

第6回 SJAC 講演会を開催

—SJAC革新航空機技術開発センター—平成30年度調査事業成果報告—

(一社)日本航空宇宙工業会(SJAC)は、さる3月11日(月)、SJAC革新航空機技術開発センターによる技術動向調査活動成果報告に関するSJAC講演会を当会会議室にて開催した。

SJAC革新航空機技術開発センター(革新センター)では、将来出現が予想される高性能の革新的航空機を開発するために必要とされる技術について、調査及び実用化研究開発等を推進する活動をしており、平成30年度は、3件の調査を行った。これらの調査活動成果を会員の皆様に幅広く共有いただきたく、革新センター成果報告会をSJAC講演会

として企画した。

当日は23の会員企業及び団体などから43名が参加した。

講演に先立ち、革新センター 所長、河内啓二東京大学名誉教授よりご挨拶をいただき、革新センターの活動についてご紹介いただいた。

演題、講師および講演概要は以下のとおり。



SJAC革新航空機技術開発センター所長
河内東京大学名誉教授



講演内容

1. 「全固体電池、燃料電池、有機ラジカル電池の航空機の適用可能性調査」報告

宇宙航空研究開発機構(JAXA):

岡井 敬一 主任研究開発員

内藤 均 主幹研究開発員

現代における航空機の電動化は必然性を増しており、これまで以上に航空機に搭載される電池の役割の重要度は高まってきている。講演では「全固体電池・燃料電池・有機ラジカル電池」等の先進電池・燃料電池について、航空機搭載が期待される背景、電池を用いることの必要性・有用性、更に、航空機特有の

要求事項を踏まえ、電池の航空機搭載可能性について調査した結果をご報告いただいた。



JAXA 岡井主任研究開発員



東京大学 水口特任准教授



JAXA 内藤主幹研究開発員

2. 「SHM (Structural Health Monitoring) 調査」報告

東京大学 大学院新領域創成科学研究科
先端エネルギー工学専攻：

水口 周 特任准教授

センサ素子を構造物に取り付けることで構造物の状態を常時監視するSHM技術が、近年航空機構造分野を中心に開発が進められている。講演では、センサ技術の開発・評価、実航空機への適用例、開発ガイドラインの策定状況、将来構想の立案等、広範囲にわたるSHM研究開発動向について調査した結果をご報告いただいた。

3. 「航空機の故障予知および健全性監視に関わる人工知能技術の最新動向調査」報告

東京大学 大学院工学研究科

航空宇宙工学専攻： 矢入 健久 准教授

航空機の安全性向上に係るコンポーネントの故障予知及び健全性の監視は重要な課題である。講演では、近年発展著しい機械学習とデータに基づくデータ駆動型の故障予知の可能性を中心に、航空機システム等の健全性監視への人工知能関連技術の応用の動向について調査した結果をご報告いただいた。



東京大学 矢入准教授

講演会を終えて

講演会には多くの方に参加いただき、また、講演者の皆様からは調査結果について丁寧に説明いただいたことにより、調査結果を会員の皆様に分かり易く共有することができた。

また、参加者から質問もあげられ、理解を深めていただいた。

尚、次ページ以降に今回の調査結果を掲載し、当日参加頂けなかった皆様にも共有させていただきます。

〔(一社) 日本航空宇宙工業会 技術部部長 佐々木 義治〕

平成30年度革新センター技術動向調査研究 全固体電池、燃料電池、有機ラジカル電池の航空機への 適用可能性調査に関する報告

宇宙航空研究開発機構 岡井 敬一 内藤 均

1. 航空機搭載バッテリー・燃料電池に対する注目の背景と本報告の位置づけ

本報告は、エネルギー消費低減・環境負荷低減を目指した航空機電動化が注目されるなか、成否のカギを握る電源としての二次電池（全固体電池・有機ラジカル電池を含む）と燃料電池の航空機への適用可能性について調査した結果をまとめるものである。

CO₂排出低減等を目的とした航空機電動化の取り組みは、Boeing787やA380にみられる航空機システムの動力の内で電力の担う割合を増大させる取り組みと、航空機の推進のための動力（エンジン）における電力の寄与を増大させる取り組みに大きく分けられる。電源としての二次電池と燃料電池は航空機電動化の成否を握る要素と考えられている。

リチウムイオン電池やこれに代わる可能性のある全固体電池・有機ラジカル電池は二次電池であり、運航中の充電ならびに放電が出来る上、運用中CO₂を排出せず化石燃料等燃料消費もしないため、高効率かつ低排出である。しかし、エネルギー含有という意味ではジェット燃料とガスタービンの組み合わせに比べるとエネルギー密度が小さいため、性能向上と重量低減の両立が大きな課題であり、当面はジェットエンジンとのハイブリッド等での利用が期待される。一方、燃料電池は、電池と同様の電気化学反応により直接電気を得る機器であるため、運用中燃料を消費するものの、大電力利用では二次電池に比べるとエネルギー密度が格段に大きくなる。ただ

し、燃料を消費しながら動力を得る現用のガスタービンと比較すると、重量が大きく、比出力を大きくする必要がある。

2. 二次電池（全固体電池・有機ラジカル電池を含む）の航空機搭載可能性

電動航空機への適用を目指したNASAでの検討（NASAの航空宇宙バッテリーワークショップ報告）では、リージョナルジェットクラスまでのハイブリッド推進電源としてはリチウムイオン電池の技術を基幹として現状の技術の延長で実現可能であるとしており、機体規模に応じたシナリオをまとめている[1]。

二次電池は従来から航空機搭載されており、最新リチウムイオン電池も実用化済である。そのため、RTCA（Radio Technical Commission for Aeronautics）など、開発認証で満たすべき標準は存在する[2][3]。今後、全固体電池等に置き換わる場合は、これら既存の標準の適用または改訂が利用されると考えられ、新規の二次電池開発にあたっては、既存のこれら標準を満足することを要素技術開発において目標とすべきである。

全固体電池は、リチウムイオン電池の課題の多くを解決できると期待されるものであり、航空機に適用される可能性は高い。現行の液系リチウムイオン電池の電解液をイオン電導性の高い無機固体材料で置き換えた電池システムであり、電池反応のメカニズムは変わらず電解質の置き換えといえるがこの置き

換えにより様々なメリットが期待されており、主なものに安全性と信頼性の向上、エネルギー密度の向上、高出力特性、広い作動温度が挙げられる [4]。

先述のNASAの検討紹介では、全固体電池の1つの構成である全固体リチウム金属電池における現状と展望が示されている [1]。これは全固体電池のうち負極を金属としたものに相当するが、電解質の固体化によりリチウム金属の析出・成長による正極との短絡を防ぐことが可能と考えられ、電解液・セパレータを使用する従来のリチウムイオン電池の課題を克服でき、高エネルギー密度化を実現できると期待されている。全固体リチウム金属電池に限定せず、全固体電池化は着実に大きな流れであるとみている。

以上のような特性を備えた全固体電池は、車載用に活発に研究開発が行われている。研究開発を牽引する形でトヨタ自動車は「硫化物系固体電解質」を電解質材として採用する開発を推進 [4] している。全固体電池は、「実績ある液系リチウムイオン電池の材料、電極構造をベースにした電解質をベースにして電解質を固体に置き換える事で液系電池と遜色ないレベルを確保できる」 [4] とともに、実証済みのリチウムイオン電池によるシステム構成を最大限活用することが期待される。自動車分野での実用化動向を注視し、航空分野に求められる要求を踏まえた技術開発が望まれる。

有機ラジカル電池は、安定ラジカルを有するプラスチックを用いた二次電池である [5]。有機ラジカル電池は、軽量化の視点で有望な電池であるといえる。リチウムイオン電池と比較するとエネルギー密度よりもむしろ比出力向上を期待できる。また、曲げ伸ばしに対する柔軟性も指摘されており、これは主に小規模な可搬端末等機器に優れた特性である。

有機ラジカル電池は、材料や特性が現用のリチウムイオン電池とは異なるため、航空機に適用する場合、独自の検証を行う必要がある。搭載場所にもよるが、プラスチックの構成部が多く露出していると、航空機の運航する高高度での放射線や紫外線の耐性に関する課題が生じる可能性がある。有機ラジカル電池は大きなエネルギー量を担うことは困難だが、少量高出力で搭載場所や形状が限定される用途に対しては、有望な電池形式であるといえる。

3. 燃料電池の航空機搭載可能性

燃料電池の実用化例はないが、水素利用の観点からEUROCAE/SAEが標準文書を策定した例がある [6]。水素安全という視点では、漏洩や再酸化防止のための運用が重要であり、改質の有無にかかわらず燃料供給システムとセルの機械構造強度の確保が開発において特に留意すべき点である。

NASAは、電動化の要素・システム研究開発の一環として、X-57への搭載を目指した固体氧化物型燃料電池SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) のシステム開発プログラムFostering Ultra-Efficient, Low-Emitting Aviation Power (FUELLEAP)を実施している [7]。機体とミッションを想定し推進用動力源として要求を満たすことを目指しDAC1とDAC2の2つの動力システムを開発する。いずれも効率60%内外で比出力が0.3kW/kgと現状技術で実現可能とされる目標にしたがった設計がなされている [7]。この検討は現状技術で達成し得る燃料電池構成での機体搭載まで目指した取り組みであり、開発・認証に向けた課題などの一端が明らかになる。

一方で、低コスト・高エネルギー密度・始動性などの理由から、600℃以下で運転される金属支持形のSOFCが注目されている。日

産自動車は、2017年、EVのレンジエクステンダーに、メタノールを燃料とした金属支持形SOFCを採用して走行させるデモンストレーションに成功した [8]。このような背景から、JAXAのイノベーションチャレンジの一環として、中部大学の橋本らは、リージョナルジェット用ガスタービンエンジンとSOFCを比較し、SOFCのAPUとしての可能性を検討した [9]。検討の結果、セルスタック軽量化が必要であることがわかった。SOFCセルスタックの軽量化には、材料そのものの軽量化と高電流密度作動化によるセルの小型化の二つのアプローチが考えられている。こうした視点にたった材料開発等の取り組みがなされている。

このような低い温度で作動するSOFCのための材料開発は現在、活発化している。東京ガスの松崎らは、スタックへのガス供給を複数のステップで行う多段化の検討過程において、従来のSOFCに用いられる酸素イオン導電体ではなく、プロトン導電体を用いることで、燃料が希釈されないため、高効率を期待できるとしており、以後、関連研究が、盛んになってきている [10]。BaZrO₃系酸化物に代表される酸化物系のプロトン導電体のイオン導電率は、酸素イオン導電率より低い（抵抗が高い）が、導電の活性化エネルギーが低いため、600℃以下の温度領域でその差は小さくなるため、低温作動化により、そのメリットが享受出来ると考えられているが、イオン輸率の向上や、電極材料の性能向上など、課題も多い。

4. まとめ

旅客機の推進系主要電源として二次電池・燃料電池が使われるのは当面は小型航空機（～4人乗りレベル）に限られると考えられる。今後、求められるエネルギー消費低減・

環境負荷低減にインパクトを与えるレベルにするためには適用する航空機規模を大きくし、対応して実現すべき軽量化難度の向上に対応する必要がある。現状および10年のレベルで達成可能な軽量化レベルを意識した上で、段階的な航空適用に対応する要素/システム開発が求められる。

謝辞

本調査にあたり、中部大学工学部創造理工学実験教育科・橋本真一教授にご協力をいただいた。また、航空機標準に関する事項について、JAXA航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ藤原 健氏にご教示をいただいた。記して謝意を示す。

参考文献

- [1] Misra, A., Summary of 2017 NASA Workshop on Assessment of Advanced Battery Technologies for Aerospace Applications, AIAA SciTech Forum and Exposition; 8-12 Jan. 2018; Kissimmee, FL; United States
- [2] RTCA/DO-311 “Minimum Operational Performance Standards for Rechargeable Lithium Battery Systems,” 2008年（改訂DO-311Aは2017年発行）
- [3] RTCA/DO-347 “Certification Test Guidance for Small and Medium Sized Rechargeable Lithium Battery Systems,” 2013年.
- [4] 菅野了次監修、全固体電池の基礎理論と開発最前線、シーエムシー・リサーチ、2018年7月.
- [5] 岩佐繁之、安井基陽、西教徳、中野嘉一郎、有機ラジカル電池の開発、NEC技報 Vol. 65, No. 1 / 2012, pp.97-101.
- [6] Hansen, H.-D. and Klemm, D., EUROCAE/SAE Working Group 80/AE-7AFC Hydrogen

Fuel Cells in Civil Aviation Summary of Activities, September 16 2015, Lampoldshausen, Germany.

- [7] Borer, N. K., Geuther, S. C., Litherland, B. L., Kohlman, L., Design and Performance of a Hybrid-Electric Fuel Cell Flight Demonstration Concept, AIAA 2018-3357, 2018 Aviation Technology, Integration and Operations Conference, AIAA AVIATION Forum 2018, Atlanta, GA, USA, June 2018.
- [8] 日産HP、プレスリリース、2016年8月4日.
- [9] 橋本真一、鈴木建司、伊藤響、Hyun-Jin Hong、八代圭司、川田達也、岡井敬一、航空機電動化のためのSOFCの可能性と軽量化技術の検討、第26回SOFC研究発表会講演要旨集、107、2017年12月、東京.
- [10] 染川貴亮、立川雄也、松崎良雄、松本広重、谷口俊輔、佐々木一成、高効率化に向けた電気化学多段酸化SOFCの構成パラメータと発電効率 (2)、第24回SOFC研究発表会講演要旨集、108A、2015年12月、東京.

SHM (Structural Health Monitoring) 調査に関する報告

東京大学 大学院新領域創成科学研究科 水口 周

1. Structural Health Monitoring (SHM)

SHMは、「構造の健全性を評価するために構造に取り付けられたセンサを用いてデータを取得し解析する工程」と定義されている [1]。メンテナンスの効率化や、損傷の早期発見による安全性/信頼性の向上に向けてSHMに注目が集まっており、すでに実用化されているシステムも存在する。本稿では、SHM技術開発の全体像を把握することを目的に、「センサ技術」「実用化に向けた動向」「将来構想」の観点から技術調査を行った結果について概説する。

2. SHMのためのセンサ技術

これまでに様々な原理に基づくセンサシステムが開発されてきている。特に実用が期待されている手法として以下の3つが挙げられる。

a. 比較真空監視 (Comparative Vacuum Monitoring, CVM) [2]

接着面に微細な溝を有する自己接着性エラストマーセンサを構造表面に接着し、亀裂の発生により溝内部の真空が破れることを利用して亀裂を検知する手法。

b. ガイド波を用いた手法 [3]

圧電ウエハアクティブセンサ等のアクチュエータにより構造内に発生させた弾性波が、損傷による材料の不連続性等により反射・散乱されることを利用して損傷を検知する手法。

c. 光ファイバセンサによるひずみ計測を用いた手法 [4]

光ファイバに沿ったひずみ分布を計測

し、損傷の発生によるひずみ変化から損傷を検知する手法。複合材構造を対象とした場合には、光ファイバセンサを埋め込むことで材料内部のひずみを計測可能。

このほかにも、炭素繊維強化プラスチックの電気抵抗変化を用いた手法、ナノ材料や化学修飾により損傷検知に有効な電気的あるいは光学的な特性を付与する研究などが展開されてきている [5]。

3. SHMシステムの実用化に向けた動向

3.1 Aerospace Industry Steering Committee on SHM (AISC-SHM) の設立と開発ガイドラインSAE ARP 6461の策定

2006年、SHM技術の民間航空機適用に向けた工程に関する業界内での幅広い合意を得るために検討グループの設立が呼びかけられ、Society of Automotive Engineers (SAE) 内にAISC-SHMが結成された。この委員会の目的は、OEM、運用者、SHM技術開発者および規制当局を集めて、航空機へのSHM技術の適用を妨げる問題に対処するためのガイドラインを作成し、最終的にはSHM技術を成熟させるための標準規格を作成することであった。ガイドライン自体は、特定のセンサ技術を想定したものではなく、SHMシステム全般に適用可能な形で記述されており、現在の構造設計やメンテナンス、また規制環境の範囲内でのSHM技術の実装に必要なステップに焦点が当てられている [1]。現在AISC-SHMは年に2回開催されており、ガイドラインの改訂や新たな文書作成について議論が進められている。

3.2 Federal Aviation Administration (FAA) によるSHM研究プロジェクト [6]

SHMの民間航空機への適用がFAAの規制に与える影響を評価するため2011年に開始された。R&Dロードマップ作りのためのSHM技術に関する網羅的なアンケート調査に始まり、新たな規制策定の必要性等について検討された。また、Sandia National LaboratoriesとBoeing、デルタエアラインが中心となってチームを結成し、B737NG中央翼のシアフィッティングを対象にしたCVM技術の実用化に取り組んだ。検知確率の評価や耐久性試験、さらにはデルタエアラインの運航機を用いた飛行試験を実施し、最終的に実用化に成功している。

またこのプロジェクトに含まれるものではないが、CVMおよびガイド波を用いた手法の実用化検討が、Sandia National Laboratoriesによるサポートのもと、エンブラエル社を中心としたグループによって同様に進められていることを追記しておく。

3.3 日本におけるSHM開発プロジェクト [7]

経済産業省によるサポートのもと、三菱重工、川崎重工、SUBARUを中心として、光ファイバセンサを用いた複合材構造SHM技術開発が進められている。2006年からはAirbus社とJapan-Airbus SHM Technology for Aircraft Composite (JASTAC) プロジェクトにおいて、適用構想やシステム構成を共同で検討し、認証および実用化を目指す開発が続いている。また光ファイバSHM技術を複合材プロセスモニタリングにも活用し、複合材部品の製造段階から運用段階までのライフサイクルにわたった連続計測評価技術に発展させることが検討されている。

4. 将来構想

モデルに基づく設計やヴァーチャルテス

ティング、スマートファクトリなどに代表されるように、近年のデジタル化/仮想化により急速に変化する航空宇宙産業の環境に、SHM技術をどのように適用できるかについての検討が始まっている。Airbus社からは、構造状態に関する高品質のデータを連続的に取得することが出来るSHMシステムの特徴を最大限生かし、従来の構造の健全性監視にとどまらず、設計モデルとの融合や各種試験での利用、さらには製造物の品質保証への活用など、複合材構造および金属構造を対象とした技術構想が提案されている [8]。

参考文献

1. SAE International Aerospace Recommended Practice, "Guidelines for Implementation of Structural Health Monitoring on Fixed Wing Aircraft," SAE Standard ARP6461
2. Roach, D. (2009) . Real time crack detection using mountable comparative vacuum monitoring sensors. Smart structures and systems, 5 (4) , 317-328.
3. Mitra, M., & Gopalakrishnan, S. (2016) . Guided wave based structural health monitoring : A review. Smart Materials and Structures, 25 (5) , 053001.
4. Di Sante, R. (2015) . Fibre optic sensors for structural health monitoring of aircraft composite structures : Recent advances and applications. Sensors 15 (8) , 18666-18713.
5. Rifaie - Graham, O., Apebende, E. A., Bast, L. K., & Bruns, N. (2018) . Self-Reporting Fiber-Reinforced Composites That Mimic the Ability of Biological Materials to Sense and Report Damage. Advanced Materials, 30 (19) , 1705483.
6. Swindell, P. (2017) . FAA SHM Research Program and the Challenges in Civil Aviation.

- Proceedings of the Eleventh International Workshop on Structural Health Monitoring. 11-18
7. Isoe, A., Kojima, H., Enomoto, K., & Takeda, N. (2016) Outline of the Japanese National Project on Structural Health Monitoring System for Aircraft Composite Structures and JASTAC Project. 8th European Workshop On Structural Health Monitoring (EWSHM 2016)
8. Eckstein, B., Bach, M., Bonet, M.M., Weisser, A., & Bockenheimer, C. (2018) . Virtual Product Life Cycle Management utilizing SHM Technologies. 9th European Workshop on Structural Health Monitoring (EWSHM 2018)

航空機の故障予知および健全性監視に関わる人工知能技術の最新動向調査に関する報告

東京大学大学院工学系研究科 矢入 健久

1 はじめに

航空機の安全性・信頼性の向上を実現する上で、エンジンや制御系などのサブシステム・コンポーネントの故障予知および健全性監視は重要な研究課題の一つである。そこで、本調査研究では、故障予知および健全性監視に応用できる人工知能技術の最新動向の調査を目的とする。

2 人工知能技術の航空機健全性監視への応用

航空機の故障予知・健全性監視へのアプローチは、(1) 知識ベースアプローチ、(2) モデルベースアプローチ、(3) データ駆動型アプローチ、(4) それらの組み合わせ（ハイブリッドアプローチ）の4つに分類される。

2.1 知識ベースアプローチ

知識ベースアプローチとは、第2次人工知能ブームの中心であった、エキスパートシステムの流れを汲むアプローチであり、知識ベースに蓄積されたIf-thenルールなどの専門知識を用いて推論することにより、故障診断等の問題解決を行う方法である。今回の調査では、そのような伝統的な知識ベースアプローチに基づく航空機の健全性監視・故障検知診断に関する事例はいくつか存在したが、いずれも敢えて言及すべき技術や新規性を含まない。

ただし、知識ベースアプローチに確率的推論・知識表現方法であるベイジアンネットワークを組み合わせた [Mack et al., 2017] は、注目すべきものとして挙げられる。この研究では、航空機システムの様々な故障モード

と、センサーや監視器によって計測される観測事象との定性的な因果関係をベイジアンネットワークの構造モデルとして、まず領域専門家の知識から構築しておき、実際のフライト・メンテナンスデータに基づいてモデルパラメータの推定や構造の改良を行っている。

2.2 モデルベースアプローチ

モデルベースアプローチは、健全性監視の対象となるシステムの挙動を、システム構成要素の第一原理に従って、数理モデルによって表現することによって、システムが正常に動作しているかどうかを監視するものである。

今回調査した 2000年代の航空機を対象とした関連研究では、状態空間モデルを採用しているケースがほとんどであったが、これは、航空機の飛行制御や各サブシステムの制御系において状態空間モデルの利用が一般的であることから考えれば当然であると考えられる。また、健全性監視ではシステムの内部状態（状態変数、パラメータ）を計測データから推定する状態推定器（フィルタ、オブザーバ）が中心的な役割を持つ。このカテゴリーに属する最近の研究例としては、航空機エンジンのガスパス解析（GPA）において、センサーのネットワーク化に伴う非同期性や遅延を解決するために分散型拡張カルマンフィルタを提案しているもの [Lu et al., 2019] が挙げられる。状態空間モデル以外のモデル化法としては、非線形常微分方程式を用いるもの、アクチュエータごとにコマンドに対する応答をパラメトリックなモデルで記

述するもの、航空機の各コンポーネントの経年劣化プロセスを信頼性工学的な見地からモデル化するもの、空気力学的見地から気流の乱れによるセンサー誤作動をモデル化するものなどがある。

また、モデルベースアプローチは分割統治の考え方にに基づき、航空機を構成するサブシステム単位で用いられるのが一般的であり、エンジン、操縦翼面、センサー、アクチュエータ、発電機、アビオニクス、など対象は多岐に渡っている。

現在、モデルベースアプローチは航空機における健全性監視・故障検知診断のための技術として主要な地位を占めている。航空機のように高い安全性、信頼性が要求されるシステムでは、設計・開発段階で第一原理に基づく理論的な数理モデルを構築し利用することが多く、そのような数理モデルが既に存在するのであれば健全性監視にも利用しようというのは極めて合理的である。

2.3 データ駆動アプローチ

データ駆動アプローチは、専門家の知識や第一原理に基づくモデルの代わりに、過去のデータに基づいてシステムの健全性や残存耐用年数を推定・予測し、部品交換などの保全を効率化、最適化するものである。

今回の調査では、まず、過去の正常時および故障発生時のデータを訓練データとして与えることを前提として教師あり分類学習問題に帰着させている例が多数確認された。比較的早期の例として、GEの研究者による[Yan, 2006]では、航空機エンジンのシミュレータにより生成した正常時および6種類の故障モードにおける11変数のデータサンプルをラベル付き訓練データとし、代表的な教師あり分類学習アルゴリズムの一つであるランダムフォレストを適用した故障同定法を提案している。

ところで、最近の機械学習では、深層学習と呼ばれる多くの中間層を持つニューラルネットワークが主役となっている。しかし、今回の調査研究では、航空機システムの健全性監視への深層学習の応用は、少数の例は存在するものの、他分野に比べて活発とは言えず、「流行りなので使ってみた」という程度のものであった。

次に、システム正常時のデータを訓練データとして与えて正常な挙動を規定する統計的モデルを学習し、学習されたモデルによる予測値と実際の計測値との乖離を検出することによって未知の異常を検出する異常検知に関する研究も複数みられた。

さらに、今回の調査研究で目を引いたのが、航空機を構成するサブシステムや部品の残存耐用年数(RUL)を過去のメンテナンスデータに基づいて推定する研究である。特に、[Zaidan et al., 2015]は、航空機エンジンの残存耐用年数の確率密度分布をベイジック推論に基づいて推定する手法を提案している。現在よりも精度の高い残存耐用年数予測が可能になれば、航空機システムの安全性向上と運用コストの削減を同時に実現できる可能性がある。

また、データ駆動型アプローチの中には、故障予知や故障診断を自動的に行うのではなく、システムから収集された膨大なデータを要約し可視化することによって、専門家による異常予兆の発見や、部品交換時期決定などの意思決定を支援することを目的としたものもあった。人間には処理しきれない規模のデータを統計処理・可視化することは、専門家の意思決定を支援する上で重要である。

2.4 ハイブリッドアプローチ

今回の調査研究において明らかになったことの1つは、モデルベースアプローチとデータ駆動アプローチを組み合わせた事例が増加

傾向にあることである。また、このハイブリッドアプローチは、(1) モデル補完タイプ、(2) モデル近似・代替タイプ、(3) モデルパラメータ推定・システム同定タイプ、(4) 正則化タイプ、の4タイプに大区分できることが明らかになった。

3 航空業界におけるビッグデータに関する動向

文献調査からは、現時点では伝統的なモデルベースアプローチが依然優勢であるが、データ駆動型アプローチへの転換や融合が進んでいる動向が明らかになった。このトレンドの成否の鍵は、結局のところ、良質かつ十分なデータが入手可能であるかどうかにかかると言える。実際、航空業界では、(1) 機体製造メーカー、(2) エンジン製造メーカー、(3) 航空会社、の3層でそれぞれ、センサーデータを蓄積し予防保全等に活用しようとする動きが顕著である。特に、Airbusは2017年にデータプラットフォームSkywiseを発表し、ビッグデータ解析によるメンテナンス効率化などのソリューション提供を提案しており注目に値する。

4 関連学会調査

本調査研究では、航空機システムの健全性監視への人工知能関連技術応用の動向把握を目的として、Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2018) および、57th IEEE Conference on Decision and Control (CDC) での調査を行った。どちらの学会でも、航空機を含む大型人工システムの健全性監視において、モデルベースとデータ駆動型アプローチの融合を目的とする研究が多く発表されていた。

5 おわりに

本稿では、航空機の健全性監視、故障予知

等への人工知能関連技術応用の動向調査の結果を報告した。文献調査では2000年以降の40件以上の文献をサーベイし、知識ベースアプローチ、モデルベースアプローチ、データ駆動アプローチ、そしてハイブリッドアプローチに分類して動向を分析した。また、健全性監視・予防保全のためのデータ収集・蓄積基盤についての航空機・エンジンメーカー、航空会社の取り組みを概観し、2件の関連国際会議参加に基づく関連分野の動向を紹介した。

本調査研究の機会を与えてくださった日本航空宇宙工業会 (SJAC) に心から感謝申し上げます。

参考文献

- [Lu et al., 2019] Lu, F., Gao, T., Huang, J., and Qiu, X. (2019). A novel distributed extended kalman filter for aircraft engine gas-path health estimation with sensor fusion uncertainty. *Aerospace Science and Technology*, 84 : 90–106.
- [Mack et al., 2017] Mack, D. L., Biswas, G., Koutsoukos, X. D., and Mylaraswamy, D. (2017). Learning bayesian network structures to augment aircraft diagnostic reference models. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 14 (1) : 358–369.
- [Yan, 2006] Yan, W. (2006). Application of random forest to aircraft engine fault diagnosis. In *The Proceedings of the Multiconference on "Computational Engineering in Systems Applications"*, volume 1, pages 468–475.
- [Zaidan et al., 2015] Zaidan, M. A., Harrison, R. F., Mills, A. R., and Fleming, P. J. (2015). Bayesian hierarchical models for aerospace gas turbine engine prognostics. *Expert Systems with Applications*, 42 (1) : 539–553.