

NC 工作機械と

デジタルファブリケーション

今津 篤志 (いまづ あつし)



所属：工学研究科 機械物理系専攻

専門分野：メカトロニクス、ロボティクス

趣味：フラッグフット、インラインスケート、その他浅く広く

機械工作についてお話しする機会をいただいたので、NC 工作機械とデジタルファブリケーションについて個人的な経験を踏まえてお話させていただくことにした。NC とは Numerical Control の略で、つまりは工作機械の主軸や刃物送りをモータ駆動し、コンピュータを用いたサーボ制御で同期させて動かすことである。私が現在授業でも担当しているメカトロニクスを応用した機械の代表的な物の一つである。旋盤やフライス盤で人間が行っている動作をサーボ化した単純なものや工具の取り替え機能を持ったマシニングセンタなどがある。複数軸を同期して動かすことができるので曲線や曲面に沿って加工を行うときや無人での大量生産に特に威力を発揮する。

1. パソコン NC

今から 15 年ほど前、個人的にはちょうどメーカーに就職した頃、パソコン NC の時代が来ると盛んに言われており、当時購読していた日経メカニカルという雑誌でも繰り返し特集が組まれていた。パソコンの性能がアップし、また Windows が一挙に普及したため、そのような期待が叫ばれたのかもしれない。

しかしながら結局、パソコン NC は全く流行らずに終わった。マザーボードや CPU などのハードウェアや OS の製品寿命が短いパソコンは、NC 工作機に全く適していなかったのだ。また頻繁に OS やウイルス対策ソフトのアップデートがなされることも、産業用のコントローラとしては認められないことであった。

私の知る限りでは一般的に産業用機械は少なくとも 10 年はラインナップに残る。つまり、10 年間は保守部品を在庫し、その間の修理や問い合わせを受ける用意を整えているということになる。これは結構大変なことで、10 年も経てば当時の担当者は部署が変わったり退職したりしていることがほとんどで、壁一面のファイルの中から資料を掘り起こして対応しなくてはならない。皆さんが 10 年前に出した論文の作成に用いた実験装置等を保存したり、そこ

で用いたプログラムの内容の問い合わせを受けることを想像していただければ、どれだけ大きなメンテナンスコストを企業が払っているかを想像していただけるだろう。なお、10年を過ぎた後も保守をエンジニアリング会社に移管したりして、10年過ぎたから知らん顔という対応はしていないことが多い。

ちなみに PC の世界での 10 年前を調べてみると、WindowsXP の最後の年で、XP と WindowsNT がまだ並行して存在していた。皆さんの中にも XP を使った実験装置などを更新できずに困っている方もいらっしゃると思うが、これらの OS を使った NC を生産していたメーカーは桁違いに大規模な対応を強いられたはずである。

2. パーソナルデジタルファブリケーション

産業用としては以上のような問題があってパソコン NC は普及しなかったが、性能の面ではパソコンで全く問題ない。近年、フィジカルコンピューティングというマイコンを利用してパソコンから簡単にセンサを読み取ったりモータを動かしたりする活動が流行っているが、そのレベルでも簡単な NC を動かすことが十分可能である。そのため、産業用の縛りの無いパーソナルな用途ではどんどん利用が拡大している。

その一番ポピュラーなものは 3D プリンタであろう。ヒーターでプラスチックを溶解してノズルから吐き出し、ノズルを載せたキャリッジを CAD 図面から得られた軌道に沿って動かしながら積層するタイプの熱溶解型と呼ばれるものがもっとも一般的である。仕組みとしては簡単で、キャリッジを 3次元に位置決め制御するための機構を、ノズルのからの吐出と同期して制御すれば良い。2009年に熱溶解型のプリンタの特許が切れてから、フィジカルコンピューティングやオープンソースコミュニティの発展と共に一挙に低価格化して普及した。

パソコン上で設計した物がパソコンにより制御された機器で実体を持つものとして得られるということから、デジタルファブリケーションと呼ばれることもある。以前はラピッドプロトタイピングという言い方もあったが、ディスプレイを見ながら PC 内にワープロ等で作ったデータが、紙という実体として出てくるプリンタとの類似を考えれば、3D プリンタというのはなかなか言い得て妙なネーミングであると言える。Microsoft の Windows10 では、通常のプリンタと同様な扱いで 3D プリンタになげられる様な API を提供する取り組みをしていて、現在でも 15 種類のプリンタがそれに対応しているとのことである (図 1)。

とはいえ、まだまだ通常のプリンタのように誰でも使えるものではない。次節では、私の研究室で購入してみた熱溶解型の低価格 3D プリンタでの失敗の数々を披露したいと思う。



図 1 デバイスとして認識されている 3D プリンタの例

3. (低価格) 3D プリンタを使ってみて

① 熱溶解型では ABS 樹脂や PLA 樹脂を吐出するものが多いが、あまり強度には期待できない。ABS 樹脂は LEGO (R) に用いられている素材だそうで、それ自体の強度は結構ありそうなのだが、積層構造をしているために、その層に沿って割れてしまい易い傾向がある。図 2 の写真は、パイプを三叉に固定しようとした部品だが、継ぎ目で割れてしまった。ただし、これは中実の設定にしたはずがスライサー (3DCAM データから積層データに変換するソフト) の不具合? でつなぎ目部分が中空になってしまったことも原因として大きいかもしれない。



図 2 継ぎ目で割れてしまった部品

② 温度の管理がかなり難しい。ノズルの部分にはサーミスタがついていてヒーターを使って温度の制御を一応しているのだが、吐出された後の温度管理は、ファンの風を当てて温度を下げようとしているのみである。外気温の影響を避けるため機械を囲う構造は特許論争となった。

ABS は急に冷やされると反り返ってしまう。最近は造形するベースとなる板にヒーターが仕込まれていて板を暖めておくことができるヒートベッドが一般的なようだが、私の研究室で買ったものにはヒートベッドがついていなかったため、直径 15cm くらいのギアを作ろうとしたところ反り返ってしまって最後まで造形できなかった。

また吐出の温度が高すぎると、次の層を積層するときはまだ十分冷えておらずべたついておるか、積み重ねるに従って層がずれて側面が平行四辺形に傾いたものができた。

③ 層の間や隙間では吐出を止めてキャリッジを動かすのだが、そのときの切れがとても悪く、途切れずにつながってしまった。一応吐出送り出し用のモータは吐出を止めるときに、ちょっと逆転して吐出を切ろうとしているようではあったが、次に吐出するときに出なくなっても困るので、控えめに逆転していると思われる。

図 3 の写真は PLA で作ったギヤ(ちゃんとした歯ではなくただの台形歯)である。中抜き部分が非常に汚くなっている。これでも造形後にかかなりヤスリ等できれいにしたのだが、きりが無いので途中で止めてしまった。ネットで探した歯車データに追加修正ができなかったため、別途作成した軸にエポキシパテで固める不格好な形で使用した。



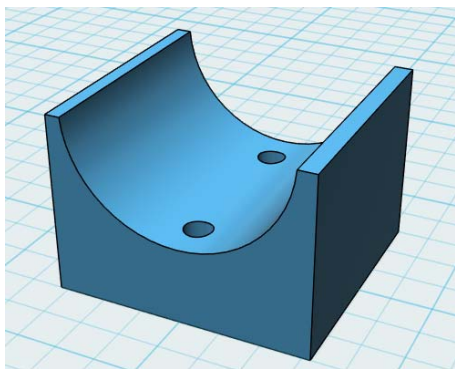
図 3 吐出切れの悪い歯車

④ 材料に経年劣化がある。材料となる樹脂は細長くロールに巻いた状態になっているのだが 1 年ほど置いておいたところ、材料が劣化してしまった。特に PLA は柔軟性が失われてパキパキとすぐ折れるようになってしまい、機械に供給する途中で折れて材料切れになるようになってしま

った。さらに機械の内部で折れて、一旦分解しないと取れないといううんざりな状態になってしまふことも何度もあった。湿気を吸うとダメになるらしく、最近買い直した物は乾燥剤入りで真空パックされていた。

⑤ これは完全にこの機種だけの問題かと思われるが、動かす度にねじがぼろぼろと落ちた。キャリッジがステッピングモータ+タイミングベルトで動いているのだが、加減速曲線などをまったく使っていないごつごつとした動きで結構細かい往復をするため、ばねワッシャーを入れていてもほとんど効かなかった。次に組むときはロックタイトをたっぷり塗ってやるつもりである。

逆に(どうか)うまく行った物を紹介する。図4はパイプと板の間のスペーサーである。2個でパイプを挟むようにして板と結合している。これはなかなかうまく行って、ちょっとつぶれてしまった穴をドリルで広げ直すだけで使用できた。



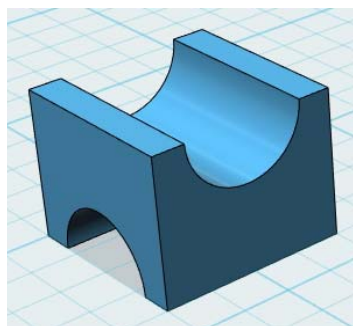
(a) CAD 図面



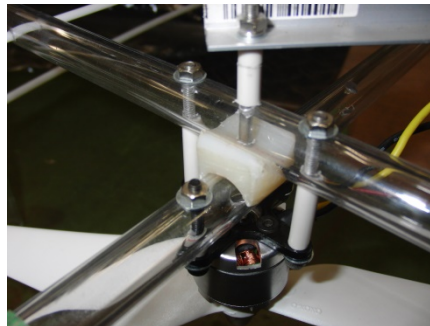
(b) 出力された部品

図4 パイプ-板間のスペーサー

次に図5はパイプ同士を直交させて結合する部分のスペーサーである。自作のマルチコプターの構造部に用いた。



(a) CAD 図面



(b) 出力された部品

図5 パイプ-パイプ間のスペーサー

こちらはオーバーハングした曲面がきれいにできず、3Dプリンタで出力した後、パイプと同じ径のエンドミルで削ったことによってどうにか使えている。(そうすると最初からエンド

ミルで削ればいいのか？という話も無いではない)

このように、3Dプリンタでは材料の特性に合わせた微調整が必要で、CADデータさえできれば、完成部品がすぐ得られるというところまではまだ来ていない。ウン千万クラスの3Dプリンタをお持ちのある大学の先生とも話したことがあるが、そちらでも非常に機械トラブルが多く、サービスマンに何度も何度も来てもらっていると言っていた。

結局現状では、自前の低価格機で試作部品を作り、実際に使用する部品は、機械のメンテをしっかりとやっている有料の出力サービスに外注に出す、というのが現実的なラインなのかもしれない。

4. 工作センターのNC

最後に、工作センターのNCについてまとめておく。ここでも3DCADで図面を書いて、CAMを通して、ぱっと出力、という環境にはなっておらず、加工依頼の必要に応じて技術職員の方が操作なさっている。ただ工作センターでは量産加工を行う機会はほとんど無く、曲面などの加工が必要な場合も非常に少ないため、通常の旋盤やフライスでこと足りてしまう場合がほとんどのである。そのため、NCをわざわざ使うメリットがあまりなく、入力のコストを考えると通常の旋盤やフライスで行ってしまう場合が多いとのことである。使う機会が少ないため、機械やソフトウェアの更新にもあまり予算を割くことができないのが実情で、それこそ10年選手ばかりの布陣となっている。

- ・ワイヤ放電加工機 SODICK AQ550L

機械に内蔵されているCADソフトで作図して設定する。ワイヤ放電加工自体が2次元の加工なので、それほど入力が大変では無く、材料試験片の作成などに活用している研究室もある。

- ・旋盤 森精機 CL-203

機械に内蔵されているCADソフトで設定する。旋盤も刃物の動きはおおよそ2次元なので、入力の手間はかかるもののどうにか使える範囲だと思われる。

- ・マシニングセンタ オークマ MX-45VAE

浜松合同のナスカという2.5次元CAD/CAMシステムが導入されている。2.5次元というのは、2次元図面に厚みなどの情報を付加したり、等高線となる2次元図面を重ねたりして表現する方式である。残念ながら他のCADからのインポート機能は無いようであったが、Gコードまで落とし込めばどうにか入力できるのではないと思われる。ただし、物理的なインターフェースが今のところ3.5インチフロッピーディスクしかない。

4. 終わりに

3Dプリンタの流行によってデジタルファブリケーションの時代が来たと言われ、実際パーソナルな領域では広まりつつある。2015年に私が個人的に機械工学科学部生を対象とした3Dプリンタの講習会を行ったところ、2回で延べ10人の参加者があった。これを多いとみるか少ないとみるかは微妙なところだが、世の中で注目の技術の一つであることは間違いないと思われる。

しかし、3DCADや3Dプリンタがいくら発展したとしても、図面を描くだけではなく、材料の特性を十分踏まえ、機械を十分にメンテナンスしなくては思ったような出力品を得ることはできない。これはNC工作機械でも同じで、切り込み量や切削速度の設定、ワークの固定など、加工を知っている必要があることは変わらない。その意味で、我々工学部や機械工学科、工作技術センターの仕事や、学生への工学教育の必要性が無くなることはないと思われる。

また、今回は手をつけることができなかったが、工作技術センターのNCを使う野望？も個人的に捨てたわけではない。どうにか使える方法を見いだして、また御鉢が回ってきたときに報告できるようにしておくことを私の宿題としたい。

利用者からの報告

メンブレンフィルター透過実験

遠藤 智司（えんどう さとし）

所属：都市研究プラザ

（工学研究科都市系専攻 連携教員）

専門分野：環境化学

趣味：野球



私の研究室では有機汚染物質の環境動態に関する研究を行っています。現在の研究テーマのひとつが、パッシブサンプリングと呼ばれる技術の開発、応用です。パッシブサンプリングとは、「ポリマー吸着剤を環境中に設置し汚染物質を吸着させ、吸着濃度を測ることにより環境中濃度を推定する技術」のことで、近年、新しいタイプの環境汚染の調査方法として世界中で研究が進められています。

研究室の松浦雄之介君（都市学科4回生）が卒論研究の一環として、パッシブサンプリングで使われるメンブレンフィルター（細孔膜）を使った実験をしています。下図のように左右対称のセルの間にメンブレンフィルターを挟み、両セルに同体積の水を入れます。そして左側の水にだけ有機化合物を少量溶かします。どちらの水もマグネット攪拌子でよく攪拌します。有機化合物はメンブレンフィルターを透過し、左から右に徐々に移動していきます。移動は両側の濃度が同じになるまで続きます。この移動の速度が化合物の種類、及びメンブレンフィルターの種類によってどのように変わるのかを調べています。実験の結果はパッシブサンプリングにおいて最適なメンブレンフィルターを選択するのに役立ちます。

ガラス工作センターの皆様には図中のガラスセルを作成して頂きました。攪拌子がよく回るようにサイズや形状を変えながら検討を重ねました。細かなリクエストにも柔軟に対応して頂きました。セルは実験の要の部分であり、迅速な仕事に大変感謝しています。以前にほぼ同じものを他の複数のガラス工房でも作ってもらいましたが、市大のガラス工作センターが一番速く、正確に、美しいものを作ってくださいました。今後とも研究のサポートを頂けるなら大変心強く思います。

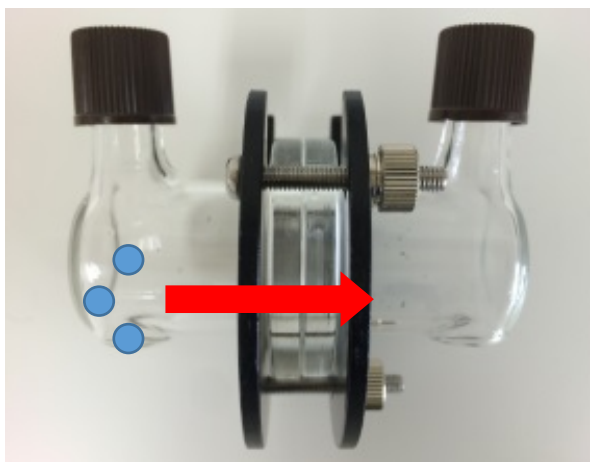


図 フィルター透過速度の測定実験