

平成 26 年度卒業論文

二酸化炭素ガスによる
温室効果の実験的検証 V

福岡工業大学 工学部 知能機械工学科

11E2034 西野 和行

指導教員 河村良行 教授

第 1 章. 緒言.....	2
第 2 章. 温室効果検証装置.....	3
2.1 温室効果検証装置の概要.....	4
2.2 赤外線導波管.....	6
2.3 黒体放射板.....	6
2.3.1 黒体放射板温度の一様性.....	7
2.4 熱電対.....	7
2.5 リレー.....	8
2.6 LabVIEW による黒体放射板の温度制御.....	9
2.7 電圧増幅器 (μ V 計).....	10
2.8 実験に用いた気体.....	11
2.9 二酸化炭素ガス検知器.....	12
第 3 章. CO ₂ ガスによる温室効果の理論計算.....	13
3.1 Spectrl Calc.com による赤外線放射輝度の測定.....	14
3.2 Spectrl Calc.com による CO ₂ 透過率の測定.....	15
3.3 全波数領域 0~3000cm ⁻¹ の放射パワーの計算.....	16
3.4 実験に關与する各要素.....	18
第 4 章. CO ₂ ガスの放射熱量吸収の測定実験.....	20
4.1 実験手順.....	21
4.2 各 CO ₂ 濃度における放射熱量の長時間の安定性.....	22
4.3 CO ₂ 濃度における放射熱の吸収傾向.....	24
4.3.1 導波管の長さ 1[m]の時.....	24
4.3.2 導波管の長さ 2[m]の時.....	25
第 5 章. 結言.....	27

第1章. 緒言

現在、地球上では温暖化が進行しており、その問題は深刻化している。その地球温暖化の主な原因として特に温室効果ガスである CO₂ 濃度の増加があげられている。そこで、CO₂ ガスの温室効果を実験的に検証するための装置を開発し、定量的に温室効果を確かめることを本研究の目的とした。

第 2 章. 温室効果検証装置

2.1 温室効果検証装置の概要

実験装置を Fig2.1 に示している．亜鉛メッキ鋼板で作った導波管の上側に黒体放射板を取り付けた．黒体放射板の温度を測定するために熱電対を黒体放射板の上側と管の外側に取り付けた．黒体放射板の温度が室温と同じになるように2つの熱電対の電圧差を μV 計で増幅し，A/D変換器で読み取り，この差が0になるようにPCで制御した．また，このとき黒体放射板に電流が流れている時間間隔をモニターで確認した．黒体放射板と室温の熱伝導を防ぐために，黒体放射板の温度は周囲温度で保つようにLabVIEWを用いて自動化した．これにより加熱電力は全て放射熱量に変わる．

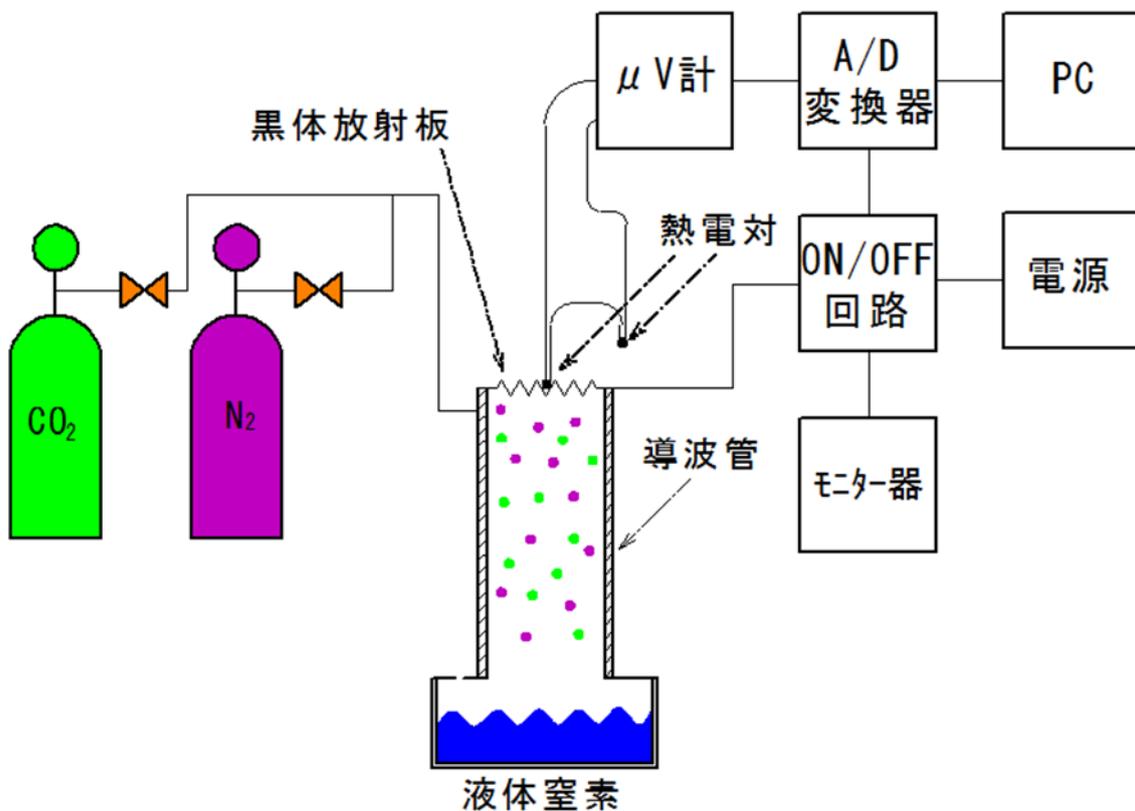
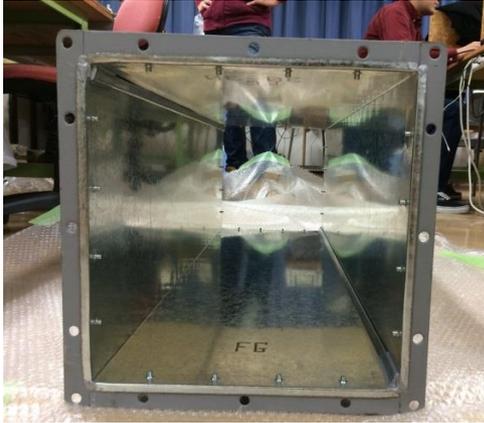


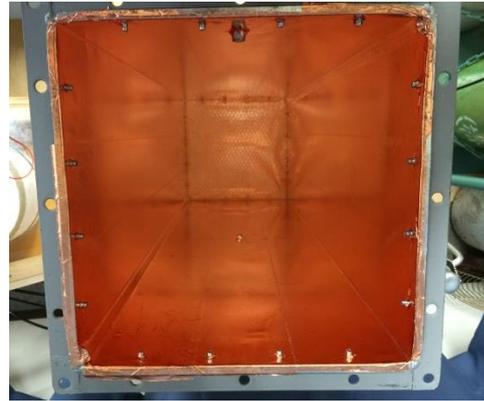
Fig.2.1 温室効果検証装置

2.2 赤外線導波管

長さ 1.0[m], 内寸 0.3[m]×0.3[m]の導波管を作成した. 黒体放射板から放射される赤外線を液体窒素の表面まで導く管となる. また, 導波管内の赤外線透過率を上げるために銅箔テープを貼った.



(a) 銅箔テープ貼り付け前



(b) 銅箔テープ貼り付け後

Fig.2.2 導波管内の様子

2.3 黒体放射板

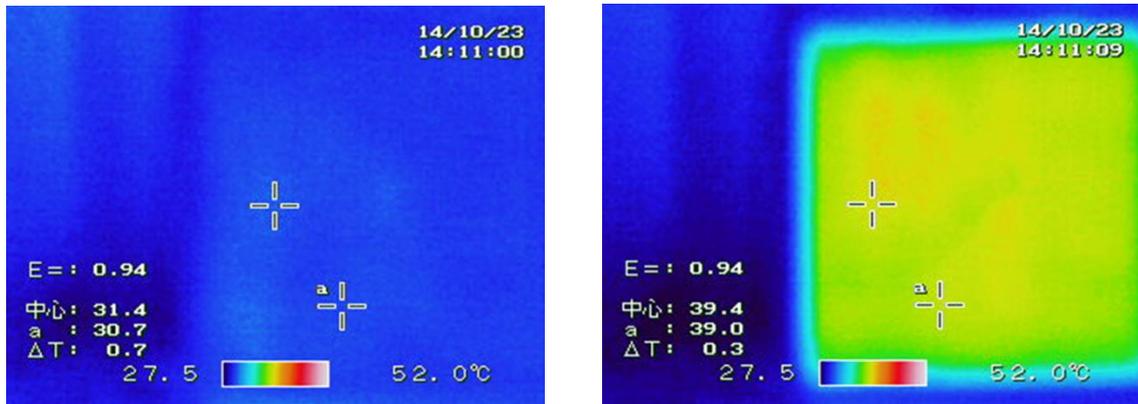
厚さ 50[μm]のアルミ板を寸法 0.3[m]×0.3[m]に切断し, その上側に長さ 18[m], Φ 120[μm]の銅線を 5[mm]間隔で貼り付ける. 貼り付け後, 両面をラッカー系黒塗料で塗る. この銅線ヒーターに電流を流すことにより, 黒体放射板の温度を可変する. また, 黒体放射板の抵抗値は 29.1[Ω]である.



Fig.2.3 黒体放射板

2.3.1 黒体放射板温度の一様性

銅線ヒーターに電流を流した時に、黒体放射板が一様に温まっているか、サーモグラフィカメラを用いて確認した様子を Fig.2.4 に示す。外枠部では大きな温度勾配がみられるが、全体的に温度が一様になっていることが確認できる。



(a) 加熱前

(b) 加熱後

Fig.2.4 サーモグラフィカメラを用いた黒体放射板の温度分布

2.4 熱電対

黒体放射板温度を測定するために銅-コンスタンタン熱電対を使用した。赤外線温度計とサーモグラフィカメラで熱電対が黒体放射板の温度を正しく測定できているかを確認した。使用する熱電対の直径が 200[μm]の場合、熱電対のワイヤーから熱が逃げやすく、温度が正しく測定することができなかつたため、直径を 100[μm]に変更した。100[μm]にすると温度測定が向上した。

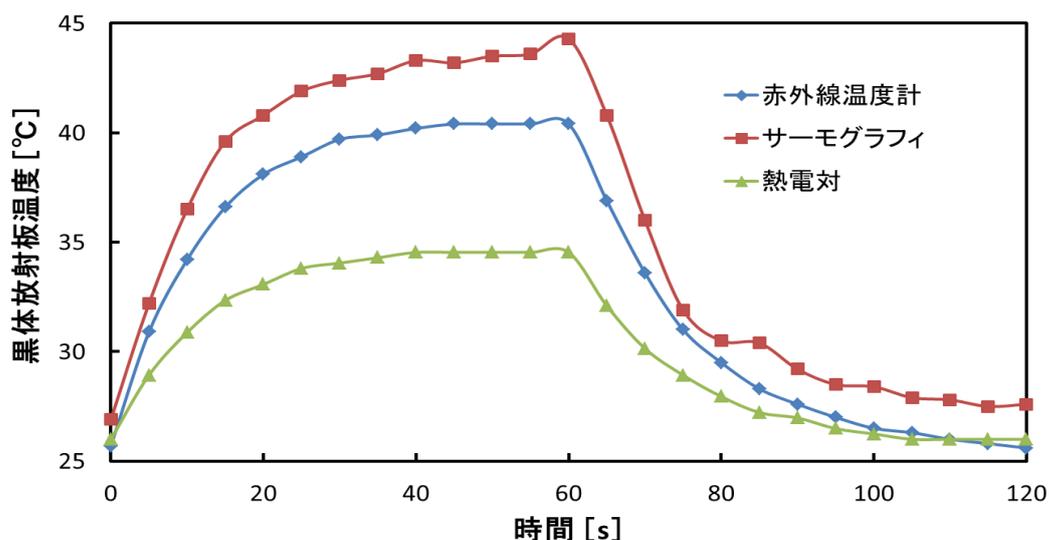


Fig.2.5 熱電対による黒体放射板温度の測定 ($\Phi 200[\mu\text{m}]$)

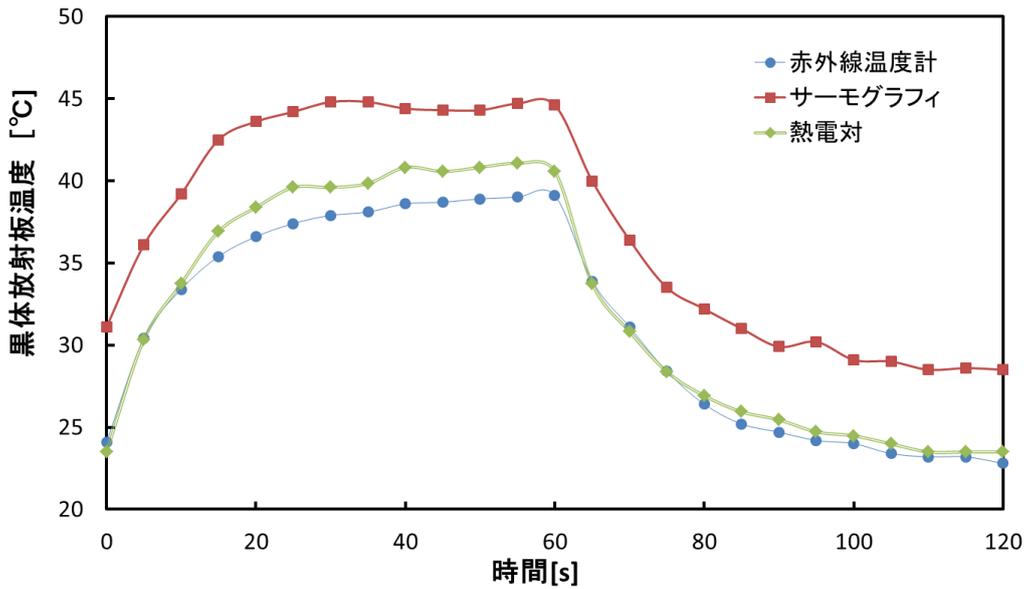


Fig.2.6 熱電対による黒体放射板温度の測定 ($\Phi 100[\mu\text{m}]$)

2.5 リレー

リレーとはスイッチの役割を果たし、銅線ヒーターと加熱電源を繋ぐ働きを持っている。実際に使用するリレーはオムロン株式会社製[G5NB-1A-5VDC]にした。今回のリレーは非通電状態で通常は OFF で、電気信号を送ることにより ON になる仕組みである(Fig2.7)。基盤に取り付けた状態のリレーを Fig.2.8 に示す。

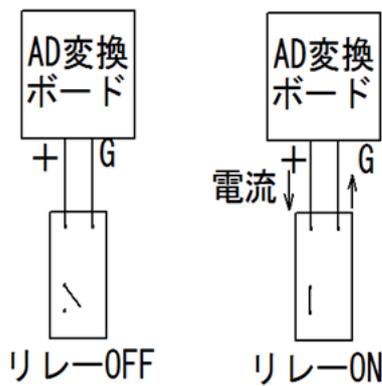


Fig.2.7 リレー動作状態

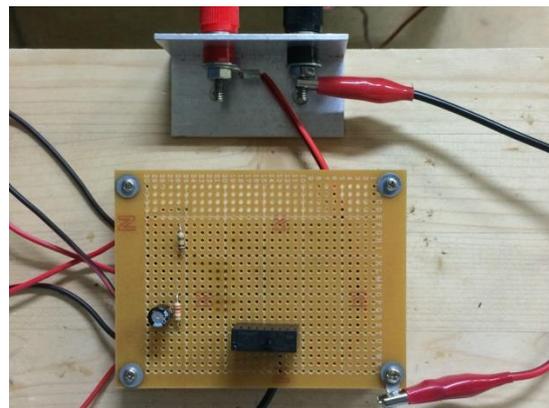


Fig.2.8 基盤に取り付けたリレー

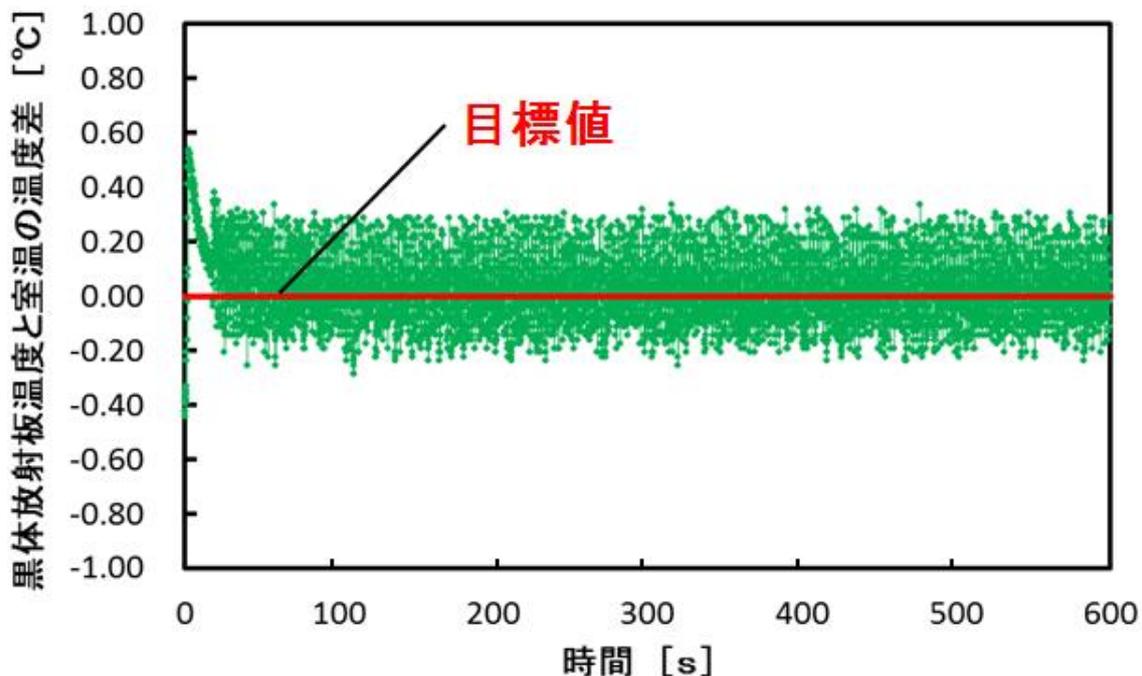


Fig.2.10 ゼロ点を境にした ON/OFF 制御の様子

2.7 電圧増幅器 (μV 計)

μV 計は、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 $0\sim 10[\text{V}]$ までである。今回の実験では、増幅率は 4000 倍で行った。また、ゼロ点は $0[\text{V}]$ でなく $5[\text{V}]$ をゼロ点として設定した。

次に μV 計のゼロ点ドリフトを確認した。結果は Fig.2.11 のグラフである。グラフをみてわかるように 30 分間の測定で、ゼロ点ドリフトがほとんどない。増幅分を戻したときの電圧は $\pm 10 [\mu\text{V}]$ となり、これを温度に換算すると $0.2 [\text{°C}]$ となるよって今回の測定実験は、30 分以下なので実験には影響がないことがわかる。

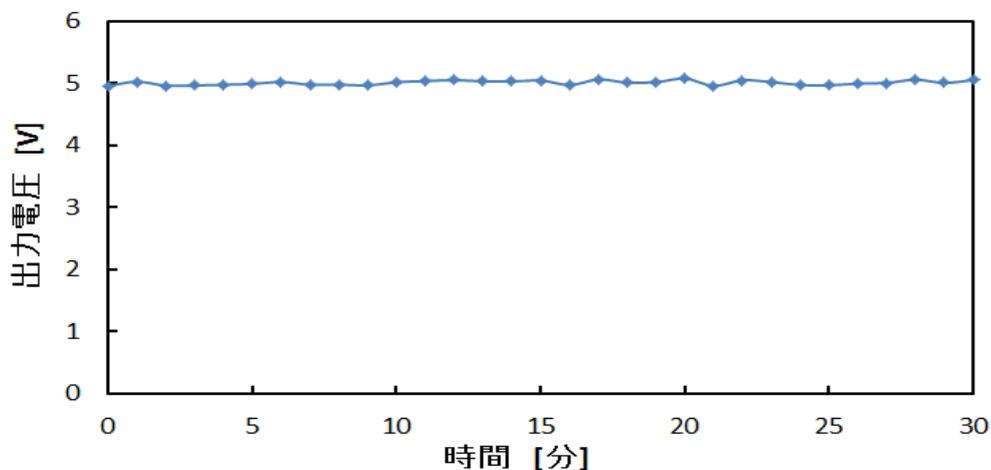


Fig.2.11 μV 計のゼロ点ドリフト

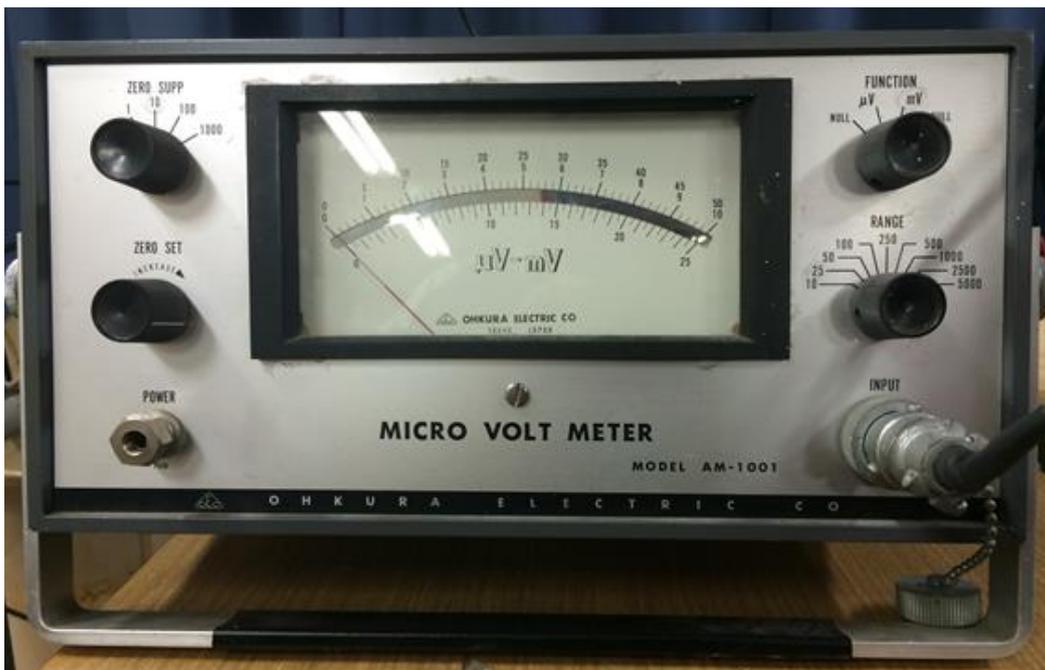


Fig.2.12 電圧増幅器

2.8 実験に用いた気体

実験に使う気体は CO_2 と N_2 (Fig.2.13) である。気体を入れる際にはポンベに取り付けられている調圧器 (Fig.2.14) を使用する。

Fig.2.14 の①のバルブを圧力が 0.2MPa になるまで回す。次に②のバルブを流量を調整しながら開にする。実験が終了したら②→①の順でバルブを閉にする。



Fig.2.13 N_2 ボンベ(左)と CO_2 ボンベ(左)

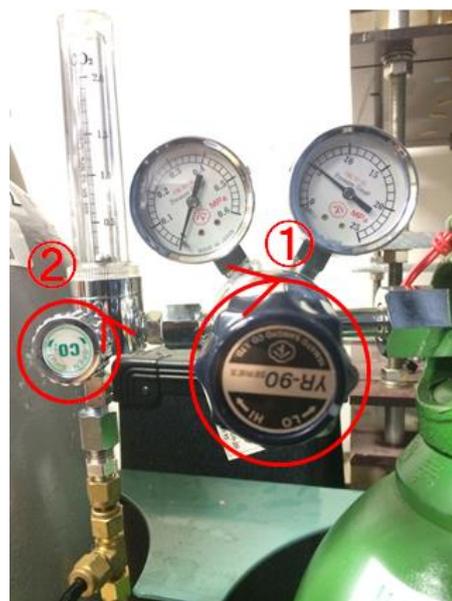


Fig.2.14 レギュレータ

2.9 二酸化炭素ガス検知器

実験中の導波管内の CO_2 濃度を測定するために、新コスモス電機株式会社製 [XP-3140] を使用した。校正の仕方は次の①～③に示す。

- ① ポリ袋を 2 つ用意し、それぞれの袋を N_2 100%、 CO_2 100%の状態にする。
- ② 二酸化炭素ガス検知器の先端を最初に N_2 100%の袋に差し込み、ゼロ点調整をする。
- ③ 表示メータが 0 になったことを確認してから、 CO_2 100%の袋に先端を差し込み表示メータが実際に 100 になるかを確認する。

この校正は実験をする前に行った。

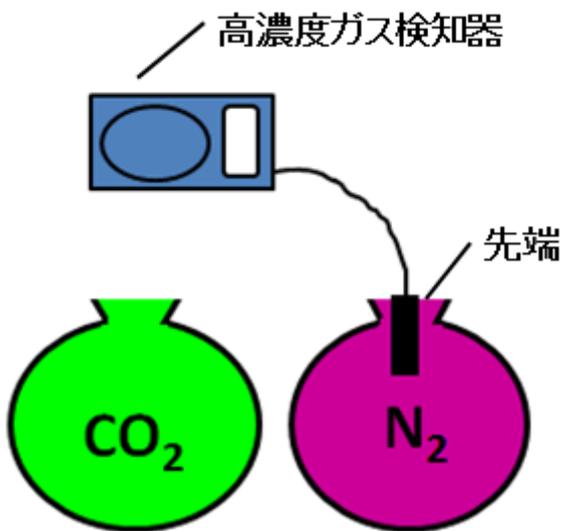


Fig.2.15 検知器の校正の仕方



Fig.2.16 校正後の検知器

第3章. CO₂ガスによる温室効果の理論計算

3.1 Spectral Calc.com による赤外線放射輝度の測定

Fig.3.1 の Spectral Calc.com にある「黒電卓」で赤外線放射輝度を求める。単位を「ワット」、「波数」、「ケルビン」にし、以下の通りに設定する。

温度：293 [K]

放射率：0.9 [-]

下限：0

上限：3000

と設定が完了したら、計算ボタンをクリックすると波数 0~3000cm⁻¹ 範囲の放射輝度が求めることができ、下の Fig.3.2 のグラフが求められる。

入力		その結果	
単位: ワット		放射発散度:	376.128 W / m ²
波数(CM ⁻¹)		ラディアン:	119.725 W / M ² / SR
ケルビン		ピーク分光放射輝度:	0.128685 W / M ² / SR / cm ⁻¹
黒ボディ速度:		波数 ピークの:	574.576センチメートル ⁻¹
温度:	293 K		
放射率:	0.9		
不況の速度:	0 km / s		
波数	100 CM ⁻¹	分光放射輝度:	0.0169069 W / M ² / SR / cm ⁻¹ (5.03412e + 20の光子 / s)
下限	0 CM ⁻¹		
上限	3000 CM ⁻¹	バンドラディアン:	119.696 W / M ² / SR

計算 ヘルプ

Fig.3.1 Spectral Calc.com の「黒電卓」

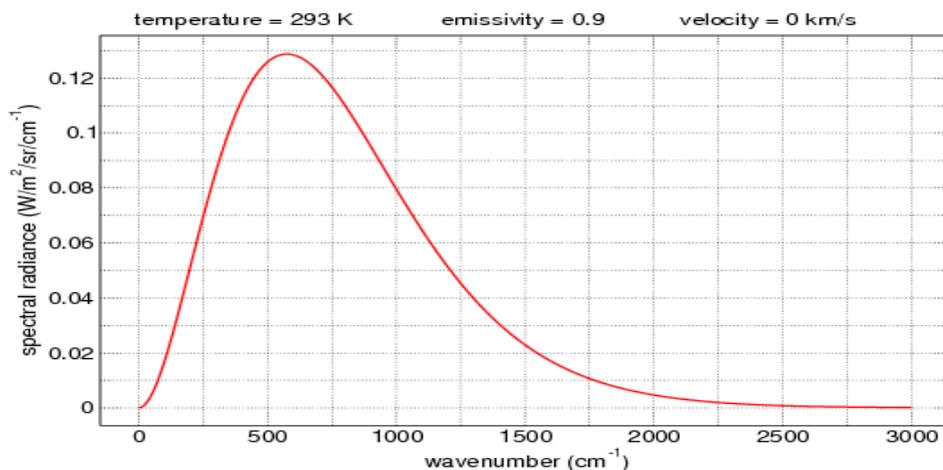


Fig.3.2 波数による放射輝度

3.2 Spectral Calc.com による CO₂ 透過率の測定

Spectral Calc.com で CO₂ の透過率を求める際、波長範囲を指定して計算を行うと波長の短いところと長いところでプロット数に違いが生じるため、波長ではなく波数範囲を指定して計算を行う。そうすると等間隔でプロットされた CO₂ の透過率データが取得できる。



Fig.3.3 Spectral Calc.com のガスセルシミュレータ

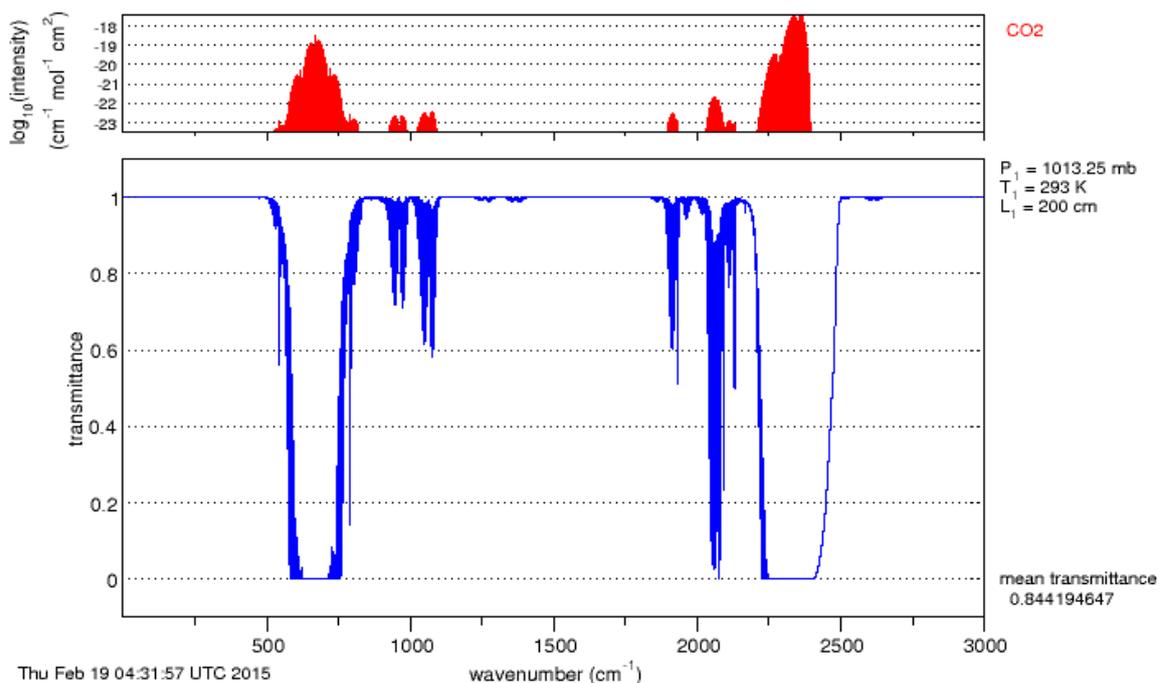


Fig.3.4 波数による CO₂ の透過率

3.3 全波数領域 0~3000cm⁻¹の放射パワーの計算

3.1により Fig.3.5 の青（全波数領域の放射輝度）と赤（全波数領域の放射輝度×CO₂の透過率）のグラフが求められる．赤のグラフは青のグラフに二酸化炭素の透過率を一点一点かけ合わせる事で求めることができる．ここで，赤のグラフを積分した値から青のグラフを積分した値で割り，全波数領域の放射輝度の割合を求める．また，CO₂透過率がどのくらい波数に依存しているかを見やすくする為，Fig.3.5の赤のグラフを拡大したものを Fig.3.6 に示す．同様に導波管長が 2[m]のときの放射輝度を Fig.3.7, Fig.3.8 に示す．

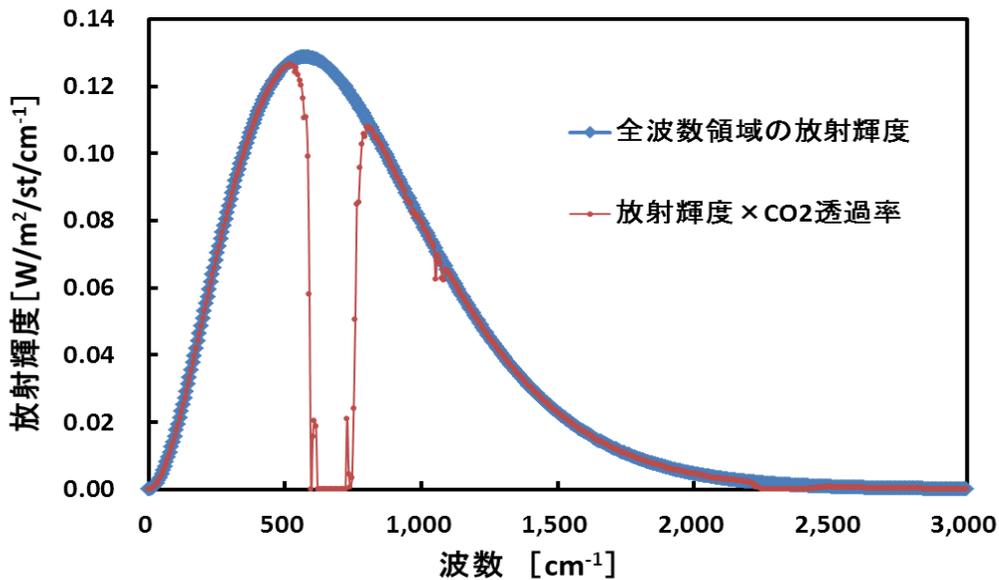


Fig.3.5 CO₂透過率も含んだ全波数領域の放射輝度(導波管長 1[m],CO₂濃度 100%)

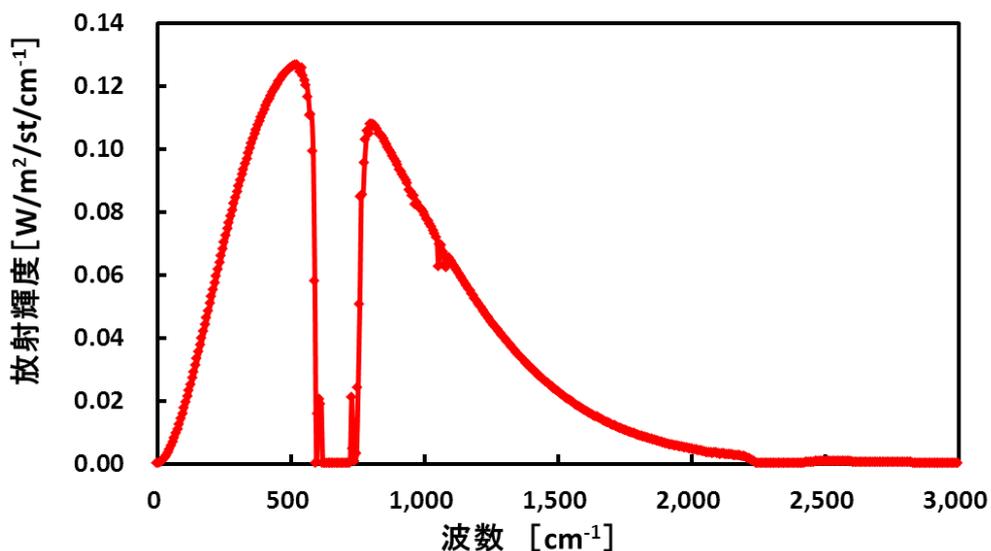


Fig.3.6 CO₂透過率の波数による依存性(導波管長 1[m],CO₂濃度 100%)

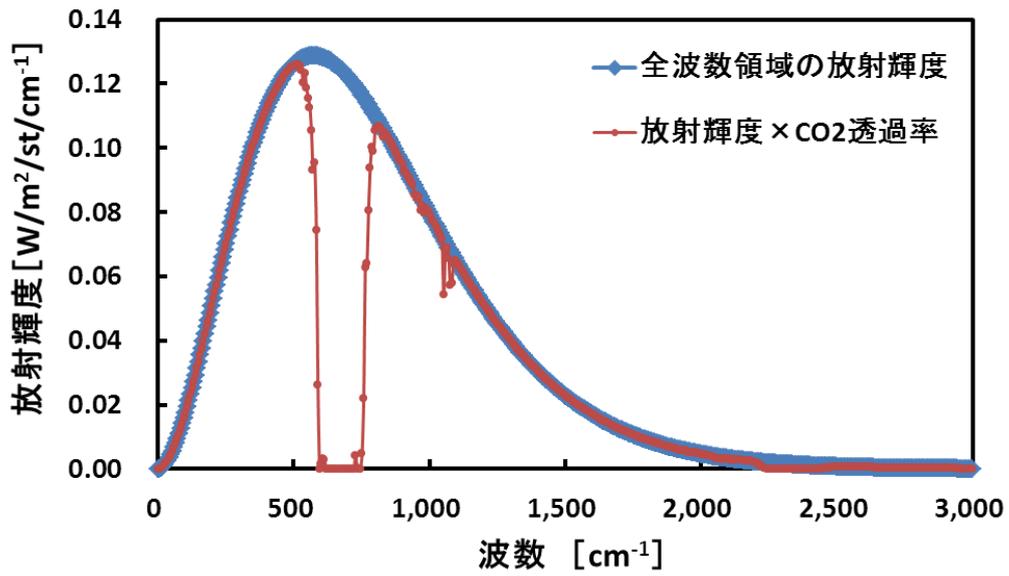


Fig.3.7 CO₂透過率も含んだ全波数領域の放射輝度 (導波管長 2m),CO₂濃度 100%)

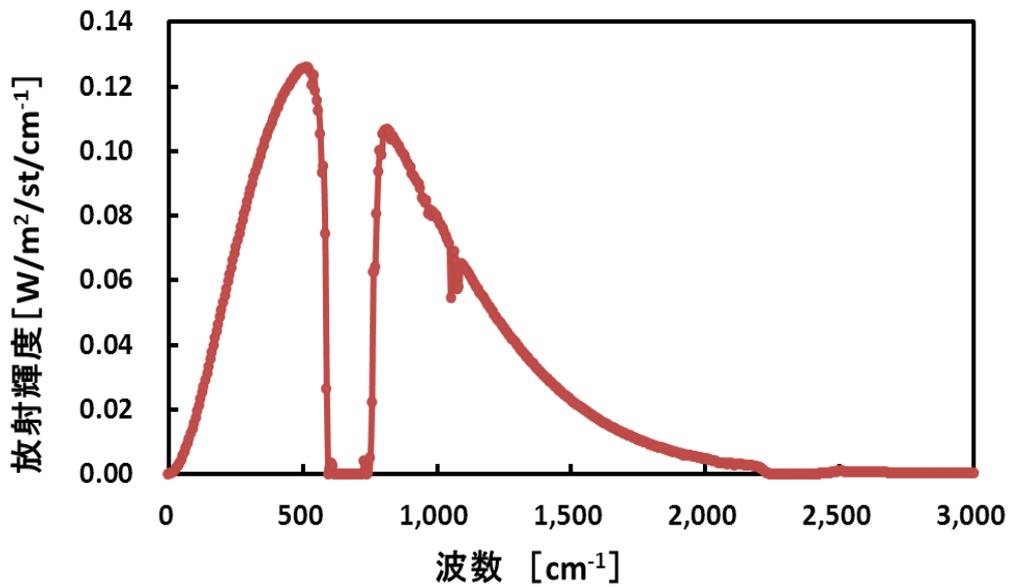


Fig.3.8 CO₂透過率の波数による依存性 (導波管長 2[m],CO₂濃度 100%)

3.4 実験に関与する各要素

放射熱量の理論計算に入る。放射熱量の理論値 P の式を①式とし、 P は①式により求めることができる。また、 t_w を 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 と仮定して理論値を求めた後、実験値と比較して最終的に t_w は 0.55 となった。CO₂ 濃度と各導波管内の透過率における放射熱量の理論値を Table.3.1 に示す。また、実験値と各 t_w 時における理論値を比較した様子を Fig.3.9 に示す。

$$P = \varepsilon \times S \times \sigma \times T^4 \times t_{CO_2} \times t_w \cdots \cdots (3.1)$$

- P : 放射熱量の理論値 [W]
- ε : 放射率=0.9 [-]
- S : 黒体放射板の断面積=0.09 [m²]
- σ : シュテファンボルツマン定数=5.67×10⁻⁸ [W / m² · K⁴]
- T : 室温=293 [K]
- t_{CO_2} : 再放射と放射輝度を考慮した二酸化炭素透過率 [-]
- t_w : 導波管内の透過率 [-]

Table.3.1 CO₂ 濃度中の各 t_w における放射熱量理論値の関係

t_w [-]	0%時の放射熱量[W]	50%時の放射熱量[W]	100%時の放射熱量[W]
0.4	13.54	12.44	12.29
0.6	20.31	18.66	18.44
0.8	27.08	24.89	24.59
1.0	33.85	31.11	30.73

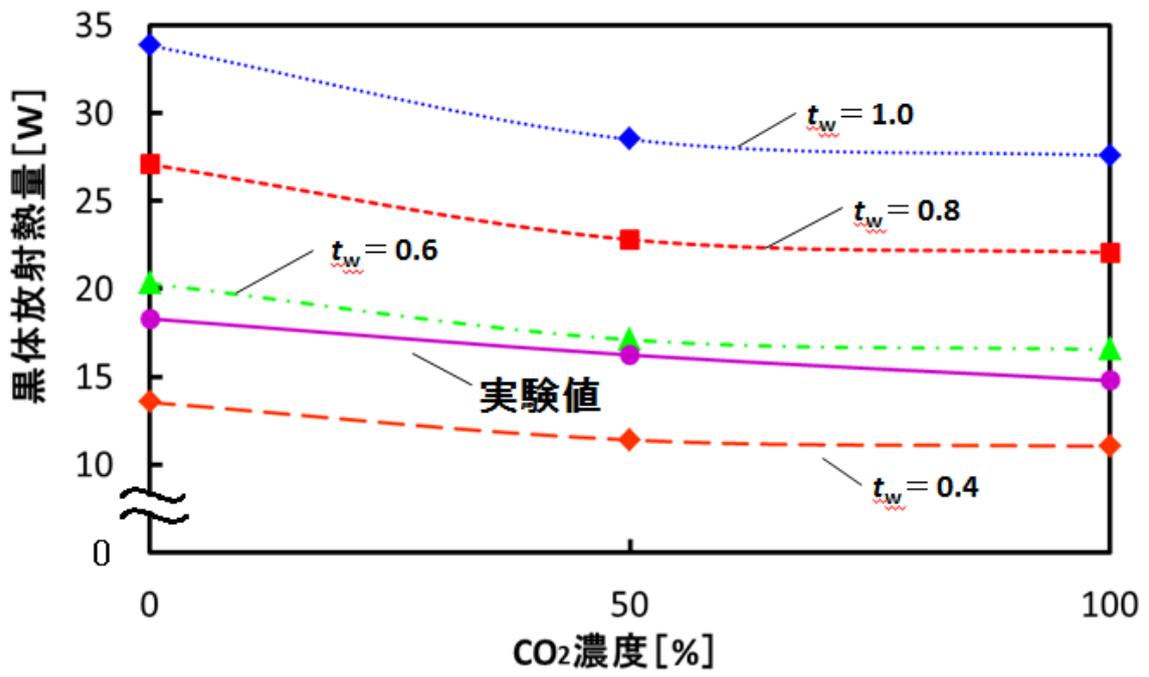


Fig.3.9 CO₂濃度中の実験値と各 t_w における黒体放射熱量理論値の関係

第 4 章. CO₂ ガスの放射熱量吸収の測定

4.1 実験手順

以下の通りに放射熱量の測定を行う。

- ① 導波管内に CO_2 ガスと N_2 ガスの混合気体を流し込む。
- ② 二酸化炭素ガス濃度検知器で導波管内の濃度を确认后， μV 計の電源を入れ，ゼロ点を合わせる。
- ③ 発泡スチロールの容器に液体窒素を入れる。
- ④ A/D 変換ボード(USB6009)を起動し，黒体放射板の銅線ヒーターを作動させる。
- ⑤ LabVIEW による黒体放射板温度の制御を開始する。

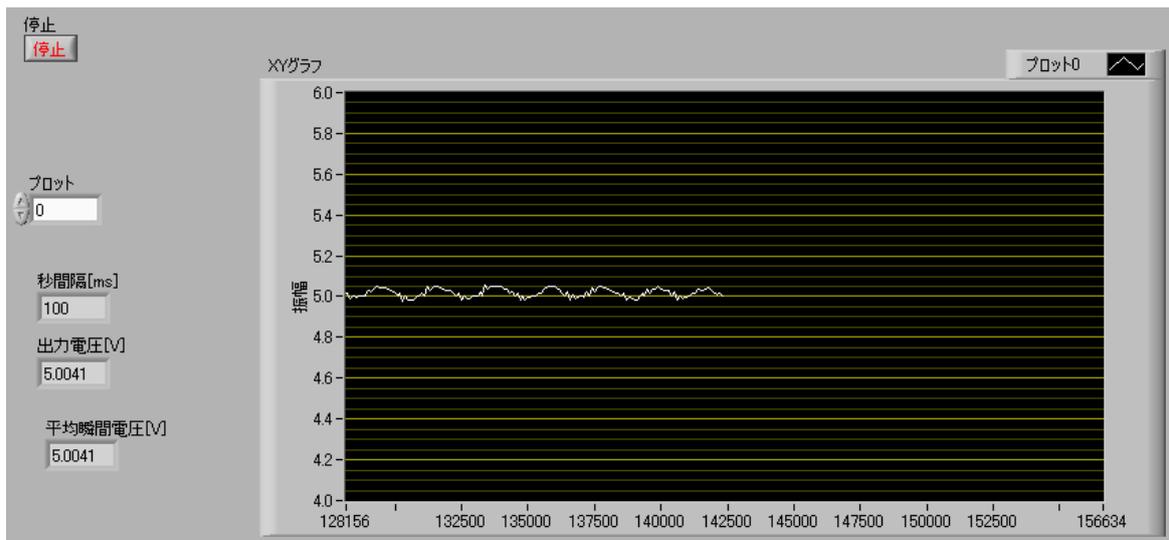


Fig.4.1 LabVIEW を使った黒体放射板温度制御の様子

4.2 放射熱量の長時間の安定性（導波管の長さ 1[m]）

導波管内の CO₂ 濃度を 0, 50, 100[%]と変えて実験を行った. 各 CO₂ 濃度の放射熱量の実験結果を Fig.4.2, Fig.4.3, Fig.4.4 に示す. これらの結果から黒体放射板からの放射熱は長時間でも安定していることがわかる.

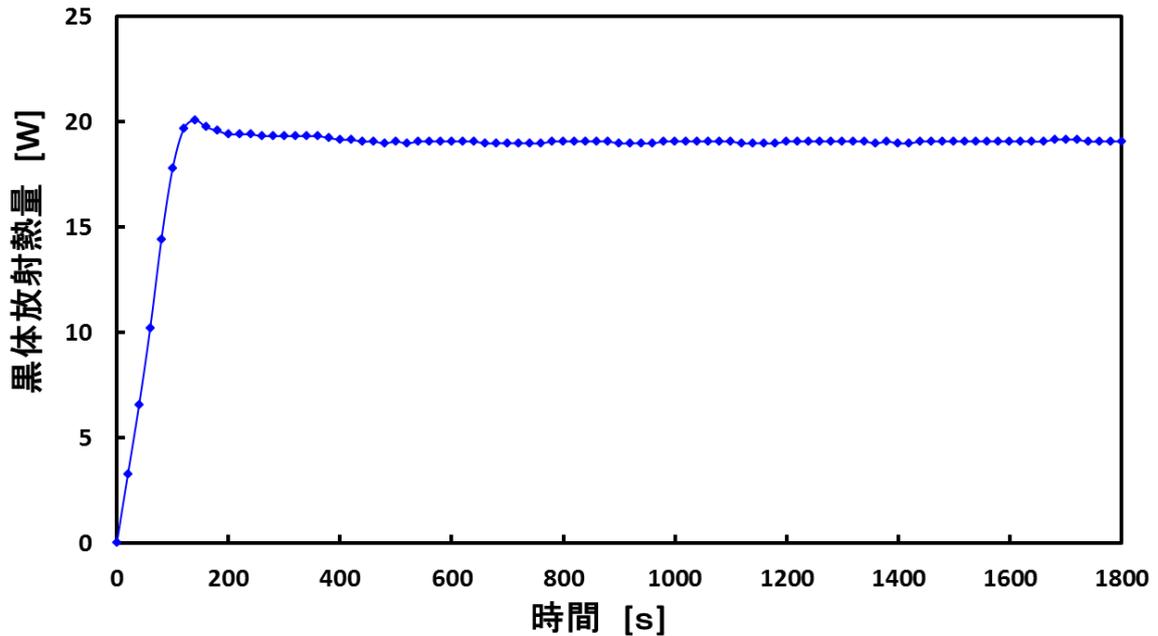


Fig.4.2 CO₂ 濃度 0%時の黒体放射熱量

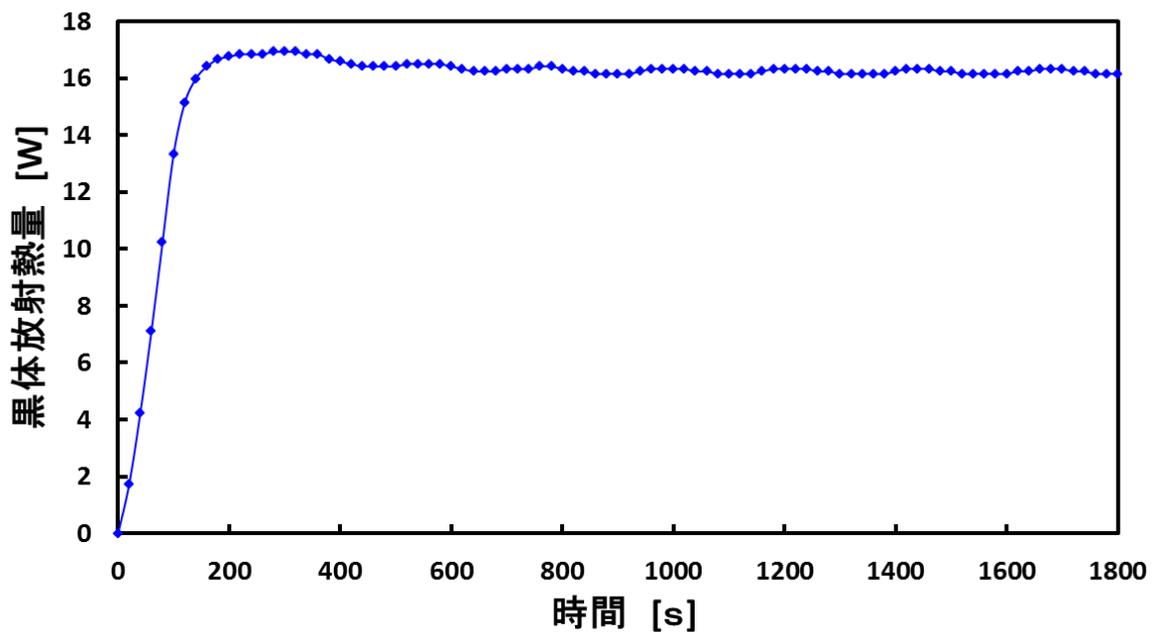


Fig.4.3 CO₂ 濃度 50%時の黒体放射熱量

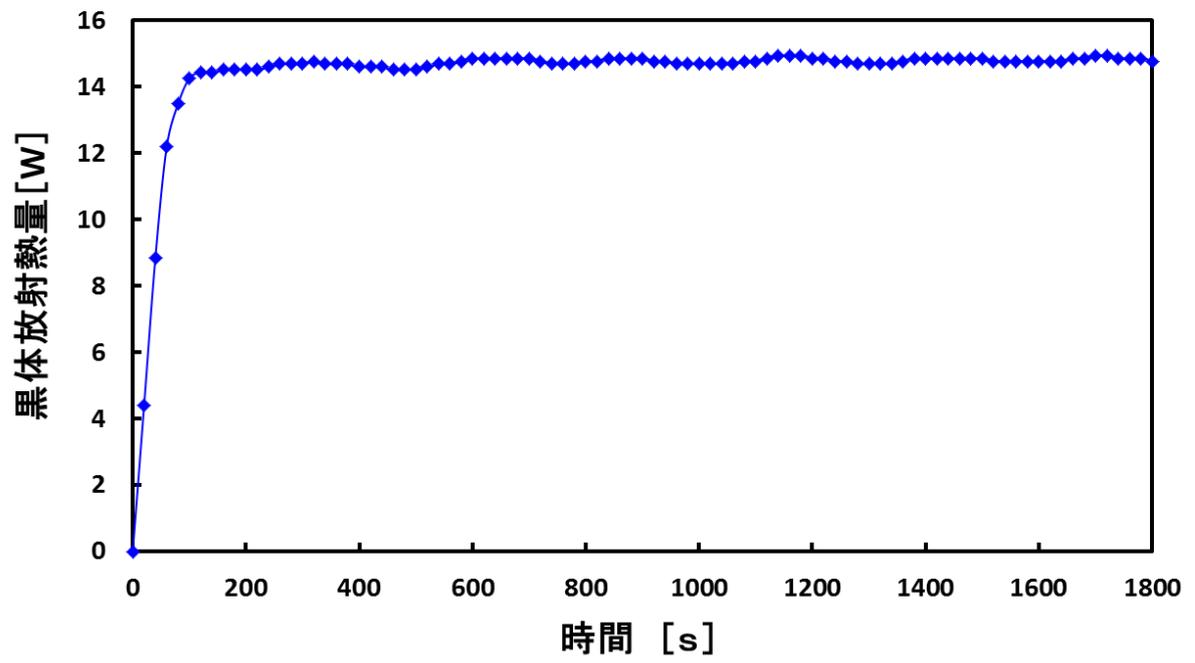


Fig.4.4 CO₂濃度 100%時の黒体放射熱量

4.3 CO₂濃度における放射熱量の吸収傾向

4.3.1 導波管の長さ 1[m]の時

各 CO₂濃度における実験値と理論値の放射熱量傾向を Fig.4.5 に示す。また、理論値と実験値の放射熱量を Table.4.1 に示す。比較しやすくするため、CO₂濃度 0%時の理論値を実験値に合わせている。理論値、実験値ともに CO₂濃度が上がるにつれ、黒体放射板からの放射熱を吸収していることが分かる。また、CO₂濃度 50%以降の実験値の傾きを m_e 、理論値の傾きを m_c とし、50%以降での放射熱量の吸収を比較してみると、実験値のほうが、理論値の約 7 倍、放射熱を吸収していることが分かった。

Table.4.1 理論値と実験値の放射熱量（導波管 1[m]）

	0%時の放射熱量[W]	50%時の放射熱量[W]	100%時の放射熱量[W]
理論値	18.62	17.11	16.90
実験値	18.3, (0.04)	16.24, (0.07)	14.78, (0.08)

※()内は標準偏差

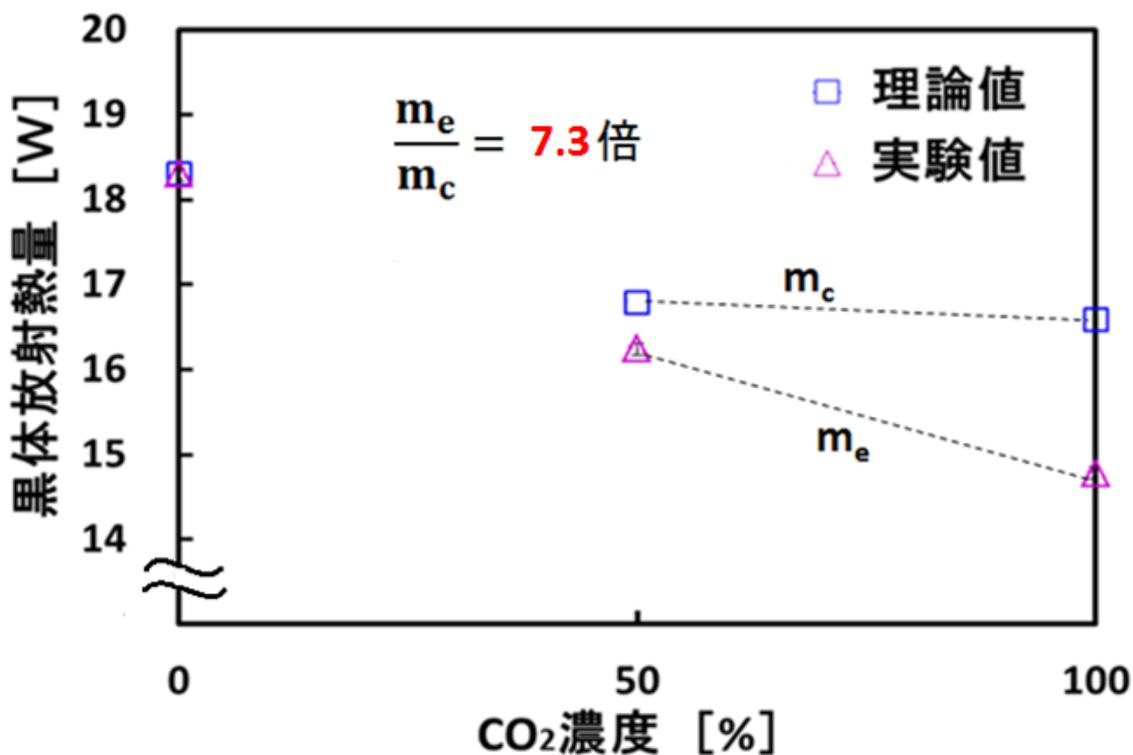


Fig.4.5 CO₂濃度増加における放射熱吸収傾向（導波管 1[m]）

4.3.2 導波管の長さ 2[m]の時

導波管の長さを 2[m]に増幅して実験を行い, 4.3.1 と同じように理論値と比較した. また, CO₂濃度を 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70[%]とプロット数を増やして実験を行った. 理論値と実験値の放射熱量を Table.4.2, 実験値と理論値の放射熱の吸収傾向を Fig.4.6 に示す.

Fig.4.6 より, 理論値の方では, CO₂濃度 10%以降で CO₂ガスによる放射熱の吸収は飽和傾向にあるが, 実験値の方では, CO₂濃度が増加しても放射熱の吸収は飽和していないことが分かる. また, 実験値の 40~70[%] 間の傾きは $m_e = 0.0363$, 理論値の傾きは $m_c = 0.0053$, CO₂濃度 10~70[%]間の放射熱吸収の比較をすると, 実験値の方が理論値の約 7 倍, 放射熱を吸収していることが分かった.

$$\frac{m_e}{m_c} = \frac{0.0343}{0.0067} = 7.4 \text{ 倍}$$

Table.4.2 理論値と実験値の放射熱量 (導波管 2[m])

CO ₂ 濃度[%]	放射熱量の実験値[W]	放射熱量の理論値[W]
0	18.2, 18.1, 18.1, (18.1/0.047)	18.6
10	17.0, 16.9, 17.0, (17.0/0.047)	17.7
20	16.2, 16.1, 16.2, (16.2/0.047)	17.5
30	15.7, 15.8, 15.8, (15.8/0.047)	17.3
40	15.3, 15.4, 15.3, (15.3/0.047)	17.3
50	15.1, 15.1, 15.0, (15.1/0.047)	17.2
60	14.6, 14.7, 14.7, (14.7/0.047)	17.1
70	14.2, 14.3, 14.3, (14.3/0.047)	17.1

※()内は平均値/標準偏差

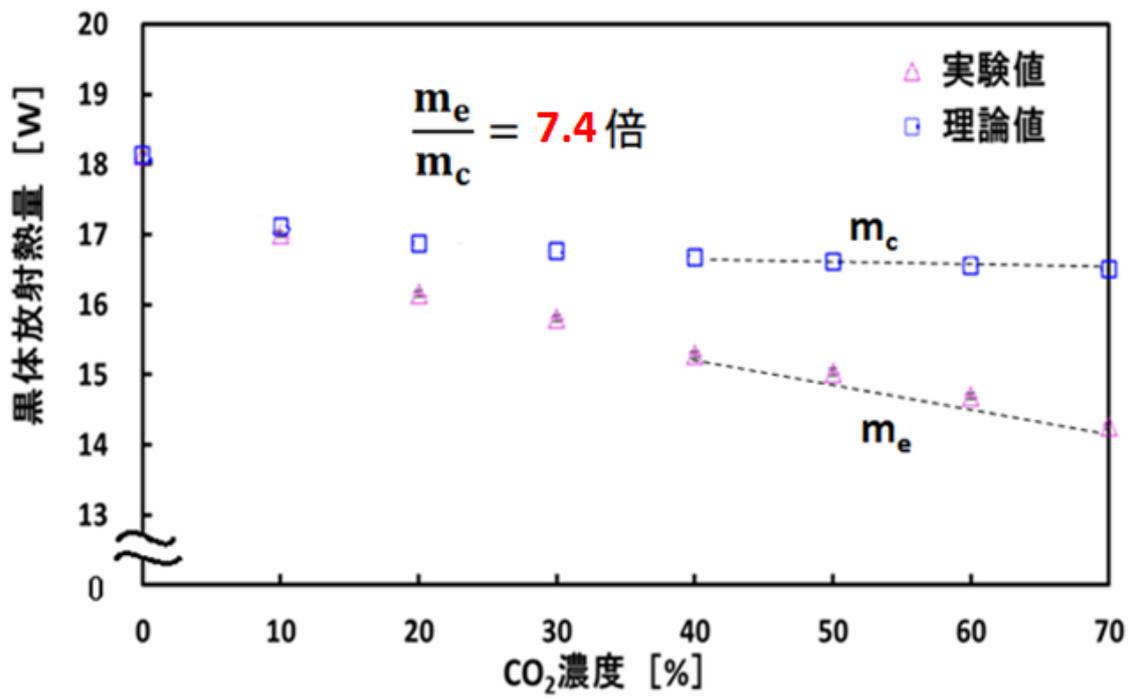


Fig.4.6 CO₂ 増加における放射熱吸収傾向 (導波管 2[m])

第 5 章. 結言

今回の結言を以下にまとめる.

- 内寸 0.3[m]×0.3[m]の銅板導波管を導入した.
- ON/OFF 制御により、黒体放射板の温度を周囲温度に保つことで周囲環境への熱伝導を考慮する必要をなくした.
- CO₂濃度に対する放射熱量減少率の実測値は計算値の約 7 倍となった.
- CO₂ガス濃度の増加に対する温室効果は飽和していないと推定できる.

謝辞

本研究を行うに当たり親切なご指導をいただいた河村良行教授に心から感謝致します。また、液体窒素や赤外線分光器を提供して頂いた、エレクトロニクス研究所の牛島隆氏に謝辞を表します。

参考文献

- [1] 福岡工業大学 工学部 知能機械工学科 平成 25 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 (IV)」池田啓司 大宅洋平
- [2] Spectral Calc.com <http://www.spectralcalc.com/info/about.php>