

「微小エネルギーを利用した革新的な環境発電技術の創出」
平成 27 年度採択研究代表者

H27 年度
実績報告書

上野 敏幸

金沢大学理工研究域電子情報学系
准教授

磁歪式振動発電の実用化に向けた革新的メカニズム・材料の創成

§ 1. 研究実施体制

(1) 「上野」グループ

研究代表者: 上野 敏幸 (金沢大学理工研究域電子情報学系、准教授)

研究項目

- ・発電デバイスの設計と試作評価実験
- ・発電デバイスの溶接による組み上げと耐久試験の予備テスト
- ・弾性支持された片持ち柱状物体の水槽実験の準備と数値流体解析モデル作成
- ・波を利用した振動発電の基礎的検討

(2) 「鈴木」グループ

主たる共同研究者: 鈴木 茂 (東北大学 多元物質科学研究所、教授)

研究項目

- ・Fe-Ga-X 合金の特性評価と新成分設計

(3) 「福田」グループ

主たる共同研究者: 福田 承生 (福田結晶技術研究所、社長)

研究項目

- ・Fe-Ga 基磁歪合金の単結晶試作実験

(4) 「今井」グループ

主たる共同研究者: 今井 克哉 (日本高周波鋼業(株)技術開発本部、商品開発部長)

研究項目

- ・Fe-Ga 基磁歪合金の単結晶試作実験

§ 2 . 研究実施の概要

磁歪式振動発電デバイスに関して、磁歪材料の高性能化とその量産技術、汎用デバイスとその高感度、高効率、高耐久性化、およびデバイスの動作周波数の広帯域化、人やモノの動き、波、流れなどから振動を発生するメカニズムの研究を行っている。

デバイスの高効率化について、エネルギー変換時の機械損失はデバイスの内部また固定端の損失が主である。今回、これを低減化する U 字構造を提案し、おおよその設計指針を得た。これによると U 字型の自由端、固定端は同形状(対称)で、発電部(平行梁)以外の部材においては十分な剛性を確保しながらも、軽量化のため先端をテーパ状にし、その先端に錘を配置、その位置も固定端近くにすべきである。以上から写真 1 の発電デバイスを設計試作し、この評価を行った。これは $6 \times 0.5 \times 13 \text{mm}^3$ の磁歪素子(Fe-Ga 合金)を利用し、SUS430 のフレーム、線径 0.05mm、巻き数 1899 ターン(283 Ω)で構成される。結果、166Hz 2.5G の振動で 5.2V の発生電圧、400 Ω の抵抗付加で 9.1mW の最大電力を確認した(文献 1)。また先端を L 字型の曲げたデバイスの試作で 2 方向の振動で発電ができること、写真 2 の発電スイッチの試作で一回の押しボタンの動作で最大発生電圧 31V、負荷抵抗での最大発生エネルギー 0.7mJ を達成した。また発電デバイスの電池不要 IoT への応用の可能性を調査した。このため発電スイッチ、整流・蓄電回路、市販の無線送信モジュールで構成される電池不要リモコンを試作し、一回の操作で無線送信が行えることを実証した。

また流れを利用した発電に関して、板バネで弾性支持された片持ち柱状物体の回流式水槽による予備実験を行った。その結果、断面辺長比が 0.2 及び 0.5 の 2 本の矩形柱を並列に配置し、その隙間が矩形柱高さの 0.5 倍の間隔の断面辺長比 0.2 の矩形柱の場合において逆位相で安定した振動が生じ、単独柱よりも振幅が増大し、発電量増加が見込めることを確認した。

波力を用いた振動発電の研究では、海岸および港湾構造物前面での水面の上下運動による波力利用した室内発電実験を実施した。具体的には U 字型デバイスを利用し、1) 外力の受動部を予め永久磁石で吸着しているデバイスから急速に脱着させることでデバイスに自由振動を励起させる方式、2) 永久磁石を用いずにバネによって自由振動を励起させる方式の場合を検討した。実験の結果、U 字型デバイスでは従来の片持ち梁型デバイスに比べ共振振動時間が格段に長く、電力量としては従来値の 20 倍を超える発電を実現した。

磁歪材料においては、福田結晶技術研究所で作製した Fe-Ga 合金インゴットにおいて、図 1 に示すように、インゴットの上部から下部にかけて 10 mm 角の薄板状試験片を 5 つ切り出し、それらの元素濃度分析を行った。その結果、各試験片の面内における Ga 濃度分布は 0.1-0.5 % 程度とほぼ均質であること、また下部の試験片ほど Ga 濃度は増大するが、約 120 mm 離れた最上部と最下部の試験片でも Ga 濃度差は約 5 % であることがわかった。また結晶方位分布測定によりインゴットの最上部の試験片は粗大結晶粒からなる多結晶状態であるが、種結晶から 50 mm 程度以下の試験片は全て引き上げ方向が $\langle 100 \rangle$ に近い方位の単結晶が得られることがわかった。それら試験片に平行および垂直に磁場を印加して磁歪を測定したところ、およそ 200-300 ppm の大きな値を示した。以上、CZ 法により、優れた磁歪特性をもつ大型 Fe-Ga 単結晶合金の製造が可能であることが明らかになった。

更に、CZ 法で直径 50mm 前後の Fe-Ga 基合金単結晶を引き上げる技術を高め、写真 3 に示す幾

つかの Fe-Ga また Fe-Ga-Si の単結晶インゴットを引き上げた。また種結晶を用いない一方向凝固により単結晶を製造に関しては、炉内の上下の温度勾配および中心と外周部との半径方向に温度の勾配を発生させる適切な条件を検討し、写真 4 に示す直径 27mm 長さ 40mm および直径 25mm 長さ 60mm の鋼塊形状の Fe-Ga 合金の単結晶の製造に成功した。

1. T. Ueno, "U-shape magnetostrictive vibration based power generator for universal use, Proc. SPIE 9806, Smart Materials and Nondestructive Evaluation for Energy Systems 2016, 98060E (April 1, 2016); doi:10.1117/12.2218759

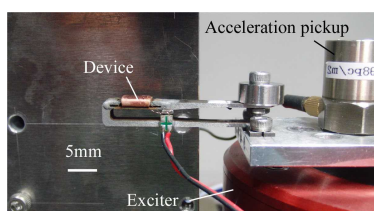


写真 1 U 字型発電デバイスの試作とその評価実験

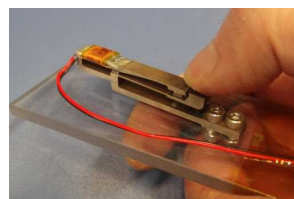


写真 2 発電スイッチ

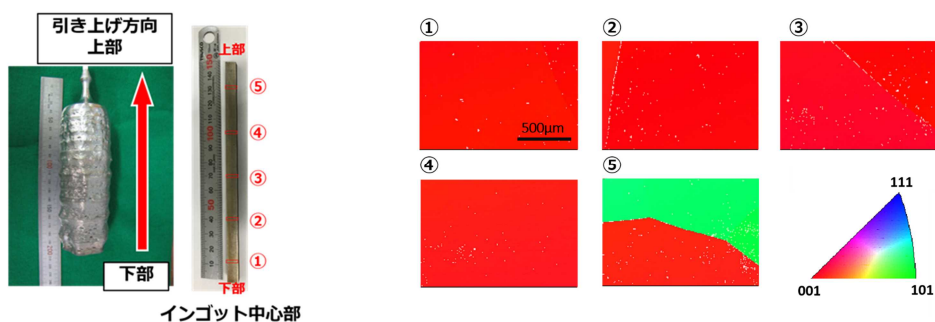


図 1 CZ 法で作製した直径 50 mm の大型 Fe-Ga 合金単結晶インゴットとその結晶方位の分布図



写真 3 CZ 法で作製した単結晶合金の例

(左 Fe-Ga 合金 直径 55mm 長さ 165mm、右 Fe-Ga-Si 合金直径 21mm 直胴 146mm)



写真 4 一方向凝固法で作製した単結晶合金の例

(左 直径 27mm 長さ 40mm、右 直径 25mm 長さ 60mm)