

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 25 日現在

機関番号：32706

研究種目：基盤 C

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22560671

研究課題名（和文）強誘電体セラミックスを利用した環境の温度変動からのエネルギーハーベスト

研究課題名（英文）Energy harvesting from the environmental temperature variation using ferroelectric ceramics.

研究代表者

眞岩 宏司 (Maiwa Hiroshi)

湘南工科大学・工学部・教授

研究者番号：50229283

研究成果の概要（和文）：分散型のセンサーシステムにおいて、その電源としてエネルギーハーベストが注目されている。焦電効果を利用して環境の温度変動から電気エネルギーを取り出すエネルギーハーベストについて検討した。焦電効果としては通常の線型の焦電効果に加えて、電界印加によるエリクソン熱力学サイクルを利用する非線型焦電効果も検討した。線型焦電効果では、キュリー点 145°C の PZT 系セラミックスで、温度変化 5K/s において、発生電力と発生電力面密度で 5.2 μ W and 1.66 μ W/cm² の発電特性を有することを見出した。また、Ba(Zr,Ti)O₃ セラミックスで室温付近で比較的大きな分極の温度変化を示すことを観測し、それにより非線型焦電特性を示すことを見出した。温度範囲 30-125°C、電界印加 0-20kV/cm の条件で 58J/L/cycle のエネルギー回収を確認した。PLZT では、同じ条件で、54.8 J/L/cycle のエネルギー回収を確認した。

研究成果の概要（英文）：Thermal-electrical energy converters based on pyroelectric effect were investigated for energy harvesting and possible use in ultralow-power sensor modules. Thermal energy harvesting using pyroelectric effects in PZT-based ceramics with different T_c, PVDF films, and PMN-PT crystals were investigated. With decreasing Curie temperature (T_c) of the PZT-based ceramics, the output voltage due to pyroelectric effects increased. The output power and power density of PZT ceramics with T_c of 145°C were 5.2 μ W and 1.66 μ W/cm² under 5 K/s temperature change, respectively. PLZT ceramics with T_c of 140°C exhibited large energy generation of 54.8 J/L/cycle with temperature variations from 30°C to 200°C and field variations from 0 to 20kV/cm. Ba(Zr_{0.2}Ti_{0.8})O₃ ceramics with T_c of 40°C exhibited energy generation of 58.6 J/L/cycle with temperature variations from 30°C to 125°C and field variations from 0 to 20kV/cm.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学 無機材料・物性

キーワード：エネルギーハーベスティング、焦電効果、PZT、Ba(Zr,Ti)O₃、電気熱量効果

1. 研究開始当初の背景

自動車などの輸送機械や建造物に取り付けられ、それらの健全性や環境を長期間にわたって監視する分散型のスマートセンサーシステムが期待されている。こういったシステムに使われるセンサーはそれぞれが個別に電源を持つことが望まれている。この場合、寿命の問題がある化学電池に変わり、環境エネルギーから発電して必要なエネルギーを個別のセンサーごとに供給するエネルギーハーベスタが注目を集めている。

環境からのエネルギー源には、振動、温度差、熱、空気や水の流れといったものがあるが、本研究では、強誘電体セラミックスを利用して、温度の時間的な変化を利用からエネルギーを取り出す方法を開発する。簡単なキャパシター構造でエネルギーを回収することが可能である。温度の時間的な変化を利用する発電の動作原理としては焦電効果がある。強誘電体の使用方式は、①焦電効果そのまま利用する場合（線型）と②電界印加によるエリクソン熱力学サイクルを利用する場合（非線型）に大別される。①の場合、高い焦電係数及び性能指数を持つ材料の使用、大きな熱の時間変動の供与が回収エネルギーの向上に必要である。②のメカニズムを図1に示す。ここでは①と比較して飛躍的に大きなエネルギーを回収すると見込まれている。電界印加時の分極の温度変化が大きい材料が有望であり、高電界下での絶縁性も要求される。

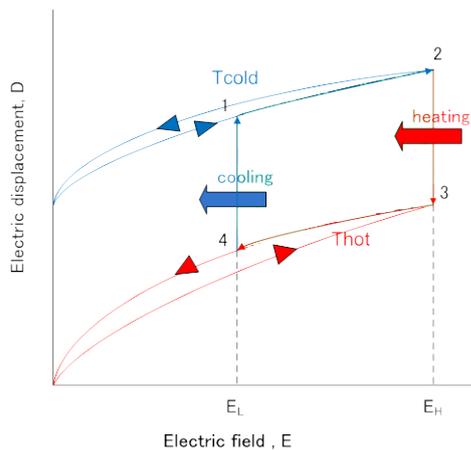


図1 非線型焦電効果

こういったところに使用される強誘電体の材料特性は明らかでなく、とりわけ鉛を含有しない材料に関してはあまり検討がなされていない。

2. 研究の目的

強誘電体の線型及び非線型の焦電特性を計測するシステムを構築して、効率よく熱エネルギーを回収する強誘電体材料を探索する。また、素子構造と回路の検討を行い、エネルギーハーベスタとしての実用化を目指す。

3. 研究の方法

(1)線型焦電効果を利用したエネルギー回収
図2に示すようなペルチェ素子と水冷銅板を組み合わせ素子の加熱冷却が可能なシステムを組み立て、焦電効果による電気エネルギー発生を計測した。

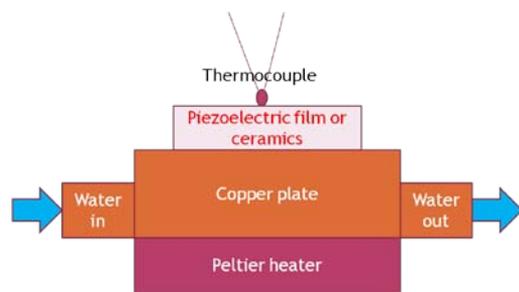


図2 焦電特性評価システム

(2)非線型焦電効果を利用したエネルギー回収

温度の異なるオイルバスを利用して温度を変化させて電場と分極を測定して非線型焦電効果によるエネルギー回収を計測した。

4. 研究成果

(1) 線型焦電効果を利用したエネルギー回収
リラクサー成分の添加によりキュリー点を 145°C までに下げた PZT 系セラミックスで図3に示すように、温度変化 7K/s において、発生電力と発生電力面密度で $5.2\mu\text{W}$ and $1.66\mu\text{W}/\text{cm}^2$ の発電特性を有することを見出した。この結果は従来の測定結果として報告されているものと比べて優れている。

(2) 非線型焦電効果を利用したエネルギー回収

非鉛強誘電体化合物では BaTiO_3 セラミックスに Zr を加えた $\text{Ba}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ (BZT) セラミックスで室温付近で比較的大きな分極の温度変化を示すことを観測し、それにより非線型焦電特性を示すことを見出した。図4に BZT セラミックスのエネルギー回収の様子を示す。また、図5には温度と回収エネルギーの関係を材料ごとに調べた結果を示す。温度範囲 $30\text{-}125^{\circ}\text{C}$ 、電界印加 $0\text{-}20\text{kV}/\text{cm}$ の条

件で 58J/L/cycle のエネルギー回収を確認した。これは非鉛の無機強誘電体化合物としては大きな値といえ、材料の選択範囲を広げる結果である。PLZT は、同じ条件で、54.8 J/L/cycle のエネルギー回収を確認した。

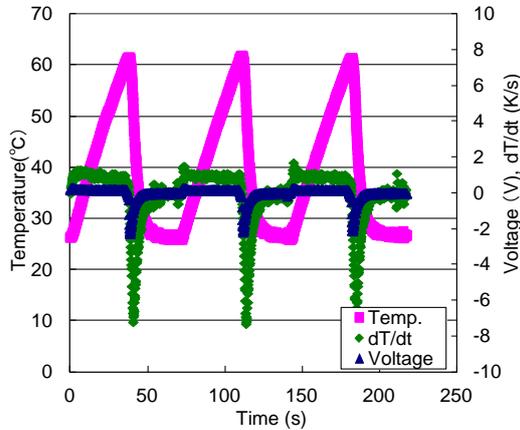


図3 PZT系セラミックスの焦電効果による発生電圧

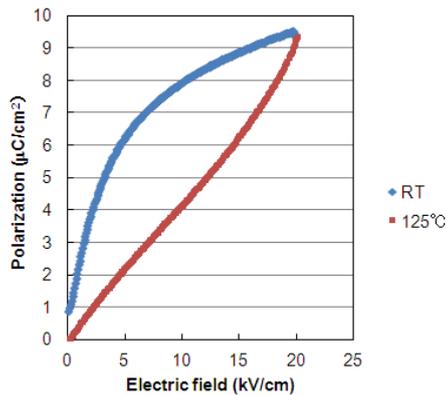


図4 非線型効果によるBZTセラミックスのエネルギー回収

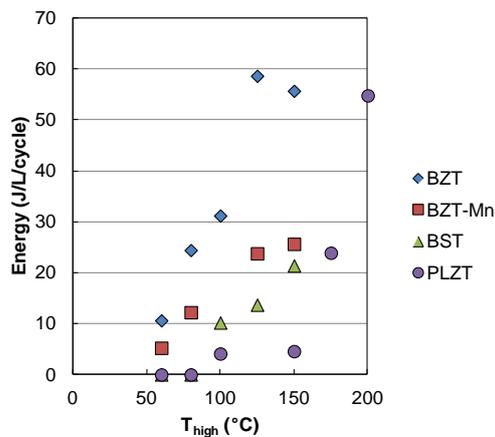


図5 強誘電体材料と非線型焦電効果による回収エネルギー

(3) その他

上記の他に関連する研究に関して明らかになったことは以下のとおりである。電気熱量効果に関して化学溶液法で作製した PZT 薄膜にリラクサと呼ばれる $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ 成分を添加することにより、PZT よりも電気熱量効果の大きな薄膜が得られた。また、 BaTiO_3 、 $\text{Ba}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ セラミックスの特性向上に関して SPS (スパークプラズマ焼結) を適応し、その圧電特性が粒径により制御可能なことを示した。振動エネルギーハーベストでは Mn の添加が性能向上に役立つことを示した。それらに加えて、HIP (熱間等方圧加圧法) を BaTiO_3 セラミックスの特性向上を検討しており、SPS で得られたセラミックスより優れた圧電特性を有することを見出している。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 7 件)

- ① H. Maiwa, Piezoelectric properties of BaTiO_3 ceramics prepared by hot isostatic pressing. Journal of the Ceramic Society of Japan, 査読有、Vol. 121, 2013, in press. <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jcersj2/-char/ja/>
- ② H. Maiwa and S-H. Kim, Electrocaloric and pyroelectric properties of PZT and PMN-PNN-PZT thin films. Ceramics International, 査読有、Vol. 39, 2013, S497-S500, DOI: 10.1016/j.ceramint.2012.10.121
- ③ H. Maiwa, Piezoelectric properties of BaTiO_3 ceramics prepared by spark plasma sintering. Journal of the Australian Ceramic Society, 査読有、Vol. 48, 2012, 59-63, <http://www.austceram.com/JAC-2012-1/AC-S-Journal-2012-vol-1.htm>
- ④ H. Maiwa, Y. Ishizone, and W. Sakamoto, Thermal and vibrational energy harvesting using PZT- and BT-based ceramics, Proceedings of 2012 21st IEEE Int. Symp. on Applications of Ferroelectrics held jointly with 11th IEEE European Conference on the Applications of Polar Dielectrics and IEEE PFM, ISAF/ECAPD/PFM 2012, 査読無し、2012, Article Number 6297808, DOI: 10.1109/ISAF.2012.6297808
- ⑤ H. Maiwa, Electromechanical properties of $\text{Ba}(\text{Zr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8})\text{O}_3$ ceramics prepared by spark plasma sintering, Ceramics International, 査読有、Vol. 38, 2012, S219-S223, DOI: 10.1016/j.ceramint.2011.04.087
- ⑥ S. Hayano, R. Shike, K. Shoji, H. Ochiai, O. Kimura, H. Maiwa, Low-temperature

sintering of $\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbZrO}_3\text{-PbTiO}_3$ ceramics via single-step calcination process without sintering additives., Japanese Journal of Applied Physics, 査読有、Vol. 49, 2010, Article number 09MC08, DOI: 10.1143/JJAP.49.09MC08

- ⑦ H. Maiwa, K. Ohashi and T. Hayashi, Temperature dependence of the electrical and electromechanical properties of $\text{Ba}(\text{Zr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8})\text{O}_3$ thin films prepared by chemical solution deposition., Journal of the Ceramic Society of Japan, 査読有、Vol. 118, 2010, 735-737, DOI: 10.2109/jcersj2.118.735

〔学会発表〕(計 7 件)

- ① H. Maiwa, Pyroelectric and electrocaloric properties of PZT- and BaTiO_3 -based ceramics., The 8th Asian Meeting on Ferroelectrics(AMF-8), 2012.12.12, Pattaya, Thailand.
- ② H. Maiwa and S-H Kim, Electrocaloric and pyroelectric properties of PZT and PMN-PNN-PZT thin films. The 8th Asian Meeting on Electroceramics (AMEC-8), 2012.7.5, Penang, Malaysia.
- ③ 眞岩宏司、強誘電体の焦電エネルギーハーベスティングと電気熱量効果、第 59 回応用物理学関係連合講演会シンポジウム 招待講演、2012.3.17、早稲田大学
- ④ H. Maiwa, Piezoelectric properties of BaTiO_3 ceramics prepared by spark plasma sintering. The 9th International Meeting of Pacific Rim Ceramic Societies, 2011.7.12, Cairns, Australia.
- ⑤ H. Maiwa, Electrocaloric and pyroelectric properties of $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ thin films. 12th Conference of The European Ceramic Society, 2011.6.21, Stockholm, Sweden.
- ⑥ H. Maiwa and N. Matsumoto, Electromechanical properties of $\text{Ba}(\text{Zr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8})\text{O}_3$ ceramics prepared by spark plasma sintering. AMF-AMEC2010 (7th Asian Meeting on Ferroelectricity (AMF-7) and the 7th Asian Meeting on Electroceramics (AMEC-7), 2010.6.29, Jeju island, Korea.
- ⑦ H. Maiwa and N. Matsumoto, Electromechanical properties of BaTiO_3 ceramics prepared by spark plasma sintering., CIMTEC 2010 - 12th International Ceramics Congress, 2010.6.10, Montecatini Terme, Tuscany, Italy.

〔図書〕(計 3 件)

- ① 眞岩宏司、技術情報協会、スマートフォン・タッチパネル部材の最新技術便覧、2013, 531-534.
- ② 眞岩宏司、技術情報協会、電気化学/インピーダンス測定のコツと正しいデータ解釈、2013, 500-507.
- ③ H.Maiwa, InTech, Advances in Ceramics - Electric and Magnetic Ceramics, Bioceramics, Ceramics and Environment, 2011, 3-22.

〔その他〕

ホームページ

http://www.shonan-it.ac.jp/each_science/mate/maiwa/japanese/ppframe.htm

6. 研究組織

(1) 研究代表者

眞岩宏司 (Maiwa Hiroshi)

湘南工科大学・工学部・教授

研究者番号：50229283