

航空機・エンジン電動化システムの現状と動向

Moving to an All-Electric Aircraft System

森岡典子 航空宇宙事業本部技術開発センター制御技術部 部長
 竹内道也 航空宇宙事業本部技術開発センター制御技術部 部長
 大依 仁 株式会社 IHI エアロスペース 基盤技術部電子技術室 室長

航空機・エンジンの全電動化システム (AEA: All-Electric Aircraft system) の研究開発に向けてシステム構想検討を行っている。AEA では、従来用いられている油空圧・機械駆動を用いた機体システムを電動化すると同時に、電力マネジメントおよびサーマルマネジメントの統合化によって航空機のエネルギーとパワーのマネジメントを最適化することを目指している。本稿では、効率向上による燃費改善、整備性向上および環境負荷物質の削減を可能にし、人と地球にやさしい航空機の実現に貢献する AEA の概要について述べる。

The More Electric Architecture for Aircraft and Propulsion (MEAAP) project aims to improve safety, environmental friendliness, and economic benefits with innovations that integrate electrical power and thermal management for aircraft. IHI is trying to exploit the electrification system of the future engine and aircraft within the next decade or two. This paper introduces an overview of the MEAAP concept and IHI all-electrical system innovations.

1. 緒言

近年の航空事業は大きな成長期を迎え、航空輸送需要の増加が見込まれる成長産業となる一方で、全地球規模での環境問題への意識の高まりは、環境負荷物質の低減や CO₂ 削減を求めている。さらに、国際的な燃料需要の増大によって、燃料価格が上昇しており、経済的にもコスト低減に直接結びつく燃料消費量の低減は航空業界の強い要請となっている。当然、航空機技術の根底にある安全・安心に向けた技術開発はたゆまず続けることを前提として、この要請に応えなければならない。

従来の航空機は、油圧・空気圧・電気の三つのパワーソースによって、システムが構成されているが、長い実績から安全性や信頼性の面で優れる油圧・空気圧が装備品の主動力として使われ、電動化の割合は小規模であった。しかし、効率化や高機能化に優れた電動化システムの利点を生かし、航空機の電動化の促進 (MEA: More Electric Aircraft) と、エンジンにおいても油圧・機械式のポンプやアクチュエータを電動化する航空用エンジンの電動化の促進 (MEE: More Electric Engine) が、①安全性 ②環境負荷低減 ③経済性、に向けた取組みとして萌芽した¹⁾。当社はその次に訪れる、装備品システムを統合化する技術である全電動化システム (AEA: All-Electric Aircraft system) の研究開発に向けてシステム構想検討を

行っている。第 1 図に全電動化システムを示す。

最新の MEA であるボーイング社 (アメリカ) の最新鋭機ボーイング 787 においては、エンジンの電動始動を可能にした大型スタータ・ジェネレータ (発電機) および高電圧配電の実現と、電動コンプレッサの採用や防水システムの電熱化によってエンジン抽気をなくすことで、飛躍的に効率を高め、燃料消費の低減を実現した。さらに電動化の進んだ AEA では、油圧・空気圧・機械駆動を用いた機体システムを電動化すると同時に、電力マネジメントおよびサーマルマネジメントの統合化によって、航空機のエネルギーとパワーのマネジメントを最適化することを目指している。

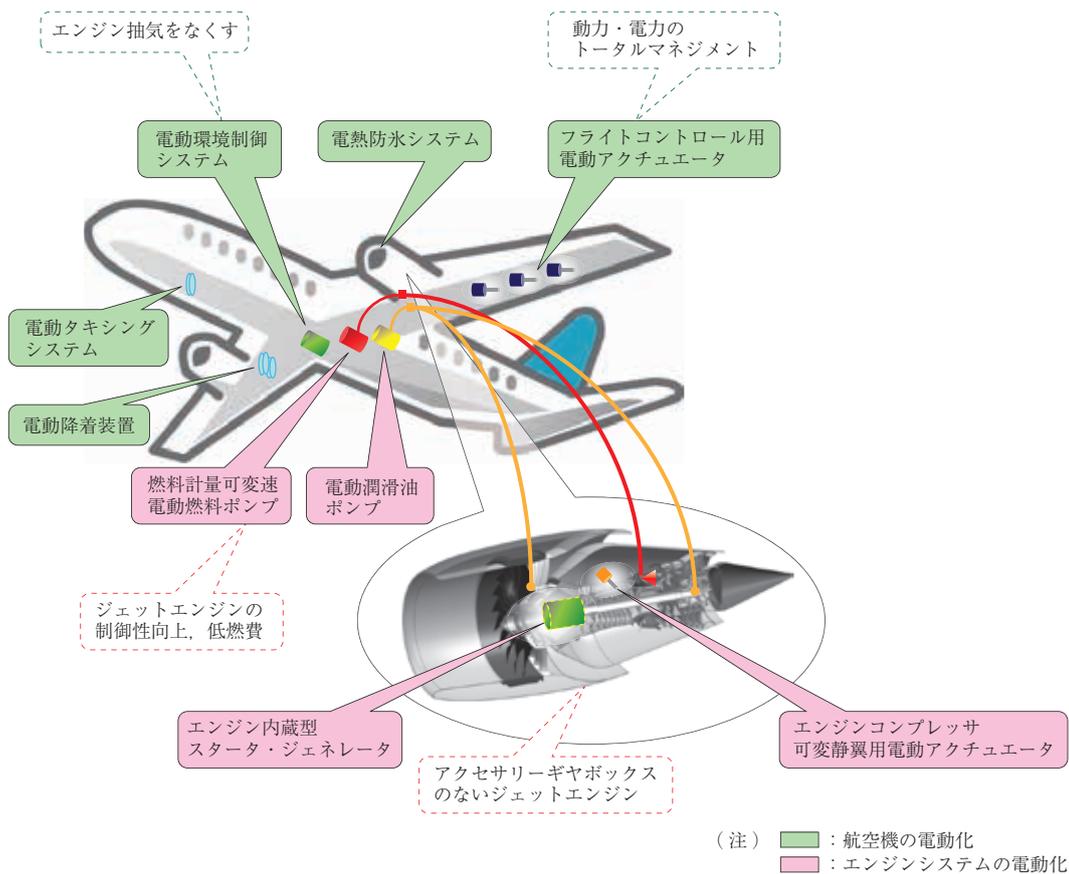
2. AEA 構想

全電動化システム構想について運航場面をイメージしながら整理し、当社における幾つかの具体的な研究の取組みを、◇の記号で示す項目で紹介する。

2.1 駐機および搭乗

搭乗のお客さまをお迎えする機材はすでに地上電源で起動し、機内では快適なキャビンを保つために空調が働いている。

従来の航空機は、エンジンもしくは補助動力装置 (APU: Auxiliary Power Unit) からの高温・高圧の圧縮空気を熱交換器とタービン・コンプレッサで冷気に変えて空

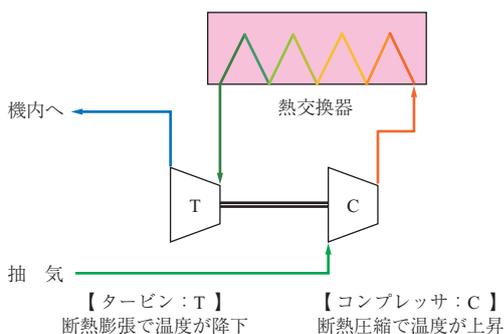


第 1 図 全電動化システム
Fig. 1 Overview of the all-electric aircraft system

気調和を行っている (ACS : Air Cycle System). 第 2 図にエアサイクルシステムを示す。

最新の MEA であるボーイング 787 では、電動コンプレッサで外気を直接圧縮して ACS に供給するが、気圧の高い地上においても圧縮・膨張を行う必要があるため、いずれのシステムでも熱のくみ出しという点でエネルギー効率を高くできない。

AEA では蒸発潜熱を使ったヒートポンプとして働くベーパーサイクルシステムが有望であり、COP (Coefficient of Performance) が約 3 倍高いため省エネルギーが図れる



第 2 図 エアサイクルシステム
Fig. 2 Outline of air-conditioning using ACS

と期待される。ただし、温暖化係数の低い脱フロン冷媒とシステムの小型・軽量化が搭載の課題となっている。

2.2 出発およびタキシング (地上走行)

お客様の搭乗が終わり、出発準備が整うと、航空機は滑走路へ向かう。ボーディングブリッジを離れる航空機は、ほとんどの場合後退しなければならないが、航空機はエンジン推力しか推進力をもたないため、通常はトーイングカーでプッシュバックを行う。その後、機体はタキシングで滑走路へ向かうが、その間エンジン推力で推進するため、混雑した空港ではエンジン加減速を繰り返している。

これらのプッシュバック作業やタキシングでのエンジン燃料消費の無駄を省くため、航空機が自律走行する電動タキシングが研究され、電動システムや機構、構造の安全性や信頼性が検討されている。電動タキシングは、将来的には燃料電池によるさらなる効率化が期待されており、搭載型の燃料電池システムの実現が課題である。

◇再生型燃料電池システム◇

燃料電池の AEA への適用として再生型燃料電池 (RFC : Regenerative Fuel Cell) ^{(2), (3)} が期待される。第 3 図にボーイング 737 に搭載される RFC を



(提供：ボーイング社)

第3図 ボーイング 737 に搭載される RFC

Fig. 3 On-board RFC installed into Boeing 737 for test flight

示す。RFC は燃料電池、水電解装置および燃料タンクで構成された蓄エネルギーシステムである。電力が必要なときは燃料電池で発電を行い、システムに余剰電力がある場合には燃料電池が生成した水を水電解装置で燃料電池の燃料ガス（水素、酸素）に再生（充電）するというシステムである。このシステムによって電力供給の平滑化が可能であり、電力システムの高効率化が得られる。第4図に RFC の充放電サイクルを示す。

一般的な燃料電池システムの適用では、ジェット燃料からの燃料改質が研究されているが、改質に必要な高温状態の維持や燃料改質で発生する一酸化炭素などの被毒の問題がある。また、純水素を燃料とする場合は、超高压水素貯蔵や地上インフラの整備などが課題になる。これらの解決策として、RFC では水から燃料を生成することによって、一酸化炭素を含まず、特殊なインフラも不要である特長を生かすことができる。

運用時は、地上電力で生成した水素で離陸前のタキシングを行い、消費した電力分の水素は高空でエ

ンジン発電機の電力で再生する。着陸後は再生した水素でタキシングを行うことになる。また、RFC は、充電端子と放電端子が電氣的に絶縁されるという特長があり、絶縁しながら充放電を同時に行えるというほかにはできない使い方が可能であり、無停電電源としての活用も考えられる。また、非常時に燃料電池の発電を停止する機能は、安全面において航空用電源として従来の電池にはない利点である。これらの特性を生かし、緊急電源として活用することなどが期待される⁽⁴⁾。

2.3 離陸および上昇

電動タキシングで滑走路へ向かう機体は、離陸の数分前にエンジンを始動し離陸する。離陸時のエンジンは最大回転数となる。電動化された機体は電動アクチュエータによって高揚力装置（フラップやスラット）や脚などを格納し、電熱防水装置で翼やエンジンの辺縁部への着氷を防ぎつつ、お客さまへのサービス準備としてギャレーなどの稼働、気圧の低下に伴う与圧用のコンプレッサの仕事を同時に行い、消費電力は最大になる。このため、RFC などによる負荷平準化（ピークシフト）が期待される。

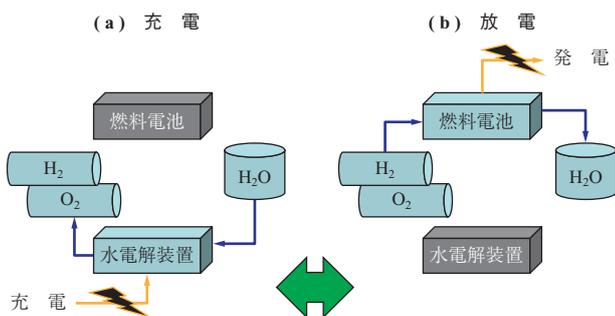
さらに、姿勢制御用の電動アクチュエータの動作で姿勢制御用の電源は供給と回生を繰り返す。電動モータは発電機の特長ももつため、負荷の状況によっては発電を行い、エネルギー回生を行うことになる。エネルギー回生は電流を電源側へ逆流させるため、急激な電圧上昇を生じる原因になる。電車では架線に戻すことで処理ができ、電気自動車では搭載している二次電池やキャパシタが充電・蓄電するため、特に問題にはならない。

しかし、航空機では電力を発電機で直接供給するため、大容量の二次電池やキャパシタは一般的に搭載していない。ゆえにフライトコントロールアクチュエータが飛行制御の際に必要な加速電流を確保しつつ、減速時に発生する回生電流を処理することが問題になる。

従来設計では、電動アクチュエータは回生電力を消費用に搭載した抵抗器で熱に変え冷却装置で消散しているため、重量面で負担になっている。その解決策の一つとして考えられる方法がスタータ・ジェネレータを介して回生電力でエンジンの回転トルクを補うという方法である⁽⁵⁾。

◇エンジンによる回生電力吸収◇

従来の電磁石界磁の界磁巻線型発電機を永久磁石発電機とすることで、インバータで容易に瞬時に電動モータとして機能させ、エンジンへエネルギーを



第4図 RFC の充放電サイクル

Fig. 4 Charge and discharge behavior of on-board RFC

回生するシステムである。この機能は電動スタータとしても機能する。この回生電力をエンジンに戻すという設計は、機体システムとしては追加装置が必要でない点で重量・コスト的に優位である。

2.4 巡航

高度約 40 000 ft (約 12 000 m) では、航空機は空気抵抗とバランスしたエンジン推力で巡航する。特に、長距離運航ではこの間の燃料消費量削減が望まれるが、その手段としてアクティブ境界層制御 (ALFC) による空気抵抗の低減や電動燃料システムによるシステム効率の改善がある。

◇ 電動化アクティブ境界層制御システム ◇

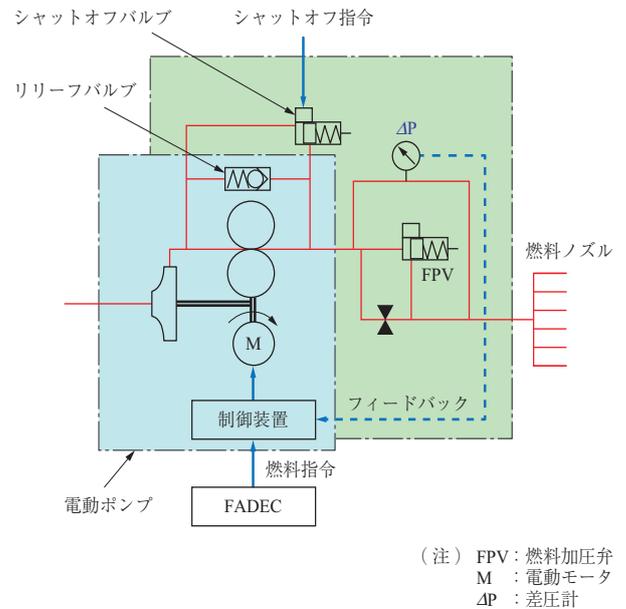
空気抵抗の低減の一手段として、古くから ALFC が研究され、翼面からの境界層吸い込みによる抗力低減を目的とした、主翼表面での境界層制御の研究・実証例もある。この実現においては、主翼は揚力を生じる機能があり、境界層制御が複合的に影響する可能性があるため、垂直尾翼の方が複合的に干渉する影響が少ないと考え、小型高速電動コンプレッサ技術を用いた、垂直尾翼における分散化・高効率の電動 ALFC システムの可能性を検討した。

例えば、単通路の民間航空機を想定して燃料消費 1%削減が期待される吸い込み空気流量は、40 000 ft で約 0.3 kg/s である⁽⁶⁾が、これは 2 kW の小型電動コンプレッサ 15 台を想定し、重量合計約 30 kg、必要電力量約 45 kW で実現が見込める流量である。

◇ 電動燃料システム ◇

電動燃料システムは、MEE におけるキーテクノロジーである。電動燃料システムはギヤ式の燃料ポンプを電動モータで駆動し、エンジンが必要とする燃料流量をモータ回転数で制御するため余剰な燃料の循環がなくなり、エンジン抽出力を削減することができる⁽⁷⁾。第 5 図に電動燃料システムを示す。燃料システム効率向上による燃料消費率改善効果を小型エンジンで試算した結果、巡航で約 1%の改善が見込まれる⁽⁸⁾。

本システムは、電動燃料ポンプの回転数制御で燃料計量機能を実現することを特長としている。従来の計量弁を用いた計量システムと同等の高い計量精度を実現するため、ポンプ後流の加圧バルブの前後差圧から流量をフィードバックするシステムを開発している。また、電動燃料ポンプは、従来の補機駆



第 5 図 電動燃料システム
Fig. 5 Schematic of electrical fuel system

動用ギヤボックスで駆動される燃料ポンプよりもはるかに低い回転数領域で燃料を供給する必要があるため、この領域で低圧用の遠心ポンプと高圧用のギヤポンプを同軸で駆動して機能を成立させ、かつ、小型化や簡素化を可能とするシングルシャフトポンプの実現を目指している⁽⁹⁾。

MEE において、エンジン燃料ポンプの電動化は燃料ポンプの配置と艤装の自由度を増加させ、AEA において機体燃料システムとの統合を可能にする⁽¹⁰⁾。機体統合電動燃料システムは、電動化がもたらすシステム効率向上による燃料消費削減に加え、燃料システム内の機器点数削減を可能にする。従来は燃料タンク内に設置されていた機器の排除、電動燃料ポンプや遮断弁のユニット化による整備性向上、切り替えバルブ類の操作不要によるパイロットのワークロード削減も可能、になると考えられる。

さらに、例えば、電動燃料ポンプ 2 台で離陸時のエンジン 1 台分の最大燃料流量を賄いつつ、巡航では電動燃料ポンプ 1 台で必要燃料流量を賄うことができることから、従来システムでは困難であった冗長化も可能になり、信頼性や安全性の向上にも貢献する。

2.5 降下

目的地に近づいた航空機は、高度を下げながら着陸態勢に入る。降下時にはエンジン回転数、推力ともに低下するため、エンジン発電機の発電能力も低下するが、一方で最

大の電力消費者である空調・与圧装置はその仕事を継続し高負荷状態であり、防水装置も始動する。高揚力装置も稼働し姿勢制御は重要な場面である。エンジン推力が下がり、エンジン出力に占める抽出力の割合が高くなると抽出力によるエンジン運転への影響が大きくなる。この発電量増加によるエンジン運転への影響を解決する手段としてエンジンと発電の統合管理がある。

◇エンジンと発電の統合管理◇

エンジン高圧軸で駆動する発電機の発電量が増加すると、高圧軸から取り出す発電トルクが増加するため、高圧軸の回転数が低下する。このとき、ファン回転数を一定に制御する通常の制御の場合、高圧軸の回転数低下によってファン回転数が低下しないように、燃料供給を増加させてファン回転数を維持するが、高圧軸の回転数が低下するため、低圧圧縮機から高圧圧縮機へ流入しにくい状況に至り、低圧圧縮機のサージマージンが減少することになる。発電のために抽出する軸を低圧軸に代える場合は、サージマージンが逆に増加する方向に作用する。しかし、低圧軸に取り付けられた発電機は、例えば、降下やアイドルにおいて巡航時の40%程度のエンジン回転数となるため、この条件において必要電力を供給できる設計にする必要がある。また、スタータ・ジェネレータとする場合、エンジン始動には発電機のスタータ機能でエンジン軸を回し圧縮空気を燃焼室に送り込む必要があるが低圧軸ではエンジン始動がより難しくなる。

システム設計の解は高圧軸と低圧軸の両軸から抽出する発電システムであり、そのマネジメントによる発電の最適化を図ることが重要になる⁽⁵⁾。このシステムは、高圧軸発電機と低圧軸発電機に、電力を調整するためのインバータをおのおのの負荷側に配置し、インバータによってエンジンのサージマージンを一定以上に確保するよう発電の配分を制御することになる⁽¹¹⁾。

2.6 進 入

最も繊細な姿勢および速度の制御が必要とされる状況である。航空機の全電動化が達成されたならば、エネルギー供給のための油圧・空気圧配管や機械式機構が不要になり、電動化の特長である艤装性の向上やエネルギー分散配置が容易になる。これによる設計自由度の向上によってシステムの多重化・多様化が容易になり、航空機の

信頼性や安全性の向上を図ることができる。

また、電動化を生かして、統合された制御システムを構築することによって、飛行中に乱気流による外乱を受けた場合や、万が一の機体故障時に代替手段を用いることを含めて速度ベクトルを適切に制御できれば、飛行機をより安定に、安全に飛行させることも可能と考えられる。

これらを実現するための課題として電動アクチュエータの信頼性向上がある。さらに、安全性を高めるシステムの課題の一つとして、エンジン制御と飛行制御の統合制御がある。

◇電動アクチュエータの信頼性向上◇

制御を行う最も重要な装備品が電動アクチュエータであり、その課題はジャミング（固着）対策である。電動アクチュエータでジャミングを回避するための冗長突き合わせ方式として速度サミング（加算）方式を選定し、リニアアクチュエータのボールスクリュウ速度サミング方式を研究している。ボールスクリュウのリードとナットの回転方法を逆回転させて回転・直動変換を行うことによって、従来速度サミング機構として用いられた差動ギヤを使わずにシンプルで信頼性の高い、かつ、ギヤのジャミングの回避・分離を完全に達成する方式にした。

また、速度サミング方式において課題であるモータがトルク喪失を起こした場合の制御方法について、一般的な機械ブレーキ式を用いず、回生制動による保持で速度サミングアクチュエータの制御が可能であることの実証や、ジャミング発生の自動診断、ゲイン切り替えなどの技術の開発を進めている⁽¹²⁾。

◇統合化推力飛行制御◇

緊急時に推力制御によって、機体の姿勢を制御する方法は従来から研究されてきたが、エンジン推力応答の向上が課題であった。高応答性を得るためには、加速・減速を早めたときにサージ・吹き消えのマージンや温度・速度などのエンジンの許容限界を超えないようにすることが必要である。

FADEC（デジタル電子制御）を使用した民間航空機用エンジンに用いられる制御方式の一つであるNdot制御は、エンジン加減速時間を制御することで高温セクション部品に生じる熱ストレスを少なくし、かつ、エンジン性能のばらつきや劣化にかかわらず、複数台搭載されたエンジンの加減速時間を同じにできる。

このように運用コストや整備コスト削減に貢献する Ndot 制御に対し、燃空比を用いた加減速スケジュール制御を適用し、サージあるいは吹き消えを発生させない範囲でできる限り早く加減速するように調節することでエンジン推力応答性を高める手段を考える⁽¹³⁾。しかし一方で、エンジン性能のばらつきや劣化度合いによって、高温部位に生じる温度上昇や回転数上昇にばらつきが生じるため、緊急時にのみ加減速スケジュール制御を選択して温度や回転数などをモニタしながらエンジン応答性を最大限高めるなどの配慮が必要になる。すなわち、機体制御システムと電動燃料システムが連携して、機体状態に合わせたエンジン制御を行わねばならない。飛行制御とエンジン制御の統合を目指す電動化システムは、このような制御の実現によって航空機の安全性向上に貢献することが期待される。

2.7 着陸およびタキシング

着陸後、電動スラストリバーサや電動ブレーキで減速した機体はターミナルに向かう。その際もエンジンを使用せず電動タキシングを行う。電動タキシング中の減速・加速では回生電力の有効活用が期待される。その実現には電気エネルギーを蓄電するアキュムレータとしての機能が必要になる。

◇航空機用電力アキュムレータ◇

航空機用電力アキュムレータとして厳しい温度環境などにおいて蓄電を行うため、フライホイールバッテリーを検討している。フライホイールバッテリーは電力エネルギーを回転エネルギーに変換し、フライホイールが回転し続けることによってエネルギーを蓄電する。化学的反応による寿命や温度特性が課題であった二次電池やコンデンサと比較して、すべてが機械・電気部品で構成されることは、長い耐用年数と最小のメンテナンスを提供するものである。

フライホイールバッテリーは構造的に温度変化の影響を受けにくく、広い温度範囲で使用可能である。技術的な課題は重量・構造であったが、現在では複合材ロータが一般的になり、高速ロータの採用によってフライホイールバッテリーは小型化が進んでいる。本システムでは 130 kW 超の入出力で 10 s のエネルギーを供給するシステムは本体重量で 55 kg 程度の試算となっている⁽³⁾。

2.8 到着および整備

機体が停止し地上電源ラインが到着した機体に接続されると、機体電源は地上に切り替えられシートベルトサインは消灯する。ボーディングブリッジやタラップの準備を完了し、ドアが開けばお客さまをターミナルへのご案内する。機材は次の安全・安心に向けて準備を始める。

整備作業における電動化の効果として、配管が配線（配管レス）になるなどの整備性の向上が期待される。さらに、電動化は環境負荷物質削減の観点でも期待されている。油圧システムの作動油には広い温度範囲（ $-54 \sim +135^{\circ}\text{C}$ ）における物理化学的安定性、難燃性、軽量、防錆、防食性、潤滑性に優れたリン酸エステル系の合成油を使用するが、刺激性をもっている。

冷媒液にはエチレングリコールやプロピレングリコールなどのロングライフクーラントが使用されている。プロピレングリコールは化粧品にも使われ、低毒性の点で有利であるが、添加物によってはアルミ腐食性をもつという特性が一般的に知られている。このため、運航・整備においては、十分な防護や環境影響を排除するための保護が必要とされている。これらを解決して整備性を高めるためには、システムの全電動化による油圧システムの排除と空冷の実現による流体レスが課題となる。

◇自律型分散空冷システム◇

ボーイング 787 に代表される電動化された航空機では、大型の電動モータコントローラなどが集中的に発熱するため、その熱を放散するために冷媒液を用いた液冷システムを設けている。すなわち、電動化が実現されても冷却システムから流体を排除しなければ配管レスや流体レスが実現できない。配管レスや流体レスの実現には、電動機器の空冷を実現する必要があり、そのためには小型電動コンプレッサを応用した自律分散空冷システムの実現が期待される。

3. 結 言

航空機・エンジン全電動化システムに関する研究の概要、その技術的特長や課題について、以下に示す当社の先進技術の取組みを中心に述べた。

- ・現在までの世界における航空機の電動化は、装備品の電動化を中心として進展してきたが、今後は推進、制御、電力のシステム統合が課題となる。エンジンと発電の統合管理、エンジンによる回生電力吸収、統合化推力飛行制御はその課題に取り組むシステム・

コンセプトである。

- ・その実現には、新たな技術革新が必要である。再生型燃料電池システム、電動燃料システム、航空機用電力アキュムレータ、電動アクチュエータの信頼性向上などが重要な技術革新であり、その研究開発を推進していく。
- ・さらなる燃料消費削減に貢献するための電動化アクティブ境界層制御システムや、整備性向上、環境負荷物質の削減を実現する自律型分散空冷システムなども考えられる。

航空機の電動化は、世界的・社会的要求である安全性・環境性・経済性の向上を可能にし、“人と地球にやさしい”航空機の実現に貢献する、次世代の航空機システムとして期待される。当社はエンジン電動化システムを中心に、独自技術によって世界の航空機の電動化に貢献する。

— 謝 辞 —

本稿に情報提供をいただいた航空機・エンジン電動化システム研究会、日本航空株式会社、株式会社島津製作所、住友精密工業株式会社、ナブテスコ株式会社、シンフォニアテクノロジー株式会社ほか、本研究に当たって、多大なご支援をいただいている多くの関係各位のご厚誼^{まじ}に対し、ここに記し、深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 森岡典子, 大依 仁: ‘More Electric’ Engine の現状と動向 — Propulsion と Power plant を担う将来の航空機エンジン制御 — 第 41 回日本ガスタービン学会定期講演会講演論文集 2013 年 10 月
- (2) S. Okaya, N. Shinozaki, S. Sasa, T. Fujihara and K. Harada: R&D Status of RFC Technology for SPF Airship in Japan 9th Annual International Energy Conversion Engineering Conference AIAA 2011-5896 (2011. 7)
- (3) S. Okaya, Azam H. Arastu and J. Breit: Regenerative Fuel Cell (RFC) for High Power Space System Applications 11th International Energy

Conversion Engineering Conference AIAA 2013-3923 (2013. 7)

- (4) H. Oyori and N. Morioka: Power Management System for the Electric Taxiing System Incorporating the More Electric Architecture SAE Technical Paper 2013-01-2106
- (5) H. Oyori, N. Morioka, D. Kakiuchi, Y. Shimomura, K. Onishi and F. Sano: System Design for the More Electric Engine Incorporated in the Electrical Power Management for More Electric Aircraft SAE Technical Paper 2012-01-2169
- (6) V. Schmitt, J. P. Archambaud, K. H. Hortstmann and A. Quast: Hybrid Laminar Fin Investigations RTO AVT Symposium (2000. 5) pp. 1 - 10
- (7) T. Nakayama, T. Asako, K. Ozawa, N. Morioka and H. Oyori: Effect of the More Electric Engine on Aircraft Fuel Burn 2013 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (2013. 11)
- (8) 森岡典子, 垣内大紀, 小沢寛二, 関 直喜, 大依 仁: More Electric Engine 制御技術の実用化研究 IHI 技報 第 52 巻 第 1 号 2012 年 3 月 pp. 43 - 52
- (9) N. Morioka and H. Oyori: Fuel System Design for the More Electric Engine ASME Turbo Expo 2012 GT2013-68374 (2012. 6)
- (10) N. Morioka and H. Oyori: More Electric Architecture for Engine and Aircraft Fuel System SAE Technical Paper 2013-01-2080
- (11) H. Oyori and N. Morioka: Integrated power management system for the More Electric Aircraft 51st AIAA Aerospace Sciences Meeting (2013. 1)
- (12) H. Oyori and N. Morioka: Fault-tolerant and Resilient Electrification for the More Electric Engine 51st AIAA Aerospace Sciences Meeting (2013. 1)
- (13) N. Morioka and H. Oyori: Contribution of the MEE Toward an Integrated Propulsion System SAE Technical Paper 2012-01-2100