

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03783

研究課題名（和文）航空機用電気推進システムの開発

研究課題名（英文）Development of electric propulsion systems for aircrafts

研究代表者

岩熊 成卓（Iwakuma, Masataka）

九州大学・システム情報科学研究所・教授

研究者番号：30176531

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、B737に相当する120-200人乗りの1通路ナローボディの航空機を想定し、総推力20MWの航空機用電気推進システムの設計検討を行った。推進システムは、超伝導発電機・モータ・ケーブル、ガスタービン、インバータ、冷却装置から成る構成とした。超伝導推進システムはサブクール液体窒素冷却とした。燃料を液体水素とし、この冷熱を超伝導システムの冷却に活用した。まず、REBCO超伝導テープ線材の通電特性、交流損失特性を実測した。独自の低交流損失・大電流量化手法を適用して、数値解析を行って、航空機用の全超伝導回転機の最適構造を探った。さらに、エネルギー・熱収支等システム全体の成立性も検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2021年10月、IATA（国際航空運送協会）は、2050年までに、航空機からのCO2排出量を実質ゼロにすることを議決した。航空機の電気推進はこのもっとも有力な手法として期待されているが、航空機に適用可能な軽量の電気推進システムは、本研究で検討を行った超伝導推進システムしか考えられず、本研究成果は航空機のゼロエミッション化の実現に大いに貢献するものである。また、REBCO超伝導テープ線材の実測データに基づく、液体窒素温度領域で動作する全超伝導発電機・モータの定量的設計検討は、世界で他に類を見ず、最先端の研究開発成果である。

研究成果の概要（英文）：In this study, by assuming a 120-200-seater, one-aisle narrow-body aircraft which corresponds to B737, the design of an electric propulsion system for the aircraft with a total thrust of 20 MW was studied. The propulsion system consisted of a superconducting generator / motor / cable, a gas turbine, an inverter, and a cooling device. The superconducting propulsion system was cooled with subcool liquid nitrogen. The fuel was liquid hydrogen, and this cold heat was used to cool the superconducting system. First, the transport characteristics and AC loss properties of REBCO superconducting tapes were actually measured. Applying our original low AC loss reduction and enhancement current capacity technique, we carried out numerical analysis to find the optimum structure of fully superconducting rotary machines for aircraft. Furthermore, the feasibility of the entire system such as energy and heat balance was verified.

研究分野：超伝導工学，電気工学，航空工学

キーワード：電気推進 航空機 超伝導 回転機 液体水素

1. 研究開始当初の背景

研究開発当初、低エミッション、省エネ、低騒音を求める時流に合わせて、自動車、船舶等移動体推進システムの内燃機関からの脱却、電動化が進められつつあった。ジェットエンジンの進化に合わせて発展してきた民間航空機でも電気推進の研究開発が本格的に開始された。米国では、NASA を中心として 600 億円-700 億円/年の研究費をかけ、10 年後には 120-200 人乗りの 1 通路ナローボディ相当の航空機（現行の B737、A320 クラス）を開発するプロジェクトが始まり、すでに 2 年目であった。欧州でも同様な開発計画が発表された。

航空機のターボファンエンジンにおいては、高バイパス比とターボエンジン部の小型・高出力化、高効率化がすでに技術的に飽和し、何らかの技術的革新を取り入れない限り、これ以上の高性能・高出力化が難しいと言う状況であった。その解決策として、電気推進化が有力候補とされていた。しかし、鉄と銅線から成る従来の回転機・ケーブルでは重すぎて本末転倒の結果を招くため、全超伝導回転機の採用が全面に打ち出された。しかし、開発の基本コンセプトはほぼ固まっているものの、超伝導関連の概念設計は実にラフなものであった。欧米で電気推進航空機の研究開発は開始されたが、中心となる NASA、民間巨大航空機メーカーは超伝導関連の知識を持ち合わせず、世界中の超伝導関連研究者・研究機関から情報収集を行いつつあった。また、冷却システムの心臓部として、ターボブレイトンサイクル冷凍機が望ましい、としていたが、超伝導推進システムの動作温度および冷媒の選定を含め、具体的冷却システムの構成・構造については何ら決められていなかった。特に電機子巻線に用いる超伝導線材の低交流損失化が最重要視されているものの、その具体策は示されていない状況であった。

2. 研究の目的

本研究では、電気推進航空機の心臓部となる全超伝導同期発電機・電動機・ケーブルで構成する電気推進システムの設計検討を行うことを目的とした。独自に開発した REBCO 超伝導テープ線材の低交流損失化・大電流容量化技術を回転機巻線に適用するとともに、燃料として液体水素(LH2)、液体メタン(L-CH4、ほぼ LNG)を選択し、この冷熱を活用することにより、小型・軽量化と高効率化を両立させた電気推進システムの開発を目指した。最終的には、120-200 人乗りの 1 通路ナローボディ相当の航空機（現行の B737、A320 クラス）の推進システムを想定し、エネルギー収支、熱バランスを勘案し、必要な燃料重量、タンク容積を踏まえ、高効率・低エミッションの次世代航空機の 20MW 電気推進システムの概念設計を行った。

3. 研究の方法

元来、回転機は、1) 二次元磁気双極子モーメントが磁界中で回転トルクを受ける、2) 電機子巻線に三相交流を通电することにより大きさ一定、定速の回転磁界が発生する、という原理で構成されている。本研究では、原理原則に立ち返り、これまでの鉄と銅線で構成された回転機の設計理論・経験則から脱却し、全超伝導回転機の設計指針について検討した。また、燃料に LH2、L-CH4 : LNG を選定することにより、燃料の冷熱を回転機の冷却に活用し、電機子は絶縁耐力と冷却能力の観点からサブクール液体窒素(65K)もしくは液体水素(20K)浸漬冷却とし、回転機磁子はヘリウムもしくは水素ガスの密閉空間で自らの回転によりガス冷却され、このガスは電機子容器の内壁により冷却される構造とした。回転機の設計検討では、まず、最先端の高 J_c 、低交流損失 REBCO 超伝導テープ線材の臨界電流 $I_c(B, T)$ 、交流損失 $Q(B, T)$ 特性を温度 $T=25K-77K$ 、磁場 $B=0-5T$ の領域で実測し、また独自に考案した REBCO 薄膜テープ線材の低交流損失化・大電流容量化の手法を適用した超伝導導体の電磁特性を評価した。これに基づき、ギャップ磁束密度 B_g 、動作温度 T_{op} 、電動機個数(ファン径・回転数)をパラメータとして、重量、交流損失(発熱)、必要超伝導線材長等のパラメータ依存性を明らかにし、航空機用全超伝導発電機・電動機の最適構造を数値解析による特性評価を通じて探った。さらに、航空機用電気推進システムの構成とエネルギー・熱収支等システム全体の設計検討を行った。

4. 研究成果

B737 相当の 100 人-200 人乗りの航空機用の 20MW 電気推進システムについて、超伝導線材の電磁特性の実測データに基づき、さまざまな設計検討を行った結果、次のような構成とした。電気推進システムの構成概略図を図 1 に示す。

電気推進システムは、超伝導発電機、ガスタービン、超伝導モータ、超伝導ケーブル、低御動作インバータ、冷却装置で構成する。燃料は 20K の液体水素であり、ゼロエミッションである。20MW の推進システムは、冗長度による安全性確保の観点から 10MW 全超伝導同期発電機 × 2 機、2MW 全超伝導モータ × 8-10 機で構成される。図 1 に示すように、1 機の発電機で 4-5 機の全超伝導モータを駆動する。

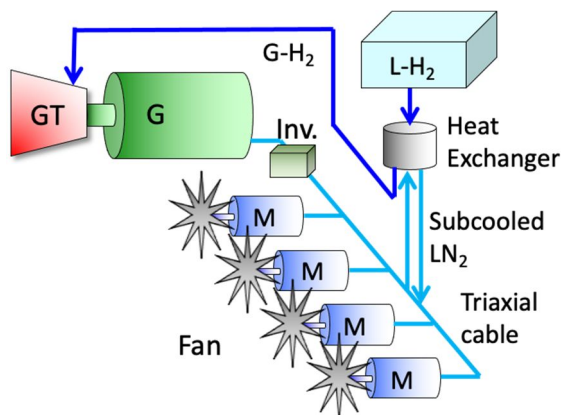


図 1 超伝導推進システムの構成図

超伝導推進システムの冷却は、基本的に 65-70K のサブクール液体窒素で行う。液体窒素の冷却は、燃料である液体水素の冷熱を活用し、熱交換器で行う。ブレイトンサイクル冷凍機は、重量の観点から、航空機への搭載は難しいとの結論に至った。欧米とは異なり冷媒をサブクール液体窒素とした主な理由は、落雷等、自然界の擾乱に対する耐性である。液体ヘリウム温度領域で動作する超伝導機器は、比熱が室温における数千分の一と小さいために、これまでの研究により、サージが侵入するだけで超伝導状態が破れ、クエンチは発生することがわかっている[1]。これに対し、液体窒素中では、超伝導機器は比熱の大きさゆえに、各種サージに対し、超伝導状態が破れることも、超伝導巻線が焼損することもないことを検証している[2]。熱交換器においてサブクール液体窒素との熱交換により蒸発した水素ガスは、ガスタービンの燃料として使用する。開発段階では、液体水素の代替として液体ヘリウムを活用する予定である。

全超伝導同期発電機・モータについては、まず REBCO 超伝導テープ線材の通電特性（臨界電流 $I_c(B, T)$ 特性）、交流損失 $Q(B, T)$ 特性を温度 $T=25K-77K$ 、磁場 $B=0-5T$ の領域で実測し、これを基に JMAG を用いて定格運転時の数値シミュレーションを行い、小型・軽量の構造を探った。全超伝導同期モータのケーシング構造を検討した際の断面図を図 2 に示す。電機子巻線はサブクール液体窒素で冷却し、ロータ（回転界磁巻線）は水素ガスで冷却する構造とした。ロータ空間の水素ガスは、サブクール液体窒素と接する液体窒素容器内壁面で冷却される。

回転機のケーシングについては、当初は SUS 製を想定していたが、軽量化のために素材から変更が必要であることが明白となり、最終的には CFRP 製とした。

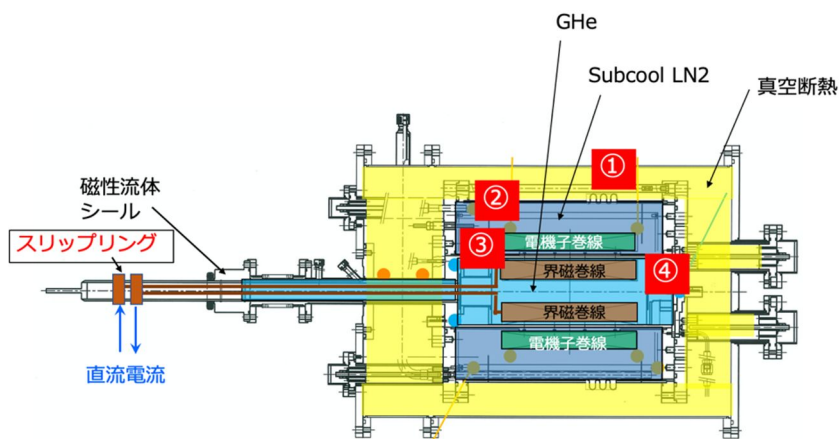


図 2 REBCO 全超伝導同期モータのケーシング断面図

最終仕様の 2MW-REBCO 全超伝導同期モータの設計検討を行う前段階として、500kW 機の設計検討を行った際のモータ断面における超伝導巻線配置を図 3 に、数値解析による磁界分布を図 4 に示す。界磁巻線は、二次元磁気双極子を理想形状として、起磁力(アンペアターン)を \sin 分布に近づけるように配置した。この段階では、電機子は集中巻線であり、6 個のレーストラックコイルで構成した。また、体積出力密度を向上させるために、電機子巻線の外側に鉄ヨークを配置した。この鉄ヨークは、モータ重量のほぼ半分を占め、今後、省略する努力をしなければならない。

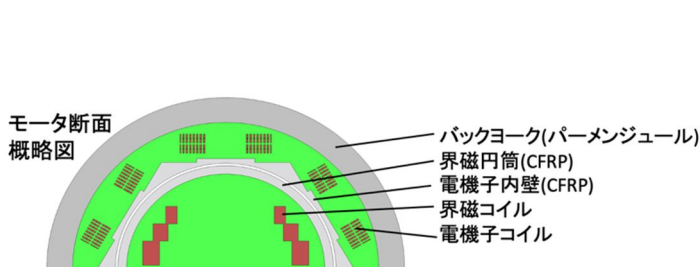


図 3 モータ断面における巻線配置

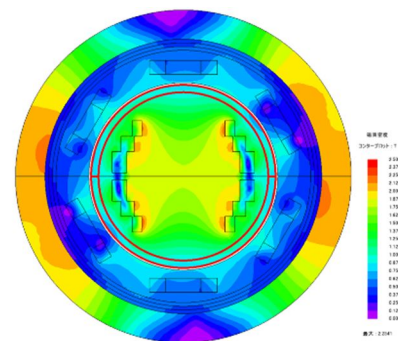
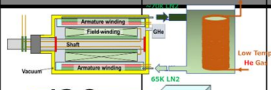
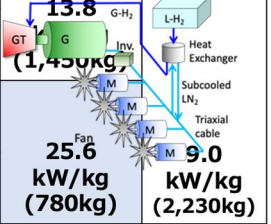



図 4 数値解析による磁界分布

回転機以外にも、超伝導ケーブルの構造、構成素材を変更し、軽量化を図った。設計検討を行った 20MW 推進システムの最終的な出力密度を表 1 に示している。これには、ガスタービンが含まれていないが、現行の航空機のジェットエンジンの出力密度が 5-6kW/kg であるのに対し、ほぼ同等か上回る出力密度が得られた。

さらに、B737 の飛行パターンを想定し、液体水素のタンク容量、許容交流損失等も定量的に見積り、エネルギー収支、熱収支の観点においても成立性を確認した。

表 1 概念設計により算出した超伝導推進システムの出力密度

Items	Weight (kg)	Motor or Generator	M or G+ Cooling	System	System w/ Trans.
20MW Motor (2MWx10)	1300 kg	15.4 kW/kg			
Cooling System for 20MW Motor	150 kg				
20MW Generator (10MW x 2)	630 kg	31.7 kW/kg			
Cooling System for 20MW Motor	150 kg				
Transformer for 20MW	237 kg				
					8.1 kW/kg (2,560kg)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計26件（うち査読付論文 26件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 H. Sasa, M. Iwakuma, K. Yoshida, S. Sato, T. Sasayama, T. Yoshida, K. Yamamoto, S. Miura, A. Kawagoe, T. Izumi, A. Tomioka, M. Konno, Y. Sasamori, H. Honda, Y. Hase, M. Syutoh, S. Lee, S. Hasuo, M. Nakamura, T. Hasegawa, Y. Aoki, T. Umeno	4. 巻 31
2. 論文標題 Experimental Evaluation of 1 kW-class Prototype REBCO Fully Superconducting Synchronous Motor Cooled by Subcooled Liquid Nitrogen for E-Aircraft	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY	6. 最初と最後の頁 5200706
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TASC.2021.3055452	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Omanyuda, S. Miura, M. Iwakuma	4. 巻 31
2. 論文標題 Additional AC Loss Properties of Three-Strand Transposed Parallel Conductors Composed of REBa2Cu3Oy Tapes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY	6. 最初と最後の頁 5900806
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TASC.2021.3062792	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. Miura, M. Iwakuma, T. Izumi	4. 巻 30
2. 論文標題 Lightweight Design of Tens-MW Fully-Superconducting Wind Turbine Generators With High-Performance REBa2Cu3Oy Wires	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Trans. Appl. Supercond.	6. 最初と最後の頁 5204106
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TASC.2020.2979157	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 R. Sugouchi, M. Komiya, S. Miura, M. Iwakuma, K. Yoshida, T. Sasayama, T. Yoshida, K. Yamamoto, Y. Sasamori, H. Honda, Y. Hase, M. Shuto, M. Konno, T. Izumi	4. 巻 30
2. 論文標題 Conceptual Design and Electromagnetic Analysis of 2 MW Fully Superconducting Synchronous Motors With Superconducting Magnetic Shields for Turbo-Electric Propulsion System	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Trans. Appl. Supercond.	6. 最初と最後の頁 3601905
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TASC.2020.2974705	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Ozaki, Y. Doi, K. Yoshida, S. Miura, T. Sasayama, T. Yoshida, K. Yamamoto, M. Iwakuma, A. Kawagoe, A. Tomioka, M. Konno, T. Izumi	4. 巻 30
2. 論文標題 Conceptual Design of Superconducting Induction Motors Using REBa2Cu3Oy Superconducting Tapes for Electric Aircraft	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Trans. Appl. Supercond.	6. 最初と最後の頁 3602605
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2020.2971671	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Komiya, R. Sugouchi, H. Sasa, S. Miura, M. Iwakuma, T. Yoshida, T. Sasayama, K. Yamamoto, A. Tomioka, M. Konno, T. Izumi	4. 巻 30
2. 論文標題 Conceptual Design and Numerical Analysis of 10 MW Fully Superconducting Synchronous Generators Installed With a Novel Casing Structure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Trans. Appl. Supercond.	6. 最初と最後の頁 5206607
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2020.2989746	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Sasa, S. Miura, M. Iwakuma, T. Izumi, T. Machi, A. Ibi	4. 巻 580
2. 論文標題 Estimation Method for AC Loss of Perpendicularly Stacked REBa2Cu3Oy Superconducting Tapes under Magnetic Field	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physica C: Superconductivity and its applications	6. 最初と最後の頁 1353801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physc.2020.1353801	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Sasa, M. Iwakuma, K. Yoshida, S. Sato, T. Sasayama, T. Yoshida, K. Yamamoto, S. Miura, A. Kawagoe, T. Izumi, A. Tomioka, M. Konno, Y. Sasamori, H. Honda, Y. Hase, M. Syutoh, S. Lee, S. Hasuo, M. Nakamura, T. Hasegawa, Y. Aoki, T. Umeno	4. 巻 31
2. 論文標題 Experimental Evaluation of 1 kW-class Prototype REBCO Fully Superconducting Synchronous Motor Cooled by Subcooled Liquid Nitrogen for E-Aircraft	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Trans. Appl. Supercond.	6. 最初と最後の頁 5200706
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2021.3055452	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Omanyuda, S. Miura, M. Iwakuma	4. 巻 31
2. 論文標題 Additional AC Loss Properties of Three-Strand Transposed Parallel Conductors Composed of REBa2Cu3Oy Tapes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Trans. Appl. Supercond.	6. 最初と最後の頁 5900806
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2021.3062792	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 A. Kawagoe, K. Kudou, R. Kanemaru, M. Iwakuma M. Konno, A. Tomioka, T. Izumi	4. 巻 1559
2. 論文標題 Winding Configurations and AC Loss of Superconducting Synchronous REBCO Motors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 12144
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1559/1/012144	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miura Shun, Oki Soichiro, Furukawa Takuma, Iwakuma Masataka	4. 巻 29
2. 論文標題 Experimental Validation of Theoretical Expressions on Additional AC Loss of Two-Strand Parallel Conductors Composed of REBa2Cu3Oy Tapes via Pick-Up-Coil Method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 8200504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2019.2895496	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sagawa Shintaro, Miura Shun, Iwakuma Masataka, Fukumoto Yusuke, Yoshida Koichi, Sato Seiki, Izumi Teruo	4. 巻 29
2. 論文標題 Theoretical Investigation of Current-Sharing Properties of Three-Strand Parallel Conductors Composed of REBa2Cu3Oy Superconducting Tapes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 4800605
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2019.2895900	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Choi Jongho, Kim Taegy, Lee Chang-Kyeong, Jeon Dong-sun, Park Gyeong-Won, Cho Sangho, Park Minwon, Yu In-Keun, Iwakuma Masataka	4. 巻 29
2. 論文標題 Commercial Design and Operating Characteristics of a 300 kW Superconducting Induction Heater (SIH) Based on HTS Magnets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 3700105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2019.2899461	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Lee Chulhyu, Choi Jongho, Yang Hyungsuk, Park Minwon, Iwakuma Masataka	4. 巻 29
2. 論文標題 Economic Evaluation of 23 kV Tri-Axial HTS Cable Application to Power System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 5402507
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2019.2908608	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakamura Fumiya, Iwakuma Masataka, Miura Shun, Yoshida Kohichi, Tomioka Akira, Konno Msayuki	4. 巻 29
2. 論文標題 Numerical Analysis of Current-Limiting Cooperation of a 20 MVA Superconducting Transformer and Cable	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 5502105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2019.2909236	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Komiya Masataka, Aikawa Takuya, Sasa Hiromasa, Miura Shun, Iwakuma Masataka, Yoshida Takashi, Sasayama Teruyoshi, Tomioka Akira, Konno Masayuki, Izumi Teruo	4. 巻 29
2. 論文標題 Design Study of 10 MW REBCO Fully Superconducting Synchronous Generator for Electric Aircraft	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 5204306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2019.2906655	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sugouchi Ryota, Komiya Masataka, Miura Shun, Iwakuma Masataka, Yoshida Koichi, Sasayama Teruyoshi, Yoshida Takashi, Yamamoto Kaoru, Sasamori Yuichiro, Honda Hirokazu, Hase Yoshiji, Shuto Masao, Konno Masayuki, Izumi Teruo	4. 巻 30
2. 論文標題 Conceptual Design and Electromagnetic Analysis of 2 MW Fully Superconducting Synchronous Motors With Superconducting Magnetic Shields for Turbo-Electric Propulsion System	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 3601905
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2020.2974705	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miura Shun, Iwakuma Masataka, Izumi Teruo	4. 巻 30
2. 論文標題 Lightweight Design of Tens-MW Fully-Superconducting Wind Turbine Generators With High-Performance REBa2Cu3Oy Wires	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 5204106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2020.2979157	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Oki Soichiro, Miura Shun, Iwakuma Masataka	4. 巻 28
2. 論文標題 Theoretical Analysis of Additional AC Loss Properties of Two-Strand Transposed Parallel Conductors Composed of REBCO Superconducting Tapes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 8201005, 1~5,
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2018.2794978	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ito Tetsuya, Iwakuma Masataka, Miura Shun, Izumi Teruo, Adachi Kazuhisa, Machi Takato, Ibi Akira	4. 巻 28
2. 論文標題 Difference of AC Losses Between Nonstriated and Striated Tape and Applicability of Temperature Scaling Law to Stacked Striated Tape	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 8200505, 1~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2018.2789458	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fukuda Shogo, Yun Kiwook, Iwakuma Masataka, Miura Shun, Sato Seiki, Yoshida Kohichi, Tomioka Akira, Konno Msayuki, Izumi Teruo	4. 巻 28
2. 論文標題 Design Study of 2-MW Fully Superconducting Synchronous Motors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 5207806, 1~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2018.2821718	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Miura Shun, Tsuchiya Yuji, Yoshida Yutaka, Ichino Yusuke, Awaji Satoshi, Ichinose A., Matsumoto Kaname, Ibi Akira, Izumi Teruo, Iwakuma Masataka	4. 巻 28
2. 論文標題 Improved Flux Pinning for High-Field Applications in BaHfO ₃ -Doped SmBa ₂ Cu ₃ O _y -Coated Conductors With High Density of Random Pinning Centers Induced by BaHfO ₃ Nanorods	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 8000606, 1~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2018.2804667	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sasa H, Ito T, Iwakuma M, Miura S, Izumi T, Machi T, Ibi A	4. 巻 1054
2. 論文標題 AC Loss Property of Stacked REBCO Superconducting Multifilamentary Tapes under Perpendicular Magnetic Field	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012037 ~ 012037
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1054/1/012037	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kitamura Tasuku, Adachi Kazuhisa, Sugane Hideo, Nakanishi Tatsuhisa, Aoki Yuji, Mido Nobuhiro, Iwakuma Masataka, Hasegawa Takayo	4. 巻 1054
2. 論文標題 Development of Tri-axial superconducting cable system for type test	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012075 ~ 012075
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1054/1/012075	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Adachi Kazuhisa, Shiohara Kei, Sugane Hideo, Kitamura Tasuku, Mido Noubuhiro, Hasegawa Takayo, Konno Masayuki, Iwakuma Masataka	4. 巻 28
2. 論文標題 Sudden Short-Circuit Test of 22-kV YBCO Triaxial Superconducting Cable	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 5401104, 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2018.2798058	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawagoe Akifumi, Inoue Kyosuke, Higashi Yuki, Iwakuma Masataka, Konno Msayuki, Tomioka Akira, Hase Yoshiji, Izumi Teruo	4. 巻 28
2. 論文標題 Numerical Analyses on the Influences of Armature Winding Shape and Yoke Arrangements on Total Losses in Fully Superconducting Synchronous Motors Using REBCO Tapes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 5208104, 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2018.2818750	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計39件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 24件)

1. 発表者名 M. Iwakuma
2. 発表標題 Development of electric propulsion systems for aircrafts
3. 学会等名 10th Asian Conference on Applied Superconductivity and Cryogenics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 住田雅志、佐々滉太、三浦峻、岩熊成卓、今野雅行、和泉輝郎
2. 発表標題 REBCO線材を用いた移動体用10MVA超伝導変圧器の軽量設計と限流機能の数値解析
3. 学会等名 令和2年電気学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野田開仁、須河内良多、佐々滉太、三浦峻、吉田敬、笹山瑛由、岩熊成卓、笹森雄一郎、本田博一、長谷吉二
2. 発表標題 電動航空機へ向けた全超電導同期発電機における3次元有限要素法を用いた界磁巻線形状の比較検討
3. 学会等名 令和2年電気学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Noda, S. Miura, H. Sasa, R. Sugouchi, T. Yoshida, T. Sasayama, M. Iwakuma, A. Kawagoe, T. Izumi, M. Konno, Y. Sasamori, H. Honda, Y. Hase, M. Syutoh
2. 発表標題 Influence of the Skew Angles of REBCO Armature Windings for 10 MW Fully-Superconducting Synchronous Generators on Electromagnetic Properties Analyzed by Three-dimensional Electromagnetic Field Analysis
3. 学会等名 Applied Superconductivity Conference 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Sasa, M. Iwakuma, S. Miura, T. Sasayama, T. Yoshida, K. Yamamoto, T. Izumi, A. Tomioka, M. Konno, T. Umeno
2. 発表標題 Properties of 1 kW-class Test REBCO Fully-Superconducting Synchronous Motor Cooled by Subcooled Liquid Nitrogen for E-Aircraft
3. 学会等名 Applied Superconductivity Conference 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Omanyuda, S. Miura, M. Iwakuma
2. 発表標題 Additional AC Loss and Current Distribution Properties of Transposed Three-Strand Parallel Conductors Composed of REBCO Superconducting Tapes
3. 学会等名 Applied Superconductivity Conference 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Sumida, S. Miura, M. Iwakuma, A. Tomioka, M. Konno, T. Izumi
2. 発表標題 Design and Numerical Analysis of 10 MVA REBCO Superconducting Transformers with Lightweight and Current-Limiting Function for E-Aircraft
3. 学会等名 Applied Superconductivity Conference 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々滉太、三浦峻、笹山瑛由、吉田敬、山本薫、岩熊成卓、川越明史、和泉輝郎、富岡章、今野雅之、笹森雄一郎、本田博一、長谷吉二、首藤雅夫、梅野高裕
2. 発表標題 REBCO超伝導線材を用いた1 kW級全超伝導同期モータの冷却特性試験および運転試験
3. 学会等名 低温工学・超電導学会 九州・西日本支部 2020年度若手セミナー・支部研究成果発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Iwakuma
2. 発表標題 Development of fully turbo-electric propulsion systems for aircrafts
3. 学会等名 CEC-ICMC 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Yoshida, M. Iwakuma
2. 発表標題 Development of fully superconducting synchronous rotating machines for e-aircrafts
3. 学会等名 CEC-ICMC 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々滉太、川崎剛輝、三浦峻、岩熊成卓、和泉輝郎、町敬人、衣斐顕
2. 発表標題 垂直磁界中における積層したREBa2Cu3Oy超伝導テープの積層枚数スケーリング則を用いた交流損失予測手法
3. 学会等名 第98回 低温工学・超電導学会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々滉太、三浦峻、小宮匡貴、須河内良多、笹山瑛由、吉田敬、山本薫、岩熊成卓、和泉輝郎、富岡章、今野雅之、梅野高裕
2. 発表標題 REBa2Cu3Oy超伝導線材を用いた1kW級全超伝導同期モータの冷却特性
3. 学会等名 2019年度電気・情報関係学会九州支部連合大会(第72回連合大会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土居 祐麻, 尾崎 高一郎, 吉田 幸市, 三浦 峻, 笹山 瑛由, 山本 薫, 吉田 敬, 岩熊 成卓, 富岡 昭, 今野 雅行, 和泉 輝郎
2. 発表標題 REBCO線材を用いた超伝導誘導電動機の概念設計と電磁解析
3. 学会等名 2019年度電気・情報関係学会九州支部連合大会(第72回連合大会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 相川 拓也、佐々滉太、三浦峻、小宮匡貴、須河内良多、笹山瑛由、吉田敬、山本薫、岩熊成卓、和泉輝郎、富岡章、今野雅之、梅野高裕
2. 発表標題 REBa2Cu3Oy超伝導線材を用いた1kW級全超伝導同期モータの冷却特性
3. 学会等名 2019年度低温工学・超電導学会九州・西日本支部 支部研究成果発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古川琢馬、三浦峻、岩熊成卓
2. 発表標題 REBCO3本並列導体の付加的交流損失の評価
3. 学会等名 2019年度低温工学・超電導学会 九州・西日本支部 支部研究成果発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Iwakuma
2. 発表標題 Development of electric propulsion systems for aircrafts
3. 学会等名 10th Asian Conference on Applied Superconductivity and Cryogenics (ACASC), 2nd International Cryogenic Materials Conference in Asia (Asian-ICMC)/CSSJ meeting as a joint conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三浦峻, 沖総一郎, 古川琢馬, 岩熊成卓
2. 発表標題 ピックアップコイル法による2本REBa2Cu3Oy並列導体の交流損失評価
3. 学会等名 第96回 低温工学・超電導学会研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Sasa, G. Kawasaki, S. Miura, M. Iwakuma, T. Izumi, T. Machi, A. Ibi
2. 発表標題 Scaling Law of AC Loss in Stacked REBa2Cu3Oy Superconducting Tapes
3. 学会等名 Applied Superconductivity Conference(ASC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Sagawa, S. Miura, Y. Fukumoto, K. Yoshida, S. Sato, T. Izumi, M. Iwakuma
2 . 発表標題 Investigation of Current-sharing properties of parallel conductors composed of REBa2Cu3Oy superconducting tapes for NMR
3 . 学会等名 Applied Superconductivity Conference(ASC2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 F. Nakamura, M. Iwakuma, S. Miura, K. Yoshida, A. Tomioka, M. Konno
2 . 発表標題 Study on the Current Limiting Cooperation of Superconducting Transformers and Cables
3 . 学会等名 Applied Superconductivity Conference(ASC2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. Aikawa, M. Iwakuma, S. Miura, S. Fukuda, M. Komiya, K. Yoshida, T. Sasayama, A. Tomioka, M. Konno, T. Izumi
2 . 発表標題 Design Study of 5 MW REBa2Cu3Oy Fully Superconducting Synchronous Motor for Electric Aircraft
3 . 学会等名 Applied Superconductivity Conference(ASC2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Komiya, M. Iwakuma, S. Miura, S. Fukuda, T. Aikawa, S. Sato, K. Yoshida, Y. Hase, A. Tomioka, M. Konno, T. Izumi
2 . 発表標題 Design Study of 10 MW REBa2Cu3Oy Fully Superconducting Synchronous Generator for Electric Aircraft
3 . 学会等名 Applied Superconductivity Conference(ASC2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Iwakuma
2. 発表標題 Development of REBCO fully superconducting motors for electric aircrafts
3. 学会等名 Coated Conductors for Applications Workshop (CCA2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古川琢馬, 三浦峻, 岩熊成卓
2. 発表標題 異なる端部接触抵抗のY系超伝導並列導体の付加的交流損失
3. 学会等名 第97回 低温工学・超電導学会研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川崎剛輝, 佐々滉太, 三浦峻, 岩熊成卓, 和泉輝郎, 町敬人, 衣斐顕
2. 発表標題 積層した REBa ₂ Cu ₃ O ₇ 超伝導テープ線材における中心到達磁界を使った交流損失の予測手法
3. 学会等名 第97回 低温工学・超電導学会研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Iwakuma
2. 発表標題 Development of fully-turbo electric propulsion systems for future aircrafts
3. 学会等名 International Symposium on Superconductivity(ISS2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Sasa, G. Kawasaki, S. Miura, M. Iwakuma, T. Izumi, T. Machi, A. Ibi
2. 発表標題 Dependence of AC Loss in Stacked REBa2Cu3Oy Superconducting Tapes on the Interval among Tapes under Perpendicular Magnetic Field
3. 学会等名 International Symposium on Superconductivity(ISS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩熊成卓
2. 発表標題 電気推進航空機の開発
3. 学会等名 応用物理学会 超伝導分科会 第58回研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Komiya, T. Aikawa, K. Yoshida, S. Miura, M. Iwakuma, T. Yoshida, T. Sasayama, A. Tomioka, M. Konno, T. Izumi
2. 発表標題 Numerical Analysis of AC loss and Power Density of 10 MW Fully Superconducting Generators for Electric Aircrafts from the viewpoint of Armature Winding Configuration
3. 学会等名 International Symposium on Superconductivity(ISS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 須河内良多、相川拓也、小宮匡貴、三浦峻、吉田敬、笹山瑛由、岩熊成卓、吉田幸市、富岡章、今野雅行、和泉輝郎
2. 発表標題 航空機用電動推進システムへ向けた2 MW級REBCO全超伝導同期電動機概念設計と数値解析
3. 学会等名 平成31年電気学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土居祐麻、佐川慎太郎、三浦 峻、岩熊成卓、福本祐介、吉田幸市、佐藤誠樹、和泉輝郎
2. 発表標題 MRI用3本高温超伝導並列導体の電流分流の解析
3. 学会等名 平成31年電気学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Sasa, S. Miura, H. Miyazaki, T. Sasayama, T. Yoshida, K. Yamamoto, M. Iwakuma, Y. Hase, Y. Sasamori, H. Honda, M. Konno, T. Izumi
2. 発表標題 Thermal-Electromagnetic Coupled Analysis Considering AC Losses in REBCO Windings at 65 K of 10 MW Fully-Superconducting Synchronous Generators for Electric Aircraft
3. 学会等名 International Conference on Magnet Technology 27 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Sumida, H. Sasa, S. Miura, H. Miyazaki, M. Iwakuma, M. Konno, T. Izumi
2. 発表標題 Design Study of 3f-10 MVA-6.9/1.0 kV REBCO Superconducting Transformers with Lightweight and Current-Limiting Function for an E-Aircraft Propulsion System
3. 学会等名 International Conference on Magnet Technology 27 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Matsumoto, H. Sasa, S. Miura, K. Matsumoto, H. Miyazaki, T. Yoshida, T. Sasayama, K. Yamamoto, M. Iwakuma, A. Kawagoe, T. IZUMI, Y. Sasamori, H. Honda, M. Konno, Y. Hase
2. 発表標題 Numerical Analysis of 2 MW Fully Superconducting Synchronous Motor for Electric Aircraft Considering AC Loss in Field Winding
3. 学会等名 International Conference on Magnet Technology 27 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 Y. Okade, H. Miyazaki, H. Sasa, K. Yoshida, S. Miura, T. Sasayama, T. Yoshida, A. Kawagoe, M. Iwakuma
2 . 発表標題 Study of REBCO Trapezoidal Armature Windings for Superconducting Induction Motor
3 . 学会等名 International Conference on Magnet Technology 27 (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Y. Omanyuda, H. Sasa, H. Miyazaki, S. Miura, M. Iwakuma
2 . 発表標題 Experimental Evaluation of Current Distribution in Three-Strand Transposed Parallel Conductors Composed of REBCO Superconducting Tapes
3 . 学会等名 International Conference on Magnet Technology 27 (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 K. Noda, H. Sasa, H. Miyazaki, S. Miura, T. Yoshida, T. Sasayama, M. Iwakuma, A. Kawagoe, T. Izumi, M. Konno, Y. Sasamori, H. Honda, Y. Hase, M. Shutoh
2 . 発表標題 Estimation of Ac loss for a high-power density 10 MW REBCO superconducting synchronous generator cooled by sub-cooled liquid nitrogen
3 . 学会等名 International Conference on Magnet Technology 27 (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 A. Kawagoe, S. Oishi, R. Kanemaru, M. Iwakuma, S. Miura, T. Izumi, T. Umeno
2 . 発表標題 Evaluation of The Torque on Rotors with A Hollow Core in The Superconducting Induction Motors for Electric Aircrafts
3 . 学会等名 Applied Superconductivity Conference 2020 (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 大石 峻介, 金丸 凌大, 川越 明史, 三浦 峻, 岩熊 成卓, 和泉 輝郎, 梅野 高裕
2. 発表標題 HTS 誘導電動機用パイプ 形状回転子の特性評価
3. 学会等名 低温工学・超電導学会 九州・西日本支部 2020年度若手セミナー・支部研究成果発表会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	川越 明史 (KAWAGOE AKIFUMI) (40315396)	鹿児島大学・理工学域工学系・准教授 (17701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------