

(続紙 1)

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	金城 良太
論文題目	Generation and Modeling of Alternating Magnetic Field in Undulator Using Bulk High-Temperature Superconductor with Staggered Array Configuration (高温超伝導バルク磁石を用いたスタガードアレイアンジュレータにおける交番磁場の発生とモデル化)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、相対論的電子ビームが周期交番磁場を通過する時に発生するアンジュレータ放射の短波長化のため、従来のアンジュレータでの達成値を超える短周期・強磁場の発生を目的に、高温超伝導バルク磁石を周期的に配置したスタガードアレイ方式のアンジュレータによる周期交番磁場の発生について、理論的・実験的研究を行った結果をまとめたもので、7章からなっている。</p> <p>第1章は序論で、まず先端科学技術の発展に対するアンジュレータ放射光やそれを利用した自由電子レーザーの有用性を論じると共に、従来方式のアンジュレータを用いた放射光施設の問題点と、短周期・強磁場アンジュレータの導入の必要性について述べ、研究目的と背景を明らかにしている。また、短周期・強磁場の発生を目差した様々な方式のアンジュレータ開発の動向について述べており、特に、高温超伝導体をアンジュレータに用いる際の課題を論じ、交番磁場発生の実証とそのモデル化が必要であることを述べている。さらに、本論文全体の構成について述べている。</p> <p>第2章では、まず、アンジュレータ放射や自由電子レーザーの原理と、これらの放射光の特性とアンジュレータで発生する交番磁場の振幅や周期長との関係について理論的背景を説明している。次に、第二種超伝導体の着磁の原理と、その際に超伝導体内に発生するループ電流を記述する理論モデルを説明し、提案している高温超伝導バルク磁石を用いたスタガードアレイアンジュレータによる周期交番磁場の発生の原理を述べ、従来方式のアンジュレータと比較した特徴を論じている。</p> <p>第3章では、高温超伝導バルク磁石を用いたスタガードアレイアンジュレータにより発生する周期交番磁場を解析的に記述し、その基本的な特性を明らかにしている。すなわち、周期的に配置した無限個の第二種超伝導体の着磁過程について、超伝導体内に発生するループ電流の分布が一様であると仮定した上で第二種超伝導体に対する臨界電流モデルを適用することで、着磁後に発生する交番磁場振幅を記述する解析解を導出している。この解析式を用いて、超伝導体の形状パラメータや着磁用ソレノイドの電流、第二種超伝導体の特性である臨界電流密度に対する交番磁場振幅の依存性を明らかにしている。また、アンジュレータ放射の波長制御に必要となる着磁後の交番磁場振幅の制御について、着磁後のソレノイド電流の変更に</p>			

よる磁場振幅の変化にヒステリシスが存在することを明らかにした上で、ソレノイド電流による磁場振幅制御の可能性を示している。

第4章では、高温超伝導バルク磁石を用いたスタガードアレイアンジュレータの試作機を超伝導ソレノイドを用いて着磁し、発生した交番磁場の測定を行っている。その結果、従来方式のアンジュレータを超える振幅の交番磁場の発生に成功するとともに、着磁用ソレノイドの電流の変更により着磁後も磁場振幅を広範囲に制御可能であることを実証している。

第5章では、第3章の解析モデルを拡張し、有限周期数の配列における個々の高温超伝導バルク磁石の着磁の不均一性や、磁石の三次元形状を取り扱える数値解析モデルを提案している。着磁により高温超伝導バルク磁石内に発生するループ電流の分布を決定するエネルギー最小化法を適用して、一様分布を仮定した場合と計算結果を比較し、磁石内のループ電流の分布がアンジュレータの磁場特性に与える影響を論じている。

第6章では、まず、第5章の数値解析コードを第4章の試作機に適用して、測定結果を精度良く再現することに成功するとともに、一様分布を仮定した数値解析結果とも比較することで、アンジュレータの解析において個々の高温超伝導バルク磁石内のループ電流の分布を考慮することが重要であることを示している。次に、数値解析により明らかにした磁石内のループ電流分布が交番磁場振幅に与える影響を定式化して、第3章で導いた理論解析式に導入することで、広範な設計パラメータでの交番磁場振幅を予測可能な半経験式を導出している。さらに、この半経験式を用いて、高温超伝導バルク磁石を用いたスタガードアレイアンジュレータで発生可能な周期交番磁場強度を評価している。

第7章は結論であり、高温超伝導バルク磁石を用いたスタガードアレイアンジュレータにおける交番磁場の発生とモデル化に関して本研究で得られた結果を要約している。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、先端科学技術の発展に供するアンジュレータ放射光の短波長化のため、新型アンジュレータによる交番磁場の発生とモデル化を目差した研究の成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 従来のアンジュレータでの達成値を超える短周期・強磁場の発生を目指し、高温超伝導バルク磁石を周期的に配置したスタガードアレイ方式のアンジュレータを提案した。発生する周期交番磁場を、第二種超伝導体に対する臨界電流モデルに基づき解析的に記述し、磁石の形状パラメータや着磁用ソレノイドの電流に対する交番磁場振幅の依存性を明らかにした。
2. 提案方式による試作機を製作して実験を行い、従来方式を超える振幅の交番磁場の発生に成功するとともに、着磁用ソレノイドの電流により着磁後も磁場振幅を広範囲に制御可能であることを実証した。
3. 構築した理論モデルに基づく数値解析コードを開発し、実験結果を精度良く再現することに成功するとともに、高温超伝導バルク磁石内の電流分布を適切に決定する解析モデルの適用が磁場発生特性の再現に重要であることを見出した。
4. 数値解析により明らかにした高温超伝導バルク磁石内の電流分布が交番磁場振幅に与える影響を定式化して理論解析式に導入することで、広範な設計パラメータでの発生磁場強度を予測可能な半経験式を導出した。
5. 以上の研究成果を元に、提案方式によるアンジュレータで発生可能な周期交番磁場強度を評価し、同じ周期長の従来方式と比較して 2 倍程度の強磁場の発生が十分可能であることを示した。

以上、本論文は、高温超伝導バルク磁石を用いた周期交番磁場の発生について理論、実験両面で基礎的研究を行い新たな知見を得ている。また、提案したスタガードアレイ方式の高温超伝導バルク磁石アンジュレータが、従来の達成値を超える短周期・強磁場を発生可能で、新たな方式のアンジュレータとして有望であることを示すなど、学術上・實際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成26年1月24日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文の全文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： _____ 年 _____ 月 _____ 日以降