

氏 名 尾花 哲浩

学位（専攻分野） 博士（工学）

学位記番号 総研大甲第 939 号

学位授与の日付 平成 18 年 3 月 24 日

学位授与の要件 高エネルギー加速器科学研究科 加速器科学専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 Study of Combined Function Superconducting
Accelerator Magnets containing Higher Harmonics

論文審査委員 主 査 教授 佐藤 康太郎
教授 小磯 晴代
教授 土屋 清澄
教授 中山 久義
教授 山本 明
助教授 大内 徳人（高エネルギー加速器
研究機構）
教授 森 義治（京都大学）

論文内容の要旨

A study of superconducting combined function magnets with higher order harmonics has been performed, aiming at an application for the Fixed Field Alternating Gradient (FFAG) accelerator. The FFAG accelerator magnet is required to have a nonlinear magnetic field that increases with k -th power of the orbit radius, where k is the field index in the accelerator. The required nonlinear magnetic field has been investigated with combined function coils, which enclose of a large elliptical aperture, designed by using a computer code that was specifically developed for this purpose. It has been understood from tracking that the integrated magnetic field along the beam path is the important parameter to be optimized. The field quality was evaluated with a particle trajectory simulation in which a particle could circulate well with stable tune. A prototype coil has been successfully developed by using a 6-axis CNC winding machine. The magnetic field and cryogenic characteristics of the prototype have been verified in warm and cold measurements. As a consequence, a superconducting combined function coil design has been made for future application in the FFAG accelerator, and its technical feasibility has been verified with the prototype magnet development and the performance test.

論文の審査結果の要旨

尾花氏の論文は、非線形の磁場分布を持つ超伝導電磁石の開発の検討、モデル磁石の製作及びその性能の測定結果をまとめたものである。偏向（二極）及び四極磁場成分を持つ複合型の超伝導電磁石は、J-PARC ニュートリノラインへの設置に向けて建設が進められているが、この論文はさらに高次の非線形磁場成分を含む磁石の実証を目指すものである。非線形磁場を必須とする加速器の一例として FFAG 型加速器を取り上げ、超伝導電磁石による可能性の検討の端緒を開くものである。

本論文の目的及び構成を導入部の第 1 章で述べ、超伝導電磁石を使うことによる、民生用、特に医療用加速器の小型化が最終目標である。第 2 章において超伝導コイル設計の手法について提案している。FFAG 型加速器で要求される非線形磁場分布を発生させる 2 次元コイル形状をまず計算で求めた。この際に、非線形磁場を多極磁場成分の重ね合わせで構成するという手法を用いた。次に磁石の端部の影響を取り入れるため、近似的な円軌道にそった積分磁場分布の設計値をもとに、3 次元コイル形状の最適化を行った。さらに、求められた形状のコイルが発生する磁場分布による軌道計算をおこない、加速に要求されたエネルギー範囲で安定軌道が存在することを確かめた。第 3 章において、3 次元コイル形状の実証を目指したモデル磁石の設計及び製作法を述べている。ここでは、多層コイルを想定し、超伝導線材を円筒状のフィルムに正確に接着固定する新たな方式を提案している。第 4 章において、モデル磁石でおこなった各種の測定結果をまとめている。まず室温で 3 次元磁場測定をおこない、提案された製作法によりコイル線材が正確に配置されていることが確認された。次に冷却試験により冷却性能の確認を行い、特に実際の磁石で必要となる多層コイルの冷却を想定して挿入した冷却板について性能確認をおこなった。

第 5 章では、モデル磁石による磁場形状の評価をおこなうとともに、非線形磁場成分を発生させる超伝導電磁石実証のための今後の課題をまとめている。例として取り上げた FFAG 型加速器では、水平方向の有効磁場口径が垂直方向よりきわめて広いという特殊事情がある。このため、論文で採用したような、多極磁場成分を発生させる電流の重ね合わせで非線形磁場を作る方法では、実際の FFAG 加速器においてコンパクトなコイル設計は困難であろうと予想され、新たな方法の開発が今後必要になるであろう。またモデル磁石を用いて解析された冷却板を用いた場合の多層コイルの冷却方式の検討、さらには、多層コイルの機械的な保持方式の検討が今後必要となる。

以上、加速器の小型化のため超伝導磁石の応用範囲を広げることを目指した論文である。非線形磁場分布を発生させる超伝導電磁石の実証は、一博士論文の成果を遥かに超える、人員も経費も時間もかかるテーマであろう。この論文はそれに向けた端緒となるべく、一つのコイル形状の提案をおこない、この提案にそって実証に必要な検討をおこない、今後の課題についてまとめた。

論文審査委員会は、本論文が非線形磁場を作る超伝導電磁石の実証に向けての開拓的研究であり、博士論文にふさわしいものである、と認める。