

エネルギー・環境新技術先導研究プログラム

体温でIoTデバイスを駆動する 熱化学電池の開発

プロジェクト実施者： 国立研究開発法人産業技術総合研究所
東洋インキSCホールディングス株式会社
株式会社日本触媒

プロジェクト実施期間： 2020年6月～2022年3月



IoT社会を支えるセンサーネットワーク

今後、数が膨大に増えるに従い、
配線や電池交換の不要な自立的なセンサー駆動が必要になる

工場の管理・
環境保全

自動車運転支援
インフラモニタリング

ヘルスケア



工場

配管を流れる
排熱で発電



自動車・構造物

日射熱で発電



人体

体温で発電

我々の提案する技術：
熱化学電池

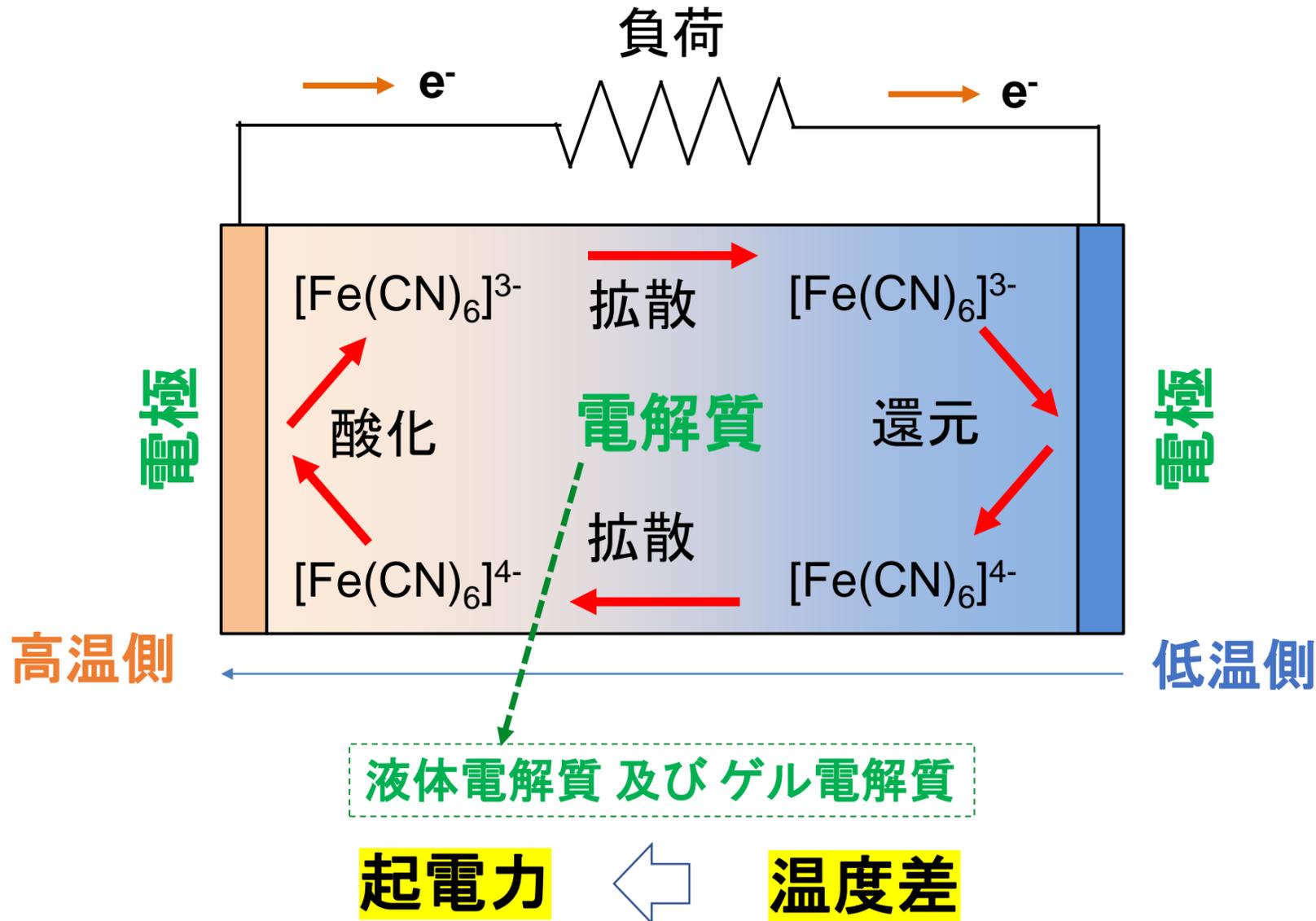
連続発電や繰り返し充電を行い、
IoT社会で有効活用が可能

身の回りの低温熱源の特徴

- ・室温付近のため得られる温度差が小さい
- ・温度(差)の変動がある
- ・形状が多様

体温や生活環境、製造現場などの身の回りに有り余る熱の例

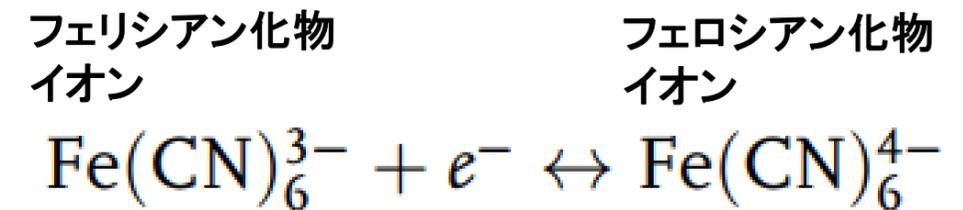
熱化学電池（連続発電型） の構造と動作原理



温度差があれば発電する、原理的に消耗しない電池

電極間に温度差を与えて連続発電 (単一の電解質を使用)

起電力の起源:
酸化還元反応電位の温度係数(エントロピー変化)



$$S_e = \frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{S_{\text{Fe(CN)}_6^{3-}} - S_{\text{Fe(CN)}_6^{4-}}}{nF}$$

~ 1.5 mV/K

BiTe熱電変換素子の10倍以上

$S_{\text{Fe(CN)}_6^{3-}}$
 $S_{\text{Fe(CN)}_6^{4-}}$

イオンのエントロピー F : ファラデー定数
 n : 電荷移動数

メリット

- 高い熱起電力 ⇒ 熱電変換素子の数10倍。少ない素子数で同じ出力電圧
- 素子自体のフレキシブル化可能 ⇒ 様々な形状の熱源に適用可能
- 素子に充電機能あり ⇒ 熱電変換素子には無い、新機能
- 製造コストが低い ⇒ 主な原料は有機物と水のみも可能。
焼結も溶接も不要。P型/N型の作り分けも不要。

NEDO先導研究の目的

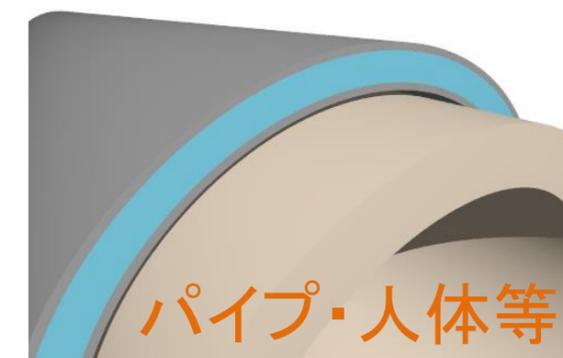
- ・産学連携によって、メリットを最大限に引き出しつつ、デメリットを解消する
- ・セルを試作して発電実証を行う

課題(デメリット)

- 高い内部抵抗 ⇒ 電解質の溶液抵抗、電極/電解質界面抵抗が高い

フレキシブル熱化学電池

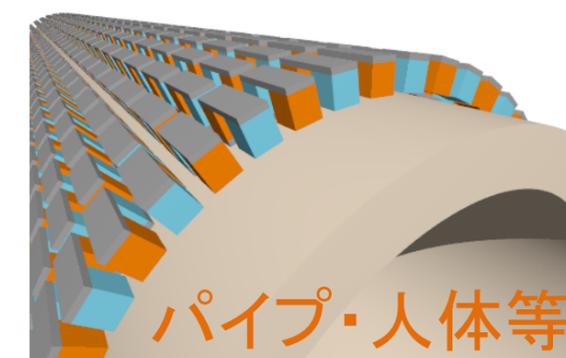
素子自体がフレキシブル



熱源(パイプ・人体等)との熱接触が良好

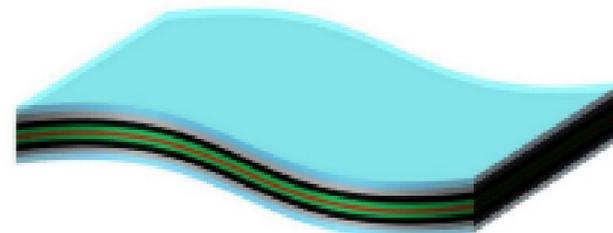
フレキシブル熱電変換素子

素子自体は柔軟性乏しい



サンプルワーク

①高出力化のための電解質及び電極の探索と評価
技術開発 **産総研**



④充電型熱化学電池の要素技術開発
産総研

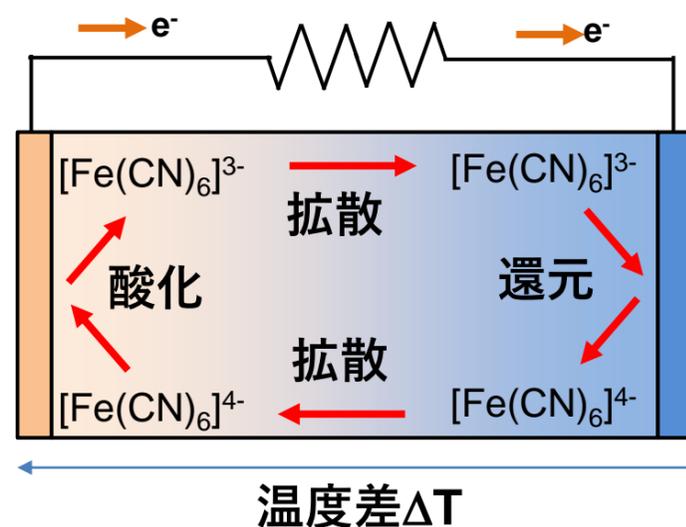
東洋インキSCHD

日本触媒

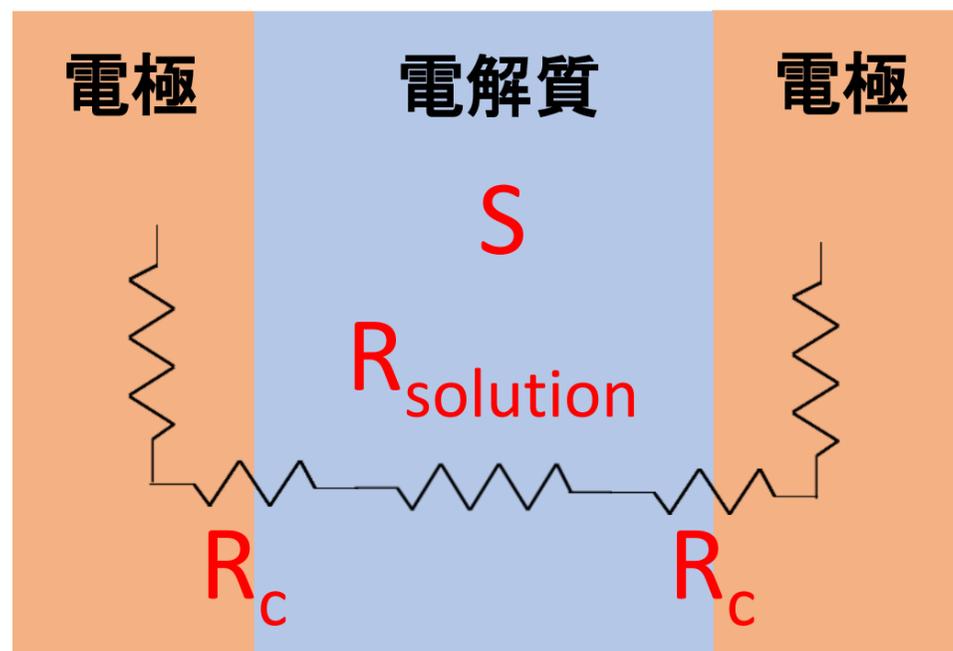
②探索した電極の改良、及び製造技術の確立

③高出力を維持したゲル電解質及びフレッシュ熱化学電池の作製技術確立

高出力化・フレキシブル化を両立した熱化学電池実現



熱化学電池の内部抵抗(回路モデル)



※電極自体のシート抵抗は R_c や R_{solution} に比べて小さい

電解質の熱起電力 S の増加

添加剤によるイオンの溶媒和制御による
エントロピー増加

電解質の溶液抵抗 R_{solution} (導電率 σ) の削減

電解質保持、イオンの溶解度増加

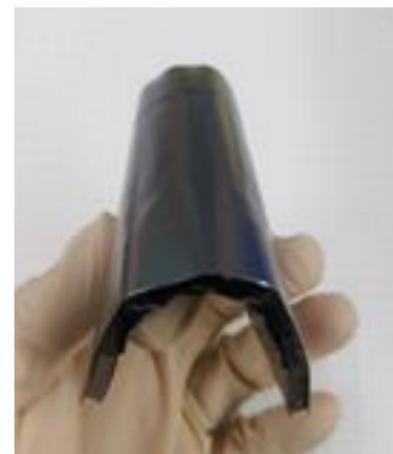
電極/電解質界面抵抗 R_c (界面抵抗率 r_c) の削減

ナノ複合材料を用いた電極の作製

電気抵抗・発電出力の精密測定技術の開発

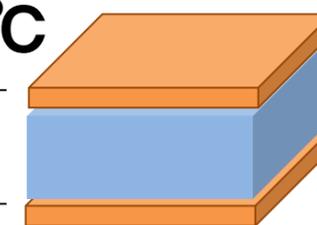
R_c と R_{solution} の同時測定法の確立

フェリ/フェロシアン化イオン
電解質への塩化グアニジ
ニウム添加で熱起電力増加



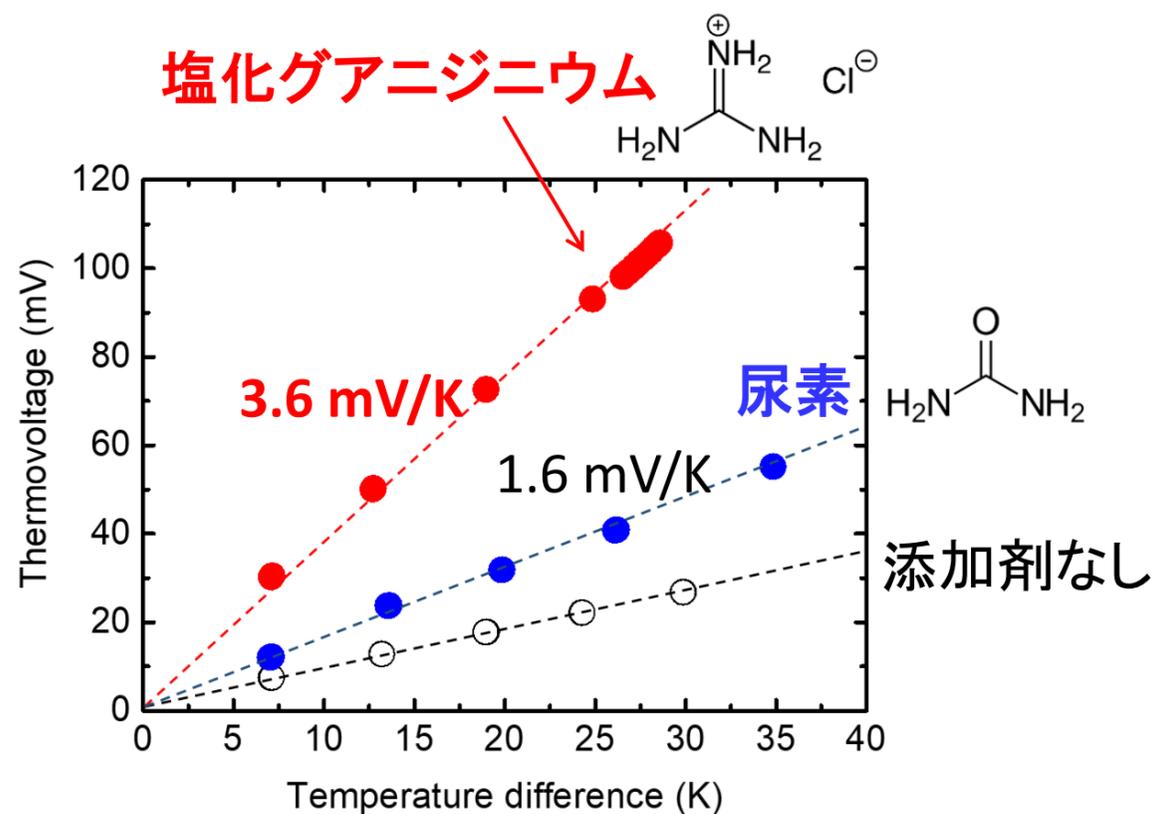
フレキシブル
熱化学電池

$T_L=34^\circ\text{C}$
 $\Delta T=3\text{ K}$
 $T_H=37^\circ\text{C}$

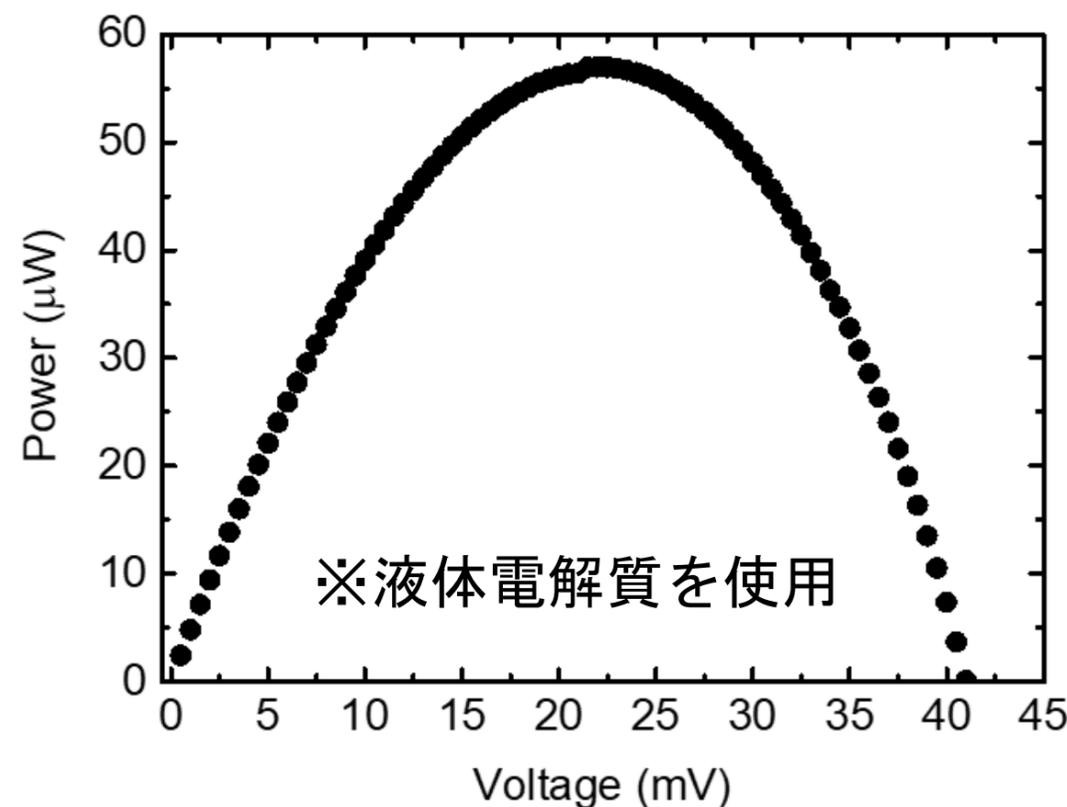


低い電極界面抵抗を
実現したナノ複合電極

熱起電力を高めた電
解質(液体)



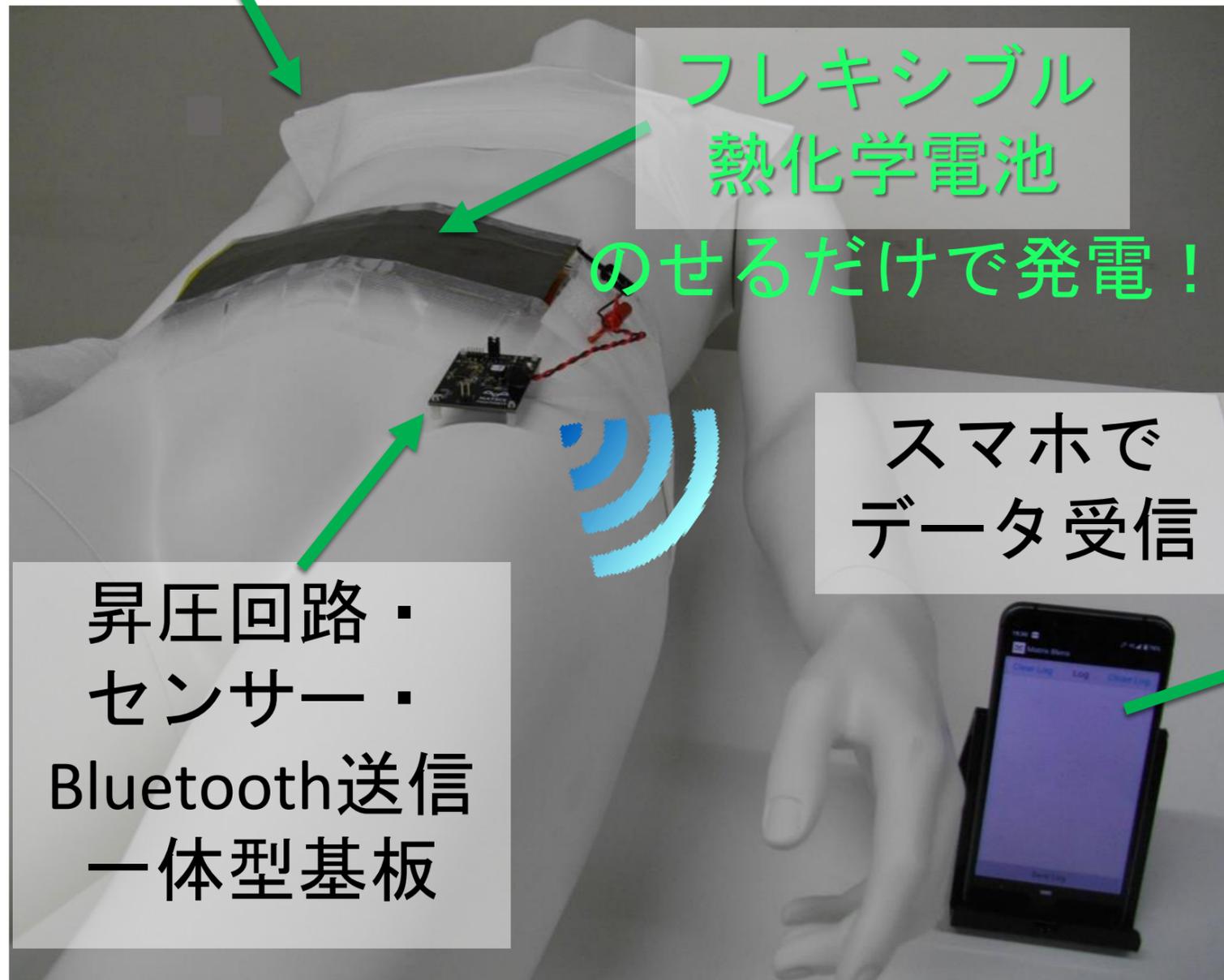
試作したセルの発電試験結果



セルサイズ：
10cm×20cm×0.3cm
37°Cの熱源にのせ、
3°Cの温度差
⇒ 55μW発電

センサー計測・BLE
通信に必要な電力
体温で供給可能

体温（37°C）に設定したマネキン



フレキシブル
熱化学電池

のせるだけで発電！

スマホで
データ受信

昇圧回路・
センサー・
Bluetooth送信
一体型基板

BLEで送信された、時刻・温度・
湿度・気圧のデータをスマホで
受信（下は受信データの例）

11:02:20	+24.523s	D: 233,	T: 19.8,	H: 50.8,	P: 1003,	V: 22
11:03:07	+46.982s	D: 233,	T: 19.9,	H: 50.6,	P: 1003,	V: 22
11:03:32	+24.919s	D: 233,	T: 20.0,	H: 50.0,	P: 1002,	V: 22
11:03:57	+24.225s	D: 233,	T: 20.0,	H: 50.4,	P: 1003,	V: 22
11:04:21	+24.553s	D: 233,	T: 20.1,	H: 48.8,	P: 1003,	V: 22
11:04:43	+21.459s	D: 233,	T: 20.1,	H: 48.8,	P: 1002,	V: 22
11:05:04	+21.594s	D: 233,	T: 20.2,	H: 49.3,	P: 1002,	V: 22
11:05:28	+24.042s	D: 233,	T: 20.1,	H: 48.3,	P: 1002,	V: 20
11:05:53	+24.617s	D: 233,	T: 20.2,	H: 47.9,	P: 1002,	V: 22
11:06:16	+23.542s	D: 233,	T: 20.3,	H: 48.0,	P: 1002,	V: 22
11:07:05	+48.395s	D: 233,	T: 20.4,	H: 48.5,	P: 1002,	V: 22
11:07:29	+24.260s	D: 233,	T: 20.5,	H: 48.0,	P: 1002,	V: 22
11:07:53	+23.787s	D: 233,	T: 20.6,	H: 48.2,	P: 1002,	V: 22
11:08:17	+24.442s	D: 233,	T: 20.7,	H: 48.3,	P: 1002,	V: 22
11:08:41	+23.710s	D: 233,	T: 20.8,	H: 48.0,	P: 1002,	V: 22
11:09:05	+24.355s	D: 233,	T: 20.8,	H: 47.1,	P: 1002,	V: 22
11:09:28	+22.556s	D: 233,	T: 20.9,	H: 47.7,	P: 1002,	V: 22
11:09:51	+23.199s	D: 233,	T: 21.0,	H: 49.3,	P: 1002,	V: 22
11:10:15	+24.382s	D: 233,	T: 21.0,	H: 48.4,	P: 1002,	V: 22
11:10:20	+22.254s	D: 233,	T: 21.1,	H: 47.8,	P: 1002,	V: 22

プラント排熱ダクトの支柱
(表面温度60°C)

支柱曲面にフィット！
付けるだけで発電！



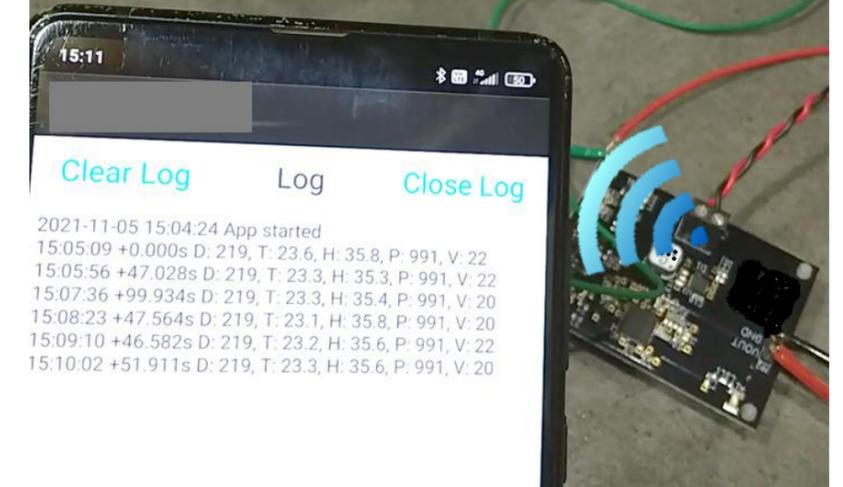
フレキシブル
熱化学電池

昇圧回路・
センサー・
Bluetooth送信
一体型基板

データロガー
(温度・電圧計測用)

セルに付いた温度差：～10°C程度

スマホで
データ受信



BLEで送信された、時刻・温度・
湿度・気圧のデータを受信

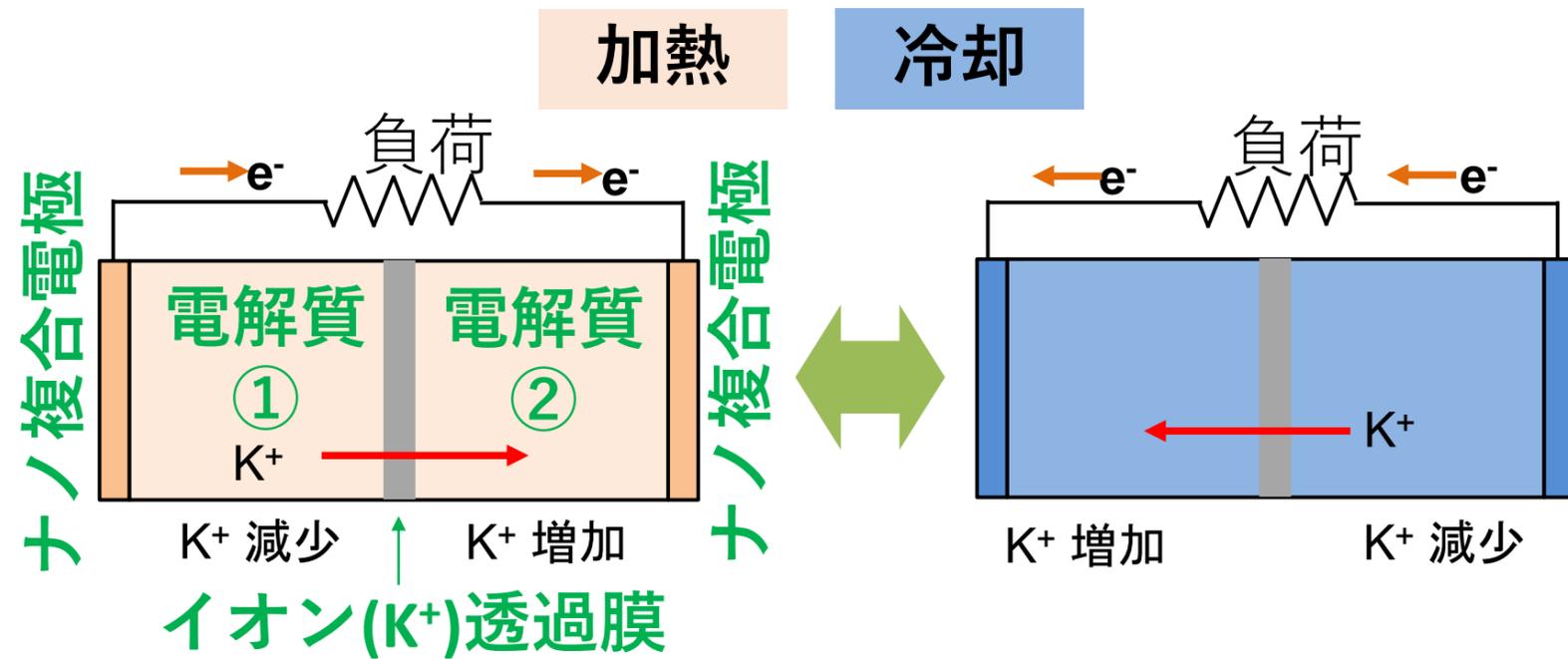
センサーデータ計測&BLE通信： 加速度・地磁気・照度・UV強度なども計測可能
1回あたり 0.3 ~ 1.0 mJのエネルギー消費を数秒～数十秒に1回、熱化学電池で賄える

ポータブル型セル



この他に、
コイン電池型セルの
試作も進めています。

熱化学電池（充電型）の構造と動作原理

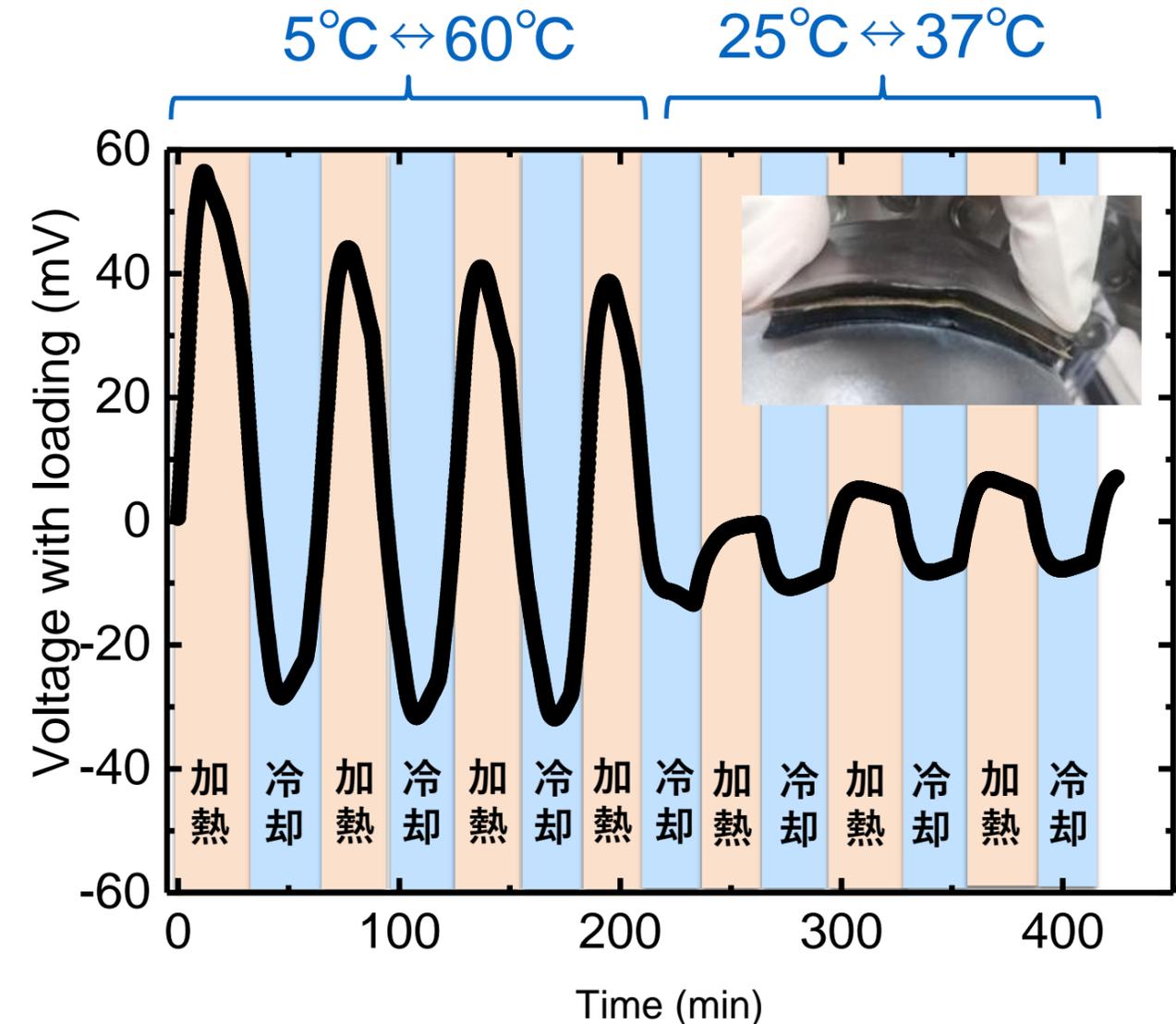


起電力 ← **温度変化**

- 温度変化で充放電（電極間温度差が不要！）
- 人体への装脱着、プラント稼働／停止、昼夜の気温変化等を利用

単に電池全体に温度変化を与えて充放電（2種類の電解質使用）

充電型セルに温度変化を与えた際の出力電圧の変化（負荷抵抗40Ωを接続）



水と有機物主体で製造が可能な、低環境負荷・低コスト化のメリットも活かしつつ、セルの高出力化に向けた、電極及び電解質のさらなる高性能化に取り組めます。

また、ヘルスケア、プラント管理、農業・インフラ向けなど、具体的な利用形態に合わせたセル構造・部材の改良に取り組めます。

生活環境の熱だけで発電・充電する電池技術、
IoT向けセンサー・無線通信用自立電源への応用技術

IoT関連のデバイスメーカー、電池製造メーカー等、
様々な企業との連携を希望します。
サンプル提供も検討いたします。

ご興味のある方は、ぜひお問い合わせください。

問合せ先

代表機関：産業技術総合研究所（担当：桐原）
メールアドレス：kz-kirihara@aist.go.jp