

G2

## 静止軌道の宇宙状況監視技術の開発

### –小型光学望遠鏡での挑戦–

#### Space Situational Awareness System for Resident Space Objects in GEO Belt – Challenge of Small Optical System –

○泉山 卓、樋川 治、平井 健二、北澤 幸人、橋本 こずえ (IHI)

○Taku Izumiyama, Osamu Hikawa, Kenji Hirai, Yukihito Kitazawa, Kozue Hashimoto (IHI)

IHIでは、20年以上前から宇宙デブリに関する研究開発を実施してきた。主として、宇宙空間でのその場観測や、宇宙システムに対する防護、また宇宙デブリの除去に係る技術の研究開発であったが、数年前からそれらの研究に加えて、自社内に望遠鏡口径 50cm 以下級の小型の光学観測設備を導入して、地上からの観測を開始している。現在、IHI 相生事業所に固定・据置型装置を、IHI エアロスペース富岡事業所内に可動式装置を設置し、観測を行っている。装置の設置位置は GPS により計測しているため、富岡の装置は、各地に持ち込んで出張観測も可能である。相生事業所に設置した装置では、遠隔操作による自動観測を実施可能であり、富岡のIHI事務所やIHI本社等から遠隔運用を行っている。現在、これらの装置、特に相生の装置を使用して、主として静止軌道帯の物体(人工衛星、宇宙デブリ)の観測を通して、観測技術の研究を行っている。相生の観測装置は、遠隔・自動運用を実現するため、望遠鏡・架台、カメラといった通常の観測装置の他に、各種センサを装備し、機器の状態、気象状況や周囲環境が遠隔での操作者がモニタできるようにしている。通常の運用では、夕方までに観測対象を選定し、観測計画を作成した後、装置にシーケンスを投入までを操作者が実施している。その後、翌朝までの観測は装置が自動実行する。観測中に、例えば降雨等があった時は、装置は安全化処置がとられる。また、翌朝の観測終了時には、観測ドームは閉じられ、装置はホームポジションに移動する。観測により取得した画像から、恒星位置を基準として、物体の位置(赤経・赤緯)を算出し、物体の軌道決定を行っている。現在、相生に設置した観測装置の性能評価を実施している。静止軌道帯の観測範囲として、位置が既知である静止衛星を観測することで、インド洋上空から太平洋上空まで約 120 度の観測幅を有することを確認した。また、観測から軌道決定までの、観測システム全体としての評価のため、マヌーバを行わないことが分かっている宇宙物体を追跡している。観測により決定した軌道を伝播し、数ヶ月間の軌道を予測し、数ヶ月後に実際の観測で得られた物体位置との比較を行う、という再帰観測により評価を行っている。再帰観測の結果、軌道伝播による予測結果と観測結果は良い一致を示すことを確認した。今後、再帰観測の期間をさらに延ばし、評価を継続するとともに、様々な対象の観測を通して、遠隔・自動観測システムにおける観測技術の開発を継続する予定である。

## 第6回スペースデブリワークショップ

# 静止軌道の宇宙状況監視技術の開発 — 小型光学望遠鏡での挑戦 —

Space Situational Awareness System for Resident Space Objects in GEO Belt  
- Challenge of Small Optical System -

2014年12月19日

**株式会社 IHI**

宇宙開発事業推進部／宇宙防衛事業企画グループ  
泉山 卓、樋川 治、平井 健二、北澤 幸人、橋本 こずえ

Copyright © 2014 IHI Corporation All Rights Reserved.

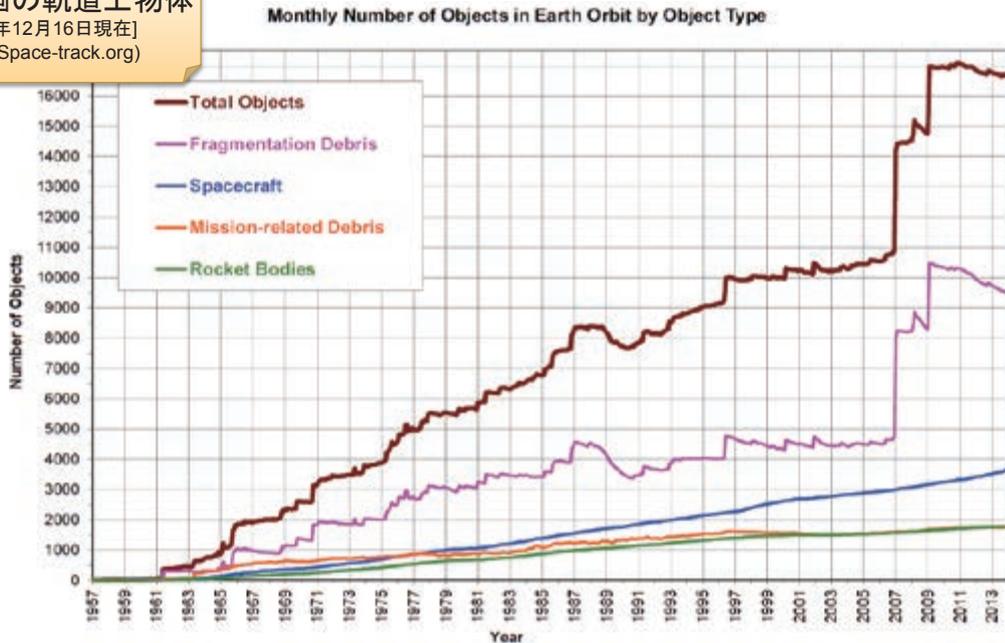
## はじめに

近年、運用終了した衛星・ロケット上段や衛星の破片等、制御できない軌道上物体(宇宙デブリ)が増加している。デブリとの衝突は、人工衛星を損傷するばかりではなく、新たなデブリを産み出し、持続的な宇宙開発・利用を困難とする。特に、静止軌道は、多くの実用衛星が利用する、軌道上物体が静止して見える唯一無二の特殊な軌道であるため、大規模な汚染で使用できなくなってしまうように保全しなければいけない。静止軌道の環境保全のためには、まずはデブリの軌道／分布状況の把握が重要である。

IHIでは、20年以上前から、宇宙空間でのその場観測や、宇宙システムに対する防護等、デブリに関する研究開発を行ってきた。宇宙環境保全への貢献が日本の宇宙開発を担ってきた企業としての責務であると考え、数年前から宇宙環境保全への取り組みとして、自社内に望遠鏡口径 50cm以下級の小型の光学観測設備を導入して、地上からのデブリ／軌道上物体の観測を開始した。

## 軌道上物体の推移

17,154個の軌道上物体  
[2014年12月16日現在]  
(出典: Space-track.org)



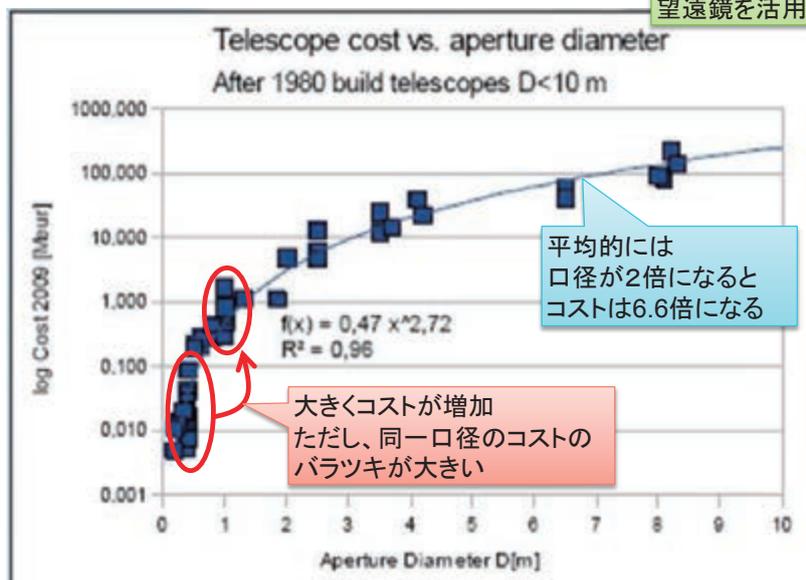
出典: Orbital Debris Quarterly News, Volume 18, Issue 1, January 2014, NASA

## IHIの観測アプローチ: 小型光学望遠鏡の活用

- 光学望遠鏡口径 1m級前後で価格が飛躍的に増加



導入コストを抑えるため、サブメートル(50cm以下)級望遠鏡を活用を目指す



出典: A. Vananti et al., Preliminary Telescope Design Analysis for the Optical Space Surveillance Subsystem, 2010, 61st IAC, Prague

## IHI光学観測装置

### 2地点に小型光学監視システムを設置：IHI相生観測所、およびIHI富岡観測所

#### IHI相生観測所

恒久観測設備(固定・据置型):  
IHI相生事業所の造船所区域に接する山の上に設置

緯度	34.790143 deg N
経度	134.456717 deg E
高度	33 m



#### IHI富岡観測所

移動式観測設備:  
通常の観測は、(株)IHIエアロスペース富岡事業所に設営  
●必要に応じて、観測場所を変更可能  
●装置の位置はGPSにより計測

緯度	36.301501 deg N
経度	138.933860 deg E
高度	207 m



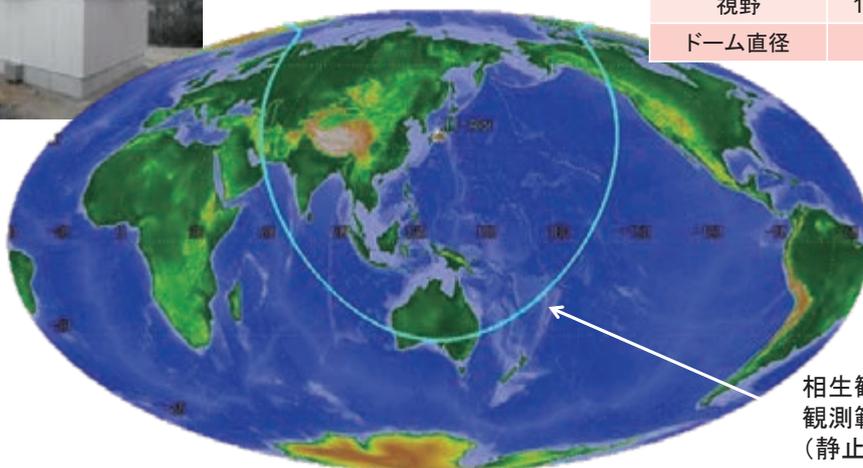
## IHI相生観測所: 装置と観測範囲

#### 相生観測所

観測装置は固定され、天体観測ドーム内に格納



項目	仕様
望遠鏡口径	400mm
視野	1.0×1.0 deg
ドーム直径	3m

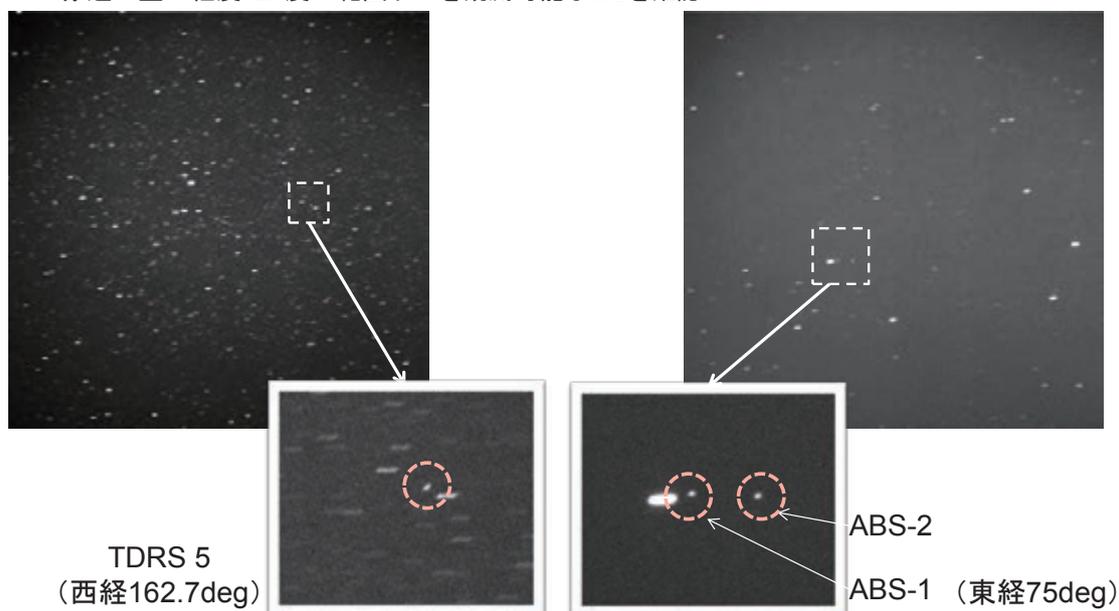


相生観測所からの観測範囲 (静止軌道帯)

## IHI相生観測所: 観測範囲の確認

### ● 静止経度が既知の衛星を観測することで、観測範囲を確認

- 赤道上空の経度120度の範囲以上を観測可能なことを確認



Copyright © 2014 IHI Corporation All Rights Reserved.

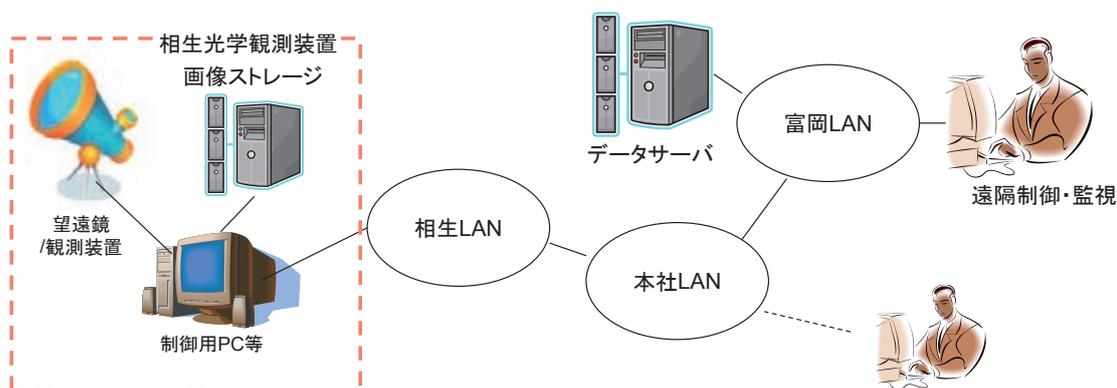
資料番号: JGM1-14 0576

6

## 相生光学観測装置の特徴

### ● 特徴: 遠隔自動観測の実現

- IHI社内ネットワークに接続したコンピュータ(IHI富岡等)から光学観測装置を制御、動作状態をモニタ
- 遠隔観測を実現するため、観測装置周囲に各種センサを設置
- 観測計画投入により、自動観測。翌朝、観測終了後、ホームポジションに復帰。
- 天候の変化に対して、外部環境をモニタし、自動で安全化処置を実施。
- 観測データの解析処理を自動化(継続開発中)。必要なデータのみIHI富岡に伝送



Copyright © 2014 IHI Corporation All Rights Reserved.

資料番号: JGM1-14 0576

7

## IHI光学観測システム(相生)実証・運用

● 相生光学観測装置: 3月から本格的に運用を開始

- 3/2~6にかけて試験観測を実施(3/4夜は雨天のため観測せず)
  - 自動シーケンスにより 約90領域/晩を撮影  
(途中、動作状況の確認のため、ブレークをとって実施)

➡ 設定したシーケンスに従い、自動観測/撮影の実行を確認

- 観測スケジューリング機能等についても確認
  - 観測対象の撮影のため、光学観測システムの時刻毎の動作方向の決定
  - 決定したシーケンスをシステムに投入

➡ 短時間でシーケンス設定/投入可能なことを確認

## IHI光学観測システム(相生)観測状況

● 7月から観測体制を整備し、定常的な観測を開始

- IHI夏期休業明けの8/18夜から基本的に毎晩、装置を稼働(~8/11はトライアル期間と位置づけ)

8月の観測結果

	データ取得	備考		データ取得	備考		データ取得	備考
8/1	-	夏期休業	8/11	○		8/21	○	
8/2	-	夏期休業	8/12	-	夏期休業	8/22	○	
8/3	-	夏期休業	8/13	-	夏期休業	8/23	○	
8/4	×		8/14	-	夏期休業	8/24	×	
8/5	×		8/15	-	夏期休業	8/25	○	
8/6	×		8/16	-	夏期休業	8/26	○	
8/7	○		8/17	-	夏期休業	8/27	×	
8/8	×		8/18	○		8/28	○	
8/9	×		8/19	○		8/29	○	
8/10	○		8/20	○		8/30	○	
						8/31	○	

観測計画日数	データ取得日数	データ取得率
22日	15日	68%

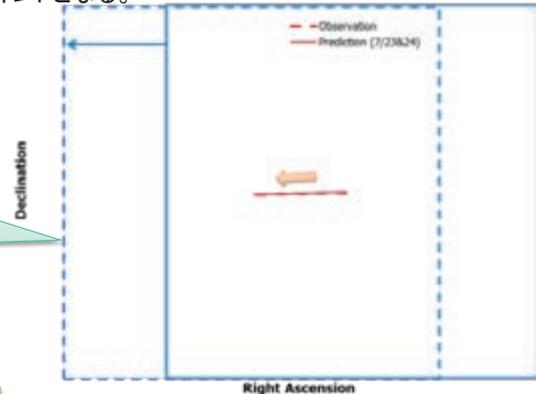
➡ 本年度は、全国的に天気不良にもかかわらず本格観測において高いデータ取得率を実現

## 再帰観測

- 観測から軌道決定までの、観測システム全体としての評価のため、再帰観測を実施
  - マヌーバしない物体を相生光学観測装置の可視範囲で追跡(数週間から数ヶ月)
  - 観測初期のデータで軌道推定。
  - 推定軌道を軌道伝搬させて、数日後、数週間後、数ヶ月後の観測データと比較し、誤差を評価
    - ◆ 観測視野内に捉えられるかが、一番のポイントとなる。

- ケースA:  
7/23と24の観測データで軌道決定

望遠鏡/赤道儀を停止して観測をしているため、赤経赤緯(RA-dec)平面では、カメラ視野が動いて見える

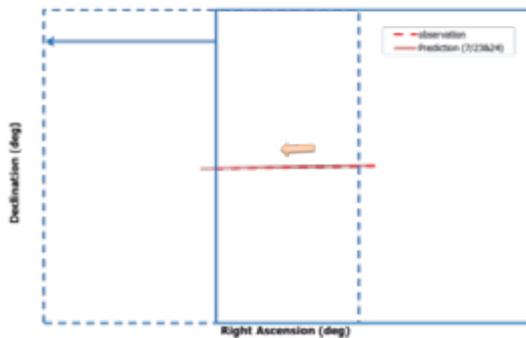


15日後(8/7)の予測と観測結果(RA-dec面)

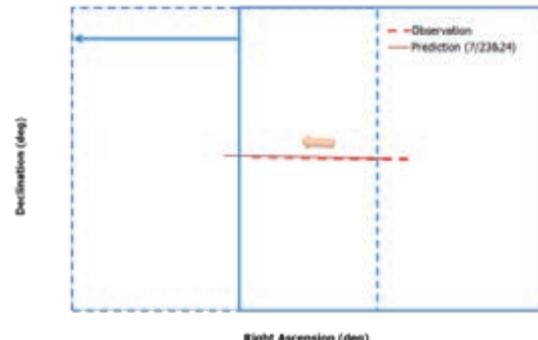
➡ 予測と観測結果は、ほぼ一致

## 再帰観測:

- ケースA: (続き)



37日後(8/30)の予測と観測結果(RA-dec面)



56日後(9/18)の予測と観測結果(RA-dec面)

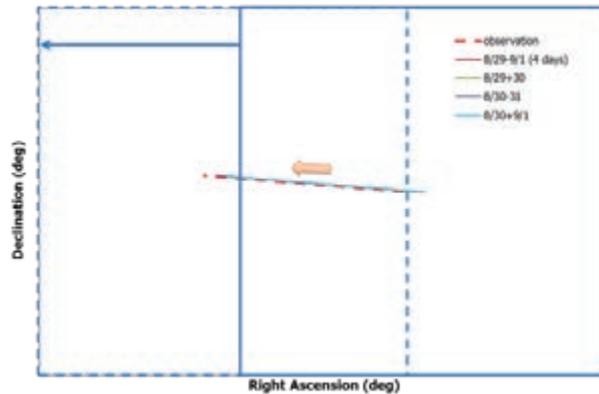
➡ 観測後、約2週間後、5週間後、8週間後まで軌道伝播して位置を予測した結果、予測と観測結果は、ほぼ一致

## 再帰観測:

### ● ケースB: (ケースAとは別物体)

#### 8/29~9/1の観測データで軌道決定

4日間のデータを使用した場合と2日間のデータを使用した場合で比較



約70日後 (11/10)の予測と観測結果 (RA-dec面)



観測データの使用数/間隔を変えて大きな差はない  
軌道伝播による約10週間後の位置予測結果と観測  
結果は、ほぼ一致した

## まとめ

- 静止軌道上の物体(人工衛星、宇宙デブリ)を観測するために、IHIが開発した小型光学観測装置について紹介した。
  - ◆ 本装置は、遠隔・自動観測が可能であり、効率的に軌道上物体を観測可能なことを実証した
  - ◆ 事前設定した観測計画に基づき、夜間に自動実行させているが、今夏のように気象条件が悪い状況でも、かなり高い可観測率を記録することができた。
- 観測から軌道決定までの全体のシステムの評価を再帰観測により実施した。
  - ◆ 再帰観測対象とした2つの軌道上物体とも、数週間から数ヶ月(現時点では最大70日)後の軌道位置を精度良く予測できた。
  - ◆ 観測データ数を変えた場合についても、評価を行い、今回のケースでは大きな差が生じないことを確認した。

## 今後の予定



- 相生光学観測装置による定常的な遠隔・自動運用を継続し、観測データを蓄積していく計画である。
- また、観測データの評価のため、再帰観測の期間をさらに延ばし、評価を継続するとともに、様々な対象の観測を通して、遠隔・自動観測システムにおける観測技術の開発を継続する予定である。

ご清聴ありがとうございました

