



Tokyo Tech

平成 28 年 3 月 11 日

報道機関各位

東京工業大学広報センター長

大谷 清

## 有機化合物で巨大な熱電効果を発見

—大きな熱電効果の発現に新たな指針を提示—

### 【要点】

- 有機化合物において、巨大な熱電効果を発見
- これまでの予測を覆す、新しいメカニズムによる新奇な現象
- 大きな熱電効果を発現する物質の開発に新たな指針を提示

### 【概要】

東京工業大学大学院理工学研究科の町田洋助教と井澤公一教授、梨花女子大学（韓国）のウォン・カン（Woun Kang）教授、パリ高等物理化学学校（フランス）のカムラン・ベニア（Kamran Behnia）博士らの共同研究グループは、有機化合物(TMTSF)<sub>2</sub>PF<sub>6</sub>（テトラメチルテトラセレナフルバレン塩）の低温の半導体状態において、現在最も利用されている熱電変換材料（用語 1）の 100 倍にも達する巨大な熱電効果を発見した。

この結果は、半導体の熱電効果は低温で消失するというこれまで広く信じられてきた理論予測を覆すものであり、新しいメカニズムに基づく新奇な現象であることを強く示唆している。この発見により、今後の大きな熱電効果を発現する物質の開発に新たな指針が与えられるものと期待される。

研究成果は 2 月 25 日発行の米国学術誌「フィジカル レビュー レターズ（Physical Review Letters）」電子版に掲載され、編集者の推薦論文（Editor's Suggestion）に選ばれた。

### ●研究の背景

物質の両端に温度差を与えると、起電力が発生する現象をゼーベック効果と呼ぶ。ゼーベック係数  $S$  はこの効果の大きさを表す尺度であり、温度差 1 K（絶対温度）あたりに発生する電圧で定義される。したがって、同じ温度差でも  $S$  が大

きいほど大きな起電力が得られる。ゼーベック効果は排熱エネルギーを電気エネルギーに変換可能な技術として注目され、高効率の熱電変換材料の開発は大きなゼーベック係数をもつ半導体を中心として、現在精力的に行われている。

このような特性をもつ半導体は、温度を下げると電気が非常に流れにくい状態へと変化する。この時ゼーベック係数の大きさは減少することが多くの実験で確認されており、絶対零度では消失するという理論予測が一般に広く信じられている。

一方、最近電子間のクーロン相互作用（用語 2）が強い、強相関電子系と呼ばれる金属物質において、電子相関の効果により大きな熱電効果がもたらされることが分かってきている。半導体においても電子相関の効果により熱電効果が増強され得るのかということは興味をもたれる点である。

しかし、これらの点は実験的にはまだ全く分かっていない。

## ●研究成果

同研究グループは、温度変化に伴いマイナス 261.15 °C（絶対温度 12 K）で金属から半導体へと変化する強相関電子系の有機化合物 (TMTSF)<sub>2</sub>PF<sub>6</sub>（テトラメチルテトラセレンフルバレン塩）を研究対象とし、そのゼーベック係数を極低温まで精密に測定した。その結果、同物質のゼーベック係数は電気が非常に流れにくい極低温下でも顕著な増大を示し、マイナス 273.05 °C（絶対温度 0.1 K）付近では 40 mV/K と非常に大きな値に達することを見出した（図）。

このようなゼーベック係数の温度変化は、低温で減少傾向を示す多くの半導体とは明らかに異なる振る舞いである。また得られたゼーベック係数の最大値は、典型的な半導体材料のシリコンやゲルマニウムに比べ 10 倍大きく、また現在最も利用されている BiTe 系の熱電変換材料の 100 倍と非常に巨大である。このように半導体のゼーベック係数が、絶対零度近傍の十分低温においても増大を続け、有限かつ巨大な値をとることは、広く信じられてきた従来の理論予測を覆す驚くべき結果であり、半導体の熱電現象に対する考え方に修正を迫るものである。

一方、電子間にはたらくクーロン相互作用によって半導体のゼーベック係数が低温においても有限に残るという予測が過去に存在する。今回の発見は、この可能性を含めた新しいメカニズムに基づく新奇な現象であることが強く示唆される。

## ●今後の展開

今回の研究で、有機化合物において巨大なゼーベック効果が発現することを明らかにした。この成果は、固体の熱電現象における基礎学術研究上の重要性をもつばかりでなく、今回見出された知見を基盤とした巨大な熱電効果を発現する物質の開発に重要な指針を与えることが期待される。

### 【用語説明】

- (1) 熱電変換材料：温度差を起電力に変換したり、電流を温度差に変換したりすることができる熱電変換機能をもつ材料。
- (2) クーロン相互作用：2つの電子の間にはたらく反発力。この相互作用が強い強相関電子系では、高温超伝導や巨大磁気抵抗効果などの多彩な現象が発現することが知られているが、その発現にはクーロン相互作用の存在が深く関わっている。

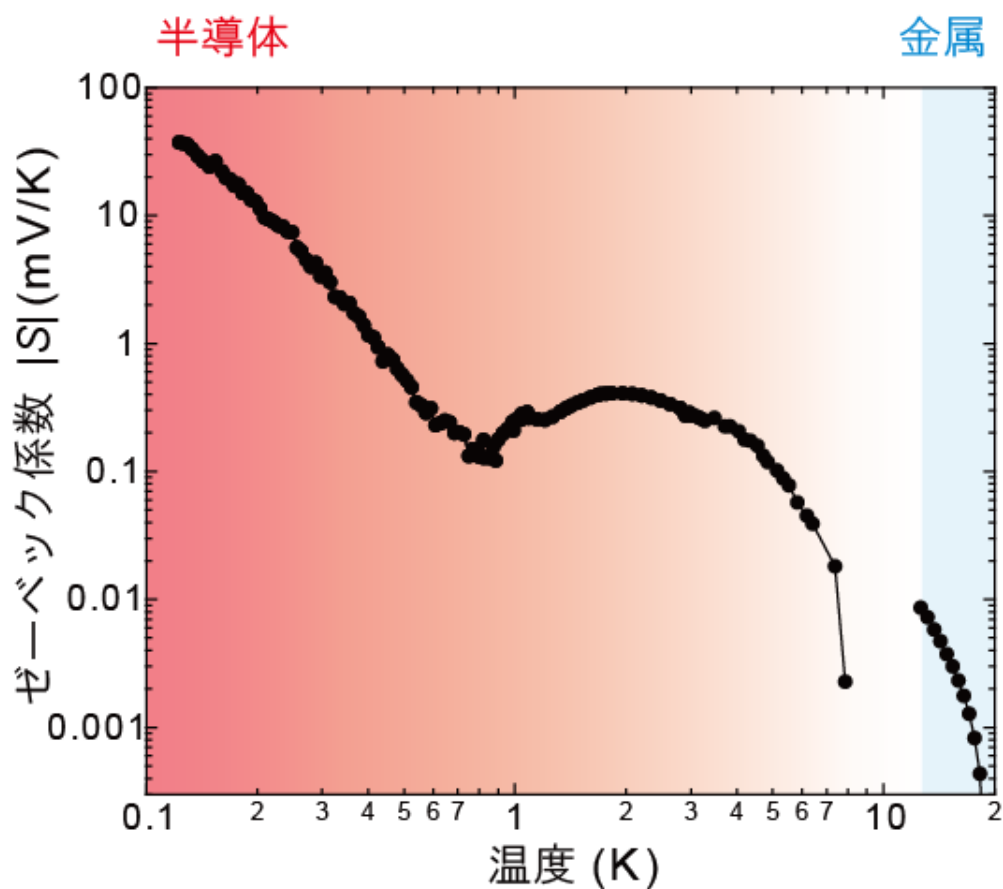


図 有機化合物(TMTSF)<sub>2</sub>PF<sub>6</sub>のゼーベック係数  $S$  の絶対値の温度依存性。この物質は絶対温度 12 K (マイナス 261.15 °C) で金属から半導体に変化する。ゼーベック係数  $|S|$  は低温で顕著な増大を示し、およそ絶対温度 0.1 K (マイナス 273.05 °C) で約 40 mV/K の巨大な値に達する。

## 論文情報

掲載誌：Physical Review Letters

論文タイトル：Colossal Seebeck Coefficient of Hopping Electrons in  $(\text{TMTSFT})_2\text{PF}_6$

著者：Yo Machida, Xiao Lin, Woun Kang, Koichi Izawa, and Kamran Behnia

DOI：10.1103/PhysRevLett.116.087003

### 【問い合わせ先】

東京工業大学 大学院理工学研究科 物性物理学専攻 教授 井澤公一

Email: izawa@ap.titech.ac.jp

TEL: 03-5734-3832

FAX: 03-5734-2751

### 【取材申し込み先】

東京工業大学 広報センター

Email: media@jim.titech.ac.jp

TEL: 03-5734-2975

FAX: 03-5734-3661