

卒業論文要旨 LEGO EV3 をベースとした描画機構の高度化検証

流体工学研究室 1160068 坂本 晶

1. 緒言

繊維産業の発展に伴い、機織り機は、自動化・高性能化が進み日々進化してきた。しかしながら試作や趣味用の機織り機は図 1 に示すように手動式のものが多く用いられている。筆者はこれらの手動式機織り機の自動化を目指し、織機動作の基礎となる直交 2 軸動作の機構及び制御方法について検討を行った。LEGO マインドストーム EV3 をベースに A4 サイズの用紙に描画できるプロッターを作成し、2 軸同時制御のプログラムを自作し、多角形描画を通じて動作精度、制御方法の最適化について考察した。

2. 実験環境

直交 2 軸機構の制御実験のベース機材として以下を使用。
 LEGO® マインドストーム® EV3 基本セット V2
 LEGO® マインドストーム® EV3 拡張セット
 教育版 EV3 ソフトウェア
 PC OS:Windows10 32bit
 この機構部の仕様を表 1 に示す。

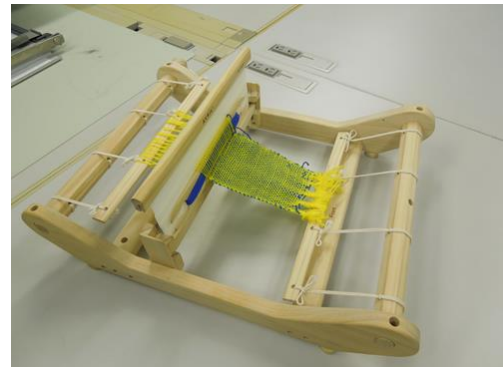


Fig1 Appearance of desktop wearing machine

3. 描画機構の検討

3-1 ベース機構

LEGO のサイトより XY プロッターの製作図面²⁾を入手し作成したものを図 2 に示す。紙送りとペン送りが直交して動くプロッターを作成した制御プログラムについては YouTube 上で公開されている動作を参考にすべて自作した。

1 軸制御は参考文献³⁾⁴⁾を参考に機構に対応させ、同時 2 軸駆動については新規にプログラムを作成した。またタッチセンサー、光学センサーを使い紙、ペンのイニシャライズを行うことで再現性を高めた。このプロッターの特徴として

- (1) ペン送り、紙送りの精度の高さ
- (2) イニシャライズを行うことによる原点位置設定などが可能である。

3-2 1 軸の分解能計測

モーターの分解能は 1° とあるがこの機構は歯車などの伝達機構が使われているため、動作した後の XY 方向のギア比などによる出力や動作においてどこまで細かく送りが出来るのかわからなかった。そのため回転数を変えて階段状に線を描画する制御を行い分解能を調べた。実際にペンを動かす(X 方向)描画させた結果を図 3 に示す。同じように紙を動かす(Y 方向)方も行ったがどちらも 0.01 回転では分解能は安定したステップとならず線を描画できるモーター最小回転数が 0.05 回転程度である。

3-3 1 軸直交座標駆動

ブレ、繰り返しによるずれ、次の辺にオーバーラップの線が出るなどの現象が起こり、うまく描画できたものも歪みがあるため誤差を把握しやすく描画し原因の究明を行った。

3-4 同時 2 軸直交座標駆動

X,Y 軸ともに駆動モーターを同一のパワーで動かし同時 2 軸駆動で 45° 傾いた正方形の描画を行った。その結果を図 4 に示す。角のずれ、4 辺が等しくならないなど正確な四角形になっていない。

Table1 Specifications for the Intelligent block and Motor

	Intelligent block	feedback	EV3 Lmotor	EV3 Mmotor
Processor	ARM9 300MHz		1°	1°
memory	16MB Flash, 64MB	Rotational speed	160~170rpm	240~250rpm
Output port	Four pieces	Rated torque	0.21N·m	0.08N·m
input port	Four pieces	Stall torque	0.42N·m	0.12N·m
		Weight	76g	36g

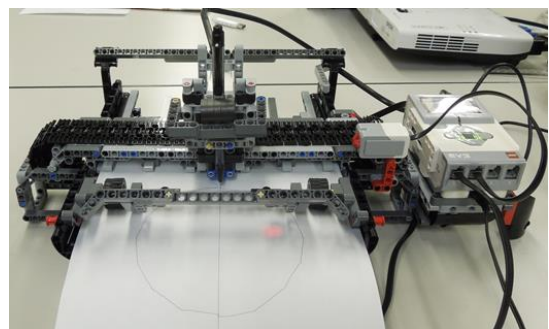


Fig2 My own LEGO® PIOTT3R

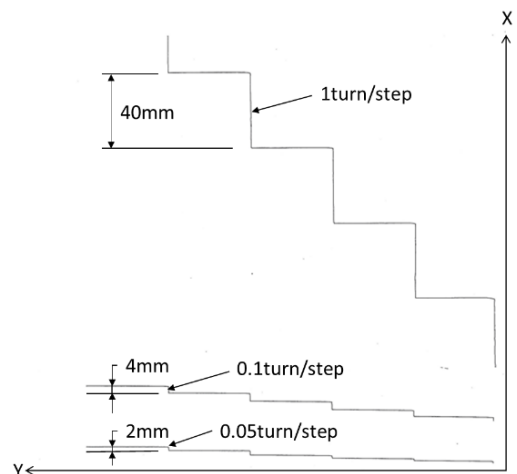


Fig3 X axis movement amount change (1, 0.1, 0.05 rotation from the left)

3-5 実測値の観察とプログラムの改善

描画した図4の時のX軸、Y軸各辺の移動量を図3より計測を行い表2にまとめた。表2からわかるように縦軸と横軸の比が1:1ではなく、加えて辺の描画始めと終わりに片軸の駆動遅れと思われる描画が見られた。そのため図3の階段図形の計測を行い平均化するとモーター1回転あたりY軸がX軸の1.10倍の移動量であると判明した。

また動作確認中にモーターの回転方向が変わるたびに誤差が出ており、この起因はギアのバックラッシュのものであると考えられたため、改善のため回転方向が変わる毎に次の動作前に0.05回転を加えるようにした。このことによりバックラッシュの影響が改善され45°回転した正方形に近いものを描画できるようになった。

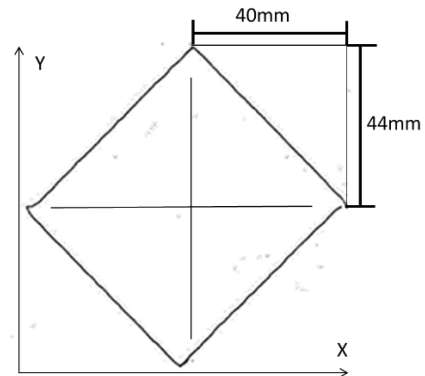


Fig4 Drawn rectangle

3-6 同時2軸極座標駆動

2軸同時駆動によりきれいな正方形が描画できるようになったため極座標を用いた同時駆動による円、もしくはそれに近い多角形の描画に挑戦した。多角形面数N、現在のループ回数M、前回の値を $\Delta Y \Delta X$ 、半径R、角度を $360/N = \theta$ として多角形の辺ごとの移動量の式

$$Y = R \cos(\theta * M) - \Delta Y \quad X = 1.1R \sin(\theta * M) - \Delta X$$

によって図5のように計算と描画するプログラムを書き込んだ。駆動確認を行ったところ最初は軸によって駆動時間にずれがあり斜辺にならなかった。考えられたのは2軸のパワーの差である。これまでの描画では一方のみ、もしくは両方に同じだけのパワーで行っていたが、この検証によりパワーを均等化させる必要があると考えた。そこで2軸を同時に移動を終わらせるために2軸の移動比とパワー比を同じにすることを考えついた。それぞれの駆動量をパワーに入れるとパワーが小さすぎるので描く数によって一定以上の倍率で補正することで2軸のモーターの駆動量比とパワー比を同じにして2軸の補正倍率とバックラッシュ除去を組み合わせることにより図6に示すように4角形8角形48角形図形まで描くことが出来た。イニシャライズを行っているためそれぞれの頂点が重なるようにかけているが48角形を詳細に観察すると水平、平行な部分では移動量が分解能以下となってしまいうための差が図6の下部からわかるように上下、左右では軸に水平になってしまっている。

4. 結言

今回は2軸直交制御を行うための問題点、またそれらを解決するための洗い出し、制御方法の検討を行った。車輪により紙を挟んではいないが幅が紙にぴったりになっているわけではないのでわずかながら紙がずれていく。それに加え48角形とはこの機構の限界でありモーターの分解能、装置全体の剛性の限界であり、分解能や平面度が高くなれば多角形の精度が上がりより円に近い図形が描けるようになると思われる。今回の検討の結果を機織り機のシャトル、ヘッダーの動き制御への応用をしていき、その時に起こる誤動作に対する検討、改善に繋がると考えられる。

参考文献

- 1) 株式会社アフレル ‘教育版 EV3 ソフトウェア プログラミングガイド’
- 2) Jander LEGO®Plott3r - Jander J
URL: <http://www.jander.me.uk/LEGO/plott3r.html>
- 3) Ralph Hempel ‘How to build a LEGO printer from the Mindstorms EV3 kit’
URL: <https://constructingkids.com/2014/01/16/how-to-build-a-lego-printer/>
- 4) LEGO BANNER PRINT3R 作成図面
URL: <https://www.lego.com/ja-jp/mindstorms/build-a-robot/banner-print>

Table2 Transfer amount and magnification of each motor rotation

	Pen moving motor(X axis)	Paper moving motor(Y axis)
Measurement	Transfer amount (mm)/Rotation	Transfer amount (mm)/Rotation
1	37.5	42
2	40	44
3	40	44
4	40	44
Average	39.4	43.5
Magnification	Y=1.10X	

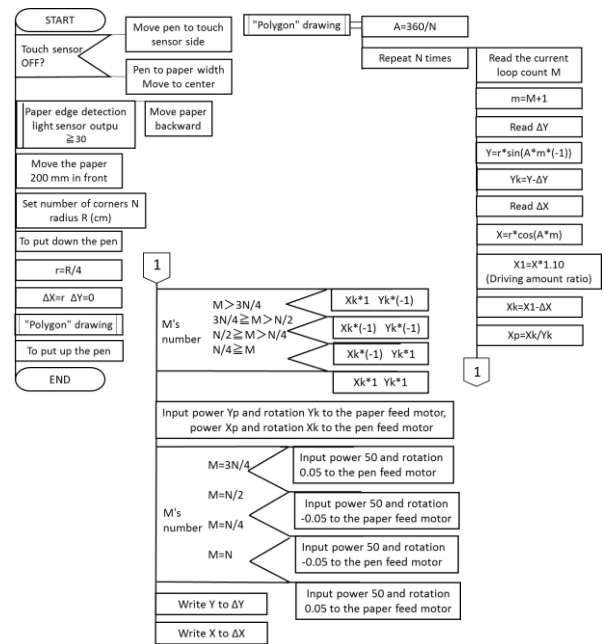


Fig5 Polygon drawing program

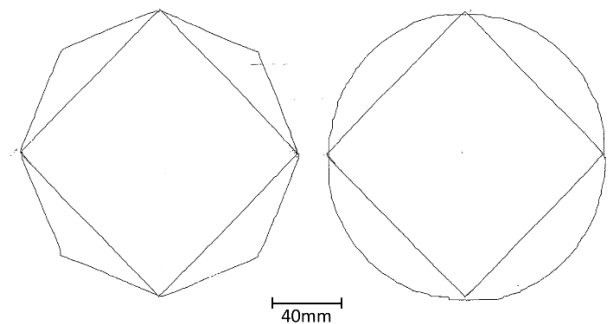


Fig6 Square and octagon, Square and 48 angles