

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で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、

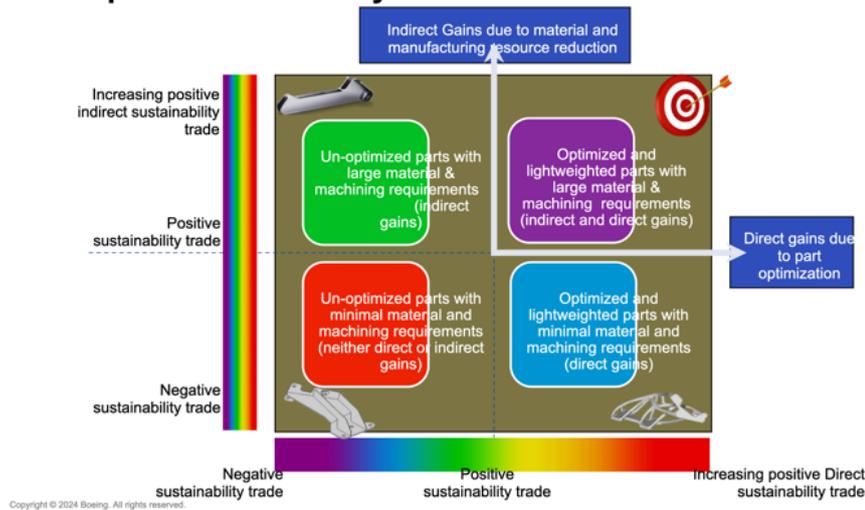
さまざまな方法で従来と同等の結果を得るためのアプローチについても検討されているということだ。

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、03B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かの積層造形部品を使っているかではなく、「いくつか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。

Conceptual Sustainability Gains Matrix



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る。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慮することであり、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