

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02608

研究課題名(和文)量子縮退制御したチオフェン dendrimer の巨大な熱電変換機能の創出

研究課題名(英文) Thermoelectric properties of thiophene dendrimers controlled by quantum degeneracy

研究代表者

小柴 康子 (Koshiba, Yasuko)

神戸大学・工学研究科・助手

研究者番号：70243326

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：熱電変換技術は温度勾配を有する材料の両端に起電力が生じるゼーベック効果を用い、熱エネルギーを電気エネルギーに変換する技術である。本研究では人体に接触した使用を視野にいれ、無機系の熱電材料に比べてしなやかで軽い有機熱電材料に注目した。新規熱電変換材料として分子構造の異なるオリゴチオフェン dendrimer を取り上げ、分子対称性の異なるチオフェン dendrimer 分子を合成しドーピング方法を開発して熱電変換特性を評価した。分子対称性が高く軌道縮退性の高いチオフェン dendrimer 分子にドーピングをすると高いゼーベック係数を示すことが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では熱電変換材料として新規にチオフェン環が枝分かれした構造をもつチオフェン dendrimer を取り上げ、その熱電変換特性を初めて報告した。また、チオフェン dendrimer の分子対称性・軌道縮退性とゼーベック係数との相関関係を明らかにし、一般的な金属においてゼーベック係数はフェルミ準位における状態密度の傾きに比例するというMottの理論が有機半導体においても適用できるかについて検証することができた。新規有機熱電変換材料の分子設計に関する知見を得ることができた。本研究の成果は創エネ技術に貢献するものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Thermoelectric (TE) generation is a technology based on the Seebeck effect. The TE voltage is proportional to temperature difference, and waste heat is converted into electrical energy. In this study, we focused on the organic TE materials because of their flexibility and light weight, with a view to using them in contact with the human body. We synthesized two types of oligothiophene dendrimers with different symmetry of molecular structures, as a new TE material; and investigated their doping methods and TE properties. The doped thiophene dendrimer with higher symmetrical structure and and degeneracy of the energy levels exhibited large Seebeck coefficient.

研究分野：物質物理化学

キーワード：チオフェン dendrimer 熱電変換 有機半導体

1. 研究開始当初の背景

温度勾配を有する材料の両端に起電力が生じるゼーベック効果を用い、熱エネルギーを電気エネルギーに変換する熱電変換技術は、廃熱を有効利用できる技術として注目を集め、工場、自動車等の廃熱の利用を視野に主に無機系の熱電材料の研究が行われてきた。一方、すでに広がりつつある IoT(モノのインターネット)においては、身の回りに大量に配置されるセンサ・無線デバイスの電源確保がひとつの問題となっており、熱電変換デバイスは給電用のエナジーハーベスターとしての発展も期待されている。このような背景のもと環境中への配置、また将来的には人体に接触した使用を視野に入れ、環境負荷が少なく、しなやかな有機熱電材料への関心も高まっている。

熱電変換材料の熱電性能は材料の導電率 σ 、ゼーベック係数 S 、熱伝導率 κ 、を用いて温度差 1 K あたりの発電量に相当するパワーファクター P ($P = S^2 \sigma$) と、無次元性能指数 ZT ($ZT = S^2 \sigma T / \kappa$) により表される。有機材料の熱伝導率 κ は典型的な無機熱電材料の 10 分の 1 から 100 分の 1 程度であり、同じ ZT を得るために必要な P は 10 分の 1 程度以下でよい。しかし、現状では無機熱電材料に比べて有機熱電材料の ZT は低く性能向上が望まれる。 S 、 σ はどちらもキャリア濃度の関数であり独立で制御することは難しく、 σ が大きくなると S は小さくなるので、 ZT および P の向上のためには S の大きい材料で最適キャリア濃度への調整が必要になる。

有機熱電材料に関しては、導電性高分子とカーボンナノチューブ (CNT) 系材料が高い熱電性能を持つことが示されてきているが、低分子系有機半導体も有機熱電材料候補として研究対象となってきている。しかし、有機熱電材料開発の指針に繋がると考えられる、有機半導体の分子構造とゼーベック係数との関連に関しては未だ解明できていない部分が多い。Mott の理論によれば、一般的な金属においてゼーベック係数はフェルミ準位における状態密度の傾きに比例する。有機半導体においても同様の現象が成り立つと仮定すれば、高い対称性をもち π 軌道の縮退が起こる材料においてフェルミ準位近傍での状態密度の傾きが大きくなり、大きなゼーベック係数を示す材料になり得る可能性があると考えられる。しかし、有機半導体の対称性に注目し、分子構造、電子状態と熱電変換特性との相関を詳細に検討した研究例はない。そこで我々は、分子設計で対称性を制御できる π 共役系 dendrimer に着目した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、対称性をコントロールした π 共役系 dendrimer として炭素原子と硫黄原子からなる 5 員環：チオフェンが樹状に連結したオリゴチオフェン dendrimer を合成し、オリゴチオフェン dendrimer のキャリア状態の制御のために、ドーピング方法を開発する。ドーピングしたオリゴチオフェン dendrimer 薄膜の構造・電子状態の評価、および熱電変換特性評価を行い、量子科学計算の結果と合わせて分子構造・電子状態と熱電変換特性との相関を明らかにし、ドーピングによるキャリア状態の制御を含め最適条件を決定し、量子縮退制御したオリゴチオフェン dendrimer 薄膜を用いた熱電素子を作製することである。

3. 研究の方法

チオフェン環 7 個が 2 回枝分かれして連結している 7T が 2 個繋がった 14T とフェニル基を介して 3 個繋がった Ph-(7T)₃ の 2 種のオリゴチオフェン dendrimer (図 1) を Kumada-Tamao-Corriu coupling, homocoupling によりそれぞれ合成した。量子科学計算は Gaussian 3.0 package によって行なった。汎関数として B3LYP を、基底関数として 6-31G(d) を用いた。

14T、Ph-(7T)₃ のクロロホルム溶液に酸化剤(ドーパント)塩化鉄六水和物(FeCl₃·6H₂O)クロロホルム分散液を種々の添加率で混合し、過剰なドーパントを遠心分離により除去した後、14T、Ph-(7T)₃ 溶液の UV-vis 測定を行った。14T、Ph-(7T)₃ 薄膜はドロップキャスト法により成膜した。14T、Ph-(7T)₃ 薄膜の FT-IR 測定、イオン化エネルギー測定、導電率測定、熱電変換特性評価を行った。

14T と代表的な導電性高分子であるポリ(3-ヘキシルチオフェン)P3HT とを種々の割合で混合しキャスト法により薄膜を作製した。フルオロリン酸ニトロシル(NOPF₆)を酸化剤として用いて、14T/P3HT 薄膜へのドーピングを試みた。14T/P3HT 薄膜を NOPF₆ クロロホルム溶液に浸漬し、ドーピング状態を評価し、ドーピングレベルを変化させた 14T/P3HT 薄膜の熱電変換特性評価を行った。

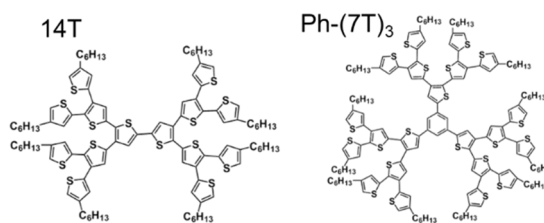


図 1. 14T, Ph(7T)₃ の分子構造

4. 研究成果

14T、Ph-(7T)₃の合成経路を図2に示す。14T、Ph-(7T)₃の収率はそれぞれ53%、90%であった。以下の実験は合成した14T、Ph-(7T)₃を用いて行った。

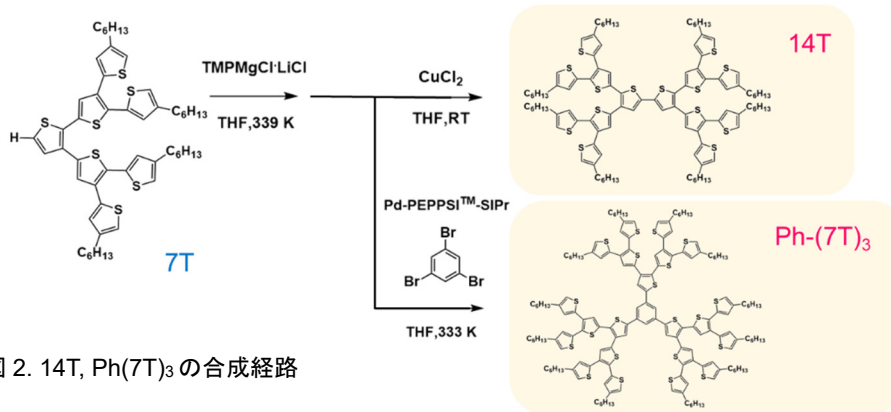


図2. 14T, Ph(7T)₃の合成経路

14T、Ph-(7T)₃のクロロホルム溶液にFeCl₃·6H₂Oクロロホルム分散液を混合すると、溶液は黄色から濃青色に変化した。14Tクロロホルム溶液のUV-visスペクトルを図3(a)に示す。ドーブ前と比較してドーブ後に吸収ピークの長波長シフトが観測され、FeCl₃·6H₂O添加による化学ドーピングが示唆された。ドーブ前後の14Tキャスト膜のFT-IRスペクトルを図3(b)に示す。ドーブ前の14T薄膜のスペクトルには、1460cm⁻¹、1500cm⁻¹付近に吸収ピークが観測されるが、ドーブ後の14T薄膜ではピークが消失し、新たに1600~1650cm⁻¹付近に吸収ピークが観測された。消失した吸収ピークはチオフェンの中性状態であるベンゾイド構造に由来し、FeCl₃·6H₂Oによりドーピングされた14Tはベンゾイド構造からチオフェンのポーラロン、バイポーロン状態に由来するキノイド構造に変化したと考えられた。Ph-(7T)₃についても同様の結果が得られ、酸化剤FeCl₃·6H₂O添加によるドーピングにより14T、Ph-(7T)₃はポーラロン、バイポーロン状態になったと考えられた。ドーピングにより14T、Ph-(7T)₃キャスト膜の抵抗値は14Tで7桁、Ph-(7T)₃で3桁減少し、それぞれ導電率は7.43×10⁻⁴ S·cm⁻¹、2.38×10⁻⁵ S·cm⁻¹となり熱電変換特性評価を行うことができた。

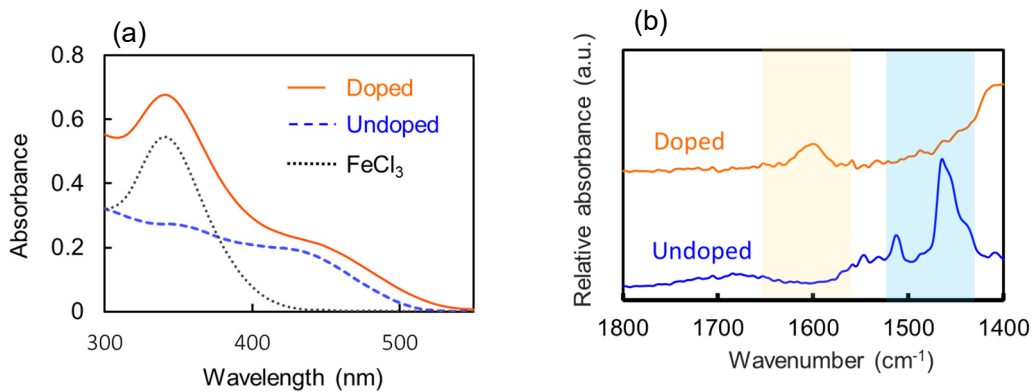


図3. 14Tクロロホルム溶液のUV-visスペクトル(a)、とキャスト膜のFT-IRスペクトル(b).

図4にゼーベック係数測定の様式図とドーブ後の14T、Ph-(7T)₃ドロップキャスト薄膜のゼーベック係数測定結果を示す。横軸にΔT、縦軸に-ΔVをプロットすると、正の傾きをもつ直線が得られ、14T、Ph-(7T)₃ともにメジャーキャリアがホールであるp型半導体特性を示した。

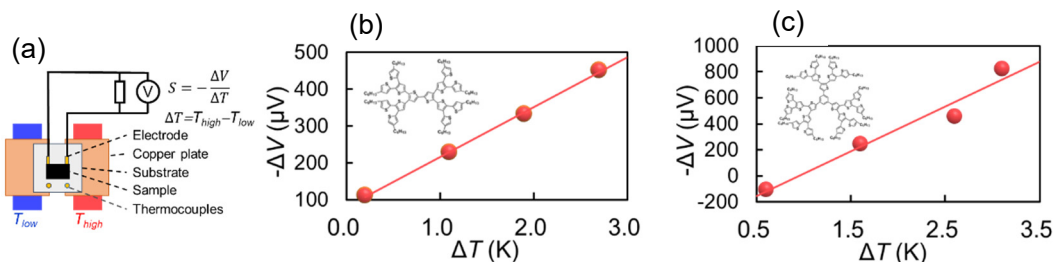


図4. ゼーベック係数測定の様式図(a)と14T(b)、Ph-(7T)₃(c)のゼーベック係数測定結果

直線の傾きから算出されたゼーベック係数の最大値は 14T で+135 $\mu\text{V}\cdot\text{K}^{-1}$ 、Ph-(7T)₃ で+343 $\mu\text{V}\cdot\text{K}^{-1}$ であった。この値は無機系熱電変換材料の中で最も性能が高いといわれる Bi₂Te₃ と同等か、それを上回る値であった。

量子化学計算より直鎖状オリゴチオフェン 6T、14T、Ph-(7T)₃ の軌道縮退性を評価した。計算結果より作成した 6T、14T、Ph-(7T)₃ の電子軌道マッピングとエネルギーバンド図を図 5 に示す。

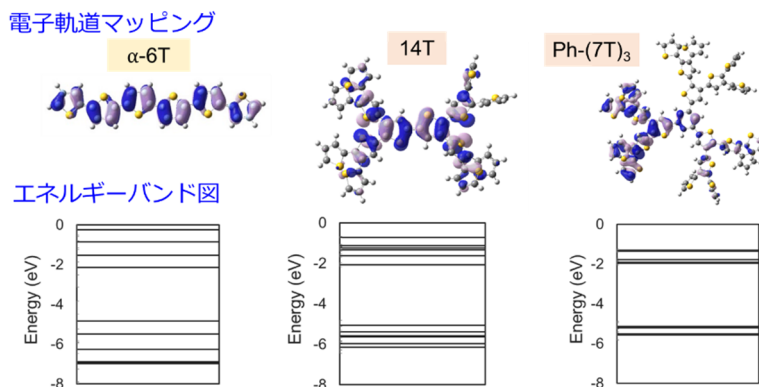


図 5. 6T, 14T, Ph-(7T)₃ の電子軌道マッピングとエネルギーバンド図。

軌道縮退性は分子構造の対称性が高い Ph-(7T)₃ が最も高くなった。軌道縮退性とゼーベック係数を比較すると、ゼーベック係数は 6T の文献値が+80 $\mu\text{V}\cdot\text{K}^{-1}$ であり、6T (+80 $\mu\text{V}\cdot\text{K}^{-1}$) < 14T (+135 $\mu\text{V}\cdot\text{K}^{-1}$) < Ph-(7T)₃ (+343 $\mu\text{V}\cdot\text{K}^{-1}$) と、軌道縮退性の大小関係と一致し、構造対称性・軌道縮退の高い分子が高いゼーベック係数を示すことが明らかになった。Mott の式で表されるゼーベック係数 S はフェルミ準位における状態密度の傾きに比例する。今回用いたチオフェン dendrimer で軌道縮退性の高かった Ph-(7T)₃ に FeCl₃·6H₂O を用いてドーピングすることで、Ph-(7T)₃ のフェルミレベルが縮退した HOMO レベルに近づき大きなゼーベック係数が得られたと考えられた。

以上の結果から、分子対称性が高く、軌道縮退性の高い、チオフェン dendrimer にドーピングすると大きなゼーベック係数をもつことが明らかとなったが、14T、Ph-(7T)₃ ドロップキャスト薄膜はいずれも導電性が低くパワーファクターの向上には薄膜の導電性向上が必要であった。そこで 14T に代表的な導電性高分子であるポリ(3-ヘキシルチオフェン)P3HT を混合し、チオフェン dendrimer の大きなゼーベック係数を活かしながら P3HT による導電性の向上を検討した。

14T クロロホルム溶液と P3HT (図 6(a)) クロロホルム溶液を 14T : P3HT の比率はチオフェン環個数比で 10:1 として混合し基板上に滴下しクロロホルム雰囲気下で溶媒を揮発し 14T/P3HT 薄膜を作製した。ドーパントとしてフルオロリン酸ニトロシル(NOPF₆) (図 6(b)) を用い 14T/P3HT 薄膜へのドーピングを試みた。NOPF₆ は溶媒中で NO⁺ イオンと PF₆⁻ イオンに分かれ、NO⁺ イオンがチオフェン環から電子を引き抜き、絶縁性の NO ガスが薄膜から離脱すると考えられ、絶縁物が薄膜中に残存しないことから 14T/P3HT 薄膜の導電性向上が期待できる。作製した 14T/P3HT 薄膜を NOPF₆ アセトニトリル溶液に浸漬すると、薄膜の色は赤茶色から黒みを帯びた色に変化した(図 6(c))。浸漬後の薄膜をアセトニトリル中でリンスし、薄膜表面に残存する過剰なドーパントを除去し大気中で自然乾燥させた。ドーピング前後の 14T/P3HT 薄膜の走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察、原子間力顕微鏡 (AFM) 観察によりドーブ後の 14T/P3HT 薄膜の表面に凝集物が観察された。しかし膜の平坦性に問題はなく電気特性評価は可能であると考えられた。

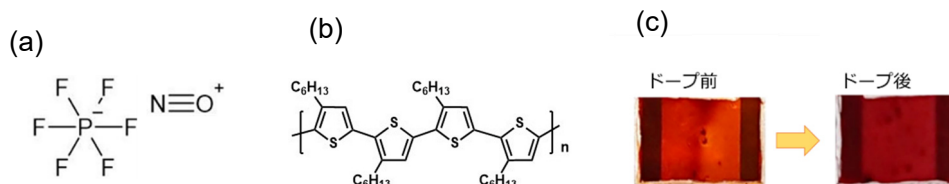


図 6. NOPF₆(a), P3HT(b)の分子構造と、浸漬前後の 14T/P3HT 薄膜の色の变化。

図 7 に NOPF₆ アセトニトリル溶液に浸漬 2 分後と 50 分後の 14T/P3HT 薄膜の可視-近赤外 (Vis-NIR) 領域での吸収スペクトル(a)と、ドーブ前後の電流密度-電圧 (J - V) 測定結果(b)を示す。浸漬 2 分と 50 分後の Vis-NIR スペクトルを比較すると、浸漬後 50 分では 650 nm~1000nm 付近でのポーラロン由来の吸収、および 1200nm より長波長でのバイポーラロン由来の吸収が大きくなり、NOPF₆ による 14T/P3HT 薄膜へのドーブが示唆された。ドーブ前後の 14T/P3HT 薄膜の J - V 測定を行った。ドーブ前は 14T/P3HT 薄膜に電圧を印加しても電流はほとんど観測されず、抵抗値は

293 GΩであった。しかし、50分ドープ後は印加した電圧に対してオーミックな電流値が観測され、抵抗値は51 kΩと低下した。14T/P3HT 薄膜の導電率はドープ前と比較して約 4×10^6 倍向上した。

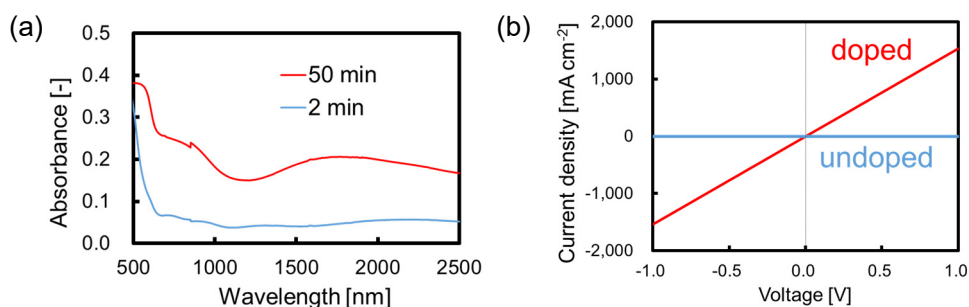


図 7. 14T/P3HT 薄膜の(a)Vis-NIR スペクトル変化と、(b)電流密度-電圧(J-V)測定結果。

浸漬時間によりドーピングレベルを変化させて、ドープ後の 14T/P3HT 薄膜のゼーベック係数、および導電率を測定した。図 4(a)と同様のセットアップで電極上に成膜しドープした 14T/P3HT 薄膜に温度差を付与して電極間の電圧を測定した。横軸に ΔT 、縦軸に $-\Delta V$ をプロットすると、正の傾きをもつ直線が得られ、14T/P3HT はメジャーキャリアがホールである p 型半導体特性を示した。ドーピングの進行とともにゼーベック係数は約 $+200 \times 10^{-6} \text{ V/K}$ から約 $+30 \times 10^{-6} \text{ V/K}$ へ減少した。ドープ初期のゼーベック係数の値は無機系熱電変換材料の中で最も性能が高いといわれる Bi_2Te_3 のゼーベック係数と同程度であった。ゼーベック係数と導電率からパワーファクターを算出し、酸化剤として $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ でドープした 14T 薄膜の熱電変換特性と比較した。NOPF₆ でドープした 14T/P3HT 薄膜では、最大のパワーファクターはゼーベック係数が約 $+120 \times 10^{-6} \text{ V/K}$ 、導電率 0.21 S/cm の時に約 $3 \times 10^{-7} \text{ W/mK}^2$ となり、酸化剤 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ でドープした 14T 薄膜と比較して、導電率が 35 倍向上したことにより、パワーファクターが約 30 倍向上した。以上の結果より、導電性高分子との複合化はチオフェン dendrimer の高いゼーベック係数を活かしつつ、導電性を向上させる方法の 1 つとして有効であると考えられた。

以上、本研究では、これまで熱電変換材料としての評価が行われていなかった π 共役系 dendrimer の中でオリゴチオフェン dendrimer に着目し、分子対称性が異なるチオフェン dendrimer 分子を合成、キャリア状態の制御のためにチオフェン dendrimer のドーピング方法を検討し、分光学的評価・構造評価と熱電変換特性評価を行った。一方、Mott の理論より期待した「高い対称性をもち π 軌道の縮退が起こる有機半導体材料において大きなゼーベック係数を示す材料になり得る可能性」の検証のために、合成したチオフェン dendrimer 分子 14T、Ph-(7T)₃ について量子科学計算を行い、分子対称性と軌道縮退性を評価し熱電変換特性との関連づけを行った。

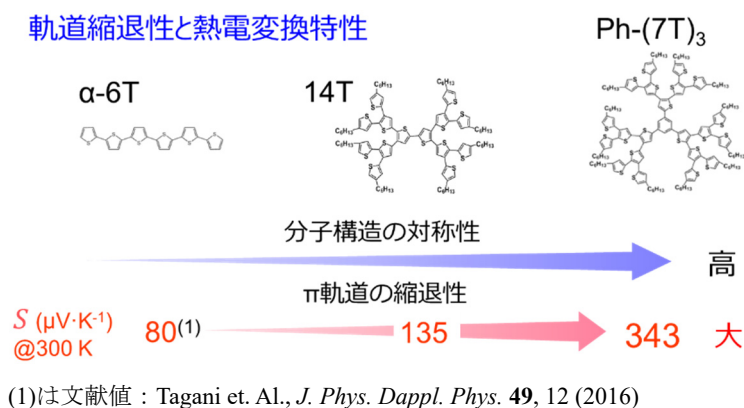


図 8. チオフェン dendrimer の分子構造とゼーベック係数の関連。

分子対称性が高い Ph-(7T)₃ は軌道縮退性が高くなり、Ph-(7T)₃ へのホールドーピングにより、無機系熱電変換材料の中で最も性能が高いといわれる Bi_2Te_3 と同等以上の高いゼーベック係数を観測することができ、新規熱電変換材料としてのオリゴチオフェン dendrimer の可能性を示すことができた。また、有機半導体材料において、分子対称性が高い材料では π 軌道の縮退が起こり高いゼーベック係数を示す材料になり得ると考えられることから、新規有機熱電変換材料の分子設計に関する知見を得ることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Yohei Sutani, Yasuko Koshiba, Tatsuya Fukushima, Kenji Ishida	4. 巻 228
2. 論文標題 Formation mechanism of ferroelectric poly (vinylidene fluoride-trifluoroethylene) copolymers with in-plane dipole alignment under low electric field from melt and its SPR based pyroelectric sensor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 123904-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2021.123904	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 石田謙司, 山田萌菜美, 小柴康子, 福島達也	4. 巻 32
2. 論文標題 ジバラキシリレンの真空中での蒸発挙動に関する研	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 応用物理学会 有機分子・バイオエレクトロニクス分科会誌:M&BE	6. 最初と最後の頁 78-83
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 Kohki Uneda, Shohei Horike, Yasuko Koshiba, Kenji Ishida	4. 巻 249
2. 論文標題 Dipole switching dynamics in P(VDF-TrFE) film revealed by in-situ polarization switching and infrared spectroscopy measurements with high-time resolution	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 124822-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2022.124822	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Kota Oki, Shohei Horike, Mana Yamaguchi, Chikayo Takechi, Yasuko Koshiba, Tatsuya Fukushima, Atsunori Mori and Kenji Ishida	4. 巻 5
2. 論文標題 Thermoelectric thiophene dendrimers with large Seebeck coefficients	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Molecular Systems Design & Engineering	6. 最初と最後の頁 809-814
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0me00017e	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 Yasuko Koshiba, Mana Hirai, Shohei Horike, Tatsuya Fukushima, Kenji Ishida	4. 巻 688
2. 論文標題 Preparation of poly(3,4-ethylenedioxythiophene) by vapor-phase polymerization at the interface between 3,4-ethylenedioxythiophene vapor and oxidant melt	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Molecular Crystal and Liquid Crystals	6. 最初と最後の頁 53-59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/1542h1406.2019.1651068	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 Atsunori Mori, Keisuke Fujita, Chihiro Kubota, Toyoko Suzuki, Kentaro Okano, Takuya Matsumoto, Takashi Nishino, and Masaki Horie	4. 巻 16
2. 論文標題 Formal preparation of regioregular and alternating thiophene-iophene copolymers bearing different substituents	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Beilstein J. Org. Chem.	6. 最初と最後の頁 317-324
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3762/bjoc.16.31	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Atsunori Mori, Chihiro Kubota, Keisuke Fujita, Masayasu Hayashi, Tadayuki Ogura, Toyoko Suzuki, Kentaro Okano, Masahiro Funahashi, Masaki Horie	4. 巻 53
2. 論文標題 Thermally-induced self-doping of -conjugated polymers bearing a pendant neopentyl sulfonate group	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 1171-1179
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.9b02554	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 該当する

1. 著者名 Monamie Yamada, Yasuko Koshiba, Shohei Horike, Tatsuya Fukushima, and Kenji Ishida	4. 巻 59
2. 論文標題 Thermophysical properties of the parylene C dimer under vacuum	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SDDA15-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab5919	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yushin Shibuya and Atsunori Mori	4. 巻 26
2. 論文標題 Dehalogenative or Deprotonative? The Preparation Pathway to the Organometallic Monomer of Transition Metal-Catalyzed Catalyst-Transfer-Type Polymerization of Thiophene Derivatives	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chem. Eur. J.	6. 最初と最後の頁 6976-6987
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201905653	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 -

〔学会発表〕 計21件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Yasuko Koshiba, Kota Oki, Shohei Horike, Atsunori Mori, Kenji Ishida
2. 発表標題 Improvement of thermoelectric properties of chemically-doped thiophene dendrimer with carbon nanotube
3. 学会等名 2021 KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics : KJF-ICOMEPEP 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kenta Higashida, Iori Sugimoto, Yasuko koshiba, and Kenji Ishida
2. 発表標題 Formataion of pn-junction phthalocyanine nanorods and I-V measurement using Conductive AFM
3. 学会等名 2021 KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics : KJF-ICOMEPEP 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石田謙司
2. 発表標題 ジバラキシリレンの真空中での蒸発挙動に関する研究
3. 学会等名 応用物理学会 有機分子・バイオエレクトロニクス分科会 研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石田謙司
2. 発表標題 樹状分子の空間対称性を活用した熱電変換分子の創出
3. 学会等名 神戸大学 新技術説明会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石田謙司
2. 発表標題 有機・高分子材料を用いた環境発電
3. 学会等名 第52回中部化学関係学協会支部連合秋季大会（静岡）（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石田謙司
2. 発表標題 チオフェン樹状分子のドーピング状態制御と熱電変換特性
3. 学会等名 NAISTナノテクノロジープラットフォーム最終総合シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小柴康子, 隠岐晃太, 堀家匠平, 森敦紀, 石田謙司
2. 発表標題 量子縮退制御したチオフェン dendrimer の合成と熱電変換特性
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋大樹, 堀家匠平, 小柴康子, 石田謙司
2. 発表標題 真空下熱重量測定による鎖状アルカン蒸発挙動の鎖長依存性評価
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小柴康子・隠岐晃太・堀家匠平・山口真奈・武智恭世・福島達也・森敦紀・石田謙司
2. 発表標題 チオフェンドンドリマーへの化学ドーピングと巨大ゼーベック係数
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山崎 亮太 , 堀家 匠平 , 小柴 康子 , 福島 達也 , 石田 謙司
2. 発表標題 半導体型 CNT/強誘電ポリマー積層膜の分極制御と熱電変換特性
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小柴康子・隠岐晃太・堀家匠平・山口真奈・武智恭世・福島達也・森敦紀・石田謙司
2. 発表標題 チオフェンドンドリマーへの化学ドーピングと熱電変換特性
3. 学会等名 薄膜材料デバイス研究会 第17回研究集会「薄膜デバイスの原点」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三木佑一郎, 小柴康子, 堀家匠平, 福島達也, 森敦紀, 石田謙司
2. 発表標題 導電性高分子とコンポジット化したチオフェンデドリマーの熱電変換特性
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 東田 憲汰 , 小柴 康子 , 福島 達也 , 石田 謙司
2. 発表標題 pn接合フタロシアニンナノロッド作製とAFMによる局所電気特性評価
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田萌菜美 , 小柴康子, 福島達也 , 石田謙司
2. 発表標題 真空熱重量測定における蒸発係数 の基礎検証
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuko Koshiba Iori Sugimoto Shohei Horike Tatsuya Fukushima Kenji Ishida
2. 発表標題 Formation of p-n junction nanorods by heteroepitaxial growth of phthalocyanine
3. 学会等名 10th International Conference on Molecular Electronics & BioElectronics (M&BE10) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 7.Ryota Yamasaki, Shohei Horike, Yasuko Koshiba, Tatsuya Fukushima and Kenji Ishida
2. 発表標題 Polarity Tuning of Semiconducting Single-walled Carbon Nanotube by Dipole Field of Ferroelectric Polymer for Thermoelectric Conversion
3. 学会等名 2019 International Conference on Solid State Devices and Materials(SSDM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 12.Kota Oki, Shohei Horike, Mana Yamaguchi, Chikayo Takechi, Yasuko Koshiba, Tatsuya Fukushima, Atsunori Mori, Kenji Ishida,
2. 発表標題 Large thermopowers of chemically-doped thiophene dendrimers
3. 学会等名 CEMSupra2019 (CEMS International Symposium on Supramolecular Chemistry and Functional Materials 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎 亮太, 堀家 匠平, 小柴 康子, 福島 達也, 石田 謙司
2. 発表標題 有機強誘電体分極場を用いた半導体型単層カーボンナノチューブのp/n 極性制御と熱電変換特性
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 須佐見幸生, 渋谷有信, 岡野健太郎, 森敦紀
2. 発表標題 ニッケル触媒によるポリ(1,4-フェニレン)合成における二座ホスフィン配位子の効果
3. 学会等名 日本化学会第100回春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Atsunori Mori
2. 発表標題 Structure- and Functionality-based Molecular Design of Heteroaromatic Compounds
3. 学会等名 日本化学会第100回春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山崎 亮太, 堀家 匠平, 小柴 康子, 福島 達也, 石田 謙司
2. 発表標題 半導体型SWCNT熱電変換特性に対する分極場ドーピング機構の解明
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 森 敦紀	4. 発行年 2019年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 9
3. 書名 直接的芳香族カップリング反応の設計と応用 17章 直接アリール化によるオリゴ及びポリチオフェン類の合成(分担執筆)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>神戸大学大学院工学研究科応用化学専攻物質物理化学研究室 http://www.research.kobe-u.ac.jp/eng-cx1/ 神戸大学大学院工学研究科応用化学専攻反応有機化学研究室 http://www2.kobe-u.ac.jp/~amori/home/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	石田 謙司 (Ishida Kenji) (20303860)	神戸大学・工学研究科・教授 (14501)	
研究分担者	森 敦紀 (Mori Atsunori) (90210111)	神戸大学・先端膜工学研究センター・教授 (14501)	
研究分担者	福島 達也 (Fukushima Tatsuya) (70705392)	神戸大学・工学研究科・講師 (14501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関