

エネルギー・環境新技術先導研究プログラム

# IoT社会を支える分散型独立電源の技術開発

プロジェクト実施者：国立研究開発法人物質・材料研究機構  
国立大学法人茨城大学  
株式会社アイシン

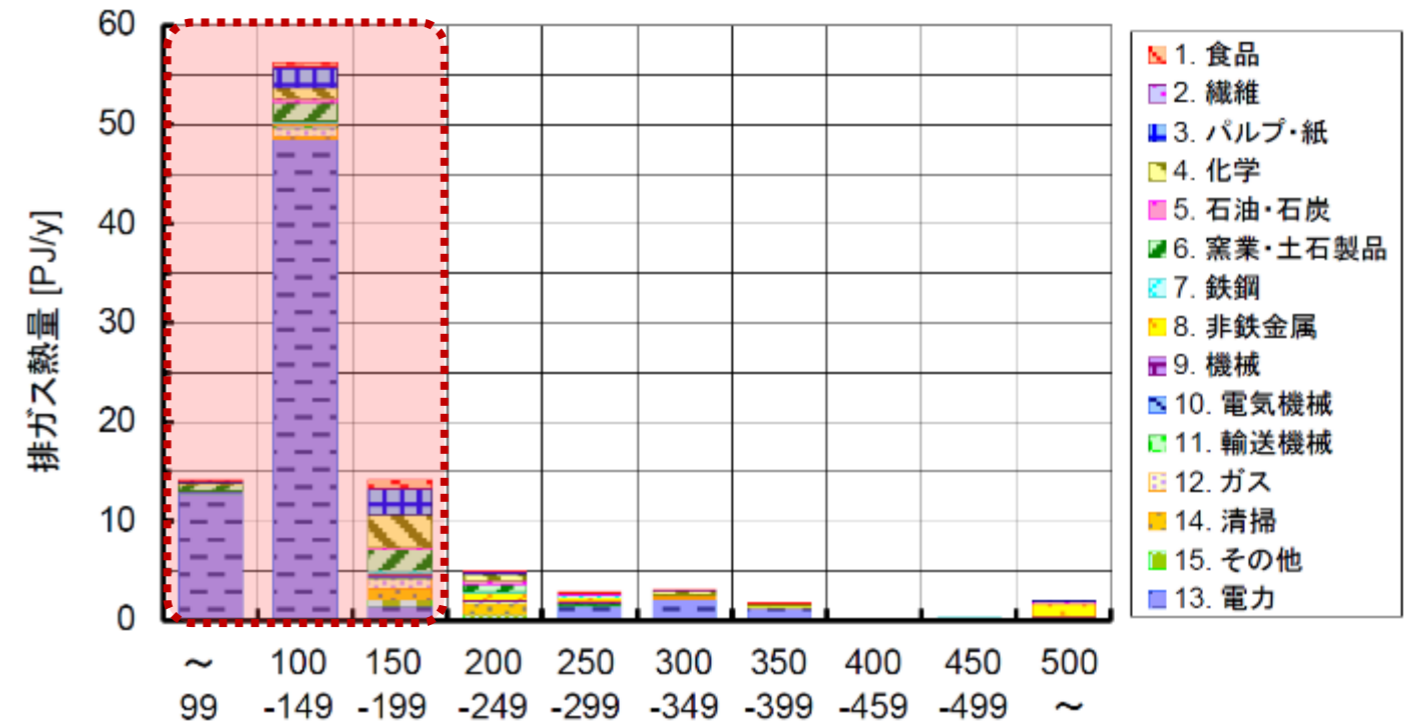
プロジェクト実施期間：2018-2021年度



## 研究目標

### IoTセンサ用自立電源 + 一体型システム

- エネルギー源** ① 室温から200℃までの低温排熱
- 出力目標** ② 100μW/cm<sup>2</sup>以上 ( $\Delta T=5K$ )
- 必要条件** ③ 低コスト・無害・廃棄が可能



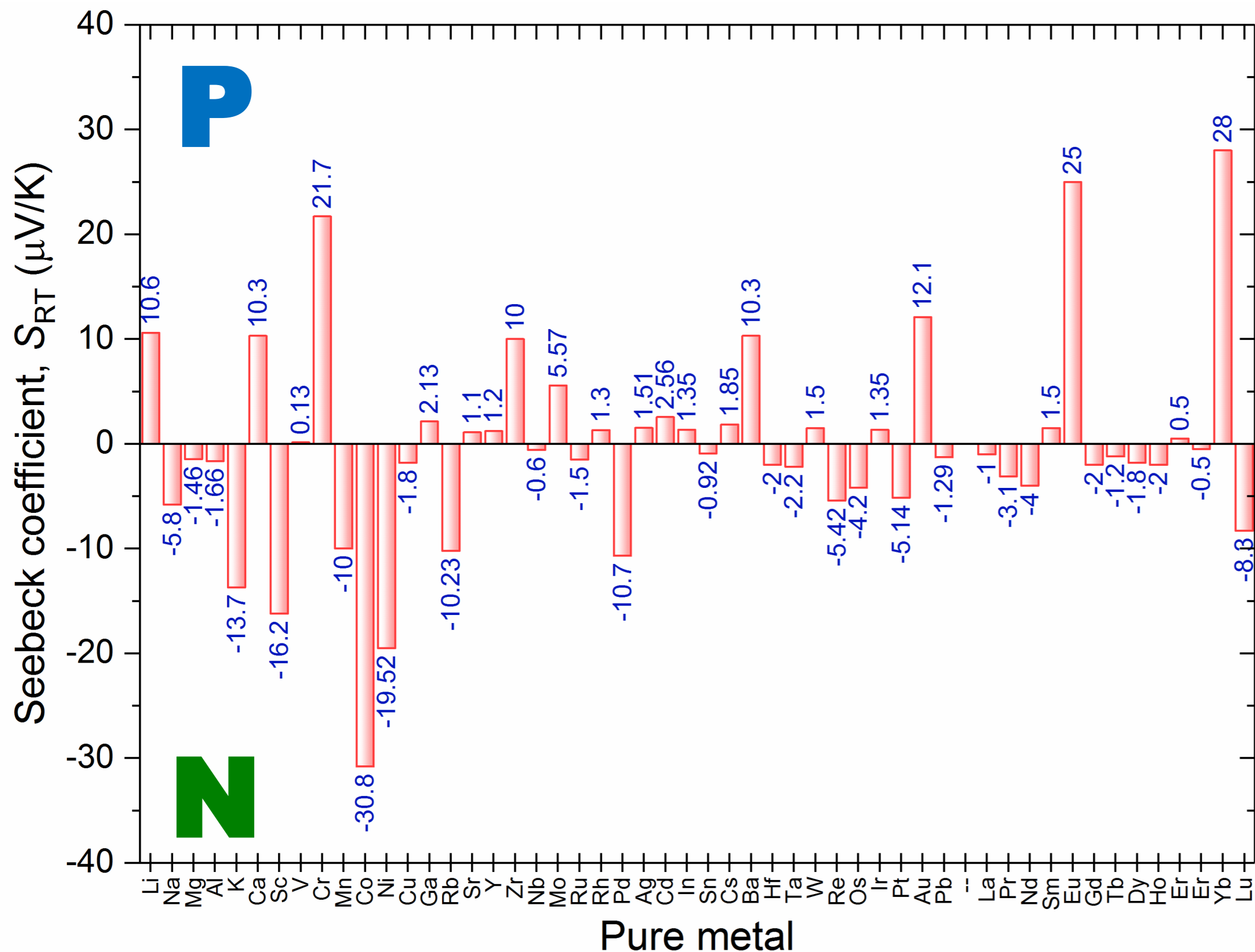
## 材料選択

	有機化合物	無機化合物
生産コスト 密度 出力レベル	低(低温合成) 1-2 g/cm <sup>3</sup> μW/cm <sup>2</sup> 程度	中-高(高温合成) 2-20 g/cm <sup>3</sup> μW/cm <sup>2</sup> 以上
課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大面積化が必要</li> <li>・温度差をつけづらい</li> <li>・熱的安定性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高い生産コスト</li> <li>・希少/毒性元素を含む</li> <li>・機械特性のバランス</li> </ul>

開発目標

**低コスト・無害・軽量の新材料**



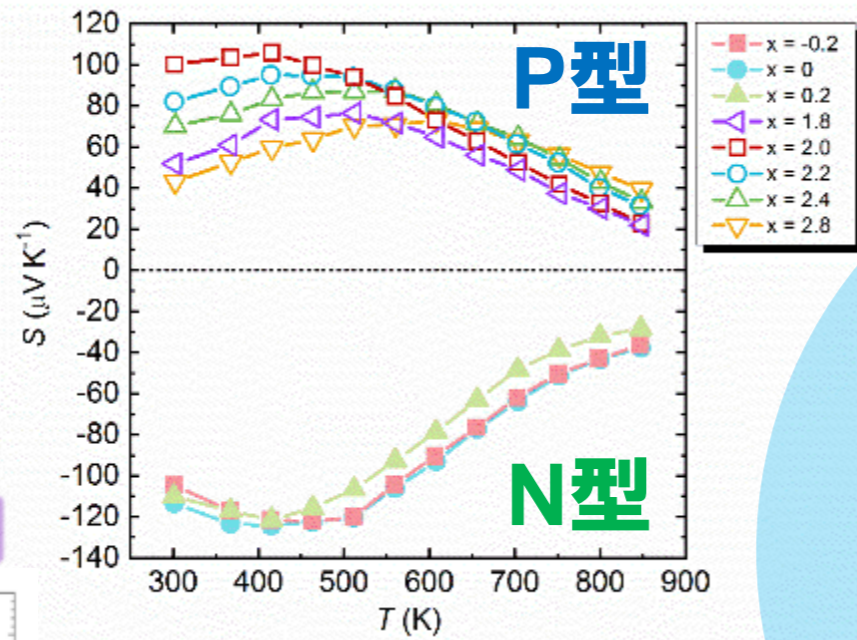


## 求められる材料特性

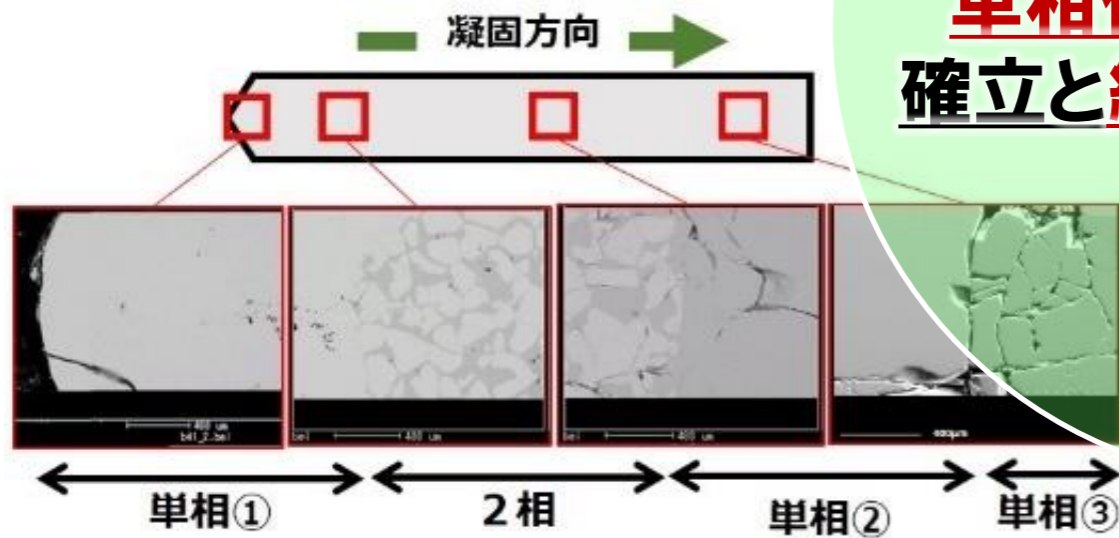
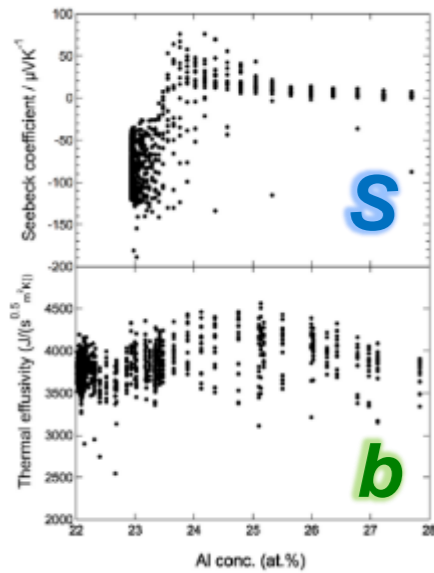
- ① **100** $\mu\text{V/K}$ 以上
- ② **低い**熱伝導率
- ③ **高い**電気伝導率
- ④ 加工性に**優れる**
- ⑤ **優れた**機械特性

温度差発電材料の発電性能は高いに越したことはないが、**デバイス化に必要な条件を併せ持つ必要**がある。





マッピング計測



**低温排熱利用を可能とする低コスト・高出力バルク発電素子の開発**

- ・PCT/JP2018/032031
- ・特許6799341号(2020)



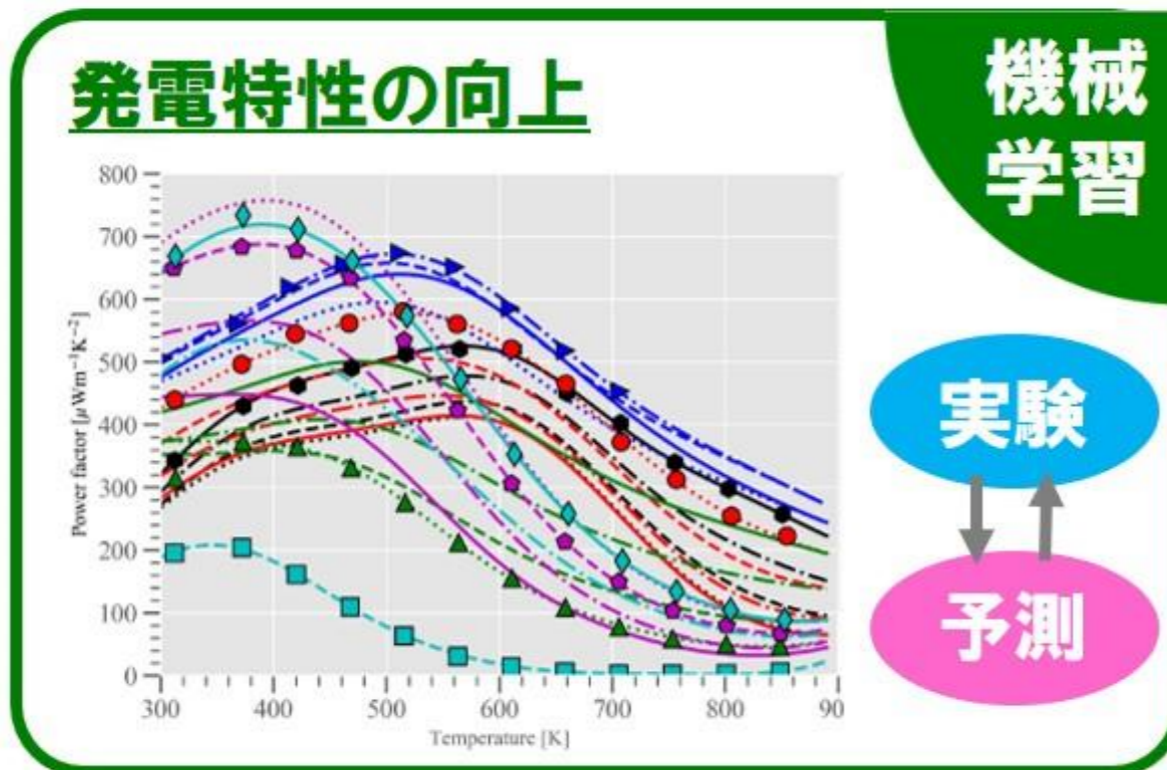
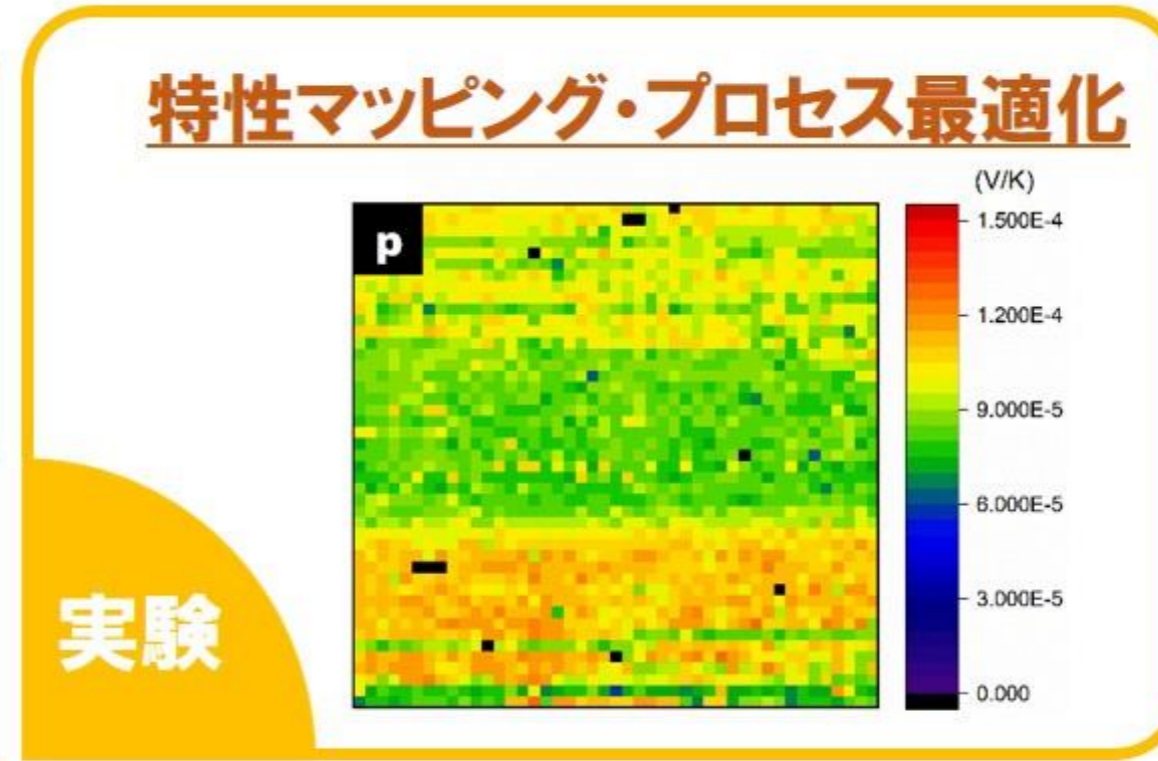
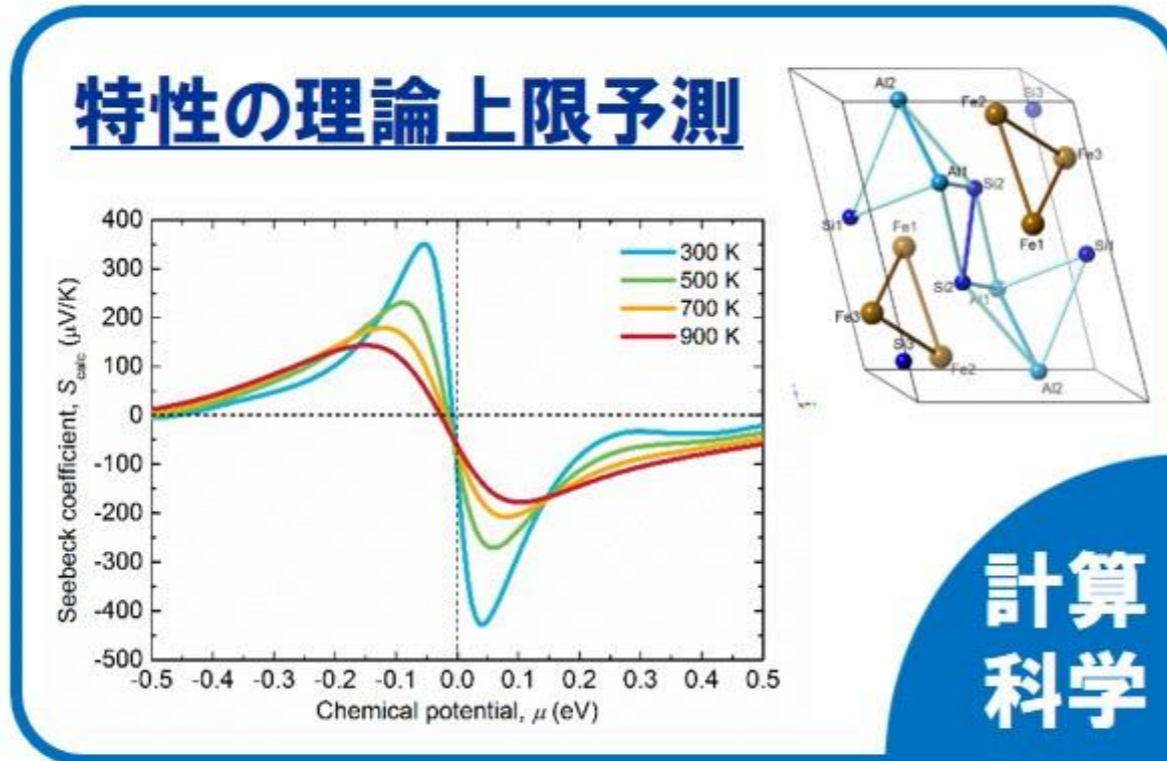
**单相化プロセスの確立と組織の最適化**



**温度差発電モジュール化技術の構築**





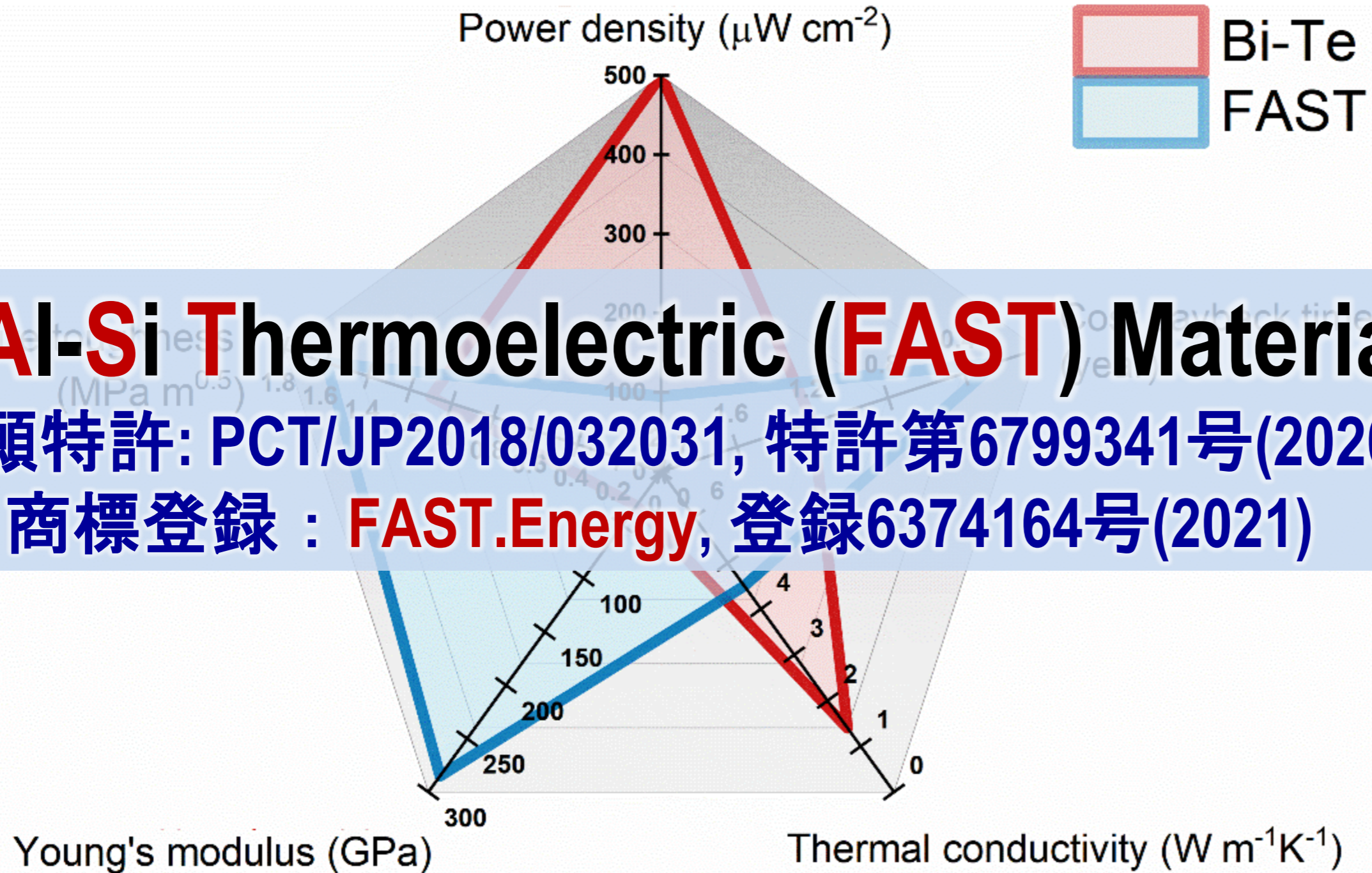




# Fe-Al-Si Thermoelectric (FAST) Materials

出願特許: PCT/JP2018/032031, 特許第6799341号(2020)

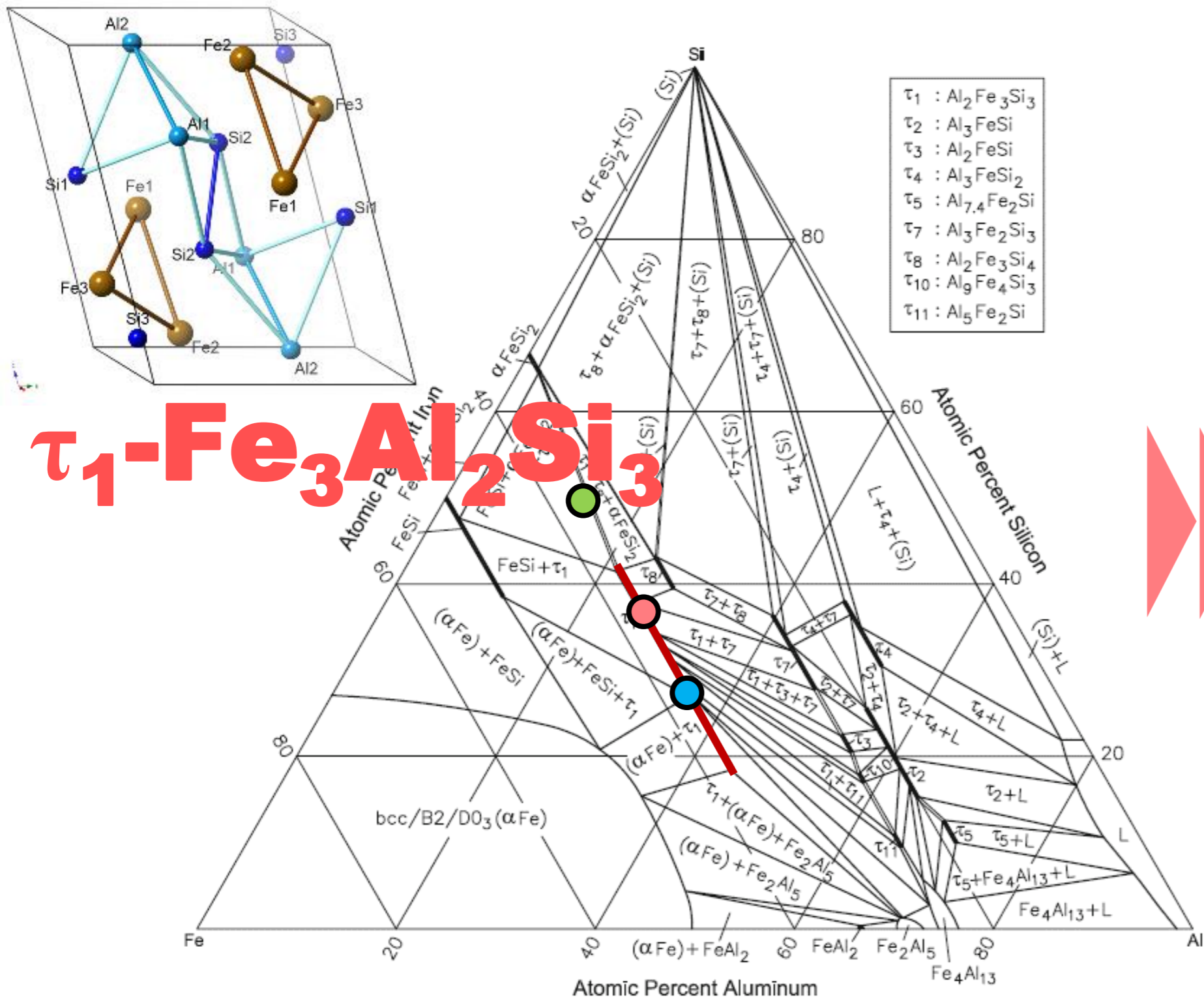
商標登録: FAST.Energy, 登録6374164号(2021)



ACS. Appl. Mater. Interfaces (2021).

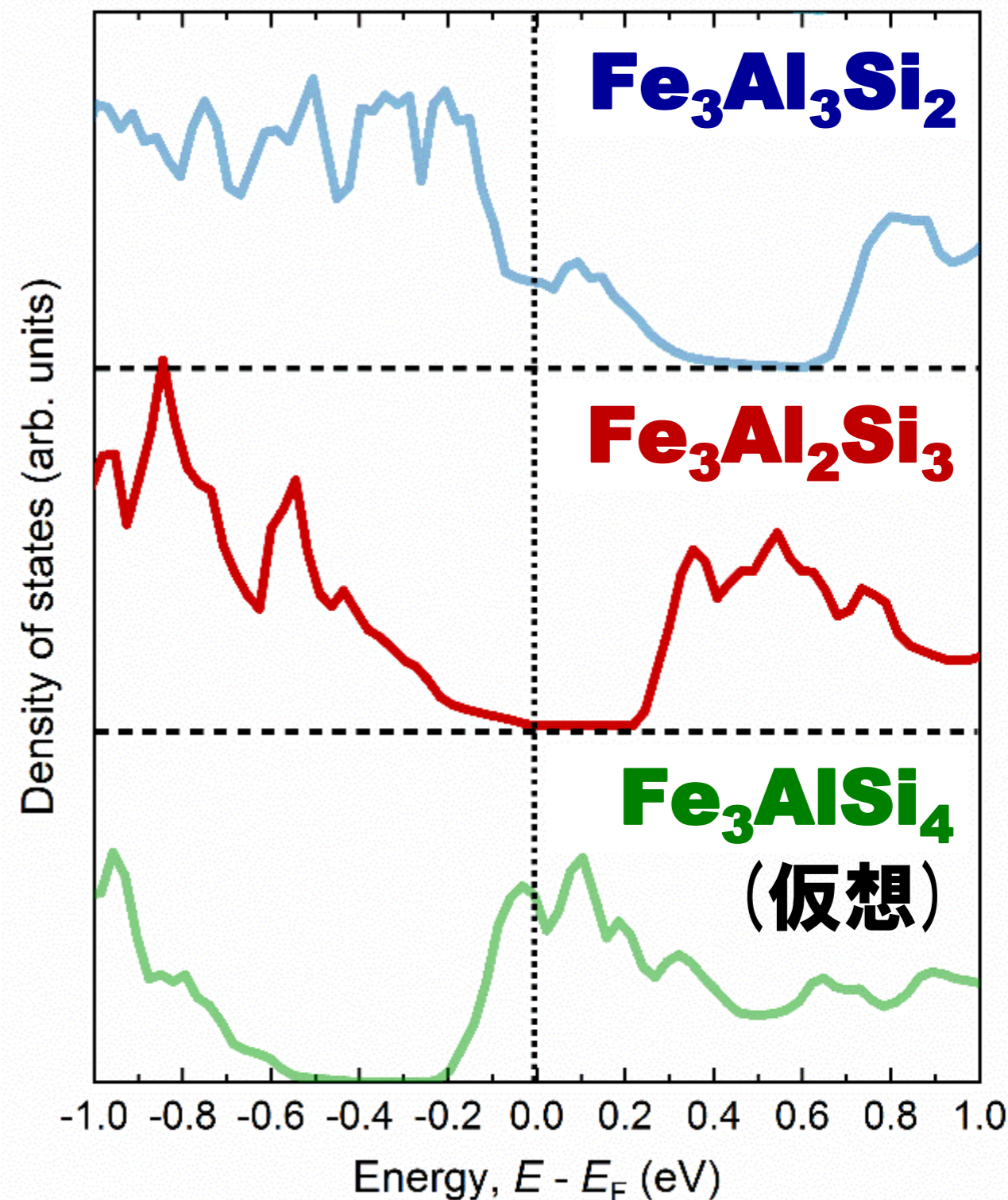
原材料コストの削減・高い安全性・廃棄が可能





$\tau_1$ - $\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3$

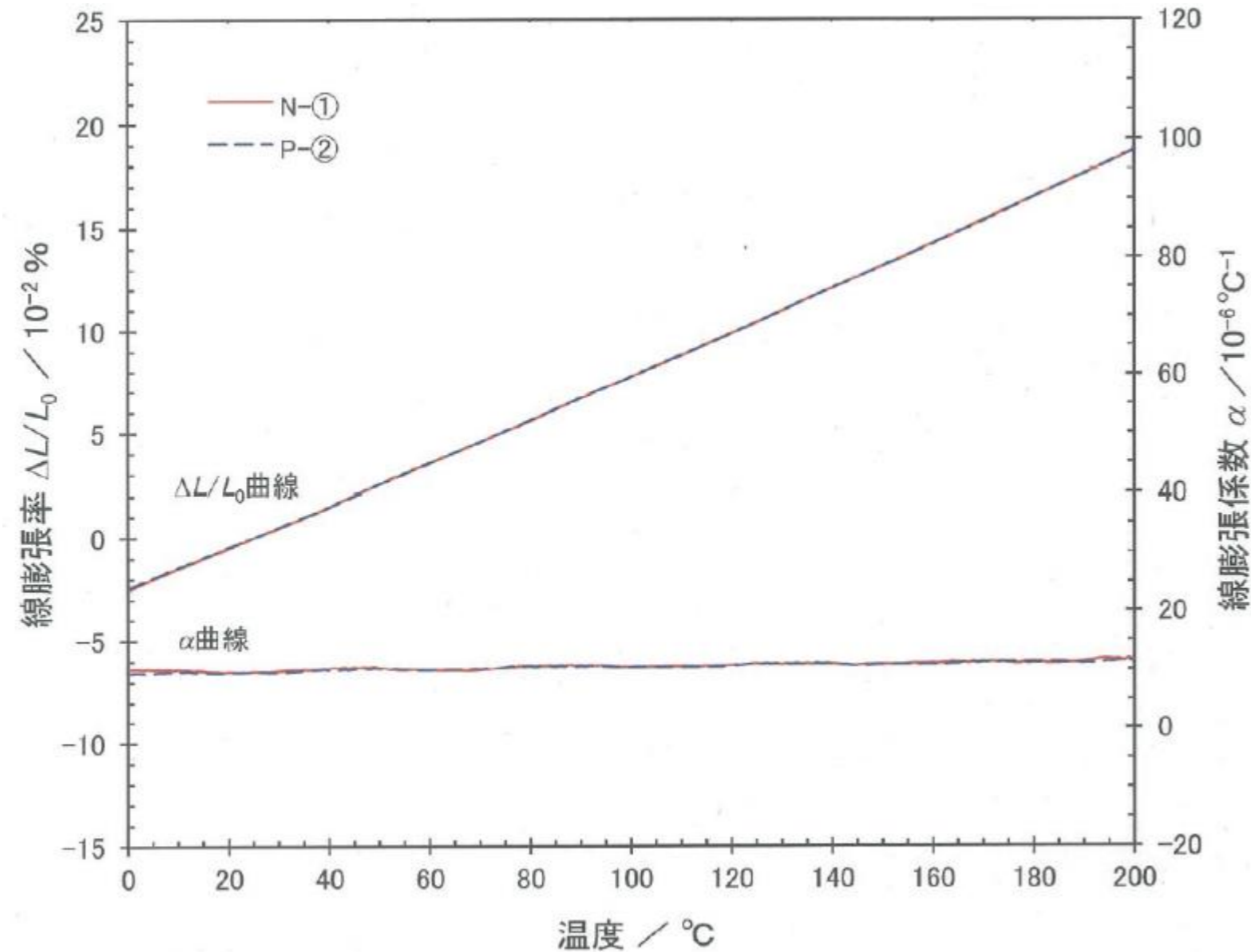
組成制御のみでPN制御が可能



M.C.J. Maker *et al.*, *Intermetallics* (2011).

*J. Therm. Anal. Calorim.* (2018).

## Thermo-Mechanical Analysis (TMA)法



### 【測定結果】

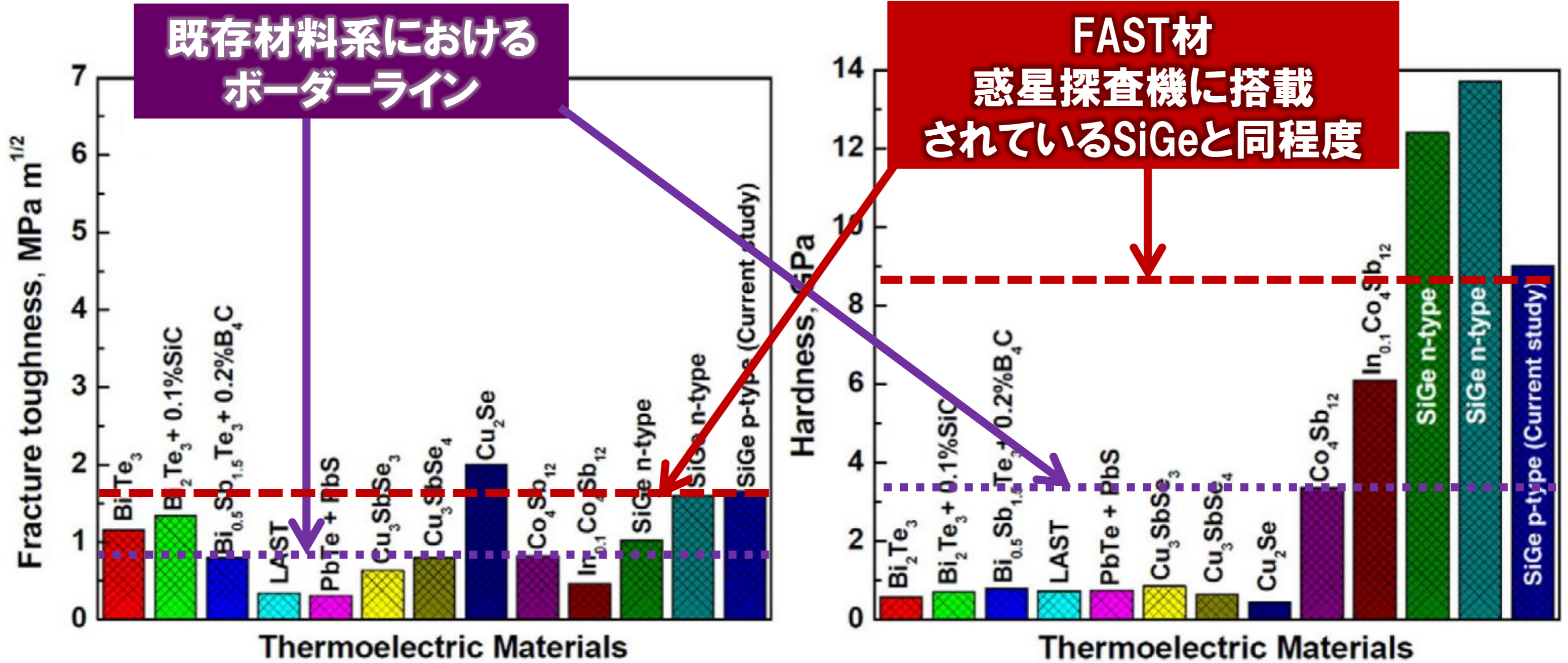
材料	平均線膨張係数
P型FAST	<b>10.6</b> *10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
N型FAST	<b>10.6</b> *10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>

### 【参考】

材料	平均線膨張係数
Fe	11.8*10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
Al	23.1*10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
Si	2.4*10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
Ni	13.4*10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
Au	18.9*10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>

**P型・N型ともに同じ線膨張係数のFAST材は、  
モジュール信頼性を向上させることが期待される。**

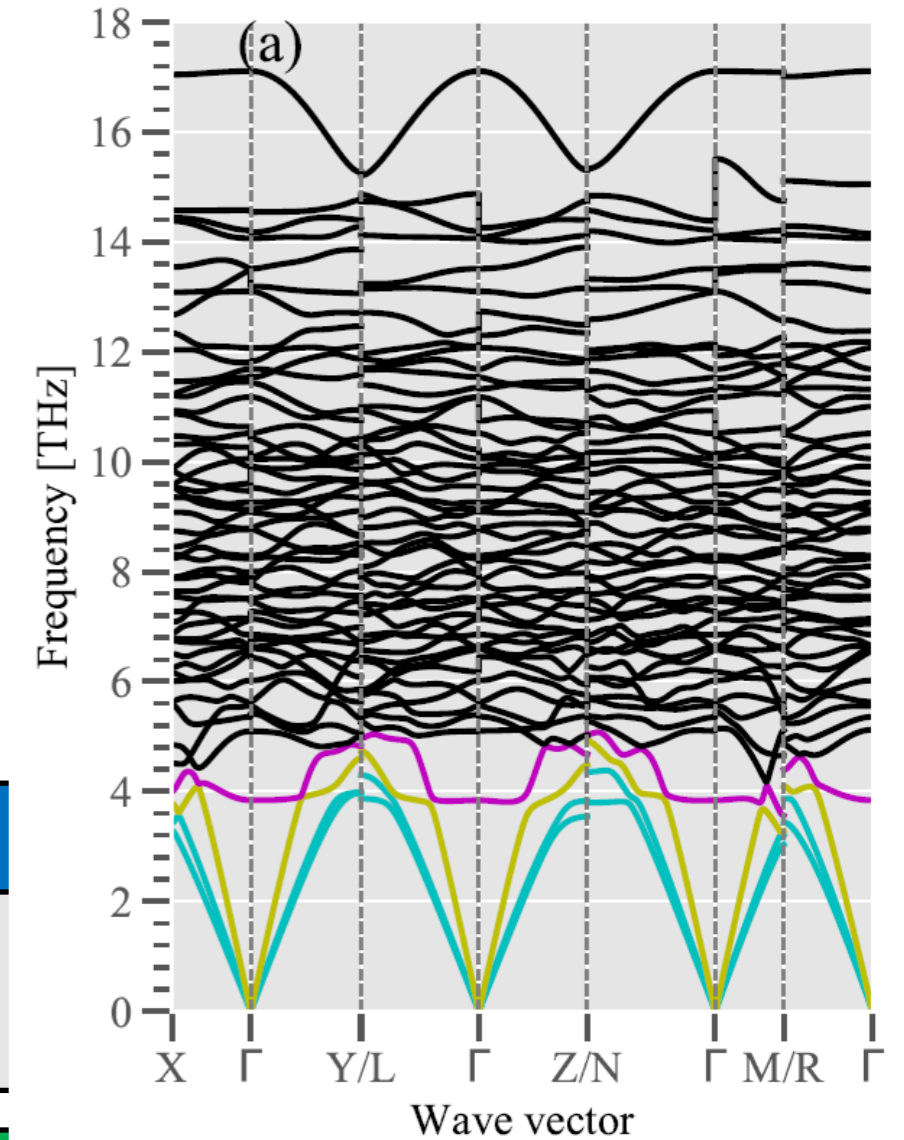
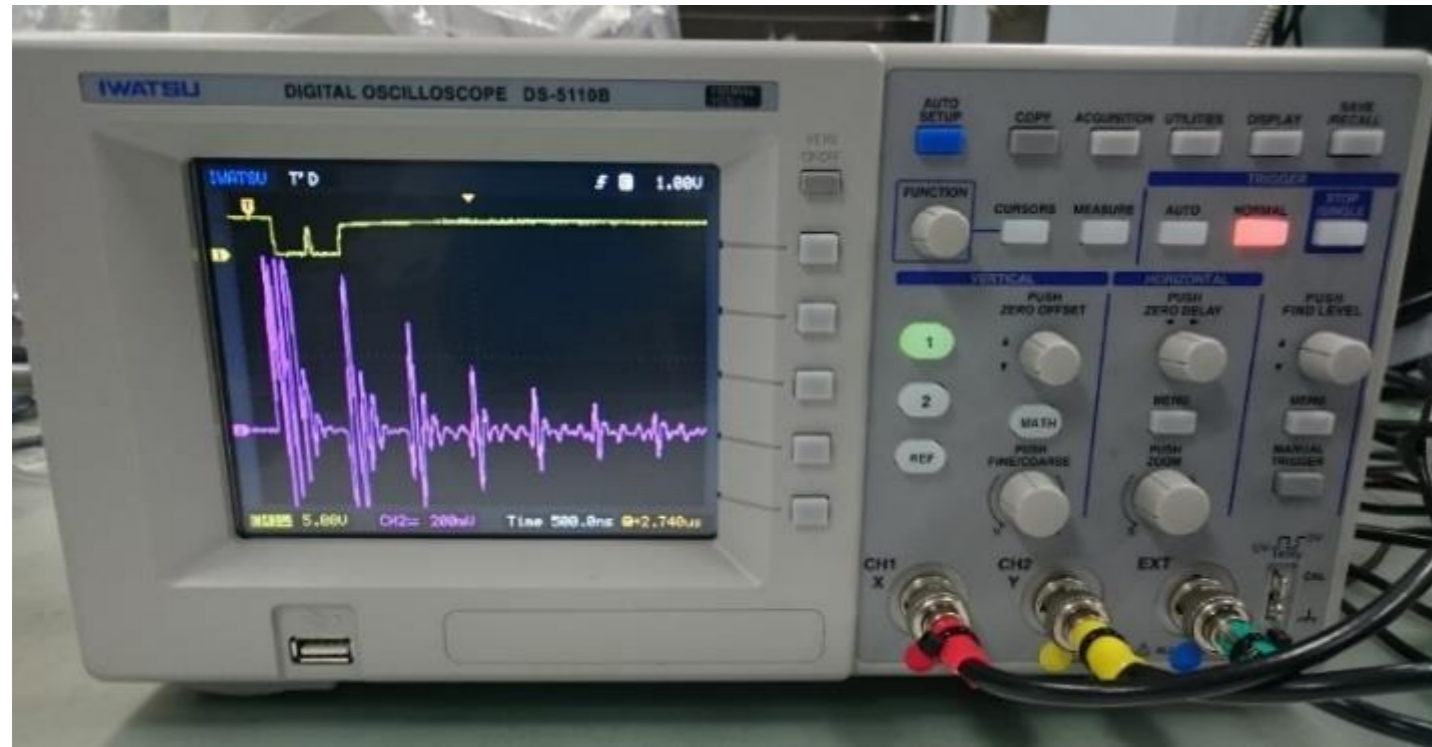




S. Bathula *et al.*, *Mater. Design* (2015).

デバイス設計・耐久性の観点から、**機械特性を両立**する必要がある。





ACS Appl. Mater. Interfaces (2019).

FAST	縦波音速 ( $\text{ms}^{-1}$ )	横波音速 ( $\text{ms}^{-1}$ )	デバイ温度 (K)
------	---------------------------	---------------------------	-----------

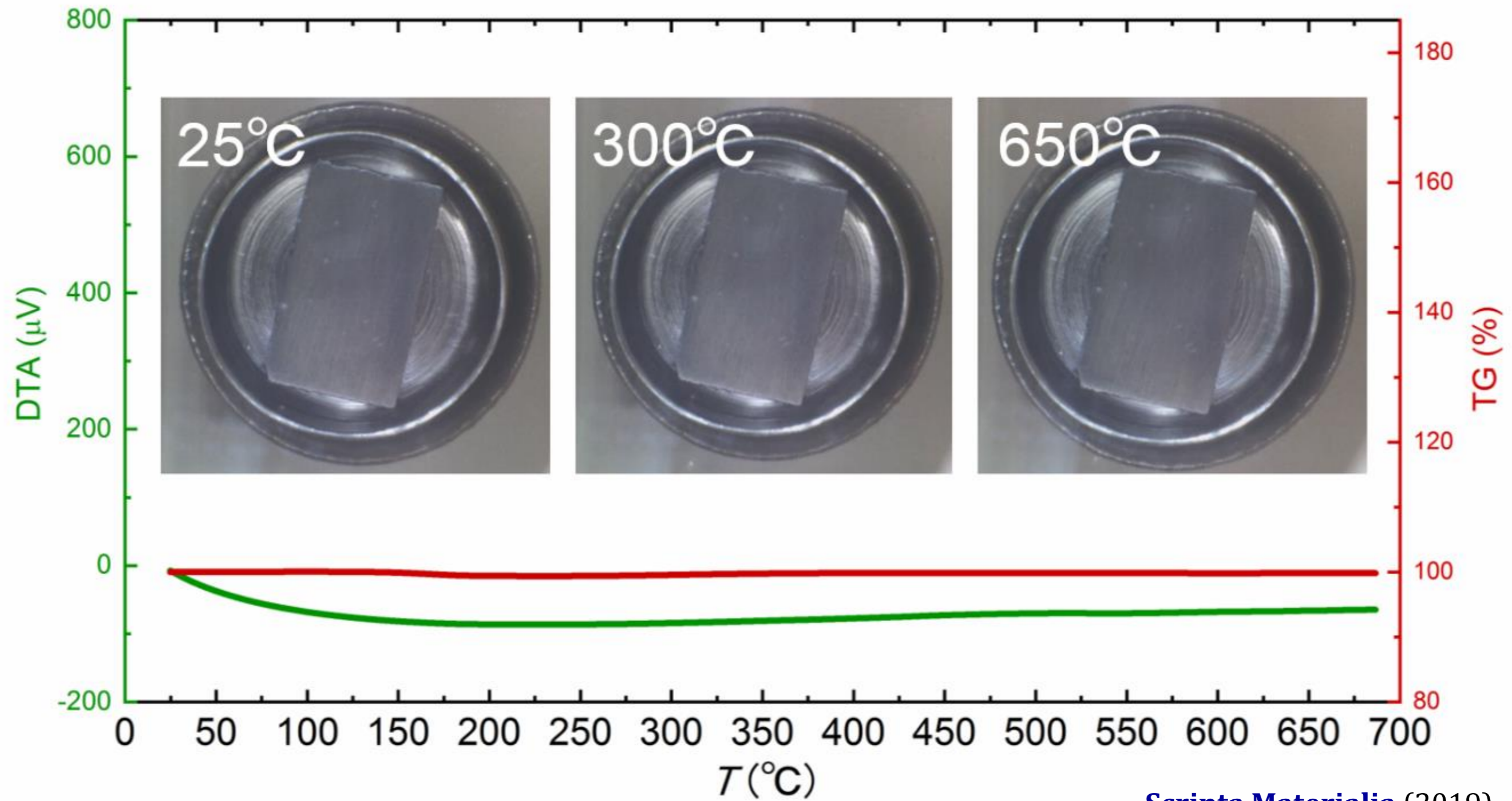
計算	7980	4760	680
<b>実験</b>	<b>7380</b>	<b>4360</b>	<b>620</b>

FAST	体積弾性率 (GPa)	ヤング率 (GPa)	せん断弾性率 (GPa)
------	-------------	------------	--------------

計算	173	286	117
<b>実験</b>	<b>161</b>	<b>255</b>	<b>103</b>

フォノン計算から得られる**計算値と実験値が良い対応**をしている。





Scripta Materialia (2019).

**大気中で650°C程度まで、高い耐酸化性・化学安定性を有する。**

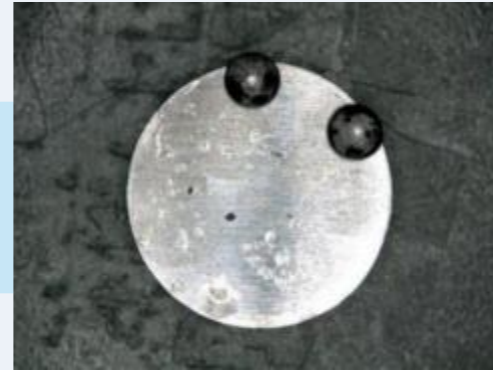
## 金属中間層の選定

めっき処理



JIS評価合格(密着)

## ハンダの選定



基材との反応無し

## ダイシング



めっき剥離無し

## 素子の組込み



小型・高集積  
モジュール化技術

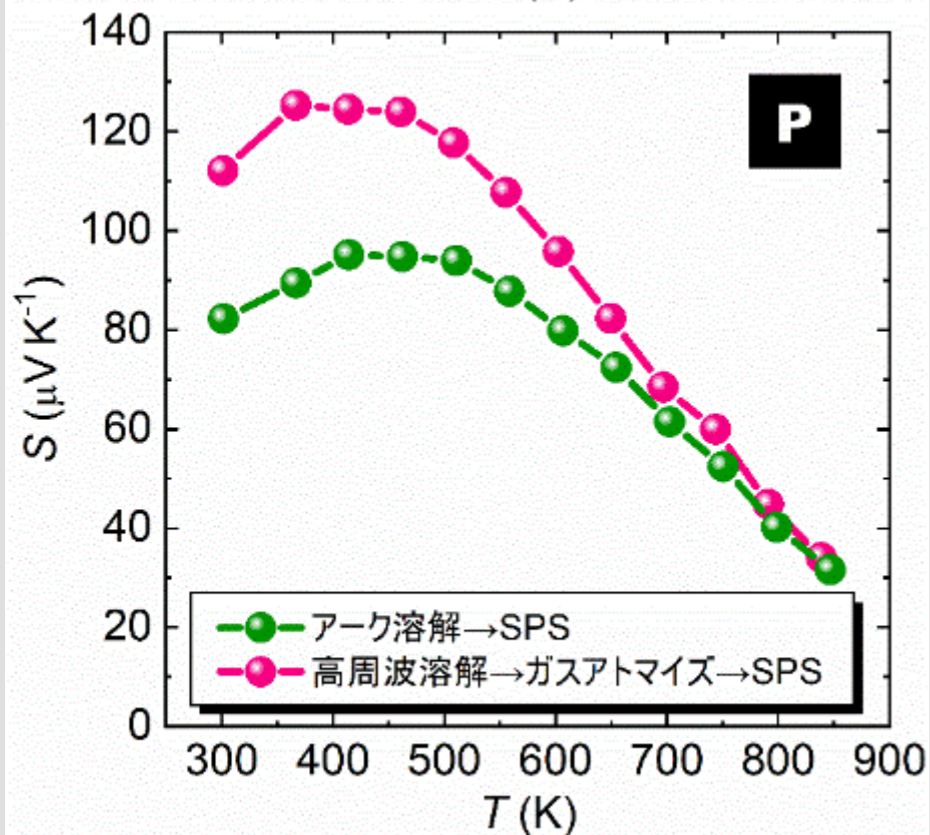
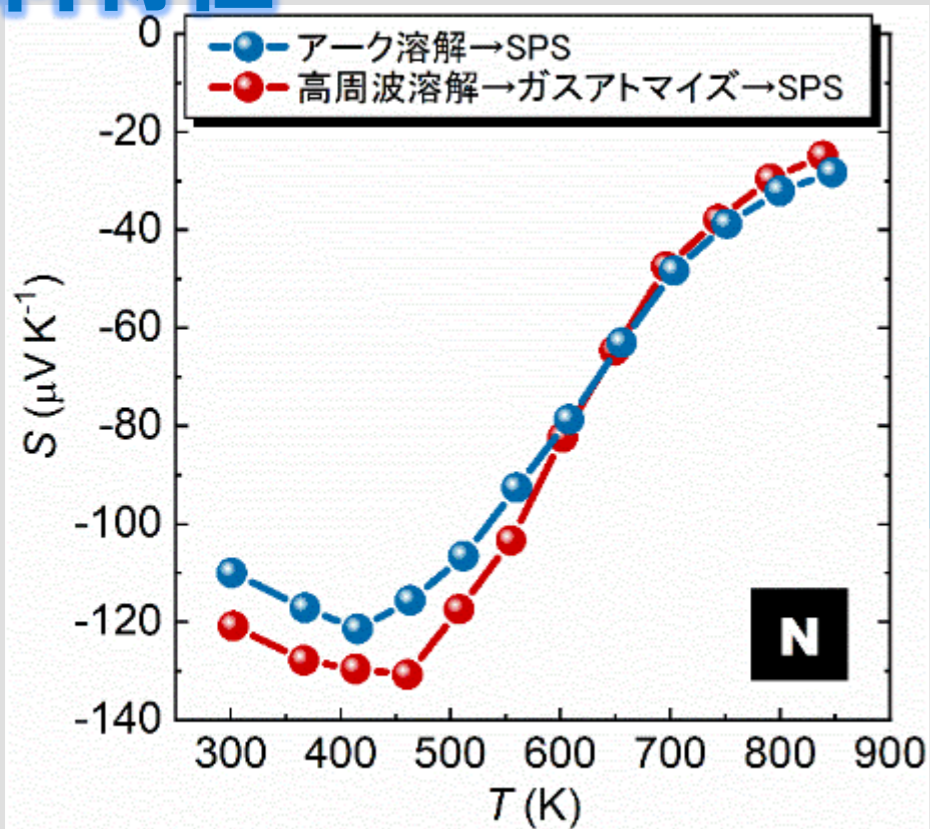
(株)アイシン 登別事業所



**Bi-Te材の生産ノウハウを活かし、量産ラインでのモジュール化に成功。**



## 材料特性



### 解放電圧\* \*50対モジュールを仮定

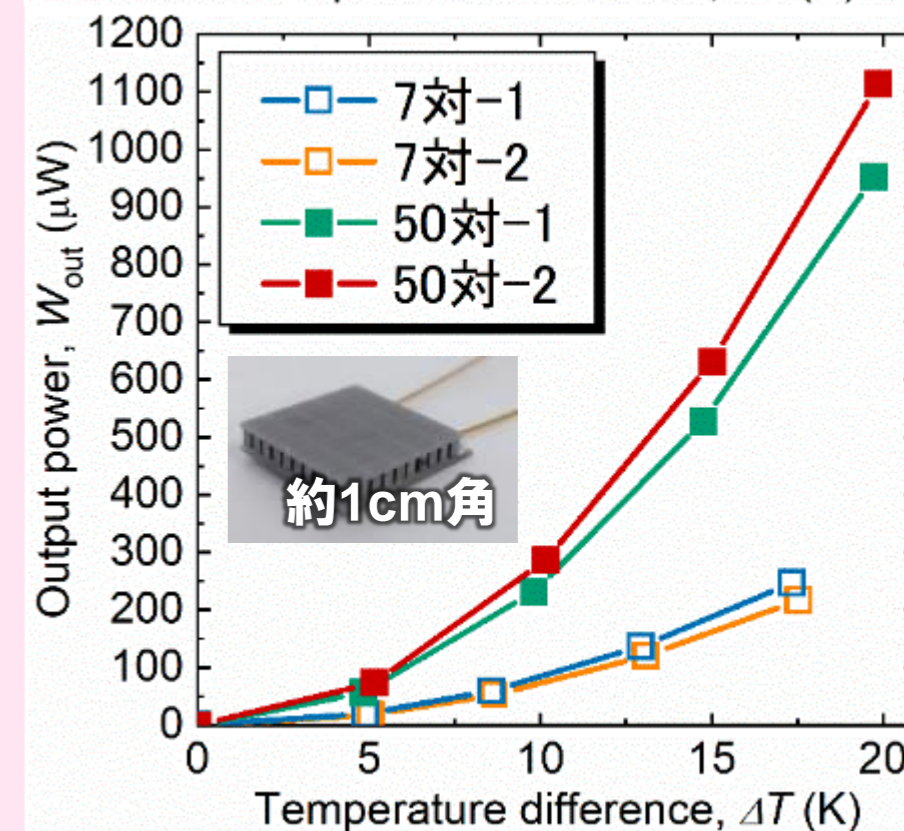
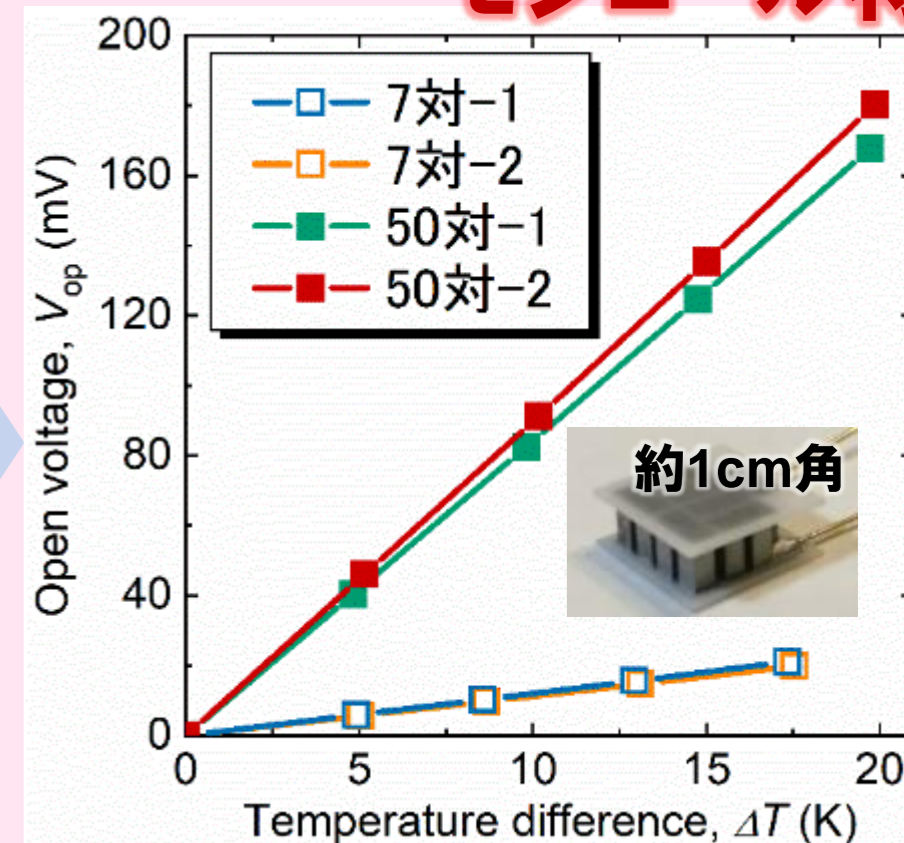
5°C温度差で, 50 mV.  
 10°C温度差で, 105 mV.  
 20°C温度差で, 210 mV.

### モジュール出力性能

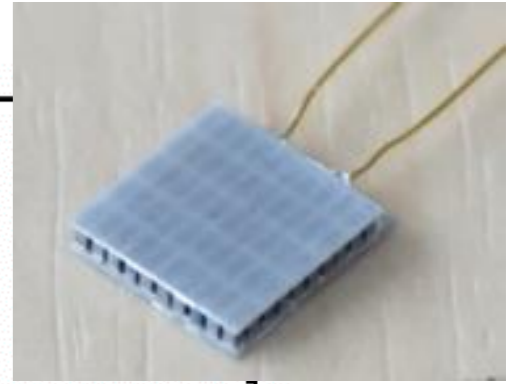
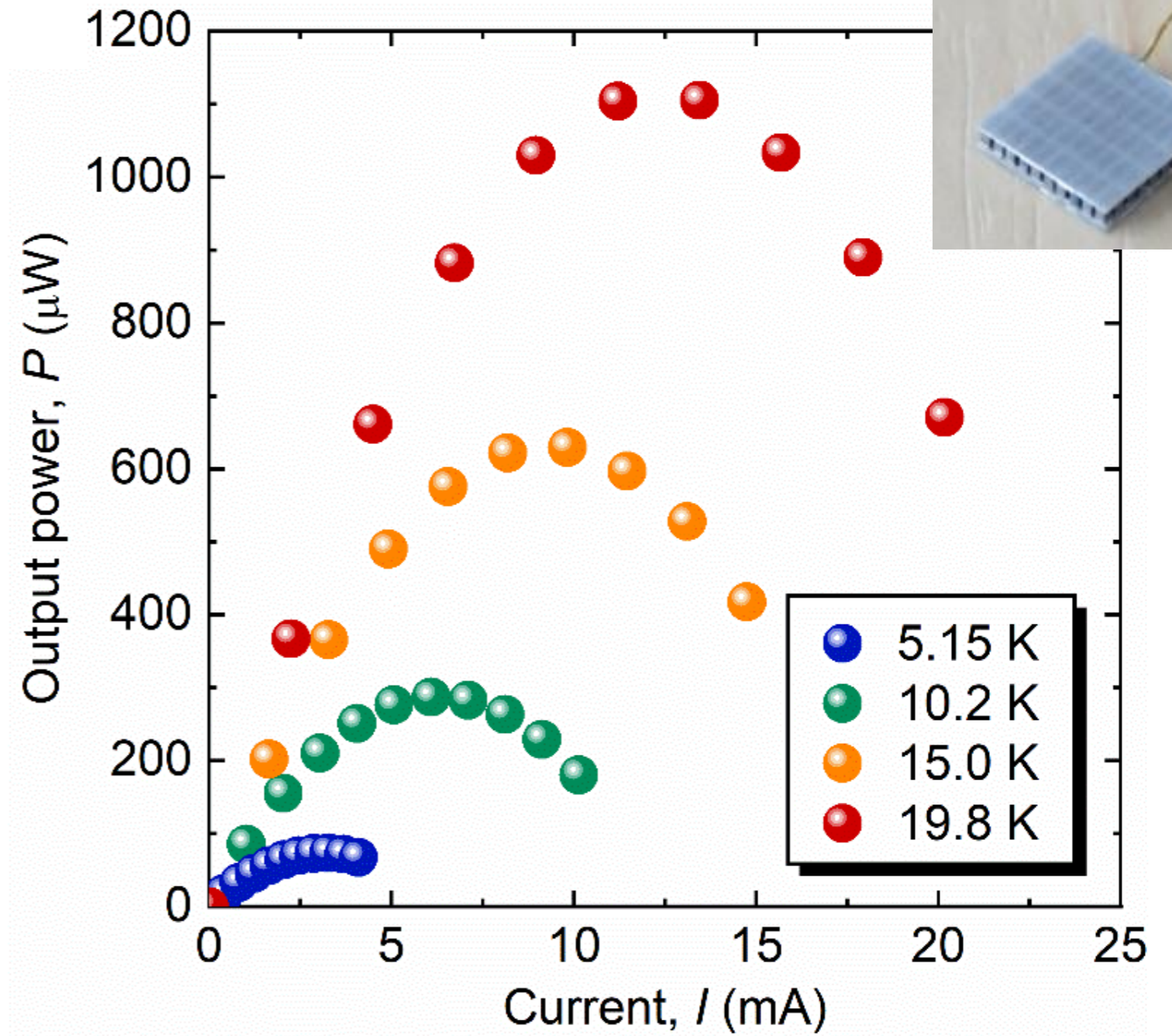
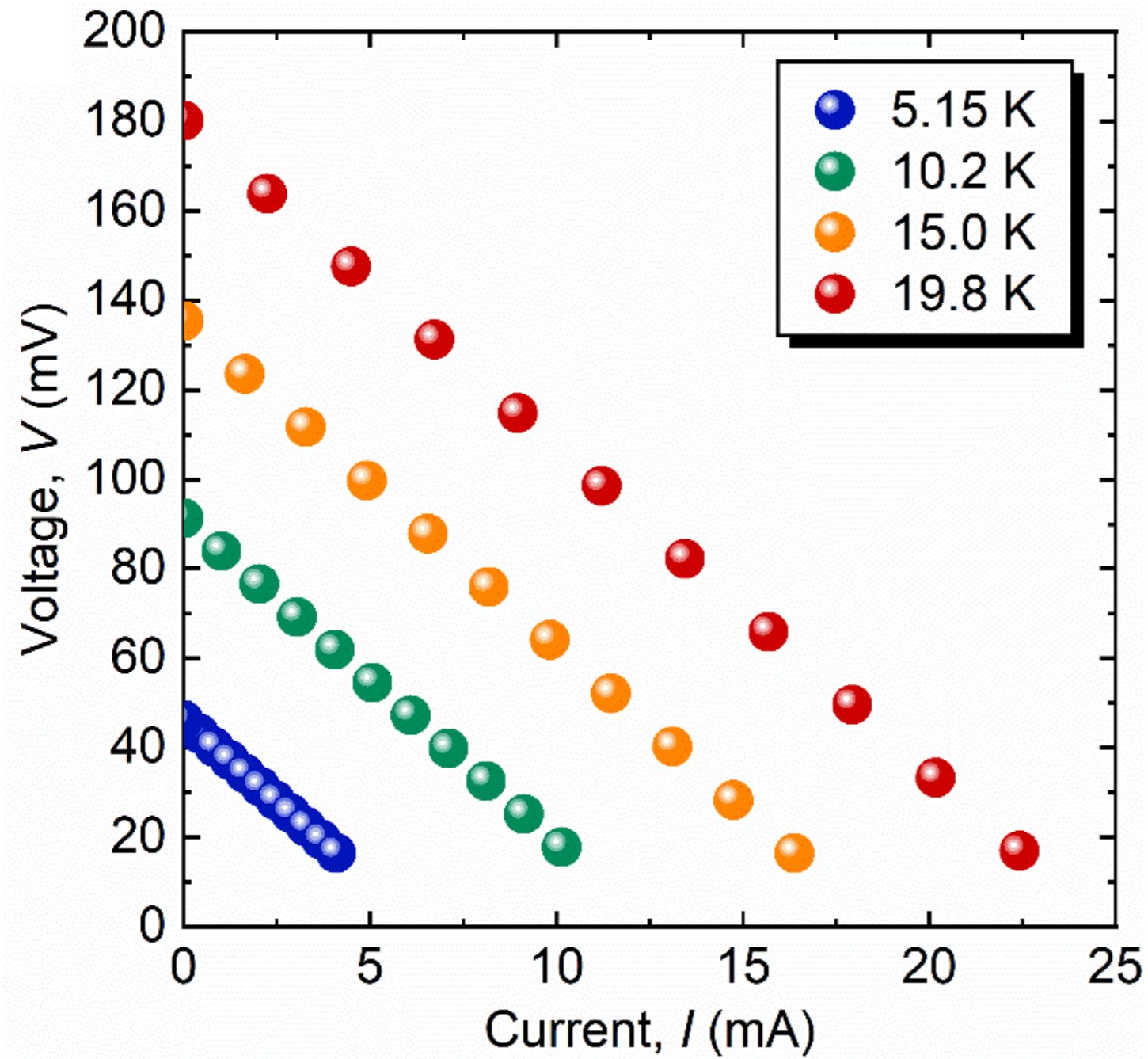
5°C温度差で, 95 μW/cm<sup>2</sup>.  
 10°C温度差で, 350 μW/cm<sup>2</sup>.  
 20°C温度差で, 1400 μW/cm<sup>2</sup>.

ACS Appl. Mater. Interfaces (2020).

## モジュール特性

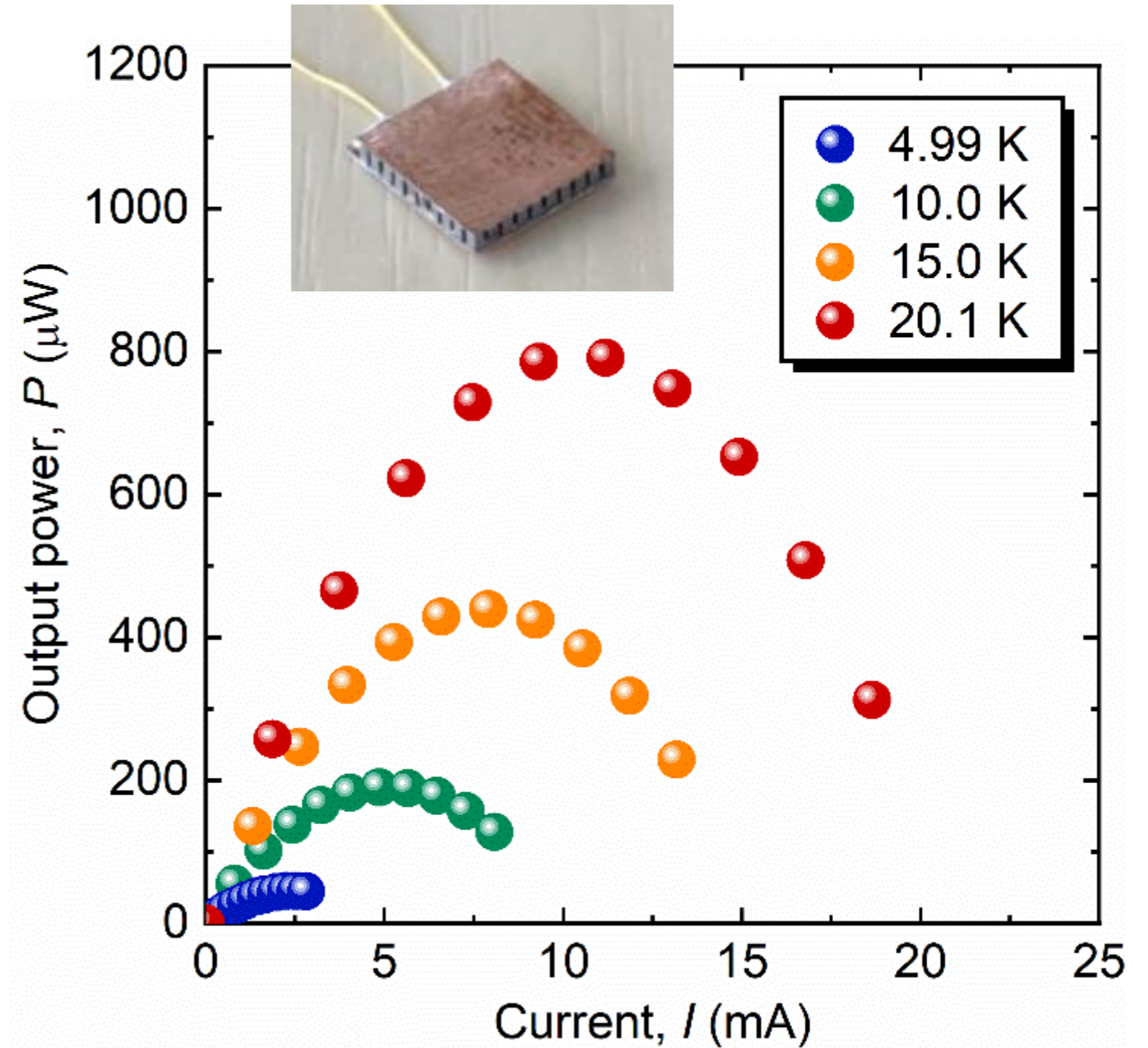
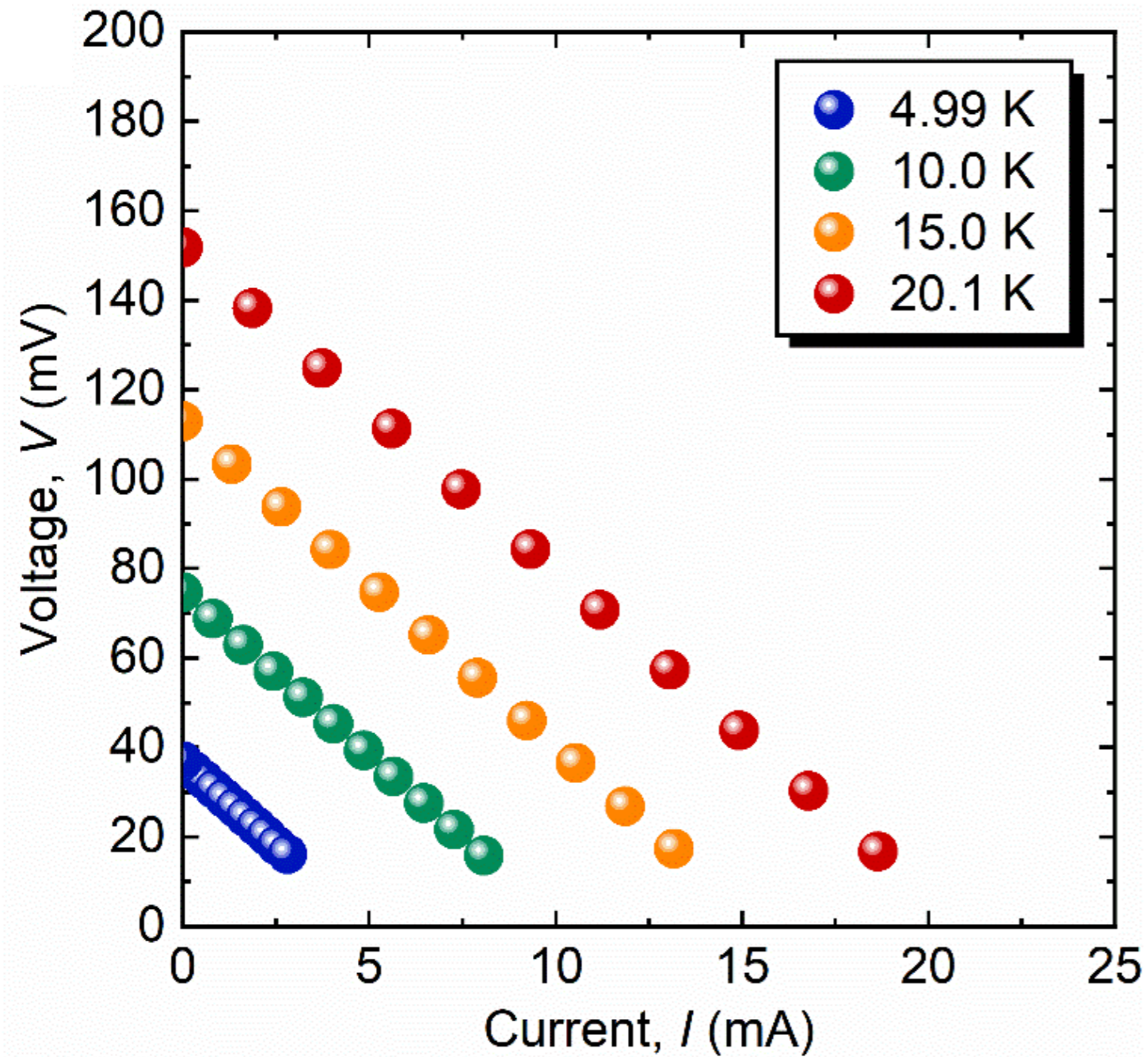






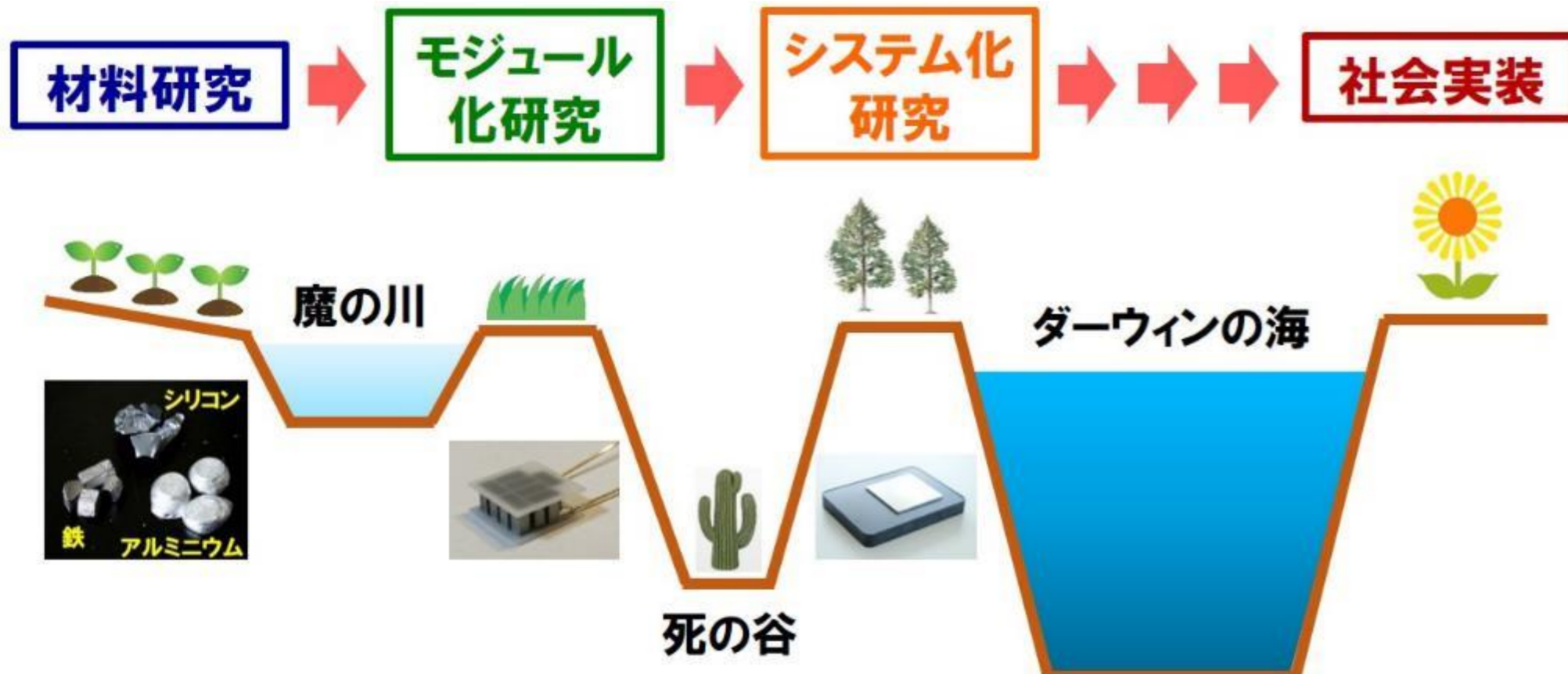
**FAST材の材料特性から予想される出力値に近い ⇒ 高い接合技術.**



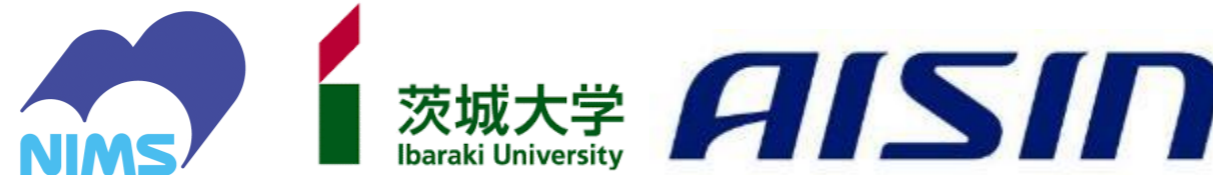
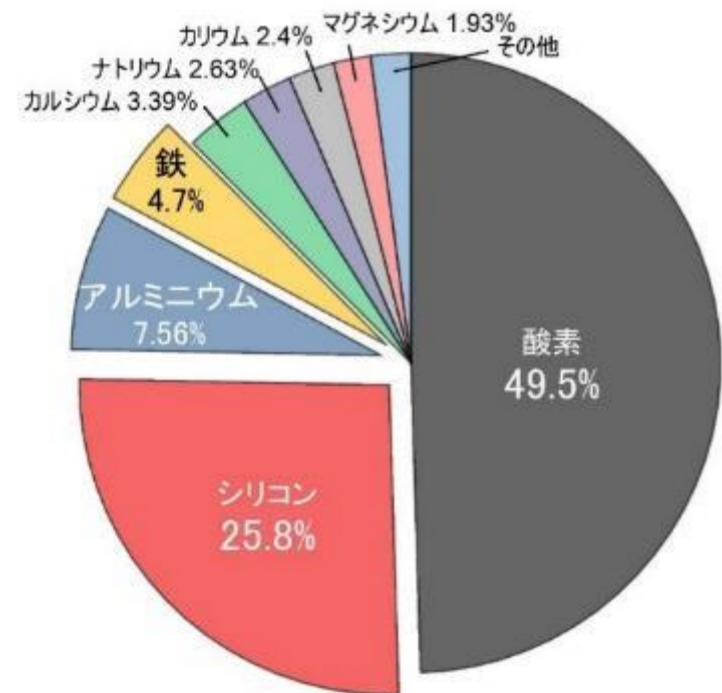


**セラミックス基板のモジュールと比較し、樹脂基板のモジュールは8割程度の出力特性。**





地殻存在量



Fe-Al-Si Thermoelectric (FAST) Materials

国際特許出願：高際良樹, PCT/JP2018/032031  
 商標登録出願：FAST.Energy, 商願2019-143840

社会実装に向けて、アプリケーション・実証に関して、連携を求めています。

NEDO先導研究/新産業創出新技術先導研究プログラム/次世代交通システムを支える基盤自立電源の開発(2021年度-)