

第60回 宇宙科学・探査小委員会 議事録

1. 日時：令和6年1月29日（月） 13：00－15：00

2. 場所：宇宙開発戦略推進事務局大会議室

3. 出席者

(1) 委員

常田座長、関委員、永田委員、山崎委員

(2) 事務局（宇宙開発戦略推進事務局）

風木局長、渡邊審議官、松本参事官

(3) 関係省庁等

文部科学省研究開発局宇宙開発利用課

上田課長

鈴木室長

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）

佐々木理事

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所

國中所長

藤本副所長

羽生教授

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構国際宇宙探査センター

山中国際探査センター長

青柳部長

小川部長

川勝プロジェクトマネージャ

東京大学

杉田教授

国立天文台

平松教授

4. 議題

(1) 宇宙技術戦略（宇宙科学・探査）に関する考え方（案）について

(2) その他

5. 議事

○常田座長 定刻前ですけれども、「宇宙政策委員会 基本政策部会 宇宙科学・探査小委員会」の第60回を開催いたします。

御出席の皆様におかれましては、お忙しいところ、御参加いただき、御礼申し上げます。

本日は、大島委員が御欠席です。

本日の議題は、「宇宙技術戦略（宇宙科学・探査）に関する考え方（案）について」「その他」であります。

まず、事務局から配付資料の確認をお願いいたします。

【事務局から資料確認】

○常田座長 よろしいですね。

議題に入ります前に、昨年9月に打ち上げられましたJAXAの小型月着陸実証機SLIMが1月20日に月面着陸に成功し、また、昨晚から本日にかけて探査機と地上との更新が再確立されたとのことであります。SLIMの現時点での成果と状況について、JAXAから報告をお願いいたします。

【JAXAから資料1について説明】

○常田座長 ありがとうございます。そして、おめでとうございます。

委員の皆様から質問やコメントはありますでしょうか。あと、文部科学省からコメントや補足があればお願いいたします。どうでしょうか。

永田さん。

○永田委員 まずは冒頭、おめでとうございます。非常に重要な成果だと思います。

ただ、レッスンズラウンドも非常に重要ですので、得られた課題というのは慎重に検討していく必要があると思うのですけれども、僕が今の時点で一番気になっているのは、脱落したエンジンについて、もともと2基あったというのは、冗長系なのだという位置づけであったと思うのですけれども、一方で、残った1基で設計どおりというか、もともと決めたシーケンスどおりの着陸ができたのかということ、ドリフトが生じてしまって、それで消し切れなかった水平方向成分の影響でごろんと転がってしまったのではないかというような話も伺っているのですけれども、この辺の2基エンジンがあるというところで、これは冗長系であると。どちらかが死んでも大丈夫なのだということがどこまでカバーできていたのかなというのが1つと、それからもう一つは、どこから脱落したのかというのがよく分からなくて、例えばノズルのスロートのつなぎ目のところが材料が変わるところで一番弱いのではないかという話もよく流れてくるのですけれども、そこで脱落したのだとしたら、スロートの後の広がりがないだけですので、推力がゼロにはならない。半分以上は残るはずなのです。でも、それがほぼゼロになったということは、もっと上のほうで脱落したのかなとも思っているのですけれども、今、どこまでその辺が判明しているのでしょうか。

○JAXA（坂井プロジェクトマネージャ） ありがとうございます。

まず、1点目のほうからお答えしますと、メインエンジンは確かに2基搭載しておりますけれども、もともといわゆる完全な状況がこれで組めるということは我々は想定しておりません、SLIMは小型ということもあって、リソースが限られていたこともありますので、一部冗長といいますか、当初の考え方としては、仮にエンジンを1基失ったとしても、ピンポイント着陸はできないにせよ、何とか軟着陸に近いところまでは持っていこうというような考え方で設計をしておりましたので、その意味では、何とか無事に軟着陸ができましたので、ある意味意図どおりだったということが言えるのかと思います。

ただし、我々としてもメインエンジンを1基失った後の着陸の過程については、まだ時間がそれほどたっていないこともあって、完全には理解をし切れていないところがあります。ですから、どこまでが冗長系というか異常対応の設計がきちんと動作したのか、どの部分は実はよくよく考えてみるとある種幸運に助けられたところもあったのかといったところまではまだ完全には見切れていませんので、その辺りはもう少し詳細な調査等が必要なのではないかと考えています。

それから、メインエンジンの破損箇所ですけれども、おっしゃっていただいたとおり、推力の減少の度合いを考えると、トータル2本で出している推力のうちの45%ぐらいが失われていますので、メインエンジン1本分の推力としてはほぼ失われたような状態だったと考えています。

どこから破断をしたのか、それ以前に、なぜああいうことに至ったのかというところについては大変重要な課題だと思っていますので、今後きちんと原因の究明をして、今後につながるような対策につなげていきたいと考えているところでございます。

○常田座長 では、山崎委員から。

○山崎委員 ありがとうございます。

まず、本当におめでとうございませう。とても誇らしく思います。

ぜひこのSLIMの技術を継承していくことが大事だと思いますので、また少し先かもしれませんが、続くアルテミス計画も含めたミッション、それから民間への移管なども含めて、ぜひこのレッスンズラウンド、そしてすばらしい技術が継承されていくことを望みたいと思います。

SLIMに関して1点御質問させてください。先ほどスラスターのうち残った1基に関してはほぼ性能どおりのものが出ていたというデータが取れているのか。また、月遷移軌道にある間に2基のエンジンの使い方などによって何か差はあったのか、どうして1基だけが失われたのか、1基はどのような状態なのかということも補足情報があればお願いいたします。

○JAXA（坂井プロジェクトマネージャ） ありがとうございます。

その点もまだいろいろとデータを調べ切れていないのが正直なところですので、これからきちんと調べなければいけないのですけれども、現時点までに分かっているところとしては、この脱落が生じる本当の直前まで、メインエンジンの燃焼に関しては、2基それぞれ

れとも全く何の異常の兆候も見られていないというのが現時点までの我々の感触です。

それから、2基を比べてみても、例えばこういう推進機の負担みたいなのは、例えば混合比というようなパラメータで決まるところがあるのですけれども、そのようなものを見ていっても、壊れてしまったほうのエンジンは、壊れなかったほうに比べて、むしろ負荷の少し低いような状態で燃焼していただろうと推測をされますので、予断も入ったコメントになりますけれども、現時点では、我々の感触としては、メインエンジンそのものに起因するのではないような原因といたしますか事象についても少し目を向けていかなければいけないのではないかと考えているところでございます。

○山崎委員 どうもありがとうございます。

○関委員 まずは軟着陸の成功おめでとうございます。

中高生新聞の1面とかも飾って、国民に与えた影響はすごく大きいと思います。

一方で、理学の立場からすると、通信が復活したことはとてもうれしくて、まず昨晚のうちに既に理学データが取られたということなのですけれども、当初予定した計画に対して、今後どのくらい理学の観測ができそうかという見込みを教えてくださいませんか。

○JAXA（坂井プロジェクトマネージャ） 当初の見込みという意味で、最低限と恐らく理学の方が考えられていたのは、1つの観測機について10バウンド取るというところがミニマムだということは言われておりましたので、そこまでは今、一旦クリアできたのだと思いますので、あとはまずは月の日没が数日後に迫っていますので、そこに至るまでの間、例えばほかの観測対象に移して、同じように10バウンドの観測を行うといったようなことを残っている時間の中でやっていくことになろうかと思えます。

ただ、温度の条件がやはり厳しくて、例えば通信機の温度などがかなり上限に近いというか、性能保証範囲を超えたような温度で今、運用せざるを得ないような状況になっていますので、かなり綱渡りの運用にはなりますけれども、できる限りの努力をして、可能な限りの観測は行いたいと考えております。

○関委員 分かりました。よろしく願いいたします。ありがとうございます。

○常田座長 文部科学省、コメントを一言お願いします。

○文部科学省（上田課長） 私どもとしても、先週の時点で大臣談話を出させてもらいまして、まず下りたいところに下りるといふ月探査は新しい時代に入った旨、また20分という着陸降下時間において、そのときのために産学官のそれぞれの持てる技術を投入されて努力されたことに敬意を表する旨、また着陸後に全てのデータを地球に送信したという、そのオペレーションが見事だった旨、そしてSORA-Qが送ってきた写真は記念スピーカー像になった旨、そしてメインエンジンにつきましては、しっかり原因を突き止めて今後に生かしていくという旨の大臣談話を出させてもらってございまして、宇宙開発業界も大変喜んでおるところでございます。

○常田座長 最後に局長、一言お願いします。

○風木局長 まずは大変おめでとうございます。

着陸につきまして、高市宇宙政策担当大臣からも大きな意義だということで発信いただきましたし、それから総理のほうも、本部長ということになりますけれども、ツイッター等でも非常に前向きな御発言、御発信をさせていただいております、その後のピンポイント着陸についても、世界で5番目という着陸ではなく、もう世界一なのだという話をまさに大臣含めた要路が非常に高く評価されておりますので、今まさに宇宙開発で関委員からありましたとおり、非常に国民的な世論を喚起されたということで、本当に改めてお礼申し上げたいと思います。

以上です。

○常田座長 100%に近い成功、ということでまとめたいと思います。

坂井先生、徹夜明けということですので、適宜退室なさっていただいても構いません。

○坂井プロジェクトマネージャ 申し訳ありません。運用室からそのまま来てしまったのでラフな格好をしておりますけれども、御容赦ください。

ありがとうございます。

○常田座長 この議題を終わらせていただきまして、次が本議題の1「宇宙技術戦略（宇宙科学・探査）に関する考え方（案）について」ということですが、前回の小委員会では、宇宙技術開発戦略に関する考え方について議論いただきました。

では、資料について、まず内閣府から説明をお願いいたします。

【事務局から資料2について説明】

○常田座長 ありがとうございます。

これから御審議いただくのですが、技術戦略の使われ方について、その辺を局長に補足説明をしていただいてから審議したほうが良いという気もしますが、局長、どうですか。

○風木局長 ありがとうございます。

今、宇宙技術戦略ということで、3月末までに作成すべく作業を進めております。この宇宙科学・探査分野のほかにも、衛星の分野、宇宙輸送の分野、それから横断的分野ということで進めておまして、これも随分議論いただきまして、本当にありがとうございます。宇宙技術戦略はまさに世界の潮流を踏まえた我が国の宇宙技術戦略を俯瞰するために作成しているので、もちろん予算等の関係で参考にはなるわけですが、宇宙戦略基金だけではなく、当然これまでのJAXAの交付金でありますとか、関連する予算でありますとか、関係省庁の関連予算とか、あらゆる面で関係してきます。

それから、これまで経済安全保障重要技術育成プログラムがございましたし、最近ではSBIRでも宇宙の分野が非常に幅広く採択をされております。したがって、全体を俯瞰しているというのは、あくまでかなり議論して御理解いただければなと思っておまして、

ここで全て終わってしまうのではなくて、とにかく非常に重要にしなければいけないのだとなるのではなく、できれば全体を俯瞰した形の議論をいただけるとありがたいと思います。

それから、さらに申し上げますと、これはローリングをしていくことになっておりますので、3月で全て終わりではなく、技術革新や世界的な科学技術の進展が素早いものですから、そこを可能な限りタイムリーにアップデートする予定にしております。ある部分は当然、毎年ある程度見ないといけないところもあり得ると思うのです。まだ検討中ですが、したがって、これで終わりなので、ここで頑張らなければということで、そこだけ作業するというにならないように、くれぐれもお願いしたいと。今後も継続的にやっていくことが重要で、世界の潮流をしっかりと把握することが大事だということを繰り返し申し上げます。

したがって、ロードマップのほうも、世界の動向をより手厚く発表していこうということも考えております。世界がこうなので、国内ではここが勝ち筋だということであり、我が国の優位性、それからサプライチェーン自律性、そして宇宙探査のところはとりわけ他の国との関係で共同でできるかどうかというところの喫緊性も考えるべきであり、仲間にちゃんと入れるような、これまで培ってきた物すごい実績があるわけです。これがとにかく世界的な議論あるいはプロジェクトにしっかりと食い込んでいくというところの要素もとりわけ重要だと思います。

参考までに事務局の作業の動向を御紹介させていただきました。ありがとうございます。

○常田座長　ここまで質問とかコメントはございますでしょうか。

関委員。

○関委員　一応確認させていただきたいのですけれども、宇宙技術戦略の位置づけですが、ここに項目として出ていること自体がそもそも重要な技術開発項目だという位置づけという理解でよろしいでしょうか。

○風木局長　全くおっしゃるとおりです。ここに出てこない、もちろん科研費を含めていろいろな形で基礎研究でやっている分野は幅広いわけです。当然そこはそういう認識で、将来新しいものが入ってくることも当然あり得るので、まずここに出ていること自身が重要だということになるので、その辺りを物すごく配慮して、まさにこれ以外もあるということとは当然科学の分野では理解をしております。

○常田座長　今の局長の説明、参事官の説明に基づいて中身の議論を始めたいのですけれども、中身が3つに分かれていまして、その最初が宇宙科学・探査のところ。3つのバランスも後で議論する必要もあるかもしれませんが、取りあえず宇宙科学・探査のところをざっと見て、誰が見ても非常に重要だと思うもの、誰が見ても検討段階だなどと思うもの、ボーダーラインなものもありますので、全体的なところを大所高所に立ってコメントいただきたいと思います。前回も出ていますけれども、少し非常に重要なもの、重要なものが変わっているかもしれないので、ちょっと眺めていただく時間も要と思います。

順番にいきましょうか。山崎先生からお願いいたします。

○山崎委員 ありがとうございます。

まず最初に、大項目で言う宇宙科学・探査の部分からでしょうか。それとも、全体を通じてでしょうか。

○常田座長 まず、できたら大きいところからいって、だんだん細かいほうに行く感じでコメントをお願いいたします。

○山崎委員 分かりました。

まずは全体ということで、大きなところからいかせていただきたいと思います。

今回のSLIMに関しましても、皆様のほうがお詳しい中で恐縮ですが、構想からいろいろな紆余曲折があります。アメリカのアルテミス計画なども紆余曲折あるものは常でして、大きな計画自体がいろいろな状況に応じて変わっていく場合があります。ですから、喫緊性も変わってくるかとは思いますが、それと同時に、やはり長期的な目で見つめて、ここは日本として大方ではまだなくても、きちんと研究は継続しておくという継続性もとても大切だと思っています。

SLIMも、月着陸プロジェクトがきちんとプロジェクト化される前から、きちんと技術を継承してきたということが今回の成功にもつながったのではないかと考えています。きちんと必要な技術は継続していくことをぜひお願いしたいと思えますし、また、冒頭でもお伝えしましたがけれども、SLIMの本当に貴重な日本の技術を今後どう継続していくか、継承していくか、発展していくかが大切ですので、今回も月面着陸技術が示されていますけれども、ぜひ引き続き検証していきたいと思えます。

また、その技術を民間のほうにどう移転するかという視点もぜひ大切に考えていただけたらと思います。

以上です。

○常田座長 ありがとうございます。まさに総括的なコメントでそのとおりと思いますが、どうでしょうか。

永田先生。

○永田委員 これまでの議論を踏まえて、よくまとめていただいていると思います。非常に重要というのも多分いろいろな位置づけがありまして、日本がもともと強みを持っているという場合もあるし、あるいはよその国もやっているのだけれども、日本もこれはできないとまずいというのものもあるし、あるいは今まで日本が分担してきたものについて、そのノウハウを生かしてさらに国際貢献していくべきだというものもあるのだろうなと思えます。

3番目の事例で言うと、恐らくISSで使われてきたHTVを生かして、ルナゲートウェイにも補給で貢献していきましようということは非常に重要だと思うのですが、こういう貢献は非常に大事だと思います。

もう一つ、これを踏まえて、科学的にこれに技術開発の投資をしていきましようという

のももちろん大事なのですけれども、細かい話になってしまって恐縮なのですけれども、軌道間HTVの議論が結構輸送系の中で話題に上ることが多くて、これは非常に重要で、特に日本がこれから伸ばしていかなければいけない小型宇宙探査とも非常に強いリンクを持っていて、どうやって相乗効果を発揮していくのかというところは物すごく大事だと思うのですけれども、ただ、一方で、行きたいターゲットに向かって最適化したほうが搭載重量が最大化できるというのは当たり前で、けれども、それをやると毎回開発しなければいけないのでミッションコストがかかる。なので、ある程度共通化して、1回の開発でいろいろなミッションができるようにしたいというのがベースにあるのですけれども、それをやろうと思うとアンカーテナンシーというのをちゃんとやらなければいけなくて、本当にちゃんとそこまでやるのかという議論もこれから必要になってくると思うのです。例えばイプシロンは2年に1回使いますよというようなものと同じ枠組みで、深宇宙OTVを使った探査を3年に1回はやりますよというような話をやらないと、つくってくれるメーカーはないと思うのです。ですので、その辺の議論もこれから大事になっていくようなものもあると見ながら拝見していました。

以上です。

○常田座長 大事な論点ですね。

ほかはどうでしょうか。関先生。

○関委員 おおむねはこれまでの議論に沿ったものなので、大分まとまってきたなと思うのですけれども、区分の分け方なのですが、宇宙物理分野と太陽系科学・探査分野と大きく2つに分かれているのですけれども、この中で観測技術というのは実は両方にまたがっているため、そういう意味では例えばSOLAR-CとかLAPYUTAとか具体的に入っていますけれども、これらは太陽系科学のGDIとか学術コミュニティで議論されたりしています。従いまして、観測技術に関しては宇宙物理分野、太陽系科学・探査分野共通の項目出しのほうがよいだろうと全体を見て思いました。

また、その後の国際宇宙探査・地球低軌道がすごく粒度が細かいので、それに比べてかなりざっくりなのですけれども、その辺りのバランスは考えなくていいのかなとの感想を持ちました。

○常田座長 最後に全部見ていただいた後に議論しますね。あまりに粒度が違うというところですね。

○関委員 それと、宇宙科学に関しては、観測技術については両分野にまたがるということが分かるように区分していただいたほうがよいと思います。

○常田座長 今のは重要な御指摘で、松本さん、そういう方向で分け方を考える点で、事務局のアクションアイテムでよろしいですかね。

皆さん重要な観点を俯瞰的に出していただきました。非常に大事なので細かく見ていくのですが、宇宙用冷凍機、まずこれは従来の議論からいって皆さん重要性が了解できるかと思います。

観測技術、宇宙用センサシステム、系外惑星探査技術については、ちょっと分かりにくいのですが、系外惑星観測技術、コロナグラフと呼ばれるものをイメージしていると思います。非常に難しい技術で、各国がしのぎを削っているようなところでございます。重要である、検討段階ということで、どうでしょうか。

今回の宇宙基本計画でも明示的に書かれていますし、前回は御報告があったのですが、ポストJWSTの検討が本格的に始まっています、もうヨーロッパは目の色を変えているというということで、我々も着実に準備をしていかなければいけない。宇宙用センサシステムの展開先の展望のところに、ポストJWSTあるいはHabitable Worlds Observatoryを加えるということにさせてもらいたいと思います。そうすると、すぐに何か大規模にやるというところよりは、一歩先のことで、重要というのは全体としていいと思います。

系外惑星観測技術は非常にスペシフィックなものになりますので、さっきの局長のローリングがあるということで、次回は重要となるように頑張ってもらおうかと思います。

軽量化・高精度制御技術というのは、非常に一般的なもので、普通の意味の軽量化とか普通の意味の高精度制御技術はもうやっています、日本は技術的に大変いい状態です。だから、ここはもういいと思います。

編隊飛行、データ解析とあるのですが、データ解析の重要性については、本委員会で委員から御指摘があったことに基づいて入っていると思うのですが、ほかの重要性から見ると今回は検討にして、忘れないようにしておくということだと思います。

編隊飛行についてですが、スペース重力波観測に向けた編隊飛行という精度が大変で、ESAが2040年までかけて開発しようとしていますので、重力波の観測目的だと検討段階だと思います。光の干渉系、電波の干渉系というのもあると思いますけれども、重力波ほどではないけれども、精度が大変だということで、これも検討段階でどうでしょうか。

太陽系科学のほうに行くと、サンプルリターン技術は完成度を上げなければいけない。

それから、超小型のところは重要としています。

加えて、大気再突入・着陸等は重要な今後の惑星への着陸を見ると非常に重要でしょうね。

超小型探査技術は、僕はかなりやっているしいかと思ったのだけれども、十分重要です。非常に重要としたものは特別に重要と取ったほうがいいと思います。宇宙物理は全部非常に重要となっていますね。

地球周回の超小型は確立しているし、そろそろ超小型で地球周回の外に行こうとなってきた、その辺を意識したのだと取りますが、どうでしょうか。そう書いてありますね。永田先生、技術の面からどうでしょうか。

○永田委員 非常に重要でよろしいと思います。というのは、深宇宙探査にももちろん使えるのですが、いろいろなところに置いておいて、遠方から飛来してきた天体にランデブーするというような、Comet Interceptorでしたか、あれに似たような計画もいろいろ検討されているみたいですので、ぜひ日本がリーダーシップを持って、そういう国際的

なネットワークをつくってほしいなと常々思っておりますので、それも含めてぜひ。

○常田座長 ぜひという意見がありましたので、ここはこのままにして、新宇宙軌道間輸送技術、ランデブードッキングと言うのですけれども、さっき永田先生がアンカーテナンシー等を含めて総合的にというコメントがあったところに該当しますかね。

○永田委員 はい。というか、そこまでやらないと多分なかなかできないと思うのです。

○常田座長 これを使うほうが内閣府とか文部科学省も絡んでいるので、JAXAも含めて、ここはぜひというのがあったら御意見を言っていたら構わないのです。

○永田委員 これは非常に重要な技術だと思うのですけれども、先ほども申し上げましたように、宇宙開発コミュニティも含めて議論しなければいけないことがいっぱいあって、限られたミッション枠の中で一定枠をこれに振り向けますというところの合意を得るだけでもかなり大変だと思うのです。ですので、今、コミュニティとして重たいかなという気もするのです。

○常田座長 さっきの永田委員のコメントで、これを共通化するのか、個別でいくのかというまず大きい分かれ道があって、アンカーテナンシーも含めて見ないと見えてこないということですね。

○文部科学省（上田課長） 深宇宙軌道間輸送技術については宇宙科学研究所さんでも議論してもらっていますし、私たち宇宙開発利用課とも一緒に議論しているという中で、アンカーテナンシーはすなわち火星に行くということだと思うのですけれども、そのこの様態についてまでの議論にまだ及んでいなくて、今後の課題だとは思いますが、その前の汎用的な技術、例えばこれまでの議論では、非特異環境下になりますので、ドッキングを含む低コスト物資輸送要素技術、こういったものは抽出され得るのではないかと事務局としてもJAXAと話しながら考えていまして、そういったところは視野には入るのかなと思っていたところでございます。

文部科学省○常田座長 関先生。

○関委員 私は火星本星の探査検討の学術コミュニティに参加しているので、その観点からのコメントなのですけれども、世界的にも深宇宙のOTVというのは民間も巻き込んでNASAとかも本気で考え始めていて、一方で、日本では次世代サンプルリターンとか、次期中型候補の一つですけれども、そういうものをてこにして、今だったら優位に立てるのではないかとこのところで検討が行われているので、そういうコミュニティの状況を見ると、推進する価値のある技術だろうという印象を持っています。

一方で、超小型のほうは、常田先生がおっしゃったように、いろいろな要素があるとは思いますが、このままでも十分重要ということなので、それでよいだろうという印象を持ちました。

以上です。

○常田座長 上田課長、超小型はみんなもう既に頭の中に入っているということでこの程度にして、軌道間のほうを重くしておきますか。永田先生の心配もありますけれども、今、

強い応援が出たので。

○永田委員 でも、要素技術開発の意味づけで記述すれば、まだまだ検討の時間は取れるのかなと思います。

○常田座長 そうすると超小型を取りあえず重要として、深宇宙軌道のほうを非常に重要としておいて、仮置きにします。最後でもう一回全部見ることにします。

青柳さん、どうぞ。

○JAXA（青柳部長） 今のお話を伺った中で、ごもっともな御意見だとは思いますが、ただ、実際にやっている宇宙計画としての意見を述べさせていただきます。

まず、超小型のほうにつきましては、大学だとかベンチャーさん、そこら辺が今、非常に多く入ってきていまして、要はステークホルダーが非常にあるということです。それと、さらに今考えているのは、昨今全ての衛星が物価高で上がってきている中で、10年に2機というあの間隔での予算の規模でやろうとしても、なかなか金額が上がっていきません。それをリカバーするためにOPENSだとか、少ない規模で共通化して、信頼性を上げてやるということを考えていまして、そこら辺を考えると今のうちからしっかりと議論して、要はフロントロビーも含めてやっていきたいと考えております。まず、超小型のほうは。

○常田座長 重要とするとコミュニティが元気が出ると。

○JAXA（青柳部長） はい。

○常田座長 超小型と新宇宙ドッキングのところは、今、意見が分かれていますので、このままにしておいて、後で考える調整事項にします。

表面等探査技術のほうは、観測技術と書いてあります。それから、惑星保護ということで、プライエタリプロテクションは非常に大事でして、MMXのときもISAに随分いじめられたというのがある中で、よく頑張った。これは完全に技術ですので、本委員会としてはメッセージを出す意味でも惑星保護は重要でいい。

観測技術も軌道からの観測、それから惑星表面に降り立ってからの観測、SLIMのさっきの話もあったようにこれから大事なので、ここは重要で良いという気がしますけれども、皆さんどうでしょうか。局長。

○風木局長 全部終わってからで。

○常田座長 そういうふうに一旦置きまして、若干もめたのは、さっき言った2か所のところであります。

次に、国際宇宙探査・地球低軌道ということで、まず全体的なところでコメント等あるでしょうか。非常に細かく技術が書かれているというところで、特に言いたいとか聞きたいとかいうのはございますか。

順番に見てまいりますと、まず月面探査・開発等ということで、月面科学に係る技術、月面着陸技術、エネルギー技術、月通信・測位技術、月表面探査技術、月資源開発技術、月資源利用技術ということで、月面に降り立った後の科学、実用、それぞれのことが網羅

的に書かれていると思います。

全体的にコメントがなかったら、個別論をやってまた全体論に戻ってもいいのですが、まず月面科学に係る技術ということで、ここはアルテミスがメンションされているので、もう良いかなと思います。

月着陸技術で要素分解されていて、めり張りをつけていただいて、エンジンのあるタイプ、それから推葉管理みたいなものもあるということで、3つは良いでしょうね。

エネルギー技術ということで、太陽電池、それから半永久電源、蓄電池も大事です。それから、送電のところだけは有線・無線があると思いますけれども、まず電気を出さないと話にならないので、発電と蓄電というところは良いでしょうね。

月通信・測位技術で、光通信はこれから要ると思います。その後がちょっと分かりにくくて、高周波・RFの効率をよくする、それからレイテンシの少ないネットワーク、測位、月面エレメント間通信技術を扱い、惑星間インターネットとか月測位が重要になっていきますけれども、どうでしょうか。私はまだこの2つについてはイメージが湧かなかったのです。

○JAXA（佐々木理事） 言葉がちょっとよくないかなと思ってはいますが、惑星間インターネット技術と言うとかなり将来のような感じがするのですが、地球と月の間でも遅延とか切れたりするところがあって、それをいかに抑えながらネットワークを組むかというのがポイントだと思っていて、そういう意味では月の探査においても非常に重要な技術ということで必要であるとさせていただいています。

○常田座長 測位のほうは月面GPSみたいなものですか。

○JAXA（佐々木理事） そうです。これも実際進めていくためには、どうしても測位技術というのは探査においても必要だということで必要とさせていただいています。

○常田座長 委員の方、御意見を。

文部科学省。

○鈴木室長 測位技術についてなのですが、世界的なプロジェクトに入っていけるかどうかみたいな視点もぜひ大事かなと思っては、NASA、ESAでもう既に月測位についてどうやってやっていくかを始めていて、実証衛星なども飛ぶというような話がある中で、日本もいち早くつくっておくべき必要があるというところもあるかなと思っております。

山中センター長、もし補足等あれば。

○常田座長 測位のところですね。

○JAXA（山中センター長） 今おっしゃっていただいたとおりでして、風木局長の最初のところでもおっしゃってくださったのですが、日本の持てる技術で優位に使えるところは世界の仲間に入って行くという点かだと思います。それはタイミングを逸してしまうともう入れなくなってしまうので、今タイムリーに入って行くのが重要だと思っています。

以上です。

○常田座長 国際協力で測位をやっていく上で落とせないということだと思います。そうすると、小型軽量化の高周波の効率化というのは少し一般的だと思います。

○JAXA（山中センター長）そこは一般的な技術という意味において。

○常田座長 それから、惑星間インターネットというのは、月地球通信体系の中でのお話という説明がありましたけれども、どうでしょうか。本当に大事なところに重きを置くべきかと思いますので、どうですか。

佐々木さん。

○JAXA（佐々木理事）ここはネットワーク上、月としっかりとデータをやり取りするという意味においては非常に重要な技術だと思っていますので、ぜひお願いしたいと思います。

○常田座長 関委員。

○関委員 個別ではないのですけれども、月面探査・開発等における技術的優位性の議論で、確かにSLIMは成功しましたけれども、一般的に見て、NASAとかに比べて技術的優位性がこんなに全部あるのかなというのはちょっと不思議に思われるのではないかなという気もしていて、特にこれから実証予定とかいうものが本当に今の時点で技術的優位性とかがあるのかというのがご質問です。あまりにあることになっているものが多いので。

○常田座長 日本に地上技術の優位性があり、宇宙開発分野での先行獲得により日本が優位性を獲得できるということで、そういうことだと技術優位性がある、というのが含まれています。

○関委員 了解しました。ちょっと分かりにくいかなと思いました。

すみません、全体のコメントです。

○常田座長 今の文部科学省の説明で測位の重要性は皆さん納得したと思うのですけれども、インターネットというのはソフトウェア的な面があって、今、重要であるというものは何となく皆さんあったと思いますが、JAXAとしてはやりたいと。

○JAXA（佐々木理事）遠隔で遅延対策というのは非常に難しいところで、宇宙ステーションですら課題になっていますので、そこは重要な技術かと思います。

○常田座長 ここは取りあえず重要であるということにしたいと思います。

その上、惑星間インターネットの上に小型軽量化技術で高周波・高効率RFは検討することにしました。

月表面探査技術ということで、航法・誘導、走行、耐環境、はこれから必須の技術なのでしょう。

山崎委員。

○山崎委員 月面与圧ローバなどの開発を考えますと、これは国際的な大きな貢献の要素であり、日本にとって地上の技術を生かしていくという面では、確実にやっていくという意味で重要だと私も思います。

○常田座長 さっき関委員御指摘の技術的優位性についてですが地上技術では日本が優位だというだけで、これから頑張ってやらないと追いつけないということです。

⑥月資源開発技術ですけれども、テラヘルツ探索、月面資源探査技術、建設機械による整地です。建設機械によるというビジョンもあるものの、今ここがすぐ重要なのかというイメージを持ちますけれども、月面資源探査のところ、探査機による資源調査・掘削・採取技術というのは、ローバでやろうとしているから重要ですが、建設機械はジャンプがあります。佐々木理事、どうですか。

○JAXA（佐々木理事） ここはいろいろな議論があるところだとは思っています。ただ、JAXAに限らずいろいろな方々が頑張っている分野ですので、そこは我々というよりは、幅広い視点で議論いただいたほうがいいかなと思います。

○常田座長 皆さんの元気が出るようにしておかないということで、どうでしょうか。

○文部科学省（上田課長） この場に参加している文部科学省とかJAXA、宇宙科学研究所は月に対して意識は高いほうだと思います。一方、これから月面は関係省庁参加があり得る次のフロンティアだと思いますところ、必ずしも文部科学省の立場だけではない月があると思ひまして、そこは内閣府さん、全体の旗振りをされている観点からの御判断もあろうかと思うところです。

○常田座長 味方を増やさなければいけないので、ここは重要なものとしておいたらと。局長、何かありますか。

○風木局長 全体の中で判断したほうがいいかなと思います。

○常田座長 上の月周回資源探査というのは、周回衛星による表面探査が、かぐやに始まって、米国により2機の衛星で既にやっている面もあります。TERASというのが初めて出てきているのですけれども、このままで取りあえずはいいと思います。

月資源利用技術ということで、水資源、鉱物資源、宇宙無人建設、月面での食料生産について、資源採取のところはもう射程に入っているものの、推薬生成、鉱物、宇宙無人建設、月面での食料生産はまだまだ先の話で、こうなると最初の資源搾取はいいとして、残りについては分解能がなくて分からなくなってくるのですが、どうでしょうか。

○JAXA（佐々木理事） これも先ほどと同じように、JAXAというよりはもっと幅広い視点で、建設であるとか食料生産といった形で皆さん取り組んでいただいているので、そういう観点ではこのままがよいのかという議論をしておりました。

一方で手前のほう、資源の利用という観点でいくと、採取して、生成して、さらには鉱物資源利用もそうですけれども、使っていくという流れの中で、まずは採取があつて、それをある程度生かす、実際に何か物にしていくという時間軸に沿った形でしていただいているという2つの別の観点で考えています。

○常田座長 分かりやすい御説明で、取りあえずこれで置いておきたいと思います。

以上が国際宇宙探査・地球低軌道、月面探査開発等なのですが、全体を振り返ってどう

でしょうか。

さっきの科学のところと大分違うのですけれども、国際宇宙探査のほうはもう待ったなしの射程に入っている部分があります。ゆえにどうしてもこれをやりたいというのが細かく書いてあるのかと思います。あえてスタイルを今からそろえるのも大変で、これはこれで性質が違うということで、このままにしておくべきという気もいたします。

取りあえず次に行きまして、地球低軌道・国際宇宙探査共通というところで見たいと思います。まず物質補給技術について、自動ドッキング、航法誘導制御、補給効率向上、推薬補給技術ということで、めり張りをつけていただいてうなずける感じですが、どうでしょうか。すっと入っていく気はいたします。

回収・往還技術は、物質回収技術、これはISSの民間ステーションからの物質回収サービスを意味しているということです。有人往還技術は、まだ我々のアジェンダに入っていないところですが、回収というところがさっきと比べて一つ応用問題になっていると思います。

有人宇宙滞在・拠点システム技術（拠点構築、滞在、運用等）で、有人宇宙拠点構築、ポストISSにおける日本のLEOサービス、それから有人宇宙拠点基盤インフラ技術が有人宇宙拠点構築とどう違うのかといいますと、例えば後者は与圧モジュール技術で、前者は大型太陽電池技術ということで、日本でやるところと国際的なパートナーと分担してやるところというふうに分かれているのですか。

○JAXA（佐々木理事） そういう形と御理解いただければと思います。今、宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」でやっている部分と、NASAが中心でやっている部分という切り分けです。

○常田座長 生命維持・環境制御は今まさに取り組んでいるところであり、遠隔化・自動化・自律化を含む有人活動支援技術、さらに有人宇宙活動搭乗員訓練技術、健康管理技術ということで、次が有人宇宙設備運用技術、有人宇宙活動安全評価・管理技術ということです。有人宇宙活動搭乗員訓練技術は、ISSの経験でJAXAが持っている技術の維持・発展というイメージです。山崎先生、どうですか。

○山崎委員 そうですね。ただ、日本としてデータはきちんと蓄積を持っておくということは大切なことかなと思います。

また、前の欄のほうに戻ってもよろしいでしょうか。回収・往還技術の例えば物質回収技術について、こちらも例えば輸送系の機能の中で、これから基幹ロケットを維持・発展させていく中で、着陸再使用技術は欠かせないという流れになっています。連携している部分だと思いますので、物資回収技術に関しては非常に優先順位が高いのではないかと私は考えております。

同じ流れの中で、有人の健康ですとか訓練などについては、喫緊ではないかと思います。

○常田座長 今、山崎委員の御指摘になった回収・往還技術で、人間ではない物の回収というところは、これからISSを1段発展させるには、そういう新しいものがないとというこ

とで、本当にこのままでいいですかという問題提起だったと思うのです。

文部科学省のほうは何かコメントはありますか。

○文部科学省（鈴木室長） ありがとうございます。御指摘のとおりでして、非常に日本の強みになる可能性があるところかなと思っておりませんが、全体のバランスを見つつ、あと現状、物資回収技術はJAXAのほうで回収をやっていないということではなくて、運営費交付金の中でこれまでやってきた部分もありまして、それをどこまでどのように発展していくのかというところかと思っています。

○常田座長 永田先生、惑星間から再突入するはやぶさみたいな突入機と、ISSから例えば日本独自で物を返そうとしたときの突入機というのは技術が全然違うのですか。似たところがあるのですか。

○永田委員 突入速度は大分違いますので、はやぶさのほうはずっと大変ではあるのですが、技術的には、ただ、はやぶさもある意味狙っているところに落としてはいるのだけれども、落とせるところに落として、拾いに行っているという回収の仕方です。その延長線上で考えれば、同じ延長線上の技術ではあると思うのですが、それでいいのかなというところがちょっと気になります。

○常田座長 今の山崎委員のコメントは結構大事です。佐々木さん、どうですか。

○JAXA（佐々木理事） ありがとうございます。

我々としてはありがたいのですが、全体のバランスがというところはありません。

○常田座長 取りあえず仮に重要にしてみます。

戻って、今JAXAが持っているものの維持・発展というところは、山崎委員は維持したいというコメントだったと思うのですが、文部科学省も同じようなコメントですか。

○文部科学省（鈴木室長） 維持していくのは必要でございますので、維持していくものが、全くできなくなってしまうのは困りますということかとは思いますが。

○JAXA（佐々木理事） 我々として今、課題と思っていますのは、これから民間のいろいろな方が行くようになるという時代に今、すごく訓練をされて健康な宇宙飛行士が行っているのですが、ここは大きな差があって、そういうところをしっかりと丁寧に技術を高めないと、なかなか一般の人が行けるようにならないかなと思っています。

○常田座長 そこは訓練、それから健康管理、設備運用、安全、全部連動しているもので、このままで仮に置いておきたいと思います。

宇宙環境利用・宇宙実験ということで、中身を見ますとISSでかなり成果が出ている中でも引き続き重要ということです。宇宙実験効率化技術というものもありますけど、さっきと同じ考え方でいくと他と比べて十分ではないかという気もしますが、文部科学省、いかがでしょうか。

○文部科学省（鈴木室長） ありがとうございます。

実験を効率化しないと、今後、ポストISSになったら民間企業がやって競争になるという中で勝てないのではないかと考えていまして、セットなのではないかなと。自動化・効率

化して各技術をやるということと、与圧モジュールの部分については○にさせていただいておりますけれども、日本モジュール的なものをつくるのであっても、強みがないとなかなかつくっても勝てないということもありますので、宇宙実験自動化技術というのは、今後、日本がポストISSでも生き残っていくためには、なくてはならない技術の一つではないかなと思っております。

○常田座長 ISSでの実験には、いろいろな分野の先生方がおられて、民間事業者にとっても、ここは重要であるというメッセージを出したいということなのですね。分かりました。

事務局のほうで変更箇所の記録をつけていただいたと思うのですが、全体を通してやはりここはとか、さっきはこう言ったけれどもやはりとか、何かありましたら、コメントをお願いしたいのです。

何回か議論して、非常にイメージも湧いてきたし、書いてあるものはみんな大事だなというのは分かります。かなり役に立つ様になってきたかなと思います。

今日の変更点は、事務局が改訂して、懸案になったところ、意見が割れるところはポジティブにやらないといけないと思います。どうしてもという人が複数いる場合に、それを下げってしまうというのもちよっと違うので、よく考えさせていただくことにします。今後のスケジュールを考えたときに、メールで最終的にこうしたい、懸案のところはこういう理由だという形でやっていきますか。どうしましょう。

○松本参事官 これから来月にかけて、基本政策部会ですとか宇宙政策委員会のほうに素案レベルでお諮りをするという動きが動いていきますので、それと並行して、先生方のほうにこういう形にさせていただきますというのをメールで、基本的には常田先生と御相談させていただきながら、特段皆さんから強い意見がなければ、それで落ち着かせていくということで。

○常田座長 来週、こういうふうにしますというのを皆さんにメールでお届けしますので、もう一回意見を表明するチャンスがあると捉えていただければと思います。メール審議で決着させて、上の委員会の審議に移っていくということです。よろしいでしょうか。

それでは、その技術を開発すべき必然性や課題、それから個々の技術がどのようなものかについての国民にも分かりやすい説明といった点で、そろっていない不十分な箇所があるので、技術戦略全体の仕切りも考慮しつつ、内閣府のリーダーシップの下で、文部科学省、JAXAとも協力しつつ、文案を調整していくというふうにしたいと思います。

その調整作業が今まだ完了していませんので、調整後、委員の皆さんに見ていただいて、基本政策部会や宇宙政策委員会にかける案については座長一任としていただければと思いますが、よろしいでしょうか。

それでは、うなずいておられるので了承していただいたということで、本件につきましては来月中に基本政策部会や宇宙政策委員会において議論がなされる予定であります。

それでは、この議題については以上としまして、次に議題2「その他」に入ります。まず、Starlinkなどのコンステレーションが天文観測に与える影響について、国立天文台から話題提供があります。質問等あれば活発にお願いしたいと思います。

国立天文台の平松先生から御説明して、いただきたいと思います。

○常田座長 ありがとうございます。

質問、コメントがあればお願いしたいのですが、月の裏側まで電波規制を考えなければいけない時代になってとうとうなってきましたけれども、関先生。

○関委員 国際的な規制もしくは両立の動きがあるということなのですが、アルテミス計画とは別路線で中国も月探査をしていると思うのですが、そのような国際的な検討の中で中国はどのような立ち位置で議論が進んでいるか教えていただけますでしょうか。

○国立天文台（平松講師） ITUの議論の中では、もちろんITUは国連の一機関ですので、中国も参加しております。それから、このITUの中で電波天文を管轄する部会があるのですが、そこにも中国の参加者は出てきております。ただ、現状では、月面天文台に関する情報は少なくとも前回の会合においては中国からは情報は出てきていなかったと思っております。

直接私も中国の代表とこの件について議論したことはありませんので、今後、情報交換、意見交換を密にしていきたいと思っております。

○関委員 ありがとうございます。

枠組みとしては全世界が入って検討されているということで理解しました。ありがとうございました。

○常田座長 ほかありますでしょうか。よろしいですか。

平松さん、分かりやすい説明をありがとうございました。

○国立天文台（平松講師） ありがとうございます。

○常田座長 それでは、今日は幸い時間もあるということで、もう一件、宇宙科学研究所の観測ロケットにつきまして、宇宙科学研究所の羽生教授から御報告をお願いいたします。

○常田座長 ありがとうございます。

皆さん御存じのことかもしれませんが、羽生教授と宇宙科学研究所の努力で、最近難しい観測ロケットを使った実験が昔のような失敗がなくなって連続して成功しています。誰か一人ぐらい所感を言っていただけではないですか。

杉田先生、よろしいですか。

○東京大学（杉田教授） 今日は当たらないと思っていたのですが、困ったな。

杉田でございます。

ロケット実験、昔は非常にたくさんあったのです。昔と言っても50年前で、統計を私はつくったことが2～3年前ありまして、その頃が日本の宇宙科学というロケットの開発

にすごく大きな役を果たしているというのがすごく実感されるような数字でした。

その一方で、釈迦に説法ですけれども、最近は本当に1年に1発というような状況になっていて、かといって、回数だけ増やすというのもあまりよくないと思います。

そうした中で、今後、ロケット実験がさらに日本の宇宙科学あるいは宇宙開発の基盤をさらに伸ばすという点では、どの辺の技術の進展が大事、あるいはどういうサービスをユーザーに提供できるように変えていくことが大事だとお考えでしょうか。

急に難しい質問を振って申し訳ないですけれども。

○JAXA（羽生教授） どうもありがとうございます。

現在、観測ロケットはいわゆる一品物で設計、製造していくということで、非常に時間のかかるプロセスになってしまっているかなという印象があるのですが、一方で、今後は民間の方々もこういった小型ロケットの開発あるいは運用をしていくようになったとした場合に、それぞれに載せ方が違うとユーザーの方も困るのかなと思ったりもしまして、あまり標準化するのはよろしくないのかもしれないかもしれませんが、電氣的な結合の仕方ですとか、いわゆるコネクタを差す方法がある程度そろえていくとか、あるいは搭載物の大きさ、要するに包絡域をある程度共通的にしていくとか、民間の方の運用も損ねない形で、一定程度共通性を持たせるということが、ユーザー側からすると利便性が上がるのかなと思いますので、そういった取組をしていくことで、打上げ頻度という全体の数からすると増えていく側に持っていくこともできるのかもしれないと今、考えております。まだ現実的などころではないかもしれませんが、そういう利用の仕方はある程度考えておいたほうがよさそうかなと思っているところです。

○常田座長 ありがとうございます。

山崎先生。

○山崎委員 こうした人材育成の面でも、技術開発の面でも、とても大切だと思います。羽生先生に御質問させていただければ、インターンシップを毎年数名、それからJAXAからも公募ということですが、大体年度の中でどれぐらいの期間をこうした研修として指導してくださっているのか教えていただけますでしょうか。

○JAXA（羽生教授） 都合1か月半ぐらいになるのかなと思いますけれども、例えば我々が今、搭載物を事前の打上げ前に評価する試験をやるのですが、これが2週間程度。打上げ現場で組立てから打上げまで2週間程度、これで大体1か月なのですけれども、これに加えて座学研修のような形で1週間程度、そして成果報告という形で準備から報告まで1週間という、1か月半ぐらいの時間を使って研修を行っているというのが実態かなと思います。

○山崎委員 ありがとうございます。

さらに恐縮ですが、大体どれぐらい希望、需要としてはありますか。応募のほうが多いとか、キャパが間に合わないとか、その辺りの人数的なことも御示唆があればお願いいたします。

○JAXA（羽生教授） 今のところ、数名というのが実はちょうどいいぐらいになっていて、大学院生ですと修士課程1年生の参加がちょうど時期的によろしいのかなど。あるいは、博士課程でも初年度がちょうどいいということで、ここに在籍している学生の方で3～4名程度で毎年希望者があるということで、現場でもこの人数に対して指導していくというバランスからすると、ちょうどいい人数かなど。

あとは職員で希望が入ってきたとしても、学生ほどはこちらとしても負担が上がるほどでもないで、学生が3～4名いるというのがちょうど運営的にはいいと感じています。

○山崎委員 どうもありがとうございます。

ほかどうでしょうか。

どうぞ。

○JAXA（青柳部長） 宇宙科学研究所からなのですからけれども、今、羽生先生が言ってくれたのは、学生さんとかそういう関係なのですからけれども、オールJAXAで公募しまして、要はJAXAの技術陣、若い方々も入れますと10名程度、1機当たりに手を挙げてこられるのですが、今、オールJAXAとしてその取組は非常によいと考えていただいて、人数を増やそうと考えているのですけれども、先ほど羽生先生が言われたように、要は教える側の人数が足りないで、そこら辺も踏まえてどう変えていこうかというのが今後の悩みとしてあります。

○山崎委員 どうもありがとうございます。

○常田座長 ちょっと余計な話になりますけれども、私は衛星実験とか大規模な実験をやるプロマネとかは、必ず観測ロケット実験を1回通過してほしいと思っていまして、若い頃、S-520のPIをやりましたけれども、本当に震え上がって、1機合研するもので非常にしんどい思いをしたのですけれども、若い人と一緒にやったのですが、その後1世代分、1機のロケット実験で全員育ちます。今、太陽で活躍している人は全部そのロケット実験を通過しているということと、その後、若い人で今度は日本のロケットで間に合わないで、NASAのロケットを使ってホワイトサンズで実験して、それもうまくいきましたけれども、観測ロケット実験をやる国、機関はだんだん限られてきているので、ぜひJAXAに大いにやってもらいたいなと思います。

余計なことを言いましたが、よろしいでしょうか。

羽生先生、ありがとうございました。

○JAXA（羽生教授） ありがとうございました。

○常田座長 「その他」の議題は以上でして、こういうふうにオムニバスの時間に余裕があるときには話題提供をしてもらいますので、委員の先生方から何か推薦がありましたらお願いいたします。

本日の議題は以上でございますが、委員の先生方からほかに何か追加の御意見、御質問等ございますでしょうか。よろしいですね。

事務局、文部科学省、どうでしょうか。大丈夫ですね。

では、事務局から今後の予定などについて連絡をお願いいたします。

○松本参事官 次回の探査小委ですけれども、開催が決まった段階で事務局のほうから御連絡をさせていただきます。

また、技術戦略に関しましては、案文のほうは先ほどのおり座長預かりということで、また進捗のほうを御報告させていただきたいと思います。

以上です。

○常田座長 それでは、本日の小委員会は閉会といたします。どうもありがとうございました。