

電子回路基板のドリル・ルータ加工入門 (第4回)

ユニオンツール株式会社
津坂 英夫

5. 基板材料とドリル加工性

5.1 複合材料としての基板

近年では、基板の高機能化、高性能の半導体の開発により、基板に対しては耐熱性の高いものや、熱膨張率の低い基板などの要求により、基板がより難削化している。

いわゆる基板材料（銅張積層板）は、大きく分けて銅箔、樹脂、フィラー、ガラスクロス（紙）の4つの異なる材料から構成されている。銅箔は延性に富み、切り屑が長くなり切削抵抗も高い、樹脂は熱の影響を受けやすく、フィラーは硬さが摩耗に影響し、ガラスクロスは材料に異方性を与えるなど、穴明け加工にはこれらの材料特性が影響を与えるが、単にその材料の特性・物性だけでなく、相互作用を含めた複合的に作用する現象としてとらえていく必要がある。

そこでここでは、個々の材料要素を取り上げ、その加工のし易さ、し難さ（＝被削性）を取り上げ、与える影響や加工上注意していくべき点などについて述べていく。

5.2 銅箔

銅箔は金属材料であり、他の構成材料に比べてはるかに延性に富み、樹脂やフィラーに比べ10倍以上切削抵抗も高く（図5-1）、切削エネルギーも必要である。金属の中では銅などと比べると切削温度は低いですが、切削点では数百度以上に、他の材料より切削温度は明らかに高くなる。

電子回路基板用の銅箔を製造する工程の違いから、圧延銅箔と電鍍銅箔があり、これによって銅の特性も異なる。ほとんどの場合、コスト面からも電鍍銅箔が用いられ、屈曲性に優れている圧延銅箔はフレキシブル配線板などの用途に使われているのみである。電鍍銅箔は結晶が電解により成長する方向に結晶構造が伸びていくために、粒界に沿ってクラックが伝わり、圧延などに比べて切り屑が分断されやすいため圧延銅箔よりは加工しやすい。

銅箔の切り屑形状は穴の拘束を受けないときはらせん形状であり、穴内部に入り穴の拘束を受けると細長いリボン状になる。他の材料は粉状、もしくは分断された形状に比べると排出されにくい形状といえる（図5-2切り屑形状）。

図5-3は多層板をドリル加工したときのドリル折損時の穴断面と切削抵抗（トルク）のプロファイルを示す。加工が進み、穴が深くなるにつれて切り屑が詰まっていき、トルクが上昇して穴の終点近くに切り屑詰まり、終には折損している。この時は両面板を4枚重ねてあり、銅箔部分を切削している時にトルクが上昇しているのが分かる。

一方、銅箔を除去した基板を穴明けした時のトルク変動

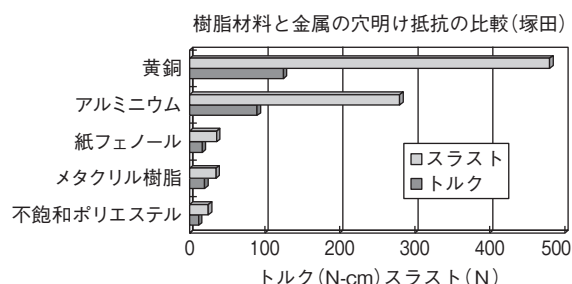


図 5-1 金属と各種樹脂のドリル切削抵抗の違い
（6mmの高速度鋼ドリルを用いている）

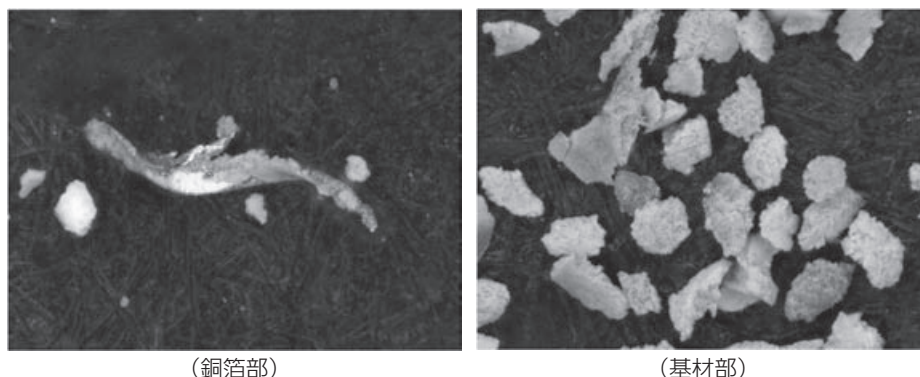


図 5-2 PCB 加工時のドリル切り屑 (例)

は、穴が深くなったときでもトルクの上昇はほとんど見られない。亀裂、分断によって生成された樹脂、ガラスなどの切り屑が吹き出し、飛び散るように排出されるのとは異なり、銅箔は連続した切り屑が螺旋状または線状に排出されるため、切り屑の流出速度は遅い。多層板のように、銅箔とその他の基材部分が交互に排出される場合、速度の遅い銅箔の切り屑に後から速度の速い基材の追いつき切り屑が詰まっていくのではないかと状況が推定できる。

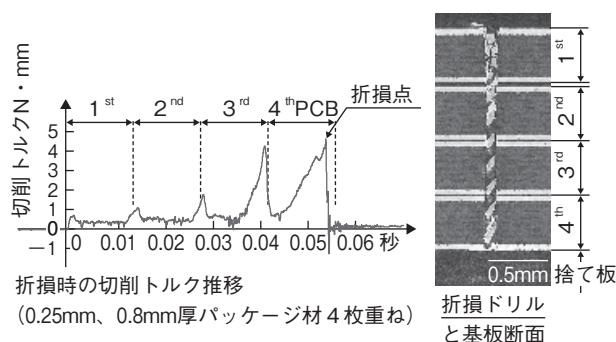


図 5-3 切り屑排出不良によるドリル折損状態と切削抵抗の変化

5.3 樹脂

プリント配線板に使われる樹脂は、代表的なエポキシを始め、フェノール、耐熱性に富むポリイミド、BT 樹脂、PPO、PPE、より低誘電材としてテフロン材、ビルドアップ用途の ABF 材など多岐にわたる。樹脂は金属の銅やガラスなどに比べてより低温で軟化し、あるいは溶融するため、ドリル加工時の切削温度に敏感に反応し、穴内壁で中による切り屑詰まりやドリルへの切り屑の絡みつき、内層銅箔への付着によるレジンスミアなどの発生に関わりを持っている。樹脂それ自身は、硬さは超硬合金に比べると硬くはなく、異常に硬化しない限り工具摩耗にはあまり寄与しないと考えて良い。一般的には溶融温度の高い熱硬化性の樹脂が多いため、基本的に、切り屑形状は粉状である。しかし、穴が深くなり、かつ切削温度が上昇し始めると熱により軟化し固まってくることがあり、切り屑詰まりが起きやすい。

一方、熱可塑性の樹脂は、より熱に敏感であり、切り屑自体も粉状になることはなく、繋がったりボン状の柔らかい状態で生成される。そのため、熱硬化性樹脂と比べはるかに固まり易く、詰まりを起こしやすい。一般的には、熱可塑性の樹脂の切削速度（周速）は100m/min. を超えない範囲で推奨されている。これに比べると、熱硬化性の樹脂は、切削速度が150～200m/min. の速度が推奨されているが、この速度においても軟化も少なく、粉状になって切り屑が生成される。

FPC（フレキシブルプリント配線板）に使われるイミドは、基材のガラス部分もなくフィルム状の柔軟性に富んで薄い基板である。薄いため重ねたときに基板のずれが生じやすく、変形やドリル摩耗によるバリ、穴の変形なども起こりやすい。そのため、加工時に穴明け部分が変形しないように厚めの紙フェノールの当て板などを用いて加工することが必要になる。また、FPC の多層板などは接着材が用いられている場合があり、この接着剤層は熱可塑性で解けやすく、ドリルの溝に詰まることやドリルの根元に絡みつくと起こりトラブルとなる。FPC 穴加工に用いられるドリルは、ねじれ角の強い鋭利さをもち、切り屑排出性の良い形状のドリルが使われる。

5.4 フィラー

ガラスエポキシ基板に難燃剤として、かつてハロゲン系の添加物が加えられていたが、これが有害物質として規制され、代わりにハロゲンフリーのフィラー剤が添加されるようになった。さらに、半導体の温度が高くなり、ICサブストレートパッケージは耐熱性、半導体に近い熱膨張率（低CTE）がもとめられ、様々なフィラーをより多く含有するものが増えてきている。一口にフィラーと言っても、その材料によって全く異なる被削性を示していることが近年の研究で明らかになってきている。

フィラーとして、多くの材料が使われているが、この中で、最もポピュラーな材料はシリカ（ SiO_2 ）である。シリカは元々がセラミックスの一種で硬く、ドリルの摩耗を促進させる。また、シリカの形状によっても、摩耗の度合いが大きく異なり、大きい塊として添加される場合と微細化されて添加される場合でも異なる。さらに板状か球状によっても異なってくる。フィラーの物性は決して一様でなく、水酸化アルミなどはあまり摩耗しないが、穴内部で切削温度等により粘りを増し、切り屑詰まりなどのトラブルにつながることもある事が分かっており、シリカとは全く反対の物性を示す。したがって、最適なドリル形状もフィラーの種類によって異なることを知っておかなければならない。

図5-4は、代表的な3種類のフィラーを同じ条件で添加したときの切削トルクとドリル摩耗（写真5-1）、また、図5-5は穴位置精度の比較をしたものである。写真に見られるように一番摩耗しているシリカ入りの基板を加工した穴位置精度が最も悪く、摩耗があまり進行していない水酸化アルミ、タルクの穴位置精度の方が良い結果であった。切削トルクも硬いシリカ入りのものの方が、水酸化アルミより抵抗が少なくなっている。このため、切削トルクの大きくて切り屑の詰まりやすい水酸化アルミ添加の基板が、折損トラブルも多いと言われている。

しかし一方では、水酸化アルミ添加の基板に最適形状のドリルを用いれば、シリカ添加の基板の数倍長い寿命が得られることも報告されている。図5-6はフィラー剤の添加量を変化させたときの、折損寿命の比較を示すが、フィラーが折損寿命に大きく影響しているのが分かる。

5.5 ガラスクロス（基材として）

ガラスクロスは誘電率に優れ、繊維方向に引っ張り強度が強いため、元々ベーク板に使われていたクラフト紙から替わり、樹脂板の補強用として使われている。

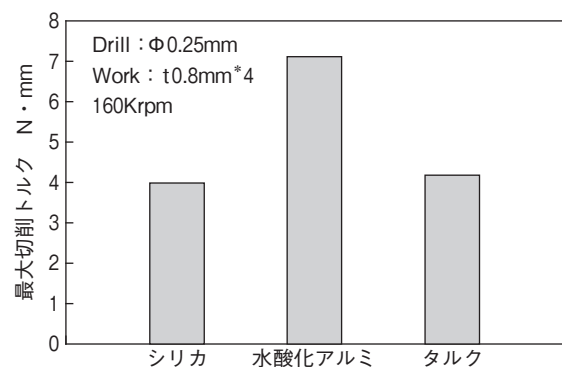


図 5-4 各種フィラーの切削トルクと折損寿命への影響

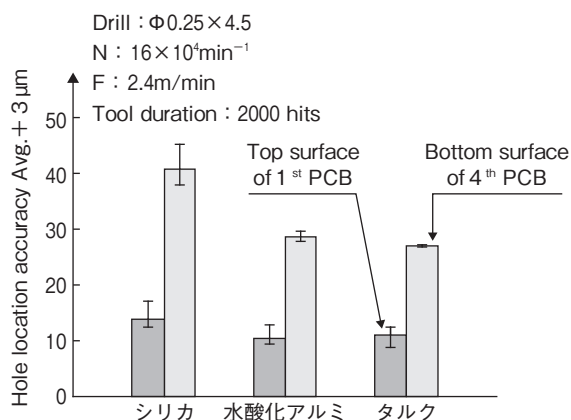


図 5-5 各種フィラーの穴位置精度への影響

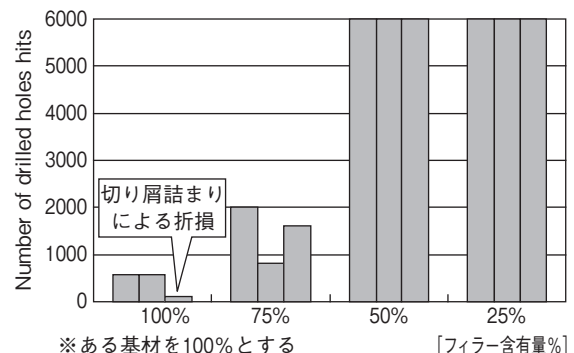
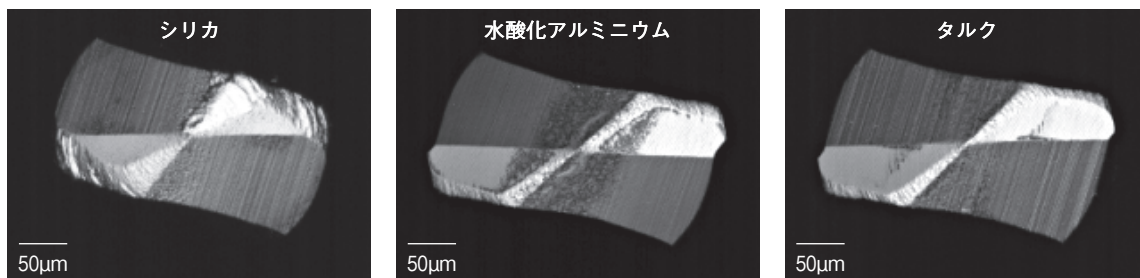


図 5-6 フィラー充填率の折損寿命への影響



Drill : Φ0.25×4.5

写真 5-1 異なるフィラーによるドリル摩耗への影響（各2000hits 加工後）

表 5-1 ガラス組成表

		E ガラス	D ガラス	NE ガラス	T ガラス
SiO ₂	(wt%)	52 ~ 56	72 ~ 76	52 ~ 56	62 ~ 65
CaO	(wt%)	16 ~ 25	0	0 ~ 10	0
Al ₂ O ₃	(wt%)	12 ~ 16	0 ~ 5	10 ~ 15	20 ~ 25
B ₂ O ₃	(wt%)	5 ~ 10	20 ~ 25	15 ~ 20	0
MgO	(wt%)	0 ~ 5	0	0 ~ 5	10 ~ 15
Na ₂ O, K ₂ O	(wt%)	0 ~ 1	3 ~ 5	0 ~ 1	0 ~ 1
TiO ₂	(wt%)	0	0	0.5 ~ 5	0

表 5-2 代表的なガラスヤーンとガラスクロス

クロス名	クロス厚み	通称	使用ヤーン名	繊維径	集束本数	PP*厚み（通称）
7628	180μm	↑厚物クロス	G-75	9μm	400本	0.2mm
1501	150μm	↓薄物クロス	E-110	7μm	400本	0.15mm
2116	100μm		E-225	7μm	200本	0.1mm
1080	50μm		D-450	5μm	200本	0.06mm

* PP：プリプレグ

ガラスの種類は、電気的特性と加工性などによっていくつかの種類に分けられる（表5-1）。SiO₂の含有量が少なく加工も比較的しやすいEガラスが最も一般的に使われる。一方、フィラメント繊維も太く、ヤーンの数が多いDガラスは硬く、超硬ドリルでも刃が立たず、数十穴しか持たないケースもある。ガラス繊維は配線板の構成材として、硬い均一性を損なう存在としてドリルをはじくものとして作用する。図5-7のようにドリルが摩耗して刃先が鈍くなると一段とドリルを曲げる方向に力が強く働き、フィラメントが撚られた糸の織られている間に入ろうとする。ガラス繊維による穴曲がりやドリル摩耗だけでなく、フィラメントの太さやヤーンを構成する本数に影響されるが、開繊処理などによっても穴位置精度の改善を図ることができる。

上下表面にそれぞれ1層のガラスクロス、その間にガラス繊維の不織布とエポキシのマットを挟んだ構成の配線板としてCEM3などがあるが、上下表面にあるガラスクロスの繊維は太く、ドリルはガラス繊維に当たると曲げられるため、穴位置精度が他の材料に比べると悪い結果となってしまう。当て板などのガイドがないとガラス繊維をまたぐようにして、穴が蛇行する。

レーザーによる穴加工を前提としたアラミド繊維を不織布としてエポキシのプリプレグを用いた全層ビルトアップもあるが、ドリルによる穴加工はあまり行われなない。この基材の被削性は、かなりドリルへの負担が大きく、激しいドリル切れ刃の損傷と内壁面の粗さがFR材に比べ大きいとされている。紙や合成繊維布などもあるが、ここでは、ガラスに比べると加工もしやすく、ドリル加工例も少ないので取り上げていない。

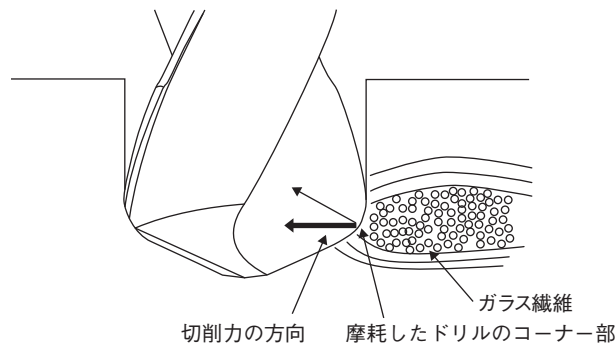


図 5-7 ガラス繊維がドリルを曲げる模式図

5.6 まとめ

以上、これら基板を構成する材料の中で、被加工性に及ぼす因子をまとめると

- ガラスクロス（基材）：強く硬い材料として、工具摩耗や穴の曲がりに影響、紙や合成繊維布などは少ない。
 - ・ ガラスの種類、繊維の太さ、開繊処理、不織布 など
- 銅箔：延性材料として長い切り屑が切りくず排出性を阻害
 - ・ 厚み、層数、工程（電解、圧延…）
- フィラー（ハロゲンフリー添加物）：硬い材料は工具摩耗に、あるいは固まりとなり切りくず排出性の阻害や摩擦抵抗の影響
 - ・ 種類（水酸化アルミ、シリカ、タルク、水酸化マグネシウム…）
 - ・ 形状（微細化、球状、板状…）、含有量…
- レジン：切り屑排出性の阻害や積層時の層間剥離やレジンスミアの原因になるが、他の要因に比べドリル工具摩耗・折損には比較的に影響が少ない。
 - ・ エポキシ、フェノール、イミド、BT 樹脂、フッ素樹脂…

これら材料について単独での被削性を述べてきたが、実際には、かなり相互に影響し、複合的に作用するので、単純な現象として現れることはない。近年、基板材料の加工がますます難しくなっており、ドリル径が同じだからといっても一種類のドリルで全てをまかなうことは出来ない。むしろ、基板の被削性を知り、より適したドリルを使い分けることによって、より効率的な加工と、寿命を延ばしコスト低減を図ることができ、よりメリットが大きい。

参考文献

- 1) 三宅淳司、“銅箔の概要” エレクトロニクス実装学会誌 Vol.6 No6 (2003) pp528-532
- 2) 相馬 勲 ほか、“初歩から学ぶフィラー活用術” 工業調査会
- 3) 旭化成エレクトロニクス社 カタログ
- 4) 渡辺英人 ほか、“プリント配線板における高速微小穴明け加工—PCB 構成材料のドリル折損への影響—” 精密工学会誌 Vol.75 No12 2009 1428-1433
- 5) 藤井幹也 “超極薄ガラスクロス” エレクトロニクス実装学会誌 Vol.8 No2 (2005) pp103-107