

ユビキタス熱電素子の創製

-IoT社会・低炭素社会に貢献できる革新的温度差発電材料の開発-

(国研) 物質・材料研究機構

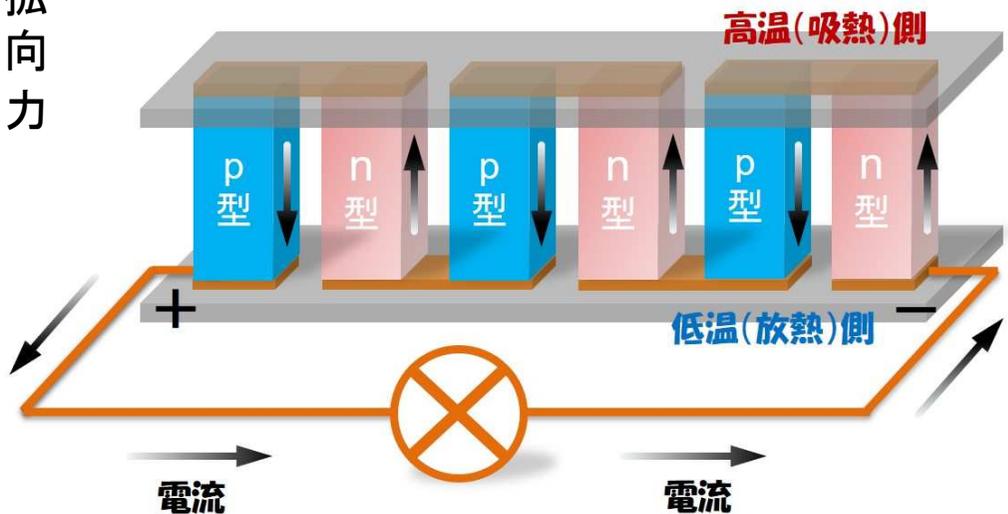
高際 良樹

温度差(熱電)発電材料

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。

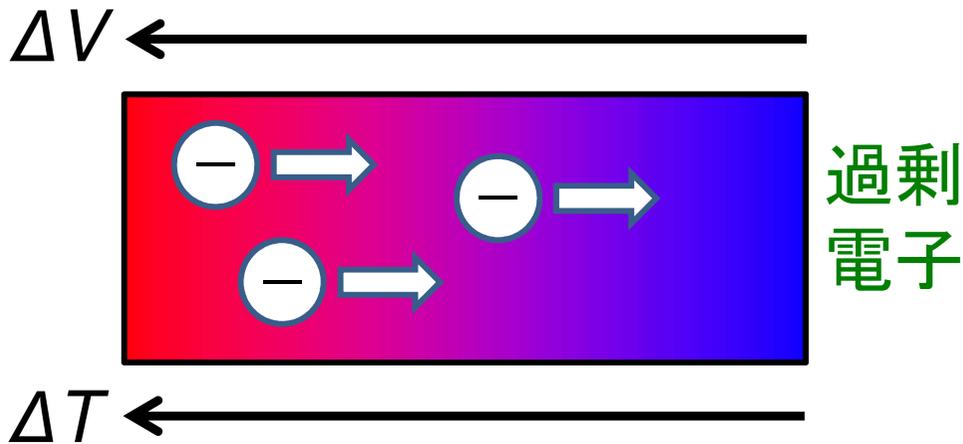
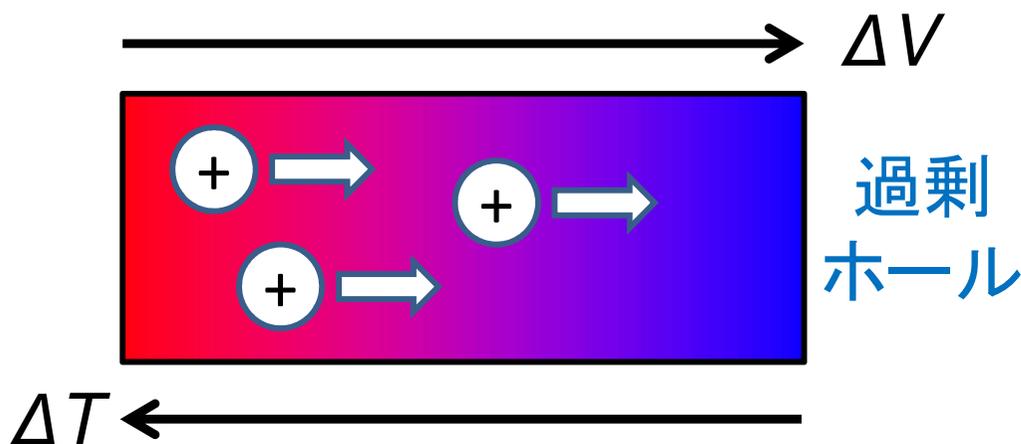
熱起電力 熱電能/ゼーベック係数

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



p型 (キャリア: ホール)

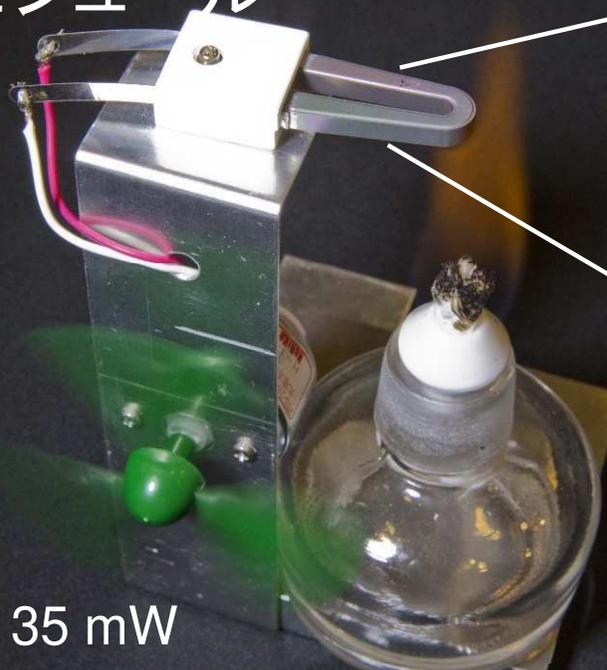
n型 (キャリア: 電子)



Sの符号: 正

Sの符号: 負

電極レス
U字型モジュール



Mnドーピング
p型素子

Coドーピング
n型素子

最大出力: 35 mW



低温排熱
の利用

中温以上



ろうそく
ラジオ



コードレス
ファンヒータ

アプリケーション 1

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

アプリケーション 2

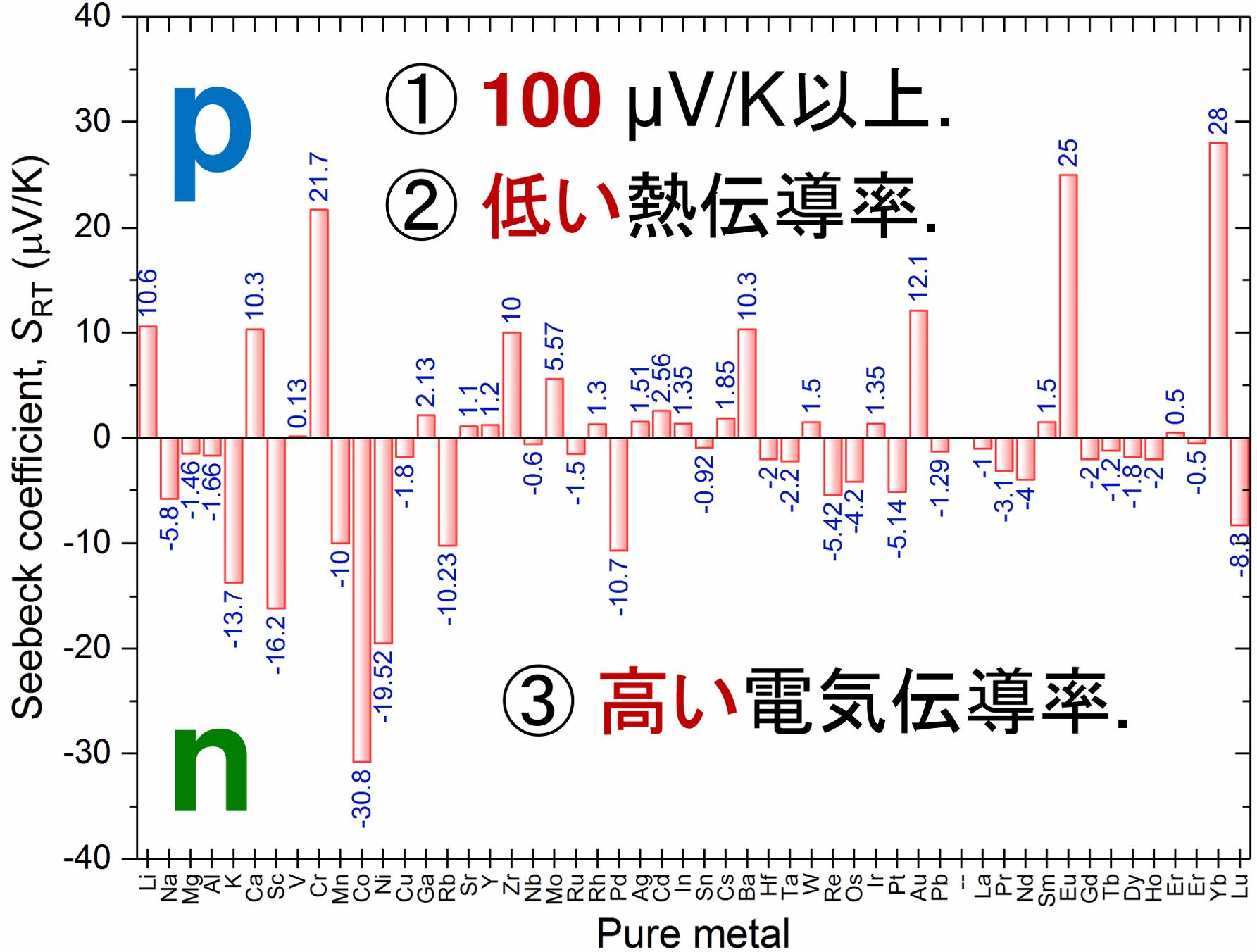
- ▶▶ **排熱回収用システム**
- ▶▶ 温度域: 100°C 以上 ($\Delta T > 10K$)
- ▶▶ 出力性能: 数百 mW/cm^2 以上

解決すべき課題

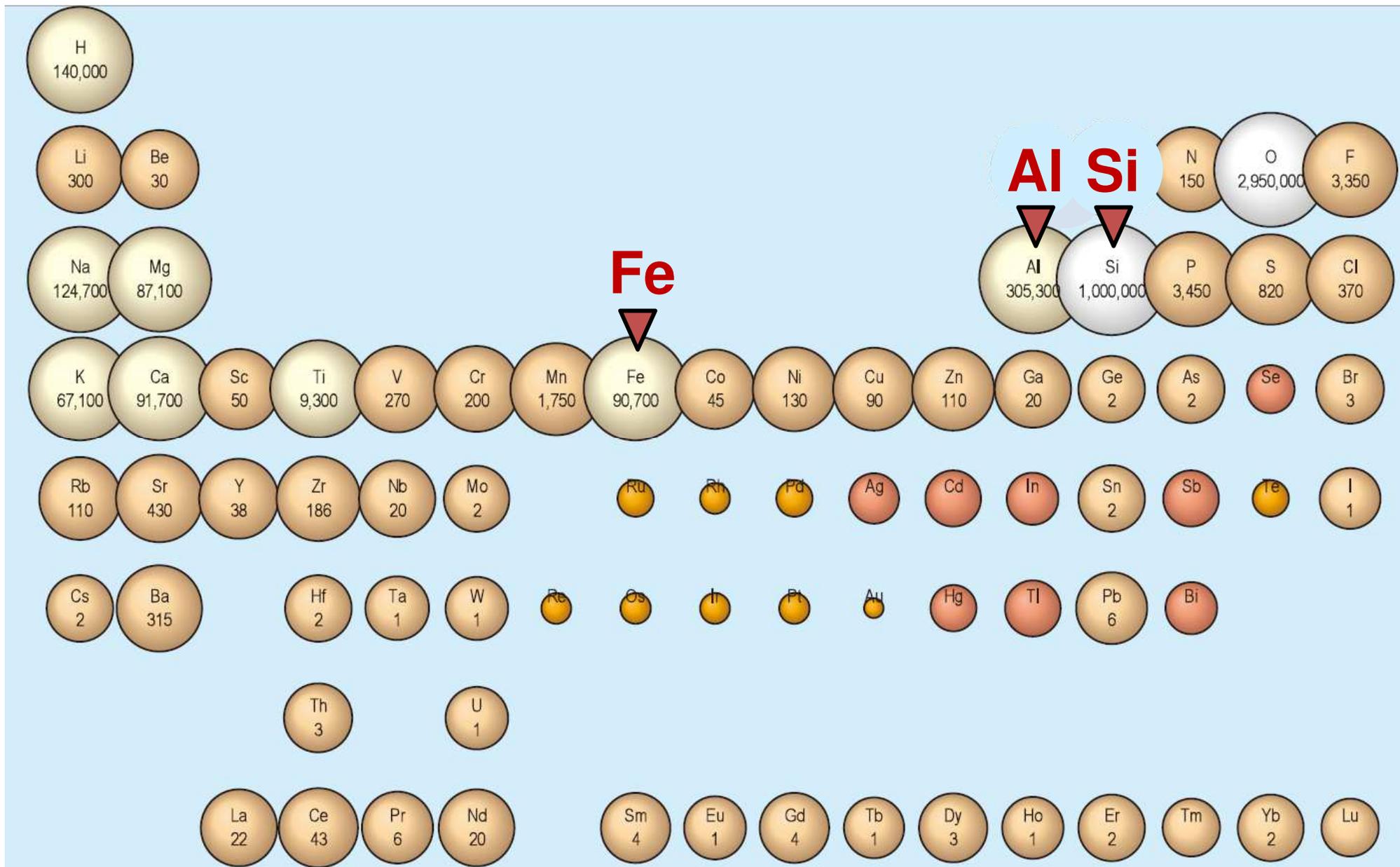
- ① **希少元素**や**毒性元素**を避ける
- ② (長期使用に耐えうる) **化学的・熱的安定性**
- ③ (長期使用に耐えうる) **機械特性**
- ④ (長期使用に耐えうる) **電極接合技術**

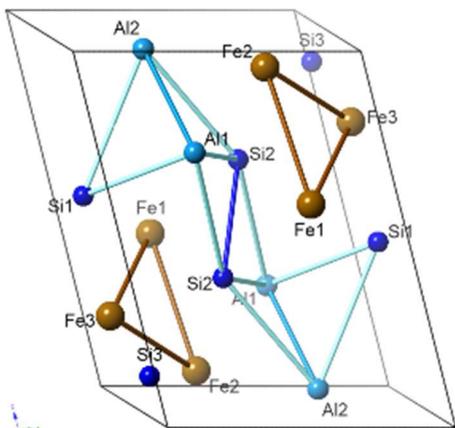
研究成果のポイント

- ①②③を同時に満たす革新的新規材料の開発



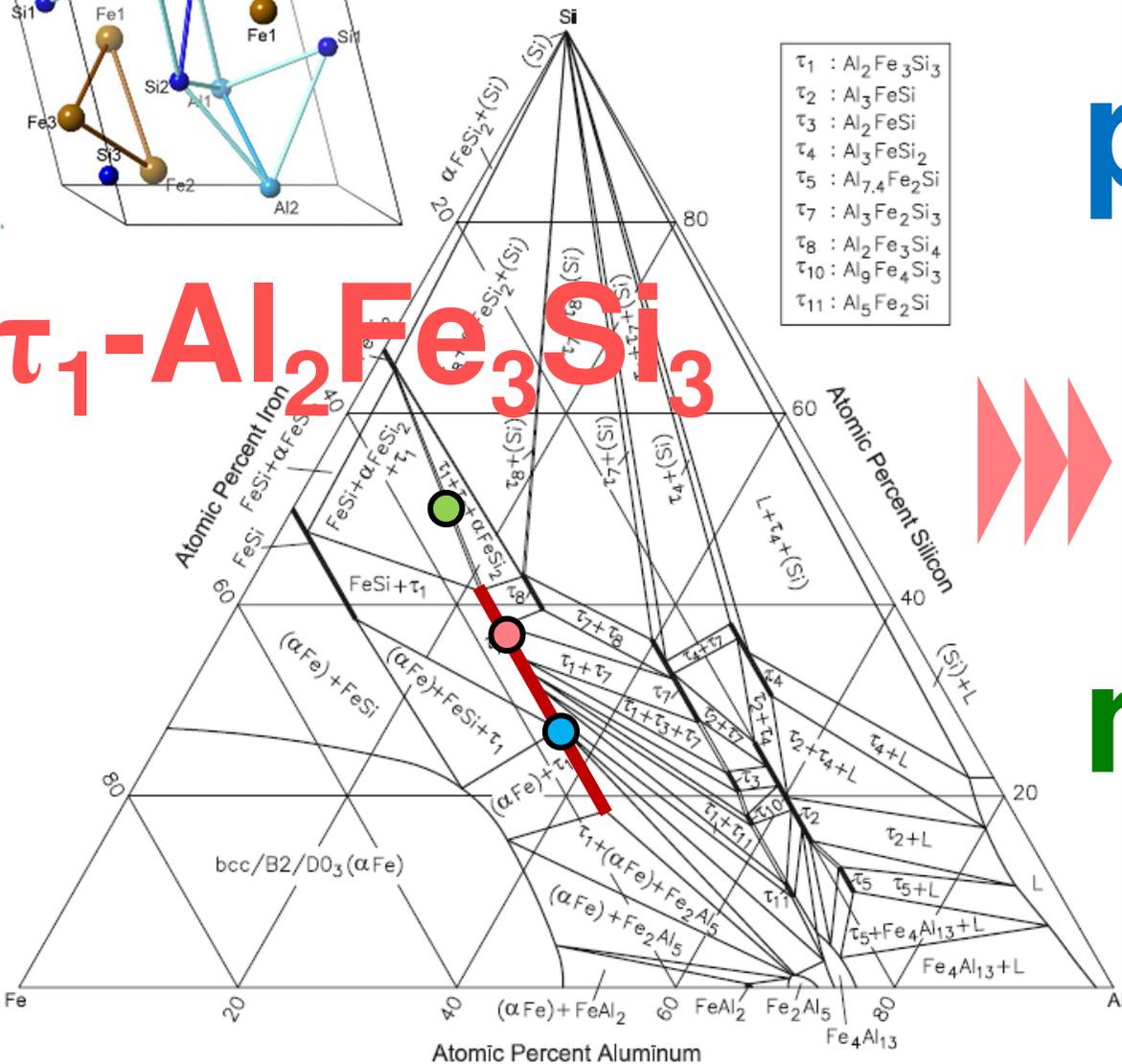
地殻存在量





τ_1 -Al₂Fe₃Si₃

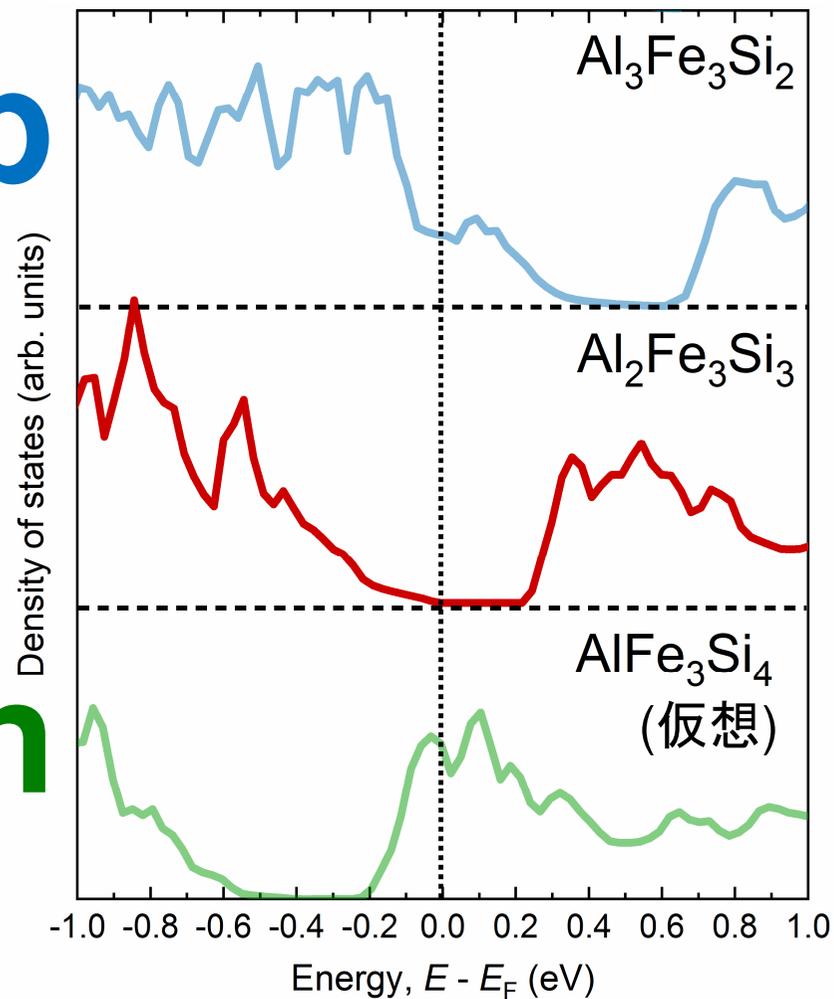
- τ_1 : Al₂Fe₃Si₃
- τ_2 : Al₃FeSi
- τ_3 : Al₂FeSi
- τ_4 : Al₃FeSi₂
- τ_5 : Al_{7.4}Fe₂Si
- τ_7 : Al₃Fe₂Si₃
- τ_8 : Al₂Fe₃Si₄
- τ_{10} : Al₉Fe₄Si₃
- τ_{11} : Al₅Fe₂Si



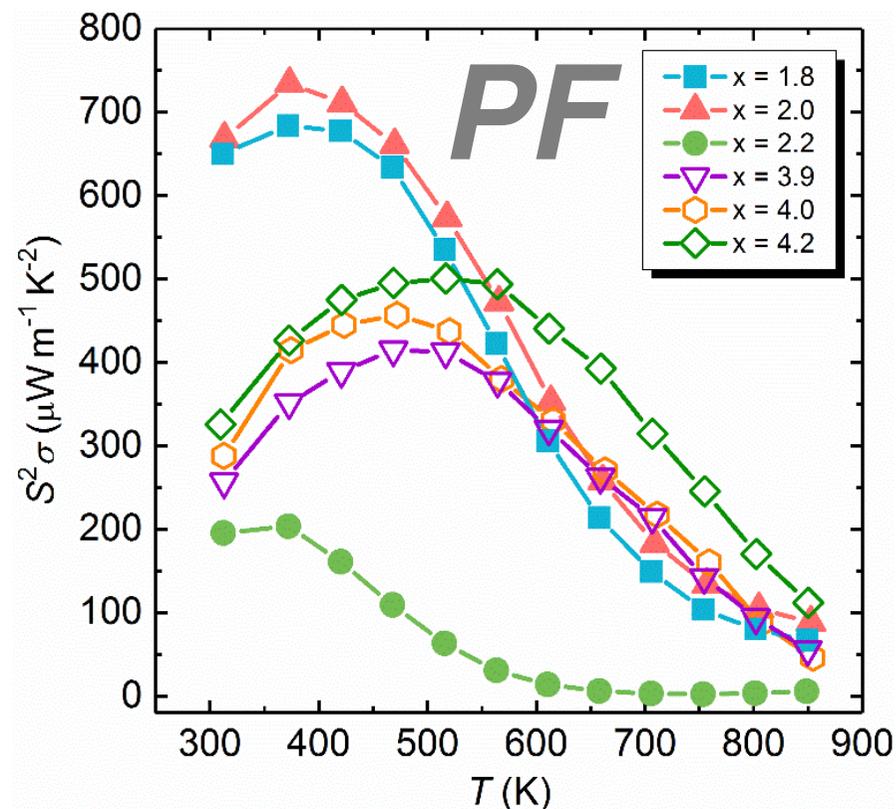
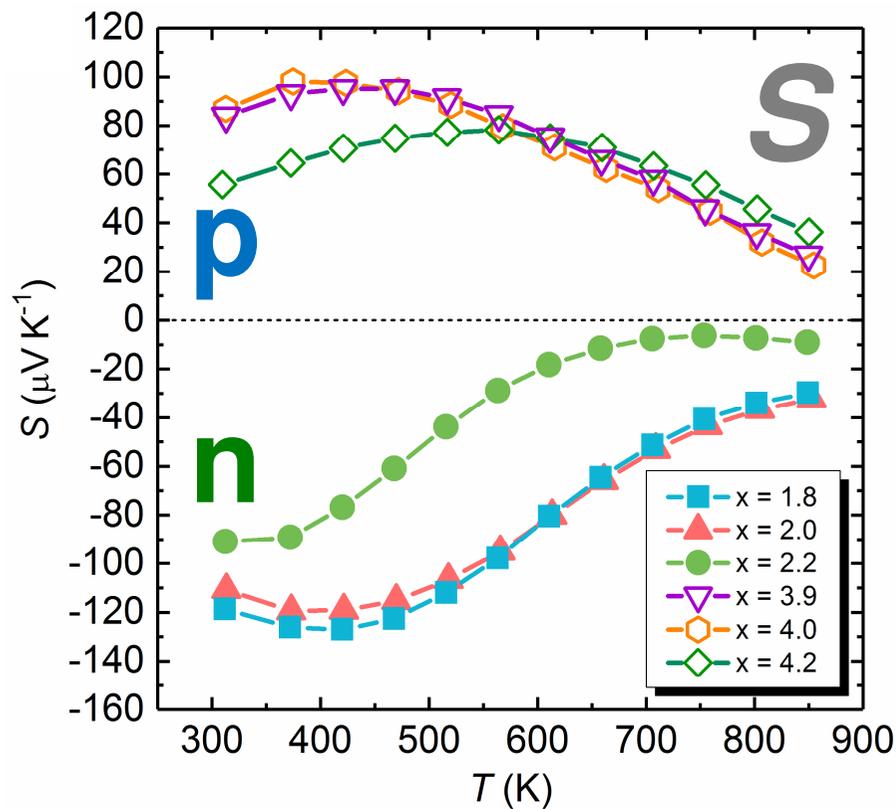
組成制御のみで
pn制御が可能

p

n



Y. Takagiwa *et al.*, *J. Therm. Anal. Calorim.* (2018).

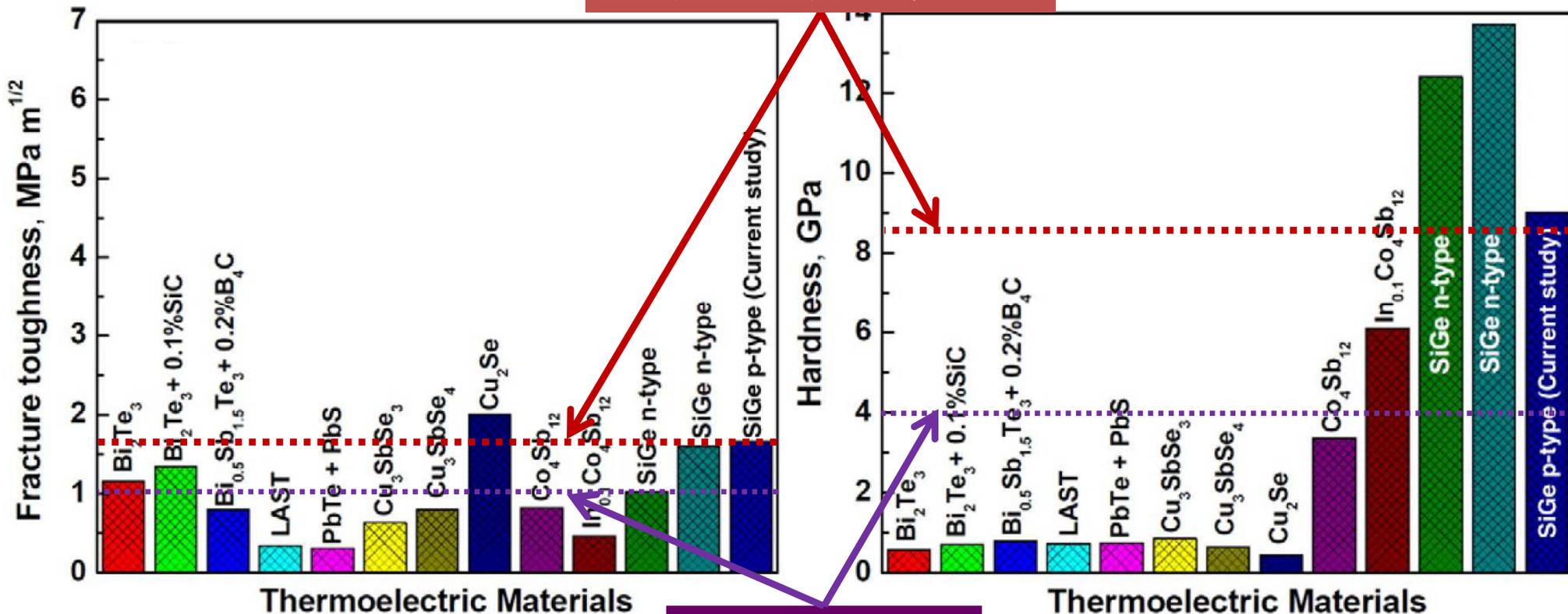


高際良樹, 特願2017-166286, PCT/JP2018/032031.

Y. Takagiwa *et al.*, *J. Phys. Chem. Solids* (2018).

▶▶▶ IoT用センサーに電力供給できるポテンシャル

Al-Fe-Si新材料
惑星探査用材料SiGeに
匹敵する優れた機械特性



既存材料系における
ボーダーライン

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。

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**での利用が可能.
- 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.

プロセス

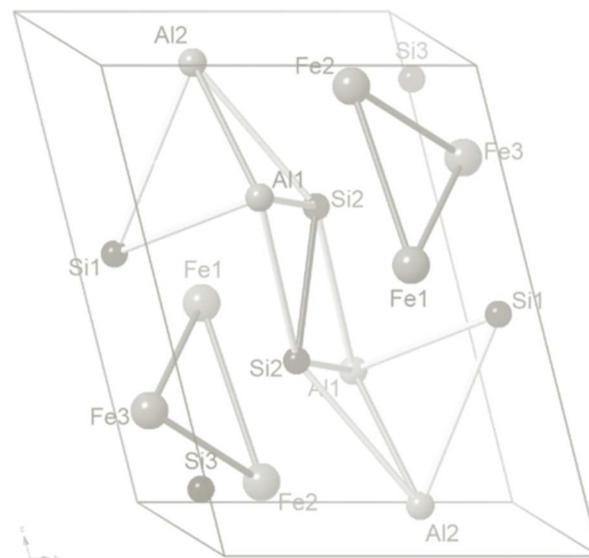
熱処理不要プロセス. **溶解のみ**で合成可能.

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, **化学的安定性が高い**.



高際良樹, 特願2017-166286, PCT/JP2018/032031.
 Y. Takagiwa *et al.*, *J. Therm. Anal. Calorim.* (2018).
 Y. Takagiwa *et al.*, *J. Phys. Chem. Solids* (2018).

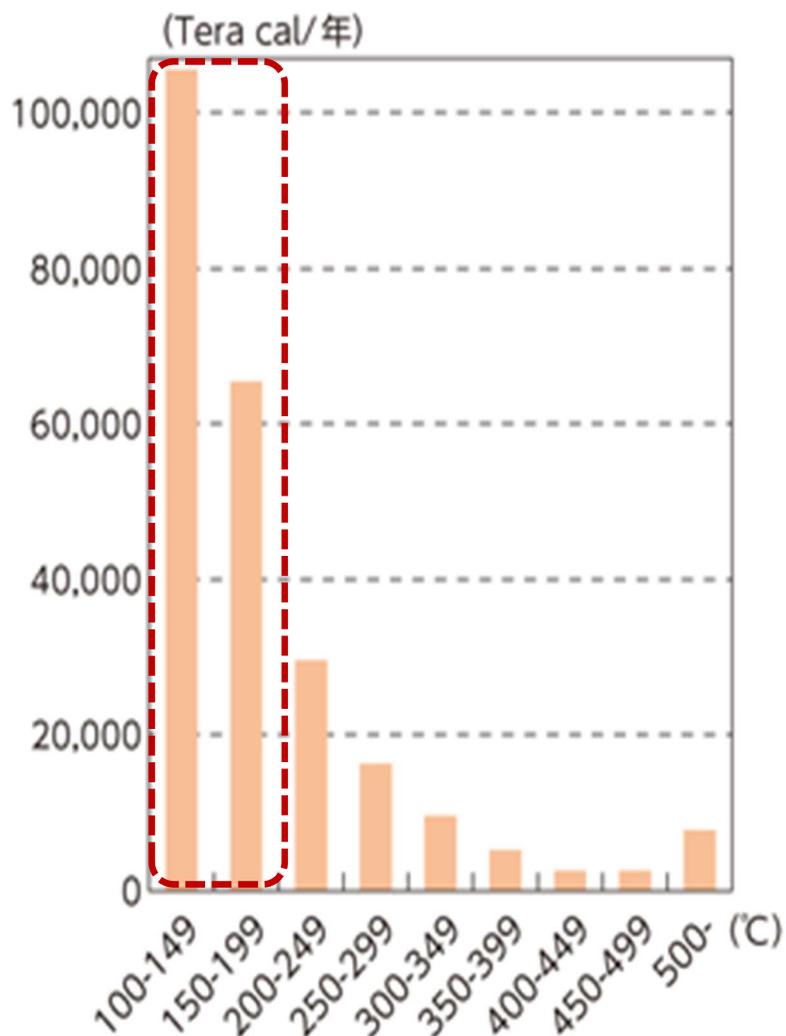
他の材料系との比較

S. Bathula *et al.*, *Mater. Design* (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	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
高	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用センサー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温度差発電デバイス**を産官学の研究体制にて開発

普及へのポイント

具体的な**システム・アプリケーションの創出**