

高信頼性の車載用プリント配線板材料

High Reliability Printed Wiring Board Materials for Automotive Applications

中村 善彦* ・ 藤野 健太郎* ・ 西野 充修* ・ 山口 真魚**
Yoshihiko Nakamura Kentaro Fujino Mitsuyoshi Nishino Mao Yamaguchi

鉛フリーはんだ実装に対応できる車載用プリント配線板材料において、熱硬化性樹脂、無機充填材料の配合設計コア技術を活用して高 Tg で厚み方向の熱膨張係数が低く、弾性率が小さく面方向の熱膨張係数が低い材料を開発し、スルーホール接続信頼性と高温での実装信頼性、さらに加工性を同時に満たす材料を実現した。とくに実装信頼性においては、必要とされる材料特性をシミュレーションにより求め、実際に材料を設計、作製して評価確認を行っている。

In the printed wiring board for automotive applications compatible with lead-free soldering processes, new material with high Tg, low thermal coefficient of expansion in the thickness direction, small modulus of elasticity, and a low thermal coefficient of expansion in the surface direction has been developed by fully utilizing the core technology in thermosetting resin material and inorganic filler blending design. The developed material provides through-hole and surface mount connection reliability as well as ease of processing. In particular, surface mount connection reliability is evaluated and confirmed by actually designing and producing material through a simulation of the required material properties.

1. ま え が き

我々の身近にある自動車は今後もアジアを始めとする新興国を中心に大幅な需要増加が見込まれている。また車両に関する技術の進歩は著しく、安全性、環境性、快適性の三つの方向性で日々進化している。さらに、それに伴う車両制御の電子化もますます進行し、たとえばトランスミッションやパワーステアリング等の自動車の制御システムにおいて、従来は油圧制御（機械制御）で構成されていたが、今日では ECU（Electric Control Unit）を用いた電子制御化（ワイア化）が検討されており、近い将来の普及とともに、その他の駆動部の電子制御化が今後も進んでいくと予想される。

また、これらの電子制御の発展により、自動車 1 台当りに搭載される ECU は 1950 年代にはみられなかったのに対し、現在ではその数が 50 ～ 60 個にまで増えていると推定され、今後ワイア技術の普及とともに、ECU の搭載数はさらに増大すると予想される。

一方 ECU が搭載される場所においては、自動車の居住空間拡大という快適性の要求を受けてそのスペースが少なくなってきたり、エンジンルームやエンジン周辺など周

囲環境温度が高い場所へ移行し始めている。

このように車載部品を取り巻く状況の変化から、今後 ECU に使用される基板材料に対しても高耐熱性、高信頼性、高密度化のニーズがますます高まるものと推定される。

本稿では、これらの要求に応える特性を有する当社基板材料「HIPER シリーズ」の信頼性向上技術と、その材料特性を中心に紹介する。

2. 高スルーホール接続信頼性基板材料

2.1 耐熱性とスルーホール接続信頼性

現在、ECU が搭載される環境は、使用温度が 80 ～ 100 ℃となる車室内、125 ℃となるエンジンルーム内、および 150 ℃程度となるエンジン直載の三つに大別される。したがって、それぞれの環境に応じて要求される基板材料の耐熱性やスルーホール接続信頼性が異なる。

一方、車室空間の拡大やワイアハーネス短縮のため、ECU の搭載場所を車室内からエンジンルーム内（一部エンジン直載）へ移行する要求がある。さらに、搭載する ECU 基板サイズを小型化したいという要求もある。これらのことから、基板材料にはさらなる高耐熱性と高スルーホール接続信頼性が要求される。

* 電子材料本部 電子基材事業部 Circuit Board Materials Division, Electronic Materials Business Unit

** 電子材料本部 電子材料 R & D センター Research and Development Center, Electronic Materials Business Unit

一般的に有機材料系の基板材料は、 T_g （ガラス転移温度）を超える温度領域において物性が大きく損なわれるため、耐熱性、スルーホール接続信頼性の指標として T_g が使用される。またスルーホール接続信頼性においては、基板材料板厚方向の熱膨張量とスルーホールをめっきした銅の熱膨張量の差異によって、スルーホールめっきの破断が起こるため、指標として板厚方向の熱膨張係数（Coefficient of Thermal Expansion：以下CTEと記す）も使用される¹⁾。

図1は、車載用途でもっとも過酷な使用環境条件である $-40 \sim 150 \text{ }^\circ\text{C}$ において、当社各種材料のスルーホールの接続故障率と、温度サイクル数との関係を示している。

なお、評価条件の詳細は以下のとおりである。

(1) 評価基板材料

板厚：1.6 mm（両面板）ドリル孔径：0.3 mm ϕ

スルーホールめっき厚：20 ~ 25 μm ，全穴数：300 個

(2) 温度サイクル条件

$-40 \text{ }^\circ\text{C}$ ，15 分 \Leftrightarrow $150 \text{ }^\circ\text{C}$ ，15 分

(3) 接続不良判定基準

抵抗値変化 10 % 以上

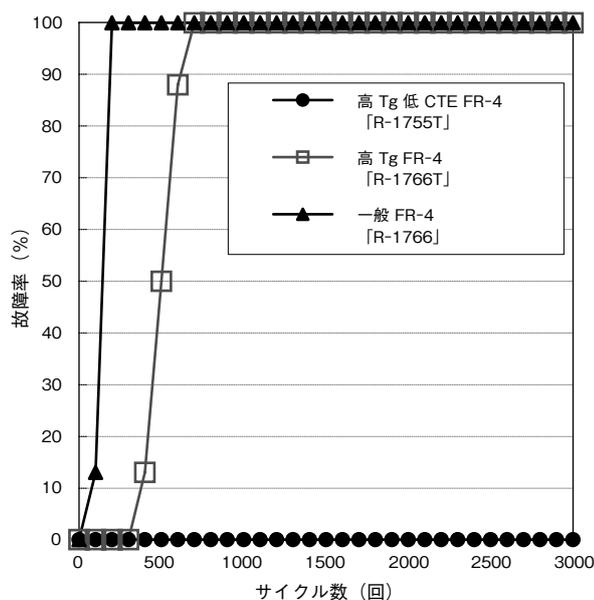


図1 スルーホール接続信頼性評価結果

表1にスルーホール接続信頼性を評価した基板材料の一般特性を示す。

図1と表1に示した特性の比較から、基板材料のスルーホール接続信頼性はその材料の T_g と板厚方向のCTEが大きく影響していると考えられる。

温度サイクル試験では、当社一般FR-4「R-1766」はその材料の T_g 以上の温度での評価となるため、 T_g が高い「R-1766T」よりも明らかに悪い結果を示している。これは、一般に熱硬化性樹脂の特性が T_g を超えると大幅に変化し、CTEが非常に大きくなるためである。一方、高 T_g 低CTE FR-4「R-1755T」では、サイクル数3000回まで

導通不良が発生せず、車載基板に求められるきわめて過酷な評価条件においてもスルーホール接続信頼性を確保していることがわかる。

表1 銅張積層板一般特性

試験項目		単位	一般 FR-4 [R-1766]	高Tg FR-4 [R-1766T]	高Tg 低CTE FR-4 [R-1755T]
CTE	板厚方向	$10^{-6}/^\circ\text{C}$	65	60	30
T_g	DSC	$^\circ\text{C}$	140	170	175
	TMA	$^\circ\text{C}$	140	170	170
オープン耐熱性	—	—	240 $^\circ\text{C}$, 60分	240 $^\circ\text{C}$, 60分	280 $^\circ\text{C}$, 60分
銅箔ピール強度	18 μm	kN/m	1.57	1.57	1.22
曲げ弾性率	縦	GPa	23	23	25
絶縁抵抗	—	M Ω	1×10^8	1×10^8	1×10^8
表面抵抗	—	M Ω	5.0×10^8	5.0×10^8	5.0×10^8
体積抵抗	—	M $\Omega \cdot \text{m}$	5.0×10^7	5.0×10^7	5.0×10^7
比誘電率	1 MHz	—	4.7	4.7	4.7
誘電正接	1 MHz	—	0.015	0.015	0.011
熱伝導率	レーザーフラッシュ法	W/mk	0.38	0.38	0.65

DSC : Differential Scanning Calorimeter

以上のことから、基板材料の高いスルーホール接続信頼性を確保するためには、これを構成する樹脂の T_g が使用環境条件の最高温度より高く、かつ板厚方向のCTEが小さいことが重要であることがわかる。

2.2 開発品「R-1755D」の特徴

前述のとおり、スルーホール接続信頼性を向上させるためには、基板材料の板厚方向のCTEを低減することが重要である。従来、基板材料を構成する樹脂に無機フィラーを含有させることにより、基板材料の板厚方向のCTE低減を図る試みが行われてきた。しかし、樹脂に無機フィラーを含有させると基板材料の加工性が悪くなることから、スルーホール接続信頼性と加工性を両立させることが困難であった。

開発した「R-1755D」は、樹脂の分子中に特殊な構造を付加してスルーホール接続信頼性と、良好な加工性を両立した新しい基板材料である。表2に「R-1755D」の一般特性、図2に $-40 \text{ }^\circ\text{C} \Leftrightarrow 150 \text{ }^\circ\text{C}$ におけるスルーホール接続信頼性、図3にドリル加工性について示す。

図2からわかるように、「R-1755D」はきわめて過酷な評価条件においてもサイクル数3000回までは導通不良がみられず「R-1755T」と同等レベルの高いスルーホール接続信頼性を確保している。

表2 「R-1755D」一般特性

試験項目		単位	開発品 [R-1755D]
CTE	板厚方向	10 ⁻⁶ /℃	43
Tg	DSC	℃	163
	TMA	℃	154
オープン耐熱性	—	—	240℃, 60分
銅箔ピール強度	18 μ	kN/m	1.2
曲げ弾性率	横	GPa	21
絶縁抵抗	—	MΩ	1.0×10 ⁸
表面抵抗	—	MΩ	1.0×10 ⁸
体積抵抗	—	MΩ・cm	1.0×10 ⁹
比誘電率	1 MHz	—	4.7
誘電正接	1 MHz	—	0.015
熱伝導率	レーザーフラッシュ法	W/mK	0.38

ドリル	NHUL020 0.3φ×5.5
回転数	160000/min
送り	3.2 m/min
重ね枚数	1.6t (6層板) ×2
エントリーボード	Al, t=0.15
バックアップボード	フェノール, t=1.6

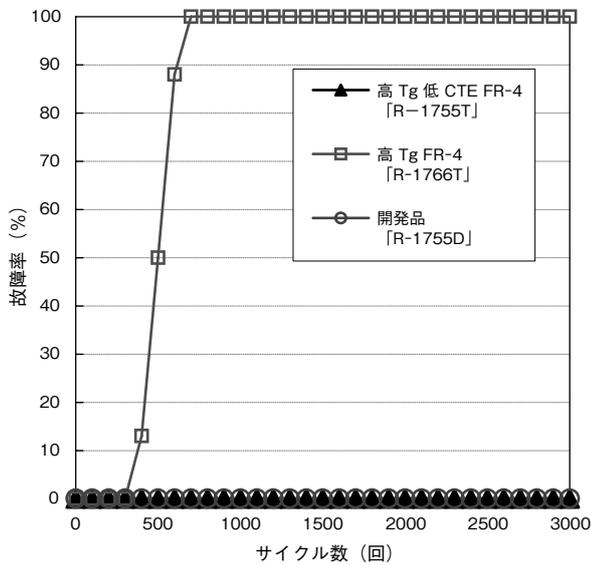


図2 開発品のスルーホール接続信頼性

また図3からわかるように、「R-1755D」は従来の無機フィラー含有基板材料「R-1755T」に比べてドリルの摩耗が少なく、当社一般FR-4と同等レベルであり、加工性においても非常に良好な基板材料である。

以上の結果から、「R-1755D」は高いスルーホール接続信頼性と良好な加工性を両立しているきわめて優れた基板材料である。

3. 高実装信頼性基板材料

3.1 開発の背景

ECU基板の小型化の必要性に伴い、抵抗部品等の統合による部品数の削減、低価格化が試みられる一方で、複合化された大型の部品やBGA (Ball Grid Array) の使用検討が進められている。また、前述したとおりECU基板の使用(車載)環境が高温になる傾向にあり、スルーホー

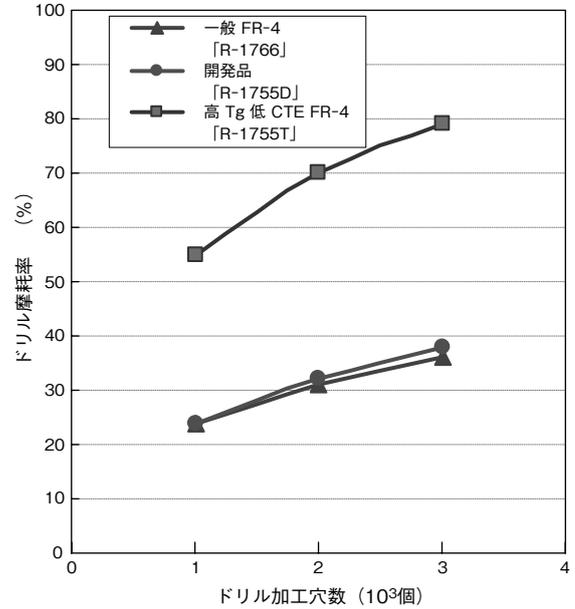


図3 多層構成におけるドリル摩耗率評価結果

ル接続信頼性ととも、大型部品の基板表面実装部分のはんだ接続信頼性が問題となってくる。すなわち、部品のCTEとプリント配線板の面方向のCTEに差があることから、高温環境下でははんだ接合部に熱応力が発生してはんだクラックを引き起こし、電気接続が得られなくなる可能性があるためである。

さらに、地球環境保護に対応して、実装時に使用するはんだには鉛フリーはんだが使用されてきているが、このはんだは従来の鉛入り共晶はんだよりもろい傾向にあり、実装信頼性(はんだ接続信頼性)で不利になる傾向がある。そこでこれらの問題に対応するため、当社では基板の板厚方向のCTEを低減するとともに、基板の面方向のCTEも低減した部品実装信頼性の高い材料の開発も進めている。

3.2 応力シミュレーション

実装信頼性(はんだ接続信頼性)を向上させる方法として、基板材料の面方向のCTEと基板材料の弾性率が重要なパラメータと考えられる。基板に加わる応力を把握するため、重回帰分析による応力シミュレーションを行う^{2), 3)}。

シミュレーションの対象とした材料のモデルは次の①~③の材料を想定し、具体的な材料物性値は表3の内容とする。

表3 材料物性値

項目	弾性率 (GPa)	ポアソン比	CTE (10 ⁻⁶ /°C)		
			面方向	板厚方向	
基板	①	20	0.30	9.5	50.0
	②	28	0.30	15.0	35.0
	③	20	0.30	15.0	35.0
電極・ランド (銅)	129	0.35	17.0		
はんだ (鉛フリー)	39	0.30	24.7		
チップ	133	0.36	4.2		

- ①低 CTE + 低弾性率材料
- ②高 CTE + 高弾性率材料
- ③高 CTE + 低弾性率材料

また、シミュレーションにおける温度サイクル試験の条件は、-40℃⇔25℃⇔125℃とする。

図4に低温 (-40℃)、図5に高温 (125℃) における、はんだ接続部分の発生応力 (歪) の大きさと発生部位のシミュレーション結果を示す。

これらの結果から、実装信頼性に影響のある基板物性は面方向のCTEと弾性率であることがわかる。すなわち、基板材料の面方向のCTEと弾性率がともに低い①の材料が高い実装信頼性を示している。また応力は、はんだ接続部の部品のコーナ部でもっとも大きく発生することが確認できる。

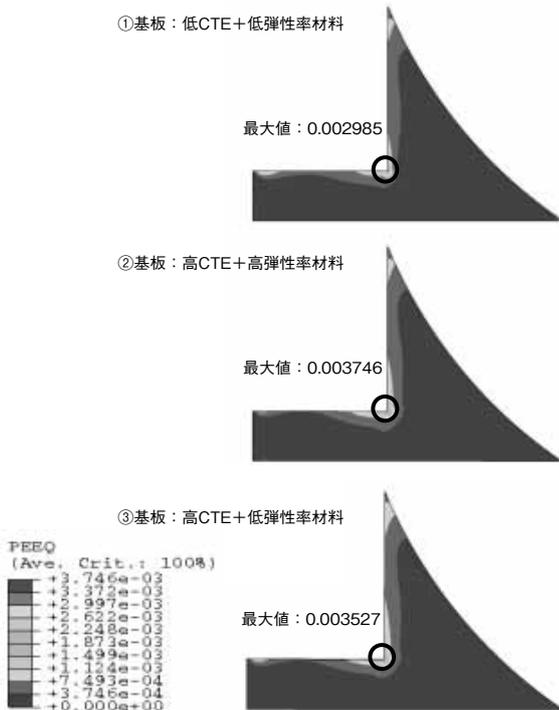


図4 応力シミュレーション結果 (-40℃)

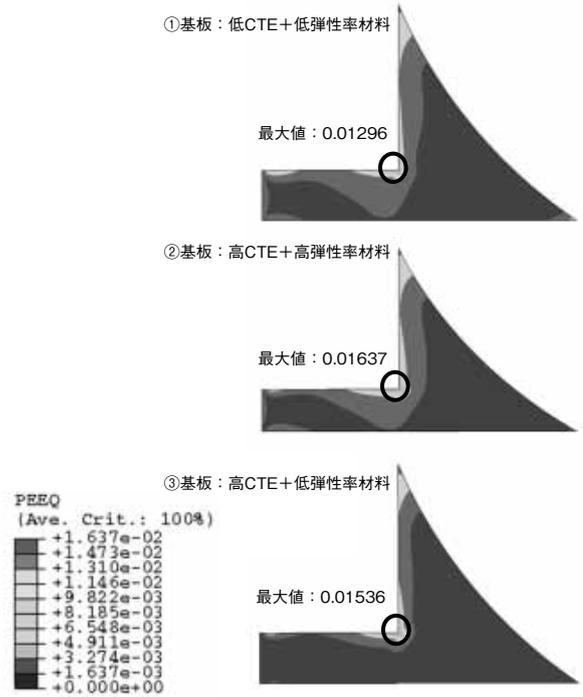


図5 応力シミュレーション結果 (125℃)

3.3 実装信頼性評価

これらのシミュレーションの結果をもとに、実際にはんだ接続のレベルを把握するために、実装信頼性の評価を行う。評価の対象とした材料は以下の3種類の材料である。

- A 一般FR-4材料「R-1766」
- B 開発品「R-1755D」
- C 低CTE検討材料

表4に、各材料の特性を一般FR-4「R-1766」との比較で示す (板厚1.6mm, 銅箔18μ両面板の特性)。低CTE検討材料は、面方向CTEの縦方向が9.5 × 10⁻⁶/°Cであり、

表4 実装信頼性評価材料の特性

試験項目	試験方法	処理条件	単位	C	B	A
CTE	TMA法	縦方向	10 ⁻⁶ /°C	9.5	11	12
		横方向		11	13	14
		板厚方向		48	43	65
曲げ強度	JIS C 6481	横方向	Mpa	400	440	520
曲げ弾性率	JIS C 6481	横方向	GPa	18	21	21
銅箔ピール強度 (18μ)	JIS C 6481	常態	kN/m	1	1.2	1.6
		TMA法	常態	°C	162	163
耐熱性 (60分限界)	JIS C 6481	常態	°C	260	260	240
		常態	—	V-0相当	V-0相当	V-0

一般FR-4に比べて約 $2 \times 10^6 / ^\circ\text{C}$ 低減されていることがわかる。また曲げ弾性率においても3 GPa低減している。

さらに、開発品「R-1755D」も縦方向のCTEが約 $11 \times 10^6 / ^\circ\text{C}$ であり、一般FR-4に比べて約 $1 \times 10^6 / ^\circ\text{C}$ 低減されていることがわかる。

次に、実装信頼性評価用プリント配線板を作製し、各種抵抗部品を実装してはんだ接続信頼性を評価する。評価基板は板厚0.8 mmの両面板を使用し、評価内容は次のとおりである。

(1) 実装抵抗部品内容

- (a) 2125 部品 (2.0 × 1.25 mm サイズ)
- (b) 3216 部品 (3.2 × 1.60 mm サイズ)
- (c) 4532 部品 (4.5 × 3.20 mm サイズ)

(2) 使用はんだ

鉛フリータイプはんだ (Sn96.5-Ag3.0-Cu0.5)

(3) 温度サイクル条件

-40℃ (30分) ⇔ 125℃ (30分) で3000回

(4) 接続不良判定基準：抵抗値変化10%以上をNG

表5にサイクル数3000回実施後の実装信頼性評価結果を示す。これより、鉛フリーはんだ実装において、一般FR-4では大型抵抗部品の4532部品でNGが発生したのに対し、縦と横方向のCTEが小さく、かつ弾性率の低い低CTE検討材ではNGが発生せず良好な結果が得られている。また中型抵抗部品である3216部品においては、一般FR-4では同じくNGが発生したのに対し、面方向のCTEが一般FR-4より若干小さい「R-1755D」材料ではNGが発生していない。以上の結果から、低CTE検討材および「R-1755D」は、クラックの発生しやすい鉛フリーはんだ実装においても高い接続信頼性を確保できる材料であることがわかる。以上のことは先のシミュレーションの結果を実験データで立証できたものと考えられる。したがって、車載用基板として要求される厳しい使用環境下において、開発した「R-1755D」や低CTE検討材では、一般FR-4でははんだ接続信頼性が確保できない大型部品においても実装が可能になるものと考えられる。

さらに、サイクル試験3000回処理終了後の3216部品のサンプルについて、鉛フリーはんだ接合部の断面を顕微鏡観察する。その結果を図6に示す(基板横方向実装サンプル)。これらの観察結果から温度サイクル試験3000サイクル処理後の一般FR-4では、部品の下部や電極の接合界面ではんだクラックが全面にわたって発生していることがわかる。これに対し、低CTE検討材および「R-1755D」は接続部に部分的にクラックは発生しているが、一般FR-4に比べて少なく、実装信頼性が高いことが確認できる。

表5 抵抗部品実装信頼性評価結果 (3000サイクル)

基板方向	基板		鉛フリーはんだ実装		
			2125	3216	4532
縦	低CTE検討材料	判定	OK	OK	OK
		NG発生サイクル	-	-	-
	開発品「R-1755D」	判定	OK	OK	OK
		NG発生サイクル	-	-	-
	一般FR-4材料	判定	OK	OK	NG
		NG発生サイクル	-	-	2800
横	低CTE検討材料	判定	OK	OK	OK
		NG発生サイクル	-	-	-
	開発品「R-1755D」	判定	OK	OK	NG
		NG発生サイクル	-	-	2400
	一般FR-4材料	判定	OK	NG	NG
		NG発生サイクル	-	2200	1500

板厚1.6mm両面板, 抵抗変化率10%以上をNGと判定

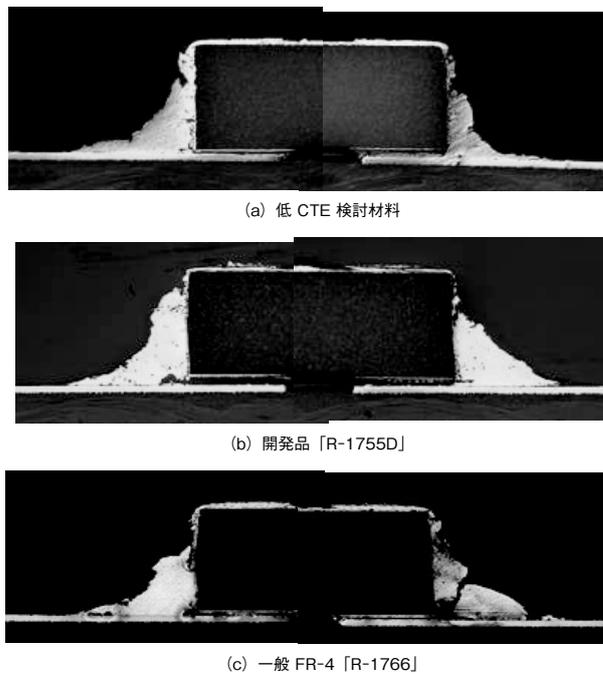


図6 温度サイクル試験後のはんだ接続部断面写真

4. あとがき

鉛フリーはんだ実装に対応できる車載用プリント配線板材料において、熱硬化性樹脂、無機充填材料の配合設計コア技術を活用して高Tgで厚み方向のCTEが低く、弾性率が小さく面方向のCTEが低い材料を開発し、スルーホール接続信頼性と高温での実装信頼性、さらに加工性を同時に満たす材料を実現した。とくに実装信頼性においては、必要とされる材料特性をシミュレーションにより求め、実際に材料を設計、作製して評価確認を行った。

これらの材料は車載用基板材料に求められる、厳しい環境下での信頼性が確保できる高耐熱、高信頼性基板材料で

あると考えられ、車載電子部品の信頼性を支える基板材料として活用されていくことが期待される。今後も車両技術の進歩に伴う基板材料への要求を把握し、高信頼性基板材料の開発を進めていきたいと考える。

*参考文献

- 1) 中村 善彦, 藤野 健太郎, 山口 真魚: 車載機器用高信頼性多層プリント配線板材料, 電子材料, Vol. 46, No. 10, P. 46-51 (2007)
- 2) 山口 真魚, 宮武 岳洋, 小笠原 健二: 実装信頼性の高い多層プリント配線基板材料, 松下電工技報, Vol. 54, No. 3, P. 27-32 (2006)
- 3) 山口 真魚, 西野 充修, 古森 清孝: 高実装信頼性多層プリント配線板材料, 第21回エレクトロニクス実装学会講演大会予稿集, P. 87-88 (2007)

◆執筆者紹介



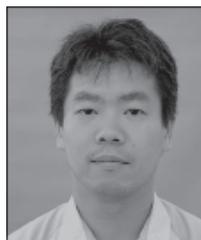
中村 善彦
電子基材事業部



藤野 健太郎
電子基材事業部



西野 充修
電子基材事業部



山口 真魚
電子材料 R & D センター