

熱伝達シミュレーションによる発電用サーモモジュール形状の検討

Geometric examination of the thermo-modules as a power source by the aid of heat transfer simulation

ME25 中田匡哉

指導教員 大杉功教授

1. 緒言

熱電変換素子とは2種類の効果を利用することができる。1つはペルチェ効果と呼ばれ、電流を流して素子両端で吸熱・放熱を行うものである。逆に、熱電変換素子の両端に温度差を与えて起電力を得るゼーベック効果を用いるものである。本研究ではこの効果を用いた発電用素子の形状を検討する。熱電変換素子は温度差が大きいほど発電量も大きくなる。現在の一般的な熱電変換素子は、冷却用で用いる場合が多く、吸熱面積を大きくとるために平坦な形状をしているものが一般的である。そのため、発電時に加熱し続けると時間経過とともに熱伝達により冷却側にまで熱が伝わり、温度差を保てなくなってしまうことがわかった。そこで Microsoft Excel を用いた熱伝達シミュレーションを行い、高温状態で温度差を得る場合の形状を検討することにした。本研究では自動車排熱の有効利用を想定し、温度条件を設定している。

2. 研究のアプローチ

形状の最適化を図るための条件として材料の体積を変えずに幅 W、高さ H、奥行き D を変化させて形状を変化させて検討する。熱電変換素子としては一般的な BiTe 系モジュールを想定し、既存形状の素子 A と、高温側の温度が低温側に反映されないように実現可能な範囲で高さ H を高くした素子 B を比較することにした。形状の詳細を表 1 に示す。

表 1 素子 A, B の形状の比較(体積一定)

	幅 W[mm]	奥行き D[mm]	高さ H[mm]
A	40	40	4
B	8	8	100

(1) 排熱温度の測定と検証

シミュレーションに先立ち、排熱側におけるアイドル時と走行時の温度測定を行った。温度の測定はエンジンの排気を直接受けるエキゾーストパイプの付け根部分に測温熱電対をつけて測定を行った。また今回温度は軽自動車と普通乗用車の2車種の温度を測定した。

(2) シミュレーション実験方法

一次元定常熱伝導方程式を解くことにより固体内の温度分布を調べる。

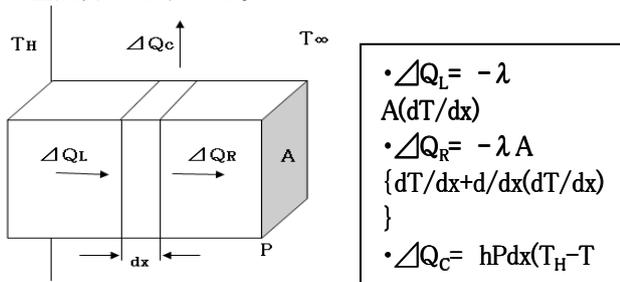


図 1 固体内の熱伝導

図 1 において高温側温度を T_H 、固体周囲の気体の温度を T_∞ 、距離 x における微小面積を dx 、固体断面積を A 、断面積の周囲を P とおくと、

$$\therefore d^2T/dx^2 = hP/\lambda A(T_H - T_\infty) \quad \dots \textcircled{1} \quad \text{※}[1]$$

①式を差分化することにより素子 A, B 内の温度分布を調べる。このときの熱伝達率 h は代表値として $50[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ を代入して計算を行った。 ※[2]

(3) ヒーターを用いた実験方法

素子 A とヒーターを用いてを高温側 $250[^\circ\text{C}]$ 、周囲の空気温度を約 $20[^\circ\text{C}]$ に設定して加熱を行った。この時の低温側温度を測定し、シミュレーション結果との比較を行った。

3. 結果

(1) 排熱温度の測定

アイドル時の測定温度は $150[^\circ\text{C}]$ 程度であった。走行時の温度が、軽自動車は約 $300\sim 400[^\circ\text{C}]$ で、普通自動車は $200\sim 350[^\circ\text{C}]$ であったため、熱伝達を考え素子に与えられる温度は $250[^\circ\text{C}]$ 程度になると考えた。

(2) シミュレーション実験結果

図 2 より素子 A と素子 B に $250[^\circ\text{C}]$ の熱を与えて周囲の気温が $20[^\circ\text{C}]$ だった場合のシミュレーション結果での素子端面の温度は A が $192.5[^\circ\text{C}]$ で、B が $25.9[^\circ\text{C}]$ でありその差は $166.6[^\circ\text{C}]$ 生じた。

(3) 素子 A のヒーター加熱による実験結果

ヒーター加熱により高温側温度を $250[^\circ\text{C}]$ に設定したときの実測値による素子 A の端面温度は $185[^\circ\text{C}]$ とシミュレーション結果の $192.5[^\circ\text{C}]$ と比較しても誤差が $4[\%]$ 程度とシミュレーションが十分に機能していることがわかった。

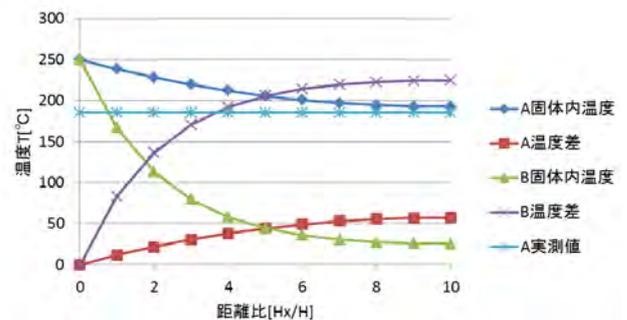


図 2 素子 A, B の距離に対する温度変化

4. まとめ、今後の発展

エクセルを用いた熱伝達シミュレーションが実際の熱伝達をマクロ的に表現するのに有効な手段であることがわかった。

熱電変換素子の発電量は温度差に比例するので素子形状を変えると約 4 倍の発電量を得られる事がシミュレーション結果よりわかった。

文献

- [1] 塩谷震太郎: “伝熱工学の基礎”, オーム社, pp.24-35, 昭和57年2月
- [2] 御岩井裕, 他: “熱流体のシミュレーション”, 丸善第2版, pp.156-173, 平成22年7月