

3Dプリンタおよび5軸フライス盤を使用した治具製作

達山 康人 Tatsuyama Yasuto
京都大学 防災研究所 技術室

1. はじめに

2023年度の長期支援先であった境界層風洞実験室では、3Dプリンタによる造形物が多数利用されていた。そこで2023年度の目標の一つとして、「3DCAD」の知識・技量の習得、「3Dプリンタ」の操作方法の習得を目指した。3Dプリンタに使用する設計ソフトにはCAM機能も備わっており、この機能を使い5軸フライス盤を使用し、アルミ模型を製作した。

本報告書では、私が経験した造形物および製作物に関する設計から出力、切削までの流れに加えその際の注意点、失敗点および解決策について述べる。

2. ソフトウェアについて

3Dプリンタおよび5軸フライス盤を使用して造形または製作するにあたり、使用したソフトはFusion 360(Autodesk®、教育用ライセンス有り)である。過去に別のCADソフトを使用していた経験があるが、それに比べ本ソフトは直感的に3Dモデルを設計できるソフトであると考えます。本ソフトでは「デザイン(CAD、Computer Aided Design)」「製造(CAM、Computer Aided Manufacturing)」の機能を主に使用した。

3. 造形物および製作物について

3-1. 境界層風洞実験装置の模型(スケール1/50)

3DCADの知識・技量を習得すべく最初に取り組んだことは境界層風洞実験装置の3Dモデル化である。

(1) Fusion 360の作図について

作図するにあたり、過去経験があった2D作図の考え方をもとに”スケッチ”機能を使い作業を始めた。作業を進めるにあたり、大きく分けて2種類の作図方法を採用した。

その①:”スケッチ”機能を使用する方法(図1参照)

“スケッチ”機能を使用することで2D的にx-y平面、y-z平面およびz-x平面の各々に図形を作図できる。作図した2D図面に厚みを与えることにより3Dモデル化することができる。

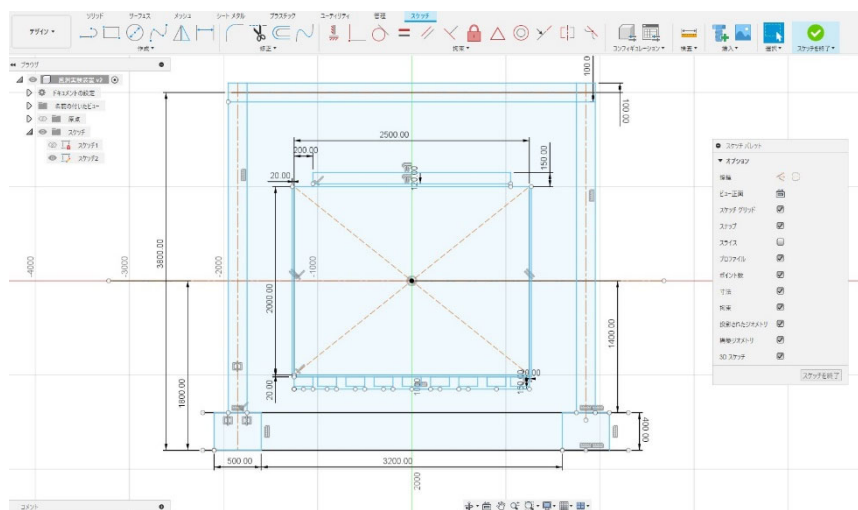


図1 スケッチを使用した作図画面

その②:ボディを直接描画する方法(図2参照)

ボディ(直方体、円柱、球体など)を直接描画し、それぞれのボディを結合または切り抜くことにより様々な形状を3Dモデル化できる。簡易な形状をデザインする場合や2D平面上での作図が困難な場合に有用である。

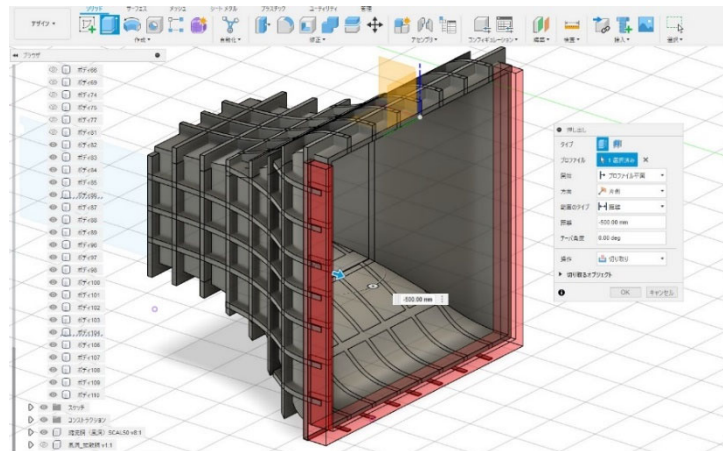


図2 ボディを使用した作図画面

(2)作図作業について

境界層風洞実験装置の各部寸法は、メーカーより納入された古い図面を参考にし、図面に記載がない寸法は実際に長さを測定した。湾曲した形状をもつ縮流胴については、図面内に座標の情報があったため作図が可能であった。今回は1/50スケールで模型を出力するため、薄くて造形が難しい部材などは実際の寸法より厚くするなどの処置を行った。

(3)スライサソフトについて

3DCADにて設計したモデルを3Dプリンタで出力するためには、スライサソフトを使用して出力用のデータに変換する必要がある。スライサソフトでは、造形物の向きや造形物を補強するサポートの形状、造形物内部のフィラメントの充填率などの指定を行う。この造形物の出力の向きおよびサポートの設定は造形物の仕上がりに関わる。以下に今回の出力に関して経験した失敗と解決方法を述べる。

その①:造形物の表面の仕上がりについて

当初十分な検討をせず出力を始めた結果、滑らかさを求める面にサポートによる支持を設定した。その結果、サポートの除去作業によって対象の面が荒れてしまった。そこで、造形物の仕上がりの向きを変え、滑らかさが求められる面にはサポートが着かないよう出力の向きを決定した。(図3参照)

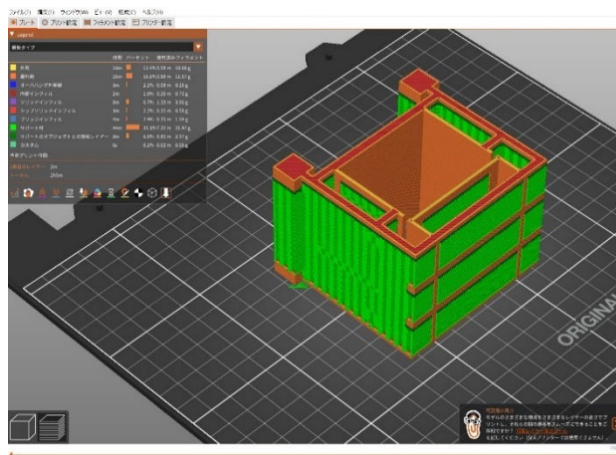


図3 スライサソフトの作業画面

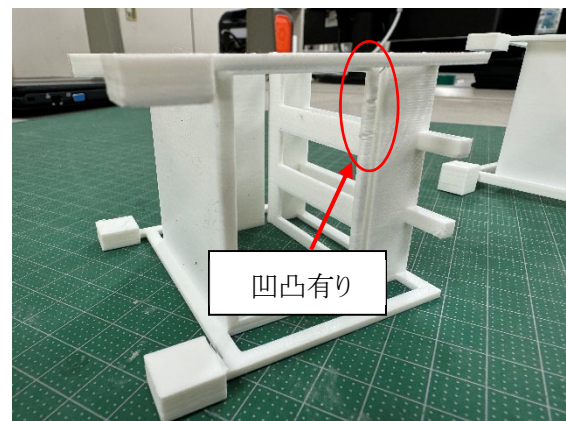


図4 凹凸が発生した造形物

その②:凹凸の発生

スライサーソフトで出力の向きおよびサポートの取り付け方を検討した上で造形物を出力した。それにも関わらず、造形物を検品したところ凹凸が確認された。(図4参照)

本箇所は垂直方向に造形されるためサポートは着かない設定であった。この原因について先輩職員に尋ねたところ、対象部が垂直で長細いため3Dプリンタの振動が影響した可能性があるというアドバイスを頂いた。そこで、図5のように3Dモデル上で補強部を追加した。これをもとに出力し補強部をニッパーおよびやすりで除去した結果、凹凸の発生を抑えることができた。(図6参照)

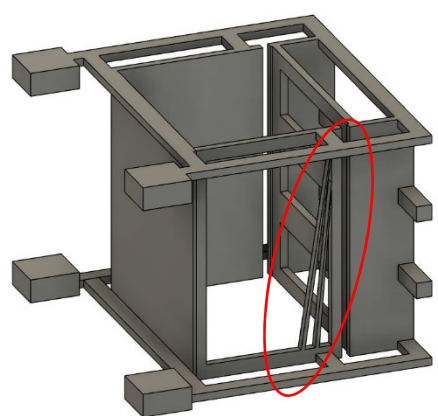


図5 追加した補強部

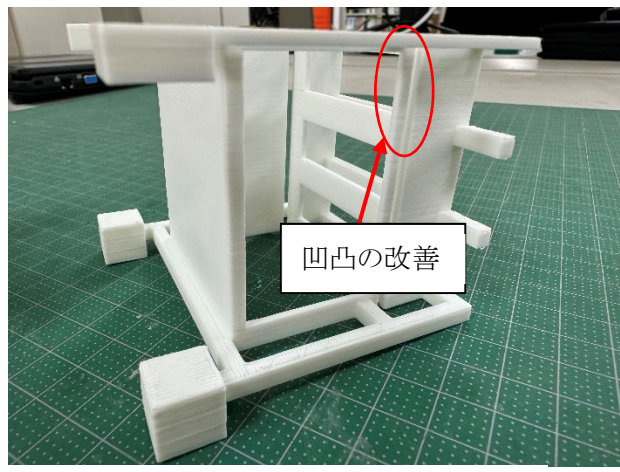


図6 凹凸が改善された造形物

(4)今回使用した 3D プリンタ、スライサーソフトおよびフィラメントの種類について

本体部分:	Prusa MK4	スライサーソフト:	PrusaSlicer	フィラメント:	PolyMax PLA
その他 :	Bambu Lab A1	スライサーソフト:	Bambu Studio	フィラメント:	PLA ベーシック、マット

(5)組立

造形した本体部分に加え3軸フライス盤を使用し亚克力で窓を製作および白と青のフィラメントを使用した複色印刷にて実験時に使う道具も出力し組立て、完成した。(図7参照) 本モデルは研究者、学生および見学者の皆さまに対して、境界層風洞実験装置の構造の理解をより一層深めるために活用される。

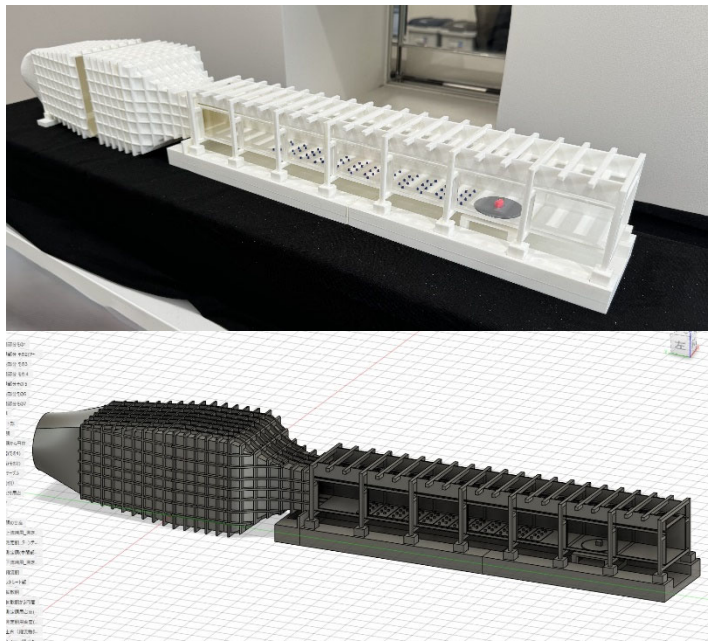


図7 境界層風洞実験装置
(上:造形物 下:3Dモデル)

3-2. レインフード

(1)設計の進め方

本治具は観測中に風雨の中に晒されるカメラのレンズを、水滴から保護することを目的としている。設計を進めるにあたり、ボディの組み合わせによる設計が適しているように感じた。実際には中空円錐台の形状に近かったため、スケッチにて断面を設計し、その後中心軸周りに360度回転させる作図が適切と考え、この方法で設計をすすめた。(図8参照) 製作中、レインフード内面に侵入した水滴を外部へ排水する構造を追加することとなった。本箇所は、ラップ状の本体に排水構造を追加するという複雑形状であったため、スケッチにて作図した本体に新しく作図したボディを組み合わせ、設計した。(図9参照)

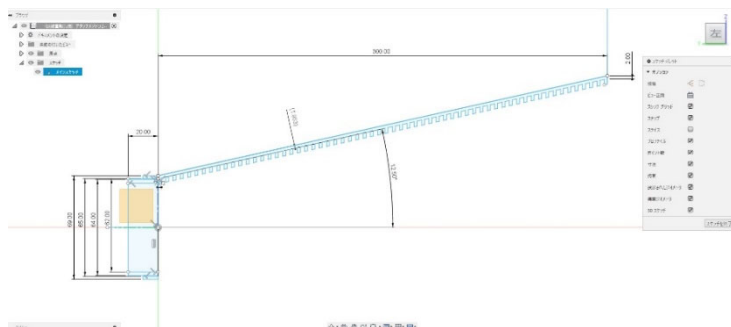


図8 断面図の作成

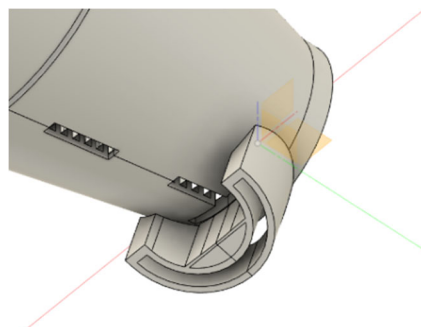


図9 排水構造

(2)組立時間の削減

本治具は3日間で6個製作する必要があった。そこで以下の方法で製作時間の削減を試みた。

その①:2分割構造化

一体構造で出力するためには、出力時間が49時間ほど必要であった。しかしながら、2つに分割して出力する場合はそれぞれ9時間ほどであった。今回使用した3Dプリンタ(Prusa MK4)は複数台あったため、2台同時に3Dプリンタを使用し、出力することにより出力時間9時間+サポート処理+接着作業を合わせて10時間で完了することができた。これに加え下記その②の対策を講じることにより、最終的には更なる時間短縮となった。

その②:サポートを設定しない出力

サポートを設定しない場合は6時間30分ほどで出力可能となった。加えて、本来なら1時間ほどかかるサポートを除去する時間も短縮できた。本対応はイレギュラーではあるが、試作品を出力しサポートが無い場合でも形状が変わらない事を確認した上で製作をすすめた。(図10参照)

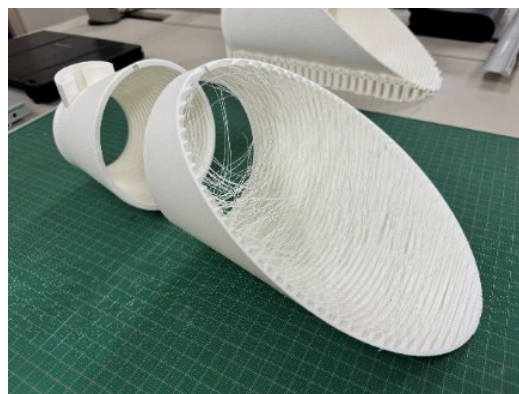
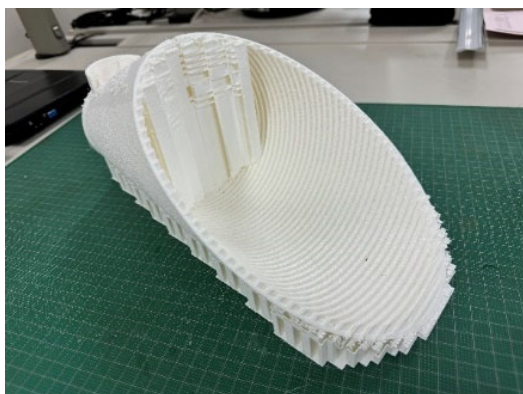


図10 出力方法の違いによる表面の状態

左:サポート有 右:サポート無し

*右写真、表面のフィラメントはカッターにて除去

(3)組立

出力した造形物へ3軸フライス盤で製作したアクリルの保護プレートを装着後、本体同士を接着、排水構造の一部である塩ビパイプを取り付け、完成した。(図11参照)

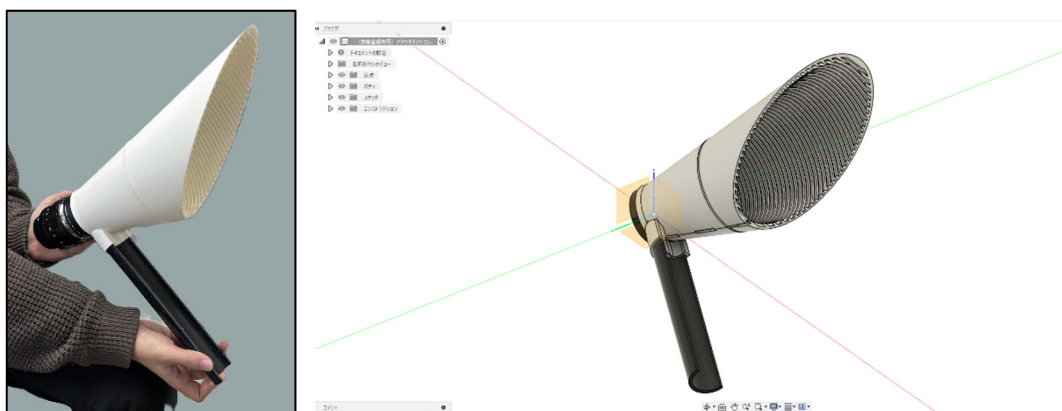


図11 レインフード

左:完成品 右:3Dモデル

3-3. アルミ模型(神戸市役所)

(1)設計について

5軸フライス盤を使用し神戸市役所のアルミ模型を製作した。ここで述べる5軸とは、直線軸XYZの3軸に加え、2つの回転傾斜軸の事である。使用するソフトは3Dプリンタと同様にFusion 360であり、本ソフトのCAM機能を使用した。今回は3Dモデルが用意されていたため、CAMにて5軸フライス盤に必要な加工指示を行い切削作業を行った。以下に作業手順を記す。

その①:基本設定の決定

使用する工具の種類・刃の種類、径および取り付け位置を決定する。本模型は、平坦部はφ12mmのフラットエンドミル、斜面はφ12mmのボールエンドミルを使用し製作した。

その②:切削方法の決定

適用する切削方法を指示する。切削方法は本ソフトの中にいくつか用意されている。

参考)粗削り加工の種類:負荷制御、ポケット除去、など

仕上げ加工の種類:走査線、急斜面と緩斜面、スキヤロップ、等高線、など

今回は、粗削り加工は”負荷制御”にて行い(仕上げ代1.0mm残し)、仕上げ加工は”走査線”および”急斜面と緩斜面”を適用した。

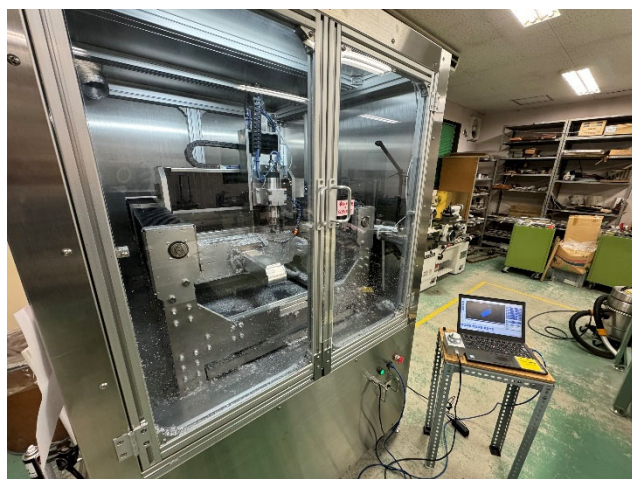


図12 5軸フライス盤全体の外観

その③:シミュレーションの確認(図13参照)

エンドミルの経路を確認し、切削中に5軸フライス盤本体またはワークに衝突しない事に加え、削り残しが無い事を確認する。用意された3Dモデルは、複数の面がわずかに傾いており、切削方法をそのまま適用することが出来なかった。その結果フラットエンドミルの加工後、ワーク上に削り残しが発生しわずかに波打つ箇所が確認された。これについては、5軸フライス盤の回転傾斜軸を2° 回転させ加工し滑らかに仕上げた。

シミュレーション上ではわずかな模様に見える箇所が、実際に切削した場合に「見て分かる」「触ってわかる」ほどの面の状態となることがあった。

その④:”cncファイル”の出力

CAMデータを”cncファイル”としてエクスポートする。今回は加工する面が0°、90°、180°、270°の4面に加え、斜面が2か所、わずかな傾斜面が1か所だったため7stepに分けてコードを生成した。

今回使用した5軸フライス盤では、生成した”cncファイル”内のcodeに次の指令を追加入力する必要がある。

- ・必須:機械原点への復帰コマンド「G28」の削除
- ・必須:ワーク座標系の原点の入力
- ・衝突予防:エンドミルを任意に設定した衝突のリスクの無い初期位置へ移動するコマンド追加
- ・衝突予防:エンドミルの退避中の速度を高速移動から通常速度に変更

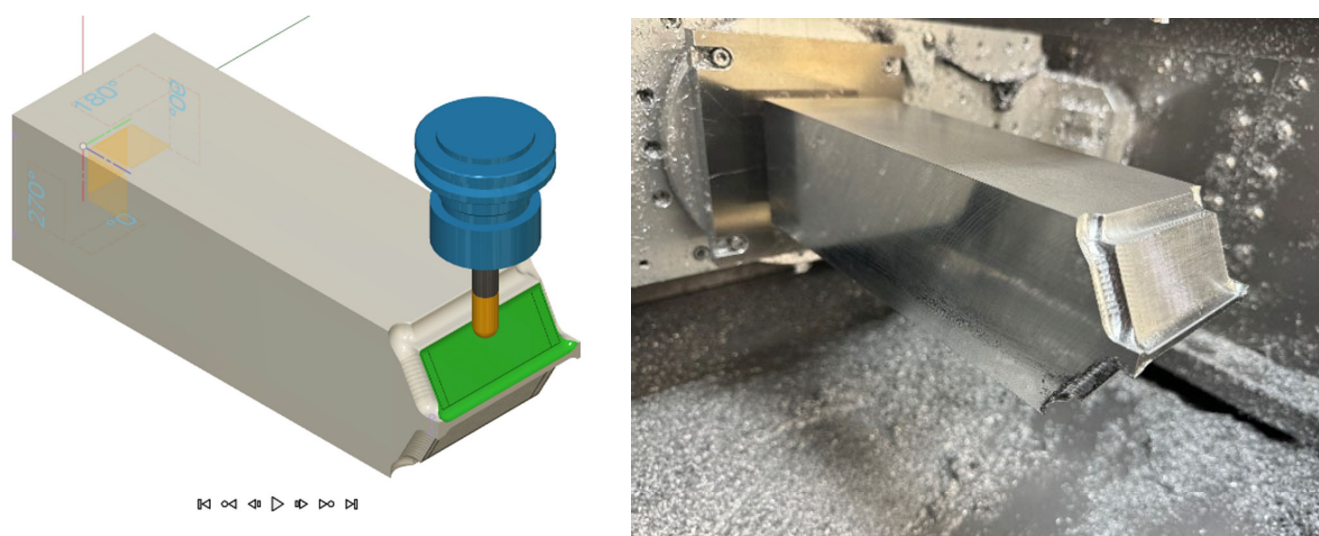


図13 シミュレーション結果と切削後の比較

(2)切削開始前の5軸フライス盤本体に関する段取り

切削する前に以下の作業を実施した。

- ・ワークの設置
- ・ダイヤルゲージを使用した、x-y平面の水平取り
- ・ポイントマスターを使用した原点の測定
- ・切削油の補充、カメラなどの機材確認
- ・新聞紙やウエスによる5軸フライス盤内面の養生

(3)切削作業について

切削はシミュレーションの動きと差異無く進行し、想定外の異音・振動なども発生しなかった。5軸フライス盤本体に関係する各部寸法を測定し、CAMに反映させていたため、エンドミルの衝突などのトラブルも無かった。

(4)切削中に得たノウハウ

切削油の吐出量の調整を行う必要があった。開始後30分に1度消費した油量を確認し調節した。今回は100cc/4h程度の吐出量とした。

次に送り速度について、切削開始直後は50%とした。理由としてエンドミルの進入経路がシミュレーション通りであるか、入力した情報に間違いが無いか確認するためである。過去、本処置を行っていたため入力値の誤りに気づき、誤切削を防げた経験がある。

ワークとエンドミルおよび切削油吐出ノズルの位置関係次第では切削面に油が付着しない事があったが、潤滑スプレーにて油を塗布することにより対応した。

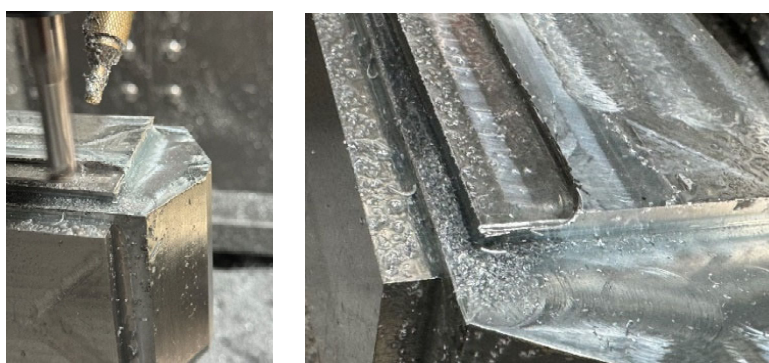


図 14 切削中の様子

(5)発生したトラブルの一例

予期せぬタイミングで5軸フライス盤本体と操作用PCの接続が切断され、座標軸がクリアされることがあった。その結果、ホルダーの原点復帰を行う必要が生じた。そこで、以下の手順で復帰作業を実施した。

- | | |
|---------------|-----------------------------------|
| 1. Z軸の原点復帰 | *ワークと衝突しない高さへエンドミルを移動 |
| 2. X軸・Y軸の原点復帰 | *A軸・C軸の原点復帰中にワークとの衝突を避けるための処置 |
| 3. C軸の原点復帰 | *上記1～2項により、衝突を回避できる状態であることを確認して実行 |
| 4. A軸の原点復帰 | *上記1～3項により、衝突を回避できる状態であることを確認して実行 |

(4)完成

納期通りに完成し、納品した。(図15参照)

*完成品に関する動画

参考:「ゲリラ豪雨が引き起こす災害から、命を守りたい 山口弘誠×西嶋一欽×黒ラブ教授」

<https://note-moonshot.jst.go.jp/n/ndf1efa759170>

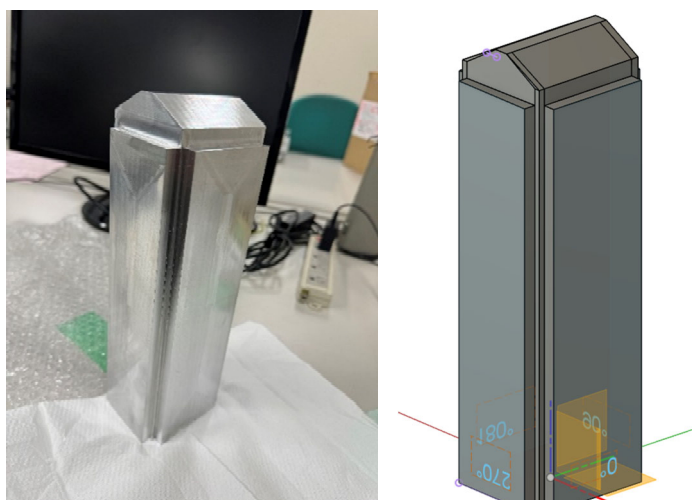


図15 完成品および3Dモデル

3-4. 3Dプリンタとその他工作機械を併用した製作物

治具の製作をする際に、設計段階で構造が複雑または特殊形状となった場合があった。その際は3Dプリンタによる造形物にて複雑な箇所を出力または造形物に追加で加工を行い、治具を製作した。

(1)治具A（3Dプリンタ+3軸フライス盤）

実験で使用される装置の精度を保つために、較正板の角度を微調整するための治具を設計した。アクリルの加工物と3Dプリンタによる造形物を組み合わせて、治具Aを設計および製作した。造形物の一部にネジを通す必要があり、モデル上で六角ナットを挿入できるポケットを造形し対応した。

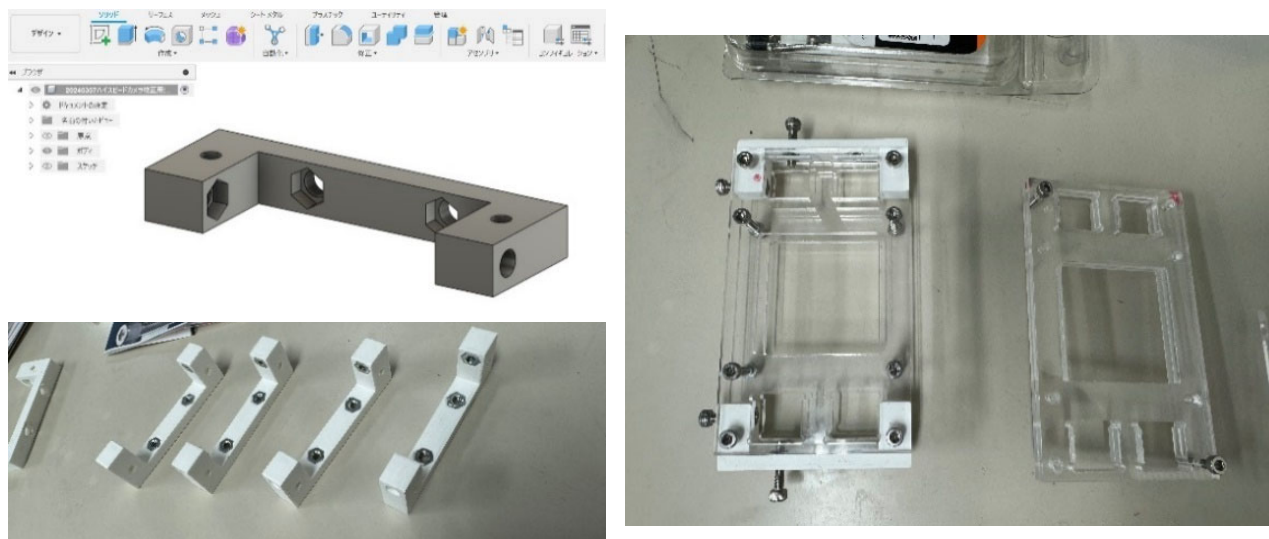


図16 治具Aの設計・製作風景

(2)治具B（3Dプリンタ+ねじ切り加工）

水平方向に移動可能な較正板を、正確な位置で固定するための治具Bを製作した。これに関して、較正治具に設けられている穴を利用することとした。そこで、ネジの一部にフランジ形状があるピン状の治具を構想した。当初は旋盤による製作を検討したが、高い強度を必要としない部位であったため、3Dプリンタにてフランジ付き軸を出力し、ダイスを用いてネジ切りを行った。

この治具に関して、造形時間は15分程度、予備の製作も容易であり、実験中に破損したとしても直ぐに出力が可能である。



図17 治具B

4. おわりに

1年間を通して、先輩技術職員より本報告書で記述した3Dプリンタや5軸フライス盤についてはもちろんのこと、本報告書では記述しなかったその他工作機械の使用手法や切削時のノウハウをご教授頂きつつ技術を学ぶことができ、年間の目標を達成することが出来たと考えている。

今後も一つ一つの業務を通して、自分のスキルを増やし、研究者のサポートに尽力する所存である。