

新しい振動発電デバイス：垂直磁界アシスト式電磁誘導型振動発電デバイス

大竹充・中村優太・石川瑛士・川井哲郎・二本正昭
(横浜国大)

New Vibration Powered Generator: Perpendicular Magnetic Field Assisted Electromagnetic Vibration Powered Generator

Mitsuru Ohtake, Yuta Nakamura, Eishi Ishikawa, Tetsuroh Kawai, and Masaaki Futamoto

(Yokohama Nat. Univ.)

はじめに 環境発電デバイスは、IoTデバイスなどの自立型電源への適用に向けて注目されている。振動発電には、電磁誘導型に加え、圧電型や静電誘導型があるが、電磁誘導型は内部抵抗が小さく、高出力化が可能で、また、耐久性が高く、動作可能温度域が広いという特徴がある。本講演では、電磁誘導型の更なる高出力化を可能にさせ、また、使用できる磁性材料の選択幅を拡大させる新たな方式を開発したため、その基本原理とデバイス構造を説明する。

発電原理 本方式では、片持ち梁状の磁性材料を使用する。磁性材料は、梁長手方向に良好な軟磁気特性を持つことが好ましいが、結晶配向の有無は問わず、多結晶や非晶質材料でも使用できる。重要なことは、梁に垂直磁界を印加することである。振動前の梁に印加される磁界の面内成分はゼロであるが、振動による梁のたわみは Fig. 1 に示すように面内成分を発生させる。また、振動により、面内磁界は梁の長手方向に沿って正負で変化することになり、この磁界が磁性材料の磁化を反転させる。そして、梁の周りにコイルを設置することにより、磁束変化が検出され、出力が得られる。

出力特性 Fig. 2 は、梁として無方向性珪素鋼板 (50 mm × 10 mm × 350 μm) を用い、長手方向の端から 10 mm の部分までを固定することにより片持ちの状態にし、発電コイル (抵抗: 1.2 kΩ, 巻数: 8000 回, 最内径: 幅 12 mm × 高さ 16 mm, 全長: 40 mm) を挿入し、梁のみを振動試験機を用いて強制振動させたときの出力特性の例である。このときの振動の加速度は 1.5 G で一定とし、垂直磁界はヘルムホルツコイルを用いることにより印加した。印加磁界の増加に伴い、梁内の磁束変化速度も増加するため、より大きな出力が得られている。この実験条件では、450 Oe の垂直磁界で、13.6 V の出力となっている。

デバイス構造 本方式をデバイスとして構成する際の一例として、永久磁石の使用が考えられる。Fig. 3 は、永久磁石の設置場所 (Fig. 3(a)) による梁の長手方向の垂直磁界の強度分布 (Fig. 3(b)) と設置場所を変えた場合における出力特性 (Fig. 3(c)) の例である。自由端近傍に永久磁石を設置することにより、効率的に梁に面内磁界が印加され、大きな出力が得られていることが分かる。

1) 大竹充, 川井哲郎, 二本正昭「発電装置」特願 2022-086851 (2022年5月27日)。

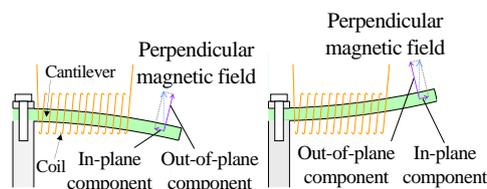


Fig. 1 Cross-sectional schematic diagram of a perpendicular magnetic field assisted electromagnetic vibration powered generator.

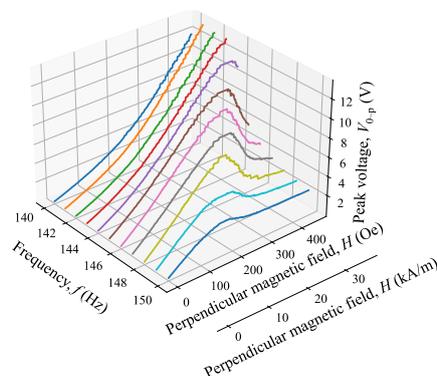


Fig. 2 Perpendicular magnetic field dependences of peak voltages of a powered generator vibrated at different frequencies.

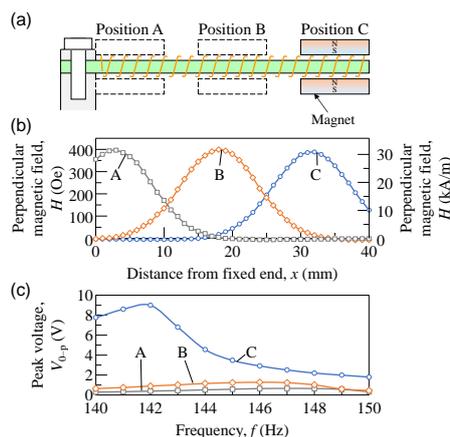


Fig. 3 (a) Cross-sectional schematic diagram of a perpendicular magnetic field assisted vibration powered generator using a pair of permanent magnets. (b) Distributions of perpendicular magnetic field and (c) frequency dependences of peak voltage of powered generators where permanent magnets are set at positions shown in (a).

垂直磁界アシスト式および逆磁歪式電磁誘導型振動発電デバイスの梁形状が衝撃による出力特性に及ぼす効果

神谷颯・石川瑛士・明田俊祐・中村優太・大竹充・川井哲郎・二本正昭
(横浜国大)

Effect of Beam shape on the Shock-Induced Output Characteristics of Perpendicular Magnetic Field Assisted and Inverse Magnetostrictive Electromagnetic Vibration Powered Generators

Soh Kamiya, Eishi Ishikawa, Shunsuke Aketa, Yuta Nakamura,

Mitsuru Ohtake, Tetsuroh Kawai, Masaaki Futamoto

(Yokohama Nat. Univ.)

はじめに 垂直磁界アシスト式¹⁾および逆磁歪式²⁻⁴⁾の電磁誘導型振動発電デバイスでは、磁性体梁材料が用いられる。通常、振動発電で効率的に出力を得るためには、振動と梁の共振周波数を合わせる必要がある。一方、衝撃により発電を行う場合、振動よりも共振周波数が高い梁材料も使用可能である。一般に、短い梁材料を用いると、周囲に設置するコイルの巻数が減少してしまうが、一方で、共振周波数が上昇するため、磁束の時間変化量が多くなるというメリットもある。本研究では、梁とコイルの長さを系統的に変化させ、衝撃による垂直磁界アシスト式および逆磁歪式の発電試験を行い、発電に適する梁形状の検討を行った。

実験方法 梁材料には無方向性珪素鋼板を用いた。幅と厚さはそれぞれ 10 mm と 350 μm で一定とし、長さを $L_{\text{beam}} = 28$ から 60 mm の間で変化させた。そして、長手方向の端から 10 mm の部分までを固定することにより片持ち梁の状態とした。発電コイルの最内径は幅 12 mm \times 高さ 16 mm、長さは $L_{\text{coil}} = L_{\text{beam}} - 20$ mm とし、単位長さ当たりの巻き数は 200 回/mm で一定とした。Fig. 1 にこれらの関係を纏めたものを示す。そして、コイルから僅かにはみ出た自由端の先端に変位を与えることで、衝撃による発電試験を行った。このとき、バイアス磁界を、垂直磁界アシスト式では垂直方向に、逆磁歪式では長手方向に、ヘルムホルツコイルを用いて印加した。

実験結果 Fig. 2(a)に長さ 60 mm の梁（振動部は 50 mm）に対して 6 mm の変位を与えることにより得られた垂直磁界アシスト式での出力波形を示す。瞬間的に 18.2 V の大きな出力が得られていることが分かる。また、梁の振動が共振周波数で減衰していくため、それに伴い出力電圧も減衰していくことが分かる。Fig. 2(b)に無方向性ケイ素鋼板の磁化曲線を示す。梁は減衰振動中、面内方向に正負の磁界が交互にかかり、磁化が反転されることで、磁束変化が検出され、出力が得られる。振幅の減衰に伴い、面内方向の磁界の変化域およびそれによる磁化の変化域が小さくなって、出力電圧が減少していることが考えられる。Fig. 3 に全長が 28 mm と 60 mm の試料に垂直磁界アシスト式で 400 Oe の磁界を印加したときの最大出力電圧の変位依存性を示す。変位の増加に伴い、最大出力電圧は増大している。一方、28 mm の試料では、磁性体の体積や検出コイルの巻数が 1/5 に減少しているにもかかわらず、60 mm の試料の 1/3 以上の出力が得られている。当日は、逆磁歪式の場合も含め、梁形状が振動と発電特性に与える効果について詳細に報告する。

- 1) I. Kanno: *J. Surf. Finish. Soc. Jpn.*, **67**, 16 (2016).
- 2) Z. Yang, K. Nakajima, R. Onodera, T. Tayama, D. Chiba, F. Narita: *Appl. Phys. Lett.*, **112**, 073902 (2018).
- 3) T. Ueno and S. Yamada: *IEEE Trans. Magn.*, **47**, 2407 (2011).

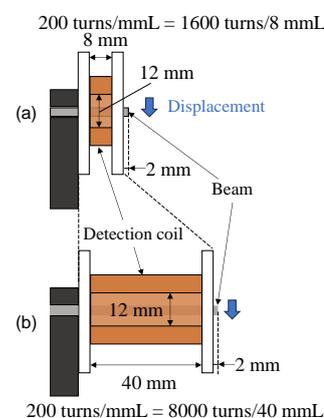


Fig. 1 Schematic diagrams showing positional relationships between beams and coils with different lengths.

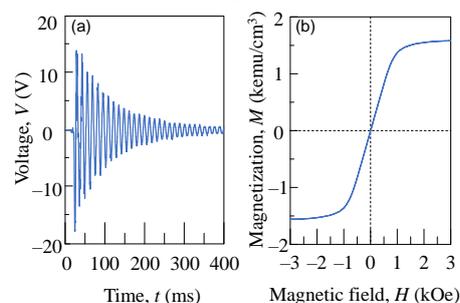


Fig. 2 (a) Output voltage waveform and (b) magnetization curve of non-oriented silicon steel plate.

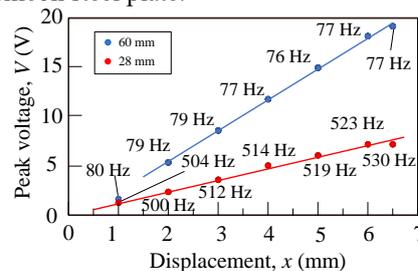


Fig. 3 Displacement dependences of peak voltages.

垂直磁界アシスト式および逆磁歪式電磁誘導型振動発電デバイスの磁性体梁中の磁束変化挙動の解析

石川瑛士・大竹充・中村優太・川井哲郎・二本正昭
(横浜国大)

Analysis of Magnetic Flux Variation Behavior in Magnetic Beams

of Perpendicular Magnetic Field Assisted and Inverse Magnetostrictive Electromagnetic Vibration Powered Generators

Eishi Ishikawa, Mitsuru Ohtake, Yuta Nakamura, Tetsuroh Kawai, and Masaaki Futamoto

(Yokohama Nat. Univ.)

はじめに 電磁誘導型振動発電の方式として、逆磁歪式¹⁻³⁾に加え、最近、著者らが開発した垂直磁界アシスト式⁴⁾がある。いずれの方式も、磁性体を含む梁を片持ち状態にし、磁性体内の磁束変化を梁周囲に設置したコイルにより検出し、出力を得る。また、梁に対して、垂直磁界アシスト式では垂直方向、逆磁歪式では長手方向にバイアス磁界を印加する。各方式で、磁化反転メカニズムは異なり、固定端（もしくは自由端）からの距離により磁性体内の磁束変化量も異なることが考えられる。本研究では、同一磁性体梁を用いて、垂直磁界アシスト式および逆磁歪式による振動発電試験を行い、固定端（もしくは自由端）からの距離による磁性体内の磁束変化の特徴を明らかにすることを目的とした。

実験方法 梁はCu板 (50 mm×10 mm×300 μm) にFe-B-Si系アモルファス薄帯 (日立金属製 SA1, 厚さ: 25 μm) をエポキシ接着材で貼り付けることにより作製した。梁は端部から10 mmの部分までを固定し、振動部の全長が40 mmとなるようにした。梁の場所ごとの磁束変化を検出するコイルとして、全長が8 mmで、最内径が12 mm×16 mm、巻数が1600回、抵抗が280 Ωのものを使用し、Fig. 1に示すように梁材料に挿入した。そして、梁のみを振動試験機を用いて強制振動させた。このときの加速度は1.5 Gとし、バイアス磁界はヘルムホルツ・コイルを用いて検出コイルを含めた全体に印加した。

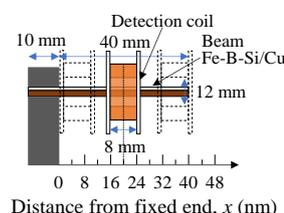


Fig. 1 Positional relationship between beam and coil.

実験結果 コイルの位置 x を変化させた場合の垂直磁界アシスト式および逆磁歪式における出力ピーク電圧のバイアス磁界強度依存性を、それぞれ、Fig. 2(a)および(b)に示す。垂直磁界アシスト式では、バイアス磁界の増加に伴いピーク電圧もほぼ線形的に増加している。本研究で用いたヘルムホルツコイルの最大印加磁界が430 Oeであったため、その磁界でピーク電圧が最大となっているが、更に強い磁界を印加すればより大きな出力が得られることが考えられる。一方、逆磁歪式では、10 Oe 付近でピーク電圧が最大となり、その後、減少に転じた。Fig. 2(c)および(d)に、それぞれ、垂直磁界アシスト式と逆磁歪式における最大ピーク電圧のコイル位置依存性を示す。垂直磁界アシスト式では、自由端側で、より大きな面内成分が発生するため、コイル位置 x の増加にともない、最大ピーク電圧も増加することが予想されたが、梁中央部で最大ピーク電圧が極大となる結果になった。この理由として、梁端部では、磁極の形成に伴い、複雑な磁区構造が形成され、磁束の方向が一様に定まらないためであると考えられる。一方、逆磁歪式では、固定端側で最大ピーク電圧が最も高くなった。片持ち梁では固定端側で応力が最大になり、その結果、固定端でより大きな磁気弾性エネルギーが発生することになる。また、本実験における固定端は梁の端部から10 mmの位置となっているため、磁極形成の影響が小さいことが考えられる。そのため、固定端側で大きな磁束変化が生じたことが考えられる。

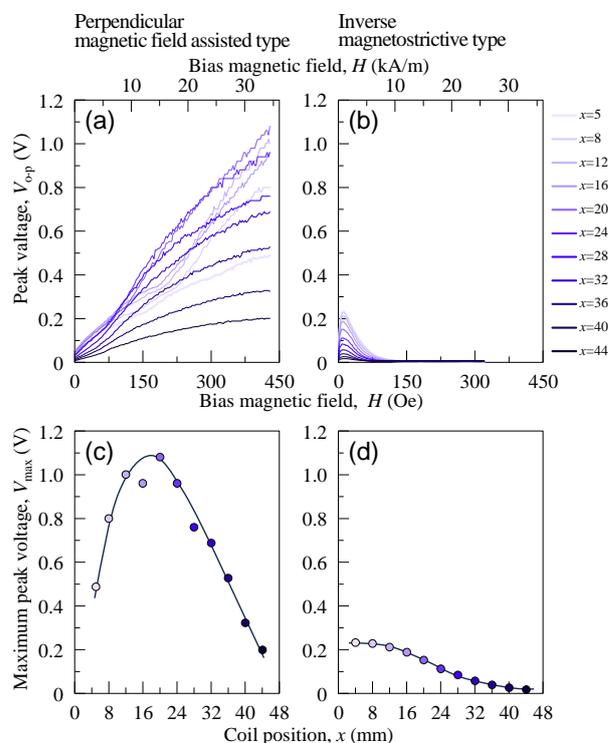


Fig. 2 (a, b) Bias magnetic field dependences of peak voltage and (c, d) coil position dependences of maximum peak voltage of (a, c) perpendicular magnetic field assisted and (b, d) inverse magnetostrictive vibration powered generators.

- 1) T. Ueno and S. Yamada: *IEEE Trans. Magn.*, **47**, 2407 (2011).
- 2) S. Fujieda, S. Suzuki, A. Minato, T. Fukuda, and T. Ueno: *IEEE Trans. Magn.*, **50**, 2505204 (2014).
- 3) 長内史也, 杉修一郎, 石山和志: 平成31年電気学会全国大会論文集, p. 146 (2019).
- 4) 大竹充, 川井哲郎, 二本正昭「発電装置」特願2022-086851 (2022年5月27日), 謝辞 日立金属株式会社の備前嘉雄様にアモルファス薄帯をご提供頂きました。

磁歪材料を使った振動発電デバイスの発電コイルの性能指数

川井哲郎・石川瑛士・中村優太・大竹 充・二本正昭
(横浜国大)

Quality Factor of Power Generation Coil on the Vibration Power Generation using Magnetostriction Material

Tetsuroh Kawai, Eishi Ishikawa, Yuta Nakamura, Mitsuru Ohtake, and Masaaki Futamoto

(Yokohama Nat. Univ.)

はじめに 環境からエネルギーを取り込む、いわゆるエネルギーハーベスト型電源として磁歪材料を使った振動発電が有力視されている¹⁾。この振動発電ではファラデーの法則に従って発電するので発電コイルの巻き数を多くすると発電電圧が高くなるが、内部抵抗も大きくなる。そのため、負荷抵抗での発電電力を最大にする発電コイルの設計が必要である。本報告では発電コイルの1Ω当たりの発電電圧に着目して、片持ち梁を使った振動発電デバイスの発電コイルの性能指数(1Ω当たりの発電電圧)を解析的に求める。

解析方法 非磁性片持ち梁にはCu基板(長さ:40mm,幅:10mm,厚さ:0.3mm),磁歪材料にはFe-B-Si系アモルファスリボン(厚さ:25μm)を想定した。片持ち梁の自由端に集中荷重が加わって梁がたわむと仮定して、梁表面の曲げ応力および磁歪材料の磁気弾性エネルギーを求めた。そのエネルギーにより磁歪材料の磁化状態が変化すると仮定した。発電には寄与するのは梁の長手方向の磁化変化であり、大きな圧縮応力が印可されても零に近づくが負にはならないと仮定した²⁾。発電コイルの効率はコイルが作る磁場の大きさが効率に対応すると仮定して計算した。

解析結果と考察 自由端のたわみを1.86mmとすると、固定端の曲げ応力は61.2MPa,この曲げ応力により生じる磁気弾性エネルギーは2.48kJ/m³であり、固定端で最も大きく、自由端に向けて低下する。このエネルギーと等しくなる磁気エネルギーを持つように磁歪材料が磁化されると仮定すると、arctangent関数近似した磁化曲線($M_s=1.62$ T, $\mu_r=350$)では有効磁場として75.7 Oeが働いていることに相当する。コイル1ターン当たりの発電電圧は固定端から自由端に向けてFig. 1に示すように変化する。したがって、固定端近くに集中してコイルを巻くと効率が良いかのように見える。しかし、コイルの感度(コイルを積層すると外周のコイルは感度が低下)を考慮すると、コイルの性能指数のコイル幅依存性はFig. 2のようになる。いずれの巻き数においても固定端から梁の長さの1/2ないし2/3の長さにコイルを巻くと性能指数の高いデバイスが得られることがわかる。

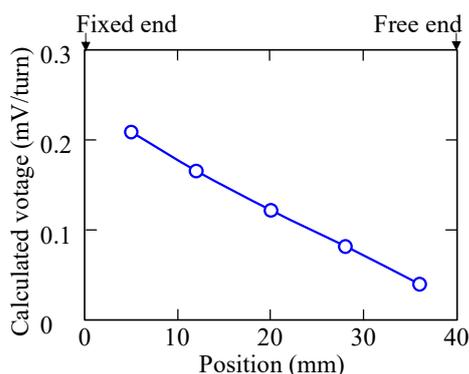


Fig. 1 Calculated generated voltage as a function of position.

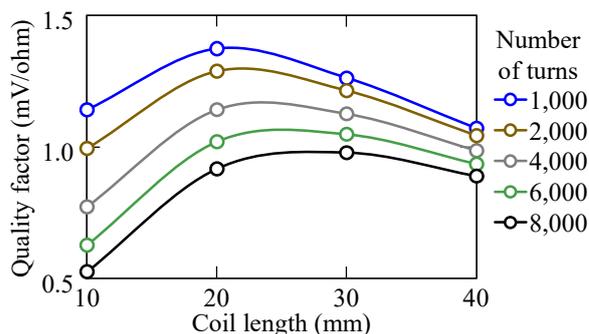


Fig. 2 Calculated quality factor as a function of coil length. The parameter is number of turns.

参考文献

- 1) 上野敏幸: 応用物理, **89**, 82–86 (2020).
- 2) T. Kawai, E. Ishikawa, Y. Nakamura, M. Ohtake, and M. Futamoto: to be published in INTERMAG 2023 Conference Paper.

垂直磁界アシスト式および逆磁歪式電磁誘導型振動発電デバイスの磁性体梁材料への電解めっき Fe-Co 合金厚膜の適用

中村優太¹・明田俊祐¹・大竹充¹・鴨川宏幸²・川井哲郎¹・二本正昭¹
(¹横浜国大, ²関東化成)

Application of Electroplated Fe-Co Alloy Thick Film to Magnetic Beam Material

in Perpendicular Magnetic Field Assisted and Inverse Magnetostrictive Electromagnetic Vibration Powered Generators

Yuta Nakamura¹, Shunsuke Aketa¹, Mitsuru Ohtake¹, Hiroyuki Kamogawa², Tetsuroh Kawai¹, Masaaki Futamoto¹

(¹Yokohama Nat. Univ., ²Kanto Kasei Co., Ltd.)

はじめに 垂直磁界アシスト¹⁾および逆磁歪²⁻⁴⁾のいずれの方式の電磁誘導型振動発電デバイスにおいても、磁性体を含む梁材料が用いられ、その磁気特性は発電性能に大きな影響を与える。Fe-Co 合金は最大の飽和磁束密度を持つ代表的な軟磁性材料であり、垂直磁界アシスト式において大きな磁束変化が得られることが期待される。また、Fe-Co 合金は大きな磁歪を示すことから逆磁歪式に対しても有効であると考えられる。昨年度の学術講演会では、Cu 薄板の片面上に Fe-Co 合金厚膜を電解めっきすることにより形成した梁材料を用いて、逆磁歪式振動発電を行った結果を報告した⁵⁾。本研究では、組成が異なる Fe-Co 合金厚膜をめっきした梁材料を用いて、垂直磁界アシスト式および逆磁歪式の振動発電試験を行い、材料特性が発電性能に及ぼす影響について調べることを目的とした。

実験方法 膜形成には、陽極を Fe 板、陰極を Cu 薄板 (50 mm × 10 mm × 0.3 mm) とした電解めっき装置を用いた。めっき浴中の Fe と Co のイオン比率を調整することで膜組成を変化させた。形成しためっき膜の厚さは $32 \pm 4 \mu\text{m}$ であった。膜の組成分析には EDS、結晶構造解析には XRD、磁気特性評価には VSM、磁歪測定には片持ち梁法を用いた。発電特性は、めっきした梁材料を片持ち状に固定し、検出コイル (抵抗: 1.2 k Ω , 巻数: 8000 回, 最内径: 12 mm × 16 mm, 全長: 40 mm) に挿入して、梁のみを強制振動させ、コイルの出力波形をオシロスコープで観察することにより評価した。このとき、垂直磁界アシスト式の試験では垂直方向に、逆磁歪式では長手方向にバイアス磁界をヘルムホルツコイルを用いて印加した。

実験結果 Fig. 1 に垂直磁界アシスト式および逆磁歪式における出力電圧のバイアス磁界依存性を示す。垂直磁界アシスト式では、磁界の増加に伴い、出力電圧が増大している。一方、逆磁歪式では、低いバイアス磁界で出力電圧が極大を迎え、以後は徐々に減少していく傾向となった。したがって、バイアス磁界が小さいデバイスでは逆磁歪式が有効であるが、強いバイアス磁界を用いることが出来る場合、垂直磁界アシスト式でより大きな出力が得られることが分かる。Fig. 2 には、垂直磁界アシスト式および逆磁歪式におけるピーク電圧の Co 組成依存性を示す。垂直磁界アシスト式では軟磁気特性が優れる Fe₇₀Co₃₀ の膜組成で、逆磁歪式では磁歪が大きくなる Fe₅₄Co₄₆ の膜組成で、それぞれ最大の出力電圧となった。当日は、めっき膜の物性に基づき、組成と出力特性の関係について議論する。

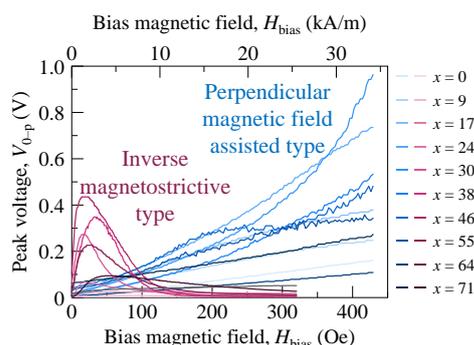


Fig. 1 Bias magnetic field dependences of peak voltages of perpendicular magnetic field assisted and inverse magnetostrictive vibration powered generators using Fe_{100-x}Co_x films with different compositions.

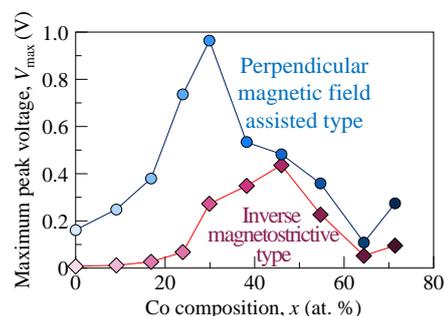


Fig. 2 Compositional dependences of maximum peak voltages of perpendicular magnetic field assisted and inverse magnetostrictive vibration powered generators using Fe_{100-x}Co_x films with different compositions.

- 1) 大竹充, 川井哲郎, 二本正昭「発電装置」特願 2022-086851 (2022 年 5 月 27 日).
- 2) T. Ueno and S. Yamada: *IEEE Trans. Magn.*, **47**, 2407 (2011).
- 3) S. Fujieda, S. Suzuki, A. Minato, T. Fukuda, and T. Ueno: *IEEE Trans. Magn.*, **50**, 2505204 (2014).
- 4) 長内史也, 栢修一郎, 石山和志: 平成 31 年電気学会全国大会論文集, p. 146 (2019).
- 5) 明田俊祐, 石川瑛士, 中村優太, 大竹充, 川井哲郎, 二本正昭: 第 46 回日本磁気学会学術講演会概要集, p. 37 (2022).

垂直磁界アシスト式および逆磁歪式電磁誘導型振動発電デバイスの 磁性体梁材料への電解めっき Ni-Fe 合金厚膜の適用

明田俊祐¹・中村優太¹・大竹充¹・鴨川宏幸²・川井哲郎¹・二本正昭¹
(¹横浜国大, ²関東化成)

Application of Electroplated Ni-Fe Alloy Thick Film to Magnetic Beam Material

in Perpendicular Magnetic Field Assisted and Inverse Magnetostrictive Electromagnetic Vibration Powered Generators
Shunsuke Aketa¹, Yuta Nakamura¹, Mitsuru Ohtake¹, Hiroyuki Kamogawa², Tetsuroh Kawai¹, Masaaki Futamoto¹
(¹Yokohama Nat. Univ., ²Kanto Kasei Co., Ltd.)

はじめに 垂直磁界アシスト式¹⁾および逆磁歪式²⁻⁴⁾の電磁誘導型振動発電の出力特性は、用いる磁性体梁材料における磁束変化の容易性に影響を受けるため、磁気異方性エネルギーが小さい材料を用いることが有効であると考えられる。Ni-Fe合金は代表的な高透磁率材料であり、バルク状態では組成により 10^3 J/m^3 オーダーの低い結晶磁気異方性エネルギーを示す⁵⁾。これまで、著者らは、Cu薄板の片面にNi-Fe合金厚膜を電解めっきし、磁歪式デバイスの梁材料として用いることが出来ることを報告してきた⁶⁾。本研究では、組成の異なるNi-Fe合金膜をめっきした梁材料を用いて、垂直磁界アシスト式および磁歪式の発電評価を行い、材料特性が発電特性に及ぼす影響を系統的に調べた。

実験方法 膜形成には陽極がNi板、陰極がCu薄板(50 mm × 10 mm × 300 μm)の電解めっき装置を使用した。浴中のNiとFeイオンの比率を変えることで膜組成を変化させた。膜厚は $31 \pm 4 \mu\text{m}$ であった。構造解析にはXRD、磁気特性評価にはVSM、磁歪測定には片持ち梁法を用いた。発電性能の評価には、ヘルムホルツ・コイルにより外部からバイアス磁界を印加できる試験装置を用いた。めっきした梁材料の端から長手方向に10 mmの部分までを固定し、片持ちの状態とし、検出コイル(抵抗: 1223 Ω, 巻数: 8000回, 最内径: 16 mm × 12 mm, 全長: 40 mm)に挿入した。このとき、コイルは振動させず、梁のみを振動させた。また、梁に対して、垂直磁界アシスト式では垂直方向に、磁歪式では長手方向にバイアス磁界を印加した。

実験結果 Fig. 1にNi₃₉Fe₆₁(at.%)膜をめっきした梁を約110 Hzで共振させたときにおける、垂直磁界アシスト式および逆磁歪式のピーク電圧のバイアス磁界依存性を示す。垂直磁界アシスト式では、バイアス磁界の増加に伴い、ピーク電圧が増加し、バイアス磁界が430 Oe時点で7.2 Vの出力が得られている。一方で、磁歪式では、バイアス磁界が4 Oeまではピーク電圧が増加していき、最大値となる0.9 Vの電圧が観測され、それ以降は減少していった。Ni-Feめっき膜の場合、垂直磁界アシスト式では磁歪式を大きく上回る出力が得られることが分かった。Fig. 2に最大ピーク電圧の組成依存性を示す。両方式においても最大ピーク電圧は組成に強く影響を受けていることが分かる。当日は、この因果関係をめっき膜の磁気・磁歪特性に基づいて詳細に議論する。

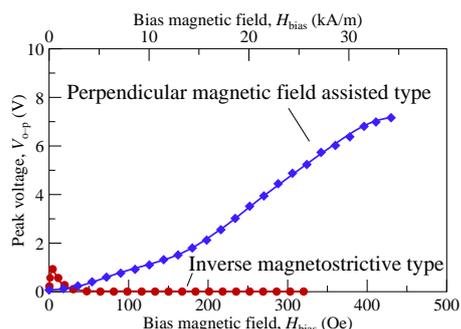


Fig. 1 Bias magnetic field dependences of peak voltages of perpendicular magnetic field assisted and inverse magnetostrictive vibration powered generators using a Ni₃₉Fe₆₁ film.

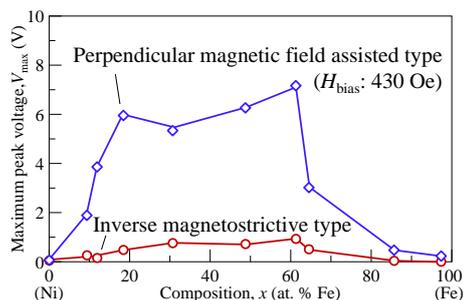


Fig. 2 Compositional dependences of maximum peak voltages of perpendicular magnetic field assisted and inverse magnetostrictive vibration powered generators using Ni_{100-x}Fe_x films with different compositions.

- 1) 大竹充, 川井哲郎, 二本正昭「発電装置」特願 2022-086851 (2022年5月27日).
- 2) T. Ueno and S. Yamada: *IEEE Trans. Magn.*, **47**, 2407 (2011).
- 3) S. Fujieda, S. Suzuki, A. Minato, T. Fukuda, and T. Ueno: *IEEE Trans. Magn.*, **50**, 2505204 (2014).
- 4) 長内史也, 栢修一郎, 石山和志: 平成31年電気学会全国大会論文集, p. 146 (2019).
- 5) A. Chikazumi, *Physics of magnetism*, p. 145 (Wiley, Van Nostrand, New York, 1964).
- 6) S. Aketa, M. Ohtake, E. Ishikawa, Y. Nakamura, T. Kawai, and M. Futamoto: *AIP Adv.*, **13**, 035201 (2023).

複合アモルファスリボンを用いた振動発電

上倉 拓郎^{1,2*}, 後藤 太一², 石山 和志²

(¹東北大学大学院 工学研究科,²東北大学 電気通信研究所)

Vibration energy harvesting using composite amorphous ribbon

Takuo Kamikura^{1,2*}, Taichi Goto², Kazushi Ishiyama²

(¹Graduate School of Engineering, Tohoku Univ.,²RIEC, Tohoku Univ.)

はじめに

近年、IoT デバイスの動力源である電池の交換や廃棄に関する諸問題がネットワーク社会に対する大きな課題とされている¹⁾。そこで電池の代替として注目されているのが環境発電である。本研究では特に、磁歪材料であるアモルファスリボンが持つ逆磁歪効果を利用した振動発電に注目してきた²⁾。また、これまで同種の研究で行われていた片持ち梁構造に代えて発電可能な振動の周波数帯域が広く、バイアス磁界の均一性にも優れた筒状にアモルファスリボンを成形した構造を提案した³⁾。本報告では、酸化防止や耐久性の向上を目的として紫外線硬化樹脂を用いて筒状アモルファスリボンを複合材料化し、応力印加時のBHループの測定・振動実験を行った。

実験方法

短冊状のアモルファスリボン(日立金属製 2605HB1M、20 mm × 100 mm × 25 μm)を筒状に丸め、軸方向に直流磁界を印加して磁場中熱処理を施し、残留応力の除去と磁気異方性の誘導を行った。そのアモルファスリボンを紫外線硬化樹脂に埋めることで複合材料化した。圧力印加下での磁気特性はBHループトレーサー³⁾を用いて測定した。Fig. 1は振動実験の概略図である。作製した試料にコイル(60 μm φ、3840 turn、880 Ω)を巻き、固定治具と加振機に挟むよう設置することで振動(軸方向の寸法変化)を与えた。このとき逆磁歪効果によりアモルファスリボン内の磁束が時間変化し、ピックアップコイルに電圧が誘起される。寸法変化量はレーザードップラー変位計(LDV)を用いて計測し、理論的な磁化変化量と発生電力を算出した。

結果・考察

Fig. 2にBHループの結果から算出した試料の静的な寸法変化量と磁化変化量の関係を示す。寸法変化量の増加に伴って磁化は減少した。Fig. 3に試料を700 Hzで振動させた際の、試料の寸法変化量の測定結果を示す。175 ppm程度の寸法変化量を持つことがわかり、Fig. 2から160 mT程度の磁化変化量があると推定できる。これらの測定値から算出される発電量は1.62 mWとなった。

参考文献

- 1) T. Ueno: *J. Insy. Elect. Engr. Jpn.*, 139, 22-25, (2019).
- 2) 長内史也, 栢修一郎, 石山和志, 平成31年電気学会全国大会講演論文集, 146, (2019).
- 3) 上倉拓郎, 後藤太一, 石山和志, 令和5年電気学会全国大会講演論文集, 119, (2023).

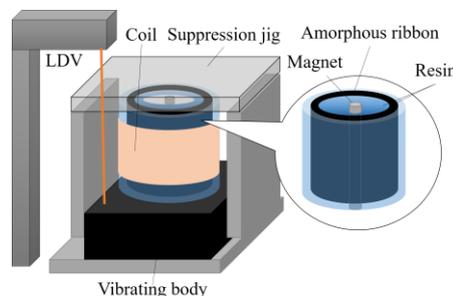


Fig. 1. Schematic diagram of the constructed setup of vibration power generation system.

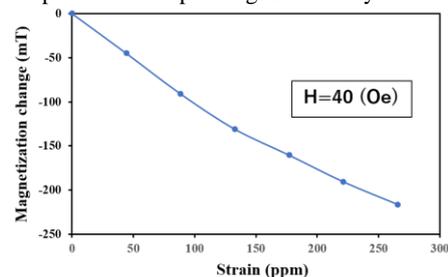


Fig. 2. Relationship between amount of strain and magnetization change.

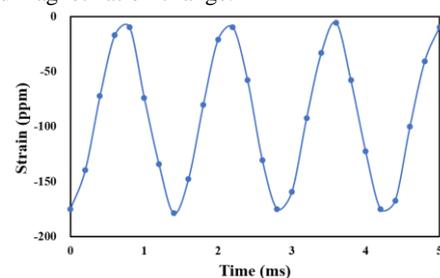


Fig. 3. Sample displacement at a frequency of 700 Hz.

バイモルフ型振動発電を想定した 負磁歪軟磁性材料の開発に関する基礎検討

阿部宏恒^{*,**}, 後藤太一^{**}, 直江正幸^{***}, 荒井賢一^{***}, 石山和志^{**}
(*東北大院 工学研究科, **東北大 通研, ***電磁研)

Study on Development of Negative Magnetostrictive Soft Magnetic Material
for Bimorph Vibration Power Generation

Hirohisa Abe^{*,**}, Taichi Goto^{**}, Masayuki Naoe^{***}, Ken Ichi Arai^{***}, Kazushi Ishiyama^{**}
(*Graduate school of engineering, Tohoku Univ., **RIEC, Tohoku Univ., ***Res. Inst. for EM Mater.)

はじめに

近年、環境振動を電力に変換する振動発電が注目を集めている。中でも、強磁性材料の逆磁歪効果を用いた発電デバイスが注目されている。現在検討されている逆磁歪式振動発電デバイスは、正磁歪材料を用いたユニモルフ型カンチレバーが主流である²⁾。しかし、正磁歪材料の裏面に負磁歪材料を接合したバイモルフ型カンチレバーにすることで、より多くの磁化変化量が得られると考える。ところが、多くの材料開発が進められている正磁歪材料に比べて、負磁歪材料の応用へ向けた検討は少ない。そこで、我々は負磁歪材料の中でも -10^3 ppm を超える大きな磁歪量と比較的大きな電気機械結合係数を有するSmFe³⁾非晶質薄膜に着目している。非晶質化により軟磁気特性を改善し磁化回転を容易にすることで、高透磁率バイモルフ型発電デバイスの実現を目指している。本報告では、負磁歪軟磁性材料の保磁力・磁歪定数・磁化回転に着目しバイモルフ型発電デバイスへの応用を検討した結果を述べる。

実験方法

SmFe の成膜には、高周波マグネトロンスパッタ装置を使用した。Fe ターゲット上に Sm チップを配置した複合ターゲットの Sm チップ数を変え、Sm 組成を 7~67 at.% の範囲で変化させた。膜の結晶構造を XRD で保磁力 H_c を VSM により計測した磁化曲線から評価した。また、Sm 組成が 13 および 20 at.% の試料の磁歪量 λ を、強度が最大 3 kOe の回転磁界中で光てこ法を用いて計測した。

実験結果

Fig. 1 に H_c の組成依存性を示す。XRD で結晶ピークの観測された Sm 組成が 8 at.% 以外の組成で、150 Oe 以下の低保磁力化に成功した。Fig. 2 に特に保磁力の小さい Sm 組成近傍である 13 および 20 at.% の試料の λ と磁界強度 H_{ex} の関係を示す。 H_{ex} を 3 kOe にすると、 λ は Sm 組成が 13 at.% の時よりも Sm 組成が 20 at.% の時の方が大きくなったが、曲線は Sm 組成が 20 at.% の時よりも Sm 組成が 13 at.% の時の方が弱い磁界で立ち上がった。誘導起電力の増加には磁歪量よりも磁化回転の容易さが重要であり、Sm 組成が 13~14 at.% の試料が発電デバイスへの応用に最適である。

当日は Sm 組成が 13~14 at.% の試料を用いたデバイスの発電特性についても議論する。

参考文献

- 1) I. Kanno: *J. Surf. Finish. Soc. Jpn.*, **67**, pp. 348-352 (2016).
- 2) T. Ueno: *Materia Japan.*, **59**, pp. 6-9 (2020).
- 3) A. E. Clark and H. Eda: "Giant magnetostrictive material", pp. 262-264 (1995)

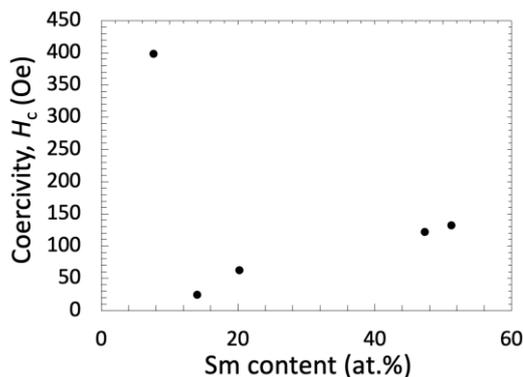


Fig. 1 Composition dependence of coercivity.

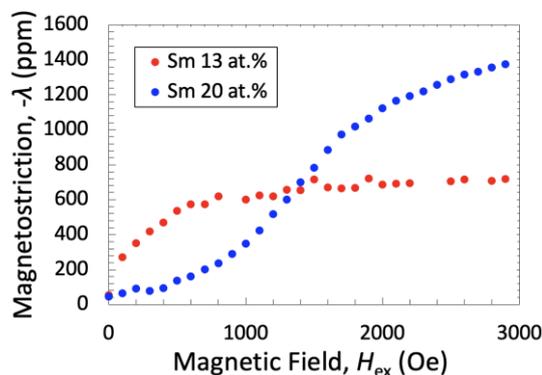


Fig. 2 Relationship between magnetostriction and rotating magnetic field strength when Sm content is 13 and 20 at. %.