NC熱線マニュアル

2023/10/9　森隼人

[NC熱線使用条件表スプレッドシート](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1J0W__JWlpElPbETeS_1aKx_J4hJC269P1DFgpl3ar7E/edit?usp=drive_link)（追記推奨）

[NC熱線関係OneDrive](https://1drv.ms/f/s!AnTRAJisg6pSjpFN733uAgeAE-Ksvg?e=2JD082)（ソフト類など）

目次

[NC熱線マニュアル 1](#_Toc147765835)

[第１章 導入の経緯 2](#_Toc147765836)

[第２章 基礎知識 3](#_Toc147765837)

[第１節 構造 3](#_Toc147765838)

[第２節 溶けしろ 7](#_Toc147765839)

[第３節 発泡とスタイロ 8](#_Toc147765840)

[第４節 バックラッシュ 8](#_Toc147765841)

[第５節 おもり 9](#_Toc147765842)

[第６節 Gコード作成方法 9](#_Toc147765843)

[第３章 インストール 10](#_Toc147765844)

[第４章 加工 11](#_Toc147765845)

[第１節 画面操作 11](#_Toc147765846)

[第２節 基本手順 12](#_Toc147765847)

[第３節 ブロックカット 12](#_Toc147765848)

[第１項 熱線を縦に動かすとき 12](#_Toc147765849)

[第２項 熱線を横に動かすとき 13](#_Toc147765850)

[第４節 スライス 13](#_Toc147765851)

[第５節 マンドレル 14](#_Toc147765852)

[第６節 ほぞ 15](#_Toc147765853)

# 導入の経緯

　AIOLIA(@TeamAIOLIA)のツボツボさん(@tbtb00001)がNC熱線の宣伝ツイートをされていたことが始まりでした。

　https://x.com/tsubo00001/status/1529447954612101120?s=20

　鳥コンが終わった2022年8月に早速AIOLIAさんの作業場見学に行き、実際にモノを見せてもらいました。そして10月にNC熱線を10万円で購入し、QX-23の桁の発泡マンドレル作成に使用しました。

グラフィカル ユーザー インターフェイス, テキスト, アプリケーション, メール

自動的に生成された説明

九大鳥人間チームHPより「CFRP製スパーの作り方」

　今までは型紙を1枚1枚用意して発泡に貼り付け、熱線でくりぬいていました。この方法は精度に難があり、手間もかかる一大作業でした。特に4つの軸線を正確に描き、真っ直ぐ繋げていくことは困難で、マンドレルを繋げるだけで2週間もの時間をかけていました。QX-23では桁の数が例年の5本から7本に増えた上、その全てを焼き直さなければなりませんでしたから、少しでも工数を削減し、作業の効率化を進める必要がありました。そこでNC熱線を導入し、2,3番桁のマンドレル作成に使うことで、無事全ての焼きを終えることができました。しかし、同時に多くのコツや注意点も存在することもわかりましたので、ここに記します。なお、手動で作ったマンドレルの誤差がおよそ0.2mmだったので、NC熱線で加工を行う際も誤差0.2mmを一つの合格ラインとしていました。

　NC熱線は調整が難しいですが、治具が不要な点、精度の再現性がある点が有利です。直接モノを加工するだけではなく、なんらかの治具製作にも使えると思います。同じ時期に大工大や東北大も購入しましたが、特に東北大はプランクを全て自動化して、2023大会は学生新記録で優勝しています。今後NC熱線を使えるメンバーが増え、より多くの応用方法を開発してくれたらなあと思います。

　おそらくツボツボさんに相談すればNC熱線のバージョンアップが可能です。（追加料金はいると思いますが。）アームのたわみやバックラッシュ対策など進化しているようなので、どうしても今のものじゃ我慢できなくなったら相談してみるのもいいかもしれません。

# 基礎知識

## 構造

　構成部品は主に次の5点です。

1. 本体
2. アルミプレートおよび床束
3. Arduino基板
4. サーボモーター用安定化電源
5. 熱線と熱線用安定化電源

　ちなみに組み立て説明書はありませんので、何か疑問があるときは分解してみるか、ツボツボさんか森まで連絡ください。

以下、それぞれ解説します。

1. 本体

屋内, テーブル, 部屋, 座る が含まれている画像

自動的に生成された説明

* 加工軸はX, YとU, Zの4軸で、加工寸法は次の通りです。

X, U：0~636 mm

Y, Z：0~187 mm

XY平面とUZ平面の距離（プーリー基準）：1080 mm

* 台形ねじはピッチ2mmの4条ねじです。
* サーボモーターはベルトを介して台形ねじを回転させています。これは、サーボモーターが加工範囲を超えて動作したり、無理な力がかかったりした場合でも、ベルトが滑ることでサーボが壊れないようにするためです。
* サーボモーターに電流が流れていない時は手動で軸を回せます。これで熱線を機械的な原点まで移動させることができます。この機械原点を平面やGコードの基準に持ってくると、ベルトが滑ったりソフトが落ちたりして座標が狂った時に復帰できて良いです（経験談）。
* サーボモーターの1ステップあたりの回転角はArduino上の基盤で調整できます。また、何ステップで熱線が1mm動くのかは台形ねじのピッチと合わせて計算でき、ソフトの設定に反映してあります。設定を変えない限りは50 step/mmだと思います。
* サーボモーターは精度がいいですが、とはいえ少し誤差がありますので、これも加味した値をソフトの設定に反映させる必要があります。加工誤差0.1mmの戦いになってくるとこの誤差が効いてきます。設定を消されないように注意しましょう（経験談）。
* X, U軸のねじのそばに物を置かないようにしましょう。アームとフレームの間にものが挟まってしまうと危険です。特にスペーサーが無い側に大きく移動するときは気をつけてください。
* 組み立ての際Y,Z軸がX,U軸に垂直になるように気をつける必要があります。適当にボルトナットを締めると垂直になりません。調整はかなり面倒です（経験談）。
* アルミフレームを挟んでいる車輪（Vスロットプーリーというらしい）の締め付けは偏心スペーサーの偏心度で調整可能です。
* ナットには緩みどめナットが使われているので固いです。しかも、大変回しづらい位置にあるので、分解、組み立てるときは頑張ってください。

1. アルミプレートおよび床束\*6

屋内, テーブル, キッチン, 窓 が含まれている画像

自動的に生成された説明

　これは最初から付属していたものではなく、"きれいな平面が欲しい！"という思いから後から自前で購入したものです。最初は本体のアルミフレームに直接大きいスタイロブロックを乗せて、熱線でスライスすることで平面を作っていましたが、

・溶けしろが発生するので、平面からの高さを厳密に指定して加工するのが難しい。

・場所によって溶けしろが異なり、ちゃんと平面が出ない。

・押せば変形するし、固定が甘いと熱で反るので、ますます平面が出ない。

という状況が嫌だったので、1000mm\*600mmの寸法のアルミプレートを平面台として使用することにしました。もちろんアルミプレートを熱線に平行にセッティングするのは手間ですが、スタイロの平面を疑って何度も平面だしを行うよりはマシだと思います。（これほどまでにきれいな平面が欲しいチームは、マンドレルにほぞを作っているうちぐらいでしょうが。）ちなみにこのアルミプレートはカーボンリブを焼く用にも使っています。

　アルミプレートの下に床束を6本配置し、それぞれの高さを変えることでアルミプレートの平面を出しています。3Dプリンターと同じですね。

　平面の出し方は、熱線とプレート表面との距離をスコヤで測って、それがプレート上のどこでも一定になるように、熱線をX,U方向に動かしながら床束の高さを調整していきます。奥の方の床束を調整するのは少し大変ですが、手を伸ばして頑張ってください。

　熱線を機械原点まで下げて、そこから10mmだけ上げてスコヤでプレートから10mmになるように調整すると、「アルミプレートから10mmでスライスしたい」といった場合にも正確に加工を行うことができます。

　↓20mm（正確には溶けしろ込みで23.5mm程度）厚で作ったリブを10mmでスライスして右翼と左翼のリブを同時に作る様子（QX-23)

屋内, テーブル, 窓, 部屋 が含まれている画像

自動的に生成された説明

　さらに、本体のアルミフレームの側面に沿ってスコヤを押し当ててアルミプレートの辺と本体フレームが平行になるようにして、XY平面からプレートの端まで何ミリ、UZ平面からプレートの端まで何ミリ、というようにアルミプレートの位置、角度を調整すると、熱線に対して一意にアルミプレートを配置することができます。アルミプレートに基準となる直線を引いたり、チャンネル材などのジグを置いたりすると、決まった位置に決まった角度で加工することができます。これは例えばマンドレルのほぞを抜く時に大事になってきます。いつか誰か、本体のフレームに対してアルミプレートを一意に固定できるものを作ってくれないかなあと思います。ちなみに本体のアルミフレームは全然平行じゃないです（経験談）。平行になるように頑張ってねじの締め方などを調整しても難しいです（経験談）。

1. Arduino Mega + 基板

机の上にあるおもちゃ

低い精度で自動的に生成された説明

　元々3Dプリンター向けの基盤を流用しているらしいです。3Dプリンターも4軸なので、都合が良いのでしょう。PCと接続すれば勝手に電源が入ります。中身のコードを消されたときは（経験談）、次の動画を参考にしてください。

https://youtu.be/KvcX5x3SaUw?feature=shared

　一時期ポートが鳥パソに繋がらない問題が発生しました。そのときは個人のパソコンでやってみてください。この問題は原因不明のまま放置していたら直っていました。

　サーボモーターの配線は余裕を持って伸ばすようにしましょう。もし配線が途中で抜けてしまったら、XYのUZのどちらかが動き続けることになり、大変危険です（経験談）。最悪本体が壊れます。

1. サーボモーター用安定化電源

テーブルの上に置かれたキーボード

低い精度で自動的に生成された説明

　サーボモーターに供給する用の安定化電源です。Arduino基盤とは別ですので、このコンセントを抜いたからといって接続が切れたりはしません。コンセントを挿しっぱなしにしているとサーボモーターが高温になるので、使い終わったらコンセントは抜くようにしましょう。

1. 熱線と熱線用安定化電源

キーボードの上に置かれたゲーム機

中程度の精度で自動的に生成された説明　屋内, 座る, 鏡, カウンター が含まれている画像

自動的に生成された説明

　熱線は特になんでも良いようですが、ニクロム線0.38mmを使っています。何十回か使用していると切れるので、切れたら交換してください。熱線の端にバネを設置してありますので、これの伸び具合で張力を調整できます。厳密にカットしたい場合はバネの伸びを10~20mm程度で一定にすると良いです。ただし、時間が経つと熱線が伸びるのでこまめに調整が必要になります。そこまで精度が必要ない場合はばねに少し隙間が見えるぐらいのなんとなくの調整で大丈夫です。熱線の電源系統はサーボとは別なので注意してください。

## 溶けしろ

　溶けしろの見積りは思った以上に大変です。熱線の種類、流す電流値や送り速度、張力はもちろん、気温によってもかなり異なりますし、X-Y面とU-V面で軌跡が異なる場合や、加工物の寸法によっても溶けしろが異なってきます。同じ日でも、日が沈んで冷え込むと溶けしろの値が異なります。参考に自分が把握している溶けしろの条件を以下に記しますが、あまり信頼性はありません。よって正確に加工したい場合は加工の前に何か似たような寸法の試験片をスライスしてみて、その日の溶けしろをあらかじめ調べてから加工を始めるのが良いです。例えば熱線幅10mmで試験片を上から順にスライスすると、その厚さと10mmとの差が熱線の両側溶けしろに相当します。

とはいえ、データを集めれば集めるほど見積もりの信頼性が向上するので、冒頭に載せた使用条件表に適宜追記してもらえると未来の後輩が喜ぶと思います。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 送り速度(mm/min) | 電流(A) | 気温(℃) | 溶けしろ(両側)(mm) |
| 発泡 | 40 | 1.37 | 24 | 1.2 |
|  | 40 | 1.34 | 26 | 1.7 |
|  | 50 | 1.3 | 25 | 1.5 |
|  | 100 | 1.37 | 24 | 1.3 |
|  | 110 | 1.38 | 28 | 1.15 |
|  | 120 | 1.37 | 25 | 0.7 |
| スタイロ | 40 | 1.37 | 25 | 1.37 |
|  | 50 | 1.3 | 25 | 0.85 |
|  | 50 | 1.05 | 24 | 1 |

## 発泡とスタイロ

　スタイロはどの送り速度で加工しても表面の仕上がりはそれほど変わらないのですが、発泡の場合は大きく異なります。発泡の場合、送り速度が遅いと表面の粒子が収縮してしまって、手触りがざらざらになります。マンドレルとして使う場合、離型フィルムが貼りにくくなってしまうので送り速度はある程度早めがいいです。自分は最終的に送り速度100mm/minで加工していました。

　発泡にせよスタイロにせよ熱線で加工すると表面が収縮します。よって加工物が薄い場合、未加工の面があると表面張力（みたいなもの）の違いで反ってしまうので、両側を熱線で加工する必要があります。新しくブロックを買ってきた場合はその両側は捨てることになるので、なるべく分厚いもの（ビバホームだと100mm）を買うと歩留まりが良いです。なお、片面ともう片面で加工の時期があまりにずれるとそれでも反ってしまうので注意が必要です。（経験談）

　熱線で発泡やスタイロを加工すると内部のガスが抜けてのちのち加工物が縮んでしまうという話を聞いたことがあります。きちんと検証したことはありませんが、頭の片隅に置いておくといいでしょう。

## バックラッシュ

　バックラッシュとは、歯車同士の間に存在する隙間のことです。バックラッシュが存在すると、例えば行きと戻りで少し座標がずれてしまいます。このNC熱線の場合は、X,U方向に0.15mm程度のバックラッシュが存在しました。自分は楕円の加工軌跡の下半身をpythonで無理やり0.15mm水平にずらすことで対応しました。ツボツボさんからバックラッシュ対応部品をいただいたので、時間がある時に組み立ててみる予定です。

## おもり

　熱線加工中は上からおもりをおいておくと良いです。熱線の力で加工物が動くのを防ぐのと、熱線の熱で加工物が反るのを防ぎます。厳密にはおもりの重さによっても溶けしろが変わるようですが、自分の場合はそこまでは調整していませんでした。だいたい5kgの黒い円盤のやつか、金魚、ミスミのアルミフレームをおもりにすることが多いです。

## Gコード作成方法

　Gコードとは、NC工作機械を動かすための命令文です。簡単な移動ならボタン移動で十分ですが、小数点の移動や図形を描きたい場合はあらかじめ用意する必要があります。

　NC熱線用のGコードを作成するには次の3つの方法があります。それぞれ解説します。

1. 手書き
2. ソフトを使用
3. プログラミングで自動化

1. 手書き

　ソフトの画面にManual Commandという欄があるので、そこに打ち込むか、あるいは.txtや.ncファイルとして読み込むこともできます。簡単な直線移動の組み合わせなどは意外と手書きするのが早いです。例えば次のようなコマンドを並べるだけで十分です。

G21 G91 G01 X10 U10 Y10 Z10 F300

G21：メトリック入力

G91：インクリメンタル指令＝今いる位置を基準として移動

←→ G90 アブソリュート指令＝絶対座標で移動

G01：直線補間

X10, Y10...：各座標の移動量

F300：移動速さ mm/min

　つまり、上記のコードは「今いる位置からX, Y, U, Z方向に10mmずつ、速さ300mm/minで直線的に動きなさい」という意味になります。

ちなみに、一度命令したことは次の命令にも有効なので、例えば上記の命令の後に

X100 U100

のように命令すると他の設定はそのままにX, U方向に100mmずつ動かすことができます。

2. ソフトを使用

　https://github.com/Pakfat50/HW\_CAMからダウンロードできます。XYとUZ平面の軌跡をdxfで読み込んでGコードを出力してくれます。使用方法は書いてありますが、少し不親切なので、以下補足。

* U-VとX-Yに読み込むdxfのライン本数は同じである必要がある
* 「U-V曲面をX-Y曲面に連動させる」にチェックをつけると、U-V側のラインを選択すると同時にX-Y側の同じ番号のラインも選択してくれる
* 「自動整列」を押すとラインの順番やカット方向をいい感じにしてくれるが、ぐちゃぐちゃになるときもある。わかりやすい軌跡を描くことが大事。
* XY面距離、UV面距離：NC熱線のXY平面とUV平面から加工面までの距離
* XY-UV面距離：加工物自体の長さ
* 駆動面距離：NC熱線自体のXY-UV面距離。このNCだと1080mmになる。上3つの長さの合計と大幅に違う場合はエラーが出る。
* 座標に0が含まれていると内部で指数表記に変換されてしまうため、NCが途中で止まってしまう原因になる。一度txtファイルとして中身を見て指数表記が含まれていないか確認すると良い。指数表記を0に変換してくれるpythonプログラムがOneDriveにあるので(Gcode\_check.py）、それを使うのも良い。

3. プログラミングで自動化

　pythonにGコードを作ってもらうこともできます。実際に自分は、各軸径を入力したcsvを読み込めば自動でGコードを出力してくれるプログラムと、凹凸のほぞを抜くGコードを出力してくれるプログラムを作成しました。ソフトと違って溶けしろや軌道のパラメータをすぐいじって出力できるので便利です。使い方も含めてOneDriveの中に入っているので、ぜひ使ってみてください。バックラッシュを考慮したり、途中で移動速度を変えたり、溶けしろを両端で変えたりするには自分でコードを作るのがいいと思います。

# インストール

　NC熱線を制御するのはGrbl HotWire Megaで、その設定のためにXLoaderが必要です。どちらもOneDriveに入れてあります。

XLoader設定

1. XLoaderを解凍

2. Arduinoを接続

3. XLoader.exeを起動

4. Hexfile： grblUpload.info.hex

　Device：Mega(ATMEGA2560)

　COM port：Arduinoと接続しているポートを選択

　Baud rate：115200

を設定してUpload

　次にGrbl HotWire Megaを起動し、COMポートを設定してConnectできればOKです。

詳しくは次のリンクを参考にしてください。

https://rckeith.co.uk/easy-way-to-upload-cnc-foam-cutter-firmware/

# 加工

## 画面操作

グラフィカル ユーザー インターフェイス

自動的に生成された説明

COM：接続

　Connect/Disconnect：ポート接続/解除

Control：加工中の命令

　Stop：緊急停止ボタン

　Start/Resume：開始/再開

　Reset：停止した加工を再開せずリセット

Gcode FileName：Gコード入力

　ファイルマーク：ファイル指定

　▶︎：読み込み&加工開始

　一時停止：読み込み一時停止（加工は停止されない）

　◾️：読み込み中止（加工は中止されない）

　リセットマーク：Gコードを再読み込み（先頭まで戻る）

Carriage Controls 命令

　UP, DWN/ BACK, FWD：XYとUZを同時に動かす。これさえ使えればOK。

　X±, Y±, U±, Z±：一つの軸のみを動かす。ほとんど使わない。

　0：絶対座標を0にセット。よく使う。

　Goto 0：0まで動かす。絶対に0まで動かしても大丈夫という状況以外では使わない。

　Display Reset：右側の表示画面をリセット。

　Distance：一回のボタン移動で移動する量 [mm]

　Feed Rate：移動速度 [mm/min]

　Manual Command：手動Gコード入力。

## 基本手順

#### 1. 手動で台形ねじをスペーサーに当たるまで回し、機械原点にセット

#### 2. サーボと熱線のコンセントを差す

#### 3. PCとArduinoを接続し、Grbl HotWire Megaを起動してCOMポートを選択し、Connectを押す

#### 4. 0ボタンを押して絶対座標を0にセット

#### 5. Distance, Feed Rateを調整しながらUP, DWN/ BACK, FWDを使ってアルミプレートのセッティングを行う

#### 6. 熱線をホームポジションまで移動させ、加工物をセット

#### 7. 熱線に電流を流し、バネを見ながら張力をかける

#### 8. 台形ねじ付近にものがないこと、熱線やサーボの配線にゆとりがあることを確認して、Gコードやボタンで加工を開始する

#### 9. 加工が終わったら、張力を緩めて熱線の電源を切る

#### 10. Disconnectしてサーボと熱線のコンセントを抜く

　ここからは、ブロックカット、スライス、マンドレル、ほぞについてそれぞれ解説します。

## ブロックカット

### 熱線を縦に動かすとき

　買ってきたばかりの大きなブロックをある程度の大きさにカットしたいときや、ブロックの直角を作りたいときに向いています。

#### 1. ブロックに線引き

　ブロックにカット線を記入します。両面引いてもいいですが、片面引けば十分です。

#### 2. ブロックをNC熱線にセット

　カット線が熱線の真下に来るように直角を使ってセットします。ブロックが土台から大きくはみ出すときはブロックがバランスを崩さないようにおもりをおくと良いです。

テキスト

中程度の精度で自動的に生成された説明

#### 3. 熱線でカット

　熱線を下に動かし、ブロックをカットします。アルミプレートに接するまで動かして大丈夫です。

　土台からはみ出している部分がカットで落ちないように支えましょう。

　カットが終わったら、速やかにブロックを回収するか、熱線を遠ざけましょう。放っておくと熱でどんどん溶けていきます。

### 熱線を横に動かすとき

　桁マンドレルを作るときなど、100\*100\*1000mm程度の直方体がたくさん欲しいときに向いています。

#### 1. ブロックをNC熱線にセット

ブロックを土台に置き、直角を使って土台と垂直であるか確認します。

暗い, 光, コンピュータ, 夜 が含まれている画像

自動的に生成された説明

　垂直でないときはブロックの下に30cmのメーターなど薄いものを挟んで傾きを調整してください。4辺全てが垂直になればベストですが、どうしようもないときはメーカーを恨みながらどこか基準になる辺を決めると良いです。

　このカットの場合はブロックの上におもりを置くことが難しいですが、自重があるので無理して置かなくても大丈夫です。

#### 2. 熱線でカット

　熱線の高さをブロック高さ＋溶けしろの高さまで移動させ、横方向にカットします。カットが終わったら下のブロックを回収し、もう一度ブロックをセットします。

ブロックの寸法や直角度をノギスや直角定規で測り、適宜修正します。

## スライス

　基本的には横にブロックカットするのと同じですが、上から順にカットする方法と下から順にカットする方法があります。下からカットすると理論的には溶けしろを考慮せずに済みますが、繰り返すと誤差が蓄積してしまうのでそこは使い分けてください。

　ブロックの上端は2~3mm程度、下端は1~2mm程度の余白が欲しいです。端の方は外気やアルミプレートに触れているため冷えてカットがうまく出来ず、あまり余白がないと表面が波打ったりボロボロになったりします。「発泡とスタイロ」の節でも書きましたが、スライス目的だと両端を捨てることになるので、ブロックを買うときは厚い方がいいです。

図形, 矢印, 四角形

自動的に生成された説明 背景パターン

自動的に生成された説明

## マンドレル

　翼型やマンドレルをぐるっと一周くり抜きたいときは、ソフトやプログラムを使ってGコードをちゃんと作る必要があります。その際溶けしろを考慮するのを忘れないようにしてください。以下、実際に加工する際のコツを述べます。

1. 熱線がブロックに入った瞬間に口をテープで蓋する

　発泡は熱によって収縮し、変形します。その力は思いのほか強く、放っておくと熱線でくり抜いている最中にどんどん”がわ”の変形が進み、形がずれてしまいます。ブロックの上からおもりを載せることで変形の対策をおこなっていましたが、それでは不十分でした。そこで、熱線がブロックに入った直後にブロックの口にテープで蓋をしてしまうことで変形を抑えていました。ただし、加工物が動くのを防ぐためにおもりは必要です。また、加工が終わったらブロックから抜ける前にテープを剥がす必要があります。

1. 十分な余白

　先ほど述べたように、熱線の加工中は"がわ"の変形が進んでいきます。加工しているブロックの余白が狭いと、この変形が特に大きくなってしまいますし、構造として弱いためおもりを乗せてもその重さで変形してしまったりします。そのため、加工したい寸法に対してブロックは余白を最低2cm程度はとっておいた方がいいです。

1. 軌跡の抜け方

　軌跡を最後に閉じる際、加工物が"がわ"からぶら下がる形になり、非常に不安定な状態になってしまいます。そのため、軌跡を最後まで閉じ切らずに、あえて0.5mm程度残して加工を終え、その後カッターでバリを切り取り、やすった方が精度はよいことがあります。

　※加工物の不安定さについて、少し面倒ですが熱線の軌跡をいじることで解決することもできます。ぐるっと一周する間に時々熱線を軌跡の外側に動かしてちょうど爪楊枝がささるぐらいの大きさのポケットをつくり、そこに爪楊枝を挿すことで加工物が動かないように固定することができます。

ダイアグラム, 概略図

自動的に生成された説明

　Windnauts23代の翼班長の方にNC熱線の誤差と軌道について聞いた返答を以下に載せておきます。参考にするといいかもしれません。

”プランクの厚さに関してですが、設計値が3.0mmに対して全てのプランクを3.3mm〜3.6mm程度に収まる様にしていました。設計値以上の値を使用するのは繋ぎ目などで生じたプランク間の段差を均一にし、最終的に表面全体をやするからです。 一体プランクの切り出し方法は私たちの場合は後縁側上面から切り始め、前縁先端を通り下面の外側を切ったのち、プランク端から余裕をとったところで折り返して内側を切っていく様な1筆書きのルートを選択しました。 溶けしろ、熱変形に関してはおそらく九大さんの方が慣れている様な気はしますが、僕らは熱変形は強力な両面テープを用いて土台と接着、その上で加工材の上に重しを載せて移動、反り対策としました。あとは電熱線のテンションと電圧、速度で電熱線のたわみと溶け量を最小にするように試していった感じです。”

## ほぞ

　ほぞをつけたい場合は、ぐっと難易度が上がります。加工物を直角に回転させつつ、厳密な高さ合わせが必要になるからです。

　加工の順番はブロックカット→ほぞ→楕円がいいです。大きいブロックの状態でほぞを抜いてから分割する案もありますが、これは真ん中の熱線のたわみが大きくなってしまうので微妙です。ただし、同時並行で2ブロック並べてほぞを抜くことは可能です。自分は失敗が怖かったので一つずつ加工しました。発泡の値段も馬鹿にならないので。

　本番加工前に必ず端材などでほぞの寸法が完璧かどうか確認するようにしましょう。ほぞがちゃんと決められた位置にあるか（真ん中からずれたりしていないか）、幅は大丈夫か、角が丸くなっていないかをノギスで見てください。凹と凸両方抜いて、はめ合いがちょうど良いか確認しましょう。ほぞでブロックを没にしてしまうととても悲しいです。

　自分がやったときはジグとしてチャンネル材を使用していました。まずチャンネル材を熱線と並行かつ機械原点に沿うように両面テープで貼り付けました。この時、チャンネル材を直接アルミプレートに貼り付けてしまうと両面の厚み分の誤差が出るので、L字アングルを使って間接的に貼り付けています。次に、もう一つのチャンネル材を奥の方に配置し、ブロックを90度回転させた時にチャンネル材の上に乗せられるようにしました。直角を使用して手前のチャンネル材と奥のチャンネル材にちょうどチャンネル材に直角の線を引き、この線に沿ってブロックを置けば、ちょうど90度回転させて置くことが可能になります。

屋内, テーブル, キッチン, 座る が含まれている画像

自動的に生成された説明

　わざわざチャンネル材を置いたのは、

・ブロックの正確な配置にはガイドとなるジグを作らないといけないと考えていた。

・ほぞ加工の際に熱線がプレートに当たるのを嫌った。

からですが、経験上ブロックを直線に沿わせて置くだけでも十分精度はでますし、プレートに熱線が当たってもすぐブロックを回収すれば問題ありません。もちろんガイドとなるものがあった方が効率はいいですが、ほぞ加工と楕円抜きで平面が異なってしまったのは良くなかったなと思います。今自分がほぞ加工を行うなら次のようにすると思います。

1. まず、アルミプレート上に次の4本の線をマッキーの細で引く。（図のオレンジ線）

* X=U=0の機械原点の線（①）
* X=U=50のブロックを沿わせて置く線（②）
* 線の間隔がマンドレル長さであるような、XY、UZの駆動平面に並行な2線（③、④）

テキスト

自動的に生成された説明

1. ブロックカットしたものにほぞ用のカット線を引く。

背景パターン

自動的に生成された説明

1. ②と④の線に合わせてブロックをプレートにセットする

ダイアグラム が含まれている画像

自動的に生成された説明

1. ほぞ抜きの加工を行い、ブロックを180度回転させてもう片方も抜く。
2. 90度回転させてブロックをセットし楕円を抜く

図形

自動的に生成された説明

うまくいくかは分かりませんが、一度やって見て欲しいです。

以上ざっとNC熱線の使い方について述べてきました。文章だけではわからないことも多いと思うので、疑問があったらなんでも聞いてください。