エンジン制御ＥＣＵ'０５標準モデルの開発

Engine Control ECU Development for '05 Standard Model

米本宣司 *Takashi Yonemoto*
杉浦慎一 *Shinichi Sugiura*
若林祐幸 *Hiroyuki Wakabayashi*
安原孝文 *Takafumi Yasuhara*
渡部卓也 *Takuya Watanabe*
越路　心 *Shin Koshiji*

要　旨

近年自動車では，安全性及び環境性能の向上をねらいとして各機能の電子制御化の動きが急激に拡大しており，かつその制御内容も複雑化している。そのため2000年以降，電子制御ユニット（ECU）の標準化や車両における最適配置の要求が高まり，特に車両制御系のECUの中で最も大規模なエンジン制御ECUにおいては，その標準化のみならずECUをエンジンルーム内に搭載する検討を進めてきた。

本稿では，トヨタ自動車株式会社殿，株式会社デンソー殿と共同開発したこの要素技術について紹介する。

Abstract

Automobiles in recent years are becoming more electronically controlled in order to improve safety and environmental characteristics, and these control methods are becoming increasingly complicated.

Because of these reasons, the demand for standardization of electronic control units (ECU) and optimal placement within a vehicle has become higher since 2000. For the engine control ECU which has the largest number of functions out of all vehicle control ECUs, not only its standardization but the possibilities of mounting of the ECU in the engine room has been evaluated.

This document introduces fundamental technology that we developed in collaboration with the Toyota Motor Corporation and Denso Corporation.

1 はじめに

近年，自動車の商品性向上の手段として，電子制御機器の担う役割が益々重要なものとなっており，エンジン制御ECUの機能や制御規模は拡大の一途をたどっている。図1，図2にエンジン制御ECUに採用されているマイコンの機能と入出力数の増加の変遷を示す。

このため，トヨタ自動車株式会社殿ではECUや車両制御システムの標準化（電子プラットフォーム化）や最適配置による開発の効率化を進められているが，従来よりエンジン制御ECUには高機能なマイコンが採用されてきたため，搭載場所としては温度条件や振動条件の良い車室内を選択されていた。

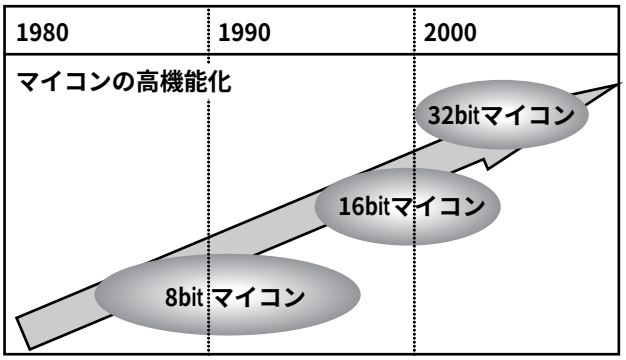


図-1　エンジン制御用マイコンの高機能化
Fig.1 Advancement of the engine control microcomputer

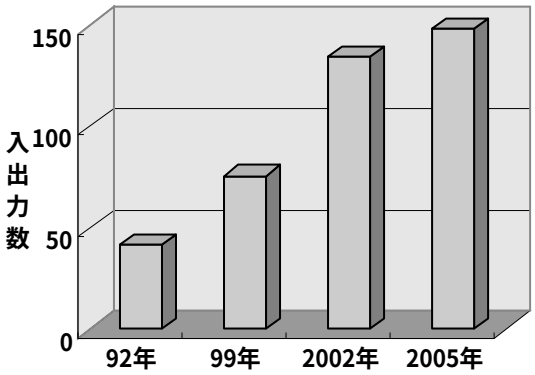


図-2　4気筒系エンジンECUの入出力数
Fig.2 Number of input/output for four-cylinder engine ECU

しかし '05年標準モデルでは，エンジンルームから車室内に貫通するワイヤーハーネスの削減やハーネス長の短縮による車両重量の軽量化，エンジン制御機能の最適配置の点からエンジン制御ECUをエンジンルーム内へ搭載することが決定され，開発に取り組んだ。(図-3)

ECUのエンジンルーム搭載のためには，防水はもとより搭載部位の熱環境を考慮した放熱・耐熱設計や高信頼性化のための新規要素技術の開発が必要であり，本稿では，トヨタ自動車株式会社殿，株式会社デンソー殿と共同開発した要素技術について紹介する。

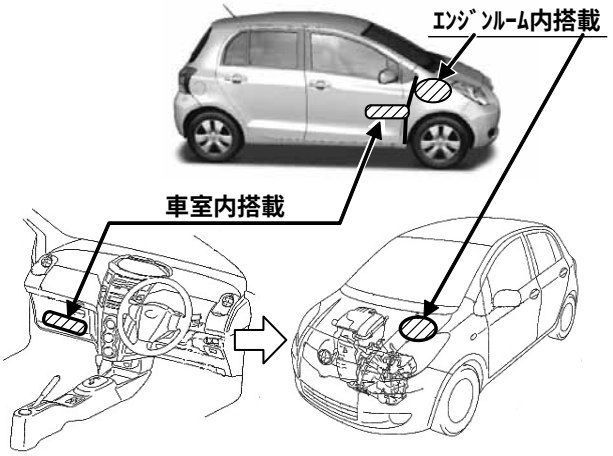


図-3　ECU搭載位置
Fig.3 ECU mount location

2 エンジン制御システムの概要

エンジン制御ECUとは，エンジン出力・燃費・排気ガスの清浄度を向上させるためにエンジンや車両の状態を示す各種のセンサからの入力信号をもとに，燃料噴射量・点火時期・スロットル開度を総合的に高精度に制御するものである。例えば燃料噴射制御は，エンジンへの吸入空気量とエンジン回転数から基本噴射時間を計算し，これに各種センサからの信号による補正を加えて，総噴射時間を制御する。

以下にエンジン制御ECUの構成図を示す。

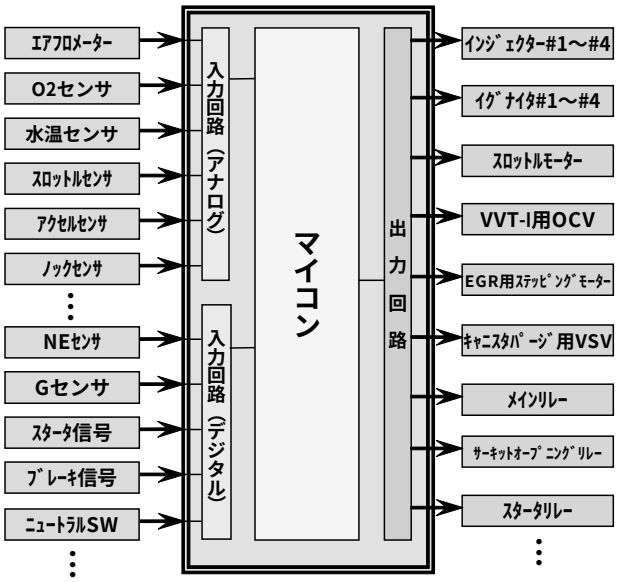


図-4　エンジン制御ECUの構成
Fig.4 Structure of engine control ECU

またエンジン制御ECUには，高度化・複雑化するシステムに対応するため，自己故障診断及びフェイルセーフ機能も合わせ持っている。

3 開発のねらい

一般にエンジンルーム内の環境は表-1に示す様に，車室内に比べ，熱・振動共に非常に厳しいものとなっている。

表-1　搭載環境の比較
Table 1 Comparison of mounting environment

搭載場所 / 項目	車室内	エンジンルーム
環境温度	−30〜80℃	−40〜120℃
防水性	防湿	散水〜水没
振動	〜約30m/s²	〜約45m/s²

特に高機能なエンジン制御ECUにとっては，熱と小型化に対する成立性が重要課題となり，開発の初期段階において各車両の標準搭載の観点より，目標とする搭載環境・外形寸法を下記の通りとした。

表-2　'05標準ECU開発の目標
Table 2 '05 standard ECU development objectives

ECU / 項目	従来（車室内）	'05標準ECU（エンジンルーム）
保存温度	〜80℃	〜110℃
防水性	防湿	一時的な水没
振動	〜約30m/s²	〜約45m/s²
消費電力	7〜13W	7〜13W
外形寸法	193×170mm	189×148mm
質量	約600g	600g以下

車室内搭載用のECU構造は，図-5に示す様にダイカスト製の筐体に基板をネジで固定し，放熱は基板上での熱拡散を主とする構造としていた。

しかし '05標準モデルでは，エンジンルーム内に搭載可能な防水性を備え，かつ現号モデルに比べ約30℃高い環境温度で動作できる事を実現するためにその放熱構造を根本から見直した。以下，その要素技術として，

（1）放熱技術
素子からダイカストケースへの放熱による放熱効率の向上とマイコン周囲温度の低減

（2）高信頼性化技術
基板薄型化による信頼性の向上

（3）防水技術
呼吸機能を有する防水シール構造による車載信頼性の確保

（4）小型軽量化技術
筐体の樹脂化による小型軽量化
に関する詳細を述べる。

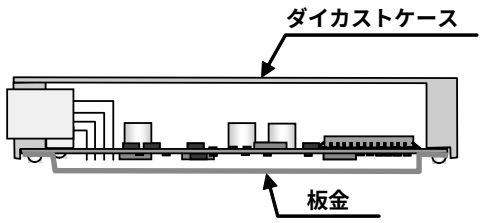


図-5　従来ECU構造
Fig.5 Conventional ECU structure

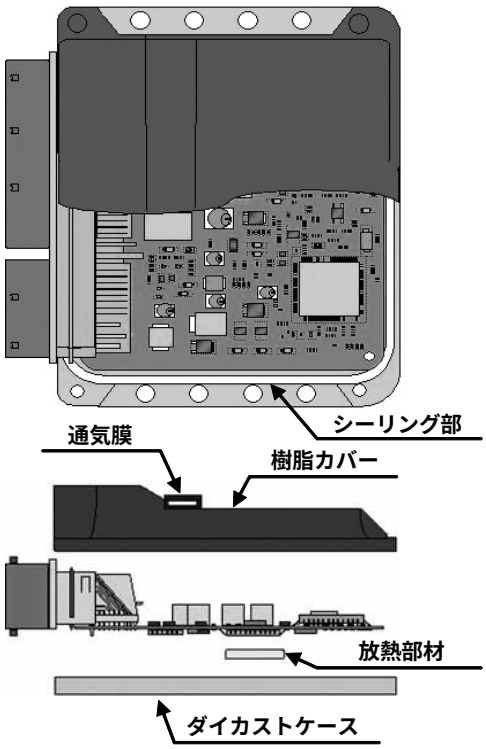


図-6　'05標準モデル構造
Fig.6 '05 standard model structure

4 開発技術

4.1 放熱技術

1）開発目標

'05標準モデルでは搭載場所がエンジンルーム内へ変わることによる雰囲気温度の上昇と筐体の小型化による放熱能力低下の懸念があり，より積極的な熱設計が必要となる。特に消費電力が大きいパワーIC部の放熱と，マイコン周囲温度の低減が重要な課題であった。

放熱性向上の方策としてはゲーム機器やパソコン等の民生品の分野で数多くの手法が開発されており，中でも熱輸送能力に優れたヒートパイプやファン付のヒートシンクによる強制冷却が一般的な手法となっている。

また車載製品に関しては，その信頼性要件から熱伝導率の高い金属ベース基板を用いて回路基板から放熱する例も多く採用されているが，これらいずれの方策も大規模なエンジン制御ECUに対しては小型軽量化の阻害要因になると同時に，コスト面でも有利とは言い難い。

そこで今回，コスト・実装密度共に有利な多層樹脂基板と信頼性の面で優れる既存パッケージの活用を前提として以下の開発目標を設定し検討を進めた。

①パワーIC部の熱抵抗 ：従来比1/2以下

②マイコン部の温度上昇：15℃以下

以降，それぞれの部位に対しての具体的な取組み内容について述べる。

2）パワーICの放熱構造

車室内搭載ECUでは，環境温度が低いため部品の放熱に関しては基板への熱拡散を主としている。これに対して'05年標準モデルでは，放熱が必要なパワーICをマイコンとは反対面に実装し，素子の背面から放熱部材を介してダイカストケースに放熱する構造としている。

放熱部材の候補としては，一般的に放熱シートと呼ばれるシリコーンを主成分とするゴム状の放熱材と放熱グリスの様なゲル状の放熱材の2種類を検討したが，図-6にて示す構造では組み付けにより放熱部材を圧縮・変形させる反力が直接部品に作用するため，今回はゲル状の放熱部材を採用する事でその流動特性を活かし，反力を低減した。

しかし一方で，ゲル状の材料は放熱シートに比べ熱伝導性が劣るため，ECUとしての放熱性に寄与するパラメータである放熱部材の塗布面積の放熱性への影響度を定量的に把握すると共にばらつきを見込んだ設計値を導き出し，製造条件に盛り込む必要があった。

図-7はその具体的事例であり，放熱部材の塗布面積と熱抵抗の関係を示す。

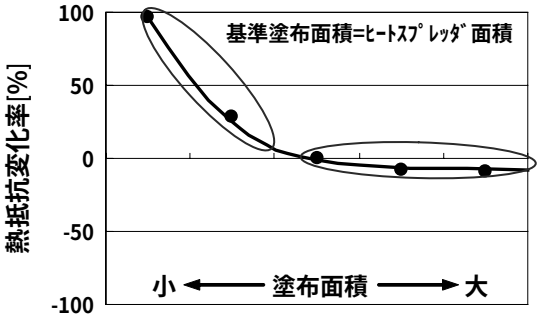


図-7　放熱部材の塗布面積と熱抵抗の関係

Fig.7 Relationship of the application surface area of heat sink material and heat

図-7から読み取れる様に，今回採用したパワーICにおいて，ある基準面積以下の放熱部材塗布量ではその変動が素子の放熱性に大きく影響する一方で，基準面積以上の塗布面積を確保できれば，モールドの外形に依らず塗布量の熱抵抗への影響は小さい事が確認できた。

この結果に放熱材塗布設備の塗布精度を加味し，放熱部材の塗布量を決定した。

3）マイコンの熱対策

'05標準モデルに用いるマイコンはパワーICに比べてその損失が小さい事により，特別な放熱構造は採用していないが，反面周囲からの熱干渉を避けていかに動作保証温度を確保できるかということが課題となる。

ECUの基本構造としては図-6に示した様に，パワーICをマイコンとは反対面に搭載しダイカストケース側に放熱する事で基板の表裏で熱源分離を行いマイコン周囲の温度低減をねらった。

また，損失が大きい部品をマイコン周辺に集中配置すると局部的な温度上昇の発生が予想されるため，パワーICの配置を分散させると共に，ブラケットからの熱の逃げも期待できる筐体の端面付近に配置している。

これらは図-8に示す様に設計初期段階に熱シミュレーションによりその効果の確認を行い，部品配置及び基板パターン設計に反映させた。図-9の実際のECU動作時のサーモグラフィからも，パワーIC実装面からの画像によって，熱源分離の効果が確認できる。

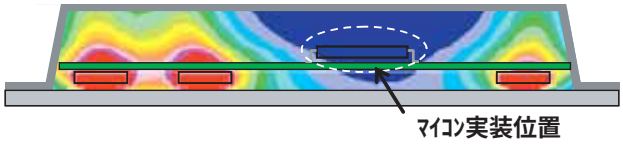


図-8　熱シミュレーション結果

Fig.8 Heat simulation results

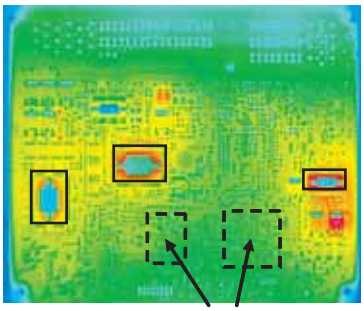


図-9　ECU動作時のサーモグラフィ

Fig.9 Thermography during ECU operation

4）まとめ

以上述べてきた取組みの結果として下記の通り目標を達成することができた。

①パワーIC部の熱抵抗：従来比1/2以下

②マイコン周囲温度上昇：ΔT=10℃以下

4.2 高信頼性化技術

1）多層樹脂基板における接続信頼性の確保

基板としては高密度化による小型化をねらい，6層基板とφ0.3～0.4mmのバイアホールを採用しており，高温側に幅広い温度変化を考慮した信頼性の確保が課題となった。

基板の熱膨張・収縮によるストレスがバイアホール部の接続信頼性の低下を引き起こす現象は，図-10に示すように基板の厚み方向の線膨張率が面方向に比べて大きいことに起因している。

また，高密度化設計を実現するためにバイアホールをφ0.5mmからφ0.3mmと小型化する事で，単位面積当たりに発生する繰り返し応力は1.5倍以上となり，さらに厳しい要件となっている。

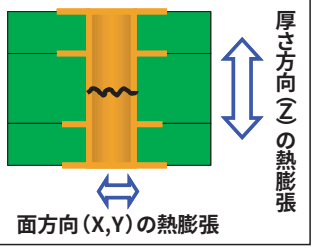
	線膨張係数	破壊モード
面方向（X、Y）	約13ppm/℃	
厚み方向（Z）	約60ppm/℃	

図-10　基板の物性値とスルーホールの断線部位

Fig.10 Physical properties of the circuit board and disconnected area of the through hole

そこで今回は，バイアホール部に発生する応力を低減する方策として，基板の厚みを従来のt1.6mmからt1.2mmに変更することで，熱による基板厚みの変化量を低減し，バイアホールの接続信頼性の確保をねらった。図-11にその基板構成の比較を示す。

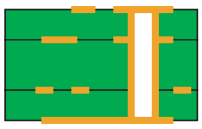
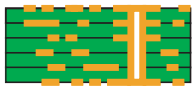
	従来品の基板構成	開発品の基板構成
構成図		
層構成	4層　t1.6mm	6層　t1.2mm
バイアホール	φ0.5mm	φ0.3mm
パターン幅/間隙	0.25／0.25mm	0.15／0.15mm

図-11　基板構成の比較

Fig.11 Comparison of circuit board structure

図-12には今回確認できたスルーホール接続寿命と穴径・基板の板厚の関係を示す。その結果より，同一基板厚みにおけるバイアホールの小径化は信頼性の低下に繋がるが，基板厚みをt1.6mmからt1.2mmと薄くすることによりφ0.3mmのバイアホールでも接続寿命を約2倍に改善でき，従来設計以上の寿命を確保できる事が判る。

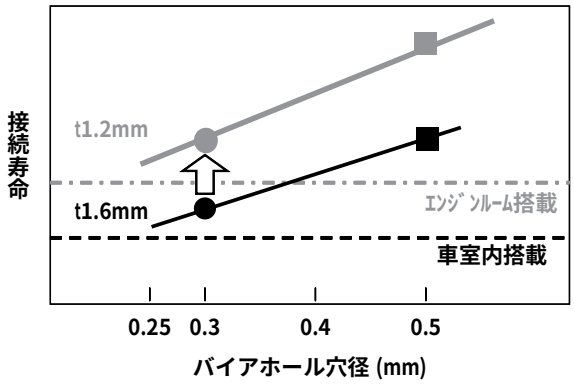


図-12　穴径と接続寿命の関係

Fig.12 Relationship between hole diameter and connection life

一方で基板の板厚を薄くすることによって，基板そりの増加が懸念されたが，今回は基板のパターン設計において導体の残銅率を検討し，層間で均等な残銅率設計を行うことにより，はんだ付け時の基板そりの低減を図ることができた。

図-13は'05標準モデルの基板各層の残銅率を示しており，基板の中心に対して各層がバランスよく配線されていることがわかる。

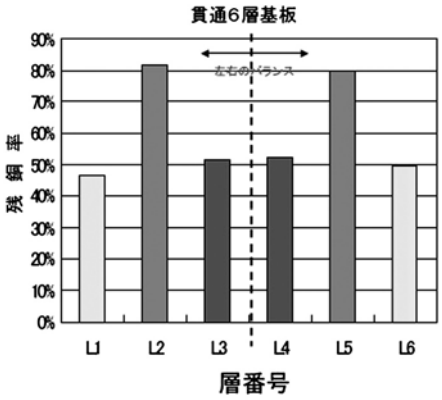


図-13　各層ごとの残銅率

Fig.13 Ratio of remaining copper per layer

この様に基板の厚みを薄型化する事で接続寿命を2倍以上に改善し、エンジンルーム搭載環境における小径バイアホール部の信頼性を確保する事ができた。

4.3 防水技術

1）防水性能

自動車部品の防水性能に関して，JIS D0203では散水・噴水・浸水3つの段階に区分されており，ヒューズボックス類の搭載されているエンジンルーム内でも高い搭載位置に対しては散水，また車両の前照灯等に代表される直接風雨または水しぶきを受ける部位には噴水，そして近年センサ類が搭載されているバンパーの高さ以下の様に一時的に水に浸かる事のある部位に対しては浸水の要件が適用されている。

'05標準モデルとしては，エンジンルーム内における搭載の汎用性を考慮して，一時的な浸水までを満足させる事を目標とした。

表-3　防水性能比較（JIS D0203）

Table 3 Water resistance performance comparison (JIS D 0203)

分類	区分	対象部品
散水	R1	水滴に触れることがある部品
	R2	間接的に風雨　または，水しぶきを受ける部品
噴水	S1	直接風雨又は水しぶきを受ける部品
	S2	強い受水状態についての部品
浸水	D1	一時的に水につかることのある部品
	D2	常時水につかる部品 　または，完全防水を目的とした部品
	D3	特殊用途の防水部品

2）防水構造

防水構造の考え方として，大きく分けて「完全密閉」と「内圧調整機能付き」の2種類がある。

「完全密閉」の場合は，文字通り接合界面の溶着・接着や樹脂の充填等による閉鎖構造であり，センサやイグナイタなどに採用されている。防水性としては優れている反面，樹脂充填がない中空構造の場合は特に気圧や温度の変化で筐体やシーリング部に発生する負荷に対して十分な配慮が必要である。

一方で，「内圧調整機能付き」の場合は通気ができるように通気孔を設ける，もしくは通気膜を付けた呼吸構造が代表的であり，ヘッドランプやABS-ECUなどに適用され，ECUとしては通気膜を付けた呼吸構造が大半を占めている。

今回，防水性に関しては，一定条件下での水没に耐え，尚且つエンジンルーム内の温度変化によって発生する繰り返し応力によっても信頼性を損なわない内圧調整機能付きの防水構造を開発した。

3）シーリングの考え方

今回 '05標準モデル構造は，樹脂カバー，コネクタ，ダイカストケースの3種の部材の間を防水する必要があり，防水面が一部同一平面上にない。従って，防水構造としては一般的なOリングの採用が難しく，シーリング部に対して組立て工程内で塗布できる液状シリコーンを採用した。

またシーリング部の形状としては，図-14の様に樹脂カバーとダイカストケースで形成するシーリング材の塗布空間をU字形断面にすることにより，塗布が少量であっても水没に対して十分なシール接着長さと気密性を確保する事をねらった。

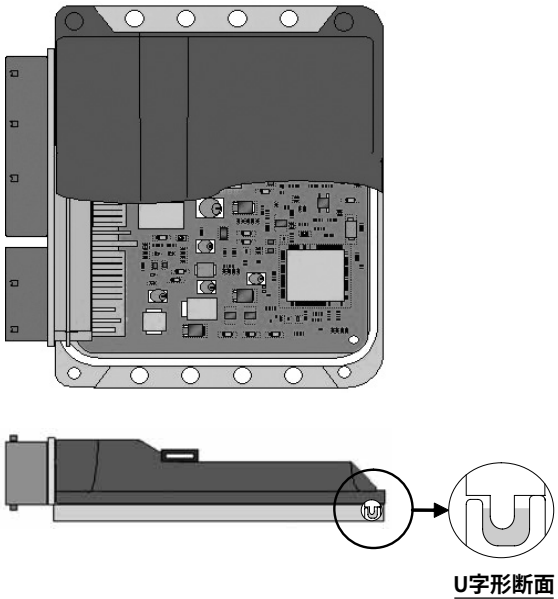


図-14　シーリング部形状
Fig.14 Configuration of the sealing area

4）気密における信頼性向上

図-15には，筐体の温度変化によってECU内部に発生する負圧を示す。高温にさらされたECUが完全水没する場合には，通気膜部も水で覆われるため内圧調整機能が働かない。この状態でECUが水によって冷却される事により内部の空気が収縮し，約20kPaを超える負圧が発生する。一方，通常の被水状態に関する最悪条件としては，通気膜部を除いてECUが水没している状態を想定した。この状態では通気膜部の内圧調整機能が作用するため，一時的に負圧は発生するがその値は完全水没時の負圧に比べて1/5以下と小さく，かつ時間と共にECU内部の圧力は大気圧まで回復する。

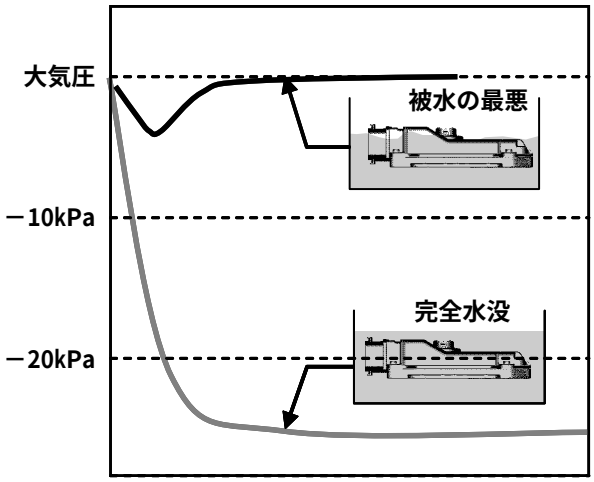


図-15　温度変化により発生する差圧
Fig.15 Differential pressure occurring from temperature change

図-16には，温度サイクル試験による防水耐久性の検証結果を示している。通気膜を封止した完全密封品では目標耐久サイクル数に達する前に気密性が確保できなくなることに対し，通気膜を付ける事により完全密封品の2倍以上の寿命が確保できた。つまり，図-15に示す内圧調整機能により，シーリング部に加わるストレスが軽減できていると考える。

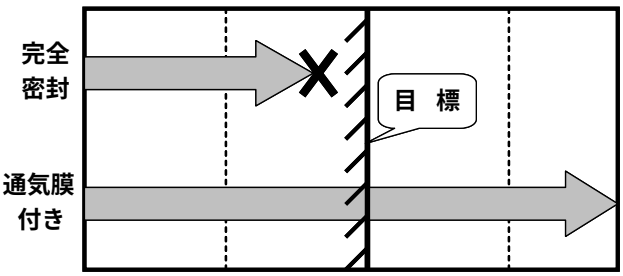


図-16　温度サイクルの気密性寿命の関係
Fig.16 Relationship of sealing life to temperature cycle

これより，防水性の目標であった「一時的な水没レベル」を満足し，かつ車載として求められる長期信頼性も確保することができた。

4.4 小型軽量化技術

1）樹脂ケース採用による軽量化

4.1章の放熱技術で述べた様に，パワーICのダイカストケースへのダイレクト放熱や熱源の分離配置などにより，マイコンが配置されているカバー側の筐体材料に関しては放熱性の高い金属系材料を使用することが必須ではなくなった。

そこで，ECUの軽量化をねらい，カバー側の筐体に樹脂材料を採用する検討を行った。

エンジンルーム内に搭載されているエンジニアリングプラスチックとしては，「PP（ポリプロピレン）・PA（ポリアミド）・PBT（ポリブチレンテレフタレート）・PPS（ポリフェニレンサルファイド）」が代表的であるが、今回はECU筐体としての機能である，

1. 高温高湿環境における耐久性
2. オイル等の付着に対する耐溶剤性
3. 工具の落下などによる耐衝撃強度
4. シーリング材との相性
5. コネクタ材料との整合

の5つのポイントを考慮し，PBTを採用することとした。

そして多数の種類が存在するPBTの中から，強度や耐熱の観点からガラス繊維を一定量含有しており，シーリング材との相性に関しては内部離型剤等の接着性に影響を与える「接着阻害成分」を含まない材料を採用した。

以上より，樹脂カバーには［PBT-GF30］を採用し，温度・湿度の繰り返しストレスにより気密性を損なうことなく衝撃にも耐え，目標とする防水信頼性を確保することができた。

またECUの大きさとしては，実装の高密度化やECU内の空間の縮小によって，エンジンルームに搭載可能な性能を確保しつつ従来の車室内搭載のECUに比べて体積で約20%，質量約10%の低減を実現できた。

5 おわりに

本稿では，従来車室内に搭載されていたECUをエンジンルーム内に搭載するという非常に大きな変化点に対して，熱に関するECUへの影響を中心に報告を行った。

しかし，ECUとしてはこれ以外にも振動やはんだ寿命，さらには腐食等の影響も非常に大きな課題であり，これらに対して一つ一つ検証を積み重ねた結果として，当初目標としたエンジンルーム内に搭載可能なエンジン制御ECUを開発することができた。

加えて本構造を開発する事で，エンジンルームに搭載する '05標準ECUとしては機能毎に分かれた数種類のECUを同一の構造で実現する事ができた事も一つの成果であったと考える。

現在，自動車はますます電子制御の対象が広がっており，ECUはさらなる高機能化と併せて車両への搭載自由度向上をねらった小型化や高耐熱化，低コスト化が要求されている。今後も継続的な研究開発によって自動車の技術開発に貢献したいと考える。

最後に，本製品の開発に当たり，ご協力，ご指導頂きましたトヨタ自動車株式会社　車両技術本部　第1電子技術部 電子実験室殿，第2電子技術部殿，商品開発本部　車両電子設計部殿，及び株式会社デンソー　電子技術1部殿，電子技術2部殿，またその他社内外の関係者の皆様に心より感謝致します。

参考文献

1）トヨタ自動車株式会社　ホームページ
TOYOTA CAR VIEWER: http://toyota.jp/vitz/index.html#
2）日本工業規格　JIS D 1601 自動車部品振動試験方法
3）日本工業規格　JIS D 0203 自動車部品の耐湿及び耐水試験方法

筆者紹介

米本　宜司
（よねもと　たかし）

1987年入社。以来，ハイブリッドICの開発を経て，1995年より自動車用電子機器の構造開発，設計に従事。現在，事業本部ITS・車両制御事業部第一ECU開発部第三技術チームリーダ。

杉浦　慎一
（すぎうら　しんいち）

1990年入社。以来，自動車用電子機器の実装技術開発に従事。現在，事業本部ITS・車両制御事業部第一ECU開発部第二技術チームリーダ。

若林　祐幸
（わかばやし　ひろゆき）

1991年入社。以来，自動車用電子機器の構造開発，設計に従事。現在，事業本部ITS・車両制御事業部第一ECU開発部に在籍。

安原　孝文
（やすはら　たかふみ）

1991年入社。以来，自動車用電子機器の実装技術開発を経て，2002年より自動車用電子機器の構造開発，設計に従事。現在，事業本部ITS・車両制御事業部第一ECU開発部に在籍。

渡部　卓也
（わたなべ　たくや）

1984年入社。以来，自動車用電子機器の構造開発，設計を経て，2002年より放熱・防水の要素技術開発に従事。現在，事業本部第二事業部 機構技術部に在籍。

越路　心
（こしじ　しん）

1997年入社。以来，EGRの開発を経て、2001年よりEFIの開発に従事。現在，事業本部ITS車両制御事業部第一車両技術部に在籍。