

希少元素を含まない IoTセンサ用温度差発電モジュール

国立研究開発法人物質・材料研究機構

エネルギー・環境材料研究拠点

熱電材料グループ

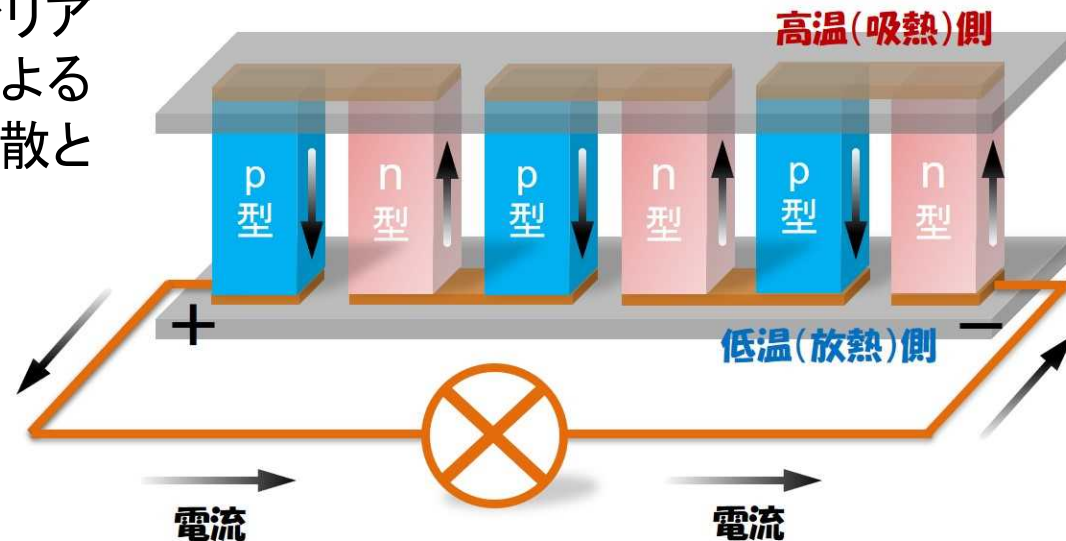
主任研究員 高際 良樹

2019年6月25日

温度差を与えると、高温部から低温部へキャリアが拡散する。これに伴い、電場が生じ、熱による拡散方向とは逆向きに力を受け、熱による拡散と電場による力が釣り合い、平衡状態になる。

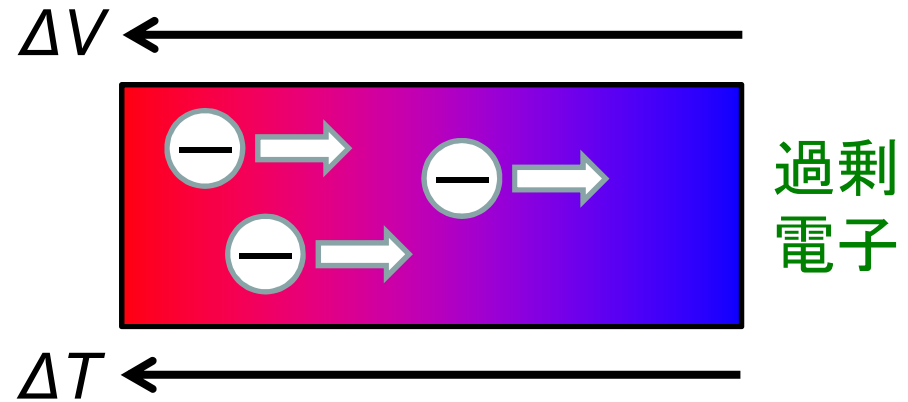
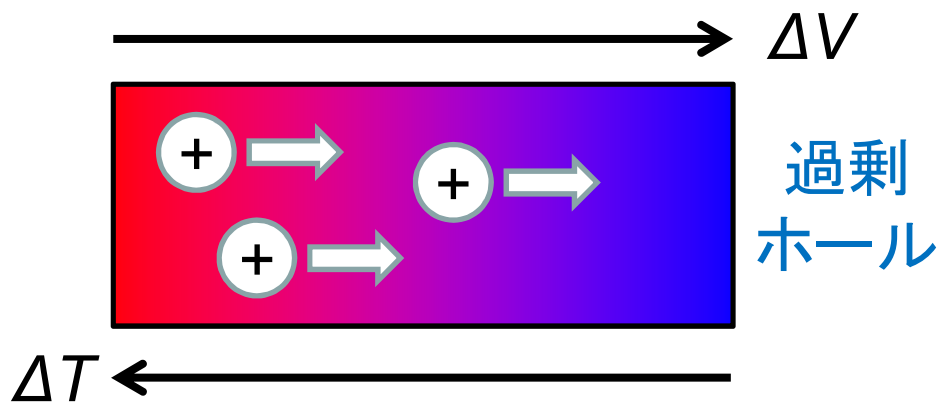
熱起電力 熱電能/ゼーベック係数

$$\Delta V = -S \Delta T$$



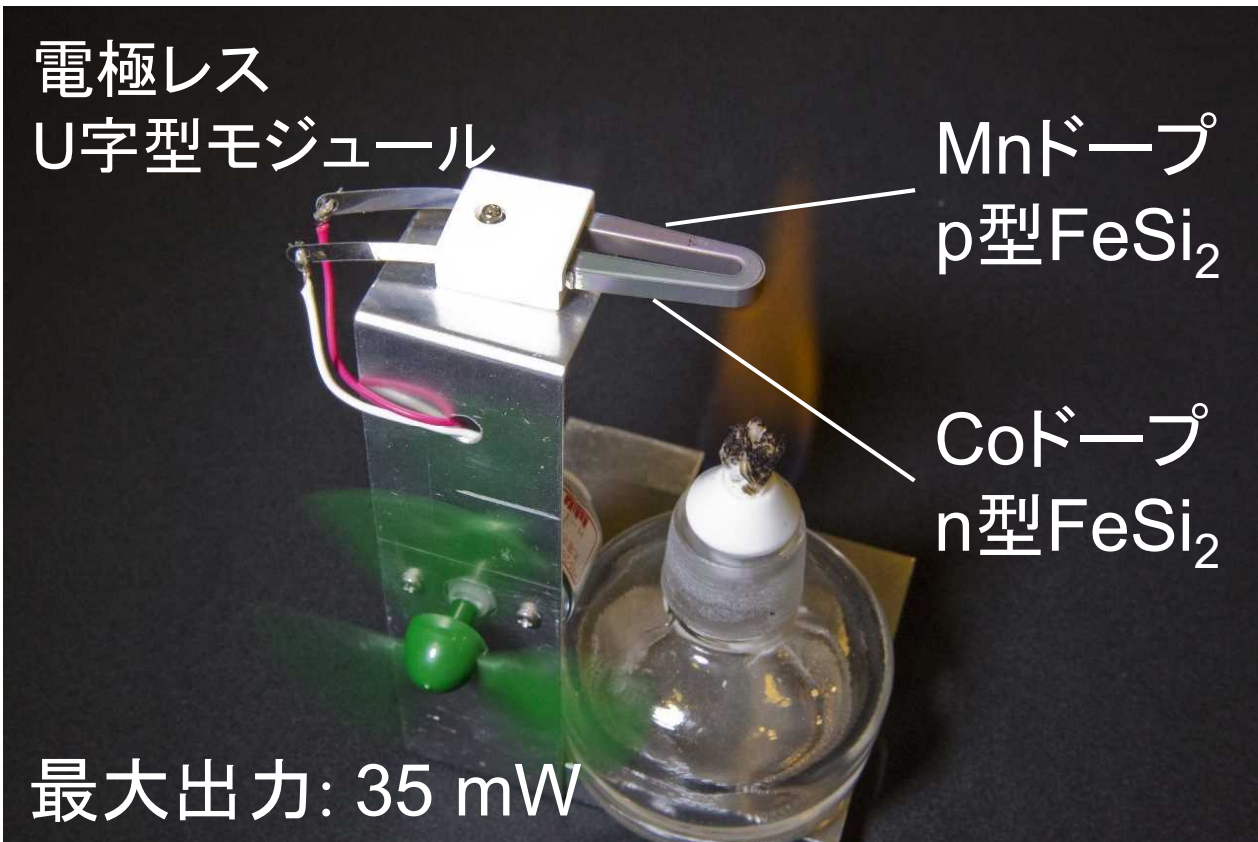
p型 (キャリア: ホール)

n型 (キャリア: 電子)



S の符号：
正

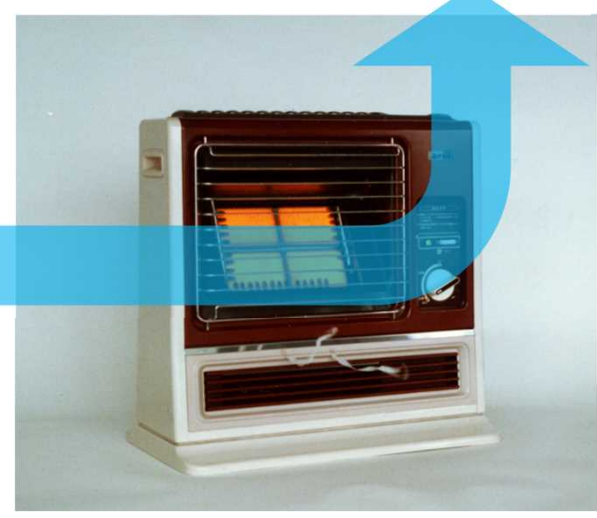
S の符号：
負



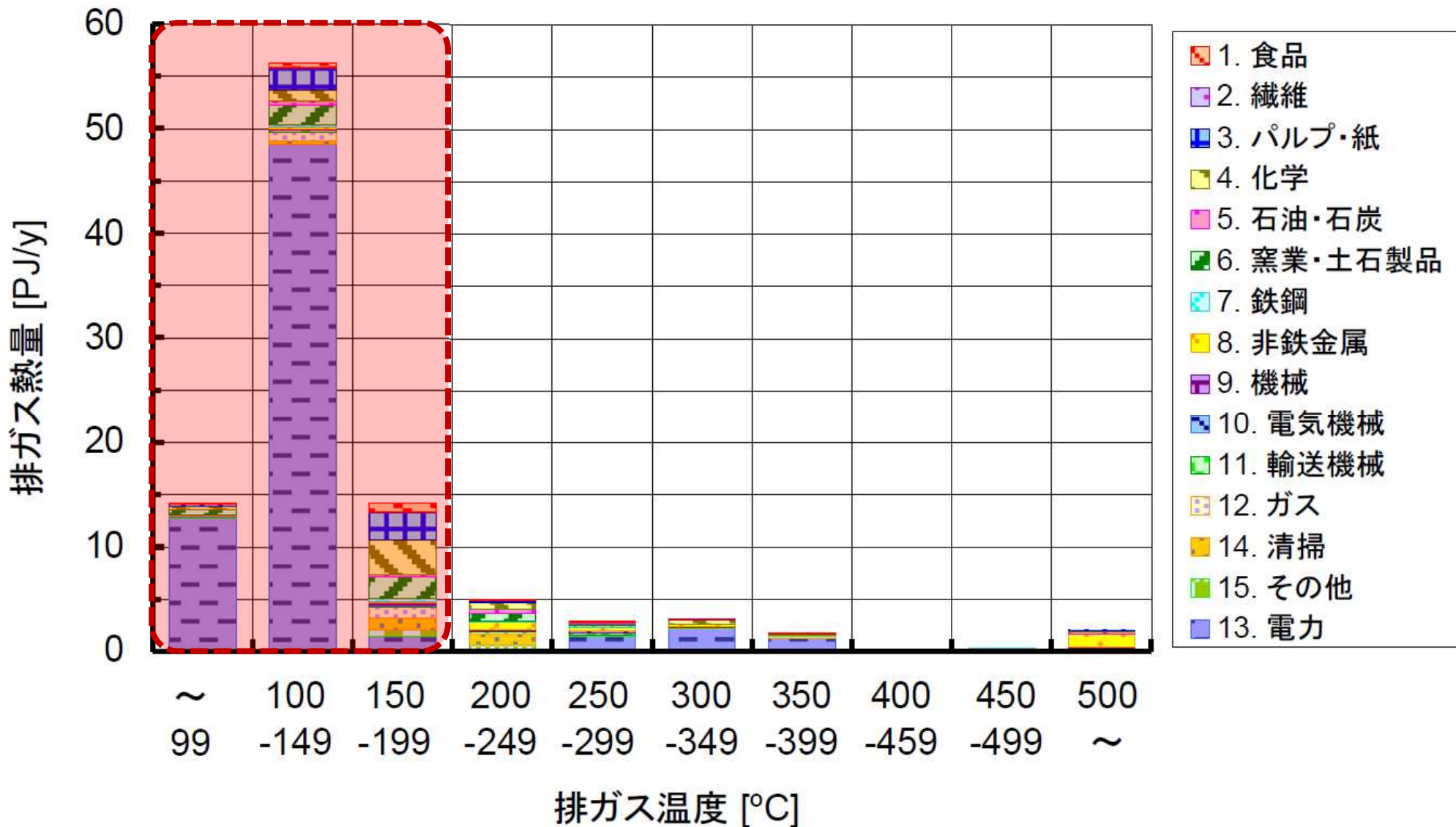
中温以上



ろうそく
ラジオ



コードレス
ファンヒータ



出典:「産業分野の排熱実態調査」, 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合 技術開発センター。

アプリケーション 1

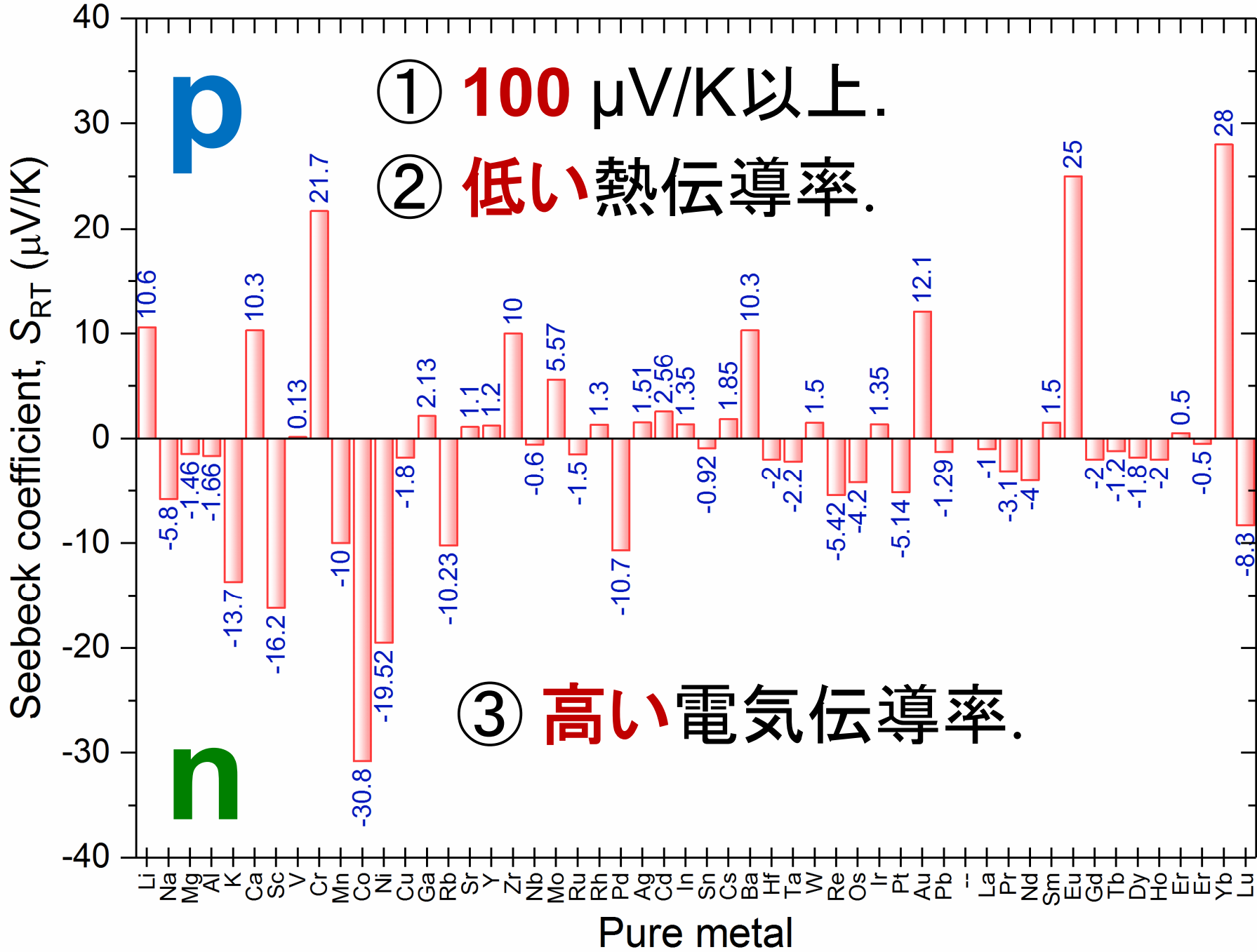
- ▶▶ センサ用 **小型自立電源**
- ▶▶ 温度域: 室温 ~ 200°C ($\Delta T < 5K$)
- ▶▶ 出力性能: 100 $\mu W/cm^2$ 以上

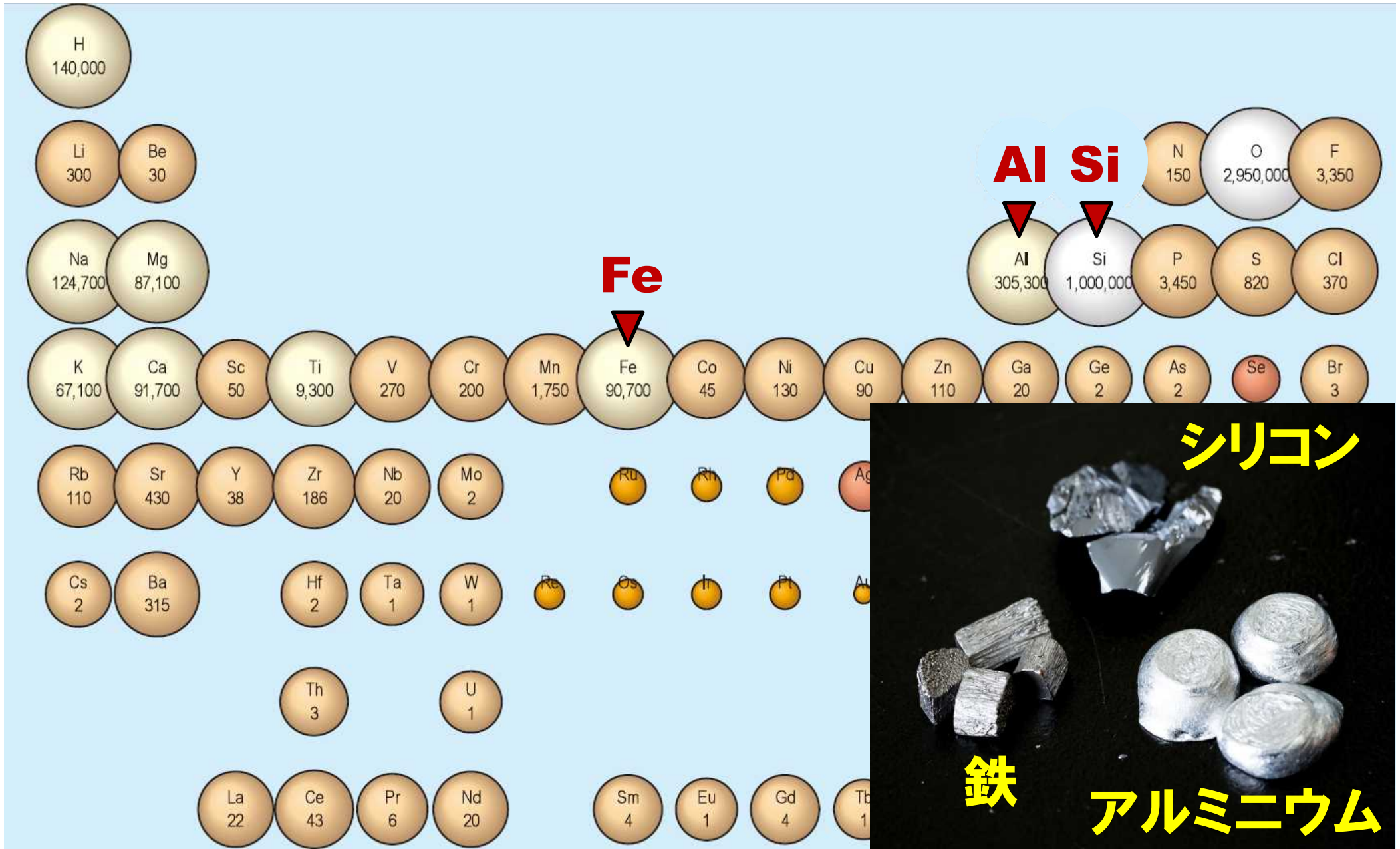
アプリケーション 2

- ▶▶ **排熱回収用システム**
- ▶▶ 温度域: 200°C 以上 ($\Delta T > 10K$)
- ▶▶ 出力性能: 数百 mW/cm^2 以上

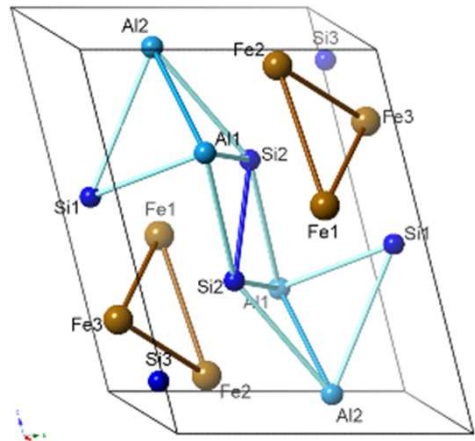
解決すべき課題

- ① **希少元素**や**毒性元素**を避ける
- ② (長期使用に耐えうる) **化学的・熱的安定性**
- ③ (長期使用に耐えうる) **機械特性**
- ④ (長期使用に耐えうる) **電極接合技術**

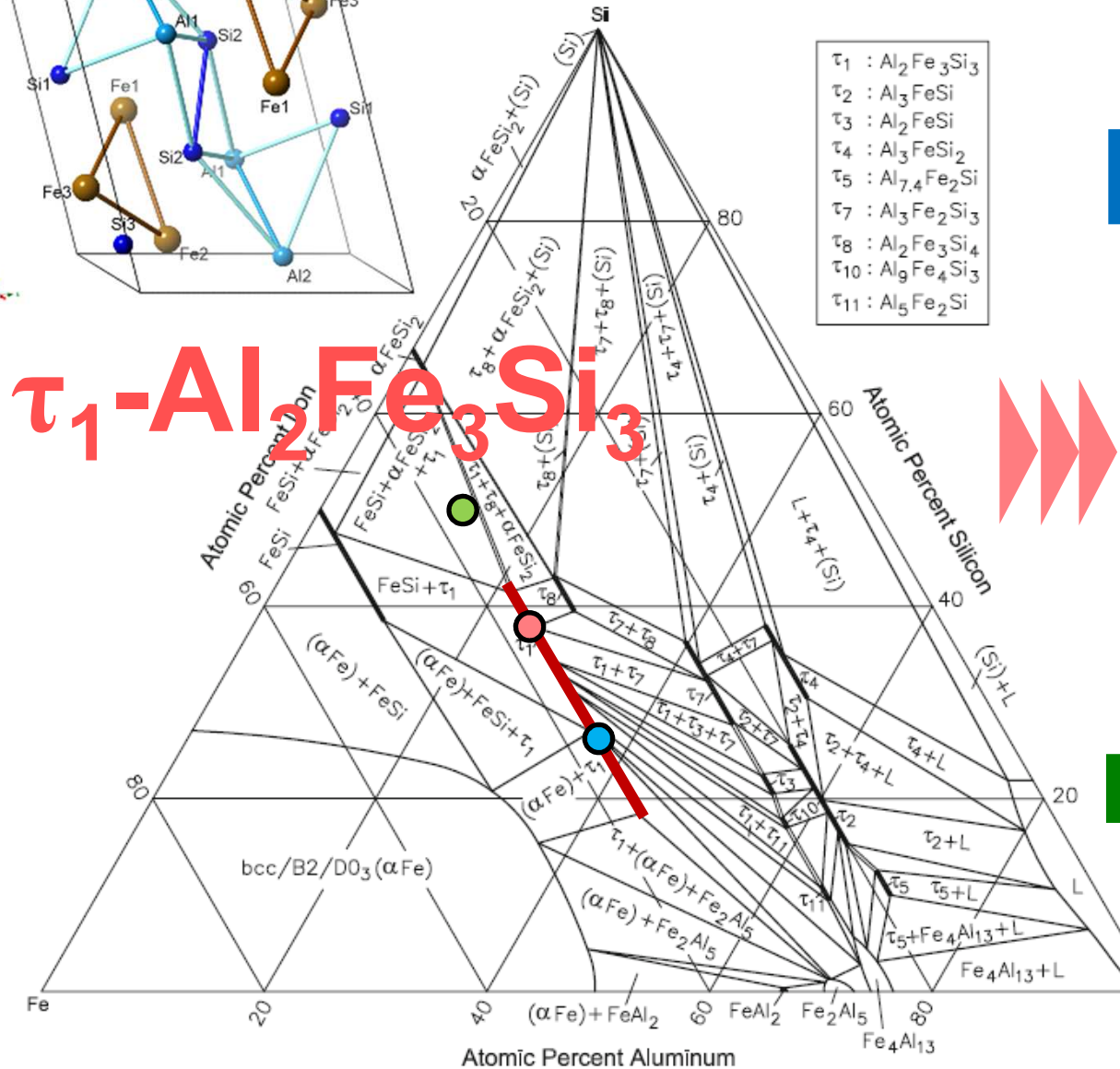




出典: 元素戦略アウトルック「材料と全面代替戦略」, 物質・材料研究機構.



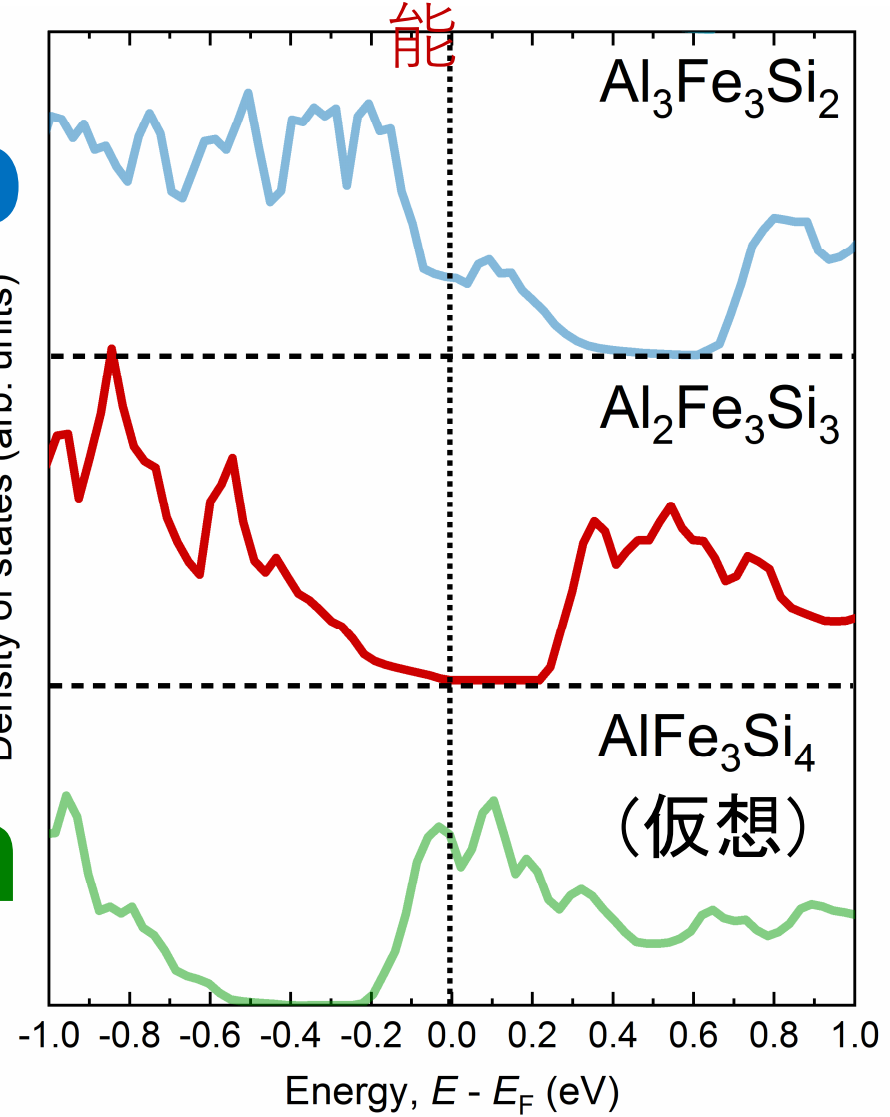
τ_1 -Al₂Fe₃Si₃



組成制御のみでpn制御が可能

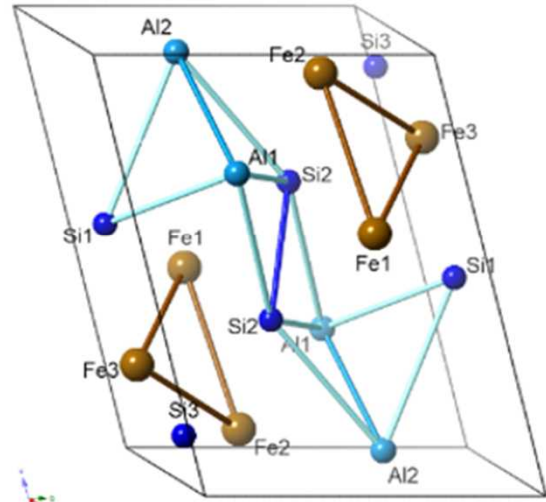
p

n



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

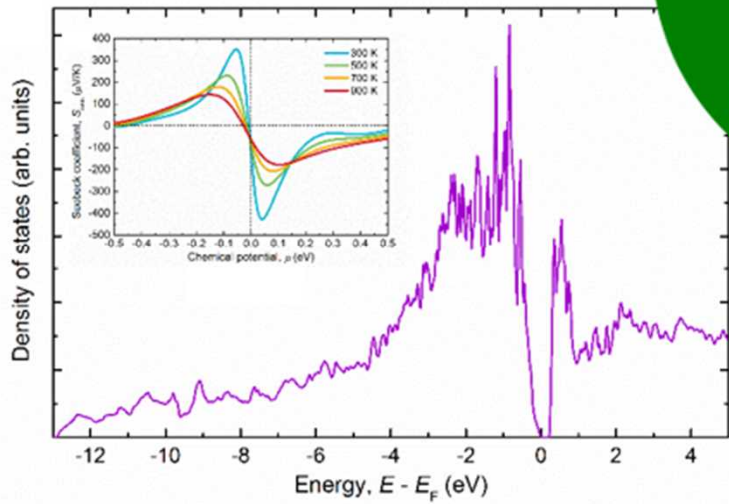
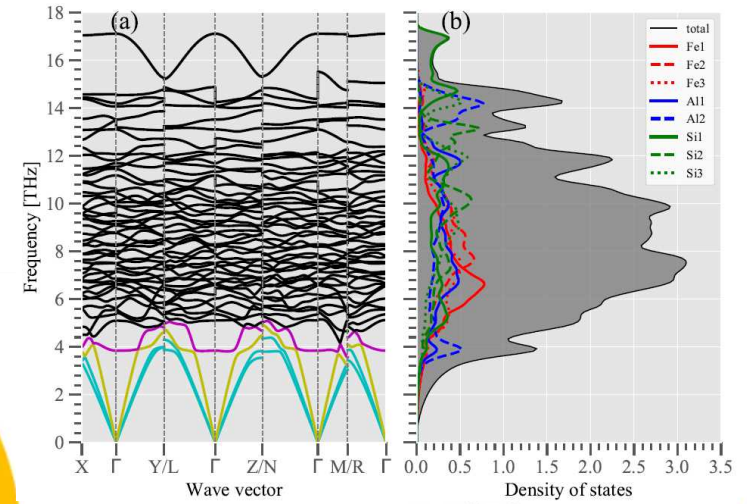
M.C.J. Maker *et al.*, *Intermetallics* (2011).



● Al/Si
● Fe

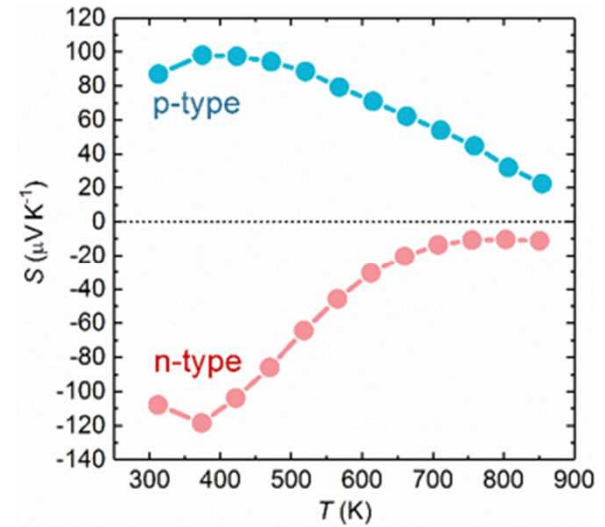
結晶
構造

フォノン
分散

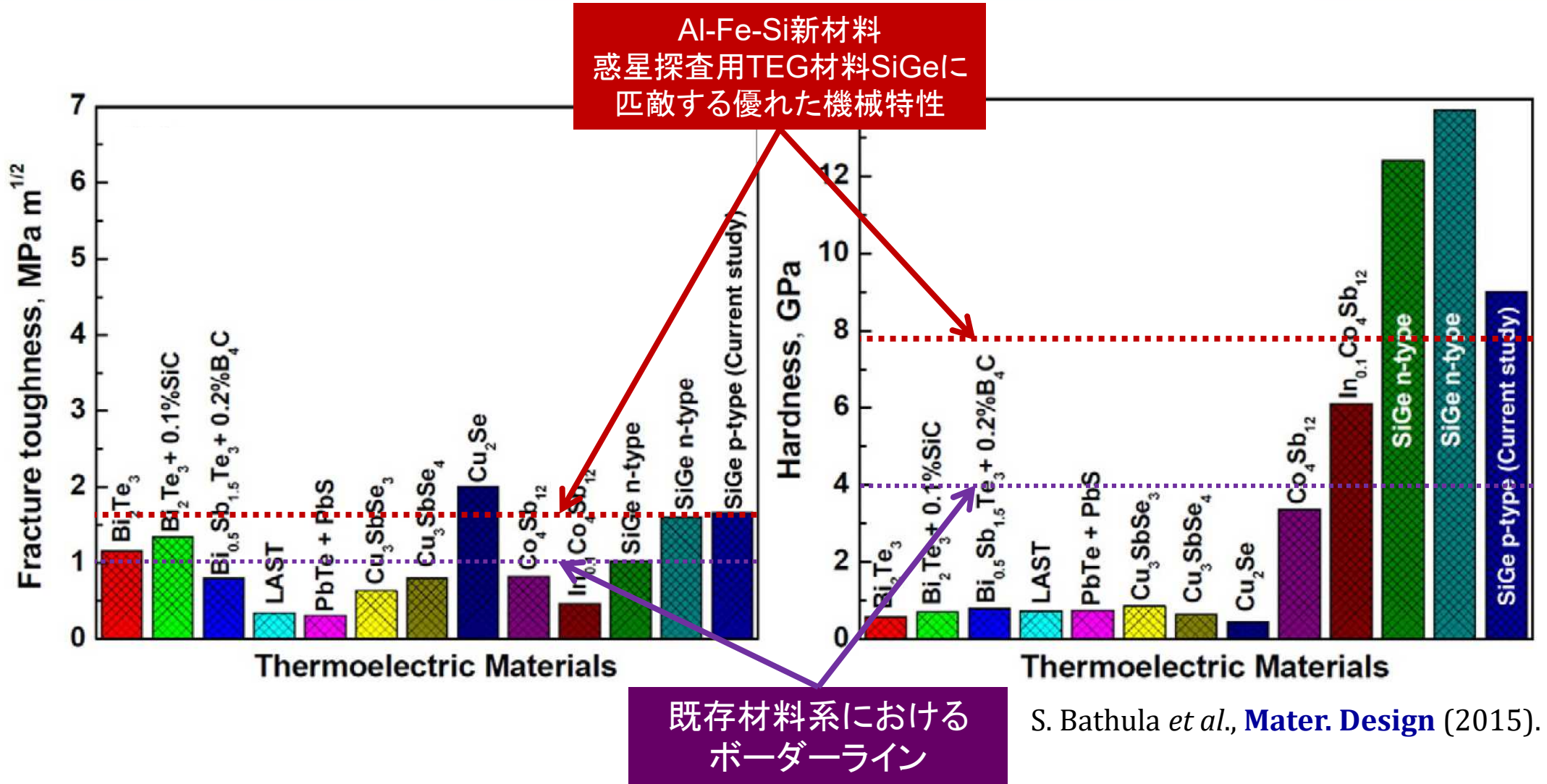


電子
状態

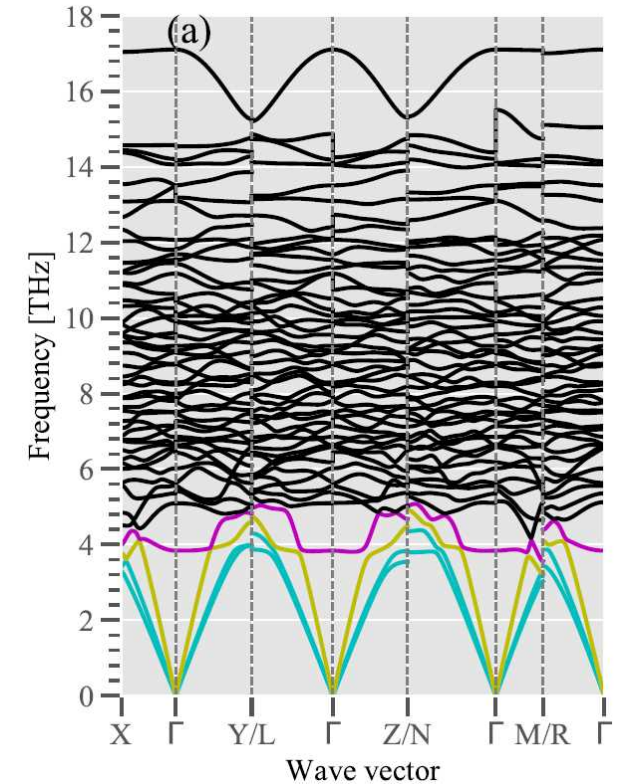
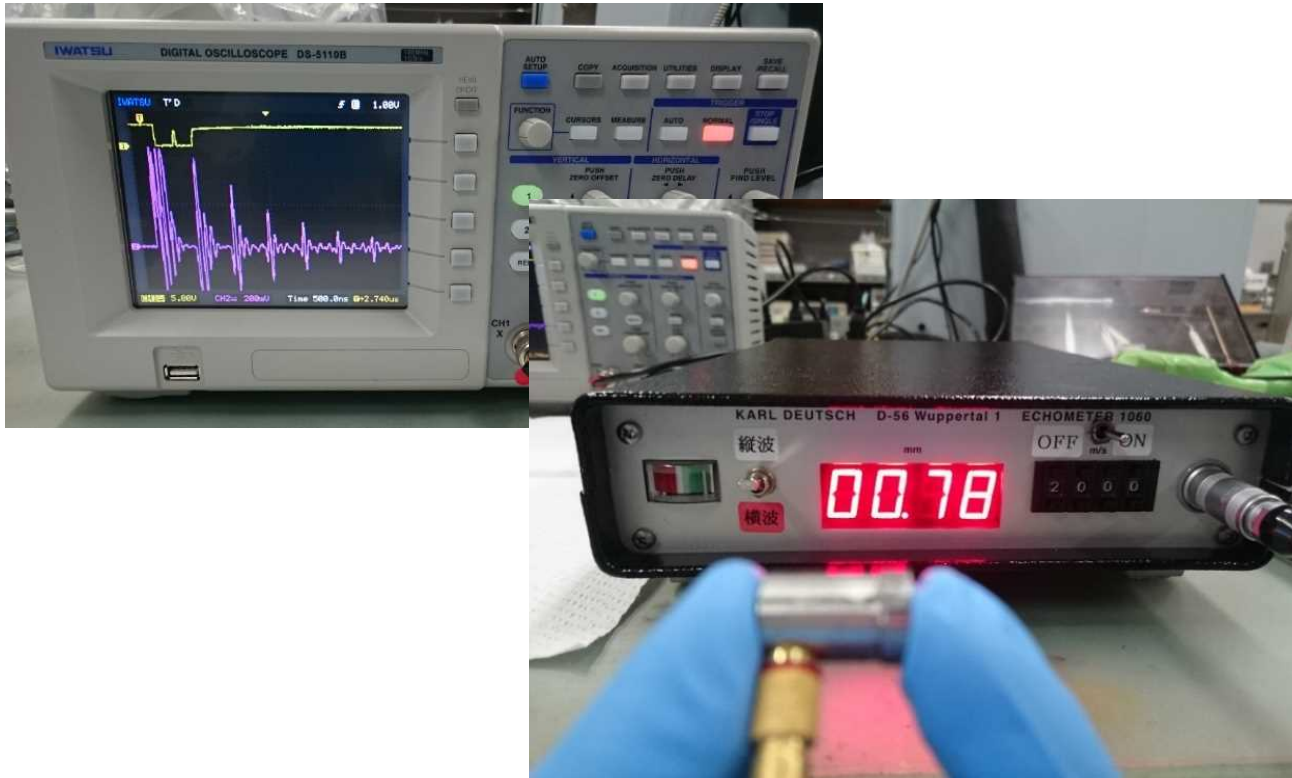
実験



J. Therm. Anal. Calorim. (2018), J. Phys. Chem. Solids (2018), ACS Appl. Mater. Interfaces (2019).

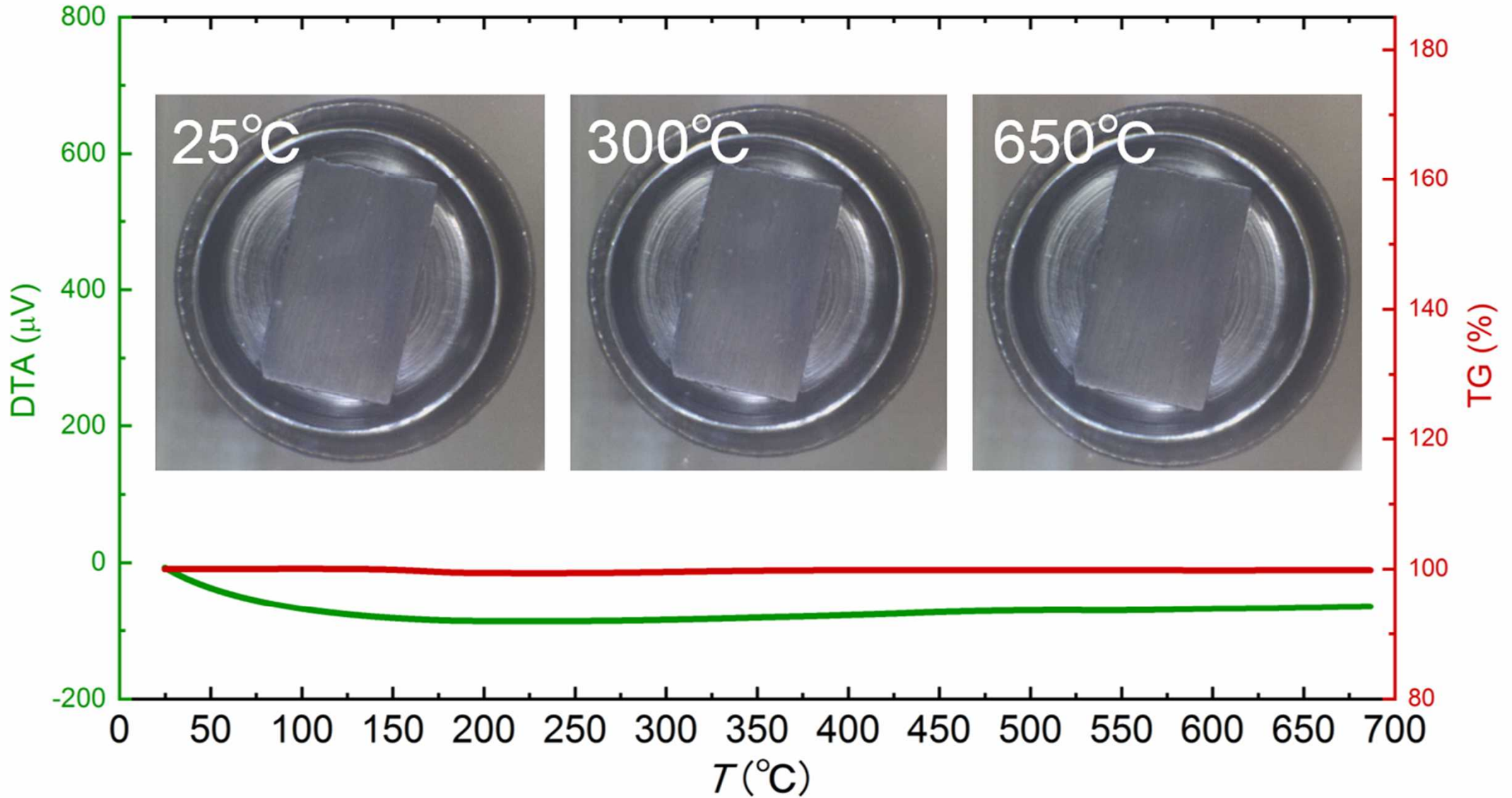


発電素子設計・耐久性の観点から、**機械特性を両立する必要がある。**



ACS Appl. Mater. Interfaces (2019).

$\text{Al}_2\text{Fe}_3\text{Si}_3$	縦波音速 (ms^{-1})	横波音速 (ms^{-1})	デバイ温度 (K)
計算	7980	4760	680
実験	7380	4360	620
$\text{Al}_2\text{Fe}_3\text{Si}_3$	体積弾性率 (GPa)	ヤング率 (GPa)	せん断弾性率 (GPa)
計算	173	286	117
実験	161	255	103



発電性能

Al/Si組成比の調整のみで、**pn制御が可能**.

- ① 室温から5°Cの温度差で70 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.
- ② 適用温度域を**中温域**へ拡張可.

資源性

酸素を除く、**クラーク数上位3位**の元素から構成.

- ① 資源性・コスト面で、既存材料(Bi-Te)を圧倒.
- ② リサイクル・再精製技術の構築も可能.

プロセス

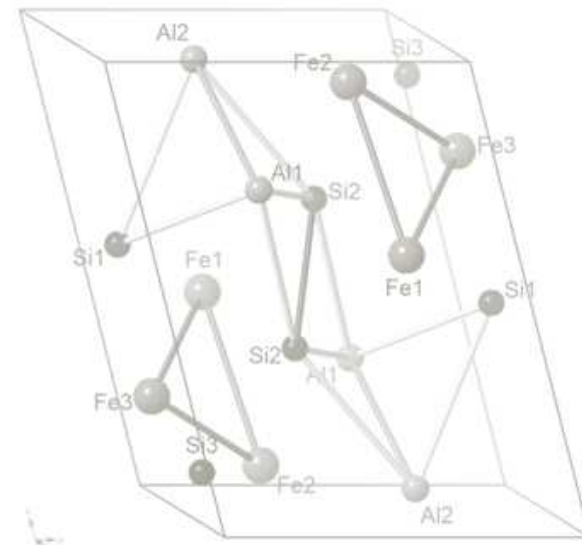
溶解のみで合成可能.

機械特性

宇宙利用されている**Si-Geと同程度**.

熱安定性

耐酸化性に優れ, 化学的に安定.



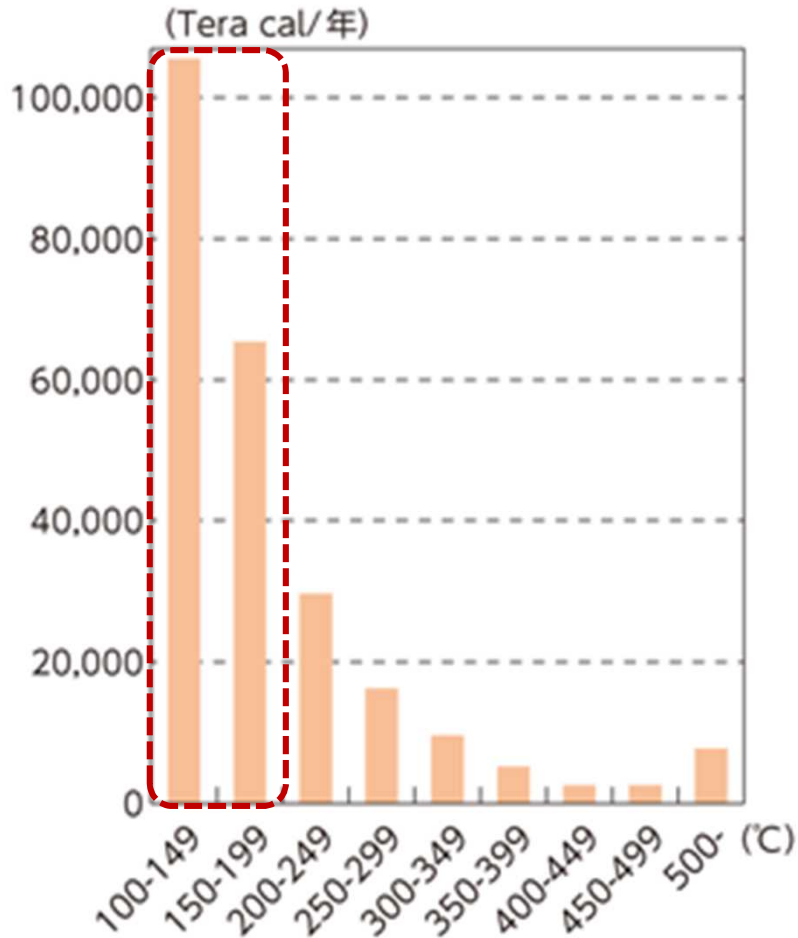
他の材料系との比較

W. Liu *et al.*, **Scripta Mater.** (2015).

温度域	材料	電気出力 因子	熱伝導率	資源性・毒性	熱安定性	硬さ (GPa)	破壊靱性値 (MPa m ^{0.5})	昇華速度 (g cm ⁻² h ⁻¹)	モジュール 化技術
 低 高	Al-Fe-Si	↑(最適化)	↓(最適化)	◎	◎	>8	>1.5	-	-
	Bi ₂ Te ₃	◎	◎	△	○	0.62	1.1	-	市販
	PbTe	◎	◎	×	×	0.4	0.35	9.4*10 ⁻²	試作
	PbSe	○	◎	×	△	0.57	-	-	試作
	Skutterudite	◎	○	△	△	3.5	0.8	5.2*10 ⁻³	試作
	Mg ₂ Si	○	○	◎	△	5.3	1.3	-	試作
	Si-Ge	○	△	○	◎	14.5	1.0	4.8*10 ⁻⁵	宇宙利用

✗ 蒸気圧の高い元素: Pb, Ge, Te, Sb, Sn... ←

産業部門における排熱分布



出典:

<https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/zu/h27/html/hj15010302.html>

研究成果のポイント

200°C以下の分散型排熱の高度・広範利用に向け、**無害かつ低コスト**の元素から構成される、**温度差発電材料の創製に成功**。

今後の研究展開

IoT用センサ自立電源や排熱回収用システムの社会実装に向け、**環境低負荷・耐久性に優れる小型の温度差発電デバイスを開発**。

共同研究のポイント

具体的なシステム・アプリケーションの創出。

- 発明の名称 : 熱電材料、その製造方法
およびそれを用いた熱電発電モジュール
- 出願番号 : PCT/JP2018/032031
- 出願人 : 国立研究開発法人
物質・材料研究機構
- 発明者 : 高際 良樹

国立研究開発法人物質・材料研究機構 外部連携部門 企業連携室

企業様向け総合窓口HP（スマホ対応）

<https://technology-transfer.nims.go.jp/>



企業様向けの総合窓口です。各種お問い合わせ・ご相談などお気軽にご連絡ください。



基礎研究を社会へつなげる

こちらは、企業様向けの総合窓口です。
NIMSは技術相談、共同研究、装置利用など、
企業様の多様なご要望に対応しております。



- 技術相談**
研究者からアドバイスが欲しい
- 試料貸与**
NIMSの研究試料（サンプル）を
評価してみたい
- 装置利用**
NIMSの持つ最先端設備を使って
評価・分析を行いたい
- 実施許諾**
特許やノウハウをライセンスしてほしい
- 共同研究**
NIMSの研究者と一緒に研究がしたい
- その他**