

最先端研究開発支援プログラム（FIRST）中間評価に係るヒアリング
（日本発の「ほどよし信頼性工学」を導入した超小型衛星による新しい宇宙開発・利用パ
ラダイムの構築）

1. 日時 平成24年10月15日（月）13:00～13:50

2. 場所 中央合同庁舎4号館2階 共用第2特別会議室

3. 出席者

相澤 益男 総合科学技術会議議員

奥村 直樹 総合科学技術会議議員

大西 隆 総合科学技術会議議員

有信 睦弘 東京大学 監事（外部有識者）

石出 孝 三菱重工株式会社 技術本部 先進技術研究センター長（外部有識者）

佐藤 正明 東北大学大学院医工学研究科教授（外部有識者）

松井 良夫 独立行政法人物質・材料研究機構 外部連携部門 連携コーディネーター
（外部有識者）

松木 則夫 独立行政法人産業技術総合研究所 四国センター 所長（外部有識者）

中川 健朗 政策統括官（科学技術政策・イノベーション担当）付参事官（総括担当）

河内 幸男 政策統括官（科学技術政策・イノベーション担当）付参事官（最先端研究
開発支援プログラム担当）

4. 説明者

中須賀 真一 東京大学大学院工学系研究科教授（中心研究者）

山口 耕司 次世代宇宙システム技術研究組合理事長

宮崎 康行 日本大学理工学部教授

岩崎 晃 東京大学大学院工学系研究科教授

中川 則夫 東京大学 大学院工学系研究科学術支援専門職員（研究支援統括者）

5. 議事

【事務局】

それでは定刻になりましたので、ただ今からFIRSTの中間評価のヒアリングを始めさせていただきます。本日は研究課題の「日本発の『ほどよし信頼性工学』を導入した超小型衛星による新しい宇宙開発・利用パラダイムの構築」というプログラムの中間評価に係るヒアリングでございます。

本日の出席者でございますけれども、お手元に座席表をお配りしております。これに代えさせていただきます。

本日の配付資料でございますけれども、これもお手元に資料の一覧表を配布しておりますので過不足等があれば事務局のほうにお申し出をいただきたいと思っております。

ヒアリングに当たりまして少し注意事項を申し上げたいと思っております。このヒアリングは非公開で行っておりますけれども、後日、今後の研究発表あるいは知的財産権等に支障がないということを確認させていただいた上で、議事概要を公開させていただきます。

説明に当たりましては、課題全体の研究の進捗度合いと目標の達成見通しについて、国際的な優位性、サブテーマの役割、相互関係を含めて簡潔で明瞭なご説明をお願いしたいと思います。

時間の関係でございますけれども、研究課題の側から説明を15分、質疑応答35分ということをお願いをします。時間厳守をお願いしたいと思います。説明の中で、終了5分前に予鈴を鳴らさせていただきます。終了時間に本鈴を鳴らさせていただきます。時間が参りましたら、途中であっても説明を終了していただきたいと思っております。質疑応答はその後に設けておりますけれども、終了3分前にベルを鳴らします。

それでは、ただいまから説明を、研究課題側のほうからお願いしたいと思いますので、よろしくお願ひ申し上げます。

【説明者】

東京大学の中須賀でございます。今日はどうぞよろしくお願ひいたします。座ってやらさせていただきます。

本プログラムは世界トップ水準の超小型衛星を低コスト、短期間で開発・運用できる土台を構築し、世界に先駆けてその効果的な利用を開拓することを全体の目標としており、それを実現するために大きく分けて4つの目標を設定しました。ほどよし信頼性工学や開発プロセスの

構築。国内サプライチェーン・ネットワークの構築と人材育成。サイズ比の性能が世界レベルの要素機器や地上局の研究開発。そして、従来にない新しい宇宙利用法と利用コミュニティの開拓です。

我々が目指す衛星の立ち位置を明確にするために、地球観測衛星を例にとって他の衛星と比較してみたのがこの図です。非常に高精度の画像を撮る、しかも高価な中型・小型衛星に比べまして一桁安い値段、しかも 50kg の衛星というのは世界で、まだあまりありません。日本の幾つかの大学でもつくっていますが、それらの衛星に比べても我々の衛星は 2.5m分解能という非常に高い目標値を持っており、あるいは広い範囲の分解能、観測幅に対応できる。高S/N比、高速通信など、実用につながる技術を持っていることが特徴です。

また、先日、宇宙ステーションから放出されたさらに小さな人工衛星というのは一番上の方にある大学衛星のレベルで、まだまだ実用には遠いです。東京大学でも既に3基の衛星を開発しまして、打ち上げておりますが、主として教育・工学実験が目的で、そこに書いてあるような性格を持っています。これを高めて、実用レベルの性能・信頼性を獲得しつつ、かつ高コスト・長期開発にならない手法を追求するというのが本プロジェクトの重要な要目です。

全体の研究の概観をご紹介したいと思います。本プロジェクトでは4基の衛星の開発・打ち上げ実証を行います。それを核として衛星コンポーネント、先進的要素技術、光学系の開発を行い実証します。「ほどよし信頼性」とかサプライチェーン・ネットワークという開発手法も実証し、それからインフラとしては地上局、地上試験技術を構築し、さらに宇宙科学ミッションをはじめとした新しい利用を開拓して新規ミッションとして実証します。

これらの技術や開発手法というのは、この衛星で使われるだけではなくて、次の代の衛星でも使われるべく衛星機器・インフラの機能向上、競争力強化につなげていきたいと思っています。最終的にはこれらの技術を総合して、超小型衛星による新しい宇宙開発・利用のパラダイムを構築していくというのが究極の目的です。

まず、4基の衛星の開発現況をご紹介します。「ほどよし1号」は2010年に開発を開始して、光学系とかバス技術の早期実証を行うとともに、得られた左下のような画像を広く公開して、こういった衛星でどんなビジネス需要ができるかということを実験してもらうことを目的に持った衛星でございます。光学系の開発に少し手間取りましたが、既にほぼ完了いたしましてフライトモデルという打ち上げモデルの開発がほぼ完了し、2012年度中にはドニエプルロケットでロシアで打ち上げる予定でいます。

2号機は宇宙科学を担当するサブテーマ8と一緒に開発している衛星で、国際公募によって

7つの国際的な科学ミッションを搭載することになりました。特に宇宙科学はやりたいたけれど衛星ロケットを持っていない国から将来衛星の発注が来ることの呼び水になることを目標にした衛星で、そのための技術としてインターフェース技術、プラグ・アンド・プレー等を検討しています。既に2013年にロシア・ウクライナのCyclone-4ロケットでの打ち上げがほぼ決定しています。

ほどよし3号、4号は本プロジェクトの集大成ともいえる衛星で、ここで開発したいろいろな技術や手法を適応して実証すると同時にSTORE & FORWARD、機器搭載スペースという新しいタイプのミッションの実験を行います。2基は同じバスを持っておりまして、構造、ソフトウェア等の標準化を追求することによって、できる限り安い値段、早い時間で2基を開発することを実験しています。また、ほどよし4号機では超小型衛星では世界で初めて100Mbpsを越える通信機であるとかイオンエンジンを搭載して実験します。2基とも2013年、ロシアのDNEPRロケットでの打ち上げが既に契約完了しています。

さて、ここから各論に入っていきたいと思います。サブテーマ1で検討している「ほどよし信頼性工学」においては、過去の衛星不良のデータを解析することによって、従来の偶発故障ベースの信頼性は不適當で、システムの複雑化による「見通しの悪さ」とかあるいは熱、構造、電気といったモジュールを越えた影響の伝搬が見通せなかったことが故障要因になっていることがわかってきました。したがって、複雑度を評価する何らかの指標が要するという事で、現在さまざまな動作状況の違いを表す「コンテキスト数」という概念を新しい複雑度の指標としてモデル化を進めています。

モデル化はまだ中間段階ですけれども、これを徹底させた結果、最終的にはシンプルでも非常に信頼度の高い衛星に理論的な根拠を与えるとともに、コストパフォーマンス良く信頼度を高める「ほどよし設計」につなげていきたいと考えています。

低コストのサプライチェーンを構築して維持することは産業開発に非常に大事な要件だと考えています。現在の日本の宇宙機器産業は残念ながら中小企業、中堅企業とも高コスト構造になっていて、これではだめで。したがってそういった企業を採用するのではなくて、まだ安い、新しい企業を採用し、そこに宇宙用製品をつくる製造ノウハウや信頼性・品質をどう担保するかノウハウを教示することによって、低コストのサプライチェーンをつくろうと頑張っています。これの担当の技術研究組合が設計ガイドラインをつくったりあるいは特殊試験の支援を行ったり特殊工程の標準化を行ったりするといった支援を行いつつ、現在組合企業が8社、協力企業116社のサプライチェーンができつつあります。

以上のような開発手法を適用することによって、ほどよし3、4号機は人件費込みで2基で5億円、2年の開発のめどが立ちました。また海外ロケットとの連携も進みそれ以外のインフラ整備のためのノウハウも貯まりつつあり、これらは情報の集約点として技術研究組合の中に貯めるような仕組みにしています。また、技術研究組合は幾つかのサブテーマと連携して、超小型衛星用の新しい機器を開発中です。ここにその一覧を載せますけれども、これによりまして、ほぼすべての超小型衛星用の機器が国内で手に入る状況になりました。

また、とても大事なことは機器技術を維持し販売し続けられる企業の特定が大事で、そういった企業とサプライチェーン・ネットワークをつくっています。1例として超小型イオン推進機は、例のはやぶさに搭載した技術を超小型化することに成功しまして6kgで比推力1,200秒という高性能を達成することが可能になりました。高分解能のカメラは、超小型衛星用に5mという非常に高い分解能のカメラを搭載するということを目指し、民間の光学機器メーカーを発掘して、そこに振動や温度変化に耐えられるという宇宙転用の技術を我々が教えてあげるによって開発を進めています。また、この先のアドバンストな光学系として2.5m分解能への拡張も行い、スケーラブルなデザインを目指しています。右上のような5mGSDの画像がほどよし4号では撮れる予定でいます。

サブテーマ3では超小型衛星用のさまざまな先進的要素技術の研究開発を行っています。この我々のほどよし衛星で実証するだけではなくて、その次の代の衛星の技術、優位性にもつながるようなことを目指しています。例えば、展開系を検討するチームは展開構造のためのシンプルで信頼性のある展開デバイスを各種開発しており、例えば、ほどよし衛星では太陽電池の展開メカニズムを実証いたします。

また、ただものをつくるだけではなくて展開構造のパフォーマンスの評価理論を構築するといった理論的な研究も進んでおりまして、例えば展開した後の精度をいかに獲得するか、あるいは展開時の振動や衝撃をいかに小さくするかといった研究を行い、これが次の衛星の競争力につながると考えています。また、放射線に強いコンピュータや搭載ソフトのアーキテクチャについてもここに書かれたような検討を行っています。

サブテーマ4は光学系の技術を検討していますが、まずは1号機に搭載するアサーマル・アポクロマティックという温度変化に強い光学系を開発し、分光系、検出器と合わせて1号機で実証を行います。また、将来の技術として頑丈な光学ベンチを持つことができない超小型衛星では光学系がひずんでしまう可能性があるのですが、それを軌道上で補償する補償光学系の技術を検討しています。また、姿勢擾乱の影響を地上情報処理で補正するやり方を検討しており、

これらはいずれも超小型衛星の持つハードウェア的な制約を何とかソフトウェアで解消して
こう、補償してこうという考え方に基づいた検討です。

サブテーマ5の地上局においては、このほどよし衛星で使われる地上系のインフラストラク
チャーをつくと同時に、先進的な地上局技術としてアクティブ・フェイズド・アレイ・アン
テナによる非可動式アンテナを検討しています。通常のアンテナはパラボラを機械的に動かす
やり方なのですが、このように電子的に衛星を追尾するやり方で非可動であるためにメンテナ
ンスフリーとなり、また安全に遠隔運用ができるというメリットがあります。素子の標準化や
低コスト化の検討を進めていて、既にカナダやヨーロッパから引き合いがあります。

サブテーマ6では地上試験を検討していますが、九州工大に超小型衛星試験センターを設立
して、そこにさまざまな試験装置・技術を集約します。ここで我々だけではなくて、いろい
ろな大学が試験をすることによって試験のデータが貯まります。その貯まったデータを基に超小
型衛星ではどんな試験をすべきか、といったことを検討してもらっています。また、この分野
で日本が世界のリーダーシップをとるための国際標準化、ISOの標準化の活動も行い、これ
は一部経産省の予算も入れた活動を行っています。

サブテーマ7は教育・人材育成担当で、そこに書かれた国内若手人材の宇宙工学教育だけ
ではなくて、海外の若手に早い段階で教育支援を行うことによってそれらの若者が育ったときに
日本と将来、効率的な良い関係を結べるといったことを目標にした海外へのキャパビル支援も
行っています。1つの例として、「缶サット」を使った教育支援を行っていますが、既に3回
のCLTPというのを実施し多くの国々の若手を教育しています。また、こういった実践的宇
宙開発の分野における学術議論の拠点として、“Space Takumi Journal”
という新しいジャーナルを構築しました。

利用のほうに話を進めると、政府系の利用も大事ですけれども、それ以外の地方公共団体
や研究機関、個人といった利用を開拓するために超小型衛星シンポジウム、利用開拓ワークシ
ョップ、ビジネスナイトといったイベントを各地で実施して、そこで興味を持った方々とさら
に深い議論をする形で利用開拓を進めてきました。また世界のいろいろな国、特に発展途上国
あたりからどんなミッションアイデアがあるかということを引き出すために2回のミッション
アイデア・コンテストを実施し、2回目をちょうど先週名古屋でのシンポジウムの際に実施し
てきました。

以上を基に、4つの分野を核としてミッション開拓を行っています。光学観測ミッションに
おいては、ほどよし1号で、先ほど申し上げた通りビジネス利用をするためにデータを公開す

るとともに、3社を公募で選択して75%のシャッター権、つまりいつどの地域の写真を撮るかという権利を利用した共同実験を行います。またこれまでいろいろ検討してきた共同実験の予定者、下に書いてありますけれども、そういった方々と一緒に残りの25%を使って我々の衛星がどう使えるかといったことの実証実験を行う予定です。

“STORE & FORWARD”というのは地上に置いたさまざまな多くのセンサーのデータを衛星が電波で集めて回るというミッションで、世界中に、例えば携帯電話が届かない地域でも地上のいろいろなデータを集めることができるというメリットがあります。現在、ほどよし3、4号機用に受信機を開発しており、主として船舶会社と共同実験をする予定です。

搭載機器スペースというのは、衛星の中に、例えば10cm立方のスペースを幾つか用意して、そこに顧客がお金を払って何かを搭載する。それをひとつのビジネスにしていこうという新しいビジネスモデルで、既に静止衛星では、“Hosted Payload”という形で進んでいますが、超小型衛星では初めての試みです。スペースだけではなくて電力とか情報のやり取りのインターフェースを提供することによっていろいろな新しい、下に書いてあるようなミッションが提案されており、ほどよし3、4号では4個のスペースを用意して実験する予定です。

現在、特許の取得状況ですが、最初の2年間は2件と少なかったのですが、今年に入ってから8件、さらにこれから数件の特許が準備されております。

最後に本プロジェクトの出口についてご紹介したいと思います。実際の衛星受注・開発により社会貢献、宇宙の産業化につなげることが我々のプロジェクトの大事なアウトプットだと考えています。例えば、パーソナル衛星タイプのミッションとしては海外の資源関連企業が我々の衛星の1号機を使おうと考えており、そこでうまく彼らが納得すれば彼らから次の衛星の発注が来る可能性があります。政府系のミッションも併せて検討しておりまして、例えば経産省が中心になって進めているASEANの防災ネットワークのひとつの柱として超小型衛星は注目されています。また、たくさん新興国からは衛星開発や教育の支援の依頼が来ておりまして、具体的な話としてはODA予算によるベトナムへの人材育成衛星を来年からつくる予定で、予算も確保される予定です。

ひとつの例として福島・チェルノブイリ周辺環境の国際共同モニタリングのプロジェクトがスタートしました。ウクライナはチェルノブイリ事故の経験を持っておりますので、我々が彼らから当時の例えばリモセン映像をもらうことによって、どんなセンサーでどう観測すれば何がわかるかということをお勉強し、それを我々のほどよし衛星で実施することによって福島地域

の長期にわたる環境監視をやっぺいこうというプロジェクトです。今年の7月に既に外務省の主導の下でプロジェクトがスタートし、将来、このような災害監視をする衛星が発注してもらえるのではないかとこのように期待しております。

最後に若手人材の行き先の検討ですけれども、大学人材だけではなくて、宇宙開発・利用に直接貢献できる人材育成をモットーにしています。衛星開発の技術者、システム・エンジニアを目指す人材はさまざまなノウハウを蓄積しており、彼らは新しいベンチャー会社とかあるいは地上局ネットワークとのインフラ技術で新規事業会社を立ち上げる起業を計画しております。また、衛星利用会社を目指す人材も大事で、彼らとも企業との共同研究をベースにベンチャーの起業を視野に入れた検討を行っています。

また現在の日本の宇宙開発事業において非常に欠けている、大きなプロジェクトを計画立案運営できる人材の提供もできるのではないかと考えています。

いずれにしても論文だけではなくて、宇宙開発利用に直接貢献できる人材育成を目指しているところでございます。

どうもありがとうございました。

【事務局】

中須賀先生、ご説明どうもありがとうございました。

ここからは、石本が事務局を担当させていただきます。

それでは質疑応答に入りたいと思います。大西先生、進行をどうぞよろしく申し上げます。

【有識者議員】

どうもありがとうございました。それでは、質疑応答に入りますので、ご質問のある方はどうぞお願いいたします。

【外部有識者】

当初の予定通りに着々と進んでいると見受けられますけれども、一番気になるのは、ほどよし信頼性工学を導入した超小型衛星による宇宙開発云々という表題になっていて、今回のテーマの重要な要素はやはりほどよし信頼性工学ということだと思ふんですよね。これは実際には、ほどよし信頼性工学の重要な部分である、いわばコンテキストでしたか、ここで言うそういうものが重要であって、モードの違う部分をまたがるレイヤモードというのが実際には重

要だというようなことなどが発見されてはいるのですが、実際には、このほどよし信頼性工学ですべての衛星の開発に、今の状態で完璧とは言わないまでも、それなりに影響しているという形になっているのが一番望ましいわけですね。今の表現、説明の仕方だとそれがあまりよく見えなくて、例えばそのサプライチェーンの構築等についてもある意味では、このほどよし信頼性工学が実は影響していないといけない話になるわけで、その辺のところの表現の仕方をもう少し工夫してもらったほうがいいと思います。

もうひとつ、私たちのもともとの採択時の頃に翻って考えると、大きな期待は、ボトムアップでどんどんゼロディフェクトのコンポーネントを積み上げて行って信頼性を確立していくというような、従来の衛星の信頼性の考え方は実際にはコストが高くつき過ぎるということで、そういう意味で新しい衛星の信頼性を評価する手法が信頼性工学として確立されて行って、これはなにもここで言われているような小型衛星のみならず、JAXAでやっているような衛星の開発にも影響力があるだろう。こういうところまで実は期待していたわけで、という観点からするとある意味でこの信頼性工学の全体像がもう少し見えるといいなという気がしているのですが。

【説明者】

はい、ありがとうございます。それはおっしゃるとおりで、ちょっと時間がなくて説明できなかったこともあるのですが、先ほどもおっしゃったサプライチェーンのネットワークにおいては、例えば中小企業にいわゆるISOの標準化といったような極めて厳しい設計基準を与えるということが非常に高コスト化につながっているという反省がありまして、いわゆる彼らが持っている技術、彼らがやる担当とこちらの担当のうまい分担が非常に大事なんですね。そこをうまく定量化して、その分担をうまく標準化することによって、彼らがそんなに大きな努力をしなくても安いままで衛星の機器が作れるような、こんな世界を今技術研究組合という検討しています。

やはり、中小企業というのは僕らが知らないいろいろな事情があって、そういった事情を考えながら彼らに対応できるようなやり方をつくっていく、それが僕は中小企業との連携におけるひとつの「ほどよし」のやり方だと考えています。だから今回、ちょっとコンテキストの話しかしていませんけれども、そういうプロセスの進め方に関するほどよし設計というのは幾つか、今もアイデアとして出てきていまして、それをルール化するというをまず今進めているといった段階です。で、おっしゃるようにこのコンテキスト数をベースにしたやり方という

のを、もう少し時間はかかりますが確立させて、宇宙だけではなくて、特に大きな衛星にもぜひJAXAとも話をして聞いていただきたいし、この宇宙以外の分野にもぜひ適用してきたいというふうには考えておりますので、もう少し頑張りたいと思います。

【外部有識者】

ぜひ、頑張ってください。

【説明者】

はい、ありがとうございます。

【有識者議員】

どうぞ。

【有識者議員】

当初の目標に向かって進んでいることは理解できましたが、「ほどよし信頼性工学」というのが具体的にどういう形で蓄積され、それがいろいろなところに波及効果を持って展開されるような形になっているのかどうか。ここをまず伺いたい。そのことが論文発表と、それから特許の関係ですね。こういうところでどういうふうに担保されているのだろうかということがまず、第一点です。

もう1つは、当初の目標の中に低コスト化ということを上げておられる、それがほどよし信頼性工学が確立されると低コスト化はどう実現できるのか。これは必ずしもそういう結びつきということだけではないのではないかと思います。それがどういう根拠でこれだけの経済コストのものになり得るのかというところ。そこもお伺いしたい。それが第二点です。

【説明者】

まず、最初のほうのご質問で、これをどういう形でまとめているところに使っていきける一つの理論体系にしていくかというのは、いろいろ検討しておりますけれども、まだはっきりとした体系化はできておりません、残念ながら。論文とか特許に関してもまだそういう意味では出してない。論文は数件出しましたが、まだイニシャルなアイデアをまとめた程度でありまして、まだ本当の意味での核になる部分はこれからだと思っています。

ただ、少なくともこれを例えば過去で言うとひとつの、マカベのサイクリックコンプレックスシティという概念であるとか、あるいは品質工学といったものに近いような概念に何とかまとめて、いろいろな世界に使っていただこうと考えております。だから、論文、特許に関しては、もう少しお待ちいただければというように考えております。

それから後半の低コスト化の話ですけれども、ほどよし信頼性工学だけで低コスト化できるということではないと思っています。ただし、例えば目標レベルを下げるということによって、例えば冗長化を防ぐことで工数が大きく削減されることでコストが相当下がります。試験のやり方に関してもすべての試験を全部やるのではなくて、非常に大事な試験だけをやるということ。これによってコストが大分下がってきます。

そういうやり方はすべてが「ほどよし信頼性工学」だけではないのですけれども、いわゆるほどよし流の考え方を取り入れたことによってある種、実現されたものもありますので、その辺ほどよし流でできたものと、そうではない技術でできたものをうまく分けて、そこは低コスト化へのどれぐらいの貢献度があつたかをきちんと明確にしていく。これは、ほどよし3号、4号の開発が終わった段階でしっかり評価したいと考えています。今はそういうふうに考えておりますけれども、よろしく願いいたします。

【有識者議員】

今の質問とも関係しますが、多くの皆さんの期待は低コストあるいは小型化というところがほどよし工学という、言ってみれば原理があつて、それに演繹して乗っていくから小型化あるいは高性能化、低コスト化ができる、そこに皆さん多くの期待があつたのです。ですから、今のようなご説明ですと、ほどよし工学をこれから体系化する、こうおっしゃられると、では今までの成果の小型化なり、高性能化なり、低コスト化というのは一体どこから来たのか。コア技術とは何なのだろうかという疑問が出てくるわけです。

ですから、これは説明のされ方なのか、そもそもほどよし工学の完成度がどれぐらいなのかということと、私は関係するのではないかというのが1点と、もう一点別の角度で。

このやり方を本当に日本で定着させようとするすると、私はやはり今の高コスト構造の日本の宇宙産業の在り方を変えるためにも、やはり事業体をつくって1つのいわゆるJAXA系列とは別のこういう衛星をつくって事業をしていかないと、結果的にこのプロジェクトが終わって、金の出所がなくなりますと、私は形に残らないと思います。ですから、今、技術研究組合とおっしゃっているので、いずれ成果を事業体、会社に移して、会社化して、それで将来自立して

やっていくのか、そういうプロビジョンというのはあるのでしょうか。いかがでしょうか。

【説明者】

まず前者のご質問ですけれども、きっちりとした理論体系をつくって、まだ世に出していないというだけで、我々の衛星プロジェクト、特にほどよし3号、4号のプロジェクトの中ではいろいろな観点でいわゆるほどよし信頼性工学を取り入れた活動をやっています。要はそれをちゃんと評価して、どうだったかということを含めて体系化して出したいという、そういう気持ちでございます。例えば普通の衛星だと運用をずっと継続しなければいけないということがありますが、我々はあえてリセットといたしますか、パワーオフしてオンにするという機能を入れる。これはある種ほどよしの運用の仕方ですが、こうやることによって設計が非常に楽になって、信頼性を非常に簡単に高めることができるということがわかってきまして、こういうリセット技術をどううまく実施するのかというのは1つのほどよしの成果だと考えています。そういうのを入れることが僕らの今の活動です。

かつ、先ほど申し上げたいろいろなプロセスアプローチといたしますか、こういうルールを取り入れるということもほどよし3、4号の開発の中でやっております。大事なことは、それをやってみて、実際どうだったかという評価をしっかりとしたいなということで、それが出てから最終的には体系化していくという、そういうストーリーで今考えております。

それから後者の点、私も非常に考えております。JAXAと喧嘩しているわけではないのですが、まさに新しいそういうタイプの日本の宇宙開発の像をつくりたい。そのためには今おっしゃったような、例えば技術研究組合がこれから育っていくとか、あるいは技術組合を核としていろいろな企業ができて、そのコンソーシアムができていくとか、そういう世界はぜひつくりたいと考えていまして、今そのためのベースとなるような、例えば利用する企業からどうお金を取るかといったことも含めた企業化の検討をしているという段階でございます。それはぜひやりたいと思っています。

【有識者議員】

ほかに。

【外部有識者】

ほどよし工学のところで今回ご提案になっているコンテキスト数という概念ですが、例とし

て1つの機器の正常、異常ということが挙がっています。これは非常に我々としてもわかりやすいのですが、そのほか幾つか例を挙げていただけませんか。コンテキストという概念ですね。そうすると、ほどよし工学に対する考え方を我々としてもある程度理解できるのではないかと思うのですが。

【説明者】

例えば、コンテキストを使ってモーダルを超えた影響の与え方というのを検討することも行っています。例えば光学系ですね。つまりカメラですね。カメラだと軌道上で温度が変わります。温度が変わると伸び縮みするので、構造に影響を与える。構造に影響を与えると、今度は焦点距離が変わることによって光学系に影響を与えられてぶれたような画像になります。こういうモーダルを超えた依存関係がある。これをコンテキスト数で表現して、例えば構造系の動作するコンテキスト数としては、温度が変われば違うコンテキストになるということで、最初にある宇宙環境の変化というコンテキストが最終的な画像の精度のコンテキストまでずっと影響してしまうのです。それをどこかで切るということが非常に精度の高いものにつながる。どこで切るかということコストパフォーマンスを考えて決めていくことが大事で、例えば、1号機で適用するアサーマル・アポクロマティックというのは、いわゆる光学系の設計という概念で多少伸び縮みしても焦点距離が変わらないような設計をする。これが一つのコンテキストの切り方です。そういう観点で、いわゆるコンテキスト数とその伝搬をまず定義して、それをどこで切るかといったところの検討にこのコンテキスト数を使っていきたい。それが一例でございます。

【有識者議員】

よろしいですか。

【外部有識者】

同じような質問になってしまうかもしれませんが、ほどよし信頼性工学ということはわかりにくいところがあって、何がほどよしで、何がそうではないかというところがわかりにくい。要するに個別の事例を挙げられても方法論としてのほどよし信頼性工学が何かということが一般に見えにくいところがあるような気がします。

お話を伺っているとトレードオフの関係と、それからモジュールの設計を全体的な中で最適

化するような話に聞こえて、それ自体は昔からある考え方です。それが、ほどよしというキーワードでまとめられた中でどういう特徴があるのかをその方法論としてわかりやすい形でご説明いただく必要があるのではないかと感じました。これはコメントです。

それで、今回のタイトルはほどよし信頼性工学適用して小型に適用されたようにやはり読めるのですが、これは同時並行で、評価の方法論だとおっしゃられるとやはりタイトルと少し違っている感じを受けてしまうので、その辺のご説明をもう少しうまくされないとわかりにくいなと思います。

それで、小型の競争というのは、私は全く素人でわからないのですが、空軍のほうとかでも、大きさは多分違うのでしょうか、モジュール化であればプラグ・アンド・プレイというのは非常にわかりやすいコンセプトで、どなたもそれに合った形で設計できると思います。それと同じような形でほどよし信頼性設計に基づく作り方はこうだと。そうするとつくられるプレーヤーの方々がそれに沿うとほどよしになるという、そういう方法論を明確に示される必要があって、その適用例として3と4が動くという形をぜひ目指していただきたいと思いました。

【説明者】

ありがとうございます。そういう意味でいうと、今はいろいろ事例を貯めている段階で、その中に共通である1つのコンセプトをこれから明確にしていきたいと思っています。

もともと、このほどよし衛星のコンセプトを出したきっかけとなったのは、いわゆる今の宇宙がコストをほとんど無視した状況で、とても難しい設計、信頼度だけを目指した設計をやっている。そこに一つコスト、あるいは工数という概念を入れましょうということと、シンプルであるから信頼度が下がるわけではなくて、シンプルでも信頼度を維持できる方法はあるのではないかと、その辺を追求したいというコンセプト、これを私は「ほどよし」という名前にしたということでございます。今おっしゃったような点はもう少し検討して、全体を統一できるような概念に高めていきたいと思っています。どうもありがとうございます。

【外部有識者】

もう一個だけ。ほどよしの適用に対して小型を選ぶということで、もう少し大きな複雑なモデルに対してその考え方が適用可能なのか。それともいわゆるサイズが小さいものに特徴が出るのかというあたりもご説明いただくといいかと思います。

【説明者】

今はサイズが小さくて複雑度があるレベルまでの衛星に適用できる概念だと個人的には考えています。それをその先もっと複雑なシステムにできるかどうかは、まずここで固めた後、検討したいと思っていますが、今はあるレベルまでの衛星というふうに考えています。ありがとうございます。

【有識者議員】

どうぞ。

【外部有識者】

非常に活発に成果が出ていると思いますが、ほどよし信頼性工学というのは、私は専門外でよくわからないのですが、小型化する、それから低コスト化、さらには開発期間を短くするというので、非常にいいものができるという期待はあります。一方で、この質問への回答の書類の中の6ページあたりの下のほうを見ますと、例えばこのサイズの衛星における効果的で顧客が多数出てくるようなミッションが見つかっていないということが書かれています。非常にいいものができれば、自然に顧客が来るというものでも恐らくなくて、顧客ニーズを掘り起こす、積極的にどういうことに使うのかを提案することがないと、なかなか事業化にならないと思うのですが。

【説明者】

おっしゃるとおりです。

【外部有識者】

この報告書類を見ますとワークショップを開いたり、アイデア・コンテストをしたり、いろいろ努力されていることはもちろんわかるのですが、アイデアを吸い上げるということももちろん重要ですが、逆にプロジェクト側から積極的に提案できないとなかなか事業化にいかないのではと思うのですが、お考えがありましたらお願い致します。

【説明者】

ありがとうございます。先ほどミッションの数がないというのは、世界的にはそういう努力をみんなあまりしていないと言いますか、このサイズの衛星は主として大学の教育とか工学実験なので、ある種自分たちが満足すればいいという世界でやっているというのが世界的な傾向です。ただ、我々はそれだけではとてももったいないと思います。この世界はすごく大きな可能性を秘めているので、それを先ほど言ったいろいろな活動をする中で開拓していきまして、実際に幾つかの企業とはもう衛星開発、うまくいけば次の向こうからの発注が来るような検討は進めておりますので、これは必ずこの世界をつくりたいと思っています。

日本というのはなかなか新しいものには飛びつかないと思っていますが、どこかで一つ突破口が開かれて公表されると、俺たちもやりたいと思ってくれるのではないかとということで、とにかく早く成功例をつくりたいと考えております。ありがとうございます。

【外部有識者】

ほかの部分がそれなりに特に進捗に問題がないということで、ほどよし信頼性工学のところが一番議論になっているのだと思います。それは当然だと思います。特に今の説明の中で個別、個別の設計に当然設計担当者は信頼性工学の基本的な考え方というか、今の進捗に信頼性工学の考え方が適用されているという点については、一応想像可能なのだけれども、そこは先ほど申し上げましたようにきちんとそういう視点を入れて説明していただいたほうが良かったということ。

もう一つは、ここでコンテキスト数という概念をもうちょっと考えていくと、基本的に信頼性工学のある種の新しい考え方の基本になる部分も含んでいるのです。それから、従来の例えばタグチメソッドのような信頼性工学のものの考え方を超えた部分というか、そこだけでは処理しきれない部分がある中に入っていて、それを具体的に新しいほどよし信頼性工学として体系化していくという視点を考えてほしいなと思います。

それから、これはある意味では従来の調達の様子で要求仕様を出すやり方と根本的に違うのです。だから、そこにすべて信頼性工学の考え方が生きるような形を本当に考えていただけたらということが非常に気になります。つまり従来の国の調達という考え方という、調達先の個々の部品に対して、当然最大限の信頼性を要求するわけです。そのために必要な試験とかさまざまなそれに用いられる部品に対する要求条件とか、いろいろな意味で条件が出されて、それを全体に統合して信頼性を確立するという、非常にガチガチの信頼性でやっているのをひっくり返そうというわけですから、そこはやはりもうちょっと強調するということと、

そのトップダウンの全体の形がいつ頃見えるようになるかというのが非常に気になります。ぜひよろしくお願ひしたいと思ひます。

【説明者】

頑張ります。おっしゃるように個々の部品なり個々のエレメントに要求をかけるというのは、ある種トゥーマッチだと考えていて、システム全体としての信頼度をいかにやるかということをもう1回根本から考えたいと思ひています。その中には調達とか、いわゆる発注の中の仕様書などの書き方も含めて、これはちょうどサプライチェーンが今できつつあるので、これが1つの実験の場だと考えていて、こういったものをしっかりと固めて、ある種新しいいわゆる発注も含めた体系化にしていきたいと思ひておりますので、またいろいろご指導いただければと思ひます。よろしくお願ひいたします。

【有識者議員】

どうぞ。

【外部有識者】

これは、私自身は恐らく日本のものづくりの中でこの辺が一番弱いから今負けていると。私たちのところは特に大型のほうがあるので、その中でコスト低減しようということは一番最初に、最近からですが、こんなことを言っではあれですが、官とお付き合いしているところのやり方というのは決まっています。そうではなくて、だから今おっしゃっているようなほどよし信頼性工学というのは恐らくスペックごとに全部、今までだったらオーバースペックをかなり出しているわけです。コストが少なくなるにもかかわらず、そういうことを出している。それから全体最適化ができていない。その二つがすごく問題になっています。

その辺サプライチェーンを含めてものを言えるようになると、先ほど小型衛星だけだとおっしゃっていたけれども、そうではなくて日本のものづくり全体に影響できる話になると思ひます。そこは非常に重要です。

だから調達から始まって、最後のアフターサービスまでのバリューチェーン全体の各々のプロセスでコストをどのぐらいにこうなるとか、そのためにこういう考え方で各々を処理しているのだよという、具体的なところに落とし込むとすごくわかりやすくなるし、そういうご説明をしていただけると僕はすごくよくわかります。

【説明者】

ありがとうございます。すみせん、そこは至らないところでした。一つ、今おっしゃった中でとても大事だと思うのは、ユーザーとしっかり検討して、ユーザーも開発の中に入れていくことがすごく大事だと思っています。先ほどリセットという概念を入れましたけれども、要するにユーザー側が絶対に停止はだめだよ、ずっと継続運用してくれよといったらすごく大変な設計になるけれども、ときどきリセットをかけても許してよ、それを認めてくれさえすればこれだけ楽になるのだよ、と相談する。こういうやり取りがすごく大事だと思っています。

今回の中でも潜在的なユーザーとはそういう議論をしながら、いわゆるユーザーの要求仕様も入れたほどよし設計を目指していきたいと思っています。ありがとうございます。

【有識者議員】

では、奥村議員。

【有識者議員】

今の高コスト構造の日本の宇宙の親方日の丸方式では長続きしない、国際競争力を持っていないのではないかというのが恐らく先生方のバックグラウンドにあると思います。私も個人的にはそう思っています。思っているのですが、その1つのアンチテーゼと言ったら語弊がありますが、ほどよし信頼性工学で新たな道が開かれるのではないか、こういうことでこれを進められていると思います。ですが現実にそうは言ってもJAXAとほどよし信頼性工学についてのどのような対話ができているのか。全く対話できていないのか。中、大型のところでは取り入れられそうなことはあるのか。どういう関係になっているのでしょうか。そのあたりに触れられていないので、そこは、私は結構キーだと見ているのですが、いかがでしょうか。

【説明者】

学会レベルでの議論はしておりますけれども、まだそこまでです。JAXAの中にも小型衛星を開発しているチームがあります。これは100キロぐらいまでですけれども、そのメンバーとはよく議論はしています。ただ、そこよりも上のほうになると、どうも議論が嫌われているわけではありませんが、あまりうまくできないところです。ただ、おっしゃったように逃げてはいけないと思うので、そこは議論して、彼らも彼らなりのロジックがあると思うので、

そこは我々としても取り入れていきたいといいますか、議論はしていきたいと思っております。ありがとうございます。

【有識者議員】

今のコストの問題です。打ち上げの経費、これ込みで今出されているところで、だから打ち上げは別なんです。これが現実に国内で上げるのと、ロシアで上げるのとではまずどのぐらいコストの差があるのか。

もう1つは、JAXAとの対話の中でやはり難しいのは、国内だと打ち上げの頻度が非常に限定されるということもあるのではないかと。そういうこともいろいろあるので、コスト・プラスというような状況で、現状ではJAXAに頼ることはなかなかできない、多分そういう判断も入っているのではないかと思います。その辺の具体的なところを伺いたいのが1つです。

もう1つは、先ほど伺ったように学界に関するところで、それが論文という形だとか、あるいは特許、そういうところでなかなか表しにくいのだと思います。今回新しくジャーナルを始められます。このジャーナルは今までほどよし信頼性工学というのが学界でどの程度の認知度とか、あるいは定着性とか、そういうような状況にあるのかということと、この新しいジャーナルを発刊される、その関係がどういうことなのだろうかということをお伺いしたい。

【説明者】

まず最初の打ち上げ等に関してですけれども、海外で打ち上げると大体1.5億円ぐらいかかります。5、60kgの衛星で。これはロシアのロケットですけれども。もちろんJAXAに頼れば無料で打ち上げてもらえるのですが、基本的にはJAXAは今、大学という、いわゆる教育衛星しか上げてくれないので、いわゆる実用に近い衛星というのはもともと入れられないということになります。

それから、やはり打ち上げということに関して言うと、いつ打ち上げてほしいというユーザー側の要求が非常に強くあるので、JAXAと組んでいると延びたりすることがやはりあったりして、海外に複数のソースを用意しておくことが大事です。ロシアで今、二件、それからインドで一件ということで用意しておりますので、そういったところを使うことが、ある種実用を進めていく上では必須ではないかと考えております。

それから、後半のご質問ですけれども、まだそういう意味では学会での認知度は、当然航空宇宙学会等では発表しておりますので、そこでの議論はあって、そこでの認知度はありますけ

れども、まず航空宇宙以外の分野での認知度はございません。これはこれからやっていかないといけないところでございます。

それから、ジャーナルをつくったということですが、なかなかこういうことを議論できるジャーナルは今までなかった。航空宇宙学会誌にしてもこれまでの範ちゅうにあるようなかっちりとした議論しかできないというところがありまして、そういう議論を自由にできる場としてこのジャーナルをつくったというところもあります。もちろんこのほどよし信頼性工学だけでなく、こういう実践的な宇宙開発におけるいろいろなレッスズラウンドなどを議論する場としての意味合いもございます。“Space Takumi Journal”というジャーナルでこの議論をたくさんやって、特にそこを議論することによっていろいろな大学がそれを適用して、どういう結果になったかをフィードバックできる場にしたいなと思っています。そういう場としてホームグラウンドにあるジャーナルが必要だということで、今回こういうのをつくらせていただきました。

まだ件数が少ないので議論はこれからですが、あと2年一生懸命ここで議論したいと考えております。ありがとうございます。

【有識者議員】

私から一つ伺います。小型化でコストを削減するというのが1つの目標ということですが、必ずしも小型だからコストが安いということはないと思います。もちろん小型というのはコスト低減の1つの要素かもしれないけれども、むしろ市場を考えると量産が効くとか、あるいは量産も本体だけではなくてパーツそのものに汎用性がある、いろいろなところで使われて市場でコストダウンされている。そういうことが大事なのかなと思います。一つはそういうことが、この中で考えられているのかどうかということ。

もう一つはそのこととほどよし信頼性工学、先ほどから議論になっていることとの関係でいくと、パーツ一つひとつが非常に高精度のものであれば、それはコスト高にはなるけれども、汎用性が効くという点では信頼性を持って汎用されていくということがあると思います。このほどよし信頼性工学という概念の下で全体として一定の信頼精度を要求していて、一つひとつのパーツについてはそれほど厳しい要求をしないということになると、そのパーツレベルの汎用性という点では場合によっては問題が出てくる可能性があるのではないかという気がします。そういう全体としてのシステムの信頼性と、それからそれをパーツに分けたときの信頼性ですね。この関係というのも一番目の質問に申し上げたような点から考えると検討すべきテーマ

なのかなと思いますが、その二点について。

【説明者】

一番目は小型化が安くなるかということに直接つながるかという、そういうご質問でしたでしょうか。

【有識者議員】

そうです。それで量産ということを考える必要があるということで、パーツを含めた量産。

【説明者】

そうですね。小型化が大事だというのは、幾つかの観点からですが、小型化というよりは部品の点数の総数が下がるということがシステム設計の上、あるいは構築の上で非常に大事で、工数を大きく下げる原因だと思っています。特に部品の値段というよりは工数がすべてコストに反映しているのが現在の宇宙開発の状況であります。だから、この工数をいかに下げるか。そのためには先ほど申し上げた例えばコンテキスト数を下げることによって試験の場合の数を非常に小さくすることがとても大事で、そういう観点で部品の数があまり多く、システムが複雑になり過ぎると試験の数、それから、それによるフィードバックの数という工数の観点から非常に厳しい、値段が高くなるというように考えています。

それから、もう一つ小さくなることでダイレクトに値段に効いてくるのは打ち上げロケットの費用で、大体キログラム当たりいくらかという形でできておりますので、これはやはり 50kg で先ほど言ったように 1.5 億円ですけれども、大きくなるとその分高くなるということで、このモチベーションもございます。それが非常に大事だと思っています。

ほどよし信頼性工学との関係で言いますと、今申し上げたとおり小さくなるというよりはシステムをシンプルにするということで全体の信頼性を上げつつ、かつコストを下げていくということが非常に大事であるということと、できる限り同じパーツを使い続けて、いわゆるパーツレベルでの標準化を進めるということが非常に大事だと思っています。

今はどんどん新しい衛星をつくって、新しい機器なりパーツなりを試しているためになかなか安くならないのですけれども、いわゆるパーツを枯らしていくことが非常に大事だと思っ
ていまして、その辺をほどよし信頼性工学の一つの柱にしていきたいと考えています。

【有識者議員】

質問の趣旨はそういうパーツに分けて、しかもそのパーツがこの小型衛星だけではなくて、ほかの用途にも使われるということになると、いわば一定の大量生産が効くようになるわけです。それがコスト削減の要因になる。その場合にそれぞれのパーツに与えられている信頼性というのは妥当性があるのかと。つまり従来であれば個々のパーツについてもかなりの信頼度を要求しているというのが従来で、それは全体としてコスト高になっているというお話でしたので、逆に、ほどよし信頼性工学を適用した全体のシステムをパーツに分解したときの、個々のパーツの信頼性はどういうふうに保証されるのかという質問です。

【説明者】

非常に厳しいご質問で。最終的には全体で信頼度を確保しますが、個々のパーツに関しては、先ほど申し上げたように非常に厳しいスペックではなくて、このレベルの性能が満足されたら、あとはシステム側で対処します、というぐらいの信頼度にしたいと思っています。

それからもう一つ大事なことは、民間レベルで開発された機器なりパーツなりを何とか宇宙転用できるノウハウを見つけることだと思っています。そうしないと、毎回宇宙用のいい機器をつくらなければいけない。そうではなくて部品の進歩は民間のほうの技術に任せておきましょう。そちらのドライビングフォースで進歩したやつをどう転用すれば宇宙への対応ができるか。ここの部分のノウハウを持っておけば、いろいろな技術にそれほど宇宙用を最初から適用しなくても使えるのではないかと思っています、その辺を固めたいと思っています。

【有識者議員】

ほかに。

【有識者議員】

ほどよし信頼性工学というのは英語で言う場合には何とおっしゃっているのでしょうか。ちなみに教えていただければ。

【説明者】

“Reasonably Reliable Systems Engineering”

【有識者議員】

ありがとうございました。

【説明者】

“Low Cost Reliable” はちょっと生々しいので、“Reasonably Reliable Systems Engineering” という言い方がいいかと。

【有識者議員】

よろしいでしょうか。

【外部有識者】

ほどよしでつくられた設計方法とほかのサテライトの設計方法とのベンチマーキングというものを、つくり方の方法論としてのベンチマーキングをぜひしていただきたいと思っています。例えばご存じのように、プラグ・アンド・プレイの研究をされていると思います。そういうものほどよしの設計方法論がどういうふうに違うのか。多分サテライトのサイズは違うと思いますが、サテライトのサイズが少し違っても、方法論としては近いところがあると思うので、そういうベンチマーキングをぜひお願いしたいと思っています。

【説明者】

わかりました。ありがとうございました。ぜひやらせていただきます。

【有識者議員】

短く。

【外部有識者】

若手研究者の育成に関しては、追加質問のところでも答えていただけていますが、信頼性工学といいますか、ほどよし信頼性工学という視点からいきますとかなりの部分がアカデミックなところに寄与するべきだと思います。ここを拝見すると、おっしゃるように若手研究者、アカデミックばかりでないよと言われると、まさにそのとおりですが、それでは今育成しようとしている若手研究者は一体どれぐらいの割合で企業を目指すのか、アカデミックを目指すのか。

その辺の大雑把な割合を教えてください。

【説明者】

今、若手研究者が各大学、それから我々のそばにいるものを全部合わせて 20 名ぐらいだと思っています。そのうち大学のアカデミックポストを目指しているのは多分 5、6 名ぐらいで、あとの 14、5 名は自分たちがここで経験したことをベースに、やはり宇宙開発に貢献したいという非常に強い気持ちを持っていますので、彼らが生きていく道を何とかつくりたいと考えています。もちろん彼らの中には、ほどよしで学んだことは身につくと思いますが、それをずっと検討するのではなくて、それを頭に入れた上で、それを宇宙開発に生かしていくということを、ぜひやってもらいたいなと個人的には考えています。

【有識者議員】

それでは、時間になりましたので以上をもって本研究課題のヒアリングを終了します。どうもありがとうございました。

本日質問があった事項で、別途、回答をいただくものについては、3 日後の 10 月 18 日木曜日までに事務局まで電子メールで回答をお願いいたします。

どうもありがとうございました。