

平成23年度卒業論文

二酸化炭素ガスによる
地球温暖化効果の実験的検証Ⅱ

福岡工業大学 工学部

知能機械工学科

08E1042 野田 悠将

08E2035 徳島 慎吾

指導教員 河村 良行 教授

目次

第1章 緒言	1
第2章 大気モデル	3
第3章 黒体放射熱量測定装置	6
3.1 黒体放射熱量測定装置の概要	
3.2 アルミ円筒管	
3.3 黒体放射装置	
3.4 ZnSe(ジंकセレン)の窓材	
3.5 マイクロボルトメータ	
3.6 LabVIEW	
3.7 ON/OFF 回路	
第4章 理論値計算の概要	14
4.1 黒体放射のスペクトル $B(\lambda)$	
4.2 窓材の吸収	
4.3 黒体から放出する熱量 P_1	
4.4 液体窒素から放出する熱量 P_2	
第5章 実験手順	19
第6章 黒体放射熱量測定装置の改良	21
6.1 黒体放射熱量の実測値計算方法	
6.2 フィードバック制御	
6.3 黒体放射円板の改良	
6.4 黒体放射円板の焦点調整	
第7章 測定実験	27
7.1 アルミ円筒管本数実験	
7.2 試験ガスによる放射熱量の吸収	
7.3 放射熱吸収量の二酸化炭素ガス圧力依存性	

第 8 章 実験の理論値計算	31
8.1 二酸化炭素ガスによる黒体放射熱量の吸収率	
8.2 アルミ円筒管の平均反射率	
8.3 反射板(銅板)の反射率	
8.4 実験時の理論値計算	
第 9 章 地球温暖化効果と実験装置の比較	39
9.1 二酸化炭素ガス濃度による温度上昇(観測データ)	
9.2 アルミ円筒管の二酸化炭素ガス濃度による温度上昇(実験データ)	
第 10 章 結言	43
参考文献	45
謝辞	46

第 1 章

緒言

地球温暖化の原因は、二酸化炭素ガスの増加、太陽活動、小氷期からの回復過程、などさまざまな説がある。その中でも有力な二酸化炭素ガスの温室効果に注目した。

本研究は、地球の熱量が大気を通過して宇宙空間へ放射される時の二酸化炭素ガスの吸収率や温度上昇を測定するため、地球を黒体、大気を二酸化炭素ガス、宇宙空間を液体窒素として実験装置を製作し、未だ事例のない「二酸化炭素ガスの温暖化効果を実験的に検証する」ことを目的とした。

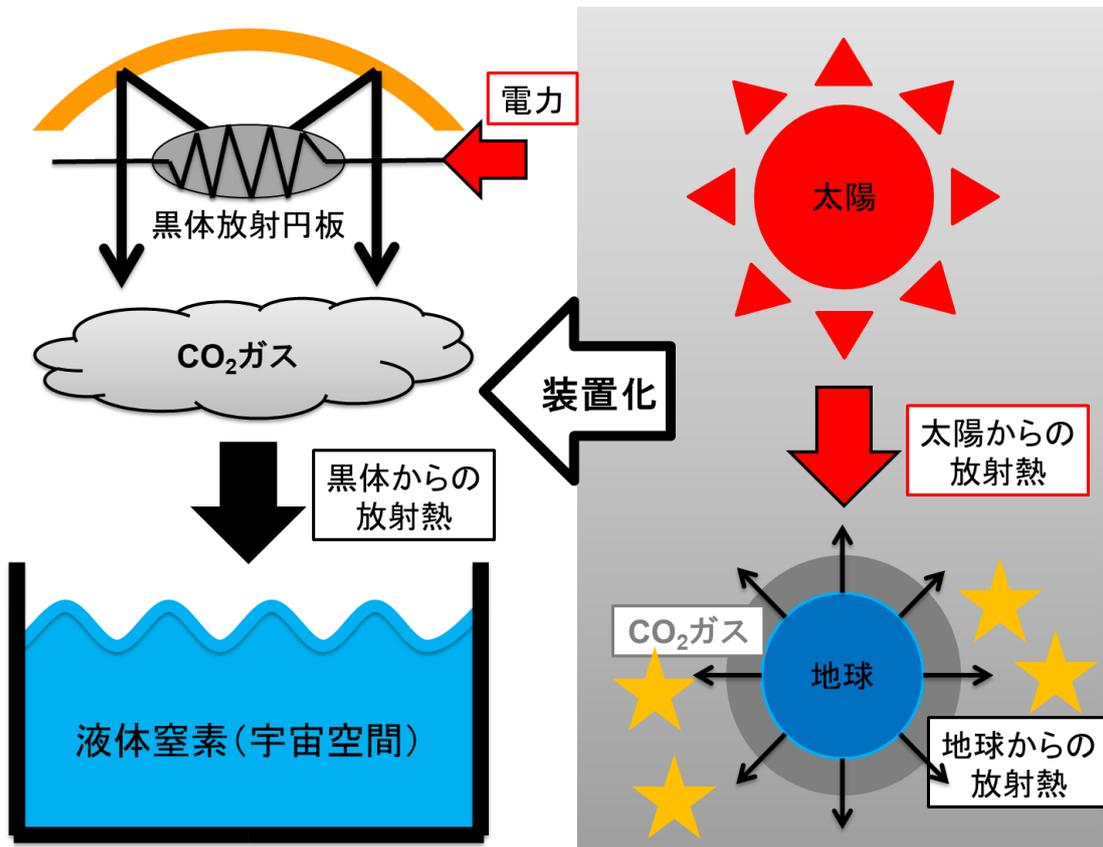


図 1.1 実験装置のモデル

第2章

大気モデル

図 2.1 のように、大気がない場合の地表の温度と、図 2.2 のように大気が 1 層あり、その大気が一度すべて吸収したと考えたモデルを使い、地表 T_g [°C]と大気 T_a [°C]の温度を計算した。なお、放射率 ε は 1、面積 S は単位面積と考えるため 1 となり以後省略する。

大気のない場合、太陽からの平均日射強度 I_s [W/m²]は、

$$\begin{aligned} I_s &= 1.37 \times 10^3 \times \frac{\pi r^2}{4\pi r^2} \times (1 - 0.313) \\ &= 2.35 \times 10^2 \quad [\text{W/m}^2] \end{aligned}$$

となる。ちなみに 0.313 はアルベド係数となっている。地表と太陽からの平均日射強度が釣り合っていると考えた時の地上の温度 T_g [°C]は、

$$I_s = \sigma T_g^4 \quad (2.1)$$

σ : シュテファンボルツマン定数 $=5.67 \times 10^{-8}$ [-]

となり、実際に計算してみると

$$\begin{aligned} T_g &= \left(\frac{235}{5.67 \times 10^{-8}} \right)^{\frac{1}{4}} \\ &= 253.7 \quad [\text{K}] \\ &= -19.3 \quad [^\circ\text{C}] \end{aligned}$$

となり、大気が何もなければ地表は、温度が非常に低いと考えた。

次に地球の大気が 1 層からなると考え、その大気がすべての放射エネルギーを一度すべて吸収したと考えた時の地上でのつり合いは、

$$I_s + \sigma T_a^4 = \sigma T_g^4 \quad (2.2)$$

となる。次に大気でのつり合いは、

$$I_s = \sigma T_a^4 \quad (2.3)$$

となる。(2.2)~(2.3)の式より、大気の温度 T_a [°C]を計算してみると、

$$\begin{aligned} T_a &= \left(\frac{235}{5.67 \times 10^{-8}} \right)^{\frac{1}{4}} \\ &= 253.7 \quad [\text{K}] \\ &= -19.3 \quad [^\circ\text{C}] \end{aligned}$$

となる。次に地上の温度 T_g [°C]を計算してみると、

$$\begin{aligned} T_a &= \left(\frac{470}{5.67 \times 10^{-8}} \right)^{\frac{1}{4}} \\ &= 301.7 \quad [\text{K}] \\ &= 28.7 \quad [^\circ\text{C}] \end{aligned}$$

となる。大気は標準大気表により、大気温度を平均すると近い値になっている。また、地表の温度は大気がない場合に比べて現在われわれが住んでいる気温に近い値となった。

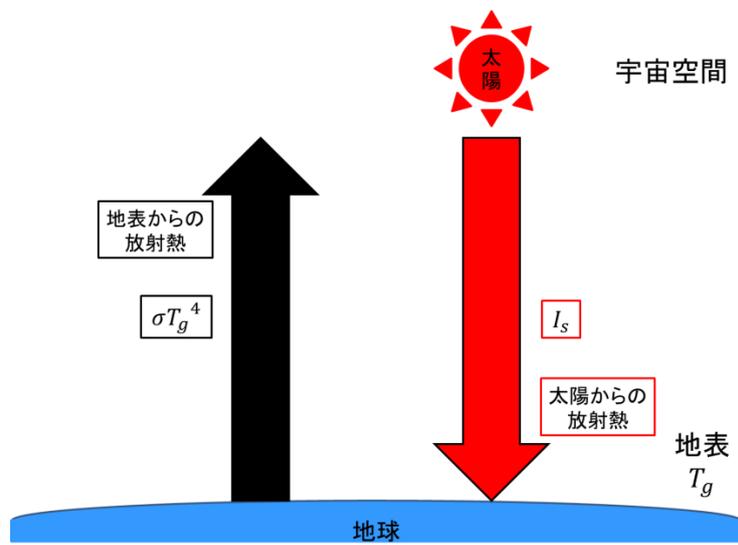


図 2.1 大気なしモデル

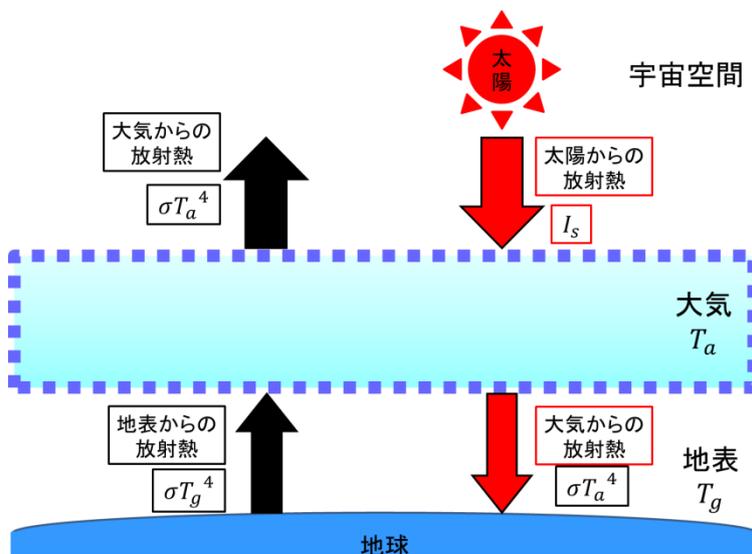


図 2.2 大気 1 層モデル

第 3 章

黒体放射熱量測定装置

3.1 黒体放射熱量測定装置の概要

本実験では、アルミ円筒管、黒体放射装置、ZnSe(ジंकセレン)の窓材、真空ポンプ、二酸化炭素ポンベ、窒素ポンベ、マイクロボルトメータ、ヒーター電圧を制御するためのON/OFF回路、A/D変換器を使用している。

実験装置全体は図 3.1 に示し、内側を鏡面研磨したアルミ円筒管に黒体放射装置(放物凹面鏡、黒体放射円板、ヒーター、熱電対)を取り付ける。黒体放射装置の反対側に ZnSe(ジंकセレン)の窓材を取り付け、黒体放射円板からの放射熱のみ通せるようにする。

黒体放射円板に取り付けた熱電対と試験ガスの温度を測定する熱電対との温度差が生じると電圧が発生し、その電圧がマイクロボルトメータで増幅されパソコンに記録される。また、温度差が生じるとヒーターに電圧が印加され温められる。温められて温度差がなくなると、ヒーターが切れる。この時、ヒーターによって発生した電力を黒体放射熱量とし、測定した。

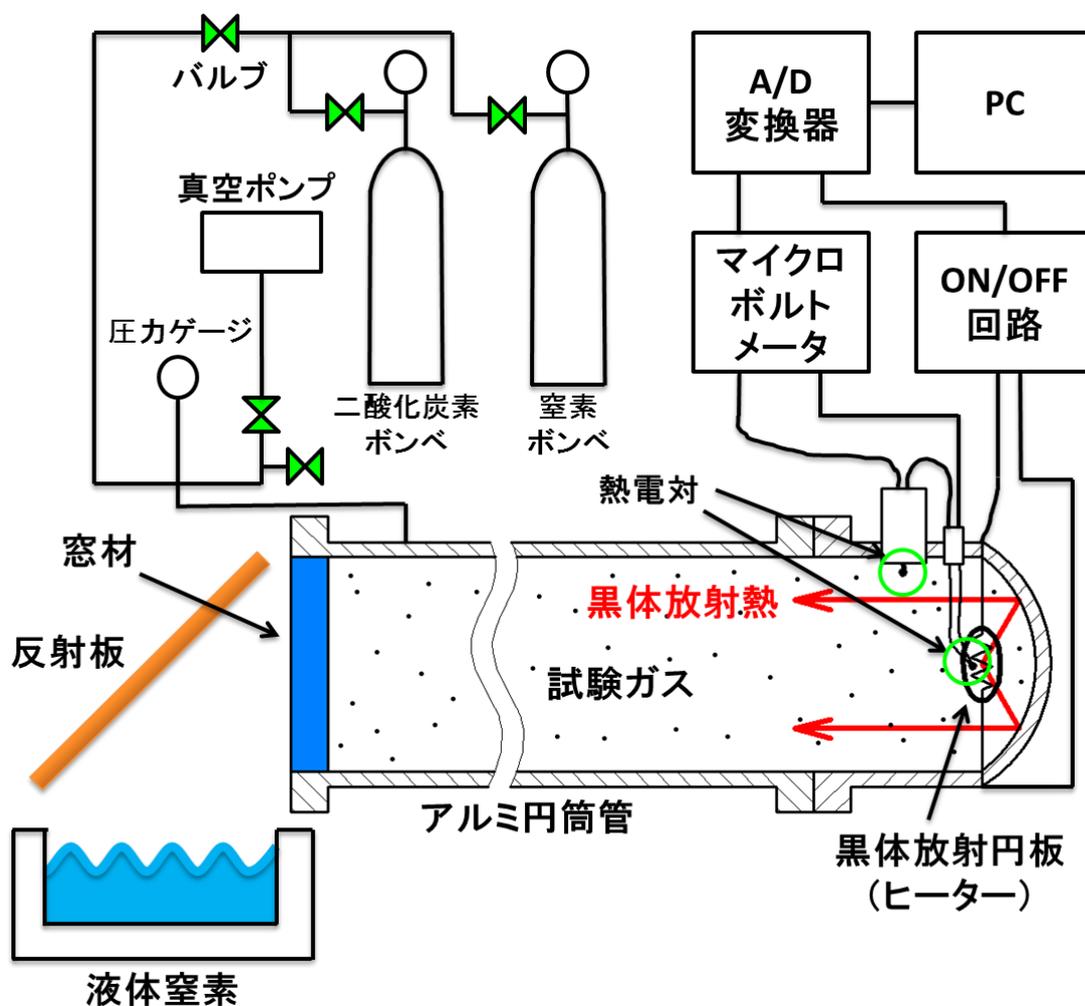


図 3.1 黒体放射熱量測定装置

3.2 アルミ円筒管

アルミ円筒管は長さ 1500[mm], 内径 90[mm]で, 黒体放射円板から出る放射熱を反射させるために内面を研磨剤で鏡面研磨している. 本実験では, アルミ円筒管を 2 本使用し接続面には管内のガスが漏れないようにオーリングをはさみ接続している.

図 3.2 はアルミ円筒管の鏡面研磨前と, 図 3.3 は鏡面研磨後の写真である.



図 3.2 鏡面研磨前

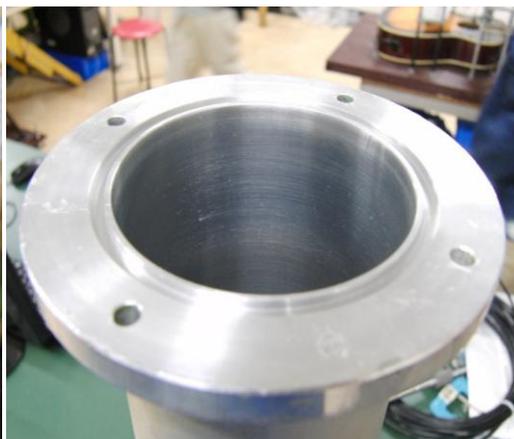


図 3.3 鏡面研磨後

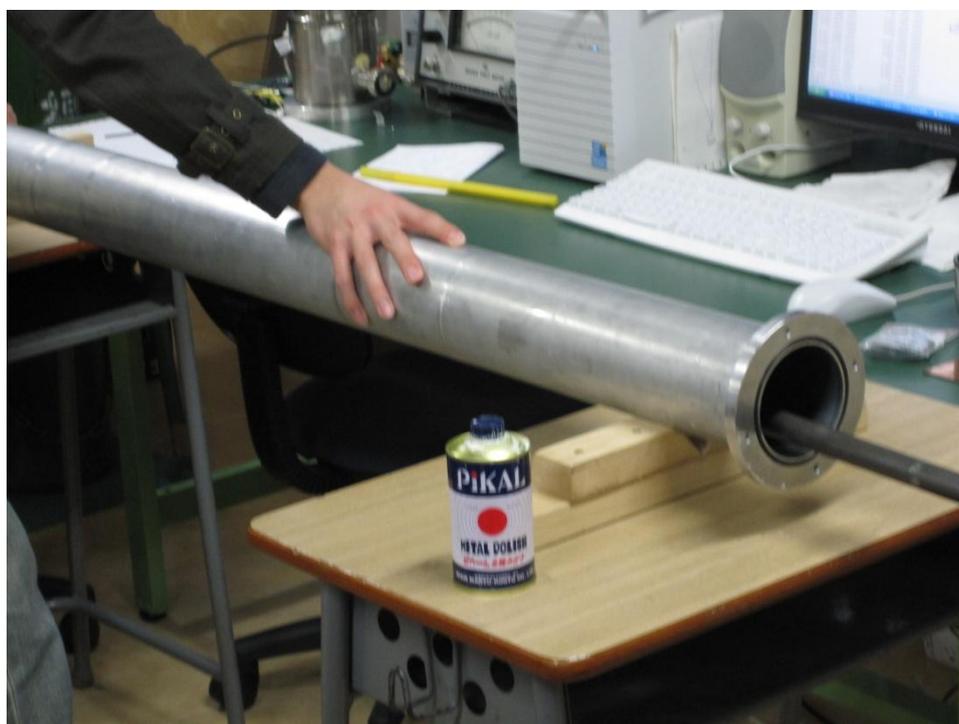


図 3.4 鏡面研磨風景

3.3 黒体放射装置

黒体放射装置には、黒体放射円板(ヒーター, 温度センサー), 放物凹面鏡がついている. 図 3.5 は黒体放射円板の写真である. 黒体放射円板は銅板(直径: 4[mm], 厚さ: 0.08[mm])であり片面にはヒーターを取り付け黒く塗装し, 反対側には温度センサーがついており, 金蒸着している. ヒーターには $\phi 0.076$ [mm]のクロメル線を使用し, 黒体放射円板部分の抵抗は $2.8[\Omega]$ である. また, 温度センサーには, 熱電対(タイプ K)を使用しており黒体放射円板部分とその周りの温度差を測定する. 放物凹面鏡は, 図 3.6 の写真である.



図 3.5 黒体放射円板



図 3.6 放物凹面鏡

3.4 ZnSe(ジンクセレン)の窓材

ZnSe(ジンクセレン)は黒体から放射される熱エネルギーを通す窓材として使用する。ガラスなどの窓材よりも透過率は高く、波長の範囲が広いという特徴がある。図 3.7 に窓材の透過率のグラフを示す。また、図 3.8 は実際の ZnSe の写真である。

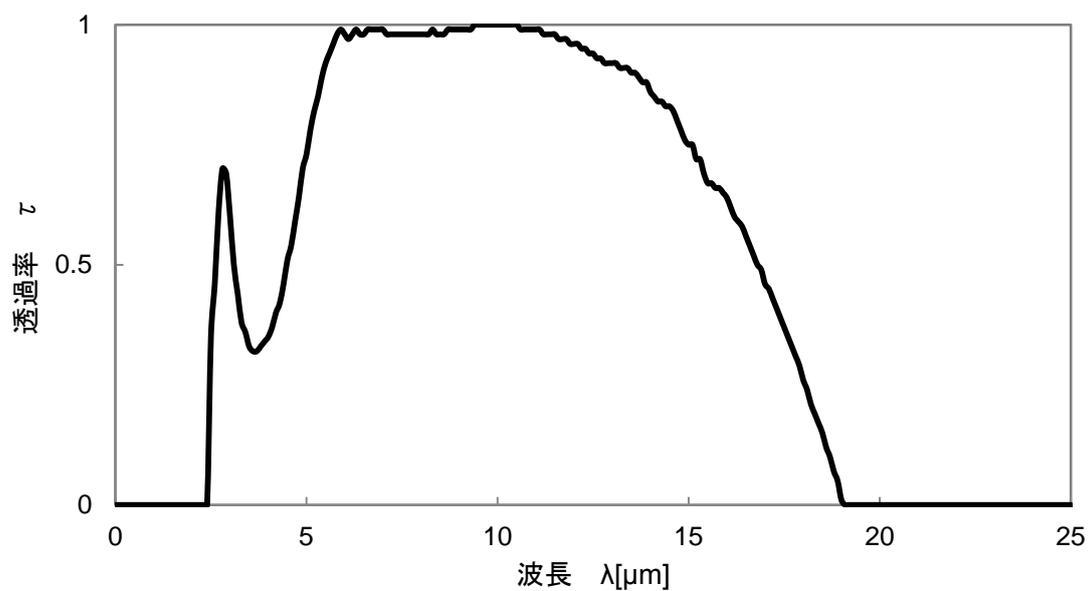


図 3.7 ZnSe の透過率

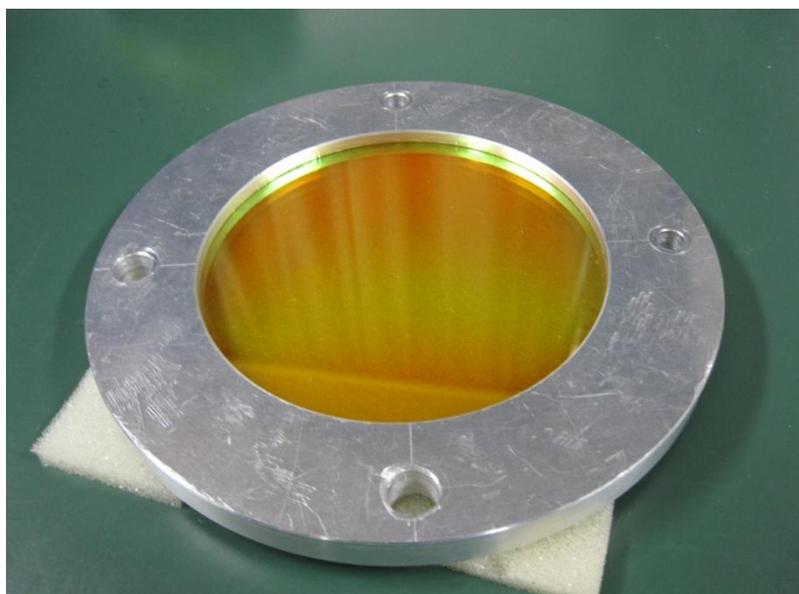


図 3.8 ZnSe の窓材

3.5 マイクロボルトメータ

マイクロボルトメータは、熱電対から発生する電圧が非常に小さいため増幅器として使用する。増幅される電圧は0~10[V]までである。今回の実験では、functionが μV でrangeが2500で行った。また、ゼロ点は0Vではなく1Vをゼロ点として設定した。

次にマイクロボルトメータのゼロ点ドリフトを確認した。結果は図3.10のグラフである。グラフを見てわかるように180[s]間の測定で、ゼロ点ドリフトがほとんどない。よって今回の測定実験は、180[s]以下なので実験には影響ない事がわかる。

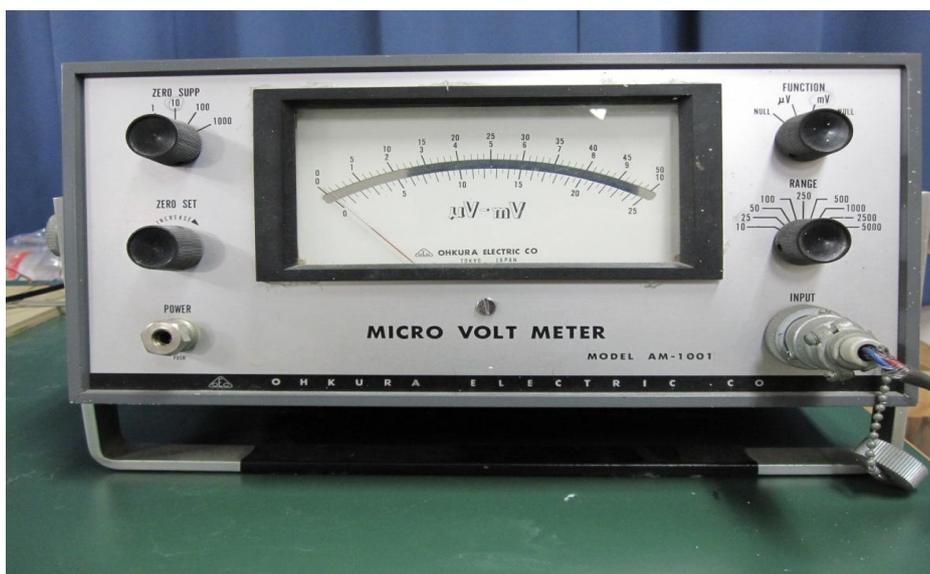


図 3.9 マイクロボルトメータ

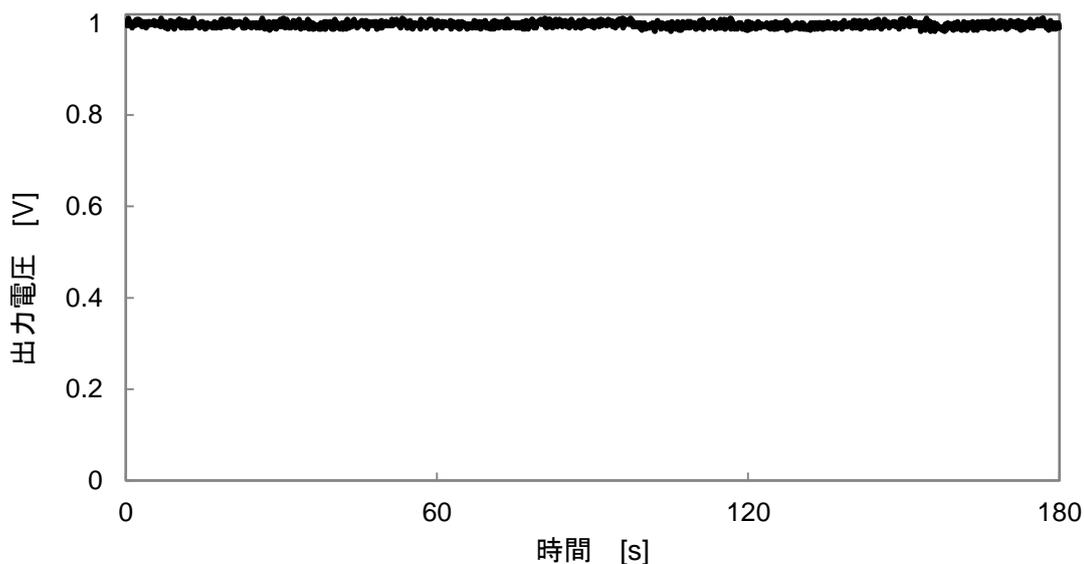


図 3.10 マイクロボルトメータゼロ点ドリフト

3.7 ON/OFF 回路

温度差が $0.05[^\circ\text{C}]$ になると、回路に LabVIEW から $5[\text{V}]$ が印加される。そのとき、回路は ON となり、ヒーターに電源装置から電圧が印加され温められる。そして、温度差が $0.05[^\circ\text{C}]$ 以下になると回路に $5[\text{V}]$ が印加されなくなり回路は OFF となりヒーターが温められなくなる。図 3.12 に回路図を記す。

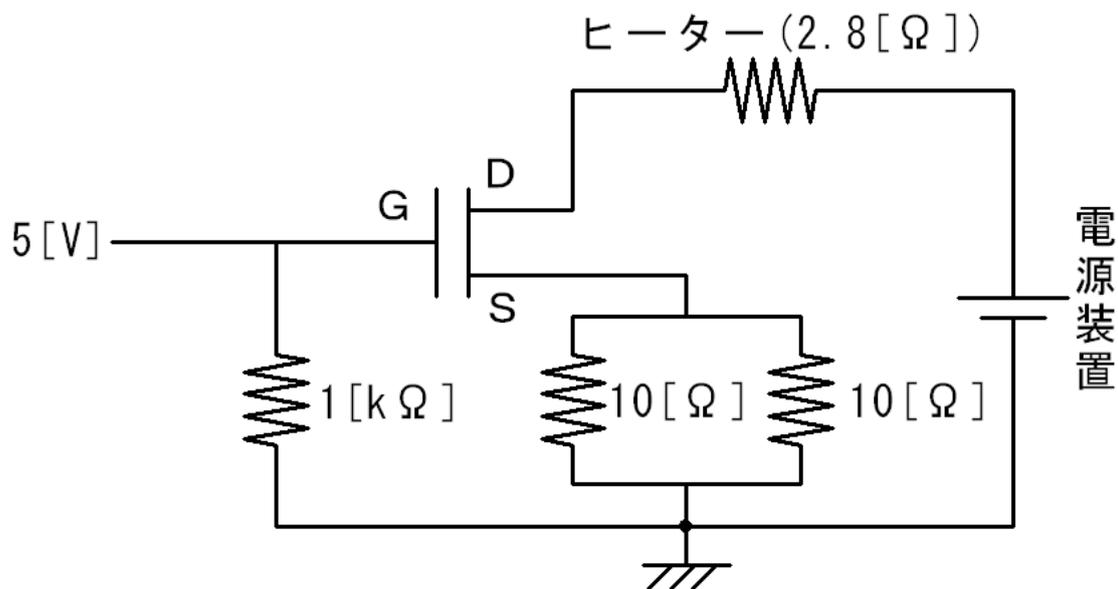


図 3.12 ON/OFF 回路の回路図

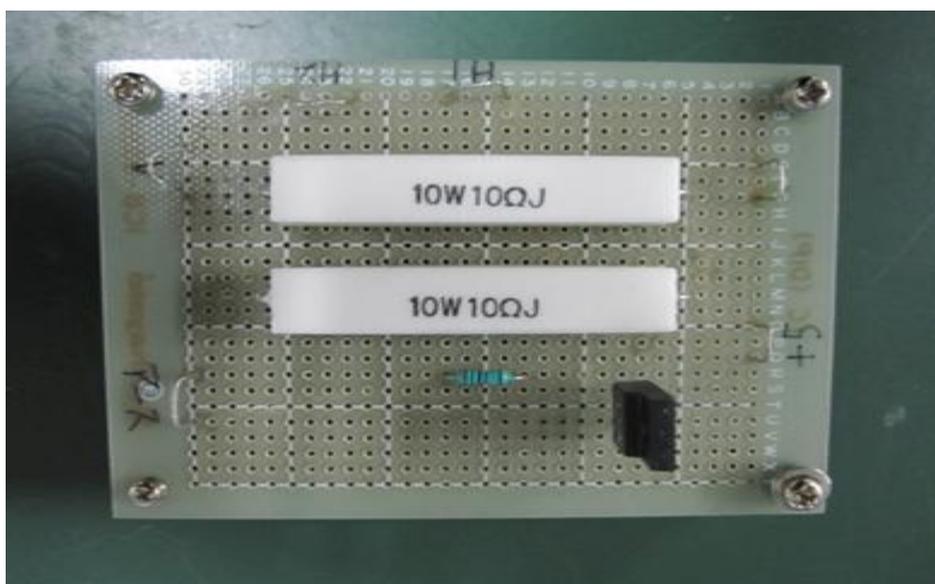


図 2.13 ON/OFF 回路の写真

第4章

理論値計算の概要

4.1 黒体放射のスペクトル $B(\lambda)$

図 4.1 は一昨年の論文を参考に黒体放射円板が $\phi 4[\text{mm}]$ で温度が $300[\text{K}]$ の時, (4.1)式を使い計算した結果である.

$$B(\lambda) = \frac{2 h c^2}{\lambda^5} \times \frac{1}{e^{(h c / \lambda k T)} - 1} \times \pi \times S \quad (4.1)$$

$B(\lambda)$: 黒体放射のスペクトル [W/m]

h : プランク定数 $= 6.626 \times 10^{-34}$ [Js]

c : 光速 $= 3 \times 10^8$ [m/s]

λ : 波長 [m]

e : 自然対数の底 $= 2.718$

T : 温度 [K]

S : 黒体の面積 [m^2]

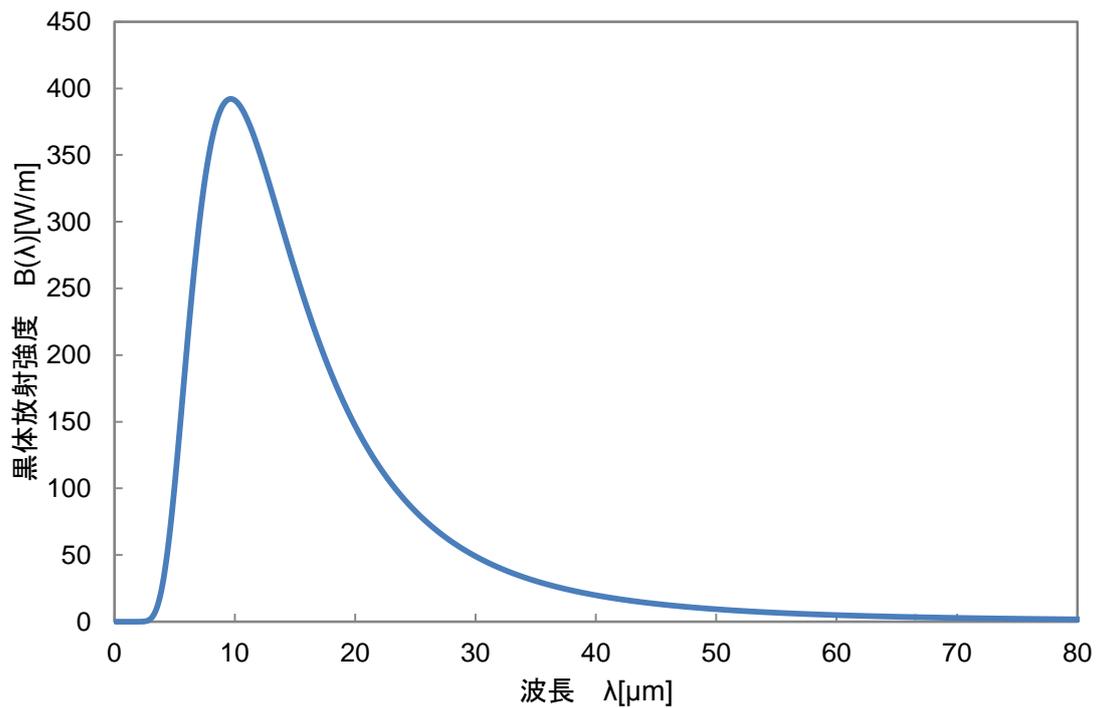


図 4.1 黒体放射円板 $\phi 4[\text{mm}]$, 温度 $300[\text{K}]$ の時の黒体放射強度

4.2 窓材の吸収

図 4.1 の黒体放射強度が窓材(ZnSe)を透過できる割合を求めるには、まず図 4.1 の黒体放射強度に図 3.7 の各波長にあたる透過率をかけて、透過できる黒体放射強度を求める(図 4.2). 図 4.2 の「窓材なし」と「窓材あり」の2つのグラフの面積を比べると透過できる割合が求められる. 計算の結果は約 60[%]であった. 残りの 40[%]は窓材によって吸収されたと言える.

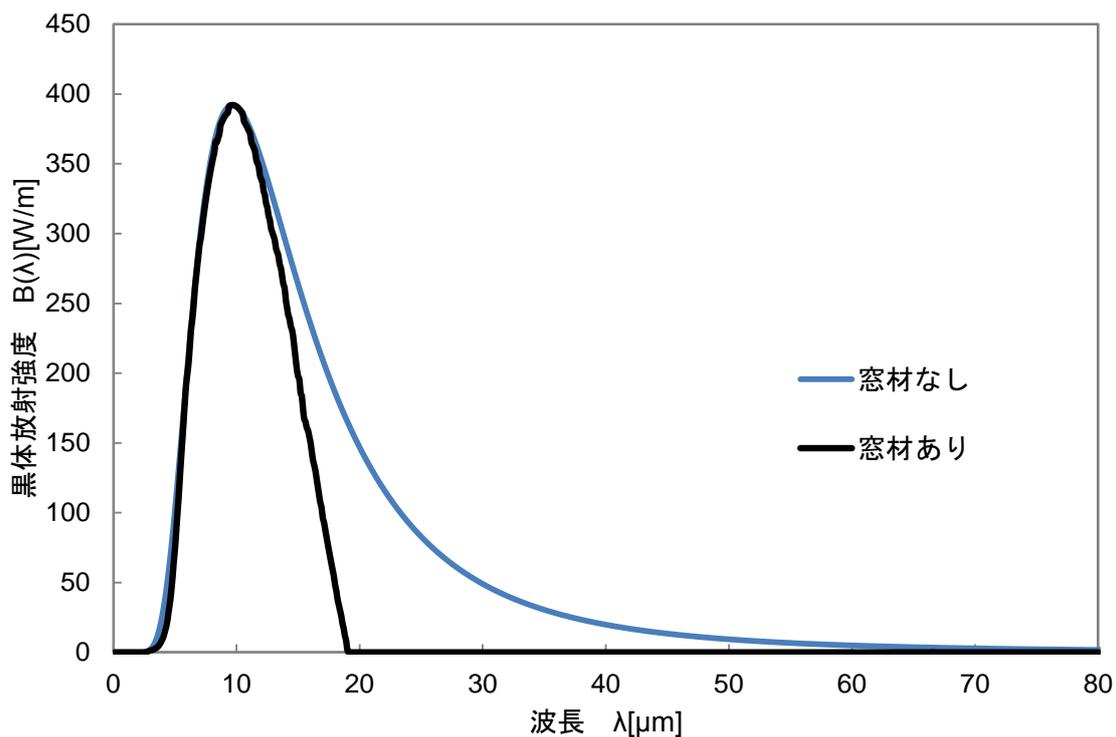


図 4.2 窓材(ZeSe)による黒体放射熱量の吸収

4.3 黒体放射円板から放出する熱量 P_1

まず、黒体放射円板の断面積 $S[\text{m}^2]$ は

$$S = \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad (4.2)$$

S : 黒体放射円板の断面積 $[\text{m}^2]$

d : 黒体放射円板の直径 $=4 \times 10^{-3} \text{ [m]}$

で求めることができる。実際に計算してみると、

$$\begin{aligned} S &= \pi \times \left(\frac{4 \times 10^{-3}}{2}\right)^2 \\ &= 1.26 \times 10^{-5} \text{ [m}^2\text{]} \end{aligned}$$

となる。黒体放射円板から放出する熱量 $P_1[\text{W}]$ は、

$$P_1 = \varepsilon \times S \times \sigma \times T^4 \quad (4.3)$$

P_1 : 黒体放射円板から放出する熱量 $[\text{W}]$

ε : 放射率 $=0.9 \text{ [-]}$

S : 黒体放射円板の断面積 $=1.26 \times 10^{-5} \text{ [m}^2\text{]}$

σ : シュテファンボルツマン定数 $=5.67 \times 10^{-8} \text{ [-]}$

T : 黒体放射円板の温度 $=27 \text{ [}^\circ\text{C]} = 300 \text{ [K]}$

で求めることができる。実際に計算してみると、

$$\begin{aligned} P_1 &= 0.9 \times 1.26 \times 10^{-5} \times 5.67 \times 10^{-8} \times 300^4 \\ &= 5.2 \times 10^{-3} \text{ [W]} \end{aligned}$$

となる。さらに、窓材(ZnSe)の透過率 60[%]を考慮し P_1 計算すると、

$$\begin{aligned} P_1' &= 5.2 \times 10^{-3} \times 0.6 \\ &= 3.1 \times 10^{-3} \text{ [W]} \\ &= 3.1 \text{ [mW]} \end{aligned}$$

となる。

4.4 液体窒素から放出する熱量 P_2

液体窒素から放出する熱量 P_2 [W]は, (4.3)式を使い温度 T が -196 [°C](77 [K])のときで求めると,

$$\begin{aligned}P_2 &= 0.9 \times 1.26 \times 10^{-5} \times 5.67 \times 10^{-8} \times 77^4 \\ &= 2.26 \times 10^{-5} \quad [\text{W}] \\ &= 2.26 \times 10^{-2} \quad [\text{mW}]\end{aligned}$$

となる. $P_1 \gg P_2$ より十分小さい値になるので無視できる.

第 5 章

実験手順

以下の手順で実験を行った。

- 室温が 300[K]の時，実験を行う。
- パソコン，マイクロボルトメータ，ヒーターに電圧を印加するための電源装置の電源を入れる。
- LabVIEW を起動させ使用するプログラムを準備する。
- 実験によって異なるが，アルミ円筒管を真空ポンプで真空にする。真空になったら，真空ポンプの方のバルブを閉じ空気が入らないようにする。
- ガスの方のバルブを開き，アルミ円筒管内をガスで満たしていく。充填したのを確認して，ガスのバルブを閉じる。
- 液体窒素を図 3.1 のように設置する。
- テスターを使いマイクロボルトメータのゼロ点(今回の実験では 1[V]に設定)と電源装置の電圧を 1[V]に合わせる。
- LabVIEW を実行し，数秒経過したときに図 3.1 のように銅板を設置する。
- 180 秒経過したら，測定終了。LabVIEW を停止させ，測定したデータを Excel で黒体放射熱量を計算する。

以上が測定実験の手順である。

第6章

黒体放射熱量測定装置の改良

6.1 黒体放射熱量の実測値計算方法

熱電対から出力された電圧(図 6.1)とヒーターに印加した電圧(図 6.2)をそれぞれパソコンに記録する。この時、ヒーターに印加した時の電圧を平均して、シャント抵抗(=5[Ω])で割り平均瞬間電流を求める。そして、下式を使い黒体放射熱量 P_3 [W]は

$$P_3 = R \times I^2 \times \frac{\text{出力されたプロット数}}{N} \quad (6.1)$$

P_3 : 黒体放射熱量 [W]

R : ヒーター抵抗=2.8 [Ω]

I : 平均瞬間電流 = $\frac{\text{印加された平均瞬間電圧}}{\text{シャント抵抗}(=5[\Omega])}$ [A]

N : 決まった秒間隔でのプロット数(30 秒間)=301

となる。

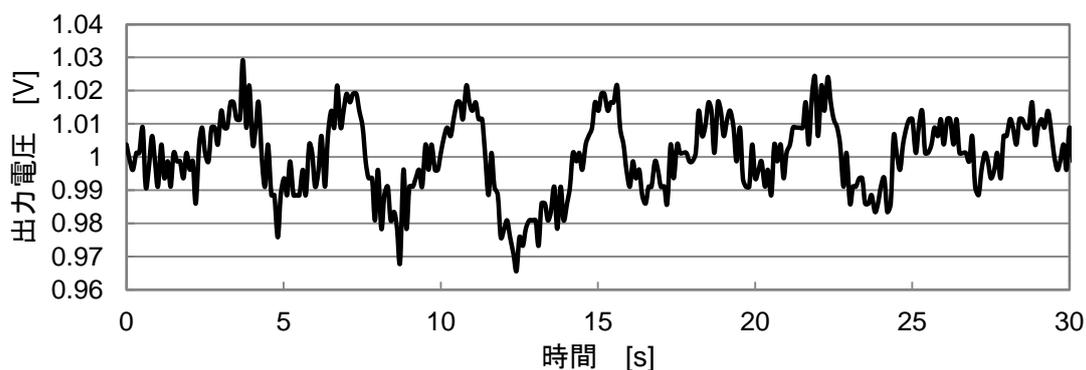


図 6.1 出力電圧

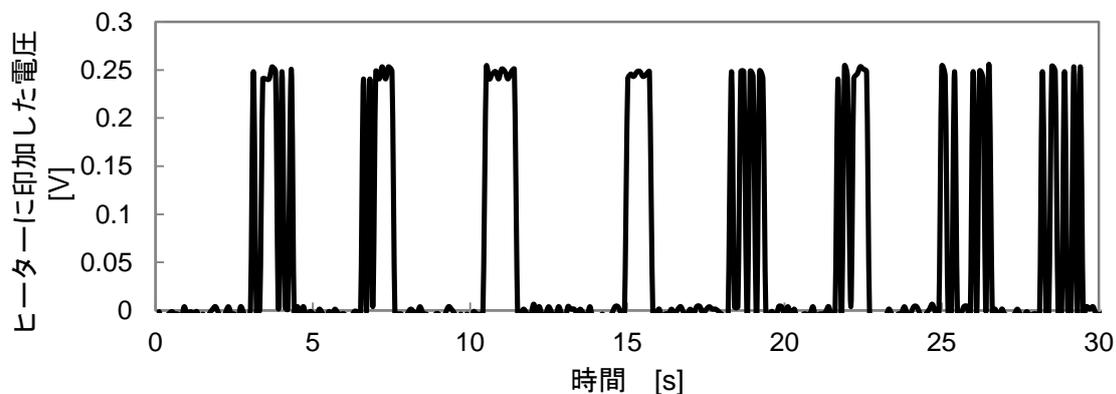


図 6.2 ヒーターに印加した電圧

6.2 フィードバック制御

複雑な熱伝導を抑え、測定時間の短縮化を図るためフィードバック制御を取り入れた。図 6.3 は、パソコンに記録した出力電圧を温度差に変換し、グラフにしたものである。黒体放射円板が冷やされると Y 軸のプラス方向に上昇する。マイクロボルトメータのドリフトを考慮し、温度差 $0.05[^\circ\text{C}]$ を基準に温度差が $0.05[^\circ\text{C}]$ を超えると、ヒーターが ON になり、温められる。黒体放射円板が温められると Y 軸のマイナス方向に下降し、温度差が $0.05[^\circ\text{C}]$ 以下になるとヒーターが OFF になる。そしてまた黒体放射円板が冷やされて、Y 軸のプラス方向に上昇していく。このように、ON/OFF を繰り返してフィードバック制御をした。この時、ヒーターによって発生した電力を黒体放射熱量とし、これを測定した。

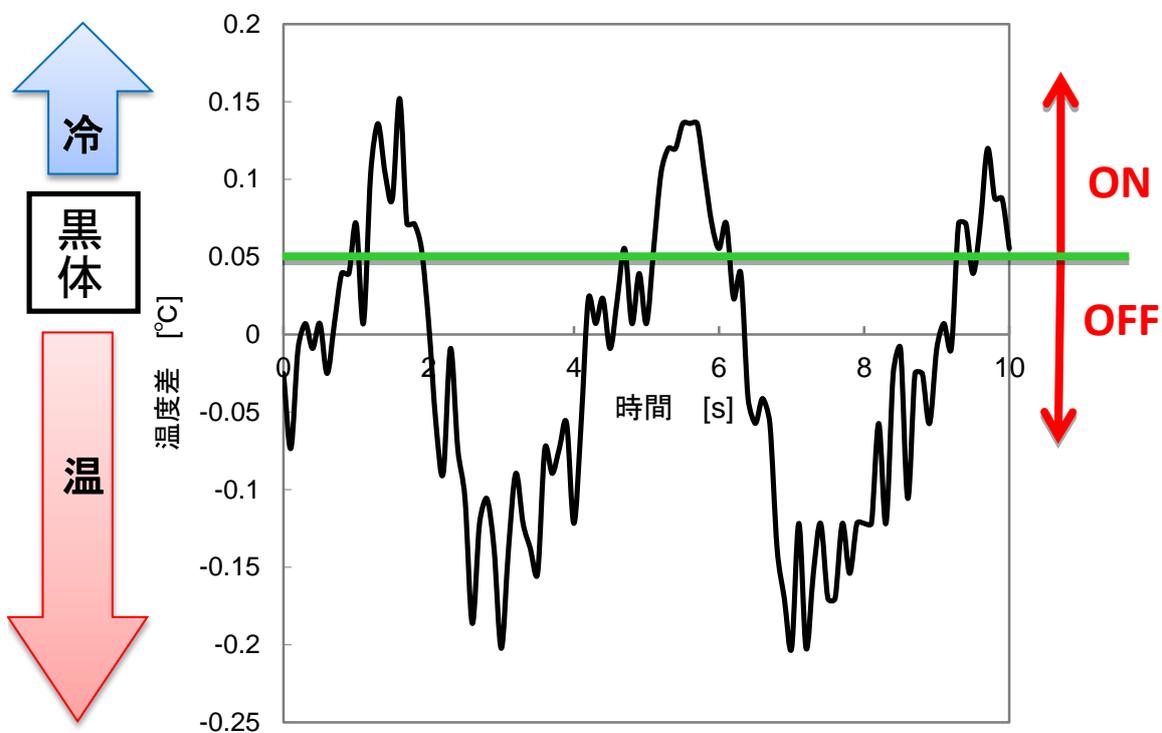


図 6.3 フィードバック制御

6.3 黒体放射円板の改良

黒体放射円板の直径を $\phi 7[\text{mm}]$ から $\phi 4[\text{mm}]$ へと縮小化した。縮小化することで、レスポンスを早めることを目的とした。 $\phi 4[\text{mm}]$ は銅とカプトンの2種類を製作し、アルミ円筒管1本で管内を大気にして、黒体放射円板が冷えきるまでのレスポンスを調べた。結果は、図6.5と図6.6に示す。なお、 $\phi 7[\text{mm}]$ のレスポンスは昨年論文を参考にした。

次に、カプトンと銅のどちらが理論値と実測値との誤差が少ないかを調べるため、窓材とアルミ円筒管なしで実験をし、黒体放射熱量を調べた。結果は表6.1に示す。

最もレスポンスが早く、誤差が少なくなったのは $\phi 4[\text{mm}]$ の銅で製作した黒体放射円板であった。これは、縮小化することで点に近づいたことと、カプトンは熱伝導率が低いためドリフトが大きくなったためだと考えられる。今後の実験では、 $\phi 4[\text{mm}]$ の銅の黒体放射円板を使用する。

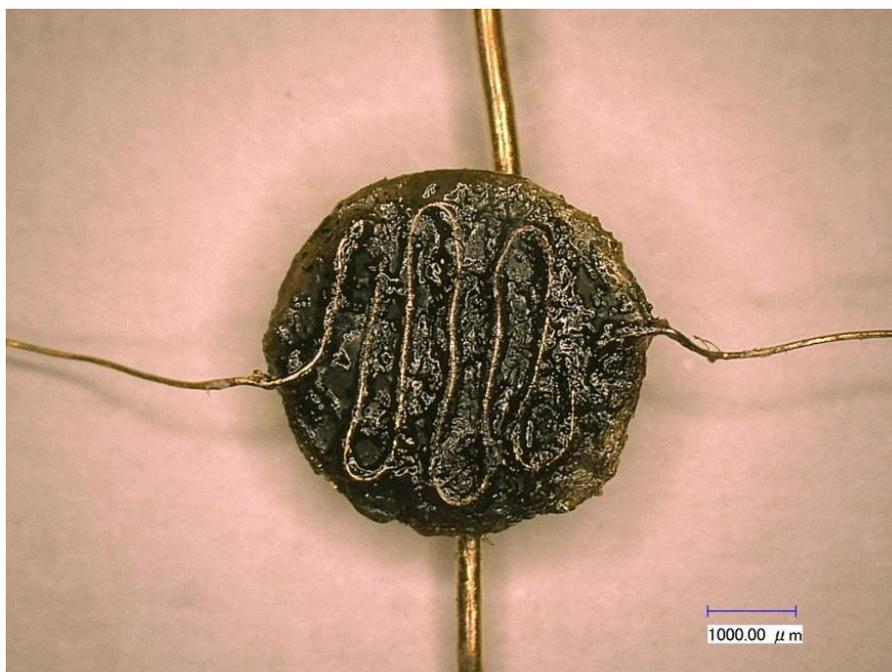


図 6.4 $\phi 4[\text{mm}]$ の黒体放射円板(カプトン)

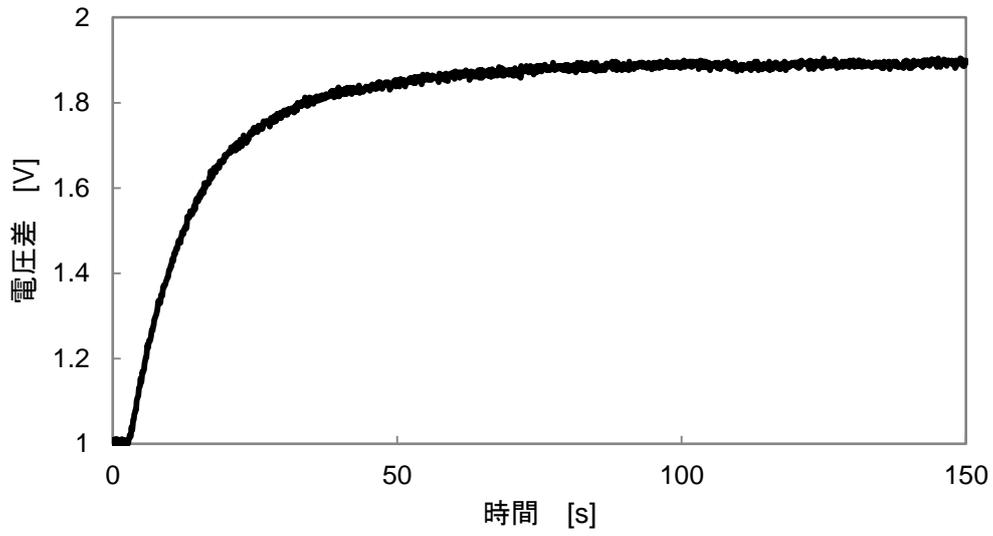


図 6.5 φ4[mm]の銅のレスポンス

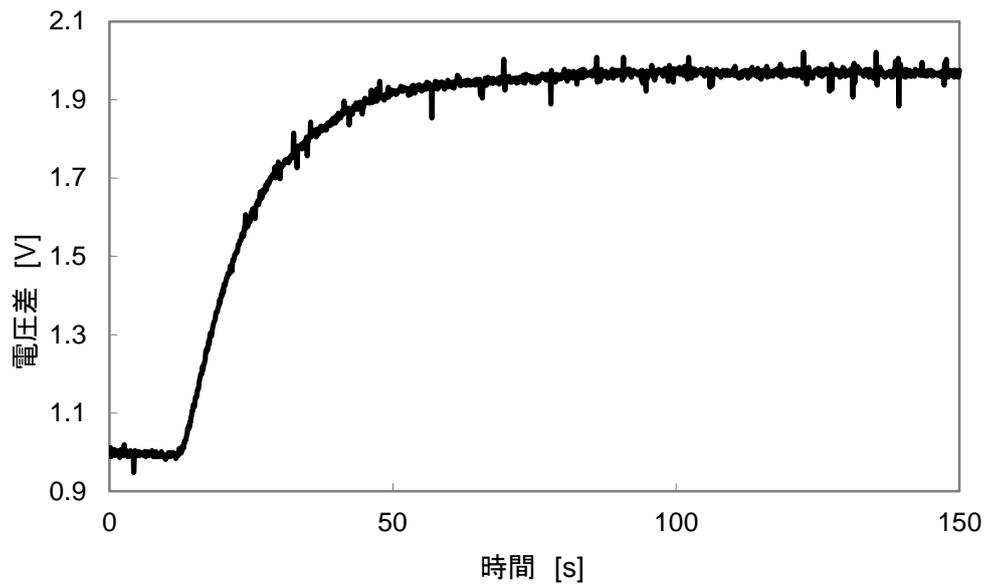


図 6.6 φ4[mm]のカプトンのレスポンス

表 6.1 黒体放射円板の性能

素材	黒体放射円板の直径 [mm]	レスポンス [s]	理論値 [mW]	実測値 [mW]	誤差 [%]
銅	φ7	120	15.9	7.1	55.3
銅	φ4	80	5.2	4.3	17.3
カプトン	φ4	80	5.2	7.8	150

6.4 黒体放射円板の焦点調整

図 6.7 のように 4 ヲ所に銅線を通し，銅線を曲げて黒体放射円板を放物凹面鏡の焦点に合わせた．窓材を取り付け，管内を大気にし，アルミ円筒管の本数を替えて焦点合わせしてないものと焦点合わせしたもの 2 つの実験結果を表 6.2 に示す．表より，焦点に合わせたことで黒体放射熱量を増やすことができた．

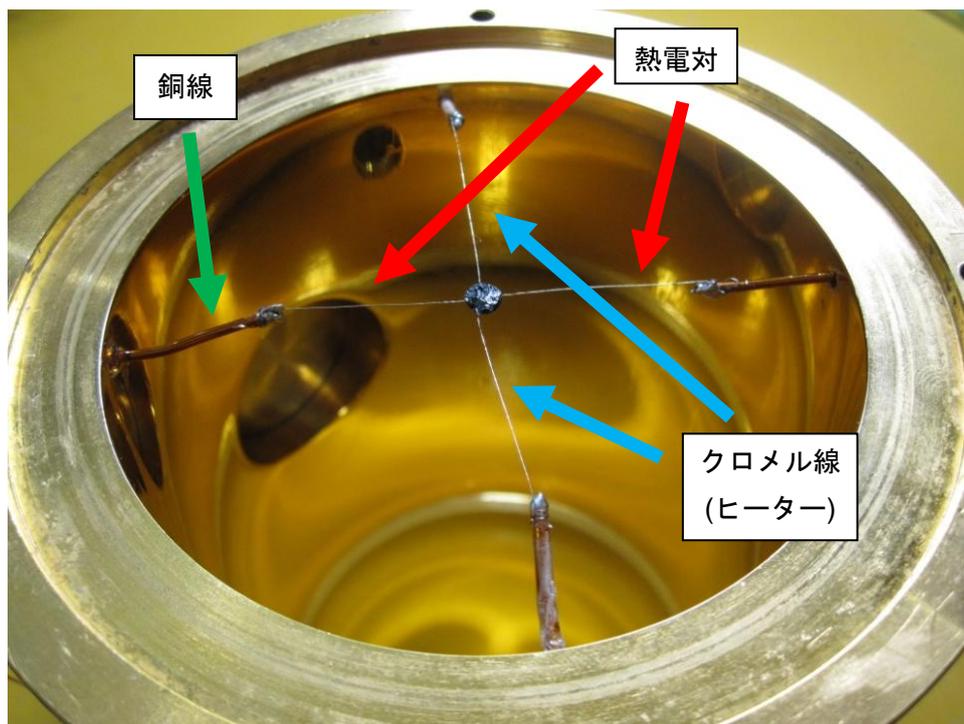


図 6.7 黒体放射円盤焦点合わせ

表 6.2 焦点調整の結果

回数	アルミ円筒管の本数	焦点合わせ	
		無し	有り
1 回目	1 本	1.84	2.2
2 回目		1.84	2.3
1 回目	2 本	1.18	1.6
2 回目		1.23	1.7

第7章

測定実験

7.1 アルミ円筒管本数実験

アルミ円筒管本数を変えることにより，黒体放射熱量がどの程度減少するのかを確認した．実験条件は，アルミ円筒管本数(0~2本)，温度 300[K]，試験ガス(大気)である．実験結果を，図 7.1 に示す．

実験結果より，アルミ円筒管の本数が増えるたび黒体放射熱量が減少している．今後理論値計算を行う際は，アルミ円筒管内の反射率を考慮しないといけない．

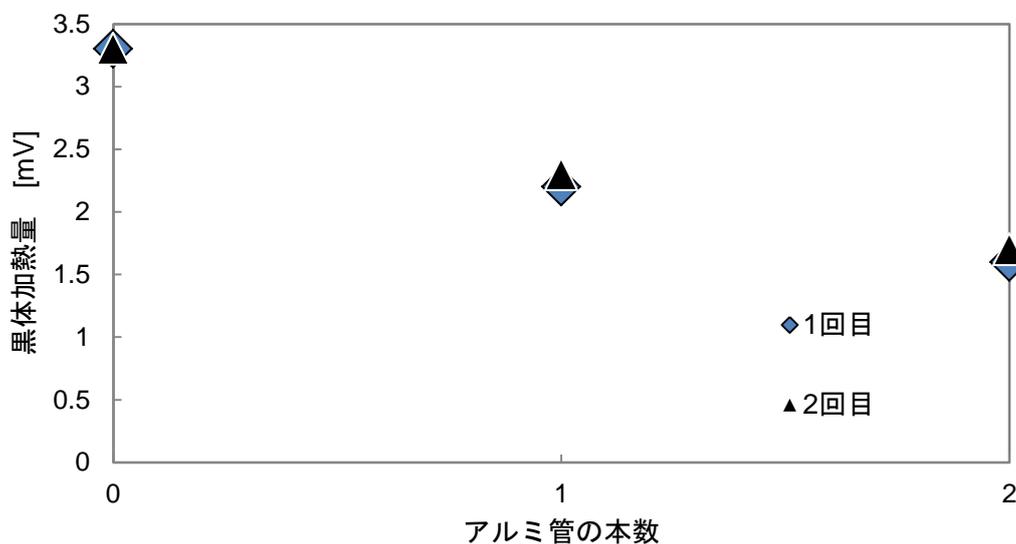


図 7.1 アルミ円筒管による黒体放射熱量の減少

7.2 試験ガスによる放射熱量の吸収

アルミ円筒管内に試験ガス(大気, 窒素ガス, 二酸化炭素ガス)を充填させ, 黒体放射熱量を測定した. 実験条件は, アルミ円筒管本数 2 本, 温度 300[K], 試験ガス(大気, 窒素ガス, 二酸化炭素ガス)である. 実験結果を, 表 7.1 に示す.

実験結果より, 大気, 窒素ガスに比べ二酸化炭素ガスの熱量は低い値になっていることがわかる. これは他のガスに比べ, 二酸化炭素ガスが黒体放射熱量を吸収したと考えられる.

表 7.1 試験ガスの熱量吸収

試験ガス (1[atm])	黒体放射熱量 [mW]
大気	1.62
窒素ガス	1.61
二酸化炭素ガス	1.34

7.3 放射熱吸収量の二酸化炭素ガス圧力依存性

アルミ円筒管内を真空にし、二酸化炭素ガスを入れることで圧力を 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1[atm]と変化させ実験を行った。実験条件は、アルミ円筒管本数 2 本、温度 300[K]、試験ガス(二酸化炭素ガス)である。実験結果は、図 7.2 に示す。

実験結果より、圧力が高くなるにつれて黒体放射熱量が減少していることがわかる。これは、二酸化炭素ガスの吸収を表していると同時に、二酸化炭素ガスの吸収率が圧力に依存していることがわかる。

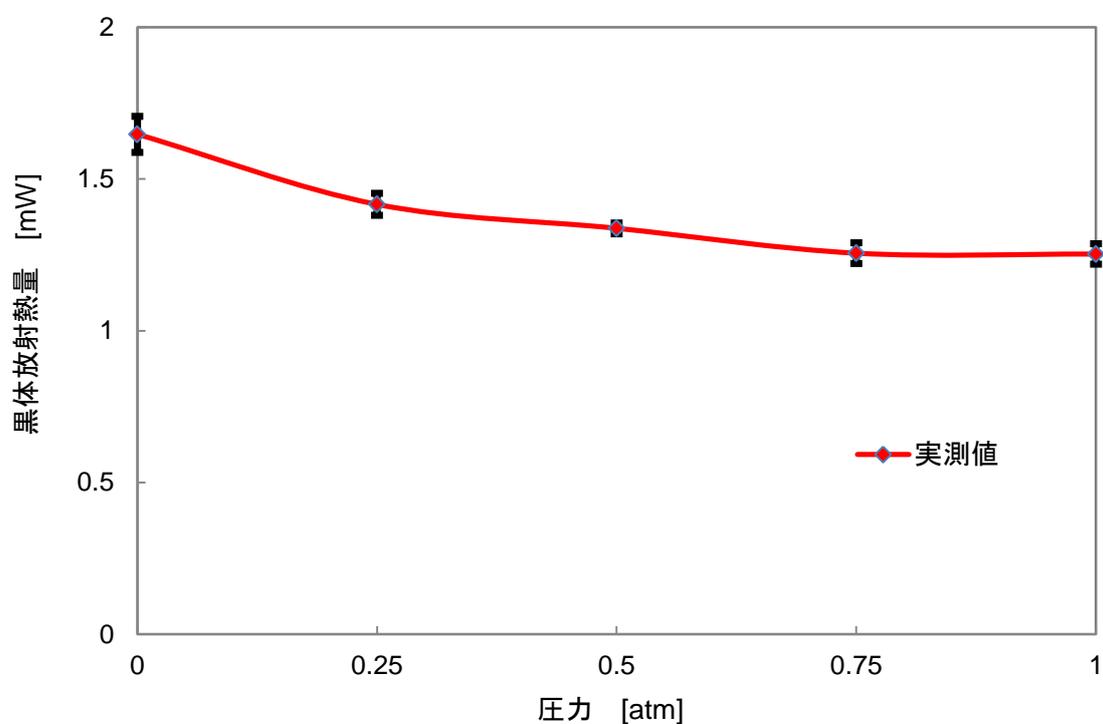


図 7.2 二酸化炭素ガスの吸収率圧力依存

第 8 章

実験の理論値計算

8.1 二酸化炭素ガスによる黒体放射熱量の吸収率

二酸化炭素ガス吸収率を求めるため図 8.1 の Spectral Calc.com(1) という有料のサイトを使用する。まず、窓材が黒体放射熱量を透過する波長の間を選択する。次に、セルの長さ、圧力、温度、体積混合比、ガスを選択する。すると、選択した値の各波長の透過率とグラフが表示される。この時、表示された透過率を図 4.2 の「窓材あり」のグラフにかけると窓材と二酸化炭素ガスを合わせた透過率または吸収率を求めることができる。例として、

波長：2.4~20 [μm] (窓材が黒体放射熱量を透過する波長)
セルの長さ：311.5 [cm]
圧力：1013.25 [mb]=1 [atm]
温度：300 [K]
体積混合比：1 [-]
ガス：二酸化炭素ガス

の値を用いて、Spectral Calc.com で計算する。図 8.2 は計算した時の条件値と図 8.3 のグラフが求められる。このデータをもとに、図 4.2 の「窓材あり」のグラフにかけると、図 8.4 になる。このグラフより青いグラフの面積に対し黒いグラフの面積は、約 44.22[%]となる。これは窓材と選択した値の二酸化炭素ガスが黒体放射熱量を透過できる割合で、残りの 55.78[%]は窓材と選択した値の二酸化炭素ガスによって吸収された割合になる。このようにして、実験で使用する二酸化炭素ガスの吸収率を求め、表 8.1 にまとめた。



図 8.1 Spectral Calc.com

```

# G & A Technical Software, Inc. (GATS) Spectral Calculator
# http://www.spectralcalc.com
# Date: Sat Feb 18 09:06:30 2012
# Line list: hitran2008
#
# Cell Number: 1
# Pressure (mb) = 1013.25
# Temperature (K) = 300
# Length (cm) = 311.5
# Gas           Isotope Id       Volume Mixing Ratio
# CO2          0 All Isotopes     1
#
# Bandpass Starting Wavelength (microns) = 2.40000316861427
# Bandpass Ending Wavelength (microns) = 19.9997799599363
# Number of Spectral Points = 333240
# Mean Transmittance = 0.79302881714213
#
# Wavelength (microns)  Transmittance
2.400003168614273e+00  9.999998839550983e-01
2.400009506422323e+00  9.999998941231354e-01

```

図 8.2 計算時の条件

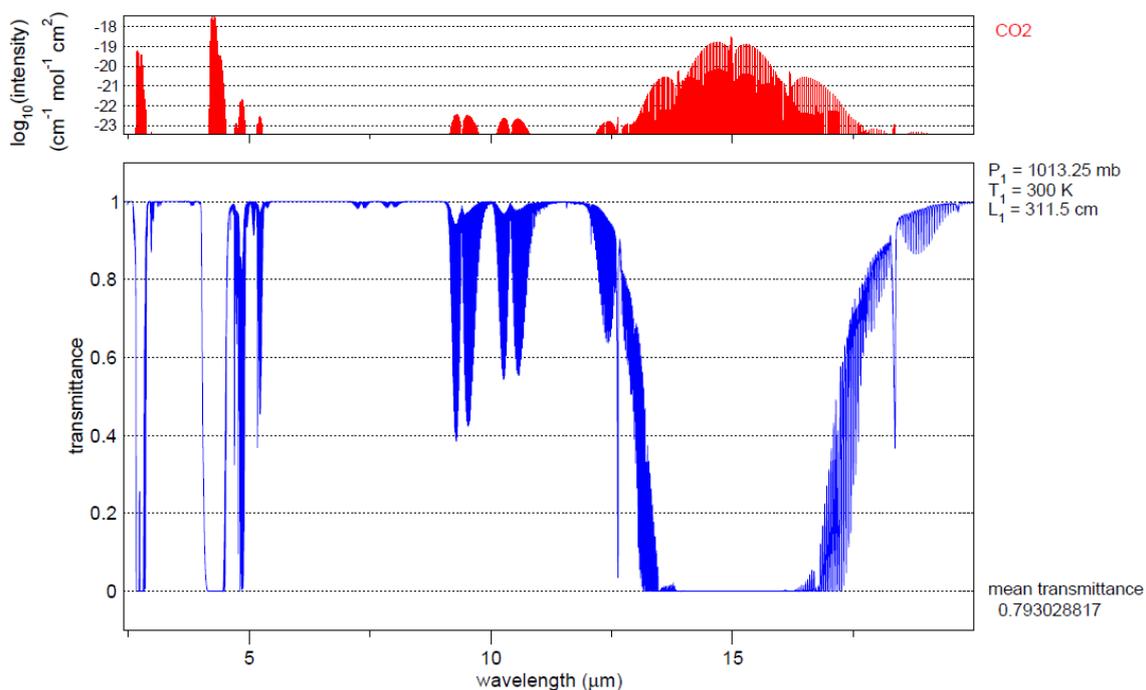


図 8.3 Spectral Calc.com の透過率のグラフ

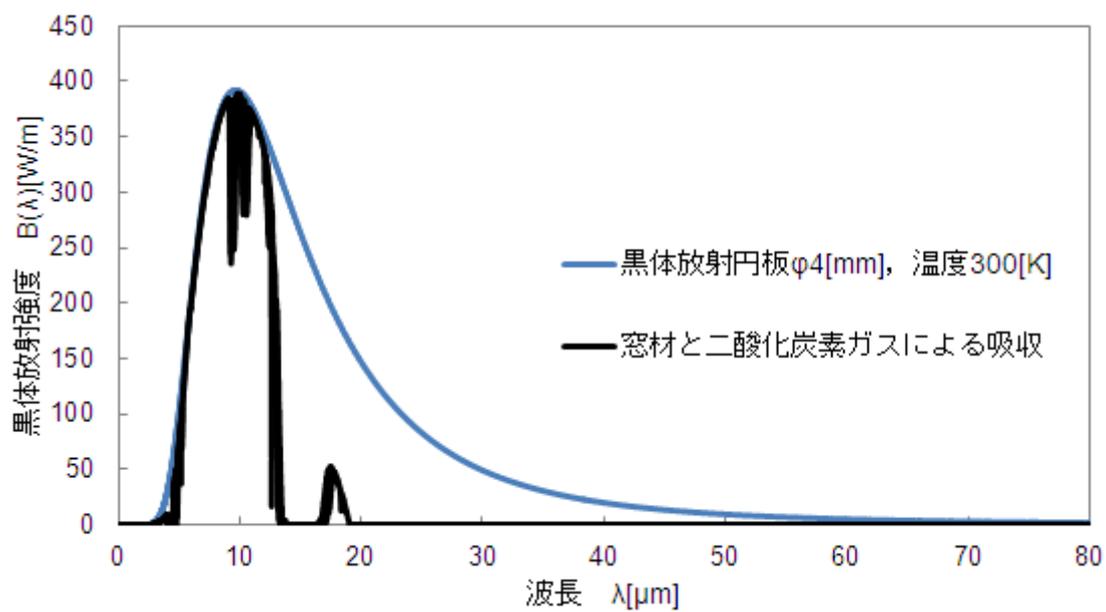


図 8.4 窓材と二酸化炭素による吸収

表 8.1 各圧力での二酸化炭素ガスの吸収率

圧力 [atm]	二酸化炭素ガスの吸収率 [%]
0	40
0.25	50.99
0.5	53.37
0.75	54.77
1	55.78

8.2 アルミ円筒管の平均反射率

アルミ円筒管の本数実験より，アルミ円筒管が黒体放射円板からの放射熱量を吸収していることがわかった．よって放射熱吸収量の二酸化炭素ガス圧力依存性実験の理論値計算に考慮しなければならない．

まず，黒体放射円板を 10 分割して各々の面積を求め，そこからの放射熱量がアルミ円筒管内で何回反射しているのかを計算した．計算結果は，表 8.2 に示す．

表 8.2 黒体放射円板の各々の面積と反射回数結果

黒体放射円板分割 [mm]	黒体放射円板の面積 [m ²]	アルミ円筒管内の反射回数 [-]
0.4	1.3×10 ⁻⁷	0
0.8	3.8×10 ⁻⁷	0
1.2	6.3×10 ⁻⁷	1
1.6	8.8×10 ⁻⁷	1
2.0	1.1×10 ⁻⁶	1
2.4	1.4×10 ⁻⁶	2
2.8	1.6×10 ⁻⁶	2
3.2	1.9×10 ⁻⁶	2
3.6	2.1×10 ⁻⁶	3
4.0	2.4×10 ⁻⁶	3

アルミ円筒管内の平均反射率の求め方は，

$$\bar{x} = \frac{x^n \cdot S_1 + x^n \cdot S_2 + \dots + x^n \cdot S_{10}}{S} \quad (8.1)$$

\bar{x} : 平均反射率 [-]

x : 反射率 [-]

n : 反射回数 [-]

S : 面積 [m²]

となる．

よって(8.1)の式を用いて，アルミ円筒管内の反射率を 0.95 から 0.7 まで 0.5 ずつ平均反射率を求めた．計算結果は表 8.3 に示す．

表 8.3 反射率と平均反射率

反射率 [-]	平均反射率 [-]
0.95	0.9
0.9	0.8
0.85	0.72
0.8	0.64
0.75	0.57
0.7	0.5

8.3 反射板(銅板)の反射率

反射板である銅板の反射率は「実用レーザー加工応用ハンドブック」(2)にある, 図 8.5 を用いて 0.98[-]とした.

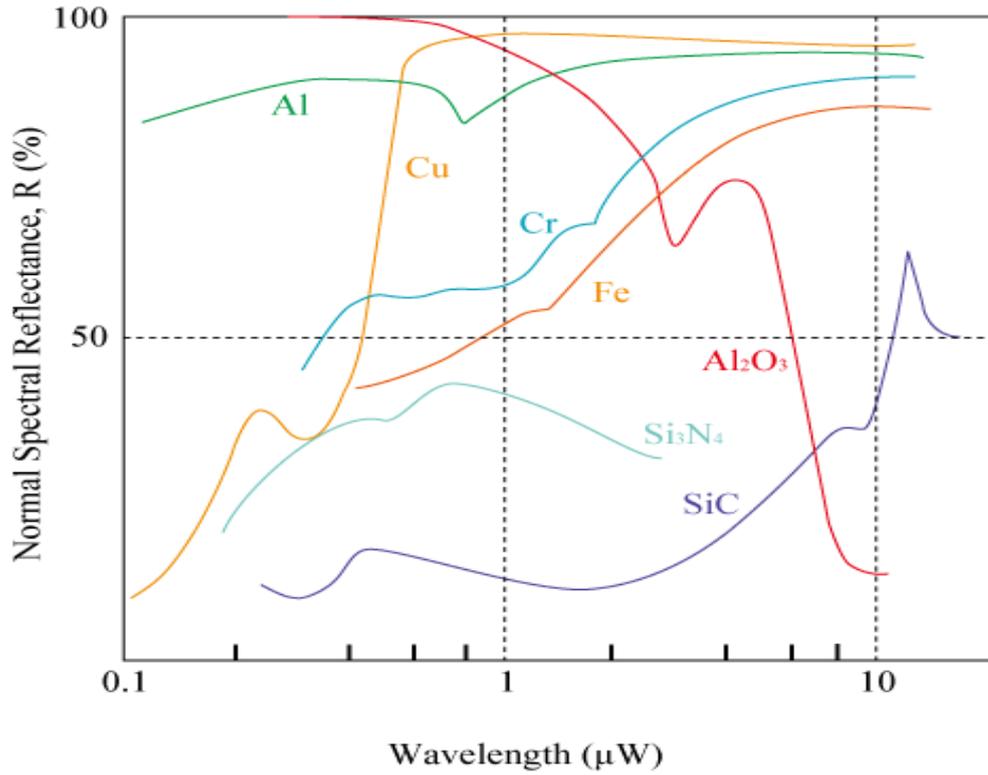
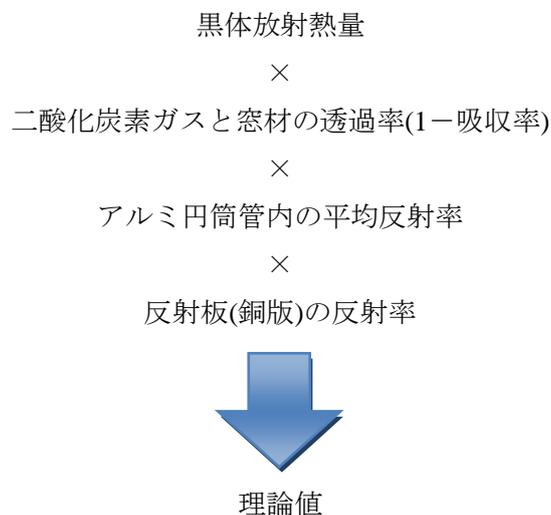


図 8.5 各材料の反射率

8.4 実験時の理論値計算

8.1~8.3 までの吸収率，反射率を踏まえ実験の理論値計算を行う．計算方法は，



になる．計算結果を図 8.6 に示す．結果より，アルミ円筒管内の反射率は 0.75[-]あたりで実測値の値とほぼ同じになった．このことより，今回用いたアルミ円筒管内の反射率は，0.75 だと言える．また，理論値とのグラフの傾きがほぼ近いということから，今回使用した実験装置は二酸化炭素ガスの圧力依存を表わせた．

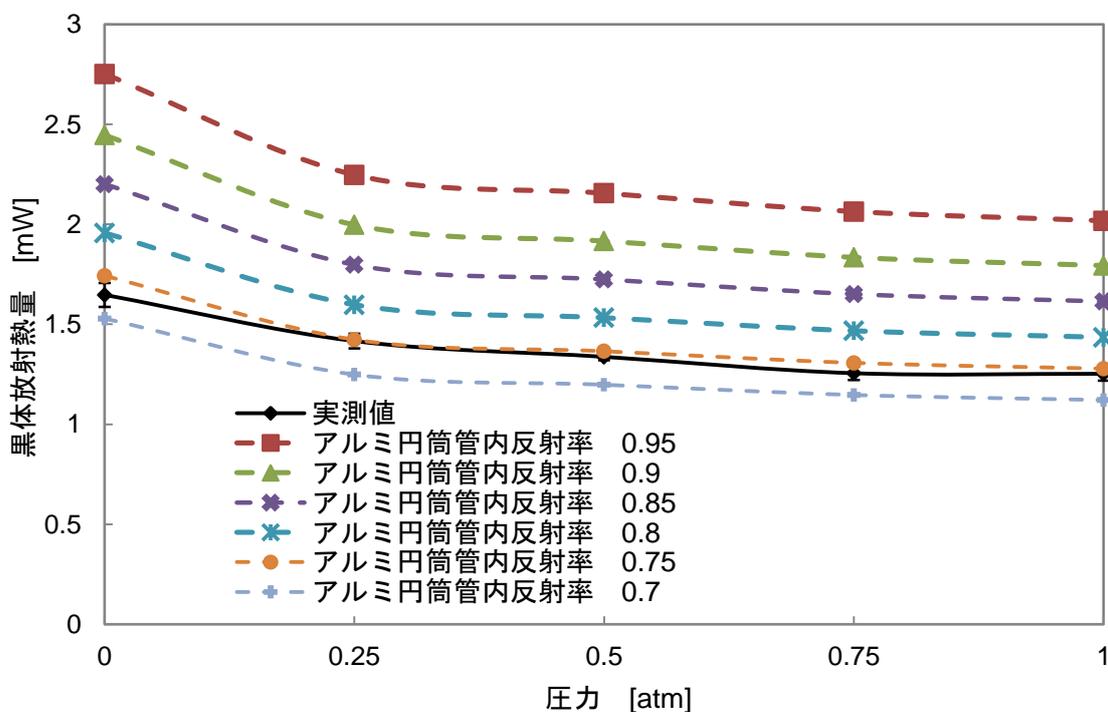


図 8.6 理論値と実測値の比較

第9章

地球温暖化効果と実験装置の比較

9.1 二酸化炭素ガス濃度による温度上昇(観測データ)

図 9.1 は、国立環境研究所がハワイ島のマウナロア観測所というところで観測したデータ(4)である。観測データより、地球は 50 年間で約 22[%]二酸化炭素ガス濃度が増加していることがわかる。また、図 9.2 は、NASA が観測した地球の気温上昇のデータ(5)である。これを見ると、50 年間で地球の気温が約 0.6[°C]上昇している。以上のことから、二酸化炭素ガス濃度が約 22[%]増加すると、約 0.6[°C]気温が上昇していると考えることができる。

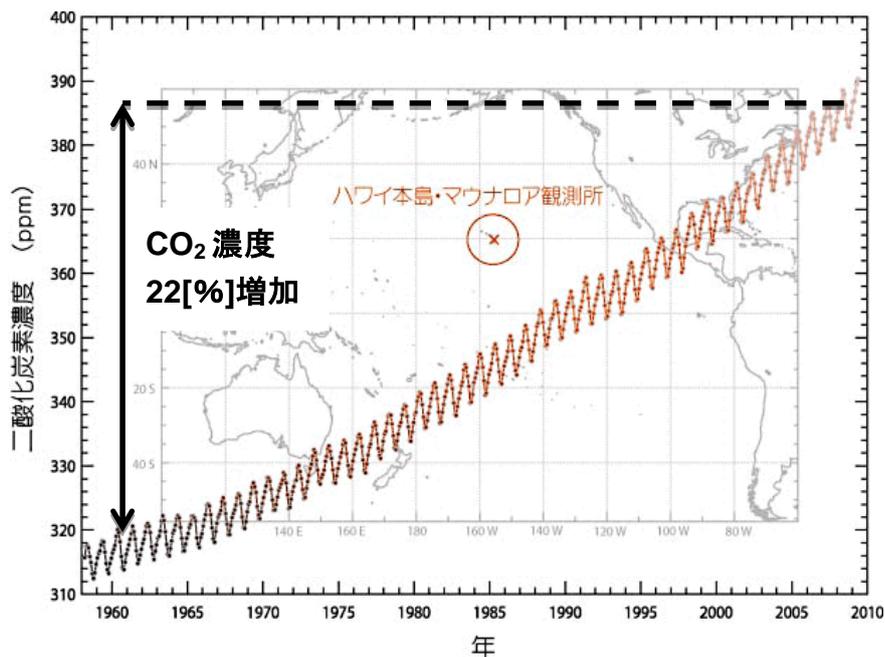


図 9.1 地球の二酸化炭素ガス濃度

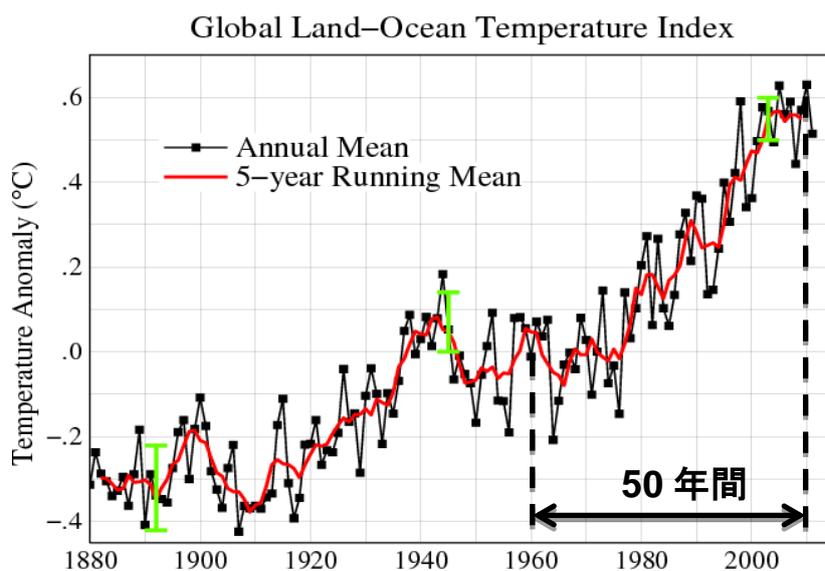


図 9.2 地球の温度上昇

9.2 アルミ円筒管の二酸化炭素ガス濃度による温度上昇(実験データ)

実験装置のアルミ円筒管に二酸化炭素ガスを充填させると、図 9.1 のグラフより 2010 年の二酸化炭素ガス濃度に近くなることがわかった。そこで、今回の実験で測定したデータを使用し、アルミ円筒管内の二酸化炭素ガス濃度が 22[%]変化したときの温度変化 ΔT を求め、どの程度実験で説明できるかを確認した。

図 9.3 のように、圧力が 0.35[atm]を境に圧力が高い方を低層大気(0~8000[m])、圧力が低い方を高層大気(8000~20000[m])とした。まず、高層大気の放射減少率 $\eta_1[-]$ は、

$$\eta_1 = \frac{P_{(0.143)} - P_{(0.175)}}{P_{(0.143)}} \quad (9.1)$$

η_1 : 高層大気の放射減少率 [-]

$P_{(0.143)}$: 圧力が 0.143[atm]の時の黒体放射熱量 [mW]

$P_{(0.175)}$: 圧力が 0.175 [atm]の時の黒体放射熱量 [mW]

で求めることができ実際に計算してみると、

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{1.51 - 1.48}{1.51} \\ &\doteq 0.02 \end{aligned}$$

となる。同様に低層大気の放射減少率 $\eta_2[-]$ を求めると、0.015[-]となった。

この結果は、二酸化炭素ガスが地球温暖化に 100% 寄与したときの結果になる。Earth's Annual Global Mean Energy Budget (6)より現実では、地球温暖化に対する二酸化炭素ガスの寄与は約 20%しかない。よってこれを考慮すると、高層大気の放射減少率 η_1 は 0.004、 η_2 0.003 となる。

次に、高層大気の温度変化 ΔT_1 を求めるには、

$$\frac{\varepsilon S \sigma (T + \Delta T)^4}{\varepsilon S \sigma T^4} = 1 + \eta \quad (9.2)$$

を用いて式を変形すると、

$$\Delta T = \frac{\eta}{4} T \quad (9.3)$$

となる. (9.3)の式を用いて実際に計算してみると,

$$\Delta T = \frac{0.004}{4} \times 300$$

$$\approx 0.3 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

となる. 同様に低層大気の温度変化 ΔT_2 も計算すると, 約 $0.2[^\circ\text{C}]$ になる. よってアルミ円筒管内の温度変化 ΔT は $0.5 \text{ [}^\circ\text{C]}$ となり, 観測データと比較すると誤差は 0.1°C となったため合っていると言える.

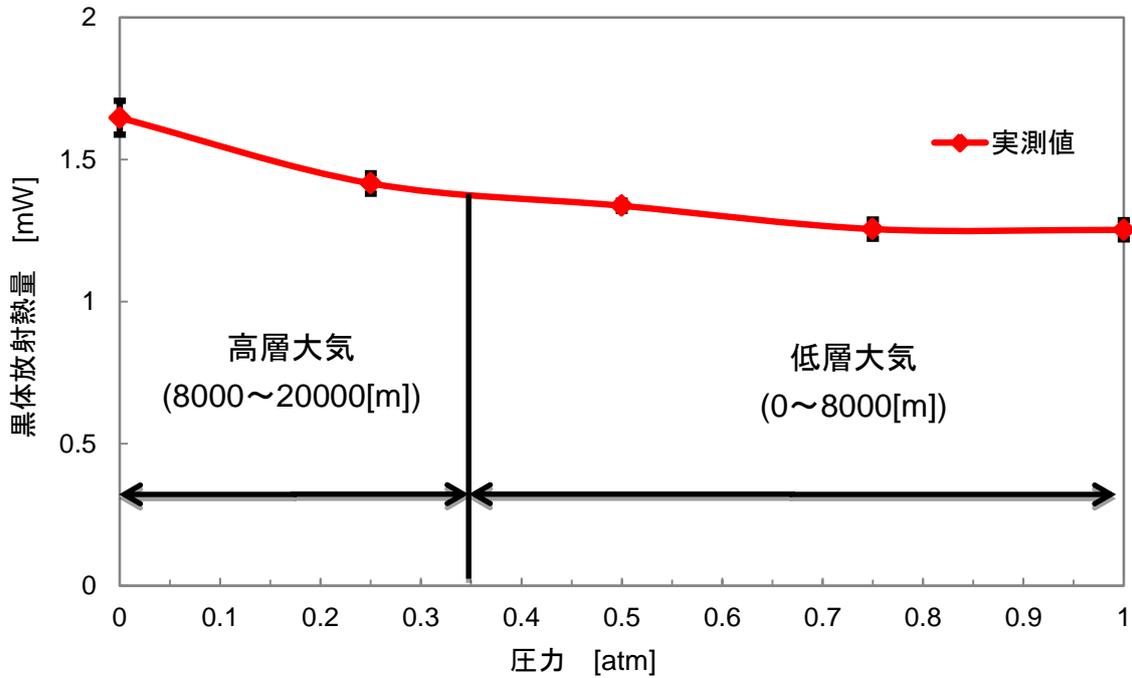


図 9.3 高層大気と低層大気の分け方

第 1 0 章

結言

1960年~2010年の50年間における地球の平均温度上昇値(0.6[°C])を二酸化炭素濃度の上昇で定量的に説明した。

実験装置に関してはフィードバック制御化することで複雑な熱伝導を考慮せずに実験を行えるようになったため、実験装置の簡略化に成功した。黒体放射円板を縮小化することで、レスポンスも向上し誤差を抑えることにも成功した。

今後の課題として、より地球の大気に近い状態にして実験を行うことや、試験ガスの温度を冷やしたりして実験を行うことがあげられる。

参考文献

- 1) Spectralcalc.com <http://www.spectralcalc.com/info/about.php>
- 2) オプトロニクス社編集部 「実用レーザー加工応用ハンドブック」 オプトロニクス社
- 3) 平成 22 年度卒業論文「二酸化炭素ガスによる地球温暖化効果の実験的検証」 泉 利佳
- 4) 国立環境研究所 <http://www.nies.go.jp/>
- 5) NASA <http://www.nasa.gov/>
- 6) Bulletin of the American Meteorological Society 「Earth's Annual Global Mean Energy Budget」
J.T.Kiehl and Kevin E. Trenberth VO1.78,No.2,February 1997

謝辞

本研究を行うに当たり，ご指導いただいた河村良行教授や河村研究室の大学院生の方々に感謝します．また，実験製作のためご指導いただいた先生方やものづくりセンターの方々，エレクトロニクス研究所の牛島先生に感謝し，謝辞を表します．