

低温排熱を対象とした熱電発電技術の将来ポテンシャルに関する 調査研究

東京大学 講師 木下 裕介

1. 調査研究の目的

2015年12月に採択されたパリ協定において、日本は2030年までに26%(2013年比)の温室効果ガス削減目標を掲げている。この目標に対して有効な方策のひとつが排熱の有効利用である。経済産業省によると日本国内の未利用熱エネルギーは年間1兆kWhにのぼり、かつ、排熱には温度が低いほど排出量が多くなるという特徴がある。これまでに、熱電発電の社会実装に向けて様々な熱電材料の開発が進められてきた。しかし、熱電発電技術が社会に普及する条件、ならびに、普及した場合に社会の低炭素化に及ぼす影響は必ずしも明らかになっていない。

本研究の目的は、低炭素社会に向けた熱電発電技術のポテンシャルを調査することである。具体的には、文献調査、専門家に対するインタビュー調査、一般消費者に対するアンケート調査を通して、熱電技術の最新動向を調査した。とりわけ、社会に普及した際のインパクトが大きいと思われる自動車への応用を中心に調査を実施した。さらに本研究では、収集したデータに基づいて、熱電発電技術の将来的なポテンシャルを推計するための「普及シナリオ」の試作を行い、熱電発電技術の普及に伴う二酸化炭素排出量の削減ポテンシャルを評価した。

2. 調査研究の方法

本研究は、熱電発電技術の将来普及とそのポテンシャルを二酸化炭素排出量の観点から調査することを目的として、(1)データ収集、(2)ポテンシャル評価モデルの開発、(3)普及シナリオ試作、の3つの研究課題に取り組んだ。具体的な方法は以下のとおりである。

(1)について、文献調査(論文、報告書、書籍、インターネット等)、専門家に対するインタビュー調査、および、一般消費者を対象とした消費者選好アンケート調査を通して、熱電発電技術に関する最新動向を調査した。このとき、材料レベルでの熱電材料の種類や性能に関するデータに加えて、主に自動車への適用を想定したモジュールレベルでの熱電発電装置(TEG)のデータを収集した。(2)について、TEGが実際に社会へと普及した場合の影響に対して、特に環境面のうち二酸化炭素排出量の観点からポテンシャルを評価するための「TEG普及ポテンシャル評価モデル」を開発した。ここでは、TEGに対する消費者選好を調査することを目的として、消費者選択モデルとしてよく知られている多項ロジットモデル[1]を適用した。また、TEGの製品ライフサイクル全体の二酸化炭素排出量を評価するために、著者らが先行研究で開発したTEGの製品ライフサイクルモデル[2]を利用した。(3)では、(2)で開発したモデルを利用することによってTEG普及のポテンシャルを定量的に評価するためのTEG普及シナリオを試作した。シナリオの問題設定は、変換効率が比較的高いBi-Te系のTEGを自動車排熱に適用した事例を想定し、時間軸を2018年～2050年と設定したときのTEGの将来普及および二酸化炭素排出量の削減効果を評価した。

3. 調査研究の結果

3.1. 文献調査・インタビュー調査・アンケート調査の結果

本研究では、文献調査に加えて、専門家へのインタビュー調査と一般消費者を対象としたアンケート調査を実施した。インタビュー調査では、TEGモジュールの部品別重量および材料別重量内訳のデータなどを収集することができた。これらのデータは、今後の研究においてTEGを環境面・経済面から評価するためのリファレンスデータとして活用することができる。さらに、数値データのみならず、TEGの潜在的な適用先と将来普及のための課題に関する専門家の知見を得ることができた。一連のインタビュー調査から得られた要点を以下に示す。

表 1: アンケート調査を用いた重み係数 w_k の算出結果

年間走行距離	中央値	割合	重み係数 w_k		
			価格	快適性 (アクセサリ)	快適性(夏場の空調等)
5000km 未満	2500	31%	0.1603	0.1911	-0.3462
5000 ~ 10000km 未満	7500	37%	0.3878	0.4333	0.0225
10000 ~ 20000km 未満	15000	22%	0.0645	0.1931	0.1175
20000 ~ 50000km 未満	35000	10%	-0.4700	0.4327	-0.1269

- TEG を自動車排熱回収用に利用する研究は比較的古くから行われている。最近では、ハイブリッド自動車に TEG を装着することが有望である。一方で、ディーゼルエンジンからは排熱があまり出ないので厳しい。
- TEG をセンサーの電源用途に利用することには大きなポテンシャルがある。
- 将来普及のためには、コスト低減に加えて、熱電の認知度を高めることも重要である。
- 熱電発電単体ではなく、パッケージ化して付加価値の高い商品を開発することも検討すべきである。

また、消費者の TEG に対する受容性を調査することを目的とした消費者選好アンケート調査を実施した。著者らの知る限り、TEG を対象とした消費者選好調査は世界初である。本アンケート調査では、TEG を対象として消費者の潜在的な購入意向を明らかにするため、日本全国に居住する 20～70 歳代男女を調査対象とした (N=1,040)。消費者が自家用乗用車を新車で購入する状況を想定して、その際に排熱回収のための TEG をオプションとして消費者が乗用車に導入する可能性を尋ねた。アンケート調査の結果から、多項ロジットモデル[1]の方法に基づき、あらかじめ設定した 3 つの属性(価格、快適性(アクセサリ)、快適性(夏場の空調等))に対する重み係数を計算した(表 1 参照)。

3.2. TEG 普及シナリオの試作結果

3.1 節の結果をもとに、TEG の将来普及シナリオを試作し、普及ポテンシャルを推計した。シナリオの主な前提条件として、消費者が自家用乗用車を新車で購入する際、オプションとして TEG を導入するかどうかを決定するものとした。インタビュー結果を参考に、TEG を導入する車種はハイブリッド車(HEV)のみに限定した。TEG には、価格・機能が異なる 3 つの選択肢 A～C を設定した。上記の想定のもと、各消費者が 4 つの選択肢(A～C もしくは TEG を購入しない)のいずれかを選択する確率を多項ロジットモデルによって計算した。

TEG 普及ポテンシャルと二酸化炭素削減ポテンシャルの推計結果を図 1、図 2 にそれぞれ示す。この結果から、TEG には潜在的に大きな普及ポテンシャルがあること(HEV 普及台数に対するシェアは 70～80%程度)、および、二酸化炭素排出量の削減ポテンシャルがあることが認められた。ただし、普及シナリオの前提として、TEG の価格を 1 ユニット当たり 2～5 万円と想定した。これは現在の価格と比べて 1/20～1/10 程度である点に留意する必要がある。また、平均走行速度がおよそ 40 km/h を上回るようになると、ライフサイクル全体で二酸化炭素排出量の削減効果を見込めることが明らかとなった。

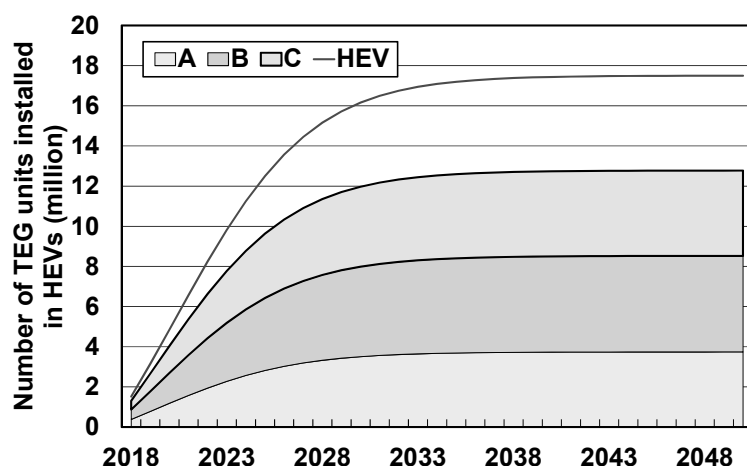


図 1: ハイブリッド自動車(HEV)を対象とした TEG 普及推計

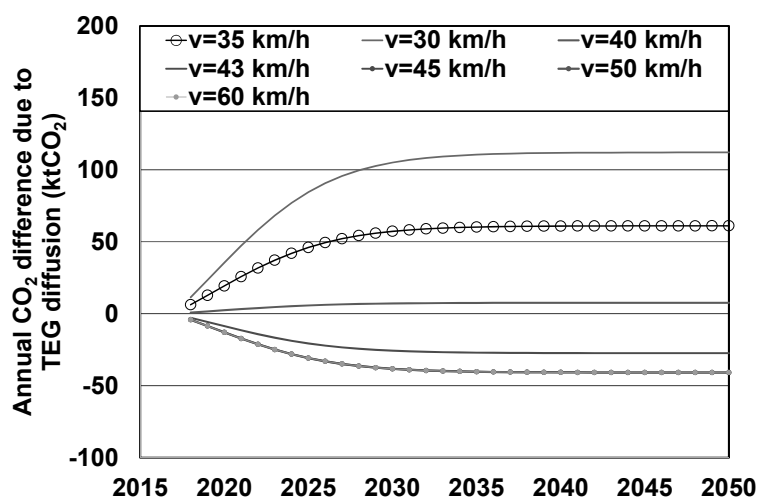


図 2: 年間二酸化炭素排出量削減効果の試算 (v: 平均走行速度)

4. 考察とまとめ

本研究の結果からは、TEG の将来普及に向けて取り組むべき課題がいくつか浮かび上がってきた。技術的な観点からは、さらなる性能向上とコスト低減が必要である。性能面では、特に TEG をシステム化したときの変換効率を向上させる余地がある。コスト面については、仮に 1/20~1/10 程度のコスト低減に成功することができれば、図 1 で示したように TEG の大量普及につながる可能性がある。それ以外には、消費者に対する TEG の認知度を向上させること、TEG 単体ではなくパッケージ化した商品を開発することが挙げられる。

本研究では、TEG の自動車への適用に絞って調査を実施したが、センサーなど他の適用事例を対象とした調査研究も実施することにより、より包括的な TEG の普及シナリオを作成し、TEG 普及のための要件をさらに明確化することが期待される。

参考文献

- [1] Borooah, V.K., Logit and Probit: Ordered and Multinomial Models, Sage Publications, (2001).
- [2] Kishita, Y. et al. "Evaluating the Life Cycle CO₂ Emissions and Costs of Thermoelectric Generators for Passenger Automobiles: A Scenario Analysis," Journal of Cleaner Production, Vol. 126, 10 July 2016, (2016), pp. 607-619.