

特集

電子回路基板のドリル・ルータ加工入門 (第3回)

ユニオンツール株式会社
津坂 英夫

4. ドリリングマシン

4.1 ドリリングマシンの種類と特徴

初回でも述べたが、最初にプリント配線板が作られた頃はマニュアルのボール盤で目視により目標の座標に穴あけを行っていたものが、最新のものでは、技術の進化により、6軸機で毎秒10ヒット（ストローク）を越え、しかも、機械制御による位置精度が数ミクロン以内で実現されている。しかし、実際の精度は基板の伸縮によるスピンドルの振れ、機械の熱による影響などで、実際には穴の入り口側の食い付き時のバラツキが20ミクロン以内ぐらいが現実的なところであろう。

第一章の表で示しているが、単軸のボール盤からスタートして70年代からNC制御のボール盤が普及して加工の能率、精度、品質が飛躍的に向上した。さらにNCボール盤自体もCNC内のCPUの演算速度、および機能、サーボ技術、機械構造の開発改良によってこれも飛躍的に効率、精度が進化した。今日では、0.1mm程度の穴明け加工が普通に行われているが、機械のこうした進化とスピンドルの高速化によって、一時期レーザードリリングに傾いていたこの領域の穴加工が、メカニカルドリリングに戻るようになって大きな要因になっている。

4.2 ドリリングマシンの機械構造

ドリリングマシンの機械構成としては、CNC（制御）、スピンドル、テーブル、ベースとコラム、バキュームが主なものである。今のドリリングマシンは簡単に示せば図4-1のように、ベッドにx軸のLMガイドに載ったテーブルがあり、門型構造になったコラムにY軸のガイドと、そこに穴明けストロークを行うスピンドルセットを抱えたZ軸駆動部がある。直線ガイド部には、移動位置決めのためのスケール（ガラススケール）がついており、実際の機械の移動と指令値とのギャップを制御部にフィードバックし、高精度の位置決めが出来るようになっている。

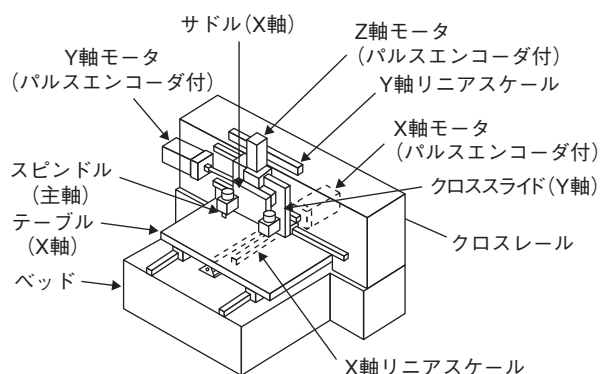


図 4-1 ドリリングマシンの一般的な構造と名称



図 4-2 多軸（6軸）スピンドルのドリリングマシンの例（日立ピアメカニクス）

同時に複数の基板を加工できるように4～6軸のスピンドルヘッドをY軸のコラムテーブル上にもっている。各スピンドルで加工できる基板の大きさは大きいもので600mm*500mm位である。テーブルには基板の加工上の基準となる位置に基準ピン（径3.175mmが多い）を挿入するための基準穴と同一直線上にピンが入る溝が設けられている。CNC制御のX/Yテーブル、Z軸のストロークの駆動は、ボールねじとサーボモーターで駆動させるものが一般的であったが、最近では、加速スピードと繰り返し位置決め精度の優れたリニアモーションテーブルが使われるようになってきた。特に、Z軸の穴明けストロークに加減速の応答スピードが毎時あたりの加工能率に大きな影響を及ぼすために、リニアモーションが多く機械に採用されつつある。また、毎分数百回のZ軸の穴明けストローク行いながら、X/Yテーブルを位置決めしながら動かすために、必然的に機械上に振動が発生する。

この振動は穴の位置決め精度やドリル折損に大きく影響するため、これを抑えるべく機械構造を制振性の高い設計にするとか、重量もあり振動に対して減衰性の高い石定盤をベースにしたものが使われている。さらに最近のものは、機械を2分して、互いのテーブルが点对称に同時に駆動させるように制御して、テーブルの加減速時に引っ張り合うか押し合うようにして互いの動きを打ち消し合うようなシステムを採用し制振性を向上させた穴明け機も登場している。また、高速で動き、温度変化による熱膨張で位置精度が悪化しないように機械自身を密閉構造にして、内部の空調を行うことで温度を保つ機能を持っている機械も開発されている。

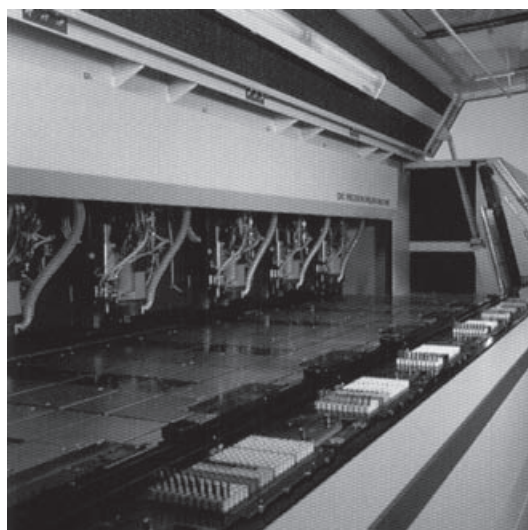


図 4-3 ドリル自動交換用ツールポストとドリルカセット

4.3 スピンドルとプレッシャーフット

一般的な金属加工用の機械と違う点は、もっぱら平らな基板を加工するためにドリル食いつきと穴位置精度のために、ドリル進入時に基板を押さえ固定する先端ブッシュがついたプレッシャーフットがスピンドルを覆っている。プレッシャーフットの横にバキューム吸い込み口がついており、加工時に発生する切りくずを吸い取っている。バキュームの空気の流れを良くするために空気の流れを作る構造上の工夫もされ、先端ブッシュにさまざまな形状の溝が設けられている。

先端ブッシュの溝形状だけでなく、また、材質も堅い焼き入れ鋼、黄銅、樹脂製などで使い分けもされている。先端のブッシュ径はドリルを自動交換するためにドリル通過できるようにはめている樹脂リングの径よりも大きい7.5mm以上でなければならない。しかし、この径では、実際のドリルに比べ大きすぎて押さえが不十分で基板や当て板が浮き上がり隙間が出来る可能性がある。特に、極小径ドリルの場合では、折損、位置不良の原因になる場合がある。このために、図4-4の先端ブッシュ自動交換機構により、工具交換の場合に大きいブッシュで行い、極小径ドリルの加工時には小径用のブッシュに交換して加工を行っていく。

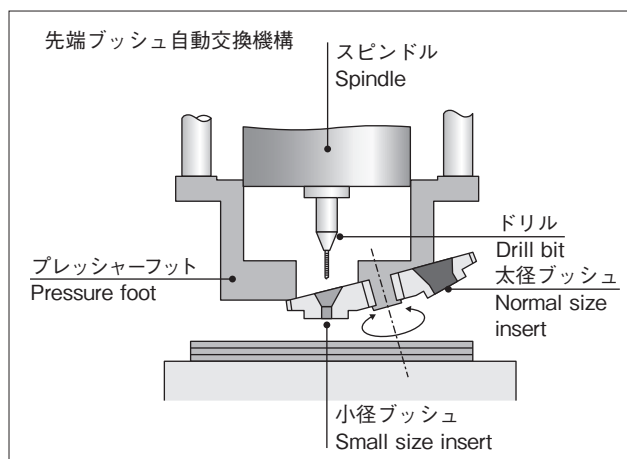


図 4-4 先端ブッシュの自動交換機構

最近の機械では、ホバードリリングというプレッシャーファットを持ち上げずに、基板上を押さえたまま移動していくものもある。これは、ブッシュの周りにエア穴を設けエアを噴出させながら基板に圧力をかけていくようになっている。

ドリリングマシンに使われるスピンドルは、図4-5のようにドリル径が極小径化に進むにつれて、年々高速化が進んでいる。スピンドルは速い回転数で使われるため、機械式のボールベアリングではなく、摩擦抵抗の少ないエアベアリングがかなり以前から用いられてきている。図4-6に代表的なスピンドルの構造を示す。構成としては、ハウジング部分とロータシャフト部からなり、中央部に高周波モータのロータを挟み上下に回転に対するラジアルエアベアリングと、スラストベアリングを配する構造となっている。スラストベアリングは高周波モータから来るエネルギーから温度上昇によるシャフトの伸び縮みによる軸方向の精度を改善するために下面側（フロント）に配するものが多く、また、ラジアルベアリングは回転数が上昇するに伴い軸受けの領域での圧力が上がり軸受け剛性が高くなるような動圧作用が働く構造になっている。

現在は、最高回転数が20万回転毎分ぐらいのものが多く使われているが、0.1mmドリル径の加工では、加工回転数が30万毎分を越えるような領域が推奨されているため、最新のものでは35万に達するものも開発されている。回転数とドリル径の乗数で表されるドリル外周のスピードが100m/min. 以上が適正とされているが、現在も加工穴径が0.1mm未満の加工も増えてきている中で、たとえばドリル径75ミクロンでは回転数が45万回転以上必要となるが、それは開発されていない。

4.4 ドリル自動交換とドリルカセット

現在のように、3.175mmのシャンク径と38.1mmの全長が同一寸法に統一され、ドリルの自動交換が出来るようになったのは、1970年代からである。NCの機械で、自動交換を行うという考え方が開発されたのは米国においてであったため、シャンク径と全長寸法にインチサイズが使われているが、それは今も変わらない。90年代に高速マシン用に2mmシャンクドリルが開発され、追加されたが、今も、この2種類しかない。当初は、工具交換用に10本程度金属のスリットの入った筒にドリルを差し、弾性を利用して拘束、把持しツールポストとしていたが、現在では、一枚の基板で数十万穴の加工もあるものもあり、一回に必要とするドリルの数が数百を超えるようになってきたため、ツールポストも数百から千を超えるものまで出現している（図4-3）。ツールポストもドリルを購入したケースがそのまま50本の機械の工具ポストとして使えるものや、カセットに挿入して納入するようなシステム（ユーロカセット）もある。

ドリルを自動交換するために、そのままツールポストに差し込んで使用する場合と樹脂リングをきつくドリルに挿入し、リングセットの時にリング端からドリル先端までの寸法をそろえてセットしておく方法もある。ほとんどの場合、使用後の摩耗したドリルを何度か先端から研磨し直して使うため、全長が変化して行くが、リングを用い

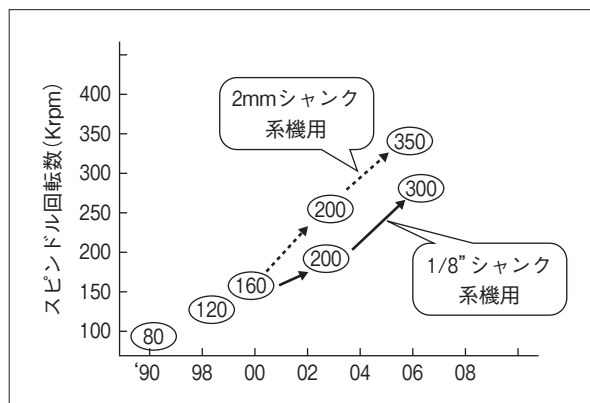


図 4-5 ドリリングマシンスピンドル最高回転数の変遷

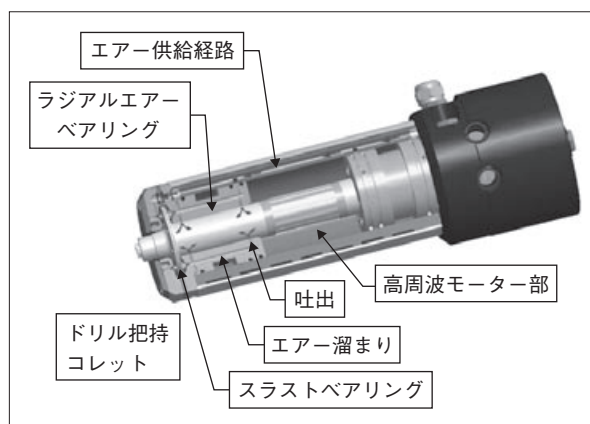


図 4-6 ドリリングマシン用スピンドルの構造（ウエストウインドウ社）

て基準寸法を保つ場合と、リングを用いない場合は、スピンドルコレットに把握した状態で機械上にあるドリル径と先端位置の検出器で確認を行い、自動的に寸法補正を行い、加工を始める方法がある。この方法の方が、リングやリングセットのばらつきを考えると直接検知するので精度は高い。また、できの悪いリングやリング自体が回転の動的なバランスに影響することなどから回避できる利点がある。

4.5 マシンメンテナンス

機械のメンテナンスは、マニュアルに示されている定期点検や日常点検をきちっと行うことが大切であるが、中でも、加工品質や精度、ドリル折れなどのトラブルに直接的に結びつくチェックを確実に行うことは重要である。特に、スピンドルの振動、振れを極力低く維持していくことは重要である。

加工穴の品質や機械効率に、付帯の設備になるドリルチェンジの機構や切り屑を吸い込むバキュームやドリル食い付き時に基板を抑え、プレッシャーフットになども影響している。管理などもドリルの折損に対しては、図4-7に示すが、ドリル先端の振れは、自動交換でチャッキングしたときに振れが大きいとほぼそのまま比例的に大きくなり、最高回転数に近くなると最初に把持したときの数倍の大きさになる。これは単にスピンドルの振動が大きくなるだけではなく、把持したときの振れによって生じた先端部における重心の中心からのずれがそのまま遠心力となり、加重的に作用するためである。反対に、チャッキングしたときの振れが少なく、精度良く掴めたときは、最高回転数近くなっても振れの上昇は少ない。

振れが大きいと、図4-8に見られるような穴位置のばらつきがドーナツ状に分布が広がってしまう。従ってスピンドルを含めチャッキング部分を精度良く管理することは非常に重要である。スピンドルのチェックには、外販されている振れ測定器（図4-9）などを使うことが望ましい。

摩耗などのためボールねじの精度低下でバック

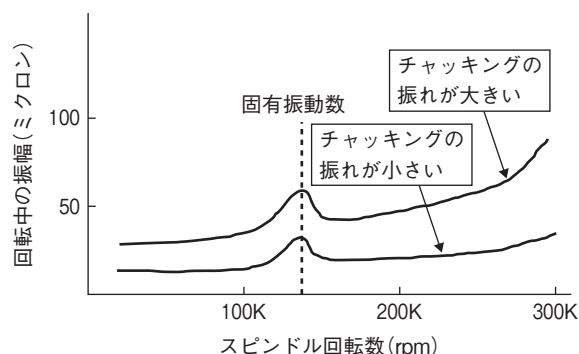
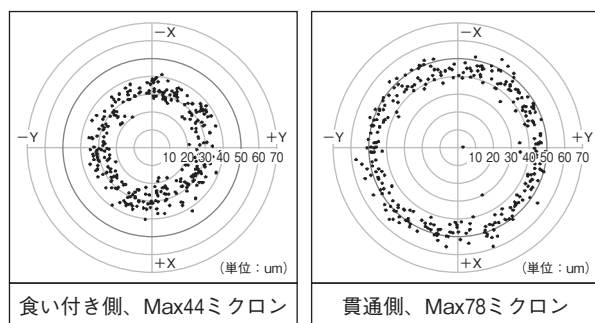


図 4-7 回転数が振動に与える影響 (例)



チャッキング時の振れ：100ミクロン、
基板：1.0t 3枚重ね、当て板：アルミ板
ドリル径：0、25、回転数＝160rpm、送り：3mm/分

図 4-8 ドリルチャック時の振れが大きい場合の穴位置の分布

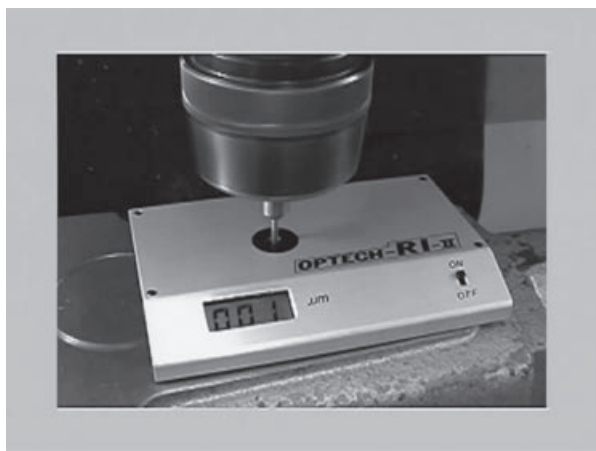
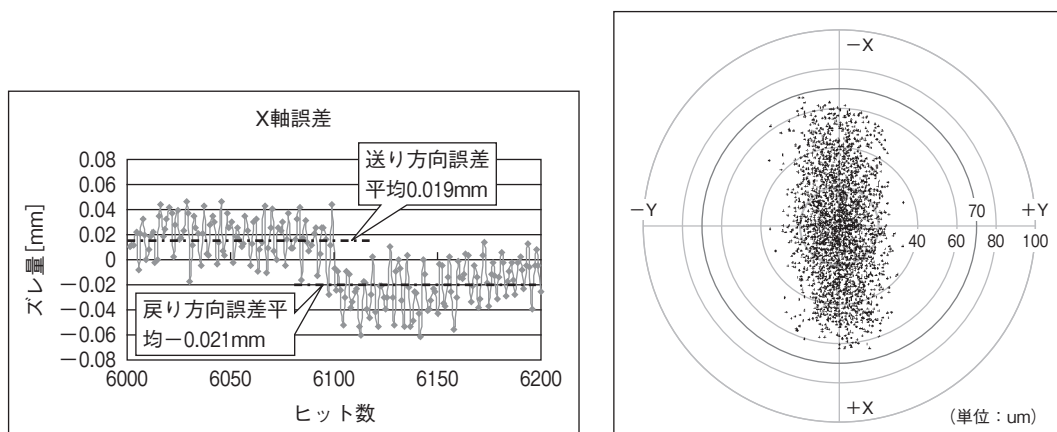


図 4-9 スピンドル振れ測定装置 (オブテック RI)



X軸だけの往きと戻りの狙い値からのずれ、ボールねじのバックラッシュにより20ミクロンずれている

全体の穴位置のバラツキ、Y軸に比べX軸の分布が大きく広がっている

図 4-10 NC 機ボールねじのバックラッシュ増大による穴位置精度への影響



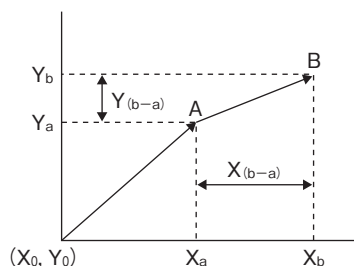
図 4-11 バキューム圧力、先端ブッシュ面圧測定器 (PVチェッカー)

ラッシュが大きくなることによっても、図4-10に示されるような往きと戻りによって位置ズレが出てしまい、穴位置精度の分布がバックラッシュの大きい方向で長く分布するような現象が現れてくる。

さらに、先端ブッシュの摩耗で、基板表面に傷を付けたり、片当たりになって押さえが不十分となると、ドリル折損や位置精度のトラブル原因になるため、これらのチェックも専用のバキューム圧力と圧力センサーによるブッシュの面圧も測定できる測定器 (図4-11) で併せて行うようにしなければならない。

4.6 NC プログラム

穴あけのNC穴あけプログラムは、他のNC加工機と基本は同じであるが、穴あけ専用に使いやすくなっている。穴あけする位置を座標で表す場合も、座標原点からの位置を用いるアブソリュート (絶対座標系) と次の位置までの移動量で示すインクリメンタル (相対座標系) があり (図4-12)、同一基板内に複数の同じパターンを繰り返すときなどは、パターンのサブプログラムを作り、それをメインプログラムで繰り返させるようなことが、簡単にできるようになっている。また、CADで設計された穴位置のデータをそのまま加工するのではなく、加工能率を上げるため、一旦データを読み込み、機械の移動距離を計算し直し、最短の経路を自動で選択することが出来るようなソフトも使われている。また、加工方法によっては、基板が一定方向に伸び縮みすることもあるが、あらかじめ



座標原点 (X_0, Y_0) から、位置Aにあるドリルを位置Bまで、移動する場合

アブソリュートだと、 (X_b, Y_b) と位置を指定し、
インクリメンタルだと $(X_{(b-a)}, Y_{(b-a)})$ となる

図 4-12 アブソリュート（絶対座標）とインクリメンタル（相対座標）の相違

/M5*****	(プログラムの内容を表すヘッダーをいれる、任意)
%	(プログラムの開始)
G26	(サブプログラムブロック開始の宣言)
N44	(サブプログラム44開始(必ず44からつけること))
G91	(位置データがあった場合、相対座標で移動の宣言)
G81	(位置データがあった場合、移動後ドリリングを行うコマンド)
X770Y23650	10分割ランダムデータの開始(データはダミー)
X0Y-6600	
X-440Y-990	プログラムの内容を表す
X-110Y-1540	
X-110Y-4290	
(略)	
T01	T01のドリルにツールチェンジする

図 4-13 NC 穴あけプログラムの例

め分かっている場合は、その方向に一定の比率でスケーリングを行うことも可能である。図4-13に基板を加工する穴明けプログラムの例を示す。これ以外にも多くの例で、Gコマンドが用意されてプログラムが使いやすくなる工夫がされている。

参考文献

- 1) 日立ピアメカニクス(株)製品カタログ
- 2) ジーエスアイ (エストウインドウ) (株)社内資料
- 3) 長沢勝浩 電子材料 140 2007年9月号
- 4) 電子回路基板技術大全 電子ジャーナル 2009年版