

2022年  
7月

# 技術士みえ No.19 (97)



三重大学大学院工学研究科と日本技術士会中部本部の

『包括的連携・協力に関する協定』調印式より

(出所:三重大学ホームページ)

公益社団法人 日本技術士会  
中部本部 **三重県支部**

## 技術士みえ No. 19(97)

コーナー	タイトル	筆者	ページ
巻頭言	「技術立国」を思う	荒木 悟	1
テクノロジーカフェ	第49回 宇宙ビジネスの展望	春田要一	3
	第50回 身近な金属について	松下 滋	23
2022年度第1回セミナー	会員講演 企業での技術者倫理の実践と取り組み	泉川大輔	26
2022年度第1回セミナー	会員講演 若い世代に伝える技術者倫理教育の進め方	麻田祐一	30
会員近況報告		古川慎一	34
ご連絡	第48回 技術士全国大会(奈良・関西)		35
	第42回 地域産学官と技術士合同セミナー(岐阜)		37
今後の行事予定など			38



## 巻頭言

### 「技術立国」を思う

三重県支部 幹事

総務委員

荒木 悟 技術士（機械、上下水道、  
総合技術監理）



ロシアのウクライナ侵攻には多くの日本人が色々の考えを誘発されたと思います。私は 戦後 10

年経って生まれ、子供の頃には、親や親世代の方から、戦争の話を聴くことも時としてありました。

高校時代の恩師からは卒業時に「今後お前達は、戦争には必ず反対しろ」と言われました。また、大学の先生が、「不可侵条約を結んでいたソ連が、終戦間際になって日本に侵攻してきたことに強い憤りを感じた」と云われていたことを思い出します。

学校を卒業し、社会に出てから、私の回りで戦争の話を聞くことはあまりないままに、40 年以上が経ちました。その間、戦争を特に意識した時はなかったと思いますが、今回のウクライナ侵攻では、日本は大丈夫かなといった不安を感じました。

ウクライナでは、60 歳以下の成人男性は国を守るべく出国禁止となりました。これを

三重県支部長 竹居 信幸

〒510-0025 三重県四日市市東新町 2-23

東邦地水(株)内

TEL 059-331-7311

FAX 059-331-8107

E-mail : nobuyuki-takei@chisui.co.jp

聴いて、私の場合、60 歳はとうに過ぎてしまったので、自分が戦争には役に経たない年齢になったんだなと思うと同時に、どうせなら年寄りから先に戦争に参加させ、未来のある若い人は残した方がよいのではとの気がムズムズとしてきました。

こんな止めどもない思いの中で、やはり、子や孫が無事に暮らせる日本になることが大事に思えてきました。しかしながら、TV の討論番組などでは、エネルギーや食料などの日本における自給率は微々たるもので、防衛力も甚だ心許ないといった意見が多々出ている状況です。日本の国力は果たして、子や孫の世代が無事に暮らせるために十分であるのかどうか疑問に思えてきます。

かつて、技術立国という言葉をよく耳にした時代がありました。ネットで確認すると、「技術立国とは、科学技術を基盤に、国の存在と発展を目標とする政策」と記載されています。資源の乏しい日本は、今後も生き残っていくための一つの大きな柱に、科学技術があることは確かだと思います。

しかしながら、日本の昨今の技術は、世界の中で、どのような位置づけにあるのでしょうか。私が就職した昭和 55 年頃は、高度成長期が終わりを告げ、成熟期に入っていました。その頃は、重厚長大産業から軽薄

短小産業への移り変わりが起きており、日本の半導体産業は世界のトップクラスにありました。したがって、しばらくは経済大国の位置に止まり、かつての国民の頑張りによって、多方面で世界的地位が上位にあったように思えます。しかし、その効用も過ぎ、あらゆる面での地位が下がってきました。こんな状況下ですので、日本が生き残るための大きな柱である技術を維持し、更に強くしていく必要があると感じます。

我々技術士は、技術者の中で高度な技術を牽引すべき立場にあるわけですから、高年齢者が多いとはいえ、それなりに日本の技術に貢献する必要があると思います。最終的には、資源のない日本ですから、資源を手に入れるための資金を稼がねばなりません。世界に通用する、世界が欲しがるといえる技術に仕上げねばなりません。とはいうものの、私自身、直接世界に売れるような技術を持ち合わせてはおりません。そこで、少なくとも、世界的な技術を支える基盤技術や、さらにそれを支える社会基盤技術に貢献していく必要があると思う次第です。

ここで現在の私の仕事を2つ紹介します。

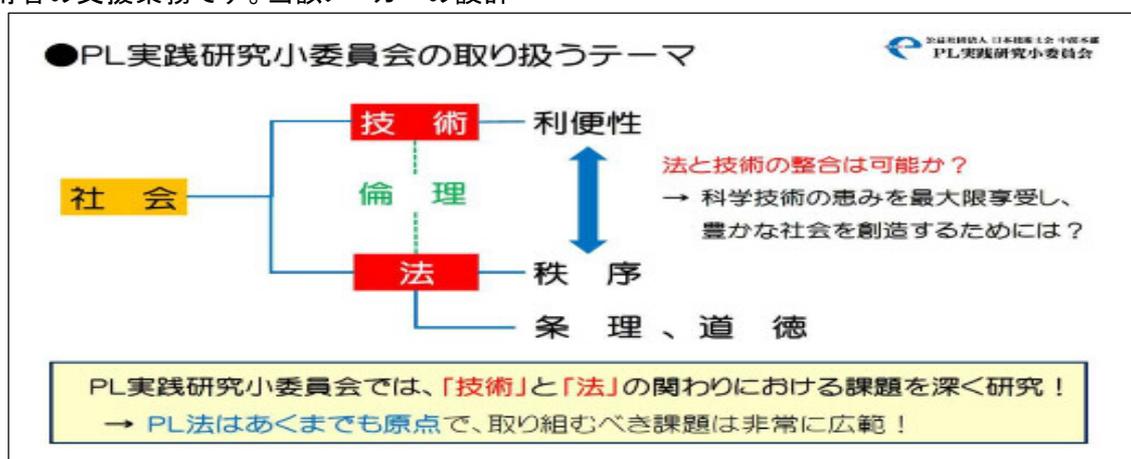
1つ目は、配管機器メーカーの開発設計技術者の支援業務です。当該メーカーの設計

技術者は、経験年数が数年の若い技術者ばかりで、設計図面の作図方法から指導しています。若手技術者が一人前になって、継続的に、よい開発設計の仕事が行えるように育ててくれることを楽しみにしながら指導を続けています。

2つ目は、機械保険の技術鑑定書作成業務です。製造や保有する機械設備の突然の破損や故障などに対して、企業活動を保障するために、企業は機械保険に入ることがあります。一方、保険会社は、文系の方が多く、破損や故障といった技術的な点は専門外であるため、その破損原因の鑑定書作成依頼を技術士として受ける仕事があります。この鑑定書作成には、基本的知識として製造物責任法(PL法)も必要な場合があり、私は中部本部の **PL実践研究小委員会** に所属し、メンバーの方とPL法などの法令と技術の関わりの実践研究を行なっています。【当委員会の概要を下に示しますので興味のある方は当方にご連絡ください】

以上の2つの仕事は、直接、外貨を稼げるような仕事ではありませんが、間接の先の先で、世界的技術を支えることに繋がっていれば大変有り難いと考えています。

—以上—



## 第49回

# みえテクノロジーカフェ

## 宇宙ビジネスの展望

日時 2022年2月27日（日）

場所 ウェブ開催

ゲスト

春田要一 技術士(金属、総合技術監理)

日経エレクトロニクス 2021年11月号に掲載された「乗り遅れるな宇宙ビジネス」という記事を参考にみえテクノロジーカフェで講演した。

### 1. 総論(宇宙ビジネス参入に好機到来)

米国のベンチャー企業による民間宇宙旅行の商業化は、宇宙ビジネス本番への号砲である。今後、これまでとは比較にならない数のモノ(人工衛星)とヒトが宇宙に輸送され、2040年に100兆円とも言われる巨大市場を形成する。

キーワードは「衛星コンステレーション」と「月」。月面探査での先行者利益を狙う民間企業の競争も始まった。「2021年は民間による宇宙旅行が大きく飛躍する年になった。この大きな流れは、我々が目指している地球低軌道を経済活動の場にすることを推進する起爆剤になる。競争原理による宇宙への輸送コストの低下を含め、今後は宇宙の利用がより身近になっていくと考えている」。宇宙航空研究開発機構(JAXA)特別参与で宇宙飛行士の君田光一氏は、21年7~9月に相次いで成功した民間宇宙旅行のインパクトをこう語る。

21年9月、米Tesla CEOのElon Musk氏が率いる宇宙企業SpaceXが、4人の民間人だけによる世界初の有人宇宙飛行ミッション「Inspiration4」を成功させた(図1)。



図1 2021年は民間宇宙旅行の元年。21年9月民間企業による宇宙旅行が初めて実現された。左はSpaceXが宇宙に実施した民間人による宇宙飛行ミッション「Inspiration4」の船内の様子。右はBlue Originが宇宙に実施した高度100kmへの宇宙旅行の打ち上げの様子。写真、左はSpaceX、右はBlue Origin

4人が乗船したSpaceXの自律運行宇宙船「Crew Dragon」は、同社のロケット「Falcon9」で打ち上げられ、国際宇宙ステーション(ISS)より高い高度575kmに到達して3日間地球を周回した。

同7月には、米Amazon.com 創業者のJeff Bezos氏が率いる宇宙企業Blue Originが、宇宙との境界と言われる高度100kmのカーマンラインを越える初の有人宇宙旅行を成功させた。

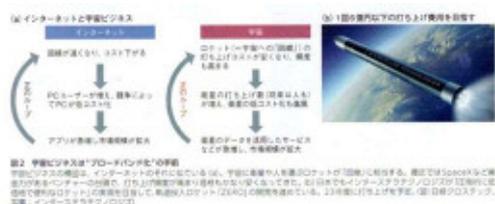
Bezos氏を含む4人が乗り込んだカプセルを上部に搭載した同社の自動制御ロケット「New Shepard」は、発射約3分後にカプセルを切り離し、カプセルは発射約4分後に高度100km以上に到達。10分強の宇宙旅行を楽しんだ。

### 1.1 アクセスコスト1/100目指すSpaceX

現時点では宇宙旅行は始まったばかりで価格も1回数十億円とも言われており、一部の限られた人のものである。しかし、宇宙ビジネスの観点でそのインパクトは大きい。実現の裏にはロケット技術の進化による安全性や信頼性の向上、そして大幅な低コスト化などがあるからである。

宇宙産業の構造はインターネットのそれに似ている(図2)。パケットを運ぶ回線に相

当するのがモノ(人工衛星)やヒトを運ぶ輸送、つまりロケットである。



ネットでは回線が細いナローバンドの時代にはユーザー数が限定されていた。それが、ブロードバンドの登場と低コスト化によって爆発的に普及した。

「宇宙産業の今は、ちょうど IT(情報技術)産業黎明期の状況に近い」と、小型ロケットの開発を手掛けるインターステラテクノロジズ社長の稲川貴大氏は言う。

ロケットによる打ち上げが“ブロードバンド化”、つまり頻度が高まり、コストが下がればより多くのモノとヒトが宇宙に行き、サービスが拡大して巨大経済圏ができあがる。

この大変革のリーダー的存在が SpaceX である。例えば同社の Falcon9 の打ち上げ費用は、6200 万ドル(約 69 億円)。

これまで信頼性の高さを武器に打ち上げ市場で確固たる地位を築いてきたフランス Arianespace の次世代ロケット「Ariane6」の 9400 万ドル(約 100 億円)より 3 割も安い。

そして低軌道までなら 22.8 トン(t)も運べる。SpaceX は部品再使用などによってさらなる低価格化を狙う。

Musk 氏は「飛行機と同じようにロケットを効率よく再使用する方法が見つかれば、宇宙へのクセスコストは 1/100 になる」とする。

### 1.2 ホンダが小型ロケットに参入

日本は民間の宇宙輸送という点では米国に大きな遅れを取っている。輸送というインフラが海外企業頼みとなってしまうとビジネ

スの発展の面で心許ない。

実際、国内の衛星事業者からは、海外の射場での打ち上げの手続きにかなりの時間がかかるほか、衛星の現地への輸送や打ち上げ前の射場作業にコストがかかるという嘆きが聞こえてくる。

そこで現在、国内などの衛星事業者をターゲットにした小型ロケットのベンチャーが、事業化に向けて開発を進めている。筆頭は、ホリエモンこと、堀江貴文氏が創業したインターステラテクノロジズである。

100kg 以下の小型衛星を低軌道に運ぶ小型ロケット「ZERO」を 23 年度に打ち上げる。低コスト化の手法を研究してまったく新規で開発することで、「世界的にも安い 1 回あたり 6 億円以下の打ち上げコストを目指す」(稲川氏)。

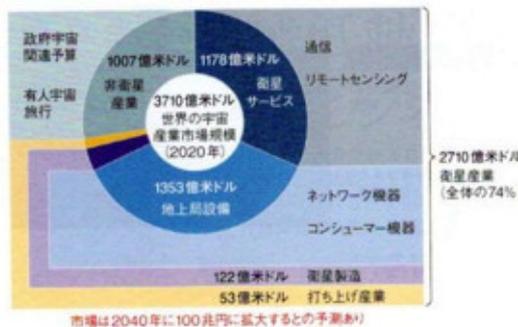
日本のみならず、アジア、欧州の衛星事業者を顧客対象とする。同氏は「宇宙産業でのロケットや衛星のハードウェアは、IT 業界のプラットフォームに相当する。これらの競争力をしっかり持つておかないとすべてを米国に持っていかれてしまう」と危機感をあらわにする。

キャノン電子、IHI エアロスペース、清水建設などが出資するスペースワンも地球低軌道に 250kg を運べるロケットを開発中としている。21 年 9 月には、ホンダが小型ロケット事業への参入を表明した。重さが 1 トン以下の衛星を搭載できる小型ロケットを開発する。30 年までの試験機打ち上げを目指す。

### 1.3 コンステがゲームを変える

米衛星産業協会(SIA)の 2020 年の調べによると、宇宙産業の市場規模は 3710 億ドル(約 41 兆円)だった(下図)。

そのうち、衛星関連産業が 74%を占める。」



中でも、衛星通信や衛星が搭載するセンサーのデータを活用するリモートセンシングを合わせた「衛星サービス」の市場は、現在の1178億ドル(約13兆円)から大幅に成長するとみられている。

打ち上げの低コスト化によって、これまでとは比較にならないほど多数の衛星が軌道に投入され、大量のデータや画像を取得するからである。米Morgan Stanley証券は、宇宙産業の市場規模は40年に100兆円に拡大すると予測している。

こうした宇宙産業の急成長を導く「ゲームチェンジャー」とされているのが、低軌道に打ち上げられる数百kg以下の小型衛星のコンステレーション(以下、コンステ)である(図4)。



コンステとは、軌道上に打ち上げた多数の衛星を協調動作させる運用方式、または構成する衛星群を指す。

これまでの衛星ビジネスは政府から委託された特定の大企業が約5~10年の期間と数百億円のコストをかけてトンクラスの機体を開発し、それを大型ロケットで少数・小頻度で打ち上げるものだった。

最も重要なのは宇宙という過酷な環境下で確実に動作する信頼性である。一方、コンステでは小型衛星を多数打ち上げる必要があるため、コストや開発期間に対する要求はシビアになる。

およそのコストは1基数千万~数億円なので、ベンチャー企業も参入できる。

もちろん、信頼性も重要だが、数百基など多数でコンステを構成する場合は、1基故障しても他で補完することが可能になる。だから、信頼性を追求して高コストになるよりも、開発期間を短くすることが重視される。

#### 1.4 世界の衛星の約半分がSpaceX

コンステにおいても、リーダーはSpaceXである。Musk氏は自身のTwitterに「(衛星ブロードバンドサービスの)Starlink衛星は21年9月23日の段階で1657基が稼働している。これは地球全体の衛星の48.7%を占める」と書き込んだ。

同社は自社のロケットで毎回60基のStarlink衛星(227kg)を軌道に投入、最大4万2000基からなるコンステを構成するとしている(図5)。ロケットも衛星も自社で開発する垂直統合で低コスト化を図っている。



図5 60基の衛星を一気に軌道投入  
コンステのトレンドを引っ張っているのがSpaceXだ。同社の衛星ブロードバンドサービス(Starlink)用の衛星は、ロケットから軌道に一気に60台が投入される。(図:SpaceX)

Amazon.comも競合の衛星ブロードバンドサービス「Project Kuiper」を立ち上げ、3200基以上を軌道投入すべく準備を進めている。両社が目指しているのが、世界で30億人以

上がるとされる日常的にネット接続ができる環境にいない人たちを対象にしたグローバルな通信サービスの構築である。

こうした米国企業による大規模コンステの急ピッチな構築に、日本政府は危機感を募らせている。コンステの構築や競争力強化を支援するために、22年度(令和4年度)関連予算では大幅増額に動いた。

「政府の中でも最近では小型衛星コンステが投資対象の“一丁目一番地”になりつつある」。小型衛星開発で日本の第一人者である東京大学航空宇宙工学専攻教授の中須賀真一氏はこう語る。

もともと、大規模コンステの構築には1兆円ともいわれる巨額の資金が必要で、日本企業がこれから真っ向勝負を挑むのは現実的ではない。

しかし、コンステを活用したビジネスには大きなチャンスがある。数千基以上必要なのは、ほんの一握りのサービスで、今後主流になるとみられているのが数十基レベルのものだからである。

例えば、現在100kg級の光学観測衛星5基で画像サービスを提供しているアクセルスペース CEO の中村友哉氏は、「撮影頻度のニーズにもよるが、常時観測するわけではないので数十基単位でいい場合が多い」と話す。

コンステでは、搭載するセンサーの種類や、連携するネットワークの種類(他社や政府の衛星、地上のネットワーク)などサービス設計の自由度が高い。つまり、競合と比較して何かしらの優位性を築けるかが勝負のポイントになる。

## 1.5 2つのビジネスプラットフォーム

宇宙産業は今後、2つのビジネスプラットフ

フォームの成長とともに拡大していく。衛星コンステが配備される低軌道と、19年5月に米航空宇宙局(NASA)が発表した「アルテミス(Artemis)計画」で再び世界的な注目を集めている月である(図6)。



低軌道ではコンステによる衛星ブロードバンド通信、地球観測などのサービスが始まっているが、23~25年ごろには人工流れ星などのエンタメ、スペースデブリ除去や衛星への燃料補給などの「軌道上サービス」が始まりそうである。

NTTとスカパーJSATが21年5月に構想をぶち上げた「宇宙データセンター」は26年開始の計画がある。

一方、地球からの距離が38万kmと遠く、よりリスクが高い月探査や開発は、政府主導の下、民間企業が参加して進められる。アルテミス計画ではまず24年に有人月面着陸を成功させ、その後は「Gateway(月周回有人拠点)」の建設などを通じて月に物資を輸送する。

月面拠点を建設して月での人類の持続的な活動を目指す。ただ、この計画は月で終わりではない。その次の目標は、最接近時で約5600万km離れた火星の有人探査である。

アルテミス計画には米国のほか、日本、カナ

ダ、英国など 12 カ国が参加して国際協調が進められる。

20 年代にビジネス化されるのは月面着陸船(ラングー)や探査のためのローバー、Gateway 関連になるが、30 年ごろに予定されている宇宙基地建設では土木・建築、そして長期滞在・移住ともなれば衣食住に関わる様々なビジネスチャンスが生れる。

民間企業は自社が得意とする技術を月でも生かし、“先行者利益”の獲得を目指す。そのスタートラインに立つための競争が既に始まっている。

### 1.6 ソニーが宇宙エンタメに参入

「宇宙ビジネスはグローバルに見て、まだ多くの分野で勝負が決まっていないブルーオーシャンである。ただし、初期投資が高額で資金回収のスパンも長い」。慶応義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科教授の白坂成功氏は、宇宙ビジネスの特性をこう語る。可能性にはあふれるが、ビジネスとして取り組む難度は高い。

しかし、最近では日本でも政府が産業競争力の強化に向けて各種の支援をしているほか、宇宙ベンチャーへの投資環境もかなり改善してきた。

例えば、宇宙探査の ispace やスペースデブリ除去サービスのアストロスケールはいずれも総額で 200 億円を超える資金を調達している。「20 年前に宇宙業界でこれだけの資金を調達することは考えられなかった」(三菱総研フロンティア戦略グループグループリーダーの内田敦氏)。

ispace によれば「非宇宙分野の民間企業からの直接投資が半分程度」(COO の中村貴裕氏)としており、宇宙ビジネスへの期待感の高さが見てとれる。

政府の宇宙機関である JAXA も、民間企業による宇宙ビジネスの発展を支援する取り組みを進めている。その 1 つが 18 年に開始した「J-SPARC」。新事業促進部長の伊達木香子氏は「宇宙ビジネスは参入障壁が高く 1 社だけでは難しい。そこで JAXA が蓄積してきた技術や知見を活用して、民間企業の技術を宇宙で使ったり、事業を確立したりすることを支援する」。これまで企業から 300 件以上の相談があり、34 件を採用した。

ベンチャーだけではない。J-SPARC を活用して宇宙ビジネスに参入した大手企業も複数ある。例えば、ソニーグループは「宇宙感動体験事業」の開発を進めている(表 1)。

表 1 自社事業でサービスを開発、もしくは計画している日本企業の例。(注) 目録プロセス、写真、会社

事業分野	企業	開発中の写真	概要
探査機	ソニー		COO 兼 CEO の中村貴裕氏が率いる探査機開発チームは、2023 年までに 10 基の探査機を開発し、地上への重量は 2.5 ㎏、宇宙空間での重量は 10 ㎏程度を想定している。探査機は Planet Labs と提携して探査機を開発し、探査機は Planet Labs の「AerGlider」を開発するほか、スペースデブリ除去技術の開発も進めている。
衛星	ソニー		宇宙衛星「ISAT-01」(ISAT-01) は、2023 年の探査機に搭載される。地上での重量は 700g、25 年以降に 15 ㎏の重量になる。探査機は Planet Labs の「AerGlider」を開発するほか、スペースデブリ除去技術の開発も進めている。
SAR	QPS 研究所		21 年 1 月に SAR 衛星 2 号機「QPS-2」(110kg) を打ち上げサービスを開始。地上での重量は 700g、25 年以降に 15 ㎏の重量になる。探査機は Planet Labs の「AerGlider」を開発するほか、スペースデブリ除去技術の開発も進めている。
SAR	Synspec		探査機 2 号機「ISAT-02」(110kg) を 21 年 1 月に打ち上げサービスを開始。地上での重量は 700g、25 年以降に 15 ㎏の重量になる。探査機は Planet Labs の「AerGlider」を開発するほか、スペースデブリ除去技術の開発も進めている。
エンタメ	人工衛星 など		21 年 1 月に人工衛星「ISAT-01」(110kg) を打ち上げサービスを開始。地上での重量は 700g、25 年以降に 15 ㎏の重量になる。探査機は Planet Labs の「AerGlider」を開発するほか、スペースデブリ除去技術の開発も進めている。
通信サービス	ソニーグループ		探査機のカメラを駆使して宇宙を撮影し、地上のユーザーがリアルタイムで宇宙から撮影した画像や動画を閲覧できるサービスを提供している。探査機は Planet Labs の「AerGlider」を開発するほか、スペースデブリ除去技術の開発も進めている。
軌道上サービス	アストロスケール		探査機のカメラを駆使して宇宙を撮影し、地上のユーザーがリアルタイムで宇宙から撮影した画像や動画を閲覧できるサービスを提供している。探査機は Planet Labs の「AerGlider」を開発するほか、スペースデブリ除去技術の開発も進めている。

「これまで宇宙飛行士の特権だったものを技術でエンタメ化して一般に解放する」と同社事業開発プラットフォーム新規事業探索部門宇宙エンタテインメント推進室の見座田圭浩氏は事業の狙いを語る。

具体的にはソニー製のカメラを搭載した衛星を打ち上げ、地上から一般の人が操作して宇宙からライブ中継をしたり、自分の好きな場所や風景の動画や写真を撮れるサービスを提供したりする。

ビジネスモデルは数種類あるが、例えば 1

回 90 分の地球周回のうち特定の撮影時間枠を提供する。価格は 1 回数十万元以上を予定しており、結婚式など記念日での利用を想定する。現在、東京大学と 6U の衛星を開発中で、22 年度下期の打ち上げを計画している。

古河電工も J-SPARC を活用して宇宙ビジネスに新規参入した 1 社(図 7)。

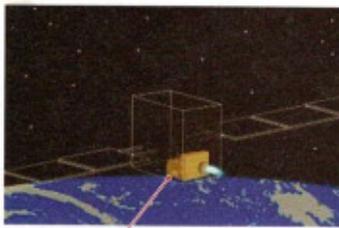


図7 部品メーカーにもチャンス到来  
古河電工は電気推進系用の小型電源を開発する。500kg以下の衛星がターゲットだ。競合品の半分の軽さを目標とする。(写真:古河電工/JAXA)

電気推進系(Hallsruster)のイメージ

小型衛星で現在主流の化学推進系を今後置き換えるとみられる、「ホールスラスター」という電気推進システム用の小型電源を開発する。化学推進系は燃費が悪いことや燃料のヒドラジンに毒性があることが問題になっている。

一方で、電気推進系用の電源は大型衛星用の 5k~6kW 級のものはあるが、500kg以下の小型衛星用の 1kW 級はまだ数が少ない。

そこで同社が有する熱設計技術や巻線設計技術などで軽量・小型化を実現し、市場のトッププレーヤーを目指す。

目標の重さは海外製競合品の半分に相当する 5kg。一般に 1kg あたり 200 万円といわれる打ち上げコストの低減に貢献するとしている。

宇宙産業の成長は、このような新規のプレーヤーの参入や、ALE\*の人工流れ星など独自のアイデアに基づくサービスを開発できるかが鍵になる。

宇宙ビジネス共創委員会委員長などを務

める慶応義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科教授の神武直彦氏は、「今後市場が成長するかどうかは、異業種に属する人たちとの“掛け算”がどれだけ生まれるかによるだろう」と話す。

### 1.7 月着陸をメディア化

月関連のビジネスには、既に日本からも多くの企業が参入を表明している。例えばトヨタ自動車は有人与圧ローバー、ホンダは循環型再生エネルギーシステムなどの研究を JAXA とそれぞれ進めている(図 8)。



中でもビジネスという観点で先行しているのが ispace である。同社は米 Google がスポンサーとなり、米 XPRIZE 財団が運営した月面探査の国際賞金レース「Google Lunar XPRIZE」で最終選考に残り、そこで技術を蓄積した。

22 年後半のミッション 1 では自社開発のランダーで日本初の月面着陸を目指す。そして 23 年のミッション 2 では月面着陸とそこに搭載した自社開発のローバーで探査をする計画である。

ミッション 1 ではアラブ首長国連邦(UAE)ドバイの宇宙機関が開発したローバーを搭載して月に運ぶなど、既にビジネス化を進めている。

さらに、世界から注目を集めるであろう月面着陸をメディア化して、企業とスポンサー契約を結んだりするビジネスも始めている。

これは、政府機関が主導してきた宇宙開



「テルアーキテクチャー」のような絶対的な標準が存在しない。超小型衛星「Cube Sat」では、10cmx10cmx10cm を「1U」としてそれを組み合わせるように外形寸法は規格化されているが、内部インターフェースの規格はまだない。

既に衛星ブロードバンドサービス「Starlink」用に小型衛星を約 1700 基打ち上げている米 SpaceX など、衛星コンステの先行者も「自前主義」の開発だという。「彼らは外部企業に向けた受託開発は行っていない」（Synspective の小畑氏）。

今後増えるのは、数十基レベルのコンステ。「Starlink のような大規模コンステは世界に数個は必要だが、我々は数十基のコンステが多数ある未来を予想している」とアクセルスペースの中村氏は話す。

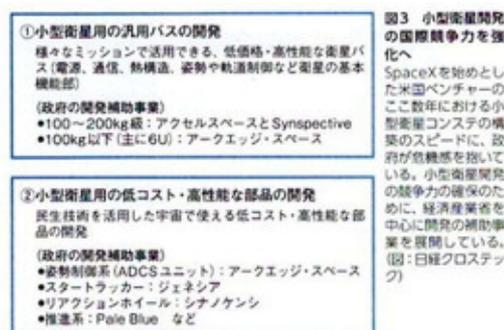
主に 6U の衛星を開発するアークエッジ・スペース CEO の福代孝良氏は、「コンステの多くは 50 基以下で、今後は地球観測や気象観測、宇宙・地上間 IoT/M2M (Machine to Machine) 向け通信などで 6U の需要が高まるだろう。こうしたミッションに柔軟に対応し、多種類・複数生産できる体制を築く」としている。

## 2.2 政府肝入りで汎用バス開発へ

衛星の量産技術強化の鍵となるのが「汎用バス」の開発である。衛星システムは、観測機器や通信機器など軌道上での任務を司る「ミッション系」と、姿勢制御、軌道制御、通信、電源など基盤機能を司る「バス系」で構成される。

衛星バスは、いわば“足回り”の部分だが、共通規格は存在せず、これまでは衛星を開発するたびに 1 から開発するケースが多かった。

経済産業省は 21 年 8 月、同省が進める「超小型衛星コンステレーション技術開発実証事業」における汎用バスの開発・実証の補助事業者として、アクセルスペース／Synspective の共同チームと、アークエッジ・スペースを採択した(図 3)。



経産省の補助金で前者が 100kg 級、後者が 6U の汎用バスを開発する。100kg 級では光学と SAR の両方に使えるバスの開発を目指す。

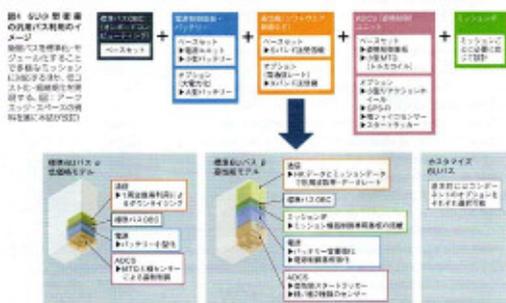
SAR はマイクロ波を出射するため光学に比べて消費電力が高く、排熱処理も難しい。ALE CEO の岡島礼奈氏は「共通規格にすることでコスト低減や短納期化を期待できる。部品調達でもメリットが出る。当社が手がける人工流れ星は特殊なので使えないが、大気データ観測衛星などには使えるかもしれない」と話す。

経産省がこうした事業を進めているのは、日本政府が産業競争力や安全保障、宇宙活動の自立性の確保などの観点で小型衛星コンステの構築能力の確保が急務と考えているから。

実際、政府は関連予算を大幅に増強する方針を示す。「世界で戦える衛星バス事業者を育てる」(経済産業省製造産業宇宙産業室室長補佐の伊奈康二氏)。

アークエッジ・スペースによれば、6U 向け

汎用バスの利用イメージはこうだ(図 4)。バスはコマンド/データ処理(OBC:オンボードコンピューティング)、電源、通信、姿勢制御(ADCS)といった各コンポーネントごとに標準化してある。



それを組み合わせて、「低価格モデル」「高性能モデル」「カスタマイズ」用のバスとする。「バスの汎用化によって量産ができれば、(製造コストを)現在の半額以下にできる可能性がある」(福代氏)としている。

### 2.3 部品開発に生きる日本の技術

小型衛星コンステ製造の国際競争力強化に向けたもう1つの要素技術が、部品である。

1品ものの大型衛星と比べ、小型衛星では低コスト短納期の量産品が求められるが、現状、その選択肢は多くない。特に基幹部品の多くが海外製で、煩雑な輸入手続きによって納期が長くなったり、価格が押し上げられたりすることが、国内の衛星開発事業者の悩みの種になっている。そこで、経産省は衛星の基幹部品を開発する国内事業者を支援する取り組みを進めている。

その内の1社が、光学システム技術に強みを持つジュネシア。同社は東京工業大学、東北大学と共同で、衛星の姿勢制御の中核部品であるスタートラッカー(恒星センサー)を開発した(図 5)。

スタートラッカーは光学カメラで宇宙空間を撮影し、その視野内の恒星の位置から、

衛星が向いている方向を推定するセンサーである。



図5 世界最高レベルの性能を持つ小型衛星用のスタートラッカー  
光学システム技術に強みを持つベンチャー企業のジュネシアと東京工業大学、東北大学が共同開発したスタートラッカー。寸法は74mm×65.5mm×143.6mmで重さは460g、100kg級からCubeSatにまで搭載可能という。(写真:ジュネシア)

ジュネシアらが開発したのは、方向の決定性能でエラー発生率が1000回に3回、さらに「太陽回避角」で世界最高峰の性能を持つ製品である。

太陽回避角は、どのくらい太陽光線から角度をそらすと光にじゃまされずに計測できるかという指標で、開発品は30度より小さいとしている。レンズフードに刻むひだの工夫による。

「太陽がまぶしいせいで衛星が正しく姿勢を決定できないことも多い。太陽回避角は衛星の運用時間、つまりコストに影響を与える重要なファクターだ」(ジュネシア代表取締役の武山芸英氏)とする。開発したセンサーは東工大が開発した50kg級衛星「ひばり」「うみつばめ」に搭載され、打ち上げられる予定。

スタートラッカーの価格の相場は1500万~2000万円と高いが、ジュネシアは相場より2~3割安く提供できるとしている。武山氏は、「国産の200kg以下の衛星向けで7割のシェアを取りたい」と意気込む。

27年には世界で新規に打ち上げられる小型衛星でのシェアで10%を目指すこうした大きな目標を掲げて宇宙ビジネスに参入したのが、モーター技術に強みを持つシナノケン

シである。

同社が開発するのは、衛星の姿勢制御に用いる「リアクションホイール」という部品で、アクセルスペースと共同開発している(図 6)。



図6 車載部品開発の知見を宇宙で生かす  
シナノケンシは、小型衛星の姿勢制御に用いる基幹部品である「リアクションホイール」の開発に取り組んでいる。同社のモーター技術によって、衛星の姿勢の乱れを引き起こす振動が少い製品を開発する。現在、アクセルスペースと共同開発中で、同社の100kg級衛星に搭載される予定。(写真：シナノケンシ)

リアクションホイールは、主にフライホイール、電動モーター、制御基板で構成され、フライホイールの回転数変動に伴う反作用で衛星にトルクを与えて姿勢を制御する。通常、1基当たり3~4個搭載される。

シナノケンシが目指すのは、モーター制御により低振動で安定動作を維持する製品。例えば、光学観測衛星では数百 km 上空から撮影するため、振動が起きると解像度に悪影響を与える。

価格は海外の競合製品より2~3割安く、納期は半分を目標にしている。22年度内に開発を終え、23年度に100kg級衛星に搭載して打ち上げ実証を行う予定である。

## 2.4 衛星の進化に3つのトレンド

宇宙には先端のイメージがあるが、異業種の経験者からは「地上と比べて遅れている」との指摘も聞かれる。

その最たる例が「1度打ち上がるとミッションを変更できない点だ」(三菱電機電子システム事業本部宇宙システム事業部長の柴田泰秀氏)。

低軌道の衛星の寿命は2~5年、静止軌道にもなると15年程度。この間に地上のエレクトロニクス技術はどんどん進化し、地上

システムと衛星の機能・性能にミスマッチが起きてしまう。小型衛星コンステによるビジネス化の波は、衛星が抱える技術課題を浮き彫りにした。

現在、次世代の衛星に向けた注目の技術は3つある。①衛星のデジタル化、②軌道上でのオンボードコンピューティング(OBC)、③光衛星通信である。

①は、打ち上げた衛星のミッションをソフトウェア的に変更できるようにする。既に一部の通信衛星はこの機能を搭載しており、無線の周波数を切り替えたり、サービス対象エリアを切り替えたりする機能を有する。通信以外にもソフトで機能をアップデートする技術の開発が進められている。

②はAI(人工知能)などを活用することでミッションの処理を軌道上で自律的に行う技術である。

例えば、コンステのそれぞれの衛星が、自らの位置や姿勢に関する情報を分析して自律的に調整したりする。

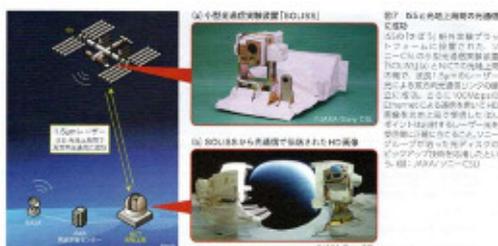
③は観測衛星などが抱える喫緊の課題を解決し得る技術。観測衛星では、撮影した大量の画像を適宜地上に伝送できないことが問題になっている。

衛星は地上局と電波で通信しているが、伝送速度が10Mbps程度と遅いうえ、軌道を周回している衛星が地上局と交信できるタイミングが1回に数分程度に限定されている。

さらに衛星に割り当てられた電波の周波数帯は混雑していて、免許取得に時間がかかるうえ、さらなる高速化は難しいのが現状である。光通信なら理論上、1G~10Gbpsの高速通信が可能なおうえ、現状では免許も不要である。

## 2.5 ソニーが目指す衛星間光通信

ソニーコンピュータサイエンス研究所(ソニーCSL)は、宇宙航空研究開発機構(JAXA)と共同開発した小型光通信実験装置「SOLISS」の実証を進めている。20年3月には宇宙と地上間の双方向光通信に成功した(図7)。



具体的には国際宇宙ステーション(ISS)の「きぼう」日本実験棟に設置した SOLISS と情報通信研究機構(NICT)の宇宙光通信地上局との間で双方向光通信リンクを確立し、100Mbps の Ethernet 経由での画像データ伝送に成功した。

光衛星通信では、送信側の装置が発射するレーザー光を遠距離にある受信側装置に正確に当てなくてはならない。

SOLISS でそれを可能にしたのが、ソニーグループが培ってきた光ディスクの技術である。1000km で 20m の誤差という高精度を実現した。

今回は宇宙と地上間だが、ソニーCSL が目指しているのが衛星間光通信の実現。小型衛星に SOLISS を搭載する。地上局と異なり、衛星は動いているうえ、距離は最大で 4500km にもなるため、より高いポインティング精度が求められる。

これが実現すれば、コンステの複数の衛星が取得したデータを、地上局に最も近い衛星から下ろせる。今後、2~3 年での実証を目標にしている。

筑波大学発ベンチャーのワープスペースは、ソニーCSLとは異なる手法による光衛星通信サービスの開発を進めている(図8)。



図8 中軌道の中継衛星から地上にデータを下ろすワープスペースは、低軌道の衛星のデータをとった中軌道に配備した中継衛星に光通信で送り、そこから電波で地上に下ろすサービスの開発を進めている。22年から3基を中軌道に打ち上げ、23~24年のサービス開始を目標としている。(図:ワープスペース)

低軌道の衛星と光通信をする中継衛星「WarpHub InterSat」を、高度数千 km の中軌道に配備し、そこから電波で地上にデータを下ろす。

光通信に使われる赤外レーザー光は雲があると、減衰やしゃ断が起きるなど安定性に欠けるとみており、低軌道-中軌道間は高速の光通信、中軌道-地上間は電波で通信する。低軌道-中軌道間の通信速度は 1Gbps を予定している。

このサービスの実現には、顧客である衛星開発事業者に、ワープスペースの光通信装置を搭載してもらう必要がある。一方、WarpHub InterSat には、光通信装置を複数台載せてマルチリンクを実現する。初号機には 2 台載せる。

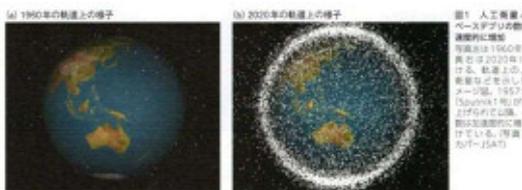
初号機を 22 年に打ち上げ、23 年に 2 基を追加して 3 基体制とし、23~24 年にサービスを開始する。3 基あれば全球をカバーでき、ほぼリアルタイムに低軌道の衛星データを地上に下ろせるという。

## 3. スペースデブリ除去

加速する民間企業の宇宙進出によって深刻化しているのが「スペースデブリ(宇宙ごみ)」問題である。現状では国際的なガイドラインは発表されているものの、明確なルール

整備は進んでいない。

そんななか、世界に先駆けて対策に取り組むのが日本企業。デブリ化を防ぐ搭載機構の技術開発や、能動的にデブリを除去する人工衛星の開発が進んでいる。1957年に世界初の人工衛星「Sputnik(スプートニク)1号」が打ち上げられて以降、地球軌道上の衛星の数は増え続けてきた(図1)。



衛星が打ち上げられると、切り離れたロケットの一部や運用期間を終えた衛星、それらが破損などにより断片化したものが宇宙空間を漂う。これがスペースデブリ(宇宙ごみ)の正体である。

スペースデブリは様々な問題を引き起こす。例えばデブリが衛星に衝突すれば、衛星が破損する可能性があるほか、ちょっとした破片が衛星の太陽電池パネルにぶつかっただけでも電力を喪失してその衛星の機能が失われてしまうかもしれない。

実際、スペースデブリへの危機感が増したのは、衛星同士の衝突事故が起こったからである。これがもし国際宇宙ステーション(ISS)と衝突すれば、最悪の場合は人命に関わる事故を引き起こしてしまう。こうしたスペースデブリ問題は世界中で深刻化している。

背景には、民間でのロケット打ち上げや衛星サービスなどが急成長し、宇宙空間へ打ち上げられる数が急増していることが挙げられる。

### 3.1 増え続ける人工衛星とデブリ

欧州宇宙機関(ESA)が発表した21年9月20日時点のデータによれば、大きさが10cm以上のスペースデブリの数は約3万6500個、1~10cmの大きさであれば約100万個にもおよぶという(表1)。

表1 1cmより大きなスペースデブリは100万個以上も存在  
欧州宇宙機関(ESA)が発表したスペースデブリ関連のデータ。スペースデブリの数は今後数倍以上に増えると推測されている。(図:日経クロステック)

1957年以降のロケット打ち上げ数	約6110基(失墜を除く)
これまでに打ち上げられた衛星の数	約1万2070基
宇宙に残っている衛星の数	約7550基
現在運用中の衛星の数	約4700基
地球軌道上にある宇宙物体の総質量	9500トン以上
軌道上にあると推定されたスペースデブリの数	(10cm以上) 約3万6500個 (1cm~10cm) 約100万個 (1mm~1cm) 約3億3000万個

(2021年9月20日時点のESAのデータ)

しかも、これらの物体が回転しながら秒速約8kmの速さで移動しているため、単純に捕捉するのも困難。まさに地上なら道路上に様々な障害物があるような状態なのかもしれない。

現在機能している衛星の数は約4700基あるが、今後10年でその数は10倍近くまで増加するという予測もある。

例えば米SpaceXの衛星ブロードバンドサービス「Starlink」のように、数千から数万基の衛星を用いる通信メガコンステレーションなどの宇宙ビジネスも動き出しているからである。

デブリ同士が衝突して分裂し、さらにデブリが増えるケースも多く、スペースデブリが今後急増するのは確実である。

そうなると宇宙産業成長の中核とみなされている地球低軌道での経済活動の阻害要因になる可能性がある。

衝突を回避するための航行管制ルールや、運用を終了したロケット本体や衛星がデブリ化しないような仕組みの整備が急務になっている。

### 3.2 動き出したルール整備

スペースデブリ対策では、地上でのごみ処

理に一定のルールが必要なように、国際ルールのようなものが必要になってくる。

実は 02 年には宇宙機関間デブリ調整委員会(IADC)で、07 年には国連宇宙空間平和利用委員会(COPUOS)で、それぞれスペースデブリ低減ガイドラインが採択されたものの、その後の議論はなかなか進展しなかった。それが、近年になってようやく動きを見せ始めた。

例えば 19 年 6 月に COPUOS 本委員会において「宇宙活動に関する長期持続可能性ガイドライン」が加盟国 92 カ国の全会一致により採択された。

「92 カ国が全会一致したのは非常に画期的なことだ」(アストロスケール ゼネラルマネージャーの伊藤美樹氏)。21 年 6 月には主要 7 カ国(G7)首脳会議でスペースデブリ対策を含む共同声明が発表された。

「まだ罰則が無いソフトローで自主的な取り組みに依存しているが、各国の政策レベルで動き出していて、具体的な活動に移りつつあるフェーズになっている」(伊藤氏)。

### 3.3 有力な 2 つのデブリ対策

スペースデブリ対策には主に 2 種類の方向性がある(表 2)。

表 2 スペースデブリ対策は主に 2 つの方式で実施

スペースデブリ対策は主に低減と削減の 2 種類に分けられる。1 つは、デブリ化防止用の機構を搭載し、「運用終了後の廃棄」(Post Mission Disposal, PMD)を確実に進めることで、スペースデブリの発生を低減する。もう 1 つは、デブリ除去用の衛星などでスペースデブリに接近して捕獲し取り除く「能動的なデブリ除去」(Active Debris Removal, ADR)で、スペースデブリの数を減らす。それぞれ複数の民間企業が技術開発を進めている。(出：日経クロステック)

方式	特徴	取り組む民間企業
運用終了後の廃棄 (Post Mission Disposal, PMD)	衛星の推進系や、搭載するア ンテナや観測などの機構を用い て、自ら軌道離脱する	ALE、アクセルスペース、サカセ・アドテック など
能動的なデブリ除去 (Active Debris Removal, ADR)	専用の衛星が既存のスペース デブリを捕獲して除去する	アストロスケール、スカ イバー JSAT、日経産業 工業など

1 つは、これから打ち上げる衛星などに運用終了後に自ら軌道を離脱する機構を備えて、スペースデブリの発生を低減する「PMD」方式。

もう 1 つが、既存のスペースデブリや今後

デブリ化した物体を能動的に除去する「ADR」方式である。

スペースデブリの廃棄先は、低軌道と静止軌道で異なる。高度 2000km 以下の低軌道の場合は主に、大気圏に突入させて燃え尽きさせる。

一方で地球から 3 万 6000km 離れている静止軌道の場合は、静止軌道よりも約 300km 高い「墓場軌道」と呼ばれる軌道へ移動させることが主となる。

ガイドラインでは、運用終了後に長期的に軌道上にとどまらないよう、25 年以内に廃棄するよう記されている。

前述の国際的なガイドラインは、主に PMD に関連した、スペースデブリの低減を目的としている。一方で、ADR に関連したスペースデブリの削減については、ソフトローを含めても具体的な国際ルールが存在しない。

現状、PMD による低減策だけでは特に混雑が予想される低軌道の環境改善は困難とされている。ADR による削減策など、積極的な対応と組み合わせることで実施していくことが求められる。

こういったルールメイキングについてアストロスケールの担当者は「低減ガイドラインの 100% 順守に加えて、例えば『25 年ルール』の短縮など、ガイドラインの見直しが必要になるだろう。

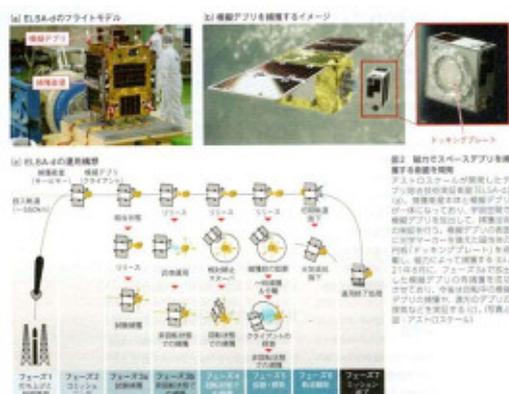
さらに踏み込んで、実際に今存在するスペースデブリの数を減らすために、削減を推進できるようなルールや仕組みの整備が必要になってきているのではないかと指摘する。

### 3.4 小型衛星でデブリを捕獲

こうした流れの中で、スペースデブリ対策

のコミュニティーでリーダーシップを取ってルールメイキングに取り組んでいるのが、アストロスケールである。

同社は小型衛星を用いたスペースデブリ除去技術を開発しサービス化に向けて技術実証を続けている。21年3月に技術実証用の小型衛星「ELSA-d」を打ち上げた(図2)。



21年8月の実証実験では、ELSA-dを用いて、宇宙空間に放出した模擬デブリを再度捕獲するミッションを成功させた。

模擬デブリは捕獲に用いる「ドッキングプレート」と呼ぶ磁性体の円板を搭載していて、捕獲衛星が接近し磁力でくっつける。

その後の技術実証で難しいのが、回転しながら高速移動するスペースデブリに、捕獲衛星の姿勢を合わせる制御システムの開発である。

「デブリは基本的に信号を発しないので、無信号の対象の状態を把握して正確にランデブーするのは非常にチャレンジングだ」(伊藤氏)。

アストロスケールはこうした技術実証を重ね、24年にスペースデブリ除去サービスの商用化を目指す。

ELSA-dは1基で1つのスペースデブリを除去する仕組みだが、商用化の際には複数のスペースデブリを1基で除去できる機能

を備えた商用衛星「ELSA-M」を用いるとする。

このほか ADR の取り組みとして、打ち上げロケットの本体のような、大型スペースデブリを除去する実証衛星「ADRAS-J」の開発も進めている。

宇宙航空研究開発機構(JAXA)の「商業デブリ除去実証プロジェクト」に参画し、22年度に米 Rocket Lab で ADRAS-J を打ち上げる予定である。

伊藤氏は「30年までに、スペースデブリ除去や衛星への宇宙での燃料補給といった軌道上サービスを常用化させたい」と目標を語る。「JAF(日本自動車連盟)のロードサービスのように、宇宙でのロードサービスをつくりたい」(伊藤氏)。

### 3.5 レーザーで遠距離から除去

ADR において、捕獲用の衛星でスペースデブリを除去することには困難やリスクを伴う。対象物の回転に合わせるのが難しく、接触による破損などの恐れもあるからである。

そこでスカパーJSATは、理化学研究所やJAXA、名古屋大学、九州大学と連携して、レーザーを用いたスペースデブリ除去衛星を開発している(図3)。

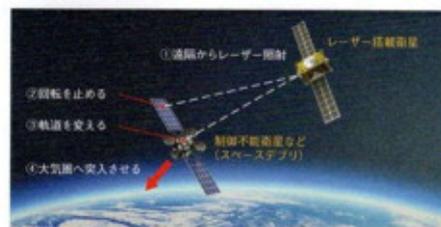


図3 レーザーで離れた位置からでもデブリ除去を可能にスカパーJSATらが進める。レーザー照射によるデブリ除去のイメージ。スカパーJSATと理化学研究所、JAXA、名古屋大学、九州大学が共同で人工衛星を開発する。レーザー照射によってスペースデブリ上に生じる反力により、回転を止めたり軌道を変更させたりでき、大気圏へ突入させて廃棄することができる。(図1スカパーJSATの資料を基に日経クロステックが作成)

レーザー方式は、まず回転しているスペースデブリにレーザーを照射して回転を止め、再びレーザーを照射して軌道を変更させる

仕組みである。

利点は非接触で処理できること。接近し接触させて除去するのに比べて安全性が高く、スペースデブリの回転に合わせる高度な姿勢制御を必要としない。

もちろん、レーザーを狙った場所に当てるための制御技術が必要になる。加えて、スペースデブリのどの部分にレーザーを当てれば良いか、対象の状態を分析して割り出すシステムの開発も必要である。

さらに重要なのが、スペースデブリを移動させるのに必要な出力を持ったレーザー装置である。小型衛星は電力や搭載質量に制約があるためである。レーザー装置は、理化学研究所とともに研究開発を続けている。

スカパーJSAT は、26 年のサービス提供を目指す。今後、超小型衛星などが PMD 機構を搭載できず、外部サービスと契約することでスペースデブリ低減ガイドラインの要件を満たせるとなった場合などに、ビジネスチャンスを見いだす。

### 3.6 導電性テザー装置を販売

PMD 機構を開発する日本企業には、人工流れ星事業を手掛ける ALE もある。

同社は人工流れ星やデータ観測に並ぶ事業の 3 本柱の 1 つとして、小型衛星に搭載する導電性テザー装置を開発する(図 4)。

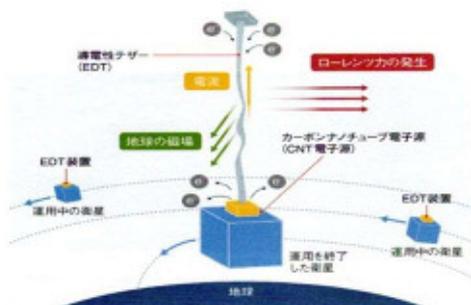


図4 導電性テザーを伸ばし速度を落とす軌道離脱  
ALEが開発する導電性テザー(EDT)装置の概要。伸ばしたEDTに電流を流すと地球の磁場と相互作用して進行方向と垂直にローレンツ力が発生する。このローレンツ力によって衛星の速度が落ち、軌道を離脱した衛星は大気圏に入ると燃え尽きる。(図：ALE)

この装置では、衛星から導電性テザーを

伸ばし、電流を流して進行方向の道側にローレンツ力を発生させ、速度を落として軌道を離脱させる。同社は 21 年以内に導電性テザー装置を搭載した実証機を打ち上げる予定である。まずは技術実証を行い、今後はロケットや衛星を開発する企業などに販売する。

「人工流れ星やデータ観測よりも早くビジネス化が可能ではないか」(ALE CEO の岡島礼奈氏)とする。

### 3.7 薄膜展開型で搭載制約を低く

サカセ・アドテックは、小型衛星による観測サービスを手掛けるアクセルスペースと共同で、薄膜を展開する PMD 用の機構装置を開発している(図 5)。展開した膜面で宇宙空間にわずかに存在する空気の抵抗を大きくし、衛星の速度を下げ軌道離脱させる。



図5 大気圏突入までの時間を4分の1に短縮する薄膜展開型機構  
アクセルスペースとサカセ・アドテックが共同開発している薄膜展開型機構。大きさが27cm×24cm×6cmの装置から、約2平方メートルの膜を展開する。衛星の運用終了後に軌道高度を下げて大気圏に突入させる際、自然落下だと約20年かかるのを、この機構を使えば5年程度まで短縮できるという。(写真：アクセルスペース)

特徴は小型軽量であること。小さな装置から大きな膜面を展開でき、推進系機器を搭載するのに比べ、小型衛星へ搭載しやすい。JAXA の「革新的衛星技術実証 3 号機」のテーマに採択されており、今後軌道上での技術実証に向けて開発を進める。アクセルスペースの小型衛星への搭載も予定する。

### 3.8 政府は宇宙の監視体制を整備

衛星やスペースデブリの数が増える中で、それらが軌道上のどの位置にどの程度存在しているかを正確に把握することは非常に重要となる。それが宇宙状況監視(Space Situational Awareness、SSA)と呼ばれるシ

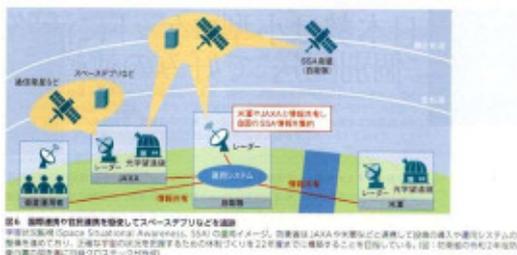
システムである。

主な SSA は米国宇宙監視ネットワークで、複数の観測装置や監視衛星から軌道上を監視し、衛星事業者などに情報を提供している。国内では JAXA など取り組んでおり、岡山県などに複数の観測設備が存在している。

SSA では、地上から光学望遠鏡やレーダーで観測することが多い。米国などでは、宇宙に打ち上げた監視衛星からも観測している。主に低軌道の追跡に使われている。

SSA が取得した軌道上の正確なデータは、軌道上サービス事業者やロケット打ち上げ事業者などにニーズがある。加えて防衛省は、敵対性のある衛星の監視など、安全保障分野の側面からも SSA を重要視している。

防衛省は 22 年度までに、JAXA や米軍と連携可能な運用システムを整えるなど、新たな SSA 運用体制の構築を目指している(図 6)。



この計画では、宇宙設置型の SSA 衛星やレーダー観測装置を導入する予定である。

#### 4. 宇宙輸送

小型人工衛星の打ち上げ数が増加し、今後、有人宇宙飛行や月探査なども活発化するとみられるなか、宇宙へ物や人を輸送する需要は確実に拡大する。

米国では米 SpaceX などのベンチャー企業が宇宙輸送というインフラ掌握を狙い、輸送の高頻度・低価格化にまい進している。一

方、日本はどうか。ホンダが参入を表明するなど、ここにきて民間の動きが活発化してきた。

宇宙ビジネスが産業として発展を遂げるための重要な要素の 1 つが、輸送システムの拡充である。人工衛星を用いた通信サービスやコンステレーション、軌道上サービス、月や火星などへの宇宙探査に至るまで、まずは地上から宇宙へ物や人を運ばなければ何も始まらない。

輸送をいかに安く、高頻度にできるか。宇宙という場に経済圏を創るためにも民間のロケット会社への期待は大きい。

既に米国では、米 SpaceX や米 Blue Origin など宇宙ベンチャーが大型ロケットを高頻度に打ち上げ、民間企業による競争が起きている。

例えば SpaceX は「Falcon9」を、2020 年に年間 25 回打ち上げた。これはスペースシャトルの引退後に一時的に国際宇宙ステーション (ISS) への物資や宇宙飛行士の輸送手段を失った米国が、宇宙輸送を米国の民間企業に委託すべく多額の開発資金を含めて支援してきた成果の一端である。

一方、日本の宇宙輸送は米国と比べてかなり遅れている。打ち上げが年に数回と少ない国産の「H-IIA」ロケットが主力という状況。だから、国内の衛星ベンチャー企業の多くは海外のロケット会社に打ち上げを依頼するしかない。ベンチャー企業が考えるビジネスのスピード感やコストに、国のロケットがマッチしないからである。

しかし、国内でも 20 年代前半には民間のロケット会社による衛星の打ち上げが始まりそうだ(図 1)。21 年 9 月末には、ホンダも小型衛星を軌道投入する小型ロケット事業に



### 4.3 有翼式で衛星打ち上げ

有翼式再使用ロケットを開発するベンチャー企業の SPACE WALKER が狙うのは、小型衛星の打ち上げサービスである(図 2)。



図2 有翼式再使用ロケットによる衛星打ち上げの利点  
 従来のロケット打ち上げは、打ち上げ後にロケットの大部分が燃焼して廃棄される。Space Walkerの「有翼式再使用ロケット」は、打ち上げ後に機体とエンジンが分離し、機体はパラシュートで回収される。エンジンは着陸後に再使用される。この方式は、打ち上げコストを大幅に削減し、打ち上げ頻度を高めることが期待される。

同社は25年から商用サービスを開始する予定で、25年に観測ロケット「FuJin(風神)」を、27年には小型衛星向けの「RaiJin(雷神)」を打ち上げる。

FuJinの打ち上げで実績を積みつつ、RaiJinによる小型衛星打ち上げを事業のメインに据える計画だ。「有翼式はチャーター便のような立ち位置である。

乗り合い(ライドシェア)と違って狙った軌道に狙ったタイミングで運べるため、ロケットの少ない小型衛星がターゲットになる」(SPACE WALKER CEOの眞鍋顕秀氏)。現在はオートパイロットのための誘導制御システムの開発と実証を進めている。オートパイロットを実現できれば、パイロットの育成コストなども抑えられる。

開発中の誘導制御システムを搭載した実験機「WIRES#015」は、22年にヘリコプターとつないだ予備試験を国内で行い、23~24年に欧州で飛行試験を行う予定である。

技術的な主な課題はオートパイロットの実現と、より環境負荷の低いメタンエンジンの実用化、そして機体の軽量化の3つだが、

既に実験機による技術実証のフェーズに入っており解消していける見込みだという。

### 4.4 打ち上げ費用を大幅に安く

19年5月に観測ロケット「MOMO」を、日本の民間企業としては初めて高度約100kmを超える宇宙空間に打ち上げ、これまでに合計3回の打ち上げに成功しているインターステラテクノロジズは、23年度に次のステップに踏み出す。

小型衛星を低軌道に投入するためのロケット「ZERO」を打ち上げ、宇宙輸送市場に参戦する第一歩を刻む(図3)。



図3 使い捨てロケットで低軌道衛星を打ち上げる  
 インターステラテクノロジズは、小型衛星向けの軌道投入ロケット「ZERO」を開発している。ZEROは各コンポーネントの開発中で、23年度に打ち上げる予定だ。ZEROの機体やコンポーネントは、観測ロケット「MOMO」(c)で開発された技術を流用している。打ち上げに必要なエネルギーが大きく増えるため、機体の長さや太さが、例えばMOMOの長さ約1トンだが、ZEROでは約30トンになるという。写真：(a)(b)は打ち上げの様子、(c)はインターステラテクノロジズ

「打ち上げ費用は1回当たり6億円以下を目指す」と社長の稲川氏は言う。現状、ロケット打ち上げ1回当たり数十億円以上の費用がかかる場合が多いが、その状況を改善する。

さらに顧客の希望の軌道に投入できる点や、日本やアジア、欧州の顧客であれば打ち上げに関する手続きが米国企業に依頼するよりも簡便な点などを訴求するという。

ZEROは小型ロケットとはいえ、MOMOに比べれば圧倒的に大きい。全長は約22mで、約9.9mだったMOMOの2倍以上、直径は約1.8mで、約0.5mだったMOMOの3倍以上となる。ZEROの重さは約30トンで、約1トンのMOMOの30倍近い値。しかも小型衛星を軌道に投入するために、高度約

500km まで上昇させる必要がある。

高度 100km までだった MOMO のエンジンは 1 段式だったが、ZERO は 2 段式が必要になる。つまり、MOMO の開発で培った技術やノウハウを生かせる部分もあるが、新たに開発が必要な部分も非常に多いのである。

現在は ZERO の各コンポーネントの開発を進めている。例えばロケットエンジンでは、室蘭工業大学や荏原製作所と新たなターボポンプを開発している。

ターボポンプとはタンク内の推進剤を高圧にして燃焼器に送り込む部分のコンポーネントで、MOMO では搭載の必要がなかったものの、ZERO では“心臓部”と呼べるほど重要なものだという。

また、燃焼器は宇宙航空研究開発機構 (JAXA) と共同で開発を進めている。燃焼器には、MOMO 向けに東京大学と共同開発したピントル型インジェクター(ロケットエンジンの推進剤噴射装置の一型式)を採用している。

部品点数を 10 分の 1 から 100 分の 1 に抑えてコストダウンを実現するという。ロケットのコンポーネントをほぼ内製することで大幅にコストを削減し、打ち上げ頻度を増やしていく。

これによってさらなる低コストが可能になる。宇宙用のコンポーネントの場合は、開発ができて、採用には実際に宇宙で問題なく動作するという実績が必要となる。

「共同開発した部品を搭載してフライト実証することで、宇宙向けコンポーネン開発も加速させられる」(稲川氏)。将来は深宇宙へ到達できるようなロケット型化や、有人ロケットの開発も視野に入っているという。

#### 4.5 世界中で構想進む宇宙港

宇宙輸送では、ロケット技術だけでなく上げの射場も重要になる。輸送の範囲にまで広がると、射場の在り方が変わってくる。そこで世界で注目されているのが、宇宙港(スペースポート)構想である。

日本国内では複数の自治体や空港関係者が検討を開始しており、北海道の大樹町、大分県の大分空港、沖縄県の下地島(しもじしま)空港が既に構想を発表している(図 4)。



図4 海外だけでなく国内でもスペースポート構想が活発化  
ロケットやスペースプレーンを垂直もしくは水平に開発させる射場として、国内外で宇宙港(スペースポート)の構想や事業化が進んでいる。写真には北海道の大樹町に建設予定の「北海道スペースポート(HOSPOI)」のイメージ。このほか国内では、大分県の大分空港や沖縄県の下地島空港などがスペースポート構想を立ち上げている。(写真: インターステラテクノロジズ)

海外には、米国連邦航空局が認証した民間の宇宙港が既に 12 港あるほか、英国やイタリアなどは 18 年に米 Virgin Orbit と港について連携を締結、南米やアジア複数の国が宇宙港開設を検討している。

中には国がロケット開発や打ち上げ能力をもたなくても、宇宙港を提供することで宇宙旅行ビジネスの一翼を担うという構想もある。

#### 4.6 国も宇宙旅客輸送に注目

こうした流れの中、文部科学省や JAXA は、21 年 5 月に宇宙旅客輸送推協議会(SLA)を設立された。

文科省は同年 7 月の検討会で 40 年ごろに宇宙輸送システムがどのような用途で使われるかの予測結果を公開し、サブオービタル軌道による宇宙旅行や 2 地点間高速輸送の需要を示した(表 2)。

表2 2040年ごろの宇宙輸送システムの将来市場予測

行き先	サブオービタル軌道	低軌道や静止軌道	深宇宙(月や火星)
輸送対象	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 二地間の航空輸送</li> <li>● 宇宙旅行</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 宇宙旅行</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 月探査</li> <li>● アルテミス計画(国際協力)</li> </ul>
輸送手段	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 二地間の航空輸送</li> <li>● 微小重力環境実験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 通信メガコンステレーション</li> <li>● 地球観測</li> <li>● ISS 運用や軌道上サービス</li> <li>● 安全保障や防災利用</li> </ul>	

(出: 文部科学省の発表資料)

SLA 代表理事の稲谷芳文氏は「これまで  
は国が中心だったロケット開発において民間企業を支援し、連携して技術開発を進められる環境づくりを進めたい」と協議会設立の意図を話す。

日本が培ってきた基幹ロケット技術を生かしつつ、宇宙での旅客輸送を実現するため、民間企業の研究開発と事業化を支援していくのが狙いである。

「国産の次世代ロケット開発の次として、人を運ぶ宇宙旅客輸送マーケットを目標とした」(稲谷氏)。

特に注目しているのは、再使用ロケットの技術である。飛行機が何度も使用可能なように、ロケットも再使用できなければコストに見合わないからである。

「地上の民間旅客輸送は年間 130 兆円規模のビジネスである。この 5~10%程度が宇宙旅客輸送の市場規模になるのではないか」(稲谷氏)。

まだ具体的な方策は協議中だが、まずはロケット開発に取り組む各企業とのヒアリングを重ねて、国との連携や支援のスキームづくりなどを明確化していく。

— 以上 —

## 第50回

# みえテクノロジーカフェ

## 身近な金属について

日時 2022年6月5日(日)

場所 ウェブ開催

ゲスト

松下 滋 技術士(金属、総合技術監理)

### 1. 講師紹介

1958年北九州市生まれ、1977年灘高等学校卒、1985年東北大学理学部物理学科卒、同年京セラ(株)入社、総合研究所・機械工具事業本部にて、金属部品加工用の切削工具材料の商品設計・工程設計ならびに指導に34年間従事した。(セラミックス、サーメット、超硬合金、超高压焼結材料、コーティングなど)プリント配線基板加工用工具材料などの分野で独創的な商品・工程を具体化し、国内外25件の特許を権利化した。



- ①溝ねじ加工用切削工具材料『PR930』の商品化:世界最高売上げ10億円/月を達成
  - ②極小径プリント基板穴開け用ドリル材料『FW08』の商品化:極小径φ0.10~φ0.15のスマートフォン用基板の穴開け工具として95%のシェアを獲得
  - ③業界初の縦押し成形技術の量産化(アスペクト比10):市場シェア40%獲得
- 技術士(金属部門・総合技術監理部門)取得後、2019年に技術士事務所設立し、自立起業。独自のプラットフォーム(顧問ネットワーク)を活

用し、国内外数社の企業顧問を実施(現在、7社)、講演、セミナーなど、幅広く、活動中(図参照)

著書:シニア創業論『正しい想いは、必ず実現する』2020年三冬社



ラジオ番組:エフエム八王子『技術のミカタ』、youtube:『技術士ちゃんねる』

### 2. 講演概要

身近な金属、自身の自立起業、技術士の情報発信活動の3本立てとした。

金属一般の方々に技術に興味を持ってもらうため、身近な金属について解説した。

具体的には、携帯電話(都市鉱山)、アルミ缶(リサイクル)、貨幣を挙げ、解説をした。金属を身近に感じていただければ、幸甚である。

会社には、学校同様卒業がある。生涯現役でグローバルに社会貢献していくためには、自立起業は必須と考える。

2019年4月以降の38ヶ月の歩みをまとめた。技術士事務所は、下記の3つを柱にスタートした。

- ①ボランティア(技術士会・情報発信活動)⇒裾野の広がり
  - ②業務(技術顧問)⇒収入の基本
  - ③商品・事業提案(プロジェクト)⇒将来の事業構築
- 技術士の活躍をより推進していくには、技術



れてから今までの全ての蓄積が、現在に繋がっていると考える。ご縁の賜である。

収入の基本は、国内外の企業顧問である。人材派遣会社に登録し、営業マンに自身を理解していただき、仕事を取っていただく。そこからの広がりを模索した。最初は、販路拡大・商品開発・生産性向上などの依頼があり、取り組んだ。最初は、アドバイザー・コンサルタントだが、徐々に要求が広がってくる。クライアントの企業が社会にきちんと貢献し、売上・利益を向上させるため、必要なものを集めることが要求されてくる。プロデューサー・コーディネーターを求められる。

知見・人脈をフル活用し、対応した。

下図の協業プラットフォームを構築し、クライアント企業に対する提案を多様化していった。また、何のために起業するか、何のために生きるか・・・自身の棚卸し、マインドセットが重要と考える。



『正しい想いは、必ず実現する』(視点高く・視野広く)を座右の銘とし、事業を推進した。

組織外の技術士としての特徴を活かし、企業-企業or企業-自治体のプロジェクトを具体化・事業化するのが今後の大きな課題である。

### 3.3.技術士の情報発信活動

技術士には、日本および国際社会の発展のため、産業界に貢献することが求められてい

る。自立起業の途上、技術士がいかに社会に認知されていないかを痛感した。技術士の活躍をより推進していくには、技術士の認知度向上が必要である。社会から認知され、意見・批判をいただくことにより、技術士の成長を加速させる。

その活動の一環として、技術士の情報発信活動に取り組んだ。硬軟両面を意識し、取り組んだ。(硬:技術士=ライセンスの信頼性・公共性を訴え、行政・大学を動かしていく。軟:技術士を親しみ持って紹介し、街歩く人知っていただく。)講演・出版・ラジオ・新聞の活用に加え、動画配信・youtube へと展開した。(右図・下図参照)



今後も、上述の3つの柱を推進する。(技術士会活動・情報発信活動・企業顧問・事業提案) 一人でできることには限りがありことを、肝に銘じ、周囲に協力し



てもらえることを実行し、周囲に協力してもらえ人々に成長していく。

— 以上 —

## 2022年度第1回セミナー

### 会員講演レジュメ (1)

日 時 2022年4月9日(土)

場 所 ウェブ開催

[講演題目]

企業での技術者倫理の実践と取り組み

[講師] 泉川大輔 技術士(金属)



はじめに

私は、2018年に技術士となり、2019年より中部本部倫理委員会で委員として活動をしているが、企業でも技術者として働いている。今回は特に企業の中での技術者と技術者倫理という視点で、一人の技術者としての立場から講演をおこなった。企業に属する技術者の立場から技術者倫理の実践ということを考えると、いろいろな困難がある。そんな中でどうすればいいのか、自らの実践も含めて話をさせて頂く。

#### 1. 技術者とは

まず、技術者とは何か、ということで、皆さんに説明するまでもないのだが、多くの説明がある中で、以下の3点を示したい。

- ・人工物を作る
- ・組織に属している
- ・新しいものを作る

上記で特に技術者倫理の実践を考えたときには、「組織に属する」という点がいろいろな困難を引き起こす原因だと感じている。私の主観的意見も入っているが、以下に一般的内容として組織の中で技術者倫理の実践等が難し

い要因としていくつか挙げてみる。

- ・企業の社員としての立場と、一人の技術者としての立場があること
- ・必ずしも業務で技術者倫理を必要としないこと
- ・企業で技術者倫理を知る者は少ないこと
- ・業務の細分化、分業化
- ・コミュニケーションの低下
- ・業務の複雑化(管理業務の増加)
- ・ベテランの引退

こういった中で技術者がどうすればいいかという具体的な議論は、あまりされていないように感じている。技術者倫理教育の重要性は理解しているし、広く技術士の中では理解されているが、果たしてそれだけでいいのかという点で、次に技術者倫理教育について少し触れてみたい。

#### 2. 技術者倫理教育について

技術者倫理教育は2001年頃から開始されているが、企業によってはまだまだ技術者倫理の認知度は高くないと感じている。また、大学時に技術者倫理を学ぶことはたいへん重要なことではあるが、就職してから各企業の中で技術者倫理を実践することは各人の努力に任されており、容易ではない。企業の中で技術者倫理自体の認知度が低いということもあり、就職した若手技術者が技術者倫理を実践するには難しさもある。加えて仕事を覚えるため仕事に追われる日々を過ごしていると、大学での技術者倫理教育の内容も忘れていってしまう可能性もあるのではないかと。

次に、企業での技術者倫理教育を見てみると、公開されている内容だけではあるが、数社程

度であり、多くの企業では技術者に対して技術者倫理教育が行われているとは言えない状況であると考える。

私自身は、自分の所属する企業の中で技術者倫理を実践しようと2021年度に一部社員に対して初めて教育を実施したり、会社での承認をもらい大学での技術者倫理教育を始めたりしたばかりだが、まだまだ道半ばであると感じている。

また、その中で自分含め一部の技術者が技術者倫理の知識を上げていくことが、技術者倫理に反する事例が減るのかと考えること、そこから自分の無力さを感じることもある。

### 3. 企業での不祥事について

技術者倫理に反する企業不祥事は、2022年現在でも減るどころか毎年のように出てきている。数十年前から実は行われていて最近発覚したという事例も少なくない。特に企業名などはここでは上げないが、インターネットで検索すれば多くの企業が不祥事を起こしているし、繰り返している企業もいくつかある。

企業不祥事の中には検査不正やデータ改ざん、無資格検査などがあるが、ここで注目したいのは、ただ数値を書き換えたり、検査したとそうを言うこと以外に、(それらも含まれる場合もあるが)技術的に難しいことを、無理にやり続けなくてはならなくなった状況ということもあるのではないかという点である。

これは多分に想像する点が多いので先に弁解しておくが、例えば素晴らしい技術(低コスト化、小型化)があったとしても、それを作り続ける管理技術が未熟であったり、管理を継続的に行うことが難しい場合が考えられる。その場合グローバル化やベテラン社員の引退などでその管理状態を継続して安定させることが困

難になり、問題が発生しても作り続けるしかなく不祥事につながるといった、技術的に技術者倫理に反する事例があると私は考えるのである。

企業の売りとして、オンリーワン技術などの他社がまねできない技術は、営業的には好まれるであろうが、実は技術的に難しさがある場合でも、それらを営業的にPRされ続けたり、グローバル化でも当然求められていくことは想像できる。

私はよく「流れ」に例えるのであるが、仕事は水の流れに似たところがあると考えている。最初はちよろちよろとした小さな流れであっても、仕事の計画が進んでいくと、大きな流れになっていく。製造業で製品を社会に出す(販売する)時期になると、流れはもう非常に大きな流れとなっており、誰にも止められない状況になっている。特に部品メーカーであれば、完成品メーカーの仕事の流れを止めることはほぼ不可能であり、技術者倫理の実践が難しい点だと考える。

### 4. その他技術者倫理の実践が難しい理由について

技術者倫理を企業の中で実践することが難しい点として、他にも数点挙げたい。

#### ①説得の難しさ

技術者が説得をするということについて、得意な技術者は少ないのではないか。

(私も、元々は人と話すのが苦手な技術者を志したが、今では技術者に最も重要な能力の一つはコミュニケーション能力だと感じている)。

説得には、説得者の立場としての3点(功利的、規律的、情緒的説得)があるのと同様、説得される側にもリスクをどう受け取るかの立場の違いがある。(リスク・ニュートラル/リスク・ア

バース/リスク・ラヴィング)…[草野耕一 説得の論理より]

また、説得される側は例えば相手を知っているか、相手に好意を持っているか、どういう状況かによっても変わると考えられる。説得が成功するのは時の運ともいえるため、簡単ではないことがわかっていただけるだろう。

### ②Group think(集団浅慮)

アービング・ジャニスによると、集団では人間は愚かな決定を下してしまうことがあり、集団浅慮と言われている。以下一部あげると、

- ・時間がないときは決定することを優先
- ・自分よりも詳しい人の意見に従う
- ・自分たちは道徳的だと思ひ込む
- ・外部からの警告に耳を傾けない
- ・異議や都合の悪い意見に圧力をかける
- ・自分の考えや意見を抑え、周囲に合わせる
- ・過半数の意見を全員一致と思ひこむなど

企業内での決定は集団でおこなわれることが多く、問題ないと考えがちではあるが、集団でも間違った決定を下す可能性もある点に注意が必要である。(むしろ、集団の方が誤りやすいといえるのかもしれない)

### ③限定された倫理性

また、ベイザーマン(他)によると、人々は組織の中で倫理的な誤りに陥りやすくなる。原因としていくつか要約して挙げると、

- ・非倫理的行動を取った方が自分のため
- ・他人の行動を見逃した方が得になる
- ・やりたくないことをしてくれた人に融通
- ・成果さえ出せばよいという考え

となっており、組織に所属するしかない技術者にとって切実な内容であると考えられる。

さらに、私が考えることとして日本人の「恥の文化」や、「武士道」的考え方が日本人から(技術者から)失われている可能性についても少し

触れたいと思う。

職人は自分の仕事に誇りを持っているが、分業化が進むと自分が何を作っているのかわかりにくくなり、仕事に対して誇りを持ちにくいのではないかと考えるのである。

更にコミュニケーションの不足により、自分の前後の人たちが何をやっているかもわからないと、それに関して口を出すこともできなくなる。そうして技術者倫理に反することが、企業の中で止めることができなくなっているのではないかと。

では、どういう対策が考えられるのかを、浅はかな考えながら次に述べてみたい。

## 5. 技術者倫理に反する事例を起こさないために

企業の中で技術者が倫理に反する事例を起こさないためには、いろいろな文献から、以下が考えられるのではないかと考えた。

- (1)内部通報
- (2)技術者倫理教育
- (3)「企業」対「技術者組織」
- (4)AI
- (5)その他

(1)内部通報や(2)技術者倫理教育は有効ではあるが、企業に属する一人一人の技術者の倫理の実践(頑張り)に期待する点が大きく、ここでこのまま述べ続けるには不適と考える。そのため、それ以外について考察したい。

### (3)「企業」対「技術者組織」について

戸田山 和久教授が、「技術者倫理教育とは何かまた何であるか」について述べた文章のなかで、『企業と技術者職能団体という協力しつつ緊張関係に立つ 2 つの社会的セクターの対立となり』という部分がある。私も技術者一

一人は力も弱く企業と対等な関係にはなれないが、技術者集団となることで、言わば会社と労働組合が車の両輪と言うのと同じような、技術者団体と企業という関係が構築されれば、各技術者が技術者倫理について思い悩むことの大部分が解決されるのではないかということと理解している。ただ、これはそういった団体の出現を期待する必要がある、なかなか現実的には難しいのであろう。

#### (4) AI について

先ほど説得のところでも述べたが、技術者が（技術者でなくても）人を説得するには多くの高いハードルがあるし、相手が納得するかどうかは全く別である。ここで AI によるビックデータを用いた、技術者倫理 AI というものが仮にあるとする。

その AI が例えば「その製品は爆発する恐れがある」と判断したならば、販売を強行する者は少ないのではないかと個人的に考えた次第である。但し、こちらも同様に未来の技術に期待する内容であり、これ以上述べるのは適切ではないので、ここまですたい（倫理的な AI として、インターネット上に ASK Delphi なるものがあり、簡単な内容であれば判断できるレベルにはなっている。一度確認してみてもどうだろうか）。

#### (5) その他 について

以上述べてきたように、技術者倫理に反する事例を一人の技術者が組織の中でどうこうするのは残念ながらいろいろな難しさがある。そのうえで何ができるのかを考えたい。

技術者倫理に反する事例の多くは、技術的逸脱が繰り返されることによって受け入れ可能とされたリスクが実はどんどん大きくなっている

のに気が付かず、事故として発生している。（技術的逸脱とは製造物の働きの設計から外れているが、リスクがまだ受け入れ可能だと判断され、使い続けられること）…[比屋根委員長の書籍より]

では、技術的逸脱を防ぐにはどうすればいいか。『技術的逸脱は日々の業務の積み重ねが招く』ということに注目したい。

そのため日々の業務が問題ないか、考慮して進めるという、我々技術者がコツコツと一番得意とするところなのではないかということに、結局落ち着くのではないだろうか。

## 6. おわりに

過去の偉人も、以下のように述べている。

- ・二宮尊徳「積小為大」
- ・渋沢栄一「小事も、積んでは大事となる」
- ・三島由紀夫「大事な思案は軽くすべし。  
小さな思案は重くすべし」

我々技術者一人一人は小さな存在であるが、社会を変える力を持っていると考える。それを社会のため、良い方へ変えるために、『日々の業務を大切にすること』。組織の中では、正しく標準化やマニュアル化を進め、それを逸脱しないように仕事を進めるようにすること。

そうすることが技術的逸脱を防ぐことができ、ひいては我々技術者の Well-being につながるのではないかと考える。

技術者としてよりよい生き方ができるよう、今後も技術者倫理に携わっていききたい。

以上、乱文となり申し訳なかったが、読んでくれた皆さまにとって、一つでも参考となる点があれば幸いです。  
—以上—

## 2022年度第1回セミナー

### 会員講演レジュメ（2）

日 時 4月9日(土)

場 所 ウェブ開催

【講演題目】

若い世代に伝える技術者倫理教育の進め方

【講師】 麻田祐一 技術士（機械）

中部本部倫理委員会 委員

教育促進小委員会 委員長



はじめに

私が委員を務める中部本部倫理委員会は、2005年より、当時の日本技術士会中部支部（現在の中部本部）の有志で「技術者倫理」の研究を開始し、2015年からは、中部本部倫理委員会として現在に至っている。

概ね、月1回程度の委員会の他、セミナー、報告会、テクノロジーカフェ等を開催している。

さらに、委員会内に「教育促進小委員会」を設置し、大学・高専関係者、工学教育関係者との連携により「技術者倫理」を学生、若い技術者に教育する新たな展開に向けて方向性を模索している。

この、教育促進小委員会の活動を通じて、教育活動のあり方を考える（させられる）ようになった。それは、不祥事が起こった経緯を理解しようとするのではなく、それをおこした人、とりわけ経営者を非難する態度に終始することへの疑問である。

そこで、自身が当事者にならないためにはどうあるべきかを考えるよう導く伝え方を検討したい。

#### 1. 教育促進小委員会での技術者倫理教育

中部地区の大学・高専での「技術者倫理」教育を『技術の知と倫理』<sup>1)</sup>、『大学の学びガイド 社会人・技術者倫理入門』<sup>2)</sup>を使用し、講師がアレンジして実施している。

『技術の知と倫理』では、社会人生活への準備を始めように続き、科学・技術の中の知識が不確実であり、また、過去の経験の積み重ねであるが、その経験は正しく伝わらないこともあるという話をする。

そして、そのような状況でも、技術者は、未来の問題を予測し、未然に防ごうとしているが誤りを犯す。

そのような技術者に求められる倫理観とその実践を考えさせようとする。

しかし、これは実務の経験のない学生には理解されにくい。

『大学の学びガイド 社会人・技術者倫理入門』では、社会人になると“学業で学ぶ”ことから“問題を解決する”立場になり、間違いの重みが違ってくる。曖昧な問題を組織で協力して取り組み、間違えずに解決することになるため、新たな能力を身につけておこうと解説する。

その場合、技術者が良心に基づいていれば倫理的であるわけではなく、何が倫理的であるか評価する基本がある。

さらにそれは、「法を守れば良い」というものではないという話をする。

近年では、科学・技術、社会、自然環境、世の中の在り方の変化により、技術者に求められるものも変化しており、「技術者倫理として身につけておくべき素養」も変化するという講義の中で、デジタル技術の社会への影響、自然環境問題に対する技術者の役割について述べている。

しかし、実務で問題に直面した経験のない学生にはなかなか思うようには伝わらない。講義の仕方の問題もあると思うが。

## 2. 技術士が講義をすることの意味

そもそも、技術士が教鞭をとる意味としては、教科書上で出来事を理解するだけには留まらず、実際の現場に立たされた場合の技術者の状況について伝えることで、その中で正しい行動をとる心の準備をしてもらうことにあると考えている。

注意すべきは、学生たちにとっては、事例でしかなく自らが実際にその立場に立つという実感が持てない。

「自分ならどうするか」と問うて、“回答”を求めているが、優等生の事例は理解したという“解答”が返ってくる。

正解を答えるべきだと考えて「自分ならそんなことはしない」とか「こうすればよかったの」という解答(理解度確認?)である。

たとえば、公害病である水俣病の発生から原因究明にいたる過程に関する講義では、科学や技術の中で未知の部分が多いにもかかわらず、現場を十分には確認せず、自身に都合の良い理屈を立てていた事例に対して、初年度は「技術者は正しい判断を求められるが、間違えることもある。あなたは今大学で、『どのような態度で』、知識や考え方を習得していけばよいでしょうか?」というレポート課題を出した。

それに対する学生の回答は、62%が、“科学・技術の知識を信じずに自分で確かめる”という内容であった。

(図 1. 参照)

そこで、次年度は、現場に直面していると想定した上の回答を求めるため、「技術者が判断

を間違えると社会に迷惑をかけるがどのようにして間違いを防ぎますか?」というレポート課題にした。

学生の回答は、41%が「知識を整理する」であった。(図 2. 参照)

次々年度は、迷惑を被っている公衆がいることを想定しての回答を期待して、「技術者にとって

公衆の利益の優先は重要であり、それを全うするため、問題に対応する時にはどのようにして間違いを防ぎますか?」という課題とした。

学生の回答は、87%が「まずは工場の稼働を止めればよい」であった。(図 3. 参照)

各年度ともに、問題に直面した時には、当事者としてまずは現場に行き、先入観なく観察する。

その際には、場の見極め、知識が成立する前提条件との適合を確認することが重要である、と講義の内容を再度解説して理解させている。

知識習得を主体とする学業の中では仕方ないことであり、講義している側も、モノや現象の不具合発生原因に目を奪われ、事象に対する評論になることは注意を要する。

## 3. 学生が気付いていない教育の提供

問題には、「顧客が気付いている問題」と「顧客が認識すらしていない問題」があり、

- ・気づいていて解決するのを諦めている問題を解決するリノベーション
- ・認識すらしていない問題を発見し解決するのがイノベーション

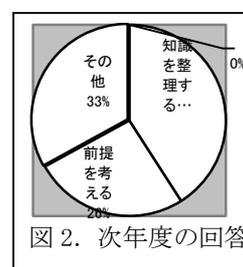


図 2. 次年度の回答

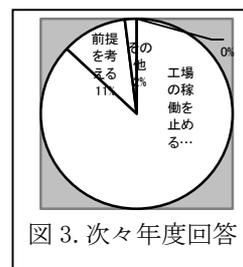


図 3. 次々年度回答

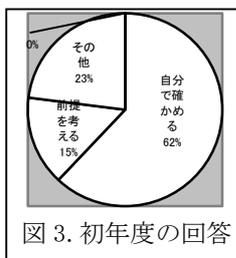


図 3. 初年度の回答

とは、元ネスレ日本代表取締役社長兼 CEO 高岡浩三氏の言葉だが、ここで顧客を学生に置き換えると

・学生が認識すらしていない問題を発見し解決するのが教育のイノベーションと考えられる。

すべての授業が終了した後のある学生のアンケートのコメント(無記名)に、「この授業を受けて感じたことは、技術者の倫理を学んでいるのではなく、社会人のマナーを学んでいる。技術者の倫理を深く学んでいるわけではないということである。この授業で学ぶことは、技術開発におけるデータの管理(プライバシー)やデータ改ざん、漏洩の抑制、論文等の技術雑誌などに掲載する共著者などの仕組みが主な授業内容だと思っていた。技術にかかわる人が学ぶような内容だと思っていたが、全く違うような内容であったためとても残念だ。」というのがあった。

技術者として活動した経験がないから、「なぜ、人は社会に出て非倫理的な行動をするのか」という問題は認識すらしておらず、何が非倫理的か知っておれば、倫理的であるための仕組みを知っていれば間違いは犯さないと考えている結果のコメントで、他にも多くの学生が単なる知識を求め授業を受けていたのではないかと考えられる。

このような、学生が認識すらしていない問題を解決するのが教育のイノベーションではないか。

#### 4. 知識があるから倫理的に行動できるか

先の学生のコメントがすべての授業終了後に匿名のアンケートで出されている点にも問題を感じる。

ネット上で匿名の情報を発信する問題に関す

る知識を学生は持っている。それは、ネットを使いたいじめ、ヘイトスピーチについての講義に対する学生の「SNSによる匿名性を利用した活動の増加で、他者との交流が非常に容易になり、交友関係が広がる反面で誹謗中傷、陰口の増加というデメリットもある。」というコメントでわかる。

授業の終わりには必ず“講義内容と授業の改善要望”についてのショートコメントを出してもらい出欠確認をしているがその中では先のアンケートのような意見はなかったので匿名性の中で出てきたものと思う。

知識があるから倫理的に行動できるとは限らず、知識のみではなく実際の状況の中で判断を誤らないように思考を磨く訓練が必要だと感じる。

さらに、誹謗中傷、陰口をなくす改善方法については、「SNSを運営する会社が発言に対する規則(アカウント停止・発言できるワードの制限)を作るべき。過激な発言・行動を行った人間を法律で裁けるようにするべき。」という意見が多い。

しかし、実際には法律による規制は難しい。つまり、倫理的行動は法律だけでは示せない。だから、法律を守りさえすれば倫理的というわけではなく、倫理的行動の判断基準を非倫理的な事象に関する知識としてではなく、自身が倫理的に行動するための判断基準を身に付けるために、深く考えるよう促したい。

#### 5. 若い人たちの価値観の変化への対応

技術の急速な進歩による社会環境の急激な変化は、若い人、特に20代の若者と私の価値観は異なる。

道路が未舗装で、高速道路がない状況での欧米に追い付こうとする様子はわかる。

しかし、2000 年頃(いよいよ 21 世紀を迎えた頃)に生まれた若者たちにはパソコンがないという状態は想像できない。彼らが生まれた時には、パソコンは家電製品化し始めていた。ちょうど私が生まれた頃に、無線による情報の伝達一般化し始めて、テレビ放送も始まった。そんな私がラジオもテレビもない社会を想像するのがむずかしいと同様であろう。

物心ついたころから携帯電話やスマートフォンを使っていた彼らに対し、「スマートフォンやネット環境を誰もが歓迎し、迷惑に思う人がゼロになるようにすることはできるか？スマートフォンがなければ困るが、使うことで誰かが何らかの迷惑を被ることはないか？」と問いかけた。

こちらが問いかけた意図は、使用する時のマナーやネット使用の作法、エチケットの問題を挙げると考えていた。

概ね学生は、「ネットエチケット、つまりネチケットが悪いことに対する不満や SNS における誹謗中傷による迷惑」や「歩きスマホの問題」を挙げた。

しかし、「高齢者の方は、使い方が分からなかったり、スマートフォンやネット環境を必要だと思わず困惑するかもしれない。昔ながらのアナログの考え方の人は強制的にネット環境になると不満が出て、迷惑に思っている場合がある。使用方法をわかりやすくし、スマートフォン研修を運転免許講習と同様に整備することができれば迷惑に思う人は削減できる。」「迷惑に思う人がゼロになるようにできる。生まれた時からそのような環境でない人々が全員なくなったら自然とそうなる。」という意見があり、自分自身は何も迷惑とは感じていない学生もいることに気づき、若い人との価値観の違いに気が付いた次第である。

私にとってのテレビと今の 20 代にとっての携

帯電話とは同等であり、大人たちは、目が悪くなる、家族の会話がなくなる、俗悪番組があるということで、テレビが迷惑な存在という人もいたが、子供の私としてはそのようには思えなかった。それよりも友達との会話についていくのが大事だった。

自身の経験に照らしながら、価値観の違いを踏まえて講義を進めなければいけない。

## おわりに

企業不祥事を批判する力は本人の倫理的判断力の向上にはつながらず、過去の不祥事の知識を学ぶことは倫理学としての学びには有意義であるが不祥事を防止することにはつながらず。

私は、企業で成功者でもなく、見本にしてほしいわけではない。ましてや立派な人間でもないわけだが、技術者が判断を誤り、公衆に迷惑をかけることがないようお願い、成功事例、失敗事例に関わらず自分の言葉で語り、伝えられるようにしたい。

技術者として社会での実体験がなく、当事者としての意識が持てない学生、まだ経験の浅い若い技術者たちに、自分自身が企業不祥事に関わってしまい公衆に迷惑をかけないためにどうすべきかを考えてほしい。

—以上—

## 引用文献

- 1)比屋根均 理工図書 2012.
- 2)比屋根均 理工図書 2018.

# 会員近況報告

古市慎一 技術士（建設）



自己紹介をさせていただきます古市です。よろしくお願ひします。私は、令和3年度の技術士試験に合格し、

今年の3月24日に技術士登録を行い、技術士となりました。

初めに私の経歴についてお話させていただきます。私は、三重県津市出身の49歳です。1991年に三重県立津工業高校の土木科を卒業して、地元の建設会社に入社しました。この会社では、ほ場整備や耐震補強工事などの公共工事に従事しました。主に施工計画や工程管理、測量、工事写真撮影、官庁等との協議が私の業務でした。入社して10年頃から、現場技術者の工事経歴が入札で重要視されるようになりました。若手で現場経験の少ない私は、現場を任せてもらえなくなると考え、2006年に退職しました。その後、現在の勤務先である(株)土屋建設に転職しました。前の会社より規模は小さいですが、このほうが多くの現場経験を積むことができ、活躍できると思ったからです。実際に橋梁下部、護岸、耐震補強、道路、用水路補修など多くの現場を経験できました。また、現場管理だけでなく、あと施工アンカーや鉄筋探査などの資格を取得し、自らが試験を計画・実施・評価できるようになり、私の強みになりました。令和2年には、明和町役場発注のプロポーザル方式(ECI方式)で技術提案が認められ、工事の施工を前提に詳細仕様を発注者・コンサルタントと協力して確定していく業務に従事し、良い経験になりました。現在はこ

の工事の施工管理業務を行っています。

次に技術士試験への挑戦についてお話ししたいと思います。私が技術士の受験を決意したきっかけは、発注者やコンサルタントとの会議の場で、施工側の立場で提案を求められることが多くなったことです。このため、相手を納得させる知識と能力が必要と感じるようになりました。私にはこの能力が足りていませんでした。そこで技術士となって、コンサルタントのできる現場監督を目指そうと決意しました。技術士の勉強では、科学技術や技術者倫理についての知識を整理し定着させることができました。また、その知識をもとに自分の意見を顧客にわかりやすく論理的に伝える力が身につきました。一次試験では、基礎知識を中学・高校・大学の教科書と大手学習塾の無料動画で学習しました。そして過去問を繰り返し解きました。二次試験では、対策講座を受講して、キーワード学習と論文の筆記訓練を行い、添削を何度も受けて3回目の受験でようやく合格しました。

最後に技術士になって今後どのようにしたいかについてお話しします。1つ目は、後進の育成として技術士を目指す受験生の指導を行うなど、仕事以外で社会貢献がしたいです。2つ目は、副業や独立を視野に入れて、自分のできる業務の領域を広げ、いろいろ挑戦していきたいです。三重県支部の先輩技術士の方々、ご指導をよろしくお願ひします。

—以上—

第48回

# 技術士 全国大会

IPEJ ANNUAL CONFERENCE

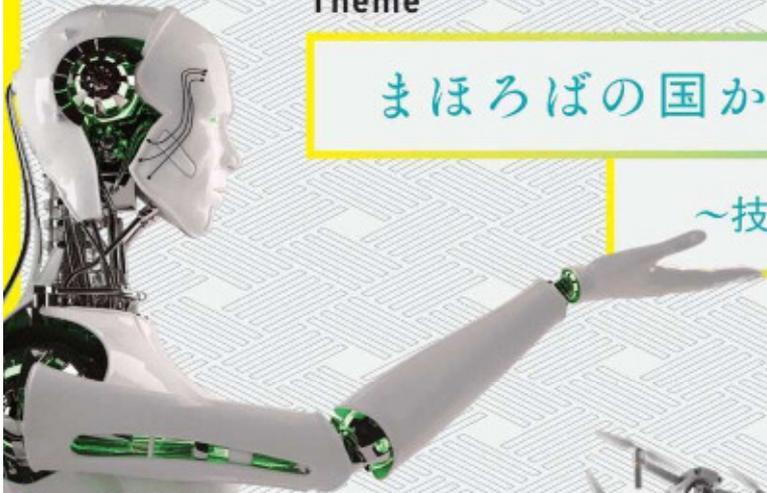
(奈良・関西)



Theme

まほろばの国から未来社会へ!

～技術の融合と新たなイノベーション～



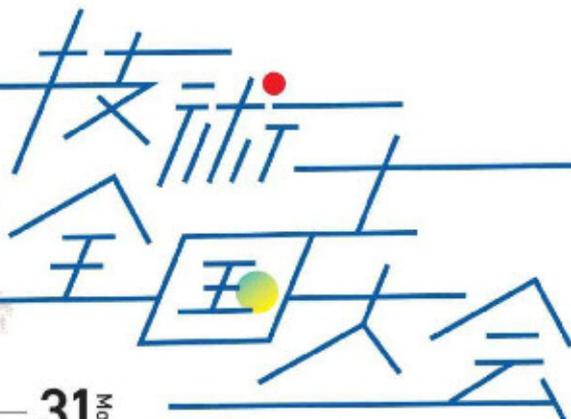
IPEJ 48TH  
ANNUAL  
CONFERENCE  
Oct. 28-31, 2022, in Nara

2022 **10.28** THU — **31** MON

会場 **なら100年会館・ホテル日航奈良**

 **公益社団法人 日本技術士会**  
The Institution of Professional Engineers, Japan

第48回



2022  
10.28(金) — 31(月)

(奈良・関西)

Theme

まほろばの国から未来社会へ!

～技術の融合と新たなイノベーション～

1,300年前、律令国家の仕組みを完成し日本文化の中心都市として栄えた奈良。多様な文化や技術が生まれ、今なお私たちの暮らしに根付く豊かな社会を支えています。今に伝わるそれらの文化、伝統、工芸は、大陸から伝わる技術への憧れ、先人たちの知や美への好奇心、探究心が当時の最先端技術を創造し、継承し、進化してきた証。

つまり、技術や知識のアップデートは社会の基準を大きく変容させ、新しい文化、次の時代を創造していく。

そして2022年、始まりの地ここ奈良から皆様と共に技術を高め合い、昇華し、より豊かな未来社会の実現を目指したいと思います。次の1,300年へと向かって——。

MAHORоба  
↑  
INNOVATION

( program )

10/28(金)

- 専門会議
- ウェルカムパーティ

10/29(土)

分科会

- 【第1分科会】イノベーション、技術融合  
「イノベーションを実現する技術融合」(仮)
- 【第2分科会】防災  
「これからの災害に求められるテクノロジー×専門家の連携」
- 【第3分科会】倫理  
「イノベーション・ロボット・AIと技術者倫理」(仮)
- 【第4分科会】青年  
「未来社会への技術監理」

大会式典・記念講演

- 大会式典
- 記念講演  
「多様な技術で実現されるロボットと未来社会」  
大阪大学基礎工学研究科教授(榮譽教授)  
ATR石黒浩特別研究所客員所長(ATRフェロー)  
石黒浩 博士(工学)

交流パーティ

10/30(日)・10/30(日)～31(月)

- テクニカルツアー【日帰りコース】
- テクニカルツアー【1泊2日コース】

( special lecture )

記念講演

多様な技術で実現される  
ロボットと未来社会

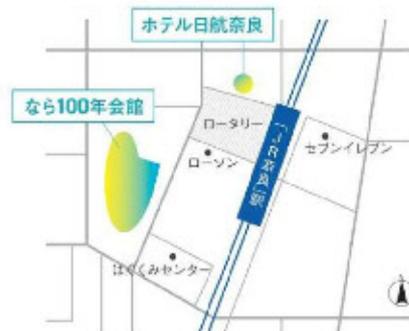


大阪大学基礎工学研究科教授  
(榮譽教授)  
ATR石黒浩特別研究所客員所長  
(ATRフェロー)

石黒浩 博士(工学)  
ISHIGURO Hiroshi

( access )

- ホテル日航奈良へ  
JR「奈良」駅より徒歩約2分
- JR線利用でJR「奈良」駅へ  
「大阪」駅、「難波」駅、「天王寺」駅より直通  
※大和駅快速利用
- JR「京都」駅よりJR「奈良」駅へ直通約45分  
※みよこ快速利用
- JR「新大阪」駅よりJR「奈良」駅へ約61分  
※大和駅または天王寺駅で大和線快速に乗換
- 「関西空港」または「伊丹空港」より  
JR「奈良」駅へリムジンバス直行



会場  
なら100年会館・ホテル日航奈良

主催：公益社団法人 日本技術士会  
後援：(予定)

文部科学省／農林水産省近畿農政局／経済産業省近畿経済産業局／国土交通省近畿地方整備局／環境省近畿地方環境事務所／奈良県／奈良市／大阪府／大阪市／京都大学／大阪大学／立命館大学／奈良女子大学／独立行政法人 都市再生機構西日本支社／公益財団法人関西化学術研究都市推進機構／公益社団法人2025年日本国際博覧会協会／公益社団法人土木学会関西支部／公益社団法人地盤工学会関西支部／公益社団法人日本地すべり学会関西支部／公益社団法人日本設計工学会関西支部／一般社団法人建設コンサルタンツ協会／一般社団法人日本繊維製品消費科学会／一般社団法人日本機械学会関西支部／一般社団法人電気設備学会関西支部／一般社団法人電子情報通信学会関西支部／一般社団法人映像情報メディア学会関西支部／一般社団法人情報システム学会関西支部／一般社団法人照明学会関西支部／株式会社日刊建設通信新聞社／ほか

【お問い合わせ】  
公益社団法人 日本技術士会 近畿本部 事務局

Tel | 06-6444-3722  
E-mail | pe@ipej-knk.jp

# ご連絡

## 第42回地域産学官と技術士合同セミナー（岐阜）

(公益社団法人) 日本技術士会

第42回地域産学官と技術士合同セミナー  
2022 In Gifu



- 催事名:** 第42回 地域産学官と技術士合同セミナー 2022 In Gifu
- 日時:** 2022年11月11日(金) 13:00~16:30(3時間30分)
- 場所:** じゅうろくプラザ(岐阜市)+Web会議システムのハイブリット方式  
〒500-8856 岐阜市橋本町1丁目10番地11 TEL.058-262-0150(代)FAX.058-262-0151
- 対象:** 産学官
- 概要:** 開会宣言) 日本技術士会中部本部長  
開会挨拶) 日本技術士会会長  
来賓挨拶) 復興副大臣 与党技術士議員連盟 副幹事長 新妻秀規 氏  
国土交通省  
官)基調講演①(仮)岐阜県におけるSDGsの取り組み  
岐阜県清流の国推進部SDGs推進課 浅野恭代氏  
学)基調講演②(仮)気候変動によるSDGsの必要性~防災  
岐阜大学 地域環境変動適応研究センター長 原田守啓准教授  
産)パネルディスカッション:防災に貢献するために、技術士が今、これからなすべきこと  
コーディネーター、オブザーバー(原田先生、岐阜県ご担当)  
パネラー  
閉会挨拶) 合同セミナー実行委員長 岐阜県支部長
- 主催:** 公益社団法人日本技術士会
- 後援案:** 国土交通省中部地方整備局、岐阜県、岐阜市、  
(調整中) 岐阜大学、岐阜工業高等専門学校、一般社団法人建設コンサルタンツ協会中部支部  
一般社団法人岐阜県建設業協会、日本防災士会岐阜県支部、一般社団法人岐阜県測量設計業協会  
一般社団法人岐阜県工業会、十六銀行、株式会社十六総合研究所
- 学校、目標動員** 200名(600名会場) (+Web80名)
- その他:** 会場ホワイエにてウェルカム演奏(5重要)

## 今後の行事予定など

### ★セミナー★

#### ◎2022年度 第3回セミナー

日程:2022年10月8日(土)PM

場所:四日市市地場産業振興センター  
(四日市市)

(ウェブ開催の場合もあります)

会員講演

宇佐美 隆生 技術士(化学)

特別講演

三重大学 三宅 秀人 教授

#### ◎2022年度 第4回セミナー

日程:2023年1月7日(土)PM

場所:三重県教育文化会館(津市)

(ウェブ開催の場合もあります)

会員講演

山口 昇吾 技術士(機械)

特別講演

三重大学 鵜飼 直也 教授

### ★みえテクノロジーカフェ★

未定

### ★中部本部行事★

#### ◎年次大会

日程:2022年7月23日(土) PM

場所:ウインクあいち(名古屋市)小ホール1

#### ◎秋季講演会

日程:2022年9月3日(土)PM

場所:ツドイコ名駅東カンファレンスセンター(名古屋市)

### ★統括本部行事★

#### ◎地域産官学と技術士合同セミナー

日程:2022年11月11日(金)PM

場所:じゅうろくプラザ(岐阜市)

+Web 会議システム

公益社団法人 日本技術士会 中部本部 三重県支部

「技術士みえ」発行及び責任者

竹居信幸 技術士(建設、総合技術監理)

〒510-0025 三重県四日市市東新町2-23

東邦地水(株)内

TEL 059-331-7311

FAX 059-331-8107

E-mail: nobuyuki-takei@chisui.co.jp

広報委員

西方伸広 技術士(機械)

井上正喜 技術士(機械、総合技術監理)