

熱電モジュールの評価技術開発

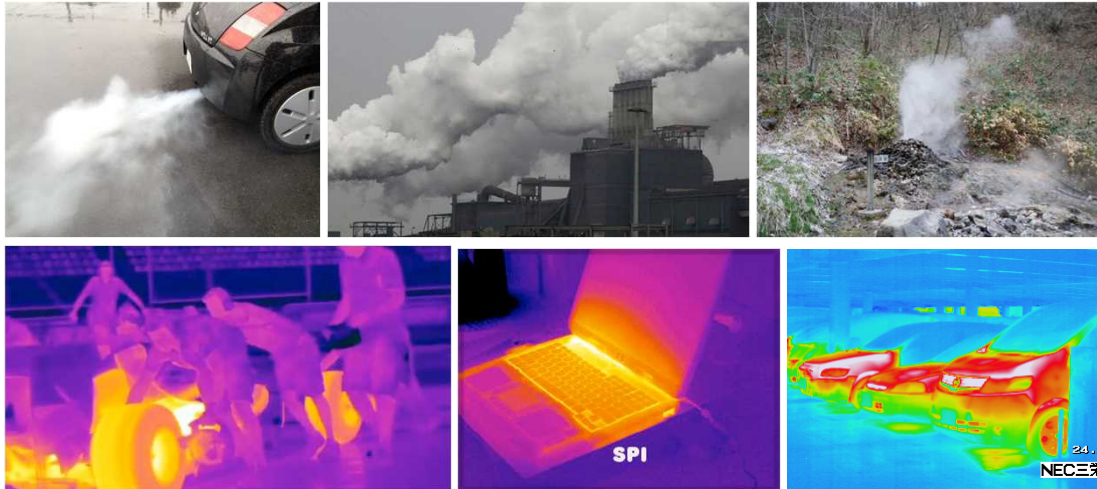
プロジェクト名：未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発

プロジェクト実施者：産業技術総合研究所

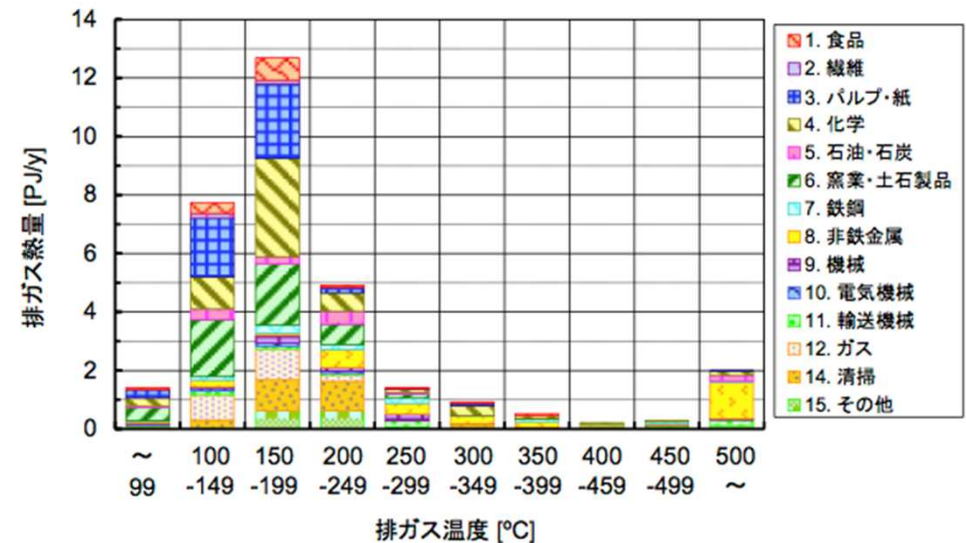
プロジェクト実施期間：2013年4月～2023年3月



未利用熱（排熱、廃熱、環境に捨てている熱）
 →経済的に回収、利活用できず、環境に放出されるだけの熱



温度帯別の業種別排ガス熱量（電力以外の14業種）



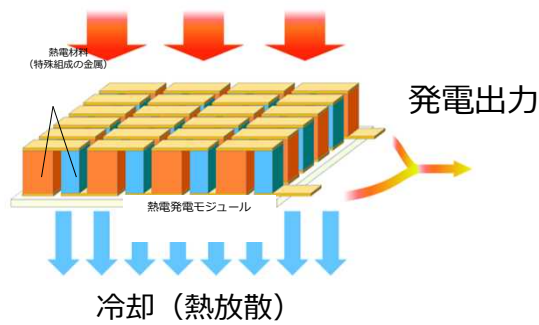
産業分野の排熱実態調査
 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合技術開発センター（2019年3月）

100~200°Cの温度領域で大量の排熱が存在する

これらの排熱の有効利用が大きな課題

熱電発電

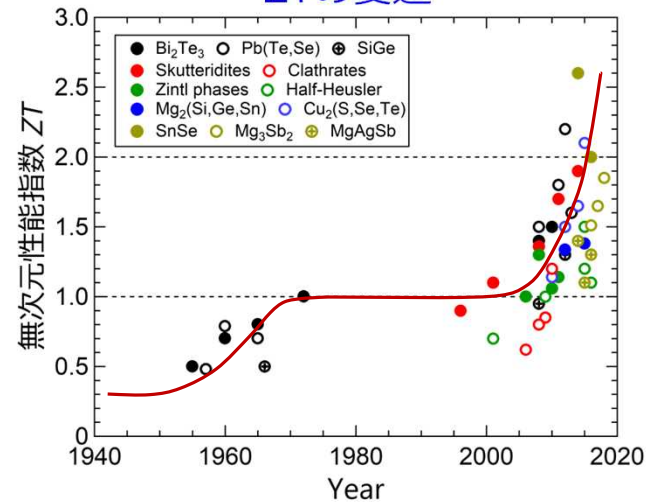
各種機器からの未利用熱エネルギー（廃熱）



熱を電気に変換

熱電性能の変遷

ZTの変遷



2000年以降に急激に上昇

無次元性能指数

$$ZT = \frac{S^2}{\rho K} T$$

S ゼーベック係数
 ρ 電気抵抗率
 K 熱伝導率

高性能熱電材料

電力因子 $\frac{S^2}{\rho}$: 大

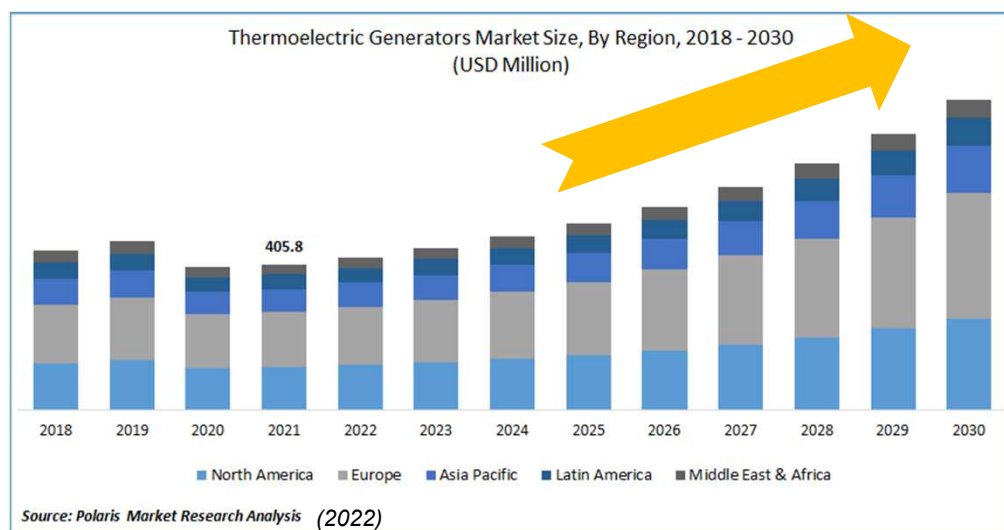
熱伝導率 K : 小

電気を通すが熱は通さない

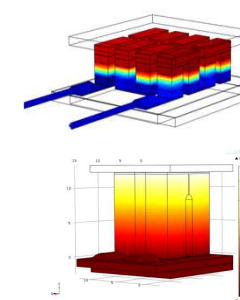
熱電物質開発の戦略

- 電子系の最適化 : 電子バンド構造のチューニング
- 格子系の最適化 : 非調和格子振動の活用

将来の熱電モジュール市場



市場の拡大が見込まれている



熱電性能シミュレーション

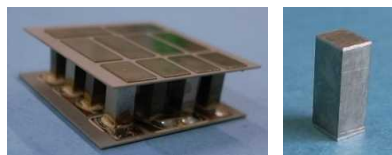
標準型熱電モジュール発電性能評価システム
(700℃級)

熱電モジュールの発電性能および耐久性を評価する基準がない

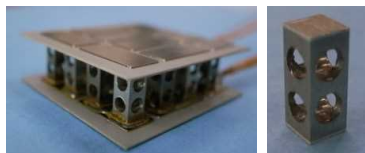


発電性能および耐久性の評価基準を策定する必要がある

標準モジュールの試作



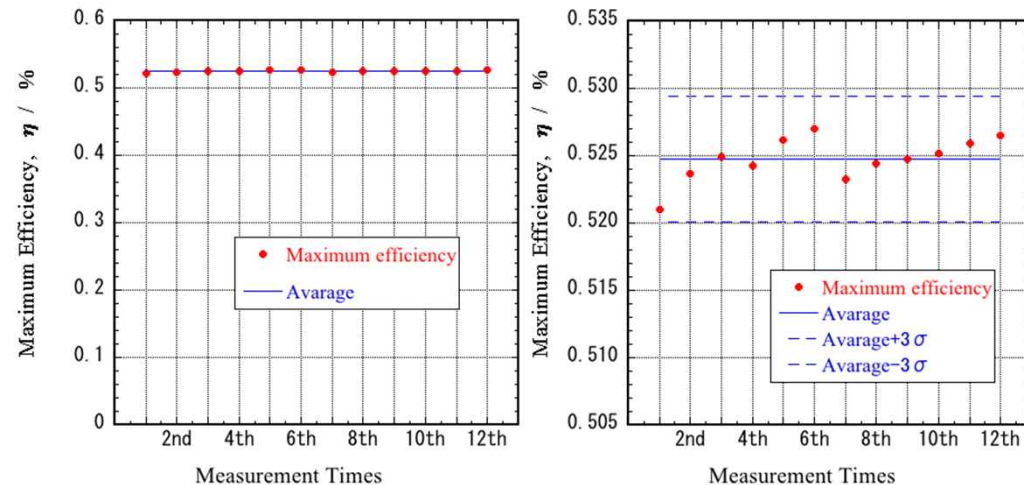
8 pair module / 穴なし



8 pair module / 穴あり
(volumetric occupation = 57%)

Parts	Dimension, Spec	Note
Hot side substrate	28.0 × 28.0 × 0.73 t	Si ₃ N ₄ 0.3 mm thick + 0.2 mm thick Cu pattern
Cold side substrate	28.0 × 28.0 × 0.73 t	Si ₃ N ₄ 0.3 mm thick + 0.2 mm thick Cu pattern
Hot side Jointing	Nano Ag paste	Ouyou Nano Ryushi Lab. ANP-1
Cold side jointing	Sn ₆₃ Pb ₃₇ mp183°C	Senju soldering
P-type element	3.0 × 3.0 × 7.35 mm Ni ₉₀ Cr ₁₀	Powder metallurgy route Hot press sample
N-type element	3.0 × 3.0 × 7.35 mm Cu ₅₅ Ni ₄₅	Powder metallurgy route Hot press sample

変換効率のセット再現性: η_{max}



Setting reproducibility of efficiency is <0.4%

耐久性の高い、標準モジュールを開発

小型熱電モジュールの評価

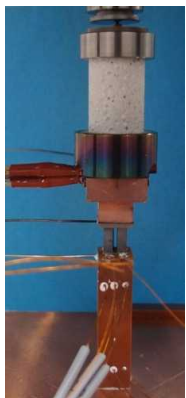
標準型熱電モジュール発電性能評価システム
(700℃級)

25mm角以上のモジュールを想定

15mm角などの小さなモジュールは性能が**低め**の値になる

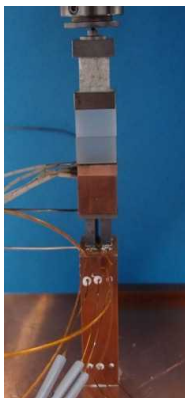
ヒーター部を小型化

改良前



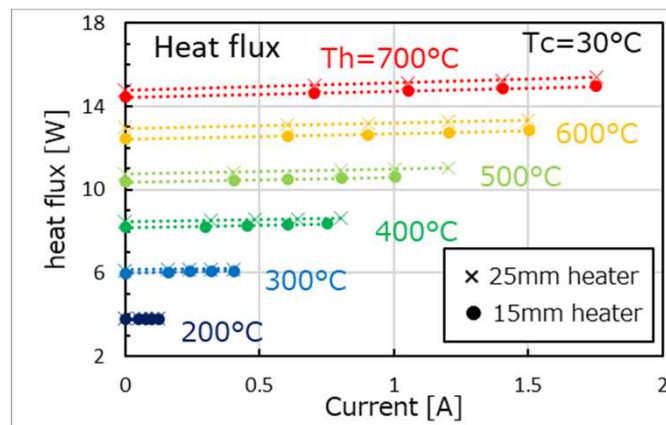
カートリッジ
ヒーター (25mm)

改良後



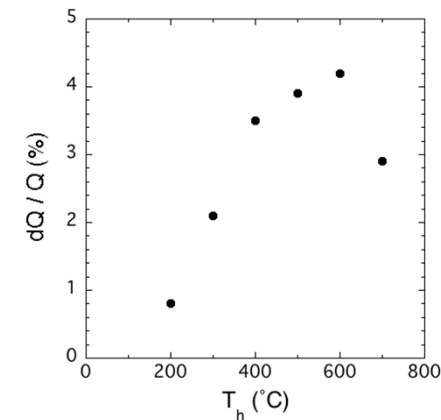
セラミック
ヒーター (10mm角)

下部の熱流センサーを流れる熱流



ヒーター部の改良により素子を通らず、
輻射で運ばれる熱を抑制

熱流差



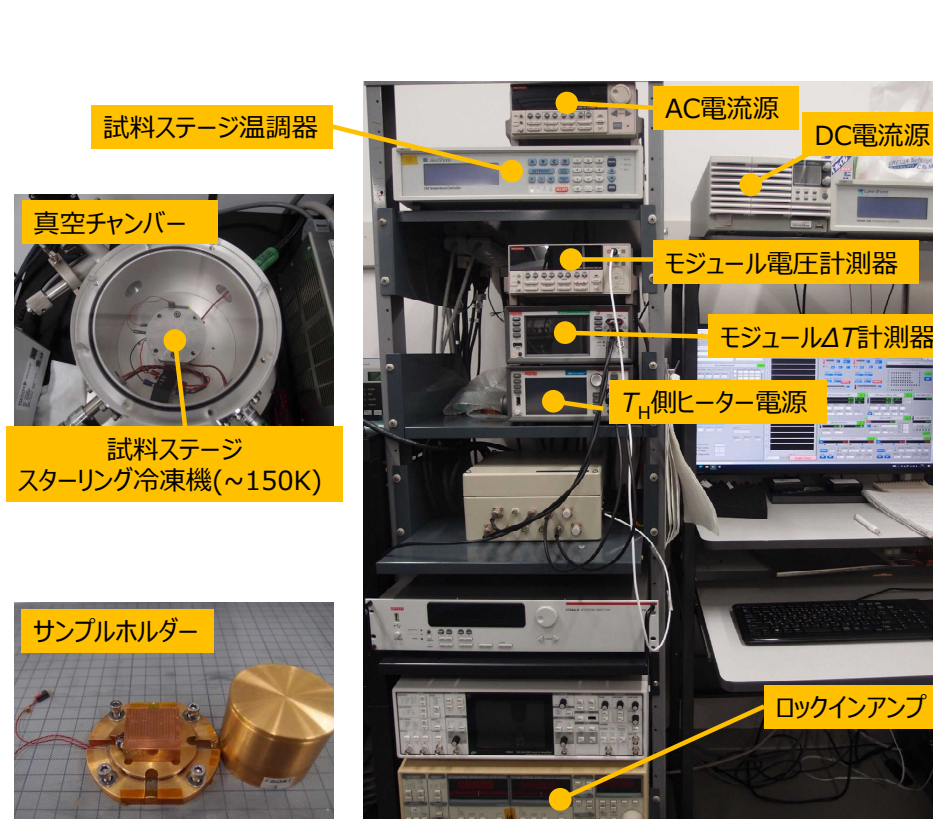
高温ほど差が大きい

輻射による誤差を低減

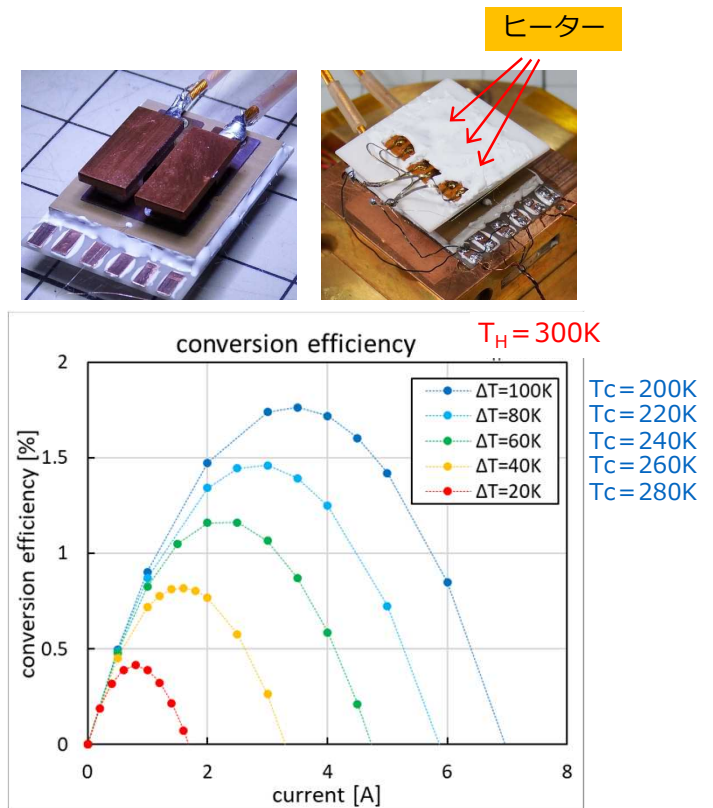
小型モジュールの測定精度向上

より小型のモジュールにも対応させ、さまざまなサイズのモジュールを精度良く測定可能

低温領域における熱電発電モジュールの評価



低温熱電発電モジュール評価装置



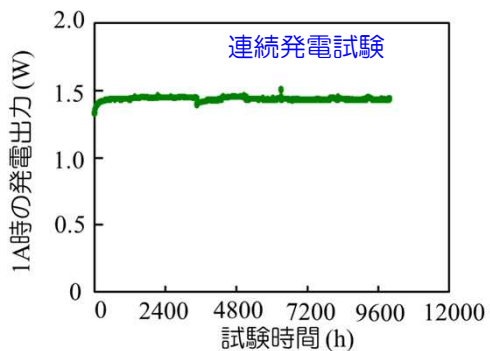
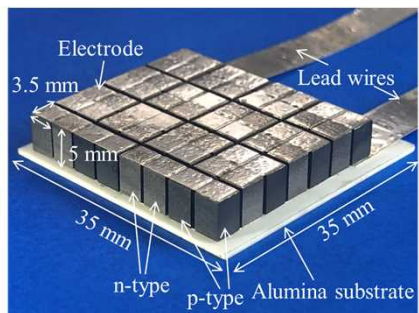
測定例

高温側を室温とする室温以下での、熱電モジュールの変換効率を評価する装置を開発

熱電モジュールの劣化加速試験

熱電モジュール：長期間使用できることが強み
耐久性評価は必須

酸化物モジュール

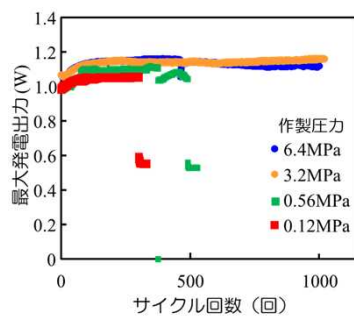
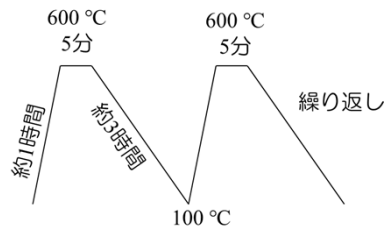


耐久性評価に長期間かかる



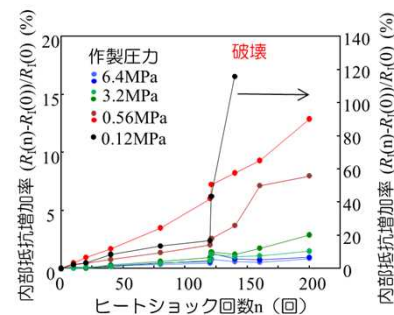
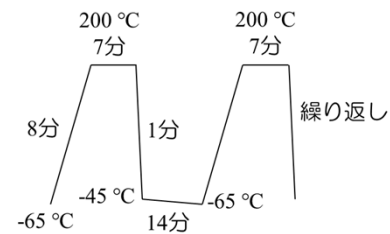
加速試験の重要性

ヒートサイクル



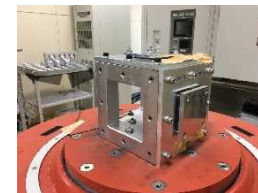
ヒートサイクルでモジュール破損
破壊まで1200~1700h

サーマルショック

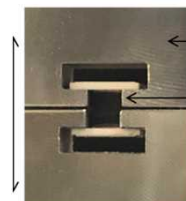


ヒートショックで劣化確認
破壊まで約3日

振動試験



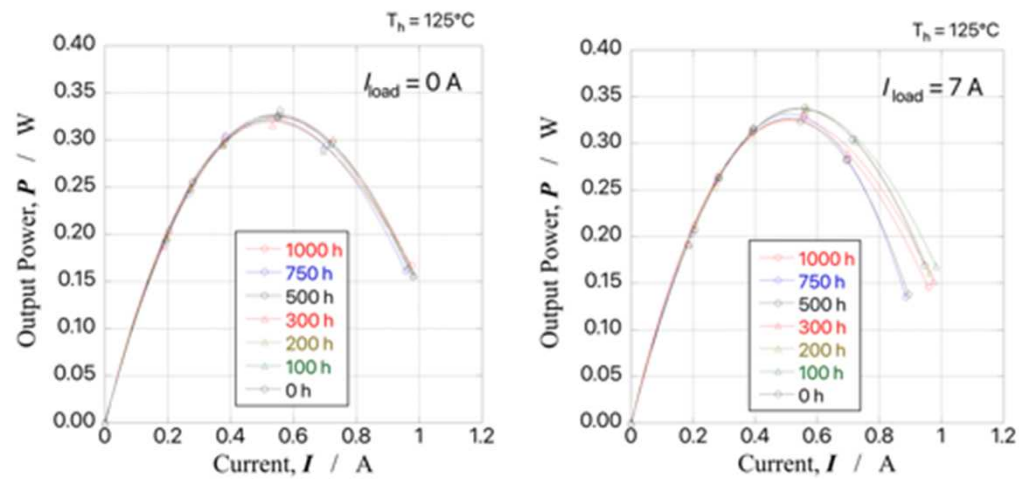
引張試験



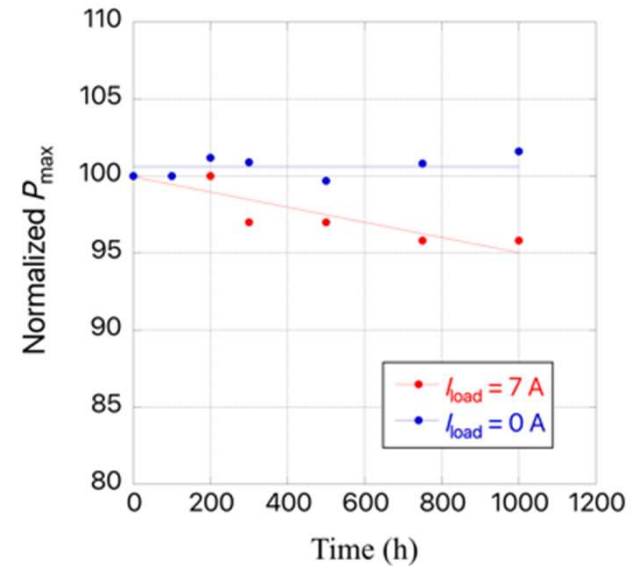
ヒートサイクル及び、ヒートショックを加えた加速試験を実施中

熱電モジュールの劣化加速試験

Bi-Te系モジュール



電流負荷無し及び、電流負荷後（7A）の電力の電流依存性。高温側温度 125°C 、大気中にて測定。

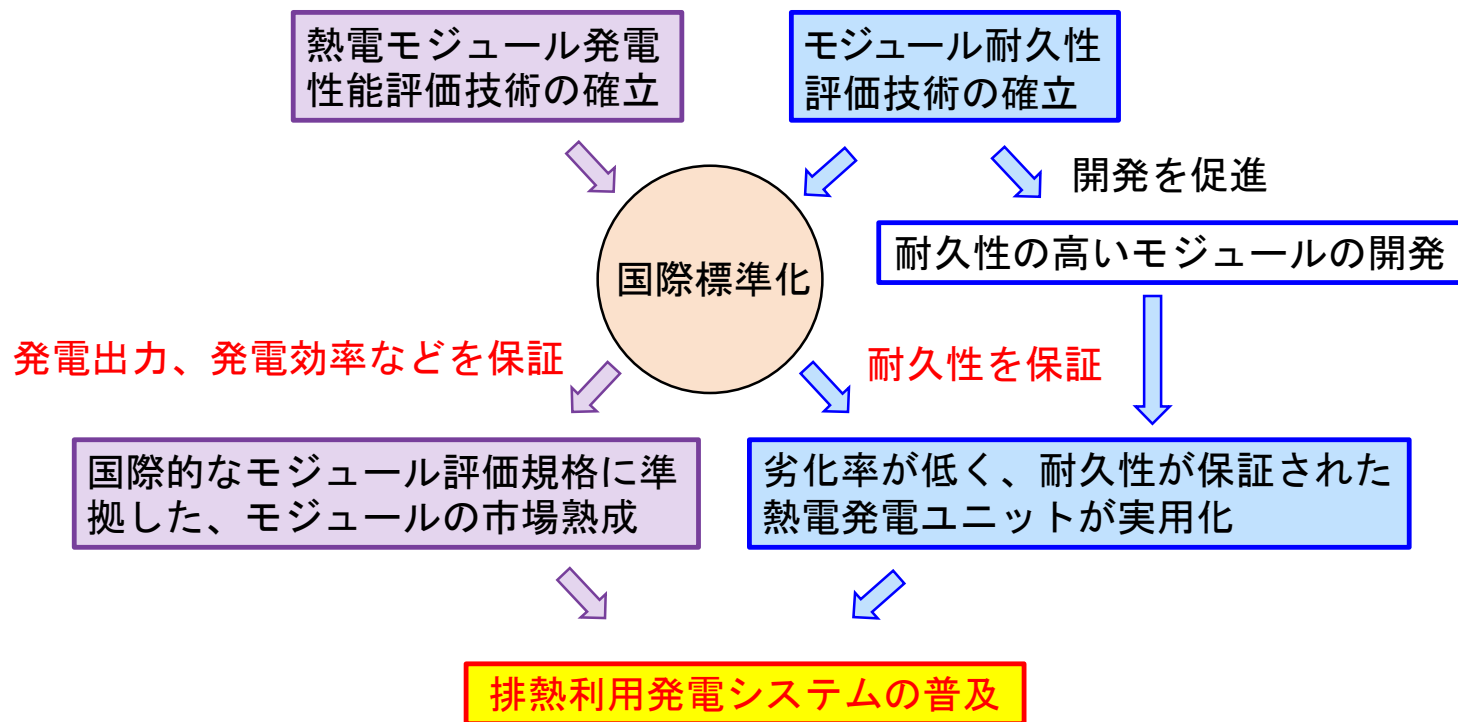


最大電力の経時変化。電流負荷無し及び、負荷あり（7A）を比較。



熱電モジュール耐久性試験機

4. 今後の展望



- 熱電モジュールの発電性能の評価技術の国際標準化
- 熱電モジュールの耐久性評価の標準化に向けた、評価技術の確立
- 統一的な基準で評価された高性能な熱電発電モジュールが普及し、熱電モジュールの市場が飛躍的に拡大