

# 解説 車載用セラミック基板およびベアチップ実装技術\*

High Density Ceramic Substrate and Chip Mounting Technology for Automotive Use

長 坂 崇

Takashi NAGASAKA

The hybrid ECU is one of the revolutionary solutions for a compact and environmentally-sustainable ECU to be mounted onto an engine or actuator. The hybrid ECU constitutes an IC bare-chip assembled to a high density, multilayered ceramic substrate. This is an evolutionary “Advanced HTCC substrate” using alumina laminated base (HTCC substrate) as the ceramic substrate, improved with assembled IC bare-chip and power terminal compatibility. By combining this improved substrate with the technology of bare-chip assembly, a compact hybrid ECU became a reality and made direct engine mounting possible.

**Key words** : ECU, Hybrid ECU, HTCC, LTCC, Trough structure, Flip chip

## 1. はじめに<sup>1) 2) 3) 4)</sup>

カーエレクトロニクスは、1961年にオルタネータ（交流発電機）に整流用シリコンダイオードが用いられたことから第1歩を踏み出した。その後、環境悪化原因となる排出ガス規制、オイルショックによってクローズアップされた省エネルギー化対策、等に対応するためにはカーエレクトロニクスが必須条件となった。これら自動車に課せられた社会的ニーズとエレクトロニクスの進歩が融合してエンジン制御システムが実現し、新たなカーエレクトロニクスが開花することになった。カーエレクトロニクスに代表されるECU（Electronic Control Unit）はFig. 1に示すような樹脂基板に部品をはんだ付けし、これをアルミダイキャストケースに収めた構造をとってきた。

しかしながら、このECUをエンジンまたはアクチュエータへ搭載するには小型化・耐環境性が要求され、この一つの提案としてECUのハイブリッド化がある。ハイブリッド化されたECU（ハイブリッドECU）とは、微細配線を高密度に配した多層セラミック基板上に、ICをベアチップ実装したものである。多層セラミック基板はアルミナ積層基板（High Temperature Co-fired Ceramic Substrate <HTCC基板>）とガラスセラミック基板（Low Temperature Co-fired Ceramic Substrate <LTCC基板>）があるが、車載用基板としてはコスト・放熱性、等よりHTCC基板が優れる。本基板にベアチップ実装に必要な基板の平滑化技術およびパワー素子実装に必要な大電流用配線（低抵抗配線）を内層する技術を用いることにより、従来のプリント板ECUの約1/4（クォータ）サイズのハイブリッドECUが完成できる。



Fig. 1 Appearance of ECU

## 2. カーエレクトロニクスのニーズ<sup>5) 6)</sup>

カーエレクトロニクスには次のようなニーズがある。第1に、部品の高密度化である。すなわち、自動車は約3万点といわれる数多くの部品からできており、高機能化の動向のなかで、部品点数は年々増加の傾向にある。このため、各部品の高密度化による省スペース化が不可欠となる。さらに、Fig. 2<sup>7)</sup>に示すような各種システムとの有機的な結合をより密にとるためには、さまざまな新しい技術を積極的に取り入れる必要がある。

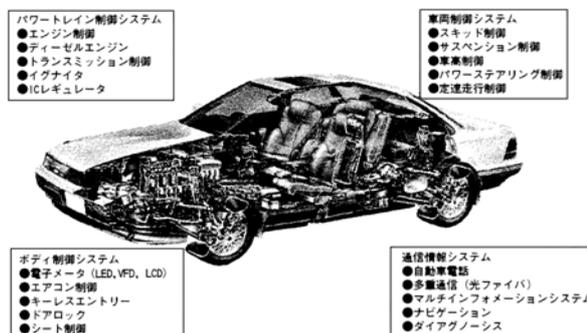


Fig. 2 Systems of automotive electronics

\*2003年8月1日 原稿受理

第2に苛酷な環境条件に耐えることである。  
 (Table 1参照)<sup>8)</sup> 部品の使用温度範囲ひとつをとってみても、TV・オーディオ等の分野がせいぜい-5 ~ 45 程度であるのに対し、自動車では-30 ~ 110 となる。このほか自動車では、湿度・振動・ほこり・電気ノイズ等、エレクトロニクスの使用環境としては他とは比較にならないほど条件が厳しい。この点より、先端技術の採用に際しては慎重な検討を要することになる。

Table 1 Environmental requirements for automotive electronic parts

| 項目 | 環境条件  |
|----|---|
| 温度 | -30 ~ +110°C (エンジンルーム)<br>-30 ~ + 80°C (車室内)          |
| 湿度 | 95%RH以上 240時間<br>40 ~ 80°C                            |
| 塩水 | 5%塩水 24 ~ 96時間<br>35°C                                |
| 振動 | 20 G, 20 ~ 200Hz (エンジンルーム)<br>4.4 G, 20 ~ 200Hz (車室内) |
| 電圧 | 通常作動 +14 V (最小: +9 V)<br>(最大: +16 V)                  |
|    | ロードダンプ +80 V 200 ~ 400ms                              |
|    | イグニッション<br>火花放電 -300 ~ +300 V 100 ~ 300 μs            |

第3に部品の長寿命化である。中古車としての市場残存率まで含めると、Fig. 3に示すように小型乗用車の場合50%残存率は7年、10%残存率は約11年となる。このため、車載用エレクトロニクス製品には長い寿命が要求される。

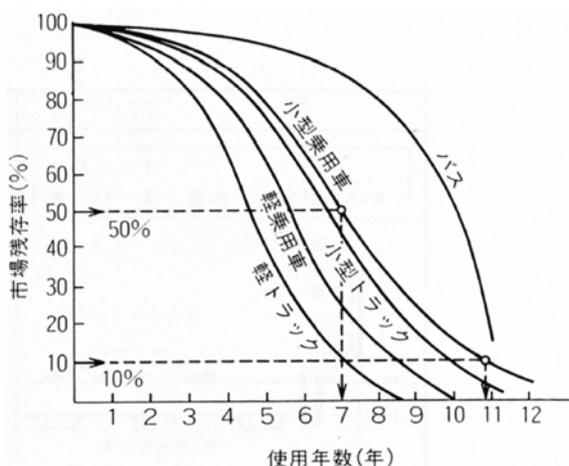


Fig. 3 Market residual ratio of automotive

第4に部品のコストダウンである。自動車は資本財である航空機等とは異なり、消費財であるため低コストが要求される。さらに、航空機が良く整備して使われしかも専門家が操縦するのに比べ、自動車は素人でも安心して運転できるようなより安全側の品質保証が要求される。これらに応えるためには、製品の開発・設計から製造に至るまでの一貫した技術開発が必要となる。

このように、先端技術をカーエレクトロニクスに導入するためには、その必要性とともに、使用環境の把握・寿命設計・低コスト・高品質に応えるための検討が不可欠となる。

### 3. ハイブリッドECU用基板の種類<sup>9)</sup>

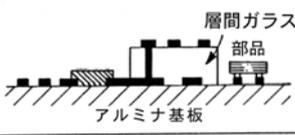
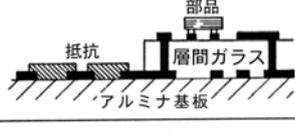
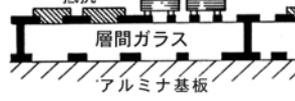
ハイブリッドECU用基板としては、樹脂基板よりも熱膨張係数が小さく、熱伝導率の高いセラミック基板が優れる。これにより、IC・パワーICのペアチップ実装(パッケージレス)が可能となることから、低コスト化・高密度化が期待できる。高密度実装のためには基板の多層化が必須である。

セラミック基板の多層化手法としては、厚膜印刷多層法とグリーンシート積層法がある。さらにグリーンシート積層法は、基材の種類によってセラミックとガラスセラミック(ガラス)に層別できる。ECUの回路規模が小さい場合には、基板の配線層も2層程度でよく一般に厚膜印刷多層法が用いられる。厚膜印刷多層法を用いて2層構造を考えた場合、Table 2に示すような三つの構造が考えられ、各々の構造における実装密度(小型化)を試算すると次のようになる。従来の配線のみを2層構造とする手法では、単層構造の基板面積に対し約80%の大きさにしか小型化できない。これに対し、全面2層構造として抵抗体および部品を層間ガラス上に配置し下部配線の設計自由度を増すことによって、単層構造の約50%の大きさとする事ができる。

ECUの回路規模が大きくなり基板の配線層が3層以上を必要とする場合は、基板コストおよび部品実装時の平滑性を考慮してグリーンシート積層法が必要となる。本技術を用いた基板としてはHTCC基板とLTCC基板があり、それぞれの基板の開発経緯をFig. 4に示す。

HTCC基板はセラミックパッケージに厚膜抵抗体を形成したものである。すなわち、セラミックパッケージで培われた信頼性の高い多層化技術と、セラミックパッケージと同一基材のアルミナセラミック上に形成

Table 2 Method of miniaturization of multilayer structure

| 手 法              | 構 造   | 小型化率            |
|------------------|---|-----------------|
| 従来の<br>2層構造      | <br>層間ガラス<br>部品<br>アルミナ基板    | (対1層構造化)<br>80% |
| 層間ガラス上<br>に部品実装  | <br>抵抗 部品<br>層間ガラス<br>アルミナ基板 | 70%             |
| 層間ガラス上<br>に抵抗体形成 | <br>抵抗 部品<br>層間ガラス<br>アルミナ基板 | 55%             |

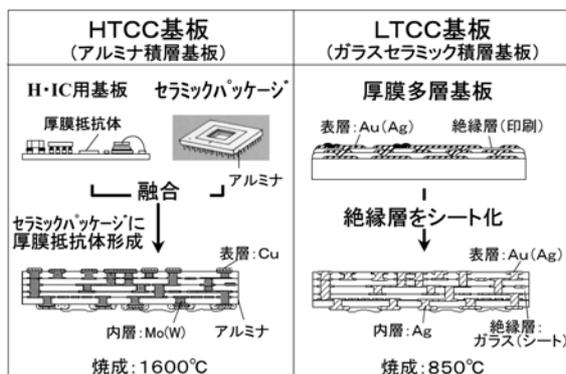


Fig. 4 Process of development for HTCC and LTCC substrates

できる厚膜抵抗体を融合した基板である。約1600 の高温で焼成するため、基板の内層配線材料としては高融点金属であるモリブデン (Mo) やタンゲステン (W) が用いられる。

LTCC基板は厚膜印刷多層基板の延長技術である。従来、厚膜印刷多層基板は絶縁層にペースト状の絶縁材料(ガラス)をスクリーン印刷手法で形成していた。しかし、印刷形成された絶縁層は薄く印刷時に欠陥を形成しやすいため、絶縁信頼性が悪い、内層配線の影響で基板表面に凹凸を形成しやすい、などの課題があった。この課題を改善するために、印刷絶縁層をシート状に厚くしたものがLTCC基板である。従来の厚膜基板の製造技術で生産できるため、比較的親しみやすい基板である。基材はガラス系材料であり、配線材料はAg, Auなどの貴金属が一般に用いられる。

#### 4. HTCC基板とLTCC基板の特性比較

各々の基板の特性は基板の製造方法および構成材料によってほぼ決定する。Table 3に基板の特性比較を示す。

Table 3 Comparison of HTCC and LTCC substrates

| 項目   |         | HTCC基板                       | LTCC基板               |           |
|------|---------|------------------------------|----------------------|-----------|
| 小型化  | ベアチップ実装 |                              |                      |           |
|      | 寸法精度    | ±0.2%                        | ±0%                  |           |
|      | 平滑性     | <0.02/10mm                   | <0.01/10mm           |           |
|      | ランドピッチ  | 0.25                         | 0.5                  |           |
|      | 内層配線抵抗  | 12mΩ/□<br>(トラフ構造)<br>0.7mΩ/□ | 3~8mΩ/□              |           |
| 素子実装 | 熱伝導率    | 25W/K・m                      | 5W/K・m               |           |
| 低コスト | 材料      | アルミナセラミック                    | ガラスセラミック             |           |
|      | 配線      | 内層                           | W, Mo                | Ag, Ag/Pd |
|      |         | 表層                           | Cu                   | Ag, Au    |
|      | 工程数     | 1(相対比)                       | 1.2                  |           |
|      | シートサイズ  | 6インチ角                        | 6インチ角                |           |
| 耐環境性 | 強度      | 314N/cm <sup>2</sup>         | 196N/cm <sup>2</sup> |           |

□ : 優れる    ■ : 劣る

##### 4.1 製造方法から決定される特性

LTCC基板は焼成温度が低い(約850)ため、基板を治具に挟んで加圧しながら焼成する(加圧焼成)ことができる。この加圧焼成により基板焼成時の収縮やそりを防止できるため、基板の出来上がり寸法精度や平滑性が優れる。さらに、焼成時の治工具材質の制約が少ないため、基板生産寸法を大きくできるのも低温焼成が故のメリットである。

一方、HTCC基板は焼成温度が高い(約1600)ため、特殊な焼成炉(プッシャー炉)が必要となる。治工具材質の制約から加圧焼成は困難であり、基板は焼成時に約20%収縮する。この焼成収縮ばらつきのため、基板開発当初の出来上り寸法精度は±1.0%であった。その後、製造条件の工夫によって、現在では±0.2%(実力値±0.1%)以下が達成できるようになった。

4.2 材料から決定される特性

基板によりその構成材料（基板材料や配線材料）が異なる。特に、各々の材料の熱膨張係数は重要である。（Table 4参照）

Table 4 Thermal expansion coefficient of substrate construction material

|                              | HTCC基板           | LTCC基板         |
|------------------------------|------------------|----------------|
| 基板材料                         | アルミナ<br>7ppm/°C  | ガラス<br>5ppm/°C |
| 配線材料                         | W, Mo<br>5ppm/°C | Ag<br>19ppm/°C |
| 熱膨張係数差<br>( $\Delta\alpha$ ) | 2ppm/°C          | 14ppm/°C       |

すなわち、焼成された基板が冷却される際、基板材料と配線材料との熱膨張係数差が大きいと、その境界に歪を生じてクラックが発生しやすくなる。一例として、基板内部の配線材料周辺に発生する歪をFEM解析した結果をFig. 5に示す。

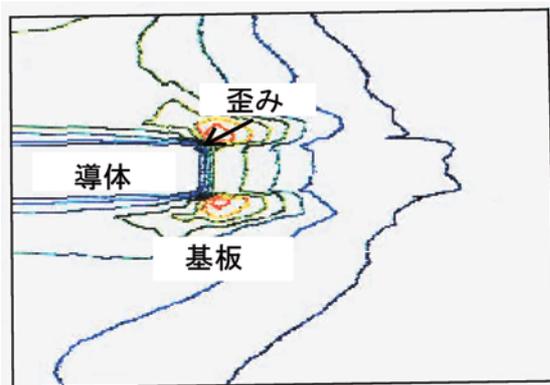


Fig. 5 Strain that occurs around the conductor material inside the substrate

図より、配線材料周辺に歪が集中することが分かる。この歪は、基板の小型化のために配線やスルーホールを高密度に配置した場合に特に顕著となる。HTCC基板は基板材料と配線材料の熱膨張係数差がLTCC基板より小さいため、基板内の歪を小さくできて基板の小型化に適する。

コストについては、材料費と加工費の両面より比較する。LTCC基板の構成材料がガラスと貴金属であるのに対し、HTCC基板は安価なアルミナセラミックと

卑金属から構成されている。また、HTCC基板の加工工程数を独自のCuめっき技術の導入による加工方法の工夫によって、LTCC基板と比べて約20%少なくすることができた。これらの検討結果により、我々の試算ではHTCC基板はLTCC基板と比べて約30%以上のコストダウンが可能となった。

5. HTCC基板を用いたペアチップ実装技術

5.1 ランドonスルーホール技術

基板の小型化を実現するためには基板表面の配線を内層化し、基板表面にはICおよび部品の実装ランドのみとする構造（ランドonスルーホール構造）が必要である。しかしながら、従来のHTCC基板はFig. 6に示すように、基板焼成時に±1%の収縮バラツキを生じたため、例えば、10mm角のフリップチップICを実装する際には、ICチップとその基板側実装ランドは±0.1mmの位置ずれを生じて、実装できない不都合があった。

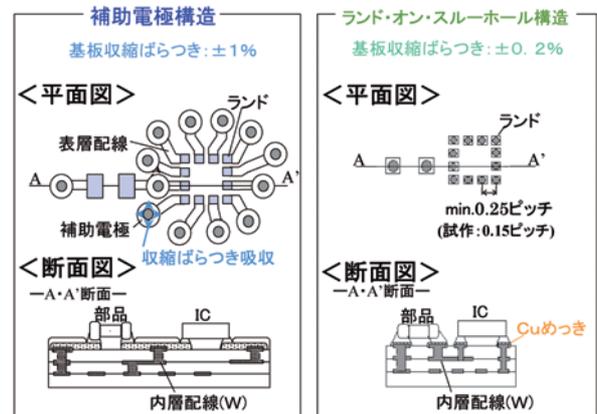


Fig. 6 Mounting land structure of parts

このため、基板焼成後に部品ランドを形成し、この部品ランドとスルーホールとの接合は補助電極（基板焼成時のスルーホール位置ばらつきを吸収できる大きさとする）を介して行う構造であった。基板収縮ばらつきの改善（±0.2% < 実力値 ±0.1% >）とW導体上へのはんだ付技術（後述）によって補助電極を不要とし、0.25ピッチのランド形成まで可能としたランドonスルーホール構造が実現でき、大幅な（約50%）基板の小型化が可能となった。

5.2 W導体へのはんだ付技術

基板の内層配線材料であるWは、はんだ付けができないため、はんだ付けができる金属をW表面に被膜する必要がある。セラミックパッケージにはNiめっきが一般に用いられている。しかしながらNiめっきは、後工程の厚膜抵抗体焼成時（N<sub>2</sub><O<sub>2</sub>濃度2ppm以下）雰囲気にて900℃焼成）に酸化し、はんだ付けができなくなる。そこで、Cuめっきに着眼した。W導体はポーラスであるため、Fig. 7の断面写真に見られるようにCuめっきはWの奥深くまで入り込み、アンカー効果により被膜強度を確保できる。さらに、Fig. 8に示すような粒子形状の異なる二つのW粒子をブレンドし、W導体の比表面積を大きくすることによって、さらに強固なW導体とCuめっきとの被膜強度が得られる。

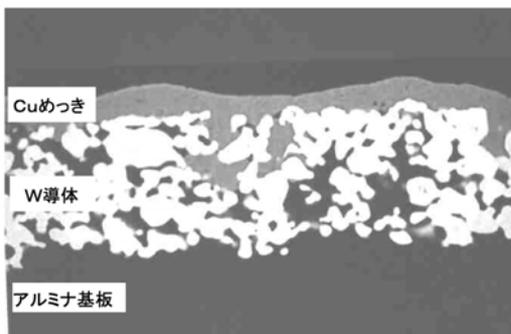


Fig. 7 Cu plating formation to W conductor

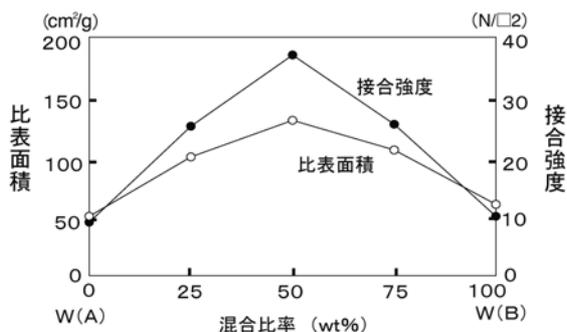


Fig. 8 W particle status and Cu plating film strength

5.3 基板の平滑化技術

LSIのフリップチップ実装（はんだ付けとアンダーフィル注入）のためには、基板の平滑化が必要である。Fig. 9は約10mm角のLSI実装部の基板表面をレーザ変位計によって調べた結果である。

基板上にはチップの中心を凸とした約50μmの反りが確認された。詳細な調査の結果、この反りはLSI実装部周辺の配線密度の不均一さに起因することが分かった。そこで基板内部の配線密度を均一にするレイア

ウトの工夫によって、Fig. 10に示すように約10μmまで反りを低減することができた。

この基板表面の平滑化技術の開発によって、0.3mmピッチのはんだパンプを有する約10mm角のLSIをフリップチップ実装することが可能となった。Fig. 11にLSI実装後の断面写真を示す。はんだ付け後LSIと基板間にアンダーフィルを注入し、LSIはんだ付部の熱疲労寿命を確保している。

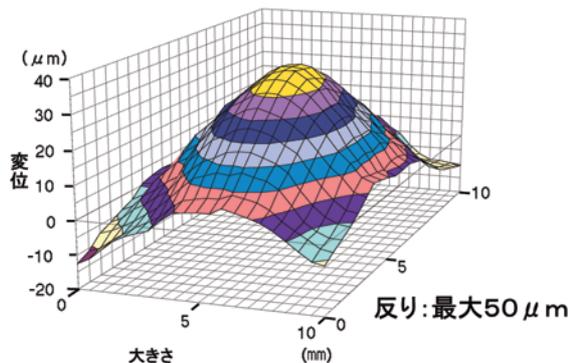


Fig. 9 Substrate warping of LSI mounted sections (Before countermeasures)

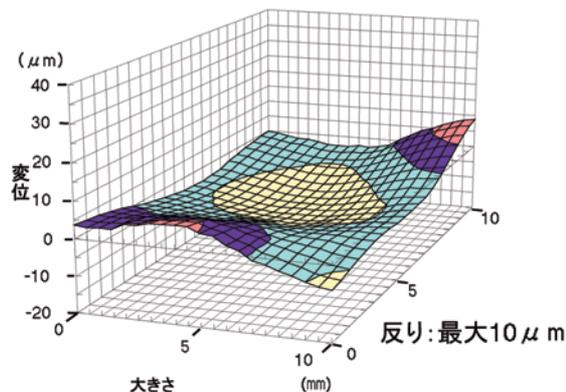


Fig. 10 Substrate warping of LSI mounted sections (After countermeasures)

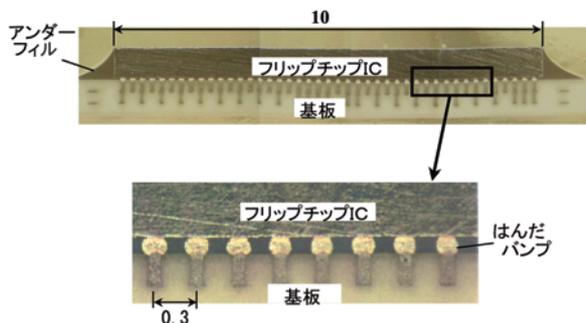


Fig. 11 Mounting state of flip chip IC (cross section)

### 5.4 パワー素子実装技術

HTCC基板は基材がアルミナセラミックであり、基材がガラスのLTCC基板と比べて約5倍の熱伝導率を有するため、パワー素子実装に優れる。しかしながら、配線材料がWのために配線抵抗が高く、この改善が強く望まれていた。この解の一つとして開発した構造が『トラフ構造』である。これは、アルミナシート1層分の厚さの導体を多層基板に内蔵したものである。製造方法は従来の基板製造工程とほぼ同一の工程を利用できる (Fig. 12) ために安価な技術である。

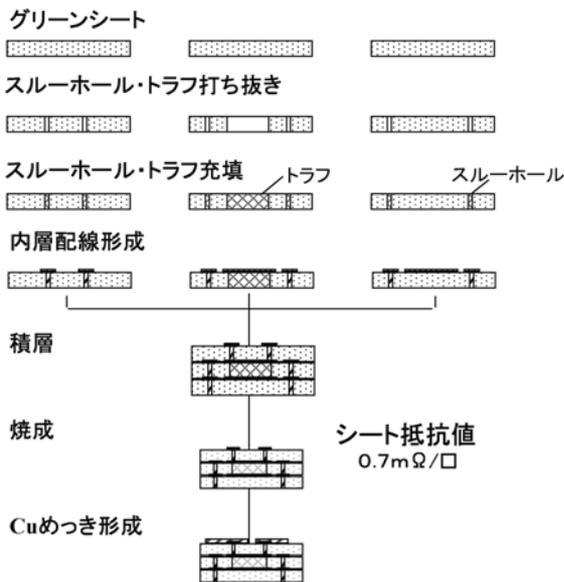


Fig. 12 Manufacturing process flow of "trough structure"

すなわち、グリーンシートへのスルーホール形成時にトラフ部分を打ち抜き、スルーホール導体充填時にトラフ導体を充填するものである。また、トラフ部に発生する機械的応力の低減のため、基材のアルミナに熱膨張係数が近似したヤング率の小さいモリブデン導体の採用や設計ルール工夫をはかっている。トラフ構造の採用によって配線抵抗は0.7mΩ/□ (LTCC基板の1/5以下) が実現できた。この技術により、配線の電流容量を大幅に向上できる。(Fig. 13)<sup>10)</sup>

さらに本技術の応用例として基板表面に導体の充填層を形成することにより、パワーICのヒートシンク代替構造を得ることも可能である。

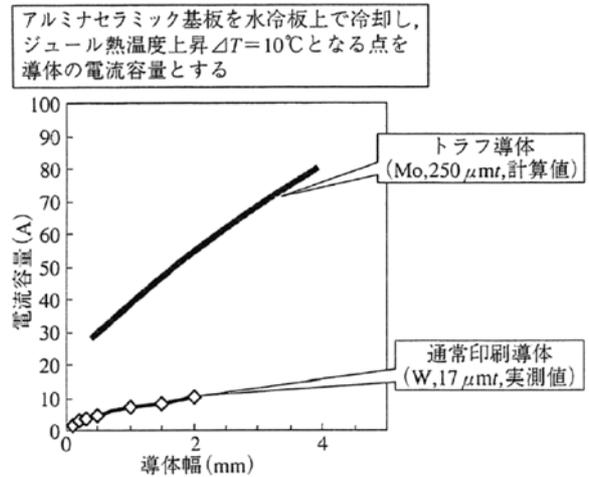


Fig. 13 Current capacity of "trough structure"

### 6. 結言

LTCC基板とHTCC基板の選定に当たっては、各々の基板の特徴をしっかりと把握し、各社の環境 (基板入手のしやすさ・実装技術レベル、等) を考慮して決める必要がある。LTCC基板は配線抵抗や電流容量が低いことから高周波関連分野にはその特徴が生かせる。一方、HTCC基板は特にコスト・熱伝導率・強度が優れるため、ハイブリッドECU用基板として適切な基板である。このHTCC基板の特徴を最大限利用し、さらに、ペアチップ実装やパワー素子実装性能に磨きをかけることによって一歩進化した『Advanced HTCC基板』が完成した。この『Advanced HTCC基板』にペアチップ実装技術を融合することによって小型ハイブリッドECU (Fig. 14) が開発でき、世界で初めてECUのエンジン直載を可能とした。

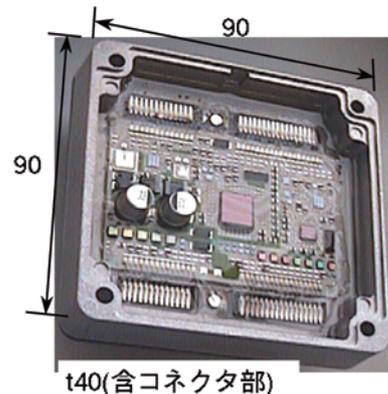


Fig. 14 Appearance of hybrid ECU

しかしながら、今後ハイブリッドECU技術をさらに広く展開するためには、コストダウン・基板試作納期短縮・製品設計者の負荷が低減できる実装技術の開発、等の課題を確実に解消していく必要がある。これらの課題が解消されることによって『真のハイブリッドECU』が実現できる。

<参考文献>

- 1) 志賀 拓，水谷集治：カーエレクトロニクス，山海堂（1986）
- 2) 川島興七：エレクトロニクス，2月号（1991），p.48.
- 3) 鈴木重方：自動車エレクトロニクス技術資料集，フジテクノシステム出版部（1974），p.235.
- 4) 長坂 崇：HYBRIDS（SHM会誌），4月号（1991），p.17.
- 5) 大島卓：現代日本の自動車部品工業，日本経済評論社（1987），p.56.
- 6) 樋口健治 他：自動車の事典，朝倉書店（1978），p.61.
- 7) DENSO：Electronics Now 技術誌
- 8) ISHM編：ハイブリッドマイクロエレクトロニクスハンドブック，工業調査会（1989），p.704.
- 9) 長坂崇他：ECUのハイブリット化に必要なセラミック基板とベアチップ実装技術，日本自動車技術会秋季年会報告，JSAE，Oct.21（1998）
- 10) 前原忠智他：車載用高密度セラミック多層ECU基板・実装技術の動向，電子材料，6月号（2002），p.63.



<著 者>



長坂 崇  
（ながさか たかし）  
電子機器開発部  
ハイブリッドICおよびモールドICの  
実装技術開発に従事