

Title	浸漬冷却超伝導ヘリカルコイルの冷却安定性と機械剛性の最適化に関する研究
Author(s)	今川, 信作
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	https://doi.org/10.11501/3144160
DOI	10.11501/3144160
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

氏 名	いま がわ しん さく 今 川 信 作
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 3 5 2 4 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 10 年 1 月 30 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学 位 論 文 名	浸漬冷却超伝導ヘリカルコイルの冷却安定性と機械剛性の最適化に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 岡 田 東 一 (副査) 教 授 宮 崎 慶 次 教 授 岸 田 敬 三

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、冷却安定性と機械剛性に着目してヘリカル型核融合装置用の浸漬冷却超伝導ヘリカルコイルを高性能化することを目的に行われた研究を纏めたもので、全論文は以下の6章から構成されている。

第1章では、核融合研究の現状とヘリカル型核融合装置の特徴を説明し、続いて超伝導ヘリカルコイルの高性能化の重要性について述べ、本研究の背景と目的について記述している。

第2章では、ヘリカル型核融合装置のコイルに働く電磁力の特徴を調べ、電磁力によるコイル変位と応力を最小化するコイル支持方法を明らかにしている。コイルの変形抑制のための支持構造物を軽量化するためには、全コイルを1つの支持構造物で完全に拘束する方法が最適であるとの結論を導き出している。

第3章では、ヘリカルコイル内部の磁場分布の特徴を明らかにし、個々の導体と絶縁物に働く電磁力を評価している。ヘリカルコイルを円形コイルに近似した有限要素法による構造解析を行い、コイル内部の応力分布と変位に対する絶縁スペーサの剛性の影響を明らかにしている。更に、導体露出率の上限値および必要なコイル断面剛性を導き出している。

第4章では、まず、導体内部を等価な集中定数回路に置き換える方法でアルミニウム複合導体の異常磁気抵抗を定量的に評価する手法を確立している。続いて、導体内部の電流分流による発熱が回復電流に与える影響を評価するには、有限要素法を用いた熱・電気解析が有効であることを示し、複合導体内部の抵抗層に関する設計指針を定めている。更に、Maddock の等面積則において磁場分布を考慮する手法を研究し、有限な磁場空間で測定された回復電流の評価を可能としている。

第5章では、浸漬冷却方式の超伝導ヘリカルコイルは、コイル内部の磁場分布と導体間の荷重分布の両方を考慮して導体露出率を変化させることによって、導体間の絶縁物の最大圧縮荷重の低減とコイルとしての冷却安定性の向上を両立させることが可能であることを提案し、その手法を確立している。本研究を大型ヘリカル装置のヘリカルコイルに適用することによって、冷却端安定条件を満足する設計を実現している。

第6章において、本研究を総括し、浸漬冷却超伝導ヘリカルコイルの冷却安定性と機械剛性の最適化の手法につい

て指針を示している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、ヘリカル型核融合試験装置用の浸漬冷却超伝導ヘリカルコイルの高性能化を目指して、コイル内部剛性を保って冷却安定性を向上させる研究および電磁力によるコイルの変形を最小化するための研究を纏めたもので、主な成果は以下の通りである。

(1) ヘリカル型核融合装置の各コイルに働く電磁力の特徴を調べ、通常時にはヘリカルコイルでは小半径方向成分が主であり、トーラス全体では内側に収縮する力になることを明らかにしている。ポロイダルコイルにはトーラス方向の拡張力が働くことから、コイルの支持構造物を軽量化するためには、全コイルを1つの支持構造物で完全に拘束する方法が最適であるとの結論を導き出している。この考え方を大型ヘリカル装置に適用して、支持構造物の設計と有限要素法を用いた構造解析を実施し、コイルの電磁力変形を目標値に収める設計を実現している。

(2) ヘリカルコイル内部の磁場分布と各導体に働く電磁力を計算し、コイル断面周辺では磁場が大きい、電磁力による導体間面圧は小さくなっており、一方、コイル断面中心では導体間面圧が大きい、磁場が小さくなっているという特徴を明らかにしている。各導体に働く電磁力を積算すると主に小半径方向に広がる電磁力になることから、ヘリカルコイルを円形コイルに近似した構造解析を行い、コイル内部の応力分布と変位に対する絶縁スペーサの剛性の影響を調べて、等価圧縮剛性の下限値および導体間の許容隙間を求める手法を確立している。

(3) 高純度アルミニウムを安定化材に使用する複合導体のホール効果による異常磁気抵抗を簡便に評価する手法を確立した上で、導体内部の接触抵抗に着目した評価を行い、導体の長手方向に磁気抵抗が変化する原因を明らかにしている。

(4) 有限要素法を用いて回復電流を評価する方法を提案し、導体内部の電流分流による発熱が回復電流に与える影響および試験装置の磁場分布の影響の評価を可能としている。また、電流分流時の発熱量と抵抗値の経験式を導出し、実験的に求められる許容入熱量との比較から複合導体の設計指針を定めている。

(5) 温度分布と磁場分布が相似形である場合には、Maddock の等面積則において磁場分布を考慮することが可能となることを示し、その計算手法を確立している。犬型ヘリカル装置のヘリカルコイル導体において、短尺導体試験における回復電流値が Maddock の等面積則によって求められる最小伝播電流よりも15~20%も高くなる原因を解明している。

(6) 浸漬冷却超伝導ヘリカルコイルの導体露出率を最適化する手法を確立している。大型ヘリカル装置のヘリカルコイルに適用することによって、冷却端安定条件を満足する設計を実現している。

以上のように、本論文は浸漬冷却超伝導ヘリカルコイルの高性能化の手法を確立し、かつ、複合導体の回復電流の新しい評価方法を確立している。これらの成果は超伝導工学、核融合工学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。