

5 自動車部品を想定した断熱性能評価方法の検討

羽原雄太, 長谷川浩治, 筒本隆博

Study on evaluation method of thermal transmission properties for automotive parts

HABARA Yuta, HASEGAWA Koji and TSUTSUMOTO Takahiro

In automobile development, the utilization of heat is attracting attention as method for improving fuel consumption of combustion engine. The high-performance heat insulator is necessary for that development. Evaluation of thermal transmission properties of the heat insulator requires a lot of time and cost. Therefore we proposed the two simple methods to evaluate the heat insulation performance, and considered the way to shorten measurement time. As a result, measurement time was reduced to 1/5.

キーワード：断熱材, 熱貫流率, 温度測定

1 結 言

自動車製造業においては、環境に配慮した自動車づくりは急務の課題である。車体の軽量化や燃費の良いエンジン開発が進む中で、熱の有効利用に注目が集まりつつある。例えば、夏場でのエアコンの使用は、自動車の燃費を1～数%下げる。一方、自動車キャビンの断熱性能を向上させることで、0.1～1%程度の燃費改善の可能性がある。それが達成されれば、自動車の売上に大きなインパクトを与えることが出来る。各サプライヤー企業において、この改善の価値は極めて高く、今後、高性能断熱材の開発を推進することが、ますます重要になると考えられる。

これらの開発では、断熱性能の評価が必要となるが、現状では、自動車部材に合わせた断熱性の評価方法は確立されていない。そのため評価基準としては建材用の断熱性能評価方法 (JIS A1412) を用いることもある。しかし、その評価が自動車部品の断熱性能を正しく評価できているかは定かでない。

そこで、自動車部材を対象として断熱性能を簡易、かつ迅速に評価する2つの方法を検討した。これらを自然冷却法、加熱電力法と命名し測定装置を試作し、いくつかの自動車用断熱材の断熱性能を評価した。

2 断熱性能評価方法

2.1 自然冷却法による断熱性能評価方法

図1に示すように銅板の中心部に熱電対を挿入し、それらを測定試料で挟み込んだ。銅板側面からの熱の漏洩を抑えるために周辺を断熱材の枠で囲んだ。これらを恒

温槽の中に入れ一定の温度になるまで昇温させ、外へ取り出し室温で自然冷却させる。その温度変化を測定する。この時、図2に示すように断熱性能の高低により冷却曲線は変化する。

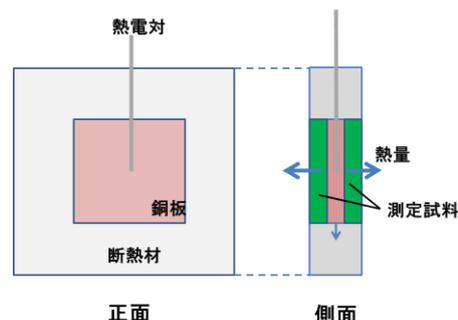


図1 自然冷却法による実験装置

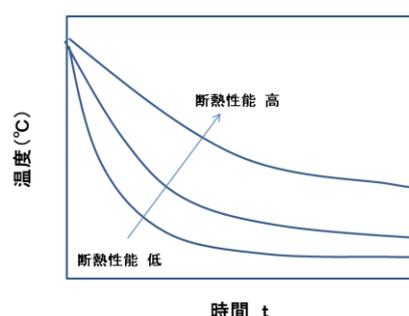


図2 自然冷却法で予想される銅板の温度変化

この冷却曲線は、ニュートンの冷却の法則から¹⁾、銅板の温度を T (K)、初期温度を T_0 (K)、室温を T_m (K)、測定試料の大きさに触れる面積を S (m^2)、銅板の熱容量を C (J/K)、試料の熱貫流率を κ (W/m^2K)、時間を t (s) とし、取り囲んだ断熱材を通しての熱の逃げは十分に小さいと仮定すると、これらの関係は、次式で表される。

$$\ln\left(\frac{T - T_m}{T_0 - T_m}\right) = -\frac{\kappa S}{C} t \quad (1)$$

(1) 式の左辺を縦軸に時間の関数としてプロットすれば、その傾きから試料の熱貫流率 κ を求めることができる(図3)。自然冷却法は温度の時間変化から κ を求める非定常的な測定方法である。また、(1) 式は擬定常を仮定して求めているため、擬定常状態になるまでの時間をどうとるか、誤差を含む可能性がある。しかし、定常状態になるまでの待ち時間が不要であることや、多数の試料を恒温槽に入れ、同時に取り出して一度に測定できる利点がある。

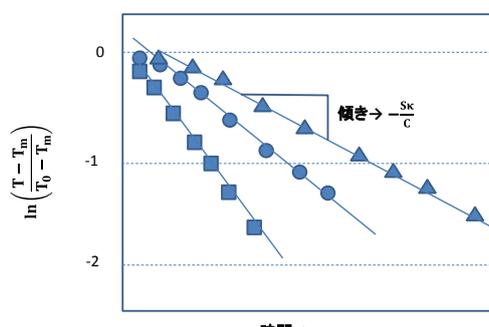


図3 自然冷却法で予想される銅板の温度変化

作製した実験装置を写真1に示す。銅板のサイズは60mm×60mm×t12mm、それを取り囲む断熱材は熱伝導率が0.02(W/m²K)の旭化成製ネオマフォームDH厚さ12mmを使用した。熱電対は、直径1mmのシース型を使用した。温度記録用のデータロガーは、キーエンス製NR-500を用いた。サンプリング間隔は1secとした。

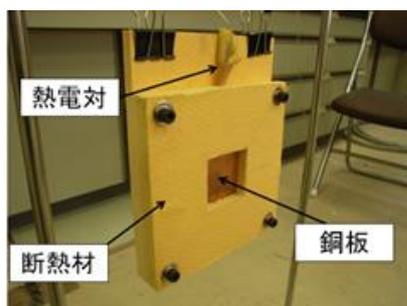


写真1 実験装置の外観(自然冷却法)

2.2 加熱電力法による断熱性能評価方法

図4に示すように、内部に熱電対とヒータを挿入した銅板を自然冷却法と同様に測定試料で挟み込み、周辺を断熱材で覆う。ヒータに一定電力を加え、銅板の温度が一定になるまで静置する。この時、断熱性能の高いものは銅板の温度は高く、断熱性能の低いものは銅板の温度

が低くなる(図5)。銅板の最終到達温度を T_s (K)、室温を T_m (K)、測定試料の大きさに触れる面積を S (m²)、投入電力を E (W)、試料の熱貫流率を κ (W/m²K) とすると(2) 式の関係となり電力 E と銅板の最終到達温度 T_s 、および室温 T_m を測定すれば、試料の熱貫流率 κ を求めることができる。

$$\kappa = \frac{E}{S(T_s - T_m)} \quad (2)$$

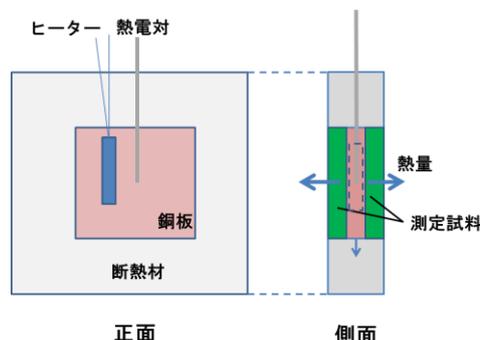


図4 加熱電力法による実験装置

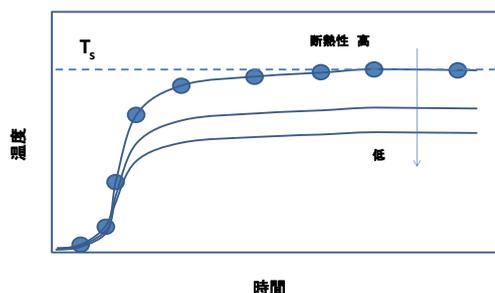


図5 加熱電力法で予想される銅板の温度変化

この加熱電力法は定常状態での測定方法であり、自然冷却法に比べ過渡現象を要因とした誤差を少なくできると考えられる。しかし、温度が定常状態となるまでに時間を要するため、自然冷却法に比べ測定が長時間となる欠点がある。

加熱電力法の実験装置を写真2に示す。銅板のサイズ、断熱材の材質、熱電対は、前述した自然冷却法のものと同じとした。

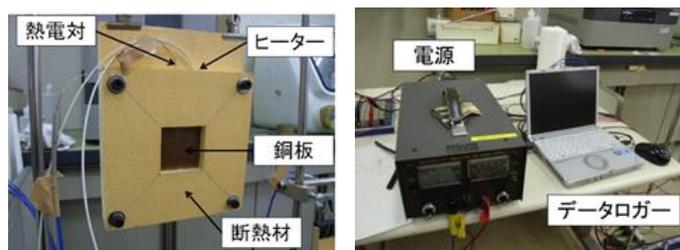


写真2 実験装置の外観(加熱電力法)

3 実験結果と考察

3.1 測定サンプル

自動車用断熱材を想定した測定試料の外観を**写真3**に示す。①, ②, ③は異種材料による積層構造となっており, ④, ⑤については繊維状の単一素材から構成されている。これらについて自然冷却法と加熱電力法を用いて熱貫流率を測定した。①, ②, ③については積層構造のため裏返した状態での測定も行った。

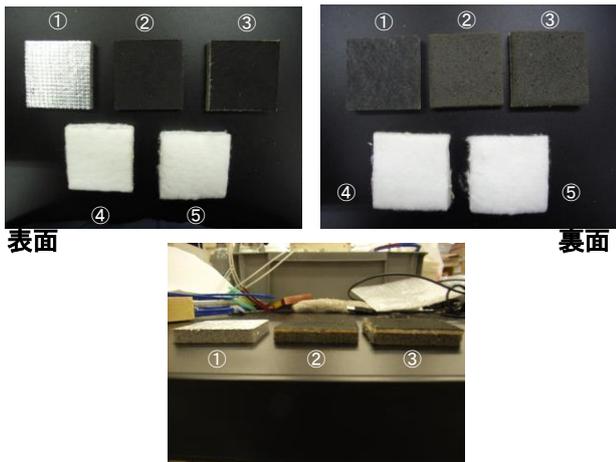


写真3 測定試料の外観

3.2 自然冷却法による測定結果

試料を 80℃の恒温槽に入れ十分に安定した後, 取り出して銅板の温度の時間変化を測定した。室温まで下がり一定の温度になるまでに 8~10 時間を要した。測定した銅板と室温の温度データ T , T_m を (1) 式に代入し, 冷却曲線をプロットしたものを**図6**に示す。

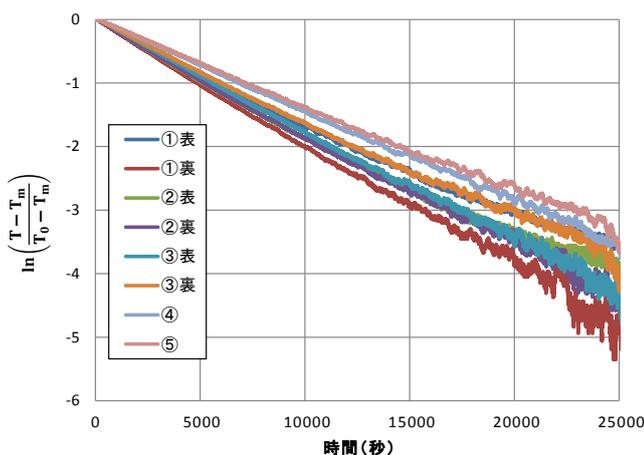


図6 自然冷却法で得られた銅板の温度変化

次に, これらの冷却曲線の傾きから算出した熱貫流率を**表1**に示す。25000 秒以降のデータはノイズが大きいため, 24000 秒までのデータを用いて各試料の熱貫流率を求めた。この時, 銅の単位重さあたりの比熱を

0.385(J/g・K), 質量密度を 8900(kg/m³)とした。これらをもとに, 熱容量 C を 148.02(J/K)とした。また, 5000 秒までの測定データを用いて同様に熱貫流率を求めた。これらの結果から自然冷却法によって試料間の熱還流率の相対評価が可能であることがわかった。

表1 自然冷却法による各測定試料の熱貫流率
(①~③上段:表面 下段:裏面)

試料名	①	②	③	④	⑤
24000秒測定時の熱貫流率 [W/㎡・K]	2.99	3.30	3.49	2.90	2.71
5000秒測定時の熱貫流率 [W/㎡・K]	3.66	4.00	3.63	2.91	2.79
	4.24	3.96	3.40		

自然冷却法による熱貫流率について, 測定時間 24000 秒と 5000 秒で比較した結果を**図7**に示す。時間を短くすると相対的に高い値となることがわかる。これは測定初期の方が試料表面の温度が高く, 加熱された空気の流れが大きくなり空気層の熱伝達係数が相対的に大きくなったためと考えられる。

これらの検討より測定時間を短縮しても試料間の断熱性能の相対評価が可能であることがわかった。また, 積層構造をもつ①, ②, ③の試料については表面と裏面ではそれぞれ測定結果が異なった。

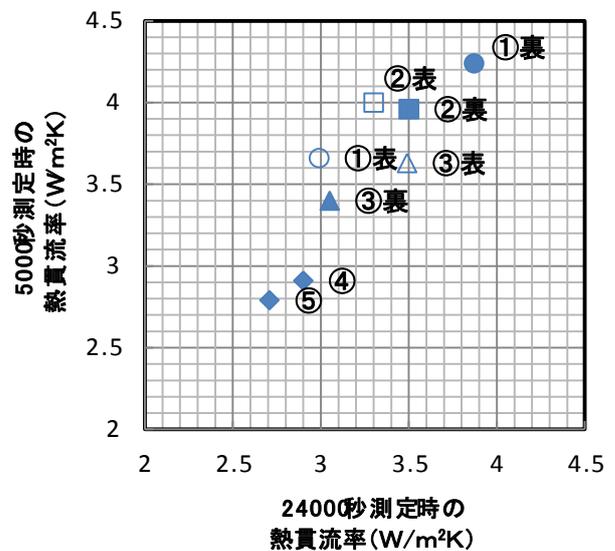


図7 異なる測定時間での自然冷却法の熱貫流率比較

3.3 加熱電力法による測定結果

自然冷却法で測定したのと同じ試料について加熱電力法を用いて熱貫流率を測定した。温度測定データの代表例を**図8**に示す。投入電力は 2W とした。電力を投入してから銅板の温度変化を測定し, 温度上昇がなくなり定常になった時点での銅板の温度と外気温, 投入電力から (2) 式を用いて熱貫流率を求めた。その結果を**表2**に示す。定常に到達するまでには, 各試料 5~8 時間

(18000~28800 秒) を要した。加熱電力法の測定においても自然冷却法と同様に積層構造をもつ①, ②, ③の試料については表面と裏面で測定結果が異なった。

4 結 言

自動車用断熱材について、自然冷却法と加熱電力法を用いて断熱性能を評価した。その結果、以下の結論を得た。

- (1) 自然冷却法では試料間の断熱性能の相対評価が可能である。
- (2) 自然冷却法で測定時間を短縮すると測定値は大きくなるが、試料間の断熱性能の相対評価は変わらない。
- (3) 両測定方法において積層構造をもつ①, ②, ③の試料については、表面と裏面ではそれぞれ測定結果が異なる。
- (4) 自然冷却法と加熱電力法を比較すると、熱貫流率の上下関係は、ほぼ対応するが、加熱電力法の方が 1.2 倍から 1.4 倍ほど大きい。

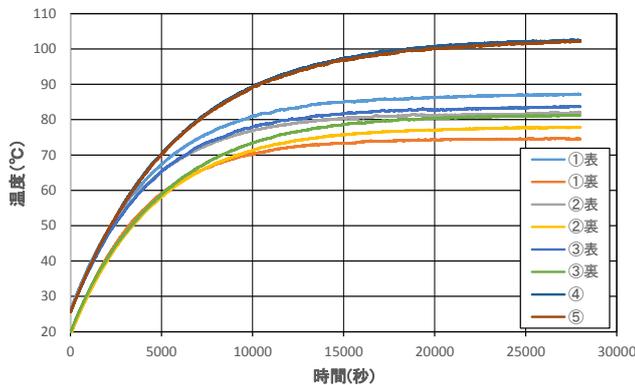


図8 加熱電力法による温度測定データ

表2 加熱電力法による各測定試料の熱貫流率
(①~③上段:表面 下段:裏面)

試料名	①	②	③	④	⑤
熱貫流率 [W/m ² ·K]	4.65 5.11	5.07 4.87	4.91 4.60	3.72	3.68

自然冷却法の 5000 秒で測定した熱貫流率と、加熱電力法で求めた値と比較した結果を図9に示す。測定値の上下関係は概ね対応するが、加熱電力法の方が 1.2 倍から 1.4 倍ほど大きい。これは加熱電力法が、試料表面温度の高い状況で測定しているため、対流による空気層の流れが大きく、空気の熱伝達係数が大きい(すなわち空気層の境膜厚さが小さい)ためと考えられる。

両測定方法において、積層構造をもつ試料の表面と裏面で断熱性能が異なった。これは、空気や銅との接触抵抗や大気への熱放射が各積層材料によって異なることが要因と考えられる。この点は、今まで断熱性能の評価に用いられてきた建材の評価方法では示唆されにくかった点であり、今回採用した測定方法が自動車部品としての使用環境に適した測定方法であることが示されたと考えられる。

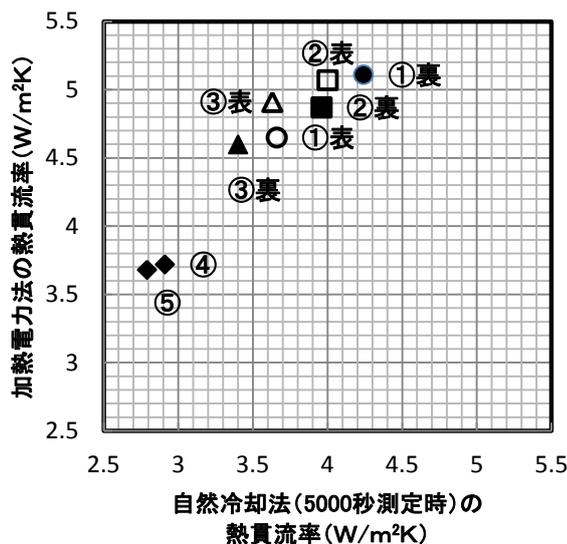


図9 加熱電力法と自然冷却法の比較

文 献

- 1) 一色他：伝熱工学 森北出版株式会社(2014), 30