

令和 2 年 6 月 19 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03399

研究課題名(和文) 立体的熱界面制御と新しい高効率熱電変換システム

研究課題名(英文) Three dimensional thermal interface modification and its application to a novel thermoelectric conversion system

研究代表者

池田 輝之 (Ikeda, Teruyuki)

茨城大学・理工学研究科(工学野)・教授

研究者番号：40314421

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,300,000円

研究成果の概要(和文)：多孔質熱電材料を用いて熱流体との熱交換効率を高めた新しい熱電変換デバイスの可能性を検討した。シリコンをはじめとするいくつかの熱電材料において、水素雰囲気中での一方向凝固により多孔質化が可能であることが確認された。この方法による多孔質材料の孔の直径や体積分率は雰囲気圧力、凝固速度等により制御可能である。フェーズフィールドシミュレーションでは、一方向に伸びた孔の形成が再現され、長く伸ばすための条件を明らかにした。また、粒子法シミュレーションでは多孔質化により熱流体/熱電材料間の実効的な熱伝達率が高まることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界で生産されるエネルギーの60%以上が、「廃熱」として捨てられている。熱電変換は熱エネルギーから電気エネルギーを取り出すという他に類を見ない優れた機能を持ち、持続可能な社会の実現に必要な環境維持のために中心的役割を果たすべき要素である。本研究では、熱電材料を多孔質化することにより、熱電材料と熱流体の界面を立体化し、界面熱流束を飛躍的に増大させ、出力を高めた熱電変換システムが構築できることを明らかにした。日本における重要な未利用熱源として知られる産業における温水廃熱や熱排気、温泉、燃料、LNPプラントの冷熱等の流体を熱源に想定したエネルギー回収、発電応用が期待される。

研究成果の概要(英文)：This work has examined the possibility of novel thermoelectric devices with high heat exchange capabilities using porous thermoelectric materials. It has been found that some thermoelectric materials such as silicon can be made porous by solidification in hydrogen atmosphere. The diameter of pores and porosity in porous materials fabricated by this technique can be controlled by controlling partial and total pressures of atmosphere composing of hydrogen and argon and a solidification rate. It has been also found that the effective heat transfer coefficient between the thermoelectric material and thermal fluid can be enhanced due to larger specific surfaces.

研究分野：材料物性

キーワード：多孔質熱電材料 一方向凝固 粒子法シミュレーション フェーズフィールド法

様式 C-19、F-19-1、Z-19(共通)

1. 研究開始当初の背景

熱電変換デバイスにおいてなぜ熱伝達が重要であるかを考える。図 1 に従来の π 型の熱電変換素子を、その右側に模式的温度分布を示す。流体と熱電素子間の熱伝達の熱流は次式で表される

$$J_Q = h\Delta T_2 \quad (1)$$

ここで h は熱伝達係数、 ΔT_2 は流体と熱電材料の温度差である。熱電材料中の熱流は、熱電材料中の温度差 ΔT_1 、熱電材料の温度勾配方向の長さ d 、熱伝導率 κ を用いて

$$J_Q = \kappa\Delta T_1/d \quad (2)$$

で表される。ただし、ここで用いているのは、熱電材料中でエネルギー変換がなされないという単純なモデルである。実際には、ゼーベック効果により電気エネルギーが逃散するため (2) 式よりも精密な式を要するが、本質は変わらないので、ここでは簡単なモデルで論理を展開する。

(1), (2) が等しいこと、及び高温と低温の熱流体間の温度差 ΔT_0 について $\Delta T_0 = \Delta T_1 + \Delta T_2$ が成り立つことから、熱流体間の温度差と熱電材料中の温度差の比として次の式が導かれる。

$$\frac{\Delta T_1}{\Delta T_0} = \frac{1}{1 + \frac{\kappa}{hd}} \quad (3)$$

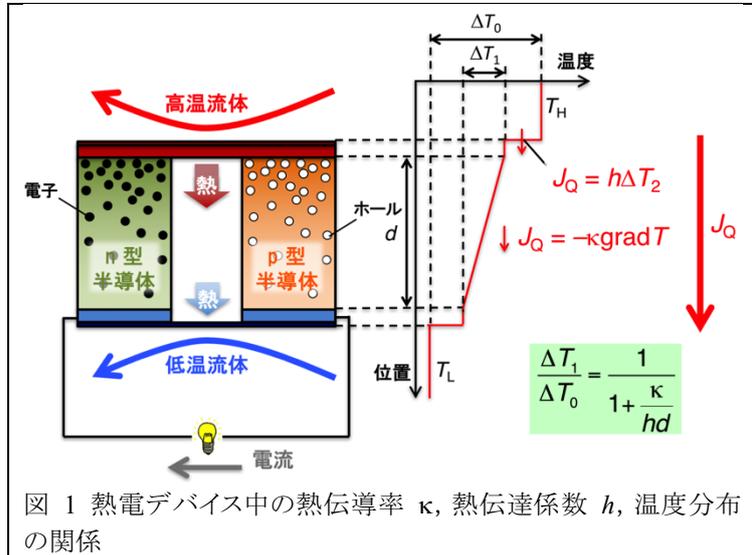


図 1 熱電デバイス中の熱伝導率 κ 、熱伝達係数 h 、温度分布の関係

高温と低温の熱流体間に大きい温度差 ΔT_0 があっても、この割合 ($\Delta T_1/\Delta T_0$) が大きくなければ大きい発電電圧 ($V = S\Delta T_1$) には結びつかない。この比を 1 に近づけるには、 κ/hd の項をできるだけ 1 に対して小さくする必要がある。熱電材料の開発指針として、一般に $zT \equiv S^2\sigma T/\kappa$ が高いことが求められ、 zT が高いと高い熱電変換効率に帰結する。ここでいう熱電変換効率は、熱電材料中を流れる熱エネルギーのうち (すなわち、 ΔT_1 の温度差の中で)、電気エネルギーとして取り出すことのできる割合である。それに対し、式 (3) は熱流体の温度差 ΔT_0 のうち、どの程度熱電材料中の温度差 ΔT_1 として有効に利用できるかを表す。流体が液体、気体の場合に κ/hd がどのような値になり得るかを、 h や κ の代表的な値に対して見積もると表 1 のようになる。見積もられる κ/hd の値は 1 に対して小さいとは言えず、現状では、低温と高温の流体の温度差を有効に利用できていない。

表 1 熱伝達係数 h の代表値と典型的な熱電材料の熱伝導率 κ 、温度勾配方向の長さ d に対する式 (3) 中の κ/hd の見積もり。

	h [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]	κ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	d [m]	κ/hd
気体	11–290	10	5×10^{-3}	6.9–1700
液体	290–5800	10	5×10^{-3}	0.34–6.9

2. 研究の目的

本研究では、熱電材料を多孔質化することにより熱伝達界面を立体化し、熱流体と垂直な方向の温度勾配を利用する。従来の π 型の熱電デバイスに比べ、熱界面の面積が顕著に増加するので、実効的な h が飛躍的に増大する。このような材料に必要な条件は次の通りである。

- (1) 貫通孔を有し、流体を流すことができる
- (2) 機械的性質に優れている
- (3) 優れた熱電能を有する

(1), (2) の条件を満たすためには、形態的には一方向に孔の伸びた多孔質材料が理想的である。水素雰囲気下での溶解、凝固により、固相に溶けきれない水素を気相として相分離させると、一方向性多孔質金属が作製できることが知られている。本研究では、この方法で、優れた熱電特性をもつ熱電材料を多孔質化する。この形態の多孔質材料では、孔の伸びた方向では応力集中が起こらず機械的な強度にも優れている。また、水素-アルゴン雰囲気圧力や混合比、凝固速度を調節すると、孔径、孔の体積分率を制御できることも利点である。

3. 研究の方法

(1) 熱電材料の多孔質化

水素雰囲気下での溶解、凝固により、固相に溶けきれない水素を気相として相分離させると、一方向性多孔質金属が作製できることが知られている。この方法による多孔質化においては、水素-アルゴン雰囲気下の圧力や混合比、凝固速度を調節すると、孔径、孔の体積分率を制御することも利点である。本研究では、この方法で、優れた熱電特性をもつ熱電材料の多孔質化を試みた。材料としてはシリコンを選定した。

また、一方向凝固における孔の伸びの制御を目的に、フェーズフィールド法による孔形成シミュレーションを行った。

(2) 多孔質熱電材料を用いた熱電変換デバイスの検討

このような多孔質化熱電材料の特長を有効に生かすデバイスを検討した。いくつかのデバイスの候補モデルを考案し、そのモデルに対し粒子法による熱流動シミュレーションを行った。

また、実際にデバイスを作製する際のコア技術となる熱電材料と電極材料の接合について実験的に検討した。熱電材料としてはシリコンを想定し、電極材料にシリコンと中間化合物をつくらない銀を選び、さまざま条件の下で拡散接合した。接合界面の性質を調べるために、接合強度および界面電気抵抗率を測定した。

4. 研究成果

(1) 熱電材料の多孔質化

図 2 に水素雰囲気下で鋳型に流し込み底面から一方向凝固を起こさせることにより作製した多孔質シリコンのポアに垂直な断面を示す。円形の孔が均一に生成している。一方、凝固方向に平行に切断した断面を観察すると、孔が一方向に伸びていることがわかる。すなわち、孔は凝固方向に平行に成長している。

次に、本方法で作製するポーラスシリコンを熱電材料として熱電変換システムに使用するためには、不純物元素の添加によるキャリア濃度の調整を行い、熱電特性を最適化することが必要である。そこで、不純物添加の孔形成への影響を調べてみた。ここでは、シリコンに対する N 型の添加元素としてよく知られているホウ素を添加した。この結果、ホウ素の添加の有無により、平均直径ならびにポロシティに有意な差は現れないことが明らかになった。また、本方法で作製した熱電材料は水素をある程度固溶しているものと考えられる。そこで、そのような水素が熱電特性に与える影響を調べた。各試料に対しホール効果測定を行った結果を表 2 に示す。測定結果よりホウ素の添加により大きくキャリア濃度が変化するものの水素の有無によっては、有意なキャリア濃度の差は生じないことが分かる。

このように水素雰囲気下における一方向凝固によりロータス型多孔質材料を作製することができることは、計算機実験によっても再現された。多成分・多相系を扱えるマルチフェーズフィールド法を用いて、一方向凝固時のアルミニウムにおけるポアの形成・成長過程をシミュレートした。フェーズフィールドとして $\phi_i(\vec{r}, t)$, $i = 0$ (固相), 1(液相), 2(ポア) を設定した。それらは各々の相の体積分率として解釈することができ、拘束条件として $\phi_0(\vec{r}, t) + \phi_1(\vec{r}, t) + \phi_2(\vec{r}, t) = 1$ が課せられている。変分原理によって得られた、フェーズフィールド $\phi_i(\vec{r}, t)$ の時間発展方程式を計算機で数値的に解くことによって、ポア形態の時間変化が得られる。図 3 にロータスアルミニウム金属における

ポア形成・成長過程、すなわちポアのフェーズフィールドの時間変化を示す。系の大きさは $100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$ であり、初期条件として過飽和液体中に 3 個のポア核が配置されている。この結果、時間の経過とともにポアが最初の球状から一方向に揃った紡錘形になることがわかった。その原因は溶融状態からの一方向凝固時における過飽和水素原子の析出に伴って、ポアが金属内に一方向に生成することによるものである。さらに詳細の検討の結果、ポアの径を測定しつつ移動速度を制御することができ

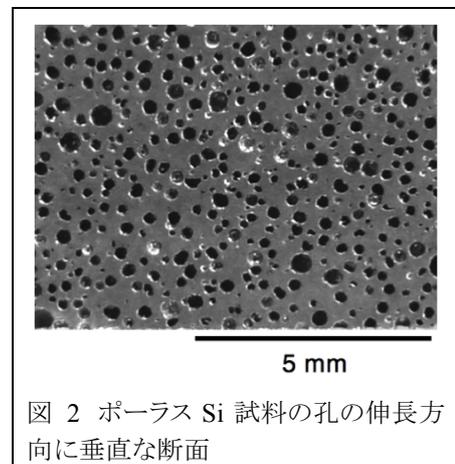


図 2 ポーラス Si 試料の孔の伸長方向に垂直な断面

表 2 水素雰囲気下ならびにアルゴン雰囲気下一方向凝固により作製した無垢ならびに多孔質シリコンのキャリア濃度

	キャリア濃度 (cm^{-3})	
	多孔質 (水素固溶あり)	無垢 (水素固溶なし)
B ドープなし	1.3×10^{18}	4.7×10^{18}
B ドープ (1at.%)	1.5×10^{21}	1.4×10^{20}

ばポアの径を変化させずに一方向に伸張させることも可能であることが明らかとなった。

(2) 多孔質熱電材料を用いた熱電変換デバイスの検討

多孔質化熱電材料の特長を有効に生かすデバイスを検討した。図 4 に模式図を示す。N, P 型の多孔質熱電材料を交互に配置し、それらの中を高温、低温流体が交互に透過する。流路は断熱材で区切り、隣り合う熱電材料間は金属電極で結合させる。すると電気的には、図中で多孔質熱電材料板上に描いた矢印に沿った経路が作られる。この経路に沿って、図中上方に描いた温度プロファイルが得られよう。これに伴い温度プロファイルの上に描いた電位が得られると考えられる。通常の π 型デバイスと同様に熱電対を直列につなぐ回路であるとわかる。

多孔質熱電材料を使用することによる高い実効熱伝達率は、熱電材料の温度がその中を流れる流体の温度により近いこと、すなわち、温度プロファイルにおける低温側と高温側の温度ギャップの大きさ、あるいは高温-低温流体間の距離を短く取れることに帰結する。後者はジュール熱によるロスを抑制することから、高効率化にもつながる。あるいは、熱の取り込み、放出が効率的であることから、熱流体とのマクロな接触面積を小さくすると考えられ、デバイスのコンパクト化にも優位にはたらく。また、 ΔT_1 (図 1) が大きくなる結果、熱電材料中の温度勾配は大きくなり、その中を流れる熱流 J_0 も大きくなる可能性がある。すなわち、熱電変換に供される熱流も大きくなり、大きい出力に結びつく。

熱電変換で得られた電気エネルギーの熱電材料自身による自己消費を抑えるには、熱電材料の電気抵抗を小さくする必要があるため、電流方向 (= 温度勾配の方向) の距離を短くする必要がある。一方で、この短い距離の中で大きい温度差が必要であるため、通常は熱伝導率の低い材料が求められる。このことは、熱電性能指数の式

$$z\bar{T} = \frac{S^2\sigma\bar{T}}{\kappa} \quad (4)$$

において、分子の電気伝導率 σ 、分母の熱伝導率 κ として表現されている。ここで、 S はゼーベック係数、 \bar{T} は熱電材料の平均温度である。従って、これまでの熱電材料の開発においては、熱伝導率の高い材料はスクリーニングで外されている可能性がある。しかし、多孔質熱電材料の場合、熱伝導率の低さではなく、高い比表面積に起因する高い熱伝達性により高温-低温流体間の距離の短さを実現できるのであり、熱伝導率の低さの重要度が相対的に下がると考えられる。式 (3) で言えば、 h を高めればその分 κ が高くても κ/hd の値は変わらない。このことは、熱電材料の候補材料の範囲の拡がりを意味し、結果として変換効率の向上へもつながるかもしれない。

より電力容量を大きくするためには、より大きい熱流が必要である。それには流体の流量がより大きい必要がある。このようなデバイスは、高温と低温の流体をそれぞれ多くの小さい流れに分岐させた上で、高温と低温の流体が交互に流れるものとなる。このとき、高温と低温の間隔が短いことが重要である。多孔質熱電材料を用いると実効的な h が大きいので、この距離が通常の π 型の熱電変換デバイスの温度勾配方向の熱電材料の長さより短くすることができる。このとき、多孔質熱電材料を使用することのメリットがある。

さらに、熱電材料を多孔質化し直接熱源の流体と熱交換させることによる効果を検証するため、粒子法による計算機シミュレーションで熱電材料中の温度分布評価を行った。

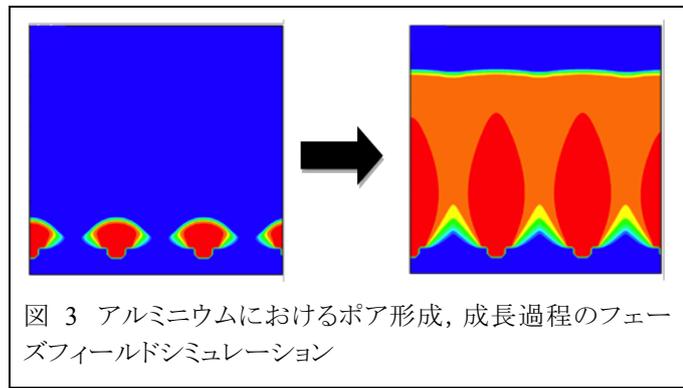


図 3 アルミニウムにおけるポア形成、成長過程のフェーズフィールドシミュレーション

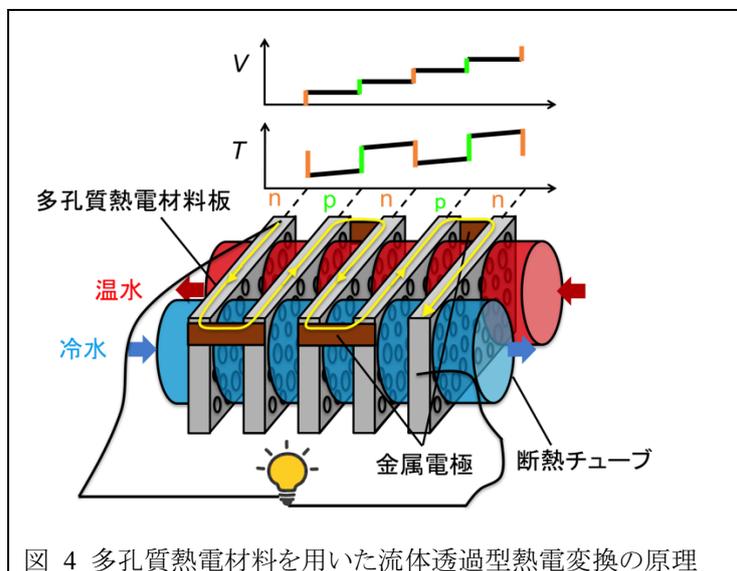


図 4 多孔質熱電材料を用いた流体透過型熱電変換の原理

図 5 に孔径 0.4 mm, 気孔率 22% の多孔質シリコン板 (孔は板面に垂直に伸び, どの孔も貫通している) に水を通過させる場合の多孔質シリコン板中の温度分布を示す. 水の温度は高温, 低温側がそれぞれ 80°C, 10°C と設定している. また, 室温の多孔質シリコンに水を流し始めてから 0.4 s が経過し定常状態に近い. 中央に水流と平行な方向に二つの水流を分けるための断熱材を入れており, この部分には孔もなく, 従って流体との熱交換もしない. この部分は直線的に温度が変化している. 熱の逃散や湧き出しがないとする本シミュレーションでは, 高温の熱が低温へ流れる際に熱流が変化しないため, 高温から低温への熱流は温度に依らず一定である. 熱伝導率 κ も温度に依らないと仮定しているため, 温度プロファイルは直線となるのが当然である. この部分に比べ, 多孔質で温水, 冷水とそれぞれ熱交換している領域では, 多孔質シリコンの温度が前述の直線から流体の温度に近づくように偏位している. これは, それぞれの領域の高い熱伝達性の証左といえる. 実際に, 温度プロファイルから実効的な熱伝達係数を求めると, 熱伝達係数が一けたほど高いことが示された.

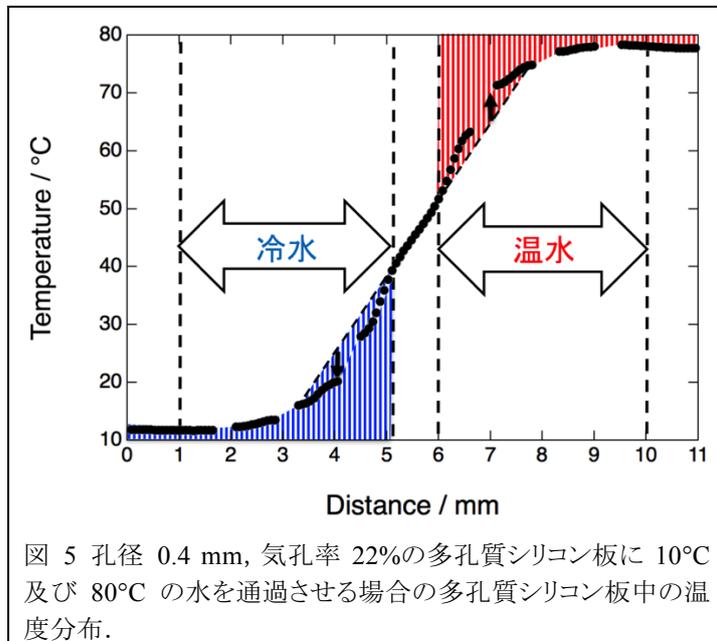


図 5 孔径 0.4 mm, 気孔率 22% の多孔質シリコン板に 10°C 及び 80°C の水を通過させる場合の多孔質シリコン板中の温度分布.

図 5 の温度プロファイルより, 多孔質化により, 孔が無い場合に比べ, 同じ距離で比較すると熱電材料中の温度差が大きく取れるようになっていることがわかる. あるいは, 同じ温度差を与える距離が短い, すなわちコンパクト化が可能であることが示唆される.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 劉濱, 池田輝之, 篠嶋妥	4. 巻 68
2. 論文標題 ロータスアルミニウムにおけるポア成長のフェーズフィールドシミュレーション (Phase field simulation of pore growth in lotus aluminum)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 軽金属	6. 最初と最後の頁 257-258
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Bin Liu, Teruyuki Ikeda, Yasushi Sasajima	4. 巻 229
2. 論文標題 Phase-field simulation of the Si precipitation process in Mg ₂ Si under an applied stress	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Mater. Sci. Eng. B	6. 最初と最後の頁 65-69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mseb.2017.12.022	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 池田輝之, 佐々木誠, 永野隆敏	4. 巻 29
2. 論文標題 流体透過性多孔質熱電材料を用いた新しい熱電変換モジュール	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 クリーンエネルギー	6. 最初と最後の頁 51-55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 池田輝之, 永野隆敏, 篠嶋妥	4. 巻 39
2. 論文標題 ロータス型多孔質熱電材料を用いた新しい熱電変換デバイスの可能性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 機能材料	6. 最初と最後の頁 52-59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計24件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 日山 洋平、橋本 康孝、池田 輝之
2. 発表標題 連続鋳造法によるロータス型ポーラスシリコンの作製
3. 学会等名 日本金属学会2020年春期講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々木 誠、橋本 康孝、永野 隆敏、池田 輝之
2. 発表標題 粒子法シミュレーションにより評価した流体透過性多孔質熱電材料の熱伝達係数の形状パラメータ依存性
3. 学会等名 日本金属学会2020年春期講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 橋本 康孝、佐々木 誠、日山 洋平、永野 隆敏、池田 輝之
2. 発表標題 多孔質Siを用いた熱電変換デバイスの作製条件検討
3. 学会等名 日本金属学会2020年春期講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yasutaka HASHIMOTO, Makoto SASAKI, Yohei HIYAMA, Takatoshi NAGANO, Teruyuki IKEDA
2. 発表標題 Examination of Fabrication Condition of Thermoelectric Conversion Devices Using Porous Thermoelectric Materials
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (MRM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasutaka Hashimoto, Makoto Sasaki, Yohei Hiyama, Takatoshi Nagano, Teruyuki Ikeda
2. 発表標題 Fabrication of porous thermoelectric materials and their applications
3. 学会等名 The 4th International Symposium of Quantum Beam Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yohei Hiyama, Yasutaka Hashimoto, Teruyuki Ikeda
2. 発表標題 Influence of solidification rate on pore formation in lotus silicon
3. 学会等名 The 4th International Symposium of Quantum Beam Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makoto Sasaki, Teruyuki Ikeda
2. 発表標題 Evaluation of heat transfer coefficient of fluid-transmissive porous thermoelectric material by particle method simulation
3. 学会等名 The 4th International Symposium of Quantum Beam Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 日山 洋平, 池田 輝之
2. 発表標題 多孔質シリコンの孔形成に及ぼす凝固速度の影響
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木誠, 橋本康孝, 永野 隆敏, 池田輝之
2. 発表標題 粒子法シミュレーションによる熱流体透過型多孔質熱電材料の熱伝達係数の精度評価
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橋本康孝, 佐々木誠, 日山洋平, 永野隆敏, 池田輝之
2. 発表標題 多孔質Siを用いた熱電変換デバイス作製に向けて
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Teruyuki Ikeda
2. 発表標題 Towards enhanced thermoelectronic conversion-from a structural approach
3. 学会等名 The Second Asian Workshop of Experiment and Theory in Quantum Beam Molecular Sciences (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasutaka Hashimoto, Makoto Sasaki, Takatoshi Nagano, Teruyuki Ikeda
2. 発表標題 Towards fabrication of thermoelectric conversion devices using porous thermoelectric materials
3. 学会等名 The 38th International Conference on Thermoelectrics & The 4th Asian Conference on Thermoelectrics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Teruyuki Ikeda
2. 発表標題 Fabrication of porous thermoelectric materials with elongated pores and its applications
3. 学会等名 The 38th International Conference on Thermoelectrics & The 4th Asian Conference on Thermoelectrics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田輝之
2. 発表標題 流体透過性多孔質熱電材料を用いた新しい熱電変換モジュール
3. 学会等名 新技術説明会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯塚恒太, 湯地隆介, 遠藤基史, 池田輝之, 篠嶋妥
2. 発表標題 計算機実験によるロータスアルミニウムにおけるポア成長の最適条件探索
3. 学会等名 軽金属学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橋本康孝, 佐々木誠, 永野隆敏, 池田輝之
2. 発表標題 多孔質熱電変換材料を用いた熱電変換デバイスの作製条件の検討
3. 学会等名 日本金属学会2019年春季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯塚恒太, 篠嶋妥, 湯地隆介, 遠藤基史, 池田輝之
2. 発表標題 ロータスアルミニウムにおけるポア成長のフェーズフィールドシミュレーション
3. 学会等名 日本金属学会2019年春季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎拓矢, 井手拓哉, 池田輝之, 中嶋英雄
2. 発表標題 一方向に伸びた孔をもつ多孔質シリコンの熱電特性
3. 学会等名 日本金属学会2018年秋季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木誠, 永野隆敏, 池田輝之, 井手拓哉, 中嶋英雄
2. 発表標題 粒子法シミュレーションによる熱流体透過型多孔質熱電材料の熱伝達係数評価
3. 学会等名 日本熱電学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 橋本康孝, 佐々木誠, 山崎拓矢, 池田輝之
2. 発表標題 多孔質熱電材料を用いた熱電変換デバイス開発における基礎的検討
3. 学会等名 日本熱電学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Teruyuki Ikeda, Takatoshi Nagano, Takuya Ide, Hideo Nakajima
2. 発表標題 Porous thermoelectric materials and their applications
3. 学会等名 The 35th International Conference & The 1st Asia Conference on Thermoelectrics
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木誠, Shiva Kumar Singh, 永野隆敏, 池田輝之, 井手拓哉, 中嶋英雄
2. 発表標題 粒子法シミュレーションによる熱流体透過型多孔質熱電材料の温度分布評価
3. 学会等名 日本金属学会2018年春季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 リュウビン、池田輝之、篠嶋 妥
2. 発表標題 ロータスアルミニウム金属におけるポア成長のフェーズフィールドシミュレーション
3. 学会等名 日本軽金属学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山崎拓矢、児島孝文、井手拓哉、池田輝之、中嶋英雄
2. 発表標題 一方向に孔の揃った多孔質シリコンの作製と熱電特性
3. 学会等名 日本熱電学会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 熱電変換モジュール	発明者 池田輝之, 児島孝文, 永野隆敏, 他	権利者 国立大学法人茨 城大学, 株式会 社ロータスマテ
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-052531	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<p>材料組織と機能の研究室 Ikeda Group http://tematiu.web.fc2.com/index.html</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	篠嶋 妥 (Sasajima Yasushi) (80187137)	茨城大学・理工学研究科(工学野)・教授 (12101)	
研究分担者	永野 隆敏 (Nagano Takayoshi) (70343621)	茨城大学・理工学研究科(工学野)・講師 (12101)	
研究分担者	鶴殿 治彦 (Udono Haruhiko) (10282279)	茨城大学・理工学研究科(工学野)・教授 (12101)	