

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

福岡工業大学 工学部  
知能機械工学科

06E2004 泉 利佳

指導教員 河村 良行 教授

## 目次

第1章	緒言	3
第2章	実験装置の作製	5
	2.1 赤外線反射アルミ円筒管の作製	
	2.2 温暖化効果測定装置の改良	
	2.3 熱源容器の作製	
第3章	実験装置	13
	3.1 実験装置	
	3.2 真空排気装置及び配管	
	3.3 黒体用ヒーター	
第4章	実験方法	20
	4.1 測定プログラム	
	4.2 温熱源による実験方法	
	4.3 冷熱源における実験方法	
	4.4 実験手順	
第5章	測定値計算概要	25
第6章	測定結果及び考察	27
	6.1 温熱源実験の考察	
	6.2 冷熱源実験の考察	
第7章	結言	31
	参考文献	
	謝辞	

# 第 1 章

## 緒言

現在世界では地球温暖化という問題が注目されており、地球温暖化の原因は様々な説がある。本研究ではその幾つかある説の中で二酸化炭素が地球温暖化に影響しているという説に着目した。この実験では温暖化効果測定装置内部にある黒体を熱源に向け、装置内の黒体温度を測定する。また、擬似的に大気を作り、大気が温暖化にどの程度影響を与えるかを測定する。

熱源との間の空間を二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) とヘリウム (He) での混合気体を注入して大気の状態と仮定し、放射エネルギーにどの程度影響を与えているかを調査する。

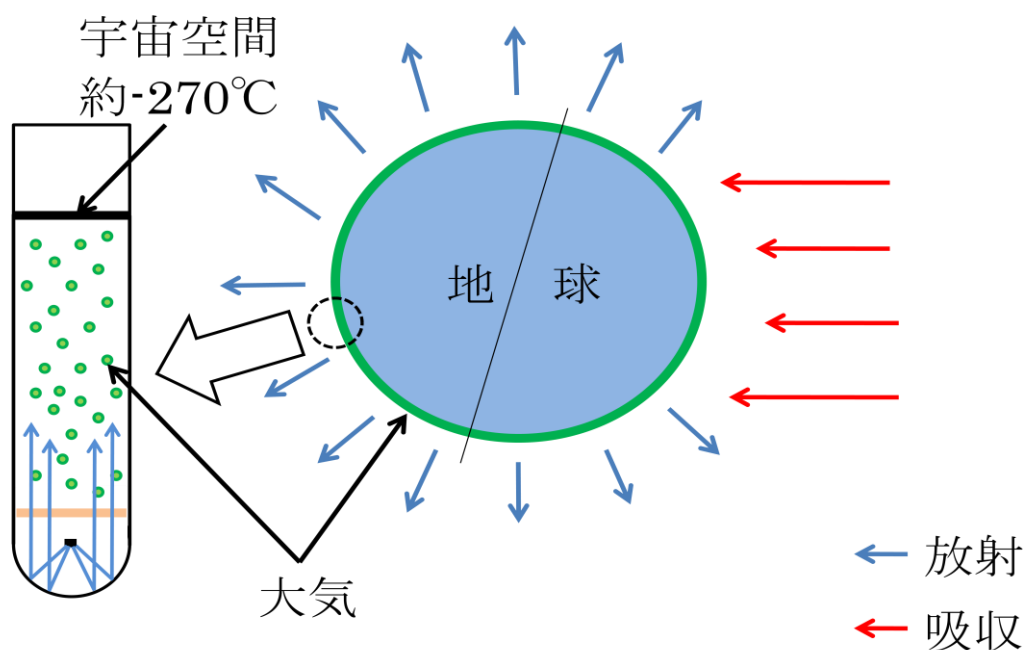


図 1.1 システム概要

図 1.1 は宇宙空間においての熱のやり取りに関してで、左側の部分を実際にモデル化するために装置の作製及び改良を行った。

## 第 2 章

### 実験装置作製

## 2.1 赤外線反射アルミ円筒管の作製

大気となる試験ガスを注入するために、赤外線反射アルミ円筒管の作製を行った。アルミはそのまま使用すると赤外線を反射しにくいために内面を鏡面加工する必要があった。内面加工は工作センターにおいて大型旋盤を使用して行った。

手順としては、荒い紙ヤスリ（＃280）から徐々に始めていき、最終的に細かい紙ヤスリ（＃1200）まで徐々に番数を上げていく。ここでの鏡面は赤外線の波長に合わせるため、斜めから見て反射しているように見えるまで行う。

未研磨状態は図 2.1、研磨終了後は図 2.2、研磨風景は図 2.3 図 2.4 図 2.5 に示す。



図 2.1 研磨する前の内面

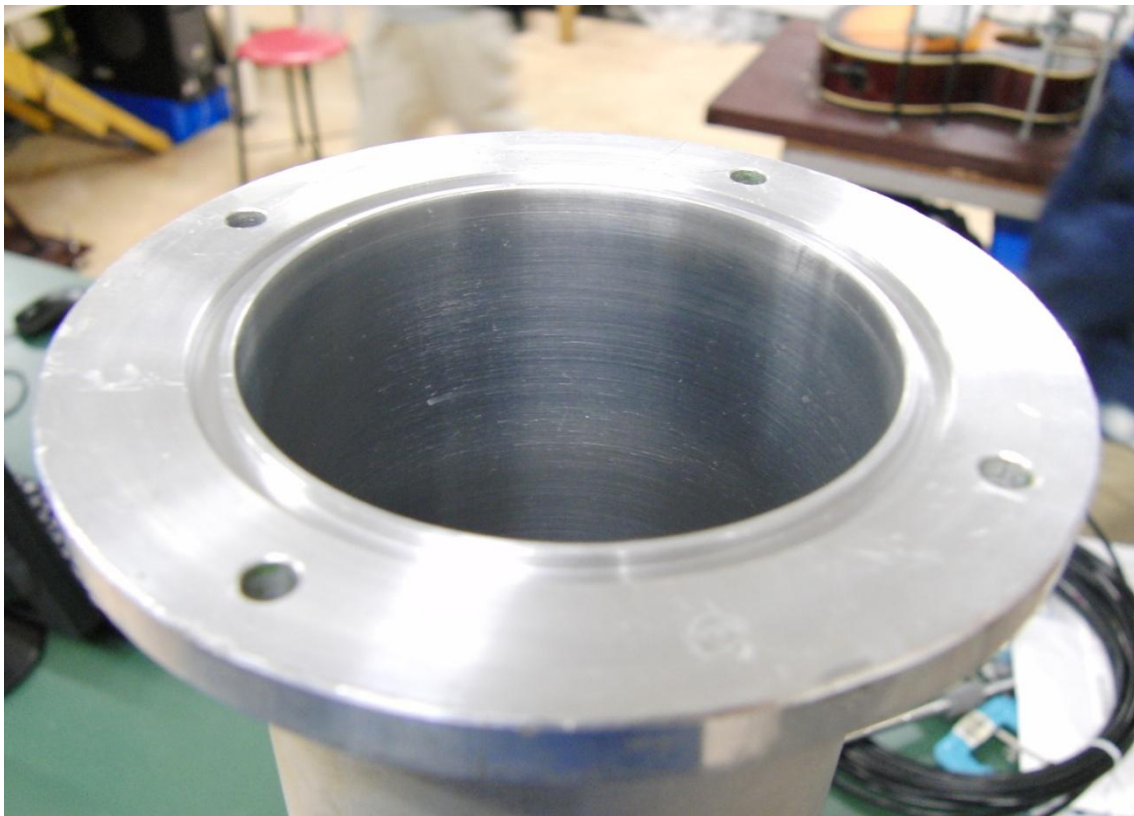


図 2.2 研磨終了後の内面

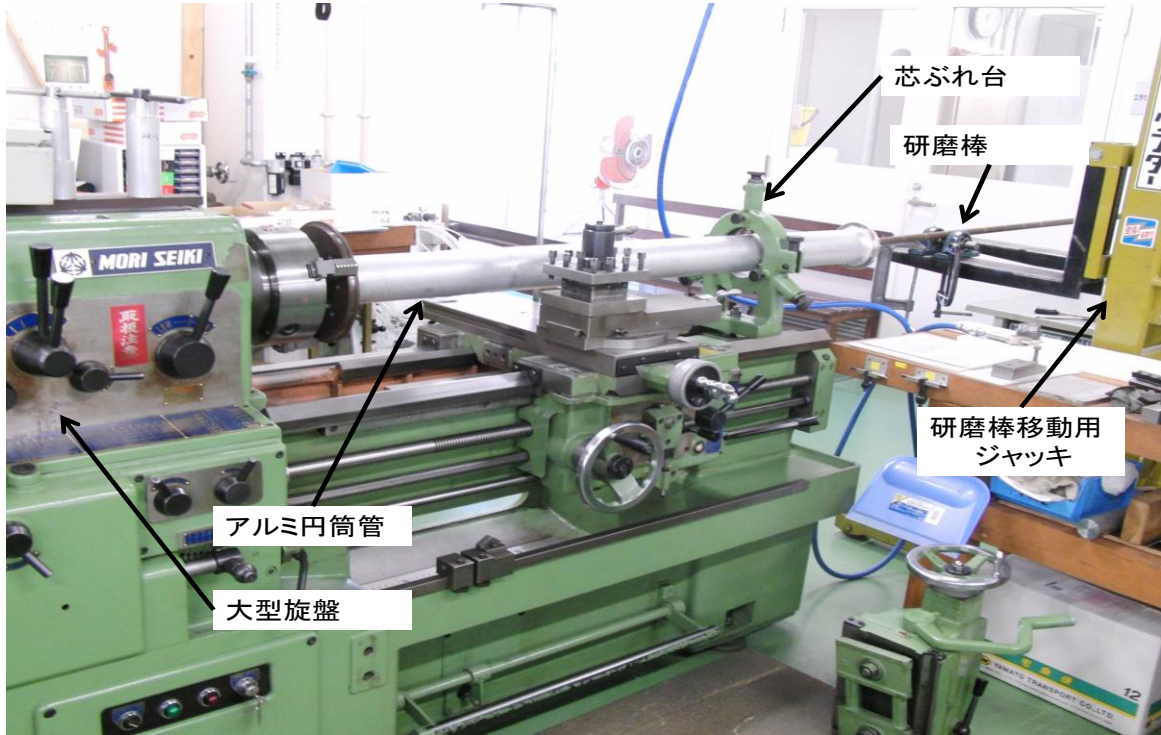


図 2.3 加工風景前面



図 2.4 研磨棒支え部



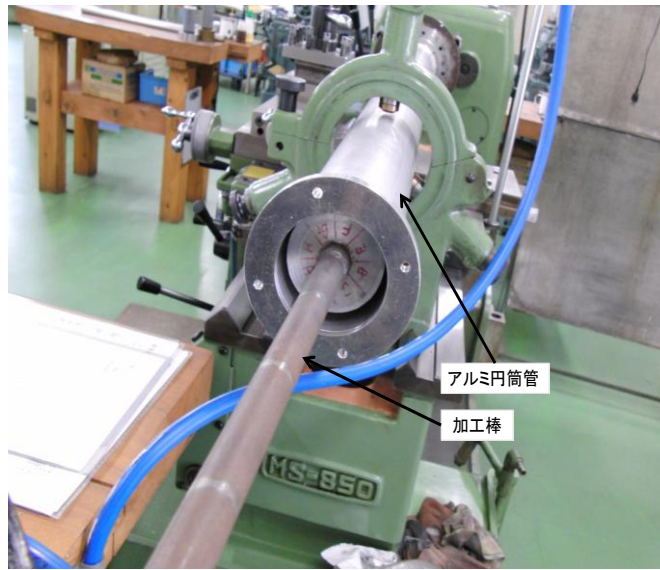


図 2.5 加工風景横

## 2.2 温暖化効果測定装置の改良

昨年度作製された装置に改良を施した。改良内容は現在使用している黒体にヒーターを取り付けた。

黒体は銅板（直径:5[mm],厚さ:0.08[mm]）であり片面は金メッキで、片面は黒く塗装（合成樹脂塗料）した。黒体はナイロンのワイヤー（直径:30[ $\mu$ m]）で黒体と平行方向に十字で支えるように配線してあり、測定用の熱伝対線タイプ K（アルメル、クロメル）も配線してある。

黒体の黒く塗装されている面にヒーターとなる銅線（直径:0.07[mm],取り付け部分長さ:30[mm],全長:400[mm],抵抗:1.5[ $\Omega$ ])を取り付ける。ここでのヒーターは銅線に電流を流し、それによってできる抵抗のジュール熱を利用する。

取り付け後を図 2.6 に示す。

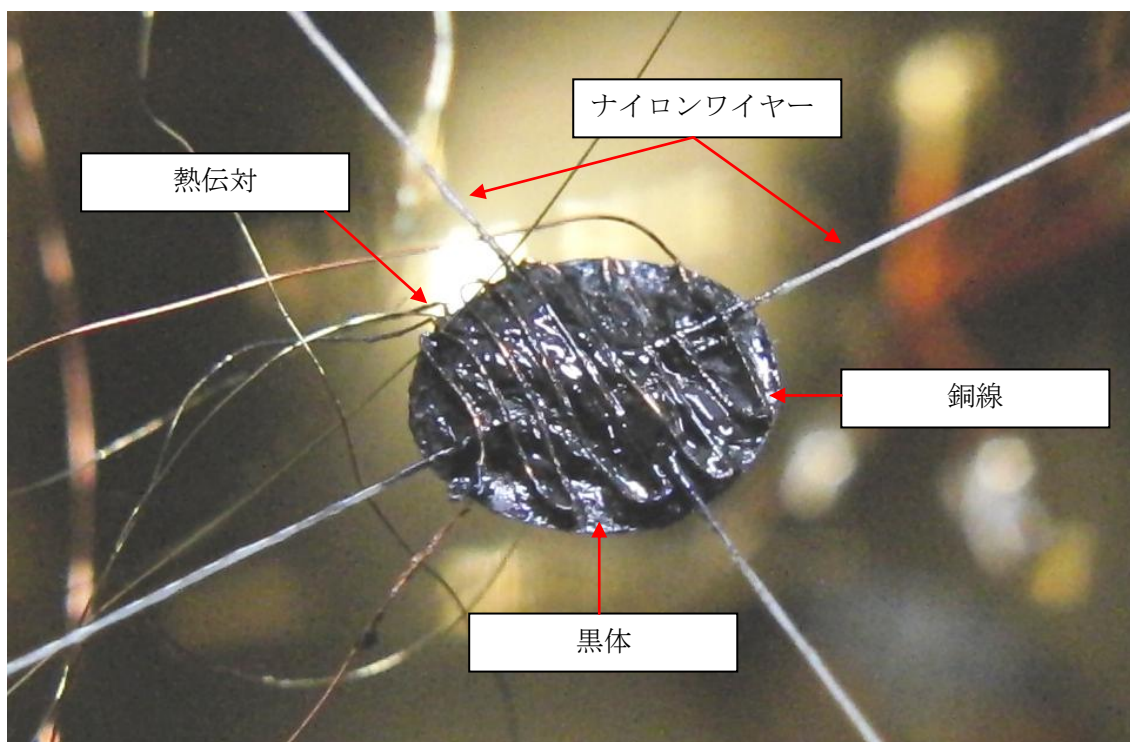


図 2.6 黒体放射板

### 2.3 熱源容器の作製

熱源となる物体を入れる容器の作製を行った。外観は図 2.7 及び図 2.8 に示す。容器の側面は発泡スチロール（直径:140[mm],内径:110[mm],長さ:200 [mm]）を使用し、アルミ円筒管のフランジ部分との接合部分は、塩化ビニルを使用し、熱源黒体となるのはアルミ板の表面を合成樹脂塗料（水系）の黒を使い塗装した。

熱源は熱湯と液体窒素を使用するために通常の接着剤は使用できないため、極低温用 2 液混合株式会社アクシス（SK-229 主剤,SK-229 硬化剤）を使用した。



图 2.7 热源容器上部

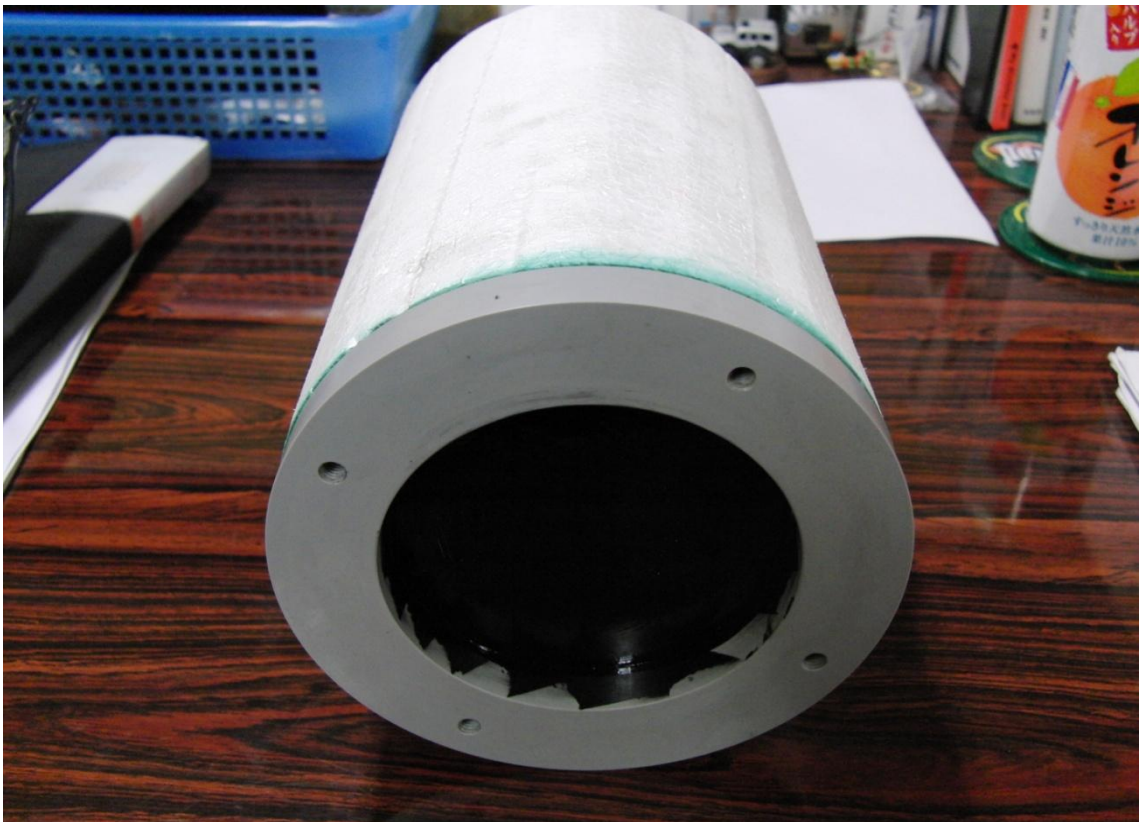


图 2.8 热源容器底面

## 第 3 章

### 実験装置

### 3.1 実験装置

実験装置システムは図 3.1 で、実験装置は図 3.2 になる。放射冷却炉本体とその上の熱源までの円筒筒はアルミを加工した。熱源はアルミ円筒管とのフランジ固定部分が塩化ビニル、熱源の黒く塗装したものはアルミ、側面が発砲スチロールを加工した。本体とアルミ円筒管の間に窓材として ZnSe（ジंकセレン）を使用する。熱源からの放射をアルミ円筒管内部、ZnSe を通り金メッキ反射鏡で反射させる。空気による熱伝導を避けるために、本体内部を真空状態にさせる高真空排気装置を取り付け、アルミ円筒管内部の真空状態を保つために別の真空ポンプを設置する。高真空排気装置には、油回転式ポンプと油拡散ポンプの 2 つがある。高い真空状態にするには、両方動かす必要があり実験中は起動し続ける。

また、アルミ円筒管内部の真空ポンプは実験前に真空状態にできればポンプを止めて、混合気体を装置内部に注入してから実験を行う。

黒体は銅板（厚さ 0.08mm、直径 5mm）に黒く塗装をしたものである。黒体と氷水の温度差により電圧が発生するように熱電対（アルメル、クロメル）を配線している。熱電対から発生する電圧は低いため、増幅機とオシロスコープを使用している。測定された電圧を A/D 変換機を通して PC に記録する。記録するために Labview を使用している。記録した電圧から、黒体の温度を計算して求める。

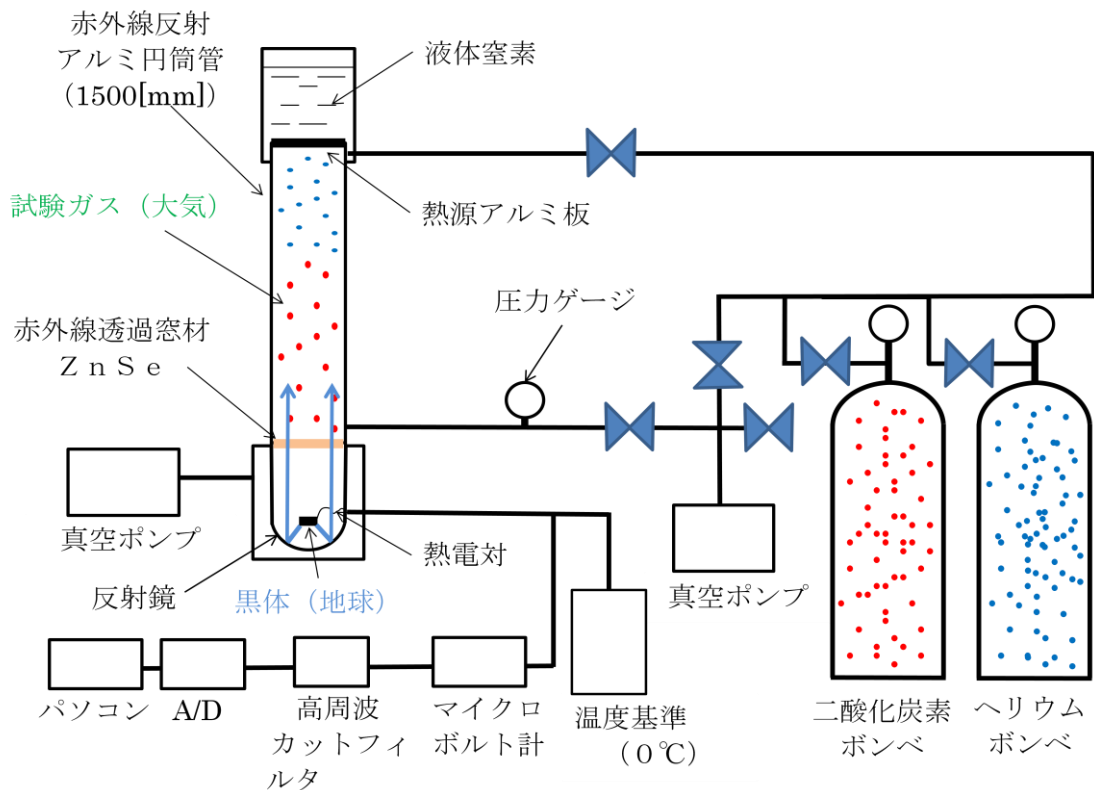


図 3.1 実験装置システム

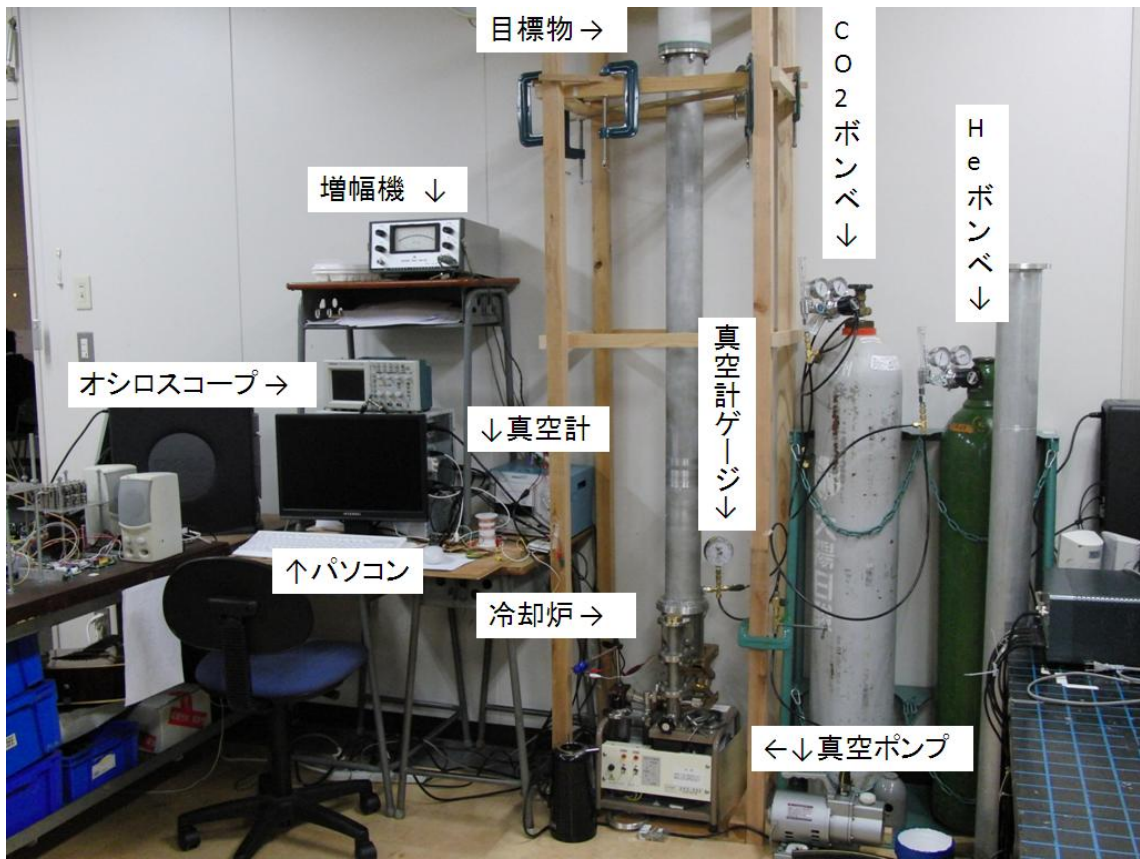


図 3.2 実験装置概要

### 3.2 真空排気装置及び配管

金メッキ反射鏡装置を真空状態にするために高真空排気装置を使用している。高真空ポンプ操作パネル部を図 3.3、高真空ポンプ側面を図 3.4 に示す。高真空排気装置は油回転真空ポンプ、油拡散ポンプの 2 種類を使用する。製品はアルバック機工株式会社のものである。

動作を開始するときは、初めにメインバルブ、LEAK.V が閉じていることを確認する。確認が終わったら R.P スイッチを ON にして、油回転ポンプを起動する。三方向バルブを上に向けて金メッキ反射鏡装置内を 1 分程荒引きする。荒引きが終われば三方向バルブを下に回す。D.P スイッチを ON にして油拡散ポンプを起動する。15 分ほど経過したらメインバルブを開ける。その後数十分たてば装置内が高真空状態になる。

動作を停止させるときは、メインバルブを閉め、D.P スイッチを OFF にする。油拡散ポンプが冷えるまで待った後に三方向バルブを水平にして、R.P スイッチを OFF にしてから LEAK.V①を緩めて空気を入れた後にまた LEAK.V①を閉める。

高真空排気装置を使う上での注意点は、油回転真空ポンプのオイルが少ないときは補充する必要がある。油回転真空ポンプのサイドにある赤い丸部分の中にオイルがあるかどうかで判断する。油回転真空ポンプのオイルが油拡散ポンプに混ざると、装置内部が高真空にならないことがある。その時は油拡散ポンプを装置からはずし、中のオイルを取り換える。量は 20[cc]。

また、アルミ円筒管内部を真空に引くために油回転真空ポンプを取り付けている。アルミ円筒管周りの配管は図 3.5 に示す。使用方法はアルミ円筒管上部に熱源容器があれば真空に引くことができる。スイッチを入れる前にバルブ 2 が閉まっていたり他のバルブが開いていることを確認してから ON にしてアルミ円筒管下部の配管上に接続されている圧力ゲージで真空度を知ることができる。-0.1MPa になれば十分真空である。

真空ポンプを止める際はバルブ 1 を閉めてからスイッチを OFF にしたあとに、バルブ 2 を開けて空気を入れてからまたバルブ 2 を閉める。



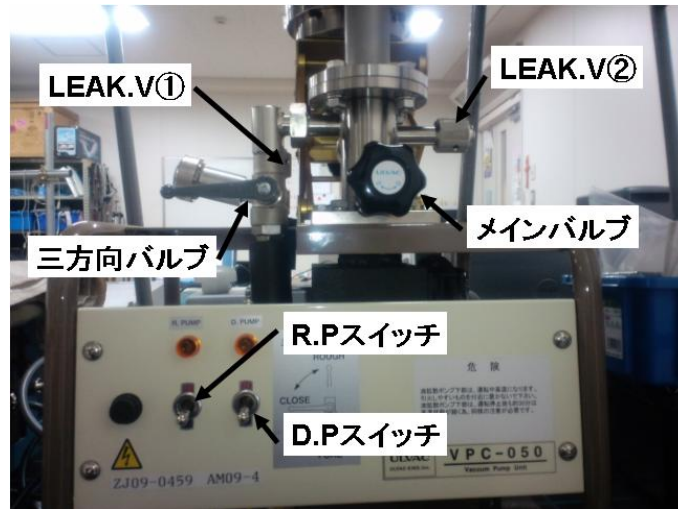


図 3.3 高真空ポンプパネル部分



図 3.4 高真空ポンプ側面

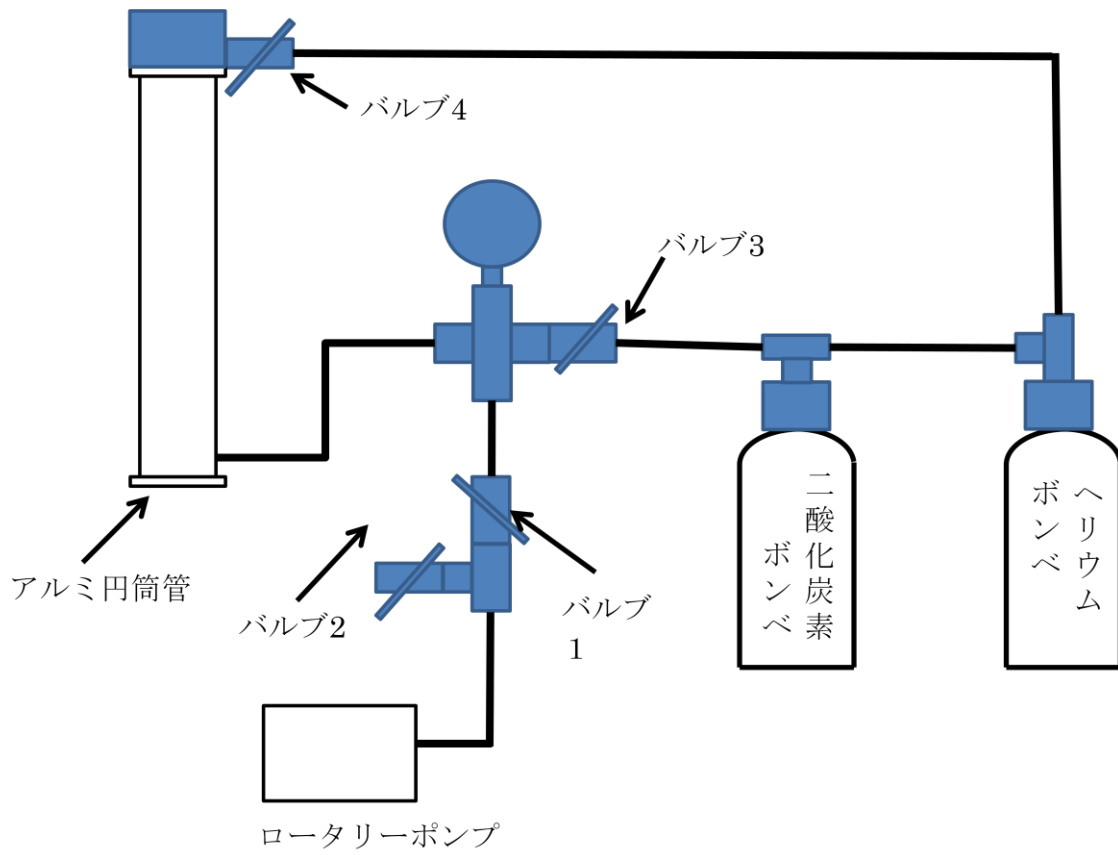


図 3.5 配管図

### 3.3 黒体用ヒーター

金メッキ反射鏡装置内の黒体に取り付けたヒーターに電流を流すことで測定中にあたたかもシャッターがあるかのように模擬する。とくに液体窒素を使用する冷熱源実験においては熱源温度がとても低いため熱源容器が冷えるまで時間がかかってしまい測定中に容器に液体窒素を入れると測定値にばらつきが生まれるために測定前から液体窒素を入れておく必要性があり、室温以上に黒体温度を上げるためにヒーターに電流を流した際に発生する抵抗 ( $1.5[\Omega]$ ) のジュール熱を利用する。

ヒーターに流す電流は  $0.15[\text{mA}]$  とする。電流を流しすぎると黒体とヒーターを固定している接着剤が溶けたり、銅線の被覆がはがれることがあるので注意する。

## 第 4 章

### 実験方法

#### 4.1 測定プログラム操作

実験の際測定データを得るために LabVIEW を使用する。プログラム操作画面を図 4.1 に示す。変換は A/D 変換器 (NI USB-6900) を使用する。これを USB でパソコンに接続する。

装置から A/D 変換器への接続は+極を AI0、-極を GND の端子から測定する。

プログラムは図 4.1 のようになり、「RANGE」はマイクロボルト計で設定した最大電圧値を合わせ、「プロット」は測定値をグラフ表示する際の X 軸 (X 軸:時間[ms],Y 軸 電圧[ $\mu$ V]) の目盛間隔を調節する。本実験では RANNGE が 2500、プロットが 10000 とした。

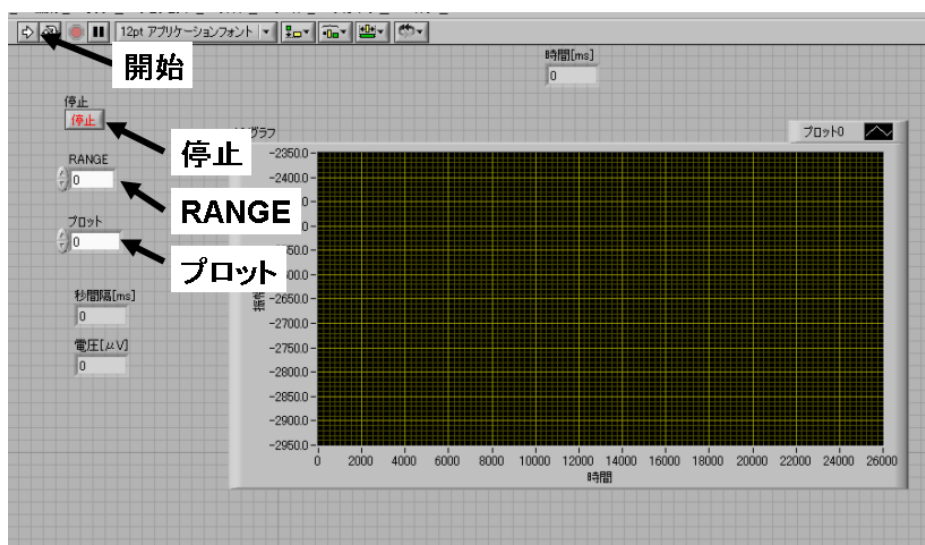


図 4.1 プログラム操作画面

#### 4.2 温熱源による実験方法

温熱源実験における熱源は熱湯（約 80℃）を使用する。装置を起動した後に測定プログラムを開始し、約 5 分間熱源容器に何も入れてない状態で温暖化効果測定装置とアルミ円筒管内部を真空に引いた状態で測定し室温との誤差修正分のデータを取得する。

その後熱源容器内に熱湯を入れて約 20 分間測定を行ってから熱源容器をアルミ円筒管から外す。

尚、アルミ円筒管内部に混合気体を入れる際は一度真空にした状態から気体を注入しプログラムを開始する。また、大気の状態の場合はアルミ円筒管の真空作業は必要ではない。

#### 4.3 冷熱源における実験方法

冷熱源実験における熱源は液体窒素（約 $-196^{\circ}\text{C}$ ）を使用する。装置を起動した後に測定プログラムを開始し、約 5 分間熱源容器に何も入れてない状態で温暖化効果測定装置とアルミ円筒管内部を真空に引いた状態で測定し室温との誤差修正分のデータを取得する。

液体窒素を使用した測定の場合室温との温度差が大きいため熱源容器が冷えるまで時間がかかってしまい測定電圧に影響してしまうために、上で述べた誤差修正分要の 5 分間の測定を行った後に液体窒素を熱源容器に入れ、約 5 分たってから黒体ヒーターに電流を流し、黒体温度を室内温度以上に上げた後に電流をとめてから測定を行う。

尚、アルミ円筒管内部に混合気体を入れる際は一度真空にした状態から気体を注入しプログラムを開始する。また、大気の状態の場合はアルミ円筒管の真空作業は必要ではない。

#### 4.4 実験手順

温熱源、冷熱源における実験手順は以下のように行う。また測定中は熱源容器をアルミ円筒管上部に固定する。

- (1) 高真空排気装置の **LEAK**、メインバルブが閉じていることを確認する。閉まっていれば **R.P** スイッチを **ON** にする。次に三方向バルブを上に向け、放射冷却炉の内部を荒引きする。一分経過したら三方向バルブを下に向け、**D.P** スイッチを **ON** にする。15分経過したらメインバルブを開ける。また、アルミ円筒管用配管のバルブ **2** が閉まっていて他のバルブが開いていることを確認してからスイッチを **ON** にする。
- (2) 電離真空計の表示器とゲージの端子にケーブルをつなげる。電離真空計の電源を入れ、**ZEROADJ.** のつまみを回し零点を調整する。**FILAMENT** のボタンを押し、**TORR** のつまみを回すことで温暖化効果測定装置内の真空度を測定できる。また、アルミ円筒管内部の真空度は配管上に取り付けてある気圧ゲージで確認できる。
- (3) 氷を入れた容器に熱伝対線の先端を入れる。熱伝対とつながっている銅線の+極に黒シールを貼ってある。氷からの銅線と温暖化効果測定装置にある銅線の+極同士を繋げる。マイクロボルト計の **INPUT** からのクリップは、+極を氷に、-極を温暖化効果測定装置の銅線 (-極) につなげる。
- (4) マイクロボルト計の電源を入れ、**FUNCTION** を  $\mu\text{V}$ 、**RANGE** を **2500** に設定する。**ZERO SET** と **ZERO SUPP** のつまみで、零点を調整する。
- (5) マイクロボルト計の **OUT** からのケーブリングをオシロスコープ、A/D変換器につなげる。
- (6) パソコンで **Labview** を起動する。「**RANGE**」を **2500**、「**プロット**」を **10000** に設定。「**開始**」をクリックすると保存先の選択画面が出る。「**保存する**」を選択すればエクセルのデータとして時間[s]と電圧[ $\mu\text{V}$ ]が記録されていく。「**停止**」で測定が終了。
- (7) 高真空排気装置のメインバルブを閉め、**D.P** スイッチを **OFF** にする。油拡散ポンプの温度が下がったら **R.P** スイッチを **OFF** にして、**LEAK.V**①を少し開け空気を入れてから閉める。アルミ円筒管用配管のバルブ **1** を閉め真空排気装置の電源スイッチを **OFF** にしてバルブ **2** を開けて空気を入れてバルブ **2** を閉じる。



## 第 5 章

### 測定値計算概要

室内温度での熱伝対温度はタイプ K (アルメル,クロメル) の熱起電力表より求め、

測定データの最初の4分間（温度誤差修正分）と起電力表より温度修正をかける。その後測定された電圧は $\mu\text{V}$ であるので計算式(5.1)により温度を求める。

$$T = (-4.7 * 10^{-7})^2 * V + 0.026011 * V \cdot \cdot \cdot \cdot (5.1)$$

T: 温度(°C) V:電圧 (mV)

## 第 6 章

### 測定結果及び考察

### 6.1 温熱源実験結果及び考察

温熱源実験におけるアルミ円筒管内部の状態は「大気の状態」「真空状態」「二酸化炭素 100%状態」「ヘリウム 100%状態」「二酸化炭素 50%+ヘリウム 50%状態」の 5 種類の測定を行った。

各測定結果の測定開始 0 秒から 10 秒までの温度変化率、到達温度と室温の温度差をまとめたものを表 6.1、図 6.2 に示す。

測定結果より大気の状態と真空状態、ヘリウム 100%状態では温度差があまり変化がなくアルミ円筒管内部に二酸化炭素が含まれると到達温度が低くなっていることが分かる。よって二酸化炭素が熱吸収していると考えられる。

昨年度作成された理論値計算より、理論温度到達率は大気の状態が 48.5%、真空状態が 45.7%、二酸化炭素充満状態が 44.3%、ヘリウム充満状態が 48.8%、混合気体状態が 43.7%であった。

表 6.1 温熱源実験測定結果

状態	熱源温度 [°C]	温度差 [°C]	黒体温度変化率 [°C/sec]
大気	76.3	19.3	0.194
真空	75.4	20.2	0.192
CO <sub>2</sub>	70.9	17.1	0.163
He	72.3	19.4	0.163
CO <sub>2</sub> +He	73.4	17.9	0.184

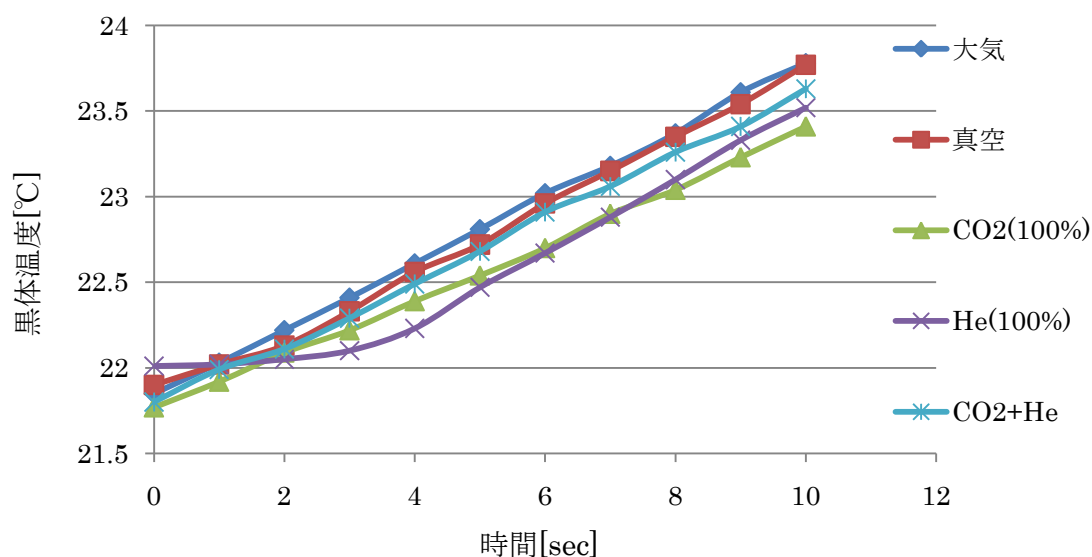


図 6.2 温熱源実験測定結果

## 6.2 冷熱源実験結果及び考察

冷熱源実験におけるアルミ円筒管内部の状態は「大気の状態」「真空状態」「二酸化炭素+ヘリウムの混合気体(比率変更あり)」で行った。比率変更は(0:100)、(25:75)、(50:50)、(75:25)、(100:0)の5種行った。

各測定結果の測定開始0秒から10秒までの温度変化率、到達温度と室温の温度差をまとめたものを表6.3、図6.4に示す。

測定結果より温熱源実験と同じように大気の状態、真空状態、ヘリウム100%状態の3つではほとんど結果が変わらなかった。二酸化炭素の濃度が上がることに比例して到達温度も悪くなっているという結果から二酸化炭素が熱吸収していると考えられる。

また、二酸化炭素100%状態だと熱源黒体にドライアイスが生成され、測定値に大きく影響したため熱源黒体にドライアイスが生成されないようにするためにアルミ円筒管上部をヘリウムで満たす必要性がある。

昨年度作成された理論値計算プログラムより、理論温度到達率は大気の状態が37.5%、真空状態が38.4%、He:100%状態が37.1%、He:75%が29.1%、He:50%が22.6%、He:25%が17.8%、He:0%が21.0%であった。

表 6.3 冷熱源実験測定結果

状態	室内温度 [°C]	温度差 [°C]	温度変化率 [°C/sec]
大気	24.9	22.8	-0.161
真空	21.0	23.7	-0.169
0:100	23.1	22.8	-0.176
25:75	23.1	18.0	-0.160
50:50	23.1	14.1	-0.131
75:25	23.1	10.6	-0.137
100:0	23.1	12.2	-0.073

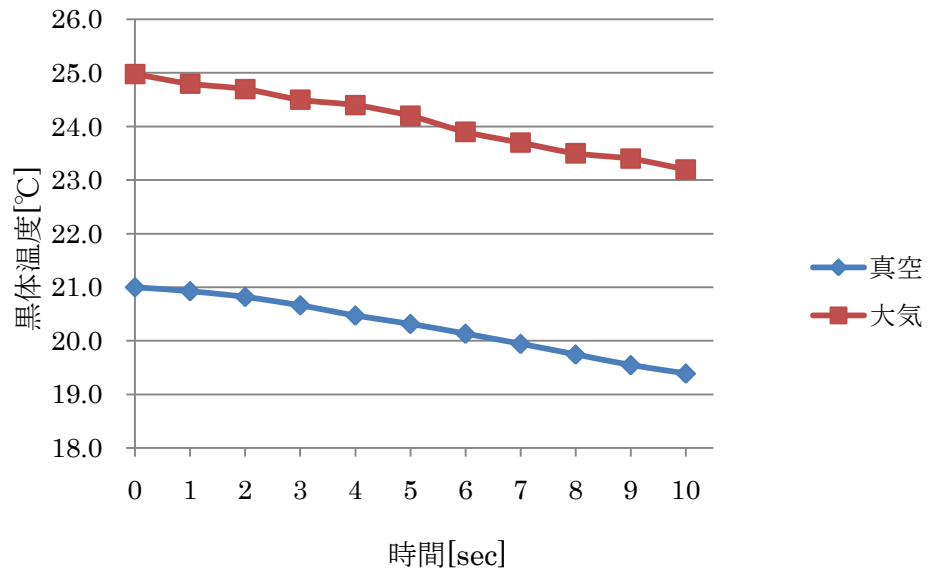


図 6.4 冷熱源実験結果

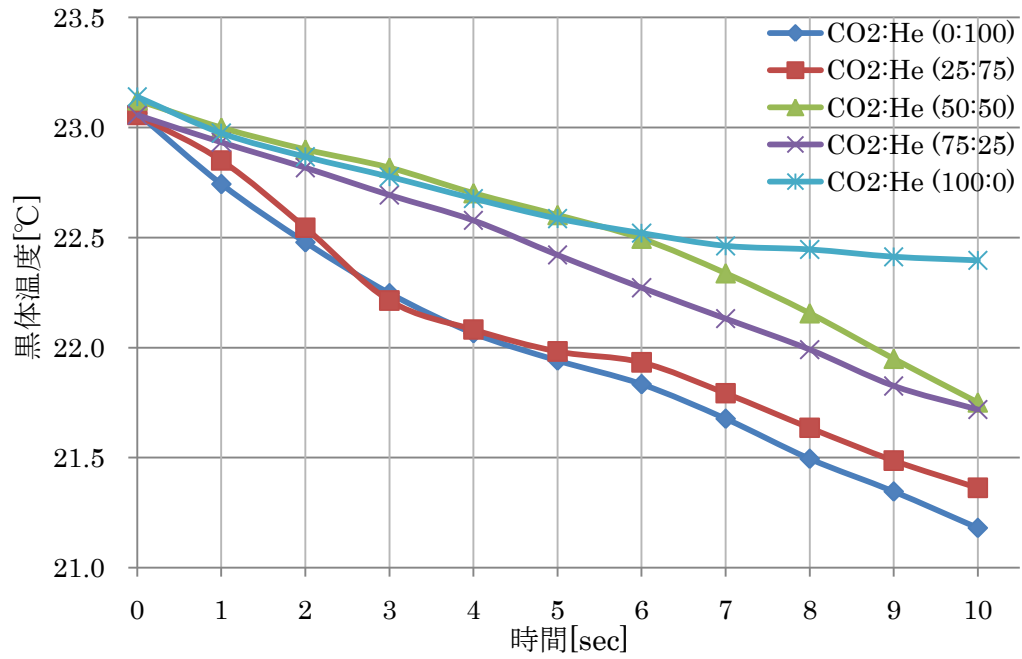


図 6.5 冷熱源実験測定結果

## 第 7 章

## 結言

二酸化炭素が地球温暖化にどれくらい影響しているかを測定するために、擬似的に大気を作るのに赤外線反射アルミ円筒管を作製した。冷熱源実験では黒体温度が温熱源実験ほど目標温度に近づかなかったが、それはシュテファン=ボルツマンの法則により放射エネルギーが温度の4乗に比例することから、冷熱源実験における到達温度が低かったことが説明できる。

また、二酸化炭素濃度と黒体温度変化率の関係図を図 7.1 に示すが、図を見てわかるとおり二酸化炭素濃度が上がれば上がるほどそれに比例して黒体温度変化率が悪くなっていることが分かり、二酸化炭素が地球温暖化に影響していると考えられる。

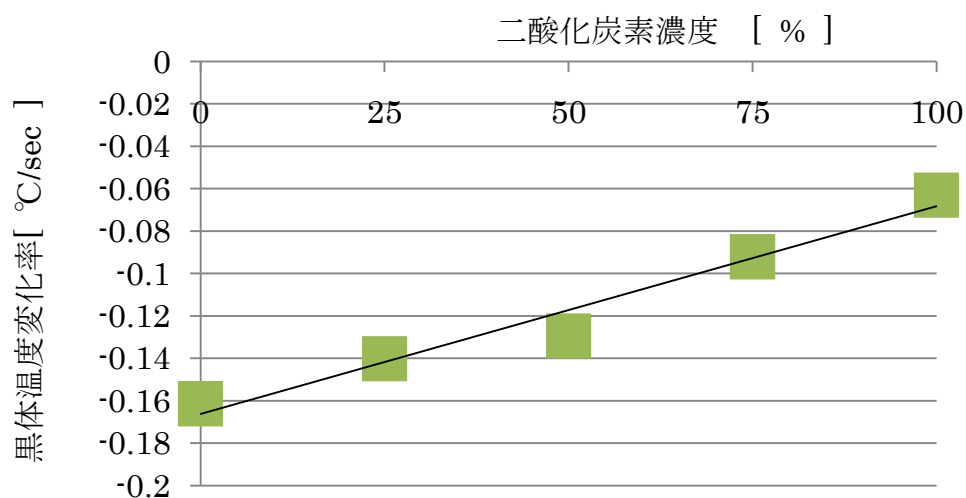


図 7.1 二酸化炭素濃度と黒体温度変化率



参考文献

- (1) 非電化工房 <http://www.hidenkaseihin.net/>
- (2) 平成 21 年度卒業論文「放射冷却炉の研究」福岡工業大学知能機械工学科 坂入圭介、本田洗次郎 指導教員 河村良行教授

## 謝辞

本研究を行うに当たり、ご指導をいただいた河村良行教授に感謝します。また、実験装置作製のためご指導いただいた工作センターの長野先生、大塚先生、平田先生、器具をお貸しくださいましたものづくりセンターのスタッフの皆さま、研究に協力して下さった研究室の皆さまに感謝し、謝辞を表します。