイクにした4,096×4,096ピ クセルのCCDカメラで0.7度×0.7度の視野を得ている(1 ピクセルあたり0.6秒角)。CCDは液体窒素で160Kに冷 却されている。図4に望遠鏡概観を示す。設置場所は標 高2,393mのイザナ山頂。数秒の露出時間で観測できる 限界等級は20.5等級である。

ESAは1999年秋から高軌道デブリの光学サーベイを 開始し、2001年1月には定常サーベイに移行。更に2002 年6月からはフォローアップ観測も開始。その目的の 一つはカタログ化されていないGEO デブリを検出して そのサイズ、軌道要素を求めてGEOデブリの分布をよ り正確に把握することであり, ESA独自のカタログ: DISCOS (Database and Information System Characterizing Object in Space)を構築中である。そのためテネ リフ望遠鏡の観測を実施している,ベルン大学天文学研 究所AIUB(The Astronomical Institute of the University of Bern)は,AIUBの口径1m望遠鏡も使用して精力的 に行っている。その結果,20~30cmサイズの微小デブ リ群の存在や、太陽輻射圧により大幅に軌道が変動し、 GTO 軌道に存在する非常に軽い物体(high area-to-mass ratio:高A/m)の存在を明らかにした。これらのA/m は通常の衛星やデブリに対し、2桁から3桁大きく、多 層断熱材の破片等でないかと推測される¹⁾。

2.3 JAXA

我が国においては、2001年に完成したBSGCにおけ る口径1m及び0.5m望遠鏡により、GEO衛星・デブリ の実験的運用が行われている。本施設(図5参照)はデ ブリやNEO(Near Earth Object)観測用に設計・製作 された広視野の望遠鏡を有し、その成果が期待されてい る。1m望遠鏡はF/3で、2K×4KピクセルのCCD10個 からなる大型モザイクCCDカメラが装着され、3度の 視野角を有する。一方、0.5m望遠鏡はF/2で、2K×4K CCD2個からなるモザイクCCDカメラを構成し、視野 角は2度であり、低軌道デブリの追尾能力を有する。現 在、一部改修中である。

一方,研究開発用にJAXAでは,LEOデブリ及びGEO デブリ観測用にそれぞれ口径35cm望遠鏡からなる小型 光学観測施設を有している。これらを用いて追跡技術, 効率的デブリ検出技術,限界等級を向上させるための画 像解析技術等の開発を行っている。

LEOデブリ観測は, 主にレーダーにより行われるが, 光学望遠鏡では, デブリを高精度で追尾しながら形状 変化, 光度変化, スペクトル観測等行っている。世界的 には図1からも分かるように, MauiとSocorroに配備さ れているのみで, NASA及びESAのデブリ観測には含ま



図5 BSGC外観(1m望遠鏡ドームと0.5m望遠鏡スラ イディングルーフ(右側))

れていない。LEOデブリの光学観測は、日中は観測が 不可或いは困難なため、全てのLEOデブリの追跡がで きない欠点を有している。しかしながら、低軌道を通過 する大型のデブリや宇宙構造物(宇宙ステーション等) の形状を確認したり、その形状変化や光度変化からデ ブリ等の運動を推定することが可能となる。また、スペ クトル観測を行うことによりその物理特性の把握も可 能となる。特にレーダーで捕捉しにくい材質の場合は、 光学観測に依存せざるを得ない場合もあり得る。

JAXAにおけるLEOデブリ観測用の低軌道衛星追尾装置(図6参照)は、旧航空宇宙技術研究所NALであった 1999年に口径35cmシュミットカセグレン(SC)望遠鏡 を搭載した3軸X-Y追尾架台を製作し、2000年5月の ISS/シャトルドッキング、2001年3月のミール宇宙ステ ーションの落下約6時間前の画像等を取得している。ま たロケットボディー等のデブリに対しては、追尾しなが ら光度観測を行い、軌道上における姿勢運動の推定技術 の開発を進めている。本施設はJAXA航空宇宙研究セン ター(調布)に設置されている。

3. GEOデブリ観測施設

JAXA入笠山光学観測所は,総合技術研究本部宇宙先 進技術研究グループスペースデブリセクションが,研究 開発用として整備を進めた,小型光学観測施設である。 GEOデブリに対しては,20cmサイズの微小デブリ検出 技術の確立が主要課題であり,そのためには観測条件 の良いサイトでのデータ(高画質データ)取得が必要 となる。欧米においては,既に述べたように2,000m以 上の高地に望遠鏡を設置して観測しており,これに匹 敵する我が国の観測サイトとして,長野県入笠山(標 高1,955m)付近を選定した。2003年に3mドームと口径 35cmニュートン式望遠鏡を仮設置して実験的観測を進 め,2004年からこれらを標高1,870m大沢山山頂に移設 し,2006年11月にほぼその整備が完了した。現在,2基 の3mドームに口径35cmと25cmの望遠鏡が収納されて いる³⁰。

3.1 GEO デブリ環境

GEO デブリ環境は、主にESAのオペレーションセン ター ESOC が毎年発行している資料から読み取ること ができる⁵⁾。2006年においては、離心率が0.1以下,軌 道長半径が42,164±2,800km及び軌道傾斜角が30度以下 の条件を満たすGEO 衛星及びデブリの数は1,121個であ る。この内、10%強の138個についてはTLEで公表され ていないものである。2006年当初から1年間に増加した 数は32個で,その内28個は新たに打上げられたもの(衛 星26個、ロケットボディ2個)、残りの4個は新たにデ ブリとして追加されたものである。このように、GEO 帯における衛星・デブリの数は年々増加の一途をたどり、 特に運用衛星が寿命末期にはリオービットして、有用 軌道を新しい衛星に明け渡す必要がある。2006年にお いては、16機がその対象となり、7機は正常にIADCが



図6 LEO デブリ観測用追尾装置(スライディングルーフと3軸経緯儀台)





図7 JAXA入笠山光学観測所全景 (入笠山山頂から望む) 北緯:35°54'05" 東経:138°10'18" 標高:1,870m

勧告する270km高い軌道に移動したが,7機は十分な軌 道上昇が得られていない。又,残りの2機は不具合等に よりそのようなマヌーバーが実施されなかったため,東 西に存在するライブレーションポイントの周りを浮遊 する状態となっている。この他,2機のロケットボディ (Proton-K4段目(06022D)とFengyun 2D AKM(06053C)) がGEOを南北に横切る非常に危険が軌道に残されてい る。

この他,GEO/GTOにはFragmentsといわれる微小デ ブリが多数存在する。これらは軌道変化が大きく,常に 正確な軌道要素が確定されているわけでもない。1999 年以降のESAによるサーベイ観測から,20~30cmサイ ズの微小デブリ群 (population)の存在が明らかになっ た。更に,平均日運動1rev/dayの長楕円軌道の微小デ ブリ群も多数発見され,その大部分は,いわゆるhigh area-to-mass ratio (高A/m)のデブリで,その値は数十 と,通常の衛星の2桁から3桁大きい値(通常の衛星は 0.01-0.02)である。これらのデブリは,太陽輻射圧等 による軌道変化が大きく,継続的な観測が必要である。

3.2 JAXA入笠山光学観測所

高軌道(GEO及びGTO)デブリの観測技術開発用望 遠鏡として、口径35cmの小型望遠鏡を主としたJAXA 入笠山光学観測所を整備した。その目的は、将来的には センチオーダーの微小GEOデブリの検出技術開発であ り、当面は口径35cm望遠鏡で20cmサイズのデブリ検 出を目指す。通常の観測手法では、口径1mクラスの大 型望遠鏡で10cm~20cmサイズ(約20等級)が限界で あり、小型望遠鏡で同程度のデブリを検出するために は、良質な画像取得と優れた画像解析技術が必要であ る。

入笠山光学観測所は,国内の観測施設としては乗鞍



(a) エルボ式赤道儀と25cm及び16cm望遠鏡(b) フォーク式赤道儀と35cm望遠鏡図8 3mドーム内に収納された赤道儀と望遠鏡

には及ばないものの,国内屈指の高所にある観測所で, 光学観測環境条件が優れており,小惑星観測においては 22等級レベルの非常に暗い小惑星の検出に成功してい る。本施設は,高遠町(現,伊那市高遠町)と土地貸借 契約を締結して土地を借用し,JAXAが建設したもので ある。図7は入笠山山頂から北北西方向に見た入笠山光 学観測所の全景で,北側を除いて,広い視界を有してい る。観測所は35cm望遠鏡と25cm望遠鏡を収納するそ れぞれ2基の3mドームと制御室より構成されている。

図8はドーム内に収納されている光学観測機器で,(a) のエルボ式赤道儀は2007年に設置されたもので,小型 望遠鏡(25cmクラス)2台を同架することができる。また, (b)のフォーク式赤道儀は35cm望遠鏡を支持し,既に 沢山の小惑星を新発見している。これら機器の主要スペ ックを表1に示す。

表1 入笠山光学観測所主要機器スペック

観測所測地座標
経度:東経138度10分18秒,緯度:北緯35度54分05秒,標高:1,870m.
光学望遠鏡
(a) タカハシ ε-350,口径 350mm,焦点距離 1,248mm,F/3.6,像径 69mm
(b) タカハシ BRC-250M,口径250mm,焦点距離1,268mm,F/5.1, 像径100mm
マウント
(a) 昭和機械フォーク赤道儀 25EF
(b) 昭和機械エキセントリックエルボ赤道儀 25EL
ドーム
ニッシンドーム, 直径3m, 2基
CCDカメラ
(a) NIL 1K×1K 裏面照射型 CCD,13μm×13μm,メカニカル及び電子シャッター
(b) NIL 2K×2K 裏面照射型 CCD, 13.5μm×13.5μm,メカニカルシャッター, 視野角:1.28°×1.28° for ε-350
(c) NIL 2K×4K×2 裏面照射型モザイク CCD, 15μm×15μm, メカニカルシャッター, 視野角:2.78°×2.78° for BRC-250M
デブリ検出精度
(a) 時間分解能:10msec(メカニカルシャッターの開閉時刻を GPS時刻により測定)
(b) 位置:0.2 秒角(明るいデブリ)、1秒角(平均モーション計算による微光デブリ)



図9 1K×1KCCDカメラ



図10 $2K \times 2K CCD カメラ$

3.3 CCDカメラ

画像取得には、高感度の裏面照射型CCD素子を受光 部にもつCCDカメラを開発した。小型カメラ(素子数 が少ない)の場合は、その取り扱いやすさも考慮して電 子冷却方式を採用し、 $4K \times 4K$ 大型CCDカメラの場合は、 素子部の冷却に冷媒循環方式の冷凍機システムを採用 した。現在使用している機種は、 $1K \times 1K$ CCDカメラ(図 9)、 $2K \times 2K$ CCDカメラ(図10)及び $4K \times 4K$ CCD(図 11)カメラで、読み出し、書込み速度は4秒~10秒と高 速化されている。素子サイズは表1にも示したように、 $13\mu m \sim 15\mu m$ である。

3.4 観測ソフト

それぞれの赤道儀・望遠鏡・CCDカメラは1つのソ フトウェア(デブリ自動観測ソフト)で制御されている。 スケジュール観測により指定時刻に,指定した視野に 望遠鏡を向け,指定した撮影を連続で行うことが可能 である。視野導入は赤道座標,地平座標,衛星直下点座 標で指定でき,また,星図上からも導入可能である(図 12)。スケジュール設定が行なわれた後は全て自動的に 観測が行なわれる。デブリの軌道決定を行なうために は,10msecの観測時刻精度が必要となるため,CCDカ メラはGPSから取得した正確な時刻情報を元に,カメ ラに取り付けられたセンサによってシャッターの開閉 時刻を1/1000秒単位で画像の情報ヘッダに記録してい



図11 4K×4K CCD カメラ (2K×4K素子2枚を配列)

る。

3.5 デブリ検出例

光学望遠鏡によるGEO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。GEO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。

筆者らは検出限界を上げる手法として,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 ソフトを開発している^{4),5)}。本ソフトは,短時間露光の 画像を数十枚から数百枚取得し,デブリの動きに併せて 画像を重ね合わせ,メジアンをとって画像処理を行うこ とにより,1枚の画像では見られない暗いデブリを検出 する手法である。

デブリ検出ソフトを用いた実際の探索の流れは以下 の通りである。

- (1) ダーク/フラット補正:画像のノイズ、ムラなどの 補正
- (2) 固定視野マッチング:カタログとのマッチングで視野の特定
- (3) スカイレベル補正:全画像の明るさを一定にする
- (4) 恒星マスク処理:探索に邪魔な恒星のみ除去する
- (5) 一次探索:モーションを仮定し画像を重ね合わせる
- (6) 二次探索:ノイズとのふるい分け、ブリンク確認
- (7) 精測:正確な座標と光度の測定



図12 デブリ自動観測ソフトのスケジュール設定



図13 東経110度付近の静止衛星



図14 MTSAT-2付近の観測画像

(8) 人工衛星同定:軌道要素からの既知衛星の同定

(9) 星図表示:画像上での検出位置の確認

ソフトによって検出できたデブリは,観測日時と検出 した赤道座標,地平座標,光度などが出力される。

図13は、直下点経度として東経110度付近の静止軌道 を、2K×2K CCDカメラで静止軌道帯東経110°付近を 2007年6月11日の14:53:25~15:00:47(UT)に撮影した 画像を解析したものである。中央の地平座標はAz 222° 19'53.1" El 38°50'10.4"である。1.28deg.の視野内には7 つの静止軌道衛星(左からBEIDOU 1C, SINOSAT 1, N SAT110, BS-3N, B-SAT 2C, B-SAT 2A, B-SAT 1A)が確 認できる。この領域の衛星は全て運用中で軌道制御され ているのである。

図14は, MTSAT-2付近を2007年3月20日の19:38:05 ~19:43:19(UT)に撮影した画像を解析したものである。 中央座標はAz 167°55'43.4" El 47°2'49.2"である。同図 は観測時間内の数枚の画像を加算し表示したもの。視 野内にはMTSAT-2, 軌道要素から同定できなかった未 確認移動天体2個(未知デブリ),又,観測時間中に視 野内を通過した低軌道デブリFENGYUN 1C (99025MJ) を確認することができる。

図15は探索ソフトの画面の一部で,検出された未知 デブリ(Unknown 2)を示したものである。図中左の3 コマの画像は,露出10秒で取得した14枚の画像の一部 で,線像になった恒星を上(北)から下(南)に移動す るデブリを示す。図15中央の画像は,重ね合わせを行 なったデブリ画像で,画像1枚目の検出位置(XY座標) と明るさが表示されている。

3.6 探索時間

開発しているデブリ検出ソフトは、あらゆるデブリの 移動方向及び移動量を推定して計算するため、検出する ために時間がかかることが懸念される。追跡観測におい ては、その動きがあらかじめ予想されるためパラメータ の設定値を絞ることができるが、一般的サーベイでは困 難である。検出速度を速める方法として、複数の計算機 を使用した分散処理システムを試作した(図16)。その ために、特に時間のかかるプロセスである一次探索を、 複数の計算機に割り当てて実行させ、結果のみをホスト 計算機に戻す方法をとる。8台のPCをサーバーとして 使用した結果、探索時間は約1/7に短縮化されているこ

- The second	2次程度	8
O 	77.4回: の.12.103数 100 当 88 「 まてのあてからいうありし 「 あきされ、こうかない 」 二ついたていたり」 10.2010 [100 当 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10	REQ: Nersencerey: [35 실LT Nersencerey: [4 실LT Cangomer (1 실LT) Cangomer (1 실LT) Cangomer (1 실LT) Cangomer (1 실LT) Cangomer (1 JLT) Cangomer (
		4年初日 172×1780
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	×##850

図15 デブリ検出ソフトによる検出画面



図16 分散処理による探索時間の短縮

とを確認した。

4. あとがき

デブリ観測可能な光学望遠鏡システムの国内外の動 向を述べると共に,2006年11月に整備をほぼ終了した JAXA入笠山光学観測所の概要と,デブリ検出例を述べ た。

本施設は現在,観測機器の調整を行いつつ,検出ソフ トの評価等を実施している。本施設はまた,取得データ を用いた観測技術開発・評価ばかりでなく,BSGCで行 なわれている我が国のデブリ観測の補完や,国際的な観 測網の一翼を担うことも視野に入れている。特に開発中 のデブリ自動検出ソフトは,微小未知デブリの検出には 有用な手段であり,本施設で実用化・汎用化を図ること により国際貢献に寄与できるものと考えている。

参考文献

- T.Schildknecht et.al.:Properties of the High Area-to-Mass Ratio Space Debris Population in GEO, 2005 AMOS Technical Conference, 5-9 Sept. 2005, Maui, Hawaii, USA
- [2] J.P.Arregui and R.Jehn:Classification of Geosynchronous Objects, Issue 9, Feb.2007, ESOC
- [3] 黒崎裕久,中島 厚:入笠山光学観測所における スペースデブリ検出技術の開発,第51回宇宙科学 技術連合講演会2F16,札幌,2007年11月
- [4] 柳沢俊史他:重ね合わせ法による微小静止デブリの検出,日本航空宇宙学会論文集,Vol.51, No.589, pp.61-70, 2003
- [5] A.Nakajima et.al.:GEO Space Debris Optical Observation Technologies, Proc.of the 25th ISTS, Kanazawa, June 2006 (to be published)

宇宙航空研究開発機構研究開発資料 JAXA-RM-07-011

	発	行	平成20年2月29日	
	編集・発	巻行	宇宙航空研究開発機構	
			〒182-8522 東京都調布市深大寺東町7-44-1	
			URL: http://www.jaxa.jp/	
	印刷・集	人本	株式会社 実業公報社	
本書及び内容についてのお問い合わせは、下記にお願いいたします。				
宇宙航空研究開発機構 情報システム部 研究開発情報センター				
〒305-8505 茨城県つくば市千現2-1-1				
TEL:029-868-2079 FAX:029-868-2956				
	©2008	宇宙	目航空研究開発機構 1	

※本書の一部または全部を無断複写・転載・電子媒体等に加工することを禁じます。

