

計測標準フォーラム第22回講演会（令和6年9月19日）

熱電発電を用いた 湧水の未利用熱エネルギー活用技術



国立研究開発法人 産業技術総合研究所
物理計測標準研究部門

天谷康孝

- 湧水利用の現状、熱的性質
- 湧水温度差発電装置
- 熱電モジュールとその精密評価技術
- 湧水温度差発電の性能・特徴
- 今後の展望

湧水の果たす役割

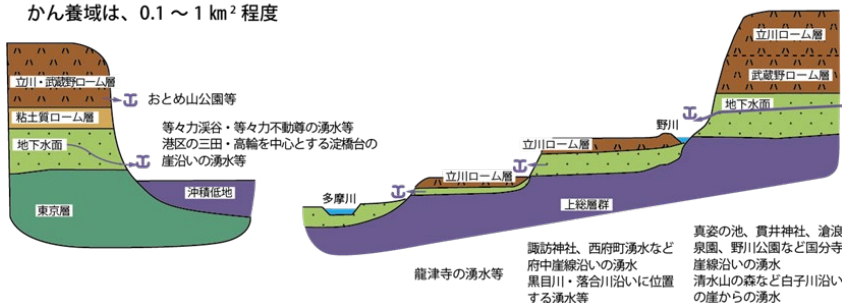
産総研 地圏資源環境研究部門 地下水研究グループ 井川上級主任研究員提供

湧水は、人類がもっとも古くから利用してきた地下水資源であり、その用途は地域の暮らし、文化、ならびに信仰とも深く結びついています。

湧水とは、地形や地質の変化により地下水が地表へと湧出したものであり、多くの湧水は、崖などから染み出る**崖線タイプ**（がいせんタイプ）と池などの底から湧き出る**谷頭タイプ**（こくとうタイプ）に分類されます。

崖線タイプ

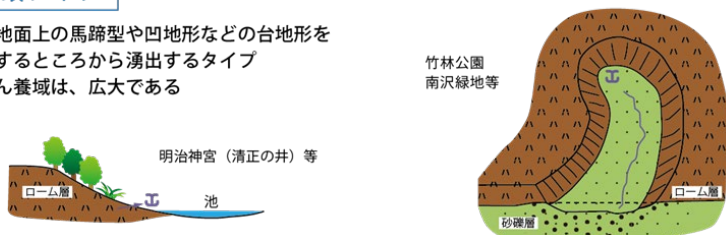
台地の崖の全面から湧出するタイプ
かん養域は、0.1～1 km² 程度



「井」という言葉は、もともと自然に水の湧く場所、水が得られる場所のことを指したと言われており、古事記や日本書紀にも登場します。

谷頭タイプ

台地上の馬蹄型や凹地形などの台地形を呈するところから湧出するタイプ
かん養域は、広大である



鳥取県米子市の湧水には、水に付けられる最高位の敬称である天の真名井（あめのまない）という名前が付けられています。

出典：東京都環境局（湧水マップ）

天の真名井
出典：米子市HP

湧水の果たす役割



秋田県大仙市では“水板倉”と呼ばれる湧水の上に立てた高床式の倉をみることができます。これは、収穫した穀物をネズミによる食害から守るために作られました。



今回のフィールドである松本市のシンボルである松本城のお堀の水も底から湧く湧水によって支えられており、城下町に点在する数々の湧水は、地域の人々の生活用水や憩いの場としてだけでなく観光資源としても重要な役割を果たしています。

湧水は、古の時代から“**グリーンインフラ**”として、地域の人々の暮らしを支えており、また、ホタルやイトヨ（淡水魚）などの希少な生態系の生息地としても重要な役割を果たしています。

生物多様性の保全と持続可能な利用を掲げる“**ネイチャーポジティブ**”の観点からも、今後、さらなる注目が集まることが予想されます。

湧水のもつ熱的性質

湧水の温度は年間を通して比較的安定している。
外気温に比べて、**夏は低く**、**冬は高く**なる。
この温度差を利用して発電することができる。

夏



冬



出展：学研

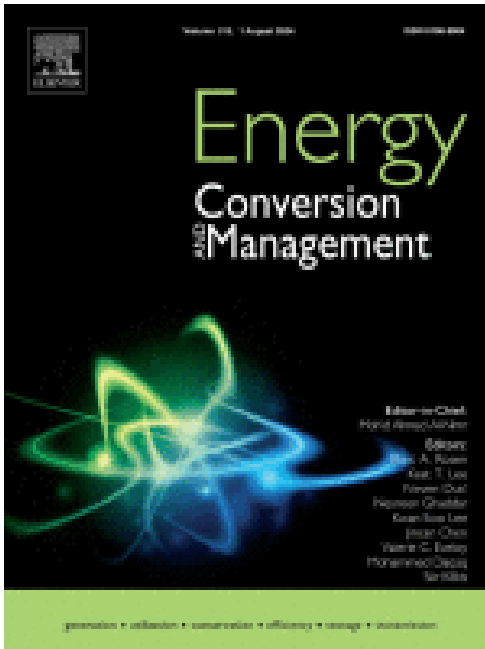
湧水に浸すだけで発電

湧水温度差発電装置を製作して、長野県松本市の水路や井戸に設置した。持ち運びできるサイズ感を実現。



湧水温度差発電を発明し、実証試験に成功

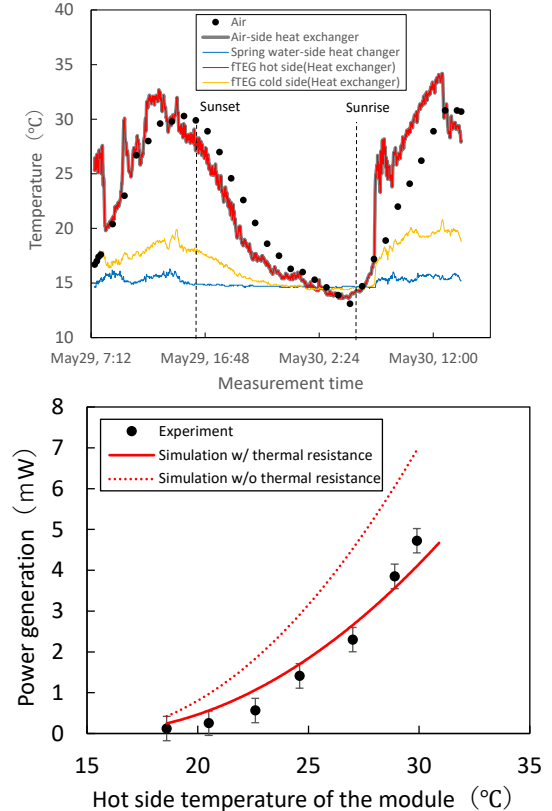
Y. Amagai, A. Ichinose, R. Ikawa, M. Sakamoto, T. Ogiya, M. Konishi, K. Okawa, N. Sakamoto, N.-H. Kaneko, "Harvesting thermal energy from spring water using a flexible thermoelectric generator," *Energy Conversion and Management*, Vol. **313** (2024)



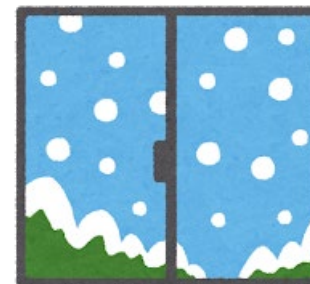
エネルギー系学術誌に採択
(インパクトファクター10.3)



毎日新聞夕刊 2024/6/20
「湧水に浸し発電 世界初」



太陽光が届かない日陰、夜間、冬も発電できる



流れや落差のない水路でも、発電することができる



出展：日刊工業新聞（小水力発電）



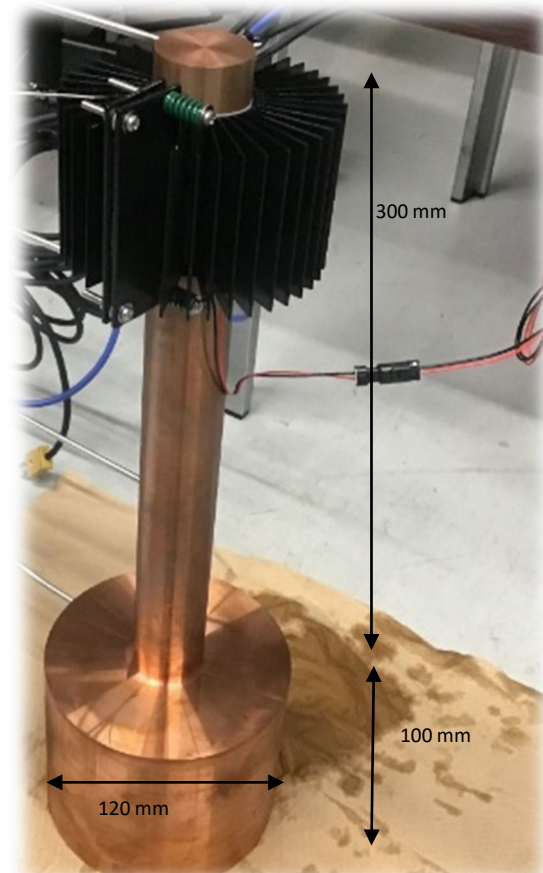
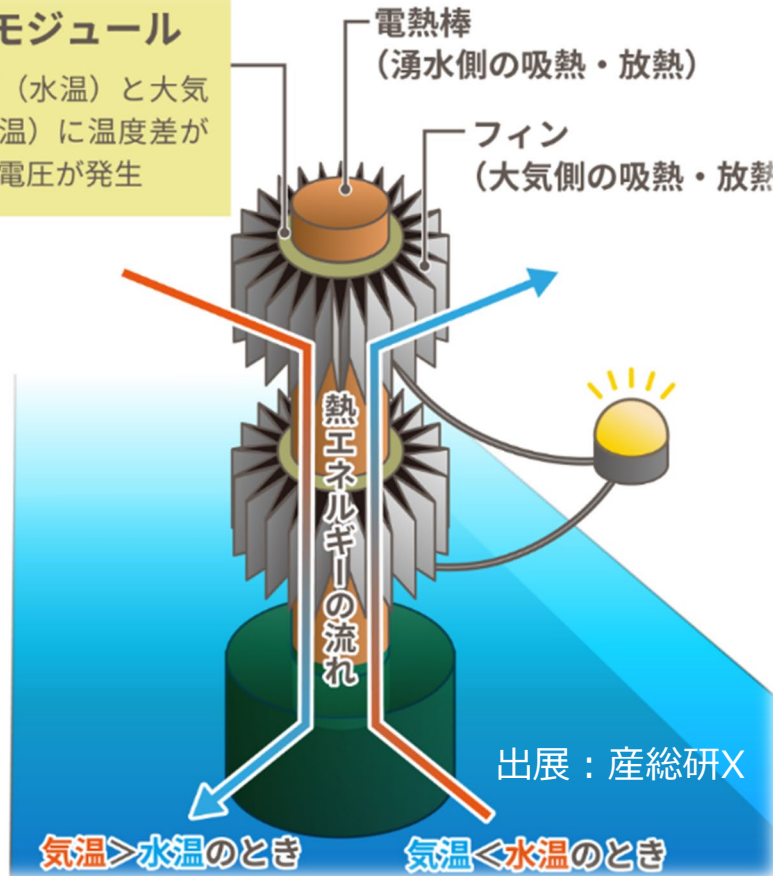
出展：相反転方式差型小水力発電機

湧水温度差発電の動作原理

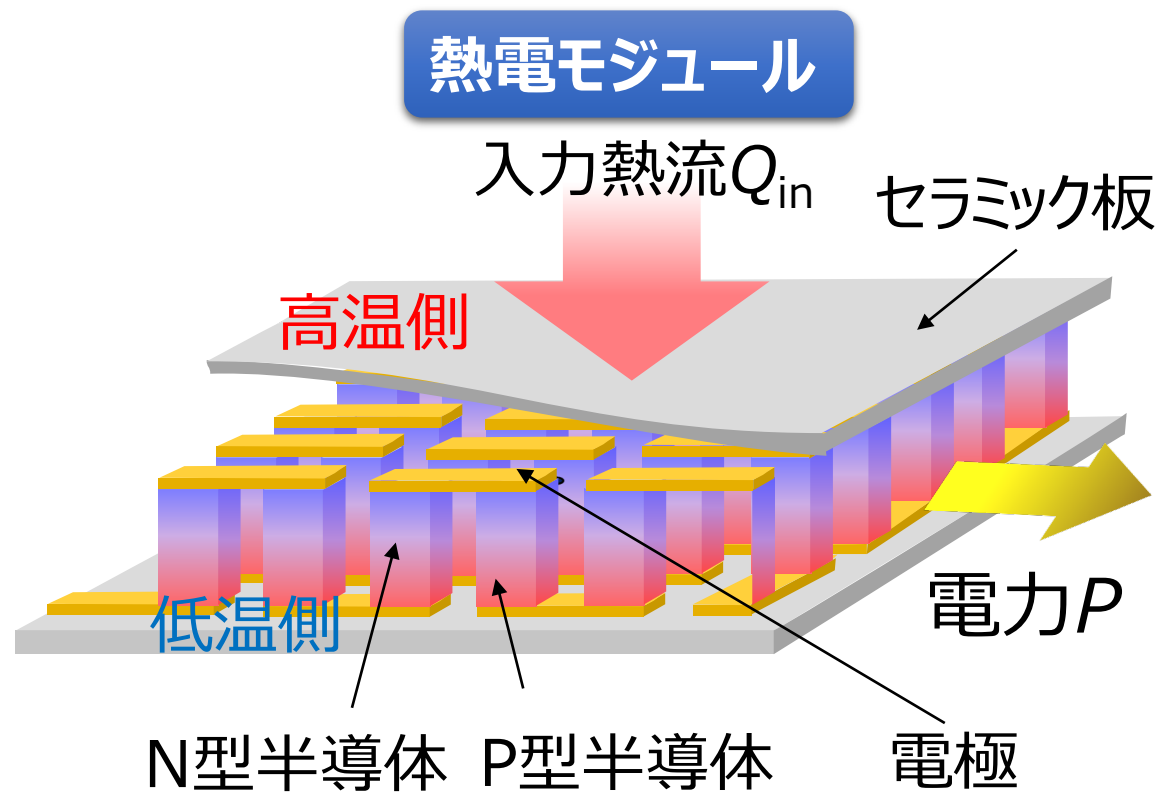
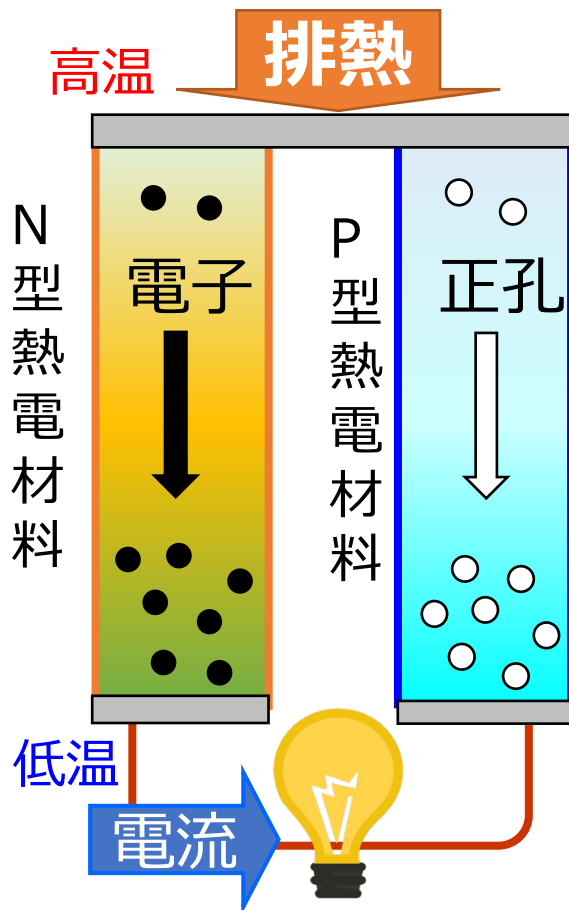
大気側のヒートシンクと湧水側のヒートシンクのあいだに
熱電モジュールを挟み込む

熱電モジュール

湧水側（水温）と大気側（気温）に温度差があると電圧が発生

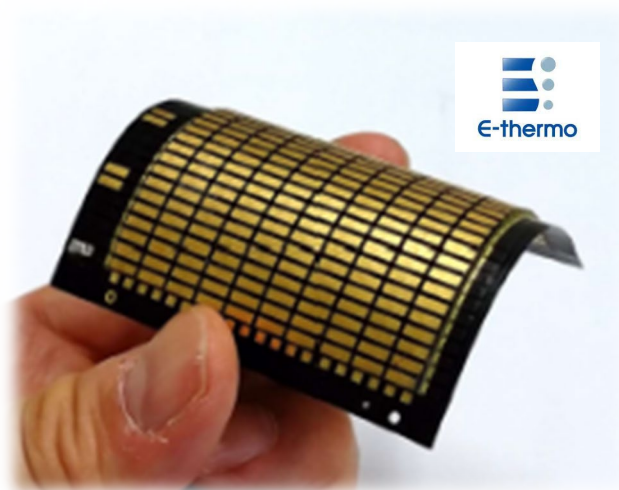


半導体の熱電効果を利用して発電する固体電池。
温度差に応じた電圧を発生することができる。

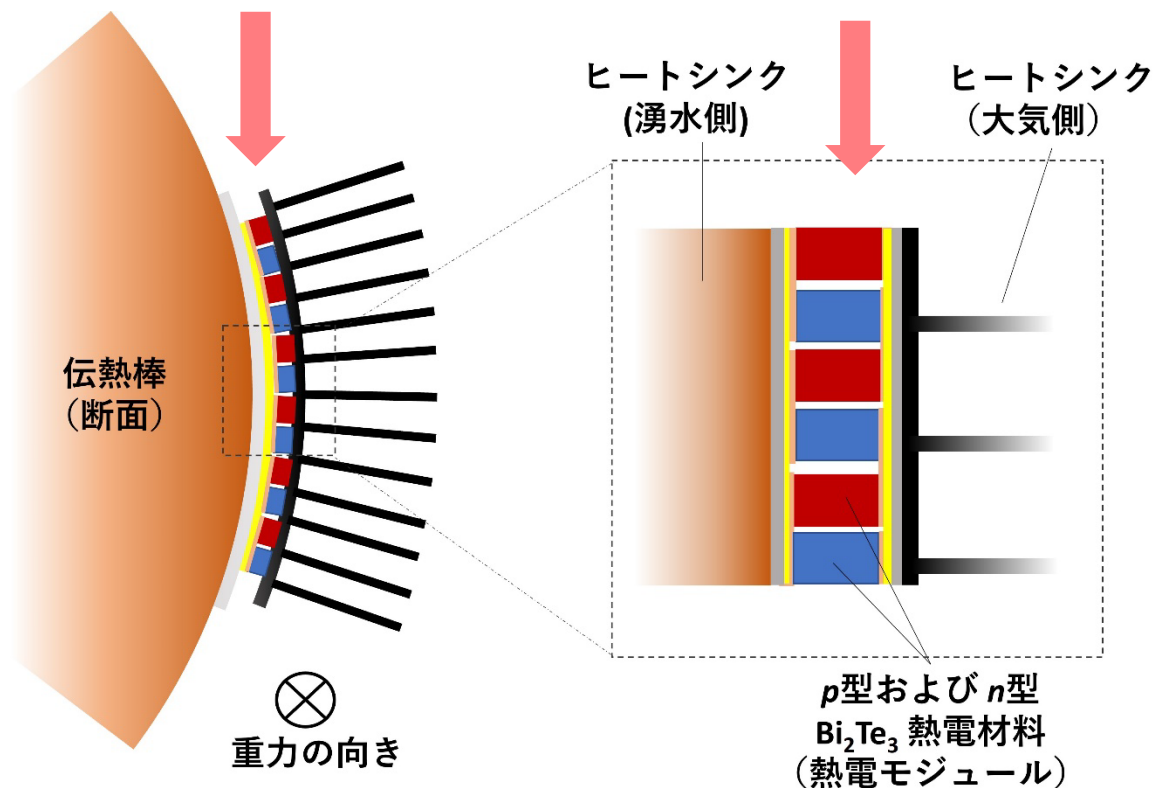


フレキシブル熱電モジュール

フレキシブル型（まげることができる）の熱電モジュールを用いることで、伝熱棒の曲面に密着させている。

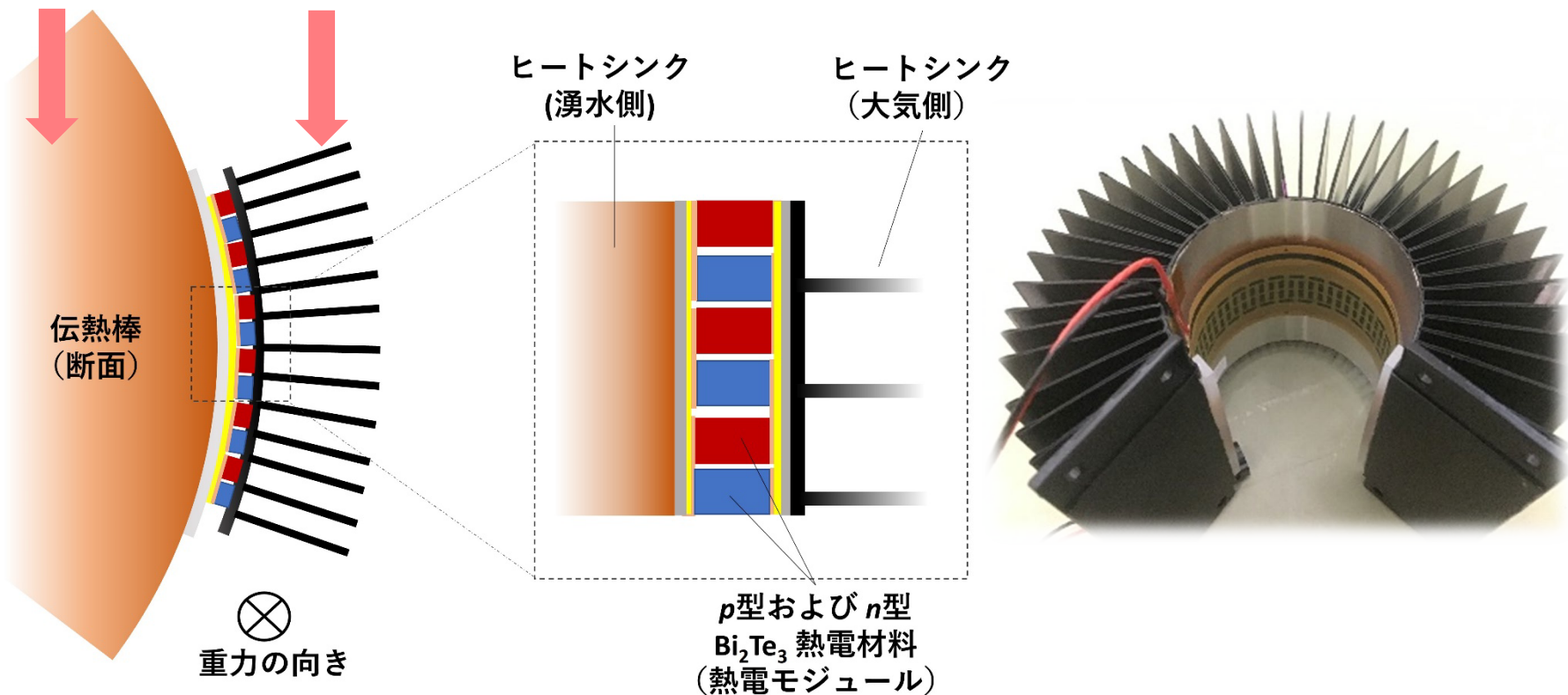


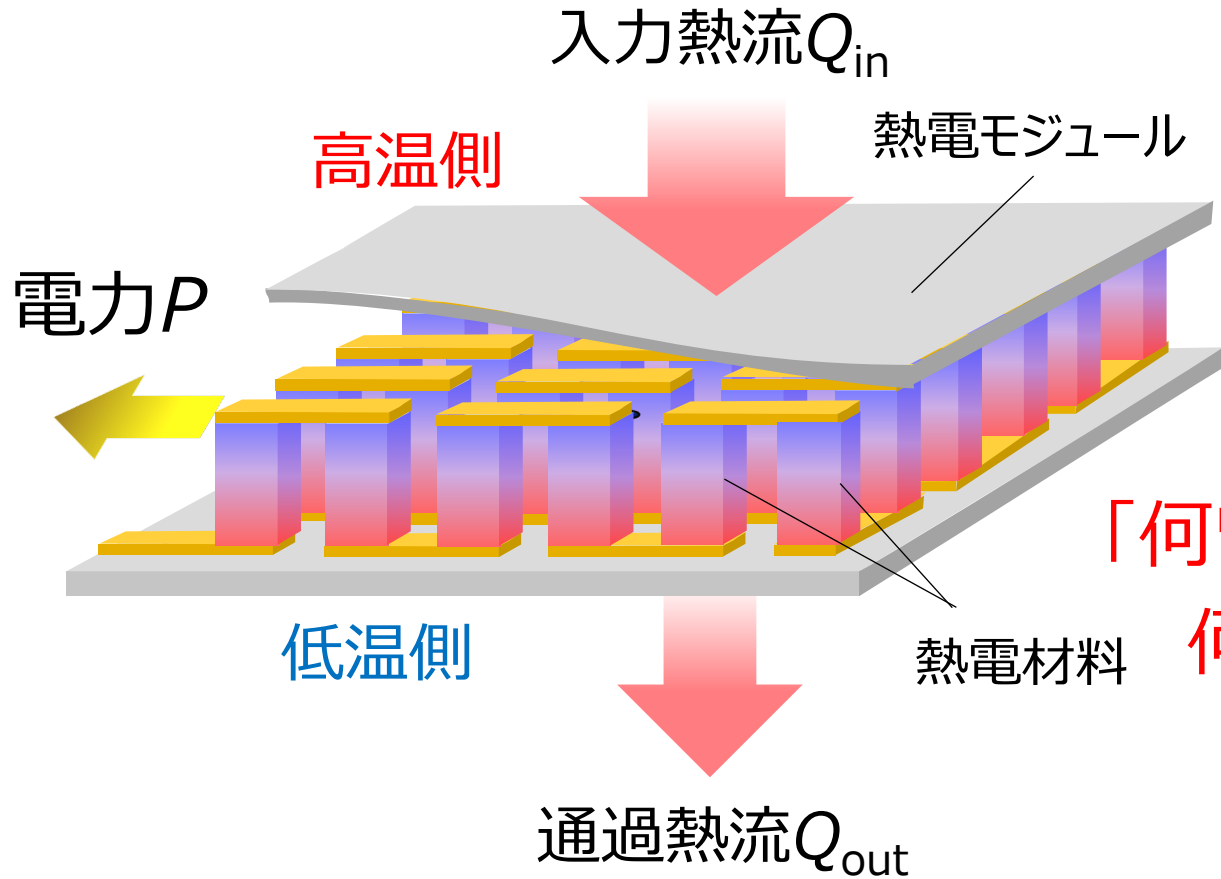
出展：産総研プレスリリースHP
「高出力フレキシブル熱電モジュールの
開発」 Eサーモジェンテック、豊島製作
所とで連携して開発



ヒートシンク

湧水側と大気側のヒートシンクは、それぞれ、熱伝導性がよい銅、アルミで製作した。



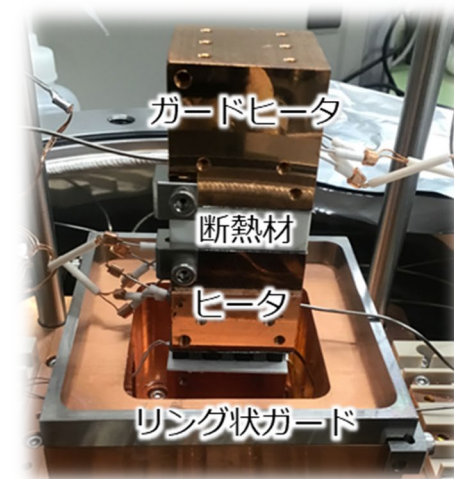
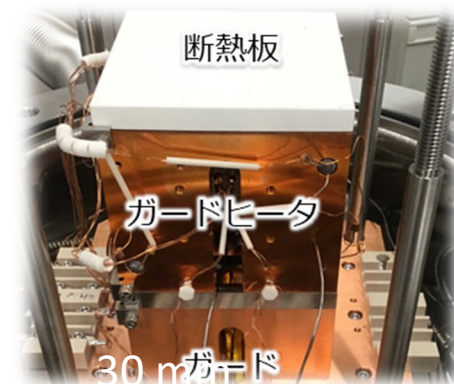
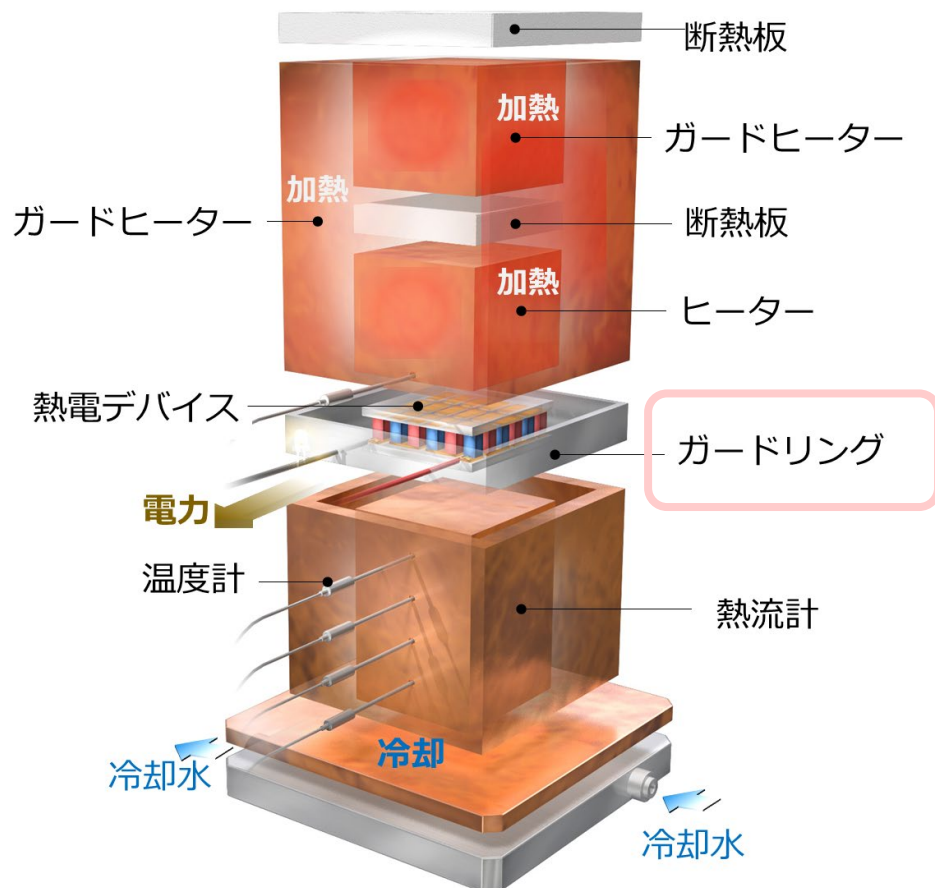


発電効率の定義

$$\eta \equiv \frac{P}{Q_{in}}$$

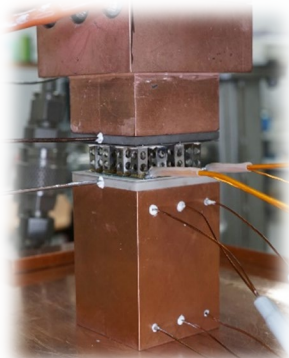
「何ワットの熱流が流れると
何ワット発電する？」

側面からの熱損失を防止する“ガードリング”を設けることで、世界最高レベルの測定精度を実現した評価装置。



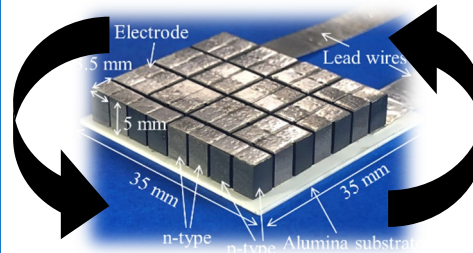
出展：NEDO/産総研プレスリリース

ゼロエミッション国際共同研究センター（GZR）と強固に連携して、
基盤評価技術開発や国際標準化活動を実施している。

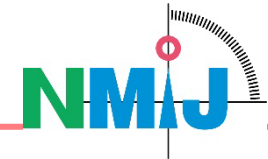


熱電モジュール評価装置

酸化物デバイス

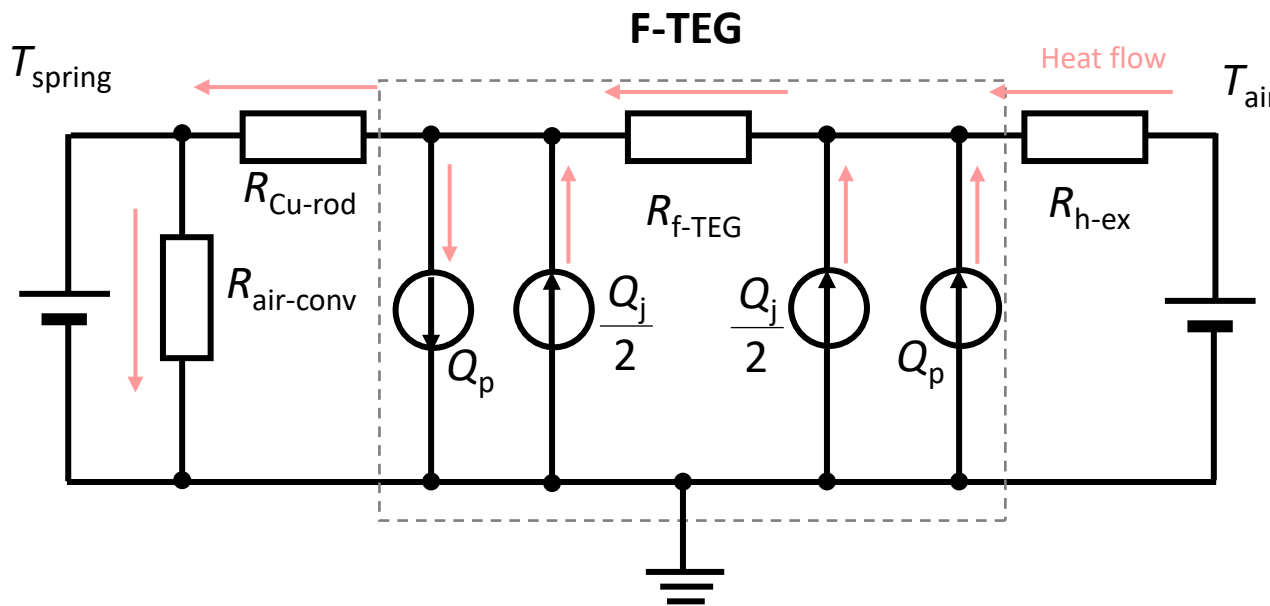


産総研関西センターで
設計・開発・製作

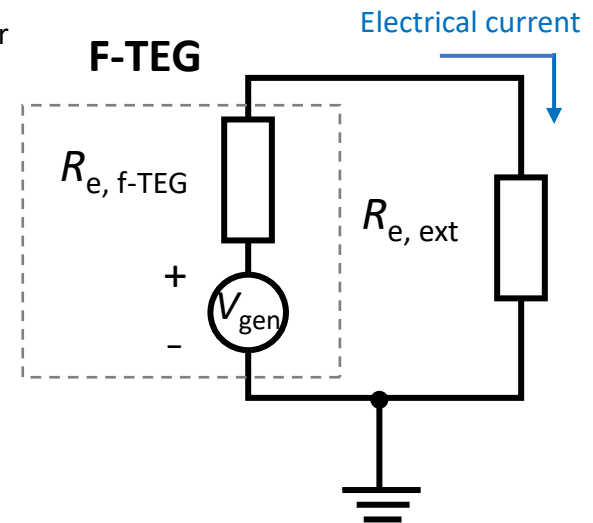


熱電モジュール評価装置

得られる温度差は少ない。発電出力は**10 mW** 程度を目指し
発電装置の伝熱・電気設計を行った。



湧水温度差発電装置の熱的等価回路モデル



電気等価回路モデル

真冬は**20 mW**近いピーク電力が得られた。真冬以外は平均電力が**5 mW**以下になった。

松本市内の湧水の平均温度は15 °C程度である。外気温が近くなる春や秋は発電量が減ってしまう。

	ピーク電力 (mW)	平均電力 (mW)
→ 5月	11.4	3.1
8月	13.8	4.2
→ 11月	2.6	1.1
1月	19.6	14.7

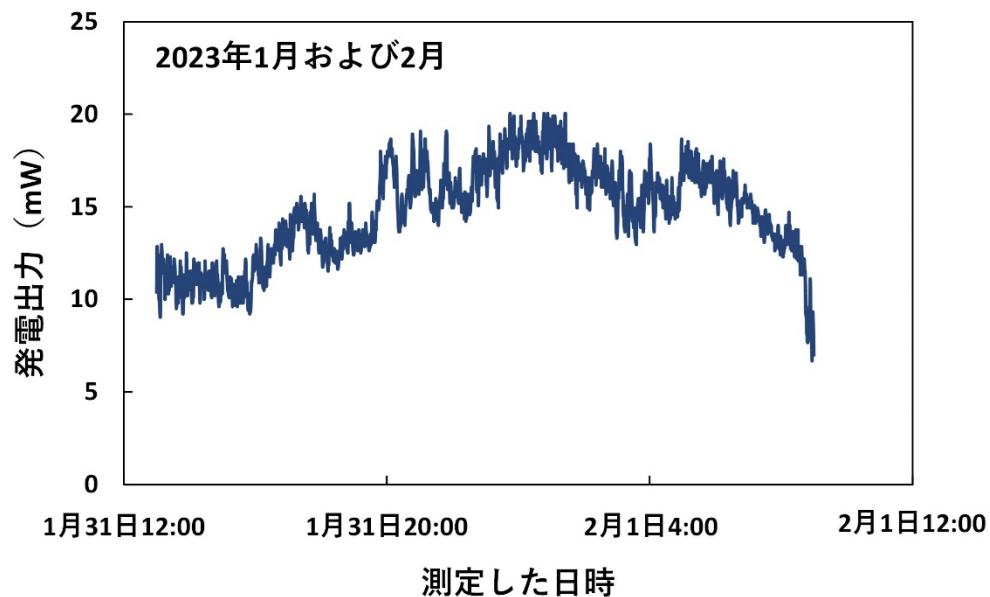
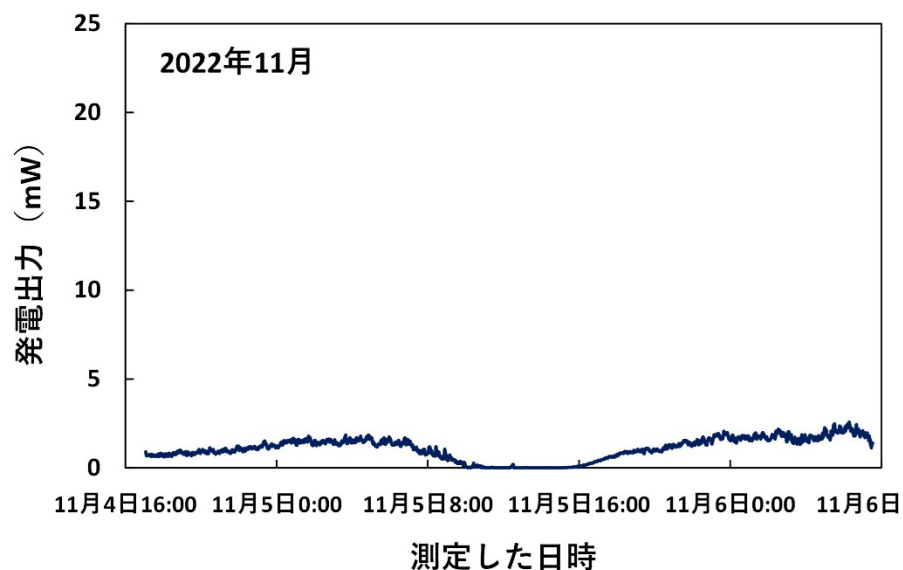
真冬が得意な発電方式

冬の方が安定して発電できる。外気温が低ければ低いほど、湧水温度差発電には有利となる。

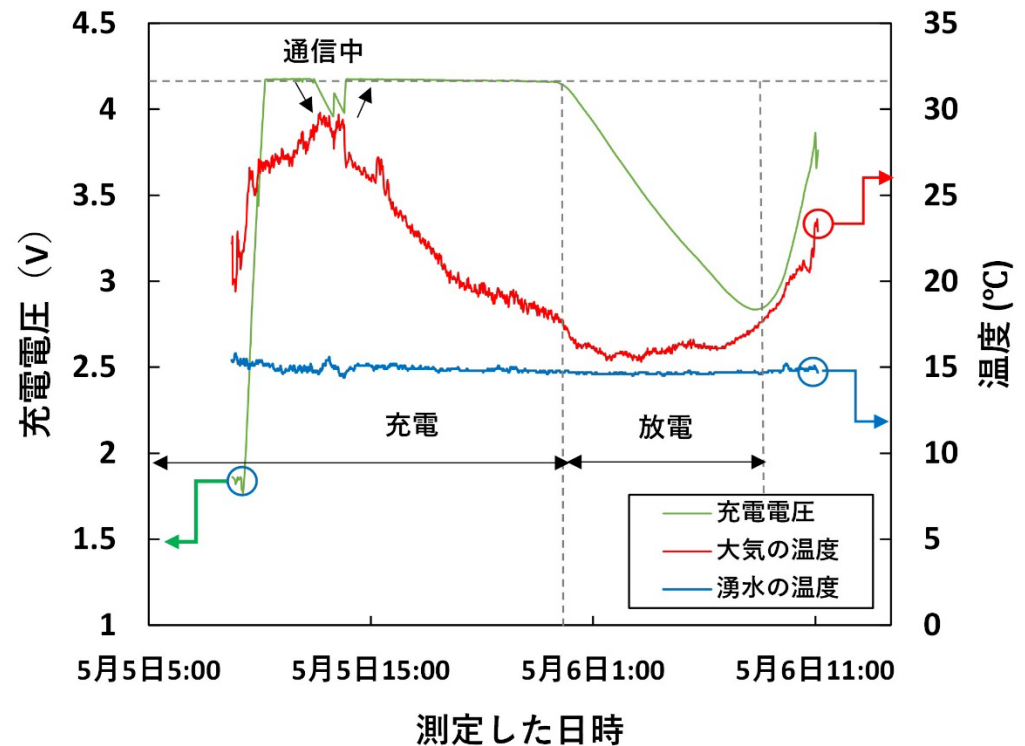
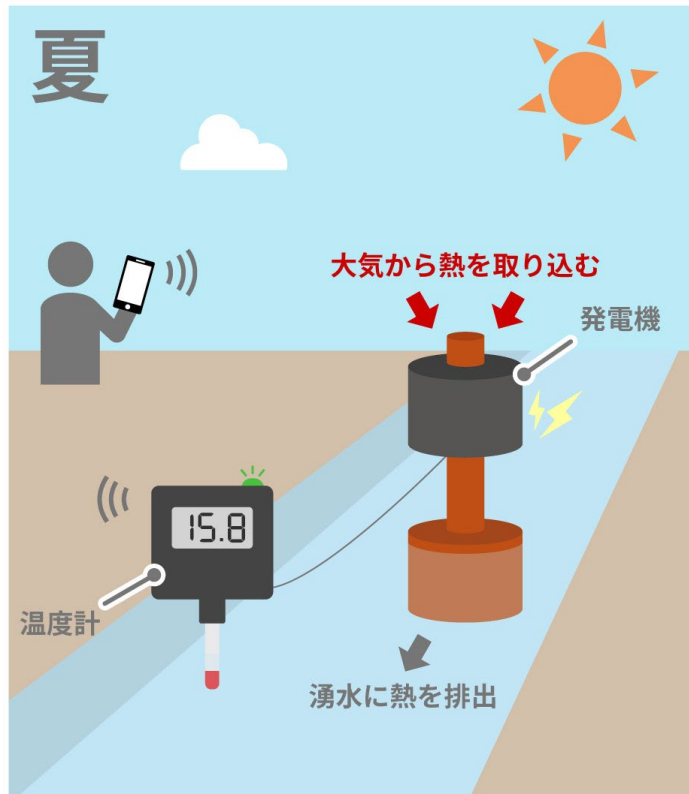
秋



冬



ワイヤレス温度記録計のデータを**ワイヤレス通信**するために必要な電力を共有することもできる。



出展：産総研プレスリリース
湧水に浸すと発電できる「湧水温度差発電」

- 湧水と大気 of 自然な温度差から発電できる「湧水温度差発電」を発明し、実証に成功した。
- 冬の方が得意という、珍しい特徴を持つ再エネ電源となっている。今後は、発電量を改善し、水質管理システムの電源への応用、湧水を活用したまちづくりの用途開拓（防犯、照明）や実証を進めていきたいと考えている。
- GZRと連携して開発した熱電モジュール評価装置などが、発電装置の設計や評価に重要な役割を果たした。GX分野における効率評価などの基盤計測技術の重要性を改めて強調したい。

謝辞

本研究は、科研費基盤研究C「水辺空間の価値創出に向けた環境発電のデザイン上の課題解明と導入方法の実証的研究（22K12678）（代表:茨城大学一ノ瀬彩）」（2022年度～2026年度）の支援により行われたものです。

研究の遂行や資料の作成にあたり、有益なコメントをくださった茨城大学の一ノ瀬先生、産総研 金子首席、坂本グループ長、丸山グループ長、大川主任研究員に感謝申し上げます。また、湧水に関する資料を提供いただいた、産総研 井川上級主任研究員に深く感謝申し上げます。

最後に、ワイヤレス温度計の電源回路を試作していただいたT&D株式会社 取締役 瀬木様、佐藤様に深く感謝申し上げます。

