



Title	超高磁場生成を指向した無絶縁高温超電導磁石の熱的安定性評価・向上に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	間藤, 昂允
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16024号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/92396
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Takanobu_Mato_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 間藤 昂允

審査担当者 主査教授 野口 聡
副査教授 五十嵐 一
副査教授 北 裕幸

学位論文題名

超高磁場生成を指向した無絶縁高温超電導磁石の熱的安定性評価・向上に関する研究
(A Study on Thermal Stability Evaluation and Improvement of No-Insulation High-Temperature
Superconducting Coils towards Ultra-High Field Generation)

超高磁場マグネットは、未来のエネルギー源となる核融合炉装置や海環境改善のためのマイクロプラスチック回収装置、さらには医療用高精度 MRI、製薬用途の高性能 NMR などに欠かせない技術要素として切望されている。レア・アース系高温超伝導 (REBCO) の導体化とマグネットの安定性を高める無絶縁巻線技術の発展により、超高磁場マグネットの開発競争が世界的に激化している。特に、REBCO 導体のターン間絶縁を取り除いた無絶縁巻線技術は革新的技術として認知され、その派生技術も多く提案されるに至っている。無絶縁巻線技術の登場以前は、わずかな局所常電導転移が起きても検知できずに、REBCO マグネットは焼損していた。しかし、ターン間の絶縁を取り除くことで、局所常電導転移が起きた部分を避けるように、ターン間に電流が迂回することで、発熱量を抑え、マグネット保護が可能になった。しかし、多くの派生技術が登場しており、各手法の特徴や評価など実用化に向けた課題がまだ残されている。

筆者は、前述した無絶縁巻線技術とその派生技術の構造的違いを体系的にまとめ、各々の等価回路を提案し、熱的安定性の評価を行った。その結果、現在提案されている技術の中では無絶縁巻線技術が最も熱的安定性が高いことを示した。さらに、将来的にさらに熱的安定性を高めるためには、補助導体型無絶縁巻線技術が有効であることを示し、そのためには接触抵抗を小さくする必要があることを明らかにした。さらに、無絶縁巻線技術で最も重要なパラメータであるターン間抵抗の測定が十分ではないことから、Low-frequency AC current (LFAC) 法の精度向上方法を提案した。これまでは、測定不可能とされていた周波数帯でも測定可能となり、適用範囲を広げることに貢献した。そして、無絶縁巻線技術を採用した REBCO マグネットは、常電導転移時に特徴的な挙動を示すことを電磁場解析から明らかにした。無絶縁巻線技術を採用した REBCO マグネットは常電導転移中に、ただちに電流をゼロにできないことから、発生磁場が通常運転時と異なりアンバランスになることを解析でしめし、それによる電磁力不均衡がマグネットに及ぼす影響を評価した。

本論文は次のように構成されている。第 1 章で研究背景、研究目的について説明している。第 2 章では、無絶縁巻線技術と派生技術をその構造から 2 グループに分類し、各々の特徴を評価し、熱的安定性を比較している。さらに、将来的な開発動向に方向性を与えている。第 3 章では、REBCO コイルのターン間抵抗計測法である LFAC 法の高精度化および大規模コイル適用へ向けた検討を実施している。第 4 章では、無絶縁巻線技術を採用した REBCO マグネットが局所常電導転移中に受ける軸方向電磁力について検討している。軸方向電磁力により REBCO マグネットが移動することで、電磁現象にも影響を与えることを示している。第 5 章では、本論文を総括している。

以上を要するに、筆者は無絶縁巻線技術の熱的安定性の体系的評価方法を確立しただけでなく、熱的安定性に大きく寄与するターン間接触抵抗の測定高精度化を提案し、さらに局所常電導転移中の電磁的挙動を明らかにした。この論文の成果は、超高磁場 REBCO マグネットの安定性向上へ大きく貢献し、超電導応用工学の発展に大いに寄与する。よって、著者は北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。