



| | |
|--------------|---|
| Title | 振動発電エナジー・ハーベスティング用の逆磁歪材料の開発 |
| Author(s) | 岡田, 拓 |
| Citation | 大阪大学, 2025, 博士論文 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://doi.org/10.18910/101684 |
| rights | |
| Note | |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論文内容の要旨

| | |
|---|----------------------------|
| 氏名 (岡田 拓) | |
| 論文題名 | 振動発電エナジーハーベスティング用の逆磁歪材料の開発 |
| 論文内容の要旨 | |
| <p>逆磁歪効果を利用した振動発電は振動発電エナジーハーベスティングとして期待されている。Fe-Ga合金単結晶は逆磁歪材料として優れた特性を示す。しかし、Fe-Ga合金単結晶の性能は理論限界に近づいている。本研究では、磁歪定数以外のパラメータに着目し、新規逆磁歪材料の開発に取り組んだ。</p> <p>第2章では、方向性電磁鋼板と呼ばれるFe-Si基合金を用いた大型デバイスについて検討した。方向性電磁鋼板とは圧延方向に磁化容易軸<100>が配向した磁性材料で、大型製造技術が確立している。振動発電試験を行った結果、方向性電磁鋼板は応力方向に<100>が配向した試料において発電特性が優れており、透磁率が重要であることが示唆された。この試料を使用した全長約4 cmのデバイスを基準とし、逆磁歪式振動発電における大型化の効果を検証した。デバイスの寸法をアスペクト比一定で4倍にしたことで平均電力はそ143倍となった。また、デバイス寸法をX倍にすると、基準デバイスにより決定する定数Dを用いて、平均電力はDX³倍となることを示した。したがって、振動発電デバイスの大型化は出力電力を向上させる効果的な手法であり、方向性電磁鋼板は大型化用の逆磁歪材料として有望である。</p> <p>第3章では、逆磁歪効果を評価するために、磁気弾性特性の評価システムを開発した。引張試験機およびソレノイドコイルで構成した本評価システムによって、Fe-70 at. %Co合金の磁場および応力印加に対する磁歪ひずみや磁束密度の応答を測定した。一定磁場印加中の応力-ひずみ曲線および一定応力印加中の磁歪曲線から、磁歪ひずみの応力依存性が得られ、これらの磁歪ひずみはよく一致した。また、本評価システムにより、同一試料の磁化変化を同一の実験装置で間接測定（一定応力中に磁場印加）と直接測定（一定磁場中に応力印加）により評価した。熱処理した試料では間接測定と直接測定の大きな違いはなかったが、圧延ままの試料の磁化変化は間接測定と直接測定で差が生じた。また、間接測定の結果から、反磁場係数を小さくするほど、磁化変化が大きいことが示された。このように、本評価システムは逆磁歪材料を多角的に評価できる。</p> <p>第4章では、発電デバイスが動作すると、どの程度の応力や磁場が試料に生じるか有限要素用により計算した。先端変位が1.0 mm下に押し込まれると、最大166 MPaの引張応力が印加されると計算された。また、試料をU字部分に沿わしたモデルを考案し、試料に印加される応力が増加することを示した。また、ユニモルフU字型デバイスにおける磁場の分布も計算した。第2章の振動発電試験の結果と併せると、方向性電磁鋼板で磁化変化が最大となる印加磁場は約200 A/mであると予想された。また、U字状試料および非磁性フレームを使用することで、バイアス磁場が増加しやすいことが示された。したがって、U字状試料および非磁性フレームのデバイスが有望である。</p> <p>第5章では、これまでの結果を複合して逆磁歪材料の開発を行った。Fe系アモルファス薄帯であるMetglas 2605HB1Mを使用することで、U字状試料および非磁性フレームのデバイスを実現した。振動発電試験の結果から、U字状試料および非磁性フレームのデバイスでは、安価なフェライト系磁石によるバイアス磁場により磁化変化が最大値を示した。低バイアス磁場で駆動することで、漏洩磁場の低減が期待される。Fe系アモルファス薄帯にCoを添加することで磁歪定数を増加させ、振動発電特性の向上を目指した。Co添加量xを0.00、0.05、0.10、0.20とした $(Fe_{1-x}Co_x)_{78}Si_8B_{14}$ アモルファス薄帯を用いた振動発電試験から、xが0.05において磁束密度変化が最も大きくなった。第3章で確立した逆磁歪効果の評価からは、磁化変化の応力依存性を求めた。この結果からも、x = 0.05において応力に対する磁化変化の増加が最も大きくなることを示し、Coを0.05添加したFe系アモルファス薄帯は、低バイアス磁場で駆動する振動発電デバイスの逆磁歪材料として有望である。</p> <p>本研究では、磁歪定数以外のパラメータに着目して逆磁歪材料の開発に取り組んだ。透磁率とデバイス寸法に着目し、方向性電磁鋼板を用いた大電力を発生可能な大型デバイスを提案した。さらに、透磁率、反磁場係数、逆磁歪材料に働く応力および磁場に着目し、Fe系アモルファス薄帯を用いた低バイアス磁束で駆動するデバイスを提案した。このように、振動発電で重要なパラメータを明らかにし、条件次第でFe-Ga合金単結晶の性能を上回る逆磁歪材料を開発した。これにより、次世代電力源である逆磁歪効果を利用した振動発電のさらなる発展が期待される。</p> | |

論文審査の結果の要旨及び担当者

| | |
|-------------|-----------------------------------|
| 氏名 (岡田 拓) | |
| | (職) |
| 論文審査担当者 | 主査 教授 中川 貴 |
| | 副査 教授 倉敷 哲生 |
| | 副査 准教授 清野 智史 |
| | 副査 教授 藤枝 俊 (島根大学・先端マテリアル研究開発協創機構) |

論文審査の結果の要旨

逆磁歪効果を利用した振動発電は振動発電エナジーハーベスティングとして期待されている。Fe-Ga合金単結晶は逆磁歪材料として優れた特性を示す。しかし、Fe-Ga合金単結晶の性能は理論限界に近づいている。本研究では、磁歪定数以外のパラメータに着目し、新規逆磁歪材料の開発に取り組んでいる。

第2章では、方向性電磁鋼板と呼ばれるFe-Si基合金を用いた大型デバイスについて検討している。方向性電磁鋼板とは圧延方向に磁化容易軸<100>が配向した磁性材料で、大型製造技術が確立している。振動発電試験を行った結果、方向性電磁鋼板は応力方向に<100>が配向した試料において発電特性が優れており、透磁率が重要であることが示唆されている。この試料を使用した全長約4 cmのデバイスを基準とし、逆磁歪式振動発電における大型化の効果を検証している。デバイスの寸法をアスペクト比一定で4倍にしたことで平均電力はそ143倍となっている。また、デバイス寸法をX倍にすると、基準デバイスにより決定する定数Dを用いて、平均電力はDX³倍となることを示している。したがって、振動発電デバイスの大型化は出力電力を向上させる効果的な手法であり、方向性電磁鋼板は大型化用の逆磁歪材料として有望であるとしている。

第3章では、逆磁歪効果を評価するために、磁気弾性特性の評価システムを開発している。引張試験機およびソレノイドコイルで構成した本評価システムによって、Fe-70 at. %Co合金の磁場および応力印加に対する磁歪ひずみや磁束密度の応答を測定している。一定磁場印加中の応力-ひずみ曲線および一定応力印加中の磁歪曲線から、磁歪ひずみの応力依存性が得られ、これらの磁歪ひずみはよく一致している。また、本評価システムにより、同一試料の磁化変化を同一の実験装置で間接測定（一定応力中に磁場印加）と直接測定（一定磁場中に応力印加）により評価している。熱処理した試料では間接測定と直接測定の大きな違いはなかったが、圧延ままの試料の磁化変化は間接測定と直接測定で差が生じている。また、間接測定の結果から、反磁場係数を小さくするほど、磁化変化が大きいことが示されている。このように、本評価システムは逆磁歪材料を多角的に評価できる。

第4章では、発電デバイスが動作すると、どの程度の応力や磁場が試料に生じるか有限要素用により計算している。先端変位が1.0 mm下に押し込まれると、最大166 MPaの引張応力が印加されると計算されている。また、試料をU字部分に沿わしたモデルを考案し、試料に印加される応力が増加することを示している。また、ユニモルフU字型デバイスにおける磁場の分布も計算した。第2章の振動発電試験の結果と併せると、方向性電磁鋼板で磁化変化が最大となる印加磁場は約200 A/mであると予想されている。また、U字状試料および非磁性フレームを使用することで、バイアス磁場が増加しやすいことが示されている。したがって、U字状試料および非磁性フレームのデバイスが有望であると述べられている。

第5章では、これまでの結果を複合して逆磁歪材料の開発を行っている。Fe系アモルファス薄帯であるMetglas 2605HB1Mを使用することで、U字状試料および非磁性フレームのデバイスを実現している。振動発電試験の結果から、U字状試料および非磁性フレームのデバイスでは、安価なフェライト系磁石によるバイアス磁場により磁化変化が最大値を示している。低バイアス磁場で駆動することで、漏洩磁場の低減が期待される。Fe系アモルファス薄帯にCoを添加することで磁歪定数を増加させ、振動発電特性の向上を目指している。Co添加量xを0.00、0.05、0.10、0.20とした $(Fe_{1-x}Co_x)_{78}Si_8B_{14}$ アモルファス薄帯を用いた振動発電試験から、xが0.05において磁束密度変化が最も大きくなっている。第3章で確立した逆磁歪効果の評価からは、磁化変化の応力依存性を求めている。この結果からも、x = 0.05において応力に対する磁化変化の増加が最も大きくなることを示し、Coを0.05添加したFe系アモルファス薄帯は、低バイアス磁場で駆動する振動発電デバイスの逆磁歪材料と有望である。

本研究では、磁歪定数以外のパラメータに着目して逆磁歪材料の開発に取り組んでいる。透磁率とデバイス寸法に着目し、方向性電磁鋼板を用いた大電力を発生可能な大型デバイスを提案している。さらに、透磁率、反磁場係数、逆磁歪材料に働く応力および磁場に着目し、Fe系アモルファス薄帯を用いた低バイアス磁束で駆動するデバイスを提案している。このように、振動発電で重要なパラメータを明らかにし、条件次第でFe-Ga合金単結晶の性能を上回る逆磁歪材料を開発している。

以上のように、本論文は次世代電力源である逆磁歪効果を利用した振動発電用デバイスを、理論的に検討し、実験的に検証して工学的に非常に有用な結論を導いている。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。