

A Z系¹エンジン用パワートレーンECUの開発

Development of power train ECU for AZ line¹ engine

行松	規光	Norimitsu Yukumatsu
酒巻	浩二	Koji Sakamaki
池添	朗	Akira Ikezoe
樽本	拓啓	Takuhiro Tarumoto
鵜野	雄二	Yuji Uno



要 旨

近年、自動車業界においては、グローバル化が急速に進み、競争の激化と共に製品の短期開発や低コスト化要求が高まり、当然の事ながら車載機器への要求も、今まで以上にレベルの高いものになってきている。

このような市場要求に対応するため、当社の担当するパワートレーン制御の分野において、今までの製品開発～物作りの各ステップで根本的な見直しを行ない、新技術・工法の導入・適用を進めた。

本論文では、すべての電子部品の面実装化による作り易さの改善や、ICT (In-Circuit Tester) を使用しない新しい検査方法、更にソフトウェア開発手法の改善について紹介する。

(1 : トヨタ自動車株式会社様 RAV4 ('00/5) ・ Opa ('00/8) に搭載される2000ccエンジン (1AZ-FE、1AZ-FSE))

Abstract

Motor industry is globalizing rapidly in recent years, and the requests for short-term product development and cost reduction are increasing, with intensifying competition. Therefore, the demand for on-vehicle equipment quality is becoming much higher than ever before.

To correspond to such market factors, we reexamined each conventional operation step in the power train control field, from development to production. We then started the introduction and application of new technology and construction methods.

In this article, we introduce the improvements toward the ease of manufacturing by surface mounting all electric parts, and new inspection methods without using the ICT (in-circuit tester). In addition, improvements in software development technique are introduced.

1: 2000cc engine (1AZ-FE, 1AZ-FSE), which is loaded on the RAV4 ('00/5) and the Opa ('00/8) by Toyota Motor Corporation.

1. はじめに

当社においてパワートレーン系ECUを生産して20年以上になるが、当初排気ガス制御だけであった物が、最近のECUにおいては、燃料噴射・点火時期・トランスミッション・電子スロットル制御等が盛り込まれ、高機能化が進んでいる。

また、要旨でも述べたように低コスト化・開発期間短縮も同時に要求されている。

この様な要求に対応するため、2000年5月ラインオフのAZ系エンジン用パワートレーンECUを開発するにあたり、当社モトロニクス本部として、画期的な製品開発を目指し、SRM2000 (Super Rapid Module 2000) プロジェクト活動を1997年11月より発足させ、製品企画段階から関連部署(品管・製技・製造・他)とコンカレントに開発を進めた。

今回、プロジェクト活動のコンセプトを実現するための、設計面での取り組み事項について報告する。(表-1)

表-1 SRM2000のコンセプトと方策・狙い
Table 1 Concept, manner, and aim of SRM2000

SRM2000 コンセプト	狙い 方策	品質 (Q)	コスト (C)	供給 (D)
スピード	オール面実装 部品化	○	○	○
	部品点数 削減	○	○	○
スリム	ソフトウェア開発 手法改善	○	○	○
	検査専用ソフト (ICT削除)	○	○	
検査 研出力 向上	実車モード 検査	○		

2. 実装部品のオール面実装部品化

高密度化対応およびハイスピード生産が可能となるスリムな製品形態を目指し、全ての電子部品を面実装タイプ(リフロー部品)とし、放熱板も無くした。(図-1)

その結果、図-2で示す様に製造工程が簡素化(シングルプロセス化)され、かつ超高速マウンタのみで実装可能となった。

ネックとなるECU内部電源の低消費電力化については、トヨタ自動車株式会社向けパワートレーンECUとして、初めて内部電源にスイッチング方式(従来はシリーズ方式)を採用した。

以下に、今回のECUが必要としている電源を挙げる。

3V電源: 32ビットフラッシュマイコン用

5V電源: 統合IC・32ビットフラッシュマイコン・出力ブリッドライバ回路等用

5V高精度電源: センサー・アナログ信号処理回路・ノック処理回路・統合IC等用

8V電源: 32ビットフラッシュマイコン書き込み用

仮に、今回の開発品において従来のシリーズ方式を用いた場合、電源部の消費電力はトータル3.8Wとなるため、図-5で示すように電源トランジスタは、リード付品とし、

放熱板により放熱する必要があった。

これを解決するため、スイッチング方式での製品成立性に関して、要求電圧精度等から検討を実施したところ、とに対しては、採用可能と判断した。その結果、とのトータル消費電力が0.55Wになった。

ただし、要求電圧精度の高いに関しては、消費電力が0.25Wである事と、についても消費電力が0.1W以下であることから、従来のシリーズ方式を採用した。

この結果、トータルの消費電力が0.9Wとなり、面実装部品での製品成立が可能となった。

今回、の電源を供給するために新規にカスタムで電源ICを開発し、1個ですべての電源をコントロールするようにした。

また、図-5で示す放熱板付リードICに関しても、裏面放熱板付SOP(面実装)パッケージを採用し、積極的に基板に放熱した。(図-3)

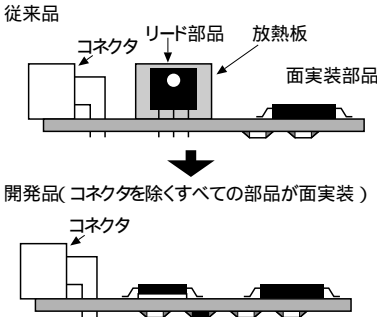


図-1 製品形態
Fig.1 Product configuration

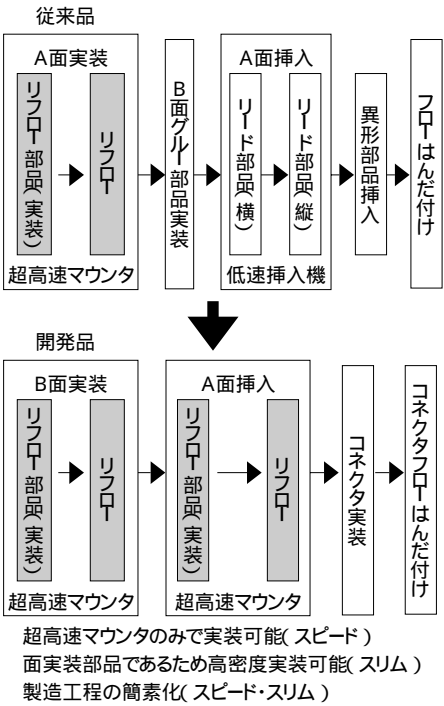


図-2 製造工程
Fig.2 Manufacturing process

3. 部品点数削減への方策

今回のECU開発にあたり、機能ブロック別（図-4）にIC化を検討し、以下のカスタムICを開発した。

2000年EFI用統合IC

電子スロットル制御IC

リニアソレノイド駆動IC

電源IC

その結果、部品点数が開発品の機能から考えた場合、従来では1200点必要なところを、850点に削減できた。

今回の開発品の外観を図-5に示す。

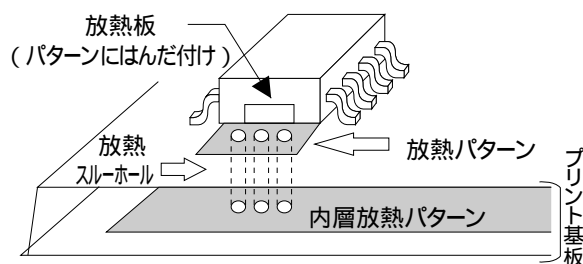


図-3 裏面放熱板付SOP（面実装）パッケージ
Fig.3 SOP (surface mounting) package with rear cooling wheel

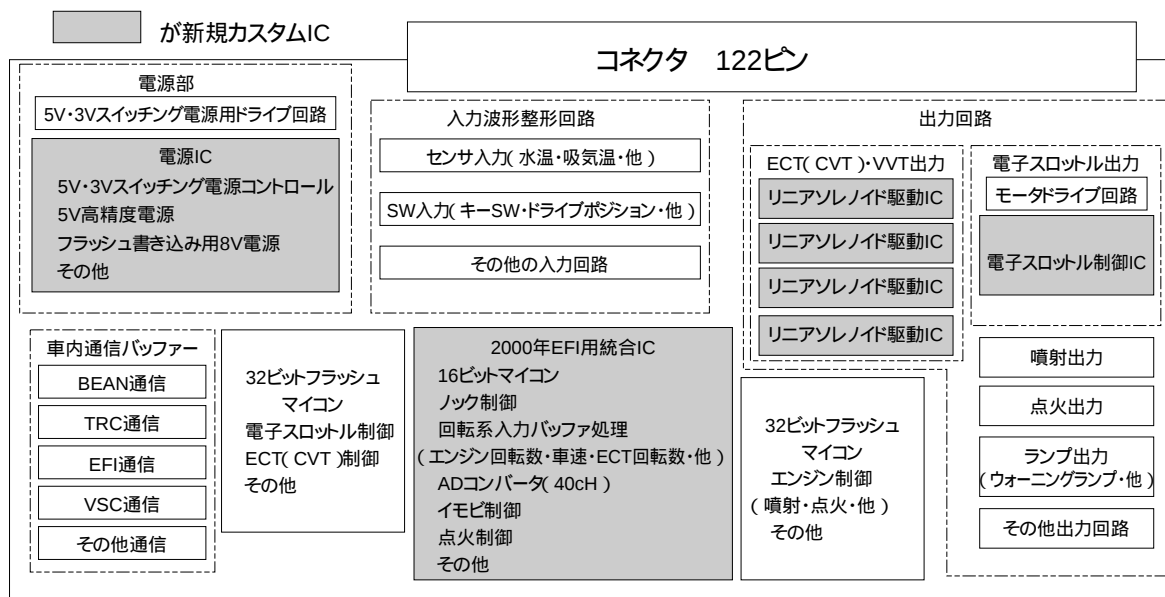


図-4 機能ブロック
Fig.4 Functional block

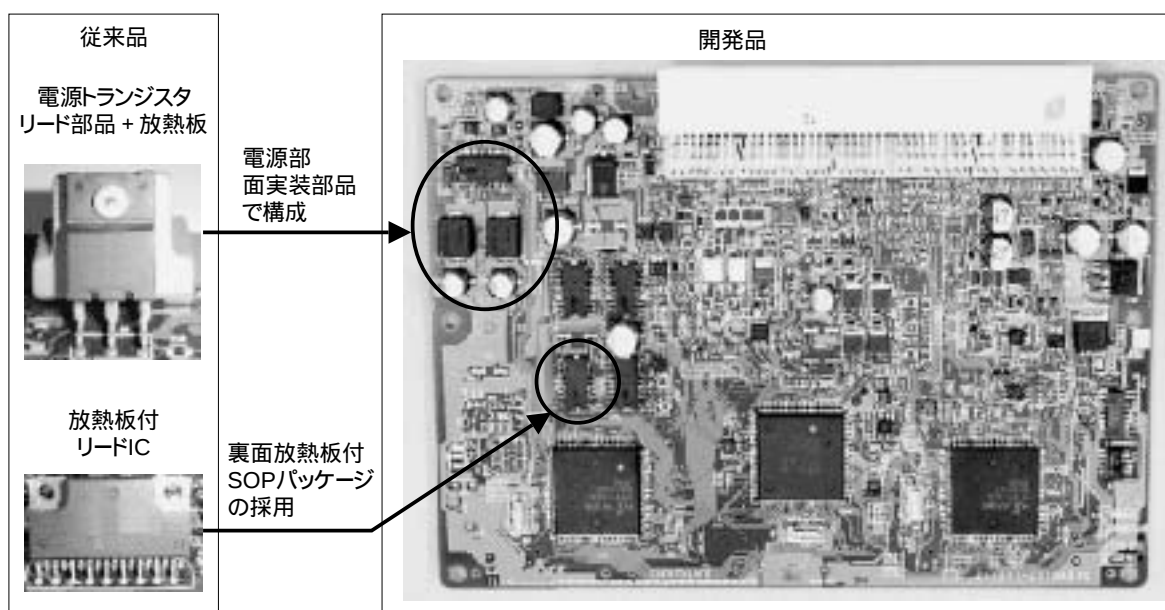


図-5 開発品の製品形態
Fig.5 Product configuration of development product

4. 新しい検査

4.1 検査専用ソフトの採用

今回のような高機能なECUであると必然的に高密度実装が必要となる。従来は各部品の定数検査をICT(In-Circuit Tester:プリント基板上に測定用ピンをあてて検査)により行なっていたが、この場合プリント基板上の各部品毎にテストターミナルが必要であることから、高密度実装化の妨げとなっていた。また、機種毎に数百ピン(今回の開発品では600ピン以上)のICT用フィクスチャを準備し、かつ流動毎に段取り替えする必要があるため、製造工程を複雑化している要因にもなっており、かつ温度(温特)検査との併用を困難にしていた。

そこで、今回はフラッシュメモリ内蔵マイコンを採用することから、その書き換え機能を有効利用し、検査専用のソフト開発を行うと同時に、2000年EFI用統合ICに対してはバウンダリースキャン機能を持たせることにより、マイコンと統合ICの各端子に対し、任意にHi(5V)・Lo(0V)出力および入力設定ができるようにした。

こうすることにより、マイコン・統合ICが出力設定の場合はコネクタ端子をモニタ、また入力設定の場合は入力結果をパソコン等の測定機へ返信する事により、回路ブロック毎で部品定数、およびファンクション(機能)検査が同時に行なえるようになった。(図-6)

この結果、従来のICT検査が削除可能となり、かつ本検査が温度かけた状態で行なえることから、温度(温特)検査との統合と、検出力の向上が図れた。

また、図-7で示す様に、自動外観検査と実車モード検査を新たに導入し、検出力の向上を図った。

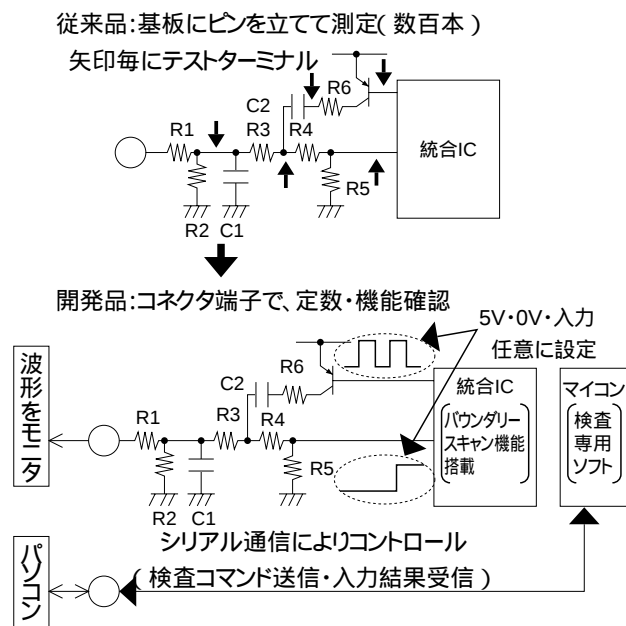
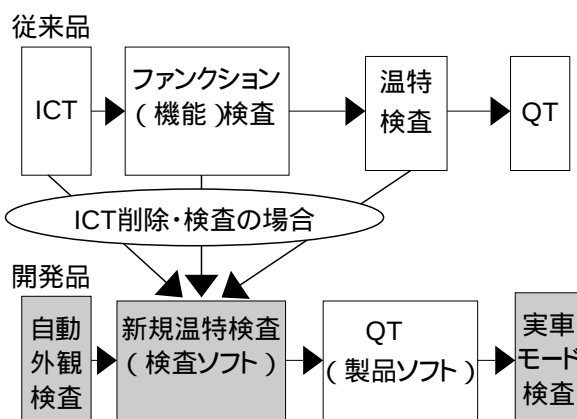


図-6 検査方法
Fig.6 Inspection method



検査の検出力向上と工程のスリム化を実現

図-7 検査工程
Fig.7 Inspection process

4.2 実車モード検査の導入

本製品では、ECU出荷検査の検出力向上を狙いとして、実車シミュレータ(CRAMAS²)を新たに導入し、実車モードでの検査を追加した。

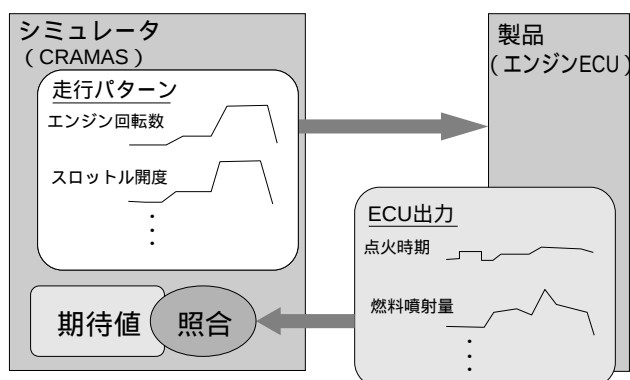


図-8 実車モード検査
Fig.8 Actual car mode inspection

この実車モード検査では、実車シミュレータ(CRAMAS)に登録した走行パターンを用いて、ECUを動作させ、ECUの出力信号を連続でモニタする事により、期待値とリアルタイムに照合している。(図-8)

また、特定の走行状態でのみ発生するような現象が起きた場合でも、走行パターンに追加することで、検査のレベルUPを図る事が可能になる。

2 C R A M A S (Computer Aided Multi-Analysis System)
車両モデルを使用して、実車両相当の評価環境で、ECU動作確認、およびソフトウェアデバッグを効率的に行う当社開発のシミュレーションシステム。

5. ソフトウェア開発手法の改善

近年の燃費向上や排ガス規制の強化などの環境対策により、パワートレーン制御ECUのソフトウェアに対する要求は大規模・複雑化してきている。本製品開発では、それらの要求に対応するため、ソフトウェア部品を単に標準化するだけに止まらず、ソフトウェアの資産価値を有効に活用するための、再利用性向上や品質確保を目指し、以下の取り組みを行った。

5.1 ソフトウェアの構造

本製品では従来から取り組んできたソフトウェア構造の見直しをさらに進め、ソフトウェア再利用性の向上、システム変更への柔軟な対応を目的として当社パワートレーン制御ECU初の階層構造ソフト（図-9）を導入し、ソフトウェアの部品化（モジュール化）を進めた。

5.1.1 階層構造ソフト構成

1) プラットフォーム層

ECUハード層（ECU層・CPU層）

ECU回路、マイコン（CPU）内部回路の処理を行う。

アプリケーションプラットフォーム層（APF層）
センサ・アクチュエータの特性を吸収し、アプリケーション部とECUハード層を結合する。

2) アプリケーション層

システム制御を受け持つソフトウェア部分。

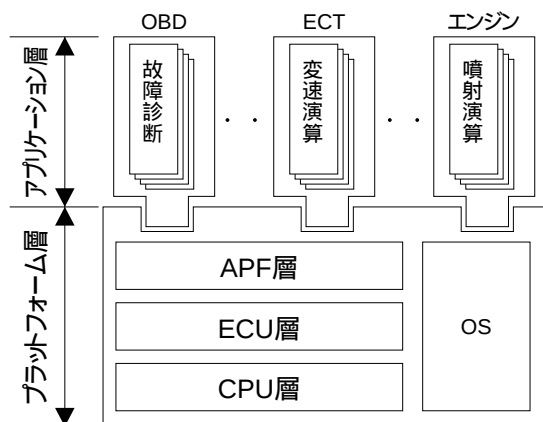


図-9 階層構造ソフト構成

Fig.9 Software composition in hierarchical structure

5.1.2 階層構造ソフトの特徴

従来はECU回路構成、CPU内部回路等のハードウェア変更時には、関連する複数ソフトウェア部品の変更も必要であったが、このソフト構成の採用により、プラ

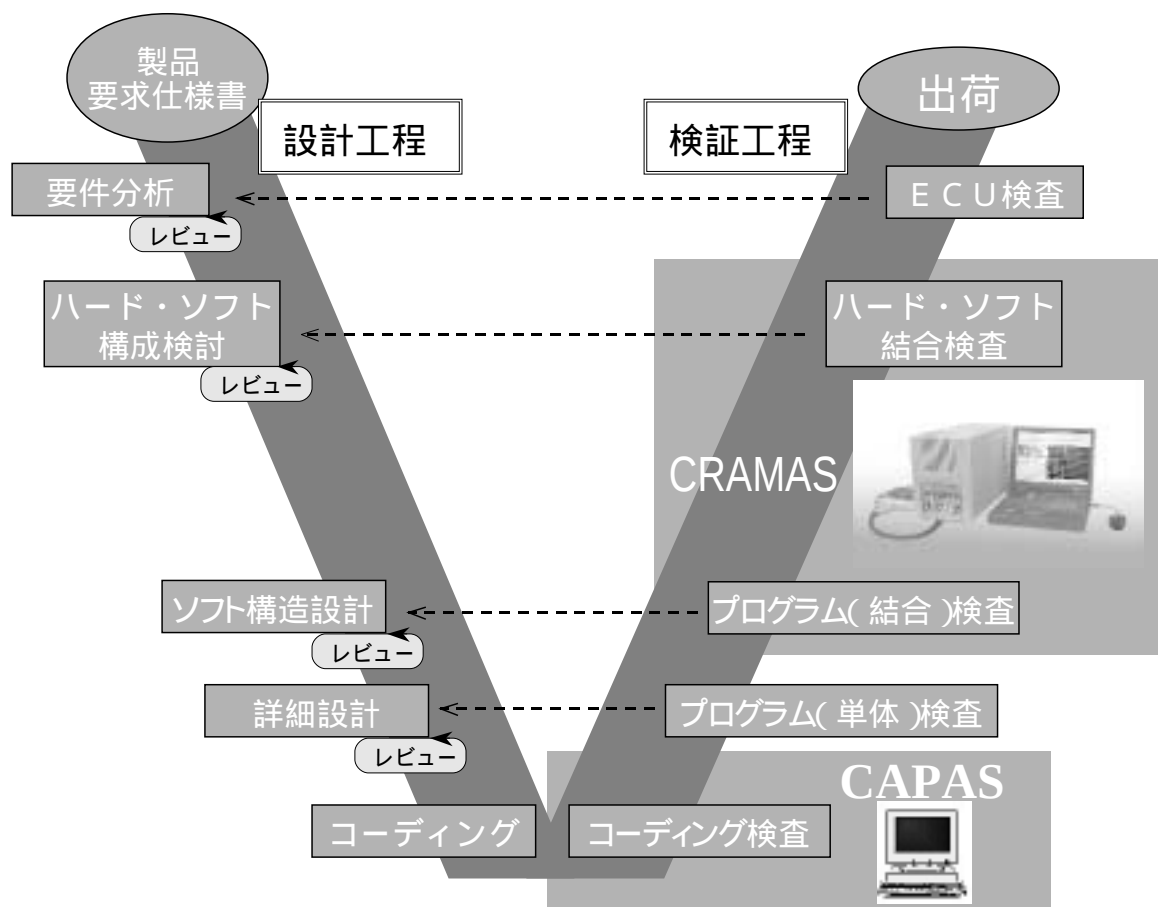


図-10 ソフトウェア開発工程

Fig.10 Software development process

ットフォーム層のソフトウェア部品を交換することでアプリケーション部を変更／再設計することなく柔軟に対応する事が可能となっている。

また、自動車制御用として、省メモリ、高速応答性を重視し、μITRON仕様に準拠したリアルタイムOSを導入することによりアプリケーションソフトの効率的な処理を実現した。

5.2 開発工程の改善

ソフトウェアの制御対象拡大に伴ない、ソフトウェアの信頼性をさらに向上させるため、従来のソフトウェア開発工程に改善を加えた（図-10）。

5.2.1 改善された開発工程の特徴

1) 設計工程

設計の各段階毎にデザイン・レビューを実施することで、各段階毎に作業が完結し、手戻りも最小限にすることができるため、開発期間の短縮が可能になる。

2) 検証工程

検証対象と設計工程を関連づけることにより、設計工程の品質管理を兼ねる。また、問題発生時に、上流の仕事の仕方、どこに問題があったかが明確になり、再発防止を図ることができる。

今回の改善により、開発期間短縮が図れるソフトウェア開発工程を作り込むことができ、本製品以降の開発製品においては、設計標準として展開が図られている。

5.3 ツールの活用

従来から、ソフトウェア開発効率化のためにツールの活用を行っていたが、本製品開発では、図-10のソフトウェア開発工程の各工程において、新たなツールを導入することにより、さらなる効率化を目指した。

デザインレビュー機能の強化（CAPAS³）

プログラムの品質を人間の手ではなく、ツールを使って自動的にチェックする手法が一般的に採用され、ソフトウェアも市販されている。

当社は、従来から独自開発したCAPASを活用し、社内のさまざまなニーズに対応してきた。

本製品開発においては、ソフトウェアの部品化により、部品内のソフトウェア品質は検証済であるが、部品間の整合性については、ECUに実装する段階での検証が重要になる。

今回、CAPASの従来機能に加えて、部品間の整合性に関する部分のレビュー機能を強化することで、検証工程の早い段階で問題点の検出が可能になった。

実車シミュレータ（CRAMAS）

今回開発したCVT制御は、トヨタ自動車株式会社初のシステムであるため、ECUデバッグでは、ソフト部品レベルのみでなく、車両全体の動作確認による検証が必要であり、実車に代わるツールが必要不可欠であった。

CRAMASは、そのニーズに応えるべき実車シミュレータとして開発されたが、当初はエンジン、トランスミッションモデルが実装されてはいたが、簡易的な

モデルであったため、より実車に近い動作を実現させる、精密なモデルの開発が必要であった。

このため、CVTの制御仕様より、ECUデバッグに必要な車両状態のモデルを、独自に開発し、実車シミュレータ（CRAMAS）に組込んだ。（図-11）

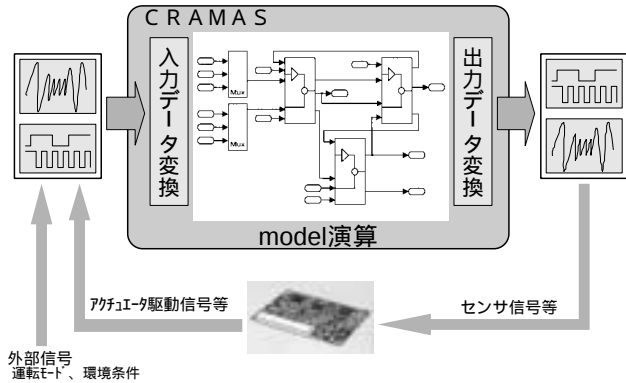


図-11 実車シミュレータ（CRAMAS）

Fig.11 Actual car simulator (CRAMAS)

モデルの作成においては、MATLAB/SIMULINKを利用して、モデルブロック図を作成したが、開発が進むにつれCVT実機のレベルアップが行われ、それに対応させるべく、モデルブロックもレベルアップを重ねることで、より実車に近い状態での効果的な評価環境を実現させることができた。

6. 開発の成果

今回の取り組みにより、パワートレーンECUの高機能化と、製品形態のスリム化との両立を図ることができた。

その結果、従来以上の品質を確保した上で、製造工程の大幅な簡素化とコストダウンが実現できた。

表-2に従来品（97モデル）に対して、D4制御（燃料筒内噴射）・CVT（無段変速装置）・電子スロットル制御等を織込んだ今回の開発品での効果を示す。

表-2 従来品と開発品との比較

Table 2 Comparison to the conventional type in development

	従来品 (97モデル)	開発品
部品点数	400点	850点 (従来技術1200点)
加工費(指数)	100	75
製造工程数	21	11
ライン長さ	80m	45m
流動タクト	30秒	20秒
コスト(機能比)	100	75

3 CAPAS（Computer Aided Program Analysis System）
コンピュータによるソフトウェア設計・プログラム解析支援システム。

7. 今後の展開計画

次期モデルの開発に際して、さらに作り易いECUを目指し、完成度アップに取り組む。

部品点数：300点以下

小型化：235×170mm→160×170mm

実車シミュレータを他の制御へも活用し、ECUデバッグのさらなる効率化に取り組む。

8. おわりに

今回の活動により製造ラインの生産性の向上、およびソフト設計手法の改善を図ることができ、今までにない高機能なECUを、無事今年の5月より量産開始できました。

最後に、本製品の開発に多大な協力を頂いたトヨタ自動車株式会社様、およびSRM2000全関係者に改めて感謝いたします。

筆者紹介

行松 規光 （ゆくまつ のりみつ）



1986年入社。以来、自動車用センサ・HICの開発を経て1998年より自動車用電子機器の開発に従事。
現在モートロニクス本部第一技術部第12技術課在籍。

酒巻 浩二 （さかまき こうじ）



1985年入社。以来、自動車用エンジン制御電子機器のソフトウェア開発に従事。
現在、モートロニクス本部ソフトウェア技術部第二ソフトウェアプロジェクト在籍。

池添 朗 （いけぞえ あきら）



1982年入社。以来、自動車用エンジン制御電子機器の機構設計、ソフトウェア開発等に従事。
現在、モートロニクス本部ソフトウェア技術部第一ソフトウェアプロジェクト課長。

樽本 拓啓 （たるもと たくひろ）



1984年入社。以来、自動車用エンジン制御電子機器のソフトウェア開発に従事。
現在、モートロニクス本部ソフトウェア技術部第二ソフトウェアプロジェクト課長。

鷗野 雄二 （うの ゆうじ）



1984年入社。以来、自動車用HICおよび高密度実装技術の開発を経て、1999年より自動車用電子機器の開発に従事。
現在、モートロニクス本部第一技術部第12技術課長。