

ダイハツ向CVT/ECUの開発

Development of CVT/ECU for Daihatsu Vehicles

肥田裕之	Hiroyuki Hida
乾裕	Yutaka Inui
楠本潤一	Junichi Kusumoto
窪田亮平	Ryohei Kubota
西田祐輔	Yusuke Nishida
太地陽介	Yosuke Taichi



要 旨

近年、自動車業界では環境保護と燃費向上の要求が高まり、排出ガスに含まれる二酸化炭素（CO₂）の量を低減できる低燃費エンジンやハイブリッド車の開発が推進されている。

また、変速機についても、あらゆる走行状態に対して最適な変速比が設定でき、エンジン性能を最大限に発揮し得る変速比連続可変変速機（CVT:Continuously Variable Transmission）が、従来の遊星歯車とトルクコンバータを組み合わせた有段変速機に替わって開発推進されている。

この動きは、軽自動車についても例外ではなく、また、それを低コストで実現する必要がある。

本稿ではダイハツ工業で新規に開発した軽量、コンパクトなCVTユニットと、両社で共同開発した電子制御ユニット（ECU）、低コストと品質向上を実現するため富士通テンで開発し、短期開発対応を実現した統合ICについて紹介する。

Abstract

Recent years have seen the continued development of fuel efficient and hybrid vehicles that emit reduced levels of exhaust gases, including carbon dioxide (CO₂), due to the increasing demands on the automobile industry for environmental protective measures and improved gas mileage.

In order to provide optimal gear ratios for all driving conditions, a continuously variable transmission (CVT) that allows the engine performance to operate at peak efficiency has been developed that replaces the conventional fixed gear ratio transmissions with a combined planetary gear and torque converter structure.

Mini-vehicles are no exception to such demands and they must satisfy them at a low cost.

This paper discusses a lightweight compact CVT unit newly developed by Daihatsu and an electronic control unit (ECU) developed jointly between Daihatsu and Fujitsu Ten. The paper also introduces an integrated circuit developed in response to a shortened development period by Fujitsu Ten in order to provide lower costs and improved product quality.

1

はじめに

1.1 軽自動車用CVTシステム開発の背景

昨今の国内自動車販売は登録車が伸び悩む中、軽自動車は200万台を越える勢の伸びを示し、全体の3分の1を占めるにいたっている。その要因としてよく税制上の優位点等々が挙げられるが、最近では「セカンダリーカーだから軽にしておこう」から「軽をファーストカーにしたい」という購入者意識の変化がある。事実、現在の軽自動車は装備の充実、安全性においてリッターカークラスの小型車と遜色のないレベルに達している。しかし、それらの性能向上の見返りとして、車両重量の増加につながり、660ccという限られた軽自動車のエンジンではアクセルの踏み込みが大きくなり、小型車に比べてどうしても燃費が悪くなってしまう。

原油価格の高騰が続く中、燃費性を重視した商品戦略は軽自動車メーカーにとっては急務であり、そこで燃費向上のアイテムとして期待されるのがCVTである。

従来、軽自動車のトランスミッションは低価格で燃費のよいマニュアルトランスミッション（M/T）か、クラッチ操作が無く比較的運転のしやすい有段式のオートマチックトランスミッション（A/T）が搭載されていたが、CVTは運転操作をA/Tと同様にし、且つ燃費性能を両立するように考えられた。

CVTは連続的な変速を行えるため、変速時の駆動力のロスがなく、円滑な走りを実現できる点が特徴である。通常のA/Tに比べて燃費を10%程度向上でき、場合によってはM/Tよりも高い燃費性能をもつ。その分、二酸化炭素（CO₂）の削減にもつながる。

では何故、今までなかなか軽自動車にCVTが普及しなかったかという理由は膨大な開発コストとCVT本体の高い原価にある。軽自動車に搭載される以上、低価格であることは避けられず、また小型、軽量でなくてはならない。

ダイハツ工業にて開発され、2006年6月に発売された「ソニカ」に標準装備されたCVTでは、さまざまな取り組みによりそれらの厳しい要求を満足している。また、ダイハツ工業と共同開発を行ったECU（電子制御ユニット）についても例外ではなく、本稿にて内容を紹介する。



図-1 新型軽自動車「ソニカ」
Fig.1 "Sonica" - A new mini-vehicle



図-2 新開発CVTユニット
Fig.2 Newly developed CVT unit

1.2 ダイハツ工業と富士通テンでの設計分担

1998年から開発を開始したストーリー用電子制御式トランスミッションECU（EAT/ECU）において、ダイハツ工業と富士通テンの両社が持っている技術を活かし、効率化のための設計分担を実施した。今回のCVT/ECUの設計においても、EAT/ECUと同じように設計分担することにした。更に設計分担のメリットを引き出すために富士通テンの強みであるIC技術を活かし、新規にカスタムICの開発もおこなった。

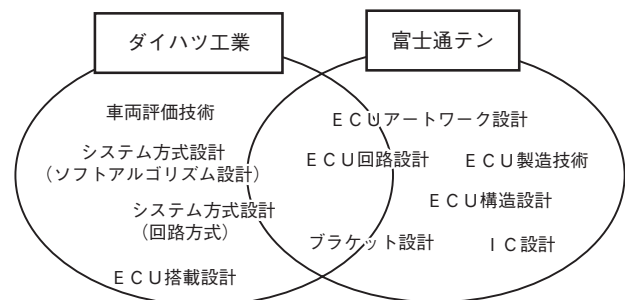


図-3 両社の技術を活かした設計分担
Fig.3 Sharing of design technology roles between Daihatsu and Fujitsu Ten

2

ダイハツCVTユニットの概要

2.1 従来のCVTユニットとの違い（特徴）

ダイハツ工業が開発した新型CVTの特徴は、従来のCVTではほとんどが4軸式ギア構造を採用しているのに対し、3軸式としてコンパクト化を図ったことと、エンジンからの入力一度遊星歯車機構で減速してからCVTに伝達することにより、CVTの作動回転数を下げ、伝達効率を上げた点にある。

従来のCVTはプライマリプーリとセカンダリプーリ、それにディファレンシャルギアの3軸のほかに、CVTとディファレンシャルギアの間で回転方向を逆転させるためのギアが必要だった。これに対し新型CVTは、入力軸の前に遊星歯車減速機構を加えることで、回転方向を逆転させ、ディファレンシャルギアの前の1軸を減らした。これにより部品点数が減り、軽量かつコンパクトなCVTが実現可能になった。事実、質量では他社の軽乗用車用CVT

に比べて6%削減されている。

また、遊星歯車減速機構で2/3程度に回転数を下げること、プーリーとベルトの間の滑りが減り、伝達効率も向上した。さらに無段変速部のエンジン軸上の等価慣性を低減し、小さな金属ベルトと組み合わせたことでスムーズな加速を可能とした。

この結果、燃費は同社の従来の4速自動変速機に比べて約15%向上することができ、加速性能の改善は従来A/T車比で約10%となり、低速から高速まで力強く滑らかな加速を実現し、小型車に負けない運動性能を達成できた。

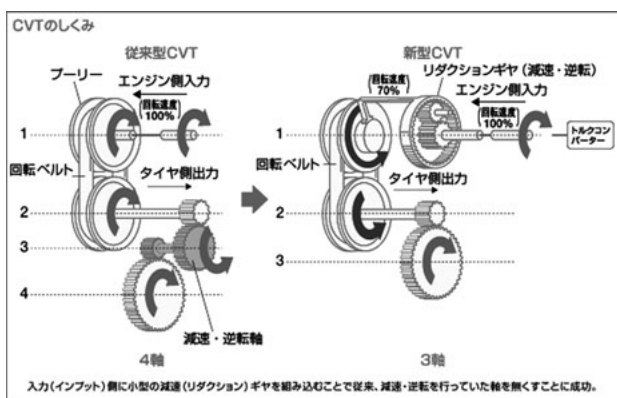


図-4 CVT減速ギアのしくみ
Fig.4 CVT reduction gear structure

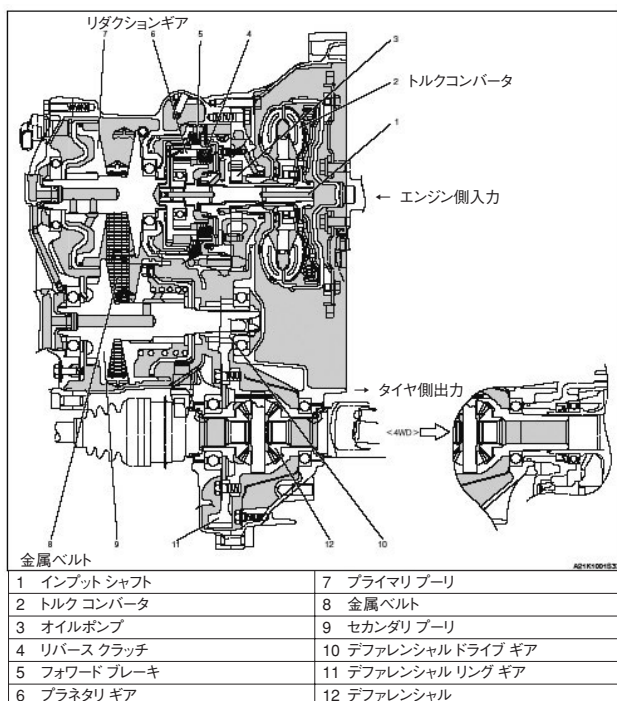


図-5 CVTユニット構造
Fig.5 CVT unit structure

3

CVT/ECUの概要

3.1 CVT/ECUの制御（ソフト制御）概要

CVTの特徴である無段変速制御は、車速とアクセル開度から最適燃費となるエンジン回転数へとギア比を連続的に変化させるものである。ギア比可変手段には、エンジン回転より発生した油圧を調圧する各種ソレノイドが用いられる。

まず金属ベルトCVTではプーリーがベルトを強く挟み込まなければ、ベルトに滑りが発生しベルト保持やトルク伝達は不可能である。そこでユニット内で最高圧となる油圧がベルト狭圧として用いられるが、エンジン回転数にのみ比例する油圧では不必要に高圧となることがあり燃費が悪化する。これを回避するために、狭圧制御リニアソレノイドを用いて最適調圧を行う。これは、別体のエンジンECUよりCAN通信を通じて送られてきた要求トルクに基づき伝達トルクを演算し、最適狭圧となるように制御するものである。

次に、無段変速制御は金属ベルトのプーリー巻き掛け半径を連続的に変化させることにより達成する。プライマリプーリー（2つのプーリーのうち、エンジン側に位置するもの）の巻き掛け半径をセカンダリプーリー（プライマリプーリーと対を成し、タイヤ側に位置するもの）より大きくするとロー・ギアに、逆にプライマリプーリーの巻き掛け半径を小さくするとハイ・ギアになる。プライマリプーリーとセカンダリプーリーの狭圧間に差異を生じさせると巻き掛け半径にも差異が生じる。プライマリプーリー側を高圧にすると、ベルトはプーリーに押し出されて外周側へ移動し、セカンダリプーリーではベルトが引っ張られることで内周側へ移動していく。この差圧を作り出すのが2本のソレノイドである。一方のソレノイドで加圧を行い、もう一方で減圧を行う。

また、CVTではソレノイドが制御の手足となるため、その故障診断も重要なECU機能となっている。これをローコストで実現することは重要な課題である。

3.2 CVT/ECUのハード構成

ECUは、制御演算処理をおこなう32ビットマイコン、12V系のバッテリー電圧をマイコン電源用の5V及び2.5Vに変換する電源回路、ECU外部センサやSW信号をマイコンで処理可能にした入力変換回路、エンジンECUやメータとの通信をおこなうCAN通信回路、外部ソレノイドを駆動する出力回路、ECU内部のソレノイド電流検出回路バラツキを一定にさせるために補正値を記憶しておくEEPROMで構成されている。

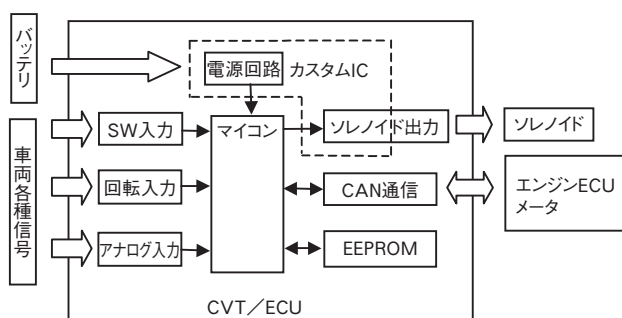


図-6 CVT/ECUハード構成図
Fig.6 CVT/ECU hardware structure

本ECUの開発では従来設計手法から更なるコスト低減をおこなうためにECU構成部品のコスト分析を実施した結果、CVT制御に使用するソレノイド駆動用のIPD (=Intelligent Power Device) が高額となっていることがわかった。IPDは自己保護と故障検出機能を備えた高機能パワーMOSFETであるが、複合プロセス構成を取っていることから、単機能のパワーMOSFETと比較すると未だ3～5倍程度高額な部品である。また、1チップ化されたIPDを用いた場合に極めて稀ではあるが単独故障により機能障害につながる可能性があることも分かっている。例えば、ソレノイド負荷出力がオン駆動中でのオフ故障、かつ故障検出不能の2重故障が起きた場合、ベルト狭圧制御をしているセカンダリプリー圧が抜けるため、ベルト滑りが発生しプリーやベルトの劣化や破断を引き起こす可能性がある。そこで、信頼性向上とコストダウンを同時に実現する方法としてIPDを安価な汎用パワーMOSFETに置き換えることを考えた。その際、パワーMOSFETの保護機能と故障検出機能は電源回路と一緒に1チップに集積化したカスタムICに組み込むこととした。

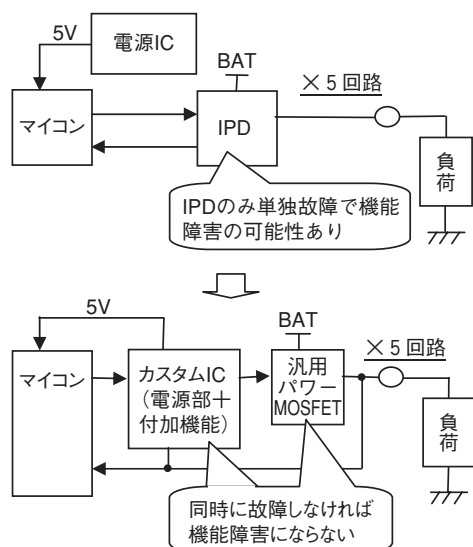


図-7 ダイアグ検出回路構成図
Fig.7 Diagnostic detection circuit structure

3.3 カスタムIC (Sprout) の開発

本ECUは先行試作車両適合まで5ヶ月という状況の中で開発開始し、カスタムIC開発を4ヶ月以内で完了しなければいけないという課題があった。今回の開発規模の場合は仕様検討からカスタムIC完成までの標準日程は、通常約1年であるが、ICの短期開発を実現させるため、従来製品の回路IP (=Intellectual Property) や設計資産を最大限に活用し、仕様設計・回路設計・レイアウト設計を並行して進めた。また、カスタムICの開発手段としてアナログマスタスライスを採用した。これは、ゲートアレイのアナログ版というべきもので、IC内のアルミ配線層のみの設計で回路機能を構成できるものである。基本素子が既に構成された状態からIC製造を行うため、製造期間を短縮することができる。

当社が開発した車載用アナログマスタスライス (=シリーズ名: ATOMIC30) は基本素子の配置に特徴があり、車載用回路を設計し易いよう工夫を盛り込んでいる。例えば、PAD周辺には車両負サージの吸収回路や大電流の出力段が構成し易いよう高耐圧で大型のトランジスタを、内部回路には複雑な機能を構成できるよう小型低耐圧の素子をマクロ (素子集団) 単位で配置している。

一般的にアナログマスタスライスの場合、素子配置の都合上、使用できる素子は全体素子数の60%～70%と言われるがATOMIC30の場合、全体素子の90%を使用可能である。

- PAD Max 48ピンに対応
- 入出力回路用素子マクロ部 (素子サイズ大、高耐圧部品を配置)
- 機能マクロ部、(低耐圧部品を配置) 1マクロでアンプ2回路程度構成可能
- 高精度回路用ブロック 精度の必要な回路を構成する場合に使用

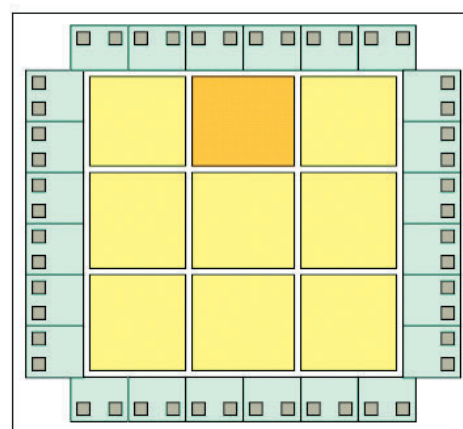


図-8 ATOMIC30素子配置図
Fig.8 Atomic 30 elements layout



図-9 IC外観
Fig.9 IC external view

Package: L_QFP48
(7mm×7mm)
Frame: Cu
製造：富士通

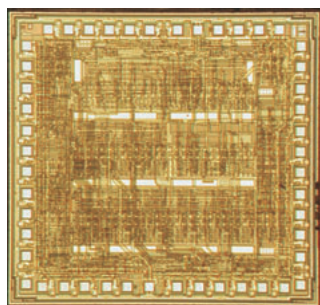


図-10 開発品チップ写真
Fig.10 A picture of the developed chip

本カスタムICではパワーMOSFET駆動用プリドライバ回路と保護機能を1チップ化しただけでなく、レギュレータ2系統（5V、2.5V）とマイコンリセット回路まで統合1チップ化させることで付加価値を高めている。

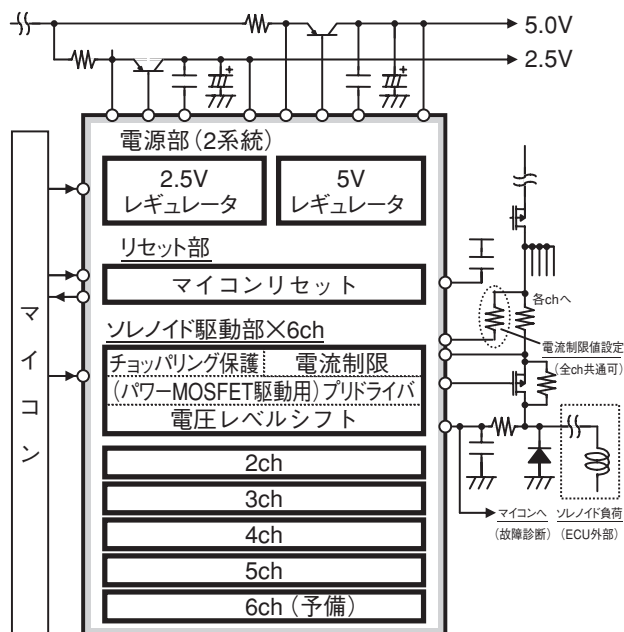


図-11 カスタムICの機能ブロック図
Fig.11 Custom IC function block diagram

車両負荷の地絡異常や、負荷のハーフショート⁽¹⁾に対し、パワーMOSFETに対しての下記保護機能が必要になる。

- ①パワーMOSFETの過電流検知保護機能
- ②パワーMOSFETの過熱検知保護機能

①に対しては、カスタムICにパワーMOSFETの電流検出回路とパワーMOSFETのチョッピング保護⁽²⁾を内蔵し、IPD同等の保護を実現する事で対策できた。

②に対しては別体構成とした事でパワーMOSFET自身の温度をカスタムIC側で直接認識できないため、他の手段が必要になる。

IPDが過熱保護機能を有している理由は、過電流保護だけではICの熱破壊を防止できないからである。IPDの過電流検知レベルはチップ内の素子特性を使って設定するため、検知レベルとして±50%程度のばらつきを持つ。過電流検知レベルの±50%ばらつきは、発熱に換算すると最大でTypと比較して、2.3倍程度のばらつきとなる。更にその値がIPD内のパワーMOSFETのオン抵抗、放熱条件によってばらつくので、電流値のみによる保護ではパワーMOSFETのチップ温度を保証された温度以下に収めることができない。

これに対して、本カスタムICでは過電流検知レベルを設定する抵抗をIC外部に配置する構成とし、検知レベルのばらつきを±10%（発熱に換算すると最大でTypと比較して1.2倍程度のばらつき）に抑えることで対応した。

これにより、パワーMOSFETのオン抵抗、基板放熱条件がワースト条件で重なったとしてもパワーMOSFETの発熱が破壊に至らない設計とした。

過電流検知レベルは使用するパワーMOSFETのオン抵抗、製品の放熱条件に合わせ変更できるよう、IC外部の抵抗1本の定数変更にて複数チャンネル同時に可変できる構成としている。

カスタムICの名称はパワーMOSFET駆動用のプリドライバ部に特徴のある製品なので、Super pre output Driverの頭文字を取りSprout（スプラウト）とした。

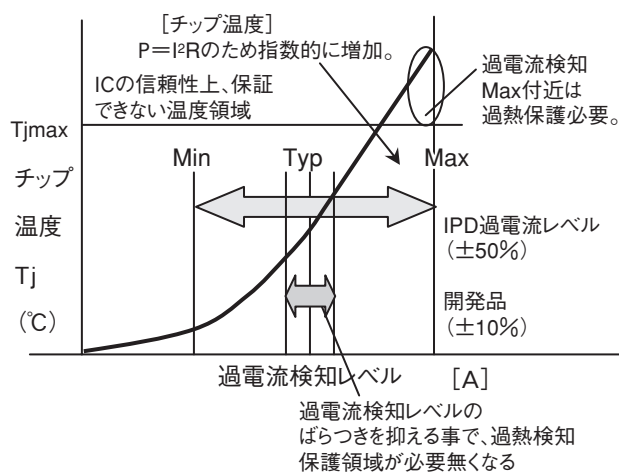


図-12 保護領域説明図
Fig.12 Protected area explanatory diagram

- (1) ハーフショート
負荷がインピーダンスを持った状態でショートする故障モードの事。デッドショート（完全ショート）と違い、ショート電流が少ないため、異常として検出しにくい。
- (2) パワーMOSFETのチョッピング保護
過電流状態検出時にパワーMOSFETを間欠スイッチング動作させることで発熱を低減させる保護のこと

これまで述べた工夫を盛り込み、4ヶ月での短納期開発ではあったが、車載用製品として必要なフェールセーフ性能を備えたカスタムICを開発した。

このカスタムICを組み込み、開発したCVT/ECUを図13に示す。

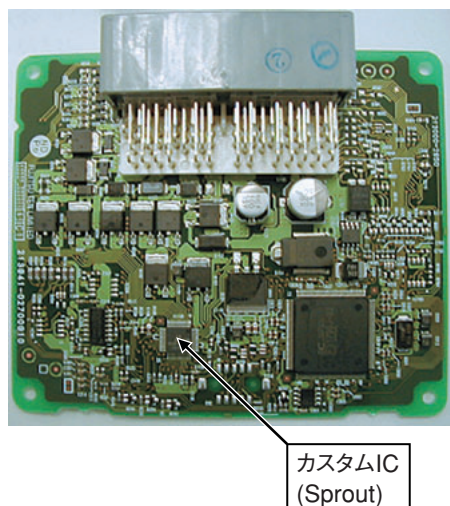


図-13 ECU基板
Fig.13 ECU circuit board

4

おわりに

4.1 開発の成果

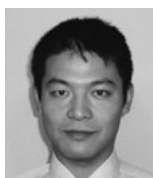
今回のカスタムIC開発により、ソレノイド駆動部の機能コストに関しては▲30%と大きな効果を上げ、ECUの目標原価を達成することができた。

また、IC仕様に関してはMOS駆動部で柔軟な仕様としたため、他製品にも展開可能なものになった。

ECUの企画段階からダイハツ工業及び、富士通テン設計関係部門を交えた最適な構成検討及び、システム視点でのDR (= Design Review) を実施し、効率良く開発をおこない早期に品質を作り込むことができた。

以上により、両社にとって本CVT/ECUの開発はコストと品質面でメリットのある成果が得られた。

筆者紹介



肥田 裕之
(ひだ ひろゆき)

2000年 ダイハツ工業株式会社。以来、自動車用電子制御機器のソフトウェア開発・設計に従事。現在、電子技術部 電子計画室に在籍。



乾 裕
(いぬい ゆたか)

1995年 ダイハツ工業株式会社。以来、自動車用電子制御機器のハードウェア開発・設計に従事。現在、電子技術部 電子計画室に在籍。



楠本 潤一
(くすもと じゅんいち)

1987年入社。以来、自動車用電子機器の開発・設計に従事。現在、AE本部 第一制御ソリューション部に在籍。



窪田 亮平
(くぼた りょうへい)

2001年入社。以来、自動車用電子機器の開発・設計に従事。現在、AE本部 第一制御ソリューション部に在籍。



西田 祐輔
(にしだ ゆうすけ)

2001年入社。以来、車載用アナログLSIの開発に従事。現在、開発本部 電子デバイス開発部に在籍。



太地 陽介
(たいち ようすけ)

1983年入社。以来、自動車用電子機器の開発・設計に従事。現在、AE本部 第一制御ソリューション部チームリーダー。