国際航空宇宙展2024東京（JA2024）における
SAE-Japan Symposium開催
報告書

2024年11月15日
航空イノベーション推進協議会

1. はじめに

SAE InternationalはJA2024の会期中にSAE-Japan Symposiumを、共催：航空イノベーション推進協議会、後援：公益財団法人航空機国際共同開発促進基金、一般社団法人日本航空宇宙工業会、株式会社東京ビッグサイトの形で成功裡に開催することができた。本シンポジウムは基調講演と6つのテーマからなり一講演「SAE 航空の進化を支える標準化活動」（10月17日午前）、パネルディスカッション「DX: 認証・デジタルスレッド・デジタルエンタープライズ」（10月17日午後）、パネルディスカッション「自動化・自律化：技術と実装に向けた諸課題」（10月17日午後）、「航空機の水素化/電動化：技術と実装に向けた諸課題」（10月18日10:00～13:00、前半：水素化／後半：電動化）、「品質保証の行方と日本への期待/軽量化技術とエコシステム」（10月18日午後、前半：品質保証／後半：軽量化技術）、「クロージング」（10月18日午後）—、これらの一連の参加者は535名であった。本報告書では、各セッション毎に、主要な議論を記す。なお、開催にあたり、プログラム委員会を立ち上げ、東京大学、国土交通省、経済産業省、日本航空宇宙工業会からの委員のアドバイスのもと、日本側の講師を選出した。

2. オープニングセッション（挨拶、SAE概要、基調講演「SAE 航空の進化を支える標準化活動」）

10月17日10時からのセッションでは挨拶、SAE概要、基調講演が行われた。登壇者は下記の通り：

（各スピーカーからの挨拶）

- 呉村 益生、経済産業省航空機武器産業課　課長
- 千葉 英樹、国土交通省航空局安全部航空機安全課　課長
- Peter Doty, CEO, SAE Industry Technologies Consortium
- 鈴木 真二、航空イノベーション推進協議会（AIDA）代表理事

（SAE概要）

- David Alexander、 Senior Director, Standard, SAE International

（基調講演）

- Robert Ireland, VP, Engineering & Maintenance at Airlines for America and 2025 SAE President（オンライン）
- 森岡 典子、IHI 取締役 常務執行役員 戦略技術統括本部長

2.1 各スピーカーからの挨拶

第一登壇者の呉村氏は、経済産業省が過去一年にわたり、脱炭素に向けて、日本が強みとするコンポジット材料や金属を含めた形での電動化や水素技術の発展、SAF（持続可能航空燃料）の生産促進やインセンティブ作りに関し、さまざまなR&D支援を行ってきたことを説明した。またR&Dだけでなく、安全基準や国際標準に係る検討について官民が連携して取り組むことが不可欠であり、航空機の脱炭素化に向けた新技術官民協議会を設立し、昨年3月にはロードマップを策定したと述べた。標準化については、日本企業がしっかりと議論できる場の確保が必要であり、このシンポジウムが情報収集や標準化の議論に貢献することを期待しており、今後も日本勢として貢献していきたいとの意気込みを示した。

第二登壇者の千葉氏からは、eVTOLや、ドローン、UAS(Unmanned Aircraft Systems)などの新技術を用いた航空機の開発が進められている一方、2050年のカーボンニュートラルという我が国の目標のもと航空業界でも環境対策、脱炭素化が大変重要であると説明があった。新技術の研究開発が進んでおり、これにより航空機産業の市場拡大が期待されているが、そのチャンスをつかむために、安全基準に適合しうることを実証することが必要不可欠であると強調した。レギュレーションについては、適合性証明方法（Method of Compliance）を各メーカーがそれぞれ確立するのではなく、SAEをはじめとする国際標準化団体と連携し、他メーカーのデータ、経験、ベストプラクティスの情報を活用しながら策定していくことが現実的だと述べられた。また、産官学連携による「航空機脱炭素化に向けた新技術に関する官民委員会」が設立されたことを紹介し、この委員会を通じて業界と検討を進め、安全基準の策定や国際標準化に取り組んでいくというビジョンを示した。最後に、航空産業の現在そして未来、その中にある国際標準化活動の重要性を再認識し、日本企業がSAEの活動へ積極的に関与するよう呼びかけた。

第三登壇者のDoty氏は、開催にあたっての関係者への感謝の意を表し、過去自身が日本に居住していた経験があり、今回再度来日し国際航空宇宙展に参加できることへの興奮を語った後、二日間のセッションのテーマの紹介を行った。航空宇宙産業は多くの課題に直面しており、専門家が集まり協力してこれらの課題を解決することの重要性を強調し、シンポジウムでの議論を楽しみにしていると締めくくった。

第四登壇者の鈴木氏は、SAEのメンバーに本シンポジウムの企画への感謝を伝え、AIDAについて紹介した。AIDAは2008年に東京大学で設立され、2018年に一般社団法人として組織化。様々なステークホルダーがエコシステムを構築している航空業界において、新しいイノベーションを推進するためのネットワークを構築する必要があり、作られた。現在150の、おもに法人が会員として活動している。航空における標準化活動は重要であり、AIDAにおいてもCerTCAS(Certification Technology Consortium for Aircraft System)という認証を行うための、標準化活動を推進する組織を作って活動もしている。

鈴木氏はまた、前回のJA2018におけるSAE International Aerospace Japan Symposiumのテーマが当時の革新技術であるブロックチェーン、ロボティクス、3Dプリンティング、unmanned technology、electrification、electric powerなどであったことを振り返った後、今回のシンポジウムの各セッションのテーマを紹介、活発なディスカッションを期待しており、本シンポジウムが航空産業の革新に寄与する重要な機会になると信じていると述べた。

2.2 SAE概要

Alexander氏は、本シンポジウムでは、航空宇宙分野のリーダーや技術専門家が集まり、持続可能性やデジタルトランスフォーメーションがもたらす業界の重要な機会と課題について議論する素晴らしいプログラムを用意していると紹介した。日本とは10年間グローバルな協力関係を築いてきたと語り、モデレーター、スピーカー他、関係者へ感謝の意を表した。

次に、SAEの歴史について述べた。SAEは1905年にヘンリー・フォードやチャールズ・ケタリングなどの自動車の先駆者たちによって、共通の技術基準を定義するために協力し、業界を構築するために設立された歴史ある団体で、自動車業界を築き上げた。1916年には、オーヴィル・ライト、グレン・カーチス、グレン・マーティンなどの航空の先駆者が参加し、SAE（Society of Automotive Engineers）となり、自力推進するすべての乗り物に関わる団体となった。最初のSAE航空宇宙標準は1917年に発行された。その後の20世紀後半には、SAEは将来のエンジニアを育成する教育プログラムを展開した。

SAEとその関連団体では、業界やステークホルダーが協力して業界を前進させるためのプラットフォームを提供しているが、それは単に標準を開発するための集まりではなく、プログラムを通じて人々が集まり、活動を超えた長期的なつながりを築き、航空宇宙業界が影響を与え、サプライチェーンや認証の方向性に影響を与え、業界を進展させる場でもある。SAEの設立時の理念は、2024年の今も維持されている。

続いて、下記のとおり、SAEの活動について紹介した。SAEインターナショナルでは、標準の策定、多くの技術論文の発表、訓練や事前の専門教育、SAE ITCの強力なコンソーシアムを通じた目標達成、PRIを通じた航空宇宙業界に必要な製品の安全性、品質、信頼性向上に取り組んでいる。これはグローバルに広がっており、日本、中国、米国、英国、EUのオフィスをはじめ、ブラジルやインドの提携パートナーを通じて展開され、13,000以上の標準をSAEインターナショナル、ARINC、SAPQPで維持している。16のコンソーシアムプログラムには1,100以上の企業や組織が参加し、11,000回以上の監査を通じて業界のために8,500の認証を維持している。

これを支えているのは、業界とステークホルダーの協力である。業界はPRI（Performance Review Institute）において、航空、防衛、宇宙、医療機器、鉄道交通といった業界で最高水準の品質を維持するため、競合する組織間で品質基準の向上を推進している。PRIは8500件以上の認証を管理しており、そのうち145件は日本の企業に発行され、日本の関与が強まっていることを示している。特に三菱重工業（MHI）は長年にわたりNADCAPのサポーターであり、PRIのボードにも米国、欧州のメンバーとともに参加している。さらに今年から川崎重工業（KHI）やIHIも加わり、日本のリーダーシップが強化されており、また、JEKGとの提携により、日本の航空宇宙産業の国際的な品質への影響力も拡大している。

SAE ITCの専用コンソーシアムでは、航空宇宙エンジンサプライ品質グループがエンジンサプライチェーンの品質基準の戦略を策定し、標準の実装を支援している。さらに、1935年に設立されたARINCは通信と航空ナビゲーションをサポートし、1918年に設立されたASPQPは部品認定を行う。技術革新も積極的に推進されており、予知保全や新材料、プロセスに対応する付加製造の取り組みが進められている。

SAE ITCの下の専用コンソーシアムでは、航空宇宙エンジンサプライ品質グループがエンジンサプライチェーンの品質基準を支える戦略を策定するために集まり、標準の戦略を定義するだけでなく、参照資料やトレーニング、資格認定を通じて業界が基準を実装できるよう

支援しています。また、1935年設立のARINCは安全な通信と航空ナビゲーションを支え、1918年設立のASPQPは標準部品の認定を定義している。さらに、予知保全を実現するヘルスレディコンポーネントや、SAE ITC AMS AMDCによる新しい材料とプロセスを定義するための付加製造の取り組みなど、新技術をサポートする活動も行われている。

SAEは生涯学習を重視し、教育も重要な使命としている。小学生に「A World in Motion」プログラムを通してSTEAM教育を提供し、学生がチームワークやビジネス知識を学べる機会をAero Designなどを通じて提供している。プロ向けには品質、安全管理、認証の分野で150以上の講座を専門家が教えている。

SAEには、航空宇宙産業や自動車産業、商業車両産業からの専門家が集まり、600を超える委員会、運営委員会、タスクフォースで10,000件近くの標準や推奨実施事項、材料仕様、情報報告書を開発・維持している。これにより、SAEは業界の標準化の基盤を提供している。SAEの航空宇宙評議会は、標準の策定とガバナンスを提供し、OEMや主要企業だけでなく、認証当局や研究機関、学術機関といった幅広い利害関係者のニーズを反映させているが、日本のIHIがこれに参加し、日本の業界からの関与がますます強まっていることは喜ばしい。

持続可能性とデジタルトランスフォーメーションがSAE標準化プログラムの主なテーマであり、持続可能なエネルギー源の開発や、軽量材料の使用を通じた燃料消費の削減、運用やメンテナンスの新技術への対応が進められている。標準化は、これらの技術革新の基盤となっており、業界が共に進化するための場となっている。標準化が革新の土台として機能している例として、自動運転、AM（アディティブ・マニュファクチャリング）、水素技術におけるSAEの活動が挙げられる。これにより、製品の定義やシステムの開発、統合のプロセスが進化している。

HONDAのMiyake氏が2つのAMS付加製造規格のプロジェクトリーダーを務めるなど、日本からのSAEへの参加も非常に活発で、過去5年間で日本の委員会参加が100%増加している。特に、投票権を持つメンバーが増加していることが、日本からの関与が非常に活発であることを示している。日本では、90を超える企業・組織がSAE標準に関与しており、JAXAやMETI、ニコン、三菱重工などが会議を主催している。

今後の活動について、SAEの年次航空宇宙会議「Aerotech」が来年5月にバンクーバーで開催され、持続可能性やデジタルトランスフォーメーションなどの最新航空技術が議論される旨、案内した。

最後に、シンポジウム参加者へ標準化活動への協力、SAE、PRI、SAE ITCコンソーシアムの活動への参加を改めて求めた。

2.3. 基調講演

一人目の基調講演者のIreland氏は、”SAE gets you there（SAEがあなたを目的地まで導く）”というタイトルでSAEの航空宇宙分野における標準開発とその広範な活動について紹介した。SAEは航空宇宙だけでなく、自動車や商用車分野にも関与し、航空会社や顧客に旅行機会を提供している。Ireland氏は航空業界の貿易団体であるAirlines for America（A4A）に所属し、アメリカの主要航空会社を代表して立法や規制に取り組んでいる。SAEでは安全維持とエンジニアリング部門のリーダーとして活動し、米国連邦航空局（FAA）や一部米国運輸省（DOT）との連携を担当している。1984年からボランティアとして活動しており、現在は航空宇宙担当副会長、今後は会長職に就く予定である。

SAEとA4Aの協力関係は非常に重要で、A4Aの会員である10の主要航空会社が参加し、数百人の専門家がSAEの標準開発に貢献している。これにより、SAEは高品質な標準を策定できている。SAEは中立的な場を提供し、アイデアの自由な交換を通じて、過去の教訓を反映し未来を見据えた標準を形成しているとのこと。
講演の内容は下記の通りである。

1. 持続可能性 – 航空業界における現状

現在、航空業界では持続可能性が非常に重要なテーマとなっている。多くの航空会社が今後10～20年でカーボンニュートラルを目指しており、これは容易な目標ではない。気候変動への対応が急務で、航空交通の増加に伴い、燃料の効率性向上が求められている。現状を整理すると、以下の通りである。

- 推進効率：従来のガスタービンアーキテクチャを使用したエンジンプログラムは、GTF（ガスタービンファン）、バイパス比の向上、次世代のオープンローター（例：CFM RISEプログラム）など、カーボン燃料やSAFを使用したエンジンの効率が向上している。
- SAF（持続可能航空燃料）：理論上はSAFは素晴らしい技術で重要だが、供給量やコストの問題が依然として解決されていない。これらは今後数年間で解決すべき課題である。
- 電気/H2：現在開発作業を行っているが、飛行機の重量に対して利用できる容量が限られており、乗客も運ぶ必要があるため、蓄電や水素の貯蔵の問題が課題となり、長距離フライトにおいては現実的ではなく、最適な効率を得られる利用状況を特定する必要がある。メイン機体のスペースを確保し、翼のタンクに多くを割り当てない方が良いかもしれない。
- 最適化された軌道運用：航空交通管理アルゴリズム、性能ベースのナビゲーション、エンジンの効率的な使用、アプローチパスの効率化を活用した効率的な運用が必要。

2. 協力

航空宇宙産業において、コラボレーションは絶対に不可欠である。40年間のSAEの経験から、業界はよりグローバルなプラットフォームへと移行している。
政府と産業界の間でも、研究パートナーシップ、規制パートナーシップ、調達に関する協力があり、航空機の運用や保守に関わるすべての利害関係者、航空会社、メーカー、その他のサプライヤーも含まれている。製品開発、製造サプライチェーン、互換性をサポートするために良好な標準を策定する必要がある。
航空機と航空交通管理(ATM)との間で共通のデータとプロトコルも非常に重要で、効率的なデータリンクが正確で効率的なアプローチパスを実現するために不可欠である。

部品の追跡も重要な課題であり、特に約1年半前にイギリスで偽造部品が新品として販売された事件が注目された。部品追跡のための自動化とITの重要性が高まっており、統合された機体ヘルスマネジメントも今後の技術として重要性を増している。この技術により、必要な場合にのみメンテナンスを行い、効率的で費用対効果の高い方法で保守間隔を調整できるようになる。これにより、劣化が早い部品や長持ちしている部品を把握し、最適に活用することが可能になる。

標準化団体（SDO）は、標準を策定する準備が整った際に適切な専門知識を提供できる。現在、A4Aの航空会社から約500名がSAEの会議に参加しており、同様の規模の人数がRTCAAやAirlinkと協力している。ヨーロッパではEuroCAEがこれらの作業を行っており、これらすべての組織が業界の成長や効率的な標準の策定において非常に重要な役割を果たしている。その結果、政策、技術、品質、安全性などの問題について運用が適切に連携される。

3. 将来の展望

- 空の交通量は大幅に増加する見込みで、特にアジアでの成長が期待される。これは業界にとって良いことだが、持続可能性や空港、航空交通管理（ATM）、パイロットや整備士などの人的資源において課題がある。特にA4Aでは、アメリカ国内、特にアメリカ北東部での航空交通管理者の不足が長年の問題となっており、コントローラーの訓練には時間がかかるため、この課題に追いつくことが重要である。また、ボーイングやエアバス、Oliver Wyman（米国の調査会社）の年次報告から、今後10年間で米国内だけでパイロットや整備士がそれぞれ約125,000人必要になると予測されており、世界全体ではこの約5倍が必要になると見込まれる。参加者にも、知人にこの業界に関心を持たせ、次世代の航空宇宙業界の担い手となるよう促してもらいたい。
- ルート: ハブアンドスポーク型とポイントツーポイント型のルート戦略も航空会社のフリートやサービス地域に応じて変化していく見込み。COVID-19のパンデミック後、A380の運用が一部復活してきたが、依然として大型機による少数便よりも、ポイントツーポイント型の運航が主流となりつつある。A321やA321 XLRは、6月にシドニー、9月にファーンボローでデモが行われ、将来に向けて長距離移動が可能な小型機として非常に有望な航空機である。一方で、ボーイングには757カテゴリー（中間市場向けの新型機）が求められており、「797」と呼ばれる、最新技術を多数取り入れたゲームチェンジャーとなる可能性がある機体が登場するのではないかと期待されている。
- 高度な空のモビリティ（AAM）の役割
  エアタクシーや、職場や空港から乗り継ぎのための個人用航空機などが検討されている。航空会社はすでにAAMスタートアップへの投資を行っている。
- 超音速 – Boom社が大きな進展を遂げており、NASAはX-59の開発に取り組んでおり、地域社会への騒音影響を評価している。
- メンテナンスの最適化 – 例えば、統合エアプレーン・ヘルス・マネジメント（Integrated Aircraft Health Management）により予知保全やその他の開発が進む。SAEのG-38委員会は、デジタル地上検査への依存を減らし、データ管理を向上させることを検討している。A4Aカンファレンスでは、ドローンを使用した航空機検査のための非破壊検査に関する賞が授与された。

4. 「SAEがあなたを目的地まで導く」

SAEは自宅から空港までの移動手段全てに標準を設けており、自動車や航空機、さらには農業車両にも関与している。SAEは様々な交通手段の標準化に貢献することを目指している。

二人目の基調講演者の森岡氏は、航空業界の脱炭素化に向けた取り組みについて講演を行った。最初に、約15年前にジェットエンジンの燃料システムの電動化による効率化・燃費向上についての研究開発を開始、現在特に燃料システム設計を専門とするジェットエンジンの制御システムエンジニアであると自己紹介をした。SAEなどの国際標準化活動にも参加している。2010年代初頭、日本の企業が国際標準化に参画することがあまり知られていない中、挑戦を続けてきた経験を共有した。
講演の内容は下記の通りである。

1. IHIの概要

IHIは約170年の歴史を持つ重工業の老舗企業であり、現在、①資源・エネルギー、環境②社会基盤③産業機械④航空機エンジン・宇宙・防衛の4つの主要事業を展開し、脱炭素やサステナビリティに向けた取り組みを本気で進めている。例えば、グリーン燃料の製造から使用に至るまでを通じて脱炭素に貢献しようと、グリーンアンモニアの開発を進めている。

2. 航空業界の脱炭素化に向けた動き

2022年、国際民間航空機関（ICAO）は、2050年までに航空業界もネットゼロを達成する目標を設定した。これに向け、A long-term global aspirational goal (LTAG) を実現するための活動が本格化しているが、考え方やシナリオは様々である。持続可能な航空燃料（SAF）の利用が進められているが、それだけではなく、電動化、高効率化、軽量化、機体の形を根本的に変更することも含めた空力関係の改善など、さまざまな技術の導入が必要である。自身、システム電動化の研究を行ってきた中で、航空機における電動化の難しさを実感している。たとえば、電気自動車（EV）の出力は100～150kWだが、200 人乗りぐらいの民間飛行機である単通路機の出力は約40MWと、桁違いのエネルギーが必要なため、必要な技術も大きく異なる。また、航空機の信頼性安全性を担保するということが重要となるため、技術的にはハードルも高い。よって、一つのソリューションに頼るのではなく、多様な取り組みが必要となる。

現在の飛行機のシステムは主にジェットエンジンの動力を利用しているが、電池を搭載した小型機は既に飛行可能であり、ハイブリッドシステム（ジェットエンジンのような内燃機関と電気の力の組み合わせ）や水素を用いた推進も研究されている。航空機のサイズや運航距離に応じた最適なソリューションが求められる。欧州連合（EU）では、Clean Aviationというファンドの中で、ハイブリッド電気や高効率化、水素推進などの多様なプロジェクトが進行中である。

3. 航空の脱炭素化に向けたIHIの取り組み

飛行機の推進力には約40MWのエネルギーが必要だが、システム全体で使うエネルギー量は1MW程度と比較的少ないため、システムの効率化、電動化が先に進むのではないかと考えられる。

こういった新しい技術を航空機に導入するためには、認証や安全性の確保が不可欠であるため、技術開発と並行して国際標準化に参画していくことが非常に重要である。

システム・推進を電力化するとなると、航空機内で大きな電力を生成する必要があるため、軽量で小型の発電機や電動機の開発が求められるが、これまで要求がなかったものであるため、IHIはシステム的なデモンストレーションも行いながら開発し

ている。水素燃料を用いた航空機の研究も進行中であり、IHIは再生型燃料電池の飛行実証を行った実績もある。

4. 国際標準化活動

産官学の連携を強化し、標準化団体に参加することで新技術の普及を目指している。例えば、新技術官民協議会の電動化に関する国内ワーキンググループでは、標準化の取り組みが進行中で、そこでの議論をSAEのE-40（Electrified Propulsion Technical Committee）に入れ込みグローバルに議論している。Votingメンバーでもあるので、決めていくことにも参画している。標準化には、ライバル同士の間であっても、事業間連携をしていくことも重要である。

以上の説明の後、2011年にフランスのトゥールーズで行われたSAEが主催するAerotechでAirbusのエンジニアに出会い、SAEのE-36というエンジン電子制御に関するテクニカルコミッティに呼ばれ、そこでIHIの紹介をし、議論に参画するようになったのがSAEとの関わりのはじまりであったと振り返った。そこで技術標準化の必要性を実感し、電力システムやサイバーセキュリティなど他分野との連携が不可欠だと理解したという。2015年頃、SAE内にEASG(Electric Aircraft Steering Group)が設立され、自身も参加して電動化に向けた具体的な議論をし、最終的にE-40技術委員会が設立された際にはIHIも最初から参画したという。

写真：オープニングの会場の様子

3. DX: 認証・デジタルスレッド・デジタルエンタープライズ

認証プロセスにおけるモデリングと認証の利用拡大、そしてデジタル・スタンダードを構成要素とするデジタル・エンタープライズの運営という2つの柱を探るため、我々は何をすべきか、認証のためのモデリングとシミュレーションを拡大するために、認証機関はどの程度の信頼と信用を必要とするのか、企業や政府機関などの間でデジタル情報の交換を促進するためには、どのようなフレームワークや相互運用性が必要なのか、デジタルの糸はどのような役割を果たすのか、などを議論するため、本パネルを企画した。

10月17日14時から開催された本セッションでは、下記の議長と、

- 伊藤　健、航空機ライフサイクルDX(CHAIN-X)コンソーシアム代表/ 宇宙航空研究開発機構(JAXA) 航空技術部門 航空プログラムディレクタ

下記の4名のパネリストが集められた。

- 溝渕 泰寛、宇宙航空研究開発機構(JAXA) 航空技術部門 航空機DX技術実証（XANADU）プリプロジェクトチーム、チーム長
- Kathy Elliott, Defense Sector System Performance & Aerothermal Systems Capability Manager, Rolls-Royce
- 山口 恭弘、三菱重工業株式会社 民間機セグメント DX推進室 主幹プロジェクト統括
- Rich Forselius, Engineering Excellence & Standards Technical Principal, Lockheed Martin

まず初めに伊藤氏から、オーディエンスに理解してもらうためのセッションの概要の紹介が行われた。航空機のデジタルトランスフォーメーション（DX）に関する背景として、航空機の設計は非常に複雑で、開発にかかる時間が長くなっていることが課題であり、特に設計変更時の手戻りが問題となり、効率的な対応が求められていること、これを解決するために、MBSE: Model-Based Systems Engineeringやデジタルデータの活用が期待されていること、また、認証については、特に複合材適用が進む近年で、認証取得が長期化する傾向にあり、解析による認証 （CbA: Certification by Analysis）に向けた動きを加速させることが期待されていることが紹介された。例として、T-7A Red Hawk（BoeingとSAABにより共同開発されたアメリカとスウェーデンの高等練習機。デジタル技術を活用した開発プロジェクト「eSeries」の第一号）のようにデジタル技術を駆使した開発事例で、品質向上や組み立て時間短縮の成果が見られていることが挙げられた。ボーイングもライフサイクル全体をデジタル化する取り組みを進めているそう。

生産においては、デジタルスレッド（ライフサイクル全体をデジタル化し、製品及びその構成に関する情報を管理する技術）が注目されているという。日本では、JAXAにおいて、デザイン設計、認証、製造、その先の飛行機の運用・保守（数値シミュレーションと計測を融合した運用・保守技術であるデジタルツインの利用を検討）、廃棄・リサイクルまでのライフサイクル全体をデジタルスレッドとしてつなぐという取り組みを進めているそうだ。

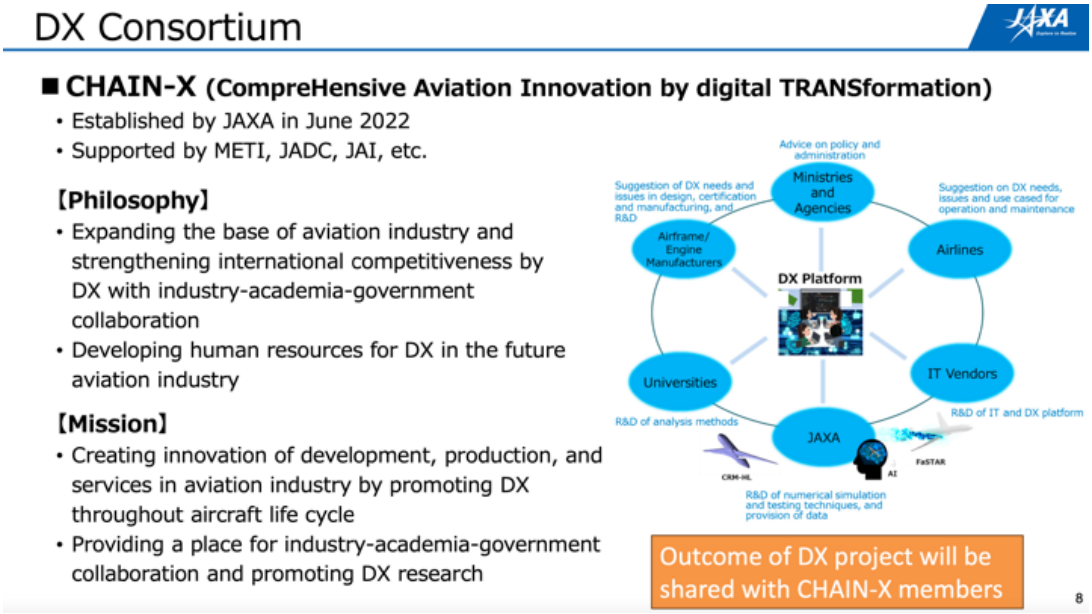
現在、日本では経済安全保障重要技術育成プログラム（Kプログラム）を通じてデジタル化が進められ、その中でのCHAIN-Xコンソーシアムでは、デジタル化を促進し、人材育成を目指しており、設計 DX・生産DX・認証DVについて、2050年を目指して将来のデジタル世界のビジョンやロードマップを議論し、示しているとし、シンポジウム参加者にはこちらへの参加を呼びかけられた。

最後に伊藤氏は、このセッションでは、1.認証プロセスにおけるモデリングとシミュレーションの利用増加、2. 企業活動の中でのDX化の２点をメイントピックとして議論していくと説明した。

第一パネリストの溝渕氏からは、日本でのDXプロジェクトと分析による認証（CbA, Certification by Analysis）について下記のとおり説明があった。JAXAは、経済産業省の「Kプログラム」を通じて、IHI、KHI、SUBARU、JADC、MHIなどとともに5年間のDXプロジェクトを進めている。このプロジェクトには、設計DX、認証DX、プロダクションDX、およびこれらのプロセスを統合し日本のステークホルダーを繋ぎ海外のプレイヤーとも繋げるDXプラットフォームの構築が含まれる。設計DXではMBSEとMBDを統合した新しいプロセスを、認証DXでは解析を用いた認証（CbA）プロセスを開発し、その設計プロセスを既存の設計データに当てはめてみることによって、皆が支えるリファレンスモデルを創出し、生産DXでは、品質管理、MBD-MBIリンケージ（デジタルの設計情報にデジタルの作業指示を組み込む）、スマー

トサプライチェーンのコントロールを行おうというものであるそうだ（なお、JAXAはこちらは直接関わっていない）。認証DXでは、三菱の飛行・構造試験や軽量化（Lightning）データを使用してCbAツールを開発するという。プロジェクトの最初の 3 年間程度でこのツールとガイドラインの初期版を作り、残りの 2 年程度で模擬認証を行う予定であるという。

CbAのワーキンググループには、構造CbA、飛行性CbA、軽量化CbAがある。構造CbAではVVUQ workshop（VVUQ90, VVUQ10)というワーキンググループで提案されているCredibility Assurance Framework（CAF）を活用し、三菱のデータを使用しながら、要求の設定、シミュレーション計画の立案と実行を行う。V & V(VerificationとValidation)のValidationの際には、UQ（Uncertainty Quantificationan、不確実性の定量化）という、ばらつきも含めて実験を再現できる解析技術の開発が求められており、その後にCbAに迎えるという流れになる。飛行性のCbAでも同様に、この解析技術を用いて模擬認証を行う計画になっているが、AIAAのFSMBE(Flight Science Model-Based Engineering) Communityに参加、ここのRecommended practiceに基づき、CbAプロセスを構築予定である。今後のUQについての議論にはJAXAも積極的に参加し活動をリードしていきたい。軽量化CbAではSAEのAE-2 Lightning CommitteeとEUROCAE Working Group 31 Lightningに参加している。最後に溝渕氏は、産官学が連携してDXプロジェクトで得られた成果の共有を図るDX Consortiumについても説明した。



写真：DX Consorthium

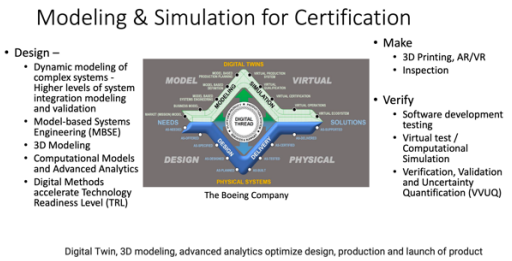
第二パネリストのElliott氏は、米国のロールス・ロイスにて、システム性能や空力・熱性能の責任者としてガスタービンエンジンの機能面や熱力学サイクル、軍用用途向けの複雑な空気取り入れ口と排気口、エンジンの騒音認証、エンジンの環境保護（雨や氷、雹、火山灰、砂や埃などの厳しい環境条件下でエンジンがどのように動作するかをモデル化）に従事してきたと自身の経歴を紹介し、下記の通りDX化の現状について述べた。

現在の注目はデジタルトランスフォーメーションで、分析による認証（Certification by Analysis, CbA）が焦点となる。製造業者の観点からの課題はデータとその認証に必要なツールや方法であり、デジタル環境では標準化が重要で、認証手段を業界と規制当局が合意できる形で文書化する必要がある。デジタルトランスフォーメーションの基盤であるデータには、さまざまなタイプやソース、所有権、エクスポート制限があり、相互運用性とアクセス

性の確保が難しく、また、社内外や分野を超えたコラボレーションによって、さらに複雑になる。

次に、従来のエンジニアリング「Vプロセス」が「ダイヤモンド」に進化した例を示した。上部にデジタルVを加え、モデリングやシミュレーションを通じて認証を支援する。製品のライフスパンが長く、蓄積されたデータは新しい設計やツールの検証に役立つ。テストと検証の段階で再設計が必要な反復ループがあるが、デジタル技術を活用して初期段階からシミュレーションを行うことで、コスト削減が可能となる。例えば、設計段階での砂の吸引モデリングでは、安全性向上やコストに貢献している。しかし、安全性が関わるため、規制当局は新しい方法や未検証の技術に慎重になるため、認証の際に規制当局と透明性を持っての協力していくことが必要になるという。

最後に、FAAやその他の規制当局は、認証の基盤となるプロセスを業界の合意によって標準化するために標準委員会を活用しており、EASAもAIロードマップを発表し、機械学習を組み込んだソフトウェアの認証方法に関心を持っていると紹介、今後も協力しながら、安全で信頼性の高い製品提供のためにデジタルスタンダードの中心的役割を果たしていく方針だと意気込みを語った。



写真：ダイアモンドプロセス

第三パネリストの山口氏は、同社の航空機分野における設計と生産に関連したDXについて説明した。航空機のライフサイクルが非常に長いため、現行の製品の品質・コスト・納期の改善（ボトムアップDX）と、新機体への適用に向けた新しいプロセスでの開発（ブラン・ニューDX）の２種類のアプローチが必要となる。その際、現行製品のDXとの将来の統合を踏まえたうえで新DXプロセスを開発することが必要である。

航空機製造の競争力において、個々の技術よりも全体のインテグレーション能力が重要になってきている。Vプロセス（開発・認証プロセス）を基に、様々なプロセスをデジタルで繋ぎ、安全性を確保する必要がある。また、アーリープロトタイピングやバーチャルインテグレーションなど、ベリフィケーションの前にデジタルでインテグレーションを行い効率化を図ることが重要になってきている。特に、複数企業が関わる航空機開発においては、デジタルデータやモデルの共有フォーマットやプラットフォームを整備することが不可欠となる。インテグレーションをやりやすくして機体メーカーの選択肢を広げるためにも、ガイドラインやスタンダードが重要になるが、ガイドラインに関してはSAE S-18コミッティでARP4754Cや4761BなどのDXも考慮したガイドライン、G-34でARP6983でAIに関するガイドラインの策定が進行中で、また、スタンダードに関しては、SysML（MBSを記述する言語、ReqIF(Requirement Interchange Format)、ISO 10303-242（STEP AP242: 主にCATIA等に関連するもの)、 ISO 10303-243（MoSSEC:モデルベースで解析モデルを共有するようなフォーマット）といったものがある。

仮想統合プロセスとデジタルスレッド全体を実現するためには、開発が始まる前にスタン

ダードとともにデータを共有するDXプラットフォームが必要である。Boeingは複数の会社がデータを共有する場合のレベル訳をしているが、データを具体的に共有するとなると、レベル3B（Production Lyfecycle Management(PLM)というツールを共有してそれを用いてデータを会社間で共有）やレベル4（一つのバーチャルな機体を仮想空間上で複数社が開発するような仕組み）を実現する必要があると考えられる。DXプラットフォームを整備することを一企業が行うことは困難であり、DXインフラとして、国の支援を含む協力的な枠組みや、公的なガイドラインと標準も不可欠である。

Aircraft DXの活動においては、設計DXと生産DXと認証DXに参加しており、SysMLの言語で書かれたMBSEのモデルを使ってこれら3つのアクティビティをつなぐことが鍵である。Vプロセスの左側にあるように、ステークホルダーやレギュレーションの要求を機体・システムレベルへとフローダウンする際、MBSEでデータを記述してデジタルスレッドと連携させる。これにより、全体の可視性が向上し、設計変更時の影響評価が容易になる。生産システム（3DモデルやBOM: Bill of Materialsなどを含む）に関しても独自のVプロセスがあり、MBSEを用いて生産システムの仕様を記述し、機体の仕様とデジタルスレッドで連携することで、生産システムからの要求を機体設計に早期反映し、設計変更の影響を最小限に抑制することが可能になり、Bill of Process（製造工程）との連携も実現する。このように、最終的な目標は、航空機の開発から製造まで全体をデジタルスレッドで一貫してつなぐことである。

サーティフィケーションについても、全てデジタルスレッドでつないで全体を見える化することをこのプロジェクトの中で構築したいと意気込みを語った。

第四パネリストのForselius氏は、デジタルトランスフォーメーションを加速させるために、「デジタルエンジニアリングが本当にデジタルエンタープライズとなる」というビジョンを説明した。デジタルエンジニアリング戦略は、モデルベースのエンジニアリングとシステムアーキテクチャなどを活用し、計画・設計から開発・製造・分析に至るまで、製品ライフサイクル全体の加速を目指す包括的で統合されたフレームワークの構築に重点を置いている。米国政府のデジタルエンジニアリング戦略、デジタルモダナイゼーション戦略、データ分析およびAI導入戦略とも連携している。この戦略では、あらゆるレベルでのデジタルツイン、連携されたインテリジェンス、シリアル番号に基づいたトレーサビリティ、設計・製造・維持の各段階でのコンフィギュレーション管理、およびソフトウェアとハードウェアが完全に統合されたアプローチを強調した。重要なのは、100%の精度を保つことであり、「接続されたワークフロー」と「接続されたインテリジェンス」の考えのもと、AIを活用してワークフローの加速や要求分析、アーキテクチャ開発を進め、SAEや各種標準化機関、業界団体の活動を支援する業界標準の強化を目指している。

デジタルエンタープライズの統合は、デジタル標準に基づき、サイバーセキュリティ・知的財産・認証とプライバシーも確保しつつ、データの自動取り込みができる状態で、設計、テスト、製造、維持、供給項目に関する文書、標準、仕様書などのデータの分析と設計の最適化を行うための大規模言語モデルで行われなければならない。デジタルエンジニアリングは、デジタルスレッド全体での機械学習、AIシミュレーションによって強化される（「シミュレーションベース検証」、VVUQ（信頼性評価）や、解析による認証などを含む）。シミュレーションとテストを大幅な増加させることが目的だ。これまで見過ごされてきたエンジニアリング文書についても例外でなく、エンジニアリングのワークフローに適さないPDFやWORD形式を使用するのはやめ、特定のツールに依存せず、かつソフトウェア、機械、サプライヤーにかかわらず100%エラーフリーが達成できるような方向へ進めていくべきである。ツー

ル非依存には、RECIF、XML、UML、CSML、QIFなどの技術的手法が存在する。そのためには、企業の技術担当者が業界団体、コンソーシアム、政府、規制当局との会議に出席しなければならない。

最終的な目標は、デザイン/システム/ソフトウェアの効率と統合、運用の効率と統合をデータの洞察と分析によって実現することである。コンセプトから製品の展開に至るまでのアクティブかつ正確なサプライヤーの統合とフローダウンも期待している。これにより、サイクルタイムの大幅な改善が見込まれる。ISO Smartという取り組みなど、ユースケース例も収集している。最後に、Forselius氏は、100%エラーフリーで、計画、設計、開発、分析を迅速に行う統合されたデジタルエンタープライズを目指し、タイミングを重視し、全員が一体となってこの目標に向かって取り組むべきだとあらためて強調した。

パネルディスカッションでは、短時間ではあったがパネリスト間で議論が行われた。伊藤氏より山口氏に、デジタルエンタープライズに関して、関連する会社との連携まで生産をつなげていくために、現在三菱重工でTier 1の中でデジタル化がされている現状だが、Tier 2, 3,4との連携はどう進みそうかと質問があり、山口氏から、日本では難しい状況であり課題であるが、DXが進んでいるアメリカを見ると、DXのプラットフォームの環境が大事なのではないかという回答があった。続いて、AIについての具体的な説明をという質問に対し、Richard氏は、AIはデジタルフォランスフォーメーションにおいてこれまで人間が行ってきた活動を引き継ぎ、100%エラーフリーで効率を大幅に向上させることに役立つと回答した。続いて、溝口氏よりElliott氏に中央に集約して大きなDXプラットフォームを作るのか、データアクセスコントロールをした上で分散型で管理していくのと、欧米ではどちらが主流になりそうかという質問があり、注意深く保護されるデータを扱う軍事領域では分散型の必要があり、商用はクラウドベースのサービスも考えられ、そのためのデータの整理を今行っているとの回答があった。

4. 自動化・自律化：技術と実装に向けた諸課題

eVTOLの文脈を中心に航空の高度自動化またその先の自律化、あるいはAI技術の活用に関して、国内外で様々な議論が行われている。SAE-G34やAIDAのAI検討会はその一例である。どのような技術や取り組みを通して、それらが実現できるのか、安全認証の壁は何か。自動車業界の考え方や社会受容の観点も含めて議論するため、本パネルを企画した。

10月17日15時45分から開催された本セッションでは、下記の議長と、

- 中村　裕子、東京大学大学院工学系研究科　特任研究員

下記の4名のパネリストが集められた。

- Robert Pearce, Associate Administrator | NASA ARMD
- Takumi MORI, Business Development Director (NE Asia), Eve Air Mobility
- 各務 博之、 株式会社*SClabAir* 代表取締役
- 葛巻 清吾、株式会社サムズオフィス　代表取締役社長

最初に中村氏からセッションのテーマの背景等の紹介があった。自動化の背景には、パイロット不足や燃料費の高騰、環境負荷の低減の必要性、航空管制の逼迫状況、また安全性の

向上の要求などがある。また、ドローンの大型化等への期待や、AIなど、新しい技術採用への意欲もある。国内では、AIDAの航空の自動化・自律化委員会にエアラインや重工メーカーの代表が集まり、日本で必要とされる自動化・自律化の課題を踏まえた活動について議論している。また、同AIDAの無操縦者航空機委員会では、我が国でのRPASの実装支援を目指し、検討を行っている。eVTOLの登場により、パイロット不足の状況でも多くのサービスが提供可能になるという期待があるが、航空自動化は多岐にわたる複雑な課題を伴い、技術面だけでなく安全面での考慮が必要となるため、このセッションで、パネラーによる多角的な視点からの理解を深めることを目指している、と述べた。

第一パネリストのPearce氏は、自動化・自律化の分野でのNASAの取り組みについて紹介した。自動化・自律化が重要である理由は、安全性を向上するとともに、複雑化する航空システムを管理し、パイロット不足の問題も予見される現状でeVTOLなどのモビリティソリューションをより安価に提供するためであるという。

NASAはこれまで、連邦航空局（FAA）と協力し、航路を管理したり、より安全な運航を可能にするような、フライトシステムなどの自動化・自律化の取り組みを長年行ってきた。ソフトウェアを多用するシステムのV2プロセスに対して自動化されたバリフィケーションツールの開発を行っており、V&Vのコスト削減を進めている。しかしこれだけでは不十分と考え、V&Vに関して、高度に自律化されたシステムに関するロードマップを昨年発表している[1]。NASAは段階的に自律化を進め、安全性に影響を及ぼさない部分から経験を重ねてデータを収集しているという。

NASAは、航空運航の自動化に向けて、フライト試験やシステムアーキテクチャの実装、要件の検証など、さまざまな面でFAAや産業界と連携している。将来の課題として、航空システム全体の統合や異常事態に対する安全性と効率を確保したうえでの対応がある。機械学習を導入し、eVTOLや超音速機の普及を見据えたうえでリスクやハザードを事前に検知・軽減し、予測的に安全な状態を管理することを目指している。

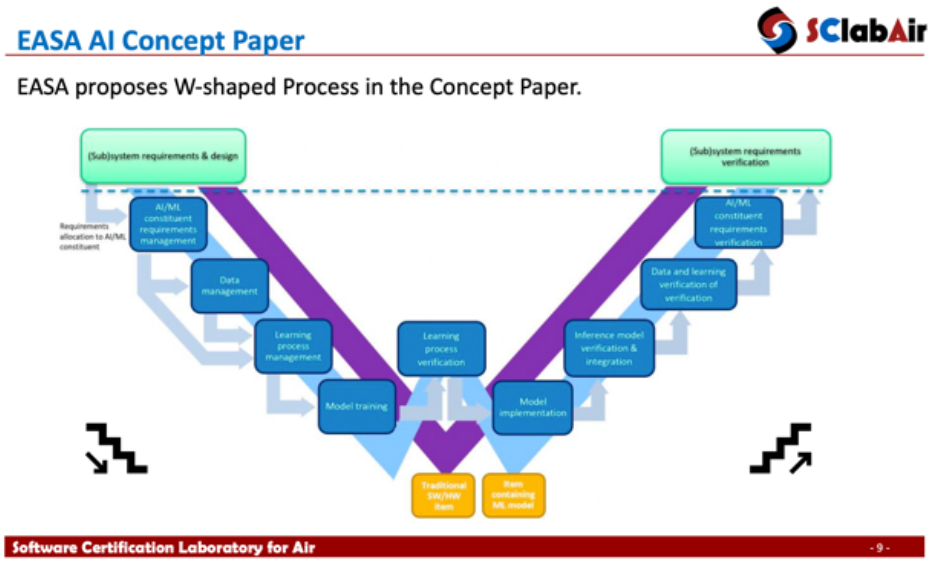
こうした取り組みには多分野の専門知識が必要であり、NASAはより大きな統合を考えている、と語った。

第二パネリストの森氏は、自身が日本マーケットを担当しているEVE AIR MOBILITYの取り組みについて紹介した。EVE AIR MOBILITYはEmbraerからスピンアウトされたeVTOLのメーカーであり、現在eVTOLの機体と付随するサービス、VECTOR (UATM)という都市部の航空交通管理ソフトウェアを開発している。現在開発している機体は、4-6名乗りのリフトクルーズタイプ、最大航続距離が100kmという仕様で、UAMのミッションの99%の需要を満たせると考えている。主要装備品のサプライヤーの剪定は終わっている。VECTORはANSPだけではなく、バーティポートの運営者と航空会社をターゲットとしている。eVTOLはEmbraerの既存の施設を使って開発中で、フライ・バイ・ワイヤのシステムを使用したプロトタイプを今年の7月に公開した。26年にブラジル、続いてアメリカFAA、日本で機体の認証、型式証明を取得予定で、その後商業運航を開始するというタイムラインである。
また、ConOps（Concept of Operations、運用概念の共同策定）に各国で取り組んできており、日本においても国土交通省の航空局主催の空の移動革命に向けた官民協議会のワーキン

[1] https://ntrs.nasa.gov/citations/20230003734

ググループに参加し、eVTOLをどのように飛ばしていくかという協議をしていると説明した。

第三パネリストの各務氏は、航空分野のソフトウェアエンジニア、そしてソフトウェアコンサルタントとして、AIと機械学習のための開発保証プロセスについて発表を行った。AIを用いてパイロットなしで航空機を運航、管理することは怖いと感じるが、世界各国のエンジニアが、信頼性や安全性を確保しながらAIを航空に適用するため、さまざまな取り組みを行っており、その中でも、EASA AI コンセプトペーパー（レベル１：人間の援助をする　レベル２：人間とAIがチームを組む　レベル３：より進んだ自動化　のうち、レベル１、２を扱い、W字型プロセスを提案している）、FAA Roadmap for Artificial Intelligence Safety Assurance（一連の開発手法・AIの安全保障に関する7つの原則が示され、リスク管理されている既存の航空エコシステムの中に導入すること、またトップダウン型のEASAと異なり、リスクの低い適用から漸進的にボトムアップのアプローチを取っていくことが強調されている）、SAE International Committee G-34 Artificial Intelligence in Aviation（EUROCAE WG-114.との合同委員会で、W字型プロセスを基本コンセプトにとし、航空機におけるより安全な運航のための技術を念頭に、AI技術に関連する実装や認証を議論している）、そしてAIDAの開発保証プロセスへの取り組み（AIシステムのための開発保証プロセスに関する作業部会において、EASAコンセプトペーパーのW字型プロセスの研究と議論、MathWorksのディープラーニングツールボックスのW字型プロセスへの適用、W字型プロセスに基づくAIシステムの開発保証プロセスの開発、無人機の地上の人間感知システムのケーススタディを行っている）、以上４つを例として挙げらた。　最後に、保証プロセスの開発、保証プロセスが従来型のプロセスと同等程度の信頼性を持つことが社会にAIが受けられる最低要件であると考えを述べた。



写真：EASA AIコンセプトペーパーで提案されたW-shape Process

第四パネリストの葛巻氏は、トヨタ自動車など自動車業界でのキャリア、内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の自動走行システムプログラムディレクターを勤めた経験から、自動運転の実現に向けた日本と米国のアプローチの違いについて説明した。こ

こ15年でICT技術が発展したことにより、自動運転ブームが到来し、車も大きく進化している。10年前は自動ブレーキが搭載された車は全体の4%であったが、現在は約96%に達し、来年にはほぼ100%が標準装備となる見込みだという。自動運転へのニーズは高く、自動車業界は安全性向上を、社会は高齢化や過疎地、物流問題の解決に期待を寄せている。しかし、当初の「すぐに全車が自動運転になる」という期待には時間がかかっており、無人の自動運転の車は地域・時間・気象条件の範囲を限定して広まる形、通常の車両では車側の方が運転手（人）を支援する形で広がるだろうと考えられる。

一方で、無人の自動運転タクシーに関しては、米国や中国が先行しており、米国では莫大な投資を行っているWAYMOやcruiseなどが複数の都市でサービスを開始している。一方で、ホンダもGMクルーズと組んで2026年より日本でロボットタクシーを実用化するという目標を発表した。米国では事故も頻発しており、サンフランシスコのチャイナタウンに入り込んだWaymoの自動運転車両が住民に放火され炎上するという事件があるなど社会的受容性の醸成はまだ道半ばであるが、そのような状況も含めながら技術としては進化してきている。

制度面で、まず世の中に出して、安全性を証明していく中で、法律が後からできていくという自己認証制度を採用している米国と、世の中に出す前に安全性をクリアするということを決めてから出す形式認証制度を採用している日本では大きく異なり、また日本では事故を受け入れることが難しいと考えられるといったカルチャーの違いもあるが、双方の長所を活かしつつ課題解決に繋げることが重要だと締めくくった。

パネルディスカッションでは、パネリスト間で議論が行われた。各務氏よりPearce氏に、NASAのAI技術へのアプローチについて質問があり、独自のアプローチをとるというよりはFAAのロードマップ実装について密接に協力しサポートしていること、またAIに対しては慎重な姿勢をとっており、航空分野では機械学習に重点を置いて安全性安全性向上や大量データ解析に役立てたり、航空交通管理の分野では、手順やプロセスに基づきパイロットや管制官の支援ツールとしての応用するなど、狭い範囲でのAIの活用を考えていると回答した。続いて、EASAのW字型プロセスについて、Pearce氏は、AIには学習の要素があるため、決定論的な視点に基づいた従来の「V字モデル」を再考する必要があると感じたと話した。中村氏からの管制の指示に従う飛行機とは異なり大半は自由に運転できる自動車の自律化においてITCはどのような助けになるかとの質問に対し、葛巻氏は、現在のロボタクシーや物流に対しての自動運転は正常に動いているかを確認したり、事故や故障の場合に車を移動したり救護するため遠隔監視をする必要があり、監視がない状態で自動運転の車が走行するのは危険なのでそのような状態は来ないのではないかと答え、認証が前提となる航空分野では、新技術の導入方法が自動車とは異なるが、自動運転車の事故データを出して進める米国のようなオープンなやり方は信頼できて良いと思うと述べた。続いて、中村氏からのeVTOLの製品を市場に導入し、社会的受容を得るための課題や取り組みについて質問に対し、森氏は、eVTOLと低空飛行をし垂直水位離着陸するという共通点があるヘリコプター市場を日本ではまず見ているが、現在、日本ではパイロットは全て有視界飛行（VFR）のみで運航しており、計器飛行（IFR）によるヘリポートへのアプローチができないので、国内で対応する地上インフラの整備が必要であること、また都市間・空港間のシャトルでの定期便にeVTOLを使う場合日本では２名のパイロットが必要となってしまうことが課題であり、ロードマップとしてはVFR飛行から始め、IFR飛行、リモート操縦、自律飛行へと段階的に進めていくのが望ましいと考えを述べた。最後に、Pearce氏は注目度が非常に高くなってきているため自律飛行の未来に向けた進展は予想よりも速く進むのではないかと考えていると、森氏は日本以外の地域

でもeVTOL自体の社会的受容、遠隔操縦や自律飛行への移行が課題であり、現地の関係者と協力して取り組むことを自身のミッションと捉えていると、各務氏はまずリスクの低い応用から始め経験を積んでから高度な応用へ進むというアプローチが好ましいと、また葛巻氏はニーズが非常に重要であり完璧になるのを待たずに技術を商品化していき良い社会にしていくという意識をユーザーも持つとよいと、各パネリストが一言述べ、本パネルは終了となった。

5. 航空機の水素化/電動化：技術と実装に向けた諸課題

本セッションでは、前半に水素化（10:00~11:35）後半に電動化（11:45~）を議論した。
水素化- カーボンニュートラルの達成に向けて、水素航空機の検討が国内外で行われている。必要性、期待度、技術面での課題や、水素供給やインフラ面での課題など多角的に議論し、水素航空機への理解と、挑戦を促すことを目標とした。
電動化- 航空機装備品の電動化や推進システムの電動化といった、航空機の電動化技術は、航空宇宙産業における新しく重要な研究開発の対象である。燃料消費量の削減、メンテナンス性の向上、エンジン騒音の低減、排出ガスの低減などが、この新技術に求められる大きな利点だ。 近年、推進システムの電動化やハイブリッド化技術は、無人航空機だけでなく、eVTOLから固定翼プロペラ機まで幅広い有人航空機でも開発されており、この技術の最近の採用状況を議論し、近い将来の可能性を予測するためのセッションとなるようにした。

5.1. 水素化パネル

10月18日10時から開催された本セッション前半の水素化パネルでは、下記の議長と、

- 李家 賢一、東京大学 大学院工学系研究科 航空宇宙工学専攻教授

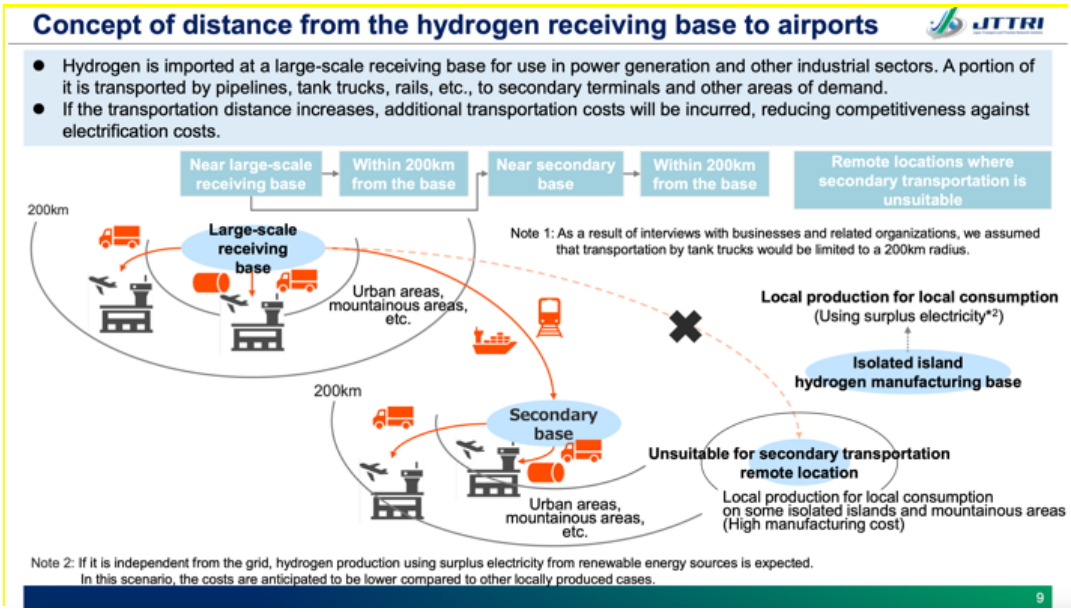
下記の4名のパネリストが集められた。

- 小御門 和馬、一般財団法人　運輸総合研究所 研究員
- 餝 雅英、川崎重工業株式会社 航空宇宙システムカンパニー 水素航空機コア技術研究プロジェクト総括部 総括部長、理事、博士（工学）
- Marion N. Chivot-Legris, MSc, MiM - Director, ESG & Sustainability Strategy, Edmonton International Airport (YEG)
- Jonathan Archer, Director, Aerospace Standards, Strategy & Innovation, SAE International

はじめに李家氏は、日本および世界における水素航空機の動向について説明した。2050年のカーボンニュートラル達成に向け、持続可能な航空燃料（SAF）の活用、運航改善、機体の新造機への変更、電動化・水素化等の新技術開発が求められていること、水素航空機はCO_2を排出しないものの、飛行機雲（コントレール）の温暖化影響に関する懸念があること、水素航空機は従来のものと比べ機体が大きくなるため、新たな設計が必要であるということ、さらに水素の供給、輸送、空港での給油のインフラ整備の課題もあることが述べられた。日本での取り組みとして、経済産業省の「GI基金（Green Innovation Fund program、グリーンイノベーション基金）」により川崎重工が水素航空機関連、IHIエアロスペースが燃料電池を利用した航空機開発に取り組んでいる。また、経済産業省と国土交通省による新技術の官民協議会が発足し、脱炭素化に向けたロードマップが議論され、その中で電動化や軽量化、

水素航空機、標準化に関するワーキンググループが設立されていることが紹介された。特に、標準化については、SAEなど国際的な標準化団体への日本の参加も求められており、産官学で協力しながら進めている。以上を説明し、各パネリストの発表に移った。

第一パネリストの小御門氏は、交通分野の水素利用に関する研究を行っており、そのうちの航空分野に焦点を当てて下記の通り発表した。日本は、ICAOの目標に基づき2050年までにネットゼロを目指し、SAFの国内生産を官民で促進しているが、SAFの供給不足が予測され、日本でのSAF生産は、最も野心的なシナリオでも2019年の国内需要分に留まる見込みである。よって、2050年ネットゼロの文脈では、SAFは100席以上のミディアム・ロングホールの中型航空機に使用し、19席以下のコミューターの航空機を電動航空機に、20席から100席程度のリージョナルの航空機を水素航空機にすることが求められるのではないか。航空機全体で全てのソリューションが使用できるわけではない。水素航空機に関しては、日本では、ほとんどの水素が海外からの輸入に依存するため、水素供給モデルの構築が課題である。その点で、小御門氏らは、航空分野の水素利用において実現可能性が高いと考えられるモデルケースとして、水素自動車、空港用車両と水素充填ステーションを共有できる大規模水素受入拠点の周辺空港と、地産水素が可能な離島での航空機、船舶、自動車での水素利用という２つを導いた。こうした実現可能性の高いシナリオをパイロットプログラムとしてスタートさせて取り組みを加速させることが必要だと考える。最後に、2050年のネットゼロ達成には多様な脱炭素技術が必要であり、安全性、経済性、持続可能性を考慮した解決策が求められると結論づけた。



写真：2つのモデルケースでの水素利用のイメージ図

第二パネリストの餝氏は、NEDOのGIプロジェクト内で行っている水素航空機のコア技術開発について発表した。第一に、川崎重工業が提唱するCO2フリー水素サプライチェーンのコンセプトについて説明した。これは、太陽光や風力を利用した水素の生産、液化水素の運搬船などでの輸送、コンテナや水素タンクでの貯蔵、自動車・航空機・発電設備などでの利用を包括的に捉え、水素社会実現に向けたビジョンを示している。液化水素運搬船は2022年にオーストラリアから日本への輸送に成功し、神戸の空港島に断熱性能を高めるために真空層

を設けた二重殻構造の大型液化水素タンクを設置して揚荷設備の試験運用を行っており、また、水素ガスタービンの試験設備も稼働中である。

第二に、水素航空機のコア技術開発について説明した。川崎重工は燃料電池を用いた列車や水素燃料バイクなど、多様な水素利用製品の開発を考えており、その一環として水素航空機のコア技術開発をしている。水素燃焼器、供給システム、タンク、航空機設計など、水素航空機開発に必要な技術の研究開発を積極的に進めており、現在は初期検討がほぼ終わり試作品を作って試験を行うフェーズになってる。2029年、2030年には、様々な技術を持つパートナー組織の協力を得て、開発したコンポーネントを統合した地上実証試験を実施する計画である。液体水素タンクでは、航空機用の軽量かつ高耐久な二重殻構造タンクの試作が進んでおり、燃焼器は水素燃料特有の課題に対応するために「マイクロミックステクノロジー」と呼ばれる新燃焼方式の開発が進行中で、ドイツのアーヘン工科大学での高圧燃焼試験やデータ解析も行われている。EMブースターポンプの試作を行い、小型ジェットエンジンを用いた100%水素燃料の統合試験にも成功し、BWB（Blended Wing Body）タイプの機体設計の最適化に向けて風洞試験も進められている。

最後に、航空業界も2050年までにCO2排出ゼロを目指しているため、川崎重工としてもこのような技術開発を通じて脱炭素化に貢献していきたいと意欲を示した。

第三パネリストのMarion氏は、カナダのエドモントン空港における水素利用の取り組みとその展望について紹介した。エドモントン国際空港はカナダで最大の敷地面積を誇り、「空港都市サステナビリティキャンパス」として、クリーンテクノロジー企業が技術の実証実験を行えるリビングラボ、インキュベーターの役割を果たしている。アルバータ州はクリーンエネルギー技術の分野でカナダをリードしており、空港として2035年までに30%、2045年までに50%のCO2削減という中間目標があり、カナダと同じく2050年までのネットゼロ達成をコミットメントとして掲げている。

エドモントン国際空港の管制塔と空港で実現可能な水素利用のさまざまな応用例が描かれた「DISRUPTION」マガジンの表紙を見せながら、同空港は、エドモントン地域がカナダで最大の水素生産地であり、もうすぐ稼働予定の世界最大級のネットゼロ水素プラントが建設中でもある利点を活かし、水素の供給・インフラを使用しながら、水素を使った多様なプロジェクトを進めていると説明した。プロジェクトは小規模から始めることで、安全性と規制の面での調整を行い、リスクを分散し、初期段階で複数の消費者（オフテーカー）を確保し、リスクを抑えた実証例を政府に示している。

エドモントン国際空港は、様々なグローバルなパートナーシップを結んでいる。将来的に航空機や航空業界にとって水素が重要になるため、技術が整っている分野から水素の導入を始める必要があるということで、トヨタのMIRAI（水素車）を導入し、社用車などとしての使用、仮設の給油施設で水素補給のテストを行いながら、燃料圧や使用量のデータ収集を進めている。さらに滑走路エリアで利用されている重機の一部の水素化を開始する予定だ。規制当局とも連携して安全性を確認しつつ、今後の本格的な水素導入に備えている。また、ZeroAvia社とのパートナーシップを通じ、エドモントンの小さいエアドローム（飛行場）で小規模なテスト飛行も計画しており、将来的には短距離フライトにおける小型水素航空機の導入を視野に入れている。国際的な連携の一環として、昨年にはバンクーバー港、ルパート港、トランスポート・カナダ、エドモントン国際空港が、韓国、日本、UAEなどとの間で「グリーンシッピング・コリドー」に関する覚書を締結した。また、エドモントンとバンク

ーバー港を結ぶ鉄道を利用したアンモニア輸送インフラの整備も検討されている。

エドモントン国際空港は北米におけるグリーンハウス・ロジスティクスの拠点を目指し、航空業界だけでなく、空港周辺のさまざまな分野での産業発展と拡大を促進するための触媒、またインキュベーターとして、企業やパートナーを呼び込み、共に探求したいと述べた。最後に、Marion氏は、日本との連携を強化し、水素技術の分野でお互いの知見を活かすことが重要だと強調した。

写真：エドモントン国際空港のマガジン

第四パネリストのArcher氏は、SAEの航空宇宙標準および戦略イノベーション担当ディレクターとして、標準化グループの役割と、特に水素燃料の標準化と航空機の電動化における取り組みについて説明した。航空業界にとって水素航空機については、地上車両や空港での支援施設を含めた新たなインフラが必要となり、SAEの代替燃料グループは、それらを空港で統合し、エネルギーハブとして機能させる方法を検討している。このグループは特に、航空機側の応用に焦点を当て、推進システムのニーズを見ている（それが直接燃焼なのか、燃料電池を使用するのか、その排出ガスはどうか、といった点）。また、SAEの中の委員会の１つ、AE-5CHは、気体および液体水素を使って航空機に給油する方法と、その際に必要な圧力や温度などのメカニズムについて調査し、安全性を確保するために地域の安全規定と連携している。小型の垂直離着陸型航空機（4席程度）に対する給油インフラと航空機要件の仕様を開発し、今月末に世界初の水素給油の標準として発表される予定である[2]。この委員会は、Vertical Flight Societyと協力してより広範な調整された標準を作成している。さらに、給油操作に必要なカップリングやフィッティングにも取り組んでおり、特に液体水素の輸送と、それが輸送カテゴリー航空機に与える課題を検討している。AE-7E委員会では、水素と燃料電池を使用して電力を生産する方法に焦点を当て、燃料電池の使用方法、具体的に

[2] 実際には11月発行

はエネルギーの供給方法を検討している。さらに、AE-7F委員会では燃料電池の詳細に焦点をあて、燃料電池と水素システムの安全ガイドライン、燃料電池の大型航空機へのインストール方法、関する文書作成を進め、燃料電池技術を航空業界で燃料電池を使用するための広範な考慮事項に関して作業している。

続いて、パネルディスカッションを行った。李家氏からの空港の水素ソリューションを実装する際の課題と克服法に対して、Marion氏は、変革の際すべてが安全であると明確になってから進むことは不可能で、水素が最適な解決策であるかどうかについては不確実性があるが、まずは人と話して小規模からインフラを導入していると話した。水素インフラはすべての車両や航空機に燃料を供給するために必要とされており、水素がSAFの製造にさえ必要になる可能性もあるため、航空会社の理解と支援が必要で、業界全体で迅速に開発を進めるために、投資家やビジネスパートナーと共同で負担を分け合ったり、政府からの支援を受けるなど、創造的な方法での資金調達も課題だとした。これに対し、小御門氏は、特に空港でのインフラ整備は事業者単独では進めるのが難しいため、空港側、サプライヤー、地域自治体などの協力が不可欠で、供給側と需要側がタイミングを合わせて協力し、水素ハブの構築を通じて供給基盤と市場を安定させることが重要だと強調した。さらにMarion氏は、技術の実際の使用経験からのフィードバックが標準に反映されることで技術が進化し、広く共有され、標準化が進むとコストが下がり、その技術が市場に早期に導入されることが可能になるだろうと述べた。続いて、水素の生産とオーストラリアから日本への輸送を行っている川崎重工の立場から見た空港側インフラについて、餝氏は、大規模な水素貯蔵タンクなど、空港に水素インフラを整備し、多用途で利用することで社会的な認知を高め、将来の水素航空機運用への燃料供給に備えることが重要だと述べた。Archer氏は、水素航空機の認証について、特に水素のような新しい技術では安全性の観点から既存の規制をどう改定するかが課題で、例えば、水素は可視の炎がないため、ジェット燃料とは異なる安全対策が必要であるとした。また、乗客を乗せたまま給油が可能かや、特別な給油場所の必要性なども議論されており、実際の使用経験から、設計・製造の観点だけでなく、運用や空港の観点からも規制が確立されていくだろうと述べた。

最後に李家氏は、水素航空機に関しては、空港の利用や燃料注入の方法を考えるだけではなく、空港の周囲の交通手段での水素の活用によって設備が完備され社会的認知が高まるとわかったとまとめ、また、国際民間航空機関（ICAO）は、４、５年前には考えられていなかったような水素の応用について現在検討し始めており、規制や認証、大規模化に関して、標準化が重要になるので、SAEの活動に皆で参加して、できるだけ早く水素航空機が実現するように努力していこうと呼びかけた。

5.2 電動化パネル

10月18日11時45分から開催された本セッション後半の電動化パネルでは、下記の議長と、

- 西沢　啓,　国立研究開発法人　宇宙航空研究開発機構（JAXA）　航空技術部門　MEGAWATTプリプロジェクトチーム

下記の3名のパネリストが集められた。

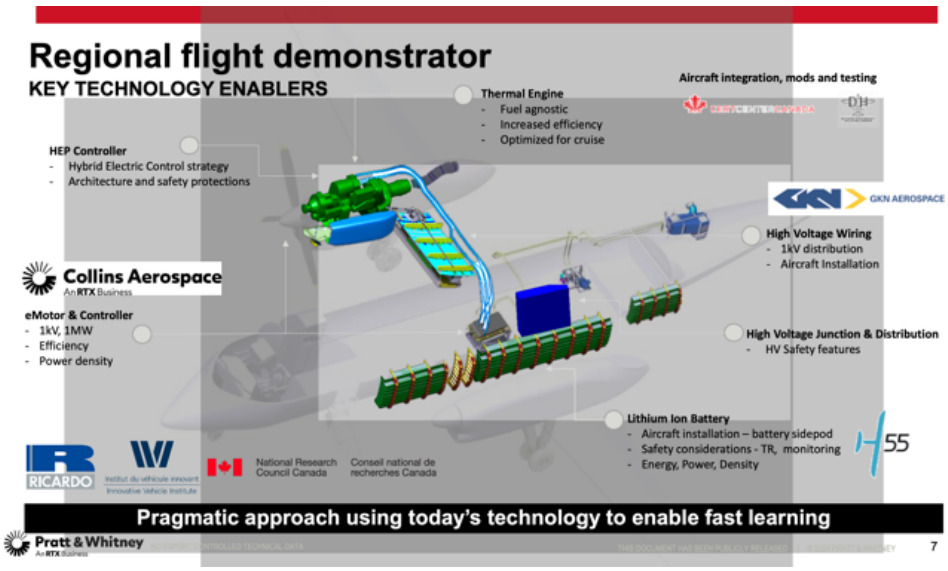
- Susan Ying, SVP of Global Partnerships, Ampaire
- Graham Webb, Chief Sustainability Officer, Pratt & Whitney
- 関　直喜，株式会社IHI　航空・宇宙・防衛事業領域　技術開発センター　制御技術部　エレクトリフィケーショングループ グループ長

まずは西沢氏より、航空業界では2050年までのネットゼロ目標達成に向け、SAF導入や新技術が必要とされており、特に電動化（エレクトリフィケーション）は、既存の燃料技術の限界を超えるための重要な選択肢だとし、下記の通り航空における電動化の現状について説明した。現在、電動化技術は旅客機にも導入が進んでおり、小型機では完全電動やハイブリッド推進の機体が開発されており、最大出力の規模はほぼ指数関数的に成長しているため、将来の旅客機クラスの電動航空機を見据えた飛行試験のプランも具体的に計画されている。電動化技術はエマージングテクノロジーであるため、これまでの非常に細かく適合条件・適合要求を求めていた認証のためのレギュレーションの考え方が、パフォーマンスベースでの要求へと変わりつつあり、レギュレーション自体は非常に簡素化されたが、簡素化された分、最近では、国際標準化団体が発行する標準化文書がそこの詳細な適合条件を定めるという役割を大きく担うように変わってきている。よって、標準化団体の役割の重要性が高まっている。2018年に、E40技術委員会が発足し、この分野の標準化活動が加速した。JAXAは、電動化技術の研究開発と標準化活動を同時並行で行うため国内関係者と「ECLAIRコンソーシアム」を設立、また、経産省や国交省主導で脱炭素化推進の新技術官民協議会ができ、その下に電動化ワーキンググループも形成され、その中にSAEのE40に携わる関係者を集めたタスクグループも作ったとのこと。

第一パネリストのYing氏は、Ampaire社の事業を紹介した。同社は持続可能な航空を実現することを目指して6年前に創業された電動航空機事業を手掛けるスタートアップ企業で、ロサンゼルスを拠点にし、中国や英国にも子会社を展開、35～38人の従業員が在籍しており、世界中の優れたパートナーと提携している。最初は全く新しい電動飛行機「テイルウィンド」を開発しようとしたが、膨大なリソースが必要だと気付き、新しい推進システムに注力して既存の航空機を改良するという現実的なアプローチに方針転換した。現在、セスナ・キャラバン、セスナ337タイプのプロトタイプ機がある。Cessna Caravanのような商業的に成功している単発エンジン機を完全な電動化するには燃料の重量などの問題があったため、ハイブリッド方式を選び、Caravanでは、電動パワープラントと従来のエンジンを同じシャフトに配置する、いわば1.5エンジン型の「統合型並列方式」というアーキテクチャを採用しており、新しい認証・基準が求められる。飛行機開発における技術的な挑戦の一つは、安全性の確保で、飛行機のテストにおいてはV&V（検証と確認）が重要であるとし、ハイブリッド電動推進システムが、アラスカの極寒の環境で行った厳しいテストで技術の耐久性と安全性を証明したこと、1300マイルを飛行することができ、耐久性の証明として重要な成果を挙げたことを強調した。発表の中で、資金調達は特にスタートアップ企業にとって重要な課題であると繰り返し強調した。Ampaire社はLACI（ロサンゼルス・クリーン・エネルギー・インキュベーター）でのインキュベーションやNASA、ARPA-e、英国リサーチ・インスティテュート（UK RI）からの助成金（スコットランドでのフライトデモンストレーションで悪天候にも対応できることを証明）などのサポートを受けてきた。ベンチャーキャピタルや政府からの資金調達は非常にうまくいっており、機体の構造自体を変更せず、ハイブリッド電動航空機とすることで燃料を40%削減するという大きな成果をあげることができたという。最後

に、ハイブリッド電動パワーシステムはスケーラブルで、より大きな飛行機向けに拡張できるだけでなく、例えばインフラ整備、特に充電設備の不足という課題などに対して、全体的なエコシステムの中でパートナーと共に成長していく必要があると締めくくった。

第二パネリストのWebb氏は、Pratt&Whitneyは航空機用ガスタービンエンジンの世界最大の提供者として、ハイブリッド電動推進システムを推進しているという。Collins Aerospaceと協力して電動推進システムの能力向上を目指しており、現在、ラジアルフラックス型の永久磁石電動モーター・ジェネレーターである、最大1メガワットの高密度電動機に取り組んでおり、未来に向けては、低温特性を持つ水素を活用した電動システムの開発を進め、これに伴うケーブルやシステムの重さを軽減する努力も進めており、熱交換器の軽量化・コンパクト化も進行中であるという。eVTOL、リージョナル航空機、ヘリコプターなどのさまざまなプラットフォームにわたってハイブリッドソリューションの利点を実証しており、STEP-TechプログラムやRTXハイブリッド電気飛行デモンストレーターなどのプログラムを通じて、大幅な燃料効率向上とCO2排出量の削減を目指している。最近、完全出力でハイブリッド電動システムを運転することに成功、ここから発展し、ヘリコプターへの取り組みを行い（Airbusと「PioneerLab」というヘリコプターアプリケーションを発表し、効率30%改善、CO2排出削減を目標に、熱エンジンと電動モーターの50-50ハイブリッドシステムを開発）、さらに、エアバス、MTU、GKNなどのパートナーと「SWITCH」プロジェクトに取り組み、25%の燃費向上を目指しているという。



写真：Pratt&Whitneyのリージョナルデモンストレーター

Pratt & Whitneyは、安全性を最優先に考え、Collins Aerospaceが電動機、GKNが高電圧配線システム、H55がリチウムイオンバッテリーを提供するといった全方位的な協力関係を築きつつ、Collinsとのこれまでの経験を活かして安全で効果的なハイブリッド電動推進システムを開発しており、安全を維持できる認証の開発についてはカナダ運輸省、EASA、FAAなど規制当局と協力しているとまとめた。このシステムは、一般航空、小型航空機、ヘリコプター、地域航空機、ビジネスジェット、軍用機、大型商業航空機に対応可能だとした。

第三パネリストの関氏は、IHIの電動化のための幅広い用途に対応する共通基盤技術開発への取り組みを紹介した。IHIは、企業全体で電動化に取り組んでおり、エネルギーや自動車産業の技術を航空機の電動化にも活かしている。電動化を大きな柱の一つとし、高耐熱モーター・ジェネレーター技術（航空機エンジンに統合することで高い耐熱性能を発揮）と、ガス軸受を用いた超高速モーター技術（電動ターボコンプレッサーや電動ターボチャージャーとして使用でき、燃料電池の空気供給システムや航空機の環境制御システムなどに活用可能）という２つの主要技術をリージョナル機や単通路機にハイブリッド電動推進システムとして実装し、燃料電池推進システムを小型の航空機へ適用し、補助動力装置（APU）への燃料電池の導入により、航空機全体のシステム効率を向上させることを考えている。もう一つの柱として、熱管理の改善にも取り組んでいるという。また、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が資金提供する国家プロジェクトに参画し、250kWクラスの出力・耐熱性を備えたエンジン内蔵型電動機（E3M）や、パワーエレクトロニクス用の空冷システム、1MWクラスのエンジン内蔵型電動機、大型70kWクラスの電動ターボチャージャー（ETC）などを開発し、現在、グリーンイノベーション基金プロジェクトで新たなフルスケールのシステムデモンストレーションを目指している。こうした電動化システムの安全性と信頼性を確保するために、標準化活動にも積極的に取り組んでいて。ハイブリッド電動推進システムに関して航空機とエンジンの統合におけるシステム標準化（総合的なエネルギー管理の実施）、高電圧システムにおける故障検出と隔離の標準化（高電圧の電力管理と熱管理システムを考慮）、絶縁や磁石用の新素材の導入（材料や製造プロセスを考慮）の必要性に注目していると述べた。

パネルディスカッションでは、西沢氏からの人的リソースが限られるスタートアップ企業での標準化への取り組みはどうしているかとの質問に、Ying氏は少人数のスタートアップであっても、E40（AmpaireのCTOが議長）やAED7（Amapireが立ち上げに関与）など、重要な委員会を選択して参加している、標準化活動への参加は重要だと答えた。続いて、技術開発以外の新しい取り組みやチャレンジについて、Webb氏は多くの課題があり、実験施設を開発し、コリンズ・エアロスペースと共に787型機で経験した故障を再現する取り組みなどについて説明した。この機体は完全電動化システムを持ち、故障の特徴を特定し、適切な是正措置を自動システムで取ることができるようにしているという。最後に、データベースアプローチについて、関氏は、実際のコンプライアンス手段は、業界側のベストプラクティスに依存するべきなので、実際の活動とテスト結果の共有が非常に重要で、そのように結果を共有する組織の構築も重要だと意見を述べた。

6. 品質保証の行方と日本への期待/軽量化技術とエコシステム

本セッションは、３部構成で、１部（14:00~15:10）品質保証、２部（15:20~16:30）軽量化技術、３部（16:30~）SAEシンポジウムクロージングという流れで行った。

品質保証-「空飛ぶクルマ」やドローンに関わる方はもちろん、自動車等の他の産業の方の参考になるよう、航空宇宙産業の高い品質保証の仕組みについて、ISO9100からAESQ、Nadcapの紹介から始まり、さらなる品質保証と次のパラダイムに向けて、国内外からパネリスト

と議論を行った。品質コミュニティは、新しい技術をどのように活用できるか？広くSMSの観点からのトレーニングのあり方、言語の壁への対処なども議論の対象とした。
軽量化技術-軽量化に向けて、AM（３Dプリンティング：　新しい形状と持続可能な設計に注目）と複合材料のエコシステムと高度製造（規模の拡大、認証を取得する方法）の２つの視点で議論を行なった。
クロージング-2日間のシンポジウムの内容をまとめ、日本の航空宇宙産業とSAEの今後の協力についての展望を描いた。

6.1 品質保証パネル
10月18日14時から開催された本セッション１部の品質保証パネルでは、下記の議長と、

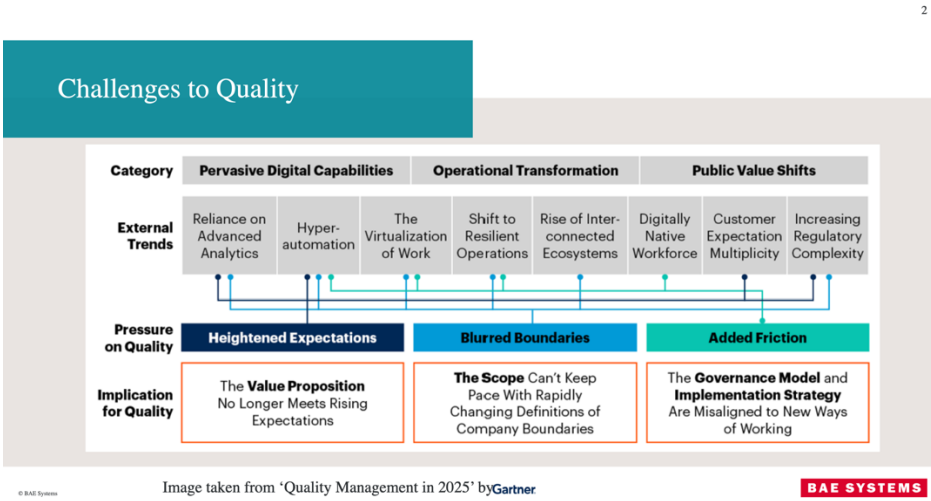
- 高橋 伸英、株式会社ＳＵＢＡＲＵ　航空宇宙カンパニー　QRM推進室 室長

下記の4名のパネリストが集められた。

- Andy Maher, Quality Director, BAE Systems
- 堀田　彰彦、川崎重工業株式会社　航空宇宙システムカンパニー　航空宇宙品質保証本部　品質保証計画部　品証技術課　基幹職
- Barbara Negroe, Quality Executive, GE Aerospace
- 山本　博士、JAQGエンジン品質勉強会　主査、株式会社IHI　航空・宇宙・防衛事業領域　品質システム部　主任調査役

はじめにSUBARUの高橋氏は、このセッションで、航空宇宙防衛産業の品質保証に関するテーマを取り上げ、AS/EN/GIS Q9100、AESQ、NADCAPなどを中心に品質向上に向けた取り組みを紹介した。　QMS（Quality Management System）の規格設定については、IAQG（International Aerospace Quality Group、国際航空宇宙品質グループ）が航空宇宙産業の品質基準を策定しており、日本ではJAQGがその活動に参加している。AQGが策定しているQMS規格には、AS9100（航空、宇宙、防衛分野の製品やサービスを設計、開発、提供する組織が対象）、AS9110（民間または軍用の航空機や製品に対して、保守（整備）または継続的な耐空性管理サービスを提供することを主要業務とする組織が対象）、AS9120（航空、宇宙、防衛産業の顧客に部品、材料、組立品を調達して販売する組織を対象）の3種類があり、その下にそれらをサポートしたり規格の要求をフローダウンするもの、さらに下に規格の要求の達成方法を書いたサプライチェーンマネジメントハンドブックがある。
日本の航空業界では、9001（品質マネジメントシステム）に加え、9001に航空宇宙業界特有の要求を追加した9100が規格として重要で、ICOP（Industry Controlled Other Party）スキーム（業界主導の第三者認証）と呼ばれる、認証・認定機関に加えて、業界自身も監視し、認証の信頼性を高める仕組みも導入されているという。QMS規格以外の航空業界の重要な要求として、アメリカの非営利団体PRIが運営する特殊工程の認証制度であるNADCAP（National Aerospace and Defense Contractors Accreditation Program）、9100および9145に対する航空エンジン向けの追加要求事項を規定したAS13100規格が紹介され、特に特殊工程に対して必須となるNADCAPを導入したことで、サプライヤーの個別審査がなくなり重複審査がなくなるというメリットが生まれたと説明があった。また、JAQGでは、エンジン品質勉強会がAS13100規格について活動しているということであった。

第一パネリストのMaher氏は、BAEシステムズの航空宇宙分野を含む複数の部門を担当しており、「私たちは、私たちを守る人々を守るために存在する」とうスローガンのもと、テクノロジー主導で、防衛や航空宇宙分野では無人車両や無人ボートなどを扱い、世界中の軍隊もサポートしている、とBAEシステムズの業務を紹介した。BAEシステムズでは「予測、予防、保護」という方針を掲げており、保護に関しては非常に優れているが、予測、予防の部分により注力する必要があると考えているという。そして、品質に関して、ビジネス内部だけでなく、顧客からも期待が高まっており、品質管理についての組織内での境界が曖昧になっているが、人々がより速く、安く物を手に入れたいと思っている一方で、規制当局はさらに厳しい契約条件を課しているため、摩擦が起こっていると現状を説明した。そこで、BAEはAIなどで技術と自動化を使って効率性を高め、物事を迅速に完了させ、人的ミスを減らし、品質チームとしてコンプライアンスを超えてビジネスに対する追加価値を示す必要があると考えているという。全体として、グローバルな調和の取れたシステムを持つことが重要であり、今後の品質管理や技術革新の方向性に対応できるように人材のスキル向上が重要だと強調した。



写真：品質の挑戦

第二パネリストの堀田氏は、熱処理や化学処理など品質を変化させていくプロセスである特殊工程において、航空宇宙業界の管理・認証がいかに重要であるかということを説明した。次にSAE傘下のPRIが開発した品質保証のための統一された監視システムであるNADCAPについて触れた。NADCAPは、1990年に運用開始され、欧米の企業のほか、要求の決定に参画したり、JAQGがNADCAPのACチェックリストの和訳版を作るなどで日本企業も関与している。現在起こっているパラダイムシフトについて、1.　APQPの導入によるリスクの事前回避など、「発見（例えば監査）」から「予防」へのシフト、2.　監査結果分析やモニタリングなどでのAIの大規模な活用、監査結果や関連知識の蓄積による「予測型」の特殊工程管理とリスク管理への進化などといった、人間系からAIへという変化をもたらしているDXへの対応、3.　「倫理」の概念や詐欺的な行為に対する要求がNADCAPに追加されたことなどに見られる新たな視点や考え方への対応、3Dプリンティングや複合材料などなどの従来の特殊工程を超える技術の認証への対応が重要であるとの考えを述べた。また、今後の課題として、ドローンや空飛ぶ車

などの新しい技術領域への品質保証の適応、新しい技術やプロセスへの対処、監査結果のばらつきの管理、人材確保や教育の重要性を挙げた。

第三パネリストのNegroe氏は、複数のOEM顧客に共通のサプライベースが存在する状況のもとで、航空エンジン業界のサプライヤーからの「各社から似たような指示を受けているが表現が異なるため混乱している」という声があり、航空宇宙産業全体における推進系（エンジン）製造に関して要求事項を標準化・簡素化し、効率化を図るためにAESQ（Aero Engine Supplier Quality）が2013年に設立されたと説明した。AESQのビジョンは、グローバルな航空エンジンのサプライチェーンが競争力を維持できるよう、無駄のないプロセスと継続的な改善文化を通じて品質要求事項を確立し維持することで、これは約2年半前に発行されたAS13100によって実現されたと考えている。これは航空宇宙産業の品質管理システムの国際規格であるAS9100に、エアロエンジンに関する共通の補足要求事項を追加したものである。2024年には、AESQはゼロ・ディフェクト（欠陥ゼロ）と「品質第一」の文化を促進し、安全性を確保することを新たなビジョンとし、ビジネス全体の品質向上をサポートするため、様々な品質ツールのリファレンスマニュアルをウェブサイトで無料で提供[3]、随時更新するなど、AS13100規格の理解と実装を支援する展開に注力している。成功の定義としては、全員が共通の言語を話し、業界全体で統一されたトレーニングやツールを使用することで効率化を図ることが挙げられた。また、ゼロ・ディフェクトの達成には、それが可能だという信念が必要だと強調した。

第四パネリストの山本氏は、現在IHIで品質システムに従事しており、JAQGのエンジン品質勉強会の主査を務めていると自己紹介した後、Negroe氏も紹介したAS13100の普及とセーフティマネジメントシステムの日本国内での推進に努めていると説明した。AS13100というは、ISO9001、9100、9145に加えて、顧客要求事項、規制、特殊工程要求事項などの補足要求事項を含む、エンジン向けの品質規格で、Nadcapは特殊工程に対して必須とされていて、日本のサプライヤー間でAS13100に関するあらゆる事項を議論し、共有するため、2022年秋頃、JAQG（日本航空宇宙品質グループ）エンジンクオリティスタディグループが発足した[4]。日本語で今手に入れられるものが9100、それから9145の日本語版という中で、AS13100に何が加わっているのか違うのかというところを検討しているところだ。なお、AS13100については、外部審査は現在なく、セルフベリフィケーションを行うことになっている。最後に、品質管理システム（QMS）とセーフティマネジメントシステム（SMS）について、最近FAAやEASAからSMSの強化要請が増しており、特に「Ethical behavior（倫理的行動）」が重要視されているなか、IAQGでSCMHでSMSに関する新プロジェクトが開始される予定だと話した。日本・世界中のサプライヤーを対象としたサポート文書を作る活動となり、来週のIAQG東京大会でも発表される予定だと紹介した。

パネルディスカッションでは高橋氏がパネリストにそれぞれ質問した。堀田氏より、ドローンや空飛ぶ車における特殊工程の適用について、飛行安全を確保しながらコストを抑える必要があるため、航空以外の業界の人々とも議論しながら、要求が必要な部分とそうでない部分を慎重に区別する必要があると述べた。Maher氏は、日本のサプライヤーへの期待・提

[3] https://aesq.sae-itc.com/supplemental-material

[4] https://jaqg.sjac.or.jp

言として、エレクトロニクスは自動車産業と同じく航空宇宙産業でも高品質と高信頼性が必要で、特に都市型エアモビリティの市場では、品質の低い企業は生き残れないため、近道はなく、日本の企業は国際基準を満たし、ゼロ・ディフェクトを目指すことで、品質コストを削減しつつ、信頼性と安全性の高い製品を提供する努力するという基本を徹底することが業界での競争に不可欠だ、と述べた。Negroe氏は、グローバルな経済・産業環境で異なる言語や文化を持つ人々が協力している現在、共通の基準が調和をもたらすので、日本の航空産業も共通のスタンダードを理解・適用すること、また、リスクを予測し事前に対応しゼロ・ディフェクトにつなげていくことが重要だとした。山本氏は、QMSに関する活動をSMSにつなげ、航空安全を実現するサポートをする活動が新しい動きとしてあると改めて紹介した。最後に中村氏は、これまで大学が企業の品質管理に貢献する機会は限られていたが、AIの活用やパフォーマンス重視の流れの中で、大学や研究機関として航空分野の品質向上に貢献できる場面が増えていると感じる、特に日本では産業界と大学の距離があるため、航空宇宙学科などがその橋渡し役となり、飛行安全やゼロ・ディフェクトに向けてアカデミックとしての貢献を強化したいと意気込みを語った。

6.2 軽量化パネル

10月18日15時20分から開催された本セッション２部の品質保証パネルでは、下記の議長と、

- Jonathan Archer, Director, Aerospace Standards, Strategy & Innovation | SAE International

下記の3名のパネリストが集められた。

- Dr. Melissa Orme, Vice President of Additive Manufacturing, Boeing
- 菅原 善太、三菱重工業株式会社 民間機セグメント 事業開拓室　次世代構造技術グループ　グループ長
- 関根 尚之, 株式会社ＳＵＢＡＲＵ 航空宇宙カンパニー 基盤技術部

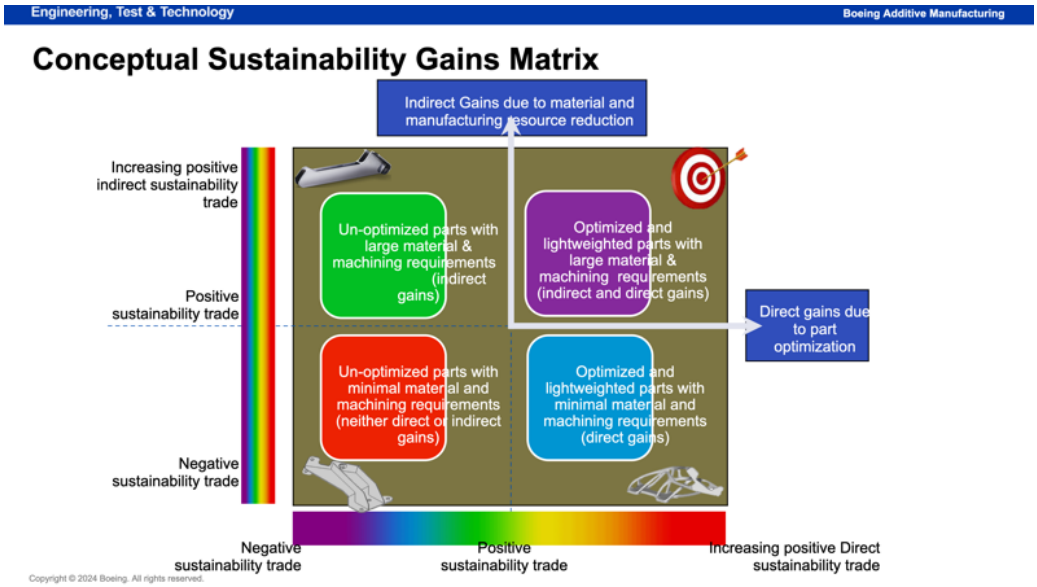
まず、Archer氏から、本セッションの概要の紹介があった。本セッションでは、軽量材料の概要を説明し、3Dプリンティング（additive manufacturing）、複合材料のエコシステムと量産化のための先進製造技術の応用、さらにその認証について考察し、また、軽量材料の炭素排出削減への寄与についてと航空当局の基準を満たしながら業界がどのように軽量材料の量産能力を開発しているかについて触れ、複合構造の製造技術の進歩が持続可能性やエネルギー効率向上にどう貢献するかを検討する予定だとした。3Dプリンティングについては、持続可能な設計に基づく形状制作に焦点を当てる。SAEの委員会や運営グループ、特に「先進材料と製造技術」の運営グループが、アディティブ・マニュファクチャリングや複合材料、修理方法、新しいアプローチや材料の特定、複雑な構造の製造方法といった広範なテーマを担当していると紹介した。このグループが作成した航空用材料仕様の中には、ニッケル合金（IN 625相当）を使用したレーザーパウダーベッドフュージョン（L-PBF）でのパーツ製造や、新材料を使用した複合構造の耐久性、修理性、保守性などに関するものも含まれ、中温アウト・オブ・オートクレーブの真空バッグ硬化エポキシ樹脂含浸繊維強化複合材料など、

さまざまな方法で従来と同等の結果を得るためのアプローチについても検討されているということだ。

第一パネリストのOrme氏は、ビデオでの参加で、Boeingにおける積層造形（Additive Manufacturing）の技術と持続可能性への影響について説明した。まず、ボーイングがAMを用いて製造した部品が航空機や宇宙船などに実際に使用されている事例を示した。現在、ボーイングのエンタープライズプログラムで14万点以上のポリマー製あるいは一部金属製の積層造形部品が実際に飛行している。特に787機の製造ではTi-wire（ニッケルとチタンを主成分とするチタン合金のワイヤー）が使用されており、最近では、ボーイング防衛および宇宙システム（BDS）で急速な成長を遂げており、衛星や自律システム、ヘリコプター向けに5,000点以上の金属部品が納入されている。MQ-25の熱交換器、Chinookヘリコプター用のサーチライト、O3B衛星コンステレーション用のコールドプレート、前述のF/A-18のためのランディングギアベルクランクの４つの部品を紹介した。F/A-18のためのランディングギアベルクランクは、初めてのフラクチャークリティカル安全クリティカルな航空機構造部品で、パウダーベッド方式によって製造された。構造的適合性、特にアディティブ・マニュファクチャリングに関する米国のすべての要件を満たし、高強度アルミニウムで製造されており、NAVAIRに納入され飛行テスト中であり、2024年末には生産に入る予定である。

しかし、ここで重要なのはいくつの積層造形部品を使っているかではなく、「いくつの部品を削減できたか」であり、最も持続可能な部品は「存在しない部品」だと強調した。AMは、間接的な利点（製造プロセスにおける利点）、直接的な利点（3Dプリンターによる造形に最適化された設計手法を使用し軽量化することによる利点）の双方が持続可能性に貢献すると述べた。ボーイング社は、従来の製造方法で作られた部品とAMでの製造部品について、原材料の採掘から最終的な廃棄に至るまでのLCA（ライフサイクルアセスメント）を行って分析した。LCAでは、エネルギー消費量、水消費量、埋め立て廃棄物量、有害物質使用量、CO2排出量などが評価されている。最近のLCAケーススタディでは、ホグアウトからAMチタンワイヤーへの移行はCO2排出量を19%削減、ファスナーの削減はCO2排出量を26%削減、AM向けに最適化された板金は重量を0.25ポンド削減、ナイロン11 AMは重量を0.9ポンド削減するという分析結果が出た。重量を削減した場合、航空機の燃料消費削減という直接的メリットも得られる。これらの効果をまとめ、X軸を直接的な持続可能性の利点（積層造形によって可能となった最適化による部品の軽量化）、Y軸を間接的な持続可能性の利点（部品の製造プロセスと材料廃棄や資源の削減）としたチャートを作成したところ、多くの素材を必要とする部品、つまり従来のHog out部品を最適化できると、大きな持続可能性の効果が得られるという結論になった。

最後に、水使用量に影響を与えるため必ずしも最適とは限らないが航空機の燃焼要件を満たすため採用されたバイオベースの材料については、非バイオベースの代替材料が開発されればそちらを検討するとのことだ。「自分が決して座ることのない木陰を作るために木を植える時、社会は偉大になる（A society grows great when old men and women plant trees in whose shade they know they shall never sit）」というギリシャの詩を紹介し、持続可能性を考えることは未来の世代のために地球を守るために必要であると語って発表を締めくくった。



写真：総合的なAM部品の評価

第二パネリストの菅原氏は、三菱重工業の次世代複合材技術による航空機軽量化への取り組みについて紹介した。三菱重工業は、NEDOのグリーンイノベーション基金の支援を受け、将来の航空機構造に適用する先進複合材技術の開発を進めている。この基金は、カーボンニュートラルに取り組む企業を最大10年にわたり支援するもので、14の重点分野には航空機産業も含まれている。同社は「航空機主要構造部品の軽量化・生産高レート化・複雑形状化」をテーマに、特に需要が高まる狭胴機向けの主翼構造の軽量化を目指した研究を行っていて、その背景として、将来の需要が狭胴機に集中していること、従来製法では、狭胴機の軽量化・生産高レート化に課題あり、複合材化が進んでいないこと、将来的には更なる超低燃費や脱炭素化を図る複雑形状化した航空機が出現することが予想されるため複雑な形状にも対応できるような複合材の整形技術が求められていることを挙げた。

軽量化の取り組みは、設計・認証技術と生産技術の連携により進められている。設計・認証技術では、複合材の解析技術を確立し、設計手法を高度化することで材料の性能を最大限引き出すことと、接着面の新しい品質保証方法を確立しファスナーを不要にすることで、軽量化を図っている。生産技術では、複合材を一体成形してファスナーをなくすとともに、小型機特有の構造的なシワの発生を抑え、強度を維持しながら軽量で薄肉な構造を目指している。これらにより、従来技術に対し10%以上の軽量化を達成することを目標としている。

生産高レート化については、小型の狭胴機は需要が大きく、月産50機の生産能力が必要だが、従来の複合材製造は手作業に依存しているため、生産性向上が難しい現状があるため、RTM製造プロセスを導入し、積層、成形、硬化、検査の各工程を自動化し、生産サイクルを従来の1/5に短縮することを目指していると述べた。

次に複雑形状化について、将来の機体ではCO2低減のため従来と異なる形状が必要とされると予測され、水素航空機では水素タンクを収めるための新しい構造が求められ、これに対応する複合材成形技術の確立を進めているとのことである。

最後に国際標準化への取り組みを紹介した。新技術を航空機に適用するには各国の航空当局（日本ではJCAB、米国ではFAA、欧州ではEASA）からの認可が必要なので、業界標準の複合材ガイドラインであるCMH-17に自社技術を掲載することで技術の認知度を高め、認可手続

きをスムーズに進めることを目指している。現在、CMH-17の文書改訂議論に参画し、業界動向を把握しながら研究成果の国際標準化と当社のプレゼンス向上を進めているとのことだ。

第三パネリストの関根氏は、株式会社SUBARUの次世代エアモビリティに関する軽量化技術の取り組みについて説明した。SUBARU Air Mobilityは「より自由な移動」の社会に向けた自動飛行が可能な無人機のコンセプトモデルで、現在飛行実証を進めている。軽量化が大きな課題となっている。軽量化技術については、薄層CFRPプリプレグ（通常のCFRPプリプレグを薄層化し、強度向上と設計の自由度を実現）、次世代型AFP（Automated Layup Machine、自動積層機。積層の厚みを自由に変えてテープの幅を可変時に変化させることによって最適な設計における積層を実現）を開発しており、プロペラ構造部品の軽量化を達成できることを実証で確認したという。また、従来のボルト接合に代わり接着接合技術、トポロジー最適化解析技術と金属積層造形技術を用いてAdditive Manufacturing技術による金属部品（ドアヒンジのブラケット）の軽量化を行い、重量削減を達成した。最後に、廃材のCFRPをSUBARUのレーシングカーの「フード」と「リアウィング」部品としてリサイクルし、CFRP廃棄物を有効活用するなどの、サステナビリティへの取り組みを紹介した。
これらの技術の航空機への適用に向け、グローバルな規格化の重要性を強調した。

パネルディスカッションは、Archer氏よりパネリストに質問をしていく形で展開された。関根氏より、パウダーベッド方式での部品の商用化、材料の取り扱い、部品のプリンティング、検査および認証における課題は材料の製造から整形加工を含めた製品の保証を考えることであり、また車内、サプライチェーンのプロダクトパーツの規格については共通で使えるガイドラインやスタンダードが必要だと述べた。今後の技術については、PEEK（ピーク）のような成型温度が高い樹脂にも対応できる積層造形技術ができてくると適用範囲が広がってくるだろうと予想した。続いて、菅原氏は、複合材の強度や品質は納入時点で強度や品質が保証されず、製造プロセスに依存するため、machine agnostic（特定のマシンを使う必要がない）な状況になるのは難しいだろうが、現在NADCAPのような仕組みがない複合材に関して国際標準化が進めば効率は向上するだろうと話した。また、今後開発したい技術について、菅原氏は、CFRP技術の軽量化のため金属やAM（Additive Material）などさまざまな材料を適材適所で活用し、一体化やトポロジー解析を活用することで、効率的で「生物的な構造」を実現する技術を開発していきたいと述べ、関根氏は、統一した規格や製造方法についてグローバルに業界を超えて議論しつつ、トポロジー最適化を積層造形技術と組み合わせることで、金属や樹脂、複合材料を局所的に最適配置し、さらなる軽量化を進めたいと述べた。

6.3. クロージング

閉会にあたり、主催者を代表して下記の２名より挨拶が行われた。

- Peter Doty, CEO, SAE Industry Technologies Consortium(ITC)
- 鈴木真二、航空イノベーション推進協議会（AIDA）代表理事

Doty氏は、本シンポジウムで、航空宇宙産業とその課題について、特に日本の航空宇宙産業がサステナビリティや脱炭素、未来技術、品質など多くの課題にどのように取り組んでいるかに焦点を当てた非常に有意義な議論が行われたこと、また成果を再利用可能な技術基準

とともに発展させることが目標達成において重要であることが再認識されたことを述べた。続いて、本シンポジウムの成功に貢献したスタッフ、参加者、講演者、主催者への感謝を述べ、次回のジャパン・インターナショナル・エアロスペース展でのさらなる発展を期待し、今後も国内外の組織と協力して取り組みを続けるよう呼びかけた。

鈴木氏は、AIDA代表として、2日間のシンポジウムへの参加者に感謝を述べ、AIDAが2018年に日本の航空宇宙産業を横断的に連携させるために設立されたという経緯を説明した。6年前のシンポジウム開催時と比べ、先端技術を推進するための標準化活動の重要性への認識が強まったのではないかと語った。シンポジウムでは、カーボンニュートラルに向けた新技術や、コロナ後の航空業界の成長を安全に支える取り組みの必要性に立ち向かうために、様々な新しい技術に対する知見を共有できたと総括した。最後に、次回、おそらく四年後に開催されるJAのシンポジウムで、さらなる学びを共有することへの期待を述べた。

7. おわりに

本シンポジウムでは、世界から35名の登壇者を迎え、活発なパネルディスカッションを得ることができた。本企画が、我が国の航空機産業関係者が世界の規格作りへの理解を深めること、６つのテーマに関して最新の国内外の動向の情報を得ること、そして航空機産業の関心が高い分野での専門家ネットワークを築くことへ一定以上の成果を得たといえる。さらなる我が国の航空機産業の発展のために、SAE Internationalといった世界の標準規格活動への参加は必須と考えられ、本シンポジウムで得られた知見や成果を広く周知し、また同様の活動を関係者で引き続き続けていくことが重要と考えられる。

写真：2日目の講師の方々

写真：会場の様子