



土壌粘土鉱物を活用した 革新的なエネルギー変換材料の創製

令和6年11月21日

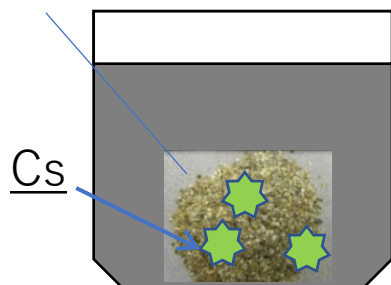
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
原子力科学研究所 物質科学研究センター

マネージャー 本田 充紀

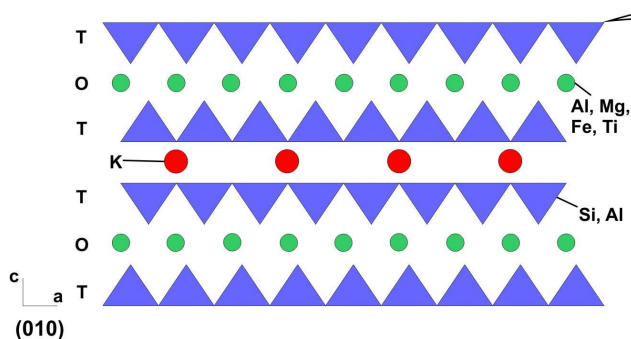


“減容”と“再資源化”に関する研究開発

放射性セシウム(Cs)が吸着した
土壤粘土鉱物（風化黒雲母）

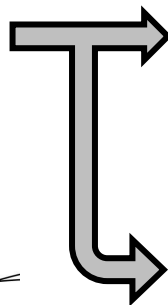


[風化黒雲母]

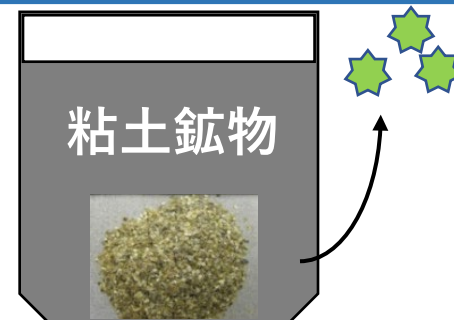


Deer *et al.* (1992).

[溶融塩法]



Cs除去(減容)に関する研究



M. Honda, *et. al.*, ACS Omega, 2(2), 721, (2017), ACS Omega, 2(12), 8678(2017)

再資源化に向けた研究

種々の鉱物

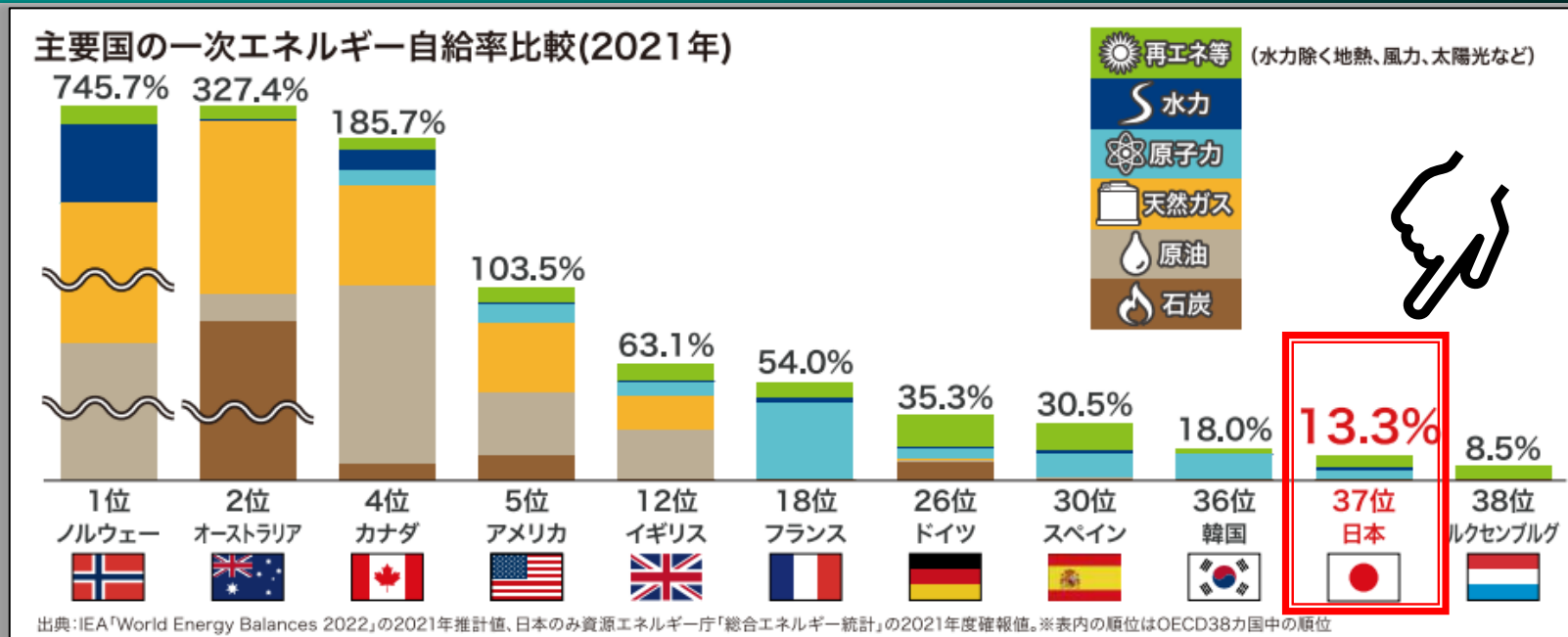


普通輝石
赤鉄鉱
和田石 など

M. Honda, *et. al.*, AIP advances, 13, 015314(2023), AIP advances, 14, 055034,(2024)

土壤粘土鉱物を活用したエネルギー変換材料開発

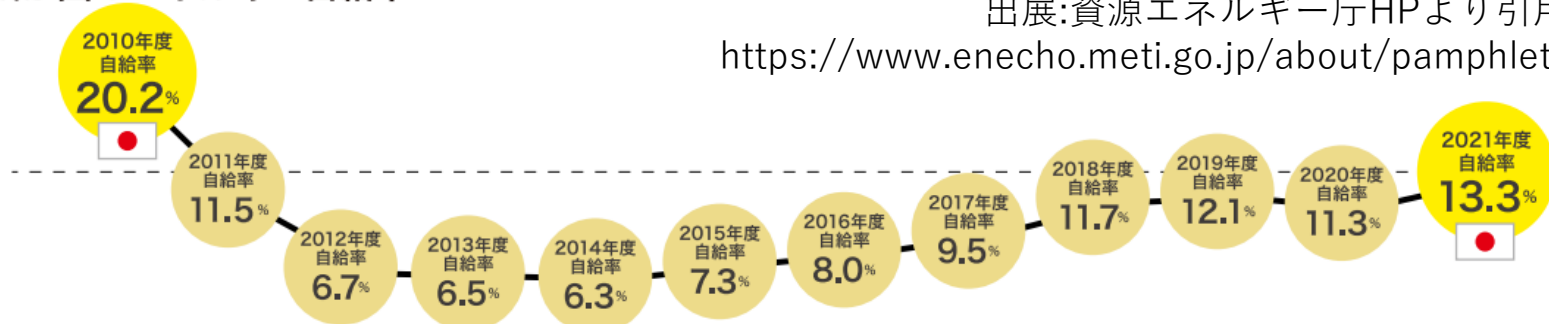
日本のエネルギー自給率



我が国のエネルギー自給率

出展:資源エネルギー庁HPより引用

<https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/>

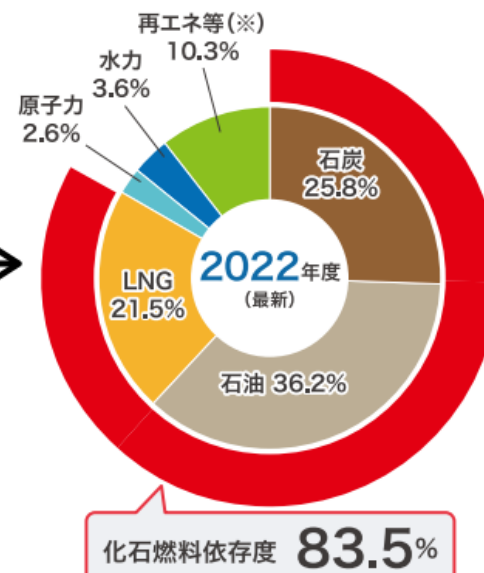
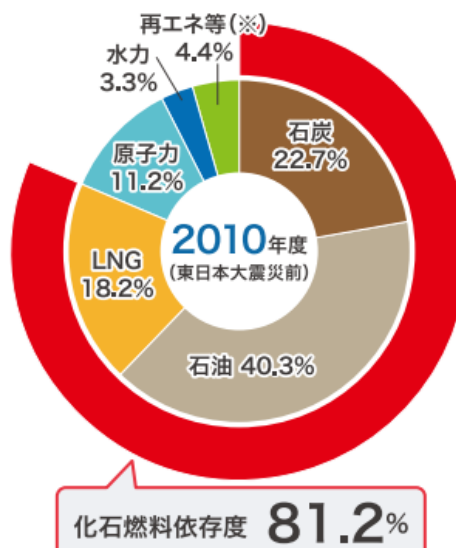
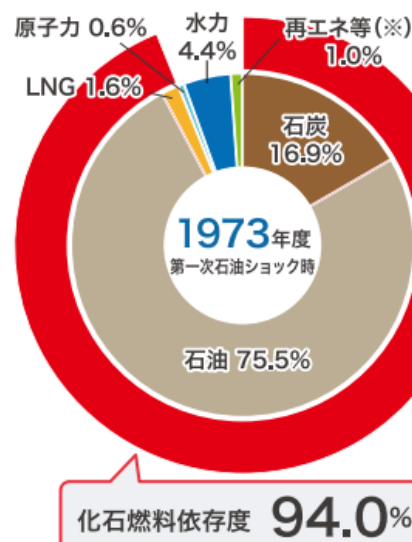


日本のエネルギー自給率は他のOECD諸国と比べて低い水準

日本の一次エネルギー構成



日本の一次エネルギー供給構成の推移



出展:資源エネルギー庁HPより引用

<https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/>

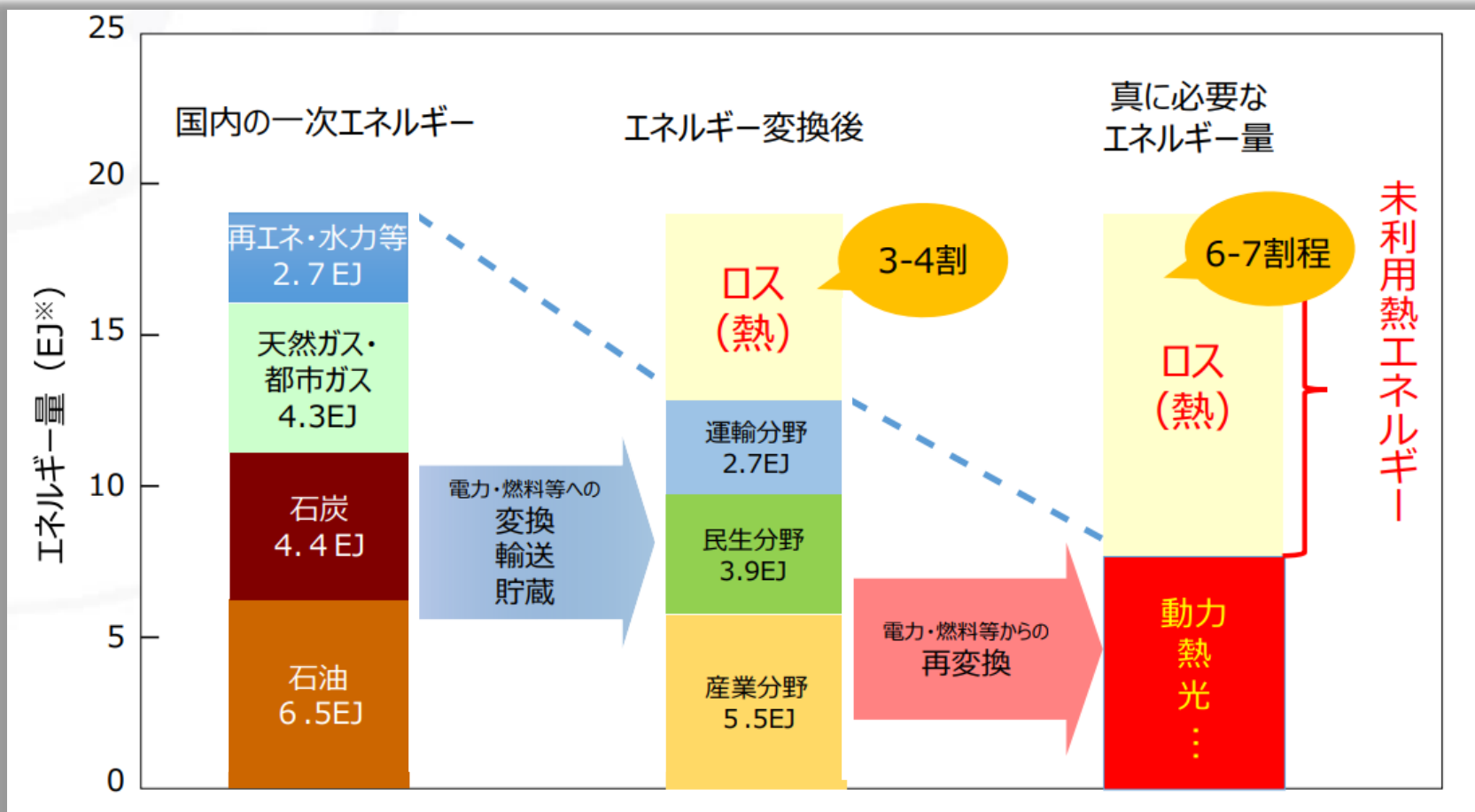
※再エネ等は未活用エネルギーを含む

日本のエネルギーは、化石燃料に大きく依存

化石燃料とは？ **燃焼**させることでエネルギーを取り出す



必ず**熱**が**排出**される



出展: 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

「ここまで来た熱利用～脱炭素社会を切り拓く熱の3R」

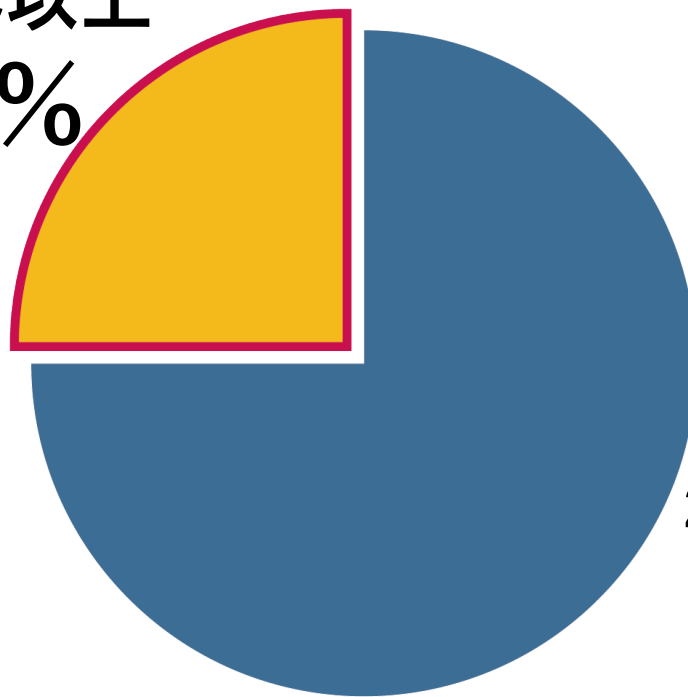
※ EJ=10¹⁸ ジュール

エネルギーロスが多い



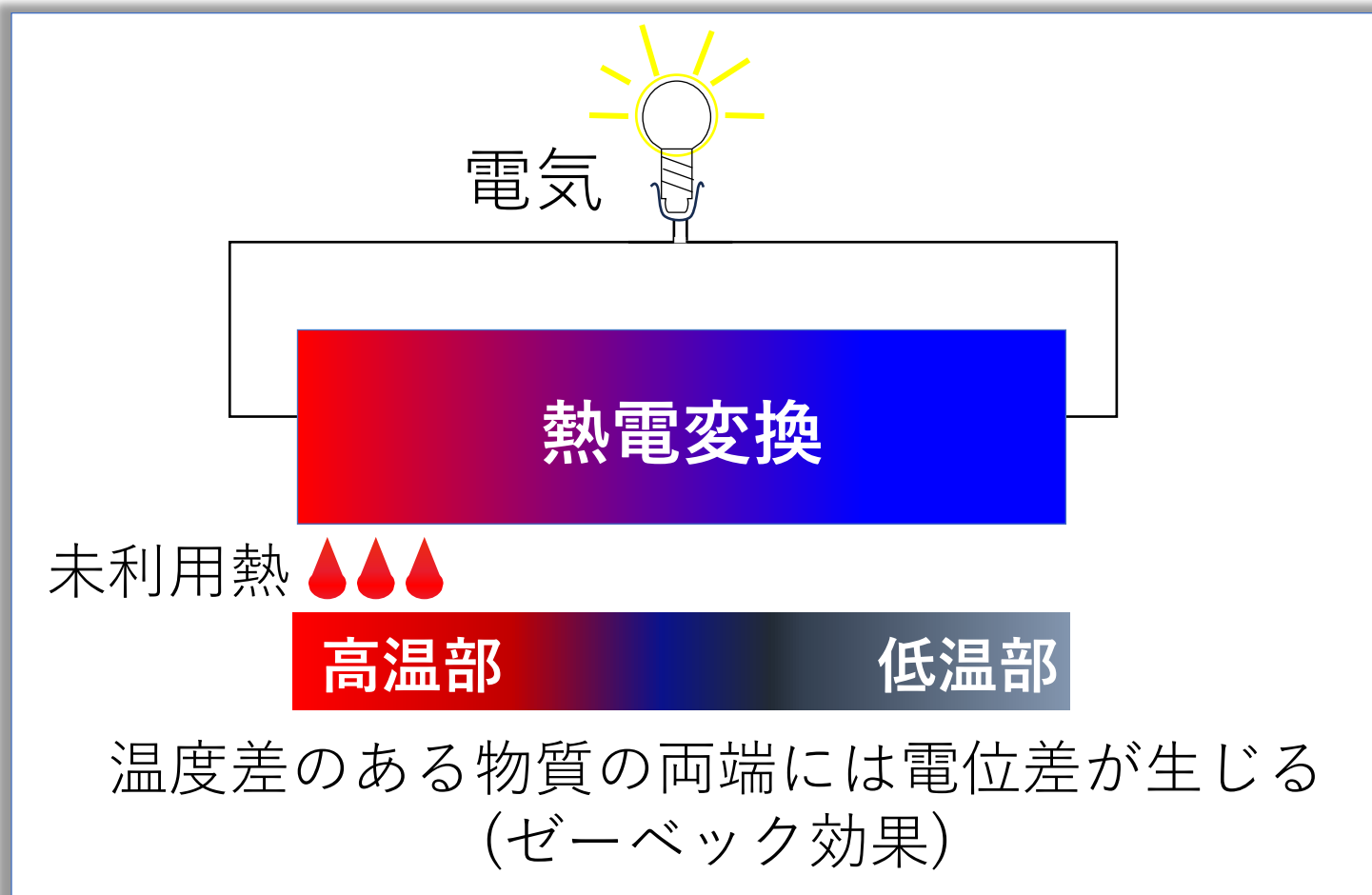
1兆kWhのエネルギー

200°C以上
25%

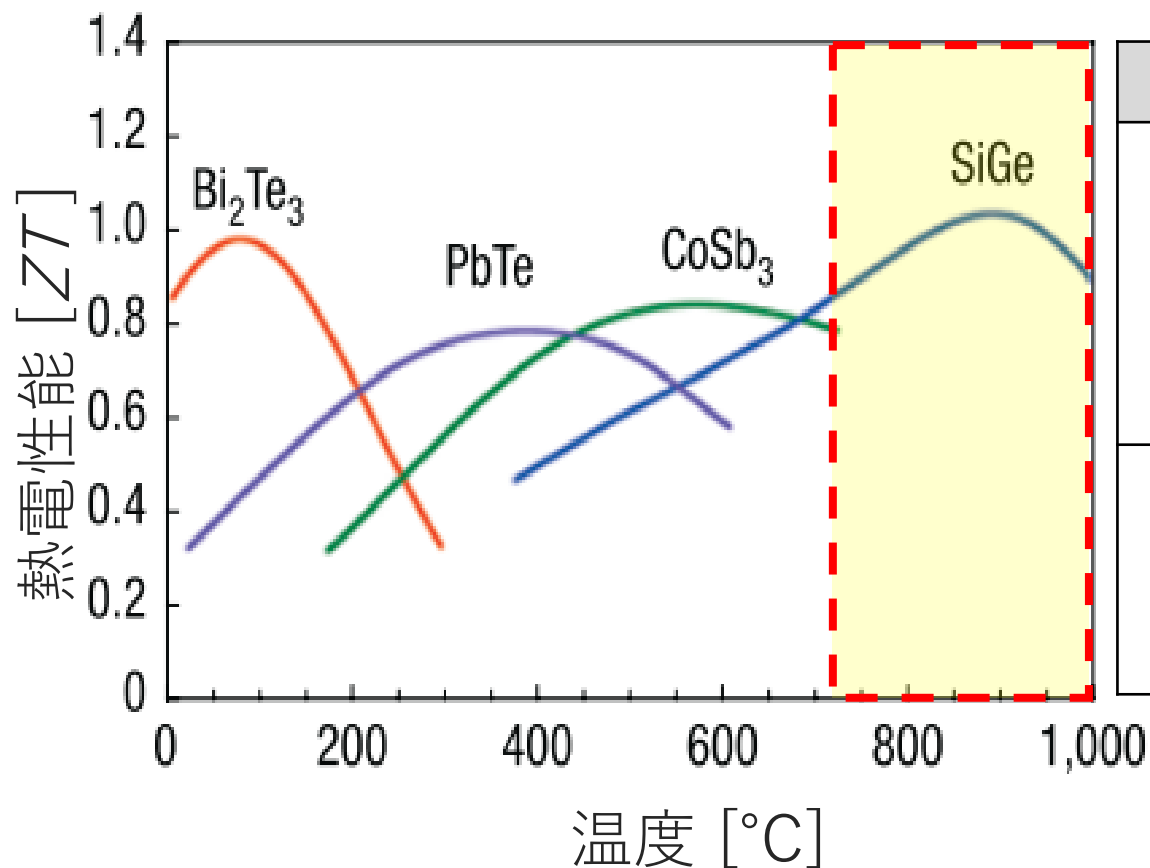


200°C未満
75%

未利用熱を活用する技術開発が必要



未利用熱を活用することでエネルギー効率の向上が可能



Snyder *et al.*, Nat. Mater. (2008)

分類	主な元素	
希少な元素	ビスマス	(Bi)
	テルル	(Te)
	コバルト	(Co)
	アンチモン	(Sb)
	ゲルマニウム	(Ge)
豊富な元素	シリコン	(Si)
	アルミニウム	(Al)
	鉄	(Fe)
	など	

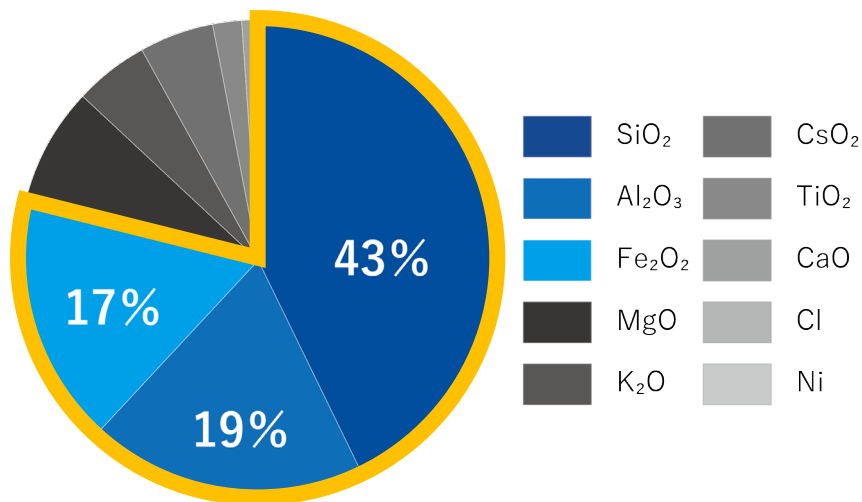
- 希少な元素が多く利用されている
- 高温(700°C以上)で安定な材料が少ない

エネルギー変換材料開発の目的

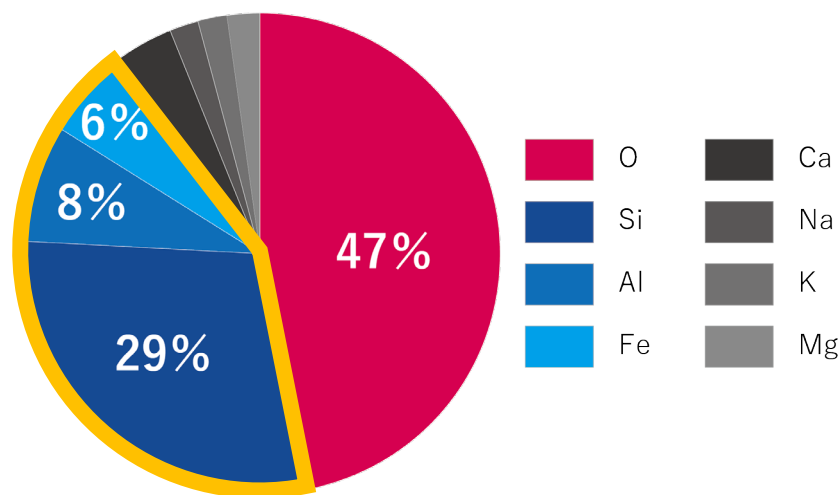


無毒で豊富な原料を活用し、高温で安定に動作する材料を安価に開発すること ➡ 土壤粘土鉱物（風化黒雲母）に着目

土壤粘土鉱物（風化黒雲母）の組成



地殻存在比上位 8 元素

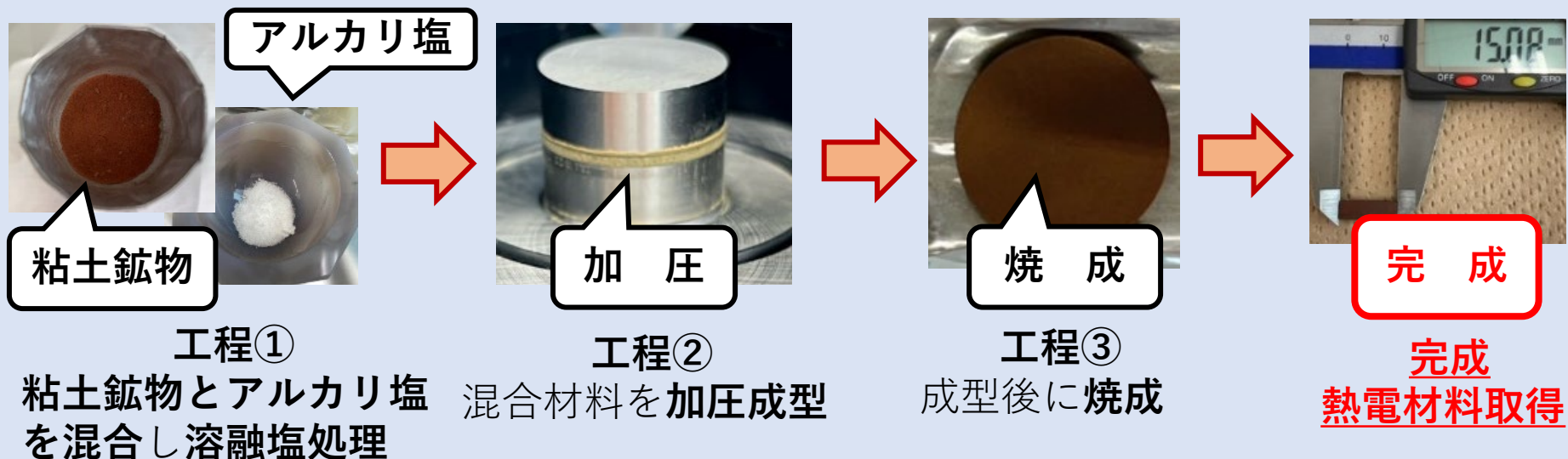


- 豊富な元素(Si, Al, Fe)が主成分：地殻上位8元素より構成
- 耐熱・耐放射性を有する



製造工程

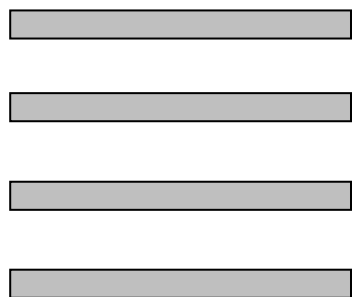
「特願2023-101148」「ワダライト及びワダライトの製造方法」



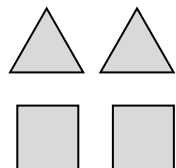
- 環境調和型の熱電材料の創製が可能
- 現在、複数の企業と熱電モジュール化を見据え連携中



熔融塩法



+

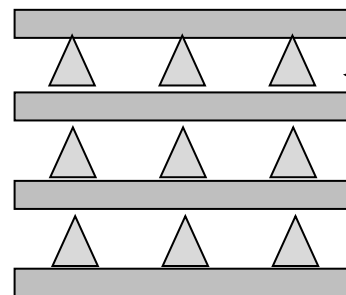


風化黒雲母

アルカリイオン



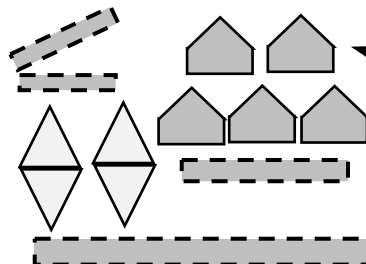
①融解⇒層間にイオン挿入⇒再結晶



層間にイオンが
挿入



②融解⇒相転移⇒再結晶



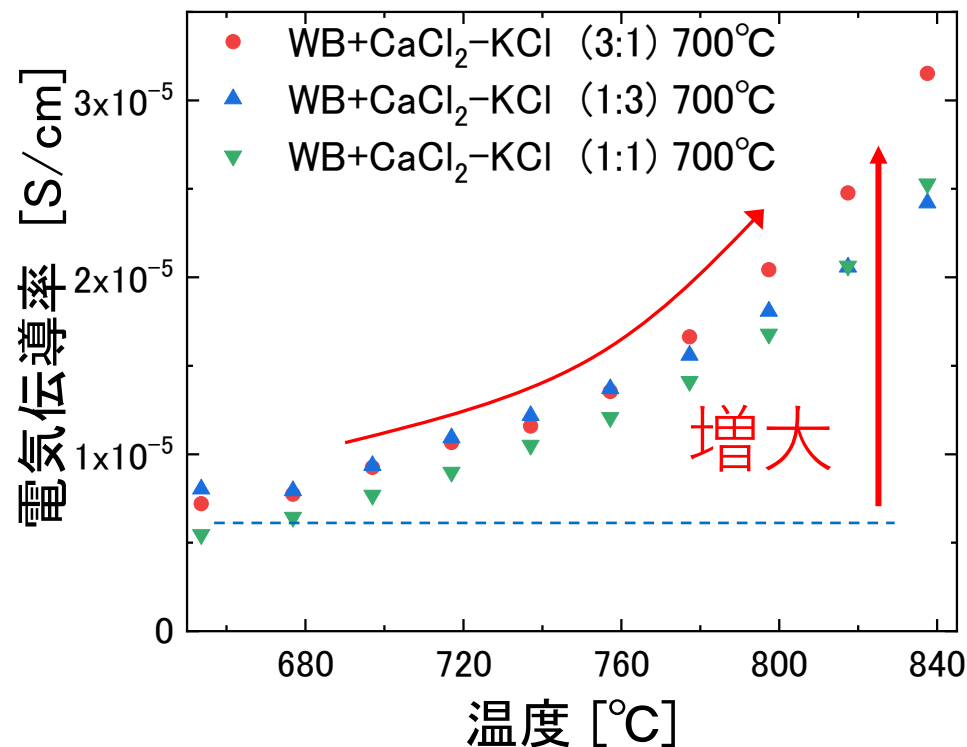
新たな結晶鉱物
の合成

２種類のプロセスを使い分けて材料を創製

基礎データ ～どのような物性を示すか？～（１）



電気伝導率



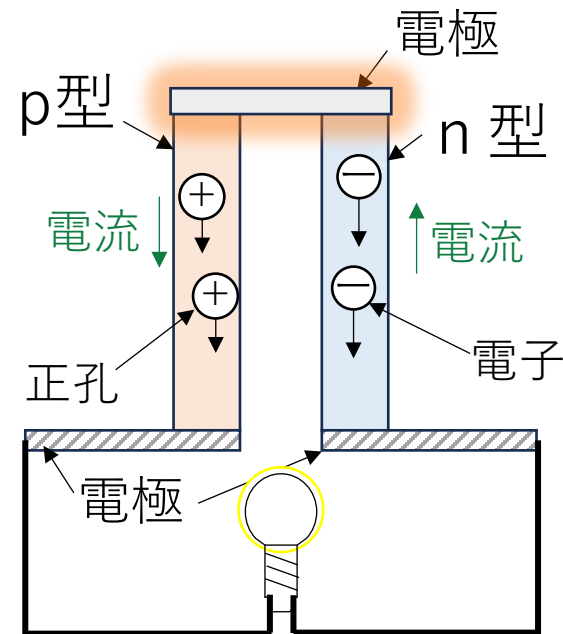
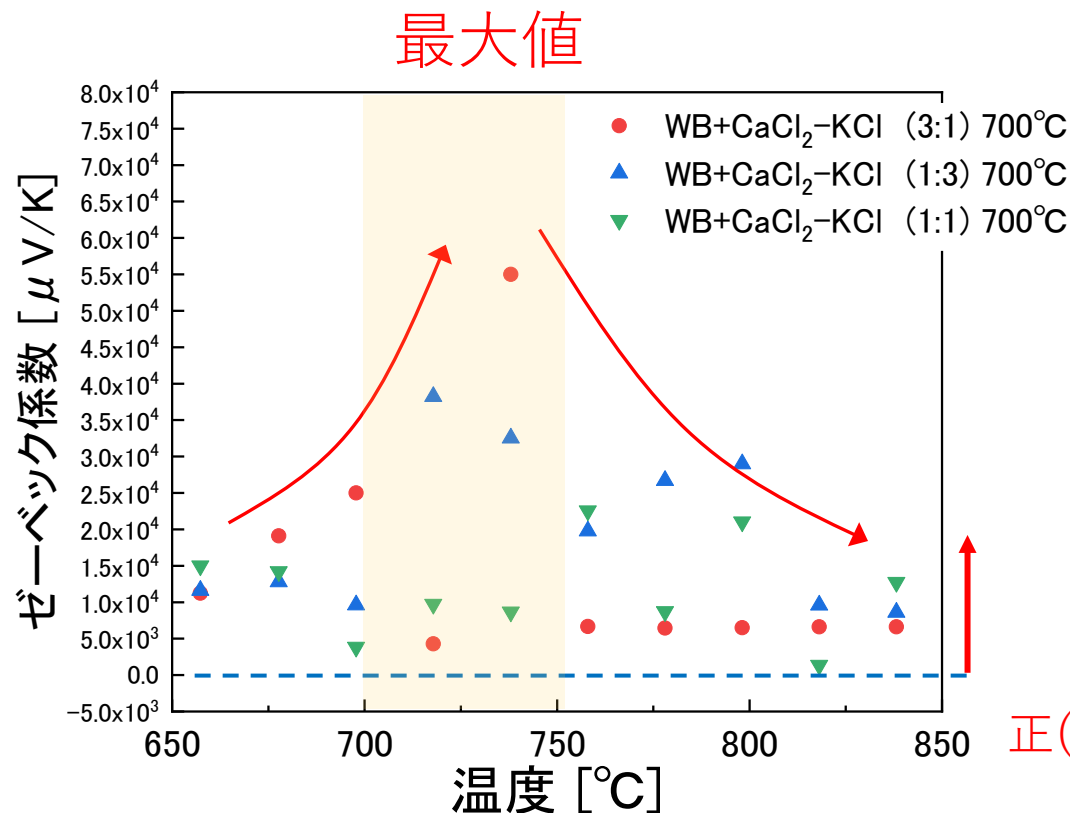
分類	電気伝導率 [S/cm]
金属	$10^4 \sim 10^6$
半導体	$10^{-5} \sim 10^2$
絶縁体	$10^{-18} \sim 10^{-12}$

半導体と同程度の導電性を得ることに成功(650°C以上)

基礎データ ～どのような物性を示すか？～（２）



温度差により得られる熱起電力(ゼーベック係数)

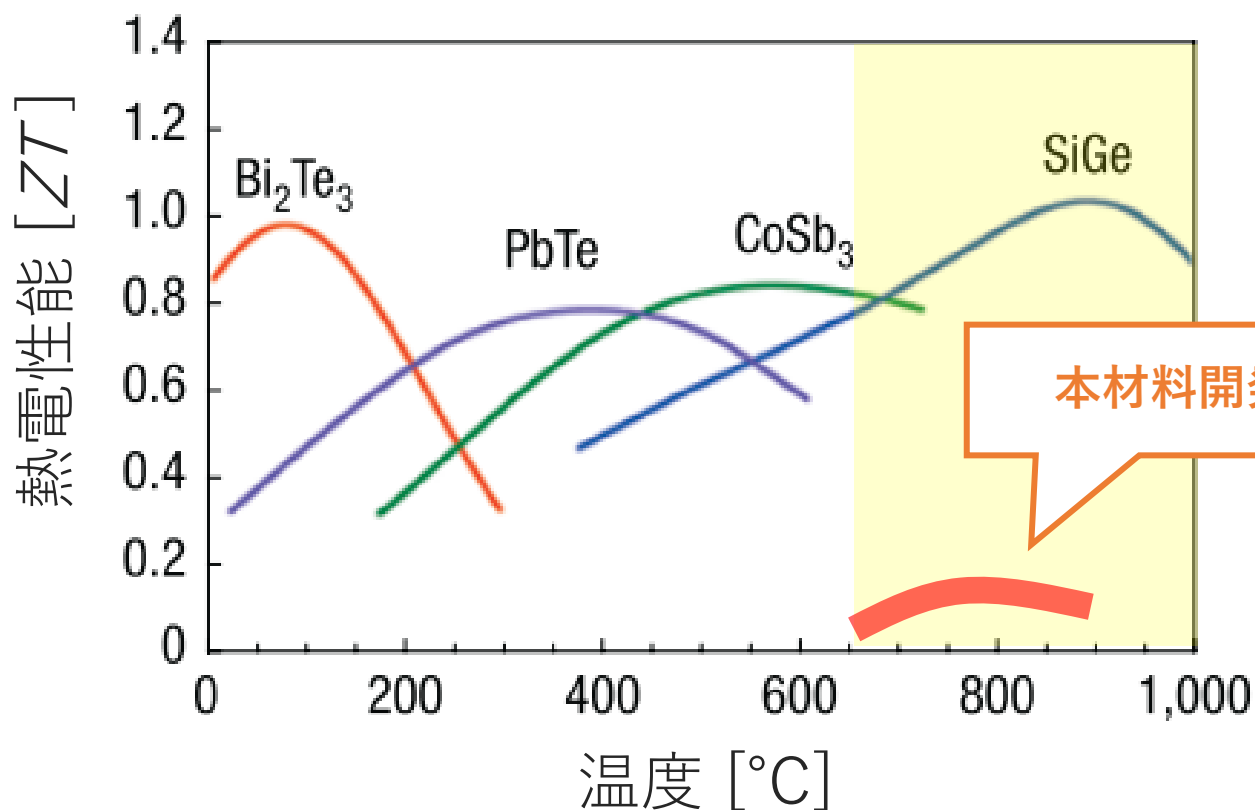


正(p型)：正孔が電荷のキャリア

- ゼーベック係数の最大値は、700°Cから750°C
- 繰り返し測定後も同様の結果 ➡ 劣化が無く安定



熱電性能



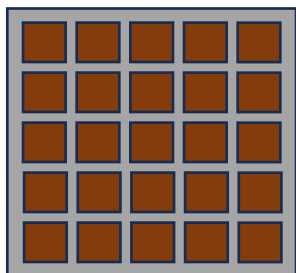
豊富な元素から成る熱電材料創製に成功



温度差300°Cで1日の発電量と材料コストから発電コストを試算

発電量 $\propto$ (熱電素子の**温度差**)² $\times$ 熱電性能指数

n個配列



10cmサイズの素子
(1cm²が100個配列)

	例)SiGe	本材料
1日の発電量	2,400Wh	75Wh
材料コスト	300,000円/kg	100円/kg
発電コスト	125円/Wh	1.33円/Wh

本材料は発電コスト面で優位性がある ➡ 社会実装へ

