

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

福岡工業大学 工学部

知能機械工学科

10E1005 池田 啓司

10E1017 大宅 洋平

第1章. 緒言	2
第2章. 放射熱量測定及びシャッター自動化装置.....	4
2.1 放射熱測定装置の概要.....	5
2.2 シャッター自動化(制御系).....	6
2.2.1 シリンダーの規格.....	6
2.2.2 電磁弁	7
2.2.3 リレー	8
2.2.4 LabVIEW によるシャッターの制御	8
2.3 宇宙模擬箱(宇宙系).....	9
2.3.1 銅板の改良.....	10
2.3.2 黒メッキアルミ板の投入.....	11
2.4 混合ガス(CO ₂ ,N ₂)の交換方法(ガス交換系).....	12
2.4.1 CO ₂ ボンベと N ₂ ボンベの気体流入	12
2.4.2 真空ポンプ.....	13
2.5 シャッターの速度測定.....	14
第3章. 測定方法の改良.....	18
3.1 ポリエチレンの窓材.....	19
3.2 真空専用蓋	20
第4章. 理論計算式の概要.....	21
4.1 理論計算を行う際の注意点.....	22
4.2 Spectral Calc.com による赤外線放射輝度の測定	24
4.3 Spectral Calc.com による CO ₂ 透過率の測定.....	25
4.4 波長範囲 6~15μm の放射輝度の割合計算	26
4.5 再放射の校正	27
4.6 実験に関与する各要素.....	29
第5章. 放射熱量の測定実験.....	30
5.1 実験手順	31
5.4 放射熱量の減少率.....	37
第6章. 結言	38

第1章. 緒言

現在、地球上では温暖化が進行しており、海水面の上昇や異常気象の発生、生態系への被害など地球に多大な影響を与えており、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 があげられている。そこで、混合ガスの圧力を変えて CO₂ による放射熱量の吸収が飽和しているかどうかを実験的に検証する事を本研究の目的とした。

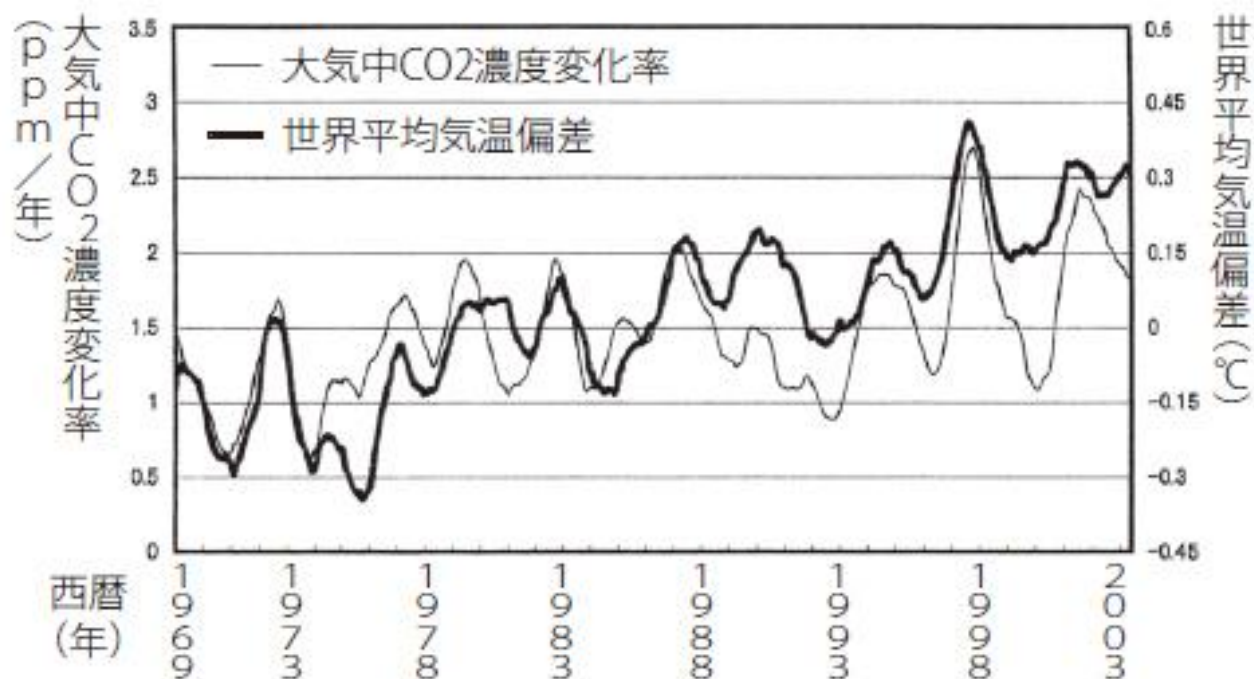


Fig.1.1 世界平均気温偏差(°C)と大気中 CO₂ 濃度の変化率・(ppm/年)

第2章. 放射熱量測定及びシャッター自動化装置

2.1 放射熱測定装置の概要

本年度は昨年度使用していた装置を改良し、測定精度を向上する目的とした。まず昨年度まで使用していた、アルミ円筒管、ポリエチレンの窓材、宇宙互換箱、二酸化炭素ポンベ、窒素ポンベ、焦電型赤外線センサに加えてシャッター自動化装置(エアシリンダ、電磁弁、リレー、電源装置)、A/D変換ボード、LabVIEW、真空専用蓋を新たに導入した。

実験装置の全体はFig2.1に示している。まず内側を鏡面研磨したアルミ円筒管の片側に焦電型赤外線センサが付いている放物凹面鏡を取り付ける。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からの放射熱のみ通せるようにする。まず、シャッターを閉めた状態でセンサから発せられた放射熱量はシャッターに反射し、センサに戻る。この時、温度変化はないため放射熱量は変化しない。シャッターを開けるとセンサ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に近いのでセンサからの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が電圧としてLabVIEWで検出し、これを放射熱量として測定した。

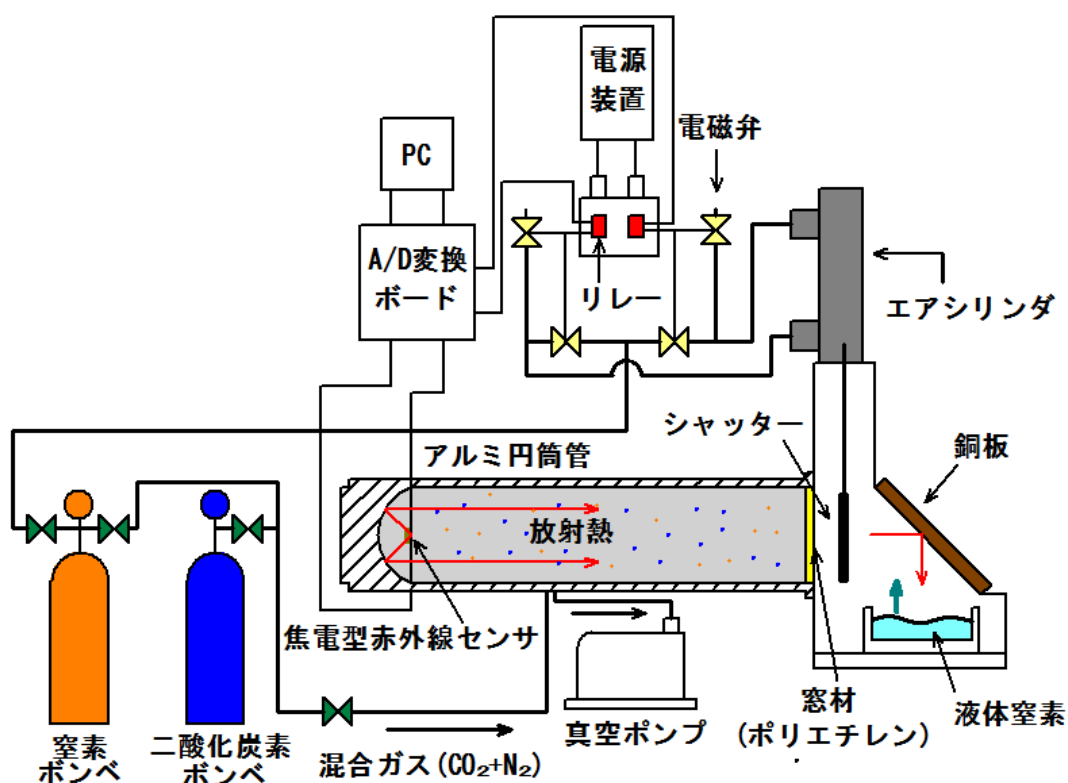


Fig.2.1 放射熱測定装置

2.2 シャッター自動化(制御系)

今回装置を改良しようとした理由は放射熱量の測定値のばらつきが大きかったためです。その原因としては、シャッターを手動で行っているため、開閉させた時の速度に原因があると考えた。シャッターの速度を均一にするため、エアシリンダと電磁弁4個とリレー2個とA/D変換ボードとプログラミングソフトLabVIEWを使い自動化させることにした。

Fig.2.2の赤線で囲まれている場所が制御系である。

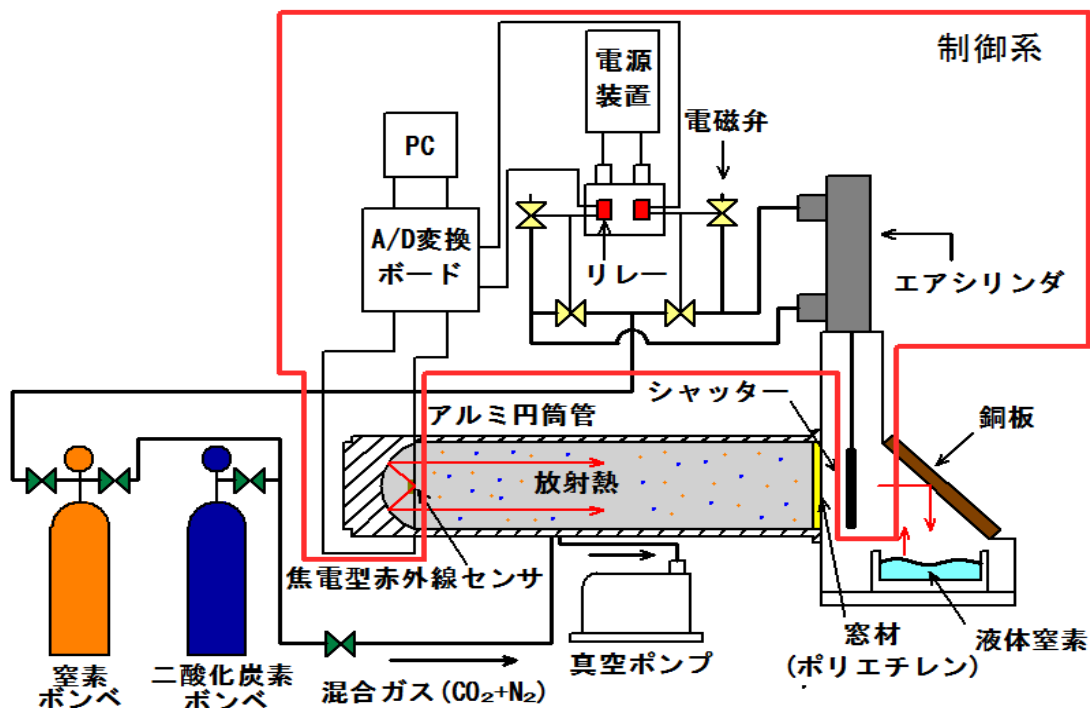


Fig.2.2 制御系

2.2.1 シリンダーの規格

空気を送り込みピストン運動で、シリンダを出し入れするもの。今回は先端にシャッターを取り付け、開閉を行うことにした。SMC株式会社製のエアシリンダ[CG3FN32-150F]を使用した。長ねじを使用し、シャッターを取り付けるため、先端がめねじのこのエアシリンダを選定した。



Fig. 2.3 エアシリンダ全体



Fig. 2.4 エアシリンダ先端



Fig. 2.5 シャッター取り付け時の状態

2.2.2 電磁弁

電磁弁はエアシリンダの動きを制御する為に使用した。使用する電磁弁は定格電圧DC24V、耐圧（空気）0.6MPaのCDK株式会社製[AB21-02-2-A]にした。窒素とシリンダの動きの流れをFig.2.6、実物をFig.2.7に示す。電磁弁①と③が開く事によりシリンダが出て、電磁弁②と④が開く事によりシリンダが戻る仕組みになっている。また、詳しい電磁弁の規格は付録に記す。

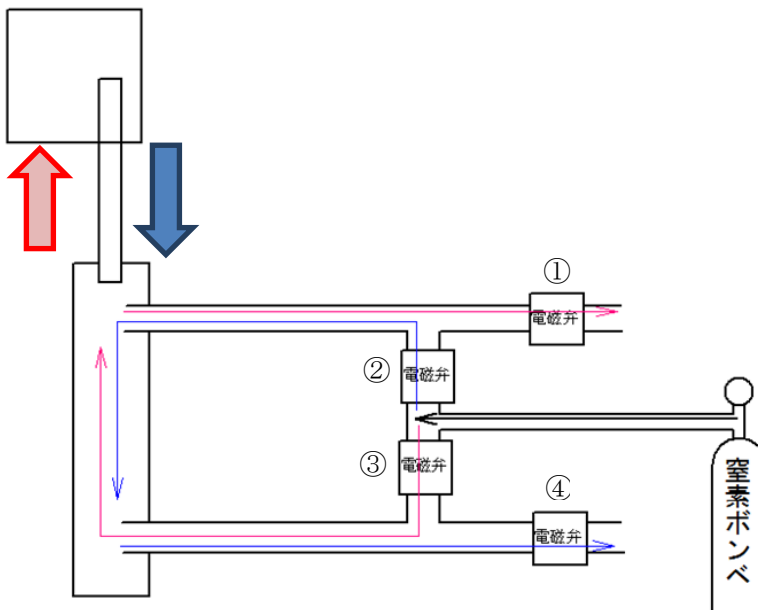


Fig. 2.6 シリンダの動きの流れ

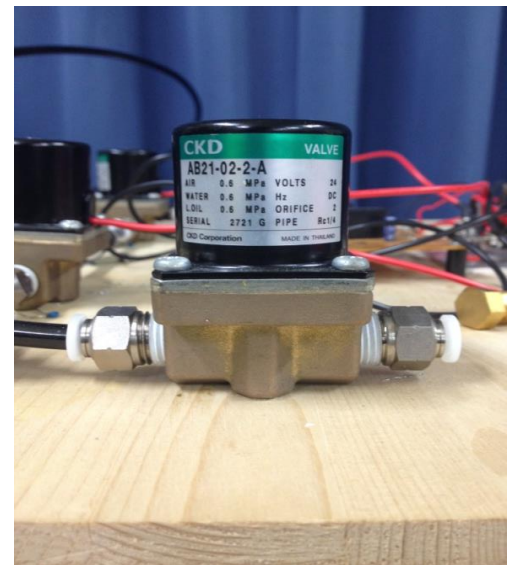


Fig. 2.7 電磁弁

2.2.3 リレー

リレーとはスイッチの役割を果たし、電磁弁と電源とを繋ぐ働きをもっている。実際に使用するリレーはオムロン株式会社製[G5NB-1A-DC5]にした。今回のリレーは a 接点で、通常は OFF の状態だが、電気信号を送る事により ON になる仕組みである (Fig.2.8)。Fig.2.9 は基盤に付いているリレーの写真である。

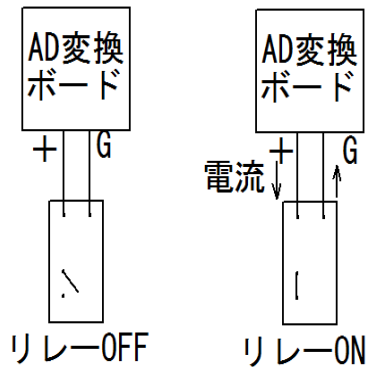


Fig. 2.8 リレー動作の仕組み

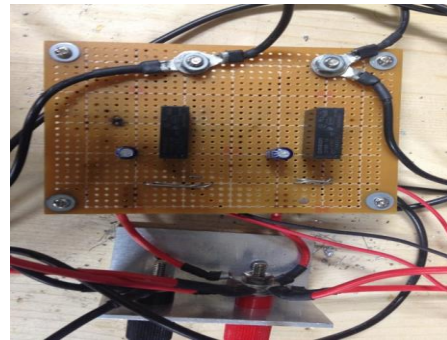


Fig. 2.9 リレー

2.2.4 LabVIEW によるシャッターの制御

今回は電磁弁を動かすための基板を作り、リレーに信号を送るため PC(パソコン)の LabVIEW というプログラミングソフトを使用した。シャッターを自動で開閉させる為 USB6009 の A/D 変換ボードを使用した。デジタル出力で 5V の電圧を 35 秒間隔で出力させるプログラミングを作成した。また、主な回路の流れを Fig.2.10, Fig.2.11 に示す。

これにより、シリンダーによってシャッターが 10s,80s,150s,220s,で開き、45s,115s,185s,255s で閉じるようにした。センサを起動させる為、変換ボードから常に出力されている +5V 端子から 5V 端子の電圧をとり、作動させる。

また、アナログ入力により焦電型赤外線センサで検出した電圧を 0.1s 間隔で記録するプログラミングを作成した。

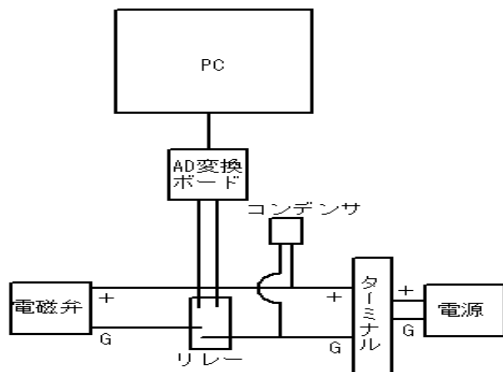


Fig. 2.10 主な回路の流れ

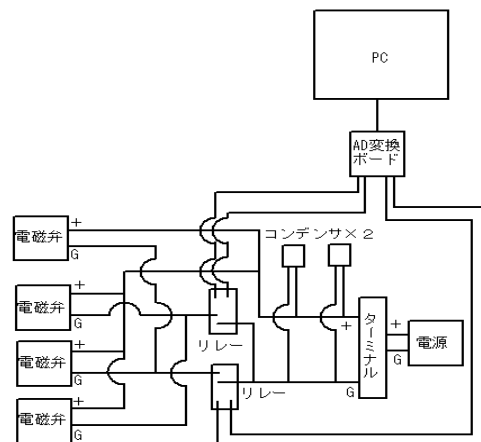


Fig. 2.11 基板の回路図

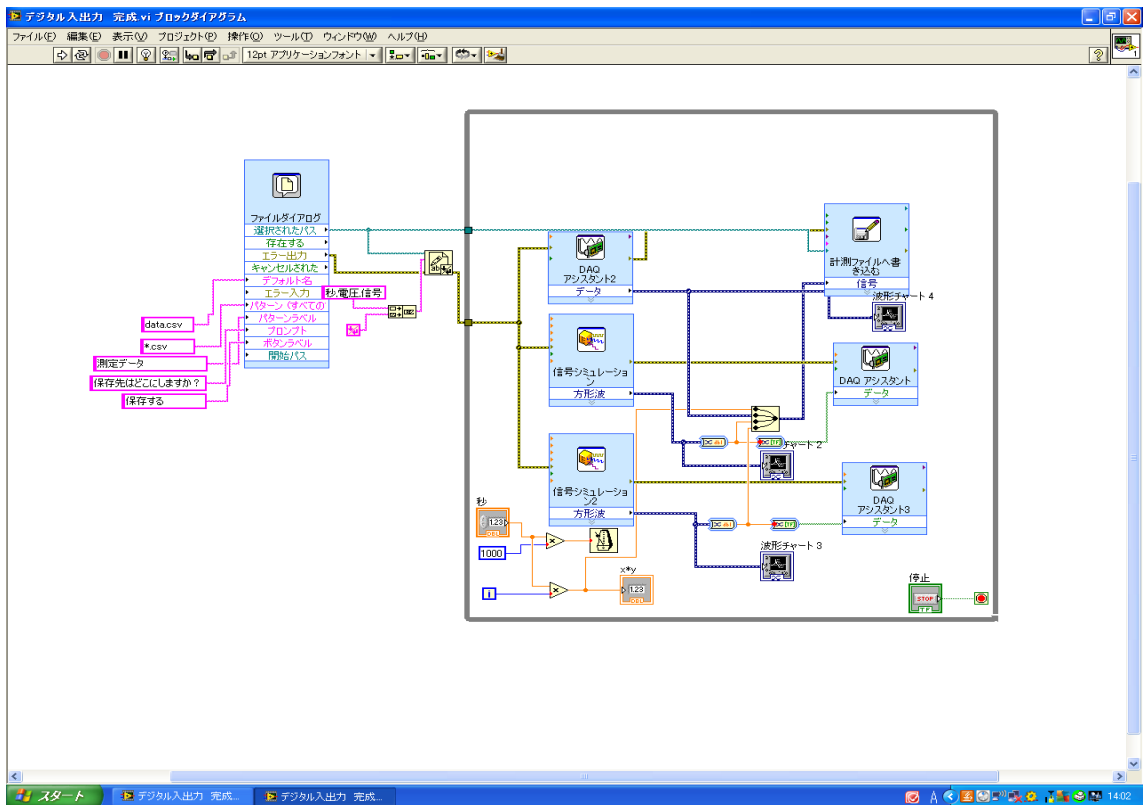


Fig. 2.12 LabVIEW によるプログラミングの画面

2.3 宇宙模擬箱(宇宙系)

今年はより実験データの再現性を求めるということで、宇宙模擬箱に設置している銅板と液体窒素を入れる容器の改良を行うことにした。Fig.2.13 は改良後の宇宙模擬箱の全体の写真である。銅板と容器の改良の詳しい説明はのちに述べる。



Fig. 2.13 改良後の宇宙互換箱

2.3.1 銅板の改良

液体窒素によって箱の中の空気が冷え、その結果、銅板の表面に結露が発生して放射熱が反射する際に影響が出ているのではないかと考えた。そこで今回は銅板の結露を防ぐため銅板の裏側にニクロム線を取り付け、絶縁と耐熱の為にカプトンテープを貼り、その上にアルミの板を被せた。こうすることで電源装置を使いニクロム線に電流を流し室温と同じくらいの温度を保つようにし銅板の結露防止対策を行った。

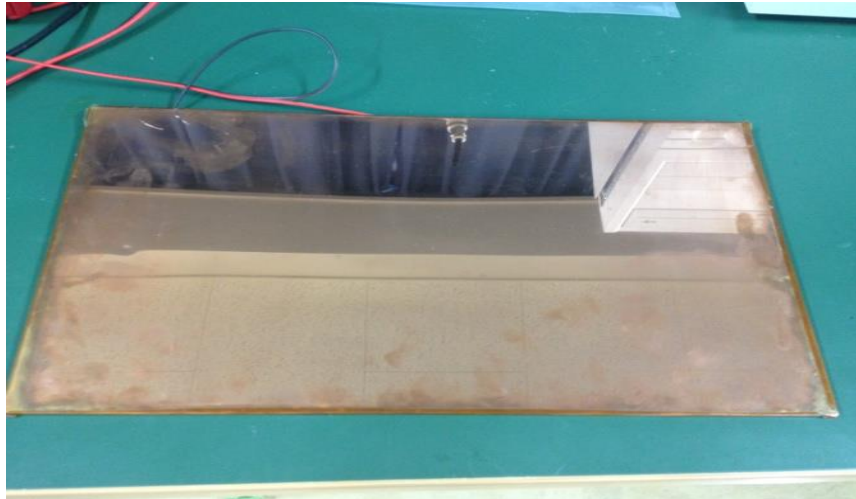


Fig. 2.14 改良前の銅板

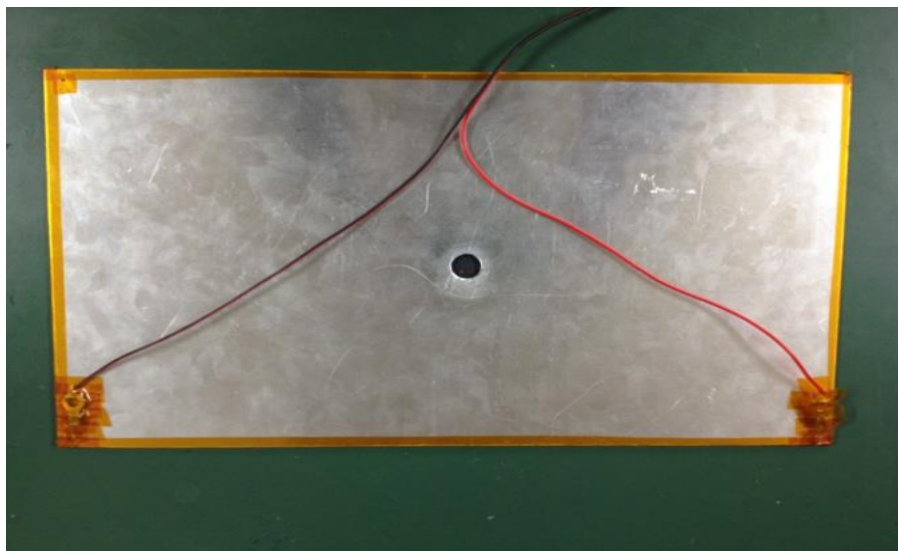


Fig. 2.15 改良後の銅板

2.3.2 黒メッキアルミ板の投入

液体窒素を入れる容器の底が白いため、黒メッキアルミ板を底と同じような形に切り、取り付けを行った。そうすることで底が白い時より黒にすることで放射熱の反射を抑えるようにした。

他にも、アルミの板にラッカースプレーとペンキを使い、黒に塗って試した。しかし、液体窒素入れると塗装がボロボロに剥がれてしまった。そのため今回は、液体窒素を入れても剥がれなかった黒メッキアルミを使用した。

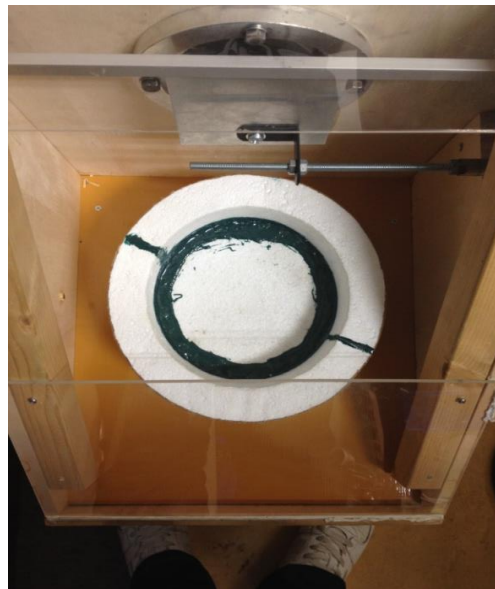


Fig. 2.16 黒メッキアルミ投入前

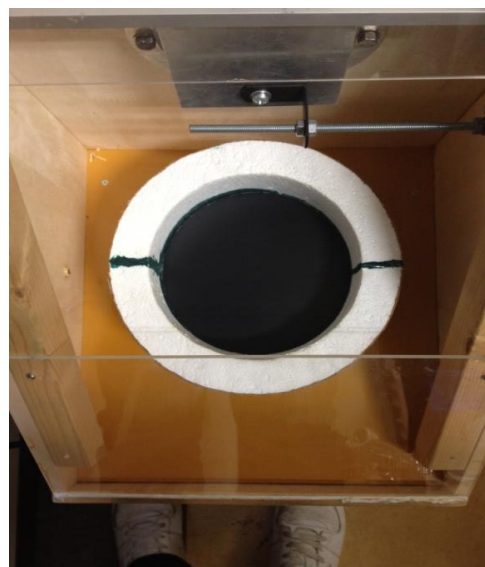


Fig. 2.17 黒メッキアルミ投入後

2.4 混合ガス(CO₂,N₂)の交換方法(ガス交換系)

今年新たに真空ポンプと真空用蓋を取り入れ、アルミ円筒管内を一度真空にすることで、気体を入れる際の純度を上げることにした。仕組みとしては、まずアルミ円筒管に真空専用蓋を取り付け真空にする。その後、真空専用蓋のバルブだけを閉め、アルミ円筒管にだけ混合ガスの充填を行う。そして、真空専用蓋を外し、宇宙模擬箱にセットして実験を始める。のちに、真空ポンプと真空用蓋の説明は行う。

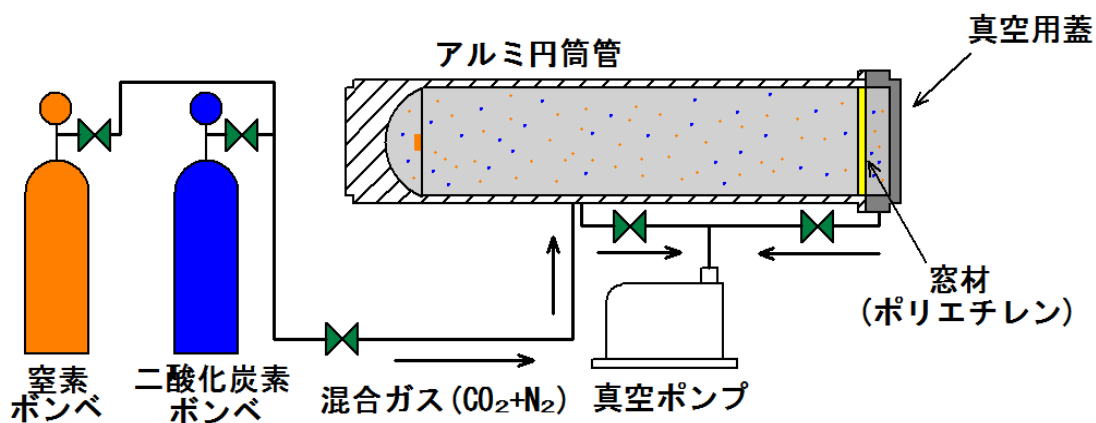


Fig. 2.18 ガス交換系の全体図

2.4.1 CO₂ ボンベと N₂ ボンベの気体流入

実験に使う気体は CO₂ と N₂(Fig.2.19)である。気体を入れる際にはボンベに付けられている調圧器(Fig2.20)を使用する。

Fig.2.19 の①のバルブを Hi にし、圧力が 0.2~0.3HPa になるまで回す。Fig.2.18 の圧力ゲージのバルブを開にして気体がアルミ円筒管内に流入できるようにする。Fig.2.18 の②のバルブを開にして測定する圧力まで気体を流入させる。気体の流入が完了したら②と①の順番でバルブを閉にする。



Fig. 2.19 N₂ ボンベ(左)と CO₂(右)ボンベ



Fig. 2.20 レギュレータ



Fig. 2.21 圧力ゲージとバルブ

2.4.2 真空ポンプ

真空ポンプを使いアルミ円筒管内を真空にする。Fig. 2.22 のバルブの①から②の順にあけたのち真空ポンプ(Fig. 2.23)の電源を付ける。真空になったら②から①の順にバルブを閉める。真空ポンプに繋がっているチューブから燃料が逆流してしまい、真空ポンプの破損の恐れがあるため、必ずすぐに真空ポンプの電源を切る。

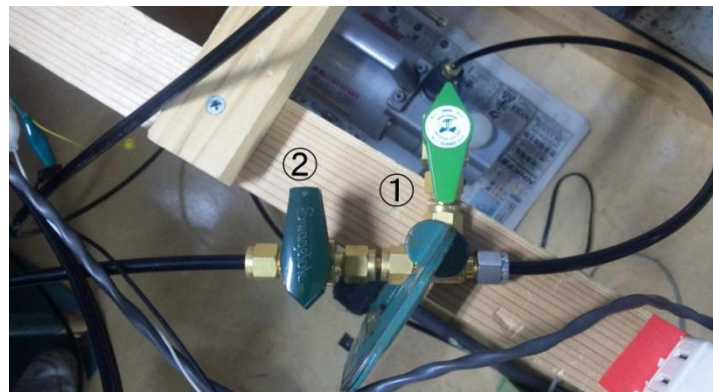


Fig. 2.22 真空ポンプに繋がるバルブ

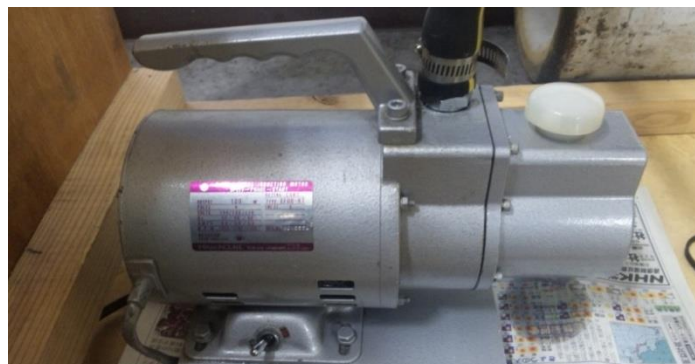


Fig. 2.23 真空ポンプ

2.5 シャッターの速度測定

測定方法は、LED を使った光がシャッターで遮断した時間をオシロスコープで計測し、シャッターの長さを遮断した時間で割り、シャッターの速度を求めた。

自動化にする際に使用する圧力は圧力ゲージの最大値 0.35MPa までしか上げる事ができない。Table2.1 より 0.2MPa 以上の速度はほぼ一定である。その為、実験で使用する時は 0.3MPa の圧力をかける事にする。

また、放射熱量の計算に使う電圧はシリンダーが押しだした時に生じた電圧(行き)より引いた時に生じた電圧(戻り)を使用する為、戻りの速度のみを記す。

図は戻り速度の結果をグラフ(Fig.2.24)にしたものである。

Table2.1 と Table2.2 より、自動化の方が手動より速度は遅いが、自動化の方が測定データのばらつきは少ない。よって、今回の研究の目的は、精度を上げる事なので、より再現性のある実験にできる自動化後のシステムを採用する事にした。

Table2.1 . 自動化後シリンダ速度

圧力 (MPa)	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35
速度平均 (m/s)	0	0.376	0.489	0.538	0.552	0.558	0.557	0.563
標準偏差	0	0.002	0.003	0.005	0.004	0.003	0.004	0.003

Table2.2 手動によるシャッター速度

速度平均 (m/s)	1.460
標準偏差	0.162

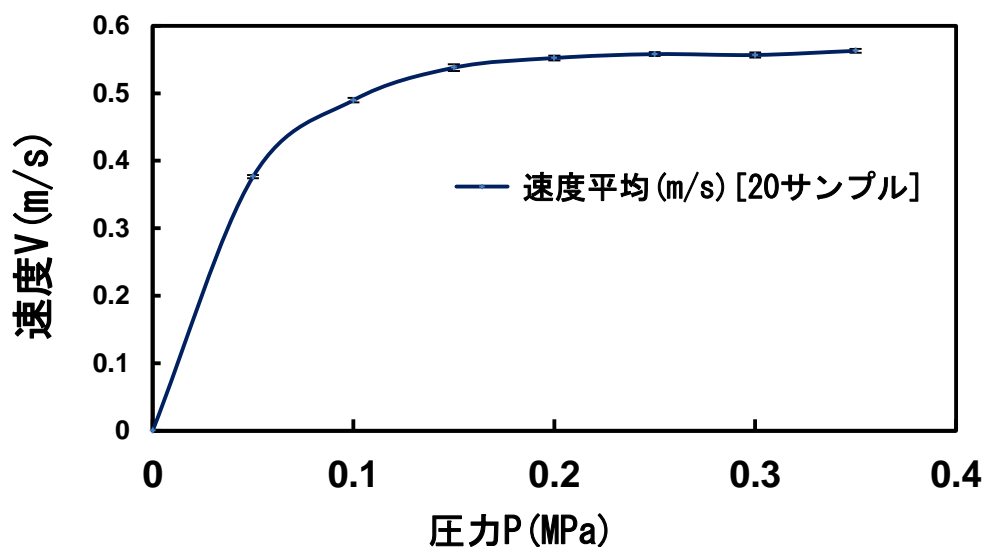


Fig. 2.24 自動化後の戻り速度

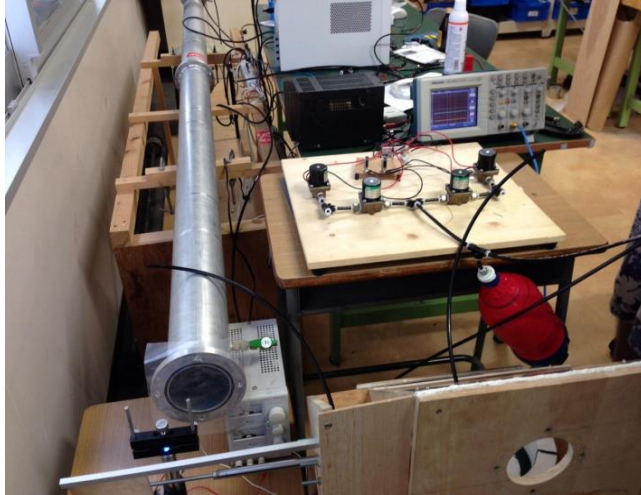


Fig. 2.25 測定実験の全体の様子

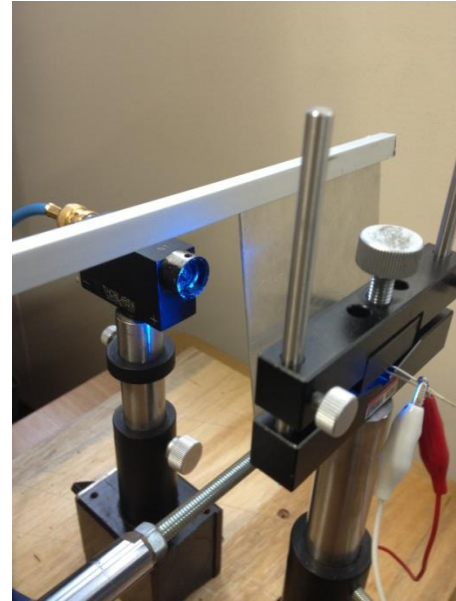


Fig. 2.26 LED を使用している様子

2.6 自動化前後の標準偏差の比較

実験装置の改良により、実際に精度はどう変わったのかを調べる為、シャッターの自動化前と後でどのくらい標準偏差に違いがあるのか実験を行った。

Table2.3 と Table2.4 より、自動化前と自動化後の標準偏差を比較すると自動化前より自動化後の方が、標準偏差が少ない事が分かる。シャッターはシリンダーで動かしており、風量と圧力が常に一定にプログラミングにより制御できる為、速度が一定になり、手動より自動の方が、精度が良くなったと考える。

この事から、シャッターを手動で動かすより自動でシャッターを動かした方が、精度が良いと言える。そこで、今回は実験的に検証する事が研究の目的なので、手動より再現性の高い自動化で今後は実験を行う事にする。

Table2.3 自動化前の放射熱量と標準誤差

CO ₂ 濃度[%]	放射熱量[W]	標準誤差[-]
0	1.29×10^{-4}	1.38×10^{-6}
25	1.11×10^{-4}	5.93×10^{-7}
50	1.11×10^{-4}	1.60×10^{-6}
75	1.13×10^{-4}	1.09×10^{-6}
100	1.146×10^{-4}	4.652×10^{-6}

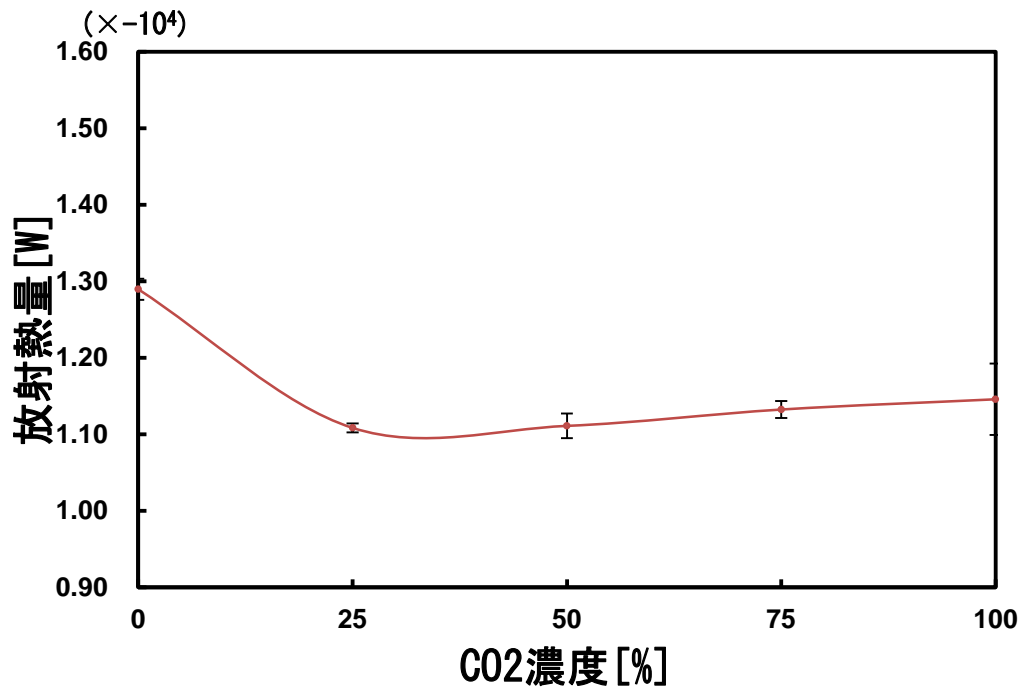


Fig. 2.27 自動化前の放射熱量と標準誤差の比較

Table2.4 自動化後の放射熱量と標準誤差

CO ₂ 濃度[%]	放射熱量[W]	標準誤差[-]
0	1.58×10^{-4}	6.21×10^{-7}
25	1.37×10^{-4}	4.43×10^{-7}
50	1.23×10^{-4}	4.84×10^{-7}
75	1.234×10^{-4}	4.07×10^{-7}
100	1.316×10^{-4}	7.71×10^{-7}

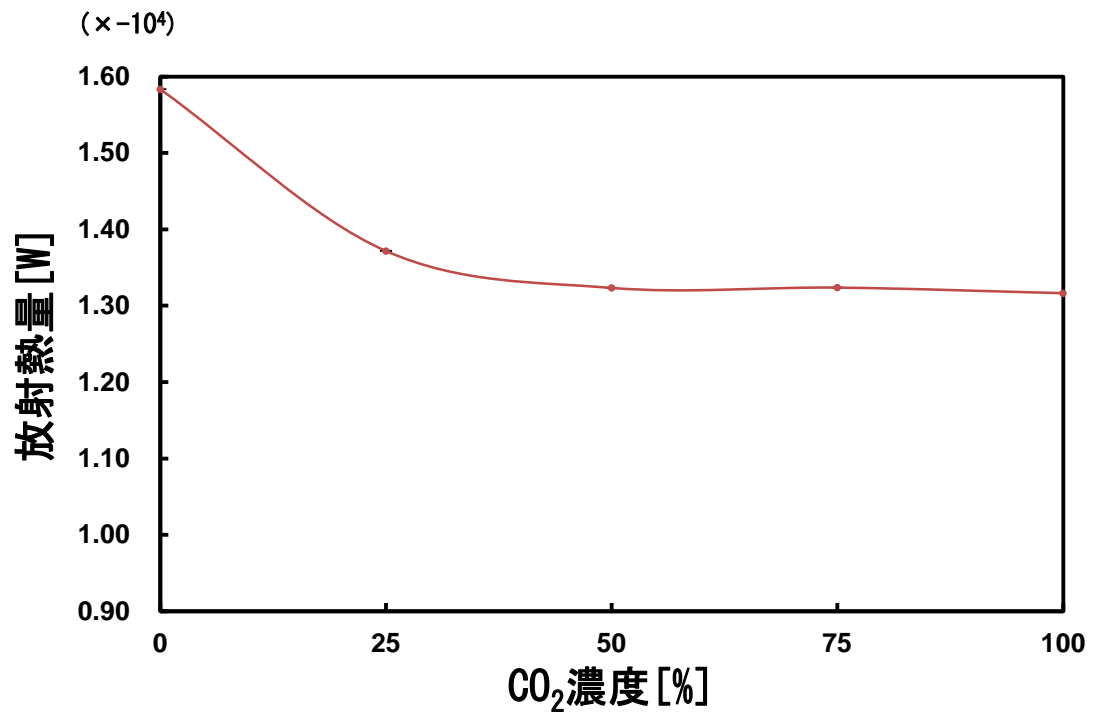


Fig. 2.28 自動化前の放射熱量と標準誤差の比較

第3章. 測定方法の改良

3.1 ポリエチレンの窓材

昨年度の窓材ではポリエチレンの厚さが 0.02mm(Fig.3.3)と薄く、透過率は 90%だが、混合ガスの圧力を 0.08MPa にすると破れてしまう。そこで、0.1mm(Fig.3.1)のポリエチレンに窓材を変更すると、透過率は 70%と劣るが、混合ガスの圧力を 0.08MPa~0.12MPa に変化させても破れなかった。その為、0.1mm のポリエチレンを窓材として使用した。

0.2mm のポリエチレンもあったが 0.1mm の方が、透過率が良かった為、採用しなかった。

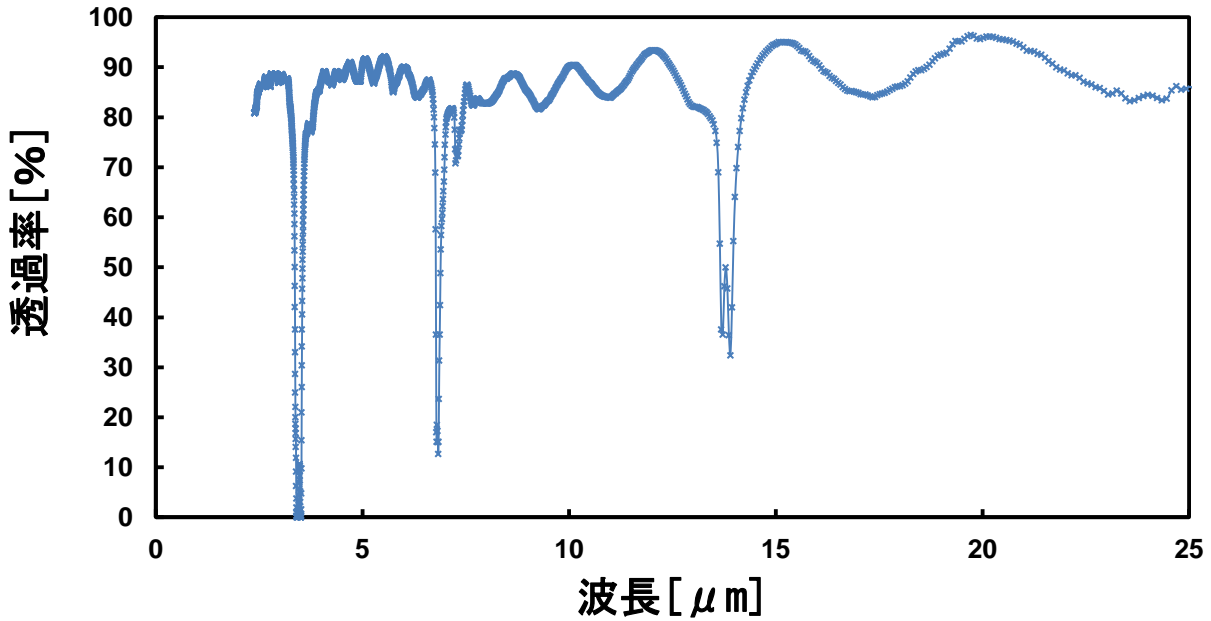


Fig. 3.1 ポリエチレン 0.02mm の透過率

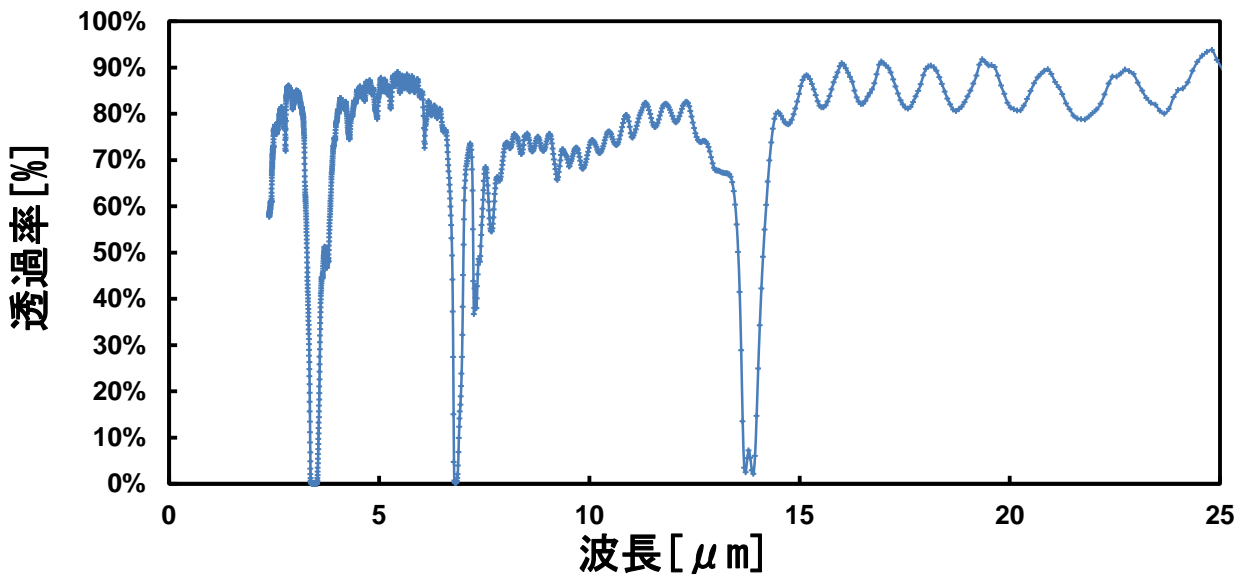


Fig. 3.2 ポリエチレン 0.1mm の透過率

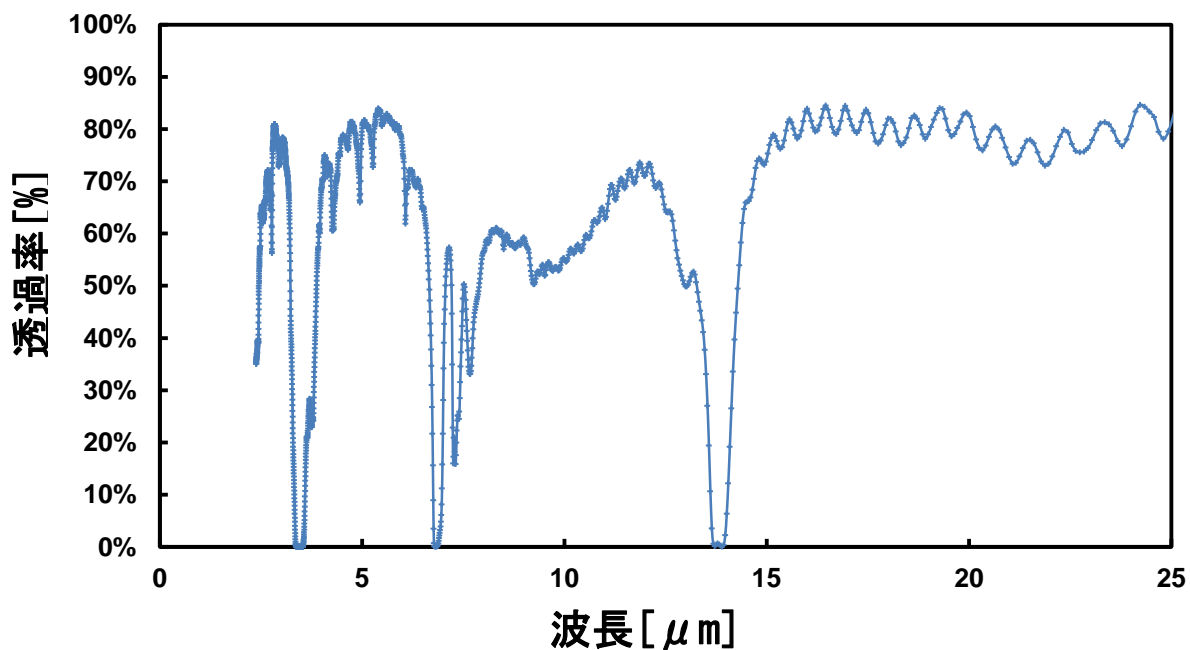


Fig. 3.3 ポリエチレン 0.2mm の透過率

3.2 真空専用蓋

アルミ円筒管内を真空にする時に、円筒管だけを真空にすると窓材(ポリエチレン)が気圧に耐えきれなくなり膨らんで破裂してしまった。そこで、ポリエチレン間に挟み逆側にも真空に出来る状態の Fig.3.3 のような蓋を作った。こうすることで、Fig.2.17(P.11)の状態にし、互いから真空にすることでポリエチレンが気圧により膨れて破裂することなく真空状態に出来るにした。

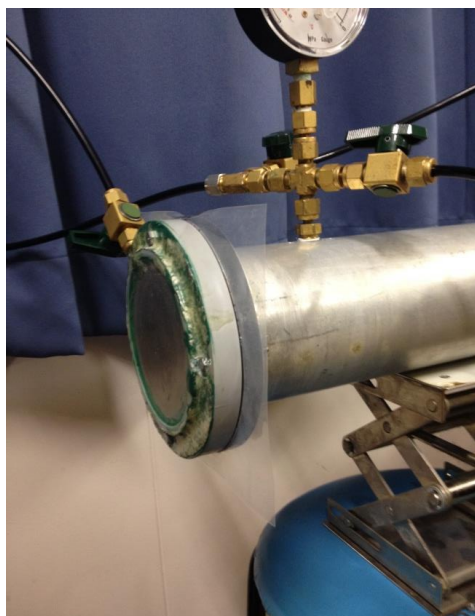


Fig. 3.4 装着時の様子

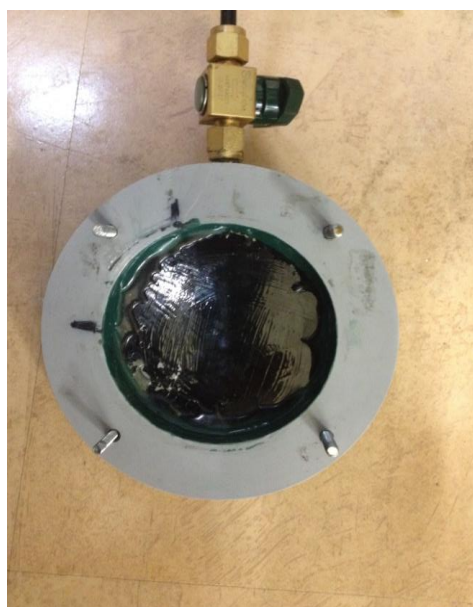


Fig. 3.5 真空専用蓋

第4章. 理論計算式の概要

4.1 理論計算を行う際の注意点

CO₂の透過率は波数に依存しており、銅やアルミのように透過率が一様ではない。その為、波数に依存している気体どうしを合わせると、どうなるか例を Fig.4.1～4.4 に示す。

例えば、Fig.4.1 のように、気体 A は $\lambda_1[\mu\text{m}] \sim \lambda_2[\mu\text{m}]$ の透過率が 1、 $\lambda_2[\mu\text{m}] \sim \lambda_3[\mu\text{m}]$ の透過率が 0。気体 B は $\lambda_1[\mu\text{m}] \sim \lambda_2[\mu\text{m}]$ の透過率が 0、 $\lambda_2[\mu\text{m}] \sim \lambda_3[\mu\text{m}]$ の透過率が 1 の気体があるとする。気体 A と B はそれぞれ平均の透過率は 0.5 になる。その為、 $0.5 \times 0.5 = 0.25$ より、A と B を合わせると透過率は 0.25 になるので、Fig.4.2 のような放射スペクトルを持つ光が物質 A,B を通ると 25%は透過する事になる (Fig.4.3) が、実際は Fig.4.4 のように A と B の透過率を合わせると 0 になる。そこで、放射輝度と CO₂の透過率を一点一点掛け合わせ、CO₂の透過率も含んだ放射輝度を求める必要がある。その求め方は 4.4 に記す。

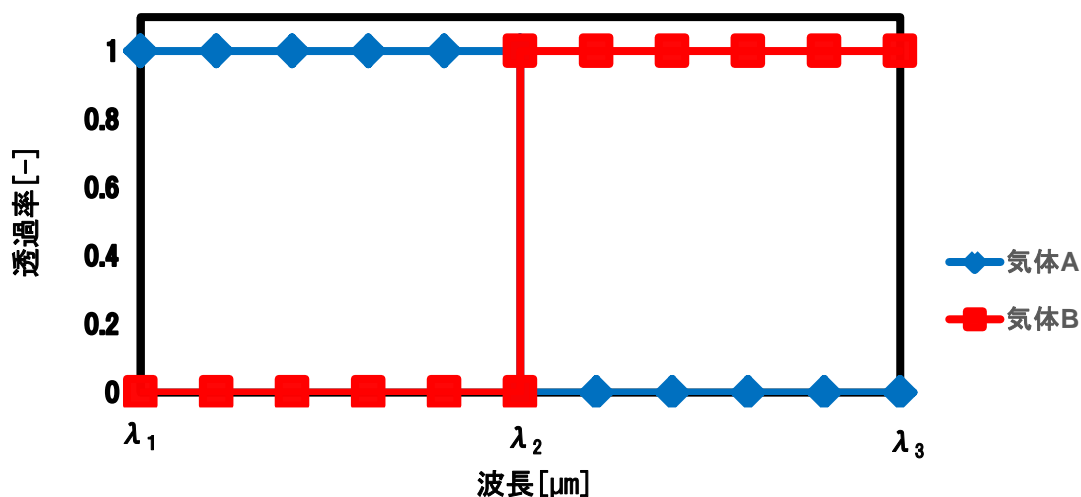


Fig. 4.1 気体 A, B の透過率

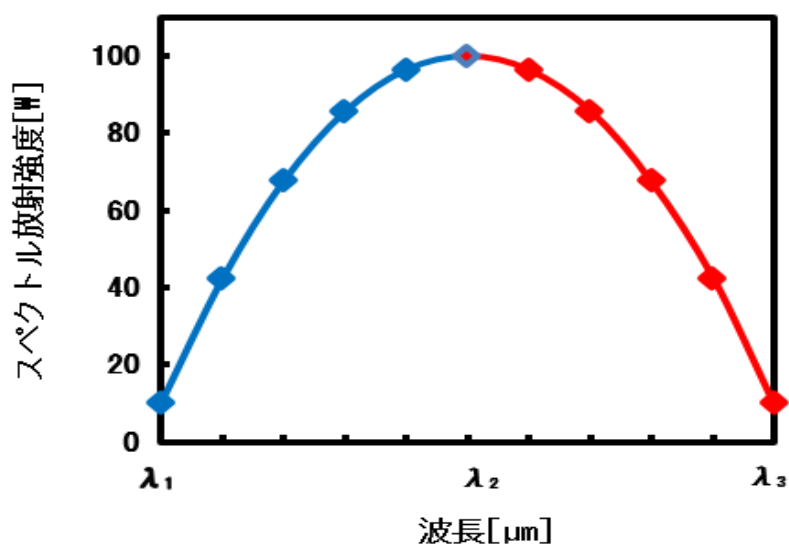


Fig. 4.2 波長によるスペクトル放射強度

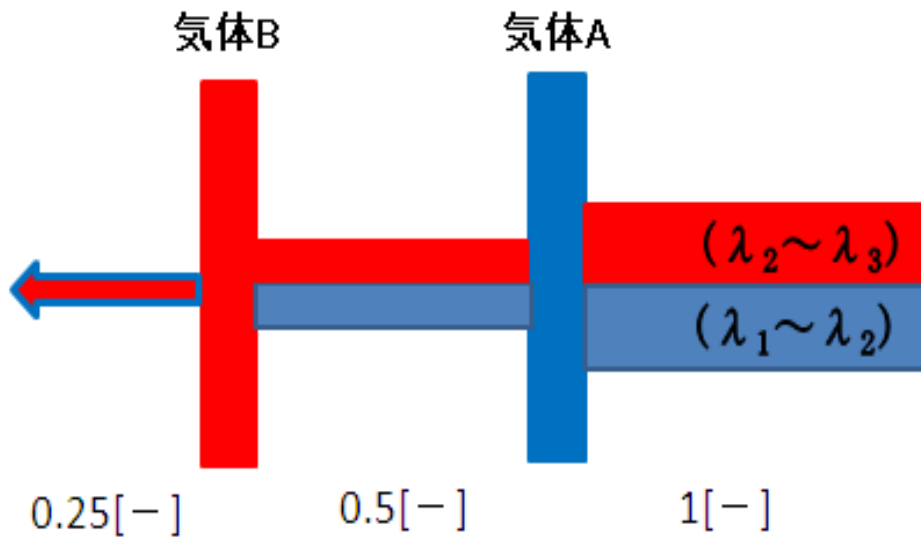


Fig. 4.3 光の透過例 (誤)

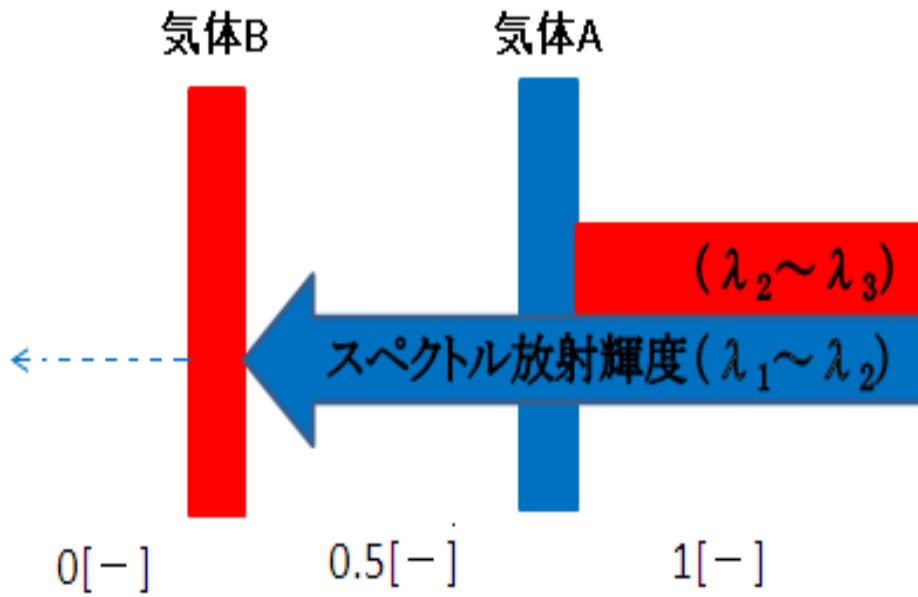


Fig. 4.4 光の透過例 (正)

4.2 Spectral Calc.com による赤外線放射輝度の測定

4.5 を求める為に Fig.4.5 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：300[K]
 放射率：0.9[-]
 下限：100
 上限：3000

と設定を完了したら、計算をクリックすると波数 100cm^{-1} から 3000cm^{-1} 範囲の放射輝度が求められる事ができ、下の Fig. 4.6 のグラフが求められる。

黒電卓	
入力	結果
単位: [ワット] 波数[CM-1] [ケルビン] 黒のプロパティ: 温度: 300 K 放射率: 0.9 黒気後退の速度: 0 km/s 波長: 100 以下 下限: 100 以下 上限: 3000 以下	放射発散度: 413.381 W / M ² ラディアンズ: 131.583 W / M ² / SR ピーク分光放射輝度: 0.13813 W / M ² / SR / センチ ⁻¹ 波数 ピークの: 588.303センチメートル ⁻¹ 分光放射輝度: 0.0174183 W / M ² / SR / センチ ⁻¹ (5.03412e +20の光子/J) バンドラディアンズ: 130.922 W / M ² / SR

Fig.4.5 Spectral Calc.com の「黒電卓」

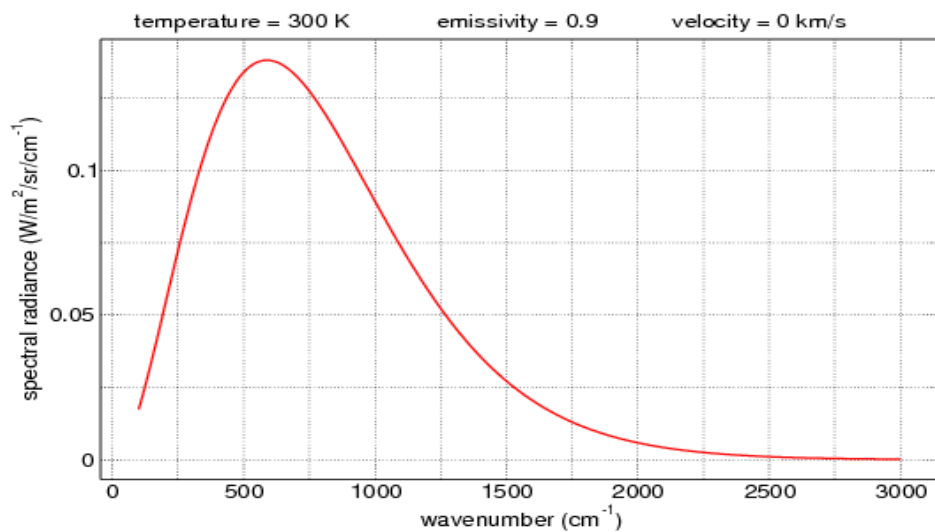


Fig. 4.6 波数による放射輝度

4.3 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所と長い所でプロット数に違いが生じる為、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. 4.7 Spectral Calc.com のガスシュミレータ

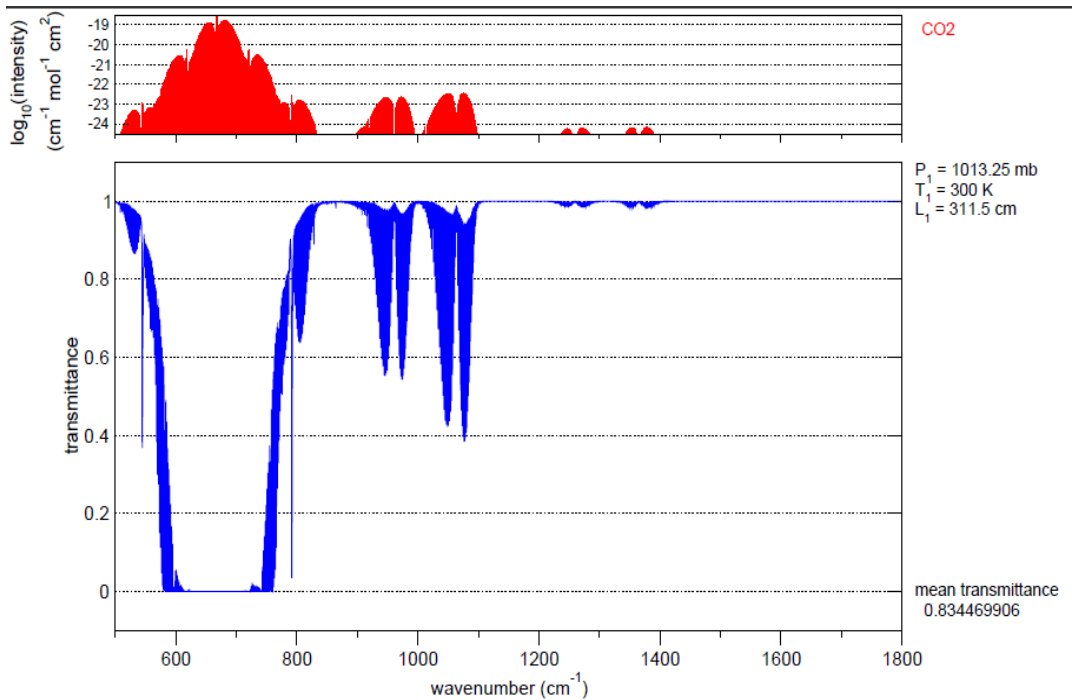


Fig. 4.8 波数による CO₂の透過率

4.4 波長範囲 6~15 μm の放射輝度の割合計算

4.2 により Fig.4.9 の青 (全波数領域の放射輝度) と赤 (波長範囲 6 μm ~15 μm の放射輝度 \times CO_2 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事ができる. 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, 波長 6~15 μm (波数 666~1666 cm^{-1}) あたりの放射輝度の割合を求める. また, CO_2 透過率がどのくらい波数に依存しているか見やすくする為, Fig.4.9 の赤のグラフを拡大したものを Fig.4.10 に示す.

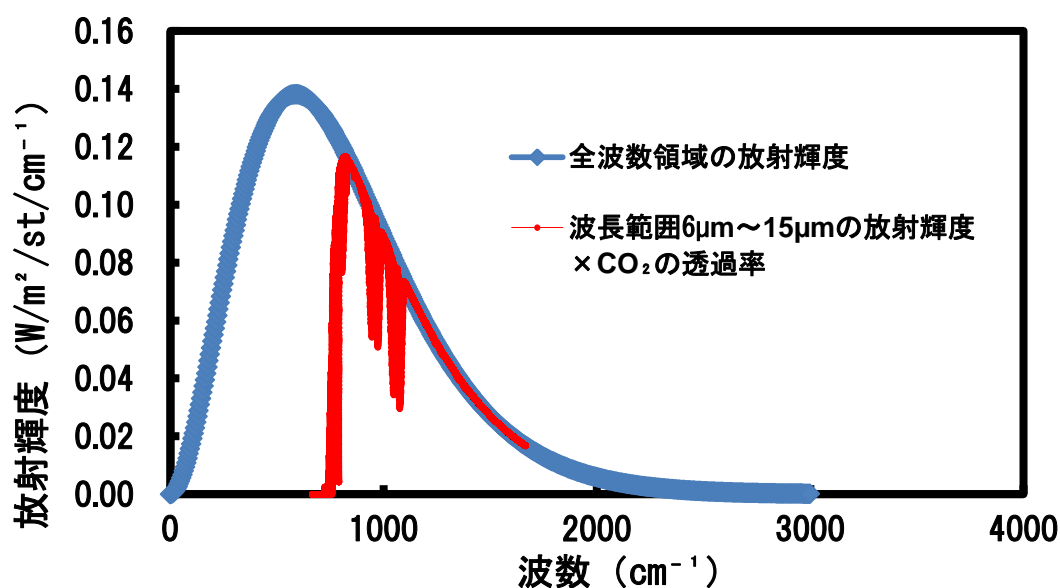


Fig. 4.9 CO_2 透過率も含んだ波長範囲 6 μm ~15 μm の放射輝度

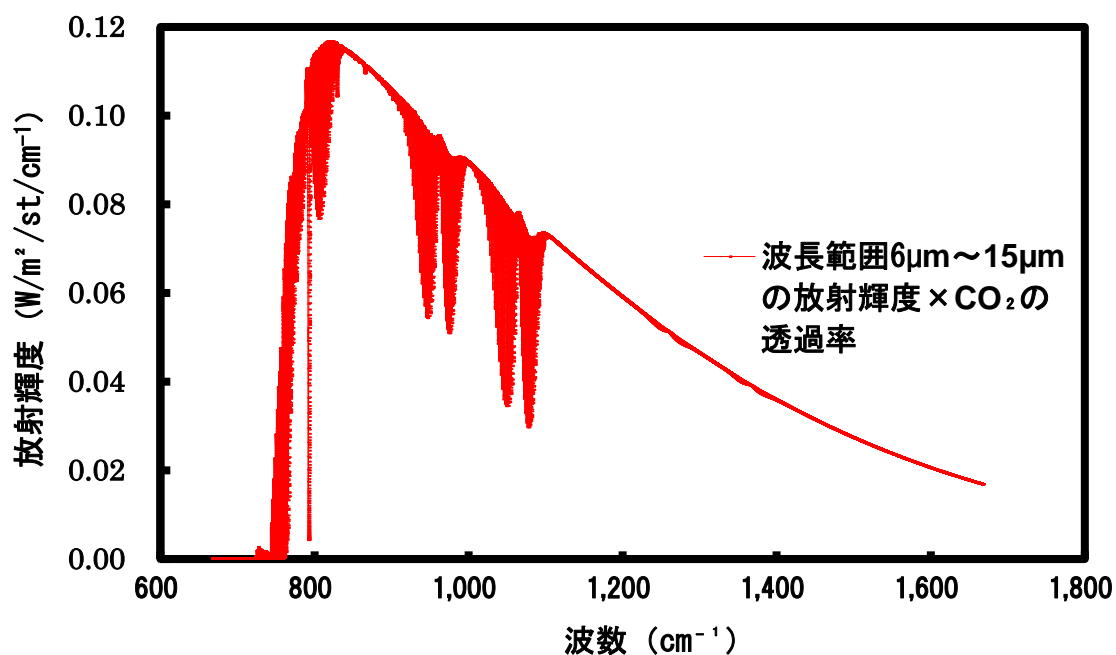


Fig. 4.10 CO_2 透過率の波数による依存性

4.5 再放射の校正

昨年度までの理論計算では Fig.4.11 の通り、放射熱の戻りを考慮していないが、本来は CO₂が放射熱を含むと四方八方に放射熱を放出する (Fig.4.12)。その為、CO₂で吸収された放射熱量の再放射を考慮する必要があるので α で補正する。

α の補正の仕方を以下に述べる。Fig.4.13 を見ての通り、CO₂濃度が 25%~100%で放射熱の吸収が見られるが、その放射熱の吸収分が今までの理論計算では計算させていなかった。そこで、CO₂濃度が 25%~100%の放射熱源からの放射熱量に各々、放射熱の吸収量の半分を足し合わせ、理論値を求める、こうして、求めた理論値グラフの例を Fig.4.14 に示す。

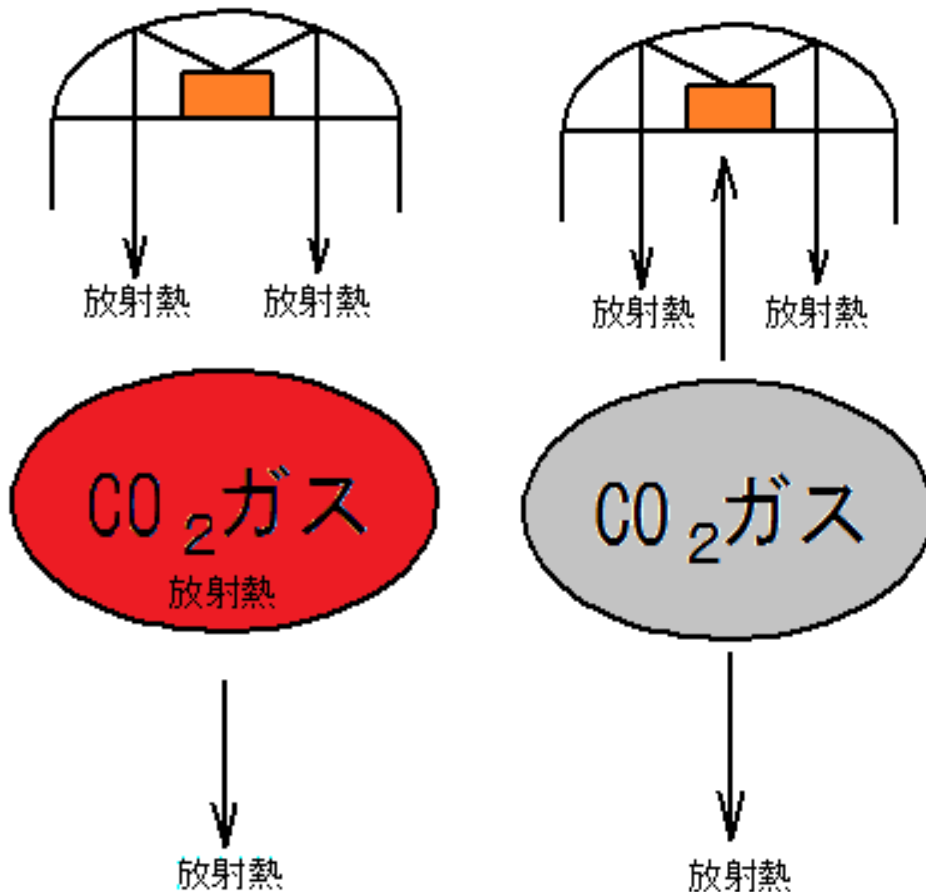


Fig. 4.11 再放射無し

Fig. 4.12 再放射有り

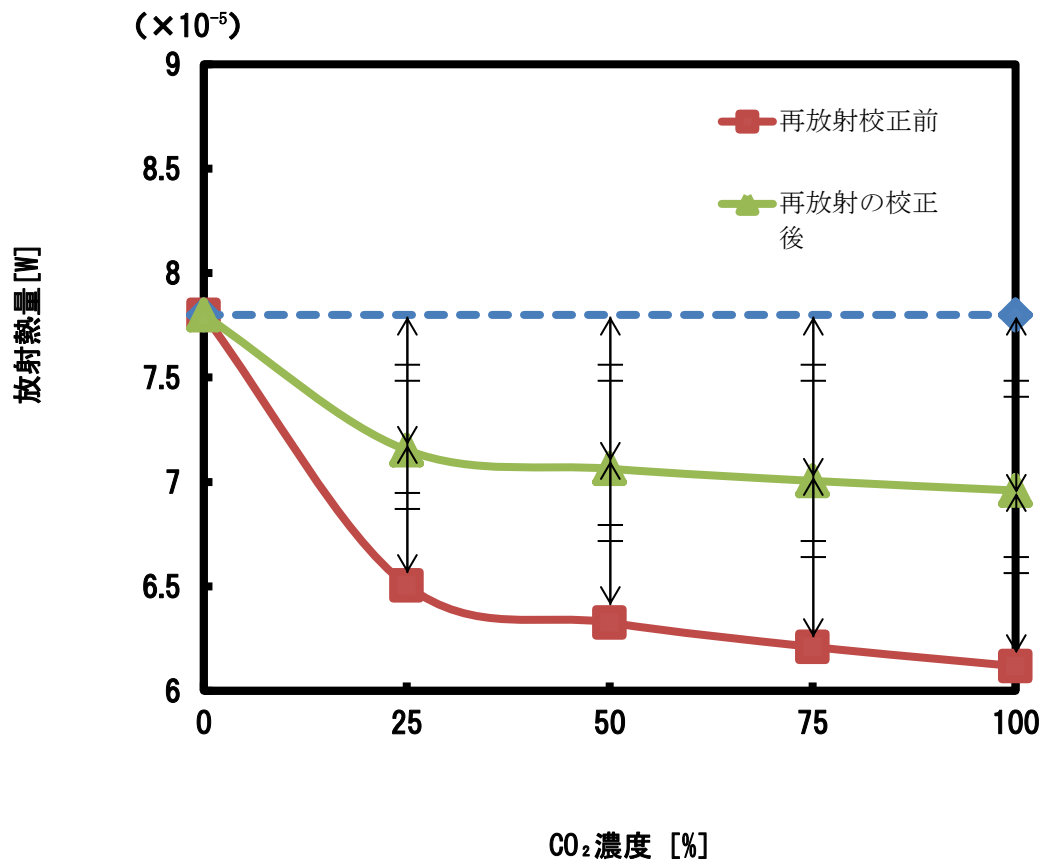


Fig. 4.13 α の考慮がない理論値

4.6 実験に關与する各要素

放射熱量の理論値を求める前にセンサ全体から放たれる放射熱量 P_1 を求める。 P_1 の式を①式とし、①式とセンサから放たれる放射熱に關与する各要素を以下に示す。

$$P_1 = \varepsilon \times S \times \sigma \times T^4 \dots \dots \dots (4.1)$$

- P_1 : センサの放射熱量 [W]
- ε : 放射率=0.9 [-]
- S : センサの断面積= 2.41×10^{-6} [m²]
- σ : シュテファンボルツマン定数= 5.67×10^{-8} [W・m⁻²・K⁻⁴]
- T : 室温=300 [K]

$$P_1 = 0.9 \times 2.41 \times 10^{-6} \times 5.67 \times 10^{-8} \times 300^4$$

$$= 1.0 \times 10^{-3} \text{ [W]}$$

①により、 P_1 を求めたので、ここからは放射熱量の理論計算に入る。放射熱量の理論値 P の式を②式とし、 P は②式により求める事ができる。また、②式と実験に關与する各要素、計算結果 Table4.1 を以下に示す。

$$P = P_1 \times \left(\int_{k_1}^{k_2} P_{CO_2}(k) dk / \int_{k_0}^{k_3} P_0(k) dk \right) \times t_s \times d_{st} \times t_p \times r_{Cu} \times r_{Al} \times \alpha \dots \dots \dots (4.2)$$

- P : 放射熱量の理論値 [W]
- P_1 : センサ全体の放射熱量 [W]
- $P_{CO_2}(k)$: 6~15 μm の CO_2 の透過率も含めた放射輝度関数 [W/m²/sr/cm⁻¹]
- $P_0(k)$: 全波数範囲の放射輝度関数 [W/m²/sr/cm⁻¹]
- t_s : センサ窓材の透過率=0.7 [-]
- d_{st} : センサ視野の立体角による放射熱量の割合=0.68 [-]
- t_p : ポリエチレンの透過率=0.7 [-]
- r_{Cu} : 銅板の反射率=0.8 [-]
- r_{Al} : アルミ円筒管の反射率 [-]
- α : 再放射の補正 [-]
- * $k_0=0, k_1=666, k_2=1666, k_3=3000$ [cm⁻¹]

Table4.1 各圧力の放射熱量

CO ₂ 濃度[%]	0.08MPa時の放射熱量[W]	0.1MPa時の放射熱量[W]	0.12MPa時の放射熱量[W]
0	7.80×10^{-5}	7.80×10^{-5}	7.80×10^{-5}
25	7.20×10^{-5}	7.15×10^{-5}	7.12×10^{-5}
50	7.11×10^{-5}	7.06×10^{-5}	7.03×10^{-5}
75	7.05×10^{-5}	7.00×10^{-5}	6.97×10^{-5}
100	7.01×10^{-5}	6.96×10^{-5}	6.92×10^{-5}

第5章. 放射熱量の測定実験

5.1 実験手順

以下の通りに放射熱量の測定を行う。

- ①放射熱量測定装置を真空専用蓋を用いて真空にする。
 - ②アルミ円筒管内に二酸化炭素と窒素の混合気体を各二酸化炭素濃度(0, 25, 50, 75, 100%)になるようにする。
 - ③エアシリンダを動かす前にリザーバータンクに窒素を貯めておく。
 - ④LabVIEW を起動させ、測定を開始する。
 - ⑤LabVIEW から記録されたデータを Excel により放射熱量に変換する。
- 以上が放射熱量測定実験の手順である。

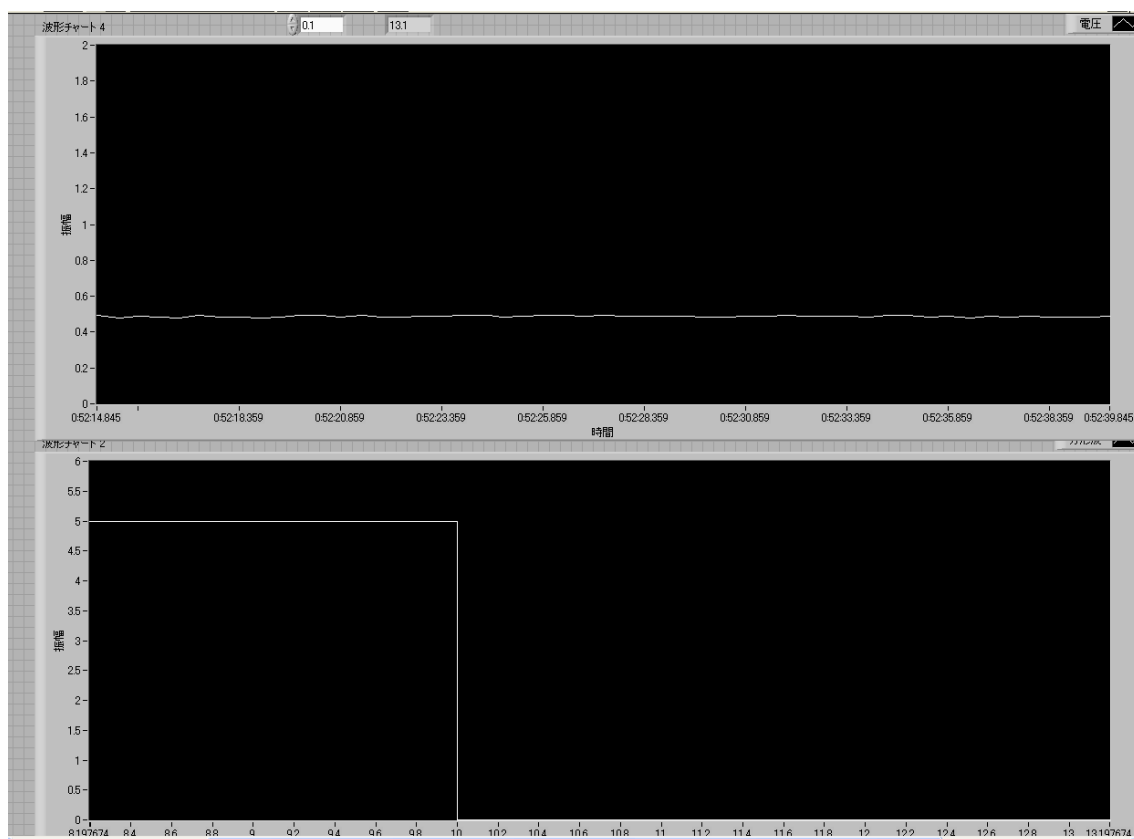


Fig. 5.1 実験データ測定の様子

5.2 実験値の校正

焦電型赤外線センサは測定により得られた放射熱の変化分を電圧として検出する。その為、得られた電圧を放射熱量に変換する必要がある。そこで、電圧を放射熱量として変換する実験を行う。実験は Fig.5.2 の通りアルミ円筒管を除いて行う。

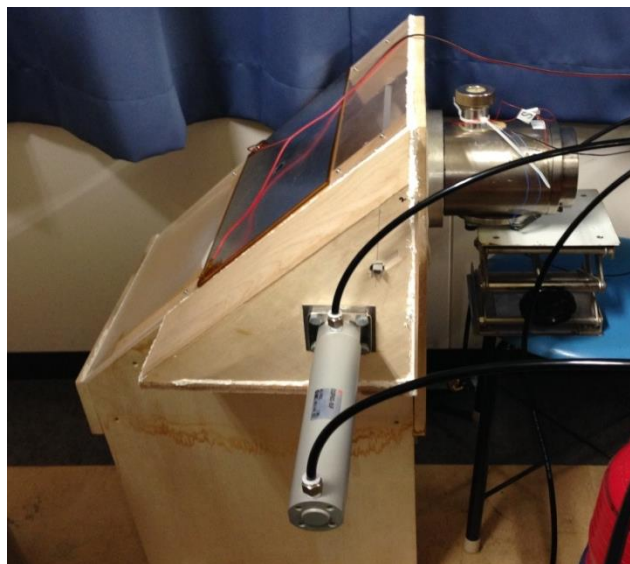


Fig. 5.2 放射熱量の校正実験

まず、この実験で生じる放射熱量を求めると、

$$P = P_1 \times \left(\int_{k_1}^{k_2} P_s(k) dk / \int_{k_0}^{k_3} P_0(k) dk \right) \times t_s \times d_{st} \times r_{cu} \dots \dots (5.1)$$

となる。

P : 放射熱量の理論値 [W]

P_1 : センサ全体の放射熱量 [W]

$P_{CO_2}(k)$: 6~15 μ m の CO₂ の透過率も含めた放射輝度関数 [W/m²/sr/cm⁻¹]

$P_0(k)$: 全波数範囲の放射輝度関数 [W/m²/sr/cm⁻¹]

t_s : センサ窓材の透過率=0.7 [-]

d_{st} : センサ視野の立体角による放射熱量の割合=0.68 [-]

r_{cu} : 銅板の反射率=0.8 [-]

* $k_0=0, k_1=666, k_2=1666, k_3=3000$ [cm⁻¹]

(5.1) の赤色の式は Fig. 5.3 より青色（全波数領域の放射輝度）のグラフを積分した値から緑色（波長範囲 6 μ m~15 μ m の放射輝度）のグラフの積分した値で割った、青と緑のグラフの面積比を意味する。つまり、赤色の式で波長範囲 6 μ m~15 μ m のセンサからの放射熱量を求める事ができる。

P₁ は 4.6 の値を使用し，計算を行った過程と値を下に示す.

$$P = 1.0 \times 10^{-3} \times 0.53 \times 0.7 \times 0.68$$

$$= 2.02 \times 10^{-4} \text{ [W]}$$

Fig.5.2 の実験により検出した電圧を用い，以下の式で校正する.

$$A = \frac{P}{V} \cdot \dots \dots \dots (5.2)$$

A : 校正值 [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]

これらの値で上の式を用い，計算した過程と値を下に示す.

$$A = \frac{2.02 \times 10^{-4}}{1.21}$$

$$= 1.67 \times 10^{-4} \text{ [W/V]}$$

この値を校正值とし，実験により生じた電圧と掛け合わせたものを放射熱量とする.

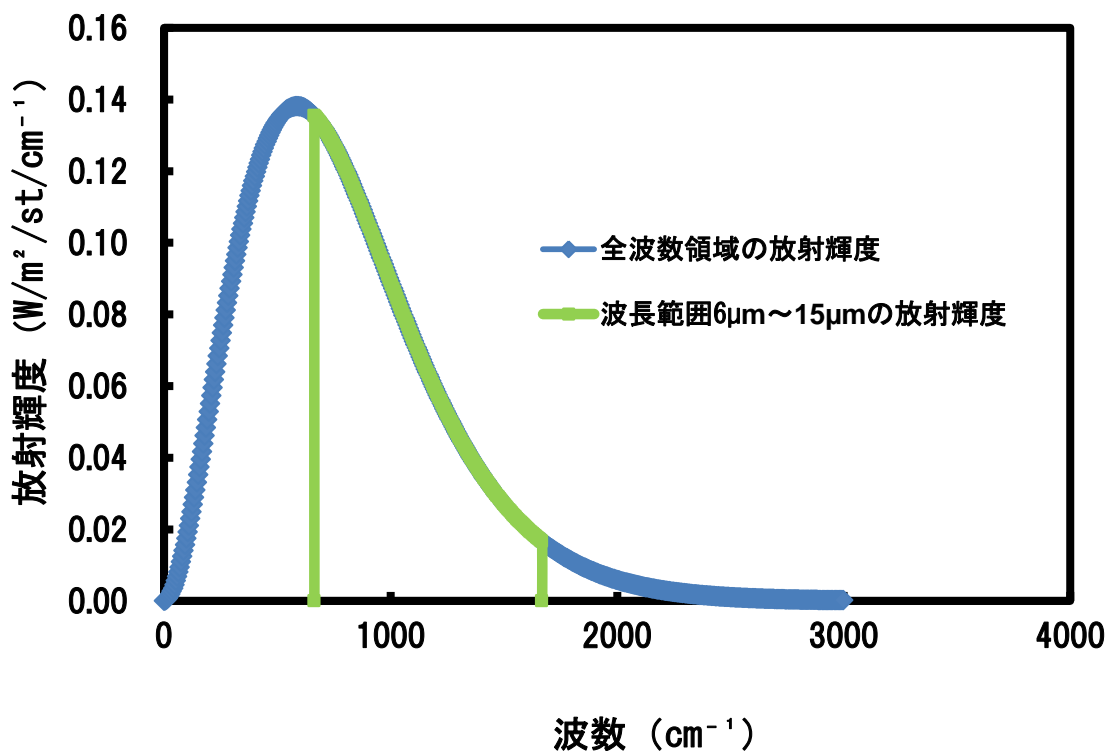


Fig. 5.3 波長範囲 6μm～15μm の放射輝度の割合

5.3 各圧力による放射熱量の吸収傾向

昨年度に行われた実験（アルミ円筒管内の混合ガス圧力が 0.1MPa の状態）に加えて、0.08MPa, 0.12MPa と混合気体の圧力を変えて実験を行った。その結果を Fig.5.4, Fig.5.6, Fig.5.8 に示した。また、Fig.5.5, Fig.5.7, Fig.5.9 に各圧力ごとの CO₂ 濃度 100% 以降の放射熱量傾向を示す。混合気体の圧力を変える事によって、赤外線センサからの放射熱量に変化は見られたが、放射熱量のグラフ傾向としては理論値と似たようなグラフとなった。理論値、実験値とも二酸化炭素濃度が上がるにつれ、センサからの放射熱量を吸収しているのが分かる。

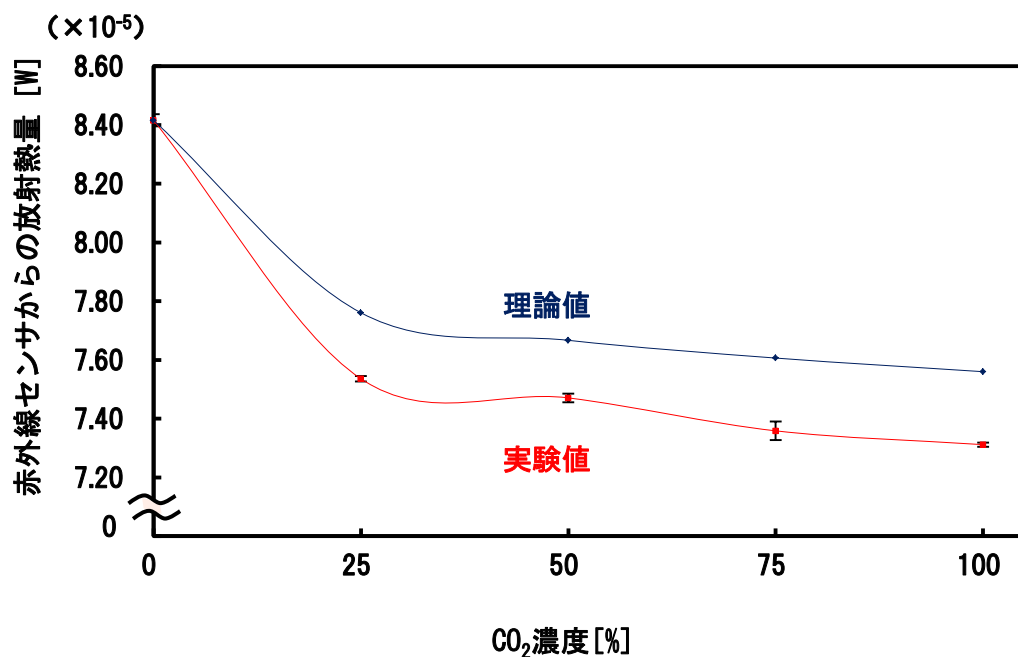


Fig. 5.4 0.08MPa 時の実験値，理論値傾向 (CO₂ 濃度 0% の理論値を実験値に合わせた.)

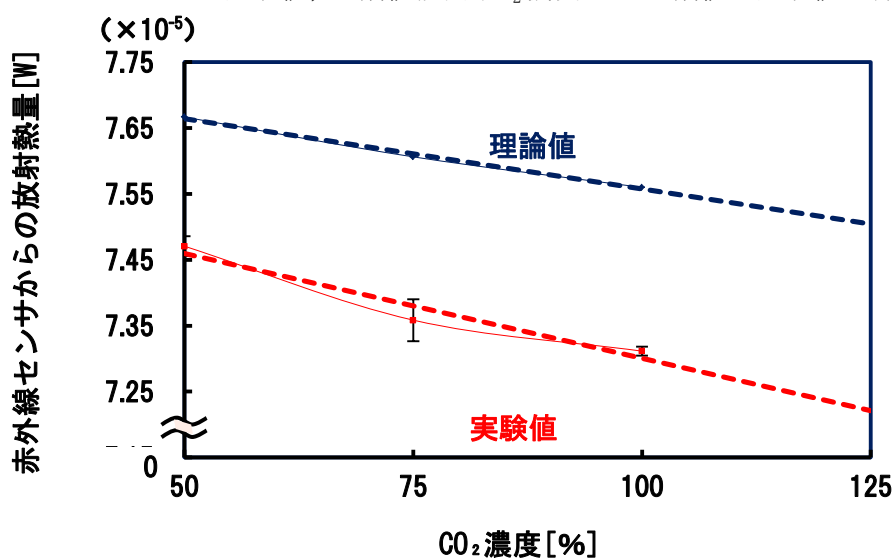


Fig. 5.5 Fig. 5.4 の CO₂ 濃度 50%~100% の傾き及び，CO₂ 濃度 100% 以降のグラフ傾向

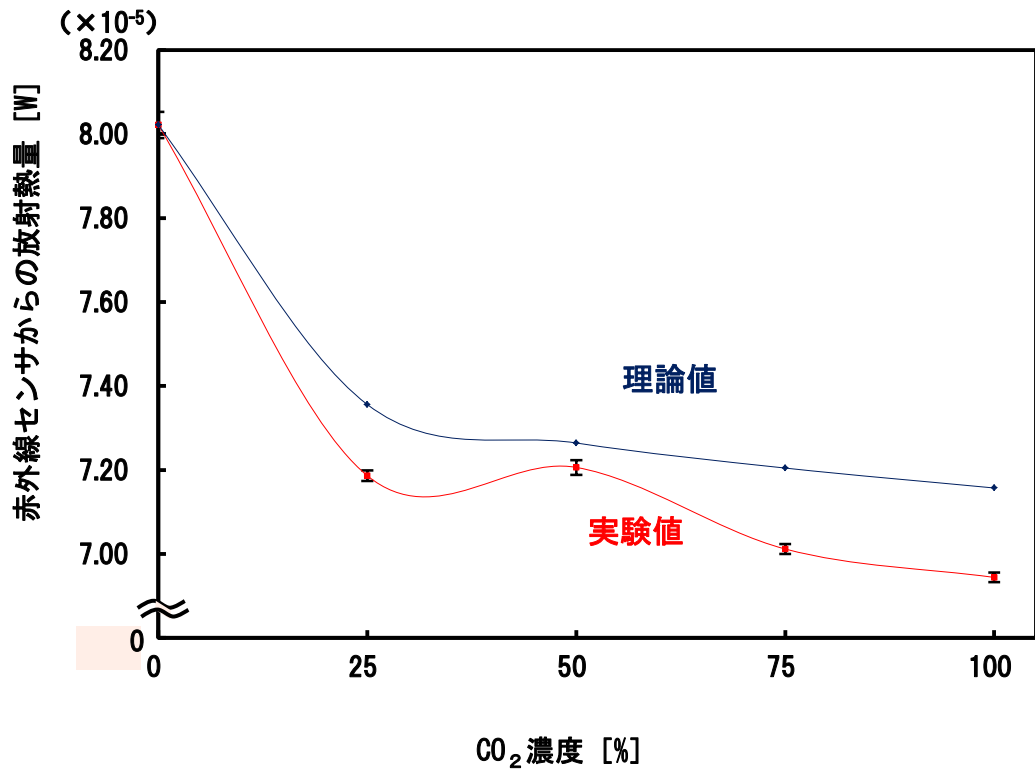


Fig. 5.6 0.1MPa 時の実験値, 理論値傾向(CO₂濃度 0%の理論値を実験値に合わせた.)

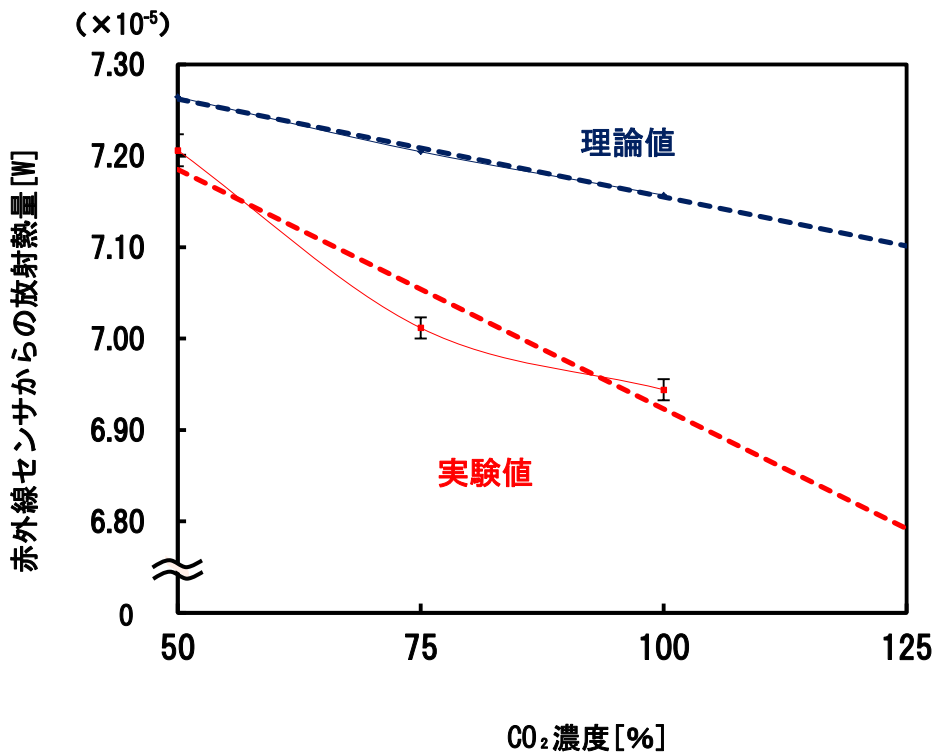


Fig. 5.7 Fig. 5.6 の CO₂ 濃度 50%~100%の傾き及び, CO₂ 濃度 100%以降のグラフ傾向

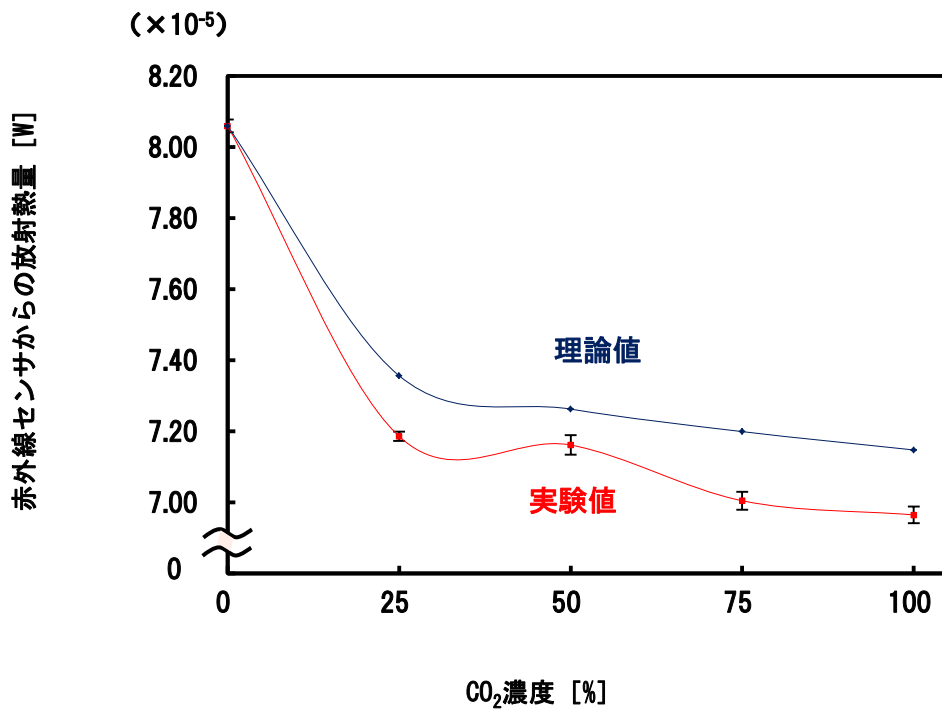


Fig. 5.8 0.12MPa 時の実験値，理論値傾向 (CO₂ 濃度 0%の理論値を実験値に合わせた.)

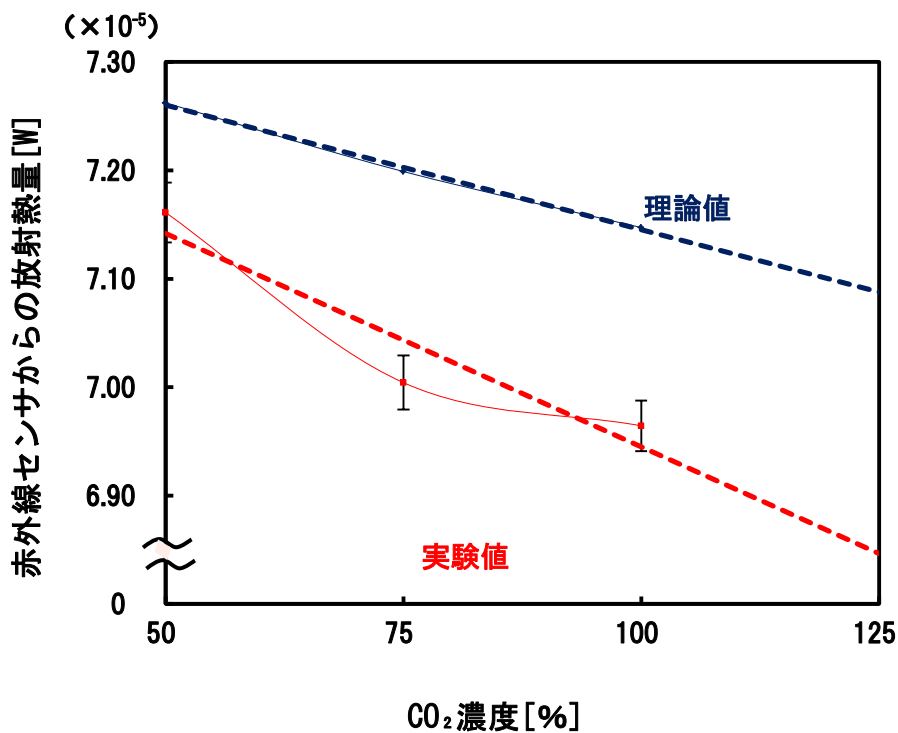


Fig. 5.9 Fig. 5.8 の CO₂ 濃度 50%~100%の傾き及び，CO₂ 濃度 100%以降のグラフ傾向

5.4 放射熱量の減少率

5.3 より，詳しく圧力ごとに理論値と実験値とで放射熱量の減少率を比較する事で今後 CO_2 の量が増えると CO_2 による放射熱量の吸収傾向がどうなるか調べる． CO_2 濃度が 50% ~100% の放射熱量の傾きを m とし，放射熱量の減少率とする．

放射熱量の減少率として表した結果を Table.5.1 と Fig.5.10 に示す．Table.5.1 と Fig.5.10 を見ての通り，放射熱量の減少率は実験値の方が理論値より平均で約 2 倍になる事が分かった．この結果から，今回行った実験条件の基で CO_2 の赤外線センサからの放射熱量の吸収が理論計算上より約 2 倍加速すると考えられる．

Table5.1 理論値と実験値の比較

	理論値の m	実験値の m	理論値と実験値 m の倍率
0.08[MPa]	0.0254	0.0378	1.5
0.1[MPa]	0.0267	0.0653	2.4
0.12[MPa]	0.0285	0.0488	1.7
平均	0.0269	0.0507	1.9

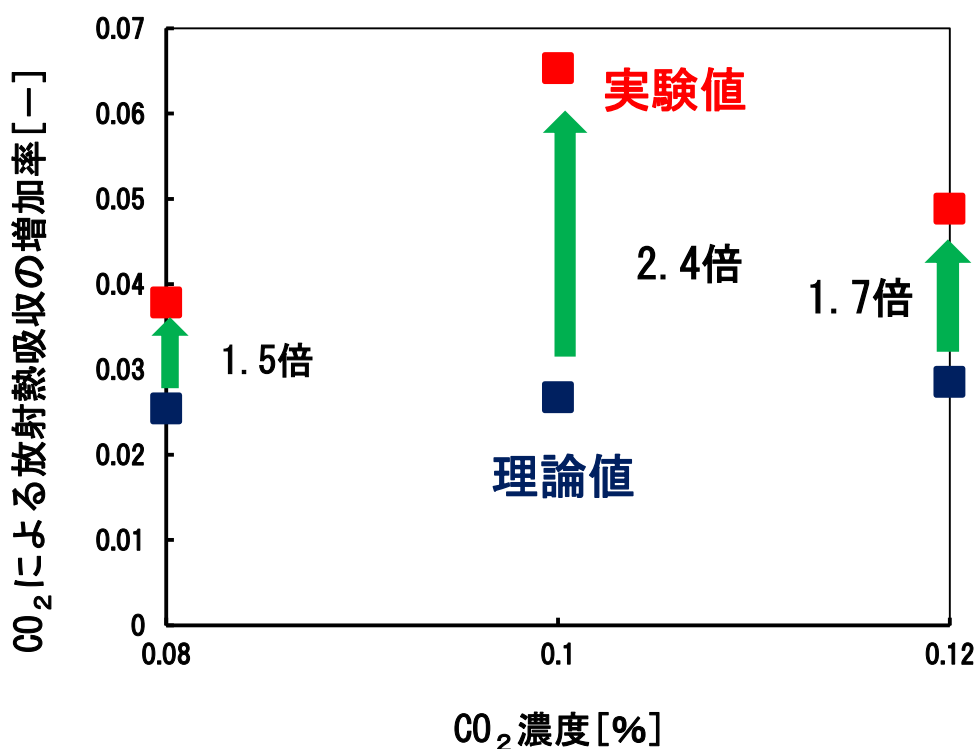


Fig. 5.10 CO_2 濃度が現在の値より増加した時の理論値と実験値の放射熱吸収の増加率

第6章. 結言

今回の研究では混合ガスの圧力を変えて、実験を行い赤外線センサからの放射熱量がどのくらい変化するか測定した。ポリエチレンの窓材を 0.1mm に変更し、混合ガスの圧力が 0.08MPa~0.12MPa の範囲で実験を行う事ができるようになった。

実験装置を改良したことで、以前より標準偏差が小さくなり、より精度の高い実験データの測定が出来るようになった。

CO₂による放射熱吸収の増加率は実験値が理論値の約2倍になる事が分かった。この結果より、地球上における CO₂濃度が増え続けると、温暖化の進行速度は現在世界各地で行われている計算機シミュレーションの結果を上回ることが予測される。

今後の課題は現実のモデルに近く模擬した実験方法や実験装置を開発し、二酸化炭素ガスによる地球温暖化効果を実験的に検証する事である。

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 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」井々村群兵 古森雄
- [2] ミニ氷河期前兆？（月刊誌「食品と暮らしの安全」2009 年 9 月号 No245）
【図 3】世界平均気温偏差(°C)と大気中 CO₂ 濃度の変化率・(ppm/年)
http://tabemono.info/report/report_14.html
- [3] Spectral Calc.com <http://www.spectralcalc.com/info/about.php>

付録

1. エアシリンダ CG3FN32-150F
2. 電磁弁 AB21-02-2-A
3. リレー G5NB-1A