

### Abstract

With the aim of improving fuel economy as well as improving added value through riding support, many aspects of electronic control technology have been fitted to motorcycles in recent years, leading to units containing the circuit boards expanding in size and number.

Larger and more units lead directly to increases in motorcycle weight. In addition, limited space is available in motorcycles to install control units, and when factoring in the wiring harnesses to connect the control units and the components they manage, installation near the drive components is preferable, requiring smaller units.

Conversely, the electronic components market, led by the consumer products field, is shifting to smaller parts. When the mainstream sizes of electronic components become smaller, reduction in the cost of parts as well as smaller components to suit the more compact circuit boards become possible.

Based on these trends, this report introduces initiatives to evaluate compact electronic component mounting technology and also consideration of making overall unit size smaller.

## 1 はじめに

近年の車両は、運転支援による付加価値向上、または燃費向上の観点から電子制御技術が数多く取り入れられ、それにととも電子基板を有したユニットは大型化し、搭載数は増加している。ユニットの大型化や搭載数の増加は車両重量の増加に直結する。さらには車体における制御ユニットの設置スペースは限られており、制御ユニットと制御部はワイヤハーネスを介して接続する構造を加味すれば、駆動部の直近に配置することが望ましく、そのためには、より小型なユニットが求められる。

一方、電子部品においては、民生品が先行し小型部品の採用が進んでおり、市場は小型部品にシフトしていくことになる。電子部品の主流サイズが小型にシフトした際、部品コストの削減および、電子基板の小型化に対して小型部品の採用が有効になる。今回、このような動向を踏まえ、小型電子部品の実装技術の検証とともに、トータルでユニットを小型化する検討を行った。その内容を紹介する。

## 2 開発の狙い

小型化の検討を行うにあたり、二輪車のECU (Engine Control Unit) をターゲットに選定した。ECUは二輪車の制御ユニットとしてほとんどの車両に搭載されるものであり、小型化による搭載性の向上が望まれる。現行のECUは電子基板をケースおよび樹脂により封止する構造になっている(図1)。樹脂封止により電子基板を水や振動から保護する。小型化を実現するためには、まず電子基板を小型にする必要がある。次

に、電子基板の封止方法を変更し、ユニットサイズ自体の小型化を目指す。基板設計および基板封止方法の変更を検討するうえでベース機種を現行ECUの最小サイズのものとした。ECUとしての機能はそのままに、部品、構造の見直しにより小型化を実現することを目指した。

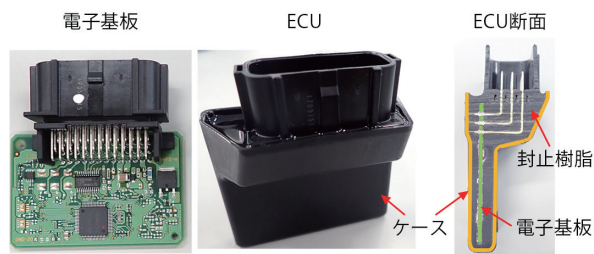


図1 ECUの外観と構造

## 3 基板小型化の取り組み

### 3-1. コネクタの表面実装化

ECUに採用されているコネクタは基板穴にはんだ付け端子を挿入してはんだ付けするタイプ(ディップタイプ)の部品であるため、コネクタのはんだ付け面は基板の表裏の両面となる。そこで、コネクタの端子を基板表面のランドにはんだ付けするタイプ(表面実装タイプ)への変更を実施した。これにより、はんだ付け面を表面のみとし、コネクタのはんだ付け面積を37%削減することができた。また、コネクタ変更により空いた裏面に電子部品が実装できるため、基板面積を小さくすることが可能になった(図2)。

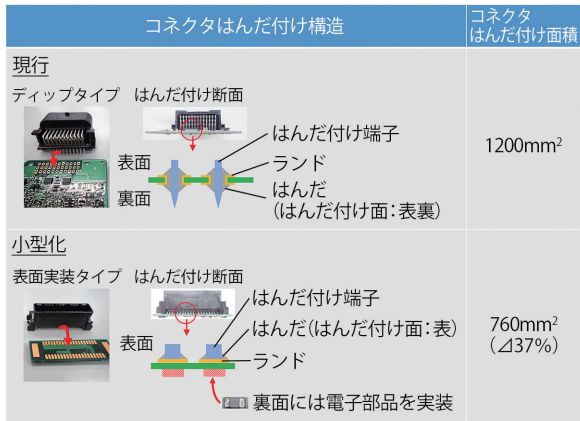


図2 コネクタの変更

### 3-2. 電子部品の小型化

ECUに採用されているチップ部品の最小サイズは1005 (1.0mm×0.5mm)になる。今回は車載用として流通しているチップ部品の最小サイズである0603 (0.6mm×0.3mm)を採用した。また、CPUはリード (接続端子) が4方向に延びるQFPタイプが主流であるが、パッケージ下に接続端子を隠しているFLGAタイプに変更した (図3)。

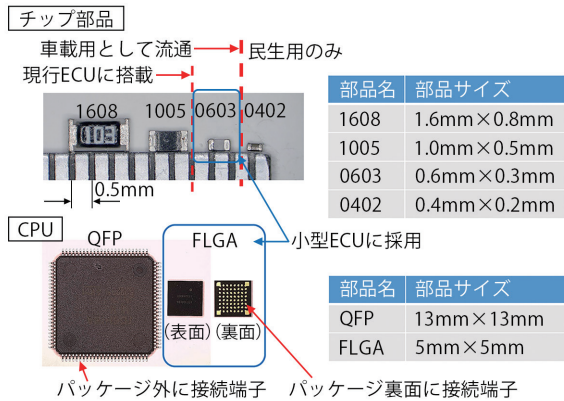


図3 チップ部品およびCPUのサイズ比較

小型化のベースとなるECUには252点の電子部品が搭載されており、そのうち性能が同一で小型化が可能な部品が187点あった。187点の部品の合計面積は約432mm<sup>2</sup>であったが、小型化により134mm<sup>2</sup>となり69%の削減をすることができた。(はんだ付け面積も含む)

コネクタと電子部品の置き換えにより基板の面積 (片面) は従来品が2400mm<sup>2</sup>であったところを、1300mm<sup>2</sup>とすることができ、54%の削減 (基板サイズ約1/2) をすることができた (図4)。

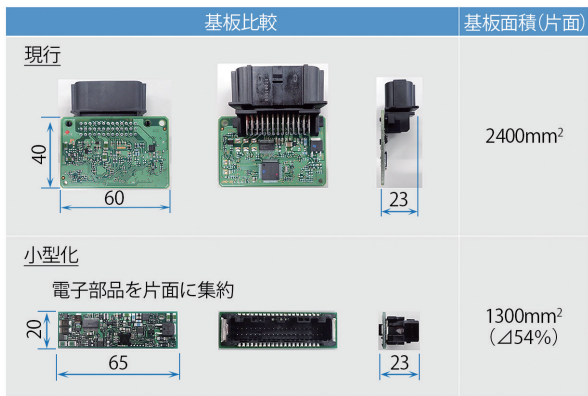


図4 基板サイズ比較

### 3-3. 小型電子部品のはんだ付け

電子部品を小型化すると、部品サイズに合わせてはんだ付け面積が減るため、はんだ付けが難しくなる。電子部品のはんだ付けは、はんだペーストを用いたはんだ印刷→マウンタ (部品搭載)→リフロー (はんだ溶融) により行う。小型部品のはんだ付けでは、はんだ印刷性と部品搭載精度が影響を受ける。部品搭載精度については、マウンタの性能向上により十分な能力が得られている。はんだの印刷性については、はんだ印刷に使用するメタルマスクの設計と設備の印刷条件により良否が変わる。ここでは、メタルマスクの設計と印刷条件の検証結果について述べる。

メタルマスクとは基板にはんだを印刷するために開口をあけた金属板である。現行、メタルマスクの開口最小サイズは0.65mm×0.45mmである。今回採用した小型チップに対応するメタルマスクの開口サイズは0.35mm×0.35mmとなる。従来比で開口面積が60%小さくなるため、はんだはメタルマスクに容易に充填されず、メタルマスクから抜けにくくなり、十分な量のはんだが印刷されない (図5)。

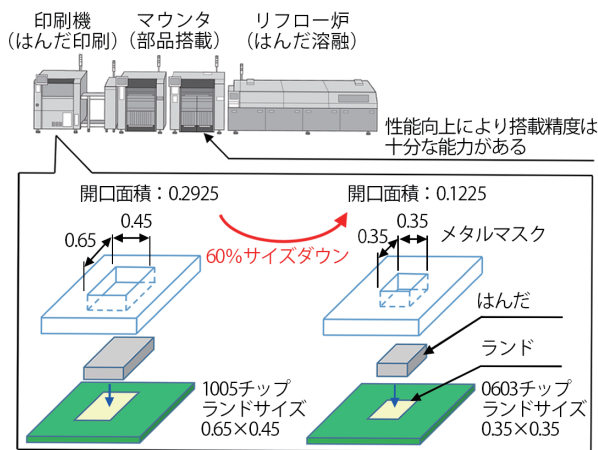


図5 電子部品のはんだ付け工程

まず、はんだがメタルマスクから不足なく抜けるためには、はんだがメタルマスクから抜ける際、メタルマスク側に残ろうとする力(①)よりはんだが基板側に残ろうとする力(②)の方が大きくなければならない(図6)。

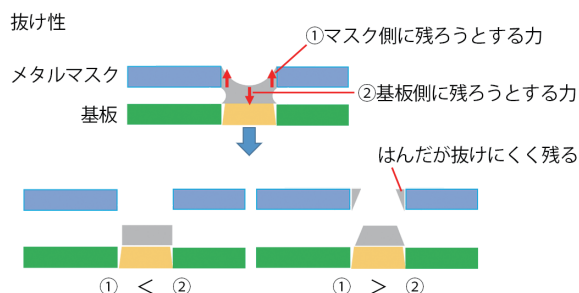


図6 はんだの抜け性

②>①となる2つの力の大小関係は開口面積＝基板に残ろうとする力(②)、開口側面積＝メタルマスクに残ろうとする力(①)の大小関係に置き換えて考えることができる。開口面積と開口側面積の面積比率が②>①に近づくようにすることで、はんだは抜けやすくなる。開口面積はランドサイズによって決まり自由に変わらないため、メタルマスクの板厚を薄くすることで側面積を小さくし、面積比率を現行と同等レベルに改善した(図7)。

| 部品             | 現行最小<br>(1.0mm×0.5mm) | 小型チップ<br>(0.6mm×0.3mm) |        |        |
|----------------|-----------------------|------------------------|--------|--------|
| メタルマスク<br>開口寸法 | 0.65                  | 0.35                   | 0.35   | 0.35   |
| 板厚             | 0.15                  | 0.15                   | 0.12   | 0.10   |
| 開口側面積          | 0.330                 | 0.210                  | 0.168  | 0.140  |
| 開口面積           | 0.2925                | 0.1225                 | 0.1225 | 0.1225 |
| 開口面積<br>比率     | 1.13                  | 1.72                   | 1.38   | 1.15   |

図7 メタルマスク開口サイズと開口面積比率の比較

次に、印刷条件についてである。印刷条件はメタルマスクへのはんだの充填に関わるものであり、充填性を高めるため、スキージの角度をねかせ(下方への押込み力が増える)、移動速度を遅くする(開口部への充填時間が増える)条件をテストした(図8)。

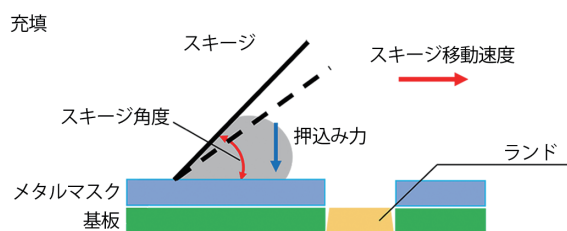


図8 はんだの充填性

検証の結果は図9の通りである。印刷されたはんだの体積比(印刷されたはんだ体積/理論値)で評価しており、数値が100%に近いほど基板へ印刷されたはんだ量が増えており良好な結果となる。メタルマスクの板厚を薄く(面積比率が改善)した効果によりはんだ量は良化した。スキージ角度と移動速度を変更したことで、はんだ量が上限側にシフトした。以上より、小型部品のはんだ印刷においては、0.10 mm厚のメタルマスクを採用し、印刷条件(スキージ角度60→55°、スキージ移動速度20→15mm/sec)を変更することとした。

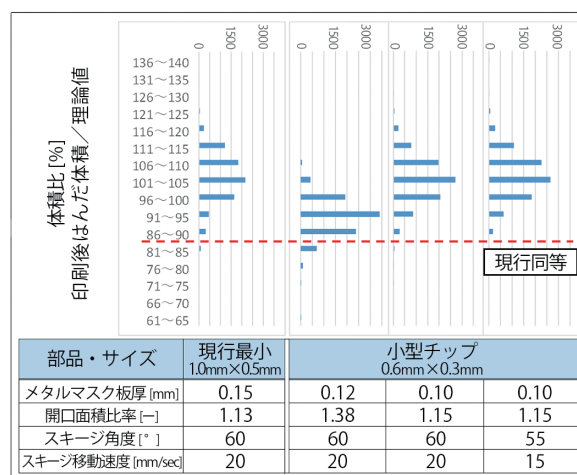


図9 条件違いではんだ体積比バラツキ

## 4 基板の封止工法変更

現行の基板封止は、ポッティングによるものである。ポッティングでは、樹脂が溢れないようケース・基板間に空間を作ることと、樹脂充填を行うノズルの挿入スペースを設けることが小型化の妨げになる(図10)。

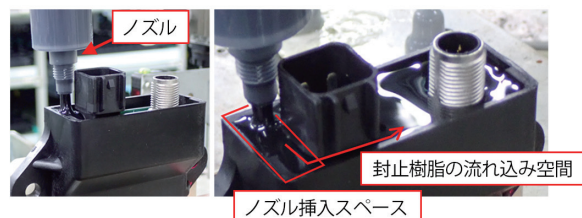


図10 ポッティングによる樹脂封止

一体成型であれば、上記の問題が解決でき、ケースも不要となる。また形状は基板の形をなぞるように成型する等により樹脂量を減らすことで、軽量化やサイズダウンが見込める。

基板をモールド成型する一体成型にはトランスファーモールドとホットメルトモールドがあるが、投資コストの面で

有利であり、低温／低圧で成型可能なホットメルトモールドを選定した。電子部品にダメージを与えずにインサート成型が可能であり、材料の品質向上にともない耐油性、耐熱性、耐環境性も改善されている。

また、ホットメルト成型品は電子基板のはんだ付け部に対するストレスについても有利であると考えた。ヒートサイクル試験を実施すると、はんだ付け部にクラックが発生する場合がある。これは基板を封止している樹脂の熱膨張によりはんだ付け部にストレスがかかることが原因である。現行のケースを用いたポッティングではケースが樹脂の膨張を妨げてしまうため、ケース内部のはんだ付け部にストレスが強く加わる。しかし、ケースのないホットメルト成型では膨張を妨げるものがないため、樹脂が外側に逃げることで、はんだ付け部へのストレスが少なくなる。特に小型部品は、はんだ付けの面積が小さくなるためクラックが発生しやすくなる。このような場合、固定材で補強してはんだ部へのストレスを緩和する。今回のホットメルト成型品は固定材の有無に関わらず、はんだクラックが発生しない結果となった。ホットメルト成型には、ストレスの緩和効果が期待できる(図11)。

|                              | ケース<br>+ポッティング     | ホットメルト<br>モールド       | トランスファー<br>モールド |
|------------------------------|--------------------|----------------------|-----------------|
| 小型化への<br>優位性                 | ×                  | ○                    | ○               |
| 材料                           | ウレタン系              | ポリアミド系               | エポキシ系           |
| 投資コスト                        | △                  | ○                    | △               |
| 部品への<br>温度影響<br>(樹脂温度230℃以下) | ○<br>(樹脂温度:30~40℃) | ○<br>(樹脂温度:180~230℃) | ×               |
| 部品への<br>応力影響<br>(樹脂充填圧力)     | ○<br>(—)           | △<br>(0.3~5MPa)      | ×               |
| 耐ヒート<br>サイクル性                | △                  | ○                    | ○               |
| 樹脂強度                         | ○                  | △                    | ○               |
| 成型品質                         | —                  | △                    | ○               |

図11 封止工法比較

一体成型により封止面積を必要最低限としたことで、現行品に対し体積は60%、質量は53%減少させることができた(図12)。

|     | サイズ比較 | 体積                            | 質量            |
|-----|-------|-------------------------------|---------------|
| 現行  |       | 64.3cm <sup>3</sup>           | 68g           |
| 小型化 |       | 25.4cm <sup>3</sup><br>(△60%) | 32g<br>(△53%) |

図12 完成品比較

## 5 工程設計

今回、ユニット自体を小型化するとともに、生産工程の効率化についても製品設計要素とした。

### ① 部品のはんだ付け

現行品は基板の表裏面に電子部品を配置しており、表面実装工程は片面ずつはんだ付けするので計2回行うことになる。小型化品においてはコネクタ以外の実装部品を片面に集約したことにより、表面実装工程は1回で完了させることができる。

また、コネクタをディップタイプから表面実装タイプに変更したことで、フロー工程が不要となる。コネクタは表面実装工程ではんだ付けが可能であるが、コネクタ1部品のみとなるため、コテはんだ付けロボットにてはんだ付けする。これにより、はんだ付け工程はエネルギー効率、スペース効率共に改善された(図13)。

| 基板構造             | 表面実装工程(電子部品)                                         | コネクタはんだ付け                                                     |
|------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 現行               | 印刷機 マウンタ リフロー炉<br>電子部品 表裏面<br>→ 表面 →<br>→ 裏面 → } 計2回 | フロー工程(はんだ槽)<br>溶融させた<br>はんだへの浸漬<br>設備サイズ<br>W1140×D1985×H1525 |
| 小型化              | 印刷機 マウンタ リフロー炉<br>コネクタ 電子部品<br>のみ 片面<br>→ 片面 → 計1回   | コテはんだ付けロボット<br>ロボットによる<br>コテはんだ<br>設備サイズ<br>W684×D600×H872    |
| エネルギー効率、スペース効率UP |                                                      |                                                               |

図13 はんだ付け工程比較

### ② 封止工程

現行のポッティング工程は樹脂の硬化時間がネックであり、

完成まで3日のリードタイムを要した。今回の取り組みでは一体成型で封止を行うことにより、樹脂の硬化待ちが解消され、リードタイムを1日に短縮することができた(図14)。

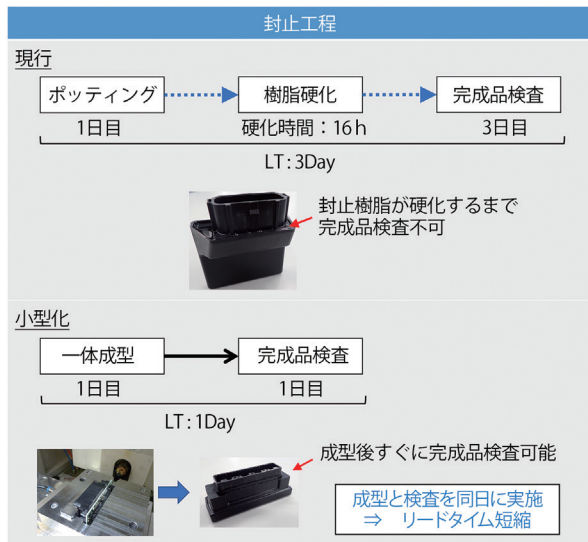


図14 封止工程比較

## 6 おわりに

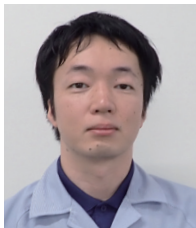
開発の狙いであるユニットの最小サイズを目指す取り組みとしては、現行の最小サイズのユニットを体積、質量ともに1/2以下まで小型化することに成功した。また、電子基板の小型化に向けた実装技術、新規の封止技術についてノウハウを蓄積できた。

今回の取り組みにより、ユニットの小型化および生産工程の効率化について、一定の方向性を提案することができたと考えている。一方で、生産工程における品質の安定性と製品コストには課題がある。今後は、製品の信頼性を高めながらコスト削減を目指して、実用化にむけた先行技術開発を続けていきたい。

### ■ 著者



**神谷 貴春**  
Takaharu Kamiya  
ヤマハモーター  
エレクトロニクス株式会社  
生産統括部  
生産技術部



**大津 一生**  
Issei Otsu  
ヤマハモーター  
エレクトロニクス株式会社  
生産統括部  
生産技術部