

HTV 軌道高度の TLE 精度評価

○工藤 伸夫、松田 郁未（JAXA）、倉田 育枝、足立 学（富士通）

昨今のスペースデブリ(デブリ)増加に伴い、衛星運用においてデブリとの衝突の可能性を無視できない状況になってきている。

このような状況をふまえ、JAXA 統合追跡ネットワーク技術部(JAXA 追跡)では、運用中の人工衛星におけるデブリの衝突を回避する運用の検討を進めてきた。2011 年 1 月に打上予定である宇宙ステーション補給機 2 号機(HTV2)の運用においても、打上から ISS にキャプチャされるまでのランデブフェーズと、ISS 離脱後から大気圏に再突入するまでのフェーズにおいて、デブリとの接近解析を実施する予定であり、デブリの軌道情報として、米国 Space Track が公開している軌道要素(TLE)を使用する。

本講演では、HTV2 軌道高度を通過するデブリ、すなわち HTV2 に接近する可能性のあるデブリの TLE について、軌道・大きさ別に軌道伝播誤差を調べることで、統計的な傾向を把握した解析結果について述べる。

第4回 スペースデブリワークショップ

HTV軌道高度のTLE精度評価

工藤伸夫、松田郁未（宇宙航空研究開発機構）
倉田育枝、足立 学（富士通株式会社）

2010年12月17日



目次



1. Introduction
2. HTV概要
3. HTVのデブリ接近解析
4. TLE精度評価
 - 4.1. 評価の流れ
 - 4.2. 評価方法
 - 4.3. 評価結果
5. まとめと今後

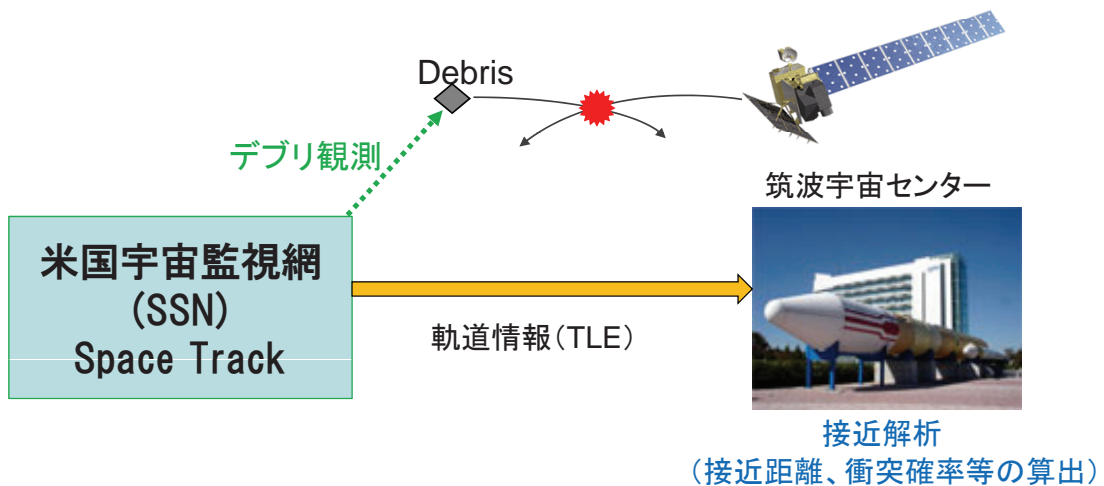
2

1. Introduction



昨今の軌道上デブリ数の増加に伴い、衛星とデブリとの衝突リスクが無視できない状況

→HTVや他の運用衛星とデブリとの接近状況を把握



3



2. HTV概要(1/2)

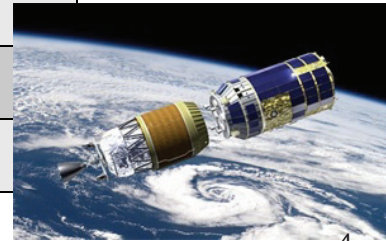
<HTV(このとり)概要>

国際宇宙ステーション(ISS)に物資を補給する無人ランデブー宇宙機

【HTV2号機:2011年1月20日打上予定】

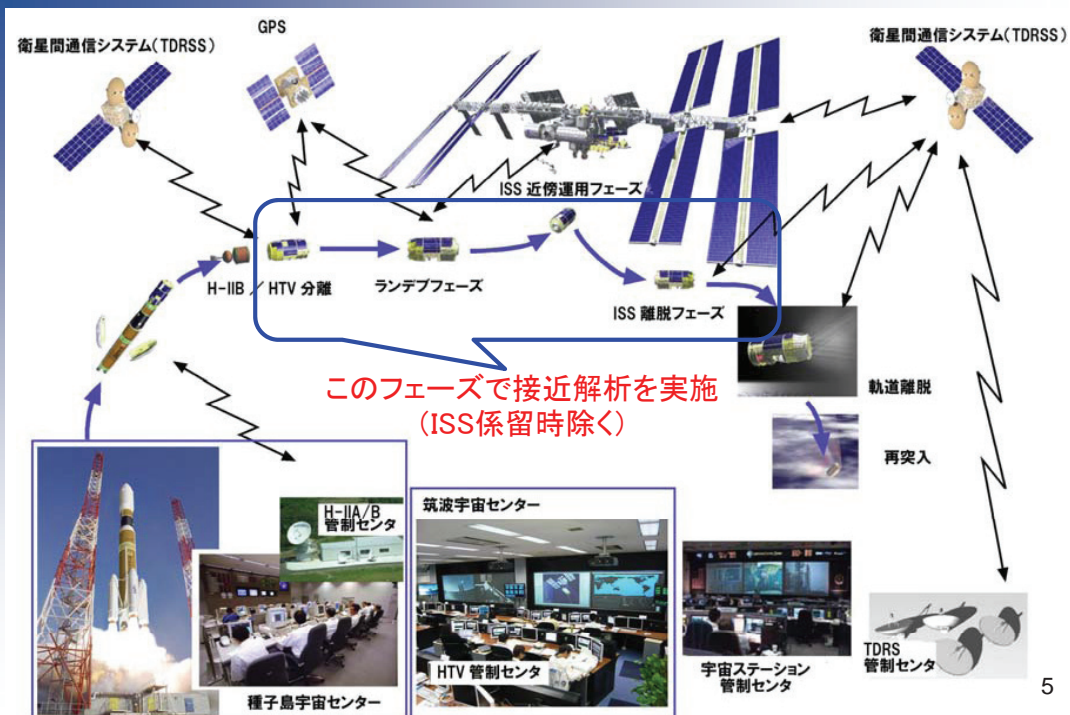
【主要諸元】

全長	約10m(スラスト含む)
直径	約4.4m
質量	約10.5トン(補給品除く)
補給能力	最大6トン
廃棄品搭載能力	約6トン
目標軌道 (ISS軌道)	高度:350km~460km 軌道傾斜角:約51.6度
ミッション時間	軌道上待機能力:1週間以上 ISS滞在期間:約30日間

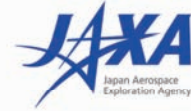


4

2. HTV概要(2/2) -運用システム構成-

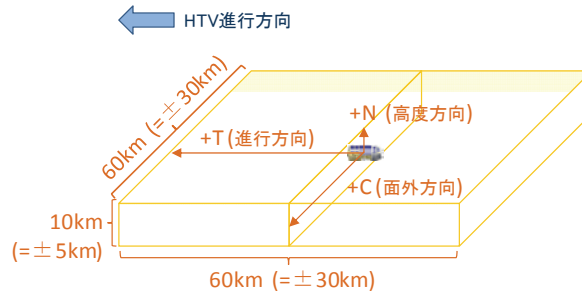


5



3. HTVのデブリ接近解析(1/2)

<Notification Box>



HTVを中心とした上記Notification Box (±5km, ±30km, ±30km) 内に入ってくるデブリの有無を随時確認。

上記Box内にデブリが検知された場合、接近の状況を詳細に確認し、**回避制御を実施するかどうかを判断。**

6



3. HTVのデブリ接近解析(2/2)

HTV1号機に接近したデブリ(ランデブフェーズ:7日間)

※接近距離: 100km以内(高度方向: ±50km以内)

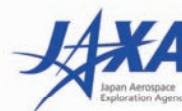
Name	国際識別番号	軌道傾斜角 [度]	遠地点高度 [km]	近地点高度 [km]	レーダ断面積 [m ²]
HITCH HIKER 1	63025B	82.0	1700	315	0.3090
COSMOS 482 DESCENT C	72023E	52.1	3930	207	0.7020
ATLAS CENTAUR R/B	80087B	26.1	1820	240	10.6974
FAST	96049A	83.0	3708	348	0.9940
SL-12 DEB	02037AY	63.0	418	302	0.0950
CZ-2C DEB	04029C	88.8	19465	308	0.0250
FENGYUN 1C DEB	99025DQ	98.6	774	323	0.0330
FENGYUN 1C DEB	99025AJZ	98.8	342	292	0.0490
FENGYUN 1C DEB	99025CJZ	99.1	883	312	0.0246
COSMOS 2421 DEB	06026AX	65.0	318	289	0.0310
COSMOS 2421 DEB	06026DH	65.1	389	359	0.0280
COSMOS 2421 DEB	06026EQ	65.0	340	314	0.1380
COSMOS 2421 DEB	06026FM	65.0	368	329	0.0318
COSMOS 2421 DEB	06026GD	65.1	284	258	0.0016
COSMOS 2421 DEB	06026KS	65.0	338	311	0.1450
CZ-2C R/B	08041C	98.0	483	233	7.0130
CZ-2D R/B	08056C	98.0	815	308	10.4000
COSMOS 2251 DEB	93036JP	74.2	856	293	0.0540
GOCE	09013A	96.6	264	252	2.9280
SL-6 DEB	08062F	62.8	374	256	0.0246
SL-6 DEB	08062G	62.8	361	253	0.0247
CZ-2C DEB	09021E	97.8	455	319	0.0720
ANDE DEB (AVIONICS DECK)	09038G	51.6	328	323	0.1840

計23個

←Notification Box内で検知

FENGYUN1CやCOSMOS2421関連のデブリが多い(再突入フェーズも同様)

7



4. TLE精度評価

<TLEの接近解析利用における課題>

TLEの誤差傾向について体系的把握が不十分

軌道条件・物体の大きさ・更新頻度等によりデータにばらつきがある

⇒接近解析の確度を上げるためTLEデータ精度把握が必要

HTV2号機の軌道高度:250~370km

JAXAの他の運用衛星の軌道高度(600~750km)

に比べて高度が低く、大気抵抗に伴う誤差が大きい。

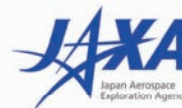
(誤差傾向が異なる)

⇒「HTV2号機の軌道高度を通過する物体」

(=HTVに接近する可能性がある物体)

に着目し、TLE誤差傾向を定量的に把握する

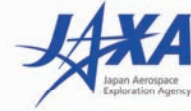
8



4.1 評価の流れ

- ① TLEエポックでの誤差傾向の把握(軌道決定誤差評価)
 - ・「離心率／物体の大きさ(レーダ断面積)」別に見た誤差傾向の把握
 - ⇒軌道伝播以外に起因する誤差の傾向を確認し、伝播誤差を評価する解析(②)のケース設定に利用
 - 「TLEそのものが持っている誤差を評価」
- ② TLE伝播誤差の傾向把握
 - ・軌道伝播した時(予測軌道)の誤差の拡大傾向の把握
 - ⇒「TLEを軌道伝播することで生じる誤差」について、各ケース毎に評価

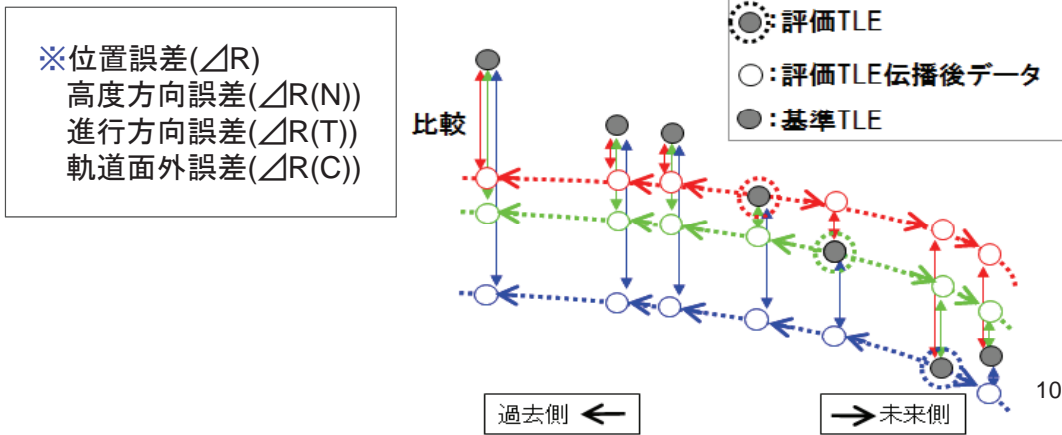
9



4.2 評価方法

- 個別物体のTLE(評価TLE)を、同一物体の別のTLE(基準TLE)のエポック(軌道決定時刻)まで軌道伝播する。
- 評価TLE伝播後の軌道と、同一時刻の基準TLEの軌道を相互比較し、誤差(※)を統計的に評価する。

(軌道伝播にはSGP4伝播モデルを使用)

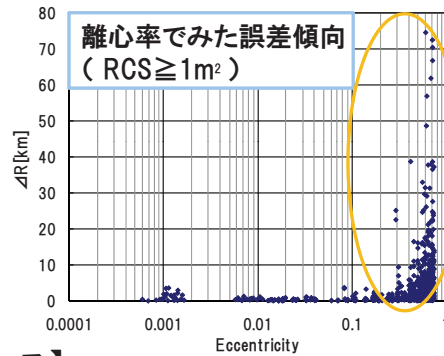
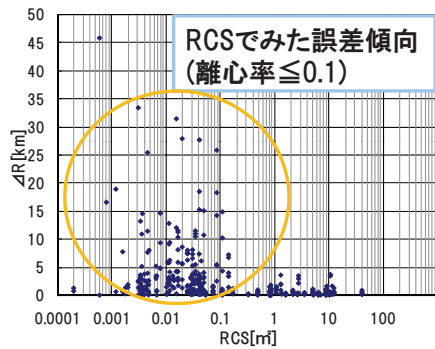


4.3 評価結果



① TLEエポックでの誤差傾向の把握

- ・離心率／物体の大きさ(レーダ断面積)別に見た誤差傾向の把握 (※評価データ期間：2010/9/1～9/30)



【設定ケース】

ケースNo.	離心率[e]	RCS(m ²)	軌道決定誤差
Case1	$e \leq 0.1$	RCS < 1	中
Case2	$e \leq 0.1$	RCS ≥ 1	小
Case3	$e > 0.1$	RCS < 1	大
Case4	$e > 0.1$	RCS ≥ 1	中

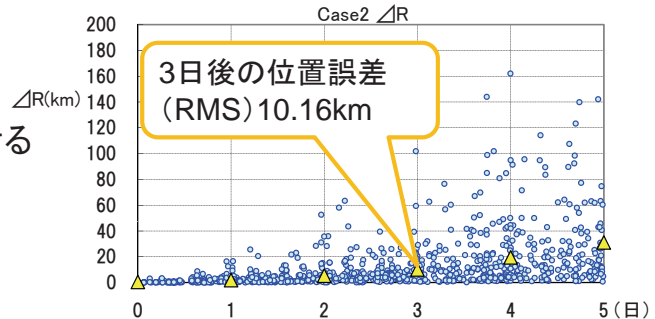


4.3 評価結果

②TLE伝播誤差の傾向把握(1/3)

伝播誤差の拡大傾向(例)

※HTV1号機の接近解析における
TLE伝播期間: **約3日**(平均)



【3日伝播後の誤差】

ケース名	離心率[e]	RCS(m ²)	RMS(km)				(軌道決定誤差)
			ΔR	ΔR(N)	ΔR(T)	ΔR(C)	
Case1	$e \leq 0.1$	RCS < 1	47.21	0.98	47.17	0.43	中
Case2	$e \leq 0.1$	RCS ≥ 1	10.16	0.30	10.14	0.27	小
Case3	$e > 0.1$	RCS < 1	26.09	6.27	24.80	0.89	大
Case4	$e > 0.1$	RCS ≥ 1	34.40	9.74	31.11	1.09	中

12

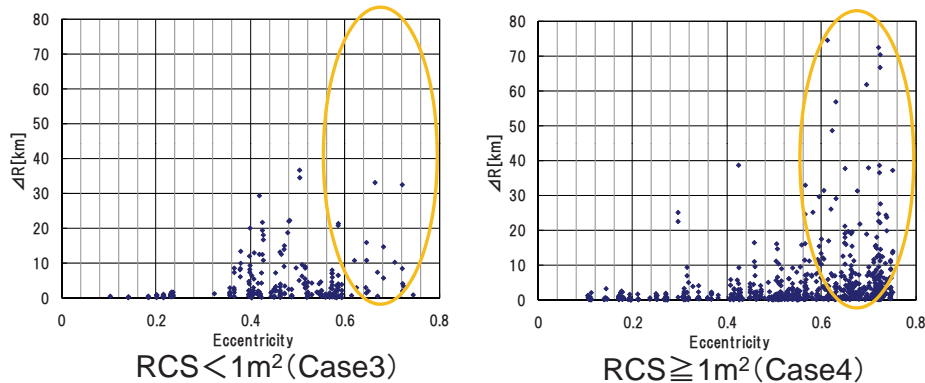
4.3 評価結果



②TLE伝播誤差の傾向把握(2/3)

【Case3と4の結果比較→Case4の方が伝播誤差大】

軌道条件からはCase3の方が伝播誤差が大きいと予想



【離心率(e)0.1以上の物体における誤差傾向】

⇒Case3の方が離心率が大きい(=伝播誤差大)物体が少ない
(eが大きく、RCSも大きな物体: 静止トランスファ軌道に残ったロケット機体)

13

4.3 評価結果



②TLE伝播誤差の傾向把握(3/3)

【Case1の伝播誤差が最大】

Case1の特徴

- ・離心率 $e \leq 0.1$
⇒常に低軌道にいるため、大気抵抗に伴う予測誤差大
- ・RCS $< 1\text{m}^2$ ⇒小さい物体のため、観測データが少ない可能性
- ・破砕デブリの割合:95%以上(2番目はCase3:70%以下)
他のCaseに比べて破砕デブリの割合が多い
⇒形状が不定のため、大気抵抗の影響の不確実性が大きい
→複数の要因により誤差が大きくなっている

【Case2: $\Delta R \sim 10\text{km}$ 】

- ⇒JAXA運用衛星の軌道高度におけるTLE伝播誤差(最大約3km)
→大気抵抗増大に伴い、誤差が大きくなっている

14

5. まとめと今後



<まとめ>

HTV2号機の軌道高度を通過する物体のTLE誤差傾向を把握

- ・離心率が大きく、RCSが小さい物体の方がTLE誤差が大きいという経験的認識について、HTVの軌道高度においても定量的な評価結果が得られた。
- ・ただし、運用衛星付近のTLEに比べて大気抵抗増大に伴う誤差が大きいため、接近解析においてHTV特有の考え方を適用する必要がある。

<今後>

- ・運用への適応性を高めるため、さらに誤差の要因を分析して把握する。
- ・TLEの誤差を適切に考慮したNotification Boxの大きさについて検討する。

15