

(論文内容の要旨)

本論文は、放射光施設の放射光発生装置である挿入光源の永久磁石が、強い放射線により磁力を失う放射線減磁現象を研究したもので、7章からなっている。

第1章は序論であり、本研究の背景、目的および論文の構成について述べ、放射光挿入光源における放射線減磁研究の意義を明確にしている。

第2章はこれまでの放射線減磁研究の問題点と課題、放射線減磁を理解する上で助けとなる放射線、永久磁石の性質について概説している。

第3章はこれまでの放射線減磁モデルの問題点を検討し、新しい放射線減磁モデルを提案している。本モデルは放射線からのエネルギー移動の違いにより、放射線減磁は「広域エネルギー吸収放射線減磁機構」と「微小領域エネルギー放出放射線減磁機構」の二つの機構が複合して起こるものである。広域エネルギー吸収放射線減磁機構は以下の過程で起こる。(1) 電子、 γ 線により磁石原子の電子系にエネルギーが付与されることによる電離・励起これに伴う磁石の温度上昇などが起こり、広い範囲で磁石スピンの乱れ、結晶粒全体の磁化や保磁力が低下する。(2) 磁気異方性の小さな粒界や欠陥で磁化反転核が発生し、反転領域が広がる。この磁石スピンの乱れによる一連の減磁現象は、熱エネルギーでスピンの乱れ減磁が起こる熱減磁に似ている。一方、微小領域エネルギー放出放射線減磁機構は以下の過程で起こる。(1) 高エネルギー中性子が磁石の原子と弾性的・非弾性的相互作用を起こし、極微小領域に高エネルギーを放出する。(2) 極微小領域での瞬間的なエネルギー放出が熱スパイク的な高温の発生や核変化を起こし、エネルギーが放出された微小領域を中心とした磁気的変化により磁化反転が起こり、この領域が十分大きければ磁化反転核が生成される。(3) 磁化反転核は保磁力の小さな粒界でも、保磁力の大きな粒内でも同じように起こる。(4) 磁化反転核周囲の保磁力が十分大きな場合は、反転磁壁が広がらず磁化反転が進まない場合も起こりうる。これらの機構は、磁石の性質により影響の受け方が異なる。保磁力が大きな磁石や熱減磁開始温度が高い磁石では、広域エネルギー吸収放射線減磁機構の影響が小さく、微小領域エネルギー放出放射線減磁機構の影響が大きくなる。一方、保磁力が小さな磁石や熱減磁開始温度が低い磁石では両方の機構の影響を同時に受ける。

第4章は実験方法を示している。実験を行った大韓民国浦項加速器研究所ライナックおよびSpring-8シンクロトロンにおける実験の概要、用いた磁場計測システム、クライオスタットについて述べている。

第5章は広域エネルギー吸収放射線減磁機構に関する実験について議論している。

(1) 高温下での熱ゆらぎによる磁石スピンの乱れが原因で起こる経時変化を低減させる工業的手法である「安定化処理」が、放射線減磁に対しても低減効果があることを熱減磁と逆磁場印可の二種類の異なる「安定化処理」の手法を用い確認している。これらのことより、放射線による磁石スピンの乱れが原因で起こる減磁が熱ゆらぎによる磁石スピンの乱れと類似の現象として考察できることを示している。また、スピンの乱れを起こす熱ゆらぎが起きている温度を推定している。

(2) 磁石内の反磁場を表すパーミアンス係数が異なる磁石における放射線減磁の起こり方の違いから、放射線によるスピンの乱れに相当する熱ゆらぎが起きている温度を推定している。

(3) 熱減磁開始温度（保磁力）の異なる $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 磁石における放射線減磁の起こり方を比較することにより熱ゆらぎが起きている温度を推定している。これら別方法で求めた熱ゆらぎが起きている温度はよい一致を示し、放射線減磁の原因の一つとして広域エネルギー吸収放射線減磁機構が関係していることを確認している。

第6章は微小領域エネルギー放出放射線減磁機構に関する実験について議論している。

(1) 熱減磁開始温度が高く広域エネルギー吸収放射線減磁機構が起こりにくい耐熱磁石 SmCo_5 磁石、 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 磁石に放射線減磁が起こることより、微小領域エネルギー放出放射線減磁機構について議論している。

(2) 低温下での照射を行い、熱ゆらぎによる磁石スピンの乱れを低減した場合にも放射線減磁が起こることより、微小領域エネルギー放出放射線減磁機構について議論している。

(3) 照射電子線エネルギーおよびターゲット依存性実験とモンテカルロ粒子輸送計算コード FLUKA を組み合わせ、放射線減磁と放射線の挙動を比較し、安定化熱処理した $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 磁石の放射線減磁は、高エネルギー光中性子による相互作用発生と関係しており、「弾性衝突+スター密度」の計算が放射線減磁の予測指標として用いることができることを示している。

第7章は、本研究を総括し、今後の研究課題について示している。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、放射光施設や X 線自由電子レーザーの放射光発生装置である挿入光源で使用される永久磁石が、強い放射線により磁力を失う放射線減磁現象のメカニズムの探求と有効な防御対策の見通しを得ることを目標に研究した成果についてまとめたものである。得られた主な成果は次のとおりである。

1. これまで、放射線減磁のメカニズムを十分に説明するモデルは構築されていなかったが、放射線からのエネルギー移動の違いにより「広域エネルギー吸収放射線減磁機構」と「微小領域エネルギー放出放射線減磁機構」の二つの機構が複合的に働く新しい放射線減磁モデルを提案している。
2. これまで存在していなかった、放射光挿入光源用永久磁石で問題となる GeV クラスのエネルギーの電子線照射実験データを初めて取得している。
3. 新しいモデルの二つの機構それぞれの特徴を示す現象が種々の実験で観察されることを示している。
4. 放射線減磁の照射電子エネルギー依存性実験とモンテカルロ粒子輸送計算コード FLUKA による放射線挙動シミュレーションにより、放射線減磁は、高エネルギー光中性子による弾性・非弾性相互作用の発生と関係しており、「弾性衝突+スター密度」の計算が放射線減磁の予測指標として用いることができることを示している。
5. これらの結果から、磁石性質（保磁力・安定化处理）、環境（低温）、遮蔽材（スター密度評価）などを利用した有効な放射線減磁防御対策についての見通しを得ている。

本論文は、永久磁石の放射線による磁力の低下(減磁)に関する新しいモデルを提唱し、減磁に関する新規データを取得し、この結果を用いた放射線減磁防御対策を提案するなど、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（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 21 年 4 月 22 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。