技術ノート

制御開発用シミュレータ「CRAMAS」のITS分野への取り組み

HIL Simulator "CRAMAS" for ITS Application

丸山　晃　*Akira MARUYAMA*
田中誠吾　*Seigo TANAKA*
山崎　剛　*Takeshi YAMASAKI*

1 はじめに

近年、自動車用制御システム開発の効率化と品質確保を両立するためのツールとして、HIL（Hardware In the Loop）シミュレータが広がりを見せている。HILシミュレータは、主にエンジン制御やトランスミッション制御などのパワートレーン分野、駆動系分野での活用が中心であった。当社ではHILシミュレータ「CRAMAS（ComputeR Aided Multi-Analysis System）」の開発を行い、社内外でのECU（Electronic Control Unit）開発にて活用されているが、近年、ミリ波レーダを活用したITS（INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS）など、幅広い分野に展開されており、シミュレータに求められる機能も変化している。

本稿では、これまでのCRAMASの適応事例および、安心・安全分野の取り組みについて紹介する。

2 CRAMASとは

CRAMASは、富士通テンが独自に開発したシミュレータであり、**図1**に外観を示す。制御対象となるシステムの動作を実時間で模擬できることを最大の特徴とし、1996年に開発したABS（Anti lock Brake System）の試験を行うためのシミュレータがルーツである。

シミュレータは主に、制御対象となる実機が存在しない場合の実機の代わりや、実車両では発生しにくい現象の試験、実車両では危険を伴う試験などを実施するのに有効なツールである。しかし、近年の環境変化、低燃費の要求などにより制御が複雑化・大規模化し、さらに製品サイクルの短縮化のため開発期間が短くなり、膨大な試験をより短い期間で実施しなければならない、などの理由で、試験の自動化がニーズとして注目されている。

図1　CRAMAS外観
Fig.1 CRAMAS

2.1 適応事例

近年では、電気自動車やハイブリッド車など、動力源をモータとする車両も実用化されている。当社では、それらの車両の制御開発を支援するシミュレータを開発してきた。

従来のモータシミュレーションは、電気部、機械部ともにMATLAB/Simulinkで記述されたモデルをソフトウェア処理で演算していたが、電気的な動作をソフトウェア処理で行うのには限界があり、制御装置の評価において必要な精度を得ることが困難であった。

そのため、専用の機能ボード（モータボード）を開発し、比較的変更が少ない電気的な動作についてはFPGA（Field Programmable Gate Array）によるハードマクロ化を実施することで、1μs周期での演算が可能となった。モータボードを使用したHILシミュレータの構成を**図2**に示す。

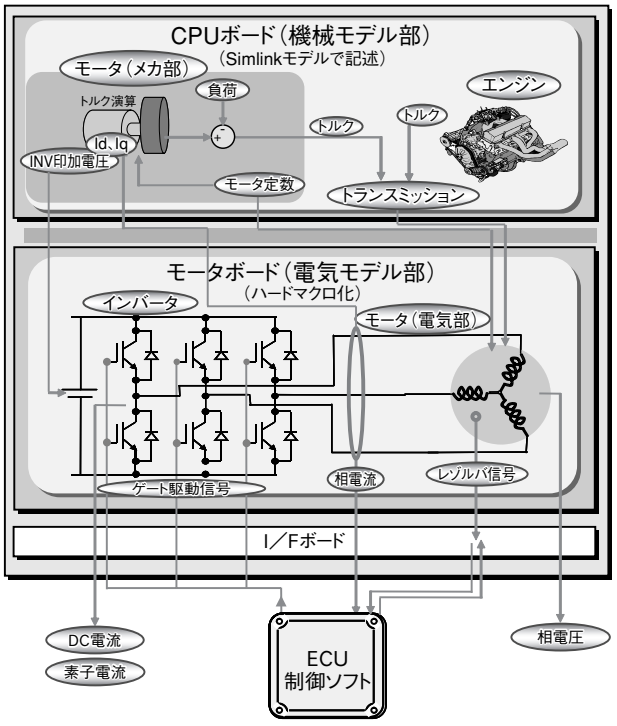


図2　モータシミュレーション
Fig.2 Motor Simulation

一方で、CAN（Controller Area Network）に代表される通信ネットワークの評価を行なうシミュレータの開発を進めている。車両内ではプロトコルの異なる複数のネットワークが存在する。近年ではネットワーク化された各ECUが協調して制御を行っており、ネットワーク間を接

続し情報伝達をするため、ゲートウェイ（以下G/W）機能をもつECUが必要となる。またネットワークの大規模化に伴い、G/W-ECUもマルチチャンネル化が進んでいる（**図3**）。

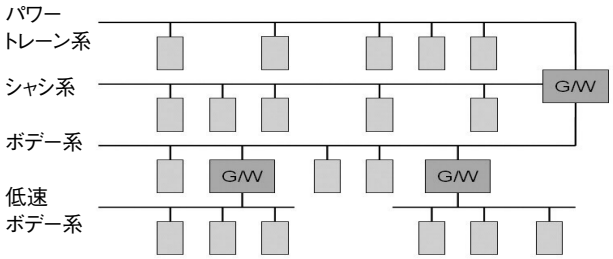


図3　G/W-ECU
Fig.3 G/W-ECU

G/W-ECUの評価では、各ネットワークの通信負荷や、状態（スリープ・ウェイクアップ）、バスの断線・短絡による動作検証を行う項目があり、マルチチャンネル化されると評価項目の組み合わせは膨大となる。それらの検証項目を効率的に実施しなければならないため、以下の機能を開発した。

①バス負荷調整機能
②通信とI/Oの時間同期
③通信ログ専用のビューア
④評価パターンの自動生成および連続実行機能

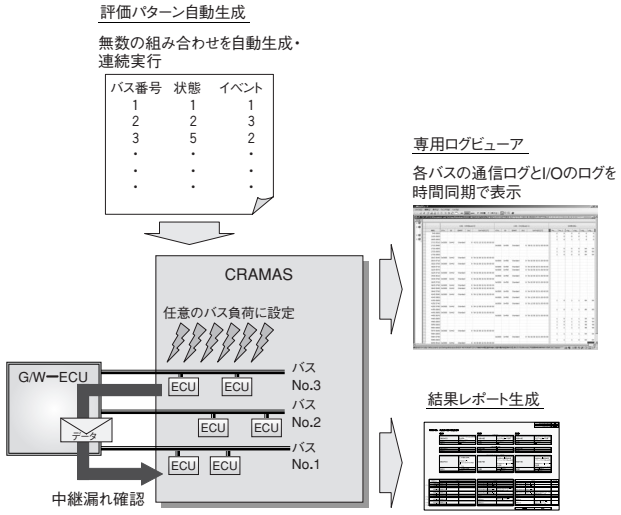


図4　G/W評価用CRAMAS
Fig.4 CRAMAS for G/W ECU

3　安心・安全分野への適応

3.1 レーダ評価装置への要求

当社では、自動車を中心とした制御システム開発装置および、データ収集解析装置の開発を行ってきた。

例えばパワートレーンを対象としたシミュレーションでは、各種センサのアナログ信号出力、評価対象ECUのRAM値計測、評価対象に接続される通信データの模擬などが目的であり、サンプリング速度は速くても100μs程度である。しかしながらITSの開発や評価では、自車両・ターゲット車両・周辺監視といった同時刻で発生する事象データを高速かつ大量に記録することが重要である。特に安心・安全システムでは、センサとなるミリ波レーダのビート信号(1)計測は1MHz（1μs）以上のサンプリング速度を必要とし、同時に自車とターゲット車の位置関係を精度よく評価するためのGPS信号、周辺状況を記録する多チャンネルのカメラ信号の計測を行うため、記録装置には高速サンプリングと膨大なデータを欠落なく記録保存できる機能が要求される（**図5**）。

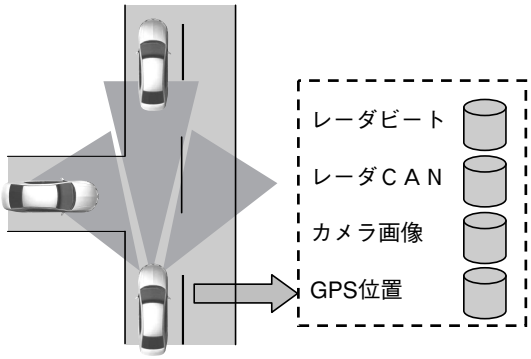


図5　計測データの種類
Fig.5 Measurement Data for Millimeter-Wave Radar

3.2 CORMOの紹介

これらの課題を満足するため当社が開発したデータ計測装置「CORMO」を下記に示す（**図6**）。

CORMOは、レーダのビート計測を目的とした、最速5MHzまでサンプリング可能なアナログ/デジタル計測をはじめ、カメラ画像データ、CAN通信データ、RS232C通信データ（GPS位置）が計測できる。PCとのインターフェイスにはPCIe（Peripheral Component Interconnect express）通信で行い、高速で大量のデータをPCへ転送、逐次ハードディスクへ保存される。保存されたこれらデータには1μs精度のタイムスタンプが付加され、計測した全てのデータを時間同期で再生することも可能である。

図6　CORMO外観
Fig.6 CORMO

＊(1) ミリ波レーダのFM-CW（Frequency Modulation Continuous Wave）方式ではレーダからの送信波がターゲットにあたって反射され受信波となり、受信部で送信波と受信波がミキシングされたビート信号から、物標の距離と速度を同時に計測できる。

表1　CORMO主要諸元
Table 1 CORMO Specifications

計測項目	CH	サンプリング	用途
アナログ計測	8	Max 5MHz	ビート信号の計測
デジタルI/O	24	Max 5MHz	計測タイミング信号
カメラ画像	4	30fps	周囲状況
CAN	4	—	レーダ演算結果、車速など
RS232C	2	—	GPSによる位置計測
LVDS	4	—	外部機器との通信
LAN	1	—	PCとの通信
PCIe	1	—	PCとの通信、データ保存

3.3 計測用アプリケーション

CORMOとともに開発した、計測と再生アプリケーションを紹介する（**図7**）。アプリケーションはホストPCのWindows上で動作し、PCとCORMO間はPCIe通信で計測条件の設定、計測実行、保存、再生の操作を行う。

計測画面上では、アナログ・デジタルの生信号、CANデータをモニタリングしながら、同時にレーダが認識する物標状態（距離・角度・相対速度）の鳥瞰図や、カメラ画像とのトラッキング表示、グラフ表示が可能である。また、実路走行の長時間計測やCAN信号の変化をトリガにして時刻をさかのぼったデータ保存も行える。

再生は、保存されたデータをフォルダ単位で選択し、ビート信号のFFTグラフ表示・レーダ認識数値・鳥瞰図・カメラ画像上への物標トラッキング図や後述するアルゴリズム演算中の変数挙動や物標表示機能を備えている。

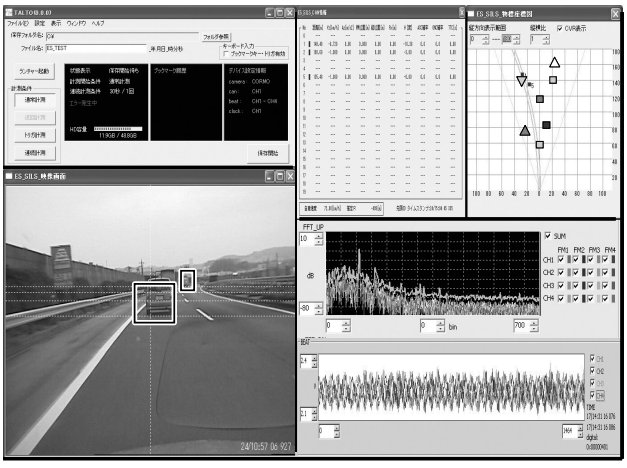


図7　アプリケーション画面
Fig.7 Monitoring Screen

3.4 アルゴリズム開発のための評価装置

ミリ波レーダのアルゴリズムは、ビート信号成分に含まれる全検知物標から、ターゲットとする物標（先行車、対向車やバイク）の抽出、その距離・横角度・自車との相対速度を正確に算出する機能である。さらに周囲物の影響によるロスト、本来存在しない物標（ゴースト）対策も必要である。

アルゴリズム開発手法として、試作レーダを車両に装着し、テストコースやフィールド試験場でビート信号を計測し、PC上でC言語やMATLAB/Simulinkで構築されたアルゴリズムにビート信号を繰り返し再生入力することで、認識判定の改善を実施している。しかしながらPC上では割り込みシーケンス通りのプログラム実行ができず、またPCの演算結果によるアクチュエータ駆動や他ECUへのデータ通信では、リアルタイム性に欠けるため、レーダ単体開発での使用に留まっている。

このため、当社で2002年にパワートレーン制御開発用に開発したRapid Prototype ECU「Rtype」を応用し、「CORMO + Rtype」を開発した。Rtypeは、ECUのハードウエアの試作をすることなく、実ECUと同等の処理を行うことができる装置である。

図8　CORMOとRtypeの接続
Fig.8 Application CORMO with Rtype

このRtypeと先述したCORMOを連携することにより、ITSの開発・評価を効率的に実施することが可能となる。具体的には、CORMOで計測されたビート信号の計測データをLVDS（Low Voltage Differential Signaling）通信でRtypeへ送信、Rtypeに搭載されたCPU（Pentium）では、高速フィルタ演算（FFT処理）するとともに、レーダに実装されるアルゴリズムと同様の物標認識ソフトウェアを演算し、その物標認識結果をCAN通信データ、またはホストPCへ出力することができる。

同時にカメラ画像データもRtypeへ転送し、Rtypeで演算された認識結果とのトラッキングを行うことで、アルゴリズム結果の良否判定が簡単に行える。

またレーダのアルゴリズムだけでなく、走行車両を検出して車速と車間距離を自動調整する「ACC（アダプティブクルーズコントロール）」や、先行車や障害物、歩行者などとの衝突の被害を軽減する「PCS（プリクラッシュセーフティシステム）」などの制御アプリケーションをRtypeに組み込むことで、システム全体の制御を対象にした開発・評価が可能となる。

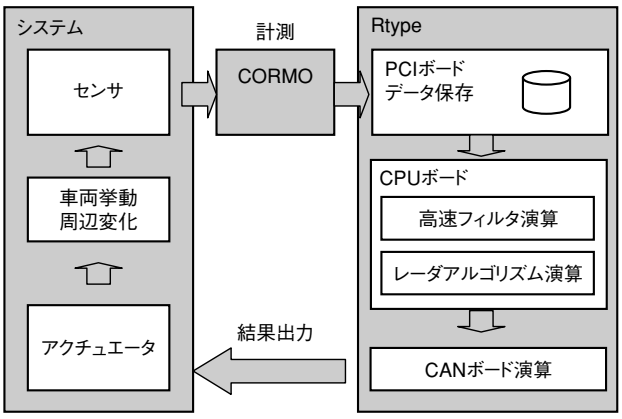


図9　CORMO ＋ Rtype構成図
Fig.9 CORMO and Rtype Configuration Diagram

今後、レーダセンサやITSの自動評価環境構築にも取り組む予定である。開発されたレーダセンサやアルゴリズムの評価は、実車走行をしながら撮影したカメラ画像中のターゲット車両と、レーダで認識したターゲット車両（物標）を比較することで評価を行っており、多大な工数を必要としている。

この課題に対しては、高精度なGPSとCORMO + Rtypeを用いて、Rtypeにレーダ捕捉の判定基準となるロジックを組み込むことで自動化が可能となる（**図10**）。

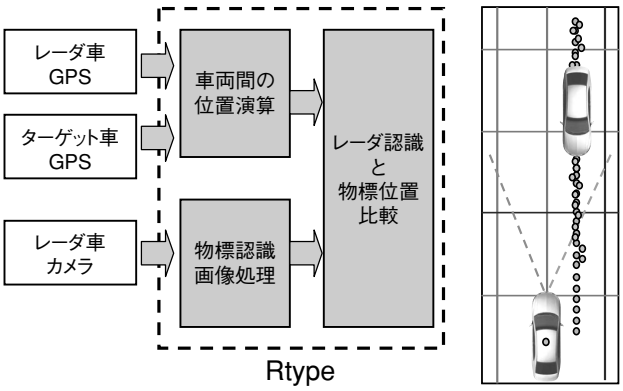


図10　自動評価
Fig.10 Automatic Test Outline

3.5 おわりに

ITS分野での開発では、レーダやカメラ、GPSだけでなく、あらゆる走行状況や周辺環境の情報を取り込む必要がある。たとえば車室内、車両周辺、車両間通信、道路状況、衛星信号、サービスセンターとの通信など、多種多様なデータが出現してくる。

今回紹介したCORMO、Rtypeではミリ波レーダでの適応を紹介したが、今後はCORMOのツールチェーン化により、より高速で大量データの計測,システムまで含めたアルゴリズム開発の早期化に対応できる統合開発ツールへと発展させていく。

また、今後も発展する環境対応技術、安心・安全のための技術、通信技術などの車両開発において業務改革、開発の効率化が求められる。HILシミュレータに代表される開発環境の活用・整備は必要不可欠であり、当社ECU製品群とともに発展させていく。

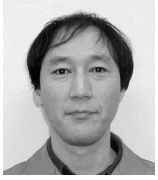
参考文献

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）野海他：車載LAN開発への取り組み、富士通テン技報49号（2007/6）

筆者紹介

丸山　晃
（まるやま　あきら）

1989年入社。以来、自動車用制御機器の製造およ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、ITS技術本部 共通技術統括部CRAMAS部に在籍。



田中　誠吾
（たなか　せいご）

1981年入社。以来、自動車用制御機器の開発および制御開発用ツールの開発に従事。現在、ITS技術本部 共通技術統括部CRAMAS部に在籍。

山崎　剛
（やまさき　たけし）

1983年入社。以来、自動車用制御機器の開発に従事。営業技術を経て、現在、ITS技術本部 共通技術統括部CRAMAS部部長。