

# 自動車部品を想定した断熱性評価方法の検討（第3報）

## 6 保護熱板法による熱伝導率測定装置の試作と評価

筒本隆博, 長谷川浩治, 羽原雄太, 西川隆敏

Study on evaluation method of thermal transmission properties for automotive parts (3rd report)  
Evaluation of heat conductance with manufactured guarded hot plate apparatus

TSUTSUMOTO Takahiro, HASEGAWA Koji, HABARA Yuta and NISHIKAWA Takatoshi

Electric car is attracted as a vehicle of the next generation. A problem of a mileage decline of the electric car in a winter is pointed out for the heating electric power because it has no large heat source of engine. Therefore, heat insulator of the electric car becomes an important problem. A guarded hot plate method is considered as an evaluation way of the insulator for cars. We consulted JIS A 1414-1 and made an apparatus of the guarded hot plate for the samples with  $100 \times 100 \text{ mm}^2$  square size. 3 kinds of insulator having thermal conductivities from 0.02 to 0.053  $\text{W/m}^2\text{K}$  were measured, and it is confirmed that the apparatus is applicable to the evaluation of the heat insulator.

キーワード：断熱性, 保護熱板法, 熱伝導率, 自動車部品

### 1 緒 言

近年次世代の自動車として電気自動車の開発が進められている。エンジンのような熱源を持たない電気自動車は、暖房のための電力が燃費の悪化を招く問題が指摘され<sup>1)</sup>、効果的な断熱は電気自動車の開発には欠かせない。断熱材の熱伝導率を測定する信頼性の高い手法の一つとして JIS の保護熱板法<sup>2), 3)</sup>がある。この方法は住宅用断熱材の評価方法として広く利用されている。しかし測定のための標準試料サイズが 300mm 以上必要であることなど、自動車用断熱材の評価方法としては試料サイズが大きすぎるという問題がある。そこで保護熱板法で、試料  $100 \times 100 \text{ mm}$  の試料が測定できる装置を試作し、熱伝導率が既知の3つの断熱材の測定を行った。

### 2 評価装置の試作

図1に試作した保護熱板法（二枚方式）の模式図を示す。本手法は、主熱板で発生した熱を上下の測定試料を通して冷却熱板のある垂直方向に流すことにより、試料の熱伝導率を計測する手法である。発生熱量は主熱板ヒーターの電圧と電流の積である電力量  $P(\text{W})$  で計測する。主熱板の周りに設置した保護熱板は、主熱板と同じ温度にすることにより、誤差要因となる水平方向熱漏れを防止する役割がある。

図2に主熱板、保護熱板の寸法とヒーター構造を示す。両熱板はヒーター線を厚さ 1mm の2枚の銅板で挟

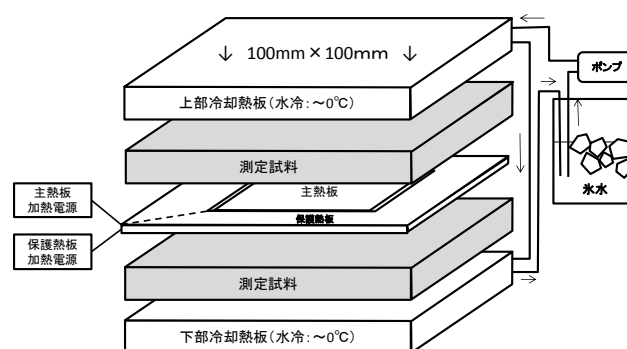


図1 試作した保護熱板法（二枚方式）の模式図

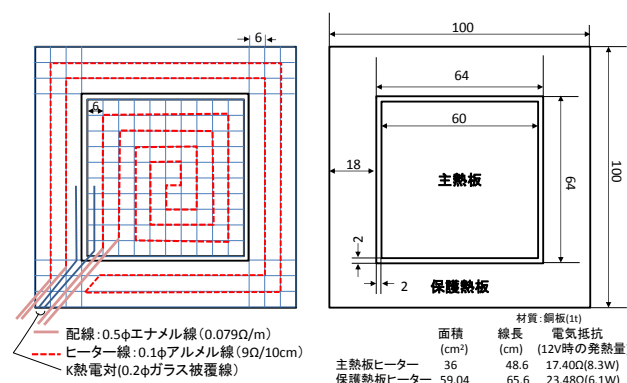


図2 主熱板、保護熱板の寸法（右）、ヒーター構造（左）と電気抵抗

み、エポキシ樹脂で接着する構造とし、銅板のヒーター一面全面を絶縁のためにカプトンテープで覆った。ヒーター線は 0.1mm φ のアルメル線を図2に示す形状に配線した後、線の端部に引き出し線として 0.5mm φ のエナメル線を半田付けして外側に取り出した。各熱板

は 0.2mmφ ガラス被覆の K 熱電対を用い側面近くの温度を測定する。

図3に上下の冷却熱板の水冷構造と寸法と示す。冷却熱板は、一辺が 100mm の正方形の面を持つ厚さ約 10mm の銅板に溝と穴を加工した後、溝と穴を塞ぐようにして厚さ 1mm の銅板、直径 6mm の銅パイプを半田付けした。パイプ端部には、シリコンゴムホースを取り付けて、氷水を循環させ冷却する。

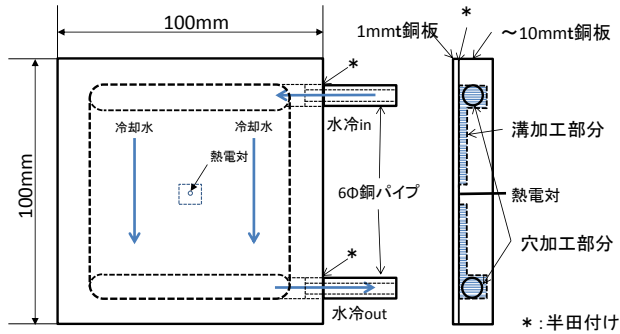


図3 上下冷却熱板の水冷構造と寸法

主熱板ヒーターの加熱はチノー社製の温度制御装置 (DB1160-000) の制御出力を利用し、自作した出力回路 (図4) につないで通電加熱した。温度、電圧、電流の値はデータロガー (キーエンス製, NR-TH08) を用い 1 秒間隔で計測し記録した。

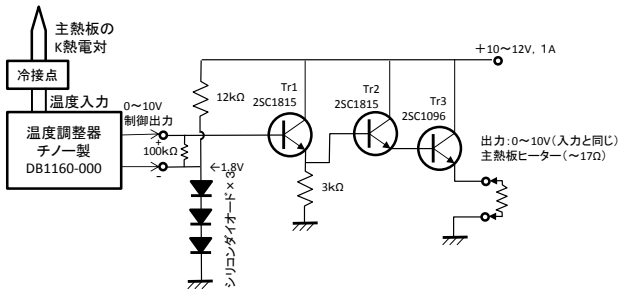


図4 主熱板の温度制御用電源調節回路

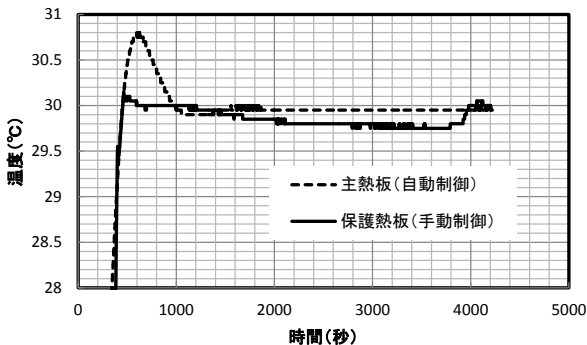


図5 温度制御した時の主熱板, 保護熱板の温度変化の様子

一方、保護熱板は直接直流電源にヒーター抵抗を結線して手動で温度制御した。その時の温度変化の様子を図5に示す。主熱板の自動制御では目標との差が 0.1°C以下で制御することができた。また保護熱板の手動制御でも 0.3°C以内で制御することができた。

温度が安定したところで主熱板温度  $T_1$ , 冷却熱板温度  $T_2$ , 主熱板ヒーターへの印加電圧  $E$ , 電流  $I$  を計測、両者の積である消費電力 ( $P=E \cdot I$ ) から 1 秒ごとに以下の式で試料の熱伝導率  $\lambda_m$  を計算した。

$$\lambda_m = \frac{P \cdot d}{A \cdot (T_1 - T_2)} \quad (1)$$

ここで、 $d$  は試料厚さ (m),  $T_1$  は主熱板温度,  $T_2$  は冷却熱板温度である。また  $A$  は熱透過面積で、主熱板と保護熱板の境界部分の面積 ( $62\text{mm} \times 62\text{mm} = 3844\text{mm}^2$ ) を、主熱板の上下面でカウントし、その 2 倍とした値 ( $3844 \times 2 = 7688 \text{mm}^2 = 0.007688 \text{m}^2$ ) を用いた。

### 3 断熱材の測定結果

表1に測定した3試料 (A, B, C) の各測定値の一例を示す。JIS A1412-1によると、試料の熱抵抗  $R$  ( $\text{K} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ ) は  $0.1 \text{m}^2/\text{K}$  以上であることが望ましい測定範囲であると記載されている。熱抵抗  $R$  は、

$$R = d / \lambda_m \quad (2)$$

と表されるので、各試料の熱伝導率の測定値  $\lambda_m$  と厚さ  $d$  より熱抵抗  $R$  を計算すると、試料 A で  $0.558 \text{K} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ , 試料 B で  $0.338 \text{K} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ , 試料 C で  $0.115 \text{K} \cdot \text{m}^2/\text{W}$  となり、いずれも JIS の測定範囲である  $0.1 \text{K} \cdot \text{m}^2/\text{W}$  以上に入っていた。

表1 試料の測定条件と熱伝導率の測定値,  $\lambda_m$  の一例

試料記号	厚さ (mm)	主熱板温度 $T_1$ (°C)	冷却熱板温度 $T_2$ (°C)	主熱板の消費電力 $P$ (W)	測定値 $\lambda_m$ (W/mk)	メーカー値 $\lambda$ (W/mk)
A	12.0	20.05	0.05	0.287	0.0215	0.02
B	10.8	20.00	0.20	0.450	0.0317	0.032
C	6.1	20.10	0.15	1.388	0.0552	0.053

そこで測定を繰り返して行うため主熱板温度を 15, 20, 30°C, 40°C の水準の中から選択して 1 試料につき条件を変えて複数回の測定を行った。その時の測定値とメーカー値の比較を図6に示す。各プロット点は 1 秒ごとに表示される値を読み取った数値から計算し、平均化はしていない。

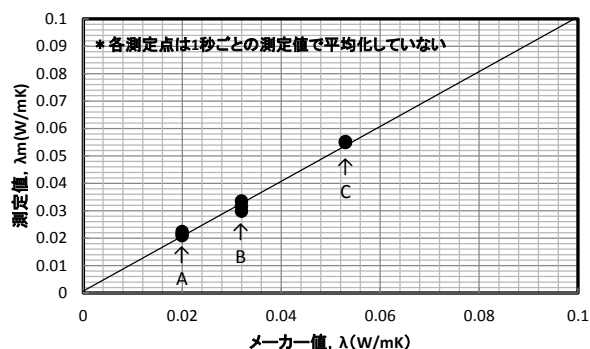


図6 測定した熱伝導率 $\lambda_m$ のメーカー値 $\lambda$ との比較

これより、測定した熱伝導率 $\lambda_m$ はメーカー値 $\lambda$ と比較的良く一致していることがわかる。

一方、主熱板ヒーターの消費電力 $P(W)$ の1秒ごとの値は図7に示すように、温度の自動制御により大きく変動し、変動率は20%近くあることがわかった。

図6では1秒ごとの瞬時値で読み取った測定値が比較的ばらつきの少ない結果となったが、図7のように測定値が変動の多い値を直読すると、誤差の原因となる恐れもある。そこで1秒ごとの $P(W)$ の測定値を60秒で移動平均した。

図8に電力値の変動に及ぼす平均化の影響を示す。これより60点で移動平均化することにより、変動率は19.5%から1.5%に大きく減少している。

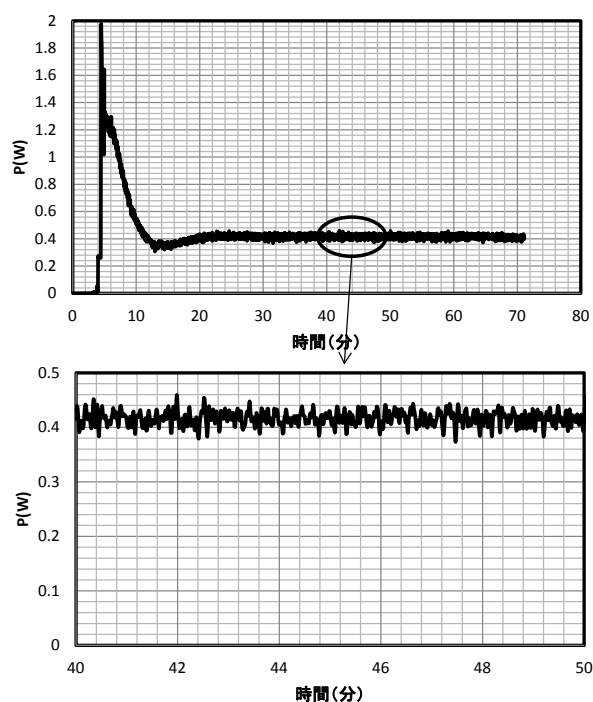


図7 自動制御による主熱板の消費電力 $P(W)$ の変動

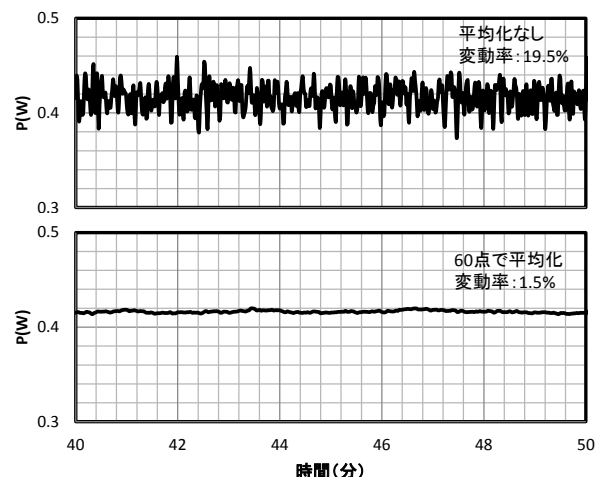


図8 主熱板ヒーターの消費電力値 $P(W)$ の変動に及ぼす60点移動平均化の影響

これより、温度の自動制御を行う場合、測定した消費電力値は60点程度の平均化で、安定な測定を実現できることがわかった。

## 4 結 言

JIS A 1412-1を参考にして、試料サイズ $100 \times 100$ mmの保護熱版法(2枚方式)の装置を試作して、熱伝導率が $0.02 \sim 0.053 \text{ W/m}^2\text{K}$ の3種類の断熱材の熱伝導率を測定し、以下の結論を得た。

- (1) 主熱板と保護熱板の温度制御は、自動制御で $0.1^\circ\text{C}$ 以内、手動制御で $0.3^\circ\text{C}$ 以内の偏差で制御できた。
- (2) 測定した熱伝導率はメーカーの提示した値と比較的良く一致した。
- (3) 誤差要因としては、温度の自動制御による電力測定値の変動がある。
- (4) 主熱板温度の自動制御を行う場合は、変動の少ない安定な電力測定値を得るためには60点程度の平均化が有効である。

## 文 献

- 1) 森田：[http://www.science-t.com/st/\\_projects/sandt/pdf/M020sample.pdf](http://www.science-t.com/st/_projects/sandt/pdf/M020sample.pdf), 4
- 2) JIS A 1412-1:2016 (熱絶縁材の熱抵抗及び熱伝導率の測定方法—第一部:保護熱版法(GHP法))
- 3) 大村:計測と制御, 54(2015), 5, 345