

熱可塑性樹脂モールド適用による 汎用エンジン制御ユニットの小型軽量化

Application of Thermoplastic Resin Molding to Control Unit of General Purpose Engine

木 全 隆 一*

Ryuichi KIMATA

桑 迫 信 一**

Shinichi KUWASAKO

前 川 佳 則*

Yoshinori MAEKAWA

為 近 隆 男*

Takao TAMECHIKA

要 旨

汎用作業機器に搭載する電装部品の多くは、耐水性・耐薬品性・耐振性などから、熱硬化性樹脂によるポッティング処理をおこなってきた。これに対し、汎用エンジンの制御ユニットの小型軽量化を目指し、熱可塑性樹脂によるモールドを試みた。従来、熱可塑性樹脂モールドを電装部品に適用する際は、射出成形の特質から、小型部品への適用が一般的であった。今回、100mm×70mmとサイズの大きいエンジン制御基板に適用するため、樹脂材料検討・電子部品配置・樹脂流動解析等を含めた成形条件の適正化をおこなった。その結果、ユニットとしての高さ比 20% 減、重量比 50% 減、さらにはモールド作業工程時間で二桁の向上を達成した。

ABSTRACT

The majority of electrical components utilized in general purpose work equipment are manufactured by potting employing thermosetting resins, taking into account their water, chemical and vibration resistance properties. The research discussed in this paper adopted a different approach, and attempted to mold these components using thermoplastic resins in order to reduce the size and weight of general purpose engines. Thermoplastic resin molding is typically only utilized when manufacturing small electrical components, due to the characteristics of the injection molding process. Molding conditions were optimized to enable the procedure to be employed for a large electronic circuit for engine control, a process which involved the study of resin materials and the layout of the electronic components, in addition to resin flow analysis. Manufacturing components using these optimized conditions enabled a 20% reduction in height and 50% reduction in weight of the control unit, in addition to reduction of the time required for the molding process.

1. はじめに

汎用エンジンを始め、作業用機械として使われる汎用機器に搭載される電装部品の多くは、使用環境の制約から防水、耐振、耐熱性を強く求められ、従来から熱硬化性樹脂を注型固化し保護する形態をとってきた。一般的には、二液混合エポキシ系樹脂を使い、樹脂あるいは金属ケースに電子回路基板(PCB)などの電気部品を入れ、樹脂を注型し所定の硬化条件により熱処理される。熱処理は、樹脂の種類によっても異なるが、100℃前後の高温で、3時間から10時

間程度も要し、熱硬化炉の設備投資や管理だけでなく、工程としても著しく手間のかかるものである。

エポキシ樹脂注型する製品は、例えば電子回路基板の場合、搭載する部品のうち一番背の高い部品に合わせたケース深さを必要とし、それを埋めるだけの樹脂量が求められる。そのため、使用樹脂量はおのずと増え、ユニットとしての重量や体積も必要以上に大きいものとなり、樹脂材料費も余分にかかってしまう。

一方、電装部品への小型軽量化および低コスト化の要求は常なるものがあり、熱硬化性樹脂注型方法に替わる有効

* 朝霞東研究所

**ホンダエンジニアリング

な電装部品耐環境性の確保の方法として、熱過疎性樹脂の特性に着目しこのモールド方法の検討をおこなった。

本稿では、熱可塑性樹脂による汎用エンジン制御ユニットモールド方法の適用開発中に得られた知見について明らかにする。

まず、従来の熱硬化性樹脂注型に替わる熱可塑性樹脂モールド方法であるが、ここ数年、ホットメルト・モルディング製法の名前で呼ばれ、国内では家電分野でのごく小型の回路基板やセンサ、あるいはワイヤーハーネスの信頼性向上とコストダウンをねらいとした封止に使われてきている。同製法は、回路基板やセンサをインサート樹脂成形するもので、通常の熱可塑性樹脂の射出成形温度 240 - 300 °C 圧力 40M - 130MPa に比べて、各々極めて低く 200°C 前後 5MPa 以下程度でおこなわれる。

この射出圧が低いことから、金型に簡易的なアルミ型を使用でき、型費も削減でき、射出装置および型締め装置も簡略化できる。これまでの熱硬化性エポキシ樹脂注型に対しても多くの利点を持つが、これまでは、今回使用する程の大きめの回路基板(約 100mm × 70mm)での電装部品採用例はなかった。

2. 基本構造と目標要件

本製法を適用する制御ユニットが搭載される新しい汎用エンジン“iGX440”(Fig. 1)⁽¹⁾の特徴の一つとして、スロットルバルブ制御がある。その制御をおこなう ECU(電子制御ユニット)は、スロットルバルブを動かすためのモータおよびギヤケースと共に、キャブレタ上に一体化している。ECUをギヤケースの上部に配置することで、モータ配線を簡略化している。さらに、モータやエンジンの熱をキャブレタの吸熱効果によって低減させる効果もある。

具体的なレイアウトを Fig. 2 に示す本製法の特徴であるモールド外形形状を自由にできる点を生かし、スペースを有効に利用するために、ギヤケース側のモータと ECU 側のコンデンサやトランス等背の高い部品が互に入り込む



Fig. 1 External view of iGX440

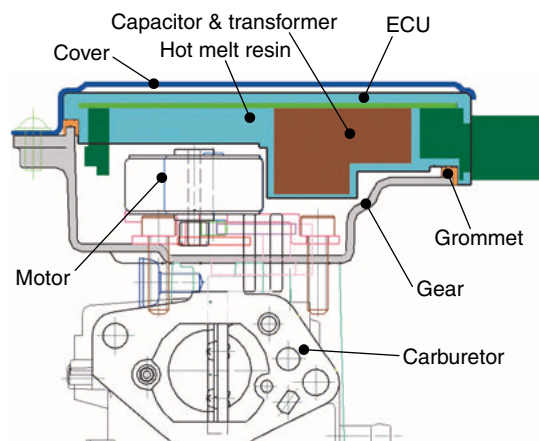


Fig. 2 Layout around ECU

ようレイアウトをおこなった。ギヤケースは防水構造とし、ECU とアルミ製のギヤケースの間にグロメットを挟み込み、外部から衝撃保護を兼ねた板金で挟み込みシールしている。これによりモータとコネクタは部品形状が小さい非防水部品を使用することができ、さらに内部ギヤの防塵対策も兼ねている。

上記から本製法による ECU について下記目標要件が必要とされる。

モールド厚さをより薄くすること(スペース効率)。

- (1) 基板を固定すること。
- (2) 基板表面を完全に覆うこと(防水性)。
- (3) コネクタなど表面部品との接着性を確保すること(防水性)。
- (4) シール部の平面を確保すること(シール性)。

3. 樹脂材の検討

本製法に向け開発中であった共重合ポリエステル系の樹脂の耐薬品性および耐水性の高さに注目し、テスト基板でのモールド成形テストと耐環境性テストを繰り返しながらの樹脂メーカーとの共同作業で、樹脂特性の変更要望を出し、現在使用している樹脂の選定に至った。共重合ポリエステル系樹脂は、その特性において、それまで検討してきたポリアミド系樹脂に比べて熔融粘度が一桁以上大きく、成形にあたっては、流動制御に種々の工夫を必要とすることが予想された。Table 1 に本製法で使用する樹脂の代表的特性を示す⁽²⁾。当初、本製法の検討に入った際は、使用樹脂が現在とは異なり、もともと同様の製法で多く使われていた樹脂材のダイマー酸ポリアミド系であったが、汎用機器向け電装部品の耐環境性要件の一つである耐ガソリン性や耐薬品性、耐水性等テスト検討の結果、性能向上が必要であることから、それらを満たす樹脂の調査検討から改めておこなうこととした。

Table 1 Resin characteristics for hot melt molding

	Properties	Unit	Condition	Spec	Test Method
1	Specific gravity	—	RT	1.05	JIS K 7112
2	Hardness	(Shore A)	RT	70	ASTM D2240
3	Melting point	(°C)	RT	155	DSC
4	Brittle point	(°C)	RT	< -65	JIS K 6261
5	Tensile strength	(MPa)	RT	4.3	JIS K 6251 *1
6	Elongation	(%)	RT	1 300	JIS K 6251
7	Flexural strength	(MPa)	RT	0.63	ASTM D790 *2
8	Flexural modulus	(MPa)	RT	9	ASTM D790
9	Shear strength	(MPa)	RT	2.0 <	ASTM D732
10	Coefficient of expansion	(K-1)		1.9×10^{-4}	TMA
11	Volume resistivity	($\Omega \cdot \text{cm}$)	RT	$1.0 \times 10^{11} <$ (dry condition)	ASTM D257 *3
12	Dielectric strength	(kV/mm)	RT	20 (dry condition)	JIS C 2110

*1 Dumbbell No.3 Tensile rate 500 mm/min

*2 Sample: 100 × 12.5 × 6.5mm Flexural rate 3mm/min

*3 Dry condition: 60°C × 8hours drying under <0.1MPa atmosphere

4. 量産製造装置

基板機能維持と樹脂インサート成形の二律相反する要件に対して、樹脂温度および吐出圧力の制御が重要である。

まず、樹脂温度については、金型内部の樹脂温度と吐出ガン先端での樹脂温度に相関関係があることに着目し、量産条件としては吐出ガン先端での樹脂温度を管理項目とし、ハンダ融点と金型からの放熱量を考慮した温度設定とした。

吐出圧力については、圧力での変形を生じる部品があるためにできる限り低圧での成形をおこなうことに注力した。通常の射出成形において用いられる手法の一つである、ゲートレイアウトおよびゲート板厚増により吐出圧力低下を実現した。

量産設備は大きく分類して、樹脂吐出部、型締部、製品取り付け部、製品取出部からなる縦型ロータリ式成形機である (Fig. 3)。

型締部は、基板を挟んで相反方向 (本件においては上下方向) への樹脂内圧による型開きを抑制するため、射出成形で用いられる理論⁽³⁾、

必要型締力 (ton)

$$= \text{平均樹脂内圧 (kgf/cm}^2\text{)} \times \text{充填投影面積 (cm}^2\text{)} / 1000 \quad (1)$$

に対して、充填投影面積を2倍にした型締力を発現できる仕様を採用している。

製品取り付け部および製品取出部については、射出成形機に準じた汎用性を持った仕様となっている。

5. 成形条件の適正化

5.1. 樹脂流動事前検討

今回、熱可塑性樹脂でモールドする物は電子回路基板 (PCB) であり、外観はもとより、次の点について留意して成型する必要がある。

- (1) 各部品の耐熱温度を超えないこと。
- (2) 各部品の耐圧を超えないこと。
- (3) 各部品の変形を許容範囲内にすること。

基板は従来の物より大きく、電源平滑化のためのコンデンサや点火電源用のトランスなど背の高い (−15mm 程度) 部品があり、経験的に流動を推測することが困難で、樹脂の流動解析をおこなうことが不可欠であった。

流動解析結果 (東洋紡績 CAE 流動解析サービスによる) としては、樹脂の充填状況を示す充填パターン、成型時の温度、圧力を得ることができる。具体的な充填パターン例を Fig. 4 に示す。

上記解析例では、下側 (ギヤケース内側) の中央部の樹脂充填が遅く上下間の圧力バランスが崩れ、基板の変形が予想される。成型時の温度解析では、充填樹脂温度結果から基板のどの部位で温度が高くなっているかを判断し、特にハンダの融点以下になっているかの確認ができる。成型時の圧力解析では、充填に必要な設定樹脂圧力の推定が可能である。



Fig. 3 Hot melt molding system

上記のような解析をおこない基板、成形形状、ゲート形状を決めて行き、実際に型を作製する費用削減と時間の短縮をおこなった。

5.2. 電子部品の耐熱・耐圧性と成形時の確認

通常の樹脂射出成形に比べて温度・圧力が低いとはいえ、従来の熱硬化性エポキシ樹脂注型による封止に比較して、基板に実装される電子部品への影響は無視できない。今回のエンジン制御ユニットに使用される全電子部品を一例としてその耐熱・耐圧につき調べた。以下にその特質をまとめる。

- (1) 大型の電解コンデンサは防爆対応構造により圧力に弱く外装樹脂フィルムは熱に弱い。
- (2) フィルムコンデンサは使用フィルムの耐熱温度が低くハンダ融点以下の耐熱性しか持たない。
- (3) 上記のコンデンサ以外の部品は、基本的にハンダ融点以下に抑えれば問題ない。

基板上電子部品各部のモールド成形時の温度を前記基準に照らし合わせて確認をおこなった。

樹脂流動の妨げとならないようシース熱電対の線径の極めて細い物を用い、基板上必要箇所に設置して各部温度を

測定した。测温箇所については、樹脂流動解析の結果も参考にし、ゲート部最近傍を基本とし、主要部品表面で測定した。各部の温度はいずれも各基準以下にあり問題ないことを確認した(Fig. 5)。

一方、モールド成形時に基板にかかる応力を測定した。

これから、射出初期圧と樹脂充填完了後の保圧がかかるそれぞれのタイミングで基板に応力がかかっていることがわかる(Fig. 6)。

5.3. 樹脂と基板・電子部品の接着性

使用している樹脂の特性から、基板や電子部品との接着性はある程度期待されたが、実際の成形にあたり、樹脂射出時の各部の温度から判断するに、樹脂の接着性を十分に得るには樹脂温度がやや低い。今回の基板では、樹脂温度を基板部分でハンダ融点の約 180℃以上に上げることができないため、使用樹脂の融点(155℃)との温度差からも熱硬化性エポキシ系樹脂モールド時のような強力な接着性は期待できないため、モールドする外形形状の工夫により、ECUとしての耐水性を確保する必要があった。

5.4. モールド成形品質の確保

量産設備での目標モールド成形条件を特定して行く前段階として、テスト基板のうち、大物部品(大型の電解コンデンサ、トランス、コネクタ、パワートランジスタ、LED、フィルムコンデンサ)だけを実装したダミー基板を用いて、樹脂温度および射出初期圧力をパラメータとして成形可能な条件範囲の特定をおこなった。

樹脂温度の高い側の確認については、同様テスト基板にすべての部品を実装した可動基板で基板動作の可否を含めておこなった(Fig. 7)。

本製法において、モールド成形による品質を保つために、使用する樹脂の熔融粘度による影響が大きく、樹脂流動を妨げない工夫が必要である。これらの事から以下の点に留意する必要がある。

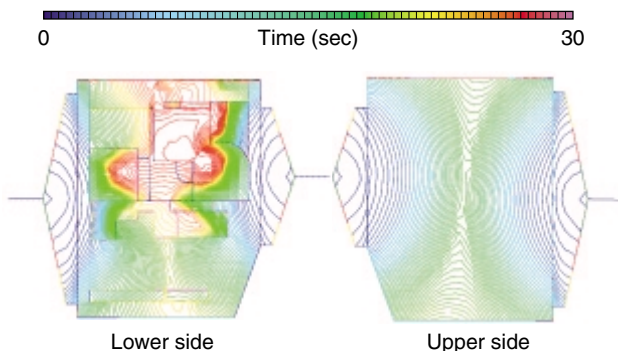


Fig. 4 Flow pattern

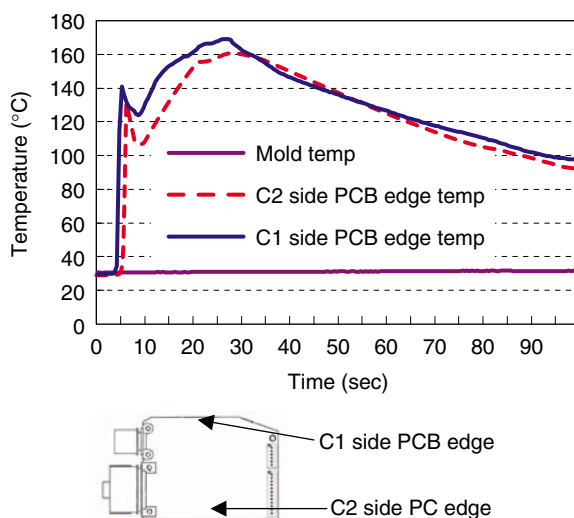


Fig. 5 Thermal transition on PCB surface and resin

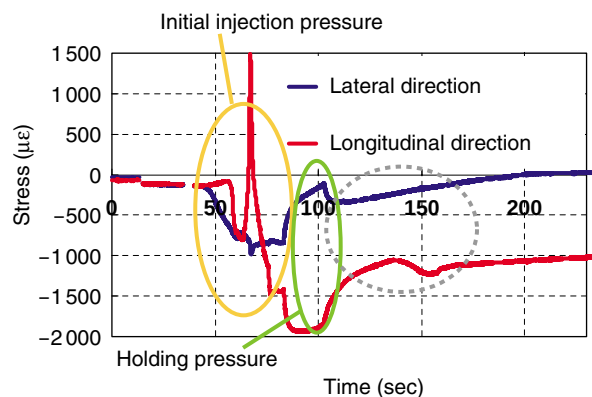


Fig. 6 Stress on PCB with resin injection

- (1)樹脂温度：電子部品やハンダの温度要件をにらみつつ、できるだけ温度を高く設定する。
- (2)一箇所に圧力が集中しない部品配置および形状にする。
- (3)ゲートから樹脂流動が集中しないようにする。
- (4)パーティングラインの上下での樹脂流動バランスがある程度保てるよう、極端に片面の流動を阻害する部品配置にしない。

また、モールドする形状としては、樹脂と部品の接着があまり強くないことから、基板実装部品との単純な接着面を構成するのではなく、部品を覆い被せるような構造が望ましい。Fig. 8 に成形後の外観を示す。

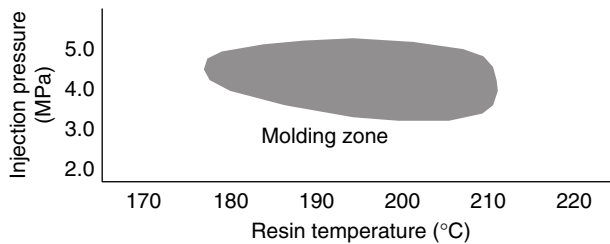


Fig. 7 Practical molding conditions



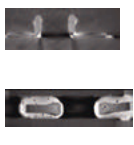
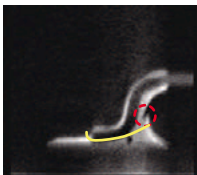
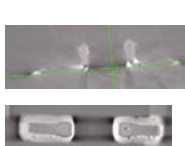
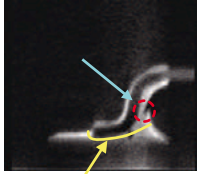
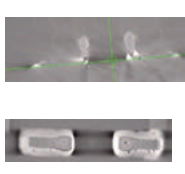
Fig. 8 Outside view of a hot melt molded ECU

6. 耐久信頼性

本製法は、通常の熱硬化性エポキシ系樹脂注型方法と違い、樹脂を流しながら、圧力をかけて成形する手法であるため、ECU等、特に電子素子が多い場合に、高温樹脂流動や成形圧力応力などによるハンダ部への影響が特に懸念された。また、汎用エンジン部に直接 ECU を搭載することは初めてであり、ECUの高い耐久信頼性が求められ、それを確保するために、温度振動関係のテストを主体に実施した。

本製法においては、ハンダ接合部に与える影響が大きいと想定されたため、熱衝撃試験に重点をおいて確認をおこなった。熱衝撃試験の所定サイクルごとに供試品を取り出し、CPU 取り付け部のハンダ部の状況を X 線 CT 装置で確認した。結果を Table 2 に示す。温度ストレスに対する樹脂の膨張・収縮によるハンダ接合部のクラック進展はなかった。限界性把握のため、テスト条件を超えたサイクル数でのハンダ状態の確認もおこなったところ、回路動作に支

Table 2 Solder conditions of micro-processor and capacitor

Function	Micro-processor	Capacitor
500 Cycles	Crack growth rate 0% 	Crack growth rate 0% 
700 Cycles	Crack growth rate 13% 	Crack growth rate 0% 
1 000 Cycles	Crack growth rate 23%  Minimum pass on soldering junction	Crack growth rate 0% 

障が出る可能性の高いクラック進展には至っていない。

総合的に短期間で信頼性を確立するために、温湿度サイクル振動通電試験での評価もおこない問題のないことを確認した。

振動、冷熱、湿度などの変化で、実装電子部品および基板への影響はなく、従来の熱硬化性エポキシ系樹脂注型方法によるユニットと同等の耐久信頼性が確認でき、汎用エンジン用ユニットとして実用に十分適合した条件を満足するモールド成形条件を確立できた。

7. まとめ

従来の車載電装部品の耐環境性能確保のためにおこなわれてきた、熱硬化性エポキシ樹脂注型方法に替わる、熱可塑性樹脂モールド方法を汎用エンジン制御ユニットに適用できるようにした。

同時に本研究を通じて以下の知見が得られた。

- (1)電子回路基板を本製法でモールドする場合、樹脂温度を電子部品耐熱温度およびハンダ融点より上げられない一方、成形品質確保のためなるべく高く設定しなく

てはならないことから、樹脂温度・圧力を精密に制御しなくてはならない。

(2)ゲート形状・位置および部品形状・配置により樹脂流動が大きく変化し、成形品質にも影響が出やすいので、テスト型製作前の CAE 樹脂流動解析が非常に有効である。

(3)ユニットとしての高さ比20%減、重量比50%減、モールド作業工程時間で二桁の向上を達成した。

なお、今後汎用エンジン制御ユニットを始めとする電装部品の樹脂封止方法として、本製法を適用拡大して行く。

謝 辞

本研究にあたり、特に樹脂材料開発および CAE 流動解析に御協力を頂いた東洋紡績(株)の方々を始め、関係者の方々に紙面を借りて厚くお礼申し上げる。

参考文献

- (1)伊藤慶太, 本田宗平, 斉藤照幸, 倉田真秀, 直江学:
電子制御汎用エンジン i GX440 の開発, Honda R&D
Technical Review, Vol. 17, No. 2, p.44-51
- (2)東洋紡績パイロショット技術カタログ, 2004年版, p.8
- (3)「インジェクション金型の基礎」日経メカニカル エンジニア養成・ビジュアルメカシリーズ, Vol.2, 「成形機の運転」, 「成形機の機械的構造」, 「型締め装置」型締め力の計算

■著 者■



木全 隆一



前川 佳則



桑迫 信一



為近 隆男