

「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」
中間評価報告書

2022年1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

2022年1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 石塚 博昭 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」
中間評価報告書

2022年1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
評価概要	4
研究評価委員会委員名簿	6
研究評価委員会コメント	7
第1章 評価	
1. 総合評価	1-1
2. 各論	1-4
2. 1 事業の位置付け・必要性について	
2. 2 研究開発マネジメントについて	
2. 3 研究開発成果について	
2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	
3. 評点結果	1-15
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
参考資料3 評価結果の反映について	参考資料 3-1

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」の中間評価報告書であり、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」（中間評価）分科会において評価報告書案を策定し、第67回研究評価委員会（2022年1月26日）に諮り、確定されたものである。

2022年1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（2021年10月1日）

公開セッション

1. 開会、資料の確認
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. プロジェクトの概要説明

非公開セッション

6. プロジェクトの詳細説明
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、その他、
10. 閉会

● 第67回研究評価委員会（2022年1月26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」

中間評価分科会委員名簿

(2021年10月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	あさい けいすけ 浅井 圭介	東北大学 大学院工学系研究科 航空宇宙工学専攻 教授
分科会長 代理	きむら しげお 木村 茂雄	神奈川工科大学 工学部 機械工学科 教授
委員	あらい まこと 荒井 誠	株式会社日本政策投資銀行 企業金融第2部 航空宇宙室長
	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
	どい まさよし 土井 正好*	大阪産業大学 工学部 機械工学科 教授
	にしわき まさる 西脇 賢	全日本空輸株式会社 e.TPS イノベーション推進室 ／整備センター技術部 専門部長

敬称略、五十音順

注*：実施者の一部と同一大学であるが、所属部署が異なるため（実施者：大阪産業大学工学部電子情報通信工学科）「NEDO 技術委員・技術委員会等規程(平成30年11月15日改正)」第35条（評価における利害関係者の排除）により、利害関係はないとする。

評価概要

1. 総合評価

航空業界において低炭素化が急務な課題となった現在、電動化のコア技術確立を目指す本事業を立ち上げることは極めて妥当な判断である。また、各テーマとも再委託先やユーザとしっかり連携しながら、ターゲットとする機体や仕様等を定めて、概ね当初計画通りのスケジュールで開発を進め、最終目標の達成見通しを確保している点は評価できる。

一方で、航空機の電動化は、従来の技術分野の枠を越えた他分野の知識を必要とし、その分目標の設定や研究体制の確立が難しいことから、必要条件を並べるだけではなく、実用化・事業化に向けての真の課題が明らかになるよう、それぞれのテーマのマネジメントを重視していただきたい。

本事業では想定機体として細胴航空機が選定され、それに基づいて各要素の要求仕様が定められているが、今後、この想定に関しては、国内外の状況を見ながらフレキシブルな対応をお願いしたい。また、実用化・事業化を最終目標に据えており、基準化活動や市場調査の担当を体制に組み入れることを検討いただきたい。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

航空業界において低炭素化、ゼロエミッション化が急務の課題となった現在、電動化のコア技術確立を目指す本事業を立ち上げることは極めて妥当な判断でタイムリーである。また、電動化はバイオ燃料や水素燃料など、他のグリーンイノベーション戦略との連携を図りながら取り組むべき課題であり、NEDO が戦略性をもって主導すべき事業と考えられる。さらに、航空機開発は長期にわたるので、民間のみではリスクが大きく、NEDO が支援することは妥当と考えられる。

航空機電動化技術は、現時点では未開発の技術でもあるため、将来において日本が互角に市場参入するためにも NEDO が先導していくことを期待する。

2. 2 研究開発マネジメントについて

主流となる技術の見極めが難しい航空機の電動化に対し、技術的多様性を確保するように複数テーマで進められており、適切にリスクコントロールされている。また、それぞれのテーマで、その分野をリードしている高い技術を有する企業と研究者が集まり、高い目標を掲げて着実に成果を上げる体制が構築できている。さらに、プロトタイプ製作に向けて実用化・事業化を担う実施者の追加で実施体制を強化したことは、現状の的確な分析に基づく適切な判断と考えられる。

一方、「高効率かつ高出力電動推進システム」のテーマについては、回転機、冷却システム、ケーブル、線材、インバータ毎に実施者が、テーマとしての最終目標達成に向けて役割が明確に整理されずに配置され、全体管理の体制が見えにくいため、達成度の現状を掌握し

注力すべき課題を抽出する仕組みと、相互の連携を促すなどのマネジメントの強化が必要と考えられる。また、全テーマに対して最終目標である TRL6 (Technology Readiness Level : 技術成熟度レベル) の達成を意識した研究運営を期待する。

今後、実際のハイブリッドシステムを組み込んだ航空機をデザインする機体 OEM (Original Equipment Manufacturer) が、直流を前提とした電気システムの採用に躊躇する可能性も考えられるため、継続的に機体 OEM との十分な意見交換を期待したい。

2. 3 研究開発成果について

ほぼ全てのテーマで中間目標達成を達成しており、一部顕在化した課題に対しても解決策が検討され、最終目標の達成見通しを確保していることから、着実な進捗であると評価できる。また、300℃に耐える高温パワーエレクトロニクスや高温材料などの独自の技術を基盤として、日本の優位性を保つ製品につながる技術開発が行われている点等も評価できる。さらに、論文や学会等での成果の普及や、知的財産権等の確保に向けた取組も、適切に行われている。

一方、「高効率かつ高出力電動推進システム」のテーマにおいては、研究が計画から遅れ気味であり、1MW 級電動機のプロトタイプ製作と地上試験に努力を集中し、航空機固有の技術課題の克服と航空機エンジンとしての成立性の実証に注力すべきと考えられる。

今後、機体 OEM などの意見も反映し、どのような試験環境や制約を実環境相当とするかなどの定義を含め、実証の実施案について早めに検討しておくことを望む。

2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

成果の実用化・事業化に向けた戦略は、内外の技術動向や市場動向を踏まえて構築され、また、具体的取組としては、いずれの事業者も機体 OEM と定期的に会合を開き、現実的な実用化案を模索しているなど妥当である。さらに、研究開発テーマによっては、航空機の電動化で実用化・事業化されるまでの間に、小規模のシステム・部品で実用化・事業化を予定しているテーマもあり、評価できる。

一方、「高効率かつ高出力電動推進システム」で最終目標とされている 20MW 級電動機については、20 年以上先を見据えた研究開発であることもあり、成果の実用化・事業化の見通しについては、技術に関する報告に比して具体性が乏しく、道筋に現実性が欠ける印象を受けるため、プロトタイプモデルの試作と並行し、サブシステム・部品の段階的な事業化を検討するなどの工夫が必要である。また、全テーマを通じて、想定する製品・サービス等の市場ニーズとの合致、あるいは競合する製品・サービス等と比較した性能面・コスト面等で優位を確保する見通し等について、更なる調査・報告が望まれる。

今後、より一層、想定ユーザとの連携や継続的な情報交換を深めるとともに、早い段階での機体 OEM 等との共同開発等も検討して頂きたい。

研究評価委員会委員名簿

(2022年1月現在)

	氏 名	所属、役職
委員長	きのの くにき 木野 邦器	早稲田大学 理工学術院 教授
委員	あさの ひろし 浅野 浩志	一般財団法人電力中央研究所 エネルギーイノベーション創発センター 研究アドバイザー 東海国立大学機構 岐阜大学 特任教授
	あたか たつあき 安宅 龍明	先端素材高速開発技術研究組合 (ADMAT) 専務理事
	かわた たかお 河田 孝雄	技術ジャーナリスト
	ごないかわ ひろし 五内川 拓史	株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長
	さくま いちろう 佐久間 一郎	東京大学大学院 工学系研究科 教授
	しみず ただあき 清水 忠明	新潟大学 工学部工学科 化学システム工学プログラム 教授
	ところ ちはる 所 千晴	早稲田大学 理工学術院 教授 東京大学大学院 工学系研究科 教授
	ひらお まさひこ 平尾 雅彦	東京大学大学院 工学系研究科 化学システム工学専攻 教授
	まつい としひろ 松井 俊浩	情報セキュリティ大学院大学 情報セキュリティ研究科 教授 国立研究開発法人産業技術総合研究所 名誉リサーチャー
	やまぐち しゅう 山口 周	独立行政法人大学改革支援・学位授与機構 研究開発部 特任教授
	よしもと ようこ 吉本 陽子	三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社 政策研究事業本部 経済政策部 主席研究員

敬称略、五十音順

研究評価委員会コメント

第67回研究評価委員会（2022年1月26日開催）に諮り、以下のコメントを評価報告書へ附記することで確定した。

- 2050年カーボンニュートラル達成を踏まえ、次世代電動航空機に要求されるシステムの仕様、サービス、インフラなど総合的な方向性や、社会実装していくために必要な各要素技術の課題、妥当性、必要性の確認を行いながら、後半の事業を推進いただきたい。また、航空機には多様で先端的な技術が多く入っていることから、必要に応じ NEDO 内で関連するプロジェクトとも連携をとりながら、開発を加速することを期待したい。

第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の箇条書きは、評価委員の主な指摘事項を、参考として掲載したものである。

1. 総合評価

航空業界において低炭素化が急務な課題となった現在、電動化のコア技術確立を目指す本事業を立ち上げることは極めて妥当な判断である。また、各テーマとも再委託先やユーザとしっかり連携しながら、ターゲットとする機体や仕様等を定めて、概ね当初計画通りのスケジュールで開発を進め、最終目標の達成見通しを確保している点は評価できる。

一方で、航空機の電動化は、従来の技術分野の枠を越えた他分野の知識を必要とし、その分目標の設定や研究体制の確立が難しいことから、必要条件を並べるだけではなく、実用化・事業化に向けての真の課題が明らかになるよう、それぞれのテーマのマネジメントを重視していただきたい。

本事業では想定機体として細胴航空機が選定され、それに基づいて各要素の要求仕様が定められているが、今後、この想定に関しては、国内外の状況を見ながらフレキシブルな対応をお願いしたい。また、実用化・事業化を最終目標に据えており、基準化活動や市場調査の担当を体制に組み入れることを検討いただきたい。

<肯定的意見>

- ・ 電動化は航空機の低炭素化、ゼロエミッション化の最後の切札である。未来技術として夢を感じさせるものであり、次世代を担う人材の育成にも貢献する。本事業については、一部でコロナ禍による遅れがあるものの、これまでの推進部・事業者の取り組みを高く評価する。一方で、電動化は国際的な競争が激しい分野であり、技術革新に対する判断も予断を許さない。本事業が完了する 2023 年に正しい選択ができるよう、第 2 期の事業を推進していただきたい。
- ・ 設定した中間目標を達成しており、また、成果も十分に世界的基準を超えており、高く評価されるものと判断する（年度末での達成予定、社会的要因による遅れも勘案し）。⑧-1 は非常に挑戦的な技術開発であることを高く評価したい。実用化・事業化の観点では未確定の部分もあるが、個々の要素は世界最高基準であることから、システムとして完成させるため、長期的な視点からの評価とすべきと考える。
- ・ ⑧-2 は他の事業と比して「要素的」であるが、これまでにない高い性能を記録すること、要素であるが故に航空機に限らず他の分野への波及的効果がより高く望まれること、さらに、事業化に向けた取り組みも明確であることが高評価の理由となる。
- ・ ⑧-3 は事業者による NEDO 支援の先行事業の成果をもとに、競合他社に対しての優位性の高い要素を基礎とした具体性の高いシステム開発を行ったことが評価される。航空機開発が時間的に長きに渡ることは NEDO が自身で謳っていることであり、明確かつ実質的な長期計画のもとで研究が継続的に支援されることの必要性とその成果の具体例となりえる事業と考える。
- ・ 各テーマとも再委託先やユーザと確り連携しながら、概ね当初計画通りのスケジュールで且つターゲットとする機体や仕様等を定めて開発を進めており、中間段階で概ね当初計画通りの成果を出し、最終目標の達成見通しを確保している点は評価できる。
- ・ 急速に発展しつつある推進の電動化で、タイムリーに中核技術の開発に取り組んでお

り、将来の電動航空機市場に関わるための重要な開発が行われています。また、国内を中心とした先端技術を有する企業や大学が連携し強力な体制で適切な目標設定で進められており、ここまでの成果は十分と認められます。標準化される技術の見極めが難しい中で、水素／炭化水素燃料、超電導／常電導、蓄電池の有／無など重要な技術が幅広く網羅されており、現時点での電動化推進戦略として効果的であると考えます。

- 全ての技術要素が中間目標値を概ね達成することを確認した。
- 冒頭に記載させていただいた通り、次世代電動推進システム研究開発は、時代のニーズに合致したテーマであると同時に、旅客機の推進システム電動化は、日本企業の市場参入の最大のチャンスであり、実用化・実業化までには長い道のりであるが、日本が優位に立っている知見や技術力を十二分に活用・発揮して、是非実現に向けて努力していただきたい。

<改善すべき点>

- 航空機の電動化は従来の技術分野の枠を越えた他分野の知識を必要とし、その分、目標の設定や研究体制の確立が難しい。航空機などのシステム開発は必要条件を並べるだけでは成功しない。実用化・事業化に向けての真の課題が明らかになるよう、それぞれの事業でマネジメントを重視していただきたい。
- NEDO 資料 5、研究開発マネジメント[研究開発目標と根拠]に達成すべき TRL（中間では 4、最終は 6）が明記されているが、報告書では明示的な言及がない。開発対象によってレベルは異なるであろうが、条件、施設、手法等を示されることが望ましい。
- 実用化・事業化に向けては、システム全体として開発を完成させる必要があるので、出来るだけ早い段階で 1 つのシステムとして纏めていくことに取り組んで頂きたい。
- TRL6 実証に向けての試験方法を早期に明確化することが望まれます。必要に応じて実機搭載での試験等ができることが望ましいと思います。
- 細分化された多数の技術要素について、一大システムとして統合できる指針を明示いただきたい。

<今後に対する提言>

- 本事業では想定機体として細胴航空機が選定され、それに基づいて各要素の要求仕様が定められている。今後はこの想定を固定したものとせず、国内外の状況を見ながらフレキシブルな対応をお願いしたい。また、電動航空機についても、コンポーネントの認定・規格・標準化の議論が急務であり、これに対してはオール日本で取り組まなくてはならない。JAXA（宇宙航空研究開発機構）と経済産業省ほかが共同で立ち上げた「航空機電動化（ECLAIR）コンソーシアム」との連携のもとで、情報の共有を促進していただきたい。
- 中間報告会において航空機の電動化に関わる国際的基準の確立が進行中であるとの回答がなされた。本事業の成果をもって積極的・主導的に基準作成に関わることを期待したい。3 事業者が報告されたように、各種開発要素の性能が競合他社に比して高い能

力を有する（例えば⑧-3の電動機巻線耐熱温度）のであるから、これを国際的基準に組込むことで圧倒的な優位性を確保できるのではなかろうか。

- 当該事業の報告が技術的な成果公表中心になっている（当然であることは理解するとしても）。また、同様に研究開発体制が技術開発に偏重された組織となっている。実用化・事業化を最終目標とするのであれば、基準化活動や市場調査の担当を組織に組み入れることが必要なのではないか？
- 今回の各テーマ間の連携や先行研究開発項目のとの連携、水素航空機への活用等といった観点も取り入れて推進頂きたい。また、近年、脱炭素化の動きが加速する中で、今後ベンチャー企業も含め、世界的に技術開発の進展や実用化前倒しの動きも予想されることから、引き続きそのような動きも適切に把握頂き、実用化・事業化に乗り遅れないよう、必要に応じて開発計画の見直し等も検討頂きたい。
- 世界の航空機電動化の技術発展は早く、予算規模も大きくなって来ています。技術力で市場を支配するには規格策定等での優位性確保が重要となると思いますので、より積極的に進めていただければと思います。
- 日本の技術が世界に先行することで、電動推進への変化が好機となりうる。よって、技術流出を防衛する提言を今後盛り込んでいただきたい。
- 次世代電動推進システム研究開発の中で、軽量蓄電池を除くテーマについては、研究開発の対象が比較的広範であること、また事業化・実業化までに長い期間を想定していることから、環境の変化や各研究開発項目の進捗に研究開発テーマの目標達成の成否が左右され易い状況となっている。よって、よりきめ細かな研究開発マネジメント、継続した機体 OEM 等との意見交換、および可能であれば既存のシステム・部品の要件に対する適合性の確認等が望まれる。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

航空業界において低炭素化、ゼロエミッション化が急務の課題となった現在、電動化のコア技術確立を目指す本事業を立ち上げることは極めて妥当な判断でタイムリーである。また、電動化はバイオ燃料や水素燃料など、他のグリーンイノベーション戦略との連携を図りながら取り組むべき課題であり、NEDO が戦略性をもって主導すべき事業と考えられる。さらに、航空機開発は長期にわたるので、民間のみではリスクが大きく、NEDO が支援することは妥当と考えられる。

航空機電動化技術は、現時点では未開発の技術でもあるため、将来において日本が互角に市場参入するためにも NEDO が先導していくことを期待する。

<肯定的意見>

- ・ 航空業界において低炭素化、ゼロエミッション化が急務の課題となった現在、電動化のコア技術確立を目指す本事業を立ち上げることは極めて妥当な判断であり、かつタイムリーであると言える。また、電動化はバイオ燃料や水素燃料など、他のグリーンイノベーション戦略との連携を図りながら取り組むべき課題であり、NEDO が戦略性をもって主導すべき事業と考える。
- ・ 国際的なトレンドである航空機の電動化なる社会ニーズに対応したシステムの開発を目指した研究であり、目標に合致した研究成果の達成状況から判断し、事業目的の妥当性、上位施策・制度の目標達成への寄与、ともに高くあると評価する。
- ・ 航空機であるが故の開発期間の長い要素研究であり、かつ研究に係る費用の多大なことから、NEDO(国)が積極的に関与し、支援することは不可避である。よって NEDO の関与は十分に妥当であると結論する。
- ・ 同時に世界水準に伍した、あるいはそれ以上の機能を有する製品の開発という挑戦的な研究実施という観点からも、NEDO の関与は必要不可欠であり、かつ十分にその意義を果たし得ていると判断する。
- ・ 世界的に航空機の CO2 削減が求められる中、電動化はその実現に向けた重要な技術の一つであり、国のグリーン成長戦略にも包含されている内容でもあり、事業目的としては妥当。また航空機開発は長期に亘り、民間のみではリスクが大きく、開発実現に向け NEDO が支援することは妥当と考えられる。
- ・ 航空機推進システムの電動化の現在の世界の動向を踏まえると、本プロジェクトは比較的早期に産官学体制を築き、個々の組織では達成不可能な高い目標を設定しており、今後の規格化などで世界を牽引する可能性もあるなど、今後の市場を支配しつつ裾野展開や他分野への展開も考えられる課題に取り組んでおり、機構の事業として推進するに相応しいと認められます。
- ・ 本プロジェクトはパラダイムを生む新技術開発であった。現在、致命的な気候変動に対して優先的に取り組む政策が世界的な潮流である。航空機推進の電動化は低炭素社会へ大いに貢献できる技術であると確信する。

- ・ 次世代電動推進システム研究開発は、脱酸素・カーボンニュートラルへの必要性が注目を集める中、航空機の推進システムの電動化はその対策の一つとして当然の流れであり、明確に本プロジェクトの目的に合致したものとなっている。また、旅客機の推進システムはこれまでガスタービンエンジンが主流であり一部のノウハウを持った製造会社の独占状態であったが、電動化をきっかけに我が国の高い技術力を活用した新たな市場への参入については、NEDO が関与する意義と実施の効果にも説得力があり、NEDO 事業として妥当のものであった。

<改善すべき点>

- ・ 期待される効果は事業者による推定に頼らざるを得ない。技術的な意義は上段に記したように十分に認めえるが、経済的な効果（期待される売上、あるいは、技術の実質的な経済価値）として判断するためにも、より具体的な情報発信が必要と考える。
- ・ 諸外国の航空機電動化プロジェクトの大規模化に併せて、競合分析や必要に応じた連携強化を進めることを期待します。
- ・ 航空機電動化推進技術は欧米も重点的に開発を進めている。しかし現時点では未開発の技術でもあるため、将来において日本が互角に市場参入するためにも NEDO 先導によるプロジェクト管理が特に必要とされる。

2. 2 研究開発マネジメントについて

主流となる技術の見極めが難しい航空機の電動化に対し、技術的多様性を確保するように複数テーマで進められており、適切にリスクコントロールされている。また、それぞれのテーマで、その分野をリードしている高い技術を有する企業と研究者が集まり、高い目標を掲げて着実に成果を上げる体制が構築できている。さらに、プロトタイプ製作に向けて実用化・事業化を担う実施者の追加で実施体制を強化したことは、現状の的確な分析に基づく適切な判断と考えられる。

一方、「高効率かつ高出力電動推進システム」のテーマについては、回転機、冷却システム、ケーブル、線材、インバータ毎に実施者が、テーマとしての最終目標達成に向けて役割が明確に整理されずに配置され、全体管理の体制が見えにくいため、達成度の現状を掌握し注力すべき課題を抽出する仕組みと、相互の連携を促すなどのマネジメントの強化が必要と考えられる。また、全テーマに対して最終目標である TRL6 (Technology Readiness Level : 技術成熟度レベル) の達成を意識した研究運営を期待する。

今後、実際のハイブリッドシステムを組み込んだ航空機をデザインする機体 OEM (Original Equipment Manufacturer) が、直流を前提とした電気システムの採用に躊躇する可能性も考えられるため、継続的に機体 OEM との十分な意見交換を期待したい。

<肯定的意見>

- ・ 技術成熟度が異なる 3 つのテーマのそれぞれに対して適切な目標設定が為されている。各事業の目標として設定された電動機・発電機出力、エネルギー密度等の数値も妥当なものである。また、テーマ⑧-1 について、第 2 期に向けて再委託先の追加で実施体制を強化したことは、現状の的確な分析に基づく適切な判断と考える。
- ・ 本研究開発で項目とした 3 つの研究開発はそれぞれが固有の特徴を有しているため、評価する基準がそれぞれで異なると考える。それを踏まえての意見としたい。

「研究開発目標の妥当性」

妥当性を有すると判断する。⑧-2 及び⑧-3 は本研究開発にあたり既に一定の確立された技術に基づいていることから、戦略的かつ明確な目標の設定がなされている。

⑧-1 は非常に革新的な技術開発であるため、未確定な要素を含んでいるが、現時点での想定に基づいての目標の設定はなされている。

「研究開発計画の妥当性」

妥当である。スケジュール、必要な要素技術の網羅性、要素技術間の関係・順序の点で適切である。

「研究開発の実施体制の妥当性」

妥当である。技術力及び事業化能力を有する実施者が選定され、指揮命令系統、責任体制、及び実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能している。

「研究開発の進捗管理の妥当性」

妥当である。中間報告期限までに達成、あるいは達成予定である。

コロナ禍であることから、一部の項目についての当初の設定からの遅れは理解しえ、

かつ再調整がなされている(⑧-1)。

「知的財産等に関する戦略の妥当性」

妥当である。知的財産や研究開発データに関する取扱についてのルールを整備し、かつ適切に運用がなされている。

- 各プロジェクトとも再委託先やユーザと確り連携しながら、概ね当初計画通りのスケジュールで開発を進めている点は評価できる。
- 燃料選択が各国の政策次第で変わる可能性があるなど、主流となる技術の見極めが難しい推進の電動化に対し、技術的多様性を確保するように複数テーマで進められており、適切にリスクコントロールされています。さらにそれぞれのテーマで、その分野をリードしている高い技術を有する企業と研究者が集まり、高い目標を掲げて着実に成果を上げる体制が構築できています。また、国内航空機メーカーを新たに参画させる等の工夫も評価できます。
- 本プロジェクトの3テーマはさらに複数の技術要素に分かれて開発している。本プロジェクトではトータルシステム実用化・事業化を念頭に置いて各要素の目標設定がなされている。
- いずれの研究開発も実用化に向けた明確かつ具体的なTRL6を目標としていた。また、ほとんどのプロジェクトの目標がプロトタイプ製作レベルを目指しており、実用化をイメージできる高い目標となっていた。更に、研究開発テーマは、さらに研究開発項目として細分化されており、テーマの目標達成に向けた丁寧なステップを設定し計画されていた。

<改善すべき点>

- テーマ⑧-1と⑧-3は共同研究先、委託先が多く全体像が把握しづらい。最終目標達成に向けてそれぞれの役割を整理し明確にすべき。特に、テーマ⑧-1は回転機、冷却システム、ケーブル、線材、インバータ毎に実施者が配置され、それぞれに目標が定められているため、全体管理の体制が見えにくい。達成度の現状を掌握し注力すべき課題を抽出する仕組みと、相互の連携を促すなどのマネジメントの強化が必要と考える。研究開発推進委員会の判断はあくまで答申として、実施者のリーダーシップに期待する。
- 事業者は機体メーカーと協議していることを報告書にて強調されている。当該事業では、「成果の実用化・事業化の戦略に基づき、実用化・事業化の担い手又はユーザが関与する体制を構築すること」が求められている。ユーザの関与に関してのさらなる言及が望まれる。
- まずは一つ一つの技術を高めていくことに注力とのことですが、実用化・事業化に向けては、システム全体として完成させる必要があるため、出来るだけ早い段階で1つのシステムとして纏めていくことに取り組んで頂きたい。
- 技術発展が早い分野ですので、技術動向をより注視されたい。実施者間(3つのテーマの間)での相乗効果も検討されたい。

- ・ 本プロジェクトは複数の大学からの参加が多い。しかし、大学は外国人留学生が多い。経済安全保障が重視される我が国の現状において、留学生の研究参加は留意が必要である。

<今後に対する提言>

- ・ テーマ⑧-1については、最終目標とされている20MW電動機と本事業で開発する0.5-1MW電動機に対する要求条件のギャップが大きく、それが各実施者の目標設定に影響を及ぼしている印象を受ける。まずは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）の解決に注力すべき。
- ・ 一方、テーマ⑧-2と⑧-3は課題が明確であり、プロトタイプ製作・実証試験に向けた計画にも実現性が感じられる。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にも期待したい。
- ・ テーマ⑧-1に新規に加わる再委託先には地上試験だけでなく、機体OEMとのやりとりに関与してもらうことが知財対策として有効ではないか考える。
- ・ TRLに関して開発マネジメント（NEDO資料）では、研究開発目標として、中間ではTRL4を、最終ではTRL6の達成を要求している。中間報告においては、TRL4の環境を自明として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、事業者それぞれが相当するTRL6の環境条件を明示し、そのもとでの成果を挙げられんことを期待します。
- ・ 航空機のCO₂削減という観点では、水素航空機、SAF（Sustainable Aviation Fuel：持続可能な航空燃料）の活用も選択肢として掲げられており、例えば電動化と水素航空機がどうすみ分けられるのか、今回の電動化技術が水素航空機に活用できるかといったような観点も今後のマネジメントにも取り入れて頂きたい。また、近年、脱炭素化の動きが加速する中で、今後ベンチャー企業も含め、世界的に技術開発の進展や実用化前倒しの動きも予想されることから、引き続きそのような動きも適切に把握頂き、実用化・事業化に乗り遅れないよう、必要に応じて開発計画の見直し等も検討頂きたい。
- ・ 電動化推進の将来像や推進システムの棲み分けについてテーマ横断間の情報交換があると標準化される技術の見極めが進むと思います。
- ・ 重要度分類された研究情報の管理、留学生の研究参加可能レベルについて検討、プロジェクト管理者からの注意喚起、を働きかけていただきたい。
- ・ 一部の研究開発項目を除き、開発が広範に及ぶテーマについては、すべての項目が目標達成しないと、テーマの達成は難しくなることから、万が一要件となる項目の達成が困難になることも想定して、代替デザイン・計画をあらかじめ考えておくことも肝要である。
- ・ 電動ハイブリッドシステムでは、航空機の電源系統構成として、特定の航空機の電気システム（直流を主体としたシステム）を前提に研究開発が進められている。そのた

め実際のハイブリッドシステムを組み込んだ航空機をデザインする機体 OEM としては、電気システムのデザインに対して親和性や整合性の観点で自由度が著しく失われる結果、採用に躊躇する可能性も考えられ、現時点、更に継続的に機体 OEM との十分な意見交換をされたい。

2. 3 研究開発成果について

ほぼ全てのテーマで中間目標達成を達成しており、一部顕在化した課題に対しても解決策が検討され、最終目標の達成見通しを確保していることから、着実な進捗であると評価できる。また、300℃に耐える高温パワーエレクトロニクスや高温材料などの独自の技術を基盤として、日本の優位性を保つ製品につながる技術開発が行われている点等も評価できる。さらに、論文や学会等での成果の普及や、知的財産権等の確保に向けた取組も、適切に行われている。

一方、「高効率かつ高出力電動推進システム」のテーマにおいては、研究が計画から遅れ気味であり、1MW級電動機のプロトタイプ製作と地上試験に努力を集中し、航空機固有の技術課題の克服と航空機エンジンとしての成立性の実証に注力すべきと考えられる。

今後、機体OEMなどの意見も反映し、どのような試験環境や制約を実環境相当とするかなどの定義を含め、実証の実施案について早めに検討しておくことを望む。

<肯定的意見>

- ・ テーマ⑧-1については、高特性線材や損失低減など基盤技術の開発で着実な成果が挙げられている。テーマ⑧-2は企業と大学の連携がうまくかみ合っており、大きな技術的飛躍を実現した。活物質量産や極板製造についても順調な進展をしていると判断できる。テーマ⑧-3は300℃に耐える高温パワーエレクトロニクスや高温材料などの独自の技術を基盤として、世界に対して優位性を保つ製品開発につながる技術開発が行われている。

「研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義」

中間目標を達成しており、かつ、競合技術と比較して優位性の高い成果であることから十分に高い意義を有するといえる。

「成果の最終目標の達成可能性」

事業者が設定された最終目標の達成の可能性は高くあると判断する。

「成果の普及」

適宜に論文あるいは学会等での成果の公表がなされている。特に⑧-1の論文等による対外的な発表は評価されるべきと考える。

「知的財産権等の確保に向けた取組」

いずれも適切な取組がなされている。

- ・ 各プロジェクトとも中間段階で概ね当初計画通りの成果を出せており、一部顕在化した課題も解決策を検討され、最終目標の達成見通しを確保している点は評価できる。
- ・ 全てのテーマで中間目標達成か達成見込みであり、新型コロナへの対応がある中で非常に着実な進捗であると認められます。一部では目標を上回る成果や科学的調査に基づく更なる性能向上の指針を得たなど、想定を上回る成果も認められます。
- ・ 各要素技術および実用化を図るトータルシステムの開発についてプロジェクト管理がなされ、概ね中間目標を達成しつつある成果を確認した。
- ・ 限られた期間の中で、高い研究開発目標をほとんどのテーマにて達成または達成見込

みにできたことは、大きな成果であった。また、以下の項目については、顕著な技術成果があったと考える。蓄電池の内部短絡発生状態における熱暴走の発生防止を始め、セルの温度上昇についても過度な温度上昇を防止できており、現有の航空機用蓄電池の代替としても期待されること。(軽量蓄電池)

<改善すべき点>

- ・ テーマ⑧-1 が遅れ気味である。コロナ禍の影響はもちろんあるが、計画管理の複雑さが影響を及ぼしていると思われる。まずは 1MW 電動機のプロトタイプ製作と地上試験に努力を集中し、航空機固有の技術課題の克服と航空機エンジンとしての成立性の実証に注力すべきと考える。
- ・ 知的財産権等との兼ね合い、中間報告段階という未完の状況であることを鑑みれば理解しえなくもないが、さらなる積極的な成果の公表が必要と考える。
- ・ 最終目標である TRL6 の実証方法が明確でない。
- ・ 今一度、最終目標にむけた目標数値設定が妥当であるか検討をお願いしたい。トータルシステムとして意義のある数値目標となりうるものか検討いただきたい。

<今後に対する提言>

- ・ 知財戦略と言う点で、テーマ⑧-3 の OPEN/秘匿戦略は現実的な選択であり、海外パートナーがいる場合、実効性のある優れた戦略と言える。これに対し、テーマ⑧-1 とテーマ⑧-2 は大学が関与することもあり知財戦略にやや曖昧さが残る。機体 OEM との関係についてはより明確な指針を持つべきである。
- ・ 日本の技術の高いことを証するためにも、一般に向けての情報発信を期待する。現在、多岐に渡る情報発信手段があること故、特に若い人々に対する啓蒙活動は重要であると考えられる。
- ・ 成果達成に向け、⑧-1～⑧-3、もしくは先行研究開発項目(①～⑦)との間で連携できる部分があれば、連携を検討頂き、より良い成果実現に向けて取り組んで頂きたい。
- ・ 航空機メーカーなどの意見も反映し、TRL6 実証の実施案(どのような試験環境や制約を実環境相当とするかなどの定義)を早めに検討しておくことが望ましい。
- ・ 各技術要素が各々別々の目標数値に拘ることなく、統合システムとして実用化・事業化に寄与できるものか留意して評価者は判断していきたい。
- ・ 課題が明確になっているが「達成見込み」の項目については、早期に目標レベル達成まで優先して開発を継続すべきである。課題が明確になっているとは言え、その課題が容易に解決できない可能性が高いことが多いため、未達成の部分を重要課題として継続取り組んでいただきたい。

2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

成果の実用化・事業化に向けた戦略は、内外の技術動向や市場動向を踏まえて構築され、また、具体的取組としては、いずれの事業者も機体 OEM と定期的に会合を開き、現実的な実用化案を模索しているなど妥当である。さらに、研究開発テーマによっては、航空機の電動化で実用化・事業化されるまでの間に、小規模のシステム・部品で実用化・事業化を予定しているテーマもあり、評価できる。

一方、「高効率かつ高出力電動推進システム」で最終目標とされている 20MW 級電動機については、20 年以上先を見据えた研究開発であることもあり、成果の実用化・事業化の見通しについては、技術に関する報告に比して具体性が乏しく、道筋に現実性が欠ける印象を受けるため、プロトタイプモデルの試作と並行し、サブシステム・部品の段階的な事業化を検討するなどの工夫が必要である。また、全テーマを通じて、想定する製品・サービス等の市場ニーズとの合致、あるいは競合する製品・サービス等と比較した性能面・コスト面等で優位を確保する見通し等について、更なる調査・報告が望まれる。

今後、より一層、想定ユーザとの連携や継続的な情報交換を深めるとともに、早い段階での機体 OEM 等との共同開発等も検討して頂きたい。

<肯定的意見>

- ・ テーマ⑧-2 とテーマ⑧-3 については、実用化・事業化に向けた道筋が明確であり、実現可能性が高いと言える。カスタマーとの密接な関係が築かれており、具体的な製品化が期待できる。
- ・ 「成果の実用化・事業化に向けた戦略」
内外の技術動向、市場動向を踏まえて、成果の実用化・事業化に向けた戦略が構築されており妥当であるといえる。
「成果の実用化・事業化に向けた具体的取組」
いずれの事業者も機体メーカーと定期的に会合を開くなど実用化・事業化に向けての具体的な取り組みがなされていることから妥当である。
「成果の実用化・事業化の見通し」
産業技術としての適用可能性、及び、実用化・事業化に向けての課題とその解決方針が明確に記述されている。⑧-2 は最終報告に至る過程で量産化にむけた計画が記載されていることは評価される。
- ・ 各テーマとも想定ユーザと研究協力もしくは意見交換を確り継続する中で、ターゲットとする機体若しくは仕様を想定して要件を定めて開発を進めている点は評価できる。
- ・ 航空機製造側の意見等を取り込み、現実的な実用化案を模索している。また、信頼性の実証や認証作業等でプロジェクト終了後も長期の開発期間が見込まれるが、電動化推進の発展段階を考慮した段階的な事業化を検討するなど、未知の部分が多い中で工夫が認められます。
- ・ 本プロジェクトの中間評価は、複数分割された技術要素について各々の進捗確認が主体であった。実用化・事業化には複数要素技術の基礎開発が前提として必要であるこ

とを理解する。

- ・ 比較的実用化・事業化には長い期間が想定されているが、そこに至るまでの研究開発のステップや到達点が明確に示されている。また、研究開発テーマによっては、航空機の電動化に活用されるまでの間に、小規模のシステム・部品で活用を予定しているテーマもあり、確実な実用化・事業化への一助となっている。

<改善すべき点>

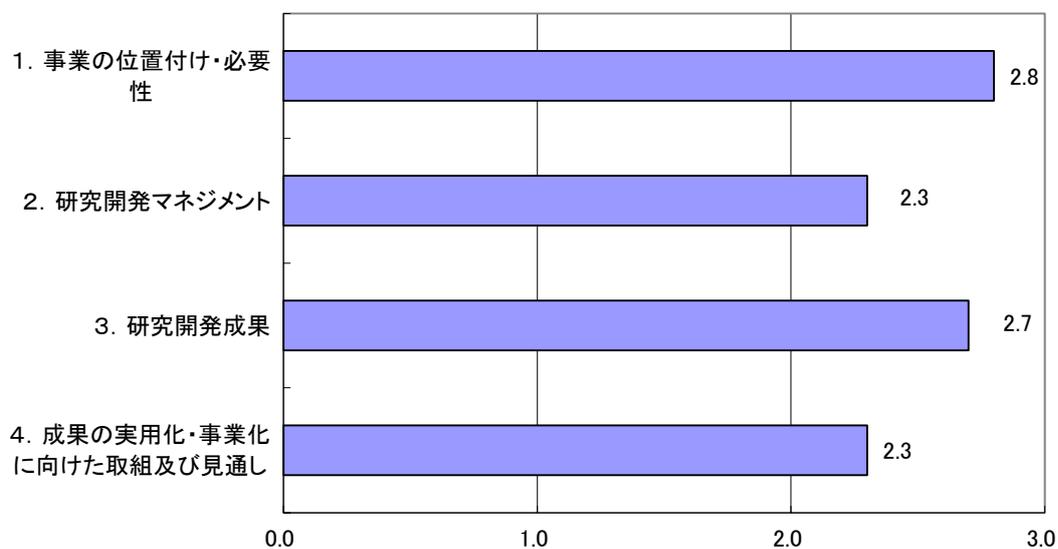
- ・ テーマ⑧-1 は、20 年以上先を見据えた研究開発であり他の事業と同列に扱うことはできないが、最終目標の 20MW 級電動機については、事業化に向けた道筋が現実性に欠ける印象を受ける。1 MW 級電動機については、分散ファンのプロトタイプとしての価値があり開発を推進すべきと思うが、効率より利便性を重視する自家用機やエアタクシーへの適用には疑問が残る。
- ・ 中間報告書では技術的課題の解決の優先度が高いこと、及び航空機開発期間の長いことは理解できるが、成果の実用化・事業化の見通しについては（技術に関する報告に比して）具体性が乏しく感ずる。
- ・ 想定する製品・サービス等の市場ニーズとの合致、あるいは、競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通し等についての調査・報告が望まれる。
- ・ 競争力の評価項目が明確でない。
- ・ 現状においては各要素技術が各々の能力向上に向けて鋭意努められている。本プロジェクトの事業化成功は要素技術のシステム統合化が必須であるため、各要素技術開発チームに対して事業化に向けた情報提供と意識統一を図りたい。

<今後に対する提言>

- ・ テーマ⑧-1 については、トータルシステムとしての実用化・事業化にだけこだわるのではなく、ケーブルや線材やサブシステムを製品化など、多面的な戦略を持つことが優位性を保つうえで重要ではないか。大型機の電動化と言う点では、ターボエレクトリック形式のものが最も現実的である。テーマ⑧-2 や⑧-3 は、これら大型機への参入も視野に第 2 期の事業を展開してもらいたい。
- ・ いずれの事業者も専ら技術的課題解決に必要な組織を構築すべく体制が組まれているが、実用化・事業化の観点からの再委託先を含めてもよいのではないか。
- ・ より一層、想定ユーザとの連携や継続的な情報交換を深めて貰うとともに、実用化・事業化を進めていくという観点では、早い段階での海外 OEM 等との共同開発等も検討して頂きたい。また、テーマ毎で搭載想定機体サイズ若しくは顧客が必ずしも一致していないとのことですが、より大きなビジネスを獲得するという観点で、テーマ間の連携も検討頂きたい。
- ・ 本プロジェクトの技術が標準化されるように、試験法等の認証過程も含めて議論を進められると良いと思います。

- 各要素技術開発と実用化トータルシステムとの相互反映を活発化することが、より確かな事業化推進へ繋がると信じる。
- 実用化・事業化には長い期間が想定されていることから、開発期間中に様々な環境変化が予想されるため、継続した機体 OEM やシステムインテグレータ OEM 等との継続した情報交換が肝要である。
- より実用化に近づいたシステム・部品については、可能な限り存在する要件（FAR : **Federal Aviation Regulations** 耐空性審査要領等）に照らし合わせ、デザイン上実用化に向けた致命的または著しい困難がないかどうかの調査により、より実用化・事業化を確実なものとするべきである。

3. 評点結果



評価項目	平均値	素点 (注)					
		A	A	A	A	A	B
1. 事業の位置付け・必要性について	2.8	A	A	A	A	A	B
2. 研究開発マネジメントについて	2.3	A	A	B	B	B	B
3. 研究開発成果について	2.7	A	A	A	A	B	B
4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	2.3	A	B	B	B	A	B

(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

〈判定基準〉

1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当 →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

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

【公開】

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 ロボット・AI部
-----	---------------------------------------

--目次--

概 要	1
プロジェクト用語集	7
I. <u>事業の位置付け・必要性について</u>	13
1. 事業の背景・目的・位置付け	13
2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性	15
II. <u>研究開発マネジメントについて</u>	16
1. 事業の目標	16
2. 事業の計画内容	16
3. 情勢変化への対応	21
4. 評価に関する事項	23
III. <u>研究開発成果について</u>	24
1. 事業全体の成果	24
2. 研究開発項目毎の成果	24
IV. <u>成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し</u>	25
1. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	25
V. <u>各研究開発テーマ毎の詳細</u>	26
V-1. <u>高効率かつ高出力電動推進システム</u>	26
1. 研究開発マネジメント	26
2. 研究開発成果	33
3. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	53
V-2. <u>軽量蓄電池</u>	56
1. 研究開発マネジメント	56
2. 研究開発成果	62
3. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	76
V-3. <u>電動ハイブリットシステム</u>	78
1. 研究開発マネジメント	78
2. 研究開発成果	84
3. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	105

概要

		最終更新日	2021年9月1日
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/ PM、担当者	ロボット・A I 部 【PM】 嶋田 諭 (2019年4月～2020年5月)、白木 聖司(2020年6月～) 【担当者】 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～)、品川 貴(2019年4月～)、服部 元隆(2019年7月～)、金谷明倫 (2020年4月～2021年6月)、白川 周 (2020年4月～)、梅田 英幸 (2021年7月～)		
0. 事業の概要	本研究開発は、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を開発し、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により、我が国の航空機産業の競争力強化を目指すものである。 本研究開発は委託による課題設定型の研究開発事業である。航空機用先進システム実用化プロジェクトは2015年度より開始しているが、研究開発項目「⑧次世代電動推進システム研究開発」は、2019年度～2023年度の約5年間で実施される。		
1. 事業の位置付け・必要性について	環境負荷低減や経済性、整備性向上のため、今後は推進系も含め更に航空機の電動化が進むと考えられており、特に大型航空機に求められる航続距離も満たす電動ハイブリッド技術による燃費削減効果が試算されている。例えば NASA では種々の機体形態で電動推進システムの構想が検討され大幅な燃費削減効果を期待できるとされている。しかし、電動推進システムを構成する従来のモータやケーブル、発電機、蓄電池等の要素技術及び電力制御システム技術は、飛行に求められる重量当たりの容量・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は至っていない。そのため、これら要素の高効率化と軽量化が必要とされている。 航空機用先進システムの開発は技術的・経済的な波及効果が大きく、裾野産業の形成や雇用創出につながり、我が国の産業の活性化、海外展開の促進に貢献することが期待できる。 航空機システムは開発期間が長く、認証取得にも膨大な費用と時間を要することから、開発にあたってのリスクが極めて大きいため、NEDO の関与が必要である。		
2. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	以下に示す、研究テーマについて航空機用先進システムのプロトタイプモデルを製作し、地上あるい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。 ⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム 超電導技術による回転機、冷却システム、ケーブル、線材、インバータ等の各要素技術を活用し、小型・軽量、高効率・低エミッションの航空機用電機推進システムを開発する。 ⑧-2 軽量蓄電池 正極活物質に硫黄を用いた蓄電池の技術を活用し、電動航空機に求められるエネルギー密度を実現した蓄電池システムを開発する。 ⑧-3 電動ハイブリッドシステム 電動ハイブリッド航空機の実用化に向け、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の基礎技術開発をすすめ、これらから構成されるハイブリッド電動推進システムを開発する。		

事業の計画内容	研究開発項目	2019FY	2020FY	2021FY	2022FY	2023FY	
	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			プロトタイプ設計/製作、検証		
開発予算 (単位：百万円)	会計・勘定	2019FY	2020FY	2021FY	総額		
	一般会計	0	0	0	0		
	特別会計	615.6	1,302.6	1,680.4	3,598.6		
	開発成果 促進財源	0	149.6	92.0	241.6		
	総予算額	615.6	1,452.2	1,772.4	3,840.2		
	(委託)	100%	100%	100%	—		
開発体制	経産省担当原課	製造産業局 航空機武器宇宙産業課					
	プロジェクトリーダー	なし					
	プロジェクト マネージャー	NEDO ロボット・AI部 主査 白木 聖司 (⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム のみ NEDO ロボット・AI部 統括主幹 梅田 英幸が代行)					
	委託先	⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム：九州大学、産業技術総合研究所、 (株)神戸製鋼所、大陽日酸(株)、SuperOx Japan 合同会社 (再委託先：富士電機(株)、東海国立大学機構、成蹊大学、鹿児島大学、 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)) ⑧-2 軽量蓄電池：(株)GSユアサ (再委託先：関西大学) ⑧-3 電動ハイブリッドシステム：(株)IHI (共同実施先：東京大学、岡山大学、秋田大学、秋田県立大学、立命館、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))					
情勢変化への対応	<p>本プロジェクトに関連して 2015 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、各研究開発項目に関連する動向・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> <ol style="list-style-type: none"> 1. 国外の航空機開発及び航空機システム開発に関する動向調査 (2015 年度) 2. 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 (2017 年度) 3. 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) 						
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	2020年10月			
	事後評価	事業終了後 実施予定			
3. 研究開発成果について	◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達				
	⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム				
	項目	中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
	航空機用超電導推進システム要素技術開発	250-500 kW 回転機、ケーブル、冷却システム基盤技術確立	・各開発要素に対して、モデル試作等で有効性の検証を一部終了。 ・軽量ケーブル、接続構造に関して適正構造を考案し、モデル試作等で有効性の検証を一部終了。	△ (2022/6 達成見込)	【課題】 新型コロナ感染拡大の影響により研究開発活動が大幅に制限されている。 【解決方針】 目標達成時期を数ヶ月後ろ倒しすることにより対応。
		0.5-1 MW システム用回転機、ケーブル、冷却システム技術概念確立。			
		・5 分割-100m 長線材で電流密度 250A/cm@ 温度 70K、磁束密度 1.2T かつ歩留り 60%以上を達成。 ・100m 長線材で電流密度 300 A/cm 以上@ 温度 70K、磁束密度 2.5T を達成。	・歩留り向上に有効なスクライブ加工装置を導入、立ち上げ中。 ・短尺線材において左記目標特性を見通す技術を開発。	△ (2022/6 達成見込)	
		0.5-1MW システム用シールド基盤技術を確立。	小型コイルにてシールド基礎特性を把握するとともに、電磁解析で有効性を確認。	△ (2022/6 達成見込)	
		65 K で動作する半導体材料の開発。	既存半導体及び名大試作品で、低温評価を行い必要な耐電圧を確認。	△ (2022/6 達成見込)	
	航空機用超電導推進システム機器機能検証	250-500 kW 超電導モータを製作し、基礎評価を行うことで、5kW/kg を超える出力密度を実現する見通しを得る。	研究項目【航空機用超電導推進システム要素技術開発】の検討に基づき 250- 500kW モータの基本構造を設計。	△ (2022/8 達成見込)	【課題】 新型コロナ感染拡大の影響により研究開発活動が大幅に制限されている。 【解決方針】 目標達成時期を数ヶ月後ろ倒しすることにより対応、及びモータ容量を調整することで対応。
		0.5-1 MW 超電導推進システム構成の基本仕様を決定する。	現時点で未着手だが、今後他の進展の状況をみて仕様決定予定	△ (2022/8 達成見込)	
	⑧-2 軽量蓄電池				
	項目	中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
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、硫黄の担持質量割合が 60% を超えても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。	硫黄担持質量割合 60 wt%以上の硫黄正極で 1000 mAh g ⁻¹ から 1300-1600 mAh g ⁻¹ の可逆容量の増大に成功した。エネルギー密度は可逆容量と作動電圧の積であるため、上述の可逆容量の飛躍的な向上により、500Wh/kg のエネルギー密度実現に大きく近づいた。	◎	-	

	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。	硫黄正極小型セル評価において、良好な SEI を形成できる VC を溶媒とした電解液を適用することで、容量安定後の充放電 50 サイクルの容量維持率は 93% であることを確認した。また電解液の粘度が可逆容量に依存することを見出し、高エネルギー密度化への電解液のコンセプトを得た。さらに電解液の軽量化を目的とし密度の小さな電解液も開発済である。	◎	—
	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	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。	新バインダーを適用した硫黄正極小型セル評価において、0.1CA 相当の放電に対する 2CA 相当の放電（目標値の 4 倍の大電流による放電）における容量保持率は 100% であり、電極に大きな劣化を起こさずに充放電が可能であることを確認した。さらに、新バインダーを適用した高目付(4.21 mg cm ⁻²)の 20 サイクル充放電後の容量維持率が旧バインダーを適用したものに比べ、約 10% 高いことを明らかにした。	◎	—
蓄電システムの実証検証		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。	<ul style="list-style-type: none"> 試作した 5 Ah 級-積層セルのエネルギー密度は 350Wh/kg であることを実証した。（2021 年 8 月時点） 軽量蓄電池に適合する電池モジュール構造（軽量化、均一圧迫機構） および CMU、BMU のプロトタイプ設計を完了し、蓄電池システムを試作中。 	△ (2022/3 達成見込)	<p>【課題】 エネルギー密度向上</p> <p>【解決方針】 詳細設計改善にて検討を更に進める。</p>
		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かどうかを検証する。	<ul style="list-style-type: none"> 試作した蓄電システムについて、地上の実験室環境下で航空機の電動化に適用可能かどうかを検証予定。 	△ (2022/3 達成見込)	<p>【課題】 検証指標の確定</p> <p>【解決方針】 地上の実験室環境下で航空機の電動化に適用可能かを判断する指標（安全性などの影響を考慮）の把握。</p>
		軽量蓄電池の大電流での放電性能については、0.5 CA 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。	<ul style="list-style-type: none"> 試作した 5 Ah 級-積層セルでの大電流での放電性能については、1.0 CA 程度の放電が可能であった。 その他の性能値については、機体 OEM メーカーとの協議を継続中。 	△ (2022/3 達成見込)	<p>【課題】 大電流放電性能の検証</p> <p>【解決方針】 地上の実験室にて、蓄電システムの大電流放電性能を確認する。</p>

⑧-3 電動ハイブリッドシステム				
項目	中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
ハイブリッド電動推進システム	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	電動推進と BLI を組み合わせた機体形態を想定し、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完了した。	○	—
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特許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	構造成立性、製造性を踏まえた発電機の詳細設計、解析による性能評価を完了。発熱密度低減を図った巻線構造、高性能絶縁材料を取り入れ試作機の製造を開始、完了の見込みを得た。	△ (2022/3 達成見込)	【課題】 — 【解決方針】 試作機の製造開始しており、年度末までに完了する。
	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	電力システムとして、マルチターミナル半導体式限流・遮断器(電源グリッド)、半導体式遮断回路方式(遮断システム)、ハルバツハ構造電動機(分散ファン用電動機)、階調制御等のインバータ方式(電力変換器)、についてそれぞれモデル解析により妥当性確認を完了した。	○	—
熱・エアマネジメントシステム	フライトミッションを通じ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	燃料排熱空調システム及びエネルギー回収システムのシステム定義と評価項目設定を完了し、評価ツールとしてのシミュレーションモデルの作成を完了した。年度末までに、シミュレーションモデルを用いた成立性評価を完了する見込みを得た。	△ (2022/3 達成見込)	【課題】 — 【解決方針】 作成したシミュレーションモデルでの成立性評価を完了する。
	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	熱・エアマネジメントシステムのシステム設計によりFCACへの要求定義を行い、それを満足するFCACの設計を完了、製造を実施中。8月中旬に製造完了し、年度末までに耐久性評価を完了する見込みを得た。	△ (2022/3 達成見込)	【課題】 — 【解決方針】 試作品完了し、耐久性試験を完了する。
投稿論文		9件 (うち査読有8件)		
特許		出願済4件 (うち国際出願1件) 予定3件 (うち国際1件)		
その他の外部発表 (プレス発表等)		82件 (研究発表・講演72件、新聞雑誌等への掲載8件、展示会への出展2件)		

<p>4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて</p>	<p>本研究開発における実施項目は、いずれも安全性・環境適合性・経済性の向上に寄与するものであり、社会のニーズに対応している。また、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標としているため、提案が採用されることで実用化への道筋が一気に開ける。</p> <p>実用化・事業化に向けての取組みとして、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を試作し、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。</p> <p>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、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が期待できる。</p>	
<p>5. 基本計画に関する事項</p>	<p>作成時期</p> <p>変更履歴 (⑧開始以降)</p>	<p>2015年3月 作成（プロジェクト立ちあげ時）</p> <p>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。</p> <p>2020年1月 研究開発項目⑧のテーマを追加(⑧-3)。</p> <p>2020年7月 プロジェクトマネージャーの変更</p> <p>2021年8月 プロジェクトマネージャーの職務範囲等変更</p>

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 ₃ (M: metal)化合物	BaZrO ₃ 、BaSnO ₃ 、BaHfO ₃ 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)としてドーピングすることで、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 をドーピング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、ドーピング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つであり、真空チャンバー内の固体ターゲットにパルスレーザー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ー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、固体の表面がエッチングされる)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 ₂ Cu ₃ O _{7-δ} (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	タングステン-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。
パルスレーザーのパルス長と波長	レーザーの波長は、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 発あたりにレーザー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)などのレーザーがよく用いられる。
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、レシプロ式やスクル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 エキシマレーザー, psec 固体レーザー等)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 線回折ロック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、レーザー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、実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することができる。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期待できる。
HFE	Hydro FluoroEther 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期待できる。
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

I. 事業の位置付け・必要性について

1. 事業の背景・目的・位置付け

1.1 事業実施の背景と事業の目的

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、次世代航空機にはさらなる安全性・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」を開始した。

また、国際民間機航空機関(ICAO)において、二酸化炭素(CO₂)排出量を 2050 年までに 50%削減(2005 年比)する目標が掲げられ、世界的に電動航空機の開発が加速し始めている。我が国も、宇宙航空研究開発機構(JAXA)が、2018 年 7 月に電動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、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(CO₂)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。

環境負荷軽減や経済性、整備性向上のため、今後は推進系も含め更に航空機の電動化が進むと考えられていが、電動推進システムを構成する従来のモータやケーブル、発電機、蓄電池等の要素技術及び電力制御システム技術は、飛行に求められる重量当たりの容量・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は至っていない。そのため、これら要素の高効率化と軽量化が必要とされている。

そこで、電動化のコア技術を育て将来における競争力強化を図り、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的に、2019 年度から「航空機用先進システム実用化プロジェクト」に研究開発項目「⑧次世代電動推進システム研究開発」(以下、本プロジェクトと記載)を加え、取り組みを開始した。

1.2 政策的位置づけ

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。

1.3 国内外の研究開発の動向と比較

我が国では、宇宙航空研究開発機構(JAXA)が、2030～50年代の実用化を目指して、CO₂ や窒素酸化物（NO_x）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を推進している。また、航空機電動化システムに着目した研究開発拠点（秋田県）の整備し、2020年度より運用を開始している。

米国では、NASA Glenn Research Center が Electrified aircraft propulsion や Hybrid Electric propulsion の研究を推進し、Boeing 社も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ており、また、経済産業省との技術協力を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。

欧州では、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予定であれい、我が国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であると考えられる。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、これまでは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。

1.4 技術戦略上の位置づけ

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、航空機用先進システムの開発は航空機システム技術の重点開発テーマとなっている。

航空機電動化について、「航空機電動化コンソーシアム」や航空業界団体・企業からのヒアリング、シンポジウムでの討論内容等から、電動推進化において必要となる技術課題を整理した。NEDO は 2017 年度に実施した「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」によるニーズ調査、技術動向及び海外との共同研究への進展状況を踏まえ、「航空機分野技術戦略 Ver3.0（NEDO 2019）」において電動航空機に関する技術戦略を策定し、研究開発支援の優先順位を整理し、テーマを選定した。

表 重要技術課題

分類	重要技術課題名 (概要)	構成要素/システム
A) 全高度共通の重要 技術課題	高出力密度化 (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)
	電池の安全性と高エネルギー密度化の両立 (熱暴走等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)
	高効率化 (BU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
	安全性・信頼性保証 (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) 高高度環境特有の 重要技術課題	耐放電・耐放射線 (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
	熱&パワー管理・制御 (低空気密度・ガスタービ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) 低高度運用特有の 重要技術課題	耐故障 (推進系故障時の緊急着陸または通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
	低騒音化 (ファン、プロペラの空力騒音低減)	ファン、プロペラ

出展：「航空機電動化 将来ビジョン ver.1」 (JAXA, 2018)

2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

2.1 NEDO が関与することの意義

航空機用先進システムの開発は技術的・経済的な波及効果が大きく、裾野産業の形成や雇用創出につながり、我が国の産業の活性化、海外展開の促進に貢献することが期待できる。ただし、航空機システムは開発期間が長く実用化までに長期間を要すること、また認証取得に膨大な費用と時間を必要とすることから、民間活動のみでは実施にあたってリスクが極めて大きく、推進にあたって NEDO の関与が必要である。

2.2 実施の効果 (費用対効果)

本プロジェクトで開発した航空機用先進システムが次世代航空機に搭載されれば、2030 年代以降に年間で最大数百億円規模の売上げを継続して得られる可能性がある。そのため、本プロジェクトの総事業費に対し、生み出される効果は十分であると考えられる。

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

1.1 事業の目標

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。

・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可能となる。

・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、2030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を目標とする。

1.2 研究開発目標と根拠

本プロジェクトにおける研究開発の目標は以下の通り。

・最終目標（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（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。

各研究開発項目の研究開発目標とその設定根拠は、[V.各研究開発テーマ毎の詳細](#) に示す。

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

2.1.1 研究開発のスケジュール

本研究開発の実施期間は2019年から2023年までの約5年間である。
プロジェクト全体の研究開発スケジュールは以下の通り。

	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度
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		中間評価	プロトタイプ的设计/製作、検証	
⑧-2 軽量蓄電池	仕様策定、試作/評価			プロトタイプ的设计/製作、検証	
⑧-3 電動ハイブリットシステム		仕様策定、試作/評価		プロトタイプ的设计/製作、検証	

各研究開発項目のスケジュールは、[V.各研究開発テーマ毎の詳細](#) に示す。

2.1.2 プロジェクト費用

本プロジェクト全体の費用は以下の通り

(単位：百万円)

研究開発項目	2019年度	2020年度	2021年度	合計
⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム	320.8	793.6	1,214.8	2,329.3
⑧-2 軽量蓄電池	294.8	428.8	313.9	1,037.6
⑧-3 電動ハイブリットシステム	—	229.6	243.5	473.3
合計	615.6	1,452.0	1,772.3	3,840.2

各研究開発項目の費用は、[V.各研究開発テーマ毎の詳細](#) に示す。

2.2 研究開発の実施体制

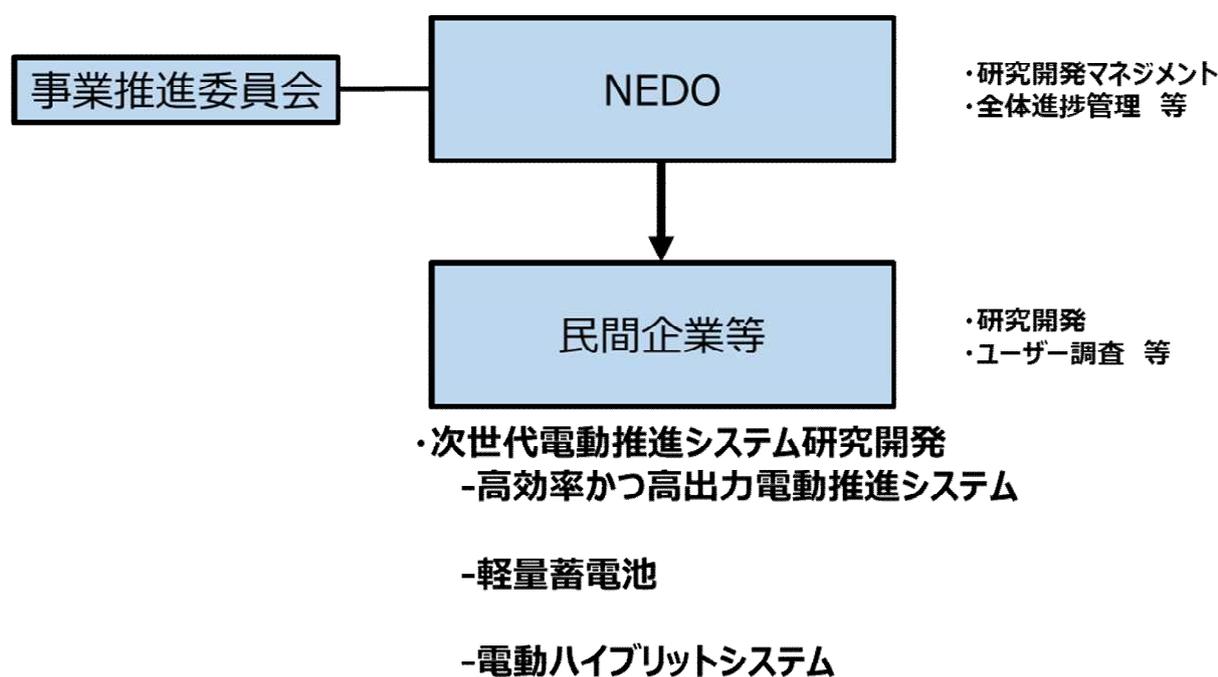
プロジェクトの進行全体を企画・管理や、プロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化

させるべく、プロジェクトマネージャーに NEDO ロボット・AI 部 白木 聖司を任命している。

(2021 年 8 月より、⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム のみ NEDO ロボット・AI 部 統括主幹 梅田 英幸が代行)

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 (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、委託して実施している。

実施体制を以下に示す。



実施体制概要

各研究開発項目の実施体制は、[V.各研究開発テーマ毎の詳細](#) に示す。

2.3 研究開発の進捗管理

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。特に、「三現主義」、「信頼関係構築」、「社会実装」を意識しプロジェクトを推進する。四半期に 1 度程度でイベントを実施する。

進捗管理に関する具体的な取組は以下の通り。

・事業推進委員会の開催

NEDO を主体として、各研究開発項目の研究開発責任者等が進捗報告を行い、NEDO のプロジェクトマネージャーと議論を行い、外部有識者（委員 8 名）による審議を経て、研究開発の方向性を決定している。本委員会は半年に 1 回程度開催している。

<開催実績（※）>

第 7 回：2019 年 9 月 第 8 回：2020 年 2 月 第 9 回：2020 年 2 月

第 10 回：2021 年 3 月 臨時開催：2021 年 6 月

（※ ⑧次世代電動推進システムに関わる実績のみ）

・サイトビジットの実施

2016 年度より、各研究開発項目の進捗状況のよりの確な把握及び外部有識者を含めたプロジェクト関係者間で今後の課題等について認識の共有をはかることを目的として、外部有識者等と共に研究開発現場訪問（以下、「サイトビジット」という。）を実施している。

<開催実績（※）>

第 4 回：2019 年 11 月 (2 箇所、外部委員 延べ 10 人)

第 5 回：2020 年 12 月 (3 箇所、外部委員 延べ 12 人)

第 6 回：2021 年 7 月 (3 箇所、外部委員 延べ 11 人)

（※ ⑧次世代電動推進システムに関わる実績のみ）

・進捗確認ヒアリングの実施

事業推進委員会及びサイトビジットに加え NEDO のプロジェクトマネージャーと委託先との間で進捗確認を目的としたヒアリングを実施している。

<開催実績（※）>

第 5 回：2020 年 5 月

（第 6 回は推進委員会（臨時）やサイトビジット（6 回）にて代用）

（※ ⑧次世代電動推進システムに関わる実績のみ）

年度	2019年度									2020年度									2021年度																			
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3		
イベント			⑧事業開始			事業推進委員会（第7回）	サイトビジット（第4回）			事業推進委員会（8回）			進捗確認ヒア（第5回・書面）			事業推進委員会（第9回）	サイトビジット（第5回）			事業推進委員会（第10回）					事業推進委員会（臨時）	サイトビジット（第6回）			中間評価	ステージゲート審査					事業推進委員会（第11回）			

航空機用先進システム実用化プロジェクトの進捗管理に関する取組

2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

2.4.1 知的財産権等に関する戦略

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的財産戦略を検討・構築し、適切な知財管理を実施する。

各研究開発項目の戦略は、[V.各研究開発テーマ毎の詳細](#) に示す。

2.4.2 知的財産管理

知的財産管理に関する各研究開発項目の取組は、[V.各研究開発テーマ毎の詳細](#) に示す。

3. 情勢変化への対応

3.1 動向・情勢の把握と対応

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、各研究開発項目に関連する動向・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。

① 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）

本調査の目的及び概要は以下の通り。

1) 調査の目的

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、多岐にわたる関連産業分野への技術波及及び技術高度化を促進している。また今後、ジェット旅客機の運航機数は世界的に大きく伸びることが想定されており、2038年には2018年に比べて、約1.7倍に増加する見込みとなっている。航空機産業にとどまらず、より広い産業の技術力向上及び雇用創出のために我が国の航空機産業の発展を図ることは、産業政策上、極めて重要である。

しかし、航空機産業における我が国の産業競争力は決して高くない。例えば国外の航空機システムメーカーでは、M&Aを繰り返し巨大企業に成長してきており、航空機システムを丸ごと受注しているため、我が国の航空機システムメーカーは航空機分野においてビジネスの機会が縮小し、国外の航空機システムメーカーの下請けに甘んじている。そのため、次世代航空機のトレンドである装備品（油圧系統や燃料系統、防氷等）の電動化や、昨今世界的に研究開発がスタートした推進系の電動化を見据え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。

そこで本調査では、航空機産業の更なる競争力強化、市場活性化に向けて、国内外の航空機開発・航空機システム開発及び電動化開発に関する動向調査を行い、国内外の航空機メーカー及び航空機システムメーカーのニーズ、今後の航空機装備品、電動化開発の方向性等を明らかにする。

2) 調査の概要

以下の(1)及び(2)の事項について、公開レポート等からの情報収集、国内外で開催されるワークショップ等への出席、国外の航空機メーカー及び航空機システムメーカーや関連企業等への現地調査・個別ヒアリングを通じて、調査（情報収集、分析及び考察）を行う。調査の実施状況はNEDOと密に共有し、調査の方向性について適宜確認を行うとともに、追加で実施すべき事項が発生した際には協力して対処する。

また、調査にあたっては、NEDOや外部有識者、経済産業省、関連機関等との密接な連携のもとで行う。

(1) 国内外の航空機装備品、電動化開発等に関する動向調査

- 2030年以降に納入される航空機に求められる機能・性能や今後の航空機開発、航空機システム開発及び電動化開発の方向性、研究開発動向・シーズに関する調査・分析。
- 国外の航空機メーカー及び航空機システムメーカーの技術ニーズに関する調査・分析。

- 航空機装備品、電動化開発分野における航空機産業と他産業との相互波及や連携の可能性に関する模索。
- 主に電動化コア部品（バッテリー、モーター、半導体等）の国内外ポテンシャル企業・サプライチェーン・重要素材に関する調査・分析。

(2) 航空機産業活性化シナリオの改訂

(1)で得られた調査結果を基に、「国外の航空機開発及び航空機システム開発に関する動向調査」で調査した 3 章から 5 章を改訂し、以下④から⑥を追加する。

今回の調査では、①我が国が目指すべき航空機産業の方向・戦略（航空機構造関連、航空機システム関連、エンジン関連、電動化関連等）、②我が国の航空機に関する技術開発、③我が国の航空機システムに関する技術開発、④我が国の航空機電動化に関する技術開発、⑤航空機産業と他産業との相互波及や連携、⑥新技術の実用化に伴うサプライチェーンや産業構造等の変化を含むものとし、改訂にあたっては各項目に関連する有識者・事業者等と密に連携しながら作業を進めるものとする。必要に応じて内容を追加し、調査を行うこととする。

なお、内容の妥当性について審議するための有識者委員会を立ち上げ、専門的見地から意見を聴取し、反映するものとする。

各研究開発項目の把握・対応状況は、[V.各研究開発テーマ毎の詳細](#) に示す。

3.2 開発促進財源投入実績

開発の進捗を踏まえ、解決すべき課題の対策を進めるため開発促進財源の投入を行った。具体的な内容は下表に示すとおりである。この開発促進財源投入により必要な対策を実施することができ、その後の研究開発の着実な推進が可能となった。

投入時期	研究開発項目	投入額 (百万円)	投入目的	成果・効果
2020.4	⑧-1 高効率かつ 高出力電動 推進システム	20.0	超電導誘導回転機は軽量かつスリップリングフリーである利点があり、航空機用モータとして同機器と共に有力な候補である。本件で、航空機应用到に有効な横型100kW級の誘導機の試作を行いその有効性を検証する。	本事業で2019年度に超電導誘導機の縦型超小型モデルの作製に成功、その有効性を確認し、また2020年度には液体窒素・窒素ガスを圧送する極低温ポンプ適用の試作検証を行い軽量超電導ケーブルの実現性を示した。本件加速により、超電導技術を適用する航空機用電動推進システムの重要な要素技術として、誘導機の有効性検証が可能となり本事業の最終目標である地上試験システム的设计・試作・評価に大きく寄与する。
2020.4	⑧-1 高効率かつ 高出力電動 推進システム	100.0	本事業の研究開発を進める中で、高磁場中でも高い特性を示す線材の成膜方法と、幅広の超電導線材による磁気シールドの効果が明らかになった。加速増額により、40mm幅を有する高性能線材を作製するために必要な装置群を整備する。2020年度は、レーザー源装置の改造を行う。	多層構造の超電導線材について、超電導層、中間層、安定化層などの各層について、長尺幅広で高配向基板の作製装置の整備を図ることで、世界に先駆け、航空機用の超電導回転機及び磁気シールドを開発することができる。また電動推進航空機の最重要課題である軽量化に大きく貢献する。ただしこれらの成果・効果は、2021年度実施の加速増額と併せて実現される。
2020.12	⑧-3 電動ハイブリッドシステム	29.6	事業開始後の情報分析により、エアマネジメントユニットの更なる高出力・高効率化が必要と判断したため、以下2点を実施する。 1.【空気浮上型軸受の高耐荷重化】新構造の開発と新材料等の選定、施工方法の確立 2.【高出力超高速回転用巻線の排熱システムの開発】高伝熱材料の選定と、成型方法の確立	小型超軽量なエアマネジメントユニット実現に必要な超高速電動ターボの要素技術として、空気浮上型軸受の更なる高性能化を可能とする良好な摩擦摩耗特性を有する高耐熱コーティング材料を抽出した。また、ステータ側の巻線電流増強に伴う伝熱効率の向上に関し、高熱伝導率モールド材が正常に流動する空間サイズを、試験上で明確にした。更に実証を進めることで、海外機体メーカーへの提案の主導権獲得を狙うことができる。

これに加え、2021年度中に、2つの研究開発項目に92.0（百万円）の開発促進財源を投入する予定。

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ことし、評価の時期は、中間評価を2021年度、事後評価を2024年度とした。

III. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

2021年8月末日現在、中間目標の達成に至っていない項目はあるものの、2021年度末に達成、あるいは、2022年度早々に達成見込みとなっており、概ね良好である。

2. 研究開発項目毎の成果

2.1 研究開発項目毎の目標と達成状況

各研究開発項目の目標と達成状況は、[V.各研究開発テーマ毎の詳細](#) に示す。

2.2 各個別テーマの成果と意義

各研究開発項目の成果と意義は、[V.各研究開発テーマ毎の詳細](#) に示す。

2.3 成果の最終目標の達成可能性

2021年8月末日現在、中間目標の達成に至っていない項目はあるものの、2021年度末に達成、あるいは、2022年度早々に達成見込みとなっており、概ね良好であり、最終目標の達成可能性についても現時点で大きな支障は確認されていない。

各研究開発項目の達成可能性は、[V.各研究開発テーマ毎の詳細](#) に示す。

2.4 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。また、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・製品の認証を円滑に取得するために必要な安全性評価手法等を構築する。

各研究開発項目の成果の普及状況は、[V.各研究開発テーマ毎の詳細](#) に示す。

添付の「特許論文等リスト」も併せて参照のこと。

2.5 知的財産権の確保に向けた取組

各研究開発項目の知的財産権の確保に向けた取組は、[V.各研究開発テーマ毎の詳細](#) に示す。

IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

1. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

1.1 本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る製品・サービスが顧客（機体メーカー、エンジンメーカー、システムメーカー、エアライン等）に納品されることをいう。

1.2 実用化・事業化に向けた戦略

従来、日本メーカーは国外メーカーの下請けに甘んじてきたため、認証取得等を独自で行う上でのノウハウが不十分であった。今後は独自に開発、設計、製造、認証取得、販売を行うことができるよう、本研究開発を通じてプロトタイプ製作や、認証取得に向けた実証試験等の実績を積み、国際競争力を向上させる。

本研究開発を通じて、実用化を見据えた実証試験インフラの整備やサプライチェーンの確立、人材の確保に取り組む。また、必要に応じて国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。

各研究開発項目の戦略は、[V.各研究開発テーマ毎の詳細](#) に示す。

1.3 実用化・事業化に向けた具体的取組

各研究開発項目の具体的な取組は、[V.各研究開発テーマ毎の詳細](#) に示す。

1.4 成果の実用化・事業化の見通し

各研究開発項目の見通しは、[V.各研究開発テーマ毎の詳細](#) に示す。

1.5 波及効果

本プロジェクトの「アウトカム目標」に示している通り、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、2030 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を目標としている。

各研究開発項目で見込まれる波及効果は、[V.各研究開発テーマ毎の詳細](#) に示す。

V. 各研究開発テーマ毎の詳細

V-1. 高効率かつ高出力電動推進システム

1. 研究開発マネジメント

1.1 研究開発目標と根拠

(1) 研究開発目標

時流に従って、航空機にも低エミッション化が求められている。しかし、民間機用ターボファンエンジンは高バイパス比と大口径化によりすでに十二分に高効率化が図られ、何らかの革新技術を取り入れない限りこれ以上の高性能化は難しいと言う段階に至っている。この解決策の最有力候補として電気推進化が考えられている。現行の高バイパス比ターボファンエンジンは、推力のおよそ 80%以上がファンにより得られていることから、ジェットエンジン部分をモータで置き換えてもほぼ同等の推力が得られ、航空機の電気推進化が実現される。電動化により、タービン・発電機部分とモータ・ファン部分を分割でき、それぞれ独立にサイズ、効率を最適化できるとともに、機内配置の自由度が大幅に増す。しかし、鉄心と銅線から成る従来の回転機・ケーブルを適用すると重すぎて本末転倒の結果を招くため、全超電導回転機・ケーブルの導入が必須となる。

実施者等は、酸化物超電導テープ線材の交流損失低減技術を独自に開発し、全超電導回転機の原理検証を世界に先駆けて行った。さらに、低電圧・大電流でコンパクトな三相同軸超電導ケーブルの開発も行ってきている。これらの成果を受けて「NEDO 先導研究プログラム/エネルギー・環境新技術先導プログラム/革新的航空機用電気推進システムの研究開発」を実施し、全超電導回転機概念設計を行った。しかしながら、上述の超電導推進システムの実用化には、未だ多くの技術的な課題の解決と目標に掲げるシステムとして実証試験が必要であるとともに、スケールアップを図らなければならない。そこで、本事業では、各要素技術において、解決すべき基盤技術を抽出し、これらの開発を通して、推進システムを構成する各機器の試作、さらには推進システムの試作・評価を行うことで実用化を促進することを目標としている。

(2) 技術的目標とその設定根拠

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

【2021 年度中間目標】

- ・250-500kW モータ基盤技術確立
- ・0.5-1MW システム用回転機概念確立

【2023 年度最終目標】

- ・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

<設定根拠>

250-500kW、0.5-1MW の出力は、小型機の出力に相当し、開発過程で試験も含めて適用対象が存在する規模の出力を設定した。これらの出力の回転機に必要な基盤技術を確立することで、②「航空機用超電導推進システム機器機能検証」の実施を円滑かつ確度を向

上させるために中間目標を設定した。

最終的なターゲットである 20MW は、最も需要が多い単通路の旅客機の出力を想定しており、本プロジェクトに続いて開発ステージが移行するスケールアップに対応した基盤技術として最終目標を設定した。これにより、円滑に次期フェーズの開発が推進できると考えられる。

①—2 超電導ケーブル基盤技術開発

【2021 年度中間目標】

・0.5-1MW システム用ケーブル概念確立

【2023 年度最終目標】

・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

<設定根拠>

250-500kW、0.5-1MW の出力は、小型機の出力に相当し、開発過程で試験も含めて適用対象が存在する規模の出力を設定した。これらの出力の回転機に必要な基盤技術を確立することで、②「航空機用超電導推進システム機器機能検証」の実施を円滑かつ確度を向上させるために中間目標を設定した。

最終的なターゲットである 20MW は、最も需要が多い単通路の旅客機の出力を想定しており、本プロジェクトに続いて開発ステージが移行するスケールアップに対応した基盤技術として最終目標を設定した。これにより、円滑に次期フェーズの開発が推進できると考えられる。

①—3 冷却システム基盤技術開発

【2021 年度中間目標】

・250-500 kW モータ用冷却システム基盤技術確立

・0.5-1 MW システム用回転機 冷却システム概念確立

【2023 年度最終目標】

・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

<設定根拠>

250-500kW、0.5-1MW の出力は、小型機の出力に相当し、開発過程で試験も含めて適用対象が存在する規模の出力を設定した。これらの出力の回転機に必要な基盤技術を確立することで、②「航空機用超電導推進システム機器機能検証」の実施を円滑かつ確度を向上させるために中間目標を設定した。

最終的なターゲットである 20MW は、最も需要が多い単通路の旅客機の出力を想定しており、本プロジェクトに続いて開発ステージが移行するスケールアップに対応した基盤技術として最終目標を設定した。これにより、円滑に次期フェーズの開発が推進できると考えられる。

①—4 超電導線材基盤技術開発

【2021 年度中間目標】

・スクライビング加工により 5 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 250A/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 300A/cm 以上の界磁コイル用線材を実現する。
- ・0.5-1MW システム用シールド基盤技術を確立する。

【2023 年度最終目標】

- ・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。

<設定根拠>

中間目標は、FS プロジェクトの設計より、条件を設定し、目標値とした。シールド技術としては、後半のシステム開発に適用可能な技術レベルとして設定した。

最終目標は、最終的なターゲットである 20 MW が見込める条件として設定した。シールド技術は、本事業に続いて開発ステージが移行するスケールアップに対応した技術レベルを設定した。

①—5 低温動作半導体技術開発

【2021 年度中間目標】

- ・65K で動作する半導体材料の開発

【2023 年度最終目標】

- ・65K で動作する半導体素子の開発

<設定根拠>

中間目標は、第一段階として、各デバイスの所定の性能確保の確認の後に、システムとしての成立性の確認を目標として設定した。

次期フェーズにインバーターの機能を持った素子の適用を可能にするために、最終目標時には、素子化の目標を設定した。

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

【2021 年度中間目標】

- ・250-500kW 超電導モータを製作し、定格出力試験により基礎的電気特性に加え機械特性、熱特性を評価し、5kW/kg を超える出力密度を実現する見通しを得る。

【2023 年度最終目標】

- ・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。

<設定根拠>

250-500kW の出力は、小型機の出力に相当するものである。本事業提案のモータ構造は、FS プロジェクトにおける 1kW が最大である。従って、実用レベルとしては最初の試作となる本項のテーマでは、第一段階として、中間目標を設定した。

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試験を最終目標として設定した。

②—2 1 MW級超電導推進システム検証

【2021 年度中間目標】

・0.5-1MW 超電導推進システム構成の基本仕様を決定する。

【2023 年度最終目標】

・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。

<設定根拠>

プロジェクト後の航空機対応評価に繋げるための第一段階として、各デバイスの所定の性能確保の確認の後に、システムとしての機能を確認し、システムとしての成立性の確認を中間目標として設定した。

プロジェクト後の航空機対応評価に繋げるための第一段階として、各デバイスの所定の性能確保の確認の後に、システムとしての機能を確認し、システムとしての成立性の確認を最終目標として設定した。

1.2 研究開発のスケジュール

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期
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								500kW級モータ仕様				
①-2 超電導ケーブル基盤技術開発												1MW級システム仕様
①-3 冷却システム基盤技術開発								500kW級モータ仕様				
①-4 超電導線材基盤技術開発												
①-5 低温動作半導体技術開発												
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												
②-2 1MW級超電導推進システム検証												
③ 研究開発推進委員会の開催（全機関）												

九大:九州大学、産総研:産業技術総合研究所、TN:大陽日酸、SOJ:SuperOx Japan、神鋼:神戸製鋼所

1.3 プロジェクト費用

(単位：百万円)

項目	2019年度	2020年度	2021年度	合計
研究項目①「航空機用超電導推進システム要素技術開発」	321	618	809	1,748
研究項目②「航空機用超電導推進システム機器機能検証」	0	172	406	578
合計	321	790	1,215	2,326

1.4 研究開発の実施体制



1.5 研究開発の運営管理（個別管理）

研究開発機関① 航空機用超電導推進システム要素技術開発の基盤技術毎にワーキンググループを設定し、ここにプロジェクトリーダーとともに関係する参画機関が参加し、進捗を管理するとともに連携関係を確認することとしている。② 航空機用超電導推進システム機器機能検証においては、関連する機関が多いことから進捗管理の機会を設け、相互の連携とともにスケジュールの管理を図る。また、プロジェクト全体としては、研究推進委員会において、取りまとめて進捗及び今後の計画を議論し、管理する体制を取っている。

1.6 知的財産権等に関する戦略

各基盤技術の開発が進むにつれて個別の知財が生まれつつある。これらは、遅滞なく積極的に権利化を進めるが、加えて本提案の特長である基盤技術の組み合わせで価値が増大する可能性がある内容を能動的に創り出し、関連技術が連携した技術、更には、システムとしての複合技術に関する知財確保を戦略的に進めていくところである。

1.7 知的財産管理

研究開発責任者である九州大学 先進電気推進飛行体研究センター センター長・教授 岩熊成卓を委員長とし、委員長を含め5名以上で構成する知財管理委員会を創設し、ここで出願を想定している知財を審議または確認することとしている。ここでは、「届け出を受けた成果と本プロジェクトとの関連」、「プロジェクトの成果の出願による権利化又は秘匿の選択」、「出願による権利化を行う場合における出願対象国」、「秘匿をする場合における秘匿期間等」を審議、決定する。多少にかかわらず、本プロジェクトと関連が認められる知財は、必ず出願前に本委員会に諮らなければならないこととしている。

1.8 動向・情勢の把握と対応

下記方法により、動向と情勢を把握

- ・国際学会（ISS2019、EUCAS2019、MT26、ASC2020、ISS2020、CEC/ICMC 2021）に参加することにより業界動向・情勢を把握した。
- ・研究開発推進委員会を通して、開発方針への助言を得るとともに重工関係者への理解促進を図った。

情勢	対応
1. 新型コロナ感染拡大により、研究開発活動が大幅に制限	2021年度に作製予定の全超電導モータの容量に関して、中間目標の範囲（250～500kW）内で調整するとともに、作製、評価スケジュールの見直しを行った。
2. 研究開発を加速するために加速予算を受けた	(2019年) (2020年) (2021年)

2. 研究開発成果

2.1 研究開発項目毎の目標と達成状況

中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
研究項目① 航空機用超電導推進システム要素技術開発			
250-500kW モータ基盤技術確立	<ul style="list-style-type: none"> ・各開発要素に対して、モデル試作等で有効性の検証を一部終了。 ・軽量ケーブル、接続構造に関して適正構造を考案し、モデル試作等で有効性の検証を一部終了。 	△	<p>【課題】 新型コロナ感染拡大の影響により研究開発活動が大幅に制限されている。</p> <p>【解決方針】 目標達成時期を数ヶ月後ろ倒しすることにより対応。</p>
0.5-1MW システム用回転機概念確立		△	
0.5-1MW システム用ケーブル概念確立		△	
250-500kW モータ用冷却システム基盤技術確立		△	
0.5-1MW システム用回転機 冷却システム概念確立		△	
スクライビング加工により5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250A/cmの電機子用線材を実現し、歩留り60%以上を達成	<ul style="list-style-type: none"> ・歩留り向上に有効なスクライブ加工に適した装置を導入、立ち上げ中。 ・短尺線材において左記目標特性を見通す技術を開発。 	△	
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300A/cm以上の界磁コイル用線材を実現		△	
0.5-1MW システム用シールド基盤技術を確立	・小型コイルにてシールド基礎特性を把握するとともに、電磁解析で有効性を確認。	△	
65Kで動作する半導体素子の開発	・既存半導体及び名大試作品で、低温評価を行い必要な耐電圧を確認。	△	
研究項目② 航空機用超電導推進システム機器機能検証			
250-500kW 超電導モータを製作し、定格出力試験により基礎的電気特性に加え機械特性、熱特性を評価し、5kW/kgを超える出力密度を実現する見通しを得る。	<ul style="list-style-type: none"> ・研究項目①の検討に基づき250-500kWモータの基本構造を設計。 ・超電導モータ要素技術選定委員会において250-500kWモータに採用する要素技術を決定。 	△	<p>【課題】 同上。</p> <p>【解決方針】 同上 及びモータ容量を調整することで対応。</p>
0.5-1MW 超電導推進システム構成の基本仕様を決定する。	・現時点で未着手だが、今後他の進展の状況をみて仕様決定予定。	△	

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

2.2 成果と意義（成果の詳細）

研究項目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

①－1－1 超電導巻線技術開発（九州大学（富士電機、鹿児島大学）、産総研）

○界磁コイル巻き線技術開発

②－1 500kW 級超電導モータ検証で実施した 500kW 級モータの仮設計結果に基づき、実施サイズの界磁コイルの試作を行い、製作性、特性等の評価を行った。

<研究成果>

・500kW 級全超電導モータ用の界磁コイルを試作し、所定の通電特性を確認することが出来た。



図 V1-1 試作した界磁コイルモデルの外観

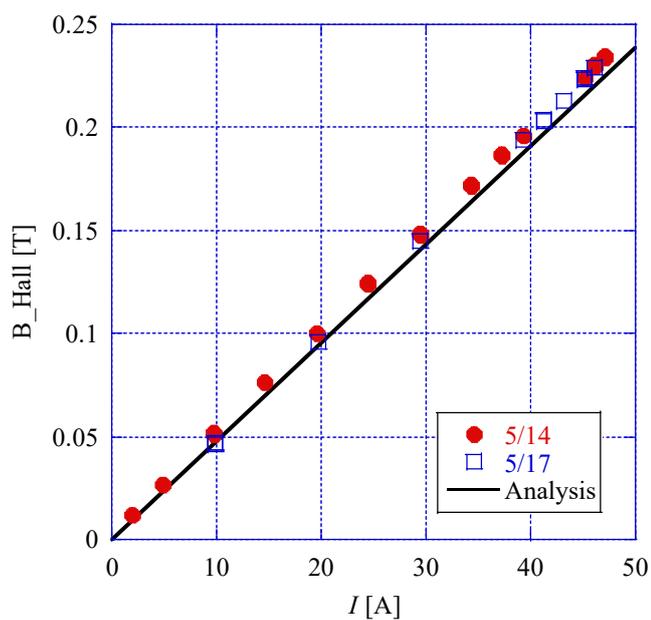


図 V1-2 試作した界磁コイルモデルの通電特性。設計通りの特性を確認。

○電機子コイル巻き線技術開発

②—1 500kW 級超電導モータ検証で実施した 500kW 級モータの仮設計結果に基づき、実施サイズの電機子コイルの試作を行い、製作性等の評価を行った。ここでは、製作性等に重点を置き、スクライブ加工のない線材でのコイルを製作した。

<研究成果>

- ・500kW 級全超電導モータに向けて、電機子コイルを試作し、十分な製作性を確認した。

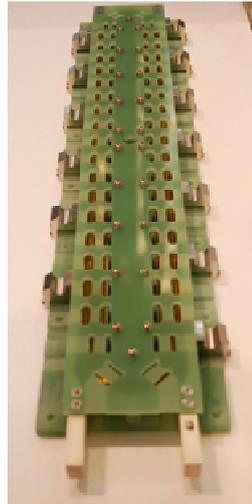


図 V1-3 試作した電機子コイルモデルの外観

④—1—2 軸受構造開発（九州大学（富士電機）、大陽日酸）

軸受構造の健全性を評価するとともに、界磁コイルが運転温度に冷却できることを確認するため、軸受構造開発用冷却モデルを試作し、回転子を固定子容器、断熱材と組み合わせて、冷却試験を実施する。

<研究成果>

- ・界磁コイルを含めた回転子の組み立て完了。



図 V1-4 軸受構造開発用冷却モデル

<意義>

500kW 級超電導モータの課題抽出が可能となる。

①-1-3 界磁コイル給電機構の開発（産総研、九州大学）

①-1-4 回転機ケーシング開発-非金属材料（太陽日酸）

①-1-5 回転機ケーシング開発-チタン合金（神戸製鋼所）

回転機軽量化のために、従来は SUS で作製していたケーシングの代替としてチタン合金を適用した低温筐体の開発にむけ、筐体設計、構成部材の強度評価、成形技術確立、評価試験装置立ち上げを進めた。

<研究成果>

○筐体設計

- ・断熱二重構造ならびに主要部にチタン合金を採用した筐体を設計した。

○構成部材の強度評価

- ・筐体を構成するチタン合金（Ti-15-3-3-3 材、Ti64 材）ならびに支持部材の GFRP 材の 77K 下での評価を実施した。筐体設計時の FEM 解析結果から Ti 合金部にかかる静的応力は 300MPa 以下であり、最大応力振幅を 70MPa 以下とすれば対応可能であることが分かった。GFRP ロッドは使用時の平均応力が引張破断応力の 75%に達する可能性があり、対策の検討が必要であることが分かった。
- ・支持部材については代替材(AFRP 材)を開発し、強度 2.5 倍を確認済。

アルミナFRP製
レーストラック支持体
(破断強度 12kN > 7kN)



図 V1-5 開発したアルミナ FRP 製支持体の外観

○成形技術確立

- ・軽量化のため、筐体外層部に鏡板を採用。2 mm板では成形技術は確立し、本命となる 3 mm板では深さ 133 mmに対して 120 mmまでの加工に成功した（下図）



図 V1-6 開発に成功した約 400mmΦのチタン合金製の鏡板

○筐体開発にかかるその他の課題

- ・溶接条件：酸化されやすい条件に対して、バックシール TIG 溶接法を選定し、酸化抑制、強度劣化の回避可能であると考えている。

○評価試験装置の立ち上げ

- ・上記設計案をもとに、回転機筐体構造の妥当性や極低温容器としての要件を確認する目的で、SUS 製の模擬筐体を試作した。専用の負荷試験装置並びに簡易な液体窒素循環装置も試作済みであり、今年負荷試験を予定している。

【負荷試験装置】

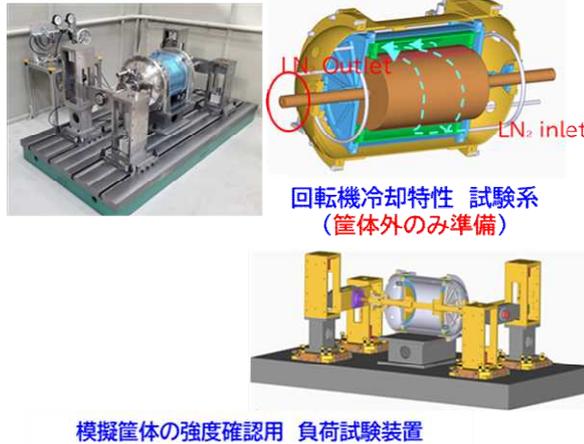


図 V1-7 模擬筐体の強度確認用負荷試験装置概念図

<意義>

必要な各要素技術は着実に確立されており、従来技術（SUS）に対して軽量のチタン合金筐体の製作が可能となる。

①-1-6 超電導誘導モータの開発（九州大学）

誘導機の数百 W 級のモデル機を試作し、実証を行った。ここでは、電気推進システム用の超電導誘導機のプロトタイプ機として、出力増大に向けた超電導誘導機の設計及び試作を行った。

<研究成果>

- ・電磁界解析の結果、超電導線材の特性を考慮した上で kW 級の出力が可能であることを確認した。

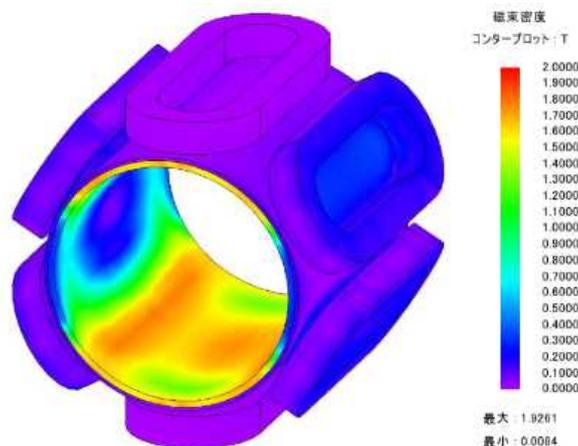


図 V1-8 kW 級超電導誘導機の電磁界解析結果

- ・ 超電導誘導機の冷却試験及び運転試験を実施し、安定して運転できることを確認した。

<意義>

電磁界解析だけでなく実機を用いて原理実証したことにより、超電導誘導機による電気推進システムの構築可能性を示した。

①－1－7 回転機基盤技術開発用線材の提供（SOJ（昭和電線）、産総研）

本事業では、これまで主に、研究項目①「航空機用超電導推進システム要素技術開発」の中で、モデル試作も含めて様々な用途で線材を使用している。本項目では、それらの研究開発に要する線材の提供を行った。

<研究成果>

- ・ 2019年度から現在（2021年8月）まで必要に応じて線材を提供し、モデルコイル試作などに使用した。

<意義>

線材の供給体制を整えることにより、線材を用いるすべての研究開発項目が滞りなく進められるようになった。

①－2 超電導ケーブル基盤技術開発

①－2－1 積層構造ケーブル技術開発（SuperOx Japan（昭和電線）、九州大学（鹿児島大学））

航空機用のケーブルは狭隘な機体内部に配線する関係で細くて大容量、且つ軽量である事が要求される。本項目では、軽量ケーブルの設計及び試作を行い、評価を行った。

<研究成果>

- ・ 軽量構造を有した 20m 試作ケーブルの設計を行った。
- ・ 上記の設計に基づいてケーブルを作製した。（下図）



図 V1-9 積層導体の三相撚線加工

- ・ 上述の超電導ケーブルを SUS コルゲート管に挿入し、端子に接続する部分は撚りを解して各端子に接続した。



図 V1-10 20m 三相積層型超電導ケーブルの通電試験状況

- ・ 上述の超電導ケーブルの直流通電試験を行った結果、U,V,W の各層とも約 2000A の設計通りの I_c を確認することができた。

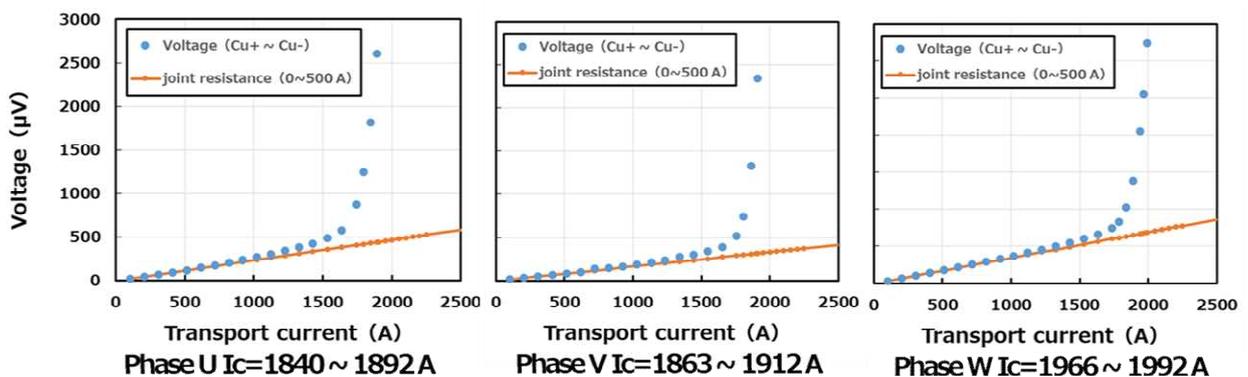


図 V1-11 20m 超電導ケーブルの各相の直流通電試験結果

<意義>

超電導ケーブルの軽量化を意図してケーブルの構造を考案、設計し、20m ケーブルの試作を行った結果、従来の三相同軸ケーブルに比べて大幅に軽量化が可能であることが明らかになった。更に、同ケーブルの直流通電試験を行うことで、同構造のケーブルで所定の I_c を得ることができ、航空機用ケーブルへの適用性を確認することが出来た

- ①-2-2 超電導回転機とケーブルの接続技術開発 (SuperOx Japan (昭和電線)、九州大学)
航空機用のケーブルの両端には、発電機、モータとの接続が必要であり、この要求を満たすべく接続部の開発を行った。

<研究成果>

- ・ 上記要求を満たす接続端子を開発し、①-2-1 軽量構造ケーブル技術開発で作製した 20m ケーブルと合わせて試験を実施した。

①-3 冷却システム基盤技術開発

①-4 超電導線材基盤技術開発

①-4-1 低損失スクライプ線材技術開発 (産総研、SuperOx Japan)

①-4-2 磁場中特性向上技術 (産総研、SuperOx Japan (昭和電線ケーブルシステム)、九州大学 (東海国立大学機構、鹿児島大学、成蹊大学、福岡工業大学))

○パルスレーザー蒸着法による開発 (1)

モータに用いる線材量の軽量化を目指して、IBAD (ion-beam assisted deposition) 配向基板上にパルスレーザー蒸着 (PLD (pulsed laser deposition)) 法により、人工ピン止め点の制御を中心とした超電導層の特性向上技術開発を行った。

<研究成果>

・スクライプによる細線化の際に、長尺線材の高い均一性と歩留りが要求されている。そのため、基板の中間層の膜厚(具体的にはベッド層である $Gd_2Zr_2O_7$ または Al_2O_3 層の膜厚)を厚くし、均一性向上を行った。また、中間層の配向性を改善するためにプロセス技術の改善を行った。その結果、高い均一性と結晶面内・面外配向性を有する長尺基板を作製することが出来た。

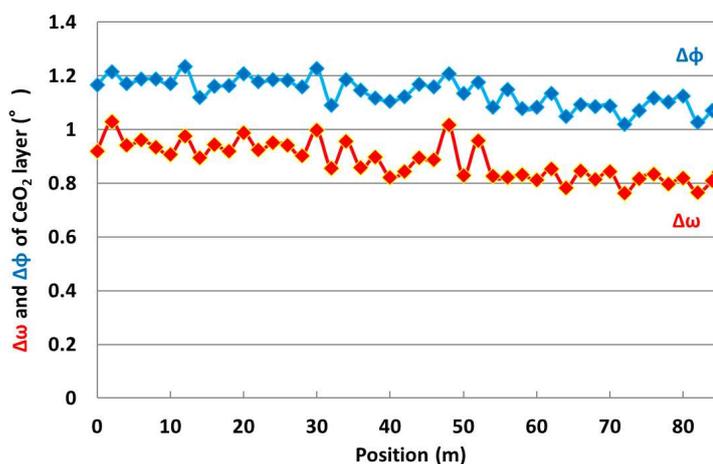


図 V1-12 80 m 長中間層(最表面 CeO_2 層)の長手方向の結晶面内・面外配向度分布

・上記の均一性を向上させた基板を用いて、70m 長 $EuBa_2Cu_3O_x + BaHfO_3(3.5mol\%)$ 線材 (EuBCO + BHO 線材) を作製し、その均一性を評価した。その結果、高い均一性を有する超電導層を作製することが出来た。

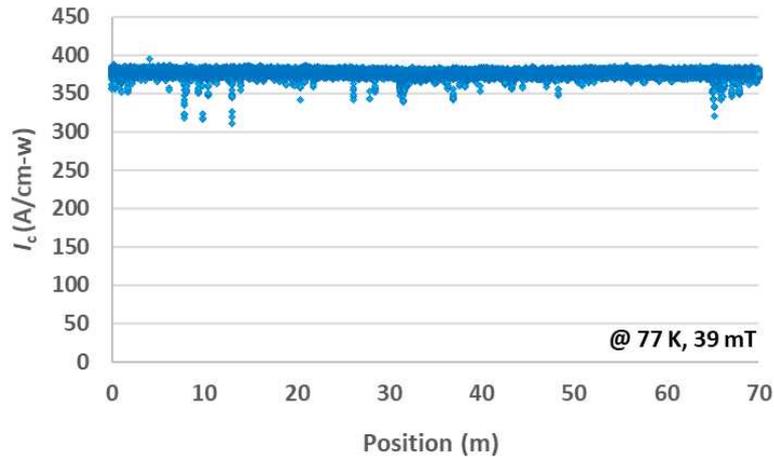


図 V1-13 70m 長 EuBCO + BHO(3.5mol%)線材の I_c 分布

- ・長尺線材の高い均一性と歩留りに加えて、高い磁場中特性も要求されている。そのため、人工ピンである BaHfO_3 (BHO)のドーピング量を従来の 3.5mol%から 5mol%に増加することで、磁場中特性の向上を行った。その結果、ドーピング量を増加することで、高い磁場中特性を得ることが出来た。同結果を基に 70K, 2.5T の I_c を推定すると、179~250A/cm となる。

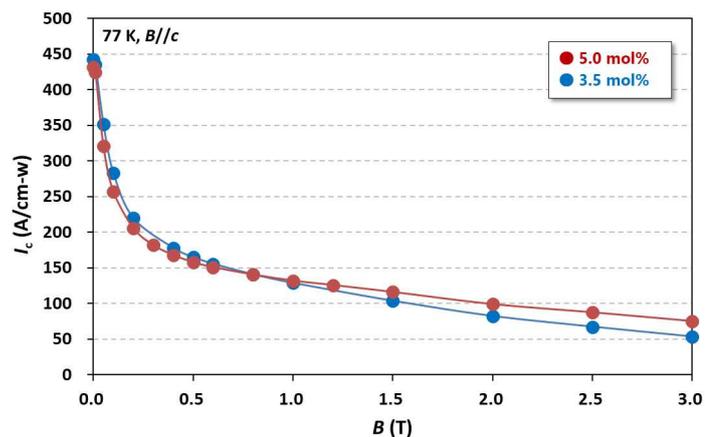


図 V1-14 EuBCO + BHO (3.5mol%)と BHO (5mol%)線材の J_c -B 特性

- ・本PJで使用する長尺線材は FFDS(face-to-face double-stack)構造で用いることが検討されている。そのため、FFDS 構造の際の磁場中特性を評価し、通常(single)線材の磁場中特性と比較した。その結果、FFDS 構造を有する線材の磁場中特性は、通常(single)線材の磁場中特性の約 2 倍になることが実証された。
- ・これにより、5mol%添加の最大 I_c 値 (179~250A/cm@70K, 2.5T) に基づくと、FFDS 化により、357~500A/cm@70K,2.5T が期待できることになり、中間目標を十分に満たす特性となることが分かった。

FFDS Single		
B (T)	I_c (A/cm-w)	
0.00	763.5	442.99
0.01	734.8	435.53
0.05	624.4	352.06
0.10	530.1	282.72
0.20	432.4	219.73
0.30	378.5	-
0.40	346.2	177.82
0.50	322.6	165.09
0.60	304.4	155.63
0.80	276.3	140.80
1.00	251.4	128.77
1.20	234.5	-
1.50	209.3	103.66
2.00	170.4	82.27
2.50	139.4	67.33
3.00	112.1	53.48

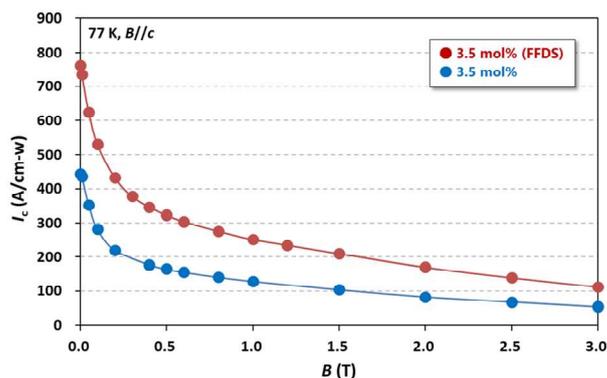


図 V1-15 FFDS 構造と通常(single)線材の EuBCO + BHO (3.5mol%)線材の I_c -B 特性

<意義>

中間層の配向性・均一性を改善することで、より高い I_c 特性の均一性を有する長尺 EuBCO + BHO 線材を作製することが出来るようになる。人工ピンをヘビードープすることで、磁場中特性を向上することが出来るようになる。FFDS 構造の磁場中特性は通常(single)線材と比較して、約 2 倍の磁場中特性を有することが明らかになった。

○パルスレーザー蒸着法による開発 (2)

モータに用いる線材量の軽量化を目指して、IBAD 配向基板上にパルスレーザー蒸着(PLD)法により、人工ピン止め点種類、濃度とともに積層膜の制御を中心とした検討を行った。

<研究成果>

- ・下図には、人工ピン止め点及び積層構造等の検討により得られた代表的な線材の I_c の磁場依存性を示す。本結果は、測定限界の関係から 30 μ m 幅のマイクロブリッジを用いて行った。同図より、試料 A において 70K、2.5T で 194A/cm であった。

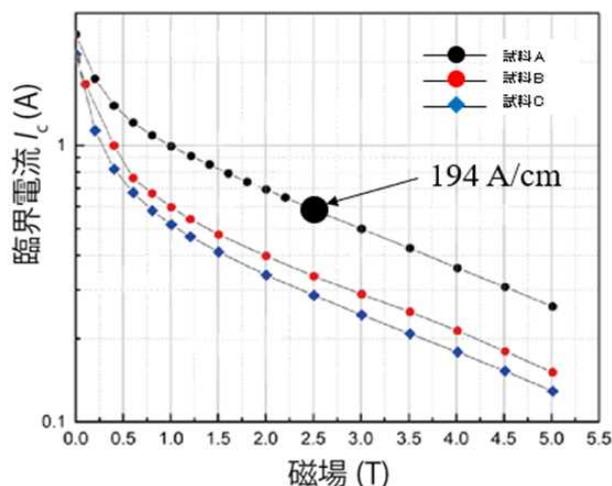


図 V1-16 3 種類の線材の臨界電流 I_c の 70K での磁場依存性

- ・上記の磁場中特性向上線材に関して、安定性向上の観点からプロセスの安定化を図り、 I_c の磁場依存性で高い再現性を確認した。

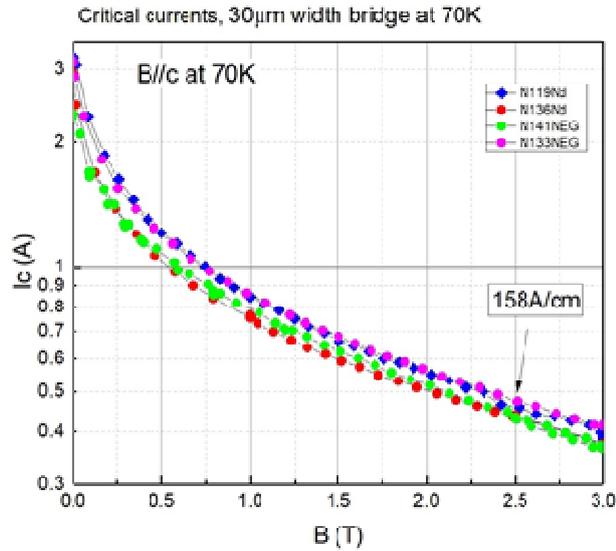


図 V1-17 70K、2.5T で 150A/cm 程度の I_c の再現性

・線材の I_c 特性の向上手法の一つとして 2 枚の線材を貼り合わせる FFDS 線材(face to face double stacked 線材)が有効である。ここでは、これまで作製した線材($I_c \sim 100A$)を用い、実際に FFDS 化し特性を評価した結果、重ね合わせると 2 倍になり、200A を流すことができた。また I_c の分布の標準偏差は、1 本では約 5%であったものが貼り合わせた線材では 3%に低下したことが確認できた。

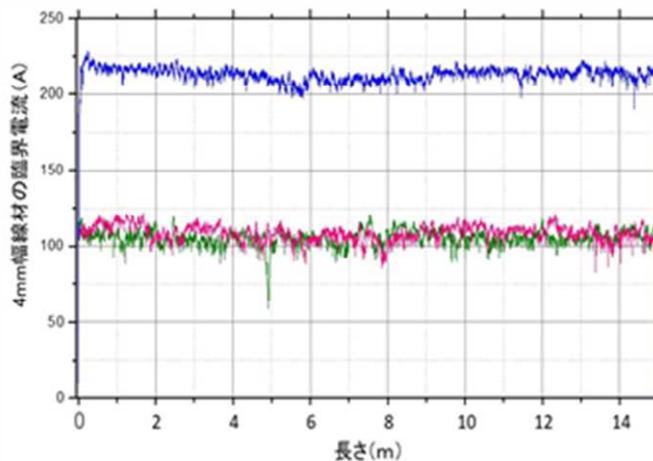


図 V1-18 100A 級線材 (赤、緑) を用いた FFDS 線材 (青) の臨界電流分布

<意義>

$I_c(B)$ 向上成果を基に、更なる $J_c(B)$ の向上を図るとともに、FFDS 化における技術を適用することにより中間目標である 70K、2.5T で 300A/cm を実現する見通しを得たと言える。

また、 $I_c(B)$ 特性の安定化と FFDS 化技術の確立は、線材提供へ大きな貢献が期待できる。

○パルスレーザー蒸着法による開発 (3)

モータに用いる線材量の軽量化を目指して、IBAD 配向基板上にパルスレーザー蒸着(PLD)法を用いて、VLS(Vapor-Liquid-Solid Growth)法による高 $I_c(B)$ 化を図った。

<研究成果>

- ・従来のVLS法による知見を活かし、人工ピン止め点としてBHOを選択し、厚膜化による高特性化を図った。結果として、10 μm 厚において下図の通り、非常に高い I_c を確認することが出来た。

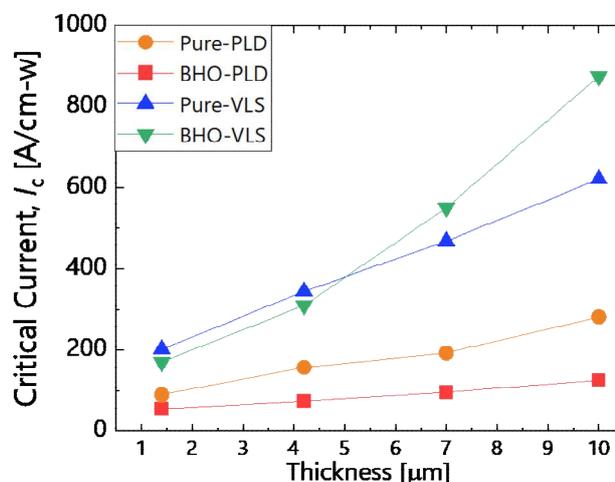


図 V1-19 VLS法で作製したBHO人工ピン止め点入り線材の I_c 特性の膜厚依存性

<意義>

本手法は、液相を積極的に利用する手法にて、厚膜まで高い結晶性を維持することが出来ることを本系でも確認することが出来ている。今後は、上記試料の磁場中特性の評価とともに、長尺化へ展開していくことで高特性線材が期待できる。

○化学液相法による開発

Ultra Thin Once Coating (UTOC)-MOD法により作製した $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\gamma}$ (REBCO)/ BaHfO_3 (BHO)線材の磁場中 J_c 特性向上のために、中間熱処理条件の最適化を実施した。UTOC-MOD-REBCO/BHO線材の磁場中 I_c 特性向上のために、厚膜化の検討を実施した。

<研究成果>

- ・中間熱処理時間と磁場中 J_c 特性 [70K、2.5T (B//c)] の関係を下図に示す。中間熱処理時間が240minの際に、磁場中 J_c 特性は最大値を示し、 $J_c = 1.83\text{MA}/\text{cm}^2$ が得られた。これより、膜厚が1.7 μm -t以上のUTOC-MOD-REBCO/BHO線材において中間目標 (>300A/cm @70K、2.5T) の達成が期待できる。

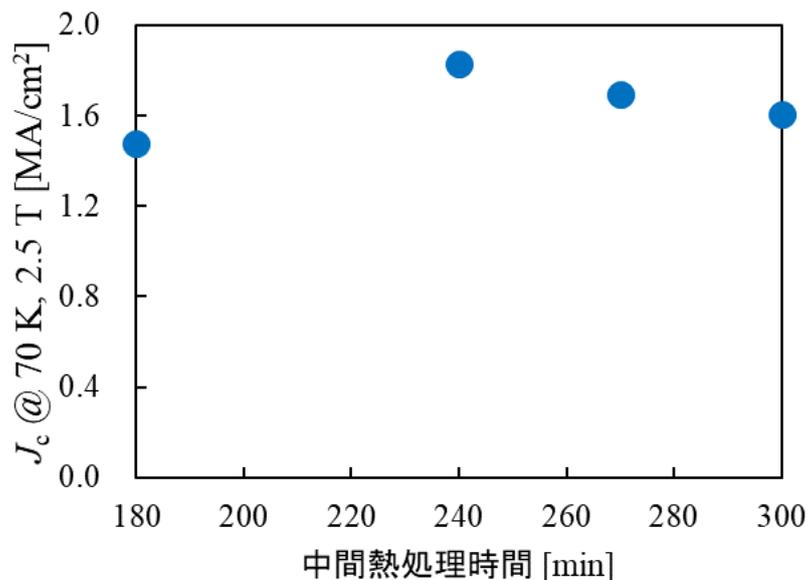


図 V1-20 中間熱処理時間と磁場中 J_c 特性の関係

- ・ UTOC-MOD 法において従来のディップコート法による塗布では、線材幅方向の膜厚不均一性に起因するクラックにより、 $0.6\mu\text{m}$ 以上の厚膜化が困難であった。今回、バーコート法を適用するより $2\mu\text{m}$ までの厚膜化に成功した。このクラック抑制の効果を、Reel-to-Reel 塗布・仮焼成システムによる長尺線材仮焼成膜作製に適用（長さ：10m、移動速度：30m/h、塗布回数：40回、一回塗布膜厚： $40\text{nm}/\text{coat}$ 、総膜厚： $1.6\mu\text{m}$ ）し、連続作製膜において、クラックフリー成膜・仮焼を確認することができた。（下図）。

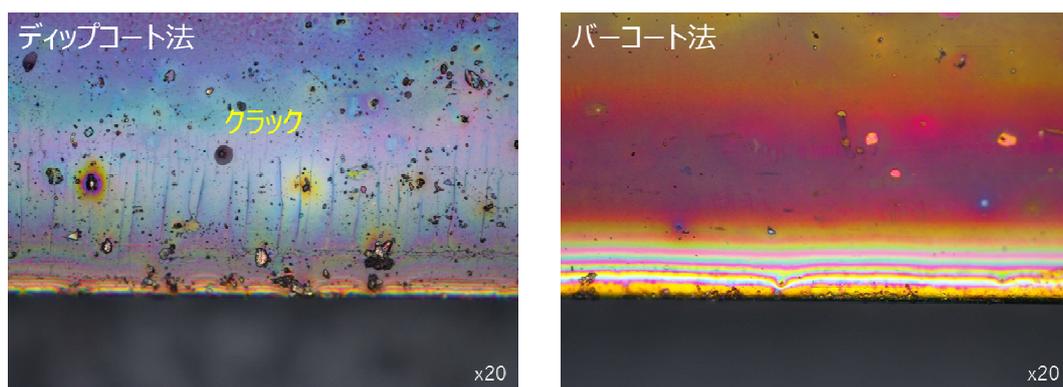


図 V1-21 Reel-to-Reel 塗布・仮焼成システムにより作製した長尺仮焼成膜の端部の光学顕微鏡写真

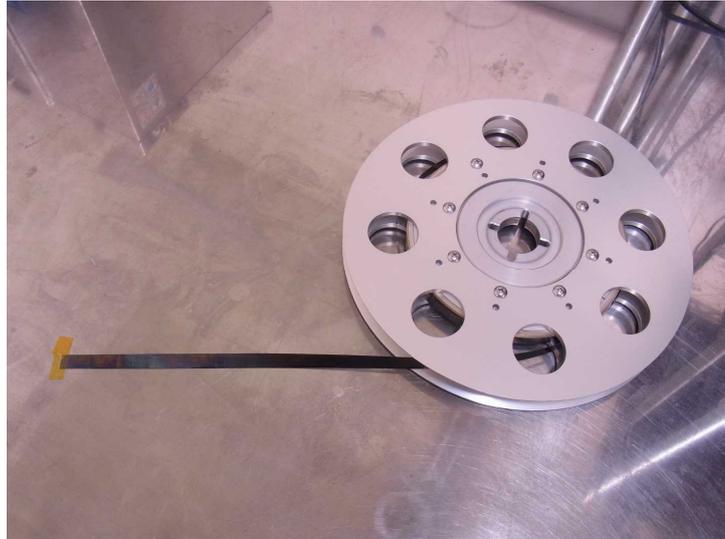


図 V1-22 Reel-to-Reel 塗布・仮焼成システムにより作製した 10m 級長尺仮焼成膜の外観写真

<意義>

磁場中特性の向上および Reel-to-Reel システムにおける厚膜化を達成したことにより、中間目標値である 300A@70K、2.5T の達成は十分可能となったといえる。

○線材評価技術開発

超電導線材は強磁場を経験することにより臨界電流が低下する。その低下を抑制すべく、超電導線材の加工技術の高度化を行った。

<研究成果>

- ・ 産総研ならびに SuperOx Japan、昭和電線ケーブルシステムが作製した開発線材の磁場中臨界電流特性および面内臨界電流密度分布の評価を行うシステムを構築した。

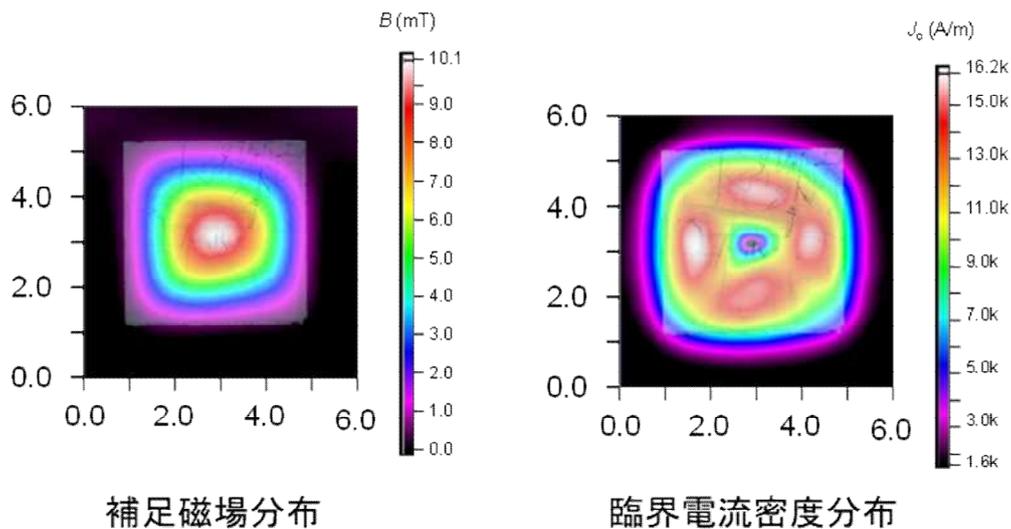


図 V1-23 PLD 法による REBCO 線材の面内臨界電流密度分布評価結果

<意義>

- ・ 得られた開発線材の諸特性を製造プロセスへフィードバックすることにより、加工技術を高度化させて高臨界電流を達成できるようになり、その結果、超電導回転機の性能向上が期待できる。

①-4-3 回転機用軽量シールドの開発（産総研、九州大学）

①-5 低温動作半導体技術開発（九州大学（東海国立大学機構））

液体窒素中においても動作可能な半導体及びこれを用いたデバイスの開発が必要である。ここでは、まず、市販品の GaN-FET の低温における評価および Powdec 製 PSJ(分極超接合)トランジスタの評価、名古屋大学における PSJ トランジスタ試作を行った。

<研究成果>

- ・ 市販品 GaN-FET の低温における電気特性の特性劣化を確認。
- ・ Powdec 製 PSJ トランジスタの評価を行った結果、65K においても 2.3kV の高い耐圧を確認した。

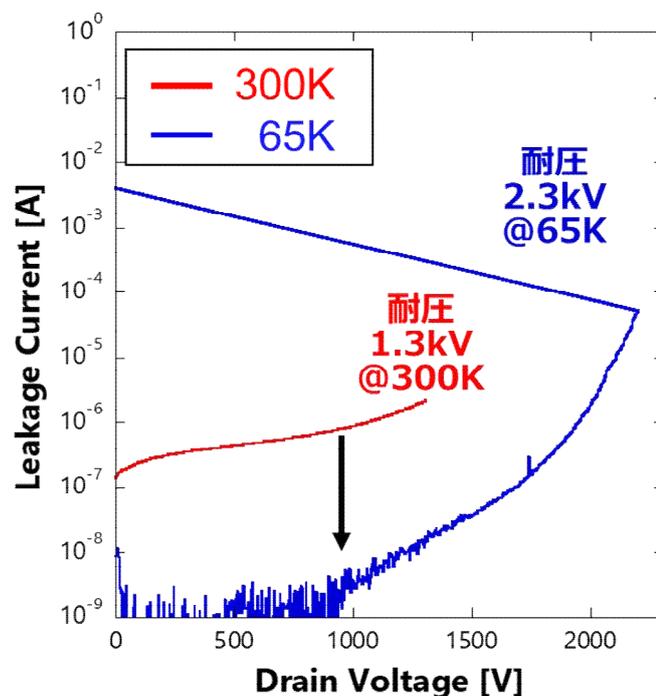


図 V1-24 Powdec 製トランジスタの評価結果

- ・ 名古屋大学試作積層膜において 2 次元キャリアガスの温度依存性が小さいことを確認した上で、PSJ トランジスタを試作し、耐圧 2kV 以上達成。

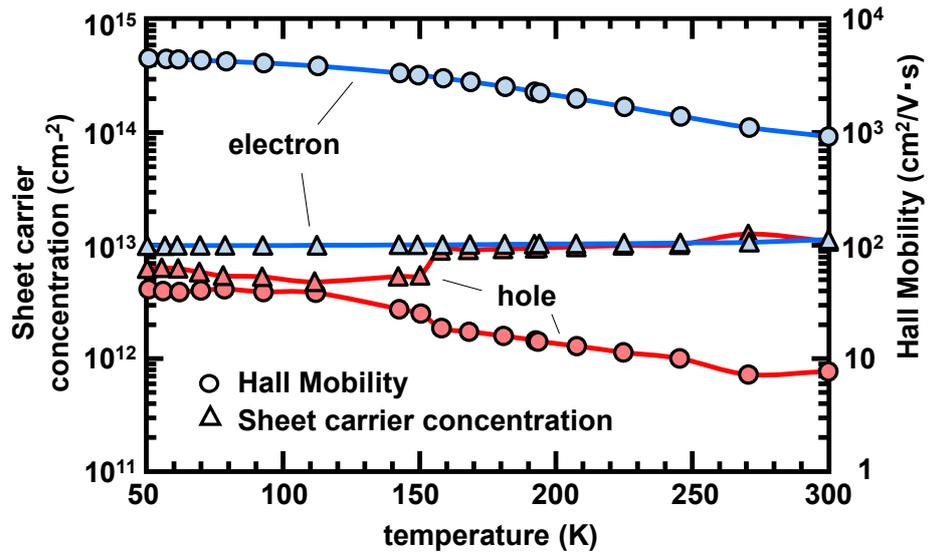


図 V1-25 名大製積層膜による 2 次元キャリアガスの評価結果

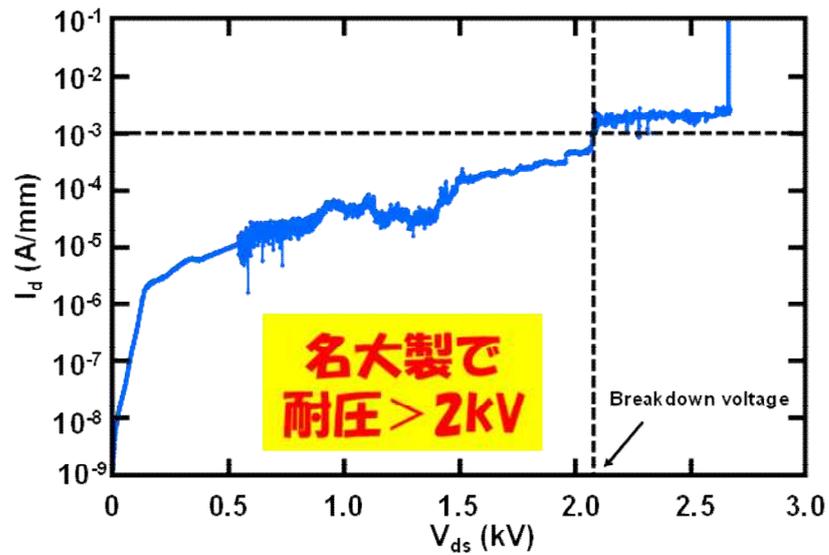


図 V1-26 名大製 PSJ トランジスタの耐圧評価結果

<意義>

耐圧 2kV 以上を達成したことにより、1.2kV 級インバータへ適用可能になった。またリセス構造を採用することによりノーマリーオフ化も期待できる。

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（九州大学（富士電機、鹿児島大学）、産総研、神戸製鋼所、大陽日酸、SuperOx Japan）

○250-500kW 級全超電導モータの仮詳細設計

250-500kW 級全超電導モータの仮詳細設計を行った。

<研究成果>

- ・ 線材の代表特性等を用いた概念設計を行った後、製造技術面からの知見を反映させ、500kW 級全超電導モータを設計した。

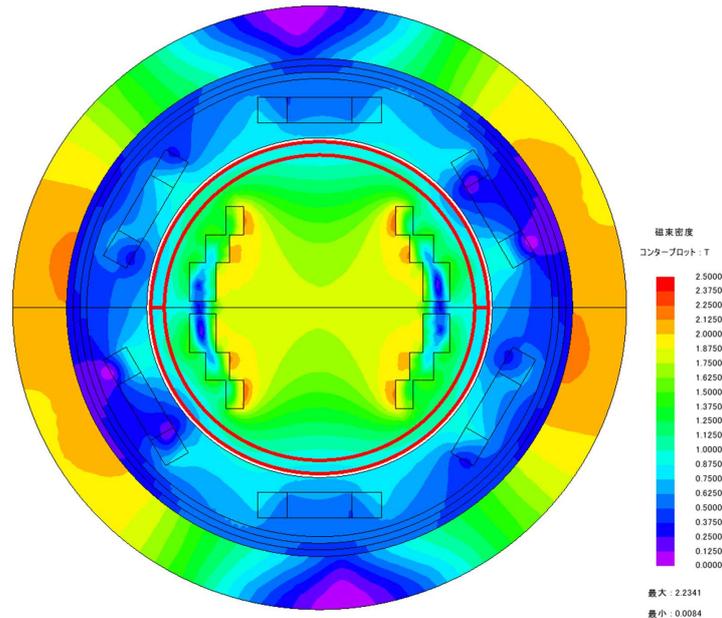


図 V1-27 500kW 級全超電導モータの磁界解析（磁束密度分布図）

- ・ 上記の電気設計の検討結果をもとに、構造面での設計検討を実施した。結果的に、500kW 出力可能である事を確認した。

<意義>

製造上の制約等を考慮したうえでも所望の出力が得られることから、本事業の中間目標である 250-500kW の出力を有する全超電導同期機の成立性を示した。

○500kW 級全超電導モータ採用の要素技術の選定

2019～2020 年度に研究項目①「航空機用超電導推進システム要素技術開発」で開発した各種要素技術において 250-500 kW モータに用いる際に判断が必要な要素技術を対象として、採用の是非を検討し、選定した。具体的には、研究開発推進委員 及び プロジェクト実施機関（共同提案及び再委託企業）から各 1 名で構成される「超電導モータ要素技術選定委員会」を設定し、ここで対象技術の担当機関より進捗状況の説明を行い、内容について議論を行った後に、各委員による採点を経て、プロジェクトリーダー及び研究開発推進委員長による選定案を委員会で承認する形式を取った。

研究項目③「研究開発推進委員会の開催」（九州大学、産総研）

研究開発進捗の管理、開発方針の妥当性を議論し、研究開発を効果的に推進するため、更には研究開発成果を円滑に実用化に繋げることを目的として下表に示す委員を迎え、研究開発推進委員会を開催した。

<実施状況>

- ・本事業を開始から、定期的に 2 回の推進委員会を開催し、第一回では、主に実施計画内容について、第二回は、進捗状況及びそれに基づいた今後の方針について議論を行った。

<意義>

研究進捗内容の議論及び実用化に向けた検討を目的として研究開発推進委員会を設置し、2 回の委員会を開催し、研究方針の検討等に反映させることが出来ている。

2.3 成果の最終目標の達成可能性

最終目標	現状	達成の見通し
研究項目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における課題と対策の明確化	<p>・各開発技術に関して、モデル試作等により着実に開発は進展しているものの新型コロナ感染拡大の影響により研究開発活動が大幅に制限され、中間目標に関しては、達成時期を数ヶ月後ろ倒しすることにより対応。</p>	<p>新型コロナ感染拡大の影響による遅延を最小限に抑制することで達成を目指す。</p>
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		
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		
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		
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		
20MWシステム用シールド基盤技術を確立		
65Kで動作する半導体素子の開発		
20MWシステム用シールド基盤技術を確立		
65Kで動作する半導体素子の開発		
研究項目② 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。	<p>・研究項目①の検討に基づき250-500kWモータの基本構造を設計を終え、着実に開発は進展しているものの新型コロナ感染拡大の影響により研究開発活動が大幅に制限され、中間目標に関しては、モータ容量の調整とともに達成時期を数ヶ月後ろ倒しすることにより対応</p>	<p>0.5-1MW超電導推進システムの検討を250-500kW超電導モータの製作・評価と並行して行うなどにより、新型コロナ感染拡大の影響による遅延を最小限に抑制することで達成を目指す。</p>
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。		

2.4 成果の普及

	2019年度	2020年度	2021年度	計
論文	0	8	0	8
研究発表・講演	37	24	5	66
新聞・雑誌等への掲載	2	0	0	2
展示会への出展	0	1	0	1

2021年8月5日現在

2.5 知的財産権の確保に向けた取組

各基盤技術の開発が進むにつれて個別の知財が生まれつつある。これらは、遅滞なく積極的に権利化を進めるが、加えて本提案の特長である基盤技術の組み合わせで価値が増大する可能性がある内容を能動的に創り出し、関連技術が連携した技術、更には、システムとしての複合技術に関する知財確保を戦略的に進めていくところである。

3. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

3.1 事業化・実用化に向けた戦略

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。CO₂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、常電導システムでは対応不可能ながら、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、空飛ぶ車が考えられるが、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。

日本において新たな産業として航空機産業を創出することにつながる技術であり、国内航空機産業の隆盛と将来の国産航空機産業の礎となる。これにより、雇用創出も含めた経済効果は大きなものと予想される。具体的には、1通路100～200人乗りの航空機は1機100億円前後であり、エンジンはこのうち20%程度を占めており、二大航空機製造メーカーは現在、数千機のバックオーダーを抱えていることから、世界の数割のマーケットを獲得できれば、数千億円/年の売り上げが見込め、またメンテナンスでも相当の市場規模が期待できる。航空機の市場は、年率5%で成長すると見込まれていることを考えると、更に大きな売り上げが期待できる。

3.2 実用化・事業化に向けた具体的取組

本研究計画において期待される成果は、500kW級モータの試作と基本評価と航空機適用を想定した特殊評価と、1MW級のシステムの試作と基礎評価である。容量的には、小型機～ビジネスジェットが視野に入っているが、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ることから少なくともスケールアップが必要である。その際には、航空機全体の構成に適應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り、これらに10年は必要である。従って、本件の実用化は、2030～2035年頃を想定している。

上記のステップを全てクリアすることで実用化・事業化となるが、本プロジェクト終了後の5年間では、本事業で実現した推進システムの航空機に適應した特殊評価と共に20MW級の推進システムの実現のステップを計画している。

3.3 実用化・事業化の見通し

本事業における特徴は、RE系高温超電導技術を適用した軽量大出力の推進システムである。特に、高特性線材技術、交流損失低減技術、ブレイトンサイクル冷凍機技術など、の基盤技術において、世界最高かつ唯一の技術を複数保有している。これらの強みを活かした、世界唯一である全超電導回転機（発電機、モータ）、超軽量ケーブル、特捜的な熱交換機能を活用した冷却システムなどを全て組み合わせたパッケージは、個別の機器の優位性をより強くし、他では実現できない大出力推進システムの軽量化が可能であり、絶対的な競争力である。

しかしながら、新しい技術である当該技術では、大容量化やシステムの実証だけでなく、航空機で求めら

れる安全性や信頼性を確立するための技術開発が必要であり、これらは、必要な仕様や要求条件を熟知したユーザとの強力な連携などが必要である。以上のことより、本プロジェクトの確実な推進と、その後フォロー開発を推し進めることで実用化・事業化は十分に見通せると考える。

3.4 波及効果

<経済的波及効果>

本提案が成功し、実用化が実現した際には、液体水素や LNG を燃料のみならず冷媒として利用する事で画期的な省エネ・低エミッション・低ノイズ航空機が期待できる。液体水素を燃料として発電するシステムに発展できれば、CO₂ を全く排出しないことになるため、最も大きく見積もれば、現状での航空部門での CO₂ 排出量である約 900 万トン/年 (@2011 年) 1)を削減することが可能となる。世界的にみれば、全 CO₂ 排出量のうち航空部門の排出比率は 2%であるので、約 6.9 億トン/年 2)もの CO₂ の削減に寄与することが可能となる。今後の展開を考えれば、航空業界 (ATAG) が ICAO 会議で宣言した CO₂ 削減目標「2050 年時点で 2005 年時点の半減 (改善無い場合に比べて約 95%削減相当) 3)」を実現しなければならず、そのためには革新的な技術開発が必要とされている。特に、最も需要が大きい細胴機の実現に本事業での開発成果が重要であると考えられることから、成功した暁には、日本において新たな航空機産業を創出する技術であり、国内航空機産業の隆盛と将来の国産航空機産業の礎となると考えられる。これにより、雇用創出も含めた経済効果は大きなものと予想される。

具体的には、1 通路 100~200 人乗りの航空機は 1 機 100 億円前後であり、エンジンはこのうち 20%程度を占めており、二大航空機製造メーカーは現在、数千機のバックオーダーを抱えていることから、世界の数割のマーケットを獲得できれば、数千億円/年の売り上げが見込め、またメンテナンスでも相当の市場規模が期待できる。航空機の市場は、年率 5%で成長すると見込まれていることを考えると、更に大きな売り上げが期待できる。

加えて、本件は比較的大型機を対象としているが、この技術の拡張で小型機への適用が進めば、空飛ぶ車の実現、特に多数人乗りの移動手段としての普及に大きく貢献が見込まれる。物流・人の輸送手段を変革し、ライフスタイルを変えるほどの大きなインパクトを与えるものと考えられる。具体的には、都市部における空き地を利用した小規模空港を整備することによりバスや車に代わる渋滞フリーの手軽で新たな交通手段の構築が期待できる。自動車のマーケットは、世界市場で 200 兆円 4)であることを考えると、導入時のシェアを 1 割と低く見積もっても 20 兆円を越す市場が期待できる。

1) 国土交通省航空局 説明資料 (平成 26 年 2 月 3 日)

<https://www.mlit.go.jp/common/001027544.pdf#search=%27%E8%88%AA%E7%A9%BA%E6%A9%9F+CO2%E6%8E%92%E5%87%BA%E9%87%8F%27>

2) WORKING PAPER DEVELOPED FOR 38th ICAO ASSEMBLY (SEPTEMBER/OCTOBER 2013)

3) ICAO Environmental Report 2016

4) IHS Global Inc. の予測を基に住商アビーム自動車総研が推計

<技術的波及効果>

本事業での成果は、船舶への適用は比較的容易に適用可能である。船舶業界では、航空機業界と同様に CO₂ 削減が迫られており、電動化が進められている。課題は、効率と軽量化であり、本事業で取り組んだ成果は、そのまま転用が可能であると考えられる。

また、大型容量の軽量システムの更なる適用先として、大型洋上風力発電への適用も期待される。特に、洋上風力発電では、浮上体に設置できる風力発電機数が限られることから単機容量を増大させなければならない。ここで、課題となるのは大容量化とともに起こる重量化であり、本事業での軽量大容量超電導機器は、課題解決に大きな武器となりうる。

更に、技術的には、要素技術として超電導回転機技術は、産業用モータ等への適用が期待される。これまで、この分野は、コストが課題であったが、上述分野での実用化、市場化が広がることでの量産によるコストの低減効果によるこの分野での広がりも波及効果として期待できる。

V-2. 軽量蓄電池

1. 研究開発マネジメント

1.1 研究開発目標と根拠

(1) 研究開発目標

航空機の環境負荷低減や経済性、整備性向上のため、2019年以降は推進系も含め更に航空機の電動化が進むと考えられており、特に大型航空機に求められる航続距離も満たす電動ハイブリッド技術による燃費削減効果が試算されている。例えばNASAでは種々の機体形態で電動推進システムの構想が検討され大幅な燃費削減効果を期待できるとされている。しかし、電動推進システムを構成する従来のモータやケーブル、発電機、蓄電池等の要素技術及び電力制御システム技術は、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は至っていない。そのため、これら要素の高効率化と軽量化が必要とされている。

上述した研究開発の必要性に鑑み、軽量蓄電池の実機適用レベルのエネルギー密度を実現する要素技術として電極、電解質などの構成要素や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。



(2) 技術的目標とその設定根拠

① 硫黄を担持する多孔性炭素粒子の研究開発（担当：関西大学）

硫黄を用いた正極において、硫黄が充放電の過程で電解液に溶解することで、使用時の性能低下が大きいという問題点がある。その問題点を解決するための一つの処方として、多孔性の炭素粒子の細孔の中に硫黄を担持して、電解液との接触を低減して、性能低下を抑えることが考えられている。

しかしながら、その処方において、炭素粒子の選択、炭素粒子の細孔体積と細孔径の適正化、細孔への硫黄の担持方法、等の条件の適正化がはかれておらず、所望とする性能が得られていない。

本研究では、多孔性炭素粒子を用いる硫黄正極の要素技術を開発して硫黄正極の性能低下を抑える技術を研究開発するとともに、その量産化のための活物質製造技術と極板製造技術の研究開発を行う。

【2021 年度研究開発終了時の目標】

・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%を超えても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。

<設定根拠>

500Wh/kg が目指せる硫黄正極に必要な硫黄担持質量割合である。

② 硫黄の溶解を抑制する電解液の研究開発（担当：関西大学）

硫黄正極の性能低下を抑えるために、多孔性炭素粒子を用いる場合においても、炭素粒子の細孔の開口部分で、硫黄と電解液とが接触するため、硫黄が電解液に溶解することを完全に阻止することは困難であった。

その問題点を解決するための処方として、本研究では、硫黄溶解の防止効果を有する新しい電解液を開発する。このために添加する塩や溶媒の成分、その組み合わせの最適化を検討する。これら材料を用いた試作セルの充放電試験と分析・評価を行い、硫黄電極の充放電効率や容量の安定性確認と、同時に安定化機構を解明する。このように効果確認と機構解明を並行させ、多孔性炭素粒子を用いる硫黄正極の性能低下を抑制する電解液の研究開発を行う。

【2021 年度研究開発終了時の目標】

・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。

<設定根拠>

500Wh/kg が目指せる硫黄正極に対して、SEI（電極界面被膜）効果を確認する。

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（担当：関西大学）

硫黄は絶縁体であり、正極に用いた場合に、大電流での充放電を行うことが難しい。そのため、電解液への溶解を抑制する技術を開発するとともに、大電流での充放電を可能とするために十分な導電性を付与することが望まれる。現時点で、硫黄に導電性を付与する候補技術は乏しいため、従来に無い先進的な要素技術の研究開発を行う必要がある。このコンセプトとして、担持質量の多い硫黄正極に対し、電子伝導経路を付与するとともにイオン伝導経路も良好にキープすることを重視し、研究開発のレベルの高い再委託先の成果を結集して、研究開発を進める。

【2021 年度研究開発終了時の目標】

・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、0.5 CA 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。

<設定根拠>

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する指標である。

④ 蓄電池システムの実証検証（担当：株式会社 GS ヲアサ）

硫黄正極の要素技術、活物質製造技術、極板製造技術、電解液の技術の成果を基にした電池材料の仕様から、プロトタイプモデルとなる小型セルの設計を行う。複数の小型セルの設計を基に、小型セルの製作に必要な電池材料の数量を算出する。

小型セルの設計を基に、専門メーカーから電池材料を入手し、小型セルの組み立て、製作を行う。

小型セルの評価は、初期容量および出力性能（大電流での放電性能）、および寿命性能について行う。小型セルの評価で得られた結果について、GS コアサにて解析を行い、硫黄正極の問題点や改善点を抽出する。硫黄正極の問題点については、関西大学へフィードバックし、要素技術、活物質製造技術、極板製造技術、電解液の技術の観点から、改善すべきポイントを絞り、その研究開発を行う。新たな問題点の改善策の検討については、関西大学とGS コアサとで逐次連携して行う。

CMU、BMU については、小型セルの評価で得られる電池性能と、電動航空機の軽量蓄電池に要求される性能とを比較し、必要とされる電子制御について設計・開発する。軽量蓄電池として質量エネルギー密度、出力性能、寿命性能の最も適した性能が得られるような制御を検討し、そのアルゴリズムを搭載した CMU、BMU を設計し、仕様書を作成する。

小型セルと、CMU とを組み合わせた蓄電池システムを試作し評価を行う。この評価では、蓄電池システムの初期容量と、大電流での放電性能を確認する。

【2021 年度研究開発終了時の目標】

- ・軽量蓄電池について、500Wh/kg が目指せる400Wh/kg 級の小型セルを試作する。さらに、軽量蓄電池に適合する CMU、BMU 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。

- ・軽量蓄電池の大電流での放電性能については、0.5 CA 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。

<設定根拠>

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かを検証する。

【最終目標（2023 年度末）】

- ・500Wh/kg 級の小型セルの製作

- ・実規模セルを用いた蓄電池システムの実証（TRL6 の達成）

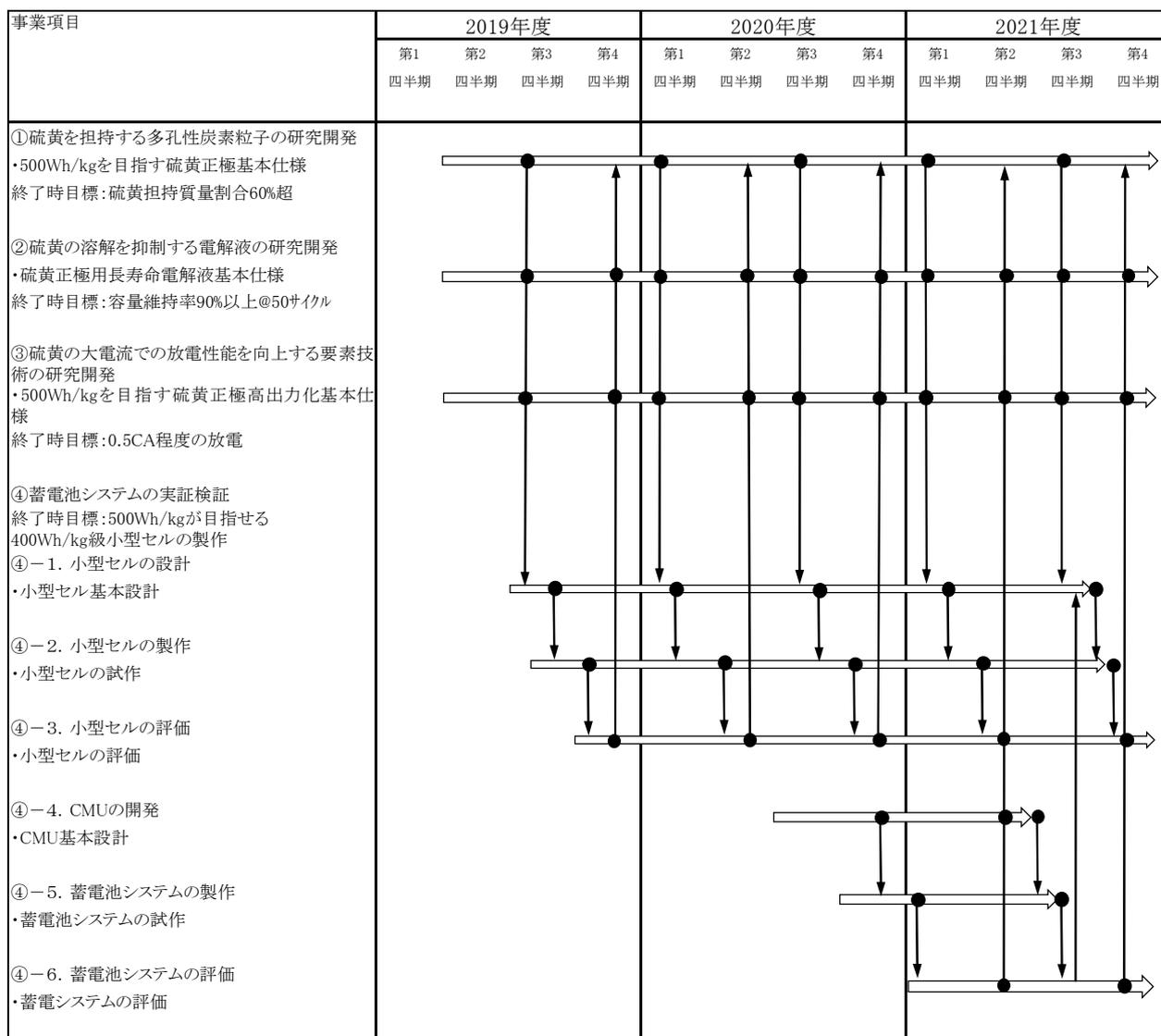
<設定根拠>

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かを実証する。

1.2 研究開発のスケジュール

以下に本研究開発の2019年度から2023年度までの全体計画を示す。

中間目標までには小型セルを使った蓄電池システムの試作、評価を行う。最終目標では、中間目標で達成した質量エネルギー密度の軽量蓄電池を用いて蓄電池システムを試作し、航空機の電動化への実用化検討を実施する。

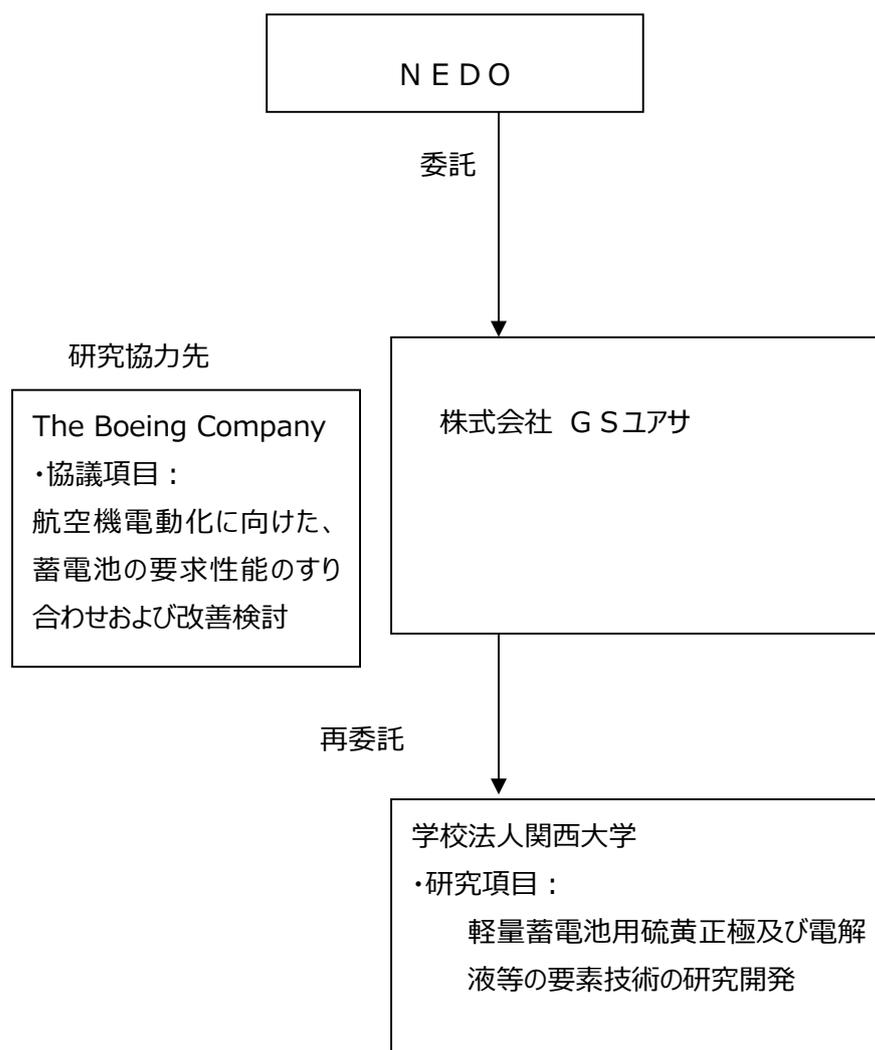


1.3 プロジェクト費用

(単位：百万円)

項目	2019年度	2020年度	2021年度 (予定)	合計
①硫黄を担持する多孔性炭素粒子の研究開発	124	145	53	322
②硫黄の溶解を抑制する電解液の研究開発	83	98	52	233
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	57	124	52	233
④蓄電池システムの実証検証	31	62	157	250
合計	295	429	314	1038

1.4 研究開発の実施体制



1.5 研究開発の運営管理（個別管理）

NEDO 主体でおこなわれる事業推進委員会、サイトビジット以外として、研究協力先の The Boeing Company との技術ミーティングおよびレビューミーティングを実施している。これらのミーティングにおいて、同社と、「航空機の電動化に必要な要求性能」について、綿密な協議を継続して実施する。

<開催実施>

・技術ミーティング

2019 年度 11 回開催

2020 年度 15 回開催

2021 年度 2 回開催（7 月時点）

・レビューミーティング

2020 年 9 月、2021 年 4 月 開催

1.6 知的財産権等に関する戦略

本研究開発における知的財産は、製品（軽量蓄電池）より侵害発見が可能である発明に絞って出願する戦略とし、侵害発見が困難な技術ノウハウについては秘匿する。

1.7 知的財産管理

本プロジェクトにおける成果の公表および知的財産権の取り扱いを適切に行うため、株式会社 GS ユアサ 研究開発センター 戦略企画室にて知財運営管理を行うことにした。また、「知財及びデータの取り扱いに関する合意書」により

・秘密保持

・本プロジェクトの実施により得られた知的財産権の帰属

・共有するフォアグラウンド IP の取扱い

・知的財産権の実施許諾

等を規定した。

1.8 動向・情勢の把握と対応

本研究開発項目は、①機体 OEM メーカーとの意見交換、②展示会、学会等への参加、③技術書籍・雑誌、プレスリリース、市場レポート等の公開情報による競合他社の情報調査、④文献、特許調査、等により世界の動向と情勢を把握している。尚、現時点で、研究開発開始当時との大きな差異はない。

本取り組みの中から、最も重要な情勢・対応の一つを下表に示す。

情勢	対応
昨年未から加速された 2050 年度カーボンニュートラルへの対応として、特に自動車業界において電動化への対応が活発におこなわれている。航空業界にでもこの流れは無視できず、今後、ハイブリッドも含めた電動化が要求されていくと考えられている。	質量エネルギー密度 500 Wh/kg を有するリチウム硫黄電池を開発して、電動航空機の電源としての利用を検討する。

2. 研究開発成果

2.1 研究開発項目毎の目標と達成状況

-項目：硫黄を担持する多孔性粒子の研究開発

中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
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%を超えても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。	硫黄担持質量割合 60 wt.%以上の硫黄正極で 1000 mAh g ⁻¹ から 1300-1600 mAh g ⁻¹ の可逆容量の増大に成功した。エネルギー密度は可逆容量と作動電圧の積であるため、上述の可逆容量の飛躍的な向上により、500Wh/kgのエネルギー密度実現に大きく近づいた。	◎	課題 ：さらなる硫黄担持質量割合と可逆容量の増大が必要である。 解決方針 ：イオン伝導体を兼ね備えた硫黄正極を開発し、さらなる高エネルギー密度化を目指す。

-項目：硫黄の溶解を抑制する電解液の研究開発

中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
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。	硫黄正極小型セル評価において、良好な SEI を形成できる VC を溶媒とした電解液を適用することで、容量安定後の充放電 50 サイクルの容量維持率は 93%であることを確認した。また電解液の粘度が可逆容量に依存することを見出し、高エネルギー密度化への電解液のコンセプトを得た。さらに電解液の軽量化を目的とし密度の小さな電解液も開発済である。	◎	課題 ：電解液の密度は、エネルギー密度増大に向けた重要な因子の一つである。しかしながら現状、電解液の密度は大きい。 解決方針 ：電解液を構成するリチウム塩や溶媒を、低密度化することでエネルギー密度増大を目指す。

-項目：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

中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
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、0.5 CA 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。	新バインダーを適用した硫黄正極小型セル評価において、0.1CA 相当の放電に対する2CA 相当の放電(目標値の4倍の大電流による放電)における容量保持率は100%であり、電極に大きな劣化を起こさず充放電が可能であることを確認した。さらに、新バインダーを適用した高目付(4.21 mg cm ⁻²)の20 サイクル充放電後の容量維持率が旧バインダーを適用したものに比べ、約10%高いことを明らかにした。	◎	課題 ：高エネルギー密度化と高出力化の両立のために、硫黄正極の目付を向上させることが課題である。 解決方針 ：目付向上に寄与するパラメータ(電極ペーストの粘弾性等)を明らかにし、それらを最適化することで、高目付の正極を開発する。

-項目：蓄電池システムの実証検証

中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
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。	・試作した5 Ah 級-積層セルのエネルギー密度は350 Wh/kg であることを実証した。(2021年8月時点) ・軽量蓄電池に適合する電池モジュール構造(軽量化、均一圧迫機構)およびCMU, BMU のプロトタイプ設計を完了し、蓄電池システムを試作中。	△ (2022年3月達成見込)	課題 ：エネルギー密度向上 解決方針 ：詳細設計改善にて検討を更に進める。
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。	・試作した蓄電システムについて、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予定。	△ (2022年3月達成見込)	課題 ：検証指標の確定 解決方針 ：地上の実験室環境下で航空機の電動化に適用可能かを判断する指標(安全性などの影響を考慮)の把握。

<p>軽量蓄電池の大電流での放電性能については、0.5 CA 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。</p>	<p>・試作した 5 Ah 級-積層セルでの大電流での放電性能については、1.0 CA 程度の放電が可能であった。 ・その他の性能値については、機体 OEM メーカーである Boeing との協議を継続中。</p>	<p>△ (2022 年 3 月 達成見込)</p>	<p>課題：大電流放電性能の検証 解決方針：地上の実験室にて、蓄電システムの大電流放電性能を確認する。</p>
---	--	---	--

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

※達成度◎の項目において、「課題と解決方法」の欄に記述があるが、これは、年度末、また最終目標に向けて、更に成果を高めて行くという事で記載。

2.2 成果と意義（成果の詳細）

-項目：硫黄を担持する多孔性粒子の研究開発

<研究成果>

本研究で作製した硫黄炭素多孔性粒子のSTEM-EELSによる評価より、粒子全体にわたり、リチウムおよび元素 X が観察された。(図 V2-1) また X 線光電池分光法より元素 X ベースの Li^+ イオン伝導体であることを特定し、 Li^+ イオン伝導体を備えた硫黄炭素多孔性粒子を得ることに成功した。この硫黄多孔性粒子を用いたリチウム硫黄電池において、硫黄担持質量割合 65 wt% で $1400\sim 1600\text{ mAh g}^{-1}$ の可逆容量を示し、これまで報告された固相反応を示す硫黄正極の中で最も大きい値を示した。(図 V2-2)

<意義>

リチウム硫黄電池の質量エネルギー密度を向上できる硫黄正極のコンセプトを得た。

-項目：硫黄の溶解を抑制する電解液の研究開発

<研究成果>

① 容量維持率の向上

リチウム硫黄電池の容量維持率向上を目的として、種々の電解液を検討した結果、図 3 に示すように、 $1\text{ M LiTFSI} / \text{FEC:VC} = 1:1 + 10\text{ wt.}\% \text{HFE}$ の電解液を適用したリチウム硫黄電池が約 93% の容量維持率を示すことが明らかになった。(図 V2-3)

② エネルギー密度の向上

リチウム硫黄電池の高エネルギー密度化を目的として、種々の電解液を検討し、容量向上要因を調査した結果、電解液粘度と比容量の間に明確な正の相関が確認でき、電解液粘度が 20 mPa s^{-1} 以上では、比容量は一定となった。(図 V2-4) 電解液粘度が正極被膜形成過程に寄与しており、 20 mPa s^{-1} 以下の電解液において粘度が高いほど低抵抗である良好な被膜が形成されと考えられる。さらなる高エネルギー密度化のために、軽量の電解液の開発を目的として、これまで使用してきた LiTFSI よりも低密度なリチウム塩を検討した。低密度なリチウムを含む新規軽量電解液は、LiTFSI を用いた電解液と同等の充放電容量を示し、エネルギー密度の向上が期待できる。(図 V2-5)

<意義>

リチウム硫黄電池の長寿命化および高エネルギー密度化に向けた電解液の開発に成功した。

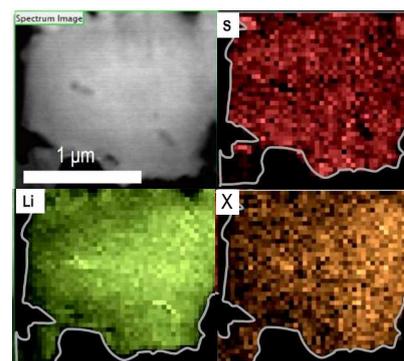


図 V2-1 充電後の硫黄炭素多孔性粒子断面の硫黄(S)、リチウム(Li)、Xの分布

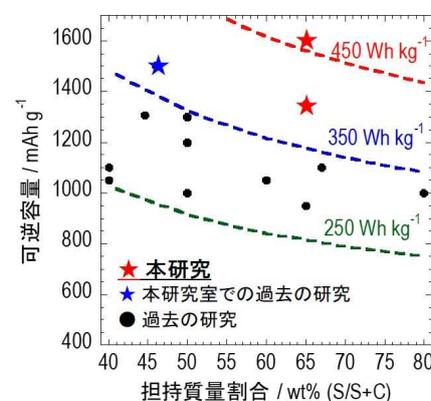


図 V2-2 本研究および過去に報告された硫黄の担持質量と可逆容量の関係

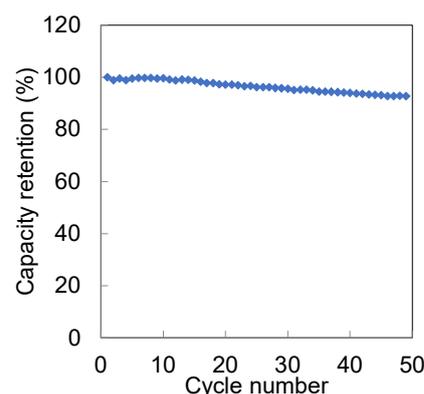


図 V2-3 $1\text{ M LiTFSI} / \text{FEC:VC} = 1:1 + 10\text{ wt.}\% \text{HFE}$ の電解液を適用したリチウム硫黄電池の充放電サイクル数と容量維持率の関係

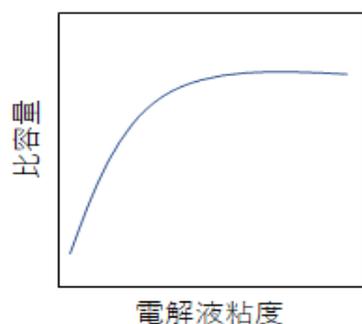


図 V2-4 比容量と電解液粘度の関係

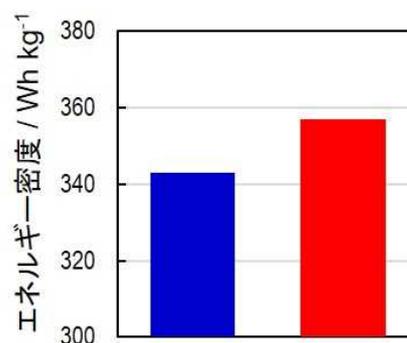


図 V2-5 電解液の密度と電池のエネルギー密度の関係

-項目：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

<研究成果>

高エネルギー密度と高出力密度を両立する多孔性炭素—硫黄複合体正極開発を目的として、新バインダーの開発をおこなった。その詳細を以下に記載する

① 多孔性炭素—硫黄複合体正極の高出力化

多孔性炭素—硫黄複合体正極の高出力化を目的として、新バインダーを適用した正極を作製した。その電極の導電性を明らかにするために、AFM を用いて電流マッピングをおこなった(図 V2-6)。図より、新バインダーを適用した電極において、従来のバインダー(旧バインダー)を適用した電極には見られない高導電性のネットワークが形成されていることが明らかになった。

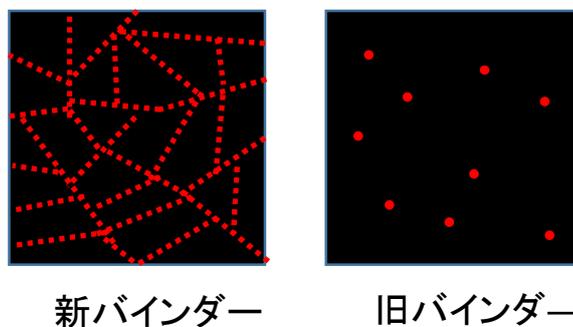


図 V2-6 新バインダーおよび旧バインダーを適用した多孔性炭素—硫黄複合正極の電流

さらに、新バインダーを適用した多孔性炭素—硫黄複合体正極は、旧バインダーを適用したものに比べ高い出力特性を示し、2 CA 相当の高率放電において、0.1 CA 相当の低率放電と同等の比容量を示すことが明らかになった。さらに、10 CA 相当の極めて高い電流密度においても 0.1 CA での比容量の約 91%の容量を維持することが明らかになった(図 V2-7)。

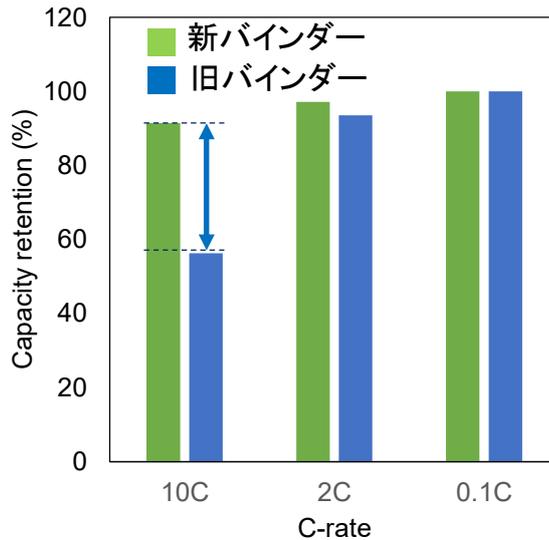


図 V2-7 新バインダーおよび旧バインダーを適用した多孔性炭素—硫黄正極の出

② 多孔性炭素—硫黄複合体正極の高目付化

多孔性炭素—硫黄複合体正極の高エネルギー密度化を目的として、新バインダーおよび旧バインダーを用いて、それぞれ 4.21 mg cm^{-2} の高目付(従来の正極目付は 1.85 mg cm^{-2} である)正極開発をおこなった。いずれの正極も、 0.1CA の低率放電において、従来の正極と同等の比容量を示したが、新バインダーを適用した正極の 20 サイクル充放電後の容量維持率が、SBR を適用したものに比べ約 10%高いことが明らかになった(図 V2-8)。

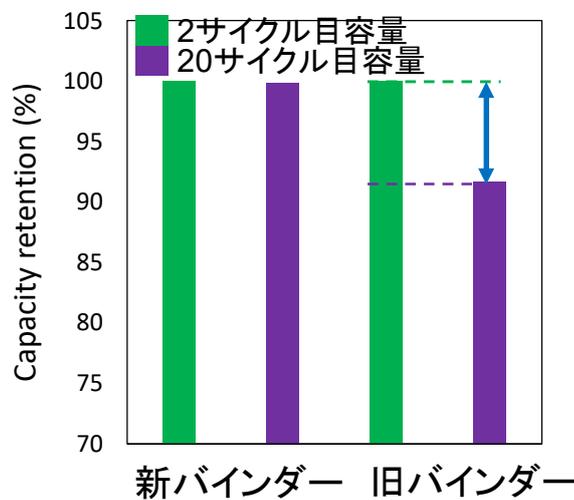


図 V2-8 新バインダーおよび旧バインダーを適用した厚塗り多孔性炭素—硫黄複合体電極 (4.21 mg cm^{-2}) の容量維持率

以上の結果から、新バインダーを適用した多孔性炭素—硫黄正極が高い出力特性を示し、高目付の正極において、高い容量維持率を示すことが明らかになった。その特徴から、新バインダーが高エネルギー密度と高出力密度を両立するリチウム硫黄電池に有望な要素技術であると言える。

<意義>

リチウム硫黄電池の大電流放電性能を向上できる高導電性硫黄正極のバインダーとして新バインダーを見出した。

-項目：蓄電池システムの実証検証

＜研究成果＞

① 軽量蓄電池の開発

正極活物質に硫黄-炭素複合体を適用したリチウム硫黄電池技術を開発するとともに、電動航空機に求められる安全性および高エネルギー密度を実現した蓄電池システムを構築することを目的とする。本検討の中間目標として、400 Wh/kg 級のエネルギー密度を有する小型セルの仕様策定、試作/評価を実施した。関西大学および自社の要素技術の開発成果を展開したプロトタイプモデル（実証セル）を試作・評価し、性能評価をおこなった。研究成果は、次のとおりである。

・ 5 Ah 級-リチウム硫黄電池（積層セル）の製造技術の確立

実証セル（5 Ah 級-積層セル）の製造工程を図 V2-11 に示す。活物質製造工程については、請負外注先（関西熱化学株式会社および株式会社 MC エバテック）に炭素材料の製造および複合化を外注するとともに、数十 kg レベルの製造技術を確立した。また、混練・塗布工程～セル完成までの、製造工程については、自社事業部門の従来リチウムイオン電池の製造設備（図 V2-12：電極用大型コーターおよびプレス機）での製造を検討した。硫黄正極の電極技術として、塗布質量増大・制御技術、多孔度制御技術を確立した。また、電池の形状として、積層型-パウチ外装体を選択するとともに、5Ah 級-積層セルの製造技術を確立した。以上より、本電池の製造工程には、既存リチウムイオン電池の製造装置の転用が可能であることを実証するとともに、5A 級-リチウム硫黄電池の製造技術を確立した。

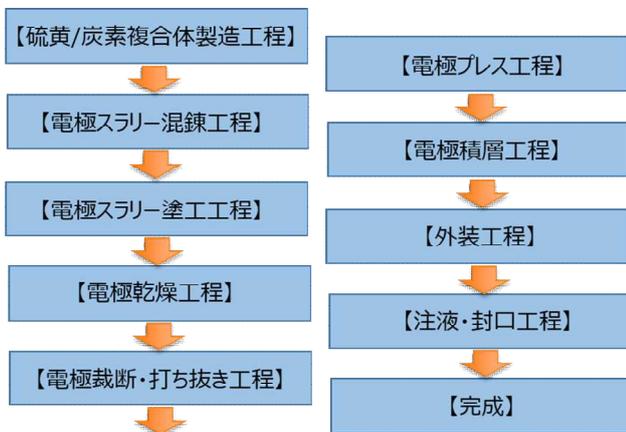


図 V2-11 5 Ah 級-積層セルの製造工程



図 V2-12 大型コーターおよびプレス機

・ 5 Ah 級-積層セルの初期電池特性

図 V2-13 および表 1 に、上記の製造工程を経て製作した 5 Ah 級-積層セルの外観写真および基本仕様を示す。今後、タブ・リードの位置および外装体サイズを最適化することによって、セルのエネルギー密度の増大が期待できる。図 V2-14 に、本セルの初期電池特性を示す。電池設計通りの電池特性が得られることを確認した。



図 V2-13 5 Ah 級-積層セルの外観写真

表 V2-1 5 Ah 級-積層セルの基本仕様

電池容量	5 Ah (5-7 Ah)
サイズ (エレメント部)	55 x 90 mm
積層数	10積層
負極活物質	Li金属
正極活物質	硫黄-炭素複合体
電解液	LiTFSI-VC系

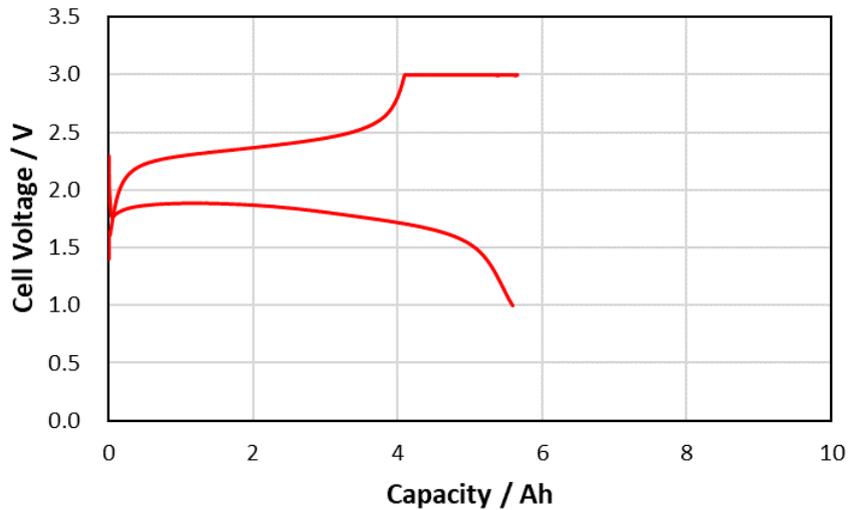


図 V2-14 5 Ah 級-積層セルの充放電特

・5 Ah 級-積層セルのエネルギー密度

図 V2-15 に、5 Ah 級-積層セルの質量エネルギー密度の実績および改善ロードマップを示す。2020 年度実績は、200 Wh/kg であり、2021 年度の現状のエネルギー密度（2021 年 8 月実績）は、350 Wh/kg であることを実証した。今後、正極技術、電解液技術（関西大学新規要素技術を含む）の改善、および電池構造部材の最適化によって、中間目標である 400 Wh/kg 以上の質量エネルギー密度の発現が期待できる。

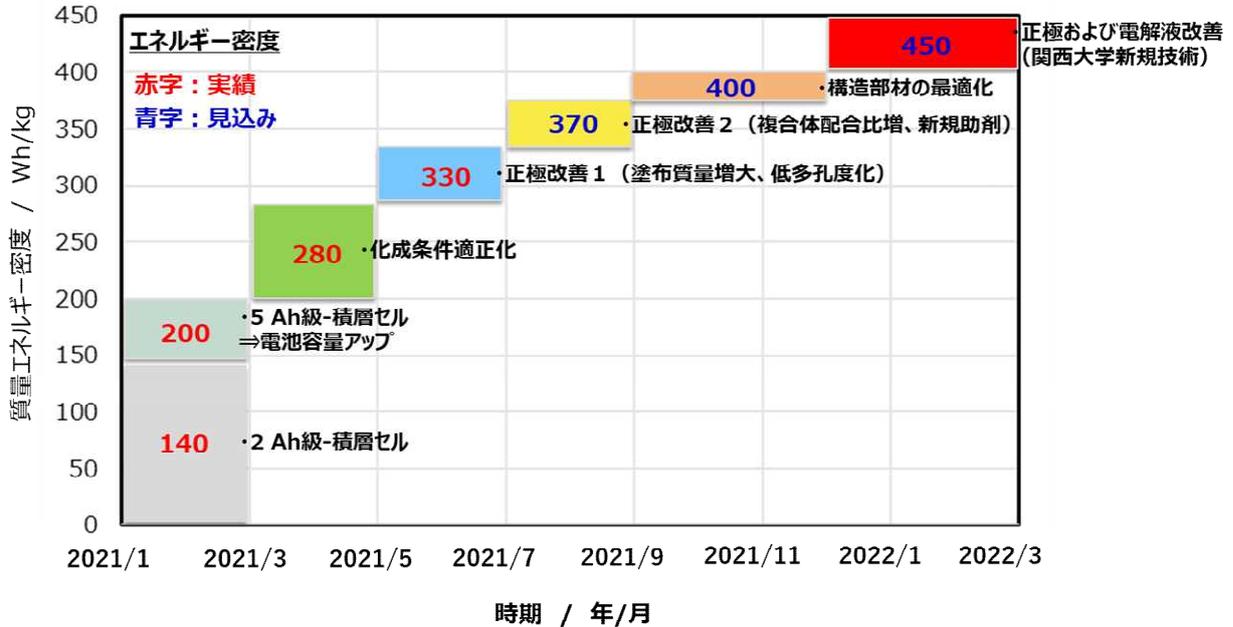


図 V2-15 5 Ah 級-積層セルの質量エネルギー密度の実績と改善ロードマップ

・5 Ah 級-積層セルの放電レート性能

図 V2-16 に、5 Ah 級-積層セルの放電レート性能（充電条件：0.2 CA）を示す。放電レート 1.0 CA まで、放電容量の大きな低下は無く、大電流での放電が可能であることがわかった。また、中間目標である、0.5 CA 以上の放電が可能であることを実証した。

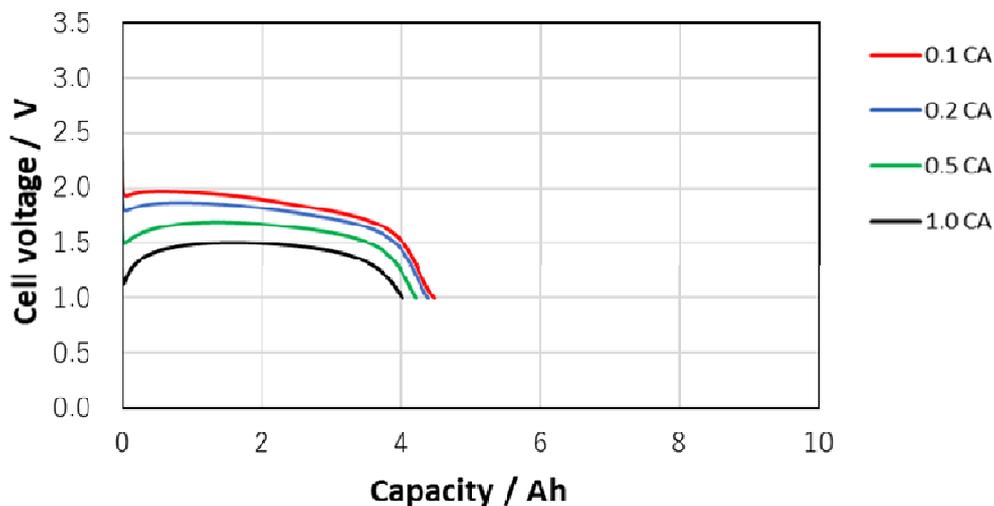


図 V2-16 5 Ah 級-積層セルの放電レート

・5 Ah 級-積層セルの安全性評価

図 V2-17 および 18 に、5 Ah 級-積層セルの過充電試験（SOC100%から 300%まで過充電） および内部短絡（釘差し）試験（SOC100%における、釘差し：貫通 3 回）の結果をそれぞれ示す。過充電状態および内部短絡発生状態のいずれの場合においても、電池温度の過度な上昇は認められず、電池熱暴走は発生しないことがわかった。以上より、5 Ah 級-リチウム硫黄電池において、一定レベルの電池安全性を確認した。今後、電動航空機の安全性基準を考慮した詳細試験を実施予定である。

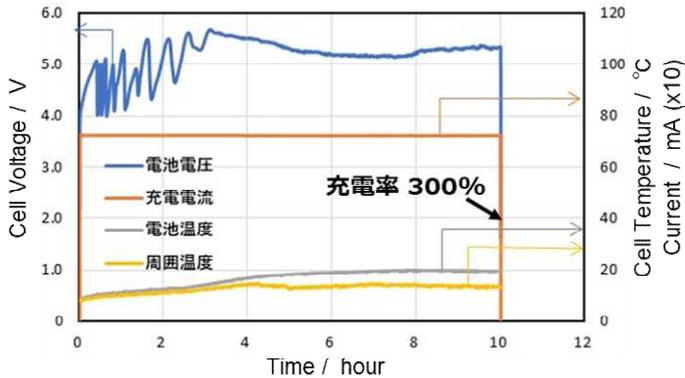


図 V2-17 過充電試験における電池電圧、充電電流および温度の変化

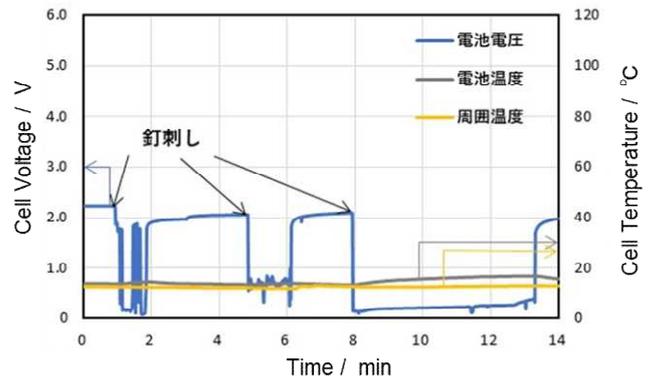


図 V2-18 釘差し試験における電池電圧および温度の変化

② 蓄電池システムの検討

電動航空機の蓄電池システムの実用化のためには、軽量蓄電池のみならず、蓄電池システム全体としての高エネルギー密度化が求められる。そのために、電池モジュール構造および電池システムの小型・軽量化を検討した。電池モジュール構造として、「軽量かつセル均一圧迫機構」をコンセプトとする、構造適正化を実施した。また、CMU（Cell monitoring unit）、BMU（Battery management unit）の軽量化のために、「制御基盤の小型化」、「FPC（Flexible printed circuit）の適用」、および「軽量センサの適用」を検討した。

・CMU-BMUの開発

図 V2-19 および 20 に、蓄電池システムの概要図およびモジュール構成を示す。また、表 V2-2 および 3 に、CMU および BMU の仕様を示す。軽量・小型化の取り組みとして、①基板小型化（リチウム硫黄電池の電圧範囲に適した高機能 I C を搭載し、回路の集積度を高くすることで基板を小型化・軽量化）、②FPC の適用（ケーブルよりも軽量の FPC をセル間接続部（電線およびバスバー）に採用）、および③軽量センサの適用、を実施した。図 V2-21 に、FPC およびセル間接続イメージを示す。

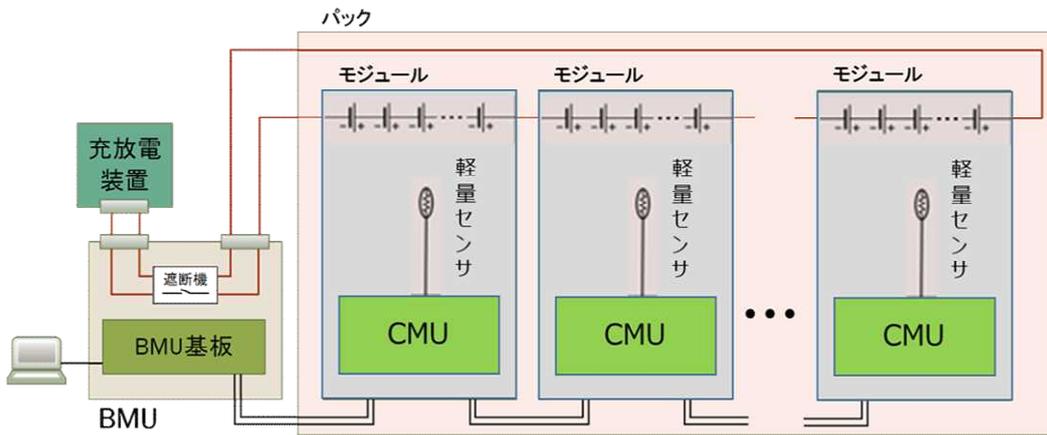


図 V2-19 蓄電池システムの概要図

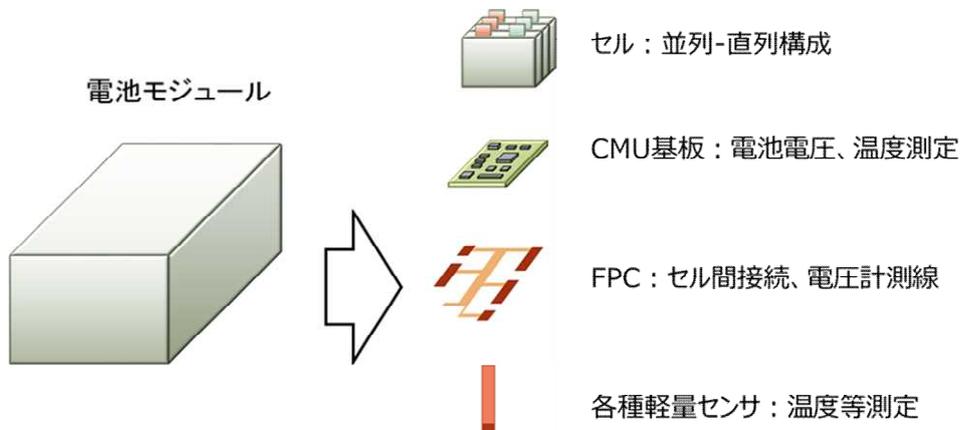


図 V2-20 電池モジュール構成

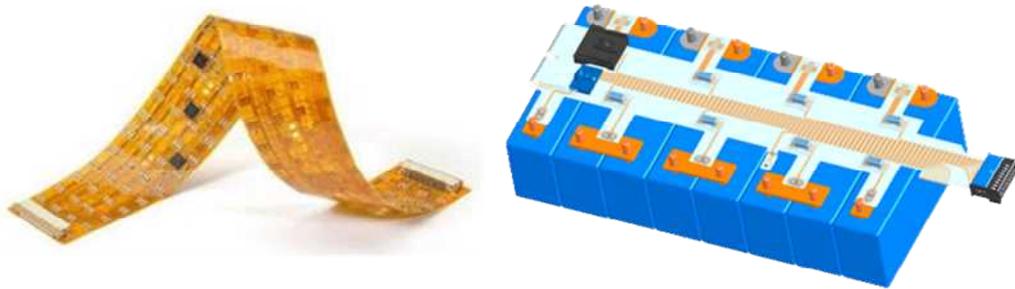


図 V2-21 FPC およびセル間接続イメージ

表 V2-2 CMU の仕様

項目	仕様	備考
MCU	非搭載	MCU を介さず IC 同士で通信可能な高機能 IC を実装し、基板を極力小型・軽量化
セル構成	並列-直列	電池電圧計測 IC で 14 点の電池電圧を計測 モジュール内のセル数は最大 56 セル
計測対象	電圧、温度等	セル電圧、セル温度等を測定
給電方法	電池から給電	電池から CMU に給電するため、消費電流を極力低減

表 V2-3 BMU の仕様

項目	仕様	備考
給電方法	外部電源	AC アダプタから BMU に電源を供給
安全機能	過放電、過充電、セル高温、 過電流による遮断器操作	
外部通信	外部 PC と USB 通信 充放電装置とシリアル通信	PC で電池電圧、温度を表示できるアプリを開発 充放電装置用ソフトウェアの搭載
SOC 演算	電流積算、満充電/放電時 SOC リセット	

・モジュール構造の開発

モジュール構造のコンセプトは、①軽量化（新規構造を提案し、軽量化）および②セル均一圧迫機構（体積変化の大きい「リチウム硫黄電池」に対して、常時均一かつ一定の圧力付与が可能な機構）である。セルエンドプレート構造の開発には、「トポロジー最適化解析（CAE 技術）」を用いた設計を実施した。質量を10%低減しながら、セル膨張の応力が生じた際のエンドプレート変形率を1/30にとどめることができる構造を見出した。均一圧迫機構として、セルエンドプレート部に対して、「ガススプリング」、「ガス圧制御ベローズ」、および「拘束バンド」などの適用を検討した。図V2-22に、セル圧迫機構の一例（トラクションガススプリングを適用した電池モジュール構造）を示す。また、モジュール構造における電池への適性圧迫条件の予備検討として、前述の5Ah級-積層セルを用いた、「2並列-5直列構成（10セル）」の電池モジュールを試作し、ロードセルを用いて充放電サイクルにおける荷重変化を測定した。図V2-23に、充放電サイクル過程における荷重変化を示す。充放電サイクルにともない、荷重変化、すなわち電池の体積変化の挙動を確認した。今後、電池性能におよぼす圧力適正值を見極めるとともに、電池モジュール構造の最適化に展開する。

以上のCMU、BMU、およびモジュール構造の検討結果を展開した蓄電池システムのプロトタイプ試作（10月予定）を実施するとともに、実験室環境下にて、航空機の電動化に適用可能であるかの実証試験を実施する予定である。また、その際は、機体OEMメーカーとの協議を継続することによって、必要性能値の具体化とともに、性能評価・実証を実施する。

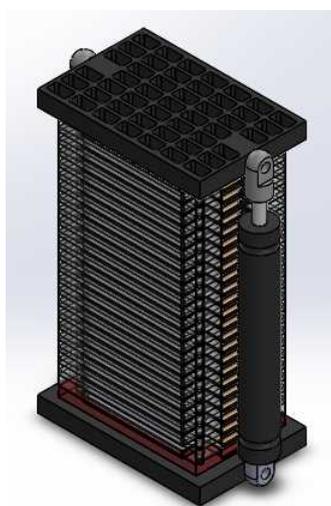


図 V2-22 セル圧迫機構の一例
（トラクションガススプリング）

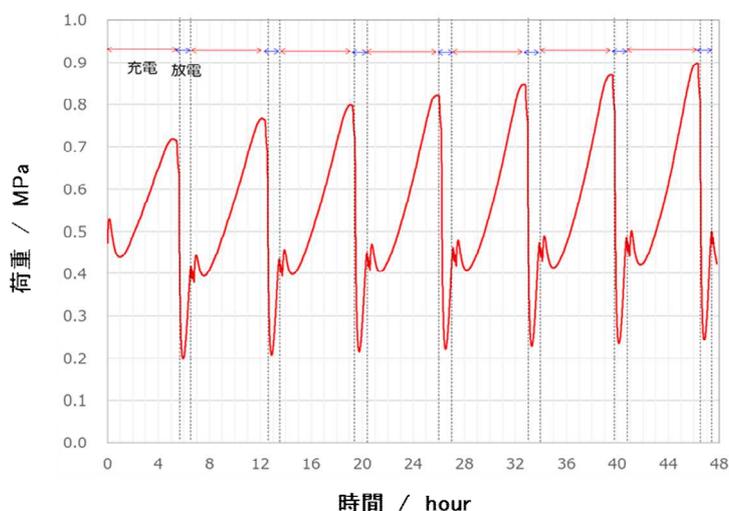


図 V2-23 充放電過程における荷重
変化（セル膨張収縮に依存）

<意義>

本成果の適用によって、電動航空機用先進システムのプロトタイプモデルの製作に資する、「安全性と高エネルギー密度化の両立」を満たした蓄電池システムの確立が期待できる。

2.3 成果の最終目標の達成可能性

-項目：硫黄を担持する多孔性粒子の研究開発

最終目標	現状	達成見通し
500Wh/kg が目指せる硫黄正極として硫黄担持質量割合 60%超、15mAh/cm ² 以上となる電極処方	硫黄担持質量割合が 60%超の硫黄正極小型セルを試作・評価し、新たな課題を抽出した。	・リチウム硫黄電池のエネルギー密度を高めるには、硫黄正極の比容量と目付量とともに向上する必要がある。硫黄正極のイオンおよび電子伝導パスの改善を実施して達成する見込み。

-項目：硫黄の溶解を抑制する電解液の研究開発

最終目標	現状	達成見通し
500Wh/kg が目指せる硫黄正極（15mAh/cm ² 以上）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。	硫黄正極小型セル評価において、充放電 50 サイクル後の容量維持率は 93%であることを確認したが、新たな課題を抽出した。	・リチウム硫黄電池のエネルギー密度を高めつつ容量維持率の目標を達成するには、負極への影響も考慮する必要がある。SEI の効果を維持しつつ電解液の分解を抑制して達成する見込み。

-項目：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

最終目標	現状	達成見通し
500Wh/kg が目指せる硫黄正極（15mAh/cm ² 以上）として、電極の電子伝導性を改善し、2 CA 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。	新規 PAA 系バインダーを適用した硫黄正極小型セル評価において、0.1 CA 相当の放電に対する 2 CA 相当の放電における容量保持率は 100%であることを確認した。	・リチウム硫黄電池のエネルギー密度を高めつつ、さらなる大電流放電を目指し、硫黄正極のイオンおよび電子伝導パスの改善を実施して達成する見込み。

-項目：蓄電池システムの実証検証

最終目標	現状	達成見通し
<ul style="list-style-type: none"> ・軽量蓄電池について、500 Wh/kg 級の小型セルを試作する。 ・軽量蓄電池に適合する CMU, BMU の仕様を決定し、蓄電池システムを試作する。 ・上記蓄電池システムを用いて、航空機の電動化に適用可能であることを実証する。 ・大電流放電性能として、2 CA 程度の放電が可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・400Wh/kg 級の 5 Ah 級-積層セルを試作・評価中。 ・CMU, BMU および蓄電池システムの設計検討中。 	<ul style="list-style-type: none"> ・小型セルについて、500 Wh/kg 級が見通せるいくつかの要素技術については成果が得られているが、それらを組み合わせた電池設計では、まだ改善すべき要素技術がいくつかあり、それら要素技術を如何に改善できるかが目標達成のカギとなる。 ・蓄電池システムについては、機体 OEM メーカーと要求仕様を協議しながら、2021 年度までに得られた小型セルの成果をベースに設計を進め、必要性能を具体化したうえで達成する。

2.4 成果の普及

	2019 年度	2020 年度	2021 年度	計
論文	0	0	0	0
研究発表・講演	0	3	0	3
新聞・雑誌等への掲載	2	4	0	6
展示会への出展	1	0	0	1

2021 年 7 月 30 日現在

2.5 知的財産権の確保に向けた取組

リチウム硫黄電池の競合他社の特許出願状況について、定期的に調査を行い、競合他社の技術レベルを確認するとともに、当該研究活動の内容が競合他社の特許に抵触するリスクを回避している。また、硫黄正極、電解液については、関連する先行特許について逐次調査を行い、当該研究活動成果である請求項の新規性、進歩性を確認している。

再委託先である関西大学との定期的な進捗打ち合わせにて、当該研究活動の内容の中に知的財産権の確保が必要となるような成果はないか相互確認をおこなっている。

知的財産権の出願・取得実績。

	2019 年度	2020 年度	2021 年度	計
国内出願	0	0	1	1
外国出願	0	0	0	0

2021 年 7 月 30 日現在

3. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

3.1 事業化・実用化に向けた戦略

本プロジェクトで培った高エネルギー密度かつ高出力な蓄電池システムの研究成果を元に、以下のアプリケーションの軽量蓄電池としての実用可能なレベルを目指す予定である。

- ・ドローン・エアタクシー・HAPS など軽量蓄電池が渴望されている事業
- ・電動航空機事業
- ・高エネルギー密度かつ高出力な特長を生かしたその他特殊用途

3.2 実用化・事業化に向けた具体的取組

2023 年度までに、技術成熟度（TRL）Level 6 達成

2035 年度頃に電動航空機に搭載を目標

米国 Boeing 社との研究協力

軽量蓄電池として性能面で競争力のある開発目標設定のための最新技術動向のリサーチ

3.3 実用化・事業化の見通し

軽量蓄電池として、500Wh/kg 級の質量エネルギー密度が実現すると、エンジンのハイブリッド化によって旅客機の離陸上昇時のアシスト電力として適用できる可能性が出てくる。本プロジェクトにて、500 Wh/kg 級が見通せるいくつかの要素技術は成果が得られているが、まだ改善すべき課題は多くある。この改善すべき課題について、再委託先である関西大学と連携して研究開発を進めている。そのため、関西大学にて得られた成果は、すぐさま GS コアサにて実用化・事業化に向けた検討を開始することができる。

なお、GS コアサにおいて軽量蓄電池の研究開発は、第 5 次中期経営計画で重要研究案件と位置づけており、最終年度以降も実用化・事業化に向けた取り組みを行う予定である。

3.4 波及効果

<経済的波及効果>

- ・小型のエアタクシーのような用途から、ハイブリッド・タイプの大型航空機や、将来的には全電動航空機の実用化も検討されている。
- ・日本国内では、電動車両の優れた技術があり、モータ、電力変換器、蓄電池・等の分野において、世界的なレベルの技術を有している。その中で、蓄電池に関しては、日本の技術は、世界のトップレベルにあり、新規の活物質や固体電解質・等の研究開発が進んでいる。航空機の電動化に必要な軽量蓄電池の開発も進んでおり、近い将来の実用化が期待されている。
- ・航空機産業の発展が遅れた背景の中で、航空機の電動化へ取り組む際には、上記のような蓄電池の技術レベルが高い事で、優れた性能の電動航空機の開発が可能になり、世界に先駆けて、空を飛ぶ用途全般における優位性が確保できると考えられる。
- ・航空機産業の中の特に電動航空機において、日本の強みが出せる新しい産業の創生が可能になる

<技術的波及効果>

- ・他産業への波及効果等

蓄電池の軽量化が渴望されている、宇宙産業、ロボット産業（アシスト・介護）などへ展開することで波及効果が見込まれる。

V-3. 電動ハイブリッドシステム

1. 研究開発マネジメント

1.1 研究開発目標と根拠

(1) 研究開発目標

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とともに、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。そこで本研究は、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核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。

本研究における研究対象概念図を図 V3-1～3 にそれぞれ示す。また、本事業におけるシステム地上実証概要を図 V3-4 に示す。

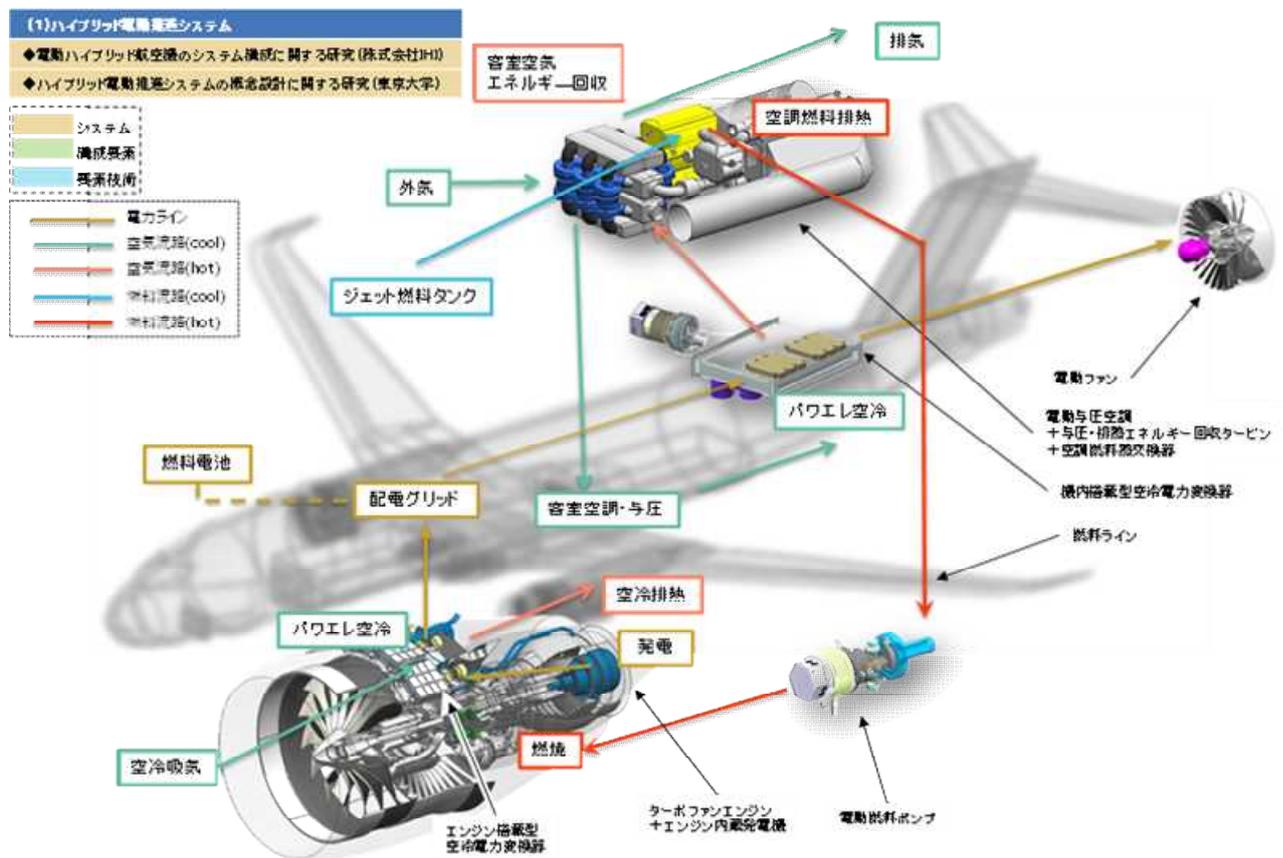
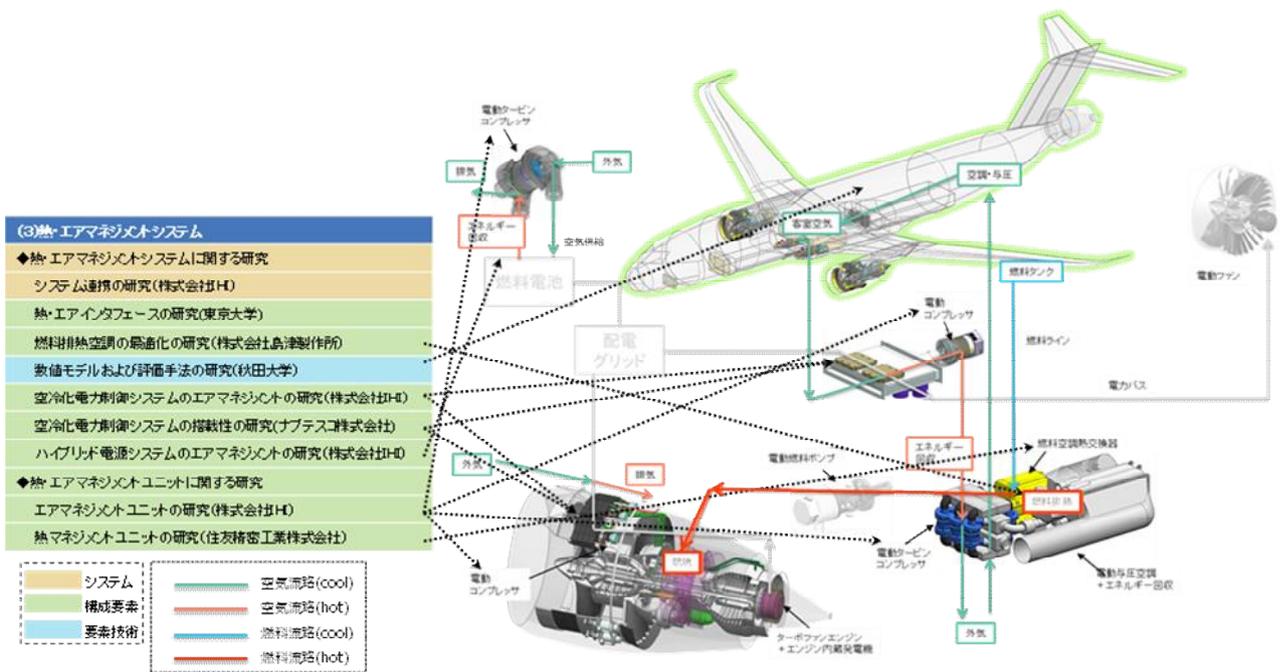
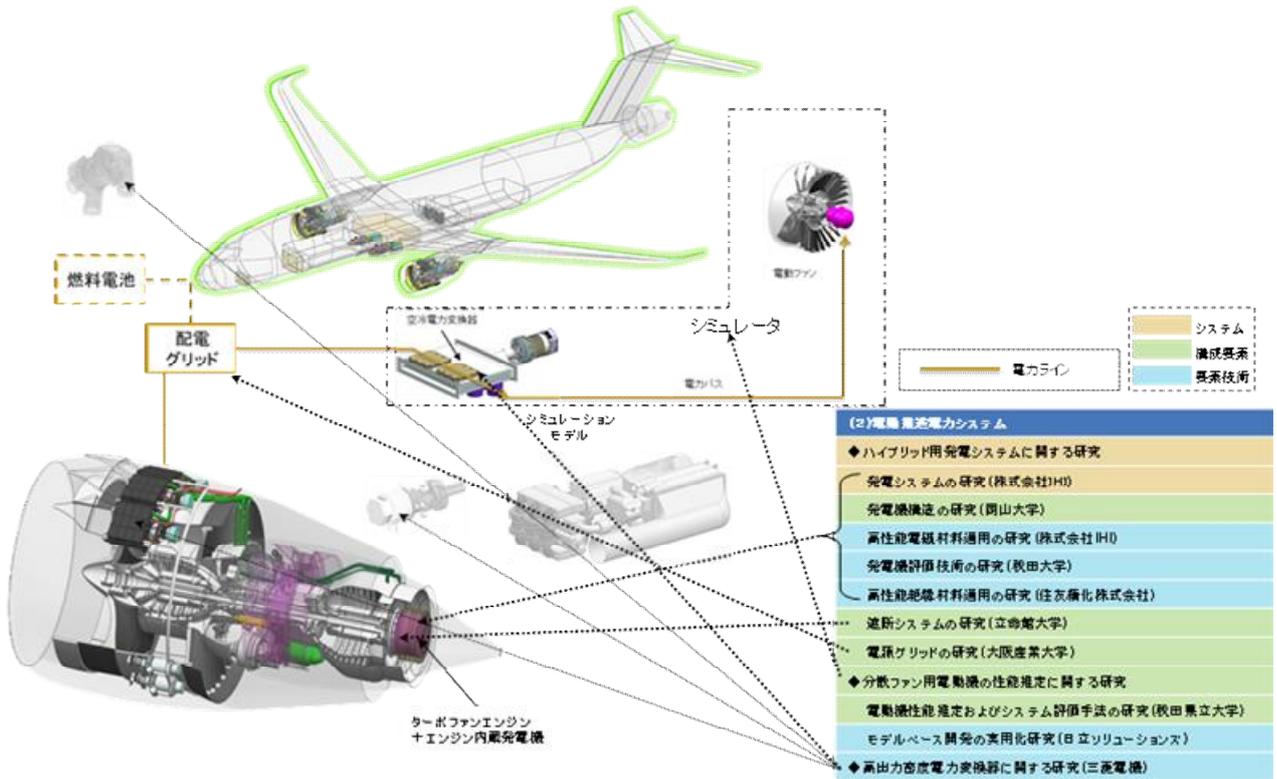


図 V3-1： ハイブリッド電動推進システム研究対象概念図



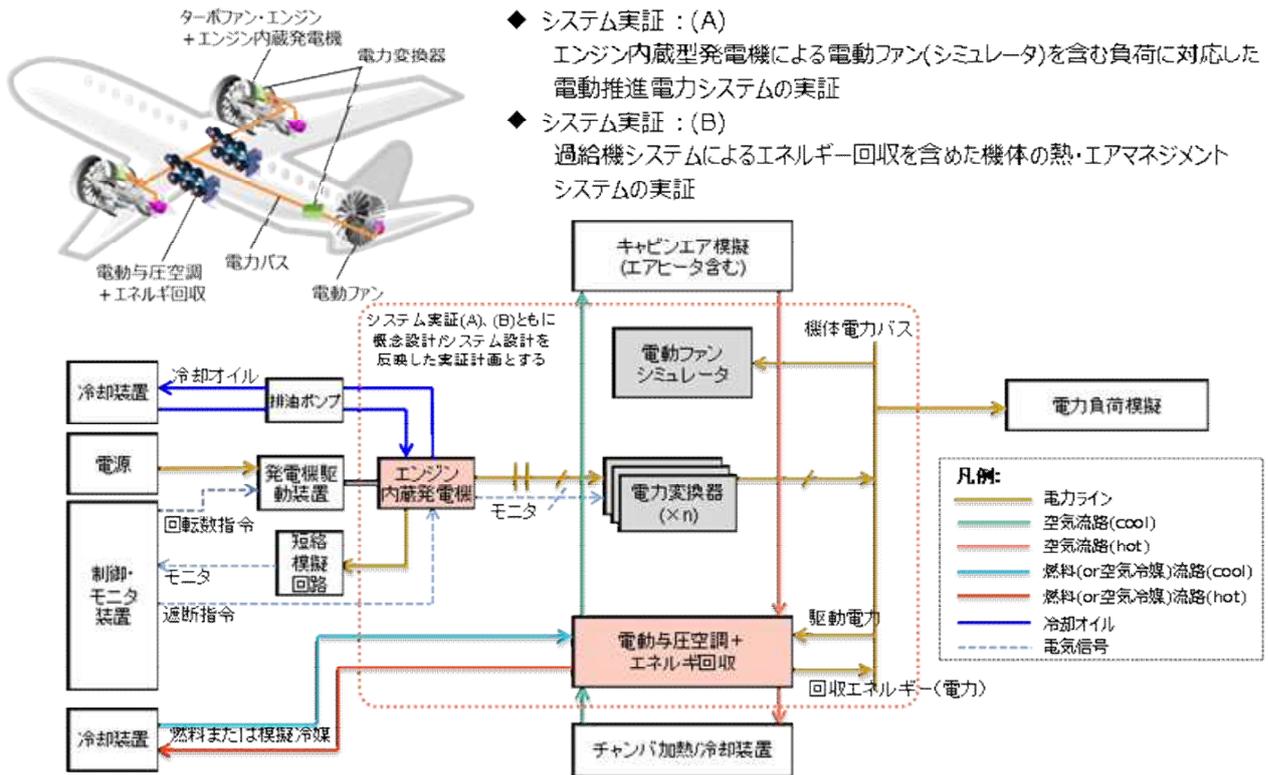


図 V3-4：次世代電動推進システム研究開発/電動ハイブリッドシステム システム地上実証概要

(2) 技術的目標とその設定根拠

➤ ハイブリッド電動推進システム

【中間目標（2021年度末）】

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

<設定根拠>

本実用化プロジェクトにおける電動推進電力、熱・エアマネジメントの各システムベースラインを設定

【最終目標（2023年度末）】

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

<設定根拠>

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

➤ 電動推進電力システム

【中間目標（2021年度末）】

MW級電動推進を達成するエンジン内蔵発電機の特種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

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

<設定根拠>

MW 級の電磁機械製造技術に対する実現性検証、及びシステム実証に向けた解析検証を可能とするため

【最終目標（2023 年度末）】

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

<設定根拠>

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

➤ 熱・エアマネジメントシステム

【中間目標（2021 年度末）】

フライトミッションを通じ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

<設定根拠>

システム実証に向けた解析における事前検証を可能とするため、及び構成要素の搭載実現性検証のため

【最終目標（2023 年度末）】

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

<設定根拠>

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

1.2 研究開発のスケジュール

以下に本研究開発の 2020 年度から 2023 年度までの全体計画を示す。

	2020	2021	2022	2023
(1)ハイブリッド電動推進システム				
◆電動ハイブリッド航空機のシステム構成に関する研究(株式会社IHI)	・概念設計およびシステム設計	・推進sysモデル整備 ・電力sysモデル整備	・推進sys最適化検討 ・電動sys最適化検討	・統合sys評価
◆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(東京大学)				
(2)電動推進電力システム				
システム設計完了 → システム成立性実証				
◆ハイブリッド用発電システムに関する研究				
発電システムの研究(株式会社IHI)	・発電機設計	・プロトモデル製造	・プロトモデル評価	・統合sys評価
発電機構造の研究(岡山大学)				
高性能電磁材料適用の研究(株式会社IHI)				
発電機評価技術の研究(秋田大学)				
高性能絶縁材料適用の研究(住友精化株式会社)				
遮断システムの研究(立命館)	・システム設計	・要素評価	・サブシステム設計・製造 ・最適化検討	・サブシステム評価 ・統合sys評価
電源グリッドの研究(大阪産業大学)				
◆分散ファン用電動機の性能推定に関する研究				
電動機性能推定およびシステム評価手法の研究(秋田県立大学)	・シミュレータ検討・整備	・MBDモデル整備	・サブシステム試験	・統合sys評価
モデルベース開発の実用化研究(株式会社日立ソリューションズ)				
◆高出力密度電力変換器に関する研究(三菱電機株式会社)	・設計モデル検討	・シミュレーションモデル整備	・最適化検討	・モデル化
(3)熱・エアマネジメントシステム				
システム設計完了 → システム成立性実証				
◆熱・エアマネジメントシステムに関する研究				
システム連携の研究(株式会社IHI)	・概念設計およびシステム設計	・回収sysモデル整備	・回収sys最適化検討	・統合sys評価
熱・エアインタフェースの研究(東京大学)				
燃料排熱空調の最適化の研究(株式会社島津製作所)	・試験リグ設計	・試験リグ製造	・エネルギー回収試験	・モデル化
数値モデルおよび評価手法の研究(秋田大学)				
空冷化電力制御システムのエアマネジメントの研究(株式会社IHI)	・実用型ヒートシンク設計	・PM製造	・PM評価	・統合sys評価
空冷化電力制御システムの搭載性の研究(ナブテスコ株式会社)				
ハイブリッド電源システムのエアマネジメントの研究(株式会社IHI)	・概念設計	・過給sysモデル整備	・過給sys最適化検討	
◆熱・エアマネジメントユニットに関する研究				
エアマネジメントユニットの研究(株式会社IHI)	・大出力ETC設計/試作評価	・PM製造	・PM評価	・統合sys評価
熱マネジメントユニットの研究(住友精密工業株式会社)	・FCAC設計・製造	・試験リグ製造	・エネルギー回収試験	・モデル化

1.3 プロジェクト費用

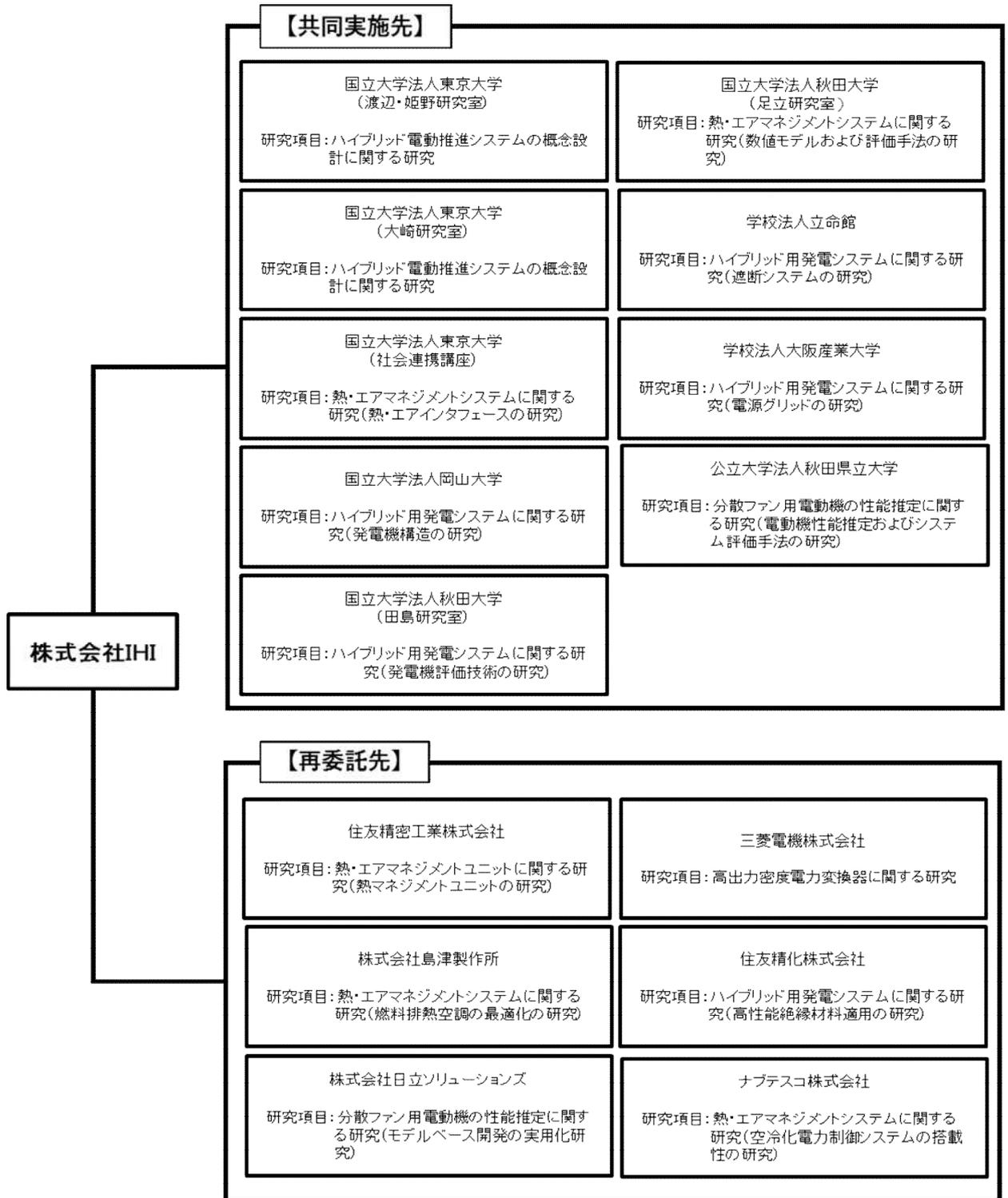
(単位：百万円)

項目	2019年度	2020年度	2021年度	合計
ハイブリッド電動推進システム	-	2.0	2.0	4.0
電動推進電力システム	-	118.0	111.2	229.2
熱・エアマネジメントシステム	-	109.6	100.4	210.0
合計	-	229.6	213.6	443.2

注1：プロジェクト費用は現契約の範囲(2年間)にて記載

注2：加速案件による2020年度追加予算を含む

1.4 研究開発の実施体制



1.5 研究開発の運営管理（個別管理）

本研究会開発プロジェクトを運営するにあたり、主要な共同実施先、再委託先と IHI 間での定例会を週一回程度の頻度で実施することで課題の早期発見と対応に努めるとともに、半期ごとの全体進捗レビュー、ならびに毎月の予実算管理報告を IHI 社内で行ってプロジェクト運営管理を行っている。

1.6 知的財産権等に関する戦略

知財合意書にもとづき、知的財産権等の取得を実行する。なお、

- システム構想については、オープン戦略により、機体メーカーやエンジンメーカー、システムメーカー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。
- 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。

1.7 知的財産管理

本プロジェクトにおける成果の公表および知的財産権の取扱いを適切に行うため、知財運営委員会を設置した。また、知財合意書により、

- 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 の取り扱い
- プロジェクト参加者間での知的財産権の実施許諾等を規定した。

1.8 動向・情勢の把握と対応

海外機体メーカー、システムメーカー等との意見交換を通じた動向・情勢の把握、及び電動化に関連する規格化・標準化団体における動向・情勢の把握を実施した。

2. 研究開発成果

2.1 研究開発項目毎の目標と達成状況

項目：ハイブリッド電動システム

中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
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	電動推進と BLI を組み合わせた機体形態を想定し、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完了した。	○	

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

項目：電動推進システム

中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
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	構造成立性、製造性を踏 まえた発電機の詳細設計、 解析による性能評価を完 了。発熱密度低減を図った 巻線構造、高性能絶縁材 料を取入れ試作機の製造 を開始、完了の見込みを得 た。	△	
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	電力システムとして、マルチ ターミナル半導体式限流・遮 断器(電源グリッド)、半導 体式遮断回路方式(遮断 システム)、ハルバツハ構造 電動機(分散ファン用電動 機)、階調制御等のインバー タ方式(電力変換器)、につ いてそれぞれモデル解析によ り妥当性確認を完了した。	○	

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

項目：熱・エアマネジメントシステム

中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
フライトミッションを通じ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	燃料排熱空調システム及びエネルギー回収システムのシステム定義と評価項目設定を完了し、評価ツールとしてのシミュレーションモデルの作成を完了した。年度末までに、シミュレーションモデルを用いた成立性評価を完了する見込みを得た。	△	
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	熱・エアマネジメントシステムのシステム設計により FCAC への要求定義を行い、それを満足する FCAC の設計を完了、製造を実施中。8 月中に製造完了し、年度末までに耐久性評価を完了する見込みを得た。	△	

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

2.2 成果と意義（成果の詳細）

開発項目(1)：ハイブリッド電動推進システム

実施項目(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（担当：株式会社 I H I）

<研究成果>

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より、電動推進と BLI を組み合わせた場合に、電力システム的大幅な軽量化を前提とした上で、Mission Fuel Burn の削減が可能であること、また BLI 用電動ファンは複数に分散化することで燃料消費量削減効果を増強できるという結果が得られていることから、複数の分散ファンへの給電ライン、および負荷を持つハイブリッド電動推進形態とした。

一方で、発電機は負荷変動による影響を考慮し、電動ファンと機体システム電力で別系統で給電する構成とした。発電機構造の研究より、発電機の大出力化、また発電機誘起電圧の低減のため巻線多層化が有効である結果が得られているが、航空機、エンジン搭載を考慮した場合の配線臙装、スペースが課題となることから巻線 2 層構造を採用。発電機の構成は、エンジン HP 軸搭載 1 台、LP 軸搭載 1 台の構成とし、LP 軸発電については、搭載性及び交換容易性の観点から、発電機はテールコーン内蔵とする搭載様式とした。発電の形式としては、出力密度向上のため永久磁石式発電を採用した。

発電機遮断(2)-①(f)、グリッド遮断(2)-①(g)の検討結果よりシステム成立性を確認した。

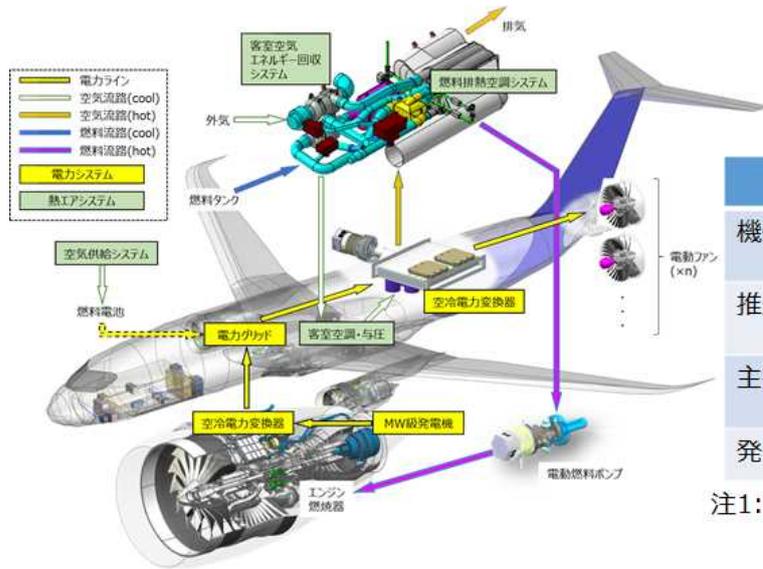
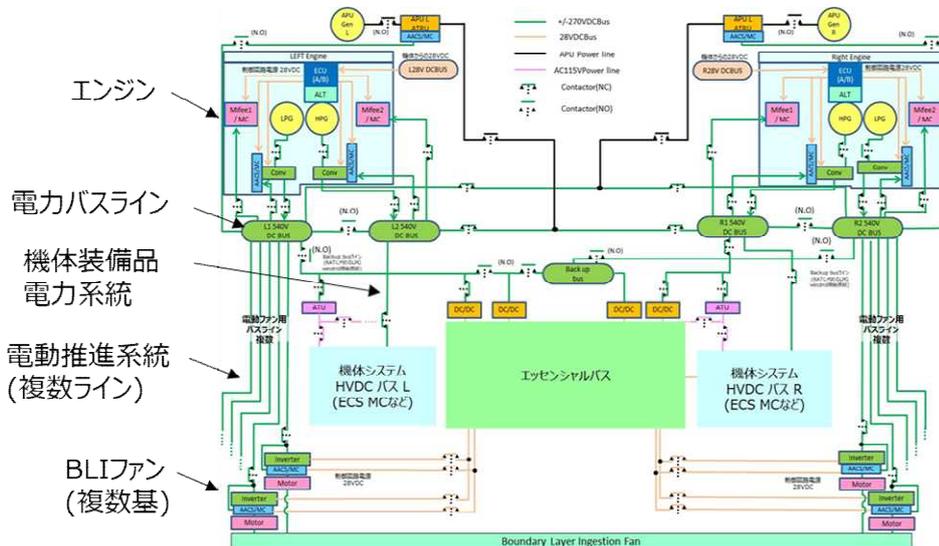


表. 想定機体形態

項目	想定形式・仕様
機体形式・乗員数	Tube&Wing単通路機, 180人乗り
推進システム形態	Partial Turboelectric + 機尾BLI ⁽¹⁾ 電動ファン
主推進器形態	Turbofan双発, 離陸時出力約40MW
発電機出力	2MW×2

注1: Boundary Layer Ingestion (境界層吸込み)



PMG遮断については(2)-①(f)項を参照

冗長バスシステムの電源グリッド遮断は(2)-①(g)項を参照

図 ハイブリッド推進システム電源系統構成 更新案

<意義>

複数の電動ファンより構成されるハイブリッド電動推進形態の成立性を確認した。

実施項目(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 (担当: 国立大学法人東京大学)

<研究成果>

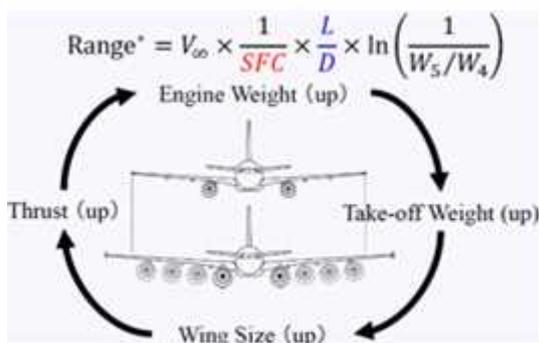
ガスタービンの運転を模擬する「エンジンモデル」、エンジン内部構造と電装品構成の「重量推算モデル」を連成させ、ターボエレクトリック推進の性能評価を実施した。

性能評価モデルにおいては、

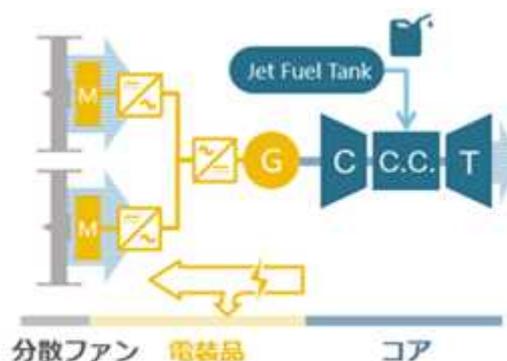
- (1) ファン分散化による重量軽減と推進効率向上
- (2) 電装品搭載による機体重量増とエネルギー伝達効率低下
- (3) 分散ファン基数、境界層吸込(BLI)効果

を考慮し、小型機(70席級)、中型機(150席級)、大型機(300席級)が一定距離を飛行するために要する燃料消費量(MFB: Mission Fuel Burn)=CO2排出量を推算。MFBの低減に対する、電装品軽量化の感

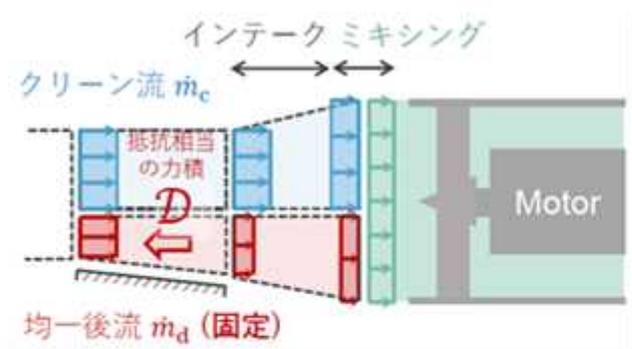
度解析を実施した。



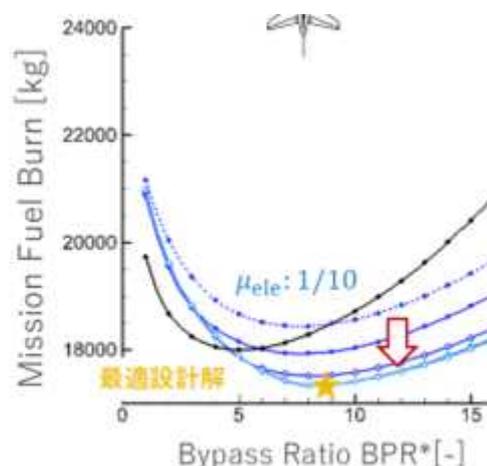
機体概念設計との連成



電動推進システム構成



BLI 評価モデル



分散ファンによる性能改善効果

<意義>

エンジンおよび電装品の技術開発目標をバランスよく設定する俯瞰的議論に貢献した。

開発項目(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

実施項目(2)-①(a)：発電システムの研究（担当：株式会社 I H I）

<研究成果>

(iv)MW 級発電機プロトタイプモデル製造

発電機構造の研究による発熱密度低減化をはかった巻線構造の成果をベースに、製造容易性を踏まえた設計を反映し、電磁気解析モデルにて性能評価を完了した。発電機の構造成立性に加え、高性能絶縁材料を適用した絶縁設計を含めた詳細設計を完了した。また、構成品製造に係る要素検証と条件出しを実施し実現性の確認を行った。それらのフィードバックを考慮し、プロトタイプ製造を開始する。

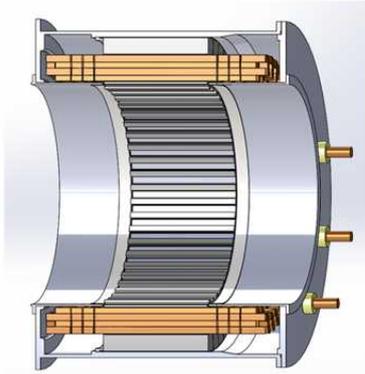
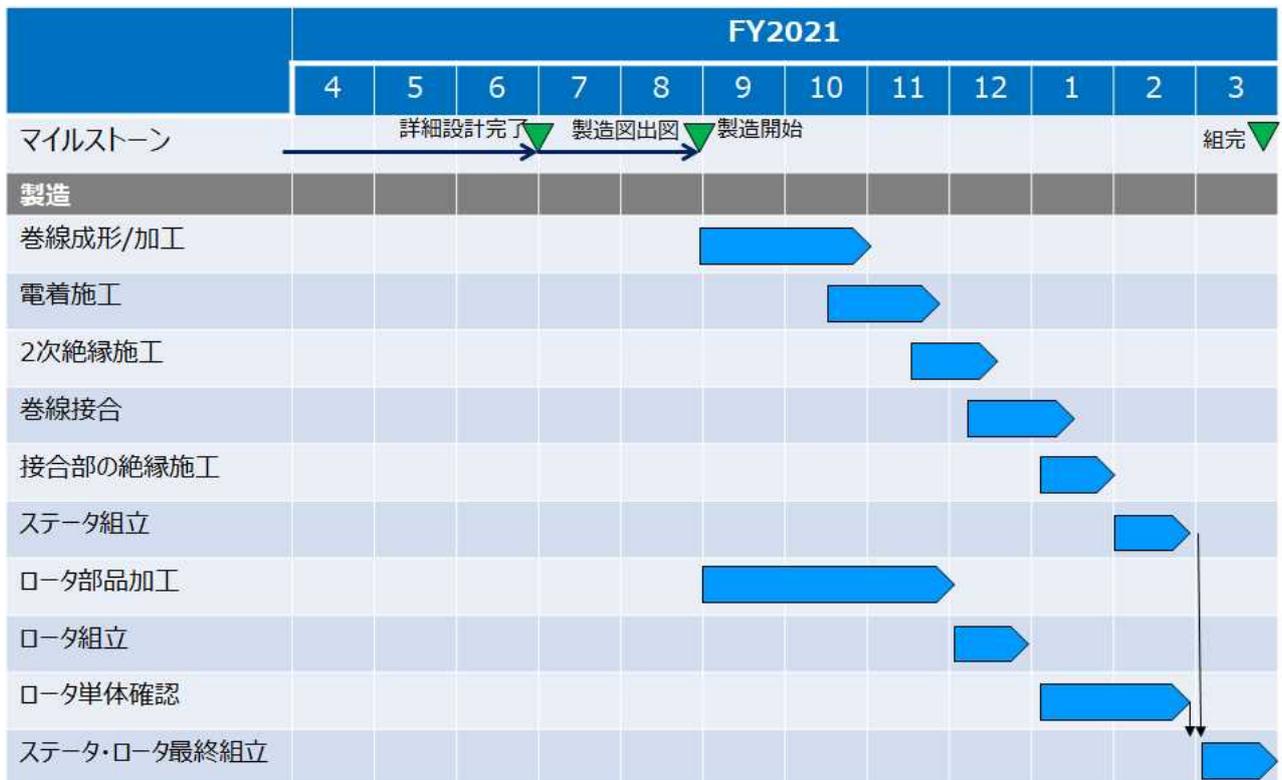


図 発電機の固定子構造概要



図 9層巻線 接合、成形精度要素検証



<意義>

MW級電動推進を達成するエンジン内蔵発電機のプロトタイプ製造を開始し、2021年度の試作完成が見込める。

<研究成果>

(v) 電動推進電力システムの要素検証に基づく成立性確認

発電機構造研究およびシステムの研究より、必要な電力量を供給する MW 級発電機の電磁気、熱、構造に係る成立性を確認した。

複数のファンを持つ電源グリッド遮断について、キーパーツとなる限流・遮断器を軽量化・単純化のために部品の共用化が課題。複数の遮断器の故障電流吸収用のアブゾーバを共通化できるマルチターミナル半導体式限流・遮断器や限流用リアクトルの共通化を提案し、回路シミュレーションを行い基本動作を確認し成立の見込みを得ている。

永久磁石式発電機の遮断については、パワーエレクトロニクスシミュレータ（PLECS）により、発電機と電力変換器、また短絡模擬回路（相内、相間、および地絡）を持つ解析モデルを構築し、短絡～遮断完了動作を確認した。シミュレーション結果を基に、構築した 20kW 一次評価用テストベッドにて実際の短絡、遮断の挙動を確認し、遮断ロジックへ反映する。

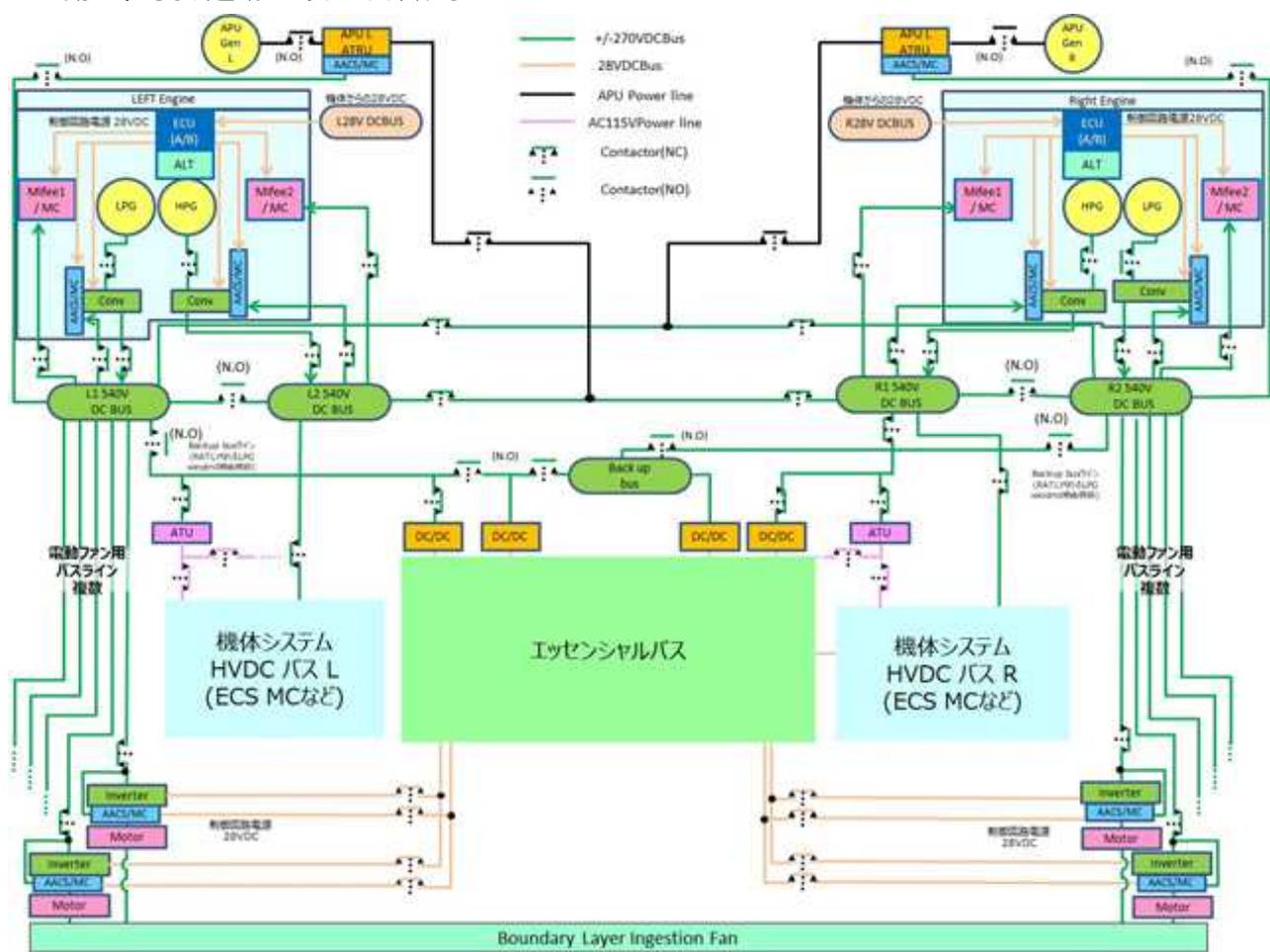


図 ハイブリッド推進システム電源系統構成

<意義>

電力供給の観点で、ハイブリッド推進システムへの電力供給成立性を見込みを、電源グリッド、および永久磁石発電機の遮断システム検証より保護機能の観点でのシステム成立性を評価できる。

実施項目(2)-①(b)：発電機構造の研究（担当：国立大学法人岡山大学）

<研究成果>

冷却構造や製造性を考慮した「最新の高占積率巻線を用いた 1 MW 発電機」について、回転子の軽量化などを進めた結果、高い出力密度特性を備えていることを確認した。そして、より詳細な損失分布等の性能評価を実施するために、大規模な電磁場解析を実施する必要があり、そのために、 FOCUS スパコンシステムに、モータの電磁場解析が実施できるような計算システムを作り上げた。

表 モータ電磁場解析結果

項目	数値	補足
平均トルク	1182.1 Nm	
出力	1.04 MW	≥1.0 MW
回転子合計損失	5.61 kW	
固定子合計損失	24.3 kW	
合計損失	29.9 kW	
効率	97.20%	
出力密度	43.0 kW/L, 8.10 kW/kg	
固定子損失密度	2.40 kW/L	≤2.9 MW

<意義>

航空機用発電システムの実用化には、高出力密度を達成できる発電機が必要不可欠である。そして、トレードオフの関係にある「冷却可能な低損失密度」と「高出力密度」の両立が不可欠であり、軽量化しながら両立できる構造を明らかにした。そして、より詳細な損失分布等の性能評価を実施することが、実用化のためには欠かせないが、そのためには、大規模な電磁場解析を実施する必要がある。しかし、日本国内において、誰もが使用できる公的な機関で、モータの大規模電磁場解析が実施できるスパコンシステムは無い。そこで、公益財団法人計算科学振興財団が所有する FOCUS スパコンシステムに、モータの電磁場解析が実施できるように計算システムを立ち上げた。これにより詳細な損失分布等の性能評価を可能とした。

実施項目(2)-①(c)：高性能電磁材料適用の研究（担当：株式会社 I H I）

<研究成果>

軟磁性材料への応力および積層化による磁気特性劣化、また劣化特性の低減プロセスに係る過去の知見を考慮して発電機を試作し、積層鋼板の形状、製造プロセスの妥当性を確認した。

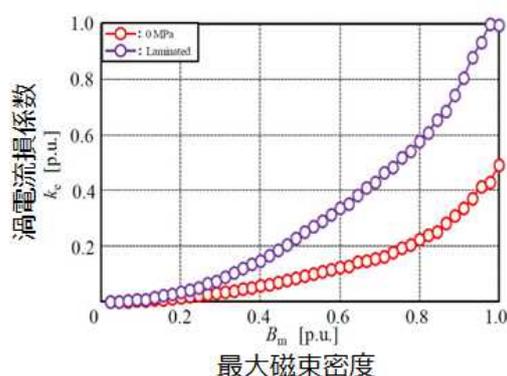


図 積層による磁気特性劣化¹

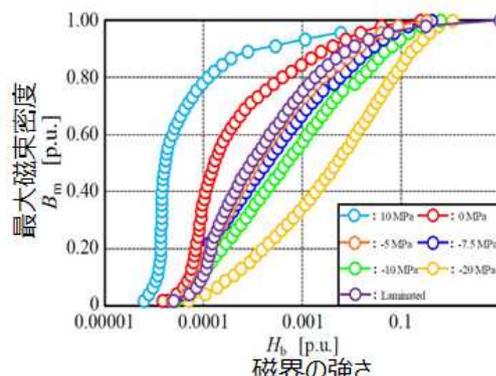


図 応力による磁気特性劣化¹

[1]Yuya Aki, Yasuhito Takahashi, Koji Fujiwara and Takehiro Jikumaru "Investigation on Deterioration of Magnetic Property of Permenndur Due to Laminating Process for Improvement of Power Density in Permanent Magnet Motors", International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics 15th Int. Workshop on 1 & 2 Dimensional Magnetic Measurement and Testing, 2DM-Grenoble 24-26 Sept (2018) IOS Press

<意義>

部品加工、成形における磁気特性劣化を低減するプロセスによって、発電機の効率向上を図ることが可能となり、解析精度の向上にも寄与する。

実施項目(2)-①(d)：発電機評価技術の研究（担当：国立大学法人秋田大学）

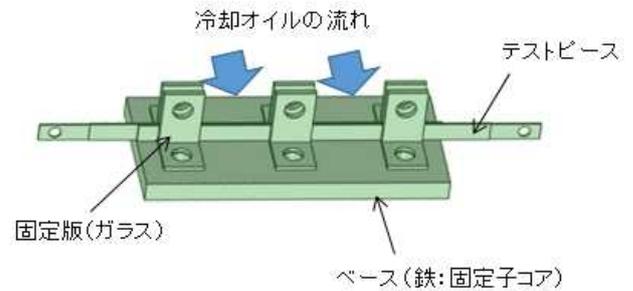
<研究成果>

高空条件下を模擬した発電機コイルの絶縁性能評価を行うために、発電機冷却油温（180℃）と気圧（0.2atm）を同時に設定可能な評価装置を構築し、インバータサージ電圧を模擬した高電圧（±1.5 kV、10 kHz）でのテストピースの絶縁破壊試験を行った。気中（常温、0.2atm）の絶縁破壊時間と比較すると、約 5 倍の寿命時間となることがわかった。また、部分放電時の放電電流を観測した。

絶縁評価装置全体図



コア-コイル間の絶縁評価



油中180℃部分放電開始電圧測定実験結果

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	平均
1.0 atm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.8 atm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.2 atm	1060 V	1040 V	1040 V	1020	1040	1020	1000	1020	1020	1020	1028

絶縁破壊時間の測定
(油中180°C、0.2atm)

気中での試験結果との比較

印加電圧最大値	±1.5 kV
印加電圧周波数	10 kHz

気中(常温)、0.2atm
絶縁破壊時間: 35時間

油中(180°C)、0.2atm
絶縁破壊時間: 172時間

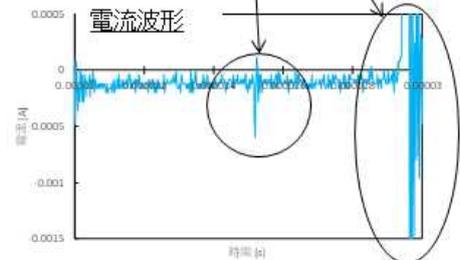
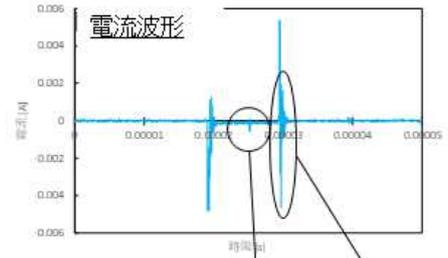
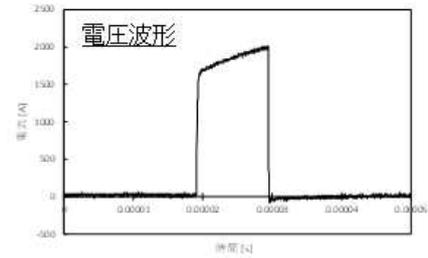
約5倍



絶縁破壊痕



部分放電電流の観測
(油中180°C、0.2atm)



<意義>

絶縁体の絶縁性能は周囲の環境による影響を強く受けるため、環境パラメータによる評価が必要不可欠である。本評価装置により放電開始電圧、絶縁破壊時間の測定を行うことで発電機評価技術を構築する目的を得た。

実施項目(2)-①(e)：高性能絶縁材料適用の研究（担当：住友精化株式会社）

<研究成果>

発電機プロトタイプモデルにおける試作を含めた絶縁材料被膜塗装結果について、提供した材料の特性、およびその塗装プロセスの条件から、本結果の妥当性を確認し、その上で、施工および材料の特性の観点から改善に向けた提示を行った。また、材料中の樹脂特性の観点から電着塗工プロセス標準化に向けた提言を行った。

<意義>

発電機巻線への高性能絶縁材料の施工、および標準プロセスの構築が可能となる。

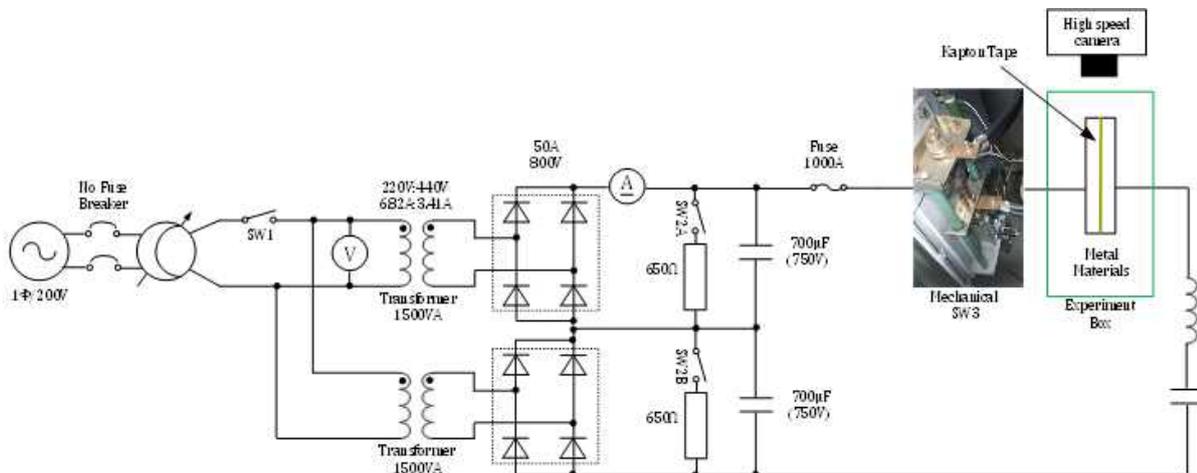
実施項目(2)-①(f)：遮断システムの研究（担当：学校法人立命館）

<研究成果>

(iii) アーク放電発生時の過渡状態の検討

アークに関連する文献から、アーク放電に必要な最低電圧とその距離を調査した。アーク放電に至る電

氣的・構造的條件を明らかにするため、プラズマ試験装置を構築中であり、予備試験によりアークを発生可能なことを確認した。また、発電機の巻線・絶縁被膜構造を模擬するため、回路構成及び試験条件の検討を行い、装置を製作中。年度内に試験を完了する目途を得た。



電極を兼ねた銅棒2本を向かい合わせで固定し、その間にカプトンテープを挟み、共振電圧をかける。

図 プラズマ試験装置

<意義>

アーク放電発生時の過渡変化をのデータを取得し、発電機及び遮断装置の仕様に反映可能となる。

<研究成果>

(iv) 第一次評価用テストベッドによる遮断システム評価

シミュレーションモデルにより、発電機の遮断回路を検討し、解析にて技術成立性を確認。引き続き、実機での安全な故障分離を考慮した遮断仕様を確認中。またスケールダウンした 20kW のミニモデルでの実機検証のため、誘導電動機を負荷とした永久磁石発電機の back to back システム、および遮断回路などを製作した。



図 第一次評価用テストベッド(20kWミニモデル)

<意義>

解析と試験により、解析モデルの妥当性検証を可能とし、遮断システム評価に活用可能となる。

<研究成果>

項目 1 信頼性の高い配電経路のトポロジー（グリッドアーキテクチャー）

①故障の発生確率と余剰推進パワーを図示した拡張信頼性MAPを提案し（図1）、故障切替後の信頼性、軽量性の観点から定量的に評価する手法を開発した。ベンチマークとしてNASAがN3Xで提案するグリッド構成を評価した。NASAが推奨する構成2（中央融通型）は故障切り替えを行っても信頼性を確保できないことが判明。また信頼性を満足する構成4（切替え経路網羅型）は構成が複雑となる課題がある。

②バスの信頼性を 10^{-4} (FIT) から 10^{-5} (FIT) に改善した条件での新たな構成として「中央融通 & 部分切替え型グリッド構成」を提案した。提案構成は、故障切替後の信頼性、軽量性、構成単純性、から判断していずれの方式よりも優位であることを定量的に確認した。

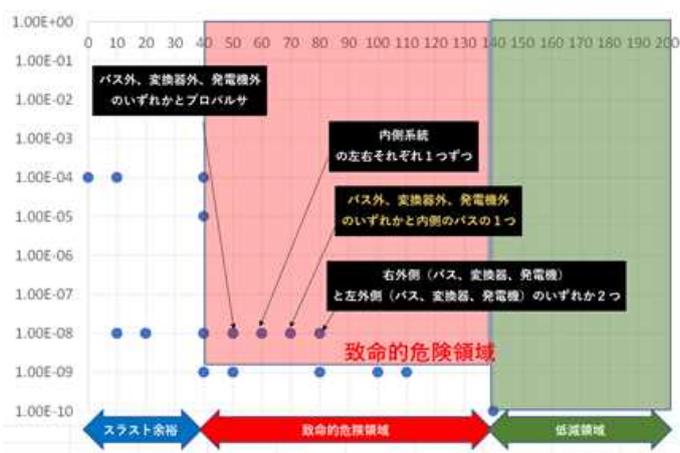


図1.NASA推奨の構成2の故障切替後の拡張信頼性MAP

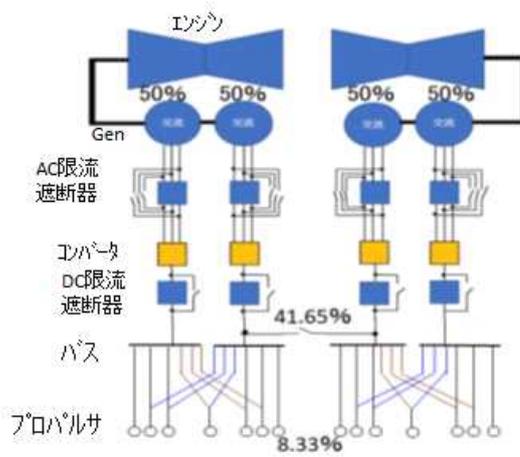


図2.中央融通 & 部分切替え型グリッド構成

<意義>

拡張信頼性 MAP を用いて、高信頼性と軽量性を満たすグリッドの上位システム仕様の検討スキームを確立した。抽出仕様に基づき下位の各構成要素（モータなど）の目標仕様に落とし込むことができる。

<研究成果>

項目 2 高い安定性を維持するグリッド制御ロジック（冗長・切替、遮断・保護、回路方式）

①電動航空機グリッドで最重要のキーパーツである限流・遮断器の低損失化、軽量化を実現するハイブリッド型マルチターミナル限流・遮断器（図3、Hybrid Multi Terminal current limit Breaker: HMTB）を提案し、基本動作をシミュレーション（図4）により確認した。

②要点

- ・常時低損失の機械式遮断器とパワー半導体を組み合わせたアークレス遮断
→：スイッチ部の常時低損失と軽量化
- ・複数ルートのエネルギー吸収用回路の共用化回路
→：周辺回路の簡素化・軽量化
- ・磁束結合共用リアクトルの逆相接続による限流用リアクトルの2個1共用化
→：最重量部品の軽量化

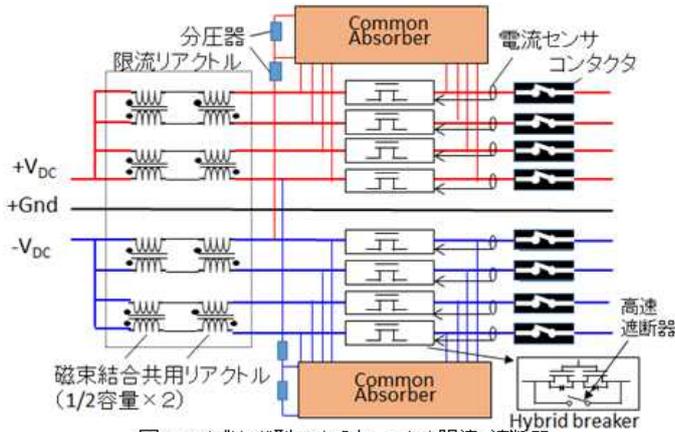


図3.ハイブリッド型マルチターミナル限流・遮断器 (Hybrid Multi Terminal current limit Breaker: HMTB)

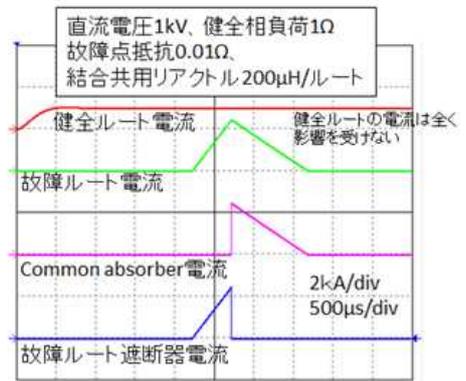


図4.故障時のHMTBの近傍の各電流

<意義>

電動航空機の信頼性確保に最も重要な限流・遮断器の低損失・軽量化が可能となる。

(2)-②分散ファン用電動機の性能推定に関する研究

実施項目(2)-②(a)：電動機性能推定およびシステム評価手法の研究（担当：公立大学法人秋田県立大学）

<研究成果>

①電動機性能推定のためのモデル構築

回転子にハルバツハ構造を有する電動機の2次元電磁界解析モデルを構築した。初期段階のシミュレーションの結果、本電動機を定格回転数かつ理想的な正弦波電流を用いて駆動することにより、目標とするトルク(図1)が得られる可能性が明らかになった。さらに、逆起電力やインダクタンス等の基本的な電動機特性を算定できるようになった。

②電動ファンシミュレータを用いた電動機性能推定評価

ハルバツハ構造を有する電動機の代わりに汎用電動機を導入し、電動ファンシミュレータ(HILS)を構成する装置の連携動作や通信機能の検証を行う計画を考案し、これに必要な機材等を検討した。本検証方法により、システムの誤動作による装置破壊のリスクを低減しながらリアルタイムシミュレータやファン模擬負荷装置が問題なく動作することを検証できる。

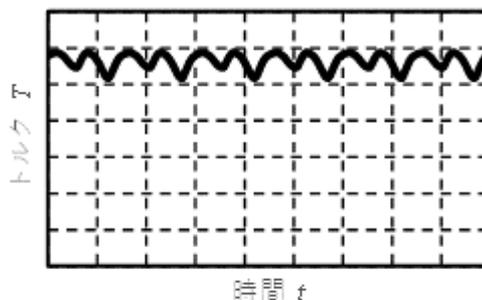


図1 電動機トルク算定結果

<意義>

ハルバツハ構造を有する電動機を用いた電動ファンの性能が、MILS および HILS の両シミュレーションによ

り推定できる。

実施項目(2)-②(b)：モデルベース開発の実用化研究（担当：株式会社日立ソリューションズ）

＜研究成果＞

航空業界の MBD における各プロセスのあるべき姿「現存する課題を解決しつつ、多様な解析ツール統合及びリモート検証化」について、現状の課題の深堀と統合シミュレーション環境の仕様を決定し、試行用ソフト年度内完成に向けて作成に着手した。

＜意義＞

現状の得られた課題の深堀について以下の課題整理を行うことで、既存のツールやモデルを有効活用して、航空機搭載レベルのモデルが作成できる。

- ・ オートコーダ等バージョン違いによる出力結果の違いについて、解決方法の検討。
- ・ 前年度に行った「必要な解析ツールの洗い出し」結果から、多様な解析ツール群の統合化のための進め方を決定。

(2)-③高出力密度電力変換器に関する研究

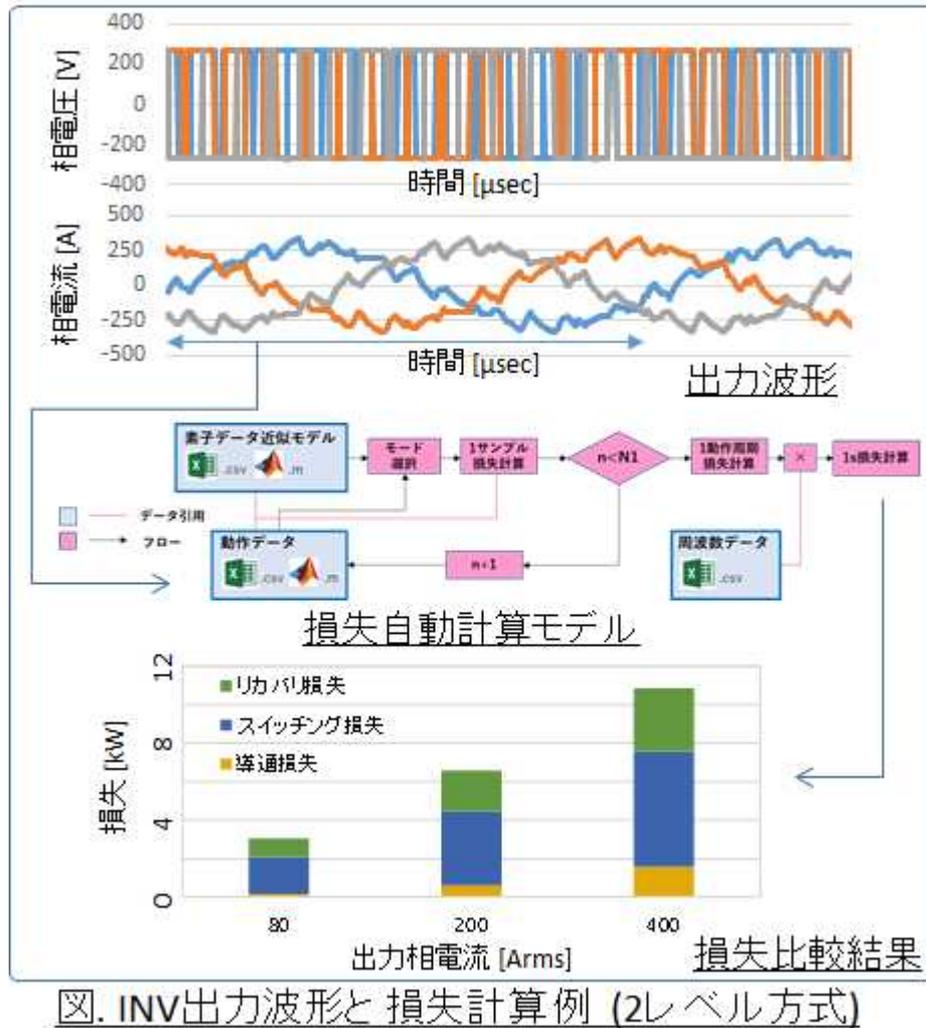
実施項目(2)-③：高出力密度電力変換器に関する研究（担当：三菱電機株式会社）

＜研究成果＞

- ・ 各種回路方式（2レベル・3レベル・階調制御）のインバータ（INV）を対象に、機体システムとの連携が容易な MATLAB/Simulink*による回路モデルを構築。
- ・ 発熱を見積もるため、波形周期毎にエネルギー損失を自動計算する MATLAB*モデルも構築。PSIM*計算結果と比較検証し妥当性を確認。
- ・ 電力容量、電圧レベルのスケールアップに対応したモデルの拡張を実施し、各種回路方式 INV の性能を比較評価。

表.スケールアップを考慮したINVモデル

拡張項目	範囲
回路方式	2レベル, 3レベル, 階調制御 (5~7レベル)
電力容量	~2MW
DCバス電圧	~1080V



<意義>

ハイブリッド航空機向けにマルチレベル電力変換器を機体 OEM やシステムメーカーが採用するには、上位システムでの適合性を試作前に統合的な総合評価する必要がある。機体モデルとの統合と、各種回路方式や電力容量に対応が可能な、新たな INV 計算モデルを開発することで、この課題を解決する。

開発項目(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

実施項目(3)-①(a)：システム連携の研究（担当：株式会社 I H I）

<研究成果>

燃料排熱空調、空冷化電力制御システム、及びエネルギー回収等を組み合わせた熱・エアマネジメントシステムのシステム定義と評価項目設定を完了し、解析モデルを構築して燃費消費量低減効果を算出した。

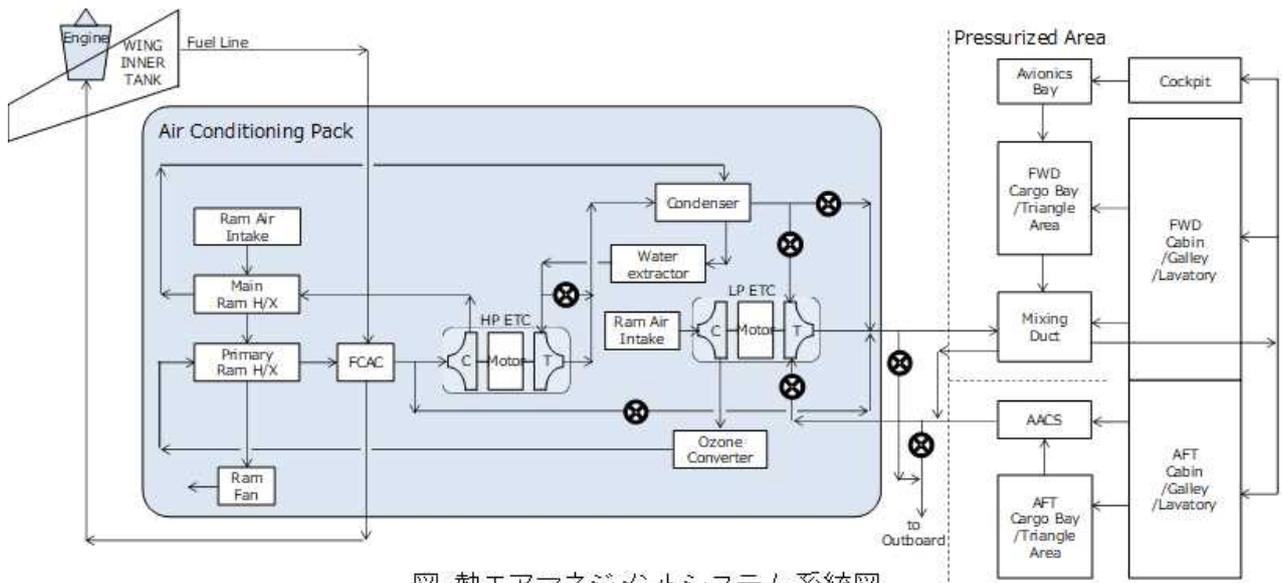


図. 熱エアマネジメントシステム系統図

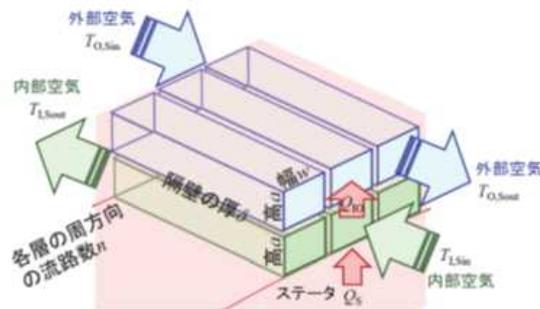
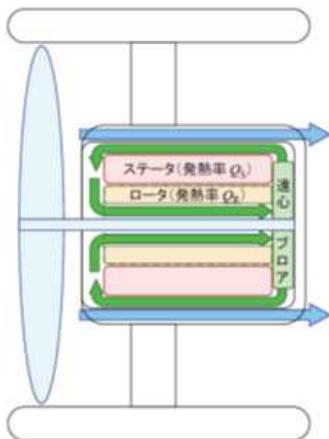
<意義>

システム定義が完了し、各構成要素の要求仕様が明確となることで、構成要素の検討を行う準備が整った。また、評価項目が設定され、解析モデルを作成することにより、技術成立性を評価する準備が整った。

実施項目(3)-①(b)：熱・エアインタフェースの研究（担当：国立大学法人東京大学）

<研究成果>

分散化された電動ファンは運用性・整備性の観点から空冷化が好ましい。電動ファン用モータの強制空冷の成立性を示すため、地上高温環境と、高空低圧環境における冷却性能について検討した。特に、高空の低圧環境下では空冷能力が著しく低下するが、空気の冷却能力を、熱輸送能力と熱伝達能力、2つの観点で整理し、伝熱工学の理論式を用いて推算した結果、いずれも質量流量に比例するとの結果を得た。圧縮性を考慮した圧力損失のモデル化、除熱量と圧力損失の関係の整理から、空冷での冷却能力とそれに伴うペナルティの関係を年度末までに明らかにできる見通しを得た。



電動ファン用モータの強制空冷の成立性について、以下の観点で整理

- 固体(構造材)からの熱伝達能力
- 空気流の熱輸送能力

<意義>

大出力電動ファンの冷却に伴う課題が整理され、理論式からその基本的な特性が明らかになった。

実施項目(3)-①(c)：燃料排熱空調の最適化の研究（担当：株式会社島津製作所）

<研究成果>

ターゲット機体における空調システムの代表条件での要求性能を達成するための機器仕様・性能の割付けと構想検討を行い、これをもとにシステム性能解析を実施して所要の性能を満たすことを確認した。さらに、燃料排熱空調システムの主要部分である空調パッケージの3Dモデルを作成するとともに、上位の熱・エアマネジメントシステムの特性評価に使用するシミュレーションモデルを開発した。また、(d)項で報告するシステム試験リグの設計の妥当性を確認した。

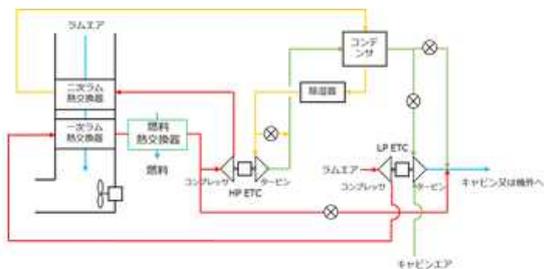


図. 燃料排熱-与圧エネルギー回収空調系統図

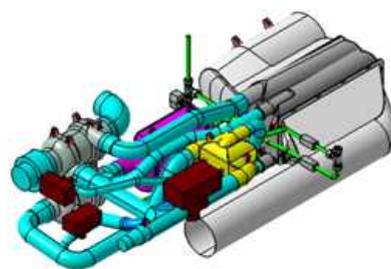


図. 燃料排熱-与圧エネルギー回収空調3Dモデル

<意義>

シミュレーションモデルの作成により、燃料排熱空調システムの技術成立性評価を行う準備が整った。

実施項目(3)-①(d)：数値モデルおよび評価手法の研究（担当：国立大学法人秋田大学）

<研究成果>

(a)システム連携の研究成果として得られたエアマネジメントシステムを実証するための環境試験リグの基本設計と、MATLAB/Simulinkによるシミュレーションモデルの構築が完了した。

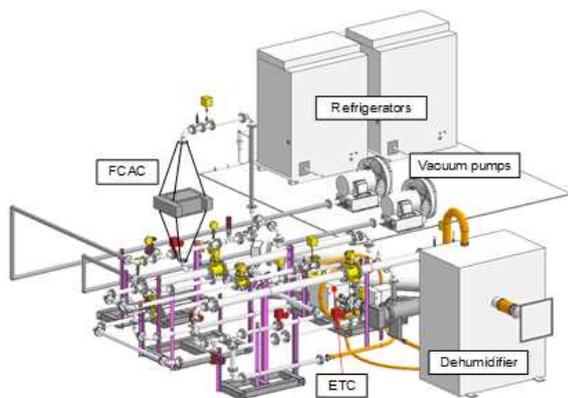


図.リグの基本設計による3Dモックアップ

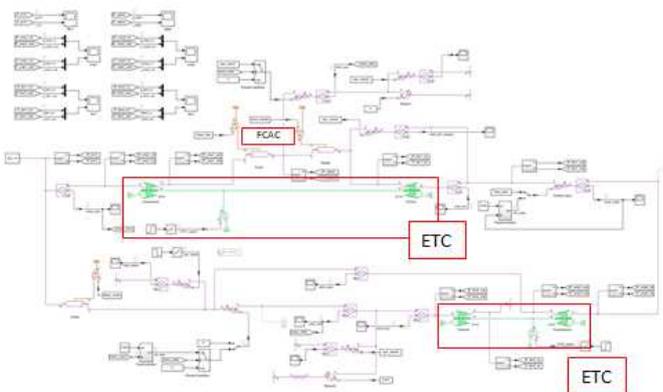


図.MATLAB/Simulinkによるシミュレーションモデル

<意義>

シミュレーションモデルとリグ試験の組み合わせにより、世界でも前例のない熱エアマネジメントシステムの技術成立性を評価する準備が整った。また、シミュレーションモデル上でのリグ設備の動作確認を実施する事により、初号機要素によるリグ試験遂行上のリスク低減が可能となった。

実施項目(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（担当：株式会社 I H I）

<研究成果>

電力制御装置の中で、発熱密度が最大となるパワエレ素子に冷却能力を集中するため、ヒートシンクに取

り込んだ冷却空気の全量を用いてパワエレ素子を冷却した後、その他の受動素子を冷却する、往復流路式ヒートシンクを考案。先行研究で得た知見に基づき、ヒートシンク内の冷却フィン密度を変化させることで、圧損を抑えつつ、各コンポーネントの冷却クライテリアを満たす事が出来る解析結果を得た。本形態では、パワエレからの排熱回収量を最大化することができる。また、ヒートシンクの製造に着手し、年度内に製造完了の目途を得た。

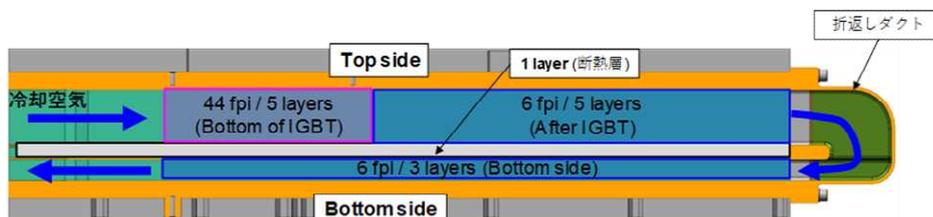


図. 往復流路式ヒートシンクの断面図

<意義>

電力制御デバイスの将来的な発熱密度の増大に対応しつつ、排熱回収も実現可能とするヒートシンク的设计資料を得、評価試験を進めることができる。

実施項目(3)-①(f)：空冷化電力制御システムの搭載性の研究（担当：ナブテスコ株式会社）

<研究成果>

現行機体を電動化した場合の搭載性についての検討を実施した。機体内の空気経路である Triangle Area を流れる換気空気を取り込み電力制御システムを冷却後、Bilge Area へと排気する、胴体 1 フレーム分の空間を使用したシステムレイアウト案を定義した。

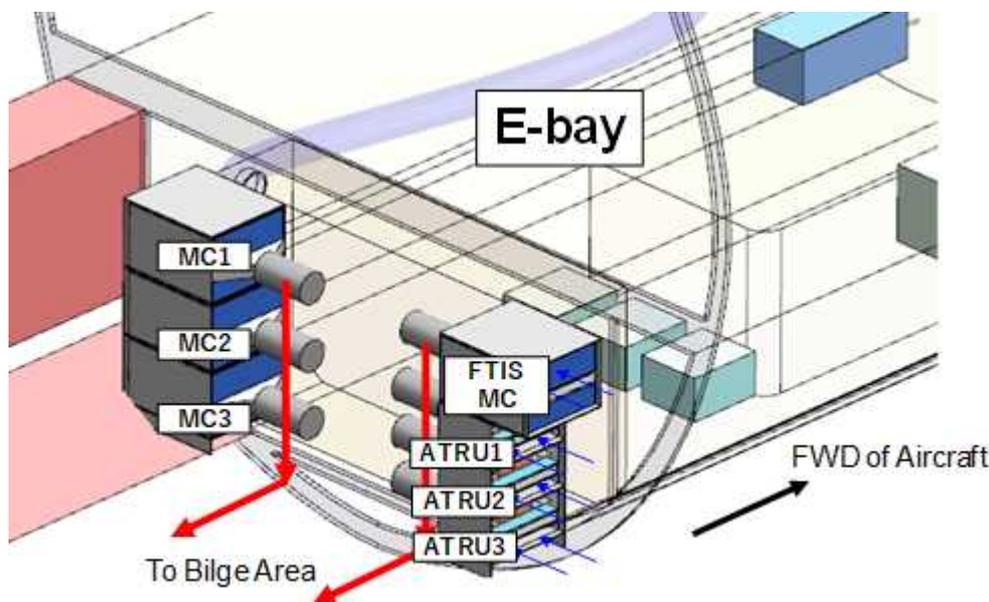


図. 空冷化電力制御システムの搭載性検討結果

<意義>

本レイアウト案をベースとした熱収支モデルを作成する事で、胴体内のシステム配置位置ごとの空冷キャパシティを得る事ができる。また、システム搭載ラックの機械検討へと進める事ができる。

実施項目(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（担当：株式会社 I H I）

＜研究成果＞

設定した要件定義に基づき、システム評価手法についての検討を実施し、システム要件を満足させる技術的な目標値の設定を完了した。当該目標値を達成する上で成立性に影響を与える技術項目、もしくは技術的リスクの高い技術項目の抽出を行い、年度末までに成立性に影響のある技術項目を完了する目途を得た。

＜意義＞

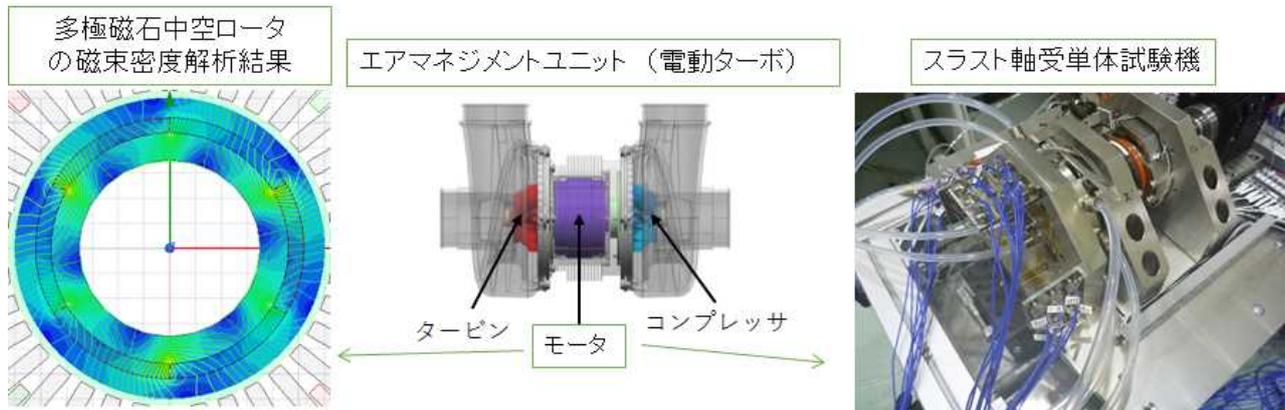
成立性に影響のある技術項目の洗い出しにより、影響評価解析が可能となる。

(3)-②熱・エアマネジメントユニットに関する研究

実施項目(3)-②(a)：エアマネジメントユニットの研究（担当：株式会社 I H I）

＜研究成果＞

- ロータ性能安定性に関する評価
磁石の多極化および解析に基づく配置検討により、シャフトを中空化した高出力密度ロータ構造の技術成立性について目途を得た。
- 支持構造負荷容量に関する評価
スラスト軸受単体の負荷容量確認試験について、試験機の熱伸びの影響を排除して負荷容量の計測精度を向上させる手法を確立した。



＜意義＞

上記設計/評価が実施可能となり、本評価結果の高出力密度エアマネジメントユニット設計への反映が可能となる。

実施項目(3)-②(b)：熱マネジメントユニットの研究（担当：住友精密工業株式会社）

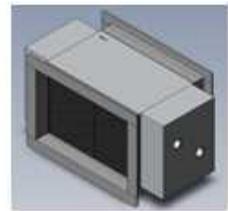
＜研究成果＞

熱・エアマネジメントシステムのシステム設計によりFCACへの要求定義を行い、それを満足するFCACの設計を完了、製造を実施中。7 月末に製造完了し、年度末までに供試体による耐久性評価を完了する目途を得た。

- 燃料排熱空調システムのリグ試験装置のうち、FCAC への燃料供給システムの仕様検討および必要機材の調達を完了。
- 実用化にあたり想定される技術課題の洗い出しおよび先行検討の実施計画立案完了。

- 燃料コンタミネーション対策：燃料浸漬試験による耐食性確認。
- 燃料氷結対策：数値流体解析（CFD）による確認および評価。

2021年度 研究開発活動スケジュール		2021 FY											
大項目	小項目	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
製造	FC AC製造-3 unit												
	性能試験												
試験	耐圧試験												
	圧力サイクル試験												
	燃料コンタミネーション試験												
	FC ACの性能図表を作成												
解析	CFDを用いた燃料氷結現象の確認および評価												



試験用供試体(概観)

<意義>

旅客機の客室空気を直接燃料と熱交換するデバイスはこれまで存在せず、その実用性評価の準備が整った。

2.3 成果の最終目標の達成可能性

項目：ハイブリッド電動推進システム

最終目標	現状	達成見通し
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及び熱・エアマネジメントシステムに係るシステム定義と評価項目設定を完了した。	中間目標におけるシステム定義及び評価項目に基づき、各研究項目で作成したシミュレーションモデルを用いてシステム成立性の解析評価を行うことで、システム定義の妥当性評価を完了する見通し。また、システム評価の過程で洗い出された技術課題を整理することにより、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も完了する見通しであり、最終目標を達成する見込み。

項目：電動推進電力システム

最終目標	現状	達成見通し
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	発電機の構造、電磁気の詳細設計を完了。試作機の製造を開始し製造完了の見込み。	試作した発電機において、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、最終目標を達成する見込み。
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	電動ファンシミュレータを構成する装置の器材検討および検証計画の立案を完了。	中間目標におけるシミュレーションによる解析評価と、今後実施するシステムリグ試験の組み合わせにより、電力システムの地上実証を行い、機能・性能評価を完了して最終目標を達成する見込み。

項目：熱・エアマネジメントシステム

最終目標	現状	達成見通し
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	燃料排熱空調システム及びエネルギー回収システムのシミュレーションモデルの作成を完了した。	中間目標におけるシミュレーションによる解析評価と、今後実施するシステムリグ試験の組み合わせにより、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・性能評価を完了して最終目標を達成する見込み。
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	FCAC の設計を完了、製造を実施中。	試作した FCAC を用いてシステムリグにおいて性能評価を実施、燃料排熱熱交換器(FCAC)の性能図表作成を完了して最終目標を達成する見込み。

2.4 成果の普及

	2019 年度	2020 年度	2021 年度	計
論文	-	0	1	1
研究発表・講演	-	1	2	3
新聞・雑誌等への掲載	-	0	0	0
展示会への出展	-	0	0	0

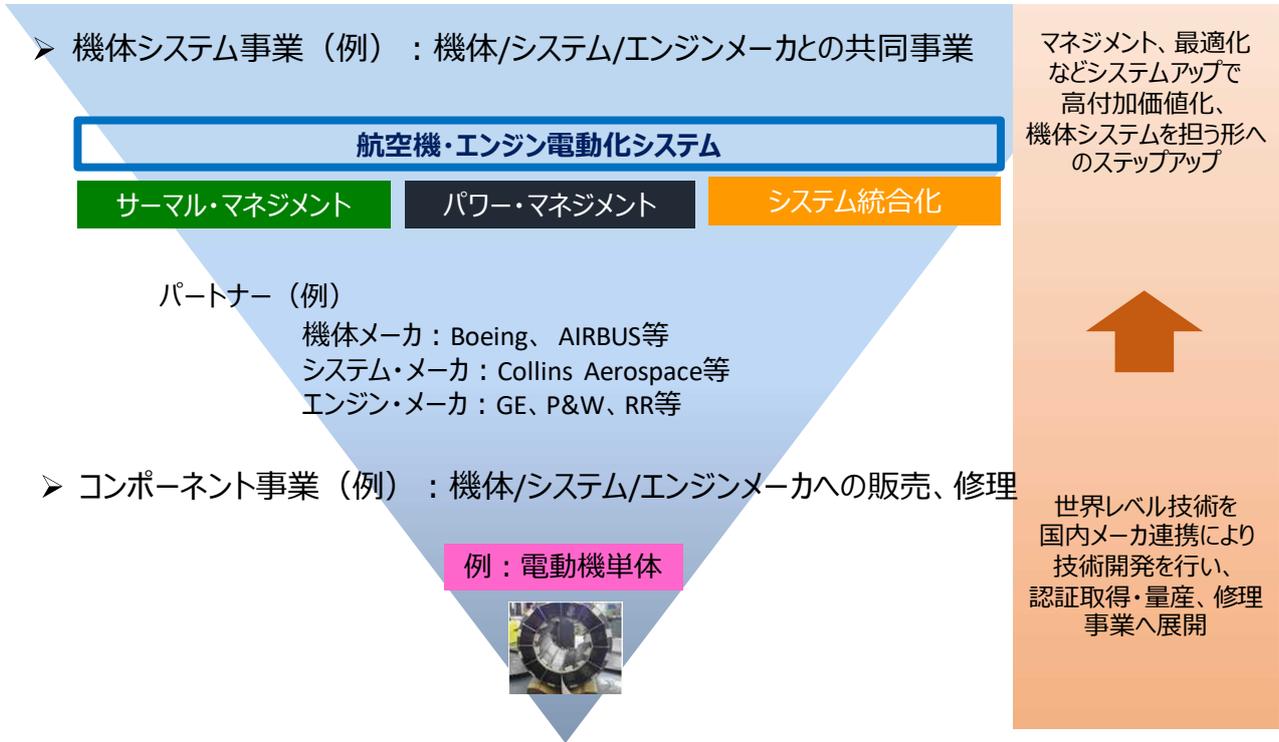
2021 年 8 月 27 日現在

2.5 知的財産権の確保に向けた取組

- システム構想については、オープン戦略により、機体メーカーやエンジンメーカー、システムメーカー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。
- 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。

3. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

3.1 事業化・実用化に向けた戦略



3.2 実用化・事業化に向けた具体的取組



3.3 実用化・事業化の見通し

- ✓ 中長期 技術開発計画
 - ・ 中期的には、装備品レベルでの実用化の見通しを得ることを目指す。本研究開発の成果は、要素技術の水平展開として装備品開発において実用化事業に供することを計画している

- 長期的には本プロジェクトの目標である2030年代の単通路機におけるシステム参入の機会を得ることを目指す。本研究開発の成果は中核技術としてシステムを担うとともに、それらを使ったシステムの実用化事業に供することを計画している
- ✓ 技術動向の調査及び規格化活動
 - SAE International の電動化に係る技術委員会等での調査及び標準化活動
 - EASG (Electric Aircraft Steering Group)、AE-9 (Electrical materials committee) 等での情報収集を実施
 - SAE E-40(Electrified Propulsion Committee)にて電動化の規格化活動を実施
- ✓ 想定されるシステムに係る、定期的な意見聴取を実施
 - 海外 OEM メーカーからの意見聴取を継続実施

3.4 波及効果

<経済的波及効果>

本研究開発の結果として技術成立性に目途が得られ、製品への適用・事業化を行う場合、以下の市場規模が想定される。

2030年代： エンジン搭載システムとして年間1,000セット
機体搭載システムとして年間500セット

<技術的波及効果>

本研究成果は、従来型電動機の小型・軽量化技術として利用され、航空機においては特に排熱が困難な翼や非与圧部の高温部位などに設置される電動機器で有効な技術となる。また、航空機のみならず地上で使用される様々な電動装置の軽量化に応用可能である。例えば、高速鉄道車両等で利用すれば、車両の軽量化に貢献し、走行時のエネルギー消費削減のみならず騒音低減や軌道への負荷低減等の効果を得ることができる。

2. 分科会公開資料

次ページより、プロジェクト推進部署・実施者が、分科会においてプロジェクト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研究開発」

(中間評価)

(2019年度～2023年度 5年間)

プロジェクトの概要 (公開)

NEDO ロボット・AI部

2021年10月1日

発表内容

1. 事業の位置づけ・必要性

- (1)事業の目的の妥当性 <P. 3～9>
 - ・事業実施の背景と事業の目的
 - ・政策的位置付け
 - ・国内外の研究開発の動向と比較
 - ・技術戦略上の位置付け
- (2)NEDOの事業としての妥当性 <P.10>
 - ・NEDOが関与する意義
 - ・実施の効果 (費用対効果)

2. 研究開発マネジメント

- (1)研究開発目標の妥当性 <P.12～17>
 - ・事業の目標
 - ・技術開発目標と根拠
- (2)研究開発計画の妥当性 <P.18～19>
 - ・研究開発のスケジュール
 - ・プロジェクト費用
- (3)研究開発の実施体制の妥当性 <P.20>
 - ・研究開発の実施体制
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性 <P.21～24>
 - ・研究開発の進捗管理
 - ・動向・情勢の把握と対応
 - ・開発促進財源投入実績
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性 <P.25>
 - ・知的財産権等に関する戦略
 - ・知的財産管理

3. 研究開発成果

- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義 <P.27～37>
 - ・研究開発項毎の目標と達成状況
 - ・プロジェクトとしての達成状況と成果の意義
 - ・各個別テーマの成果と意義
- (2)成果の最終目標の達成可能性 <P.38～40>
 - ・成果の最終目標の達成可能性
- (3)成果の普及 <P.41>
 - ・成果の普及
- (4)知的財産権の確保に向けた取組 <P.42>
 - ・知的財産権の確保に向けた取組

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

- (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略 <P.44>
 - ・本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方
 - ・実用化・事業化に向けた戦略
- (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取組 <P.45>
 - ・実用化・事業化に向けた具体的取組
- (3)成果の実用化・事業化の見通し <P.46～50>
 - ・成果の実用化・事業化の見通し
 - ・波及効果

1. 事業の位置づけ・必要性

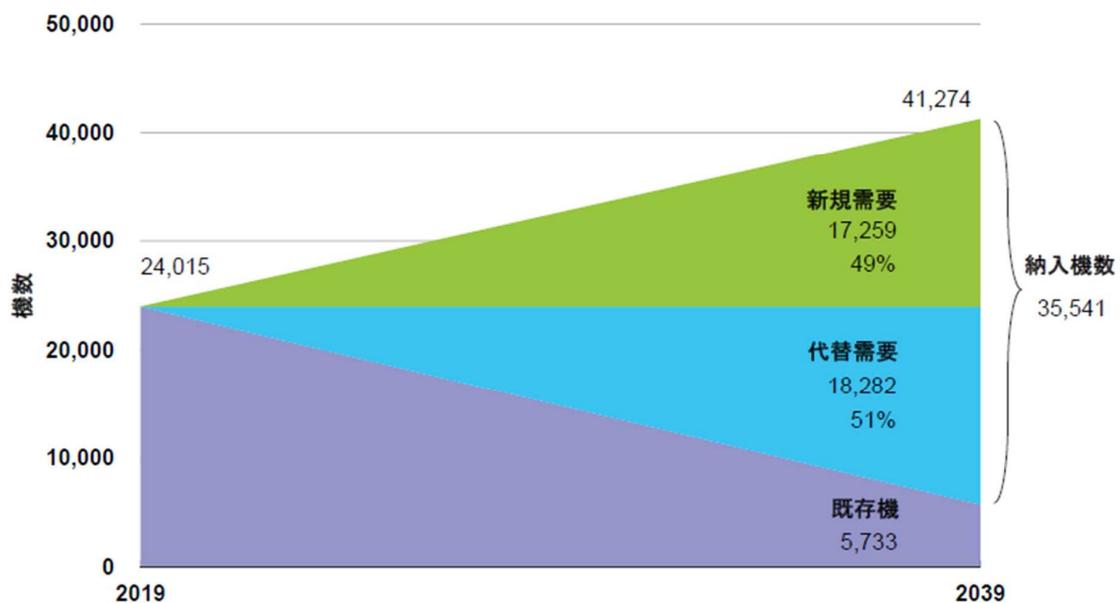
1. 事業の位置づけ・必要性 (1) 事業の目的の妥当性 (1/7)

◆ 事業実施の背景と事業の目的

背景

- 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

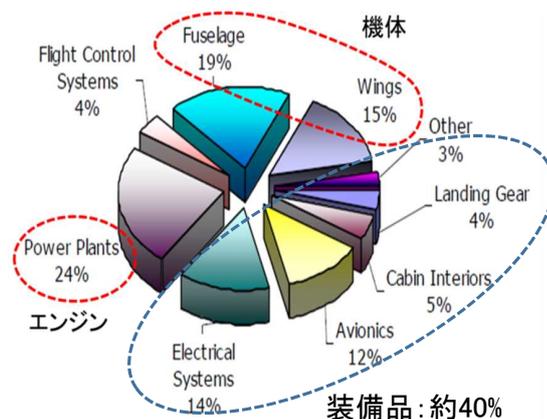


出典「民間航空機に関する市場予測2020-2039」(日本航空機開発協会)

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



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)

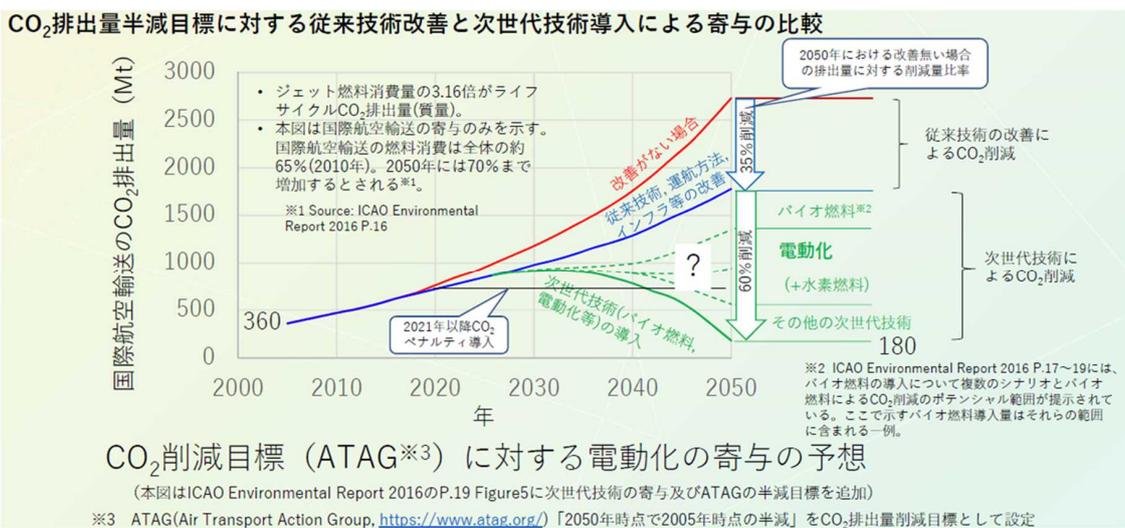
次世代航空機は、さらなる安全性・環境適合性・経済性が求められている。
また、国の支援を通じた、我が国装備品産業の育成が必要である。



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。**

航空機の電動化という新たなトレンド

- 国際民間機航空機関(ICAO)において、CO2排出量を**2050年までに50%削減(2005年比)**する目標が掲げられ、世界的に**電動航空機の開発が加速**している。
- 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)

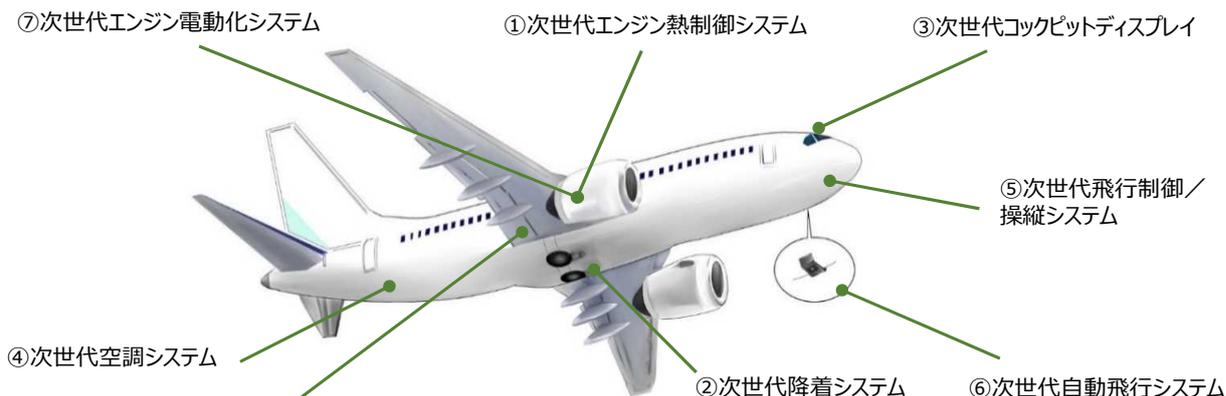


航空機電動化コンソーシアム「将来ビジョン」より抜粋



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。**

航空機用先進システム実用化プロジェクトの研究開発項目



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 電動ハイブリッドシステム (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)
 ※⑧-4は2021年度にテーマ拡充。(中間評価対象外)

◆政策的位置付け

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。

◆国内外の研究開発の動向と比較

国内外の研究開発の動向

- 日本：JAXAは、2030～50年代の実用化を目指して、CO2や窒素酸化物（NOx）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。
- 米国：NASA Glenn Research Center が Electrified aircraft propulsion やHybrid Electric propulsion の研究を推進。
- 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。

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)

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。

◆技術戦略上の位置付け

テーマ抽出

- ✓ 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) 全高度共通の重要 技術課題	高出力密度化 (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、逆変換器、分配器、送配電線等)
	電池の安全性と高エネルギー密度化の両立 (熱暴走等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)
	高効率化 (BLI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
	安全性・信頼性保証 (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) 高高度環境特有の 重要技術課題	耐放電・耐放射線 (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
	熱&パワー管理・制御 (低空気密度・ガスタービ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) 低高度運用特有の 重要技術課題	耐故障 (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
	低騒音化 (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)

◆NEDOが関与する意義

- ▶ 航空機用先進システムの開発は**技術的・経済的な波及効果が大きく、裾野産業の形成や雇用創出**につながり、我が国の産業の活性化、海外展開の促進に貢献することが期待できる。
- ▶ ただし、航空機システムは開発期間が長く実用化までに長期間を要すること、また認証取得に膨大な費用と時間を必要とすることから、**民間活動のみでは実施にあたってリスクが極めて大きい。**



推進にあたりNEDOの関与が必要。

◆実施の効果 (費用対効果)

本プロジェクトで開発した航空機用先進システムが次世代航空機に搭載されれば、2030年代以降から**年間で数十億、合計で最大数百億円規模の売上げ**を継続して得られる可能性がある。

そのため、本プロジェクトの総事業費：約73億円(※)に対し、生み出される効果は十分であると考えられる。

※⑧次世代電動推進システムのみ、2019～2023の総額。

2. 研究開発マネジメント

◆事業の目標

▶ 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可能となる。

▶ 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により、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。

◆研究開発目標と根拠

プロジェクトとしての研究開発目標

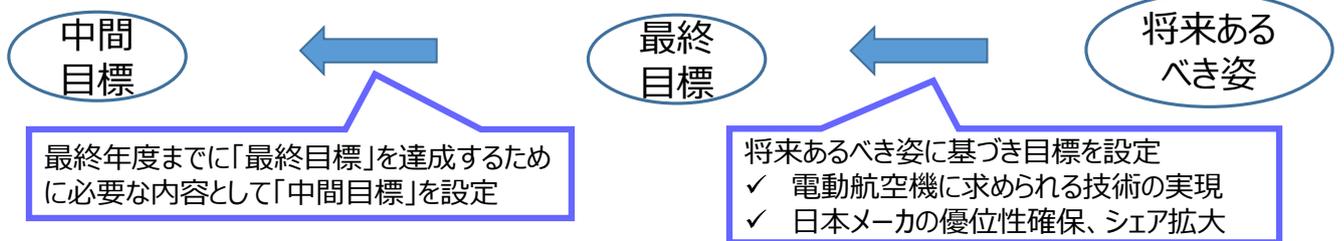
研究開発項目	研究開発目標	
⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム	中間	電動航空機用推進システムに求められる機能、性能を把握し、超電導技術を適用した高効率かつ高出力密度を有する推進システムの要素技術レベルでの開発・評価を行い実用化時に求められる出力目標達成のめどを得て、TRL4 (※1) を達成する。
	最終	電動航空機用の高効率かつ高出力密度を有する超電導技術を適用した推進システムの評価を行い、TRL6 (※2) を達成する。
⑧-2 軽量蓄電池	中間	電動航空機用蓄電池システムに求められる性能を把握し、セルや電池制御システムの試作及び評価試験を行い実用化時に求められるエネルギー密度、出力密度、サイクル寿命の目標達成のめどを得て、TRL4 (※1) を達成する。
	最終	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蓄電池システムとしてTRL6 (※2) を達成する。
⑧-3 電動ハイブリッドシステム	中間	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及び機体の熱マネジメントシステム成立性を機器単体及びシステムシミュレーションで確認し、TRL4 (※1) を達成する。
	最終	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 (※2) を達成する。

※1 TRL4：コンポーネントおよび/またはブレッドボードモデルが、実験室環境下において妥当性確認されていること。

※2 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。

次ページ以降、研究開発項目毎の詳細目標を記載。

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性 (3/6)



⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム

研究開発項目	研究開発目標	根拠
「航空機用超電導推進システム要素技術開発」 -超電導回転機基盤技術開発	中間 ・250-500kWモータ基盤技術確立 ・0.5-1MWシステム用回転機概念確立	250-500kW、0.5-1MWの出力は、小型機の出力に相当し、開発過程で試験も含めて適用対象が存在する規模の出力を設定。 これらの出力の回転機に必要な基盤技術を確立することで、「航空機用超電導推進システム機器機能検証」の実施を円滑かつ確度を向上させるために設定。 最終的なターゲットである20MWは、最も需要が多い単通路の旅客機の出力を想定しており、本プロジェクトに続いて開発ステージが移行するスケールアップに対応した基盤技術として設定。 これにより、円滑に次期フェーズの開発が推進できると考えられる。
	最終 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。	
「航空機用超電導推進システム要素技術開発」 -超電導ケーブル基盤技術開発	中間 0.5-1MWシステム用ケーブル概念確立	
	最終 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。	
「航空機用超電導推進システム要素技術開発」 -冷却システム基盤技術開発	中間 ・250-500kWモータ用冷却システム基盤技術確立 ・0.5-1MWシステム用冷却システム概念確立	
	最終 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。	

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性 (4/6)

⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム

研究開発項目	研究開発目標	根拠
「航空機用超電導推進システム要素技術開発」 -超電導線材基盤技術開発	中間 ・5分割—100m—250A/cm@70K,1.2T 歩留り>60%。 ・>300A/cm@70K,2.5T—100m。 ・0.5-1MWシステム用シールド基盤技術確立。	FSプロジェクトの設計より、条件を設定し、目標値とした。シールド技術としては、後半のシステム開発に適用可能な技術レベルとして設定した。
	最終 ・10分割—100m—300A/cm@70K,1.2T 歩留り>60%。 ・>500A/cm@70K,2.5T—100m。 ・20MWシステム用シールド基盤技術確立。	線材特性目標は、最終的なターゲットである20MWが見込める条件として設定した。シールド技術は、本事業に続いて開発ステージが移行するスケールアップに対応した技術レベルを設定した。
「航空機用超電導推進システム要素技術開発」 -低温動作半導体技術開発	中間 65Kで動作する半導体材料の開発。	第一段階として、各デバイスの所定の性能確保の確認の後に、システムとしての成立性の確認を目標として設定した。
	最終 65Kで動作する半導体素子の開発。	次期フェーズにインバータの機能を持った素子の適用を可能にするために、最終目標時には、素子化の目標を設定した。
「航空機用超電導推進システム機器機能検証」 -500kW級超電導モータ検証	中間 250-500kW超電導モータを製作し、基礎評価を行うことで、>5kW/kgの出力密度を実現する見通しを得る。	250-500kWの出力は、小型機の出力に相当するものである。本事業提案のモータ構造は、FSプロジェクトにおける1kWが最大である。従って、実用レベルとしては最初の試作となる本項のテーマでは、第一段階として、左記の目標を設定した。
	最終 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。	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試験を設定した。
「航空機用超電導推進システム機器機能検証」 -1MW級超電導推進システム検証	中間 0.5-1MW超電導推進システム構成の基本方針を決定する。	プロジェクト後の航空機対応評価に繋げるための第一段階として、各デバイスの所定の性能確保の確認の後に、システムとしての機能を確認し、システムとしての成立性の確認を目標として設定した。
	最終 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。	プロジェクト後の航空機対応評価に繋げるための第一段階として、各デバイスの所定の性能確保の確認の後に、システムとしての機能を確認し、システムとしての成立性の確認を目標として設定した。

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性 (5/6)

⑧-2 軽量蓄電池

研究開発項目	研究開発目標		根拠
硫黄を担持する多孔性炭素粒子の研究開発	中間	硫黄を担持する多孔性炭素粒子の研究開発：硫黄担持質量割合60%超。	500Wh/kgが目指せる硫黄正極に必要な硫黄担持質量割合と電極処方。
	最終	500Wh/kgが目指せる硫黄正極として硫黄担持質量割合60%超、15mAh/cm ² 以上となる電極処方。	
硫黄の溶解を抑制する電解液の研究開発	中間	硫黄の溶解を抑制する電解液の研究開発：容量維持率90%以上@50サイクル。	500Wh/kgが目指せる硫黄正極に対して、SEI（電極界面被膜）効果および電解液分解抑制の確認。
	最終	500Wh/kgが目指せる硫黄正極（15mAh/cm ² 以上）に対して、容量維持率90%以上50サイクル。	
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	中間	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：0.5CA程度の放電。	500Wh/kgが目指せる硫黄正極として、電極のイオンおよび電子伝導性を改善する指標。
	最終	500Wh/kgが目指せる硫黄正極（15mAh/cm ² 以上）として、2CA程度の放電。	
蓄電システムの実証検証	中間	蓄電池システムの実証検証：400Wh/kg級の小型セルの製作。	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かを検証。
	最終	500Wh/kg級の小型セル試作。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。	

16

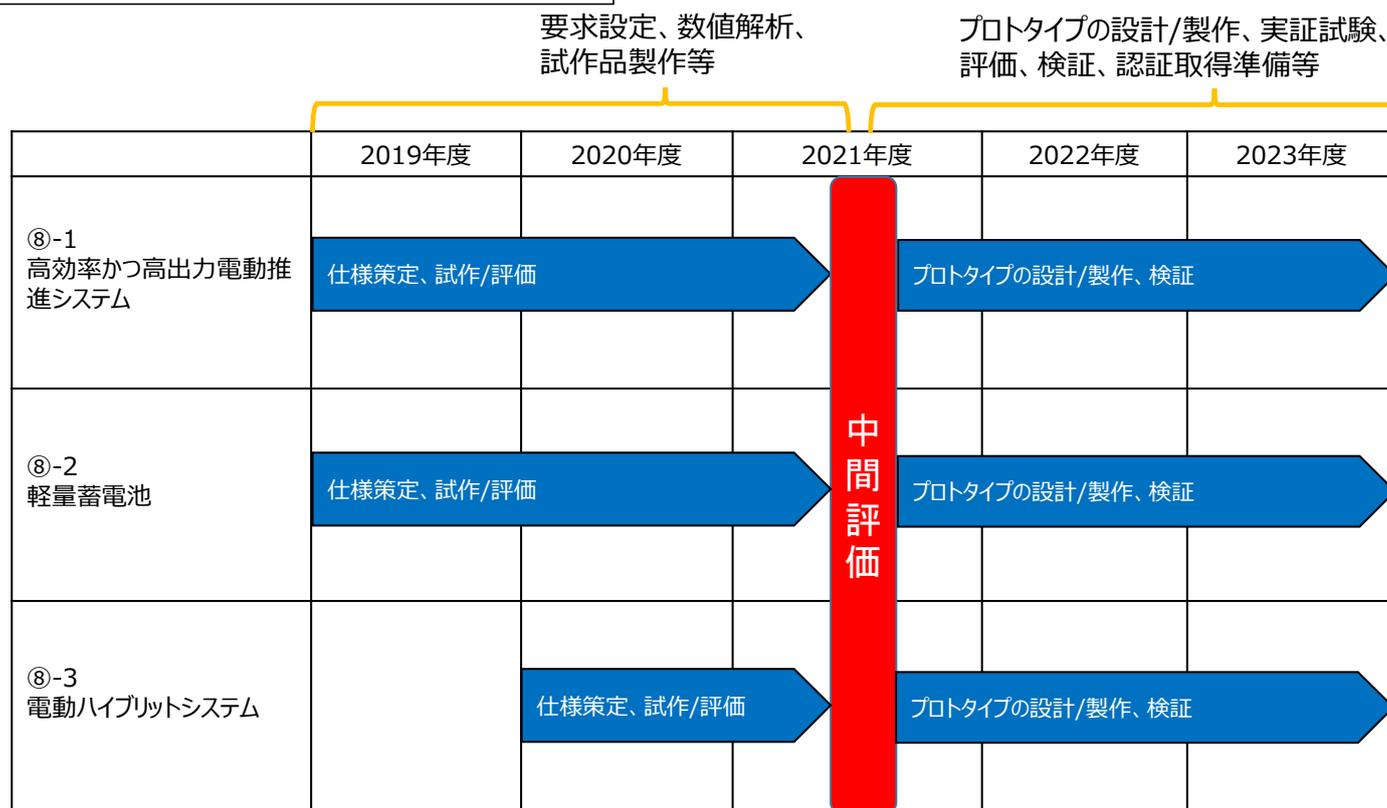
2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性 (6/6)

⑧-3 電動ハイブリッドシステム

研究開発項目	研究開発目標		根拠
ハイブリッド電動推進システム	中間	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。	本実用化プロジェクトにおける電動推進電力、熱・エアマネジメントの各システムベースラインを設定。 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。
	最終	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	中間	MW級電動推進を達成するエンジン内蔵発電機の特種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。 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。	MW級の電磁機械製造技術に対する実現性検証、及びシステム実証に向けた解析検証を可能とするため。 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。
	最終	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。	
熱・エアマネジメントシステム	中間	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。	システム実証に向けた解析における事前検証を可能とするため、及び構成要素の搭載実現性検証のため。 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。
	最終	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。	

17

◆研究開発のスケジュール



◆プロジェクト費用

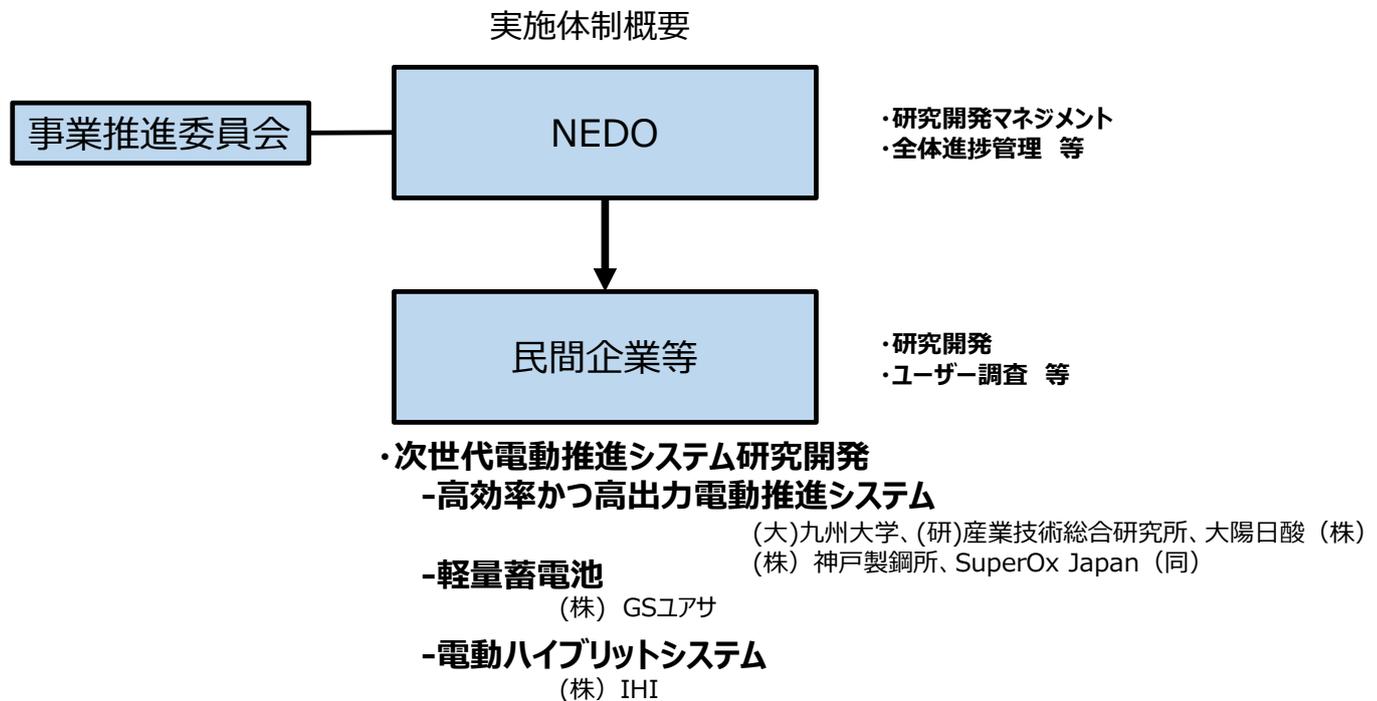
(百万円)

研究開発項目	2019年度	2020年度	2021年度	合計
⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム	320.8	793.6	1,214.8	2,329.3
⑧-2 軽量蓄電池	294.8	428.8	313.9	1,037.6
⑧-3 電動ハイブリットシステム	—	229.6	243.5	473.3
合計	615.6	1,452.0	1,772.3	3,840.2

費用については、開発促進財源を含む。

◆研究開発の実施体制

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を構築し、委託して実施している。実施体制を以下に示す。



20

◆研究開発の進捗管理

「三現主義」、「信頼関係構築」、「社会実装」を意識しプロジェクトを推進。四半期に1度程度でイベントを実施。

➤ 事業推進委員会の開催 (約2回/年、外部委員8人)

NEDOを主体として、各研究開発項目の研究開発責任者等が進捗報告を行い、NEDOのプロジェクトチームと議論を行い、外部有識者による審議を経て、研究開発の方向性を決定。

＜開催実績 (※)＞

第7回：2019年9月	第8回：2020年2月	第9回：2020年2月
第10回：2021年3月	臨時：2021年6月	

➤ サイトビジットの実施 (1回/年、外部委員8人)

2016年度より、各研究開発項目の進捗状況のよりの確な把握及び外部有識者を含めたプロジェクト関係者間で今後の課題等について認識の共有をはかることを目的として、外部有識者等と共に研究開発現場訪問を実施。

＜開催実績 (※)＞

第4回：2019年11月	(2箇所、外部委員 延べ10人)
第5回：2020年12月	(3箇所、外部委員 延べ12人)
第6回：2021年7月	(3箇所、外部委員 延べ11人)

※開催実績は、⑧次世代電動推進システムが対象となった回数を記載

21

◆ 開発促進財源投入実績

プロジェクト期間中、以下の研究開発項目に開発促進財源投入を行い、研究開発の加速を図った。

投入時期	研究開発項目	投入額 (百万円)	投入目的	成果・効果
2020.4	⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム	20.0	超電導誘導回転機は軽量かつスリップリングフリーである利点があり、航空機用モータとして同機器と共に有力な候補である。本件で、航空機応用に有効な横型100kW級の誘導機の試作を行いその有効性を検証する。	本事業で2019年度に超電導誘導機の縦型超小型モデルの作製に成功、その有効性を確認し、また2020年度には液体窒素・窒素ガスを圧送する極低温ポンプ適用の試作検証を行い軽量超電導ケーブルの実現性を示した。本件加速により、超電導技術を適用する航空機用電動推進システムの重要な要素技術として、誘導機の有効性検証が可能となり本事業の最終目標である地上試験システム的设计・試作・評価に大きく寄与する。
2020.4	⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム	100.0	本事業の研究開発を進める中で、高磁場中でも高い特性を示す線材の成膜方法と、幅広い超電導線材による磁気シールドの効果が明らかになった。加速増額により、40mm幅を有する高性能線材を作製するために必要な装置群を整備する。2020年度は、レーザー源装置の改造を行う。	多層構造の超電導線材について、超電導層、中間層、安定化層などの各層について、長尺幅広で高配向基板の作製装置の整備を図ることで、世界に先駆け、航空機用の超電導回転機及び磁気シールドを開発することができる。また電動推進航空機の最重要課題である軽量化に大きく貢献する。ただしこれらの成果・効果は、2021年度実施の加速増額と併せて実現される。
2020.12	⑧-3 電動ハイブリッドシステム	29.6	事業開始後の情報分析により、エアマネジメントユニットの更なる高出力・高効率化が必要と判断したため、以下2点を実施する。 ①【空気浮上型軸受の高耐荷重化】高伝熱材料の選定と、施行方法の確立。 ②【高出力超高速回転用巻線の排熱システムの開発】高伝熱材料の選定と、成型方法の確立。	小型超軽量なエアマネジメントユニット実現に必要な超高速電動ターボの要素技術として、空気浮上型軸受の更なる高性能化を可能とする良好な摩擦摩耗特性を有する高耐熱コーティング材料を抽出した。また、ステータ側の巻線電流増強に伴う伝熱効率の向上に関し、高熱伝導率モールド材が正常に流動する空間サイズを、試験上で明確にした。更に実証を進めることで、海外機体メーカーへの提案の主導権獲得を狙うことができる。

これに加え、2021年度中に、2つの研究開発項目に92.0（百万円）の開発促進財源を投入する予定。

24

2. 研究開発マネジメント (5) 知的財産権等に関する戦略の妥当性 (1/1)

◆ 知的財産権等に関する戦略

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。

どの技術を公開（積極的に権利化を行う）、非公開（ノウハウとして秘匿）とするかについては**各委託先の戦略**による。

◆ 知的財産管理

各委託先ごとに以下の方法、取り決め等により知的財産管理に取り組む。

- 知的財産管理指針の策定
- 知財運営委員会の設置
- プロジェクト内での秘密保持
- 知的財産権の帰属
- 出願手続きの取り決め
- プロジェクト内での実施許諾
- 知財合意書の取り交わし

3. 研究開発成果

26

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義 (1/11)

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

達成度：

中間評価分科会開催時点で、中間目標の達成に至っていない項目はあるものの、2021年度末に達成、あるいは、2022年度早々に達成見込みとなっている。

課題と解決方針：

- ✓ 達成見込みとなっている理由は、元々の計画として2021年度末時点での目標値のため、現在も取組中である。また、新型コロナウイルス感染症拡大による、出社制限等により研究開発の進捗に制限がかかった事に伴う計画遅れによるものである。
- ✓ 今年度中の達成が困難な項目については解決方針が立っており、2022年度前半には目標達成できる見込み（最終目標への影響無し）。

次ページ以降、研究開発項目毎の詳細。

27

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義 (2/11)

⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム

-項目：航空機用超電導推進システム要素技術開発

中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
250-500 kW回転機、ケーブル、冷却システム基盤技術確立。	<ul style="list-style-type: none"> 各開発要素に対して、モデル試作等で有効性の検証を一部終了。 軽量ケーブル、接続構造に関して適正構造を考案し、モデル試作等で有効性の検証を一部終了。 	△ (2022年6月達成見込)	<p>【課題】 新型コロナ感染拡大の影響により研究開発活動が大幅に制限されている。</p> <p>【解決方針】 目標達成時期を数ヶ月後ろ倒しすることにより対応。</p>
0.5-1 MWシステム用回転機、ケーブル、冷却システム技術概念確立。			
<ul style="list-style-type: none"> 5分割-100m長線材で電流密度250A/cm@温度70K、磁束密度1.2Tかつ歩留り60%以上を達成。 100m長線材で電流密度300 A/cm以上@温度70K、磁束密度2.5Tを達成。 	<ul style="list-style-type: none"> 歩留り向上に有効なスクライブ加工装置を導入、立ち上げ中。 短尺線材において左記目標特性を見通す技術を開発。 	△ (2022年6月達成見込)	
0.5-1MWシステム用シールド基盤技術を確立。	小型コイルにてシールド基礎特性を把握するとともに、電磁解析で有効性を確認。	△ (2022年6月達成見込)	
65 Kで動作する半導体材料の開発。	既存半導体及び名大試作品で、低温評価を行い必要な耐電圧を確認。	△ (2022年6月達成見込)	

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

28

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義 (3/11)

⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム

-項目：航空機用超電導推進システム機器機能検証

中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
250-500 kW超電導モータを製作し、基礎評価を行うことで、5kW/kgを超える出力密度を実現する見通しを得る。	研究項目【航空機用超電導推進システム要素技術開発】の検討に基づき250-500kWモータの基本構造を設計。	△ (2022年8月達成見込)	<p>【課題】 新型コロナ感染拡大の影響により研究開発活動が大幅に制限されている。</p> <p>【解決方針】 目標達成時期を数ヶ月後ろ倒しすることにより対応、及びモータ容量を調整することで対応。及びモータ容量を調整することで対応。</p>
0.5-1 MW超電導推進システム構成の基本仕様を決定する。	現時点で未着手だが、今後他の進展の状況をみて仕様決定予定	△ (2022年8月達成見込)	

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

29

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義 (4/11)

⑧-2 軽量蓄電池

-項目：硫黄を担持する多孔性粒子の研究開発

中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
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%を超えても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。	硫黄担持質量割合60 wt%以上の硫黄正極で1000 mAh g ⁻¹ から1300-1600 mAh g ⁻¹ の可逆容量の増大に成功した。エネルギー密度は可逆容量と作動電圧の積であるため、上述の可逆容量の飛躍的な向上により、500Wh/kgのエネルギー密度実現に大きく近づいた。	◎	-

-項目：硫黄の溶解を抑制する電解液の研究開発

中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
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。	硫黄正極小型セル評価において、良好なSEIを形成できるVCを溶媒とした電解液を適用することで、容量安定後の充放電50サイクルの容量維持率は93%であることを確認した。また電解液の粘度が可逆容量に依存することを見出し、高エネルギー密度化への電解液のコンセプトを得た。さらに電解液の軽量化を目的とし密度の小さな電解液も開発済である。	◎	-

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義 (5/11)

⑧-2 軽量蓄電池

-項目：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

中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
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。	新バインダーを適用した硫黄正極小型セル評価において、0.1CA相当の放電に対する2CA相当の放電（目標値の4倍の大電流による放電）における容量保持率は100%であり、電極に大きな劣化を起こさずに充放電が可能であることを確認した。さらに、新バインダーを適用した高目付(4.21 mg cm ⁻²)の20サイクル充放電後の容量維持率が旧バインダーを適用したものに比べ、約10%高いことを明らかにした。	◎	-

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義 (6/11)

⑧-2 軽量蓄電池

-項目：蓄電システムの実証検証

中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
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。	・試作した5 Ah級-積層セルのエネルギー密度は350Wh/kgであることを実証した。(2021年8月時点) ・軽量蓄電池に適合する電池モジュール構造(軽量化、均一圧迫機構) およびCMU、BMUのプロトタイプの設計を完了し、蓄電池システムを試作中。	△ (2022年3月達成見込)	【課題】 エネルギー密度向上 【解決方針】 詳細設計改善にて検討を更に進める。
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。	・試作した蓄電システムについて、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予定。	△ (2022年3月達成見込)	【課題】 検証指標の確定 【解決方針】 地上の実験室環境下で航空機の電動化に適用可能かを判断する指標(安全性などの影響を考慮)の把握。
軽量蓄電池の大電流での放電性能については、0.5 CA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。	・試作した5 Ah級-積層セルでの大電流での放電性能については、1.0 CA程度の放電が可能であった。 ・その他の性能値については、機体OEMメーカーとの協議を継続中。	△ (2022年3月達成見込)	【課題】 大電流放電性能の検証 【解決方針】 地上の実験室にて、蓄電システムの大電流放電性能を確認する。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達 32

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義 (7/11)

⑧-3 電動ハイブリッドシステム

-項目：ハイブリッド電動推進システム

中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
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	電動推進とBLIを組み合わせた機体形態を想定し、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完了した。	○	-

-項目：電動推進電力システム

中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
MW級電動推進を達成するエンジン内蔵発電機の特異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	構造成立性、製造性を踏まえた発電機の詳細設計、解析による性能評価を完了。発熱密度低減を図った巻線構造、高性能絶縁材料を取り入れ試作機の製造を開始、完了の見込みを得た。	△ (2022年3月達成見込)	【課題】 - 【解決方針】 試作機の製造開始しており、年度末までに完了する。
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	電力システムとして、マルチターミナル半導体式限流・遮断器(電源グリッド)、半導体式遮断回路方式(遮断システム)、ハルバツハ構造電動機(分散ファン用電動機)、階調制御等のインバータ方式(電力変換器)、についてそれぞれモデル解析により妥当性確認を完了した。	○	-

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達 33

⑧-3 電動ハイブリットシステム

-項目：熱・エアマネジメントシステム

中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
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	燃料排熱空調システム及びエネルギー回収システムのシステム定義と評価項目設定を完了し、評価ツールとしてのシミュレーションモデルの作成を完了した。年度末までに、シミュレーションモデルを用いた成立性評価を完了する見込みを得た。	△ (2022年3月 達成見込)	【課題】 － 【解決方針】 作成したシミュレーションモデルでの成立生評価を完了する。
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	熱・エアマネジメントシステムのシステム設計によりFCACへの要求定義を行い、それを満足するFCACの設計を完了、製造を実施中。8月中旬に製造完了し、年度末までに耐久性評価を完了する見込みを得た。	△ (2022年3月 達成見込)	【課題】 － 【解決方針】 試作品完了し、耐久性試験を完了する。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達 34

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

➤ 達成状況：

中間評価分科会開催時点で、中間目標の達成に至っていない項目はあるものの、2021年度末に達成、あるいは、2022年度早々に達成見込みとなっている。

達成見込みとなっている理由は、元々の計画として2021年度末時点での目標値のため、現在も取組中である。また、新型コロナウイルス感染症拡大による、出社制限等により研究開発の進捗に制限がかかった事に伴う計画遅れによるものである。

今年度中の達成が困難な項目については解決方針が立っており、2022年度前半には目標達成できる見込み（最終目標への影響無し）。

目標達成に向けて着実に前進している。

➤ 成果の意義：

中間目標は最終目標を見据えたものとなっており、事業化へ向けた重要なマイルストーンである。

中間目標の達成目途付ができたことは、実用化や事業化に向けた重要な前進と言える。

また航空機分野では通常、研究開発から実用化まで数年を要する。

研究の推進と共に認証への取り組みやニーズや動向、情勢調査を行い、実用化する上で必要な検討事項に対して適切に取り組むことで、着実に前進している。

◆各個別テーマの成果と意義

成果：
最終目標、実用化に向けた技術的目途付、課題の明確化

意義：
チャレンジングな研究開発、海外OEMへの技術力アピール

研究開発項目	成果	意義
⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム	①回転機、冷却システム等各開発要素に対して、モデル試作等で有効性の検証を一部終了。 ②軽量ケーブル、接続構造に関して適正構造を考案し、モデル試作等で有効性の検証を一部終了。 ③歩留り向上に有効なスクライブ加工装置を導入、立ち上げ中。 ④短尺線材において中間目標特性を見通す技術を開発。 ⑤小型コイルにてシールド基礎特性を把握するとともに、電磁解析で有効性を確認。 ⑥既存半導体及び名大試作品で、低温評価を行い必要な耐電圧を確認。 ⑦要素技術研究開発の結果に基づき250-500kWモータの基本構造を設計。	①250-500 kW回転機、ケーブル、冷却システム基盤技術確立への目途を得た。 ②0.5-1 MWシステム用ケーブル等技術概念確立への目途を得た。 ③交流損失低減に必要なスクライブ線材での特性安定化技術確立への目途を得た。 ④磁場中特性の目標達成への目途を得た。 ⑤0.5-1MWシステム用シールド基盤技術を確立への目途を得た。 ⑥65 Kで動作する半導体材料の開発への目途を得た。 ⑦250-500 kW超電導モータ製作への目途を得た。
⑧-2 軽量蓄電池	①従来よりも高エネルギー密度となる硫黄正極材料設計を得た。小型セルにて試作・評価。 ②実証検証に必要な蓄電池システムに使用する小型セル、BMU、CMUを設計した。地上実験室環境下での検証予定。	①リチウム硫黄電池の質量エネルギー密度を向上させる硫黄正極、電解液のコンセプトを得た。 ②軽量蓄電池だけでなく、軽量化に徹した蓄電池システムが実現できる目途を得た。

◆各個別テーマの成果と意義

研究開発項目	成果	意義
⑧-3 電動ハイブリットシステム	①電動推進とBLIを組み合わせた機体形態を想定し、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完了した。 ②-1 MW級発電機の設計を完了し、試作機の製造を開始、完了の見込みを得た。 ②-2 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した。 ③-1 燃料排熱空調システム及びエネルギー回収システムのシステム定義と評価項目設定を完了し、評価ツールとしてのシミュレーションモデルの作成を完了した。 ③-2 熱・エアマネジメントシステムのシステム設計から燃料排熱熱交換器(FCAC)への要求定義と設計を完了、7月末に製造完了予定。	①電動推進のシステム成立性、システム定義の妥当性及び各構成要素への要求の妥当性確認を進めることができる。 ②-1 高い重量出力密度を持つMW発電機の性能評価を進めることができる。 ②-2 今後実施するリグ試験との組み合わせにおいて、電力システムの技術成立性を確認することができる。 ③-1 今後実施するリグ試験との組み合わせにおいて、熱・エアマネジメントシステムの技術成立性を確認することができる。 ③-2 これまで前例のない旅客機の客室空気を直接燃料と熱交換するFCACの実用性評価を進めることができる。

◆成果の最終目標の達成可能性

現状：最終目標に向け、試作評価等による目処付け、技術的課題の抽出中。

達成見通し：現在実施中あるいは対策が立てられており、最終目標達成可能の見通し。



研究開発項目	最終目標 (2023年度末)	現状	達成見通し
⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム	<ul style="list-style-type: none"> ・20MWシステム開発に向けた回転機、ケーブル、冷却システムにおける課題と対策の明確化。 ・10分割-100m長線材で電流密度300A/cm@温度70K、磁束密度1.2Tかつ歩留り60%以上を達成。 ・100m長線材で電流密度500 A/cm以上@温度70K、磁束密度2.5Tを達成。 ・20MWシステム用シールド基盤技術を確立する。 ・65 Kで動作する半導体素子の開発。 	<p>各開発技術に関して、モデル試作等により着実に開発は進展しているものの新型コロナ感染拡大の影響により研究開発活動が大幅に制限され、中間目標に関しては、達成時期を数ヶ月後ろ倒しすることにより対応。</p>	<p>新型コロナ感染拡大の影響による遅延を最小限に抑制することで達成を目指す。</p>

◆成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	最終目標 (2023年度末)	現状	達成見通し
⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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。 	<p>研究項目「航空機用超電導推進システム要素技術開発」の検討に基づき、250-500kWモータの基本構造を設計を終え、着実に開発は進展しているものの新型コロナ感染拡大の影響により研究開発活動が大幅に制限され、中間目標に関しては、モータ容量の調整とともに達成時期を数ヶ月後ろ倒しすることにより対応。</p>	<p>0.5-1MW超電導推進システムの検討を250-500 kW超電導モータの製作・評価と並行して行うなどにより、新型コロナ感染拡大の影響による遅延を最小限に抑制することで達成を目指す。</p>
⑧-2 軽量蓄電池	<ul style="list-style-type: none"> ・軽量蓄電池について、500 Wh/kg級の小型セルを試作する。 ・軽量蓄電池に適合するBMU, CMUの仕様を決定し、蓄電システムを試作する。 ・上記蓄電システムを用いて、航空機の電動化に適用可能であることを実証する。 ・大電流放電性能として、2CA程度の放電が可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・400Wh/kg級の小型セルを試作・評価中。 ・BMU, CUMおよび蓄電システムの設計検討中。 	<ul style="list-style-type: none"> ・軽量蓄電池について、500 Wh/kg級が見通せるいくつかの要素技術については成果が得られているが、それらを組み合わせた電池設計では、まだ不十分な要素技術がいくつかあり、それら要素技術を如何に改善できるかが目標達成のカギとなる。 ・蓄電システムについては、機体OEMのご意見を伺いながら、2021年度までに有られた小型セルの成果をベースに設計を進め、必要性能を具体化したうえで達成する。

◆成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	最終目標 (2023年度末)	現状	達成見通し
⑧-3 電動ハイブリットシステム	(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及び熱・エアマネジメントシステムに係るシステム定義と評価項目設定を完了した。	中間目標におけるシステム定義及び評価項目に基づき、各研究項目で作成したシミュレーションモデルを用いてシステム成立性の解析評価を行うことで、システム定義の妥当性評価を完了する見通し。また、システム評価の過程で洗い出された技術課題を整理することにより、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も完了する見通しであり、最終目標を達成する見込み。
	(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。 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。	発電機の構造、電磁気の詳細設計を完了。試作機の製造を開始し製造完了の見込み。 電動ファンシミュレータを構成する装置の器材検討および検証計画の立案を完了。	試作した発電機において、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、最終目標を達成する見込み。 中間目標におけるシミュレーションによる解析評価と、今後実施するシステムリグ試験の組み合わせにより、電力システムの地上実証を行い、機能・性能評価を完了して最終目標を達成する見込み。
	(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。	燃料排熱空調システム及びエネルギー回収システムのシミュレーションモデルの作成を完了した。また、FCACの設計を完了、製造を実施中。	中間目標におけるシミュレーションによる解析評価と、今後実施するシステムリグ試験の組み合わせにより、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・性能評価を完了して最終目標を達成する見込み。 試作したFCACを用いてシステムリグにおいて性能評価を実施、燃料排熱熱交換器(FCAC)の性能図表作成を完了して最終目標を達成する見込み。

◆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。
また、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・製品の認証を円滑に取得するために必要な安全性評価手法等を構築する。

各項目の合計

	2019年度	2020年度	2021年度	計
論文	0	8	1	9
研究発表・講演	37	28	7	72
新聞・雑誌等への掲載	4	4	0	8
展示会への出展	2 ※	0	0	2

2021年8月27日現在

※2020年度2月 : 第2回 航空・宇宙機器開発展

◆知的財産権の確保に向けた取組

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。

どの技術を公開（積極的に権利化を行う）、非公開（ノウハウとして秘匿）とするかについては各委託先の戦略による。

各項目の出願特許数合計

()内は予定数

	2019年度	2020年度	2021年度	計
国内出願	0	2	1 (2)	3 (2)
外国出願	0	1	(1)	1 (1)
計	0	3	1(3)	4 (3)

2021年8月27日現在

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る製品・サービスが顧客（機体メーカ、エンジンメーカ、システムメーカ、エアライン等）に納品されることをいう。

◆実用化・事業化に向けた戦略

- 従来、日本メーカは国外メーカの下請けに甘んじてきたため、認証取得等を独自で行う上でのノウハウが不十分。
今後は独自に開発、設計、製造、認証取得、販売を行うことができるよう、本研究開発を通じてプロトタイプ製作や、認証取得に向けた実証試験等の実績を積み、国際競争力を向上させる。
- 本研究開発を通じて、実用化を見据えた実証試験インフラの整備やサプライチェーンの確立、人材の確保に取り組む。
- 必要に応じて国外の航空機メーカや航空機システムメーカをパートナーとして選定することにより、ユーザー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。

◆実用化・事業化に向けた具体的取組

- ✓ 開発、設計、試験、評価、量産化のステップアップ
- ✓ 海外との共同研究実施や共同研究体制作り
- ✓ 機体、装備品メーカとの共同研究
- ✓ 市場リサーチ
- ✓ 認証取得準備

研究開発項目	具体的取組
⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 実用化・事業化の本命対象である100～150人対応の航空機に必要な20MWの推進パワーの超電導推進システム開発に向けて、本事業終了後に、本事業成果の飛行試験とともにスケールアップの開発を計画。 ✓ ユーザーとの連携を通して開発方向性の共有を実施中。
⑧-2 軽量蓄電池	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 2030年までに硫黄正極や電解液のサプライヤーを確保し、軽量蓄電池を量産化できる基盤を作る。その上で、軽量蓄電池の量産仕様を確立し、地上⇒飛行環境での実証試験を進める。 ✓ 機体OEMメーカと協議して量産、供用を開始し、2030年代後半の実用化を目指す。
⑧-3 電動ハイブリットシステム	<ul style="list-style-type: none"> ✓ コンポーネント、システムの事業化に向けた開発を実施 ✓ 技術動向の調査及び規格化活動 ✓ 想定されるシステムに係る、機体メーカ、エンジンメーカとの定期的な意見聴取

4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し
 (3) 成果の実用化・事業化の見通し (1/5)

◆成果の実用化・事業化の見通し

- ✓ ニーズに合致した製品提案
- ✓ 潜在的顧客の獲得
- ✓ 高品質・低コスト化



研究開発項目	事業化の見通し
⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ユーザーとの連携を通してニーズの調査、確認を継続中。 ✓ 世界的に最も高い需要が期待されている、100～150人対応の航空機に必要な20MWの推進パワーの超電導推進システムを提供予定。
⑧-2 軽量蓄電池	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 電動航空機の場合、航行距離を伸ばす方法としてエネルギー搭載量を増やす方法がある。航空機の場合は、全体の質量が増えないように電池の質量エネルギー密度向上、すなわち軽量蓄電池の研究開発が強く望まれている。 ✓ 蓄電池の専門メーカーである株式会社 GSユアサにおいて軽量蓄電池の研究開発は、第5次中期経営計画で重要研究案件と位置づけており、最終年度以降も実用化・事業化に向けた量産化技術も含めた取り組みを行う予定である。

4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し
 (3) 成果の実用化・事業化の見通し (2/5)

◆成果の実用化・事業化の見通し

研究開発項目	事業化の見通し
⑧-3 電動ハイブリットシステム	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 中長期 技術開発計画 <ul style="list-style-type: none"> ・中期的には、装備品レベルでの実用化の見通しを得ることを目指す。本研究開発の成果は、要素技術の水平展開として装備品開発において実用化事業に供することを計画している ・長期的には本プロジェクトの目標である2030年代の単通路機におけるシステム参入の機会を得ることを目指す。本研究開発の成果は中核技術としてシステムを担うとともに、それらを使ったシステムの実用化事業に供することを計画している ✓ 技術動向の調査及び規格化活動 <ul style="list-style-type: none"> ・SAE Internationalの電動化に係る技術委員会等での調査及び標準化活動 <ul style="list-style-type: none"> i) EASG (Electric Aircraft Steering Group)、 AE-9 (Electrical materials committee)等での情報収集を実施 ii) SAE E-40(Electrified Propulsion Committee)にて電動化の規格化活動を実施 ✓ 想定されるシステムに係る、定期的な意見聴取を実施 <ul style="list-style-type: none"> ・海外OEMメーカーからの意見聴取を継続実施

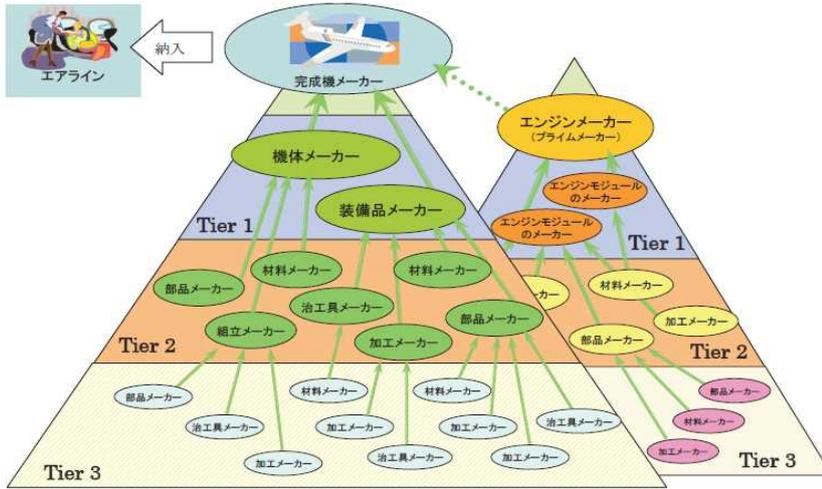
4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し
 (3) 成果の実用化・事業化の見通し (3/5)

◆波及効果

- 航空機用先進システムの開発は技術的・経済的な波及効果が大きく、裾野産業の形成や雇用創出につながり、我が国の産業の活性化、海外展開の促進に貢献することが期待できる。

特に航空機のシステム品は先端技術を集約したものであり、また、信頼性、品質ともに高いレベルを有するため他産業への技術的波及効果が大きい。

- 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により、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られる可能性がある。



出典：航空機産業における部品供給構造と参入環境の実態(日本政策金融公庫総合研究所, 2011)

4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し
 (3) 成果の実用化・事業化の見通し (4/5)

◆波及効果

研究開発項目	波及効果
⑧-1 高効率かつ高出力電動推進システム	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 日本オリジナルな技術として、これまで日本の航空業界に存在しなかったTier-1産業を創生。これによる雇用創出も期待。 ✓ 船舶用推進システム、洋上風力用発電機、産業用モータ等への適用も十分期待。
⑧-2 軽量蓄電池	<p>【技術的波及効果】 他産業への波及効果として、蓄電池の軽量化が渴望されている、宇宙産業、ロボット産業（アシスト・介護）などへ展開することで波及効果が見込まれる。</p> <p>【経済的波及効果】 蓄電池に関しては、日本の技術は世界のトップレベルにあり、新規の活物質や固体電解等の研究開発が進んでいる。さらに航空機の電動化に必要な技術開発も進んでおり、近い将来の実用化が期待されている。航空機産業の発展が遅れた背景の中で、航空機の電動化へ取り組む際には、上記のような蓄電池の技術レベルが高い事で、優れた性能の電動航空機の開発が可能になり、世界に先駆けて、空を飛ぶ用途全般における優位性が確保できると考えられる。航空機産業の中の特に電動航空機において、日本の強みが出せる新しい産業の創生が可能になる。</p>

4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し
(3) 成果の実用化・事業化の見通し (5/5)

◆波及効果

研究開発項目	波及効果
⑧-3 電動ハイブリットシステム	<p>【成果の市場投入の経済的予測】 本研究開発の結果として技術成立性に目途が得られ、製品への適用・事業化を行う場合、以下の市場規模が想定される。 2030年代： エンジン搭載システムとして年間1,000セット 機体搭載システムとして年間500セット</p> <p>【波及効果】 本研究成果は、従来型電動機の小型・軽量化技術として利用され、航空機においては特に排熱が困難な翼や非与圧部の高温部位などに設置される電動機器で有効な技術となる。また、航空機のみならず地上で使用される様々な電動装置の軽量化に応用可能である。例えば、高速鉄道車両等で利用すれば、車両の軽量化に貢献し、走行時のエネルギー消費削減のみならず騒音低減や軌道への負荷低減等の効果を得ることができる。</p>

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」(中間評価)分科会
議事録及び書面による質疑応答

日 時：2021年10月1日(金) 13:30～17:00

場 所：NEDO川崎本部 23F 2301, 2302, 2303 会議室(オンラインあり)

出席者(敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長	浅井 圭介	東北大学 大学院工学系研究科 航空宇宙工学専攻	教授
分科会長代理	木村 茂雄	神奈川工科大学 工学部 機械工学科	教授
委員	荒井 誠	株式会社日本政策投資銀行 企業金融第2部	航空宇宙室長
委員	田辺 光昭	日本大学 理工学部 航空宇宙工学科	教授
委員	土井 正好	大阪産業大学 工学部 機械工学科	教授
委員	西脇 賢	全日本空輸株式会社 e.TPS イノベーション推進室/整備センター技術部	専門部長

<推進部署>

林 成和	NEDO ロボット・AI 部 部長
梅田 英幸	NEDO ロボット・AI 部 統括主幹
白木 聖司(PM)	NEDO ロボット・AI 部 主査
品川 貴	NEDO ロボット・AI 部 主査
服部 元隆	NEDO ロボット・AI 部 主任
白川 周	NEDO ロボット・AI 部 専門調査員

<実施者>

岩熊 成卓	九州大学 システム情報科学研究院 電気システム工学部門 兼 先進電気推進飛行体研究センター 教授、センター長
和泉 輝郎	産業技術総合研究所 省エネルギー部門 主任研究員
平井 寛一	大陽日酸株式会社 R&D つくば低温機器技術部 部長
服部 賢二	大陽日酸株式会社 R&D つくば低温機器開発課 主任研究員
蓮尾 信也	SuperOxJapan 合同会社 顧問
一原 主税	株式会社神戸製鋼所 応用物理研究所 所長
寺尾 泰昭	株式会社神戸製鋼所 応用物理研究所 電気・磁気制御研究室 室長
稲益 徳雄	株式会社GSユアサ 研究開発センター 室長
西川 平祐	株式会社GSユアサ 研究開発センター グループマネージャー
石川 正司	関西大学 化学生命工学部 化学・物質工学科 教授
奥田 大輔	関西大学 先端科学技術推進機構 特別任命助教
計 賢	関西大学 先端科学技術推進機構 特別任命助教
水野 祐介	株式会社GSユアサ 研究開発センター リーダー
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 エンジン技術部 将来技術プロジ

エクトグループ 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 エンジン技術部 将来技術プロジェクトグループ 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 エンジン技術部 将来技術プロジェクトグループ 主査
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 システム技術グループ 主幹

<評価事務局>

森嶋 誠治 NEDO 評価部 部長
木村 秀樹 NEDO 評価部 専門調査員
鈴木 貴也 NEDO 評価部 主査

議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
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. プロジェクトの概要説明
 - 5.1 事業の位置づけ・必要性、研究開発マネジメント、研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し
 - 5.2 質疑応答

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明
 - 6.1 研究開発項目⑧-1：高効率かつ高出力な電動推進システム
 - 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
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、資料の確認
 - ・開会宣言（評価事務局）
 - ・配布資料確認（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（評価事務局、推進部署）
3. 分科会の公開について

評価事務局より行われた事前説明及び質疑応答のとおりとし、議事録への公開・非公開についての説明を行った。
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行われた事前説明のとおりとした。
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1 事業の位置づけ・必要性、研究開発マネジメント、研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

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。

5.2 質疑応答

【浅井分科会長】 技術の詳細については議題6で扱うため、ここでは事業の位置づけ・必要性、マネジメント等に関する議論となります。事前にやり取りをした質疑応答も踏まえ、ご意見、ご質問をお願いいたします。また、オンラインでご参加の方は、発言の際にミュートを解除し、お名前とご所属、質疑の対象となる資料番号やページ数の特定をお願いします。それでは委員の皆様いかがでしょうか。

では、まず私の方からお願いします。今回カスタマーの航空機として、ナローボディ機を想定されていますが、その経緯を教えてください。また、現状として、この判断について何かコメント等があれば一緒に伺いたいです。

【NEDO ロボット・AI部_白木PM】 このプロジェクトの目標としてナローボディ機を設定した理由は、電動化になった場合、効率的にその技術が採用されるという点や、このプロジェクトの目的である「日本企業の促進」という意味も含めると、最も効果が出やすいだろうと考え、目標設定に至りました。その一方で、それよりも大きい機体や、さらに小さい機体など航空機に適用される機種は多々ありますので、それぞれの研究テーマに沿いながら、より適切な機種などに反映できるように研究を進めている状況です。

【浅井分科会長】 最近エアバスがZEROe（ゼロイー：水素を主な動力源とするゼロエミッションのコンセプト機）という計画を発表しましたが、それはもう少し大きな機体を想定しているようです。また、ボーイングはまだはっきりとした意志表明をしていない状況です。そのため、その辺りの状況をいろいろ見ながら、その上でプロジェクトとしてきちんと成果が出るようにしていただけたらと思います。よろしく願いいたします。

【NEDO ロボット・AI部_白木PM】 ありがとうございます。

【浅井分科会長】 それでは、マネジメント観点について、荒井委員から何か伺えればと思うのですが、お願いできますか。質問の補足でも結構です。

【荒井委員】 日本政策投資銀行の荒井です。私からの質問としては、まずマネジメント面です。まさに足元では脱炭素という動きが世界的にも非常に加速されていく中で、エアバスさんも新しい技術の話がありますが、結構ベンチャーさんで、例えばeVTOL（電動垂直離着陸機）といった技術開発も進められているように感じます。その点で言えば、以前よりも実用化への動きは加速される可能性もあるのではないのでしょうか。その流れも踏まえて、例えば今のビジョンとしてある2030年、2050年について、もうちょっと開発を短くしてみることも考えられますが、そういった検討はありますか。また、他国や他の技術の動向をどのように見られているか。この部分が1点目の質問です。

2点目は、まさに先ほど話にあった電動化でシングルアイル機を対象にという部分です。航空機の脱炭素化という面で、Sustainability Aviation Fuel（SAF：持続可能な航空燃料）、電動化、水素という選択肢がある中で、比較的機体が大きい飛行機であれば、例えば、もう水素よりSAFでやろうという動きもあります。そのような中で、この電動化に関して、シングルアイル機を目指していくとすると、水素やSAFとの関係で、ちょっと私もまだ読みきれていない部分があるのですが、その辺りについて、どう競合していくのか、もしくは共存していくのか。そこについて、もしお考えがありましたら教えてください。

【浅井分科会長】 脱炭素において非常に大きな潮流があるわけですが、その中でどう位置づけるか、また、SAFや水素と電動化といったものをどのようにカテゴライズされているか。この点についてご回答いただけますか。

【NEDO ロボット・AI部_白木PM】 まず1点目のご質問ですが、先ほどお話したとおり、プロジェクトの目

標がないとプロジェクトの方向性がなかなか見えてきません。また、シングルアイルの機体をターゲットにしていますが、そこに向かう間ずっと実用化をしないということは当然あり得ないと考えています。すぐに大きい機体に搭載される技術開発をという方法もちろんありますが、まずは、少し小さい物からステップアップしていくような開発を進めているのが現状です。その段階で部分的に実用化に近いところがある場合はそこに提供していくという手もあると思っており、ここでは詳細を割愛しますが、今のプロジェクトの中ではターゲットとなる物がある程度明確にした上で、それに向かって開発をしています。ちょっと答えをまとめきれませんが、プロジェクトの目標に達しないからといって実用化をしないというわけではございません。その段階において、企業の考えにも沿いながら、いろいろな面で実用化に近いところがあれば、そこを目指すといった方針で進んでいます。

2つ目の質問については、世界的な目標である航空機のCO₂削減効果が必ずしも電動化だけで達成できるものとは考えていません。現状でいいますと、いろいろな要素全てを含めて目標を達成しようということが上げられております。今の段階では具体的に電動化がどれくらいかといったところは、JAXA（宇宙航空研究開発機構）のほうで試算されていますが、開発の進捗にもよりますし、また、水素等もこれから開発が進んでいくといった段階です。将来的にはコラボレーションをしていくこともあるでしょうし、ある部分では早い段階で電動化を進める必要性も感じています。そういう意味で、我々のプロジェクトとしては、まずは5年で一つの成果を出すというところではあります。そこに向けて開発を進めていく。そして将来の実用化につながられるよう目指していきます。

【荒井委員】 まさにこれからということ、なかなかどれがどのように共存するかというのは難しいところではあります。ぜひ実用化については、ユーザーさんや航空機を造るメーカーさんとうまく連携しながら進んでいただきたいと思っております。

【浅井分科会長】 それでは、ほかの委員の方々からもご意見をいただきたいのですが、いかがでしょうか。

【木村分科会長代理】 神奈川工大の木村です。一つ確認をよろしいでしょうか。私が前回質問したものに關するのですが、その回答は幾つか公開になっていますので、このセッションで質問していいものと判断してお伺いします。今は中間発表であり、最終的には事業化・実用化ということで、事務局へ質問いたしました。その回答を読ませていただくと、「当該研究開発に係る製品サービスが顧客に納品されることという定義で事業化・実業化を考えている。ただ、必ずしもプロジェクトの期間内に達成するものではなく、プロジェクト終了後も鋭意努力される」というものでした。これは今のとおりの理解で合っていますか。

【NEDO ロボット・AI 部_白木 PM】 間違いございません。ご承知のことと思いますが、航空機の開発というのは非常に足の長い開発であり、一般的には5年と言えば航空機の中ではとても短い開発期間に当たります。また、実際に技術を開発した上で、それを実証するための検証や、機体に乗せての検証など、そういうところも含めると本当に時間がかかる場所です。このプロジェクトは、そういった将来の実用化を見越しながら、技術の開発を進めていくという主眼で取り組んでおります。ですので、この5年間で開発したらそこで終わりではなく、その後もきちんと実用化に向けた取組を進めていくという方針を持っています。

【木村分科会長代理】 もう一つ関連質問をよろしいでしょうか。これも先ほどと同様に公開の範疇に入っているものとして伺います。中間報告ではTRL (Technology readiness levels : 技術成熟度レベル) 4を目指しており、最終ではTR6を目指すとされています。私の理解ですと、TRL4とTRL6では非常にハードルが高いように感じているのですが、TRL6に向けた議論というのをあまり明確にお示しになっていない印象を持ちました。ですので、評価する際にはどのように考えたらよろしいものかと思っております。少しお答えいただけると幸いです。

【NEDO ロボット・AI 部_白木 PM】 このプロジェクトの目標として、確かにTRL6を目指した設定をしていま

す。もちろん各テーマにおいて、それぞれ具体的な目標は少し異なり、それぞれで設定をされていますが、TRL6 を達成するための計画を立てて実行しております。仮にその目標が達成できないという場合は計画の見直しをかけていく必要も出てくるでしょう。また、現時点ではスケジュール的に未達成という部分も多少ありますが、その目標を達成するめどは立っているという状況です。ですので、まずはブラッシュアップをしながらも、今の計画どおりに進めていきたいと考えています。お答えになっているでしょうか。

【木村分科会長代理】 分かりました。細かな詳細につきましては、非公開セッションで改めて質問をさせていただきます。

【浅井分科会長】 ちなみに TRL6 の定義を読みますと、「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ること」となっております。ですから、この実環境の定義という部分が重要なポイントになるのでしょうか。

それでは、今回この委員会に初めてのご参加となる田辺委員、何かコメントを伺えればと思います。

【田辺委員】 私も先ほどの TRL の議論に興味がありました。2023 年までという、どのような機体になるのかというのは恐らくまだ固まっていないでしょうし、どのくらいのレンジで飛ばすのか等々その辺が固まってないとしたら、実環境というのは何を以て定義できるのか。それがちょっと今は流動的だと感じます。そうすると、この評価やプロジェクトの進捗を管理する上で、例えば、各テーマで独自の機体やミッションの設定をし、それで TRL6 で良いのか。それとも、機体もメンバーでちゃんと調整をし、ある程度その機体においても見えた段階で、それに併せて TRL6 に持っていくのか。その辺りを 2 つの基準でつくられるものと思いますが、どちらを目指しているのでしょうか。後者は結構高いハードルかなとも思いますが、その辺りをお伺いしたいです。

【浅井分科会長】 恐らく個々のテーマによっても様々あるものと思いますが、考えられる範囲でお答えいただければと思います。

【NEDO ロボット・AI 部_白木 PM】 具体的な名称やサイズについては今ここではお答えできませんが、それぞれ各テーマにおいてターゲットとなる機種や仕様をある程度目標を定めています。それを実際に実用化検証するための要件というところも考えながら研究を進めているところです。もちろん海外や国内メーカーでは、現状として機体をやっているところがないというところで、海外の機体メーカーやエンジンメーカーなどから情報等を得てそこで定められている仕様に沿うような形で進めていくといった方針でやっています。すべてのテーマが同じであるかと言えばそうではなく、それぞれのテーマで機体サイズや対象を定めて進めているという状況です。

【田辺委員】 多分、今の段階では多少なり多様性を担保しておかなければ、どのように転ぶか分からないと思います。ですので、いろいろな種類の目標設定ということは賛成できます。

【浅井分科会長】 私は昨日びっくりしたのですが、ホンダが eVTOL に乗り出すというニュースがありました。この分野が非常に急転直下しているものと感じますが、同時に、そういう動きもこのプロジェクトでは横目で見ながら、コンポーネントベース、サブシステムベースでいろいろと何かやっているとこがあるのかなとも思う次第です。

よろしければ、土井先生、ドローン等に詳しいお立場から何かコメントをいただけませんか。

【土井委員】 今までの話の受け売りになってしまうかもしれませんが、先ほど荒井委員から「今、海外を含め、もっとフットワークの軽い早期な開発というのをどんどんされているのではないか」という指摘がありました。また、浅井分科会長からはホンダの開発の話がありました。僕もそのニュースを見ましたが、思い返すと、二足歩行ロボットの ASIMO も、これまで大学でじっくりゆっくり積み重ねていたものが、一気に ASIMO で大きく出てきたという過去の経験があります。そして、ドローン及び航空機、そしてロケットでも既に民間で開発されている機体も出てきているので、大変僕も気になるところで

す。

今回の各テーマにおいて、少し視点は違うかもしれませんが、私なりに思ったこととお話させてください。各テーマ1、2、3において、例えば1と3の各テーマでしたら、そこでさらに細分化をされて、それぞれ独自にかなり研究されています。私も質問を幾つか差し上げましたが、各ばらばらな開発をこれからどのように統合していくか。そこをこれからよく考えていく必要があるのではないのでしょうか。今は中間発表の段階であり、だからこそ足並みがまだそろっていないのかもしれませんが、その辺りを各研究開発項目においてどのようにしていくのか。また、一つの電動システムとしてどのように完成を目指すのか。この辺りのお話を伺いたいです。

【浅井分科会長】 ありがとうございます。それぞれの各テーマをどのように統合化するか。方針や構想がありましたら、ぜひご紹介いただけたらと思います。

【NEDO ロボット・AI 部_白木 PM】 ご回答を差し上げたように、現時点において、例えばプロジェクト全体で一つの機体に搭載してそれを実用化していくということは理想として持っていたいところです。ですが、現実的なところとしては、それぞれの技術を高めていくところが主体になります。正直なところ、このプロジェクトの期間中に統合やそういうところまでの構想はまだ立てておりません。ただ、この電動化やその他の技術も含めて、もう少し先の段階で、実際に電動航空が出てくるというような開発が進んでいく頃には、いろいろな技術を共有かつ統合していくという判断もあり得ると思います。そこは、またじっくり将来を見ながら検討を進めていきたいです。

【土井委員】 細かい部分については、またプロジェクトの詳細説明の中で聞いていきたいと思います。

【浅井分科会長】 この2023年度までというところが非常にいい線といいですか、やはり今、我々航空業界としては遠方が視界不良のところがあるわけです。ですから、このプロジェクト2023年度の時点で非常に良い次の初期条件になってくれれば良いなと個人的には思う次第です。

西協委員は現場で電動化というものの導入がどうなるかを肌感覚としてお持ちになられているかと思うのですが、何かご意見やコメントがあれば伺えますか。

【西協委員】 ANAの西協です。現場の肌感覚としては、航空機の電動化というところはまだ少し先のイメージを持っています。エアラインというのは実際に商品化をされてから購入をするので、今現在のカーボンニュートラルや脱炭素という面については、先ほど少しご紹介があったBiofuel（バイオ燃料）のようなところにおいて、ANAではかなり積極的に採用している次第です。今回このプロジェクトの位置づけや開発のマネジメントを見させていただき、細かい具体的なところは置いておきますが、まだまだ基礎研究的なところがあるように思います。また、実際には将来的な実用化・事業化を見据えているのですから、こういう段階からできる限り実際の航空機や航空機部品を作成してきた企業を意識してもよいのではないのでしょうか。日本にはそういった企業が多々ありますから。もちろんそういう方々が参加されているプロジェクトがあることは存じ上げていますが、後から現実と考えていたことが何か違っていたという事態が生じないような開発が必要だと感じます。これは質問というよりもコメントになりましたが、以上です。

【浅井分科会長】 推進部署のほうから何かコメントございましたら、お願いします。

【NEDO ロボット・AI 部_白木 PM】 今おっしゃられたように、業界やそういった実際にものをつくる企業の目線は大事だと思います。今回のテーマに参画している企業は、もともと航空機分野に入られている方々や現在も各分野でそれぞれの地位を築いているような方にも多々参画していただきます。また、直接プロジェクトには参画をしていなくとも、技術委員やそのテーマごとのアドバイザーとして、国内の主要メーカーの有識者を入れて意見交換をさせていただくような形も取っております。このプロジェクトだけが先行しているとか、業界のニーズとまるっきりかけ離れてしまうような事態にはならないように現在プロジェクトを進行できているものと考えています。今後も先生からご指摘いただい

たようなずれが生じないよう、我々もしっかりと注視しながら進めてまいります。

【浅井分科会長】 一通り委員の方からご意見いただきましたが、追加で何かございますか。

先ほど新井委員からも SAF や水素のお話がありましたが、この辺りは NEDO として別のプロジェクトでも推進しておられますよね。少し心配というわけではありませんが、やはり NEDO プロジェクトというのはオールジャパン的といいますか、みんなの力を結集してというところがあると思っています。でするので、あまりいろいろなものを平行して進めるとコントロールが難しいようにも感じるのです。例えば、いろいろとタイムスケールをずらしながら進めているなど、その辺りの方針として大きく立てているものがあるのでしたら、少しご紹介いただけませんか。

【NEDO ロボット・AI 部_林部長】 NEDO ロボット・AI 部の部長をしている林と申します。皆様、今日はどうもありがとうございます。先ほどもご説明申し上げましたが、現状の技術を見ると、やはりどれというものがないという理解をしてございます。もちろん SAF、代替燃料のほうは非常に先行しておりますし、既に過去に議論、技術を開発してきたところももちろんございます。ですので、今の状態としては、まずは可能性のある技術を開発し尽くす。もしかすると、その表現はあまり相応しくないのかもしれませんが、しっかりと本当に飛行機は飛べるという段階までを開発して技術評価を一度し直す。今はその前段階に当たるのではないかと、私はそのように考えます。また、NEDO 全体としては、今代替燃料をやっているからといって電動をやらないという選択はまずない。そういった議論までです、時期をずらす、どれを優先してやっていくという段階にはまだ至っていないのが現状です。

【浅井分科会長】 どうもありがとうございます。非常に明確になりました。

それでは時間になりましたので、議題5「質疑応答」はここまでといたします。

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明

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

【浅井分科会長】 これ以降の議題は再び公開となります。ここから先の皆様の発言は議事録にも記載されることをご留意ください。

それでは、事務局に一旦お返しします。

【鈴木主査】 それでは一般傍聴者の方向けのユーチューブ配信を再開します。分科会長、進行をお願いいたします。

【浅井分科会長】 それでは、議題8「まとめ・講評」です。冒頭にお伝えしましたとおり、西脇委員から始まりまして、最後に私という順で講評を行っていきます。

それでは、西脇委員お願いいたします。

【西脇委員】 ANA の西脇です。本日は長い間いろいろと説明をいただきありがとうございました。議題の中

で、知りたいことに対して丁寧な説明をいただきまして大変有意義な時間でした。今回3つのテーマを合わせて⑧に相当する次世代電動システム研究開発ということでしたが、今のカーボンニュートラル、脱炭素社会から考えれば、当然入ってくるべき課題だと思っています。ですので、今回NEDO事業のプロジェクトとして今こういうものが進みつつあることは非常に理解できる話です。一方で、考え方を変えると、これまでの航空機として、例えばエンジンの発電機を考えた場合にはロールスロイスやプラット・アンド・ホイットニー等々が浮かびます。日本の企業としてそこになり替わろうという考えは恐らくないと思うのですが、今回のように航空機の原動機がターボファンエンジンから電動化されるというチャンスの中で、日本のテクノロジーを使って将来的に優位な位置に立っていかうすることはすごく良いチャンスだと思います。今回は中間報告でしたが、次回の最終報告では将来の成功に向けて、明確な見え方になっていることを非常に楽しみにしております。本日はありがとうございました。

【浅井分科会長】 ありがとうございました。それでは、土井委員お願いいたします。

【土井委員】 本日は長い間ありがとうございました。私自身も大変技術の勉強になりました。あまりうまく質問ができなかったのですが、思いとしては、それぞれにおいて実用化に向かうだろうか。この一点で理解に努めました。そして、それぞれの研究テーマの皆様からプレゼンを聞いたことで、納得につながりました。また、各テーマについて、それぞれ目標を持たれて、その目標の達成に確実に向かっていることも理解できました。

少し話がそれますが、今回の各テーマの特徴として、大学からの研究参加が非常に多い印象を持ちました。社会影響力の高い技術が大学で開発されているということは、私も同じ大学人として嬉しい限りです。しかし、これは自身が感じることなのですが、大学では外国人留学生が多く、最近の話題として技術流出も危惧されます。貴重な日本先行となり得る技術開発を今回行われているわけですから、改めて技術情報と研究管理について、取り組まれる方及びプロジェクト管理者の両方において留意いただければと思います。本日はどうもありがとうございました。以上です。

【浅井分科会長】 土井委員ありがとうございました。それでは、田辺委員お願いいたします。

【田辺委員】 日大の田辺です。本日は長い時間ご説明等賜りましてありがとうございました。今回は、コロナ禍において、皆様いろいろとご苦労されながらも中間目標はほぼ達成、あるいは達成見込みということ。これは、地道に積み上げてきていただいた成果だと感じます。また、航空機の電動化というのは、これはまだ技術の見極めが難しい段階にあると思っています。インフラがどうなるか。目的によっても電動化の手法論というのが変わってきます。そのような中で、リスクの高いテーマであったり、堅実なテーマであったり、トータルとしてミニマムサクセスを確保しながら、チャレンジングなエキストラサクセスを狙っていることを見て取れました。科学的な知見に基づきながら新しい物を開発され、産学の連携も積極的にやられているようで、非常にこれからを楽しみにしております。ありがとうございました。

【浅井分科会長】 ありがとうございました。それでは、荒井委員お願いいたします。

【荒井委員】 政策投資銀行の荒井です。本日は長時間にわたりましてありがとうございました。私自身は技術の部分においてはほかの委員の皆様と比べると非常にビハインドを負っている状況ではありますが、

本日各研究テーマにおいて技術の話をお勉強させていただきました。いろいろご苦労がある中で、しっかり中間部分まで成果を達成されており、今は折り返し地点ということですが、最終的には目標を達成していただきたいです。そして、事業化の観点では、いろいろと技術的な動きが早く、水素であったり SAF であったりと、将来的に何がキーになるのかが見えにくい中で、やはり柔軟に対応していくことも必要です。そういった意味では、各テーマ間でも可能な範囲でうまく連携しながら、事業化においては様々な OEM の方とも連携しながら、日本の良いところを出していった上で実用化につなげていただきたいです。本日はどうもありがとうございました。

【浅井分科会長】 ありがとうございました。それでは、木村分科会長代理お願いいたします。

【木村分科会長代理】 本日はどうもありがとうございました。3つの研究において全て中間目標の達成、もしくは達成見込みということで、十分に評価されて良い成果だと感じます。個別に申しますと、高効率かつ高出力電動推進システムは、やはり長期的な視野を持って評価をしていかなければいけません。蓄電池に関しては、かなり具体的に達成されていることですから、波及的な効果を期待したいです。また、電動ハイブリットに関しては、航空機の電動化という観点からは達成に非常に近いという印象を抱く成果でした。一方、スタンダードに関しては、まだ今後検討をということを皆さんがおっしゃっておりますが、主体的に日本がリードをしていき、日本の基準をできる限り世界基準にしていこうという姿勢で活躍されればよいと思いますし、期待を持っています。以上です。本日はどうもありがとうございました。

【浅井分科会長】 どうもありがとうございました。

それでは、最後に分科会長の私から講評いたします。まずは、将来の航空がゼロエミッションを目指さなければいけないという状況になっている中で、電動化の話に着手するのはもう待たなしの状況です。そういう意味で、NEDO でこのプロジェクトが立ち上がったことは非常にタイムリーだったと思います。コロナ禍と航空業界の先行きが見通せないところで、2030年、2050年という先を見渡した計画というものに事業者の方及び推進部署の方が携わっていただいたことに感銘を受けました。電動というと非常に夢のある話ですが、「未来的と未来は違うよ」と。これを私はよく人に話します。フューチャリスティックなものをやっていることと、本当に未来にちゃんと実をなす物をつくっていくことは違うわけです。我々は、やはり未来を目指さなければいけない。今日の質疑応答を聞いていると、いつも以上に技術的なやり取りが多かったです。つまり、それだけいろいろな状況や要求の違いもあったり、新しい分野であったりということで、議論をする部分が非常に多かったのだと思います。ただ、これもいつも申し上げていることですが、「顧客が買うのはテクノロジーではなく、プロダクトだ」ということです。やはり NEDO のプロジェクトである限りはそこを目指さなければいけません。また、2023年というのは今後の判断をしていく一種の分岐路であり、マイルストーンのような場所になると思います。ですので、そこに向けて皆様には引き続き頑張っていたいただきたいです。本日はどうもありがとうございました。

【鈴木主査】 ありがとうございました。それでは、推進部の林部長から一言いただきたいと思います。

【NEDO ロボット・AI 部_林部長】 委員の皆様、そして委託先のプレゼンテーションも含めまして、本日は長時間にわたりどうもありがとうございました。委員の皆様からは多々ご質問もいただき、私どものつたないながらの見解もお聞きいただきました。今の講評でいただきましたように、まだ技術の見極

めや方式の見極めができてはいないところですが、逆に我々の技術を早くスタンダードに、あるいは技術の進歩という意味合いでも世界の先へいけるように進めてまいりたいです。この事業においては、この中身をどうしていくのか。要は追加をするかどうかはまだ決まっておりませんし、この後をどうするのかも全く定まっておりません。ただ、この取組のどこを伸ばすべきかを一定程度見極めてふり分けたい、今後先へと進んでいけるようにテーマの設定を、あるいは課題を絞り込んでいきたいと考えています。本日は誠にありがとうございました。改めて御礼を申し上げます。以上です。

【浅井分科会長】 林部長どうもありがとうございました。

それでは、以上で議題8「まとめ・講評」をここで終了いたします。

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における研究評価について
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5-1,2	プロジェクトの概要説明資料（公開）
資料6-1,2,3	プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
資料7-1	事業原簿（公開）
資料7-2	事業原簿（非公開）
資料8	評価スケジュール
番号無し	ご質問への回答（公開分）

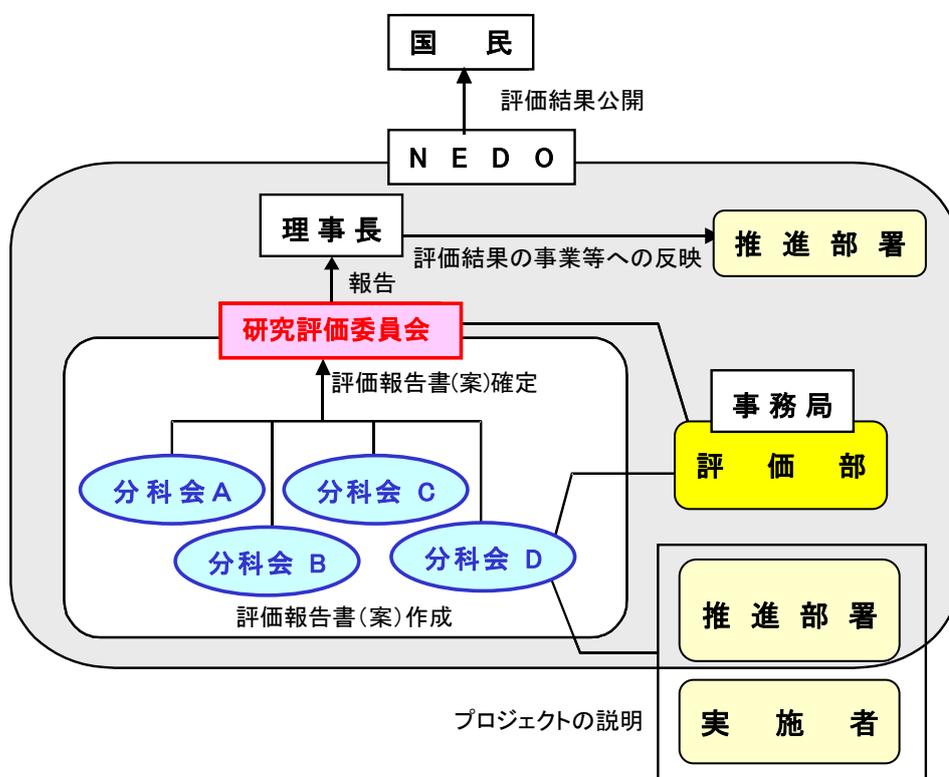
分科会前に実施した書面による質疑応答は、全ての質問について質問または回答が非公開情報を含んでいるため、記載を割愛する。

参考資料 2 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて実施する。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)における研究評価では、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、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。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
 - 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
 - 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
- としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員は、以下のような観点から選定する。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、委員を分科会委員名簿の通り選任した。

なお、本分科会の事務局については、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

3. 評価対象

「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」を評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び実施者からのヒアリング及び実施者側等との議論を行った。それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、NEDOが定める「標準的評価項目・評価基準」をもとに、当該事業の特性を踏まえ、評価事務局がカスタマイズしたものである。

評価対象プロジェクトについて、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義、実用化に向けての取組や見通し等を評価した。

「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」に係る評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・ 上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・ 達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール及び研究開発費（研究開発項目の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・ 計画における要素技術間の関係、順序は適切か。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・ 技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・ 指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・ 成果の実用化・事業化の戦略に基づき、実用化・事業化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の競争が必要な場合、競争の仕組みがあり、かつ機能しているか。

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・ 技術の取捨選択や技術の融合、必要な実施体制の見直し等を柔軟に図っているか。

- ・ 研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産や研究開発データに関する取扱についてのルールを整備し、かつ適切に運用しているか。

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、中間目標を達成しているか。
- ・ 中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・ 最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外で適切に行っているか。

「実用化・事業化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。

「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る製品・サービスが顧客（機体メーカー、エンジンメーカー、システムメーカー、エアライン等）に納品されることをいう。

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・ 実用化・事業化に取り組む者について検討は進んでいるか。
- ・ 実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・ 実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・ 想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致する見通しがあるか。
- ・ 競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

「プロジェクト」の中間評価に係る標準的評価項目・基準

※「プロジェクト」の特徴に応じて、評価基準を見直すことができる。

「実用化・事業化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することをいう。

なお、「プロジェクト」が基礎的・基盤的研究開発に該当する場合は、以下のとおりとする。

- ・「実用化・事業化」を「実用化」に変更する。
- ・「4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて」は該当するものを選択する。
- ・「実用化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることをいう。

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的の妥当性

- ・内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDO の事業としての妥当性

- ・民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDO の関与が必要とされる事業か。
- ・当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・目標達成のために妥当なスケジュール及び研究開発費(研究開発項目の配分を含む)となっているか。
- ・目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・計画における要素技術間の関係、順序は適切か。

- ・ 継続または長期の「プロジェクト」の場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んで活用を図っているか。【該当しない場合、この条項を削除】

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・ 技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・ 指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・ 成果の実用化・事業化の戦略に基づき、実用化・事業化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の競争が必要な場合、競争の仕組みがあり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・ 大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・ 研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産に関する取扱(実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む)を整備し、かつ適切に運用しているか。
- ・ 国際標準化に関する事項を計画している場合、その戦略及び計画は妥当か。【該当しない場合、この条項を削除】

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、中間目標を達成しているか。
- ・ 中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・ 最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に

沿って適切に行っているか。

- ・ 一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外に適切に行っているか。
- ・ 国際標準化に関する事項を計画している場合、その計画は順調に進捗しているか。

【該当しない場合、この条項を削除】

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて 【基礎的・基盤的研究開発の場合を除く】

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・ 実用化・事業化に取り組む者について検討は進んでいるか。
- ・ 実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・ 実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・ 想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致する見通しがあるか。
- ・ 競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・ 顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて 【基礎的・基盤的研究開発の場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・ 実用化に向けて、課題及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・ 想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等の把握は進んでいるか。
- ・ 顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

【基礎的・基盤的研究開発の場合のうち、知的基盤・標準整備等を目標としている場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・ 知的基盤・標準の整備及び活用の計画は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・ 知的基盤・標準を供給・維持するための体制の検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・ 整備する知的基盤・標準について、利用の見通しはあるか。
- ・ 顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

参考資料 3 評価結果の反映について

「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」（中間評価）の評価結果の反映について

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>【1】航空機電動化技術は、現時点では未開発の技術でもあるため、将来において日本が互角に市場参入するためにも NEDO が先導していくことを期待する。</p> <p>【2】「高効率かつ高出力電動推進システム」のテーマについては、回転機、冷却システム、ケーブル、線材、インバータ毎に実施者が、テーマとしての最終目標達成に向けて役割が明確に整理されずに配置され、全体管理の体制が見えにくいため、達成度の現状を掌握し注力すべき課題を抽出する仕組みと、相互の連携を促すなどのマネジメントの強化が必要と考えられる。</p> <p>【3】全テーマに対して最終目標である TRL6（Technology Readiness Level：技術成熟度レベル）の達成を意識した研究運営を期待する。</p> <p>【4】今後、実際のハイブリッドシステムを組み込んだ航空機をデザインする機体 OEM（Original Equipment Manufacturer）が、直流を前提とした電気システムの採用に躊躇する可能性も考えられるため、継続的に機体 OEM との十分</p>	<p>【1】本プロジェクトを推進することで期待にこたえることができると思う。</p> <p>【2】「高効率かつ高出力電動推進システム」は、コンソーシアム内でのワークショップやテーマリーダーによるヒアリングを実施し、全体管理としては月例進捗会議、工程管理会議を実施し、全体管理や課題も把握できている。多くの企業の参画、また技術要素も多く、これらの活動が見えづらいための評価と思われるが、今後も、これらの活動で十分な管理ができているかの確認を、事業推進委員会及びサイトビジット等を通して継続して確認していく。</p> <p>【3】全テーマとも、最終目標は TRL6 を達成することを意識し、目標設定をしている。TRL6 達成のため評価試験の条件等は今後検討し、実際に評価を実施していく計画のため、今後の進捗状況にて確認していく。</p> <p>【4】現在においても、各テーマともに将来搭載する機体を想定し、機体 OEM 先と、常に情報交換を行っており、今後も、関係を継続しながら研究開発を進めていく。</p>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>な意見交換を期待したい。</p> <p>【5】「高効率かつ高出力電動推進システム」のテーマにおいては、研究が計画から遅れ気味であり、1MW 級電動機のプロトタイプ製作と地上試験に努力を集中し、航空機固有の技術課題の克服と航空機エンジンとしての成立性の実証に注力すべきと考えられる。</p> <p>【6】 今後、機体 OEM などの意見も反映し、どのような試験環境や制約を実環境相当とするかなどの定義を含め、実証の実施案について早めに検討しておくことを望む。</p> <p>【7】「高効率かつ高出力電動推進システム」で最終目標とされている 20MW 級電動機については、20 年以上先を見据えた研究開発であることもあり、成果の実用化・事業化の見通しについては、技術に関する報告に比して具体性が乏しく、道筋に現実性が欠ける印象を受けるため、プロトタイプモデルの試作と並行し、サブシステム・部品の段階的な事業化を検討するなどの工夫が必要である。</p> <p>【8】 全テーマを通じて、想定する製品・サービス等の市場ニーズとの合致、あるいは競合する製品・サービス等と比較した性</p>	<p>【5】 遅れの原因は、新型コロナによる制限によるもので、この遅れは、プロジェクト終了までに挽回する予定である。今後試作品の制作/評価と将来に繋がる技術開発を並行して実施して行く計画となっているが、研究開発の進捗状況、及び、リソースや予算等を鑑み、研究内容の絞込も考慮の上、委託先と今後の実施内容を精査し、契約延長手続きの中で検討及び調整を行っていく。</p> <p>【6】 上記【3】と同意。評価試験の条件等の詳細は、今後検討し実際の評価を実施していく計画のため、今後の進捗状況にて確認していく。</p> <p>【7】 成果の実用化・事業化の道筋について、段階的な事業化の検討を含め、現在もおこなっている、事業推進委員会、サイトビジット等で継続に確認していくと共に、外部委員からの意見や機体 OEM、業界のトレンドや競合の動向を考慮し、実施者と検討していく。</p> <p>【8】&【9】 各テーマとも、現在においても、想定する機体 OEM 先と、常に情報交換を行っており、また、業界活動の動向にも</p>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>能面・コスト面等で優位を確保する見通し等について、更なる調査・報告が望まれる。</p> <p>【9】 今後、より一層、想定ユーザとの連携や継続的な情報交換を深めるとともに、早い段階での機体 OEM 等との共同開発等も検討して頂きたい。</p>	<p>目を向けている。今後も継続的に進め、状況に応じ臨機応変に対応していく。</p>

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）評価部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 評価部
部長 森嶋 誠治
担当 鈴木 貴也

* 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)

〒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20F
TEL 044-520-5160 FAX 044-520-5162