

氏名(本籍)	山本健一(広島県)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	甲第54号
学位授与年月日	平成8年3月25日
専攻	電子情報システム工学専攻
学位論文題目	弾性領域の応力下における軟質磁性材料の磁化特性に関する研究
学位論文審査委員	(主査) 教授 佐々木 堂 (副査) 教授 嶋川 晃一 教授 村井 由宏 助教授 近藤 明弘

### 論文内容の要旨

本論文は、軟質磁性材料が消磁直後あるいは初磁化曲線上の磁化状態にある場合に、外部から弾性領域内の応力変化を与えることによって生じる、直流磁化特性の異常変化を測定し、その発生原因について検討したものである。

軟質磁性材料の磁化特性は、材料の磁気ひずみ定数と外部応力の積に比例する磁気弾性エネルギーによって磁氣的異方性を生じ、その結果を受けて大きく変化する。こうした磁化特性の変化が一般に応力磁気効果であると理解されており、多くの場合、この理解は正しい。しかし、外部応力が磁気異方性を生成すると考えるだけでは理解できない現象もあり、それらは磁界応力効果及び消磁応力効果と呼ばれている。これらは、一定磁界下又は消磁後印加応力を変化させると、応力の種類や磁気ひずみ定数の正負に無関係に、初磁化曲線上で磁化上昇をもたらすが、その応力変化が成された磁化サイクルのみに観察される現象である。これらの応力磁気効果の磁化機構を解明することにより、既知の応力効果と併せて、軟質磁性材料の磁化特性に及ぼす応力効果の全容を理解することを目的に本研究は行われている。

軟質磁性材料の典型として、結晶異方性のない鉄基アモルファス薄帯と結晶異方性の大きい珪素鋼板を対象として以下に示す検討を行っている。

第1章では、序論と珪素鋼板について実施した磁界応力効果の測定結果を纏めている。

第2章では、アモルファス薄帯の磁界応力効果を検討し、その応力-磁化曲線が可逆と非可逆磁化変化に分離できることを見いだしている。可逆磁化変化は応力の種類と磁気ひずみ定数に依存して変化し、高い磁化領域及び大きい応力変化の時顕著に現れ、簡単なモデル計算によって、これは応力によるトルクを受けて磁化ベクトルが回転することによって生じることを明らかにした。非可逆磁化変化は低応力変化及び低磁界下で常に磁化上昇として現れ、可逆磁化

変化に要するエネルギーを差し引いた磁気弾性エネルギーを換算した異方性磁界によって定量的に説明できることを示した。以上の関係は珪素鋼板においても全く同様に成立している。

第3章では、アモルファス薄帯の消磁応力効果を検討したが、応力のみによって磁区構造が決まるこの材料では、消磁直後の磁区構造が応力変化によって全面的に変化するため、この効果が現れないことを見いだした。例外的に現れる場合の磁化曲線の分析と磁区図形観察から、この効果は非可逆磁化率のみの変化であり、磁壁エネルギーの消失か磁壁のピンングに原因があると推定している。

第4章では、珪素鋼板における消磁応力効果は非可逆磁化率の変化に帰結することを明らかにした。磁区観察によると、例外的に弱くピンングされている主磁区の一部が応力変化によって形を変えると、静磁エネルギーを補償するために周辺の補助磁区の形と位置が変化し、これが磁界下での主磁区の大きな移動を可能にしている。磁化を繰り返すと、諸磁区は安定位置に落ち着き異常性は失せる。現象のトリガがピンングにあるため、一般に量を表す表現はできないと結論している。

第5章は結論であり、上述の結果を纏めている。

以上のように、本論文は従来理解されていなかった応力磁気効果を実験的に解明し、全体として本研究の目的を達したものである。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、軟質磁性材料が消磁直後あるいは初磁化曲線上の磁化状態にある場合に、外部から弾性領域内の応力変化を与えることによって生じる、直流磁化特性の異常変化を測定し、その発生原因について検討したものである。

軟質磁性材料の磁化特性は、材料の磁気ひずみ定数と外部応力の積に比例する磁気弾性エネルギーによって磁氣的異方性を生じ、その結果を受けて大きく変化する。こうした磁化特性の変化が一般に応力磁気効果であると理解されており、多くの場合、この理解は正しい。しかし、外部応力が磁気異方性を生成すると考えるだけでは理解できない現象もあり、それらは磁界応力効果及び消磁応力効果と呼ばれている。これらは、一定磁界下又は消磁後印加応力を変化させると、応力の種類や磁気ひずみ定数の正負に無関係に、初磁化曲線上で磁化上昇をもたらすが、その応力変化が成された磁化サイクルのみに観察される現象である。これらの応力磁気効果の磁化機構を解明することにより、既知の応力効果と併せて、軟質磁性材料の磁化特性に及ぼす応力効果の全容を理解することを目的に本研究は行われている。

軟質磁性材料の典型として、結晶異方性のない鉄基アモルファス薄帯と結晶異方性の大きい珪素鋼板を取り上げている。

まず、アモルファス薄帯の磁界応力効果を検討し、その応力-磁化曲線が可逆と非可逆磁化変化に分離できることを見いだしている。可逆磁化変化は応力の種類と磁気ひずみ定数に依存して変化し、高い磁化領域及び大きい応力変化の時顕著に現れ、簡単なモデル計算によって、これは応力によるトルクを受けて磁化ベクトルが回転することによって生じることを明らかにした。非可逆磁化変化は低応力変化及び低磁界下で常に磁化上昇として現れ、可逆磁化変化に要するエネルギーを差し引いた磁気弾性エネルギーを換算した異方性磁界によって定量的に説明できることを示した。以上の関係は珪素鋼板においても全く同様に成立している。

次いで、アモルファス薄帯の消磁応力効果を検討したが、応力のみによって磁区構造が決まるこの材料では本来この効果が現れないことを見いだした。例外的に現れる場合の磁区図形観察から、この効果は磁壁エネルギーの消失か磁壁のピンニングに原因があると推定している。

更に、珪素鋼板における消磁応力効果は非可逆磁化率の変化に帰結することを明らかにした。磁区観察によると、例外的に弱くピンニングされている主磁区の一部が応力変化によって形を変えると、静磁エネルギーを補償するために周辺の補助磁区の形と位置が変化し、これが磁界下での主磁区の大きな移動を可能にしている。磁化を繰り返すと、諸磁区は安定位置に落ち着き異常性は失せる。現象のトリガがピンニングにあるため、一般に量を表す表現はできないと結論している。

以上のように、本論文は従来理解されていなかった応力磁気効果を実験的に解明し、研究の目的を達し、学術上及び応力磁気効果の応用の発展上資するところが大きいと考えられる。よって、本論文は博士（工学）の学術論文としての価値があるものと判定した。