

# NC の引継ぎ資料

Ver.1

この資料は TBT の NC を作った 19 代の先輩が書いてくださった Excel の資料を PDF に変換したものです。

NC を扱う人にはもちろん読んでいただきたいのですが、この資料はものづくりをするうえでとても重要になることが多く書かれているので、自分には NC は関係ないと思っている人でも「失敗」まではぜひ読んでいただきたい。このようなことは皆さんが 2 年生になって運営陣・設計者になるときにもきっと役に立つはずです。また、部活だけでなく、ものづくりをするときに大切なことがたくさん書いてあります。時価があるときに是非。

NC で何かわからないことがあったらこれを読んでみるとヒントがあると思います。考えても問題が解決できないときには、もう一度目を通してみるといいかもしれません。自分の書いた「NC の使い方」はこれの捕捉に過ぎないのでまずはこちらを読むといいと思います。

Excel から PDF に整理したので見づらい箇所が多いと思いますがお許しを。

また、この資料は先輩からだいふ前に頂いたものです。共有遅くなって申し訳ない。

# 目次

前書き	3
設計	7
失敗	12
危険	20
fusion の操作	22
モデリング	25
操作手順	28
切削	32
モデルの構造	34
NC の構造	37
回路	40

一応クリックするとページに飛べるようにしました。

# 前書き

## 前書き

私は NC を作って皆さんに運用を丸投げしました。無責任にもそれいいと思っていましたが、最近設計した人間としてやらなければいけないことに気が付きました。

引き継ぎ！！！！

遅いですよね。超ごめんなさい。私の仕事って前任者いなくて、引き継ぎを行うという事を忘れていました。

遅れましたが、お送りさせていただきました。

では何を引き継ぐのか？

私の知見や NC の設計に関して使ったものやノウハウ、情報です。

これらは、NC の運用には必要ありませんが NC を改良したり別の新たな物を新造するには使えると思います。実は NC を改良してほしいのです。

運用していて分かったと思いますが、あの NC には欠陥が沢山あります。

試作一号機が活躍するのは、創作の中だけです。

経験豊かなエンジニアが改良して初めてまともな製品が出来上がります。

あの NC は私、何も知らない材料工の学生が機械系の授業に潜って得た知識だけで作った物です。高校も普通科なので…

なぜか時々動きますが、それは皆さんが故障してもきちっと整備や調整をしてくれているから動きます。本当に NC を運用してくれてありがとう。

設計した者として大変感謝しています。

私の稚拙な設計で動く NC が出来たのですから、皆さんなら NC の改造なんて朝飯前だと思います。

時間や余力があれば、ぜひ改良にトライしてほしいと思っています。

引き継ぎ試料のひな形がなかったので、なぜかこの資料はエクセルで作りました。

ここが分からん、とかあったら気兼ねなく聞いてください。乗せるべき情報が載っていないのは私のせいなので。

↓は別に読まなくてもいいです。興味と暇があればどうぞ。長文駄文です。

## なぜ NC を作ったのか

私がまだ大学一年生だったころ。だんだん機体の作り方が理解でき、気が付きました。

リブの製作にかかる膨大なコストに対してメリットを感じられない。

リブマスターの製作工程には膨大な資材と労働力が必要でした。工程がめちゃめちゃ多く、多数の人が作業するため精度にだいぶムラができる方法でした。

しかしマスターなので手作業でありながら高精度？を要求されました。

複数の班に製作をお願いするので、そのせいで班同士の関係の悪化も起こります。

部員の犠牲が作ったリブマスからリブを作ります。かなりマスターに忠実に切り出されていたと思います。そのマスターはあまり信頼できるものではありませんでしたが。

でもそのリブは、TF を繰り返すごとに何度も両面テープを張ってはがされぼそぼそになります。

ではそのリブの精度が翼の性能を決めるか、ということそれも個人的に疑問がありました。

当時の外皮(プラंक)は手作業で曲げていて、その曲げ具合が人によって違いましたし、フィルムの張り具合もそうです。

リブの精度が多少悪くても、そんなのより外皮やプランクの方を気にするべきでは？と考えていましたが、部の雰囲気は目の前にある一つ一つの仕事を全力で高精度に仕上げる、でした。

もちろん各工程それぞれの誤差が積み重なったら大きな誤差になります。だからその認識は間違ったものではありませんでしたが、あまりに非効率でした。

皆が頑張って出来上がった翼は、実はそれほど高精度ではありませんよ。なんて言える感じではありませんでした。多分皆気が付いていたとは思いますが…

こんなにむなしい非効率な作業、なぜ皆やっていたのか。それはおそらく文化(部の空気?)の影響です。

その付近の代の TBT はマンパワーでゴリ押しし、みんなで苦楽を共にする、そしてそれを後で語り合う。よくある体育会系に近い文化がありました。

もちろん、ものづくりサークルなので典型的なそれとは集まる人の気質が違います。

でも極端に言えば、ブラックな部分を自虐気味に楽しむ。それを後輩にも強要する。そういう伝統だから継承させる。

非効率な部分を維持し続ける、とても危険な文化だと私は感じていました。

やめていった人すべてがこの理由だとは言いませんが、それに耐えられなくなった人は消えていきました。

だから大っ嫌いでした。その文化の象徴みたいなリブ切りという作業が。

実は私はリブ切り要員だったのに、リブ切りが超下手くそで役立たずでした。それで逆恨みしているフシは少しはあると思います。

いろんな人に NC を作ってはどうか、と提案したことがあります。他の大学で作っているところがあります。

我々もチャレンジしてみませんか？と。

他大は頭がいいからできる、我々は頭悪いから無理。(この人は冗談で言ったのかもしれませんが。冗談だよな?)

金がないから無理。

簡単そうに言うけど、少なくとも君(私の事)じゃ無理だ。

だいぶマイナスな事を言われました。

人は新しいアイデアをよく知りもしないのに、否定的になり思考が止まってしまう。いまならよくわかります。

裏で無理、失敗する、とか私の悪口をさんざん言っていた奴。NC が動き出した途端に、うまくいくと思ってたよー！

なんて調子のいい事を言っていたのを知っています。記憶もなくなるようです。

工程の変化には危険を伴います。新しいアイデアに対してできない理由ばかり探して非効率な方法に固執する気持ちも分かります。

でもだからって勝手に無理って決めつけるのはただの甘えだと思いませんか？

幸い私には良き理解者、意見に賛同してくれる人がいました。上記のような無力で無意味な意見など無視して私が活動できたのは彼らのおかげです。

だからリブ製作という工程を駆逐するために、部の良くない文化を破壊するために、この NC を作りました。

正直、設計中は負の感情が原動力でした。ダークサイドの力は偉大です。

無理って言われた事にかなりムカついていて、見返してやろうという意気込みでした。

かなり人材が不足している他大学でも、人力飛行機を製作、運用していました。

それらは決してすべてうまくいっているわけではありませんでした。我々よりはるかに少人数で活動できていました。

交流会に行って、TBT が様々な部分で遅れていることに気が付き驚愕しました。技術的にも考え方にもそれは現れていました。

他大の人達の方が頭が良く資質があるから我々が遅れていたわけではありません。

それは変化を許容し、工夫し続ける姿勢です。人がやらなくてもよいことは、道具や機械にできる限り任せる。

そういった思想が幸か不幸か、マンパワーに恵まれたその時の TBT にはありませんでした。

ここに書きたかった事は、NC という機械の事だけでなく NC を作った私の考えです。

皆さんには、部の犠牲になってほしくないのです。そのための NC ですが、残念ですが力不足です。

コロナがこれからどうなるかわかりませんし、そもそも TBT がどうなるのかも私にはわかりません。

人の多さに甘えた運営は将来的にはやめるべきだと考え行動しましたが、予想よりずっと早くそれは来てしまいました。

部にはまだまだ、変えなきゃいけないところが沢山ありました。

代替わりして良くなった部分も沢山あると思いますが、おそらくまだまだ変えられる事はあると思います。

それら問題を改善することを後輩である皆さんにお願いしたい。

こんなのあったら便利だなと思ったら探して、無かったら創るんです。

手間を惜しむ手間を惜しまないでほしいのです。

新人のアイデアは時として素晴らしい気づきを与えてくれます。

経験を積んだ分、私たちの視野は狭まっている可能性があります。それを見逃さないでほしいのです。

一人でなんでもやろうとしないでください。他の人に頼ると、解決不可能だった問題があっさり解決したりします。

無理って言葉なんか信用しないでください。

その言葉はたいてい反射的に生じたもので、よく考えて発された言葉ではありません。

従来の TBT は材料費だけで 500 万円もする人力飛行機を池ポチャさせるために毎年挑戦していました。

それに比べたら NC を作るなんて金額も 15 万円だし、何てことありません。

我々は大学生で、酔狂なことに TBT に入ってしまった。

うっかり、何かを出来るかも！と勘違いして盛大に失敗してもいいんじゃないですか？(ガレージ燃やすとかは勘弁)

最悪部活をやめりゃいいんです。

上手くいったらラッキー、失敗しても就活の時の話のネタになります。(ガクチカってやつ。)

これは学生に許された最強の特権だと思います。最近気が付きました。

ただまあ、私の失敗の後始末をさせられた皆さんにとって釈然としない話だと思います。

ほんの 130 年前まで、飛行機は空気より密度が高いので飛ぶことは物理的に不可能だとされていました。飛行機は著名な物理学者たちがはっきり不可能と断言していますし、高い教育を受けた知識人ほど否定的だったそうです。

飛行機は投資家から金をだまし取る似非科学という扱いを受けていたのです。これはガチです。その飛行機を今や我々が手作りで、なおかつ人力二人乗りができる！

うっかり何かを無理、不可能と断定すると、将来のスーパーテクノロジーに覆されるのです。飛行機を作る人が、無理っていうのは冒涇的な行いだと思いませんか？

やってみなければ分からない。そんなことだらけです。

# 設計

## 機械設計の手順

### 設計課題の確立(設計目標の明確化)

- 1.需要分析
- 2.技術予測
- 3.製品企画

### 概念設計(設計案の創出)

- 1.設計構想の確立
- 2.機能設計
- 3.開発設計

### 基本設計(設計案の具象化)

- 1.構造解析、性能解析
- 2.安全性、信頼性、品質の検討

### 詳細設計

### 生産設計

- 1.工程設計
- 2.作業設計
- 3.人間設計

### 評価

上記は基礎 機械設計工学 (第3版),オーム社の p4 と 5 から抜粋。

設計は上記の手順にそって行いました。

## 需要分析

人の手作業から機械による加工への移行はメリットばかりでした。いくら人がいても足りない TBT には需要があふれている。そう考えました。

## 技術予測

これはかなりあいまいでしたが、他の人が出来るんだったら私だってできる。おわり。

## 製品企画

NC を導入する意義は以下 5 つ。

- 1.加工が早い
- 2.品質が向上
- 3.均一な品質
- 4.材料費削減
- 5.今までできなかった設計が可能

これをすべて満たせる NC を作ろうとしました。

欲をかいて、スタイロだけでなく発泡も削ってフェアリングも作れるようにしようと考えていました。

## 設計構想

設計では第一に何が必要かを考え、それから出た設計思想に沿って構想をねり、大まかな形をきめてから最後に細部の寸法などを詰めていきます。

細部を丁寧に最適化したからと言って、最初の構想がアホだと失敗します。

そのためその基盤となる設計構想はとても重要です。

当時市販の NC で大きい工作領域をもった物でも最大1400mm ぐらいでした。しかも高い。

スタイロや MDF を削るにはあまりにも過激な性能の物ばかりで、値段も手が出ません。

なにが一番の問題化と言え、あまりにもデカすぎるリブです。頭おかしい大きさのリブを削りだせる NC は市場にありませんでした。

NC の設計が貧弱なのも、NC が良く停止する欠陥があるのも、ほぼすべてこのいかれた TBT のリブの大きさのために起こっています。

x 軸の長さゆえ、材料費がかさむし、送り機構は欠陥が発生して時々止まるし、設計に余裕がないので他の部分まで貧弱で拡張性のない設計になってしまいました。

本当は余裕のある設計で、後々の改造にも便利のような拡張性を残すべきでした。

リブの分割ができたら、いろんな意味で選択肢が広がるのでそこも考えました。

当時の設計者に聞きましたが分割はダメだと言われ泣く泣くあきらめ、以下の設計構想を固めました。

- 1.低価格でありつつ、印刷機と同等以上の精度を持たせる。人の感覚で測れないくらいの精度があればよい。
- 2.故障からの素早い復帰能力を持たせる。損耗しやすい部品は入手のし易さと価格の両方を重視。まとめ買いしてスペアパーツの確保とランニングコストの低減にも努める。
- 3.出来る限り市販されている低価格な部品を用いる。設計にあった部品を探すのではなく、合致しそうな部品をどう組み合わせるかを検討する。レゴのような感覚が近い。
- 4.翼リブや大きいフェアリングなどを丸ごと削りだせる加工範囲。

最初はかなりおおざっぱな絵を描きました。ポンチ絵とかいうらしいです。それで事足りました。



初期案のイラストはこれらとほぼ同じような物だったのですが、材料費をケチったりして足や、テーブルからか



さ上げしている部分などを削っていったら現在現物に近い形状になりました。

材料費があれば、腰を痛めながらかかむ必要なんてありませんでした。残念。

## 機能設計

構造や機構などは、NC の構造というシートで解説したので一部割愛します。

x 軸の駆動には本当は yz 軸と同じくカップリングを使おうと考えていました。しかし 20mm を 5mm の物につなぐカップリングは世にありません。差がありすぎます。

カップリングを 2 個使うかと考えていたら、べつに同軸でなくていいなと気が付きベルトとプーリーにしました。

とても簡単に設計出来ました。減速比をちょうど 2 にすれば y 軸と同じ分解能にできるので都合も良かった。

<http://beltdesign.tsubakimoto.co.jp/beltFormula/timingbeltPullyFormulaController.html>

いくつか安いプーリのカタログ上のピッチ円直径をいれて計算させれば上のサイトで軸間距離が求まるので楽でした。

z 軸の構造は通常の物と少し機構が違います。

通常はモーターと送りねじが上下せず、リニアブッシュ側が上下に動きます。

ですが私はとにかく材料費をケチるために、モーターと送りねじやシャフト側を動かすことにしました。

もちろん欠点があって、z 軸がステッピングモーターの分重くなります。

y 軸の直動の剛性が足りないために、z 軸を下げ切って稼働することはできませんが、材料費を削減しながら z 軸の長い可動範囲を確保できるなかなか良い設計だったと思います。

高脚を台形にした理由は 3 つです。

長方形の板材を斜めに切れば同一のものが二つ作れる。前後のベアリング間の距離が長方形よりとれる。重心が偏るので、z 軸の重さによる偏りを多少解消できる。

これらぐらいでしょうか。

ミスマの inCAD という機能は、実際の生産現場などで使われている機械の設計例が詳しく見れるので、何かを設計する時参考にしたり、機械要素を勉強するのに打ってつけです。



やってみたかった送り機構。浪漫満点のバックラッシゼロ ローラー式ラック&ピニオン。

余談ですが何かを改造する時、設計した人の思想(なぜその部品を選んだのか等)が分からないと大変困りますし、

的外れな改造になりがちです。

↓送り機構の参考になりそうな個人ブログ

<https://azurewood.hatenablog.com/>

↓レベルが高すぎて参考にならなかった個人ブログ

<http://mirata.blogspot.com/>

複雑な 3d プリント品や発注しないと作れない製品は、これからは町工場ではなく DMM やミスミ VONA を使ってみてはいかがですか。

3d のデータを渡すだけで、結構簡単に作って郵送してもらえらしいです。

## 開発設計

試作？知りません。一発勝負です。

## 構造解析

有限要素法(FEM)とかやってみましたが、使い方が難しかったり不確定要素が多すぎてあんまり参考になりませんでした。

頼りになるのはやはり知識と経験だと思います。シュミレーターはそれら知識と経験があって初めて使えるようになると思います。

## 安全性

コストカットの犠牲になりました。各自が危険性を認識して使ってください。

## 詳細設計

おおよその寸法を決め、ミスミなどから各部品の寸法を引っ張ってきて Fusion360 に起こします。

Fusion360 のスケッチ機能が素晴らしいのは、拘束機能と履歴機能を上手に使えば小さい寸法の変更を素早く行えることです。

あとあえて拘束を外した状態のスケッチはマウスで動かせるので、書いた部品の位置を直感的に動かせました。隙間のないぎちぎちに詰め込んだ設計はこれらの機能のおかげで出来ました。余裕のない拡張性に劣る設計とも言います。

NC の各モデルの履歴を見れば大まかなモデリングの手順が把握できると思います。スケッチは非表示にしてあるので、表示すれば見えるようになるでしょう。

## 生産設計

一品物なので不要。頑張って組み立てました。

## 評価

最初の目標の一つであるリブ切りの自動化、皆さんの努力のおかげで一応はできるようになったと考えます。

しかし、フェアリングの削りだしは軸の剛性不足のためできなさそうです。失敗。発泡専用のエンドミルも入手

していないので難しいでしょう

初期の見積もりの甘さが原因で 10 万から 15 万円の予算増額、稼働にこぎつけるまで 1 年のところ結果は 2 年かかりました。

停止するし整備性も悪く、おまけに周囲を覆うケースなどもないので騒音はひどいし危険です。

設計した通りに動いた部分もありましたが、設計ミスや、加工不良により稼働に信頼性がありません。

本来の NC 工作機にはない稼働の不安定さは大きな欠陥であると思います。

ただ、2000mm に近い加工範囲をもつ低価格 NC の試作機と考えれば、ぎりぎり及第点を貰っても良いかなと思います。

オリジナルの直動機構でコストダウンを図ったのは大博打でしたが、完成しないと意味がないので致し方なし。

本当に最低限の機能だけ搭載した貧弱工作機械といったところでしょうか。

反省として、アルミ合金だけでなく木材をもっと上手に使えていたら良かったかなと思います。

皆さんの評価はどうでしょうか。正直設計した者として C 評価は欲しいです。

# 失敗

以下は私がやらかした失敗の数々を箇条書きにしたものです。いつか誰かの参考になるかもと書きました。駄文ですが、人の失敗を知るのは愉快だし有益です。ぜひ読んでください。

多機能にしようと欲が出た

<http://dobonkai.blog99.fc2.com/blog-entry-157.html>

これを見てフェアリングも加工出来たらいいな、と思いz軸方向にものすごい大きくしてしまった後悔があります。

ガントリーは超重くなるし、z軸もすごい長くなってしまった。z軸が長すぎると切削抵抗によって支点にかかるモーメントが大きくなる。

しかも肝心のy軸直動がベアリング6コの貧弱な固定方法なので剛性が足りません。手で押してもその変形具合が分かると思います。

というわけでせっかくフェアリングみたいな3次元加工もできるように高さを稼いだのに、そんなにスピンドルを下げると剛性の無さから精度が保てません。

無難に薄いスタイロを2D加工する事だけに集中すべきでした。

わけわからん独自の機構じゃなくて、ちゃんとしたリニアガイドとかに換装すれば、本来の性能を発揮できるかも???

## 部材の寸法がデカすぎる

設計中は、加工精度を出すためにマシンの剛性を安くても高めることを意識していました。

大型の工作機械など見るとめっちゃくちゃガッシリした体型をしています。これは荷重がかかるとどんな物でも弾性変形が起き、NC本体も例外ではないからです。

なのでプロ仕様のウン百万するやつを見習って、剛性を過激に重視していました。

でも考えてみてください。削るのはスタイロで、工作速度も自動化された工場ほど要求されないのです。

切削抵抗によるアルミフレームや分厚いアルミ板の変形は無視すべき値でした。

そんなのより、甘い取り付け方をしたネジや、y軸の独自規格のリニアガイド?の変形を心配すべきでした。

それに気が付いたのは発注したアルミ板が家に届き、その厚さと重さを身をもって理解してからでした。

もちろんすべての寸法を決めたのは私なのですが、CAD上で寸法と実際の寸法の差を全く理解していませんでした。実寸で死ぬほどつらい製図させるのはこれを防ぐためなのかも…。

2m越えの部材が届き、それを当時はな何もなかった床(今NCが鎮座してる場所)に置いた時もデカすぎて寸法間違えてないか?って自分で決めた寸法にビビっていました。

x軸の巨大さは、最大の翼リブに合わせた大きさなので妥当なのですが…

## 通電腐食して錆び

通電腐食(ガルバニック腐食)とは、異種金属を通電できる状態にしておくと標準電極電位の差から、電位が低い金属が錆びること。

多分起きるだろうなあ、と思っていたのですが予想よりはるかに速く錆びがでて驚きました。

ベアリングの外輪とか炭素鋼で出来ているし、メッキ加工も施されていないので一番錆びやすいところがすぐ錆びてしまいました…

実際飛行機とか車でもこれに悩まされているらしく、カーボン素材は通電するので、はなれた異種金属同士が導

通して買った方がすぐ錆びるので対策が必要だとか。

対策は、全部品をメッキ品に置き換える。錆びやすい部品にはさび止めを定期的にぬるとかでしょうか。

### 組み立て手順を考えない

部品を組み立てるとき、どうしても組み立てられない知恵の輪みたいな設計をしてしまったことがあります。気が付いたので設計に変更を加えて対処しましたが、皆さんも何かを組み立てるときは組み立て手順も考える事をお勧めします。

### 接着

スマホを分解したことがある人は知っていると思いますが、中は意外とビスとか使わず接着材とかに頼っている部分があります。

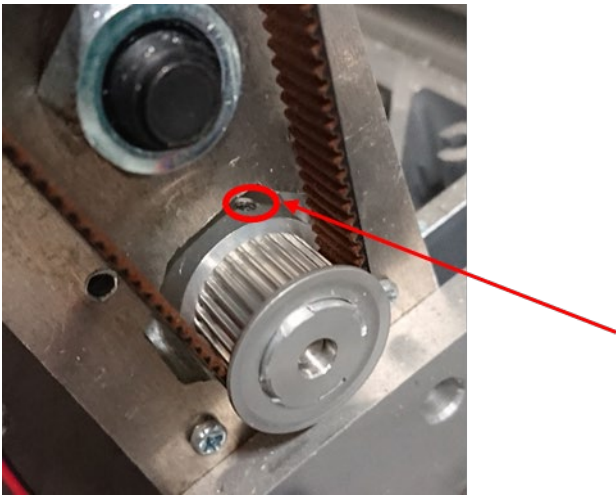
そのように設計で面倒なところは強力な接着剤で接着すれば、部品も余計にいらないし楽じゃん、とか考えていました。

いざ実際組み立てに入って、メタルロック等で部品を付けたら分解できないことに気が付きました。急遽穴をあけたりネジを買い足したりして対処した箇所が沢山あります。

馬鹿だった。スマホはそもそも分解するものではありませんから。設計思想がそもそも違うんですね。

### 整備性

メンテナンス性を確保するのはとても重要です。整備するひとが大変ですから。飛行機とかも整備用にメンテナンスハッチとかわざわざ作ります。それだけ重要な整備性なのですが…



このイモネジが緩んだ時は、モーターを外さないとイモネジにアクセスできません。プーリーをアルミ板に埋めるのは整備性の観点から最悪でした。

この設計のコンパクトにまとまってる感じ、気に入っていたのでショック。

他にも整備性を考えていないアホな設計部分が山ほどあります。ごめんなさい。

### 精度よく締結できない

ネジの外径と通し穴の内径は異なります。すこしネジが小さくないとネジが通らないし、製図をやっていれば知ってて当たり前なのですが。

ネジが通し穴の中でガタつきます。そのせいで設計の通りに部品を組み付けることができず、どの部品も若干ずれています。

リーマボルトとか、位置決めピンとかを使えばよいのかもしれませんが。

## 送りねじとベアリングのずれ

送りねじが M20 だったら外径がぴったり 20 ミリということではなく、少し小さいです。

そのためベアリングの回転軸と送りネジの中心がずれた、偏心した状態でネジが固定されています。

X 軸のナットが上下に揺れるのはそれを吸収するための苦肉の策でした。

そもそもネジ部を直接イモネジで止めるってことも大罪なのです。

本当は軸端が加工され、ベアリングやプーリーとのはめ合いもきちっとしたシャフトになっているはずです。

しかし 1800mm を超えた送りねじで端部を加工された物が見つかりませんでした。

価格や、入手性を考えるを国内の台形ネジで、この使い方で妥協するしかありませんでした。国産ボールねじは高すぎるし、中国製は輸送中に曲がりそうでとても頼めません。

## 工作精度

いくつかの部品は私が手作業で加工しました。そのため寸法通りに穴があげられておらず、ネジが通らないなんて部分も沢山あります。

ボール盤で手作業で開けたので、かなり精度に気を付けようと頑張ったつもりでしたがめちゃくちゃずれました。というわけで、自作の部品は穴の位置が怪しいのであてにしないで、適宜作り直したり改良してほしいです。

## 振動で緩む

NC を動作させるとステッピングモーターがかなり振動します。その揺れのせいか、よくボルトが緩みます。

ボルトが脱落して、回転中のエンドミルとかに接触したらと思うとぞっとします。ガムテとかで止めたりしていますが、定期的に緩んでいないか確認よろしくお願いします。

## 発注した部品の精度

NBLTT6 という部品(高脚とアルミのビームをつなげるやつ)のある部分が全然直角でなかったもので、紙を挟んでその場をしのぎました。

このままじゃ締結力が皆無なので、どうにかした方が良いかもしれません。

## オリジナル直動機構

とにかくリニアガイドやリニアレールの価格が高すぎたのと、取り付けが難しそうだったので色々考えた結果オリジナルの機構にしました。

とにかく安くていいんですが、精度も微妙だし捻り荷重に弱すぎるので安かろう悪かろうという評価でしょう。トラブルの多くがこいつのせいで引き起こされているような気がします。

思い切って大金突っ込んでいい直動に変えるのもありだと思います。

## 重さとモーターパワー

z 軸には木製の板を使用しています。あそこには本来アルミ板が使われていましたが、今の重たいスピンドルを付けたところステッピングモーターのパワー不足で z 軸が持ち上がらなくなりました。

その軽量化のために木製に交換しました。

ある程度分厚ければ、剛性も問題ありません。NC の部材の大部分はアルミなんかじゃなくて木で良かったじゃん、とだいぶ後悔しました。

お役御免となったアルミ板はどっかに転がっているかもしれません。



## 初代スピンドル(主軸)の軸が揺れまくる

最初の計画では、巨大なラジコン用のブラシレス DC モーターを使おうとしていました。

トルクと回転数が通常のモーターよりずっと優秀だったので、これを選びました。

しかし、切削加工に使うためのモーターではないので軸が偏心していてエンドミルがブレまくって切削どころではありませんでした。

内部に入っているベアリングも切削抵抗に耐えられるのか怪しかった。

制御に PWM が必要で回転数の制御が面倒極まりなかった。

電源も 12v、100A、1200w 電源が必要でした。ヤフオクで落札した中古のサーバー用大型電源を無理やり起動して使っていました。

いったいどれほどの電気を無駄にしたのか…

というわけで没。1 万 5 千くらいの自腹出費でした。とほほ

## 床が傾いている

NC を組み立て中に基準としていたのは床だったのですが、ある時になんか傾いているかも？と計測してみたらかなり傾いていました…

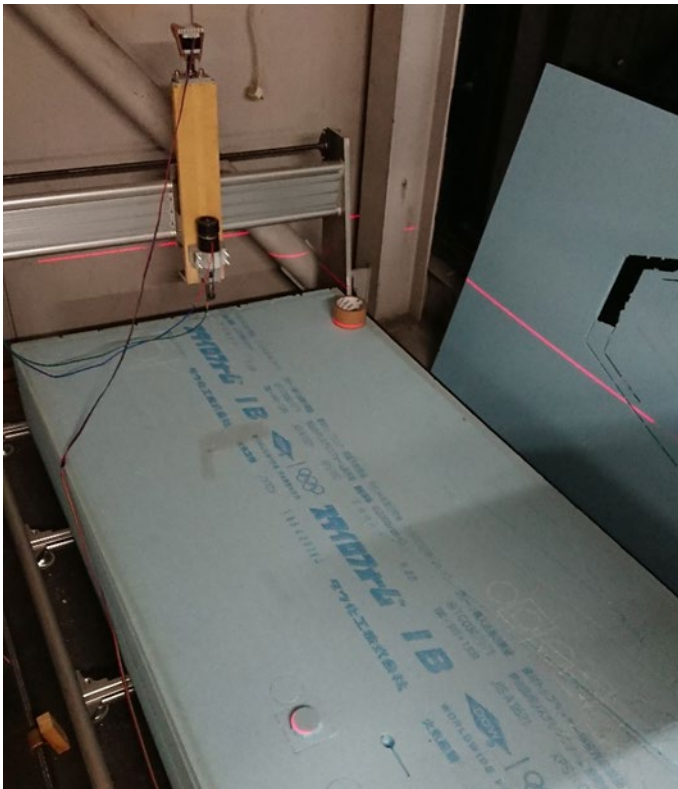
床が全くあてになりません。レーザー墨出し器をつかって重力を基準とすることにしました。

幸い NC の土台には高さ調整ができる部品がつけてありましたから、がっつり壁側を持ち上げて対処しました。



これは x 軸のレールのちょうど上すれすれにレーザーをあてて水平を出しています。

上に乗っけるスタイロの厚みが均一でない



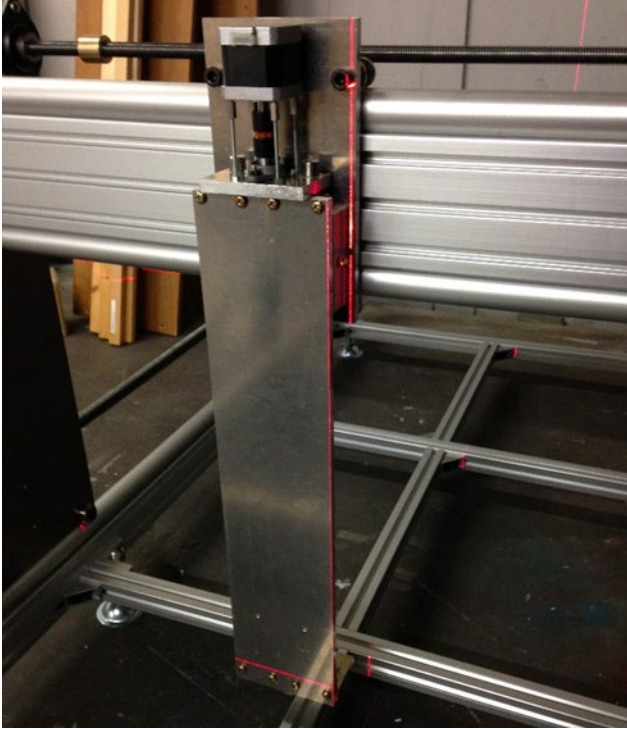
これもレーザー墨出し器で高さをあわせました。スタイロの上に物を置いて、光が当たる高さをどの場所でも同じにすれば水平なはずですが。スタイロの下に色々物が挟まっているのはこれのせいです。

もちろん墨出し器の精度次第ですが、X 軸のレールが水平で、スタイロも水平なら理論上は問題ないはずです。



そもそも XYZ 軸は互いに直交か？

それぞれの軸が互いに直交でなければ、精度が保てません。



これもレーザー墨出し器で合わせました。オーバーホールした後はこのように水平、垂直を出すことをお勧めします。

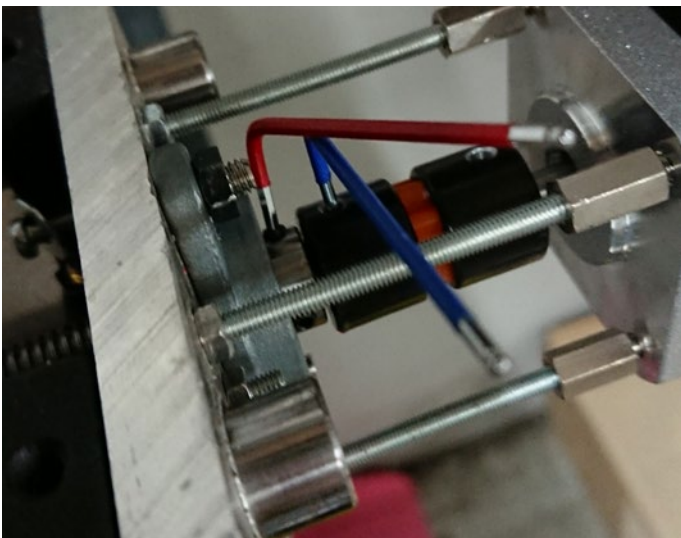
### インチ規格

寸法の表記で分数がでてきたらインチです。なんか知りませんが、建設系とかの部品はわりとインチを多用しています。

できるだけ使いたくなかったのですが、一部の部品(エンドミルとか)はインチ規格です。

実際、ヤードポンド法とメートル法を混同したせいで、飛行機が墜落しかけたり火星探査機が失敗したりしています。

バレルとガロンなんて、本当に複雑怪奇な単位です(あれは本当に単位なのか?)。



まさかイモネジだけインチ規格とか予想外。赤いレンチ側がインチで、青いレンチがメートルです。

ということでヤードポンド法は滅びろ

### 3d プリンタを使わなかった事

あんまり精度を信頼していなかったので使う気にあまりなれませんでした。

でも少なくとも私の下手な手加工の部品よりずっと優秀な部品が作れただろうに…なぜだ。

皆さんはガンガン 3d プリンタをつかってください。NC の改造に使うには最適だと思います。

### 予算アウト

当初の計画では 10 万円の材料費だったのですが、かなり材料費をきりつめても 15 万円になってしまいました。

なんなら申請していない私の自腹を含めると 20 万円をこえるかも。

設計者陣にあやまって予算拡張を許してもらいましたが、最初の見積もりが甘々でした。

### 納期アウト

NC を 1 年で稼働させる、とか豪語していたのに結局 2 年かかり、そのあとの運用は入ったばかりの 1 年生に丸投げ。

会社員とかでこれやったら首が飛ぶかしらん…。

### 一人で抱えた

なにか問題が起きた時、誰かに相談すればよかったんですが、当時の私は負の感情で動いていて他人を頼るという発想がありませんでした。

一人で悩んで、全然うまくいきませんでした。

後輩や同輩に相談したらあっさり解決。一人で悩んでいた時間が馬鹿らしくなりました。

スタイロをスプレーノリで接着するアイディア、一年くらい悩んでいた問題がその場で解決しました。最高相談、大事です。

### マシンを信じなかった。

切削条件を調べる過程で、F500(フィードレート 500mm/min)を試さないかと一緒に手伝ってくれた T氏が言いました。

私は NC にそんな速度が出せるとは思えず、無理だろうと一蹴してしまいましたが後日試したら普通に動きました。

自分で設計したのに、ちゃんと信頼できていませんでした。NC よ、すまん。

### 安全教育が疎か

NC は危険な工作機械です。それを口頭で何回か皆さんに伝えたかもしれませんが、あとで伝えきれていなかったなあ、と後悔しています。

TBT にある一見形骸化したルールも、安全を担保するために存在していたりします。意外と馬鹿にできない。

安全を維持できるシステム、それを構築したり教育せずに皆さんに任せてしまいました。失敗です。

### あえてもう一回失敗したら結果が変わった。

一回失敗した切削条件を、間違ってもう一回走らせてしまった時です。T氏が最後まで走らせようと提案してきました。私はせっかちなのでスグ止めたかったのですが。

あえて全く同じように見える切削を二回行いました。結果が全然違い、実際は条件が変わっていたことに気が付きました。おかげで見えていなかった条件に気が付けました。

セレンディピティと言うかもしれませんが、意外と何かを発見するのは偶然が多いのです。  
皆さんもどんどん失敗して偶然何かを発見してみましょう。

# 危険

下記に危ないかも、と思っていたことを箇条書きにしました。すべてを気をつけろとは言いませんが、一応目を通して気に留めておくか、しかるべき対策を講じてください。

私が気が付いた点だけなので、他にも危険な事があるかもしれません。

## 火事

原因として二つ予想しているのが、ショートとスイッチング電源の発火です。

スイッチング電源の発火は不良品で相当運が悪くないとなさそうです。

しかし回路周りでショートなどを起こし火花がでて、切り子などに着火するかもしれません。

回路はある程度不燃性のもので覆いつつ、ホコリが入らないように対策すべきでしょう。

## 感電

回路がむき出しだったり、端子が覆われていない部分があったりと触ったら痛いですまないかもしれません。

最悪火傷や心停止とかか考えられます。気を付けてください。

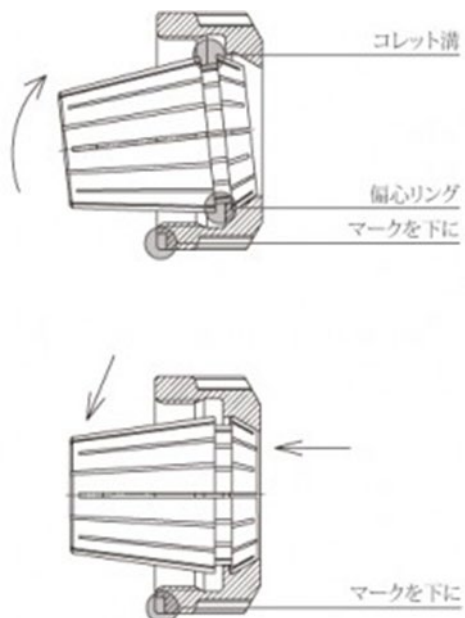
## コレットの付け方

コレットをコレットナットにはめる。コレットナットをコレットチャックに入れて落下しないことを確認してから初めてエンドミルを装着します。

コレットをコレットナットにはめないで、コレットナットを閉めるとエンドミルの固定が甘くなったり、逆にコレットが外れなくなったりします。

勘違いしがちですが、コレットを交換するときは絶対にコレットとコレットナットをしっかりとくっつける事を忘れないでください。その状態ならコレットナットを振ってもコレットは脱落しません。

最悪エンドミルが飛びます。



## エンドミルの取り付け

コレットチャックもそうですが、コレットナットが正しく閉まっているかを主軸を回転させる前に必ず確認してください。

締めが甘いとエンドミルが飛んでいきます。

主軸はおそらく数千 RPM(一分間に何回転)で回っています。取り付けが甘かったり破損したら回転面上のどこかに飛んでいきます。

## スピンドルに物、人が接触

ボルトが脱落して、回転中のエンドミルとかに接触したら大変危険です。緩みそうなボルトをガムテとかで止めたりしていますが、定期的に緩んでいないか確認よろしくお願いします。

また主軸の動作範囲内や、スタイロの上に工具や部品などが置かれていないかをチェックしてから主軸を起動してください。

上記二つの事を考えると、主軸回転面から物が飛んでも大丈夫なように、周囲に人を保護できる板を置いておくのが良い気がします。NC の運転中はその板の後ろに隠れるでも良いかもしれません。

それだけ危険な物なのだという事を理解して運用してください。

## エンドミルで手を切る

エンドミルはドリルと違い、側面にも刃物が付いています。うっかりするとケガをするので気を付けて下さい。

## 二階から落下

NC が設置されているのが二階で、アクセス方法は固定の甘い梯子一つだけです。

梯子の上り下りは結構危険ですので、何度も上り下りして慣れたからと言って気を抜かないでください。

切り出した製品を片手に持って降りる場面などもあるでしょう。結構危険ですので気を付けて。

落下したら痛いですよ。

本当は物品を安全に上げ下げできる機構が欲しいなあ、と思っていたのですが…

実は梯子に小さい亀裂があります。たぶん長い間あそこで使われているので亀裂が入っちゃたのかもしれませんが。

あと二階が増設されていますよね。あれは部屋の前の主である別の部活の人達が勝手に作った物らしいです。強度に不安が残るのであんまり乗らないように。

# fusion の操作

fusion360 はとても便利かつ、無料で使える CAD です。

操作が難しいと思うので、知っているると便利な事を書いておこうと思います。

## 視点移動



操作は標準設定だと、ホイールボタンを押しながらマウスを動かすと視点の平行移動ができる。

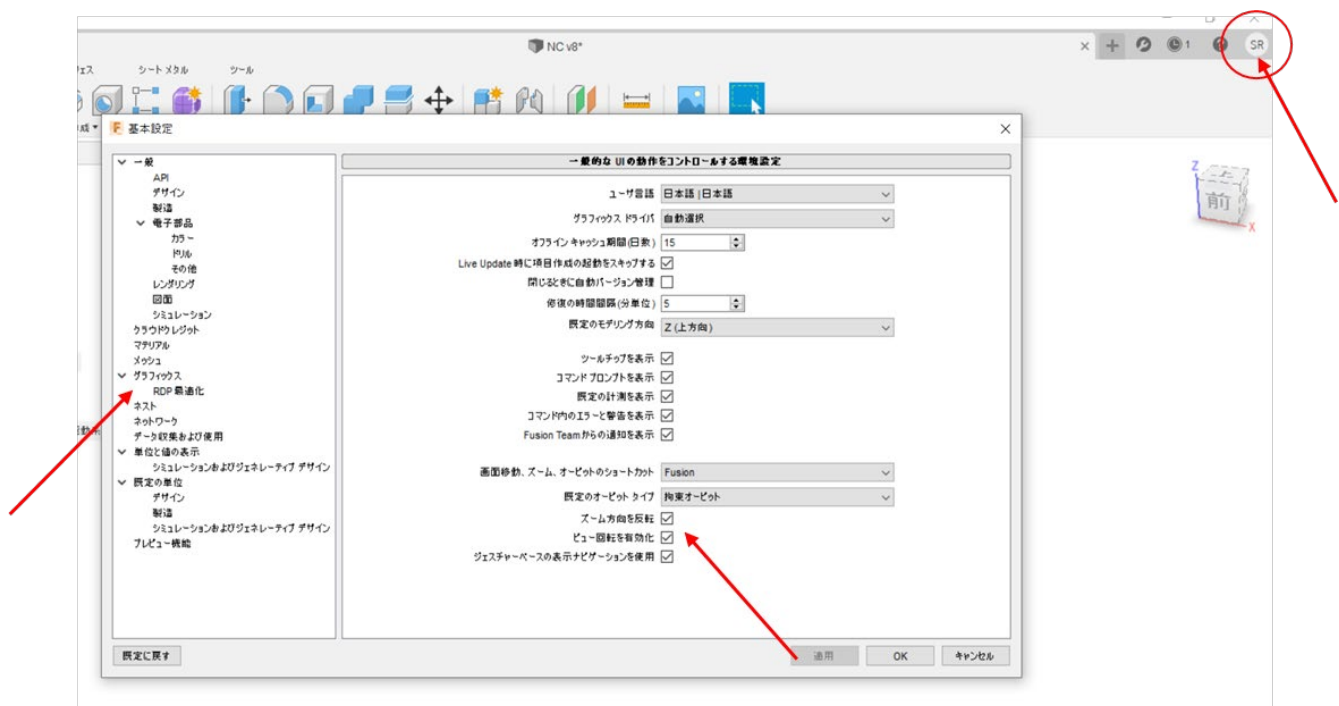
シフト+ホイールボタンを押しながらマウスの移動である点を中心に回転できる。

その点の事をピボットとかいうので、こちら辺で回転してほしいなあ、と思ったらシフト+ホイールボタンを押すとカーソル上にピボット(緑の点)が移動するのでこれは知っておくべきです。

モデル右上に表示されている立方体、これを掴んでも回転移動ができます。

この立方体の面や、辺、頂点をクリックすると真正面や斜め 45° など、基準となる角度に視点を移動できます。また、この立方体のすぐ近くに白い家マークがカーソルを近づけると出てきます。スクショだから見えませんが…矢印のあたりにはあるはず

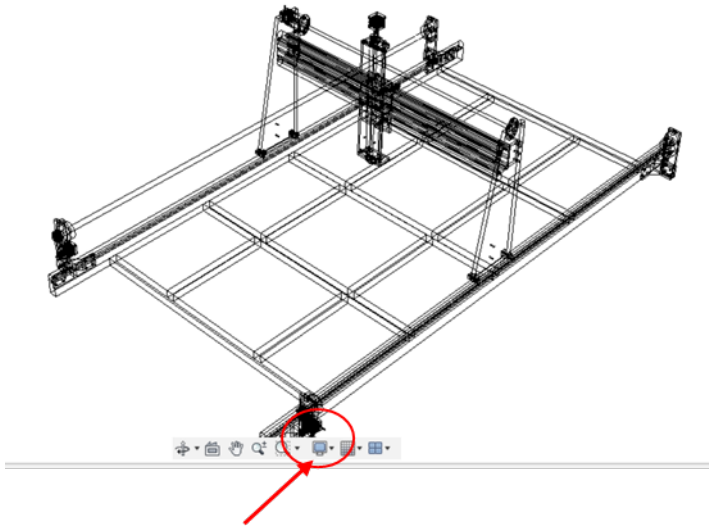
その家マークを右クリックすると、色々な視点に飛ばせますし、正投影とパースを切り替える事ができます。この二つは遠近感がある方が良い時とない時があるのでうまく使い分けてください。



ホイールを回転させると、拡大縮小ができますが、方向が逆だなと感じたら

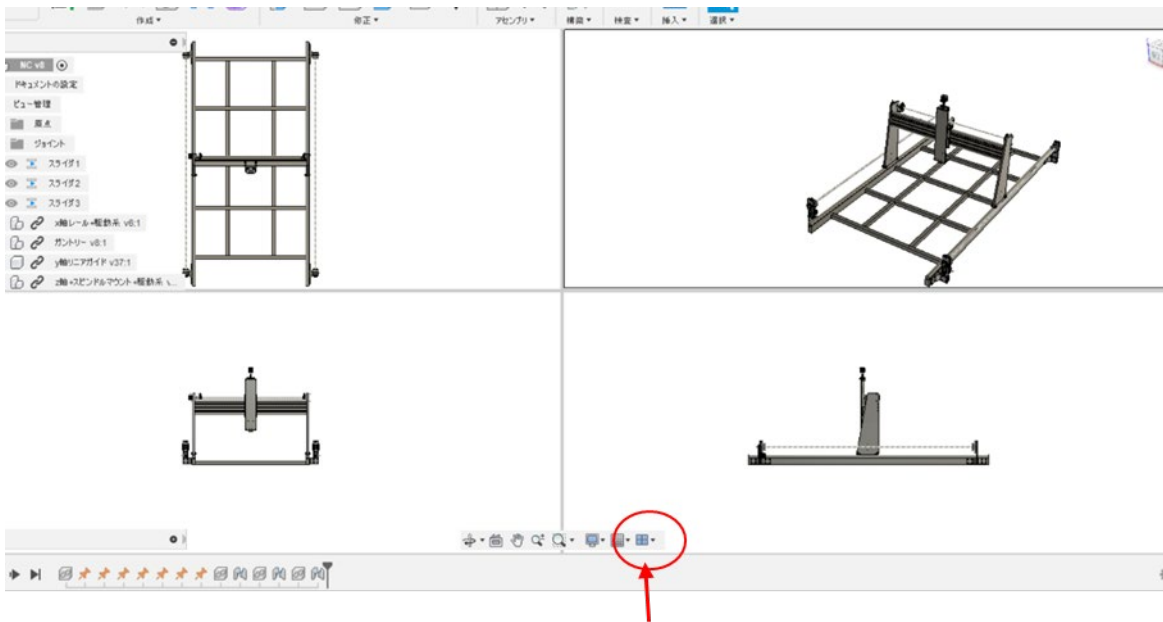
右上に個人のアカウントのアイコンが出るのでそこをクリックすると、基本設定ができるのでズーム方向を反転にチェックをいれると逆になります。

あと、パソコンのスペックに不安がある人はグラフィックスという項目もいじっておくと Fusion360 が軽くなり動作速度の改善ができるかもしれません。



表示設定の、表示スタイルという部分の設定を変えるとモデルの描写方法が変わり、スクショのようなワイヤーモデルにもできます。

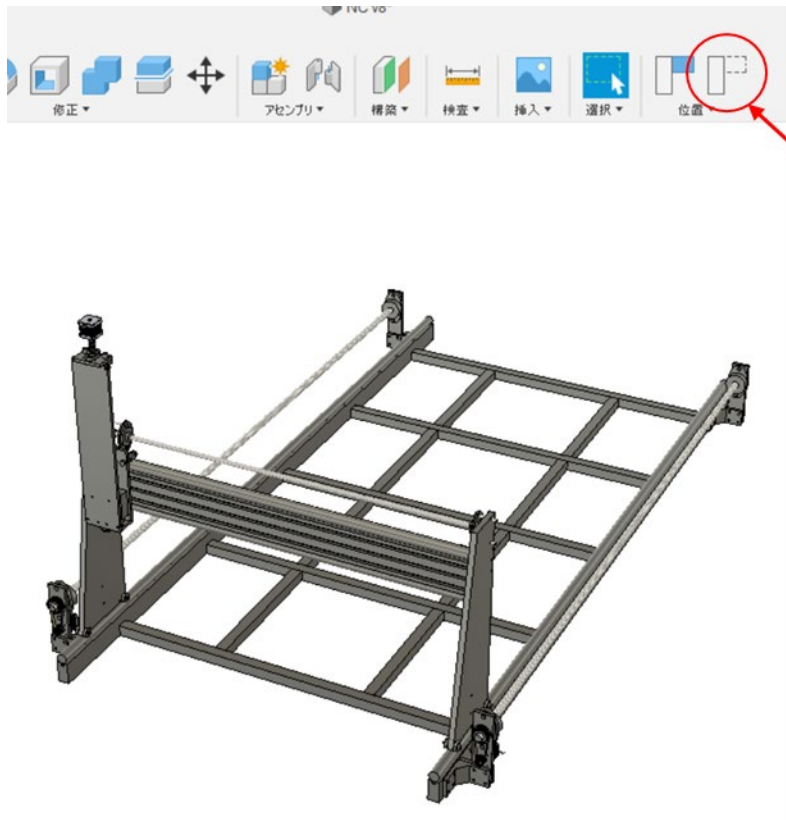
なんかやたら線が少ないので手抜きモデリングをしたと一発でばれてしまう機能です。恐ろしいね部品同士が干渉していないかチェックする等の作業にすごく向いています。



これは複数のビューっていうのを選択すると出てきますが、画面が大きい人にしか使えないかもしれません。

スカルプトっていう作業に使うと便利ですが、この NC を設計する上では使っていないのであんまり覚えなくていいです。





NC 本体という名前のファイルはそれぞれのコンポーネントをアセンブルを使って組み上げているので**動きます**。  
 モデルを掴んでぐりぐり動かすと x 軸 y 軸 z 軸、それぞれ動くようにしてあります。  
 遊び終わったら、右上に出てくる元に戻すを押すと元に戻せます。

ファイルはクラウドで共有する形をとっているなので、そのままそのデータをいじくと他の人が見てもその変更が反映されます。

クラウド上のファイルの変更を保存するときはよく考えて行ってください。

**検査ツールの一つである、計測。**これはすでにあるモデルのいろいろな寸法を測るのに便利です。

I ボタンを押すと出てきます。

点線面ボディ、どれでも選択でき、複数選択も可能です。それぞれの長さや表面積体積、座標。互いの距離なども測ってくれます。



# モデリング

fusion360 に限らず、どんな CAD でもスケッチはとても重要です。

スケッチして押し出し、スケッチして押し出しを繰り返せば、大体の物は作れます。

そこで大事なのは、きちっとしたスケッチが描けるかどうかです。

スケッチは拘束というある種の条件で、線や点を固定します。

皆さんは Auto Cad からインポートした曲線をそのまま拘束(緑色の線)してモデリングしていると思いますが、本来の使い方だと、青い線を引いて寸法や角度などを入れて黒い線にします。

ここで書いても分らないと思うので、解説動画を見てください。

それで訓練したら、曲面構成されたもの以外は作れるようになります。

CAD は訓練あるのみです。

<https://www.youtube.com/watch?v=F372vgEXI9U>

<https://www.youtube.com/watch?v=ViHqEGITbzg&t=252s>

上リンクのシリーズで自分は勉強しました。

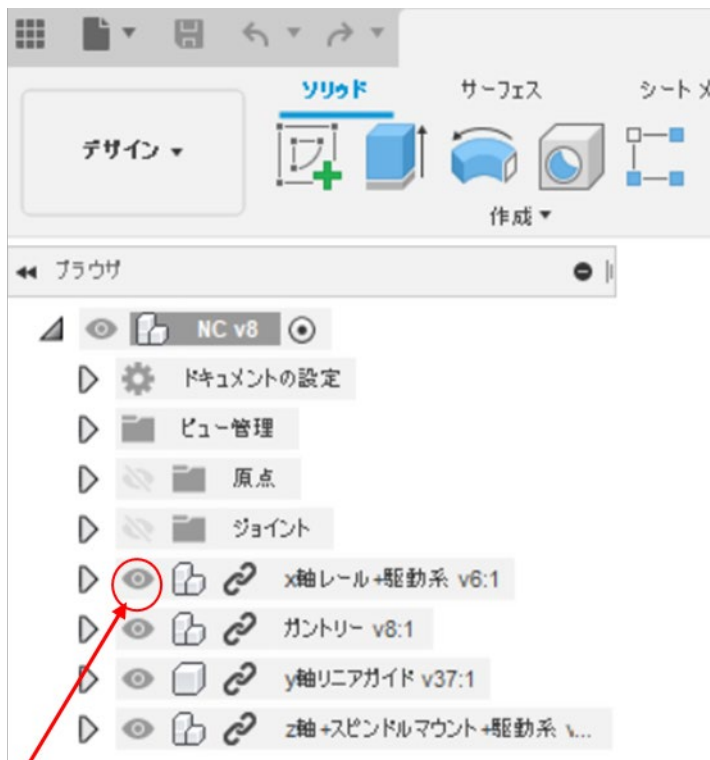
このシリーズはモデリング超初心者にはとても良い動画だと思います。

二番目のリンクの動画もよさげなので、スケッチの拘束を理解したい人は見ておくとういと思います。

## オフセット平面

オフセット平面はよく使うので理解しておくとういでしょう。簡単だし。

また他の新しい平面や線を生成するツールもあります。使いこなせると爆発的に作れるものが増加します。



## 眼のマーク

原点とかボディとかあらゆるものの表示を切り替えられます。

スケッチから押し出しをすると、使ったスケッチが自動で見えなくなりあわてるかもしれませんが、大丈夫。

削除されたわけではないので、あわてず騒がず上の目のマークをおすとそのスケッチは見えるようになります。

原点とか便利なのに時々勝手に非表示になるので、注意してください。

いない方が見やすいボディとか、細部を検討中がこれでガンガン非表示にして細部を詰めていました。

当たり判定がなくなるだけなので消した奴の存在さえ忘れなければよいのです。



### 履歴機能

下に出てくるアイコン達は過去に行った動作を表していて、右に行くほど最新です。

アイコンはダブルクリックするとアクセスでき、過去に行った動作でも数値や参照するデータの変更などが可能です。

この動作は便利ですが、過去に戻って変化を起こすタイムスリップみたいなものです。

過去を変えればタイムパラドックスが起こるように、条件によっては一通り作った現在のモデルが破綻したりします。

### モデリング

あとで変更をしそうな部分は、それを考慮したうえでモデリングをすると、複数のパラメータの変更が一括でスムーズにできるようになります。

極めると超楽しい機能ですが、破綻するとそれはそれで楽しいので使いこなすことをお勧めします。

私が作ったモデルの履歴をみれば、どうやって作ったのかが分かると思います。

### 便利なショートカット

D キーで出現する寸法という機能は、文字の通り寸法を決定します。これはスケッチの時に使うものです。

I キーで出現するのは計測です。寸法と異なる点は、ただ図るだけです。ボディや面など様々な部分をクリックすれば計測出来ます。

超便利！二点間の距離や座標もみたり表面積や体積も見れます。

R は長方形、C キーではある点を中心とした円。

L キーは線を引けます。

E は押し出し、スケッチ中にこれをおせばスケッチの中断を押さずとも瞬時に押し出しに移れるので便利。

T はトリム、線の不要な部分を削除できます。

## アセンブリ

アセンブリを使うと、互いのパーツの相対的な座標(移動)を指定できます。

それぞれ作ったモデルをレゴみたいにくみ上げられます。

なにか稼働する機構を設計するのには最適なツールですが、複雑なものだと PC 性能が必要かもしれません。

ちなみに NC 本体のモデルも各モデルをジョイントでくみ上げて作ったので動きます。

## ソリッドとサーフェス

通常 fusion はソリッドでモデリングします。ソリッドとは体積のある、閉じられた面で構成されたボディを指します。どの面にも穴が開いていません。

しかしサーフェスは文字通り面です。厚みのないぺらい面です。そんなんいつ使うか分かりませんが、曲面を多用するものには使えるそうです。お試しあれ。

お遊びでタイミングベルトはサーフェスで作りました。なのでベルトには体積がありません。

## スカルプト

私はあまり触っていないので詳しくは知りませんが、粘土をこねて遊ぶような、上記のモデリングとは全く違うアプローチのモデリング手法です。

航空機や車のボディを設計するには便利なんじゃないかなと思います。工業デザイナーとかが使ってそう。

# 操作手順

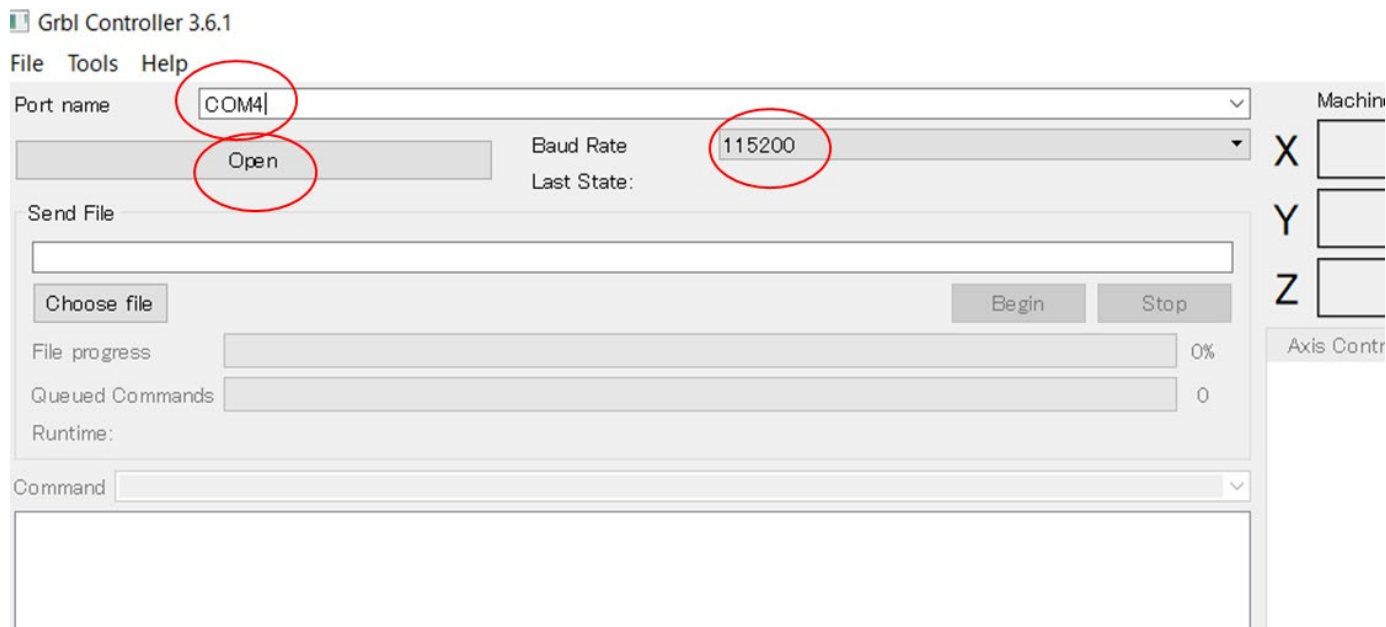
立ち上げ手順(この内容は不完全なので、抜けているポイントがあれば付け足しをよろしくお願いします。写真とかもあったら分かりやすいかも)

arduino と pc をケーブルで接続。PC から arduino に電源が供給されるので、ランプが付くはず。

デバイスマネージャから COM 番号を調べ、その値に COM を設定します。

Baud rate は 115200bps に設定します。(GRBL のバージョンによって値は異なるかも)

grbl controller 上で open com を押します。



接続に失敗する場合は Rate や COM の値が間違っている可能性、ケーブルの破損が考えられます。条件を変えて色々試してみてください。

接続を確認後、ステッピングモーターの電源を入れます。(これ大事。制御用の電圧が来ていない状態でドライバに駆動用の電源を投入すると、ステッピングモーターがハチャメチャな動きをします。)

原点を移動させます。十字ボタンや、昇降ボタン。フィードレートを与えれば任意の距離進めることも可能です。

一旦ステッピングモーターの電源を切ります。(切らないと↓の動作をしたとき動き出します)

grbl controller で接続を切ってまた接続し原点をリセット。

ステッピングモーターの電源を入れます。

(原点の設定について GRBL のバグなのか、G コードの設定をミスっているからなのか、こうするしか方法が見つからなかったんですね。

原点リセットボタンが使えるようになればこんなメンドクサイことやらずに済むので誰か解決してください)

主軸のコレットチャックが正しくしまっているかを確認してください。

間違ったコレットの取り付けや、締めが甘いとエンドミルが飛んでいきます。あなたのいる方向に！

主軸はおそらく数千 RPM(一分間に何回転)で回っています。取り付けが甘かったり破損したら回転面上のどこかに飛んでいきます。

また主軸の動作範囲内や、スタイロの上に工具や部品などが置かれていないかをチェックしてから起動してください。

エンドミルと接触して大事故を起こすかもしれません。

主軸の回転数を電圧計で調整します。

それから主軸電源を入れます。(電源前にもう一度確認のため↓を確認してください。)

主軸のコレットチャックが正しくしまっているかを確認すること。

また主軸の動作範囲内や、スタイロの上に工具や部品などが置かれていないかをチェックしてから起動してください。

これらをクリアしたら、choose file から G コードを選び、実行。

G コードは.nc という拡張子のファイル。実際はテキストで座標の羅列なので覗けば何を命令するものなのか解読できます。

### 動かしちゃったけど、NC を止めたい

1. 速やかに止めるにはステッパ電源を切る。なお、電源入れるとまた動き出すので PC 側で G コードを終了させるか(すぐには終わらない)、切削の終わりを待つ。
2. controller の stop を押す。読み込んでる G コードが終わると止まる。すぐには止まらない。

### 主軸を今すぐ止めたい。

主軸電源を延長コードからでもスイッチでもいいから速やかに切る。

加工中の物はダメになるけど、危険な主軸を出来るだけ早く止めるべき。

### xyz 軸が動かなくなったら

0.イモネジが外れているかもしれません。

設計ミスですサーセン。その場合モーターは動いてるので良く見ること。

1.軸に機械的負担がかかってる可能は？

ネジ外したり、手で軸を回して確かめてください。多分これが一番ありそう。

特に x 軸。ガントリーが軸に対して斜めになってたりすると抵抗になるし、精度がガタ落ちになるので注意してください。

x 軸が左右でずれた場合は、片側の軸とガントリー(レールに乗ってるコの字の奴)の連結をはずして、正しい位置に自然に移動するのでそこに送りのナットを合わせて再接続します。

2.ドライバは正常か？

可変抵抗を回すと電流量が変わってトルクも変わります。ドライバの故障なら取り換え。

### 3.基板や配線は正常？

稼働部の断線やジャンパー線が取れているかも。回路図を載せておくのでそれも参考になるかもしれません。

Q：なんでジャンパーとブレボのままなのですか？ A：動くからいいかなって。

### 4.grbl の設定は？\$\$って送ると今の grbl の設定が帰ってくるので解説します。

ステッピングモーターについての設定が間違っていると回らなかったり、回転数が狂います。その手の設定はアルディーノに書きこまれています。

最大加速度や最大速度などの値がおかしいと、モーターに必要な電流量が増えすぎて脱調したり、パワー不足で回らなくなったりします。

### 5.電源が正常？

テスターで図りましょう。ショートや感電に気を付けてください。マルチメーターがこわれたり、自分が壊れるかも。

### 6.モーター壊れた？

そもそも壊れるのか？まあ多分予備があるので交換するなり調べるなり。

### 7.分からん

頑張ってください

grbl入れ方(アルディーノの中に入ってるやつ)

[https://cnc-selfbuild.blogspot.com/2016/03/blog-post\\_26.html](https://cnc-selfbuild.blogspot.com/2016/03/blog-post_26.html)

このサイトを参考にした。以下はその抜粋です。

- ・まずこのサイト(<https://github.com/grbl/grbl>)の画面右側の「Download ZIP」をクリック。
- ・そうすると「grbl-master.zip」がダウンロードされる。
- ・「grbl-master.zip」をダブルクリックして解凍する。
- ・解凍すると「grbl-master」フォルダができあがる。
- ・Arduino IDE を立ち上げる。
- ・「Arduino メニューバー>スケッチ>ライブラリをインクルード>.ZIP 形式のライブラリをインクルード...」を選択。
- ・そうするとファイル選択のウィンドウが出るので、先ほど解凍したフォルダのほう「grbl-master>grbl」を選択。
- ・インクルードされたら、「Arduino メニューバー>ファイル>スケッチの例>カスタムライブラリのスケッチの例>grbl>grblUpload」を選択。
- ・「検証」、「マイコンへ書き込む」で Arduino ボードへアップロード。

こまったらググるか、

<https://github.com/grbl/grbl/wiki/Compiling-Grbl>

## GRBL Controller の入手

ググって入れてください。

こいつは PC 上で動くアプリケーション。G コード(.nc)ファイルを読み込んで、アルディーノの中に入っている grbl に適宜命令を送ってくれる凄い奴です。

GRBL Controller 上で\$\$と送ると GRBL setting が帰ってきます。

これは GRBL が命令を受け取った後、実際にどのような電流をモータードライバに流すかを決めています。

この設定次第で、モーターが回らなくなったりします。

特に加速度や速度は重要な部分です。

\$100 から\$102 は(x, Step/mm)とか意味不明だと思うので解説します。ステッピングモーターはパルス信号で制御されています。

最小単位が 1 パルスで、このモーターは 200 のパルス信号(200 ステップ)を送ると 1 回転 360 度回ります。

この NC は送りねじ式で x 軸はモーターが 1 回転すると、プーリーが回ります。大プーリーのピッチ円半径がちょうど小プーリーの 2 倍。台形ネジのピッチが 4 mm。

200 ステップで 2 mm 進む。つまり X 軸は 100 (step/mm)

y 軸は送りねじのピッチが 2 mm で 1 回転 200 ステップなので x と同様。

z 軸は送りねじのピッチが 1.5 mm なので 133.3333 (step/mm)

これらの値はモーターを変えたり、送り方法を変えたら変更しなければならない値です。

# 切削

## CAM の操作

これについてはここに書きません。多分僕より CAM の扱いが上手い人だらけになったと思うので…  
というか忘れちゃった。誰かが補完してくれるでしょう。(まーた丸投げ)

## 切削理論

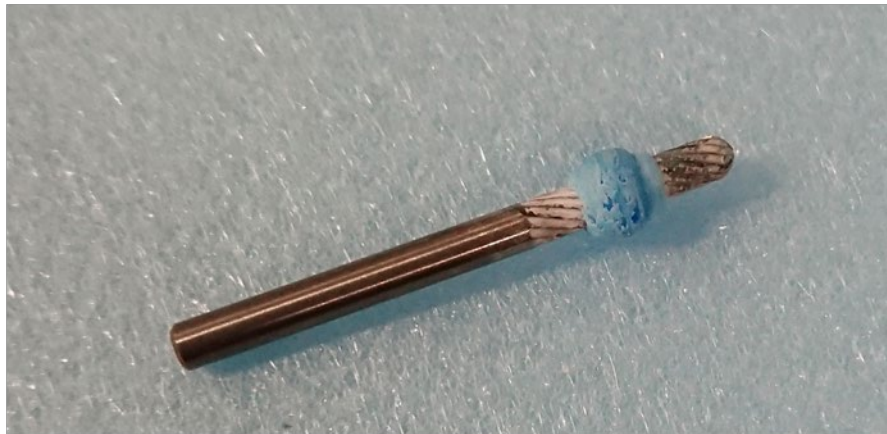
結構頑張って勉強しました。すくい角がどっちゃら、逃げ角が一とか。

ただ、相手がスタイロだったのでそんなのあてになりませんでした。

どうも柔らかすぎて金属用のエンドミルでは切断というより、ちぎる、はぎとるになってしまい断面がぼそぼそだし精度が出ませんでした。

回転速度を上げすぎるとスタイロが溶けて一瞬はいい感じになりますが、そのうち溶けたスタイロがエンドミルの溝にたまって塊になり悲惨なことになります。

この青いのは先のとがった物で押せば取れます。



これじゃあ長時間の切削は無理です。

もしかしたら正回転でも、発泡スチロール用とかのエンドミルなら刃の角度がかなり浅いらしいのでうまくいくかも。



北大の人に聞いたら、

DREMEL (ドレメル) ★★★★★ 1  
Dremel (ドレメル) 超硬カッター 9904 【正規品】



参考価格: ¥1,188

価格: ¥ 1,148

対象商品¥ 2,000以上の注文で通常配送無料

OFF: ¥ 40 (3%)

クリスマスイブまでにお届け。注文確定時に配送方法をご確認ください。

12/17 月曜日 にお届けするには、今から19 時間24 分以内にお急ぎ便を選択して注文を確定してください (Amazonプライム会員は無料) 詳細を見る



使っているものはこれです

2018年12月14日 午後8:46

何年か前の名古屋大学さんの交流会資料に載っていた通り逆回転でやってます

2018年12月14日 午後8:47

送り速度と回転数については組み合わせ全てを試した訳では無いのでなんとも言えませんが、今のところF500 およそ9000RPMです

まさかの逆回転でした。実は同じ名古屋大の資料は読んでいたので知っていたのですが、逆回転とかうまくいくわけねーだろと勝手に決めつけて試していませんでした。

決めつけて怖いですね。

でも通常の切削でこれをやったら大事故になるのでスタイロだけにしてください。

じゃあ逆回転だとなぜうまくいくのか、謎です。

おそらく、逆回転だと刃の部分がスタイロを高速でこするのでスタイロが溶ける。

溶けたスタイロは逆回転なので螺旋状になっている刃に下に押し付けられる、といった感じではないかなと。

通常切り子が刃の内側に、部材の上側に出てくるわけですからその逆になると考えればいいのかもしれないですね。おまけに溶けたスタイロはほとんど溝に食い込みません。

理論は不明ですが、ある程度推測できるので皆さんも推測して楽しんでください。

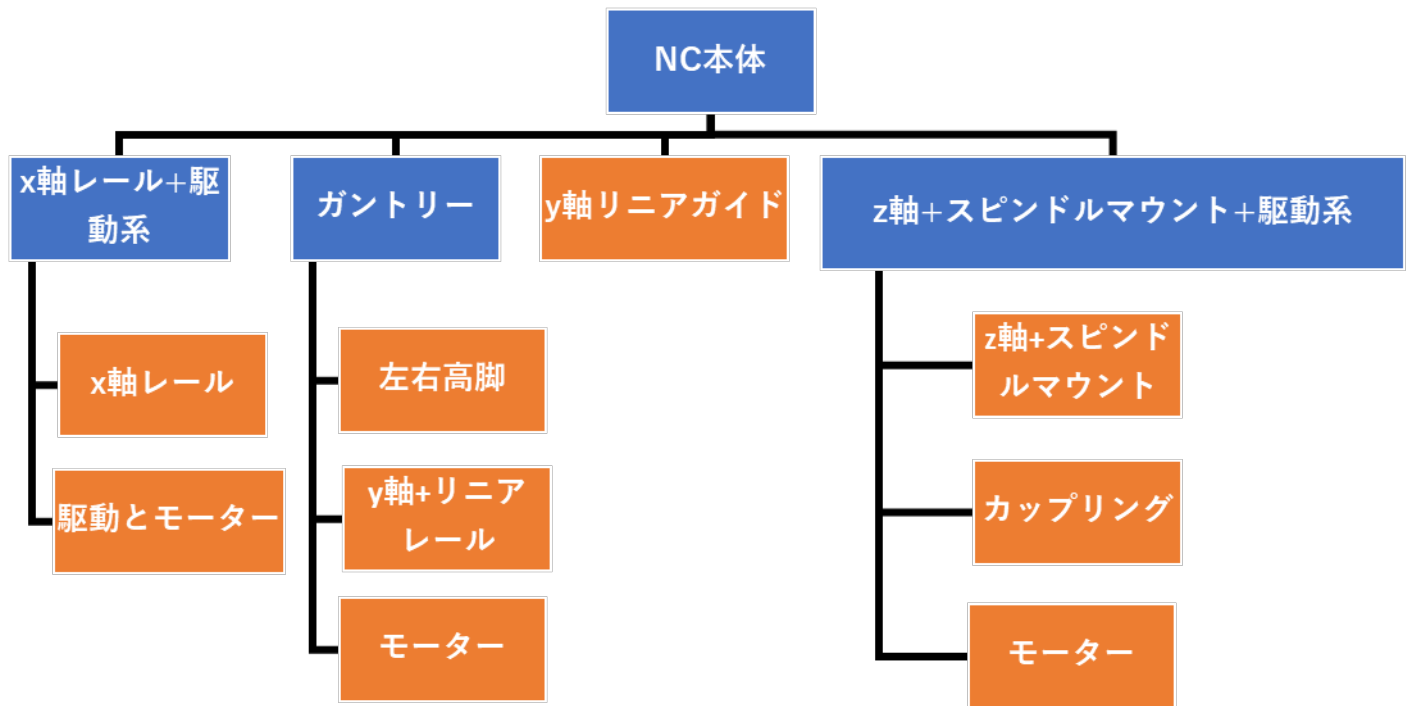
切削というより溶断に近いとか言ってはいけません。

## 切り子

本当は集塵機をつけたり、送りねじやモーターを粉塵から守るために蛇腹とかつけなきゃいけないんですが壊れにくいモーターだし、ネジも台形ネジなので大丈夫かなと。汚いけど。

# モデルの構造

このページは読まなくてもいいけれど fusion 上で NC のモデルをどう構築したのか理解したい人は読んでください。あと渡したモデルを改造したり、似たようなモデリングをしたい人も読んだ方が良いでしょう。



fusion360 にはコンポーネントという、いろんなデータをパッケージにして入れ子構造をつくれる機能が備わっています。

モデリングして出来上がるボディがブドウ一粒だとすると、コンポーネントはブドウが沢山ついているブドウ房といったところ。

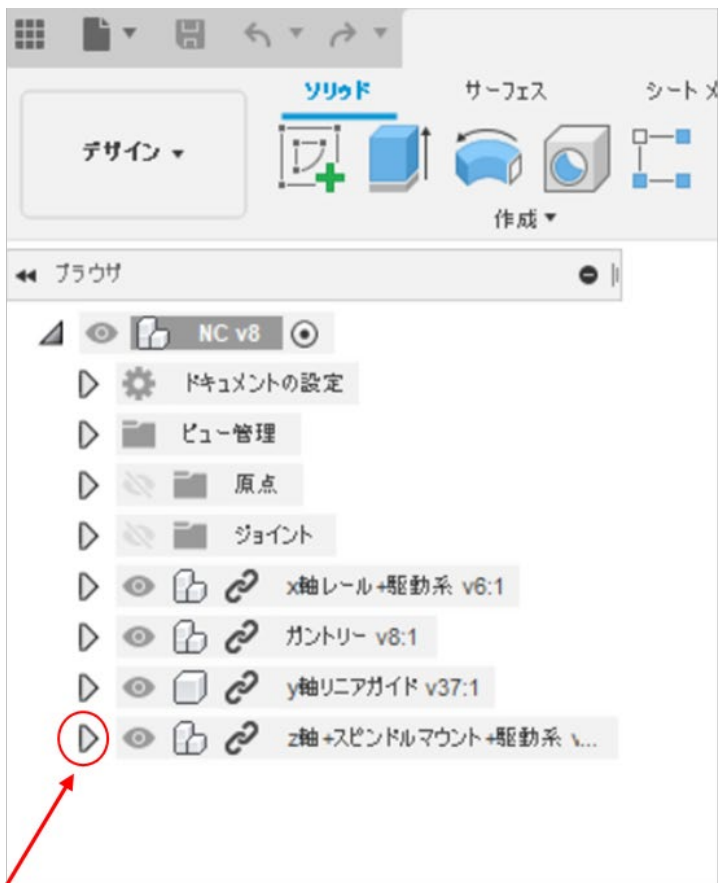
私が渡したデータもコンポーネントとボディの塊で構成されていて、難解なので↑の図で示しておきます。

青がコンポーネントでオレンジがボディです。

ボディは地道にモデリングしたり、CAD データをダウンロードして得てきた物です。

それぞれのコンポーネントはボディをアセンブル(合体)して作った新しいファイルです。

NC はそのコンポーネントをさらにアセンブルして作ってあります。

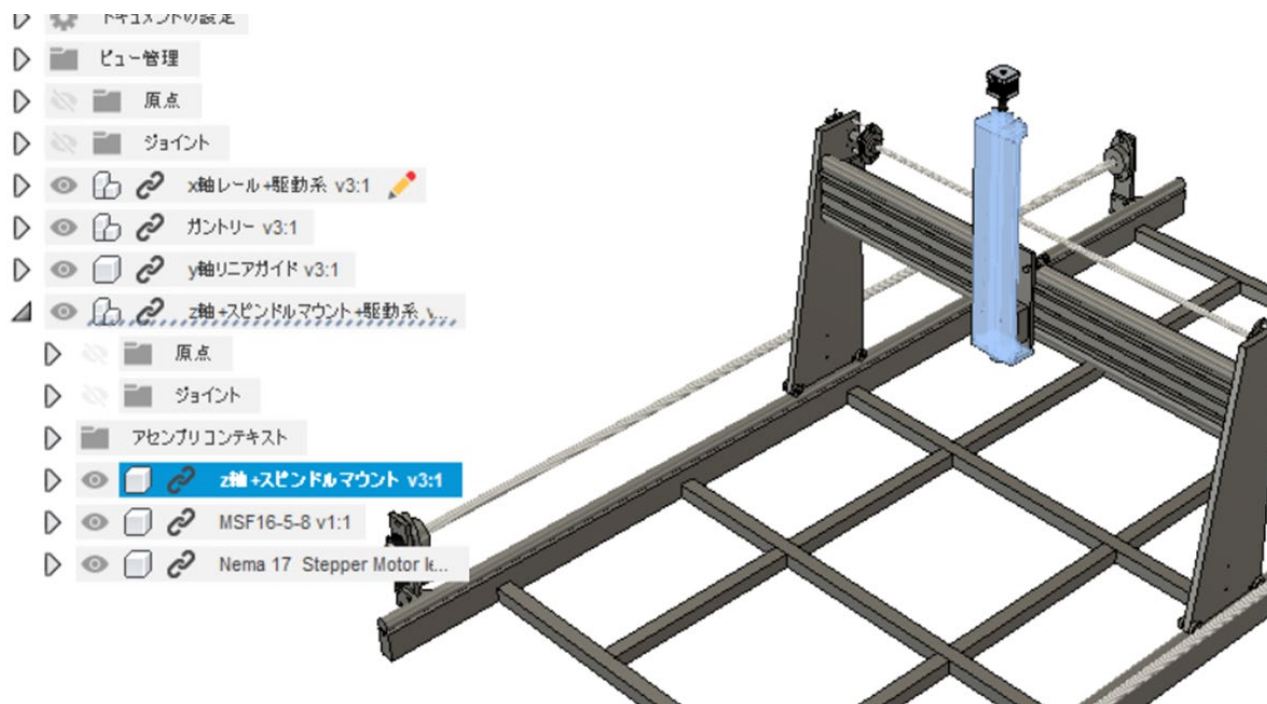


画面の左の三角をクリックすると入れ子構造になっているのが分かります。

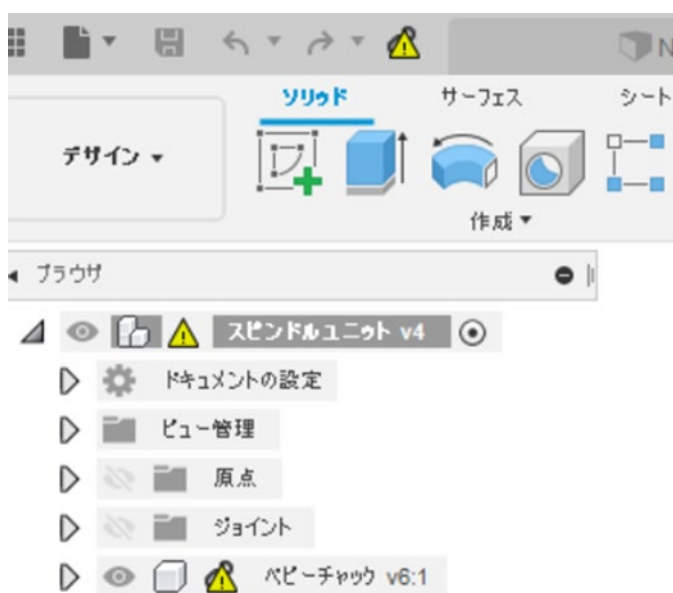
NC 以外のファイルをのぞくと、それぞれアセンブルする前のボディが入ってます。

それで、どのモデルがどのモデルを参照して作ってあるかを理解してください。

↑のスクショのように、NC のモデルを構成している各コンポーネントの名称と、色々入っているモデルの名前が一致するはずで



コンポーネントやボディは名称をブラウザからクリックすればこんな風に青く表示されます。  
ボディがどれか分からないときは、これで検索するのも手です。



ちなみにアセンブルを使ったファイルは他のファイルを参照しているので、何かを修正したい場合元のボディのファイルを修正する必要があります。

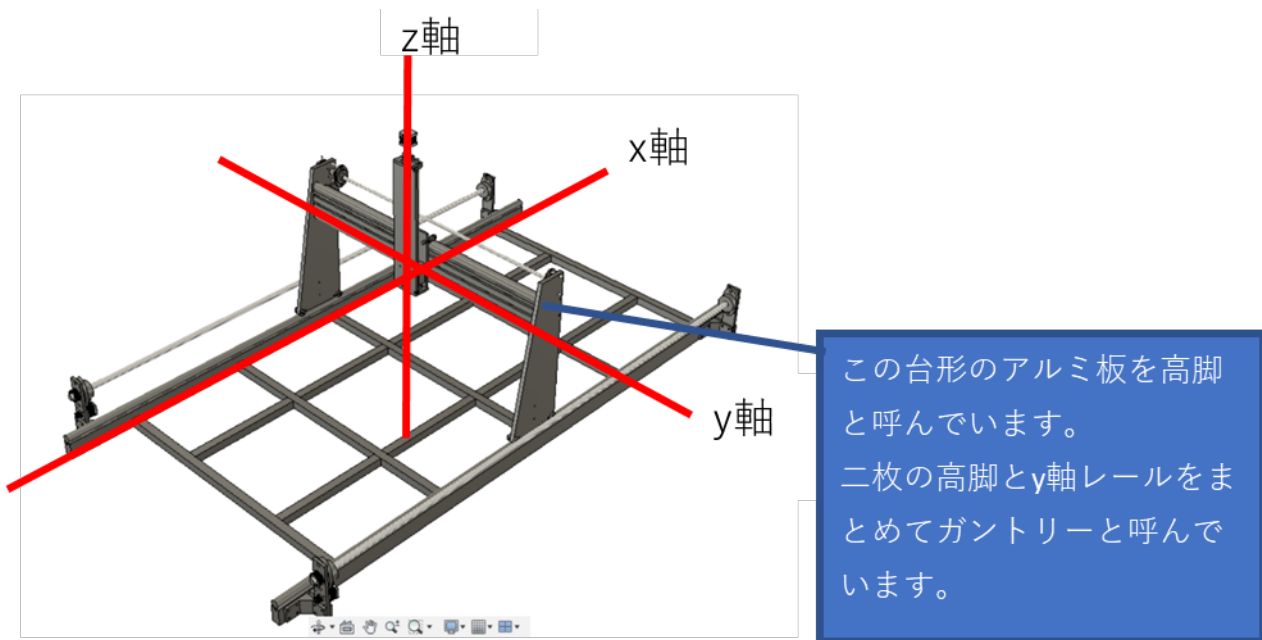
こんな感じで参照先のファイルが変更保存されると、コンポーネントに警告が出るので警告マークをクリックすると変更が反映されます。

コンポーネントは下の階層の表示設定は(目のマーク)いじれません。

そこらへんもいじりたいなら、参照先のファイルを変更してからそれを反映させないといけないので結構面倒です。

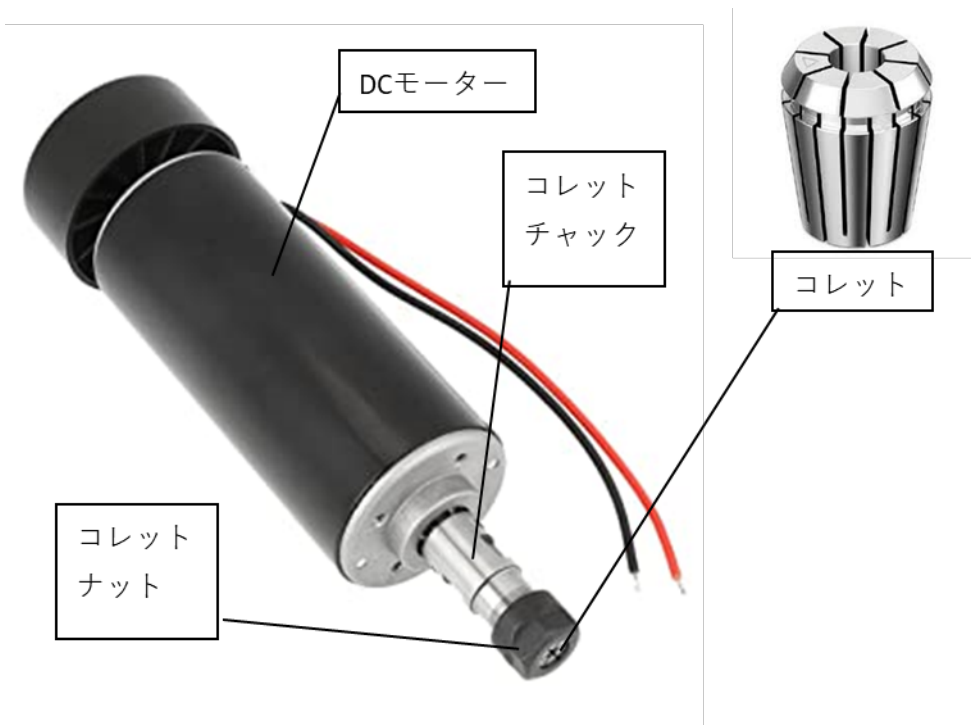
# NC の構造

## NC の構造



私が適当に3軸を決めました。互いに直交している(はず)。

## スピンドル各部の名称



これの先に取り付けるのがエンドミルやリュータービット。ドリルと違い、横にも刃があります。気を付けてください。

## 直動

直線運動をするための機構です。電車と言うところのレールです。

z 軸はリニアシャフトを使っています。ごくごく通常の機構です。

ですが y 軸直動は、私のオリジナルの設計です。V ガイドという物を参考に設計しました。

安いですが欠陥だらけなので、リニアレールやリニアガイドに換装しても良いでしょう。

x 軸なども本来はレールにがっちり固定すべきなのですが、予算の関係上電車みたいにただ乗っているだけの斬新な設計となっています。

ただ 2000mm の直動機構はとてつもなく高いです。輸送量も馬鹿になりません。

すべての条件を満たす直動機構が見つかったら、換装を考慮に入れるべきでしょう。

<https://jp.misumi-ec.com/vona2/mech/M0100000000/M0117000000/M0117050000/>

<https://jp.misumi-ec.com/vona2/detail/221005392576/>

<https://jp.misumi-ec.com/vona2/mech/M0100000000/M0117000000/M0117020000/>

<https://jp.misumi-ec.com/vona2/mech/M0100000000/>

[https://jp.misumi-ec.com/vona2/detail/221000110210/?clkid=clkid\\_basic\\_shape\\_template](https://jp.misumi-ec.com/vona2/detail/221000110210/?clkid=clkid_basic_shape_template)

[https://jp.misumi-ec.com/vona2/detail/221000119848/?clkid=clkid\\_basic\\_shape\\_template](https://jp.misumi-ec.com/vona2/detail/221000119848/?clkid=clkid_basic_shape_template)

これらはすべてミスミの物ですが、別の通販サイトで入手するのも良いでしょう。なんなら中国製を直輸入でもありかもしれません。

<https://bbs.avalontech.jp/t/v-slot-v-slot/321>

vslot というアルミフレームをレールにできる機構もあるので、それも良さげな選択肢だと思います。

## 送り機構

送り機構がする仕事は、それぞれ軸線上にある物を精密に押したり引いたりする機構です。

設計した NC ではすべての軸で台形ネジを採用しましたが、価格と整備性と入手が確実である事が決め手になりました。

一番難儀したのは x 軸、長大な送り距離は本当に困ります。なぜって部品が全然ありません。

ボールねじで長いものは沢山ありますが、国産は高すぎるし過激性能です。中国製は輸入中に曲がりそうだったので却下しました。

タイミングベルトも悪くはないのですが、x 軸に使うとすると弾性伸びで精度に悪影響が出るのではないかと不安がありました。

いま思うと、x 軸は幅が広く中にケブラーとか高弾性繊維が入った物ベルトだったら問題なかったように思います。タイミングベルトにすればよかったかも

本格的な工作機械で最新の物などは、リニアモーター方式を利用しているようです。これは作れません。

ラックギアは本当に x 軸には良い選択に見えます。ラックギアは合わせラックというものを使えばいくらでも延長可能です。

しかも価格もリーズナブルな樹脂製のものがあります。X 軸のような長大な軸にはうってつけです。

<https://jp.misumi-ec.com/vona2/mech/M1000000000/M1006000000/M1006050000/>

しかしギア自体の取り付けの難しさや、モーターから動力を伝達し、バックラッシュを調整する機構の設計が難しかったため断念しました。

というわけで、x 軸も台形ネジになりました。本来軸端を加工しシャフト状にしなければなりませんが、z 軸と y 軸は価格を抑えるため妥協。X 軸は 2000mm だと端の加工ができず断念しました。

もっと予算があって、私に能力と知識があればよりよい送り機構を選定できていたと思います。

## 動力

NC の動力はステッピングモーターです。リニアモーターは例外ですが。

バイポーラかユニポーラ、2 相か 5 相かなどによって出力や最小分解能が変わってきます。

市販の物の中でリーズナブルで性能の整った hs4401 にしました。

2 相バイポーラの NEMA17 という規格のモーターです。

より出力がほしいなら NEMA23 という規格のものがありますが、おそらくスタイロ程度には過激性能です。

## 制御

最初に使ってみたのが grbl でした。無料だし他のソフトの入手性を考えると無難な選択だったと思います。

ネットに使い方などが英語で沢山出ているので、あんまり困ることは無いんじゃないでしょうか。

制御用のドライバも A4988 が優秀かつ安いので制御系は及第点ではないでしょうか。

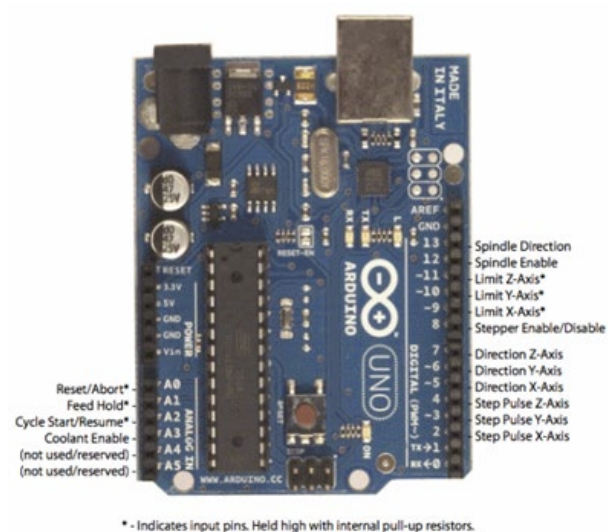
## 主軸

ちゃんとスピンドルモーターとして設計された製品です。ただの DC モーターのくせに高かったですが性能はよし。間違ってもただのモーターを使ってはいけません。

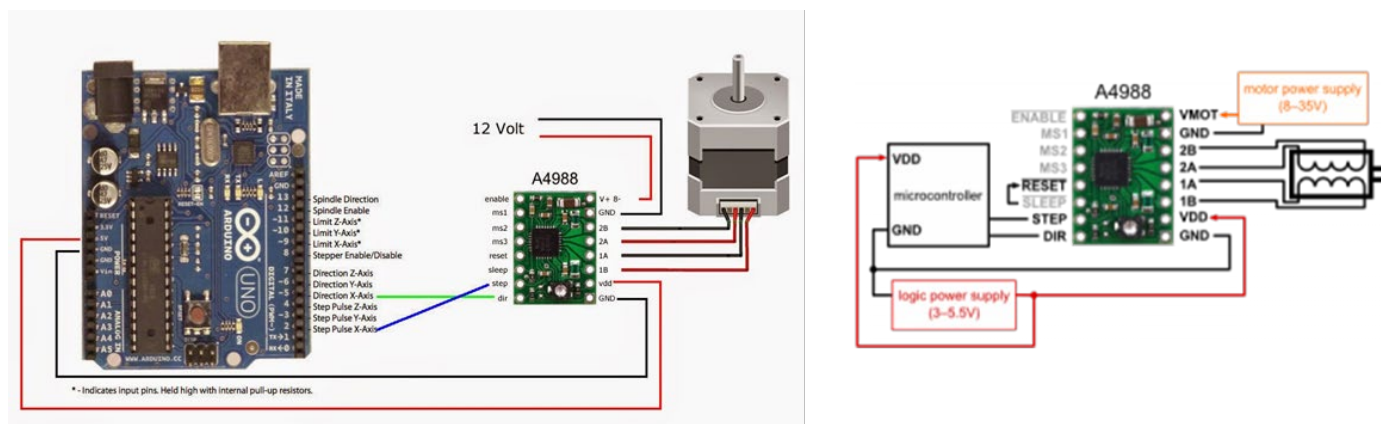


# 回路

## 回路図



アルディーノ UNO でのピンアウト。Grbl のバージョンによっては違う場合もあるかも。



上の図は x 軸だけの回路図ですが、これと同様に y 軸も z 軸も配線されています。ドライバー側で RESET と SLEEP を導通させるのも忘れないでください。

電源には駆動用とロジック回路用の二つが必要。

ロジックの方はパソコンから供給されているものが、アルディーノピンから 5v をとる事ができるのでそれでドライバを動かしています。

モーター駆動用の電源が格安中国製のスイッチング電源。不良品だったら燃えるかもしれないので気を付けてください。

以下は参考に

<https://osoyoo.com/2017/04/07/arduino-uno-cnc-shield-v3-0-a4988/>

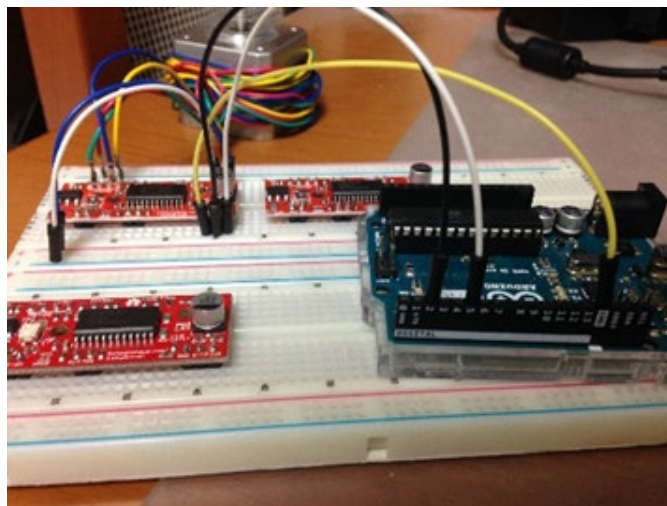


Connecting Normal opened (NO) end switches to GRBL (improved noise filtering)

格安で同機能のコピー品とか売っているの、それで代用してもよいと思います。

[https://www.semicon.sanken-ele.co.jp/sk\\_content/a4988set\\_an\\_jp.pdf](https://www.semicon.sanken-ele.co.jp/sk_content/a4988set_an_jp.pdf)

Easy driver。こいつも二本の信号線だけでバイポーラステッピングモーターを操作できます。電圧に耐えられずに壊れちゃったので没。



### 停止スイッチ

本当は安全に運用するには緊急停止装置をつけなきゃいけません。

スピンドル側とモーター側で二系統の電源があるので、ボタン一つで両方止められるようにしたかったのですが、結局思いつきませんでした。誰かやっといってください。

たぶんアルディーノにスイッチ等をつければ GRBL の緊急停止はできそうですが。

### 感電怖い

ところどころ線がむき出しだったりするので、うっかり触れて感電とか起きそうです。

### 火災怖い

スイッチング電源など、大電流が流れるのにあんまり信用できない物を使っているのと、回路類がホコリ対策をしていないのでショートが怖いです。

シールドというものがあって、アルディーノの上にガシャンとつけられるらしいです。

ブレボジャンパーピンよりこちらの方が良さそうですね。なぜブレボに実装したかということ、既製品に頼りたくないという意味不明なプライドから。

