

HV用統合シミュレータの開発

Development of "Integrated Hybrid Vehicle Simulator"

中井敏夫	Toshio Nakai
魚住晴長	Harunaga Uozumi
久井茂幸	Shigeyuki Hisai
小林慎	Shin Kobayashi
山崎剛	Takeshi Yamasaki



要 旨

近年、自動車用ECUの制御開発及び品質確保のための検証用ツールとして、シミュレータの活用範囲が広がりを見せている。一方、車両制御についても車両性能向上のための協調制御の実現や統合制御の採用など、さまざまな変化をみせている。このような変化に伴って車両開発環境も大きく変わりつつあり、CRAMASに対しても新しい要求が寄せられている状況となっている。また、欧州の自動車メーカーを中心として、自動車1台分のシミュレーションを行うための「車両統合シミュレータ」の導入が進行している。

本稿では、これまでのCRAMASのノウハウを活かし、顧客ニーズに対応すべく、また世界に通用するツールとしてHV用統合シミュレータを開発したので、これを紹介する次第である。

Abstract

In recent years, the usage of simulators has shown their reliability as the verification tool for development and establishing the quality of automotive ECUs. Meanwhile, the vehicle control is evolving variously as seen in realization of cooperative control for better performance of the vehicle and employment of integrated control. Such a shift in a vehicle simulator gives effects on the vehicle development environment and the new requirements for CRAMAS are emerging. The "integrated full vehicle simulator" is being introduced actively around the European auto manufacturers.

This report explains the "integrated HV (Hybrid Vehicle) simulator" developed as a worldwide tool in order to respond to customer needs by maximizing the know-how of CRAMAS.

1

はじめに

近年、自動車用ECU（Electric Control Unit：電子制御ユニット）の制御開発及び品質確保のための検証用ツールとして、シミュレータの活用範囲が広がりをみせている。新しく制御アルゴリズム開発時に制御対象となる実機が無い場合の活用、実車両で発生しにくい現象の試験手段としての活用、人の手では多大な時間を要する試験の自動化としての活用、また実車両では危険を伴う試験への活用など、数多くの適用分野で活用が進んでいる。一方、車両の電子制御の進化も目覚しく、ECU間は、多種多様な通信（CAN、LIN、シリアル通信など）でネットワーク化されており、各ECUが協調して車両を制御するようになってきた。そのため、車両全体に搭載されているECUの挙動を評価するためのシミュレータ（図-1）を開発し、高い品質を確保していくことがますます重要な課題としてクローズアップされている。



図-1 CRAMAS外観
Fig.1 Appearance of CRAMAS

1.1 シミュレータ（CRAMAS）とは

CRAMAS（Computer Aided Multi-Analysis System）は当初、社内のECU検査用ツールとして企画開発され、自社で制御対象のモデリングを行い活用が始まった。その後、世界に通用するツールを目指し開発を進め、自動車関連各社にもCRAMASの販売を行い、いまや開発プロセス改革ソリューションの切り札として国内外で多数のCRAMASが使用されている。実車試験の工数を大幅に低減することが可能であり、排気ガスを排出しない「地球環境にやさしいツール」として今後の発展も期待されている。（京都議定書には、日本は温室効果ガス排出量を2012年までに6%低減させることが求められている。）

2 車両全体シミュレータへのニーズ

2.1 シミュレータの役割

一般的に、シミュレータの目的として下記が挙げられる。

- ・ ECUの組み込みソフトウェアの品質検査
- ・ 制御アルゴリズム開発

そのため、シミュレータへの要望・要件はいくつか挙げられる。

- ・ 試験評価データを自動計測、解析できること
- ・ 試験パターンを擬似生成すること
- ・ 任意にエラー生成できること

CRAMASは、以上のようなシミュレータの要件を満たしてきた。しかし、近年の車両開発における要件は次節のように変化しつつある。

2.2 「システム評価」の内容変化

たとえば、車両性能を向上させる場合、従来は単体ECUによる制御のみで対応・対策してきた。しかし、より車両性能の向上を目指すには限界があり、他ECUとの連携や協調が必要である。近年100個以上のECUが搭載された車両も市販されるようになってきた（図-2）。たとえば、電動パワーステアリングでは、人のステアリング操作を支援することにより、車線逸脱を防止するレーンキーピングアシストを実現している。このような制御は、電動パワーステアリングECU単体だけでは成り立たず、外界情報を取得している別ECUと協調制御を行うことが必要不可欠となっている。また、一方で、車両空間は限られているので、車両搭載ECUの増加に伴い、ECUの搭載場所を確保するのが難しくなってきた。そこで、複数のECUの機能を、より少ない個数のECUで実現（統合）することによって省スペース化を図り、同時に、ワイヤーハーネス量の削減も行う動きが加速しつつある。

しかしながら、このような協調制御や統合制御の採用が進んでいる一方で、協調制御や統合制御を採用したために、システムの評価・検証のあり方にも変化がはじめてきた。

1) 制御干渉評価が必要になってきた

- ・ 複数のECUが相互に干渉する懸念
（通信ネットワークでECUが相互に信号授受する際の問題）

2) 統合制御評価

- ・ 複雑な制御ソフトウェアに対する試験量の増加
- ・ 多種多様化する試験環境への対応

3) 安心安全機能との協調制御評価

- ・ 周辺車両データを用いた実車の再現試験

したがって、膨大な試験を実施する必要が出てきたため、従来のように品質確保のために行う試験を一つ一つ人手でチェックすることが困難になってきた。その結果、試験を自動化するためにシミュレータの需要がますます高まっている。



図-2 車両イメージ
Fig.2 Vehicle Image

2.3 「実車評価」の内容変化

近年、自動車メーカーを中心として、実車でのECU評価前に、シミュレータを使用した動作確認試験を強化しようとする動きが非常に活発になってきた。結果、協調制御や統合制御が導入された、ECU間の通信データ量が著しく増加して実車試験でのトラブル発生リスクが高くなったので、このリスクを低減させる必要に迫られたためである。(このようなトラブルは、解決するまでに多くの時間を要することが多いので、リスクを極力回避しなければいけない。)このような試験は、従来のようなECU単体をシミュレータで動作させて評価するだけでなく、複数のECUを同時に動作させて、評価しようとする動きにつながっている(図-3)。

また、サプライヤーメーカーでも、シミュレータを導入することにより、実車でのフィードバック環境を模擬してECU評価しようとする動きが見られるようになってきた。これは、ソフトウェアだけでなく、ハードウェアを含めたECUとしての品質維持・向上に役立っているためである。

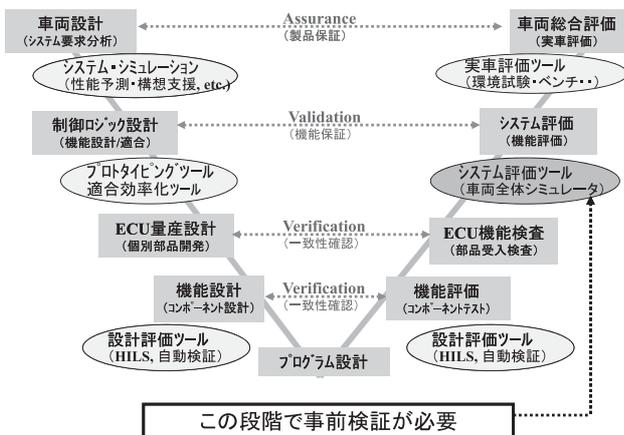


図-3 車両全体シミュレータ必要箇所
Fig.3 Necessary Phases for Full Vehicle Simulator

3 車両全体シミュレータのシステム構成

3.1 車両全体シミュレータへの課題

今回シミュレータ構築の対象となった車両は、統合制御/協調制御が数多く適用されているハイブリッド車両(図-4)である。本シミュレータの評価対象は、「走る」「止まる」「曲がる」用の複数ECUとなっている。ところが、1台のCRAMASで複数ECUを評価しようとするよりリアルタイム演算処理が間に合わず、シミュレータとして破綻をきたしてしまう可能性が存在していた。

そのため、下記の四つの課題を解決する必要があった。

- ・複数ECUを評価できる大規模なCRAMASシステム構築
- ・ECUの制御高機能化に伴うモデル演算量の増加
- ・高機能化による入出力信号数の増加

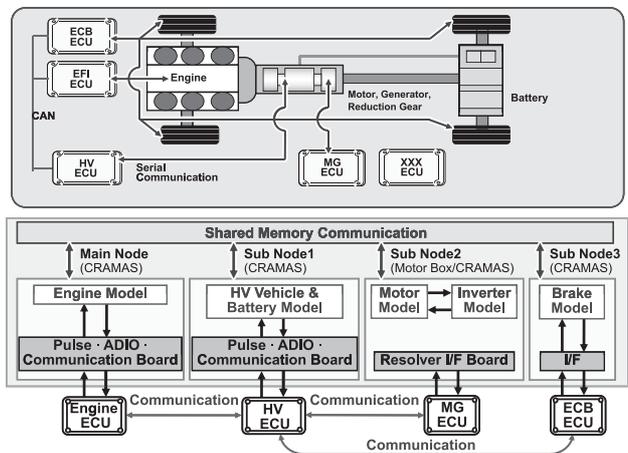


図-4 対象としたシステム構成

Fig.4 System Configuration for the Target Vehicle

3.1.1 複数ECUを対象として評価シミュレータ

当社での複数のECUを評価するためのシミュレータは、1999年頃に現行CRAMASの前身となるシステムを2ノード化(2台併用)したのが始まりである。当時のシステム(HV用マルチノードシステム)は、ハイブリッド車の「走る」という機能(走行制御とモータECU)を模擬するために、それぞれを1台ずつにシステム分割(図-5)してシミュレーションできるようにした。

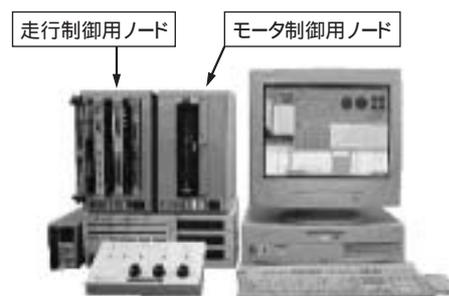


図-5 2ノードのシミュレータ(概要)

Fig.5 Two (2) node Simulator (Brief overview)

この時、車両の挙動を表すモデルとして、モータを模擬する部分とエンジンを模擬する部分が最低限必要であった。ところが、モータ部分のモデルは挙動が早く、エンジンモデルの演算周期(1ms)に比べ、演算周期を短くすることが要求された(100μs以下)。当時のシミュレータのCPU演算処理能力は現在ほど高くはなく、大規模なモデルをリアルタイム演算するのは不可能であった。そこで、演算周期の短いモータモデルと長いエンジンモデルに2分割して別々のCRAMASで演算する事にした。当時、CRAMAS間(エンジンモデルとモータモデル間)のデータ授受数はわずかに数個であり、通信処理能力のあまり高くないRS232C通信機能を用いて、データを相互に授受することが可能であった。しかし、今回構築するシミュレータは、評価対象となるECUの個数が増加し、各ECUの制御内容自体が高性能化されているため、下記の懸念があった。

- ・モデル演算量の大幅な増加による制御破綻
- ・CRAMAS間(モデル間)のデータ通信授受量の限界
- ・CRAMAS間(モデル間)データの通信遅延

そこで、これまで培ったノウハウと新規ボードによる採用により、これらの問題を解決した。具体的には以下の対応を行った。

- ・CRAMASを複数台並列実行することによる演算負荷の分散
- ・各ECUの制御対象となる実機模擬(モデル演算)を各CRAMASで実行
- ・CRAMAS間のデータ通信に光通信ケーブルの採用

3.1.2 モデル演算量増加への対応

前節では、モータ用と走行制御用(エンジン)モデルを同一の演算周期でシミュレーションするのは不可能と述べた。また、車両に搭載されるモータの数が増加し、モータを制御するECUは一段と高機能化された。結果として、前節のようにCPU上でモータモデルを演算することが不可能となったので、この問題を解決すべく、当社製品「モータボード」を使用することにした。

CPU上でモータのシミュレーションを実行した場合、モータの個数に比例してモデル演算量が増加する、すなわちCPUの演算処理性能を上げて対応していく必要がある。しかし、CPUの演算処理能力には限界が存在しており、むやみに演算処理能力を上げることはできない。一方、モータボードを使用すれば、1枚のボード上で一つのモータのシミュレーションを実行しているので、ボードの枚数を増やすだけで複数モータのシミュレーションを簡単に実行することができるだけでなく、各ボードにシミュレーションの演算処理が分散されるので、演算負荷が低減された分、モデルの内容(演算処理量)を増加させて、実車模擬精度の高いシミュレーションを行うことが可能になる(図-6)。

また、モータボードは、制御対象となるモータのシミュレーションを大容量FPGAで実行しているの、約1μs毎に演算することが可能となっている。モータ諸元などにつ

いては、ユーザが自由に設定でき、車両全体シミュレータに必要な三相電流の演算値なども、容易に演算・計測できる仕組みを持っている。

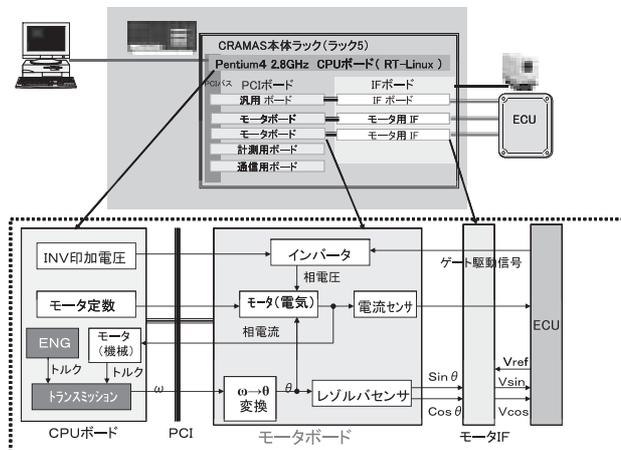


図-6 モータシミュレータの概要
Fig.6 Motor Simulator (Brief overview)

3.1.3 システム構築手法

実際に車両全体シミュレータを構築するにあたり、CRAMASの立上げ期間の短縮を図るとともに、今まで培っていたノウハウを活用するため、新規の準備物を極力減らす手法で検討を進めた。すなわち、既存ユーザ(各部門)が単体ECUの評価用として使用しているCRAMAS/ハーネス/モデル/ECUなどをベースにしてシミュレータの構築を試みるように努めた。また、このような方法を採用すれば、トラブルが発生した場合でも、既存ユーザ(各部門)に問合せするのみでトラブルが解決するというメリットも存在している。実際にトラブルが発生した際、既存ユーザ(各部門)に口頭で問合せするだけで解決に至った事例も少なくなかった。さらに、このような手法を採用することにより(図-7)、大きなトラブル(結線ミス、I/Oの誤出力)の発生を防止することができた。

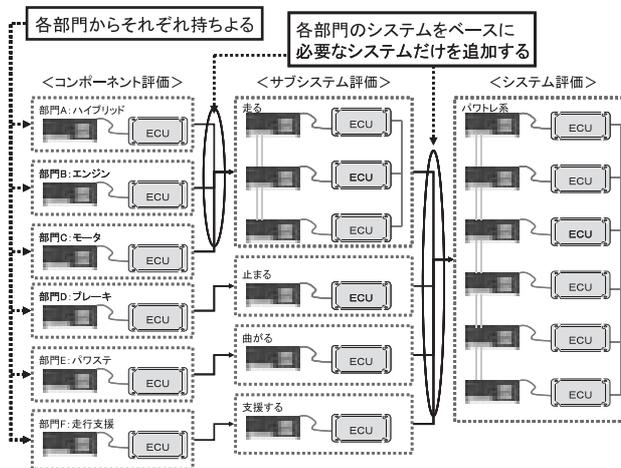


図-7 構築手法
Fig.7 System Building Method



図-8 サブシステムでのシミュレータ構築
Fig.8 Simulator Consisting of Sub-systems



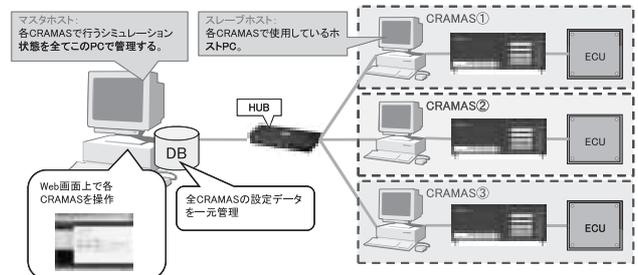
図-9 システムでのシミュレータ構築
Fig.9 Simulator Consisting of System

そして、各STEPに分けて順次システム規模を拡大する、すなわち、コンポーネント評価「図-1」 サブシステム評価「図-8」 システム評価「図-9」の順にシステム構築を行っていくことにより、各担当者のスキルアップにもつながり、人材育成としてのツールとしても活用することができた。

3.2 システム構築後の課題

CRAMASをマルチノード化することで新たな課題も見え始めた。それは、各々のCRAMASが別個に動作するため、1つのホストPC上から、全てのCRAMASに対して一括で操作できないという課題である。そこで、この課題を解決するため、「集中管理型DBシステム」というシステムを開発した。本システムは、CRAMASホストPCの設定データ等をデータベースサーバ1台で管理することにより、操作性の向上を図るものである。具体的には、CRAMASを制御しているホストPC群（図10のスレーブホスト）を、HUBを介して一台のPC（図10のマスタホスト）から操作

できるようにしたシステムである。その結果、1台のPC（マスタホスト）から、今までのCRAMASとまったく同じ要領でそれぞれのCRAMASを操作することができ、CRAMASの各種設定データを一括管理することができるようになった。



・複数のCRAMASを、1つのネットワークで統合。

・「マスタホスト」と呼ばれるPCで、複数のシミュレータを個別／一括で操作およびモニタが可能。

図-10 集中管理DBベース概要

Fig.10 Center controlled DB (Brief overview)

4

実車との整合性確認

4.1 実車走行シミュレーションとの比較

今回構築したCRAMASシステムで、車両の走行をシミュレーションしたところ、実車と同等の制御をしていることが確認できた。

図-11では、実車走行データとシミュレーションデータを比較した図である。相互のデータがよく近似しており、CRAMASシステムで実車走行と同等の試験が可能であることが判る。

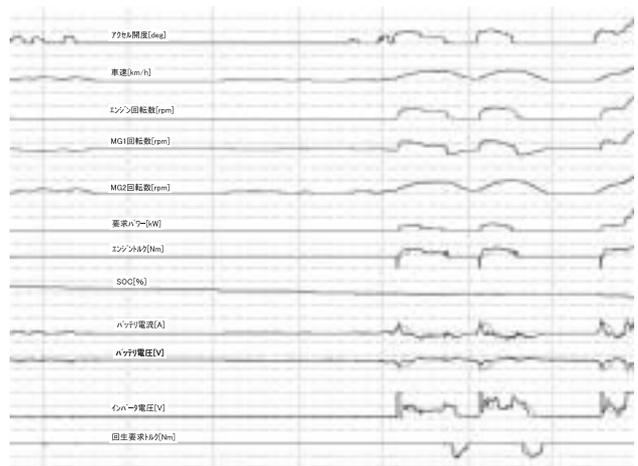


図-11 実車走行シミュレーションとの比較結果

Fig.11 Comparison result between simulation and actual vehicle behavior

図-12はシミュレータにて急ブレーキをかけ、車速が180km/hから0km/hに至る際のABSブレーキ油圧の挙動を示しているデータである。これを、実車を用いてデータを計測しようとした場合、車両を180km/hまで走行させた後、

急ブレーキを踏みながらデータ測定を行うことになる。このようにテストドライバが実施すると非常に危険な試験であっても、シミュレータでは無理なく安全に試験することが可能となる。

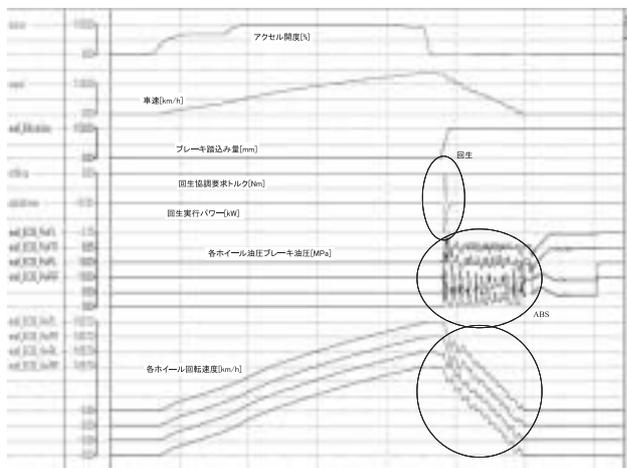


図-12 急ブレーキ時のABS動作
Fig.12 ABS behavior at harsh braking

図-13は、モータ制御用ECUのゲート駆動信号に対するモータ電流波形を示している。実車では高電圧で危険性を伴う三相電流の計測や、実車では計測不可能であるモータ中性点基準の相電圧を計測することも、シミュレータでは安全に挙動を模擬し、計測することが可能となっている。

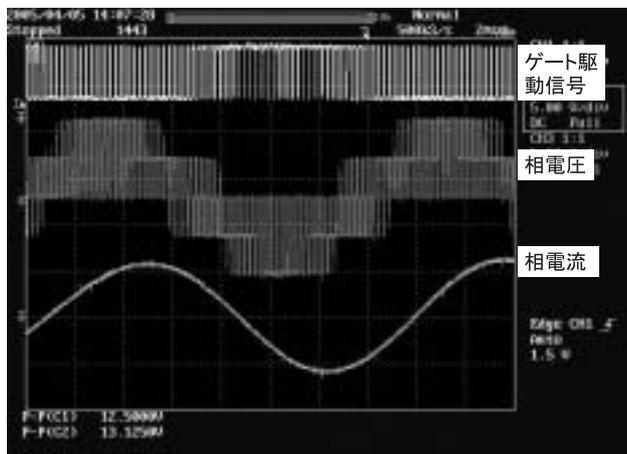


図-13 モータ電流波形
Fig.13 Motor current waveform

以上から、実車では困難なデータ計測や実車の挙動確認に関して、今回構築した車両全体シミュレータの有用性が明らかであろう。

4.2 自動検査ツールの適用

今回の車両全体シミュレータを構築した際、図-14のような自動試験開発環境も同時に開発した。自動検査ツールを用いることにより、「お絵描きツール」のように、視覚

的に試験パターンを判りやすく記述・作成できるようになる。またユーザの指定書式に試験判定結果/試験情報を自動で記入する仕組みも設けた。本自動検査ツールを使用することにより、ECU評価業務の効率を格段に向上させることができた。

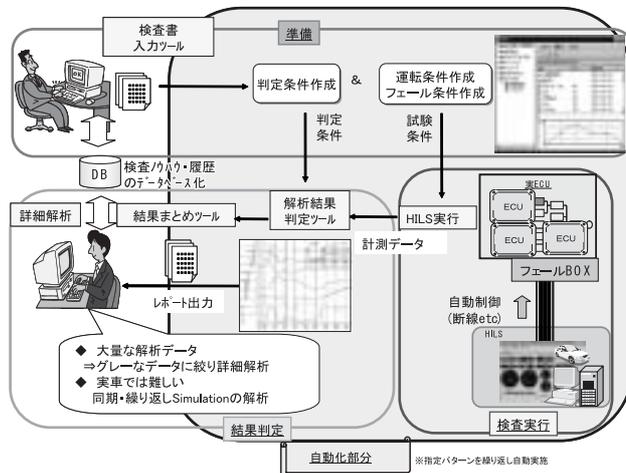


図-14 自動試験開発環境
Fig.14 Development environment for automatic test

また、さらに本自動検査ツールを改良することにより、実車試験で使用していた試験仕様書をCRAMASにそのまま取り込み、自動検査を実施できるようにした。この仕組みを用いて、フェールセーフ試験（断線検知を行い、正確なダイアグ判定を出力し、制御が安全側にシフトする挙動の確認）を実施したところ、実車との一致率が98%に達した。ちなみに、一致しなかった2%の試験内容は、試験を実施するとCRAMASが破損してしまう、もしくは、システムの一部構成が実車と同等になっていないこと（大電流を流せない、GND配線方法が実車と異なる）に起因しているものである。

5 車両全体シミュレータ構築・運用・維持

さて、このような大規模なシステムを構築・運用・維持していくためには、

- ・シミュレータ構築時のリソース確保
- ・ユーザの操作能力育成
- ・設備の管理

が不可欠である。すなわち、実際の車両開発と同様に、ハード開発者、ソフト開発者、モデル開発者、及びマネージャが必要であり、システムの台数が増大してくれば、専任組織も必要になると思われる。さらに、下記のような場合には、各ECUの開発設計担当者からの支援を受けることが必要となる。

- ・トラブル発生時のシミュレータとECUの問題切り分け
- ・モデル作成時
- ・シミュレーションデータの検証時（実車データとの比較時）

もちろん、シミュレータが大規模になればなるほど、構築時の工数・コストが大きくなっていく。また、車両モデルが精密になればなるほど、シミュレータで必要とされるCPU等の演算処理能力も高くする必要がある。

今回構築した車両全体シミュレータにおいても、ユーザの操作性向上、ワイヤーハーネスの配線方法、設備の設置方法などの課題が出てきた。今後は、さらに簡単にシステム構築でき、より操作しやすい車両全体シミュレータが必要とされており、ユーザの期待に応える新規製品の企画開発を行うことが重要である。

6

おわりに

車両全体シミュレータを導入する自動車メーカーが増えつつある。これは、環境規制、各種安全法規制によって制御技術、エレクトロニクスが発展し10年前に比べ車載ECUの機能が大幅に拡大している。更に昨今の自動車産業の発展、期待により車両開発の期間短縮化が加速されていることも要因になっている。

このような中、今後も大規模なシミュレータに対するニーズがますます強くなっていくのは間違いなく我々は、このような世の中の環境の変化をキャッチし、改善を継続し自動車業界の発展に寄与する「開発支援ツール」を世に提供し、自動車制御の発展に貢献して行く所存である。

参考文献

- 1) 山崎他：CRAMASモータボードの開発，富士通テン技報46号（2005/12）
- 2) 黒田他：HILS Applikation fur Hybridsystem Entwicklung, 15. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik 2006（2006）
- 3) 奥田他：HILS Application for Hybrid System Development, The 14th Asia Pacific Automotive Engineering Conference（2007）

登録商標

「CRAMAS」は富士通テン株式会社の日本国内における登録商標です。

筆者紹介



中井 敏夫
(なかい としお)

2001年入社。以来、自動車用電子機器の開発及び制御システム開発用シミュレータ（CRAMAS）開発に従事。現在、AE本部 制御システム開発統括部 CRAMAS部に在籍。



魚住 晴長
(うおずみ はるなが)

1997年入社。以来、プラントモデルの開発及び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 制御システム開発統括部 CRAMAS部に在籍。



久井 茂幸
(ひさい しげゆき)

1991年入社。以来、自動車用電子機器の開発及び制御システム開発用シミュレータ（CRAMAS）開発に従事。現在、AE本部 制御システム開発統括部 CRAMAS部に在籍。



小林 慎
(こばやし しん)

2004年入社。以来、制御システム開発用シミュレータ（CRAMAS）開発に従事。現在、AE本部 制御システム開発統括部 CRAMAS部に在籍。



山崎 剛
(やまさき たけし)

1983年入社。以来、エンジン制御およびボデー制御ECUの開発に従事。営業技術を経て、現在、AE本部制御システム開発統括部CRAMAS部部長。