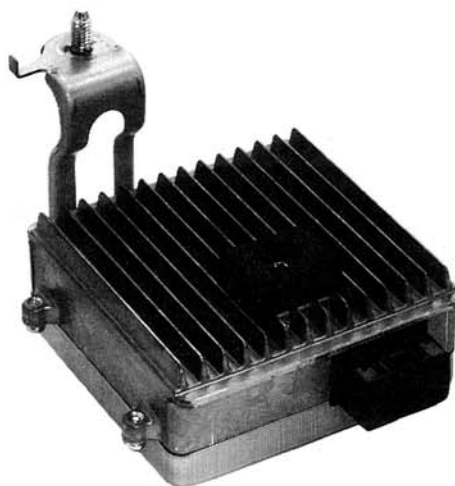


電子式フューエルポンプコントローラ

Electronic Fuel Pump Controller

梶原秀昭 *Hideaki Kajihara*
山野真市 *Shinichi Yamano*
山根克弥 *Katsuya Yamane*
村松幸美 *Yukimi Muramatsu*
谷口健治 *Kenji Taniguchi*



要 旨

近年、民生機器、産業機器でモータのパワーコントロール、照明機器の照度コントロール等に低損失、高効率を目的とし半導体スイッチング素子を用いたPWM (Pulse・Width・Modulation) 制御が、多用されている。

今回、自動車用フューエルポンプ（燃料ポンプ）モータのパワーコントロールに半導体リレーを用いて無接点化、無音化を図り制御電力の低減、高信頼性を確保すると共に、部品接点のメンテナンスフリー化を可能にした。

さらに、負荷電流モニター回路を付加することにより、ダイアグノーシス（故障診断）機能を実現し、サービス性の向上を図った。

本稿では、それらのシステム構成、効果的な放熱のためのオリジナルな組立方法について紹介していく。

Abstract

These days, low dissipation and high effect PWM control with solid state switching devices has been common in general and industrial motor power control and illumination control for lighting fixture.

We have adopted this kind of solid state relay to automobile fuel pump and obtained contact less, acoustic noise less, low power dissipation, high reliability and maintenance free.

On top of that, a supplemental current monitoring circuit realized a diagnosis function and improved serviceability.

This paper shows the system configuration and the inventive assembling method to achieve effective thermal radiation.

1. はじめに

近年、自動車に要求されるものは単なる目的地への移動手段から、より安全に快適な移動空間へという方向に変化してきた。

また、環境問題への取り組みとして排気ガス浄化、省エネルギー化、リサイクル等が推進されている。

自動車の制御方式も従来の機械的な制御に比べ以下の理由から電子制御化が、年々増加の一途をたどっている。

- ①より細かな制御が可能。
- ②部品の経時劣化が少なく比較的容易にメンテナンスフリー化が可能。
- ③高信頼性が得られる。

このような背景の中で、省電力化、ダイアグノーシス（故障診断）機能付加を目的として、トヨタ自動車殿と共同で電子式フューエルポンプ（燃料ポンプ）コントローラの開発に取り組んだ。

本稿では、今回開発した電子式フューエルポンプコントローラのシステム概要と特徴、ならびにその主要技術について報告する。

2. システム概要

2. 1 従来の制御方式

フューエルポンプコントローラは、エンジンにガソリンを圧送するためフューエルポンプモータのパワー（＝ガソリンの流量）制御を行うものであり、従来の制御方式は、図-1に示すようなメカニカル・リレー（トランス

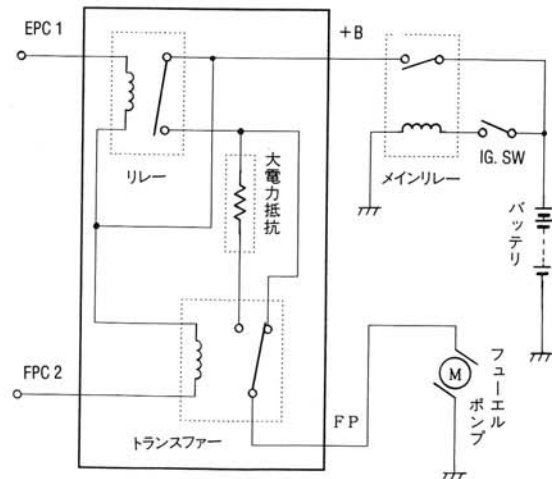


図-1 従来システム
Fig.1 Conventional system

ファー）と大電力抵抗で構成された簡単な制御システムである。

従来システムの問題点としては、

- ①大排気量エンジン車両に搭載されており静かな車室内でメカニカル・リレーの作動音が気になる。
- ②メカニカル接点のため、接点の焼き付きや経時的磨耗による接点の劣化。
- ③パワートレイン制御の重要機能部品であるが、ダイアグノーシス機能がない。

などがある。

2. 2 開発したシステム

前節で述べた問題点を解決するため、半導体スイッチング素子にパワーMOS FETを使用しPWM（Pulse・Width・Modulation）制御方式で、メカニカル・リレー

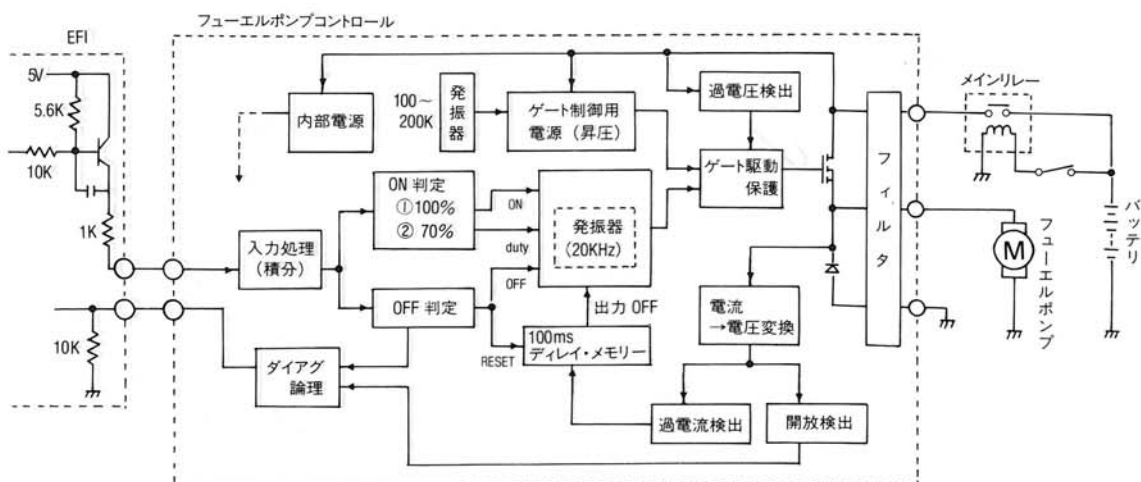


図-2 システムブロック図
Fig.2 System block diagram

(トランスファー)と、大電力抵抗の機能一体化を図った。

その回路ブロックを図-2に示す。

従来システムでは、E F I (エンジンコントロール ECU) より 2 本のコントロールラインを使用して、メカニカル・リレー (トランスファー) の切替えを行っていた。

今回、開発したシステムでは、1 ラインで 3 状態 (ポンプ H i 回転, L o 回転, O F F) をコントロールし、残りの 1 ラインをダイアグノーシスとすることで、ワイヤーハーネスを増やすことなく機能アップを実現する事とした。

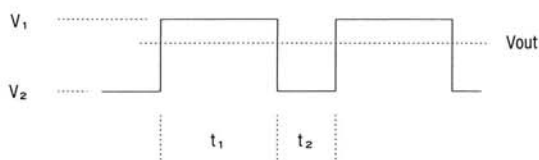
さらに、ダイアグノーシス機能面では、負荷ラインの電流モニターをすることで、フューエルポンプモータの過剰負荷、ワイヤーハーネスの開放等がモニターでき、フューエルポンプモータの保護機能を実現すると共に、万一のシステム故障時にも確かかつ、短時間で故障箇所の発見が可能となりサービス性向上も図った。

3. インテリジェント・フューエルポンプコントローラ

3. 1 PWM制御によるパワー切替え

PWM制御とは、パルス信号のデューティ比 (パルス幅) を変化させることにより図-3に示すようスイッチング素子 (パワートランジスタ等) のON, OFFを繰り返す、その平均電圧を負荷であるモータに印加することで、パワーをコントロールする制御方式であり、一般的にDCモータの出力コントロール等に多用されている。

この制御方式を用いることにより、負荷にシリーズ挿入されている電流制限用大電力抵抗が不要になると共に、大電力抵抗で熱変換される電気エネルギー損失がなくなり、低損失、高効率化が実現できる。



$$\text{周波数: } f = 1 / (t_1 + t_2) \text{ (Hz)}$$

$$\text{デューティ比: } f_{\text{duty}} = t_1 / (t_1 + t_2) \times 100 \text{ (\%)}$$

$$\text{出力平均電圧: } V_{\text{out}} = [(V_1 - V_2) \times f_{\text{duty}}] + V_2 \text{ (V)}$$

図-3 PWM制御方式

Fig.3 PWM Control method

他方、PWM制御方式はパルス波で電力スイッチングを行うためノイズ発生源になり易くその対策が不可欠である。

そのパルス波の周波数は、高い方が電圧、電流安定度は良いが、ノイズ発生面では不利と言う事になってしまう。

これらのバランスと可聴周波数帯を考慮して、本システムではパルス周波数を20kHzと決定しデューティ比は、モータH i 回転時100%, L o 回転時70% (超特大仕様64%), O F F 時0%として設計を行った。

3. 2 ダイアグノーシス機能

3. 2. 1 負荷電流モニター回路

負荷電流モニター方法として、最もポピュラーな手法は、負荷ラインに抵抗を挿入し、その両端に発生する電圧を読み取る方法である。

しかし、今回設計したシステムの負荷ラインでは、定常20A (超特大仕様36A) という大電流であり一般的な電流モニター用シャント抵抗 (抵抗線) では発熱が大きくなりまた、発熱を抑えるため抵抗値を低く設定すると、発生電圧が低く処理回路のゲインを非常に大きくしなければならないという問題がある。

そこで、スイッチング素子にセンスFET (電流センス機能用端子付パワーMOSFET) を使用することによって、低損失電流モニター回路を実現することができた。

今回使用したセンスFETは、通常の3端子パワーMOSFETに、ソース (出力) 端子電流の約1/1000の電流がミラー (モニタ) 端子に流れる機能が付加されている。

このミラー端子の電流を電圧変換することにより、負荷電流モニター回路を構成した。

電流-電圧変換回路では、一般的なローサイド (電流吸い込み) スイッチであれば抵抗と温度補償用素子で構成できるが、本システムの要求仕様は、ハイサイド (電流吐き出し) スイッチであるためGND基準へのレベル変換回路を同時に構成する必要があった。

この仕様を満たすため、やや部品点数の多い回路構成になったが、温度特性も含め目標レベルを達成できた。

図-4に、本システムの負荷電流モニター部の等価回路を示す。

3. 2. 2 ダイアグノーシス項目と論理

ダイアグノーシス機能は、フューエルポンプストップ (エンジン停止) 時には、必ずダイアグノーシスフラグが出力されることを基本として設計した。

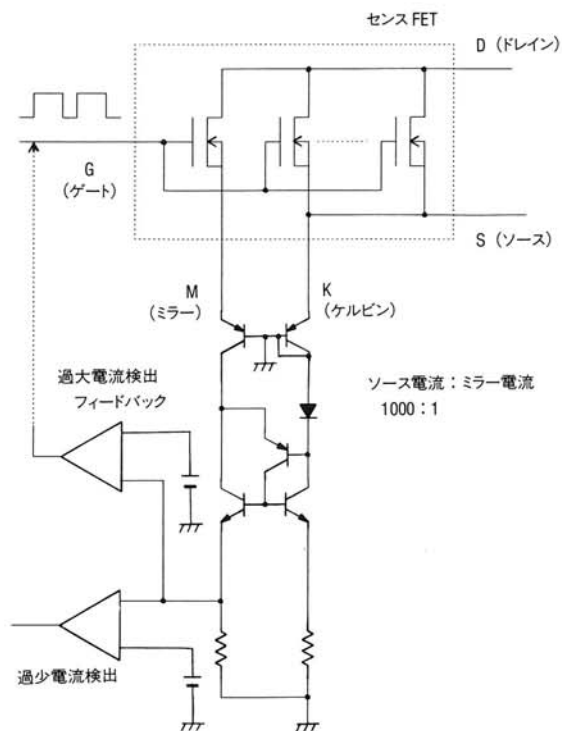


図-4 電流モニタ部回路
Fig.4 Current monitor method

負荷電流の異常状態は、過大電流、過少電流の2モードあり過大電流が流れる要因として、

- ①異物等を吸い込んだことによるフューエルポンプの過剰負荷時。
- ②ワイヤーハーネス等が、何かの原因でレアショート（ショートも含む）状態になった時。

等が考えられる。

いずれの場合も、システム保護のため過大電流が一定時間連続すると負荷ラインを遮断し、かつ遮断状態を保持することとした。

ここで、遅れ時間を設けたのはモータ起動時、瞬時に、突入電流が流れることによる過大電流検出回路の誤判定を防止するためである。

遮断保持状態の解除は、EFIのコントロール信号が、フューエルポンプOFF命令を一定時間連続出力することによりおこなえる。

また、過少電流の検出要因は、

- ①コネクタ部等接続点の接触不良
- ②ワイヤーハーネスの断線
- ③コントローラの内部故障
- ④過大電流を検出し、負荷ラインを遮断

等があり負荷電流が、過少と判断するとダイアグノーシスフラグが出力される。

過大電流で負荷ラインが遮断された場合も、結果的に過少電流となりダイアグノーシスフラグが出力される。

以上の論理をまとめて表-1に示す。

3. 3 ラジオノイズ防止対策

車載用でパルス信号を使用した電子機器では、しばしば車載オーディオ機器にノイズが乗ることがあり、その対策に苦慮する。

本コントローラは、トランクルーム内に搭載されており、大電流のスイッチング、ラジオアンテナに近い等の点で、ノイズに対する環境の配慮が必要である。

今回は、ラジオのAM (MW) 帯のノイズ対策が必要であった。

そこで、電源回路等で使用される平滑（リップル除去）用フィルタ回路を図-5に示すようにチョークコイルとコンデンサで構成し、負荷ラインと内部GNDラインに、それぞれ挿入することで対策を行った。

表-1 ダイアグノーシス論理

状態	FPC入力	FP出力電圧	DI出力	FPCの動作
正 常	"H"	+B	"H"	正常動作
	"パルス"	+B×0.7	"H"	
	"L"	0	"L"	
過大電流	"H"	0	"L"	最大電流が100ms以上連続時FP出力"OFF"保持※1
	"パルス"	0	"L"	
過少電流	"H"	+B	"L"	FP出力"ON"条件時に1A以下になった時
	"パルス"	+B×0.7	"L"	

※1 FP出力保持解除：FPC入力"L"100ms以上連続

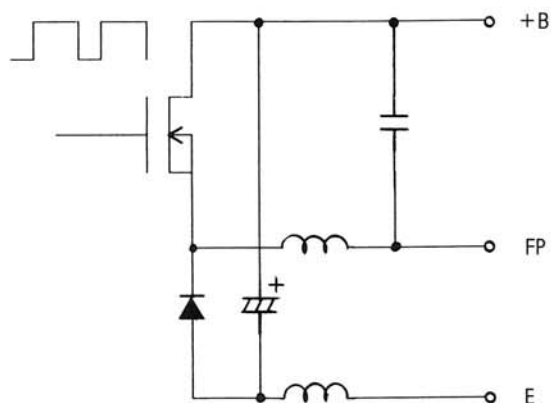


図-5 ノイズフィルタ回路
Fig.5 Noise filter circuit

負荷ラインのフィルタは、チョークコイルとコンデンサの組み合わせにより矩形波の出力波形を連続的な電圧、電流波形になませることにより高調波成分を抑圧した。

また、内部GNDラインのフィルタは、一般的に使用されているラインフィルタの構成であり、コントローラ制御回路（20kHzの発振回路、センスFETのゲート駆動用昇圧回路等）から発生するノイズ及び、負荷ラインから電源ラインへ重畳される高調波ノイズの抑圧を行った。

本対策により電源ライン、GNDライン、負荷ラインとも約30dBmのノイズ低減ができた。図-6に、負荷ラインの電圧、電流波形とノイズスペクトラムを示す。

4. 製品の構造

本製品は、表-2に示す通り負荷電流仕様に分別して2種類のケースサイズを採用している。

その中で共通した技術課題としては、

- ①大型異型部品、パワー素子の実装
- ②大電力ラインと信号処理ラインの接続
- ③パワー素子の放熱構造

等が挙げられる。

表-2 製品仕様

	大 容 量	超特大容量
使用温度	Ta=-30℃~65℃ Tc=100℃	
使用電圧	+B=5.5~15.1V	
負荷電流	ピーク 30 A 定 常 20 A	ピーク 110 A 定 常 36 A
外形寸法	95×80×36 (mm)	120×80×50 (mm)
重 量	300 g	745 g

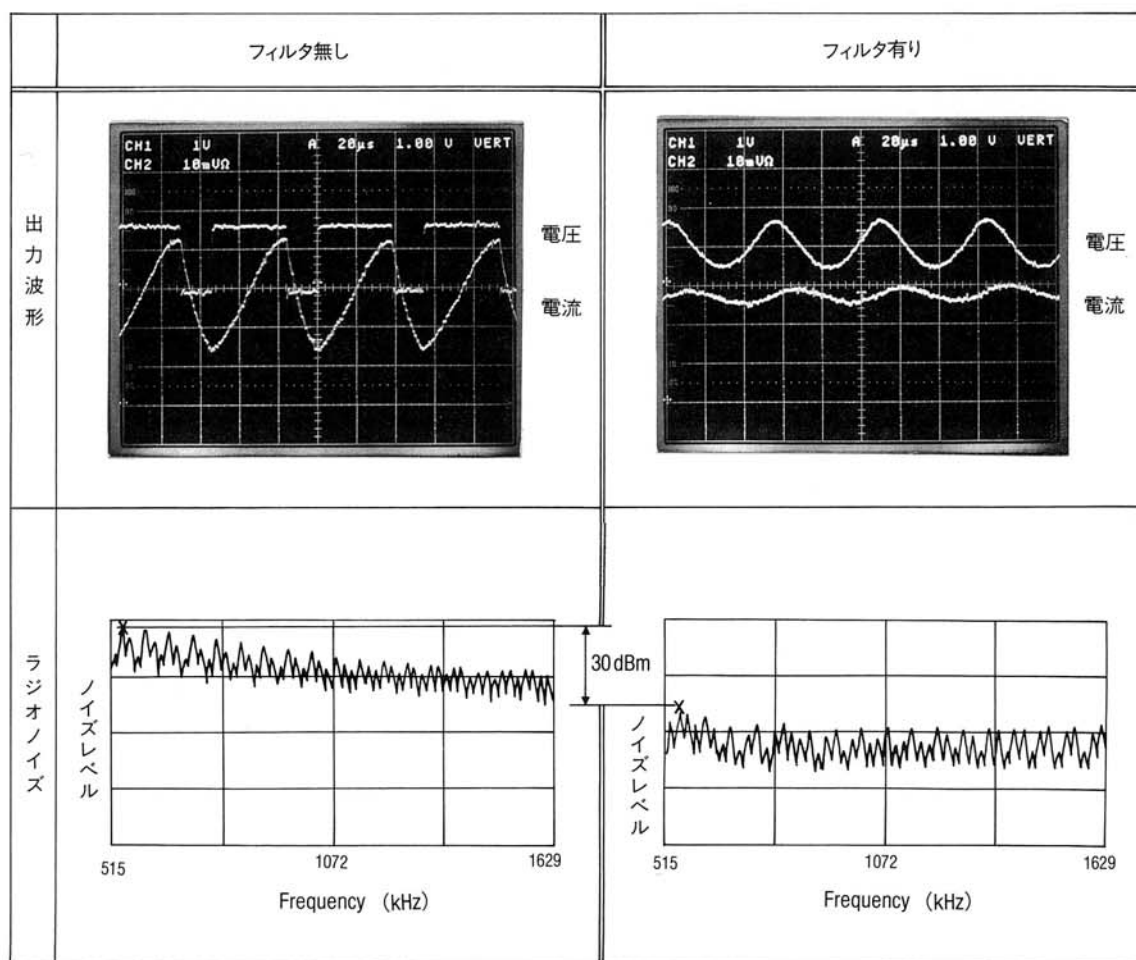


図-6 フィルタ効果
Fig.6 Filter effects

従来工法のようなプリント基板実装上に、大型異型部品、パワー素子からなる大電力ラインの部品搭載をするには、仕様要求サイズから考えて実装スペース上難しい。

また、放熱性を考慮した構造にするためには、アルミケースの一部に放熱フィンを付けて、アルミケース部に大電力ラインの異型部品、パワー素子を集中的に搭載することによって、放熱性、実装スペース共に成立する立体実装構造が必要である。

そこで、今回は図-7に示すような立体実装構造の検討を行った。

この構造は、大電力ラインと信号処理ラインの接続方法を特徴とするものであり、主要な工法としては、

- ①大型異型部品の固定方法として、ケースとの絶縁性を兼ねた樹脂接着工法。

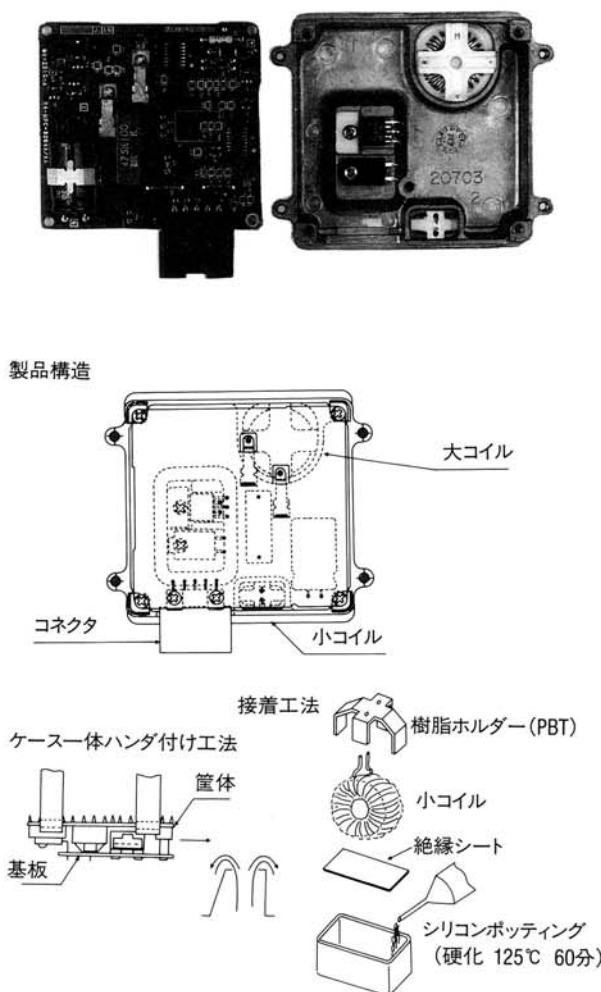


図-7 大容量仕様の構造と組立工法

Fig.7 Structural drawing of the controller for a fuel pump

- ②ハンダ付け時にかかる応力防止として、ケースに信号処理回路基板を組み付けた状態でのケース一体ハンダ付け工法。

が必要である。

さらに、超特大容量仕様の大電力ライン構成では、入出力コネクタと基板との直接接続は電力的に厳しいため、中継用の銅端子板を配線に使用して立体配線構造とし、各接続部をプロジェクション溶接及び、機械カシメ工法を用いた。

その構造を、図-8に示す。

本製品開発では、これらの接続技術の量産化検討を行い、大電力制御ECUの製造技術を確立することができた。

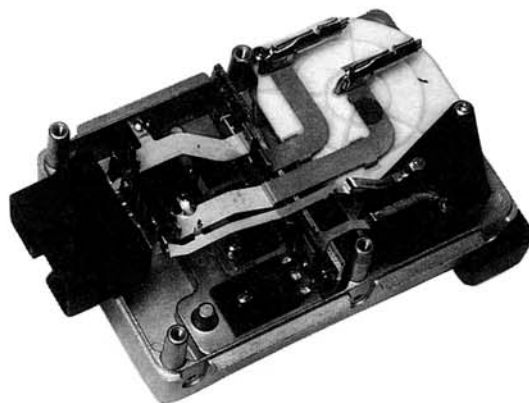


図-8 超特大容量仕様の構造

Fig.8 Structural of the controller for a fuel pump

5. お わ り に

以上、今回開発した電子式フューエルポンプコントローラのシステム概要と、設計概要について述べた。

本製品は、当社初の大電力制御ECUであり、今後益々、自動車用の大電力制御に関連する製品は、増加する傾向にあると考えている。

今回の製品開発で得られた大電力制御における回路設計、ノイズ対策、構造設計等の手法を十分に活用し、次世代の大電力制御開発を行っていきたい。

筆者紹介



梶原 秀昭 (カジハラ ヒデアキ)

1986年トヨタ自動車㈱入社、以来VPS・エアサス・エンジンコンピュータの設計開発に従事。現在第2電子技術部第21電子室に在籍。



山野 真市 (ヤマノ シンイチ)

1980年入社、以来パワートレイン制御ECUの開発に従事。現在モータロニクス本部技術部第四技術課長。



山根 克弥 (ヤマネ カツヤ)

1981年入社、以来自動車用電子機器の開発に従事。現在モータロニクス本部技術部第二技術課に在籍。



村松 幸美 (ムラマツ ユキミ)

1978年入社。以来自動車用電子機器の製造技術開発に従事。現在モータロニクス本部製技部第1製造技術課に在籍。



谷口 健治 (タニグチ ケンジ)

1991年入社。以来自動車用電子機器の開発に従事。現在モータロニクス本部技術部第一技術課に在籍。