

3Dプロッタによるプリント基板製作方法について —EagleによるNCデータ作成とModela MDX-20 のスピンドル改造—

Method of fabricating a printed circuit board using the 3D plotter.

高橋 等
Hitoshi TAKAHASHI

(平成25年10月3日受理)

本研究では、汎用の3Dプロッタを使用してプリント基板の製作ができるように、フリーウェアの回路図エディタからミールリング用のNCデータを作成するスクリプトを制作した。また、高精度の加工が安定して行えるようにスピンドルの改造を行い、面出しを行わないテーブルや反り返って平面ではない基板でも設定どおりの加工ができるようにした。

1. はじめに

電子回路プリント基板の試作や少量生産には、フォトエッチングとミールリングの2つの方法がある。フォトエッチングはトレーシングペーパーなどに印刷した回路パターンを感光基板に転写して製作するため高精度の基板が作成できるが、製作過程で排出する廃液の処理が課題である。ミールリングでは回路パターンの設計から製作までフォトエッチングのような準備は不要で廃液も排出されないが、プリント基板加工専用機が必要であり、高価であることが課題である。

そこで、本研究では、NC (Numerical Control : 数値制御) データの標準形式であるGコードで動作する3Dプロッタ (Modela MDX-20:Roland製) を使用してプリント基板の製作ができるように、フリーの回路図エディタからミールリング用のNCデータを作成するスクリプトを制作した。また、高精度の加工が安定して行えるようにスピンドルの改造を行い、面出しを行わないテーブルや反り返って平面ではない基板でも設定どおりの加工ができるようにした。

2. NCデータ生成ソフトウェア

今回使用した電子回路図エディタEAGLE 6.4.0 for Windows Light Edition (CadSoft Computer社) は、電子回路図と基板パターンの製作機能を持ち、製作したファイルはガーバーファイルとして、直接プリント基板製作会社に発注する。また、基板の大きさが100mm×80mmまでのLight Editionならば無料なのでプロからアマチュアまで利用できるポピュラーなソフトウェアである。

EAGLEから3Dプロッタ加工用のデータファイルを生成するプログラムは、fablab-mill-n-drill.ulpとしてWeb上で紹介されているが、動作は不完全で対応する機能も限定的であった。本研究ではfablab-mill-n-drill.ulpのデータ設定を見直して、3Dプロッタ用の

ファイルを生成可能にすると共に、生成ファイルをNC工作機器に共通なGコードとすることで、多くのNC加工機に対応できるようにした。

2. 1 fablab-mill-n-drill.ulpのデータ設定

EAGLEの標準機能では基板パターンをガーバーデータとして出力する。ガーバーデータはラインの座標や太さ、ランドの直径などのデータであるが、3Dプロッタのようにミーリング加工する場合は、パターンの外形データが必要となる。EAGLEには標準以外のデータ出力にも対応できるように、スクリプト言語 (Eagle User Language : EUL) が用意されており、fablab-mill-n-drill.ulpはこのスクリプトで制作されたミーリング及びドリルデータを作成するスクリプトである。

Webからダウンロードしたfablab-mill-n-drill.ulpをそのまま使用すると、基板外形と回路パターンの縮尺が異なるため正常にデータを生成できない。そこで、エディタで次のデータを変更する必要がある。

【変更箇所と変更値 196行etaの数値を 0.0001, から 0.000003125, に変更】

設定を変更したfablab-mill-n-drill.ulpは、EAGLEインストール先のulp フォルダに保存する。

2. 2 eagle.def NCデータ定義ファイル

fablab-mill-n-drill.ulp で生成されたミーリングとドリルのデータは、ペンプロッタ用であり、ペンを上げた状態での移動先xy座標と、ペンを下ろした状態での移動先xy座標を連続した形式である。このデータをGコード形式のNCデータに変換する定義はeagle.def ファイルで行う。なお、Gコード形式のデータは、他機種や他社NCでも使用可能である。

eagle.def は元々、EAGLE-6.4.0/bin/ にデフォルトのファイルがあるので、機能や定義を追加して使用する。以下に、ミーリングとドリル用の設定を示す。

ミーリングの設定

```
[G_CODE_MILLING]           /定義名
Type = PenPlotter          /受け渡されるデータの種類
Long = "Roland Modela MDX-15/MDX-20" /出力装置の名前
Init = "%%\nG91\nG00Z5.000\nG90\nG92X0Y0Z5.000\nM03\nS3000\n"
    /最初に出力装置に送られるデータ
    /データの詳細
    /開始時の刃物の位置は、加工の開始点（外形の左下角で、基板すれすれの位置）
    /（文字列中の\nは改行、%%は%として機器は解釈）
%                           /データスタート（データ先頭の意味）
G91                          /インクリメンタル指令（機械原点から解放）
G00Z5.000                    /早送りで5mmアップ（刃を基板から安全な位置に離す）
G90                          /アブソリュート指令（絶対座標にする）
```

3 Dプロッタによるプリント基板製作方法について

G92X0Y0Z5.000 /座標系定義（この位置がX0Y0Z5の座標系とする）
M03 /モータON
S3000 /モータ回転数（MODEL Aでは関係ない）
ResX = 25400 /受け渡される座標データがインチなのでミリに変換。
/値は整数で、1mmは1000の表記になる。
ResY = 25400 /受け渡される座標データがインチなのでミリに変換。
/値は整数で、1mmは1000の表記になる。
Reset= "G00Z5.000\nG00X0Y0\nM30\n%%\n"
/リセット（終了時）に出力装置に送られるデータ。
/データの詳細
G00Z5.000 /早送りで5mmアップ（刃を基板から安全な位置に離す）
G00X0Y0 /早送りで原点に戻る
M30 /モータOFF
% /データエンド（データ終端の意味）
Move = "G00Z0.5F300\nG00X%dY%d\nG00Z-0.3F100\n"
/刃を上げて移動し、そこで刃を下ろすデータ。
/（X%dY%dはXYの座標を小数点なしの整数として解釈する。
/例えば%dが2000の場合、X2000となり、X2mmの位置を示す。）
/データの詳細
G00Z0.5F300 /速さ300で刃を0.5mmアップ
G00X%dY%d /速さは継続、受け取ったXY座標に移動
G00Z-0.3F100 /速さ100 で刃を-0.3mmまでダウン
/【注意 刃の深さ、移動速度は、加工環境に合わせて変更】
Draw = "G01X%dY%dF100\n"
/刃を下げて移動するデータ。必ずMoveの後に実行。
/データの詳細
G01X%dY%dF100 /速さ100で位置XYまで直線で移動。

ドリルの設定

[G_CODE_DRILLING] /定義名
Type = PenPlotter /受け渡されるデータの種類
Long = "Roland Model A MDX-15/MDX-20" /出力装置の名前
Init = "%%\nG91\nG00Z5.000\nG90\nG92X0Y0Z5.000\nM03\nS3000\n"
/最初に出力装置に送られるデータ
/データの詳細
/開始時の刃物の位置は、加工の開始点（外形の左下角で、基板すれすれの
/位置）
/（文字列中の\nは改行、%%は%として機器は解釈）
% /データスタート（データ先頭の意味）
G91 /インクリメンタル指令（機械原点から解放）

```

G00Z5.000      /早送りで5mmアップ（刃を基板から安全な位置に離す）
G90            /アブソリュート指令（絶対座標にする）
G92X0Y0Z5.000 /座標系定義（この位置がX0Y0Z5の座標系とする）
M03           /モータON
S3000        /モータ回転数（MODELAでは関係ない）
ResX = 25400  /受け渡される座標データがインチなのでミリに変換
              /値は整数で、1mmは1000の表記
ResY = 25400  /受け渡される座標データがインチなのでミリに変換
              /値は整数で、1mmは1000の表記
Reset= "G00Z5.000\nG00X0Y0\nM30\n%\n"
        /リセット（終了時）に出力装置に送られるデータ
        /データの詳細
        G00Z5.000      /早送りで5mmアップ（刃を基板から安全な位置に離す）
        G00X0Y0        /早送りで原点に戻る
        M30           /モータOFF
        %             /データエンド（データ終端の意味）
Move = "G00Z1.0F300\nG00X%dY%d\nG00Z-2.0F100\n"
        /刃を上げて移動し、そこで刃を下ろすデータ
        /（X%dY%dはXYの座標を小数点なしの整数として解釈
        /例えば%dが2000の場合、X2000となり、X2mmの位置を示す）
        /データの詳細
        G00Z1.0F300    /速さ300で刃を1mmアップ
        G00X%dY%d      /速さは継続、受け取ったXY座標に移動
        G00Z-2.0F100   /速さ100 で刃を-2mmまでダウン
        /【注意 刃の深さ、移動速度を、加工環境に合わせて変更】
;Draw = "G00Z-2.0F100\nG01X%dY%d\n"
        /コメント文です。（コメント文は行の先頭に；を付ける）

```

設定を変更したeagle.defは、EAGLEインストール先のbinフォルダに保存する。

2. 3 G-code_for_Modela.cam NCデータ作成ジョブファイル

G-code_for_Modela.cam ファイルは、Gコードを生成するレイヤーや、ファイル名、保存先など、NCデータの作成ジョブを設定するファイルである。

定義の詳細（関係箇所抜粋）

```

[Sec_1]      /ミールリングの設定
Output=".ncd" /保存ファイルの拡張子
Flags="1 0 0 0 1 1" /ミラーリングなどの設定
Offset="1900.0mil 0.0mil" /オフセットの指定
Layers=" 20 46" /使用レイヤーの設定

```

[Sec_2]	/ドリルの設定
Output=".drill.ncd"	/保存ファイルの拡張子
Flags="1 0 0 0 1 1"	/ミラーリングなどの設定
Offset="1900.0mil 0.0mil"	/オフセットの指定
Layers=" 44 45"	/使用レイヤーの設定

G-code_for_Modela.camは、EAGLEインストール先のcamフォルダに保存する。

2. 4 NCデータ製作の過程

fablab-mill-n-drill.ulp、eagle.def、G-code_for_Modela.cam の各ファイルを設定したEAGLE（回路図エディタ）による、NCデータの製作過程の概略を示す。

- ① 基板パターンエディタでテストパターンを作成する。

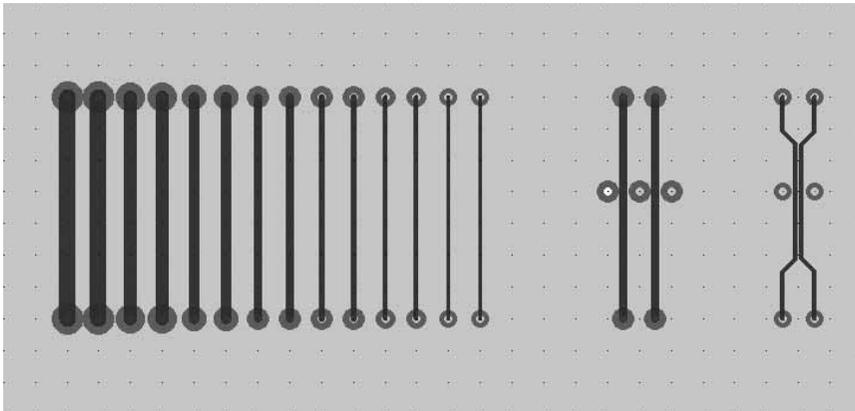


図1 パッドとラインのテストパターン

- ② fablab-mill-n-drill.ulpを実行して、パターン外形のデータを作成する。

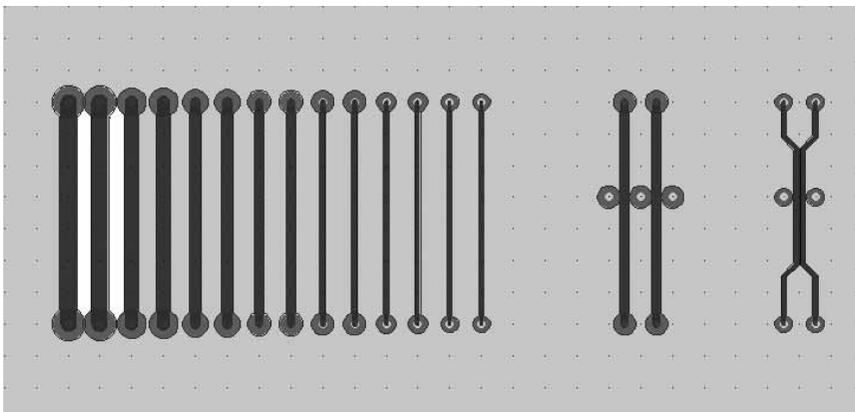


図2 外形が作成されたパターン

③ 生成された外形パターンとドリル座標。

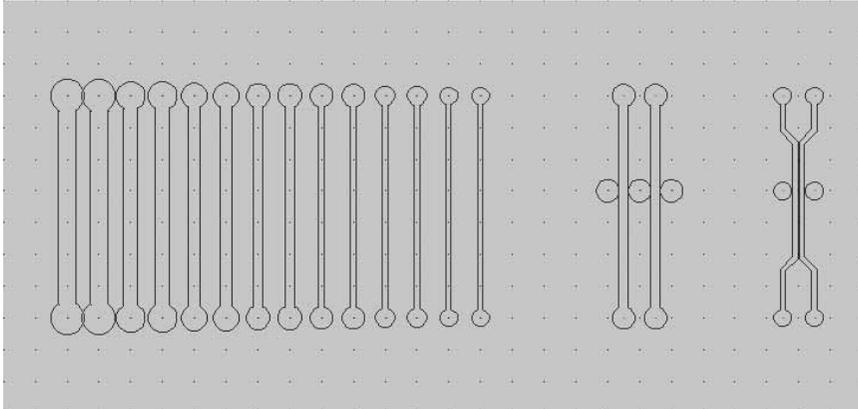


図 3 外形パターンとドリル座標

④ eagle.def と G-code_for_Modela.cam により生成されたNCデータ（一部）。

```
%
G91
G00Z5.000
G90
G92X0Y0Z5.000
M03
S3000
G00Z0.5F300
G00X0Y0
G01Z-0.3F100
G01X100000Y0F100
G01X100000Y80000F100
G01X0Y80000F100
G01X0Y0F100
G00Z0.5F300
G00X81471Y36979
G01Z-0.3F100
G01X81957Y36778F100
G01X82483Y36778F100
G01X82969Y36979F100
G01X83341Y37351F100
```

- ⑤ NCデータ作成ソフト (NCVC) によるミールングのシミュレーション。

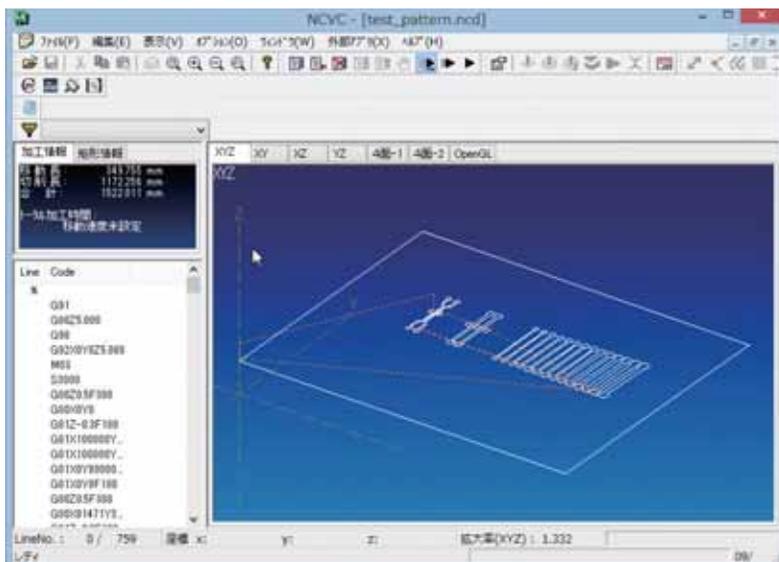


図4 NC加工シミュレーション画面

- ⑥ NCソフト (NC-Modela) を使用した3Dプロッタ(Modela MDX-20)による加工。

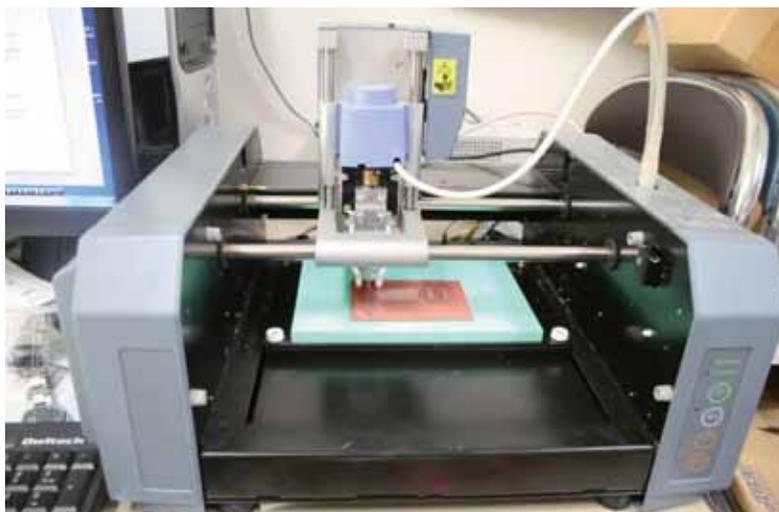


図5 3Dプロッタ (Modela MDX-20)

⑦ ミーリングとドリル加工で完成した基板（穴と穴の間は2.54mm=0.1inch）

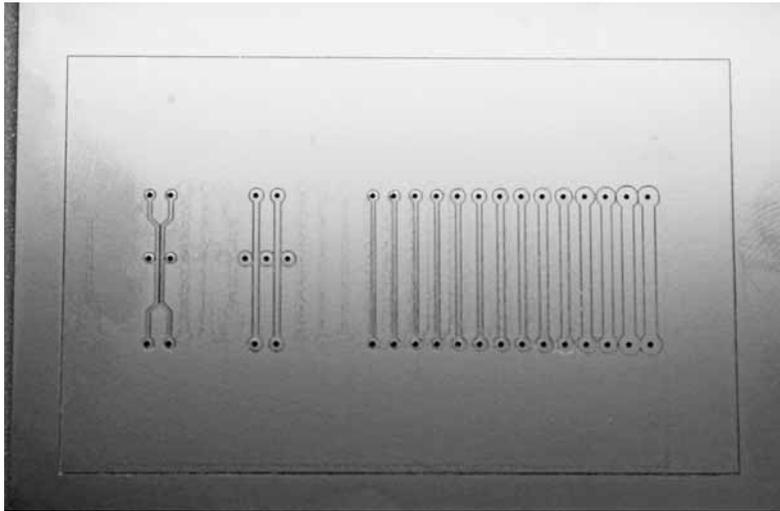


図6 完成基板

3 ミーリング加工精度向上のためのスピンドルとテーブルの改良

基板のミーリング加工では微細な加工を行うため、刃先にテーパのある刃物を使用する。したがって、図7のように、刃先の切り込み深さにより溝の幅が決まるため、精度良く基板パターンを加工するためには、如何に切り込み深さを一定に保つかが課題となる。

例えば、今回使用したミーリングカッターの刃先角度は 53° なので、深さ d ：幅 w は約1：1となり、0.1mmの切り込み深さの違いに対して、溝の幅も0.1mmの違いが生じる。

切り込み深さを一定に保つ対策としては、通常基板を取り付けるテーブルをミーリングカッターで削り、面出しを行うが、基板そのものが歪んでいる場合は、テーブルが平面でもミーリング加工の幅は変化してしまう。

そこで、本研究では切り込み深さを一定に保つために、スピンドルとテーブルを改造することにした。

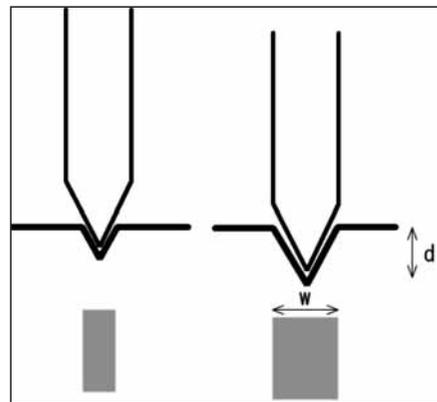


図7 ミーリングカッターの切り込み深さと、溝の幅の関係

3. 1 スピンドルユニットの改造

スピンドルユニットは、スピンドルモータの回転をドリルやミーリングカッターを取り付けるコレットに伝える部品である。スピンドルユニットは刃物の軸径（シャンク）により使い分けるため取り替えができる構造になっている。

そこで、基板のミーリング加工用として、スピンドルユニットに取り付けて切り込み深さを一定に保つアーム状の治具を開発した。

アームは力が掛かっても変形しないように、アルミ材で製作し、2本のアームを連結して剛性を高めている。

また、アームが2本なので、基板の端を加工する場合でも、1本が支える仕組みになっている。なお、アームの先は常に基板に押しつけられているので、摩擦を少なくするために滑らかにすることと、2本のアームの先端が平行であることが求められる。今回はアームの先をサンドペーパーで削る方法で、先端の平行と滑らかさを作っている。

なお、ミーリングカッターの取り付けは、目標の切削幅になるように実際にミーリングをして調整した。刃の摩耗や取り付けの緩みがなければ、再調整は不要である。



図8 スピンドルユニット（中央が改造品）

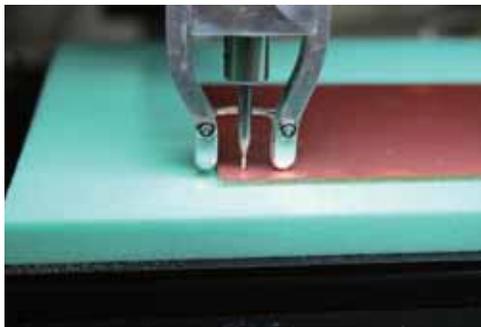


図9 ミーリングカッターの深さを制限するアーム

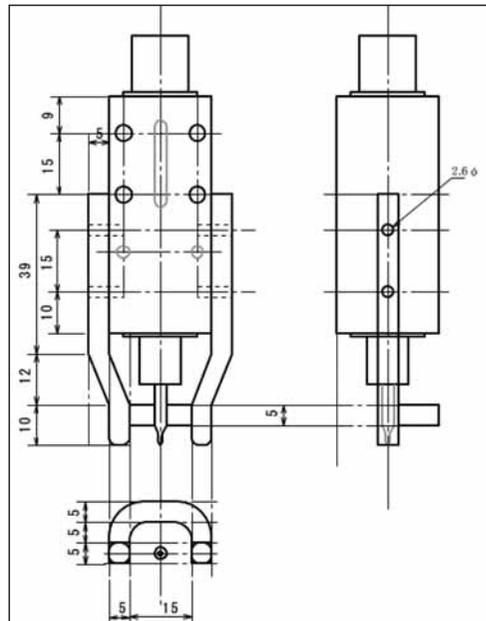


図10 アームの設計図

3. 2 ステージの改造

スピンドルユニットの改造により、スピンドルユニットのアームは常に基板を押しているが、その力による変位をどこかで吸収しなければならない。

そこで、変位を吸収する方法として、ステージに厚さ10mmの硬質スポンジシートを用いることにした。3Dプロッタのテーブルとスポンジシート、スポンジシートと基板は両面テープで固定する。実際に加工しながらその様子を観察すると、アームの押しつけによる0.5mm程度の変位は、スポンジシートが吸収し、XY方向の加工への影響は確認できなかった。

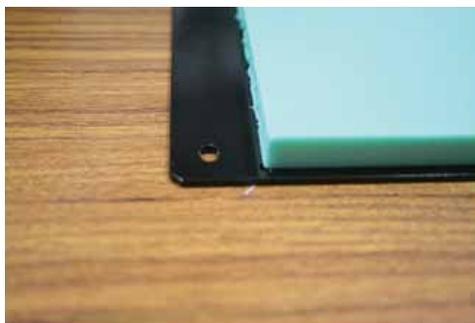


図11 硬質スポンジシートのテーブル

3. 3 加工結果

図12は異なる太さのラインを揃えたテストパターンの加工結果である。パッドの直径及びライン幅はパターン図の値であり、加工後の実物には切削した溝の幅値が加わる。

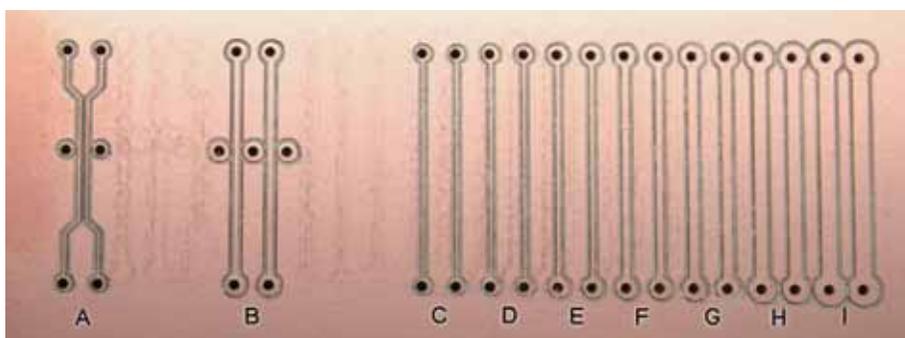


図12 ライン幅を変えた加工の結果

表1 図12の設計寸法と工具・材料

パターン	A	B	C	D	E	F	G	H	I
パッド直径(mm)	1.27	1.6764	1.27	1.4224	1.6764	1.7778	1.9304	2.1844	2.54
ライン幅(mm)	0.254	0.6096	0.254	0.348	0.4064	0.6096	0.8128	1.016	1.27
パッド直径(mill)	50	66	50	56	66	70	76	86	100
ライン幅(mill)	10	24	10	12	16	24	32	40	50

- ・溝幅 0.3mm ドリル径 0.8mm Φ :パッド径 W線幅 C~Iは2本ずつ同じ形
- ・基板加工カッター 刃先角=53° 刃径=0.8 (美濃昌典 オリジナルマインド)
- ・ドリル 刃径=0.8mm、シャンク=3mm (EX-GDN0.8 OSG)
- ・基板 PCB材質紙フェノール 厚さ=1.6mm 銅箔厚さ=35 μ (サンハヤト)

図13はICの足の間（2.54mm）を1本のラインが通過する配線部分の拡大表示である。線の幅は約0.4mm、溝の幅は約0.3mmである。

図14はICの足の間（2.54mm）を2本のラインが通過する配線部分の拡大図である。線の幅は約0.2mm、溝の幅は約0.3mmである。2本のラインを通過させることができれば、配線パターンの自由度は高くなる。

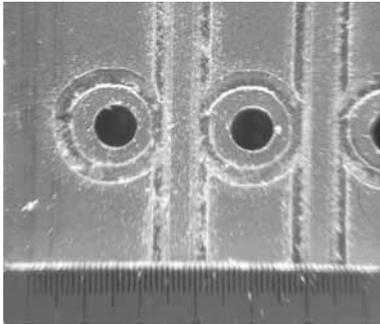


図13 パッド間1本の配線

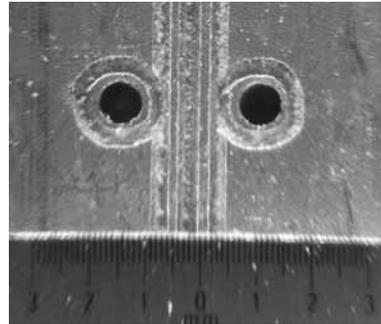


図14 パッド間2本の配線

4 おわりに

プリント基板を試作や実験で少量生産する場合、基板加工機を使用して回路図エディタで作成したデータを直接切削できれば、プリント基板製作会社へ外注するよりも安価で作業時間も短い。しかし、基板加工機の価格は100万円近くと高価であり、導入できる教育機関や個人研究者、ホビーユーザは限られている。

本研究の方法では、回路図エディタからNC制御のソフトまで、すべてフリーウェアを使用しているため導入費用は掛からない。また、今回使用した3Dプロッタ（Modela MDX-20）は40万円程度と高価ではあるが、基板加工機と比較すると汎用性が高く、他の部品加工も可能なため、総合的な導入費用としては安価とである。さらに、ソフトウェアで生成される切削データは汎用性が高いGコードであるため、10万円程度の3Dプロッタでも、工場用NC工作機械でも加工が可能である。また、本研究で示したプリント基板の製作方法は加工精度も高いので、多くの回路設計者に支持され使用されることを期待している。

参考文献・資料

- EAGLE 6.4.0 for Windows Light Edition CadSoft Computer
<http://www.cadsoftusa.com/>
- fablab-mill-n-drill.ulp Marc Boon, Feb 2008 <http://fablab.marcboon.com/pcb/>
- FabLabでプリント基板を作る方法 青木 翔平 訳
<http://www.ailab.t.u-tokyo.ac.jp/~aoki/tutorial/pcb/>
- プリント基板CAD EAGLEでボード作り 渡辺明禎ほか CQ出版
- NC-MODELA 三上ロボット工房 <http://www.robot-fan.net/modela/index.html>
- NCVC 眞柄 賢一 <http://s-gikan2.maizuru-ct.ac.jp/xcl/>