ICARUS を使用した
高高度撮影および大気汚染度の測定

香川高等専門学校　宇宙開発研究部

気象観測機器コンテスト 2 次審査報告書

開発者
機械電子工学科　5 年　　谷本大航
機械電子工学科　4 年　　入谷啓介
電気情報工学科　3 年　　平山覚也
担当教員
電気情報工学科　准教授　村上幸一

目次

第 1 章　緒論
1-1　実験背景・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・p1
1-2　既存の大気計測装置・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・pp2-3
1-3　実験目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・p4

第 2 章　実験方法
2-1　大気回収装置の作製・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・p5
2-2　バルーンサット実験・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・p5

第 3 章　プログラム
3-1　プログラム制作の背景・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・p6
3-2　使用した機材の詳細・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・pp6-7
3-3　事前準備 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・pp7-8
3-4　プログラムの制作・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・pp8-9
3-5　地上での実行結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・p9

第 4 章　装置・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・pp10-26

第 5 章　実験結果
5-1　実験条件・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・pp27-28
5-2　実験結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・pp28-38

第 6 章　考察
6-1　地球の大気汚染に関する考察・・・・・・・・・・・・・・・・・p40
6-2　地上と高度 10km における大気の比較及び考察・・・・・・・・・p40
6-3　地上と高度 20km における大気の比較及び考察・・・・・・・・・p41
6-4　バルーンの経路における考察・・・・・・・・・・・・・・・・・p41

第 7 章　まとめ
7-1　まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・p42
7-2　参考文献・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・p42

謝辞・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・p43

第１章　緒論

1-1 実験背景

近年、環境に対する深刻な問題として大気汚染が挙げられる。大気汚染とは工場から排出される汚染ガスや自動車等の排気ガスといった汚染物質によって引き起こされる公害であり、自然環境への悪影響や人体への害が懸念されている。世界保健機構(WHO)の報告によると、大気汚点が原因で肺がんや呼吸器疾患にかかり 2019 年時点で年間約 880 万人が死亡している。日本でも、昭和 43 年に大気汚染防止法に基づき都道府県及び大気汚染防止法上の政令市において大気汚染状況の常時監視が行われている。このように大気汚染状況を知ることは今後の環境問題に向き合っていく上で必要不可欠である。しかし現在行われている大気汚染度の計測では各地方ごとのデータはあるものの上空の大気汚染状況を計測する装置は少ない。そこで我々は各高度における大気汚染状況を計測するためバルーンサットを使った実証実験を行うこととした。

バルーンサットとは、風船内にヘリウムガスを注入して得た浮力により上空 30km 付近まで上昇する気球のことである。上昇後は気圧差で風船が破裂しパラシュートによって降下する。バルーンサットにペイロードとして大気回収用の装置を搭載すればバルーンの回収後、上空の大気汚染状況を持ち帰ったサンプルから計測することができる。

1-2 既存の大気計測装置

1-2-1　フッ素化合物計測器

フッ素化合物は、フッ素化合物を多く含む原料を使用するアルミニウム精錬工場、肥料工場、窯業などの工場排ガスを発生源とする大気汚染物質である。測定方法はイオン電極法と吸光光度法の 2 種類がある。

イオン電極法では、大気中に含まれるガス状無機フッ素化合物を、緩衝液中に捕集溶解させ、この溶液中のフッ素イオン濃度をイオン電極法によって測定し、大気中のガス状無機フッ素化合物濃度を 1 時間、あるいは 3 時間を周期として記録する。

吸光光度法では、大気中に含まれるガス状無機フッ素化合物を吸収発色液中に捕集溶解させ、この溶液中のフッ素イオン濃度を吸光光度法によって測定する。

1-2-2　塩素化合物計測器

塩化水素ガスは、350ppm 程度の濃度でも人体への害が懸念されており大気汚染防止法で有害物質として区分されている。測定方法は、イオン電極法である。
イオン電極法は、塩化水素ガスの水にきわめて溶けやすく、水分の存在のもとで多くの金属と活発に反応する特性を利用する. 焼却炉等でも利用されている排ガス中塩化水素ガス測定器は湿式の装置であり、塩素イオン選択電極を検出器とした方式が主流である。

1-2-3　硫化水素計測器

硫化水素は、製紙やパルプ工業、石油精製、石油化学工業など、広い分野で関連があり、有毒でかつ悪臭の強いガスである。測定方法は、試験紙光電光度法、非分散形赤外線吸収法などがある。

試験紙光電光度法は、酢酸鉛を含浸させたテープ状の試験紙に、試料大気を一定の流速で通過させ、硫化水素と反応して生ずる硫化鉛による褐色の濃淡の程度を光電的に測定し、硫化水素濃度を測定する方法である。

非分散形赤外線吸収法は、硫化水素を二酸化硫黄に変換するコンバータと非分散形赤外線吸収法の二酸化硫黄計測器とを組み合わせ、さらにサンプルスイッチング方式を採用し極微量の硫化水素を測定する方式である。

1-2-4　アンモニア計測器

アンモニアは、悪臭防止法によって、大気中濃度の許容限度が定められている有害な物質である。測定方法は、紫外吸光光度法、化学発光法などが挙げられる。

紫外吸光光度法は、アンモニアのスペクトルのうち、透過率の極小値と極大値から得られる光強度変調信号を利用した測定方法である。この光強度変調信号の振幅が、透過光の吸収の強さに比例することを利用してアンモニア濃度を測定する。

化学発光法は、特殊金属その他の還元触媒を用いて、排ガス中に共存する NOx とアンモニアを還元反応させ、その結果減少した NOx 濃度を化学発光法一酸化窒素計測器で検出し、等価的にアンモニア濃度として測定するものである。

1-2-5　試料非吸引方式による排ガス計測器

SOx や NOx と呼ばれる排ガスは大気汚染の原因となる有害物質である。測定方法は、波長非分散法、波長分散法が挙げられる。

波長非分散法は、 試料ガスに対し測定対象成分の特異な吸収波長に合わせた半導体レーザなどからの単色光を照射し、その透過光の吸収量を測定し濃度を連続的に求める方法である。 測定成分は、一酸化窒素、 一酸化二窒素、 一酸化炭素、二酸化炭素、アンモニア、塩化水素、メタン、水分がある。

波長分散法は、 試料ガスに対しキセノンランプなどの光を照射し、その透過光を分光して、測定対象成分の特異な吸収波長光を検出する事により濃度を連続的に求める方式である。測定成分は、二酸化硫黄、一酸化窒素、 一酸化二窒素、 二酸化窒素、一酸化炭素、二酸化炭素、アンモニア、塩化水素、メタン、水分がある。

1-2-6　バーティクルカウンタ

空気中や液体中にある埃や不純物などの微粒子を計数する計測器である。微粒子計測器の流路を通過する微粒子にレーザ光が当たると散乱光を発する。その微粒子からの光の散乱の強さを測り、大きい粒子ほど散乱光は強くなることを利用して、その粒子の大きさに比例した光強度を電気信号として読み取り、大きさを判定する。そこから粒子数を測定する。上記の測定は、装置が大きく地上で使うことを目的としているため上空の大気測定を行うことは難しい。そこで上空の大気を地上に持ち帰ることが必要だと考えられる。

1-3 実験目的

1. 上空の大気汚染状況を知るためにバルーンサットを用いて各高度ごとの大気を回収する。

2. 持ち帰った大気に含まれた成分を分析するためにパーティクルカウンタを用いて粒径ごとの個数を計測する。

3. バルーンサットの放球から海上での回収までの過程をアクションカメラで撮影し、地球の様子を観測する。

第 2 章　実験方法

2-1 大気回収装置の作製

(1) レール固定具(大気留め具側・DC モーター駆動側)、ピストン固定具、DC モータ固定具、大気留め具、たわみ防止具、大気留め固定具を 3D プリンターで出力した。

(2) DC モータにピニオンギアを取り付け、DC モータ固定具に固定させた。

(3) スライダーにラックギアと大気留め固定具を接着し、ラックギアにたわみ防止具を付けた。

(4) 大気留め固定具と大気留め具を接合し、レール固定具とレールを合致させた。

(5) 発泡スチロールに 3 か所穴を開け、中央の穴にカメラを固定し左右の穴にレールが突き出るようにレール固定具(大気留め具側)を発泡スチロールに固定させた。

(6) ピストンの開口部先端にφ3.75 のパッキンを取り付け、ピストンとピストン固定具を接合した。

(7) レール固定具(DC モーター駆動側)とピストン固定具を発泡スチロールに硬化剤入り 2 液タイプのボンドで接着し、レールとスライダーを連結させた。

(8) ピニオンギアとラックギアがかみ合うように DC モータ固定具を発泡スチロールに固定させ、大気留め具をピストン開口部が塞げるように大気留め固定具と接着させた。

(9) Raspberry Pi に DC モータとモバイルバッテリーを接続し、浸水を防ぐため発泡スチロールの上方に取り付けた。

2-2 バルーンサット実験

(1) ペイロード落下時に使用するパラシュートを実験日の風速等を考慮して製作した。

(2) フライトシミュレータで実験日のバルーン経路を確認した。

(3) 発泡スチロールに防水加工(コーキング材とガラステープで補強)を施し、バルーンと発泡スチロールを繋いだ。

(4) ペイロードの側面にカメラを固定した。

(5) バルーン内にヘリウムガスを充填し、放球した。

(6) GPS で追跡しながら回収した。

第 3 章　プログラム

3-1　プログラム制作の背景

今回機器を製作するにあたって、空気を回収した注射器をどう密閉するかが大きな課題の一つであった。装置製作チームと話し合った結果、DC モータを使って蓋を閉じることで空気を回収することになり、モータの制御プログラムの制作を行うこととなった。

3-2　使用した機材の詳細

モータ制御に使用した機材を表 3-1 に示す。

表 3-1　使用機材

使用機器	型式
マイコン	Raspberry Pi3
	Raspberry Pi4
モータドライバ	TOSHIBA TA8428K JAPAN 834KC1
セラミックコンデンサ	0.1［μF］
ジャンパ線	
ブレッドボード	
バッテリー	

次に、モータドライバのブロック図と端子の説明を図 3-2 と表 3-3 に示す。

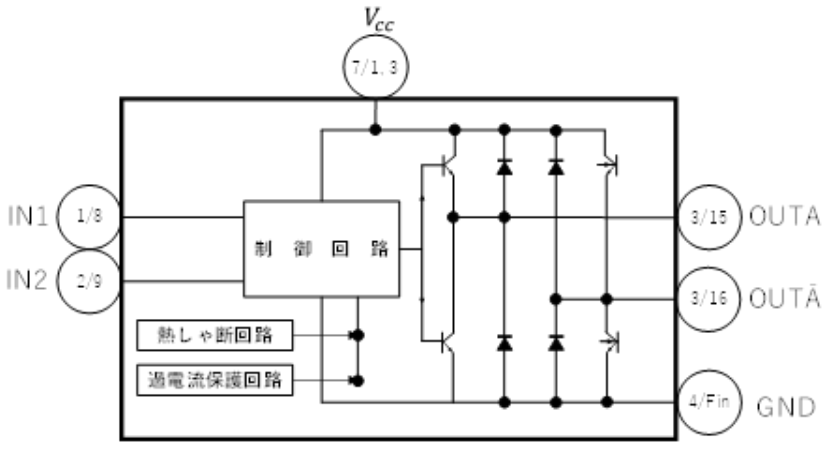


図 3-2　モータドライバのブロック図

表 3-3　モータドライバの端子説明

端子番号		端子記号	端子説明
K	FG		
1 2	8 9	IN1 IN2	出力の状態を制御する素子. PNPタイプの電圧コンパレータを内蔵する.
3	15	OUTA	DCモータがつながる端子でSink, SourceともKタイプで1.5A, FGタイプで0.8Aの電流容量をもつ. また, モータの逆起電圧吸収用のダイオードをVcc側とGND側に内蔵している.
4	Fin	GND	接地端子.
5	16	OUTĀ	OUTAピンとの間にモータがつながる端子で, OUTAピンと同様の機能をもつ.
6	他ピン	N.C	Non Connection
7	1, 3	Vcc	電源端子.

3-3　事前準備

3-3-1 Raspberry Pi のセットアップ

プログラムを制作する前に Raspberry Pi のセットアップを行い、”sudo apt install python-gpiozero”を入力して gpiozero ライブラリをインストールした。Raspberry Pi3 はこれでセットアップ完了だが、Raspberry Pi4 の場合は gpiozero ライブラリに対応していないため、図 3-4 のコマンドを先に実行してアップデートする必要がある。

```
1   $ cd /tmp
2   $ wget https://project-downloads.drogon.net/wiringpi-latest.deb
3   $ sudo dpkg -i wiringpi-latest.deb
```

図 3-4　gpiozero のアップデートコマンド

3-3-2 Raspberry Pi と機器の接続

Raspberry Pi のセットアップ完了後、モータ、Raspberry Pi とモータの接続をジャンパ線とブレッドボードで表 3-5 のように行い、モータとジャンパ線をはんだ付けした。また、ノイズによる誤動作を防ぐため、モータの両端にセラミックコンデンサをはんだ付けした。

ジャンパ線はブレッドボードなどから抜けてしまう恐れがあるため、先端を切断して補強パーツに接続するなどの対策を行った。また、Raspberry Pi はモバイルバッテリーから電源を供給した。

表 3-5 モータドライバの接続

端子番号	端子記号	説明
1	IN1	GPIO14
2	IN2	GPIO15
3	OUTA	DC モータへ
4	GND	GND
5	OUTĀ	DC モータへ
6	N.C	未接続
7	Vcc	5V

3-4 プログラムの製作

プログラムを図 3-6、図 3-7 のように記述し、crontab で起動時実行できるようにした。今回は、10 km 地点と 20 km 地点の空気を採取する。約秒速 7 m で上昇する気球を使用することから、現地で気球を準備するまでの 5 分間を考慮し、約 29 分後と約 52 分間後にモータが起動できるように調整した。

```python
# -*- coding: utf-8 -*-
from gpiozero import Motor
from time import sleep

### TA8428K モータドライバテスト ###

motor = Motor(14, 15) # GPIO14をIN1へ、GPIO15をIN2へ繋ぐ

sleep(1730) # 約29分間静止する

motor.forward(1.0) # 1.0はモータの速度

sleep(0.5) # 0.5秒間正転し続ける

motor.stop()
```

図 3-6 Raspberry Pi4 のプログラムのソースコード

```python
# -*- coding: utf-8 -*-
from gpiozero import Motor
from time import sleep

### TA8428K モータドライバテスト ###

motor = Motor(14, 15) # GPIO14をIN1へ、GPIO15をIN2へ繋ぐ

sleep(3160) # 約52分間静止する

motor.forward(1.0) # 1.0はモータの速度

sleep(0.5) # 0.5秒間正転し続ける

motor.stop()
```

図 3-7 Raspberry Pi3 のプログラムのソースコード

3-5 地上での実行結果

プログラムは問題なく作動し、既定の時間がたつとモータが作動したほか、装置のレールの上のベルトを動かし、蓋を閉じることに成功した。

第 4 章　装置

今回のバルーンサット実験で使用した大気回収装置内の部品図を以下に示す。

1.　ピストン固定具の等角投影図と三面図を図 4-1、4-2 に示す。この部品は、大気の回収に用いるピストンを固定し、回収する際に大気留め具の位置を調節する際に使用する。
2.　レール前側の固定具の等角投影図と三面図を図 4-3、4-4 に示す。この部品は、大気留め固定具を取り付けているスライダーを水平に動作させるために使用する。
3.　大気留め固定具の等角投影図と三面図を図 4-5、4-6 に示す。この部品は、スライダーに取り付けることで前後への移動を可能にし、側面に大気留め具を付けることでピストンと大気留め具の接触を安定させるために使用する。
4.　大気留め具の等角投影図と三面図を図 4-7、4-8 に示す。この部品は、DC モータの回転によってスライダーを引き、ピストンと接触させて回収する大気が漏れるのを防ぐために使用する。
5.　DC モータ固定具を図 4-9、4-10 に示す。この部品は、ラックギアを動作させ、スライダーの移動に使う DC モータを固定するために使用する。
6.　レール後側の固定具の等角投影図と三面図を図 4-11、4-12 に示す。この部品は、前側のレールとラックギアを介して固定し、DC モータ駆動時にぶれを起こさず水平に動作させるために使用する。
7.　たわみ防止具の等角投影図と三面図を図 4-13、4-14 に示す。この部品は、DC モータを動作させたときにラックギアがたわむのを防ぐために使用する。
8. ピストンを図 4-15 に示す。この部品は、回収した大気を保持するために使用する。
9. レールを図 4-16 に示す。この部品は、溝状の部分にラックギアを入れることによって、DC モータを水平に動作させるために使用する。
10. スライダーを図 4-17 に示す。この部品は、ラックギアと接着して大気留め固定具を付けることによって大気の回収を可能とするために使用する。
11.　ピニオンギアを図 4-18 に示す。この部品は、DC モータに固定してラックギアと噛合わせることでラックギアを可動させるために使用する。
12.　ラックギアを図 4-19 に示す。この部品は、スライダーに取り付け、ピニオンギアと噛合わせることによって大気留め具をピストンの開口部に真直ぐ移動させるために使用する。
13.　モバイルバッテリーを図 4-20 に示す。この部品は、DC モータと連結させることで実験中の電源容量確保を行うために使用する。
14.　DC モータを図 4-21 に示す。この部品は、大気留め具の駆動に用いる。

15.　回収機体の全体図を図 4-22 に示す。

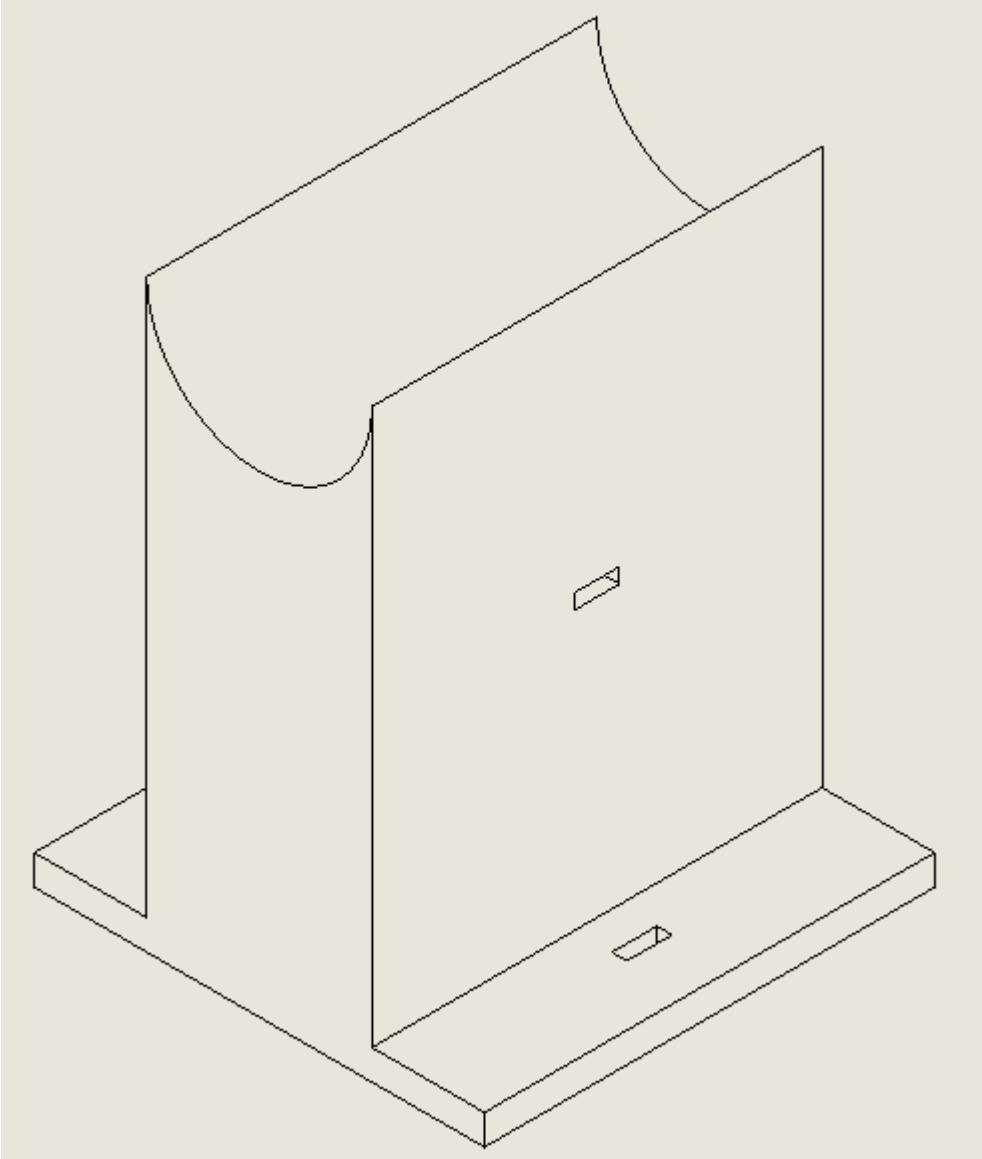


図 4-1　ピストン固定具　等角投影図

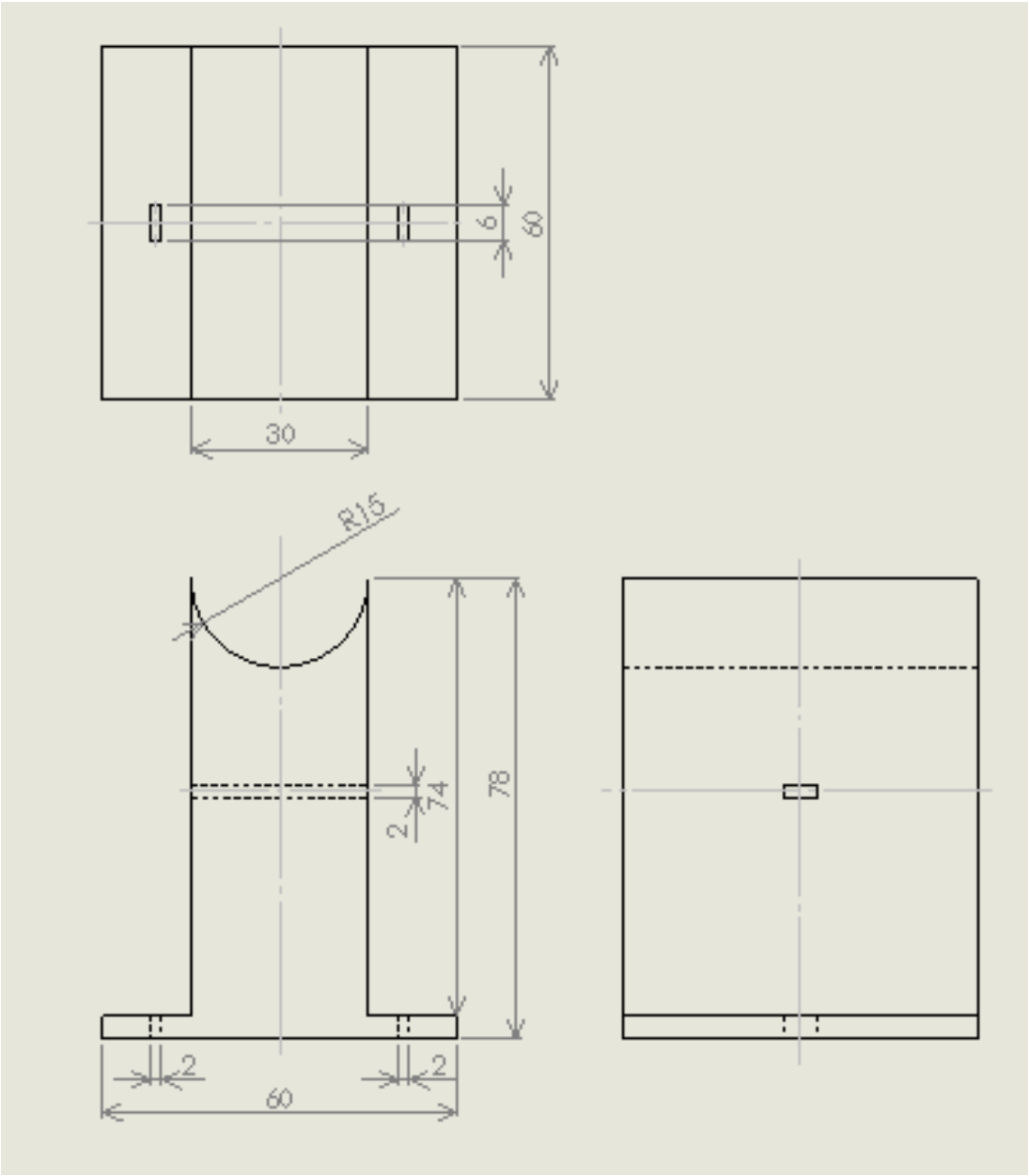


図 4-2 ピストン固定具　三面図

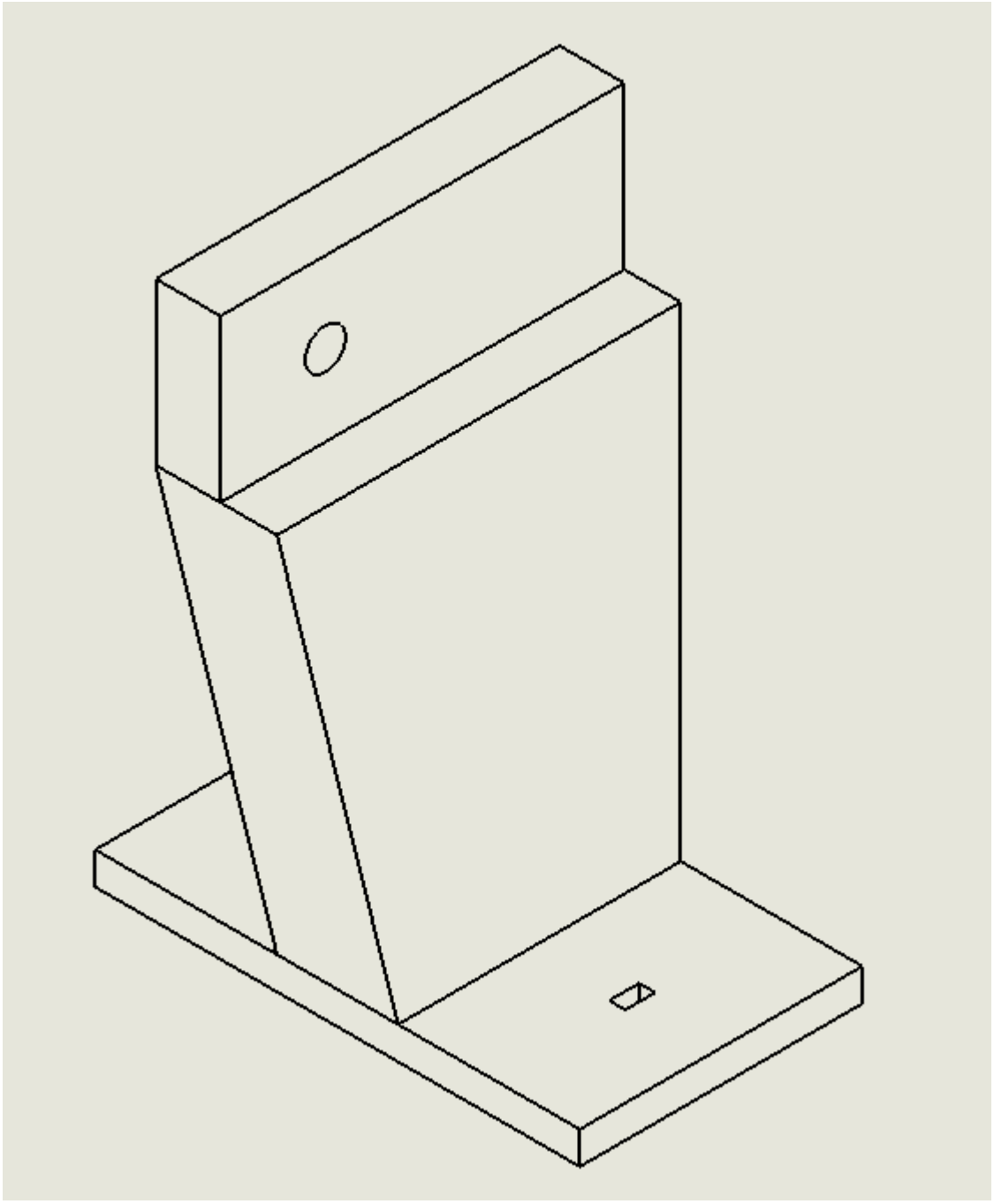


図 4-3 レール前側固定具　等角投影図

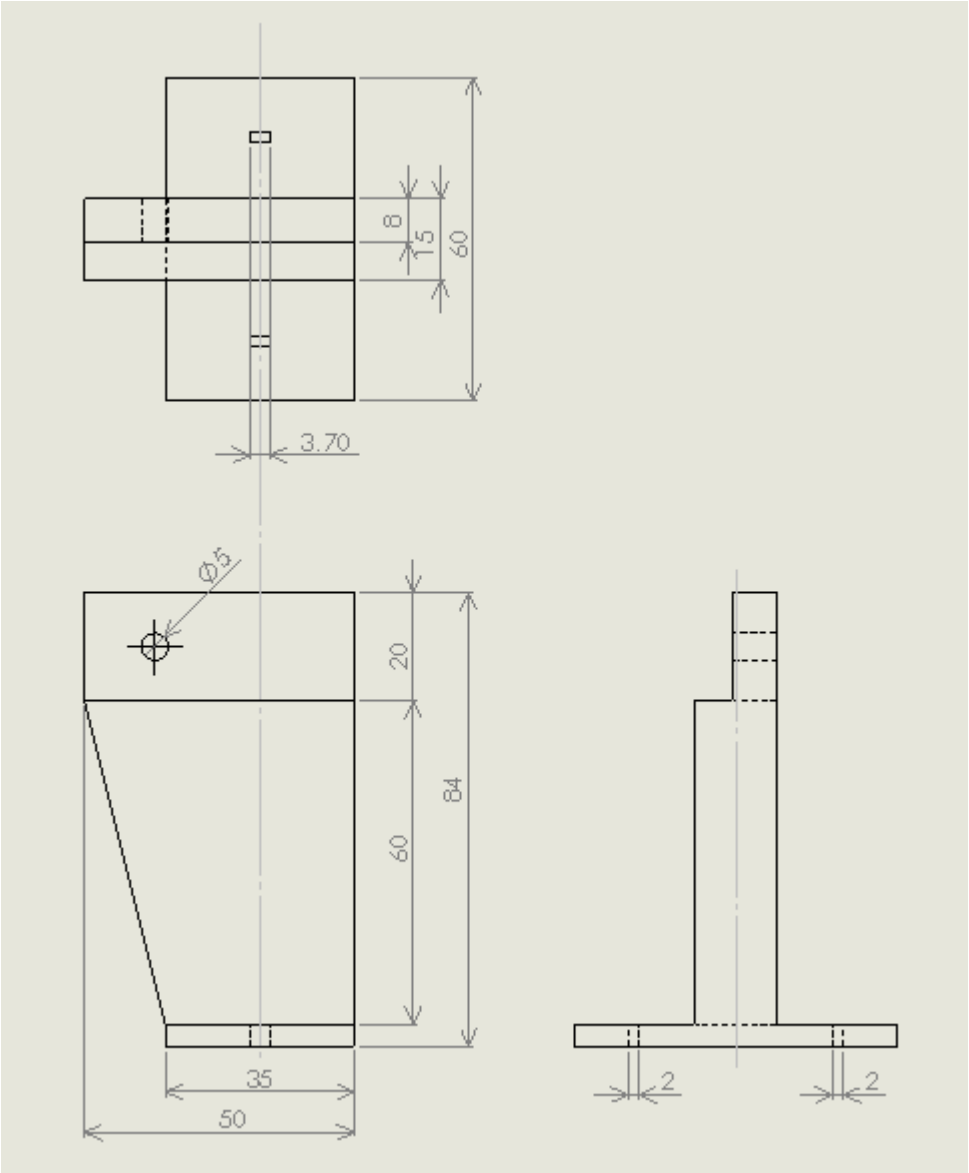


図 4-4 レール前側固定具　三面図

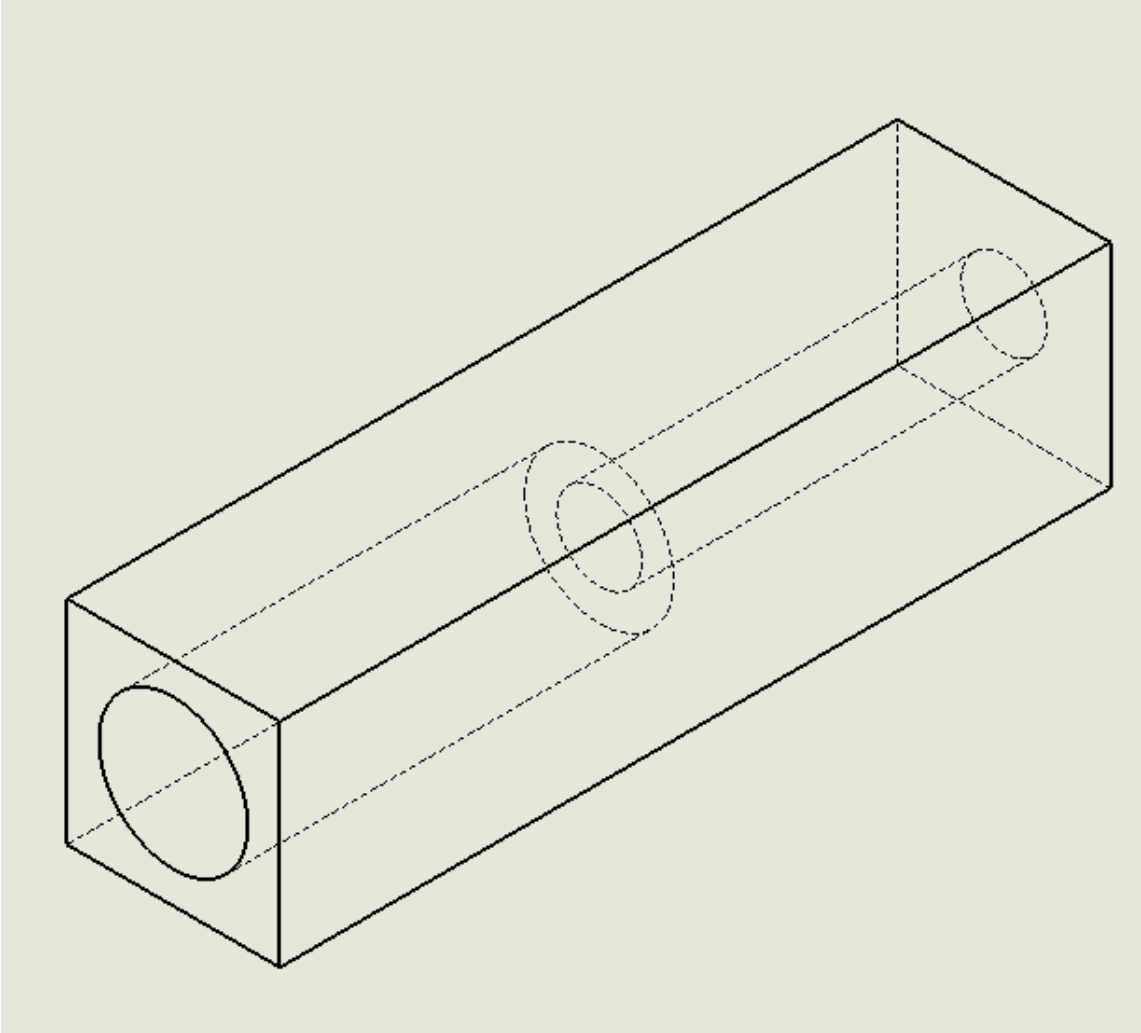


図 4-5 大気留め固定具　等角投影図

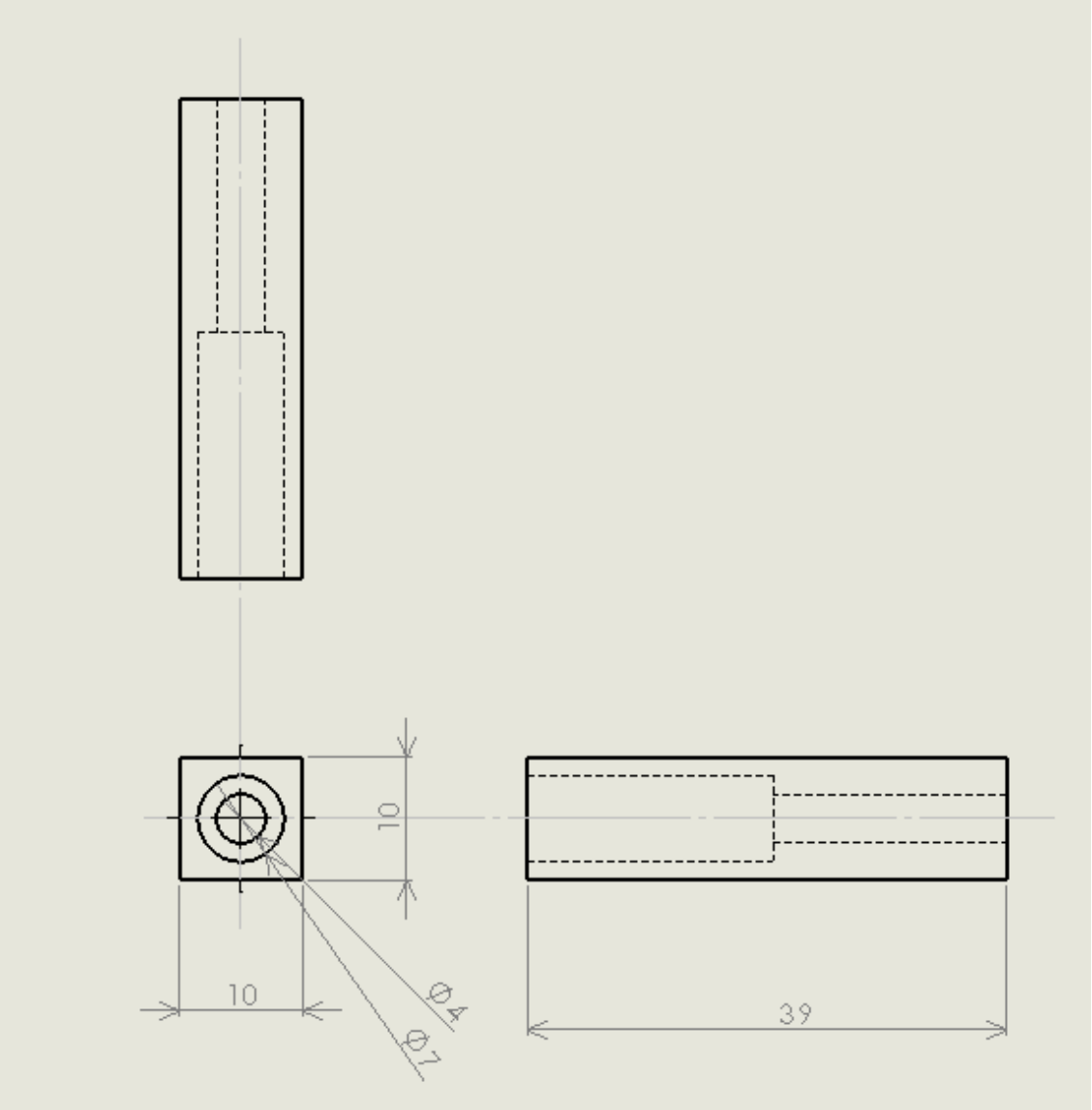


図 4-6　大気留め固定具　三面図

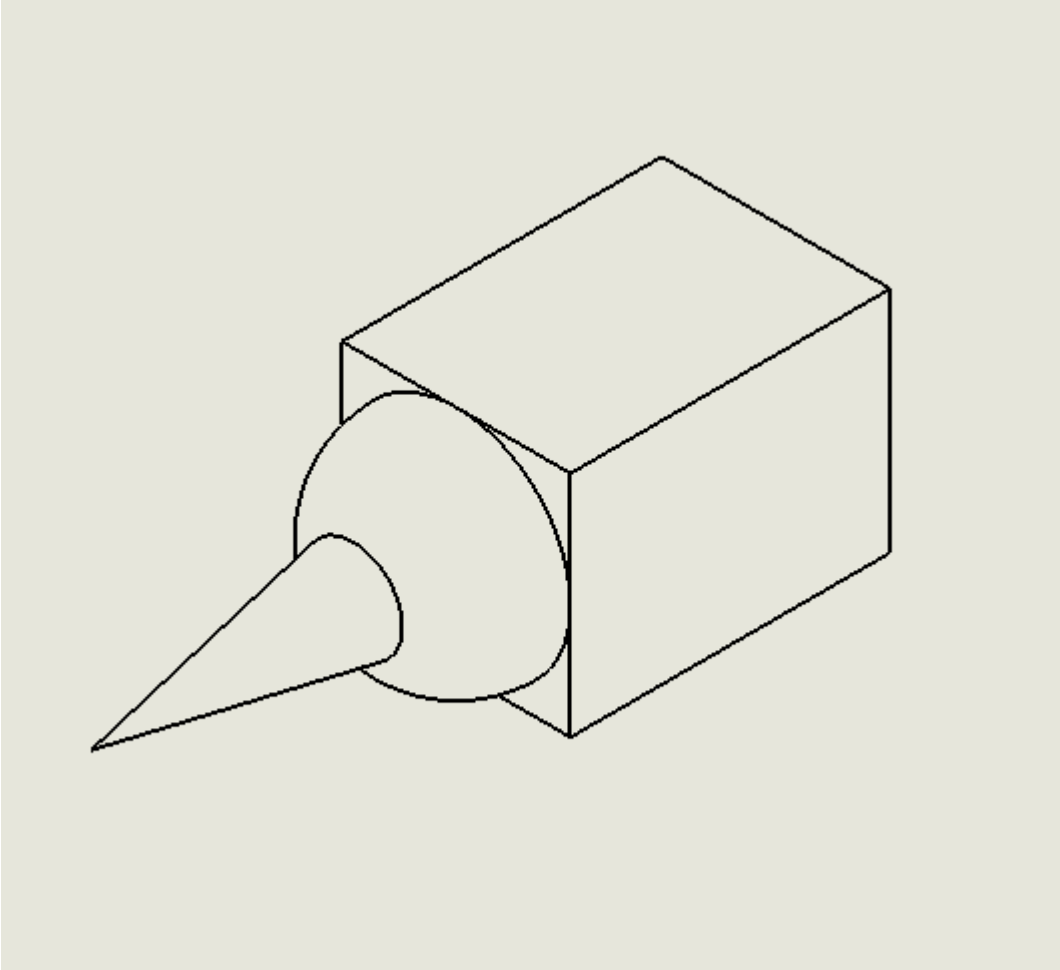


図 4-7　　大気留め具　等角投影図

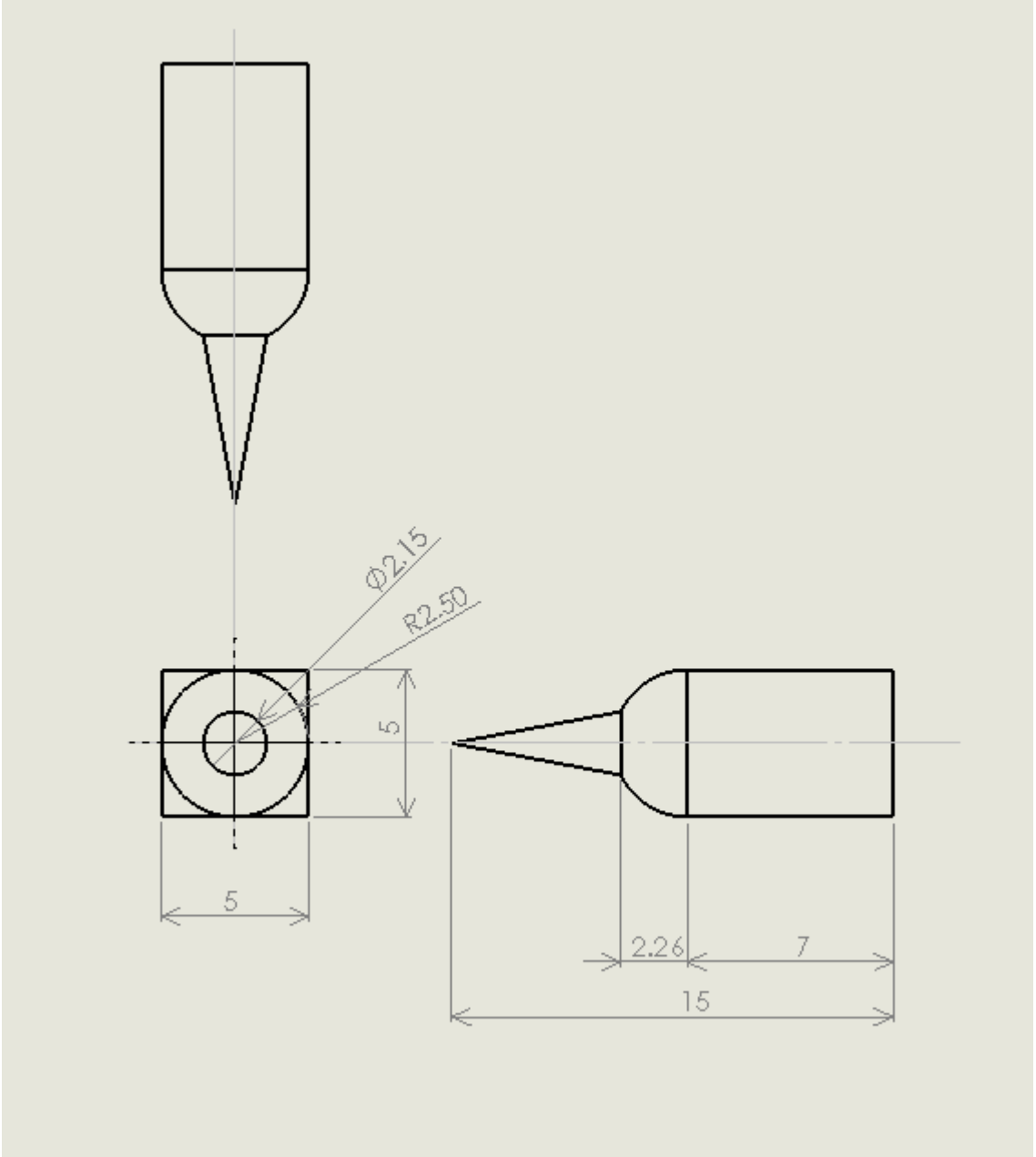


図 4-8　大気留め具　三面図

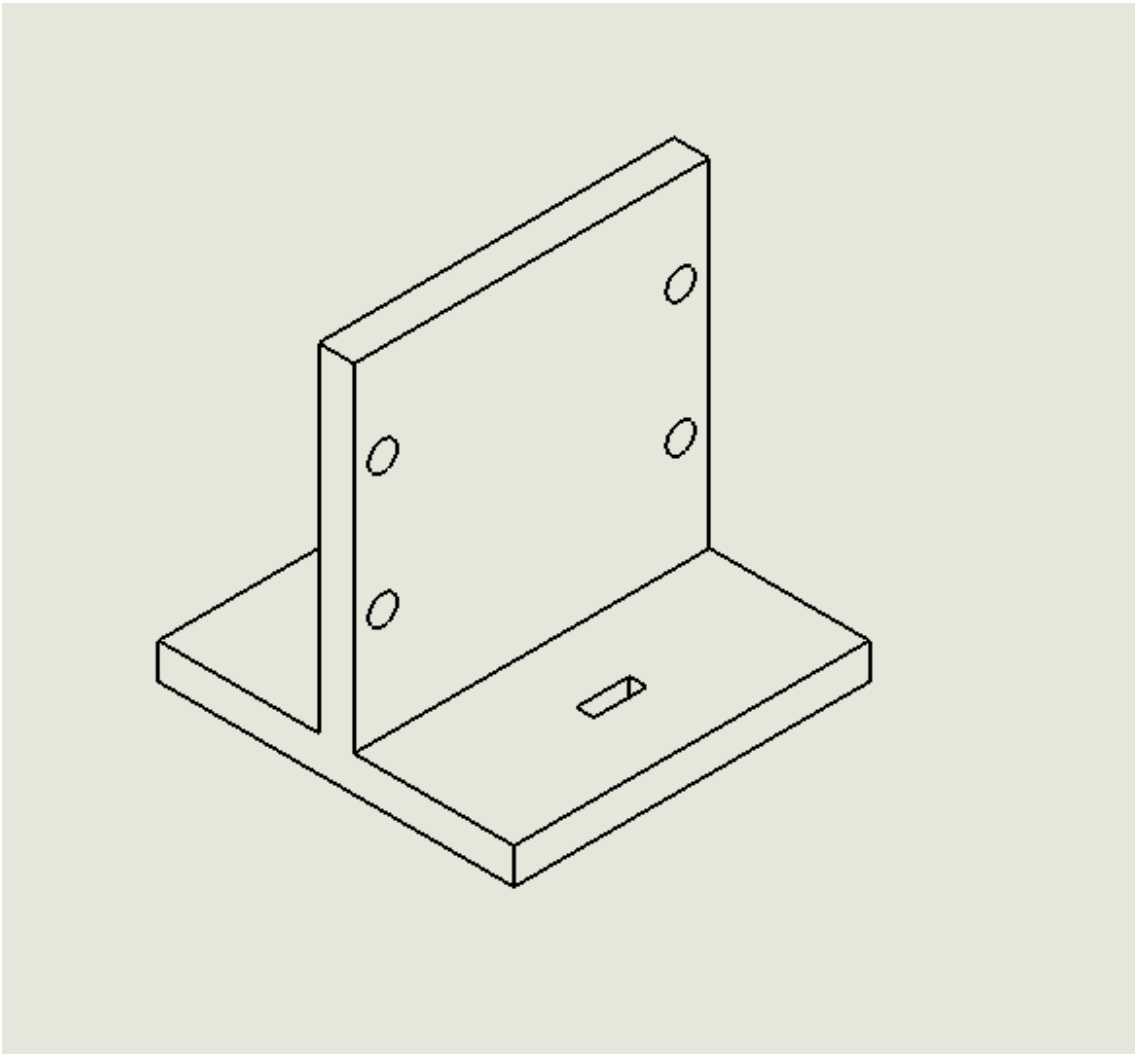


図 4-9　DC モータ固定具　等角投影図

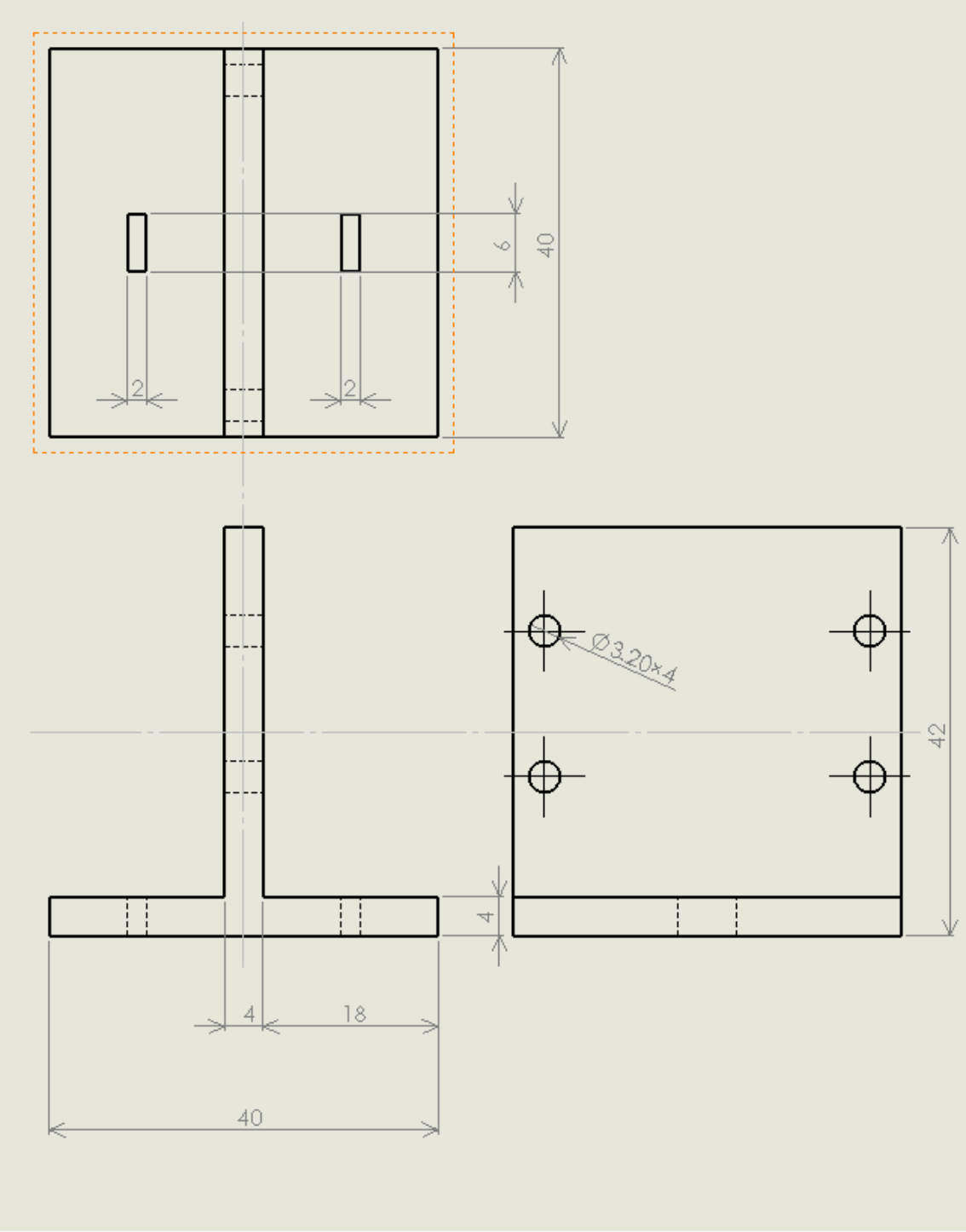


図 4-10　DC モータ固定具　三面図

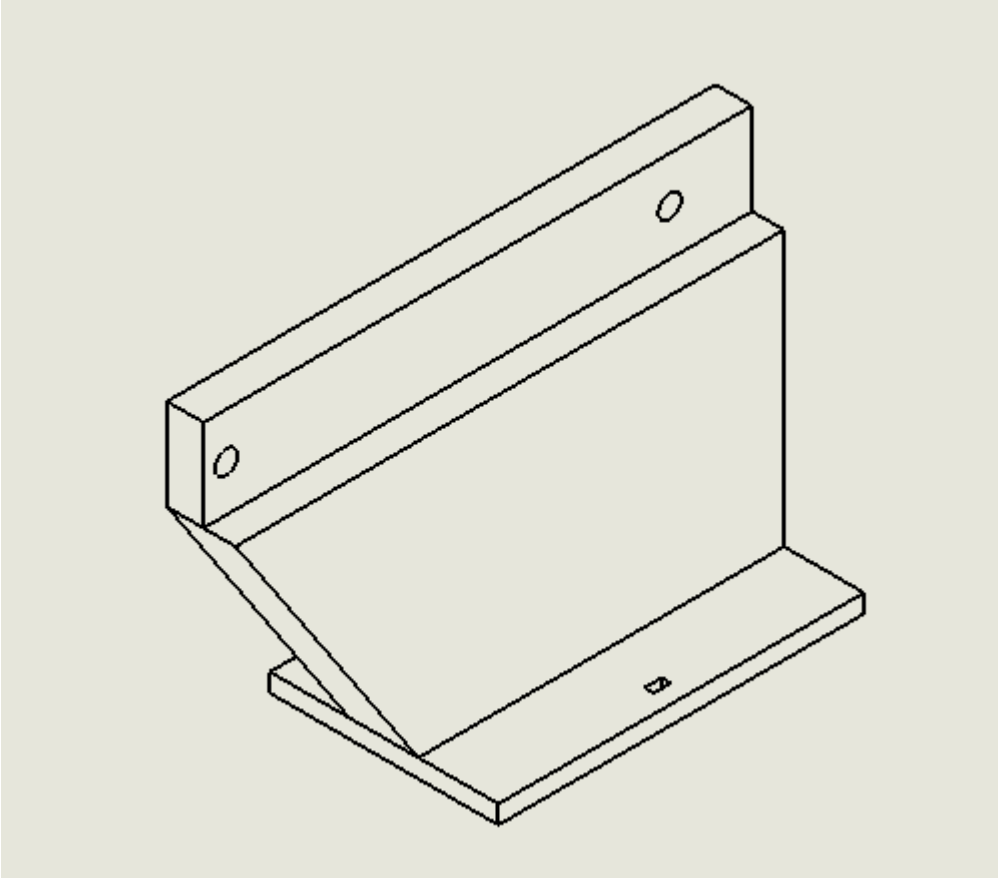


図 4-11　レール後側固定具　等角投影図

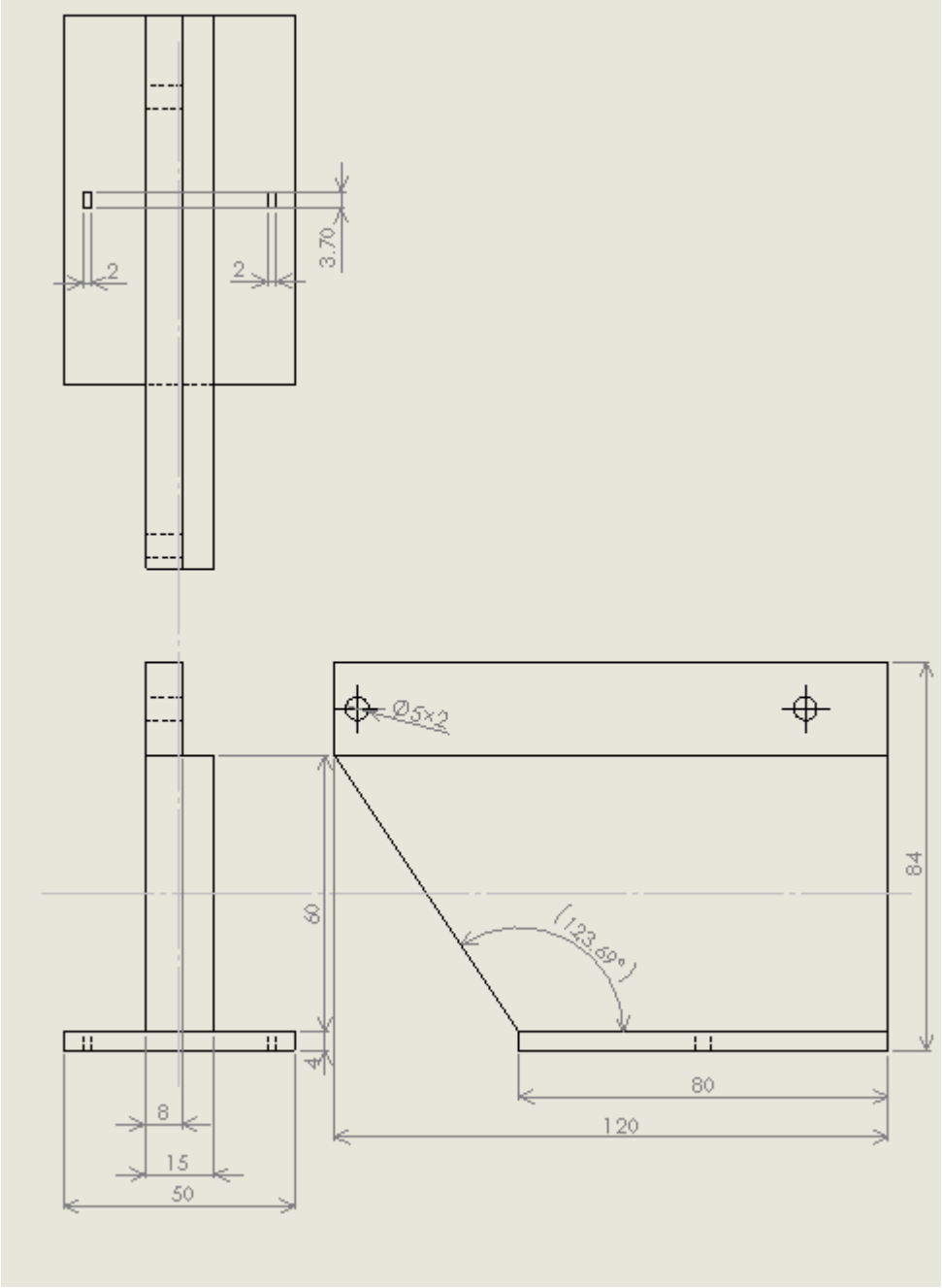


図 4-12　レール後側固定具　三面図

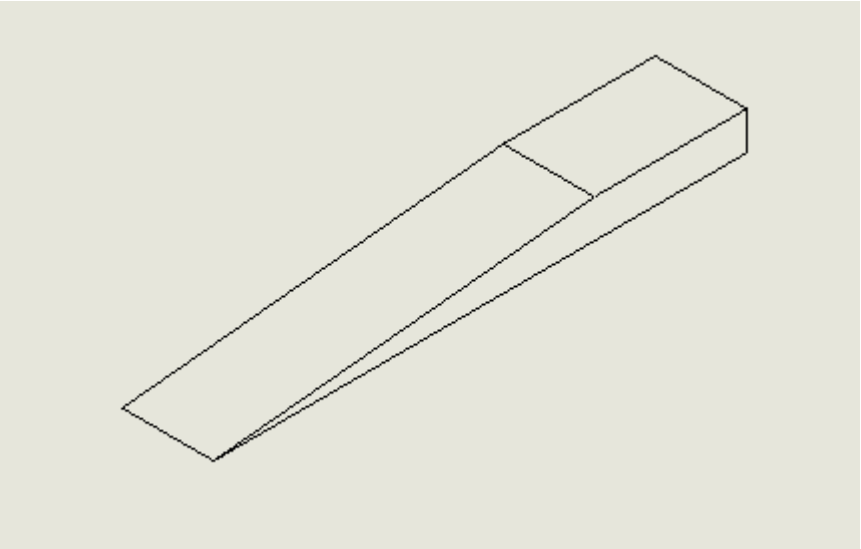


図 4-13　たわみ防止具　等角投影図

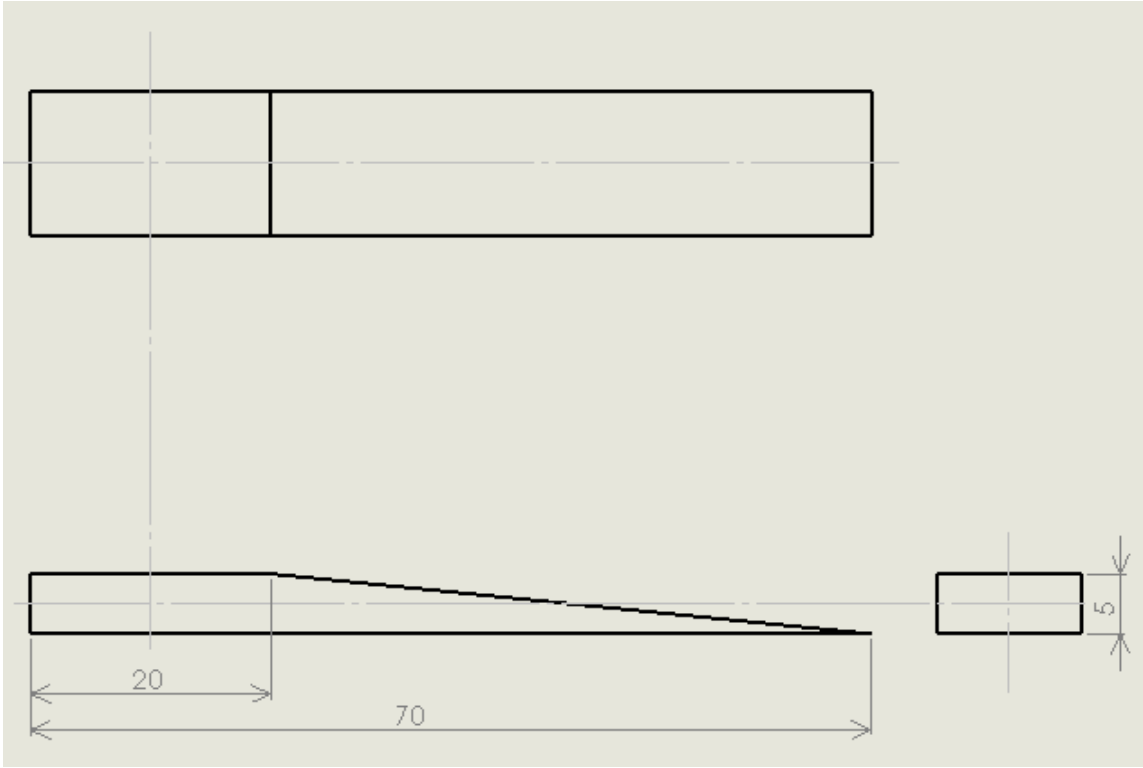


図 4-14　たわみ防止具　三面図

図 4-15　ピストン

図 4-16　レール

図 4-17　スライダー

図 4-18 ピニオンギア

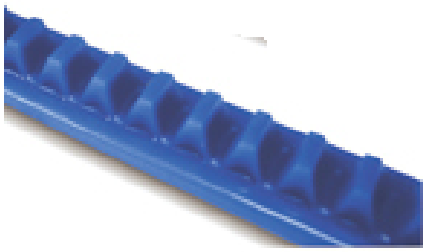


図 4-19　ラックギア

図 4-20　モバイルバッテリー

図 4-21　DC モータ

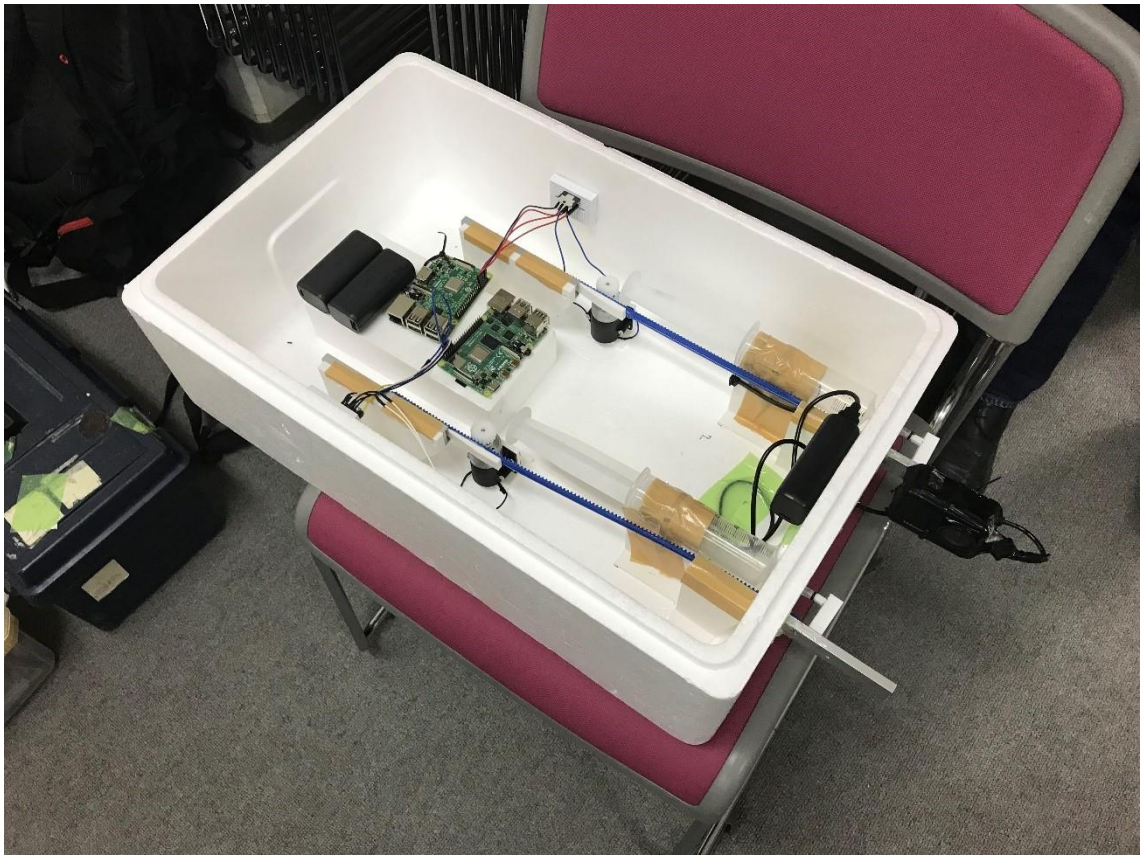


図 4-22　回収機体全体図

第 5 章　実験条件・結果

5-1 実験条件

今回のバルーンサット実験の実験条件を下記に示す。

- 実験日時
  2021 年 10 月 24 日（日）　13:00～
- 実験場所
  放球地点 ： 愛媛県立宇和島東校津島分校グランド（愛媛県）
  バルーン回収地点 ： 安芸市周辺海域（高知県）
- シミュレーション経路
  シミュレーションにより得られたバルーンの経路を図 5-1 に示す。

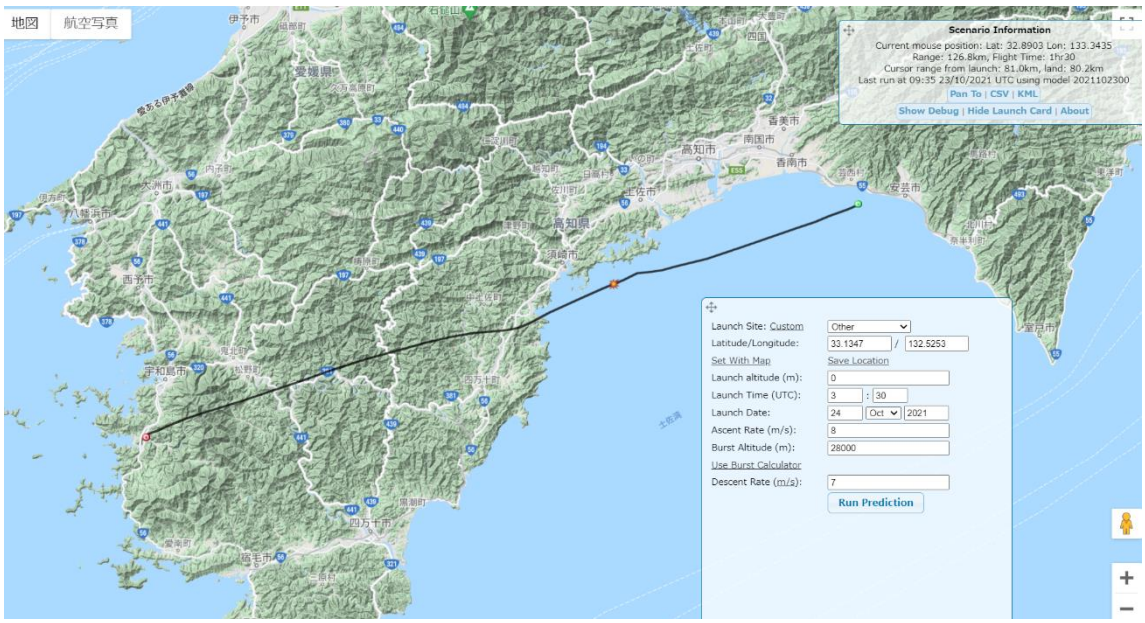


図 5-1　シミュレーション経路

- 気象データ

気象庁のホームページより実験日の気象データを以下に示す。データは和歌山県の潮岬のものを参考に用いる。

また、各高度ごとの風速と風向のデータ(和歌山県潮岬 10 月 24 日 9 時)を表 5-1 に示す。

降水量 ： 9.0mm
平均気温 ： 18.9℃
最低気温 ： 16.2℃
最高気温 ： 22.0℃
日照時間 ： 5.6 時間
全体日射量 ： 12.1MJ/㎡
平均雲量 ： 5.5

表 5-1　各高度における風速と風向

気圧(hPa)	ジオポテンシャル高度(m)	風速(m/s)	風向(°)
1017.7	70	2.2	30
808.4	1977	4	129
609.5	4229	10	295
411.8	7195	32	260
199.7	12178	57	258
27.7	24418	15	235

5-2 実験結果

1. バルーンの放球から回収までの写真を写真 5-1 から 5-12 に示す。

下記に示した写真のようにバルーン実験は放球から回収まで成功させることができた。当初の目的であった上空の大気を回収するミッションは、ピストンを完全に密封することができなかった。よって回収した大気には放球から回収までに通過した地点の粒子を含んでいると考えられる。

写真 5-1　放球前の様子

写真 5-2　滞空時の様子(1)

写真 5-3　滞空時の様子(2)

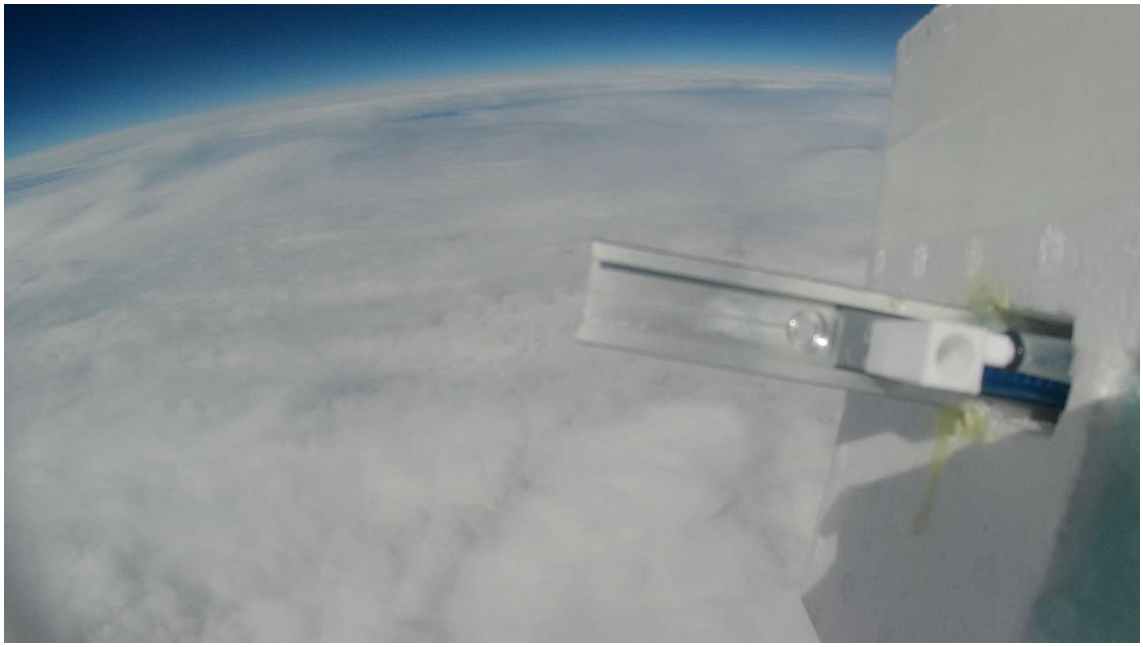


写真 5-4　滞空時の様子(3)

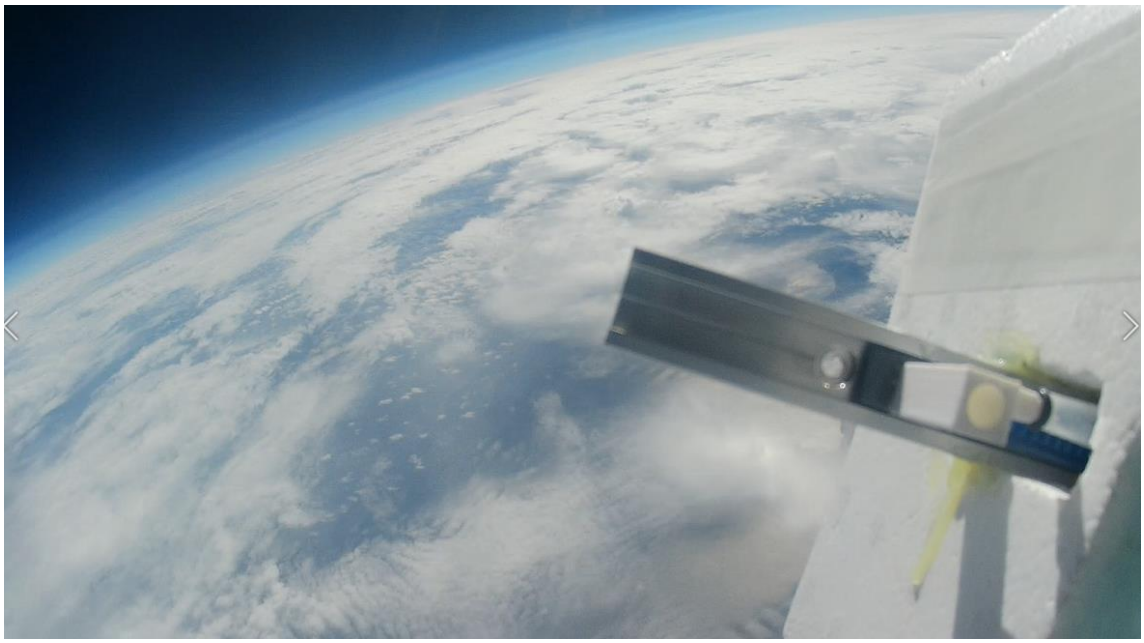


写真 5-5　滞空時の様子(4)

写真 5-6　バルーン破裂時の様子

写真 5-7　落下時の様子(1)

写真 5-8　着水時の様子

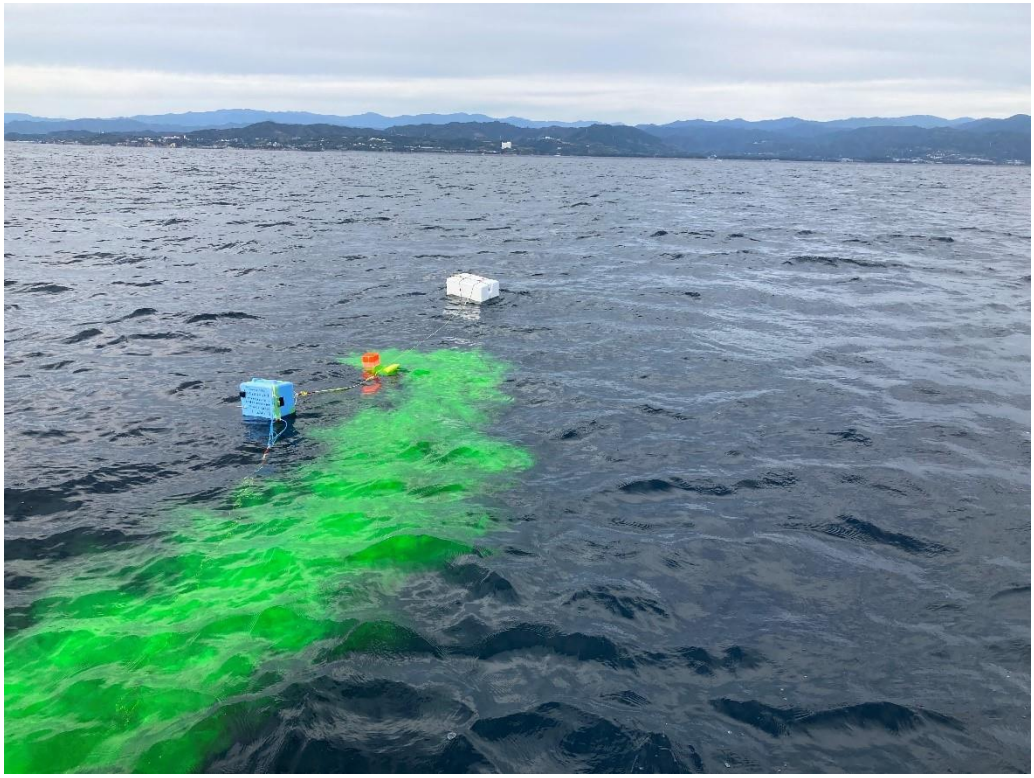


写真 5-9　回収時の様子(1)

写真 5-10　回収時の様子（2）

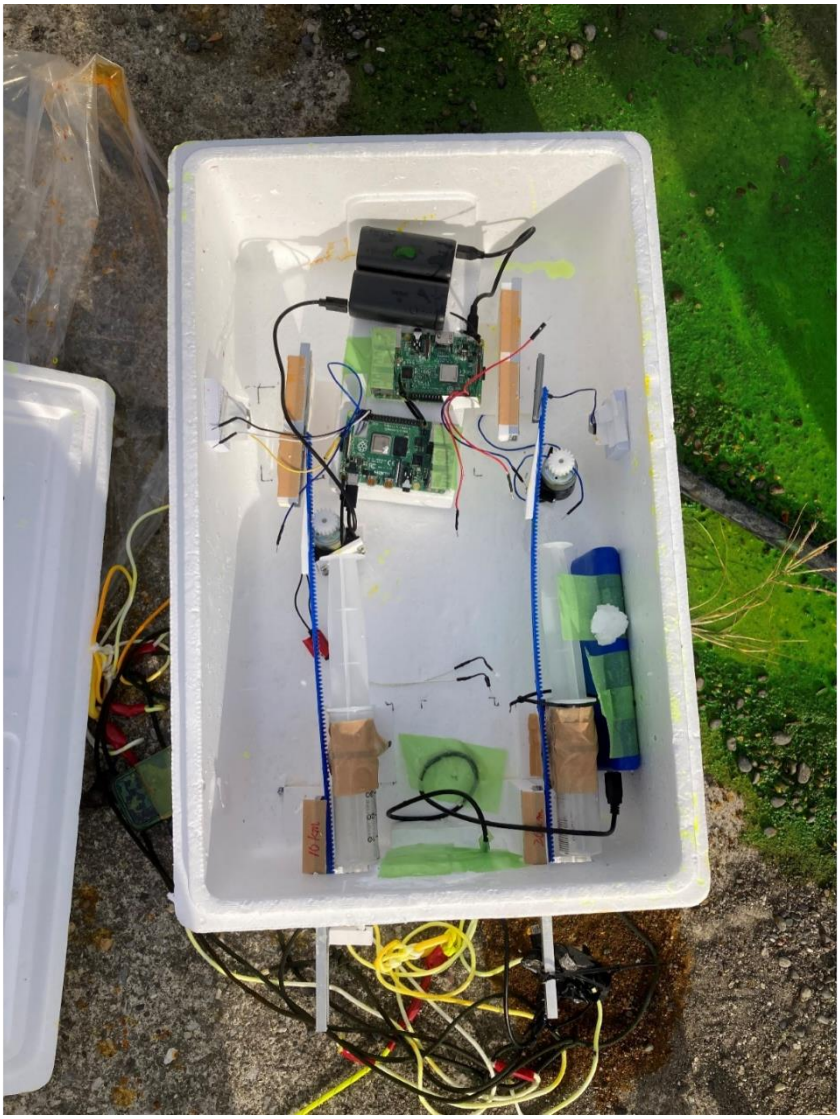


写真 5-11　回収した装置の内部写真

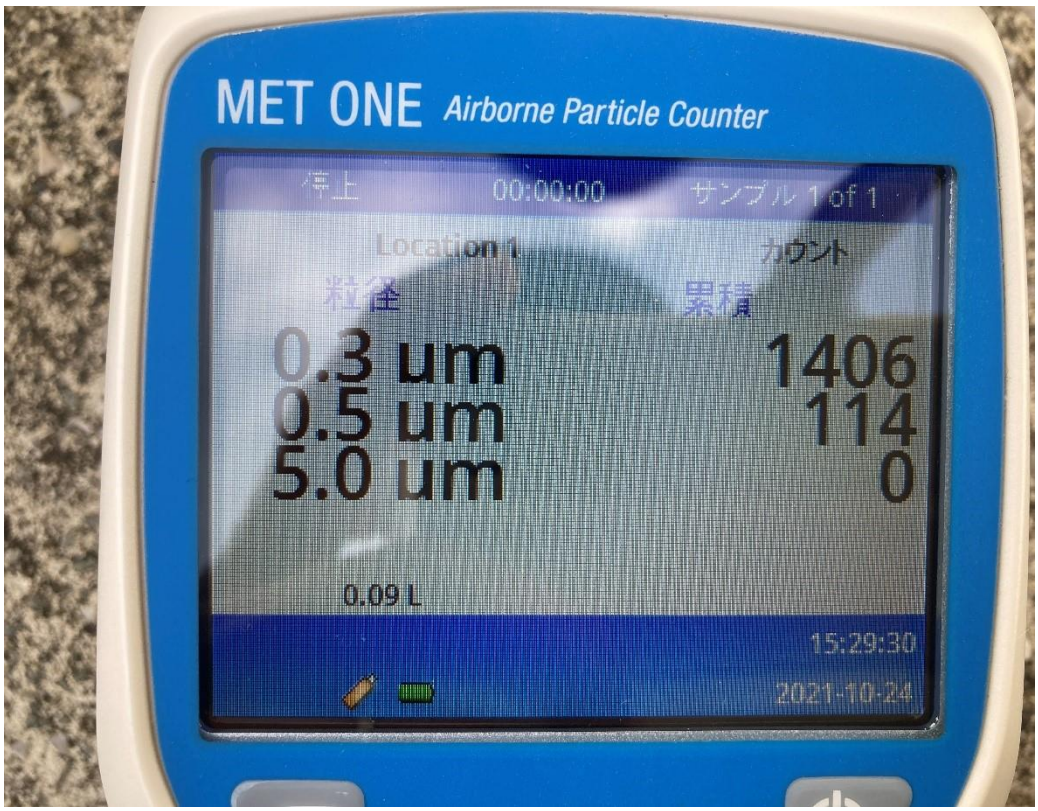


写真 5-12　大気物質の計測写真

2. 実験の結果バーティクルメータで得られたデータを表 5-2、図 5-2、 5-3、 5-4 に示す。

表 5-2　高度ごとの粒子数

	高度(km)	粒子数(個)		
		0.3μm	0.5μm	5.0μm
1	0	770	96	1
2	10	1702	395	37
3	20	1406	114	0

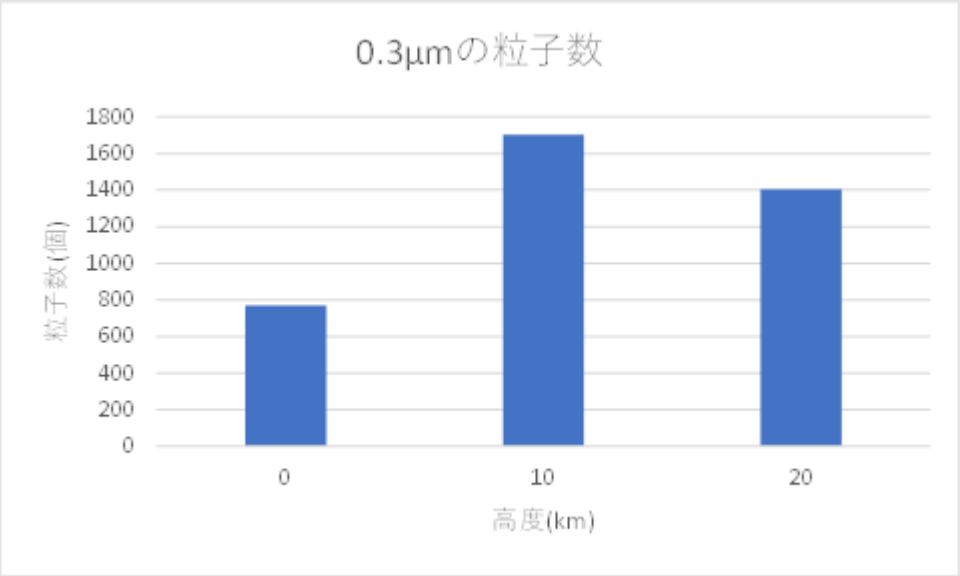


図 5-2　0.3μm の粒子数

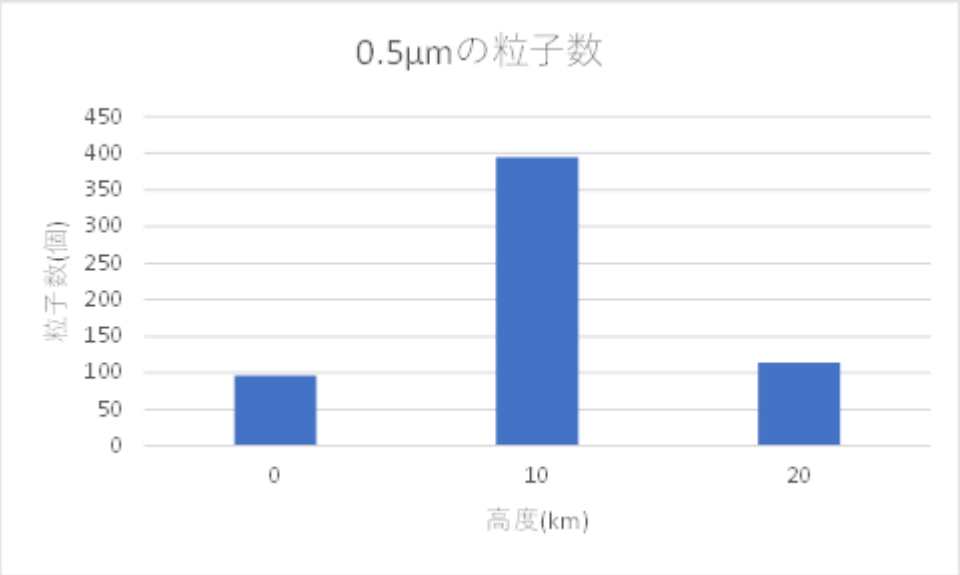


図 5-3　0.5μm の粒子数

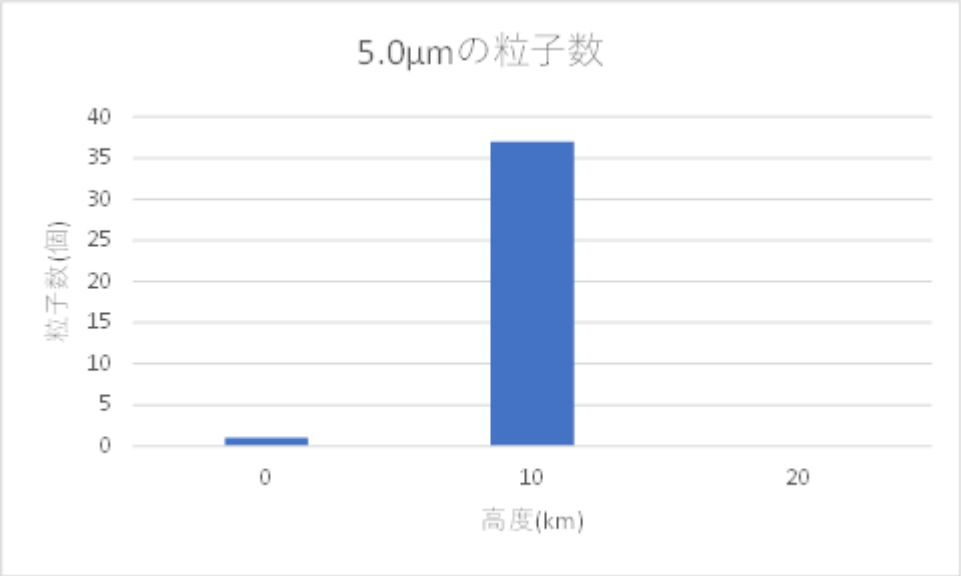


図 5-4　5.0μm の粒子数

3. バルーンサット実験で得られた緯度、経度、高度のデータを表 5-3 に示す。

表 5-3　緯度、経度、高度データ

経過時間	緯度	経度	高度（m）
0分0秒	33.1347	132.525	0
10分0秒	33.1449	132.545	4800
20分0秒	33.1905	132.701	9600
30分0秒	33.2784	133.035	14400
40分0秒	33.3066	133.218	19200
50分0秒	33.3353	133.287	24000
60分0秒	33.3746	133.395	23839.4
70分0秒	33.4228	133.603	11416.9
80分0秒	33.4818	133.804	4969.03
90分0秒	33.4898	133.822	213.83

第 6 章　考察

バーティクルメータにより測定したデータの考察をするために粒径による大気物質分類を表 6-1 に示す。

表 6-1　粒径による大気物質分類

	考えられる大気中のじん埃粒子	粒径(μm)
1	煙草の煙	0.01~0.9
2	油煙	0.01~0.9
3	海塩粒子	0.05~1.6
4	永久浮遊大気じん埃	0.0009~0.9
5	PM2.5	0.07~2
6	もや	2~30
7	カビ	1.9~17
8	バクテリア	0.25~9
9	沈降性大気じん埃	1~80
10	炭疽菌	0.9~8

実験結果で述べたように大気回収システムは、ピストンを密閉状態にできなかったため放球から回収までに通過した地点の粒子を含んでいると考えられる。よって地上(高知県安芸市)で測定した粒子数データと高度 10km、20km の地点で大気回収予定だったものの粒子数データを比較して差があれば地上と上空の大気状況が異なると考察できる。

6-1 地球の大気汚染状況に関する考察

表 5-2 から大気中に含まれている粒子は比較的粒径の小さなものが多いことがわかる。表 6-1 より PM2.5 とは粒子の粒径が 0.07μm～2μm の微粒子のことを指しており現在の深刻な大気汚染問題における原因の一つである。地上、高度 10km、高度 20km で測定できたデータを見ると大気に含まれた粒子のほとんどが PM2.5 に大別できる。よって、今日の地球の大気は地上のみならず上空も大気汚染が深刻化しているのかもしれない。

6-2 地上と高度 10km における大気の比較及び考察

表 5-2、図 5-2、図 5-3、 図 5-4 より地上(高度 0km)における粒子数と高度 10km における粒子数を比較する。

まず粒径 5.0μm の粒子に関しては粒子数は高度 10km のほうが多いことが分かった。しかし地上および高度 10km における粒径 5.0μm の粒子はそれぞれ 1 個、37 個と非常に少ない。 5.0μm の粒子は表 6-1 によるともや、カビ、バクテリア、沈降性大気じん埃、炭疽菌であると考えられる。これらのじん埃粒子は人体に悪影響のある物質を含んでいるが 0.3μm、 0.5μm の粒子数に比べると極端に少なく大気汚染を解決する上では対処する優先順位は低いと思われる。

次に、粒径 0.3μm の粒子数は地上と高度 10km でそれぞれ 770 個、1702 個となっており上空では粒径 0.3μm の微粒子が地上の 2 倍以上となっていた。これは粒径の小さな粒子は質量も小さいため、風によって上空に舞い上がってそのまま滞留しているからだと考えられる。

最後に、粒径 0.5μm の粒子数は地上と高度 10km でそれぞれ 96 個、395 個となっており上空では粒径 0.5μm の微粒子が地上の 4 倍以上となっていた。これも粒径 0.3μm の微粒子のときと同様に比較的軽い粒子であるため風で上空に舞い上がっていると予想される。

上記の粒径 0.3μm、0.5μm の微粒子は大気汚染の原因とされている PM2.5 に区分される。以上のことから PM2.5 は地上よりも上空に多く含まれていると予想される。

6-3 地上と高度 20km における大気の比較及び考察

表 5-2、図 5-2、図 5-3、 図 5-4 より地上(高度 0km)における粒子数と高度 20km における粒子数を比較する。

まず粒径 5.0μm の粒子に関しては粒子数はそれぞれ 1 個、0 個とほとんど差がないことがわかる。6-2 節で述べたように粒径 5.0μm の粒子数は他の粒径の粒子数に比べ極めて少なくなっており大気汚染の原因になっているとは考えにくい。

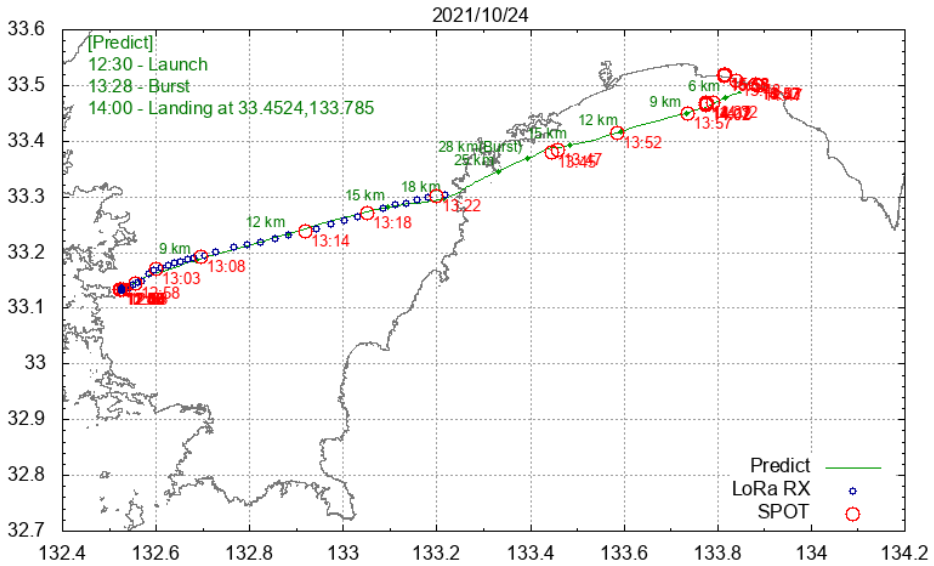
次に、粒径 0.3μm の粒子数は地上と高度 20km でそれぞれ 770 個、1406 個となっており上空では粒径 0.3μm の微粒子が地上の 2 倍近くになっていた。これも 6-2 節で述べたように、粒径の小さな粒子は質量も小さいため、風によって上空に舞い上がってそのまま滞留しているからだと考えられる。

最後に、粒径 0.5μm の粒子数は地上と高 20km でそれぞれ 96 個、114 個となっており地上と高度 20km での粒子数の差はみられなかった。このことから粒径 0.5μm の粒子は地上でも上空でも大きな差はないのかもしれない。

6-4 バルーンの経路に関する考察

バルーンの経路についてシミュレーション結果と放球後の実測データとの比較及び考察をする。実験前のシミュレーション結果である図 5-1 と実測値の表 5-2 を比較したところ経路にはほとんど差が見られなかった。バルーンは放球後気流に乗って順調に流れていったと考えられる。愛媛から高知にかけての大気が回収できたと考えられる。愛媛から高知にかけての大気状況は 6-1 から 6-3 に示したとおりである。

図 6-1 バルーンサットの飛行経路（緑：予測経路，赤および青：GPS の実際の経路）



第7章　まとめ

7-1 まとめ

今回の実験より、地上の大気物質と上空の大気物質では、微粒子の数(0.3μmの粒子数)に大きな差があることが分かった。これら微粒子は、PM2.5といった大気汚染物質である可能性が高く、主に大気汚染源として挙げられる物質のほとんどが上空に浮遊していると考えられる。上空にある大気物質は雨などの気候的要因等によりやがて地上に落ちてくることで人的被害となっていると思われる。したがって、今日の大気汚染被害を軽減するためには地上に浮遊している大気物質だけでなく上空にある大気物質にも着目し、対策を講じる必要がある。また、大気物質のほかに砂漠から舞い上がってくる黄砂も同様に考慮する。現在、砂漠化が進んでいる主な原因は熱帯雨林を中心とした森林伐採による人的要因が大きな影響を与えている。現在世界中で討論されている地球環境問題における大気汚染の問題は、今回の実証実験の結果として出てきたものだけでなく、産業発展による工場及び燃料の消費によって発生する排気ガスの放出を可能な限り減少させるため、再生可能エネルギーの普及が重要である。

7-2 参考文献

- 大気汚染による健康被害は社会問題にも。人体への影響や症状を知ろう(gooddo.jp)
- 環境省_令和元年度　大気汚染状況について（env.go.jp）
- 5-1-11　その他の大気汚染計測器｜JEMIMA　一般社団法人 日本電気計測器工業会
- 気象庁｜過去の気象データ検索（高層）（jma.go.jp）
- taiki.pdf (cambridgefilter.com)
- ラズパイでモータ制御・TA8428K モータドライバ（101010.fun）
- RaspberryPi+AI 電子工作超入門　吉田顕一
- [改訂第3版]Linux コマンドポケットリファレンス　沓名亮典

謝辞

本実証実験は、高専ワイヤレス IoT コンテストで別に行うバルーンサット実験にペイロードの相乗りをさせて頂くことで、限られた予算内で実験を行うことができました。実証実験の実施にあたりましては、千葉工業大学の前田先生、奥村先生、和歌山大学の秋山先生、九州大学公認サークル　プラネット Q の皆様からの多大なるご支援を賜りました。大気の汚染度の計測方法につきましては、高松気象台長の野崎様へご相談し、丁寧なご助言を賜りました。その他多くの方々にお世話になりました。

お世話になりましたすべての方にお礼申し上げます。誠にありがとうございました。