

# システム基礎科学実験 I

## 輻射伝熱

実験日 : 平成16年5月13・20日  
グループ : F  
学籍番号 : 40413  
氏名 : 諸町大地  
共同実験者 : 本間大士・三瓶雅迪

### 目的

地球・太陽・宇宙空間のモデル装置を用い、輻射・輻射伝熱の基礎を理解する。

### 実験

#### 1.装置の確認・準備

##### (方法)

実験プリント図 7 に基づいて実験装置が組み立てられていることを確認し、電源を入れ、通水を開始した。また、熱電対零点用ジャーに氷と水を入れた。さらに、受熱部の鋼球を取り出し、その直径をノギスで三回測定した。

##### (結果)

装置が実験プリント図 7 の通りであることを確認できた。ただし、光軸に対し鋼球が多少ずれていたのを調整を施した。また、通水後真空容器から水が漏れてきたので、水漏れ部位の下に雑巾を敷き対処した。容器内部には漏れていないことから、この水漏れによる影響はない物として実験を行なった。

鋼球の直径の実測値を表 1 に示す。今後この実験では、鋼球の直径はこれらの実測値の平均値を用いる。

実測値1	実測値2	実測値3	平均値
11.10	11.15	11.10	11.12
(表1)			単位:mm

##### (考察)

この装置の構造として、ランプ部分が太陽、鋼球が地球、真空容器が宇宙空間をモデル化していることを理解した。この間での熱収支を考えることになる。真空容器の周りを通水しているのは、宇宙空間が温度一定であることに対する処置であるとわかった。

また、熱電対零点用ジャーに氷と水の両方を入れるのは、1 気圧下での氷と水の共存温度が 0 度一定であることを用いていると思われる。実は、初め水を入れ忘れるところだった。氷だけでは温度一定にならず、正しい実験結果を得られないはずである。ただし、時間がたてば氷の一部がとけ、水と氷の共存状態となり、正しい実験結果が得られるようになる。特に今回の実験では、測定をする平衡状態になるまでに時間がかかるので、水を入れ忘れても特に問題なかったと思われる。しかし、他の実験では注意したいところである。

## 2.フィルター無しでの測定

### (方法)

ロータリーポンプを作動させ、真空容器から空気を抜いた。そして、フィルターをはずした状態でランプに 5V・12V・24V の電圧を順次かけ点灯し、それぞれの電圧で鋼球につながる熱電対の電圧が一定になるまで待った。その後、①ランプに流れる電流、②鋼球につながる熱電対の電圧、③真空容器内の水に接している熱電対の電圧を測定した。

### (結果)

測定結果を表 2 に示す。また、これより求まる、ランプの抵抗( $R$ )と鋼球・水の温度( $T_s \cdot T_w$ )を表 3 に示す。ただし、鋼球・水の温度は 2001 年度版理科年表「物 41—熱電対の基準起電力—クロメル・アルメル熱電対(タイプ K)」に基づき求めた。

ランプ電圧(V)	5	12	24
ランプ電流(A)	2.83	4.40	6.36
鋼球熱電対電圧(mV)	1.44	3.55	7.10
流水熱電対電圧(mV)	0.47	0.49	0.50

(表2)

ランプ電圧(V)	5	12	24
ランプ抵抗( $\Omega$ )	1.77	2.73	3.77
鋼球温度( $^{\circ}\text{C}$ )	35	87	175
流水温度( $^{\circ}\text{C}$ )	11	11	12

(表3)

### (考察)

まず、 $T_s \cdot T_w$  に基づき、鋼球位置でのランプからの輻射熱量  $Q_{s_0}$  を求める。  
温度  $T_s$ ・表面積  $A_2$ ・放射率  $\epsilon_2$  の物体が、熱放射によって放出する熱量  $P$  は

$$P = \frac{\sigma}{\left(\frac{1}{\epsilon_2} + \frac{A_2}{A_1}(1/\epsilon_1 - 1)\right)} A_2 (T_s^4 - T_a^4)$$

となる。ただし、まわりの壁面の表面積  $A_1$ ・放射率  $\epsilon_1$ ・温度  $T_a$ 、 $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ (ステファン・ボルツマン係数) である。

この実験は、宇宙空間に浮かぶ地球のモデルとして行なっているので、 $A_1 = \infty$  である。  
 $A_2 \ll A_1$  の時、すなわち遠くへ熱が広がっていく場合であるので、

$$P = \sigma \epsilon_2 A_2 (T_s^4 - T_a^4)$$

となる。

よって、熱収支を考えると、

$$Q_{s_0} = \alpha \epsilon A (T_s^4 - T_w^4)$$

となる。

$$\text{ただし、} \begin{cases} \sigma = 5.67 \times 10^{-8} (\text{W} / \text{m}^2 \text{K}^4) \\ \epsilon = 0.7 \\ A = 4\pi r^2 (\text{m}^2) \\ r = 11.12 \times 10^{-3} \div 2 = 5.56 \times 10^{-3} (\text{m}) \end{cases}$$

よって、各ランプ電圧における鋼球位置でのランプからの輻射熱量  $Q_{s_0}$  は表 4 のようになる。

ランプ電圧(V)	5	12	24
Q(W)	3.85E-02	1.59E-01	5.19E-01

(表4)

次に、実験プリント図 8 より、各ランプ電圧におけるフィラメント温度  $T_F$  を求め、これを元にランプの輻射熱量を求める。ただし、フィラメントは灰色体とする。

実験プリントより、24V では  $T_F = 3400(K)$  である。よって、このときの比抵抗は  $84 \times 10^{-6}(\Omega/m)$  である。比抵抗と抵抗は比例することから、各ランプ電圧での比抵抗を求め、フィラメント温度  $T_F$  を求める。さらにそのときの輻射率を実験プリント図 4 から求める。これらの結果を表 5 に示す。

ランプ電圧(V)	5	12	24
抵抗( $\Omega$ )	1.77	2.73	3.77
比抵抗( $\Omega/m$ )	$6.10E+07$	$9.41E+07$	$1.30E+08$
フィラメント温度(K)	1800	2600	3400
フィラメント輻射率	0.24	0.31	0.35

(表5)

よって、ステファン・ボルツマンの法則より、フィラメントの輻射熱  $Q_L$  は表 6 のようになる。

ランプ電圧(V)	5	12	24
輻射( $W/m^2$ )	$1.43E+05$	$8.03E+05$	$2.65E+06$

(表6)

最後に、これらより  $S = Q_{S_0} / Q_{S_0, V=24(V)}$  と  $L = Q_L / Q_{L, V=24(V)}$  を求め表 7 に示す。

ランプ電圧(V)	5	12	24
S	$7.40E-02$	$3.06E-01$	$1.00E+00$
L	$5.39E-02$	$3.03E-01$	$1.00E+00$

(表7)

S と L を比べると、ランプ電圧が 12V の時は非常によく一致している。しかし、ランプ電圧が 5V の時の差が大きい。他と比べ、ランプの全輻射熱量に対する入射量が大きくなっている。このことは、ランプから真空容器までの間に、ガラスレンズを用いていることが原因と思われる。実験プリント図 1 より、高温でほど輻射スペクトルのピークが鋭くなり、その位置も波長の短い部分へと写ることがわかる。さらに、実験プリント図 9 より、ガラスは  $0.01 \sim 2.5 \mu m$  程の短い波長域の光をよく吸収することがわかる。実験プリント 9.4 式より、各温度での最大波長は表 8 のようになる。よって、2600(K)や 3400(K)では輻射光のピーク波長域のほとんどがガラスに吸収されることになる。一方、1800(K)での輻射光のピーク波長域の一部はガラスの吸収波長域からはずれることになり、輻射光線全体に対するガラスによる吸収率は 2600(K)や 3400(K)の時に比べ低くなる。そのため、ランプの全輻射熱量に対する入射量が他より大きくなっていると考えられる。

ランプ電圧(V)	5	12	24
フィラメント温度(K)	1800	2600	3400
輻射光最大波長( $\mu m$ )	1.60	1.11	0.85

(表8)

### 3. フィルター有りでの測定

#### (方法)

フィルターをつけた状態で、ランプに 24V・12V・5V の電圧を順次かけ点灯し、それぞれの電圧で鋼球につながる熱電対の電圧が一定になるまで待った。その後、①ランプに流れる電流、②鋼球につながる熱電対の電圧、③真空容器内の水に接している熱電対の電圧を測定した。

#### (結果)

測定結果を表 9 に示す。また、これより求まる、ランプの抵抗( $R$ )と鋼球・水の温度( $T_s$ ・ $T_w$ )を表 10 に示す。ただし、鋼球・水の温度は、2 の実験同様、2001 年度版理科年表「物 41—熱電対の基準起電力—クロメル—アルメル熱電対(タイプ K)」に基づき求めた。

ランプ電圧(V)	5	12	24
ランプ電流(A)	2.82	4.38	6.33
鋼球熱電対電圧(mV)	0.73	0.95	2.12
流水熱電対電圧(mV)	0.47	0.47	0.47

(表9)

ランプ電圧(V)	5	12	24
ランプ抵抗( $\Omega$ )	1.77	2.74	3.79
鋼球温度( $^{\circ}\text{C}$ )	19	24	52
流水温度( $^{\circ}\text{C}$ )	11	11	11

(表10)

#### (考察)

実験 2 同様、 $T_s$ ・ $T_w$  に基づき、鋼球位置でのランプからの輻射熱量 $Q_{s_f}$ を求める。この結果を表 11 に示す。また、さらに $Q_{s_f}/Q_{s_0}$ の値を表 12 に示す。

ランプ電圧(V)	5	12	24
Q(W)	1.18E-02	1.97E-02	7.17E-02

(表11)

ランプ電圧(V)	5	12	24
$Q_{s_f}/Q_{s_0}$	30.66%	12.39%	13.81%

(表12)

フィルターにより、鋼球に届く熱量が大幅に減少していることがわかる。材質がガラスであることから、当然  $2.5\mu\text{m}$  以下の光もカットしているはずであるが、もともとレンズ(ガラス)が使用され、 $2.5\mu\text{m}$  以下の波長はほとんどカットされていることから、この範囲の波長をより強くカットしても、これほどの減少は見込めない。また、このフィルターはほぼ無色透明であったことから、可視光( $4\sim 7.5\mu\text{m}$ )はほぼ通すとしてよい。それでもなおかつ、これだけの熱量減少をもたらしていることから、このフィルターは  $7.5\mu\text{m}$  以上の広い範囲にわたる波長の光をカットしていると思われる。ただし、その率は、ランプ電圧 5V で約 3 分の 1 であるのに対し、12V・24V ではほぼ等しく約 8 分の 1 であり、この差を説明できない。これを説明するためには、このフィルターが低波長域でもガラスより広範囲の波長をより強くカットしていると考えればよい。つまり、 $2.5\mu\text{m}$  以上  $4\mu\text{m}$  未満の波長の光もカットしていると思われる。

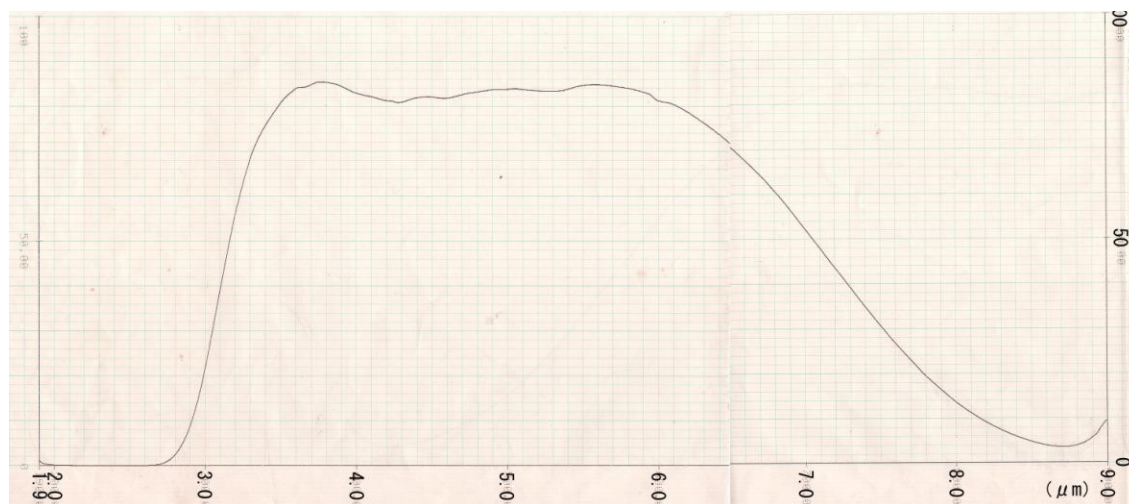
#### 4. フィルターの吸収特性

##### (方法)

フィルターの吸収特性を可視紫外分光計で実測した。

##### (結果)

測定結果をグラフ 1 に示す。



##### (考察)

実験 3 の考察での予想とほぼ一致している。ただし、 $6\mu\text{m}$  を越えたあたりからある程度の吸収が始まっている。フィルターが完全な無色透明でなかったのはこのためであろう。