

E3

## 小型鉬方式によるデブリ捕獲システムの概念検討

### Conceptual Study for Orbital Debris Removal System using small “Harpoon”

泉山 卓、○笹川 千春(IHI)、河本 聡美、大川 恭志(JAXA)

Taku Izumiyama, ○Chiharu Sasagawa (IHI), Satomi Kawamoto, Yasushi Ohkawa (JAXA)

IHIでは、JAXAの委託研究により、グループ内技術を活用した鉬によるデブリ捕獲システムを検討してきた。しかし、火工品を用いた通常鉬では、反動抑制を行っても射出時の反力のばらつきを考慮すると、捕獲衛星本体の反力許容値に抑えることが困難であった。このため、委託研究において、捕獲対象が限定されないという「鉬」の特性を生かしつつ、対象を貫通・捕獲する部分を小型化し、反力を抑制する「小型鉬」方式の検討を開始した。本発表では「小型鉬(パンチャ)」方式のデブリ捕獲システムの概念検討結果を報告する。デブリ捕獲時には、捕獲対象の姿勢や対象までの測距をステレオカメラ等により実施するが、その運用シーケンスについても提案する。また、本システムを超小型衛星に搭載した場合の衛星概念についても報告する。

## 小型鋐方式によるデブリ捕獲システムの 概念検討

### Conceptual Study for Orbital Debris Removal System using small “Harpoon”

泉山 卓, 笹川 千春 (IHI)  
 河本 聡美, 大川 恭志 (JAXA)

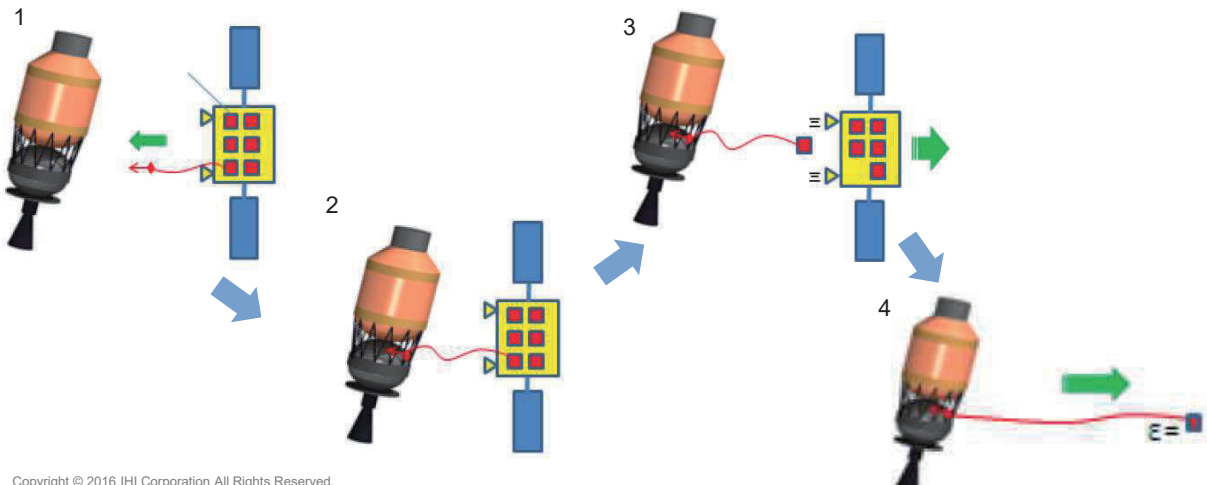
Copyright © 2016 IHI Corporation All Rights Reserved.

## 従来検討 デブリ除去システムの紹介

IHIでは、JAXAの委託研究により、グループ内技術を活用した鋐によるデブリ捕獲システムを検討してきた。

現在までに検討したデブリ捕獲システムの概要を以下に示す。

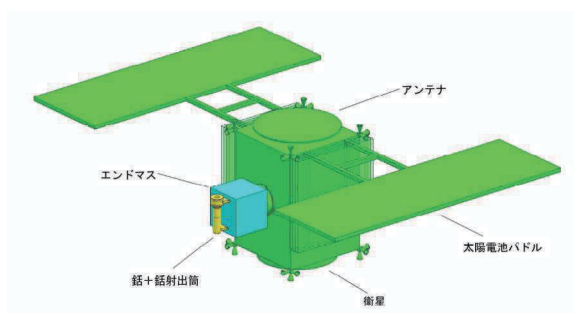
1. デブリ除去システムを搭載した衛星をターゲット(デブリ)へ接近させる。
2. ターゲットから20m離れた距離にてターゲットに対し相対的に衛星を停止させ、鋐を射出する。
3. ターゲットに鋐貫入後、デブリ除去システムを衛星から切り離す。
4. EDT (Electrodynamic Tether) を伸ばし、軌道上よりデブリを取り除く



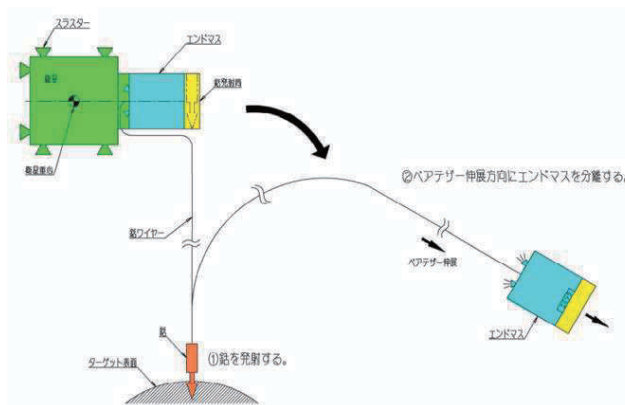
Copyright © 2016 IHI Corporation All Rights Reserved.

## 銚によるデブリ捕獲システム検討 概要

デブリ捕獲システムの形状及び銚射出システムの概要を示す。



デブリ捕獲システム



銚射出システムの概要

Copyright © 2016 IHI Corporation All Rights Reserved.

## 従来システム課題克服のための形態変更

従来システムについては、以下の問題点が挙げられる。

1. 銚射出時に発生する反力が、衛星本体の反力許容値をオーバーする。
2. 様々な誤差要因によりターゲットへの銚の命中率が低下する。

上記問題に対し、それぞれ以下のように対策することとした。

1. 銚射出時に発生する反力が、衛星本体の反力許容値をオーバーする  
⇒反力を低減するため、銚射出システムの再検討を行なう。
2. 様々な誤差要因によりターゲットへの銚の命中率が低下する。  
⇒原因の1つとして、銚の貫入角が大きくなると、銚がターゲットに貫入しないことが挙げられる。対策として、衝角自動調心機構を設けることとする。

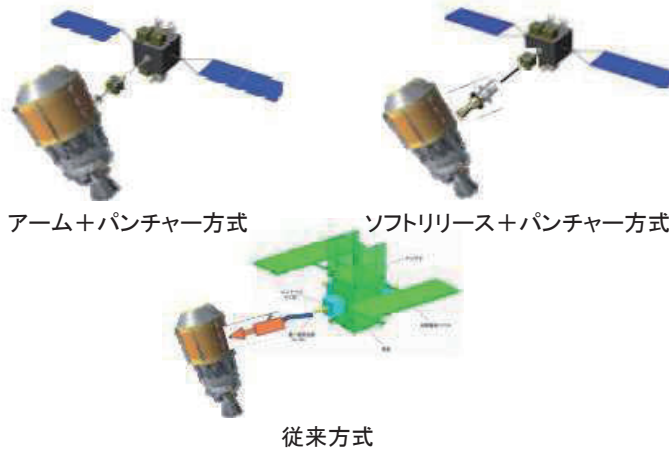
Copyright © 2016 IHI Corporation All Rights Reserved.

## 銛射出システムトレードオフ

銛射出時に衛星側にかかる反力を低減するため、銛射出システムについて再検討することとした。

以下に示す3方式の銛射出システムについてトレードオフを実施した。

1. アーム+パンチャー方式
2. ソフトリリース+パンチャー方式
3. 従来方式



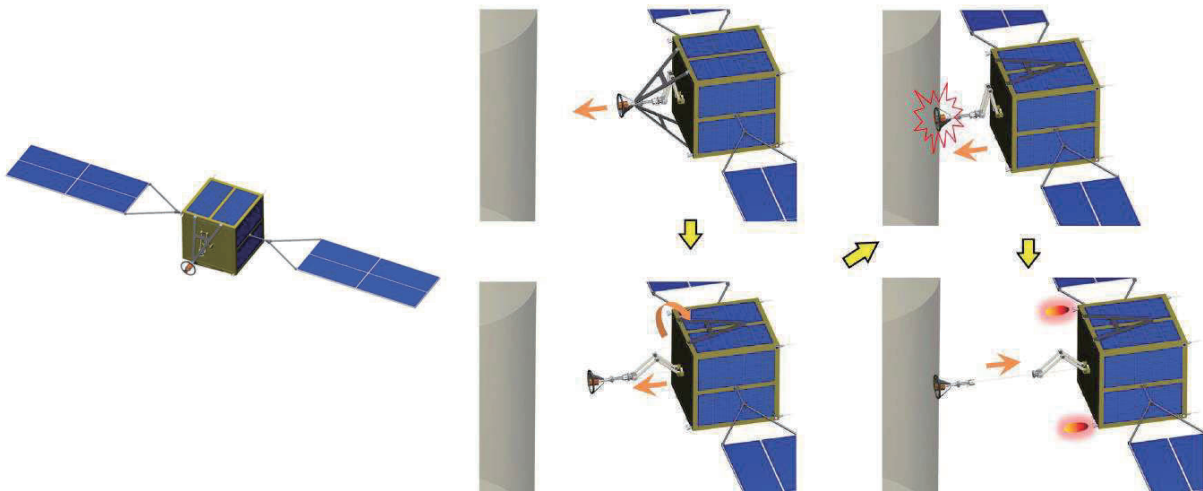
トレードオフ項目	重み	アーム+パンチャー	ソフトリリース+パンチャー	従来法
<small>積まれるパネンが積</small> <small>姿勢制御/安全</small> <small>デブリ位置精度</small> <small>デブリ位置精度</small> <small>積まれるパネンが積</small> <small>姿勢制御/安全</small> <small>デブリ位置精度</small> <small>デブリ位置精度</small> <small>積まれるパネンが積</small> <small>姿勢制御/安全</small> <small>デブリ位置精度</small> <small>デブリ位置精度</small>	3	2	2	2
衛星への要求 (制約)	2	2	2	1
機構機構への要求	2	4	4	3
機構機構の規模 (規模が小さい)	3	3	3	3
機構機構の自律性	1	4	4	3
リトラの対応可能性	2	3	2	2
機構機構への適応性	2	2	2	2
地上試験の容易性	3	4	3	2
安全性	2	3	3	2
緊急時の対応	2	3	2	2
対象の不確かさへの配慮事項	1	3	3	2
衛星の規模	1	3	3	3
開発課題/リスク	3	3	2	2
開発コスト	3	3	3	2
総合		89	79	65

Copyright © 2016 IHI Corporation All Rights Reserved.

## パンチャー+アーム方式 デブリ除去システム

トレードオフによりパンチャー+アーム方式デブリ除去システムを選定した。以下にデブリ除去システムの運用イメージを示す

1. デブリ運動同定を行ない、アンカー点のターゲッティングを行なう
2. 保持していたアームを進展させる
3. アームの先端(デブリ除去システム)をターゲットへ接触させ、それと同時に銛を射出する。
4. テザーを伸ばし、軌道上からデブリを取り除く。

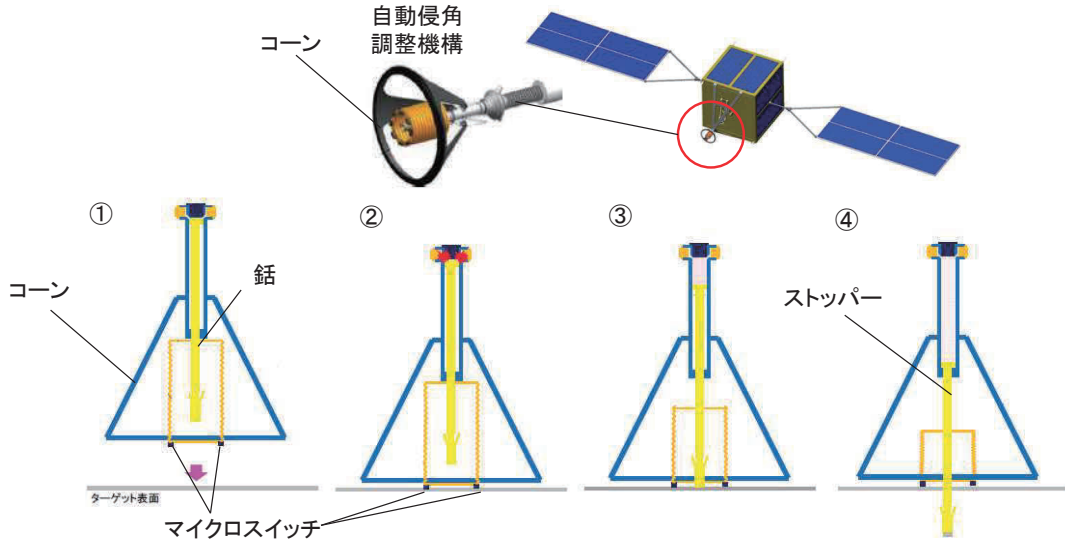


Copyright © 2016 IHI Corporation All Rights Reserved.

## 衝角自動調心機構



ターゲットに対する鋸貫入角を極力小さくするため、自動侵角調整機構をシステム先端に設置することとした。デブリ除去システムをターゲットへ接近させ、コーンをターゲットと接触させる。コーンに取り付けられた複数のマイクロスイッチがターゲットへ接触、すなわち鋸がターゲットに対して垂直に射出される状態になったところで、鋸が射出されるシステムである。射出時、鋸はストッパーにより停止され、反力を低減する。

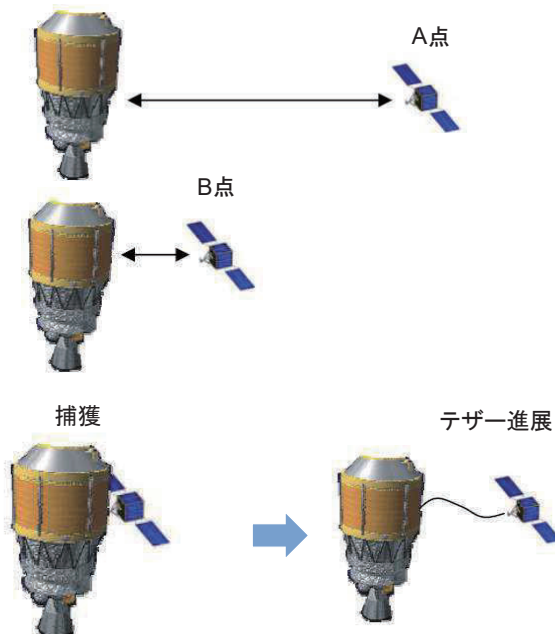


Copyright © 2016 IHI Corporation All Rights Reserved.

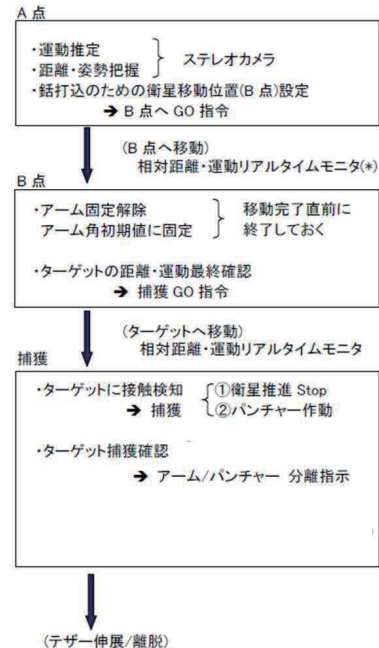
## デブリ除去シーケンス



デブリ除去シーケンスを以下に示す。ターゲットより20m離れた地点(A地点)にて衛星を停止し、ステレオカメラを用いてターゲット(デブリ)の運動推定を行なう。その後、B地点へ衛星を移動させ、ターゲットと衛星間の距離及びターゲットの運動の最終確認を行なった後、アンカー点へデブリ除去システムを接近させて、ターゲットを捕獲する。

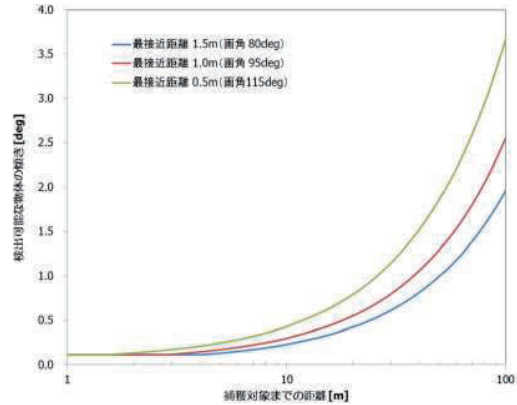
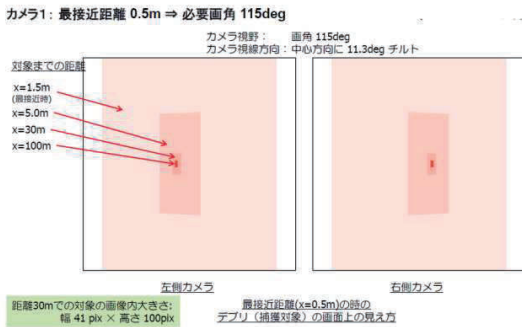


Copyright © 2016 IHI Corporation All Rights Reserved.



## ステレオ画像による誤差修正と見え方

カメラを二つ用いて、ターゲットの概略形状を画像で認識し、左右側面の傾きから捕獲対象の傾斜を認識する。  
 衛星側が想定しているカメラの画角とは異なる(すなわち、画像からの相対姿勢推算誤差が異なる)可能性があり、姿勢検出誤差を概算した。



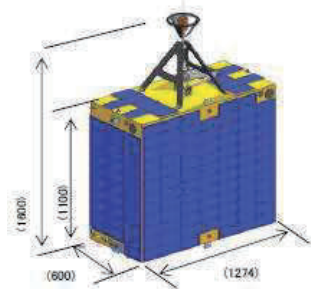
デブリと衛星間の距離が20~30mの場合、検出可能な姿勢ズレは0.5~1°程度であり、相対姿勢誤差は大きいですが、最終接近距離に近づくと、検出可能な姿勢ズレは0.1°程度に収束していることがわかる。

Copyright © 2016 IHI Corporation All Rights Reserved.

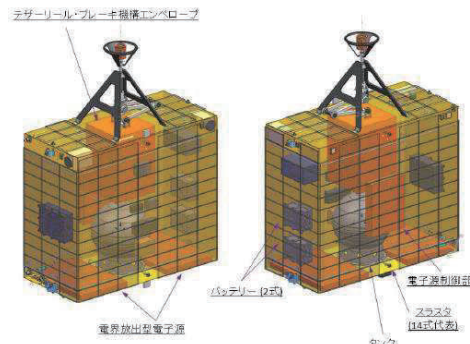
## 小型衛星への搭載オプション

本デブリ捕獲システムを衛星へ搭載する場合の衛星サイズ、質量、及び消費電力について検討した。  
 推進系等含めると、1.2m x 0.6m x 1.1m程度のサイズの衛星と見積られる。

項目名	質量 [kg]
ミッション機器	79.12
電源系	23.35
Sバンド通信系	2.04
搭載計算機	5.20
推進系	31.63
姿勢制御系	3.84
構造機構系	25.34
計装熱制御系	25.00
合計	195.53



項目名	常時フェーズ消費電力 [W]	デオービットフェーズ消費電力 [W]
ミッション機器	0.0	70.0
電源系	22.0	22.0
Sバンド通信系	5.0	5.0
搭載計算機	20.0	20.0
推進系	0.5	0.5
姿勢制御系	21.7	21.7
構造機構系	0.0	0.0
計装熱制御系	55.0	55.0
合計	124.2	194.2



Copyright © 2016 IHI Corporation All Rights Reserved.

## 課題及び今後の計画



1. パンチャーの基本仕様の検討と試作品の設計
  - ・確実なパンチャー抜け防止対策の確認
  - ・パンチャーの小型化・軽量化対策の継続
  - ・衝角自動調整機構の総合機能の確認
  
2. デブリ近傍作業～捕獲までの視覚系シナリオ及び必要精度検討
  - ・ステレオ視による計測精度の実現性の確認
  - ・具体的な運用シナリオの精査

Copyright © 2016 IHI Corporation All Rights Reserved.

