

「航空機用先進システム実用化プロジェクト／

⑧次世代電動推進システム研究開発」

終了時評価報告書

2025年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

研究評価委員会

2025年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

理事長 斎藤 保 殿

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

研究評価委員会 委員長 木野 邦器

NEDO技術委員・技術委員会等規程第34条の規定に基づき、別添のとおり評価結果について報告します。

「航空機用先進システム実用化プロジェクト／

⑧次世代電動推進システム研究開発」

終了時評価報告書

2025年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

研究評価委員会

## 目 次

はじめに	1
審議経過	2
分科会委員名簿	3
研究評価委員会委員名簿	4
第1章 評価	
1. 評価コメント	1-1
1. 1 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋	
1. 2 目標及び達成状況	
1. 3 マネジメント	
(参考) 分科会委員の評価コメント	1-3
2. 評点結果	1-11
第2章 評価対象事業に係る資料	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会公開資料	2-2
参考資料 1 分科会議事録及び書面による質疑応答	参考資料 1-1
参考資料 2 評価の実施方法	参考資料 2-1

## はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「航空機用先進システム実用化プロジェクト／⑧次世代電動推進システム研究開発」の終了時評価報告書であり、NEDO 技術委員・技術委員会等規程第 32 条に基づき、研究評価委員会において設置された「航空機用先進システム実用化プロジェクト／⑧次世代電動推進システム研究開発」(終了時評価) 分科会において評価報告書案を策定し、第 79 回研究評価委員会（2025 年 3 月 17 日）に諮り、確定されたものである。

2025 年 3 月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

## 審議経過

### ● 分科会（2024年11月8日）

#### 公開セッション

1. 開会
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの説明

#### 非公開セッション

6. プロジェクトの補足説明
7. 全体を通しての質疑

#### 公開セッション

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

### ● 第79回研究評価委員会（2025年3月17日）

# 「航空機用先進システム実用化プロジェクト／

## ⑧次世代電動推進システム研究開発」（終了時評価）

### 分科会委員名簿

(2024年11月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	たなべ みつあき 田辺 光昭	日本大学 理工学部航空宇宙工学科 教授
分科会長代理	おくだ あきのぶ 奥田 章順	株式会社航想研 代表取締役
	たけい かつひと 竹井 勝仁	一般財団法人電力中央研究所 企画グループ 研究アドバイザー
	なかむら たけつね 中村 武恒	京都大学 大学院工学研究科電気工学専攻 特定教授
委員	にしわき まさる 西脇 賢	全日本空輸株式会社 整備センター 技術部 電装技術チーム マネージャー
	まつお あきこ 松尾 亜紀子	慶應義塾大学 理工学部機械工学科 教授
	よしもと かんたろう 吉本 貫太郎	東京電機大学 未来科学部 ロボット・メカトロニクス学科 教授

敬称略、五十音順

## 研究評価委員会委員名簿

(2025年3月現在)

	氏名	所属、役職
委員長	木野 邦器 きの くにき	早稲田大学 理工学術院 教授
委員	浅野 浩志 あさの ひろし	岐阜大学 特任教授 一般財団法人電力中央研究所 研究アドバイザー
	稻葉 稔 いなば みのる	同志社大学 理工学部 教授
	五内川 拡史 ごないかわ ひろし	株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長
	鈴木 潤 すずき じゅん	政策研究大学院大学 政策研究科 教授
	原田 文代 はらだ ふみよ	株式会社日本政策投資銀行 常務執行役員
	松井 俊浩 まつい としひろ	東京情報デザイン専門職大学 情報デザイン学部 学部長・教授
	松本 真由美 まつもと まゆみ	東京大学 教育学部附属教養教育高度化機構 環境エネルギー科学特別部門 客員准教授
	吉本 陽子 よしもと ようこ	三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 産業創発部 事業戦略グループ 主席研究員

敬称略、五十音順

# 第1章 評価

## 1. 評価コメント

### 1. 1 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

「脱炭素」は航空界において重要な課題であり、本プロジェクトの4つの個別テーマは、複数の航空機セグメント（小型機～eVTOL）・技術実用化段階の双方でより広い領域をカバーしている。様々な外部環境変化の影響を考慮しながらシステム化まで見据えて将来の国際化競争力強化に資するプロジェクトであり、戦略的に有効かつ有益である。

アウトカム（社会実装）達成までの道筋については、実施者と NEDO がうまく連携して航空機の Tier1 サプライヤーを目指す道筋が適切に示されていると評価する。

知的財産・標準化戦略については、海外の機体 OEM などとの連携、情報共有をし、更に標準化に向けた国内コミュニティ形成までできており、オープン・クローズ戦略が適切に管理され、将来的な優位性が確保できるよう十分に考えられている。

一方で、4 個別テーマの実装に当たっては、航空界の「脱炭素」を取り巻く環境やその実現性、最良の道筋は不確定な部分が多く、その変化を確実に把握し、個々の技術領域で適切な対応をとることが重要となる。また、いずれのテーマの目標も、10-20 年の開発期間を必要とするため、早期実装可能な対象を明確化する必要がある。

今後は、国際標準化へ向けたより一層の具体的取組を積極的に行うことでイニシアチブをとり、国際的な競争での優位性を得ていただきたい。

### 1. 2 目標及び達成状況

アウトカム目標は、各個別テーマについて競合技術も含めて、目標達成の世界的なポジショニングや課題が把握され、適切に見直しがされており達成の見込みはあると考える。

アウトプット目標は、達成状況を把握し見直しなども含めて適切に設定され、全体としてほぼ達成しており、成果の発信や知財確保も積極的に行われていると認められる。各個別テーマで技術課題、実現化時期などが異なるが、それぞれにおいてプロトタイプが開発され、他分野への応用可能な技術開発となっており評価できる。

一方で、CO<sub>2</sub>削減量等では機体設計との相乗効果や応用先の拡大など、普及シナリオ次第でより大きな削減量も可能と思われ、電動化分野のベンチマークになるような CO<sub>2</sub>削減のベストシナリオについても発信できると更によい。

また、個別テーマ毎に技術レベルと開発段階が異なる状況の中で目標を一義的に達成 TRL レベルで評価することには難があったと思われる。TRL 判定をどう設定するかについては議論の余地があり、見込みや推定なども含めより適切に技術レベルを評価できる指標を検討頂きたい。

今後は、本研究課題の成果の最終的な事業化への道筋へ向けて、副次的成果のスピンドアウトできる技術や成果については、早期の事業化を期待する。

### 1. 3 マネジメント

実施体制については、いずれの個別テーマも複数の実施者が分担し推進され、NEDO 事業推進委員会などを組織して、その意見を反映させる適切な体制で推進された。

実施者は技術力や実用化・事業化能力を発揮しており、有機的な体制になっていたと認められる。

研究開発計画については、目標達成に必要な要素技術が網羅・連携され、かつ中間時評価結果への対応など含めスケジュールは適切に計画・進捗管理されていた。また、研究開発計画の一部に遅れが生じた場合にも当該要素技術の適切な見直しと最適化により、その遅れを最小化できていた。

一方、一部のテーマについては、計画で示しているように他テーマよりも長期的なビジョンでの推進を期待したい。

今後は、4つの個別テーマ技術の社会実装に向けて、事業全体としてのシナジーをより詳しく描き、日本側の「強み」（OEM にとっての価値）を明確化することが望まれる。さらに、試験評価施設については、今後の我が国の認証に関わるデータ取得や評価ともつながる重要な点だと考える。

(参考) 分科会委員の評価コメント

1. 1 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

<肯定的意見>

- ・ 開発期間や開発段階の異なるそれぞれのテーマに対して適切な項目を網羅し、社会実装からアウトカム達成までの道筋を明確にしている。また、本事業終了後に道筋に沿って発展的に研究開発が継続されることが決まっており、適切な設定であったことを裏付けている。
- ・ 海外の機体 OEM 等との連携も含めて適切な戦略と協力の枠組みができている。前例のない技術分野で、標準化に向けて国内コミュニティ形成までできており、評価できる。
- ・ 「脱炭素」は航空界において重要な課題であり、本プロジェクトの 4 つのテーマはいずれも航空機「脱炭素化」で重要な技術となる。4 テーマ（超電導モータ、バッテリー、ハイブリッドシステム、常電動モータ）は、複数の航空機セグメント（小型機～eVTOL）に対応、また、技術実用化時期も一定の幅があると考えられ、セグメント・実用化時期双方でより広い領域をカバーしている。このことは今後の情勢が変化した場合の対応策に幅があり、4 つのテーマを総合的に勘案した場合、戦略的に有効かつ有益である考えられる。
- ・ オープン・クローズ戦略は、実用化・事業化に取り組む上で現実的で、有効な方策と考える。本事業においても、4 テーマで適切にオープン・クローズ戦略がとられていると考える。
- ・ 海外に比べ必ずしも優位性を確保できていない航空機装備品を、システム化まで見据えて将来の国際化競争力強化に資するプロジェクトの取り組みは、国プロとして推進する妥当性を認める。
- ・ 機体 OEM と情報共有することで、適合可能な認証取得、ターゲット情報取得のための関係構築を進めたことは評価できる。
- ・ 全体を通して、事業者と NEDO がうまく連携してアウトカム達成のための道筋が示されていると評価される。
- ・ オープン・クローズ戦略に基づく取り組みは、知的財産・標準化戦略としてバランスが取れていたと評価される。
- ・ 事業の背景・目的・将来像および外部環境等を正しく理解・把握し、アウトカム達成までの道筋が概ね適切に描かれている。
- ・ 実用化・事業化を見据え、オープン戦略およびクローズ戦略が適した分野をそれぞれ定義し、将来的な優位性が確保できるよう、基本的な戦略が練られている。
- ・ 航空機の電動化の道筋において、様々な外部環境変化の影響を考慮しながら、研究開発項目を設定することで対応が行われている。
- ・ 適切に設定されており、対応も妥当である。標準化戦略へ向けた対応は必要であり、その対策もなされている。

- ・最終的な目標を航空機の Tier-1 システムとしてのサプライヤーを目指し、段階的にそのゴールに向かう道筋を考えられている。また、達成時期についても挑戦としてのストレッチと、実現性のバランスがとられている。
- ・知的財産マネジメントとして、オープン・クローズが各プロジェクトで適切に管理されている。製造ノウハウにあたるものを作成することで、技術の流出を防ぐことが十分に考えられている。

＜問題点・改善点・今後への提言＞

- ・国際標準策定について、認証を受ける側の事業者主体での関与が現状と見受けられる。認証する側の官の役割について、設備整備等での寄与に加えて、今後より積極的に国際的な議論に参加して日本主導のルールづくりや、それを主導できる人材育成などまで担えるとよい。
- ・一方で、航空界の「脱炭素」を取り巻く環境やその実現性、最良の道筋は不確定な部分が多く、4 テーマ（超電導モータ、バッテリー、ハイブリッドシステム、常電動モータ）の実現化にあたっても、「脱炭素」化の変化を確実に把握し、個々の技術領域で適切な対応をとることが重要となる。特に電動化/ハイブリッド化の領域は、変化が急で、例えば、認証案の発表により状況や課題が大きく変わる可能性があり、継続的にある程度の細かさで状況をモニタリングすることが重要となる。
- ・オープン・クローズ戦略では、オープンとクローズの区分けをどのようにするかの難しさがあると同時に、本来、オープンにして共有することが好ましい情報もクローズとなることが想定される。このため、各テーマでオープン・クローズの戦略を、既に取り組まれている OEM との関係を十分に検討して、できるだけ明確化することが有効と考える。オープンにする場合、どのような仕組みで情報を共有化するかは重要な課題であり、本研究での取組成果をこの課題対応に活かすことは有用となる。
- ・いずれのプロジェクトの目標も、10-20 年の開発期間を必要とするため、早期実装可能な対象を明確化する必要がある。いくつかの計画では明示されているものの、その実装の国際的な競争力まで俯瞰し、より具体化することが望ましいと考える。
- ・技術流出を防ぐために、他システム開発企業とはクローズな体制とすることは理解できるが、そのスキームのみでは機体 OEM の下請けに位置せざるを得なくなる懸念は生じないか？国際標準化活動にも積極的に参加しているとの説明を受けたが、イニシアチブをとることができているか？再度その体制を十分に考慮して欲しい。
- ・実用化・事業化に際しては、機器・システムの安全性を保証することが極めて重要である。研究開発テーマに依存して歩調は異なるようであるが、安全性基準の作成に関しては今後さらに力を入れて取り組んで頂きたい。
- ・異なる研究開発テーマの事業者間におけるコミュニケーションがあれば、知的財産・標準化戦略として新たな展開があったのではないかと思われる。特に標準化戦略においては、個別の研究開発テーマだけでなく、異なるテーマ間の横の連携も見

据えて強固なものにするとより良いかもしない。

- ・研究項目⑧-1「超電導」および⑧-3「電動ハイブリッドシステム」の項目については、他の項目と比してアウトカムまでの道のりが長く、不確定要素も多いと思われる。必要に応じて、航空機 Tier1 企業と（安易な下請けとならないよう上手く連携し）確実なアウトカム目標達成への細かい戦略とその実行を期待する。環境次第では、国内企業だけでの開発も視野に入れて検討するのも良いと考える。
- ・SAE は、世界的に見てメジャーな Rule Maker である。基準・規格およびガイドライン検討について、より日本での開発に有利な内容となるよう、コミッティ活動への積極的な参加を期待する。
- ・研究開発項目が個別に 4 項目あるが、現状では連携は取れていない。今後はアウトカムへ向けて連携による成果の加速や成熟へ向けても検討いただきたい。
- ・成果の実用化、事業化へ向けて、今後は国際標準へ向けてより一層の具体的取り組みが積極的に行わなければならない。日本の成果が生かされるように、今後とも注力が必要である。
- ・超電導モータのプロジェクトについては、今後も研究・開発が進むにつれて、新たな課題を見出しながら解決していくことになると考えられる。それらの課題解決に向けた計画の修正や予算などのマネジメントとしての支援をお願いしたい。
- ・電動ハイブリッドシステムのプロジェクトにおける今後の課題として示されている「国際標準化」の取り組みを推進し、本プロジェクトを発とした標準化・規格化により、国際的な競争での優位性を得て頂きたい。

## 1. 2 目標及び達成状況

### <肯定的意見>

- ・目標および達成見込みは十分に示されていると認められる。
- ・アウトプット目標は見直し等も含めて適切に設定され、全体としてはほぼ達成し、成果の発信や知財確保は積極的に行われていると認められる、またすべてのテーマで他分野への応用可能な技術開発となっており、評価できる。一部で目標未達があるが、事業終了後に事業者自身が改良を進めるなどできており、目標達成に必要な知見を事業期間に得ているものと思われる。
- ・欧米での開発と比較した場合、現時点で 4 テーマは目標達成の世界的なポジショニングや課題がある程度把握されており、今後、達成の見込みはあると考える。
- ・4 テーマ（超電導モータ、バッテリー、ハイブリッドシステム、常電動モータ）は、技術課題、実現化時期などが異なるが、それぞれにおいてプロトタイプが開発されていることから、目標としている TRL6（プロトタイプの開発）は達成していると考える超電導モータ、ハイブリッドシステム等では、電動推進システム及び熱制御など関連システム、さらにはソフトウェアを含めて、我が国のインテグレーション能力を示す成果であり、今後の我が国の航空機産業の方向性とも関連して、重要な成果と考える。

- ・ 2040 年代の実用化に向け、小型航空機から電動航空機（細胴機から広胴機）へと目標は明示されている。開発による CO<sub>2</sub> 削減量についても試算されている。
- ・ 各プロジェクトとも研究開発の達成状況を把握し適宜目標を適正化されたものと考えられる。
- ・ 全体的には、アウトカム指標・目標値が適切に見直されていると評価される。
- ・ プロジェクト全体として、アウトプット目標の達成状況は良好と考えられる。例えば、高出力密度・高効率モータの eVTOL(Electric Vertical Take-off and Landing) 用途への応用は、その性能を含めて大きく評価できる成果と考えられる。
- ・ 各プロジェクト項目について、達成への障害となる競合技術も含めて、すべて適切に記載されている。それぞれの課題については、アウトカム達成へのキーとなる事項が、見落とされることなく、記載されている。
- ・ 「軽量蓄電池」および「推進用電動機制御システム」については、実装に近い達成状況であり、より早い時期における実用化が期待される。
- ・ 適切な設定がなされ、またその見直しが行われていた。
- ・ 適切に目標が設定されており、その達成状況も評価できるものであった。TRL レベルとしては研究開発項目が異なることからその水準を明確には規定できないが、概ね達成できていると考えられる。
- ・ 各プロジェクトで競争力のある定量的な目標設定がされており、達成度も定量的に評価することができている。ハイブリッドシステム、常電動では、航空機に求められる品質・信頼性についても、本プロジェクトの中で具体的な目標設定がされている。
- ・ 各プロジェクトでの目標設定とその達成状況の報告は適切にされている。プロジェクトによっては、技術成熟度も異なるが、ハイブリッドシステム・常電動のプロジェクトは出口に近い達成状況が報告されている。

#### <問題点・改善点・今後への提言>

- ・ アウトカム目標が控えめに見積もられている部分がある。CO<sub>2</sub> 削減量等では機体設計との相乗効果や応用先の拡大など、普及シナリオ次第でより大きな削減量も可能と思われる。電動化分野のベンチマークになるようなベストシナリオについても発信できるとよい。
- ・ 各テーマにつき数値などの具体的目標は適切に設定されているが、TRL の設定について、各テーマごとに開発段階が異なる状況の中で目標を一律 TRL6 とすることは難があったと思われる。また事業者によっては、達成した TRL を実際よりも低めに見積もっており、TRL 判定をどう適切に設定するかについては議論の余地があったと思われる。
- ・ 4 テーマとも、今後の課題が抽出・整理されている点は評価されるが、一方で、いかに課題を解決していくかは明確でない部分がある。

- ・ LiS バッテリーは競合バッテリー (Si アノード、Li-Metal 等) と比べて安全性に優れるが、一方でサイクル数が限られる課題があり、安全性の優位だけでなく、着実に数 100~1,000 サイクルを実現することが重要。超電導システムは社会実装に向けて飛行試験が重要となるが、ターボプロップ機では可変ピッチプロペラの対応等の検討も重要となる（質問で回答は得ている）。ハイブリッドシステム、常電動モータについては、既に FAA が Safran や Magnix 向けの認証案をパブコメを含めて公表しており、また、AAM/eVTOL についても JobyS4 等の認証案が発表されているので、これらの FAA がどのような説明を求めているかを十分に参考にすることが重要 (SAE、ASTM などの WG の活動はあくまで FAA や EASA の認証のベースであり、実際、FAA などがどのようなことを認証案で求めているかを確認して対応することは非常に重要となる）。
- ・ 本研究開発は環境に対する影響も大きいため、できるだけ頻繁に見直しが必要と考える。CO<sub>2</sub>削減に対する貢献では、SAF や水素燃料などと競争する状況にあるが、同時に共成する可能性も高く、今後電動化率の見直しや燃料削減率を適宜見直してほしい。
- ・ プロジェクト毎に技術レベルが異なるため、一義的に達成 TRL レベルで評価することは難しい。特に推進用電動機制御システムでは耐久性試験を未完了だが、技術的な問題ではなく、時間的制約のためと理解した。ある時間時点での評価は必要だが、見込みや推定なども含めより適切に技術レベルを評価できる指標をお願いしたい。
- ・ 全超電導モータはハードルの高い研究開発テーマであるが、そのポテンシャルが極めて高い回転機である。それ故に、今後アウトカム目標を達成できるように、その高性能性を明確化して欲しい。例えば、国内の別研究グループが公表している液体窒素冷却全超電導モータの試験例では、定格に対して 80%弱の負荷特性しか得られていない。従って、確実な機械出力（密度）や効率などの回転特性の実証データによって、全超電導モータの高性能を明らかにして頂きたい。
- ・ 一部実施項目について、アウトプットの達成状況をクリアには理解できなかった。例えばモータについては、機械出力を実現しなければ意味が無いため、少なくとも回転試験データによって効率や出力密度を明らかにすべきである。
- ・ 「超電導」における低温動作半導体についてはアウトプット目標をクリアしているが、「低温で大電流対応のインバータ」開発は次のステップとなる。システムの中でもインバータは大きな役割を果たす機器の一つであること、DO-160 EMC 要件等クリアしなくてはならない高いハードルもあることから、早期の開発を期待する。「電動ハイブリッドシステム」における MW 級エンジン内蔵発電機については、今後の継続した開発・評価の中で、デザイン・性能のみならず、飛行の安全性（発電機故障時のエンジンへの影響）や安全性を担保する仕組み（発電機のエンジン回転軸との切り離し）等についても、かかるべき時期に検証することを期待する。
- ・ 外部環境の変化への対応は今後も必要であり、その辺は継続が必要である。

- ・ 設定されていたアウトプット目標は概ね達成できていると考えられるが、本研究課題の成果の最終的な事業化への道筋へ向けて、副次的成果のスピナウトできる技術や成果については、早期の事業化を実施することも必要と考える。
- ・ 目標の設定・根拠については、質疑応答の中での口頭での説明を受けて、算出プロセスや根拠を理解できた点もあり、資料としても、もう少し補足説明を記載してあっても良かったと感じられた。
- ・ 超電導モータと軽量蓄電池のプロジェクトは、今後、さらに技術成熟度を高めるための研究開発の継続が必要と理解した。当初のプロジェクト計画でも、事業化の時期はまだ先においているため、この芽を育てるように支援をする必要がある。

### 1. 3 マネジメント

#### <肯定的意見>

- ・ 各テーマにつき、事業者間での十分な情報共有と公平なリソース配分であったと認められる。
- ・ 短期間で実証実験まで完了するには相当な工夫が必要であり、要素ごとの努力とそれを適切に統合する管理ができていたと認められます。
- ・ 本事業における実施体制は基本的に適切と考える。一部テーマは、中間報告以降に追加調査を行うなど、積極的な対応が取られている点は評価される。
- ・ 開発計画、スケジュールはおおむね適切と考える。一部、試験評価施設の必要性が述べられているが、このことは我が国の認証に関わるデータ取得や評価ともつながり、重要な指摘と考える。
- ・ いずれのプロジェクトも複数の事業者が分担し推進されており、NEDO 事業推進委員会、ヒアリングに加え、内部委員会を組織して、その意見を反映して進められていることを確認した。
- ・ 中間評価結果への対応など含め、概ね進捗管理がされている。期中の Covid-19 による影響も最小限に留める計画変更が行われている。
- ・ プロジェクト全体としては、実施者は技術力や実用化・事業化能力を発揮しており、かつ実用化・事業化を目指した有機的な体制になっていたと認められる。
- ・ プロジェクト全体としては、アウトプット目標を達成するための要素技術は網羅・連携され、そのスケジュールは適切に計画されていたと理解される。また、研究開発計画の一部に遅れが生じた場合にも当該要素技術の適切な見直しと最適化により、その遅れを最小化できていた。
- ・ 次世代電動推進システム研究開発事業は、その性質から NEDO が実施する意義がある事業であることは明白であり、そのガイドラインに沿った実施体制の構築、および運営が行われている。
- ・ 各プロジェクト項目ごとに目標達成に必要な要素技術が整理され、アウトプット目標達成までのスケジュールが適切に計画・進捗管理されている。中間評価結果に対して丁寧にフォローされており、具体的な対応についても実施されている。

- ・適切であったと考える。
- ・軽量蓄電池、電動ハイブリッドシステム、常電動のプロジェクトは事業化に向けた実施者が選定され、ゴールを見据えた、より実現可能性の高い質で実行された。
- ・本プロジェクトでの4つは、それぞれアウトカム目標・事業化としておいた時期がことなるため、それぞれのプロジェクトとしてのスケジュール管理が適切に実施されていた。

＜問題点・改善点・今後への提言＞

- ・4つのテーマ間での情報共有をより増やすことで、事業全体としてのシナジーの活用や、事業者の将来の連携をより詳しく描けたと思われる。
- ・今後、4テーマ技術の実現化と社会実装においては、航空機 OEM などとの連携は不可欠となる。この際、本事業を含めて日本側の「強み」(OEM にとっての価値)を明確化することが重要。社会実装に向けては自社だけでなく、国内外パートナーのとりまとめも必要と考えられ、本事業でのオープン・クローズ戦略などを有効に活用していただきたい。
- ・今後の展開で必要となるリソース（試験設備等）についても、ある程度明示することは重要と考える（特に国内なく、海外に依存する重要な試験・評価施設や、公表されている FAA の認証案から必要となってくると考えられる試験・評価施設など）。
- ・開始時期が異なるため製作・検証までの期間がプロジェクトにより異なり、時間制約から検証に至らなかったプロジェクトが存在する。実施事業者独自の Effort により、終了後進捗が見られたプロジェクトは事業者の自己負担・自助努力の結果であるが、可能な範囲で終了時期の見直しができるとよい。
- ・プロジェクトの中には、要素技術間の連携が期中より不透明になり、その貢献度が不充分なケースがある。
- ・一部の実施項目について、具体的成果が見えにくかった。オープン・クローズ戦略の一環として情報開示されなかつたのかもしれないが、少なくとも機器・システムのアウトプットとしての性能は明確に示すべきと考える。
- ・進捗の遅れに関して、当初計画時にもう少ししっかり計画しておけば防げていたと考えられるものもあった。プロジェクト推進に際してある程度のリスクを伴うことは承知しているが、非常に大きな予算を使用するプロジェクト故、可能な限り慎重にリスク回避に務めるべきである。
- ・アウトプット目標達成レベルとして、"TRL6" としていたことについて、一般的な "TRL6" 定義との間に若干のギャップを感じた項目があったように感じた。今後の研究開発計画の中では、目標設定の段階で、目標の TRL レベルと、実際の目標達成レベルの間の議論をこれまで以上に慎重に実施することを期待する。
- ・超電導モータのプロジェクトは、ようやく芽が出た段階だと思われ、計画で示しているように他プロジェクトよりも長期的なビジョンでの推進を期待したい。

- ・ 今後、国際標準化の議論が進む中で、電動システムとしての仕様が固まつくると思われ、各実施者に十分な情報提供・共有がされることと、それらの標準化にも適合する取り組みも期待したい。

## 2. 評点結果

評価項目・評価結果	各委員の評価							評点
1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋								
(1)アウトカム達成までの道筋	A	B	B	B	B	A	B	2.3
(2)知的財産・標準化戦略	B	B	B	B	A	A	B	2.3
2. 目標及び達成状況								
(1)アウトカム目標及び達成見込み	A	B	B	B	A	A	A	2.6
(2)アウトプット目標及び達成状況	B	B	B	B	B	A	B	2.1
3. マネジメント								
(1)実施体制	B	B	B	B	A	A	A	2.4
(2)研究開発計画	A	B	B	B	B	A	B	2.3

### 《判定基準》

- A：評価基準に適合し、非常に優れている。
- B：評価基準に適合しているが、より望ましくするための改善点もある。
- C：評価基準に一部適合しておらず、改善が必要である。
- D：評価基準に適合しておらず、抜本的な改善が必要である。

(注) 評点は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算・平均して算出。

## **第2章 評価対象事業に係る資料**

## 1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「航空機用先進システム実用化プロジェクト/  
⑧次世代電動推進システム研究開発」

事業原簿

担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 航空・宇宙部
-----	---

## 更新履歴

更新日	更新内容
2024年09月20日	初版発行
2024年10月3日	資料5-1 分科会説明資料に追記収録した内容との整合性を実施し、記載を修正

# 目次

概 要 .....	1
プロジェクト用語集 .....	1
1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋 .....	1-1
1.1. 事業の位置づけ・意義 .....	1-1
1.2. アウトカム達成までの道筋 .....	1-1
1.3. 知的財産・標準化戦略 .....	1-4
2. 目標及び達成状況.....	2-1
2.1. アウトカム目標及び達成見込み.....	2-1
2.2. アウトプット目標及び達成状況.....	2-2
3. マネジメント.....	3-1
3.1. 実施体制 .....	3-1
3.2. 受益者負担の考え方 .....	3-6
3.3. 研究開発計画.....	3-6
4. 目標及び達成状況の詳細 .....	4-10
4.1. 研究開発項目⑧-1：高効率かつ高出力電動推進システム .....	4-10
4.2. 研究開発項目⑧-2：軽量蓄電池 .....	4-13
4.3. 研究開発項目⑧-3：電動ハイブリッドシステム .....	4-15
4.4. 研究開発項目⑧-4：推進用電動機制御システム.....	4-19
添付資料 .....	1
●プロジェクト基本計画 .....	1
●関連する施策や技術戦略 .....	1
●プロジェクト開始時関連資料 .....	1
●各種委員会開催リスト .....	1
●特許論文等リスト .....	3

## 概要

プロジェクト名	航空機用先進システム実用化プロジェクト/ ⑧次世代電動推進システム研究開発	プロジェクト番号	P15005
担当推進部/ プロジェクトマネー ジャーまたは担当者 及び METI 担当課	<p>&lt;プロジェクトマネージャ (PM)&gt;            嶋田 諭 (2019 年 4 月～2020 年 5 月)            白木 聖司 (2020 年 6 月～2022 年 7 月)            松木 秀男 (2022 年 8 月～現在)</p> <p>&lt;プロジェクト担当者&gt;</p> <p>林 成和 (2019 年 4 月～2020 年 2 月)            白石 貞純 (2019 年 4 月～2021 年 3 月)            阿部 憲幸 (2019 年 4 月～2021 年 9 月)            品川 貴 (2019 年 4 月～現在)            服部 元隆 (2019 年 7 月～2022 年 10 月)            金谷 明倫 (2020 年 4 月～2021 年 6 月)            白川 周 (2020 年 4 月～2022 年 3 月)            梅田 英幸 (2021 年 7 月～2023 年 7 月)            神間 辰士 (2021 年 11 月～現在)            柴田 恭平 (2022 年 7 月～2024 年 8 月)            林 慎一郎 (2023 年 7 月～現在)</p> <p>&lt;METI 担当課&gt;            製造産業局 航空機武器宇宙産業課</p>		
0. 事業の概要	<p>本事業では、航空機の安全性・環境適合性・経済性といった社会のニーズに対応した、軽量・低コストかつ安全性の高い先進的な航空機用システムの開発を目的に、次世代航空機（電動航空機）に提案可能なレベルにまで成熟させることを目指す。この事業は、我が国の航空機産業の競争力強化を目指すものである。本事業は委託による課題設定型の研究開発事業である。</p> <p>航空機用先進システム実用化プロジェクトは業界内の事業環境の変化に応じて、研究開発テーマを順次追加しながら、2015 年度から実施している。「⑧次世代電動推進システム研究開発」については、2019 年度～2023 年度の事業年度にて実施された。</p>		
1. 意義・アウトカム (社会実装) 達成までの道筋			
1.1 本事業の位置付け・意義	<p>航空機産業は、最先端の技術が適用される典型的な研究開発集約型の産業であり、また使用される部品点数が極めて多く(約 300 万点)と自動車産業以上の極めて広い裾野を持つ総合産業となっている。従ってこの業界の産業育成は我が国国際競争力の強化という側面から考えても非常に重要であると考えられる。</p> <p>その一方で、航空機の安全運航を担保するために、極限までの安全性・信頼性が求められる上に、厳しい品質管理を要求されるので、研究開発期間から製品市場投入までに 10 年単位にわたる巨額投資が参入企業に求められることも多い。このため業界内の大手企業であっても、事業化について見通しが立つ前に、複数年にわたる巨額投資を決断することは容易ではなく、国家プロジェクトによる政策目標を定めての委託事業による間接的な支援を行うことも重要な政策となっている。</p>		
1.2 アウトカム達成までの道筋	<p>本事業にて設定した研究開発テーマにて⑧-1：「高効率かつ高出力電動推進システム」と、⑧-3：「電動ハイブリッドシステム」は、2050 年の時点にて細胴機と広胴機に採用されて航空業界での一定のシェアを獲得することを目指しており、事業終了時には更に後続の委託事業が必要と考えられ、開発事業の承継が実施されている。一方、⑧-2：「軽量蓄電池」と、⑧-4：「推進用電動機制御システム」については、比較的早い 2030 年代後半から 2040 年前半において、ドローン、HAPS、eVTOL のような小型電動航空機向けに急速に市場が拡大していく可能性があり、その市場向けに速やかに参入することを念頭において事業化をすすめるこことを想定している。</p>		
1.3 知的財産・標準化戦略	<p>評価手法や標準化等を進め、開発過程において、ノウハウ秘匿に該当しないような技術は、特許出願等をして知財化を進めることとしている。潜在的な顧客となる可能性がある海外有力機体 OEM による開発計画・動向と研究開発の方向性の離隔を招かないよう、定期的な技術打ち合わせと、国際認証団体による型式承認の標準化・規格化動向に係る調査を実施している。</p>		
2. 目標及び達成状況			

2.1 アウトカム目標及び達成見込み	<p><b>【アウトカム目標】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・電動航空機市場での売上シェア達成(2050) 760 億円/年 (細胴機+広胴機)</li> <li>・eVTOL 市場での上シェア達成(2040) 1.3 兆円 (eVTOL)</li> <li>・CO2 削減の達成(2050) 37Mt/年 (細胴機+広胴機)</li> </ul> <p><b>【達成見込み】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・⑧-2 : (株) GS ユアサ : 【Li-S 蓄電池】 ドローン、HAPS、eVTOL 等の小型機向けに 2030 年頃までの事業化を目指している。</li> <li>・⑧-4 : 多摩川精機 (株) : 【eVTOL 向け空冷電動推進システム】: 国内 eVTOL メーカとの協力のもと、2030 年頃までの事業化を目指している。</li> </ul> <p><b>【後続事業】</b>のステップに移行 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・⑧-1 : 九州大学コンソ : 【超電動推進システム】 「航空機向け革新的推進システム開発事業」(P24008)にて研究開発を継続し、2050 年頃までに事業化を目指す。(事業期間 : 2024 年度 ~ 2026 年度)</li> <li>・⑧-3 : (株) I H I : 【電動ハイブリッドシステム】 「電力制御及び熱・エアマネジメントシステム技術開発」(P21030)にて研究開発を継続し、2030 年代半ばの単品、部品事業化、システム事業化を 2040 年代までに目指す。 (事業期間 : 2024 年度 ~ 2030 年度)</li> </ul>						
2.2 アウトプット目標及び達成状況	<p>本事業では、航空機用先進システムのサブスケール・プロトタイプモデルを製作し、地上ないし飛行環境下で従来のシステムよりも優れた性能・機能等を有することを実証し、<u>機体 OEM</u>に、一定の成熟度を持つシステムであることをアピールする。</p> <p>⑧-2 と⑧-4 については、2030 年代以降に客先の小型航空機への搭載が可能になることを目指し、⑧-1 と⑧-4 については、2040 年代までのシステム事業化を目指し、後続事業にて採択可能なレベルまでの技術完成度を目指した。</p> <p>それぞれの研究開発テーマの到達目標については、評価基準レベルを達成している。</p>						
3. マネジメント							
3.1 実施体制	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">プロジェクトマネージャー</td><td>林 慎一郎 : ⑧-1 松木 秀男 : ⑧-2、⑧-3、⑧-4</td></tr> <tr> <td>プロジェクトリーダー</td><td>なし</td></tr> <tr> <td>委託先</td><td> <p>⑧-1 : 高効率かつ高出力電動推進システム 委託先 : (大) 九州大学、(国研) 産業技術総合研究所、(株) 神戸製鋼所、大陽日酸(株)、FFJ 合同会社、SWCC(株) 再委託先 : 富士電機(株)、(大) 東海国立大学機構、(学法) 成蹊大学、(大) 鹿児島大学、(学法) 福岡工業大学、昭和電線ケーブルシステム(株)、三菱重工業(株)、BASF ジャパン(株)</p> <p>⑧-2 : 軽量蓄電池 委託先 : (株) GS ユアサ 再委託先 : (学法) 関西大学</p> <p>⑧-3 : 電動ハイブリッドシステム 委託先 : (株) I H I 共同実施先 : (大) 東京大学、(大) 岡山大学、(大) 秋田大学、(大) 秋田県立大学、(学法) 立命館、(学法) 大阪産業大学 再委託先 : 住友精密工業(株)、(株) 島津製作所、(株) 日立ソリューションズ、三菱電機(株)、住友精化(株)、ナブテスコ(株)</p> <p>⑧-4 : 推進用電動機制御システム 委託先 : 多摩川精機(株) 再委託先 : (大) 諏訪東京理科大学、(大) 信州大学、ゴコー電工(株)、住友精密工業(株)、SCLabAir(株)</p> </td></tr> </table>	プロジェクトマネージャー	林 慎一郎 : ⑧-1 松木 秀男 : ⑧-2、⑧-3、⑧-4	プロジェクトリーダー	なし	委託先	<p>⑧-1 : 高効率かつ高出力電動推進システム 委託先 : (大) 九州大学、(国研) 産業技術総合研究所、(株) 神戸製鋼所、大陽日酸(株)、FFJ 合同会社、SWCC(株) 再委託先 : 富士電機(株)、(大) 東海国立大学機構、(学法) 成蹊大学、(大) 鹿児島大学、(学法) 福岡工業大学、昭和電線ケーブルシステム(株)、三菱重工業(株)、BASF ジャパン(株)</p> <p>⑧-2 : 軽量蓄電池 委託先 : (株) GS ユアサ 再委託先 : (学法) 関西大学</p> <p>⑧-3 : 電動ハイブリッドシステム 委託先 : (株) I H I 共同実施先 : (大) 東京大学、(大) 岡山大学、(大) 秋田大学、(大) 秋田県立大学、(学法) 立命館、(学法) 大阪産業大学 再委託先 : 住友精密工業(株)、(株) 島津製作所、(株) 日立ソリューションズ、三菱電機(株)、住友精化(株)、ナブテスコ(株)</p> <p>⑧-4 : 推進用電動機制御システム 委託先 : 多摩川精機(株) 再委託先 : (大) 諏訪東京理科大学、(大) 信州大学、ゴコー電工(株)、住友精密工業(株)、SCLabAir(株)</p>
プロジェクトマネージャー	林 慎一郎 : ⑧-1 松木 秀男 : ⑧-2、⑧-3、⑧-4						
プロジェクトリーダー	なし						
委託先	<p>⑧-1 : 高効率かつ高出力電動推進システム 委託先 : (大) 九州大学、(国研) 産業技術総合研究所、(株) 神戸製鋼所、大陽日酸(株)、FFJ 合同会社、SWCC(株) 再委託先 : 富士電機(株)、(大) 東海国立大学機構、(学法) 成蹊大学、(大) 鹿児島大学、(学法) 福岡工業大学、昭和電線ケーブルシステム(株)、三菱重工業(株)、BASF ジャパン(株)</p> <p>⑧-2 : 軽量蓄電池 委託先 : (株) GS ユアサ 再委託先 : (学法) 関西大学</p> <p>⑧-3 : 電動ハイブリッドシステム 委託先 : (株) I H I 共同実施先 : (大) 東京大学、(大) 岡山大学、(大) 秋田大学、(大) 秋田県立大学、(学法) 立命館、(学法) 大阪産業大学 再委託先 : 住友精密工業(株)、(株) 島津製作所、(株) 日立ソリューションズ、三菱電機(株)、住友精化(株)、ナブテスコ(株)</p> <p>⑧-4 : 推進用電動機制御システム 委託先 : 多摩川精機(株) 再委託先 : (大) 諏訪東京理科大学、(大) 信州大学、ゴコー電工(株)、住友精密工業(株)、SCLabAir(株)</p>						
3.2 受益者負担の考え方	<p>受益者負担の考え方</p> <p><b>【委託事業】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>⑧-1 : 高効率かつ高出力電動推進システム</li> <li>⑧-2 : 軽量蓄電池</li> <li>⑧-3 : 電動ハイブリッドシステム</li> <li>⑧-4 : 推進用電動機制御システム</li> </ul>						

		<p>本研究開発テーマでは、次世代機体装備品の搭載サイクルとなる10年スパンでの長期視点による研究開発が必要とされており、有力な大手機体OEMである海外メーカによる開発動向の影響を大きく受けるため、民間企業単独での事業化の成否の判断が困難である。</p> <p>また、世界的なCO<sub>2</sub>ゼロエミッション対応要請と、国の政策である次世代電動航空機装備品事業の育成方針に合致する先進的研究開発を実施するため、委託事業として実施する。</p>				
	研究開発テーマ	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy	2023fy
(8)-1	委託	委託	委託	委託	委託	委託
(8)-2	委託	委託	委託	委託	委託	委託
(8)-3	-	委託	委託	委託	委託	委託
(8)-4	-	-	委託	委託	委託	委託

### 3.3 研究開発計画

事業費推移 [単位:百万円]	研究開発テーマ	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy	2023fy	総額
	(8)-1	321	793	1,090	1,503	1,455	5,162
	(8)-2	295	429	314	536	411	1,873
	(8)-3	-	230	235	368	310	982
	(8)-4	-	-	189	130	57	345
	事業費	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy	2023fy	総額
	会計（一般、特別）	616	1,452	1,828	2,292	2,233	8,421
	追加予算	0	0	0	488	0	488
	総NEDO負担額	616	1,452	1,828	2,780	2,233	8,909
情勢変化への対応	<p>本プロジェクトに関連して2019年度以降に実施された、動向・情勢の把握を目的とした情報収集事業は以下の通り。なお、調査の実施に係る費用は本プロジェクトとは別の予算から支出されている。また、各研究開発テーマに関する動向・情勢については、各委託先に把握に努めるよう指導するとともに、把握された動向・情勢への対応と併せ、事業推進委員会等で報告を行っている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・航空機装備品、電動化分野における研究開発動向調査（2020年度）</li> </ul>						
中間評価結果への対応	研究開発テーマ	開発項目	最終目標（旧） (中間評価時)	最終目標 (事業終了時)	最終目標の改定理由		
	(8)-1	航空機用超電導推進システム要素技術開発	20MWシステム開発に向けた超電導回転機、超電導ケーブル関連技術、冷却システムにおける課題と対策の明確化	(変更なし)	-		
			10分割 - 100m - 300A/cm@70K, 1.2T 歩留り > 60% >500A/cm@70K, 2.5T -100m	(変更なし)	-		
			20MWシステム用シールド基盤技術確立	(変更なし)	-		
			65Kで動作する半導体材料の開発	(変更なし)	-		
		航空機用超電導推進システム機器機能検証	250-500kWモータの改造（含再製作）を行い、飛行条件に対応する地上評価を行うことで実機搭載の実現性を評価する。	(変更なし)	-		

			0.5-1MW 超電導推進システムを製作し、基礎評価を行うことで、超電導推進システムの成立性を検証する。	(変更なし)	-
(8)-2	硫黄を担持する多孔性粒子の研究開発	500Wh/kg が目指せる硫黄正極として硫黄坦持質量割合60%超、15mAh/cm <sup>2</sup> 以上となる電極処方	500Wh/kg が目指せる硫黄正極として硫黄坦持質量割合60%超、15mAh/cm <sup>2</sup> 以上となる電極処方	硫黄炭素複合体による硫黄理論容量相当の放電容量の発現(500 Wh /kg 級の小型セルで実証)	実機にて実証するため
		硫黄の溶解を抑制する電解液の研究開発	500Wh/kg が目指せる硫黄正極(15mAh/cm <sup>2</sup> 以上)に対して、容量維持率90%以上50サイクル	電解液技術による充放電サイクル容量維持率80 %以上 100 サイクルの確認(500 Wh /kg 級の小型セルで実証)	目標高度化
		硫黄の大電流での放電性能向上する要素技術の研究開発	500Wh/kg が目指せる硫黄正極(15mAh/cm <sup>2</sup> 以上)として、2CA程度の放電	2CA での放電容量の発現(500 Wh /kg 級の小型セルで実証)	-
	リチウム金属負極の高面積容量密度下におけるサイクル寿命の向上	-	-	10 mAh /cm <sup>2</sup> 以上の面積容量密度において、Li/Li 対称セルの溶解析出試験のサイクル数が200 サイクル以上安定に作動することの実証	負極研究を追加
	500 Wh /kg 級の小型セルの実証検証	500Wh/kg 級の小型セル試作	500Wh/kg 級の小型セル試作	500Wh/kg 級の小型セル試作	-
(8)-3	蓄電システムの実証検証	蓄電池システムを試作し、航空機の電動化に適用可能であることの実証	蓄電池システムを試作し、航空機の電動化に適用可能であることの実証	400 Wh /kg 級積層セルを備える蓄電池システムのプロトタイプモデルを製作する。 上記の蓄電池システムを用いて、地上の実験室環境下で航空機の電動化への適用可能性を確認する。	TRL6 達成確認手段明確化と併せ目標の具体性を高めた
	ハイブリッド電動推進システム	実用化に向けたシステム定義の妥当性評価、および将来を見据えた中長期スパンでの技術開発ロードマップの策定を行う。	-	-	-
	電動推進電力システム	MW級電動推進を達成するエンジン内蔵発電機の電流	-	-	-

			密度及び耐電圧性に係る性能評価を完了する。		
		熱・エアマネジメントシステム	システムリグ試験を含むシミュレーションによる熱・エアマネジメントシステムの地上実証を行い、燃費改善効果を含む機能・性能評価を完了する。	-	目標としては同じだが、サブシステム(パワーエレ冷却装置、空気供給電動ターボ)の実証レベルを上げた。
			実用化に向けた燃料排熱熱交換器(FCAC)の性能図表作成を完了する。	-	-
評価に関する事項	事前評価	2015年2月	担当部：ロボット・AI部（プロジェクト立ちあげ時）		
	中間評価	2021年10月	中間評価：ロボット・AI部		
	終了時評価	2023年11月	終了時評価：航空・宇宙部		

別添

投稿論文	34件	
特許	「出願済」40件（うち国際出願8件） 特記事項：	
その他の外部発表（プレス発表等）	講演会：180件（詳細は、別紙を参照） 新聞・雑誌への投稿：12件（詳細は、別紙を参照）	
基本計画に関する事項	作成時期	・2019年3月に制定：  「⑧次世代電動推進システム研究開発」事業の記載 研究開発テーマ：⑧-1「高効率かつ高出力電動推進システム」を記載 研究開発テーマ：⑧-2「軽量蓄電池」を記載
	変更履歴	・2020年1月に改訂： 研究開発テーマ：⑧-3「電動ハイブリッドシステム」を追記 ・2020年7月に改訂 プロジェクトマネージャーの変更。 状況の変化により背景を修正。 基本計画の文書内に記載項目に中間目標の指標を追加。 ・2021年2月に改訂 研究開発テーマ：⑧-4「推進用電動機制御システム」を追記 ・2021年8月に改訂： プロジェクトマネージャーの職務範囲等変更。 ・2022年8月に改訂： プロジェクトマネージャーを変更

## プロジェクト用語集

### ⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム

用語	説明
AFRP	Aramid Fiber Reinforced Plastic (アラミド繊維強化プラスチック) の略
BaMO <sub>3</sub> (M: metal) 化合物	BaZrO <sub>3</sub> 、BaSnO <sub>3</sub> 、BaHfO <sub>3</sub> のようなペロブスカイト構造をもつ3元系の化合物。REBCO層中にこれらのBMO相を不純物(人工ピン止めセンター)としてドープすることで、通常よりも高い磁場中特性を得ることができる。PLD法の場合は、あらかじめBMOをドープした固体ターゲットで成膜することでREBCOとBMO相が協調成長し、主にナノロッド状のBMO相がREBCO層中に形成される。なお、ドープ量及び成膜プロセス条件を変化させることで、ある程度BMOの形状や密度は変化させることができる。
CFRP	FRPの一種で、Carbon Fiber Reinforced Plastic (炭素繊維強化プラスチック) の略。FRPは、2つ以上の素材を組み合わせた複合材料であり、プラスチック(樹脂)を母材とし、そこに繊維を強化材として加えることで、プラスチックの軽量、高い成形自由度に加え、繊維のもつ高剛性・高強度な特性も併せ持つことが可能となる。FRPの中でも、炭素繊維を強化材として加えたものをCFRPと呼ぶ。
FEM 解析	有限要素法(ゆうげんようそほう、英語: Finite Element Method, FEM)解析。連続な物体を有限個の「要素」に分割し、各要素の特性を単純な数学的モデルで近似し、連立方程式の形にして全体の挙動を解析する手法。
FFDS 線材	Face to face double stacked線材の略語。2枚のRE系超電導線材の超電導側をハンダ等で接続して作製される。片側の線材に欠陥があっても、安定化層を介してもう一方の線材に電流を流すことができるので、RE系超電導線の歩留まりを高めることができる。さらに、応力中心が2枚の線材の中心となるため、曲げ強度が高いという特徴も有する。
GFRP	Glass Fiber Reinforced Plastic (ガラス繊維強化プラスチック) の略
I-V 特性	電流-電圧特性。高温超電導線の場合、通電電流が小さい場合は電圧は極めて小さいが、臨界電流を越える電流が流れると、急激に電圧が発生する。
IBAD (ion-beam assisted deposition) 法	三次元的配向構造を直接形成する世界初の技術として、1991年に(株)フジクラで開発された手法。通常のイオンビームによるスパッタ蒸着法に改良を加え、アシストビームと呼ばれる第2のイオンビームを成膜中の薄膜表面に特定方位から同時照射することにより、薄膜を構成する全ての結晶粒の結晶軸を同一方向に揃えた二軸配向(結晶のa-b面(a軸とb軸)とc軸の方位を揃えた構造)。
MOD (Metal Organic Deposition) 法	有機金属酸塩を含む溶液を基板上に塗布し、これを熱処理することにより酸化物膜を成膜する方法。通常、RE系高温超電導膜の作製においては、低温で前駆体膜を作製する仮焼成、高温で前駆体膜を超電導相に結晶化させる本焼成の2段階の熱処理を施す。また、前駆体膜を本焼成に適した状態にするために、仮焼成と本焼成の間に中間熱処理を施す場合もある。前駆体膜の積層化によるRE系高温超電導膜の厚膜化が可能である。
O リング	リング形状をした気体や液体をシールするための部品
PLD (pulsed Laser Deposition) 法	物理気相蒸着法の一種であり、真空チャンバー内の固体ターゲットにパルスレーザ光を断続的に照射し、ターゲットをアブレーション(ある閾値以上のレーザ光を固体に照射した場合、固体表面で電子的、熱的、光化

	学的、力学的エネルギーに変換され、中性原子、分子、正負のイオン、ラジカル、クラスタ、電子、光子が爆発的に放出され、固体の表面がエッティングされる)することにより、ターゲットと対向して配置された基板上に薄膜を堆積する成膜技術。
RE 系高温超電導線材	化学式 $REBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ( $RE$ : 希土類元素) で表される超電導体を用いて作製した超電導線材。
SEM	走査型電子顕微鏡。試料表面(断面)の微細構造を観察できる。
TIG 溶接	タンゲステン不活性ガス溶接
UTOC (Ultra Thin Once Coating) -MOD 法	MOD 法による BMO ドープ RE 系高温超電導膜の作製に関して、前駆体膜の積層化における一層当たりの前駆体膜厚を、超薄膜化することにより BMO 相を微細化する手法。BMO 相の微細化により、磁場中特性が著しく向上する。
(モータ) ケーシング	モータを構成する固定子(コイル)を固定する容器。コイルの放熱(冷却)や外部との隔壁としての機能も兼ねる。超電導モータでは冷媒を内部に貯めて固定子を冷却する容器としての機能を有する。
スリップリング	固定側から回転側に電力や信号などを伝達する役目を果たすもの
ディップコート法	基板を溶液中に浸漬し、引き上げることにより基板上に液膜を形成する方法。
バーコート法	基板上の塗液を、バーコータ(シャフトにワイヤーを巻きつける等により表面に溝を形成した棒)で引き伸ばし、均一な膜厚の液膜を形成する方法。
バックシール TIG 溶接	バックシールとは、溶接部の裏側を窒素やアルゴンガスといった不活性ガスでシールドする事によって、溶接部の裏側が酸化するのを防ぐ方法。 TIG 溶接は Tungsten Inert Gas 溶接の略称であり、不活性ガス溶接を意味する。火花を飛び散らさず、様々な金属の溶接に対応するアーク溶接の一種。
パルスレーザのパルス長と波長	レーザの波長は、用いる媒質ごとに特有の誘導放射エネルギー $E$ があるため、 $E=h\nu$ ( $h$ : プランク定数) によってその媒質が発振できる波長は決まっている。波長が 380nm 以下を紫外光(UV: ultra violet) とよび、超電導層の成膜やレーザースクライビング加工の光源として紫外域のレーザーが多く用いられている。パルス 1 発あたりにレーザ照射が行われる時間のことをパルス長と呼び、nsec ( $10^{-9}$ sec), psec ( $10^{-12}$ sec), fsec ( $10^{-15}$ sec)などのレーザがよく用いられる。
ピン止めセンター	外部磁界を全く侵入させない(マイスナー効果)超電導体は、第 1 種超電導体と呼ばれている。これに対して第 2 種超電導体では下部臨界磁場 $H_{c1}$ を超えると一部量子化磁束が侵入した混合状態となる。この状態で外部から電流を流すと、量子化磁束はローレンツ力を受けて動こうとするが、超電導体内の格子欠陥、析出相(絶縁相、常伝導相)、不純物、転位、粒界等の不均質な部分に外部磁束が捕捉され動きが妨げられる。これをピン止め(ピン止めセンター)という。ローレンツ力よりピン止め力のほうが大きければ、磁束は動かないが、電流または磁場が増加して、ピン止め力よりローレンツ力のほうが大きくなれば、磁束が動き電圧が発生する(電気抵抗が生じる)。このローレンツ力とピン止め力が拮抗した限界の状態における単位面積当たりの電流値が臨界電流密度 $J_c$ となる。
(液体窒素) ポンプ	圧力により流体(主に液体)を送り出す(または吸い込む)ための機械。主な方式は、レシプロ式やスクリュー式の容積型と遠心式に区別される。送液したい流量と圧力差(揚程)により適した方式が選択される。
レーザースクライビング	レーザーによって溝を形成する技術。液晶パネル作製などによく使われる技術であるが、RE 系超電導線材の場合には、線材をマルチフィラメン

	ト化（超電導層まで切削して溝形成）して交流損失を低減する方法として用いる。現在は、UV 波長域のパルスレーザー(KrF エキシマレーザ, psec 固体レーザ等)を用いた加工を行なっている。
永久電流モード	超電導体で閉回路を形成すると、外部起電力がなくても定常電流を流すことができる。超電導マグネットシステムにおいて、このような超電導の閉回路を実現し、定常電流による極めて安定な静磁場を発生する運転方法を指す。通常は、コイルと永久電流スイッチを超電導接続して閉回路を形成する。
鏡板	筐体外筒の両端部に使用する半球状の部材。圧力荷重を分散させ、応力集中を防ぐために設けている。R が付くことで強度が増し、平板よりも設計上の板厚を薄くでき、筐体全体の軽量化に貢献できる。
極数	モータをシャフトに対して垂直に切った面に現れる磁極(N/S 極)の数をいう。
結晶面内・面外配向性	超電導層及び中間層等の結晶軸の揃い方の程度を示したもの。この値が小さい方が配向性が優れていると言える。基板に垂直な方向(膜厚方向、c 軸方向)への配向が面外結晶面外配向、基板の長手方向(a-b 面)の配向が結晶面内配向である。通常、REBCO 超電導層の面外配向度( $\Delta \omega$ )は、(005) または(006) 面の X 線回折ロッキングカーブ測定の半値全幅で、面内配向度( $\Delta \Phi$ )は、(103) 面の X 線極点図測定を行い、そのΦスキャンピークの半値全幅で評価することが多い。
交流損失	超電導体に交流磁場が印加されると、ピン止めされた失が発生する。これを低減するためにマルチフィラメント化が最も有効な手段であるが、フィラメント間に電気伝導がある場合には、カップリング損失が発生する。したがって、レーザスクライビング加工によってマルチフィラメント構造を構築する場合には、超電導層が分断されるだけでなくフィラメント間電気抵抗も確保する必要がある。
接続抵抗	超電導線材同士直接あるいは電極を介しての接続では接続抵抗が存在する。電極を介して接続する方が抵抗が高いが、それでも $\mu\Omega$ のオーダーであるためテスターなどで測定することはできず、大電流を印加して I-V カーブを測定し、その傾きより接続抵抗値を求めるという測定方法で求める。
断熱二重構造	2 層式の筐体構造であり、内層は超電導状態を保持するために極低温に冷却され、外層は外部からの熱侵入を低減すべく真空状態となっている。MRI や NMR など超電導電磁石において用いられる技術。
超電導磁気シールド	超電導体は磁束（外部磁場）を排除する性質を有し、特に下部臨界磁場までは完全に磁場を排除できるが、それは無限大の大きさを有する場合であり、実際に RE 系超電導線材を巻いてシールドを作製する場合には、線材間の隙間から磁束が侵入するため完全に磁場を排除するのは難しい。また下部臨界磁場以上の磁場では徐々に磁場の侵入を許すため、完全な磁場の遮蔽は難しい。
熱交換器	保有する熱エネルギーが異なる 2 つの流体間で、熱エネルギーを交換するために使用する機器。温度の高い物体から低い物体へ効率的に熱を移動させることで物体の加熱や冷却を行う目的で用いられる。
力率	電圧と電流の位相差
臨界電流	超電導体に抵抗ゼロで流すことができる電流の最大値であるが、實際にはある電界の閾値を決めて、それに達する電流値を臨界電流と定義する。記号は $I_c$ 。
臨界電流密度	臨界電流を超電導層の断面積で除した値。記号は $J_c$ 。

## ⑧-2 軽量蓄電池

用語	説明
CA	充放電レート (C レート)。電池を完全放電状態から満充電までを 1 時間で充放電する場合、C レートは 1 CA となる。
STEM-EELS	Scanning electron Transmission Electron Microscopy-Electron Energy Loss Spectroscopy 走査型透過電子顕微鏡 - 電子エネルギー損失分光法充放電過程の正極および負極粒子に対してナノメートルスケールの空間分解能で、軽元素のリチウムを含めた元素分析や結合状態を測定することで、リチウム硫黄電池の反応メカニズムを明らかにことができる。その結果からリチウム硫黄二次電池のエネルギー密度に影響を与える要因を明らかにし、要素技術開発を促進させることができる。
LiTFSI	Lithium bis(TriFluoromethaneSulfonyl)Imide 電解質塩の一種である。リチウム硫黄電池用電解液に適用することで、高い入出力特性および電池寿命が期待できる。
FEC	Fluoro Ethylene Carbonate 電解液溶媒の一種である。リチウム硫黄電池用電解液に適用することで、充放電過程において正極表面に良好な被膜を形成し、リチウム硫黄電池の電池寿命を向上させることができると期待される。
HFE	Hydro Fluoro Ether 電解液溶媒の一種である。リチウム硫黄電池用電解液に少量添加することで、充放電過程において正極表面に形成される被膜を改質し、リチウム硫黄電池の電池寿命を向上させることができると期待される。
AFM	Atomic Force Microscope 電極表面の電子伝導性を可視化することができる。この装置を用いることで、リチウム硫黄電池の入出力特性向上の要因を明らかにすることが可能となり、高出力リチウム硫黄電池の開発を促進することができる。

### ⑧-3 電動ハイブリットシステム

用語	説明
FCAC	Fuel Cooled Air Cooler, 燃料排熱熱交換器
BLI	Boundary Layer Ingestion (境界層吸込み)
MFB	Mission Fuel Burn (燃料消費量)
SFC	単位推力当たりの燃料消費率
HP 軸	高圧軸
LP 軸	低圧軸
PLECS	パワーエレクトロニクスシミュレータ
HMTB	Hybrid Multi Terminal current limit Breaker
MILS	Model In the Loop Simulation
HILS	Hardware In the Loop Simulation

## ⑧-4 推進用電動機制御システム

用語	説明
航空機の電動化	現在の航空機（ジェット機）は、化石燃料（ジェット燃料）をジェットエンジンで燃焼して推進力を得ているが、地球温暖化対策として、ジェット燃料を電気に置き換える形でエンジンの電動化、つまり電気によってエンジンの推力を得る方法が研究されている。
eVTOL（電動垂直離着陸）	eVTOL (Electric Vertical Take-Off and Landing aircraft) は、電動の垂直離着陸機(VTOL)である。主に無人の小型ドローンとして物品の配達（ドローン宅配便など）に用いられている他、人が乗り込める大型の有人 eVTOL（電動ヘリコプター、空飛ぶクルマ、有人ドローン）の開発も進められている。
空冷、強制空冷	空冷（英語：air cooling）とは、機械装置などにおける冷却法の一つであり、空気との熱交換により放熱する方法である。 空冷には、熱せられた空気が 上昇気流 となることを利用するなどして空気の入れ替えを行う「自然空冷方式」と、ファン等により積極的に（強制的に）通風させる「強制空冷式」、などといった分類がある。
小型高出力密度モータシステム	出力密度とは、モータ出力を質量で除した単位質量当たり出力（Power Weight Ratio）であり、モータの小型の度合いを示す値である。航空機用途にはこの値が小さいことが望ましく、高出力化、軽量化を目指した設計がなされる。
飛行プロファイル	機体の運用方法を考慮して飛行フェーズを設け、各フェーズ毎のモータ特性をモデル化したもの。通常、eVTOL では、①垂直上昇⇒②前進上昇⇒③水平巡航⇒④前進下降⇒⑤垂直加工⇒⑥ホバリングが代表的な飛行プロファイルであるが、厳しい条件としてトランジエント負荷を加える場合もある
マルチフィジックス（連成）解析	マルチフィジックスは、複数の物理モデルや複数の同時発生する物理現象を含むシミュレーションを扱う計算機科学の一分野である。マルチフィジックスでは一般的に多分野における偏微分方程式を連立した系統を解いている。 多くの物理シミュレーションは結合系を含んでおり、例えば電磁気学の電場と磁場、音波の圧力と速度、量子力学の波動方程式における実部と虚部などがある。モータの場合は、電磁気や熱流体や構造や振動音響など、多くの物理分野に複雑な物理現象が絡んでいる。
多目的最適設計	多目的最適化とは複数の目的変数を最適化する手法であり、反対に一つの目的変数を最適化する手法は单目的最適化と呼ばれる。 例として、ある製品の性能 1 を上げると、逆にその分、性能 2 下がってしまうというトレードオフの問題があったとすれば、この時、性能 1 と性能 2 がちょうどいい具合になるように最適化するのが多目的最適化となる。 設計においては、設計条件を変更して複数回解析を行い、優位な解（パレート解）を表したパレート図を作成する。この中から、重みづけした目的変数により目指したいバランスの取れた最適解を求める。
多目的多分野最適化設計	マルチフィジックス解析と多目的性能解析を組合わせ、総合的に最適解を求める解析手法を指す。
最適設計 CAE プラットホーム	多目的多分野最適設計を行う際に使用する、異なる分野に使用する複数の解析ソフトを同一の計算機環境に統合したうえでデータを自動的に引き渡し、性能評価機能を連携し、総合的な最適解を求めるためのシステムを指す。
ハルバッハ IPM	ロータコアの中にマグネットを埋め込む IPM(Interior Permanent Magnet) 方式かつ、主極マグネットと補極マグネットの 2 種類のマグネットを埋め込むハルバッハ配列を組合せたロータ方式のことを示す。 単に IPM 方式、ハルバッハ配列を適用したモータに比べ出力が高く、ま

	たマグネットの飛散防止に効果のある構造である。
熱流体解析	気体や液体の流れを可視化し、流速・圧力・温度分布などの変化を解析する技術のことである。従来行っていた伝熱解析では、放熱部を熱伝達係数(W/m <sup>2</sup> K)を用いて近似していたが、熱流体解析により正確な解析が可能となり、開発期間の短縮、試作や試験コストの削減、実測が困難な挙動の計算が可能となる
高密度巻線	モータステータのスロット内にコイルを高占積率で配置するための技術。コイルエンドのサイズも検討に含まれる。高密度巻線により、小型化、軽量化、低抵抗化（低損失）が期待できる。
交流銅損	ロータマグネットからの磁束がコイルと鎖交し、コイルの内部で発生する渦電流損失を示す。高密度化によりコイルが太くなるにつれ損失が増加する傾向がある。
磁性テープ	コイルの透磁率よりも大きく、ステータの電磁鋼板よりも低い透磁率を有している磁性コンポジット材をテープ状に加工したもので、コイルに巻き付けることでコイルへの磁束の侵入を防ぐことができる。これにより交流損失の低減が見込まれる。
磁性くさび	磁性テープの材料と同様な磁性コンポジット材をステータのスロット開口部を塞ぐ形で配置するものである。これにより、空間高調波によって発生するロータ側の損失低減が見込まれる。
絶縁型高熱伝導材料	エポキシ基材に高い熱伝導率を持つ絶縁性の添加物（フィラー）を高濃度で含ませることで、従来より高い熱伝導率をもつモルド材を指す。
ポッティングシステム工法	高濃度のフィラーを含むモルド材は流動性が悪く、高圧で充填する必要があったためモータへ適用するには磁歪などの影響があった。本研究では、予めフィラーを被モルド部に封入後、エポキシ材を入れ硬化することでモータへの高熱伝導材の適用を可能とし、ポッティングシステムと呼称する。
高帯域・高効率インバータ	インバータとは直流電力(DC)を交流電力(AC)に変換する装置である。特にモータ制御の分野では磁極の位置に適した交流電力を供給する必要があるが、交流の周波数帯域が高くなるにつれ制御遅れなどによる効率低下は避けられない傾向にある。また、直流を交流に変換するためにはパワー半導体を PWM スイッチング制御する手法が一般的であり、半導体の種類や PWM 制御手法などが損失低減のポイントである。つまり「高帯域・高効率インバータ」とは従来のインバータよりも高い周波数帯域まで、さらに効率よくインバータ制御をする装置であることを表す。
SiCパワーデバイス	"SiC"とは、シリコン(Si)に比べて優れた物性を持つ半導体材料で、高い耐圧性、低いスイッチング損失、そして高い動作温度が特徴である。そのため、特に高効率が求められるパワーエレクトロニクス分野で注目されている。 SiCを使用したパワーデバイスを「SiC パワーデバイス」と呼び、インバータや電源供給回路、モータードライブシステムなどで小型化や高効率化など可能である。
航空機搭載の電子機器 ハードウェア開発プロセス規格	SAEより発行されている ARP4754B (Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems) という文書であり、航空機及び航空機の機能を実装するシステムの開発サイクルを定義している文書である。
SAE	SAE (Society of Automotive Engineers) は、アメリカ自動車技術者協会を意味する略語であり、陸上輸送機器や航空宇宙機器の分野で適用される工業規格を発行している。
電動航空機関連技術委員会	SAE内の航空宇宙協議会(Aerospace Council)で ELECTRIC AIRCRAFT STEERING GROUP 主導により電動航空機及び航空機電動化を協議する委員会(Committee)
E-40	SAE内の航空宇宙協議会(Aerospace Council)の”Electrified

	Propulsion”を協議する委員会 (Committee)
AE-7	SAE 内の航空宇宙協議会 (Aerospace Council) の” Aerospace Electrical Power & Equipment”を協議する委員会 (Committee)
ASTM F3338-21	民間機用電気エンジンの設計に関する標準仕様であり、FAR Part33 を電動に置き換えたものである。
MOC	MOC (Means of Compliance) は適合証明方法を示すものであり、FAA があらかじめ定めた手法、民間コンセンサス規格によって策定された、そして、これ以外の上記以外の組織によってカスタムされた手法がある。
安全性・信頼性解析	SAE より発行されている ARP4761B (Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne System and Equipment) という文書に基づく解析手法であり、安全性解析はこの文書で規定されるシステム安全評価 (SSA: System Safety Assessment) に、信頼性解析は故障影響解析 (FMES : Failure Modes and Effects Summary) に基づいている。
適合性証明計画書	適合性証明計画 (Certification plan) は、型式証明または装備品認証を行う上で航空局の審査を受けるために提出する文書
開発計画書 認証計画書	ARP4754B (Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems) に基づいて実行するプロセスとそれを実現する手段や手法を記述した文書
予兆検出システム	機体寿命の考え方には、HUMS(Health and Usage Monitoring System)がある。つまり、機体構造材の各所にセンサを取り付け、飛行の際にかかる負荷データを収集・記録する。そのデータを地上のコンピュータに取り込んで管理することで、より精確な構造管理・寿命管理を行えるという仕組みである。 今回の研究で、AE センサを用いてモータの故障予兆を検出するシステムを検討し、予兆検出システムと故障した。
MT 法	MT 法 (Maharanobis-Taguchi System) 正常なデータ自身が偏りを持ってばらついている場合、バラつき方が異なるデータを多変数の相間を考慮した統計的距離(マハラノビス距離)を用いて検知する方法である。この方法によりアラームも出ない初期段階でトラブルの予兆を検知できる。
MD 値	MD 値(Maharanobis Distance) マハラノビス距離 マハラノビス距離とは、多変数間の相関関係を取り入れて、既知のサンプルとの関係を明らかにする距離を指す。
AE 波	AE 波 (Acoustic Emission) 音響弹性波 固体が変形あるいは破壊する際に、それまで固体内部に蓄えられていた男性エネルギーが AE 波となって周囲に放出される。AE 波は超音波領域(数 kHz～数 MHz)へ広帯域に発生する。
AE センサ	AE 波に反応して電気信号を出力するセンサ。
モデルベースデザイン	コンピュータ上に開発対象、例えば制御則などをモデル化し、開発と検証を行う手法のことである。設計の段階からモデルを用いて設計し、それをシミュレーションすることにより設計の正しさを早い段階から検証できることにより、効率的な設計に有効とされている。加えて、近年ではモデルから実際の制御機器に実装する制御プログラムのソースコードを自動的に生成することにより、誤りのないソースコード開発ができる上でさらに効率を上げている。
認証	民間航空機及び搭載される装備品を開発する際には、航空機の安全性を保証した設計が必要となる。認証とは、航空機が安全に設計、製造されたかを当局が検査し、承認する行為である。当局とは、日本では国土交通省航空局であり、米国では FAA、欧州では EASA である。
装備品認証	装備品認証とは、認証の中で、民間航空機に搭載される装備品が安全に設計、製造されたかを当局が検査し、承認する行為である。一般的に、

	装備品認証を取得するためには、米国の SAE International が制定した ARP4754B に適合する必要がある。
ソフトウェア認証	ソフトウェア認証とは、認証の中で、民間航空機に搭載されるソフトウェアが安全に設計、製造されたかを当局が検査し、承認する行為である。一般的に、ソフトウェア認証を取得するためには、米国の RTCA が制定した DO-178C に適合する必要がある。
DO-331	米国の RTCA が制定したガイドラインであり、民間航空機に搭載されるソフトウェアの開発にモデルベースデザインを適用した際に、DO-178C に加えて適合が求められるものである。
MILS (Model In the Loop Simulation)	モデルを用いて設計をする際に、設計の正しさを評価するために実施するシミュレーションのことである。設計されたモデルを実際に実行させることにより、設計内容が要求を満足した振る舞いになっているかどうかを確認することができる。これは、モデルベースデザインの特徴の一つであり、多くのモデリングツールはこの機能を備えている。
SILS (Software In the Loop Simulation)	モデルからソースコードを自動生成し、そのソースコードを用いてシミュレーションを実施することである。ソースコードが意図した振る舞いをするかどうかを確認することが目的であり、MILS と同じ振る舞いをすることを確認することにより、モデルとソースコードの等価性を確認することができる。いくつかのモデリングツールでは、MILS と SILS を同時に動作させて、その出力結果が同じであることを自動的に比較する機能を備えている。
PILS ( Processor In the Loop Simulation)	モデルからソースコードを自動生成し、そのソースコードをコンパイル、リンクして実機環境でシミュレーションを実施することである。実機環境においても意図した振る舞いをするかどうかを確認することが目的である。一部のモデリングツールでは、実機上での確認のため、これをシミュレーションと呼ばず、テストと呼んでいるものもある。
カバレッジ検証	シミュレーションやテストの十分性を評価するための指標の一つであり、シミュレーションやテストによって、モデルやソースコードがどれだけ実行されたかを検証するものである。カバレッジの指標としては、全てのソースコードが実行されたことを検証するステートメントカバレッジなどがある。
プロトタイプ	本研究で実施した詳細設計で製造した供試体。
TRL 6	TRL (Technology Readiness Level、技術成熟度レベル) とは、いかに技術が成熟しているかを示すもので、開発中の技術が実際に運用される飛行機へと搭載可能なレベルにどれだけ近いかを表す指標である。本研究では TRL6 の到達を確認した。TRL6 とは地上でのシステムとしての技術成立の確認完了を意味する。
DO-160	DO-160 は、RTCA として知られる業界団体が発行した規格である。DO-160 は環境と EMC の両方の要素を含む
高機能テストベンチ	モータ評価用負荷装置であり、同時に電気性能（電流、電圧）、機会性能（トルク、回転数）、温度、振動を一元的に取得評価できるテストベンチを指す。また、可搬性があり環境試験場に持ち込んで環境下での負荷試験が可能である。

# 1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

## 1.1. 事業の位置づけ・意義

### ＜政策的な重要性＞

航空機産業は、最先端の技術が適用される典型的な研究開発集約型の産業であり、また使用される部品点数が極めて多く（約300万点）自動車産業以上の極めて広い裾野を持つ総合産業となっているが、この業界では売り上げ金額の大きいボリュームゾーンである民間航空機については、欧米の機体OEM（2強）を中心として業界が構成されており、さらに機体に搭載するジェット・エンジンについても欧米の有力なエンジン・メーカー（3強）が市場を押えているため、それ以外の航空機部品メーカーは、機体OEMとエンジン・メーカーへのモジュール納入、個別部品の下請けメーカーの位置づけになっている。これらの他にも「航空機の装備品」というセグメントの売り上げがあり機体OEMからモジュール製作の依頼を受けた「機体主要システムTier-1メーカー」に部品を納入するビジネスモデルとなっている。

この業界では、機体OEMとエンジン・メーカーを育成することが我が国の国際競争力の強化という側面から考えても非常に重要であると考えられる。

その一方で、航空機の安全運航を担保するために、極限までの安全性・信頼性が求められる上に、厳しい品質管理を要求されるので、研究開発期間から製品市場投入までに10年単位にわたる巨額投資が参入企業に求められることも多い。このため業界内の大手企業であっても、事業化について見通しが立つ前に、複数年にわたる巨額投資を決断することは容易ではなく、国家プロジェクトによる政策目標を定めての委託事業による間接的な支援を行うことも重要な政策となっている。産業界を取り巻くビジネス環境の変化要因としては、IATAの将来予測（2019年/Global Outlook for Transport）によると、世界の旅客需要は今後も大幅に拡大し、今後20年間に約2倍になるものと想定されていることを考慮すべきであり、同時にCO<sub>2</sub>排出量の大幅な削減により、2050年までに航空機運航時のCO<sub>2</sub>排出量を実質的にゼロにする（ネットゼロ）の実現についてもIATA/ICAOから要請されている。（2021年/ Our Commitment to Fly Net Zero by 2050, 2022年第41回ICAO総会）

そのため、これらのビジネス環境の変化に対応した次世代航空機の推進システムを日本国内において開発し、機体OEM・機体主要システムのTier-1に日本国内生産の製品が採用されていくような仕組みを構築しておく必要がある。

また、我が国においては、本事業は以下のような国家的な施策及び技術戦略マップにおいて、必要なプロジェクトとして位置付けられている。

#### （1）経済産業省が策定した産業構造ビジョン2010（2010年6月）：

経済産業省が策定した産業構造ビジョン2010において、2020年に航空機産業の売上高2兆円（2014年の約2倍）、2030年に売上高3兆円（2014年の約3倍）を達成することを目指すとしている。そして、具体的な施策として、航空機システムを含めたモジュール単位での設計・開発を行うと記載されている。

#### （2）経済産業省とボーイング社との技術協力合意（2019年1月）：

経済産業省とボーイング社は、新たな技術分野（「電動化」、「低コスト高レートな複合材」、「製造自動化」）における協力強化に合意している。

#### （3）経済産業省と仏航空総局とのMOC締結（2019年6月）：

日本の航空機産業と仏サフラン社との民間航空機産業における協力強化を合意した。

経済産業省とサフラン社は、「電動化、新しい推進システム、AI 等の革新的技術」、「材料、航空機システム及び機器、製造」、「日本を含むアジアにおけるサプライチェーン構築」の分野で協力に合意している。

(4) カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（2020 年 12 月）：

経済産業省が策定した「成長が期待される産業（14 分野）」について「実行計画」を策定した。航空機産業についての取り組みとしては、複合材、電動化、水素や代替燃料などの複数の要素における技術的優位性の確立を目指としている。

＜我が国の状況＞

2050 年時点において、航空機運航時に CO<sub>2</sub> 排出を実質ゼロとする「ネットゼロ」を実現することは、日本政府による国際社会への公約となっている。このような厳しい CO<sub>2</sub> 排出規制に適合していくためには、まずは、従来燃料から代替燃料である SAF、水素、アンモニアによるエンジン燃焼系の研究開発がもっとも優先的な開発テーマとなっている。

このようなエンジン燃焼系の研究開発として、JAXA では 2030～50 年代の実用化を目指して、CO<sub>2</sub> や窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>) など温室効果ガスの排出を少なくし、環境に優しいエミッショントリーアクションフリー航空機の研究を推進している。

しかし、航空機エンジン開発に大きな影響を与えるエンジン燃焼系の新規技術開発では、海外規制当局による製品型式認証(TC)を取得するという大きな障壁を乗り越える必要があり、機体 OEM および航空機エンジンメーカに採用されるまでの道のりは、かなり険しいと考えられている。

一方、自動車、及び産業インフラ関係にて量産化した実績があり、日本が世界に先行する省エネ技術 ---ハイブリッドモータ技術、高性能インバータや、これから実用化が期待される超電導モータ技術をより進化させて、航空機エンジンにて発生したエネルギーを効率良く運用する電動推進システム関係の技術は、日本の企業・大学が世界をリードしていると考えられる。また、2050 年に向けての航空機電動推進システムの中核技術となる可能性のある 1MW 級を超える大型電動機の型式認証試験を受けるために高高度環境を模擬できる大規模な試験センター(例：S-Bird)等を産業拠点(産業クラスター)向けに企業による事業化に先行して整備していくことも、航空機業界の国際競争力の強化につながると考えており、この方面での政策的支援も必要である。

本事業にて取り上げた研究開発テーマを支援することにより、これまで国外の航空機システムメーカの下請けに甘んじていた日本の航空機システムメーカが、航空機システム市場に本格的に参入する機会を作り出すことができる。

＜世界の取組状況＞

欧州では研究開発・イノベーション枠組プログラム：Horizon2020（実施期間：2014 年～2020 年）による航空宇宙研究プロジェクト：「Clean Sky2」にて、環境に優しい航空技術の基盤の構築やこの分野での欧州の競争力の向上に取り組んでいた。この後継プログラムとして Horizon Europe(実施期間：2021～2027 年)と航空宇宙研究関係プロジェクト：「Clean Sky3/Clean Aviation」がアナウンスされ、担当する事業者公募も選定された。

欧州では、この新しい後継プログラムにより次世代航空機からの CO<sub>2</sub> 排出量従来比にて 80%以上削減を実現するために、水素航空機、電動ハイブリッド航空機、燃料電池開発、破壊的イノベーションによる航空機業界内での技術優位性の獲得を目指している。また米国では FAA が 2021 年 11 年に公表した 2021 Aviation Climate Action Planにおいて、2050 年までに航空業界の GHG(温室効果ガス)排出量をネットゼロとする目標が掲げられ、SAF については、「SAF Ground

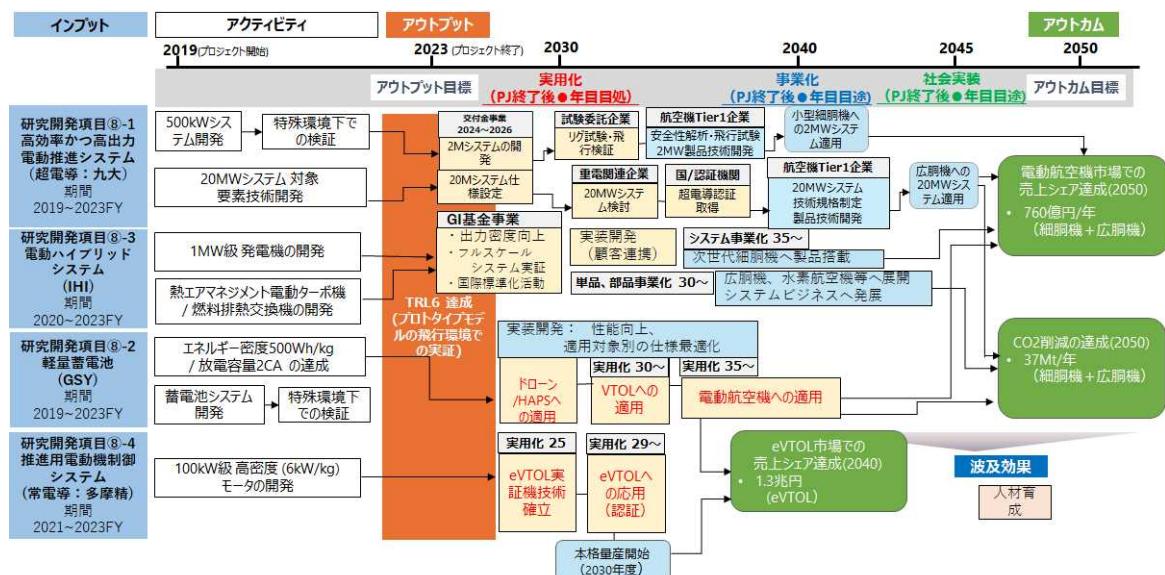
Challenge」を推進するとしている。(Ground Challenge は NITRD による米国政府への政策提言となる) 電動ハイブリッド推進システムについては、NASA Glenn Research Center が Electrified aircraft propulsion や Hybrid Electric propulsion の研究を推進、ハイブリッド熱効率コア (HyTEC) プロジェクトに GE エアロスペースが研究協力する枠組みにて研究開発が進められている。また、航空機産業では空飛ぶクルマのような小さな航空機から大型旅客機までの「電動化」が大きな技術開発テーマとなっており、世界中で電動化に関する研究開発が急激に増加している。そのような状況において、我が国の企業や大学におけるバッテリーやモータ、インバータ等の電動化コア技術は、欧米の機体 OEM より多数アプローチを受けている状況にある。本事業を通じて航空機用先進システムを開発することにより、これまで国外の航空機システムメーカーの下請けに甘んじていた我が国の航空機システムメーカーも、航空機システム市場に本格的に参入する機会を作り出すことができる。

#### <本事業のねらい>

本事業の最終採択テーマ(国プロ⑧)の「電導推進システム」では、2030 年代半ばから本格的に技術採用・事業化が急速に拡大すると考えられている大型旅客機(広胴機/細胴機)向けと、2030 年前半から市場投入が期待される小型航空機(大型ドローン、eVTOL、HAPS、エアタクシー etc.)向けの電動推進システムの両方向での委託事業を推進している。委託先からの事業化スケジュール提案が、国の政策・開発目標スケジュールと整合するように調整しながら、外部有識者の助言に従って必要な研究開発支援を、後継事業にて引き続き実施する。

#### 1.2. アウトカム達成までの道筋

本事業にて設定した研究開発テーマの⑧-1：「高効率かつ高出力電動推進システム」と、⑧-3：「電動ハイブリッドシステム」は、2050 年の時点で細胴機と広胴機に採用されて航空業界での一定のシェアを獲得することを目指しており、現時点では更に後続の委託事業が必要と考えている。一方、⑧-2：「軽量蓄電池」と、⑧-4：「推進用電動機制御システム」については、比較的早い 2030 年代後半から 2040 年前半において、ドローン、HAPS、eVTOL のような小型電動航空機向けに急速に市場が拡大していく可能性があり、その市場向けに速やかに参入することを念頭において事業化することを想定している。



アウトカム達成に向けてのロードマップ

### 1.3. 知的財産・標準化戦略

本事業では、長期的な視点に立っての研究開発期間を必要とするものと、比較的早い2030年代後半から2040年前半において市場投入し、その製品技術をより進化させる過程にて上位系の大型システムにステップアップしていく技術開発の方法を対象として進める事業である。

開発過程において、特許化して保護すべきもの、ノウハウ秘匿とするもの、積極的に情報公開して、評価手法や標準化を進め、企業参入者を増やして当該の産業分野の活性化を図る戦略に振り分けして、効率的な知財管理を進めることとしている。

#### 【知財管理】

##### ① 特許技術および、特許化しない技術の棲み分けの考え方

(オープン戦略)

- 「機体システム構想」については、オープン戦略により、機体メーカやエンジンメーカ、システムメーカが有する構想とのすり合わせを積極的に行うことにより、他国他社に先駆けて事業化の機会を得るものとする。

(クローズ戦略)

- 「材料、構造、工法」については、その知的財産権の侵害を発見・証明することが困難であることから、知財委員会等で個別に取得すべきとの判断のない限りにおいて、ノウハウとして公開しない。

(標準化への対応)

- 標準化については、認証に係る規格、規準、ガイドライン等の制定を行う国際的な機関であるSAE Internationalのコミッティ活動への参加を考慮する。

##### ② NEDOプロジェクトにおける知財マネジメントの枠組み

NEDOプロジェクトでの知的財産管理については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、委託事業の場合は、全て委託先に帰属させることとしている。

これは「日本版バイ・ドール条項（産業競争力強化法第17条）」の定めによるものであるが、一方では、国からの競争的資金提供により得られた知財なので、特許を取得した委託先がすべての知的財産を抱え込まずに、同じく国からの競争的資金提供により技術開発しているプロジェクト、国が産業育成を図っている産業分野に対して、委託先が知財提供できる範囲と秘匿しておきたいノウハウの範囲に分けて、委託先が管理するための枠組み作りを依頼する取り組みをしている。

(知財委員会の設置)

プロジェクト名	知財委員会(機能)	管理対象
⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム	知財管理委員会	<ul style="list-style-type: none"><li>届け出を受けた成果とプロジェクトとの関連</li><li>本プロジェクトの成果の出願による権利化または秘匿期間の選択</li><li>出願による権利化を行う場合における出願対象国</li><li>秘匿する場合における秘匿期間等</li></ul>
⑧-2 軽量蓄電池	GSユアサ 研究開発センター 戰略企画室	<ul style="list-style-type: none"><li>本プロジェクトにおける成果の公表</li><li>知的財産権の取扱い</li></ul>
⑧-3 電動ハイブリッド	知財運営委員会	<ul style="list-style-type: none"><li>本プロジェクトにおける成果の公表</li><li>知的財産権の取扱い</li></ul>
⑧-4 推進用電動機制御システム	知財運営委員会	<ul style="list-style-type: none"><li>本プロジェクトにおける成果の公表</li><li>知的財産権の取扱い</li></ul>

(知財合意書で規定)

・秘密保持	・本プロジェクト成果の知的財産権の帰属
・共有するフォアグラウンドIPの取扱い	・プロジェクト参加者間での知的財産権の実施許諾等

## 2. 目標及び達成状況

### 2.1. アウトカム目標及び達成見込み

本事業で設定しているアウトカム目標は以下のとおり。

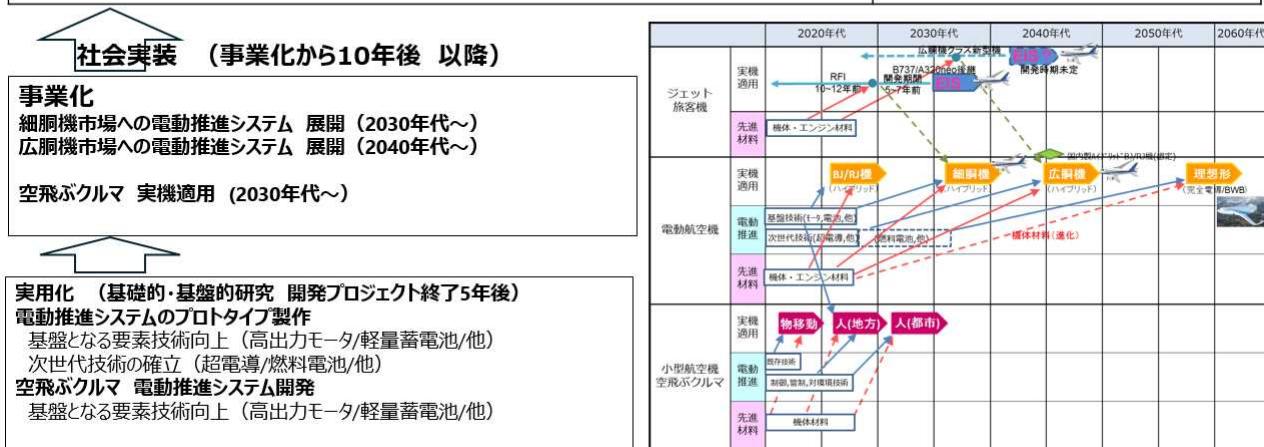
#### <アウトカム目標>

- ・電動航空機市場での売上シェア達成(2050) 760 億円/年 (細胴機+広胴機)
- ・eVTOL 市場での上シェア達成(2040) 1.3 兆円 (eVTOL)
- ・CO<sub>2</sub>削減の達成(2050) 37Mt/年 (細胴機+広胴機)

今回の評価対象となる事業「航空機用先進システム実用化プロジェクト/国プロ：⑧-1～⑧-4」のうち⑧-1と⑧-2については引き続き委託開発事業にて研究開発を継続し、2050年頃までの広胴機および細胴機向けの電動推進システムに採用されるように事業化を目指す。

⑧-3と⑧-4については、2030年代以降に市場が急拡大すると想定されている大型ドローン、eVTOL、小型機向けの電動推進システムにて採用されることを目指す。

アウトカム目標		根拠
電動航空機市場での売上シェア達成(2050)： 760億円/年 (細胴機+広胴機)		航空機分野の技術戦略
eVTOL市場での売上シェア達成(2040)： 1.3兆円 (eVTOL)		同上
CO <sub>2</sub> 削減の達成(2050)： 37Mt/年 (細胴機+広胴機)		同上



#### <達成見込み>

国プロ⑧：【評価対象事業】（実施期間：2019年度～2023年度）

【事業化】のステップに移行する研究テーマ：

- ・⑧-2：（株）GSユアサ：【Li-S蓄電池】

ドローン、HAPS、eVTOL等の小型機向けに2030年頃までの事業化を目指している。

- ・⑧-4：多摩川精機（株）：【eVTOL向け空冷電動推進システム】：

国内eVTOLメーカーとの協力のもと、2030年頃までの事業化を目指している。

【後続事業】のステップに移行する研究テーマ：

- ・⑧-1：九州大学コンソ：【超電動推進システム】

後続事業（交付金）：航空機向け革新的推進システム開発事業(P24008)にて研究開発を継続し、2050年頃までに事業化を目指す。（事業期間：2024年度～2026年度）

- ・⑧-3：（株）IHI：【電動ハイブリッドシステム】

後続事業（GI 基金）：電力制御及び熱・エアマネジメントシステム技術開発（P21030）にて研究開発を継続し、2050 年頃までに事業化を目指す。（事業期間：2024 年度～2025 年度）

## 2.2. アウトプット目標及び達成状況

本事業で設定しているアウトプット目標は以下のとおり。

### ＜アウトプット目標＞

本事業では、航空機用先進システムのプロトタイプモデルを製作し、地上試験および高高度飛行環境を模擬した特殊試験にて従来のシステムよりも優れた性能・機能等を有することを実証する。この目標を達成するにより、国内外の航空機メーカーに一定の成熟度を持つシステムであることをアピールし、次世代航空機への電導推進技術として機体 OEM への提案が可能となることを目指す。

当該目標を達成するために、

- ⑧-1 「高効率かつ高出力電動推進システム」
- ⑧-2 「軽量蓄電池」
- ⑧-3 「電動ハイブリッドシステム」
- ⑧-4 「推進用電動機制御システム」

の 4 テーマによる研究開発テーマを設定し、各々以下の目標達成を目指すようにした。

### ⑧-1 「高効率かつ高出力電動推進システム」

本研究では、超電導技術を活用し、小型・軽量、高効率・低エミッションの航空機用電気推進システムを開発する。500 kW 級全超電導モータ、1 MW 級の超電導推進システムの試作・特性評価を介し、超電導発電機・ケーブル・モータ、低温動作インバータ、冷却システム等、個々の構成機器の基盤研究とこれらのシステム化研究を行い、現行のジェットエンジンと同等以上の高出力密度を持つ 100-200 人乗り航空機の電気推進システムの開発を目指して、研究コンソーシアム体制を組み、電動航空機用の高効率かつ高出力密度を有する超電導技術を適用した 500kW 級超電導モータ推進システムの試作と評価を行い、TRL6（※1）の達成を目指した。

超電導技術は、すでに超電導発電システムや、医療用 MRI の外部強磁界発生の超電導コイルに使用されている。またリニア新幹線にも使用されているが、民間航空機を想定して、高高度上空の条件下での運転を目指し、かつ落雷による超電導状態（マイスナー効果）の破壊から、すぐに超電導状態への復帰が期待出来る高温超電導（液体窒素温度：65K）線材である REBCO 系（銅酸化物系）を使用した全超電導モータ（永久磁石を使用しない）の開発事例は、極めて少ない。この全超電導モータのステータ側（外側）界磁磁界は三相交流磁界であり、ロータ側の超電導電磁石（内側）には直流の超電導電流を使用している。このため産業界にて使用されている三相同期モータと同等の構成となり、高い速度応答性が期待出来る。

研究開発項目	最終目標（2024 年 3 月）	根拠
1. 基盤技術開発		
①基盤技術開発	・基盤技術の確立	・小型機及びリージョナルジェットの出力に相当し適用対象が存在する規模の出力を設定
②超電動ケーブル	・システム開発に向けた課題と対策の明確化	・20MW は単通路機からスケールアップした広胴機にいたるまでの広く航空機一般の出力を想定して、その基盤技術として設定し、次事業に反映
③冷却システム		
④超電動線材	・長尺線材の基盤技術確立 ・システム用シールドの基盤技術確立	・各デバイスを経由した後の温度の上昇影響より、界磁コイルは、65K よりも高温の 70K で検証。 ・電機子コイルでは、交流損失を低減するため、特性確保の安定性確保より、工業的な成立性が見込める歩留まりを検証。 ・シールド技術は、スケールアップに対応した技術レベルを検証し、次事業に反映
⑤低温動作半導体	・65K で動作する半導体素子	・低温で大電流対応のインバータが必要のため、材料探索を行い、半導体の素子化を

	の開発	検証
2. システム検証		
① 500kW 級モータ地上検証	・200~500kW モータの航空対応条件に対する地上試験	・冷媒の熱交換による冷却システムを使用し、全超電導回転機の回転試験にて短絡、解放試験を実施し、回転数と出力を検証。
②500kW 級モータ特殊試験	・上空環境（低温・低圧）下での、超電動モータの作動評価	・航空機搭載環境に対応した性能が求められることから、プロジェクト後の飛行試験に繋げるために、地上で行える特殊な環境下での評価を実施。電流波形に異常のないこと確認
3. 搭載上の技術課題と対策の検討		
①基盤技術開発搭載対象機材規模と求められる超電動モータの性能諸元	・搭載機体サイズと装備可能容量から定まる性能諸元を決定	・電動航空機の開発 Competitor 製品との比較において、優位となる超電導モータの性能諸元の仮設定から、次事業への課題と対策を整理

### ⑧-2：軽量蓄電池：

本研究では、2030年においてセル単位でエネルギー密度 1000Wh/kg 以上、出力密度 1500W/kg 以上の製品が蓄電池メーカーに要求されるとの市場予測をもとに、その性能を満足できるセルや電池制御システムの設計、プロトタイプの評価を行い、電動航空機に求められる 400 Wh/kg 級の積層セル/CMU/BMU の設計と蓄電池システムの試作を行う。蓄電池システムとして TRL6 (※1) の達成を目指した。

電動航空機用蓄電池システムに求められる性能を把握し、その特性を満たす、最有力の候補である「リチウム硫黄電池(LiS)」の硫黄正極の性能改善に関する研究開発を行う。得られた研究開発成果をもとに、実際に小型セルのプロトタイプモデルを試作し、電動航空機への適用の可能性について、実機、もしくは実機相当の地上試験を行った。さらに、大型電動航空機への適用を目指して、硫黄正極電池の高率放電性能の向上を目指した。

研究開発項目	最終目標 (2024 年 3 月)	根拠
1. 硫黄炭素複合体による理論値相当の放電容量発現	セル・エネルギー密度 500 Wh/kg 以上	正極の硫黄担持率の高め理論値に近い放電容量を発現することで達成できる、従来リチウムイオン電池を大きく凌いで電動推進に貢献し得る質量エネルギー密度目標として設定
2. 電解液技術による充放電サイクル容量維持率向上	容量維持率 80%以上-100 サイクル(*)	実機搭載可能性を検討できる基本的なサイクル性能（電池寿命）として設定 *: 中間評価後に目標を高度化（容量 90%以上 50 サイクル→容量 80%以上 100 サイクル）
③放電レート	2CA 放電容量発現（0.1C 容量の 80%以上を発現）	細胞機の電動化に際して、搭載可能な蓄電池に求められる充放電最大電流として設定
④リチウム金属負極の高面積容量密度下におけるサイクル寿命の向上	10 mAh/cm <sup>2</sup> 以上の面積容量密度 200 サイクル以上 安定作動	Li 金属負極におけるデンドライト抑制対策の効果確認のため、Li/Li 対称セル試験の安定動作サイクル数として設定 中間評価後、負極研究を追加
⑤500 Wh/kg 級の小型セルの実証検証	積層セルのエネルギー密度 500 Wh/kg 以上	①で設定した質量エネルギー密度発現を、積層セルにて検証する目標を設定
⑥蓄電池システムの実証検証	400 Wh/kg 級積層セルを備える蓄電池システムのプロトタイプモデル試作 ・機能確認環境/安全試験合格 (D0-160/D0-311)	航空機搭載に必要な、蓄電池システムとしての軽量化と環境安全性能基準適合を検証する目標を設定 中間評価後、TRL6 達成確認手段明確化と併せ目標の具体性を高めた

### ⑧-3：電動ハイブリッドシステム：

次世代電動推進システムを将来航空機に導入する際の課題としての小型・軽量化に着目し、導入段階で課題となる高空での高電圧利用を可能とする材料、構造を明らかにする。また発展性のある優れた制御性能を有し軽量・コンパクトな革新的原動機としてのハイブリッド推進システムを実現する電力制御および熱・エアマネジメントを実用化する必要があるため、電動ハイブリッド航空機の実現に向けた電力制御及び熱・エアマネジメントシステムを中心とした次世代電動推進システムについて、その実用化で解決すべき課題に取り組み、これらのシステムを地上実証することをめざした。電動ハイブリッド推進化した航空機で求められる常電導電力システム制御の実証及び機体の熱マネジメントシステム成立性の実証を行い、TRL6(※1)の達成を目指した。

研究開発項目	最終目標（2024年3月）	根拠
①ハイブリッド電動推進システム	実用化に向けたシステム定義の妥当性評価、および将来を見据えた中長期スパンでの技術開発ロードマップの策定を完了	長期的視野に立ったハイブリッド電動推進システムのあるべき姿を Forecast していくため
②電動推進電力システム	MW級電動推進を達成するエンジン内蔵発電機の電流密度及び耐電圧性に係る性能評価を完了	MW 級の電磁機械に対する性能優位性検証、及びシステム実証による機体適用可能性の検証のため
	システムミング試験を含むシミュレーションによる電力システムの地上実証を行い、機能・性能評価を完了	
③熱・エアマネジメントシステム	システムミング試験を含むシミュレーションによる熱・エアマネジメントシステムの地上実証を行い、燃費改善効果を含む機能・性能評価を完了	システム実証による機体適用可能性の検証のため、及び構成要素の製品展開を視野に入れたDB構築のため 中間評価後、サブシステム(パワエレ冷却装置、空気供給電動ターボ)の実証レベルを上げた
	実用化に向けた燃料排熱熱交換器(FCAC)の性能図表作成を完了	

#### ⑧-4：推進用電動機制御システム：

本事業の研究成果を更に発展した場合の製品化の最終目標は、座席数 10 席級の小型機(モータ最大出力 500kW クラスを想定)向け電動モータを開発することにある。なお、本研究開発では 500kW までの大型化を目指していないが、それは、今後、急速に市場が急激に拡大すると予測され、「無人航空機宅配便」の主力と市場関係者が予想している「大型ドローン」、「エアタクシー」向けに採用が予測される「eVTOL」向けの 100kW 級電動モータシステムを研究開発対象にしたためである。特にベンチマーク値としての「出力密度 6kW/kg」を空冷式にて実現することは機体の軽量化に重要な技術要素であり、それを狙って開発を進めた。高出力かつ高出力密度の空冷方式電動機及びその駆動コントローラシステムを開発し、100kW 級推進用として実現可能であることを証明し、TRL6（※1）の達成を目指した。

なお、今後の標準的な航空機用装備品の開発を行う際の指標となるべく、

- ・マルチフィジックス解析による最適設計 CAE プラットホームを構築し、100kW モータシステムの最適設計を行なった。
- ・本研究にあたっては、20kW 級のモータシステムを比例的にサイズアップするだけで実現できるものではなく、高密度巻線、高排熱技術及び高効率駆動技術などの技術要素を盛り込み、空冷式の出力 100kW、出力密度 6kW/kg のモータシステムを実現した。
- ・航空機搭載環境を考慮した高信頼性モータ・ドライブシステムの製品開発を行なった。  
(EMC 技術等)。また、航空機搭載機器との故障等の予兆検出システムを確立した。
- ・航空機搭載に向けた装備品認証の取り組みと最新の認証手法の適用した製品開発を行なった。

といった、製品化の際の規制当局(例：FAA)による型式認定を容易に受検しやすいようなドキュメント化を設計開発段階から取り入れる手法を用いた。

研究開発項目	最終目標(2024年3月)	成果(実績)
①最適化設計 プラットホームの構築	CAE 環境を活用したマルチフィジックス最適解析手法にて設計を行い、プラットホームとして構築	モータ・インバータの電磁界解析に、熱流体解析を融合したマルチフィジックス解析をプラットホーム上で実施することで効率化が測れるとして設定
②ソフトウェア認証	・製品化における認証プロセスの実証 ・DO-178C、DO-331 認証のプロセス確立	認証取得に向けて重要なステップであるとして設定 更に、モデルベース手法を用いた自動コード生成による作業効率と認証効率のアップを設定
③高性能テスト ベンチ導入	・評価方法の確立 ・TRL6 達成度評価実施(F3338-21)	モータの EMC 試験結果に影響を与えるモータの効率、トルク-回転速度-電流特性、モータ動作時の振動等を総合的に評価できるテストベンチ導入の必要性があるとして設定
④高信頼性モータ ・ドライブシステム実証	・製品化における要素技術の実証 ・航空機 EMC 規格に適合するインバータ回路及びフィルタ回路の開発	eVTOL 適用に際し、搭載可能なモータに求められるノイズ規格として設定
⑤ 100kW 高密度	出力／回転速度／トルク	機体メーカーと調整し、設定した仕様

モータの実現、評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>100kW 以上 / 1900rpm / 520Nm (瞬時)</li> <li>55kW 以上 / 1600rpm / 320Nm (連続)</li> <li>出力密度 : 6kW/kg (モータ部)</li> </ul>	並行して市場調査を実施し、eVTOLを中心としたニーズが大きい仕様（出力等）であることを確認
⑥プロトタイプ 製作・評価 ※プロトタイプ： モータ×インバータ(モータシステム)	<p>出力／回転速度／トルク</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>最大出力 100kW</li> <li>回転数 1900rpm</li> <li>トルク 520Nm</li> </ul> <p>高密度モータを組み込んだ プロトタイプモデル</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>モータシステム 効率 92%</li> <li>質量 32kg (モータシステムの出力密度 3kW/kg)</li> </ul>	市場調査、動作シミュレーション評価により、導き出された最適化設計として設定

※1 TRL6：システム/サブシステムモデルやプロトタイプモデルが、実環境と類似の環境において実証されていること。

(参考) TRL7:システムプロトタイプが実環境において実証されていること。TRL: Technology Readiness Level (1~9 で示される技術成熟度)

### <達成状況>

研究開発テーマ毎に定めている達成目標に対して以下の達成状況である。

#### ⑧-1 「高効率かつ高出力電動推進システム」

##### 【各研究項目の開発の進め方】

研究開発テーマ⑧-1 の研究開発項目では、(a)「要素技術開発」と、(b)「機器システム検証」とに分けて研究開発を進めた。(a)「要素開発」にて先行して技術リリースした後に、有識者にて構成される「要素検討委員会」に諮り、(b)「機器システム検証」ステージとして「試作品」に搭載が妥当であるか可否について、判断を行いながら開発を推進した。

(本研究開発テーマでの研究コンソーシアムの詳細は、『3. マネジメント / 3.1. 実施体制 / 研究開発テーマ⑧-1：「高効率かつ高出力電動推進システム」の研究体制』 --- 「3-1 頁」を参照)

(研究分担)

No	研究項目設定	細分	研究項目設定（細分）	研究開発分担
①	航空機用超電導推進システム 要素技術開発	①-1	超電導回転機基盤技術開発	回転機基盤技術開発 (大) 九州大学、(国研) 産業技術総合研究所、FFJ合同会社、大陽日酸(株)
			超電導巻線技術開発	(大) 九州大学、(国研) 産業技術総合研究所、FFJ合同会社、
			軸受構造開発	(大) 九州大学、大陽日酸(株)
			超電導回転機ケーシング構造開発	(株) 神戸製鋼所、(大) 九州大学、大陽日酸(株)
		①-2	超電導ケーブル基盤技術開発	ケーブル基盤技術開発 FFJ合同会社、(大) 九州大学、(国研) 産業技術総合研究所
			ケーブル接合技術開発	FFJ合同会社、(大) 九州大学、(株) 神戸製鋼所、大陽日酸(株) (国研) 産業技術総合研究所
		①-3	冷却システム基盤技術開発	大陽日酸(株)、(大) 九州大学
		①-4	超電導線材基盤技術開発	低損失線材開発 (国研) 産業技術総合研究所、FFJ合同会社、(大) 九州大学、
			磁場中特性向上技術開発	(国研) 産業技術総合研究所、FFJ合同会社、(大) 九州大学、
			軽量シールド技術開発	(国研) 産業技術総合研究所、(大) 九州大学、
		①-5	低温動作半導体技術開発	(大) 九州大学
②	航空機用超電導推進システム	②-1	500kW 級超電導モータ検証	500kW 級超電導モータ設計 全研究機関

	機器機能検証		500kW 級超電導モータ製作	全研究機関
		②-2	500kW 級超電導モータ基礎評価 1 MW 級超電導推進システム検証	(大) 九州大学、 1 MW 推進システム基礎概念 全研究機関
(無印：委託先)				

## 【各研究項目の達成状況】

### (a) 「要素技術開発」

#### ①-1 「超電導回転機基盤技術開発」

事業終了時の達成目標としていた「250–500kW 級全超電導モータの基盤技術確立」は、400kW 級全超電導モータ」と「400kW 級全超電導発電機」の検証機にて採用した要素技術となってい。この検証機は小型電動航空機に採用可能な全超電導モータの出力レベルである。

この開発の後に当初に予定していた「0.5–1MW システム用回転機概念確立」については、リージョナルジェットに搭載可能なモータ出力レベルであるが、こちらについては検証機の製作までは実施せず、システム成立性についての机上確認までの実施とした。

将来的な最終目標となる 20MW 級全超電導モータは、最も需要が多い細胴機(単通路)の旅客機の出力を想定しており、本事業の後継事業にて研究開発を継続する予定としている。

#### ①-2 超電導ケーブル基盤技術開発

事業終了時の達成目標とした「0.5–1MW システム用ケーブル概念確立」は、①-1 に対応する超電導線材の開発であり、設定した目標を達成している。更に 20MW システム開発に向けた超電導ケーブル関連技術における課題と対策の明確化を実施した。

#### ①-3 冷却システム基盤技術開発

事業終了時の達成目標とした「250–500 kW モータ用冷却システム基盤技術確立」は、①-1 に対応する冷却システムの開発であり、設定した目標を達成している。更に 20MW システム開発に向けた冷却システムにおける課題と対策の明確化を実施した。本事業の後継事業にて研究開発を継続する予定としている。

#### ①-4 超電導線材基盤技術開発

事業終了時の達成目標とした「スクライビング加工により 10 分割した 100m 長線材において、温度 70K、磁束密度 1.2T の環境下において、電流密度 300A/cm の電機子用線材を実現し、歩留り 60%以上」、「100m 長線材において、温度 70K、磁束密度 2.5T の環境下で電流密度 500A/cm 以上の界磁コイル用線材を実現」については目標を達成している。20MW システム用シールド基盤技術を課題と対策の明確化を実施した。本事業の後継事業にて研究開発を継続する予定としている。

#### ①-5 低温動作半導体技術開発

事業終了時の達成目標とした「65K で動作する半導体素子の開発」については、再委託先である東海国立大学機構が研究している GaN-PSJ HEMT による液体窒素温度：65K 下の低温動作試験を実施している。液体窒素温度：65K 下にて GaN-PSJ HEMT 出力スイッチング素子のノーマリーオープン特性を実現するために、更に特性を改善する必要がある。

### (b) 「航空機用超電導推進システム機器機能検証」

#### ②-1 500kW 級超電導モータ検証

事業終了時の達成目標とした「250–500kW 超電導モータを製作し、定格出力試験、航空対応条件に対する地上評価を実施し、実機搭載の実現性を評価する」については、すべての目標を達成し、世界初の「400kW 級全超電導モータ」の動作試験としてプレス発表も行った。

航空機に搭載するためには、全超電導モータの更なる軽量化と周辺装置の軽量化が必要であり、液体窒素温度：65K 下にて動作する高性能インバータが完成していないが、本研究成果は世界初の結果となっている。

## ②-2 1 MW級超電導推進システム検証

事業終了時の達成目標とした「0.5-1MW 超電導推進システムにおいて軽量化に必要な要素群の技術開発」を実施し、1MW 級超電導推進システムの成立性を検証した。

(達成状況)

研究開発項目	最終目標 (2024年3月)	成果(実績) (2024年3月)	達成度	達成の根拠/ 解決方針
1. 基盤技術開発				
①基盤技術開発	・基板技術の確立 ・システム開発に向けた課題と対策の明確化	・2層式ハンダ接合線材やスライプ分割線構造をもつ 線材用端子製作を確立 ・界磁コイル、電機子コイル巻き線等の基盤要素について通電特性を確認 ・軸受が凍結せず回転することを確認、擬永久電流モードの可能性を確認	○	-
②超電動ケーブル		・三相積層超電導ケーブルにて約 2000A の設計通りの臨界 電流値を確認 ・マルチコンタクトタイプによる端子の接続方法を確立 ・コルゲート管によるシステム軽量化手法を確立、 今後は最適化が課題	○	ワンタッチ接続とコルゲートによる軽量化を先行して実施したため、大幅達成と評価
③冷却システム		・液体ヘリウムと液体窒素との熱交換システムを製作 ・超電導ケーブル一体型超電導誘導モータ式スクリューポンプを製作	○	-
④超電動線材	・長尺線材の基盤技術確立 ・システム用シールドの基板技術確立	・磁場中の臨界電流値は最終目標値を上回り、 ヒステリシス損失は1/10以下で 100m の加工性を確認、2本中2本とも成功 ・2層式ハンダ接合線材のスライビング加工方法を確立 ・薄肉鉄ヨーク及び超電導シールドにて、軽量化、漏れ 磁場抑制を達成	○	-
⑤低温動作半導体	・65K で動作する半導体素子の開発	・GaN-PSJ ランジスタの低温動作半導体として適用性を確認	○	-
2. システム検証				
①500kW 級モータ地上検証	・200-500kW モータの航空対応条件に対する地上試験	・2500rpm の回転数と発電機モードにおいて、 短絡電流が 490A ピークになったことから、最大出力 250kW を確認	○	-
②500kW 級モータ特殊試験	・上空環境(低温・低圧)下での、超電動モータの作動評価	・低温・減圧複合試験でモータ特性、電機子線間電圧・ 電流波形に異常のないことを確認	○	-
3. 搭載上の技術課題と対策の検討				
①基盤技術開発搭載対象機材規模と求められる超電動モータの性能諸元	・搭載機体サイズと装備可能容量から定まる性能諸元を決定	・機体搭載上の、有効な構造、重量による搭載構成を確立 ・飛行試験会社及び機種、形態の妥当性を確認 >次事業 2MW 級システム開発の性能諸元として反映	○	-

達成度：○ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達

## ⑧-2 「軽量蓄電池」

### 【各研究項目の開発の進め方】

研究開発テーマ⑧-2 の研究開発項目では、電動航空機用蓄電池システムに求められるエネルギー密度、出力密度、充放電サイクル寿命の要求に対して、最も有力候補である「リチウム硫黄電池」(Li-S) の性能改善に関する研究開発を実施した。研究開発項目①～⑥を設定し、電池に

に関する要素技術開発となる①～④については、委託先と再委託先にて、全体の要素研究を分担し、また研究開発項目の一部については研究連携を実施した。なお、①～④の研究成果をもとにした「実証検証」となる⑤、および⑥については、(株) GS ユアサにて実施した。

(本研究開発テーマでの研究コンソーシアムの詳細は、『3. マネジメント / 3.1. 実施体制 / 研究開発テーマ⑧-2：「軽量蓄電池」の研究体制』--- 「3-2 頁」を参照)

(研究分担)

No	研究項目設定	達成年度	細分された研究項目設定	研究開発分担
①	硫黄を担持する多孔性炭素粒子の研究開発	2021	500Wh/kg が目指せる硫黄正極として、硫黄の担持質量割合が 60%を超えて安定に充放電できる電極炭素材料と、それに対する硫黄担持方法を開発する。	(大) 関西大学(※1)、 (株) GS ユアサ
		2023	硫黄の担持質量割合が 60%を超えて理論容量に近く安定に充放電できる電極炭素材料と、それに対する硫黄担持方法を開発し、500 Wh/kg 級の小型セルで実証する。	
②	硫黄の溶解を抑制する電解液の研究開発	2021	500Wh/kg が目指せる硫黄正極に対して、SEI (電極界面被膜) の効果により、容量安定後の充放電 50 サイクルの容量維持率が 90%以上である電解液を開発する。	(大) 関西大学(※1)
		2023	SEI (電極界面被膜) の効果により、容量安定後の充放電 100 サイクルの容量維持率が 80%以上である電解液を開発し、500 Wh/kg 級の小型セルで実証する。	
③	硫黄の溶解を抑制する解液の研究開発	2021	500Wh/kg が目指せる硫黄正極として、電極の電子伝導性を改善し、0.5CA 程度の放電でも電極が大きな劣化を起こさず充放電が可能な技術を見出し、高エネルギー密度化との両立に備える。	(大) 関西大学(※1)
		2023	電極の電子伝導性およびイオン伝導性を改善し、2CA 程度の放電でも電極が大きな劣化を起こさず充放電が可能な技術を見出し、500 Wh/kg 級の小型セルで実証する。	
④	リチウム金属負極の高面積容量密度下におけるサイクル寿命の向上	2023	10 mAh/cm <sup>2</sup> 以上の面積容量密度において、Li/Li 対称セルの溶解析出試験のサイクル数が 200 サイクル以上安定に作動することの実証。	(大) 関西大学(※1)、 (株) GS ユアサ
⑤	蓄電池システムの実証検証 ⑤-1:小型セルの設計 ⑤-2:小型セルの製作 ⑤-3:小型セルの評価	2023	500 Wh/kg 級小型セルを製作する。	(株) GS ユアサ
⑥	蓄電池システムの実証検証 ⑥-1:CMU-BMU の開発 ⑥-2:蓄電池システムの製作 ⑥-3:蓄電池システムの評価	2021	軽量蓄電池について、500Wh/kg が目指せる 400Wh/kg 級の小型セルのプロトタイプモデルを試作する。さらに、軽量蓄電池に適合する CMU、BMU のプロトタイプモデルを設計し、蓄電池システムを試作する。 上記の蓄電池システムを用いて、地上の実験室環境下で航空機の電動化に適用可能であるかどうかを検証する。 軽量蓄電池の大电流での放電性能については、0.5CA 程度の放電が可能であることを目標とする。その他の性能値（サイクル特性等）については、機体 OEM 等との協議により、必要性能値を具体化したうえで、それらを達成する。	(株) GS ユアサ
		2023	400 Wh/kg 級積層セルを製作する。さらに、適合する CMU、BMU を設計し、蓄電池システムのプロトタイプモデルを製作する。 OEM メーカーの要求仕様を確認したのちに、上記の蓄電池システムを用いて、地上の実験室環境下で航空機の電動化への適用可能性を確認する。(TRL 6 の達成)	

(無印：委託先、※1：再委託先)

### 【各研究項目の達成状況】

#### ① 硫黄を担持する多孔性炭素粒子の研究開発

リチウム硫黄電池の電池性能改善のために 再委託先の関西大学との研究連携により、「硫黄正極技術」、「電解液技術」および「新規要素技術」の3つに大別される要素技術開発を実施

した。これらの要素技術開発において、「硫黄炭素複合体技術」エネルギー密度：500 Kh/kg を達成する硫黄正極の開発を硫黄の担持質量割合が 60%を超える、理論値に近い充放電が安定した電極炭素材料と担持方法を開発することができた。

## ② 硫黄の溶解を抑制する電解液の研究開発

研究開発目標に適合する「FEC/VC 系電解液技術」、および「イオン液体技術」のコア技術を開発した。この結果エネルギー密度：500 Kh/kg を達成し、硫黄正極の性能低下を抑える電解液の開発を達成した。当初の開発目標では充放電 50 サイクル(充放電サイクル試験後：容量維持率 80%)を達成することを目標としていたが、中間評価時に充放電サイクルを 2 倍の 100 サイクル(容量維持率 80%)を目指すべきとのコメントを受け、充放電サイクル回数を増やすように目標設定の変更をしたが、本事業期間内にては充放電サイクル 70 サイクルまでの性能改善しか達成できていない。しかし事業開始当初の目標値(50 サイクル)は達成しているので、委託事業者から見た場合には、本事業期間内での追加の努力目標であったエクストラ・サクセスがまだ実現できていないという状況と判断している。

但し、充放電サイクル 100 サイクルが達成できていない原因分析の絞り込については分析・考査ができているので、性能改善は(株) GS ユアサが保有するコア技術：3 点による継続研究によって改善できるとの追加報告を受けている。

## ③ 硫黄の大電流での放電性能を向上する要素技術の研究開発

①+②による高エネルギー密度となる蓄電池の要素開発の方向性とは別に、大電流(=2CA 程度)の繰り返し放電を行っても電極劣化を発生することなく使用が可能となる技術を開発するために、硫黄正極に対する電極の電子伝導性の改善の開発を行い、大電流の放電を実施しても硫黄の溶解が起こりにくく、負電極への Li デンドライト析出が進展しにくい特性をもつイオン電解液を開発した。

## ④ リチウム金属負極の性能向上のための研究開発

①+②+③の開発成果をもとに、十分な充放電可逆性を持つような技術を開発した。

10 mAh/cm<sup>2</sup> 以上の面積容量密度において、Li/Li 対称セルの溶解析出試験のサイクル数が 200 サイクル以上安定に作動することの実証試験を行った。

## ⑤ 500 Wh/kg 級の小型セルの実証検証

### ⑤-1. 小型セルの設計/⑤-2. 小型セルの製作/⑤-3. 小型セルの評価

①～④の技術を融合した 500 Wh/kg 級小型セルの性能実証に成功した。さらに、蓄電池システムの実証検証においては、21 年度までに確立した電池設計技術に基づき、中型積層パウチセル(10 Ah 級)の性能実証とともに、軽量化を技術コンセプトとした電池モジュールおよび電池システムを開発した。それらの蓄電池システムのプロトタイプモデルを用いて、TRL6 相当の実証検証を完了した。

## ⑥ 蓄電池システムの実証検証

### ⑥-1. CMU-BMU 開発/⑥-2. 蓄電池システム(軽量モジュール)の開発/⑥-3. 蓄電池システムの評価)

⑤の成果を反映し、400 Wh/kg 級積層セル/CMU/BMU を設計し、実際の蓄電池システムに組み上げたレベルでの試作を実施した。また、OEM メーカの要求仕様を確認し、試作した蓄電池システムについて、モジュール環境試験を実施して、実用化に向けての課題抽出を行った。

(達成状況)

研究開発項目	最終目標 (2024年3月)	成果(実績) (2024年3月)	達成度	達成の根拠/ 解決方針
①硫黄炭素複合体による理論値相当の放電容量発現	500 Wh/kg 以上	硫黄炭素複合体構造の適正化、および新規電解液技術によって、500 Wh/kg 級小型セルにて、硫黄理論容量相当の放電容量発現を確認	○	
②電解液技術による充放電サイクル容量維持率向上	容量維持率 80%以上-100 サイクル	新規電解液技術を備える 500 Wh/kg 級小型セルにて、充放電 サイクル寿命 : 70 サイクルを確認	△	各種要素技術(多硫化物溶出抑制添加剤、人工SEI技術、多孔質集電体技術等)適用や運転条件最適化(DOD制御)により、エネルギー密度と寿命性能を両立
③放電レート	2CA 発現	新規電解液技術を備える 500 Wh/kg 級小型セルにて、2 CA での放電容量発現 (0.1C 充電容量の 86%) を確認	○	-
④リチウム金属負極の高面積容量密度下におけるサイクル寿命の向上	10 mAh/cm <sup>2</sup> 以上の面積容量密度 200 サイクル以上 安定作動	イオン液体系電解液の適用により、目標達成	○	-
⑤500 Wh/kg 級の小型セルの実証検証	積層セルのエネルギー密度 500 Wh/kg 以上	新規電解液技術の適用により、積層セルのエネルギー密度 500 Wh/kg 以上 (520 Wh/kg) を実証。	○	-
⑥蓄電池システムの実証検証	400 Wh/kg 級積層セルを備える蓄電池システムのプロトタイプ モデル試作、機能確認環境/安全試験合格 (D0-160/D0-311)	軽量モジュール構造を備える蓄電池システムのプロトタイプモデル実証。⇒セル質量比率 76% を達成。 ・単セルでの D0-160 環境試験クリア、D0-311 安全性試験において、一定レベルの高安全性実証	○	-

達成度：○ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達

### ⑧-3 「電動ハイブリッドシステム」

#### 【各研究項目の開発の進め方】

本研究開発テーマにおいて、(1)：「ハイブリッド電動推進システム」では、研究開発対象としているハイブリッド電動推進システムについての概念検討と本事業にて製作するリグ試験の基本機能(ベースライン)を定義することを目的として実施した。

(2)：「電動推進電力システム」では、(2)-①：「ハイブリッド用発電システムに関する研究」、(2)-②：「分散ファン用電動機の性能推定に関する研究」、(2)-③：「高出力密度電力変換器に関する研究」の3テーマに分けて研究開発を進めた。

(3)：「熱・エアマネジメントシステム」では、(3)-①：「熱・エアマネジメントシステムに関する研究」、(3)-②：「熱・エアマネジメントユニットに関する研究」の2テーマを実施した。この研究項目の成果としては、熱・エアマネジメントシステムに搭載する空冷化電力制御システムの「実用型ヒートシンク」を開発することになった。

(1)、(2)、(3)の3研究項目の研究成果をもとに (2)：「電動推進電力システム」および、(3)：「熱・エアマネジメントシステム」による研究成果を用いて「ハイブリッド用発電機」と「熱・エアマネジメント研究」の試験リグを各1台ずつ完成させ、公的な研究試験所である秋田県のカッパーフェザー(研究設備の管理者：秋田大学)に導入することができた。カッパーフェザーに導入された試験リグを使用して「ハイブリッド電動推進システム」と「熱・エアマネジメントシステム」の成立性について安全性、燃料消費量、及び搭載性・整備性の観点から評価した。その結果から、耐空性審査要領に示される安全性要求を満たしうること、燃料消費量を3.3%削減できること、及び搭載性・整備性についても問題がないことを確認した。

(本研究開発テーマでの研究コンソーシアムの詳細は、『3. マネジメント / 3.1. 実施体制 / 研究開発テーマ⑧-3：「電動ハイブリッドシステム」の研究体制』--- 「3-3 頁」を参照)

(研究分担)

No	研究項目設定	細分	細分された研究項目設定	研究開発分担
(1)	ハイブリッド電動推進システム	(1)-①	電動ハイブリッド航空機のシステム構成に関する研究	(株) IHI
		(1)-②	ハイブリッド電動推進システムの概念設計に関する研究	(大) 東京大学(※2)
(2)	電動推進電力システム (2)-①: ハイブリッド用発電システムに関する研究 (2)-②: 分散ファン用電動機の推定に関する研究 (2)-③: 出力密度電力変換器に関する研究	(2)-①(a)	発電システムの研究	(株) IHI
		(2)-①(b)	発電機構造の研究	(大) 岡山大学(※2)
		(2)-①(c)	高性能電磁材料適用の研究	(株) IHI
		(2)-①(d)	発電機評価技術の研究	(大) 秋田大学(※2)
		(2)-①(e)	高性能絶縁材料適用の研究	住友精化(株)(※1)
		(2)-①(f)	遮断システムの研究	(学) 立命館大学(※2)
		(2)-①(g)	電源グリッドの研究	(学) 大阪産業大学(※2)
		(2)-②(a)	電動機性能推定およびシステム評価手法の研究	(学) 秋田県立大学(※2)
		(2)-②(b)	モデルベース開発の実用化研究	(株) 日立ソリューションズ(※1)
		(2)-③	高出力密度電力変換器に関する研究	三菱電機(株)(※1)
(3)	熱・マネジメントユニットに関する研究 (3)-①: 熱・エアマネジメントシステムに関する研究 (3)-②: 熱・エアマネジメントユニットに関する研究	(3)-①(a)	システム連携の研究	(株) IHI
		(3)-①(b)	熱・エアインターフェースの研究	(大) 東京大学(※2)(2020年度まで)、(株) IHI(2020年度以降)
		(3)-①(c)	燃料排熱空調の最適化の研究	(株) 島津製作所(※1)
		(3)-①(d)	数値モデルおよび評価手法の研究	(大) 秋田大学(※2)
		(3)-①(e)	空冷化電力制御システムのエアマネジメントの研究	(株) IHI
		(2)-①(f)	空冷化電力制御システムの搭載性の研究	(株) ナブテスコ(※1)
		(2)-①(g)	ハイブリッド電源システムのエアマネジメントの研究	(株) IHI
		(2)-①(a)	エアマネジメントユニットの研究	(株) IHI
		(2)-①(b)	熱マネジメントユニットの研究	住友精密工業(株)(※1)

(無印: 委託先、※1: 再委託先、※2: 共同実施者)

## 【各研究項目の達成状況】

### (1) : ハイブリッド電動推進システム

#### (1)-① : 電動ハイブリッド航空機のシステム構成に関する研究

電動ハイブリッド航空機システムを(2), (3)のリグ試験での結果を踏まえて検討し、成立性を安全性、燃料消費量、及び搭載性・整備性の観点から評価した。

結果、耐空性審査要領に示される安全性要求を満たしうること、燃料消費量を3.3%削減できること、及び搭載性・整備性についても問題がないことを確認した。

#### (1)-② : ハイブリッド電動推進システムの概念設計に関する研究

ハイブリッド電動推進の方式としてATeDPとPTeDPを想定し、航空機及びエンジンのシミュレーションモデルを用いて燃料消費量削減効果を算出した。ハイブリッド化率、電装品の出力密度等をパラメータとした感度解析により、電装品への出力要求及び出力密度要求を評価した。その結果、PTeDP、TEEM、熱・エアマネジメントシステムを組み合わせ、電力システムを共通とすることで現状の技術レベルにおいても燃料消費量削減効果が得られることが明らかになった。

### (2) : 電動推進電力システム

#### (2)-①ハイブリッド用発電システムに関する研究

##### (2)-①(a) : 発電システムの研究

MW級発電機プロトタイプモデルの設計、製造を行った。高電圧耐性、電流密度、発電機トルクについての性能評価から、ハイブリッド電動推進システムに必要となる2MW発電機の実現性を確認した。電力システムの成立性として、エンジン加減速時の電力負荷を変化させた際の電源バスの電圧変動を評価し、適切なフィルタの設定をすることにより、急峻な負荷変動下においても電圧変動以内に制御できることを確認した。

## (2)-①(b) : 発電機構造の研究

発電機の損失を低減する構造に加え、平角線を用いた高出力密度発電機の電磁気、および発熱分布モデルを設計し、1 MW発電機プロトタイプの構造設計を実施した。

1 MW発電機プロトタイプモデルにおいて確認された渦電流損失の低減策を検討し、巻線エンドにおける渦電流を低減することを解析により確認した。

## (2)-①(c) : 高性能電磁材料適用の研究

発電機内で発生する渦電流損失の低減に向けた軟磁性材の形状や積層方法について、加工、成形における劣化傾向に係る調査を行い、設計に反映し、発電機性能評価試験を通して、影響の有無を確認し、プロセスの妥当性を確認した。

## (2)-①(d) : 発電機評価技術の研究

部分放電の発生メカニズム、絶縁破壊に至る事前予測の観点から、放電発生時のパワースペクトル密度分析を実施し、一部の周波数帯に特徴的な変化を確認した。

更に、絶縁破壊前後における電気特性変を定量的に評価することにより絶縁破壊の事前予測に繋げられる可能性があることがわかった。

## (2)-①(e) : 高性能絶縁材料適用の研究

高耐熱絶縁材の施工について、材料特性、および塗装プロセスの観点から、巻線への施工方法の妥当性を確認した。MW発電機試験において、2 MW発電機に相当する電流密度での運転、耐電圧特性の評価を通しての絶縁特性、およびその特性変化に起因する発電機性能への影響は確認されず、絶縁材の妥当性を確認した。

## (2)-①(f) : 遮断システムの研究

永久磁石型同期発電機における短絡モードの挙動を把握し検出ロジックを検討した。第1次評価用テストベッドでの初期評価に続き、第2次評価用テストベッドによる評価を行い、大電流の遮断に必要な課題を特定した。

## (2)-①(g) : 電源グリッドの研究

将来の電動化航空機において適用を想定される直流高電圧バス向けに、ハイブリッド並列型遮断器およびマトリクスインダクタの提案を行った。上記提案システムについて、400V, 600A の条件にて試験を実施し、短絡事故発生時にも健全な端子の電圧変動が許容値範囲内で維持されることを確認した。

## (2)-②分散ファン用電動機の性能推定に関する研究

### (2)-②(a) : 電動機性能推定およびシステム評価手法の研究

ハイブリッド電動推進システムの評価のために、電動ファンシミュレータを開発し、本シミュレータを活用したモデルベースデザイン手法により電動ファンおよび電力リグ装置の性能を評価した。ハルバッハ配列永久磁石から着想を得た新しい電動機をモデル化して電動ファンシミュレータを構築するとともに、システムの評価結果に基づき次世代大出力推進システムの性能を推定した。

### (2)-②(b) : モデルベース開発の実用化研究

分散ファン用電動機の性能推定に関する研究において、モデルベース開発の実用化研究について以下の課題に取り組んだ。

- ・ モデルベース開発の課題・対応策の検討
- ・ モデルベース開発の統合仕様の策定
- ・ モデルベース開発の統合仕様の最適化
- ・ モデルベース開発の統合化に対する標準化

モデルベース開発の試行に基づき最適化した統合仕様をまとめ、標準化に関する提言をまとめた。

(2)-③高出力密度電力変換器に関する研究

(2)-③：高出力密度電力変換器に関する研究

(2)-③では、ハイブリッド航空機向けマルチレベル電力変換器の適合性を試作前に検証するため、システムレベルで統合評価可能なシミュレーションモデルを構築した。

最終年度では、これまでに開発したスイッチング素子の特性モデルと 2 レベル/3 レベルインバータの損失モデルに基づき、指定したスイッチング素子とレベル数に対するインバータの損失と重量を試算可能とした。そして、航空機のフライト最大負荷データに対し適用し、最軽量となるインバータ構成を導出した。

(3)：熱・エアマネジメントシステム

(3)-①熱・エアマネジメントシステムに関する研究

(3)-①(a)：システム連携の研究

熱・エアマネジメントシステムの構成要素である燃料排熱空調システム、エネルギー回収システム及び空冷化電力制御システムについてシステム定義を完了し、具体的な機器構成を明確にした。システム定義に基づいてサブスケールのシステム評価リグを作成し、巡航条件における熱エアマネジメントシステムの試験評価を実施した。また、リグ試験評価のための熱・エネルギー収支解析モデルを作成し、リグ試験結果とシミュレーション結果との比較評価から40%を超えるエネルギー回収効果があることを示した。

(3)-①(b)：熱・エアインターフェースの研究

(1)-②項にて実施したハイブリッド電動推進システムの概念設計に基づき、電動機器の発熱量及び発熱源の航空機内での分布を定義し、熱インターフェースについて定義を行った。熱制御上の課題となる集中発熱源について特定し、そのうち電動ファンについてはその冷却成立性を解析的に示した。また、本研究開発テーマ⑧-3における熱・エアマネジメントシステムの成果を考慮して、今後取り組むべき課題であるシステムレベルでのフルスケール実証についてロードマップの形でまとめた。

(3)-①(c)：燃料排熱空調の最適化の研究

熱・エアマネジメントシステムの中核をなす燃料排熱空調システムの全体システムとの最適化を図るため、燃料排熱空調システムのシミュレーションモデル及び 3D モデルを作成し、運用を考慮した最適化を実施した。

(3)-①(d)：数値モデルおよび評価手法の研究

シミュレーションモデルによる解析を用いて、燃料排熱空調システムのエネルギー回収量を定量的に評価し、解析の妥当性を試験によって評価した。サブスケールの実証試験装置を用い、航空機巡航時の空気状態を再現し、エネルギー回収率を求めた。作動条件として、高度を 26,000 フィートから 35,000 フィートまで段階的に変更し、回収エネルギー量を明らかにした。

(3)-①(e)：空冷化電力制御システムのエアマネジメントの研究

電力制御システムの最も厳しい実環境動作条件として地上駐機状態における高温環境を定義した。冷却性能評価を行うため、電力制御システムの周囲環境温度を過渡的に制御可能な試験リグを構築し、高温環境試験を実施した。また、使用される電動ターボ機械にとって技術課題となる振動環境試験を行い、環境適合性を部分的に確認した。これにより、実環境での冷却性能の評価を完了し、空冷化電力化制御システムの設計資料を得た。

### (3)-①(f) : 空冷化電力制御システムの搭載性の研究

航空機環境・構造及び運用性について考慮した上で、(3)-①(e) 空冷化電力制御システムのエアマネジメントの研究にて定義した空冷化電力制御システムの機器構成、配置、及び搭載環境について整理した。

### (3)-①(g) : ハイブリッド電源システムのエアマネジメントの研究

エアマネジメントユニットを活用した燃料電池向け空気供給システムの設計検討を行い、燃料電池向け空気供給システムを模したシステム試験リグを作成し、エアマネジメントユニット組込試験に供した。システム試験によって、エアマネジメントユニットが燃料電池向け空気供給システムとして適切に動作することを確認した。

### (3)-②熱・エアマネジメントユニットに関する研究

#### (3)-②(a) : エアマネジメントユニットの研究

70kW 級電動コンプレッサ試作機の設計製作、およびロータの耐環境性・耐久性評価を行い、航空機搭載環境において動作可能である見通しを得た。また、燃料電池向け空気供給システムを模した試験リグに組み込み、電動コンプレッサ試作機が燃料電池への空気供給性能を有することを確認した。

#### (3)-②(b) : 熱マネジメントユニットの研究

燃料排熱空調システムのキーコンポーネントの 1 つである、FCAC の性能確認及び信頼性向上を目指した開発を行った。FCAC を用いた性能試験により、その熱交換性能が、熱・エアマネジメントシステムとして定めた要求性能を満足することを確認した。また、耐圧試験と要素試験としての腐食試験、コンタミ試験により、耐環境性に問題がないことを確認した。

(達成状況)

研究開発項目	最終目標 (2024 年 3 月)	成果(実績) (2024 年 3 月)	達成度	達成の根拠/ 解決方針
①ハイブリッド電動推進システム	実用化に向けたシステム定義の妥当性評価、および将来を見据えた中長期スパンでの技術開発ロードマップの策定を行う	電動推進電力システム、熱・エアマネジメントシステムのシステム定義、システム評価(安全性、燃費削減効果、搭載性等)を完了した。 電動ハイブリッド推進の各要素が燃料消費量に与える影響度を評価、これに基づき、技術開発ロードマップを策定した。	○	-
②電動推進電力システム	MW 級電動推進を達成するエンジン内蔵発電機の電流密度及び耐電圧性に係る性能評価を完了する	MW 級エンジン内蔵発電機の電流密度に係る性能評価、および定格回転数における電力、耐電圧特性に関わる性能評価を完了した。	○	-
	システムリグ試験を含むシミュレーションによる電力システムの地上実証を行い、機能・性能評価を完了する	電動推進電力システムを模擬したリグ試験を構築し、想定するエンジン運転および電力負荷プロファイルでの運転を実施し、機能・性能評価を完了した。	○	-
③熱・エアマネジメントシステム	システムリグ試験を含むシミュレーションによる熱・エアマネジメントシステムの地上実証を行い、燃費改善効果を含む機能・性能評価を完了する 実用化に向けた燃料排熱熱交換器(FCAC)の性能図表作成を完了する	熱・エアマネジメントシステムのシステムリグ試験を完了し、エネルギー回収率等が机上検討とほぼ合致していることを確認した。巡航高度条件を変えた際の試験まで実施し機能・性能評価を実施した。 試験結果を反映した FCAC の性能図表を作成した。	○	-

達成度：○ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達

## ⑧-4 「推進用電動機制御システム」

### 【各研究項目の開発の進め方】

研究開発テーマ⑧-4 は航空機の推進用途のうち、航空機の新たな分野として注目されている eVTOL (電動垂直離着陸) をターゲットに、空冷方式の小型高出力密度モータシステムの技術開発を行った。

本研究開発テーマにて、研究開発項目をA～Eの5項目に設定して委託先、再委託先5者にて分担した。 A：「電動推進システムの設計プラットフォームの構築」については、A-1：「電動モータモデルベースの構築」、A-2：「設計プラットフォームの構築」、A-3：「高効率空冷方式の研究」の3項目に分けた。B：「100kW高密度モータの実現評価」については、B-1：「平角線を使った高効率ステータ巻線の研究」、B-2：「アルミ平各線の高周波損失低減」、B-3：「絶縁型高熱伝導材料の開発」の3項目に分けた。C：「高信頼性モータ・ドライバーシステム」については、C-1：「航空機搭載可能な広帯域・高効率インバータの開発」、C-2：「SAE規格を満足するための軽量で安全な回路研究、認証に向けた手順の事前検証」、C-3：「モデルベースデザインを用いたソフトウェア認証」の3項目に分けた。D：「モータシステムコンセプト設計、プロトタイプの設計・製作・評価」、E：「高性能テストベンチの導入」は各1項目のままとした。

多摩川精機が「開発担当者会議」(毎月ベース)を開催して、各再委託先での研究開発状況を確認し、全体スケジュール調整を実施した。

(本研究開発テーマでの研究コンソーシアムの詳細は、『3.マネジメント / 3.1. 実施体制 / 研究開発テーマ⑧-4：「推進用電動機制御システム」の研究体制』--- 「3-4頁」を参照)

(研究分担)

No	研究項目設定	細分	研究項目設定(細分)	研究開発分担
A	電動推進システムの設計プラットフォームの構築	A-1	電動モータモデルベースの構築	(大) 諏訪東京理科大(※1)
		A-2	設計プラットフォームの構築	(大) 諏訪東京理科大(※1)
		A-3	高効率空冷方式の研究	住友精密工業(株)(※1)
B	100kW高密度モータの実現評価	B-1	平角線を使った高効率ステータ巻線の研究	ゴロー電工(株)(※1)
		B-2	アルミ平各線の高周波損失低減	(大) 信州大学(※1)
		B-3	絶縁型高熱伝導材料の開発	多摩川精機
C	高信頼性モータ・ドライバーシステム	C-1	平角線を使った高効率ステータ巻線の研究	(大) 信州大学(※1)
		C-2	SAE規格を満足するための軽量で安全な回路研究、認証に向けた手順の事前検証	多摩川精機
		C-3	モデルベースデザインを用いたソフトウェア認証	(株) S C l a b A i r (※1)
D	モータシステムコンセプト設計、プロトタイプの設計・製作・評価	-	モータシステムコンセプト設計、プロトタイプの設計・製作・評価	多摩川精機
E	高性能テストベンチの導入	-	高性能テストベンチの導入	多摩川精機

(無印：委託先、※1：再委託先)

### 【各研究項目の達成状況】

#### A 電動推進システムの設計プラットフォームの構築

##### A-1：「電動モータモデルベースの構築」

航空機向けモータ向けの高出力(瞬時出力：100kW)かつ高出力密度(モータ部で6kW/kg)を同時に達成するため、以下の細目について研究開発を実施した。

###### a 対象機体の調査と飛行プロファイルの推算

既存の航空機内燃機関エンジンと競合社の開発中の航空機電動モータに関してベンチマーク調査を実施した。 次に、100kW級モータの搭載可能な対象機体を選定し、推進系出力性能を推算した。選定した対象機体に関して離陸、上昇、巡航、降下、着陸という飛行プロファイルにおける飛行条件、飛行性能を推算した。

###### b モータの最適化設計・動作シミュレーション

推算した飛行性能要求を満たすように電磁界解析、熱解析及び構造解析等を用いたマルチフィジックス(連成)解析を行い、モータ設計(磁石配列・磁気回路)を実施した。

得られたモータ性能が対象機体の飛行プロファイルに適合することを動作シミュレーションにより確認した。

### c 100kW 級モータシステムの仕様策定

適用機体、海外製品との競争力に関する調査結果に基づき、本システムの仕様 策定を行った。また、将来の展開に向け、MSJ（三菱スペースジェット）等の調査及び最新型旅客機に搭載した油圧システムからの電動化に関する調査を実施した。

#### A-2：「設計プラットフォームの構築」

A-1で行ったCAEを活用した最適設計を推進し、設計ワークフローの統一管理と自動化を行う以下のモータ設計プラットホームを構築した。

##### a 多目的モータモデルベースの開発

- ・市販のモータ設計ソフトウェアを用い、課題設定を行った上で磁石配列・磁気回路の構造案に関する簡易設計を実施するシステムの概念設計を行った。
- ・多目的詳細設計において、出力 100kW 級モータの多目的最適設計を実施し、電磁界解析と熱解析で得られたパレート最適解の大局部的構造を把握した。
- ・実機の設計・開発に向けたトレードオフの関係および問題点を明確化した。

##### b 多分野モータ設計プラットホームの構築

- ・設計支援ツールをベースにした、推進システムとしてのモータとインバータを統合した解析（電磁界／電気回路の連成解析）に、熱流体解析による冷却システム設計、構造部品のトポロジー最適化・軽量化を融合したマルチフィジックス解析を行ない、モータ推進システムの設計を実施した。
- ・これらを通して多目的多分野最適化設計技術を確立した。

#### A-3：「高効率空冷方式の研究」

A-3では、システム仕様、モータ設計結果、構造案等から熱設計を行い、冷却方式のトレードオフを行った。

A-1/A-2/A-3の成果は、Dの「プロトタイプの設計・製作・評価」に反映し、シミュレーション結果との差異についてはモデルにフィードバックした。

### B 100kW 高密度モータの実現、評価

#### B-1：「平角線を使った高効率ステータ巻線の研究」

B-1では、モータの性能及び効率を向上させるためにアルミの平角線を使った高占積率となる巻線方法を開発した。

#### B-2：「アルミ平各線の高周波損失低減」

B-2では、モータの高効率化及び低発熱を実現するために、磁石の渦電流損と巻線の交流銅損低減方法を検討した。

#### B-3：「絶縁型高熱伝導材料の開発」

モータの大出力化（大型化）により比表面積（表面積／体積）が減少し冷却性能は低下するが、これを補うため高い熱伝導率を持つ絶縁型高熱伝導材料の開発を行い、モータへの適用を行った。

B-1/B-2/B-3のそれぞれの研究成果は、同様に研究開発項目Dに反映し、差異については設計プラットフォームのモデル側にフィードバックした。

### C 高信頼性モータ・ドライバーシステム

#### C-1：「航空機搭載可能な広帯域・高効率インバータの開発」

モータの高出力密度化に併せて、モータを駆動制御するためのドライブシステムについても、高出力密度化、高信頼性、環境適合性（特にEMC）及び安全性を達成することが必須となる。本研究開発項目では、高出力密度化のための高帯域・高効率技術、航空機搭載の電子機器ハードウェア開発プロセス規格に適合した回路技術、ソフトウェアを良く開発するためのモデルベース手法を利用した方式を実証し、製品化における要素技術と認証プロセスの検討を行った。

#### C-2：「S A E 規格を満足するための軽量で安全な回路研究、認証に向けた手順の事前検証」

C-2では、電気推進システムにおける性能、安全性、信頼性、電源要求及びシステム間のインターフェース等について規格化の動向を調査し、その情報に基づいて推進用電動機制御システムの安全性・信頼性解析を実施し、認証を想定した適合性証明計画書及び関連する書類の作成を行った。また、推進用電動機制御システムの安全性・信頼性向上のため、装置が異常を発出する前にその予兆を検出するA Iによる診断システムを検討し、故障予兆の検出性能の評価を行った。正常状態と故障状態のデータを識別する方法としては、MT法（Maharanobis-Taguchi System）により、マハラノビス距離を算出・判別して、異常状態を検出した。A I診断プログラムに与えた正常状態と異常状態の教師データがまだ十分ではないため異常状態検出の正答率が低いままであり、実機搭載して市場投入するまでには継続研究が必要と考えられる。

#### C-3：「モデルベースデザインを用いたソフトウェア認証」

C-3では、インバータ部のモータ駆動制御プログラム（ソフトウェア）において、民間航空機のソフトウェア開発プロセスのD O - 1 7 8 C及びその関連規格のモデルベース開発（M B D）D O - 3 3 1に基づき、MATLAB/Simulinkによる動的シミュレーションモデルからの自動的にソースコードを生成して、認証のためのプロセスの確立を検討した。研究開発の完了時に、商品化をする際に必要となるデータ（書類）を完成させた。

C-1の成果は、同様に研究開発項目Dに反映し、差異についてはモデルにフィードバックした。

### D モータシステムコンセプト設計、プロトタイプの設計・製作・評価

「要素開発」であるA～Cの研究成果を反映して、100kWモータ級空冷式モータシステムの設計・製作・評価を実施した。「要素開発」による予測結果と実機にて発生した差異については、モデル側にフィードバックしてその原因を確認して修正を行った。先行研究(NEDO先導研究プログラム)での成果物である20kW級電動推進システムにて達成したシステム効率よりも大幅な効率改善を実現した。（モータ効率95%、インバータを含めての全体効率91.9%）

#### D-1：100kWモータシステムの設計

A-1の検討結果を基にプロトタイプの仕様を決定し、A～Cによる検討結果を基に設計を行い、解析による検証を実施した。設計においては海外OEMの意見を聞き、設計に反映した。

#### D-2：100kWモータシステムの製作

D-1にて行った設計結果によりプロトタイプの製作を行った。

#### D-3：100kWモータシステムの評価

製作したプロトタイプを用い、試験計画に基づき、Eにて製作するテストベンチにて評価を実施した。また、環境試験、EMC試験を実施した。

評価結果から目標とするT R L 6に対し達成度を評価した。

### E 高性能テストベンチの導入

環境試験機にて実績ある外注先に技術仕様書を提示し、環境試験・EMC試験に対応できる可搬式の負荷装置を導入した。EMC試験と、故障予知システムの研究(C-2の研究内容の一部)の際に故障モードに対するA Eセンサと電流センサからの計測データ取得に使用した。

(達成状況)

研究開発項目	最終目標 (2024年3月)	成果(実績) (2024年3月)	達成度	達成の根拠/ 解決方針
①最適化設計 プラットホーム の構築	CAE環境を活用したマルチフィジックス最適解析手法にて設計を行い、プラットホームとして構築	プラットホーム構築を完了	○	-
②ソフトウェア 認証	・製品化における認証プロセス の実証 ・DO-178C、DO-331認証のプロ セス確立	航空機搭載用の高帯域・高効率インバータを開 発 DO-331準拠のMBDプロセスを構築(DO-178C認証 を含む)	○	-
③高性能テスト ベンチ導入	・評価方法の確立 ・TRL6達成度評価実施 (F3338-21)	ASTM F3338-21規格： 主要要求を抜粋し達成度評価を実施、性能面の 妥当性 評価を完了	△	耐久性の評価は未 完了 今後実施する見込 み
④高信頼性モータ ・ドライブシス テム実証	・製品化における要素技術の 実証 ・航空機 EMC 規格に適合する インバータ回路及びフィルタ 回路の開発	最適な Si デバイスの選定、ノイズフィルタの設 計を 通し、航空機搭載用の高帯域・高効率インバー タを開発を完了	○	-
⑤100kW 高密度 モータの実現、評 価	出力／回転速度／トルク ・100kW以上／1900rpm／520Nm (瞬時) ・55kW以上／1600rpm／320Nm (連続) ・出力密度：6kW/kg(モータ部)	出力／回転速度／トルク 103kW／1900rpm／520Nm(瞬時) 53.6kW／1600rpm／320Nm(連続) 出力密度：6kW/kg(モータ部)	○	瞬時 103kW を基準 としてモータ設計 定格出力を算出したところ 53.6kW と なったため、 53.6kW を目標値と して開発を実施。 (55kW も設計上は 出力可能)
⑥プロトタイプ 製作・評価 ※プロトタイプ： モータ×インバー タ(モータシス テム)	出力／回転速度／トルク ・最大出力 100kW ・回転数 1900rpm ・トルク 520Nm 高密度モータを組み込んだ プロトタイプモデル ・モータシステム 効率 92% ・質量 32kg (モータシステムの出力密度 3kW/kg)	出力・回転数・トルクは計算値ではあるが、目 標値を満たす高密度モータを製作完了 モータシステム 効率：91.9% 質量：39.3kg	△	放熱特製改善によ り大型化し、質量 増加につながった。 重量軽減策と して、9項目の案 を提案している (材質変更、薄肉 化、小型化 etc.)

達成度：○ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達

<前身事業との関連性>：

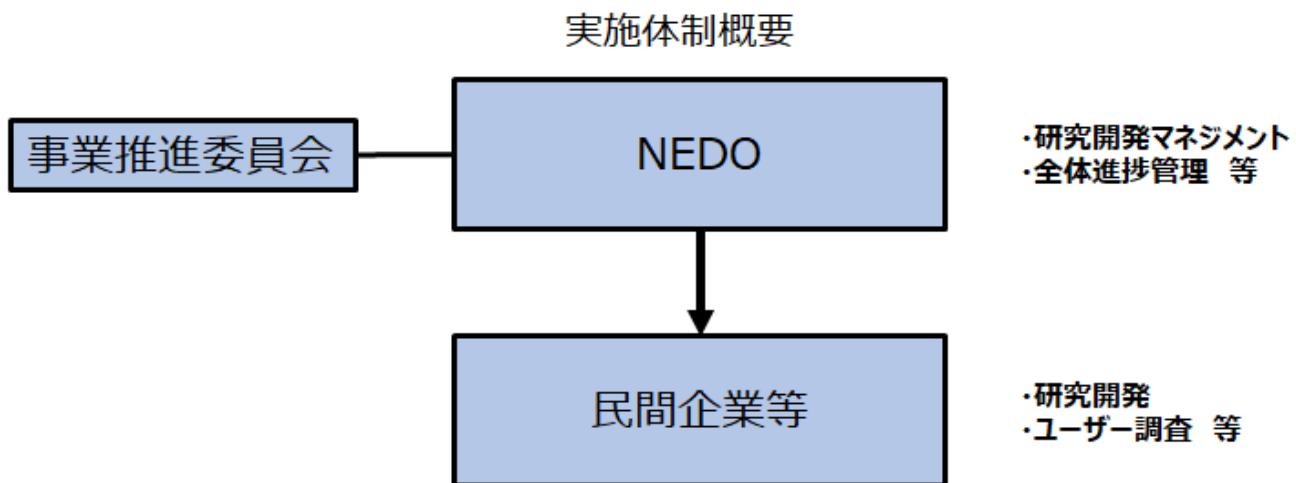
前身事業や先導研究等	取組の成果とその評価
・先導研究 革新的航空機用超電導推進システム概念設計 (2018/6-2019/5) → ⑧-1 超電導	・1kW全超電導回転機の作成と試験評価/20MWシステムの概念設計 サブスケールモデルで超電導回転機の原理を実証 要素技術の進展により出力を向上し、航空機推進系システムとしての実現可能性が 評価された。 →本プロジェクトの500kWモータ開発へ結実
・研究開発項目⑦ 次世代エンジン電動化システム研究(2016- 2019) → 先導研究：革新的ハイブリッドシステムの研究 (2019-2020) → ⑧-3 電動ハイブリッド(2020-2023)	・300°C耐熱、250kw級電動機の開発 エンジン低圧タービン駆動軸に接続する発電機として、高温環境下でサブスケール モデルでの運転実証が評価された。 →1MW級発電機の開発へ結果を活用  ・100kW級パワーエレクトロニクス空冷システムの開発、機体サーマル・モデルの構築 従来のエンジン抽気方式空冷に代わる電動エアコンプレッサを活用した機体空冷方式 の実現可能性が評価された。 →空冷システム及び燃料排熱空調システムの開発へ結果を活用
・先導研究：航空機向け高出力・高密度モータ の技術開発(2019-2021) → ⑧-4 常電導モータ(2021-2023)	・出力20kW、出力密度4kW/kgを実現するモータシステムを開発 サブスケールモデルによる実証結果により、eVTOL市場で優位となる質量出力密度の 達成の目途がついたものとして評価された。 →100kW、出力密度6kW/kg のモータ プロトタイプの開発へ結果を活用

### 3. マネジメント

#### 3.1. 実施体制

本事業では、NEDO が単独ないし複数の原則本邦の企業/研究組合/公益法人等の研究機関から、公募によって研究開発実施者を選定後、共同研究契約等を締結する研究体制を構築しのうえ、事業委託して実施している。

実施体制を以下に示す。



#### ・次世代電動推進システム研究開発

##### -高効率かつ高出力電動推進システム

実施者（委託先）：(大)九州大学、(研)産業技術総合研究所、大陽日酸（株）FFJ（同）、SWCC（株）

##### -軽量蓄電池

実施者（委託先）：(株) GS ユアサ

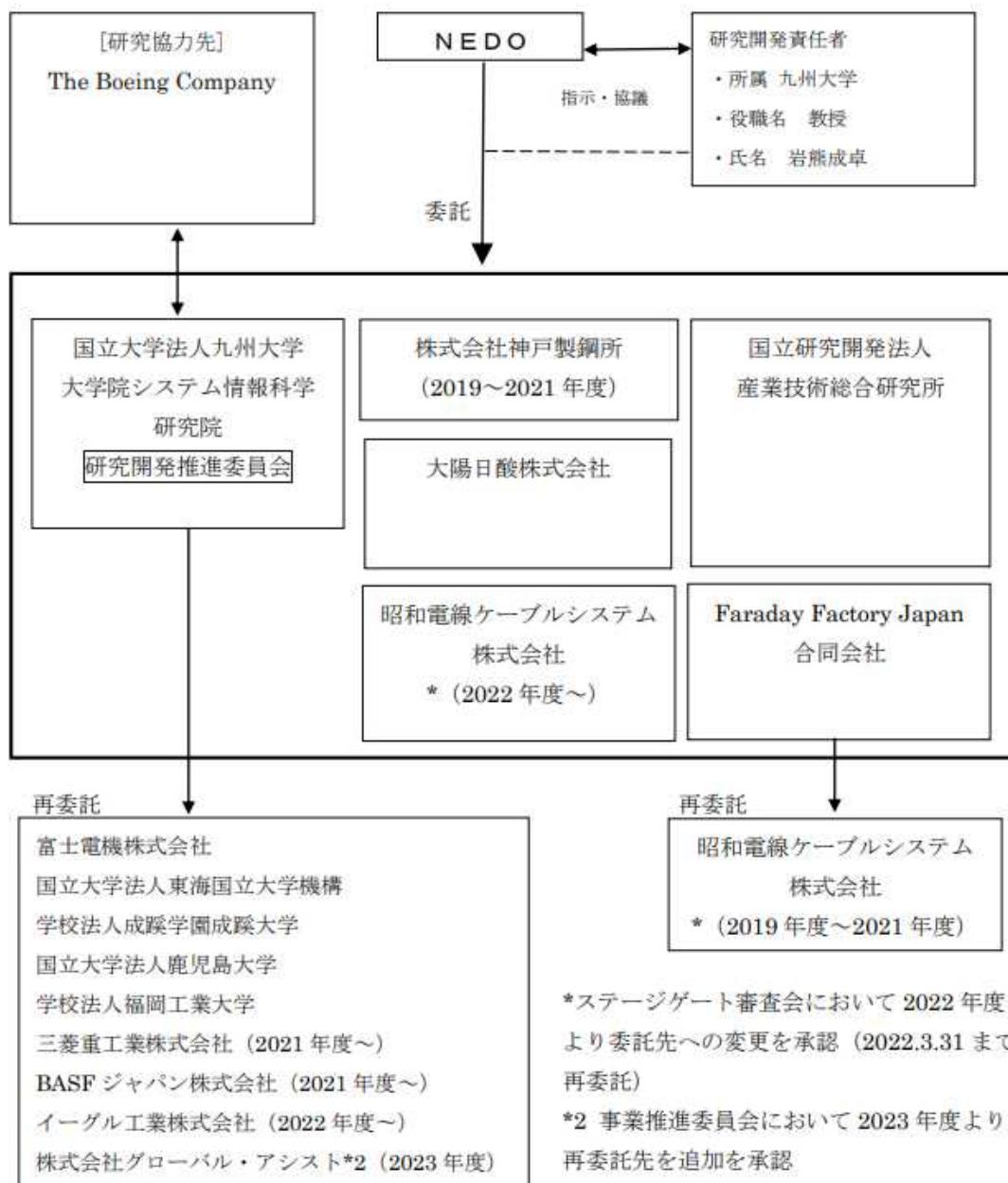
##### -電動ハイブリットシステム

実施者（委託先）：(株) I H I

##### -推進用電動機制御システム

実施者（委託先）：多摩川精機（株）

研究開発項目⑧-1：「高効率かつ高出力電動推進システム」の研究体制

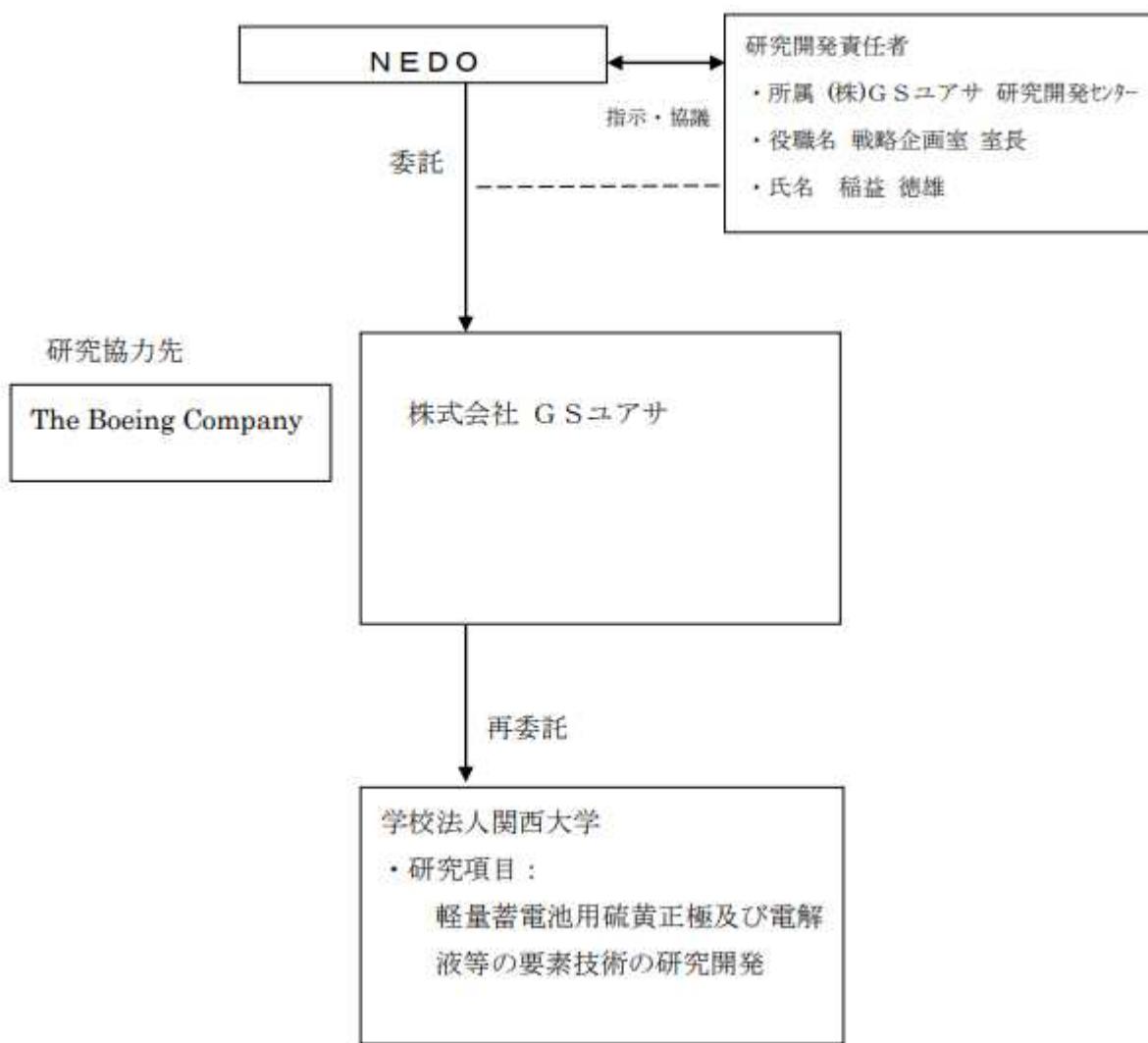


実施体制構築をするに当たっては、広く一般に公募を行い、NEDO 技術委員(有識者)による採択審査を実施した。

公募予告から採択公表までスケジュールは以下のとおりである。

- ・公募予告：2019 年 2 月 22 日
- ・公募開始：2019 年 3 月 22 日
- ・公募〆切：2019 年 4 月 22 日
- ・採択審査委員会：2019 年 5 月 15 日
- ・採択公表：2019 年 6 月 24 日

## 研究開発項目⑧-2：「軽量蓄電池」の研究体制

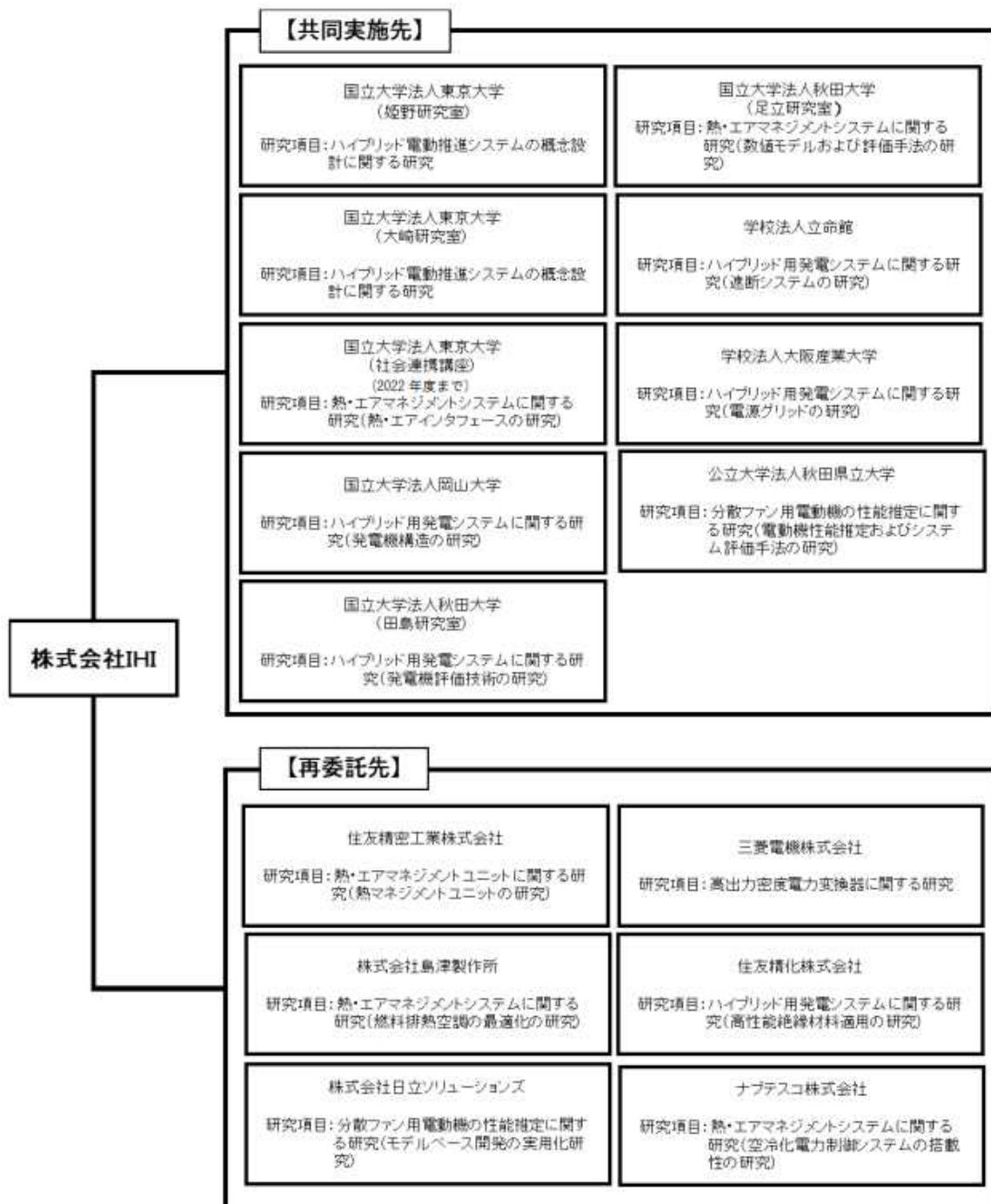


実施体制構築をするに当たっては、広く一般に公募を行い、NEDO 技術委員(有識者)による採択審査を実施した。

公募予告から採択公表までスケジュールは以下のとおりである。

- ・公募予告：2019 年 2 月 22 日
- ・公募開始：2019 年 3 月 22 日
- ・公募〆切：2019 年 4 月 22 日
- ・採択審査委員会：2019 年 6 月 6 日
- ・採択公表：2019 年 7 月 4 日

## 研究開発項目⑧-3：「電動ハイブリッドシステム」の研究体制

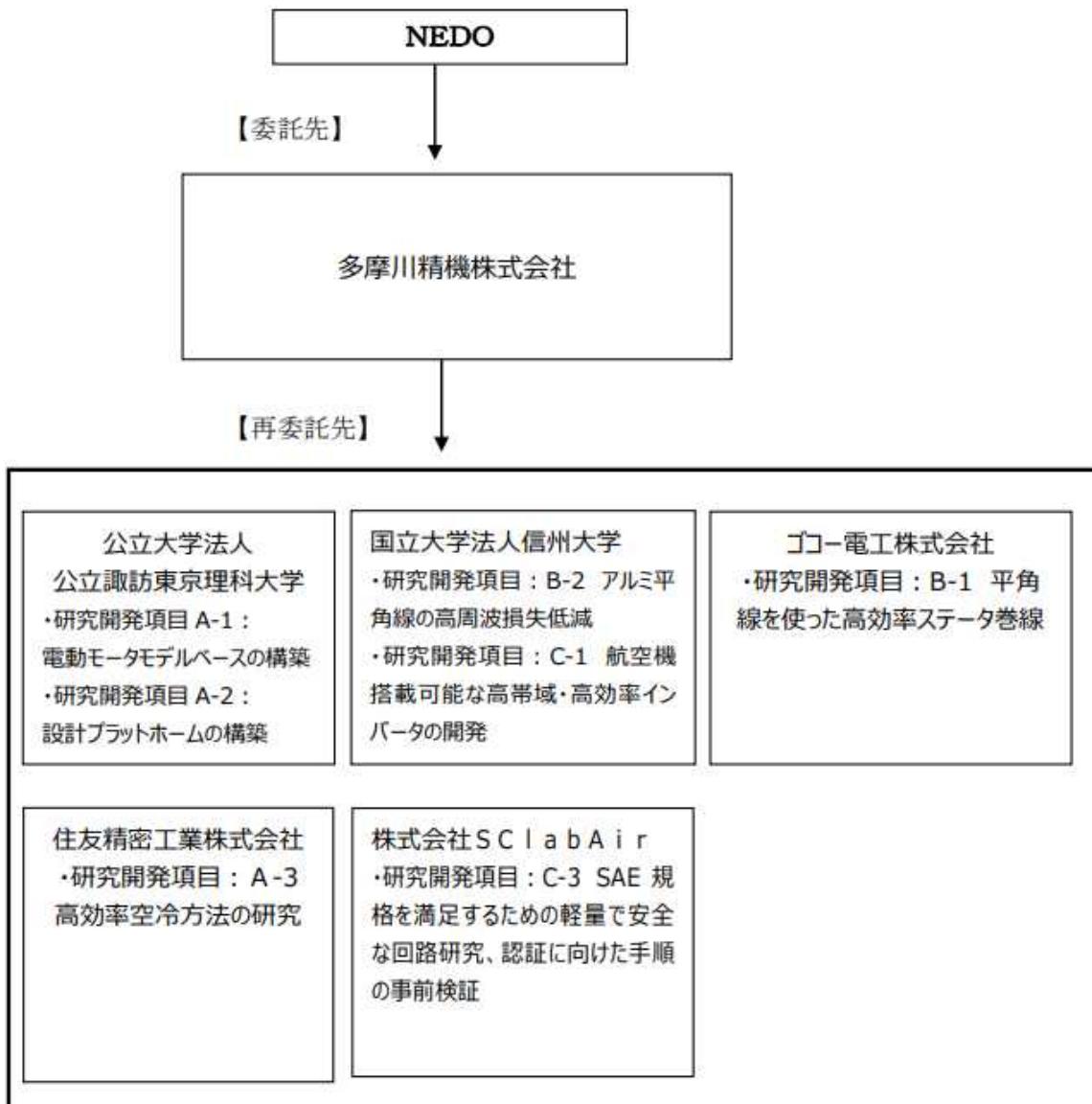


実施体制構築をするに当たっては、広く一般に公募を行い、NEDO 技術委員(有識者)による採択審査を実施した。

公募予告から採択公表までスケジュールは以下のとおりである。

- ・公募予告：2020年2月24日
- ・公募開始：2020年2月25日
- ・公募〆切：2020年3月25日
- ・採択審査委員会：2020年4月21日
- ・採択公表：2020年6月2日

## 研究開発項目⑧-4：「推進用電動機制御システム」の研究体制



実施体制構築をするに当たっては、広く一般に公募を行い、NEDO 技術委員(有識者)による採択審査を実施した。

公募予告から採択公表までスケジュールは以下のとおりである。

- ・公募予告 : 2021 年 2 月 10 日
- ・公募開始 : 2021 年 3 月 10 日
- ・公募〆切 : 2021 年 5 月 10 日
- ・採択審査委員会 : 2021 年 6 月 4 日
- ・採択公表 : 2021 年 7 月 5 日

各研究項目の委託契約先には、「NEDO プロジェクトにおけるデータマネジメント基本方針」を適用しており、プロジェクト参加者間でのデータの取扱いについての合意書及びデータマネジメントプランを提出させた。

### 3.2. 受益者負担の考え方

#### 【委託事業】

- ⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム
- ⑧-2 軽量蓄電池
- ⑧-3 電動ハイブリッドシステム
- ⑧-4 推進用電動機制御システム

本事業においては、次世代機体装備品の搭載サイクルとなる10年～20年スパンでの長期視点による研究開発が必要とされており、有力な大手機体 OEM である海外メーカによる開発動向の影響を大きく受けるため、民間企業単独での事業化の成否の判断が困難である。

また、世界的なCO<sub>2</sub>ゼロエミッション対応要請と、国の政策である次世代電動航空機装備品事業の育成方針に合致する先進的研究開発を実施するため、委託事業として実施された。

【インプット】				
・事業費用の総額：95億円（5年）（内、「⑧電動推進システム」の事業費：89億円）				
航空機用先進システム実用化 プロジェクト/⑧電動推進システム（⑧-1 から⑧-4）  (但し、2019年度は2015年～ 2019年度に実施中の事業費 についても含む)	年度	一般（百万円）	需給（百万円）	委託料（百万円）
	2019年	268	803	1,071
	2020年	1	1,350	1,351
	2021年	0	1,900	1,900
	2022年	0	2,780	2,780
	2023年	0	2,350	2,350
【アウトカム】（達成時の見込み）				
達成項目	年度予測	予測される効果		
電動航空機市場での売上シェア	2050年	760 億円/年（細胴機+広胴機）		
eVTOL 市場での売上シェア	2040年	1.3 兆円/年（eVTOL）		
CO <sub>2</sub> 削減（最終はネットゼロ）	2050年	3.7 Mt/年（細胴機+広胴機）		

従って、政策的な視点からみた「インプット」と「アウトカム」についての整合性は十分に検討されている。

### 3.3. 研究開発計画

本事業では、⑧-1 から⑧-4 のそれぞれの開発研究テーマごとに成果物であるサブスケール・プロトタイプの設計・製作を行い、地上試験および高高度飛行環境を想定した特殊試験を実施して、可用性を確認することにより、事業期間内にて開発した研究成果が実用化可能なレベルであるとの確認を目指した。一方、開発したサブスケール・プロトタイプはベースモデルであり、航空機業界に提供する事業化には、機体 OEM による技術評価と、委託事業者がさらに技術的な擦り合わせによる協業が必要となる。本事業内では、事業化に向けて「民間航空機としての本命である細胴機・広胴機を生産している欧米の大手機体 OEM」向けに、開発成果を継続的にアピールしていくために、「後続事業による支援が継続して必要な事業」（⑧-1：超電導、および⑧-3：電動ハイブリッド）と、世界中で急ピッチに事業化を進める競合企業が続々と出現してきている、「量産化までのタイムフレームが短い事業」（⑧-2：軽量蓄電池、及び⑧-4：空冷式電動モータ）との2グループに分けられて公募採択が行われている。

国プロ：「⑧次世代電動推進システム研究開発」は、当初から4テーマを予定して設定していたが、各委託先からの「公募提案」の開発方向性を確認する準備期間として、各テーマ別に1年から2年の「NEDO 先導研究プログラム」を実施してから、「実施計画書」にて提案されていた研究開発項目の達成レベルと国プロ⑧の公募テーマにて求めている内容との整合性を確認し、国プロ⑧の事業に移行可能であるか否かを確認しながら、採択する方法とした。なお⑧-2については、公募採択された委託先が、航空機向けのLiB蓄電池にてすでに高い技術力を持つため、「NEDO 先導研究プログラム」による準備期間は不要と判断した。

⑧-1 「高効率かつ高出力電動推進システム」

⑧-2 「軽量蓄電池」

⑧-3 「電動ハイブリッドシステム」

⑧-4 「推進用電動機制御システム」

の4テーマによる研究開発テーマは、各々以下の研究開発スケジュールにて採択した。

【航空機用先進システム実用化プロジェクト】

研究開発項目	2019	2020	2021	2022	2023	2024
⑧-1 高出効率かつ高出力電動推進システム		仕様策定、試作・評価		プロトタイプの設計/製作、検証		
⑧-2 軽量蓄電池		仕様策定、試作・評価		プロトタイプの設計/製作、検証		
⑧-3 電動ハイブリットシステム	前交付金⑧+先進研究	仕様策定、試作・評価		プロトタイプの設計/製作、検証		
⑧-4 推進用電動機制御システム	前交付金⑧+先進研究	仕様策定、試作・評価	プロトタイプの設計/製作、検証			
評価時期			中間評価			終了時評価
予算 (億円)	⑧-1: 委託 ⑧-2: 委託 ⑧-3: 委託 ⑧-4: 委託	821 295 - -	788 429 280 -	1,090 914 295 189	1,508 536 368 130	1,455 411 310 57

図2 研究開発スケジュール

#### <進捗管理等>

当該プロジェクトの進捗等を管理するために、以下の会議体等を組成し、進捗管理等を行ってきた。

NEDO会議名	出席者メンバー	対象・目的	頻度	主催者
技術推進委員会	外部有識者 /PMgr/NEDO担当者	・⑧電動航空機事業について設置し、4個別事業の技術開発の進捗状況等について外部有識者が確認	・半年に1回	NEDO
サイトビジット	外部有識者 /PMgr/NEDO担当者	・4個別事業の技術開発の進捗状況等について外部有識者/NEDOが現地で確認し、協議	・年に1回	NEDO
進捗確認ヒアリング	PMgr/NEDO担当者	・各4個別事業について設置し、技術推進委員会の指摘事項への対応、技術開発の進捗状況についてNEDOが委託者に確認	・年に1回	NEDO
⑧-1月次進捗確認会	PMgr/NEDO担当者	・超電導委託先別に、重要研究項目に特化し、開発の進捗状況を確認	・2ヶ月に1回	NEDO

表1. NEDO主催の研究開発の進捗管理会議

また、研究コンソーシアム内にて研究連携を密に実施する必要があると委託先が判断した場合には、自主的に共同研究先(NEDO委託先)、または委託先が業務委託先(再委託先)との定期会議を開催するようにした。(会議開催通知、会議の議事録を開催後に、NEDOに報告している。)

委託側会議名	出席者メンバー	対象・目的	頻度	主催者
⑧-1 超電導研究開発推進委員会	⑧-1 委託事業者/ 再委託事業者/外部有識者	・500kW級モータ開発進捗の共有 ・開発項目毎の成果報告 ・課題解決について協議 ・研究成果に対する外部識者による評価	・1年に1回	九州大学コンソ
⑧-4 常電導関係者会議	⑧-4 委託事業者/ 再委託事業者/NEDO	・100kWモータ開発進捗の共有 ・開発項目毎の成果報告 ・課題解決について協議	・四半期に1回	多摩川精機

表2. 委託事業者主催の進捗管理会議

## <情勢変化等の把握>

### ① 電動航空機 開発動向の把握

- ・新技術官民協議会 電動化WG/航空機電動化コンソーシアム（（国研）宇宙航空研究開発機構（JAXA）、ÉCLAIR）会議への参加

上記の会議にNEDO事務局が出席し、世界の電動航空機開発動向をふまえた日本の研究開発ロードマップの設定・主要技術課題について協議を行った。協議内容をもとに、委託者へ情報共有を行い、研究スケジュール、社会実装への展開方法につき継続的に協議を実施した。

- ・SAE E-40(Electrified Propulsion Committee) / SAE Workshop(東京開催/2/21)への参画  
電動化に際して、航空機への新機能装備に関連した国際安全性認証基準の策定動向を監視するため、参照型国際基準を作成する会議体(SAE)に会員(Liaison)として参加した。その動向や認証対象となる技術課題を委託先事業者に共有し、協議を実施した。

### ② 社会課題 (Covid-19)の影響への解決策

- ・超電導同期機プロトタイプモデルの部品調達課題への対応(500kW級→400kW出力への現実的対応)

当初 500kW 級出力を目標に設計した部品の出荷・供給が、Covid-19 によるサプライチェーンへの影響をうけ滞留した。既存品で供給が可能な部品によるシステム再構成を計画し、500kW 級システム検証の方針内に入ることを技術推進委員会と確認しながら、当初のスケジュール内に試運転を完了させた。

### ③ 国内超電導回転機 開発動向 調査

- ・モビリティ向け軽量・小型超電導モータ(最高 2MW 出力) 東芝 (2022 年 6 月発表) に係る情報収集

モータ駆動方式の違い(誘導式/同期式) や全超電導(超電導電機子/界磁巻線) と部分的超電導の違いを情報収集・調査を実施し、本研究課題の独自性/優位性について確認した。

## <成果普及への取り組み>

各研究テーマを担当する委託先による各種研究会合での論文発表、専門雑誌への投稿記事、新聞発表が適宜行われてきた。詳細については、添付資料の「特許論文等」の一覧表を参照されたい。

当機構からの対外的な成果発表は、「2024 国際航空宇宙展」にて講演を行う予定としている。

## NEDOによる電動航空機研究のPR活動

### 2024国際航空宇宙展(JA2024)

主催： 日本航空宇宙工業会  
日時： 2024年10月16日～10月19日  
場所： 東京ビッグサイト

口頭発表：  
“航空機電動化を促進するための  
NEDOの産業支援について”と題して、  
電動航空機の産業政策上の位置づけと事業紹介  
につき説明



<開発促進財源>

本事業の遂行にあたり、委託先との情報交換を密に行い、海外情勢や情勢変化、研究開発の作業効率を図る目的で開発促進財源投入を実施。

具体的には、2022 年度に 4.9 億円の開発促進財源を投入した。主な事例は以下のとおり。

No.	件名	研究開発 テーマ	年度	金額 (百万円)	目的	成果・効果
1	・巻線技術の確立 ・三次元コイルの寸法測定装置購入	⑧-1	2022	109	・超電導線材に歪みを加えずに鞍型等複雑な形状に対応した巻線技術の確立 ・組み立てリードタイムの短縮	同期モータ、発電機の小型軽量化が可能となった。組み立てリードタイムの短縮により、開発日程を守ることができた。
2	・幅広線材の開発	⑧-1	2022	52	・線材間スペースの削減による軽量システムでの磁場シールド能力向上	より軽量で磁場をシールドする能力を実現することで、超電導回転機の軽量化が可能となった。
3	・新材料プラスティックを使ったシール材技術の確立	⑧-1	2022	63	・送配電超電導ケーブル用冷却ホースの軽量化	航空機用推進システムに用いる超電導ケーブルの軽量化が可能となることに加え、波及効果として、使用電力量増大に伴い大容量化が想定される送配電ケーブルへの応用も今後は期待できる。
4	・Li 金属負極性能向上及び電池出力特性向上のための設備購入	⑧-2	2022	73	・Li 金属負極の性能改善による、電池の安全・信頼性の向上、および、電池の出力特性のさらなる向上	電極电解液界面にSEI被膜を形成し、短絡を防止して、Li の均一なる析出をはかり、長サイクル寿命を達成
5	電動ハイブリッド ・エアマネジメントユニットの研究 ・空冷化電力システムのエアマネジメントの研究	⑧-3	2022	160	・電動ターボ機械の高出力化、高効率化のため、ユニットレベルでの技術成立性及び性能評価を実施。 ・実用型ヒートシンクによる空冷システムを構築し、実際のパワーエレクトロニクスの冷却能力を実証評価。	エアマネジメントシステムの要素レベル技術確立からユニットレベル技術実証へ、また、空冷システムをユニットレベルからシステムレベル性能実証へとそれぞれステージを上げ、海外メーカーへの訴求力を獲得
6	・モータ試作品を評価するための試験設備導入 ・部品代上昇への対応	⑧-4	2022	17	・モータ巻線の高密度化による交流銅損の削減	純アルミ製の平角線を作成、集中巻きにより高密度化を実現、磁性くさびの導入効果と併せ、117Wの交流銅損削減を達成
7	・故障予兆システムの開発	⑧-4	2022	14	・AE（音響弾性波）センサーを用い、材料の変形あるいは破断の際に発生する音波から、機器の故障を予知するシステムをAI技術により開発	振動センサを中心としたデータ群を用いたMT法による分析手法を用いることで、故障検知の知見を得る

## 4. 目標及び達成状況の詳細

### 4.1. 研究開発項目⑧-1：高効率かつ高出力電動推進システム

テーマ名	高効率かつ高出力電動推進システム	達成状況	○
実施者名 (再委託先)	九州大学（富士電機、東海国立大学機構、成蹊大学、鹿児島大学、福岡工業大学、三菱重工業、BASF ジャパン、イーグル工業、グローバルアシスト）、産業技術総合研究所、大陽日酸、Faraday Factory Japan、SWCC、神戸製鋼所		
達成状況の根拠	航空機用超電導推進システム要素技術開発の成果を適用して、400kW 級全超電導モータを製作し、モータモード及び発電モード運転を確認した。更に、特殊評価として、50,000ft に相当する環境での回転試験で健全性を確認すると共に超軽量超電導ケーブル、超電導線材、低温動作半導体の材料開発を含め 20MW システムに向けた各要素の開発とともに課題と対策を整理することができた。また、1～2 MW 超電導推進システムに対し、軽量化につながる先進的要素技術の開発を実施した。また、飛行試験を想定したシステム検証課題整理を行うとともに、飛行試験に対する機体候補及び飛行実証実施業者の選定を行った。これらの開発を通し、全ての研究開発項目で最終目標を達成することができた		

●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係

[背景]

世界的な脱炭素化の潮流の中で、IATA は、「2050 年実質ゼロ」目標を掲げた。航空機の脱炭素化に対しては、これまで、現行のターボファンエンジンにおいては、すでに技術的には飽和しており、これ以上の高性能・高出力化が難しいと言う段階に至っている。その有力な解決策として電気推進化が考えられているが、鉄心と銅線から成る従来の回転機・ケーブルでは重すぎて、本末転倒の結果を招くため、全超電導回転機・ケーブルの採用が最有力候補として挙げられている。しかし、欧米で公表されている開発の基本コンセプトは、超電導関連の概念設計は実にラフなもので、選択は今後の研究開発次第とされている。欧米で超電導電気推進航空機の開発研究は、その主体は超電導関連の知識を持ち合わせず、世界中の超電導関連研究者・研究機関の情報収集を行っている段階である。特に電機子巻線に用いる超電導線材の低交流損失化が最重要視されているものの、その具体策は示されていない。

[目的]

本研究では、超電導技術を活用し、小型・軽量、高効率・低エミッションの航空機用電気推進システムを開発する。超電導発電機・ケーブル・モータ、低温動作インバーター、冷却システム、超電導線材等、個々の構成機器の基盤研究と 500 kW 級全超電導モータの試作・特性評価、更には、1 MW 級の超電導推進システムに向けた先進的基盤技術の開発を介し、現行のジェットエンジンと同等以上の高出力密度を持つ 100-200 人乗り航空機の電気推進システムを目指した開発を実施し、実用化を促進することを目的としている。

[プロジェクトアウトカム目標との関係]

世界で前例のない数百 kW 級の全超電導モータを実現し、上空環境での動作までの運転を確認すると共に超電導ケーブル、冷却システムなどの要素技術及び各種先進的要素技術の開発は、次フェーズで想定されている 2 MW 級の超電導推進システム開発につながる成果であり、その後に更なるスケールアップやシステム化、飛行試験等を経て中・大型航空機の実用化につながる。また、2 MW の超電導機器及びシステムは、早期の社会実装を期待できる他の用途への展開も期待できる。

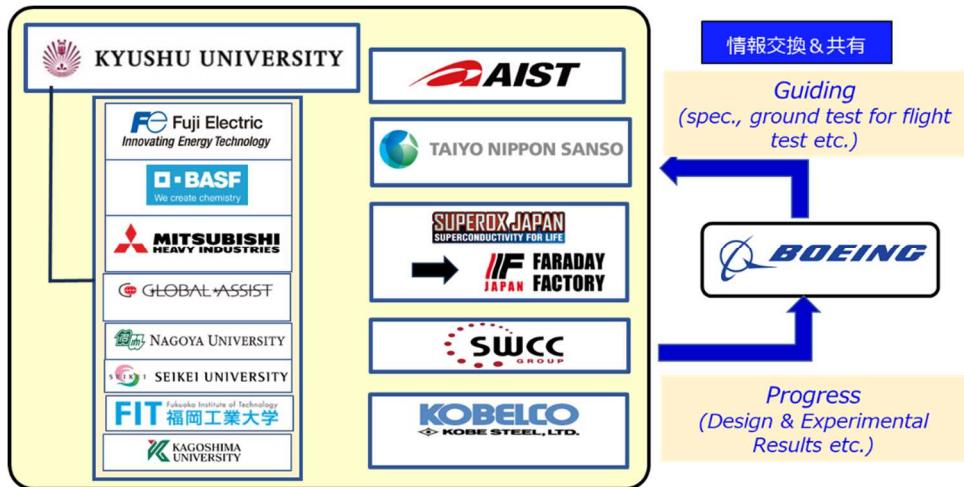
●アウトプット目標

①「航空機用超電導推進システム要素技術開発」

- ①—1 超電導回転機基盤技術開発
  - ・20MW システム開発に向けた超電導回転機における課題と対策の明確化
- ①—2 超電導ケーブル基盤技術開発
  - ・20MW システム開発に向けた超電導ケーブル関連技術における課題と対策の明確化
- ①—3 冷却システム基盤技術開発
  - ・20MW システム開発に向けた冷却システムにおける課題と対策の明確化
- ①—4 超電導線材基盤技術開発
  - ・スクライビング加工により 10 分割した 100m 長線材において、温度 70K、磁束密度 1.2T の環境下で電流密度 300A/cm の電機子用線材を実現し、歩留り 60%以上を達成する。
  - ・100m 長線材において、温度 70K、磁束密度 2.5T の環境下で電流密度 500A/cm の界磁コイル用線材を実現する。
  - ・20MW システム用シールド基盤技術を確立する。

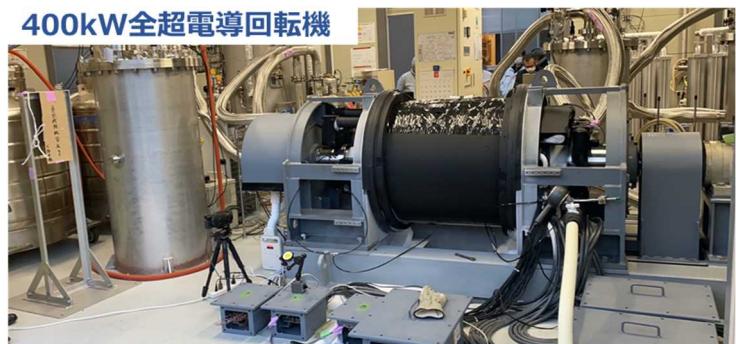
- ①—5 低温動作半導体技術開発
  - ・65Kで動作する半導体素子の開発
- ②「航空機用超電導推進システム機器機能検証」
  - ②—1 500kW級超電導モータ検証
    - ・250~500kWモータの修正（含再製作）を行い、航空対応条件に対する地上評価を行うことで実機搭載の実現性を評価する。
  - ②—2 1MW級超電導推進システム検証
    - ・0.5~1MW超電導推進システムにおいて軽量化に必要な要素群の技術開発を製作し、基礎評価を行うことで、超電導推進システムの成立性を検証する。

### ●実施体制



### ●成果とその意義

前半では、研究項目①「航空機用超電導推進システム要素技術開発」の各要素技術開発（「①—1 超電導回転機基盤技術開発」、「①—2 超電導ケーブル基盤技術開発」、「①—3 冷却システム基盤技術開発」）において、後半に実施する研究項目②「航空機用超電導推進システム機器機能検証」/②—1 250~500kW級超電導モータ検証」で作製する全超電導モータに向けた各種基盤要素技術（超電導回転機、超電導ケーブル、冷却システム基盤技術）を開発した。これらの開発技術成果に対して、「超電導モータ要素技術選定委員会」において既存の技術との比較等を行うことで、全超電導モータに採用する要素技術（同期機、CFRP ケーシング、断熱材、低温シール材、鉄ヨーク、スリップリング、熱交換冷却システム等）を決定した。後半には、採用することとした要素技術を用いて、400kW 級全超電導モータを製作し、モータモードで 460rpm の回転と共に、2500rpm において発電モード運転を確認した。更に、特殊評価として、S-Birdにおいて、50,000ft に相当する温度(-55°C)、圧力(11.6kPa)において、3Hz 回転試験での健全性を確認した。並行して、上記の研究項目①「航空機用超電導推進システム要素技術開発」の後半では、研究項目②の進展及び机上検討を踏まえて 20MW システムに向けた各要素の課題と対策を整理することができた。



加えて、研究項目①「航空機用超電導推進システム要素技術開発」では、上記以外に、「①—4 超電導線材基盤技術開発」及び「①—5 低温動作半導体技術開発」の 2 項目において、全期間を通して材料開発を実施した。前者では、RE 系超電導線材において、磁場中高  $I_c$  化技術開発で、人工ピン止め点導入等で特性向上を図り、100m 長線材で電流密度 500 A/cm<sup>2</sup> 以上@温度 70K、磁束密度 2.5T を達成した。また、低損失線材開発で、スクライビング技術開発を行い、10 分割 - 100m 長線材で電流密度 300 A/cm<sup>2</sup>@温度 70K、磁束密度 1.2T かつ歩留り 60%以上を達成した。また、線材を用いた小型コイルを作製し、シールド基礎特性を把握すると共にその知見に基づき、シールドの解析を行い、20MW システムへの課題と対策の整理を実施した。また、後者では、GaN 材料を基本として低温動作可能な材料開発を実施し、65 K で動作する PSJ 半導体素子で低損失を確認し、有効性を確認すると共にノーマリーオフ特性に関しても解決策に目途を得た。

更に、研究項目②「航空機用超電導推進システム機器機能検証」/②—2 1MW級超電導推進システム検証」では、1~2MW 超電導推進システムに対し、軽量化（進歩性）につながる先進的要素技術の開発を実

施すると共に飛行試験を想定したシステム検証課題整理を行った。前者に関して、具体的には、界磁子対応の鞍型コイル、電機子対応の分布巻コイル、表面テクスチャーシール、薄肉ヨーク、軽量ケーブル&ワントッチ接続、軽量熱交換器等の開発に取り組み、全ての項目において、モデル機で有効性を確認すると共に、それらの先進要素技術を取り入れた2MW級全超電導回転機の概念設計を行い、技術適用への目途を得た。後者に関しては、飛行試験に対する搭載候補の機体及び飛行実証実施業者の選定を行うと共に飛行試験に向けた全体スケジュール案を策定した。更に、機体調達、機体改修、飛行試験の予算見積も実施した。

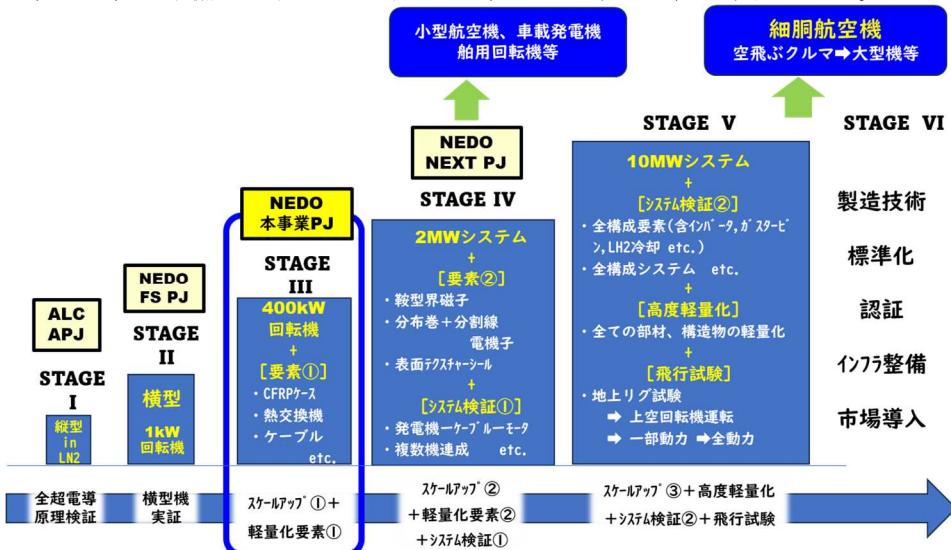
上述の開発を通じ、全ての研究開発項目で最終目標を達成することができた。

### ●実用化・事業化への道筋と課題

本事業における研究成果は、高効率で大出力密度を特徴とする超電導電気推進システムに関するものであり、少なくとも発電機・ケーブル・インバータ・モータ・冷却システムまでのパッケージとしての製品となる。CO<sub>2</sub>削減が強く求められている航空機分野へ主に反映されるもので、ビジネスジェット以上の航空機への適用が想定され、特に、電動化に対して常電導システムでは対応が不可能である中で、機体数が最も多い100~150人乗りの航空機の推進システムへの適用が最も効果的な市場と考えられる。この推進システムのパッケージは航空機の重要なエンジン機構として、ボーイング、エアバスなどの航空機メーカーが販売先として考えられる。本システムは、エンジン機構の部品ではなく、パッケージの推進システムとして直接の販売を想定している。また、波及的分野としては、空飛ぶクルマが考えられるが、この分野では、ベンチャーから大企業、分野も車業界、航空機業界等多岐にわたることが想定されるが、何れにおいても製品メーカーへの直接販売が想定される。

今後の道筋として、本命である100~150人対応の航空機は、20MWの推進パワーが必要であり、スケールアップと航空機全体の構成に適応したシステム開発が必要となる。また、航空機への適用には、航空機の運転条件及び安全性、信頼性を確保するための評価が必要である。更には、商用には様々な認証も必要である。

また、上記の推進と並行して、本技術の早期社会実装への取り組みの可能性も想定している。空飛ぶクルマに関しては、既に世界中で開発がすすめられ、法規制等の課題は整備されつつあると言える。従って、並行して、本技術を基にした技術的な開発が進められれば、飛行機に比べて導入障壁は低くなり、比較的早い時期に社会実装ができる可能性が高い。加えて、大容量の車載、艦載発電機等の展開は、次のステージ後には、実用化の準備は整うものと考えられ、更に早期の実装が期待できる。



●期間・予算 (単位:百万円)	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy	2023fy
	321	793	1,090	1,503	1,455

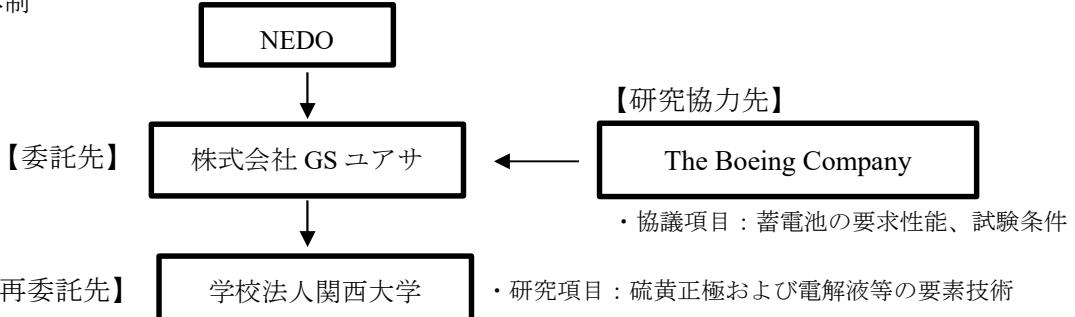
### ●特許出願及び論文発表

特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他
14件	36件	171件	18件	1件

## 4.2. 研究開発項目⑧-2：軽量蓄電池

テーマ名	軽量蓄電池	達成状況	○			
実施者名 (再委託先)	委託先 株式会社 GS ユアサ 再委託先 学校法人関西大学					
達成状況の根拠	アウトプット目標の6項目のうち、5項目の成果において目標を達成した。目標未達の技術課題である「充放電サイクル寿命性能の向上」については、劣化要因の解明を一定レベル終了し、その改善技術コンセプト（電解液技術、硫黄炭素複合体技術、Li金属負極技術、多孔質集電体など）の提案が一部できている。					
<b>●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係</b>						
<p>[背景]</p> <p>近年、地球温暖化や環境問題が深刻化するなか、航空機の電動化の重要性が増している。航空機からの温室効果ガスの排出がもたらす影響は大きく、これに対応することが急務とされている。環境負荷軽減や経済性、整備性向上のために、推進系を含めた航空機の電動化が進むと考えられているが、従来の電動推進システムは、飛行に求められる質量当たりの容量・出力の点において旅客や貨物輸送に供する実用レベルに至っていない。そのために、この電動推進システムを構成するモーターやケーブル、発電機、蓄電池等の軽量化、および電力制御システムの高効率化が必要とされている。</p> <p>[目的]</p> <p>電動航空機用蓄電池システムに求められる性能を把握し、実用化時に求められるエネルギー密度、出力密度、サイクル寿命の目標達成の見通しを得るために、電池系として最も有力候補である「リチウム硫黄電池」の性能改善に関する研究開発を行う。得られた研究開発成果をもとに、小型セルにて性能実証を行う。さらに、CMU(Cell Monitoring Unit)、BMU(Battery Management Unit)などの制御ユニット、モジュール構造、パック構造などの基本仕様開発を行うとともに、実際に蓄電池システムのプロトタイプモデルを作成して、電動航空機への適用の可能性について、飛行環境を模擬した地上試験において、機能性を確認する。以上のことを利用とした。</p> <p>[プロジェクトアウトカム目標との関係]</p> <p>資源制約が無く、かつ安価な資源を用いた硫黄正極を備える高エネルギー密度の軽量蓄電池の実用化が達成されることによって、最終目標の大型電動航空機への社外実装に加えて、ドローン、HAPS、小型エアタクシーなどのアプリケーションへの段階的な社会実装が期待されることから、新しい事業の創生が可能になる。加えて、再生可能エネルギー用の蓄電池産業、宇宙産業、およびロボット産業（アシスト・介護）など、電池の軽量化が渴望されている産業分野への波及効果が見込まれる。</p>						
<b>●アウトプット目標</b>						
<p>① 硫黄炭素複合体技術の研究開発（理論容量相当の容量発現によるエネルギー密度の向上）</p> <p>[中間目標] 硫黄の担持質量比率 60%以上で安定に充放電できる電極炭素材料と硫黄担持方法の開発。</p> <p>[最終目標] 硫黄の担持質量比率 60%以上の硫黄正極において理論容量相当の発現 (500 Wh/kg 級小型セルにて実証)</p> <p>② 電解液技術の研究開発（充放電サイクル寿命性能の向上技術）</p> <p>[中間目標] 容量維持率 90%以上-50 サイクル</p> <p>[最終目標] 容量維持率 80%以上-100 サイクル (500 Wh/kg 級小型セルにて実証)</p> <p>③ 放電レート性能向上技術の研究開発</p> <p>[中間目標] 0.5 CA 放電容量発現</p> <p>[最終目標] 2 CA 放電容量発現 (500 Wh/kg 級小型セルにて実証)</p> <p>④ リチウム金属負極の高面積容量密度下におけるサイクル寿命の向上 (Li デンドライト形成抑制技術)</p> <p>[最終目標] 10 mAh/cm<sup>2</sup> 以上の面積容量密度下において、Li/Li セル 200 サイクル以上安定作動</p> <p>⑤ 500 Wh/kg 級の小型セルの実証検証</p> <p>[最終目標] 小型積層セルのエネルギー密度 500 Wh/kg 以上</p> <p>⑥ 蓄電池システムの実証検証</p> <p>(400 Wh/kg 級積層セルを備える蓄電池システムのプロトタイプモデル試作、機能性確認)</p> <p>[中間目標] 蓄電池システムのプロトタイプモデルの試作</p> <p>[最終目標] 蓄電池システムのプロトタイプモデルの試作および機能性評価、環境/安全性試験合格 (D0-160/D0-311) (自主目標：軽量構造-圧迫機構の確立、電池モジュール内のセル質量比率 80%相当)</p> <p>⇒①から③および⑥の中間目標を全て達成した。それらの最終目標については、中間審査以降に、研究協力先との協議の結果、要求性能を反映して、数値目標の変更を決定した。さらに、④および⑤の目標は、リチウム硫黄電池の性能改善および実用化加速のために、中間審査以降に、あらたに追加した。</p>						

●実施体制



●成果とその意義

研究開発項目	最終目標 (2024年3月)	成果
① 硫黄炭素複合体技術	理論容量相当の容量発現	硫黄炭素複合体構造の適正化、および新規電解液技術の適用により、目標達成。
② 電解液技術	容量維持率80%以上-100サイクル	新規電解液技術を備える500 Wh/kg級小型セルにて、充放電サイクル寿命：SOC80-40%制限下で容量維持率100%-70サイクル以上を確認。(目標未達)
③ 放電レート性能向上技術	2 CA放電容量発現	新規電解液技術を備える500 Wh/kg級小型セルにて、2 CAでの放電容量発現を確認。
④ Li dendrite形成抑制技術	10 mAh/cm <sup>2</sup> 以上 Li/Liセル200サイクル以上	イオン液体電解液の適用により、目標達成。
⑤ 小型セルの実証検証	セル・エネルギー密度 500 Wh/kg以上	新規電解液技術の適用により、小型積層セルのエネルギー密度500 Wh/kg以上を実証。
⑥ 蓄電池システムの実証検証	プロトタイプモデル試作 機能性確認(圧迫機構、セル質量比率80%相当) 環境/安全性試験合格 (DO-160/DO-311)	・軽量モジュール構造を備える蓄電池システムのプロトタイプモデル実証。 ⇒セル質量比率76%を達成。 ・モジュールでのDO-160環境試験クリア、単セルのDO-311安全性試験において、一定レベルの高安全性実証。

実用仕様 (5 Ah 以上) の積層セル (図 1) において、500 Wh/kg 以上のエネルギー密度の性能実証、同セルのパイロットプラントレベルでの製造技術の確立、セル質量比率 80% 相当の軽量電池モジュールの開発成果は、国内外の競合に対して、先行していると判断できる。



図 1. 実用仕様 (5 Ah) の積層セル  
(質量エネルギー密度: 500 Wh/kg)

●実用化・事業化への道筋と課題

[社外実装までのマイルストーン]

実用化目標：2027 年度～ ドローン、UAV、HAPS など

実用化目標：2030 年度～ eVTOL、エアタクシーなど

実用化目標 2035 年度～ 電動航空機

その他産業用途 (再生可能エネルギー用蓄電システム、特殊用途など)

[課題]

要素技術：充放電サイクル寿命性能、入出力、安全性、信頼性の向上技術の研究開発の継続

蓄電池システム：OEM メーカーの各アプリケーションの要求仕様および認証規格に基づく実証試験

●期間・予算 (単位: 百万円)	2019FY	2020FY	2021FY	2022FY	2023FY
	295	429	314	536	411

●特許出願及び論文発表

特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他
27 件	1 件	16 件	1 件	6 件

#### 4.3. 研究開発項目⑧-3：電動ハイブリッドシステム

テーマ名	次世代電動推進システム研究開発／電動ハイブリッドシステム	達成状況	○
実施者名 [共同実施先] (再委託先)	株式会社 IHI、 [国立大学法人東京大学(渡辺・姫野研究室)]、[国立大学法人東京大学(大崎研究室)]、[国立大学法人東京大学(社会連携講座)(2022年度まで)]、[国立大学法人岡山大学]、[国立大学法人秋田大学(田島研究室)]、[国立大学法人秋田大学(足立研究室)]、[学校法人立命館]、[学校法人大阪産業大学]、[公立大学法人秋田県立大学]、 (住友精密工業株式会社)、(株式会社島津製作所)、(株式会社日立ソリューションズ)、(三菱電機株式会社)、(住友精化株式会社)、(ナブテスコ株式会社)		
達成状況の根拠	電動推進電力システム、熱・エアマネジメントシステムのシステム定義・評価に基づく技術開発ロードマップを策定し、グリーンイノベーション基金事業へ応募し採択された。 また、MW級エンジン内蔵発電機の電流密度に係る性能評価、および定格回転数における電力、耐電圧特性に関わる性能評価を完了し、電動推進電力システムを模擬したリグ試験において、想定するエンジン運転および電力負荷プロファイルでの運転を実施し、機能・性能評価を完了した。 さらに、航空機用として世界最大出力を有する電動ターボ機械の基本性能評価を完了し、熱・エアマネジメントシステムのシステムリグ試験において、エネルギー回収率等の性能、及び巡航高度条件を変えた際の運転評価を完了した。		
●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係			
[背景] 次世代航空機には更なる安全性・環境適合性・経済性が求められており、また、航空機産業では空飛ぶクルマのような小さな航空機から大型旅客機まで「電動化」が大きな技術開発テーマとなっている。そのため、これらのニーズに対応した航空機用先進システムを開発し、我が国の技術が次世代航空機に早期に導入可能な体制を構築しておく必要がある。			
[目的] 本研究は、未来の移動手段である将来航空機に対して、既存の推進システムを代替する次世代電動推進システムを適用し、飛躍的な低燃費、低環境負荷を実現し、温暖化対策に資することに加え、原動機システムの進化がもたらす制御性向上を最大限活用し、移動体の安全性や運用性向上に資することを目的とする。			
[プロジェクトアウトカム目標との関係] 電動航空機市場のうち、ボリュームゾーンである細胴機をターゲットとした電動ハイブリッドシステムについて、エンジン後方のテールコーン内にMW級発動機を内蔵すること、及び機体システム内で最大のエネルギー消費システムである空調システムを含む熱・エアマネジメントシステムに、電動ターボ機械技術を適用してエネルギー回収を伴う新たなコンセプトを世界に先駆けて打ち出し、地上実証によりシステム成立性を確立したことで、将来の新たな事業分野への参入に向けた基盤確立を達成した。また、これらシステムのコア技術となるMW級発動機、及び電動ターボ機械の技術確立により、電動化された航空機への幅広い出口の可能性を創出した。			
●アウトプット目標			
<u>研究項目(1) ハイブリッド電動推進システム</u>			
[中間目標] <ul style="list-style-type: none"><li>電動ハイブリッド航空機の実用化に向けた電動推進電力システムおよび熱・エアマネジメントシステムに係るシステム定義、および評価項目設定を行う。</li></ul>			
[最終目標] <ul style="list-style-type: none"><li>実用化に向けたシステム定義の妥当性評価、および将来を見据えた中長期スパンでの技術開発ロードマップの策定を行う。</li></ul>			
<u>研究項目(2) 電動推進電力システム</u>			
[中間目標] <ul style="list-style-type: none"><li>MW級電動推進を達成するエンジン内蔵発電機の特殊電磁機械製造技術の実現性確認のための試作を完了する。</li></ul>			

- 電力システムを構成する電源グリッド、遮断システム、分散ファン用電動機、電力変換器の技術成立性について、モデル解析等による確認を完了する。

[最終目標]

- MW級電動推進を達成するエンジン内蔵発電機の電流密度及び耐電圧性に係る性能評価を完了する。
- システムリグ試験を含むシミュレーションによる電力システムの地上実証を行い、機能・性能評価を完了する。

研究項目(3) 熱・エアマネジメントシステム

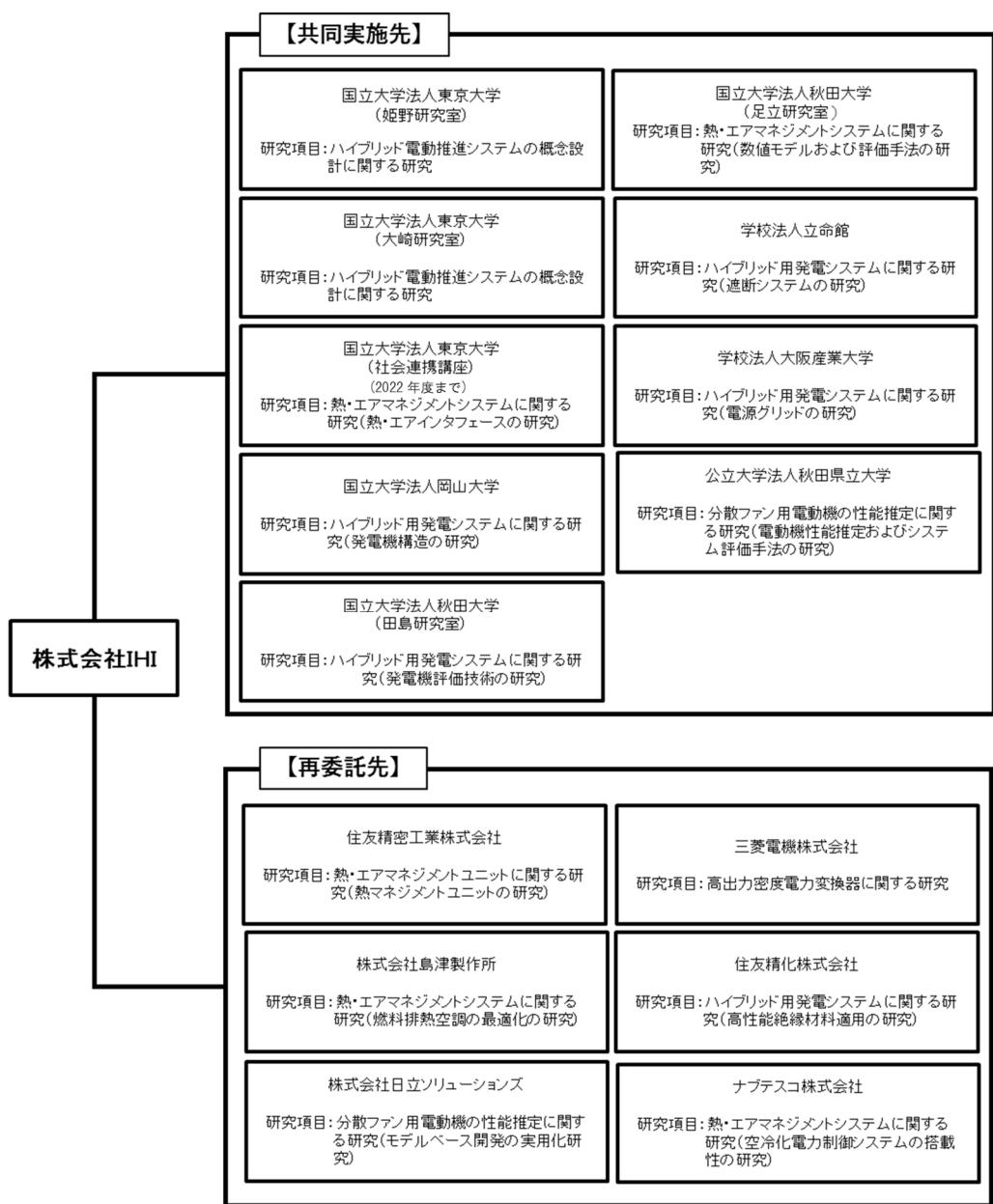
[中間目標]

- フライトミッションを通したシステム特性評価を可能とする燃料排熱空調システム、エネルギー回収システムの技術成立性について、シミュレーションモデル等による確認を完了する。
- 熱・エアマネジメントシステムを構成する燃料排熱熱交換器(FCAC)の耐久性評価を完了する。

[最終目標]

- システムリグ試験を含むシミュレーションによる熱・エアマネジメントシステムの地上実証を行い、燃費改善効果を含む機能・性能評価を完了する。
- 実用化に向けた燃料排熱熱交換器(FCAC)の性能図表作成を完了する。

●実施体制



## ●成果とその意義

### 本研究の背景と狙い(意義)：目指すソリューション

航空機の電動化はMEA(More Electric Aircraft)としてBoeing 787が先行したが、性能面、運用面等の課題により、現行機においては拡がりが見られないのが現状である一方、本研究終了段階においては、脱炭素化への社会的要請の強まりを受けて、革新技術の一つとしての電動化技術を次世代航空機へ適用すべく、技術開発が世界的に活発になっている。

本研究では、このような世界的動向に先駆けた取組みとして、電動化による電力需要増大の必要性に対してMW級発動機を開発し、運用性に最も優れる搭載性を確保するため、耐熱性を備えることでエンジン後方(テールコーン内)に内蔵可能という世界で唯一のコンセプトの実現を目指す。

また、現行機におけるMEAの課題である、機体システムで最もエネルギーを消費する空調システムやパワーエレクトロニクス冷却システムの効率改善のため、超高速回転、小型・軽量化した電動ターボ機械をコア技術として適用することで、機体外空気(ラムエア)取り込みによる空気抵抗(=燃費)の悪化を抑止するとともに、液冷を排して空冷化することにより整備性も向上する新たな熱・エアマネジメントシステムのコンセプトを世界に先駆けて打ち出し、その実現を目指す。

さらに、ハイブリッド電動推進システムへの適用も加えた統合システムによるトータルエネルギー・マネジメントによる全体最適化を図るという、世界に類を見ないソリューションを目指すものである。

### 研究項目(1) ハイブリッド電動推進システム

世界に類を見ないハイブリッド電動推進システムを含む電動推進電力システム、及び熱・エアマネジメントシステムの統合システムに対して、その成立性を安全性、燃料消費量、及び搭載性・整備性の観点から評価した。特にハイブリッド電動推進システムにおいては、航空機及びエンジンのシミュレーションモデルを確立し、ハイブリッド化率、電装品の出力密度等をパラメータとした感度解析を実施した結果、PTeDP(Partial Turboelectric Distributed Propulsion)、熱・エアマネジメントシステム、等を組み合わせ、電力システムを共通することで現状の技術レベルにおいても燃料消費量削減効果が得られることを明らかにした。

また、これらの成果をもとに、技術開発ロードマップを作成した。

### 研究項目(2) 電動推進電力システム

MW級発電機の開発において、平角線を用いた高出力密度発電機の電磁気、および発熱分布解析を実施することで電機の損失を低減する構造様式を設定するとともに、渦電流損失の低減に向けた軟磁性材の形状や積層方法について、加工、成形における劣化傾向に係る要素評価を通して影響の有無を確認し、プロセスの妥当性を確認した。また、高耐熱絶縁材の施工について、材料特性、および塗装プロセスの観点から、巻線への施工方法の妥当性を確認した。これらの成果をもとに、MW級発電機プロトタイプモデルを製作し、高電圧耐性、電流密度、発電機トルクの性能評価を実施し、MW出力の実現性を確認した。

電動推進電力システムの開発において、ハイブリッド電動推進システムの評価のために、電動ファンシミュレータを開発し、本シミュレータを活用したモデルベースデザイン手法により電動ファンおよび電力リグ装置の性能を評価した。その上で、製作したMW級発電機を適用した電動推進電力システムリグ試験を秋田大学電動化システム共同研究センターに設立された新世代モーター特性評価ラボにて実施し、航空機の運用プロファイルを模擬したシーケンス動作を行うことで、各運用フェーズでの発電機出力遷移、及びエンジン加減速時の電力負荷を変化させた際の電源バスの電圧変動を評価し、適切なフィルタの設定することにより、急峻な負荷変動下においても電圧変動以内に制御できることを実証した。

IHI



開発したMW級エンジン内蔵型電動機

Rolls-Royce



Honeywell



	IHI	Rolls-Royce	Honeywell
出力	1MW	2.5MW	1 MW
電動機方式	永久磁石型	永久磁石型	界磁巻線型
耐熱性	~300°C	200+α°C(推定)	200+α°C(推定)
エンジン後方搭載性	○	×	×
開発継続有無	○	×	×

図：MW級電動機 海外他社開発品(当時)との比較



図：新世代モーター特性評価ラボ

### 研究項目(3) 熱・エアマネジメントシステム

エアマネジメントユニット開発として、70kW 級電動コンプレッサの設計製作、およびロータの耐環境性・耐久性評価を行い、航空機搭載環境において動作可能である見通しを得た。また、燃料電池向け空気供給システムを模した試験リグに組み込み、電動コンプレッサ試作機が燃料電池への空気供給性能を有することを確認した。

熱マネジメントユニット開発として、FCAC(Fuel Cooled Air Cooler)について、熱交換性能、及び耐圧・腐食・耐コンタミ評価を行い、性能・耐環境性に問題がないことを確認し、試験結果を反映した性能図表の作成を完了した。

燃料排熱空調システム開発として、上記の各ユニットを適用したシステムの最適化設計を行った上で、サブスケールの熱・エアマネジメントシステムリグ試験を行い、シミュレーションとの組み合わせにより巡回条件において 40%を超えるエネルギー回収効果があることを実証するとともに、高度を 26,000 フィートから 35,000 フィートまで段階的に変更した時の回収エネルギー量を明らかにした。

**IHI**

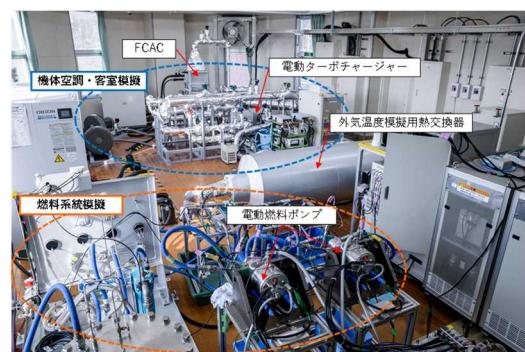


**LIEBHERR**



	IHI	Liebherr
軸受方式	空気軸受	空気軸受
モータ出力	<b>70kW</b>	55kW
コンプレッサ動力	<b>100kW</b>	(不明)
耐環境性	<b>DO-160(振動)</b>	(不明)
開発継続有無	○	○(推定)

図：大出力電動ターボ機械 海外他社開発品との比較



図：熱・エアマネジメントシステムリグ試験

これらの取り組みに加え、本研究の取り組み過程において海外 OEM からのニーズを捉えた追加実施成果として、パワーエレクトロニクス空冷システムについて、周囲環境温度を過渡的に制御可能な試験リグを構築し、高温環境試験を実施するとともに、適用する電動ターボ機械(電動プロア)の振動環境試験を行い、航空機搭載実環境動作条件下での適合性を実証した。

また、電動ターボ機械の新たな適用先候補としての燃料電池への空気供給システムについて、製作した 70kW 級電動コンプレッサを適用した組込試験を行い、燃料電池向け空気供給システムとして適切に動作することを実証した。

#### ●実用化・事業化への道筋と課題

本研究成果の実用化・事業化に向けては、技術的に以下の課題が残されている。

- ア. 電動推進電力システム及び発電機の 1MW フルスケール実証が未実施。
- イ. 熱・エアマネジメントシステムのフルスケール実証が未実施。
- ウ. 試作発電機の重量・効率が、ハイブリッド電動推進の検討から定めた要求値に達していない。解析的な達成目途は得たが、実証が未実施。また、発電機の耐環境性・耐久性が未確認。
- エ. 熱エアマネジメントユニット等の空気軸受適用装置の耐環境性は、振動環境適合のみが確認されているが、他の環境適合性が未確認。耐久性についても未確認。

これらの技術課題については、本事業の成果を受け現在実施している、「グリーンイノベーション基金事業／次世代航空機の開発／電力制御、熱・エアマネジメントシステム及び電動化率向上技術開発／電力制御及び熱・エアマネジメントシステム技術開発」の中で取り組んでいく。

●期間・予算 (単位:百万円)	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy	2023fy
	-	230	235	368	310

#### ●特許出願及び論文発表

特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他
7 件	5 件	104 件	0 件	13 件

#### 4.4. 研究開発項目⑧-4：推進用電動機制御システム

テーマ名	推進用電動機制御システム	達成状況	○
実施者名 (再委託先)	多摩川精機株式会社、公立諏訪東京理科大学、国立大学法人信州大学、住友精密工業株式会社、ゴコー電工株式会社、株式会社S C l a b A i r		
達成状況の根拠	<ul style="list-style-type: none"> <li>ターゲットとする eVTOL (空飛ぶクルマ) に適用するための仕様を策定・設計し実機により性能確認を行った。</li> <li>将来の認証取得を目指し、コミッティに参加するなど規格の調査を行い、計画書を作成した。また、それを見越したソフトウェア設計手法を確立した</li> </ul>		

##### ●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係

###### [背景]

航空輸送量は今後 20 年間で 2.4 倍に増加するという予測がある一方、近年、航空機の CO<sub>2</sub> 排出削減が世界的に重要な環境課題となりつつあり、電動化による環境負荷の低減が注目を集めている。航空機の電動化は内燃エンジンを電動機に置き換えるものである。2000 年代後半頃からハイブリッド/電気自動車の普及により、バッテリー、インバータ、モータなど電動要素の性能が飛躍的に向上したが、これらの技術が小型の電動航空機に適用可能なレベルとなっており、海外ではすでに電動航空機の実用化に向けた開発が進んでいる。このような中、航空機の新しい分野として、eVTOL (Electric Vertical Take-Off and Landing aircraft) が、主に無人の小型ドローンとして物品の配送 (ドローン宅配便など) に用いられている他、人が乗り込める大型の有人 eVTOL (空飛ぶクルマ、有人ドローン) の開発も進められている。空飛ぶクルマは、米国や欧州、中国、日本などで機体の開発が進んでいることに加え、近い将来、エアタクシーを中心とした試験的サービスの実施が検討されるなど、機体市場、サービス市場共に有望市場として発展していく可能性が高いと予想されている。半面、さまざまな認証をクリアする必要があり、技術開発と並行して進められている。

###### [目的]

航空機の電動化の中で、eVTOL に搭載することを想定した空冷の高出力密度、機電一体のモータシステムを開発する。この分野では多数の競合メーカーがあり、競争力のある製品開発のため市場調査をして仕様策定し、最適設計解析と新しい製造技術を用いて、空冷式で競合他社同等の出力密度を持つ機電一体型のモータシステムを開発する。また、モータシステムの信頼性を担保し、認証信頼性を付加価値とするため、将来の認証取得に向け取り組みを実施する。具体的には、規格を調査して認証計画書を作成し、開発品に於ける不足部分を把握する。また、ソフトウェア認証を見据え、モデルベースデザインによるソフトウェア開発手法を確立する。

###### [プロジェクトアウトカム目標との関係]

eVTOL は新しい航空機分野で、技術開発と法規整備の両面で検討が進んでいる。航空機電動化では海外メーカーが先行しているが、eVTOL 分野においては空冷のメリットも生かせるため、強みである EV 技術の活用により参入可能と考える。また、認証を考慮した製品開発を行うことにより、広く機体メーカーに信頼性ある製品を提供することが可能となる。

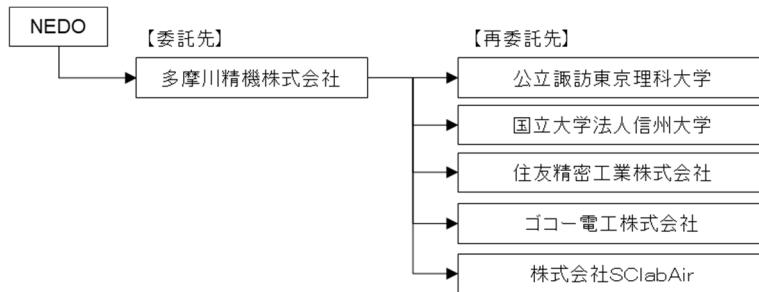
##### ●アウトプット目標

###### [最終目標]

以下に示す仕様を満足するプロトタイプの開発を完了する。

- 出力： 100kW 以上(瞬時) 55kW 以上 (連続)
- 回転速度／トルク： 1,900rpm／520Nm (瞬時) 、 1,600rpm／320Nm (連続)
- 出力密度：6kW/kg (モータ部)

##### ●実施体制



## ●成果とその意義

### a) 市場調査と eVTOL 用モータ

研究に先立ち国内外の競合メーカーの製品調査を行った。eVTOL 用モータとして競争力のある目標仕様として、出力、出力密度、冷却方式を決定した。また、構成としてモータとインバータを一体化した構成（モータシステム）が有利であり、機電一体構造に決定した。

### b) 空冷高密度モータシステムの開発・評価

- ・設定した目標仕様に対しマルチフィジックス最適解析による設計を行った。空冷部においては、熱流体解析により最適なファン形状、3D プリンタを考慮した複雑形状流路を設計した。また、小型化・低損失・高熱伝導を実現するコイル、モルド材の検討・評価を行い、実現の目途を得た。

- ・インバータはSiCパワーデバイスを用いた低損失かつEMC フィルタを内蔵した EMC 特性に優れた設計を行い、評価を行った。

- ・供試体による評価を行い設計の妥当性を確認した。今後の課題は、環境性、耐久性である。

### d) 認証に向けた規格調査、認証計画、及びモデルベースデザイン

- ・将来の認証取得に備えた活動として、現在進んでいる法整備に関わるため SAE のコミッティに参加するなど調査を実施した。規格調査の結果、ASTM F3338-21(Standard Specification for Design of Electric Engines for General Aviation Aircraft)を基準とすることが適切であることがわかり、これを基に認証計画書を作成した。

- ・ソフトウェア認証に向け、制御ソフトウェアの開発にモデルベース開発（MBD : Model Based Development）を取り入れることを検討し、本手法により実証した。

- ・また、信頼性向上を目指し、AE センサを用いた予兆システムの適用を検討・評価を行い、異常を検出するための知見を得ることができた。



図 開発したモータシステム

## ●実用化・事業化への道筋と課題

### [社会実装までのマイルストーン]

a) NEDO 委託研究の成果をもとに課題解決策を検討する。その結果 eVTOL 用モータを受注することができ開発実施中。2025 年度には公開イベントも計画され PR 効果となることが期待されている。

b) モータを提供しながら機体認証に必要となる装備品関係の認証文書を整備し、2028 年度の認証取得を目標とする。

c) 認証取得と並行して量産準備を行い、2029 年度の量産開始を目指していく。

d) 特定顧客向けの技術開発、認証活動、量産対応を行いながら製品の改善を進め、競争力のある製品にしていく。国内外の顧客向けに量産を行う。

### [社会実装までの課題]

a) 競争力を高めるため、高出力密度・信頼性向上は継続して進めていく。

b) 法整備の趨勢に注意し、競合他社の動きも見ながら認証取得を行っていく。

c) 社会実装に当たっては整備体制・インフラ整備も必要で並行して進めていく

●期間・予算 (単位:百万円)	2020fy	2021fy	2022fy	2023fy	2024fy
	-	-	189	130	57

## ●特許出願及び論文発表

特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他
5 件	3 件	3 件	1 件	なし

## 添付資料

### ●プロジェクト基本計画

別紙1 基本計画

### ●関連する施策や技術戦略

(1) 「産業構造ビジョン 2010」 :

(2) 「経済産業省とボーイング社の技術協力合意」 :

<https://journal.meti.go.jp/p/5526-2/>

(3) 「経済産業省と仏航空総局との MOU 締結」 :

<https://journal.meti.go.jp/p/16937/>

(4) 「カーボンニュートラルに伴うグリーン戦略」 :

[https://www.meti.go.jp/policy/energy\\_environment/global\\_warming/ggs/index.html](https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/index.html)

### ●プロジェクト開始時関連資料

### ●各種委員会開催リスト

採択審査委員会		
件名	内容	実施日
「高効率かつ高出力電動推進システム」採択審査	「航空機用先進システム実用化プロジェクト／⑧次世代電動推進システム研究開発」 ⑧-1 : 「高効率かつ高出力電動推進システム」採択審査	2019年5月15日
「軽量蓄電池」採択審査	「航空機用先進システム実用化プロジェクト／⑧次世代電動推進システム研究開発」 ⑧-2 : 「軽量蓄電池」採択審査	2019年6月6日
「電動ハイブリッドシステム」採択審査	「航空機用先進システム実用化プロジェクト／⑧次世代電動推進システム研究開発」 ⑧-3 : 「電動ハイブリッドシステム」採択審査	2020年5月12日
「推進用電動機制御システム」採択審査	「航空機用先進システム実用化プロジェクト／⑧次世代電動推進システム研究開発」 ⑧-4 : 「推進用電動機制御システム」採択審査	2021年6月4日

ステージゲート委員会		
件名	内容	実施日
「⑧次世代電動推進システム研究開発」ステージゲート審査委員会	「航空機用先進システム実用化プロジェクト／⑧次世代電動推進システム研究開発」ステージゲート審査委員会 ⑧-1 : 「高効率かつ高出力電動推進システム」 ⑧-2 : 「軽量蓄電池」 ⑧-3 : 「電動ハイブリッドシステム」 ⑧-4 : 「推進用電動機制御システム」 各委託事業の契約延長(2年延長)の可否を審査	2021年12月14日

事業推進委員会		
件名	内容	実施日
事業推進委員会 (第1回/通算7回目)	「航空機用先進システム実用化プロジェクト／次世代電動推進システム研究開発」(研究進捗報告/初回) ⑧-1 : 「高効率かつ高出力電動推進システム」	2019年9月12日
事業推進委員会 (第2回/通算9回目)	「航空機用先進システム実用化プロジェクト／次世代電動推進システム研究開発」(研究進捗報告/第3回) ⑧-1 : 「高効率かつ高出力電動推進システム」 ⑧-2 : 「軽量蓄電池」 ⑧-3 : 「電動ハイブリッドシステム」	2020年9月10日

事業推進委員会 (第3回/通算10回目)	「航空機用先進システム実用化プロジェクト／次世代電動推進システム研究開発」(研究進捗報告/第4回) ⑧-1：「高効率かつ高出力電動推進システム」 ⑧-2：「軽量蓄電池」 ⑧-3：「電動ハイブリッドシステム」	2021年3月2日
臨時開催	「航空機用先進システム実用化プロジェクト／次世代電動推進システム研究開発」(再委託先追加/委員会承認) ⑧-1：「高効率かつ高出力電動推進システム」	2021年6月8日
事業推進委員会 (第4回/通算11回目)	「航空機用先進システム実用化プロジェクト／次世代電動推進システム研究開発」(研究進捗報告/第5回) ⑧-1：「高効率かつ高出力電動推進システム」 ⑧-2：「軽量蓄電池」 ⑧-3：「電動ハイブリッドシステム」 ⑧-4：「推進用電動機制御システム」	2022年3月8日
事業推進委員会 (第5回/通算12回目)	「航空機用先進システム実用化プロジェクト／次世代電動推進システム研究開発」(研究進捗報告/第6回) ⑧-1：「高効率かつ高出力電動推進システム」 ⑧-2：「軽量蓄電池」 ⑧-3：「電動ハイブリッドシステム」 ⑧-4：「推進用電動機制御システム」	2022年9月15日
事業推進委員会 (第6回/通算13回目)	「航空機用先進システム実用化プロジェクト／次世代電動推進システム研究開発」(研究進捗報告/第7回) ⑧-1：「高効率かつ高出力電動推進システム」 ⑧-2：「軽量蓄電池」 ⑧-3：「電動ハイブリッドシステム」 ⑧-4：「推進用電動機制御システム」	2023年3月17日
事業推進委員会 (第7回/通算14回目)	「航空機用先進システム実用化プロジェクト／次世代電動推進システム研究開発」(研究進捗報告/第8回) ⑧-1：「高効率かつ高出力電動推進システム」 ⑧-2：「軽量蓄電池」 ⑧-3：「電動ハイブリッドシステム」 ⑧-4：「推進用電動機制御システム」	2023年8月29日
事業推進委員会 (第8回/通算15回目)	「航空機用先進システム実用化プロジェクト／次世代電動推進システム研究開発」(研究進捗報告/最9回[最終]) ⑧-1：「高効率かつ高出力電動推進システム」 ⑧-2：「軽量蓄電池」 ⑧-3：「電動ハイブリッドシステム」 ⑧-4：「推進用電動機制御システム」	2024年3月4日

「技術推進委員会」のうち、第1回/通算7回目と通算8回目では「航空機用先進システム実用化プロジェクト／次世代電動推進システム研究開発」のうちの国プロ：①～⑦にて実施した事業についての「研究進捗報告」も同時に実施しているが今回の評価対象外のためここには記載はしない。

また、以下は、2021年度に「終了時評価」としてすでに報告済みの事業である。

「航空機用先進システム実用化プロジェクト」にて過去に実施した事業(2015年度～2020年度)：

国プロ①「次世代エンジン熱制御システム開発」(2015年6月19日～2020年2月29日)

国プロ②「次世代降着システム研究開発」(2015年8月7日～2020年7月31日)

国プロ③「次世代コックピットディスプレイ研究開発」(2015年8月7日～2020年2月29日)

国プロ④「次世代空調システム研究開発」(2015年6月19日～2020年2月29日)

国プロ⑤「次世代飛行制御/操縦システム研究開発」(2015年8月7日～2020年2月29日)

国プロ⑥「次世代自動飛行システム研究開発」(2016年7月1日～2020年2月29日)

国プロ⑦「次世代エンジン電動化システム研究開発」(2016年7月1日～2020年2月29日)

## ●特許論文等リスト

### 【特許】

#### 研究開発テーマ⑧-1：高効率かつ高出力電動推進システム

番号	出願者	出願番号	国内・外国・PCT	出願日	状態	名称
1	九州大学、産業技術総合研究所	PCT/JP2020/017730	PCT	2020/4/24	出願	超伝導誘導回転機及びそれを用いた超伝導駆動力発生システム
2	産業技術総合研究所	2020001365 特願2021-009425	国内	2021/1/25	出願	高温超電導線材、およびその製造方法
3	九州大学、産業技術総合研究所	特願2021-516270 10-2021-7033794 17/594553 202080030877.9 20793982.8 202127053836	国内 外国（韓国） 外国（米国） 外国（中国） 外国（欧州） 外国（インド）	2021/8/11 2021/10/19 2021/10/21 2021/10/22 2021/11/23 2021/11/23	出願 出願 出願 放棄 出願 出願	超伝導誘導回転機及びそれを用いた超伝導駆動力発生システム
4	産業技術総合研究所	P220072JP01 特願2022-072558	国内	2022/4/26	出願	FFDS(face to face double stacked)高温超電導線材の接続構造
5	九州大学、産業技術総合研究所	62022058724.5	外国（香港）	2022/8/19	出願	超伝導誘導回転機及びそれを用いた超伝導駆動力発生システム
6	産業技術総合研究所	P220072JP01 特願2022-072558	国内	2022/4/26	出願	積層線材架線体、およびその製造方法
7	SWCC株式会社	特願2023-13358 特願2023-13361 JP2023/16407 JP2023/16421 特願2023-074605	国内 国内 PCT・外国 PCT・外国 国内	2022	出願	
8	SWCC株式会社	PCT/JP2023/016407	PCT	2023/4/26	出願	超電導ケーブルおよび電気推進システム
9	SWCC 株式会社、 九州大学	PCT/JP2023/016421	PCT	2023/4/26	出願	超電導ケーブルおよび電気推進システム
10	富士電機株式会社、 九州大学、 鹿児島大学	特願2023-128417	国内	2023/8/7	出願	回転機の固定子

11	SWCC 株式会社	2023-190288	国内	2023/11/7	出願	超電導ケーブルおよび電気推進システム
12	SWCC 株式会社	2023-197346	国内	2023/11/21	出願	超電導ケーブルの端部構造および接続端子
13	SWCC 株式会社	2024-044924	国内	2024/3/21	出願	超電導ケーブル
14	SWCC 株式会社	2024-056486	国内	2024/3/29	出願	超電導積層導体、超電導ケーブルおよび電気推進システム

### 【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	ページ番号	発表年月
1	R. Sugouchi, M. Komiya, S. Miura, M. Iwakuma, K. Yoshida, T. Sasayama, T. Yoshida, K. Yamamoto, Y. Sasamori, H. Honda, Y. Hase, M. Shuto, M. Konno, T. Izumi	1:Kyushu University, 2:Fuji Electric Co., 3:AIST	Conceptual Design and Electromagnetic Analysis of 2 MW Fully Superconducting Synchronous Motors With Superconducting Magnetic Shields for Turbo-Electric Propulsion System	IEEE Transactions on Applied Superconductivity	Vol. 30, No. 4, Art. No. 3601905	2020/6
2	K. Ozaki, Y. Doi, K. Yoshida, S. Miura, T. Sasayama, T. Yoshida, K. Yamamoto, M. Iwakuma, A. Kawagoe, A. Tomioka, M. Konno, T. Izumi	1:Kyushu University, 2:Fuji Electric Co., 3:AIST	Conceptual Design of Superconducting Induction Motors Using REBa2Cu3OySuperconducting Tapes for Electric Aircraft	IEEE Transactions on Applied Superconductivity	Vol. 30, No. 4, Art. No. 3602605	2020/6
3	M. Komiya, R. Sugouchi, H. Sasa, S. Miura, M. Iwakuma, T. Yoshida, T. Sasayama, K. Yamamoto, A. Tomioka, M. Konno, T. Izumi	1:Kyushu University, 2:Fuji Electric Co., 3:AIST	Conceptual Design and Numerical Analysis of 10 MW Fully Superconducting Synchronous Generators Installed With a Novel Casing Structure	IEEE Transactions on Applied Superconductivity	Vol. 30, No. 4, Art. No. 5206607	2020/6
4	A. Kawagoe, R. Kanemaru, K. Kudo, M. Iwakuma, M. Konno, A. Tomioka, T. Izumi	1:Kagoshima University, 2:Kyushu University, 3:Fuji Electric Co., 4:AIST	Winding Configurations and AC Loss of Superconducting Synchronous REBCO Motors	Journal of Physics: Conference Series	Vol. 1559, Art. No. 012144	2020/6
5	A. Ibi, T. Machi, K. Nakaoka, M. Sato, T. Izumi, J. Nishimura, M. Miura, D. Yokoe, T. Kato, T. Kato, T. Hirayama	1:AIST, 2:Seikei University, 3:JFCC	Improvement of in-field performance for EuBCO with heavily doped BHO coated conductors by PLD method with high temperature deposition and low	IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering	756 (2020) 012024	2020/6

			temperature annealing			
6	H. Sasa, S. Miura, M. Iwakuma, T. Izumi, T. Machi, A. Ibi	1:Kyushu University, 2: AIST	Estimation Method for AC Loss of Perpendicularly Stacked REBa2Cu3Oy Superconducting Tapes under Magnetic Field	Physica C: Superconductivity and its applications	Vol. 31, No. 5, Art. No. 1353801	2021/1
7	H. Sasa, M. Iwakuma, K. Yoshida, S. Sato, T. Sasayama, T. Yoshida, K. Yamamoto, S. Miura, A. Kawagoe, T. Izumi, A. Tomioka, M. Konno, Y. Sasamori, H. Honda, Y. Hase, M. Syutoh, S. Lee, S. Hasuo, M. Nakamura, T. Hasegawa, Y. Aoki, T. Umeno	1:Kyushu University, 2:Kagoshima University, 3:AIST, 4:Fuji Electric Co., 5:SuperOx Japan, 6:SWCC Showa Cable System Company, 7:Taiyo Nippon Sanso,	Experimental Evaluation of 1 kW-class Prototype REBCO Fully Superconducting Synchronous Motor Cooled by Subcooled Liquid Nitrogen for E-Aircraft	IEEE Transactions on Applied Superconductivity	Vol. 31, No. 5, Art. No. 5200706	2021/1
8	和泉 輝郎	産総研	革新的航空機用電気推進システムの開発-高温超電導技術を適用した電気推進システム-	電気評論	106巻2号13頁～14頁	2021/2
9	和泉輝郎、岩熊成卓	1:産総研、 2:九州大	高温超電導技術を用いた航空機用電気推進システムの開発	日本ガスバービン学会	49巻1号 8頁～13頁	2021/1
10	M. Komiya, T. Izumi et al.	1:Kyushu University. 2:AIST et al.	Conceptual Design and Numerical Analysis of 10 MW Fully Superconducting Synchronous Generators Installed With a Novel Casing Structure	IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY	Vol. 30 1051-8223	2021/8
11	H. Sasa, M. Iwakuma, K. Yoshida, S. Sato, T. Sasayama, T. Yoshida, K. Yamamoto, S. Miura, A. Kawagoe, T. Izumi, A. Tomioka, M. Konno, Y. Sasamori, H. Honda, Y. Hase, M. Syutoh, S. Lee, S. Hasuo, M. Nakamura, T. Hasegawa, Y. Aoki, T. Umeno	1:Kyushu University 2:Kagoshima University 3:AIST 4:Fuji Electric Co. 5:SuperOx Japan LLC. 6:SWCC SHOWA CABLE SYSTEMS CO., LTD. 7:TAIYO NIPPON SANSO Corporation	Experimental Evaluation of 1 kW-class Prototype REBCO Fully Superconducting Synchronous Motor Cooled by Subcooled Liquid Nitrogen for E-Aircraft	IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY	Vol. 31, No. 5, Article No. 5200706	2021/8
12	Y. Omanyuda, S. Miura, M. Iwakuma	Kyushu University	Additional AC Loss Properties of Three-Strand Transposed Parallel Conductors Composed of REBa2Cu3Oy Tapes	IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY	Vol. 31, No. 5, Article No. 5900806	2021/8

13	H. Sasa, M. Iwakuma, S. Miura, T. Izumi, T. Machi, A. Ibi	1:Kyushu University 2:AIST	Estimation Method for AC Loss of Perpendicularly Stacked REBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> Superconducting Tapes under Magnetic Field	Physica C: Superconductivity and its Applications	Vol. 580 No. 1353801	2022/1
14	M. S. Hassan(1), T. Asano(2), M. Shoyama(2), Gamal. M. Dousoky(1)	1:Faculty of Engineering, Minia University, Egypt 2:Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University, Japan	Performance Investigation of Power Inverter Components Submersed in Subcooled Liquid Nitrogen for Electric Aircraft	Electronics (Journal), MDPI	ISSN: 2079-9292, Volume: 11, Issue: 5, Article Number: 826, pp. 1-13,	2022/3
15	S. Sakai, Y. Tanaka, R. Teranishi, M. Iwakuma and M. Inoue	1:Fukuoka Inst. Tech., 2:Kyushu Univ.	$J_e$ and composition distribution of REBCO coted conductor fabricated by TF A-MOD process	IEEE Transactions on Applied Superconductivity	Vol. 32, No. 4, Article No. 6601304	2022/3
16	H. Sasa, S. Miura, H. Miyazaki, T. Sasayama, T. Yoshida, K. Yamamoto, M. Iwakuma, Y. Hase, Y. Sasamori, H. Honda, M. Konno and T. Izumi	1:Kyushu University 2:Fuji Electric Company 3:AIST	Thermal-Electromagnetic Coupled Analysis Considering AC Losses in REBCO Windings at 65 K of 10 MW Fully-Superconducting Synchronous Generators for Electric Aircraft	IEEE Transactions on Applied Superconductivity	Vol. 32, No. 52 01806	2022/3
17	Tamaru Jun-Ya1, R. Teranishi(1), K. Kenji(1), T. Machi(2); M. Inoue(3), M. Iwakum(1)	1 : Kyushu University 2:Advanced Industrial Science and Technology 3 : Fukuoka Institute of Technology	Fabrication of a Magnetic Field Shielding Resin Sheet Using YBa <sub>2</sub> Cu <sub>307-δ</sub> Powders	IEEE Transactions on Applied Superconductivity	Vol 32, Issue 6	2022/6
18	T. Izumi et al.	AIST et al.	レアアース系超伝導線材の開発動向	金属（アグネ）	Vol. 7 (2022)	2022/6
19	Y. Omanyuda, H. Sasa, H. Miyazaki, S. Miura, M. Iwakuma	Kyushu University	Experimental Evaluation of Current Distribution in Three-Strand Transposed Parallel Conductors Composed of REBCO Superconducting Tapes	IEEE Transactions on Applied Superconductivity	Vol. 32, No. 6, Article No. 6601105	2022/9
20	H. Sasa, S. Miura, H. Miyazaki, T. Sasayama, T. Yoshida,	Kyushu University	Electromagnetic-Thermal Coupled Analysis Considering AC Losses in REBCO Windings of 10 MW Fully Superconducting	IEEE Transactions on Applied Superconductivity	Vol. 32, No. 6, Article No. 8201806	2022/9

			Synchronous Generators Cooled by Subcooled Liquid Nitrogen for Electric Aircraft			
21	Y. Okade, H. Miyazaki, H. Sasa, K. Yoshida, S. Miura, T. Sasayama, T. YOSHIDA, A. Kawagoe and M. Iwakuma	Kyushu University	REBCO Trapezoidal Armature Windings for Superconducting Induction Motors	IEEE Transactions on Applied Superconductivity	Vol. 32, No. 6, Article No. 5201706	2022/9
22	T. Izumi, K. Shiohara, T. Machi, A. Ibi, K. Nakao, H. Hirose, K. Adachi, T. Nakanishi, M. Satoh, Y. Aoki, Y. Takahashi, M. Miura, H. Hirai, M. Konno, and M. Iwakuma	1:AIST 2:SWCC 3:Seikei University 4:Taiyo Nippon Sanso Corporation 5:Fuji Electric Company 6:Kyushu University	Development of Superconducting Cable and Coated Conductors for Electric Propulsion System of Airplane	IEEE Transactions on Applied Superconductivity	VOL. 33, 5 NO. 4801304	2022/9
23	K. Noda, H. Sasa, H. Miyazaki, S. Miura, T. Yoshida, T. Sasayama, M. Iwakuma, A. Kawagoe, T. Izumi, M. Konno	1:Kyushu University 2:Kagoshima University 3:AIST 4:Fuji Electric Co.	Numerical simulation of a high-power density 10 MW REBCO superconducting synchronous generator cooled by sub-cooled LN2 for low AC loss	Journal of Physics: Conference series	Vol. 2323	2022
24	M. Miura, G. Tsuchiya, T. Harada, K. Sakuma, H. Kurokawa, N. Sekiya, Y. Kato, R. Yoshida, T. Katoh, K. Nakaoka, T. Izumi, F. Nabeshima, A. Maeda, L. Civale and B. Maiorov	1:Seikei Uni., 2:LANL 3:AIST 4:Uni. of Yamashashi 5:Uni. of Tokyo 6:JFCC	Thermodynamic approach to enhance superconducting critical current performance	NPG Asia Materials, Vol. 14	ISSN1884-4049	2022/10
25	T. Suzuki, K. Sakuma, J. Ohata, Y. Ogimoto, K. Takahashi, T. Ozaki, A. Ibi, T. Izumi, T. Yamaki, H. Okazaki, S. Yamamoto, H. Koshigawa, T. Okada, S. Awaji and M. Miura	1:Seikei Uni., 2:AIST 3:QST 4:Uni. of Yamashashi 5:Kwansei Gakuin Uni.	Improvement of $J_c$ for RTR-PLD-(Eu, Er)Ba <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> +BaHfO <sub>3</sub> coated conductors with O <sub>2+</sub> ion irradiation defects	Superconductor Science and Technology	SUST-105021	2022
26	塙原 敬, 和泉 輝郎 他	1:SWCC 2:AIST	超電導を用いた航空機用高効率・高出力電気推進システム—超電導ケーブルの開発	昭和電線レビュー	Vol. 68, P5-9	2023/1
27	佐藤 迪夫, 和泉 輝郎 他	1:SWCC 2:AIST	Reel-to-Reel 式本焼成炉による (Y, Gd)Ba <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> + BaZrO <sub>3</sub> 線材の開発	昭和電線レビュー	Vol. 68, P10-14	2023/1
28	Y. Tanaka, M. Inoue, M. Iwakuma	1:Fukuoka Institute of Technology 2:Kyushu University	Current Transport Characteristics for REBCO Tape in High Electric Field	IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6602404	2023/4

29	M. Inoue, H. Kuga, D. Koga, T. Tsukahara, Y. Nakayama, Y. Shiratsuchi, S. Sekito, A. Miwa, Y. Yamada	1:Fukuoka Institute of Technology 2:Chubu University	Observation of Crack Formation Caused by Twisting in REBCO Coated Conductors by Using Scanning Hall-Probe Microscopy	IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6602604	2023/5
30	M. Iwakuma, T. Izumi	1:Kyushu University, 2:AIIST	Development of Electric Propulsion System for Aircraft using Superconducting Technologies	AIAA 2023, Proceedings		2023/6
31	S. Miura, A. Kobun, Y. Masuda, H. Miyazaki, A. Kawagoe, H. Sasa, K. Yoshida, S. Sato and M. Iwakuma	1:Kyushu University, 2:Kagoshima University	Development and assessment of simplified analytical method for current distribution among REBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> parallel conductors in armature windings for fully superconducting rotating machines	Superconductor Science and Technology	Vol 36, Issue 5	2023/8
32	S. Miura, A. Kobun, Y. Masuda, K. Nakamura, H. Miyazaki, A. Kawagoe, H. Sasa, K. Yoshida, S. Sato, and M. Iwakuma	1:Kyushu University 2:Fuji Electric Co., 3:Kagoshima University	Current Sharing Among Transposed Three-Parallel REBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> Tapes in Single-Phase Armature Coils	IEEE Transactions on Applied Superconductivity	Vol 33, Issue 5	2023/8
33	Asato Kobun, Yohei Masuda, Shun Miura, Hiros hi Miyazaki, Koichi Yoshida, Seiki Sato, Hir omosa Sasa, and Masata ka Iwakuma	Kyushu University	Basic Concept for Uniform Current Distribution in Parallel Conductors by Introducing a Small Number of Transpositions in REBCO Armature Coils	IEEE Transactions on Applied Superconductivity	Vol 33, Issue 5	2023/8
34	Atsushi Takashima, Yuki Onamyuda, Asato Kobun, Hiroshi Miyazaki, Akifumi Kawagoe, Shun Miura, Koichi Yoshida, Seiki Sato, Hiromasa Sasa, Masataka Iwakuma	1:Kyushu University 2:Kagoshima University	Current Distribution of Armature Coils Combining Two Different Sizes of REBCO Racetrack Double Pancakes	IEEE Transactions on Applied Superconductivity	Vol 33, Issue 5	2023/8
35	T. Izumi, K. Shiohara, T. Machi, A. Ibi, K. Nakaoka, H. Hirose, K. Adachi, T. Nakaniishi, M. Sato, Y. Aoki, Y. Takahashi, M. Miura, H. Hirai, M. Konno, and M. Iwakuma	1:AIIST 2:SWCC 3:Fuji Electric Co., 4:Taiyo Nippon Sanso, 5:Kyushu University	Development of Superconducting Cable and Coated Conductors for Electric Propulsion System of Airplane	IEEE Transactions on Applied Superconductivity	Vol 33, Issue 5	2023/8
36	金山 謙志、塩原 敏、佐藤 迪夫、中西 達尚、高橋 保夫、青木 裕治、三堂 信博、足立 和久、和泉 輝郎、岩熊 成卓	SWCC、産総研、九州大学	航空機搭載用超電導ケーブルの小型電極の開発	SWCC レビュー Vol. 69 (2023)	28-32	2024/1

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	学会名・ イベント名等	発表 年月
1	S. Miura, T. Furukawa, M. Iwakuma	Kyushu University,	Additional AC Loss of Three-strand Parallel Conductors Composed of Rebco Tapes	14th European Conference on Applied Superconductivity (Poster)	2019/9
2	H. Sasa, M. Iwakuma, S. Miura, M. Komiya, T. Aikawa, T. Sasayama, T. Yoshida, K. Yamamoto, T. Izumi, A. Tomioka, M. Konno, T. Umeno	1:Kyushu University 2:AIST 3:Fuji Electric Co., 4:Taiyo Nippon Sanso,	Development of 1 kW Fully-superconducting Synchronous Motor with REBCO Wires	14th European Conference on Applied Superconductivity (EUCA S) (Poster)	2019/9
3	G. Kawasaki, M. Iwakuma, S. Miura, A. Tomioka, M. Konno, T. Izumi	1:Kyushu University 2:AIST 3:Fuji Electric Co.	Lightweight Design of 6.9/1.0 kV-10 MVA REBCO Superconducting Transformer	14th European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS) (Poster)	2019/9
4	Y. Doi, K. Ozaki, K. Yoshida, S. Miura, T. Sasayama, T. Yoshida, K. Yamamoto, M. Iwakuma, A. Tomioka, M. Konno, T. Izumi	1:Kyushu University 2:AIST 3:Fuji Electric Co.	Electromagnetic design of induction motors with HTS tapes	14th European Conference on Applied Superconductivity (EUCA S2019) (Poster)	2019/9
5	R. Sugouchi, T. Aikawa, M. Komiya, S. Miura, M. Iwakuma, K. Yoshida, T. Sasayama, K. Yamamoto, A. Tomioka, M. Konno, T. Izumi	1:Kyushu University 2:AIST 3:Fuji Electric Co.	Electromagnetic Design of 2MW Fully-Superconducting Synchronous Motors	14th European Conference on Applied Superconductivity (EUCA S2019) (Poster)	2019/9
6	A. Kawagoe, R. Kanemaru, K. Kudo, M. Iwakuma, M. Konno, A. Tomioka, T. Izumi	1:Kagoshima University 2:Kyushu University 3:AIST 4:Fuji Electric Co.	Winding configurations and Ac losses of Superconducting Synchronous REBCO Motors	14th European Conference on Applied Superconductivity (EUCA S2019) (Poster)	2019/9
7	T. Furukawa, S. Miura, M. Iwakuma	Kyushu University	Theoretical and Experimental Investigations on Additional AC Loss Properties of Three-Strand Parallel Conductors Composed of REB8CO Tapes	International Conference on Magnet Technology 26 (MT26) (Poster)	2019/9
8	G. Kawasaki, M. Iwakuma, S. Miura, A. Tomioka, M. Konno, T. Izumi	1:Kyushu University 2:AIST 3:Fuji Electric Co.	Lightweight Design and Fault Current Limiting Analysis of 6.9/1.0kV-10 MVA REBCO Superconducting Transformers for Electric Aircraft	International Conference on Magnet Technology 26 (MT26) (Poster)	2019/9
9	K. Ozaki, Y. Doi, K. Yoshida, S. Miura, T. Sasayama, T. Yoshida, K. Yamamoto, M. Iwakuma, A. Tomioka, M. Konno,	1:Kyushu University 2:AIST 3:Fuji Electric Co.	Conceptual Design of Superconducting Induction Motors using REBa2Cu30y Superconducting	International Conference on Magnet Technology 26 (MT26) (Poster)	2019/9

	T. Izumi		tapes for Electric Aircraft		
10	R. Sugouchi, M. Komiya, S. Miura, M. Iwakuma, K. Yoshida, T. Sasayama, T. Yoshida, K. Yamamoto, A. Tomioka, M. Konno, T. Izumi	1:Kyushu University 2:AIST 3:Fuji Electric Co.	Conceptual Design and Electromagnetic Analysis of 2 MW Fully-Superconducting Synchronous Motors with Superconducting Magnetic Shields for Turboelectric Propulsion System	International Conference on Magnet Technology 26 (MT26) (Poster)	2019/9
11	M. Komiya, R. Sugouchi, H. Sasa, S. Miura, M. Iwakuma, T. Yoshida, T. Sasayama, K. Yamamoto, A. Tomioka, M. Konno, T. Izumi	1:Kyushu University 2:AIST 3:Fuji Electric Co.	Design and Numerical Analysis of 10 MW-class Fully-Superconducting Synchronous Generators Installing the New Casing Structure for Turboelectric Propulsion System	International Conference on Magnet Technology 26 (MT26) (Poster)	2019/9
12	S. Miura, M. Iwakuma, T. Izumi	1:Kyushu University 2:AIST,	Electromagnetic design of tensMW-class fully-superconducting wind powergenerators with high-performance REBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> wires	International Conference on Magnet Technology 26 (MT26) (Poster)	2019/9
13	佐々 混太, 三浦 峻, 小宮 匠貴, 須河 内 良多, 笹山 瑛由, 吉田 敬, 山本 薫, 岩熊 成卓, 和泉 輝郎, 富岡 章, 今野 雅之, 梅野 高裕	1:九州大学 2:産総研 3:富士電機 4:大陽日酸	REBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> 超伝導線材を用いた 1kW 級全超伝導同期モータの冷却特性	2019 年度電気・情報関係学会九州支部連合大会（第 72 回連合大会）(口頭発表)	2019/9
14	土居 祐麻, 尾崎 高一郎, 吉田 幸市, 三浦 峻, 笹山 瑛由, 山本 薫, 吉田 敬, 岩熊 成卓, 富岡 昭, 今野 雅行, 和泉 輝郎	1:九州大学 2:産総研 3:富士電機	REBCO 線材を用いた超伝導誘導電動機の概念設計と電磁解析	2019 年度電気・情報関係学会九州支部連合大会（口頭発表）	2019/9
15	相川 拓也, 佐々 混太, 三浦 峻, 小宮 匠貴, 須河 内良多, 笹山 瑛由, 吉田 敬, 山本 薫, 岩熊 成卓, 和泉 輝郎, 富岡 章, 今野 雅之, 梅野 高裕	1:九州大学 2:産総研 3:富士電機 4:大陽日酸	REBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> 超伝導線材を用いた 1kW 級全超伝導同期モータの冷却特性	2019 年度低温工学・超電導学会 九州・西日本支部 支部研究成果発表会（口頭発表）	2019/10
16	1:古川 琢馬, 三浦 峻, 岩熊 成卓	九州大学	REBCO3本並列導体の付加的交流損失の評価	2019年度低温工学・超電導学会 九州・西日本支部 支部研究成果発表会（口頭発表）	2019/10
17	山田 真, 寺西 亮, 佐藤 幸生, 金子 賢治	九州大学	BaHfO <sub>3</sub> 添加YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7-δ</sub> 薄膜へのBa 塩追加による表面析	低温工学・超電導学会九州・西日本支部 2019 年度支部研究	2019/10

			出物の抑制	成果発表会（ 口頭発表）	
18	安山 正太郎, 宮島 友博, 寺西 亮, 佐藤 幸生, 金子 賢治, V. Petrykin, S. Lee, 淡路 智, 岡田 達典, 松本 明善	1:九州大学 2:東北大学 3:Super Ox Japan,	GdBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7-δ</sub> 超伝導線材接続体の高 T <sub>c</sub> 化	低温工学・超電導学会九州・西日本支部 2019 年度支部研究成果発表会（口頭発表）	2019/10
19	R. Teranishi, T. Miyajima, S. Yasuyama, Y. Sato, K. Kaneko, kenji, V. Petrykin, S. Lee, S. Awaji, A. Matsumoto, M. Inoue	1:九州大学 2:東北大学 3:Super Ox Japan,	Processing of superconducting joint for GdBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> coated conductors	The 13 <sup>th</sup> Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (Oral, invited)	2019/10
20	H. Kato, Y. Tsuchiya, Y. Ichino, Y. Yoshida	Nagoya University	Substrate Temperature Dependence of AC Loss in BHO-doped SmBCO Films	The 32nd International Symposium on Superconductivity (Poster)	2019/12
21	W. Sato, Y. Ichino, Y. Tsuchiya, A. Ichinose, Y. Yoshida	Nagoya University	Thickening of YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> coated conductors fabricated by self-heating technique in Pulsed Laser Deposition method and evaluation of the superconducting properties	The 32nd International Symposium on Superconductivity (Poster)	2019/12
22	J. Matsuzaka, Y. Tsuchiya, Y. Ichino, Y. Yoshida	Nagoya University	Deposition of thick superconducting YBCO films using the surface laser heating	The 32nd International Symposium on Superconductivity (Poster)	2019/12
23	K. Yasuda, T. Ito, Y. Ichino, Y. Tsuchiya, A. Ichinose, Y. Yoshida	Nagoya University	Fabrication of YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> coated conductor by Vapor-Liquid-Solid growth technique using Reel-to-Reel system	The 32nd International Symposium on Superconductivity (Poster)	2019/12
24	Y. Moriguchi, Y. Tsuchiya, Y. Ichino, Y. Yoshida	Nagoya University	Fabrication of BaTiO <sub>3</sub> /YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> Multi-layered Films for Superconducting Capacitors	The 32nd International Symposium on Superconductivity (Poster)	2019/12
25	T. Yamamoto, Y. Ichino, Y. Tsuchiya, A. Ichinose, Y. Yoshida	Nagoya University	Effects of growth temperature and laser repetition rate on the shape of nanorods in BaSnO <sub>3</sub> -doped SmBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> films prepared by pulsed laser	The 32nd International Symposium on Superconductivity (Poster)	2019/12

			deposition method		
26	T. Hori, Y. Tsuchiya, Y. Ichino, Y. Yoshida	Nagoya University	Improvement of critical current asymmetry in BaHfO <sub>3</sub> doped SmBa <sub>2</sub> Cu <sub>30</sub> y superconducting films by ion milling etching	The 32nd International Symposium on Superconductivity (Poster)	2019/12
27	T. Hibino, Y. Tsuchiya, Y. Ichino, Y. Yoshida	Nagoya University	Effect of laser energy and laser repetition frequency on shape of BH <sub>0</sub> nanorods in PLD method	The 32nd International Symposium on Superconductivity (Poster)	2019/12
28	S. Yamada, R. Teranishi, Y. Sato, K. Kaneko, M. Inoue	1:Kyushu University 2:Fukuoka Institute of Technology	Effect of extra addition of Ba into YBa <sub>2</sub> Cu <sub>307-δ</sub> coated conductor with BaHfO <sub>3</sub>	The 32nd International Symposium on Superconductivity (Poster)	2019/12
29	S. Yasuyama, T. Miyajima, R. Teranishi, Y. Sato, K. Kaneko, V. Petrykin, S. Lee, S. Awaji, T. Okada, A. Matsumoto	1:Kyushu University 2:Super Ox Japan 3:Tohoku University	Fabrication of additional deposited layer of for GdBa <sub>2</sub> Cu <sub>307-δ</sub> on coated conductors for joint	The 32nd International Symposium on Superconductivity (Poster)	2019/12
30	町 敬人, 衣斐 顕, 和泉 輝郎	産総研	Laser scribing and characterization on coated conductors	The 32nd International Symposium on Superconductivity (Poster)	2019/12
31	町 敬人	産総研	Development of Processing Technology of Coated Conductors to Contribute to Applications	MRM2019(Materials Research Meeting)	2019/12
32	A. Ibi, T. Machi, K. Nakaoka, M. Sato, T. Izumi, J. Nishimura, M. Miura, D. Yokoe, T. Kato, T. Kato, T. Hirayama	AIST	Improvement of in-field performance for EuBCO with heavily doped BH <sub>0</sub> coated conductors by PLD method with high temperature deposition and low temperature annealing	IOP Conference Series (in press)	2019/12
33	町 敬人, 衣斐 顕, 和泉 輝郎	産総研	Fabrication and characterization of superconducting shield for DC magnetic field by coated conductors	10 <sup>th</sup> ACASC/2 <sup>nd</sup> Asian-I CMC/CSSJ Joint Conference	2020/1
34	K. Naoki, S. Yanagi, J. Nakagawa, J. Tsuruta, R. Teranishi, M. Inoue	1:Kyushu University 2:Fukuoka Institute of Technology	<i>E-J</i> Characteristics in BaHfO <sub>3</sub> Doped REBCO CoCs Fabricated by TFA-MOD Process	10 <sup>th</sup> ACASC/2 <sup>nd</sup> Asian-I CMC/CSSJ Joint Conference (Poster)	2020/1

35	J. Tsutuda, A. Kawagoe, M. Iwakuma, K. Shiohara, H. Sugane	1:Kagoshima University 2:Kyushu University 3:SWCC Showa Cable System Company	The estimation method of AC losses in the HTS tri-axial cable using electrical measurements	10 <sup>th</sup> ACASK / 2 <sup>nd</sup> Asian-ICMC / CSSJ Joint Conference (Poster)	2020/1
36	R. Teranishi, T. Miyajima, S. Yasuyama, Y.K. Sato, V. Kaneko, S. Petrykin, S. Lee, T. Okada, S. Awaji, A. Matsumoto	1:Kyushu University 2:Super Ox Japan 3:Tohoku University	Influence of joint pressure on superconducting properties for jointed Gd Ba <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> coated conductors prepared by crystallization of precursor films	10 <sup>th</sup> ACASC/2nd Asian - ICMC/CSSJ Joint Conference (Poster)	2020/1
37	宮田健司, 西村隼, 安野秀治, 三浦正志, 衣斐顕, 和泉輝郎	1:成蹊大学 2:産総研	BaHfO <sub>3</sub> ナノロッド導入 Reel-to-Reel-PLD法 EuBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> 線材の磁場中 $J_c$ 特性の評価	第67回 応用物理学 会春季学術講演会 (口頭発表)	2020/3
38	井上 昌睦, 川島 直暉, 鶴田 純平, 柳 知志, 寺西 亮, 山田 真	1:福岡工業大学 2:九州大学	塗布熱分解法により作製されたREBCO膜の臨界電流密度分布評価	2020年度春季第99回低温工学・超電導学会研究発表会	2020/7
39	篠倉 大輝, 江藤 大登, 酒井 秀哉, 田中 祥貴, 井上 昌睦	福岡工業大学	パルスレーザ蒸着法で作製された高温超伝導線材の臨界電流密度分布	2020年度第73回電気・情報関係学会九州支部連合大会	2020/9
40	田中 祥貴, 酒井 秀哉, 寺西 亮, 井上 昌睦	福岡工業大学 九州大学	塗布熱分解法で作製された高温超伝導線材の臨界電流密度分布計測と組織観察	2020年度第73回電気・情報関係学会九州支部連合大会	2020/9
41	K. Noda, S. Miura, H. Sasa, R. Sugouchi, T. Yoshida, T. Sasayama, M. Iwakuma, A. Kawagoe, T. Izumi, M. Konno, Y. Sasamori, H. Honda, Y. Hase, M. Syutoh	1:Kyushu University 2:Kagoshima University 3:AIST 4:Fuji Electric Co.	Influence of the Skew Angles of REBCO Armature Windings for 10 MW Fully-Superconducting Synchronous Generators on Electromagnetic Properties Analyzed by Three-dimensional Electromagnetic Field Analysis	Applied Superconductivity Conference 2020	2020/10
42	H. Sasa, M. Iwakuma, S. Miura, T. Sasayama, T. Yoshida, K. Yamamoto, T. Izumi, A. Tomioka, M. Konno, T. Umeno	1:Kyushu University 2:Kagoshima University 3:AIST 4:Fuji Electric Co. 5:Taiyo Nippon Sanso	Properties of 1 kW-class Test REBCO Fully-Superconducting Synchronous Motor Cooled by Subcooled Liquid Nitrogen for E-Aircraft	Applied Superconductivity Conference 2020	2020/10
43	T. Ito, Y. Ichino, Y. Tsuchiya, K. Yasuda, A. Ichinose, Y. Yoshida	1:Nagoya University 2:Central Research Institute of Electric Power Industry	Effect of Surface Liquid Layer during Film Growth on Morphology of BaHfO <sub>3</sub> in YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> Coated C	Applied Superconductivity Conference 2020	2020/10

			conductors fabricated by Pulsed Laser Deposition		
44	Y. Omanyuda, S. Miura, M. Iwakuma	Kyushu University	Additional AC Loss and Current Distribution Properties of Transposed Three-Strand Parallel Conductors Composed of REBCO Superconducting Tapes	Applied Superconductivity Conference 2020	2020/10
45	A. Kawagoe, S. Oishi, R. Kanemaru, M. Iwakuma, S. Miura, T. Izumi, T. Umeno	1:Kagoshima University 2:Kyushu University 3:AIST 4:Fuji Electric Co. 5:Taiyo Nippon Sanso	Evaluation of The Torque on Rotors with A Hollow Core in The Superconducting Induction Motors for Electric Aircrafts	Applied Superconductivity Conference 2020	2020/10
46	佐々 淩太, 三浦 峻, 笹山 瑛由, 吉田 敬, 山本 薫, 岩熊 成卓, 川越 明史, 和泉 輝郎, 富岡 章, 今野 雅之, 笹森 雄一郎, 本田 博一, 長谷 吉二, 首藤 雅夫, 梅野 高裕	1:九州大学 2:鹿児島大学 3:産総研	REBCO 超伝導線材を用いた1 kW級全超伝導同期モータの冷却特性試験および運転試験	低温工学・超電導学会九州・西日本支部2020年度 若手セミナー・支部	2020/10
47	田丸 隼也, 寺西 亮, 佐藤 幸生, 金子 賢治, 岩熊 成卓	九州大学	YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7-δ</sub> 粉末を利用した磁場シールド材の開発	低温工学・超電導学会九州・西日本支部2020年度 若手セミナー・支部研究成果発表会	2020/10
48	酒井 秀哉, 田中 祥貴, 寺西 亮, 井上 昌睦	1:福岡工業大学 2:九州大学	塗布熱分解法で作製された高温超電導線材の臨界電流密度分布測定と組織観察	低温工学・超電導学会九州・西日本支部2020年度 若手セミナー・支部研究成果発表会	2020/10
49	大石 城介, 金丸 凌大, 川越 明史, 三浦 峻, 岩熊 成卓, 和泉 輝郎, 梅野 高裕	1:鹿児島大学 2:九州大学 3:富士電機 4:大陽日酸	HTS誘導電動機用パイプ 形状回転子の特性評価	低温工学・超電導学会九州・西日本支部2020年度 若手セミナー・支部研究成果発表会	2020/10
50	T. Ito, Y. Ichino, Y. Tsuchiya, A. Ichinose, Y. Yoshida	1:Nagoya University 2:Central Research Institute of Electric Power Industry	Ic enhancement in the nanorod-introduced REBCO thick coated conductor fabricated by high growth rate method	Applied Superconductivity Conference 2020	2020/11
51	M. Sumida, S. Miura, M. Iwakuma, A. Tomioka, M. Konno, T. Izumi	1:Kyushu University 2:Fuji Electric Co. 3:AIST	Design and Numerical Analysis of 10 MV A REBCO Superconducting Transformers with Lightweight and Current-Limiting Function for E-Aircraft	Applied Superconductivity Conference 2020	2020/11
52	T. Izumi, T. Machi, A. Ibi, K. Nakao, L. Sergey, Y. Takahashi, M. Miura, M. Inoue, Y. Yoshida, MIwakuma	1:AIST 2:Seikei University 3:Fukuoka Institute of Technology 4:Kyushu University,	Development of Coated Conductors for Superconducting Propulsion System of Airplane	Applied Superconductivity Conference 2020	2020/11
53	江藤 大登, 篠倉 大輝, 酒井 秀哉, 田中 祥貴, 井上	福岡工業大学	長手方向に臨界電流分布を有する REBCO 線材の面内 Jc 分布	2020年応用物理学会九州支部学術講演会	2020/11
54	T. Machi, T. Izumi, M. N	1:AIST	Bending characteris	International Sympos	2020/12

	akamura, D. Ohkura, S. H asuo, S. Lee	2:Super Ox Japan	tics of FFDS (face to face double stacked) coated conductors	ium on Superconductivity 2020	
55	中岡 晃一, 薄井 友紀 江, 和泉 輝郎, 青木 裕治, 高橋 保夫, 佐藤 迪夫, 長谷川 隆代	1:産総研 2:昭和電線	Control of residual oxide compounds on the surface of REBCO layer in TFA-MOD method	International Symposium on Superconductivity 2020	2020/12
56	M. Miura, G. Tsuchiya, T. Kato, R. Yoshida, K. Nakaoka, T. Izumi, M. Ki uchi, T. Matsushita	1:Seikei University 2:JFCC 3:AIST 4:Kyushu Institute of Technology	Recent results on flux pinning in nano particle-doped TFA-MOD REBa <sub>2</sub> Cu <sub>30y</sub> O <sub>x</sub> Coated Conductors	International Symposium on Superconductivity 2020	2020/12
57	和泉 輝郎	産総研	超電導技術を適用した航空機用電気推進システムの開発	エネルギー技術シンポジウム2020	2020/12
58	田中 祥貴, 酒井 秀哉, 寺西 亮, 井上 昌睦	1:九州大学 2:福岡工業大学	塗布熱分解法で作製されたREBCO薄膜線材の臨界電流密度分布と磁場中臨界電流特性	2020年度秋季低温工学・超電導学会研究発表会	2020/12
59	篠倉 大輝, 江藤 大登, 酒井 秀哉, 田中 祥貴, 井上 昌睦	福岡工業大学	長手方向に臨界電流分布を有するREBCO線材の面内J <sub>c</sub> 分布と磁場中J <sub>c</sub> 特性	2020年度秋季低温工学・超電導学会研究発表会	2020/12
60	大石 竣介, 金丸 凌 大, 川越 明史, 三浦 峻, 岩熊 成卓, 和泉 輝郎, 梅野 高裕	1:鹿児島大学 2:九州大学 3:産総研 4:大陽日酸	パイプ状回転子を持つ高温超伝導誘導電動機の特性評価	2020年度秋季低温工学・超電導学会研究発表会	2020/12
61	高橋 洸, 宮田 健司, 三浦 正志, 横江 大作, 加藤 丈晴, 衣斐 顕, 和泉 輝郎	1:成蹊大学 2:JFCC 3:産総研	Reel-to-Reel PLD法EuBa <sub>2</sub> Cu <sub>30y</sub> +BaHf <sub>0.3</sub> 線材の磁場中超伝導特性	2020年度秋季低温工学・超電導学会	2020/12
62	齋藤 優大, 太田 順也, 作間 啓太, 三浦 正志	成蹊大学	TFA-MOD法を用いたBaZr <sub>0.3</sub> ナノ粒子導入(La <sub>2-x</sub> Bax)Cu <sub>0.4</sub> 薄膜の作製	2020年度秋季低温工学・超電導学会	2020/12
63	町 敬人, 和泉 輝郎, 中村 美幸, Ivan Veshchunov 大倉大佑, 蓮尾信也, Sergey Lee	1:産総研 2:Super Ox Japan	貼り合わせたRE系超電導線材の曲げ特性	2020年度秋季低温工学・超電導学会	2020/12
64	酒井 秀哉, 井上昌 睦, 寺西 亮	1:福岡工業大学 2:九州大学	TFA-MOD法で作製されたREBCO線材の臨界電流密度分布と組織分布の関係	2021年度春季第101回低温工学・超電導学会研究発表会	2021/5
65	田中 祥貴, 井上 昌 睦, 岩熊 成卓	1:福岡工業大学 2:九州大学	REBCO線材の高電界下における電流輸送特性評価	2021年度春季第101回低温工学・超電導学会研究発表会	2021/5
66	原口 顕輔, 寺西 亮, 金 子 賢治, 松本 明善, 井 上 昌睦	1:九州大学 2:物質・材料研究機構 3:福岡工業大学	2軸配向したLa添加YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> 薄膜の作製条件の検討	軽金属学会・日本金属学会・日本鉄鋼協会九州支部2021年度合同学術講演会	2021/6
67	和泉 輝郎, 衣斐 顕, 中 岡 晃一, 廣瀬 陽代, 町 敬人, 岩熊 成卓	1:産総研 2:九州大学	Improvement of In-field Critical Current of Coated Conductor for Applications	CEC/ICMC 2021	2021/7
68	和泉 輝郎, 岩熊 成卓	1:産総研	New National Project for	CEC/ICMC 2021	2021/7

		2:九州大学	Development of Electric Propulsion System using Superconducting Technologies for Airplane in Japan		
69	S. Sakai, Y. Tanaka, R. Teranishi, M. Iwakuma and M. Inoue	1:Fukuoka Institute of Technology 2:Kyushu University	$J_c$ and composition distribution of REBCO coted conductor fabricated by TFA-MOD process	EUCAS2021	2021/9
70	Y. Tanaka, M. Inoue, and M. Iwakuma	1:Fukuoka Institute of Technology 2:Kyushu University	Measurement of current transport property in high electric field for REBCO tape (invited)	EUCAS2021	2021/9
71	鈴木 匠, 太田 順也, 作間 啓太, 尾崎 壽紀, 衣斐 頤, 和泉 輝郎, 三浦 正志	1:成蹊大学 2:産総研 3:関西学院大学	PLD法 (Eu, Er)Ba <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> +BaHfO <sub>3</sub> 線材のO <sub>2+</sub> イオン照射による超伝導特性の向上	第82回応用物理学会秋季学術講演会	2021/9
72	原 由子, 高橋 洋, 鈴木 匠, 横江 大作, 加藤 丈晴, 一野 祐亮, 衣斐 頤, 和泉 輝郎, 三浦 正志	1:成蹊大学 2:JFCC 3:愛知工業大学 4:産総研	Reel-to-Reel-PLD法 EuBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> +BaHfO <sub>3</sub> 線材の磁場中 $J_c$ 特性	第82回応用物理学会秋季学術講演会	2021/9
73	和泉 輝郎, 岩熊 成卓	1:産総研 2:九州大学	Project for Development of Electric Propulsion System using Superconducting Technologies for Airplane in Japan	CCA2021	2021/10
74	川崎 玄貴, 田中 祥貴, 立石 航也, 井上 昌睦	福岡工業大学	REBCO テープ線材の高電界中の電流-電界特性評価	低温工学・超電導学会九州・西日本支部支部研究成果発表会	2021/11
75	H. Sasa, S. Miura, H. Miyazaki, T. Sasayama, T. Yoshida, K. Yamamoto, M. Iwakuma, Y. Hase, Y. Sasamori, H. Honda, M. Konno, T. Izumi	1:Kyushu University 2:Fuji Electric Co. 3:AIIST	Thermal-Electromagnetic Coupled Analysis Considering AC Losses in REBCO Windings at 65 K of 10 MW Fully-Superconducting Synchronous Generators for Electric Aircraft	International Conference on Magnet Technology 27	2021/11
76	M. Sumida, H. Sasa, S. Miura, H. Miyazaki, M. Iwa	1:Kyushu University	Design Study of 3f-10 MVA-6.9/1.0	International Conference on Magnet Technology	2021/11

	kuma, M. Konno, T. Izumi	2:Fuji Electric Co. 3:AIST	kV REBCO Superconducting Transformers with Lightweight and Current-Limiting Function for an E- Aircraft Propulsion System	hnology 27	
77	K. Matsumoto, H. Sasa, S. Miura, K. Matsumoto, H. Miyazaki, T. Yoshida, T. Sasayama, K. Yamamoto, M. Iwakuma, A. Kawagoe, T. IZUMI, Y. Sasamori, H. Honda, M. Konno, Y. Hase	1:Kyushu University 2:Fuji Electric Co. 3:Kagoshima University 4:AIST	Numerical Analysis of 2 MW Fully Superconducting Synchronous Motor for Electric Aircraft Considering AC Loss in Field Winding	International Conference on Magnet Technology 27	2021/11
78	Y. Okade, H. Miyazaki, H. Sasa, K. Yoshida, S. Miura, T. Sasayama, T. Yoshida, A. Kawagoe, M. Iwakuma	1:Kyushu University 2:Kagoshima University	Study of REBCO Trapezoidal Armature Windings for Superconducting Induction Motor	International Conference on Magnet Technology 27	2021/11
79	Y. Omanyuda, H. Sasa, H. Miyazaki, S. Miura, M. Iwakuma	Kyushu University	Experimental Evaluation of Current Distribution in Three-Strand Transposed Parallel Conductors Composed of REBCO Superconducting Tapes	International Conference on Magnet Technology 27	2021/11
80	J. Tamaru, R. Teranishi, Y. Sato, K. Kaneko, T. Machi, M. Iwakuma	1:Kyushu University 2:AIST	Fabrication of magnetic field shielding sheet using $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ powders	International Conference on Magnet Technology 27	2021/11
81	R. Teranishi, K. Inoue, T. Kikuyama, T. Nishiyma, K. Kaneko, M. Inoue	1:Kyushu University 2:Fukuoka Institute of Technology	Investigation of the formation mechanism of a- axis oriented grains in $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ coated conductors deposited by pulsed laser deposition	International Conference on Magnet Technology 27	2021/11
82	K. Takahashi, Y. Hara, T. Suzuki, R. Yoshida, D. Yokoe, T. Kato, A. Ibi, T. Izumi and M. Miura	1:Seikei Univ. 2:JFCC 3:AIST	The in-field $J_c$ in RTR-PLD $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ with various vol.% of $\text{BaHfO}_3$ coated conductors	International Symposium on Superconductivity 2021	2021/11
83	田中 祥貴, 川崎 玄 貴, 立石 航也, 岩熊 成卓, 井上 昌睦	1:福岡工業大学 2:九州大学	REBCO 線材の高電界 下における電流輸送 特性評価 (2)	2021年度秋季第102回 低温工学・超電導学会研究発表会	2021/12
84	K. Noda, H. Sasa, H. Miyazaki, S. Miura, T. Yoshida, T. Sasayama, M. Iwakuma	1:Kyushu University 2:Kagoshima University	Estimation of Ac loss for a high- power density 10 MW REBCO	International Symposium on Superconductivity	2021/12

	uma, A. Kawagoe, T. Izumi, M. Konno, Y. Sasamori H. Honda, Y. Hase	3:AIST, 4:Fuji Electric Co.	superconducting synchronous generator cooled by sub-cooled liquid nitrogen		
85	Y. Hara, J. Ohta, T. Suzuki, K. Sakuma, T. Ozaki, A. Ibi, T. Izumi and M. Miura	1:Seikei Univ. 2:JFCC 3:Kwansei Gakuin Univ. 4:AIST	In-field Jc properties for RTR-PLD (Eu, Er)Ba <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> +BaHfO <sub>3</sub> CCs with O <sup>2+</sup> ion irradiated defects	International Symposium on Superconductivity 2021	2021/12
86	M. miura, T. Izumi	1:Seikei University 2:AIST	Recent results on flux pinning in nanoparticle-doped TFA-MOD REBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> Coated Conductors	International Symposium on Superconductivity	2021/12
87	田丸 隼也, 寺西 亮, 井上 昌睦, 岩熊 成卓	1:九州大学 2:福岡工業大学	YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> を用いた磁場シールド材の作製	2022年度春季第103回低温工学・超電導学会研究発表会	2022/6
88	田中 祥貴, 岩熊 成卓, 井上 昌睦	1:福岡工業大学 2:九州大学	REBCO 線材の高電界下における電流輸送特性評価(3)	2022年度春季第103回低温工学・超電導学会研究発表会	2022/6
89	高橋 正希, 田中 祥貴, 岩熊 成卓, 井上 昌睦	1:福岡工業大学 2:九州大学	銅安定化材を半田接合したREBCO 線材の電流輸送特性の有限要素解析	2022年度春季第103回低温工学・超電導学会研究発表会	2022/6
90	尾形 桐弥, 岩熊 成卓, 宮崎 寛史, 三浦 峻, 佐々 涼太, 中野 基貴	九州大学	電気推進システム用限流機能付き10MVA-6.9/1.0 kV 超伝導変圧器の軽量化検討	第75回電気・情報関係学会九州支部連合大会	2022/9
91	赤池 航, 岩熊 成卓, 宮崎 寛史, 三浦 峻, 佐々 涼太, 陣上 広大, 大石 遼真, 藤田 真司, 大保 雅載	九州大学	REBCO超伝導線材を用いた2層パンケーキコイルの液体窒素冷却による交流損失評価	第75回電気・情報関係学会九州支部連合大会	2022/9
92	淺田 基寛, 宮崎 寛史, 岩熊 成卓, 佐々 涼太, 三浦 峻, 國安 天斗	九州大学	航空機用超伝導動機モータのロータ径と出力密度の関係	第75回電気・情報関係学会九州支部連合大会	2022/9
93	T. Izumi et al.	AIST et al.	貼り合わせREBCO線材の機械強度評価	応用物理学会	2022/9
94	T. Izumi et al.	AIST et al.	Present Status & Future Prospect of Superconducting Materials & Applications in JAPAN	ISIS2022	2022/9
95	M. Iwakuma, H/Miyazaki, S. Miura	1:九州大学 2:昭和電線ケーブルシステム	High efficiency and high power electric	Applied Superconductivity Conference 2022	2022/10

	H. Sasa, K. Yoshida, S. Sato, I. Sagara, Yoshiji Hase, Masa yuki Konno, Yuichi ro Sasamori, Hirok azu Honda, Toshihi ko Okabe, Hirokazu Hirai, Ta kahiro Umeno, Lee Sergei, Shinya Hasuo, Miyuki Nak amura Nobuhiro Mido, Kaz uhisa Adachi, Kei Shiohara, Teruo Izumi, Akifumi Kawagoe, Manato Deki, Hiros hi Amano Yasuhiko Kawaguch i, Tatsuya Yamasak i	ム 3:産総研 4:富士電機 5:大陽日酸 6:鹿児島大学 7:名古屋大学 8:三菱重工業 9:グローバル・アシスト	propulsion system for airplane by superconductivity - 1 : Overview		
96	Hiromasa Sasa, Hir oshi Miyazaki, Shu n Miura, Koichi Yo shida, Seiki Sato, Yuta Okade, Isamu Sagara, Masataka Iwakuma, Masayuki Konno, Yoshiji Has e, Yuichiro Sasamo ri, Hirokazu Hirai , Shinya Hasuo, Te ruo Izumi	Kyushu University, Fuji Electric, Taiyo Nippon S anso, Super Ox Japan, AI ST	Electromagnetic Design of a 400 kW REBCO Fully Superconducting Synchronous Motor for Airplane by Finite Element Method Analysis	Applied Superconduc tivity Conference 2 022	2022/10
97	Hiroshi Miyazaki, Masataka Iwakuma, Hiromasa Sasa, Koi chi Yoshida, Seiki Sato, Shun Miura, Isamu Sagara, Mas ayuki Konno, Hirok azu Hirai, Shinya Hasuo, Yuji Aoki,	Kyushu University, Fuji Electric, Taiyo Nippon S anso, Super Ox Japan, SWC C, AIST,	High efficiency and high power electric propulsion system for airplane by superconductivity - 2 : Progress in the development of a 400 kW REBCO fully superconducting	Applied Superconduc tivity Conference 2 022	2022/10

	and Teruo Izumi		synchronous motor		
98	塙原敬, 足立和久, 中西達尚, 佐藤迪夫, 三堂信博, 青木裕治, 平井寛一, 今野雅行, 和泉輝郎, 岩熊成卓	SWCC, 九州大学, 大陽日酸, 富士電機, 産総研, 九州大学	High efficiency and high power electric propulsion system for airplane by superconductivity-4: Development of Superconducting Cable	Applied Superconductivity Conference 2022	2022/10
99	A. Takashima, Y. Omanyuda, A. Kobun, H. Miyazaki, A. Kawagoe, S. Miura, K. Yoshida, S. Sato, H. Sasa, and M. Iwakuma	Kyushu University, Kagoshima University,	Current Distribution of Armature Coils Combining Two Different Sizes of REBCO Racetrack Double Pancakes	Applied Superconductivity Conference 2022	2022/10
100	A. Kobun, Y. Masuda, S. Miura, H. Miyazaki, K. Yoshida, S. Sato, H. Sasa, M. Iwakuma	Kyushu University	Basic Concept for Uniform Current Distribution in Parallel Conductors by Introducing a Small Number of Transpositions in REBCO Armature Coils for Fully-Superconducting Rotating Machines	Applied Superconductivity Conference 2022	2022/10
101	K. Jingami, H. Miyazaki, M. Iwakuma, S. Miura, H. Sasa, W. Akaike, R. Oishi, K. Yoshida	Kyushu University	AC loss characteristics of stacked REBCO double pancake coils cooled by liquid nitrogen	Applied Superconductivity Conference 2022	2022/10
102	S. Miura, A. Kobun, A. Takashima, H. Sasa, H. Miyazaki, A. Kawagoe, M. Iwakuma	Kyushu University	Current Distributions of Multi-strand Parallel Conductors Composed of REBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> Superconducting Tapes	Applied Superconductivity Conference 2022	2022/10
103	川原林大昂1, 出来真斗2, 本田善央3, 天野	1. 工学研究科, 名古屋大学 2. ベンチャービジネスラボ	High efficiency and high power electric	Applied Superconductivity Conference 2022	2022/10

	浩1-3	ラトリー,名古屋大学 3. 未来材料システム研究所 ,名古屋大学	propulsion system for airplane by superconductivity- 6: Demonstration of dynamic characteristics of GaN-PSJ power transistors at low temperatures		
104	Y. Hara, J. Ohta, T. Suzuki, K. Sakuma, T. Ozaki, A. Ibi, T. Izumi and <u>M. Miura</u>	Seikei Uni., AIST	Jc in magnetic field for RTR-PLD (Eu, Er)Ba <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> +BaHf O <sub>3</sub> CCs with oxygen- irradiated defects	Applied Superconductivity Conference2022	2022/10
105	T. Takanashi, K. Takahashi, Y. Hara, T. Suzuki, Y. Ichino, S. Awaji, A. Ibi, T. Izumi and <u>M.</u> <u>Miura</u>	Seikei Uni., AIST	Effects of introducing BaHfO <sub>3</sub> into RTR- PLD(Eu, Er)Ba <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> +BaHfO <sub>3</sub> Coated Conductors	Applied Superconductivity Conference2022	2022/10
106	Yoshiki Tanaka, Masayoshi Inoue, Masataka Iwakuma	Fukuoka Institute of Technology, Kyushu University	Current transport characteristics for REBCO tape in high electric field	Applied Superconductivity Conference2022	2022/10
107	T. Izumi, K. Shiohara, T. Machi, A. Ibi, K. Nakaoka, H. Hirose, K. Adachi, T. Nakanishi, M. Satō, Y. Aoki, Y. Takahashi, M. Miura, K. Hirai, M. Konno and M. Iwakuma	AIST, SWCC, Taiyo Nippon Sanso, Fuji Electric, Kyushu University	Development of Superconducting Cable and Coated Conductors for Airplane Electric Propulsion System	Applied Superconductivity Conference 2022	2022/10
108	Ivan Veshchunov, Miyuki Nakamura1, Marat Gaifullin1, Shinya Hasuo1, Vladimir Vyatkin1, Takeshi Machi2, Teruo Izumi2, Valery Petrykin1, Sergey Lee1	1. SuperOx Japan 2. 産総研	Production of Long Face-to-Face Double Stacked (FFDS) REBCO Coated Conductors at SuperOx Japan for Electric Aircraft Applications	Applied Superconductivity Conference 2022	2022/10
109	公文 麻人, 増田 陽平, 三浦 峻, 宮崎 寛史, 吉田 幸市, 佐藤 誠樹, 佐々 混太, 岩熊 成卓	九州大学	転位並列導体で構成した全超伝導回転機の電機子コイルの大電流容量化に関する研究	2022年度秋季第104回 低温工学・超電導学会 九州・西日本支部若手セミナー・研究成果発表会	2022/11
110	鳥居 龍ノ介	鹿児島大学	空芯型超伝導誘導電動機の回転子の特性評価	2022年度秋季第104回 低温工学・超電導学会 九州・西日本支部若手セミナー・研究成果	2022/11

				発表会	
111	T. Suzuki, Y. Ogimoto, T. Ozaki, A. Ibi, T. Izumi, T. Okada, S. Awaji and M. Miura	Seikei Uni., Kwansei Gakuin Uni., Tohoku Uni.	In-field Jc properties for RTR-PLD (Eu, Er) <sub>x</sub> Ba <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> +BaHfO <sub>3</sub> CCs with O <sup>2+</sup> ion irradiated defects	International Symposium on Superconductivity 2022	2022/11
112	Yoshiki Tanaka, Masataka Iwakuma, Masayoshi Inoue	Fukuoka Institute of Technology, Kyushu University	Current transport characteristics for REBCO tape in high electric fields	The 7 <sup>th</sup> Asian Applied Physics Conference	2022/11
113	Masaki Takahashi, Yoshiki Tanaka, Masayoshi Inoue, Masataka Iwakuma	Fukuoka Institute of Technology, Kyushu University	Analysis of current distribution in a REBCO wire soldered with copper stabilizers	The 7 <sup>th</sup> Asian Applied Physics Conference	2022/11
114	宮部司嗟, 坂東麻衣, 外本伸治	九州大学	新しいチルトローター機のローター數と配置に関する研究	日本航空宇宙学会西部支部講演会	2022/11
115	公文 麻人, 増田 陽平, 山崎 亮斗, 岡出 祐汰, 三浦 峻, 宮崎 寛史, 吉田 幸市, 佐藤 誠樹, 佐々 混太, 岩熊 成卓	九州大学	転位並列導体で構成した全超伝導回転機の電機子コイル向けREBCO レーストラック型ダブルパンケイコイルにおける均流化コンセプトの実験的評価	2022年度秋季第104回 低温工学・超電導学会研究発表会	2022/12
116	山崎 亮斗, 岡出 祐汰, 宮崎 寛史, 吉田 幸市, 佐々 混太, 三浦 峻, 岩熊 成卓	九州大学	台形コイルを用いた超伝導誘導機の電磁解析	2022年度秋季第104回 低温工学・超電導学会研究発表会	2022/12
117	三浦 正志, 黒川 穂高, 關谷 尚人, 加藤 康之, 鍋島 冬樹, 前田 京剛, 岡田 達典, 淡路 智, CIVALE Leonardo, MAIOROV Boris	成蹊大, 東大, 山梨大, 産総研, 東北大, LANL	キャリア・ピン制御による RE123 超伝導線材の高臨界電流密度化	2022年度秋季第104回 低温工学・超電導学会研究発表会	2022/12
118	鈴木 匠, 大木元 勇貴, 尾崎 壽紀, 衣斐 頤, 和泉 輝郎, 岡田 達典, 淡路 智, 三浦 正志	成蹊大学, 関西学院大学, 産総研, 東北大学	O <sup>2+</sup> イオン照射した RT R-PLD 法(Eu, Er)Ba <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> +BaHfO <sub>3</sub> 線材の磁場中臨界電流密度特性	2022年度秋季第104回 低温工学・超電導学会研究発表会	2022/12
119	高橋 正希, 田中 祥貴, 岩熊 成卓, 井上 昌睦	Fukuoka Institute of Technology, Kyushu University	超電導複合導体の電流導入部近傍の電流分布解析	2022年度秋季第104回 低温工学・超電導学会研究発表会	2022/12
120	佐藤迪夫, 高橋保夫, 青木裕治, 足立和久, 中岡 晃一, 和泉輝郎	SWCC, AIST	Reel-to-Reel 式本焼成炉による TFA-MOD YGdBCO+BZO 線材の作製	2022年度秋季第104回 低温工学・超電導学会研究発表会	2022/12
121	T. Machi et	T. Machi et	アブレーション効果を用いた REBCO 線材のレーザースクライビング加工技術	2022年度秋季第104回 低温工学・超電導学会研究発表会	2022/12
122	Geonho Shin2), M. S. Hassan1,2), Yuichi Noge2), Masahito Shoyama2), and Gamal M. Dousoky1)	1): Faculty of Engineering, Minia University, Egypt 2): Faculty of Information	Isolated Multilevel Pulsating DC-Link Inverter for Cryogenic Temperature Power Conversion in Aircraft Applications	IEEE Conference on Power Electronics and Renewable Energy 2023	2023/2

		on Science and Electrical Engineering, Kyushu University, Japan			
123	高島 敦史, 宮崎 寛史, 川越 明史, 三浦 峻, 吉田 幸市, 佐藤 誠樹, 佐々 混太, 岩熊 成卓	九州大学, 鹿児島大学	大小 2 種類の REBCO ダブルパンケーキコイルを組み合わせた電機子コイルの電流分流特性	第 105 回低温工学・超電導学会研究発表会	2023/6
124	三浦 峻, 公文 麻人, 増田 陽平, 中村 一稀, 宮崎 寛史, 川越 明史, 吉田 幸市, 佐藤 誠樹, 佐々 混太, 岩熊 成卓	九州大学	電機子コイルにおける REBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> 並列導体の素線間電流分流の簡易解析手法	第 105 回低温工学・超電導学会研究発表会	2023/6
125	山本拓実, 堀出朋哉, 吉田隆	名古屋大学	形状の異なる BMO を導入した高 J <sub>c</sub> YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> 薄膜の最適アニール条件の検討 (Investigation of optimal annealing conditions high J <sub>c</sub> YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> thin films with BMO with different shapes)	第 105 回低温工学・超電導学会研究発表会	2023/6
126	高橋 正希, 田中 祥貴, 岩熊 成卓, 井上 昌睦	福岡工業大学, 九州大学	超電導複合導体の流入部の電流分布の解析(2)	第 105 回低温工学・超電導学会研究発表会	2023/6
127	Masatake Iwakuma, Teruo Izumi	Kyushu University, AIST	Development of Electric Propulsion System for Aircraft using Superconducting Technologies	AIAA AVIATION Forum	2023/6
128	Manato Deki, Hirotaka Kawarabayashi, Yoshio Honda, Hiroshi Amano	Deeptech Serial Innovation Center, Nagoya University, IMaSS	Evaluation of Switching Characteristics of High Breakdown Voltage GaN-PSJ Transistors at Liquid Nitrogen Temperature	AIAA AVIATION Forum	2023/6
129	木許陽登, 寺西 亮	九州大学	NaCl 基板上への REBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7-δ</sub> 薄膜作製の検討	2023 年度 日本国金属学会・日本鉄鋼協会・軽金属学会 九州支部合同学術講演会	2023/6
130	Masatake Iwakuma, Teruo Izumi	Kyushu University, AIST	Current Status of National Project for Electric Propulsion System Development of Aircraft using Superconducting Technologies	CEC/ICMC 2023	2023/7
131	岩熊 成卓	九州大学	「カーボンニュートラル社会を目指した電動航空機・空飛ぶクルマの研究開発」	日本鉄道電気技術協会 九州支部 2023 年度定期総会 講演会	2023/8
132	Shun Miura, Asato Kobun, Yohei Masuda, Kazuki Nakamura, Hiroshi Miyazaki, Akifumi	Kyushu University, Kagoshima University	Current Distribution among Three-Parallel REBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> wires in Three-	International Conference on Magnet Technology 28	2023/9

	Kawagoe, Hiromasa Sasa, Koichi Yoshida, Seiki Sato, Masataka Iwakuma		phase Armature Coils		
133	A. Takashima, H. Miyazaki, S. Miura, K. Yoshida, S. Sato, H. Sasa, M. Iwakuma	Kyushu University	Current Distribution in Armature Coils Comprising Two Sizes of Racetrack Double-Panakes with REBCO Striated Tapes	International Conference on Magnet Technology 28	2023/9
134	R. Oishi, K. Jingami, H. Miyazaki, M. Iwakuma, K. Yoshida, S. Miura, H. Sasa, M. Daibo, S. Fujita	Kyushu University	Evaluation of the AC loss characteristics of multifilamentary REBCO tapes by the mechanical scratching of MgO <sub>2</sub> areas	International Conference on Magnet Technology 28	2023/9
135	Y. Emori, H. Miyazaki, S. Miura, H. Sasa, M. Iwakuma	Kyushu University	Electromagnetic design of a REBCO four-pole full-pitched armature coil composed of trapezoidal windings for fully superconducting synchronous motors	International Conference on Magnet Technology 28	2023/9
136	M. Tsumori, R. Yamasaki, Y. Okade, H. Miyazaki, S. Miura, H. Sasa, K. Yoshida, M. Iwakuma	Kyushu University	Effectiveness of REBCO Trapezoidal Armature Coils Used in Superconducting Induction Motors	International Conference on Magnet Technology 28	2023/9
137	Masayoshi Inoue, Hibiki Kuga, Daiki Koga, Toya Tsukahara, Yasuhiro Nakayama, Yuichiro Shiratsuchi, Shinya Sekito, Ayumu Miwa, Yutaka Yamada	Fukuoka Institute of Technology, Chubu University	Observation of crack propagation caused by twisting in REBCO coated conductors by using scanning Hall-probe microscopy	International Conference on Magnet Technology 28	2023/9
138	T. Machi <sup>1</sup> , H. Hirose <sup>1</sup> , K. Noda <sup>1</sup> , T. Izumi <sup>1</sup> , M. Nakamura <sup>2</sup> , I. Veshchunov <sup>2</sup> , S. Hasuo <sup>2</sup> , S. Lee <sup>2</sup>	1:AIST, 2:Faraday Factory Japan	Various properties of face-to-face double stacked (FFDS) coated conductors	International Conference on Magnet Technology 28	2023/9
139	有田知徳, 一野祐亮, 堀出朋哉, 吉田隆	名古屋大学	REBCO 薄膜の異なる成長における結晶成長様式の変化に関するシミュレーション	2023 年第 84 回応用物理学会秋季学術公演会	2023/9
140	Shun Miura, Asato Kobun, Yohei Masuda, Kazuki Nakamura, Hiroshi Miyazaki, Akifumi Kawagoe, Hiromasa Sasa, Koichi Yoshida, Seiki Sato, Masataka	Kyushu University, Kagoshima University, Fuji Electric Co.	Current Distribution among Transposed Eight-bundle REBCO Wires in Armature Coils	The 16th European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS2023)	2023/9

	Iwakuma				
141	Masataka Iwakuma, Hiroshi Miyazaki, Shun Miura, Hiromasa Sasa, Seiki Sato, Koichi Yoshida, Yoshiaki Suzuki, Isam Sagara, Yoshiji Hase, Masayuki Konno, Mitsuo Ohaku, Chinatsu Ikeda, Hirokazu Honda, Yuichiro Sasamori, Teruo Izumi, Takato Machi, Hishiro Hirose, Sergey Lee, Shinya Hasuo, Miyuki Nakamura, Hirokazu Hirai, Nobuhiro Midoh, Kazuhisa Adachi, Yuji Aoki, Kei Shiohara, Hidetoshi Kasahara	Kyushu University, Fuji Electric Co., AIST Faraday Factory Japan, Taiyo Nippon Sanso, SWCC, Eagle Industry Co.	Progress in the development of high-efficiency electric propulsion systems	The 16th European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS2023)	2023/9
142	T. Miyajima, K. Haraguchi, R. Teranishi	九州大学	Investigation of fabrication condition of $\text{LaBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ films using metal organic deposition method	The 16th European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS2023)	2023/9
143	T. Machi, H. Hirose, K. Noda, T. Izumi	産総研	Laser scribing technique by psec UV pulse laser and Galvano scanner	The 16th European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS2023)	2023/9
144	塙原敬, 佐藤廸夫 高橋保夫, 足立和久, 和泉輝郎, 岩熊成卓	SWCC, 産総研, 九州大学	Development of a Superconducting Cable for Aircraft Electric Propulsion System	The 16th European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS2023)	2023/9
145	佐藤廸夫, 塙原敬 高橋保夫, 青木裕司, 足立和久, 中岡晃一, 和泉輝郎 岩熊成卓	SWCC, 産総研, 九州大学	Development of Ba-Zr-O-doped Y-Gd-Ba-Cu-O coated conductors using a reel-to-reel system furnace	The 16th European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS2023)	2023/9
146	Shun Miura	Kyushu University	Development and Trial Test of a Fully Superconducting Motor with REBCO Tapes at Liquid Nitrogen Temperatures for Aircraft Propulsion	3rd International Conference On Emissions Free Air Transport Through Superconductivity	2023/10
147	宮部司嗟, 坂東麻衣, 外本伸治	九州大学	eVTOL 機の遷移モード安定化に向けた機構提案及び特性解析	第 66 回自動制御連合講演会	2023/10

148	木許陽登, 寺西亮, 岩熊成卓	九州大学	NaCl 基板上への LuBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7-x</sub> 薄膜作製の検討	2023 年度 低温工学・超電導学会 九州/西日本支部 若手イベント・研究成果発表会	2023/11
149	Masataka Iwakuma, Hiroshi Miyazaki, Shun Miura, Hiromasa Sasa, Seiki Satō, Koichi Yoshida, Yoshiaki Suzuki, Isamu Sagara, Yoshiji Hase, Masayuki Konno, Mitsuo Ohaku, Chinatsu Ikeda, Hirokazu Honda, Yuichiro Sasamori, Teruo Izumi, Takato Machi, Hishiro Hirose, Sergey Lee, Shinya Hasuo, Miyuki Nakamura, Hirokazu Hirai, Nobuhirō Midoh, Kazuhisa Adachi, Yuji Aoki, Kei Shiohara, Hidetoshi Kasahara	Kyushu University, Fuji Electric Co. AIST, Faraday Factory Japan, Taiyo Nippon Sanso, SWCC, Eagle Industry Co.	Development of Fully Superconducting Propulsion System for Aircraft with REBCO Tapes	International Symposium on Superconductivity 2023	2023/11
150	Hiromasa Sasa, Koudai Jingami, Ryoma Oishi, Shun Miura, Hiroshi Miyazaki, Masataka Iwakuma	Kyushu University	Estimation Method of AC Loss of REBCO Superconducting Tapes in AC+DC Field for Field Windings in Fully Superconducting Synchronous Machine for Electric Aircraft	International Symposium on Superconductivity 2023	2023/11
151	Shun Miura, Yohei Masuda, Kazuki Nakamura, Goki Kawasaki, Hiroshi Miyazaki, Akifumi Kawagoe, Hiromasa Sasa, Seiki Sato, Masataka Iwakuma	Kyushu University, Fuji Electric Co., Kagoshima University	Influence of magnetic shields on current distributions among REBCO parallel conductors in single-phase armature windings	International Symposium on Superconductivity 2023	2023/11

152	Kaiji Uriu, Masataka Iwakuma, Hiroshi Miyazaki, Shun Miura, Hiromasa Sasa	Kyushu University	Electromagnetic design for high power density of fully superconducting synchronous motor with through-shaft type field coil for electric aircraft	International Symposium on Superconductivity 2023	2023/11
153	Yutaka Yoshida, Tomoya, Horide, Shunta Ito, Tomonori Arita, Yusuke Ichino, Ataru Ichinose	Nagoya University	Improvement of superconducting properties of REBCO coated conductors doped with artificial pinning centers using high-speed growth technique.	International Symposium on Superconductivity 2023	2023/11
154	Kentaro Yamamoto, Tomoya Horide, Yutaka Yoshida,	Nagoya University	The proposal of a new class of coated conductors using Ca-substituted YBCO on the moderately oriented substrates.	International Symposium on Superconductivity 2023	2023/11
155	T. Arita, Y. Ichino, T. Horide, Y. Yoshida	Nagoya University	Monte Carlo simulation study of BaM03 nanostructures in BaM0-doped REBa2Cu3Oy thin films prepared by Vapor-Liquid-Solid technique	International Symposium on Superconductivity 2023	2023/11
156	和泉輝郎, 町敬人, 衣斐顕, 中岡晃一, 廣瀬陽代, 佐藤健夫, 青木裕治, 塩原敬, 足立和久, 三堂信博, 中村美幸, 蓮尾信也, Sergey Lee, 三浦正志, 宮崎寛史, 岩熊成卓	産総研, SWCC, Faraday Factory Japan, 富士電機, 成蹊大学, 九州大学	Development of coated conductors for propulsion system of airplane	International Symposium on Superconductivity 2023	2023/11
157	Masaki Takahashi, Yoshiki Tanaka, Masa taka Iwakuma, Masayoshi Inoue	Fukuoka Institute of Technology, Kyushu University	Analysis of current distribution in the inflow section of a superconducting composite conductors	The 8th Asian Applied Physics Conference	2023/11
158	岩熊 成卓	九州大学	「カーボンニュートラルを目指す電気推進航空機・空飛ぶクルマの研究開発」	日本工学アカデミー九州支部 講演会	2023/11
159	岩熊 成卓	九州大学	「脱炭素を目指す電動航空機・空飛ぶクルマの研究開発」	九州大学アカデミックフェスティバル	2023/11
160	佐々 淳太, 三浦 峻, 宮崎 寛史, 岩熊 成卓	九州大学	交流損失予測に基づく電磁界・熱連成解析による電動航空機用 REBCO 全超伝導同期機の設計	第 106 回 低温工学・超電導学会研究発表会	2023/12
161	木許陽登, 寺西亮, 岩熊成卓	九州大学	可溶性基板上への REBCO 薄膜作製の検討	第 106 回 低温工学・超電導学会研究発表会	2023/12

162	高橋 正希, 田中 祥貴, 岩熊 成卓, 井上昌睦	福岡工業大学, 九州大学	超電導複合導体の流入部の電流分布の解析 (3)	第 106 回低温工学・超電導学会研究発表会	2023/12
163	井浦 康伸, 古賀 太陽, 窪田 涼介, 岩熊成卓, 井上 昌睦	福岡工業大学, 九州大学	高温超電導回転機を構成するパンケーキコイルの着磁特性評価	第 106 回低温工学・超電導学会研究発表会	2023/12
164	佐藤 迪夫, 高橋 保夫, 青木 裕治, 足立和久, 中岡 晃一, 和泉 輝郎	SWCC, 産総研	RtR 式本焼成炉を用いた BaZrO <sub>3</sub> ナノ粒子導入 YGdBCO 線材の作製	第 106 回低温工学・超電導学会研究発表会	2023/12
165	金山 謙志, 足立 和久, 塩原 敬, 佐藤 迪夫, 中西 達尚, 高橋 保夫, 青木 裕治, 三堂 信博, 和泉輝郎, 岩熊 成卓	SWCC, 産総研, 九州大学	航空機用超電導ケーブル接続部の開発	第 106 回低温工学・超電導学会研究発表会	2023/12
166	岩熊 成卓	九州大学	「超伝導推進システムを搭載した空飛ぶクルマの研究開発」 JST RISTEX RInCA 「空飛ぶクルマ」の社会実装において克服すべきELSIの総合的研究」プロジェクト	福岡 空のモビリティ講演会 第 2 回：空のモビリティの最新情報	2024/1
167	岩熊 成卓	九州大学	「脱炭素を目指す電動航空機・空飛ぶクルマの研究開発」	九州大学関西同窓会 2024 年新年賀詞交歓会	2024/1
168	R. Teranishi	九州大学	Miniaturization of BaHfO <sub>3</sub> flux pinning centers in YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> superconducting thin film using solution-based metal organic deposition process	International Conference on Advanced Functional Materials and Devices 2024	2024/2
169	李 黙根, 出来 真斗, 陸順, 渡邊 浩崇, 藤元直樹, 新田 州吾, 本田 善央, 天野浩	名大院工, 名大Dセンター, 名大未来材料・システム研究所	FG構造を用いたGaN-MOSキャパシタのフラットバンド電圧シフト	第 71 回応用物理学会春季学術講演会	2024/3
170	伊藤 駿汰, 一瀬 中, 堀出 朋哉, 吉田 隆	名古屋大学	Vapor-Liquid-Solid 成長法を用いて作製したBaSnO <sub>3</sub> 添加YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> 膜の磁場中超伝導特性	第 71 回応用物理学会春季学術講演会	2024/3

171	伊藤 駿汰, 山本 拓実, 木内 勝, 堀出 朋哉, 吉田 隆	名古屋大学	膜厚の異なるVLS-YBCO膜の縦磁場中臨界電流密度	第71回 応用物理学会春季学術講演会	2024/3
-----	---------------------------------	-------	----------------------------	--------------------	--------

(b) 新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	発表媒体名	発表年月
1	九州大学	TV報道	FNN Live News (TNC)	2019/4
2	九州大学	TV報道	ロクいち！福岡 (NHK)	2019/4
3	九州大学	TV報道	ニュース845 (NHK)	2019/4
4	九州大学	空飛ぶクルマ実現現目指せ九大が研究所	西日本新聞	2019/4
5	九州大学	超電導で航空業界に変革を - 低炭素時代の航空機の実現を目指す NEDO	マイナビニュース	2020/2
6	九州大学	超電導線材技術、電動航空機へ応用推進／産学官連携プロが始動	鉄鋼新聞	2020/2
7	産業技術総合研究所	超電導線材技術「電動航空機への応用推進」	鉄鋼新聞	2020/2
8	九州大学	夢の技術「超電導」の未来を聞く（上）／長谷川隆代（昭和電線HD社長）×岩熊成卓（九州大学大学院教授）／航空機への活用に期待	産経新聞	2021/10
9	九州大学	これからのクルマ社会における環境対応 「航空機用全超電導推進システム」	自動車技術1月号特集	2021/1
10	九州大学	空飛ぶクルマ - カーボンニュートラルに向けた電気工学の挑戦-	【火力原子力協会】講演会	2022/6
11	九州大学	次世代電動航空機向け400kW級全超電導モータの回転試験に世界で初めて成功	九州大学ニュースリリース 九州大学定例記者会見	2023/6
12	九州大学	空飛ぶクルマへの適用目指す 九大が次世代航空機向けモータの回転試験に世界初成功	ZAKZAK (産業経済新聞)	2023/6
13	九州大学	九州大学、次世代電動航空機向け400kW級全超電導モータの回転試験に世界初成功	DRONE	2023/6
14	九州大学	九州大学など 次世代電動航空機向け全超電導モーター 回転試験に世界初成功	電波新聞	2023/6
15	九州大学	世界初！航空機向け超電導技術用いたモーター回転試験に成功	テレビ放映, NHK, ロクいち！福岡	2023/7
16	九州大学	九州大、電動飛行機に超電導モーター 30年代に試験飛行	日本経済新聞	2023/10
17	九州大学	次世代航空機 競争力確保 超電導モーターで推進系 経産省	日刊工業新聞	2023/10

18	九州大学	「超電導モーター」で世界に先駆ける …次世代航空機の競争力確保、経産省 が開発支援	ニュースイッチ	2023/10
----	------	---	---------	---------

(c)その他

番号	イベント名	期間
1	第2回 航空・宇宙機器 開発展	2020年2月26～28日

研究開発テーマ⑧-2：軽量蓄電池

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	株式会社 GS ユアサ	2021-076713	JP：日本国	2021.4.28	公開	非水電解質蓄 電素子	原田 謙 他
2	学校法人 関西 大学、株式会社 GSユアサ	2021-189741	JP：日本国	2021.11.22	公開	非水電解質蓄 電素子、機器 及び非水電解 質蓄電素子の 製造方法	原田 謙 他
3	株式会社 GS ユアサ	PCT/JP2022/18794	P C T (全指定)	2022.4.26	公開	非水電解質蓄 電素子	原田 謙 他
4	株式会社 GS ユアサ	2023-517528	JP：日本国	2022.4.26	公開	非水電解質蓄 電素子	原田 謙 ほか
5	株式会社 GS ユアサ	202280029055.8	CN	2022.4.26	公開	非水電解質蓄 電素子	原田 謙 他
6	株式会社 GS ユアサ	22795748.7	EP	2022.4.26	公開	非水電解質蓄 電素子	原田 謙 他
7	株式会社 GS ユアサ	18/288, 312	US	2022.4.26	公開	非水電解質蓄 電素子	原田 謙 他
8	株式会社 GS ユアサ、学校法 人関西大学	PCT/JP2022/43027 (PCT(日本以外))	P C T (日本以 外)	2022.11.21	公開	非水電解質蓄 電素子、機器 及び非水電解 質蓄電素子の 製造方法	原田 謙 他
9	株式会社 GS ユアサ、学校法 人関西大学	22895726.2	EP	2022.11.21	公開	非水電解質蓄 電素子、機器 及び非水電解 質蓄電素子の 製造方法	原田 謙 他

10	株式会社 GS ユアサ	2023-074975	JP：日本国	2023. 4. 28	出願	非水電解質蓄電素子	原田 謙他
11	株式会社 GS ユアサ	2023-111718	JP：日本国	2023. 7. 6	出願	非水電解質蓄電素子	藤澤 友稀 他
12	株式会社 GS ユアサ	2023-111722	JP：日本国	2023. 7. 6	出願	非水電解質蓄電素子	藤澤 友稀 他
13	株式会社 GS ユアサ	2023-119411	JP：日本国	2023. 7. 21	出願	非水電解質蓄電素子及びその製造方法	原田 謙他
14	株式会社 GS ユアサ	2023-178162	JP：日本国	2023. 10. 16	出願	非水電解質蓄電素子用正極、その製造方法及び非水電解質蓄電素子	藤澤 友稀 他
15	株式会社 GS ユアサ	2023-198681	JP：日本国	2023. 11. 22	出願	非水電解質蓄電素子用正極及び非水電解質蓄電素子	水野 祐介 他
16	株式会社 GS ユアサ	2023-198682	JP：日本国	2023. 11. 22	出願	非水電解質蓄電素子用正極及び非水電解質蓄電素子	原田 謙他
17	株式会社 GS ユアサ	2024-018940	JP：日本国	2024. 2. 9	出願	非水電解質蓄電素子及びその製造方法	藤澤 友稀 他
18	株式会社 GS ユアサ	2024-070098	JP：日本国	2024. 04. 23	出願	非水電解質蓄電素子及びその製造方法	原田 謙他
19	株式会社 GS ユアサ	202280077011. 2(CN)	CN	2024. 05. 20	出願	非水電解質蓄電素子、機器及び非水電解質蓄電素子の製造方法	原田 謙他
20	株式会社 GS ユアサ	18/711, 939(US)	US	2024. 05. 21	出願	非水電解質蓄電素子、機器及び非水電解質蓄電素子の製造方法	原田 謙他

2 1	株式会社 GS ユアサ	PCT/JP2024/02591 3(PCT(JP 除外))	P C T (日本以外)	2024. 07. 19	出願	非水電解質蓄電素子及びその製造方法	原田 諒他
2 2	株式会社 GS ユアサ	2024-145020	JP : 日本国	2024. 08. 26	出願	非水電解質蓄電素子及び非水電解質蓄電素子の製造方法	藤澤 友稀 他
2 3	株式会社 GS ユアサ	2024-145019	JP : 日本国	2024. 08. 26	出願	非水電解質蓄電素子及び非水電解質蓄電素子の製造方法	藤澤 友稀 他
2 4	株式会社 GS ユアサ	2024-156996	JP : 日本国	2024. 09. 10	出願	非水電解質蓄電素子及び非水電解質蓄電素子の製造方法	藤澤 友稀 他
2 5	株式会社 GS ユアサ	2024-166194	JP : 日本国	2024. 09. 25	出願	蓄電装置	木村 隆志 他
2 6	株式会社 GS ユアサ	2024-171497	JP : 日本国	2024. 09. 30	出願	非水電解質蓄電素子、蓄電装置及び非水電解質蓄電素子の使用方法	上田 尽哉 他
2 7	株式会社 GS ユアサ	2024-171493	JP : 日本国	2024. 09. 30	出願	非水電解質蓄電素子、蓄電装置及び非水電解質蓄電素子の使用方法	原田 諒他

(Patent Cooperation Treaty: 特許協力条約)

#### 【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	Hakari Takashi ; Inamasu Tokuo ; Ishikawa Masashi, et al.	関西大学 先端科学 技術推進 機構、 株式会社 GS ユアサ	Fully carbonate electrolyte-based practical high energy density Li-S batteries with solid-phase conversion	Carbon Energy, e585	完了(公開)	2024/3

【外部発表】リスト例

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	岸田 海平	関西大学化学生命工学部化学・物質工学科	メソ多孔性炭素-硫黄複合電池正極に適した新規電解液の開発	第 61 回電池討論会	2020/11
2	岸田 海平	関西大学化学生命工学部化学・物質工学科	メソ孔多孔性炭素-硫黄複合電池正極への塩素置換電解液の効果	2020 年度第 3 回関西電気化学研究会 Webinar	2020/11
3	奥田 大輔	関西大学先端科学技術推進機構	PAA バインダーを適用した Li-S 電池用メソカーボン硫黄正極の高出力化	第 62 回電池討論会	2021/11
4	計 賢	関西大学先端科学技術推進機構	電解液溶媒として炭酸ビニレンを用いたメソカーボン硫黄複合正極の充放電反応メカニズム	第 62 回電池討論会	2021/11
5	奥田 大輔	関西大学先端科学技術推進機構	新規フッ素化エーテル溶媒を適用したリチウム硫黄電池用低比重電解液の開発	第 63 回電池討論会	2022/11
6	亀岡 優翔	関西大学理工学研究科化学生命工学専攻化学・物質工学分野電気化学研究室	炭酸ビニレンベース電解液への炭酸フルオロエチレン混合がメソ多孔性炭素-硫黄正極被膜に与える影響	2022年度第 3 回関西電気化学研究会 Webinar	2022/12
7	奥田 大輔	関西大学先端科学技術推進機構	Electrochemical characteristics of novel fluorinated ether solvent for lithium-sulfur batteries	243rd ECS meeting	2023/5
8	亀岡 優翔	関西大学理工学研究科化学生命工学専攻化学・物質工学分野電気化学研究室	炭酸ビニレン電解液への炭酸フルオロエチレン混合によるメソ孔炭素-硫黄正極を用いたリチウム硫黄電池の性能向上要因	第 24 回化学電池材料研究会ミーティング	2023/6
9	亀岡 優翔	関西大学理工学研究科化学生命工学専攻化学・物質工学分野電気化学研究室	Factors Improving Lithium Sulfur Battery Performance with Mesoporous Carbon-Sulfur Cathode by Mixing Vinylene Carbonate Electrolyte with Fluoroethylene Carbonate	244th ECS Meeting	2023/11
10	奥田 大輔	関西大学先端科学技術推進機構	p-ベンゾキノンを複合化した硫黄正極の電気化学特性	第 64 回電池討論会	2023/11
11	奥田 大輔	関西大学先端科学技術推進機構	スルホラン系局所高濃度電解液を適用したリチウム硫黄電池の電気化学特性と反応機構	第 64 回電池討論会	2023/11
12	安村 尚人	関西大学理工学研究科化学生命工学専攻化学・物質工学分野電気化学研究室	リチウム硫黄二次電池に適応する無機コーティングリチウム金属負極の開発	第 64 回電池討論会	2023/11
13	亀岡 優翔	関西大学理工学研究科化学生命工学専攻化学・物質工学分野電気化学研究室	炭酸ビニレン単独およびフルオロ化電解液によるメソ孔炭素-硫黄正極を用いたリチウム硫黄電池の性能向上要因の解明	第 64 回電池討論会	2023/11
14	亀岡 優翔	関西大学理工学研究科化学生命工学専攻化学・	VC 系電解液への FEC 混合によるメソ孔炭素-硫黄正極を用いたリチウム硫黄電池の性能向上要因の解明	2023 年度第 3 回関西電気化学研究会 Webinar	2023/12

		物質工学分野電 気化学研究室			
15	安村 尚人	関西大学理工学 研究科化学生命 工学専攻化学・ 物質工学分野電 気化学研究室	リチウム硫黄二次電池に適応 するアルミナコーティングリ チウム金属負極の開発	2023年度第3回関西電気化 学研究会 Webinar	2023/12
16	西川 平 祐、水野 祐介、稻益 徳雄	株式会社 GS ユ アサ	NEDO 航空機用先進システム実 用化プロジェクト 次世代電動推進システム研究 開発-軽量蓄電池 ～500 Wh/kg 級リチウム硫黄 電池の開発～	第422回電池技術委員会講 演会	2024/9

(b) 新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	株式会社 GS ユアサ	新聞掲載	日本経済新聞	2021/11
2	株式会社 GS ユアサ	新聞掲載	電波新聞	2021/11
3	株式会社 GS ユアサ	新聞掲載	化学工業日報	2021/11
4	株式会社 GS ユアサ	新聞掲載	化学工業日報	2022/03
5	株式会社 GS ユアサ	LIB リサイクル、大躍進	日経エレクトロニクス、p. 61	2022/3

(c) その他 (プレス発表等)

番号	所属	タイトル	掲載場所	発表年月
1	株式会社 GS ユアサ	2022年3月期 第2四半期 決算説明会	G S ユアサ ホームページ	2021/11
2	株式会社 GS ユアサ	N E D O 航空機用先進システム 実用化プロジェクト (軽量蓄電池) の中間目標を達成	News Release	2021/11

研究開発テーマ⑧-3：電動ハイブリッドシステム

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外 国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	(株) IHI 学校法人立命 館	特願 PCT/JP2023/010051	国内	2023/03/15	出願	発電装置	小林敏和 他
2	(株) IHI	特願 2023-167275	国内	2023/09/28	出願	ステータ及び回転 電機	寺内哲行
3	(株) IHI	特願 2023-143394	国内	2023/09/05	出願	回転電機のロータ	寺内哲行
4	学校法人大阪 産業大学	特願 2022-131243	国内	2022/08/19	出願	遮断機	岩田明彦
5	(株) IHI 学校法人立命 館	特願 2022-067486	国内	2022/04/15	出願	発電装置	小林敏和 他

6	学校法人大阪 産業大学	特願 2022-041195	国内	2022/03/16	出願	半導体遮断回路	岩田明彦
7	学校法人大阪 産業大学	特願 2021-052655	国内	2021/03/26	出願	半導体遮断回路	岩田明彦

(Patent Cooperation Treaty: 特許協力条約)

### 【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	伊藤(1)、渡辺 (1)、姫野(1)、 関(2)、 井上(2)、平川 (2)	(1)東京大学、 (2) 株式会社 IHI	EFFECT OF CHANNEL SIZE ON AIR- COOLING PERFORMANCE IN INTERIOR PERMANENT MAGNET (IPM) MOTOR DRIVING AVIATION FANS AT HIGH ALTITUDE	Proceedings of the Turbo Expo 2022 Turbomachinery Technical Conference & Exposition	有	2021/12
2	高橋(1)、 足立(1)、 石井(2)、 関(2)、 大依(2)	(1)秋田大学 理 工 学 研 究 科、 (2) 株式会社 IHI	電動ターボコンプレッサを用いた航空 機用環境制御装置の エネルギー回収	日本機械学会熱工学コン ファレンス 2021 講演論文 集	無	2021/08
3	岩田 明彦	大阪産業大学	空機電動化における グリッドシステムの 高信頼化の課題と技術動向	システム制御情報学会 学 会誌「システム/制御/情 報」特集号解説論文 第 66 巻 12 号	無	2022/05
4	足立高弘(1)、 高橋賢次(1)、 石井将太郎(2)、 関 直喜(2)、 大依 仁(2)	(1)秋田大学、 (2)株式会社 IHI	Thermodynamic Analysis of a New Electric Environmental Control System with Energy Recovery Turbine	日本機械学会 Journal of Thermal Science and Technology	有	2022/06
5	伊藤 優	株式会社 IHI	航空推進用 MW 級空 冷 IPM モータのサー マルマネジメント	日本機械学会熱工学部門機 関誌 TED Plaza	無	2022/09

### 【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	今村 满勇	株式会社 IHI	IHIにおける航空エンジン事業 への取り組み	岩手大学講演	2021/11
2	大石 勉	株式会社 IHI	ジェットエンジンにおける技術 開発	日本大学生産工学特別講義	2021/11
3	武藤 慎治	株式会社 IHI	最新の民間航空機エンジン開発 と将来技術動向について	日本航空宇宙学会 第59回飛行機シンポジウム	2021/11
4	井上 知也	株式会社 IHI	航空機適用を目指した電動化ソリューションの研究開発	航空機電動化(ECLAIR)コンソーシアム	2021/11
5	室岡 武	株式会社 IHI	GT学会教育シンポ_ジェットエンジンへの要求と技術開発	第33回ガスターイン教育シンポジウム	2021/12
6	井上 知也	株式会社 IHI	脱炭素社会に向けた航空機産業の動向と電動化ソリューションの将来	応用物理学会 先進パワー半導体分科会 第8回講演会	2021/12
7	大島 竜輝、 姫野 武洋	東京大学	機体統合手法に基づくターボエレクトリック推進システムの概念設計	第7回 将来航空推進システム技術創成社会連携講座オープンワークショップ	2021/03
8	小林 敏和	株式会社 IHI	航空機電動化における大型発電機の技術開発	第61回原動機・宇宙推進講演会	2021/03
9	高橋(1)、 足立(1)、 石井(2)、 関(2)、 大依(2)	(1)秋田 大学理工 学研究 科、 (2) 株式 会社 IHI	電動コンプレッサーを用いた新しい航空機用環境制御装置 (ECS) のサイクル解析とエネルギー回収	日本機械学会東北支部第56期総会・講演会	2021/03
10	伊藤 優	東京大学	電動推進ファン用モータの空冷に関する検討	第7回 将来航空推進システム技術創成社会連携講座オープンワークショップ	2021/03

11	関 直喜	株式会社 IHI	航空機電動化における大容量高 速モータへの期待	第 41 回モータ技術シンポジウム	2021/05
12	井上 知也	株式会社 IHI	電動化技術の最新事例	東京大学大学院 将来航空推進 システム技術特論	2021/05
13	井上 知也	株式会社 IHI	電動化技術の最新事例	秋田大学大学院 航空システム 工学実践論	2021/06
14	平川 香林	株式会社 IHI	航空機電動化の動向と開発事例	秋田大学平山研究室航空機電動 化オンラインミーティング	2021/07
15	平川 香林	株式会社 IHI	航空機電動化の動向と開発事例	2021 年電気学会産業応用部門大 会オーガナイズドセッション	2021/08
16	伊藤(1)、渡辺 (1)、姫野(1)、 関(2)、 大依(2)	(1) 東京 大学、 (2) 株式 会社 IHI	永久磁石埋込式 (IPM) モー タの空冷におよぼす周囲気温・ 気圧の影響	日本航空宇宙学会 第 61 回航空 原動機・宇宙推進講演会	2022/01
17	井上 知也	株式会社 IHI	航空機電動化技術	立命館大学 大学院講義 パワー エレクトロニクス II	2022/01
18	森岡 典子	株式会社 IHI	Innovation for net-zero aviation	Engine Forum Kobe2022	2022/10
19	天野裕登(1), 足 立高弘(1), 石井 将太郎(2), 大野 孝太(2), 関直喜 (2)	(1) 秋田 大学, (2) 株式 会社 IHI	航空機地上駐機状態における電 動 ECS のサイクル解析	日本機械学会 東北支部秋季講 演会	2022/10
20	大石 勉	株式会社 IHI	ジェットエンジンにおける技術 開発	日本大学生産工学特別講義 “將 來航空推進システム技術特論”	2022/11

21	桑田 厳	株式会社 IHI	航空機電動化の動向と開発への取り組み	日本機械学会 関東支部講習会 「変わる！これからの機械工学」シリーズ 第8回「新エネルギーとグリーンイノベーション」	2022/11
22	井上 知也	株式会社 IHI	航空機電動化技術	立命館大学 パワーエレクトロニクスⅡ 「航空機電動化技術」	2022/11
23	菅原 寛生, 蝶 間 厚, 関 直 喜	株式会社 IHI	Short fault isolation issue on electric aircraft	イギリス ストラスクライド大 航空機電動化ワークショップ	2022/12
24	平川 香林	株式会社 IHI	脱炭素社会に向けた航空機の動 向と電動化の取組	第6回 パワエレフオーラム ~ 最先端技術	2022/02
25	加賀谷諒	株式会社 IHI	IHI 若手・中堅技術者が考える 2035—2050年に向けた要素技 術	第8回将来航空推進システム技 術創生オープンワークショップ	2022/03
26	姫野武洋, 大島 竜輝, 渡辺紀 徳, 伊藤優	東京大学	サイクル解析と重量推算に基づ くターボ電動推進システムの燃 料消費量推算	日本航空宇宙学会 第61回航空 原動機・宇宙推進講演会	2022/03
27	軸丸武弘	株式会社 IHI	脱炭素社会に向けた航空機の動 向と電動化の取組	電気学会 次世代移動体用電動 力応用システム技術調査専門委 員会	2022/03
28	関 直喜	株式会社 IHI	航空輸送の脱炭素に向けた電動 化の取り組みについて	第8回将来航空推進システム技 術創生オープンワークショップ	2022/03
29	川畠(1), 金田 (1), 浅井(1), 内川(2), 菅原 (2), 小林(2)	(1)立命 館大学、 (2)株式 会社 IHI	永久磁石同期発電機の短絡検知 と回路遮断手法	パワーエレクトロニクス学会 第242回定例研究会	2022/04

30	竹川 光弘	株式会社 IHI	将来航空推進システム技術特論 まとめ 産業界の視線から	東京大学 「将来航空推進システム技術特論」	2022/06
31	関 直喜	株式会社 IHI	機体トータルエネルギーマネジメント	東京大学大学院 「将来航空推進システム技術特論」	2022/06
32	関 直喜	株式会社 IHI	機体トータルエネルギーマネジメント	秋田大学大学院 「航空システム工学実践論」	2022/06
33	菅原 寛生, 関直喜	株式会社 IHI	航空機用エンジンシステムの電動化	2022 年度電気学会 産業部門大会	2022/06
34	菅野和, 中嶋明宏, 吉田征弘, 田島克文	秋田大学	航空機用モータコイルの絶縁性能評価に関する研究	令和 4 年電気学会基礎・材料・共通部門大会（通称 A 部門大会）	2022/06
35	井上 知也	株式会社 IHI	電動化技術の最新事例	東京大学大学院 「将来航空推進システム技術特論」	2022/06
36	井上 知也	株式会社 IHI	電動化技術の最新事例	秋田大学大学院 「航空システム工学実践論」	2022/06
37	岩田 明彦	大阪産業大学	電動航空機用限流遮断システムの考察と軽量化提案	2022 年度電気学会産業応用部門大会オーガナイズドセッション	2022/06
38	吉永 誠一郎	株式会社 IHI	IHI Electrified Solutions, EleX	ノッティンガム大学の電動化関連の研究室	2022/07
39	森岡 典子	株式会社 IHI	Towards the future of net-zero aviation	IIW2022 年次大会・国際ウェルディングショーの Keynote 発表	2022/07
40	桑田 厳	株式会社 IHI	航空機電動化の動向とモータ技術開発への取り組み	TECHNO-FRONTIER2022 技術シンポジウム	2022/07
41	犬塚一徹, 平川香林, 関直喜, 大依仁	株式会社 IHI	CFD によるハイブリッド層流制御システムの検討	第 60 回飛行機シンポジウム	2022/08

42	谷光玄行 黒木 博史 浜辺正昭	株式会社 IHI	カーボンニュートラルに向けた 航空エンジンの将来技術動向	第 60 回飛行機シンポジウム	2022/08
43	伊藤 優(1) 渡 辺 紀徳(1) 姫 野 武洋(1) 閔 直喜(2) 井 上 知也(2) 平 川 香林(2)	(1)東京 大学、 (2) 株式 会社 IHI	高空環境でのMW級永久磁石埋 込式（IPM）モータの空冷性 能推算	日本機械学会 熱工学コンフア レンス 2022	2022/08
44	平川 香林	株式会社 IHI	脱炭素社会に向けた航空機業界 の動向と取組	秋田県立大曲高校向け講演（科 学技術，女性エンジニアの視 点，自身の体験からの女性活 躍）	2022/09
45	蛭間 厚	株式会社 IHI	ハイブリッド電動推進適用に向 けた MW 級エンジン内蔵発電機 の開発	第 6 回 ECLAIR オープンフォーラ ム	2023/10
46	増田 和裕	株式会社 IHI	航空の脱炭素化にむけた取り組 み	MECT2023	2023/10
47	井上 知也	株式会社 IHI	航空機電動化により実現する次 世代モビリティの革新	JAXA 航空シンポジウム 2023	2023/10
48	桑田 嶽	株式会社 IHI	航空機電動化の動向および開発 への取り組み	東京理科大学エネルギー・環境 コース主催 e モビリティ・シン ポジウム 2023	2023/10
49	渡辺紀徳	東京大学	Towards Green Energy Era - Technology Development in Japan	International Gas Turbine Congress 2023	2023/11
50	井上 知也	株式会社 IHI	航空機の脱炭素化に向けた新技 術の官民協議会の活動について	第 61 回飛行機シンポジウム	2023/11

51	古野 晃久	株式会社 IHI	高速電動ターボ機械向けガス軸受けの試験評価技術の開発	IHI 第 67 回 回転機械技術交流会	2023/11
52	増田 和裕	株式会社 IHI	航空の脱炭素化に向けた取り組み	航空宇宙産業振興シンポ	2023/12
53	梅木 康由	株式会社 IHI	航空機・エンジン電動化 2050 年カーボンニュートラルに向けて	本荘由利テクノネットワーク講演会	2023/12
54	伊藤 優(1) 渡辺 紀徳(1) 姫野 武洋(1) 関 直喜(2) 平川 香林(2)	(1) 東京大学、 (2) 株式会社 IHI	Effect of Aspect Ratio on Air-Cooling Performance in Interior Permanent Magnet (IPM) Motor Driving Aviation Fans at High Altitude	the 11st Asia Joint Conference on Propulsion and Power	2023/03
55	小林 敏和	株式会社 IHI	IHI R&D for Aircraft/Engine Electrification and standardization activities	SAE INTERNATIONAL	2023/03
56	大野 孝太 菅原 寛生 関 直喜	株式会社 IHI	System study of More Electric Engine (MEE) concept	the 11st Asia Joint Conference on Propulsion and Power	2023/03
57	大野 孝太 菅原 寛生 関 直喜	株式会社 IHI	さくらサイエンスプログラム	Sakura Science Exchange Program - Challenges to More electric aircraft	2023/03
58	桑田 嶽	株式会社 IHI	航空機電動化の動向とモータ技術開発への取り組み	TECHNO-FRONTIER2022 第 43 回 モータ技術シンポジウム	2023/03
59	橋場 道太郎、 田中 貴博	株式会社 IHI	熱流体・エネルギー技術に関する IHI の取り組みのご紹介	第 60 回日本伝熱シンポジウム	2023/05

60	蛭間 厚	株式会社 IHI	Overview of IHI Corporation Aerospace Business	パリエアショー	2023/06
61	蛭間 厚	株式会社 IHI	ハイブリッド電動推進適用に向けたMW級エンジン内蔵発電機の開発	電気学会 産業部門大会	2023/06
62	関 直喜	株式会社 IHI	機体トータルエネルギマネジメント	東京大学大学院 「将来航空推進システム技術特論」	2023/06
63	関 直喜	株式会社 IHI	機体トータルエネルギマネジメント	秋田大学大学院 「航空システム工学実践論」	2023/06
64	井上 知也	株式会社 IHI	航空機電動化実現に向けた取り組み	電気学会D部門 自動車技術委員会	2023/06
65	井上 知也	株式会社 IHI	電動化技術の最新事例	東京大学大学院 「将来航空推進システム技術特論」	2023/06
66	井上 知也	株式会社 IHI	電動化技術の最新事例	秋田大学大学院 「航空システム工学実践論」	2023/06
67	石井 将太郎	株式会社 IHI	テクノキャリアゼミ講義資料 (2023年度版)	秋田大学「テクノキャリアゼミ」	2023/07
68	大庭 芳則	株式会社 IHI	IHI's R&D activities on the diversification of energy sources for sustainable new-generation aircraft / gasturbine	UW-AOS Workshop 2023	2023/09
69	西村昌希, 川野立暉, 知場大聖	立命館大学	MSG を用いた事故時の保護に関する研究および永久磁石同期発電機の短絡検知と回路遮断手法	同志社大・立命館大合同ゼミ	2023/09

70	古野晃久, 青山茂一, 佐々木暢彦, 石川尚ノ助, 菅井芳郎, 高櫻豊樹	株式会社 IHI	高速電動ターボ機械向けガス軸受の試験評価技術	ターボ機械協会 第 89 回創立 50 周年記念学術講演会	2023/09
71	藤村 哲司	株式会社 IHI	Hydrogen Technology Development in Japan	GPPS Forum 2024	2024/01
72	伊藤 優那	株式会社 IHI	MW 級永久磁石埋込式(IPM)モータの高空環境での空冷性能推算	日本航空宇宙学会関西支部の研究分科会「航空宇宙産業の革新」	2024/01
73	西村 昌希(1), 浅井 智貴(1), 川野 立暉(1), 清水 悠生(1), 川畑 良尚(1), 内川 拓也(2), 菅原 寛生(2), 小林 敏和(2), 早田 卓益(2)	(1)立命館大学、(2)株式会社 IHI	航空機電動化における故障時の保護に関する研究	秋田大学・秋田県立大学（電動化システム共同研究センター）×立命館大学（カーボンニュートラルアビエーション研究グループ）航空機システム電動化第2回 ワークショップ	2024/01
74	桑田 巍	株式会社 IHI	航空機電動化の動向と技術開発への取り組み	日本機械学会北陸信越支部	2024/01
75	井上 知也	株式会社 IHI	航空機電動化技術	立命館大学講義 パワーエレクトロニクス II 「航空機電動化技術」	2024/01

76	足立 高弘(1) 富山 直紀(1) 大野 孝太(2)	(1)秋田 大学, (2)株式 会社 IHI	Challenges to More electric aircraft, Electrification of aircraft environmentalcontrol system, Introduction of ExperimentalEquipment for Electric EnvironmentControl System for Aircra	さくらサイエンスプログラム	2024/02
77	井上 知也	株式会社 IHI	Discussion about Standardization for Aircraft/Engine electrificatio	SAE Workshop 2024 Electrification	2024/02
78	井上 知也	株式会社 IHI	エンジン内蔵発電機の開発	電気学会誌 2024 年 5 月号	2024/02
79	増田 和裕	株式会社 IHI	航空機の電動化	名古屋商工会議所 航空機ビジネスプロフェッショナル養成講座 2023	2024/02
80	尾形 秀樹	株式会社 IHI	カーボンニュートラルに向けた IHI の取り組み～カーボンソリューションと航空機電動化～	第3回 カーボンニュートラルに寄与するトライボロジー技術研究会	2024/03
81	川畑 良尚(1) 鍋島 隆太郎(1) 知場 大聖(1) 清水 悠生(1) 内川 拓也(2) 菅原 寛生(2) 小林 敏和(2) 早田 卓益(2)	(1)立命 館大学、 (2) 株式 会社 IHI	異常模擬モータを用いた永久磁石同期モータにおける相内短絡現象の実験的検証	2024 電気学会全国大会	2024/03

82	関 直喜	株式会社 IHI	航空機電動化これまでの歩みと これからの取り組み	第10回将来航空推進システム技術創成オープンワークショップ	2024/03
83	仲俣 千由紀	株式会社 IHI	AESQ Supplier Forum, April 25 th , Tokyo	AESQ サプライヤ・フォーラム	2024/04
84	山本 智也	株式会社 IHI	Development of a Megawatt Class Engine Embedded Electric Machine for Aircraft Electrification	ICEMS2024	2024/04
85	大依 仁	株式会社 IHI	Electrified Solutions as Required by a Specific Strategic Research Agenda for Mitigating the Environmental Impact of Future Aircraft	AIAA SciTech 2025	2024/05
86	斎藤 保	株式会社 IHI	経営哲学とイノベーション	山縣地域懇親会フォーラム（東 北経済連合会主催）	2024/05
87	関 直喜	株式会社 IHI	航空電動化とハイブリッドエン ジン	AMANO SCOPE (Youtube チャンネ ル)	2024/05
88	関 直喜	株式会社 IHI	機体トータルエネルギーマネジメ ント	東京大学大学院 「将来航空推 進システム技術特論」	2024/06
89	早田 卓益	株式会社 IHI	機体トータルエネルギーマネジメ ント	秋田大学大学院 航空システム 工学実践論	2024/06
90	石井 将太郎	株式会社 IHI	機械工学セミナー講義資料 (2024年度版)	秋田大学 機械工学セミナー講 義	2024/06

91	井上 知也	株式会社 IHI	電動化技術の最新事例	東京大学大学院 「将来航空推進システム技術特論」	2024/06
92	梅木 康由	秋田県立 大学	電動化技術の最新事例	秋田大学大学院 航空システム 工学実践論	2024/06
93	森岡 典子	株式会社 IHI	アビエーションの脱炭素化に 向けた取組み	一般社団法人 研究・イノベー ション学会 女性エンジニア活 性分科会	2024/07
94	川畑 良尚(1) 鍋島 隆太郎(1) 清水 悠生(1) 秋吉 雅夫(2) 菅原 寛生(2) 小林 敏和(2) 早田 卓益(2)	(1)立命 館大学、 (2) 株式 会社 IHI	異常模擬モータを用いた永久磁 石同期モータにおける相内短絡 現象による制御系への影響に 関する実験的検証	一般社団法人 電気学会 モータ ドライブ/回転機/自動車合同研 究会	2024/07
95	藤本秀	株式会社 IHI	航空・宇宙エンジンの伝熱・冷 却技術と最新動向の紹介	金沢工業大学「熱流体工学特別 講義」	2024/07
96	桂 健志郎	株式会社 IHI	航空機向け大電力発電機シス テム制御の一検討	一般社団法人 電気学会 モータ ドライブ/回転機/自動車合同研 究会	2024/07
97	軸丸 武弘	株式会社 IHI	航空機電動化におけるモータ技 術開発	モータ技術シンポジウム	2024/07
98	井上 知也	株式会社 IHI	航空機電動化を通じた新たなナ ビジネスチャンスへの挑戦	AIDA 航空イノベーションアカデ ミー2024	2024/07
99	平川 香林	株式会社 IHI	電動化技術の応用—航空機電動 化—	立命館大学 「電動移動機械シ ステム」講義	2024/07
100	森岡 典子	株式会社 IHI	Decarbonization in the aviation industry through energy efficiency and low carbon fuel	Sustain Asia Week 2024	2024/08
101	桑田 巍	株式会社 IHI	航空機電動化の動向と技術開発 への取り組み	小千谷産学交流研究会	2024/08

102	関 直喜	株式会社 IHI	DEVELOPMENT OF AIRCRAFT SYSTEM ELECTRIFICATION AND HYBRID ELECTRIC PROPULSION	ICAS2024	2024/09
103	稻田 貴臣	株式会社 IHI	航空機産業および関連分野の成長に向けた取り組みと展望	SAMPE JAPAN 先端材料技術展 2024	2024/09
104	森木 拓哉(1) 綱田 錬(1) 竹本 真紹(1) 今井 純(1) 軸丸 武弘(2) 山本 智也(2)	(1)岡山大学、 (2)株式会社 IHI	航空機用ハイブリッド推進システムのMW級SPMSMにおける高効率化のための回転子積層時の適切なスロット数の検討  Challenges for the standardization of Aircraft System Electrification and Hybrid Electric Propulsion	電気学会 D部門 回転研究会  JA2024（国際航空宇宙展）セミナー	2024/09  2024/10
105	関 直喜	株式会社 IHI	IHI R&D for Aircraft/Engine Electrification and standardization activities update	SAE—E40 Electrified Propulsion Committee	2024/10

(b) その他

番号	発表者	所属	タイトル	発表先	発表年月
1	N/A	株式会社 IHI	Future Concept for More Electric Aircraft / More Electric Engine	IIW2022 年次大会・国際ウェルディングショー展示パネル	2022/07
2	N/A	株式会社 IHI	ガス軸受で電動ターボ機械の軽量化を実現	IHI 技報 Vol. 62 No. 2 (2022)	2023/01
3	川畑 良尚	立命館大学	航空機空調向け熱エアマネジメントシステムの研究	立命館大学 宇宙地球探求研究センター HP	2023/12
4	N/A	株式会社 IHI	FC EXPO(水素・燃料電池展)	FC EXPO 展示パネルおよび展示品	2023/03

5	N/A	株式会社 IHI	軽量・小型で世界最高レベル出力の電動ターボコンプレッサを開発	IHI プレスリリース	2023/06
6	蛭間 厚	株式会社 IHI	MW-class Engine Embedded Electric Machine (E3M)	パリエアショー	2023/06
7	足立 高弘	秋田大学	航空機空調 向け 热エアマネジメントシステム の 研究	秋田大学電動化システム 共同研究センターHP	2023/08
8	田中 隆太	株式会社 IHI	電動化要素技術の開発	IHI 第 41 回 技術開発本部 2023 年 技術紹介	2023/08
9	N/A	株式会社 IHI	Realizing Lightweighting in Electric Turbomachinery with Gas Bearings	IHI 技報 Vol. 56 No. 2 (2023)	2023/09
10	N/A	株式会社 IHI	世界初 メガワット級の航空機 ジェットエンジン後方に搭載可能な電動機を開発	IHI プレスリリース	2024/01
11	神本 長武	株式会社 IHI	NEDO 「航空機用先進システム 実用化プロジェクト」	新世代モーター特性評価ラボ HP	2024/05
12	足立 高弘	秋田大学	電動ハイブリッドシステム - 热・エアマネジメントユニットに関する研究	新世代モーター特性評価ラボ HP	2024/05
13	N/A	株式会社 IHI	ファンボロー電動化展示パネル	ファンボローエアショー	2024/07

#### 研究開発テーマ⑧-4：推進用電動機制御システム

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外 国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	多摩川精機(株)	特願 2024-022687	国内	2024/2/19	出願済	大電流検出センサの小型化	後藤卓寿
2	多摩川精機(株) 信州大学	特願 2024-060578	国内	2024/4/4	出願後、 公開前	ステータ構造及び同期電動機	水野勉
3	多摩川精機(株)	特願 2023-156666	国内	2023/9/22	出願済	電動機固定子	和田章吾
4	多摩川精機(株)	特願 2022-168302	国内	2022/10/20	出願済、 公開済	IPM モータ	小久江幸二
5	多摩川精機(株)	-	国内	2024 年	出願前	金属 3D プリンタによるモータケースの製造	池田貴洋

(Patent Cooperation Treaty: 特許協力条約)

### 【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌 名、ペー ジ番号	査読	発表年月
1	北島純	信州大学	磁性皮膜平角銅線の近接効果に起因する交流銅損の低減効果と評価	電気学会	無	2024/1
2	栄隆志	信州大学	小型航空機用電動機の交流損低減のための固定子構造の検討	電気学会	無	2024/1
3	川上陽生	公立諏訪東京 理科大学	次世代空モビリティー向け駆動モータに関する多目的最適化設計	電気学会	無	2023/6

### 【外部発表】リスト例

#### (a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	小久江幸二	多摩川精機(株)	高密度高出力 推進用モータの最適化設計	JMAG ユーザー会 2022	2022/12
2	川上陽生	公立諏訪東京 理科大学	次世代空モビリティー向け駆動モータに関する熱等価回路の構築	令和 5 年電気学会全国大会	2023/3
3	久保田晃弘	多摩川精機(株)	eVTOL 向け高密度モータ	令和 5 年度 SJAC 研究開発フォーラム	2023/3

#### (b) プレス発表等

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	多摩川精機(株)	DSEI JAPAN 2023 出展	DSEI JAPAN 2023	2023/3

#### (c) その他

なし

## 「航空機用先進システム実用化プロジェクト」 基本計画

ロボット・AI部

### 1. 研究開発の目的・目標・内容

#### (1) 研究開発の目的

##### ① 政策的な重要性

航空機産業は、最先端の技術が適用される典型的な研究開発集約型の産業、かつ極めて広い裾野を有する総合産業であり、極限までの安全性・信頼性が求められ、厳しい品質管理が要求される。また今後、旅客需要は世界的に大きく伸び、今後20年で約2倍になることが想定されている。

一方、次世代航空機は、さらなる安全性・環境適合性・経済性が求められている。そのため、これらのニーズに対応した航空機用先進システムを開発し、我が国の技術が次世代航空機に早期に導入可能な体制を構築しておく必要がある。

また、我が国においては、本研究開発は以下のとおり国家的な施策及び技術戦略マップにおいて、必要なプロジェクトとして位置付けられている。

- (1) 経済産業省が策定した産業構造ビジョン2010において、2020年に航空機産業の売上高2兆円（2014年の約2倍）、2030年に売上高3兆円（2014年の約3倍）を達成することを目指すとしている。そして、具体的な施策として、航空機システムを含めたモジュール単位での設計・開発を行うと記載されている。
- (2) NEDOの2013年度情報収集事業「航空機分野における戦略策定調査」の技術戦略マップにおいて、航空機システム技術の重点開発テーマとなっており、航空機の安全性・環境適合性・経済性といった社会のニーズに対応したプロジェクトとなっている。
- (3) 宇宙航空研究開発機構(JAXA)は、2018年7月に電気で飛ぶ航空機の技術開発を目指す組織「航空機電動化コンソーシアム」を設立した。世界の航空機需要が増える中で地球温暖化をもたらす二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の排出量を削減する革新的電動航空機に関する技術創出を目指している。
- (4) 経済産業省は、国土交通省と合同で、我が国における“空飛ぶクルマ”的実現に向けて「空の移動革命に向けた官民協議会」を設立し、4回の会合（2018年8月29日～12月20日）を通して空の移動革命に向けたロードマップを構築した。

##### ② 我が国の状況

我が国では、経済産業省の事業「航空機用先進システム基盤技術開発」において、ブレーキシステムと地上走行システムの設計目標・仕様の設定等に関する研究開発を実施している。一方で、欧州では航空機システムに関する研究開発プロジェクトが2002年以降に実施されており、我が国としても諸外国に遅れを取らないようするため、航空機システムに関する継続的な研究開発が必要であると考えられる。

##### ③ 世界の取組状況

欧州では Horizon2020 で、また米国では NASA による ERA(Environmental Responsible Aviation) で、航空機システムに関する研究開発プロジェクトが実施されているが、航空機システムに関する技術的課題はまだまだ多く残されているのが現状といえる。また、航空機産業では空飛ぶクルマのような小さな航空機から大型旅客機まで「電動化」が大きな技術開発テーマとなっており、2017 年以降には世界中で電動化に関する研究開発が急激に増加している。例えば 2017 年より Airbus 社や Rolls-Royce 社、Siemens 社が共同でハイブリッド推進実証試験機「E-Fan X」の開発に取り組んでいる。そのような状況において、我が国の企業や大学におけるバッテリーやモータ、インバータ等の電動化コア技術は、欧米の機体 OEM より多数アプローチを受けている状況にある。本研究開発を通じて航空機用先進システムを開発することにより、これまで国外の航空機システムメーカーの下請けに甘んじていた我が国の航空機システムメーカーも、航空機システム市場に本格的に参入する機会を作り出すことができる。

#### ④ 本事業のねらい

本研究開発では、航空機の安全性・環境適合性・経済性といった社会のニーズに対応した、安全性が高く軽量・低コストな航空機用先進システムを開発し、次世代航空機に提案可能なレベルにまで成熟させることを目的としている。

### (2) 研究開発の目標

#### ① アウトプット目標

本研究開発では、航空機用先進システムのプロトタイプモデルを製作し、地上ないし飛行環境下で従来のシステムよりも優れた性能・機能等を有することを実証する。この目標を達成すれば、国内外の航空機メーカーからは一定の成熟度を持つシステムであると判断され、次世代航空機への提案が、更に、電動推進技術については 2030 年代以降に客先納入予定の機体への提案が可能となる。

#### ② アウトカム目標

本研究開発にて開発した航空機用先進システムが国内外の航空機メーカーに採用されること、またプロダクトサポートや MRO (Maintenance, Repair and Overhaul) により、研究開発項目①～⑦に関しては 2020 年代以降から年間で研究開発項目毎に数十億円、合計で最大数百億円の売上を継続して得ること、研究開発項目⑧については 2030 年代以降から年間で数十億円、合計で最大数百億円の売上を継続して得ることを目標とする。

#### ③ アウトカム目標達成に向けての取組

本研究開発で製作する航空機用先進システムのプロトタイプについて試作し、認証取得に向けて実証試験等を行うこととする。また、本研究開発を通じて、実証試験インフラの整備、サプライチェーンの確立、人材の確保に寄与するよう取り組む。さらに、必要に応じて国内外の航空機メーカーや航空機システムメーカーをパートナーとして選定することにより、ユーザ側のニーズを的確に把握し、成果を実用化・事業化につなげることを目指す。

### (3) 研究開発の内容

本研究開発では、次世代航空機に提案可能な航空機用先進システムとして、次世代降着システムや次世代コックピットディスプレイ等を開発し、地上ないし飛行環境下で従来のシステム

よりも優れた性能・機能等を有することを実証する。例えば、次世代降着システムにおいては、次世代の民間航空機で求められる MEA (More Electric Aircraft) 化の技術動向に対応した、降着装置系統の脚システムの電動化対応技術を開発し、対象は脚揚降システム、電動タキシングシステム及び電磁ブレーキシステムとする。また、次世代コックピットディスプレイにおいては、先進の表示デバイス技術等を用いたコックピットディスプレイを開発する。

更に、装備品に留まらず推進系も含めた航空機電動化の技術動向に対応した、高効率モータや軽量蓄電池等の開発を行う。

上記、研究開発を実施するにあたり、以下の最終目標・中間目標を達成するものとする。また、以下の目標を達成するために、別紙1の研究開発計画及び別紙2の研究開発スケジュールに基づき研究開発を実施する。

最終目標（研究開発項目①③④⑤⑥⑦：2019年度、研究開発項目②：2020年7月31日、研究開発項目⑧：2023年度）

航空機用先進システムのプロトタイプモデルを製作し、地上または飛行環境下で従来のシステムよりも優れた性能・機能等を有することを実証する。

中間目標（研究開発項目①～⑦：2017度、研究開発項目⑧（推進用電動機制御システムを除く）：2021年度）

航空機用先進システムのプロトタイプモデルを製作し、実験室環境下で従来のシステムよりも優れた性能・機能等を有するかどうかを検証する。

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

研究開発項目①から⑧（高効率かつ高出力電動推進システムを除く）のプロジェクトマネージャーに NEDO ロボット・AI 部 松木 秀男 を任命し、プロジェクトの進行全体を企画・管理し、プロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

本研究開発は、NEDO が、単独ないし複数の、原則本邦の企業、研究組合、公益法人等の研究機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点からの国外企業との連携が必要な場合はこの限りではない。）から公募によって研究開発実施者を選定後、共同研究契約等を締結する研究体を構築し、委託して実施する。

### (2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO は、経済産業省及び総括責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には半年に1回程度、推進委員会を実施する。また、プロジェクトで取り組む技術分野について、必要に応じて内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査する。なお、調査の効率化の観点から、本プロジェクトにおいて委託事業として実施する。

## 3. 研究開発の実施期間

2015 年度から 2023 年度までの 9 年間とする。

#### 4. 評価に関する事項

NEDO は技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、プロジェクト評価を実施する。評価の時期は、研究開発項目①から⑦に関しては中間評価を 2017 年度、事後評価を 2020 年度、研究開発項目⑧に関しては中間評価（推進用電動機制御システムを除く）を 2021 年度、事後評価を 2024 年度とし、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じて研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。研究開発を効率的に推進するため、必要に応じて研究開発項目⑧を対象として、ステージゲート方式を適用する。

#### 5. その他重要事項

##### (1) 研究開発成果の取扱い

###### ① 成果の普及

得られた研究開発成果については、NEDO、実施者とも普及に努めるものとする。

###### ② 標準化施策等との連携

本プロジェクトでは、航空機用先進システムの開発を通じて、我が国で開発した技術の認証を円滑に取得するために必要な関係機関との連携体制等を検討する。

###### ③ 知的財産権の帰属、管理等取扱い

委託研究開発及び共同研究の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー・産業技術業務方法書」第 25 条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。なお、本プロジェクトの当初から、事業化を見据えた知財戦略を検討・構築し、適切な知財管理を実施する。

###### ④ データマネジメントに係る運用

本事業は、【NEDO プロジェクトにおけるデータマネジメント基本方針（委託者指定データを指定しない場合）】を適用する。ただし、2019 年 3 月 1 日以降に公募を開始するものに限る。

##### (2) 基本計画の変更

NEDO は、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、プロジェクト内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、プロジェクト基本計画を見直す等の対応を行う。

##### (3) 根拠法

本プロジェクトは、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法」第 15 条第 2 号、及び第 15 条第 9 号に基づき実施する。

##### (4) その他

産業界が実施する研究開発との間で共同研究を行う等、密接な連携を図ることにより、円滑な技術移転を促進する。

## 6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 2015年3月、制定。
- (2) 2016年3月、国外の研究開発動向を踏まえて研究開発項目⑥及び⑦を追加。また、技術分野における動向等の調査に関する記載、プロジェクトマネージャーに関する記載、及び研究開発スケジュール（別紙2）を追加。
- (3) 2016年4月、組織再編に伴う部名変更、及びプロジェクトマネージャーの所属部署、氏名を変更。
- (4) 2017年10月、プロジェクトマネージャーを変更。
- (5) 2018年2月、中間評価結果を踏まえて「標準化施策等との連携」及び「研究開発計画」を変更。
- (6) 2019年3月、国外の研究開発動向を踏まえて研究開発項目⑧を追加。研究開発スケジュール（別紙2）を追加。
- (7) 2019年11月、研究開発項目②の実施期間を2020年7月31日までに延長。
- (8) 2020年1月、研究開発項目⑧のテーマを追加。
- (9) 2020年7月、プロジェクトマネージャーを変更。状況の変化により背景を修正。研究開発項目⑧の中間目標の指標を追加。
- (10) 2021年2月、研究開発項目⑧のテーマを追加。
- (11) 2021年8月、プロジェクトマネージャーの職務範囲等変更。
- (12) 2022年8月、プロジェクトマネージャーを変更。

## 2. 分科会公開資料

次ページより、推進部署・実施者が、分科会において事業を説明する際に使用した資料を示す。

# 「航空機用先進システム実用化プロジェクト

## ⑧次世代電動推進システム」（終了時評価）

**事業期間:2019年度～2023年度 5年間**  
**(評価対象期間：2022年度～2023年度 2年間)**

## プロジェクトの説明（公開版）

2024年11月 8日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構  
航空・宇宙部 機体・装備品ユニット 次世代装備品チーム

# 航空機用先進システム実用化プロジェクト 事業概要



## ⑧電導推進システム研究開発 プロジェクト概要

航空機の安全性・環境適合性・経済性といった社会のニーズに対応した、軽量・低成本かつ安全性の高い航空機用先進システムの開発を目的に、2015年度より、「航空機用先進システム実用化プロジェクト」の取組を開始。世界的に低炭素社会への活動が進む中、国際民間機航空機関（ICAO）において、CO<sub>2</sub>排出量を2050年までに50%削減(2005年比)する目標が掲げられた。目標達成のためには、従来技術の向上に加えて、バイオ燃料や水素等革新的技術の適用が必要となり、その中で有望とされるのが電動化。国内でもJAXAが中心となり、「航空機電動化コンソーシアム（ECLAIR）」が設立されるなど、電動化技術の開発が加速している。この、航空機の電動化という新たなトレンドに対して、我が国の強みである電動化のコア技術を育て将来における競争力強化を図ることが必要であると判断し、2019年度から、「⑧次世代電動推進システム研究開発」の取組を開始。

### <研究開発内容>【委託】

- ⑧. 次世代電動推進システム研究開発
  - ⑧-1 : 高効率かつ高出力電動推進システム  
(超電導モータ)
  - ⑧-2 : 軽量蓄電池
  - ⑧-3 : 電動ハイブリッドシステム
  - ⑧-4 : 推進用電動機制御システム  
(常電動モータ)

### ⑧ 次世代電動推進システム 研究開発



## 想定する出口イメージ等

アウトプット目標	・航空機用先進システムのプロトタイプモデルを製作し、地上ないし飛行環境下で従来のシステムよりも優れた機能・性能等を有することを実証する。
アウトカム目標	・開発した航空機用先進システムが国内外の航空機メーカーに受注されること、およびプロダクトサポート・MROにより、年間で2030年代以降に最大数百億円程度の売上を継続して得ることを目標とする。
出口戦略 (実用化見込み)	・本プロジェクトで開発した電動化技術による機体システム・装備品が固定翼細胴機/広胴機およびeVTOL機材に採用・搭載されることにより、市場を獲得する。 ・電動化に係る国際標準化活動への参画および航空機認証基準に準拠したシステム開発を実施する。
グローバルポジション	・プロジェクト開始時：DH → プロジェクト終了時：LD LD: Leading / DH: Dead Heat

## 事業計画

期間：2019～2023年度(5年間)

総事業費：95億円(委託)

	2019	2020	2021	2022	2023	2024
⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム		仕様策定、試作・評価			プロトタイプの設計/製作、検証	
⑧-2 軽量蓄電池		仕様策定、試作・評価			プロトタイプの設計/製作、検証	
⑧-3 電動ハイブリッドシステム		仕様策定、試作・評価		プロトタイプの設計/製作、検証		
⑧-4 推進用電動機制御システム			仕様策定、試作・評価	プロトタイプの設計/製作、検証		
予算（億円）	10.7	13.5	19.0	27.8	23.5	
評価時期			中間評価		終了時評価	

# 報告内容



## ページ構成

### 1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

- ※本事業の位置づけ・意義  
(1)アウトカム達成までの道筋  
(2)知的財産・標準化戦略

### 2. 目標及び達成状況

- (1)アウトカム目標及び達成見込み  
(2)アウトプット目標及び達成状況

### 3. マネジメント

- (1)実施体制  
※受益者負担の考え方  
(2)研究開発計画

- 事業の背景・目的・将来像
- 政策・施策における位置づけ
- 技術戦略上の位置づけ
- 外部環境の状況（技術、市場、制度、政策動向など）
- 他事業との関係
- アウトカム達成までの道筋
- 知的財産・標準化：オープン・クローズ戦略
- 知的財産管理

- 実用化・事業化の考え方と  
アウトカム目標の設定及び根拠
- アウトカム目標の達成見込み
- ※費用対効果
- 非連続ナショプロに該当する根拠
- 前身事業との関連性
- 本事業における研究開発項目の位置づけ
- アウトプット目標の設定及び根拠
- アウトプット目標の達成状況
- 研究開発成果の副次的成果等
- 特許出願及び論文発表

- NEDOが実施する意義
- 実施体制
- 個別事業の採択プロセス
- 研究データの管理・利活用
- ※予算及び受益者負担
- 目標達成に必要な要素技術
- 研究開発のスケジュール
- 進捗管理
- 進捗管理：事前/中間評価結果への対応
- 進捗管理：動向・情勢変化への対応
- 進捗管理：成果普及への取り組み
- 進捗管理：開発促進財源投入実績
- モティベーションを高める仕組み

## <評価項目1>意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

- ※ 本事業の位置づけ・意義
- (1) アウトカム達成までの道筋
- (2) 知的財産・標準化戦略

# 報告内容



## ページ構成

### 1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

※本事業の位置づけ・意義  
(1)アウトカム達成までの道筋  
(2)知的財産・標準化戦略

- ・事業の背景・目的・将来像
- ・政策・施策における位置づけ
- ・技術戦略上の位置づけ
- ・外部環境の状況（技術、市場、制度、政策動向など）
- ・他事業との関係
- ・アウトカム達成までの道筋
- ・知的財産・標準化：オープン・クローズ戦略
- ・知的財産管理

### 2. 目標及び達成状況

(1)アウトカム目標及び達成見込み  
(2)アウトプット目標及び達成状況

### 3. マネジメント

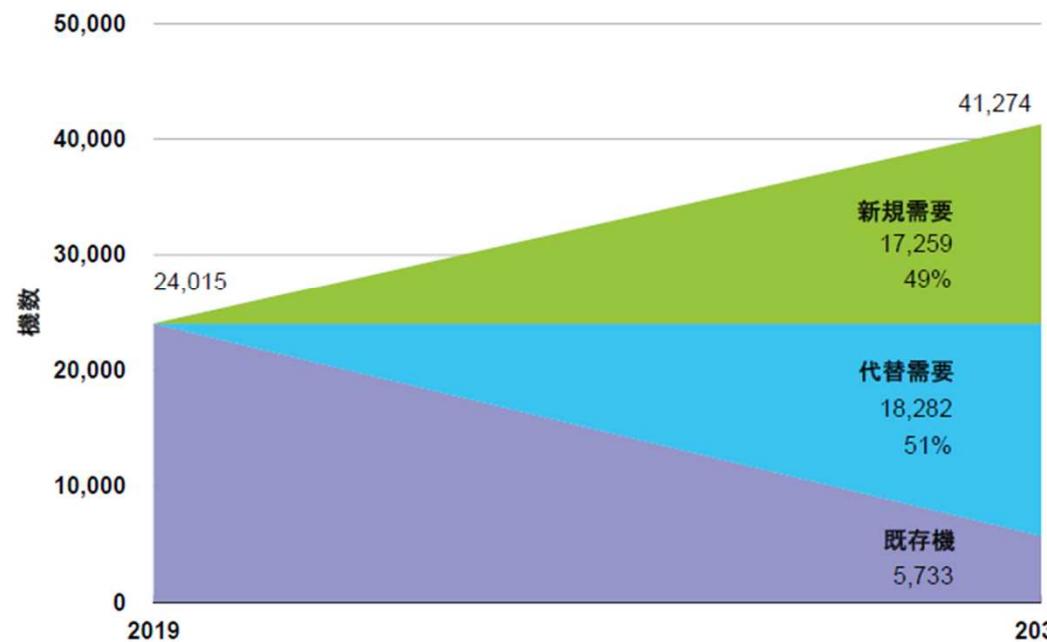
(1)実施体制  
※受益者負担の考え方  
(2)研究開発計画

# 事業の背景・目的・将来像

(背景1. 航空機需要の高まり)

- 航空機産業は、最先端の技術が適用される典型的な研究開発集約型の産業、かつ極めて広い裾野を有する総合産業。
- 旅客需要は世界的に大きく伸び、今後20年で約2倍になるとの予測。

ジェット旅客機の需要予測結果



出典「民間航空機に関する市場予測2020-2039」(日本航空機開発協会)

# 事業の背景・目的・将来像

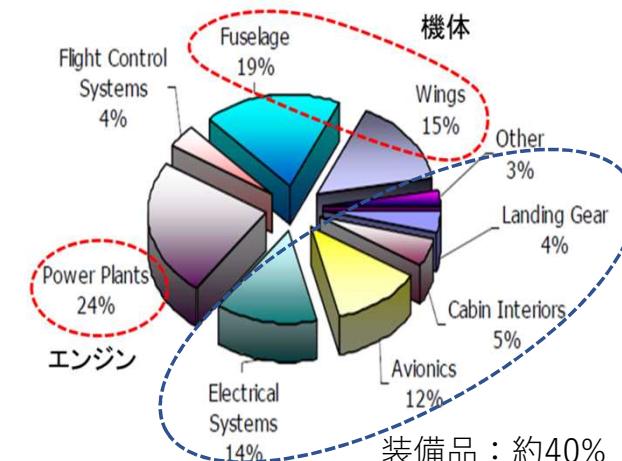
## (背景2. 航空機装備品/システムへの期待)

- 航空機装備品は、航空機の機体構造（胴体及び翼など）及びエンジン本体を除いた機器類を指し、操縦系、機体制御系、油圧系、燃料系など非常に多岐に及び、航空機価値の約40%を占める。
- 日本の航空機装備品企業のシェアは海外企業に比べて低い。日本の航空機装備品は、官需（防衛市場）で技術力を培ってきた部分が多く、今後は民間航空機分野での新たな市場開拓が期待される。
- 航空機装備品は、MRO（※）ビジネスの観点から機体そのものと比べてアフターマーケットでの継続的な収益が期待できる。

※MRO : Maintenance, Repair and Overhaul

次世代航空機は、さらなる安全性・環境適合性・経済性が求められている。  
また、国の支援を通じた、我が国装備品産業の育成が必要である。

これらのニーズに対応した航空機用先進システムを開発し、我が国の技術が次世代航空機に早期に導入可能な体制を構築することを目的に、**2015年度より、「航空機用先進システム実用化プロジェクト」の取組を開始。**



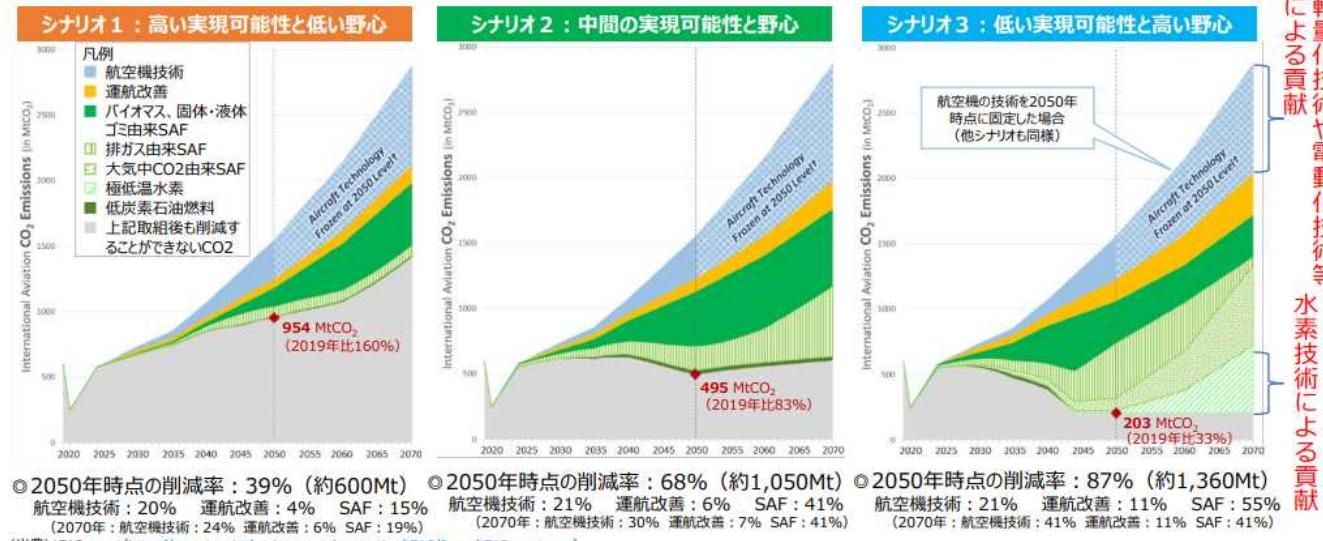
航空機の価値構成  
(経済産業省 製造産業局：  
航空機産業戦略策定以降の取組について)

# 事業の背景・目的・将来像

(背景3. 航空機の電動化という新たなトレンド)

- 國際民間機航空機関(IAEA)において、CO<sub>2</sub>排出量を2050年までにネットゼロとする國際航空のための長期的なグローバル目標(LTAG)が掲げられ、世界的に電動航空機の開発が加速している。(2022年 第41回IAEA総会)
- 2018年7月、宇宙航空研究開発機構(JAXA)が中心となり、産官学の連携する枠組みとして、「航空機電動化コンソーシアム(ECLAIR)」が設立された。(NEDOはオブザーバー)

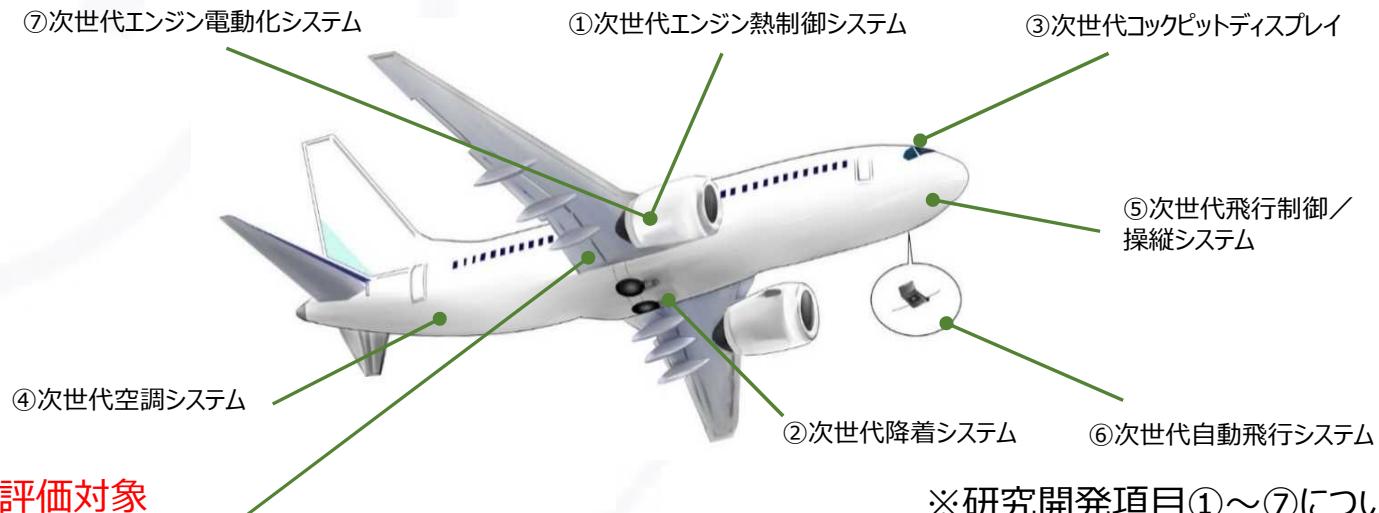
## ◆LTAGレポートで示された3つのシナリオ



電動化のコア技術を育て将来における競争力強化を図ることを目的に、2019年度から、「次世代電動推進システム研究開発」の取組を開始。

# 事業の背景・目的・将来像

(事業目的)



今回の評価対象

⑧次世代電動推進システム

-1 高効率かつ高出力電動推進システム（超電導）

-2 軽量蓄電池

-3 電動ハイブリットシステム（常電導）

-4 推進用電動機制御システム（常電導）

※研究開発項目①～⑦については、  
2019年度に事業終了。  
(2020年度に事後評価を実施)

# 政策・施策における位置づけ

我が国においては、本研究開発は以下の通り国家的な施策及び技術戦略マップにおいて、必要なプロジェクトとして位置付けられている。

## (1)産業構造ビジョン2010（2010年6月）

経済産業省が策定。2020年に航空機産業の売上高2兆円（2014年の約2倍）、  
2030年に売上高3兆円（2014年の約3倍）を達成することを目指す。  
具体的な施策として、航空機システムを含めたモジュール単位での設計・開発を行う。

## (2) 経済産業省とボーイング社との技術協力合意（2019年1月）

経済産業省とボーイング社は、新たな技術分野（「電動化」、「低コスト高レートな複合材」、「製造自動化」）における協力強化に合意。

## (3) 経済産業省と仏航空総局とのMOC締結（2019年6月）

日本の航空機産業と仏サフラン社との民間航空機産業における協力強化合意。  
経済産業省とサフラン社は、「電動化、新しい推進システム、AI等の革新的技術」、「材料、航空機システム及び機器、製造」、「日本を含むアジアにおけるサプライチェーン構築」の分野で協力。

## (4) カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（2020年12月）

経済産業省、成長が期待される産業（14分野）において「実行計画」を策定。航空機産業も取り上げられ、複合材、電動化、水素や代替燃料などの複数の要素における技術的優位性の確立を目指す。

# 技術戦略上の位置づけ

## 技術課題抽出

- JAXA電動化コンソーシアム、ヒアリング、シンポジウム等から電動推進化において必要となる技術課題を選出。

分類	重要技術課題名 (概要)	構成要素/システム
A) <b>全高度共通の重要技術課題</b>	<b>高出力密度化</b> (重量の成立性確保、最大出力運転時間確保のための耐熱・冷却・放熱性)	電動要素（電動モータ、発電機、パワーエレクトロニクス、電池、遮断器、分配器、送配電線等）
	<b>電池の安全性と高エネルギー密度化の両立</b> (燃費走行の危険封じ込めと電池システム全体としての高エネルギー密度化の両立)	電池（電力ストレージ）
	<b>高効率化</b> (BLUや多発化による推進効率の向上、推進系熱効率の向上)	推進系・機体統合システム、ハイブリッドシステム、電動要素
	<b>安全性・信頼性保証</b> (電動要素追加による故障率増加等に対するシステムの安全性と信頼性の保証)	電動推進システム、ハイブリッドシステム、電動要素
B) <b>高高度環境特有の重要技術課題</b>	<b>耐放電・耐放射線</b> (高高度環境における高電圧要素及びシステムの放電及び放射線影響への対処)	パワーエレクトロニクス、電動モータ、発電機、電動要素
	<b>熱&amp;パワー管理・制御</b> (低空気密度・ガスターインエンジン内外高温環境下の熱とパワーマネジメント)	電動要素、電動推進システム、ハイブリッドシステム
C) <b>低高度運用特有の重要技術課題</b>	<b>耐故障</b> (推進系故障時の緊急着陸または運航継続に対する耐故障や故障許容設計)	電動推進システム
	<b>低騒音化</b> (ファン、プロペラの空力騒音低減)	ファン、プロペラ

出典：「航空機電動化 将来ビジョン ver.1」（JAXA, 2018）

・これら技術課題から、技術動向やニーズ調査、海外との共同研究への進展状況を踏まえ、研究開発支援の優先順位を整理し、テーマを選定。

「航空機システム開発に関する国内他産業連携の可能性調査」（NEDO, 2017）



## テーマ選定

- ⑧-1:高効率かつ高出力電動推進システム（テーマ） ← 高出力密度化（課題）
- ⑧-2:軽量蓄電池（テーマ） ← 電池の安全性と高エネルギー密度化の両立（課題）
- ⑧-3:電動ハイブリッドシステム（テーマ） ← 高効率化/安全性・信頼性保証/熱&パワー管理・制御（課題）
- ⑧-4:推進用電動機制御システム（テーマ） ← 高出力密度化/高効率化（課題）

# 外部環境の状況（技術、市場、制度、政策動向など）

## 海外の研究動向

- 米国：NASA Glenn Research Center が Electrified aircraft propulsion\*や Hybrid Electric propulsion の研究を推進。  
\*：官民連携による純電動機開発 2027 EIS (NASA, FAA, Magnix社, EVIATION社等)
- 米国：Boeing社は、具体的な構想を発信していないが、特許の出願状況を踏まえると電動化に関わる研究等は進めしており、また、経済産業省との技術協力に合意していることから何らかの活動が行われていることが伺える。
- 欧州：2021年から取組が計画されているCleansky3プログラム\*\*の中で、電動推進の研究開発が実施される。  
\*\*：プログラムを活用し、ほとんどのエンジンOEM(GE/PW/RR/CFM)が電動ハイブリッド推進技術に取り組んでいる。

\*：航空機装備品、電動化分野における研究開発動向調査（NEDO：2020成果報告書）

\*\*：Éclair第8回 総会報告資料による情報を追補

## 日本の研究動向

- 日本：JAXAは、2030～50年代の実用化を目指して、CO<sub>2</sub>や窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）など温室効果ガスの排出を少なくし、環境に優しいエミッションフリー航空機の研究（ÉCLAIR）を推進。
- 日本：航空機電動化システムに着目した研究開発拠点の整備。

## 国内外動向をふまえての本プロジェクトの意義

日本としても諸外国に遅れを取らないようにするため、**航空機電動化に関する継続的な研究開発が必要**。

本研究開発を通じて航空機用先進システムを開発することにより、これまで国外の航空機システムメーカーの下請けに甘んじていた日本の航空機システムメーカーも、航空機システム市場に本格的に参入する機会を作り出すことができる。

# アウトカム目標の設定

アウトカム目標：

研究開発の活動とアウトプットが、その受容者にもたらされる効果・効用であり\*、

“獲得する市場規模”と“温室効果ガス排出削減量”的観点から以下を設定

\*：国の研究開発評価に関する大綱的指針（2016年内閣府）



電動航空機市場での売上シェア達成（2050年代）

・ 760億円/年 （細胴機+広胴機）

eVTOL市場での売上シェア達成（2040年代）

・ 1.3兆円 （eVTOL）

CO<sub>2</sub>削減の達成（2050）

・ 37Mt/年 （細胴機+広胴機）

アウトプット目標：

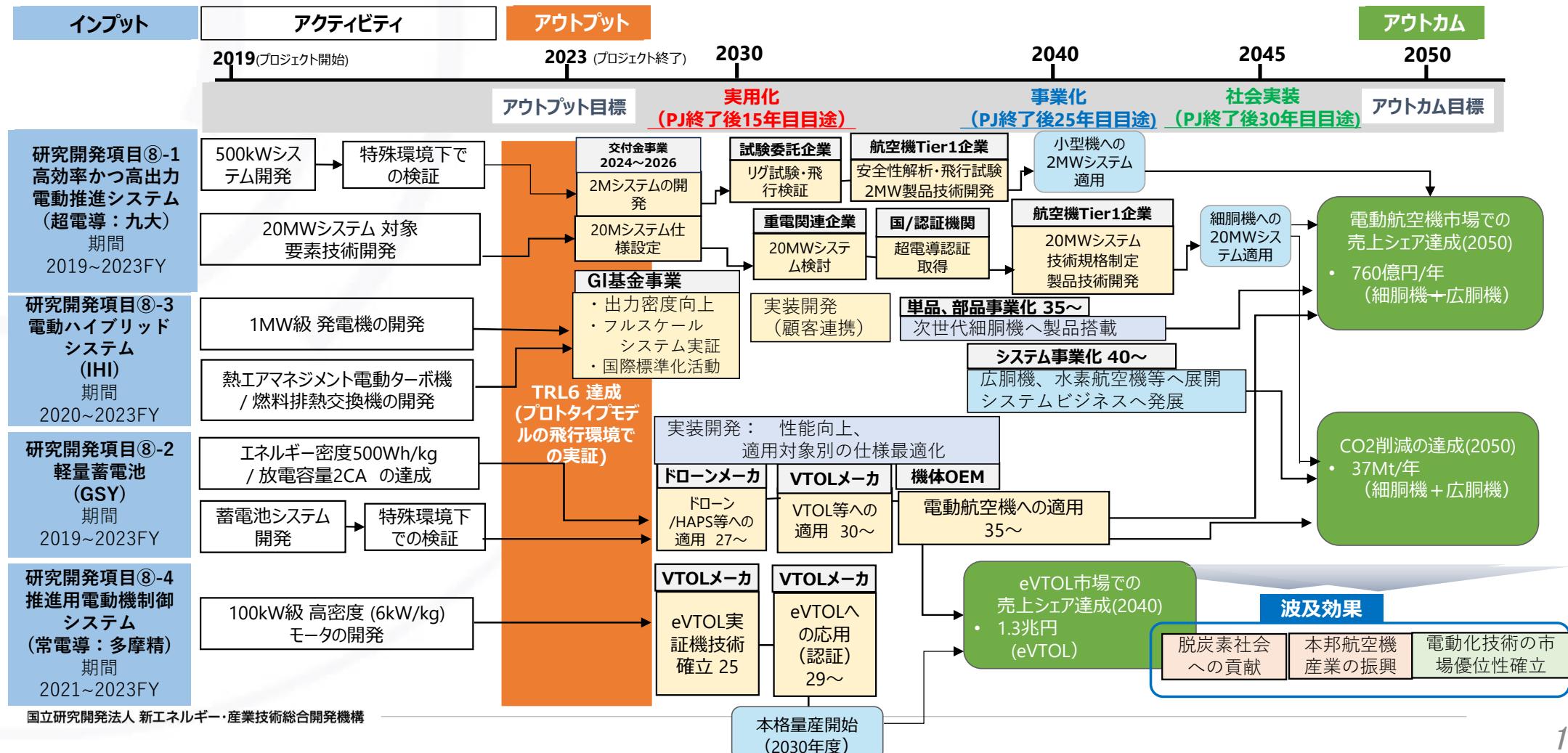
システムの設計、プロトタイプの評価を行い、電動航空機に求められるシステムとしてTRL6\*\*を達成する。

\*\*：技術成熟度レベル Technical Readiness Level 6

（プロトタイプモデルの地上での飛行状態模擬環境での実証）

TRL1（基礎理論）→TRL4（ラボレベル実証：中間評価）→TRL7（実飛行環境での実証）

# アウトカム達成までの道筋



# NEDO事業の中での位置づけ（他事業との関係）

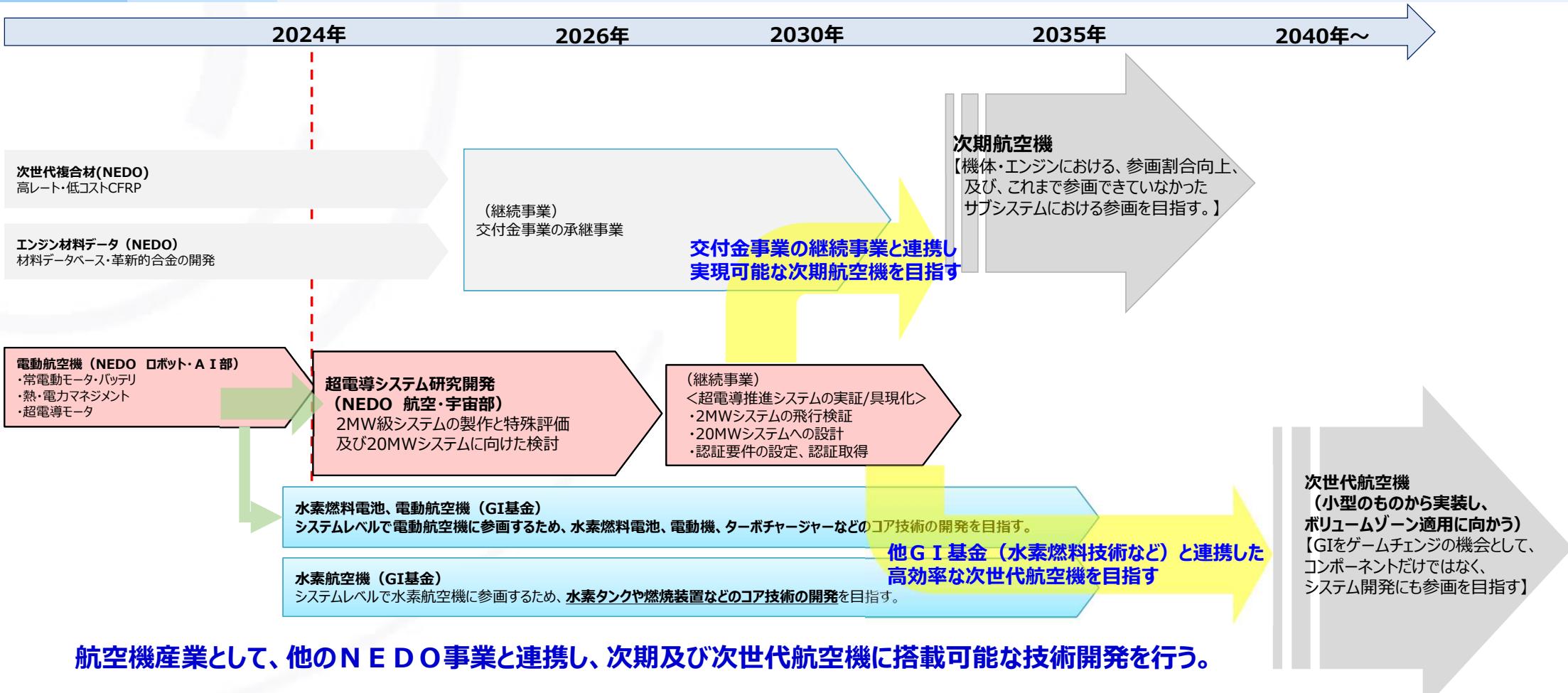
2024年

2026年

2030年

2035年

2040年～



航空機産業として、他のN E D O事業と連携し、次期及び次世代航空機に搭載可能な技術開発を行う。

# 知的財産・標準化:オープン・クローズ戦略

## 基本的な考え方

### (オープン戦略)

- 材料、構造および機械系システムについては、その知的財産権の侵害を発見・証明することが容易である場合には積極的に出願し、必要に応じて材料メーカーやシステムメーカー（機体OEM）等が有する構想とのすり合わせを積極的に行うことにより、他国他社に先駆けて事業化の機会を得るものとする。

### (クローズ戦略)

- 工法については、その知的財産権の侵害を発見・証明することが困難であることから、知財委員会などで個別に取得すべきとの判断のない限りにおいて、ノウハウとして公開しない。  
材料、構造についても、その知的財産権の侵害を発見・証明することが困難である場合にはノウハウとして公開しない。

### (標準化への対応)

- 標準化については、認証に係る規格、規準、ガイドライン等の制定を行う国際的な機関であるSAE Internationalのコミティ活動への参加を考慮する。

# 知的財産・標準化:オープン・クローズ戦略

## ● オープン領域 :

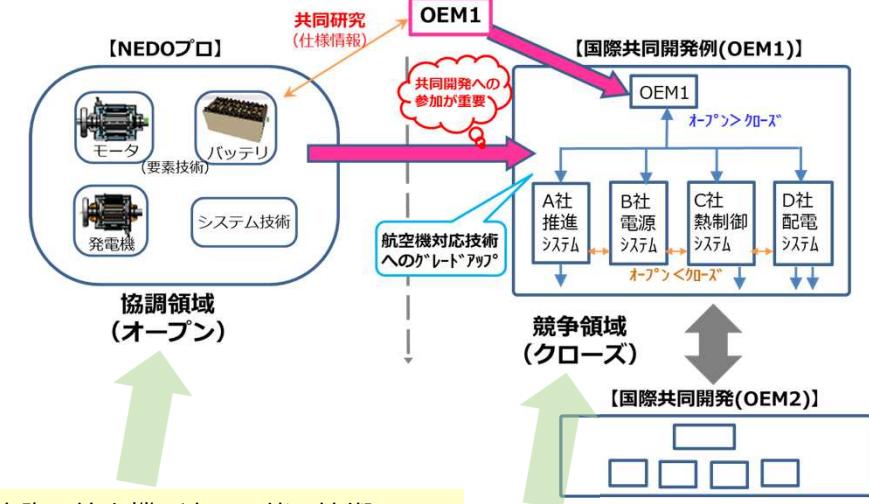
- ① 研究成果としての要素技術／システム技術は、プロジェクトの中ではある程度のオープンな共有を行い、研究技術の統合を促進する。
- ② 航空機搭載仕様への適合可能な認証に対応した技術目標を達成するため、機体OEM(Original Equipment Manufacturer : BoeingおよびAirbus社)とある程度のオープンな技術開発を行い、以下を実現する。
  - a. OEMとの関係構築
  - b. OEMのターゲット情報や技術目標に係わる情報を入手
  - c. OEMとの国際共同開発に参画
- ③ 積極的な特許出願は推進するが、OEMとの協力関係や協業の中で、権利確保とその活用については将来的な特質を考えた柔軟な対応を講じる。

## ● クローズ領域 :

- ① OEMとの国際共同開発の枠組みの外に対しては完全にクローズな技術開発体制とする。
- ② 国際共同開発の体制内においても、OEMとの関係を持つ他システム開発企業に対してはクローズな関係を保つ。さらにクローズ部分を拡大して、優位性の確保を図る。  
優位性がある技術例：超電導線材／超電導ケーブル／低温インバーター技術  
クローズを担保する対応：超電導モータ開発技術の知財権利化など

## ＜協調領域/競争領域とNEDOプロの位置付け＞

出典：NEDO技術戦略研究センター作成（2019）



成果を実際の航空機へ適用可能な技術レベルとするには、国際共同開発に参画して、航空機搭載の仕様に適合し認証に対応できる技術へ仕上げることが必要となる。この国際共同開発の中では、OEMに対してはある程度オープンな技術開発を行うことになる。ここで重要なことは、国際共同開発に参画することであり、そのためにはNEDOプロジェクトの開発段階でのOEMとの関係構築を行い、OEMのターゲット情報や技術目標に係る情報を入手していく。

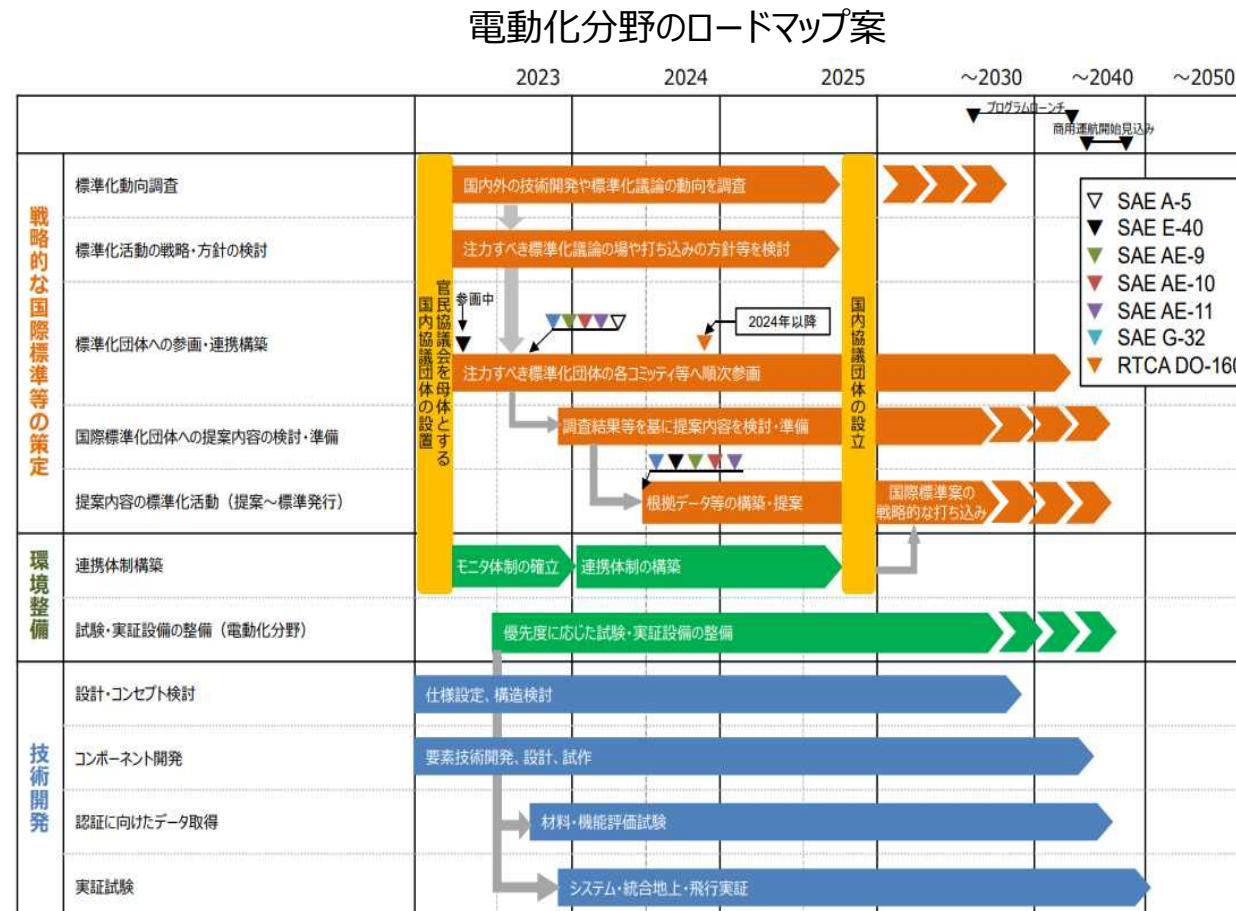
横の繋がりに対しては（例えば、図中のA社B社間）では相対的にクローズな開発になり、国際共同開発の枠組みの外に対しては完全にクローズの技術開発になる。

国際共同開発の中により大きなシステム開発を分担していくことでOEM以外へのクローズ部分を拡大して優位性確保を図っていく。

# 知的財産・標準化: オープン・クローズ戦略

## 航空機電動化事業の国際標準化に関する戦略

- ・航空機用電動推進システムに関する国際標準化は、  
**SAE(E-40:Electrified Propulsion Committee)**が  
主導している現況にあり、  
この動向に適合した推進系性能／安全の基準を  
満足した技術要件を考慮して各研究開発を進める。
  - ・各事業特有の技術要件については、先行して規格化を  
図るため、事業委託者がSAE E-40や認証規格に関連する  
RTCA/EUROCAEなどの会議体に提案し、  
**根拠データの構築と提案**を行い優位な立場を確保する。
  - ・2022年に設立された官民協議会および電動化WGにより、  
**2025年を目途に国内協議団体が設立**される予定である。  
NEDOおよび事業委託者が、この団体の動向を注視/協調  
することにより、SAEなど国際標準化活動に対する参入や  
規格化の戦略を建てて対応することも計画する。



出典：航空機の脱炭素化に向けた新技術官民協議会 資料

# 知的財産管理

(知財委員会の設置)

プロジェクト名	知財委員会(機能)	管理対象
⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム (超電導)	知財管理委員会	<ul style="list-style-type: none"> <li>・届け出を受けた成果とプロジェクトとの関連</li> <li>・本プロジェクトの成果の出願による権利化または秘匿期間の選択</li> <li>・出願による権利化を行う場合における出願対象国</li> <li>・秘匿する場合における秘匿期間等</li> </ul>
⑧-2 軽量蓄電池	GSユアサ 研究開発センター 戰略企画室	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本プロジェクトにおける成果の公表</li> <li>・知的財産権の取扱い</li> </ul>
⑧-3 電動ハイブリッド	知財運営委員会	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本プロジェクトにおける成果の公表</li> <li>・知的財産権の取扱い</li> </ul>
⑧-4 推進用電動機制御システム	知財運営委員会	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本プロジェクトにおける成果の公表</li> <li>・知的財産権の取扱い</li> </ul>

(知財合意書で規定)

・秘密保持	・本プロジェクト成果の知的財産権の帰属
・共有するフォアグランドIPの取扱い	・プロジェクト参加者間での知的財産権の実施許諾等

## <評価項目2> 目標及び達成状況

- (1) アウトカム目標及び達成見込み
- (2) アウトプット目標及び達成状況

# 報告内容

ページ構成



## 1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

※本事業の位置づけ・意義  
(1)アウトカム達成までの道筋  
(2)知的財産・標準化戦略



## 2. 目標及び達成状況

(1)アウトカム目標及び達成見込み  
(2)アウトプット目標及び達成状況

- ・実用化・事業化の考え方と  
アウトカム目標の設定及び根拠
  - ・アウトカム目標の達成見込み
- ※費用対効果
- ・非連続ナショプロに該当する根拠
  - ・前身事業との関連性
  - ・本事業における研究開発項目の位置づけ
  - ・アウトプット目標の設定及び根拠
  - ・アウトプット目標の達成状況
  - ・研究開発成果の副次的成果等
  - ・特許出願及び論文発表



## 3. マネジメント

(1)実施体制  
※受益者負担の考え方  
(2)研究開発計画

## 2. 目標及び達成状況 (1) アウトカム目標及び達成見込み



# 「実用化・事業化の考え方とアウトカム目標の設定及び根拠」(1/2)

(実用化→事業化の考え方)

アウトカム目標	根拠
電動航空機市場での売上シェア達成 (2050) : 760億円/年 (細胴機+広胴機)	航空機分野の技術戦略 (市場および開発動向調査に基づきNEDO技術戦略センタ策定 2019)
eVTOL市場での売上シェア達成 (2040) : 1.3兆円 (eVTOL)	同上
CO <sub>2</sub> 削減の達成(2050) : 37Mt/年 (細胴機+広胴機)	同上

## 社会実装 (事業化から10年後 以降)

### 事業化

細胴機市場への電動推進システム 展開 (2030年代～)  
広胴機市場への電動推進システム 展開 (2040年代～)

空飛ぶクルマ 実機適用 (2030年代～)

### 実用化 (基礎的・基盤的研究 開発プロジェクト終了5年後)

#### 電動推進システムのプロトタイプ製作

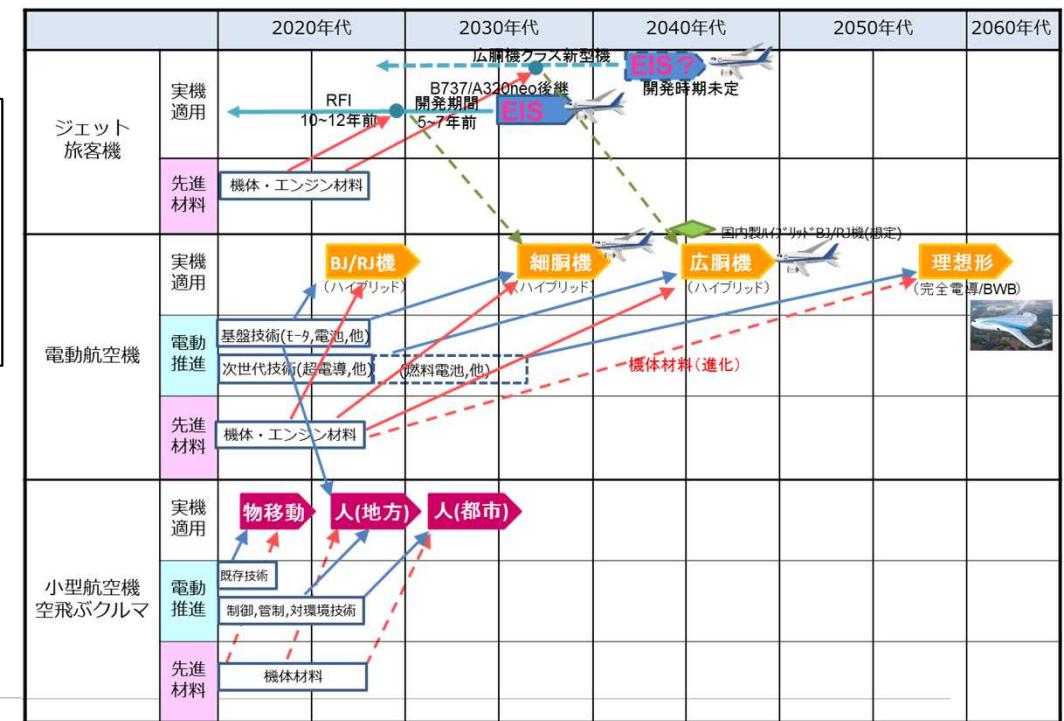
基盤となる要素技術向上 (高出力モータ/軽量蓄電池/他)

次世代技術の確立 (超電導/燃料電池/他)

#### 空飛ぶクルマ 電動推進システム開発

基盤となる要素技術向上 (高出力モータ/軽量蓄電池/他)

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構



## 「実用化・事業化の考え方とアウトカム目標の設定及び根拠」(2/2)

(設定根拠)

アウトカム目標	根拠
電動航空機市場での売上シェア達成 (2050) ・ 760億円/年 (細胴機 + 広胴機)	航空機分野の技術戦略 Ver.3.0, 2019年5月 シナリオ2: 基本シナリオ (市場および開発動向調査に基づきNEDO技術戦略研究センタが策定)
eVTOL市場での売上シェア達成 (2040) ・ 1.3兆円 (eVTOL)	同上
CO2削減の達成(2050) ・ 37Mt/年 (細胴機 + 広胴機)	同上

(CO2削減量)

(eVTOL 売上シェア)

(細・広胴機 売上シェア)

2050年の電動航空機によるCO2削減量 (計37Mt/年)  
 ・細胴機 : 25Mt  
 ・広胴機 : 12Mt

電動化による燃料削減率  
 ・細胴機 : 70%

電動化率  
 ・細胴機 : 3%, ・広胴機 : 1%

2050年のCO2削減量 (典拠: NASA資料)  
 ・細胴機 : 1190Mt  
 ・広胴機 : 1660Mt

2040年の電動システム市場 規模  
 ・1.3兆円

電動システム市場に対する日本のシェア  
 ・20%

2040年の電動システム市場 規模(eVTOL)  
 ・6.7兆円

機体推進部品の機体価格に占める割合  
 ・24%

2040年のeVTOL市場 規模  
 ・28兆円 (400万台 : 自動車出荷台数2億台の2%×1台700万円)

2050年の電動システム市場 規模 (計760億円)  
 ・細胴機用 : 490億円  
 ・広胴機用 : 270億円

電動システム市場に対する日本のシェア  
 ・40%

2050年の電動システム市場 規模  
 ・細胴機用 : 1224億円  
 ・広胴機用 : 672億円

機体推進部品の機体価格に占める割合  
 ・24%

2050年の電動航空機市場 規模  
 ・細胴機 : 5100億円  
 ・広胴機 : 2800億円

電動化率  
 ・細胴機 : 3%, ・広胴機 : 1%

2050年の製造機市場 規模  
 ・細胴機 : 17兆円  
 ・広胴機 : 28兆円

# アウトカム目標の達成見込み (1/4)

## ⑧-1 超電導

	達成見込み	課題
製品イメージ	<p>航空機の推進システムに超電導システムを適用</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2030年代小型機 (既存ターボプロップエンジン機材50-70PAXのRetrofit)</li> <li>2MW級システムを適用 回転数：3600rpm (モータ)</li> <li>・細胴機 20MWシステムを適用 10MW発電機×2、2MWモータ×10 (水素タービン発電) 出力密度(モータ):20kw/kg以上 回転数：5000rpm以上 (発電機)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・冷却システム含めた軽量化、高出力密度化</li> <li>・超電導線材の交流損失の低減化</li> <li>・システム系統の構成</li> <li>・低温インバータの出力制御</li> <li>・高高度環境への対応</li> </ul>
競合技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軽量常電動/半超電導モータシステム</li> <li>・燃料電池</li> <li>・水素ガスタービン</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低温燃料電池と高性能バッテリーの開発</li> <li>・小型/軽量化</li> <li>・安全保障</li> </ul>
量産化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・超電導線材供給ライン 供給体制の確保</li> <li>・水素、窒素ステーション、インフラ設備 (窒素については要確認)</li> <li>・巻線製造工程の確立</li> <li>・規格試験実施</li> <li>・認定試験とフライト試験による妥当性検証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・型式証明の取得</li> <li>・当局による認証に参照される標準規格に超電導に係る基準を策定するための活動</li> <li>・航空機搭載のための規格への準拠</li> <li>・軽量モジュール化構造によるコストダウン</li> <li>・超電導技術を有するサプライヤのコントロール、サプライチェーンの構築</li> </ul>

# アウトカム目標の達成見込み (2/4)

## ⑧-2 軽量蓄電池

	達成見込み	課題
製品イメージ	<p>航空機電動推進用 高質量エネルギー密度バッテリー</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・セルエネルギー密度500Wh/kg、放電レート2 CA作動</li> <li>・パックエネルギー密度400Wh/kgの見通し</li> <li>・過充電および釘刺し試験において、発火しない熱安定性を当事業で確認しており、製品化達成確度は高い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・充放電サイクル寿命性能（目標：100サイクル）未達</li> <li>レート性能、安全性と寿命性能とを両立する電解質等の組成最適化が課題</li> <li>・DO-311オーバーヒートに関する安全性について対策が必要</li> <li>・適用機種別の仕様確定と、各々に適した性能バランス実現</li> </ul>
競合技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・リチウムイオン電池に替わる新世代二次電池群</li> <li>安価、資源制約レスな硫黄正極は基本的に有利</li> <li>・リチウム硫黄電池の開発事例の中では、500Wh/kg超を達成し先行組にいると思われる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電解質技術（イオン液体、固体電解質）</li> <li>・硫黄正極技術（多硫化物溶出抑制、複合体）</li> <li>・Li金属負極技術（人工SEI保護被膜）</li> <li>等の要素技術の研究継続による優位性維持</li> <li>・実機搭載の実績づくり</li> </ul>
量産化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・GSユアサにおけるxEV(電動車)、航空宇宙、特殊用途LIB製造における保有技術適用により、量産工程確立は確度高い</li> <li>以下を加えて電動航空機向け量産化</li> <li>・認定試験(QT)/プロトフライト試験(PFT)による妥当性検証</li> <li>・RTCA DO-160 および DO-311規格試験実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・複数応用品に対応するためのレート/寿命テーブルマップのデータベース化</li> <li>・これを活用した顧客開拓</li> </ul>

# アウトカム目標の達成見込み (3/4)

## ⑧-3 電動ハイブリッドシステム

	達成見込み	課題
製品イメージ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エンジン後方に内蔵可能な高耐熱性MW級発電機</li> <li>・空冷システム及び空調システム等へ適用可能な小型・軽量・大出力の電動ターボ機械</li> <li>・これらをコアに、機体OEMへ燃費改善・CO2排出量削減をシステム提案するトータルエネルギーソリューションビジネス ：当事業でコンセプト実証済、後継GI事業にて性能向上とフルスケール実証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ターゲットとする単通路機にて、燃費削減効果を最大化するシステム構成提示と、安全性も含めた効果実証</li> </ul>
競合技術	<p>発電機 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・Safran社 500kWターボ ジェネレータ開発</li> <li>・Honeywell社 1MW発電機開発</li> <li>・RR社1MW発電機開発</li> </ul> <p>本開発品は、300°C耐熱－エンジンセル内蔵可にて優位</p> <p>ターボ機械 : 出力50kw超えが存在しない中、当事業で70kwを達成</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・後継GI事業にて、発電機の質量出力密度を向上するなど、優位性確保</li> <li>・フルスケール検証設備 国内構築と運用 (1MW 検証設備)</li> </ul>
量産化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・単品、装備品として2030年代半ばと想定される次世代単通路機での事業開始</li> <li>・広胴機、水素航空機等へ製品展開を行い、システムビジネスへ発展</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・研究開発と並行した海外OEM、システムTier1への提案活動で、連携・協業関係構築</li> <li>・国際標準化(後継GI事業にて取組)</li> </ul>

# アウトカム目標の達成見込み (4/4)

## ⑧-4 常電動

	達成見込み	課題
製品イメージ	<p>出力密度6kW/kg(モータ部)を満たす空冷モータの開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・出力：100kW以上(瞬時)、55kW以上(連続)</li> <li>・回転速度／トルク：1900rpm/520Nm(瞬時)、1600rpm/320Nm(連続)</li> </ul> <p>eVTOL搭載を想定した性能出力と空冷方式の実現</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ケーシングの軽量化</li> <li>・空冷での冷却性能</li> <li>・耐久性能の評価(TRL評価)</li> </ul>
競合技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Siemens/RR RRP200D(5.22kW/kg)</li> <li>・Magnix Magni500(4.15kw/kg)</li> <li>・デンソー 高出力密度空冷モータ(25kW/kg)</li> </ul> <p>出力密度の定義は提案者によりゆらぎがある。モータ・制御回路・空冷システムを総計して、3kW/kgの達成は空冷式eVTOL向けモータ開発動向の中で優位 (モーター単体では6kW/kgを達成)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軽量化による耐久性</li> <li>・軽量化/高出力化による騒音</li> </ul>
量産化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・航空局の認証取得(DO-331)</li> <li>・国内eVTOLメーカー協力のもと、モータ開発継続中(量産：2030年頃)</li> </ul> <p>認証基準に準拠したモデルベースデザインでモータコントローラ・ソフトウェアを生成し、量産化への移行を具体化した</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軽量化構造の実現</li> <li>・eVTOL搭載のための規格への準拠</li> </ul>

# 費用対効果

## 【インプット】

- 事業費用の総額 **95億円** (5年)

実施方針(P13) 2019:268(一般) +803 (需給) 1071百万円  
2020:1(一般) +1350 (需給) 1351百万円  
2021:0(一般) +1900 (需給) 1900百万円  
2022:0(一般) +2780 (需給) 2780百万円  
2023:0(一般) +2350 (需給) 2350百万円

## 【アウトカム達成時】

- 電動航空機市場での売上シェア達成 (2050) : **760億円/年** (細胴機+広胴機)
- eVTOL市場での売上シェア達成 (2040) : 1.3兆円/年 (eVTOL)
- CO<sub>2</sub>削減の達成(2050) : 37Mt/年 (細胴機+広胴機)

# 非連続ナショナルプロジェクトに該当する根拠

## ◆非連続ナショナルプロジェクトの考え方

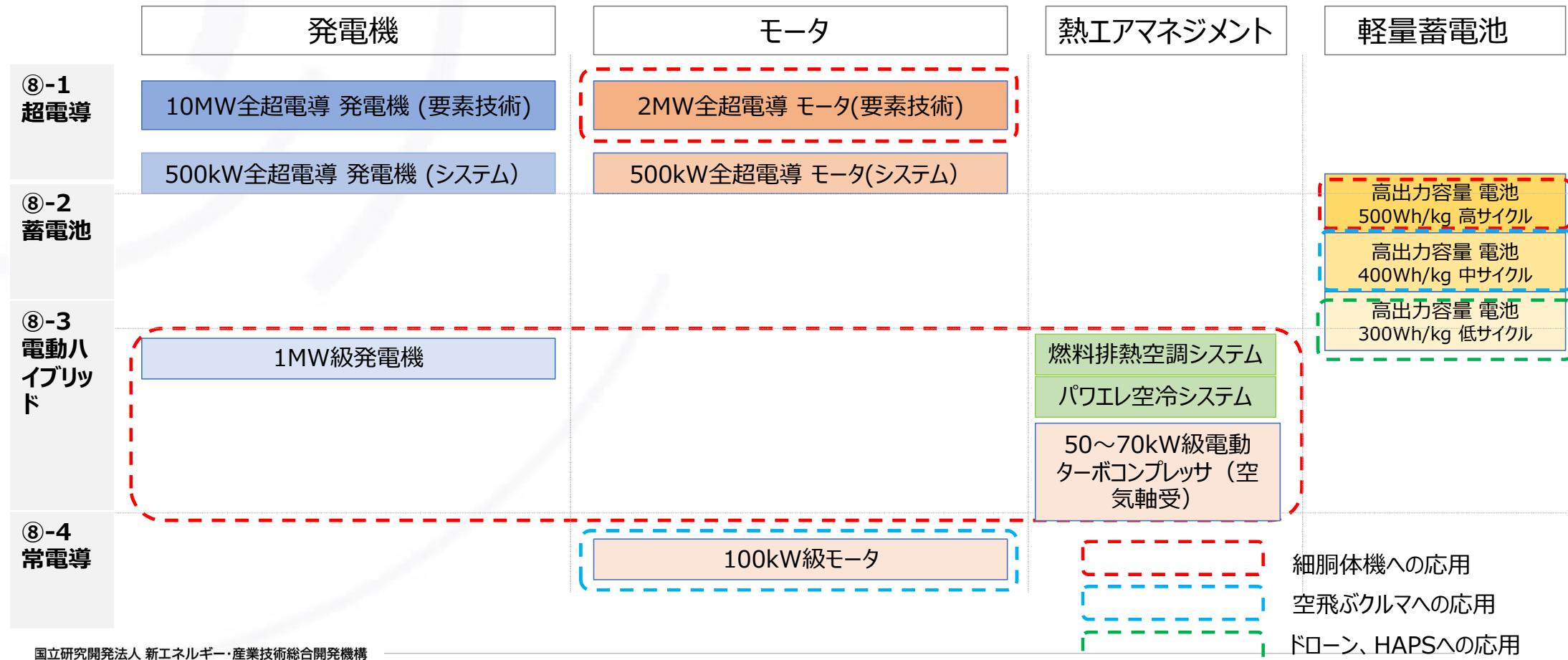
	理由
①非連続的な価値の創造	化石燃料を中心とした航空機の推進エネルギーを電気エネルギーに置き換えることにより、機体のエネルギー転換を革新的に変更し、航空機カーボンニュートラルを促進する価値を実現する。
②技術の不確実性	システムの軽量と高出力化により質量あたりのエネルギー密度を高めつつ、飛行環境を想定した安全性解析に基づいて高い信頼性を実現しなければならない等、航空機特有の課題が多数ある中で技術的解決をはかる非常にチャレンジな課題である。また航空機カーボンニュートラル対策として、未だ決定的解決法が確立されていない中の試行錯誤も求められる。

# 前身事業との関連性

前身事業や先導研究等	取組の成果とその評価
•先導研究 革新的航空機用超電導推進システム概念設計 (2018/6-2019/5) → ⑧-1 超電導	<ul style="list-style-type: none"> <li>•1kW全超電導回転機の作成と試験評価/20MWシステムの概念設計            サブスケールモデルで超電導回転機の原理を実証            要素技術の進展により出力を向上し、航空機推進系システムとしての実現可能性が評価された。            →本プロジェクトの500kWモータ開発へ結実         </li> </ul>
•研究開発項目⑦ 次世代エンジン電動化システム研究(2016-2019) → 先導研究：革新的ハイブリッドシステムの研究 (2019-2020) → ⑧-3 電動ハイブリッド(2020-2023)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•300°C耐熱、250kw級電動機の開発            エンジン低圧タービン駆動軸に連接する発電機として、高温環境下でサブスケールモデルでの運転実証が評価された。            →1MW級発電機の開発へ結果を活用</li> <li>•100kW級パワーエレクトロニクス空冷システムの開発、機体サーマル・モデルの構築            従来のエンジン抽気方式空冷に代わる電動エアコンプレッサを活用した機体空冷方式の実現可能性が評価された。            →空冷システム及び燃料排熱空調システムの開発へ結果を活用         </li> </ul>
•先導研究：航空機向け高出力・高密度モータの技術開発(2019-2021) → ⑧-4 常電導モータ(2021-2023)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•出力20kW,出力密度4kW/kgを実現するモータシステムを開発            サブスケールモデルによる実証結果により、eVTOL市場で優位となる質量出力密度の達成の目途がついたものとして評価された。            →100kW,出力密度6kW/kg のモータ プロトタイプの開発へ結果を活用         </li> </ul>

# 本事業における研究開発項目の位置づけ

電動航空機 機能別開発領域マップ



## 2. 目標及び達成状況 (2) アウトプット目標及び達成状況

# アウトプット（終了時）目標の設定及び根拠



⑧-1 超電導 : アウトプット目標(TRL6達成\*) の具体目標とその根拠

\* : プロトタイプモデルの所期性能を達成し、飛行状態を模擬した環境で実証する

研究開発項目	最終目標 (2024年3月)	根拠
1. 基盤技術開発		
①超電導回転機	・ <b>基盤技術の確立</b> ・システム開発に向けた課題と対策の明確化	・小型機及びリージョナルジェットの出力に相当し適用対象が存在する規模の出力を設定。 ・20MWは単通路機からスケールアップした広胴機にいたるまでの広く航空機一般の出力を想定して、その基盤技術として設定し、次事業に反映。
②超電導ケーブル		
③冷却システム		
④超電導線材	・ <b>長尺線材</b> の基盤技術確立 ・システム用シールドの基盤技術確立	・各デバイスを経由した後の温度の上昇影響より、界磁コイルは、65Kよりも高温の70Kで検証。 ・電機子コイルでは、交流損失を低減するため、特性確保の安定性確保より、工業的な成立性が見込める歩留まりを検証。 ・シールド技術は、スケールアップに対応した技術レベルを検証し、次事業に反映。
⑤ 低温動作半導体	・ <b>65Kで動作する半導体素子</b> の開発	・低温で大電流対応のインバーターが必要のため、材料探索を行い、半導体の素子化を検証。
2. システム検証		
①500kW級 超電導モータ地上検証	・ <b>250-500kWモータの航空対応条件に対する地上評価</b>	・冷媒の熱交換による冷却システムを使用し、全超電導回転機の回転試験にて短絡、解放試験を実施し、回転数と出力を検証。
②500kW級 超電導モータ特殊試験	・ <b>上空環境</b> （低温・低圧）下での、超電導モータの作動評価	・航空機搭載環境に対応した性能が求められることから、プロジェクト後の飛行試験に繋げるために、地上で行える特殊な環境下での評価を実施。
3. 搭載上の技術課題と対策の検討		
①搭載対象機材規模と求められる超電導モータの性能諸元	・搭載機体サイズと装備可能容量から定まる <b>性能諸元を決定</b>	・電動航空機の開発Competitor製品との比較において、優位となる超電導モータの性能諸元の仮設定から、次事業への課題と対策を整理。

## 2. 目標及び達成状況 (2) アウトプット目標及び達成状況

# アウトプット目標の達成状況



### ⑧-1 超電導： アウトプット目標の達成状況

研究開発項目	最終目標（2024年3月）	成果（実績）（2024年3月）	達成度	達成の根拠／解決方針
1. 基盤技術開発				
①超電導回転機	・基盤技術の確立 ・システム開発に向けた課題と対策の明確化	・2層式ハンダ接合線材やスクライブ分割線構造をもつ線材用端子製作を確立 ・界磁コイル、電機子コイル巻き線等の基盤要素について通電特性を確認 ・軸受が凍結せず回転することを確認、擬永久電流モードの可能性を確認	○	
②超電導ケーブル		・三相積層超電導ケーブルにて約2000Aの設計通りの臨界電流値を確認 ・マルチコンタクトタイプによる端子の接続方法を確立 ・コルゲート管によるシステム軽量化手法を確立、今後は最適化が課題	◎	ワントッチ接続とコルゲートによる軽量化を先行して実施したため、大幅達成と評価
③冷却システム		・液体ヘリウムと液体窒素との熱交換システムを製作 ・超電導ケーブル一体型超電導誘導モータ式スクリューポンプを製作	○	
④超電導線材	・長尺線材の基盤技術確立 ・システム用シールドの基盤技術確立	・磁場中の臨界電流値は最終目標値を上回り、ヒステリシス損失は1/10以下で100mの加工性を確認、2本中2本とも成功 ・2層式ハンダ接合線材のスクライビング加工方法を確立 ・薄肉鉄ヨーク及び超電導シールドにて、軽量化、漏れ磁場抑制を達成	○	
⑤低温動作半導体	・65Kで動作する半導体素子の開発	・GaN-PSJトランジスタの低温動作半導体として適用性を確認	○	
2. システム検証				
①500kW級モータ地上検証	・250-500kWモータの航空対応条件に対する地上評価	・2500rpmの回転数と発電機モードにおいて、短絡電流が490Aピークになったところから、最大出力250kWを確認	○	
②500kW級モータ特殊試験	・上空環境（低温・低圧）下での、超電導モータの作動評価	・低温・減圧複合試験でモータ特性、電機子線間電圧・電流波形に異常のないことを確認	○	
3. 搭載上の技術課題と対策の検討				
①搭載対象機材規模と求められる超電導モータの性能諸元	・搭載機体サイズと装備可能容量から定まる性能諸元を決定	・機体搭載上の、有効な構造、重量による搭載構成を確立 ・飛行試験会社及び機種、形態の妥当性を確認 >次事業2MW級システム開発の性能諸元として反映	○	

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達 33

## アウトプット（終了時）目標の設定及び根拠

### ⑧-2 軽量蓄電池：アウトプット目標(TRL6<sup>\*</sup>)の具体目標とその根拠

<sup>\*</sup>：プロトタイプモデルの所期性能を達成し、飛行状態を模擬した環境で実証する

研究開発項目	最終目標（2024年3月）	根拠
① 硫黄炭素複合体による理論値相当の放電容量発現：	セル・エネルギー密度 <b>500 Wh/kg</b> 以上	正極の硫黄担持率を高めるとともに、理論値に近い放電容量を発現することで達成できる、従来リチウムイオン電池を大きく凌いで電動推進に貢献し得る質量エネルギー密度目標として設定。
② 電解液技術による充放電サイクル容量維持率向上：	<b>容量維持率80%以上-100サイクル*</b>	実機搭載可能性を検討できる基本的サイクル性能（電池寿命）として設定 *: 中間評価後に目標を高度化（容量90%以上50サイクル→容量80%以上100サイクル）
③ 放電レート	<b>2CA放電容量発現（0.1C容量の80%以上を発現）</b>	小型航空機の電動化に際して、搭載可能な蓄電池に求められる充放電最大電流として設定
④ リチウム金属負極の高面積容量密度下におけるサイクル寿命の向上：	10 mAh/cm <sup>2</sup> 以上の面積容量密度 Li/Liセル200サイクル以上 安定作動	Li金属負極におけるデンドライト抑制対策の効果確認のため、Li/Li対称セル試験の安定作動サイクル数として設定 中間評価後、負極研究を追加
⑤ 500 Wh/kg級の小型セルの実証検証	<b>小型積層セルのエネルギー密度 500 Wh/kg以上</b>	①で設定した質量エネルギー密度発現を、小型積層セルにて検証する目標を設定
⑥ 蓄電池システムの実証検証	400 Wh/kg級積層セルを備える蓄電池システムのプロトタイプモデル試作、機能性確認 <b>環境/安全性試験合格 (DO-160/DO-311)</b>	電動航空機搭載に必要な、蓄電池システムとしての軽量化および耐環境/安全性能基準適合を検証する目標を設定 中間評価後、TRL6達成確認手段明確化と併せ目標の具体性を高めた

## 2. 目標及び達成状況 (2) アウトプット目標及び達成状況



# アウトプット目標の達成状況

## ⑧-2 軽量蓄電池 : アウトプット目標の達成状況

研究開発項目	最終目標 (2024年3月)	成果(実績) (2024年3月)	達成度	達成の根拠／解決方針
① 硫黄炭素複合体による理論値相当の放電容量発現	セル・エネルギー密度 <b>500 Wh/kg</b> 以上	硫黄炭素複合体構造の適正化、および新規電解液技術によって、500 Wh/kg級小型セルにて、硫黄理論容量相当の放電容量発現を確認。	○	
② 電解液技術による充放電サイクル容量維持率向上	<b>容量維持率80%以上-100サイクル</b>	新規電解液技術を備える500 Wh/kg級小型セルにて、充放電サイクル寿命：70サイクルを確認。	△	解決方針： ・電解質技術（イオン液体、固体電解質） ・硫黄正極技術（多硫化物溶出抑制、複合体） ・Li金属負極技術（人工SEI） 等の要素技術の研究継続により、性能改善を図る。
③ 放電レート	<b>2CA放電容量発現</b>	新規電解液技術を備える500 Wh/kg級小型セルにて、2 CAでの放電容量発現（0.1C放電容量の50%以上）を確認。	○	
④ リチウム金属負極の高面積容量密度下におけるサイクル寿命の向上	10 mAh/cm <sup>2</sup> 以上の面積容量密度 Li/Liセル200サイクル以上安定作動	イオン液体系電解液の適用により、目標達成。	○	
⑤ 500 Wh/kg級の小型セルの実証検証	小型積層セルのエネルギー密度 500 Wh/kg以上	新規電解液技術の適用により、小型積層セルのエネルギー密度500 Wh/kg以上を実証。	○	
⑥ 蓄電池システムの実証検証	400 Wh/kg級積層セルを備える蓄電池システムのプロトタイプモデル試作、機能性確認 <b>環境/安全性試験合格</b> (DO-160/DO-311)	・軽量モジュール構造を備える蓄電池システムのプロトタイプモデル実証。⇒セル質量比率76%を達成。 ・モジュールでのDO-160環境試験クリア、単セルのDO-311安全性試験において、一定レベルの高安全性実証。	○	

## アウトプット（終了時）目標の設定及び根拠

⑧-3 電動ハイブリッドシステム：アウトプット目標(TRL6<sup>\*</sup>) の具体目標とその根拠

\*：プロトタイプモデルの所期性能を達成し、飛行状態を模擬した環境で実証する

研究開発項目	最終目標（2023年度）	根拠
① ハイブリッド電動推進システム	実用化に向けたシステム定義の妥当性評価、および将来を見据えた中長期スパンでの技術開発ロードマップの策定を行う	長期的視野に立ったハイブリッド電動推進システムのあるべき姿を Forecastしていくため
② 電動推進電力システム	MW級電動推進を達成するエンジン内蔵発電機の電流密度及び耐電圧性に係る性能評価を完了する	MW級の電磁機械に対する性能優位性検証、及びシステム実証による機体適用可能性の検証のため
	システムリグ試験を含むシミュレーションによる電力システムの地上実証を行い、機能・性能評価を完了する	
③ 熱・エアマネジメントシステム	システムリグ試験を含むシミュレーションによる熱・エアマネジメントシステムの地上実証を行い、燃費改善効果を含む機能・性能評価を完了する	システム実証による機体適用可能性の検証のため、及び構成要素の製品展開を視野に入れたDB構築のため
	実用化に向けた燃料排熱熱交換器(FCAC)の性能図表作成を完了する	中間評価後、サブシステム(パワエレ冷却装置、空気供給電動ターボ)の実証レベルを上げた

## 2. 目標及び達成状況 (2) アウトプット目標及び達成状況

# アウトプット目標の達成状況



## ⑧-3 電動ハイブリッドシステム : アウトプット目標の達成状況

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

研究開発項目	最終目標（2023年度）	成果（実績） (2024年3月)	達成度	達成の根拠 ／解決方針
① ハイブリッド電動推進システム	実用化に向けたシステム定義の妥当性評価、および将来を見据えた中長期スパンでの技術開発ロードマップの策定を行う	電動推進電力システム、熱・エアマネジメントシステムのシステム定義、システム評価（安全性、燃費削減効果、搭載性等）を完了。電動ハイブリッド推進の各要素が燃料消費量に与える影響度を評価、これに基づき、技術開発ロードマップを策定した。	○	策定した技術開発ロードマップに基づき、GI基金事業※に応募し採択。 ※：次世代航空機の開発／電力制御、熱・エアマネジメントシステム及び電動化率向上技術開発／電力制御及び熱・エアマネジメントシステム技術開発
② 電動推進電力システム	MW級電動推進を達成するエンジン内蔵発電機の電流密度及び耐電圧性に係る性能評価を完了する	MW級エンジン内蔵発電機の電流密度に係る性能評価、および定格回転数における電力、耐電圧特性に関する性能評価を完了した。電動推進電力システムを模擬したリグ試験を構築し、想定するエンジン運転および電力負荷プロファイルでの運転を実施し、機能・性能評価を完了した。	○	当該成果の一部をプレスリース※として公表。 なお、性能改善、フルスケール実証は後継GI事業にて実施予定。 ※：「世界初 メガワット級の航空機ジェットエンジン後方に搭載可能な電動機を開発」2024.1.12
	システムリグ試験を含むシミュレーションによる電力システムの地上実証を行い、機能・性能評価を完了する	熱・エアマネジメントシステムのシステムリグ試験を完了し、エネルギー回収率等が机上検討とほぼ合致していることを確認した。巡航高度条件を変えた際の試験まで実施し機能・性能評価を実施した。試験結果を反映したFCACの性能図表を作成した。	○	当該成果の一部をプレスリース※として公表。 なお、耐環境性、フルスケール実証は後継GI事業にて実施予定。 ※：「軽量・小型で世界最高レベル出力の電動ターボコンプレッサを開発」2023.6.16
③ 热・エアマネジメントシステム	システムリグ試験を含むシミュレーションによる熱・エアマネジメントシステムの地上実証を行い、燃費改善効果を含む機能・性能評価を完了する			
	実用化に向けた燃料排熱熱交換器(FCAC)の性能図表作成を完了する			
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構				

## アウトプット（終了時）目標の設定及び根拠

### ⑧-4 推進用電動機制御システム：アウトプット目標(TRL6\*)の具体目標とその根拠

\*：プロトタイプモデルの所期性能を達成し、飛行状態を模擬した環境で実証する

研究開発項目	最終目標（2024年3月）	根拠
① 最適化設計プラットホームの構築	CAE環境を活用した <b>マルチフィジックス最適解析</b> 手法にて設計を行い、プラットホームとして構築	モータ・インバータの電磁界解析に、熱流体解析を融合したマルチフィジックス解析をプラットホーム上で実施することで効率化が測れるとして設定
② ソフトウェア認証	・製品化における <b>認証プロセスの実証</b> ・DO-178C、DO-331認証のプロセス確立	認証取得に向けて重要なステップであるとして設定 更に、モデルベース手法を用いた自動コード生成による作業効率と認証効率のアップを設定
③ 高性能テストベンチ導入	・評価方法の確立 ・TRL6達成度評価実施(F3338-21)	モータのEMC試験結果に影響を与えるに、モータの効率、トルク-回転速度-電流特性、モータ動作時の振動等を総合的に評価できるテストベンチ導入の必要性があるとして設定
④ 高信頼性モータ・ドライブシステム実証	・製品化における要素技術の実証 ・航空機EMC規格に適合する <b>インバータ回路及びフィルタ回路の開発</b>	eVTOL適用に際し、搭載可能なモータに求められるノイズ規格として設定
⑤ 100kW高密度モータの実現、評価	出力／回転速度／トルク <b>100kW以上／1900rpm／520Nm(瞬時)</b> 55kW以上／1600rpm／320Nm(連続) 出力密度：6kW/kg(モータ部)	機体メーカーと調整し、設定した仕様 並行して市場調査を実施し、eVTOLを中心としたニーズが大きい仕様（出力等）であることを確認
⑥ プロトタイプ製作・評価 ※プロトタイプ：モータ×インバータ(モータシステム)	・ <b>最大出力100kW、回転数1900rpm、トルク520Nm</b> 高密度モータを組み込んだプロトタイプモデル ・モータシステム 効率92% ・質量32kg(モータシステムの出力密度3kW/kg)	市場調査、動作シミュレーション評価により、導き出された最適化設計として設定

## 2. 目標及び達成状況 (2) アウトプット目標及び達成状況



# アウトプット目標の達成状況

## ⑧-4 推進用電動機制御システム : アウトプット目標の達成状況

研究開発項目	目標 (2023年6月)	成果(実績) (2024年3月)	達成度	達成の根拠／解決方針
① 最適化設計プラットホームの構築	CAE環境を活用したマルチフィジックス最適解析手法にて設計を行い、プラットホームとして構築	プラットホーム構築を完了	○	
② ソフトウェア認証	・製品化における認証プロセスの実証 ・DO-178C、DO-331認証のプロセス確立	航空機搭載用の高帯域・高効率インバータを開発 DO-331準拠のMBDプロセスを構築 (DO-178C認証を含む)	○	
③ 高性能テストベンチ導入	・評価方法の確立 ・TRL6達成度評価実施(F3338-21)	F3338-21より、主要要求を抜粋し達成度評価を実施、性能面の妥当性評価を完了	△	耐久性の評価は未完了 今後実施する見込み
④ 高信頼性モータ・ドライブシステム実証	・製品化における要素技術の実証 ・航空機EMC規格に適合するインバータ回路及びフィルタ回路の開発	最適なSiCデバイスの選定、ノイズフィルタの設計を通して、航空機搭載用の高帯域・高効率インバータを開発を完了	○	
⑤ 100kW高密度モータの実現、評価	出力／回転速度／トルク 100kW以上／1900rpm／520Nm(瞬時) 55kW以上／1600rpm／320Nm(連続) 出力密度：6kW/kg(モータ部)	出力／回転速度／トルク 103kW／1900rpm／520Nm(瞬時) 53.6kW／1600rpm／320Nm(連続) 出力密度：6kW/kg(モータ部)	○	機体メーカーとの調整を経て、飛行プロファイルを決定 同プロファイルの瞬時最大条件:103kW及び連続部分の出力:53.6kWを設計仕様とし、プロトタイプにて実測値を確認 (連続出力は当初55kWでスタートしたが、上記調整により最終仕様は53.6kWに変更)
⑥ プロトタイプ製作・評価 ※プロトタイプ：モータ×インバータ (モータ システム)	最大出力100kW、回転数1900rpm、トルク 520Nm高密度モータを組み込んだプロトタイプモデル モータシステム 効率92% 質量32kg(モータシステムの出力密度3kW/kg)	出力・回転数・トルクは計算値ではあるが、目標値を満たす高密度モータを製作完了 モータシステム 効率：91.9% 質量：39.3kg	△	放熱特製改善により大型化し、質量増加につながった。重量軽減策として、9項目の案を提案している (材質変更、薄肉化、小型化 etc..)

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達 39

# 研究開発成果の副次的成果等

研究開発項目	意義	副次的成果
⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム (超電導)	<p><b>A.全超電導交流回転システム</b> 世界に前例のない全超電導かつ交流回転システムによる、高出力発電、高出力モータなどを使用した航空機以外の用途への応用も考えられる。</p> <p><b>B.超電導線材、超電導ケーブル、冷却システム</b> 新たに開発した素材を航空機以外他産業への活用も考えられる。</p>	<p>A_例.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ <b>移動式高出力発電機</b>の応用（防衛その他への活用）</li> <li>■ モータ（船舶用）</li> <li>■ ターボブレイン方式による冷却技術への転用</li> </ul> <p>B_例.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ <b>核融合炉</b>への超電導線材の適用</li> <li>■ 電力システムの<b>送電ケーブル</b>への適用</li> <li>■ ターボブレイン方式による冷却技術への転用</li> <li>■ 広域再エネ連系構想と水素・超電導コンプレックス</li> </ul>
⑧-2 軽量蓄電池	<p><b>A. Li硫黄電池の高質量エネルギー密度の向上と性能バランスを高める技術</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 硫黄正極技術：高硫含有率での高面積容量密度を実現</li> <li>2. 電解液技術（VC/FEC系）：硫黄活性物質の溶出抑制とイオン伝導性付与</li> <li>3. 電解液技術（イオン液体）：不可逆容量低減及び負極Li dendrite形成を抑制</li> </ol> <p>1+2+3 → 高エネルギー密度、充放電レート、サイクル寿命の性能バランスを高める効果を確認</p> <p><b>B. システムの軽量化、安全性/環境試験への対応</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 軽量モジュール構造を持つ蓄電池システムの開発</li> <li>2. 蓄電池システム実証試験（DO-160環境試験/DO-311安全性試験）</li> </ol> <p>1+2 → 基本的な航空機搭載性を地上試験実証した。</p>	<p>A/B_例.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 航空機産業への応用</li> </ul> <p>単通路旅客機クラス以上の電動化への将来適用を想定して、高質量エネルギー密度重視の研究開発を進めてきたが、入手性の極めて良い硫黄を使用したLi硫黄電池は、航空分野ではドローン、HAPS、e-VTOL、といった無人機・小型機分野で応用可能</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 他産業への応用</li> </ul> <p>さらに航空に限らず、<b>高エネルギー密度を求める用途</b>に広く利用できる可能性を有する。</p>

# 研究開発成果の副次的成果等

研究開発項目	意義	副次的成果
(8)-3 電動ハイブリッドシステム	<p><b>A. 電力マネジメントシステム</b> 高耐熱エンジン低圧軸直結内蔵型MW級発電機を核とし、装備品システムおよびハイブリッド電動推進システムへ電力供給を行う電力制御システムを地上リグ試験でコンセプト実証した。</p> <p><b>B. 熱工アマネジメントシステム</b> ガス軸受ロータ採用の電動ターボ・コンプレッサ、パワエレ空冷用ヒートシンク、空気→燃料排熱用熱交換器を開発。空調系や推進系の電動化により増大するパワエレ発熱を客室空気で冷却しつつエネルギー回収、ラムエア使用量を減らす燃料排熱などにより、空調系の電力消費量を減らし、システム効率を向上することを地上リグ試験実証した。</p> <p>A,B合わせて 電動ハイブリッドシステムを軽量化・効率化し、燃料消費率を削減できることを明らかにした。</p>	<p>A/B_例.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■高速鉄道等への適用 地上での各種電動装置に適用可能であり、例えば<b>高速鉄道車両</b>の軽量化、エネルギー消費削減、騒音軽減、軌道負荷軽減効果が期待できる。</li> </ul> <p>B_例.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■電動ターボコンプレッサによる燃料電池空気供給 キャビン空気供給の電動化における電力消費削減を第一の目的として開発したが、補助動力APUの代替として期待される<b>燃料電池</b>への<b>空気供給</b>に適用することで、CO<sub>2</sub>削減貢献できる。</li> </ul>
(8)-4 推進用電動機制御システム	<p><b>A. モータ性能の効率化手法確立</b> 以下の各要素技術によるモータ性能の効率化手法が検証、確立された。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・磁性くさびによる高周波交流損失の低減</li> <li>・高熱伝導材による絶縁材料の開発と熱抵抗の低減</li> <li>・航空機搭載用インバータのEMC条件への対応</li> <li>・3Dプリンタによる高占積率コイル巻線の造形</li> </ul> <p><b>B. 空冷方式によるモータシステムの軽量化・整備性の向上</b></p> <p><b>C. 航空機搭載品のソフトウェア認証の条件を充足する方法の確立</b></p> <p><b>D. AE(Acoustic Emission)センサによるモータシステムの故障予兆検出機能の確立</b></p>	<p>A_例.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■100kW級以外へのモータ性能の改善</li> </ul> <p>B_例.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■空冷による構成が簡単な冷却系の提供により、eVTOL以外の<b>ドローン高出力</b>に対応</li> </ul> <p>C_例.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■モータ以外の<b>航空機搭載品のモデルベース ソフトウェア認証</b>への応用</li> </ul> <p>D_例.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■<b>一般産業用サーボモータ</b>の故障検知</li> </ul>

## 2. 目標及び達成状況 (2) アウトプット目標及び達成状況

# 特許出願及び論文発表



	2022年度	2023年度	2024年度	計
⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム				
特許出願 (うち外国出願)	4 (2)	7		11
論文	11	9		18
研究発表・講演	36	49		87
⑧-2 軽量蓄電池				
特許出願 (うち外国出願)	7 (6)	8	10	25
論文		1		1
研究発表・講演	2	9	1	12
⑧-3 電動ハイブリッドシステム				
特許出願 (うち外国出願)	3	3		6
論文	3			3
研究発表・講演	30	23	5	58
⑧-4 常電動				
特許出願 (うち外国出願)	1	1	2	4
論文		3		3
研究発表・講演	2	1		3

※2024年9月30日現在

## <評価項目3>マネジメント

(1) 実施体制

※ 受益者負担の考え方

(2) 研究開発計画

# 報告内容

ページ構成



## 1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

※本事業の位置づけ・意義  
(1)アウトカム達成までの道筋  
(2)知的財産・標準化戦略



## 2. 目標及び達成状況

(1)アウトカム目標及び達成見込み  
(2)アウトプット目標及び達成状況



## 3. マネジメント

(1)実施体制  
※受益者負担の考え方  
(2)研究開発計画

- NEDOが実施する意義
- 実施体制
- 個別事業の採択プロセス
- 研究データの管理・利活用
- ※予算及び受益者負担
- 目標達成に必要な要素技術
- 研究開発のスケジュール
- 進捗管理
- 進捗管理：事前/中間評価結果への対応
- 進捗管理：動向・情勢変化への対応
- 進捗管理：成果普及への取り組み
- 進捗管理：開発促進財源投入実績
- モティベーションを高める仕組み

# NEDOが実施する意義

本事業は、適切なプロジェクトマネジメントの下、企業間の研究開発成果の共有等を促すため、NEDO事業として実施。

◇次世代電動推進システム研究開発事業は、**長期的な課題に対応するシステム**であり、技術開発成果がただちに事業化を保証するものではない。また、最先端技術の開発であるが故に民間企業の**投資リスクが高く**、一般産業への波及も現時点では限定的であり、**非常にチャレンジングな技術**であることが想定されるため、企業・大学ともに委託契約とし、リスクの低減を図るとともに開発を加速させるものである。

次世代航空機の実現に向けた官民投資

次世代航空機の実現による航空機産業の脱炭素化と経済成長の同時達成

## 既存PJの踏襲活用

航空機向け先進システム実用化プロジェクト  
(NEDO ロボット・A I 部)  
・前事業①～⑦

## METI戦略に追従

航空機向け先進システム実用化プロジェクト  
(NEDO 航空・宇宙部)  
・⑧次世代電動推進システム研究開発

## 他航空機PJとの連携

水素燃料電池、電動航空機 (GI基金)

水素航空機 (GI基金)

## 次事業 実用化展開へ

## 企業の事業化を促進

国内開発企業との連携  
Boeing, Airbus等との連携



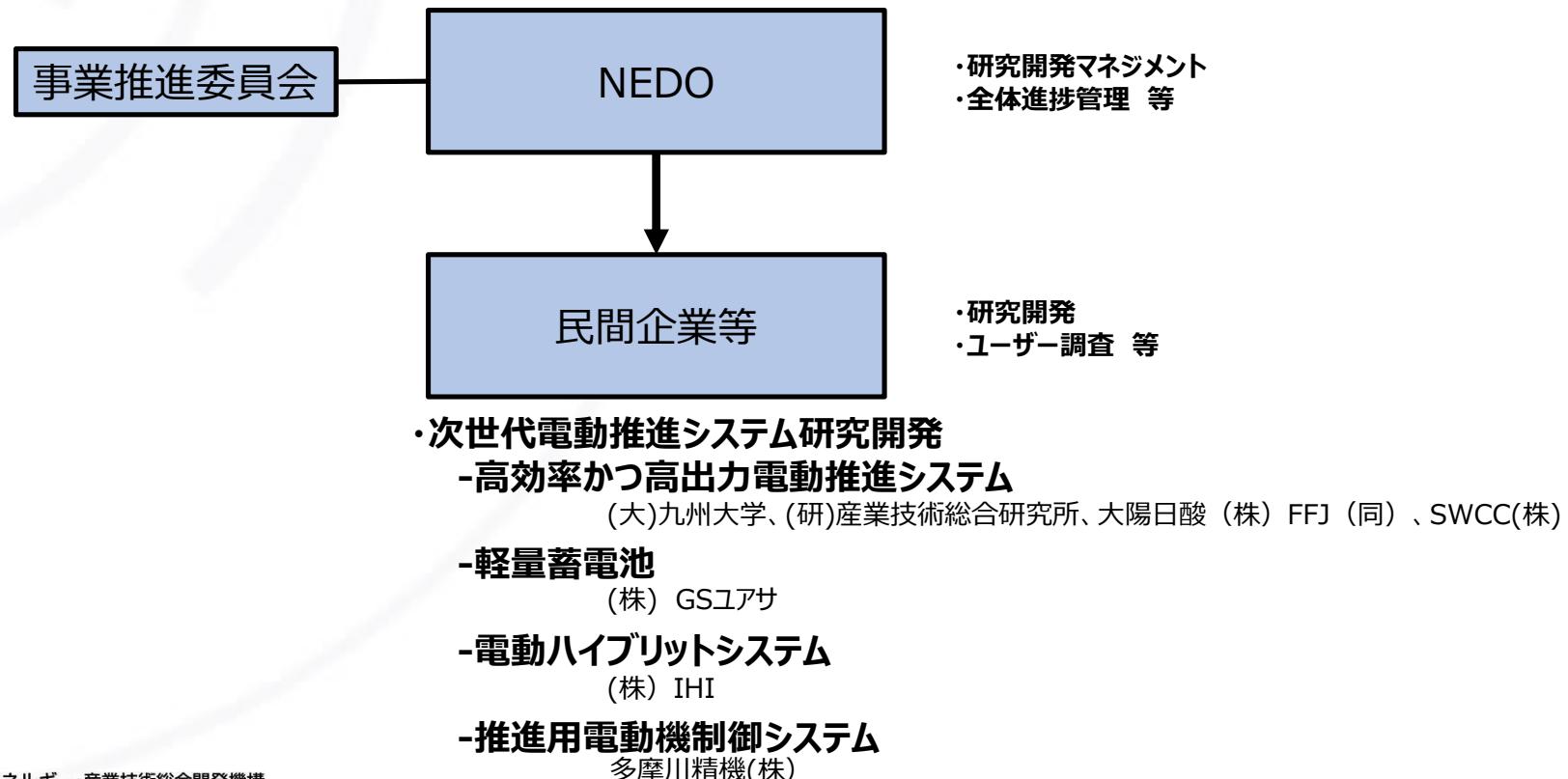
国内企業、JAXA等との連携



# 実施体制

本プロジェクトは、NEDOが、単独ないし複数の、原則本邦の企業、研究組合、公益法人等の研究機関から公募によって研究開発実施者を選定後、共同研究契約等を締結する研究体制を構築し、委託して実施している。実施体制を以下に示す。

## 実施体制概要



# 個別事業の採択プロセス

## ⑧-1 「高出力電動推進システム」

### 【公募】

- ・ 公募内容（「⑧次世代電動推進システム研究開発」の拡充）
- ・ 公募予告（2019年2月22日）公募（3月22日）公募〆切（4月22日）

### 【採択】

- ・ 採択審査委員会（5月15日）採択公表（6月24日）  
(航空機電動化のカギとなる高出力化のための超電導技術を  
我が国の優位な成果実績者にて開発する体制とした)

## ⑧-2 「軽量蓄電池」

### 【公募】

- ・ 公募内容（「⑧次世代電動推進システム研究開発」の拡充）
- ・ 公募予告（2019年2月22日）公募（3月22日）公募〆切（4月22日）

### 【採択】

- ・ 採択審査委員会（6月6日）採択公表（7月4日）  
(機体OEMが求める蓄電池性能指標を達成するため、蓄電池開発の実績があり、  
航空機搭載要件を知悉した事業者にて実施する体制とした)

## ⑧-3 「電動ハイブリッドシステム」

### 【公募】

- ・ 公募内容（「⑧次世代電動推進システム研究開発/電動ハイブリッドシステム」  
の研究開発項目追加）
- ・ 公募予告（2020年2月24日）公募（2月25日）公募〆切（3月25日）

### 【採択】

- ・ 採択審査委員会（4月21日）採択公表（6月2日）  
(航空機電動化の必要性を基本段階から構想し、従前からの航空機エンジンの  
開発・製造事業者による開発を行う)

## ⑧-4 「推進用電動機制御システム」

### 【公募】

- ・ 公募内容（「⑧次世代電動推進システム研究開発/推進用電動機制御システム」  
の研究開発項目追加）

### 【採択】

- ・ 採択審査委員会（6月4日）採択公表（7月5日）  
(航空機搭載部品およびモータ設計製造の実績がある事業者により開発を行う)

# 予算及び受益者負担

## ◆予算 ◆委託事業の理由

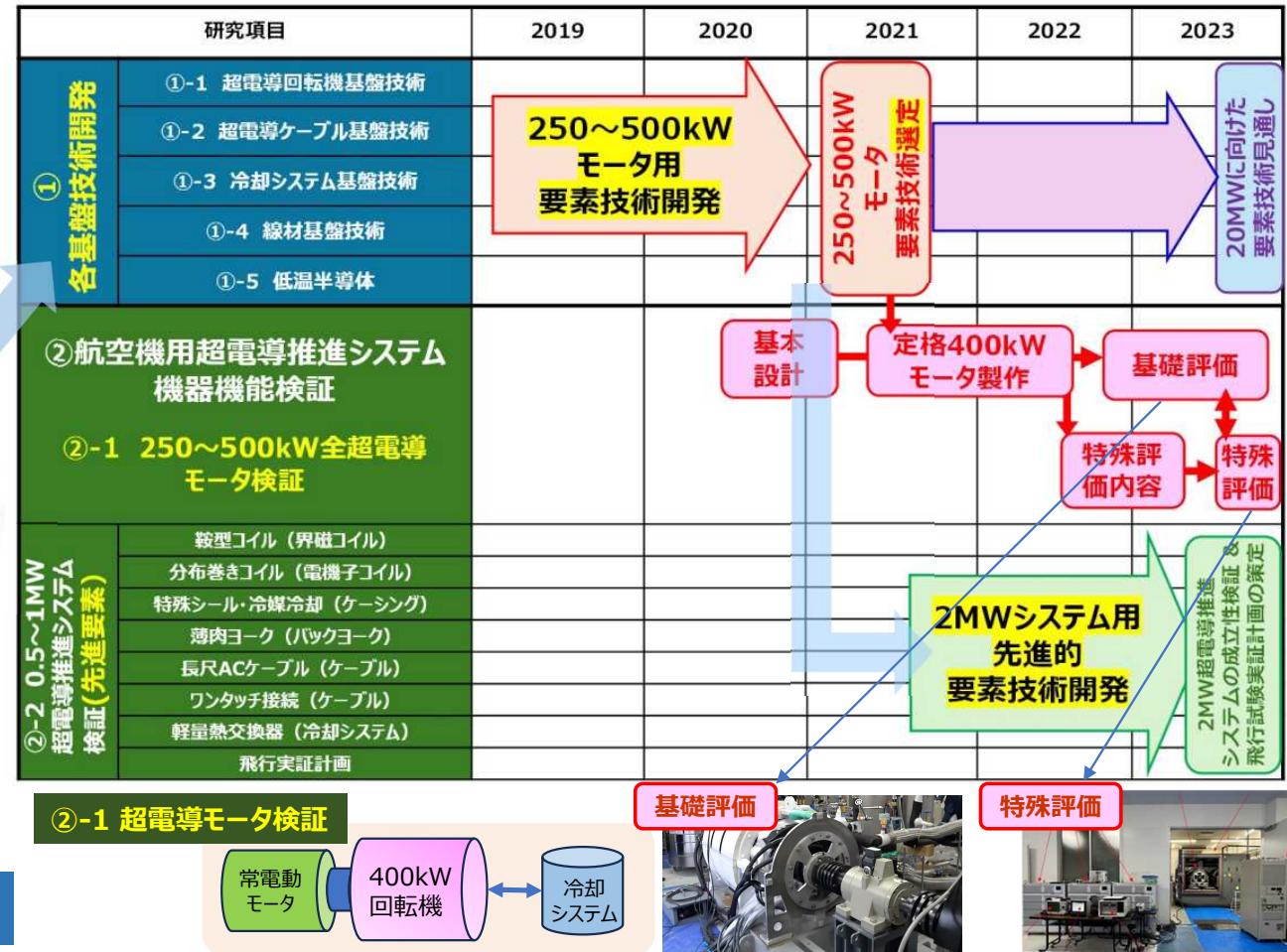
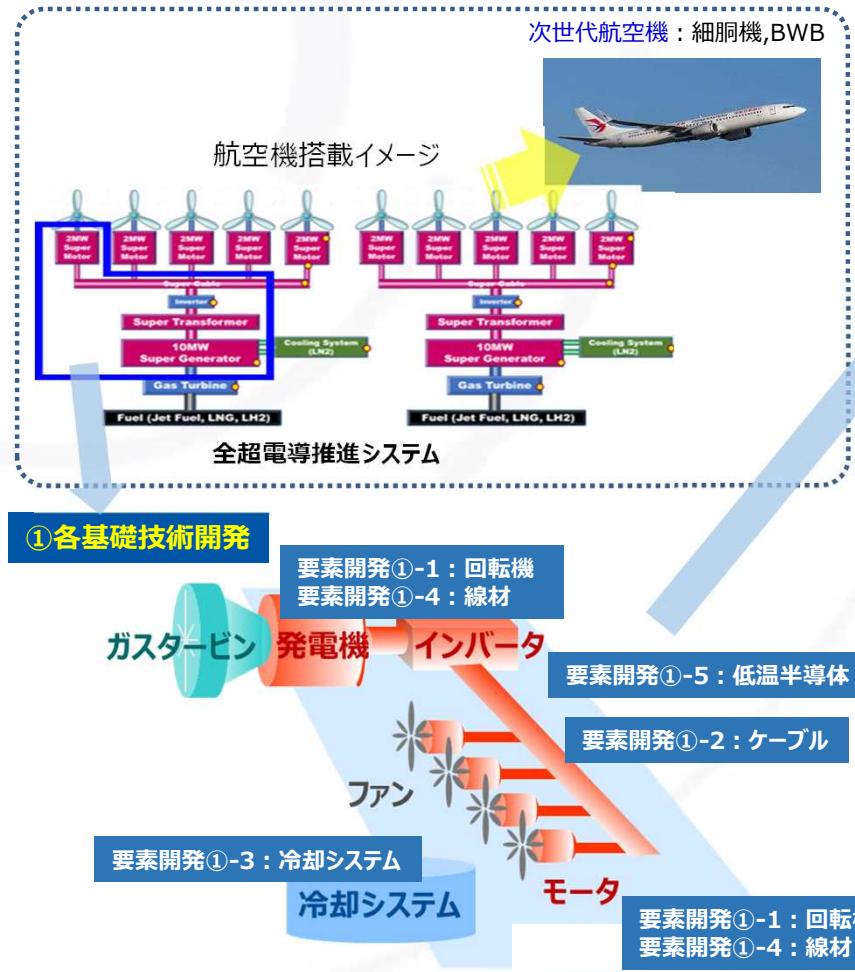
研究開発項目		2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	合計
⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム	委託 100%	321	793	1,090	1,503	1,455	5,162
⑧-2 軽量蓄電池	委託 100%	295	429	314	536	411	1,873
⑧-3 電動ハイブリッドシステム	委託 100%		230	235	368	310	982
⑧-4 推進用電動機制御システム	委託 100%			189	130	57	345
追加予算					488		488
合 計		616	1,452	1,828	2,780	2,233	8,909

(単位：百万円)

本事業は、  
 ・長期的な課題に対応するシステムであり、技術開発成果がただちに事業化を保証するものではない  
 ・最先端技術の開発であるが故に民間企業の投資リスクが高く、一般産業への波及も現時点で限定的であり、非常にチャレンジングな技術であることが想定されるため、企業・大学ともに委託契約とした。

# 目標達成に必要な要素技術

## /⑧-1 超電導/

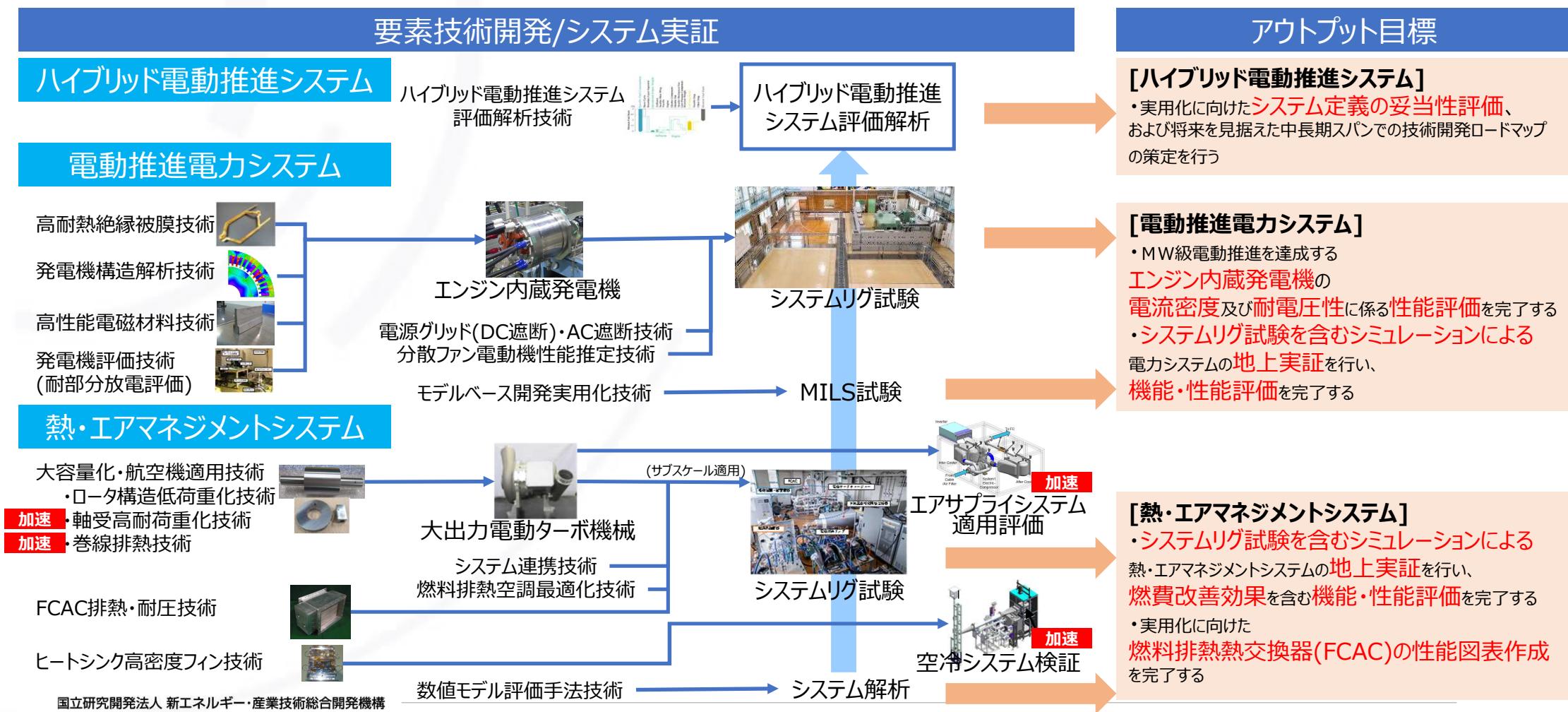


# 目標達成に必要な要素技術 /⑧-2 軽量蓄電池/



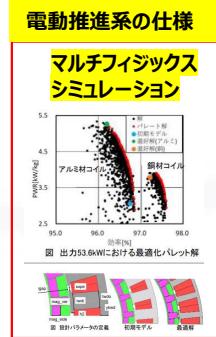
年度	2019-21	2022-23	アウトプット目標
要素技術開発	硫黄正極技術 硫黄炭素複合体技術（ホスト炭素、複合化）		500 Wh/kg級小型セルの実証・検証 ・質量エネルギー密度：500 Wh/kg以上 ・サイクル寿命性能：容量維持率80%以上@100CY ・放電レート性能：2CA放電可能
	電解液技術 VC/FEC系電解液技術	溶媒技術 Li塩技術	
	新規要素技術 バインダー技術 導電助剤技術 メカニズム解明（不可逆容量、被膜形成、Liデンドライト形成）	イオン液体技術 人工SEI技術	3つのコア技術 硫黄正極技術 硫黄-炭素複合体 電解液技術 VC/FEC系電解液 新規要素技術 イオン液体
	蓄電池システム 積層セル設計技術 積層セル製造技術 軽量部材技術（筐体、FPC、フィルムセンサなど）	軽量均一圧迫機構 DO160環境試験 DO311安全性試験	軽量蓄電池システム実証・検証 ・プロトタイプモデル試作 ・セル質量比率：80%相当 ・機能性確認 ・環境/安全性試験合格（DO-160/DO-311）

# 目標達成に必要な要素技術 /⑧-3 電動ハイブリッドシステム/



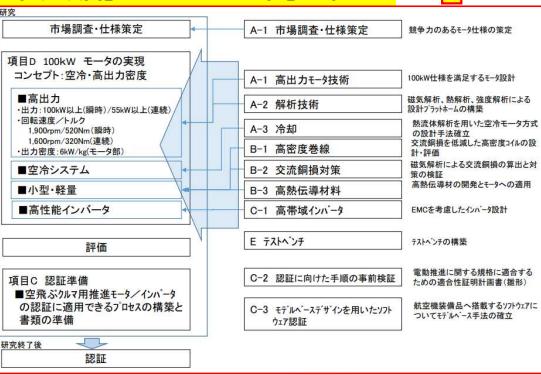
# 目標達成に必要な要素技術 /⑧-4 常電導/

**開発目標**  
競争力・信頼性  
のある製品開発

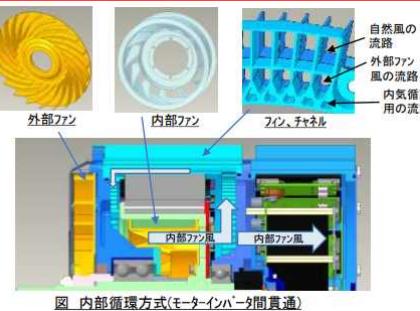


研究対象	要素技術	研究開発目的	成果物
信頼性	航空機環境適合	認証機関対応	機電一体型モータ・インバータ EMC対策 (ラインフィルタ)
	航空機のソフトウェア開発ガイドラインに準拠した実装Program	認証機関対応	Model-Based Development手法確立とソフトウェア認証
	予兆検知システム	製品力の強化	AE(音響弾性波)センサ
	高効率化、低発熱	モータ効率改善	磁性テープにて漏洩磁界遮断し交流損軽減、高効率インバータ回路
	高機能可搬式負荷装置導入	モータ試験装置	テストベンチ
高密度モータ	回転子巻線の高密度化	高出力トルク	平角線を使った高効率ステータ巻線
	高効率空冷	優位な空冷機能	放熱フィン/絶縁型高熱伝導材料
	軽量化、量産性向上	製品力の強化	金属3Dプリンター造形コイル
	フィラー充填率向上	熱伝導性向上	ポッティングシステム工法

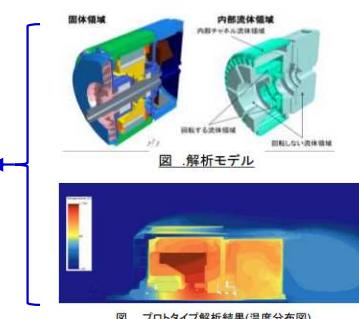
「開発項目」の設定と「要素技術」との関係



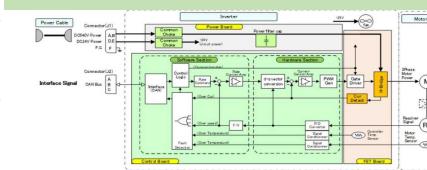
「空冷方式」にて必要な冷却能を達成



「熱交換装置」専門メーカーの支援(再委託)



FAAの認証取得を想定した文書作成手順の構築  
DO-331準拠の設計ツール



テストベンチ(100kW級モータ用)



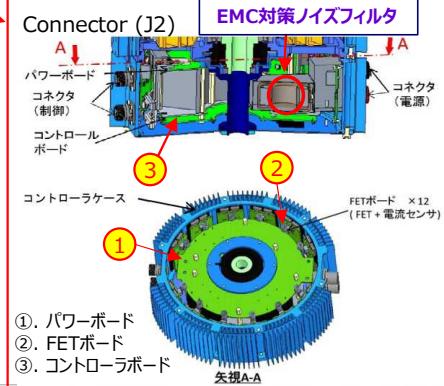
100kW級空冷モータ  
モータ+インバータ  
機電一体構造



高密度巻線



高熱伝導材



## 研究開発のスケジュール

【航空機用先進システム実用化プロジェクト】

研究開発項目	2019	2020	2021	2022	2023	2024
⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム		仕様策定、試作・評価		プロトタイプの設計/製作、検証		
⑧-2 軽量蓄電池		仕様策定、試作・評価		プロトタイプの設計/製作、検証		
⑧-3 電動ハイブリットシステム	前交付金⑦ +先導研究	仕様策定、試作・評価		プロトタイプの設計/製作、検証		
⑧-4 推進用電動機制御システム	前交付金②+先導研究		仕様策定、試作・評価	プロトタイプの設計/製作、検証		
評価時期			中間評価			終了時評価

⑧-3と⑧-4については、航空機用先進システム前事業や先導研究による要素技術開発の時期を経たため、開始時期が一部遅れて設定されている。

⑧-3 電動ハイブリッド：

- ・前交付金事業「航空機用先進システム実用化プロジェクト⑦次世代エンジン電動化システム研究開発」
- ・NEDOエネルギー環境先導プログラム「革新的ハイブリッド飛行システムの研究開発」

の結果を得て2020年より開始

⑧-4 推進用電動機制御システム：

- ・前交付金事業「航空機用先進システム実用化プロジェクト②次世代降着システム研究開発」(20kW,4kW/kg)
- ・NEDOエネルギー環境先導プログラム「航空機向け高出力・高密度モータの技術開発」

の結果を得て2021年より開始

# 進捗管理

## NEDO 主催 会議

NEDO 会議名	出席者メンバー	対象・目的	頻度	主催者
事業推進委員会	外部有識者/PMgr/NEDO担当者	・⑧電動航空機事業について設置し、4個別事業の技術開発の進捗状況等について外部有識者が確認	・半年に1回	NEDO
サイトビジット	外部有識者/PMgr/NEDO担当者	・4個別事業の技術開発の進捗状況等について外部有識者/NEDOが現地で確認し、協議	・年に1回	NEDO
進捗確認ヒアリング	PMgr/NEDO担当者	・各4個別事業について設置し、技術推進委員会の指摘事項への対応、技術開発の進捗状況についてNEDOが委託者に確認	・年に1回	NEDO
⑧-1月次進捗確認会	PMgr/NEDO担当者	・超電導委託先別に、重要研究項目に特化し、開発の進捗状況を確認	・2ヶ月に1回	NEDO

## 各委員会での主な指摘事項

- ・航空機搭載システムとして求められる要件（性能/認証基準等）に対する適合性を明確にすること
- ・個別要素技術を集約し、システムとしての効率・出力目標への達成度を最終研究成果とすること
- ・求められる性能諸元について、成果の展開先である機体OEMと情報共有を実施すること

## NEDOからの指導事項

- ・官民協議会/ÉCLAIR/SAEの動向を情報収集し、委託事業者側に共有の上、開発現状との差分につき対応を協議
- ・システムリグ、サブスケールシステム検証の重要性をリマインドし、最終研究成果をシステム検証に集約するよう開発を管理
- ・委託事業者と機体OEMの定期的な情報交換会議の動向を監視し、研究目標との関係明確化を指導

# 進捗管理

## 委託事業者主催 会議

委託側 会議名	出席者メンバー	対象・目的	頻度	主催者
⑧-1 超電導 研究開発推進委員会	⑧-1 委託事業者/再 委託事業者/外部有識 者	<ul style="list-style-type: none"> <li>・500kW級モータ開発進 捗の共有</li> <li>・開発項目毎の成果報告</li> <li>・課題解決について協議</li> <li>・研究成果に対する外部 識者による評価</li> </ul>	・1年に1回	九大C
⑧-4 常電導 関係者会議	⑧-4 委託事業者/再 委託事業者/NEDO	<ul style="list-style-type: none"> <li>・100kWモータ開発進捗 の共有</li> <li>・開発項目毎の成果報告</li> <li>・課題解決について協議</li> </ul>	・四半期に1回	多摩川精機

## 進捗管理：中間評価結果への対応

問題点・改善点・今後への提言		対応
1 多数の委託先を全体管理する体制とマネジメントの強化		<p>&lt;⑧-1：超電導&gt; 代表委託先(九大C)が、毎月定例会を開催。各委託先/再委託間の情報共有を実施のうえ、対応策を議論し、プロジェクト管理を実施した。</p> <p>&lt;⑧-3:電動ハイブリッドシステム&gt; 再委託先等 6 社 6 大学との連携体制で進めてきた。（事業者説明にて補足）</p> <p>&lt;⑧-4:常電動&gt; 再委託先 5 者との連携体制にて推進した（事業者説明にて補足）</p>
2 機体メーカーとの協議内容や関与体制について明確化		<p>&lt;⑧-1：超電導&gt; 機体メーカーと定例会を実施し、開発状況の共有等を行い、次世代航空機に求められる電動航空機の仕様・性能について協議した。</p> <p>&lt;⑧-2: 軽量蓄電池&gt; ボーイング社と月例情報交換会議。将来電動航空機に望まれるバッテリー仕様を提示された。 ※GSYの補足資料になければ B社仕様表を添付（公開版では提示できない）</p> <p>&lt;⑧-3: 電動ハイブリッドシステム&gt; 機体OEM、システムTier1との情報交換で得た動向情報に対応して、試作・実証の拡充を行った。</p> <p>&lt;⑧-4:常電動&gt; 次世代空モビ関連メーカーとの協業により、大阪万博でのデモ飛行を計画した。（事業者説明にて補足）</p>

## 進捗管理：中間評価結果への対応

	問題点・改善点・今後への提言	対応
3	<p>⑧-1: ・1MW電動機の実証を最優先に考え、航空機固有の技術課題（重量軽減、発熱管理、ノイズ対策、高空環境など）や航空機エンジンとしての成立性の実証に注力すべきの解決に注力するべき</p>	<p>中間評価後、研究内容を以下3項目に集約した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①500kW級回転機の実証</li> <li>②航空機へ搭載してシステム統合する際の課題整理と対応実施</li> <li>③20MW級システム向け要素技術</li> </ul> <p>特に、②については、委託先に国内重工/シール材メーカーを加え以下の検討を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・飛行環境を模擬した特殊評価方案の策定と実施（S Birds）</li> <li>・機体搭載時に超電導回転機に求められる冷却液漏洩防止と軸高速回転を両立するシール技術開発</li> <li>・機体システム化への課題検討 (機体搭載容積・寸法と求められる出力密度指標値算定等)</li> </ul>
4	<p>⑧-2と⑧-3：実用化に向けた取り組みと並行に、次なる目標となるより高い数値目標を掲げ課題を洗い出す努力をすべき（GSY : Cycle Up/負極増強、IHI 実証レベルあげる）</p>	<p>&lt;⑧-2:軽量蓄電池&gt; 実機搭載レベルの性能バランスに早く近づけるべく、サイクル寿命の目標値を2倍とし、また、金属リチウム負極のデンドライト抑制も研究項目に追加した。</p> <p>&lt;⑧-3:電動ハイブリッドシステム&gt; 目標値は不变だが、エアマネジメントユニットやパワエレ空冷システムといった主要サブシステムの試作実証対象を、要素技術確認から<u>ユニット・システム実証へ高度化</u>し、社会実装に向けた提案力向上を図った。（例. 電動ターボユニット作成検証/パワエレシステム実証）</p>

## 進捗管理：中間評価結果への対応

	問題点・改善点・今後への提言	対応
5	中間報告では、TRL4を目標とした試験が実施され、確かな結果を示されている。最終報告においては、事業者が相当するTRL6の環境条件を明示して成果を説明すること	<p>中間評価後、各テーマ委託先に、TRL6の要件と当事業での検証方法の具体化を依頼し、事業推進委員会(2022.9月)に諮った。</p> <p>&lt;⑧-1：超電導&gt; TRL6の目標として、高空環境の低温低圧条件での動作実証試験を実施することを計画し、問題無いことが確認できた。</p> <p>&lt;⑧-2：軽量蓄電池&gt; RTCA規格 (DO160,311)に規定された環境試験条件、安全性等確認試験方法に則って、蓄電池プロトタイプの地上実証試験を計画、実施した。</p> <p>&lt;⑧-3：電動ハイブリッドシステム&gt; 開発サブシステム毎に、模擬すべき環境条件、確認すべき機能・性能を整理し、リグ試験実施方案に反映した。</p> <p>&lt;⑧-4：常電動&gt; 電動モータ開発の標準規格ASTM F3338-21による、TRL 6で求められる主要要求を抜粋し、達成度評価を実施、性能面の妥当性評価を完了した。耐久性評価については今後(事後) 実施する見込み</p>

## 進捗管理：中間評価結果への対応

	問題点・改善点・今後への提言	対応
6	<p>本事業の成果をもって国際標準化へ積極的・主導的に基準作成に関わること 例（IHI GIの標準化活動方針）/九大24年度調査事業など</p>	<p>&lt;⑧-1：超電導&gt; 電動航空機の標準化活動動向を把握し、標準化に向けた技術課題の整理を行った。基準策定への超電導開発事業の関わり方・計画については後継事業で検討する。</p> <p>&lt;⑧-3：電動ハイブリッドシステム&gt; 当事業の後継である2024年度GI基金事業において、SAE E-40等への参画、ルールメイキング参画、設計基準の発信といった活動を進める計画である。</p> <p>&lt;⑧-4: 常電動&gt; ソフトウェアの標準化に向けて、DO-331準拠のMBDプロセスを構築（DO-178C認証を含む）</p>

# 進捗管理：動向・情勢変化への対応

## ① 電動航空機 開発動向の把握

### ・新技術官民協議会 電動化WG/航空機電動化コンソーシアム（JAXA ÉCLAIR）会議への参加

上記の会議にNEDO事務局が出席し、世界の電動航空機開発動向をふまえた日本の研究開発ロードマップの設定・主要技術課題について協議を行った。協議内容をもとに、委託者へ情報共有を行い、研究スケジュール、社会実装への展開方法につき継続的に協議を実施した。

### ・SAE E-40(Electrified Propulsion Committee) / SAE Workshop(東京開催/2/21)への参画

電動化に際して、航空機への新機能装備に関連した国際安全性認証基準の策定動向を監視するため、参照型国際基準を作成する会議体(SAE)に会員(Liaison)として参加した。その動向や認証対象となる技術課題を委託先事業者に共有し、協議を実施した。

## ②社会課題 (Covid-19)の影響への解決策

### ・超電導同期機プロトタイプモデルの部品調達課題への対応(500kW級→400kW出力への現実的対応)

当初500kW級出力を目標に設計した部品の出荷・供給が、Covid-19によるサプライチェーンへの影響をうけ滞留した。既存品で供給可能な部品によるシステム再構成を計画し、500kW級システム検証の方針内に入ることを技術推進委員会と確認しながら、当初のスケジュール内に試運転を完了させた。

## ③国内超電導回転機 開発動向 調査

### ・モビリティ向け軽量・小型超電導モータ(最高2MW出力) 東芝 (2022年6月発表) に係る情報収集

モータ駆動方式の違い（誘導式/同期式）や全超電導（超電導電機子/界磁巻線）と部分的超電導の違いを情報収集・調査を実施し、  
**本研究課題の独自性/優位性について確認した。**

出展：2022年度 革新プラ 中間評価（公開）

## 進捗管理：成果普及への取り組み

### NEDOによる電動航空機研究のPR活動

#### 2024国際航空宇宙展(JA2024)

主催： 日本航空宇宙工業会  
日時： 2024年10月16日～10月19日  
場所： 東京ビッグサイト

口頭発表：  
“航空機電動化を促進するための  
NEDOの産業支援について”と題して、  
電動航空機の産業政策上の位置づけと事業紹介  
について説明

JAPAN  
INTERNATIONAL  
AEROSPACE  
EXHIBITION 2024

2024国際航空宇宙展

【会期】2024年(令和6年)

トレードデー 10月16日水～18日金

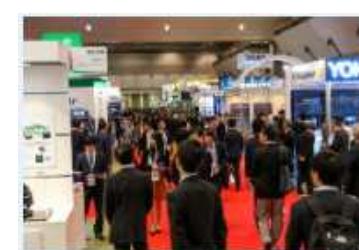
トレード・パブリックデー 10月19日土

【会場】東京ビッグサイト 西展示棟 全館

© English

【主催】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

2024



## 進捗管理：開発促進財源投入実績

件名	年度	金額 (百万円)	目的	成果・効果
⑧-1:超電導 ・巻線技術の確立 ・三次元コイルの寸法測定装置購入	2022年度	109	・超電導線材に歪みを加えずに鞍型等複雑な形状に対応した巻線技術の確立 ・組み立てリードタイムの短縮	同期モータ、発電機の小型軽量化が可能となった。組み立てリードタイムの短縮により、開発日程を守ることができた。
⑧-1:超電導 ・幅広線材の開発	2022年度	52	・線材間スペースの削減による軽量システムでの磁場シールド能力向上	より軽量で磁場をシールドする能力を実現することで、超電導回転機の軽量化が可能となった。
⑧-1:超電導 ・新材料プラスティックを使ったシール材技術の確立	2022年度	63	・送配電超電導ケーブル用冷却ホースの軽量化	航空機用推進システムに用いる超電導ケーブルの軽量化が可能となることに加え、波及効果として、使用電力量増大に伴い大容量化が想定される送配電ケーブルへの応用も今後は期待できる。

## 進捗管理：開発促進財源投入実績

件名	年度	金額 (百万円)	目的	成果・効果
⑧-2:蓄電池 ・Li金属負極性能向上 及び電池出力特性向上 のための設備購入	2022年度	73	・Li金属負極の性能改善による、電池の安全・信頼性の向上、および、電池の出力特性のさらなる向上	電極電解液界面にSEI被膜を形成し、短絡を防止して、Liの均一なる析出をはかり、長サイクル寿命を達成
⑧-3:電動ハイブリッド ・エアマネジメントユニット の研究 ・空冷化電力システムの エアマネジメントの研究	2022年度	160	・電動ターボ機械の高出力化、高効率化のため、ユニットレベルでの技術成立性及び性能評価を実施。 ・実用型ヒートシンクによる空冷システムを構築し、実際のパワーエレクトロニクスの冷却能力を実証評価。	エアマネジメントシステムの要素レベル技術確立からユニットレベル技術実証へ、また、空冷システムをユニットレベルからシステムレベル性能実証へとそれぞれステージを上げ、海外メーカーへの訴求力を獲得
⑧-4:常電導 ・モータ試作品を評価す るための試験設備導入 ・部品代上昇への対応	2022年度	17	・モータ巻線の高密度化による交流銅損の削減	純アルミ製の平角線を作成、集中巻きにより高密度化を実現、磁性くさびの導入効果と併せ、117Wの交流銅損削減を達成
⑧-4:常電導 ・故障予兆システムの開 発	2022年度	14	・AE（音響弾性波）センサーを用い、材 料の変形あるいは破断の際に発生する音 波から、機器の故障を予知するシステムを AI技術により開発	振動センサを中心としたデータ群を用いたMT法に よる分析手法を用いることで、故障検知の知見を 取得

## **参考資料 1 分科会議事録及び書面による質疑応答**

**研究評価委員会**  
**「航空機用先進システム実用化プロジェクト / ⑧次世代電動推進システム研究開発」**  
**(終了時評価) 分科会**  
**議事録及び書面による質疑応答**

日 時 : 2024 年 11 月 8 日 (金) 10:00~15:15  
場 所 : NEDO 川崎 23 階 2301~2303 会議室 (リモート開催あり)

出席者 (敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長	田辺 光昭	日本大学 理工学部 航空宇宙工学科 教授
分科会長代理	奥田 章順	株式会社航想研 代表取締役
委員	竹井 勝仁	一般財団法人電力中央研究所 企画グループ 研究アドバイザー
委員	中村 武恒	京都大学 大学院工学研究科 電気工学専攻 特定教授
委員	西脇 賢	全日本空輸株式会社 整備センター 技術部 電装技術チーム マネージャー
委員	松尾 亜紀子	慶應義塾大学 理工学部 機械工学科 教授
委員	吉本 貫太郎	東京電機大学 未来科学部 ロボット・メカトロニクス学科 教授

<推進部署>

金山 恒二	NEDO 航空・宇宙部 部長
松木 秀男(PMgr)	NEDO 航空・宇宙部 主査
林 慎一郎	NEDO 航空・宇宙部 ユニット長
品川 貴	NEDO 航空・宇宙部 主査
白川 周	NEDO 航空・宇宙部 専門調査員
神間 辰士	NEDO 航空・宇宙部 専門調査員

<実施者>

岩熊 成卓	九州大学 先進電気推進飛行体研究センター 教授
和泉 輝郎	国立研究開発法人産業技術総合研究所 省エネルギー研究部門 主任研究員
西川 平祐	株式会社 GS ユアサ 研究開発センターワークス 電池開発部 担当部長
稻益 徳雄	株式会社 GS ユアサ 研究開発センター戦略企画室 室長
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
井上 知也	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 主幹
神本 長武	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 主幹
平川 香林	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 主幹
久保田 晃弘	多摩川精機株式会社 スペーストロニクス研究所 技監

<オブザーバー>

徳永 日向子 経済産業省 産業技術環境局 航空機武器産業課 係長

<評価事務局>

山本 佳子	NEDO 事業統括部 研究評価課 課長
植松 直哉	NEDO 事業統括部 研究評価課 主任
松田 和幸	NEDO 事業統括部 研究評価課 専門調査員
中島 史夫	NEDO 事業統括部 研究評価課 専門調査員
鈴木 渉	NEDO 事業統括部 研究評価課 専門調査員

議事次第

(公開セッション)

1. 開会
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの説明
  - 5.1 プロジェクトの説明
    - 5.1.1 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋
    - 5.1.2 目標及び達成状況
    - 5.1.3 マネジメント
  - 5.2 質疑応答

(非公開セッション)

6. プロジェクトの補足説明
  - 6.1 研究開発項目⑧-1 「高効率かつ高出力電動推進システム」
  - 6.2 研究開発項目⑧-2 「軽量蓄電池」
  - 6.3 研究開発項目⑧-3 「電動ハイブリッドシステム」
  - 6.4 研究開発項目⑧-4 「推進用電動機制御システム」
7. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

## 議事内容

(公開セッション)

### 1. 開会

- ・開会宣言（評価事務局）
- 2. 分科会の設置について
  - ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき事務局より説明。
  - ・出席者の紹介（評価委員、評価事務局、推進部署）

**【田辺分科会長】** 日大の田辺と申します。専門は推進工学、燃焼工学であり、航空・宇宙原動機の主に環境対応等を研究しております。よろしくお願ひいたします。

**【奥田分科会長代理】** 航想研の奥田と申します。特に、航空機関係の事業立ち上げの手伝いを行っています。よろしくお願ひいたします。

**【竹井委員】** 電力中央研究所の竹井です。私の専門分野はバッテリーや水素関係を、電気事業やエネルギー用途に利用する場合の開発評価になります。本日は、どうぞよろしくお願ひいたします。

**【中村委員】** 京都大学の中村です。私の専門は回転機を中心とする電気工学になります。回転機一般とその制御、それから超伝導回転機についても広く研究しております。よろしくお願ひいたします。

**【西脇委員】** ANA 全日空整備センター技術部の西脇と申します。入社して以来、技術部門におり、航空機の開発は行っていない一方、航空機の改造ということでは様々な認証であるとか、法律上の要件等に長きにわたって触れております。そういうところでユーザーエアラインとしてのよいアドバイス及び意見ができればと思います。本日は、どうぞよろしくお願ひいたします

**【松尾委員】** 慶應義塾大学の松尾と申します。専門は流体力学、燃焼、コンピュータシミュレーションになります。最近の研究としては、次世代型において宇宙推進に関わる新しいタイプに関しても研究しております。本日は、よろしくお願ひいたします。

**【吉本委員】** 東京電機大学の吉本と申します。専門はパワーエレクトロニクス、モーター制御を中心とした研究になります。電動化という観点では、長らく自動車メーカーで自動車の電動化の研究開発を取り組んでまいりましたので、そのような経験も含めて、今日は様々ここでコメントをさせていただきたく思います。よろしくお願ひいたします。

### 3. 分科会の公開について

評価事務局より資料2及び3に基づき説明し、議題6.「プロジェクトの補足説明」及び議題7.「全体を通しての質疑」を非公開とした。

### 4. 評価の実施方法について

評価の手順を評価事務局より資料4-1～4-5に基づき説明した。

### 5. プロジェクトの概要説明

#### (1) 意義・社会実装までの道筋、目標及び達成度、マネジメント

推進部署より資料5に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

**【田辺分科会長】** ありがとうございました。

それでは、ただいまの説明に対する御意見、御質問等をお受けします。吉本委員、お願ひいます。

**【吉本委員】** プロジェクトのマネジメントに関して1つ伺います。資料12ページの「目指すところを航空機システムメーカーの下請けではなく、そこに参入する」という言葉については、Tier1サプライヤーを目指す、システムとしてのサプライヤーの位置を目指すものとして理解しています。今回のそれぞ

れ4つに関して、例えば14ページの社会実装、アウトカムまでの中で、「超電導推進システムはTier1に提案する」といった説明があったと思います。また、56ページの電動ハイブリッドシステムも機体OEMだけでなく、Tier1と「協業する」、「情報交換する」といった言葉がありました。あるテーマによつてはTier1を必ずしも目指しているわけではなく、事業構造といいますか、市場の中の既にプレイヤーのTier1メーカーの強い位置に関してはTier2の位置を目指すということもプロジェクトとしてはマネジメントされているのではないかと捉えるのですが、その理解で合っているでしょうか。それとも、最終的には今行つてゐる全てのプロジェクトはTier1のレベルを目指すべきだというお考えになりますか。例えばエンジンなどの主力メーカーがいるところで、電動の時代には日本の企業、日本の技術をTier1の位置に持つていいかという想いで全体をマネジメントされているのでしょうか。

【松木PMgr】 委員のおっしゃるように、最終的にはTier1としての位置を目指すところです。ただ、その過程でいきなりTier1にはいけませんので、従来の例えばエンジンOEMというものはTier1という位置づけで、先ほどの道筋のところは書いています。そのエンジンメーカーに対しての部品を供給するというところで部品事業から入つて、さらにその電動化を進めていく過程でエンジンOEMと同等のレベルになつてくれれば、Tier1として機体OEMに対しての位置を確立できるといったフェーズドアプローチといいますか、段階的な対応を考えています。

また、航空機先進プロジェクトということで、2015年から本来この事業はずつと進んできているのですが、その当初より、日本の航空機産業が部品メーカーをはじめ、先ほど申し上げた構造部品のメーカーのままでは産業構造がシルリンクをしてしまうという問題意識が経済産業省以下においてあります。それを補完すると言うべきか、システムTier1としての位置を国内産業が目指すといった最終目標とし、今回のテーマがそれぞれ設定されています。ただ、その途中の過程においては、いきなりTier1に行かずしてTier1メーカーの部品を供給するところが途中経過として入つてることから、そのような表現になっています。

【吉本委員】 御説明ありがとうございました。今の関連でもう一つ質問いたします。アウトカムにおいて、金額で市場規模、目標値等を掲げられていますが、こちらは、最終的なTier1に達した際の波及効果を見積もられたのか。それとも、先ほどおっしゃられた段階的な中での金額の算出なのか。どちらになるでしょうか。

【松木PMgr】 それは、最終的なTier1としての位置に達成して、市場での規模であるとか、生産物によるCO<sub>2</sub>削減効果として御理解いただければと思います。

【吉本委員】 ありがとうございます。

【田辺分科会長】 それでは、松尾委員、お願ひします。

【松尾委員】 14ページを拝見すると、今回の2023年度において終わつたというアウトプットの目標のところから実用化までが2030年という大体のところで書かれていると思います。そこから、2030年の実用化と2040年の事業化、2045年の社会実装におけるイメージをもう少し説明いただきたいです。

【松木PMgr】 実用化は、アウトプット目標を達成した後に出力のレンジを上げる、実航空機向けのレンジに達成させる、プロトタイプモデルからフルスケールモデルにいき、それを航空機の適合性証明等の目処がつく段階になります。それを行つた後、部品事業としてTier1メーカー、機体OEMのシステムの一部として納入をしていくというところが事業化になります。社会実装のところは、機体の一つのシステムとして機体OEMに採用されるイメージを考えています。電動ハイブリッドを例に取ると、例えば実用化のところは、フルスケールモデルへの実証、事業化のところは各システムメーカーへの部品や機体OEMに対しての部品供給を開始しているところです。緑のところでは、機体OEMに対して一つの客室エネルギー・マネジメントシステムや、電力供給システムとしてシステムを機体OEMに提供するといったイメージで記載しています。

【松尾委員】 ありがとうございました。事業化において、初めてそうした意味で売上げが立つという形になっていると思います。また、40ページの副次的成果等ですが、航空機になると、非常に安全性をはじめ、規模も大きく出力も大きくなりますが、こうした副次的なところにも先行してある程度行うことで、事業化のめど、もしくは売上げにおいて早期達成も検討に入れられているのでしょうか。

【松木PMgr】 おっしゃるとおりです。まさにそうした考えより、副次的效果を整理しています。例えば超電導を例に取ると、社会実装への道のりは、特にほかの3つと比べても長い道のりになってしまします。ほかの研究は、例えばeVTOLとか2030年代の単通路機への部品の供給といった目処が立ちやすいです。超電導もそこを目指しているものの、その途中の段階で研究の成果、スピンドル効果を出さないと交付金事業の予算を継続していくときの説明が難しいといった現実的問題もあります。近い将来への出口も今の研究で既に出していくなければならないので、こうした項目で説明いたしました。

【松尾委員】 そうした意味では、航空機というよりも、最近非常に身近になっているドローンをはじめ、小型化といったもので安全性がある程度必要となるものの、そこまでの出力を必要とせずに扱いやすいといったスピンドル的な成果としても広がっていくとよいと思いました。ドローンに限らず、様々なところにおいて、航空機で使えるということであれば非常に性能としては高いものかと思いますので、そのところが重要ではないかと感じた次第です。どうもありがとうございました。

【松木PMgr】 ありがとうございます。

【田辺分科会長】 竹井委員、お願ひします。

【竹井委員】 少し不勉強なところで質問をいたします。実用化、事業化の考え方とアウトカム目標の設定及び根拠の左下にある算出根拠ですが、CO<sub>2</sub>削減は、電動化という手法に対して非常に有効であり、将来喫緊の課題を解決するための道筋だと思っております。例えば、NASAの資料から2050年のCO<sub>2</sub>削減量という数字が載っており、そのうち、電動化によって細胞機と広胴機にそれぞれ3%、1%が導入されるというイメージで、その結果として燃料の削減が37%になるため、資料上の数字がCO<sub>2</sub>削減できるという計算をされ、目標をつくられたとのことですが、この電動化率が3%や1%というのは、もっと普及してほしいと我々としては思うところです。その数字の低さの理由と、もう一つは、逆に言うと、一番下に削減量として大きな数字が書いてあるということは、他の技術によってこれだけ削減されるものの、電動化によって3%、1%であるため、合計の37メガトンの削減量になるという読み方でよろしいのでしょうか。

【松木PMgr】 申し訳ありません。一番下ですが、「2050年のCO<sub>2</sub>削減量」と書いてしまいました。これは、航空機の機数や、さらに需要の予想等もあるため、そのままにしておくとこれだけのCO<sub>2</sub>排出量になってしまうというものになります。

【竹井委員】 排出量になるのですね。

【松木PMgr】 「削減量」というのは間違います。

【竹井委員】 分かりました。

【松木PMgr】 排出量がこのようになっており、そのうちの電動化率が細胞機にて3%でいくと、このうちのXメガトンが電動化によって削減できるという算出です。

【竹井委員】 分かりました。下のほうの削減量が排出量という意味合いで数字が出ているということと、3%、1%という数字の根拠は何かあるのでしょうか。せっかく大きなお金を投入され、開発されてよいものが出来上がってきたときに、2050年という大分先の話かもしれませんのが、導入量はこの程度なのだろうかといった素人質問になります。

【松木PMgr】 これは2019年のNEDOの技術戦略センターで置いた値であり、委員御指摘のように、非常に控えめな数値になっています。その理由としては、電動化の要素以外にCO<sub>2</sub>削減の大部分がSAFによる削減であるとか、ほかの水素航空機の影響といったものを全部入れますと、電動化というのが

関わり得るところはこのくらいではないかといった見立てとして、非常にチャレンジングではないほどの数値で設定しております。その電動化になった機体のうち、さらに細胴機の燃料削減率は約70%というような指標の掛け算をして最終的な値になったところです。端的に申し上げますと、電動化以外の要素も含めた結果、このような少ない値になっております。

【竹井委員】 承知しました。先ほど2019年という話もされましたが、時代がまた大分たっております。また、おっしゃられるようにSAF等の水素によるCO<sub>2</sub>削減も非常に精力的に行われていると思います。この辺は目標値の設定ですから難しいとも思うのですが、今後このような事業を継続される場合には、もう少し感度を上げるといいますか、精度を上げてもう少し張って出られてもよいと個人的には考えるところです。ありがとうございました。

【松木PMgr】 ありがとうございます。

【田辺分科会長】 私のほうから追加で伺います。控えめな算定ということですが、今回、電動ハイブリッドということで電気の使い方について議論されたと思います。その結果、どのような使い方をすると最も効果の高いといった結論が得られてきたと思います。そうした使い方、あるいは新しい使い方というのは、この算定には反映されているのでしょうか。

【松木PMgr】 算定に含めております。先ほどのものは、機体単体で見た場合、全体で3%の燃費改善といった試算をされており、それは電動ハイブリッドのうち、熱エアマネジメントの部分と電力発電の部分を合算すると、機体全体で3%というようなシミュレーションの結果が出ます。燃費効率に対して3%というものが多いのか、少ないのかという議論はずつと続けてきました。まずは、機体のいろいろなエネルギーが電気以外にも、まだ従来機には油圧であるとか、エンジン抽気系のエネルギーとか、そういうものが使われているものを全て電気エネルギーに置き換えて、トータルエアマネジメントを電気で行うにおいての価値というのは3%プラスの部分になるのですが、その部分についても引き続き機体OEMや他のユーザーの方には説明をしていくというような方針になります。

【田辺分科会長】 BLIの抵抗低減等もカウントには入っているのですか。

【松木PMgr】 BLIは入れています。電動モーターのBLIの効果も入れ、先ほどの燃費改善の計算をしています。

【田辺分科会長】 分かりました。では、逆にフル電動で小型のeVTOL等は算定には入っていないですか。

【松木PMgr】 この電動ハイブリッドの場合、単通路機をシミュレーションの対象としており、それでBLIを入れています。ですので、ピュアな全て電動化をした機体の算出というものは、3番目の電動ハイブリッドではしていないという認識です。

【田辺分科会長】 分かりました。ありがとうございます。それでは、奥田分科会長代理、お願ひします。

【奥田分科会長代理】 全体として伺います。今回、超電動のものが1メガワットから2メガワット、それからハイブリッドも1メガワット、常伝導が100キロワットということで、各クラスのこうしたモーターがまず開発されていると思います。併せて、それに関連してインバータあるいは熱制御、ESSとしてはバッテリーがあるということだと思います。この4つ全体的に共通している部分として、従来の航空機よりも高電圧ということだと思うのですが、今回、個別ということよりも、この4つのプロジェクトを全部まとめて共通的に上がってくる課題についてはどのような解が得られたのか。特に、認証を含め、850ボルトや1キロボルトの高電圧の部分はFAAもいろいろと認証で聞いているところでもあります。そのあたりの成果が4つ個別ではなく、全体として、日本として電動推進システムをシステムインテグレートいく上でこういった強み、能力がありましたというものが何かあると分かりやすいです。

それから、26ページです。例えばハイブリッドだと、競合技術としてSafranとかHoneywellが上

がっています。それぞれでもよいですし、全体として海外競合と比較してどの辺が今回の成果として日本が強いものであり、どの辺に課題があったのか。そうした全体を見られるものがあると、今回の成果として非常によいと感じます。

もう一つは質問になります。今回の4つのプロジェクトを通して、恐らく試験評価というのは結構重要な話になってくると思います。国内で試験評価の全てはなかなかできませんから、事業者の方々から、こうした試験評価システムを国内で今後電動化であったほうがよいというような要望があれば、お答えいただける範囲でお聞かせいただければと思います。

**【松木 PMgr】** まず、答えやすい2番目の質問から回答いたします。今後、要望されている試験設備に関しては、まさに今、経済産業省で施設設備ワーキングが開かれています。「次世代の日本の航空機産業に必要な試験設備等は何がありますか」というようなディスカッションをずっとされています。その中で、電動化や水素を含めた新技術への対応施設というものが一つの項目としてトピックスに上がってきており、その優先順位を高める議論も行われています。その中で、電動化については、今まで実証できる出力レンジが500キロワット級などその程度で止まっているため、1メガワット級のものを国内で検証できる、それ以上のものを検証できる、実負荷を加えて検証できる施設というのこの研究とも深いつながりがありますし、そうした要望はあると認識しています。

一方、1メガワット級発電機をどのように実証したのかといった質問になるのですが、その場合、1メガワット級のサブスケールオーダーでのテクニカルフィージビリティーを今回確認し、次のGI事業という話もありましたが、そこでの電動ハイブリッドの研究の中で新施設も期待しつつ、1メガワットのフルスケール容量での検証を行うといった計画見込みがあるとNEDOの事務局では理解しています。

また、御指摘の最初の質問ですが、4つの事業に共通しての課題というものは、こちらもいろいろなディスカッションの中で気がついてきているところはあるのですが、高電圧が上空の低圧環境で放電しやすい課題については、4事業者ともその課題についての認識は持っていると考えます。その中で、例えば4事業者において受け止め方と、そのアウトプットには軽重ありますが、例えば電動ハイブリッドで言えば遮断器の話や、高電圧であるがゆえに電源グリッドの研究を特別に実施され、それは航空機高電圧特有の環境での問題というのが具体的に把握された結果、そうしたことをやっています。ほかにおいても、高電圧についてはSAEの規格等の課題で上がっていますので、その部分については共通認識がされていると考えます。

それから、競合技術において、もう少し海外コンペティターの動向と比較して示したほうがよいという指摘ですが、26ページがまさにその点になります。ここに例示している海外コンペティターのプロトタイプサンプル、これもかなり各会社の看板といいますか、取りあえず上げたというようなところも多分にあると考えております。それに対して、実際に1メガワットの例えれば発電機を作った後に、高電圧の問題や電源グリッドの具体的な課題が何なのかというようなことは全くシェアされていません。それが海外コンペティターで全く検討されていないとまでは言いませんが、より具体的に検討をしているという点では、こちらの優位性であるという認識です。

**【奥田分科会長代理】** どうもありがとうございました。

**【田辺分科会長】** それでは、西脇委員、お願ひします。

**【西脇委員】** 説明の冒頭で、「航空機システムメーカーの下請けに甘んじることなく」といった話がありました。14ページでは、Tier1メーカーの中に部品供給といったことを電動推進システムやハイブリッドシステムのところで記載されています。当のTier1にとっても、彼らはボランティアメーカーではないので、恐らくしたたかなことを考えている、いいとこ取りをして、もうけを多く取ろうというの、私でも向こうの会社の立場であれば、そのように考えます。今回は、従来の航空機システムにこれ

から参入し、部品メーカーとして成り立つというのは、御存じのとおり、Collins、Honeywell、Safran 等といった非常に経験者の違う会社がある中で難しい環境にあるわけです。今回、電動推進というような、これまでにない原理の航空機が参入のチャンスではないかという考え方だと思うのですが、精神論的な質問になりますけれども、そういった背景の中で、Tier1 企業等に部品供給をする、共同開発をすることもあると思いますが、下請け事業に甘んじない工夫及び心構えがあれば、ぜひ伺いたいです。

【松木 PMgr】 委員御指摘のように、今の欧米の Tier1 メーカーといきなり組むというのは、いいところ取りというのはおっしゃるとおりだと思います。ここで書かれている例えば電動ハイブリッドの部品単品事業化ですが、例えばエンジン OEM に対しての発電機であるとか、そういう切り口でエンジンアクセサリーという分野は従来からありますので、その部分から入っていくところはあると思います。一方、電動化で日本はゲームチェンジしなくてはいけないところがメリットであり、これは両面戦略だとは思うのですが、一方、例えばエンジンメーカーに対して部品を供給しつつ、最終的にはそれを全部電動に置き換えるというところでは、従来のエンジンから考えると全く違ったものに置き換えるわけです。最終的にはそれを乗り越えていかなくてはならないといったところだと思います。

また、私が個人的に委託者の方に話をするのは、エンジンの話になりますが、パート 33 というものを従来のエンジンから電動化に置き換えたときに何が必要になっているのか。それは自分で考えていいかないといけないという点です。その部分までエンジンメーカーに聞いてみると、まさに食べられてしまします。その食べられない工夫としてパート 33 の対応策というものを、しっかりと電動化でどのように置き換えるのかを最終的には考えないといけないのではないかと思います。ASTM などで様々スペシャルコンディション等をマグニックス社などが FA 等で協議していますが、そういうような活動をもう少し具体的に、日本が入るのは難しいものの、そういうところもリードしていかないといけないと考えるところです。

【西脇委員】 御説明ありがとうございます。その上での私の個人的な感想になりますが、そういう開発を進める上では、エンジンにしても航空機そのものにしてもメイドインジャパンの部品があって、同じ日本国内の企業が一緒になったほうが非常に進めやすいと考えますし、やはり将来的にはメイドインジャパンの航空機となるとよいと思っています。

【松木 PMgr】 今年になってから、完成機事業における話が様々出てきています。それは、いわゆる前リージョナルエアクラフトをもう一回やることではなく、委員御指摘のように、日本がワンチームとして持ち寄って、一つ一つの部品やシステムから今まで再構築をしていき、さらにスーパーTier1 として成り立っていけば、ワンチームとして最終的な日本の完成機というものにまた近づいていくという方向性もついてくるのではないかと考えます。

【田辺分科会長】 それでは、中村委員、お願ひします。

【中村委員】 時間がないため、簡単な質問だけ伺います。4 つのプロジェクトがこれまで走ってきており、これから各実用化に向けてさらにという段階になると思います。これまでとこれからにおいて、4 つのプロジェクトでせっかくいろいろなよい成果が出ている中で、お互いのコミュニケーションというのはこれまでなかったのか。また、今後もないのでしょうか。できれば、いろいろと有機的に結合されてよりよいものという形もあると思い、そのあたりに関して教えてください。

【松木 PMgr】 事業推進委員会というものを半年に 1 回やっているという話をしましたが、各事業者側に分けて研究の詳細をディスカッションするものであり、なかなか事業者間でオープンなディスカッションというのは事業推進委員会のレベルではできていなかったのが現状です。こういう 4 事業を俯瞰しての情報共有というのは、ある意味 NEDO の事務局としてやらなくてはいけないと思っています。SAE の動向の話をはじめ、国際標準化動向の話等については、各事業者の方に機会があるときにディスカッションをするところですが、例えば軽量蓄電池の研究において、「この程度の出力密度に

なつたら電動ハイブリッドでどうですか」といった具体的なディスカッションはできていません。様々な NDA の問題もありますが、概要として共有できるものについては今後共有し、一つの方向性として出すときにメリットがあるものについては、そういう情報共有の仕方を今後考えていきたいと思います。

【中村委員】 どうもありがとうございます。

【田辺分科会長】 大体よろしいでしょうか。最後に、NEDO が電動航空機を主導してもう少し新しく立ち上げたほうがよいといったオールジャパン体制の意見を頂戴したものと思います。本事業についての御質問については、これで出尽くしたと思いますので、以上で議題 5 を終了といたします。どうもありがとうございました。

【松木 PMgr】 ありがとうございました。

(非公開セッション)

#### 6. プロジェクトの補足説明

省略

#### 7. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

#### 8. まとめ・講評

【吉本委員】 本日は、プロジェクトの説明から始まりまして、皆様ありがとうございました。特に、電動推進の将来的な日本の産業として目指す方向として、先ほどシステムとしてや Tier1 を目指すというコメントをいただきました。今日、4 つのプロジェクト進捗終了の評価というような中で、様々な進捗を見まして、ぜひそれぞれの事業が産業に発展できるように、ぜひ Tier1 を目指すように、ここにいる皆様のお力で育てていってほしいです。また、入口において、部品や Tier2 からという話もありましたが、ゴールをもっと大きく、システムとして日本の産業として根づくよう御支援を引き続きお願いできればと思います。以上です。ありがとうございました。

【田辺分科会長】 ありがとうございました。それでは、松尾委員、お願ひします。

【松尾委員】 今日は全体としての説明及び個別に 4 つの説明において非常に深く内容を伺うことができました。全体としてのプロジェクトマネジメントとしてもそれぞれが 4 つ走っているという中で、全体を見通して丁寧に進めさせていただいていると思います。4 つそれぞれの方向性が同じものではないとしても、2023 年度までに得られた成果について、皆様、今後とも続けていかれると思いますので、今後は隣も見ながら、より知見を交換しながら、さらに発展的結合や共同作業といった点もやっていただけると将来の事業化、実用化に向けて道が開かれるのではないかと思います。まだまだ困難が残っているかと思いますが、くじけることなく、途中は、スピナウトとして事業化を小規模でも始められるところは始めるようなことから発展をしていただければと思います。頑張ってください。以上です。

【田辺分科会長】 ありがとうございました。それでは、西脇委員、お願ひします。

【西脇委員】 本日は各プロジェクトの説明及び質疑応答をどうもありがとうございました。長年、エアラインという立場で 30 年以上この業界にいますが、欧米のメーカーの台頭というのはずっと変わっていません。今回この電動化やハイブリッド化というチャンスをうまく使っていただき、少しでも日本のメーカーがこういうところに食い入ることができるようになればと思っております。一方、このよう

な開発のときには、何度も申し上げているように、性能やデザインが先行しがちですけれども、航空機の耐空性というものはメンテナンスや信頼性であり、一方では運航の安全性、フライトセーフティーになります。このデザインとの三角形で成り立っているということを考えると、この先、より現実的な開発に進むにつれて、そういうことを早めに取り込んでいただくことも大事だと思いますので、最後の総評として申し上げさせていただきます。本日はどうもありがとうございました。

【田辺分科会長】 ありがとうございました。それでは、中村委員、お願ひします。

【中村委員】 本日はどうもありがとうございました。私は、長年モーターの研究に携わっており、そういうモーターがハイブリッド、もしくは電動化ということで空を飛ぶといった非常に意欲的な研究開発をお聞きすることができまして、非常に心強く思った次第です。新規事業というのは、御承知のように、「魔の川」、「死の谷」、「ダーウィンの海」といいまして、せっかくよい技術であるにもかかわらず、それが途中で実用化にならないといったこともあると聞きます。このプロジェクトを NEDO が非常に強力に推進してサポートされているということも、本日様子を拝見してよく分かりました。ぜひとも日本の強力な技術の一つとして実用していただければと思います。今日はどうもありがとうございました。

【田辺分科会長】 ありがとうございました。それでは、竹井委員、お願ひします。

【竹井委員】 本日は、1 日にわたって次世代電動推進システムの 4 つのプロジェクトの全体概要及び個々のプロジェクトの成果を伺いました。事業期間は 2019 年から 2023 年という 5 年間のうち、最後の 2 年間にについてどのような成果を出されたかをしっかりと聞いた次第です。ありがとうございました。個々のプロジェクトは、これまで委員の先生が言われたように、必ずしも同一方向ではありません。目標もまた別のものがあるという中で進められています。これも非常にユニークなところで、NEDO が国のプロジェクトとして推進されていることから、こうしたものができるのだと思います。また、この類の開発というのは「千三つ」とよく言われます。「千に三つ成功すればよい」という話がありますが、これだけいろいろな方向を向いて進められると、そのまま航空機の電動化に直結するものではなくとも、いろいろな波及した成果がこれから出てくると思いますので、その辺を楽しみにいたします。本当に航空機が電動化をする、飛行機が空を飛んでいる頃には、私は多分飛行機に乗れないような年になっていると思いますが、その前に様々な成果が実用化されるのを楽しみにできるような成果を本日伺えたものと感じます。今後、さらに NEDO の同じような事業に向かわれるところとか、別の GI のほうに進められる等の様々な話を聞きましたが、それぞれの方向に向かっていろいろな可能性を求めて、ぜひ推進していただければと思いますので、よろしくお願ひいたします。以上です。本日はありがとうございました。

【田辺分科会長】 ありがとうございました。それでは、奥田分科会長代理、お願ひします。

【奥田分科会長代理】 本日は、長い時間、皆様お疲れさまでした。本日聞いた 4 つのプロジェクトは、いずれもこの春に経済産業省が公表した新しい航空機戦略の 2 つの流れの中の 1 つである次世代航空機に関連する技術です。戦略にも書かれていましたが、こうした技術を核に、今後、日本がインテグレーターという形で世界市場に入っていくことを期待しております。また、それぞれの発表の中では、海外のコンペティターとの対比や、今後の課題がしっかりと出されていました。引き続きこの次世代航空機の中で、日本の位置づけをしっかりと確保する意味で頑張っていただきたいと思います。ありがとうございました。

【田辺分科会長】 ありがとうございました。それでは、最後に私のほうから講評をいたします。皆様、本日は長時間にわたり、どうもありがとうございました。また、発表者の方にも感謝を申し上げます。中間評価から携わらせていただきましたが、こういうプロジェクトで技術開発と社会実装に向けての準備ということで、中間のところでは技術開発がメインだったかと思いますが、そこからの実際の実証に

近いところ、それから今回少し話題として出てきているのが規格策定に取り組み始めているといったものになります。それからもう一つ、テーマによってはコンソーシアムをつくり、今後の発展の基礎ができるということで、少し技術開発以外のところで本当の実現に向けて一歩進んだという印象を持っております。もちろん技術的なところは目標をほぼ達成していると私は評価しております。委員の先生方がおっしゃったように、恐らくここはまだ開始地点であって、中間評価のときには、電動化がどちらに向かうのかまだ分からぬという話をしましたが、ある程度手の届くところが見えてきます。ここからぜひ本当の目標の Tier1 を目指し、プロジェクトも別な形で続くものもありますが、今回集まった方々、それから新しく入って来られる方々をどんどん推進していくような体制になればと思います。今回のプロジェクトは、そういう意味ではその基礎ができたのではないかと思い、皆様の努力に敬意を表す次第です。以上になります。

**【鈴木専門調査員】** 委員の皆様、御講評をありがとうございました。田辺分科会長、まとめの言葉もいただきまして、ありがとうございました。ここで、推進部署である航空・宇宙部、金山部長より一言頂戴いたします。よろしくお願いします。

**【金山部長】** 航空・宇宙部長を務めます金山です。本日は、長時間にわたりまして、委員の皆様、御審議をいただきましてありがとうございます。また、発表者の皆様、丁寧な質疑応答をありがとうございます。NEDO の航空関連のプロジェクトの歴史は非常に古く、1990 年代から進めてきております。かれこれ 30 年以上取り組んできており、これまで部材の軽量化や環境調和型のエンジンといった個々の部品の性能向上が中心のプロジェクトが多いところでした。まさに脱炭素化が求められる社会背景において、本日御審議いただいたプロジェクトは、戦略的な位置づけを持って、これから Tier1、そして海外 OEM に食い込んでいくといった狙いを持ったプロジェクトの出発点の一つです。御認識のとおり、このプロジェクトを起点とし、GI 基金事業をはじめ、さらに他のプロジェクトにも本日の成果及び課題が引き継がれていき、10 年後、20 年後の日本としての狙いを実現するように我々これから進めていきたいと思っております。また、本日スピントアウトの話において、いろいろと委員の方から御意見をいただきました。スピントアウトにつきましては、本プロジェクトでもプロジェクト実施期間中から実施者の皆様とその可能性についていろいろと議論をしてきております。NEDO は社会実装をするプロジェクトです。そのアプリケーションが見つかり次第、新たな支援をもって、その技術アプリケーションに適応した形で世に送り込んでいきたいと思います。そういう支援も引き続き進めていきたいと思います。本日いただきました御意見は我々の糧とさせていただきまして、航空機産業の発展のため、また推進していきたいと思います。本日は、どうもありがとうございました。

**【田辺分科会長】** 金山部長、ありがとうございました。それでは、以上で議題 8 を終了いたします。

## 9. 今後の予定

## 10. 閉会

## 配布資料

- 資料 1 研究評価委員会分科会の設置について
- 資料 2 研究評価委員会分科会の公開について
- 資料 3 研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
- 資料 4-1 NEDO における技術評価について
- 資料 4-2 評価項目・評価基準
- 資料 4-3 評点法の実施について
- 資料 4-4 評価コメント及び評点票
- 資料 4-5 評価報告書の構成について
- 資料 5 プロジェクトの説明資料（公開）
- 資料 6 プロジェクトの補足説明資料（非公開）
- 資料 7 事業原簿（公開）
- 資料 8 評価スケジュール

以上

以下、分科会前に実施した書面による公開情報に関する質疑応答について記載する。

「航空機用先進システム実用化プロジェクト／⑧次世代電動推進システム研究開発」（終了時評価）分科会  
ご質問への回答（公開分）

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 5 P.24	資料 5 では 2030 年代に 50～70 席の ターボプロップ機を想定していますが、基本、2030 年代後半～末と考えてよろしいでしょうか？	奥田 分科会長 代理	資料中、2030 年代小型機と書いております応用先への展開はご指摘のように、2030 年代後半～末と理解しております。
資料 5 P.25	軽量蓄電池の充放電サイクル寿命性能が 100 サイクルに未達となっておりますが、実際に航空機に使用する場合は eVTOL で 1,000 サイクルは必要かと認識しております。社会実装に向けて、サイクル数の増加は、今後、どのように対応されるのでしょうか。競合のリチウムメタル電池は、HAPS 向けに 100～200 サイクル程度は達成しているかと認識しておりますが、競合技術に対する強みや課題はどのようになるでしょうか	奥田 分科会長 代理	サイクル寿命性能と相反する条件である電池のレート性能を緩和して、サイクル性能をさらに高めるための新規電解液の組成最適化をはかる方針で対応します。競合リチウムメタル電池に対して、イオン正極（硫黄）が容易に調達可能であること、高容量密度などの点が強みになると考えます。

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料5 P.23	"2050年 CO <sub>2</sub> 削減量"とありますが、電動化率や燃料削減率を乗じると25Mt/12Mtになります。"削減量"では電動化が寄与する割合との意味にとれますか、"排出量"ではないでしょうか？	竹井委員	CO <sub>2</sub> に関わるアウトカム試算は、2050年時に稼働が想定されている細胴機・広胴機が、従来の化石燃料による推進システムにより排出する CO <sub>2</sub> 予測総量に対して、電動化が寄与した場合の割合を乗じ、削減量として算出しています。したがって、全く電動化しなかった場合に対する削減量を意味しています。
資料5 P.24-27	表の"達成見込み"の表現がわかりにくい。各研究開発テーマにおいて、実際に本プロジェクト内で達成見込みのものもあれば、イメージだけのものもある。もう少し統一できないか？	竹井委員	ご指摘の資料ページでは、各実施項目が目指す製品化のイメージを明らかにし、当該品の量産化目途を記述することでアウトプット目標達成の見込みを説明する書式になっています。ご指摘のように、量産化に向け具体的な標準規格への対応を済ませているものと、課題と対応見立てだけを列記したものが併存しています。後者に該当する記述をより具体化した記載にあらため、研究評価委員会で説明します。
資料5 P.29	"非連続ナショナルプロジェクト"についての説明があればわかりやすい。現状からかけ離れた高い目標のプロジェクトとの意味ですか？（最初、前後に連続したプロジェクトがないとの意味合いと誤解した）	竹井委員	"非連続ナショナルプロジェクト"に本事業が該当するかにつき、①非連続的な価値の創造（画期的な変化を伴う価値が創造され、社会・環境等を変かできるか）、②技術の不確実性（難易度の高い技術課題への挑戦があり、開発リスクが高い）の二つの観点から評価した結果を記載しています。これら観点の説明を資料に追記します。

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料5 P.31	軽量蓄電池の位置づけについて、 300⇒500Wh/kgと目標が大きくなる につれて、低⇒高サイクルとなっ ているが、一般的な蓄電池の常識からは 逆で奇異に見える。	竹井委員	電池の使用用途に応じ、求められるサイクル寿命が異なる傾向 を図示しました。 (例.HAPS：低サイクル、細胴機：高サイクル) また、細胴機は HAPS 等に比べて高容量密度が求められます。 したがって本ページでは、各用途に求められる容量密度とサイ クル寿命の指標値を示しているため、一般的な蓄電池の性能傾 向を表す表にはなっていません。
資料5 P.35	⑥蓄電池システムの実証検証で、成 果が”一定レベルの高安全性実証”とさ れているが、P.25 では課題にも挙げ られている。 誤解を招かないよう、説明の加筆が必 要	竹井委員	実証検証は、電池の本質的安全性を示す過充電+内部短絡試験 とオーバーヒート試験の二種があります。前者については試験 に合格したのでこれを成果として記載し、後者は、一部発火が 確認されたため、電池パックの類焼防止策の検討が課題として 残りました。(P25 説明の通り) 明確を期すため、P35 にも残 課題への説明追記を検討します。

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 5 P.32 ⑧-1-⑤	アウトプット目標として、"TRL6"の達成となっています。"TRL6"のキーワードは、「プロトタイプの製作」と「飛行状態を模擬した環境における実証」です。P.32 ⑧-1-⑤「低温動作半導体」となっていますが、超電導推進システムの主要構成部品の一つである、「低温で動作する大電流対応インバータ」に使用される「低温動作半導体」が開発項目になっているので、インバータ自体の開発に遅れがあるような印象を受けます。資料全体を見渡しても、「低温で動作する大電流対応インバータ」開発スケジュールに関するスライドを見つけることができなかつたので、インバータ開発に関する現状・スケジュールについて、簡単にご説明いただけますでしょうか？	西脇委員	<p>本事業は、インバータ回路そのものの開発は組み込まれていませんが、最初のステップとして低温（LN2 中）で動作する半導体素子（GaN）の開発を最終目標として進めてきました。</p> <p>本開発項目の成果として、ノーマリーオンながら、LN2 で問題なく（キャリアコンテンツが減少して抵抗が大きくなることや、スイッチング時間の遅れ等がない）、動作する半導体素子の開発には成功し、最終目標を達成しております。</p> <p>インバータ回路（電源方式）は今後の開発対象であり、次の段階として、本事業で開発した素子を用いた回路への展開を次の事業より実施する予定です。</p>
資料 5 P.14 チャート内 超電導	"航空機 Tier1 企業"という表記がありますが、これは Boeing/Airbus 社のような国外の OEM を指しているのでしょうか？"機体 OEM"表記との違いはありますか？	西脇委員	本ページの Tier1 企業は、エンジンおよびその周辺装備品を製造しているメーカーをイメージしております。従来のエンジンを電動式モータに換装する際の相手先としてはこれらの企業群が適切かと考えます。その後、これらの Tier1 企業が提供するシステムとして機体 OEM に納入する順序を想定しています。

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 5 P.39 ⑧-4-④	「航空機 EMC 規格に適合するインバータ回路およびフィルタ回路の開発」という目標に対して、成果として完了したという記述がありますが、TRL6 の観点から開発された回路が航空機 EMC 規格 (DO160 Sec21) に適合していることも実証されているのでしょうか？	西脇委員	完成状態で EMC 試験を実施した際に、規格を適合するにあたって、数点の部品（ノーマルチョークコイル、コモンモードキャパシタ等）を外部のケーブルへ追加しております。EMC 規格への完全適合にあたっては、今後これらの部品を実装して再評価をする必要があります。
資料 5 P.25 ⑧-2- 製品イメージ	課題欄に「DO-311 オーバーヒートに関する安全性について対策が必要」という記述がありますが、他の資料にて安全性についての対策が必要な理由が見つかりませんでした。オーバーヒートに対してどのような対策が必要なのかご教示いただけますでしょうか？	西脇委員	オーバーヒートについては、一部発火が確認されたため、電池パックの類焼防止の対策が必要と認識しています。
資料 5 P.14 チャート内 ハイブリッド システム	「単品・部品事業化」と「システム事業化」の項目がありますが、ハイブリッドシステムの中の電動推進電力システムおよび熱エアマネジメントシステムどちらがどちらの項目に当たるのでしょうか？または、両方が該当するとの理解でしょうか？	西脇委員	「電動推進電力システム」と「熱エアマネジメントシステム」の両システムは、社会実装に際して共に、単品・部品事業化とシステム事業化の過程を経ていくものと想定しています。システムの有効性を部品の段階から早期に機体実装して市場に示し、その実績をもって機体のシステムとしての納入を目指す階梯を踏むことが最も現実的です。最終的にはシステム事業化が我が国の産業政策上の重要課題とも合致する目標となっています。

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 5 P.14 チャート内 ハイブリッド システム	「システム事業化」によるアウトカムが CO <sub>2</sub> 削減のみとなっています。売上アウトカムにつながらない理由をご教示いただけますでしょうか？	西脇委員	ご指摘のように CO <sub>2</sub> 削減のみならず、売上シェア拡大のアウトカム目標にもつながると考えられますので、図の矢印を訂正いたします。

## **参考資料2 評価の実施方法**

## NEDOにおける技術評価について

### 1. NEDOにおける技術評価の位置付けについて

NEDOの研究開発の評価は、プロジェクト/制度の実施時期毎に事前評価、中間評価、終了時評価及び追跡評価が行われ、研究開発のマネジメントにおけるPDCAサイクル（図1）の一角と位置づけられています。さらに情勢変化の激しい今日においては、OODAループを構築し、評価結果を計画や資源配分へ適時反映させることが必要です。

評価結果は、被評価プロジェクト/制度等の資源配分、事業計画等に適切に反映させることにより、事業の加速化、縮小、中止、見直し等を的確に実施し、技術開発内容やマネジメント等の改善、見直しを的確に行っていきます。

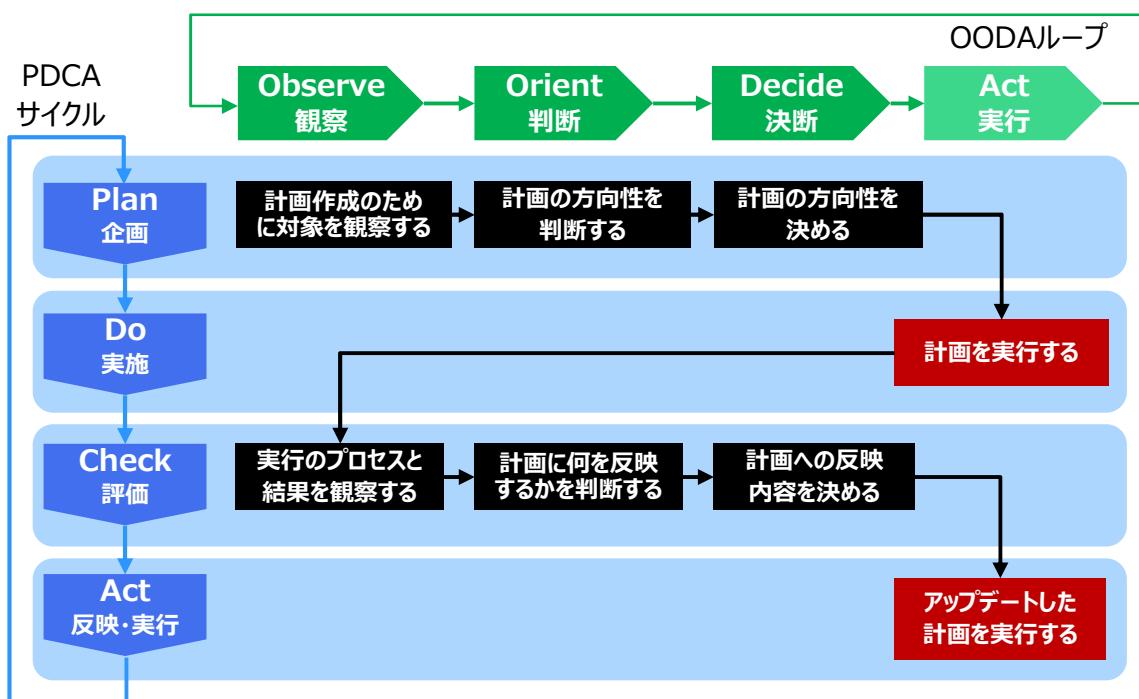


図1 研究開発マネジメントPDCAサイクルとOODAループ組み合わせ例

### 2. 技術評価の目的

NEDOでは、次の3つの目的のために技術評価を実施しています。

- (1) 業務の高度化等の自己改革を促進する。
- (2) 社会に対する説明責任を履行するとともに、経済・社会ニーズを取り込む。
- (3) 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を促進する。

### 3. 技術評価の共通原則

技術評価の実施に当たっては、次の5つの共通原則に従って行います。

- (1) 評価の透明性を確保するため、評価結果のみならず評価方法及び評価結果の反映状況を可能な限り被評価者及び社会に公表する。なお、評価結果については可能な限り定量的な指標で示すものとする。

- (2) 評価の明示性を確保するため、可能な限り被評価者と評価者の討議を奨励する。
- (3) 評価の実効性を確保するため、資源配分及び自己改革に反映しやすい評価方法を採用する。
- (4) 評価の中立性を確保するため、可能な限り外部評価又は第三者評価のいずれかによつて行う。
- (5) 評価の効率性を確保するため、研究開発等の必要な書類の整備及び不必要的評価作業の重複の排除等に務める。

#### 4. プロジェクト評価/制度評価の実施体制

プロジェクト評価/制度評価については、図2に示す実施体制で評価を実施しています。

- (1) 研究開発プロジェクト/制度の技術評価を統括する研究評価委員会をNEDO内に設置。
- (2) 評価対象プロジェクト/制度毎に当該技術の外部の専門家、有識者等からなる分科会を研究評価委員会の下に設置。
- (3) 同分科会にて評価対象プロジェクト/制度の技術評価を行い、評価（案）を取りまとめる。
- (4) 研究評価委員会の了承を得て評価が確定され、理事長に報告。

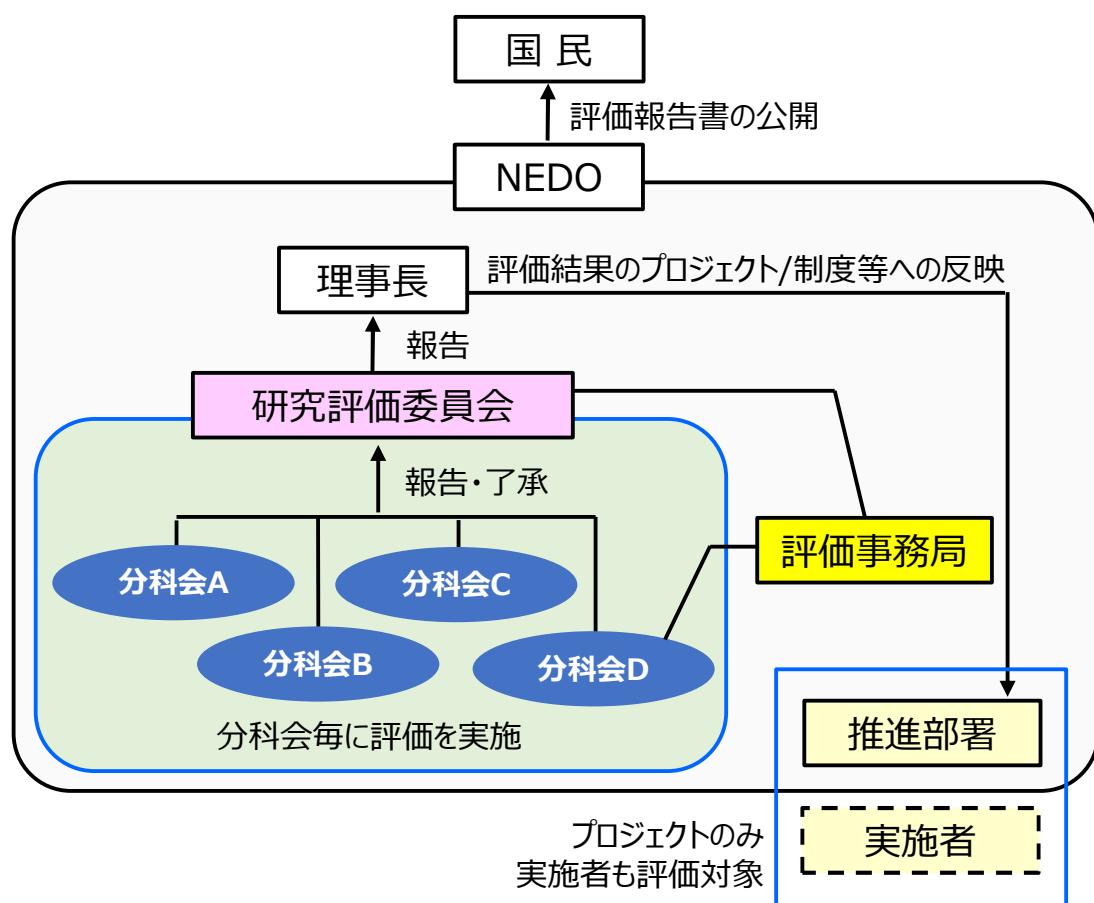


図2 評価の実施体制

## 5. 評価手順

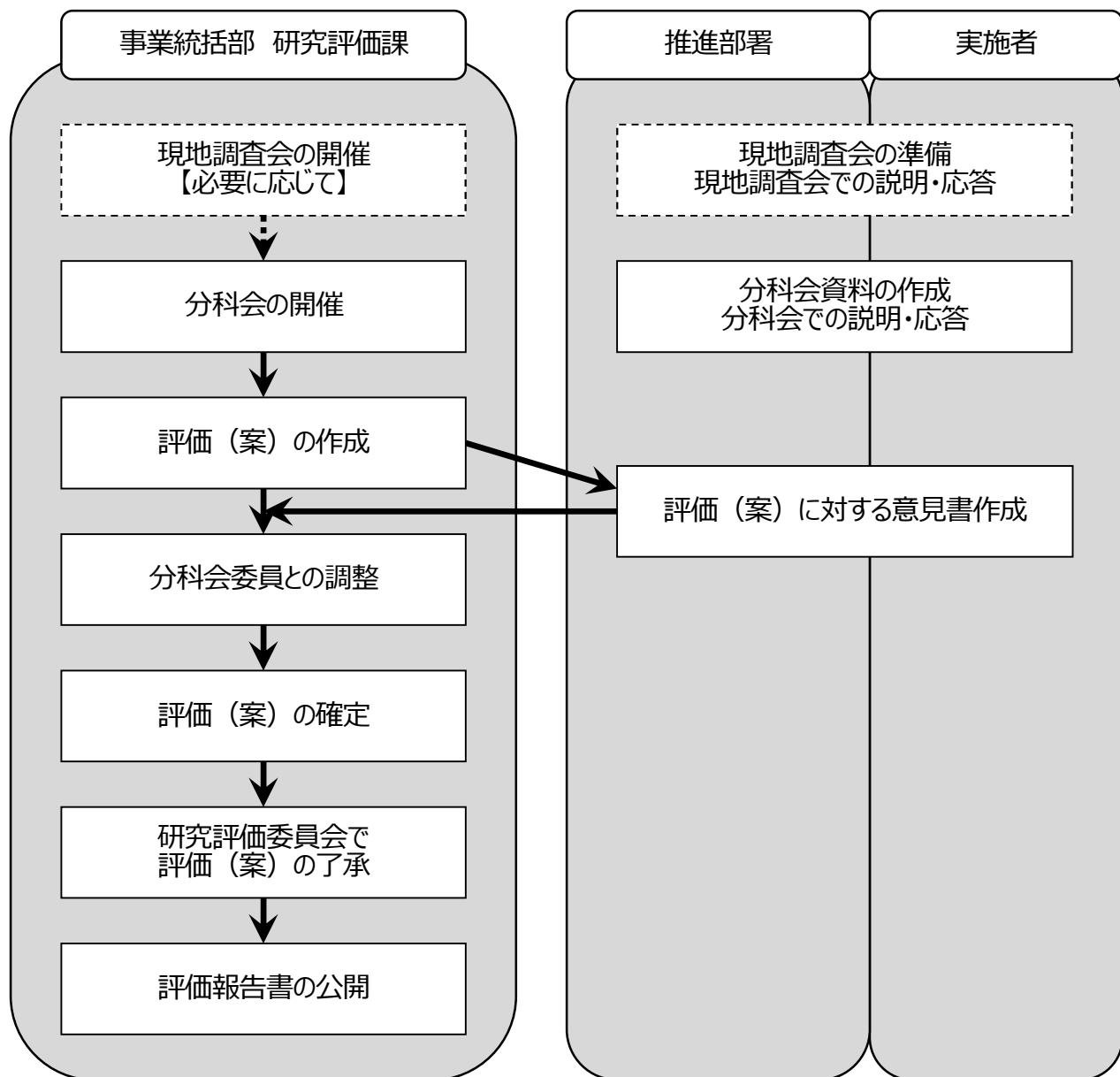


図3 評価作業フロー

「航空機用先進システム実用化プロジェクト／⑧次世代電動推進システム研究開発」  
(終了時評価) 分科会に係る  
評価項目・評価基準

**1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋**

(1) アウトカム達成までの道筋

- ・「アウトカム達成までの道筋」※の見直しの工程において、外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を考慮したか。

※ 「アウトカム達成までの道筋」を示す上で考慮すべき事項

- ・将来像（ビジョン・目標）の実現に向けて、安全性基準の作成、規制緩和、実証、標準化、規制の認証・承認、国際連携、広報など、必要な取組が網羅されていること。
- ・官民の役割分担を含め、誰が何をどのように実施するのか、時間軸も含めて明確であること。
- ・本事業終了後の自立化を見据えていること。
- ・幅広いステークホルダーに情報発信するための具体的な取組が行われていること。

(2) 知的財産・標準化戦略

- ・オープン・クローズ戦略は、実用化・事業化を見据えた上で、研究データも含めた上で、クローズ領域とオープン領域が適切に設定されており、外部環境の変化等を踏まえてもなお、妥当であったか。
- ・本事業の参加者間での知的財産の取扱い（知的財産の帰属及び実施許諾、体制変更への対応、事業終了後の権利・義務等）や市場展開が見込まれる国での権利化の考え方は、オープン・クローズ戦略及び標準化戦略に整合し、研究開発成果の事業化に資する適切なものであったか。
- ・標準化戦略は、事業化段階や外部環境の変化に応じて、最適な手法・視点（デジタル、フォーラム、デファクト）で取り組んでいたか。
- ・国際標準の制定の計画において、制定までの役割分担が示されていたか。

**2. 目標及び達成状況**

(1) アウトカム目標及び達成見込み

- ・外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を踏まえてアウトカム指標・目標値を適切に※見直していたか。
- ・アウトカム目標の達成の見込みはあったか（見込めない場合は原因と今後の見通しは妥当であったか）。

※ アウトカム目標を設定する上で考慮すべき事項

- ・本事業が目指す将来像（ビジョン・目標）と関係のあるアウトカム指標・目標値（市場規模・シェア、エネルギー・CO<sub>2</sub>削減量など）及びその達成時期が適切に設定されていること。
- ・アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。
- ・アウトカム目標の設定根拠は明確かつ妥当であること。
- ・達成状況の計測が可能な指標が設定されていること。

(2) アウトプット目標及び達成状況

- ・外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を踏まえてアウトプット指標・目標値を適切に＊見直していたか。
- ・最終目標は達成しているか。未達成の場合の根本原因分析や今後の見通しの説明は適切だったか。
- ・副次的成果や波及効果等の成果で評価できるものがあったか。
- ・オープン・クローズ戦略や実用化・事業化の計画を踏まえて、必要な論文発表、特許出願等が行われていたか。

※ アウトプット目標を設定する上で考慮すべき事項

- ・アウトカム達成のために必要なアウトプット指標・目標値及びその達成時期が設定されていること。
- ・技術的優位性、経済的優位性を確保できるアウトプット指標・目標値が設定されていること。
- ・アウトプット指標・目標値の設定根拠が明確かつ妥当であること。
- ・達成状況の計測が可能な指標（技術スペックと TRL＊の併用）により設定されていること。

＊TRL：技術成熟度レベル（Technology Readiness Levels）の略。

3. マネジメント

(1) 実施体制

- ・実施者は技術力及び実用化・事業化能力を発揮したか。
- ・指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能していたか。
- ・実施者間での連携、成果のユーザーによる関与など、実用化・事業化を目指した体制となっていたか。
- ・個別事業の採択プロセス（公募の周知方法、交付条件・対象者、採択審査の体制等）は適切であったか。

- ・本事業として、研究開発データの利活用・提供方針等は、オープン・クローズ戦略等に沿った適切なものであったか。また、研究者による適切な情報開示やその所属機関における管理体制整備といった研究の健全性・公平性（研究インテグリティ）の確保に係る取組をしたか。

## (2) 研究開発計画

- ・アウトプット目標達成に必要な要素技術の開発は網羅され、要素技術間で連携が取れており、スケジュールは適切に計画されていたか。
- ・研究開発の進捗を管理する手法は適切であったか（WBS<sup>※1</sup>等）。進捗状況を常に関係者が把握し、遅れが生じた場合、適切に対応していたか。

※1 WBS：作業分解構造(Work Breakdown Structure)の略。

本研究評価委員会報告は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）事業統括部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 事業統括部 研究評価課

\* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。  
([https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu\\_index.html](https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html))

〒212-8554  
神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地  
ミューザ川崎セントラルタワー  
TEL 044-520-5160