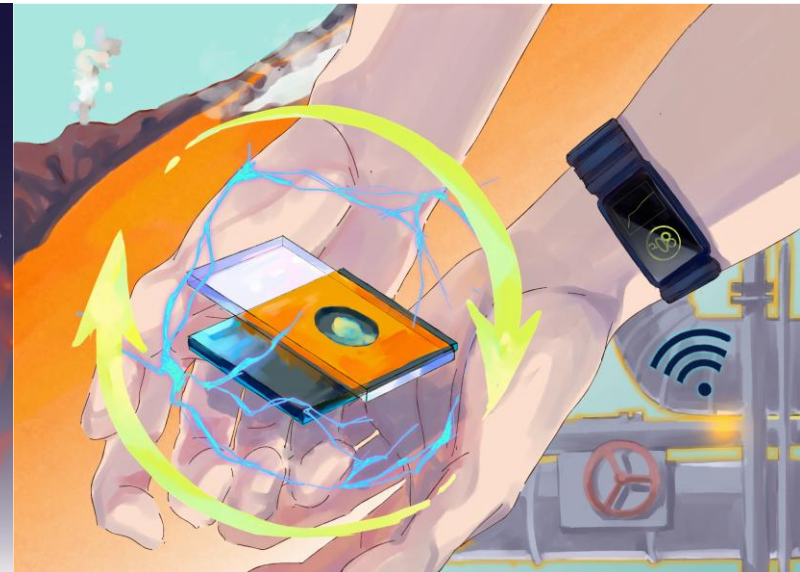


低温熱の電力への応用：半導体増感型熱利用発電

松下（生方）祥子

（東京科学大学 物質理工学院 准教授, 株式会社elleThermo 代表取締役Co-CEO/CTO）



松下祥子(博士・工学)

東京科学大学 物質理工学院 材料系
材料コース(主)エネルギー・情報コース(副)

担当講義 電気化学、界面化学、再生可能エネルギー変換特論

学歴・職歴

- 1996年 東京大学工学部卒業
- 1998年 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了
- 1998年 日本学術振興会特別研究員(DC・P)
- 2000年 同研究科応用化学専攻博士課程修了(半年短縮)
- 2000年 日本学術振興会特別研究員(PD)
- 2001年 理化学研究所基礎科学特別研究員
- 2004年 同 フロンティア研究システム研究員(副チームリーダー級)
- 2006年 日本大学 文理学部 物理生命システム科学科、専任講師
- 2009年 同准教授
- 2010年 東京工業大学准教授
- 2023年 株式会社elleThermo代表取締役(兼任)

電気化学

高分子

非平衡物理

無機
経営

受賞

- 2005年 日本女性科学者の会 奨励賞
- 2013年 コロイドおよび界面化学部会 奨励賞
- 2016年 電気化学会 女性躍進賞
- 2020年 リバネスエコテックグランプリ 最優秀賞、サカタインクス賞、ダイキン賞
- 2022年 ESG Tech Battle 2022 powered by NEDO, CIC会長賞受賞
- 2025年 Forbes Japan Rising Star Award 特別賞
- 2026年 EY winning women ファイナリスト

所属学会	社会活動	競争的資金
応用物理学会 (Diversity and Inclusion委員会、委員長)	文部科学省 科学技術・学術審議会専門委員(2009-2010)	科研費
電気化学会	内閣府 グリーンイノベーション戦略協議会メンバー(2012-2013)	(若手A、特定、基盤B)
(Electrochemistry, Associate Editor)	内閣府 エネルギー戦略協議会	NEDO
日本化学会(BCSJ Associate Editor)	ナノテクノロジー・材料ワーキンググループ構成員(2013-2014)	
	GRENE事業 先進環境材料分野 中間評価検討会 外部専門家(2013)	(ベンチャーフェーズA)
	JSTアジアサイエンスキャンプ審査委員会委員(2012-2017)	
	東京工業大学「経産省との勉強会」メンバー(2019-2020) ほか	JST SCORE事業

応用物理学会にて吸熱発電のシンポジウムを開催

シンポジウムT16

**熱流れの中で発電する
新しい熱エネルギー
変換について語る**

その場の熱
勾配なしで
発電？

永久機関との
違いなど、
パネル討論

豪華招待講演

安達千波矢 (九州大学) CT界面を用いた有機積層熱電素子
守友浩 (筑波大学) 温度変化で充電できる三次電池とその展望
久保若奈 (東京農工大) メタマテリアル熱電変換と非放射冷却

第86回応用物理学会秋季学術講演会

2025年9月9日 13:30-17:00

名城大学 天白キャンパス&オンライン

シンポジウム世話人:

高尻雅之(東海大)、柴田恭幸(東京海洋大)、松下祥子(Science Tokyo, elleThermo)

企画母体: エネルギーハーベスティング研究グループ

シンポジウムT19 次世代の 熱エネルギー変換と冷却

～低温の熱を活かし、発電と冷却の新たな可能性を拓く～



従来とは異なる新しい熱の利用方法が提案され始めています。

比較的低温の熱を利用できるこれらの技術は、発電を行うだけでなく、

条件によっては冷却現象を伴う系も報告されています。

本シンポジウムでは、非平衡熱力学、電気・電子、材料科学、化学など

多様な視点から、新しい熱エネルギー変換と冷却の学理構築を目指します。



第87回応用物理学会秋季学術講演会

2026年9月9日 13:30-17:30

北海道大学 札幌キャンパス 会場B32 & オンライン

豪華招待講演陣:

安達千波矢 (九州大学)

内田健一 (NIMS・東京大学)

久保若奈 (東京農工大学)

筒井真楠 (大阪大学)

山田鉄兵 (東京大学)

有機CT界面における電荷発生機構の解明と熱電デバイスへの応用

スピンカロリトロンクスと磁性熱電体

メタマテリアル非放射冷却と電子デバイス冷却への応用

ナノボアにおけるイオン輸送を応用した冷却技術

熱化学電池および電気化学セル素子の最近の展開とデバイス化に向けた検討



シンポジウム世話人: 高尻雅之(東海大)、柴田恭幸(東京海洋大)、松下祥子(科学大, elleThermo)

企画母体: エネルギーハーベスティング研究グループ

1. 吸熱発電とは何か？
2. 半導体増感型熱利用発電（STC）の原理
3. STCによる低温熱資源化への挑戦
4. まとめ

1) 吸熱発電とは何か？

- 熱を吸収して発電するという考え方
- 熱力学的背景
- 従来の熱電変換（ゼーベック発電）との違い

1) 吸熱発電とは何か？

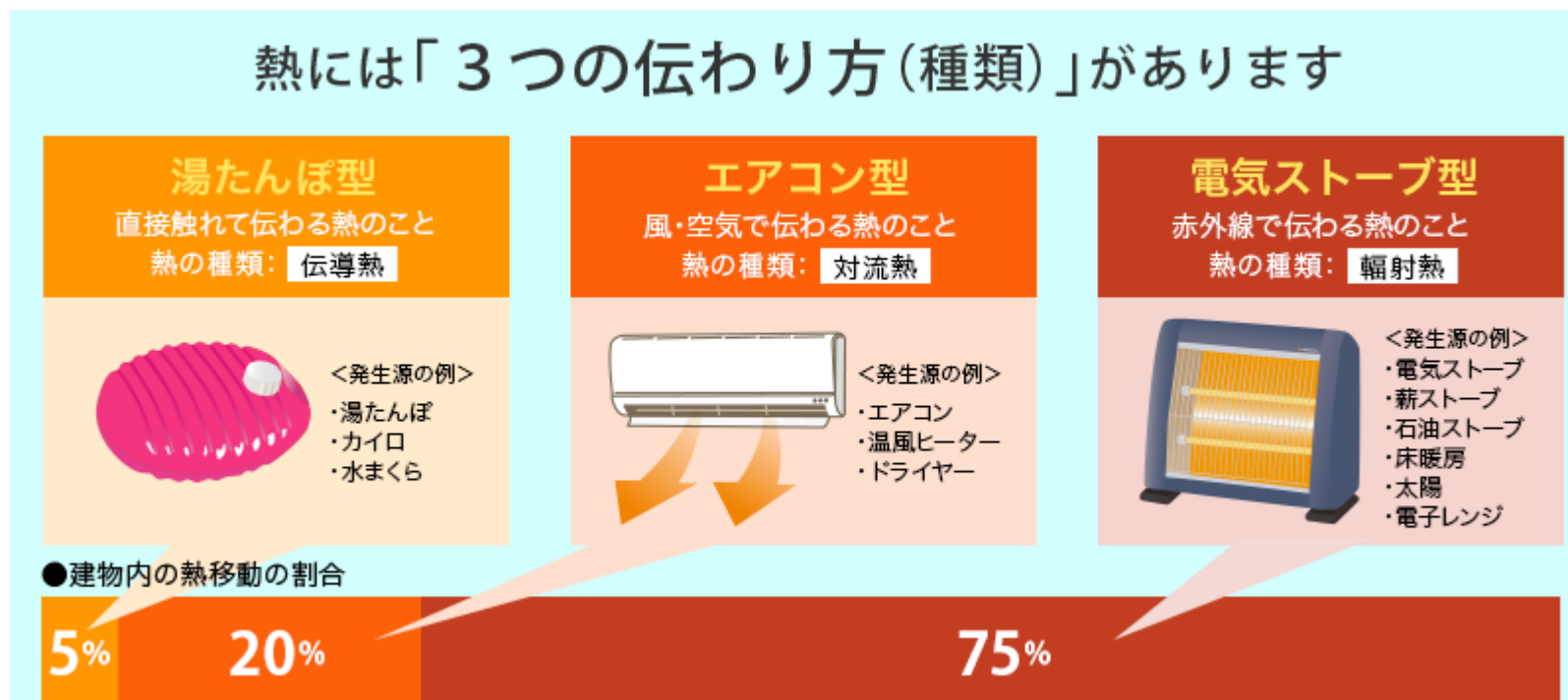
熱を吸収して発電するという考え方

・ 熱とは何か

本質は電磁波エネルギーと運動エネルギーに分けられる

熱の3形態

1. 熱伝導：固体の熱振動 2. 熱伝達（対流）：分子の動き 3. 熱輻射：電磁波



1) 吸熱発電とは何か？

• 環境温度一定で熱を電力に変える技術が続々報告

日本オリジナルの技術が多い

温度の 時間変化	形式	最小発電 温度[K]	最大発電 温度[K]	最大出力 [microW]	初回 報告年	国
必要	三次電池	283	323	8.64	2018	日本
	熱充電セル	276	363	21	1996*	日本、中、台、伊 スペイン、米
不要	遅延蛍光分子熱発電	293	363	0.0376	2024	日本
	STC	293	873	1000	2015	日本
	電子ホッピング熱発電	298	335	1.0374	2018	日本
	グラフェン熱振動発電	300	300	0.00004	2016	米
	自己生成温度勾配型熱電発電	315	375	0.008	2025	日本
	メタマテリアル熱電	323	323	0.047	2024	日本
	プラズモン誘起赤外線	724.5	2070	0.035	2012	中、伊、日本
	フォトニック結晶熱光発電	1100	1300	3,500	2004	米、日本、独、 スイス
	熱光発電 (一般)	1573	2673	1,912,000	1963	米ほか

1) 吸熱発電とは何か？

熱力学的背景

・ 等温での発電の気持ち悪さ

等温で発電？ できるわけない
永久機関でも作ったってこと？



・ アトキンス「物理化学（上）」第10版 p.70

「系が仕事をした後で、それを孤立したままにしておけば、また元の状態に回復してもう一度同じ量の仕事ができるというような系の使い方はできない。この観測の実験的な証拠は、これまで燃料を消費したり、その他のエネルギー源を使ったりすることなしに仕事をする“永久機関”が一度も作られていないという事実である」

等温発電研究者にとって頭が痛い事：永久機関は、原理的には否定されていない

・ マッカーリ・サイモン「物理化学（下）」p.882

「等温で循環的に作動している閉じた系は、外界に変化を残すことなく熱を仕事に変換することはできない」

・ Wikipedia「永久機関」

「外部からエネルギーを受け取ることなく、仕事を行い続ける装置である」

どの論者も、開放系での等温発電を否定はしていない
カルノーサイクルはあくまで閉じた系の話

1) 吸熱発電とは何か？

- 物理化学における系

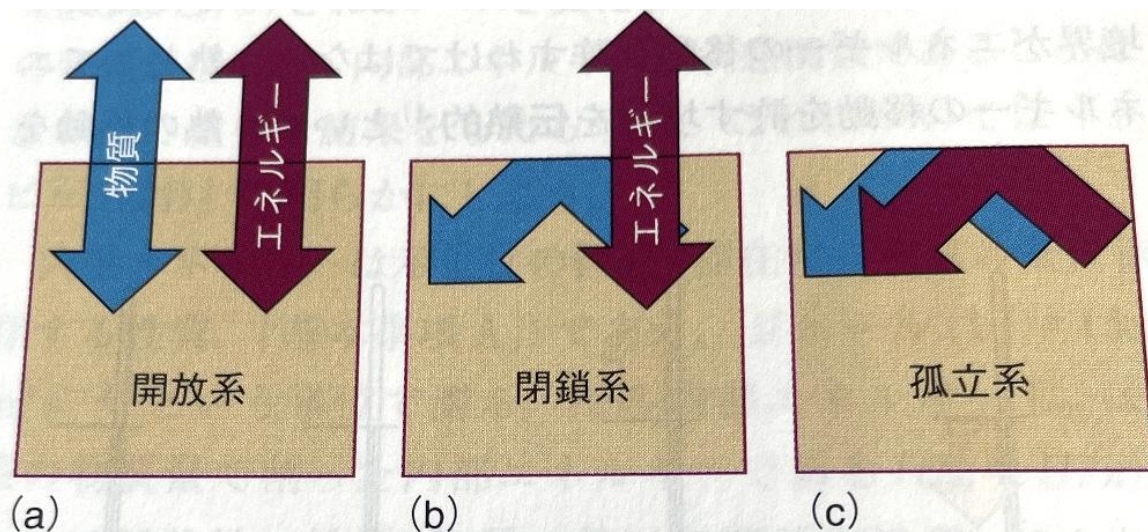


図2A・1 (a) 開放系では物質とエネルギーを外界と交換できる。(b) 閉鎖系では外界とエネルギーを交換できるが、物質は交換できない。(c) 孤立系では物質もエネルギーも外界と交換できない。

1) 吸熱発電とは何か？

- 再生可能エネルギーは開放系

再生可能エネルギーは、一般に、エネルギー流れのある開放系で議論される。たとえば風力発電は、風が外から入ってきて、風車が回り、電力へと変換される。外からエネルギーが入ってくるので、開放系にあたる



技術	エネルギー流	指標
風力	風	回転速度
太陽	光流	照度
水力	水流	回転速度
熱	熱流	温度

永久機関は孤立系の議論

1) 吸熱発電とは何か？

- 開放系の熱力学：散逸構造論

熱力学第二法則「エントロピーは増大する」

→ それでは、なぜこの世界は形にあふれているのか？

→ イリヤ・プリゴジン「散逸構造論」1977年ノーベル化学賞受賞

例) ベナール対流

まず質問：お風呂を沸かすと、上が熱いか下が熱いか？

①液体は、温度が高くなると密度が小さくなり、上に上がる

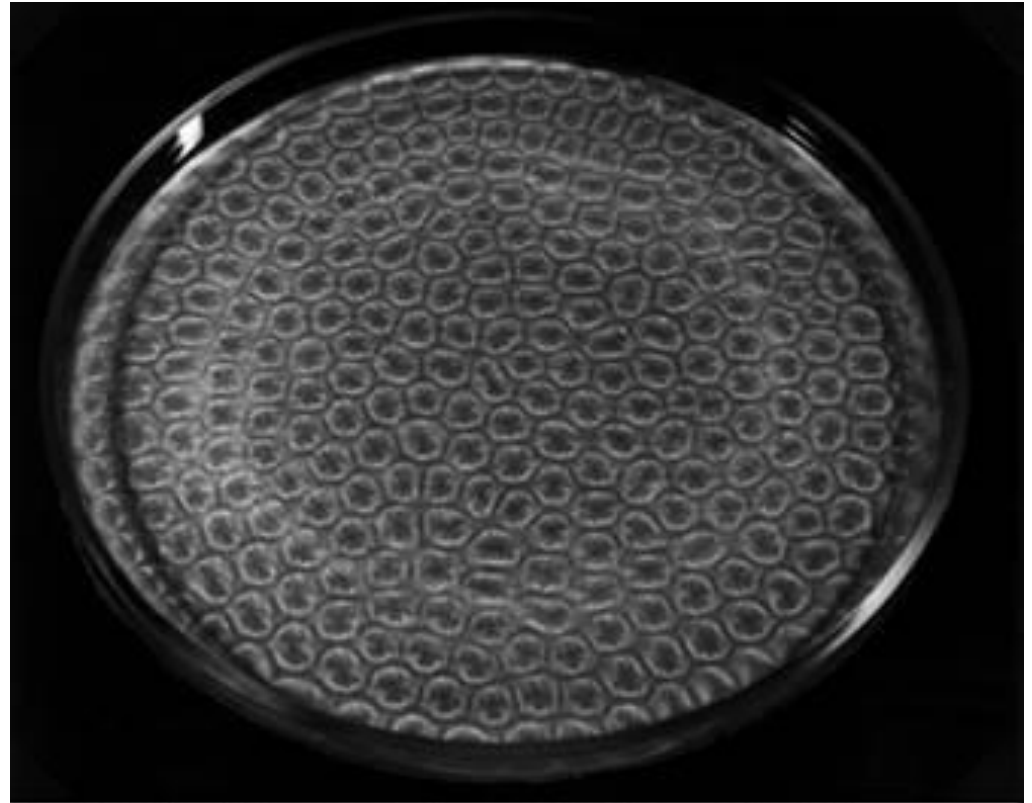
②上でさめると、また密度が大きくなり、下がる

③これがあちこちでおきると・・・

1) 吸熱発電とは何か？



<http://quasar.cc.osaka-kyoiku.ac.jp/handmade2002/ryutai/miso/miso.htm>



上面が空気に接しているシリコーン油($0.5\text{cm}^2/\text{s}$)で温度勾配 5°C (槽の径 30cm , 深さ 0.5cm). (撮影: 三沢信彦)

出典: 理化学辞典第5版

1) 吸熱発電とは何か？

非平衡

対流はいたるところで同じサイズで起こったほうが効率が良いため、このような周期構造が形成する

質問：この空間パターン、熱を与えなくなるとどうなるか？

この空間パターンは一定のエネルギーを注入しているときにだけ見られる

○ 生物と一緒に

散逸構造

- このように、物質やエネルギーの流れで生み出される構造を散逸構造という
- 流れがある非平衡下で生じる
- 非平衡下でパターンを生み出す系は、その流れの中で、系外にエントロピーを捨てることで内部に秩序を生みだす

1) 吸熱発電とは何か？

- 「等温での発電」まとめ

温度は熱エネルギーの指標である

熱エネルギーが消費され、流れ込む系は、開放系で議論する

1) 吸熱発電とは何か？

• 吸熱発電

熱の持つ電磁波エネルギーないし運動エネルギーを電力に変換する。その過程で冷却効果が報告されたことから、これらの発電技術を吸熱発電と呼ぶ

温度の 時間変化	形式 (赤字：冷却効果報告あり)	最小発電 温度[K]	最大発電 温度[K]	最大出力 [microW]	初回 報告年	国
必要	三次電池	283	323	8.64	2018	日本
	熱充電セル	276	363	21	1996*	日本、中、台、伊 スペイン、米
不要	遅延蛍光分子熱発電	293	363	0.0376	2024	日本
	STC	293	873	1000	2015	日本
	電子ホッピング熱発電	298	335	1.0374	2018	日本
	グラフェン熱振動発電	300	300	0.00004	2016	米
	自己生成温度勾配型熱電発電	315	375	0.008	2025	日本
	メタマテリアル熱電	323	323	0.047	2024	日本
	プラズモン誘起赤外線	724.5	2070	0.035	2012	中、伊、日本
	フォトリック結晶熱光発電	1100	1300	3,500	2004	米、日本、独、 スイス
	熱光発電（一般）	1573	2673	1,912,000	1963	米ほか

1) 吸熱発電とは何か？

・既存の熱発電技術と補完関係

吸熱発電技術は低中温帯の熱を活用できるものが多く、発電にその場での温度差が必須ではないため、150℃以下の未利用熱が利用できる

温度差が必要

温度差が必須ではない

高温帯
(150℃～)

ゼーベック型熱発電

- 物質の両端に温度差を加えることで、電気に変換する発電方法。加熱部と冷却部の電子量に差が生じることを利用し電力を取り出す
- 温度差を利用するため、冷却部を取り付ける必要があり、下記の制約が存在
 - 構造が複雑でコストが高くなりがち
 - 低温帯になるにつれて、温度差をつくるのが難しく、効率性が低くなる可能性あり
 - 高出力化の為には毒性の高い材料が必要

地熱発電(蒸気タービン技術)

- 地熱により生じた蒸気を用いタービンを回し発電。蒸気を回収し、液体に戻したものを、再び地熱で温めることで、繰り返し発電可能
- 下記の制約が存在
 - 低温帯の熱が利用できない
 - 発電に水を必要とする
 - 発電所を建設可能な地域が国立公園などの観光・保護地と重複する

低中温帯
(80℃～
150℃)

吸熱発電エリア

室温～
(～80℃)

2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

- STC誕生の背景
- 発電メカニズム
- 冷却現象

2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

STC誕生の背景

- ◆ 安全・安心
- ◆ 石油エネルギーに頼らない
- ◆ 放射性廃棄物などが出ない
- ◆ 狭い我が国の国土を有効利用できる

} 安定して発電する
発電システムを
我が国に！



filmora 9 FILMORA無料プラン
で作成

2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

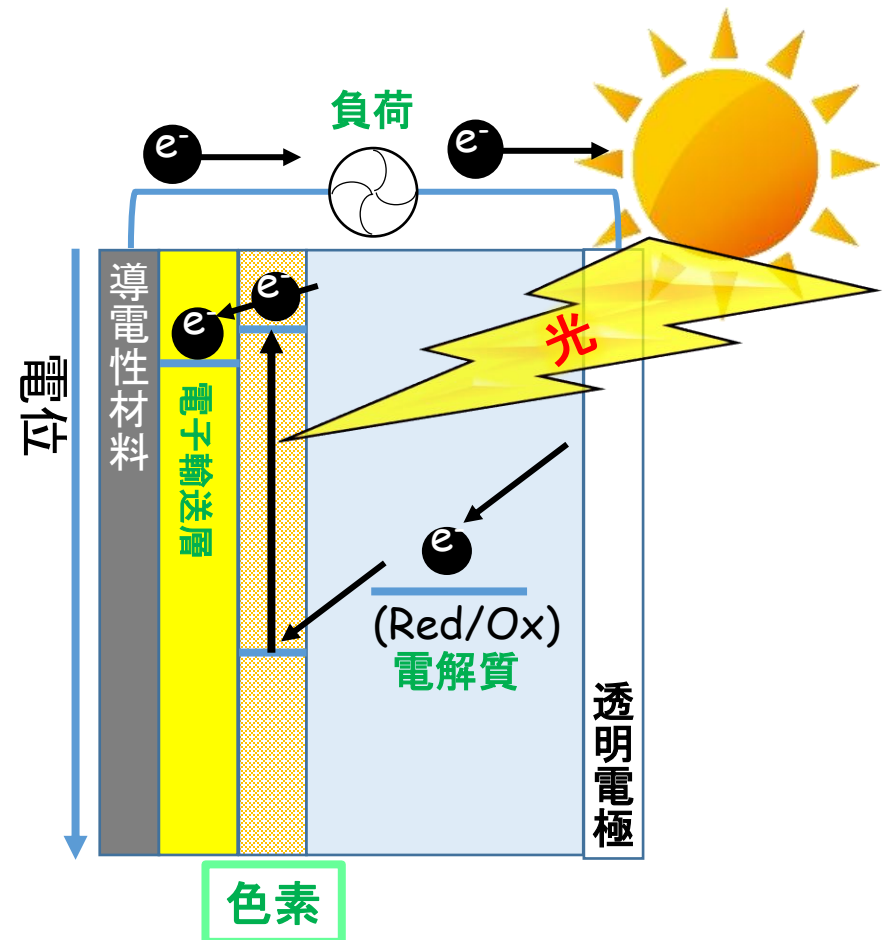
発電メカニズム

- 色素増感型太陽電池

色素の光励起電荷により電解質イオンを酸化還元させて発電する



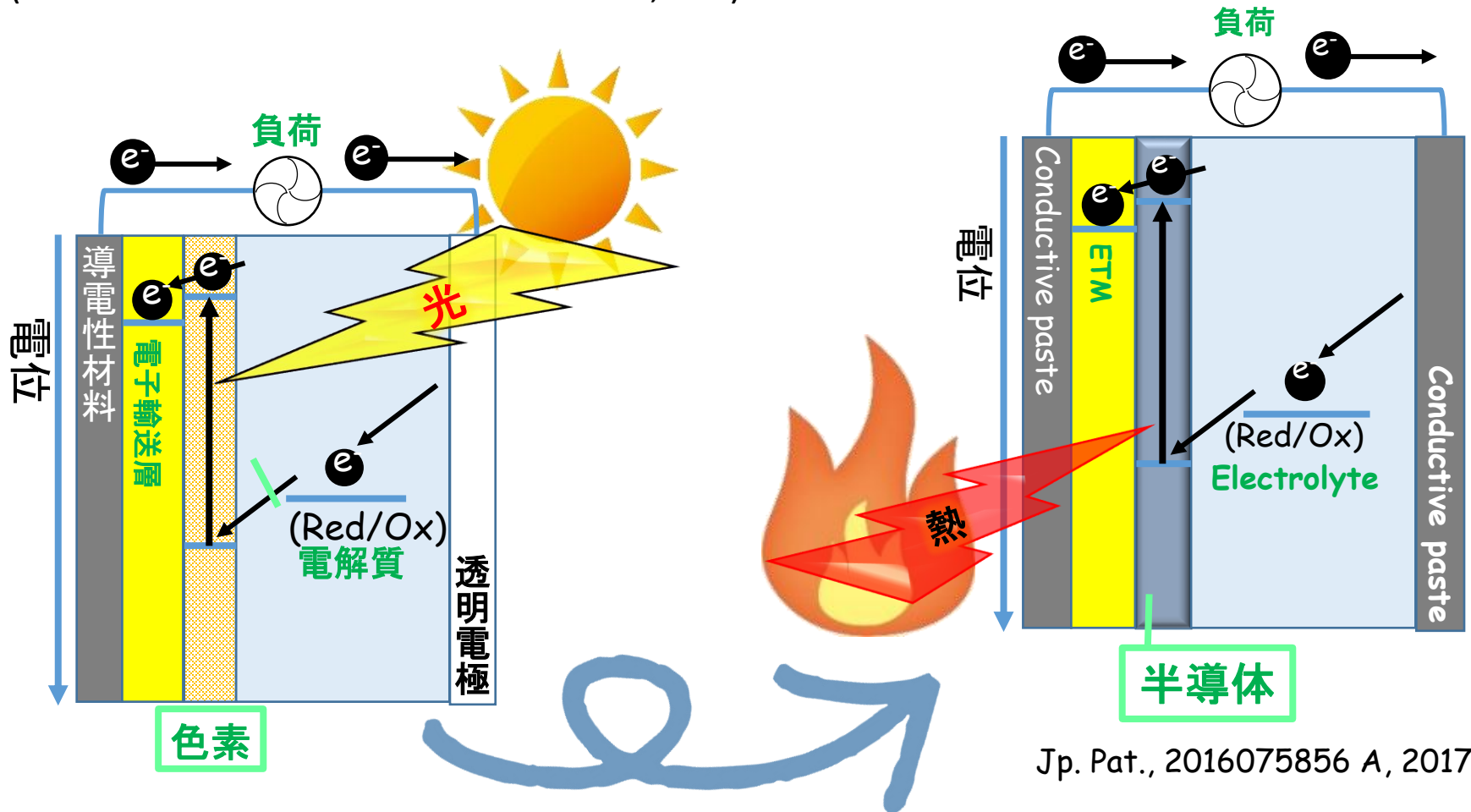
Dye-sensitized solar cells
@東京大学



2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

- 色素を半導体に変えたらどうなるだろう？

半導体は光でも熱でも励起する。この技術を半導体増感型熱利用発電 (Semiconductor-sensitized thermal cell, STC)と名付けて研究を開始



Jp. Pat., 2016075856 A, 2017.

2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

- 熱励起電荷量の計算

禁制帯に電子が存在できるようになり、熱励起電荷が生成する

熱励起電子密度

$$n_i = \sqrt{N_c N_v} e^{-\frac{E_g}{2kT}}$$

状態密度

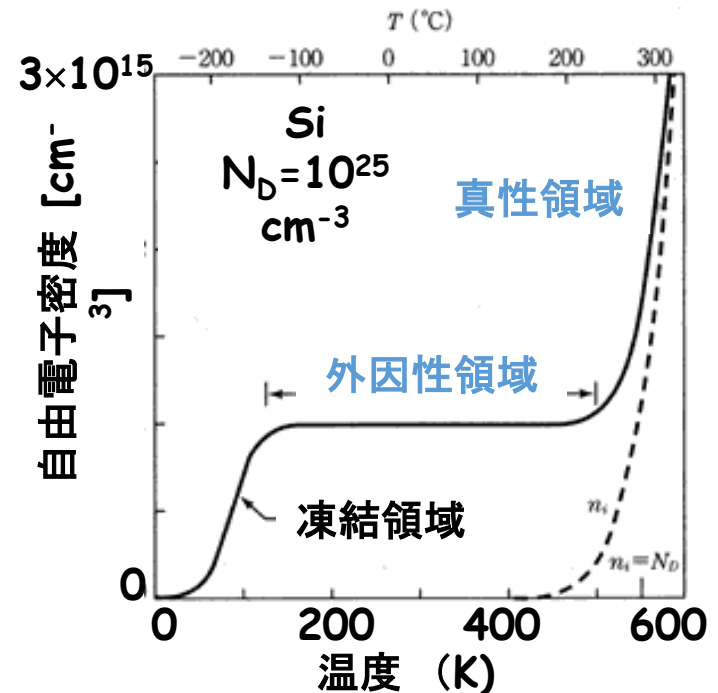
(Density of States, DOS)

物質特有

$$N_c = 2 \left(\frac{2\pi m_e^* kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}}, \quad N_v = 2 \left(\frac{2\pi m_h^* kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}}$$

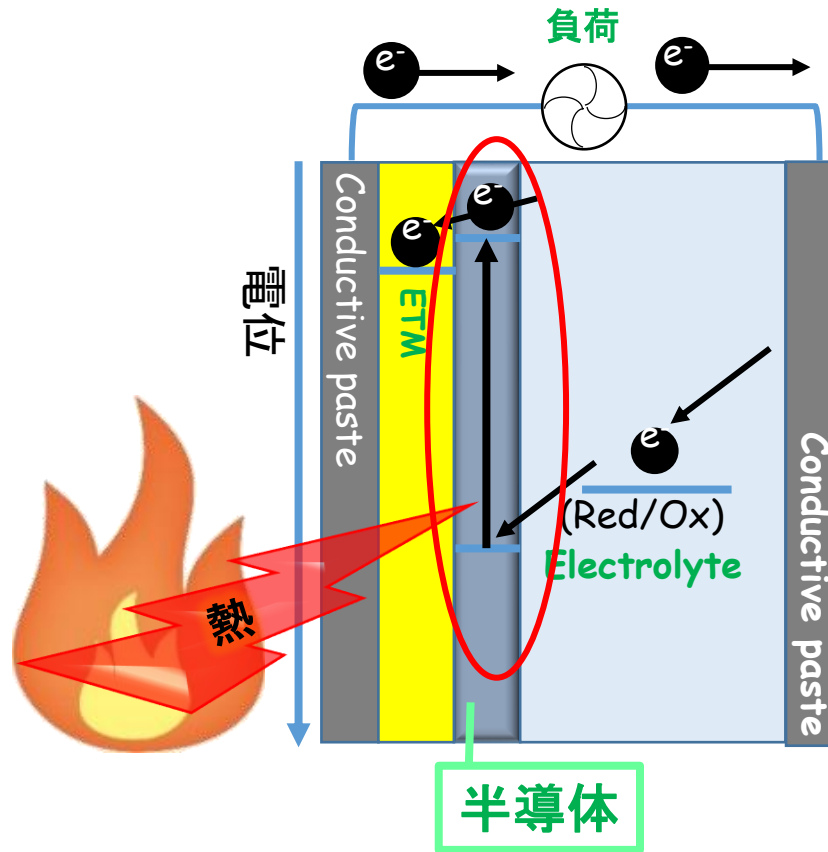
N_c, N_v, m_e^*, m_h^* はそれぞれ伝導帯・価電子帯の有効状態密度、電子・正孔の有効質量

フェルミ分布関数
温度の関数



2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

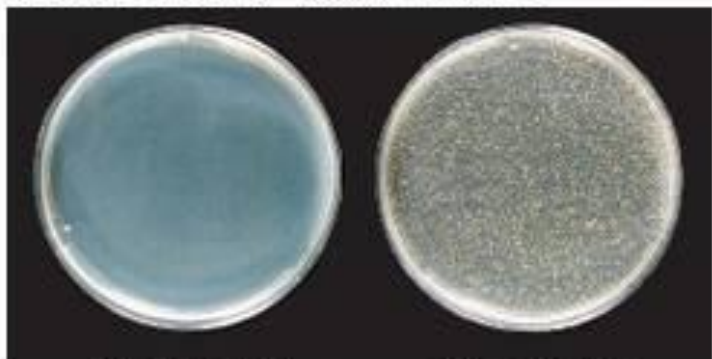
- 熱励起電荷はある



2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

- 熱励起電荷の酸化還元反応

抗菌効果試験
(大腸菌及び耐性黄色ブドウ球菌の生菌数の測定)
耐性黄色ブドウ球菌 明状態 24時間後



酸化チタン(有)

酸化チタン(無)

「光で菌をやっつける」
光触媒として有名な
酸化チタンで...



酸化チタンの熱励起ホールで 有機物が酸化される

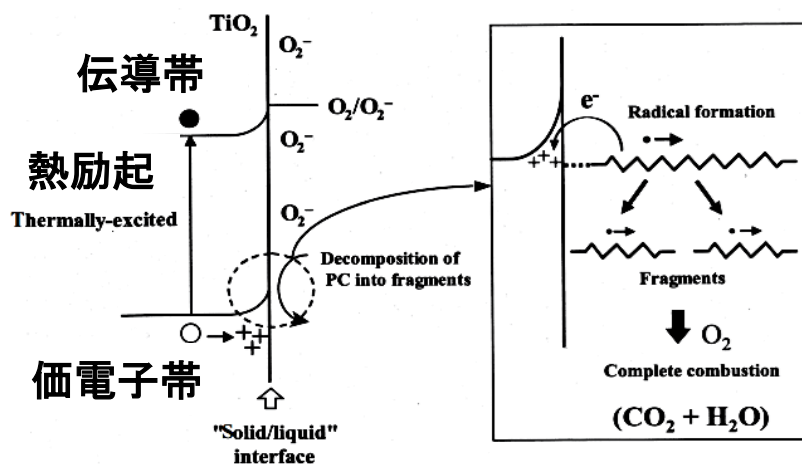
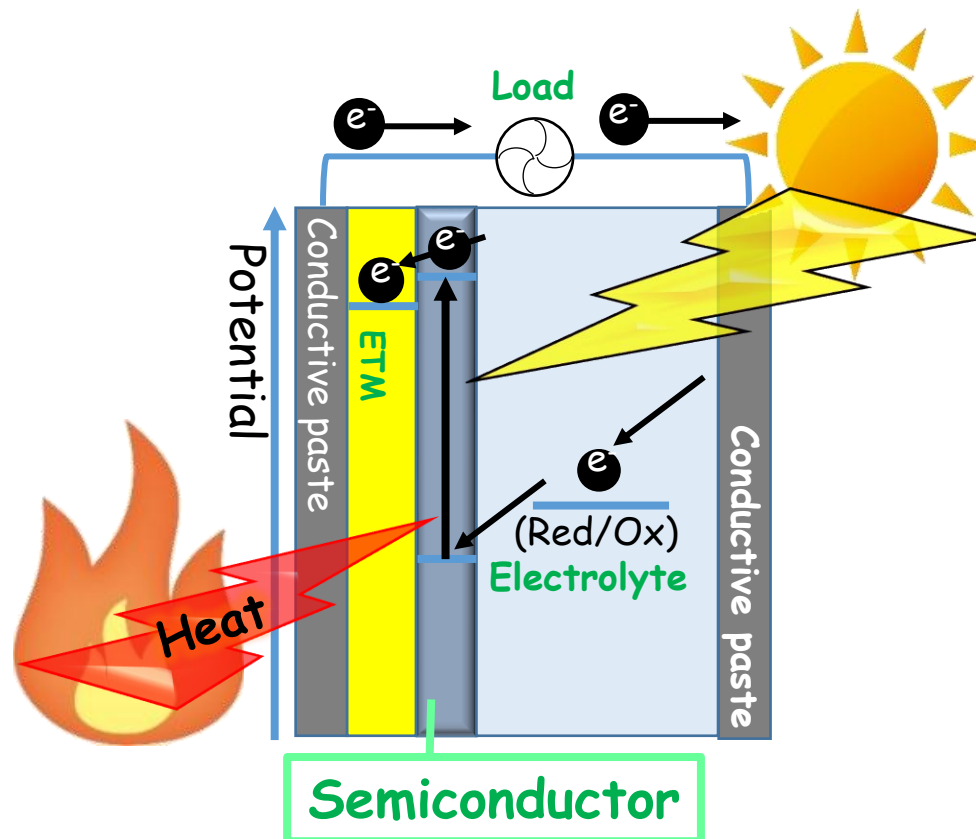


Fig. 1 Decomposition process of PC at the “TiO₂/PC” interface by means of thermally-generated holes
Mizuguchi, J. & Shinbara, T. Disposal of used optical disks utilizing thermally-excited holes in titanium dioxide at high temperatures: A complete decomposition of polycarbonate. *J. Appl. Phys.* **96**, 3514, doi:10.1063/1.1784553 (2004).

2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

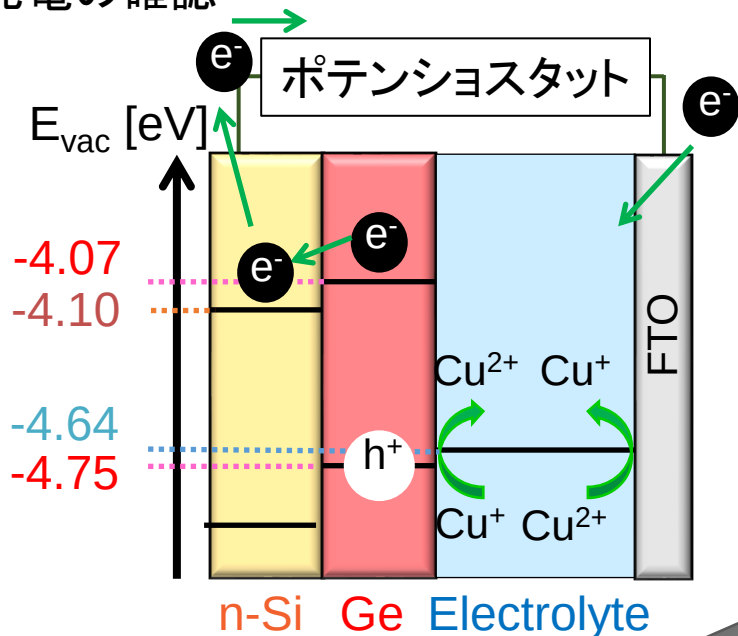
- 電子に歴史はない

もしも、「光励起」電荷は動いて「熱励起」電荷が動かなかったら、電子が歴史を持つことになる

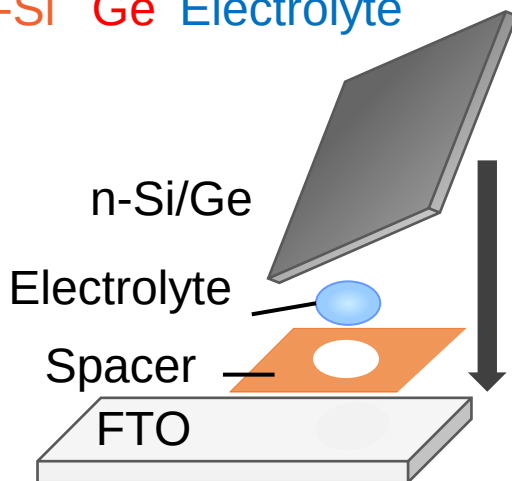
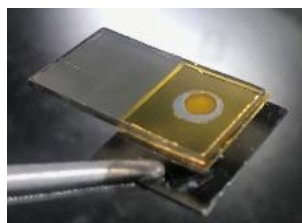


2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

発電の確認

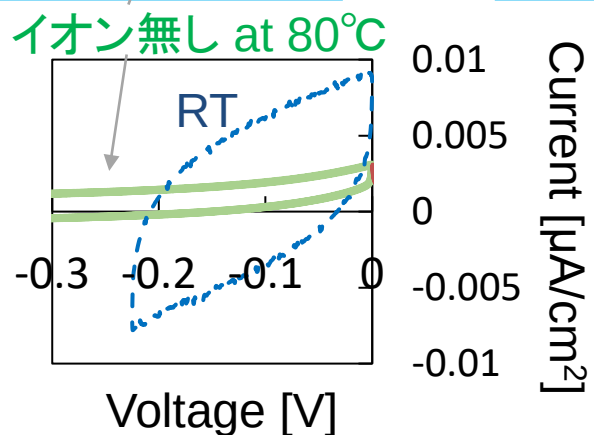
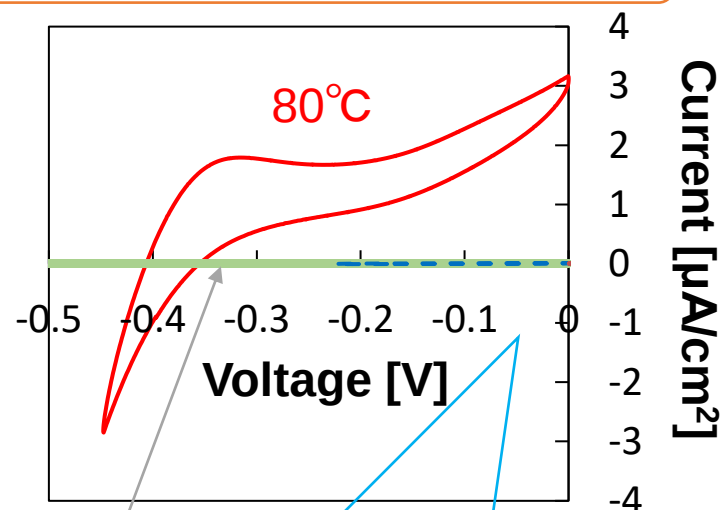


~ 2 mm thick.



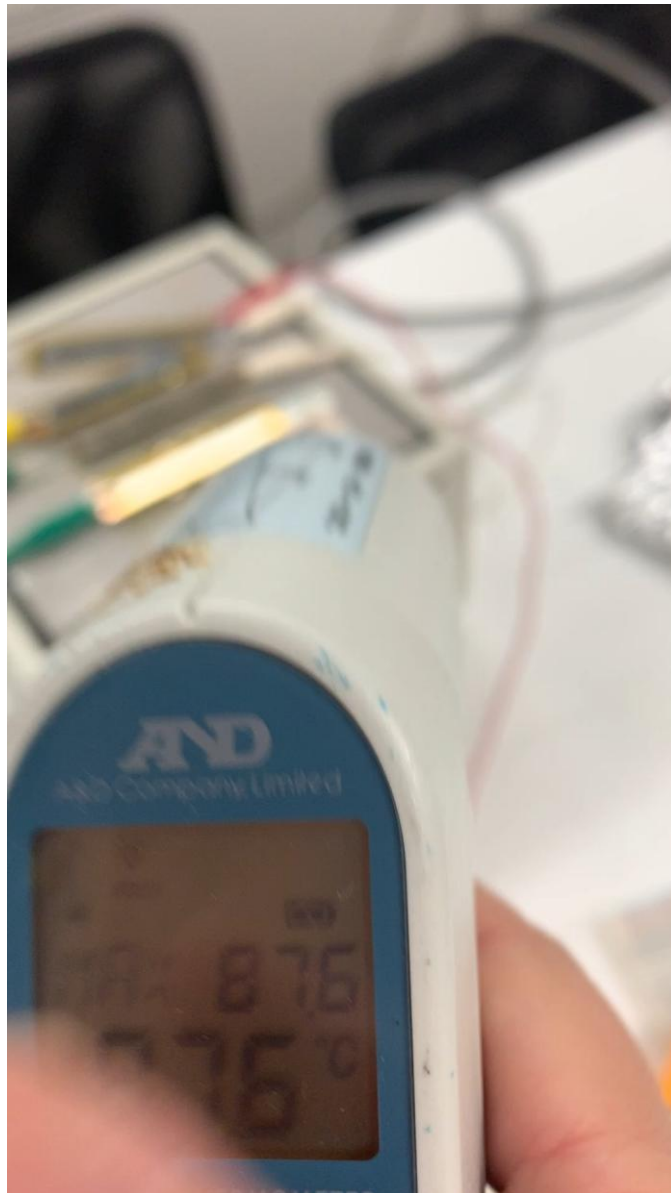
J. Mater. Chem. A 2019, 7, 18249.

80°C下で発電

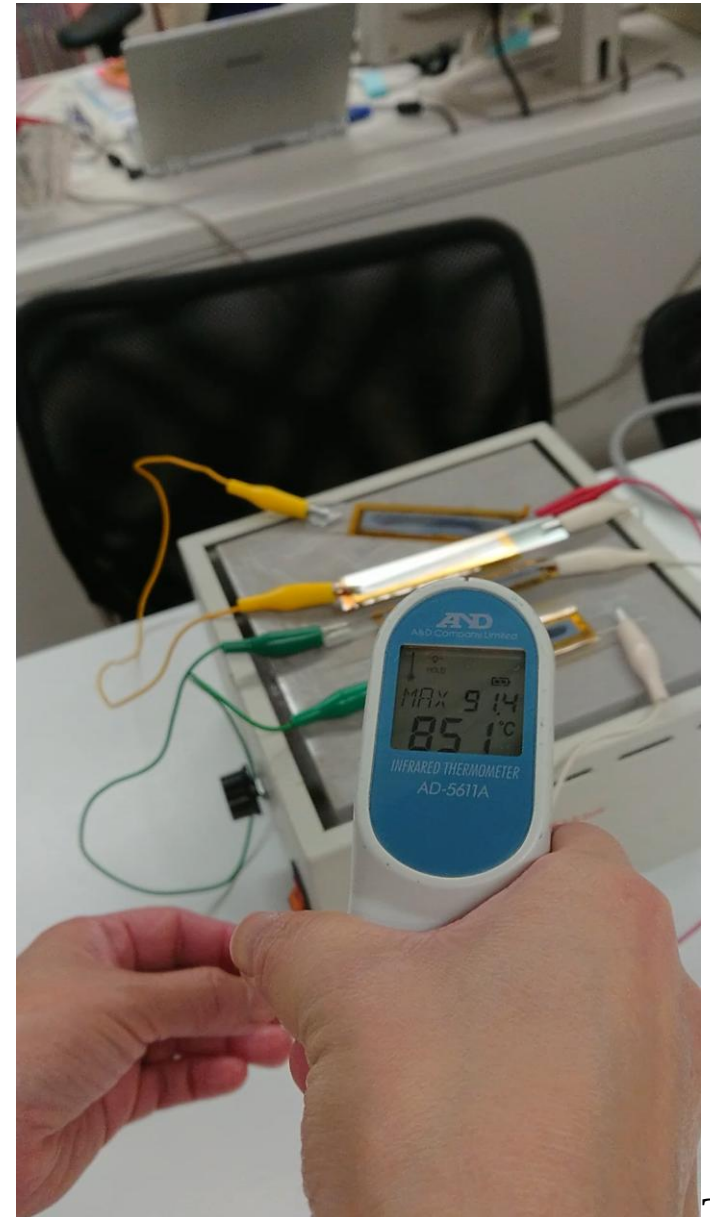


2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

電圧



液晶



2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

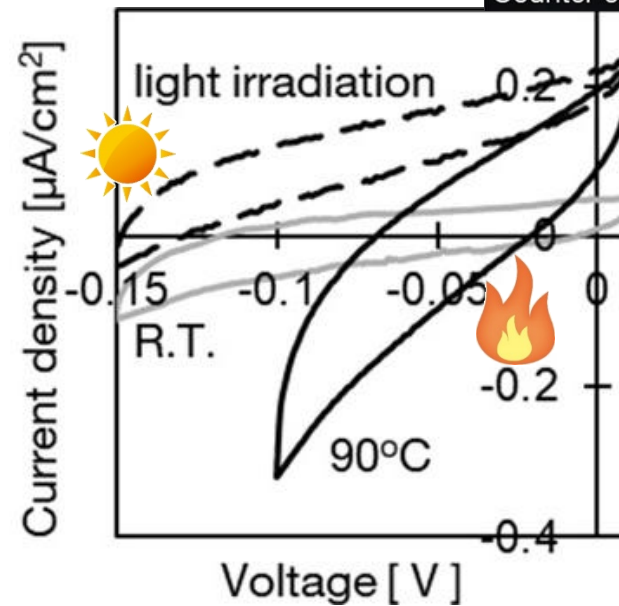
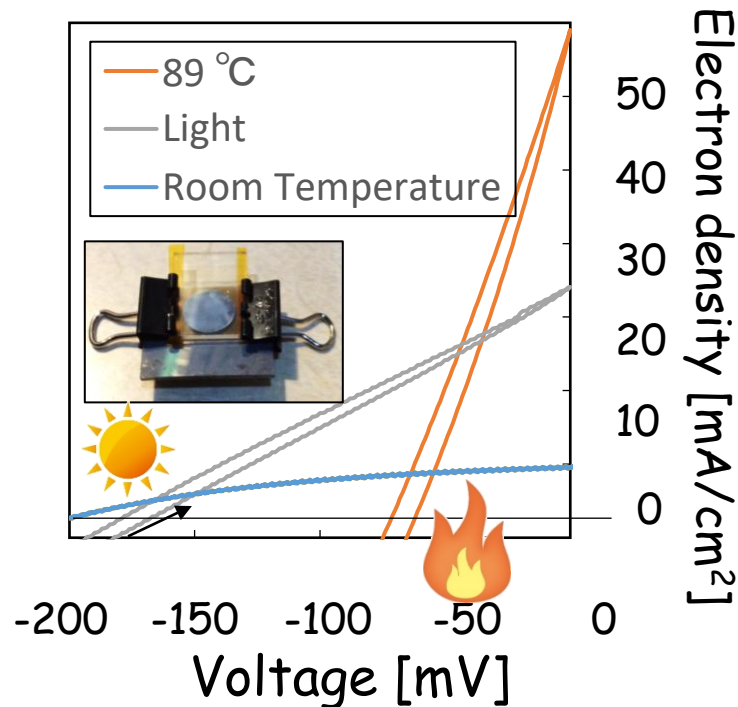
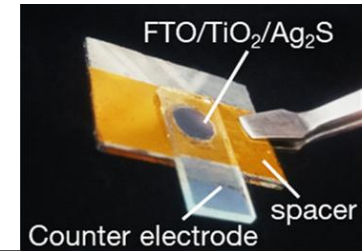
- 光・熱両励起

光でも熱でも発電を確認。ただし、必ず、熱のほうが開放電圧が小さい

Organic perovskite

半導体の種類

Ag_2S

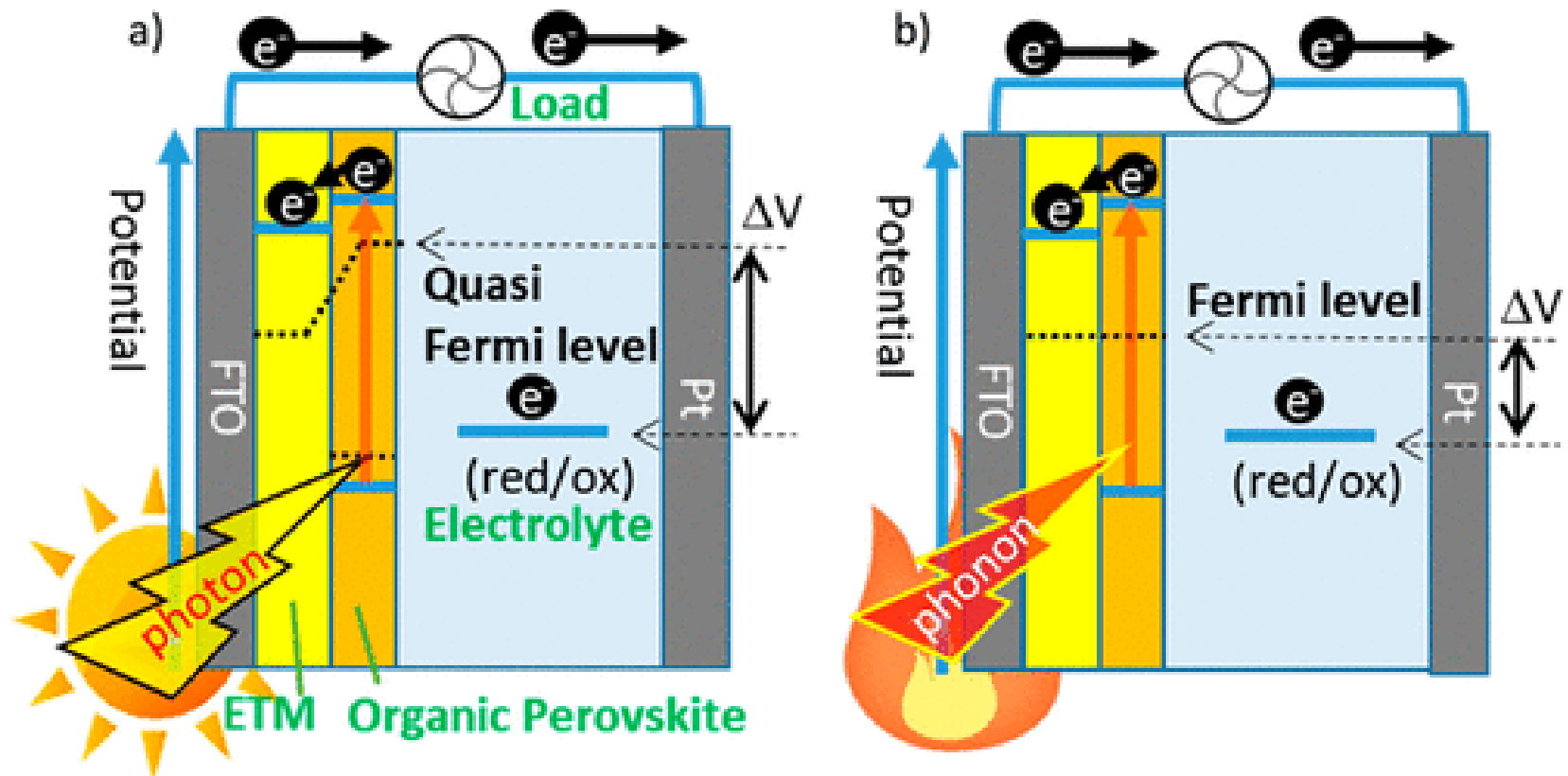


2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

- どこが開放電圧になるのか？

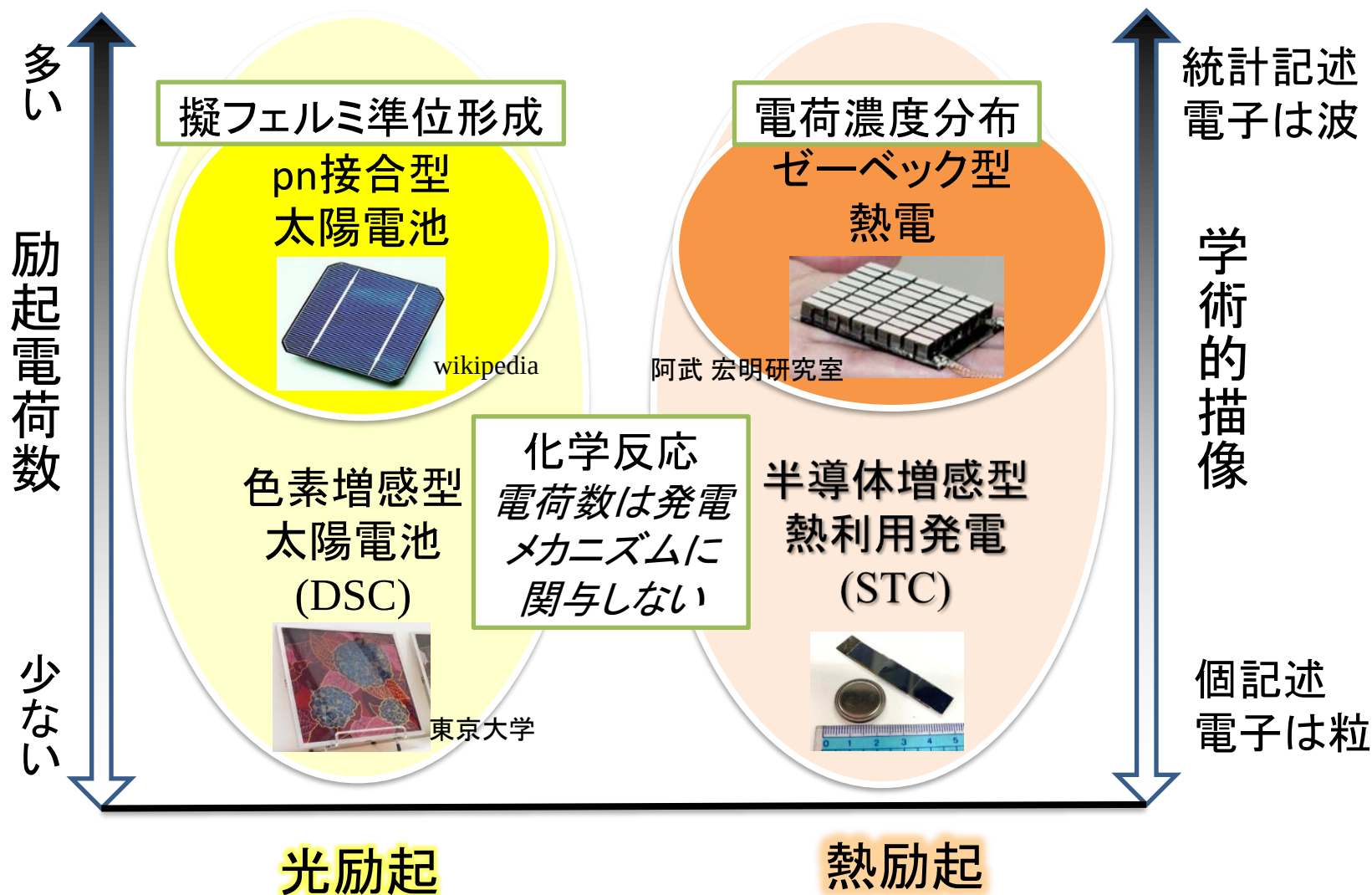
光では作用極の電子の擬フェルミ準位から対極の酸化還元準位まで。

熱では作用極のフェルミ準位から対極の酸化還元準位まで。



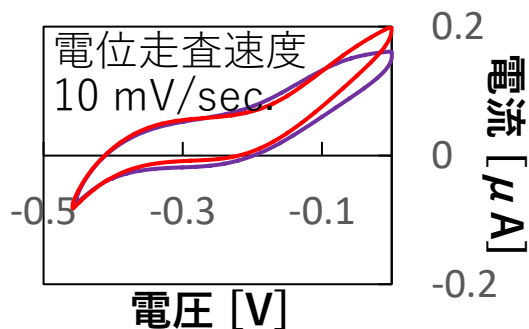
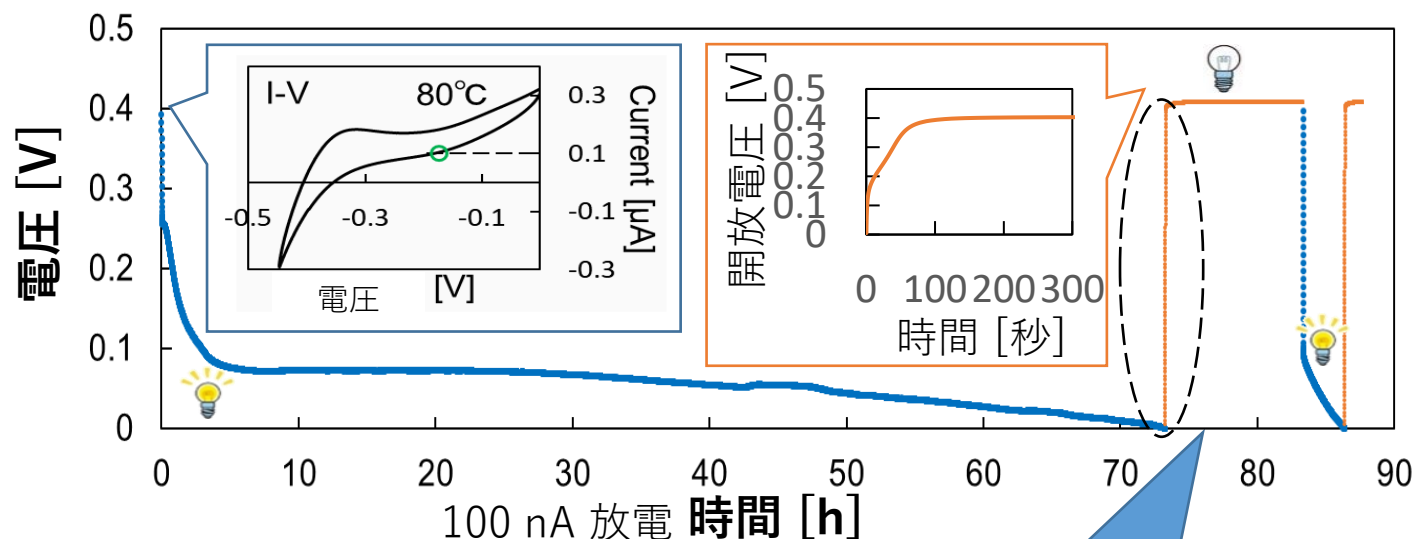
2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

- 励起電荷から見るエネルギー変換の学理

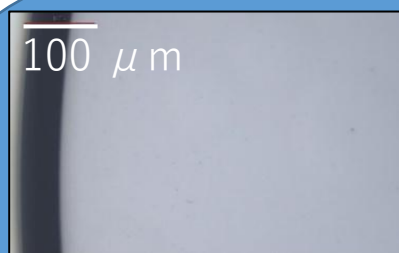


2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

- でも発電が止まる。。。そして回復する



長時間測定前(red)と24時間80°Cで放置後(purple)のCVカーブ



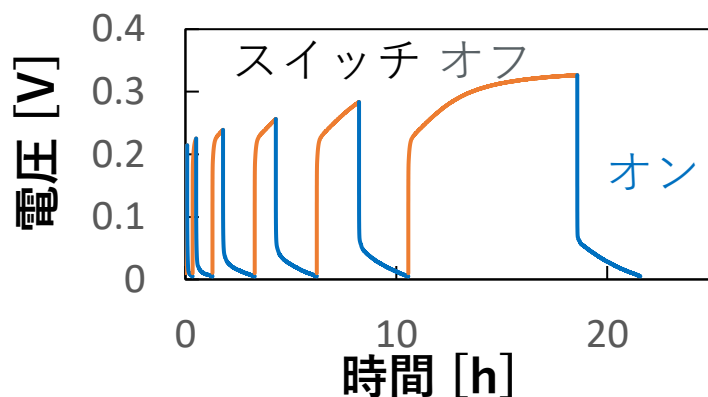
Geは溶けていない

* 電極の電解液への溶けだしは、光学顕微鏡観察の後、ICPでも確認しています

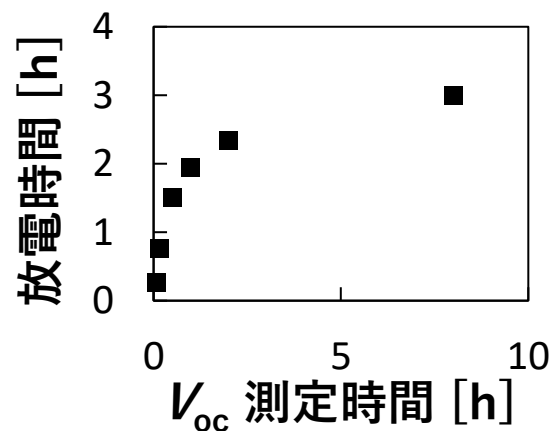
2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

- 回復時間と放電時間

<80°Cにおける100 nA 放電と
開放電圧測定>



<80°Cにおける開放電圧測定時間
と100 nA放電時間の関係>



放電が終わる理由は2つ

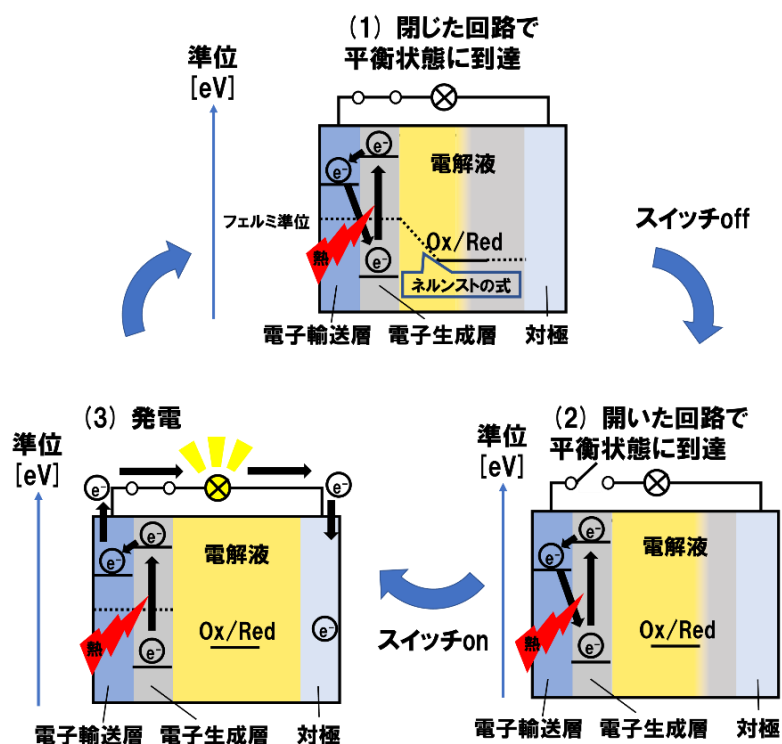
- 1) 系が化学平衡に到達する
- 2) 電極表面に到達する反応イオンがない
←バルクからのイオン供給不足

つまり、**イオンの挙動**がSTCの電流挙動を決定づける

2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

・ 提案される回復メカニズム

スイッチを切ること、対極における還元反応が停止。異なる平衡状態に移行し、再度放電できるように回復/熱充電が進む



- 1 放電を続けると、電子輸送層のフェルミ準位と電解質の酸化還元準位が平衡に到達し、放電が終了。電解液内のイオンの分布に偏りが生じる
- 2 放電終了後、スイッチをoffにすることで、電子の行き場が無くなり、平衡状態が変化。電解液内のイオンは分布の偏りを解消しようとして拡散
- 3 イオンが均等に分散することで、スイッチをonにすると再び放電が可能な状態になる

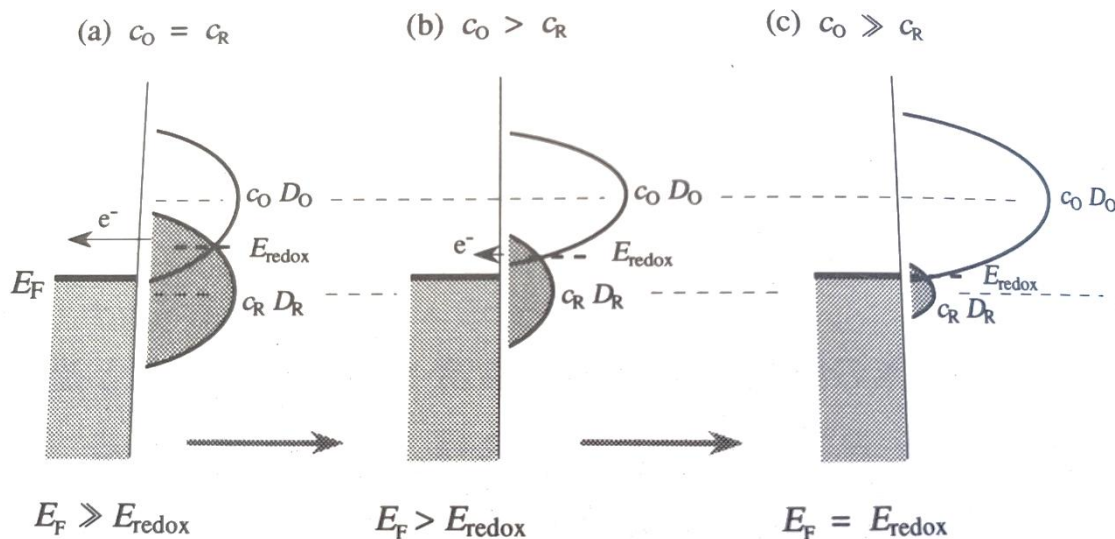
・ 熱力学的には、放電中はエネルギーを取り出している開放系、回復/熱充電中はエネルギーを取り出していない閉鎖系であり、メカニズムが異なる

2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

• Nernstの式

平衡電位からずれたところで電気化学反応を続けると、酸化体と還元体の濃度が変わってくる。電位を酸化還元準位より正方向にずらして反応を続けた場合が下の図だ。反応が進むにつれて、酸化体の濃度は増え、還元体の濃度は減少する。 c_O D_O と c_R D_R が両曲線の交点が E_{redox} だが、十分時間が経つと E_F と E_{redox} は一致し、**正味の電流はゼロ**になる。このとき、酸化体・還元体の濃度と E_{redox} は、次の**ネルンストの式**に結びつく。

$$E_{\text{redox}} = E^0 + (RT/nF) \ln (c_O/c_R) \quad n: \text{the number of reaction electron}$$

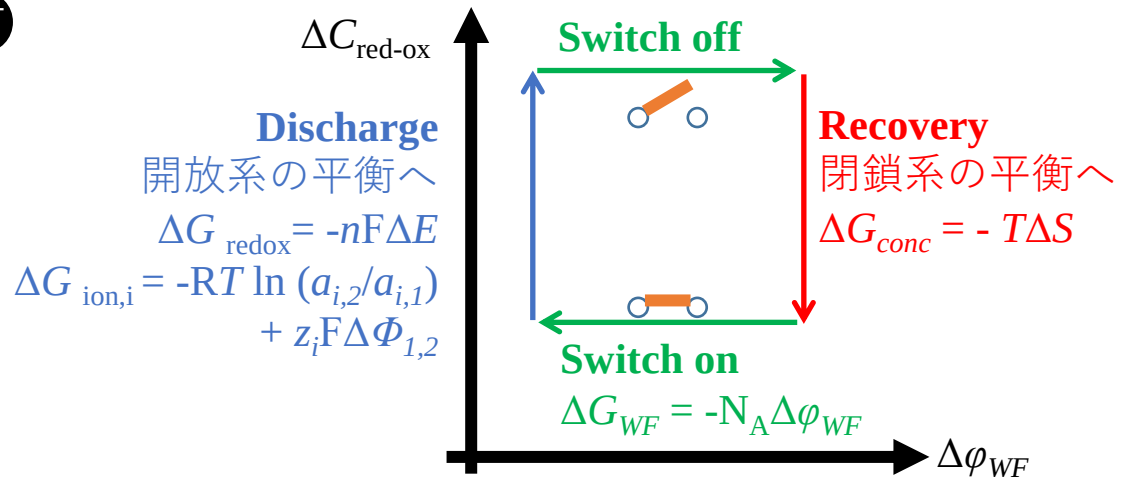
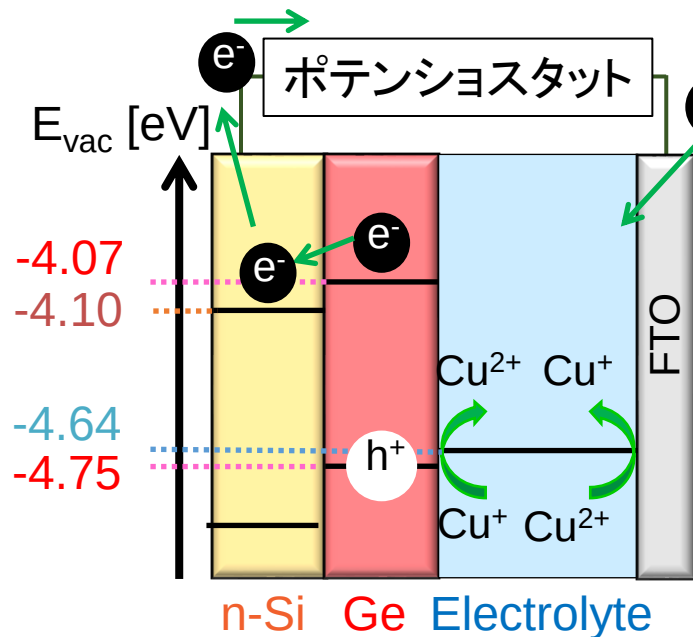


Consider the progress of an oxidation reaction as a change in DOS $\times$ concentration
酸化反応の進行を、状態密度 $\times$ 濃度の変化で考える

2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

- 何が平衡に向かっているのか？

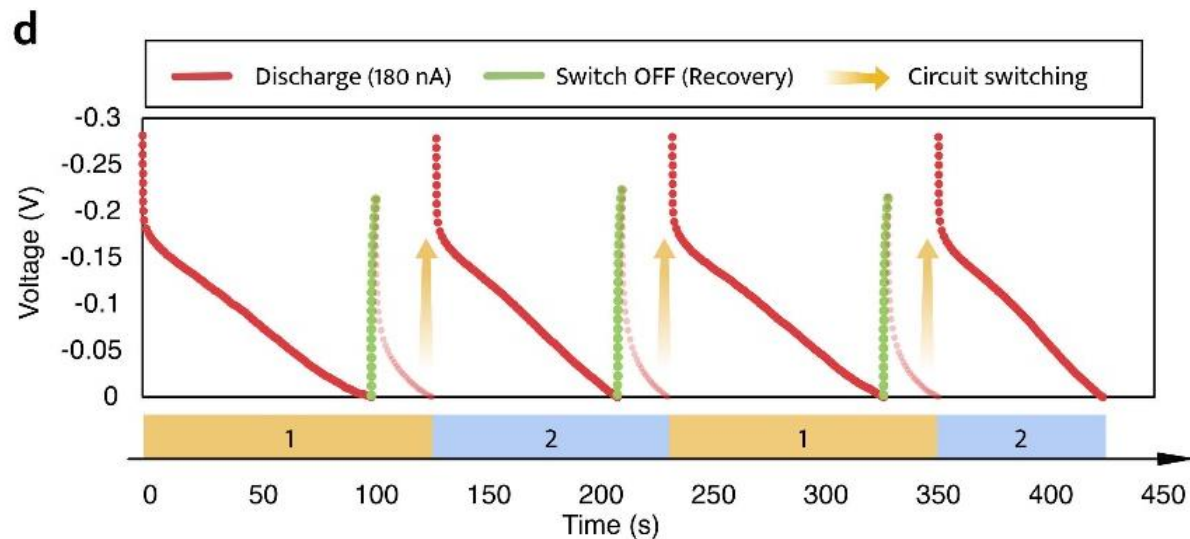
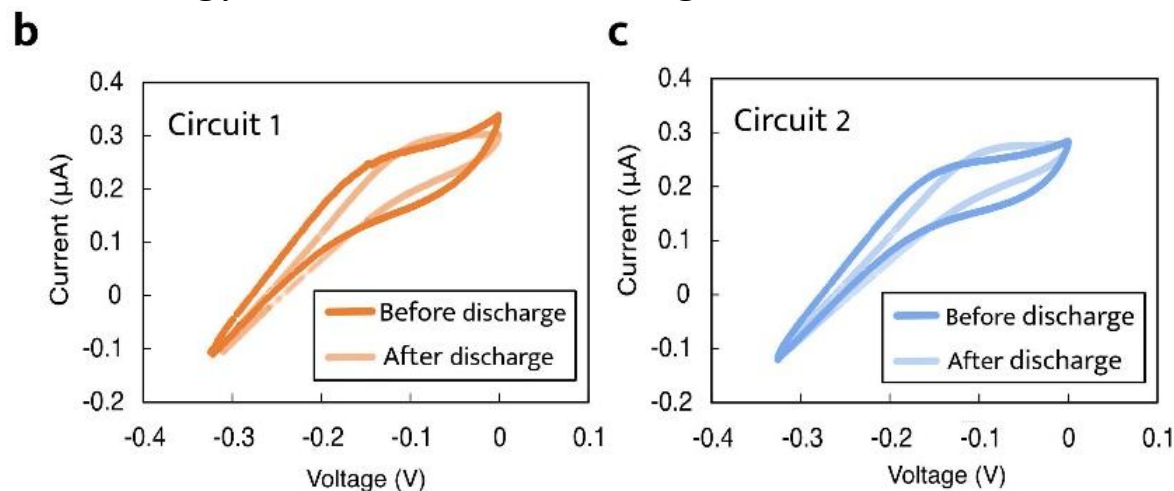
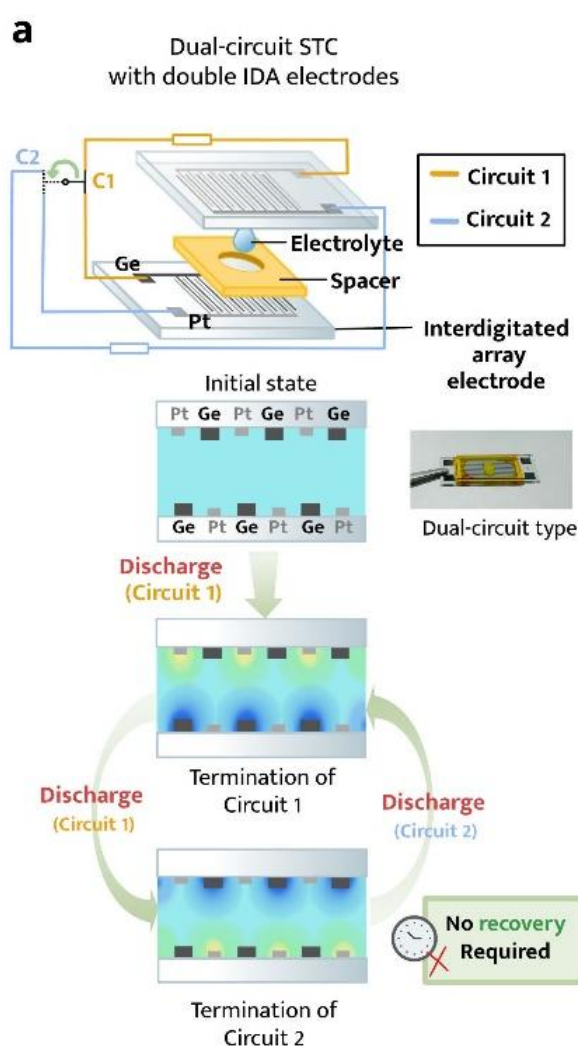
スイッチを入れると、作用極と対極のフェルミ準位が一定になるように電子が動く
 スwitchを切ると、酸化種還元種の界面での濃度が一定になるようにイオンが動く



3) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

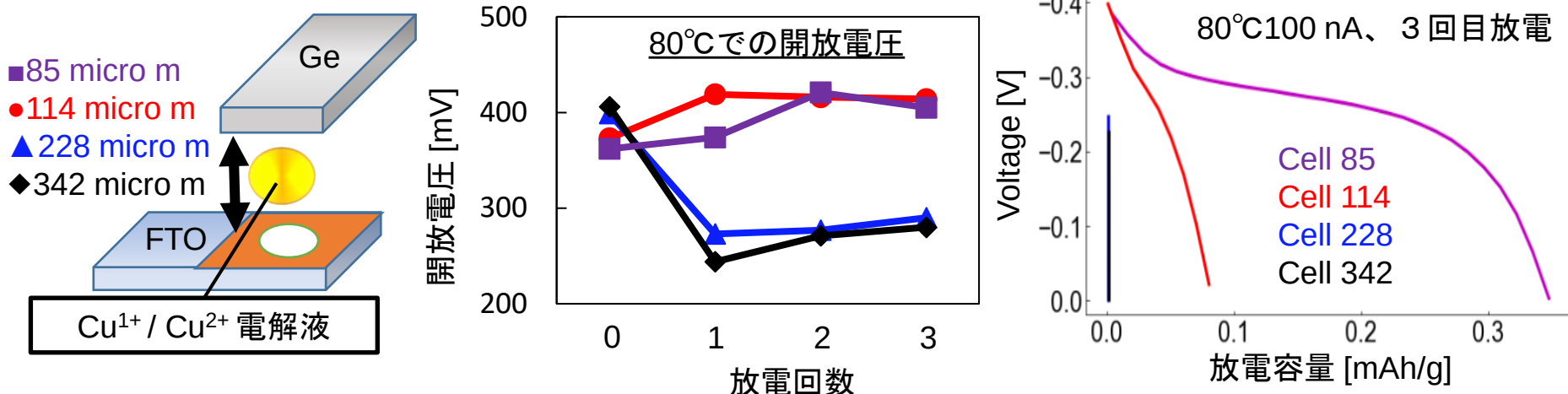
- 仮説の確認: 双方向楕形電極

Energy Conversion and Management **2025**, 331, 119678.

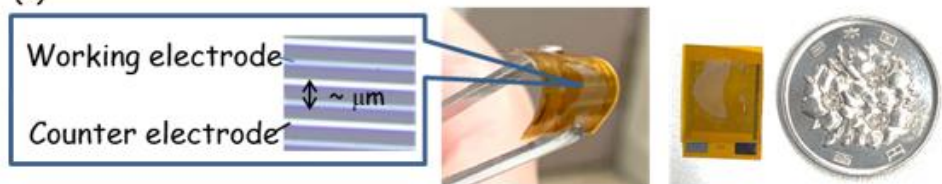


2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

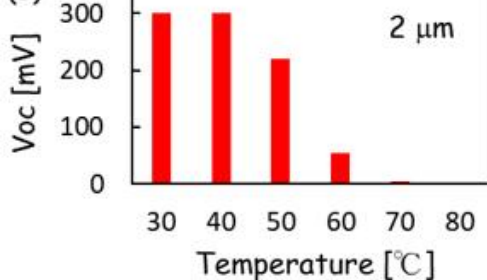
- 仮説の確認: 電極間距離



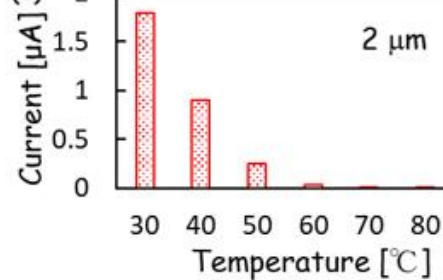
(a)



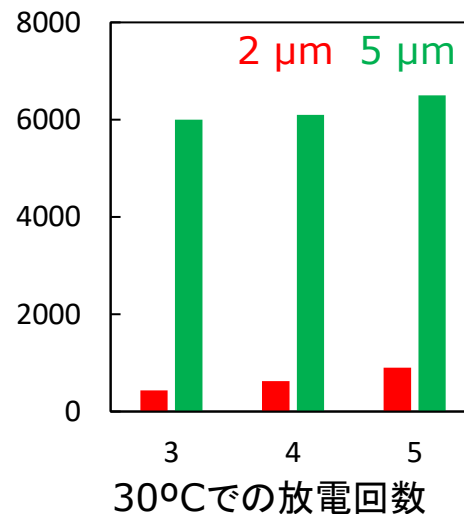
(b)



(c)



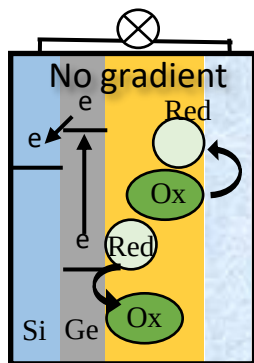
Discharge time [s]



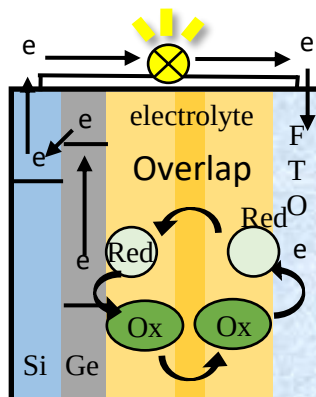
2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

- 回復を生じさせるために

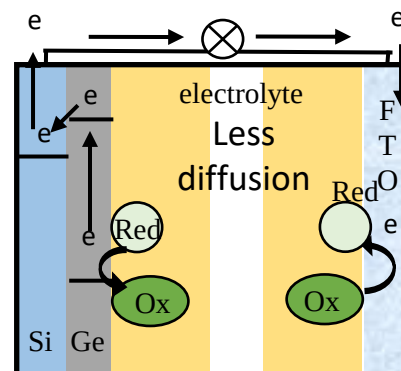
電極間が狭すぎると濃度分布がなく、イオンが拡散しない



Capacitor-like

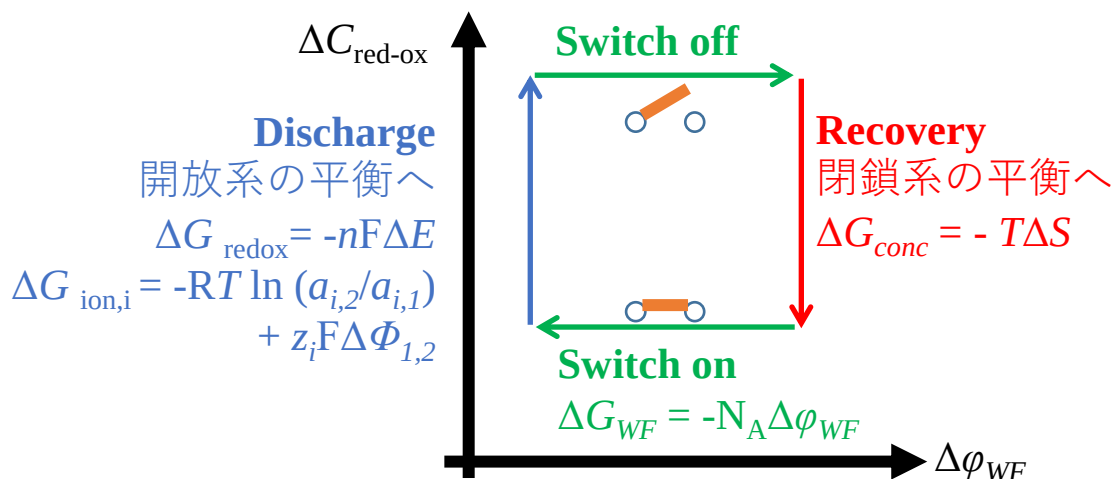


Good power generation!



No restart

電極間が広すぎると、電極での反応が全体でのイオン拡散に影響を与えない



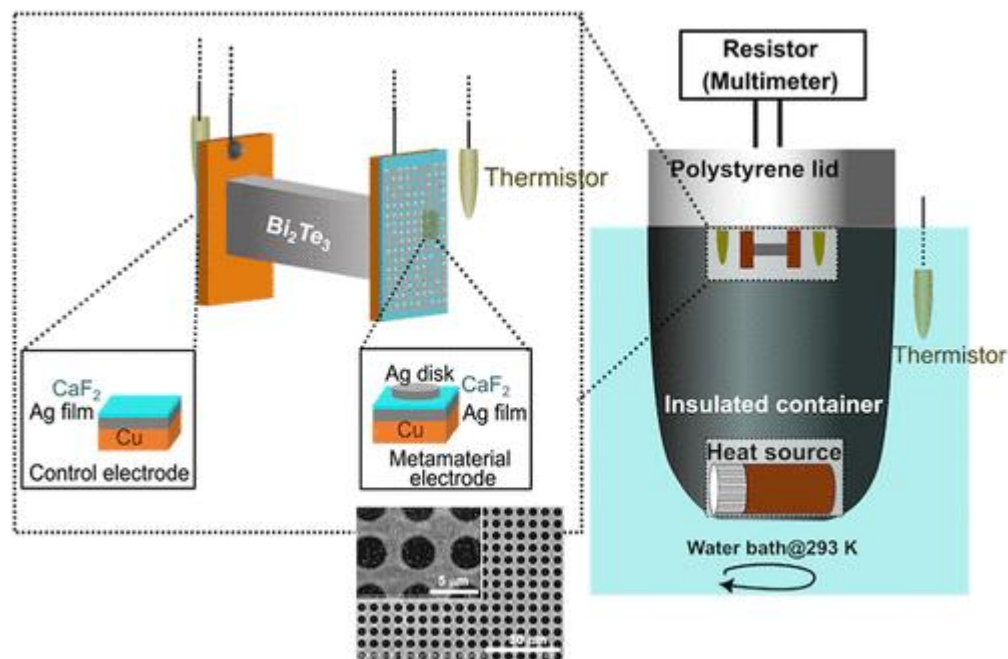
2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

冷却メカニズム

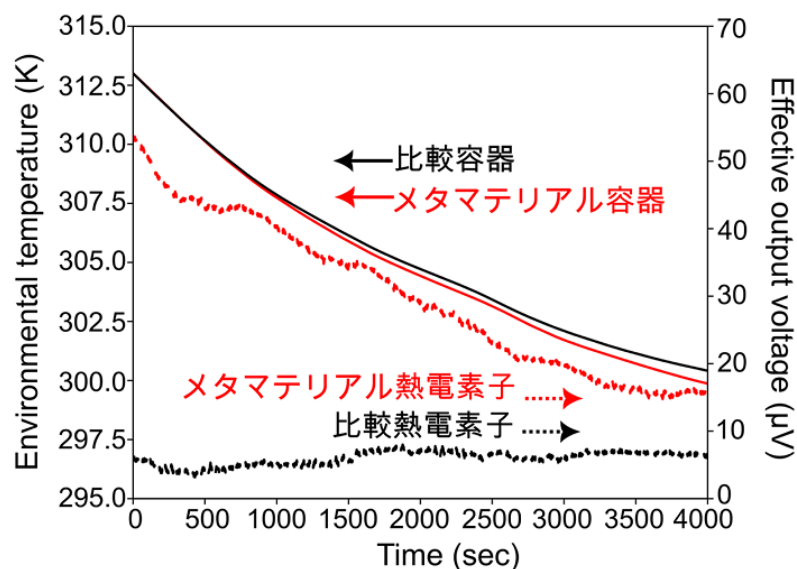
- 熱を使うのであれば冷却する？

メタマテリアルによって密閉空間内に温度勾配を生み出し、熱電発電を実現
冷却効果も確認 (農工大 久保若菜先生、理研 田中拓男先生)

密閉空間内の冷却をメタマテリアルによって実現



連続発電有無の温度(1セル)

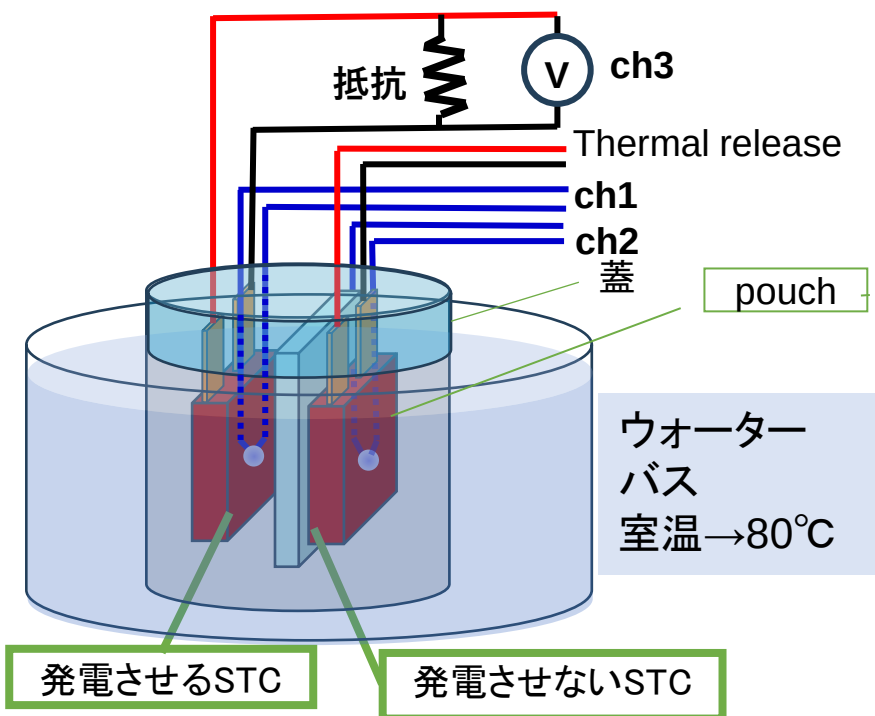


Naoya Kawamura, Takuo Tanaka, Wakana Kubo, ACS Photonics 2024, 11, 3, 1221–1227.

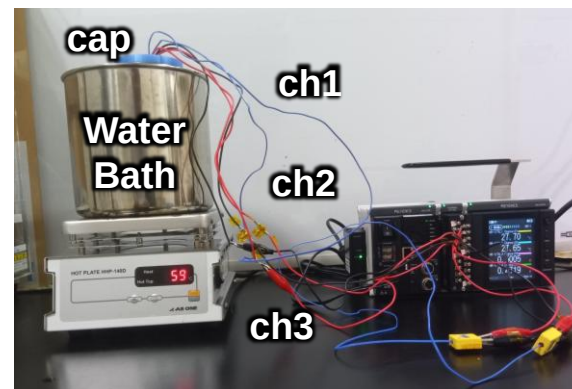
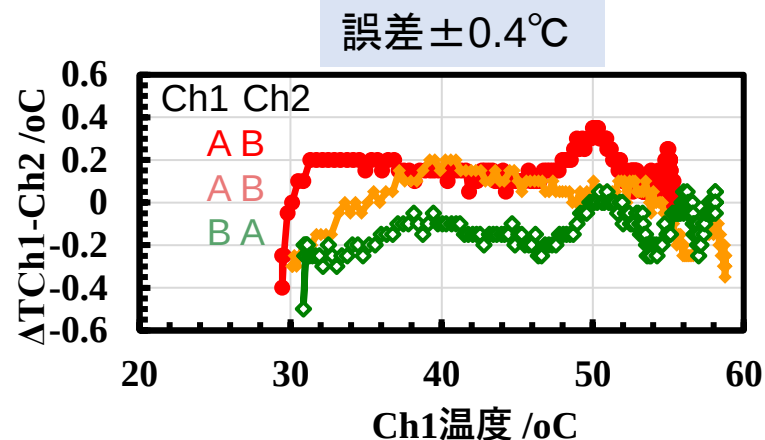
2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

- 発電の有無での温度を測定する

ウォーターバス内に密閉容器を入れ、密閉容器内に発電させる・させないSTCを2つ入れ、昇温しながら温度変化を測定



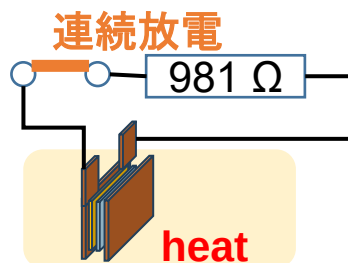
誤差測定: 電解質を入れないセルA, Bを測定



2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

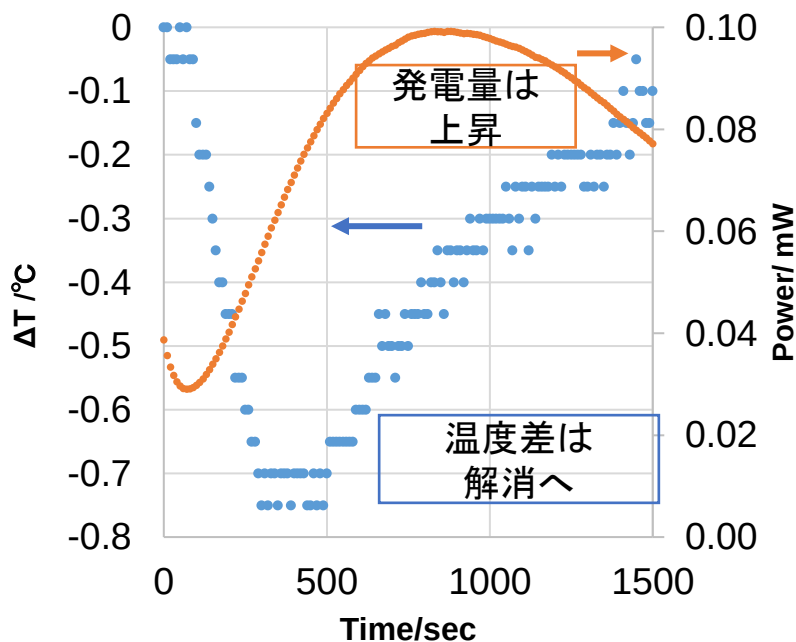
- 連続発電では冷却は一時的

一時的に冷える
→ 温度差がなくなる

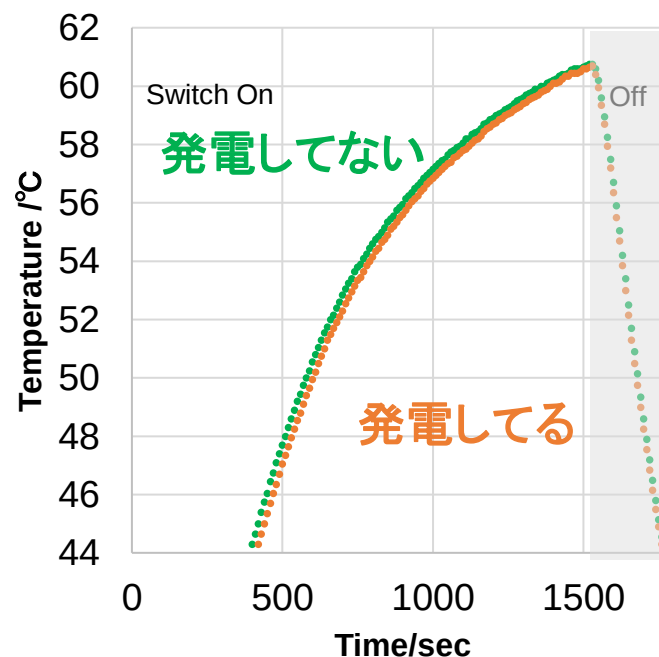


Q_{in} は温度差に比例、 Q_{out} は一定
→ 時間と共に $Q_{in} = Q_{out}$ へ

連続発電時の温度差(1セル)



連続発電有無の温度(1セル)

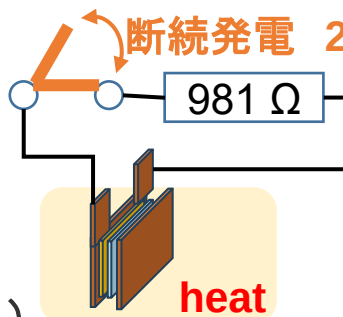


2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

- 断続発電では冷却効果が継続

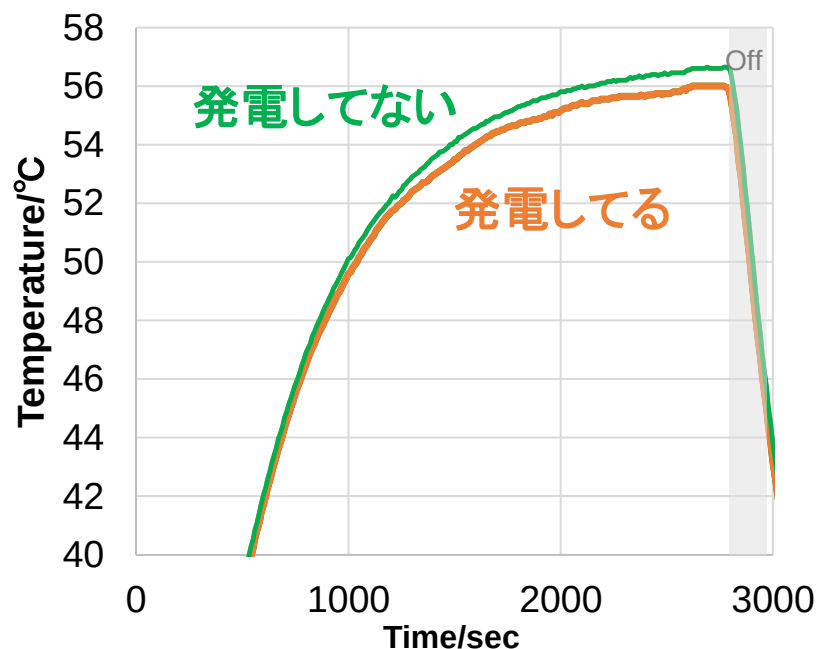
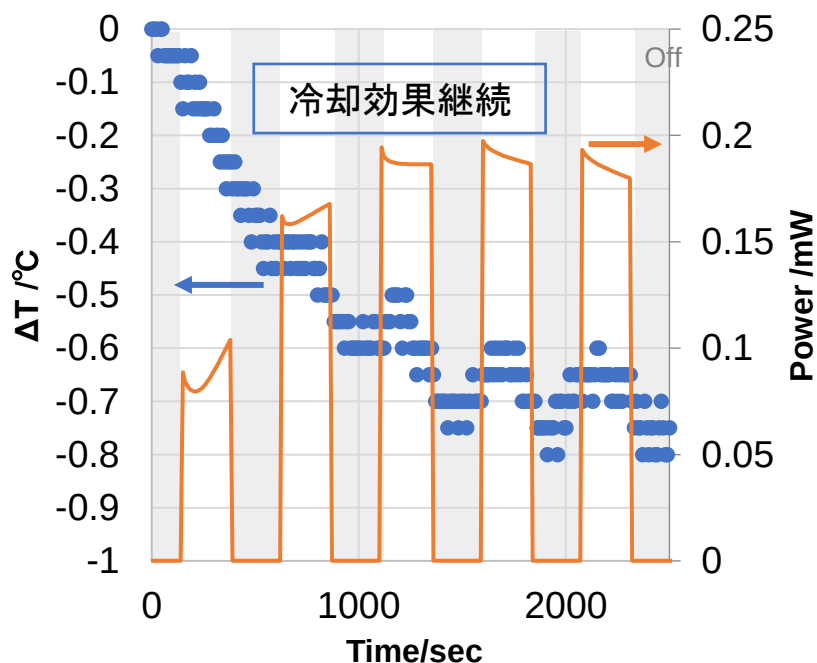
冷える
→ 温度差キープ

断続発電時の温度差(1セル)



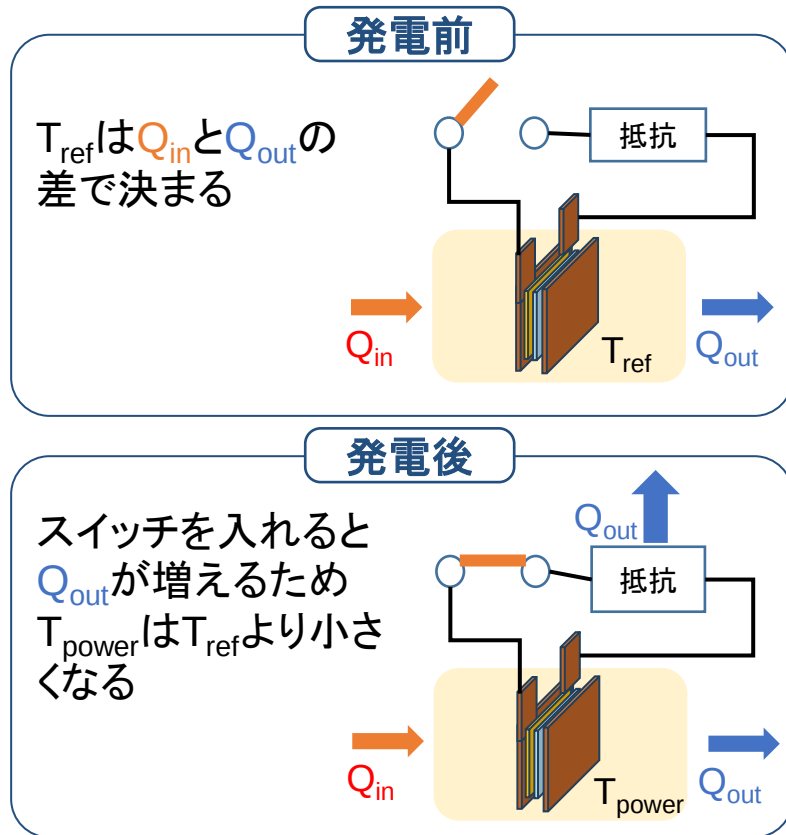
Q_{in} は温度差に比例、 Q_{out} も変動
→ 温度も変動

断続発電の有無(1セル)



2) 半導体増感型熱利用発電 (STC)の原理

- 冷却効果の想定されるメカニズム



- 1 発電前、STCの温度は入ってくる熱と出ていく熱の大きさに決まっている
- 2 発電が開始すると、熱は発電にも使われるため、出ていく熱のほうが大きくなり温度が下がる
- 3 オンオフを繰り返すことで冷却効果が維持される

- 電気化学反応による吸熱効果には、
 - イオンの配位によるエントロピー減少²
 - イオンペルチェ効果³などが考えられる

注: 1) Matsushita, S. et al. Simultaneous power generation and cooling using semiconductor-sensitized thermal cells. arXiv:2512.12114 (2025). <http://arxiv.org/abs/2512.12114>
2) Janssen, M. & van Roij, R. Reversible Heating in Electric Double Layer Capacitors. Phys Rev Lett 118, 096001 (2017); Liu, B. et al. Exploring how cation entropy influences electric double layer formation and electrochemical reactivity. Soft Matter 20, 351-364 (2024).
3) Cheng, Z. et al. Ionic Peltier effect in Li-ion electrolytes. Phys Chem Chem Phys 26, 6708-6716 (2024).; Tsutsui, M. et al. Peltier cooling for thermal management in nanofluidic devices. Device 2, 100188, (2024)., for example.

3) STCによる低温熱資源化への挑戦

- 実証試験に向けたelleThermoの取り組み
- 低温熱市場の可能性
- 発電 + 冷却という新しい価値

会社概要

商号	株式会社elleThermo
事業所	<本社> 東京都港区芝浦三丁目3-6 東京科学大学キャンパス・イノベーションセンターINDEST 3F <ラボ> 神奈川県横浜市緑区長津田町4259 東京科学大学J3棟208号室
設立年月日	2023年2月22日
資本金	510,000,000円(2026年9月現在)
事業概要	STCを活用した分散型電源システム事業 および電子機器用電池事業
従業員数	17名(2026年9月現在)
累計 調達金額	12億円超(2026年9月末現在)
主要 株主	- Spiral Innovation Partners - JICベンチャー・グロース・インベストメンツ - 慶應イノベーション・イニシアティブ - 環境エネルギー投資 - みらい創造インベストメンツ - ヒューリックスタートアップ - 三菱UFJキャピタル - みずほキャピタル - KDDI Green Partners Fund - SONY Innovation Fund - タクマ



【STCの特徴】地熱・工場排熱から電子機器まで

- ① **室温以上**で発電します
- ② **繰り返し**使えます（放電能力が熱で**回復**します）
- ③ **クリーンエネルギー**
- ④ **薄層構造のため、設置環境自由**



低温度帯の熱による発電

昼でも夜でも天候に左右されず安定に発電するSTCは、室温以上の熱源さえあれば発電可能です。昼夜の時間帯や天候など外的要因に左右されず、安定的な発電が可能です。



埋め込み可能な薄型パネル

埋め込み可能な薄型パネルは最薄0.5 mmです。室温で放電ができるSTCは、屋根の下・壁の中などに埋めて使えるため、プロダクトデザインに干渉せず空間を有効活用できます。



熱のみで安定的な電力供給

STCは、放電が終了した後にスイッチを切ると、熱を吸収して再度、放電が可能です。そのため、複数のSTCを組み合わせることで、熱さえあれば安定的に電力を供給できます。

【実証実験事例】 小型リチウムイオン電池への充電を確認

ニュース解説

+ 連載をフォロー

“半導体増感”素子で熱を電力に、メキシコの 鉱山で充電実験

野澤 哲生 日経クロステック／日経エレクトロニクス

2024.07.16



住友商事様、Penolesグループ様とのPoC

メキシコ鉱山でのPoC(2024年)

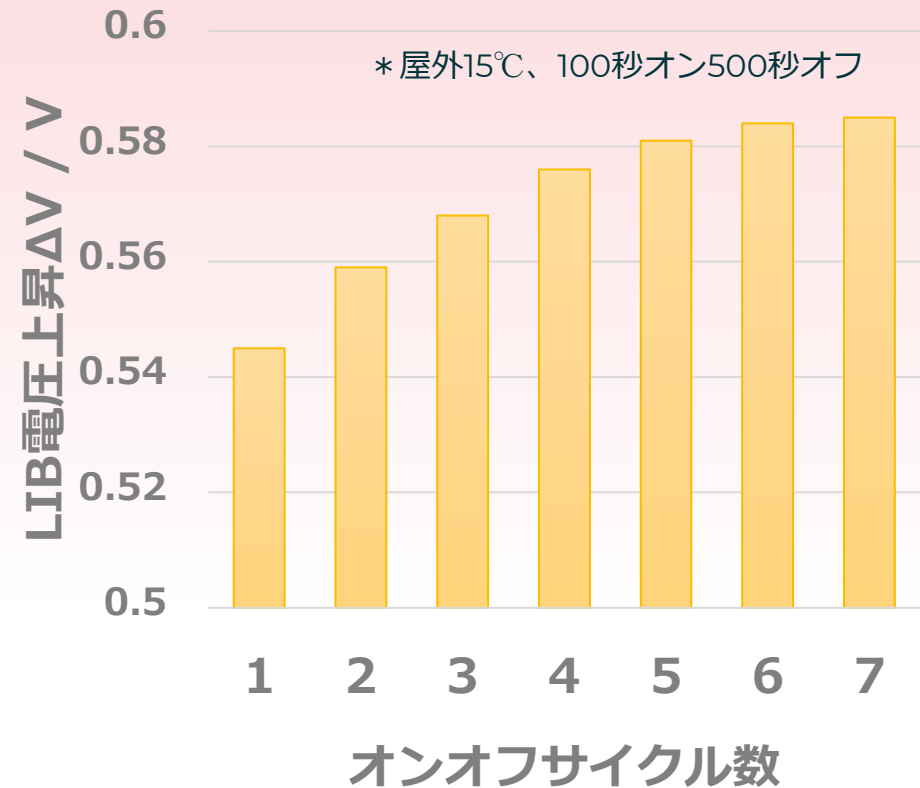
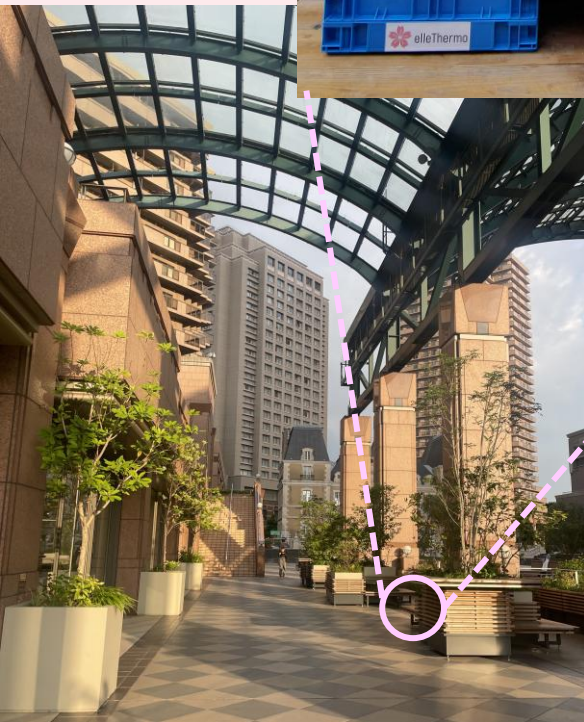
- メキシコの銅鉱山内で、手作りのSTCプロトタイプを用いた屋外充電実験を実施
- **ウェハ型STCセル20個**を直列に接続し、リチウムイオン電池（LiB）に接続、天井から茶色い結露が滴り落ちる中、プラスチックカバーの下で一晩放置
- 気温は**47.1℃**、湿度は**約100%**という過酷な環境ではあったものの、LiBの充電に成功。STCによって、市販のリチウムイオン電池を熱により充電した初めての事例

*1: 2025年: 5 cm角セル1層、2024年: ウェハ/ペースト電極3層積層、2023年: Ge/カーボンキュベットセル、2019年: Ge/FTO 1層

【実証実験事例】

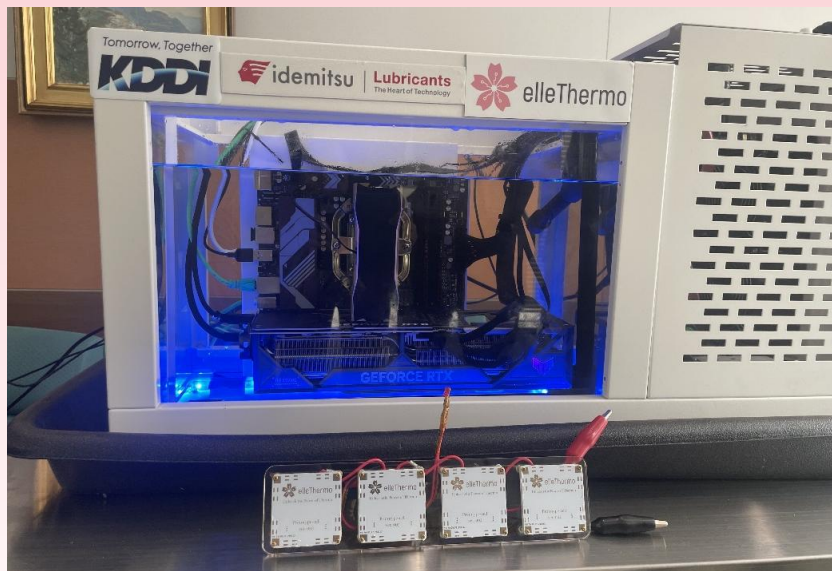
秋の恵比寿ガーデンプレイスでLiB充電確認

屋外の低温環境における発電確認
オフの間にSTCの発電能力が回復



DC排熱を活用した実証実験1

液浸システムのサーバー用冷却液中の排熱を活用し、STCによる充放電を検証。
サーバー排熱を用いた発電と放電能力の回復に成功し、有効性を確認



実証実験で使用された液浸システム(提供:KDDI株式会社)、
液浸冷却油:IDEMITSU ICFシリーズ(提供:出光興産株式会社)とSTC

実証実験の概要

- KDDI株式会社、出光興産株式会社のご支援のもと、STCを活用した排熱発電の実証実験を実施¹（2025年5月14日）
- DC排熱の有効活用を想定し、KDDIが開発中の液浸システムと、出光興産開発中の液浸冷却油を用いて、STCがサーバー排熱から発電可能かを検証。
 - 結果、サーバー排熱を用いた発電と放電能力の回復に成功し、STCの有効性を三社で確認
- DCで発生する排熱の活用を通じた熱発電が新たなエネルギー資源となり得ること、およびカーボンニュートラルの実現に貢献する可能性について、引き続き検証を予定



液浸冷却油中のSTCがLEDを点灯させる様子



STCの放電能力の回復を電圧にて確認



本実証実験に参加した関係者の集合写真
(KDDI様、出光興産様とともに)

注： 1). 2025年6月20日公開プレスリリース: <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000006.000120229.html>

株式会社商船三井様と世界初となる海底熱水を利用したLED点灯実験に成功

- NEDOの助成を通じて、株式会社商船三井、海洋研究開発機構(JAMSTEC)、海上・港湾・航空技術研究所、東京海洋大学、地熱技術開発株式会社と連携
- 中部沖縄トラフの海底熱水噴出孔から噴出する熱水を熱源として、そこで得られた電力により海中のLEDライトを点灯
- マグマ等を熱源とする再生可能エネルギー「海底熱水」の熱エネルギーを利用したLED点灯実証に世界で初めて成功。
海底熱水の熱エネルギーを“国産の新しい再生可能エネルギー”として活用できる可能性を明らかに



海底のSTCがLEDを点灯させる様子

水素・アンモニア・合成燃料などのエネルギーへ！



表彰・メディア掲載等の実績



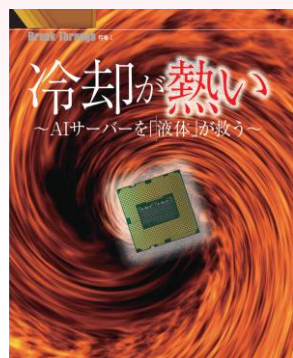
表彰・メディア掲載等



Forbes Japan Rising Star Award
2025 特別賞「恵比寿ガーデンプレイス
『はたらく、あそぶ、ひらめく。』賞を受賞



Forbes Japan 2025年8月号本誌にて、
サッポロ不動産開発株式会社代表取締役
宮澤高就氏との対談記事が掲載



日経エレクトロニクス2025年
11月号特集「冷却が熱い」
に弊社が掲載



J-Wave、TOKYO FMにて
ラジオ放送



EY Winning Women 2025
ファイナリスト選出

事業の外部評価

東京都スタートアップ戦略推進本部 東京ベイeSGプロジェクト



令和6年度
「東京ベイeSGプロジェクト」
事業採択



国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構

2025年度NEDO助成金事業
「新エネルギー等のシーズ発掘・
事業化に向けた技術研究開発事業」
採択



2025年度
東京都TIB CATAPULT
『Global CityTech Bridge』
採択

“might be effect on oil price”

2019.7.29.
IEEE Spectrum

ETtoday新聞雲 > 驚奇

2019年07月26日 19:17

新奇

新奇焦點

X 檔案

正妹影片

正妹圖集

日本研發「地熱電池」熱能轉電力 自動充電達「半永久性」

【送錢】新聞雲APP送購物金，再抽萬元獎



▲地熱發電開發難度與成本較高，但相當穩定。(圖／翻攝自維基百科)

記者吳宛霖／綜合報導

日本東京工業大學 (Tokyo Institute of Technology) 與三櫻工業 (Sanoh Industrial) 合作，設計出能夠在 100°C 以下發電的敏化熱電池 (sensitized thermal cells, STC)，只要埋在熱源中就能自動充電，不需要透過熱水、高壓水蒸氣等中間載體，因此被研究團隊認為可達到「半永久性」。

IEEE
SPECTRUM

Engineering Topics

Special Reports

Blogs

Multimedia

The Magazine

Energywise | Energy | Renewables

29 Jul 2019 | 14:09 GMT

A Novel Thermal Battery Promises Green Power Around the Clock

Japanese scientists have developed a thermal battery that converts heat into electricity when buried in a geothermal zone

By John Boyd

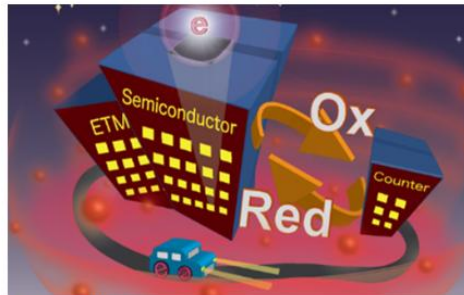
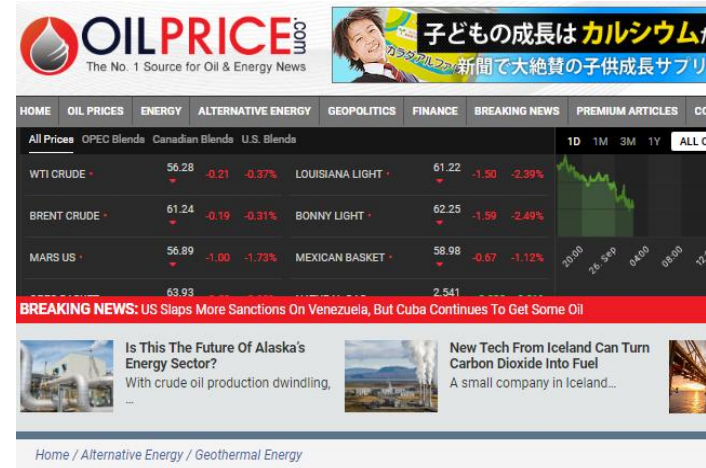


Illustration: Dr. Sachiko Matsushita

Europe, USA, China,
Russia, Asia,
Middle east,
Africa...

2019.7.26. ETtoday

2019.7.31. Oil Price.com



IRINA SLAV

Irina is a writer for Oilprice.com with over a decade of experience writing on the oil and gas industry.

More Info

SHARE

Facebook

Twitter

Google+

LinkedIn

Reddit

PREMIUM CONTENT

The Expiry Date Of The Geopolitical Risk Premium In Oil

The Reorientation

A Surprising Innovation In Energy's Hottest Market

By Irina Slav - Jul 31, 2019, 6:00 PM CDT



The world's geothermal power generation capacity this year hit 14.9 GW. The figure is minuscule compared with fossil fuel or even renewable generation capacity, but a figure that's growing. And now, a team of scientists may have found a way to add a battery storage system tailored specifically for geothermal power.

Led by Dr. Sachiko Matsushita, the team from the Tokyo Institute of Technology has developed a battery that can convert heat directly into power at temperatures of 100 degrees Celsius or even less. The scientists have called their invention sensitized thermal cells (STCs) and say they can be buried in the ground and generate and store electricity directly from the Earth's crust.

TOKYO
TECH
VENTURE



elleThermo

3) STCによる低温熱資源化への挑戦

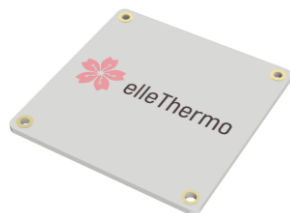
発電＋冷却という新しい価値

- IoT用電源からメガサーマル発電所へ

サンプル品：約5 cm角、1 mm厚、対応温度：室温～80℃、発電量：数mW

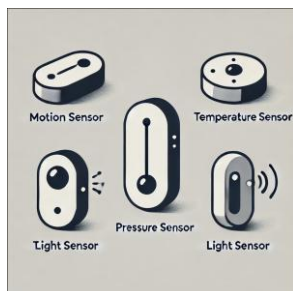
2025年

5 cm角mWモジュール



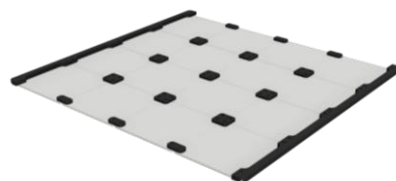
～数mW

(センサ、IoT
デバイス稼働)



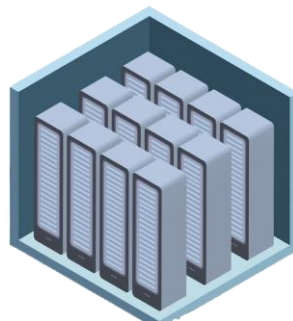
2028年

60 cm角サーモパネル



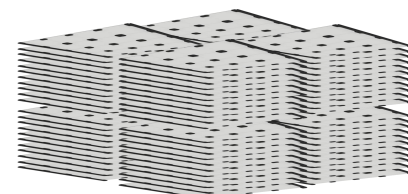
200W～

(データセンター、
工場排熱の回収)



2030年～

メガサーマル



メガW～

(よりスケールアップし、
分散型電源の確立へ)



3) STCによる低温熱資源化への挑戦

エネルギー産業の将来像

- 新たな脱炭素エネルギーとして低温熱を利用し、我が国のエネルギー自給率を30%へ

吸熱発電 (STC) を中心にした、 分散・循環型エネルギー社会の将来像

あらゆる低温熱を電気に変え、いつでも・どこでも・だれでも使えるエネルギーへ

浅い地中にSTCを埋め込み、
地中の熱を発電に活用



- 一年を通して安定した浅い地中の熱を吸収し発電
- 外気の影響を受けにくく安定して使える
- 建物・地域のベース電源として活用

ソーラーパネルの裏にSTCを配置



- パネルの裏で発電し、裏で熱を吸収して発電
- パネルの温度上昇を抑え、発電効率も向上
- 太陽光から電気を二重に取り出す

家の壁の中にSTCを組み込み、
分散型電源に



- 壁の中の温度差や室内外の熱を吸収して発電
- 日射・生活熱・換気熱など身近な熱を電気に変換
- 住まいそのものが静かに電気をつくる

4) まとめ

低温熱資源化がもたらす未来

- ◆ 安全・安心
- ◆ 石油エネルギーに頼らない
- ◆ 放射性廃棄物などが出ない
- ◆ 狭い我が国の国土を有効利用できる

自由に夢を持って
世界と向き合える
未来を

エネルギー産業の進化



目指す未来の社会

- エネルギーの地産地消で、暮らしと産業を支える
- 未利用熱を活かし、資源と環境にやさしい
- すべての人に、クリーンで安心なエネルギーを
- 世代を超えて続く、持続可能な社会へ

- 災害にも強い電力インフラ
- 体内の熱を使う新デバイス（補聴器、ペースメーカー、バイオマーカー）
- リアルIoT世界の到来

ピッチ動画はこちらで公開しております

<https://youtu.be/pJ72QwNbUMQ>

公開総説はこちらになります

<https://doi.org/10.5796/denkikagaku.24-FE0305>

 技術概要などは以下のelleThermoチャンネルをご覧ください:

ピッチ動画



メカニズム解説動画



半導体内の熱励起電荷生成



色素と半導体のバンド構造



熱励起と光励起：
フェルミ準位と擬フェルミ準位



半導体の熱励起電荷による
酸化還元反応



STCの放電回復と
ネルンストの式



STCと永久機関

