

3Dプリンターで望遠鏡を作る

1, 自作歴

私の望遠鏡作りは中学2年生の時に天文雑誌に連載されていた小山ひさ子氏の反射望遠鏡製作記事をもとに10cm反射望遠鏡を製作したことに始まります。これまで、反射鏡は最大31cmのカセグレンまで38枚を研磨しました。鏡筒はFRP製や木製、アルミパイプが中心でしたが、鏡筒のないカセグレンやドールカーカムも作りました。主鏡セルや斜鏡セルは、アルミ材を使い、近くの科学館の旋盤を使わせてもらい加工していました。

今は、3Dプリンターで主な部品を作っています。3Dプリンターで望遠鏡や天体観測の関連部品を製作する際の要点を説明したいと思います。

2, 3Dプリンターを使った望遠鏡作り

私は、仕事の関係で 2017 年から 2021 年までの 4 年間、南アフリカ共和国に滞在していました。南アフリカは古くから多くのアマチュア天文家が活躍している国です。ヨハネスブルグ天文台には 1923 年製、イギリスの Grubb 社製 67 cm の屈折があり、天文協会の会員が定期的に清掃しています。この屈折は現在も二重星の観測などに使われています。

南アフリカ天文協会ヨハネスブルグ支部の月 1 回の例会はこの天文台で行われています。



ヨハネスブルグ天文台

Grubb 社製 67 cm 屈折

南半球有数の大型屈折望遠鏡

鏡筒を南アフリカ天文協会のメンバーが清掃
している

現地の天文協会の会員となりテレスコープメイキングクラスに参加して、毎週土曜日に反射鏡の研磨をしていました。そこで知り合った天文仲間が3Dプリンターでいろいろな部品を作っているのを見て、自分も帰国したら3Dプリンターを使おうと思っていました。

帰国後、早速 Anycubic 社製の MEGAX を購入し、3Dプリンターでの望遠鏡製作および関連する部品製作を開始しました。

MAGA-X の最大印刷サイズは 300mmX30mm0X305mmで 2021 年当時の購入値段は 52,000 円でした。

2025 年現在は、2 代目として同じく Anycubic 社製の Kobra 2 max を使っています。最大印刷サイズは 420mmX420mm0X500mm,最大印刷速度は 500mm/s です。面倒なレベル調整も自動でやってくれます。値段は 2024 年に購入した時点で 8万円台でした。

3Dプリンターで望遠鏡を作ると聞くと、私も最初そうでしたが、誰でも疑問に思うのが「強度は大丈夫か？」ということです。南アの友人にそのことを尋ねると、彼は3Dプリンターで造形した棒を手渡して「曲げてごらん」と言います。両手で力を入れて折ろうとしましたが、硬くて曲げることはできませんでした。

十分な強度があると納得しました。

フィラメント（3Dプリンターの材料）の材質、形状や印刷の際の Infill（充填率）、Infill pattern（充填の形状）などにより強度は変わってきますが、それらを工夫することで目的とする望遠鏡に対して十分な強度が得られます。

3、3Dプリンターを使った望遠鏡作りのメリット

（1）アイデアを気軽に形にできる。

3Dプリンターの最大の利点は、頭の中にあるものを形として作り出すことができるという点です。メーカー製の望遠鏡にはないアイデアを形にすることができます。

例えばファインダーの光軸調整装置ですが、望遠鏡メーカーの物はファインダーの鏡筒を3点のネジで支えて調整するものですが、光軸調整中に鏡筒がずれ落ちてきたり、星に十字を合わせるのが難しかったりします。そこで写真のような光軸調整装置にすると、鏡筒がずれ落ちる心配がなく、十字線と星を合わせるのも容易になります。これは南アフリカの友人のアイデアです。

（2）望遠鏡を軽量化できる。

天体望遠鏡を購入してもあまり使われなくなってしまう原因の一つが望遠鏡の重量にあります。観測小屋やドームに設置されている望遠鏡は別ですが、普段は屋内の部屋に保管しておいて、星が見えるときに屋外に出して観測する人も多いと思います。私もそうですが、その時の望遠鏡の重量は、望遠鏡を出すかどうか判断する重要なポイントになります。私は自作も含めた15cmから31cmまでの反射（ニュートン、カセグレン、ドールカ

ーカムなど）と15cmのアポクロマート屈折（アストロフジックス社製）20cmのシュミットカセを持っていますが、今、最も稼働率が高いのが3Dプリンターで自作した20cmニュートンです。

鏡筒5kg、架台3kgと軽量なので、手軽にベランダに持ち出してその日の星のみえ具合を確認することができます。トラス鏡筒なので外気への順応が早く、鏡面もある程度の精度を追求して磨いたので惑星の見え味も十分です。20cmの口径があるので星雲星団もよく見えます。条件が良いと判断できれば、NJPに25cm鏡筒を取り付けたり、15cmF12のアポクロマート屈折をのせたりします。この20cmニュートンは移動観測や星空教室などを主宰する際の望遠鏡としても活躍しています。

（3）個性的な望遠鏡を作ることができる。

望遠鏡は、鏡筒は白、架台は黒かグレーとほぼ色が決まっていた。アメリカの望遠鏡メーカーがいろいろな色のものを売り出してから日本のメーカーもこれまでの色にこだわらないものを出すようになりました。鏡筒内の温度変化や接眼部への迷光防止を考慮してあれば、ある程度個性的な望遠鏡も許容されるのではないかと思います。

その点、3Dプリンターの素材であるフィラメントには様々な色があり、個性的な望遠鏡を作ることができます。

3, プログラムは何を使うか OpenSCAD を例に

(センタリングアイピースを作る)

3Dプリンター用のソフトにはいろいろなものがあります。私はフリーソフトで、部品製作に向いていると言われる OpenSCAD (オープンエスキャド) を使っています。球、円柱、円錐、直方体などの図形を組み合わせて造形していきます。ライブラリーも豊富です。

例として、私が作ったセンタリングアイピースを見てください。

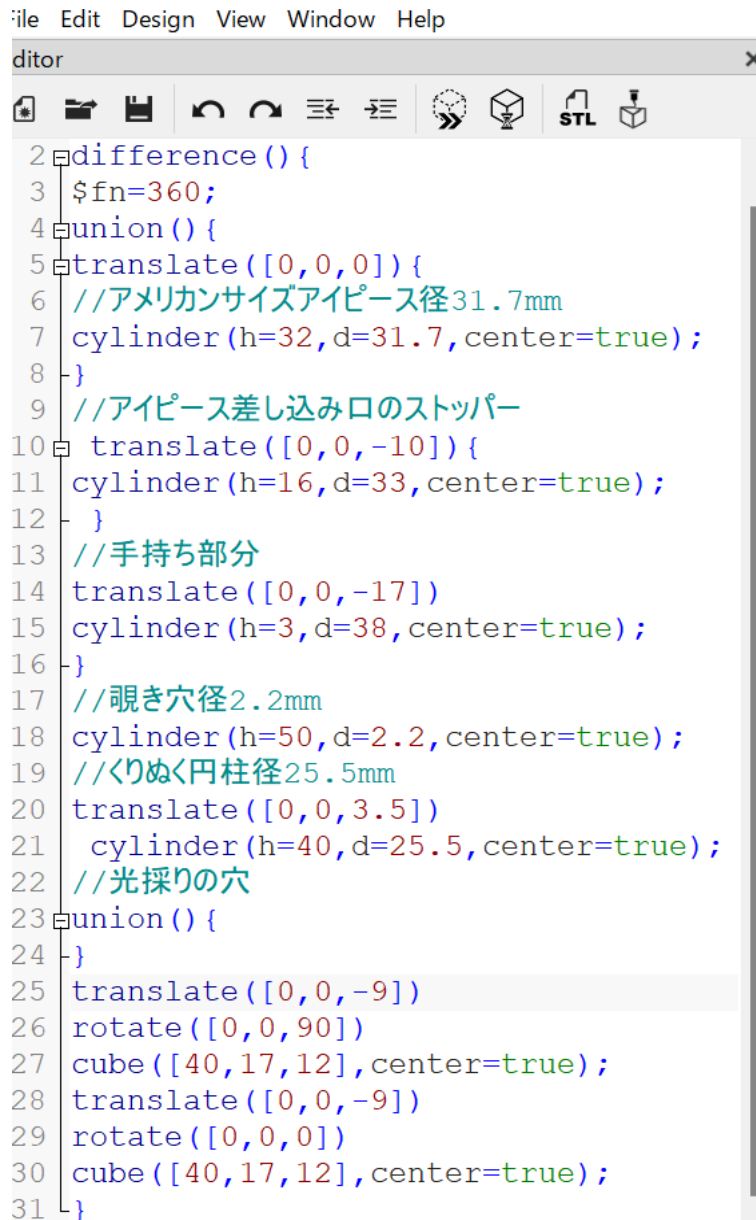
31.5mm 径の円筒を作り、底に 2.2mm の覗き穴を開け、径 2.5mm のワッシャーを入れたセンタリングアイピースです。

たった 31 行のプログラムです。

円筒と直方体の組み合わせで作っています。

OpenSCAD については、YouTube で検索すると解説動画が見つかりますし、工
社から「基礎からの OpenSCAD」という教科書も出ていますのでご覧になることを

お勧めします。



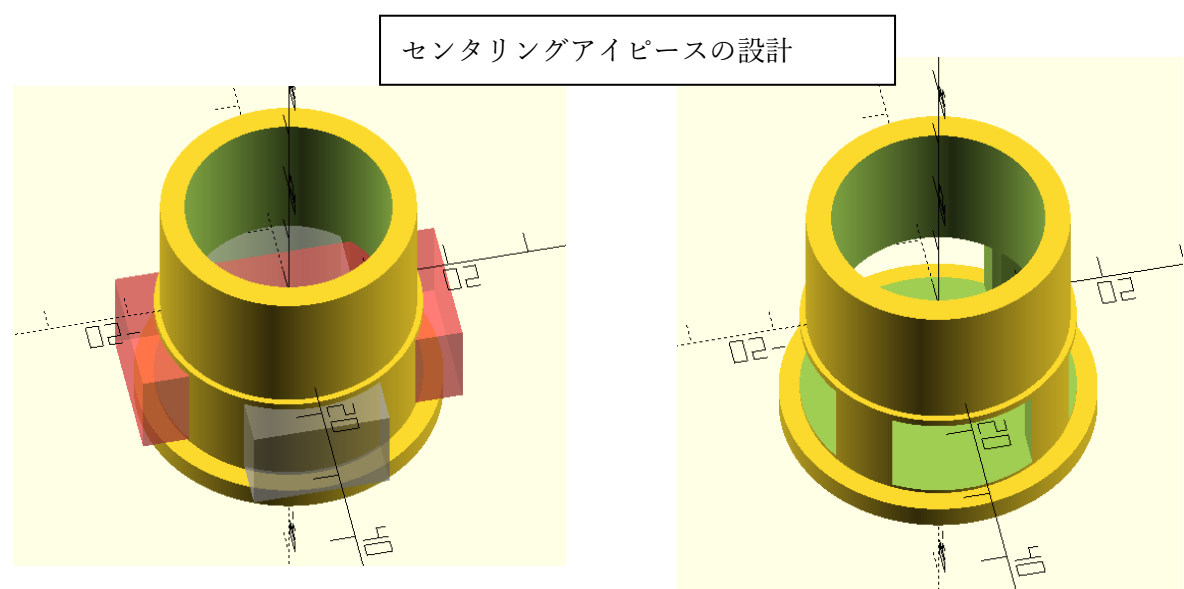
```
file Edit Design View Window Help
ditor
2 difference() {
3   $fn=360;
4   union() {
5     translate([0,0,0]) {
6       //アメリカンサイズアイピース径31.7mm
7       cylinder(h=32,d=31.7,center=true);
8     }
9     //アイピース差し込み口のストッパー
10    translate([0,0,-10]) {
11      cylinder(h=16,d=33,center=true);
12    }
13    //手持ち部分
14    translate([0,0,-17])
15    cylinder(h=3,d=38,center=true);
16  }
17  //覗き穴径2.2mm
18  cylinder(h=50,d=2.2,center=true);
19  //くりぬく円柱径25.5mm
20  translate([0,0,3.5])
21    cylinder(h=40,d=25.5,center=true);
22  //光採りの穴
23  union() {
24  }
25  translate([0,0,-9])
26  rotate([0,0,90])
27  cube([40,17,12],center=true);
28  translate([0,0,-9])
29  rotate([0,0,0])
30  cube([40,17,12],center=true);
31 }
```

文頭に//を入れると、プログラムに影響しないコメントを書くことができます。

複雑なプログラムになると自分で作ったプログラムでも後々何の命令文かわからなくなることが往々にしてありますので、複雑なプログラムには頻繁にコメントを入れておくことをお勧めします。

命令文の頭に#や%を付けると図形に色を付けることができます。どの図形を描いたのか確認するのに便利です。

センタリングアイピースの例では、赤色と灰色のついている直方体を difference という修飾命令で3つ重ねた円筒から直方体をくりぬき、光採りの穴を開けています。



作成したプログラムは、STL ファイルにして保存します。

STL ファイルはスライサーソフトを使って3D プリンター用のデータに変換します。

私はスライサーソフトとして、フリーソフトの CURA（クラ、またはキュラ）を使っています。

スライサーソフトでは、ヘッドの移動速度、Infill(充填率)、Infill Pattern（模様）等を指定します。わたしはほとんどデフォルトで使用しています^が、Infill は求める強度により変えています。通常は 30%か 40%,スパイダーや耳軸など強度が必要なところでは 70%か 80%にしています。重要なのがノズルヘッドでフィラメントを溶かす温度です。これを間違えると印刷がうまくいきません。私は、購入したフィラメントに記入されている融解温度の中央値を指定するようにしています。

4, PLA と ABS

3Dプリンターの素材には色いろとありますが、代表的な素材は PLA と ABS です。初心者には PLA が使いやすいでしょう。しかし、PLA は熱に弱く耐熱温度は



60℃前後です。それに対して ABS は 70℃～110℃です。2024 年の夏、私は、PLA で作った 10cm 反射を車内に 30 分ほど放置したところ、写真のように鏡筒が変形してしまいました。

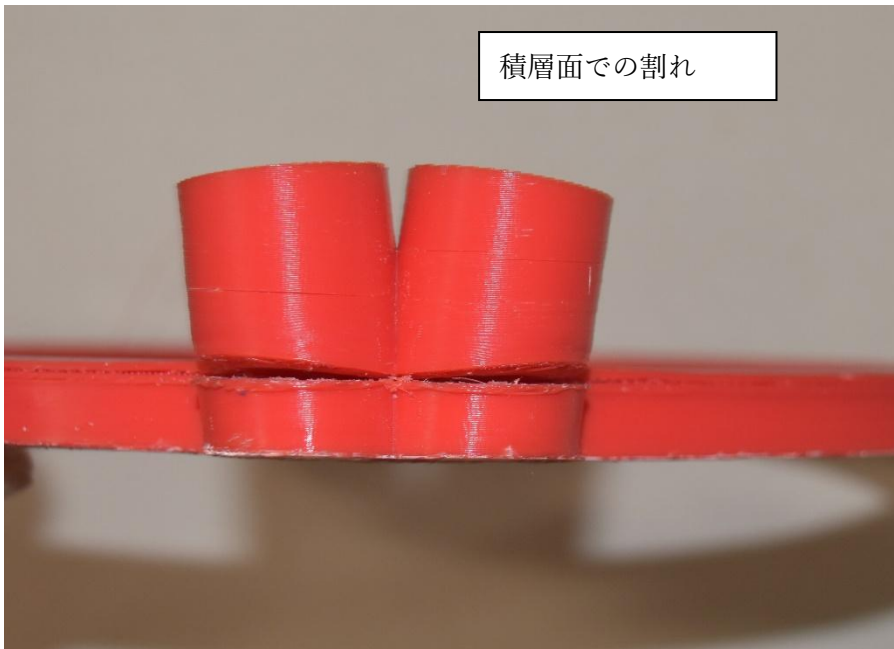
ABS は PLA よりも強度も強く熱にも強いのですが、ABS でも夏場の車内放置は避けた方が良いでしょう。

ABS には、収縮率が 4/1000 と PLA に比べて大きいという問題があります。収縮率が大きいので何も対処しないと印刷中に造形物が BED（印刷台）からはがれてしまうという問題と、造形物が積層面で割れてしまうという問題が生じます。

PLA ではその心配はほとんどありませんが、ABS では頻繁に起こります。対処法としては、アセトンに ABS フィラメントの樹脂を溶かした液体（*アセトンジュースと呼びます）をキッチンペーパーにしみ込ませて印刷前に BED（印刷台）に塗るという方法があります。これで BED から剥がれるという問題は解決できます。しかし、印刷終了時にはしっかりと BED に接着しているので無理に剥がそうとすると BED の表面のフィルまで剥がれてしまうことがあります。したがって固く密着している時は、無理に剥がそうとせず、一度 BED の温度を 80℃まで上げてから剥がすようにします。（Kobra 2Max では Bed の鉄板を簡単に取り外すことができるので、板をたわませて簡単に取り外すことができます）

* YouTube などでは、Bed にスティックのりを塗布する方法が紹介されていますが、アセトンに ABS フィラメントの破片（造形に失敗したものを使う）を溶かしたものをキッチンペーパーで塗布する方法の方が、均一に塗れ、簡単かつ効果的な方法でお勧めです。

この ABS フィラメントと PLA の収縮率の違いは、パイプを通す穴の径の大きさにも関係してきます。15mm のパイプを通す穴を同じ設計で ABS と PLA で印刷しました。

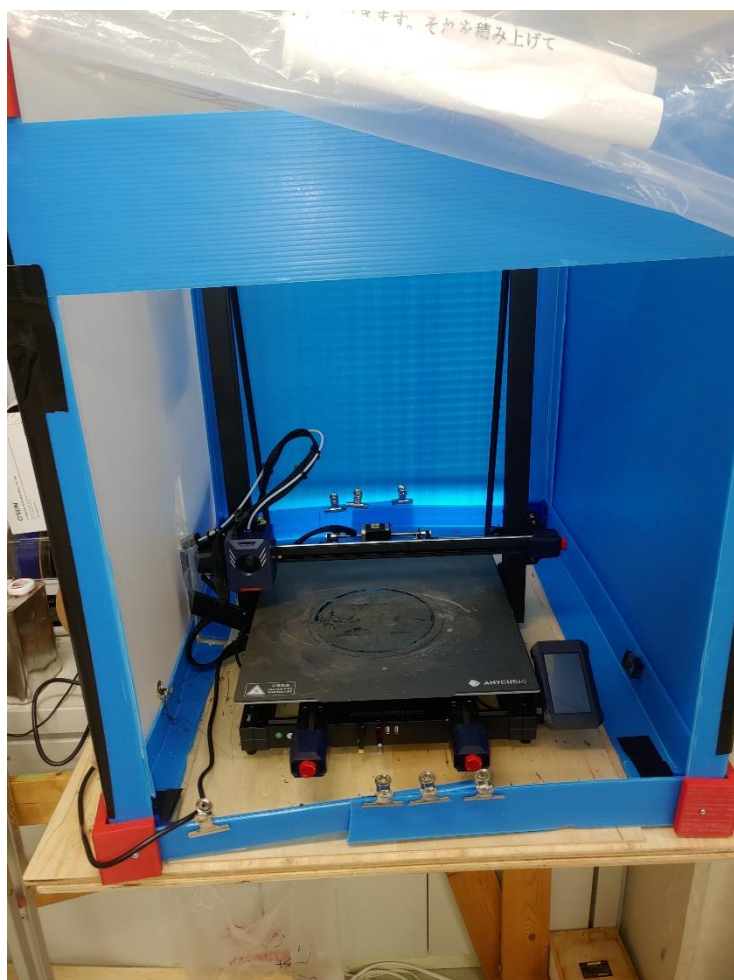


ABS で印刷したものはきつきつでしたが PLA で印刷したものはゆるゆるでした。

積層面での割れへの対応方法は、YouTube 動画などで紹介されています。3D プリンター本体を容器で囲んで容器内の温度を上げて ABS 樹脂の融解温度との差を小さくすると同時に、印刷ノズルの冷却ファンの出力を小さくして冷却効率を落とします。私は、ABS 樹脂



で印刷する際は、冷却ファンの出力を 0 に設定しています。そうすることでノズルから出



てきた樹脂が急に冷えないようにしています。

また 3D プリンター本体をカバーで覆っています。カバーは市販もされていますが、手ごろな価格で大きいサイズの 3D プリンターに合うものがなかったので、プラスチック段ボールで自作しました。

自作した 3D プリンターのカバー

5, 20cm 反射の製作

トラス型の 20cm 反射望遠鏡を 3D プリンターで製作しました。

目標は、コンパクト軽量で移動しやすい眼視専用望遠鏡です。

眼視専用とし、写真撮影目的の精度と強度は求めないこととしました。

光学系は、主鏡 20 cm F3.8（外径 204 mm、厚さ 18 mm、オークションで入手した製作メーカー不明のミラーを再研磨したもの）、斜鏡は短径 60 mmのものを使用しました。鏡筒はトラス鏡筒とし、架台はドブソニアンタイプとしました。トラス鏡筒の支柱はアルミパイプで、外径 15 mm長さ 61 cmのものを 8 本使用しました。完成時の重さは鏡筒約 5 kg、ドブソニアン架台約 3 kgです。

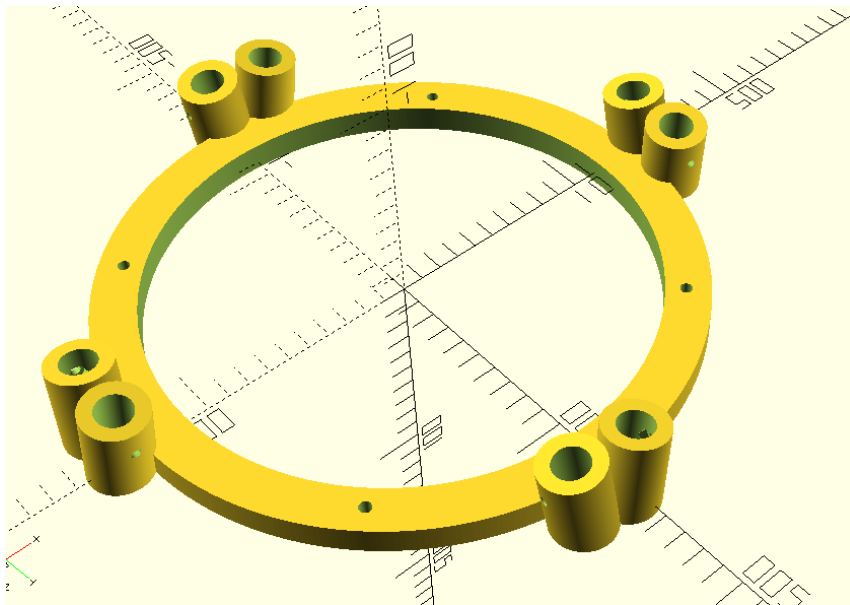
光学系とトラス鏡筒のアルミパイプ、ドブソニアン架台、ボルト・ナット、ボールベアリング以外の主要部分は 3D プリンターで製作しました。

6, 各部分の構造

3D プリンターを使って望遠鏡を製作することの最大の利点は、頭の中にあるアイデアを形にできるということです。もしそのアイデアがうまくいかなければ、設計し直して再度印刷すればよいのです。これまで旋盤やボール盤で製作していた時と比べると製作に関わる労力と時間は比較にならないくらい減少します。

各部分に分けて説明します。

（1）鏡筒

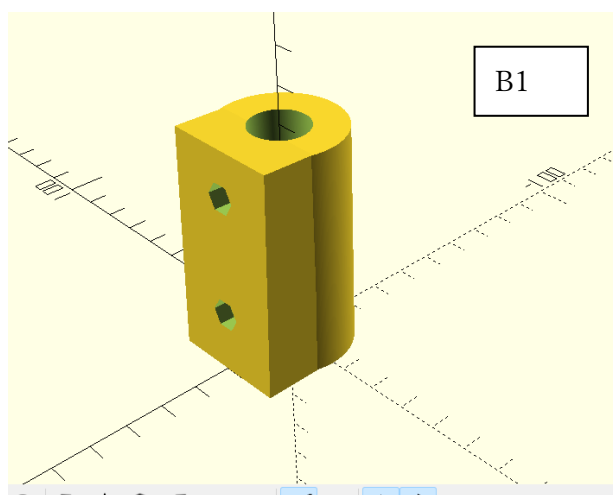


T 1

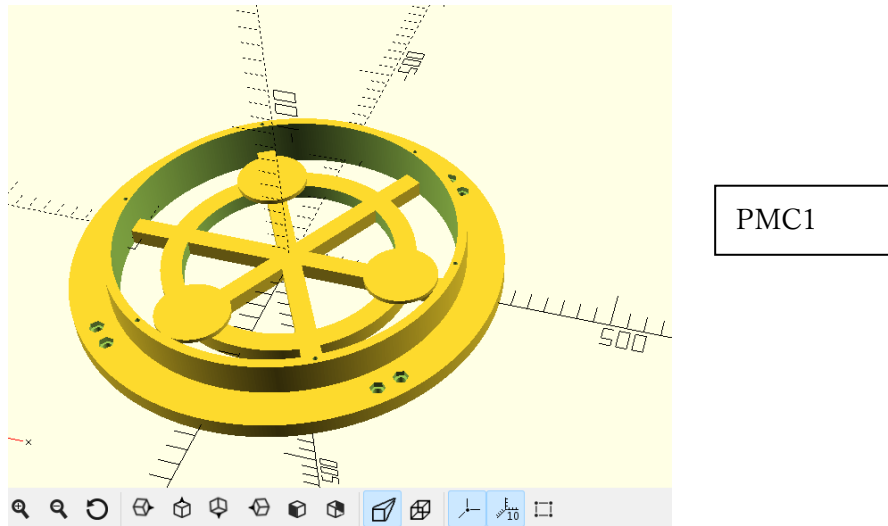
8本のアルミパイプで骨組みを作るので鏡筒の両端でそれら固定するリング（T1）を3Dプリンターで設計します。アルミパイプの先端は4mmのボルトで固定できるようにします。ボルトが固定できるように4mmのナットを先端部のリングのパイプの内側に埋め込みます。（2025年に作った2号機ではナットの埋め込みは省略し、タップでネジ山を直接切ることになりました）

スパイダーリング（SP1）を取り付けるための穴もあけておきます。

接眼部や耳軸部分を取り付けるための部品（B1）をパイプに通します。



（２）主鏡セルおよび光軸調整部



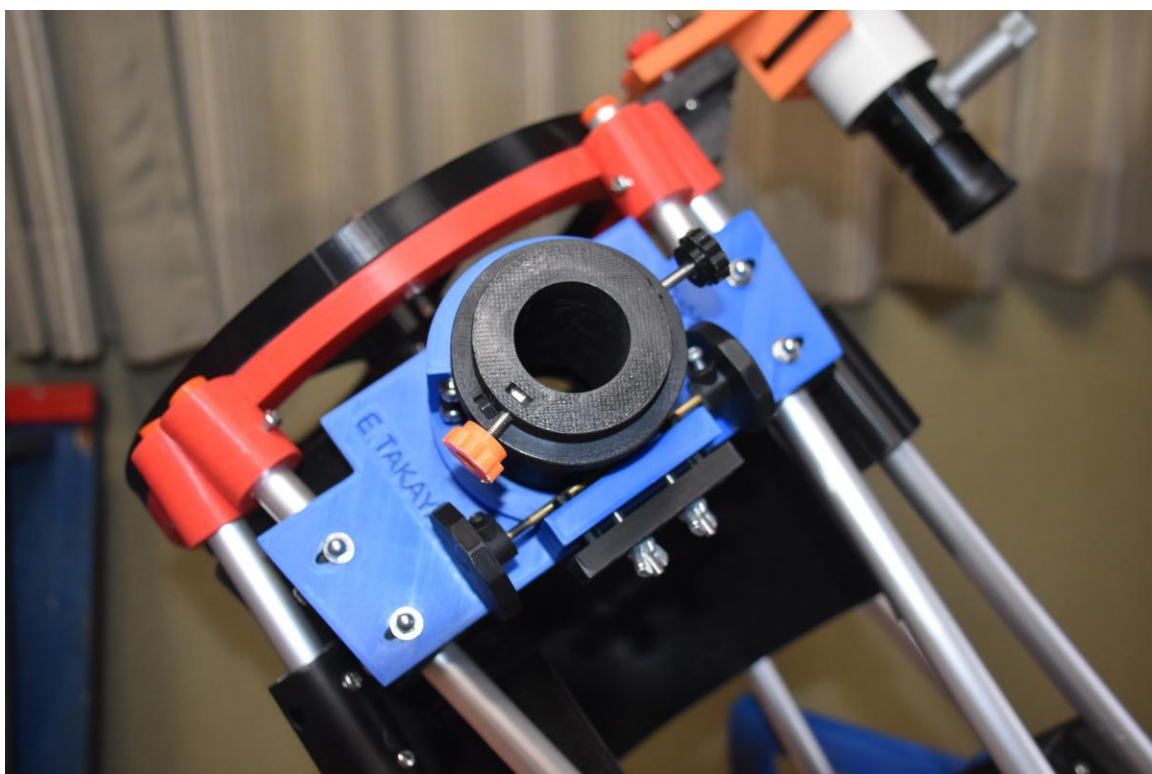
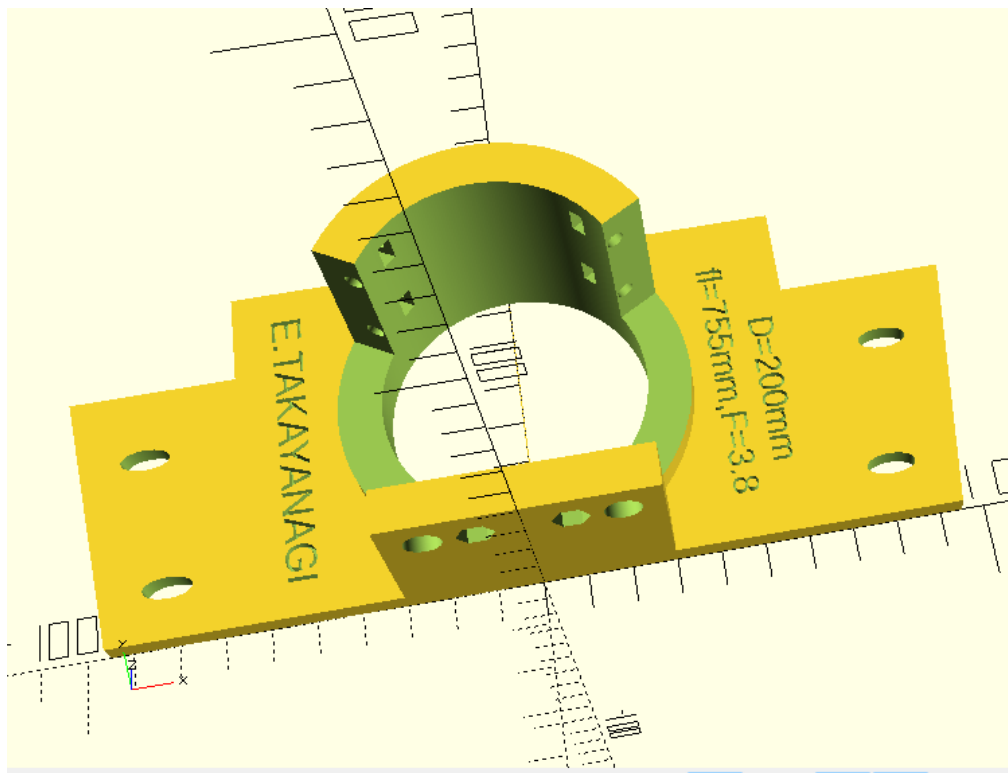
主鏡は３点支持としました。軽量化と主鏡冷却を早めるためになるべく隙間の多い構造にしました。４か所に光軸調整用の押しネジと引きネジの穴を開けておきます。

（３）接眼部

この望遠鏡のもっとも特徴的な部分の一つが接眼部です。南アフリカの友人達が使っていた方法を採用しました。クレフォード型の接眼部です（FC1）。接眼筒は２インチサイズの接眼鏡も使用できるように２重構造としました。径８mmのボールベアリングを４個埋め

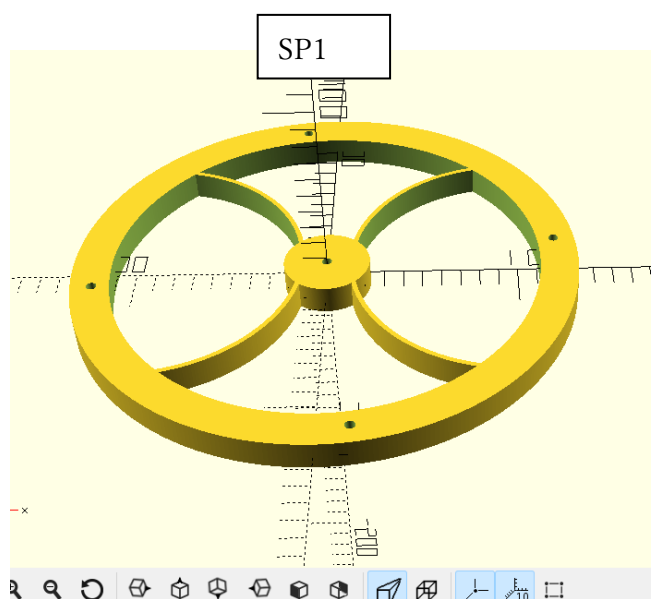
込んで動きを滑らかにしています。

FC1



望遠鏡のスペックと所有者の名前も「text」命令で刻印しておきます。

```
linear_extrude(2.5,center=true){  
  
    text(text="fl=755mm,F=3.8",size=6);  
  
}
```



(4) 斜鏡セルとスパイダー

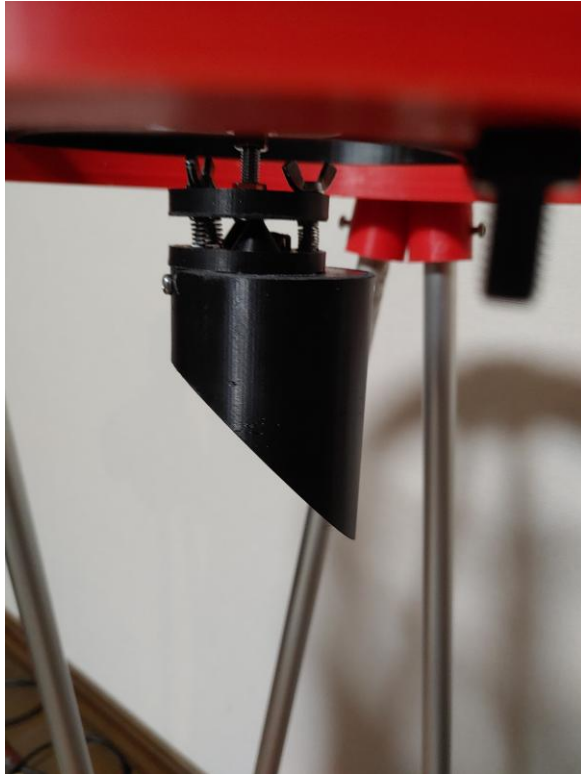
斜鏡光軸調整は通常 3 点ですが、必要なのは主鏡光軸周りの回転と接眼部への角度調整の 2 点のみなので調整ネジを 1 つ減らしました。

スパイダーは星像への影響を小さくするために円筒を半分にして背中合わせ



斜鏡取り付け部分

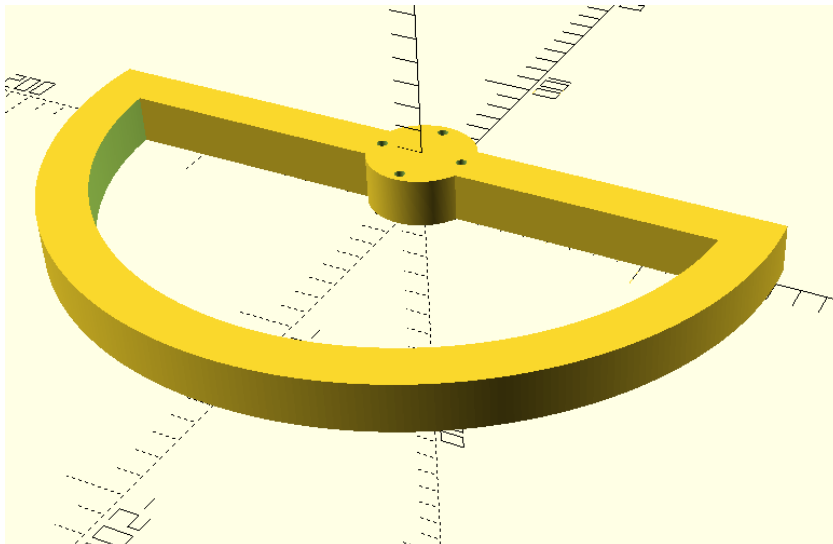
で接合する形をとりました。円筒の厚さは 3 mm です。



斜鏡は偏心させて取り付け、斜鏡の角度と主鏡の光軸周りの回転で光軸調整を行う形式です。

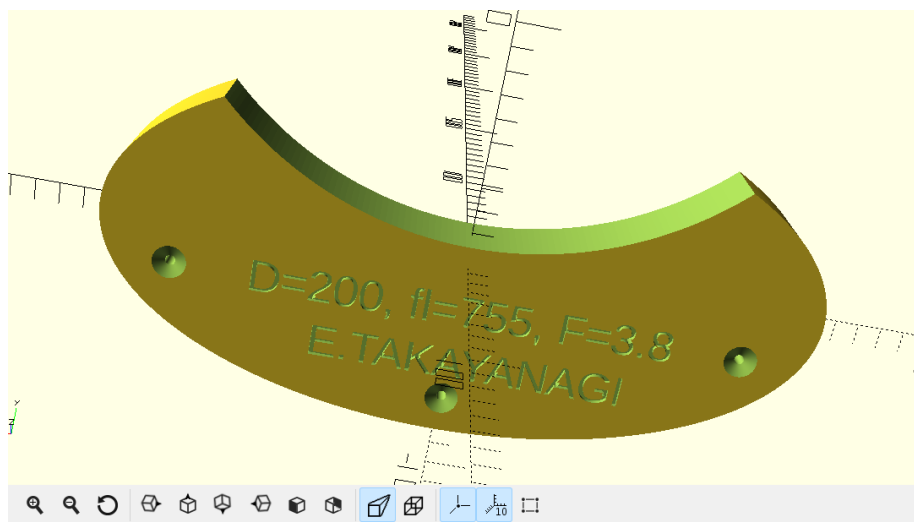
（５）耳軸と軸受け部

耳軸は大きい方が動きが安定するので、MegaX の Bed（印刷台） サイズである 30 cm 四方に収まる最大の大きさにしました。耳軸受け部にも望遠鏡のスペックを刻みました。



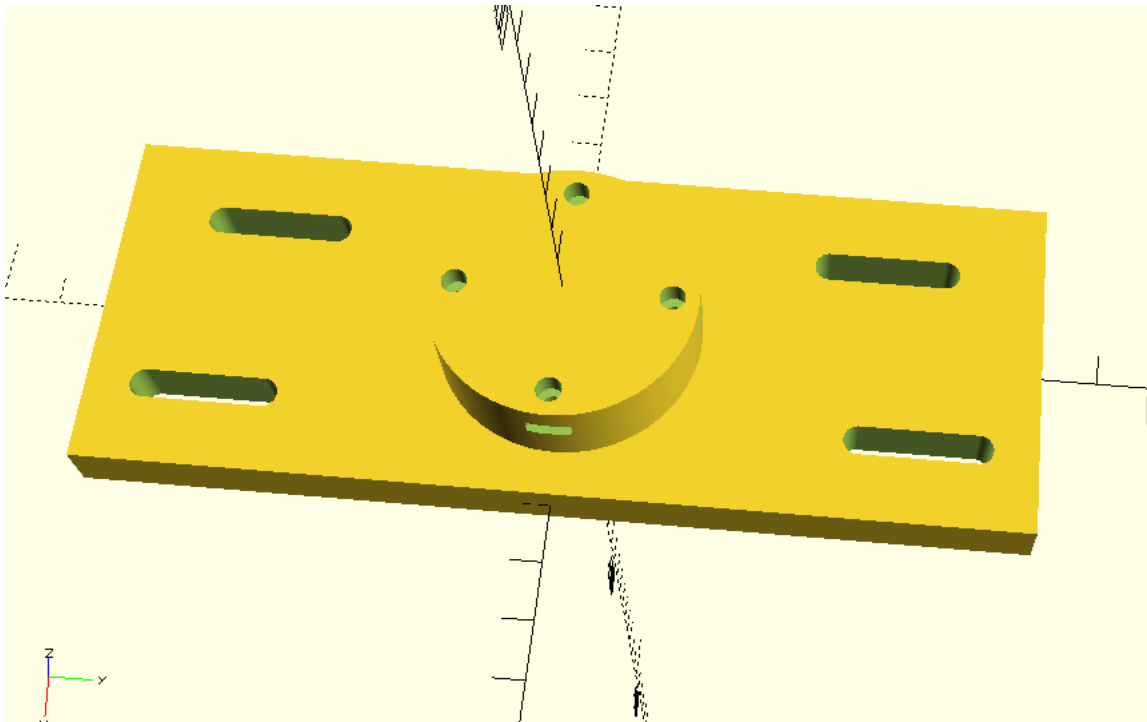
BR1

BR2

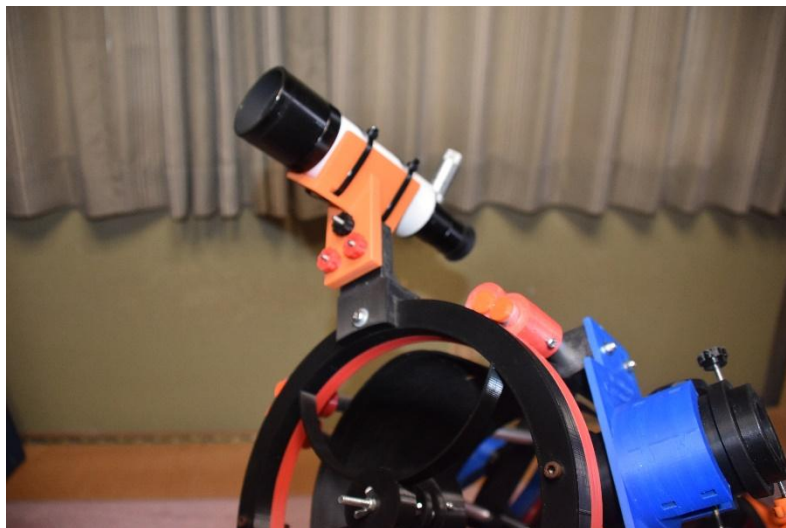


耳軸は B1 と耳軸ホルダー（BH1）で 4 mmボルトを使い鏡筒と接合します。

BH1



(6) ファインダー

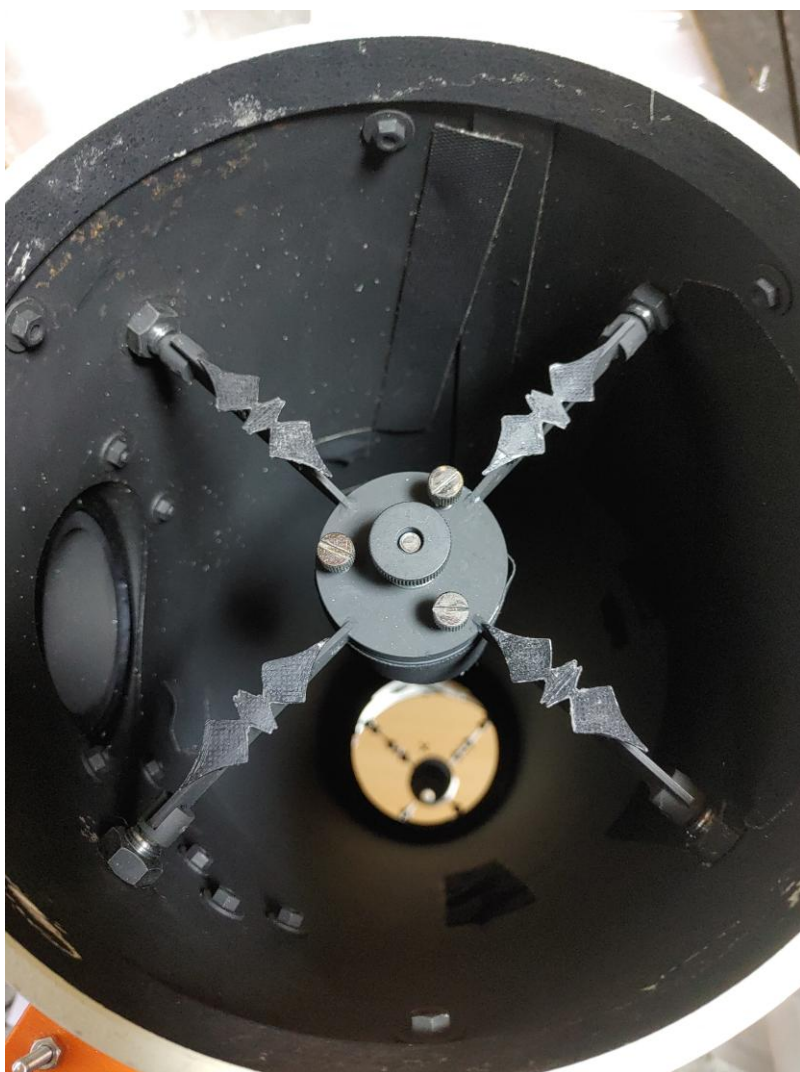
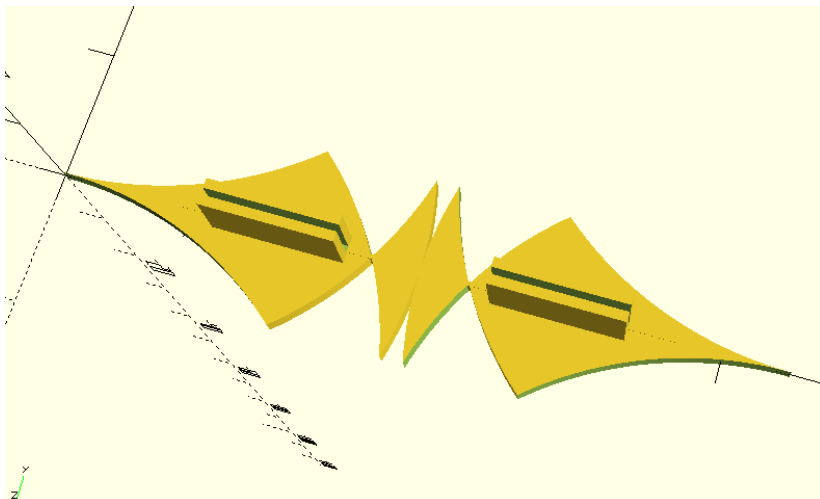


FD1

結束バンドを使って口径 3 cm～6 cm くらいまでのファインダーが載せられるようにした形式です。これも南アフリカ友人が採用していた方法です。

7, バーティノフマスク、コウダースクリーン、ホログラムアポダイザー等

バーティノフマスク、コウダースクリーン、ホログラムアポダイザーなど天体写真撮影や望遠鏡の自作に活用する道具も簡単に作ることができます。

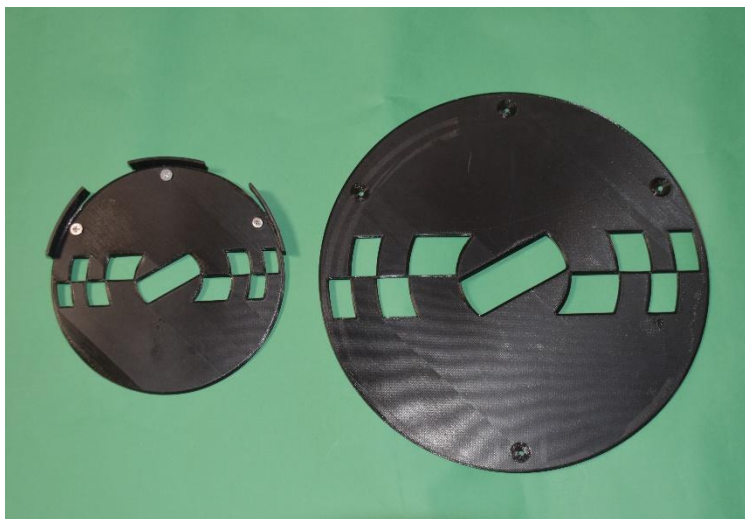


スパイダーによる回折像を打ち消し、星像をよくするホログラムアポタイザー。3D プリンターなら簡単に設計製作できます。

写真撮影の際のピント合わせに使われるバー
ディノフマスク（25 cm用）

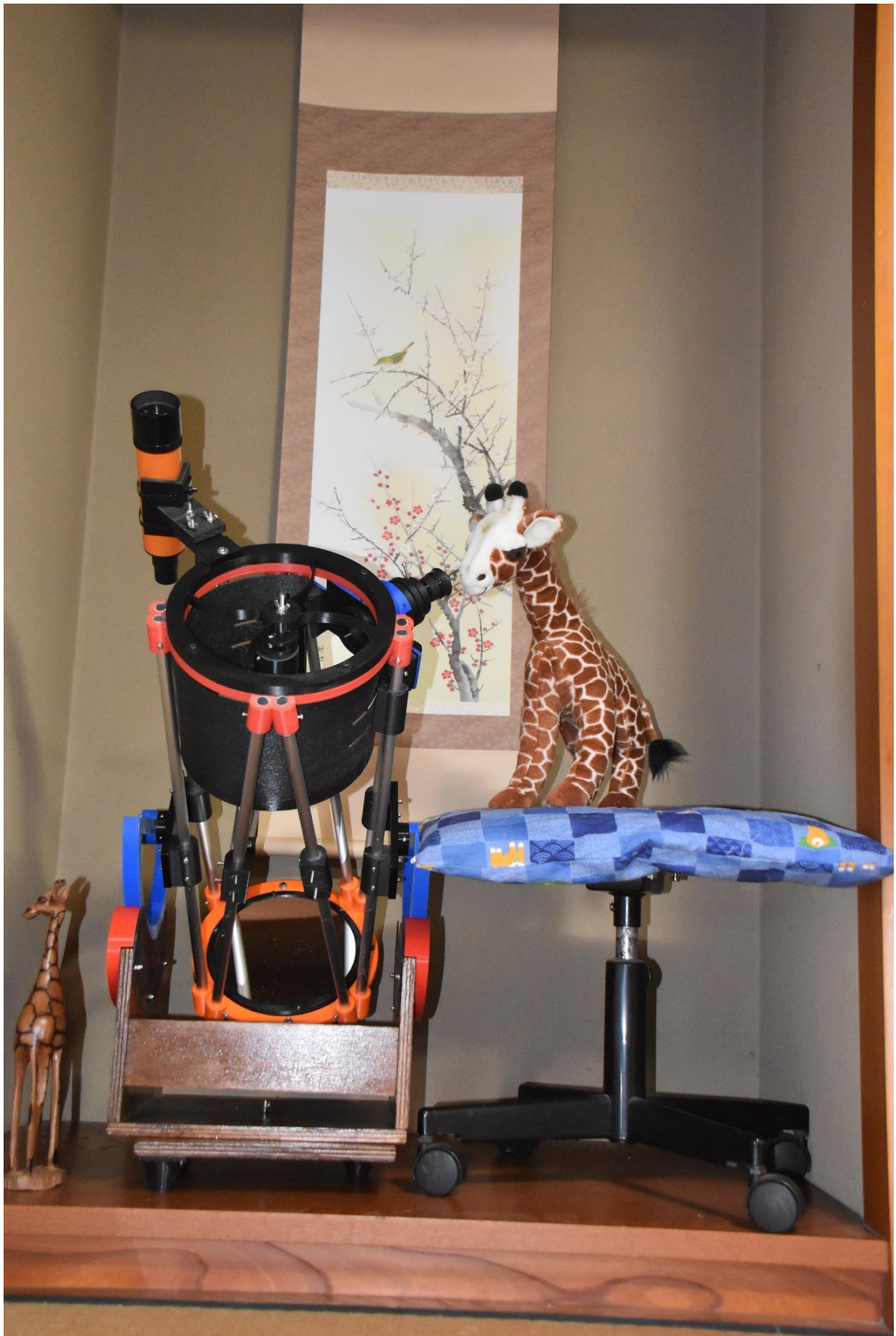


反射鏡の自作の際に面精度を求めるために活用する
コウダースクリーン 15 cm用と 25 cm用





アクセサリホルダー



その他にこれまで3Dプリンターで作ったもの

フーコーテスター、ピッチ盤製作用シリコンの鋳型、ロンキーテスター（アイピースの型を作り、それに昔のミニコピーフィルムに相当するフィルムで撮影した縞模様を埋め込んだもの）、アイピースケース、ボルト・ナットを埋め込んだノブ（蝶ナット、蝶ボルトとして使う）など必要に応じて製作しました。

8, 3Dプリンターのトラブル

3Dプリンターは便利な道具ですが、まだ発展途上の機械と言えます。

いろいろなトラブルに遭遇します。

（1）ノズルのつまり

3Dプリンターはフィラメントを溶かして先端のノズルから押し出して造形していくのですが、しばしばノズルがつまりフィラメントが出なくなります。

高温で加熱されたフィラメントが炭化して穴を詰まらせるのが原因です。先端の金属ノズルを専用の針金で清掃します。これで一時的に回復することが多いのですが、頻繁に起きる場合はノズルを交換します。それでも直らない場合は、射出部分全体をアセトンで洗浄

します。それでも詰まる場合は先端部分全体を交換します。長時間かけて印刷したものが、あと数分で完成するというときにノズルのつまりで印刷が止まってしまい失敗してしまうということはよく経験する事故です。私場合、経験上 ABS フィラメント 2 巻き印刷すると、そろそろ詰まるところと覚悟し、印刷に 2 4 時間以上かかるようなものは失敗した時の時間的、経済的な損失が大きいので先端分を全部交換してから印刷にかかります。

私は、3D プリンターで印刷する際は、常にノズルヘッドの予備を用意しています。すぐにノズルヘッドのトラブルに対応するためです。

（2）フィラメントのトラブル

太さ 1.75mm、長さ 300m のフィラメントですが、フィラメントは湿気を嫌います。湿気のある所に置いておくと、フィラメントがポキポキと折れやすくなってしまいます。乾燥剤を入れた容器に保存するようにします。フィラメントがリールからほどけずに絡んでしまい送り出せなくなってしまったり印刷がとまってしまうという事故もあります。一見して粗雑な巻き方をしているものは、長時間の印刷は避けた方が良いでしょう。

（3）ノズルとベッド（印刷台）との距離調整（レベル調整）

ノズルを交換したときには必ず行わなければならない大切な調整です。この距離が適正でないと、ベッドを傷つけたり、空中にインスタントラーメンの麺を描いたりする事故が起きます。

このレベル調整は、MEGAX では手動で行いますが、Kobra 2Max は自動で行ってくれます。

9、完成後の注意

PLA も A B S も金属に比べると熱と紫外線に大変弱いです。太陽光に直接当たらないように注意する必要があります。特に夏場は高温になる車内に放置することは避けなければなりません。A B Sの方がP L Aよりも熱には強く強度もあるのですが、熱と太陽光は避けた方が賢明です。また冬場はストーブなどの暖房器具の前にはおかないようにします。

経年劣化については3Dプリンターで望遠鏡製作を始めてから5年程しか経っていないのではっきりしたことは言えませんが、製作してから5年経過した15cm反射、20cm反射は何の問題もなく現在も活用しています。しかし、ジュラルミンケースを使って作ったアイピースケースでは、1年～2年程度で劣化が見られました。3Dプリンターの良い点の一つは、壊れたらすぐに印刷し直して作り直せることができる点です。劣化して壊れた部分は設計を見直し、少し材料を厚くして作り直しました。

10 まとめ

3Dプリンターは、天文趣味の幅を広げてくれる便利な道具であると言えます。旋盤やボール盤といった工作機械を必要とせずに、ある程度精密な部品を作ることができます。しかもそれらの工作機械と比べると、場所をとらずに操作も安全です。FRP 鏡筒を作るとき
の気になるにおいもありません。

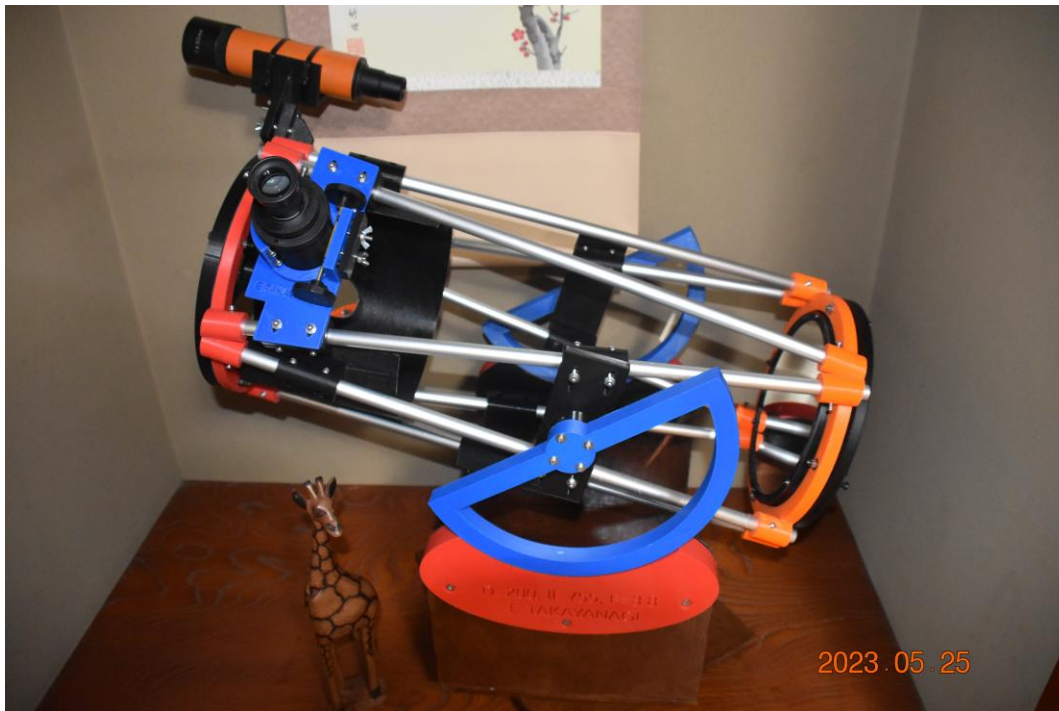
必要なのは3Dプリンターの機械とそれを置く場所、それとパソコンだけです。工作に失敗してもやり直す時間と費用のロスも少なくて済みます。

3Dプリンターは、かつてのパソコンがそうであったように、今はまだ1部のマニアが使うにすぎませんが、今後確実に普及が進むものと思います。実際、光学部品とプログラムだけを販売し、必要なパーツは3Dプリンターで印刷するという商品も出ているようです。3Dプリンターは今後、どんどん使いやすいものになっていくでしょう。金属が手軽に印刷できるようになり、固い強度の大きい部品の製造もできるようになってくるものと思います。そうなると50cm60cmといった大型望遠鏡も3Dプリンターで自作可能になる
と思います。

3Dプリンターによる望遠鏡製作を今から始めてみませんか。

館林テレスコープメイキングクラス代表

高柳 悦夫



クラシカルカゼグレン 20 cm、主鏡
F3, 合成 F12、バッフルを兼ねた副鏡の
支えは 3D プリンター製

3D プリンターにより製作した望遠
鏡の1号機 (15cm,F7)





<3D プリンターで製作した鏡面研磨のための道具>

鏡面研磨のための道具も 3 D プリンターで作ることができます。

シリコンで鋳型を作り、それにピッチを流し込み、盤ガラスをその上に載せて押さえることで簡単にピッチ盤を作ることができます。面倒な溝切が不要になります。

シリコンの鋳型を作るもとなる鋳型を 3 D プリンターで作ることができます。

スライサーソフトの拡大縮小機能を使い任意の直径の鋳型を作ることが可能です。

ピッチ盤のマス目の形も円形や正方形など任意の形で作ることができます。

ピッチ盤作りのためのシリコン型を作る鋳型（20 cm用）

木辺氏の著書「反射望遠鏡の作り方」では、理想的なピッチ盤として丸型ピッチが紹介されています。（p211）

ただし、再度の溝切ができないのが欠点です。





<シリコンの鋳型を使ったピッチ盤の作り方>

(1) 下から

主鏡（面を上向き）

新聞紙1枚

シリコンの鋳型（ピッチを流し込む面を上向き）の順に重ねます。



(2) シリコンの鋳型にピッチを流し込みます。

(3) 少し待って適度な硬さになったら、盤ガラスの凸面を下向にして重ねます。(凸面にはティッシュにしみ込ませた油を薄く塗っておきます)

(4) 手でしっかり盤ガラスを押さえます。しばらく冷えるまで待ちます（流水で冷やしてもよい）



(5) ピッチが固まったらシリコンをゆっくりはがします。

(6) 鏡面にせっけん水を塗りピッチ盤と型合わせをします。

(7) 盤の周りの余分なピッチをナイフで削り取ります。

(8) 再度型合わせを行いピッチ盤の完成です。

この方法なら面倒な溝切も必要がなく、誰でも簡単にピッチ盤を作ることができます。

