

熱電性能を单一試料で直接評価
-常識を覆す新測定パラダイム-

1 ポイント

- 革新的な熱電材料(注1)を創出するためには、材料合成だけでなく、性能を迅速かつ信頼性高く評価できる手法の確立が不可欠です。本研究では、材料開発のスピードを制限してきた測定法のボトルネックを解消する、新たな評価手法を確立しました。
- 熱を電気に変える熱電変換材料の性能は、無次元性能指数 zT (注2)と呼ばれる指標で評価されます。これまでには、この値を求めるために、材料の電気伝導性と熱伝導率(注3)を別々の測定で調べ、あとから組み合わせる必要がありました。本研究で確立した手法では、一つの試料を一つの測定系で調べることで、材料の熱電応答を一貫して評価できます。
- 国際学術誌 *Applied Physics Letters* に掲載され、Featured Article(注目論文)に選出されました。

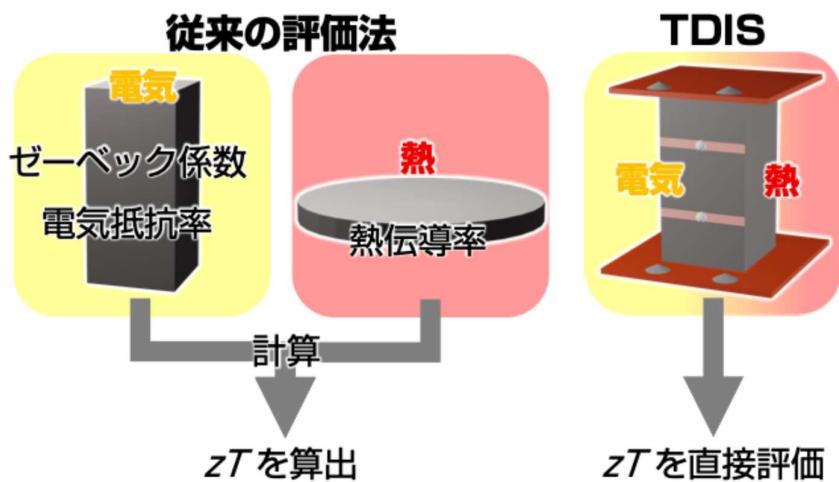


図 従来の熱電性能評価手法と、本研究で確立した時間領域インピーダンス分光法(TDIS: Time-Domain Impedance Spectroscopy)(注4)による評価手法の概念比較。従来法では、ゼーベック係数・電気抵抗率・熱伝導率を別々の測定系、場合によっては異なる試料で測定し、無次元性能指数 zT を計算によって求めていた。一方 TDIS では、単一試料・単一測定系において熱と電気の応答を同時に捉えることで無次元性能指数 zT を材料の応答として直接評価できる。

2 概要

埼玉大学大学院理工学研究科 佐藤仁薫 大学院生(博士前期課程2年)および長谷川靖洋 准教授の研究グループは、熱電変換材料の性能指標である無次元性能指数 zT を、单一試料・单一測定系で一貫して評価できる新たな測定手法を確立しました。

本成果は、国際学術誌 *Applied Physics Letters* に 2026 年 2 月 17 日に掲載され、Featured Article(注目論文)として選出されました。

3 研究の背景

工場などから排出される廃熱を直接電気エネルギーに変換できる熱電材料は、カーボンニュートラル社会実現に向けて注目を集めています。加えて近年、夏場の暑熱対策として、ペルチェ素子(注5)を用いたネッククーラーや空調機能付き作業着など、熱電変換技術を利用した製品が身近な存在となっています。これらの製品は、電気エネルギーを直接冷却・加熱に変換できる熱電材料の特性を生かしたものであり、産業・生活の両面で応用が進んでいます。

一方で、これらの製品に用いられている熱電材料の性能評価は、研究段階から現在に至るまで、複数の物性値を別々に測定し、それらを組み合わせて評価する手法に依存していました。そのため、材料内部の不均一性や測定条件の影響を十分に反映できていないという課題がありました。

熱電材料研究では半世紀以上にわたり、ゼーベック係数(注6)・電気抵抗率(注7)・熱伝導率から構成される無次元性能指数 zT の向上を目指した材料開発が進められてきました。一方、無次元性能指数 zT の評価は、直方体試料を用いたゼーベック係数・電気抵抗率測定と、ディスク状試料を用いた熱伝導率測定など、異なる測定系、場合によっては異なる試料を用いる方法が一般的でした。このため、試料間差や内部不均一性、熱リードや境界条件の影響が不可避であり、熱電材料の真の性能を直接捉えているとは言いがたいという課題がありました。

4 研究内容

本研究で開発・確立した時間領域インピーダンス分光法(TDIS: Time-Domain Impedance Spectroscopy)、高感度な時間応答測定を活用することで、以下の特徴を有します。

- 热と電気の応答を同時に捉えることで、性能を「計算する」のではなく「測る」
- 単一試料・単一測定系による一貫した性能評価を実現
- 材料内部の空間的な性能分布を含めた評価が可能

本研究では TDIS 法を用いることで、熱電性能を構成物性の寄せ集めとしてではなく材料の応答として直接評価し、従来は別々に行われていた評価を单一試料で実施するとともに、材料内部の無次元性能指数 zT の空間分布を非破壊で可視化することに成功しました。これらの測定および解析は、博士前期課程の学生が主体となって実施されました。

5 今後の展開

本成果は、熱電変換研究の長い歴史の中で暗黙の前提とされてきた性能評価手法を、測定科学の立場から見直すものであり、熱電研究開発における性能評価のパラダイム転換を示すものです。今後、熱電材料研究の研究開発や品質評価の高度化に加え、産業応用を見据えた信頼性の高い性能評価技術への展開が期待されています。本研究で確立した評価手法は、将来的に、ペルチェ素子を用いた冷却・温度制御機器における材料選定や品質評価の高度化にも貢献すると期待されます。

熱電変換技術は、工場排熱や未利用熱を電力や冷却・温度制御に直接変換できる技術であり、エネルギー利用効率の向上を通じて、カーボンニュートラル社会の実現に貢献すると期待されています。本研究で確立した単一試料・単一測定系による高信頼な性能評価手法は、熱電材料の真の性能を正確に把握することを可能にし、材料開発の効率化や品質評価の高度化を通じて、熱電変換技術の社会実装を基盤から支えるものです。

さらに、本研究で確立した単一試料・単一測定系による評価手法は、従来必要とされてきた複数試料の作製や個別測定を不要とすることから、熱電材料の性能評価プロセスそのものを大幅に簡略化し、性能評価の効率を飛躍的に向上させる可能性を有しています。

6 論文情報

掲載誌	<i>Applied Physics Letters</i>
論文名	Observation of spatial distribution of dimensionless figure of merit in powder-sintered Bi_2Te_3 -based bulk thermoelectric materials via time-domain impedance spectroscopy
著者名	Hitoyuki Sato and Yasuhiro Hasegawa
DOI	10.1063/5.0313465
URL	https://doi.org/10.1063/5.0313465

7 研究支援

本研究は、科学技術振興機構(JST)戦略的創造研究推進事業 ALCA-Next(先端的力一

ボンニュートラル技術開発) (課題番号 JPMJAN24B3)、日本学術振興会(JSPS)科研費 (JP23K23073, JP23K17828)、三豊科学技術振興協会の支援を受けて行われました。

8 用語解説

- 注1. 热電材料: 温度差から電力を生み出す、または電力で冷却・加熱できる材料の総称。
- 注2. 無次元性能指数 zT : 热電材料の性能を表す指標で、ゼーベック係数、電気抵抗率、熱伝導率から決まる。値が大きいほど、エネルギー変換効率が高い。市販のペルチェ式冷却機器に用いられている材料では、一般に 1 未満の値となる。
- 注3. 热伝導率: 材料がどれだけ熱を伝えやすいかを表す指標(単位: W/mK)。値が小さいほど熱が逃げにくく、热電性能の向上に有利である。
- 注4. 時間領域インピーダンス分光法(TDIS: Time-Domain Impedance Spectroscopy): 電気と熱の時間応答を同時に測定することで、热電性能を構成物性の組み合わせではなく、材料の応答として直接評価する測定手法。
- 注5. ペルチェ素子: 電流を流すことで一方の面から他方の面へ熱を移動させる材料。直流電流の向きを変えることで、冷却と加熱を切り替えられる。ペルチェ式ネッククーラーや空調機能付き作業着などに利用されている。
- 注6. ゼーベック係数: 材料の両端に温度差を与えたときに生じる電圧の大きさを表す指標(単位: V/K)。熱を電気に変換する能力の強さを示す。
- 注7. 電気抵抗率: 材料中を電流が流れにくい度合いを表す指標(単位: Ω m)。値が小さいほど電気が流れやすく、热電性能の向上に有利である。