

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03507

研究課題名（和文）保全視点導入による分割型高温超伝導マグネットの新展開

研究課題名（英文）New developments of remountable high-temperature superconducting magnet by introducing a maintenance viewpoint

研究代表者

伊藤 悟 (Ito, Satoshi)

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号：60422078

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,600,000円

研究成果の概要（和文）：核融合炉用分割型高温超伝導マグネットの保守・運用に向けて、1) 保全シナリオを考慮した接合技術の最適化、2) 超伝導クエンチセンサを用いたマグネット状態監視保全技術の開発、を行った。1)では、マグネット接合部の製作・運転時の応力状態の数値解析結果と、高温超伝導REBCO線材の接合体の機械試験結果に基づいて新規接合部構造の提案を行い、接合体着脱時の接合抵抗上昇を抑えることに成功した。2)では、NbTiセンサでREBCOパンケーキコイルのクエンチ検出ができることを実証した。また、核融合炉マグネット磁場環境下でMgB₂、Bi-2212センサを用いてクエンチ検出が可能であることを数値解析によって示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果により、これまで「建設」の観点で原理実証がなされてきた核融合炉用分割型高温マグネットに関する研究開発が、「保守・運用」の観点まで取り入れるフェーズにまで進んだ。マグネット構造解析と接合体の機械試験に基づいて接合部損傷の推定を行うための知見を得た他、事後保全に必要な再着脱技術の高度化にも成功した。早期のクエンチ検出技術の確立による高温超伝導応用機器の保護は、超伝導工学分野における最大の課題になっており、本研究で提案・開発した超伝導クエンチセンサは、核融合炉用高温超伝導マグネットだけでなく、多くの高温超伝導応用機器の課題に対する解を与えうるものである。

研究成果の概要（英文）：For maintenance and operation of remountable high-temperature superconducting magnet for fusion reactor, we conducted 1) Optimization of joint technique considering maintenance scenario, and 2) Development of condition-based maintenance technique using superconducting quench sensors. For 1), we proposed new joint structure based on results of stress condition at joint section of the magnet during fabrication and operation phases and those of mechanical testing of joint samples of REBCO high-temperature superconducting tapes. Then we achieved to avoid a joint resistance increase at reattaching process. For 2) we demonstrated that NbTi sensor can detect quench in a REBCO pancake coil. In addition, we showed that MgB₂ and Bi-2212 sensors can detect quench under magnetic field produced by fusion magnets based on numerical analysis.

研究分野：核融合炉工学、応用超伝導工学

キーワード：分割型高温超伝導マグネット ヘリカル型核融合炉 超伝導クエンチセンサー

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ITER 計画が着々と進められ、核融合炉研究開発は確実に進歩している。しかしながら、原型炉や商用炉では、燃料プラズマの閉じ込め効率化や炉壁への熱流束の制御のために巨大で複雑な超伝導マグネットが必要であり、その製作は炉内構造物の保守と併せて大きな工学的課題となっている。この工学的課題を解決する革新的設計案として、分割型高温超伝導マグネット (図 1) が提案されている (導体セグメントを接続しながら巻き線していく導体接続巻線方式、高温超伝導マグネットをコイルセグメントごとに分割製造してマグネットの組立・分解を可能とするコイルセグメント着脱方式の 2 方式が提案されている)。本設計の基本は、マグネット材料を臨界温度・熱的安定性の高い高温超伝導体とし、20 K 以上に運転温度を設定して冷却電力を低減することで、機械的接合部での抵抗をある程度許容することである。

研究代表者らは主に科研費による支援を受けて、独自に分割型高温超伝導マグネットの実現に向けた接合技術・冷却技術の研究開発に取り組んできた。また、核融合科学研究所との共同研究で核融合炉に適用できるレベルの大電流通電・低抵抗 (100 kA, 2 nΩ) の実現にも成功しており、当該マグネットの建設に必要な普遍的な機械的接合技術・冷却技術は確立されつつある。

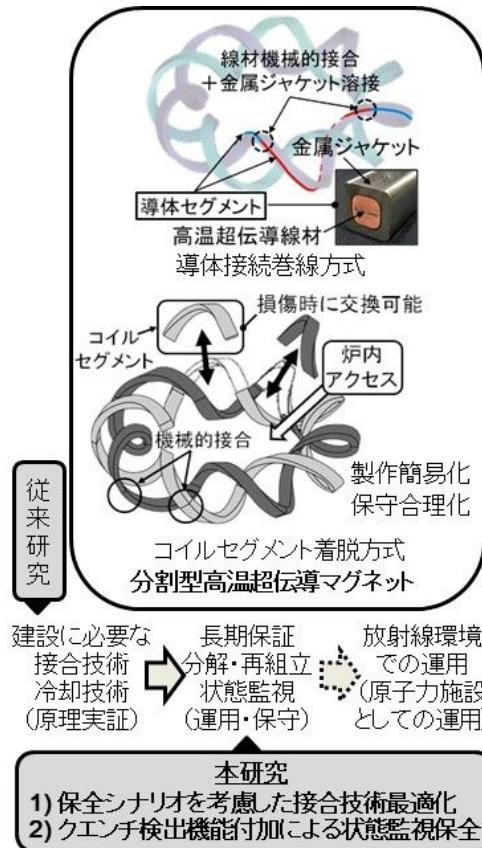


図 1 分割型高温超伝導マグネットと本研究の課題

2. 研究の目的

実際の分割型高温超伝導マグネットを運用するためには、運用・保守といった「保全」としての観点での設計・技術開発が次のステップとして必要である (さらに将来的には放射線環境であることを踏まえた設計・技術開発が必要となる)。現状の研究開発では、事後保全に必要な再着脱技術は考慮されておらず、また状態監視保全に必要な常伝導転移 (クエンチ) 検出・焼損回避のためのコイル保護技術の開発 (高温超伝導マグネット運用の最大の課題である) にも未着手の状態である。そこで本研究では、分割型高温超伝導マグネットの保守・運用に向けて、1) 保全シナリオを考慮した接合技術の最適化、2) 高温超伝導線材へのクエンチ検出機能付加によるマグネット状態監視保全技術の開発、を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

1) 保全シナリオを考慮した接合技術の最適化

図 1 に示す分割型高温超伝導マグネットの 2 つの方式に分けて接合技術の最適化を行う。まず「導体接続巻線方式の接合構造健全性評価」として、同方式に採用予定である機械的ラップジョイントの機械試験、サイクルロード試験を行い、接合体の機械特性・破壊特性の評価・分析を行う。さらに、導体接続巻線方式を採用した場合のマグネット接合部の製作・冷却・運転時の応力ひずみ状態を構造解析によって評価し、上記の機械試験結果を踏まえて、マグネット構造健全性を担保するために必要な導体・接合部構造の条件を明らかにする。また、「コイルセグメント着脱方式の接合技術開発」として、コイルセグメント着脱方式に採用予定である機械的エッジジョイントの抵抗低減・再着脱特性向上を可能とする構造を提案し、接合体を用いた実証実験を行う。

2) 高温超伝導線材へのクエンチ検出機能付加によるマグネット状態監視保全技術の開発

本研究で構想している超伝導センサ (検出用超伝導線材) によるクエンチ検出の原理を図 2 に示す。強磁場環境で使用される REBCO (希土類系銅酸化物高温超伝導体) 線材は基材上に薄膜の REBCO、その上に安定化層 (銀・銅) が配置されたテープ線材となっている。図 2 のように REBCO 内に常伝導領域が生じた場合、輸送電流は安定化層に迂回する。ここでのジュール発熱により局所的な温度上昇が起こり、REBCO 線材はクエンチ (熱暴走) し、焼損に至る。提案する方式では、安定化層内あるいは安定化層上に電氣的に絶縁さ

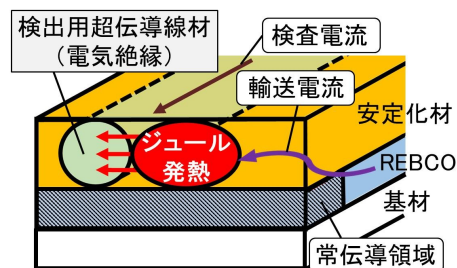


図 2 超伝導センサ (検出用超伝導線材) のクエンチ検出原理

れた（熱絶縁はされていない）超伝導センサを配置し、超伝導センサ内で常伝導伝播を発生させることで、クエンチを検出する。

本項目においては、まず「NbTi センサを用いたクエンチ検出実証試験」を行う。直線状の REBCO 線材単体に対してのクエンチ検出実験から始め、さらに REBCO 線材で製作したパンケーキコイルのクエンチ検出実証実験を液体ヘリウム冷却、自己磁場下において実施する。また、「各種超伝導センサの使用条件と核融合炉マグネットへの適用検討」を実施する。ここでは、クエンチ検出特性の検出用超伝導線材材質、運転条件（温度・磁場）依存性を評価し、状態監視保全に必要な条件を明らかにする。さらに核融合炉マグネットでの状態監視保全・保護を見据えて核融合炉用高温超伝導体内への超伝導クエンチセンサの適用検討を行う。

4. 研究成果

1) 保全シナリオを考慮した接合技術の最適化

導体接続巻線方式の接合構造健全性評価

導体接続巻線方式で用いる接合方法は、図 3 に示すブリッジ式機械的ラップジョイントである。ヘリカルコイルを想定した場合、運転時の電磁力により、接合部を軸方向に引っ張る垂直応力と接合面を横にずらす面内せん断応力が発生する。運転・停止を繰り返すと接合部には繰り返し負荷（サイクルロード）がかかることになる。そこで、REBCO 線材の機械的ラップジョイントのサイクルロード試験を行った。サイクルロードの方向としては、マグネットの一方方向に電流を流して運転する、また逆方向にも電流を流して運転する、という 2 つのケースを想定し、図 4 のように 2 種類設定した。負荷の振幅が倍になる (b) のケースでは、接合部 X 線 CT 画像でクラックが発生していることが観察され、接合抵抗（液体窒素冷却下で評価）もサイクル数が増えるにつれて増加した。したがって、マグネット運転時の通電方向は一方向に限定するほうがよいといえる。

マグネット接合部の製作・冷却・運転時の応力ひずみ状態を構造解析によって評価した。図 5 に例として、冷却時の接合部の熱応力分布を示す。熱応力は REBCO 線材をはがす方向の引張応力として発生するため、剥離方向の強度の低い REBCO 線材にとっては大きな問題になる。接合部の引張・せん断強度は REBCO 線材の厚さ方向の圧縮応力、すなわち接合力の増加に伴い向上することも機械試験の結果からわかっており、熱応力の緩和、引張・せん断強度の向上のためにも REBCO 線材の厚さ方向に予め圧縮応力を付加して製作することが効果的である。

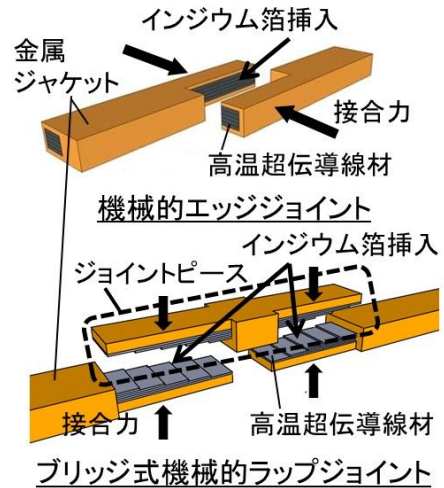


図 3 高温超伝導導体の機械的接合法

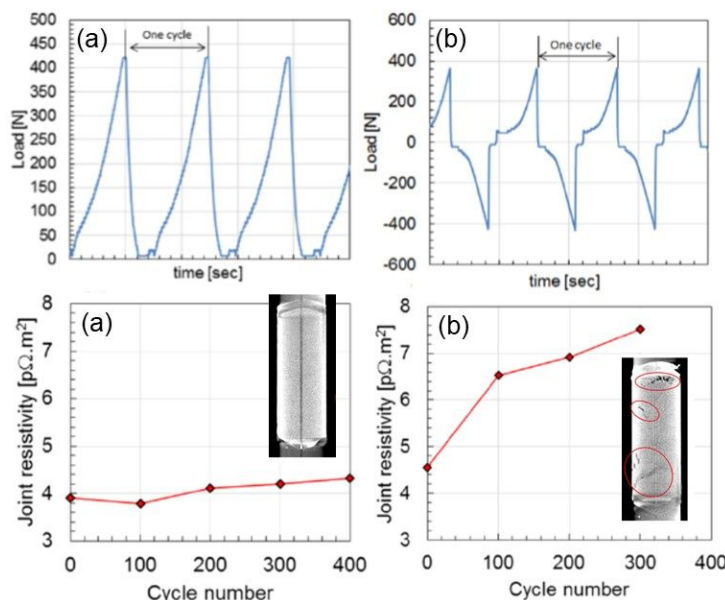


図 4 機械的ラップジョイントのサイクルロード試験
(a) 順方向負荷試験 (b) 逆方向負荷試験

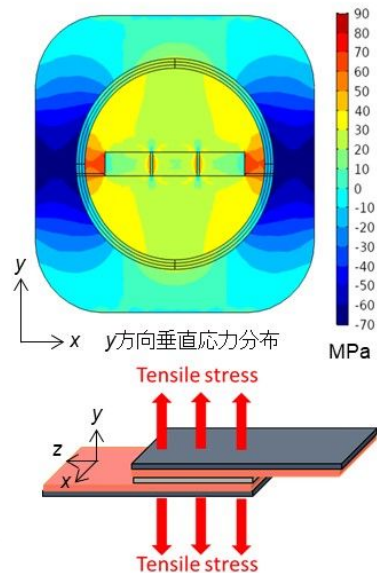


図 5 冷却時の熱応力

コイルセグメント着脱方式の接合技術開発

コイルセグメント着脱方式では、図 3 に示す機械的エッジジョイントを用いることを考えている。機械的エッジジョイントでは、導体の銅ジャケット内に収める REBCO 線材の銅安定化層が厚いほど接合抵抗が下がることが過去の研究で示されている。一方で、銅安定化層が厚くなる

と、REBCO 線材の積層領域の厚さが増加し、コイルセグメント製作時の曲げ加工時に発生する曲げひずみが増加し、曲げひずみが REBCO 線材の臨界電流の低下を引き起こす不可逆ひずみよりも大きくなり、導体自体の臨界電流の低下する可能性がある。そこで、数値解析によって得た銅安定化層厚さと接合抵抗の関係、および銅安定化層厚さと曲げひずみの関係から、核融合炉級マグネットサイズの導体において、要求される接合抵抗・曲げひずみを満たすデザインウィンドウが存在するかを検証した。その結果、マグネットサイズで現実的な接合長で、両者を満たすデザインウィンドウが存在することが示された。

続いて、機械的エッジジョイントの着脱特性を向上させるために、図 6 (a)に示す接合面構造の接合体サンプルを 2 種類製作した。Joint A は従来研究で使用していた構造であり、接合抵抗の減少を重視し、REBCO 線材を接合面でむき出しにした方式にしている。Joint B は着脱時に接合面を保護するため、銅ジャケットを接合面にも配置する形としている。図 6 (b)に示す接合試験体系で接合抵抗を液体窒素冷却・自己磁場下で測定し、着脱を繰り返すごとに同様にして接合抵抗を評価した。図 6 (c)に実験結果を示す。1 回目の接合においては Joint A の構造のほうが接合抵抗を低く抑えられたが、2 回目以降の接合においては、Joint A では接合抵抗が徐々に増加していく傾向であったのに対して、Joint B では接合抵抗の増加を低く抑えることができていた。コイルセグメント着脱方式においては、マグネット補修や炉内構造物交換時の着脱作業がともなうため、Joint B のような接合面を保護する構造が望ましいといえる。

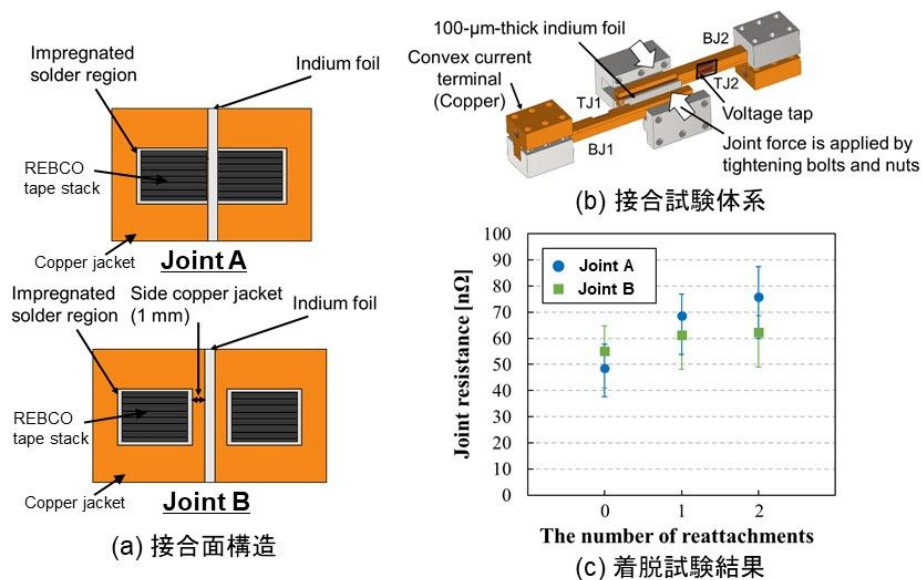


図 6 機械的エッジジョイント着脱試験

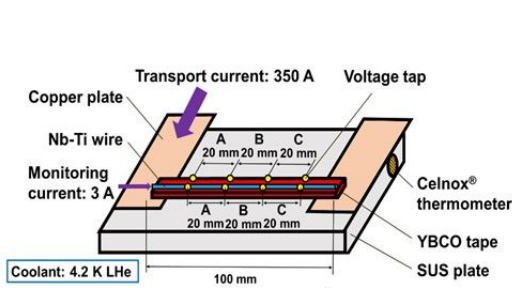
2) 高温超伝導線材へのクエンチ検出機能付加によるマグネット状態監視保全技術の開発

NbTi センサーを用いたクエンチ検出実証試験

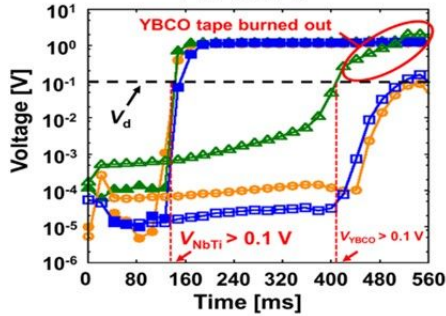
まず、図 7 に示す実験体系を模擬して、銅安定化材付き NbTi 線材、CuNi 安定化材付き NbTi 線材、安定化材無 NbTi フィラメントをそれぞれ超伝導センサとして用いた場合に、欠陥を意図的に作った REBCO 線材のクエンチ検出特性を数値計算で予測した。超伝導センサの負荷率にも依存するが、安定化材無 NbTi フィラメントがクエンチ伝播が速く、最も早期にクエンチを検出できる結果となった。また、図 7 には実際に欠陥を作った REBCO 線材に NbTi フィラメントを貼り付け、液体ヘリウム冷却、自己磁場下で REBCO 線材のクエンチ検出試験を行った結果を示す。通電開始から 400 ms 後に REBCO 線材はクエンチして焼損したが、NbTi センサは 120 ms の時点でクエンチの予兆を検出することができている。

続いて、図 8 に示す REBCO 線材のパンケーキコイルのクエンチを NbTi センサで検出する実験を行った (REBCO 線材のクエンチ検出試験と同様に液体ヘリウム冷却、自己磁場下にて実施した)。パンケーキコイルはターン間絶縁が施されており、NbTi センサは欠陥のある層とは離れた層に配置し、ターン間の熱伝導がクエンチ検出時間に与える影響を評価した。あらかじめ数値計算で検討した結果では、欠陥位置と NbTi センサの間に 4 層の REBCO 線材があってもクエンチ検出ができると評価されており、これを実証するために図 8 (a)の体系でクエンチ検出試験を行った。図 8 (b)は実験結果であるが、REBCO コイルが焼損する数秒前に NbTi センサはクエンチを検出できていることが示されている。

この他、超伝導センサの最適設計に向け、数値計算によりセンサ構造や材料物性等のセンサ検出性能に関わる因子を推定し、センサの最適構造の設計方針を得た。また、超伝導材料を NbTi、磁場環境を自己磁場下と対象を絞って、センサのクエンチ検出性能の構造依存性を実験的に検証し、実験結果と数値計算による予測が良好に一致することを示した。

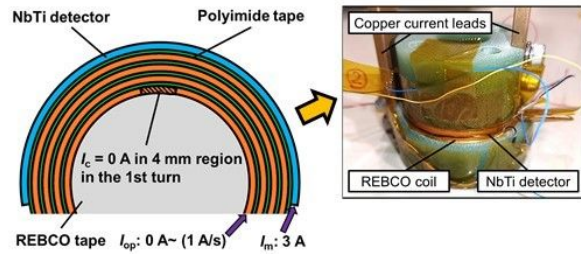


(a) 実験体系

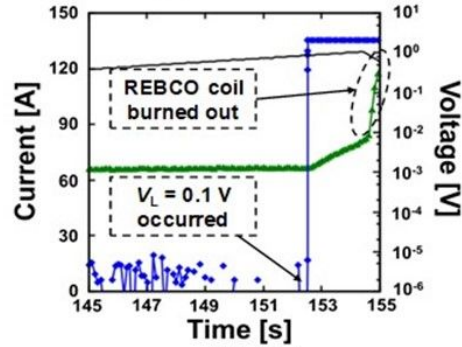


(b) 実験結果

図7 NbTi センサを用いた REBCO 線材のクエンチ検出試験



(a) 実験体系

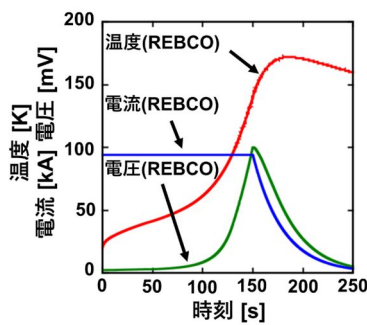


(b) 実験結果

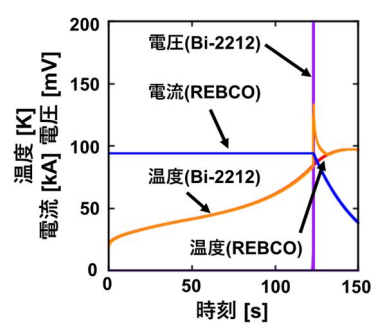
図8 NbTi センサを用いた REBCO パンケーキコイルのクエンチ検出試験

各種超伝導センサの使用条件と核融合炉マグネットへの適用検討

まず、NbTi、Nb₃Sn、Nb₃Al、MgB₂、Bi-2212 をそれぞれ超伝導センサとして使用した場合の動作温度・磁場域を数値計算で評価した。4.2 K で動作する高温超伝導マグネットの場合、NbTi、Nb₃Sn、Nb₃Al が検出感度がよく、それぞれの使用限界磁場域は 10 T、15 T、20 T 程度であると評価された。また、ヘリカル炉で想定している分割型高温超伝導マグネットでは運転温度 20 K を想定しているが、この場合は、MgB₂ や Bi-2212 が候補材料となる（鉄系超伝導体如果使用できれば、こちらも候補となりうる）。ヘリカル炉 FFHR-d1 に用いる 100 kA 級高温超伝導導体 (STARS 導体) をモデル化し、導体内に超伝導センサをつけずに REBCO 線材の電圧上昇でクエンチを検出し、その後、回路のブレーカーを切ってコイルを保護しようとした場合、図 9 (a) のように許容温度 150 K を超えることが起こりうる（20 K、12 T の場合の計算事例）。一方で、Bi-2212 センサを用いてクエンチ検出・コイル保護を行った場合には、図 9 (b) のようにコイル温度を 100 K 以下に抑えることができることが示された。なお超伝導センサごとに使用磁場域が異なるため、現実的には図 10 のように磁場強度（コイル内位置）によって、センサ材料を変える必要がある。



(a) REBCO の電圧でクエンチ検出した場合



(b) Bi-2212 センサでクエンチ検出した場合

図9 高温超伝導ヘリカルコイルのクエンチ保護解析（20 K、12 T の場合）

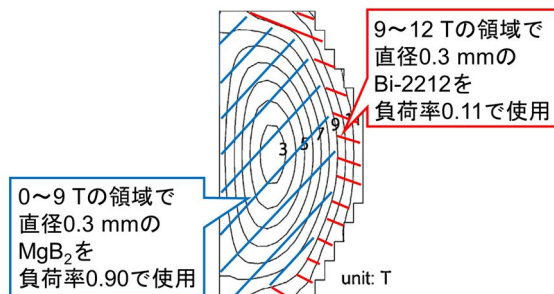


図10 高温超伝導ヘリカルコイルへの超伝導センサ配置例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 N. Yanagi, T. Goto, J. Miyazawa, H. Tamura, Y. Terazaki, S. Ito, T. Tanaka, H. Hashizume, A. Sagara	4. 巻 38
2. 論文標題 Progress in the Conceptual Design of the Helical Fusion Reactor FFHR-d1	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Fusion Energy	6. 最初と最後の頁 147-161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10894-018-0193-y	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 柳長門, 伊藤悟, 寺崎義朗	4. 巻 54
2. 論文標題 核融合炉マグネットへの適用をめざした大電流高温超伝導体の開発 現在の状況と将来の展望	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 低温工学	6. 最初と最後の頁 10-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2221/jcsj.54.10	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 H. Tamura, T. Goto, N. Yanagi, J. Miyazawa, T. Tanaka, A. Sagara, S. Ito, H. Hashizume	4. 巻 75
2. 論文標題 Mechanical Design Concept of Superconducting Magnet System for Helical Fusion Reactor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Fusion Science and Technology	6. 最初と最後の頁 384-390
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15361055.2019.1603041	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 W. Chen, S. Ito, N. Yusa, H. Hashizume	4. 巻 15
2. 論文標題 Investigation for Contact Interface of Mechanical Lap Joint Fabricated with High-Temperature Superconducting Conductor Using X-ray Microtomography	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2405014
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.15.2405014	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. Sato, S. Ito, H. Hashizume	4. 巻 in press
2. 論文標題 Investigation of trade-off solution in mechanical edge joint of STARS conductors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Luis Ernesto Aparicio, Satoshi Ito, Hidetoshi Hashizume	4. 巻 136
2. 論文標題 Comparison of shear strength and failure mechanisms of lap joint between REBCO tapes bonded by different joining techniques	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 1196-1201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2018.04.101	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 Hitoshi Tamura, Takuya Goto, Nagato Yanagi, Junichi Miyazawa, Teruya Tanaka, Akio Sagara, Satoshi Ito, Hidetoshi Hashizume	4. 巻 146
2. 論文標題 Effect of coil configuration parameters on the mechanical behavior of the superconducting magnet system in the helical fusion reactor FFHR	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 586-589
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2019.01.029	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 Shin Hasegawa, Satoshi Ito, Gen Nishijima, Hidetoshi Hashizume	4. 巻 29
2. 論文標題 Fundamental Evaluations of Applicability of LTS Quench Detectors to REBCO Pancake Coil	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 9001305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2019.2900633	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. Hasegawa, S. Ito, H. Hashizume	4. 巻 28
2. 論文標題 Numerical and Experimental Evaluations of the Quench Detection Performance of a YBCO/Nb-Ti/Tape	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 4700605
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2018.2795552	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. Ito, H. Hashizume, N. Yanagi, T. Tamura	4. 巻 136
2. 論文標題 Advanced high-temperature superconducting magnet for fusion reactors: Segment fabrication and joint technique	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 239-246
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2018.01.072	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27件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 20件)

1. 発表者名 佐藤颯太郎, 伊藤悟, 橋爪秀利
2. 発表標題 銅ジャケット付きREBCO積層導体の機械的エッジジョイントにおける接合抵抗の低減
3. 学会等名 2019年度春季 (第98回) 低温工学・超電導学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Sato, S. Ito, H. Hashizume
2. 発表標題 Investigation of trade-off solution in mechanical edge joint of STARS conductors
3. 学会等名 14th European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. Tamura, T. Goto, J. Miyazawa, T. Tanaka, N Yanagi,
2 . 発表標題 Topology optimization for superconducting magnet system in helical fusion reactor
3 . 学会等名 14th European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 W. Chen, S. Ito, N. Yusa, H. Hashizume
2 . 発表標題 Development of Nondestructive Evaluation Technique for Mechanical Lap Joint Fabricated with High-Temperature Superconducting Conductor Using X-ray Microtomography
3 . 学会等名 28th International Toki Conference (ITC-28) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 N. Yanagi, T. Mito, J. Miyazawa, Y. Onodera, N. Hirano, Y. Narushima, S. Matsunaga, S. Ito, H. Tamura, S. Hamaguchi, H. Hashizume, K. Takahata
2 . 発表標題 Development of Large-Current HTS Conductors for the Next-Generation Helical Fusion Experimental Device
3 . 学会等名 28th International Toki Conference (ITC-28) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. Tamura, T. Goto, J. Miyazawa, T. Tanaka, N. Yanagi
2 . 発表標題 Topology optimization study for magnet support in helical fusion reactor
3 . 学会等名 28th International Toki Conference (ITC-28) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 柳長門, 三戸利行, 宮澤順一, 小野寺優太, 平野直樹, 成嶋吉朗, 松永信之介, 伊藤悟, 田村仁, 濱口真司, 橋爪秀利, 高畑一也
2. 発表標題 次世代ヘリカル装置への適用をめざした大電流 / 高電流密度・高温超伝導導体の開発
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第36回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田村仁, 後藤拓也, 宮澤順一, 田中照也, 柳長門
2. 発表標題 トポロジー最適化によるヘリカル型核融合炉用超伝導マグネットシステムの最適化設計
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第36回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Yanagi, T. Mito, J. M, Y. Onodera, N. Hirano, Y. Narushima, S. Matsunaga, S. Ito, H. Tamura, S. Hamaguchi, H. Hashizume, K. Takahata
2. 発表標題 Development of Large-Current HTS Conductors for the Next-Generation Helical Fusion Experimental Device
3. 学会等名 32nd International Superconductivity Symposium (ISS2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Yanagi, T. Mito, J. M, Y. Onodera, N. Hirano, Y. Narushima, S. Matsunaga, S. Ito, H. Tamura, S. Hamaguchi, H. Hashizume, K. Takahata
2. 発表標題 Progresses of HTS Magnet and Conductor Developments for the Helical Fusion Reactor and Next-Generation Fusion Experimental Devices
3. 学会等名 12th Asia Plasma and Fusion Association Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Tamura, T. Goto, J. Miyazawa, T. Tanaka, N. Yanagi
2. 発表標題 Topology optimization for superconducting magnet system in LHD-type helical fusion reactor FFHR-c1
3. 学会等名 10th ACASC/2nd Asian ICMC/CSSJ Joint conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Hasegawa, S. Ito, G. Nishijima, H. Hashizume
2. 発表標題 Investigation on optimal designs of superconducting quench detectors for REBCO coils
3. 学会等名 10th ACASC/2nd Asian ICMC/CSSJ Joint conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 泊瀬川晋, 伊藤悟, 橋爪秀利
2. 発表標題 数値解析によるLTSクエンチ検出器のREBCOパンケーキコイルへの適用性評価
3. 学会等名 第96回(2018年度春季)低温工学・超電導学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤悟, 橋爪秀利, 柳長門, 田村仁
2. 発表標題 分割型高温超伝導マグネットのための接合 / 冷却技術研究開発の現状
3. 学会等名 第12回核融合エネルギー連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Ito, R. Hayasaka, H. Hashizume
2. 発表標題 Resistance and critical current characteristics of demountable lap joint of various HTS tapes
3. 学会等名 9th Workshop on Mechanical and Electromagnetic Properties of Composite Superconductors (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Hasegawa, S. Ito, G. Nishijima, H. Hashizume
2. 発表標題 Fundamental Evaluations of Applicability of LTS Quench Detectors to REBCO Pancake Coil
3. 学会等名 Applied Superconductivity Conference 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 L.E. Aparicio, S. Ito, H. Hashizume
2. 発表標題 Deformation characteristics of Indium Thin Films under Static and Cyclic Shear Stress used in Single Lap Joints of REBCO Coated Conductors
3. 学会等名 L.E. Aparicio, S. Ito, H. Hashizume (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 泊瀬川晋, 伊藤悟, 橋爪秀利
2. 発表標題 NbTi/YBCOハイブリッド線材のクエンチ検出性能向上の研究
3. 学会等名 第94回(2017年度春季)低温工学・超電導学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 泊瀬川晋, 伊藤悟, 橋爪秀利
2. 発表標題 高磁場環境へのYBCO/LTSd線材の適用性の評価
3. 学会等名 日本原子力学会東北支部 第41回研究交流会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Ito, T. Nishio, N. Yanagi, Y. Terazaki, N. Bagrets, M.J. Wolf, H. Tamura, K-P. Weiss, H. Hashizume, A. Sagara, W.H. Fietz
2. 発表標題 Electro-mechanical measurements of mechanical lap joint of HTS STARS conductors
3. 学会等名 25th International Conference on Magnet Technology (MT25) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Hasegawa, S. Ito, H. Hashizume
2. 発表標題 Numerical and Experimental Evaluations of the Quench Detection Performance of a NbTi/YBCO Hybrid Tape
3. 学会等名 25th International Conference on Magnet Technology (MT25) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Ito, H. Hashizume, N. Yanagi, T. Tamura
2. 発表標題 Advanced High-temperature Superconducting Magnet for Fusion Reactors
3. 学会等名 13th International Symposium on Fusion Nuclear Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 L. Aparicio, S. Ito, H. Hashizume
2 . 発表標題 Comparison of Shear Strength and Failure Mechanisms of Lap Joint between REBCO Tapes Bonded by Different Joining Techniques
3 . 学会等名 13th International Symposium on Fusion Nuclear Technology (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 S. Ito, S. Hasegawa, N. Yanagi, H. Hashizume
2 . 発表標題 Applicability evaluation of quench detectable hybrid REBCO tape to HTS magnet for fusion reactors
3 . 学会等名 CHATS on Applied Superconductivity 2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 S. Ito, T. Nishio, R. Hayasaka, L. Aparicio, N. Yanagi, Y. Terazaki, N. Bagrets, M. J. Wolf, H. Tamura, K.-P. Weiss, H. Hashizume, A. Sagara, Reinhard Heller, W. H. Fietz
2 . 発表標題 Sample preparation for electro-mechanical measurements of mechanical lap joint of 10-kA-class prototype HTS STARS conductors
3 . 学会等名 4th HTS4Fusion Conductor Workshop (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 L. Aparicio, S. Ito, H. Hashizume
2 . 発表標題 Electro-Mechanical Behavior of Mechanical Lap Joint Between REBCO Tapes under Cyclic Shear Stress
3 . 学会等名 4th HTS4Fusion Conductor Workshop (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Hasegawa, S. Ito, H. Hashizume
2. 発表標題 Applicability Evaluations of a Quench Detectable Superconducting Sensor to HTS coils
3. 学会等名 4th HTS4Fusion Conductor Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018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	野上 修平 (Nogami Shuhei) (00431528)	東北大学・工学研究科・准教授 (11301)	
研究分担者	田村 仁 (Tamura Hitoshi) (20236756)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授 (63902)	
研究分担者	西島 元 (Nishijima Gen) (30333884)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・主幹研究員 (82108)	
研究分担者	柳 長門 (Yanagi Nagato) (70230258)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・教授 (63902)	