

Interface2025 年 4 月号本文のとおり、筆者の 3D CAD に対する少ない経験からでも、アニメ・キャラクターなどと比較すればシンプルなメカ構造といえるカメラ治具を設計するには十分な機能を備え、かつ操作も覚えやすい FreeCAD を使います。そのうえ、FreeCAD は無料で使えます

「FreeCAD」とインターネットで検索すれば公開しているウェブ・サイト

(<https://www.freecad.org/>) が見つかるので、そこからダウンロードしてインストールします。

FreeCAD のインストラクションを記述して、あるサイトを頼りにコツコツと部品を作図していく要領で、加工を要する部品を作り上げます。

実際の治具設計

●主要な部分の寸法

C マウントのズーム・レンズを支え、イメージセンサを光軸に合わせた状態でそれを載せた 150mm 角程度の基板を垂直に立てて固定することを考えると、台となる板（以降ベース板）のサイズと光軸の高さが重要な寸法になるでしょう。基板に載せられたイメージセンサを光軸に合わせるため、その基板を保持する基板ホルダもどのような形にするかが重要です。

まず、カメラ・レンズを取り付ける C マウント・ブラケットは基板を基板ホルダに取り付ける作業性を考え、光軸合わせに加えて基板取り付けの操作に余裕を持たせる移動距離を確保する機構にしました。

次にイメージセンサは基板の裏側にその他の IC などは表側に付ける構成が多いと考えられるので、基板の表面側の部品の高さを考慮した基板ホルダから基板までのスペースも十分に取っておきます。また、試作品のイメージセンサはカバー・ガラス付きのパッケージに組み込まれることが多

いですが、基板に直接接合されている場合とイメージセンサ専用のソケットが用いられている場合の両方が考えられます。そうするとイメージセンサの撮像面から基板表面までの距離もさまざまです。これに対応しては、基板ホルダを光軸方向に位置を変えて固定できるよう、ベース板に開けた固定ねじ穴を位置を変えて複数用意します。

治具を机の上においてカメラ・レンズの向きを上下させたり、水平を傾けたりすることがありますので、ベース板を支えるゴム脚の高さを個別に約 25mm 調整できるようにしますが、止めねじを長くすれば調整幅を広げられます。これらをまとめると表 1 のようになります。

z	寸法	備考
ベース板のサイズ	150 × 120 mm ²	—
光軸の高さ	100mm	ベース板の上面から
C マウント・ブラケット移動距離	40mm 以上	光軸方向 (バック・フォーカス調整を兼ねる)
基板と基板ホルダのスペース	25mm 標準	電子部品の高さを考慮 (スペーサの長さで調整が可能)
基板ホルダの位置可変	±10mm	基板ホルダ固定ねじ穴位置を選ぶ
ゴム足の高さ調整幅	約 25mm	止めねじを長くすれば調整幅を大きくできる

表 1 主要な部分の寸法

●FreeCAD の初期設定

治具設計の前に、初期設定をすると部品の入力がしやすくなります。治具のような CAD では自由曲線をほとんど使わず直線や円を組み合わせた幾何学的な形状で、かつ各部の大きさを切りの良い値にすることが多いです。例えば特定の形を持った L 字型の部品を作るとしたら FreeCAD の Sketcher という機能を用いますが、グリッドの設定をすると作業が格段にしやすくなりますのでここで設定しておきます。

メニュー・バーの「Edit」にある Preferences を開くと左の欄の下に「Sketcher」があるので、そこで表示される各種設定の Show grid と Grid snap にチェックを入れ、Grid size には「10mm」を入力します（図2）。これで形状入力の始点を正確にグリッドに乗せることが容易になります。なお、言語として日本語も選択できますが、訳がわかりにくかったり全てが日本語に置き換わっているわけではないので、本稿では英語のままの設定で解説していきます。

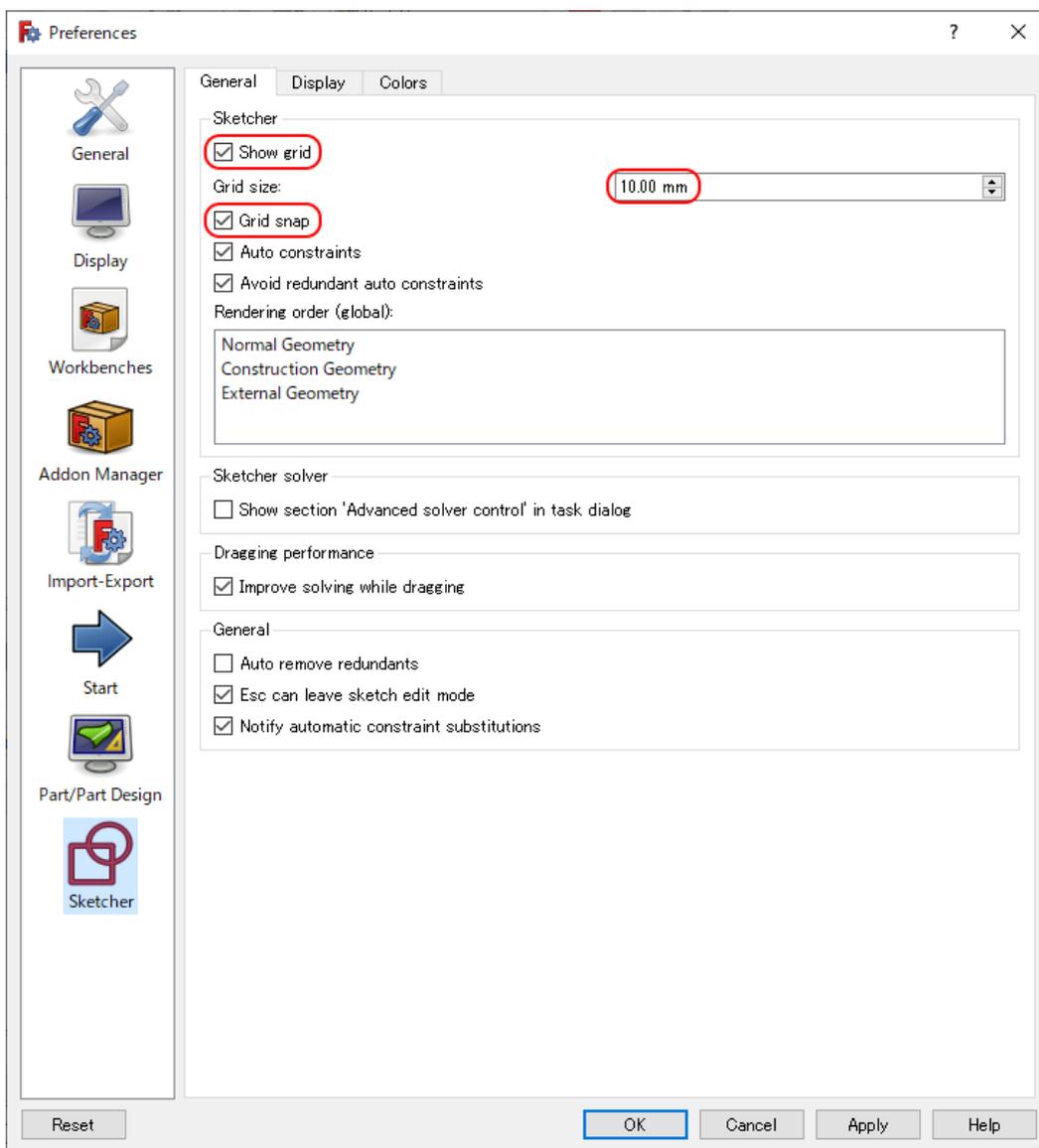


図2 初期設定としてグリッドを設定しておく

●土台（ベース板）から始める

土台となるベース板の作成から始めます。評価用センサ基板の1辺がおおよそ150mmでイメージセンサがおおよそ基板の中央に乗っていると想定し、また利便性を考慮してCマウント・レンズとして焦点距離が12.5mmのズーム・レンズを使うこと考えると、ベース板の大きさを幅120mm、長さ（光軸方向）を150mm、土台ということで厚さ6mmが良さそうです。材質はAlを想定しています。このベース板をFreeCADに入力してみます。

▲ステップ1：立方体を作る

まずは、初期状態に見えている「Create new ...」をクリックするか、ファイル・メニューの「File」→「New」から入り、Workbenchのドロップ・ダウン・メニューから「Part」を選びます。するとCommandバーが変わり、黄色の立方体をしたアイコン（Cube）が現れますので、クリックすると立方体が現れます。

▲ステップ2：サイズの設定

左のCombo Viewに追加された「Cube」をクリックすればその下のPropertyにBaseとBoxの項目が表示され、位置（Placement）とサイズ（Length, Width, Height）の数値はあらかじめ適当に設定されています。これらの数値を変更して所望のサイズと位置に調整します。

まずはサイズを設定するBoxの項目を

・ Length : 150mm

・ Width : 120mm

・ Height : 6mm

と入力します。すると、画面からはみ出してしまうので、ショートカットのvとfで全体を表示させます（図3）。

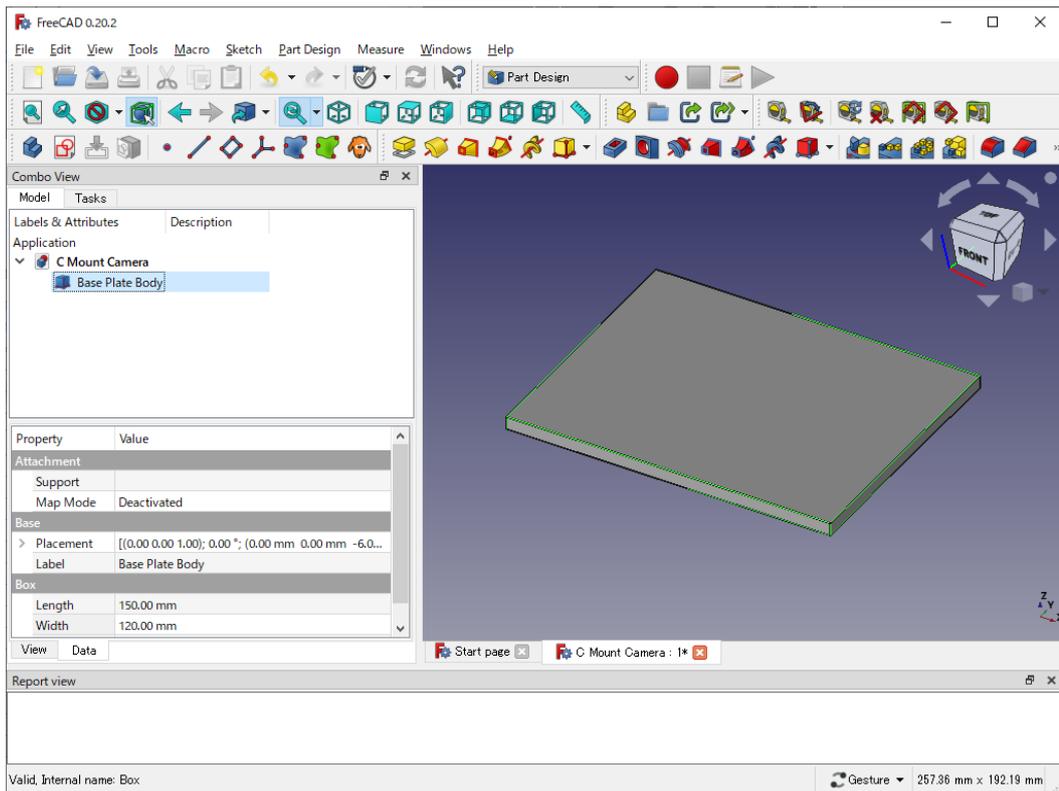


図3 FreeCAD でベース板を入力してサイズを調整

▲ステップ3：位置の設定

後にこのベース板の上にさまざまな部品を乗せることを考えると、ベース板上面をZ座標の原点とするほうがわかりやすいので、「Base」→「Placement」→「Position」→「zの設定」をベース板の厚さ分下に位置するよう-6mmとしておきます。

なお、画面を左ドラッグで視点を回転することができ、[Ctrl]+右ドラッグでパンできます。

▲ステップ4：部品に命名する

入力したCubeが区別できるよう「Base Plate Body」などと名前を変更しておくことで後でわかりやすくなります。これにはCubeを選択してからショートカットの[F2]キーを使えば変更できます。入力したCADデータを保存すれば、Combo ViewのApplicationの直下にあるUnmanedがファイル名に切り替わります。

●スライドする C マウント・レンズのブラケット周りの部品

レンズのバックフォーカスを調整することが可能な C マウント・レンズを固定するブラケットを作成します。構成要素としては、ブラケットそのものとそれをベース板の上でなめらかにスライドさせることができるリニア・ガイドと呼ばれる汎用部品一式、スライドを止め固定するためのリニア・ガイド・クランプ、および C マウント・レンズをブラケットに固定する C マウントそのものになります。

この中で C マウントは精密加工品なので既製品を用いますが、板に容易に取り付けられる既製品はあまり選択肢はなく、詳しく形はあとで示しますが、TWIN NINES（ツクモ工学）の PWH-Cmount という部品を使います。

●C マウント・ブラケットを L 字形状で作る

まず、ブラケットはベース板の上に垂直に板が立ち上がる L 字形状の板とします。L 字形状にしたのは、滑らかにスライドするリニア・ガイドの上に L 字の底面を固定し、光軸が水平に向いたレンズを L 字の立ち上がり面には固定できるからです。素材に Al を使い、ズーム付きの C マウント・レンズの重量に耐えられるよう厚さを 5mm にしました。L 字形状の底面は長さが 55mm、奥行きが 60mm、高さが 120mm です。

底面の長さは後述するリニア・ガイドのブロックを 4 つ取り付けるのに十分な長さです。奥行きは C マウントを固定するのに余裕のある幅としました。高さを 120mm としたのは、この治具に固定するイメージセンサの基板のサイズにもよりますが、ベース板上面からの光軸の高さをちょうど 100mm とすることができ、かつ構造的な制約のもとイメージセンサの光学中心から基板の下端まで少なくとも 70mm は取れますので、だいたいの基板不自由なく取り付けられると想定したからです。もちろん基板がそれより大きい場合はブラケットのサイズを高くします。L 字形状の根元は、

直角に凹んだ形状だと加工の難易度が高くなるのと補強を兼ねて円弧で滑らかにつなげます。以上の形が想像しやすいように図4の見取り図にしました。

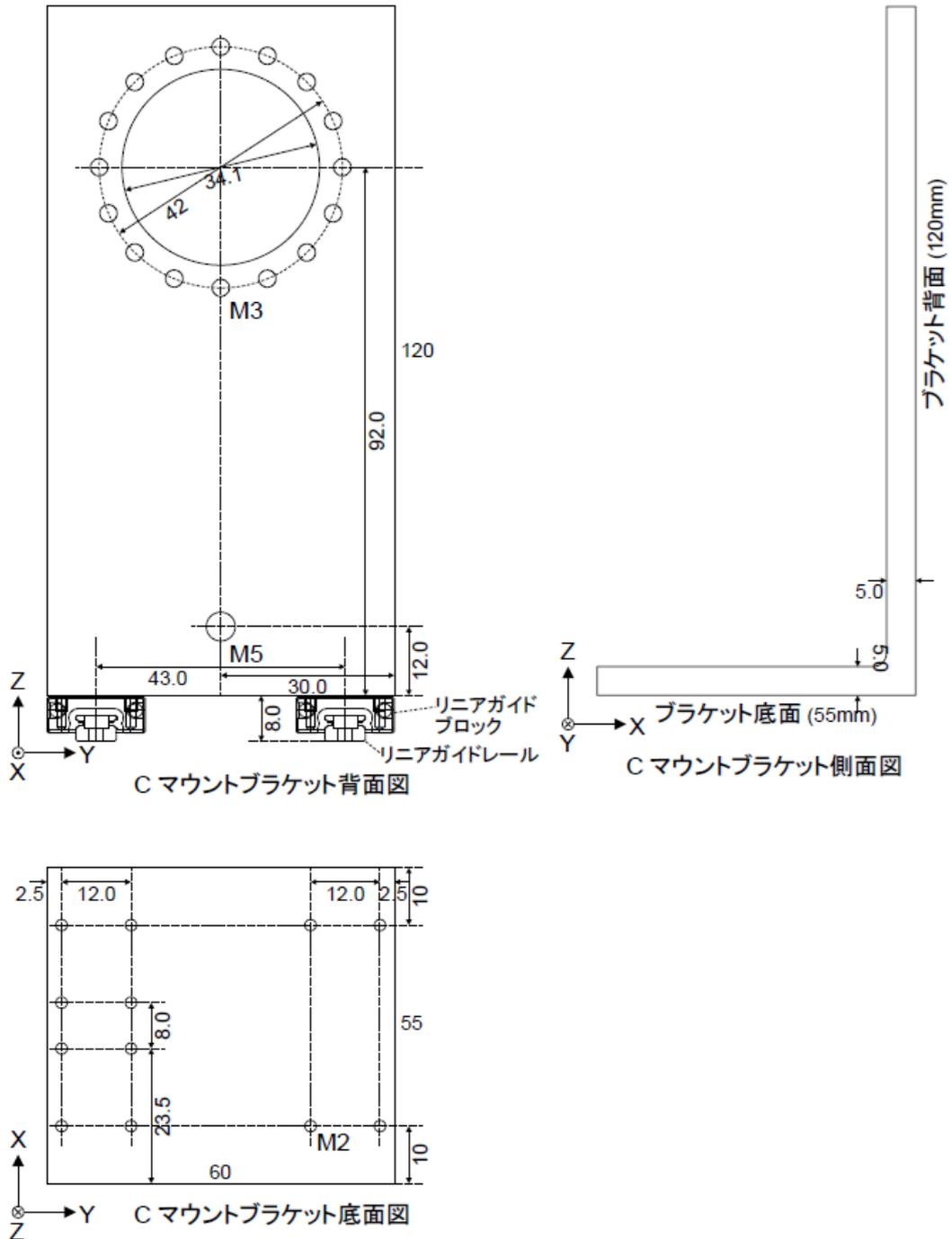


図4 Cマウント・ブラケットの見取り図

▲ステップ1: Sketcher機能を使う準備

この部品の L 字断面形状を入力するには FreeCAD の Sketcher という機能を用います。まず、図 5 (a) のように Workbench プルダウン・メニューから「Part Design」を選択します。このとき、既に作成したベース板 (Base Plate Body) を非表示にしておくとい良いでしょう (注 2)。

注 2：作成した Part を一時非表示/表示を切り替えるには選択状態で [Space] キーを打つ

すると、左の Combo View が Tasks に切り替わりますが、構わず Part Design Helper ツール・バーの左端にある Create body アイコンをタップし、続けてその隣りにある Create sketch アイコンをタップします。すると、図 5 (b) のように Combo View の Tasks が Sketch feature の設定に切り替わるので、L 字断面形状の入力をする XZ 座標面を指定する XZ_Plane001 (Base plane) を選択し「OK」で XZ 座標面での入力へ入ります。

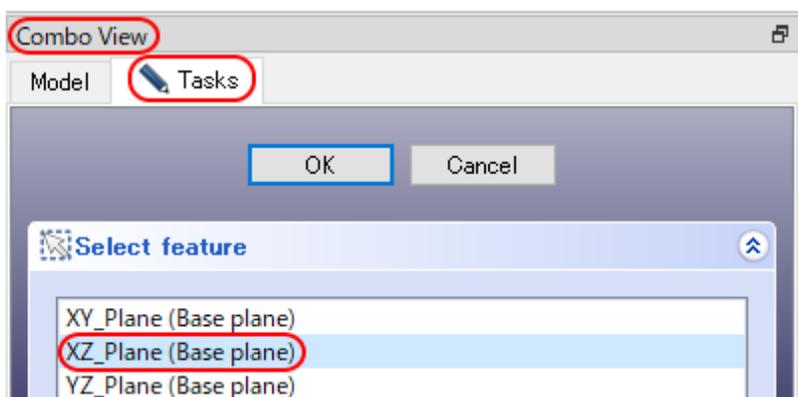
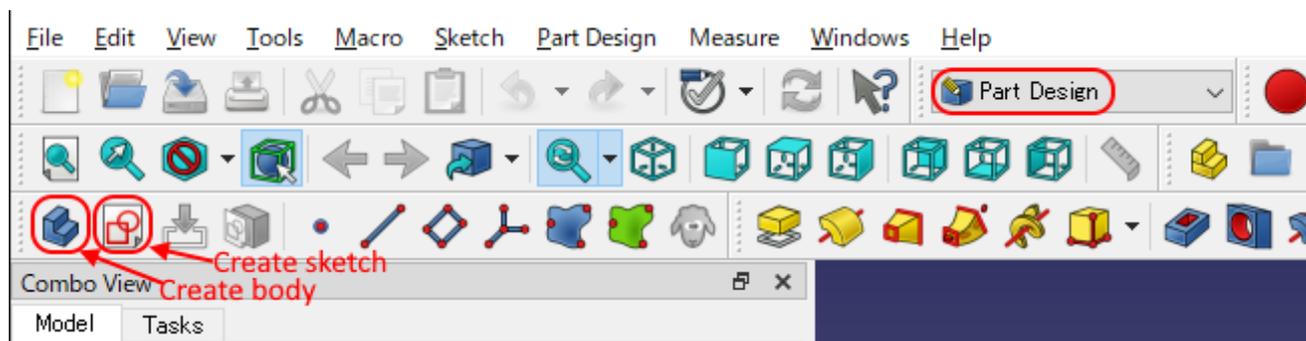


図5 Sketcher 機能を使うための準備

- (a) 1, プルダウン・メニューの「Part Design」を選択し2つのアイコンをクリック
- (b) 2, Sketch feature の設定に切り替わったら「XZ_Plane001 (Base plane)」を選択

▲ステップ2：L形状の断面を入力

形状を入力するためのいろいろな機能がたくさんのアイコンで表示されているので、最初はどれを使えばよいか分からないと思います。直線と円の組み合わせによるL形状の入力は Create line と Create arc の2つを使うのがよいでしょう。アイコンの上をマウスでホバーさせるとアイコンの名前が表示されるので、使用するアイコンをそれで見つけます。図6に手順を示します。

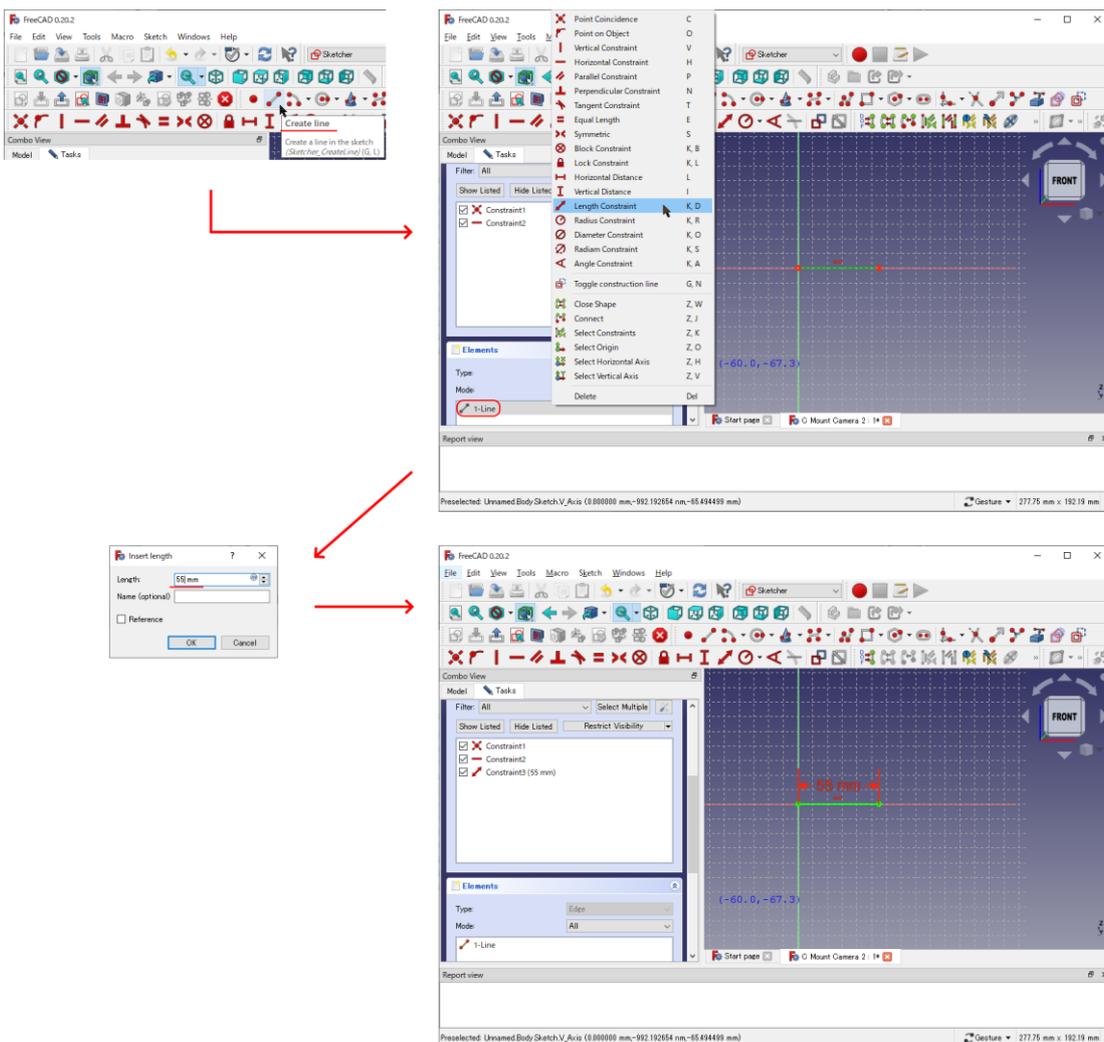


図6 Sketcher 機能の Create line で直線を入力する

- (a) 1, Create line のアイコンをクリック
- (b) 2, 直線を引いて「1-Line」を右クリックし「Length Constraint」を選択
- (c) 3, 長さを入力
- (d) 4, これでL形状の底辺が完成

まず, Create line のアイコンをクリックするとカーソルに赤色の斜め線が現れるので, 原点で左クリックして直線の始点を作り, マウスを水平方向 (X 軸方向) に移動させ終点を適当な場所で再び左クリックします. Grid snap が効いているので, 終点が 10mm 単位の点に置かれますが, 水平にならなかつたら Elements に見えている「1-Line」の右クリックで「Horizontal Constraint」を選び水平拘束に設定しておきます. ここで, Constraint point onto object が余計に設定されていれば解除するのが良いです. 長さを 55mm としたいので, 「1-Line」の右クリックで現れる長さ拘束 (Length Constraint) を選び「55mm」を入力します. まずはこれでL形状の底辺ができあがりました.

▲ステップ3:L形状補強部分を入力

L形状の断面を直線と曲線の組み合わせで閉じた形状を作成しますので, 次の直線を垂直方向 (Z 軸方向) に描くのに最初に作成した line につなげて作成していきます.

カーソルが line であることを確かめて, カーソルを最初に作成した line の終点に合わせるとバツ印になるので, そこで左クリックをして始点を定め, 終点は適当な距離をあけて上側に左クリックし設定します. 長さは 120mm とします.

次に板厚を 5mm に決定する直線を水平方向に引きますが, 直線を 10mm グリッドにのせて描

き、長さ拘束で5mmに変更します。同様の方法でL字の折れ曲がり部の内側に戻ってきますが、加工と補強を兼ねて折れ曲がりの根元を半径2.5mmの円弧にします。そのため円弧につなげる直線の長さは112.5mmになります。

ここで折れ曲がり部の円弧は、Create arcのアイコンを選んで適当な場所に3箇所左クリックすると、あとで形を整えるとして適当な形で円弧ができあがります。次に円弧の始点を直前に描いた直線の終点になめらかにつなげる操作をします(図7)。まず[Esc]キーを1回押してカーソルが矢印に戻ってから、円弧の始点と直線の終点を続けて左クリックして緑色の点になることを確認します。その状態で、接線拘束(Constraint tangent)を設定すると自動的に円弧の始点が直線の終点に滑らかにつながります。あとは円弧の半径拘束(Radius Constraint)と角度拘束(Angle Constraint)の設定を2.5mmと90°に設定するだけです。

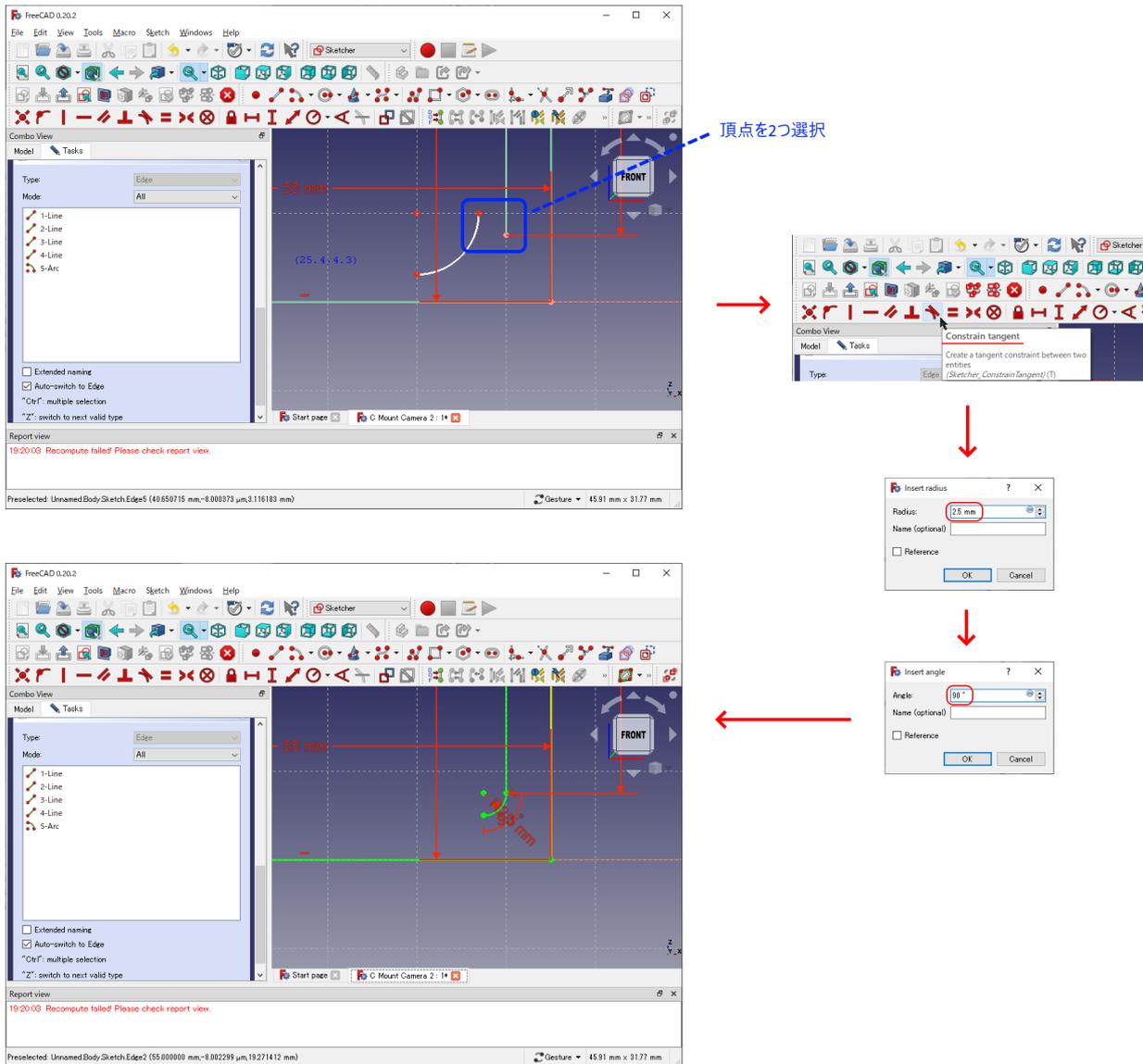


図7 円弧の始点を直線の終点になめらかにつなげる

- (a) 1, 頂点を2つ選択する
- (b) 2, 「Constraint tangent」をクリック
- (c) 3, 円弧の半径拘束を設定
- (d) 4, 円弧の角度拘束を設定
- (e) 5, 円弧と直線がつながる

▲ステップ 4：垂直拘束の解除

あとは L 字形の断面が閉じるまで直線をつなげていきます。しかし、最後の直線で閉じると、線の色が赤色に変化するはずですが、これは閉じた形状に拘束条件が重複しているからで、最後に入力した直線の垂直拘束（Vertical Constraint）を解除すれば大丈夫です（図 8）。

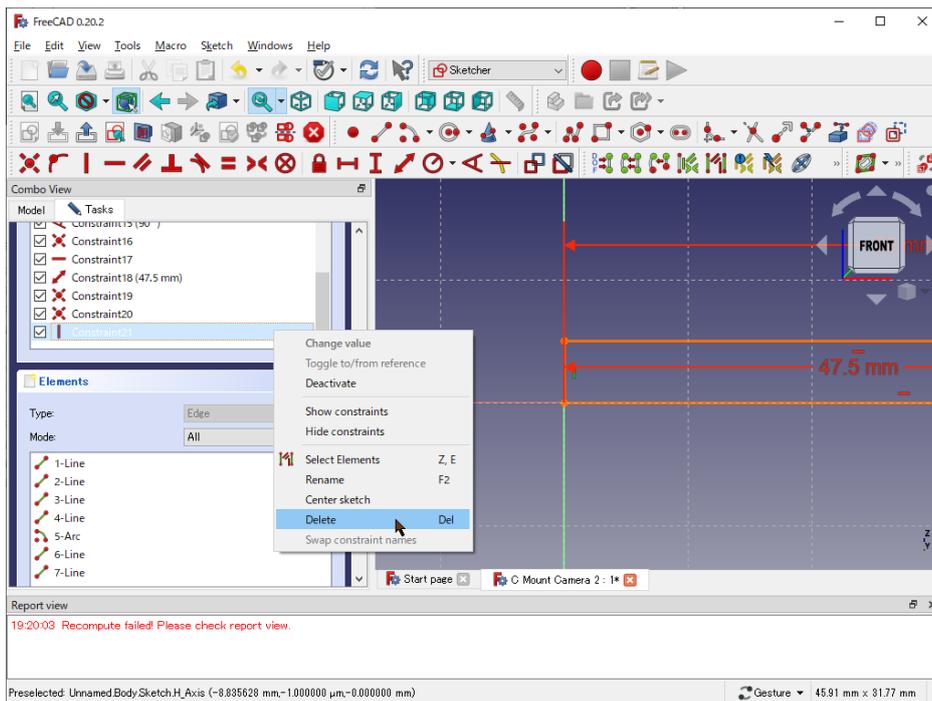


図 8 最後の直線の垂直拘束は解く

▲ステップ 5：できあがった L 字形の断面形状を押し出す

まずは Sketcher を実行している Tasks から抜けるため、Combo View の Tasks 内最初の [Close] ボタンを押します。すると、Model に切り替わるので、Sketcher が選択されている状態で Pad アイコン（図 9）をクリックすれば、L 字形が手前に 10mm 押し出された 3 次元形状に変化します。

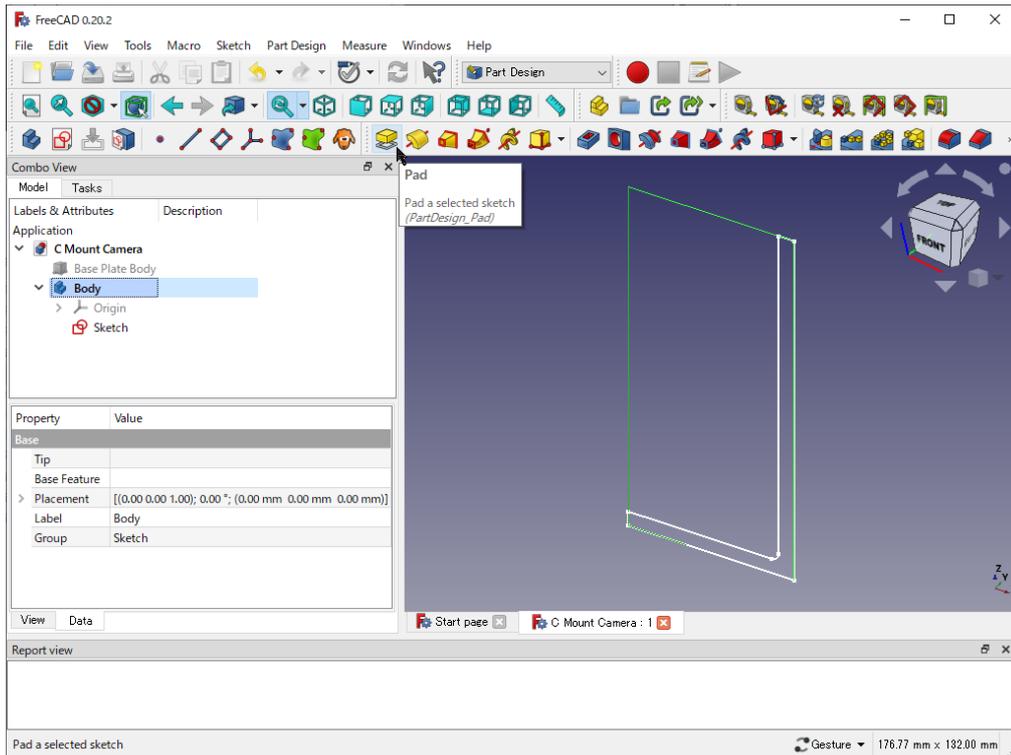


図9 できあがったL字形状を Pad で奥行方向に押し出す

▲ステップ6：奥行き長さの設定

奥行方向（y 軸方向）の長さを決定したいので、Pad parameters の Length に「60mm」と入力します。奥行き向きを y 軸の正方向にしたほうがわかりやすいので、Direction/edge を「Custom direction」とし、現れた x, y, z のうち y が -1 になっているはずなので、1 に変更します（図 10）。これで C マウント・レンズ・ブラケットの左手前が原点に揃い、位置合わせしやすくなります。

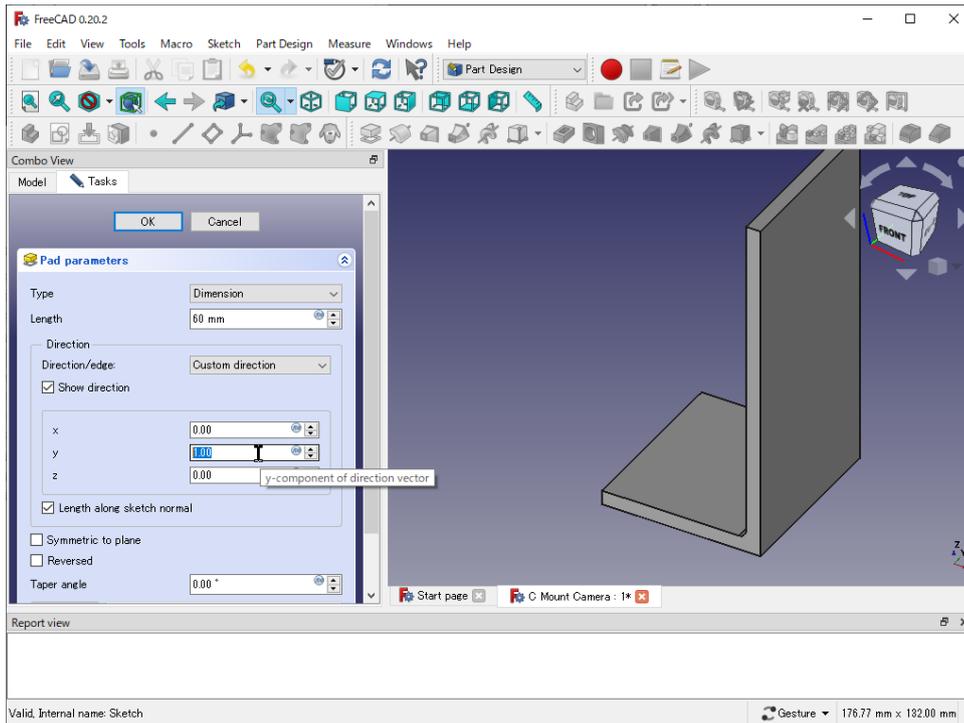


図 10 奥行き（長さ）の設定と押し出し方向の設定

▲ステップ 7：部品に命名し保存する

最後に作成した部品（Part）が Body となっているところ、「C Mount Bracket Body」のように名前をつけておきます。また、FreeCAD がクラッシュしないとも限らないので、ファイルを「C Mount Camera」のような名前で保存します。

●C マウント・レンズ・ブラケットに穴を開ける

ブラケットには C マウント PWH-Cmount、リニア・ガイドのブロック、固定用クランプ、バックフォーカス調整用のボルトが付きます。これらを取り付ける穴を開ける操作を行いますが、C マウントを通す穴以外はねじ穴（タップ穴）です。ねじ穴は、部品の加工を依頼するとき、3D CAD データとしてはねじの規格に従った直径のただの円柱形としておきま（注 3）。

注 3：金属部品の加工を受託するミスミは、CAD データをオンラインでアップロードしたあと、必要に応じて穴をねじ穴に指定できる

C マウント・レンズ・ブラケットは図 11 のような内側に C マウント・スレッドが内側に刻まれた円筒にフランジがついた形状になっています。また、プレートなどに取り付けるためのフランジの円周に沿った長楕円の取り付けねじ穴が開いています。円筒の外周が半径 17.0mm なので、少し余裕を持って 17.05mm で円筒（Cylinder，以降シリンダ）の Part を作成し、後でブラケットから円筒を Cut の切り抜く操作によって穴を開けます。

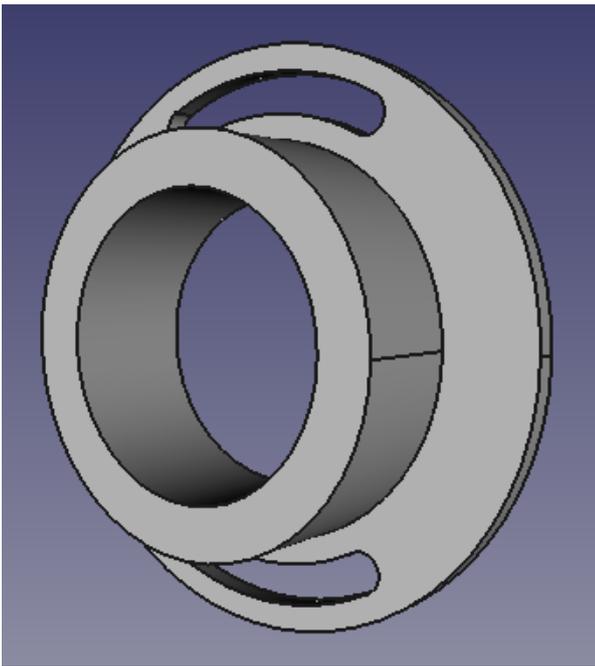


図 11 C マウント PWH-Cmount の形状

▲ステップ 1：シリンダの半径と向きを設定

シリンダのアイコンをクリックすると、半径 2mm で高さ 10mm のシリンダができあがるので、半径と向きを調整します。シリンダの Property に Radius と Height があるので、それぞれ

「17.05mm」、 「5mm」と入力します。これを Y 軸を中心に 90° 回転すれば向きが合うので、Base の Placement を開いて Angle を 90° ， Axis を $(x, y, z) = (0, 1, 0)$ に設定します。今回は名前を「C Mount Hole Cylinder」としておきます。

▲ステップ 2：穴の縁の角落とし部品を作成

Cマウントのブラケットへの挿入をしやすいように、穴の縁の角落とし部品も作成します。

Cone アイコンを押すと、円錐台が現れるので、0.5mmの角落としのため「Property」→「Cone」の Radius1 と Radius2 を 17.55mm, 17.05mm, Height を 0.5mm にします。Base の設定はシリンダと同じにします。名前は「C Mount Hole Bevel 1」としておきます。

シリンダの反対側も同じように Cone を作成し、Radius1, Radius2 をそれぞれ 17.05mm, 17.55mm とし、Base の設定をシリンダと同じにしたら「Property」→「Base」→「Placement」→「Position」の x を 4.9mm にします。

▲ステップ 3：部品の一体化

できあがった 3 つの部品を Model の中で選択して、Union アイコンをクリックし一体化します

(図 12)。すると 3 つの部品が Fusion の階層下に入るので、Fusion を「C Mount Hole」という名前に変更しておきます。

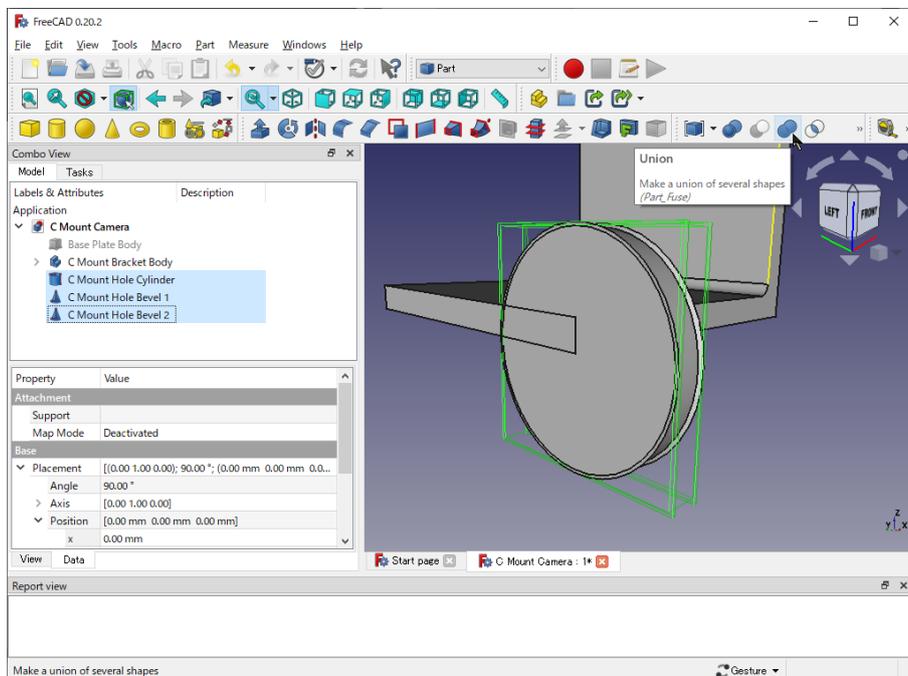


図 12 作成した 3 つの部品を Model の中で選択し Union アイコンをクリックして一体化

▲ステップ 4：穴が空くかの確認

試しに穴が空くかどうか C Mount Bracket Body から C Mount Hole を Cut してみます。まずは、C Mount Hole の中心がベース板から 100mm の高さになるよう、Position を $(x, y, z) = (55, 30, 92)$ に位置決めします。C Mount Hole がピッタリ所望の位置に移動したことを確かめて、C Mount Bracket Body と C Mount Hole の両方を選択してから、Cut アイコン (図 13) をクリックします。穴はそれ以外にたくさん空けなければならないので、Cut をいったん削除して次に進みます。

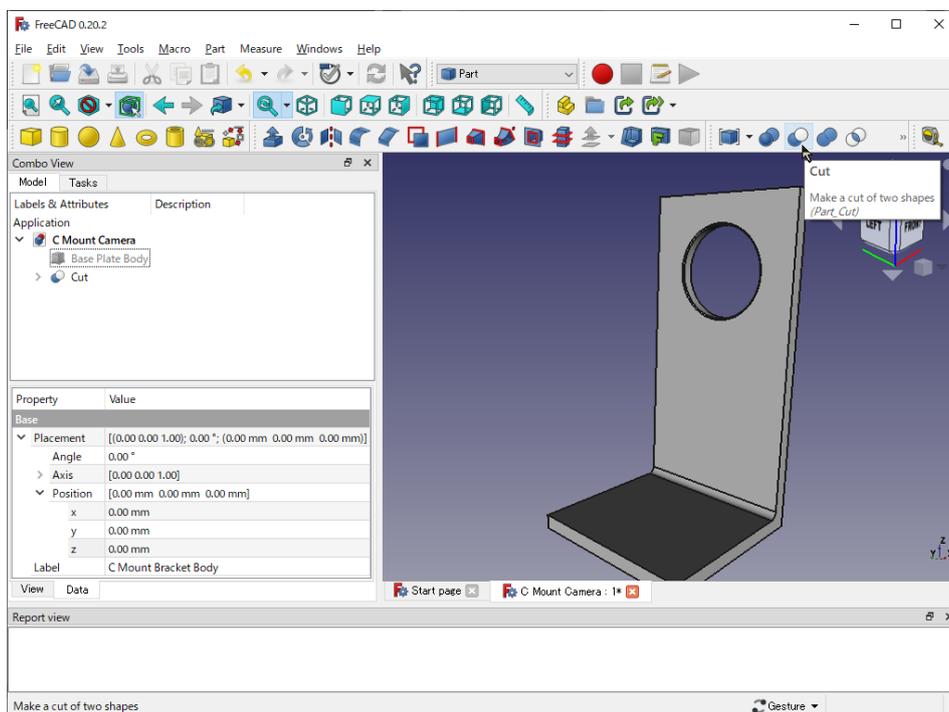


図 13 C マウント取り付け穴を空けた C マウント・ブラケット

あとは、4種類のねじ穴を空けていきますが、全てシリンダで穴を空けておけば良いので簡単です。ただし穴の直径は、加工で定められた基準に従う必要があるため、あらかじめ調べておきます。ミスミが受け付ける 3D ファイルフォーマットの 1 つ STEP の場合は、ねじ穴として認識が可能な直径が表 2 のようになっています。今回は 3 つあるうち 2 番目の切りの良い直径を用いることにします。

ねじ穴	シリンダ直径
M2	1.57, 1.60, 1.62, 2.00
M2.5	2.01, 2.05, 2.08
M3	2.46, 2.50, 2.53, 3.00
M4	3.24, 3.30, 3.33, 4.00
M5	4.13, 4.20, 4.23, 5.00

表 2 ねじ穴に使うシリンダ半径一覧

▲ステップ 5 : C マウント取り付け用ねじ穴を空ける

ねじ穴は M3 で、C マウント・フランジに沿った直径 42mm の円周に沿って開けられた円弧状のねじ穴 (図 11) に合うよう配置します。また、C マウント・レンズを C マウントに取り付けたときに絞りの目盛が見やすい位置に来るよう、C マウントの円弧状の取り付け穴の形を考慮して、円周上に等間隔で 16 個配置することにします。

M3 ねじ穴を Part のシリンダを半径 1.25mm 長さ 5mm で作り、Angle 設定により X 軸方向に向けます。これを円周上に 16 個繰り返したとき、その中心が原点になるようあらかじめ円周の半分の 21mm だけ Z 軸方向に移動しておきます [図 14 (a)]。できあがったシリンダを Workbench を Part から Draft に切り替えて、Array アイコンのプルダウン・メニューから Polar array に入ります。Polar angle は 360° のまま Number of elements を 16、Center of rotation を Reset point で $(x, y, z) = (0, 0, 0)$ として「OK」をクリックします [図 14 (b)]。

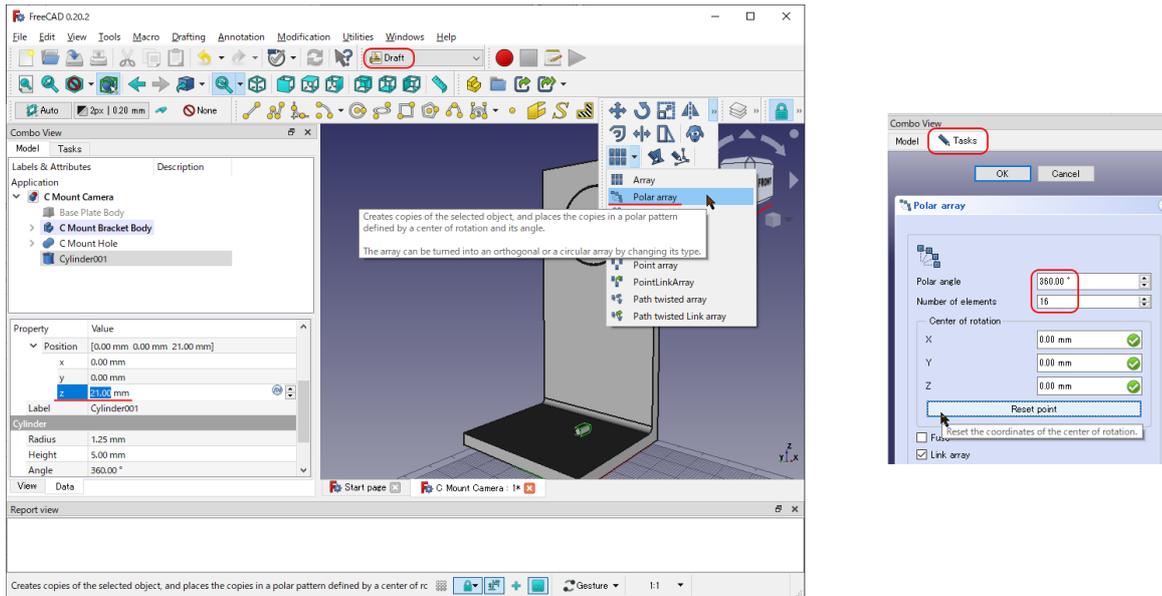


図 14 C マウント取り付けねじ穴の作成

(a) Z 軸方向の移動量を決めて Polar array に入る

(b) Polar array の設定

残念ながら Polar array は Z 軸に平行な回転軸が標準設定になっているので、あとで Polar/circular array の Axis を $(x, y, z) = (1, 0, 0)$ に設定します。

最後に Placement の Position を $(x, y, z) = (55, 30, 92)$ に変更すれば正しい位置に移動するはずですが、Array を「C Mount Screw Holes」などの名前に変更しておきます。

▲ステップ 6：バックフォーカス調整用のねじ穴を空ける

C マウント・ブラケットにカメラ・レンズのバックフォーカスを調整するための M5 ねじ穴を空けます。シリンダの直径は 4.2mm で C マウント・ブラケットの Y 軸方向中央の位置に、光軸 (X 軸) に沿った向きとし、ベース板の表面から 20mm (ブラケット底面から 12mm) の高さに配置します。

▲ステップ 7：リニア・ガイドのブロック用ねじ穴を空ける

Cマウント・ブラケットを光軸方向にスライドするリニア・ガイドのブロックをブラケット底面に固定するので、そのためのねじ穴（通し穴）を空けます。リニア・ガイドのレールを芯々で43mmの幅に2本ベース板に取り付けると、リニア・ガイドのブロックがブラケット底面の幅にぴったりと取まります。また、リニア・ガイドのブロックをブラケット底面4隅に配置するので、光軸方向は35mmの間隔とします（図4）。ブロックはM2ねじで固定するので、半径1.05mmのシリンダを作成し、DraftのArrayを利用して配置します。

▲ステップ8：固定用クランプ用ねじ穴を空ける

リニア・ガイドのクランプも同じようにブロックの隙間に1個だけ配置するので、M2のねじ穴を4つ空けます。以上全てのねじ穴を空けた状態を図15に示します。

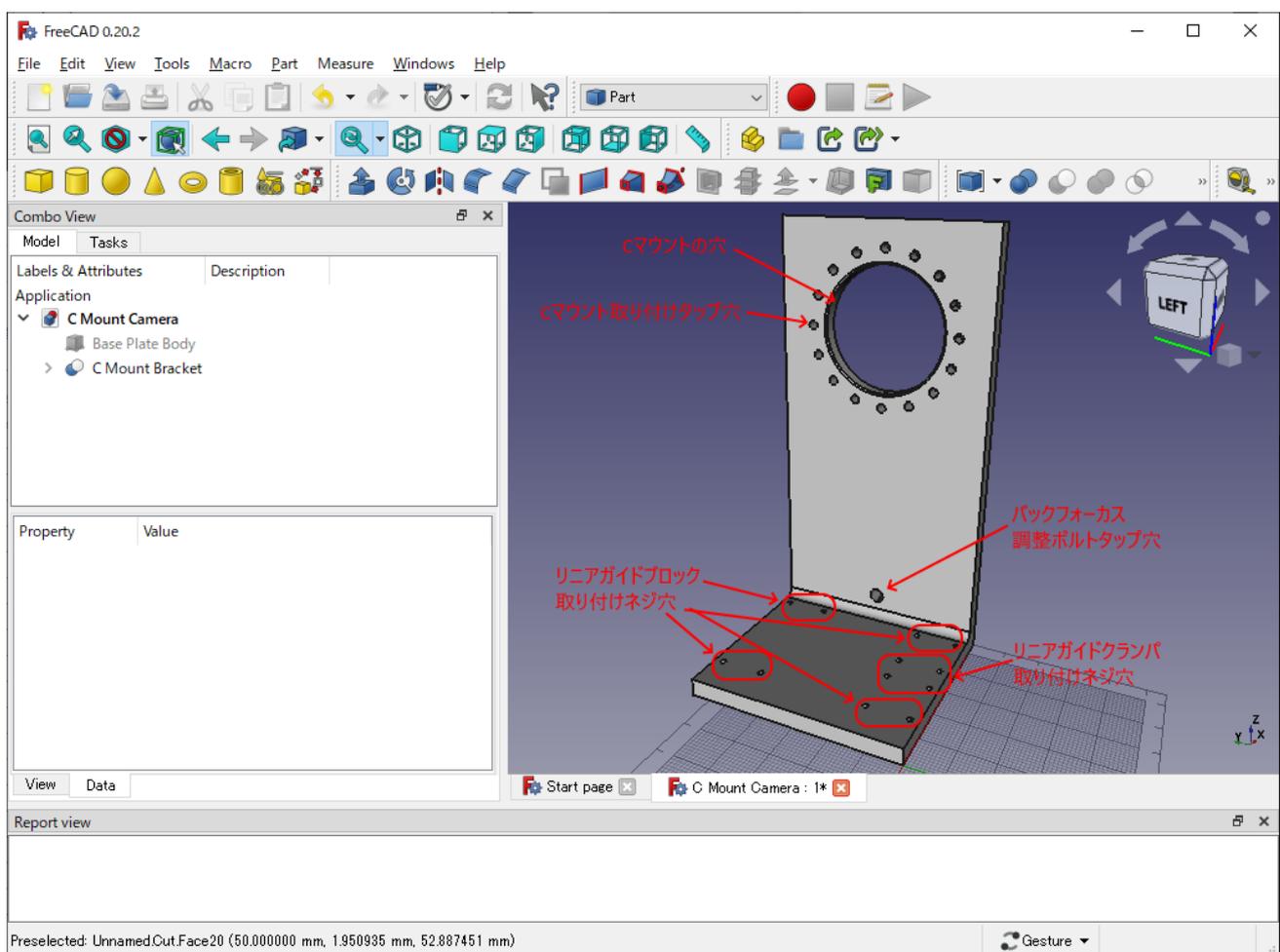


図 15 全てのねじ穴を空けた C マウント・ブラケット

●汎用部品のリニア・ガイドをインポート

ねじ穴の位置が合っているかどうかやカメラ治具としてできあがった状態を確認するのに、FreeCAD で形作って加工してもらった部品以外に必要な汎用部品を FreeCAD に取り込むと良いです。幸いにも回路設計に用いる集積回路やディスクリート半導体の SPICE モデルが製造元からダウンロードできるのと同じように、汎用のメカ部品も ミスミ から 3D データをダウンロードできます。そこで、C マウント・ブラケットがベース板の上で滑らかにスライドするためのリニア・ガイドをインポートしてみます。

▲ステップ 1：リニア・ガイドの選択

リニア・ガイドは、ミスミから購入できる「ミニチュアリニアガイド ショートブロック」を選びました。色々なオプションがありますが、サイズなど各種設定を行うと型名が「SSE2BSZ8-100」になります。これは、

・ レール幅：7mm

・ 高さ：8mm

・ ブロック数：2

・ レール長：100mm

・ 精度：並級

・ 潤滑：標準グリース

などを選択して決まった型名です。

▲ステップ 2：STEP 形式のファイルをダウンロードして解凍

すると、CAD データをダウンロードできるようになるので、3D データ・フォーマットの 1 つで FreeCAD にインポートできる STEP 形式のファイルをダウンロードします。その後、ダウンロードした ZIP アーカイブを解凍します。

▲ステップ 3：STEP ファイルを FreeCAD に取り込む

SSE2BSZ8-100.stp という STEP ファイルが取り出せるので、FreeCAD の File メニューの Import をつかって取り込みます。

▲ステップ 4：向き調整

「Placement」→「Angle」, 「Axis」を 120° , $(x, y, z) = (1, 1, 1)$ に調整すると図 16 のような所望の向きになります。

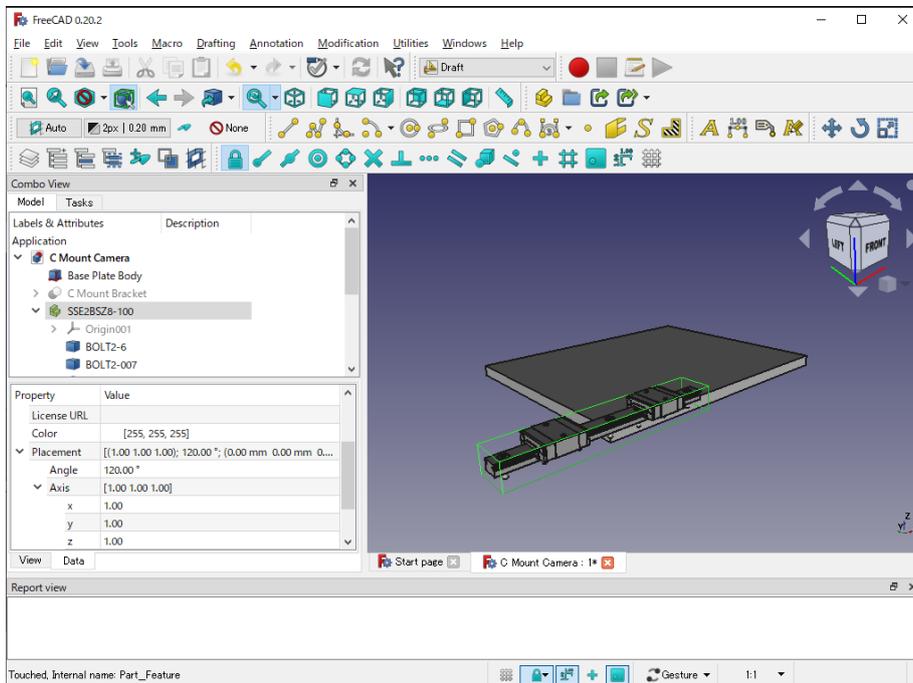


図 16 リニア・ガイドをインポートした状態…「Placement」→「Angle」, 「Axis」で向きを揃えてある

▲ステップ5：Cマウント・ブラケットの表示を消す

先に作成したCマウント・ブラケットは作業上邪魔になるので、それを選択状態にして

[Space] キーを1回押して表示を消しておきます。

▲ステップ6：ブロックの削除

インポートした部品はレール、ブロック、ボルトの組み合わせになっていて分割できます（注

4）。レールとボルトはベース板に、ブロックはCマウント・ブラケットに取り付けるので、ここではブロック（SEBSZ8_b, SEBSZ8_b001）を削除します。

注4：一体になっていて分割できない場合、選択した状態で「Draft」→「Downgrade」を実行すると分解できる

▲ステップ7：レールの配置

この1つ目のレールは、Positionを $(x, y, z) = (50, 38.5, 0)$ mm にして位置合わせしておきます。さらに Workbench の Draft にある Array で Y 軸方向に 43mm の間隔で2つ繰り返します。すると図17のように少しずつ形が見えてきます。例によって名前を「Linear Guide Rail」としておきます。

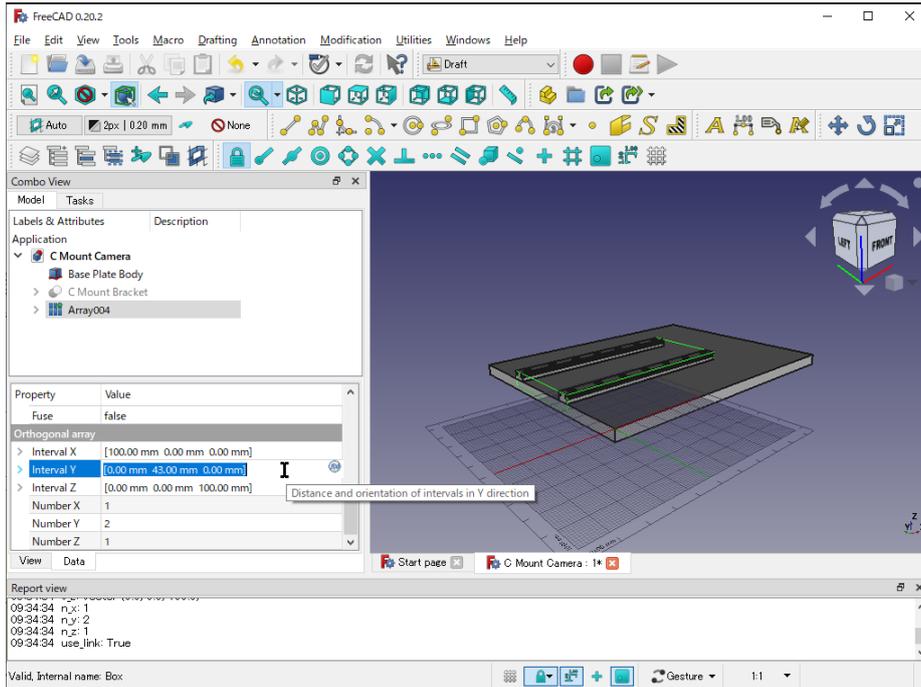


図 17 リニア・ガイドのレールを配置

リニア・ガイド以外にこれ以降必要になるねじなどの細かい汎用部品は、設計を進める間にミスから STEP ファイルをダウンロードします。必要な部品をインポートし配置すれば、加工を依頼する部品と組み合わせたカメラ治具の完成形に至るまで、形を確認しながら進めることができます。

● ベース板にリニア・ガイド・レールなどを取り付ける穴を空ける

ベース板はまだまっさらの板なので、リニア・ガイド・レール、リニア・ガイド・ブロックのストッパ、基板ホルダおよび高さ調整可能なゴム脚を固定するねじ穴がありません。まずはインポートして配置したリニア・ガイドのレールを取り付けるねじ穴を空けます。

リニア・ガイドの 100mm 長レールを 2 本 43mm の間隔で平行に $X=0\text{mm}$ を起点に X 軸に沿って配置します。レールには M2 の固定ねじ穴が 7 つ、15mm 等間隔で空いているので、半径 0.8mm、長さ 6mm の穴をベース板に開ける作業をします。C マウント・ブラケットで空けたねじ

穴と同様で簡単なので詳細は省きますが、リニア・ガイドのレールに空いている 15mm 間隔の M2 ねじ穴の最初の位置はレール端から 5mm になるので、ねじ穴の 1 つ目は $(x, y) = (5, 38.5)$ mm になります。あとは X 軸方向 15mm 間隔で 7 個、Y 軸方向 43mm に 2 個シリンダを繰り返し配置します(図 18)。残りの穴は、表 3 に従ってベース板に空けます。

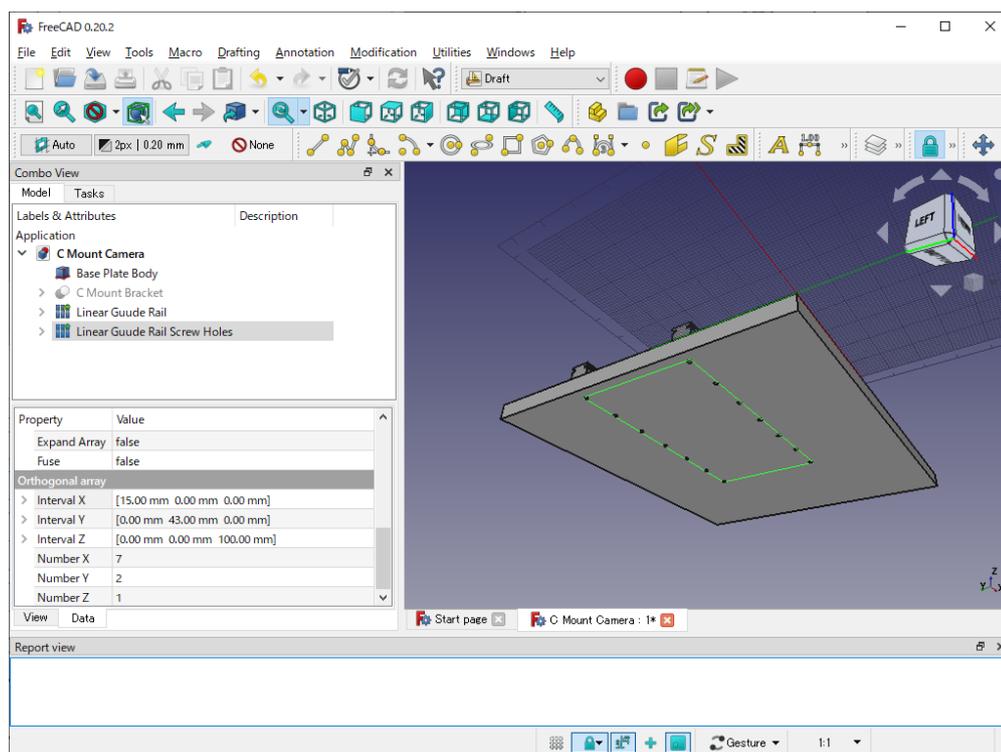


図 18 リニア・ガイド・レールのねじ穴を空ける

部品名	ねじ規格	ねじ長 [mm]	1 つ目の座標 [mm]			繰り返し [mm] 回数		回転軸	備考
			x	y	z	x	y		
リニア・ガイド・レール	M2(注 1)	6.0	5.0	38.5	0.0	15 , × 7	43 , × 2	Z	タップ穴
リニア・ガイド・ストップ前	M2.5(注 1)	7.0	0.0	45.0	-3.0	-	30 , × 2	X	タップ穴
リニア・ガイド・ストップ後ろ	M3(注 1)	6.0	112.0	40.0	0.0	-	40 , × 2	Z	タップ穴

基板ホルダ	M2.5(注2)	6.0	102.5	7.5	0.0	10 , × 5	105 , × 2	Z	通し穴 +皿もみ
高さ調整ゴム脚	M4(注3)	6.0	10.0	10.0	0.0	-	100 , × 2	Z	タップ穴
			140.0	25.0	0.0	-	35 , × 3	Z	タップ穴
三脚	1/4-20 UNC (注4)	6.0	55.0	60.0	0.0	20 , × 3	-	Z	タップ穴(注5)

表3 ベース板に開けるねじ穴一覧

(注1) 六角穴付きねじ

(注2) 平皿六角穴付きねじ

(注3) 40mm 長止めねじ

(注4) ユニファイねじ

(注5) ユニファイねじ穴の加工が受け付けられない場合、Φ5.1の通し穴で加工してもらい、あとでタッピングする

なお、基板ホルダを固定する M2.5 のねじ穴は、取り付け位置精度を良くするため平皿ねじを用いることにします。ベース板には平皿ねじに合致した円錐台の皿もみを Part の Cone を用いて作成しておきます。円錐台の角度は 90° になるよう Radius1 と Height を設定し、Radius2 はゼロで良いです。

最後の三脚を取り付けるねじ穴は、前後の重量バランスを考慮して 3 か所用意します。ねじ規格はユニファイねじ規格で、1/4-20UNC と称するものです。ミスミではユニファイねじのタップ穴を受け付けてもらえないので、自分でタッピングすることを想定してタッピング下穴としての通し穴を空けておきます。

● リニア・ガイド・ストップを作る

前側のリニア・ガイド・ストップは 3mm 厚で 60mm×20mm の平板をベース板の前側面に M2.5 のねじ 2 個で固定します。これは単純な形状なので解説は省略して、後ろ側のリニア・ガイド・ストップには、ミスミの C ナビで選べる L 曲げブラケットから適切な形とサイズを選んで作成します。これは、バックフォーカス調整ボルトを吸い付けるマグネットの固定も兼ねるで、図 19 のようにベース板に固定する M3 の通し穴とマグネットを取り付ける M3 のタップ穴、および M5 のバックフォーカス調整ボルトがマグネットに当たる穴を空けます。

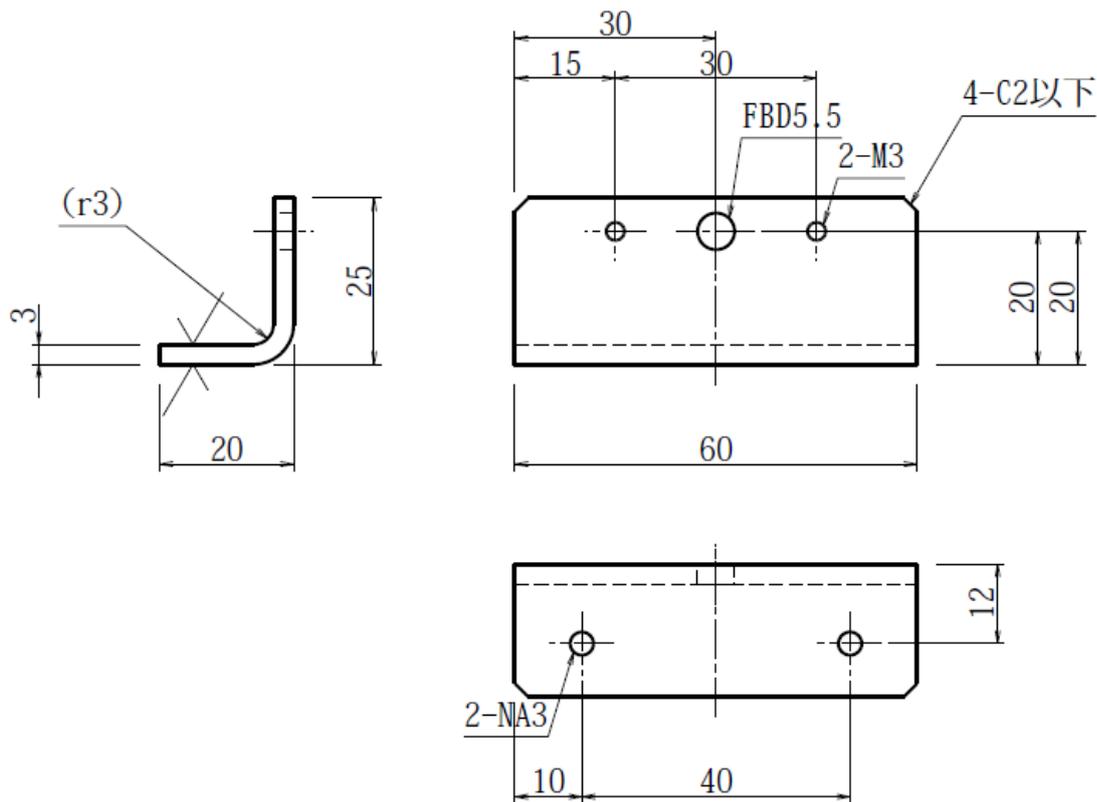


図 19 ミスミで設定したリニア・ガイド・ストップ（後側）の図面

ミスミの C ナビで作成した部品は、ダウンロードできるファイルフォーマットが 2D の DXF の

みなので、FreeCAD へのインポートができません。代わりに C マウント・ブラケットで行ったように、図面に従って FreeCAD の Sketch を使ってリニア・ガイド・ストッパの形状を入力しておきます。

バックフォーカス調整ボルトを吸い付けるマグネットは、ねじ止めできる適当なサイズの汎用品が意外と少ないですが、M3 ねじ穴が 2 個ついた厚さ 3mm、大きさ 40×10mm の板状ネオジウム磁石をサンギョウサプライから入手できます。

●C マウント・ブラケットにリニア・ガイドなどの部品を組み合わせる

リニア・ガイドに含まれるブロックは、今一度リニア・ガイドをインポートしてブロックだけ残し、既に作成した C マウント・ブラケットに Workbench を Part にして出てくる Compound tools で組み合わせておくと良いです。できあがった Compound (部品の集合体) は、既に作成した C マウント・ブラケットを Y, Z 軸方向にそれぞれ 30mm, 8mm 移動させ、ブロックをそれに合わせて適正な位置に配置してから組み合わせます。合わせてリニア・ガイド・クランプもインポートして同じ Compound に入れておきます。できあがった Compound は名前をつけて X 軸方向に 40mm 下げ配置しておきます。

バックフォーカス調整ボルトは M5 の六角穴付きボルトを用い、M5 ナットとゴム・ワッシャで C マウント・ブラケットに組み合わせます。ゴム・ワッシャはナットがボルトを柔らかく固定するので、バックフォーカス調整がとても容易になります。それから C マウント (注 5) も組み合わせておきます。また、既に作成したリニア・ガイド・ストッパと取り付けねじ、マグネットを適切に組み合わせ、正しい位置に配置します。これらを配置した状態を図 20 に示しておきます。

注 5: 3D データが用意されていないので、仕様に合わせて自分で作成

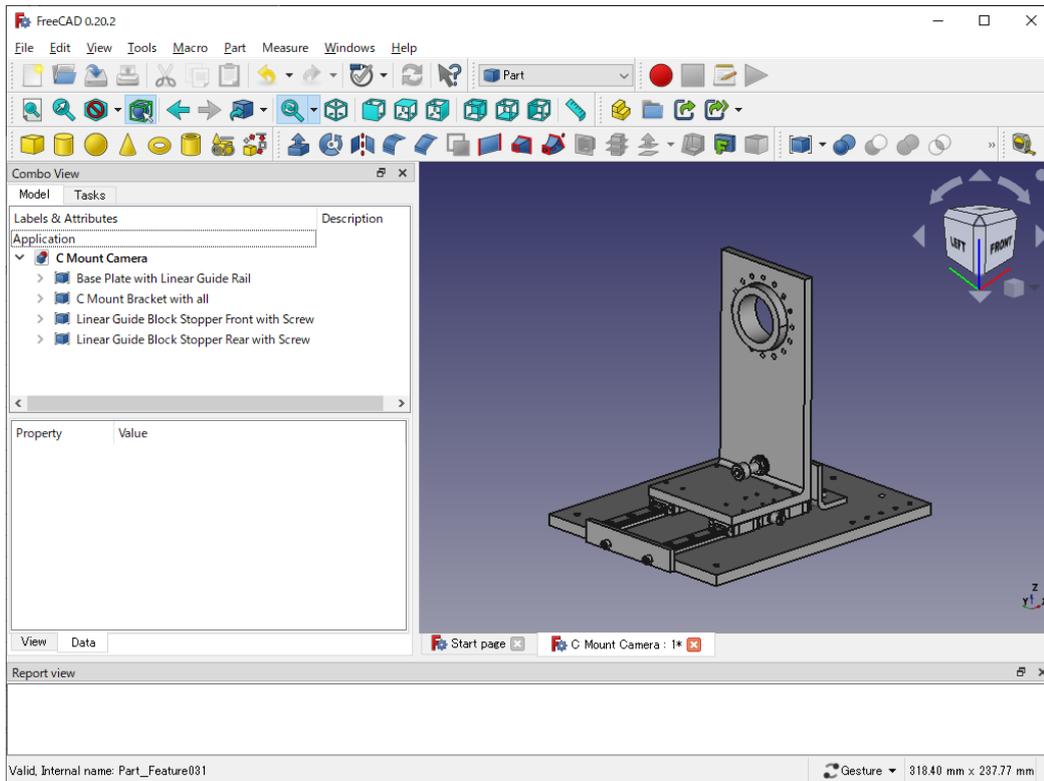


図 20 ベース板から C マウント・ブラケットまでの一連の部品を組み合わせ

●基板ホルダを作る

基板ホルダは C マウント・ブラケットと同じようにベース板から立ち上がる L 字形とし、個々のイメージセンサのボードに合わせた形とサイズにします (図 21)。

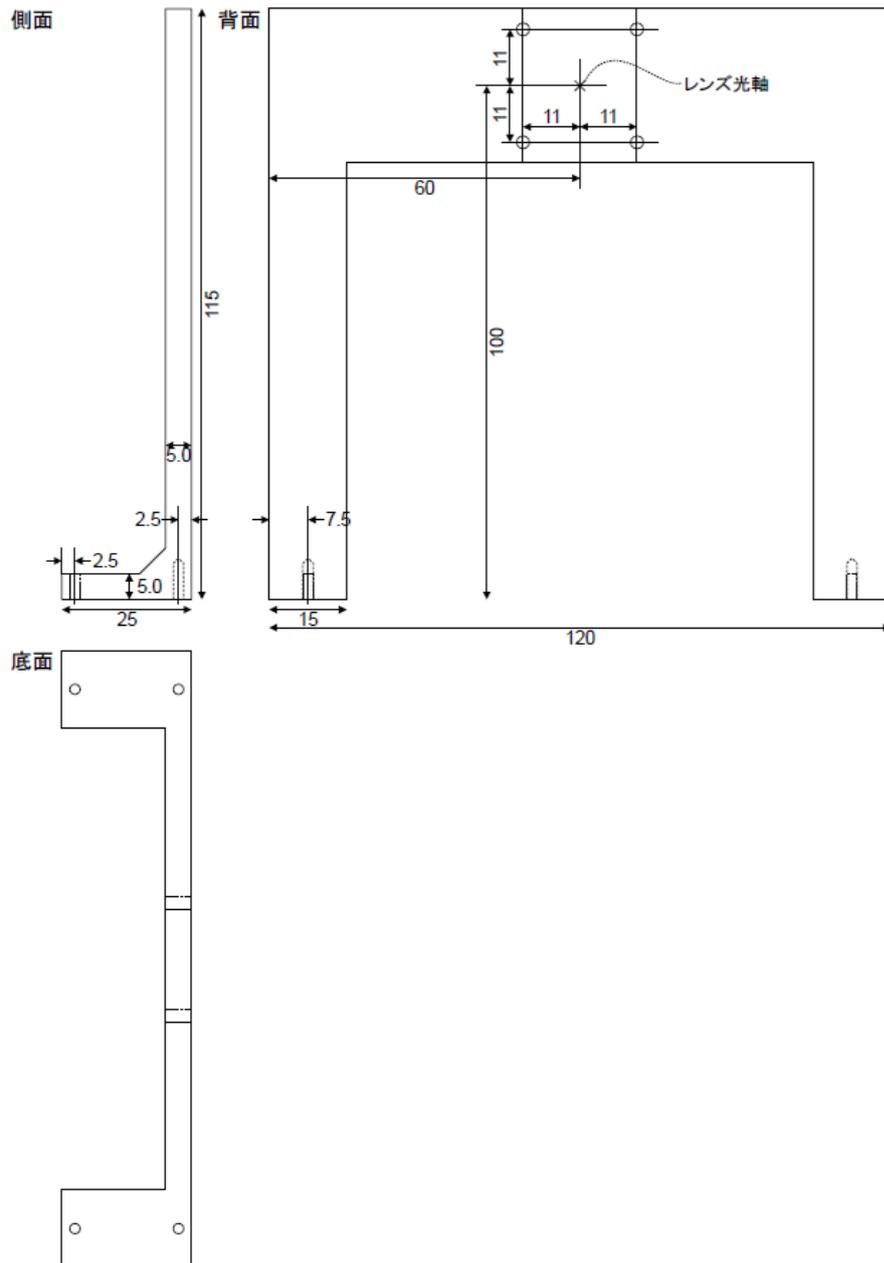


図 21 基板ホルダの図面

(a) 側面

(b) 底面

(c) 背面

これも C マウント・ブラケットと同じように Sketch で側面の形状を入力し，Pad で奥行方向に伸

ばし形を作ります。ここで作成したブリッジ形状の例は、イメージセンサが中央に取り付けられた約 10cm 角の基板と、それと直角に PC へ画像を転送するためのインターフェース基板がコネクタで取り付けられることを想定しました。また基板は、イメージセンサの光軸を中心に 22mm 正方の位置に M2 ねじが開けられていると想定して、基板ホルダに M2 のスペーサを挟んで固定することにしました。

図面に従って基板ホルダの形状を入力し、基板を固定するスペーサと M2 六角穴付きねじ、基板ホルダをベース板に固定する M2.5 の平皿ねじもインポートします。ただし、スペーサだけは 3D データを手に入れることができなかったため、Part Design で作成しました。これらを適正な位置に配置した様子を図 22 に示します。

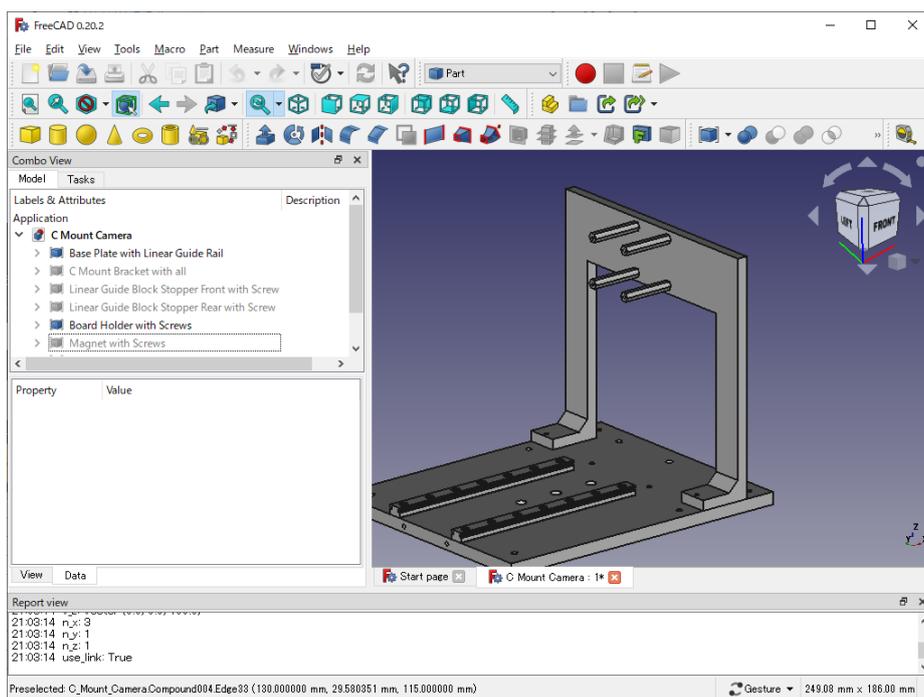


図 22 基板ホルダを形成し適切な位置に配置

●高さ調整ゴム脚を作る

高さ調整ゴム脚ですが、ゴム脚はミスミから購入できるSK型のゴム脚を用います。これをM4の止めねじに取り付け、ベース板に通した止めねじを回転させることでベース板の高さを20mm程度調整できるよう工夫してあります。このM4のねじ穴はベース板の前方に2つ、後方に3つ空けました。後方に3つのうち真ん中の1つに高さ調整ゴム脚を付ければ3点支持になりベース板の角度が調整しやすいです。ベース板を安定させるなら後方の左右2つにゴム脚を取り付けます。

高さ調整ゴム脚は、止めねじを軸に自由に回転できるようにするとカメラ治具がずれることを防止できます。それには、袋ナットとダブルナットで止めねじにゴム脚をわずかな余裕をもってはさむことで対応しました。ダブルナットとゴム脚の間には滑りを良くするワッシャをはさんでおきます。止めねじはベース板に空けたタップ穴の中でガタつくので、ベース板に固定できるようローレットナットも用意します。高さ調整ゴム脚を組み立てた様子を図23に示します。

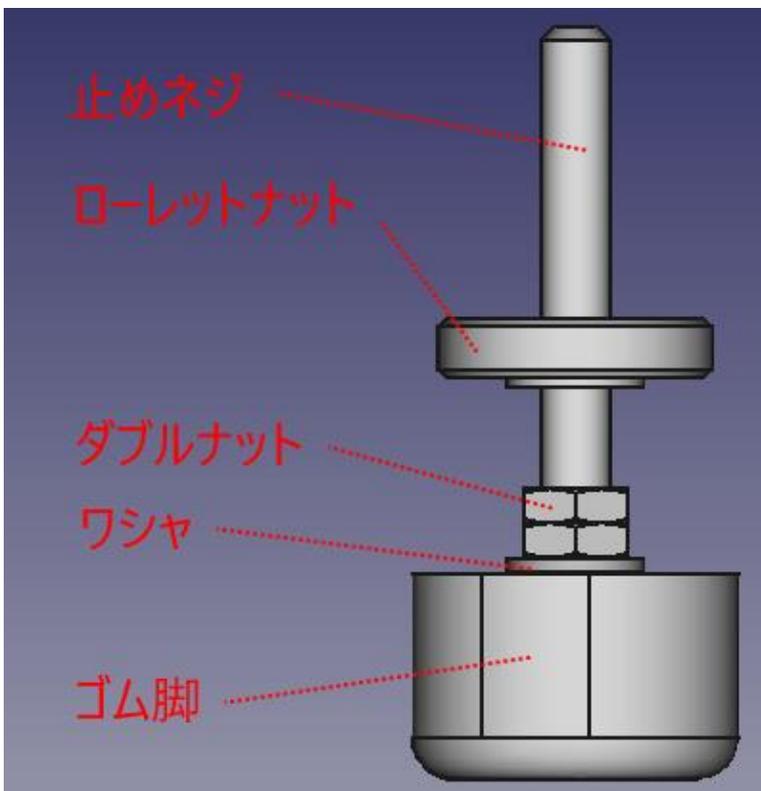


図23 高さ調整ゴム脚

●全体の様子を見て部品の細かい位置関係を確認する

これまで形作った加工をする部品とインポートした汎用部品を全て組み合わせた様子を見てみます（図 24）。この図には中央にイメージセンサが接続された 100mm 角のセンサ基板と、それに直角にコネクタで接続されたインターフェース基板を組み合わせてあります。意図した通り基板ホルダに干渉することなく固定されている様子が分かります。

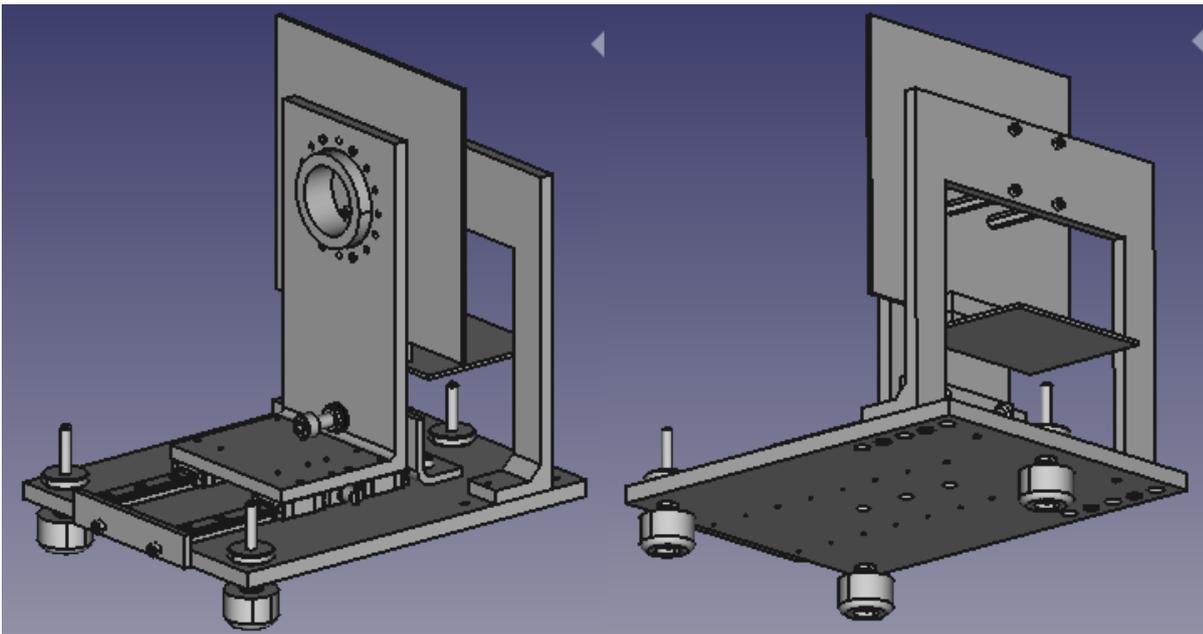


図 24 全体の様子から部品の位置関係をチェック

まず C マウント・レンズのバックフォーカスがイメージセンサの撮像面に一致するかどうか確認してみます。基板ホルダを図 24 のように固定し、スペーサには 25mm 長のものを使い、イメージセンサを載せているセンサ基板の厚さを 1.5mm、イメージセンサがセンサ基板から 2mm の高さに浮いているとしたらイメージセンサの撮像面は FreeCAD の X 軸上 101.5mm に位置します。一方で、C マウント・ブラケットの背面を FreeCAD の X 軸上 95mm に配置すると、PWH-Cmount の取り付けられる位置と C マウントのフランジバック 17.526mm からバックフォーカスの位置が X 軸上 102.526mm となり、図面上 C マウント・ブラケットをバックフォーカス調整ボルトで 1mm 程度 X 軸上前に出せば良い計算になります。イメージセンサがソケットでつけられているとして

も、バックフォーカス調整ボルトを長いものに変えれば 10mm 以上の厚さを持つソケットでも大丈夫です。

C マウント・ブラケットは、リニア・ガイドで前方に 40mm 移動できるのでセンサ基板に大きめの部品が乗っていても容易に取り付けることができます。C マウント・ブラケットにつけられているバックフォーカス調整ボルトがリニア・ガイド・ストッパに取り付けられているマグネットに吸着していますが、バックフォーカス調整時は外れることはなく、一方で移動するには少しの力を加えただけではずすことができます。

高さ調整のゴム脚は、40mm 長の止めねじを回転させることでベース板の高さと角度を調整できますが、おおよそ 16mm の調整範囲を持つので、約 $\pm 7^\circ$ のあおり角度、 $\pm 9^\circ$ の回転角度調整が可能です。

部品の加工依頼

●オンラインで完結する

これまで FreeCAD で形作ってきた部品を実際にミスミに加工してもらいます。ミスミは便利なおことに、オンラインで 3D CAD ファイルをアップロードすれば部品を発注することが可能な仕組みを提供しているので、これを使います。データも保存できるので、ユーザ登録することをおすすめします。

●アップロードするファイル (STEP ファイル) のエクスポート

ミスミで受け付けることのできる 3D CAD ファイル・フォーマットは幾つかありますが、ここでは STEP ファイルを選択します。実際に FreeCAD で作成した部品を個々に STEP ファイルとしてエクスポートします。

ベース板の場合、加工すべき部品はリニア・ガイド・レールなどの汎用部品と Compound tools

と組み合わせられているので、Cube からねじ穴をまとめた Union で Cut した階層まで下がり、

「Base Plate」と名前をつけた Cut を選択してファイル・メニューからエクスポートします。エクスポートの際には、ファイルの種類を STEP にすることを忘れないようにします。

●発注する

できあがった STEP ファイルを使って部品を加工依頼することになりますが、ミスミのサービスの 1 つである meviy を使います。meviy は幾つか種類があり、今回は角ばった形状の部品ばかりなので、切削加工（角物）を選びます。手順を次に示します。

▲ステップ 1：穴タイプ自動認識の設定

ファイルをアップロードして見積もりに進むと、穴タイプ自動認識の設定を聞かれますが、後で設定する方を選びます。部品に空けたタップ穴の直径の設定に間違いがある可能性もあるので、後で設定できるほうが安心です。

▲ステップ 2：STEP ファイルのアップロード

あらかじめ作成した STEP ファイルをドロップして、しばらくするとアップロードが完了します。

▲ステップ 3：加工方法の選択

加工方法に切削と板金の選択肢がありますが、板金はアップロードした形状から自動的に判別され選ぶことができないので、切削を選びます。次に確認待ちの状態になりますがすぐに次へ進むことができます。

▲ステップ 4：材料と表面処理の選択

材料と表面処理を選ぶ項目がありますが、作成するのは光学部品ですからアルミの A5052（注 6）、黒アルマイト（つや消し）を選びます。注 6：用途に応じた材料を選ぶと良い

▲ステップ 5：寸法や穴などの確認

すると図 25 のように左側に基本情報とツリー・ビュー、右側に部品の 3D 形状が表示がされます。ツリー・ビューには各部寸法、右側に 3D 表示されているので、できあがった寸法を確かめておきます。特にタップ穴と通し穴があらかじめ認識されているので、意図した通りになっているか注意深く確かめておきます。タップ穴は M*、通し穴は Φ* と表示されているはずで

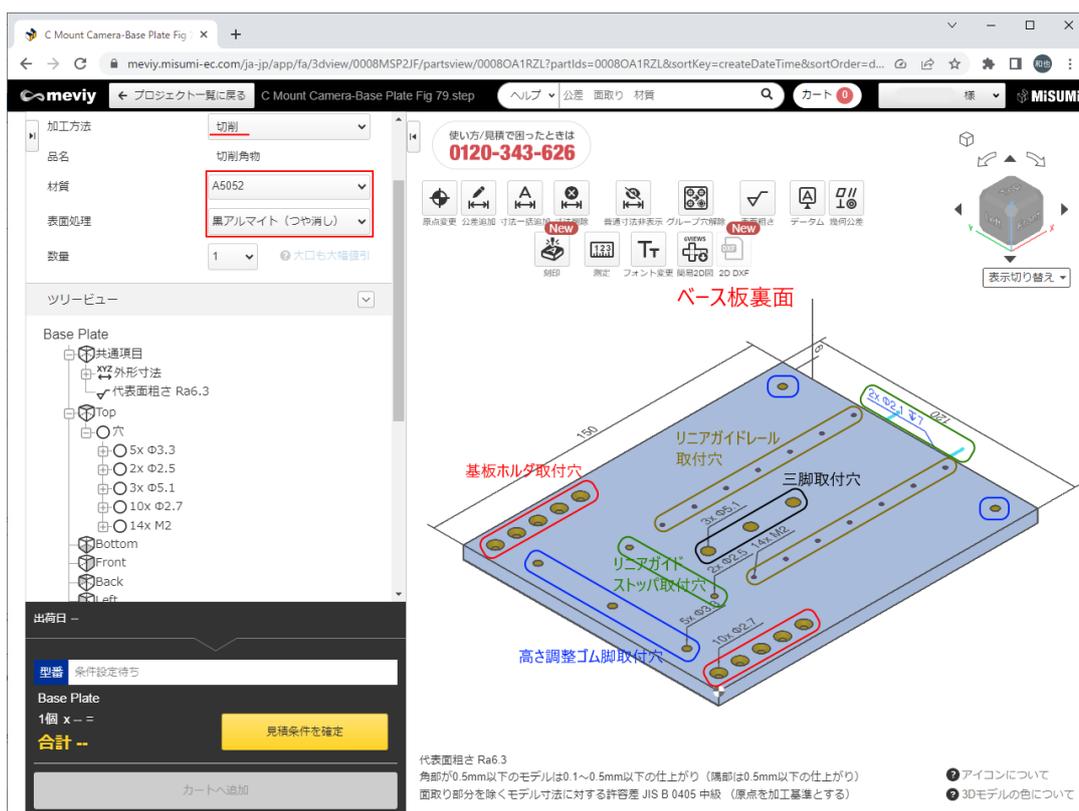


図 25 ベース板の STEP ファイルをアップロードして材料と表面処理を選択した状態

基板ホルダ以外は全部タップ穴で、リニア・ガイド・ストップ（前）を除いて有効深さを全長に設定します（図 26）。また、リニア・ガイド・ストップ（前）のみ有効深さが 5mm になっている

ことも確かめておきます。基板ホルダの取り付け穴は通し穴であることを確かめ、平皿ねじのための皿もみがされていることを目視すれば大丈夫です。皿もみは先端の角度が 90° （平面に対する角度が 45° ）になっていないと加工を受け付けられませんので、FreeCAD で皿もみを作るシリンダの Radius と Height の設定には注意します。

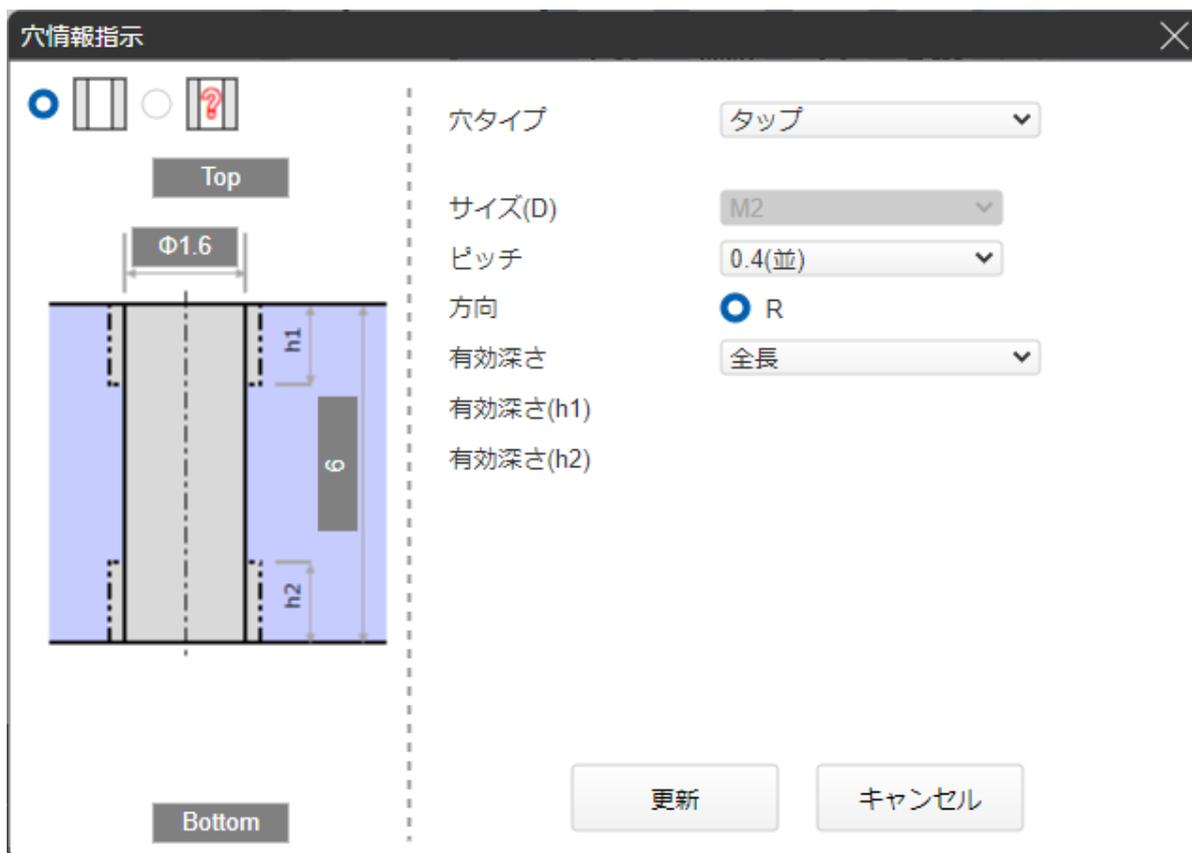


図 26 タップ穴の有効深さを設定

残りの4つの部品は、Cマウント・ブラケット、リニア・ガイド・ストッパ（前/後）、基板ホルダの4つになります。これらも同じように加工を依頼できます。

組み立て

ここまで加工依頼した4つの部品とCマウント（PWH-Cmount）、リニアガイド、カメラ・レンズ、ゴム脚、ねじ類を揃え組み立てればカメラ治具が完成します。リニア・ガイド以外は光学部品

では標準的な表面が黒色なので、ねじ類も可能な限り黒色のものを揃えることをおすすめします。

Cマウント・ブラケットとイメージセンサ基板の間は隙間が大きいので、黒のラシャ紙を使って折り紙の要領で蛇腹を作れば光の漏れを防ぐことができます。

こうしてできあがったカメラ治具は、実際のイメージセンサ基板、インターフェース基板を取り付けると冒頭で示した写真1のようになります。この写真では、リコーのCマウント・ズーム・レンズ FL-CC6Z1218-VG が取り付けられている様子です。ズーム・レンズは CMOS イメージセンサの性能評価に使われるチャートを画角に合わせるのにとても都合が良いです。しかし、MTF（注7）があまり良くなく、被写体をくっきり撮像することが要求される性能評価項目には、MTFの良い固定焦点のレンズが適切です。高解像度イメージセンサ向けの焦点距離が異なる固定焦点レンズも幾つか揃えておくことをおすすめします。

ズーム・レンズの FL-CC6Z1218-VG は、Cマウント・レンズとしては比較的大きく重いので、Cマウント・ブラケットがたわむことが心配されます。しかし、FreeCAD は部品に荷重がかかった状態での部品の歪も計算できる機能が備わっていて、それによるとこのズーム・レンズでも問題ないたわみに収まっていることが確認されています。

注7：レンズの解像度を示す基準で Modulation Transfer Function の略

* *

イメージセンサの設計を行うエンジニアにとって、自ら性能の評価解析を行うことは自身で設計したイメージセンサを直に特性を感じとる大変重要な仕事です。イメージセンサの機能や構造が新規である場合はなおさらです。経験を積んだイメージセンサの設計者は、本稿で設計したカメラ治具がさまざまな性能評価に柔軟に対応し、さまざまなイメージセンサに適応できると理解できることでしょう。また、イメージセンサの設計者であったとしても、ここで紹介したカメラ治具を自ら作ってしまうスキルも持ち合わるなら、設計業務の自由度がますます向上するに違いありません。

コラム これから作るなら設計変更が必要 米本 和也

●原因は meviy の制約

本文で設計したカメラ治具とその完成品は meviy の制約がゆるいころ（約2年前）のもので、現時点では一体成型の L 字型 C マウント・ブラケットと基板ホルダは受け付けられません。主な理由は直方体の金属を切削加工するエンドミルの長さに制限があり、深く彫り込まれた L 字アングル形状が加工できないことにあります。

●直方体の組み合わせ変更で対応する

そこで、これら一体成型の L 字形状を直方体の組み合わせに変更することにします。一体成型との違いは、直方体を組み合わせる（ねじ止めする）ときの位置決め精度により、光軸に対するイメージセンサの撮像面中心のずれを大きくする要因が発生することです。従って、組み合わせるときの固定の方法に注意が必要です。

▲変更1：C マウント・ブラケット

リニア・ガイド・ブロックに乗せる底板と C マウントを組み合わせるマウント板に分解します。どちらもねじ穴の種類や C マウント部品の穴が、汎用的な部品を作るミスミのフリー寸法タイプ板金では対応できないので、meviy に頼ります。

▲変更2：基板ホルダ

ベース板に固定し、立ち上げる L 字ブラケットをフリー寸法タイプ板金で作り、それに接続して基板を保持するアダプタ板を C ナビで作ることとします。アダプタ板はスペーサを介して基板を固定する板ですが、このアダプタ板を基板に合わせて形を決めればさまざまな基板に対応できます。

▲変更3：フリー寸法タイプ板金

最小ねじ穴が M3 であるのに対して、C ナビは M2 まで対応できるのでアダプタ板には C ナビを利用します。

以上の点を考慮して加工依頼する部品の加工方法を表 A にまとめました。

部品	加工方法
ベース板	meviy
C マウントブラケット底板	meviy
C マウントブラケットレンズマウント板	meviy
リニアガイドストッパー前	板金 取付板・ブラケットフリー寸法タイプ JTDAS
リニアガイドストッパー後	L型板金 取付板・ブラケットフリー寸法タイプ FALBS
基板ホルダ L 字ブラケット ¹⁾	L型板金 取付板・ブラケットフリー寸法タイプ FANAS
基板ホルダアダプタ ²⁾	C ナビ

1) meviy でも成型可能だが、価格が高く一部歪 / 公差外れの可能性がある警告が出るため、寸法が自由で追加加工ができる L 型板金を選択

2) 板金取付板が対応しない M2 タップ穴が必要なため、C ナビを選択

表 A 部品と加工方法

●設計変更したものを作る

▲C マウント・ブラケットと基板ホルダ

基本的な形は一体型と大きく変わりませんが、底板とマウント板の結合部の強度と精度を考慮して、底板を 10mm と倍の厚さにして結合面の剛性を確保し、両者の固定には M3 の平皿ねじを 4 箇所とします。バックフォーカス調整ボルトはリニア・ガイド・ストッパに移し、逆にマグネットを背面に取り付けます (図 A)。

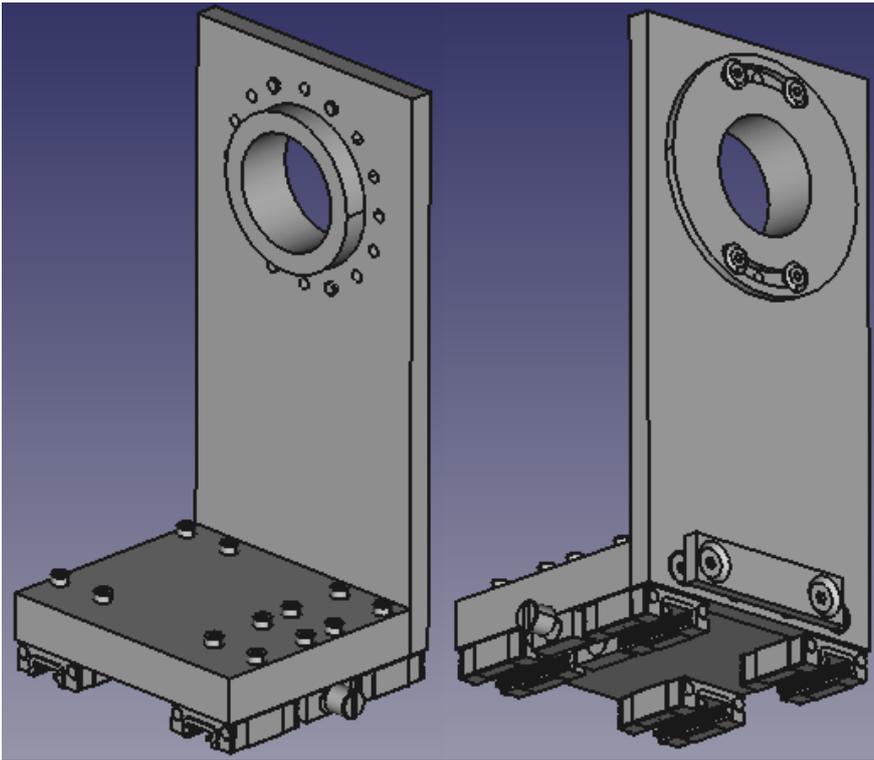
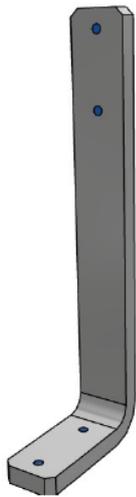


図 A 設計変更後の C マウント・ブラケット

基板ホルダ L 字ブラケットはベース板に 2 本立てるように取り付け、それにブリッジするように基板ホルダ・アダプタ板を作ります。L 字ブラケットはミスミの L 字板金フリー寸法タイプ FANAS に各部所望のサイズ、ねじ穴種類を入力するだけででき上がります。完了したら My 部品表に保存します。できあがりの 3D ビューと入力したパラメータ一覧は図 B と表 B にそれぞれに示します。



指定項目	指定値	指定項目	指定値
材料	A5052	H	90mm
表面処理	アルマイト処理(黒)	G	20mm
A	115mm	穴指定 1	タップ穴 M3
B	40mm	Y	7.5mm
L	15mm	V	0mm
T	5mm	S	15mm
X	7.5mm	W	20mm
F	0mm	穴指定 2	タップ穴 M3

図 B 設計変更後の基板ホルダの L 字ブラケット

指定項目	指定値	指定項目	指定値
材料	A5052	H	90mm
表面処理	アルマイト処理(黒)	G	20mm
A	115mm	穴指定 1	タップ穴 M3
B	40mm	Y	7.5mm
L	15mm	V	0mm
T	5mm	S	15mm
X	7.5mm	W	20mm
F	0mm	穴指定 2	タップ穴 M3

表 B 設計変更後の基板ホルダの L 字ブラケットのパラメータ

▲基板ホルダ・アダプタ板

ミスマの C ナビを利用します。C ナビの「取付け板/ブラケット」に入り、平型ブラケット汎用タイプを選び作成を開始します。材質は A5052 のアルマイト（黒）を選択し、寸法を横 A = 120mm、縦 B = 30mm、板厚 T = 3mm としたら、ねじ穴の位置指定を L 字ブラケットに合わせ、形状は通し穴 M3 とします [図 C (a)]。チェック実行をして「OK」が表示されたら追加工プラス

ワンに進みます。スペーサを介して基板を取り付けるための M2 のタップ穴を、基板のねじ穴位置に合わせて指定します [図 C (b)]。

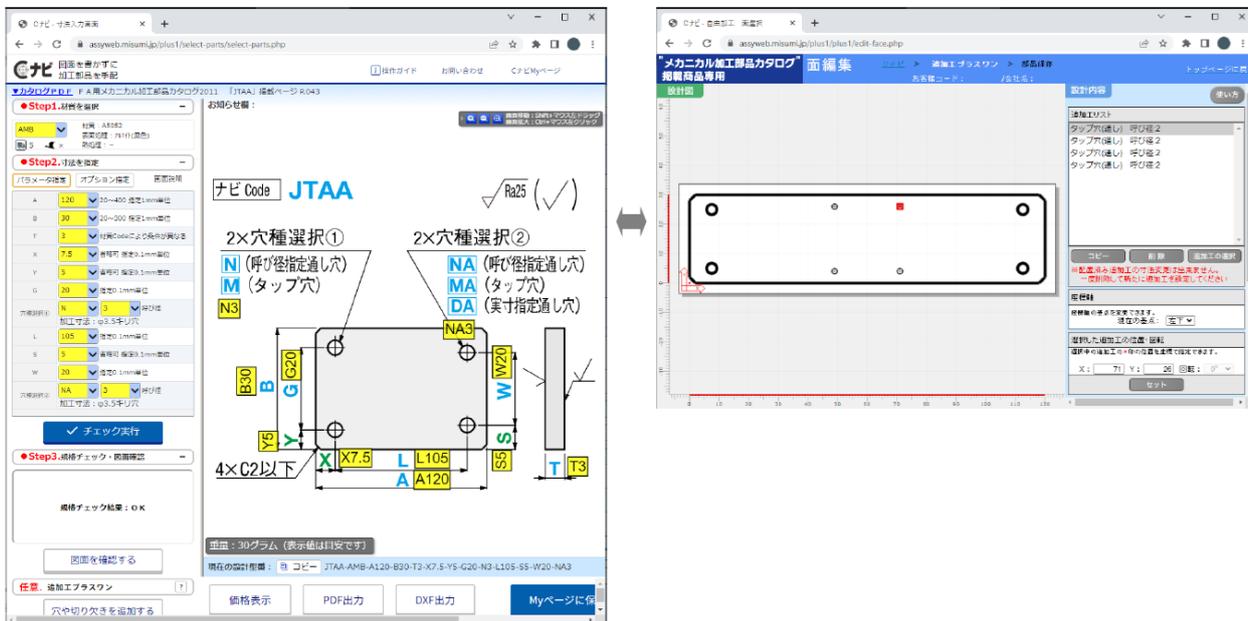


図 C 基板ホルダのアダプタ板の設計変更には C ナビを利用する

- (a) 材質や寸法を指定
- (b) 追加工プラスワンでタップ穴を指定

▲リニア・ガイド・ストッパ

リニア・ガイド・ストッパの前と後は基板ホルダ L 字ブラケットと同じように板金，L 型板金のフリー寸法タイプを利用して作成します。リニア・ガイド・ストッパ（後）は C マウント・ブラケットの背面に取り付けたマグネットの位置に合わせて，バックフォーカス調整ボルトの M5 タップ穴をベース板基準表面から高さ 15mm に空けます。もちろん，C マウント・ブラケット，基板ホルダおよびリニア・ガイド・ストッパ前後の設計変更に合わせてベース板のねじ穴の位置とサイズの修正を行います。

このようにしてできあがった設計変更後の完成図を図 D に示します。

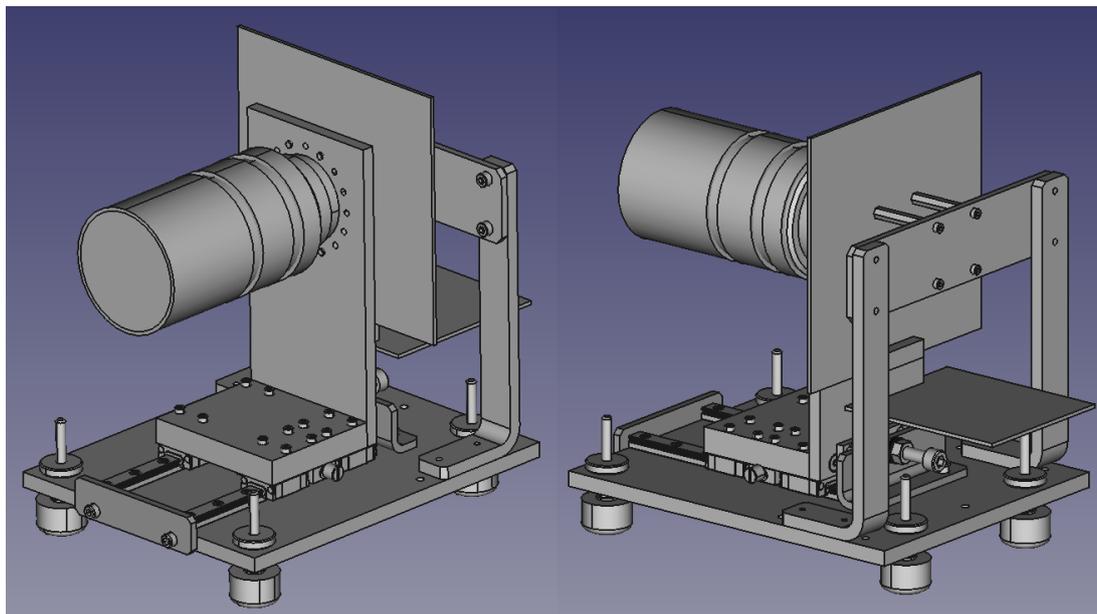


図 D 設計変更後のカメラ治具…C マウント・ブラケット/基板ホルダ/基板ホルダ・アダプタ板/
リニア・ガイド・ストッパを設計変更した

●おすすめの発注先

ここで作成したカメラ治具は、実際には加工する部品の発注から汎用部品の購入、組み立てまでソニーのOBが経営している会社MDD（注A）に依頼しました。本文で紹介したカメラ治具をMDDから購入するなら、カメラ治具の開発にかかったコストが価格に含まれませんので、外注で一からカメラ治具を作ってもらったよりかなり割安になります。また、基板ホルダはイメージセンサ基板の形状に応じて作り直してもらえるので、心配は無用です。

注A：MDDはMorioka Design and Developmentで問い合わせ先はmdd.morioka@m2.gmob.jp、090-8413-5018です。