

Doc. #: JGM1-12 0421A

## 第9回宇宙環境シンポジウム

# 微小デブリ観測システム ／センサの検討

IHI 泉山 卓, 樋川治, 大塚健功  
JAXA 松本晴久, 奥平修, 柳沢俊史  
九州大学 花田俊也, 田川真

**IHI Corporation****IHI**  
Realize your dreams

## 目次

**IHI**  
Realize your dreams

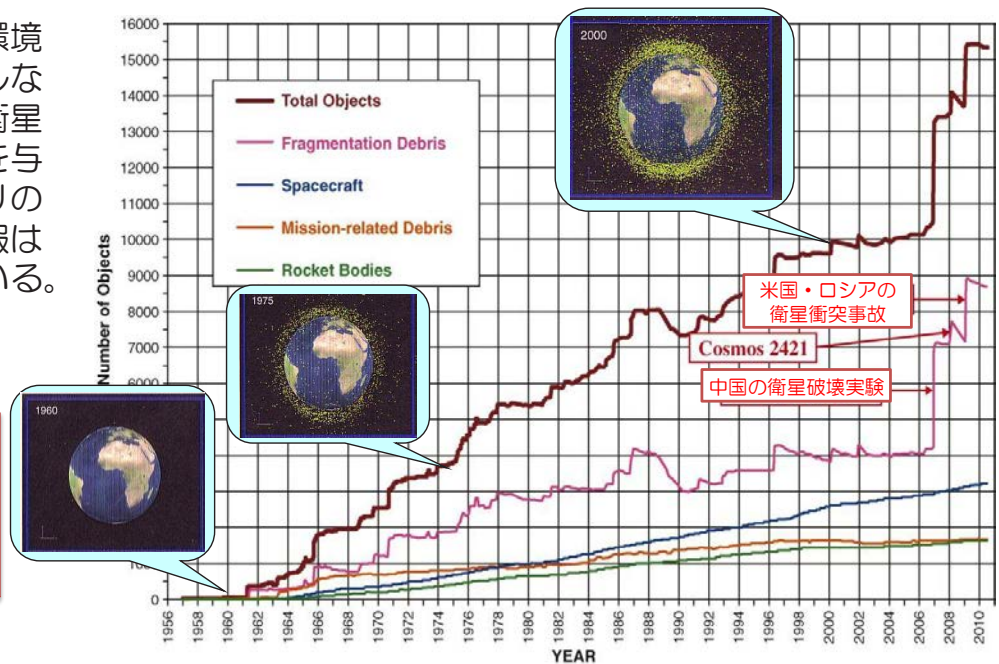
1. はじめに
2. 軌道上観測システム概念
3. 既存衛星搭載カメラでの撮影結果・分析
4. 光学観測用カメラ仕様
5. 軌道上観測データ処理システム
6. シミュレーションによる軌道決定実現性評価
7. まとめ
8. 今後の計画

= 謝辞 =

## 1. はじめに

- 2009年2月のイリジウム・コスモス衛星の衝突事故により、衛星同士の衝突が現実のものとして認識されるようになった。
- 低軌道デブリ環境はクリティカルな状態であり、衛星に重大な影響を与える宇宙デブリの位置・軌道情報は重要になっている。

16,038個の  
軌道上物体  
[2010年12月1日現在]  
(地上から観測追跡可能な  
物体のみ)



J.-C. Liou and P. D. Anz-Meador, An Analysis of Recent Major Breakups in the Low Earth Orbit region, 27. Sept. -1 Oct. 2010, IAC Conference 2010, Pragueを一部改変

Copyright © 2012 IHI Corporation All Rights Reserved.

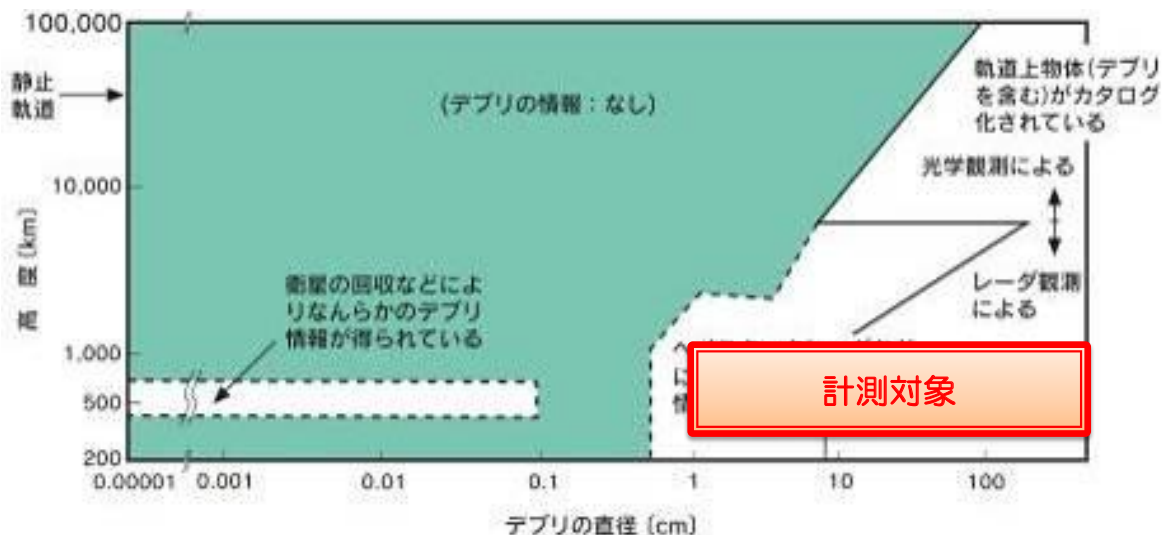
2

## 1. はじめに

- 地上観測でカタログ化されているデブリの大きさ： **約10cm以上**
- 衝突により、衛星の重大な損失を引き起こすデブリの大きさ： **約1cm程度**



◆ 低軌道 **1cm程度**のデブリを観測可能なシステム  
＝ 軌道上からの微小デブリ観測システム／センサ  
が望まれている。



Copyright © 2012 IHI Corporation All Rights Reserved.

3

## 2. 軌道上観測システム概念

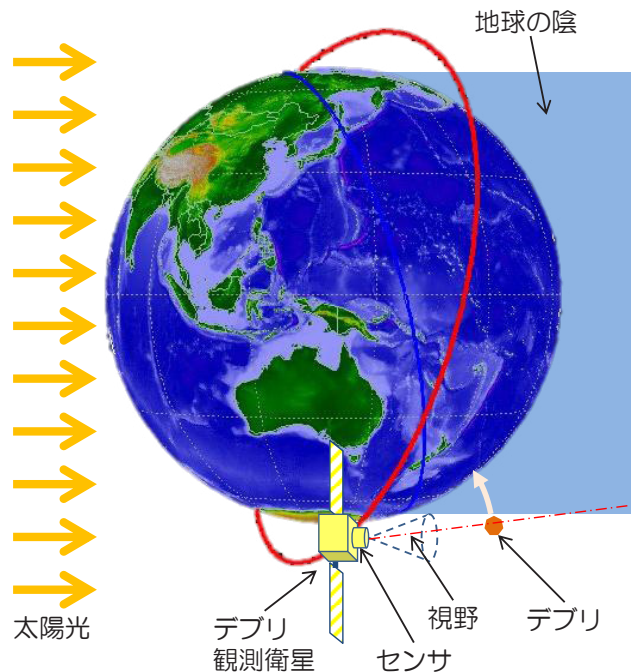
= 軌道上光学観測 =

- ◆ 気象条件によらず観測可能
- ◆ 観測衛星の軌道をうまく選定すれば、常時観測が可能
- ◆ 反射光を検出するため、システムがシンプル



さらに、

- ◆ 微小デブリ検出のため、検出能力の向上手法を搭載
  - 画像処理方法「重ね合わせ法」により光度で1~2等級程度検出能力の向上が可能
- ◆ 衛星/地上局の通信容量削減のためオンボードで画像処理
  - 搭載コンピュータとソフトウェアにより実現するため小型衛星でも実現可能



Copyright © 2012 IHI Corporation All Rights Reserved.

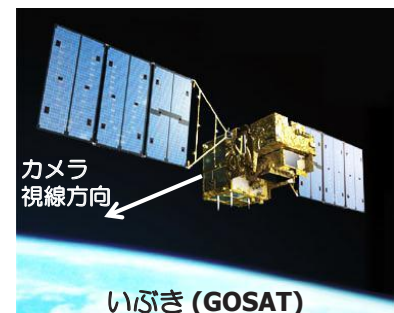
4

## 3. 既存衛星搭載カメラでの撮影結果・分析

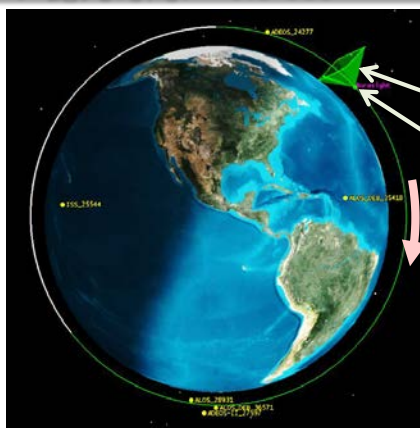
- ◆ 既存衛星の搭載カメラで軌道上光学観測の実現性を確認

➢ いぶき (GOSAT) 搭載カメラを使用

- ◆ 進行方向逆方向を向いた搭載カメラを使用
- ◆ 焦点距離: 2.86mm (35mm換算 23mm相当)<sup>※1</sup>
- ◆ F値: F 2.0<sup>※1</sup>
- ◆ 視野角: 約84×63 deg
- ◆ 出力: SXGA (1,280×1,080 pix)  
JPEGファイル
- ◆ 露光時間: 0.5 sec<sup>※2</sup>



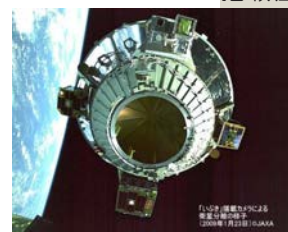
いぶき (GOSAT)



※1: 明星電気「衛星搭載モニタカメラ」カタログから  
※2: 最長 1秒まで露光可能。

カメラ視野  
衛星位置  
衛星  
周回方向

いぶき(GOSAT)  
搭載カメラによる  
撮影のイメージ



使用したカメラによる  
撮影画像例

Copyright © 2012 IHI Corporation All Rights Reserved.

5

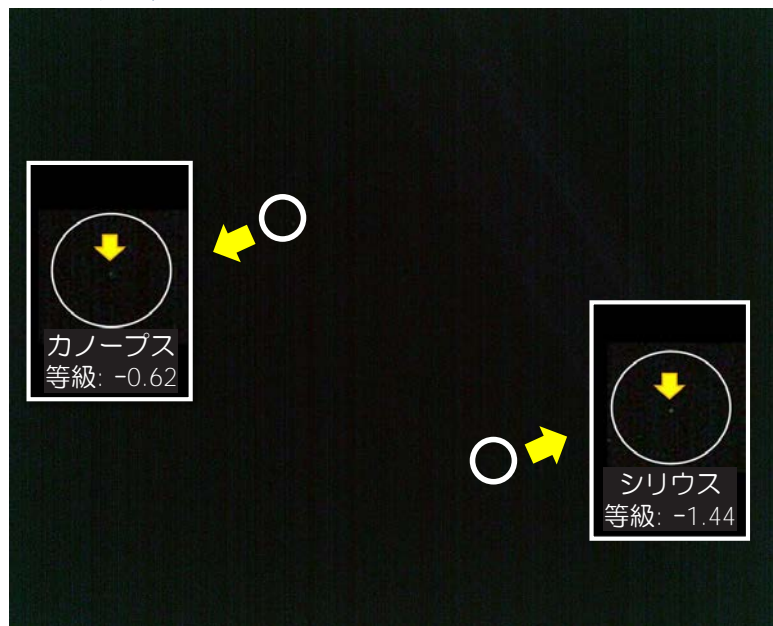


### 3. 既存衛星搭載カメラでの撮影結果・分析

#### ◆ いぶき（GOSAT）搭載カメラでの撮影例（恒星）



恒星固有名	実視等級	目視確認
シリウス	-1.44	○
カノーブス	-0.62	○
リゲル	0.18	○
プロキオン	0.4	○
ベテルギウス	0.45	○
アルデバラン	0.87	×
ポルックス	1.16	×
アダーラ	1.5	×
カストル	1.58	×

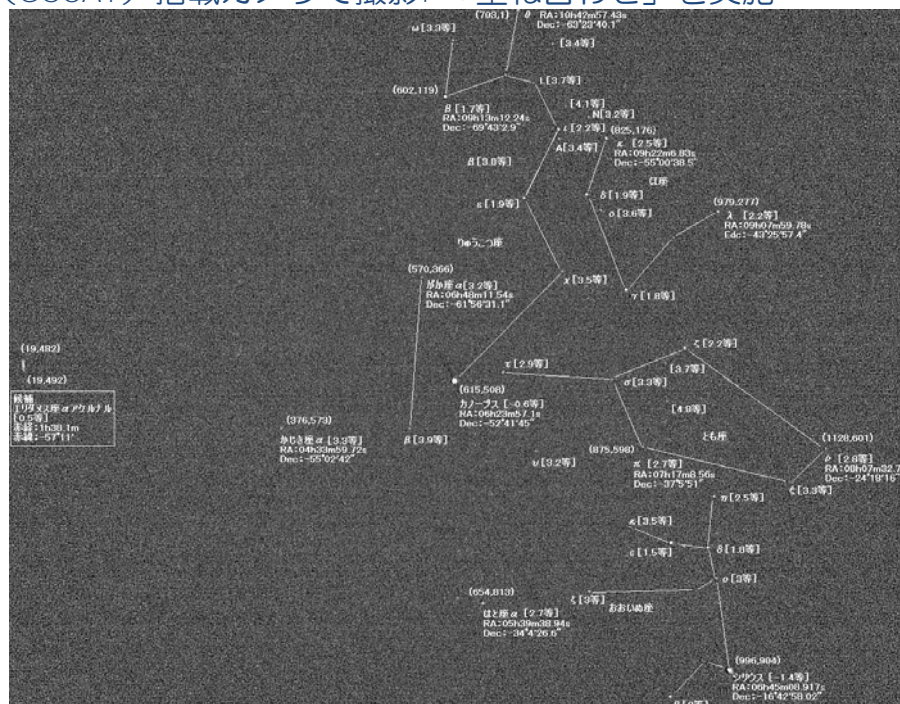


実視等級 0.2～0.4等 程度まで識別可能

光学センサの感度を逆算すると、**100～1,000分の1程度感度が悪化**していると想定される。

### 3. 既存衛星搭載カメラでの撮影結果・分析

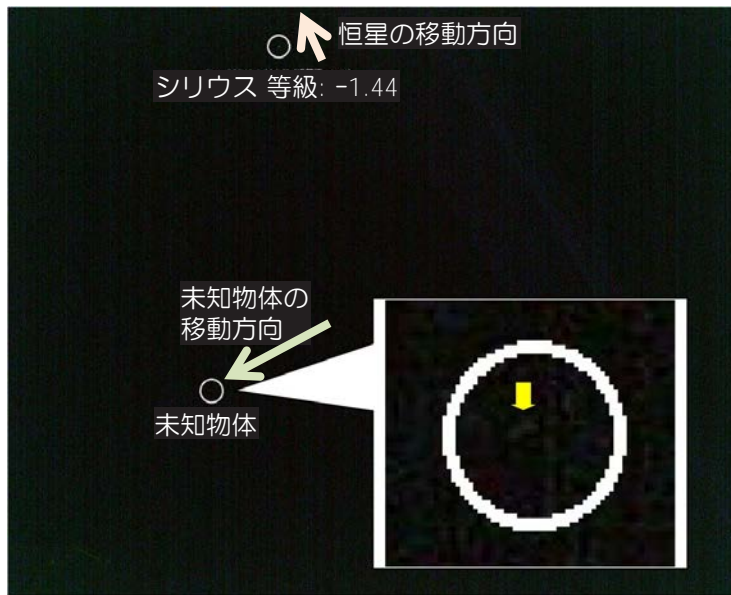
#### ◆ いぶき（GOSAT）搭載カメラで撮影：「重ね合わせ」を実施



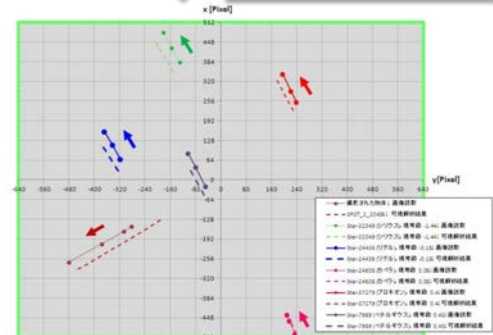
最も暗い恒星で実視等級 4等くらいまで識別

### 3. 既存衛星搭載カメラでの撮影結果・分析

#### ◆ いぶき（GOSAT）搭載カメラでの撮影例（人工衛星）



JSpOCカタログ掲載の軌道上物体に対して、撮影時間の視野内動作をシミュレーション



- SPOT 2の動作と類似
- 撮影期間中のSPOT 2の実視等級推定値 (0~1等級)  
⇒ カメラの可撮影範囲

撮影された軌道上物体は、SPOT 2と推定

少ない画像内情報での軌道上物体の識別／同定手順を確立

### 4. 光学観測用カメラ仕様

#### ◆ 既存民生レンズをベースに検出性能を評価

- レンズ選定の方針
  - Fナンバーをできる限り小さく（明るく）し（ $F = \text{焦点距離} \div \text{レンズ口径}$ ）、そのうえで焦点距離を長くしてでも口径を大きくすべき。  
（「衛星搭載光学デブリセンサの検討」松本他、第8回宇宙環境シンポジウム、2011）

#### 暫定カメラ仕様

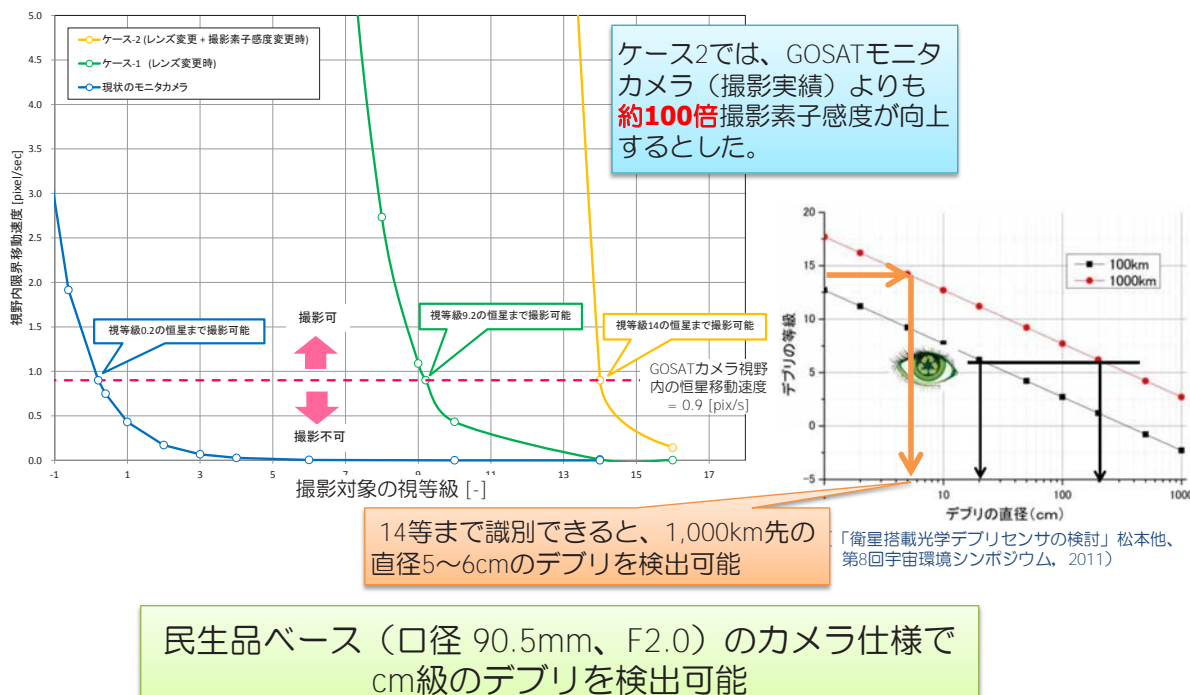
名称	Canon EF200mm F2L IS USM
焦点距離	200 [mm] (35mm版換算)
F値	2.0
有効口径	90.5 [mm]
最大径×長さ	Φ 128 × 208 [mm]
重量	2.5 [kg]



外観

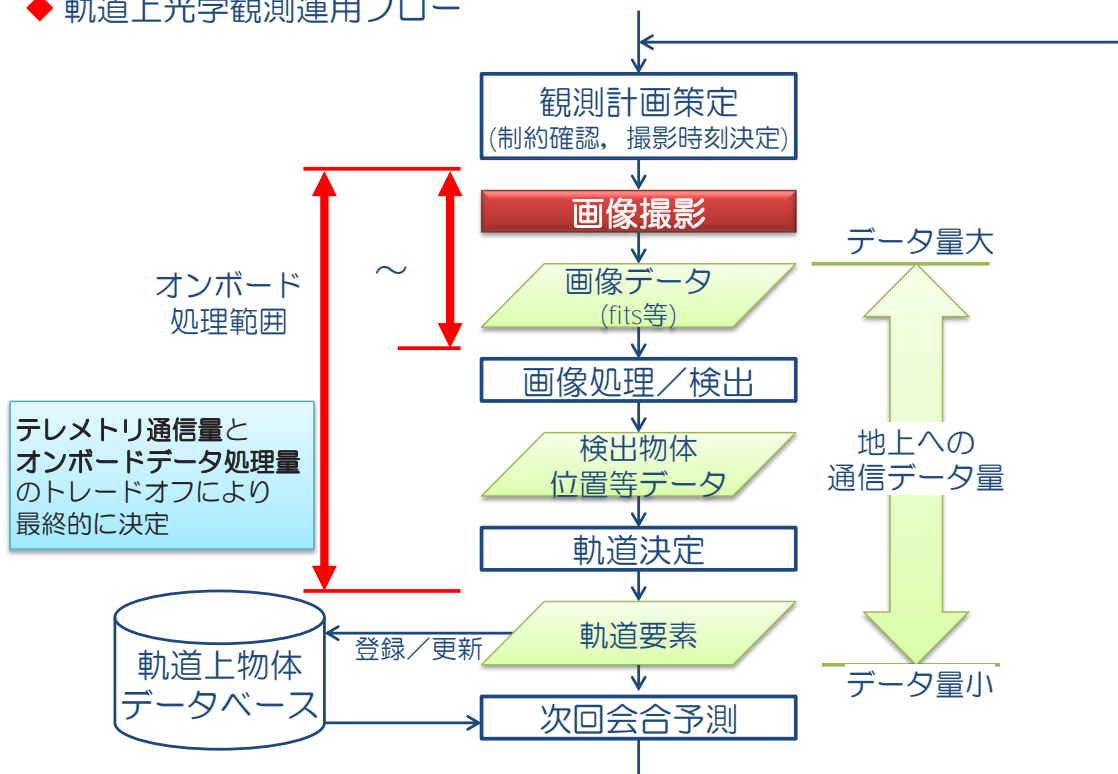
## 4. 光学観測用カメラ仕様

### ◆ いぶき（GOSAT）モニタカメラの検出感度から、スケーリングにより検出可能実施等級を算出



## 5. 軌道上観測データ処理システム

### ◆ 軌道上光学観測運用フロー

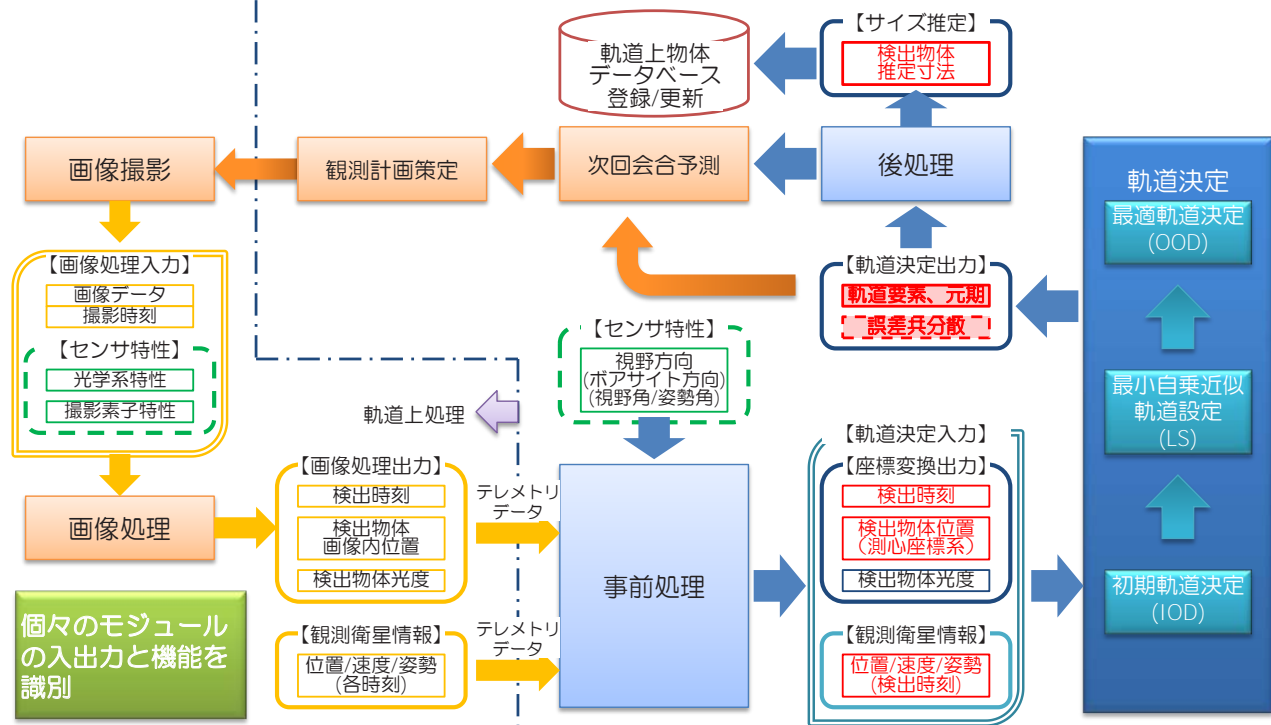




## 5. 軌道上観測データ処理システム

### ◆ 軌道上光学観測データ処理フロー

➤ 「画像処理・検出」までを軌道上で実施する場合



Copyright © 2012 IHI Corporation All Rights Reserved.

12

## 6. シミュレーションによる軌道決定実現性評価

- ◆ 軌道上光学観測衛星の軌道／センサ仕様を想定
- ◆ 対象物体の軌道： 典型的な軌道を想定（6ケース）



シミュレーションにより、センサ出力データを生成し、そのデータから軌道推定を実施

観測衛星軌道要素（シミュレーション用）

元期	2011/1/2 05:02:19.000
軌道長半径	6978.14 [km]
離心率	$1.51683 \times 10^{-7}$
軌道傾斜角	113 [deg]
近地点引数	241.378 [deg]
昇交点赤経	14.031 [deg]
真近点離角	161.651 [deg]

カメラ仕様

視野角	$7.9 \times 7.9$ [deg]
画素	1024 × 1024 [pix]※



※: 但し、今回は初期検討として、観測誤差は考慮せずに、観測衛星の位置、及び視野内にある時は、理想的な形で観測衛星から見たターゲットの位置（赤経・赤緯）を算出できるとした。  
（画像の重心を算出することで、1pix以下の単位で位置決定可能と仮定）

Copyright © 2012 IHI Corporation All Rights Reserved.

13

## 6. シミュレーションによる軌道決定実現性評価

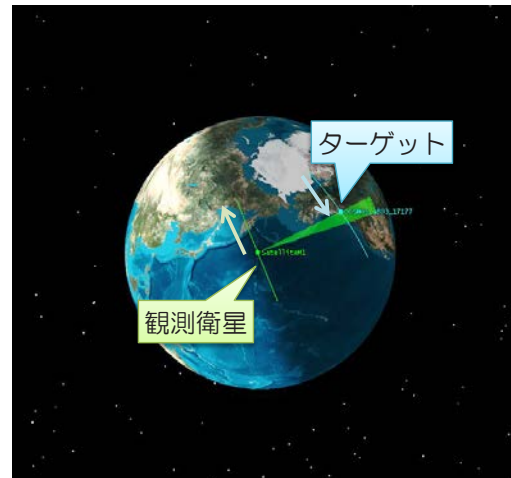
### ◆ 軌道決定精度が良かった例



軌道決定精度誤差 (例)

- 軌道長半径誤差: 約  $<1(\sim 2)\%$
- 軌道傾斜角: 約  $<1\text{deg}$

### ◆ 軌道決定精度が悪かった例



軌道決定精度誤差 (例)

- 軌道長半径誤差: 約  $2(\sim 4)\%$
- 軌道傾斜角: 約  $0.17(\sim 0.3)\text{deg}$



- 軌道上での観測データにより観測対象の軌道決定が実現可能
- 画像内をほぼ横方向に逆方向へ移動する物体に対しては (軌道が観測衛星とほぼ平行状態な時に観測される場合) 軌道決定精度が劣化すると推定される。

## 7. まとめ

### ◆ 既存衛星搭載カメラでの撮影結果およびカメラ仕様検討

- ✓ 既存衛星搭載カメラでの撮影結果の分析を通して、軌道上光学観測の可能性を確認した。  
← SPOT 2の検出・同定
- ✓ 既存衛星搭載カメラでの撮影結果の分析により、軌道上観測においても「重ね合わせ」の効果を確認できた。
- ✓ 民生品ベースでのカメラ仕様でも cm級のデブリを検出可能なことを確認できた。

### ◆ 軌道上観測ミッションシステム仕様の検討

- ✓ 軌道上光学観測の観測フローを明確にしデータ処理フローを定義した。

### ◆ 軌道決定実現性評価

- ✓ 想定する軌道上観測システムで取得できるデータから軌道決定ができることを確認した。
- ✓ 但し、対象物の軌道によっては精度が劣化することを確認。



## 8. 今後の計画



- ◆ 光学センサ要求仕様の設定
  - ✓ 光学系および撮像素子に対するハードウェア要求仕様
  - ✓ シミュレーションによる軌道上光学観測による観測効果の予測
- ◆ 軌道決定における誤差影響評価
  - ✓ 誤差を考慮したシミュレーションによる確認
  - ✓ 衛星システムの観測時刻における位置計測精度の影響
- ◆ 観測シナリオの検討
  - ✓ 軌道決定 vs フラックス評価 の判断基準
  - ✓ 補完シナリオ: 軌道上観測と地上観測の役割分担
- ◆ 軌道上観測ミッションシステム仕様の検討

## 謝辞



本「微小デブリ観測システム／センサの検討」実施にあたって、  
衛星搭載カメラによる撮影と画像提供を頂いた 宇宙航空研究機構  
宇宙利用ミッション本部のGOSATプロジェクトチーム関係各位の  
ご厚誼に対し、深く感謝の意を表します。