

◆JAXA 宇宙科学研究所 飛翔工学研究系研究主幹 教授

宇宙輸送ミッション本部 イプシロンロケットプロジェクトマネージャー 森田 泰弘

「イプシロンロケットの挑戦」

名前	内容
【モバイル管制について】	
質問者	モバイル管制は2~3人で、パソコン2台くらいで行うと聞いたのですが、イプシロン打ち上げの際には、管制室には人やパソコンのモニターがたくさんあったのですが、なぜでしょうか？
森田	今回のイプシロンの打ち上げの際の管制室の人数は8人です。パソコンの数は多く見えますが、前列の3人の前に何台か画面がありますが、これは2台のモバイル管制装置のディスプレイになります。このディスプレイの前で状態をチェックする人が2名とその2名の動作確認を行う監視員が1名なので、自動監視・自動点検を行うモバイル管制装置を操作するものは3人で、パソコンも2台で実際に行っています。しかし、映像に映っているその他の人たちは何をしていたかという、ロケットの打ち上げの全体を指揮するコマンダーが1名、射場の安全や警戒区域内に人や船舶が入っていないかチェックしなければならず、また実際に秒読みを行っていた人でもあります。その他コマンダー補助員も1名おります。ロケットの電子システムのスイッチの切替係が1名、指令電話の調整係が1名、発射台を出し入れ係が1名については、この3名につきましては、自動監視の状況を確認している3名がゆくゆくは行う予定ですので、いらなくなってくると思います。今回は8名でしたけど、本当に必要だったのはモバイル管制装置担当の3名とコマンダー、コマンダー補助員を併せた5名で、2号機以降も5名は必ずいるかと思いますが、残りの3名の作業は兼務する方向で考えています。一番後ろの私は何をやってたかといいますと、みんなの動きを見守っているだけで、実際には作業を行っているわけではありません。なので、今回のカウントには入っていません。
【イプシロン初号機の打ち上げ後の課題について】	
質問者	イプシロン初号機の打ち上げで課題となったことがありましたら教えてください。
森田	今回は大きな課題はありませんでした。イプシロンは4年間みっちり研究を行って、3年間みっちり開発を行い、7年間という長い時間をかけてしっかり研究開発をしてきた最新ロケットなので、大きな課題はもともと無いと思っていたんですが、発射の直前の延期等があったその後18日間、ロケットの設計に立ち返って点検し直したうえで打ち上げに臨みました。もともと自信はあったのですが、今回は自信のとおりの結果が今回得られました。私は今回、ロケットの飛行状態をしっかりモニターしていたんですが、本番はまるで練習であるかのように淡々とすべての作業が進んでいったというような感じでした。今までのロケットの打ち上げでは必ず、ひとつやふたつ薄氷というのがあって、どっちに転ぶかで運命がきまるというようなことがあったものですが、今回それが見事に無くしっかりと上がったというのは7年間のみんなの努力・研究の成果だと思っています。飛行のデータとしては、実際に飛んだデータが沢山得られましたので、衛星にとっての乗りごちや使いやすさという観点でイプシロンはいろいろ工夫していて、それが生のデータとして得られましたので、今後、人工衛星にとってどういう乗りごちかということデータを沿ってお伝えすることができるようになりました。
寺田	私は広報をやっていて、今回の打ち上げが15分延びたことについて、パブリックビューイングなどに理由をすぐに皆さんにお伝えできなかったということと、グーグルマップの上のロケット飛行表示について、動きが悪かったということをご指摘いただいているので、次回改善していきたいと思います。

【イプシロン2号機の打ち上げと人工衛星の積載について】

<p>質問者</p>	<p>イプシロン2号機の打ち上げはもう決まっているのでしょうか。 また、人工衛星の積載は1機1.2トン以下だと何機見込めるのでしょうか。</p>
<p>森田</p>	<p>2号機の打ち上げは再来年の冬です。少し時間が空きます。イプシロンの開発は2段階に分けて、段階的に進めることになっていて、今回のイプシロンの目的は「モバイル管制」で、新たな技術にいち早く挑戦するということが大事でした。第二段階の目標は、抜本的にコストを下げること。いわゆる「低コスト化イプシロン」というのを、個人的な希望になるかもしれませんが、2017年度ぐらいに実現できたらいいなと考えています。低コストの技術というのは、軽く・小さく・安くということですから、「安く」ということを目指すと自然に小さく・軽く出来て、ロケットの性能というのは自然に上がってきます。性能を上げてコストを下げるという研究開発になるんですけども、どのくらいのコスト・性能を狙うのか、開発の予算が必要になってきて、現在、政府と予算調整中ですが、このまま予算が決まらなると技術の進歩が遅れてしまうので、いくつかの研究を先行的に2号機に当てはめて、実習してみようとしています。いきなり2017年度ぐらいに予定している「高性能・低コスト化イプシロン」にいきなり挑戦するのではなく、大事な技術は、いち早く2号機から適用して、それで実習してみようと考えています。そういうことで2号機は次のステップへ向けて、より高性能・低コストの技術をしっかり、部分的に開発して実証するということになります。日本や外国を含め、小型の衛星はどんどん増えてきています。そういったものを3号機とか4号機などで上げて、信頼性・実績をどんどん積み上げていきたいという風に思っています。ですから、沢山打って信頼性を上げると並行して、高性能低コスト化という技術を提供していきたいと思っています。2つ目の質問の「人工衛星が1機1.2トン以下だったら、何機も積み込めるのか」というのは、打ち上げる軌道や衛星の重さによって変わってくるんですが、最大1.2トン上げられます。これは地球の周りをギリギリ回るような軌道ですが、そのような軌道だと最大1.2トンで半分の600キロの衛星だったら2個上がります。ですので1.2トンというのはあくまでも合計値です。1.2トンの衛星というと大きくて作るのが大変なので、500キロくらいの衛星を作りたいという人が多いんです。ですから500キロの衛星を2個、重ねて打つというのもイプシロンでも検討しています。そういうことで1回ごとのコストを減らすという作戦も合わせて考えています。</p>
<p>寺田</p>	<p>補足ですが、資料に「2015年12月はERG、次の衛星は「TBD」とありますが、「TBD」とはまだ正式には決まっていないということです。ですのでそこを目標に今開発しているということです。</p>

【JAXAへの就職について】

<p>質問者</p>	<p>将来JAXAの管制室で働きたいのですが、イプシロン式管制になったことで、人が50人から3人になって、働くのが難しくなったのでしょうか。また、管制室で働く為に今からやった方がいいことはありますか？</p>
<p>森田</p>	<p>ロケット開発や宇宙開発に必要な人の数事態が減っているというわけではなく、あくまでも発射の瞬間の作業を効率的になったということです。ですから、イプシロンの管制室に入りたいということであれば、競争率が上がってしまったということは確かです。ただし、実際のロケット開発で「打ち上げを支える人」というのは、発射の瞬間に管制室の中にいる人だけではありません。ロケット開発には色々な種類の仕事があって、その集大成で出来上がっています。イプシロン発射時に管制室の隣には沢山のエンジニアの人達がいました。万が一、発射の瞬間に何かあったら機械が自動停止しますが、その瞬間にその人たちが原因究明して対策を教えてくださいようになっています。ですから機械がやってくれることはだんだん増えてきていますが、</p>

	<p>どうしても人間がやらなくてはいけない仕事というのもある、それこそロケット開発の基本的なところを支えている部分です。ですから、目標を「ロケットの管制室に入る」という狭い部分ではなくて、ロケット開発全体に貢献するというような、大きな視野で考えてもらえたらよいという風に思います。そういう意味でいうと、ロケット開発はいろいろな分野・技術の集大成なのです。よくロケット開発をするためには何をやっていいですかという質問を受けますが、それに対する答えはなくて、好きな勉強があるとしたらそれを一生懸命やって、その分野とロケット、あるいは衛星との関わりをゆくゆく見つけていってほしいと思います。それは必ず見つかると思います。そういう意味では将来、ロケット・衛星の開発をやりたいという高いモチベーションがあるのであれば、自分が好きな分野の勉強を見つけて、それを一生懸命やるというのが一番の近道だと思います。僕もいろんな分野が得意というわけではなくて、ひたすら理科なら理科をやりました。それしか好きな分野は無かったんですが、結局、今はそれがロケット開発につながっていると思うので、ぜひ、好きな分野を見つけてください。</p>
川口	<p>何をしておけばよいかというのはあまり考える必要はないと思います。何をしたいかというのが重要なので、そのあとに必要なことは身に付けていけばいいと思います。だから「この道に進みたいから何が必要か」ということだけにとらわれてしまうと、窮屈になってしまいますので、伸び伸びやってほしいです。</p>
【有人ロケットの打ち上げ時期について】	
質問者	<p>「イプシロン」や「こうのとり」などの無人ロケットは日本から打ち上げが行われているんですけど有人ロケットの日本からの打ち上げはいつになるのでしょうか。</p>
森田	<p>希望的観測を述べてしまうと、「こうのとり」みたいなものは、たぶん人が乗れるような仕組みを潜在的には併せ持っているので、「すぐに人を乗せますか?」「日本も有人飛行させますか?」と聞かれたら、「イエス」と間違いなく答えるんですが、宇宙開発・ロケット開発・衛星開発とかそういった世界の中で、我々がやりたいことはたくさんあります。みなさんがやってほしいこと、みなさんが将来やりたいこともたくさんあると思います。そのすべてを全部やるというわけにはいかないの、一体何をみんなで一生懸命やったらいいのかということ考えることが大事です。そういう意味では「有人をやりたい」という人ももちろんたくさんいて、そういう人たちが色々な人たちの理解を得て、進めていっているということも確かなので、有人飛行に貢献したいとか、将来日本で有人飛行をやってほしいと思うなら、そういう人たちを応援してほしいと思います。技術としては日本は十分にそういう領域に達していると思います。</p>
寺田	<p>若田宇宙飛行士が宇宙に行く「ソユーズロケット」というのはHII-Aロケットと大きさはほとんど同じくらいなんです。ですから、日本もそういうロケットの打ち上げ技術があるんですが、あとは安全ですとか信頼性ですとかそういうところを見極めていって十分大丈夫ということになれば可能だと思います。これを開発するにあたり皆さんの支持やサポートがないとできないので、みなさんから応援してもらうことが大事だと思います。</p>
【ロケット部品の製造について】	
質問者	<p>一段ロケットは種子島で製造したと聞きましたが、部品は種子島の宇宙センターにどのように置かれていたのでしょうか。</p>
森田	<p>順番にお話しすると「ロケットの本体の1段目を最後に種子島で作って内之浦に送りました」というのは確かです。一段目のロケットは、まずロケットのケース、胴体を作っています。胴体を作っているのは群馬県にあるロケット工場です。群馬県の富岡という町の工場です。ロケットの胴体を作って、それを種子島に送って、種子島でそこに燃料（固体燃料）を中に詰めて運ぶというようなことをやっています。ですから、種子島ですべて作り終わるわけではなくて、い</p>

	<p>ろいろなところで作ったものを種子島に一時送って、最後、種子島で燃料を詰めて内之浦に持ってきました。ロケットの本体以外にも電子部品など、いろいろな電氣的な製品があります。そういうものは、日本中のあちこちで作って、自動車・トラックで運んでいます。いろいろなところでロケットの部品を作って内之浦に運んで組み立てています。</p>
【打ち上げの際の広報について】	
質問者	<p>ロケットの打ち上げは興味がある人が多いと思いますが、TVの放送とかYouTubeでしか見られません。内之浦と協力し、見学場所を作るなどして、もっと大々的に売り込んでいただけるといいなと思っています。広報の方を宜しくお願いします。</p>
寺田	<p>私は打ち上げの際、東京の方で記者の対応などをしていたんですが、内之浦には2万人くらいいらっしゃるってすごく大変だったと聞いています。</p>
森田	<p>私もぜひそういう方向でJAXAの中でもまとめて進めたいと思います。今回の打ち上げで天候以外の問題に関しては「しっかりと決められた日にち、決められた時刻で打つ」ということになり自信が持てましたので、次回以降は安心して皆さんに応援していただけるような枠組みをしっかりと作っていききたいという風に思っています。</p>
【垂直発射について】	
質問者	<p>イプシロンロケットを打ち上げる際にランチャーを傾けずに垂直に発射するのは、何かメリットがあるのでしょうか。</p>
森田	<p>歴史的に日本の固体ロケットを斜めに打っていたというのは、いくつかの理由がありました。人工衛星が軌道に乗ることを考えると必ずロケットのスピードというのは地面に対して平行になります。ということは斜めに打とうが垂直に打とうがロケットは傾けなくてはいけないので「だったら最初から斜めに打とう」というのがこれまでの打ち方でした。特に日本で最初に人工衛星を打ったロケットは、一段目に誘導制御の機能がなかったので、最初から斜めにしておかないと、斜めにする機能がないので、人工衛星を軌道に乗せることが困難でした。イプシロンは1段目から誘導制御の装置が載っていますから、垂直に打ってもすぐに自分の好きな向きに変えることができるので、ここで初めてイプシロンで考えました。性能だけで考えたら斜めに打った方がよさそうな部分もありますが、「シンプルに打つ」という観点でいくと、ロケットは必ず垂直に組み立てていきます。ですから垂直のまま打つのが一番簡単で、斜めにするのは、皆さんからするとどうってことのないような作業に見えますけれども、色々大変です。ですから、出来るだけ打ち上げシステムをシンプルにするという観点では垂直のままがいいという考えになりました。</p>
【イプシロンの軌道修正について】	
質問者	<p>人工衛星をイプシロンで軌道に乗せるとき、ズレがあった時にちゃんと直せますか？</p>
森田	<p>イプシロンは内之浦で発射して、南米ブラジルの上あたりで衛星を分離するのですが、必ず1段目2段目3段目が燃える過程で、軌道がズレてきてしまいます。それを修正するための機能というのが絶対に必要で、それが今回イプシロンでは秘密兵器の第4段ロケットです。固体燃料ではなくて、小さな液体エンジンになります。本当に小さくて、ロケットの向きを整備するために載せていたんですが、それを軌道を直すために使います。今回、実は1段目、2段目、3段目が燃える過程で少し軌道がズレてしまったんですけども、第4段ロケットのおかげで軌道がぴたりと元に戻りました。図の赤い軌道がイプシロンがもともと載せたいと思っていた軌道で、緑が実際にイプシロンが飛んだ軌道です。少しずれている部分がありますが、最後、衛星を分離した時には赤い軌道と緑の軌道がぴたりと一致していると思います。こういう工夫をすることによってイプシロンは軌道がちょっとずれても大丈夫なようにしてあります。これに</p>

	よって、最終的な衛星の軌道のズレは数キロ（5～6キロ）でした。広い宇宙空間の中で5キロは小さいもので、そのくらい高い精度で今回イプシロンは衛星を軌道にのせることができました。
--	---

【森田先生の座右の銘について】

質問者	様々な苦勞を乗り越えてのイプシロンロケットの成功だったと思うんですけども、森田先生が乗り越えていた際に、座右の銘があったら教えてください。
森田	ペンシルロケットを始めた糸川先生の言葉で「人生に最も大切なものがあり、それは逆境と良き友になれ。」です。逆境にならなければ人間で死ぬ気になって努力できない。その時、たった一人だと何もできないけど周りには友達や仲間がいる。仲間と一緒にだったらどんな事でも乗り越えられる。という二つの言葉です。逆境みたいなことがないと、なかなか人間は進歩できない。かつ、一人でその逆境を乗り越えることはできなくて必ず仲間が必要だ。その二つのことを糸川先生は人生で一番大事なものとおっしゃって、僕も本当にそう思います。特に M-V ロケットを引退してから、イプシロンを打つまでに7年間ありましたが、本当に大変な7年間でした。モバイル管制装置をやりたいって言ったものの、「そんなもの作っていったい何の意味があるんだ」と散々言われた時もありました。その時に僕が思ったのは「これは逆境に違いない。これを乗り越えればきっと、いいロケットができるんだ！」そうひたすら思い続けました。しかも一緒になって僕と頑張ろうとしてくれる仲間が大勢いてくれたことが、本当に有難かったです。そういう意味で、みなさんも色々壁にぶつかったりすると思うんですけども、壁にぶつかったときにそれを乗り越えようとする強い意志というかエネルギーが皆さんを成長させる一番の源だと思います。ですから、何かつらいことがあったりした時に「嫌だな」って逃げるのではなく、とりあえずその壁を乗り越えろとか、あわよくば、その壁をぶち破ってしまうような何か方法を考えるようにするといいいのかなと思います。その時は一人では大変なので、友達や家族に相談したりして、必ず一人でしょい込まない。広い視野で考えられるように、いろんな人と考えながら進んでいくということが大事なのかなという風に思います。ぜひみなさんもいろいろな精神の壁があると思いますけれども、くじけずに明るく、楽しく乗り切ってください。

◆JAXA シニアフェロー

宇宙科学研究所 宇宙飛翔工学研究系 教授 川口 淳一郎

「はやぶさ」が挑んだ人類初の往復の宇宙飛行～その7年間の歩み」

名前	内 容
【はやぶさの目的と成果、民間委託について】	
質問者	「はやぶさ」について映画もマスコミの報道も、サンプルリターン出来たというところ終わっています。実際にはサンプルからどういった情報が見られ、どのような宇宙開発に役立てるのかという本来の目的について、一般人の耳には届いていないのが現状だと思います。現状はどういった情報があり、何が分かっているかなどを聞かせてください。 また、宇宙開発に関して、先ほど川口先生は「なかなかビジネスレベルで宇宙開発をしていくことがまだ困難だ」とお話がありましたが、海外ではNASA がスペース X 社に委託していたりします。日本でも民間企業が参入してくることがまだできないのかということが疑問なんですけど、今後 JAXA としては民間企業への委託、コスト削減に関してはどのようにお考えでしょうか。
川口	はやぶさの分析の成果については、きちっとお話をしているつもりではおります。成果が例えばサイエンスやネイチャーであれば、そういう場で話をさせていただいています。国際公募で、

海外の研究者に2回にわたりサンプル分析をしてもらったり、成果はたくさんあがっています。が、論文など「学術書」として書かれてしまうと、内容が非常に難しくなってしまう、一般人には理解することが難しくなってしまう。簡単に目的をお話しすると「地球の中身を知ること」です。地球の中身は誰も知りません。地球の中身というと岩でできているなどと思いがちですが、それは大間違いです。岩は比重（密度）が3くらいです。ガラスでできています。実は地球の上にあるものはほとんどガラスでできています。砂も土も石英でできています。不純物などで透明には見えませんが、要するにガラスの上に私たちは住んでいます。ですが、地球全体の比重というのは倍くらいです。地球というのはもっとはるかに重い材料でできていますが、私たちは地球の中身がどうやってできているか知らない。中身を知らないのに地震がどうやって起きるかなんて、わかりません。それを知るために小惑星に行っています。小惑星に行くとき重いものが下に沈んでいないので、小惑星から一番表面のものを持ってくればいいわけです。そうするとこの小惑星はこういう材料でできていて、そして地球を作った材料はそれがどのくらい含まれているので、地球の中身はこうなんだといえるようになる。簡単に言えば、それをやろうとしています。持って帰った試料で「どういう元素・鉱物でできているか」ということを色々探しているし、そしてそこに残された例えば、かつてガラスになって溶けてしまったような構造が残っているかないかなどを調べようとしている。その成果は着々と上がっています。国民の皆さんに伏せているわけではなく、専門の学術論文になってしまっているので語るには難しすぎるというところをご理解いただきたいと思います。先週もサンプル分析に関する国際会議が相模原であって、海外の試料分析を依頼した研究者が集まってシンポジウムが行われていました。何回にもわたり、国際公募でもう一度試料を分配していこうとしています。

それから、私が「宇宙開発がビジネスになるには難しいんじゃないか」といったことについて、少し誤解があるかもしれません。たとえば今、ロケットの打ち上げが安く上がるとしたら大変良いことで、同じ税金の中でやれることが増えるということです。ですが、世界中でロケットの静止衛星の打ち上げは何回あるのか。全世界まとめて50回くらいです。そのうちの何割かは国策でうちあげているので市場に開放されることはありません。市場に開放されているものは約半分くらいしかありません。では、その半分以上を全部独占して打ち上げたとして総売り上げは×100億円くらいです。そうすると、おそらく宮崎県の予算1500億円くらいに匹敵するお金です。そして純利益はそのうちの数パーセントに過ぎません。ですから、それを一つの会社が独占したとして、その会社がもつかもたないかというビジネスです。「ファルコン9」や「スペースX」など最近では色々な輸送物資の打ち上げがあります。しかし、やってる人は全部NASAの退職者とか大きな会社の退職者が主です。民間といいながら政府が資金援助して開発しているんです。アメリカは国の政策として必ず最後は商業利用にならなければならないのが約束です。資本主義の原理です。政府が援助してでも、とにかく民間が行うという形をとらなくてはならない。ですから、そういう形を取ろうとしています。センターの発射設備だって全部民間のものではありません。そういうものというのは「なかなかビジネスになろうとしてもなり得るものではない。」というところにむずかしさがあります。アメリカは、内需でほとんどのことができるというのが大きな違いです。どんな経済でも内需で持てる国がどんなに強いのか、為替ルートなんて気にする必要がない。内需がないから一生懸命為替ルートを気にしているだけ。アメリカは結構、内需が大きいんです。こういう産業でも影響を受け商業用でも通信衛星・交信衛星を打ち上げる需要はたくさんある。だから、ある程度できる。日本でやろうと思っても、とても難しいことだと私は率直に言ってそう思っています。ただ、いずれ商業利用になるんでしょ

う。民間がたぶん産業として力を携えてくると思います。儲かるというか、商業的な価値があると思ったら、民間企業がちゃんとやってきますね。間違いありません。ただ、国の機関 JAXA としてはそういうことの妨害になってはいけない。そういうことに対して積極的に転がるように後押ししていこうと思っているわけです。イプシロンもそうです。新しいロケットの打ち上げとか宇宙開発の技術を提供してそういう風な転がるようにしていこう、足かせになってはいけない。日本の産業界が世界に繰り出せるように力をつけておくと一緒にタイアップするんです。

#### 【ロケットの材質と重力問題における設計の違いについて】

質問者 ロケット船体の材質的なものについて、何でできているのでしょうか。また、衛星の機体で金色が多いのは何故かでしょうか。ロボットの動きなど、重力のある地上と無重力空間における機械の設計の違いなど、根本的な違いはあるのでしょうか。

森田 イプシロンは結構改革をしていますが、ロケットの材質はまだ意外に古く、アルミの組み立て構造というのは結構あります。アルミの部品は小さなものを沢山作って工場で組み立てるといのが、現在まだあります。イプシロンでは打ち上げシステムの改革をしましたが、第二段階では、もっとコストを下げて性能を上げるという改革を検討しています。その中のひとつが製造プロセスの改革です。具体的にはアルミの合金を組み立てるのではなくて、たとえば CFRP みたいな、簡単に言うとプラスチックみたいな製品で組み立てがいないような形で増やしていこうとしています。最終的に組み立て終わったらこういう形というのを念頭に入れて、最初から型にはめて作ってしまう。これを私たちはガンプラ方式と呼んでいるんですけども、要はあのガンダムのプラモデルのようにロケットの組み立てを簡単にできましようということ今考えています。そういう意味ではロケットの材質が今どうなっていますかというのは大事な質問で、これまでの古いロケットの作り方が今新しい作り方に変わろうとしていて、その過程で材料の金属製がプラスチック製に置き換わろうとしている。そういう変革をまたイプシロンの次のステップで我々はやろうとしています。

川口 「あんなに金を使っは高くなるのは当たり前だ」と言われるかもしれませんが（笑）しかし、あれは断熱材の色です。断熱材というのは「ポリイミド」という高分子の材料でできています。なぜポリイミドを使うのかというと宇宙空間に使える材質というのは、ポリイミドしかないといいいいです。その種類は透明や黒いのもありますが、多くは黄色っぽい色をしています。断熱材は外からくるものを反射するように作るの、後ろにアルミニウムを蒸着っていう薄い膜をはって、見ると光が後ろのアルミニウムに反射して戻ってくる為、あたかも金色に見えるということです。けして金を使っているわけではありません。

宇宙・無重量空間と地上との違いについて、問題がもちろん色々あります。まず、ロボットを動かすモーターの熱が宇宙では熱は逃げていかないという問題があります。ロボットということでいくと宇宙らしい特徴は、力学的な特徴は嘘をつかないでそのまま出してしまうということなんです。どういうことかという、たとえば宇宙飛行士が宇宙浮遊しながらねじを回そうとしたときにネジは回らない。ネジを回そうとすると自分が回ってしまう。要するに地上では重力や摩擦があるために色々なことがそれを助けに動いているんですが、それがままたなくなってしまうということです。たとえば体操の白井選手が4回ひねりをやりましたが、あの動きは地上を蹴ってただひねっているわけではありません。あれは前向きに回転する際にちょっとだけ主軸をずらしています。主軸をずらすと身体が芯の軸周りに回転角速度が生じてクルクル回るんです。実はこういう運動をしながらでないと、身体は絶対にひねることはできません。それは力学なんです。そういう運動というのは宇宙空間ではそれがそのまま出てしまいます。

	地上ではひねるにも、ひねらないようにするのも、摩擦を使ったりしますが、そういうことは宇宙空間では不可能です。宇宙空間では力学的な特徴が、本当に無くなってしまふのが大きな特徴です。これは面白いところです。ですから、地上と宇宙の動きとは全然違います。
寺田	衛星は、最近では金色の衛星だけじゃなくて、黒い衛星も多くなってきています。電子が帯電することを嫌って、カーボン（炭素）が織り込んである、そういう黒い衛星もありますので、ぜひそういうのも注目してください。
【原発問題への JAXA の技術協力について】	
質問者	宇宙は放射性物質でいっぱいですが、JAXA の力で福島原発の問題を助ける方法は無いでしょうか？ それができれば、JAXA の開発にもたくさんお金が集まりそうな気がします。
川口	JAXA の懐事情を救ってくれるような非常に良い質問です。（笑）宇宙は放射線がたくさん飛び交う環境ではあります。放射線とはたくさん種類があり、たとえば電子線もあれば電磁波もあれば陽子とか中性子とか、それが飛び交う世界です。地球は大気や磁場がありますので、直撃を免れているという環境にあるわけです。宇宙に満ちているというよりはそういうものが飛び交う世界です。実際に宇宙飛行士が宇宙空間で被ばくする量というのは、一日で約 1 ミリシーベルトの被ばく量で、一般の人の半年分の被ばく量になります。宇宙飛行士はたいへんな職業です。福島原発の問題に対して宇宙がどう役に立てるか。私も率直にそのとおりだと思っています。非常にショックだったのは、かつての科学技術庁の仕事が原子力と宇宙に関することだった。文化が全く共有されていなくて、本当に残念に思います。宇宙開発はアクセスや修理は絶対できない。国際宇宙ステーションに滞在している宇宙飛行士は問題が起きても、その場でちゃんと対応ができるように作ってあります。福島原発では現場に行ってもう一回修理したり、アクセスできたりするのが当然のようにシステムができていて、とても驚きです。かつて同じ開発に携わっていて、文化を共有されていたはずなんですけど、それが共有されていないということでした。宇宙開発はそういう分野のしくみ、そういう文化のビジネスですのでシステムの作り方、バックアップの立て方ということについて、きっと貢献できる場所があるに違いないと思っています。宇宙ステーションを作る感覚で原子炉を作っていたら、こんな危ないことは絶対にできないとそういう風に思っています。
寺田	宇宙飛行士の人は大変たくさん放射線を浴びると話がありましたが、たとえば今一つ火星に行くことも有人ミッションの目標としてあるんですが、火星に行き帰ってくるには 1 年くらいかかってしまうので、ものすごい量の放射線を浴びてしまうので、それを浴びずに、あるいは防御できるというものができれば、それはきっと放射線の対策にもなるのかなと思っています。
【宇宙へ飛べる飛行機の開発について】	
質問者	僕は 6 年後に就職の時期を迎えるのですが、その頃に宇宙関係の飛行機と今の普通に飛んでいる飛行機の開発が間に合うのでしょうか。JAXA は基本ロケットや衛星を主に作っていると思うのですが、宇宙に飛行機で行くとなったら、効率面とかボーイングとかの方が JAXA より経験を積んでいるので、今のところ有利ではないのでしょうか。
川口	航空機とロケットが融合する時代の話はさせていただいてますが、先ほど言ったように宇宙輸送というのは宇宙空間に行く輸送のことです。だけど、スペースシャトルがそうだったように、宇宙空間に輸送するだけでは実はダメなんです。実はそのために使われるためのエンジン開発とか輸送系開発というのは、もっと商業的な利用を考えて作るべきだという説明をさせていただきました。「スペースシップ 1」というアメリカのベンチャーが開発した宇宙に行き帰ってくる有人のサブオービタルです。そうしてくると人間が民間で宇宙飛行できるかと思いがちですが、ロケットというのは決して性能のいいエンジンではありません。ロケットエンジンはも

	<p>ともと空気がないところで使うんですが、太平洋を横断する飛行というのは、ロケットでいうと人工衛星を発射するのと同じくらいの加速が必要です。そうすると「H2A」で少なくとも100億円、2人乗りだとすると一人片道で50億円かかってしまいます。これは使い捨てロケットだからです。しかも着陸時に空港が混んでいても、落ちてしまうので待てない。だからロケットで将来の大陸間輸送ができるわけがないと思っています。空気がないところで飛べるように、たとえば酸素を自分で持っていく、あるいは翼を持って飛んでいくということが必要だと思います。大きな加速を得るためには、燃料を運んで行って、いらぬ部分を切り離していかなくてははいけない。これが多段式ロケットです。自分より大きな推力をずっと出さなければならないので、ロケットというのは高い圧力で燃焼させる必要があります、耐久性が落ち、使い捨てになってしまう。でも、もし空気を圧縮するメカニズムを入れることができれば、酸素を運ばずに空気を吸い込むようにできたら、翼をつかって揚力を使ったらどうなるのか。こうするともっと効率のいい繰り返し使えるエンジンが出来上がるわけなんです。これが極超音速ジェット機です。極超音速というのは音速の5倍から10倍くらいの速さで飛ぶ輸送機です。未来の飛行機ってこうなるはずだと思っています。30年も40年もかかるかもしれませんが、いずれそうなるでしょう。そういうエンジンが出来上がって機体が出来上がると、ロケットの一段目はこれに置き換えられるということです。そして、上にロケットを積んで人工衛星を打ち上げるようになる。そういう時代が来るとしています。どうしてこの方向に世の中が動き出さないかという、それは30年も40年もかかるものにそんなものにお金を出せますかという人が多いからです。しかし、ぜひ考えていただきたいのは、将来見るべき方向は何かです。相変わらず翼も持たずに酸素も全部運んで、そして空気を圧縮することが何もない、要するに別サイクルの機関として存在しない形のものを飛ばしているようでは駄目だということです。ですから、新しいエンジン、輸送機関というのを作らなくてはならないというのが世界中の大きな課題だと思います。こういう極超音速のジェット機を日本で作ることができたら、物流の大変革を起こして世界中のビジネスを変えていくかもしれません。こういうことに日本は積極的に投資すべきだと私は思っています。</p>
<p>森田</p>	<p>私も川口先生と全く同感で、将来の方向性としては空気を使うロケット、先ほどの私の話では「飛行機のような身近なロケット」という風に言いましたけれども、全く方向性は同じです。なかなか予算をつけてもらえないのも、JAXAの中でなかなか研究費が付かないのも全くその通りで、「苦肉の策」というと怒られてしまうんですけれども、そういった将来の方向性を実現させるための一歩として、イプシロンでは打ち上げシステムの中でモバイル管制というのを作ったんです。それで我々としてはこういう大きな将来の方向性に対する小さいながらも一歩と考えているんです。ですからみなさんも、今日お話を聞いて帰られるとしたら未来のロケットというのは、今のロケットとはどんどん形が変わっていくんですよ、そういう風にご理解いただけたらいいなと思います。</p>
<p>寺田</p>	<p>JAXAも確かに航空機もあります。それでJAXAの中でですね、航空分野とロケット輸送系の分野と協力して新しい輸送系のコンセプトを考えているところです。ぜひそういうのも注目してください。</p>
<p>【はやぶさの観測について】</p>	
<p>質問者</p>	<p>はやぶさは地球の大気圏に入って燃え尽きたんですが、初めの予定では突入しないでまた観測を続けると聞いたのですが、その観測とはどのような事を観測する予定だったのでしょうか。</p>
<p>川口</p>	<p>はやぶさは地球に帰ってくるときに自分が大気圏に突っ込まなければ、もう一度地球に戻ってくるという計画が作れました。もう一度戻ってきたときに、自由な方向に飛び立たせるという</p>

ことができ、他の大きい星とか、小惑星、そこに向かわせることができ、そこでまた観測ができる。残念なのはイオンエンジンの燃料は残っていないかもしれませんが、そういうほかの天体に向かわせて、飛行して観測させるような計画が継続できたということです。実際にそれをやるためには瞬発力のあるエンジンが動かなければいけなかったんですが、燃料が漏れだして残っていなかったので、やむを得ずカプセルを送った直後に燃え尽きました。

#### 【飛翔工学研究系とその他の研究系について】

質問者	川口さんと森田さんの言う「飛翔工学研究系」というのはどのような研究をしているのでしょうか。また、そのほかの研究系があったら教えてください。
森田	「飛翔工学研究系」というのは、こういうことをやってますというよりも、新しいアイデアをどんどんやっていく研究という風に思っています。やれるとわかってからやるのではなく、やれることからどんどんやって、自分たちができる領域を広げようと、そういう研究系です。その中でも目指す方向としては、「深宇宙探査」といって、はやぶさの次に位置づくようなもっと新しい宇宙船を作るとか、将来の飛行機のようなロケットを研究するといったテーマもあります。ですから遍く宇宙に飛んでいくシステムについて研究する。それはロケットであろうと探査機であろうと区別はありません。他には「探査機工学研究」、探査機に搭載する電気の部分の最新化やロボットの知能進化についての研究など、要するに飛んでいくものに乗っている頭脳みたいなものをどう考えていくか、そういった研究系もあります。この二つが主に工学系というかエンジニアに近い部分で、あとは太陽系の研究をするとか、あるいはX線とか赤外線の研究とかそういうものは天文系でいわゆる工学とサイエンスという形で混在していると、そういった研究系になっています。

#### 【「はやぶさ2」について】

質問者	本に載っていた2つ目のはやぶさは本当に打ち上げられるんですか。また、二つ目のはやぶさと、この前帰ってきたはやぶさは何が違うのでしょうか。
川口	はやぶさの後継機が「はやぶさ2」という名称で呼ばれていることについて、プロジェクトが進んでいる中ではコードネームで呼ばれているので、打ちあがる前に名前がついていることはあり得ません。はやぶさは「MUSES-C」というコードネームでした。私は名前を付けるときに誤解を防ぐため、「はやぶさ2ではなくて違う名前を付けろ」と言いました。はやぶさは実験機で、これから本番なので「はやぶさ2」とつけるのはおかしいと思ったからです。しかし、「はやぶさ2」がいいということになってしまい、少しがっかりしています。はやぶさの後継機はちょうど1年後の来年後半に打ち上げようとしています。だからもう間近です。今月からは最後の組み立てと総合試験、最後の試験が始まります。「はやぶさ」と「はやぶさ2」との違いについて、まず向かわせる小惑星が違います。イトカワは石の天体でしたが、地球は石だけではなく、もっと重いものでできていて、表面が全く違う物質です。先ほどガラスといましたが、その上にも「水」など、たくさんものがあります。水の起源はわかりません。イトカワから持って帰ってきた砂を分析しても水は全く出てきません。だから、イトカワが集まっても決して地球はできない。では、地球はどこからできたのか。水の故郷はどこからなのか。今度「はやぶさ2」で向かわせようとしているタイプの小惑星は「水の故郷」と言われています。そして、炭素があるんです。炭素は有機物です。私たちの体も全部有機物でできています。イトカワには全く炭素はありません。だから、イトカワが集まったとしても決して人間や植物の材料はないということです。どこからきたか？その故郷も「はやぶさ2」で向かわせる天体から来たのではないかとされている。ただ思われているだけで、証明した人はいません。だから出かけていくんです。そして、「はやぶさ2」では飛び道具を持って行って、人口の穴を掘ってク

	<p>レーターを作ります。小惑星は放射線・太陽から飛んでくる太陽風（正体は「陽子」、水素の原子核の流れ）があり、それがぶつかるとガラスがすりガラスのようになってしまいます。「はやぶさ」が訪れたイトカワでそれが実際に確認されたことも、大きな成果の一つですが、一番上の表面はすりガラスになっています。だから穴を掘って、くすんでいない表面をあらわにして、そこから試料を持って帰るために人工のクレーターを作る。飛び道具を持っていくんです。その飛び道具も開発が先週最終的に終わり、もう準備ができています。それを持っていくことが大きな違いですね。2 キロくらいの金属の球を秒速 2000m で打ち込む飛び道具です。それから着陸装置、着陸する「ロボット・ランダー（通称：ミネルヴァ2）」を2台と着陸機「マスコット（フランスの機器が搭載されているドイツ製）」を運んでいくこともはやぶさ2の一番大きな違いです。国際交流を大きく進めようとしています。</p>
--	---

**【研究予算について】**

<p>質問者</p>	<p>基礎科学・航空開発の中で、日本に「ILC の誘致を行おう」という話が出てきていると聞いたのですが、その中で予算の奪い合いとかが出てくるのではないかと考えています。実際、基礎研究の関係とかで共存する方法とかがあればお聞かせください。</p>
<p>川口</p>	<p>宇宙開発といってもサイエンスの部分もありますし、エンジニアリングもあります。サイエンスについては、天文学であるとか宇宙の物理そのものを扱う分野など色々あります。この分野とたとえば ILC 国際リニアコライダーと、どちらが大事かと聞くのは正しい質問ではないと思っています。たとえば、あそこの蕎麦屋とあっちのイタリアンはどっちがおいしいか聞かれても、それはおかしい質問です。ある時は和食、ある時はイタリアンという風に、二つとも別の日に食べればよいもので、比べる対象ではないということです。人類が知らないことはたくさんあって、それを一挙に解決するっていう必要は、たぶん無いだろうと思います。ですから少ない予算の中でどういう順番でお互いが譲り合いながら、その番を待てばいいとそう思っています。そういう調整というのは実はされているんだろうなと思っています。そういうご理解をいただければよいのではないかと思います。</p>