

(解説)

プリント基板加工用アルミ表面潤滑処理材

Lubricant Pretreated Aluminum Sheet for Printed Wiring Board Drilling



吉川英一郎*
Eiichiro Yoshikawa



藤澤彰利*
Akitoshi Fujisawa



岡村康弘**
Yasuhiro Okamura



東條毅浩**
Takehiro Tojo

A new type of entry board, called " FAE sheet ", was developed using a unique lubricant film laminated on an aluminum sheet. The FAE sheet has significantly improved drilling qualities such as hole accuracy, hole wall roughness and drill bit life, even under severe drilling conditions. The improvements have been derived mainly from modifications in the resin system, especially in regards to lubrication behavior such as melting temperature, melting viscosity and melting heat capacity. In addition, FAE sheet can conform to various drilling conditions since the film thickness and aluminum thickness can easily be adjusted.

まえがき = 近年、電子機器は高密度化および高性能化が進み、顕著な発展がみられる。中でも、プリント配線基板 (Printed Wiring Board, 以下 PWB) がその発展に大きな役割を果たしている。PWB は、特に携帯電話、デジタル家電、パーソナルコンピュータなどの電子製品の小型化・高性能化に寄与している。

一般に PWB は、銅箔からなる導体層と紙やガラス布を補強材とした有機樹脂からなる絶縁層を、交互に積層させた複合材から構成されている。この PWB に半導体チップなどの電子部品を実装する際には、リードを挿入する貫通穴あるいは導体層間接続を確保するための穴が、ドリルにより機械加工される。ドリルによる加工時には、PWB 最外面の銅箔のかえりを抑制し、銅箔面に疵がつかないように保護する目的で、治具板を使用するのが一般的である。この治具板は、穴あけ加工する PWB の最上層に置き、ドリルの侵入側に使用する当て板 (以下、エントリーボード) と、PWB の最下層に置くバックアップボードの 2 種類に分けられる。

電子機器の高密度化・高性能化のすう勢に伴い、PWB にも高密度配線と高精度実装が求められており、ドリル加工に対する要求もますます厳しいものになってきている。

例えば、加工穴径が小さくなること、穴間ピッチが狭くなること、それに伴い単位面積当たりの加工穴数が増加すること、さらには生産コスト低減のため、より多くの PWB を重ね合わせる高アスペクト比の加工ニーズが高まっていること、などが挙げられる。このような状況から、ドリル加工に使用する治具板に求められる性能が重要視されるようになってきている。

6 層からなるめっきスルーホール多層 PWB の断面の構造を図 1 に示す。PWB の配線用パターンに設けられたランド部の上下に貫通穴をドリル加工するもので、こ

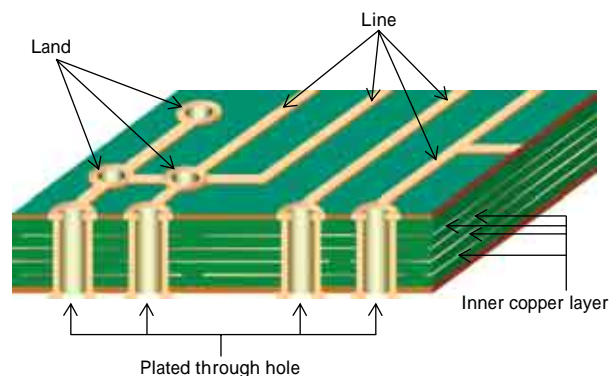


図 1 めっきスルーホール多層プリント配線板の模式概観図
Fig. 1 Cross section schematic view at plated through holes of 6-layered PWB

の加工が PWB ドリル加工の大部分を占めている。これらの加工穴が、電子機器の性能や信頼性およびコストに関係しており、加工穴の品質と経済的加工コストの確保が重要となる。この貫通穴の品質に、ドリル侵入側に使用するエントリーボードの特性が大きな影響を及ぼす。

従来、厚さが 100~200 μm のアルミニウムシートがエントリーボードとして使用されてきた。しかしながら、ドリル加工する貫通穴が小径化の一途をたどっており、また生産性向上に対応すべく、ドリル加工負荷も増加しているため、穴加工品質の維持がアルミニウムシートでは難しくなっている。

アルミニウムシートを単独で使用方法では貫通穴の品質確保に限界が生じ易くなるため、穴品質の向上を図ったエントリーボードの開発が必要となった。

㈱神戸製鋼所では、アルミニウムシートの欠点を解決するエントリーボードとして、すでに潤滑塗膜をアルミニウムシートに処理した「CAE シート」を開発し^{1),2)}、関連会社であるサン・アルミニウム工業㈱で製造販売している。しかし、更に過酷な加工条件での穴品質を向上

*技術開発本部 機械研究所 **サン・アルミニウム工業㈱

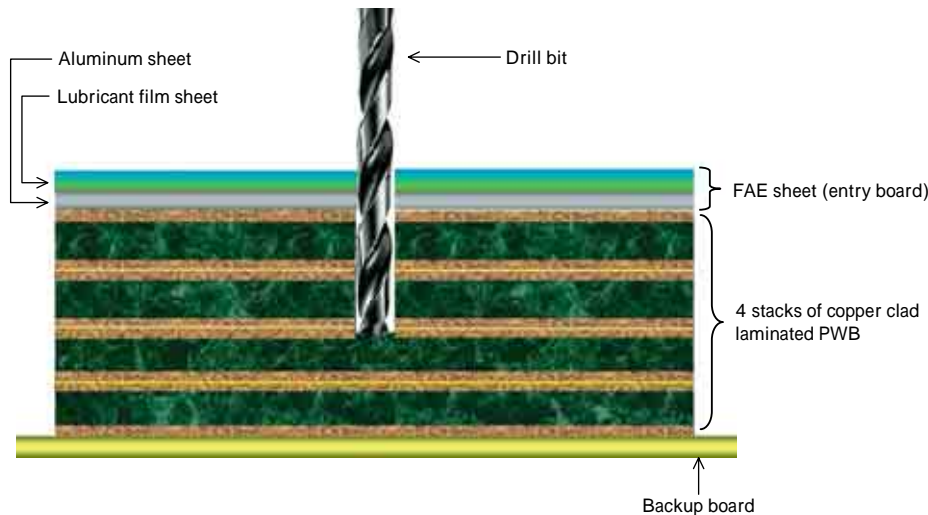


図2 FAEシートを適用したPWBのドリル穴あけ加工の模式断面
Fig. 2 Schematic structure of FAE sheet application to drilling of PWBs

させるため、アルミニウムシート表面に特殊な潤滑処理を施した当社独自のエントリーボード（Film laminated Aluminum Entry board，以下FAEシート^{3),4)}）を新たに開発した。

開発したFAEシートをドリル加工に使用する場合の設置例を図2に示す。本稿では、このFAEシートの概要や性能などを紹介する。

1. FAEシートの概要

1.1 ドリル加工に要求される品質特性

小径貫通穴のドリル加工において、エントリーボードにアルミニウムシートを適用すると、以下の問題が生じる。

- ・穴位置精度不良
- ・穴内壁粗さ不良
- ・ドリル折損
- ・スミア発生

PWBの種類や用途、並びに加工条件により要求スペックに相違はあるが、例えば、近年急速に電子機器などに適用されているビルドアップ多層PWBのドリル加工を、0.25mm(超硬仕様)のドリルを用いて表1の加工条件によって実施する場合、一般的に以下のようなスペックを満たすことが求められる。

- 1) 穴内壁粗さは、凹みが最大で15 μ m未満であること。
- 2) 穴位置精度は、穴あけ後の中心設定位置からの最大変位量並びに変位の平均値+3 σ がともに40 μ m未満であること。
- 3) ドリル折損に関しては、ドリル刃先の再研磨回数を3回として、延べ約20,000ヒットの寿命を有し、加工中のドリル折損頻度がppmオーダーであること。
- 4) ドリル加工穴の内壁部のメッキ性能に関しては、内壁の内層樹脂がドリルの加工熱により軟化し、内層の導体表面を覆い導通不良や耐熱接続強度不良の原因となるスミアの発生に伴うメッキ不良およびメッキの染込みが、全加工穴において皆無であること。
- 5) PWBに内層銅箔がある場合では、ネイルヘッドと

表1 0.25mmのドリル加工条件
Table 1 Drilling process conditions using 0.25 mm drill

Drill diameter	0.25 mm
Drill bit type	Cemented carbide drill
Spindle speed	160,000 min ⁻¹
Infeed rate	3.0 m/min
Chipload	18.75 μ m/rev
Number of hits	5,000
Hole to hole distance	0.45 mm
Type of PWB	FR-4 double sided copper clad laminate, t=0.8 mm
Stack heights	4 stacks
Backup board	1.5 mm bakelite
Depth into backer	0.3 mm
Pressure foot	125 N
Vacuum force	150 hPa

表2 0.105mmのドリル加工条件
Table 2 Drilling process conditions using 0.105 mm drill

Drill diameter	0.105 mm
Drill bit type	Cemented carbide drill
Spindle speed	300,000 min ⁻¹
Infeed rate	2.4 m/min
Chipload	8.0 μ m/rev
Number of hits	5,000
Hole to hole distance	0.30 mm
Type of PWB	FR-4 double sided copper clad laminate, t=0.4 mm
Stack heights	2 stacks
Backup board	1.5 mm bakelite
Depth into backer	0.15 mm
Pressure foot	125 N
Vacuum force	150 hPa

呼ばれるドリル摩耗に起因する内層銅箔のバリによる形状変化が40%未満であること。

他方、更なる高密度配線・高精度実装PWBが要求されており、0.10mm近傍の極小径穴ニーズが増加の一途をたどっている。この極小径ドリル加工で特に重視される点は、穴位置精度と耐ドリル折損性である。穴径が小さくなるほど穴位置精度の要求も厳しくなり、PWB1枚当たりに加工する穴数も飛躍的に多くなることから、ドリルに大きな負荷の掛かることがその理由である。

代表的な0.105mmのドリルを使った加工条件を表2示す。この場合では、穴位置精度は穴あけ後の中心設定位置からの最大変位量並びに変位の平均値+3 σ はとも

に 30 μm 未満であること、およびドリル折損は加工中の折損頻度が ppm オーダであり、穴内壁粗さは凹みが最大で 10 μm 未満であることが、一般的な目標スペックである。

1.2 潤滑樹脂の開発指針

前節で示したドリル加工上の重要な品質である穴内壁粗さ低減のための樹脂特性に求められる点は、

- 1) ドリル加工時に、ドリルで PWB を切削することによって発生する摩擦熱で、アルミニウムシート表面の樹脂がすばやく溶融すること
- 2) 高速回転するドリルに対して溶融樹脂成分が付着追従することにより、潤滑効果が発現され易くすること
- 3) その潤滑効果により、加工時に発生する切粉が容易に加工穴から排出されること

が挙げられる。これらを実現できれば、穴内壁粗さの低減につながると推測される。さらにこの樹脂の潤滑効果によって、穴加工上の問題として取り上げたドリル折損、スミア発生に伴うメッキ不良、メッキの染込み、並びにネイルヘッドを同時に改善することができるものと考えられる。この樹脂による潤滑効果を最大限に発現させるため、以下に示す樹脂の溶融挙動に関する物性値を最適化する開発を行った。

- ・融解温度
- ・融解熱量
- ・融解粘度

一方、穴位置精度の向上については、PWB の銅箔最表面の疵・バリ・穴変形の防止を、従来から用いているアルミニウムシート材に担わせることができる。穴位置精度に影響を及ぼすドリル食込時の求心性は、樹脂皮膜硬度を最適化することでその向上を図った。つまり、適度な硬度を皮膜に付与させることにより、ドリルの食いつき性を向上させ、ドリルの求心性を高められると考えたからである。加えて、前述した潤滑効果によって切粉がスムーズに加工穴出口から排出されるため、加工後のエントリーボードの表面（加工穴出口周囲）に切粉残渣が残りにくくなり、穴飛び現象の低減に寄与することも期待できる。

以上の指針を元に開発した潤滑樹脂に、以下の施工機能の付与も開発事項とした。

- 1) 潤滑樹脂を所望の膜厚に製造できるフィルム成形を可能とする。
- 2) コスト低減と量産性を満たすために、フィルム自体を溶融させてアルミニウムシートに直接融着させるホットラミネーションを可能とする。

2. FAE シートの性能

2.1 ドリル加工性能評価試験の概要

前述の指針に基づいて開発した樹脂を用いた FAE シートを使用して PWB のドリル加工試験を行い、アルミニウムシートを用いた場合との比較によって、穴品質を評価した。

第一に、ビルドアップ多層 PWB の内層コア材の主流

表 3 ドリル加工試験方法

Table 3 Drilling process test method

Drilling machine	H-MARK10V ¹⁾
Analysis machine for hole accuracy	TAKEUCHI PXL-2000 ²⁾
Tested FAE sheet	
Lubricant film thickness	150 μm
Aluminum sheet thickness	150 μm

- 1) Manufactured by Hitachi Via Mechanics, Ltd.
- 2) Manufactured by Takeuchi Co., Ltd.

表 4 ドリル加工試験方法

Table 4 Drilling process test method

Drilling machine	ND-6Q210 ¹⁾
Analysis machine for hole accuracy	TAKEUCHI PXL-2000 ²⁾
Tested FAE sheet	
Lubricant film thickness	40 μm
Aluminum sheet thickness	80 μm

- 1) Manufactured by Hitachi Via Mechanics, Ltd.
- 2) Manufactured by Takeuchi Co., Ltd.

表 5 0.25mm ドリル加工における FAE シートとアルミニウムシートの穴位置精度の結果

Table 5 Results of hole accuracy comparing with FAE sheet and aluminum sheet after 5,000 hits drilling process using 0.25 mm drill

Entry board	Hole accuracy performance		
	Maximum (μm)	Average (μm)	Avg. +3 (μm)
FAE sheet	25.4	18.3	27.8
Aluminum sheet	89.4	54.8	78.6

表 6 0.105mm ドリル加工における FAE シートとアルミニウムシートの穴位置精度の結果

Table 6 Results of hole accuracy comparing with FAE sheet and aluminum sheet after 5,000 hits drilling process using 0.105 mm drill

Entry board	Hole accuracy performance		
	Maximum (μm)	Average (μm)	Avg. +3 (μm)
FAE sheet	21.9	13.8	24.5
Aluminum sheet	69.3	20.6	58.4

Note) In case of aluminum sheet, only 4,038 datas were collected because of drill breakage at 4,039 hit.

として用いられている銅張両面基板（コア材料：ガラス布基材の高ガラス転移温度型エポキシ樹脂、銅箔厚さ：35 μm、総厚さ：0.8mm）を選定し、ドリル径は最も多用されている 0.25mm を使用して、表 1 の加工条件により加工試験を実施した。その試験方法と FAE シートの構成内容を表 3 に示す。

第二に、極小径ドリルによる加工試験は、表 2 の加工条件により実施し、その試験方法と FAE シートの構成内容を表 4 に示す。それぞれの加工試験において比較使用したアルミニウムシートは、FAE シートの基材と同じ種類および厚さのものである。

2.2 穴位置精度

穴位置精度の測定は、表 1 および表 2 の条件によりドリル加工した PWB 最下層の裏側を、光学式非接触式の 3 次元測定装置を用いて行った。穴位置精度の結果を表 5 および表 6 にそれぞれ示す。

表 5 に示す 0.25mm 加工では、FAE シートの場合の最大変位量（25.4 μm）および平均値 +3（27.8 μm）の

表7 0.25mm ドリル加工による FAE シートとアルミニウムシートの穴内壁粗さの結果
 Table 7 Results of hole wall roughness comparing with FAE sheet and aluminum sheet after 5,000 hits drilling process using 0.25 mm drill measured by micro section method

	FAE sheet			Aluminum sheet		
	1~5 hits	2,501 ~ 2,505 hits	4,996 ~ 5,000 hits	1~5 hits	2,501 ~ 2,505 hits	4,996 ~ 5,000 hits
Maximum roughness (μm)	9.05	7.66	8.26	22.48	25.09	28.37

表8 0.105mm ドリル加工による FAE シートとアルミニウムシートの穴内壁粗さの結果
 Table 8 Results of hole wall roughness comparing with FAE sheet and aluminum sheet after 5,000 hits drilling process using 0.105 mm drill measured by micro section method

	FAE sheet			Aluminum sheet		
	1~5 hits	2,501 ~ 2,505 hits	4,996 ~ 5,000 hits	1~5 hits	2,501 ~ 2,505 hits	4,034 ~ 4,038 hits
Maximum roughness (μm)	4.26	3.89	5.31	17.05	19.23	22.67

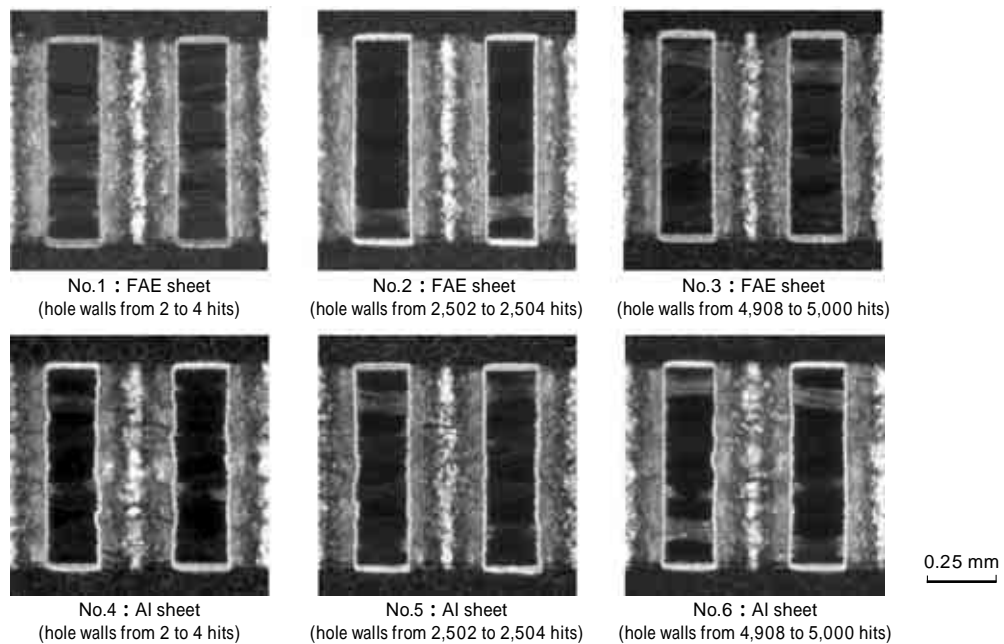


写真1 0.25mm ドリル加工後の穴内壁のクロスセクション写真(4枚重ねのうちの最上層のPWB)
 Photo 1 Cross section views of hole wall after drilling process using 0.25 mm drill (top placed PWB)

値は、スペックである $40\mu\text{m}$ 以内に収まっていることが確認された。一方アルミニウムシートの場合は、最大変位量 ($89.4\mu\text{m}$) および平均値 +3 ($78.6\mu\text{m}$) の値ともに、大きくスペックから外れるという結果となった。

さらに、穴位置精度の要求性能が特に厳しい極小径ドリル (0.105mm) 加工においても、表6に示すようにFAEシートでは、最大変位量および平均値 +3 の値ともに目標スペック ($30\mu\text{m}$) 以内に収まっており、満足な結果が得られた。一方アルミニウムシートでは、最大変位量および平均値 +3 の値ともにスペックから大幅に外れており、またドリルの折損 ($4,039$ ヒット目) も起こっていることが判明した。

以上から、FAEシート使用により、穴位置精度がスペックを満足することおよびドリル折損頻度の低減が確認できた。

2.3 穴内壁粗さ

穴内壁粗さの測定は、穴あけ加工された最上層の

PWBを用いて、1~5ヒット、2,501~2,505ヒット、および4,996~5,000ヒットそれぞれの5穴の断面を垂直に削り、マイクロセクション法で測定した。ここで測定したPWBは、事前にドリル加工された穴内壁を過マンガン酸カリウムによるエッチング液でスミア除去を実施した後に、銅メッキ処理を施したものをを用いた。

表7および表8に、穴内壁の最大凹みの値を示す。FAEシートでは、 0.25mm と 0.105mm のドリル加工の双方で、スペックを満足する穴内壁粗さが得られている。また、初期ヒットから最終5,000ヒットに至るまで、安定した性能が維持されている。

一方アルミニウムシートでは、初期ヒットで既に $15\mu\text{m}$ を超え、最終ヒットに至るとさらに悪化する結果となった。

以上から、FAEシート使用により、穴内壁面最大凹み値がスペックを満足することを確認した。

写真1に、 0.25mm ドリル加工品から抽出した穴内

壁の断面を示す。アルミニウムシート使用の場合に比して、FAEシートを用いることによる穴内壁面粗さ改善効果が定性的にも確認できた。

3. FAEシートの展開

前章から分かるように、穴加工品質（穴位置精度・穴内壁粗さ）および耐ドリル折損性は、FAEシートを使用する場合はアルミニウムシートを使用する場合に比べて、二つの過酷なドリル加工試験の双方において顕著な性能向上が認められた。これは、1.2節で示した樹脂開発指針に従い三つの樹脂物性（融解温度・融解熱量・融解粘度）を最適化したことおよび樹脂硬度の最適化による結果と考えられる。

このように、過酷なドリル加工条件に対応可能な潤滑樹脂皮膜の設計に成功したことで、FAEシートに引き続いてFAEシートの製造販売を開始することとなった。

むすび= プリント配線基板のドリル加工条件は、今後ますます厳しくなる傾向にある。ドリルの更なる小径化加工（～ 0.050mm）、表面実装パターンの高密度化に対応した高精度加工および高アスペクト比による高速度加工などは、今後引き続き求められるすう勢にある。このような状況の下、エントリーボードに求められる性能もさらに高レベルなものになっていくと予想される。

本稿で紹介した潤滑性エントリーボード（FAEシート）においても、さらなる改良に取組み、市場ニーズにタイムリーに対処していかなばならないと考えている。

参考文献

- 1) 吉川英一郎ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.52, No.2（2002）p103.
- 2) 公開特許：2001-347602.
- 3) 公開特許：2004-17190.
- 4) 公開特許：2005-169538.