

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 松田 哲也

本論文は、「小型シンクロトロン放射(SR)リング用電磁石の磁気設計と評価」と題し、小型シンクロトロン放射リング(SRリング)に配置する超電導及び常電導電磁石の磁気設計とその評価に関する研究成果をまとめたものであり、全体で8章から構成されている。

第1章は「序論」であり、SR光の利用分野と、従来の加速器用電磁石の問題点、特に超電導電磁石の問題点を整理し、続いて、本研究の目的、すなわちSRリングのビーム蓄積に十分な磁気性能を確保しながらレーストラック型としてできるだけ小型のSRリングを実現すること、超電導電磁石の液体ヘリウム蒸発量を抑制し運転コスト低減と信頼性向上を図ることが述べられている。

第2章は「SRリング用電磁石の基本構成の決定と磁気設計・測定仕様」と題し、超電導電磁石システムの基本構成と磁気設計、磁界測定仕様について述べられている。SRリングには、電子ビームを180度偏向させる超電導偏向電磁石を2台配置し、直線部にビーム収束用常電導4極電磁石を2台、ビーム形状調整用常電導スクュー4極電磁石を2台、ビーム位置微調整用常電導ステアリング電磁石を4台配置した。超電導電磁石は、偏向磁界発生用主コイル、ビーム収束用4極コイル、誤差磁界補正用6極コイル、および常温磁気シールドで構成し、レーストラック型SRリングの周長の最小化を実現した。さらに、液体ヘリウム蒸発量を抑制するために、超電導電磁石の永久電流運転と着脱式電流リードを採用した。また、多数のSR光ポートを確保しながら高磁界均一度を得るため、主コイルは上下に分割し、ビーム軌道に沿ってコイル巻線が湾曲したバナナ型とし、ビーム進行方向に沿った両端部を跳ね上げた構造とした。

第3章は「SRリング用超電導電磁石の磁気設計」と題し、超電導電磁石のコイル群及びその周囲に配置される磁気シールドの磁気設計について述べられている。高磁界化に加えビーム軌道に垂直な面で高均一な磁界を進行方向に沿って広い範囲で得るために、超電導電磁石を構成する主コイル、4極コイル、6極コイルの各パラメータと磁界均一度との関係を明確化し、最適設計を実施した。特に、磁界均一度への影響が大きい主コイルの端部跳ね上げ部の跳ね上げ角度との関係を明確化した。さらに、低漏れ磁界、磁気シールドと超電導コイル間の低電磁力等の諸条件を満足するための最適化を行った。

第4章は「SRリング用超電導磁石の高精度磁界測定装置の開発」と題し、完成後の小型SRリング用超電導電磁石の磁気特性を確認するために使用する高精度磁界分布測定装置について述べられている。実際のビーム軌道は進行方向に沿って曲線部と直線部を有するが、そのビーム軌道にできるだけ沿った形で磁界分布が測定可能な装置を提案し、さらに、磁界測定用ホール素子が

水平面からどの程度傾いているかを測定する方法と低磁界領域の高精度校正方法の提案を行った。また、偏向磁界の鉛直方向からの傾きを 1mrad 以下にするために、ビーム進行方向に沿った傾き分布測定方法の提案と実測結果を述べ、十分な精度を有することを示した。

第 5 章は「SR リング用超電導電磁石の磁気特性評価と長期運転時の信頼性向上」と題し、磁界分布測定装置を用いて、製作された超電導電磁石の磁界測定を行った結果と、安全な長期永久電流運転の実現方法について述べられている。磁界測定により、設計値を満足する高い精度の磁界均一度が確認され、また磁界均一度、2, 4, 6 極磁界成分のビーム進行方向に沿った分布が正確に実測された。さらに、0.5mrad という微小な偏向磁界の傾きの測定に成功した。これらより、この超電導電磁石はビーム蓄積に十分な磁気性能を有することが確認できた。また、安全な長期永久電流運転を実現するため、コイル保護回路のクエンチ検出器を設定する方法を提案し、常温磁気シールドを組み込みみかつ 68H と大きなインダクタンスを有する電磁石として、他に例を見ない 2 年間にわたる永久電流モード下での安全な運転が可能となった。

第 6 章は「SR リング用常電導電磁石の高磁界均一化のための磁界補正」と題し、SR リング直線部に配置する常電導電磁石の磁界補正結果についてまとめられている。4 極、スキュー 4 極常電導電磁石の誤差磁界成分を補正するため、従来法に比べてより簡易でかつ実用的な方法として、鉄製磁極の形状最適化を提案し、実際に補正時間の大幅な短縮を実現した。特に、スキュー 4 極電磁石では初めて磁界補正を実施した。

第 7 章は「ビーム蓄積時の測定に基づく SR リングの総合評価」と題し、完成後の SR リングにおいて、ビーム蓄積時のビーム安定領域、ビーム振動数、ビーム軌道の測定結果について述べられている。これらは、磁界分布測定結果に基づく推定値と良く一致しており、ビーム蓄積に必要な仕様を満足していた。

第 8 章の「結論」では本論文の結論と次世代の電磁石に関する考察が述べられている。

以上を要するに、本論文は、レーストラック型シンクロトン放射 (SR) リングの著しい小型化を実現するため、電子ビーム蓄積に十分な磁気性能を有する小型電磁石群の磁気設計と磁界計測の課題を明らかにしてその解決法を示すとともに、具体的設計と性能試験を行って設計法の有効性を実証し、さらに SR リング用超電導電磁石としてヘリウム蒸発量の大幅な低減を実現した成果をまとめたものであり、電気工学上貢献するところが少なくない。

よって本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。