

# 参考 8-1

## 第 7 回宇宙開発委員会 安全部会 議事録(案)

1. 日 時 平成 22 年 12 月 3 日(金曜日) 14 時～16 時 5 分

2. 場 所 文部科学省 16 階 特別会議室

### 3. 議 題

- (1) 国際宇宙ステーションの日本の実験棟「きぼう」(JEM)の実験装置に係る安全評価について
- (2) その他

### 4. 資 料

- 安全 7-1-1 国際宇宙ステーションの日本の実験棟「きぼう」(JEM)の実験装置に係る安全の確保に関する調査審議について
- 安全 7-1-2 国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」(JEM)実験装置の概要について(温度勾配炉ラック、多目的実験ラック)
- 安全 7-1-3 国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」(JEM)実験装置に関する安全検証結果について(温度勾配炉ラック、多目的実験ラック)
- 参考 7-1 宇宙ステーション取付型実験モジュール(JEM)に係る安全評価のための基本指針
- 参考 7-2 宇宙開発委員会安全部会の今後の予定について

### 5. 出席者

|                       |         |
|-----------------------|---------|
| 安全部会部会長               | 井 上 一   |
| 部会長代理                 | 森 尾 稔   |
| 委員長                   | 池 上 徹 彦 |
| 特別委員                  | 河 野 通 方 |
| 特別委員                  | 工 藤 勲   |
| 特別委員                  | 熊 谷 博   |
| 特別委員                  | 佐 藤 吉 信 |
| 特別委員                  | 下 平 勝 幸 |
| 特別委員                  | 中 島 俊 也 |
| 特別委員                  | 花 田 俊 也 |
| 特別委員                  | 馬 嶋 秀 行 |
| 特別委員                  | 宮 本 晃   |
| 文部科学省大臣官房審議官(研究開発局担当) | 加 藤 晋 一 |
| “ 研究開発局参事官(宇宙航空政策担当)  | 松 尾 浩 道 |
| “ “ 宇宙利用推進室長補佐        | 佐 藤 崇 行 |
| “ “ 参事官付参事官補佐         | 瀬 下 隆   |

### 【説明者】

独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)

有人宇宙環境利用ミッション本部

有人システム安全・ミッション保証室室長 小 沢 正 幸  
宇宙環境利用センター船内利用ミッショングループ  
技術領域リーダー 原 田 力  
有人システム安全・ミッション保証室主任開発員  
中 村 裕 広

### 6. 議事内容

【井上部会長】 それでは、第 7 回の安全部会を始めたいと思います。皆様には、お忙しいところをお集まりいただきまして、ありがとうございます。

本日の安全部会の議題は、国際宇宙ステーションの日本の実験棟「きぼう」の実験装置に係る安全評価についてでございます。

はじめに、配付資料の確認を事務局からお願いします。

事務局から配布資料の確認が行われた。

- (1) 国際宇宙ステーションの日本の実験棟「きぼう」(JEM)の実験装置に係る安全評価について

【井上部会長】 それでは、審議に入りたいと思います。

議題(1)の国際宇宙ステーションの日本の実験棟「きぼう」の実験装置に係る安全評価についてでございます。

本件については、12 月 1 日の宇宙開発委員会で本部会に対し審議付託が行われました。それについて、事務局から説明をお願いします。

事務局から安全 7-1-1 に基づき、説明があった。

【井上部会長】 ご質問ございませんでしょうか。

それでは、審議の前提としまして、今回の評価対象についての理解を深めるために、概要の説明を JAXA からお願いしたいと思います。引き続き実験装置に関しての安全検証結果についても説明をお願いしたいと思います。

JAXA から安全 7-1-2、安全 7-1-3 に基づき、説明があった。主な質疑は以下のとおり。

【佐藤特別委員】 ちょっと表現上の問題で、6 ページに、「安全解析はこれこれで、防止する手法である」と書いてありますが、厳密に言うと、安全解析は手法ではないと思います。例えば、安全解析は手法ではなくて、解析の種類ではないかと思えますので、「防止する解析である」という表現のほうがいいのではないかという気がします。手法というのは例えば、下に書いてある FTA とか、イベントツリーだとか、そういうものではないかという気がします。

それから、その下のところに、「安全解析では、FTA 等を用いてハザードを網羅的に識別し、それらの原因を抽出し」と書いてあります。非常に穏やかに解釈すればおかしくないですが、厳密にうるさく言うと、まずチェックリストを用いてハザードを網羅的に識別するはずですが。

実際にそうされていると思いますけれども、それで、ハザードが識別されますと、今度はそれについて網羅的にその原因を抽出します。このときにFTAを使用します。この文章ですと、FTAによってハザードを識別して原因を抽出するというふうに解釈されてしまうおそれがあります。だから、もしも正確を期すのであれば、「チェックリスト等を用いてハザードを網羅的に識別し、FTA等を用いてそれらの原因を網羅的に抽出して」というのが多分、精密な書き方だと思います。

【JAXA（小沢）】 ありがとうございます。ご指摘いただいたとおりに修正いたします。

2番目のFTAにつきましても、ご指摘ありがとうございました。我々のFTAの手法は、少し大き目にやっています、例えば付〜20ページで紹介していますとおり、FTAのトップ事象を、クルーのミス、あるいは、ISSや輸送系やHTVの損失という大きな事象とし、ハザードの識別もこのような形で実施しまして、さらに、今、佐藤先生にご指摘いただいたとおり、識別したハザードをごとにその原因をさらにFTAで識別していくと、もう一つ上の段階でもやっています。

【佐藤特別委員】 多分、ハザードをFTAでAND・ORゲートか何かでつなげたということだと思いますけれども、ハザード自体は多分、FTAでは発見することできなくて、チェックリストとか、そういうものでしか、こういうハザードがあるというのは多分わからないはずです。ただ、それをORゲートでつなげることは可能ですけれどね。

【JAXA（小沢）】 修正いたします。

【井上部会長】 これは専門的にも、FTAというものの定義みたいな話のように聞こえますけど、こういうフローチャートは、専門用語で言うって、Failure Mode Analysisですか、何かもともと違うようなものがあるのでしょうか。

【佐藤特別委員】 例えば、ソフトも最近はありませんけど、ハードなどですと、FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) という手法や、HAZOP (Hazard Analysis and Operability Study) というハザードを識別するための手法とかで、どういハザードがあるのかというのをまず識別し、それについて細かく原因や、あるいはハザードが発現するメカニズムを論理的に分析するのがFTAの主な機能ということになると思います。

【井上部会長】 そうすると、もう少し用語の使い方を整理したほうがいいということになるのでしょうか。

【佐藤特別委員】 別に整理しなくてもいいですけども、ちょっとこの書き方が適切ではないですね。

【井上部会長】 FTAという言葉自身の使い方に間違いがあるというわけではないですね。

【佐藤特別委員】 FTAでハザードを識別することは多分できないですね。識別されたハザードをORゲートで単につなげることはできますけど、多分、それを勘違いされて、FTAで識別したというふうに思ったのかもしれないですけども、実際はそうではないはずです。

【下平特別委員】 佐藤さんにそう言われると、この文章ととも整理してもらいたいのですが、安全解析は何々をする手法であると書いてあって、その次にFTAとあるわけですが、チェックリストでハザードを探すのではなくて、ハザード解析でクリティカリティなり何なりを識別しながら、どれがクリティカルであるかというのをはっきりさせていくわけですね。ここではFTAが先に出てしまい、その前に安全解析は手法であるとか言って、書いてあるところがごたごたしているようです。ということは、ハザード解析がここにうまく表現されていないですね。JISでどう表現してあるかということをお出ししてみなければいけないんですけども、間違いなくJAXAさんではハザード解析をしなさいという言葉になっているはずで、ハザード解

析をして、その中で二重、三重の制御であるかどうかということを識別するためにFTAが行われるわけで、FTAというのは非常に具体的な手段であるはずですが、そういう意味では、安全解析はどのような手法があるかということを整理して、この文章を見直してもらいたい。

ただ、この文章、1つ目の文章は明確ですね。防止する手段であるか、手法であるかという、その言葉の使い方に議論が行ってしまうので、あまりそういう議論はしたくないのですけれども、安全解析というのはやっぱり防止する手段ですから、そういうように整理をされてここに表現をしていただいたほうがいいのではないのでしょうか。

【中島特別委員】 「するために行く」と書けばいいのではないですか。

【下平特別委員】 私はこの文章でもいいと思いますけれども、ハザード解析が抜けてFTAが先に出ているものですから、佐藤さんからそういう指摘が出たのだらうと思うので、JAXAの中の文章をもう一回整理して、この表現を整理するようにお願いしたいですね。

【井上部会長】 中身の問題というよりも、論理立ててみたいですね。

【下平特別委員】 はい、そういう意味です。

この文章でもおかしくないと思うけれども、ちょっとそういう意味ではごたごたして今の指摘になるので、やはり整理してから文章をつくられたほうがいいかなと思います。

【JAXA（小沢）】 はい、整理します。

【河野特別委員】 これはラックとかの安全についてやっておられると思うのですが、搭乗員が実験をやるというところが最終的な目的だらうと思うのですが、そういうふうに考えると、クルーの安全というのを考えるのはもちろん必要なのですが、ある半面は、クルーも実験装置の一部であると言ったら何かしかられそうですが、何かそういうとらえ方も必要なのではないかなというふうに思います。

クルーについてはどういう適性を求めるかとか、そこら辺については、JAXAのほうではどのようにお考えなののでしょうか。

【佐藤特別委員】 確かに、河野先生がおっしゃったように、今、非常に細かにご説明いただいたのですが、クルーの操作の失敗とか、誤操作とか、そういう問題が出てくると、多分、今のお話のものに関連してくると思いますが、そういうことが検討されているのかどうかということも、問題になってくると思います。

【JAXA（小沢）】 まず、クルーを実験装置の一部ととらえるという河野先生のご指摘についてですが、この実験を含めて安全に制御していく中で、クルーにお願いしなければいけないような操作もありまして、それらを運用の安全ということで考えており、それらにつきましては、先ほどご紹介したように、運用合意文書に整理してあります。そういう意味では、クルーや地上要員の人間が参加して安全を確保するというのも一部に入れております。

それと、特殊な操作が必要かといいますと、その実験をするクルーにつきましては、打ち上げる前に訓練を要求してまして、その訓練が完了したことを確認しています。

それと、最後、誤操作があった場合には新たなハザードが加わるか、発生するかということにつきましては、ハザード解析の中でも既に考慮してまして、操作のミスが1回あった場合も故障の一つと同じように数えています。それらが2回重なった場合でももう1つの安全手段があるというような設計手段を設けてございます。

【河野特別委員】 私がこんなことを申し上げているのは、昔スペースシャトルで、宇宙でろうそくは燃えるかというようなテーマをやっていて、スペースシャトルで、あそこの街のおばちゃんが適当につくった宇宙用のろうそくを、燃焼室の中に入れて高温に熱したコイルで火をつけて、そのろうそくがずっと宇宙で際限もなく燃えるか、途中で消えるのかという実験をや

りました。これは日本でも結構紹介されたのでご存じの方多いかと思いますが、私も、関係している分野なので、その写真を手に入れて見ました。それで、燃焼のほうの簡単な理論では、1次元、要するに球対称のものだと安定解があるので、これは無限に長時間燃えることが可能であるが、2次元になると安定解が得られないので、途中で消えてしまうことになります。非常に簡単な理論ですけど、そういう理論が昔からあったわけです。それが実証できるかという目でその映像を見ていたところ、どういことが起きたかという、ろうそくのしんの長さをあまり規定しなかったようで、最初にみると、かなり長いしんがべろんと延びていて、それに火をつけたものだから、とても1次元とか言えるものじゃなくて、どっちかという2次元に近いので、消えてしまったわけです。それがどれぐらいで消えたかという、1分、2分ぐらいのオーダーで消えました。

ところが、そのときにクルーが燃焼とかそういう非常に簡単な勉強をしていけば、こんなべろんと延びていたのではだめで、点にしたほうがいいのではないかというので、しんを切り、球座標に近いものにしてもう一回火をつけるとかやってくれて、もっとおもしろかったと思いました。それを見ながら、クルーの性能と言ったらおかしいですが、クルーがそれに対してどれだけの理解度、専門性があるかというのは結構重要だというふうに思いました。あれは惜しかったなって、いまだに思っているんですけど、それが、今度の多目的ラックも燃焼がありますし、クルーの専門性なんかも含めてきちんとチェックしてあるのかなと思った理由です。

【井上部会長】 今おっしゃったのは、むしろ実験としてベストを尽くすような形がどうであるかということですか。

【河野特別委員】 臨機応変にできるのかということですか。

【井上部会長】 それはある意味ではこの部会の範囲ではない部分になりますね。おっしゃった趣旨はよく理解しました。

【河野特別委員】 もう1つ申し上げたいのは、そういうことをどこかでチェックするところがあるかどうかというのも、教えていただきたいです。それはそれで、その機能としてやっていただくということになります。

【下平特別委員】 今のご指摘で、飛行士に何かを頼むというのは、手順書に従って地上で訓練をして、それによってシーケンスに作業して、最後はハッチを閉めてボタンをちゃんとこいうふうにかけてこいう作業をしろという指示書に従って仕事をすることになっているので、それ以外のことを何か判断させるというのは、知能的にも技能的にも非常に無理を伴い、フレキシビリティを期待するような実験を上で何か条件を出すというのはほとんど不可能ではないかという前提で、こいう設計はされているのではないかと思います。また、こいう評価は、安全の分野ではなくて別の、実験の有用性とか、こいうような手順でこいう判断をどこでこいうようにするかこいうようなことで、性能評価のデザインレビューこいうのを、別途 JAXA はされているはずで、そこで検討されて最終確定して手順が全部決まってくるだろうと思っております。それは JAXA が答えられればよいと思っております。ただ、今に関連して一番大事なのは、この文書の中で人が壊すこいう事項が入ってないですね。ハザード解析上で人間が原因こいうのはどこにも見えない。これは多分、ハザード解析が十分行われてなかったのではないかと、相当悪口の意味で申し上げましたが、人間が壊す要素が全くなく、人間が何もやる要素がないこいうのなら、これはなくてもいいのかもしれないけれども、人間が壊す要素がないこいうのなら、こいうようにないこいう判断をされなきゃいけないのではないかと思います。安全審査上、今、人間がかかわる事項がどう解析されているかを説明していただきたいです。今の河野先生の話から来て、能力的な要求は別途の話としても、安全審査上も表現され

てなければいけないと判断いたしますが、いかがでしょうか。

【JAXA (原田)】 それでは、先に河野先生のご指摘のほうから答えさせていただきます。

宇宙飛行士については、今、宇宙飛行士自体はいろんなバックグラウンドの人がいます。エンジニアもいるし、医者もいるし、軍人もいるこいう中で、基本的に要求としては、下平委員もおっしゃったように、ある作業を手順書に従ってきちっとできるこいうことを求めています。そのための理解力を当然求めています。訓練の段階では、実験テーマにもよりますが、我々の実験の場合は、PI の先生とクルーとが、その意図が可能な限り伝わるように、訓練の中でこいう機会をできるだけ設けています。基本的に、まず研究者の意図を伝えるこいうことをして、その上で手順を訓練するこいうやり方をとっております。ただ、最終的には手順書がすべてでして、軌道上行ったら、すべてクルーは手順書どおりやるこいうのが求められます。

先ほどのろうそくの件で言いますと、その実験自体、私は知らないですけども、ろうそくのしんの長さとか、こいうのもすべて計画の段階で決めて手順書で規定するこいうのが基本的なやり方で、その手順をどうするかは研究者と調整して最終的に決めていきますので、今の「きぼう」での実験は、研究者の意図を限りなく手順に落とし込むこいうやり方で、意図した実験ができるように、その手順を宇宙飛行士に訓練するこいうことで実現しようとしております。

【JAXA (小沢)】 続きまして、下平委員からいただいた、人が壊すこいうことが入っているこいうことですけども、通常の実験操作は手順書に従って行いますので、手順の中で操作していません。人が壊すようなおそれがあるこいうのは構造上の問題でございまして、これらは、軌道上で例えば誤ってキックしたこいうことによってキッキングロードがかかることか、こいうようなものも構造の評価の一部として考え、それがあつた場合でも壊れないことを確認してあります。こいう意味で不意な接触とか不意なキックによって壊れる、人が壊すこいうようなことは、考えてございます。

【下平特別委員】 表現上は出てこないこいうことですか。

【JAXA (小沢)】 構造を設計した中でこいう力が一番大きな力になるこいうことを考えた中で、打上げのロードだとか、軌道上でキッキングロードを考えた中に入れたこいうことで、表現上には出てきておりませんが、考慮の対象にはなっております。

【下平特別委員】 だから、ここではハザードの識別はされているけど、ハザード解析のプロセスがここに出ていませんので、明らかにそのハザードの中に人間が壊すこいう仮説を置いてもよかつたと思っておりますが、それを検討した結果、ここに表現されてないこいう言い方でいいのでしょうか。

【JAXA (中村)】 私のほうから説明させていただきます。

確かにクルーの荷重こいうのは陽には出てきておりませんが、14 ページの軌道上時の構造破壊こいう中で、先ほど小沢が申しましたように、クルーのキックロードでありますとか、軌道上で静荷重もかかりますので、こような評価も全部含めて、軌道上こいう言葉で書いてございます。ただ、実際には、クルーが手で出す荷重は 50 ポンド、キックする荷重は 125 ポンド、こいう規定がございまして、こような荷重には耐えられるこいう評価はしてございます。ですから、ここに陽にはクルーの荷重と書いておりませんが、追記させていただきます。

【下平特別委員】 今度の場合、燃焼の実験は、ラックが重いんですね。ある程度、質量がありますよね。その質量は無重力だから簡単に動かせるこいうことを考えているけれども、逆に言うと、それをどこかへ飛ばしてしまうこいうこともあるはずなので、重量物の取り扱いこいうのは、前から何回も私も現役のときには指摘した覚えがあるんですけども、それは壊す原

困らうと思いますが、それが解析されてないというのは、忘れてるのではないのかと考えています。それで、ハザード解析がされた結果、識別して、それはこういうように対応していて、ひもをつけて、またはバンドをつけて、ちゃんと手続上、移動させるので、どこかへぶつけることはない、こういう表現があればいいんですけども、それは JAXA 内でそういうことがされていればいいことなので、ただ、重量物であることをちょっと表現されなくていいのかなということで、再考していただければと思います。

【JAXA（小沢）】 はい、記述を修正させていただきます。

【井上部長】 ちょっと関連しますが、先ほどいろいろハザードとして、ガスがリークするとか、真空が何とかとか、いろんなものがあつたわけですけども、そういうところに宇宙飛行士が介在することで何か発生するようなものというのは、結果としてそういうものになるということで、包括されていると思えばいいのでしょうか。宇宙飛行士はこの部分は特別に何か作業する部分があつて、そこを間違ふと何とかと、そういう趣旨のことをおっしゃっている部分があると思いますが、そういうようなところはないということですね。

【下平特別委員】 一つの事例ですけど、機能の説明のほうの 7 ページに、多目的ラックの場合のテーブルがありますが、これは、ふたをあげて、ここへ下の 8 ページのチャンパーを入れるために置いてあるだろうと思いますが、140 キロですか、相当重いですね。

【JAXA（原田）】 ええ。さらに実験装置が入りますので、さらにもうちょっと質量があります。

【下平特別委員】 テーブルへ乗せるという言い方はできませんよね。普通、これはふらふらしているものですから、テーブルにかけるか、何かバンドで締めるか、拘束しないと運用できないと思いますが、これはどのように中へ入れるのか、このテーブルはどういう意味なのか、そういう手順はちゃんとシミュレーションしてやっているのでしょうか、ここどこかにぶつけはしないのでしょうか。

【JAXA（原田）】 おっしゃるとおりで、テーブルは実際に組み込むときに一時的に置くために使います。そのときは、バンジーと呼んでいますけれども、ひもで縛って固定するというようにしております。

【下平特別委員】 そうすると、重いですから、どこかにぶつけるとか、何かその影響を受けて壊してしまう要素はないのかと、こう余計なことを考えたということですね。安全解析というのはそういう仮説を立てて解析していきますから、そういう意味でこの重量物の取り扱いについて表現がなかったのか、どこか抜けていると、幾つも抜けているんじゃないかと、こういうように思いたくなる。これは安全解析の手法としてそういうふうにとっていますからね。何キロぐらいのものなのですか。

【JAXA（原田）】 チャンパーは 140 キロ以上あります。

【河野特別委員】 これは実験装置を入れたときの重量ですか。

【JAXA（原田）】 いや、これにさらに実験装置が入りますので、それよりも重くなります。

【河野特別委員】 許容範囲は、一番重いときは幾らになりますか。

【JAXA（原田）】 200 キロぐらいですね。

【下平特別委員】 すごいものですよ、これ。この手順は議論されたのですね。どうやってどういうように持って行って、どこからどう外してどういうように持っていったら安全であるということ、設計側はそういうマニュアルを含めて提示して、安全側はそれを、いや、そんなものはそうではないだろう、どこかぶつけるだろうという、いわゆる仮説側を持っていてハザード解析はされているはずですね。ここでは、ハザード解析側でそういうことで識別していくと

ということが表現されてないですね。だから、これは重量物の議論になってしまう。実際はどういう審査をされたのでしょうか。

【JAXA（小沢）】 打ち上げる際には、この中に燃焼実験チャンパーを単なるロッカーみたいな形で入れてあります。その周りにはクッション材とかあつて、それを取り出します。ですから、通常、ぶついたりするような場合には、クッション材で吸収できるようになっています。それを取り出して実験用に組み立て、それから、実験するために前に出してふたをあげて、ユーザーの機器を入れたりするような手順がありますが、そういうすべての運用を考えて、浮遊しながら飛んでいってしまうような不意な浮遊がないだろうか、ということも考えております。これまでの運用の中で構造上一番壊れる可能性があるのはどこかということでは、輸送中の損傷とか、ぶつかりがあるのではないかとということで、そこについてはクッション材が入っているということの評価して、安全上の問題はなしということにしました。

それから、使わないときにはラックの後ろ側にとめておくのですが、それも通常はバンジーというたすきがけをしてしまっておくという手順となっており、そのバンジーが重量物を十分支えるだけの力があるかどうかということの解析結果も含めて、評価して、問題なしと判断してございます。

【井上部長】 ですから、そういう構造なり、あるいは今のようラックの近辺での作業のときにある種の衝突ということに対しては対策がとられていて、そういう意味ではここには出てきてはいないけれども、ハザードの前段階に、クルーが原因となって何事かが起こることは想定されているとお答えいただければ、多分それで良いと思いますけど。

【下平特別委員】 14 ページの 7 番の、鋭利な部分がないということは、これは多分、現物を見て確認をして保証すれば担保されるのだろうと思うのですが、200 キロという相当な重量物を無重力の状態に移動させるというのは、まず 1 人ではほとんど無理で、何人かがかかってやるだろうと思うのですが、それでこういうような訓練をして、こういう上でこういう挙動があるからバンドをつけてこういうようにというのを、角はみんな何かプロテクションするんだろうと思うのですが、そういう手順があつて、その結果ここには表現しないとは、ちょっと思えないんですね。重量物ですから人に危害を与えるかもしれないというように思って、だから安全だというように何か説明されてここに表現されていいはずなのに、鋭利な議論はされていて、重量物の議論がされないというのは、ちょっと抜けているのではないのでしょうか。だから、JAXA の安全審査は何だったのかという質問をしているのです。

【JAXA（小沢）】 ご指摘ありがとうございます。重量物、地上にあるときは 200 キロでございますけれども、宇宙空間に上がったときの操作は、今は 1 人で実施できるようなレベルです。

【下平特別委員】 だけど、2 メートルですよ。

【JAXA（小沢）】 ラック自身は 2 メートル掛ける 1 メートル掛ける 85 センチですけども、その中に入っているのは 85 センチぐらいの大きさのチャンパーでして、それ自体は剛なので地上にあるときは 150 キロありますけれども、軌道までの操作は 1 人でできるものです。

【佐藤特別委員】 ですから、その加速度というか、要するにどのぐらいのスピードになり得るかということ、それでも宇宙飛行士がチャンパーと壁との間に挟まれてしまった場合、ある程度衝撃がそこで発生するとすると、それはどのぐらいの力になるのかというのが評価できていれば、多分大丈夫だろうと思うんですけどね。

【井上部長】 多分、このラックに限らない話に議論が行っているように思います。

【下平特別委員】 そうですね。そのとおりです。

【井上部長】 結構な重量物の「きぼう」の中での取り扱いの中で、ほんとうに大きな速度

を持って動いてしまった結果のハザードというようなことについては、どういう考え方でやっていますかということに今や集約されていると思うので、ここで答えていただけるならそれでもいいですし、あるいは次回でも結構です。

【JAXA（中村）】 参考までに、ラックは、HTVから外しました後、クルー2人によってハッチを通過して所定の「きぼう」のほうに移動します。すべてラックはそのようなオペレーションをしております。それは2人がかりですけれども、500キロ程度ございます。

【井上部長】 もうそんな話ではなくて、こういう種類のもが「きぼう」の船内である速度を持って動いてしまったということがあって、すごい力が結果としてかかるはずですが、そういうことに対してはどういう考え方がとられていますかということに、今や質問が行っているように思います。

【JAXA（小沢）】 次回でお答えさせていただきます。

【下平特別委員】 結構です。

【馬嶋特別委員】 装置に対する質問ですけれども、基本設計からいろいろ考えられて、ご説明されたように非常にうまくできているということですが、設計を行うときに、微小重力を想定してきちんと設計されているかどうかということです。いろいろそれを検証したということですが、検証は地上で行われているわけで、例えばコールドプレートの問題とか、冷却ファンの問題、それから真空排気ラインの問題、それから、1,600度という非常に高いものが熱源となって、それがどういふふうに冷えていくのかということ、それから、50度ぐらいで大丈夫だというお話ですけれども、もしもそれが長く残っているようなことであれば、こんなはずじゃなかったということになるかもしれないし、特にホットスポットができやすいかということ。それから、冷却ファン、コールドプレート、水でやるようですが、もしもホットスポットが起こった場合には話が違ってくるかもしれないし、蒸発するかもしれないという問題があるのではないかと、これは僕の素人的な発想ですけれども、いかがでしょうか。

【JAXA（原田）】 基本的には排熱は微小重力状態というのを前提に水冷と空冷で設計している。これは今までの軌道上にあるラックでの実績をベースに行っております。それで、まず多目的ラックのほうは、両方できるのですけれども、大きな排熱のものは水冷で、それは多目的ラックで提供しているコールドプレートがまず標準的についております。それで排熱できることは、この燃焼チャンバーについては確認をしました。それ以外の実験装置については、まだ実験装置そのものがないので、今後、インターフェース試験等で排熱ができるかどうかは確認します。それから、ユーザー側でコールドプレートを装着した状態でも排熱ができるように、水のラインを供給することができるようにもなっておりますので、それはユーザー側の装置によって、熱量に応じて排熱の仕方を定めることができるようになってはいますが、最終的にそれぞれの装置とのインターフェース試験のところで確認して、実現できるかどうかというのを評価した上で、実験装置を打ち上げるということになっています。

温度勾配炉のほうは、勾配炉自体が専用の水冷で排熱をするように、勾配炉自体に水冷のパイプを通して排熱する仕組みをとっております。基本的には、微小重力、そういう対流等がなくても排熱できるという評価をしております。

【井上部長】 そういう意味では、ご質問の1つは、その種の水冷だとか空冷だとかいうインターフェースとか、排熱装置そのものは地上では1Gの下で、上では無重力になっているけれども、そこには差はありませんねという質問のご趣旨であったと思いますが、それはいかがですか。

【JAXA（原田）】 そういう理解で結構です。

【佐藤特別委員】 ちょっと細かい話で恐縮ですが、資料7-1-3の18ページですけれども、温度勾配炉ラックですか、これにつきましての安全分析で、ここでは、試料カートリッジが毒物を扱っていますね。それで、これがもし漏れると、船内空気を汚染するというところで、そういうハザードがあります。これはカタストロフィックハザードの場合もあり得るだろうということで、ここで3重となっていますね。それで、まず試料カートリッジのところでは制御が1つあります。それから、炉体による封鎖ということで、ここで1つあります。それから、万が一のときは排気ラインで吸っていますから、炉体にももしも損傷があっても吸い込んで外へ出しちゃうので船内には漏れませんと、こういう趣旨ですね。ですけれども、実はこれと非常に似たような事故が現実でありまして、テレビでもよく報道していたのでご存じだと思いますが、某N社さんがつくられた相当古い石油温風暖房機でFFストーブと云うのがありまして、密閉型の燃焼室を持っていて、排気ガスは、煙突といいますが、排気管を通して室外に出す構造になっている、非常に安全性が高いストーブです。ところが、それで事故が起きてまして、二、三名の方が亡くなりまして、その後、もう10年以上たっているようなストーブを回収しなくてはいけないということで大変な事になっていて、大分それはもう、今はお済みになったようですけれども、このストーブの事故がまさしくこれと非常に近いものでした。そのストーブの場合も、燃焼室で完全に燃焼用の空気が、この場合は逆に、排気じゃなくて、燃焼の空気を送気するほうの管から、ちゃんと空気が来て燃焼室でちゃんと燃焼していれば、一酸化炭素は出ず、二酸化炭素しか出ない構造でした。多少は出ますけれども、人が死ぬようなものは出ないはずでした。通常はそれで、仮に漏れたとしても二酸化炭素が漏れるぐらいですけれども、そのときにどういふことが起きたかということ、吸気管のところは実はゴムでできていたものから、劣化しまして、そこに穴があきました。そうするとどういふことが起きるかということ、燃焼用の空気が送れず、一酸化炭素が出てしまう。かつ、そこから逆流して一酸化炭素が室内に漏れてしまいました。つまり、排気ラインというのは、ちっちゃな穴だったらばよいのですけれども、かなり大きな穴があきますと、そこから引き込めないのです。そうすると、吸引できないばかりか、逆にそこから毒物が漏れ出す可能性があるわけです。例えば、排気ラインが完全にギロチン破壊しちゃったとか、そういう話になると、もうアウトですね。そういう故障モードを考えると、実はこれは3重ではなくて、2重ですね。だから本当は、多分やっていると思いますが、毒物性に対するセンサーとか多分ついていて、万が一そういうことがあれば、警報が何かでもって速やかにクルーはそこから安全な場所へ移動すると、そういうことで3重にはなっていると思うのですが、この書き方だと非常に安全性解析が甘いとか、素人的に近い解析の気がしますけれどもいかがでしょうか。

【井上部長】 JAXAから、何かありますか。

【JAXA（原田）】 まず、このガスの漏えいに関してはこういう制御ですけれども、例えばこれで、今のご指摘の排気ラインがギロチン破壊した場合は、内圧が上がりますので、それをセンサーで検知しまして、自動的に遮断するという仕組みになっております。遮断とは、実験そのものを中止するということです。

【佐藤特別委員】 でも、実験は遮断しても、クルーがそこにいたならば、漏れてくるのではないですか。それは、例えば試料カートリッジのところは既にもう破壊して炉の中に毒性ガスが充満していて、かつ同時にこのラインがギロチン破壊みたいなこと、あまりないと思いますが、そういうのが起きたとしたら、即、漏れてきますよね。そうしたら、逃げないとだめですね。実験はもちろん中止しますが、逃げないとね。そこまで考えないと、ここの図だけでは3重とは必ずしも言えないのではないですか。

【井上 部会長】 今おっしゃっているのは、例えば 22 ページの絵で、ガスボトル A という酸素を供給するものが外側で何か起きた場合ですか。

【佐藤特別委員】 いや、この場合ですと排気ガスラインですね。ただ、これは毒ガスじゃないから大丈夫ですけど、燃焼ガスが毒性物質、もし毒性で漏れたらまずいという場合は、ラインが破壊すると、いずれにしても排気ガスが漏れてくるわけですね。

【井上 部会長】 さっきおっしゃっていた話を伺ってちょっと思ったのは、むしろ酸素供給側の上流側で破断することがあればということをおっしゃいましたよね。

【佐藤特別委員】 それは、実際に起きたストープの事故の場合はそうでした。この場合は逆に、排気ガスのほうですが、一般的には安全性の分野では、そういう事故のことを共通原因故障と言います。通常であれば二重三重になっているのだけど、ある原因によってそれが起きてしまうと、普通だったら二重三重が保証されるのが、一気にカタストロフィックにバリアが全部失われてしまうということが、結構あります。

【JAXA (原田)】 今のケースについて説明いたします。今の同じ資料の 20 ページに絵が載っていますけれども、先ほどの排気ラインというのは、先ほどの模式図では 1 系統しかないようになっていますけど、実際のこの温度勾配炉では、この下のほうに排気ガスで「きぼう」の外へということが 2 カ所書いてありますように、2 系統ありますので、例えば、こちらのどこかのラインに穴があったとしても、常に片側で引っ張っています。

【佐藤特別委員】 穴の大きさにもよりますが、例えば、さっき言ったように、最悪の場合はギロチン破壊というか、完全に外れてしまうみたいな破壊がありますが、そういうのはめったに起こりませんが、そうなった場合は、多分、引いていたとしても、漏れてくるかもしれないですね。もしも大丈夫だということであれば、そういう実験はされたのかどうかということですね。片側 1 つが完全に外れちゃったような場合でも、片方で引いていけば、そこからは漏れてこないと、そういう実験はされたのですか。

【中島特別委員】 ちょっとよろしいですか。今言われたようなモードはどういう場合に起こるのかという解析をやったほうがいいと思います。あまり起こり得ないようなことを心配してもしようがないので、どういう事態だったらそういうことが起こり得るのかということと解析されたほうがいいと思います。

【佐藤特別委員】 だから、そういう解析は多分やってないと思うので、そういうのをやってみたらいかがでしょうかということですね。それで、大丈夫ですということであれば、その辺は大丈夫ですと言ってもらえばいいわけです。

【井上 部会長】 ある意味ではさっきの中で、質量の大きいものがガンとぶつかってハザードが起こるとか、それに繋がっているようなところがあるのかもしれませんが、今お答えいただけるならそれでもいいですけども。

【JAXA (原田)】 基本的には、この場合は温度勾配炉で半導体を炉で溶かして実験するケースですけども、この場合はガスの供給はありませんし、基本的に引くということと、あと、そもそも実験する前には両方の実験炉もまずリークチェックをして、問題ないというのを確認した後、実験をスタートするということから始まっていますので、しかも配管ラインとかはクルーがさわれないところですから、基本的には最初にそういう確認をした後スタートします。その後二重故障が起こっても、先ほど言いましたように冗長構成で、最悪の、この場合ですと漏れいのところまで至らないという評価をしております。

【佐藤特別委員】 でも、今のは多分、答えになってないと思います。

【下平特別委員】 直接、私がかかわる必要ないような感じがしますが、この 18 ページの想定

されるハザードというところの内容は、実験中に封入してあるガスが漏れいすということが、真空排気ラインがあるからいいと書いてありますね。排気ラインに幾らバルブを直列につないだって意味がないわけで、リークがあればこの真空のところにもガスがあるのが外へ出ないということ、または、真空引きがしてないので警報が鳴って、すぐ電源を切ってしまう、いろんなことで解析されれば済む話なので、これはガスが入っている場合に真空引きで逃げられるから、それはバルブを直列であっても、1 重か、2 重か、それを解析した結果でこの封じをうまくとめられれば済むことなので、もう一回よく自分で解析して表現をしていただいたほうがいいと思います。完全に真空排気ラインが全部破壊してという条件を今言われたので、破壊されたらガスがそのまま封じされて出てこないという解析はないのか、あるのか、我々は素人ですからわかりませんから、いわゆる安全側と設計側がやりとりして、ここはどのように安全を担保するかというふうにも協議してもらいたいです。今、2 人の話の問題ですよ。設計側と安全側が、条件が違うわけです。安全側は、排気ラインが全部壊れて抜けてしまったときにどうするのだという、仮説を立てられたわけです。だったら、中島先生が言うとおりの、その部分は全部封じになる、またはそういうことはあり得ないということも、条件として出せばいいことです。

【井上 部会長】 多分、ご質問の趣旨は伝わったと思いますので、これも、中島委員のおっしゃったことや、今、下平委員のおっしゃったことも含めて、ちょっと整理していただいたほうがいいような気がします。佐藤委員のご趣旨が伝わっているということであればということですけども、それはよろしいですね。

【JAXA (小沢)】 はい、次回回答させていただきたいと思います。ただし、前提としまして、今、原田が説明しましたとおり、今回想定したものは、このカートリッジの中に試料が、例えばシリコンとゲルマニウム、半導体の結晶成長を促すような材料が入ってしまっていて、ここはまずきちっと閉じた状態で実験をします。そして、それで封入をして実験しています。その前提として、実験前にこの配管ラインに損傷がないこと、つまり、真空排気ラインから引けること、リークがないことも確認してあって、さらに炉の中のシールがしっかりしているということも確認した状態で実験をするということが大前提になっているということからスタートしています。

【佐藤特別委員】 よろしいですか。1 重、2 重、3 重と言っているのは、1 重が必ずしも完全ではないかもしれないと、破られてしまうかもしれないということで、2 重にしておけば大丈夫だよ。2 重、それで十分じゃないの。いや、2 重でもまだその部分が壊れてしまうかもしれないよ。じゃあ、3 重にしたら、3 重にすれば大丈夫だろうと、そういうことで 3 重になっているわけですね。1 重で決定論的に絶対大丈夫なんということであれば、何も 2 重とか 3 重にしなくてもいいわけですね。ということは、多重にするということとは必ず、そこがもししたら、万が一だめになるかもしれないという前提でそういうことをしているわけでしょう。それがなければ、何もあんなむだなことをしなくてもいいわけですね。

【下平特別委員】 今、小沢さんの説明は、ちょっと待ってくださいね。カートリッジは封じされているというから、それはいいでしょう。だけど、18 ページの 2 行目を見てください。「実験中に封入が破れ」、この封入というのは何が破れるかわかりませんが、破れて「カートリッジ内の実験試料ガス」が出ていた場合と書いてあるわけですよ。だから、カートリッジが封じされているのではないですよ、封じが壊れたらどうするかという仮説です。

【JAXA (小沢)】 はい、今、佐藤先生がおっしゃったとおり、1 重はこのカートリッジで保っています。ただし、それで満足しているわけではなくて、それが万が一漏れた場合は、次の手段として、独立的な次の手段としてどういうものがあるかということで、ご説明しました。

それが大丈夫だということは確認していますが、それがさらに壊れた場合、あるいは異常があった場合でも、次の手段として冗長になっている排気系で引くという、独立した3つを準備しています。

【佐藤特別委員】 だから、独立というところに問題があって、必ずしも独立ではないのではないかと、私は指摘したわけです。理想的には独立していれば非常に安心ですけれども、必ずしもそうではない場合があるわけです。ただ、起こりやすさというものを常識的に考えれば、たとえ部分的に2重であっても、それは大丈夫なんじゃないかということが、私としては言いたいわけです。だから、ごまかして3重と言うべきではないということです。ここまで言ってしまうと、少し言い過ぎかもしれませんけどね。

【JAXA（小沢）】 ご指摘は理解しましたので、次回ご説明させていただきたいと思います。

【井上部会長】 多分、もういいのかもしれませんが、3重と言っている、今度は逆に3重目が今までの1重、2重をふいにするような種類の何か、独立性というか、そういうようなものがロジカルに閉じていますかというようなところのご指摘だと思うので、ちょっと検討してください。

【工藤特別委員】 別のことですけれども、資料7-1-3の8ページ、これの多目的ラックですけれども、フェーズⅡの審査とフェーズⅢの審査の間に時間がありませんよね。だから、フェーズⅡの審査の結果がこのハードウエアに反映できないのではないかなと思いますけれども、さっき説明をされなかったのをお聞きしました。

【JAXA（小沢）】 フェーズⅡの時点で安全の制御手段が確実に設計されているということが主な目的でして、さらに検証の仕方までフェーズⅡで決めまして、その検証を実施して結果を出した期間がその間にあったということで、その間で検証を実施していただいたものを確認しました。

【工藤特別委員】 フェーズⅡはCDR時点で大体やるものでしょう。CDRでデザインをフリーズして、それでハードウエアの製造に入るわけですね。その期間が短いと思います。最長に見ても、JAXAの審査は7カ月しかないですね。これは何か理由があるのではないかなと思ってお聞きしたのですが、普通は要ですよ。

【井上部会長】 直ぐにお答えなりにくいところがあるなら、次回で結構ですけれども。

【JAXA（原田）】 全体的には最後の製造から検証試験までは結果的に短かったのですが、実際にCDRは昨年10月、ちょうど1年ぐらい前にやって、それからJAXAの安全審査を2月にやったということで、製造はその時点で着手しております。その後、試験をやりまして、ことし8月までに試験が完了したということで、その結果を受けて安全の検証、結果も評価していただきました。確かに短いですが、通常のプロセス内で行っております。このラックの開発自体は、もともと2年で基本設計から詳細設計、製造ということで、最初の1年で詳細設計までやって、あと、ことし製造、検証ということで、全体的にはそもそも短い開発期間の中でやっておりますので、その中で、結果的にこういう期間になりましたけれども、基本的なプロセスは同様に行っております。

【工藤特別委員】 それでは、フェーズⅡのところでもいろいろ指摘が出て、それも十分反映されているということを何かエビデンスとしてお示しいただければよろしいかと思いますけれども。

【JAXA（原田）】 わかりました。次回にお示ししたいと思います。

【馬嶋特別委員】 すみません、今回は2つの実験装置、多目的実験ラックと温度勾配炉ということで、2つの安全部会での審査ですが、ちょっと気になるのは、15ページの電力系

の換備では多目的ラックは最大で500ワットに対して、温度勾配炉は5,310ワット以下ということなのですが、1つ1つで安全審査ではここに合致しているということだろうと思いますが、実験上、ほかの実験装置、あるいはISS全体の中の電気容量とか、そういうことも全部考慮して安全だというふうに考えられているのでしょうか。

【JAXA（原田）】 全体としては、例えば勾配炉で問題があったら、そこで遮断されますので、このラックの問題がほかに波及しない、ような設計になっております。運用上は当然、勾配炉というのは電気をたくさん食い、使えるリソースは限られていますので、その中で計画的に使っていくという使い方をしています。設計上は、ラックの問題がほかに波及しないという設計になっておりまして、問題があれば、ラックのほうを遮断するということになっております。

【井上部会長】 そろそろというか、予定した時間をちょっと超えてしまいましたので、もしこれ以上ご質問がございましたら、質問票が用意してありますので、そちらで質問を出していただくという形で、この場での質問なりご意見をいただくのはこの辺で終わりにしたいと思います。どうしてもということがございましたらお願いします。

それでは、無いようですので、そういう形にさせていただきます。

## (2) その他

【井上部会長】 次に、その他ということになりますけど、今後の予定について事務局から説明して下さい。

事務局から、参考7-2に基づき説明があった。

【井上部会長】 それでは、本日の議事はこれで終了ということにさせていただきます。どうもありがとうございました。

(説明者については敬称略)