

自動車部品を想定した断熱性能評価方法の検討 (第9報) 6 保護熱箱法を利用した材料に対する対流と輻射の評価

長谷川浩治, 筒本隆博

Improvement of hot box method for evaluating effect of radiation and convection
on heat transfer property

HASEGAWA Koji and TSUTSUMOTO Takahiro

Thermal condition of automobiles are affected from the convection, the wind and the radiation from the sun. We proposed a method to evaluate the effects of thermal radiation and air convection on the heat transfer of an automotive part by improving the hot box method. As a result of measuring some samples by this method, we confirmed that the effects of radiation and convection could be obtained by the change of heater power in the hot box.

キーワード：輻射熱, 対流, 保護熱箱法

1 緒 言

自動車は、太陽光や風及び走行による空気の強制対流のある状況下で使用される。車内温度は、自動車部品の断熱性能や使用環境によって変化する。自動車開発では、快適性を求められるため、部品の断熱性能向上は重要な課題となっている。これまで、当センターでは、材料の断熱性能である熱貫流率を簡易的に評価する方法や、実車両を用いた熱貫流率の評価方法について提案^{1),2)}してきた。今回、提案した保護熱箱法による断熱性能評価装置を利用し、材料に対する輻射や対流熱伝達の影響を評価するための装置を試作した。具体的には保護熱箱に外気温度調整用の冷却箱を取り付け、その冷却箱に輻射光を取り込むための窓や、冷却箱内部の対流の速度を変えるためのファンの制御装置を組み込んだ。また、この評価装置を用いて、平板サンプルに対する対流と輻射の熱的な影響を測定したので報告する。

2 輻射及び対流による断熱性能評価方法

2.1 保護熱箱法を利用した輻射・対流の評価方法

材料に対する輻射・対流の影響を評価するための測定装置構成を図1に示す。保護熱箱法による断熱性能評価装置¹⁾の加熱箱上部に、冷却箱を取り付けた。これにより、外気温度を制御するための恒温室が不要となり、試料表面の風速(対流)の制御も、より容易になることが期待できる。冷却箱内部は、箱内部の風量を制御するため、空気循環用ファンの駆動電圧を変更できるようにした。また、温度を制御するために水冷の冷却用フィンと温度調節用のヒーターがある。さらに、試料に対する輻

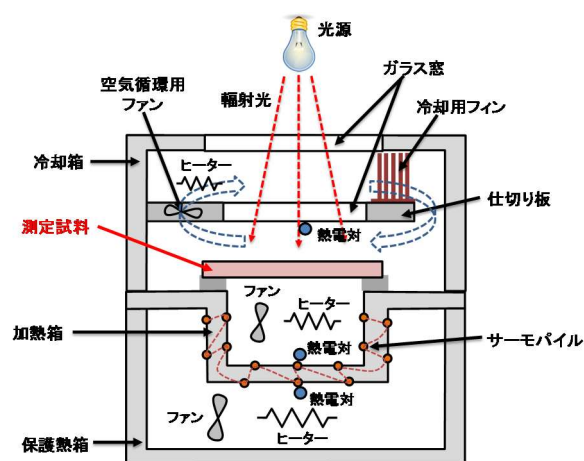


図1 輻射・対流を評価するための測定装置(断面図)

射の評価を行うための光源(赤外線電球)を上部に配置し、輻射光が試料表面に届くようにガラス窓を取り付けた。

加熱箱と保護熱箱の内部にファンとヒーターを設置し、空気を加熱循環させつつ加熱箱と保護熱箱内を目標温度に制御する。加熱箱と保護熱箱の間の隔壁には等面積間隔でK熱電対の素線から成るサーモパイルの接点を配置した。このサーモパイルの電圧出力がゼロになるように、加熱箱内部のヒーター出力を制御することで、隔壁全体の熱収支がゼロとなる。よって、加熱箱内で発生したエネルギーは、加熱箱内から測定試料を通過する熱エネルギーと等価になる。加熱箱内のヒーター及びファンの消費電力Eを測定し、加熱箱内温度 T_s と冷却箱内温度 T_m との差と、熱通過面積Sで除することで、測定試料の断熱性能である熱貫流率 κ ($W/(m^2 \cdot K)$)が式(1)のように求められる。

$$\kappa = \frac{E}{S(T_s - T_m)} \quad (1)$$

加熱箱内部の温度は、指定した温度に保たれるようにヒーターを制御している。したがって、光源から加熱箱内に輻射エネルギーが入ると、加熱箱内のヒーターの消費電力が変化する。また、風量を変化させると、試料と空気との熱伝達係数が変わるため、加熱箱内のヒーターの消費電力も変化する。以上のように、ヒーターの消費電力の変化から、輻射と対流の強さの影響を測定することとした。

2.2 実験装置の試作

試作した評価装置の外観を**写真1**に示す。保護熱箱と冷却箱は、建築用断熱材（旭化成建材（株）ネオマフォーム 厚さ30mm）を用いて試作し、加熱箱は、断熱材（ネオマフォーム 厚さ12mm）を用いて、試料設置部の開口部が200mm角の箱形状とした。加熱箱の内部の様子を**写真2**に示す。加熱箱表面に取り付けるサーモパイルの接点は、等面積間隔で配置した。加熱箱の内部には、熱電対、空気循環用のファン及びニクロム線ヒーターを設置した。そのヒーター及びファンの消費電力を測定して、試料を通過する熱エネルギーとした。熱電対は、加熱箱と冷却箱の内部温度の測定用に1箇所ずつ取り付けた。冷却箱の内部を**写真3**に示す。冷却箱は、装置外部の光源からの輻射光が試料に到達するよう試料の上側の仕切り板にガラス窓を設けている。

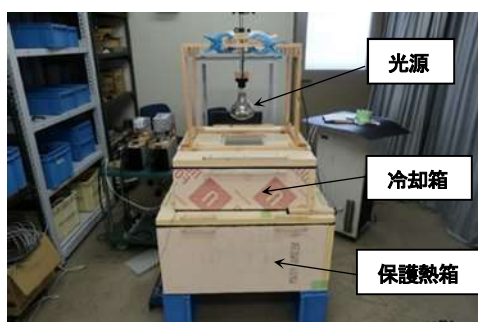


写真1 評価装置の外観

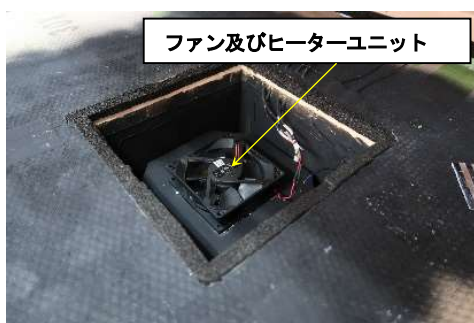


写真2 加熱箱の内部

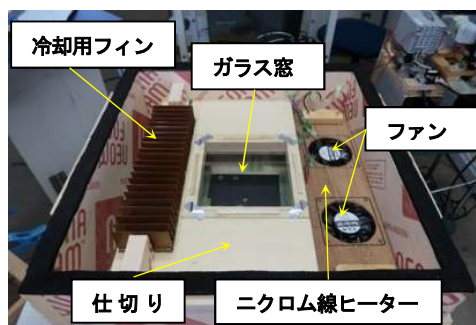


写真3 冷却箱の内部

2.3 実験条件

材料に入射する輻射や材料表面の対流を評価するための測定試料は、アルミニウム板（厚さ3mm）、ポリプロピレン板（厚さ0.7mm）、ガラス板（厚さ4mm）で、220mm角の大きさとした。（**写真4**）

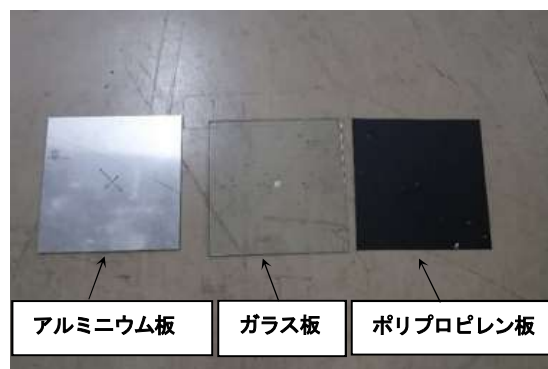


写真4 測定試料

温度条件は、加熱箱内部を約40℃、冷却箱内部を20℃とし、測定は1秒間隔で行った。測定開始から熱的な定常状態になり熱貫流率の値が安定した後、安定時の加熱箱内部のヒーターとファンの消費電力の値を平均化（100秒間）し、消費電力の代表値とした。

3 実験結果

3.1 材料に対する輻射光の影響

試料の中心が100W/m²の照射強度になるように、輻射センサーでモニタし、光源の強度を調整した。その後、輻射光の有無に対する熱箱の消費電力の変化を測定した。測定結果を**図2**に示す。

光源からの輻射光がない場合、試料であるガラス板、アルミニウム板、ポリプロピレン板における加熱箱内の消費電力は、ほぼ同等であった。光源を照射しない場合の断熱性能では、試料と試料表面の空気との熱伝達が支配的となるため、加熱箱内の消費電力は、ほぼ同程度になったと考えられる。

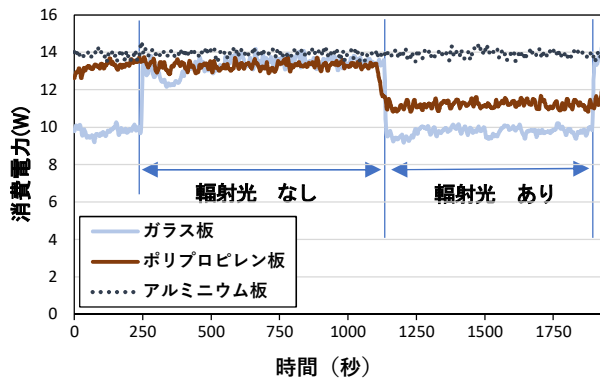


図2 放射光の有無による加熱箱内の消費電力の変化

放射光がある場合では、加熱箱内の消費電力に差が生じ、ガラス板は、消費電力が最も小さく、次にポリプロピレン板が小さくなる結果となった。ガラス板は、放射光を透過するため、加熱箱に直接エネルギーが伝わり、加熱箱内のヒーターの消費電力が小さくなったと考えられる。アルミニウム板は、放射率が低い光源からの放射光をほぼ反射し加熱箱内に直接放射光が伝わらないため、放射光の有無による加熱箱内の消費電力に差のない状態となったと考えられる。これらの結果から放射光の有無による消費電力の差により、材料に対する放射光の影響を評価できることがわかった。

3.2 材料に対する対流の影響

冷却箱内の空気循環用ファンの駆動電圧を 12V から 20V まで 2V 間隔で変えて風量を変化させ、加熱箱内の消費電力と風量の関係を測定した。その一例を図3に示す。光源の入力電圧は 50V、風量は、ファンの電圧から流量に換算した (2.5~4.1 m³/min)。

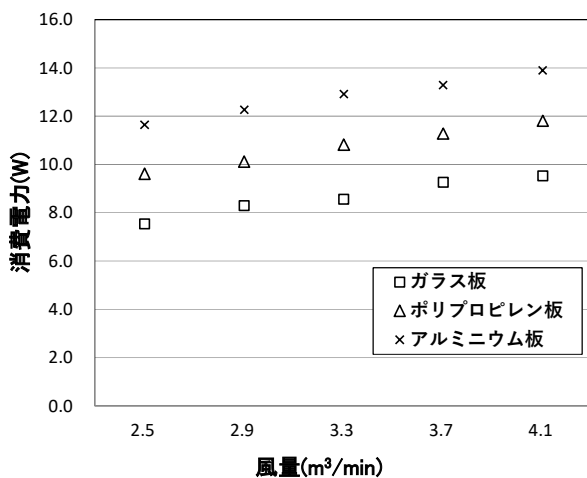


図3 風量の変化に対する加熱箱内の消費電力

アルミニウム板、ガラス板、ポリプロピレン板とも、風量が大きくなるにつれて、消費電力も増加している。冷却箱の風量が増加すると、熱伝達率が上昇し材料が冷却されることで、熱箱内の消費電力も上昇していることが確認できた。

4 結 言

試料に対する放射光と材料表面の対流の影響を評価できる保護熱箱を試作した。試作した装置を用いて、アルミニウム板、ガラス板、ポリプロピレン板を測定した結果、以下のことが確認できた。

- (1) 試料に光源からの放射光を照射すると、熱箱内の消費エネルギーが低下し、その低下の程度は、アルミニウム板が最も小さく、次にポリプロピレン板、ガラス板の順に大きくなった。ガラス板は、放射光を透過するため、加熱箱に直接熱エネルギーが伝わり、加熱箱内の消費電力の低下が大きくなり、アルミニウム板は、放射率が低く放射光を反射するために、消費電力の低下が非常に少なかったためであると考えられる。
- (2) アルミニウム板、ガラス板、ポリプロピレン板とも、冷却箱のファンの風量が大きくなると消費電力も増加した。冷却側の材料表面に風が当たることで、空気と材料間の熱伝達率が上昇したためであると考えられる。

以上の結果から、試作した装置は、対流や放射の影響を熱箱内の消費電力の変化として把握することが可能で、試料の断熱性評価に有効であることが示された。

今後は、この測定装置を用いて、構造部材の断熱性能を測定し、それらのデータから放射や対流の影響も含めた材料の断熱性能を見積もるためのモデル式を構築する予定である。

文 献

- 1) 長谷川他：広島県西部工技研究報告, 61 (2018), 7
- 2) 長谷川他：広島県西部工技研究報告, 63 (2020), 11