

オールソフトシミュレーションによる制御ソフトウェア開発

Development of Control Software by All-software Simulation

田 中 周 三	Syuzo Tanaka
香 野 孝 道	Takamichi Kono
森 山 裕	Yuu Moriyama
飯 野 賢 吾	Kengo Iino
深 澤 健	Takeshi Fukazawa



要 旨

近年、車両制御の高機能化・複雑化に伴いECU (Electric Control Unit) の数が増加し、更に複数のECUが統合して車両システムの制御を行うようになってきている。

また、自動車開発においては、期間の短縮・試作レス化の動きが加速しており、増加するソフトを如何に短期・効率的に開発し、品質を確保していくかが重要な課題となっている。

今回、当社製品であるHIL (Hardware In the Loop) シミュレータCRAMAS (Computer Aided Multi Analysis System) と高性能マイコンシミュレータ「CoMET/METeor」を組合せ、実機レスで信頼性の高いECUのソフトウェア設計が可能な開発環境「Virtual ECU」を開発したので報告する。

Abstract

In recent years, the number of ECUs (Electronic Control Unit) has been on the increase, and ever more integrated and complex vehicle control systems are now installed in a vehicle, due to high functionalization and complication of vehicles. Moreover, for vehicle development, the move toward shortening the production lead-time and reducing the length of prototype production are noticeable. The most important issue today, therefore, is to develop new software for vehicle development with more efficiency, within a short period, while maintaining our product quality standard.

This paper reports our development of a new software development environment, "Virtual ECU", which will enable us to design the software to produce highly reliable ECUs without a prototype production. This system primarily consists of two parts: 1) HIL (Hardware In the Loop) Simulator CRAMAS (Computer Aided Multi Analysis System), and 2) High-Performance Microcomputer Simulator, "CoMET/METeor".

1

はじめに

近年、自動車の高性能化・高機能化は、そのほとんどを電子制御によって達成してきた。例えば、最新型の自動車では70個以上のECU（Electric Control Unit：電子制御ユニット）が搭載されており、自動車開発における電子制御システム開発、特に制御ソフトウェアの開発量が急増している。また、ユーザの安全に対する意識が年々高まっており、安全性に直接影響を与える車両システム制御では高い信頼性やフォールト・トレラント（耐障害性）が不可欠となっている。このため制御ソフトウェア開発においては、設計・開発期間や動作確認に必要なテスト期間を削減しつつ、高い品質を確保していくことが重要な課題となっている。

そこで、車両制御分野で実績のあるHIL（Hardware In the Loop）シミュレータCRAMAS（ComputeR Aided Multi Analysis System）と、携帯電話等の組込み分野で実績のあるマイコンシミュレータCoMET/METeorを組み合わせることで、制御ソフトウェアの開発効率と品質向上が可能な開発環境「Virtual ECU」を開発した。

2

車両制御システム開発の現状

年々厳しくなる開発期間削減・品質向上の要求に対応するため、シミュレーション技術を活用した車両制御システム開発が一般的になっている。制御ソフトウェア開発にシミュレーション技術を導入する場合、大きく分けて2通りの方法がある。一つはECUの外部（車両）をシミュレートする方法、もう一つはECUの内部（マイコン）をシ

ミュレートする方法である。それぞれの詳細を、車両をシミュレートする方法について2.1章で、マイコンをシミュレートする方法について2.2章で述べる。

2.1 車両シミュレーションによる制御ソフトウェア開発

ECUで動作する制御ソフトウェアの場合、最終的にはECUを実車両に搭載した状態で動作検証する必要がある。しかしながら、現実には開発期間短縮を目的とした並行開発により、開発の最終段階まで接続すべき実車両自体が存在しない場合が多い。仮に実車両が存在したとしても、設備の導入や維持管理のコスト、開発現場のスペース等の関係で、開発者一人一人に実車両を割り当てることは困難である。また最近では信頼性や安全性を追求するため、例えば、エンジンが破壊される寸前での限界テストのように、実車両では再現が困難な状況での検証も多くなってきている。

そこで注目されたのが車両部分をシミュレーションで実現する方法である。これにより、実車両がなくても車両搭載時と同じ状態で制御ソフトウェアを開発することが可能である。

また、シミュレーションの実行に性能進歩の著しいパソコン技術を利用することで、導入・維持管理のコスト、スペース等の問題も解決でき、開発者一人につき一台の割り当ても可能になる。更にシミュレーションの設定変更により、さまざまな条件での動作検証が容易に実現でき、実車両では再現が困難な試験も実施可能である。

実際に車両部分をシミュレーションする方法は何種類があるが、最も一般的なものは、図1のようにECUから出力

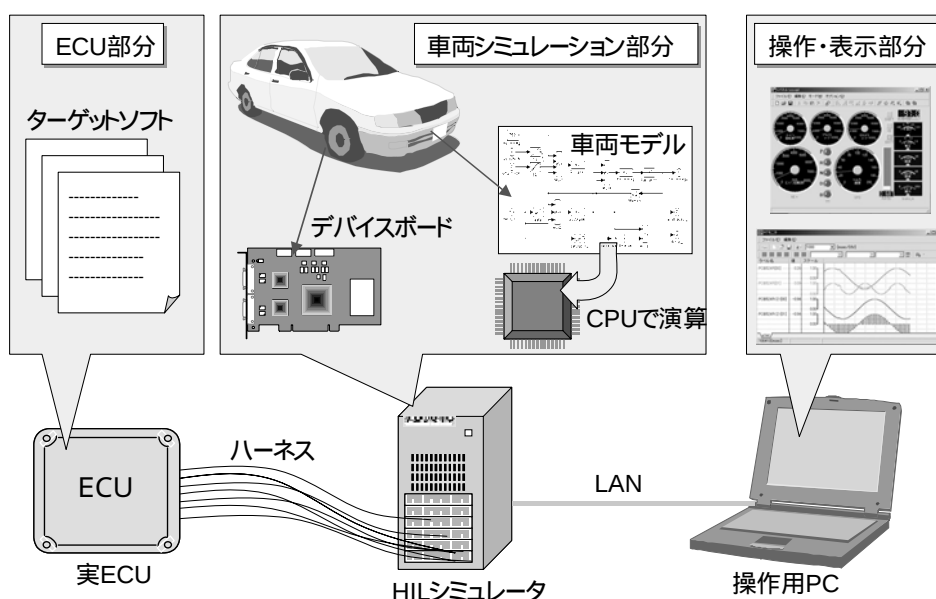


図-1 HILシミュレーションの概念図
Fig.1 Conceptual Diagram of HIL Simulation

された電気信号をハードウェア（入力ボード）で受け、それを高性能なCPU上で動作する車両モデルで演算処理し、処理結果を再びハードウェア（出力ボード）で電気信号に変換してECUにフィードバックする方式である。この方式はECU、入出力ボード、高性能CPU等のハードウェアでフィードバックループを形成するため、HILシミュレーションと呼ばれている。

HILシミュレーションは実ECUを用いた動的検証が中心となるため、制御ソフトウェア開発の中でも中流から下流にあたる「実装」「検証」工程を中心に用いられている。

当社でもECUメーカーとして早くからHILシミュレーションに注目し、独自にHILシミュレータ「CRAMAS」を開発した。CRAMASは、自社製ECU開発において、制御ソフトウェアの開発・検証に利用され、品質及び開発効率の向上に効果をあげている。また、トヨタ自動車をはじめとする自動車関連企業にも多数採用され、最先端の自動車開発の一翼を担っている。



図-2 CRAMAS外観
Fig.2 Exterior View of CRAMAS

2.2 マイコンシミュレーションによる制御ソフトウェア開発

実機相当のECUを用いて車両部分をシミュレートする方法とは別に、ECUそのものをシミュレートする方法も検討・実行されてきた。具体的には、ECUを構成するマイコンや周辺回路の動作をシミュレートした環境で制御ソフトウェアを動作させるものである。中でも、マイコン及び周辺回路を全てソフトウェアで実現する方式が注目されている。

この方式では、全てをソフトウェアで構成できるため、パソコンのみでシミュレーション実行が可能である。そのため、ハード故障の心配も無く、導入・維持管理のコスト、スペース等の面でも有利である。また、マイコンや周辺回路のタイマもソフトウェアでシミュレートされるため、ハードウェアに同期したリアルタイムでの処理は必要なくなる。そのためシミュレーション途中での停止・再開が容易であり、ステップ実行によるソースコードレベルの検証も可能である。このような特徴から、マイコンシミュレー

ションを用いた方法は、制御ソフトウェア開発の中でも上流、中流にあたる「企画」「ロジック検証」工程で活用されている。

米国VaST Systems Technology社のCoMET/METeorは、マイクロプロセッサおよび周辺LSIまで含んだシミュレーションを高速且つ高精度で行うことが可能な開発環境であり、クロックサイクルレベルでタイミング検証を行える。

このCoMET/METeorを使用することにより、以下のようなメリットを受けることができる。

- (1) 実機が出来上がる前からソフトウェアのデバッグが可能。
- (2) マイクロプロセッサ自体をソフト化するため、従来では困難であったデバッグ中のブレークやステップ実行も容易に可能。
- (3) コピー・メンテナンスが容易なため、デバッグ環境の再生産性が高い。
- (4) 実ECUでのデバッグ環境と比べて再現性が100%である。

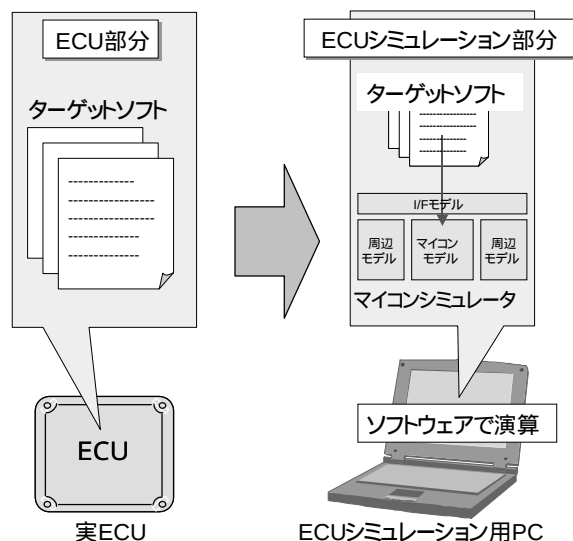


図-3 マイコンシミュレータ概念図
Fig.3 Conceptual Diagram of Microcomputer Simulator

3 オールソフトシミュレーションによる制御ソフトウェア開発

3.1 究極のシミュレーション環境「Virtual ECU」

ECUの外部（車両）をシミュレートする方法，ECUの内部（マイコン）をシミュレートする方法は異なる工程での独立した開発手法として発展してきた。しかしながら自動車開発における電子制御技術の進化は予想をはるかに上回るペースで進んでおり，CPUの高性能化だけでは求められるシミュレーション性能を実現できなくなっている。また，開発期間の短縮による平行開発や各工程を短期間で繰り返し行うスパイラル開発の導入も進んでおり，CPU性能に頼らないシミュレーション能力の大幅な向上と開発の上流から下流までをシームレスにカバーできるシミュレーション環境の実現が急務となっている。

そこで，HILシミュレータCRAMASとマイコンシミュレータCoMET/METeorを組み合わせることにより，ECUの内部・外部全てをシミュレーションできる制御ソフトウェア開発環境Virtual ECUを開発した。これにより，HILシミュレータで蓄積された車両シミュレーションや動的シミュレーションの技術と，マイコンシミュレータで培われた精密・詳細な静的シミュレーション技術の両方を兼ね備えたシミュレーション環境が実現できる。

すなわちVirtual ECUは，リアルタイム処理の時間的束縛，ハードウェアの物理的束縛から解放され，「時間」「空間」を自由にコントロールすることが可能な究極のシミュレーション環境である。以下，Virtual ECUの詳細について説明する。

3.2 「Virtual ECU」のシステム構成

Virtual ECUの構成を図4に示す。図のようにVirtual ECUは，CoMET/METeor部分とCRAMAS部分から成る。

CoMET/METeor側は，マイコンモデルと周辺モデル，I/Fモデルから構成される。

マイコンモデルではマイクロプロセッサの動作を，周辺モデルではLSI等の周辺回路の動作をシミュレーションし，合わせてECUの動作をシミュレーションしている。この仮想ECU上では，実ECUと同じOS（Operation system）が動作するため，制御ソフトウェアを変更することなく，バイナリレベルで実行可能である。

従って，Virtual ECUで検証した制御ソフトウェアの実ECUでの動作は保証される。更に，コンパイラ・デバッグも実環境と同じものを使用できるため，ユーザは実環境と同等の感覚で制御ソフトウェア開発が行える。また，I/Fモデルを通して実ECUと同等な実行結果をCRAMASに提供している。

CRAMAS側は，CRAMAS GUI及び車両モデル，デバイスモデルから構成される。車両モデルでは車両の物理演算を行い，デバイスモデルで物理演算値を電気信号相当の値に変換することにより，CoMET/METeorで実現された仮想ECUとのI/Fを可能にしている。

車両モデル，デバイスモデルのシミュレーションパラメータの設定やシミュレーション結果の表示を行うCRAMAS GUIは，HILシミュレータCRAMASと全く同じ仕様のため，ユーザはHILシミュレータと同等の感覚で制御ソフトウェア開発が行える。

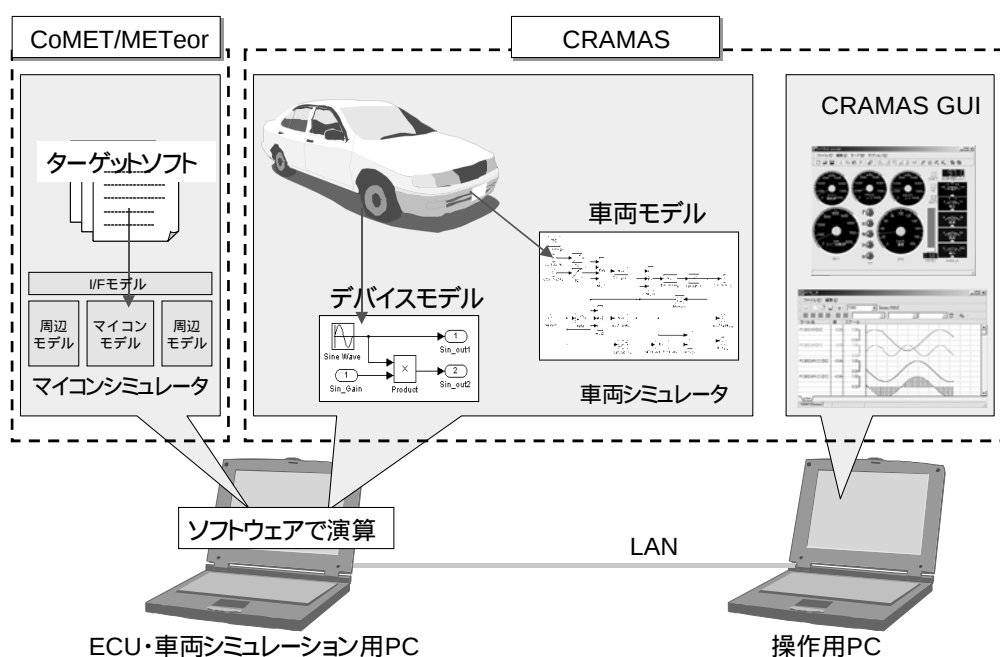


図-4 Virtual ECU構成図

Fig.4 Configuration of Virtual ECU

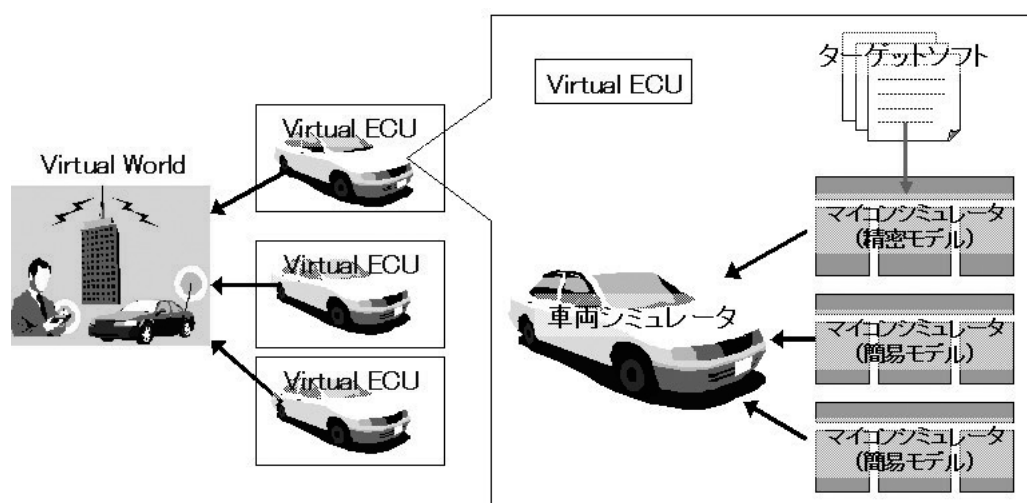


図-5 Virtual ECUの応用例
Fig.5 Application Example of Virtual ECU

更に、車両モデル、及びシミュレーションパラメータ設定はHILシミュレータと共有可能なため、HILシミュレータとVirtual ECUのシームレスな利用が可能である。

また車両モデル及びデバイスモデルは、CoMET/METeor側からのトリガによって実行される。そのためVirtual ECU全体の時間はCoMET/METeor側のタイマで一括コントロールされ、双方のモデル実行やI/Fのタイミングは完全に同期する。

この特性により、例えばデバッグにより制御ソフトウェアの実行を一時停止した場合、車両モデルやデバイスモデルの動作も一時停止し、制御ソフトウェアの実行を再開した場合、車両モデルやデバイスモデルの動作も再開させることが可能である。

従って、Virtual ECUでは、Step実行によるソースコードレベルの静的検証とフィードバックループによる動的検証をシームレスに実施することが可能である。

3.3 「Virtual ECU」の今後

Virtual ECUは、単に車両制御ソフトウェア開発においてオールソフトでシミュレーション可能なツール、あるいは上流から下流までをカバーするツールというだけではない。

Virtual ECUを複数組み合わせることによって、従来の枠を超えた圧倒的な開発規模・開発効率を実現できる可能性がある。

それはまず車両1台分の電子制御を全てシミュレーションすることから始まる。車両と車両に搭載されるECU全てをVirtual ECUで構築するのである。この際、全てのECUを実ECU相当の精密モデルで実現するのは現実的ではない。対象となる制御ソフトウェアのみ精密なECUモデルで動作させ、その他は支障のないレベルで簡略化された簡易ECUモデルでよい。簡易ECUモデルをライブラリ

化して自由に差し替え可能にすれば、全ての単体制御ソフトウェアを車両全体の制御と連動させて検証可能なプラットフォームが構築できる。

この仮想化された車両は、今後本格化する車両統合制御の検証に有効である。また、この仮想車両を複数同時に動作させれば、時間のかかる検証や低頻度不具合の再現等も並列作業で短縮化できる。

更に車両1台の枠を超え、車両を取り巻く環境をVirtual ECU上で再現することも可能である。例えば、Virtual ECU上に再現した仮想車両を仮想ドライバに操作させ、仮想の町を走行させることもできる。これにより、実際の車両が遭遇する様々な状況での制御ソフトウェア検証が事前に行えるのである。この仮想環境は、車両同士（車車間通信）、そして車両とインフラ（路車間通信）等のITS技術の検証にも利用できる。

4

ビジネスモデル

車両シミュレーションとマイコンシミュレーションを組合せたVirtual ECUは、従来の開発環境では実現できなかった様々な特徴を持つ次世代の開発環境である。

しかし、シミュレーションの範囲が自動車全体に渡り、マイコン内部の電氣的シミュレーションから車両部分の機械的シミュレーションまでシミュレーションのレベルも広範囲である。そのため、分業化・専門化が進んだ現在の自動車開発においては、1社だけでVirtual ECUの全てを構築し、サポートすることは不可能である。そこで、株式会社豊通エレクトロニクスが中心となり、富士通テン株式会社、株式会社ガイア・システム・ソリューション、株式会社トヨタテクノサービスの3社が参画した「Virtual ECU Club（バーチャルイーシーユークラブ）」が発足した。

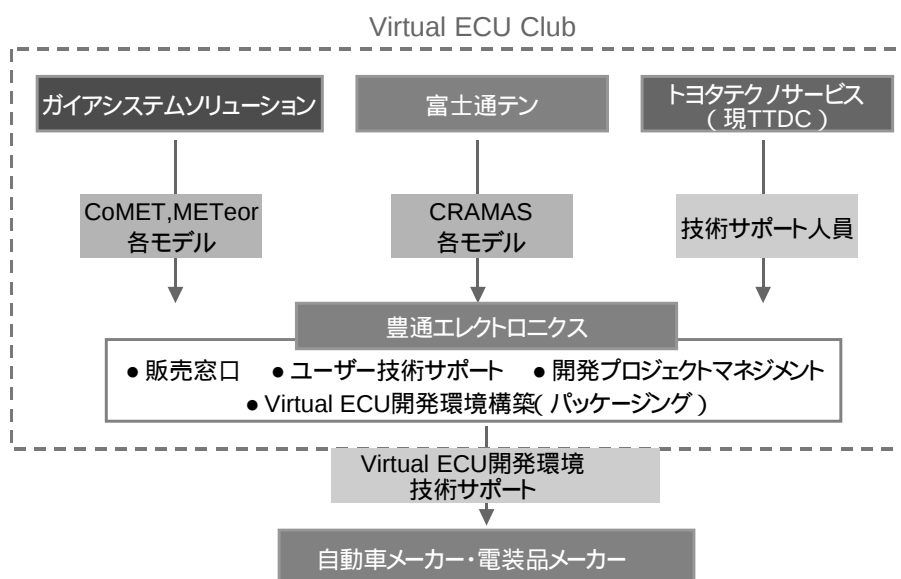


図-6 Virtual ECU Clubイメージ

Fig.6 Image of Virtual ECU Club

Virtual ECU Clubは、図6のように、自動車メーカーや電装品のメーカー等に対し、Virtual ECUを用いて実機レス（ハードウェアレス）環境で信頼性の高いECUのソフトウェア設計を可能にし、設計期間の短縮とコストの低減を実現するためのソリューションを提供する団体である。これにより、Virtual ECUの受注・開発・サポートがスムーズに行えるようになり、Virtual ECUが自動車業界全体、あるいは他の業界にまで広く普及することが期待される。

HILシミュレータCRAMASとマイコンシミュレータCoMET/METeorを組み合わせることにより、オールソフトシミュレーションによる制御ソフトウェア開発を実現することができた。

今後は、更なるシミュレーションの高速化と新しい活用方法の検討が必要である。

最後に、Virtual ECUを開発するに当たり、ご協力とご指導を頂いた関係者の皆様に心より感謝いたします。

5

おわりに

以上、今回開発した制御ソフトウェア開発環境Virtual ECUについて述べた。

登録商標

「CRAMAS」は富士通テン株式会社の登録商標です。

「CoMET/METeor」はVast System Technology社の商標です。

社外執筆者紹介



田中 周三
(たなか しゅうぞう)

1996年1月株式会社ガイア・システム・ソリューション設立。以来、CoMET/METeorの技術サポート、モデル開発、組込みソフトウェア開発に従事。現在、最高技術責任者 兼 取締役社長。



香野 孝通
(こうの たかみち)

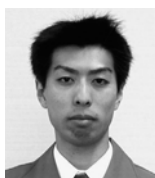
1999年豊田通商株式会社。車載電子部品販売を担当。2004年(株)豊通エレクトロニクス出向。車載組込みソフトウェア関連事業および有限責任中間法人JASPAR事務局を担当。現在に至る。

筆者紹介



森山 裕
(もりやま ゆう)

1998年入社。以来、制御システム開発用シミュレータ(CRAMAS)の開発に従事。現在、AE本部 CRAMAS事業部 CRAMAS技術部に在籍。



飯野 賢吾
(いいの けんご)

2003年入社。以来、制御システム開発用シミュレータ(CRAMAS)の開発に従事。現在、AE本部 CRAMAS事業部 CRAMAS技術部に在籍。



深澤 健
(ふかざわ たけし)

1980年入社。以来、自動車用電子機器および開発ツールの開発に従事。営業技術を経て、現在、AE本部 CRAMAS事業部 CRAMAS技術部チームリーダー。