

博士論文審査要旨

論文審査担当者

主査 明 星 大 学 教授 星 野 勉
副査 明 星 大 学 教授 伊 庭 健 二
副査 鉄道総合技術研究所 部長 富 田 優

申請者氏名 西原太一

論文題目 常電導転移型超電導限流器による過電流保護に関する研究

(論文審査の結果の内容)

本論文は、超電導体の超電導/常電導転移現象を応用した限流器に用いられる、限流素子の温度電位差同時測定技法を酸化物高温超電導テープ線材に適用している。併せて熱伝導方程式を解くことにより、超電導線材の温度上昇について、解析式を提案し、システム解析を行っているものである。第 1 章では、21 世紀のキーテクノロジーと言われている超電導応用の適用先として、直流鉄道系統へ直流超電導送電ケーブルを導入することを提案している。第 2 章では、超電導の微視的理論である BCS 理論を紐解き、現象論による第 1 種、第 2 種超電導体の存在を説明した GL 理論を紹介している。さらに、実用酸化物高温超電導線材の展開についても言及している。また、超電導応用システムの例として、超電導送電ケーブルの主要プロジェクト、特に直流送電システムについて解説し、超電導限流器について触れている。最後に、本研究の適用対象である鉄道ケーブルについて述べている。第 3 章では、酸化物高温超電導線材では、超電導状態と常電導(非超電導)状態の間に発現する、既に指摘されている磁束流状態を考慮するために、抵抗の電流依存性を考慮することを提案している。さらに、超電導線材で構成される多数並行線路では、均等に分流するよりも、臨界電流を超える場合には、不平衡電流となる方が、全線路における損失が最小化される可能性を示唆している。次に、磁束流状態や常電導状態では、通電状態の超電導導体において、ジュー

ル発熱が生じ、導体の温度上昇による臨界電流の減少を招き、超電導/常電導相転移が進展する。そこで、熱伝導・熱伝達方程式と電気回路方程式を錬成解析することを提唱している。最期に、限流器で使用される Y 系(酸化物高温)超電導薄膜を持つ抵抗型限流素子や Bi 系(酸化物高温)超電導テープ線材について、実験結果と錬成解析結果の比較を行い、解析手法の妥当性を検証している。第 4 章では、電気鉄道直流系統への超電導直流送電ケーブルの導入効果を測るため、解析モデルの構築を行っている。き電線、電流帰線であるレール、超電導ケーブルは保護導体を含めて、すべて抵抗とインダクタンスの直列回路で表し、車両は直流電動機の電機子回路で表現している。超電導ケーブルの一端のき電線への接続場所で、地絡事故が起きた(最過酷の)場合を想定し、事故電流の時間変化をシミュレーションしている。過電流によって、超電導ケーブルが常電導転移する場合には、発現した抵抗によって自己電流を制限する限流効果があることを示し、車両からの回生エネルギーの影響、ケーブルの設計パラメータによるケーブル温度上昇についても解析している。最期に、超電導ケーブルと直列に限流器を導入した場合の効果についても言及している。第 5 章では、本論文で得られた結論を取りまとめている。

本論文は、直流電気鉄道における電力供給システムを対象例として、過電流保護について、直流送電ケーブルが限流効果を示すことがまとめられており、学術上、実用化に向けて寄与するところが少なくない。よって、本研究は博士(工学)の学位を授与するに十分価値あるものと認める。

(試験および試問の結果の要旨)

試験及び試問は、2017年2月9日(木)の審査委員会の中で行われた。はじめに、予め委員に提出された主論文をもとに、学位申請者が審査委員の前で、50分の口頭発表し、逐次審査委員の質問に回答しながら、進められた。本論文の一部を構成する内容について、専門誌に掲載予定の論文も示された。研究内容の紹介は、論旨明快で、質問に対する回答は適切であった。つぎに、専門家として前提知識となるため、省略されてしまった事項について、専門分野について質疑応答があった。また、審査会后、申請者と委員とで意見を交わし、主論文について、一部表現、説明についての加筆修正の要請があった。

また、2017年2月13日(月)に公聴会が行われた。修正された主論文を回覧し、40分の口頭発表で研究内容が紹介され、質疑応答があった。ここでも論文内容の説明、質問に対する回答は適切であった。

外国語については、本論文の一部が、2編の英語で書かれた原著論文で公表(出版予定)されていることから、十分な英語力があることが認定され

た。

公聴会直後の審査委員会に於いて、委員全員により、博士の学位に十分な水準に達しているとして合格とされた。

2017年2月15日(水)の電気工学専攻会議において、審査委員会の結論通りで良いとされた。

以上のように、慎重に審査した結果、合格と判定した。