

国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」
(JEM)から放出される小型衛星に係る
安全対策について

質問に対する回答

平成24年6月19日

宇宙航空研究開発機構

【本資料の位置付け】

本資料は、平成 24 年 6 月 19 日(火)に開催される第7回安全部会における国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」(JEM)から放出される小型衛星に係る安全対策について、平成 24 年 6 月 13 日(水)に事前送付された資料に対する構成員からの質問に対し、独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)の回答をまとめたものである。

- 調査審議の観点1(安全確保の考え方)に関連する質問
該当なし

- 調査審議の観点2(安全審査プロセス)に関連する質問

2-1	フェーズⅡとフェーズⅢ審査の間隔について	3ページ
2-2	PSRPでの審査について	4ページ

- 調査審議の観点3(課題抽出の手法)に関連する質問
該当なし

- 調査審議の観点4(抽出された課題への対処の方向性)に関連する質問

4-1	No Compliance Report(NCR)について	5ページ
4-2	故障検知について	6ページ

- その他の質問

5-1	小型衛星特有の安全審査プロセス等について	7ページ
5-2	NASA衛星におけるハザードやその制御方法についての差異分析	9ページ
5-3	「衛星放出後の軌道解析」の図の読み方について	10ページ

調査審議の観点2(安全審査プロセス)に関連する質問

【質問番号 2-1】 フェーズⅡとフェーズⅢ審査の間隔について

【質問内容】

表 6-1 によるとフェーズⅡ審査会とフェーズⅢ審査会の間隔が1ヵ月程度で短い。通常、前者は CDR 時、後者は PQR 時に実施されるはずであり、フェーズⅡで指摘された事項が機器製造、試験を経て是正され、フェーズⅢ審査にかけられるとしたら、常識的には1ヵ月では難しいのではないか。

また、安全審査プロセスを規定する文書によると審査資料はそれぞれの審査会の 45 日前に提出することが求められているはずで、これから考えると、フェーズⅢ審査資料はフェーズⅡ審査会の前に出されていなければならない。

【資料の該当箇所】

安全 7-1-3 P8

【回答者】JAXA

【回答内容】

本ミッションは、ミッション選定から JAXA への引渡しまでの期間が1年程度と非常に短いものとなっているため、当初から審査計画を設定するにあたり、ハザード識別が重要となるフェーズⅠと、その検証レベルを決定するフェーズⅡに時間をかけ、検証作業と検証結果の確認を短期間で終える計画である旨、衛星開発担当部署から提案を受けておりました。これに対して、有人安全審査委員会は、審査資料は審査の 45 日前に提示することが原則ではありますが、衛星の規模が小さいことなどから、検証作業と検証結果の確認を短期間で終えることが可能と判断しました。

計画された検証については、衛星提供機関側に効率的に実施して頂き、主要な検証には JAXA が立ち会うことなどにより、短期間ですが審査のレベルを維持して対応しました。

【質問番号 2-2】 PSRP での審査について

【質問内容】

実験装置に関する安全審査権限は NASA より委譲されている中、今回 JAXA 衛星(FITSAT-1、RAIKO、WE WISH)に対して NASA ペイロード安全審査パネルが開催されている。審査を受けなければならない特別な理由はあったのか。

【資料の該当箇所】

安全 7-1-3 P10

【回答者】JAXA

【回答内容】

小型衛星については、ISS からの物体放出というこれまでに経験が少ない(*)ミッションであることを考慮し、ISS 全体安全の確認をする観点から NASA としても自ら審査を実施したい旨要請があったため、協議の上、NASA 安全審査パネルを受審することといたしました。

(*) ISS から放出された「きぼう」の物体としては、平成 21 年に実施した曝露パレット上の機器保護用の断熱材カバーの軌道上投棄以来となります。

(平成 21 年第 16 回宇宙開発委員会に報告済)

調査審議の観点4(抽出された課題への対処の方向性)に関連する質問

【質問番号 4-1】 No Compliance Report(NCR)について

【質問内容】

ISS 安全審査パネルでは製造側から提出される NCR を審査するはずであるが、今回の日本側、米国側の小型衛星では該当するものはなかったのかを確認したい。

【資料の該当箇所】

安全 7-1-3 P10

【回答者】JAXA

【回答内容】

JAXA 公募衛星及び NASA 提供衛星に対する NCR は下記 2 件が審査されております。(ただし NASA 衛星については審査継続中であり、6/20 頃までに完了する見込みです。)

1. JAXA 公募衛星

1) 衛星表面の潜在的なシャープエッジ

- ・ 衛星放出機構の衛星放出面は開口部となりますが、衛星表面には太陽電池パネル等が潜在的なシャープエッジとなりうるため、No Touch Area を設定し、運用制御を行います。
(平成 24 年 3 月に実施した小型衛星放出機構の安全審議にて報告済)

2) RBF ピン取り外し後のインヒビット不良による衛星展開物の誤展開(電氣的故障)及び電波誤放射(安全検証結果資料 8.3(2)項参照)

2. NASA 提供衛星

1) 衛星表面の潜在的なシャープエッジ

(内容は上記と同じ)

2) RBF ピン取り外し後のインヒビット不良による衛星展開物の誤展開(電氣的故障)及び電波誤放射(安全検証結果資料 8.3(2)項参照と同様の内容)

(注: TechEdSat は RBF ピン取り外し後も、インヒビット不足は生じないため本 NCR の対象は Cubesat-1 のみ)

【質問番号 4-2】 故障検知について

【質問内容】

小型衛星安全検証結果として「小型衛星は、安全上、故障検知を要する機能を持たない。故障に対する検知手段は確立されており、例えば衛星放出機構から衛星が放出されない場合には、キューポラ/ステーションロボットアームからカメラを通して確認することができる」とされている。小型衛星自体に機能は持たなくとも、故障検知は審査対象アイテムであるので、「例えば」ではなく、全ての手段が記述されなければならない(そんなにたくさんあるようにも思えないが)。

【資料の該当箇所】

安全 7-1-3 付-7 ページ

【回答者】JAXA

【回答内容】

小型衛星の展開機構がケースの中で作動してしまい衛星が放出されない恐れがある場合とは、2つの分離スイッチがONになってしまい、タイマーが働いた場合に起こり得ます。2つの分離スイッチ(誤展開に対するインヒビット)が健全であることをモニタすることで、故障を検知できますが、小型衛星は分離スイッチの状態をモニタできません。そのため、「小型衛星は、安全上、故障検知を要する機能を持たない。」と記述しています。ただし、モニタできない代替りの手段として、「キューポラ/ステーションロボットアームからカメラを通して確認することができる」としています。付-7については、ご指摘を踏まえ、以下の通り修正いたします。

修正前) 、故障に対する検知手段は確立されており、例えば衛星放出機構から衛星が放出されない場合は、キューポラ / ステーションロボットアームからカメラを通して確認することができる。

修正版) ただし、衛星放出機構から衛星が放出されない場合は、キューポラ / ステーションロボットアームからカメラを通して確認することができる。

その他の質問

【質問番号 5-1】 小型衛星特有の安全審査プロセス等について

【質問内容】

今回の小型衛星は大学が製作したものであり、かつ公募により選ばれたものであるが、大学は有人の国際宇宙ステーションに物を持ち込む際の安全確保という考え方に不慣れであると思われる。

そのため、安全確保の考え方、安全審査プロセス、課題抽出の手法等について、従来の JAXA の実験装置等とは違い、より丁寧かつ注意深く行う必要があったと思うが、JAXA としてどのように安全を確保したのか、具体的にご教示願いたい。

【資料の該当箇所】

【回答者】JAXA

【回答内容】

(1) 衛星開発の初期段階で安全確保の考え方、安全審査プロセスについては直接説明の機会を設けています。課題の抽出については、FTA によるハザードの識別、ハザードの制御や検証方法について、JAXA 側でハザードレポートの雛型を参考として衛星機関に渡して、衛星機関側で衛星固有の情報を詳細化させていくという手法をとりました。また、安全制御手段は、それを成立させる機器の信頼性と品質保証が確実でなければならないとの観点から、安全制御の検証については、JAXA も立会い確認をしました。

(2) 有人安全特有のハザードとそれぞれの対応について主なものを以下に整理致します。

<衛星のシャープエッジ>

- ・ 船内クルーシャープエッジの確認として、触診によるシャープエッジ検査をJAXAが実施しました。
- ・ 放出機構の先端に搭載された衛星表面は、船外クルーに晒される可能性がありますが、放出機構前面は、No Touch Area に識別する対応を取っています。
(平成 24 年 3 月に実施した小型衛星放出機構の安全審議にて報告済)

<オフガス(有害ガス)評価>

- ・ オフガス試験を JAXA で実施し、評価しております。

<構造検証>

- ・衛星の構造検証、フラクチャ解析については、JAXA 側から実施計画を示した上で、解析書、試験計画書、試験報告書を JAXA で審査し問題ないことを確認しました。

<アンテナ等の誤展開による放出衛星の衝突評価>

- ・ アンテナ等の誤展開を防止するための電氣的なインヒビットの実装方法について、回路の Hot-Rtn のショート防止のため、リターン側にも一つのインヒビットを入れるなどの対応がとられていることを、回路図等で JAXA が確認しました。
- ・ アンテナを拘束しているワイヤについて、Fail Safe 扱いとするために必要な検証方法を JAXA 側から提示して対応しました。

<バッテリーの漏洩・破裂に対する対策>

- ・ 船内でのバッテリー漏洩・破裂に対するハザード制御について、バッテリーレベル、衛星組立レベルで必要な検証レベルを提示して検証を進めました。

【質問番号 5-2】 NASA 衛星におけるハザードやその制御方法についての差異分析

【質問内容】

- ・ JAXA の小型衛星については、JAXA の解析手法やプロセスによって安全対策がとられています。NASA の小型衛星の安全対策と比較して、JAXA の解析手法等に反映・改善すべき事項はないでしょうか。
- ・ また、NASA の小型衛星の安全対策について、特徴的なハザードや制御方法等があれば示してください。

【資料の該当箇所】

安全 7-1-3 10 ページ

【回答者】JAXA

【回答内容】

- ・ 国内の小型衛星とNASA衛星で、安全対策は同様です。JAXAはNASA衛星の安全審査パネルに出席し、審査を行いました。当初、NASA衛星については、打上げ時の荷重による構造体の破壊、構造体のゆがみに関するハザードは識別されておりましたが、JAXA側の指摘により、必要性が確認され追加されました。NASA側の衛星に識別されてるハザードで、JAXA衛星に識別されていないハザード及びその制御はありませんでした。
- ・ NASA衛星で識別された特徴的ハザード(ユニークハザードレポート)は以下のとおりです。JAXA衛星と同様のユニークハザードが識別されております。

Cubesat-1	
1	展開物の誤展開による放出不良
2	電池の破裂/電解液の漏洩
3	衛星搭載ケース内での衛星の構造破壊/変形
4	インヒビット不良による電波誤放射

TechEdSat	
1	衛星搭載ケース内での衛星の構造破壊/変形
2	電池の破裂/電解液の漏洩
3	インヒビット不良による電波誤放射

(注: TechEdSatについては、6/20にNASA審査を予定しているため、最終結果ではない)

【質問番号 5-3】「衛星放出後の軌道解析」の図の読み方について

【質問内容】

「衛星放出後の軌道解析」の図が示されていますが、この図の読み方(放出後の衛星の挙動)について解説してください。特に以下の点についてお願いします。

- (1) この図は、放出速度がゼロの場合の解析結果でしょうか。
- (2) 放出速度がゼロで放出された小型衛星が、何故水平方向に離れていくのでしょうか。また鉛直方向に離れた小型衛星が、何故再上昇(接近)するのでしょうか。
- (3) ノミナルの放出速度の場合は、どれくらい離れるのでしょうか。

【資料の該当箇所】

安全 7-1-3 18 ページ

【回答者】JAXA

【回答内容】

- (1) 提示した図は、放出速度がゼロの場合の解析結果となります。横軸は ISS と小型衛星との軌道上での水平距離を示しており、0地点に ISS を置いています。縦軸は ISS と小型衛星との高度差を示しています。
- (2) 本解析では、ISS 重心位置と放出位置の高度差を考慮した解析となっています。この高度差分だけ周回半径が小さくなる衛星の周期が早くなるため、放出された衛星が ISS を追いつく軌道をとります。また、本解析ではヒルの方程式とよばれる ISS と衛星の相対運動を記述した式により解析したもので、大気抵抗を考慮していません。従って、放出した衛星は一周回後に、もとの軌道に戻ってくるような結果になります。実際は、弾道係数の違い(衛星の方が早く落ちる)や大気抵抗の影響がありますので、衛星は徐々に ISS の高度より落ちていきます。
上記解析では、ISS のピッチレートを考慮しており、これにより、放出機構のスプリングによる放出速度がゼロの場合でも、鉛直方向の速度成分が発生するため、鉛直方向の相対距離の変動が生じています。
- (3) ノミナルの放出速度は、バネ力の軌道上誤差を考慮して、1.1m/sec~1.7m/sec 程度と予測しています。下図は、1.6m/sec で放出した場合の軌道解析ですが、一周回で約 20km 程度離れます。

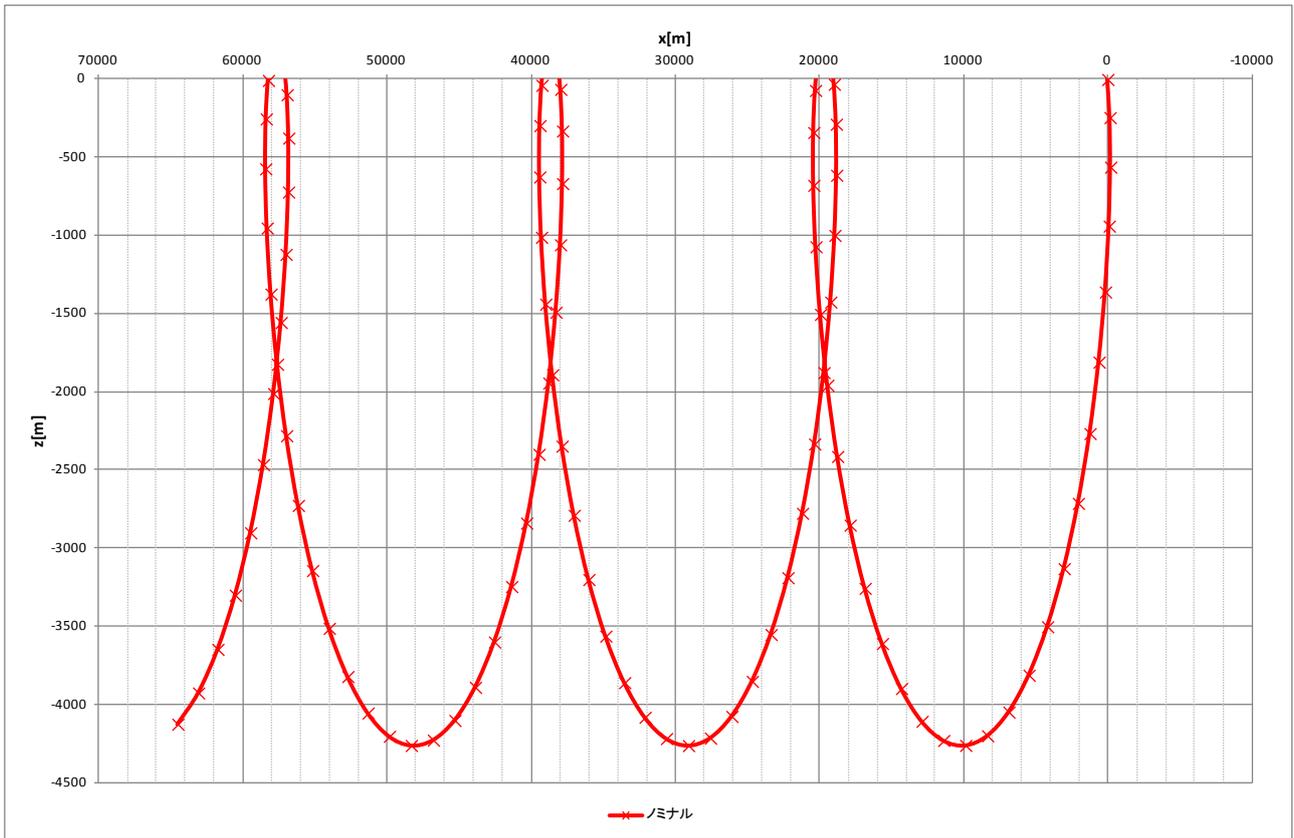


図 放出速度1.6m/sec時の衛星軌道解析

以上