

平成24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Ⅲ

福岡工業大学 工学部

知能機械工学科

08E1003 井々村 群兵

09E1028 古森 雄

指導教員 河村 良行 教授

目次

第1章 緒言	1
第2章 放射熱量測定装置	3
2.1 実験装置のモデル	
2.2 放射熱量測定装置の概要	
2.3 アルミ円筒管	
2.4 焦電型赤外線センサー	
2.5 焦電型赤外線センサーの性能	
2.6 ポリエチレンの窓材	
2.7 データロガー	
2.8 コンデンサによるノイズの除去	
2.9 置台	
第3章 二酸化炭素ガスによる赤外線の透過率	13
3.1 Spectral Calc.com	
3.2 各波長における二酸化炭素ガスの影響	
第4章 理論値計算の概要	17
4.1 センサー放射強度のスペクトル	
4.2 センサー窓材の透過率	
4.3 ポリエチレンの透過率	
4.4 センサーからの放射熱 P_1	
4.5 各実験要素の係数	
第5章 測定実験	23
6.1 実験方法	
6.2 放射熱量の校正方法	
6.3 二酸化炭素ガスにおける放射熱量の吸収と依存性	
6.4 実測値と計算値の比較	
第6章 結言	28

参考文献	30
謝辞	31
付録	32

第 1 章

緒言

現在地球では、温暖化が深刻な問題になっている。特に第2次産業革命以降の急速な温度上昇は人間の産業活動によって排出された二酸化炭素、フロンガス、メタンガス等の温室効果ガスが主な原因と考えられている^[1]。そこで温室効果ガスの代表例である二酸化炭素に注目した。

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放射熱量を測定するため、地球を焦電型赤外線センサー、大気を混合気体(二酸化炭素ガス、窒素ガス)、宇宙空間を液体窒素として実験装置を改良し、昨年同様「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。

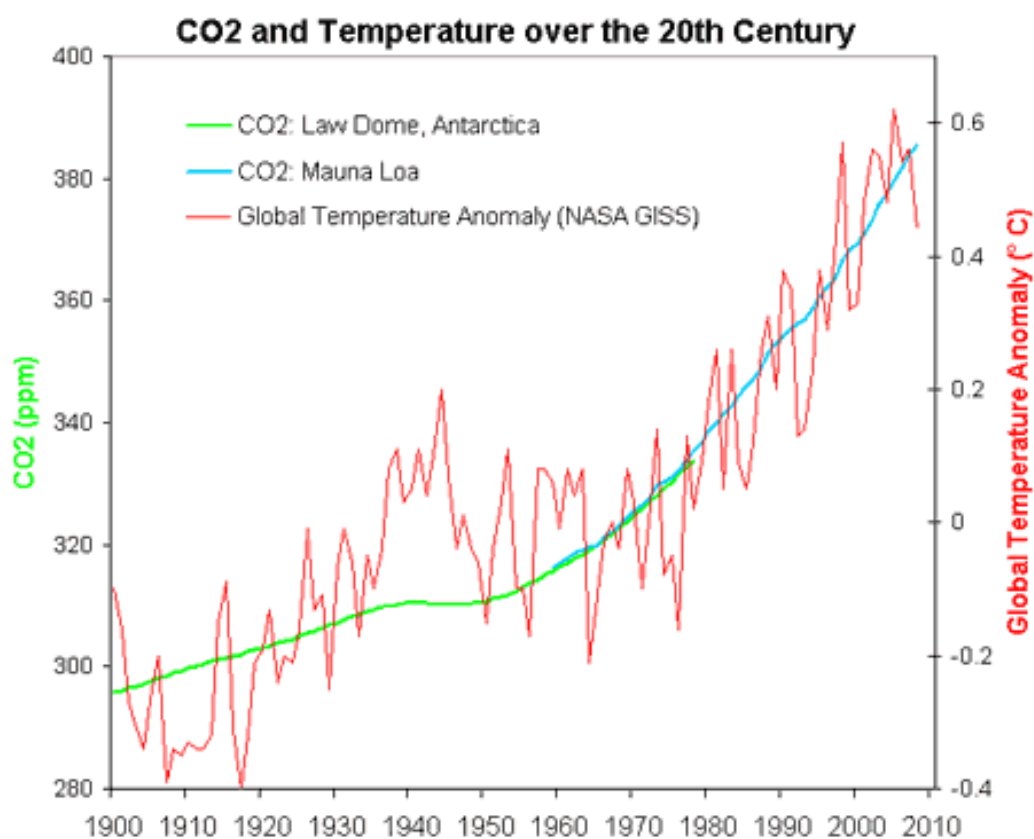


図 1.1 産業革命以降の二酸化炭素の排出量^[2]

第 2 章

放射熱量測定装置

2.1 実験装置のモデル

本年度は図 2.1 のような実験装置を使用した。液体窒素を宇宙空間と置き換え、焦電型赤外線センサーを地上付近とした。実験のモデルは図 2.2 に示す。



図 2.1 実験装置

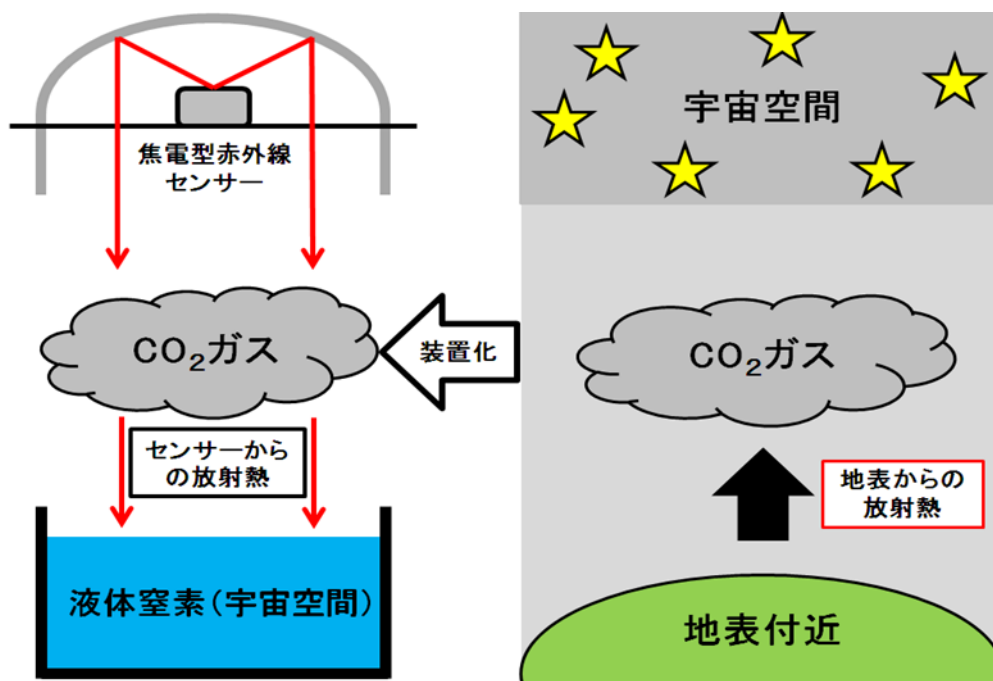


図 2.2 実験装置のモデル

2.2 放射熱量測定装置の概要

本実験では、アルミ円筒管、放射熱量測定装置、ポリエチレンの窓材、二酸化炭素ポンベ、窒素ポンベ、焦電型赤外線センサーを作動させるための電源、放射熱量を遮断するためのシャッター、焦電型赤外線センサーが検出した放射熱をデータ化する為のデータロガーを使用している。

実験装置全体は図 2.3 に示し、内側を鏡面研磨したアルミ円筒管に放射熱量測定装置(放物凹面鏡、焦電型赤外線センサー)を取り付ける。放射熱量測定装置の反対側にポリエチレンの窓材を取り付け、アルミ円筒管内のセンサーからの放射熱のみ通せるようにする。シャッターを閉めた状態ではセンサーから発せられた放射熱量はシャッターに反射し、センサーに戻る。この時シャッターの表面は室温なので放射熱量は変化しない。シャッターを開けるとセンサーからの放射熱量は銅板に反射し液体窒素に到達する。この時、液体窒素からの放射熱量はほぼ 0 なのでセンサーから発せられた放射熱量が失われたことになる。この失われた放射熱量を焦電型赤外線センサーが電圧としてデータロガーで検出して実測値とした。

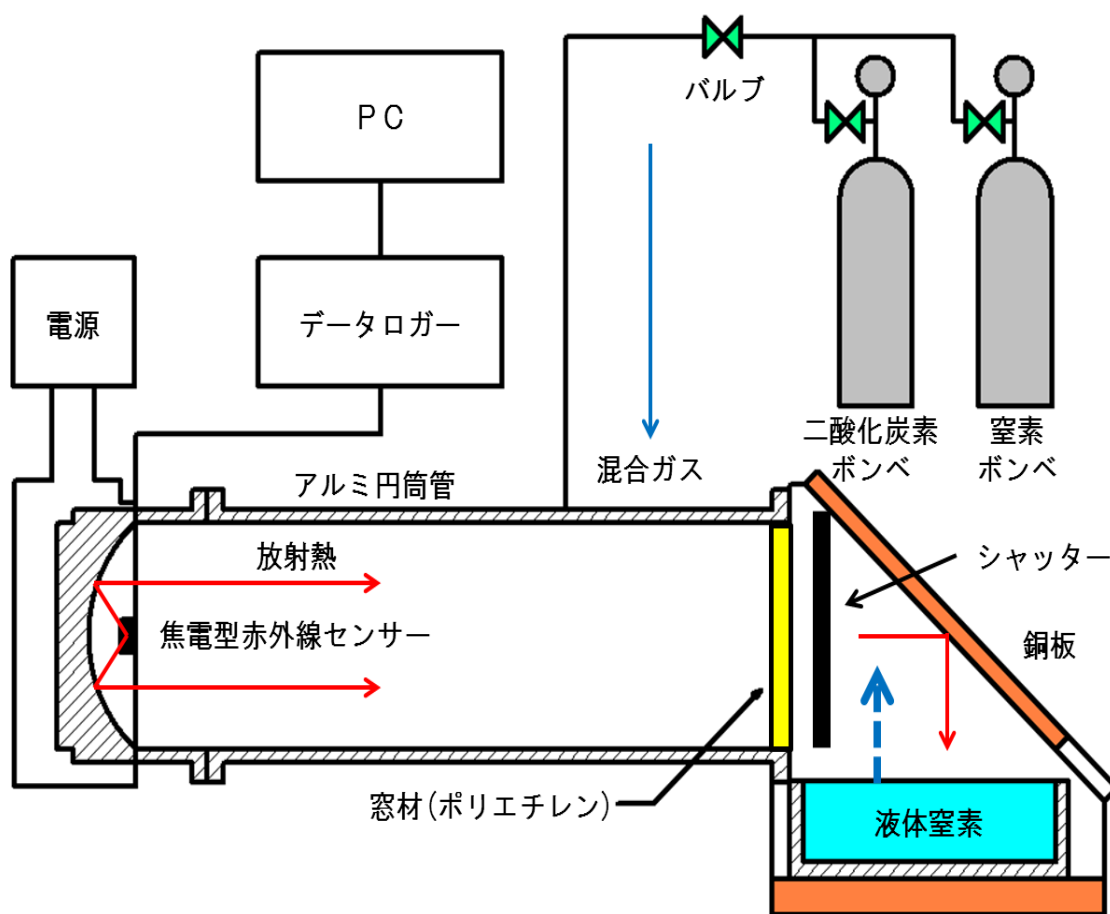


図 2.3 放射熱測定装置

2.3 アルミ円筒管

アルミ円筒管は長さ 1500[mm]、内径 90[mm]で、センサーから出る放射熱量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 本使用し接続面から混合気体が漏れないようにオーリングをはさみ接続している。

図 2.4 はアルミ円筒管の鏡面研磨前と、図 2.5 は鏡面研磨後の写真である。



図 2.4 鏡面研磨前

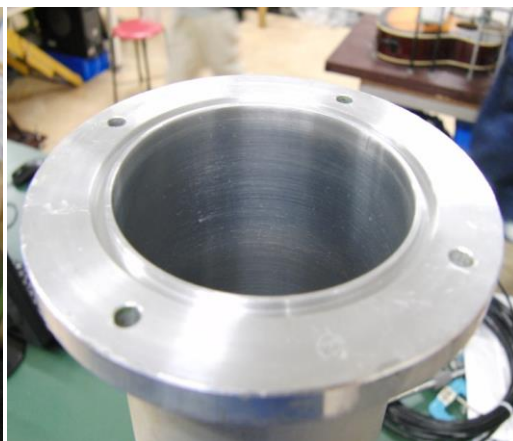


図 2.5 鏡面研磨後

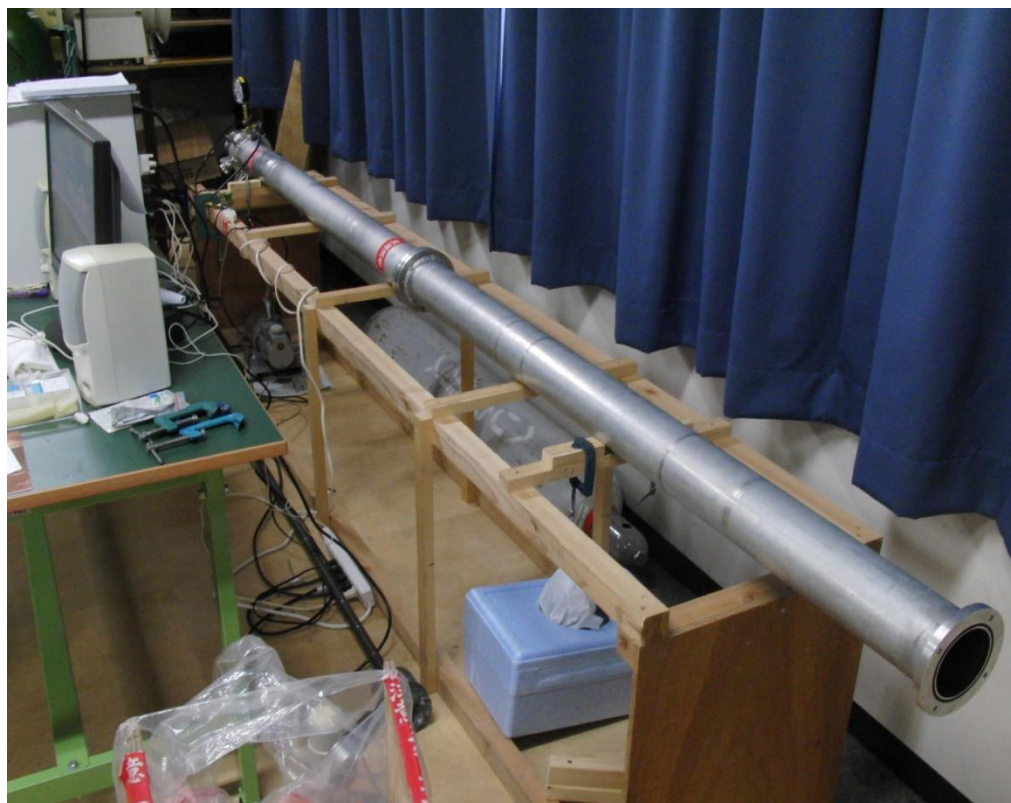


図 2.6 接続したアルミ円筒管

2.4 焦電型赤外線センサー

昨年までは計測にK型熱電対を使用していたが，本年度は日本セラミック株式会社製の焦電型赤外線センサー「SSAC10-11-P」^[3]を使用した。

配線のみでセンサーを固定すると焦点がずれてしまうため，焦点を固定できるようカーボンロッドを使用した．取り付けの様子を図2.7と図2.8に示す．



図 2.7 焦電型赤外線センサー

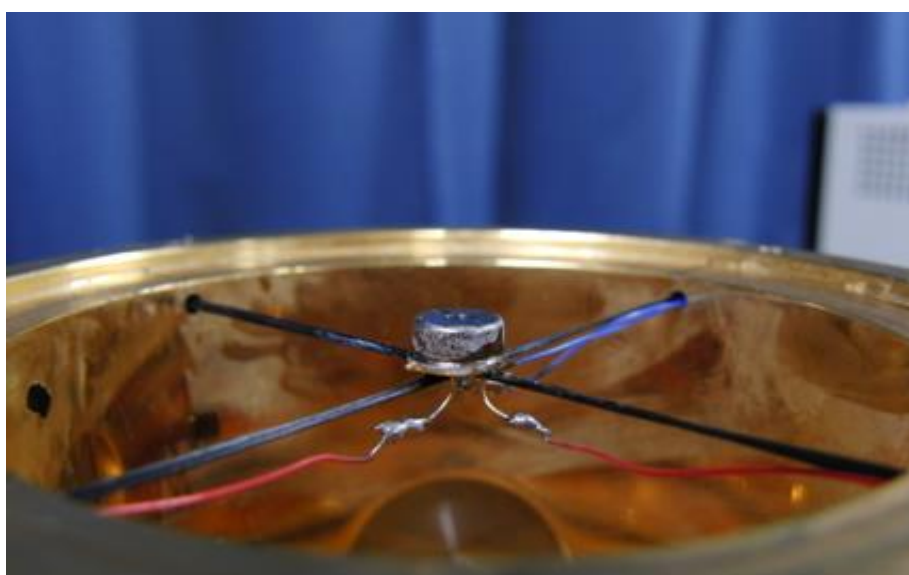


図 2.8 カーボンロッド

2.5 焦電型赤外線センサーの性能

このセンサーは焦電効果と言われる効果で放射熱量の変化分を電圧として検出することができる。どのような形で電圧が変化するか実験を行い、実際の焦電効果と比較をした。その図を図 2.9, 図 2.10 に示す。(印加電圧 5[V])

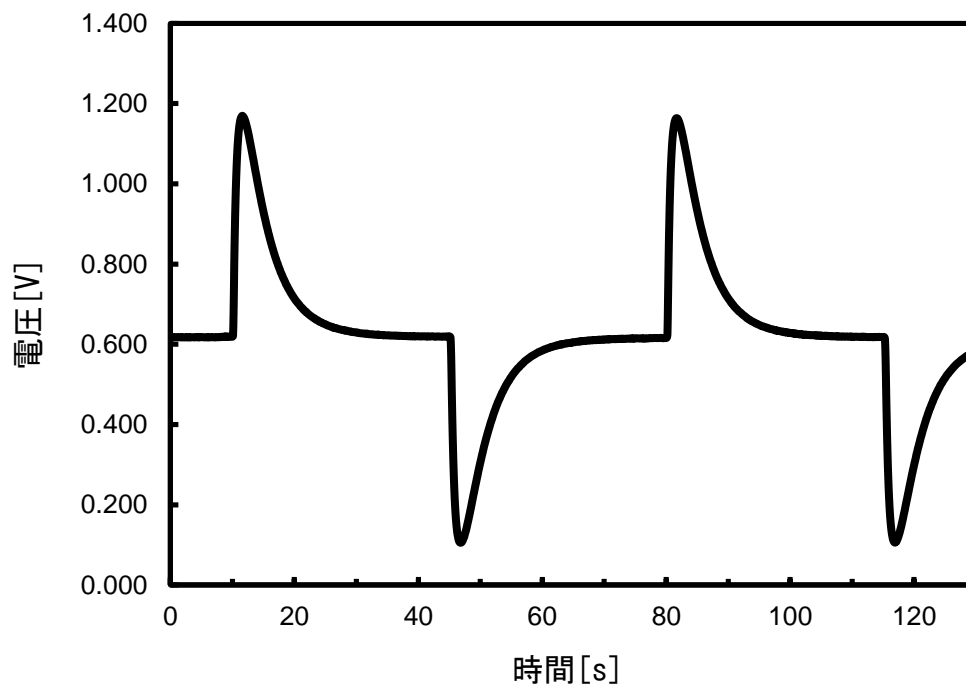


図 2.9 実験値の一例

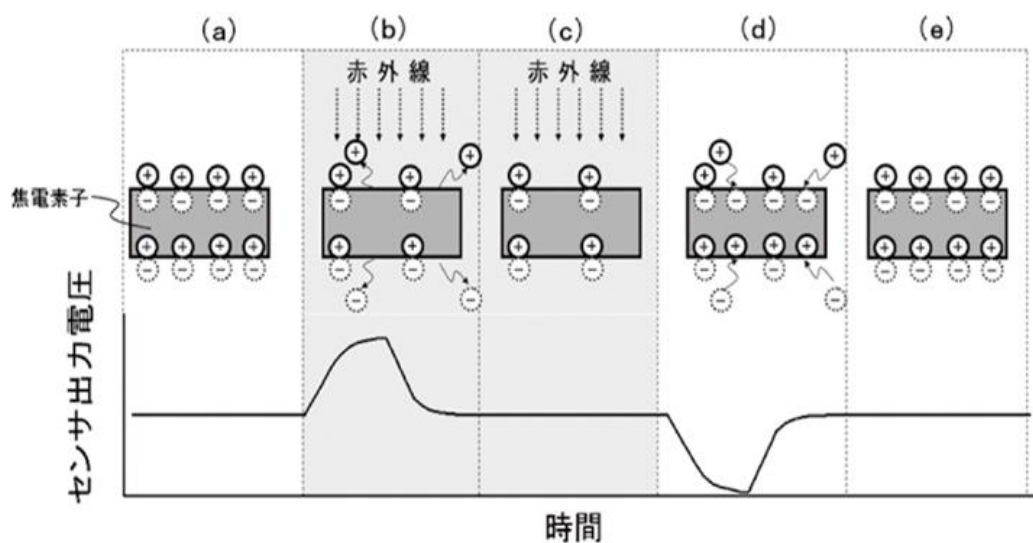


図 2.10 焦電効果とセンサー出力電圧^[4]

2.6 ポリエチレンの窓材

ポリエチレン(20 μm)はセンサーから放射される放射熱を通す窓材として使用する。ポリ塩化ビニルなどの窓材よりも透過率は高いという特徴がある。図 2.11 に窓材の透過率のグラフを示す。また、図 2.12 は実際のポリエチレンの写真である。

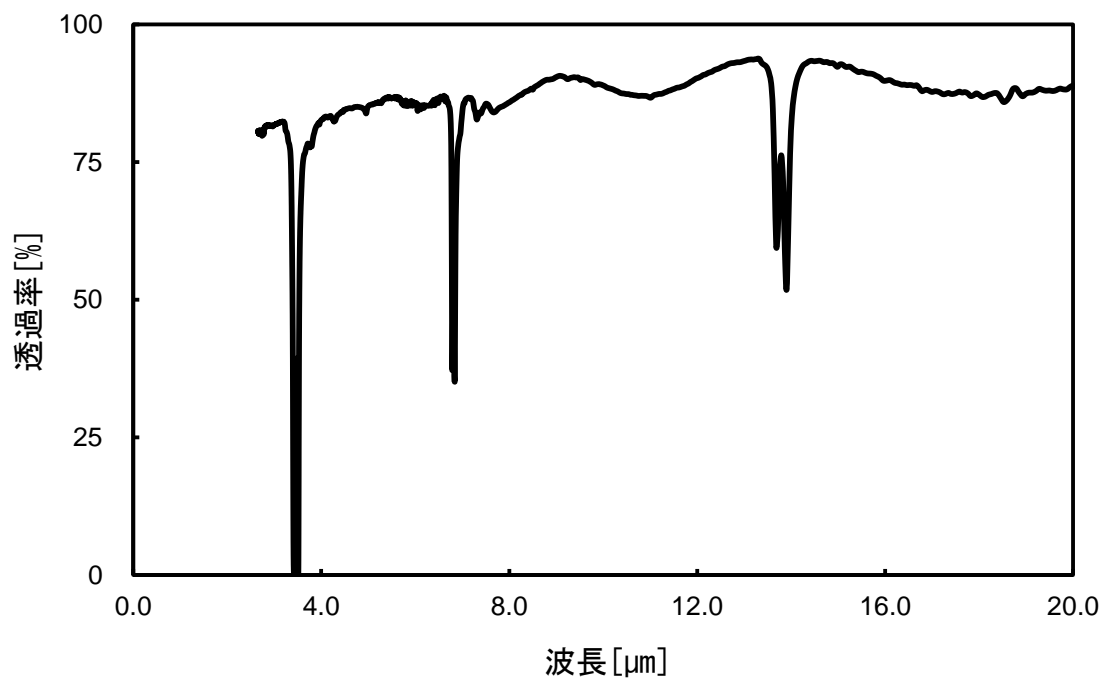


図 2.11 ポリエチレンの透過率



図 2.12 ポリエチレンの窓材

2.7 データロガー

焦電型赤外線センサーで検出した電圧をデータ化するため、YOKOGAWA の DL850 を使用した。設定として測定時間の範囲を 180[s]、サンプリングを 50[S/s]（1 秒間に 50 点のデータを取る）とした。またデータロガーの接続部分にはコンデンサを取り付けた。

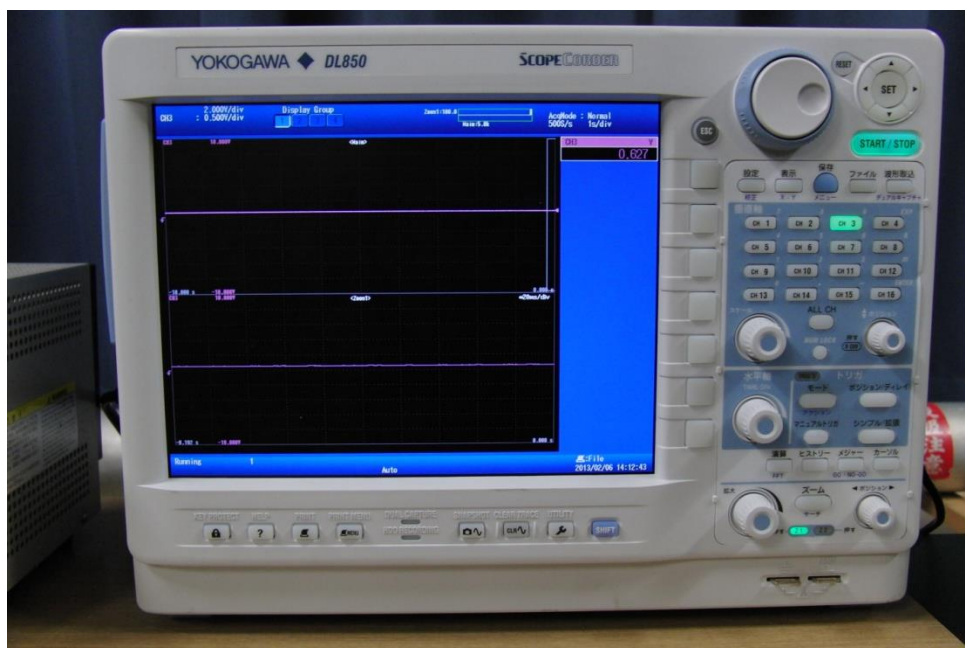


図 2.13 YOKOGAWA DL850



図 2.14 コンデンサ

2.8 コンデンサによるノイズの除去

焦電型赤外線センサーの動作確認をしたところノイズが発生して信号の変化を読み取れなかったため、 47×10^4 [pF] のコンデンサを使用した。ノイズを比較したのを図 2. 15, 図 2. 16 に示す。

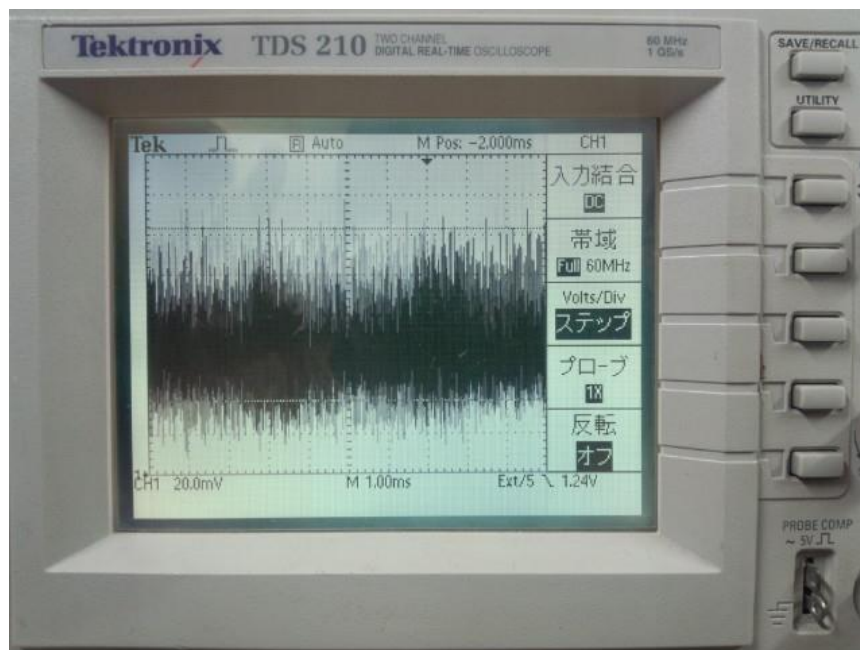


図 2. 15 コンデンサ取り付け前



図 2. 16 コンデンサ取り付け後

2.9 置台

アルミ円筒管と置台を一体化させるために改良を行った。銅板に反射した放射熱が液体窒素の中心に到達するよう設計した。



図 2.17 改良前の置台

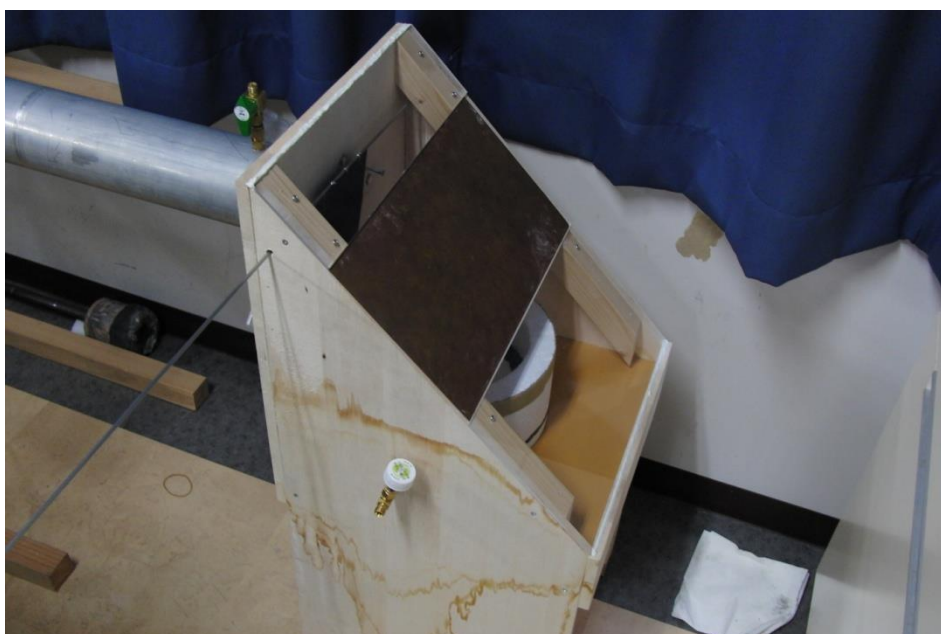


図 2.18 改良後の置台

第 3 章

二酸化炭素ガスによる赤外線透過率

3.1 Spectral Calc.com

二酸化炭素炭素ガスの透過率を求めるため図 3.1 の Spectral Calc.com^[5] という有料のサイトを使用する。まず、センサーの窓材が赤外線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。例として、

波長：6～15 [μm] (センサー窓材が赤外線透過する波長)
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、窒素ガス

の値を用いて、Spectral Calc.com で計算すると図 3.2 のグラフが求められる。これを各二酸化炭素濃度における実験で使用する二酸化炭素ガスの透過率を求め、表 3.1 にまとめた。表 3.1 を見て分かるように、二酸化炭素濃度が上昇するにつれて二酸化炭素の透過率が減少しているのが分かる。

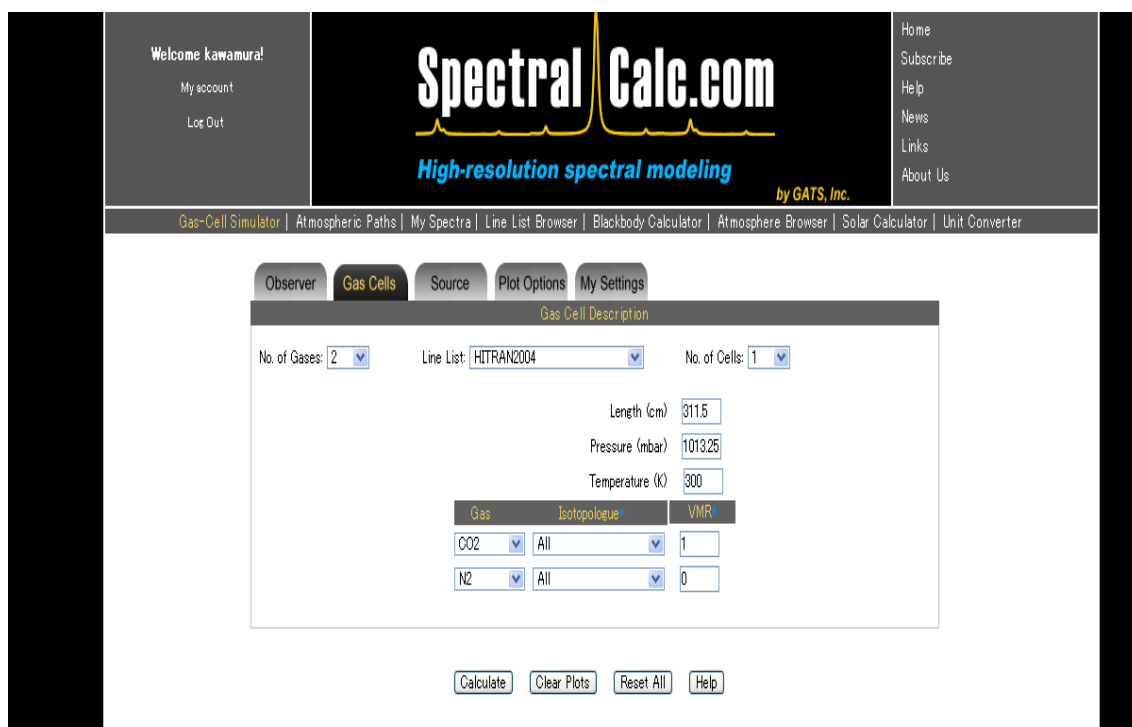


図 3.1 Spectral Calc.com

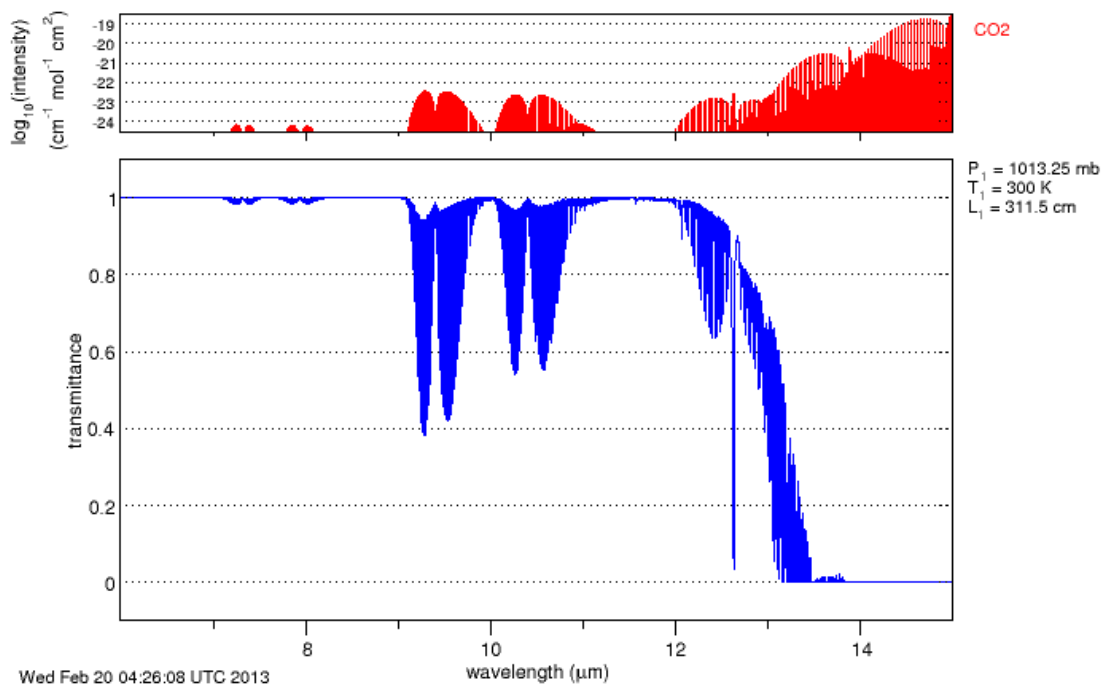


図 3.2 Spectral Calc.com で求めた透過率の一例

表 3.1 各二酸化炭素の透過率

二酸化炭素濃度[%]	二酸化炭素の透過率[%]
0	100
25	83.5
50	78.3
75	75.1
100	72.5

3.2 各波長における二酸化炭素ガスの影響

今回二酸化炭素ガスの透過率を使用するに当たり、どの波長の透過率が放射熱量に影響を与えているか調べなければならない。そこで9~11[μm]、12~14[μm]の吸収が大きい波長領域に注目し、どちらの波長領域が主に放射熱量の吸収に影響しているか調べた。図 3.3 の16~18[μm]の波長領域は水蒸気の吸収があるため放射熱量に影響はないと考える。表 3.2 が各二酸化炭素濃度における各波長領域の透過率である。見て分かるように12~14[μm]の波長領域のほうが9~11[μm]の波長領域より比率が大きいため、放射熱量は12~14[μm]の波長領域に影響していると考えられる。

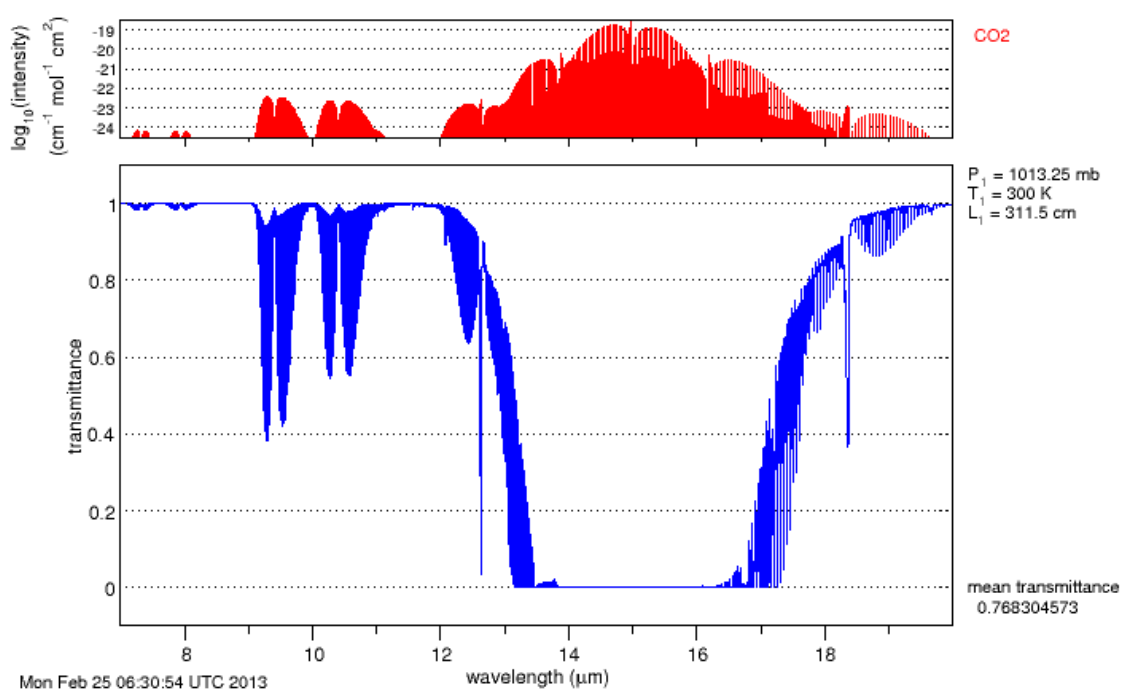


図 3.3 二酸化炭素の全体の波長領域

表 3.2 各波長領域における二酸化炭素ガスの透過率

二酸化炭素濃度 [%]	透過率の平均値 [%] (9~11[μm])	透過率の平均値 [%] (12~14[μm])	透過率の比
0	0.0000681	0.000857	1:115
25	0.000125	0.000966	1:8
50	0.000118	0.000499	1:4
75	0.000112	0.000344	1:3
100	0.0000537	0.000136	1:3

第 4 章

理論値計算の概要

4.1 センサー放射のスペクトル $B(\lambda)$

図 4.1 は昨年の論文^[6]を参考に焦電型赤外線センサーのエレメントが $\phi 1.75[\text{mm}]$ で温度が $300[\text{K}]$ の時、(4.1)式を使い計算した結果である。

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

$B(\lambda)$: センサー放射のスペクトル $[\text{W/m}]$

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

c : 光速 $= 3 \times 10^8 \text{ [m/s]}$

λ : 波長 $[\text{m}]$

e : 自然対数の底 $= 2.718$

T : 温度 $= 300 \text{ [K]}$

S : エレメントの面積 $[\text{m}^2]$

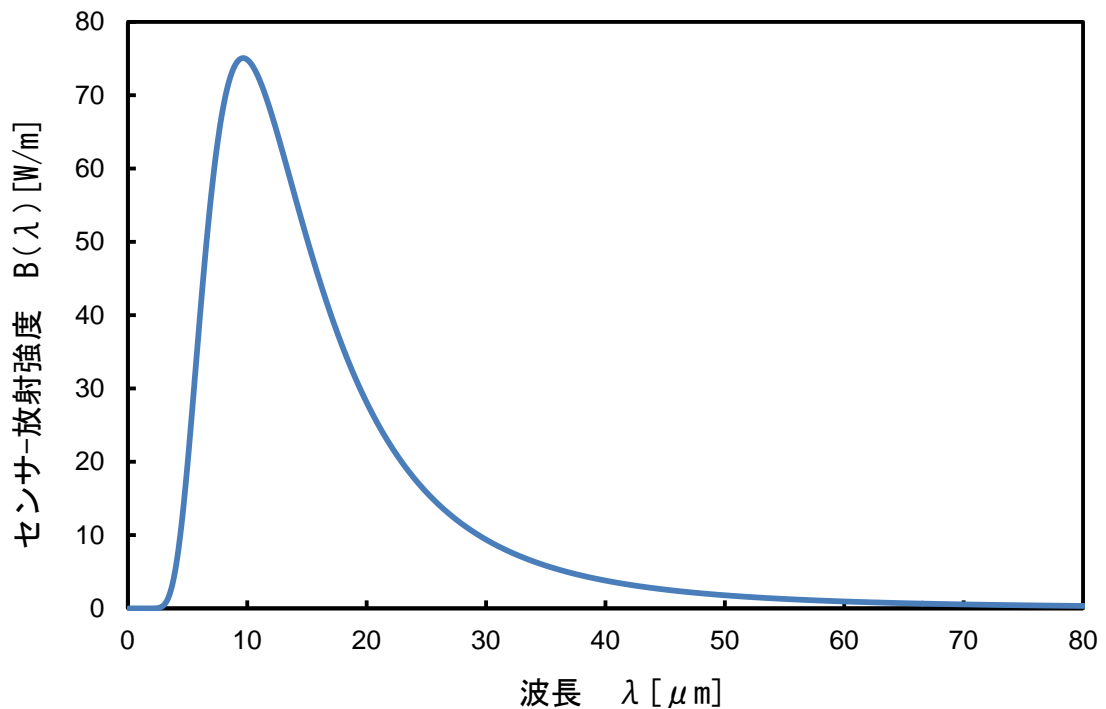


図 4.1 エレメント $\phi 1.75[\text{mm}]$, 温度 $300[\text{K}]$ の時のセンサー放射強度

4.2 センサー窓材の透過率

センサーには窓材がついており、窓材の透過率を考えなければならない。図 4.2 はセンサー窓材(Si)^[7]の波長ごとの透過率のグラフである。図 4.1 に図 4.2 を掛け合わせたものが図 4.3 である。「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、センサー窓材の透過率は46%となる。残りの54%は窓材によって吸収されたと言える。

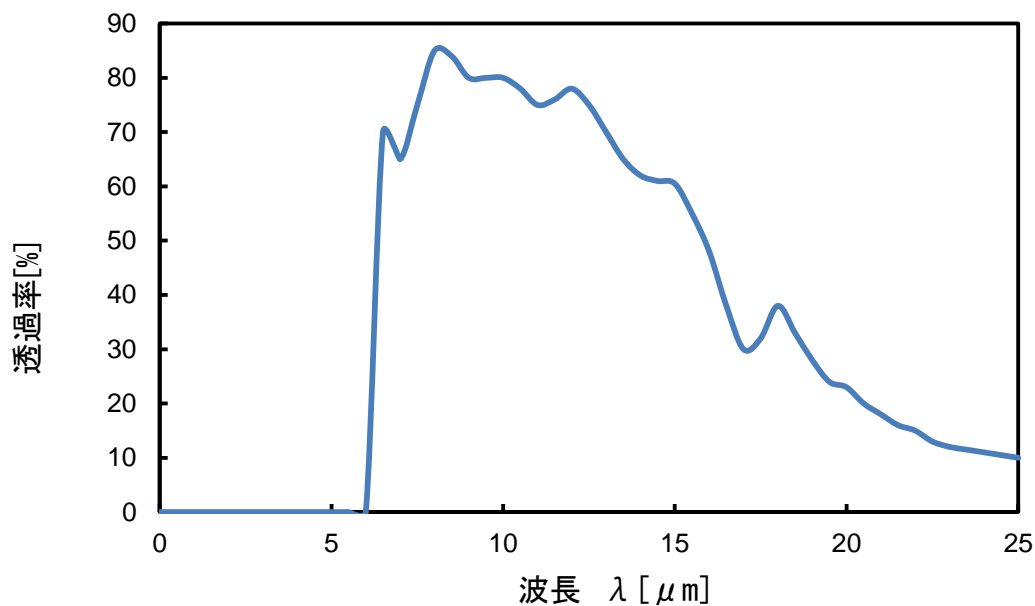


図 4.2 センサー窓材(Si)の透過率

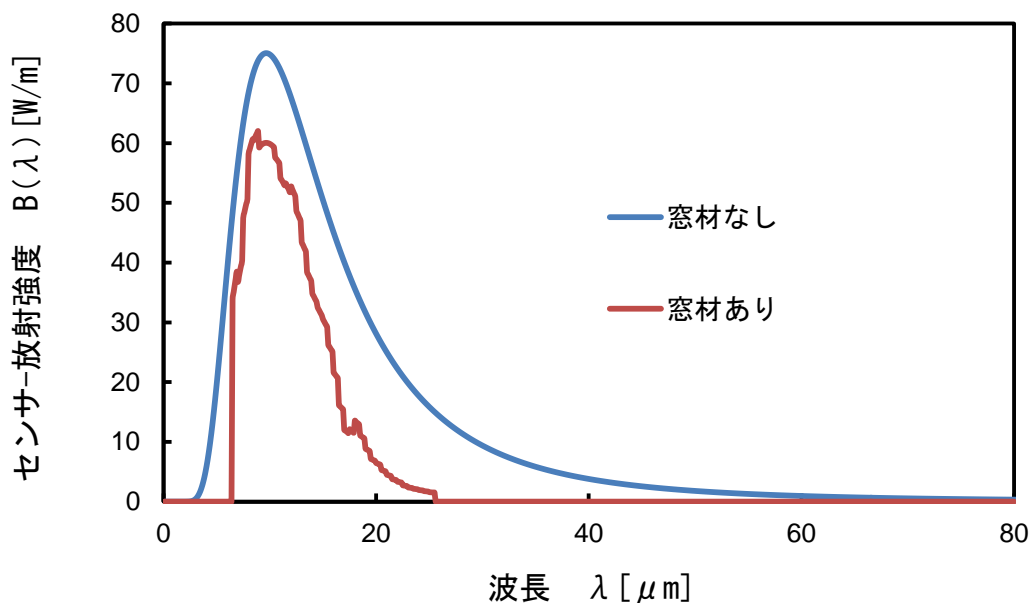


図 4.3 センサー窓材 (Si)によるセンサー放射熱の吸収

4.3 ポリエチレンの透過率と全体の透過率

図 4.1 に図 2.11 を掛け合わせたものが図 4.4 である。「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、ポリエチレンの透過率は 72% となる。残りの 28% は窓材によって吸収されたと言える。図 4.3, 図 4.4 を掛け合わせた結果が図 4.5 である。計算の結果、全体の透過率は 40% となった。

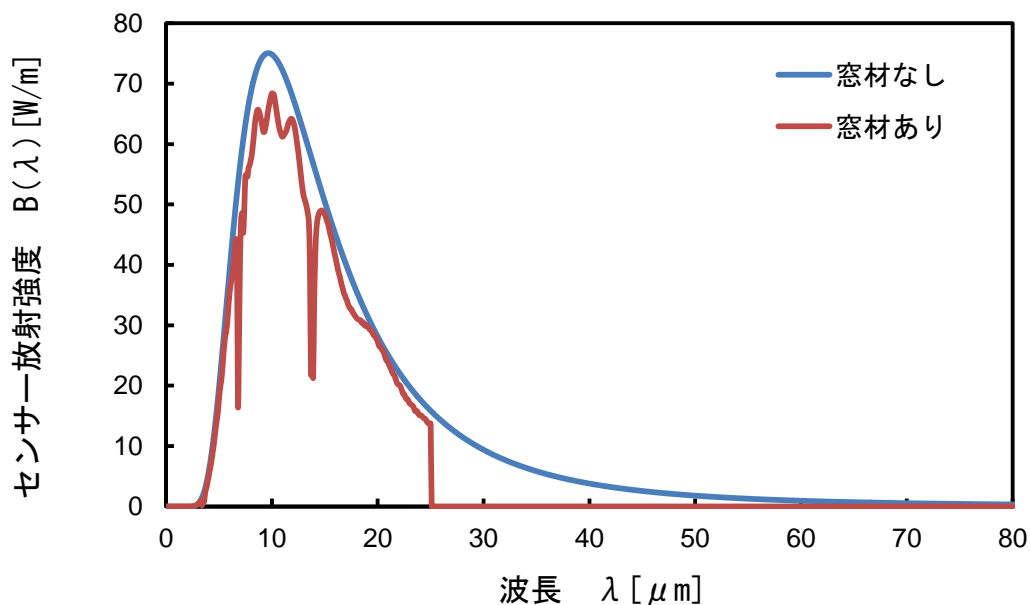


図 4.4 ポリエチレンによるセンサー放射熱の吸収

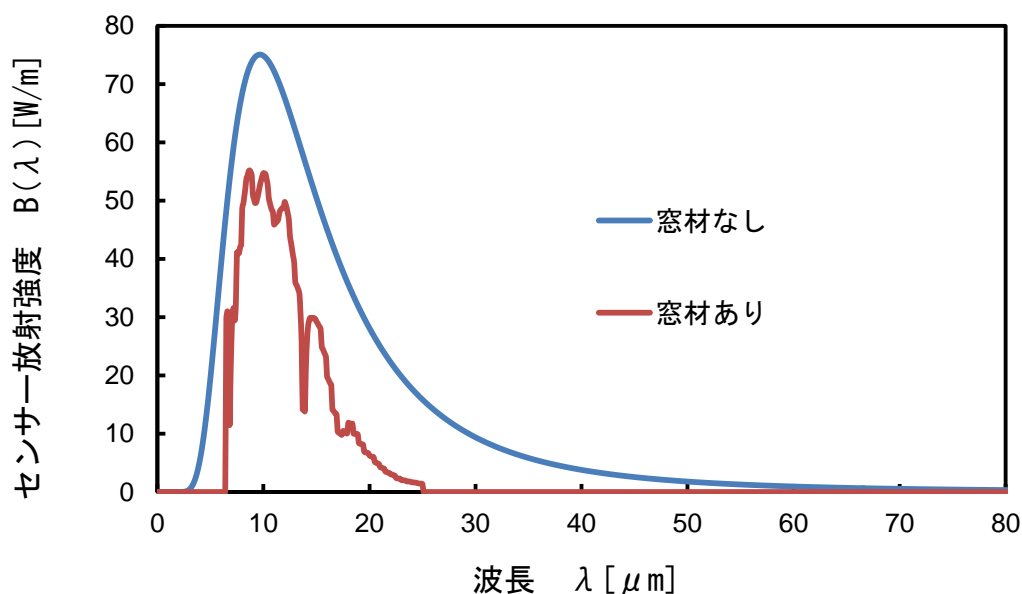


図 4.5 窓材全体によるセンサー放射熱の吸収

4.4 センサーからの放射熱 P_1

まず、センサーのエレメントの断面積 $S[\text{m}^2]$ は

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

S : エレメントの断面積 $[\text{m}^2]$

d : エレメントの直径 $=1.75 \times 10^{-3} \text{ [m]}$

で求めることができる。実際に計算してみると、

$$\begin{aligned} S &= \pi \times \left(\frac{1.75 \times 10^{-3}}{2}\right)^2 \\ &= 2.41 \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]} \end{aligned}$$

となる。センサーからの放射熱 $P_1[\text{W}]$ は、

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

P_1 : センサーから放出する熱量 $[\text{W}]$

ε : 放射率 $=0.9 \text{ [-]}$

S : センサーのエレメントの断面積 $=2.41 \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$

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

T : 室温 $=27 \text{ [}^\circ\text{C]} = 300 \text{ [K]}$

で求めることができる。実際に計算してみると、

$$\begin{aligned} P_1 &= 0.9 \times 2.41 \times 10^{-6} \times 5.67 \times 10^{-8} \times 300^4 \\ &= 9.96 \times 10^{-4} \text{ [W]} \end{aligned}$$

となる。

4.5 各実験要素の係数

P_1 の値に実験要素のすべての係数を掛けると実測値と比較する為の理論値となり理論値 P は,

$$P=P_1 \times \tau_S \times D_{st} \times R_{Cu} \times \tau_{CO_2} \times \tau_p \times R_{Al} \quad (4.4)$$

- P : 放射熱量の理論値 [W]
- τ_S : センサー窓材の透過率=0.46 [-]
- D_{st} : センサー視野の立体角による減少率=0.653 [-]
- R_{Cu} : 銅板の反射率=0.79 [-]
- τ_{CO_2} : 二酸化炭素透過率 [-]
- τ_p : ポリエチレンの透過率=0.72 [-]
- R_{Al} : アルミ円筒管の反射率=0.563 [-]

で求めることができる。アルミ円筒管の反射率と銅板の反射率は実験により求めることができた。各二酸化炭素濃度における計算値は表 4.1 に示す。

表 4.1 各二酸化炭素濃度における放射熱量の計算値

二酸化炭素濃度 [%]	放射熱量の計算値 [W]
0	1.20×10^{-4}
25	1.00×10^{-4}
50	9.37×10^{-5}
75	8.99×10^{-4}
100	8.68×10^{-4}

第5章

測定実験

5.1 実験方法

以下の手順で実験を行った.

- ・ 二酸化炭素と窒素を各二酸化炭素濃度 (0, 25, 50, 75, 100[%]) になるようアルミ円筒管内に充填させる.
- ・ 焦電型赤外線センサーを作動させるための電源, データロガーを起動させる.
- ・ 液体窒素を容器に入れた後銅板を閉じ, 電圧[V]が安定するのをデータロガーで確認する.
- ・ 安定したらストップウォッチを準備し, データロガーで測定を開始する.
- ・ 10, 80[s]でシャッターを開け, 45, 115[s]でシャッターを閉じて電圧[V]が安定したら引き続き測定をする. この作業を各二酸化炭素濃度で5回ずつ測定を行う.
- ・ データロガーから USB メモリを用いてデータを保存し, PC 内の EXCEL で 10, 80[s]の時の室温の時の電圧[V]とシャッターを開けた時に変化した電圧の最大値[V]の差を出し, 放射熱量[W]に変換させる.

以上が測定実験の手順である.

5.2 放射熱量の校正方法

センサーは放射熱の変化分を電圧として検出する。これを放射熱量に校正するための実験を行った。図 6.1 は校正方法を示したものである。この時発生した電圧とセンサーから発せられる放射熱量の関係から校正値を求めた。

$$A = \frac{P}{V} \quad (5.1)$$

A : 校正値 [W/V]

V : 実験で発生した電圧 = 1.27 [V]

P : センサからの放射熱量の計算値 = 2.88×10^{-4} [W]

これを計算すると

$$\begin{aligned} A &= \frac{2.88 \times 10^{-4}}{1.27} \\ &= 2.26 \times 10^{-4} [\text{W/V}] \end{aligned}$$

これを校正値とし、実測値の電圧に掛け合わせたものを実験による放射熱量とした。

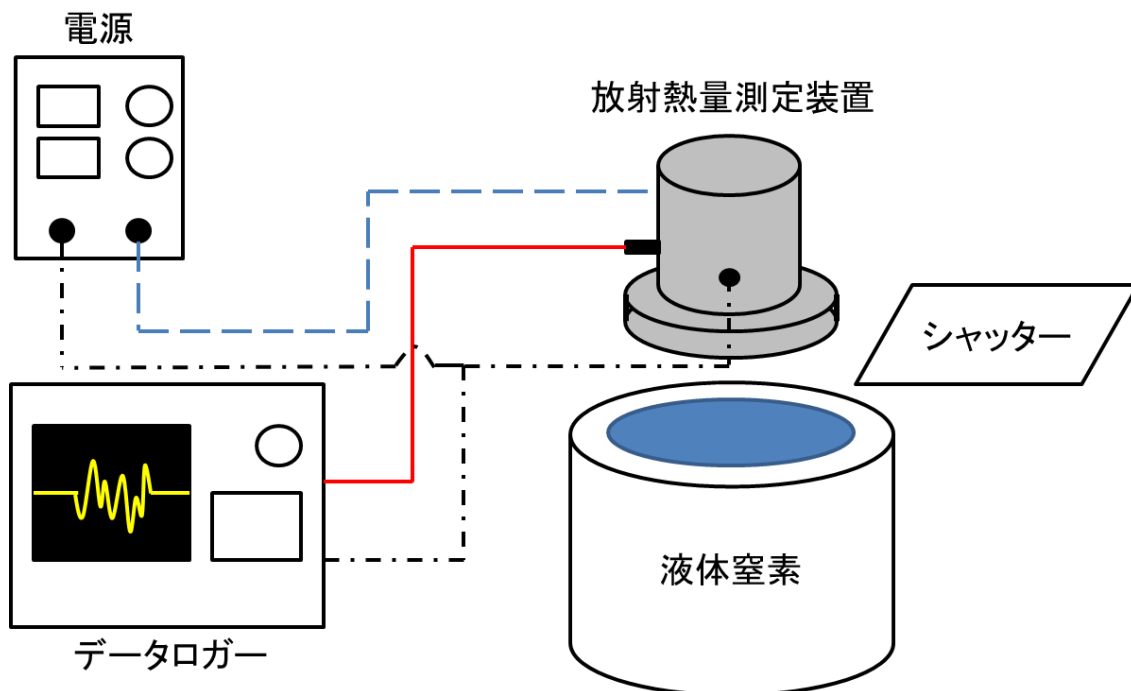


図 5.1 校正するための実験

5.3 二酸化炭素ガスにおける放射熱量の吸収と依存性

二酸化炭素濃度 0, 25, 50, 75, 100[%] で変化させ実験を行った。実験条件はアルミ円筒管 2 本と試験ガスは二酸化炭素ガスと窒素ガスの混合気体とする。実験結果を図 6.2 と表 6.1 に示す。図 6.2 を見て分かるように、二酸化炭素濃度 50[%] までは放射熱量は減少して 50[%] 以降は飽和している。このことから放射熱量の減少分は二酸化炭素ガスによって吸収されたと考えられる。また標準誤差が小さいことからこの実験は精度が良いと考えられる。

表 5.1 各二酸化炭素における放射熱量と標準誤差

二酸化炭素濃度[%]	放射熱量[W]	標準誤差[-]
0	1.23×10^{-4}	7.26×10^{-7}
25	1.01×10^{-4}	5.73×10^{-7}
50	9.56×10^{-5}	3.43×10^{-7}
75	9.52×10^{-5}	6.65×10^{-7}
100	9.52×10^{-5}	3.27×10^{-7}

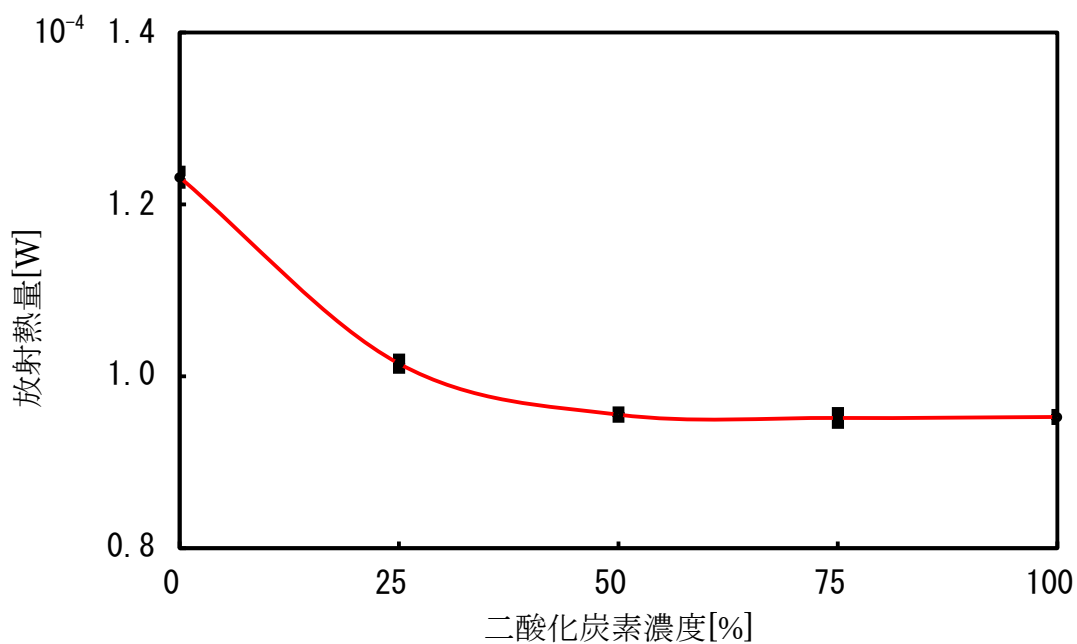


図 5.2 二酸化炭素による放射熱量の吸収と依存性

5.4 実測値と計算値の比較

実測値と計算値の比較を図 6.3 に示す. 図 6.3 を見て分かるように二酸化炭素濃度 50 [%] までは放射熱量が計算値と近い値になったが, 50 [%] 以降減少し続けている計算値に対し実測値は飽和状態に入っているのが分かる. 図 6.4 の二酸化炭素濃度 50 [%] を拡大したグラフを見ると 100 [%] での実測値と計算値の差が 15% あることが分かった.

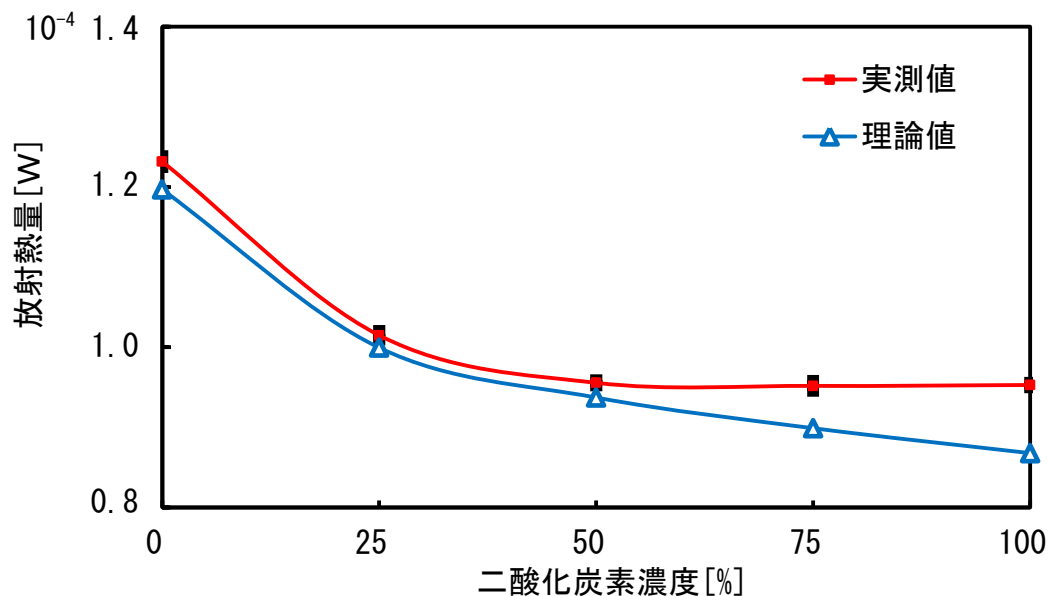


図 5.3 実測値と計算値の比較

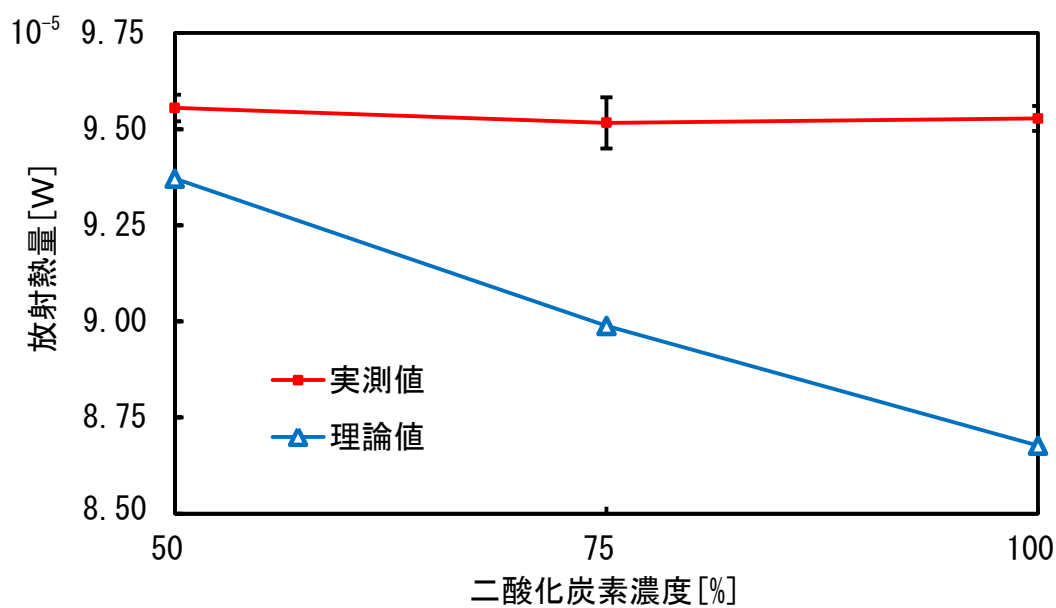


図 5.4 二酸化炭素濃度 50 [%] 以降の拡大

第 6 章

結言

今回の実験ではK型熱電対ではなく焦電型赤外線センサーを使ったことにより誤差の少ない正確な実測値を測定することができた。また図 6.3 より、二酸化炭素濃度が高くなると放射熱量が減少しているので二酸化炭素ガスの熱吸収を示すことができ、二酸化炭素ガスの熱吸収を実験的に検証できたと言える。

二酸化炭素ガスは 50[%] から飽和しており本実験に限定すれば、これ以上二酸化炭素ガスの影響による地球の温暖化の加速はないと考えられる。

今後の課題として、実験機により低層大気と高層大気をドライアイス、ヒーターを用いて模擬的に再現し、放射熱量が飽和するか実験を試みる。また二酸化炭素濃度 50[%] 以降放射熱量の実測値が飽和していたため、飽和してしまった原因を調べなければならない。

参考文献

- [1] IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)第4次評価報告書
第一作業部会報告書
http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=9125&hou_id=7993

- [2] Skeptical Science
<http://www.skepticalscience.com/translation.php?a=6&l=11>

- [3] 「焦電型赤外線検出器 SSAC10-11-P」仕様書 日本セラミック株式会社

- [4] NEC 表面実装対応焦電型赤外線センサー
<http://www.nec.co.jp/techrep/ja/journal/g12/n01/120120.html>

- [5] Spectral Calc.com
<http://www.spectralcalc.com/info/about.php>

- [6] 福岡工業大学 工学部 知能機械工学科
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」
野田悠将 徳島慎吾

- [7] 日本セラミック株式会社 補償型シングルエレメントタイプ カタログ8ページ
<http://www.nicera.co.jp/pro/ip/pdf/pdfip001.pdf>

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に感謝いたします．また実験機製作のため御指導して頂いたものづくりセンターの方々，液体窒素やフーリエ赤外分光装置を提供して頂いた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．

付録

1. 反射板置台組立図
2. 焦電型赤外検出器 SSAC10-11-P
3. フーリエ赤外分光装置マニュアル