

切り紙構造による 高効率立体化熱電デバイス



早稲田大学 基幹理工学部
機械科学・航空宇宙学科
教授 岩瀬 英治

2025年7月29日

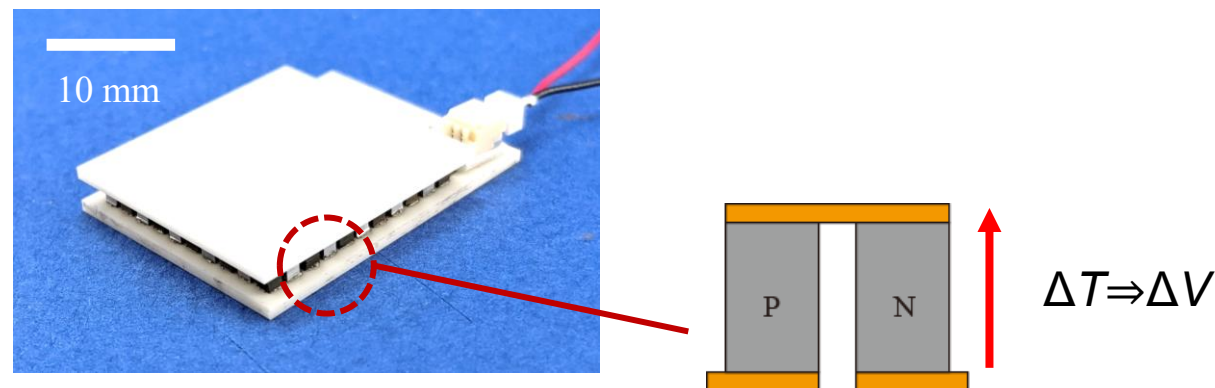
従来技術とその問題点

熱電発電デバイス：素子につく温度差から電圧を発生するデバイス

従来の熱電発電デバイスは、硬いセラミック板に挟まれた熱電素子を持っているため、

- × 曲面熱源に貼付が不可能
- × 大きな温度差を得るのに有効な、細長い素子実装が困難

という問題があった。



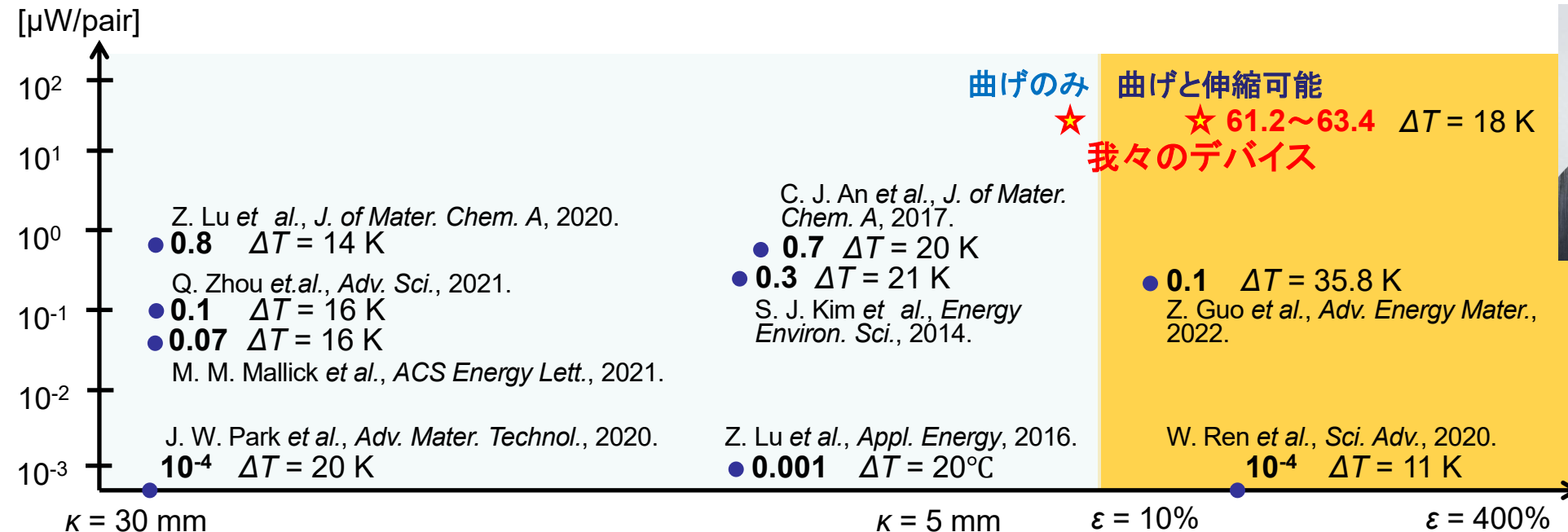
従来型（π型）の熱電発電デバイス

従来技術とその問題点

近年，曲面熱源に貼付可能な熱電発電デバイスが提案されているが，

- ✕ 大きな温度差を得るのに有効な，細長い素子実装が困難
- ✕ 熱伝導率の低いゴム基板を用いている
- ✕ 大きな温度差を得るのに重要な（熱接触面や）放熱面がない

などの問題から屈曲性・延伸性と高い発電性能の両立はできていない。



新技術の特徴・従来技術との比較

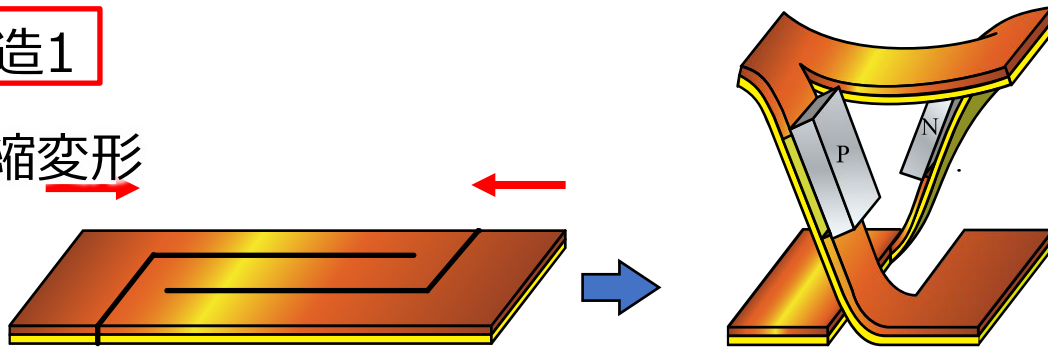
- 切り紙構造を用いた熱電発電デバイス

切れ込みを入れた
フィルム基板

→ 立体化

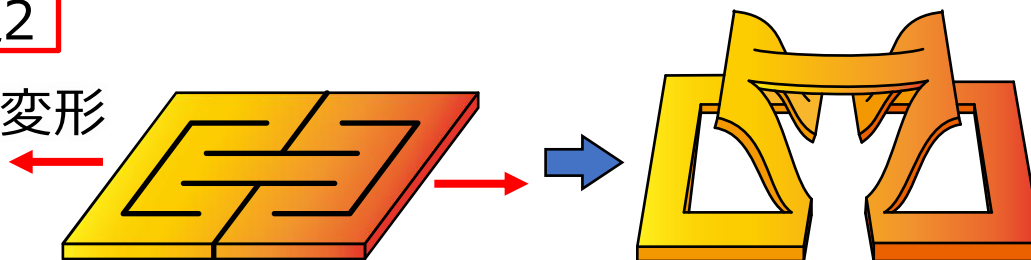
構造1

圧縮変形

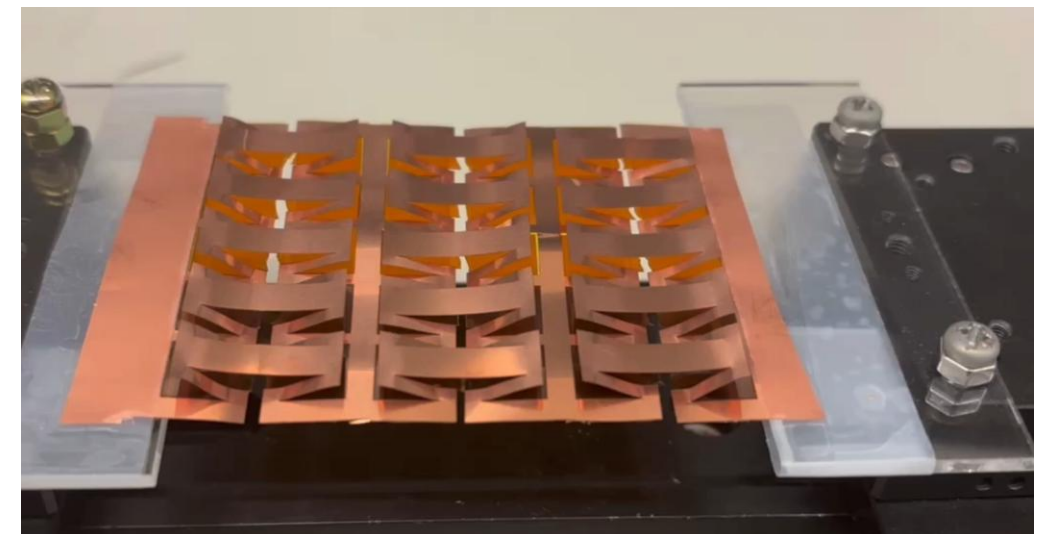
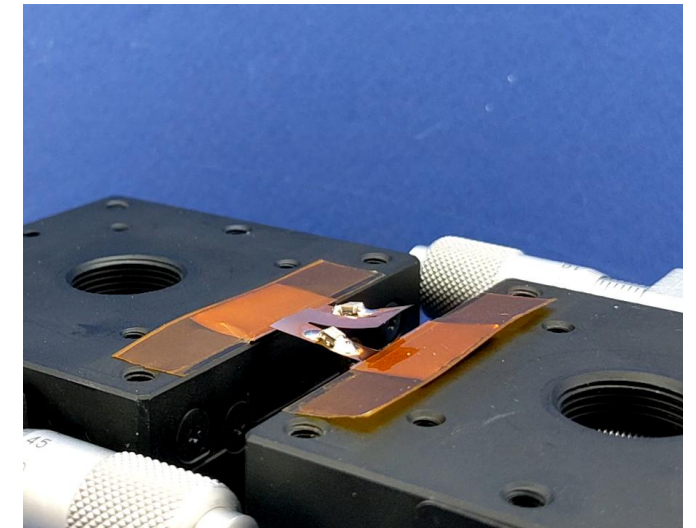


構造2

引張変形

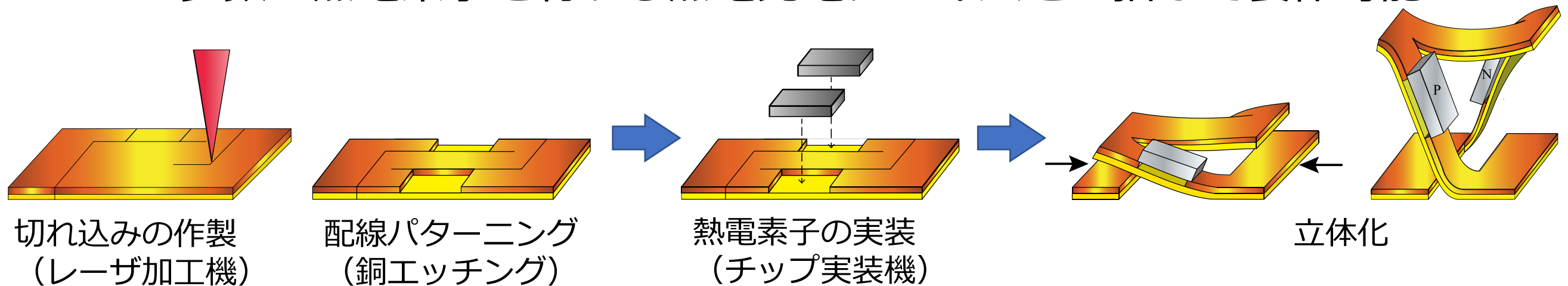


切り紙構造による延伸性 → 曲面熱源への貼付性向上
切り紙構造による立体化 → 発電量向上



新技術の特徴・従来技術との比較

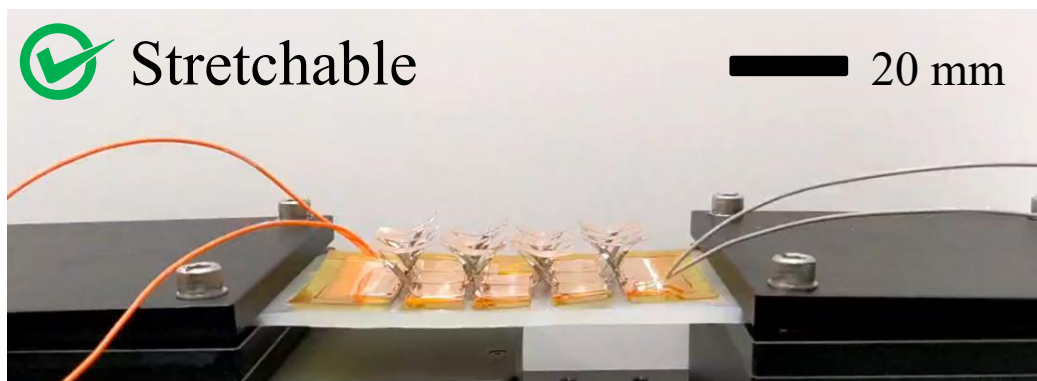
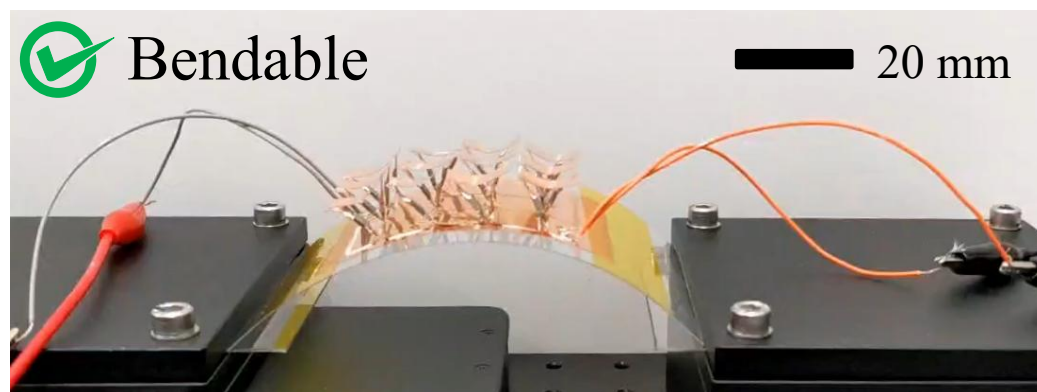
- 特徴1：平面構造で実装し，一体化して立体化可能
 - － これまでのフレキシブル基板の量産実装技術により実装可能
 - － これまでに熱電発電デバイスでは困難であった，細長い熱電素子を実装可能
 - － 多数の熱電素子を有する熱電発電デバイスを一括して製作可能



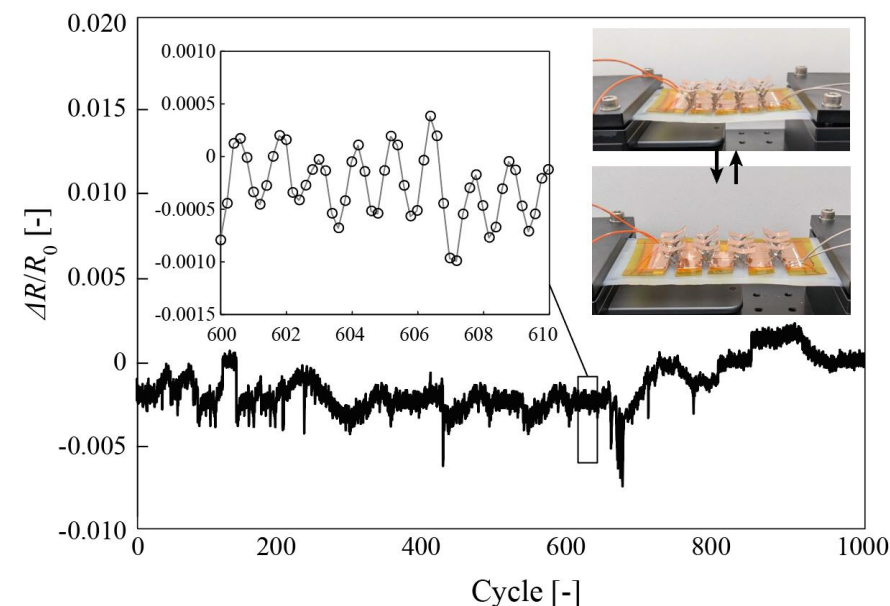
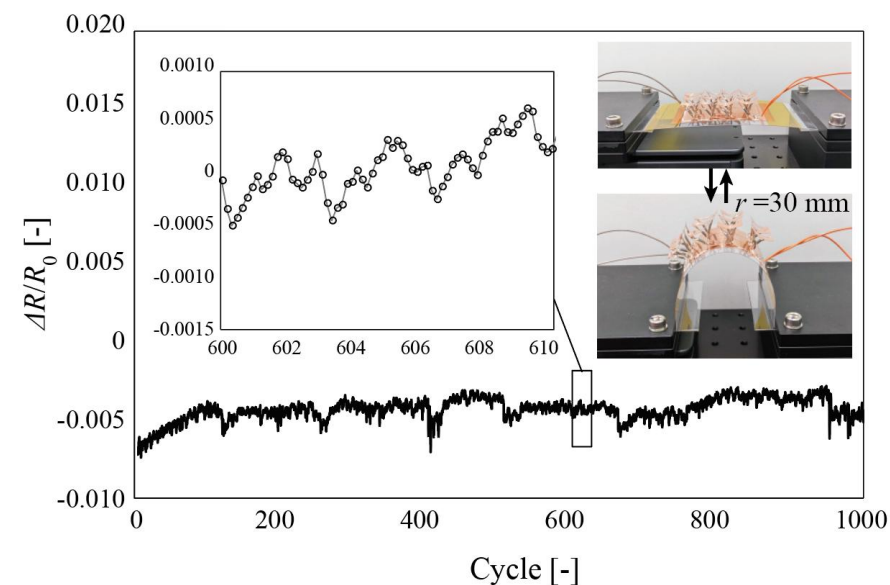
- ✓ 大きな温度差を得るのに有効な，細長い素子実装が困難
- ✓ 現在の量産実装技術が利用可能

新技術の特徴・従来技術との比較

- 特徴2：屈曲・延伸変形が可能



✓ 曲面熱源に貼付が可能



新技術の特徴・従来技術との比較

- 特徴3：熱源への接触面と放熱面を備える
 - 従来の屈曲・延伸可能な熱電発電デバイスに比べて非常に高い発電性能を実現できる

切り紙型

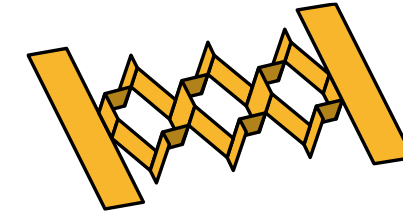
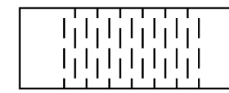
熱電発電デバイス

圧縮による立ち上げ

引張による立ち上げ

接触面・放熱面なし

—



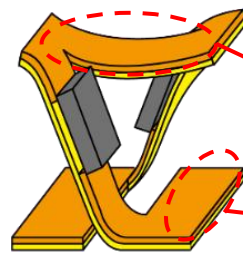
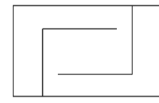
※論文の図を利用できないため構造のイメージ図

Z. Guo et al., Adv. Energy Mater., 2022

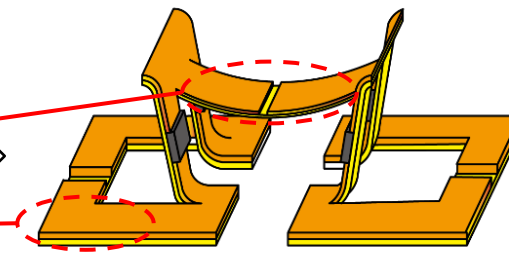
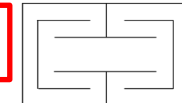
0.1 $\mu\text{W}/\text{pair}$ ($\Delta T=36^\circ\text{C}$)

接触面・放熱面あり
→高い発電量

構造1



構造2



放熱面

熱源との接触面

61.2 $\mu\text{W}/\text{pair}$ ($\Delta T=18^\circ\text{C}$)

63.4 $\mu\text{W}/\text{pair}$ ($\Delta T=18^\circ\text{C}$)

✓ 大きな温度差を得るのに重要な熱接触面や放熱面がある

想定される用途

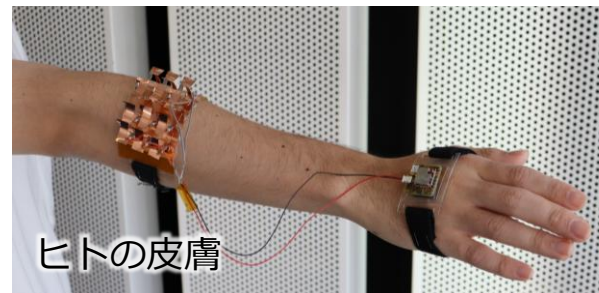
- IoT (Internet of Things) デバイスの自立電源として利用.
- 身の回りにある低温熱源 ($\sim 100^{\circ}\text{C}$) に貼付し, センサ情報を無線送信可能な電力 ($\sim 100 \mu\text{W}$) を発電.



カップ



ケトル

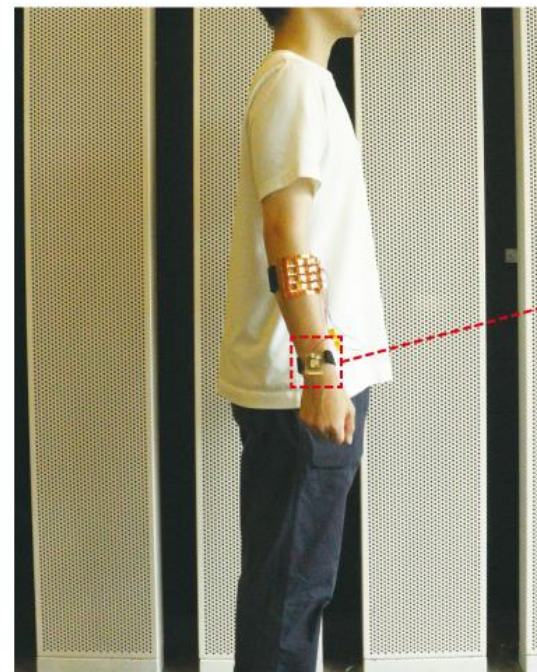


ヒトの皮膚

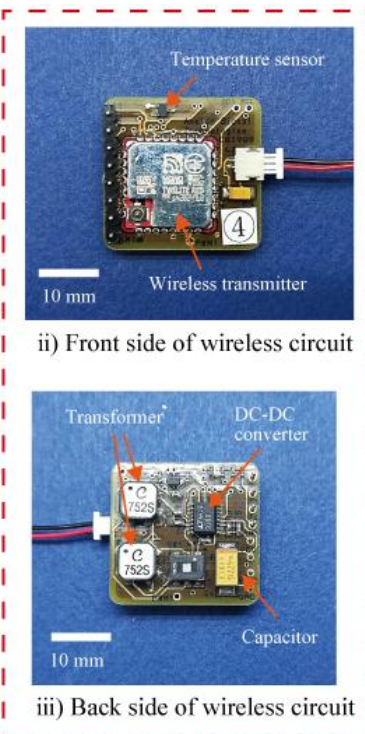
工場（プラント配管）、家庭、
オフィス（電子機器）、
インフラ建造物、
田畑（農業）、森林（林業）
家畜（畜産業）、野生動物 etc...

実用化に向けた課題

- 現在，ヒトの皮膚に貼り付けて体温情報の無線送信は実証済み．
- 実用化に向けて，応用分野の決定を決めてゆく．
- また，屋外環境等での使用を想定して，耐久性試験等を行ってゆく．



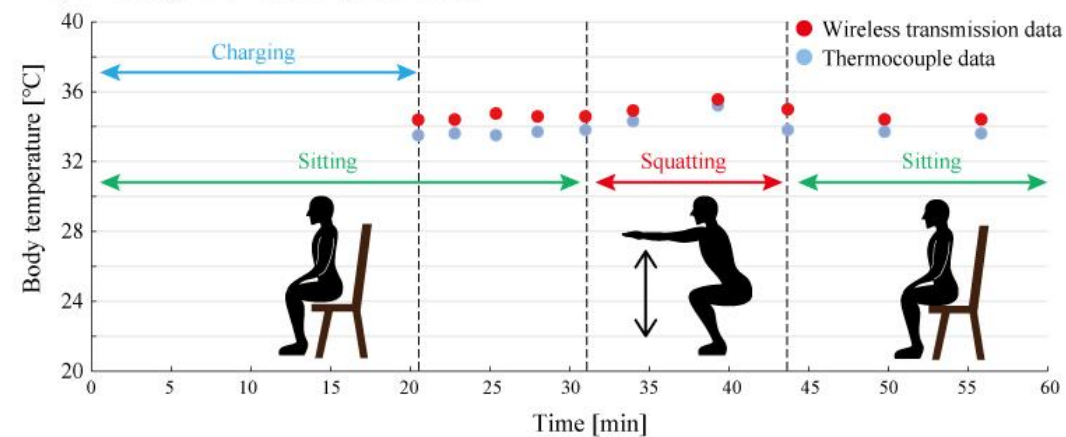
i) Arm with pop-up kirigami TEG and wireless transmission circuit



ii) Front side of wireless circuit

iii) Back side of wireless circuit

iv) Wirelessly transmitted temperature data



社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	・切り紙型熱電発電デバイスの原理検証	
現在	・切り紙型熱電発電デバイス設計のための伝熱シミュレーションによる発電量向上	
2年後	・応用分野の選定 ・切り紙型熱電発電デバイスの実証実験	実証実験を実施 JSTのASTEP事業へ応募し 研究資金獲得
4年後	・耐久性試験 ・切り紙型熱電発電デバイスのサンプル試作	サンプル提供を実現
6年後	・切り紙型熱電発電デバイスの量産試作	販売

企業への期待

- 熱電発電素子を開発・提供していただける材料メーカー企業との共同研究を希望。（薄膜，バルクどちらの熱電材料にも本技術は適用可能）
- 応用分野の選定・商品化を一緒に検討していただける方との共同研究を希望。

企業への貢献、PRポイント

- これまで実用化があまり多くなかった熱電発電デバイスにおいて、屈曲性・延伸性と高い発電性能を両立した本技術により様々な応用への利用が可能となると考えています。

本技術に関する知的財産権

構造2の特許

- 発明の名称 : 熱電発電デバイス用基板及び熱電発電デバイス
- 出願番号 : 特願2024-190936
- 出願人 : 学校法人 早稲田大学
- 発明者 : 岩瀬 英治, 小口 篤紀, 寺嶋 真伍

構造1の特許

- 発明の名称 : 熱電発電デバイス、熱電発電デバイス部品及びその製造方法
- 出願番号 : 特願2021-094815 (特許7668524)
- 出願人 : 学校法人 早稲田大学
- 発明者 : 岩瀬 英治, 寺嶋 真伍

産学連携の経歴

- 2021年-2023年 熱電発電材料メーカーと共同研究実施
- 2022年-2023年 熱電発電デバイスメーカーと共同研究実施
- 2023年-現在 フレキシブル基板メーカーと共同研究実施
- 2024年-2026年 NEDO先導研究プログラム／未踏チャレンジ事業に「切り紙型熱電デバイスによる自立無線センサシステムの研究開発」で採択.

お問い合わせ先

株式会社早稲田大学TLO

T E L 03-3207-8836

e-mail contact-tlo@list.waseda.jp