ノート

熱量測定法と基礎実験

三村　和弘*

A Measuring Method of Heat Capacity and Basic Experiment

MIMURA Kazuhiro*

1. 緒　　言

平成 21 年度に開催した排熱利用研究会において，食品工場で使われている運行釜からの排熱を有効活用する方法として，スターリング発電機を利用する研究を考案した。そこで，実際に運行釜からの放熱量を知るため，熱量を測定する装置を製作し基礎実験を行った。

2. 熱量測定装置

2.1 装置の概要

製作した熱量測定装置を図 1 に示す。熱流束センサ（Captec 製 HF シリーズ，20mm×20mm）は，片面に黒色耐熱塗料を塗布し，輻射センサ（Captec 製 RF シリーズ，20mm×20mm）と並べ，冷却板として用いたアルミ板（60mm×38mm，厚さ 22mm）上に熱伝導グリスを介して密着させ，六角穴付きボルトで固定した。また，センサの半田部を耐熱テープで保護し，K 熱電対を各センサとアルミ板の間に埋込んだ。さらに，実際の運行釜でも測定を可能とするためステンレス製パイプ（1000mm）をアルミ板に取り付け，可搬性を良くした。

2.2 測定の原理

各センサは，メーカが行った較正により感度が決定されている。熱流束センサの感度は，3.66μV /(W/m^2)であり，1W/m^2 の熱流束に対して，3.66μV が出力される。この熱流束センサのセンシング部は，高精度のサーモパイル（銅－コンスタンタン）で構成され，サーモパイルの各々の接点で，熱エネルギーに差が生じ，出力電圧はセンサ表面を通過する全ての熱流束に比例して出力される。

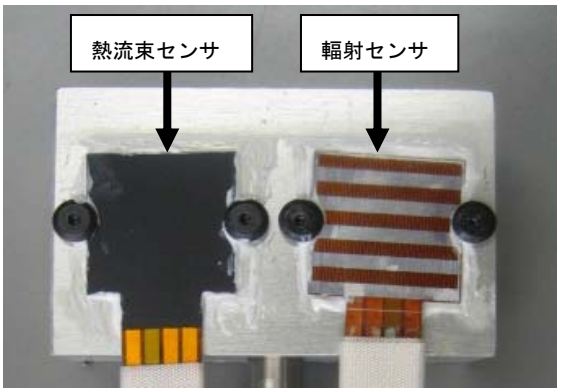

図 1　熱量測定装置

また，輻射センサの感度は，1.91μV /(W/m^2)である。このセンサは，表面の吸熱フィルムに反射板が一定間隔で蒸着されており，吸熱フィルムへ直接入射する輻射熱だけが反応し，温接点・冷接点に熱エネルギー差を発生させて起電力を生じさせている [1)]。

3. 実験方法

熱量測定の実験は，電気ヒータからの熱流束と輻射の値を測定した。図 2 のように電気ヒータ上方へ 60mm，120mm，240mm の距離に熱量測定装置を固定し実験を行った。また，対流の影響を調べるために，送風装置として DC ファンをヒータ上に取り付けた。

また，運行釜の熱量測定は，熱源からの距離が 120mm 以内の放熱を測定するので，この範囲内での輻射と対流の関係を明らかにした。

＊ 下越技術支援センター

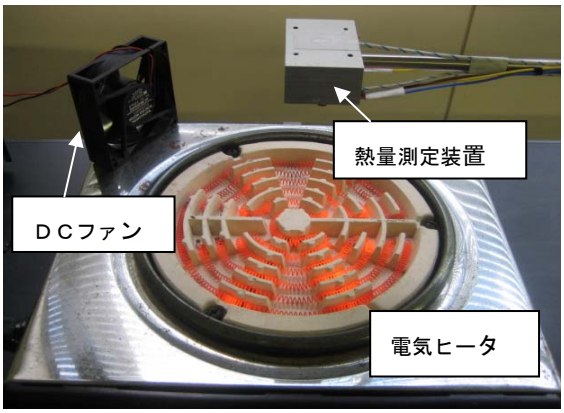

図 2　実験方法

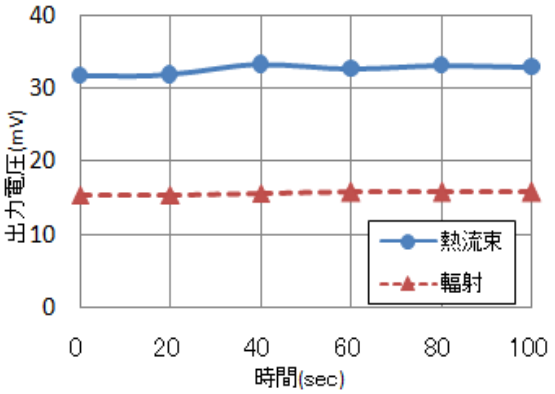

図 4　ヒータ上方 60mm での出力電圧

4　電気ヒータの熱量測定

4.1　ヒータ上方 120mmの熱量測定

電気ヒータの出力を 600W に設定し，ヒータ上方 120mm に熱量測定装置をヒータ面に対して，ほぼ平行に配置し 100 秒間測定を行った。各センサからの出力電圧を図 3 に示す。このとき，開始 80 秒後の出力電圧は，熱流束センサでは，15.2mV であり，センサ感度との関係より 熱流束 q_1 を求めると，

$$q_1=(15.2\times10^3)\div3.66=4.15\times10^3$$

となり，q_1 は 4.15×10^3 W/m^2 である。

また，同時間の輻射センサからの出力電圧は 5.61 mV なので，センサ感度との関係より単位面積当たりの輻射熱 r_1 は

$$r_1=(5.61\times10^3)\div1.91=2.94\times10^3$$

となり，r_1 は 2.94×10^3 W/m^2 である。

さらに，熱流束センサは，全熱流束をセンシングしているので，熱流束と輻射熱の差が対流の熱量になる。したがって，差を求めて対流の単位面積当たりの熱量 c_1 を求めると

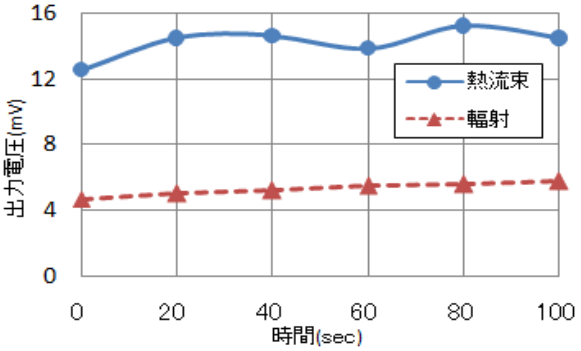

図 3　ヒータ上方 120mm での出力電圧

$$c_1=q_1-r_1=(4.15\times10^3)-(2.94\times10^3)$$
$$=1.21\times10^3$$

となり，c_1 は 1.21×10^3 W/m^2 である。

4.2　ヒータ上方 60mmの熱量測定

電気ヒータと熱量測定装置の距離を短くしてヒータ上方 60mm で同様の熱量測定を行った。各センサからの出力電圧を図 4 に示す。開始 80 秒後の熱流束と輻射の出力電圧はそれぞれ 33.1 mV，15.8 mV なので，熱流束 q_2 と単位面積当たりの輻射熱 r_2 を求めると

$$q_2=(33.1\times10^3)\div3.66=9.04\times10^3$$
$$r_2=(15.8\times10^3)\div1.91=8.27\times10^3$$

となり，対流の単位面積当たりの熱量 c_2 は

$$c_2=(9.04\times10^3)-(8.27\times10^3)=0.77\times10^3$$

と計算されるので，q_2 は 9.04×10^3 W/m^2，r_2 は 8.27×10^3 W/m^2，c_2 は 0.77×10^3 W/m^2 である。

4.3　ヒータ上方 240mmの熱量測定

運行釜の測定において，熱源から 200mm 以上の距離では，設備の構造上，測定が不可能であるが，熱源からの距離を長くしたときの輻射と対流の関係を理解するため，電気ヒータと熱量測定装置の距離を長くし，ヒータ上方 240mm で熱量測定を行った。各センサからの出力電圧を図 5 に示す。開始 80 秒後の熱流束と輻射の出力電圧はそれぞれ 4.19 mV，2.15 mV なので，熱流束 q_3 と単位面積当たりの輻射熱 r_3 は，

$$q_3=(4.19\times10^3)\div3.66=1.14\times10^3$$

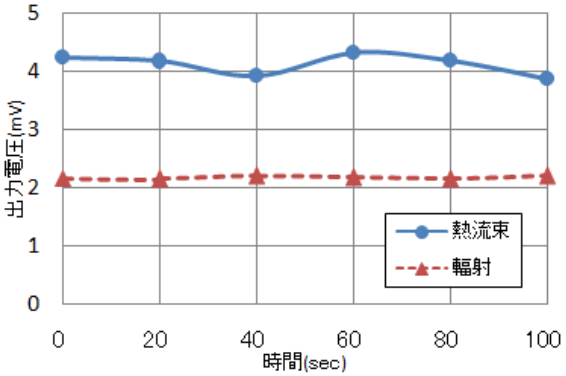

図 5　ヒータ上方 240mm での出力電圧

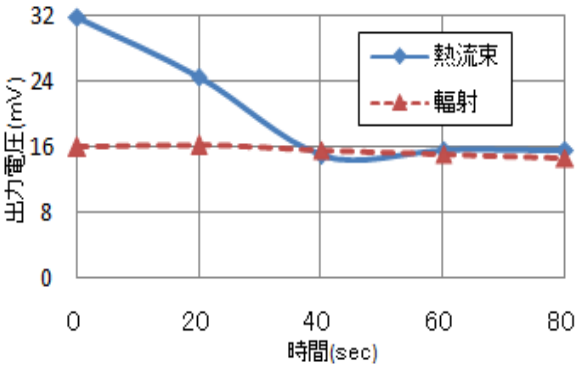

図 6　送風実験結果

r_3=(2.15×10^3)÷1.91=1.13×10^3

となり，q_3 は 1.14×10^3 W/m^2，r_3 は 1.13×10^3 W/m^2 となる。対流の熱量は少なく，大部分が輻射熱である。

4.4　距離の違いによる輻射と対流の割合

距離の違いによる輻射と対流の割合を考えると，120mm の場合は，輻射と対流の熱量比較より，輻射 2.94×10^3 に対して，対流 1.21×10^3 なので，この熱量の割合を簡単な整数比にすると輻射：対流＝7：3 である。同様にして 60mm の場合は，輻射 8.27×10^3 であり，対流 0.77×10^3 なので，輻射：対流＝9：1 になる。したがって，この 2 つの実験では，電気ヒータ表面に近い方が輻射熱の割合が大きく，距離が長くなると，対流の割合が増加することがわかる。しかし，ヒータ上方 240mm に関しては，対流がほとんどない結果であった。実際には，距離が長くなったため，気流等の外乱の影響が大きいと考えられる。

5.　対流の影響を明らかにする実験

対流の影響を明らかにするため，熱量測定装置と電気ヒータ間に送風して乱流を起こし，熱量の変化を確認する実験を行った。電気ヒータを 600W にし，ヒータ上方 60mm の熱量測定で，測定直後に DC ファンを動作させて送風した。この送風実験結果を図 6 に示す。図 6 より，熱流速センサの出力電圧は開始直後から徐々に下がり始め、40 秒後に一定になっている。

一方，輻射センサの出力電圧は，送風時もほぼ一定を保っている。したがって，熱流速センサは対流の影響を大きく受けることが確認できた。また，開始 80 秒後の熱流束 q_4 と単位面積当たりの輻射熱 r_4 を算出すると，q_4 は 4.26×10^3 W/m^2 であり，r_4 は 7.64×10^3 W/m^2 である。ここで，q_4＜r_4 となり輻射の値が熱流束より大きくなるが，これは送風によって，熱流速センサ及び冷却板から熱が奪われたためと思われる。

6.　結　　言

(1) 運行釜の熱量を測定する熱量測定装置を製作した。この装置は，熱流束と輻射熱を測定することが可能であり，工場内にある設備の測定にも使用できる。

(2) 電気ヒータを熱源として，　ヒータから上方へ 120mm と 60mm の位置で輻射熱と対流の熱量の割合を求めた。この範囲では，距離が長くなると，輻射熱に対して対流の熱量の割合が増えることが明らかになった。

(3) 意図的に乱流を作り出して，対流の影響を少なくした送風実験を行った。送風中は熱流束センサの出力電圧は下がったので，対流の熱量も含めた熱流束をセンシングしていることが確認できた。

参考文献

1) (有)テクノオフィス HP（2011 年 3 月 28 日閲覧），http://www.techno-office.com/