

宇宙を拓く 建設業

2024年までに「最初の女性を、次の男性を」月面に着陸させ、2028年までに月面基地の建設を開始する。3年前にアメリカ航空宇宙局（NASA）が発表したアルテミス計画には明確な時期を示したうえでそう謳われている。日本でも宇宙開発計画は加速している。昨年、宇宙無人建設革新技術開発推進事業を決定し、2025年までに月面において無人化施工を可能とする技術の実証・実用化を目標として計10件の具体的な研究開発が進んでいる。その実施者には名だたる建設会社、学術組織が名を連ねている。

宇宙はもはや夢や憧憬、SFの域を超えた。すぐそこにある日常となり得る段階にまで達している。宇宙開発、宇宙ビジネスにおける建設業界の可能性と使命について、元国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）宇宙飛行士の山崎直子氏にお話を伺った。「宇宙は決して特別なところではない。意外と普通に暮らすことができるのですよ」と笑いながらも、歩むべき道筋の一端を示してくれた。



山崎 直子 Naoko Yamazaki
元JAXA宇宙飛行士

懐かしい宇宙

——山崎さんが宇宙を目指すきっかけとなったのは、アニメーションの『宇宙戦艦ヤマト』や『銀河鉄道999』だったと思います。

そうですね。子どもの頃のそうした原体験は非常に大きなものがあります。でも、小学生の頃は、まだ日本人宇宙飛行士は誰もおらず、宇宙飛行士になるなど思いもつきませんでした。大人になったら皆普通に宇宙に行くようになるのだろうかと、未来予想図を描く気持ちで捉えていたのだと思います。車は空を飛ぶようになり、人はスペースコロニーに住む。アニメを見たり宇宙の本を読んだりすることが好きだったので、自然と刷り込まれていたのかもしれません。理科系、工学系の勉強も面白かった。一つひとつ学び、いろいろな人と出会うことで刺激を受けながら想いを深めてきたように思います。

——大学では宇宙工学を修め、一九九九年に宇宙飛行士候補になられました。スペースシャトル・ディスカバリーに搭乗されたのはその二年後



チームワークと判断力が 宇宙の現場を動かす

(提供：JAXA)

募集要項にもありますが、まずあげられるのが「チームワーク」に長けていること。多国籍のメンバーや地上の管制官など多様なチームとメンバーが存在しますから、時にはリーダーとして、またある時はフォロワーとして機能できる能力が求められます。

二つ目が状況を把握して的確に判断する力。宇宙は極限状況とも言える環境ですから、そのなかでいかに適応できるか。「判断力」は大きな要素です。

そして三つ目が新たに募集要項に加わった「コミュニケーション能力」と「情報発信能力」です。現在、ISSの建設だけではなくアルテミス計画をはじめ、月や火星をも視野に入れた宇宙開発が進められています。もはや宇宙に限った分野の知識・スキーム・チーム構成だけではなく、宇宙空間でのミッションだけでなく、地上において多様な分野の人たちと交流、協働することが必要になります。更に、世論の理解や共感を得るためにも、宇宙開発の重要性を自分の言葉で発信できる能力も非常に大きな要素

になると思います。

——そうしたことに加えて、ロボットアームを使ってモノを運ぶ、動かすなど、ミッションを達成するための技能的なスキルも問われますよね。

地上では精巧なCGで再現された映像をシミュレーターで動かす訓練や、より実物に近い大掛かりな模型を使って操作する訓練を行いますが、宇宙空間の実際の映像は影があつたり、太陽光がまぶしすぎて対象物を視認できなかったりと、地上とは異なる空間認識能力が求められます。複数のカメラで捉えた映像を自分で感覚的に補完しながら操作することになります。更に無重力ですから、自分の体を安定させることも必須です。船内や操作スティックには足や指を引っかける器具があるので、これを使って体や指先を固定してロボットアームを操作します。宇宙空間では三点支持が基本動作です。二点だと体が回転してしまいます。足の開き具合や腕の固定など、細かい動作を体で覚えていくことになります。

——建設業界でも遠隔臨場や遠隔

の二〇一〇年でしたね。

候補になってからは、当然宇宙飛行士というターゲットが明確に見えていました。そこからが長かったですね。時間はかかりましたが、それでもやはり一つひとつの過程を楽しむ姿勢は変わりませんでした。その間エンジニアとしての仕事にも携わっていましたが、やらなければならぬというよりは楽しんでいましたね。

——地上での訓練と宇宙空間での実作業は全く別ものだと思いますが、初めて宇宙に到達した際どのような印象をお持ちになりましたか。

やはり感無量でした。ずっと憧れていた場所でしたから。でも、ミッションはミッションです。私の任務は、ロボットアームを操作して補給物資を積載したモジュールをシャトルから国際宇宙ステーション（ISS）へ移動するといった資機材や補給物資の移動、搬入でした。当然のことながら、無重力での作業は地上での疑似訓練とは全く異なります。無重力は地上で再現できません。あの意味ぶつつけ本番です。それでも一一年間訓練してきましたから、動

作は体が覚えていてすぐに慣れました。

意外だったのは無重力を体験した時に「懐かしい」という想いが沸き上がってきたことです。海に身をゆだねると、胎内回帰というか、お母さんのおなかにいた頃のことを思い出すと言いますよね。その感覚に近いかもしれません。もともと私たち人類も、そして地球でさえも、宇宙の星のかけらでできています。宇宙は故郷と言ってもよいかもしれません。世紀の大冒険をしているというよりは自分のルーツを探る旅に出ているような、そんな感覚がありました。「母なる宇宙」を理屈抜きで体感しました。

宇宙飛行士に求められる 知識を超えたスキル

——現在、一三年ぶりに宇宙飛行士の募集が行われていますが、今回から学歴や実務経験が不問となるなど、応募条件は大幅に緩和されました。一方で、宇宙飛行士に求められる基本的な資質とはどのようなのでしょうか。



上／地上でのロボットアームの操作訓練の様子
下／宇宙空間での山崎さん（いずれも提供：JAXA/NASA）

施工がキーワードになっています。まさに地上の建設現場におけるクレーンや重機の遠隔操作を無重力空間で行うということですね。

地上で無重力を体感しようとすると急降下する飛行機の機内や水中で再現することになりますが、それはあくまで疑似体験で、現場の状況を正確に再現しているとは言えません。シミュレーターや模型で訓練を繰り返したうえで、その現場の状況に自らの感覚を臨機応変にあ

わせていくことが重要になります。建設現場においても特殊な環境、未知の状況にリモートで関わる際には豊かな想像力と判断力が求められる。そうしたことと似ているかもしれないですね。

地球と宇宙を結ぶ 「港」をつくる

——宇宙開発は現在、宇宙に行くという目的を超えて、宇宙に滞在す

宇宙に行く

地球から宇宙への人や資材の運搬について研究を進めているのが(株)大林組。2012年から続く宇宙エレベーターの開発では、膨大な長さのケーブルの材料となるCNTの耐久性を宇宙空間で確かめる実験などを継続している。宇宙エレベーターであれば、従来では考えられなかった物量を低コストで宇宙空間に送れるようになる。



(提供：(株)大林組)

宇宙に住む・滞在する

酸素濃度や重力、気温、放射線など、人間が宇宙に長期滞在する・住むためには、様々な環境要因を克服する必要がある。清水建設(株)では、国土交通省「宇宙無人建設革新技術開発推進プロジェクト」の一環として、厳しい条件に耐える居住モジュールの研究開発を、太陽工業(株)、東京理科大学と共同で進めている。内部に人が暮らせる環境を維持しつつ、外部環境に耐える素材や構造を採用。高強度膜材を組み合わせたモジュールは、たたんで運び、現地で展開する形式のため、輸送コストの削減にもつながるというメリットがある。



(提供：清水建設(株))

——意味では宇宙旅行だと私は考えています。

——スペースポートジャパンの現在の活動状況について教えてください。

北海道、和歌山県、大分県、そして沖縄県がそれぞれスペースポートの整備を進めています。アメリカや韓国をはじめ、各国が同様の取り組みを加速させていますが、日本

の各スペースポートは将来的にアジアの宇宙旅行、宇宙輸送のハブになることを目指しています。北海道大樹町の北海道スペースポート(HOSPPO)では、堀江貴文氏が創業したインターステラテクノロジズが観測ロケットを弾道飛行させて宇宙到達を果たしたことで注目されていますよね。北海道は我々がスペースポートジャパンを立ち上げる

前から自治体を中心となって整備に取り組んでいました。実は三五年もの歴史があります。そうした取組みを横断的に連結して加速させることがスペースポートジャパンの設立目的でもあります。

和歌山県の串本町でも遅くとも今年度中に人工衛星のロケットを打ち上げる予定です。この一、二年の間に各地で大きな動きがあると

思っています。

——宇宙開発に関わる巨大なマーケットが既に顕在化しているということですか。

現在、宇宙ビジネスの市場規模は約四〇兆円と言われている、今後二、三〇年で二倍になるという試算もあります。最も伸びているのがサービス分野です。人工衛星を打ち上げて得られたデータをどのようなサービスに活用するかといったビジネススキームです。地球環境を守る取組みや気象に関するデータの活用はまだまだ進化の余地があるでしょう。

日本でも小型人工衛星の需要が激増していて、二〇二〇年代半ばまでに約一〇〇基の打上げが計画されています。また、アルテミス計画に参画することを国として表明し、民間と連携した循環型の農業施設やその他のインフラ整備の必要性を明確に謳ったことは、日本が宇宙の活動領域を広げる道筋を示すことにもなり、とても心強いですね。

一方で、打ち上げるだけの輸送機、いわゆるスペースシップやロケットの開発、射場の整備がその需



山崎 直子

1996年3月 東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻修士課程修了
4月 宇宙開発事業団(現JAXA)に入社
1999年2月 国際宇宙ステーションに搭乗する宇宙飛行士候補者に選ばれる
2001年9月 宇宙飛行士に正式採用される
2010年4月5日～4月20日 国際宇宙ステーション組立補給ミッションに従事するため、スペースシャトル・ディスカバリーに搭乗
2018年 一般社団法人Space Port Japan代表理事に就任
2021年6月 公益財団法人日本宇宙少年団理事長に就任

る、そこで暮らすという次元に歩を進めていると言われています。そのために最低限必要なモノは何でしょう。

当然のことながら何よりも空気、水、食料です。問題は、そうした人間が生存するために必要な基本要素を、宇宙船やISSで調達しなければならぬということです。二酸化炭素を酸素に戻す技術など、地球上であれば森が循環して提供してくれる恩恵を人工的に再現する必要があります。

でもそうした課題を最低限クリアできれば、宇宙空間でも十分に暮らすことができるということでもあります。シャトルの壁一枚を隔ててそこは宇宙です。プカプカ浮きながら食べて、寝て、仕事をする。地上とは全然勝手が違いますが、数日経てばそれが日常になります。日常の感覚が切り替わっていくのですね。それが人間の適応能力です。技術の裏付けがあつて、その適応能力があれば、特別な訓練をしなくても誰もが宇宙に行くことができる。そういう時代になったのだと思います。

——山崎さんはJAXAを退職さ

れた後、二〇一八年に(一社)スペースポートジャパンを設立されました。「誰もが宇宙に行くことができる」という時代を見据えてのことだったのでしょうか。

私が宇宙飛行士としてディスカバリーに搭乗したのは二〇一〇年のことですが、その当時から宇宙開発の主導は国から民間に移管し始めていました。二〇一一年にスペースシャトルが引退することは決定事項でしたし、民間企業が宇宙船を建造することも発表されていました。実際に一〇年を経て、二〇二〇年にスペースX社が民間初の有人宇宙船の打上げを成功させました。今や宇宙開発においては、民間が大きな役割を担っているといっても過言ではありません。

スペースポートジャパンは宇宙船やロケットを使って地球から宇宙に旅立つ拠点、文字通り宇宙に開かれた港を整備するために設立しました。宇宙旅行分野は今後急速に拡大する可能性があります。宇宙ホテルでの滞在、月や火星への旅行、そして最も現実的な、宇宙空間を経由する地球上の二地点間移動も、広



宇宙空間を経て 世界を結ぶハブになる

(All images ©2020 canaria, dentsu, NOIZ, Space Port Japan Association. All Right Reserved. 提供：山崎直子氏)

とも考えています。ポートがあることによつてどのようなまち、都市が形成されていくのかといった視点は重要です。ポートの機能の一部として物流や医療、災害対策などの拠点になる可能性はとても高い。各自治体と志を一つにして協力しながら進めています。

——そうした施設や設備を整備しようとする、いよいよ本格的に建設業界の出番です。

スペースポートジャパンの会員企業として複数の大手建設会社にご協力をいただいております、大変感謝しています。

スペースポートが宇宙と地球をつなぐ場だとすると、これまでの建設技術の最先端の分野を適応していただきたいと考えています。例えば既存の滑走路をロケットの射場として活用するにしても、その周辺設備が必要になります。人工衛星を組み立てる施設、電気通信設備なども同様です。これまでの建設業界の知見なくしてポートの整備はできません。

——先ほどの「まちづくり」といった方針を鑑みると、施設や設備の整

備だけではなく社会基盤の構築といった視点も求められるかもしれません。

まさにインフラ整備という視点では欠かせません。ポートはその名の通り「港」ですから総合インフラを構築する知見が非常に重要で、建設業界に今後貢献していただきたい分野になります。

先ほども触れましたが、アメリカでは既に一四カ所のスペースポートが整備されつつあり、すべてが稼働しているわけではありませんが、スタンバイ状態となっています。オーストラリア、韓国、インドネシアなども、国をあげて積極的に動き始めています。これまでロケットの打上げは各国独自の技術で進められてきましたが、今後相互に乗り入れることを前提とすれば、スペースポートを飛行機のハブ空港のように、国を超えた共通のインフラとして整備していくことが不可欠です。建設業界には国との連携、法整備、世界各国との協調といった段階においても、調整能力に基づいたインフラ整備の知見を生かしていただけると期待しています。

要に追いついていないのが実状です。これを加速させることが課題になります。

——莫大な資金が必要になりますね。

確かにコストも大きな壁になります。アメリカでは、国家予算に加えて巨大な資本家が莫大な投資を行って宇宙開発を支えています。日本でも打上げ実績がない企業が技術とビジョンをもって積極的に参画を表明しています。一きぎの物資を宇宙まで運ぶのに一〇〇万円かかると言われていた輸送コストも、今や六〇〜七〇万円ほどまで下がっている感覚があります。卵が先か鶏が先かの議論ではありませんが、需要が喚起されれば供給が加速する、そうした好循環が期待できる段階にあると感じています。

——その他に課題としてあげられることは何でしょうか。

やはり環境整備と法整備を急ぐことだと考えています。人を乗せて宇宙に飛び立つ際の安全基準などには未だ示されていません。これまでにない取組みなので時間がかかることはやむを得ませんが、可能な限り

早急に整備していくことが必要だと思っています。

人材開発も大きなテーマになります。人が宇宙で暮らすことを前提に考えると、宇宙工学の知識だけではなく、「衣・食・住」といった多様な分野に関わる専門家が必要になります。重要なのは、ビジョンを描くことができる人材であることです。何年後かにはこうした世界を創造したい、そしてそのためにどのようなロードマップが相応しいのか、多様な視点から発想できる人たちに集っていただきたいと思っています。

スペースポート整備は「まちづくり」の起点

——スペースポートジャパンの構想のなかには「宇宙にふれる」「宇宙にいく」「未来であそぶ」といったコンセプトで、美術館や劇場、商業施設などアトラクティブな要素もふんだんに盛り込まれていますね。

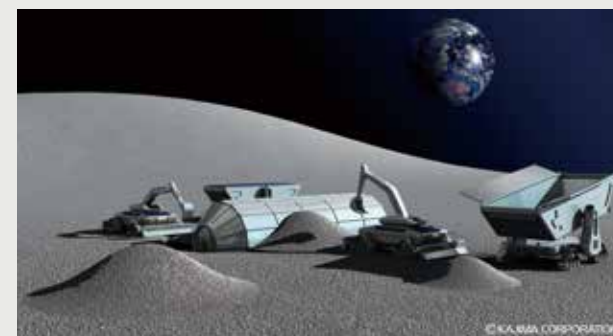
射場の整備や人材開発に力点を置くことはもちろんですが、スペースポートは「まちづくり」の一環だ

宇宙を拓く建設業の技術

宇宙で建てる

■遠隔施工

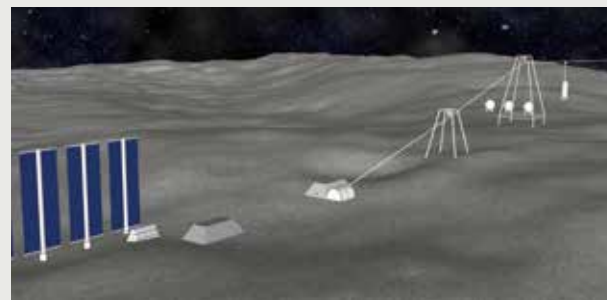
地球とは異なる作業環境での拠点建設を見据えた技術開発も行われている。鹿島建設(株)は、月面で拠点建設を行うことを想定し、約1,000km離れた工事現場の建設機械を無人で稼働させる実験をJAXAと共同で実施。地球から約38万km離れた月までの間に生ずる通信遅延を人為的に挿入した環境でも安定した施工を行うことが確認でき、遠隔操作と自動運転による遠隔施工システムによる拠点建設の可能性を示した。



(提供：鹿島建設(株))

■資材運搬・調査

(株)熊谷組では、月面での基地建設や資源採取に、ワイヤーロープとウィンチを利用した索道技術を高度利用するための研究開発を行っている。空間の移動で、活用が期待される急斜面や空洞内への調査、資材運搬が容易に実現できる。



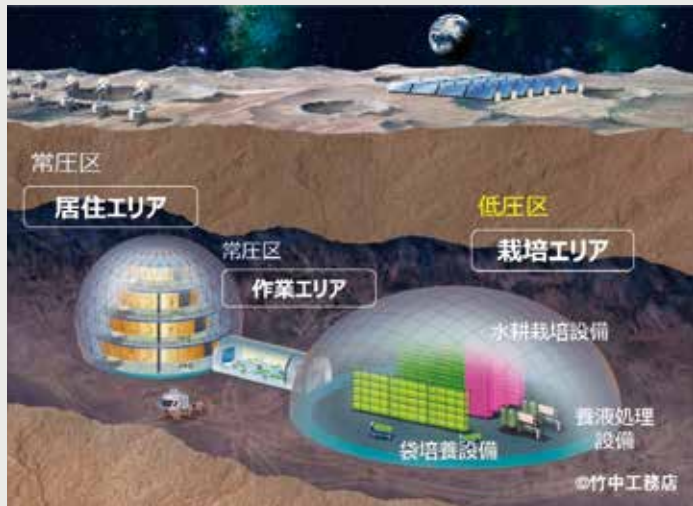
(提供：(株)熊谷組)

宇宙を拓く建設業の技術

宇宙で食べる

人類が生存するために欠かせない「食事」。宇宙に長期滞在する際にももちろん必要となる。食料を現地で確保するための技術開発にも、建設会社は携わっている。

(株)竹中工務店では、JAXAやキリンホールディングス(株)、千葉大学、東京理科大学と共同で、宇宙農場システムについての研究開発を実施。病原菌や害虫の侵入を防ぐ「袋型培養槽技術」を用いて「高クリーン度・低圧環境」で栽培することで、宇宙でも新鮮な食料が手に入り、持続的な長期滞在が可能となる。昨年、ISSきぼう実験棟にて、袋型培養槽技術によるレタス栽培の実証実験を実施、微小重力下の生育を確認した。



(提供：(株)竹中工務店)

—— 宇宙ホテルの整備に限らず、宇宙ビジネス全般に向けた建設業界の可能性についてご意見をいただけますか。

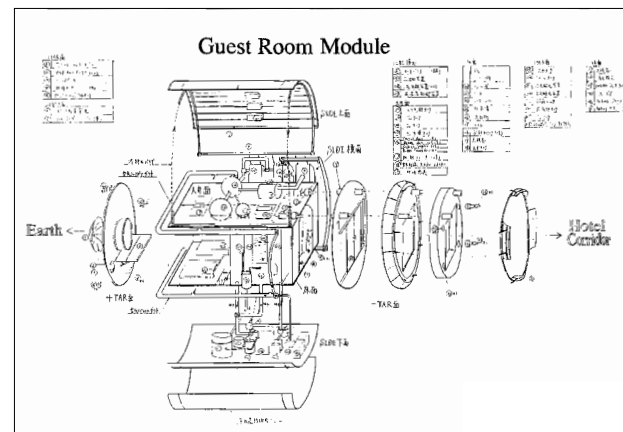
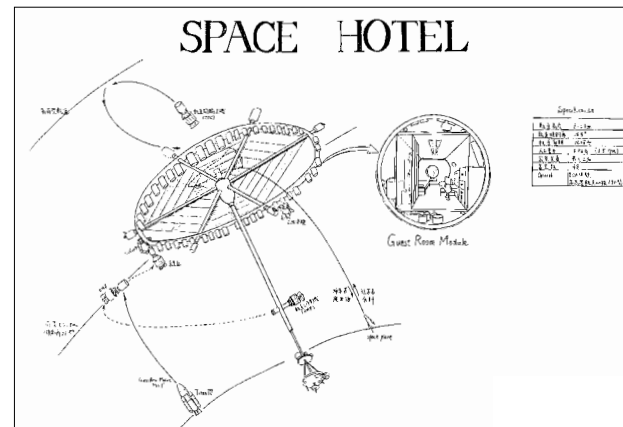
さかのぼること三〇年以上前のことですが、私が学生の頃、建設業界から宇宙建築が提唱された時期がありました。月面基地や宇宙ホテルといった構想が次々と提案され、とても刺激を受けたことを覚えています。私も卒業設計で自分なりの

いうことですね。

ISSにしても国家レベルでのインターフェース調整が大きなテーマになりました。例えばISSには補給船とドッキングするポートが何カ所もありますが、その規格は統一されています。その規格をクリアすればどの国の宇宙船でもISSと接続することができると。月面基地に

く、電力や通信、設備の規格など業界が連携して標準化できるかが大きなカギになるでしょう。最初は少し緩いインターフェースでも構わないと思いますが、それぞれの技術が分散しながら進化し、最終的には機能的に融合することが理想だと考えています。

—— そうした実務的な施工、ビジネス構想を担う次世代の人材育成



宇宙ホテルをテーマにした山崎さんの卒業設計の図面。構造、電力、熱など様々な要素を成立させることを意識して設計したという。(提供：山崎直子氏)

宇宙開発を先導する建設業

—— スペースポートの整備に限らず、宇宙ビジネス全般に向けた建設業界の可能性についてご意見をいただけますか。

さかのぼること三〇年以上前のことですが、私が学生の頃、建設業界から宇宙建築が提唱された時期がありました。月面基地や宇宙ホテルといった構想が次々と提案され、とても刺激を受けたことを覚えています。私も卒業設計で自分なりの

宇宙ホテルをテーマに据えたほどです。建設業界内で温められてきた構想がようやく現実味を帯びてきました。今、大きな転換期にあると切実に感じています。国が参画を表明しているアルテミス計画の推進に呼応して、建設会社をはじめとする民間企業も多様なアイデア、具体的な構想を発信するようになりました。ISSの先にある民間による宇宙ステーション建設計画もその一つです。宇宙ホテルでさえも、もはやSFではなく民間主導の現実として語られています。そうになると、建設

の知見が本当の意味で不可欠になります。

月面や火星上で定住可能な施設を建設するとなると、最も期待できるのは自動化施工かもしれません。いきなりたくさんの方で月に行って一つひとつ建設することは考えられません。最初はロボットや遠隔隔施工を駆使してある程度の基盤を組み上げ、その後人が赴いて協働しながら更に多くの人が居住できるようにする。そうした段階的な整備、施工が間違いなく必要になるでしょう。

—— 建設会社の技術者が宇宙に出張する。確かに現実味のあるお話ですね。そうした事業展開を軌道に乗せるためにはどのようなビジョンを持つべきでしょうか。

ISSの建設だけでも一三年の歳月が必要でした。途中、事故で中断したり、計画が遅延したり、紆余曲折を経て完成させました。今後は更に長丁場の話になります。完成物の安全性はもちろん、どの工程においても安全性が担保された建設技術が求められてくると思います。現在、各建設会社を取り組まれ

も大きなテーマとなりそうですね。山崎さんは建設業界内外の若手の方々と接する機会も多いと思いますが、どのような印象をお持ちですか。

宇宙建築学サークルが主催する宇宙建築賞で審査に関わらせていただいています。最近の応募作品には環境保全やSDGsといった社会情勢に配慮した発想が増えてきたように思います。施設は人工的なものですが、自然との調和を考慮した提案はとても心強く感じます。私が訓練を始めた頃には「人類のために」という視点が最初にありました。最近では人類を超えて「地球のために」「何かできることがある」といったように視野が広がっています。

また「缶サット甲子園」という高校生対象のイベントでは実行委員会の会長を拝命しました。空き缶サイズの模擬人工衛星を打ち上げて、その技術力、独創性を競うのですが、高校生たちの熱い想いが伝わってきます。楽しみながら理数系の面白さ、宇宙の魅力に気付いてくれると肌身で感じます。

各地のスペースポートにおいても



宇宙ミッションの際にチームで作成したワッペン

ている研究開発、提案されている構想はすべて必要なことです。遠隔施工はもちろん、ロープウェイ型の運搬施設、居住モジュールや宇宙農場の開発などはインフラとして必要不可欠な要素です。早急に実証段階に歩を進められることを願っています。一つ言えることは、一社の技術だけで完結するのではなく、連携と協働の姿勢が欠かせないということです。インフラはそれぞれの技術が連結されてこそ成立します。宇宙開発は個々の技術の強みを生かしながら連動させる場にもなり得ると思います。

—— モノを運ぶ技術、居住するための施設、衣食住に関わる物資を提供する生産設備。それらが融合すると

地域の高校と連携して宇宙講座が開催されます。高校生たちがどの分野に進んだとしても、宇宙開発に関わるような人材になってほしいという想いから、来年度以降になります。新たなコースが開講される予定です。断片的な独学ではなく系統的に宇宙を学ぶことができる、そうした環境を整えていくことはとても大切だと思います。

—— 建設業界においても次世代の担い手の確保、育成は大きなテーマです。これまでの知見を最大限に生かし、次代のビジョンを描き、そして実現に向けて果敢に挑戦する。宇宙開発においてもそうした業界の姿勢が求められているのかもしれない。

建設業界の技術は大地に根差して育まれ、私たちの生活を支え続けています。その技術が宇宙でも貢献することは間違いありません。私としては、建設業界は宇宙開発、宇宙ビジネスのビジョンを先へ先へと先導してくださる業界だという期待感を強く持っています。ぜひそのビジョンで宇宙を拓いていただきたいと思います。