

研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム
FS ステージ シーズ顕在化タイプ 事後評価報告書

研究開発課題名	: エンジン搭載に向けた中低温フレキシブル熱電変換素子のコア技術開発
プロジェクトリーダー	: トヨタ自動車(株)
所属機関	
研究責任者	: 野々口斐之(奈良先端科学技術大学院大学)

1. 研究開発の目的

現在、内燃機関の熱効率は約 30%で、残り 70%程度のエネルギーを損失している。損失エネルギーの内訳は冷却損失が 30%、排気損失が 30%、機械損失が 10%である。車両における燃料消費量低減には、上記損失を低減することが重要であり、排気熱からエネルギーを回収可能な熱電変換システムが注目されている。回収電力を用いて、車両発電機の負荷を軽減することで燃料消費量を低減することが可能となる。我々の試算では、100Wの電力回収でモード走行燃費を1%改善できるとの結果を得ている。従来の車両用熱電変換システムは、高温の排気ガスから集中的にエネルギー回収をするシステムだが、我々は、エンジン周囲に多く存在する 200°C程度の表面温度を持つコンポーネントから、効率的に廃熱を回収する密着性の良いフレキシブルな熱電変換システムを開発することを目的としている。具体的な数値目標としては、現状のエンジンシステムに適用することで 200Wの電力回収を行い、燃費約 2%改善を実現することである。

2. 研究開発の概要

①成果

開発目標である 200W 以上の熱電変換モジュールを作製するにあたり、我々は 200°C付近での熱電変換性能に優れる Bi、Te 系の熱電変換材料にナノワイヤテクスタイルを適用することでフレキシブルなコンセプトを実現することとした。その結果、ZT0.2(@360K)の p 型熱電変換素子と、ZT0.4(@300K)の n 型熱電変換素子を実証した。この熱電変換素子性能と実測した温度差から試算した車両上でのモジュール出力は空冷の放熱条件において 204W(3.5m²)であり、目標とする 200W 以上の回収電力を達成する可能性を見出した。この開発素子を用いて単セルレベルでの実機評価を行った結果、酸化安定性や、電極との接触抵抗が大きくなる問題から現状の実出力は 840nW であった。今後、封止や電極の最適な接合方法を検討していく。

研究開発目標	達成度
①ZT0.2 クラス p 型ナノワイヤの開発	①ゼーベック係数 150 μ V/K、電気伝導率 480 S/m、熱伝導率 0.02W/mK で ZT(@360K)0.2 相当の p 型半導体素子を実証。
②ZT0.4 クラス n 型ナノワイヤの開発	②ゼーベック係数 -98 μ V/K、電気伝導率 4190 S/m を達成。熱伝導率 0.03W/mK で ZT(@300K) 0.4 相当の n 型半導体素子を実証。
③ZT0.4 クラス複合部材の開発	③複合材料のサーベイ、入手(&性能評価)
④150~200°Cの温度差確保を想定したモジュールの設置部位の明確化	④排気管表面で 150°C以上の温度差が確保可能。その他、低位熱源でエンジン表面約 30°C。バルクヘッド約 20°C。ボンネット約 10°C。アンダーボデー

<p>⑤試作構造の明確化</p> <p>⑥熱電モジュールのプロトタイプ作製と評価</p> <p>*追加項目</p> <p>②-1 ヒドラジンの代替還元剤検討</p> <p>②-2 n型素子の酸化安定性の向上</p>	<p>約 30°Cも温度差を確認。</p> <p>⑤素子厚さ 0.3mm+銅電極 0.018×2mm+ポリイミド 0.025×2mm のトータル厚さ 0.886mm のモジュール構造で出力 204W を導出。</p> <p>⑥p 型素子を用いた単セルレベルのプロトタイプを試作。実出力を確認し、最終目標 204W に対して現状 840nW。</p> <p>*追加項目</p> <p>②-1 候補剤であるクエン酸、次亜リン酸ナトリウム、水素化ホウ素ナトリウムを検討したが、代替にはならず。</p> <p>②-2 アルミ蒸着フィルムを用いた封止により導電率の低下抑制を確認。</p>
---	---

②今後の展開

本検討結果より、フルスケールでのモジュール化が実現した場合、車両上で 200W クラスの車両用排熱回収モジュールとして実現する可能性を見出した。現状の課題は実使用環境下での出力低下であり、ナノワイヤを用いた熱電素子の最適な電極材料の探索や接合方法の確立、真空封止による酸化対策を行うことで現状の課題解決を実施していく予定である。

3. 総合所見

一定の成果は得られており、イノベーション創出が期待される。残された課題への開発を期待したい。