

Title	Design of a High Temperature Superconducting Magnet for Next Generation Cyclotrons
Author(s)	鎌倉, 恵太
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/72650
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

論文内容の要旨

氏 名 (鎌倉 恵太)

論文題名

Design of a High Temperature Superconducting Magnet
for Next Generation Cyclotrons
(次世代サイクロトロンのための高温超伝導磁石の設計)

論文内容の要旨

高エネルギーで且つ高強度な加速器は、学術研究のみならず医療や産業での利用が拡大しており、それに伴って高い信頼性と省電力化が求められている。本研究ではサイクロトロンの利点である高いエネルギー効率に着目し、少ない運転電力で安定したハイパワーのビーム出力を可能にする世界初の高温超伝導サイクロトロンの開発を目指している。現在までに、直径数~数十cm程度の小型高温超伝導コイルは限られた用途で実用化されているものの、サイクロトロン電磁石として必要とされる数mを超える大型の高温超伝導電磁石は存在していない。そのため、まず1mサイズの高温超伝導電磁石を試作し、その性能評価を行った。プロトタイプ電磁石の励磁に伴うコイルの温度変化を測定し、有限要素法による熱構造解析に用いるパラメータを決定した。また高温超伝導線材特有の磁束クリープによる磁場のドリフトを迅速に収束させる励磁方法を見出し、短時間で磁場を安定化する手法を確立した。次に分離セクター型サイクロトロン電磁石を設計し、高温超伝導メインコイルと補正コイルを用いて形成した等時性磁場により高強度ビームの加速と取り出しが可能であることを粒子軌道解析で立証した。さらにセクター電磁石のメインコイルアセンブリにプロトタイプ電磁石と同様の支持構造を適用しても実用に耐えうる熱特性と磁場性能が十分に実現可能であることを熱構造解析で示し、高温超伝導サイクロトロン電磁石の実用化の見通しを得た。本研究は、革新的なサイクロトロン加速器技術の道を拓くものである。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (鎌倉 恵太)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	福田 光宏
	副 査	教授	久野 良孝
	副 査	教授	能町 正治
	副 査	教授	野海 博之
	副 査	講師	依田 哲彦
論文審査の結果の要旨			
<p>高エネルギー（数百 MeV 以上）で且つ高強度（数百 μA 以上）の加速器は、原子核物理学や核化学・核医学などの学術研究のみならず、医療や産業においても利用が拡大しており、ビームの量と質だけでなく、高い信頼性・安定性・再現性と省電力化が求められている。本研究は、サイクロトロンの特長である高いエネルギー効率に着目し、さらに高温超伝導電磁石が有する大きな温度マージンと低コストの冷却特性を最大限に活かした高い信頼性と省電力性を兼ね備える世界初の高温超伝導サイクロトロンの開発を目指した挑戦的な研究である。</p> <p>これまでに、直径数～数十 cm 程度の小型高温超伝導コイルは限られた用途で開発されているものの、リングサイクロトロンに適用しうる数～10m 級の大型サイズの高温超伝導電磁石は存在していない。そこで、高温超伝導コイルの大型化を実現するための要素技術開発として 1m 級のプロトタイプの高伝導偏向電磁石を試作し、高温超伝導電磁石の励磁特性及び冷却特性を綿密な実験的検証とシミュレーション解析によって明らかにした。この結果を踏まえ、半径方向の長さが 2.8m の K200 リングサイクロトロンの高伝導セクター電磁石の設計に着手し、コイルの大型化に伴う技術的な課題を洗い出した上でコイルが経験する磁場環境下での臨界電流特性の劣化、大型化に伴うコイル温度マージンの変化、コイルに加わる電磁応力による安定性への影響などについて精密な評価を実施し、高温超伝導リングサイクロロン電磁石の実用化の見通しを得た。</p> <p>具体的には、プロトタイプ高温超伝導偏向電磁石の励磁に伴うコイルの温度変化を測定し、有限要素法による熱構造解析に用いる基本パラメータを決定した。また、高温超伝導線材特有の磁束クリープによる磁場のドリフト現象を迅速に収束させる励磁方法を見出し、短時間で $\Delta B/B < 0.001\%$ の磁場の再現性と安定性を達成する手法を確立した。リングサイクロロン電磁石の設計では、高温超伝導メインコイルと補正コイルを用いて形成した等時性磁場により高強度ビームの加速と取り出しが可能であることを粒子軌道解析で立証するとともに、セクター電磁石のメインコイルアセンブリにプロトタイプ電磁石と同様の支持構造を適用し、最大 4kN/m の応力に対しても高性能な熱特性と磁場性能を維持できることを示した。得られた性能試験結果から、高温超伝導コイルを 3m 近いサイズまで大型化しても 8K まで冷却が可能であること、コイルが経験する磁場環境下でのコイル電流安全率は 2.8 で十分に余裕があること、温度マージンは少なくとも 32K 確保できることからクエンチに対する運転上のリスクは十分に低減できることなどを定量的に初めて明らかにした。</p> <p>本研究の成果は次世代の加速器応用ニーズに適合した革新的なサイクロロン加速器技術の道を拓くものであり、その学術的な価値は極めて高い。</p> <p>よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分に価値あるものと認める。</p>			