

自動両面基板加工機の開発

北陸職業能力開発大学校

谷岡 政宏

植平 一郎

比留間 道昭

Development of CNC Processing Machine for Both Sides Printed Circuit Board

Masahiro TANIOKA and Ichiro UEHIRA and Michiaki HIRUMA

要約 平成19年度の開発課題のテーマとして自動両面基板加工機の開発を行った。市販されている既存の基板加工機の機能・性能について調査を行った結果、両面基板を自動加工できる機能をもつ基板加工機は市販されていないことがわかった。また、通常の基板加工機において両面基板を作成するには、人手による基板の反転・再取り付けと位置合わせが必要であることから手間の掛かる作業となっていることも判明した。このような基板加工機の状態から、自動クランプ機構、基板昇降反転機構および自動工具交換(Auto Tool Change:ATC)機能を持ち、両面基板を自動で加工できる基板加工機を開発した。また、本加工機はCAM機能を内蔵し、PCを使わずにプリント基板の加工用データ(ガーバーデータ)から直接加工することができる。今回は主に開発物の紹介、および本課題を完成させるまでの進め方と行った指導について報告する。

I はじめに

「自動両面基板加工機の開発」は、平成19年度開発課題の一つとして行ったものである。本開発は、生産機械システム技術科学生4名、生産電子システム技術科3名、生産情報システム技術科3名の計10名で実施した⁽¹⁾。本報告では主に開発物の紹介、および本課題を完成させるまでの進め方と行った指導について説明する。

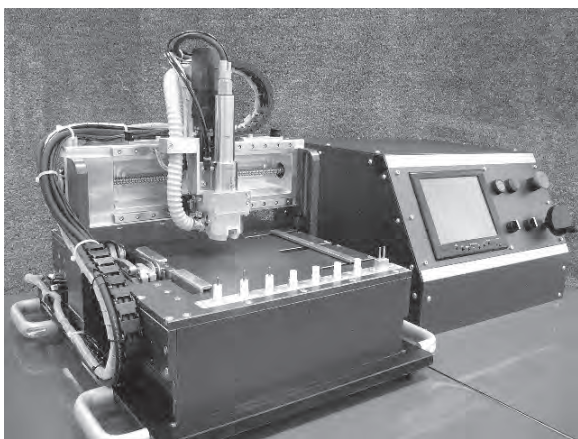


図1 自動両面基板加工機

II 「自動両面基板加工機」について

本課題で開発した基板加工機を図1に示す。

開発にあたっては、市販されている既存の基板加工機の機能、性能について調査を行った。

調査の結果から、両面基板を自動で加工できる機能をもつ基板加工機は市販されていないことがわかった。また、通常の基板加工機において両面基板を作成するには、必ず人の手による基板の反転、再取り付けと位置合わせが必要であることから手間の掛かる作業となっていることも判明した。

このような基板加工機の状態から、両面基板を自動で加工できる機能をもつ基板加工機を開発した。

表1に製作した自動両面基板加工機の基本仕様を示す。

基板の表・裏両面を自動で加工するには、以下の機能を持つことが必要である。

- A) 基板を自動でクランプできる機能
- B) 基板を自動で反転できる機能
- C) 工具を自動で交換できる機能

A)については自動クランプ機構、B)は基板昇降反転機構、C)はATC機能として実現した。

表1 仕様

動作範囲 X×Y×Z[mm]	270×300×40
最高送り速度[mm/sec]	切削送り : 50
分解能[mm]	0.001
XYZ制御モータ	ステッピングモータ
主軸回転速度[min^{-1}]	5,000~50,000
工具交換・本数(本)	自動・7
使用シャンク径[mm]	$\phi 3.175$

基板表面の加工終了後、裏面の加工をするためには、①基板クランプ解除、②基板上昇、③基板反転、④基板下降、⑤基板再クランプの5工程を順次実行することが必要となる。開発にあたって、できる限りアクチュエータの数を減らすこと、及び電子制御ではなく機構により実現することを目標とした。その結果、①から⑤までの動作をエアシリンダ、ロータリアクチュエータ各1台で動作させることができた。

1. 自動クランプ機構

自動クランプ機構は図2に示すように左側が固定クランプ側、右側が基板サイズに合わせて移動可能な移動クランプとしている。

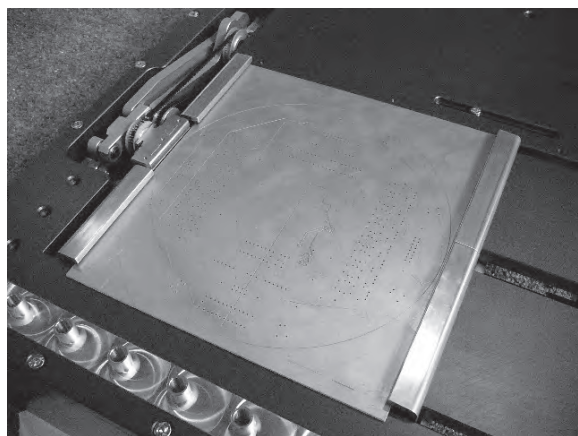


図2 基板クランプ状態

内部の機構を図3に示す。エアシリンダによりカムを動作させ両クランプを開閉する構造となっている。

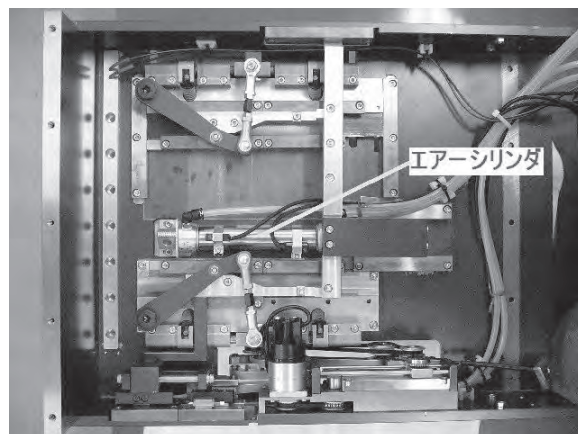


図3 自動クランプ機構

2. 昇降反転機構

昇降部は基板を垂直に上下させることが必要のため、図4、図5に示すようにスコットラッセル機構をラック&ピニオンにより駆動する構造とし、ラックをクランプ開閉に使用するエアシリンダのストローク後半部分を使用することにより基板クランプとの動作タイミングを保って昇降させる構造とした。

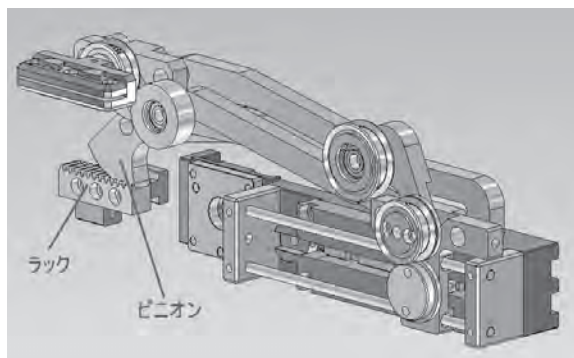


図4 基板降下状態

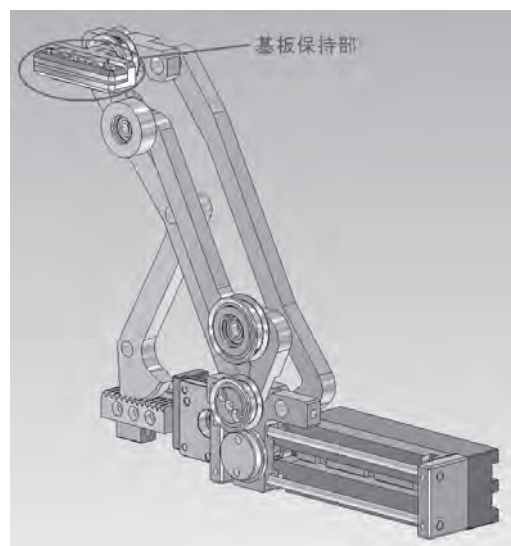


図5 基板上昇状態

基板反転部は図6に示すようにロータリアクチュエータを用い、タイミングベルトにより反転動作を行う構造となっている。

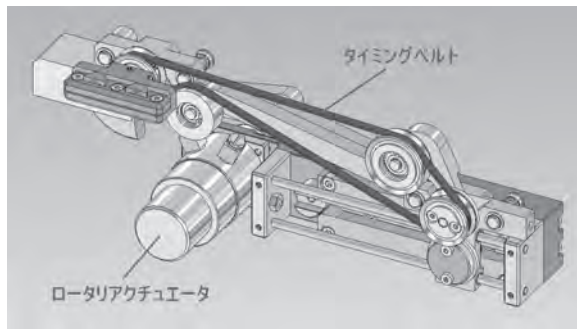


図6 基板反転機構

3. ATC機能

図7にATCマガジンと工具確認センサを示す。

工具脱着の確認ができるよう、センサにより確認を行う方式とした。

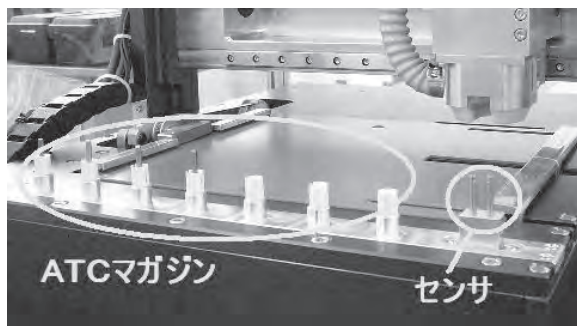


図7 ATCマガジン・センサ

III 課題開発の流れと指導

開発の流れとして、概ね次の4段階を経た。

1. 企画構想
2. 詳細仕様検討
3. 設計・製作
4. 評価・発表

1. 企画構想段階

新規の課題であることから、何を開発するかからのスタートとなった。学生の議論の結果、基板加工機を開発することとなった。

基板加工機はすでに各社より販売されているものであることから、以下のポイントを重視するよう意識付けを行った。

- ・既存の基板加工機の基本仕様はどのようなものか
- ・製品のターゲットとしてどのようなユーザを想定とするのか

・売れる製品にするには、何を付加価値としてつけるか

・使いやすく、安全な機械であるために何が必要か

学生間での議論、調査の結果、自動両面加工の機能をもつ基板加工機が存在しないこと、また基板加工機ユーザにとって両面基板作成は手間のかかる作業であることも判明した。このことから、自動両面基板加工ができる加工機の開発が新規性をもち、製品の付加価値としてユーザにもアピールできると判断した。また学生の修得している技術・技能をベースとして開発可能であること。既存の学科・実習では実施できない新たな技術・技能の習得も可能であると判断し課題テーマとすることとした。

2. 詳細仕様検討段階

学生の場合、仕様を不完全なまま設計、製作を行う傾向が強く、できあがった段階になって仕様が決まる傾向にある。これを避けるため、仕様を詳細に決定し、この仕様を実現できる設計を行うことが重要であることを理解させた。

協議の結果、加工範囲 (X, Y, Z) 270×300×40mm、主軸回転速度5000～50000min⁻¹、加工送り速度50mm/s、分解能0.001mmの基本性能とATC装置（マガジン7本、主軸工具有無判定用センサ付）、基板の自動クランプ、昇降反転機能をそなえる基本仕様が決定的された。

3. 設計・製作段階

決定された仕様にもとづき、構想設計、詳細設計と進めた。各専門領域で行った指導を以下に述べる。

3-1 機械系要素

機械部では、本体基本構造について工作機械の構造の学習をさせ、高精度な加工機の設計ができる基本知識を習得させようとして設計を行わせた。

剛性設計が基本であることと軽量化が必要であることから、3次元CADでの設計とCAEによる強度、剛性、固有値の解析を行うことにより最適設計について修得できるよう指導を行った。また、自動クランプ、昇降反転の各機能を機構により実現するため、課題で必要な動作を分析させ、必要な機構を検討するよう指導した。同時に、部品加工時・組み立て時の精度確保を容易にすることの重要性を理解させ、それには基準を明確にした設計を行うことが必要のため、設計段階での重要指導項目として指導、確認を行った。

開発目標のひとつである使いやすい装置の開発をするため、操作パネルのレイアウト、手動パルス発生器による手動動作の実装と画面設計について従来機器の調査及び検討を行い基本方針の決定をするよう指導を行った。

本体部の製作においては仕様の精度を実現するため、基準を明確にした加工、および各部品加工において加工時に発生するひずみに対する対応が重要であることを繰り返し説明し加工方法の指導をした。

実際の例として、ベース板について述べる。

ベース板は装置全体が載る基準としての役割を持つ部品であるが、重量が重く卓上で使用を想定しているため軽量化が必要であった。そのため可能なかぎり肉盗みによる軽量化を図ることとした。

前述したように設計段階では、CAEによる剛性解析・固有値解析を行い肉盗みの形状を決定させた。

加工はマシニングセンタで行うことから、肉盗み部のNC加工データは3次元CADデータをもとにCAMを使用して高速加工用データを作成して行った。片面からの肉盗みであることから、加工ひずみが出るのが予測された。加工後の測定結果より0.5mm程度のひずみが発生していることが判明した。従って、テーブル、リニアガイド、ボールねじなどの重要部品を取り付ける必要のある表面の加工では、単に締め付けてしまえば加工後にひずみの影響をさげられないことから、ひずませたまの状態で取付けを行ったうえで、表面の加工を実施させた。

3-2 電子系要素

X, Y, Zの3軸はノヴァ電子社製ステッピングモータ・コントロールLSI(MCX314As)をH8/3052Fにて制御している。一方、スピンドルモータ、基板反転機構は当マイコンより直接駆動し、スピンドルモータに合わせて集塵機もON/OFFする。図8にその概要を示す。

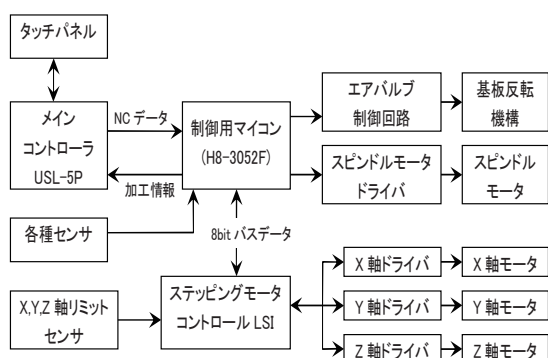


図8 制御機構の概略

各種センサにはカバー開閉、エアシリンダ、ロータリアクチュエータ、ツール検出用のセンサがある。これらセンサからの入力信号と各出力信号をマイコンの動作モードに合わせ確にポート設定をするよう指導した。

コントロールLSI (MCX314As) はマイコンから所定のコマンドとパラメータを送信することにより、加減速、ポジション管理、直線・円弧補間、自動原点出し等の動作を行わせることが可能であるため、電子回路基板の輪郭加工に適している。特に、多種のS字加減速がパラメータ設定により容易に実現できるので、精密な位置制御が必要な機器には最適なコントローラと言える。ここではS字加減速の必要性を理解させる等の指導を行った。

メインコントローラはUSBストレージをLANに接続するためのコンバータであるUSL-5P⁽²⁾を用いている。これとH8/3052FとはRS-232Cで通信をする。

以上はメインコントローラによる自動制御であるが、これとは別にマニュアル制御も可能としている。これは、光学式ロータリーエンコーダが発生するパルスを入力し、X軸、Y軸のモータドライバを駆動することによりX、Yの任意の位置に主軸を移動させる機能である。自動制御用のマイコンは入出力ポートに全く余裕が無いので、新たに別途H8/3052Fを用い、ロータリーエンコーダのパルス出力とX、Y軸切り替え用スイッチ、さらにエンコーダの回転に対する軸移動の速度を変更するための倍率設定用のスイッチ出力を入力する。マニュアル制御用マイコンの出力はメインコントローラを経由し、自動制御回路によってX軸、Y軸の移動を行う。図9に制御基板が基板加工機に組み込まれた状態を示す。

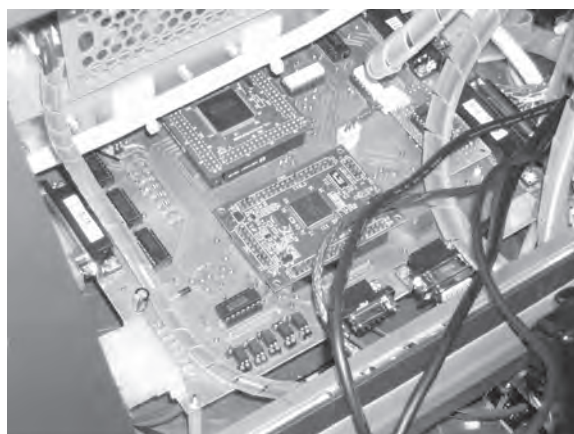


図9 実装された制御基板

3-3 情報系要素

本加工機の特徴のひとつとして組込みCAMシステムがある。従来の基板加工機では専用のソフトウェアを用いて、PC上で加工データの変換やCAMを行うが、本加工機はCAMおよび加工条件の設定を行うためのソフトウェアを内蔵させることで、PCを使わずに加工することができるようにした。

ファイル選択操作や加工条件の設定等はタッチパネルを用いたGUIにより行うことができ、タッチパネルで操作しにくい部分については、スイッチやロータリーエンコーダを利用して操作性の向上を図った。図10に操作部を示す。



図10 操作部のタッチパネルとスイッチ類

担当をCAMソフトウェアの開発、タッチパネルを用いたユーザインターフェースの開発、NCコードからコントロール信号へ変換するマイコンシステムおよび操作部のスイッチ等の処理を行うマイコンシステムの開発に分けた。

本基板加工機ではCAMやタッチパネルの制御を行うため、CPUの処理速度や主記憶のサイズがある程度は必要であり、H8マイコン等ではCAMまで実行するのは難しいと思われるので、図11に示すようにUSL-5Pを利用することにした。



図11 組み込まれたUSL-5P (USBメモリ挿入口)

このボードのCFスロットのCFメモリをマイクロドライブ(アイ・オー・データ機器CFMD-6G)に換装し、kogiidena版Debian GNU/Linux etch(20070709)(以下kogiidena版etch)を載せた⁽³⁾。

(1) USBディスプレイアダプタ

USL-5Pにはビデオ出力機能が無いためUSB接続の外付けディスプレイアダプタを使用した。

(有海連の「サインはVGA青箱(USB20SVGA)」はLinuxのカーネルドライバや、ウィンドウシステムであるXFree86やX.Org Serverのドライバが存在し、kogiidena版etchではUSBポートに挿すだけで使用できる。

(2) タッチパネルディスプレイ

タッチパネルディスプレイとしてCASTRADE社のCL-D800TP-PBKを使用した。これはeGalax社製タッチスクリーン・コントローラが使われておりLinuxカーネル2.6.22ではカーネルドライバが対応している。X.Org Server 6.8.2でも標準でタッチパネルを入力装置として認識するが、入力座標が正しく読めず、同じタッチスクリーン・コントローラを使った事例⁽⁴⁾を参考にドライバを修正したが、座標値のずれを解消できなかった。時間の関係でUSBマウスを使うことにした。

(3) スイッチおよびロータリーエンコーダ

ユーザインターフェースを構築するに当たり、加工原点の設定などで主軸の位置を動かすような場合は物理的なデバイスの方が操作性の点で優れていると考えたのでロータリーエンコーダを採用した。また、移動させる軸を選択したり、移動速度を変えたりするロータリースイッチや主軸の起動停止を行うプッシュスイッチを付けた。

しかし、USL-5PにはGPIOが無いため、これらのスイッチ類を直接接続することができない。そこでH8/3052Fマイコンに、これらのスイッチを取り付けた。3052Fを選択したのはロータリーエンコーダのインターフェースが内蔵されており、簡単なプログラムでカウントアップ/ダウンができるからである。このH8マイコンからUSL-5Pにデータを送るためにUSB-シリアル変換器を使用した。秋月電子通商のものはProlific PL-2303を使用しており、kogiidena版etchはドライバ組込み済みなのでそのまま使用できる。

なお、緊急停止ボタンはマイコンを通さず電源回路に直結し確実に停止するようにした。

スイッチ類やロータリーエンコーダのマイコンへの取り付けを情報科の学生に行わせることで、制御プロ

グラムに対するより深い理解と電子科とのコミュニケーションをスムーズに行えるようにした。また、操作パネルのレイアウトは機械科の学生の意見を取り入れるように指導し、機械科とのコミュニケーションをとらせるようにした。

作成したアプリケーションの機能は、以下である。

- ・ 工具情報の設定
- ・ ATC設定
- ・ ガーバーファイル取り込み、保存
- ・ 手動操作
- ・ 自動加工 (CAM)

ガーバーファイル取り込み、保存については、USBストレージからの読み込み及び、一度読み込んだデータのハードディスクへの保存を行う。

なお、ガーバーデータを格納するファイルの構成や拡張子はCADシステムにより異なるため、今回はケイデンス・デザイン・システムズ社のOrCADの形式を採用した。

手動操作では基板のクランプ、アンクランプ、上昇、下降、反転などが行える。

アプリケーションは前述の組込みLinux上で動作する。

学生はWindows上のアプリケーションの開発には慣れているが、Linuxでの開発には不慣れであるためプラットフォームによるプログラミング方法の違いを理解させた。

CAMを除く部分はGUIツールキットにGTK+を使用し、ユーザーインターフェースビルダーとしてGladeを使用した。開発中はWindows版を使用し、最終的なバイナリは実機上のセルフコンパイラによりビルドした。

画面設計は本加工機の操作性を決定する重要項目であるため利用者の観点から良く考えることを指導した。

特に基板加工機を普段から使っている電子科の学生の意見や、加工機一般の操作について良く知っている機械科の学生の意見を取り入れるように指導した。

CAMの部分はGUIを必要としないためMicrosoft Windows Vista上でMicrosoft Visual C++ 2005 Express Editionを使い開発した。開発の終盤ではソースを実機に持って行き、セルフビルドによる開発を行った。

ガーバーデータやNCコードの構造や意味を調査させ、NCコードの生成アルゴリズムを考案させた。

工程の計画と管理は各人に任せたが、全体の進捗状況を見て作業の多い部分や遅れの出た部分は担当に拘らず協力し合いながら開発を行った。

この課題の取り組みによって組込みシステム開発の

難しさを実感したようであるが、実際に物が動き始めると、ものづくりの楽しさを実感できるようになったようである。

また、機械科や電子科との調整を通じて、コミュニケーション能力も向上したと思われる。

4. 評価段階

本体部においては、測定器を使用し精度確認を行わせた。位置決め精度、繰返し位置決め精度とも基板加工機としての要求を十分満足する製品であることが確認できた。

また、自動クランプ機構、昇降反転機構およびATCについても動作することを確認した。

IV おわりに

今回、「自動両面基板加工機の開発」をテーマとして開発課題を行った。自動クランプ機構、基板昇降反転機構をもつ新しい付加価値をもつ基板加工機を開発することができた。

ただし、次のような問題点も残っている。

- ・ 原点位置の再現性がよくないこと。
- ・ 切りくず対策が不完全であること。
- ・ 手動操作の動作がぎこちないこと。
- ・ ガーバーデータからNCデータへの変換が完全でないこと。
- ・ 加工深さの決定に手間がかかること。

これらの問題点の多くが、仕様の曖昧さに起因している。製品開発に不慣れな学生にとって、何が必要な仕様か自体が理解できないことが多い。このため仕様決定段階での指導の重要性を指導側が理解し指導することが必要である。

次期開発課題では、これらの問題点を解決した新規の自動両面基板加工機の開発に取り組むこととした。

[参考文献]

- (1) 高村、秦野、藤野、吉田、新谷、中村、檜物、角本、道坂、中川：自動両面基板加工機の開発、H19年度北陸職業能力開発大学校開発課題報告書
- (2) 「USL- 5 P シリーズ」、<http://www.iodata.jp/prod/storage/hdd/2004/usl-5p/>
- (3) 「LANDISKで漕ぎいでな? ♪」、<http://eggplant.ddo.jp/www/pukiwiki/>
- (4) 中井 真大：「アンケートシステムを作ってみよう」、Software Design 2007年11月号, pp.36-40