

修士学位論文

論文題目 タブレット端末を用いた
観光望遠鏡システム

ふ り が な
氏 名 よしの こうへい
吉野 晃平

専 攻 工学研究科 機械工学専攻

指導教授 金丸 隆志 准教授

修了年月 (西暦) 2016年3月

工学院大学大学院

論文要旨

1. 諸言

昔から景観の良い観光地には、景色を眺めるためコイン式の観光望遠鏡が設置されてきた。観光地の優れた景観を拡大して眺めるというのは日常では得られない体験である。しかし、観光望遠鏡は覗き込んでいる使用者しか景色を体験できず、その体験を同行者と共有できないという問題がある。また、観光望遠鏡は大きく、設置スペースを広くとってしまう問題もある。実際に東京タワーでは展望台スペースをより広く利用するため、大展望台と特別展望台に設置されていた 37 台の有料望遠鏡を全て撤去した。

観光望遠鏡の設置台数の減少傾向に対して、タブレット端末は普及率が増加している。総務省の「通信利用動向調査」では平成 22 年末から平成 26 年末にかけて、タブレット端末は普及率が 7.2%から 26.3%に増加していることが報告されている。また内閣府の「主要耐久消費財の普及率の推移」によるとタブレット端末は 26 年末から 27 年末にかけて普及率が 20.9%から 28.3%に増加していると報告されている。

これをふまえ、過去の研究において Android タブレットと望遠レンズを組み合わせる観光望遠鏡を開発した。しかし、以下のような問題点があった。

- パーツが多いため保守性が低い
- 天井等に取り付ける際に手間がかかる
- 全体で 2.84kg と重い
- 大きさが 30cm×21cm×27cm と大きい
- フォーカス、ズームを DC モーターで実現しているため、停止する際に微調節が難しい

本研究ではこれらの問題点を改善した観光望遠鏡システムの開発を目指す。

2. タブレット式観光望遠鏡の条件

本研究では以下の条件を満たすタブレット式観光望遠鏡を開発する。

[条件1] 展望フロアのスペースを阻害しない

[条件2] 70km 先の対象を見たときに、700m 以下で映像を調節できる

[条件3] 二人以上の観光者が同時に観光望遠鏡の景色を体験できる

[条件4] 無線を用いて観光望遠鏡を操作できる

条件 1 はタブレット式観光望遠鏡の大きさについての項目であり、過去の研究よりも小型なものを目標とする。条件 2 では過去の研究で上下左右の向きを操作する際の精度が低かったことを改善するため、八王子キャンパスから富士山までの距離 70km 先の対象をみた場合の精度を設定している。条件 3 では複数人で同時に景色を体験できるようにタブレット端末上に映像を映すことを実現する。条件 4 は観光望遠鏡の設置場所から離れて使用者が景色を体験できるよう、タブレット端末から観光望遠鏡の無線操作が可能なシステムを実現する。なお、条件 3 及び条件 4 は過去の研究で達成済みであるので、本研究では条件 1 及び条件 2 の達成が主な目標となる。

3. カメラの回転機構

条件 1 及び 2 を達成するために観光望遠鏡の向きを水平及び垂直に回転する機構を考える。過去の研究では DC モーターを使用した、停止する際に慣性により回転が続いてしまう問題が起きた。そのため今回は角度を微調節できることを重視してステッピングモーターを使用する。この微調節をステッピングモーターの一般的な分解能のみで行うと条件 2 を満たすことは厳しいと判断し、モーターとギアの組み合わせを用いることにする。計算よりギアの減速比は 3.33 以上の組み合わせで条件 2 を満たすことができる。これを満たすため向きの操作には RS 社 191-8299 というステッピングモーターを使用し、このステッピングモーターに KHK 社 DS 成形平歯車ギアを取り付ける。また、映像を取得するために、K 社より提供されたレンズモジュールを使用する。これにはフォーカス・ズームを調節するためのステッピングモーターが取り付けられており、向きと同様に制御する。このレンズモジュールに映像を電子情報として USB 接続で取得するため、Logicool 社製 C920t 内蔵 UVC 規格の 1/4 インチ画素センサーを取り付けている。最終的にカメラの回転機構の大きさは 23cm×21cm×20cm となり条件 1 を満たした。

4. 回路

タブレット端末から受け取った命令を、各モーターに送って操作するために Arduino UNO を用いた。本研究で用いられているステッピングモーターは、観光望遠鏡の向きの操作用の 2 つとレンズモジュールに取りつけられているフォーカス・ズームの調整用の 2 つの合計 4

つである。向きの操作用のステッピングモータは動作電圧が大きい（9V）ので TOSHIBA 社製モータードライバーTB6674PG を用いる。フォーカス・ズーム調整用のステッピングモータは動作電圧が小さい（5V）ので低電圧用の TI 社製モータードライバーDRV8834 を用いる。各モータードライバーを用いてステッピングモータ制御用のパルスパターンを生成できた。回路はユニバーサル基板で作製した。

5. 動作実験

開発したタブレット式観光望遠鏡の動作実験をキャンパス 5 号館 9 階で行った。工学院大学八王子キャンパスから約 70km 先にある富士山を対象にタブレット式観光望遠鏡の向きの操作やズーム・フォーカスの調整を行い、条件 2 が満たされているかを確認した。実験の結果、タブレット端末を用いてタブレット式観光望遠鏡の向きを上下左右に操作し、フォーカスとズームも同様に操作することで約 70km 先の富士山を捉えることができた。拡大の倍率は約 16 倍程度であった。しかし、拡大した状態では細かい操作を行うことが難しく、対象をしっかりと画面中央に寄せるまで時間がかかることが確認できた。これはソフトウェアに変速機能がないことが原因だと考えられる。

6. 結言

本研究では、従来の問題点を改善したタブレット式観光望遠鏡の開発を行った。条件 1 から 4 について達成したことについて述べる。

[条件1] タブレット式観光望遠鏡を大きさ 23cm×21cm×20cm、重量約 2kg で作製できた。これは過去の研究の 30cm×21cm×27cm、重量 2.84kg よりも小型化できたことを示している。これにより、展望フロアのスペースを阻害しない観光望遠鏡を実現できたと言える。

[条件2] 70km 先の対象を見たときに、対象を映像の中央に移すための調節を行うことができ、ズーム・フォーカスによる調節も動作した。16 倍程度のズームが可能である。

[条件3] タブレット端末上に観光望遠鏡の映像を取得することができた。これにより二人以上の使用者がタブレットを見ながら同時に景色を体験できる。

[条件4] タブレット端末から観光望遠鏡を無線操作するシステムを実現した。無線接続には Wifi による LAN 接続を用いた。

上記のように、条件 1 から 4 までをすべて満たすタブレット式観光望遠鏡を開発することができた。しかし、カメラの向きの操作やフォーカス等の調整の変速機能がソフトウェア上に実装されておらず、細かい調整が難しいことから改良が必要である。また、過去の研究と比べて軽量化が大きく進まなかった原因として、土台に使用したアクリル板が重いことが挙げられる。そのためアクリル板の軽量化が必要である。また、実現した機能以外にも新規性のある機能の実装が求められる等の問題点が残されており、今後の課題である。

目次

論文要旨	1
第1章 緒論	7
1.1 研究の目的及び背景.....	7
1.2 従来の観光望遠鏡の問題点.....	8
1.3 タブレット端末.....	10
1.4 過去の研究で開発した観光望遠鏡.....	12
1.4.1 明暗・ズーム・フォーカスの調節.....	12
1.4.2 問題点	14
1.5 本論文の構成	15
第2章 タブレット式観光望遠鏡の条件.....	16
2.1 タブレット式観光望遠鏡の条件.....	16
2.2 水平及び垂直回転機構の仕様.....	17
2.3 無線による映像取得と命令送信.....	20
2.4 Odroid U3	21
第3章 カメラの回転機構及びその構成部品.....	22
3.1 観光望遠鏡に使用するレンズモジュール.....	22
3.2 ステッピングモータ	23
3.2.1 ステッピングモータの原理.....	23
3.2.2 ステッピングモータの制御方法.....	24
3.2.3 使用するステッピングモータの性能及び構造.....	26
3.3 3D プリンター	27
3.3.1 bonsai lab 社製 BS01+	28
3.3.2 3D プリンターで使用する材料.....	29
3.4 水平及び垂直方向の回転機構.....	30
3.4.1 作成したパーツ	31
3.4.2 機構の組み立て.....	32
第4章 回路	37
4.1 Arduino UNO.....	37
4.2 使用するモータードライバー	38
4.3 TB6674PG の動作確認	40
4.4 DRV8834 の動作確認	43
4.5 回路の作製	46
第5章 動作実験	47

5.1 実験方法	47
5.2 実験結果	49
第6章 結論	51
第7章 謝辞	53
引用文献	54
図表目録	56

第1章 緒論

1.1 研究の目的及び背景

昔から景観の良い観光地には景色を眺めるため、コイン式の観光望遠鏡が設置されてきた。観光地の優れた景観を拡大して眺めるといのは日常では得られない体験である。しかし、観光望遠鏡は覗き込んでいる使用者しか景色を体験できず、その体験を同行者と共有できないという問題がある。また、観光望遠鏡は大きく、設置スペースを広くとってしまう点も問題である。実際に東京タワーでは展望台スペースをより広く利用するため、大展望台と特別展望台に設置されていた 37 台の有料望遠鏡を全て撤去し、双眼鏡のレンタルを開始し [1]、東京タワーでは図 1.1 のような周辺の地名を表示するタッチパネルを設置するようになった。また、2012 年 5 月に開業した東京スカイツリーには観光望遠鏡が設置されていない。このことから観光望遠鏡の設置台数は減少傾向にあると考えられる。



図 1.1 東京タワーに設置されているタッチパネル

1.2 従来の観光望遠鏡の問題点

従来の観光望遠鏡の問題点についてより詳しく述べる。図 1.2 はコバック社製観光望遠鏡の外見、表 1.1 はスペックを示している [2]。これは使用者がレンズを覗き込んで使用する一般的なものである。

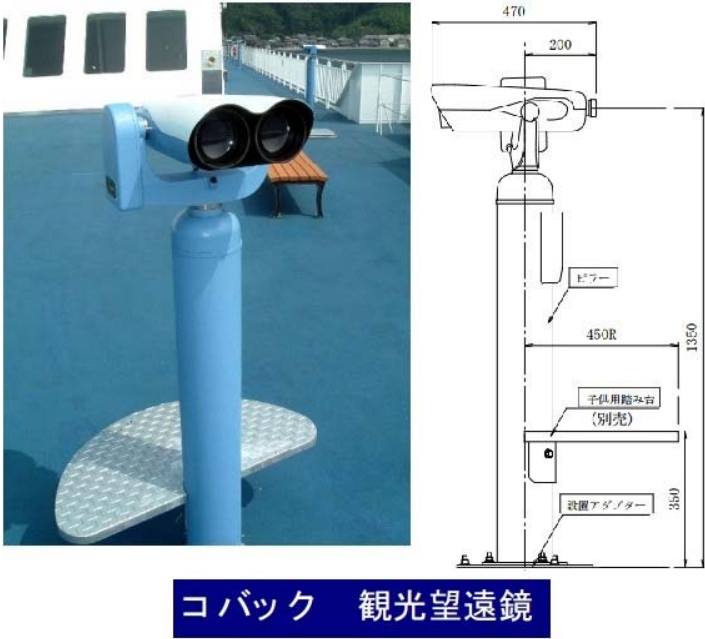


図 1.2 コバック社 観光望遠鏡 [2]

表 1.1 コバック社 観光望遠鏡スペック [2]

縦	230mm
横	470mm
高さ	1350mm
重さ	約 40kg
仰角	35°
俯角	30°

従来の観光望遠鏡の設置台数が減少傾向にある原因は図 1.3 のようにその二つ考えられる。まず、観光望遠鏡は同時に一人しか使用できず同行者と体験を共有することができない点である。また、観光望遠鏡は大きく、人ひとり分に近い広さの設置場所が必要になる点がある。そのことは図 1.3 及び表 1.1 から読み取ることができる。

これらの問題点を改善するため、設置スペースが小さく済むように小型化を行い、複数人で景色を体験できるようなシステムを開発する必要があると考えた。



図 1.3 (左) 複数人で使用することができない
(右) 設置スペースが広く必要で限定的である

そこで、本研究は設置台数が減少傾向にあると推測される観光望遠鏡と普及が進むタブレット端末を組み合わせることで、従来の観光望遠鏡の問題点を解決し、観光望遠鏡の新たな需要をつくることを目的とする。

1.3 タブレット端末

タブレット端末とは、コンピュータ製品の分類の一つで、板状の筐体の片面がタッチスクリーンになっており、ほとんどの操作を画面に指を触れて行うタイプの製品である。タブレット端末は雑誌大の広さで薄型軽量のものが多く、性能面ではノートパソコンとスマートフォンの間に位置している。また操作に関しては指で直感的に行える反面、細かな業務を行うことが困難である。Apple 社の「iPad」の発売後に認知度が広がった製品で、現在のタブレット市場は Apple 社の「iPad」と Google 社の Android OS で動作する各社の「Android タブレット」がほぼ 2 分している。

観光望遠鏡の設置台数の減少傾向に対して、タブレット端末は普及率が増加している。統計を例に出すと、図 1.4 は総務省の全国 20 歳以上世帯主世帯及びその 6 歳以上の構成員を対象にした「通信利用動向調査」を示しており、平成 22 年末から平成 26 年末にかけて、タブレット端末は普及率が 7.2%から 26.3%に増加していることが報告されている [3]。また、図 1.5 は内閣府による一般世帯、単身世帯合わせて 8,400 世帯を対象にした「主要耐久消費財の普及率の推移」の内スマートフォンとタブレット端末のみを示しており、タブレット端末は 26 年末から 27 年末にかけて普及率が 20.9%から 28.3%に増加していると報告されている [4]。

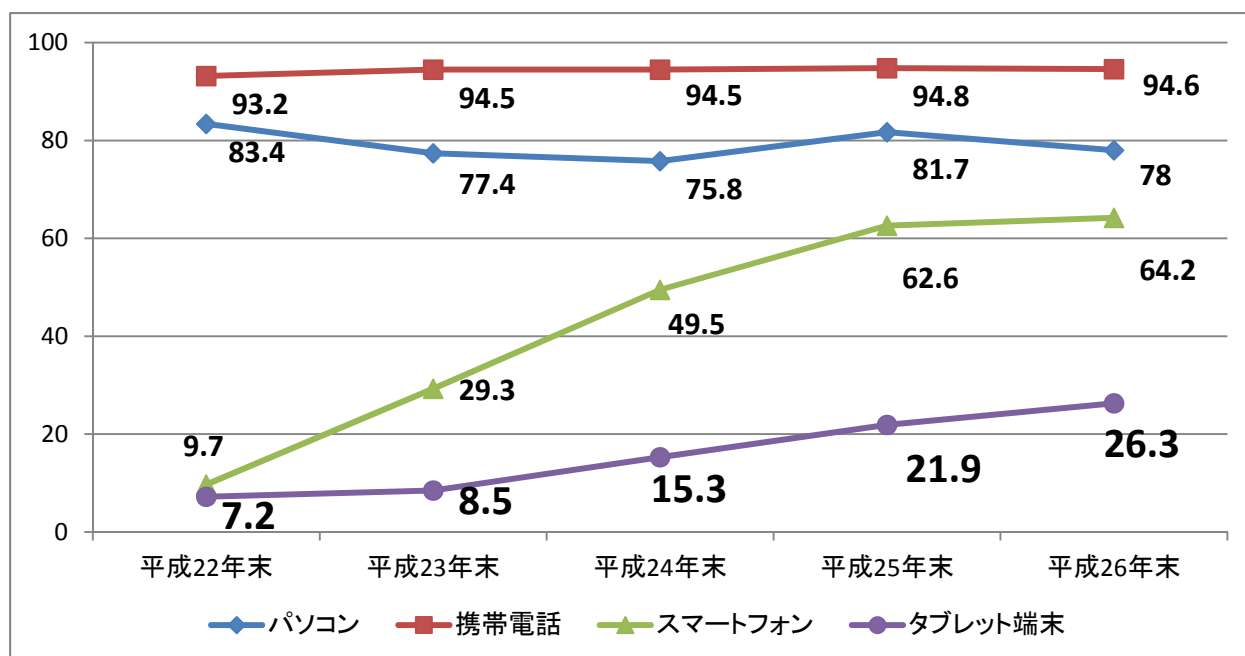


図 1.4 総務省平成 26 年通信利用動向調査 [3]

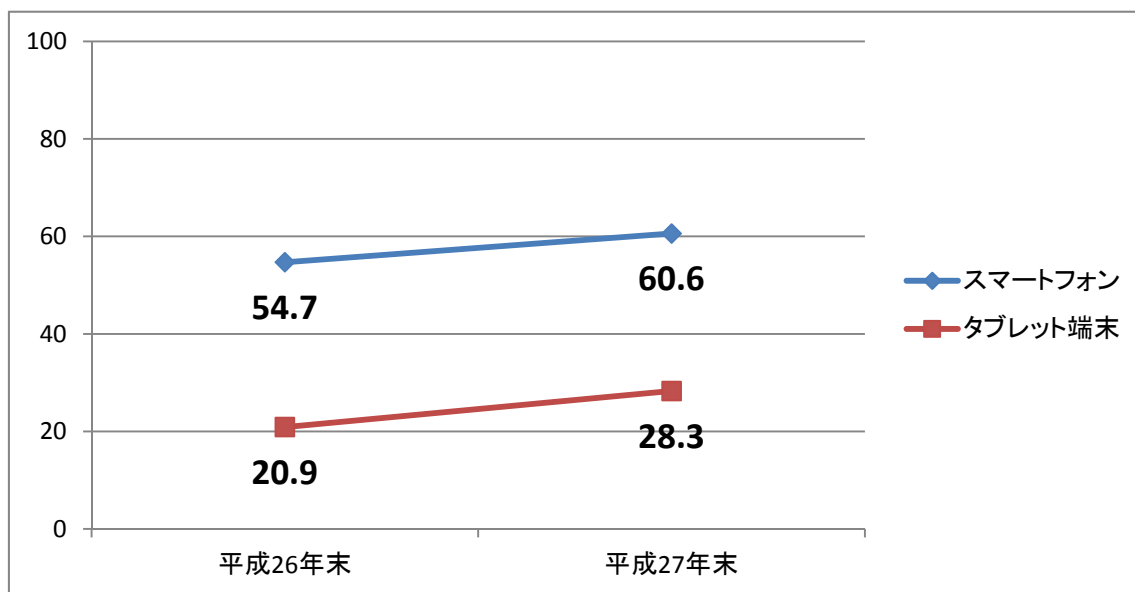


図 1.5 内閣府主要耐久消費財の普及率の推移 [4]

このように普及率を伸ばしているタブレット端末と観光望遠鏡を組み合わせたシステムを開発する。

以下で過去の研究で開発した「Android タブレット用いた観光望遠鏡システム」について説明する。

1.4 過去の研究で開発した観光望遠鏡

1.4.1 明暗・ズーム・フォーカスの調節

前述したことをふまえ、過去の研究では「レンズと Android を組み合わせ、次世代に向けて何ができるか」というテーマで、Android タブレットと望遠レンズを組み合わせ、望遠鏡を開発した[5.6]。以下にその概要を述べる。

図 1.6 は K 社より提供された望遠レンズのついた USB 接続可能な望遠レンズである。明暗・ズーム・フォーカスをレンズの円筒部の回転によって調節することができる。



図 1.6 K 社より提供された望遠レンズ

明暗・ズーム・フォーカスに対応したレンズの円筒部を回転させる必要があるため、DC モーターを利用した。DC モーターによる回転運動をレンズの円筒部に伝えるため、各調節部に DR 成形フレキラックを巻き付け歯車と噛み合うようにした。図 1.7 はそのイメージ図である。

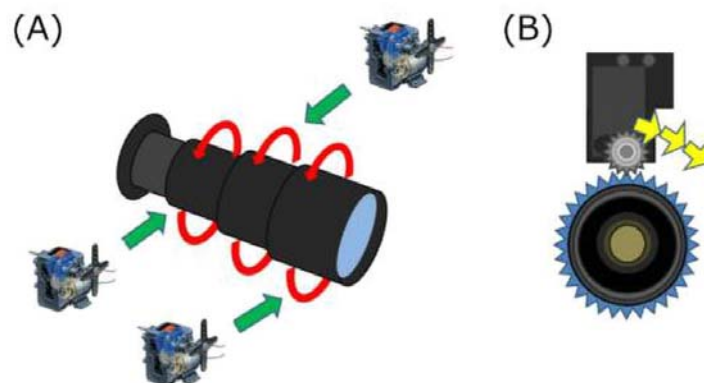


図 1.7 (A)三つの DC モーターが望遠レンズの明暗・ズーム・フォーカスを調節する様子
(B)レンズに巻き付けたフレキラックをモーターが回転させる

さらに、望遠レンズの向きを水平及び垂直に操作できる機構も作製した。図 1.8 は CAD による完成図を示す。水平方向の操作はシステム最上部の円盤を DC モーターにより回転させることで操作を行う。垂直方向はカメラ本体を固定している板の角度を変えることで操作する。ここにはホビーロボット用のサーボモータを用いた。また、この観光望遠鏡は装置上部の円筒部を天井等に固定をすることで設置する。

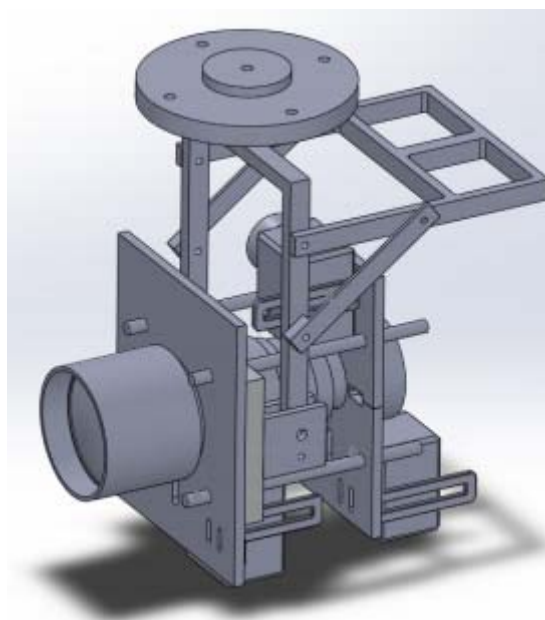


図 1.8 CAD による完成図

さらに、図 1.9 の観光望遠鏡からの映像を無線配信し、Android タブレットに表示するシステムを開発した。

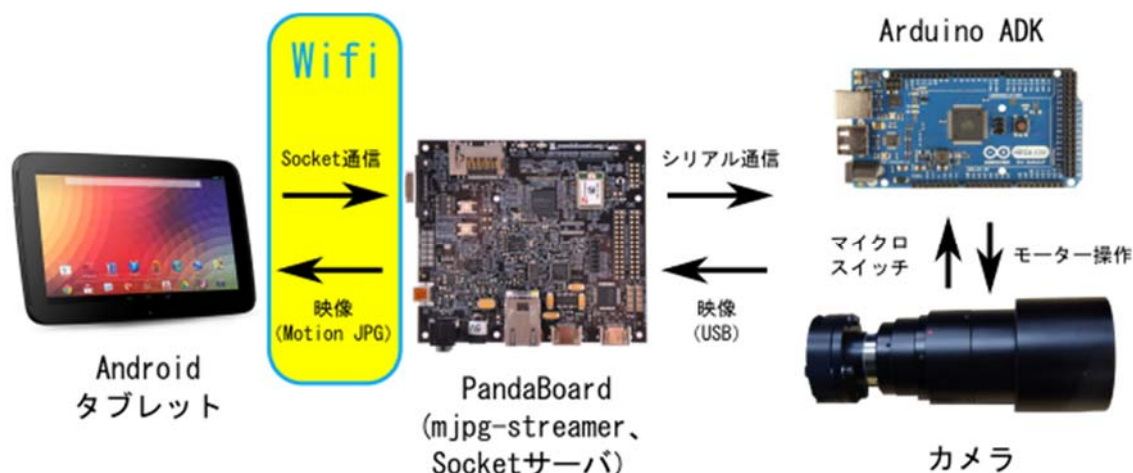


図 1.9 過去の研究で開発した観光望遠鏡システムの概要

1.4.2 問題点

上記のように過去の研究では Android タブレットで観光望遠鏡の明暗・ズーム・フォーカスや上下左右の向きを操作することができた。しかし、以下のような問題点が確認できた。

- パーツが多いため保守性が低い
- 天井等に取り付ける際に手間がかかる
- 機械全体で 2.84kg 重い
- 全体の大きさも 30cm×21cm×27cm と大きい
- フォーカス、ズームを DC モーターで実現しているため、停止する際に微調節が難しい

本研究ではこれらの問題点を改善した観光望遠鏡システムの開発を目指す。

1.5 本論文の構成

本論文の構成は以下の通りである。第2章「タブレット式観光望遠鏡の条件」では開発するタブレット式観光望遠鏡に設定した条件についてまとめる。第3章「カメラの回転機構及びその構成部品」ではタブレット式観光望遠鏡の主要な部品について解説する。第4章「回路」では使用するモータードライバー及び作製した回路について解説する。第5章「動作実験」では工学院大学八王子キャンパスにて行った開発したタブレット式観光望遠鏡の動作実験について解説する。第6章「結論」では2章で設定したタブレット式観光望遠鏡の条件1から4について達成したことをまとめる。

第2章 タブレット式観光望遠鏡の条件

2.1 タブレット式観光望遠鏡の条件

1 章で述べた従来の観光望遠鏡及び文献[5,6]で開発した観光望遠鏡の問題点を改善することを目標に、新たなタブレット式観光望遠鏡として表 2.1 のような条件を満たすシステムを開発する。

表 2.1 タブレット式観光望遠鏡の条件

条件 1	展望フロアのスペースを阻害しない
条件 2	70km 先の対象を見たときに 700m 以下で映像を調節できる
条件 3	二人以上の観光者が同時に観光望遠鏡の景色を体験できる
条件 4	無線を用いて観光望遠鏡を操作できる

条件 1 及び条件 2 は、文献[5,6]で開発した観光望遠鏡の問題点を改善するためのものであり、条件 3 及び条件 4 は、従来の観光望遠鏡の問題点を改善するためのものである。条件 1 ではタブレット式観光望遠鏡の大きさを文献[5,6]で開発したものより小型化できるよう、30cm×21cm×27cm 以内の大きさを目標とする。また、条件 2 では文献[5,6]で上下左右の向きを操作する際の精度が低かったことを改善するため、八王子キャンパスから富士山までの距離 70km 先の対象をみた場合の精度を設定している。条件 3 では複数人で同時に景色を体験できるようにタブレット端末上に映像を映すことを実現する。条件 4 は観光望遠鏡の設置場所から離れて使用者が景色を体験できるよう、タブレット端末から観光望遠鏡の無線操作が可能なシステムを実現する。なお、条件 3 及び条件 4 は文献[5,6]で達成済みであるので、本研究では条件 1 及び条件 2 の達成が主な目標となる。

図 2.1 はタブレット式観光望遠鏡の構想図を示している。タブレット端末をタッチパネルで操作することで、離れた位置にある望遠カメラの向きを上下左右に操作でき、ズームとフォーカスも調節することができるシステムである。

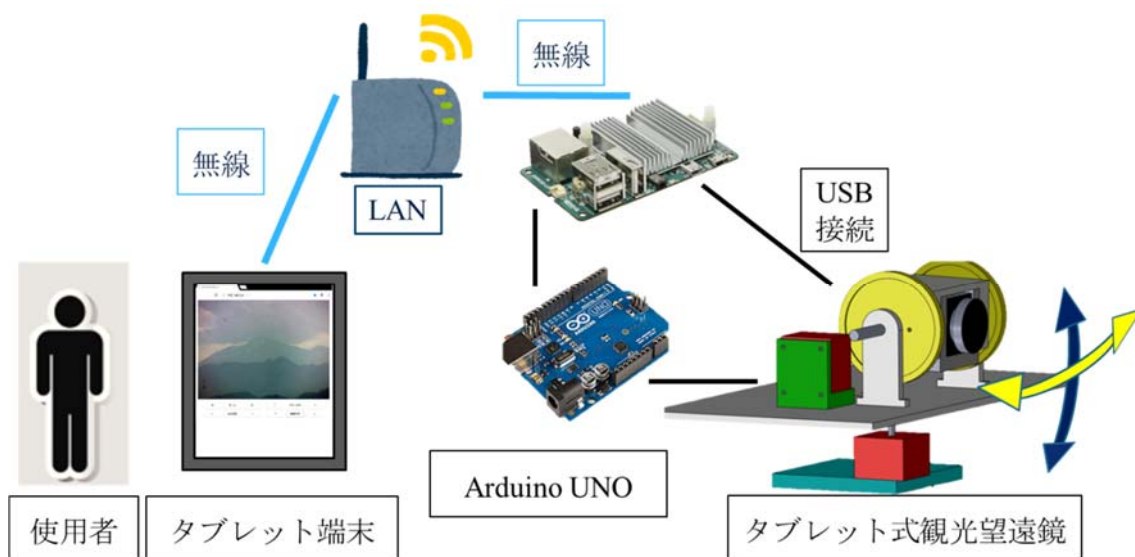


図 2.1 タブレット式観光望遠鏡の構想図

2.2 水平及び垂直回転機構の仕様

観光望遠鏡の向きを水平及び垂直に回転する機構を考える。文献[5,6]では DC モーターを使用したが、停止する際に慣性により回転が続いてしまう問題が起きた。そのため今回は角度を微調節できることを重視してステッピングモータを使用する。この微調節をステッピングモータの一般的な分解能のみで行うと上記の条件 2 を満たすことは厳しいと判断し、モーターとギアの組み合わせを用いることにする。図 2.2 はこの機構の CAD 図を示しており、赤い四角がステッピングモータ、黄色の物体がギアを示している。

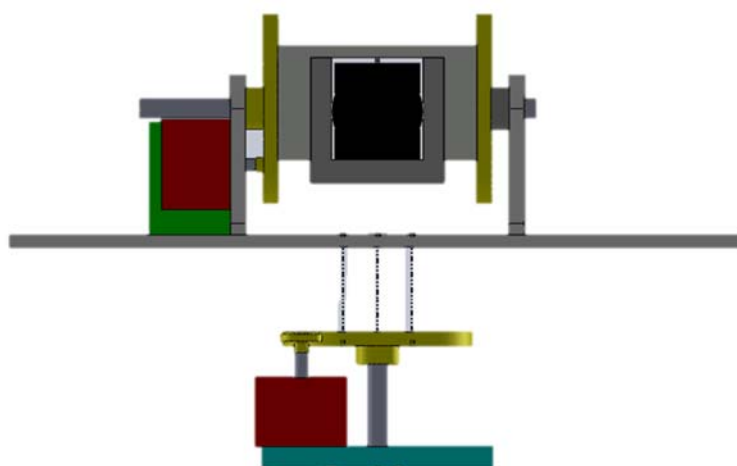


図 2.2 水平及び垂直回転機構の CAD 図

次に「70km 先の対象を見たときに 700m 以下で映像を調節できる」という条件 2 の実現方法について解説する。この条件は工学院大学八王子キャンパスから 70km 先の富士山を見た際に、望遠鏡の向きを微調節するために必要な精度を示している（図 2.3）。そのために必要な望遠鏡の最小駆動角度を以下で求める。



図 2.3 工学院大学八王子キャンパス～富士山間

望遠鏡の最小駆動角度を θ_c 、カメラの映像移動距離を $d=7.0 \times 10^2 \text{m}$ 、八王子キャンパスから富士山までの直線距離を $L=7.0 \times 10^4 \text{m}$ と置くと次の条件が満たされる必要がある。

$$\sin\left(\frac{\pi}{180} \times \theta_c\right) \leq \frac{d}{L}$$

ここで、 $\theta \ll 1$ の条件での近似式 $\sin\theta \cong \theta$ を適用すると以下のように変形できる。

$$\frac{\pi}{180} \times \theta_c \leq \frac{d}{L}$$

$$\frac{\pi}{180} \times \theta_c \leq \frac{7.0 \times 10^2}{7.0 \times 10^4}$$

$$\frac{\pi}{180} \times \theta_c \leq \frac{1}{100}$$

$$\theta_c \leq \frac{1.8}{\pi} \quad (3.1)$$

θ_c はステッピングモータの分解能 $\theta_m = 1.5^\circ$ とギアの減速比 G_r を用いて $\theta_c = \theta_m / G_r$ と表せる。
これを式に代入すると

$$\frac{\theta_m}{G_r} = \frac{1.8}{\pi}$$

$$G_r \geq \frac{\pi \theta_m}{1.8}$$

$$G_r \geq 2.62 \quad (3.2)$$

(3.2) 式から分解能 1.5° のステッピングモータを用いて条件 2 を満たすためには、2.62 以上の減速比をもったギアの組み合わせが必要だとわかった。今回は KHK 社 DS 成形平歯車 歯数 80 と歯数 24 の減速比 3.33 を持つギアの組み合わせを使用することにした。

2.3 無線による映像取得と命令送信

条件3と条件4を満たすため、文献[5,6]と同様に図2.4のようなシステムを考えた。タブレットは無線通信でOdroid U3と呼ばれるLinux搭載のシングルボードコンピューターに命令を送り、Odroid U3はUSB接続でArduino UNOを介してステッピングモータを操作する。また映像は、5章で述べるレンズモジュールからUSB接続でOdroid U3に送られ、無線通信でタブレット端末に送られる。

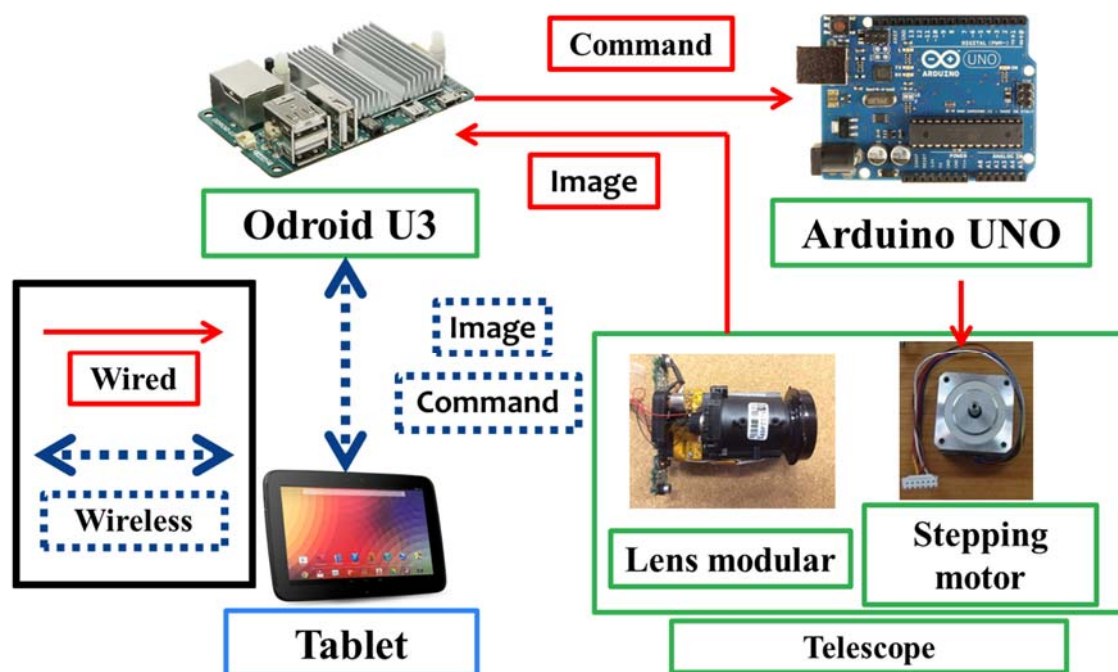


図 2.4 無線による映像取得と命令送信を表した図

2.4 Odroid U3

タブレット式観光望遠鏡の無線機能で用いる Odroid U3 について解説する。Odroid U3 は韓国 Hardkernel 社が開発している ARM プロセッサを搭載したシングルボードコンピュータであり、OS は今回使用している Ubuntu 以外に Android、Linux、Arch、Debian、OpenSUSE、Fedora が配布されている [7]。図 2.5 は Odroid U3 の外見、表 2.2 は性能表を示す。



図 2.5 Odroid U3 [7]

表 2.2 Odroid U3 の性能表 [7]

項目	仕様
型番	Odroid U3
価格（メーカー）	\$69.00
Soc	サムスン電子 Exynos 4 Quad （4412 Prime）
CPU	ARM Cortex-A9 4 コア 1.7GHz
メモリ	2GB LPDDR2 880GHZ
USB Host	3（2.0）
映像出力	Micro HDMI
音声出力	3.5mm ジャック、Micro HDMI
ストレージ	microSD メモリーカード eMMC
ネットワーク	10/100 Mbps イーサネット
電源	5V/2A
大きさ	48×83（mm）

以降の章では各要素について記述する。

第3章 カメラの回転機構及びその構成部品

本章ではカメラの向きを変更するための水平及び垂直方向回転機構とその構成部品について解説する。まずは使用するレンズモジュールについて述べる。

3.1 観光望遠鏡に使用するレンズモジュール

本研究で使用するレンズモジュールについて詳しく説明する。図 3.1 は K 社から提供されたレンズモジュールであり、フォーカスやズームを調節するためのステッピングモータが取り付けられている。このレンズモジュールの映像を USB 接続で取得するため、本研究ではレンズモジュールに適した UVC 規格の画素センサーを取り付けている。図 3.2 はレンズモジュールに取り付ける Logicool 社製 C920t 内蔵の 1/4 インチ画素センサーを示している。

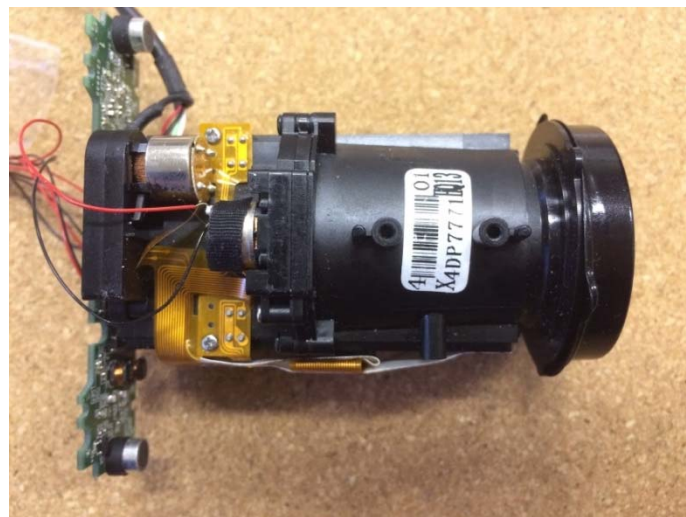


図 3.1 使用するレンズモジュール



図 3.2 Logicool 社製 C920t 内蔵の 1/4 インチ画素センサー

3.2 ステッピングモータ

3.2.1 ステッピングモータの原理

ステッピングモータとはパルスモータとも呼称され、パルス信号を与えることで決められたステップ単位で回転するモーターである。その特徴を表 3.1 [8]にまとめる。また、図 3.3 [9]はステッピングモータの断面図を示したものである。

表 3.1 ステッピングモータの特徴 [8]

特徴 1	回転角度と回転速度がパルス信号の回数と周期によって決まる 回転角度＝ステップ角×パルス数 回転速度[rpm]＝（ステップ角/360）×パルス速度[Hz]×60[s]
特徴 2.	通電状態で大きな静止トルクを得ることができ、非通電状態でも小さな静止トルクが得られる
特徴 3	パルスを止めるとその位置で停止するため正確な回転角度制御に適している
特徴 4	機械的な接触子がなく長寿命である

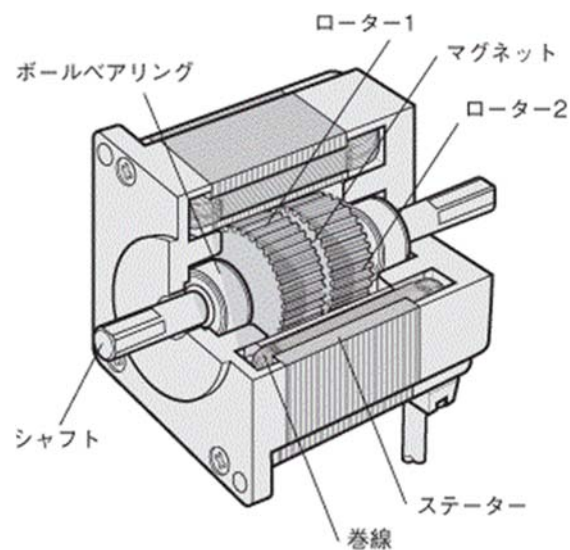


図 3.3 ステッピングモータの断面図 [9]

本研究ではカメラを上下左右の方向に回転・停止させる動作が必要である。そのため回転角度制御に適したステッピングモータを使用する。

3.2.2 ステッピングモータの制御方法

ステッピングモータは、その端子に特定のパルスパターンを加えると一定の角度動いた後静止する性質があり、それを繰り返すことでステッピングモータを駆動することができる。パルスパターンには以下の3種類の励磁方式がある。

① 1相励磁

図 3.4 のように、 X , Y , $\bar{X}$, $\bar{Y}$ の4つの端子に順に電流を流す（励磁する）方式が1相励磁である [10]。パルス1つを与えるたびにステッピングモータに設定されたステップ角だけ回転する。励磁の順を $\bar{Y} \rightarrow \bar{X} \rightarrow Y \rightarrow X$ と逆にすると逆回転する。1相励磁は最も単純な方式であるが、トルクが弱く、高速回転に向いていないという欠点がある。また、モータの安定性が悪く、外力を加えると前後のステップ角に移動してしまうため実用的ではない。

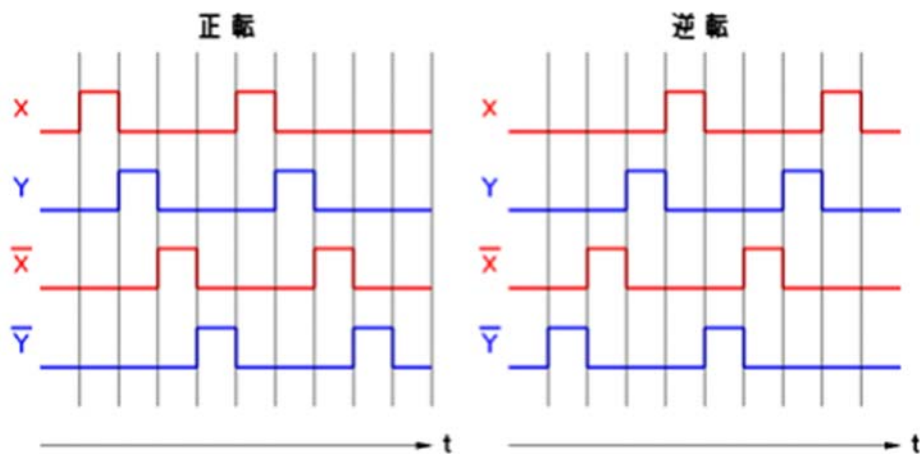


図 3.4 1相励磁のパルス [10]

② 2 相励磁

2 相励磁はよく用いられる励磁方式で、図 3.5 のように前の相と半パルス分ずつずらしながら励磁していく。図 3.5 のようにパルス幅が 1 相励磁の 2 倍となる。そのため 1 相励磁と比べて回転が安定して、大きなトルクを得られるというメリットがあるが、消費電力も 2 倍となる。

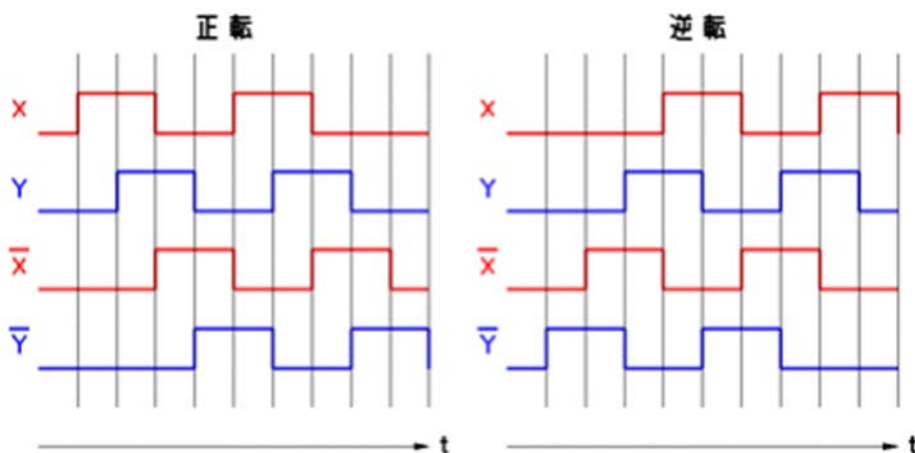


図 3.5 2 相励磁のパルス [10]

③ 1-2 相励磁

1-2 相励磁とは図 3.6 のように各相のパルス幅が 3 となり、次の相とは 2 パルス分だけずらして励起する方式である。1 パルスごとの回転する角度が 1 相励磁と 2 相励磁に比べて半分になるため、さらに細かいモーター制御が可能になる。しかし 2 相励磁と比べてトルクが弱い。

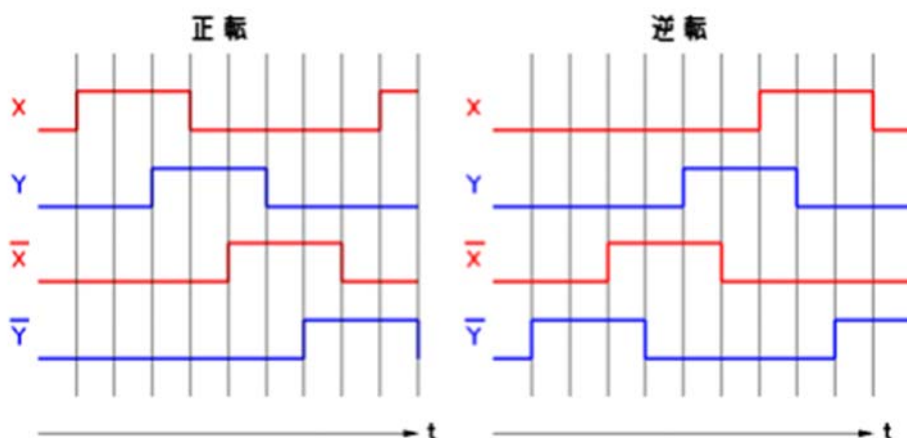


図 3.6 1-2 相励磁のパルス [10]

3.2.3使用するステッピングモータの性能及び構造

本研究で観光望遠鏡の水平及び垂直方向の回転に2つ使用するステッピングモータはRS社製191-8299である。その性能を表3.2、外見を図3.7に示す[11]。RS社191-8299は2相励磁での使用を推奨しているため、2相励磁を用いてステッピングモータを駆動する。

表 3.2 使用するステッピングモータの性能[11]

名称	RS191-8299
タイプ	バイポーラ
静止トルク	100[mNm]
定格電圧	12[DC]
フレームサイズ	40×40[mm]
ステップ角	1.8[°]
軸径	5[mm]
許容電流値	0.4[A]



図 3.7 RS 社 191-8299[11]

この2つのほか、本研究ではレンズモジュールに内蔵されている2つを加え合計4つのステッピングモータを操作することで観光望遠鏡の操作を行う。次節では3Dプリンターについて解説する。

3.3 3D プリンター

3D プリンターは、立体物を表すデータをもとに樹脂などを加工して造形する装置のひとつである。旧来のプリンターは、デジタルデータに基づいて紙などの平面上にインクを吐出して文字や図形を印刷する。これに対して 3D プリンターは、空間に樹脂などを何層にも積み重ね、デジタルデータを立体造形物として実体化・可視化できるように出力する装置である[12]。3D プリンターは 1987 年にアメリカで商品化された「SLA1」から始まり、2009 年に基本特許の保護期間が終了したことで多くの企業が 3D プリンターに参入するようになった。その結果、従来の工業用だけではなく個人用 3D プリンターが商品化され普及が進んだ背景でいる。

米調査会社 Canalys が発表した調査結果によれば、2014 年に全世界で出荷された 3D プリンターは 13 万 3000 台となり、2013 年比で 68%増加した[13]。また米調査会社 Gartner が発表した 3D プリンター市場調査とそれに基づく予想によると、2015 年全世界の 3D プリンター出荷台数は 24 万 4533 台であり、2016 年には約 50 万台に増加が予測される[14]。図 3.8 は公表されている 3D プリンター出荷台数を示しており、2013 年及び 2014 年は米調査会社 Canalys によるデータ、また 2015 年は米調査会社 Gartner によるデータである。調査会社が異なるため若干の誤差があると思われる。

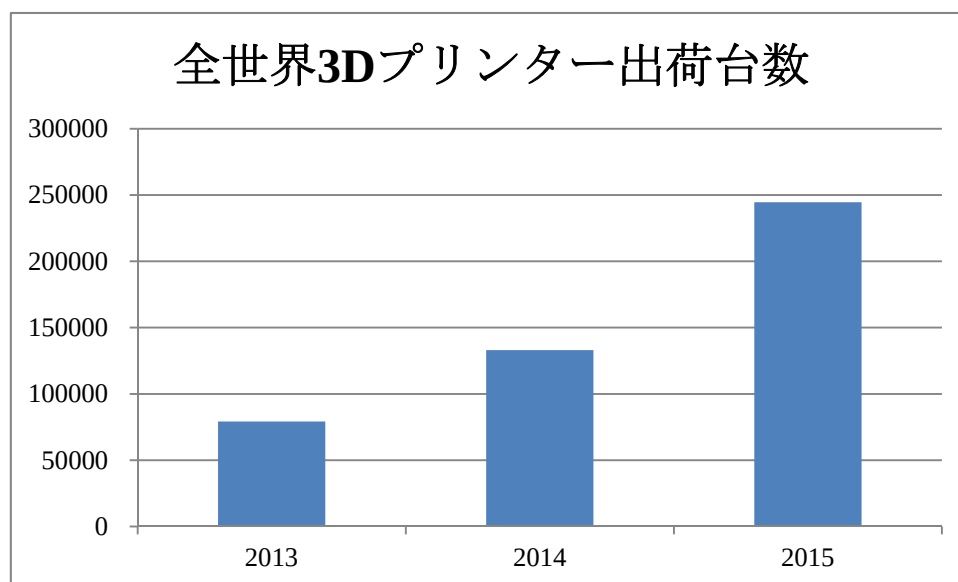


図 3.8 全世界 3D プリンターの出荷台数[13,14]

3.3.1 bonsai lab 社製 BS01+

今回は図 3.9 の bonsai lab 社製 3D プリンターBS01+を用いてパーツ作成を行った。この BS01+はいわゆる個人向けローエンド 3D プリンターと呼ばれるものである。表 3.3 は BS01+ の仕様を示している[15]。



図 3.9 BS01+の外見[15]

表 3.3 BS01+の仕様[15]

項目	仕様
型番	BS01+
積層ピッチ	0.1mm~
各軸の分解能	(理論値):Z 軸 0.0003mm 、XY 軸 0.014mm
ノズル	0.4mm
最大造形サイズ	幅 150mm、奥行き 130mm、高さ 100mm
造形速度	造形時速度 100mm/sec、空送り時速度 200mm/sec
重量	約 6kg

3.3.2 3D プリンターで使用する材料

3D プリンターは樹脂等の材料を何層も重ねて出力することで立体的を造形する機械である。その用途によって 3D プリンターの材料は多く存在する。表 3.4 に代表的な材料の特徴を挙げる。

表 3.4 3D プリンターで使用する材料の一覧

ABS 樹脂	表面光沢にすぐれ、着色できるため外観部品に適している。 プリント中の臭いが強く気分が悪くなる可能性がある。
PLA 樹脂	材料が固く粘り強い。 植物由来の成分のため、プリント中に樹脂独特の嫌な臭いを発しない。
ABS ライク 樹脂	主に液体の樹脂に紫外線を当てて硬化する光造形法で使われる。 強度的には ABS に劣るため力が加わるものには適さない。 外観は ABS に近く微細で綺麗な造形物を作ることができる
PP ライク 樹脂	主に液体の樹脂に紫外線を当てて硬化する光造形法で使われる。 高靱性で衝撃性に優れ、PP に近い色調や物性を有している。
ゴムライク	光造形法でプリントすることができ、ゴムライク樹脂を利用する。 ゴムのようになめらかに曲げることができる。
ナイロン	強度、靱性、柔軟性のある樹脂。表面はすこしざらついている。 耐熱性にも優れる。
石膏粉末	粉末石膏造形で用いられる樹脂であり、模型やフィギュアの原型などの造形によく利用される。 フルカラーで色を付けることができ、デザイン確認などにも利用されるが、強度がないため力が加わるものには適さない。
シルバーや チタンなど の金属	シルバーはアクセサリに使われる金属であり表面には光沢がある。 チタンは軽量で強度が強く耐食性に優れる。 金属アレルギーを引き起こしにくい材質である

この中で、ローエンド型 3D プリンターで主に使われるのは上の二つである ABS 樹脂と PLA 樹脂である。本研究で使用した BS01+は研究室内に設置してあるのでプリント中回りに迷惑をかけにくい PLA 樹脂を材料に使用した。

3.4 水平及び垂直方向の回転機構

図 3.10 は水平及び垂直方向の回転機構の CAD 図である。この機構は図 3.11 のように、上下に分割することができる。

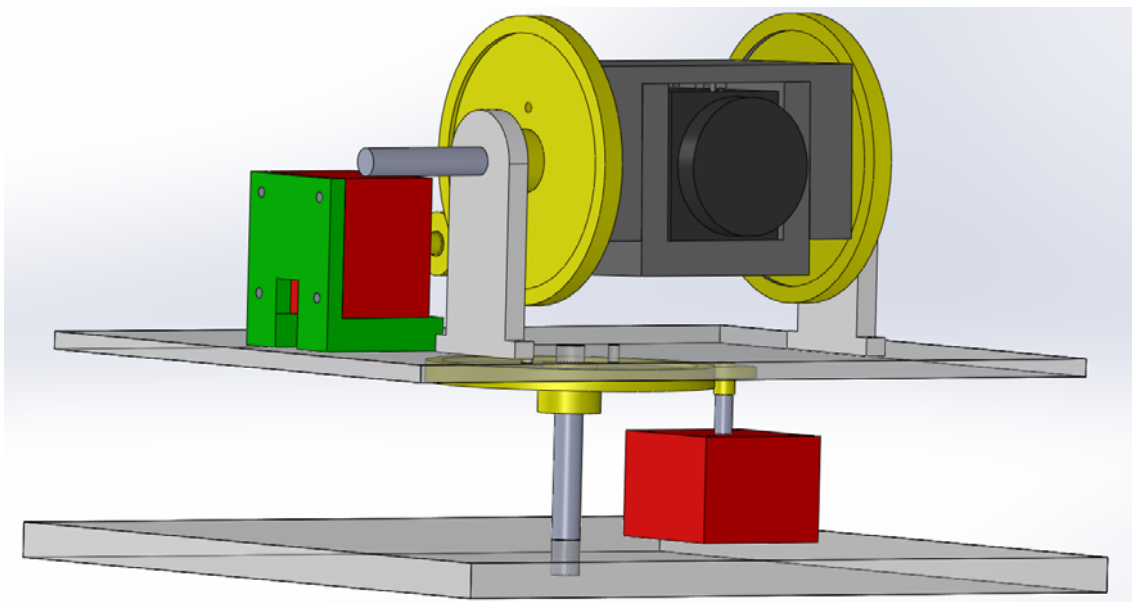


図 3.10 水平及び垂直方向の CAD 図

図 3.11 左は水平方向の回転機構を組み合わせた「水平方向回転部」、図 3.11 右はカメラモジュールと垂直方向の回転機構からなる「垂直方向回転部」を示している。

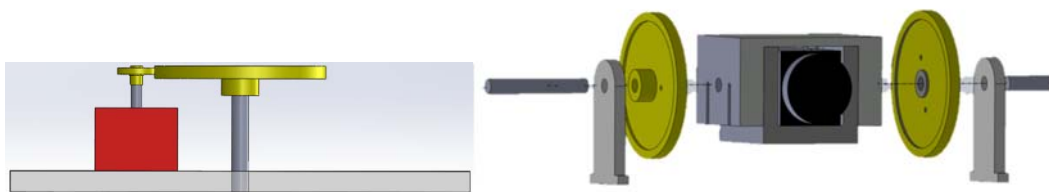


図 3.11 (左) 水平方向回転部

(右) 垂直方向回転部

本研究では軽量化のためアルミ等の金属加工で作製するのではなく、3D プリンターを用いてプラスチック製のパーツを作製する。

3.4.1 作成したパーツ

図 3.12 は 3D プリンターで作成したパーツを並べた様子である。全て図 3.11 右の垂直方向回転部に用いられるものである。中央の二つのコの字のパーツがカメラモジュールを固定するカメラ固定部品、カメラ固定部品の左右にある白いパーツがベアリング台、右上にある L 字型のパーツが L 字固定部品である。表 3.5 の青い背景は部品のプリントに使用したスライサーソフト、黄色の背景は設定、白い背景はプリント時間を示している。ベアリング台にベアリングを固定するため、M2 のネジ穴を切ってイモネジを上から取り付けて固定しているが、不安定なのでエポキシ樹脂で補強している。



図 3.12 3D プリンターで作成したパーツ

表 3.5 ソフトの設定及びパーツ作製に必要なプリント時間

スライサーソフト	CURA-15.03-日本語版
項目	設定及びプリント時間
フィラメント	PolyPlus-PLA
1 層の厚さ	0.05mm
外壁の厚さ	1.6mm
底面と上面の厚さ	1.6mm
充填密度	50%
造形速度	40mm/s
ノズル温度	220C°
カメラ固定部品	18 時間
ベアリング台	7 時間
L 字固定部	4 時間

3.4.2 機構の組み立て

ここでは3Dプリンターで作製したパーツを組み立てる方法を機構上部、機構下部に分けて解説する。

まず、機構上部から解説する。図 3.13 及び図 3.14 は機構上部の分解図を示している。カメラ固定部は図 3.13 に示すようにレンズモジュールを上下に挟み込むことで取り付ける。垂直方向の回転機構の組み立ては、まず図 3.14 に示すように歯数 80 ギアと 50mm シャフトをカメラ固定部へ取り付け、長さ 3cm の M3 ネジで歯数 80 のギアを固定する。次に 50mm シャフトをベアリング台に通して垂直方向の回転機構が完成する。垂直方向の回転機構に使用したパーツを表 3.6 に示す。

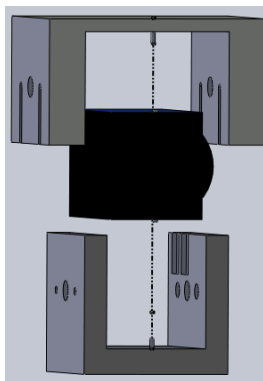


図 3.13 カメラ固定部の取り付け

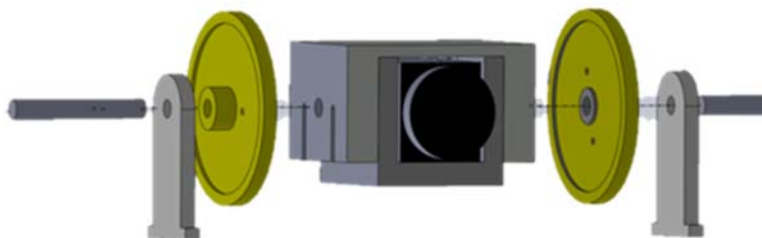


図 3.14 垂直方向の回転機構

表 3.6 垂直方向の回転機構のパーツ一覧

カメラモジュール	1 個
カメラ固定部	1 組
KHK 社 DS 成形平歯車歯数 80	2 個
長さ 50mm シャフト	2 個
ベアリング台	2 個
長さ 4cm の M3 ネジ	4 個

ステッピングモータには KHK 社 DS 成形平歯車の歯数 24 のギアが取り付けられている。モーター固定部は機構上部に含まれ、ステッピングモータを機構上部に取り付ける際に使用する。そのため L 字固定部を図 3.15 に示すようにステッピングモータに長さ 4cm の M3 ネジで取り付ける。機構上部の組み立ては L 字固定部とカメラの垂直方向回転機構を図 3.16 に示すように台に長さ 1.5cm の M2 ネジで取り付けることで組み立てが完了する。表 3.7 の背景が緑の範囲がモーター固定部に使用するパーツ、また背景が青の部分は機構上部に使用するパーツである。次に機構下部の組み立てを解説する。



図 3.15 モーター固定部取り付け図

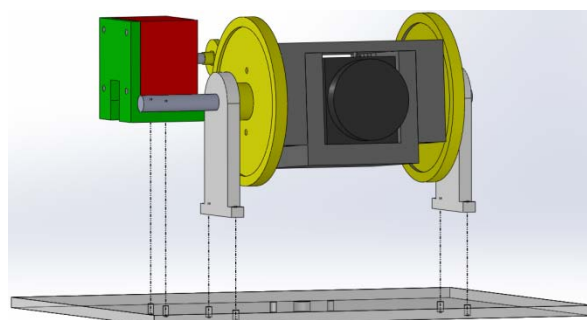


図 3.16 機構上部の取り付け図

表 3.7 モーター固定部及び機構上部のパーツ一覧

モーター固定部	
L 字固定部	1 個
ステッピングモータ (RS 社 RS191-8299)	1 個
KHK 社 DS 成形平歯車歯数 24	1 個
長さ 4cm の M3 ネジ	4 個
機構上部への取り付け	
モーター固定部	1 組
垂直方向の回転機構	1 組
長さ 1.5cm の M2 ネジ	6 個

機構下部は水平方向回転機構と軸受部品を図 3.17 に示すように M3 ネジで土台に取り付ける。軸受部品は市販の製品であり、シャフトを支える役割がある。ステッピングモータと軸受部品を 4cm の M3 ネジで土台に取り付ける。土台には内側に溝を作っているためネジ頭が飛び出すことはない。次に歯数 80 ギアと長さ 100mm シャフトを軸受部品に通しながら穴に差し込むことで機構下部が完成する。

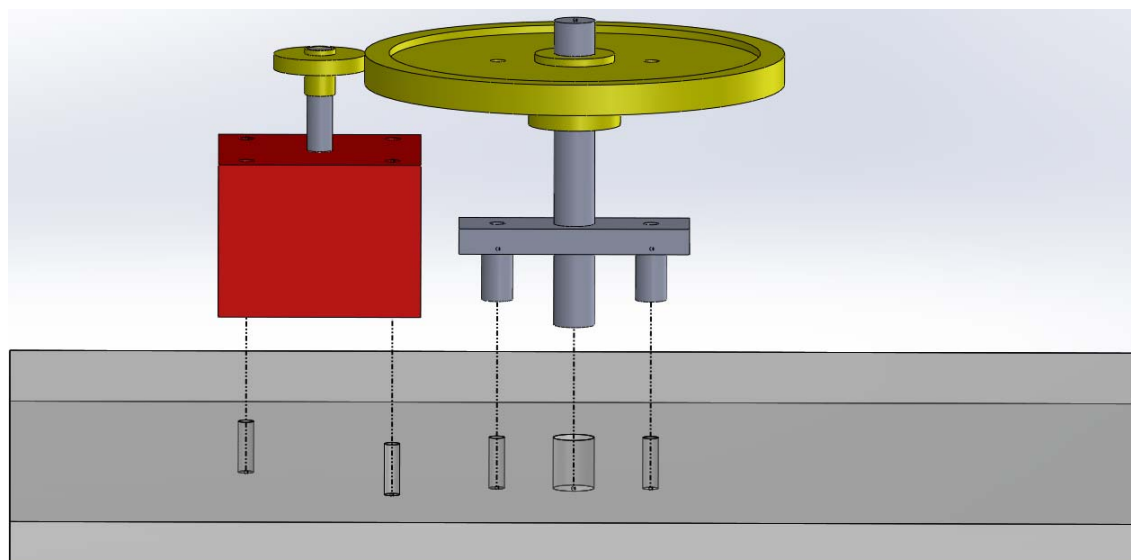


図 3.17 機構下部の取り付け図

表 3.8 機構下部のパーツ一覧

ステッピングモータ (RS 社 RS191-8299)	1 個
KHK 社 DS 成形平歯車歯数 80	1 個
KHK 社 DS 成形平歯車歯数 24	1 個
軸受部品(市販)	1 個
長さ 100mm シャフト	1 個
長さ 4cm の M3 ネジ	4 個

最後に機構の上下部を重ね、水平回転機構の歯数 80 ギアと上部の土台を長さ 4cm のネジで固定することでタブレット式観光望遠鏡の機構が完成する。図 3.18 は上下の接続を示している。

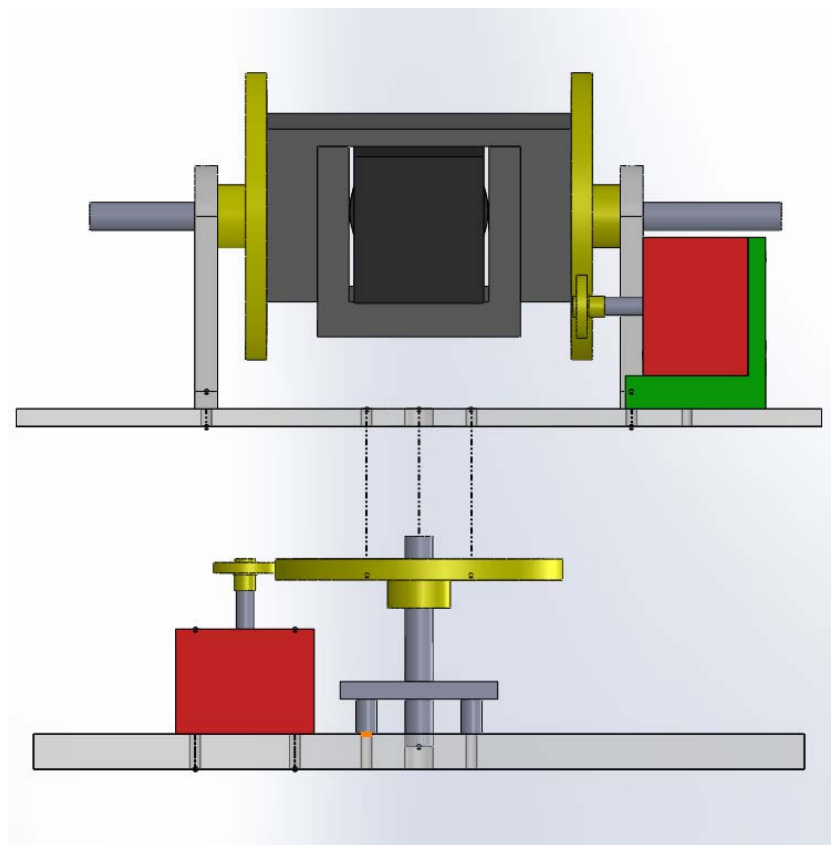


図 3.18 機構上下部の取り付け

組み立てたタブレット式観光望遠鏡の大きさは 23cm×21cm×20cm となり、2 章で述べた条件 1 の 30cm×21cm×27cm を満たす。

図 3.19 は組み立てた実際のタブレット式観光望遠鏡を示している。図 3.19 に見える回路部については 4 章で解説する。

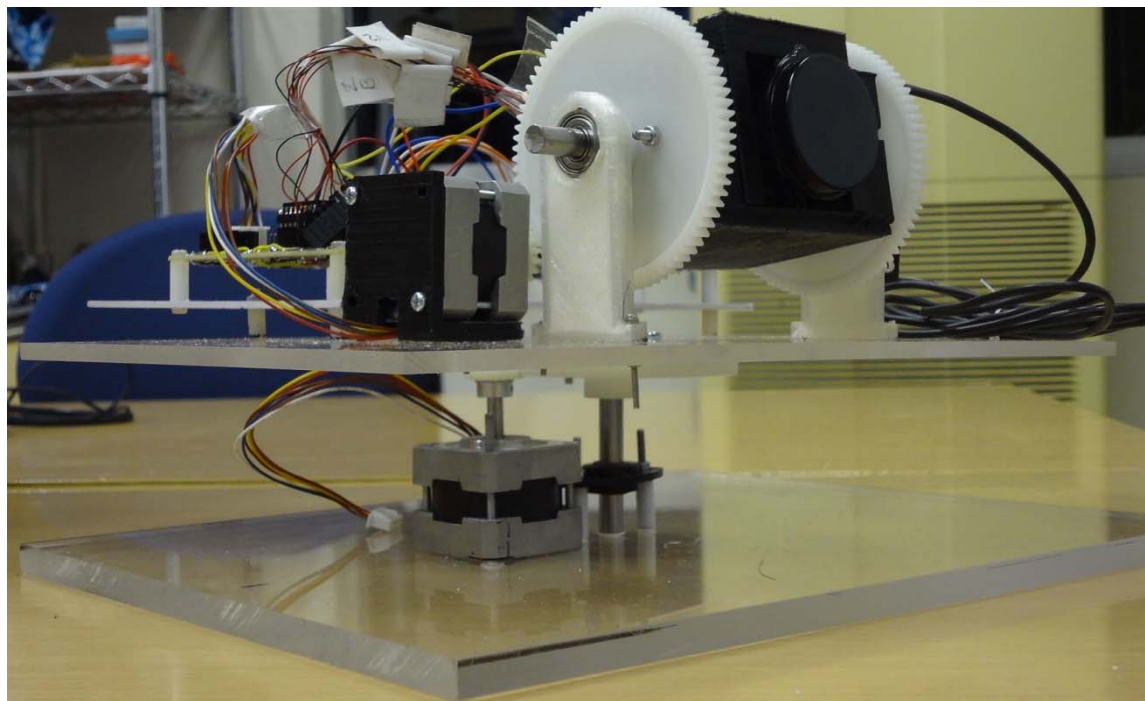


図 3.19 タブレット式観光望遠鏡

第4章 回路

本章ではタブレット式観光望遠鏡のため作製した回路について述べる。最初にステップモータを操作するために用いたマイコンボード Arduino UNO について解説する。

4.1 Arduino UNO

タブレット端末から受け取った命令を各モーターに送って操作するために Arduino UNO を用いた。Arduino とは AVR マイコン、C 言語風の Arduino 言語による統合開発環境、入出力 (I/O) ポートを備えた基板なので、初心者であっても簡単に扱えるマイコンボードである。図 4.1 に Arduino UNO の外観、表 4.1 に仕様を示す[16]。



図 4.1 Arduino UNO [16]

表 4.1 Arduino UNO [16]

マイコン	ATmega328
動作電圧	5V
入力電源電圧(推奨範囲)	7~12V
デジタル I/O ピン	14 本(うち 6 本は PWM として使用可能)
アナログ入力ピン	6 本
I/O ピンの最大 DC 電流	40mA
3.3V ピンの最大 DC 電流	50mA
フラッシュメモリー	32KB(ATmega328)
SRAM	2KB(ATmega328)
EEPROM	1KB(ATmega328)
クロック周波数	16MHz

4.2 使用するモータードライバー

タブレット式観光望遠鏡用いたステッピングモータは、観光望遠鏡の向きの操作の 2 つとレンズモジュールに取りつけられているフォーカス・ズーム調整用の 2 つで合計 4 つである。向きの操作とフォーカス・ズームの調節用は動作するモーター電圧が異なるので、2 種類のモータードライバーを使用することにした。向きの操作のステッピングモータは動作電圧が大きい (9V) ので、図 4.2 の左の TOSHIBA 社製 TB6674PG を用いる。フォーカス・ズーム調整用のステッピングモータは動作電圧が小さい (5V) ので、図 4.2 右に示す低電圧用の TI 社製 DRV8834 を用いる。表 4.2 に各モータードライバーの仕様を示す[17,18]。

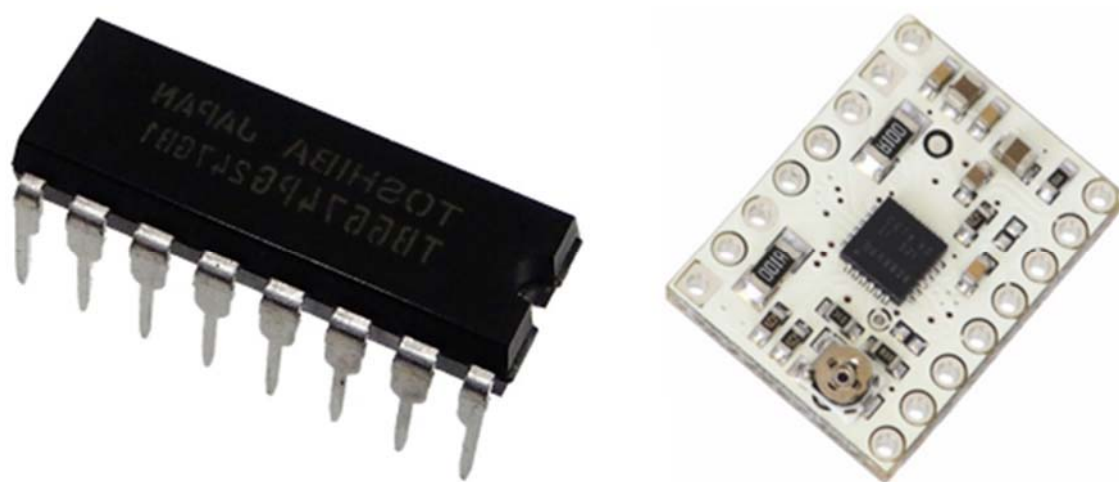


図 4.2 TI 社 DRV8834[17]と TOSHIBA 社 TB6674PG[18]

表 4.2 各モータードライバーの仕様[17,18]

	TB6674PG	DRV8834	単位
モーター電圧(min)	6	2.5	V
モーター電圧(max)	24	10	V
モーター電流(ave)	1.5	0.4	A
モーター電流(peak)	2.2	0.35	A

図 4.3 は TB6674PG でステッピングモータを駆動するための配置図を示している[19]。ステッピングモータを駆動させるには、その 4 つの端子に特定のパルスパターンを与える必要がある。TB6674PG を用いると、図 4.3 が示すように TB6674PG の 2 端子を Arduino の Stepper ライブラリで制御することで 4 つのパルスパターンを A1、A2、B1、B2 に生成することができる。

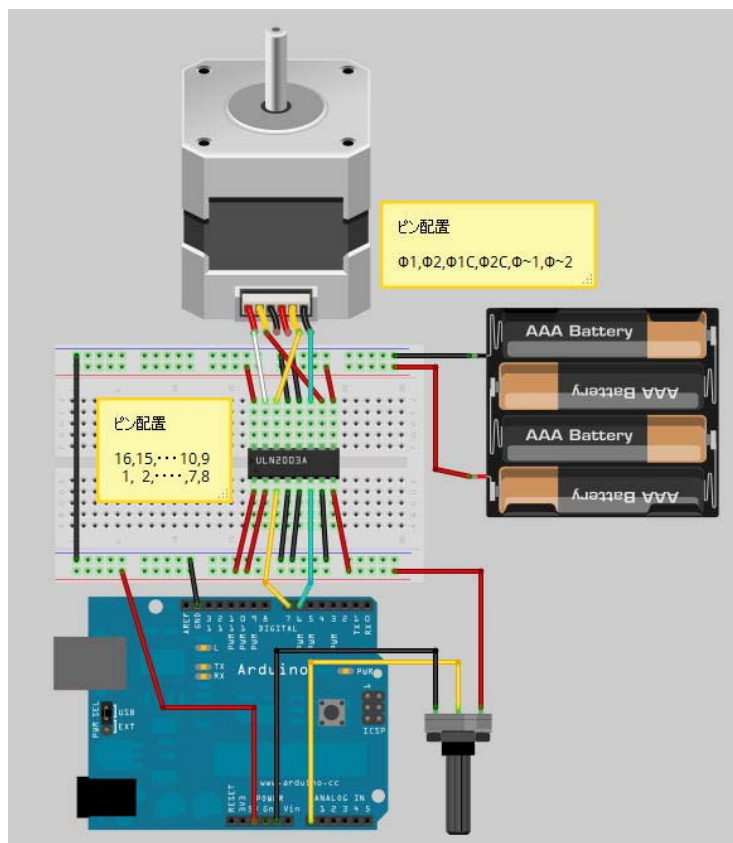


図 4.3 TB6674PG を用いた配置図[19]

4.3 TB6674PG の動作確認

TB6674PG の動作実験のためにタクトスイッチと可変抵抗を用いて回路を作製した。この回路はタクトスイッチを押している間、ステッピングモータが可変抵抗の値によって 4 段階の速度で駆動する。図 4.4 はマイコンボードで TB6674PG を制御して 2 相励磁のパルスパターンを生成するプログラムを示している。プログラム上の `iValue` が可変抵抗で決まる速度調節用の変数である。また `rotLock` がタクトスイッチによるモーターの駆動の駆動と停止を決めている。

```
#define BASESTEPANGLE 1.0 // 1 ステップの角度
#define PulseWidth 4.0 // 1 パルスの長さ msec

#define STEPS 200 // 1 回転あたりのステップ数
#define STEPNUM 1 // 何ステップずつ動かすか

bool rotLock = false;
Stepper stepper(STEPS, STEPPER1, STEPPER2) // 水平方向

void set_horizontal() // 水平方向
{
    int iValue = analogRead(VOLUMEPIN); // 0 - 1023
    int speed=0;
    if(iValue<=512) {
        speed = (0-30)*(iValue-512)/(512-0);
    }
    else{
        speed = (30-0)*(iValue-512)/(1024-512);
    }
    Serial.println(speed);
    stepper1.setSpeed(speed);
    if(iValue<=512) {
        stepper1.step(STEPNUM)://回転
    }
    else{
        stepper1.step(-STEPNUM)://逆回転
    }
}

void loop()
{
    if (digitalRead(TACTAPIN) == HIGH ) {
        rotLock = true;
        deg_horizontal()://水平方向
    }
    else if (digitalRead(TACTAPIN) == LOW ) {
        rotLock = false;
    }
}
```

図 4.4 2 相励磁用プログラム (TB6674PG 使用)

図 4.5 はモーターの駆動用の回路図である。図 4.6 の左は理論的な正転時のパルスパターンを示している。右の実測されたパルスパターン。これと同じ波形を出力できていることがわかる。

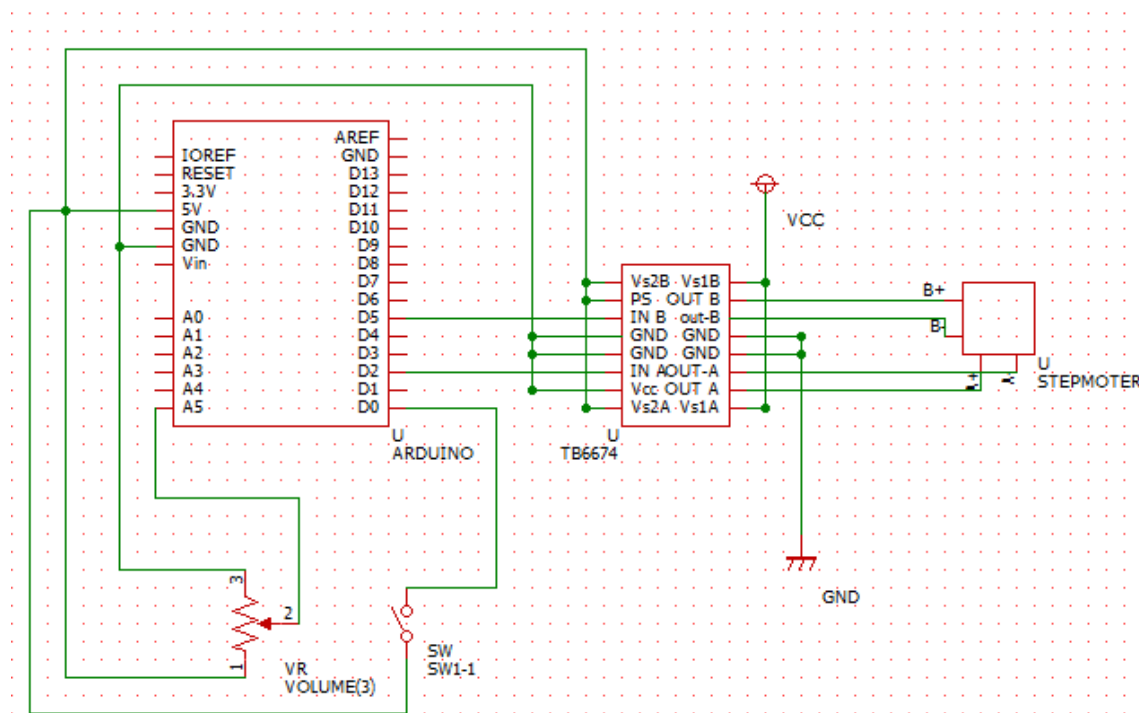


図 4.5 タクトスイッチ式ステッピングモータ回路 (TB6674PG 使用)

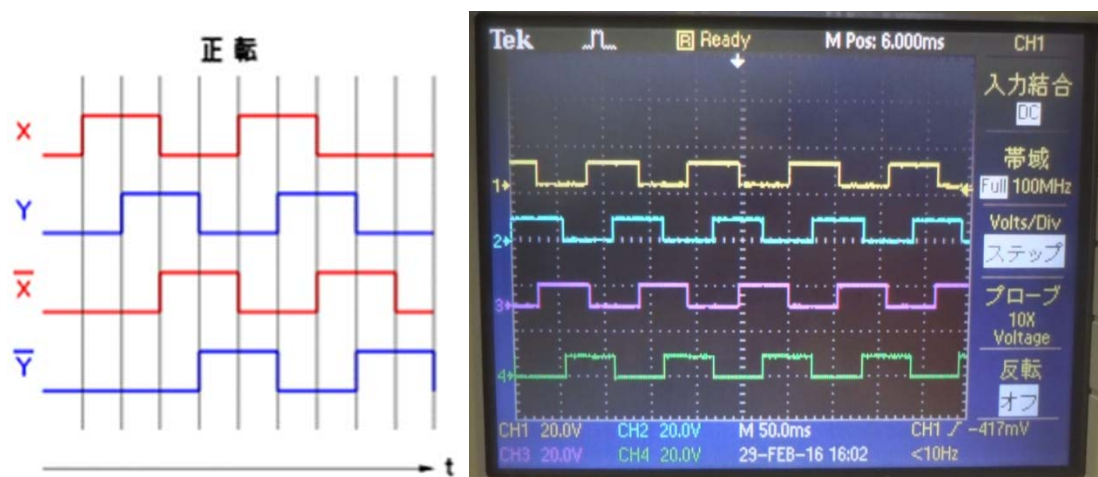


図 4.6 正転時のパルスパターン (左) 理論的なパルスパターン
(右) 実測されたパルスパターン

また、可変抵抗を操作することで図 4.7 から図 4.8 に示すような反転及び変速したパルスパターンが見られることが確認できた。

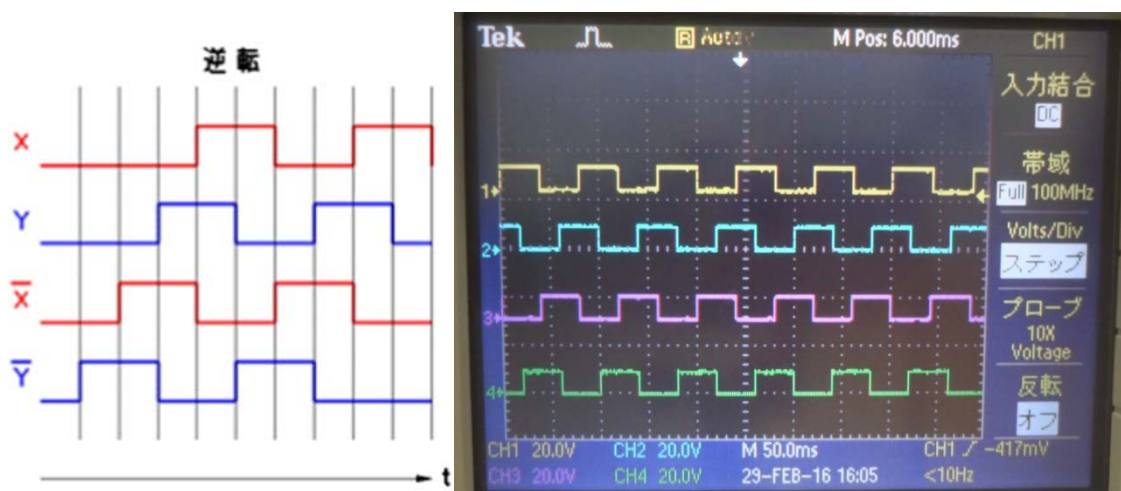


図 4.7 反転時のパルスパターン (左) 理論的なパルスパターン
(右) 実測されたパルスパターン



図 4.8 実測された波形の長いパルスパターン (左) 正転時のパルスパターン
(右) 反転時のパルスパターン

4.4 DRV8834 の動作確認

DRV8834 も TB6674PG と同様に 2 つの端子をマイコンボードで制御することでステップモータを駆動することができる。ただしこちらは Stepper ライブラリではなく自作プログラムで制御する必要がある。図 4.9 はそのための回路を示している[18]。

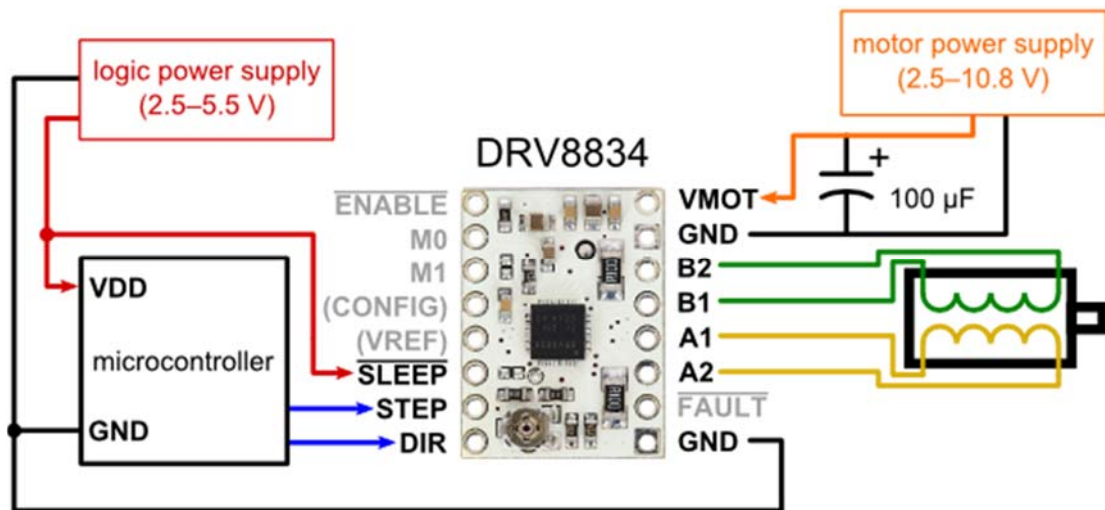


図 4.9 TI 社 DRV8834 を用いた回路図[18]

DRV8834 の動作実験として、タクトスイッチを押している間ステッピングモータが駆動する回路を作った。図 4.10 はマイコンボードで DRV8834 を制御して 2 相励磁のパルスパターンを生成するプログラムである。DIRPIN が HIGH の時に正転、LOW の時に逆転するプログラムになっている。STEPPIN の出力を HIGH/LOW に 4 回繰り返すことで 1 連のパルスパターンが生成される。

```
#define BASESTEPANGLE (1.0) // 1 ステップの角度
#define PulseWidth (4.0) // 1 パルスの長さ msec

void set (float deg)
{
    Serial.println(deg);
    int count = deg / BASESTEPANGLE / 4; // 1 ループで 4 パルス分
    if(count > 0) {
        digitalWrite(DIRPIN, HIGH);
        for(int i = 0; i < count; i++) {
            digitalWrite(STEPPIN, HIGH);
            delay(PulseWidth);
            digitalWrite(STEPPIN, LOW);
            delay(PulseWidth);
            digitalWrite(STEPPIN, HIGH);
            delay(PulseWidth);
            digitalWrite(STEPPIN, LOW);
            delay(PulseWidth);
            digitalWrite(STEPPIN, HIGH);
            delay(PulseWidth);
            digitalWrite(STEPPIN, LOW);
            delay(PulseWidth);
            digitalWrite(STEPPIN, HIGH);
            delay(PulseWidth);
            digitalWrite(STEPPIN, LOW);
            delay(PulseWidth);
        }
    } else {
        digitalWrite(DIRPIN, LOW);
        for(int i = count; i < 0; i++) {
            digitalWrite(STEPPIN, HIGH);
            delay(PulseWidth);
            digitalWrite(STEPPIN, LOW);
            delay(PulseWidth);
            digitalWrite(STEPPIN, HIGH);
            delay(PulseWidth);
            digitalWrite(STEPPIN, LOW);
            delay(PulseWidth);
            digitalWrite(STEPPIN, HIGH);
            delay(PulseWidth);
            digitalWrite(STEPPIN, LOW);
            delay(PulseWidth);
            digitalWrite(STEPPIN, HIGH);
            delay(PulseWidth);
            digitalWrite(STEPPIN, LOW);
            delay(PulseWidth);
        }
    }
}
```

図 4.10 2 相励磁用プログラム (DRV8834 使用)

図 4.11 は DRV8834 でステッピングモータを動かすための回路図である。図 4.12 左は正転時のパルスパターンを示している。この回路では 5V のモーター電圧を使用している。図 4.12 右は TB6674PG の正転時のパルスパターンを比較用に示しており、DRV8834 は TB6674PG より低いモーター用電圧を出力しているのがわかる。

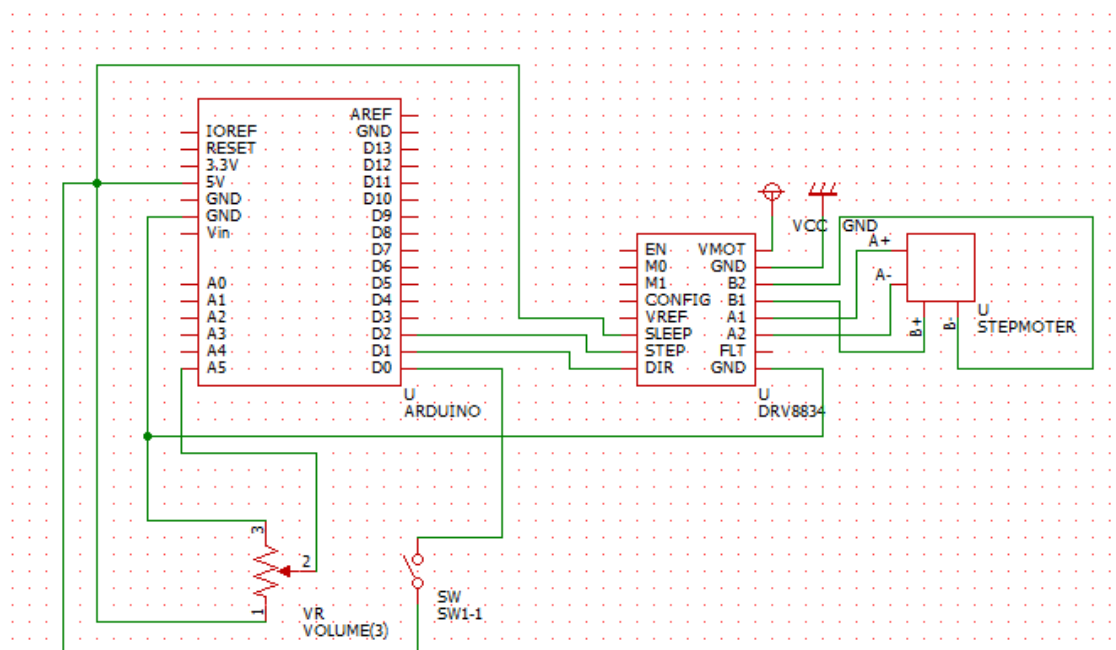


図 4.11 タクトスイッチ式ステッピングモータ回路（DRV8834 使用）

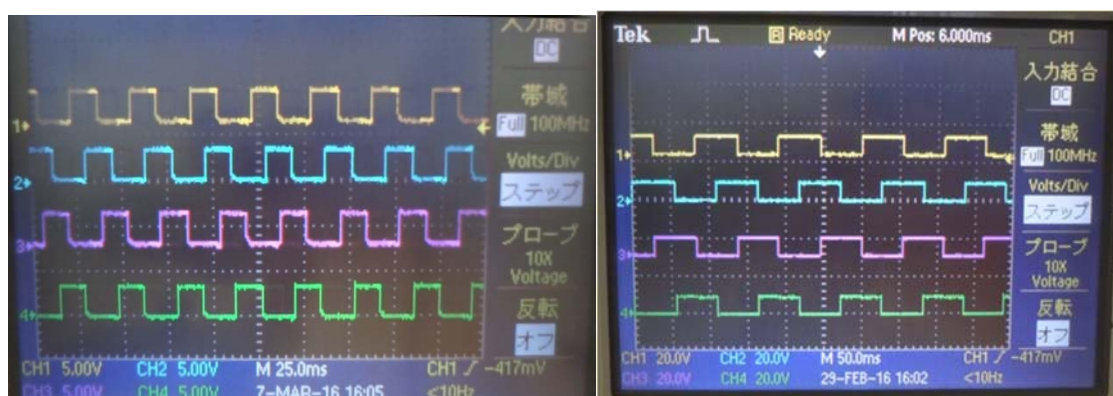


図 4.12 実測されたパルスパターン（左） DRV8834 使用（右） TB6674PG 使用時

4.5 回路の作製

Arduino UNO を用いてステッピングモータを制御するためのパルスパターンが生成できることを DRV8834 及び TB6674PG 共に確認できたので、タブレット式観光望遠鏡に載せるための回路を図 4.13 のようにユニバーサル基板で作製した。TB6674PG と DRV8834 とが、それぞれ赤と青の枠で示されている。図 4.14 はその回路図を示している。この回路では TB6674PG のモーター電圧を 9V ジャックにより与え、DRV8834 のモーター電圧の 5V を Arduino UNO から与えている。

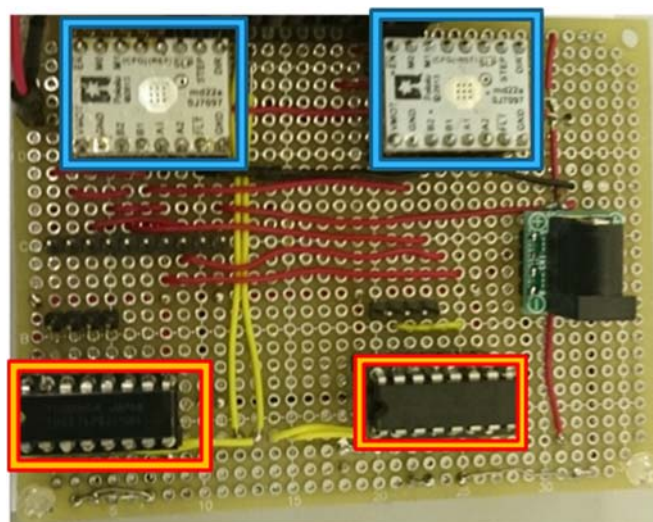


図 4.13 自作基板

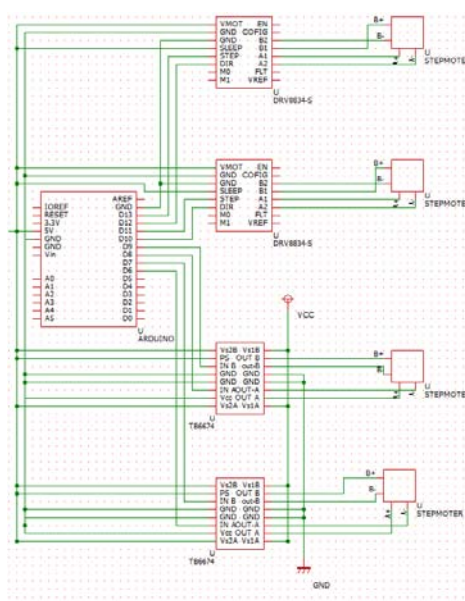


図 4.14 4 モーター駆動回路

第5章 動作実験

5.1 実験方法

開発したタブレット式観光望遠鏡を工学院大学八王子キャンパス（以下キャンパスと呼ぶ）に設置し、動作実験を行った。目的はキャンパスから約 70km 先にある富士山を対象にタブレット式観光望遠鏡の向きの操作やズーム・フォーカスの調整を行い、第 2 章で挙げた条件 2 が満たされているかを確認することにある。そのため、タブレット式観光望遠鏡はキャンパスで最も高い位置にある 5 号館の 9 階窓際に設置した。図 5.1 は設置されたタブレット式観光望遠鏡とタブレット端末の様子を示している。室内に設置したため、タブレット端末上の映像は窓枠のサッシが映り込んでいることがわかる。



図 5.1 工学院大学八王子キャンパス 5 号館 9 階での実験環境



図 5.2 工学院大学八王子キャンパスと富士山の直線距離

図 5.2 はキャンパスと富士山の直線距離が約 70km であることを示している。また 2 章で設定した条件 2 を図 5.3 に示す。

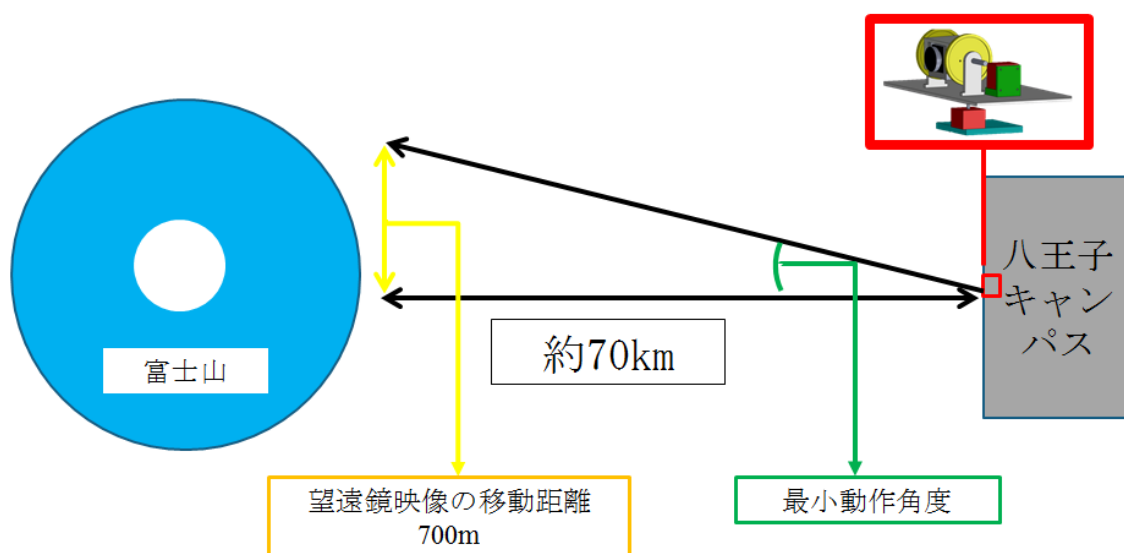


図 5.3 条件 2 「70km 先の対象を見たときに 700m 以下で映像を調節できる」

5.2 実験結果

富士山を対象に動作実験を行うと、フォーカスを正常に調節できているか確認しにくい。そこで先にキャンパス内にあるクレーンを対象にして実験を行った。図 5.4 と 5.5 はタブレット式観光望遠鏡でクレーンの映像の拡大前と後を示している。結果カメラの向きを上下左右に操作し、フォーカス・ズームを調節できることが確認できた。



図 5.4 クレーン拡大前



図 5.5 クレーンの拡大後

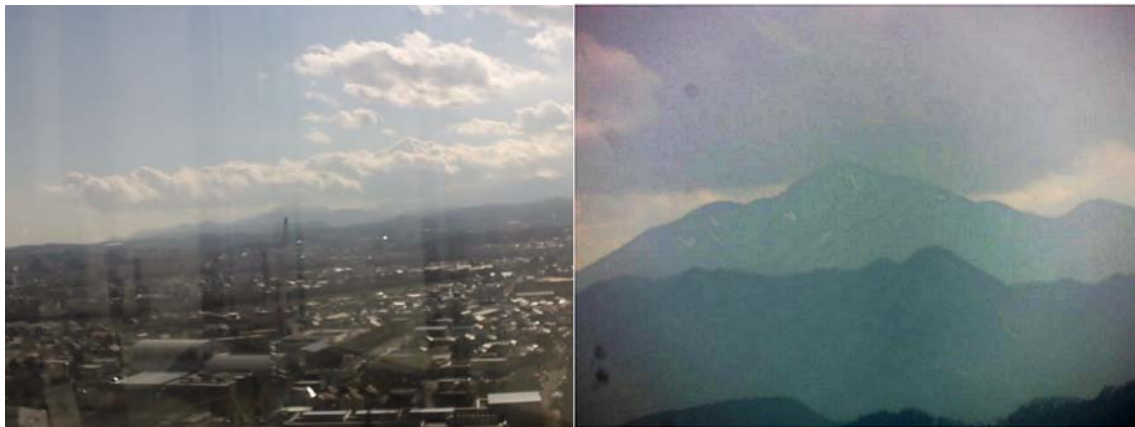


図 5.6 （左）富士山拡大前

（右）富士山拡大後



図 5.7 SONY 社製 DSC-WX10 の 7 倍ズーム富士山

続いて富士山を対象に動作実験を行った。図 5.6 左は富士山の拡大前を示しており、右は拡大後を示している。拡大後の比較対象として SONY 社製デジタルカメラ DSC-WX10 の 7 倍ズーム時の画像を図 5.7 に示す。図 5.6 右と図 5.7 を比べるとおおよそタブレット式観光望遠鏡は 16 倍程度の拡大が可能だと言える。しかし、拡大した状態では細かい操作を行うことが難しく、対象をしっかりと画面中央に寄せるまで時間がかかることがわかった。これはソフトウェアに変速機能がないことが原因だと考えられる。

第6章 結論

本研究では設置台数が減少傾向にあると推測される観光望遠鏡と普及が進むタブレット端末を組み合わせることで、従来の観光望遠鏡の問題点を解決することを目標とした。表 6.1 はタブレット式観光望遠鏡に対して 2 章で設定した条件を示している。この条件を満たすよう、開発したタブレット式観光望遠鏡が図 6.1 である。

表 6.1 タブレット式観光望遠鏡の条件

条件 1	展望フロアのスペースを阻害しない
条件 2	70km 先の対象を見たときに 700m 以下で映像を調節できる
条件 3	二人以上の観光者が同時に観光望遠鏡の景色を体験できる
条件 4	無線を用いて観光望遠鏡を操作できる



図 6.1 開発したタブレット式観光望遠鏡

次に、表 6.1 に挙げた条件 1 から 4 の達成状況について述べる。

- [条件1] タブレット式観光望遠鏡を大きさ 23cm×21cm×20cm、重量約 2kg で作製できた。これは文献[5.6]の 30cm×21cm×27cm、重量 2.84kg よりも小型化できたことを示している。これにより、展望フロアのスペースを阻害しない観光望遠鏡を実現できたと言える。(1 章、3 章)。
- [条件2] 70km 先の対象を見たときに、対象を映像の中央に移すための調節を行うことができた。またズーム・フォーカスによる調節も正常に動作し、16 倍程度のズームが可能である (5 章)。
- [条件3] タブレット端末上に観光望遠鏡の映像を取得することができた。これにより二人以上の使用者がタブレットを見ながら同時に景色を体験できる (1 章、2 章)。
- [条件4] タブレット端末から観光望遠鏡を無線操作するシステムを実現した。無線接続には Wifi による LAN 接続を用いた (1 章、2 章)。

上記のように、条件 1 から 4 までをすべて満たすタブレット式観光望遠鏡を開発することができた。しかし、カメラの向きの操作やフォーカス等の調整の変速機能がソフトウェアに実装されておらず、細かい調整が難しいことから改良が必要である。また、文献[5.6]と比べて軽量化が大きく進まない原因として土台として使用したアクリル板が重いことが挙げられる。そのためこのアクリル板を軽量化が必要である。また、実現した機能以外にも新規性が求められる等の問題点が残されており、今後の課題である。

第7章 謝辞

研究活動に対して、レンズモジュールの提供や助言等のご協力を頂きました K 社に深くお礼を申し上げます。また論文の作成や研究活動にあたり、常に暖かなご指導を頂きましたグローバルエンジニアリング学部機械創造工学科金丸隆志准教授に深くお礼を申し上げます。また、本論文の執筆に際し、丁寧かつ熱心なご指導を頂きました。工学部疋田教授、工学部システム濱根准教授に心よりお礼申し上げます。

また、同期として修士の研究や学会発表に取り組んだ、坂西 直人氏、平山 智之氏と、私を支えてくださった知能機械研究室の先輩、後輩の皆様にこの場で感謝の意を表します。

最後に大学院で学ぶ機会を与え、温かく応援してくださった両親に感謝致します。

引用文献

- [1]. やかぶね.com. (引用日: 2016 年 2 月 19 日.)
<http://yakabune.com/news/186.html>.
- [2]. コバック社. D8-C 型 標準仕様. CAVAC 観光望遠鏡. (引用日: 2016 年 2 月 25 日.)
<http://www.covac-jp.com/original2.html>.
- [3]. 総務省. 総務省平成 26 年通信利用動向調査. (引用日: 2016 年 2 月 20 日.)
http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/data/150717_1.pdf
- [4]. 内閣府. 内閣府主要耐久消費財. (引用日: 2016 年 2 月 20 日.)
<http://www.esri.cao.go.jp/jp/stat/shouhi/shouhi.html>
- [5]. 吉野晃平, 他 5 名 ”Android 観光望遠鏡の開発～レンズと Android を組み合わせ、次世代に向けて何ができるか～”.
工学院大学卒業論文, 2014.
- [6]. 吉野晃平, 金丸隆志, 他 5 名 ”Android タブレットを用いた観光望遠鏡システム”
工学院大学研究報告, No.117 (2014) p.51-54
- [7]. Hardkernel 社 ODROID-U3 [ODROID-U3. (引用日: 2016 年 2 月 25 日.)
<http://www.hardkernel.com/main/main.php>.
- [8]. ステッピングモータのための基礎概要. (引用日: 2016 年 2 月 25 日.)
http://sekkei.if.land.to/item_stepping.html.
- [9]. ステッピングモータの構造. (引用日: 2016 年 2 月 25 日.)
http://www.orientalmotor.co.jp/tech/reference/stepping_motor01/.
- [10]. パルスパターン (引用日: 2016 年 2 月 25 日.)
<http://practice.ed.sie.dendai.ac.jp/micom/steppingmotor.pdf>.
- [11]. RS 社 191-8299 (引用日: 2016 年 2 月 29 日)

- <http://uk.rs-online.com/web/p/stepper-motors/1918299/>
- [12].3D プリンターの基礎知識 (引用日: 2016 年 2 月 29 日.)
<http://www.abee.co.jp/3dp/whats3dp.html>.
- [13].米調査会社 Canalys. 3D printing market surpasses US\$3.3 billion worldwide in 2014. canalys. (引用日: 2016 年 2 月 29 日.)
<http://www.canalys.com/newsroom/3d-printing-market-surpasses-us33-billion-worldwide-2014>.
- [14].米調査会社 Gartner. Gartner Says Worldwide Shipments of 3D Printers to Reach More Than 490,000 in 2016. Gartner. (引用日: 2016 年 2 月 29 日.)
<http://www.gartner.com/newsroom/id/3139118>.
- [15].bonsai lab. about BS01. bonsai lab. (引用日: 2016 年 2 月 25 日.)
<https://www.bonsailab.asia/about.html>.
- [16].ArduinoBoardUno. (引用日: 2016 年 3 月 8 日.)
<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>.
- [17].秋月電子. TB6674 参考資料. akizukidenshi.com. (引用日: 2016 年 3 月 1 日.)
<http://akizukidenshi.com/download/ds/toshiba/TB6674e.pdf>.
- [18].DRV8834 Low-Voltage Stepper Motor Driver Carrier. (引用日: 2016 年 3 月 1 日.)
<https://www.pololu.com/product/2134>.
- [19].ステッピングモータを動かす hiramine.com. (引用日: 2016 年 3 月 1 日.)
<http://www.hiramine.com/physicalcomputing/arduino/steppingmotordriver.html>.

図表目録

図 1.1	東京タワーに設置されているタッチパネル	7
図 1.2	コバック社 観光望遠鏡 [2]	8
図 1.3	(左) 複数人で使用することができない	9
図 1.4	総務省平成 26 年通信利用動向調査 [3]	10
図 1.5	内閣府主要耐久消費財の普及率の推移 [4]	11
図 1.6	K 社より提供された望遠レンズ	12
図 1.7	(A)三つの DC モーターが望遠レンズの明暗・ズーム・フォーカスを調節する様子(B)レンズに巻き付けたフレキラックをモーターが回転させる	13
図 1.8	CAD による完成図	13
図 1.9	過去の研究で開発した観光望遠鏡システムの概要	14
図 2.1	タブレット式観光望遠鏡の構想図	17
図 2.2	水平及び垂直回転機構の CAD 図	17
図 2.3	工学院大学八王子キャンパス～富士山間	18
図 2.4	無線による映像取得と命令送信を表した図	20
図 2.5	Odroid U3 [7]	21
図 3.1	使用するレンズモジュール	22
図 3.2	Logicool 社製 C920t 内蔵の 1/4 インチ画素センサー	22
図 3.3	ステッピングモータの断面図 [9]	23
図 3.4	1 相励磁のパルス [10]	24
図 3.5	2 相励磁のパルス [10]	25
図 3.6	1-2 相励磁のパルス [10]	25
図 3.7	RS 社 191-8299[11]	26
図 3.8	全世界 3D プリンターの出荷台数[13,14]	27
図 3.9	BS01+の外見[15]	28
図 3.10	水平及び垂直方向の CAD 図	30
図 3.11	(左) 水平方向回転部 (右) 垂直方向回転部	30
図 3.12	3D プリンターで作成したパーツ	31
図 3.13	カメラ固定部の取り付け	32
図 3.14	垂直方向の回転機構	32
図 3.15	モーター固定部取り付け図	33
図 3.16	機構上部の取り付け図	33
図 3.17	機構下部の取り付け図	34

図 3.18	機構上下部の取り付け.....	35
図 3.19	タブレット式観光望遠鏡.....	36
図 4.1	Arduino UNO [16].....	37
図 4.2	TI 社 DRV8834[17]と TOSHIBA 社 TB6674PG[18].....	38
図 4.3	TB6674PG を用いた配置図[19].....	39
図 4.4	2 相励磁用プログラム (TB6674PG 使用)	40
図 4.5	タクトスイッチ式ステッピングモータ回路 (TB6674PG 使用)	41
図 4.6	正転時のパルスパターン (左) 理論的なパルスパターン	41
図 4.7	反転時のパルスパターン (左) 理論的なパルスパターン	42
図 4.8	実測された波形の長いパルスパターン (左) 正転時のパルスパターン	42
図 4.9	TI 社 DRV8834 を用いた回路図[18].....	43
図 4.10	2 相励磁用プログラム (DRV8834 使用)	44
図 4.11	タクトスイッチ式ステッピングモータ回路 (DRV8834 使用)	45
図 4.12	実測されたパルスパターン (左) DRV8834 使用 (右) TB6674PG 使用時....	45
図 4.13	自作基板.....	46
図 4.14	4 モーター駆動回路.....	46
図 5.1	工学院大学八王子キャンパス 5 号館 9 階での実験環境.....	47
図 5.2	工学院大学八王子キャンパスと富士山の直線距離.....	48
図 5.3	条件 2「70km 先の対象を見たときに 700m 以下で映像を調節できる」	48
図 5.4	クレーン拡大前.....	49
図 5.5	クレーンの拡大後.....	49
図 5.6	(左) 富士山拡大前 (右) 富士山拡大後	50
図 5.7	SONY 社製 DSC-WX10 の 7 倍ズーム富士山	50
図 6.1	開発したタブレット式観光望遠鏡.....	51

表 1.1	コバック社 観光望遠鏡スペック	8
表 2.1	タブレット式観光望遠鏡の条件	16
表 2.2	Odroid U3 の性能表	21
表 3.1	ステッピングモータの特徴	23
表 3.2	使用するステッピングモータの性能	26
表 3.3	BS01+の仕様	28
表 3.4	3D プリンターで使用する材料の一覧	29
表 3.5	ソフトの設定及びパーツ作製に必要なプリント時間	31
表 3.6	垂直方向の回転機構のパーツ一覧	32
表 3.7	モーター固定部及び機構上部のパーツ一覧	33
表 3.8	機構下部のパーツ一覧	34
表 4.1	Arduino UNO	37
表 4.2	各モータードライバーの仕様	38
表 6.1	タブレット式観光望遠鏡の条件	51