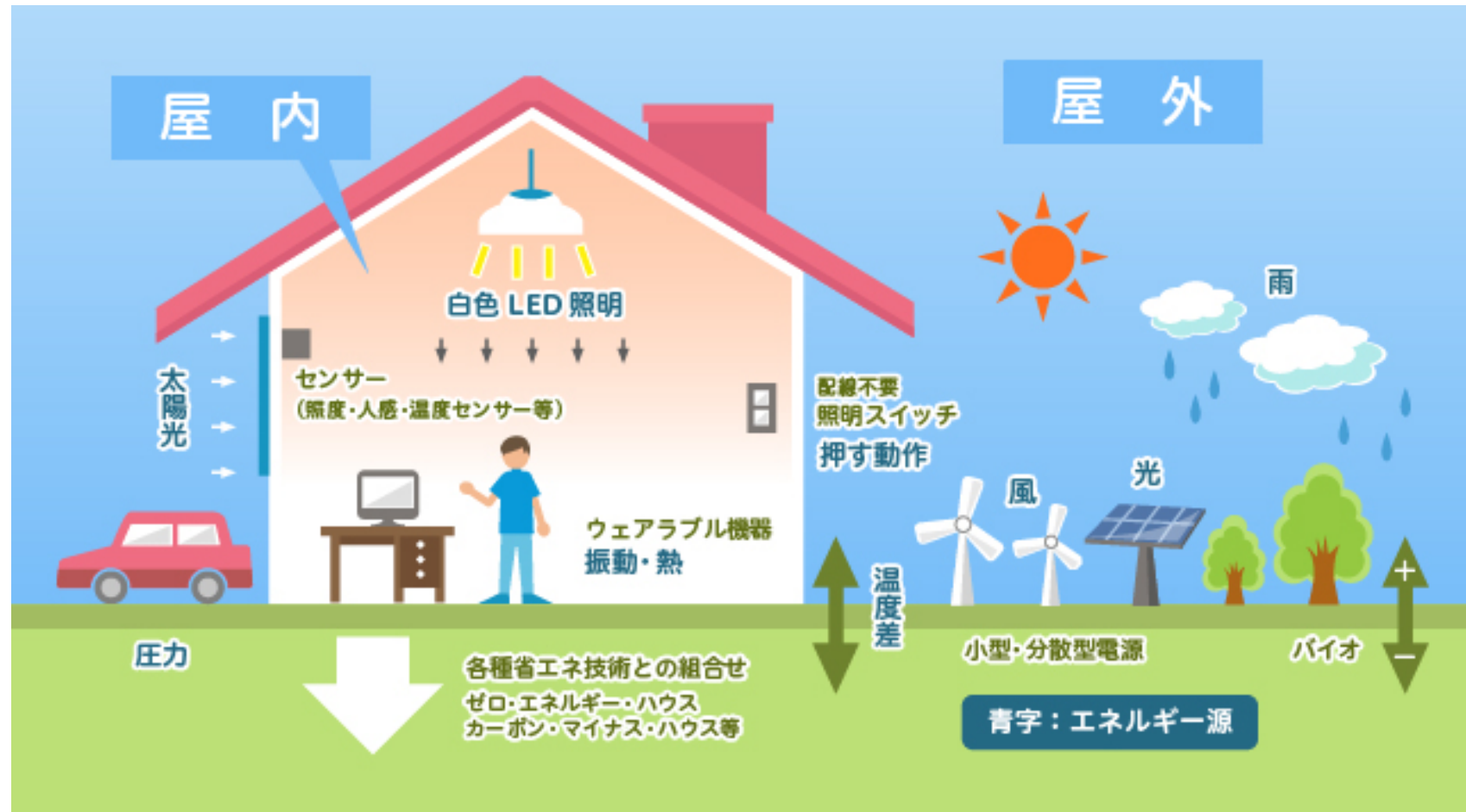


# IoT社会に不可欠な環境熱で発電 する自立分散電源

筑波大学 数理物質系 物理学域  
教授 守友 浩

令和2年10月8日

# エネルギーハーベスト



EHC HPより引用

# センサーの電源問題

トリオンセンサー・ビジョン

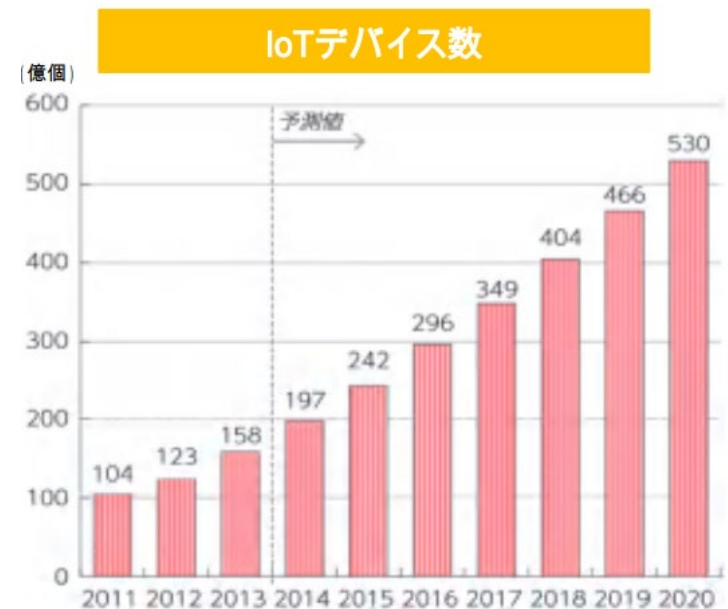
2023年にはセンサー市場が年間1兆個に達すると予想させる

一次電池の問題点

- エネルギー効率(=取り出しエネルギー/製造エネルギー)が低い
- 電池交換の問題

エネルギーハーベストの問題点

- 定常的なエネルギー源が必要
- 出力が小さい→IoT機器の低消費電力化
- 出力が不安定



出典：平成27年度情報通信白書  
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/index.html>

# センサーの低消費電力化

センサー

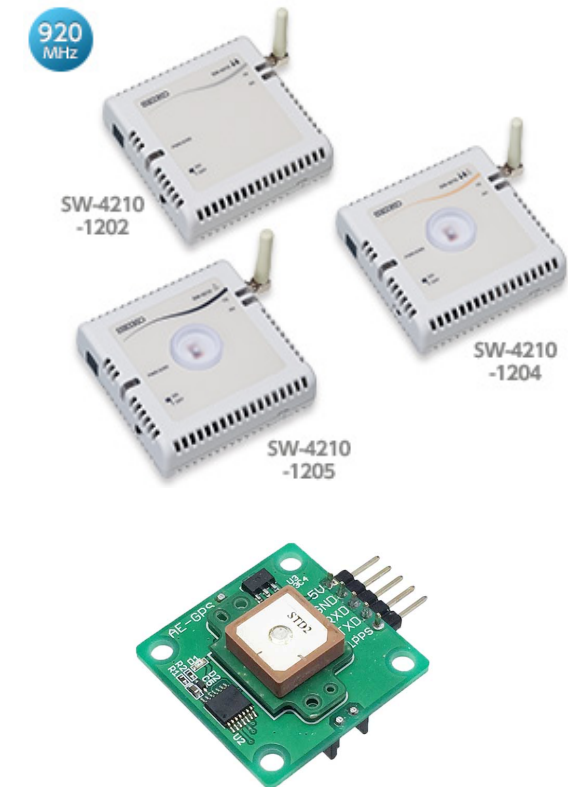
- マイコンやセンサ、無線通信デバイス、バッテリーなどを組み込んだデバイス
- WI-SUN(Wireless Smart Utility Network),LPWA(Low Power, Wide Area)は条件を満たせばボタン電池で10年動く

センサー

## 【センサの小型化・低価格化・低消費電力化】

	2000年	2010年	将来 (2020年頃)
大きさ	10mm <sup>2</sup>	2~4mm <sup>2</sup>	1~2mm <sup>2</sup>
販売価格	\$3以上	\$0.70	\$0.50
消費電力	0.1mW	0.05mW	0.05mW未満

資料：Yole Développement 資料をもとに作成



## IT社会(現在)

## IoT社会(未来)

IT equipment

Electric vehicle



一次電池  
使い捨て

二次電池  
電力で充電

三次電池  
環境熱で充電



2019, Nobel Prize

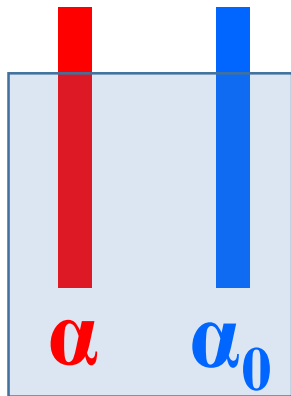
IoT社会の基盤  
技術である自  
立分散電源

## 三次電池のコンセプト

電池の起電力  $V_{\text{cell}}$  の展開

$$V_{\text{cell}}(T+\Delta T) = V_{\text{cell}}(T) + \alpha_{\text{cell}} \Delta T$$

正極 負極



$$\alpha_{\text{cell}} = \alpha - \alpha_0$$

$\alpha$ : 電位の温度係数

### 電池セル

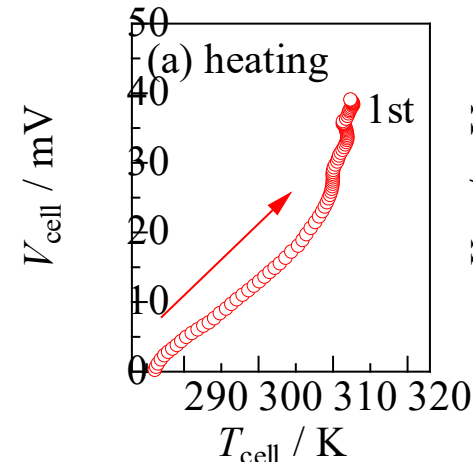
- ① 守友 浩、小林航、特開2018-073569 「熱発電素子」筑波大学、2016/10/28
- ② 守友 浩、柴田恭幸、特願2018-234227 「熱発電素子」筑波大学、群馬高専、2018/12/14

## 「三次電池」特徴

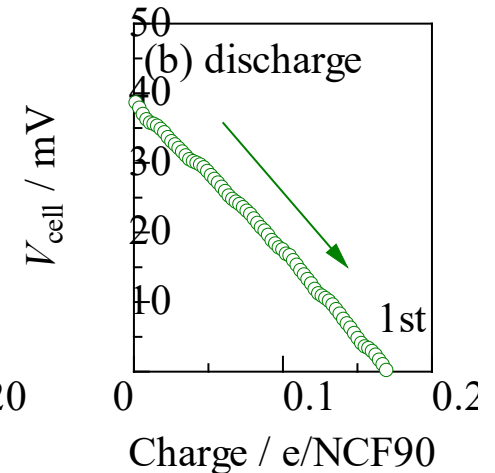
- ✓ 温度変化を充電できる蓄電デバイス
- ✓ 環境エネルギーで発電し設置場所を選ばない自律分散電源
- ✓ IoT社会を不可欠な基盤技術
- ✓ 二次電池技術の転用が可能

## 動作の実証

熱による充電



放電



熱効率2.3%(カルノ効率の26%)

Y. Fukuzumi, et al., Energy Technology, 6, 1-7 (2018).



## 従来技術とその問題点

熱エネルギーのハーベストに関しては、半導体による熱電変換技術がある。

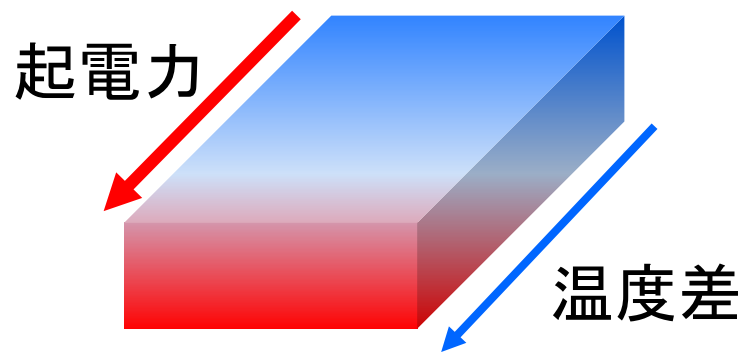
室温付近の温度差では、起電力が低い

温度差を利用するため、可動性がない

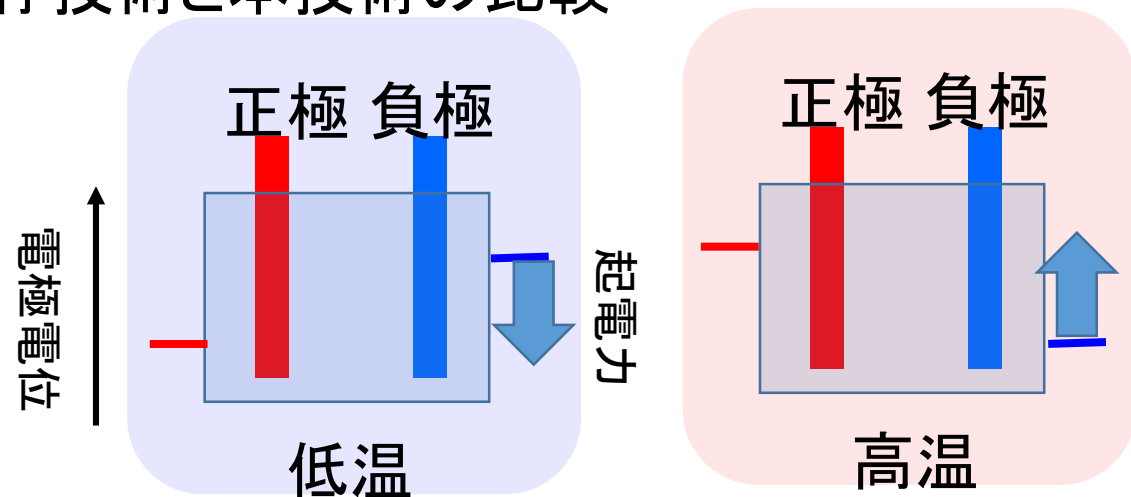
等の問題があり、広く利用されるまでには至っていない。

	分散性	製造コスト	量産性	起電力
熱電変換 (既存技術)	× 熱源に接触	△ 今後の課題	△ 今後の課題	0.1mV/K以下
三次電池 (本技術)	◎	◎ 二次電池技術の転用	◎ 二次電池技術の転用	1mV/K以上

表1: 既存技術と本技術の比較



熱電変換(既存技術)  
温度差を起電力に変換する



三次電池(本技術)  
温度変化を起電力に変換する



## 新技術の特徴・従来技術との比較

- 温度変化で充電される“新しい電池”。
- 30°Cの温度変化で40mVの起電力を発生。現状の半導体の熱電変換をはるかに凌駕する性能を示す。
- 温度変化を電力に変化するため、電源に可動性がある。

無数のセンサーを広範囲に分散

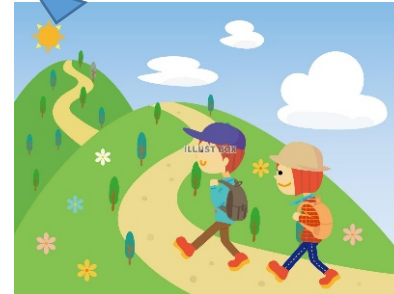


土中水分モニター



三次電池を組み込んだ  
センサー

電地管理・交換不要



登山ルート



侵入防止

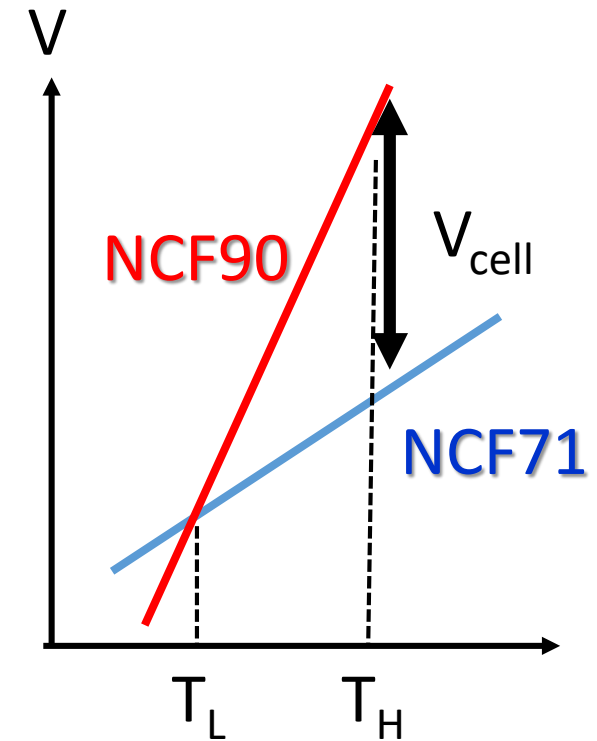
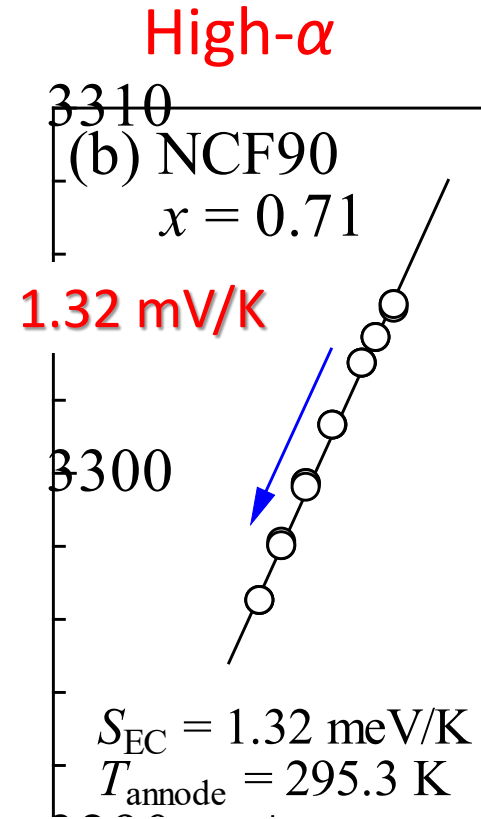
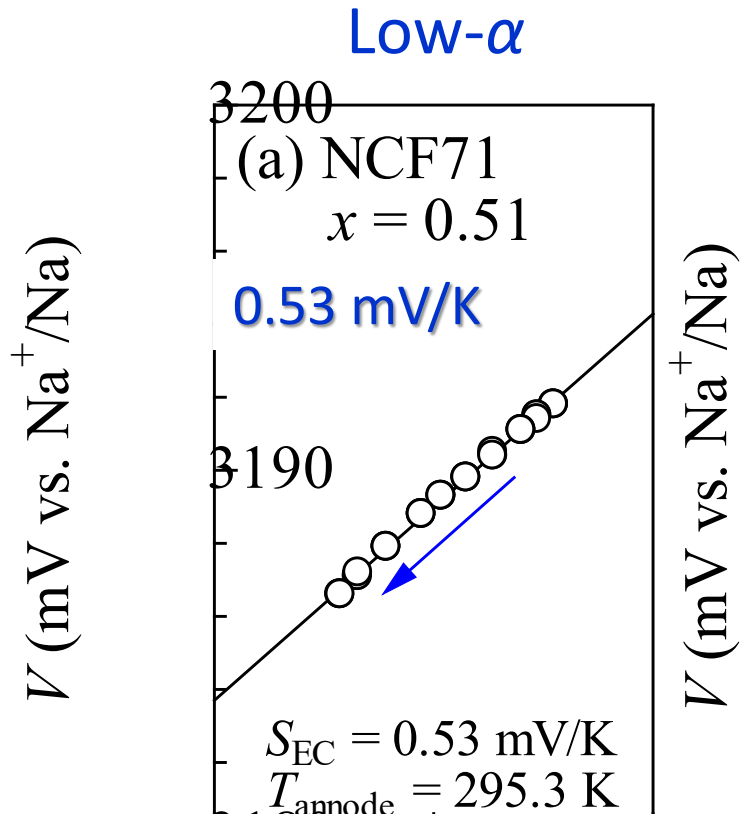
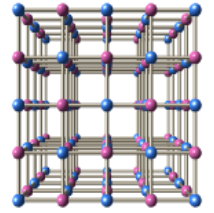
## 波及効果

- ① (経済的波及効果) 付加価値の高い「三次電池」組み込んだセンサーが、市場で高いシェアを占める
- ② (社会的波及効果) 「三次電池」の普及により、ゼロエミッション社会への近づく
- ③ (学術的波及効果) 電位の温度効果の活用により、使いにくい熱エネルギーを高効率で電力に変換

## 想定される用途

- センサー用の電源
- 三次電池を組み込んがセンサーは、電源管理・交換が不要になる。
- 環境エネルギー充電し、設置場所を選ばない、  
**自律分散電源**

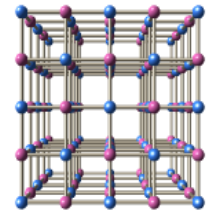
# 酸化還元電位の温度係数



正極と負極の $\alpha$ の  
差を活用

electrolyte: 1 mol/L NaClO<sub>4</sub> in PC

# 三次電池のデモ



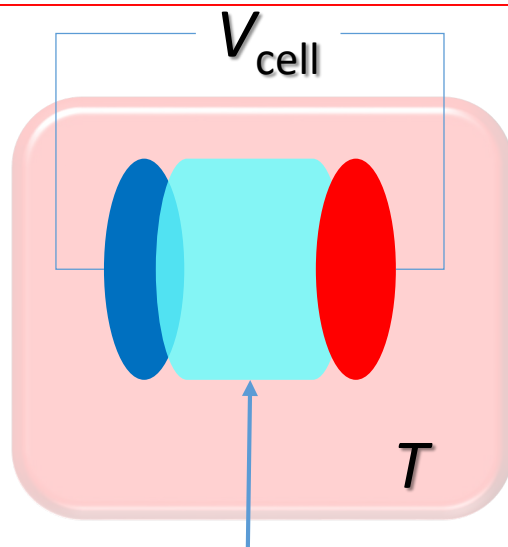
$T_L = 295 \text{ K} / T_H = 323 \text{ K}$

Anode: NCF71

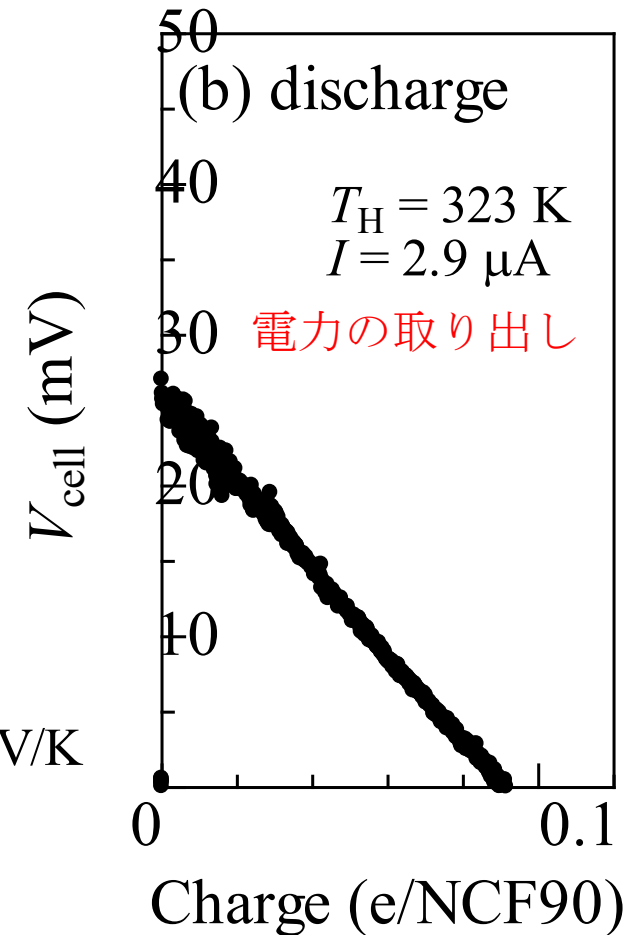
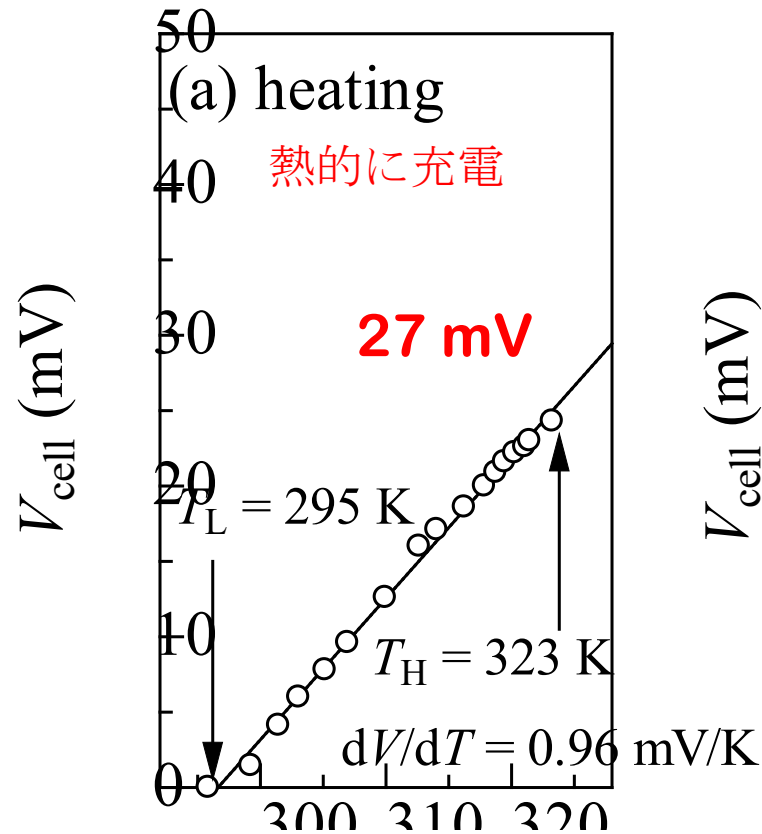
$\alpha = + 0.7 \text{ mV/K}$

Cathode: NCF90

$\alpha = + 1.4 \text{ mV/K}$



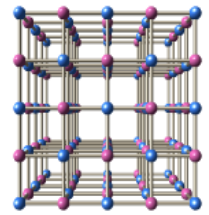
10 mol/l  $\text{NaClO}_4$  in water



熱効率1.0、カルノー効率の11% (2018).

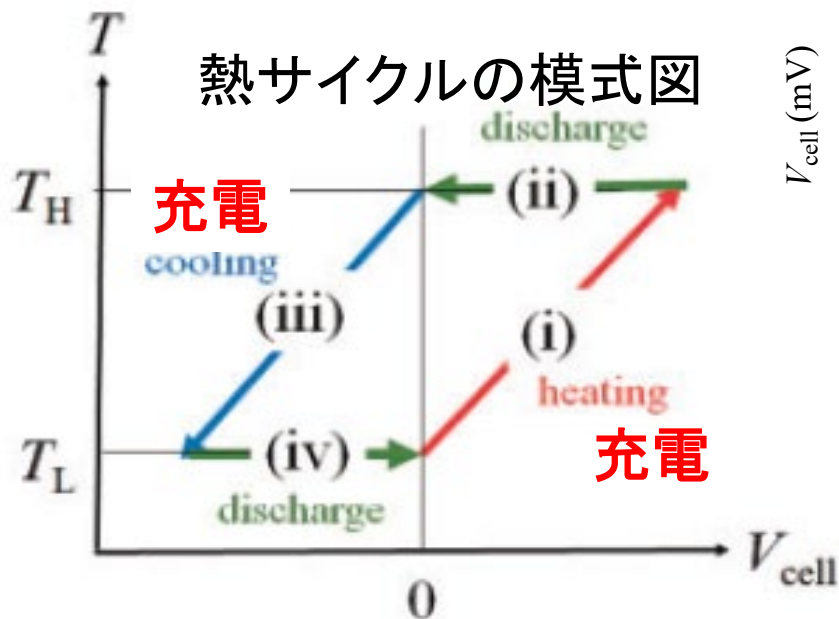
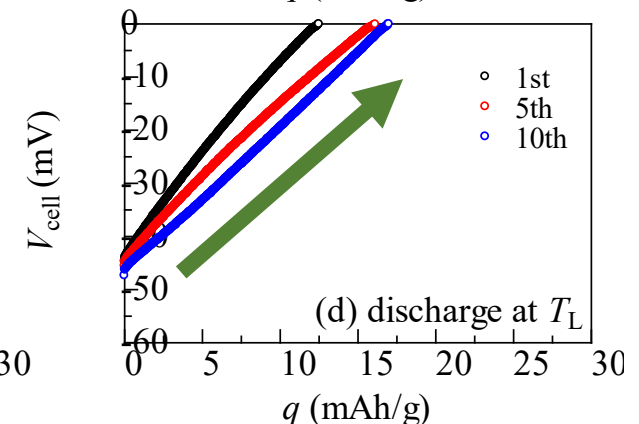
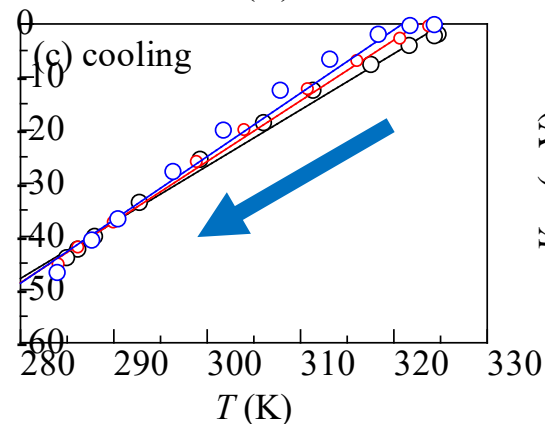
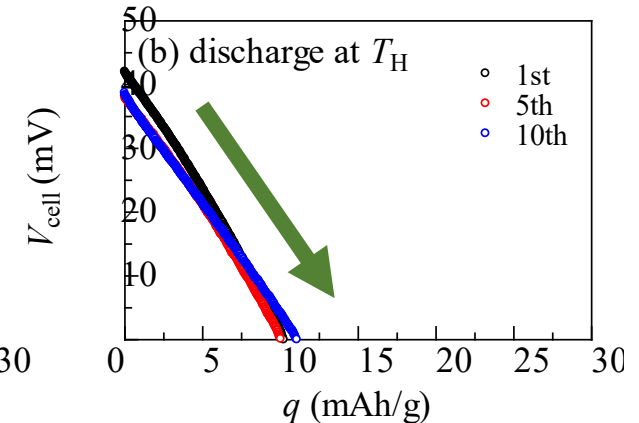
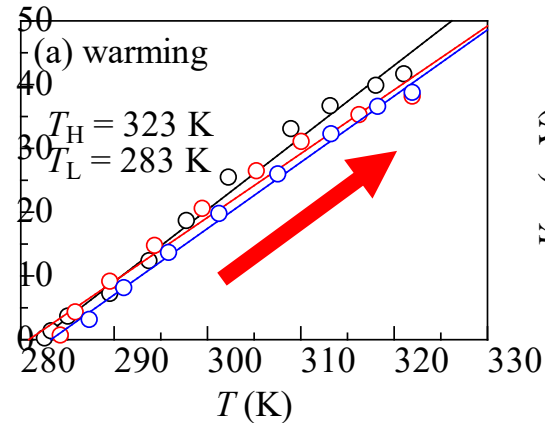
T. Shibata, Y. Fukuzumi, W. Kobayashi & Y. Moritomo, Appl. Phys. Express 11, 017101 (2018).

# 熱サイクル



## NNF68/NCF90三次電池

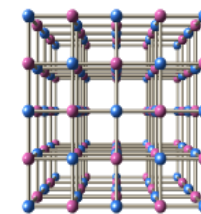
- ① heating: 起電力の発生
- ② discharge: 電力の取り出し
- ③ cooling: 起電力の発生
- ④ discharge: 電力の取り出し



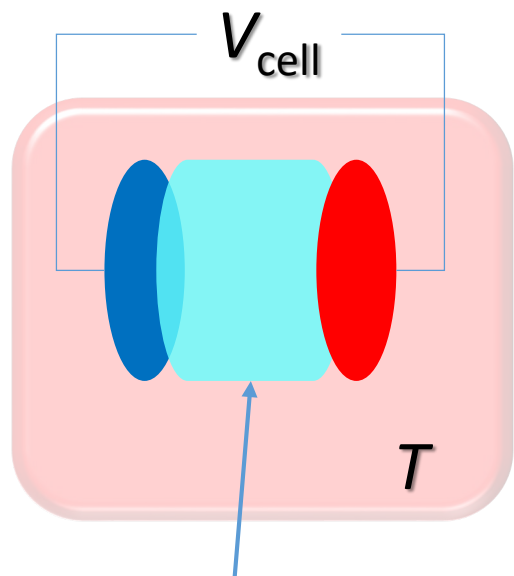
I. Takahara, T. Shibata, Y. Fukuzumi and Y. Moritomo, ChemistrySelect 4, 8558 – 8563 (2019)



# NMF83 / NCF90 三次電池

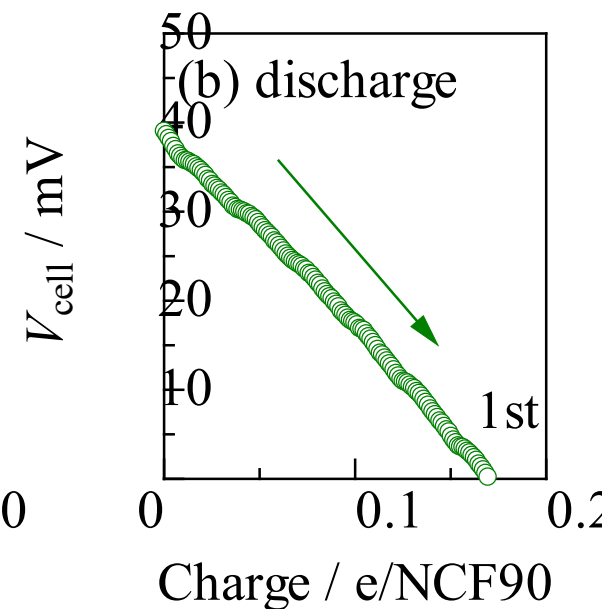
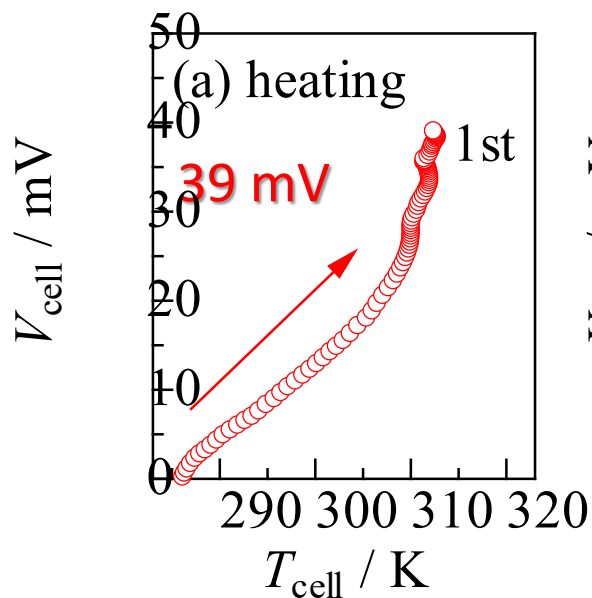


Anode: NMF83  
 $\alpha = -0.3 \text{ mV/K}$   
Cathode: NCF90  
 $\alpha = +1.4 \text{ mV/K}$



1 mol/l NaClO<sub>4</sub> in PC

$$T_L = 286 \text{ K} / T_H = 313 \text{ K}$$



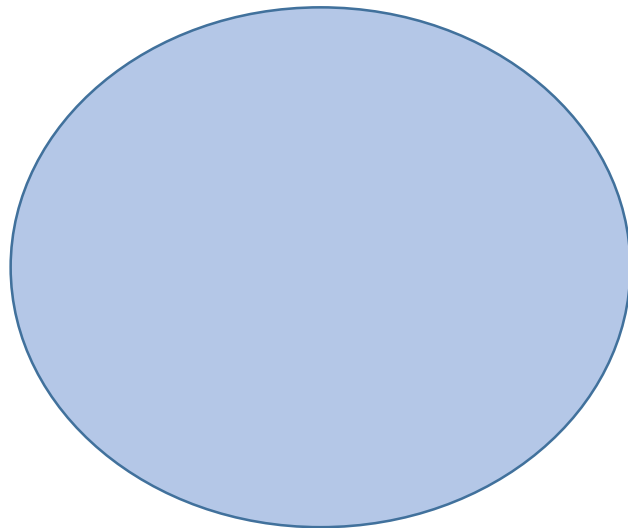
熱効率2.3%、カルノー効率の26%

Y. Fukuzumi, K. Amaha, W. Kobayashi, H. Niwa & Y. Moritomo,  
*Energy Technol.* 66 (2018) 1865 -1870.

# 電位の温度係数 $\alpha$

三次電池の熱起電力を決定

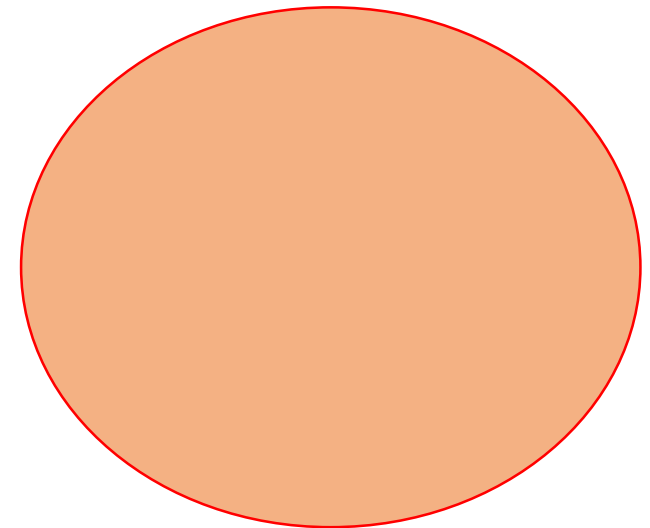
$$\alpha = (S_{re} - S_{ox}) / e$$



還元状態のエントロピー $S_{re}$

3d電子エントロピー  
振動エントロピー  
Na配置エントロピー  
溶媒配置エントロピー

⋮



酸化状態のエントロピー $S_{ox}$

# $\alpha$ の大きな材料を求めて

## 巨大 $\alpha$ 材料の探索

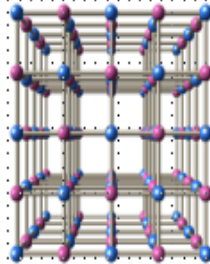
プルシャンブルー類似体

0.7 mV/K (NCF71)

0.3 ~ 1.4 mV/K (NCF90)

-0.3 ~ 1.2 mV/K (NMF83)

支配要因: d電子の配置エントロピー

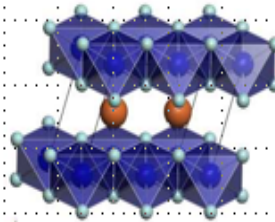


Y. Fukuzumi, et al., *Energy Technol.* 6, 1865 (2018).

NaCoO<sub>2</sub>

0 ~ 0.9 mV/K

支配要因: Naの配置エントロピー

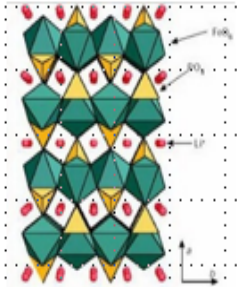


Y. Fukuzumi, et al., *AIP Adv.* 8, 065021 (2018).

LiFePO<sub>4</sub>

0.9 mV/K

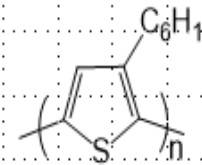
支配要因: 振動エントロピー



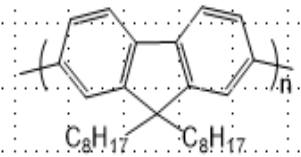
Y. Fukuzumi, et al. *Jpn. J. Appl. Phys.* 58, 06551 (2019).

高分子

支配要因: 振動エントロピー



+0.32mV/K



-0.57mV/K

H Iwaizumi, et al. *Jpn. J. Appl. Phys.* 58, 097004 (2019)

## 実用化に向けた課題

- より高い熱起電力を示す材料の開発
- コインセル型三次電池を用いたデモ
- 安全な水系電解質を用いた三次電池
- 熱サイクル耐久性の向上
- 二次電池開発の技術を転用できる。

## 企業への期待

- ラミネートフィルムセルの作成と耐久試験
- センサー駆動の実証試験
- 三次電池の市場開拓

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 熱発電素子
- 出願番号 : 特願2016-211227
- 出願人 : 筑波大学
- 発明者 : 守友 浩、小林 航



## 産学連携の経歴（任意）

- 2011年度 A-STEP FS探索タイプ
- 2014年度 A-STEP FS探索タイプ
- 2019年2月より （株）フォーカスシステムズと共同研究  
「三次電池の実装」

# お問い合わせ先

**筑波大学 国際産学連携本部**  
**技術移転マネージャー 永井 明彦**

**T E L 029-859-1498**

**F A X 029-859-1693**

**e-mail [nagai.akihiko.fn@un.tsukuba.ac.jp](mailto:nagai.akihiko.fn@un.tsukuba.ac.jp)**