

高実装信頼性低熱膨張率コンポジット銅張積層板

High Mounting-Reliability Composite Copper-Clad Laminate with Low Thermal-Expansion-Coefficient

平田 勲夫* ・ 堀端 壮一* ・ 野末 明義* ・ 杉本 憲哉* ・ 川人 圭子**
 Isao Hirata Soichi Horibata Akiyoshi Nozue Norichika Sugimoto Keiko Kawahito

プリント配線板への搭載部品のはんだ付けにおいて接合部位の寿命を延ばすために、多層構造のポリマ微粒子と低収縮剤を分散させた低収縮化樹脂および低熱膨張ガラスクロスを用いてコンポジット銅張積層板の低熱膨張化を実現した。得られた銅張積層板の基板特性は従来のコンポジット積層板と同等であり、はんだ付けされた搭載部品の寿命は約2倍程度長くなっていることが確認された。

In order to extend the life of soldered areas for components mounted on printed wiring boards, composite copper-clad laminate with low thermal-expansion-coefficient have been developed using low thermal-expansion-coefficient glass clothes and low-shrinking resin, in which multi-layer polymer micro-particles and shrink reduction agents are dispersed. The characteristics of the copper-clad laminated board obtained are equivalent to those of conventional composite laminates. It has been confirmed that the life of components soldered on this type of board is twice that of those soldered on conventional boards.

1. ま え が き

近年電子機器の軽薄短小化の進展とともにプリント配線板に搭載される部品は高密度実装化が進み、微小な部品がプリント配線板に搭載されてきている。また、プリント配線板のラインアンドスペース、ドリル径およびランド径もよりファイン化が進んできている。一方、このような搭載部品の高密度実装トレンドに対し、搭載される部品とプリント配線板のはんだ付け部の電気接続信頼性は従来と同様に確保されなければならない。

搭載部品の電気接続信頼性を確保する手法の一つとして熱膨張率の小さな銅張積層板を使用する方法が挙げられる。搭載される部品と銅張積層板およびはんだの熱膨張率はそれぞれ異なる。一般に部品の熱膨張率はプリント配線板用材料である銅張積層板と比較すると小さいので、プリント配線板に熱衝撃（使用時の電源のオンオフなどによる電子機器の熱衝撃の発生を想定）が加わったときに部品とプリント配線板の熱膨張率の差によりはんだ接合部に熱応力が加わり、一定以上の応力になるとはんだクラックが発生し断線してしまう。部品とプリント配線板の熱膨張率の差が小さければ熱衝撃時の熱応力も小さくなりはんだ部にかかる負荷も小さくなることによって、電子機器の寿命も長く

なる。

プリント配線板に用いられる代表的な両面銅張積層板としてガラス布基材エポキシ樹脂銅張積層板（以下、FR-4と記す）とコンポジット銅張積層板であるガラス布・ガラス不織布エポキシ樹脂銅張積層板（以下、CEM-3と記す）が挙げられる。

図1にFR-4とCEM-3の基材構成の比較を示す。

簡単に特徴を説明すると、FR-4は基材がすべてガラス織布からなり、寸法安定性や耐熱性に優れるという特徴がある反面、パンチング加工には不向きである。原材料価格は基材として高価なガラス布を多く使用するため両面銅張積層板の中では高価である。

CEM-3はパンチング加工性、ドリル加工性および耐熱性に優れるという特徴がある反面、中心層にガラス不織布を使用しているため熱膨張率はFR-4よりも大きくなる。原

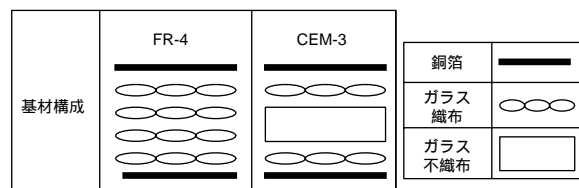


図1 FR-4とCEM-3の基材構成比較

* 電子材料分社 電子基材事業部 Electronic Materials Division, Electronic & Plastic Materials Company

** 解析評価技術センター Analytical Evaluation & Reliability Technology Center

材料価格は基材がガラス織布とガラス不織布を用いるためFR-4よりも安価となる。

筆者らはガラス不織布層に用いられる樹脂を低熱膨張化し、かつ縦方向と横方向の熱膨張率の差が小さなガラス織布を用いることにより、CEM-3がもっているパンチング加工性・ドリル加工性・耐熱性を維持しつつCEM-3の弱点であった熱膨張率がFR-4よりも大きいという点を大幅に改良した低熱膨張コンポジット銅張積層板「R-1788」を開発した¹⁾。

今回開発した「R-1788」は従来高信頼性用途で使用されていたFR-4に代わって実装信頼性・加工性に優れるとともにFR-4よりも安価な材料として使用されることが期待される。

本稿では「R-1788」の熱膨張低減の手法、基板特性、部品搭載後の熱サイクル試験結果および熱応力解析による理論的な検証について報告する。

2. 熱膨張低減の手法

2.1 樹脂からのアプローチ

今回開発した低熱膨張樹脂について述べる。従来の積層板に用いられる樹脂の熱膨張率は $60 \sim 70 \times 10^{-6} /$ 程度である。積層板の縦方向と横方向の熱膨張率は基材の影響を大きく受けるために、ガラス織布のような剛直な構造からなるFR-4の縦・横方向の熱膨張率は小さく、ガラス不織布の占める比率の高いCEM-3の縦・横方向の熱膨張率は大きくなる。厚さ方向の熱膨張率は基材の影響をほとんど受けず樹脂の熱膨張率の値がそのまま反映される。

筆者らは樹脂の熱膨張率を小さくするために、

- (1) 低収縮剤
 - (2) ポリマ微粒子
- を採用した。

一般に低収縮材は熱可塑性樹脂が用いられるが単純に樹脂に添加すると耐熱性が大きく低下するという問題が発生する。今回、筆者らは熱可塑性低収縮材のガラス転移温度(以下、 T_g と記す)および分子量を最適化することにより耐熱性の低下を防止した。

熱可塑性樹脂の T_g が高くなると硬化物の熱膨張低減が不十分となるので T_g が50以下になるように処方した。

熱可塑性樹脂の分子量が低すぎると耐熱性が劣化し、反対に高すぎると樹脂をワニス化した際の粘度が高くなりすぎ積層板製造時に悪影響が生じる。平均分子量が3000～30000程度の熱可塑性樹脂を用いれば耐熱性が高く製造性の良好な樹脂が得られることがわかった。

また、熱可塑性樹脂にポリマ微粒子を用いることにより樹脂の低熱膨張化を一段と向上させることができた。さらにポリマ微粒子は単層構造よりも多層構造であるものにより収縮率低減効果があることを見出した。これはポリマ微粒子と樹脂マトリックスの間に非常に微小な応力緩和層

を発生するような構造をとることによって、樹脂が熱膨張する際に応力緩和層が樹脂の熱膨張を吸収し、樹脂組成物の体積変化を抑制する働きをすることにより熱膨張が低減すると考えられる。ただし、低収縮剤同様、ポリマ微粒子を添加することにより樹脂組成物の耐熱性が低下するという問題が発生する。またポリマ微粒子は非常に高価なので多量に使用すると積層板の原材料費が高くなるというデメリットが生じる。したがって、樹脂マトリックスに対する低熱膨張化が最大となり、一方、耐熱性が劣化しないポリマ微粒子を開発して使用した。

2.2 基材からのアプローチ

基材組成の観点からも改良を試みた。一般にFR-4、CEM-3用のガラス織布は7628スタイル^{*2)}のものが厚さおよび価格面の理由から使用される。7628スタイルのクロスは縦方向のヤーン^{*3)}が44本/25mm、横方向が32本/25mm、と縦と横でガラス織布の密度が異なるために積層板の熱膨張率も縦方向と横方向で異なる。熱膨張率を測定すると縦方向よりも横方向のほうが $3 \sim 5 \times 10^{-6} /$ 大きくなる。今回筆者らは横方向に使用されるヤーンを見直して縦方向と横方向のガラスクロス密度を均一にすると積層板の縦方向と横方向の熱膨張率の差が低減することを見出した。

このガラス織布を用いれば積層板の縦方向と横方向の熱膨張率の差が $1 \sim 2 \times 10^{-6} /$ となる。

3. 銅張積層板特性

表1に今回開発した「R-1788」、当社一般CEM-3およびFR-4の積層板の一般特性を示す。評価は板厚1.6mm、銅箔18 μm の両面板で行った。

「R-1788」の基板熱膨張率は当社一般CEM-3より約 $8 \sim 9 \times 10^{-6} /$ 低減していた。その効果である部品を実装した場合の信頼性試験の結果は次節で説明する。厚さ方向の熱膨張率も樹脂マトリックスの熱膨張率低減の効果により当社一般CEM-3、FR-4よりも約 $10 \sim 15 \times 10^{-6} /$ 低減されている。厚さ方向の熱膨張率が小さくなることによって、スルーホール信頼性が大幅に向上し約2倍よくなることが確認された。表2にスルーホール信頼性試験の評価結果を示す(260オイル10秒浸漬 20水10秒浸漬

エアプローチを1サイクルとし、断線までのサイクル数を計測)。また、耐トラッキング性もIEC法でCTI600を示し高い絶縁信頼性を有している。 T_g も190と当社一般CEM-3、FR-4よりも高い耐熱性を示している。

パンチング加工性・ドリル加工性は当社一般CEM-3と同等の加工性であった。表3にドリル加工性の評価結果を示す。「R-1788」のドリル摩耗率およびスルーホールの内壁粗さは当社一般CEM-3と同等であった。表4にパンチング加工性の指標である動的最大剪断応力と動的最大引抜

表1 R-1788・CEM-3・FR-4の基板特性

試験項目	処理項目*1)	単位	R-1788	当社一般 CEM-3	当社一般 FR-4
基板線膨張率	縦方向	10 ⁻⁶ /	17	25	13
	横方向		19	28	16
	厚さ方向		50	65	60
体積抵抗率	C-96 / 20 / 65	M · m	9 × 10 ⁷	1 × 10 ⁸	5 × 10 ⁷
	+ C-96 / 40 / 90		2 × 10 ⁷	5 × 10 ⁷	1 × 10 ⁷
表面抵抗	C-96 / 20 / 65	M	2 × 10 ⁸	3 × 10 ⁸	5 × 10 ⁸
	+ C-96 / 40 / 90		3 × 10 ⁷	1 × 10 ⁸	1 × 10 ⁸
絶縁抵抗	C-96 / 20 / 65	M	9 × 10 ⁹	5 × 10 ⁸	1 × 10 ⁸
	+ D-2 / 100		5 × 10 ⁸	1 × 10 ⁷	1 × 10 ⁷
比誘電率 (1 MHz)	C-96 / 20 / 65	-	4.2	4.5	4.8
	+ D-24 / 23		4.2	4.5	4.8
誘電正接 (1 MHz)	C-96 / 20 / 65	-	0.013	0.015	0.015
	+ D-24 / 23		0.013	0.015	0.015
耐トラッキング性	IEC法	-	600	600	240
はんだ耐熱性 (260)	A	sec	120以上	120以上	120以上
引きはがし強さ 銅箔 : 18 μm	A	kN / m	1.55	1.57	1.57
	S ₄		1.53	1.57	1.57
耐熱性	A	-	240 60分ふくれなし	240 60分ふくれなし	240 60分ふくれなし
耐アルカリ性	浸漬 (3分)	-	異常なし	異常なし	異常なし
Tg (DMA法)	A	-	190	165	155
UV遮蔽性	350 nm	%	0.1	2	4
	400 nm		0.5	9	30

表2 スルーホール信頼性試験評価結果

	断線までのサイクル数			
	X1	X2	X3	平均
R-1788	118	125	117	120
当社一般 CEM-3	60	69	66	65
当社一般 FR-4	72	66	71	69

表3 ドリル加工性評価結果

評価項目 (hit数)	R-1788	当社一般 CEM-3
ドリル磨耗率 (5000)	41 %	43 %
内壁粗さ (平均値)	(3000)	14 μ
	(5000)	15 μ

加工条件 ドリル径 0.6
 回転数 60000 rpm
 送り速度 0.035 mm / rev
 1.6 mm 3枚重ね

表4 パンチング加工性評価結果

	R-1788	当社一般 CEM-3
動的最大剪断応力 (N / mm ²)	166.8	161.7
動的最大引抜き応力 (N / mm ²)	48.9	46.1

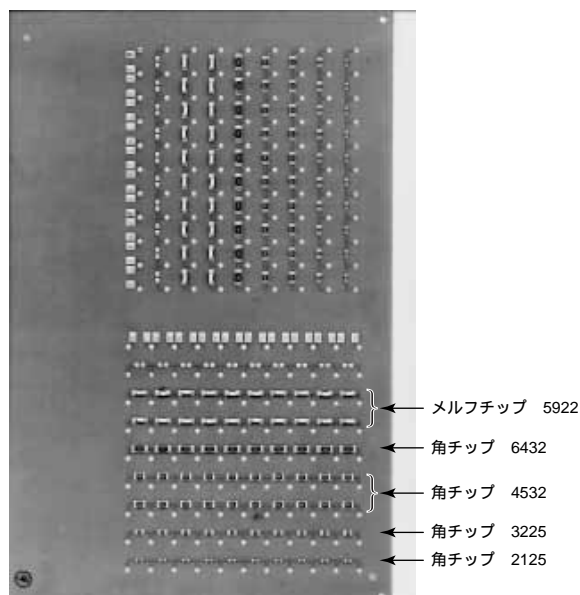


図2 チップ部品評価用基板

(a) 角チップ4種類 :

- ① 2125 縦方向10個 横方向10個
- ② 3225 縦方向20個 横方向20個
- ③ 4532 縦方向10個 横方向10個
- ④ 6432 縦方向10個 横方向10個

(b) メルフチップ1種類 :

- 5922 縦方向20個 横方向20個

(2) 使用はんだ :

RMA-010-NFP (タムラ化研製 ; 共晶はんだ)
 (印刷厚み 150 μm)

(3) 温度サイクル試験条件 :

き応力の実測値を示す。「R-1788」は当社一般CEM-3と同等の条件でパンチング加工が可能である。

4. 部品実装時の信頼性

4.1 チップ部品の実装信頼性

角チップ部品・メルフチップを「R-1788」, 当社一般CEM-3およびFR-4の各種層板に実装し, 温度サイクル試験を実施した。実装後の基板を図2に示す。

実装条件および試験条件は以下のとおりである。

(1) 実装したチップ部品 :

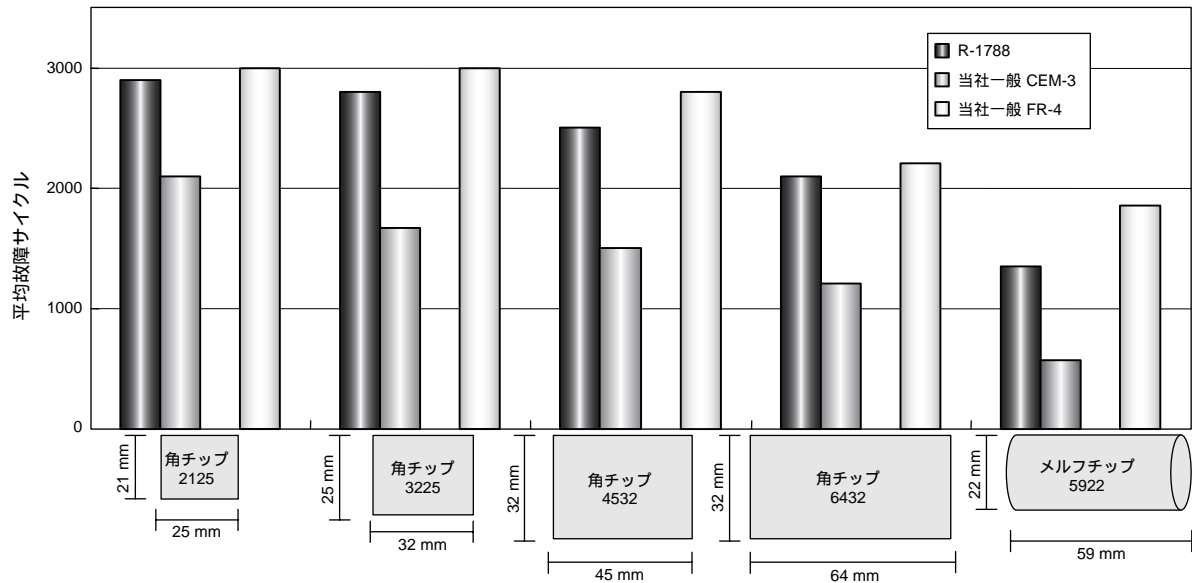


図3 チップ部品の実装信頼性結果

- 40 (30分) ~ 80 (30分)

(4) 故障解析:

250サイクルごとに3000サイクルまで抵抗値を測定した。100 m 以上の抵抗値異常のものを故障として平均故障サイクルの解析を行った。

図3に「R-1788」、当社一般CEM-3およびFR-4の故障解析の結果を示す。「R-1788」はCEM-3に対して約2倍の信頼性を有し、FR-4とほぼ同等の信頼性があることが確認された。

4.2 TSOPの実装信頼性

TSOP (Thin Small Outline Package) を「R-1788」、当社一般CEM-3およびFR-4に実装し、温度サイクル試験を実施した。

実施条件および試験条件は以下のとおりである。

(1) 実装したTSOP部品:

42ピンTSOP
(東芝製; TC58FVM6T1ATG65CAH)
基板縦方向に4個、基板横方向に4個実装

(2) 使用はんだ:

CM705 - 221BM5 - 42 - 111
(千住工業製; 無鉛はんだ)
(印刷厚み150 μm)

(3) 温度サイクル試験条件:

- 40 (30分) ~ 80 (30分)

(4) 故障解析:

250サイクルごとに1250サイクルまで抵抗値を測定した。初期抵抗値に対し10%以上抵抗値が上昇したものを故障として、1250サイクル時での故障発生数をカウン

表5 TSOPの実装信頼性結果

	1250サイクルでの故障発生数
R-1788	0 / 8
当社一般 CEM-3	3 / 8
当社一般 FR-4	0 / 8

トした。

表5に「R-1788」、当社一般CEM-3およびFR-4の故障数の結果を示す。「R-1788」はCEM-3よりも信頼性が高く、「R-1788」とFR-4は1250サイクルまで故障が発生していないことが確認された。

5. 実装信頼性解析による比較検討

本章では、表面実装チップのはんだ部を対象とした実装信頼性解析による比較検討結果を述べる。

5.1 解析条件

図4に有限要素法を用いた解析モデルを示す。

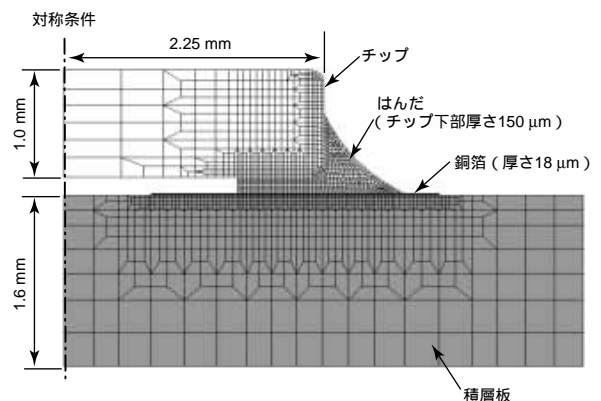


図4 有限要素法のための解析モデル

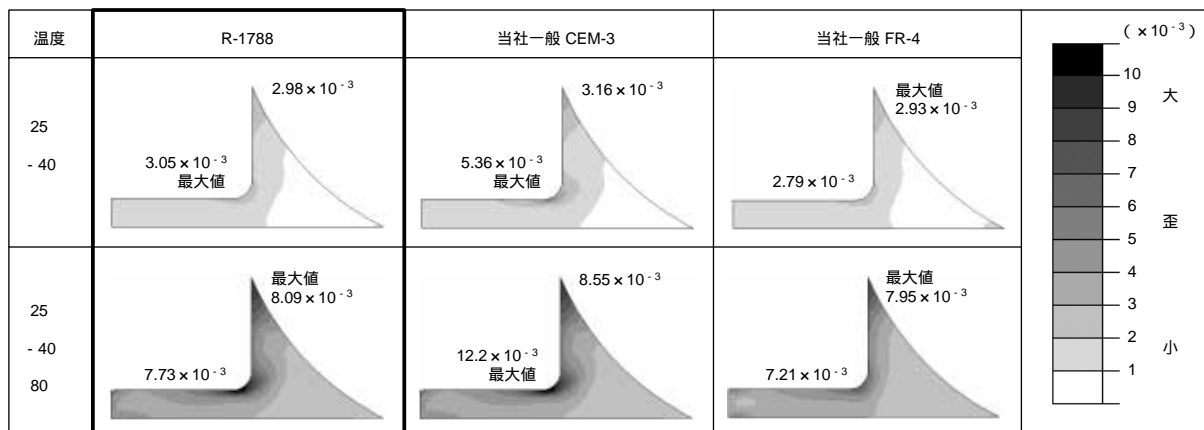


図5 はんだに発生する相当塑性歪分布

4節点平面歪要素を用いた2次元断面モデルである。対称性を考慮して、解析モデルはチップを中心に1/2とし、対称線上の節点に対称条件を与える。また、高さ方向の拘束条件(変位=0)は積層板下辺の対称線上の1点に与える。

温度条件は、熱サイクル試験を想定して室温の25 から -40 ,次に80 へと変化させる。そして「R-1788」、当社一般CEM-3およびFR-4に実装した状態を比較する。なお、表6にシミュレーションで使用したはんだや積層板などの材料物性値を示す。また、はんだについては、降伏応力を30MPaとし弾塑性体として取り扱っている。

表6 シミュレーションで用いた材料物性

	弾性係数 (GPa)	ポアソン比	熱膨張係数 (10 ⁻⁶ /)
R-1788	14.5	0.30	17
当社一般 CEM-3	15.5	0.30	25
当社一般 FR-4	18.9	0.30	13
はんだ	40.0	0.30	25
チップ	133	0.36	4.2
銅箔	12.9	0.35	17

5.2 実装信頼性解析シミュレーション結果

現在、はんだの疲労寿命則 (Manson-Coffin 則など) には相当塑性歪が比較よく用いられている²⁾。図5にはんだに発生する相当塑性歪の分布を示す。最大値の発生箇所が、チップコーナ付近と上部のものがある。チップコーナ付近は積層板とチップの熱膨張係数の差により歪が発生するため、積層板の特性の影響を大きく受ける。一方、上部のはんだとチップの熱膨張係数の差により発生しているため、積層板の変更の影響が小さい。そのため、積層板を低熱膨張化することにより、チップコーナ付近の歪の値が上部より小さくなる場合がある。次に -40 から80 におけるはんだの相当塑性歪範囲の最大値を図6に示す。「R-1788」に実装した場合と当社一般CEM-3に実装した場合とを比較すると、相当塑性歪の範囲の最大値は「R-1788」

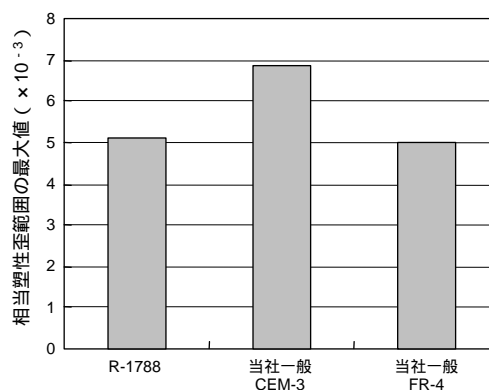


図6 はんだに発生する相当塑性歪範囲の最大値 (-40 80)

に実装した場合約74%に低減されることがわかる。積層板を低熱膨張化することにより、はんだが疲労破壊するまでの熱サイクル試験回数が増加し、長寿命化することが予測される。

6. あとがき

低熱膨張コンポジット銅張積層板「R-1788」を開発した。チップ部品やTSOPを実装し熱サイクル時の電気接続信頼性を当社一般CEM-3およびFR-4と比較した結果「R-1788」はCEM-3に対しチップ部品の実装信頼性が約2倍向上し、FR-4にほぼ匹敵する実装信頼性があることが確認された。また、熱応力解析の結果も「R-1788」は熱サイクル時の相当塑性歪範囲の最大値がFR-4とほぼ同等の数値となり、実装信頼性の評価結果と合致する。

「R-1788」は従来のコンポジット銅張積層板の特徴である加工性を維持しつつ、FR-4に匹敵する実装信頼性をもつ積層板として今後の普及が期待される。

●注

- * 1) 処理条件：例) C-96 / 20 / 65 (C：恒温恒湿の空気中の処理，96：処理時間，20：処理温度，65：処理の相対湿度)
詳細は当社カタログ「NAISプリント配線材料」に記載
- * 2) 7628スタイル：IPC-EG-140による
- * 3) ヤーン：5～15 μm のガラス糸を数百本合わせた撚糸

*参考文献

-
- 1) 平田 勲夫：高実装信頼性CEM-3，第16回エレクトロニクス実装学術講演大会 講演論文集，p. 237-238 (2002)
- 2) 北野 誠，熊沢 鉄雄，本田 美智晴，廣田 和夫：電子機器のはんだ接合部の信頼性試験条件設定方法の提案，日本機械学会論文集 (A編) 62, 598, p. 166-173 (1996)