

# PC版HILシミュレータCRAMAS 2001の開発

## Development of PC-based HIL Simulator "CRAMAS 2001"

深澤 健 Takeshi Fukazawa  
山田 典生 Norio Yamada  
安田 武史 Takeshi Yasuda  
神山 尚也 Naoya Kamiyama



### 要 旨

近年、自動車業界においては開発期間の短縮・試作費用の低減を目的として、何度も実際に物を作る代わりにバーチャルな空間での開発・評価が積極的に取り入れられつつある。3D-CADやシミュレータなどが活用されているのはその一例であり、車両制御開発においては対象となるシステムの挙動をリアルタイムでバーチャルに表現するHILシミュレータ(Hardware In the Loop Simulator)の需要が増加している。

当社においても、自動車用電子制御装置ECU(Electric Control Unit)の高機能化・大規模化にともない、設計・評価工数の低減および品質向上を図るため、1996年にABS(Antiskid Brake System)ECU用ワークステーション版HILシミュレータを開発し、その後もエンジン制御ECU用、オートマチックトランスミッションECU用と適用分野を広げてきた。同時に小型化・低価格化のためパーソナルコンピュータ版の開発を行い、社内での活用を進めると共に一部社外にも販売してきた。

今回、それらの開発の中で培ってきたノウハウを活かし、自動車分野だけでなく広い分野で活用が可能な支援ツールを目指し、パーソナルコンピュータ・PCIバスをベースにした、高速で汎用性・拡張性のあるシステムCRAMAS 2001 (ComputeR Aided Multi-Analysis System)を開発したので紹介する。

### Abstract

In recent years, the automobile industry has been actively promoting the development and evaluation of products in virtual space to reduce development time and high costs for repeated prototypes. The utilization of 3D-CAD and computer simulation is one facet of this development. In vehicle control system development, the demand has been increasing for Hardware-In-the-Loop Simulators (HIL Simulators), which simulate the behavior of a given system in real time.

In 1996, as automobile electronic control units (ECUs) became progressively higher in performance and highly complicated, a workstation-based HIL Simulator for an Antilock Brake System (ABS) ECU was developed at our company to reduce the number of design/evaluation man-hours and to improve product quality. Since then we have expanded the field of its application to engine control ECU and automatic transmission ECU, and have developed a personal-computer-based HIL Simulator to reduce size and cost. At the same time, HIL simulator usage has grown within the company, and some have been sold outside our company.

To create a support tool that can be used not only in the automotive field but in a broad range of other fields, a high-speed, multipurpose, expandable system named CRAMAS 2001 (ComputeR Aided Multi-Analysis System 2001), which is based on a standard PC and PCI bus, has been developed using the knowledge gained during the development of HIL Simulators, and will now be introduced in this paper.

## 1. はじめに

近年、自動車業界においては開発期間の短縮・試作費用の低減を目的として、3D-CADやシミュレータなどのツールが活用されている。その中で、車両制御開発では対象となるシステムの挙動をリアルタイムでバーチャルに評価するHILS (Hardware In the Loop Simulation)に対するニーズが高まっている。当社においても、自動車用電子制御装置ECU(Electric Control Unit)の高機能化・大規模化にともなう設計・評価工数の低減および品質向上を目的とした支援ツールとしてシミュレータを開発し、実務の中でHILSを有効に活用してきた。

今回、それらの開発の中で培ってきたノウハウを活かし、自動車分野だけでなく広い分野で活用が可能な支援ツールを目指し、パーソナルコンピュータ・PCIバスをベースにした、高速で汎用性・拡張性のあるシステムCRAMAS 2001 (ComputeR Aided Multi-Analysis System)を開発したので紹介する。

## 2. 開発の背景と狙い

当社では96年度までEWS(Engineering Work Station)をホストとし、VMEバス(Versa Module Europe Bus)規格のI/Oボードを持つHILSシステムを開発してきた。しかしEWSをホストとするシステムは高価であり、なかなか普及しなかった。そこで97年度にパソコンをホストとしCompactPCI (Peripheral Component Interconnect)規格のI/Oボードを使用したHILSシステムとして「CRAMAS」を開発した。ホストをパソコンとし、計測ラック側のCPUボードもインテル系の市販CPUボードを採用する事でコストパフォーマンスの高いHILSシステムを実現した。

しかし、用途の拡大やニーズの変化に応じるため、特殊なI/Oボードを設計する必要性があり、1つの新規システムを立ちあげるまでのリードタイムが長くなっていた。

また、シミュレーションのリアルタイム処理のための

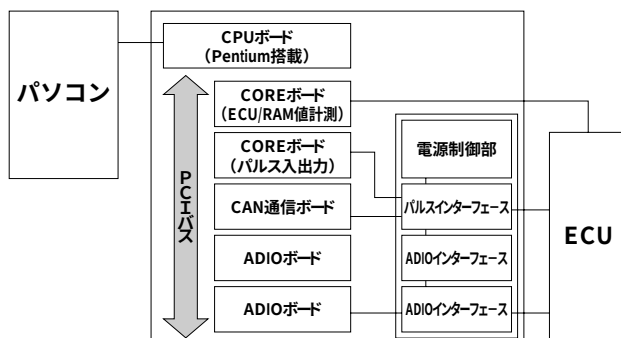


図-1 CRAMAS 2001のシステム構成  
Fig.1 System configuration of CRAMAS 2001

OSには、「PC DOS(IBM社製)」を使用しており、32ビットアーキテクチャの性能をフルに使用する事が出来ないなどの課題があった。そこで、これらの問題点を解決し、よりタイムリーにHILSシステムを構築する事を目標にPCIバス版のシステム「CRAMAS 2001」を今回開発した。

## 3. システム構成

### 3.1 ハードウェア概要

図-1に、パワートレインECU用に構築したCRAMAS 2001のシステム構成例を示す。大きくはシミュレーションの設定や計測の実行、モニタを行なう為のパソコンと、リアルタイムで信号の入出力処理及び、シミュレーション演算を行うCRAMAS本体の2つからなる。この2つはイーサネットで接続されており、リアルタイムでのデータ計測、モニタが可能となっている。

バスシステムはPCIバスとすることで、市販のPCIバスを持つ計測ラック、CPUボード、マザーボードから選択してシステムを組み上げるように考えた(図-2)。執筆時点でのCPUボードのクロック速度は1.5GHzのものが入手可能であり、今後も市販パソコン用のCPUクロック速度向上に追随して低コストで性能を向上させる事が可能である。

今回採用した計測ボードラックはPICMG(PCI Industrial Computer Manufacturers Group)規格のバックプレーンを持ちPCIバス規格のI/Oボード (以降、PCI計測ボードと呼ぶ)を6枚搭載する事が可能である。

PCI計測ボードはPCIバス規格の物であれば市販の物が自由に使用できる利点もある。また、ECU等との電氣的整合をとるインターフェース回路部は、PCI計測ラックの5インチベイ取り付けスペースに内蔵できるコンパクト

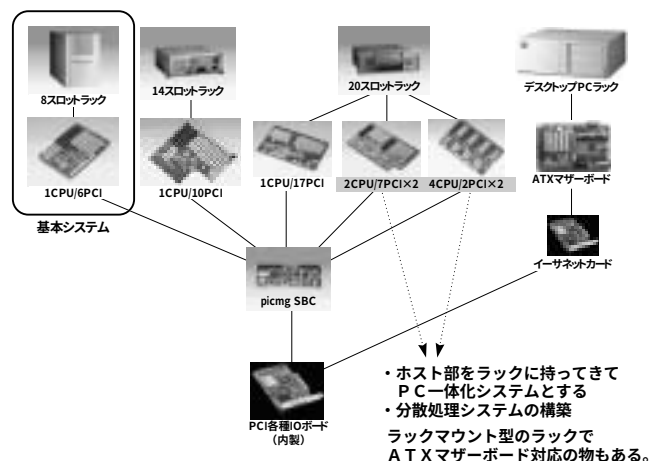


図-2 市販品の利用  
Fig.2 Utilization of commercially available products

なインターフェースラックを新規に開発し、小型・省スペース化を図っている。

### 3.1.1 COREボード

多様なユーザーニーズに短期間で対応するため、FPGA(Field Programmable Gate Array)で回路構成を変更することができるCOREボードを新規開発した。

COREボードは、(図-3)に示すようにデジタル信号処理部、アナログ信号処理部から構成され、CPUファームウェアとFPGAロジックプログラムは、ホストPCからダウンロードすることにより、多種多様なI/Oハードウェアを迅速に開発しユーザーに提供することができる構成である。

デジタル信号処理部は、FPGAを使用し、マイコンの周辺機能を代行する事により、周期計測、周期発生その他、特殊な用途の信号処理を実現している。

アナログ信号処理部は、D/AコンバータとA/Dコンバータを用い、マイコンによる高速入出力を実現するため、FPGAを用いている。また、任意の波形データをD/Aコンバータに出力することで、用途に合った様々な波形を高速に生成出力することが可能である。COREボードは(図-4)のようにデジタル信号処理部、アナログ信号処理部の2階建て構成となっており、アナログ信号処理部が不要な場合は、2階部を切り離しデジタル信号処理部のみの構成とすることも可能である。また、FPGAは5万ゲート～20万ゲートのものが選択可能であり、ニーズに合わせた構成とすることができる。

COREボードのハードウェア仕様を(表1)に示す。

表-1 COREボード仕様  
Table 1 CORE board specifications

|                                                                                                                                                                         |                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| マイコン                                                                                                                                                                    | 東芝製                                        |
|                                                                                                                                                                         | TM3PR3927F                                 |
|                                                                                                                                                                         | PCIバスインターフェース内蔵<br>動作クロック133MHz外バス66MHz    |
| FPGA                                                                                                                                                                    | 日本アルテラ製                                    |
|                                                                                                                                                                         | EPF10K130E 13万ゲート×2個<br>EPF10K50S 5万ゲート×1個 |
|                                                                                                                                                                         | ※標準実装時<br>※20万ゲートまで拡張可能                    |
| ・デジタル入出力： 56本 3.3V<br>・アナログ出力：<br>＊高速CH 2ch ±5V 分解能12ビット 5MHz<br>＊その他 6ch ±5V 分解能12ビット 10KHz<br>・アナログ入力： 8ch ±5V 分解能12ビット 10KHz<br>・外部要因割り込み入力：4ch 3.3V<br>・シリアル通信： 2ch |                                            |

本ボードを用いた特殊信号処理ボードの実施例を次に示す。

#### ①エンジン制御用信号入出力

エンジン制御システムには、一般のA/DやD/A、デジタルI/Oでは処理が困難なセンサ・アクチュエータ信号が多く用いられている。代表的なものには以下のようなものがある。

「エンジン回転角信号」「車速信号」「点火信号」「ノック強度信号」「燃料噴射信号」。

エンジン回転角信号、車速信号は、デジタル信号処理部で信号「発生」処理を、また、点火信号、燃料噴射信号は「計測」処理を行っており、それぞれFPGAのロジックにて実現している。ノック強度信号は、デジタル信号処理部にて「ノック強度信号発生タイミング」を発生させ、FPGA間の通信用バスを介して、アナログ処理部へ信号を伝え、SIN波形データをD/Aコンバータに出力している。

#### ②ECU搭載マイコンの内部データ計測

ECUに用いられているマイコンのRAM値計測には、NBD(Non Break Debug Module)と呼ばれるマイコン内蔵のデバック用ユニットの通信機能を利用して行う。通信に要求される特殊なプロトコルと高速性をFPGAロジックで実現し、任意アドレス値を自動計測している。

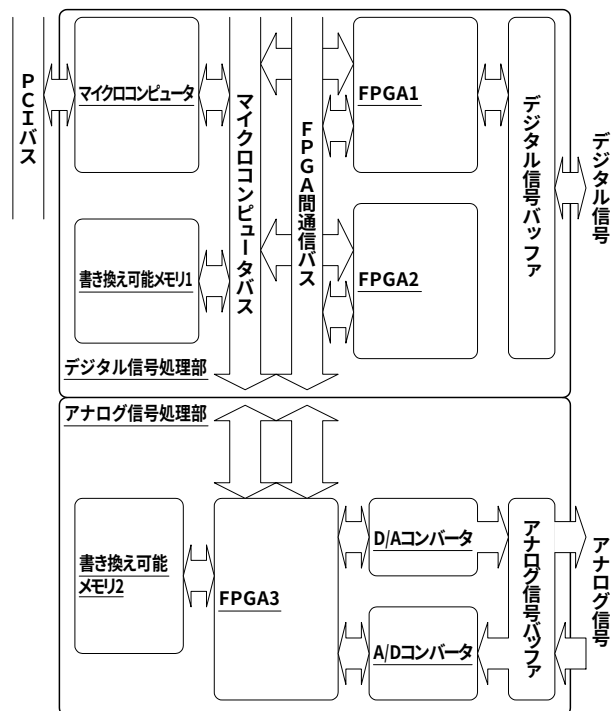


図-3 COREボードブロック図  
Fig.3 Block diagram of CORE board



図-4 COREボード外観  
Fig.4 CORE board appearance

### 3. 1. 2 インターフェース

EWS版や初代CRAMASのインターフェース回路部は、複数のインターフェースボードを搭載する専用のラック（インターフェースラック）を用意し、そのラックとPCI計測ラックとをケーブルで接続する構成であった。

この構成の欠点は、PCI計測ラックとインターフェースラックとを接続するケーブルの本数が多くシステム全体が煩雑となり、またラックを2台必要としたため広いスペースが必要であった。そこでCRAMAS 2001では、これらのラックを一体化し、小型化・省スペース化を図ると共に、ユーザにとってシンプルな構成となるインターフェースラックを開発した。（図-5）

以下、新型インターフェースラックの特長を記述する。



図-5 インターフェース外観図  
Fig.5 Interface appearance

- ・ 5インチベイ取付けスペース内蔵  
PCI計測ラックとインターフェースラックを一体化する

にあたり、PCI計測ラックの5インチベイ2スロットにインターフェースボードを3枚まで収めることができる小型のインターフェースラックを開発した。これは従来型と比較して体積比で約87.5%減となっており、大幅な小型化を達成した。さらにI/Oポート数を従来型比で約140%増設、後述のインターフェース回路自動設定機能、インターフェースコード識別機能など、利便性の向上も図られている。この小型化・高性能化は、インターフェースボード1枚あたり6層基板・2階建て構造の採用、両面・高密度実装により達成されている。

狭く閉塞されたスペースに高密度な回路を収納するにあたり、発熱の問題をクリアするためインターフェースラック背面に高出力電動ファンを2機設け強制空冷する構造とし、さらに温度検出ICによる過熱検出・過熱保護機能（内部温度70℃で過熱インジケータ点灯、80℃で強制的に回路電源をOFF。）を設けている。

#### ・ インターフェース回路自動設定機能

自動車用ECUのインターフェース回路は、例えば入力インターフェースでも、バッテリー電圧プルアップで受けるもの、5Vプルアップで受けるもの、GNDプルダウンで受けるもの等が存在する。従って様々な用途で利用できるように、以前のインターフェースでは機械式スイッチを各I/Oポートごとに切り替える構造であった。しかし、この方法では手動で設定するためインターフェース回路設定に時間がかかり、また評価対象となるECUを変更する度にスイッチを切り替える必要があった。

新開発のインターフェースラックでは、これら回路設定をCRAMASのGUI(Graphical User Interface)上でユーザが任意に変更できるとともに、その設定内容を自動的に回路に反映する機能を新規に採用した。これによりユーザの負担が大幅に軽減した。

インターフェース回路設定には、通常計測時にはデジタルポートから出力して評価対象に与える信号を、計測開始前にはインターフェース回路設定用信号として用いている。この方式により、インターフェース回路設定用に別途信号線を用意する必要がなく、低コスト化が図られている。

この方式は、通常のデジタル出力ポートに2本の制御線のみで構築される。まず、S信号により、通常の信号経路から回路設定用ラッチ回路へ切り替える。その後、デジタル出力ポートからはインターフェース設定信号を出力し、R信号をアクティブにすることによりインターフェース設定信号をラッチ回路に設定する。このラッチされた信号に従ってインターフェース回路が切り替えら

れることになる (図-6)。

なお、今回開発したインターフェースラックでは、インターフェース回路設定が正しくラッチされたかどうかを通常のデジタル入力ポートに帰還させることにより回路設定のチェックも行っている。

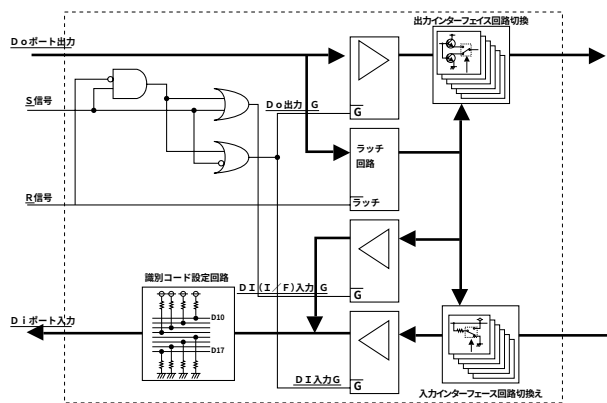


図-6 インターフェース回路切替え部ブロック図  
Fig.6 Block diagram of interface circuit switching unit

- ・インターフェースコード識別機能

同じデジタル入出力用のインターフェースボードでも、ECUや顧客要求に合せて複数の種類が存在してくる可能性がある。誤ったインターフェースボードを選択し、誤った設定をしてしまった場合には、システムやECUを焼損する可能性がある。そこで、誤操作を防止するため、インターフェースコードを識別する機能を付加することとした。

これは、通常のデジタル入力ポートに、オフ時にハイインピーダンスとなるゲート回路を設け、デジタルポート側をプルアップ、もしくはプルダウンする事で前記ゲートオフ時は固定したデータが入力されるように構成し、この入力をインターフェース識別信号として利用する仕組みである。こうする事で、上記のような焼損に至るような誤った使用方法を未然に防ぐ事が可能となっている。

具体的には前述インターフェース回路設定シーケンスの前段階で(図-7)のタイミングチャートに示すようなインターフェースコード読取りシーケンス(S信号:H、R信号:L)を追加している。そのシーケンス時に上記ゲート回路がオフとなるようなロジックを追加(図6参照)し、インターフェースコードを出力させるように構成している。

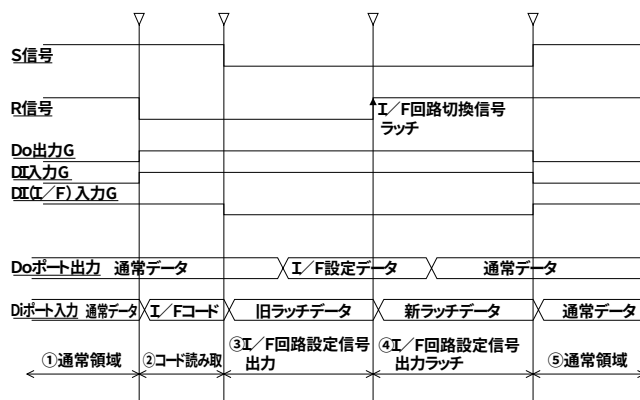


図-7 インターフェース回路タイミングチャート  
Fig.7 Interface circuit timing chart

### 3.2 ソフトウェア部

CRAMASのソフトウェア構成は、次の3部から構成されている。(図-8)

- (1) GUI(Graphical User Interface)部
- (2) DLL(Dynamic Link Library)部
- (3) リアルタイム処理部

GUI部・DLL部は、ホストとなるパソコンのOS(Windows)上で動作し、ユーザからの条件設定や計測データの解析などをグラフィカルに表現する。

リアルタイム処理部は、GRAMAS本体側のOS(RT-Linux)上で動作し、指定された周期でリアルタイムで演算処理する。演算値あるいは計測データは、規定周期毎に

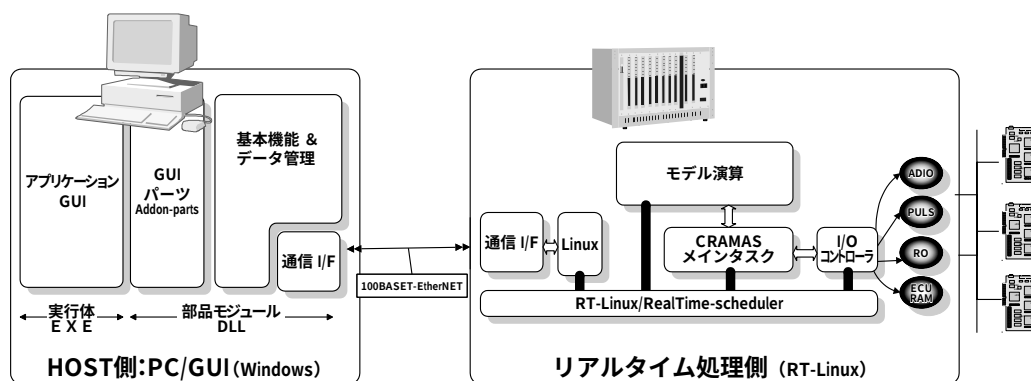


図-8 ソフトウェア構成  
Fig.8 Software configuration

ホストパソコン側に送られ、ユーザはこの計測データをリアルタイムでモニタすることができる。あるいは、任意タイミングでコマンドを送信し、シミュレーション演算の処理状態を操作することができる。

### 3. 2. 1 ホスト側アプリケーション構成

CRAMASのホスト側アプリケーションは、GUI部とDLL部に分類される。GUI部は、ユーザとシステム間で直接対話を行う部分であり、システムの複雑な操作をユーザの直感的な挙動に従って操作でき、また使い慣れたWINDOWS環境での操作方法も実装する。CRAMASアプリケーションは、おもに次の4つのアプリケーションで構成される。

- (1) 「実行環境管理」
- (2) 「パターン編集」
- (3) 「リアルタイムモニタ」
- (4) 「計測データ解析」

CRAMAS 2001では、特に制御・計測対象システムの詳細なデバッグ操作のためのデータ設定と計測データ解析機能を強化し、また、様々な用途に利用できるようユーザー自身で画面をカスタマイズできるような機能も設けている。

(CRAMASの各機能については次章で解説。)

DLL部は、ユーザーがGUI上で操作する各種設定データの管理機能、リアルタイム処理部との通信機能など、CRAMASの基本機能をコンポーネント化したもので、システムの拡張とカスタマイズを容易にしている。GUI部のアプリケーションは、このDLLの持つ基本機能をAPI(Application Programming Interface)を介して利用することでCRAMAS機能を実現する構成である。

### 3. 2. 2 リアルタイム処理部構成

CRAMASのリアルタイム処理部のソフトウェア構成は、大別すると、次ような構成である。(図-9)

- (1) PCIデバイスドライバ群
- (2) I/O値変換・配送モジュール
- (3) モデル演算モジュール
- (4) メインコントロールモジュール

(1)(2)は、CRAMAS本体のメイン機能であり(3)は市販のモデリングツールで構築されるプログラムである。

現CRAMASではシミュレーションモデル開発ツールとしてMATLAB/Simulink(MathWorks社製)に対応している。ホストパソコン側でこのツールを用いてグラフィカルなブロック線図で目的のモデルを作成しCコードを生成する。

これをCRAMAS用にコンパイルしたモジュールをリアルタイム処理部にダウンロードし、(1)(2)のCRAMASモジュールとリンクして運用する。他社のシミュレータツールでは、モデルとハードウェアI/O処理を混同した構築手法のものがあるが、CRAMASではこれをあえて採用せず、物理モデルとハードウェアI/O処理を分離した構成とし、システムの拡張性と汎用性・移植性を考慮した。

(4)は、全モジュールを管理するモジュールである。ホスト側からの計測条件データの受信、計測時のリアルタイムコマンドの解析・処理、および計測データのホスト側への送信などを行っている。

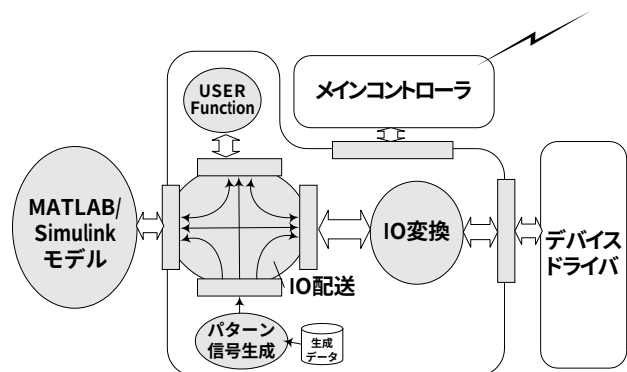


図-9 リアルタイム処理部モジュール構成  
Fig.9 Real-time execution module configuration

#### 《RT-Linuxの導入》

パソコン版開発にあたり、当初CRAMASではリアルタイム処理部のOS(Operating System)に、PC DOS(IBM社製)を採用していた。これは、RT-OS(RealTime-OS)にくらべ安価で馴染みやすく且つ開発のし易さ・様々な過去のツール・開発環境などが利用できるメリットがあったためである。

しかし、CRAMASが多方面で利用されはじめ、複雑で大規模なシステム対応や高速演算対応などの要望が出てくると、従来の16ビット・シングルタスクOSであるDOSで実現していくことは困難となった。

CRAMAS 2001では、リアルタイム処理部にRT-OSの導入を検討したが、市販のRT-OSは開発環境を含むとやはり高価であり、CRAMAS自体の単価も高価となる。

そのような中、サーバ分野等で急速に普及しているLinuxにリアルタイム性を付加したRT-Linuxに着目した。

RT-Linuxは、本来のLinux自身の機能を全く犠牲にすることなく非常に高速な演算が可能である。更に全てのソースコードが公開され、改造・再配布も自由なことから組み込み用リアルタイムOSとして注目されている。

DOS版のCRAMASをRT-Linux上に移植し、DOSとRT-

Linuxのベンチマークテストを行った。その結果を表-2に示す。この結果から、RT-Linuxは、DOSに比べて、演算周期・最小タスク周期共に大幅に高い性能を実現できていることが確認できた。

表-2 DOS / RT-Linuxベンチマーク結果  
Table 2 DOS / RT-Linux benchmark results

| 項目       | RT-Linux      | DOS           |
|----------|---------------|---------------|
| ①モデル演算時間 | 280 $\mu$ sec | 560 $\mu$ sec |
| ②最小タスク周期 | 35 $\mu$ sec  | 200 $\mu$ sec |

※Pentium II 266MHz相当のCPUを使用

RT-Linuxを導入する上で、さらに解決すべき課題があった。

CRAMASの構成は前述の通り、ホストパソコン(Windows)と計測システム側(RT-Linux)に分かれた異なるOS間でのクロス環境である。CRAMASでは、モデルのコンパイルをホスト側で行うために、Windows上で RT-Linux用のプログラムコードを構築するためのコンパイラが必要である。そこで、これもオープンソースである GNU-gcc コンパイラのソースコードを用いて、Windows-Linux のクロスコンパイラを作成した。

#### 4. アプリケーション機能

本章では、CRAMAS 2001の各アプリケーションの主な機能を紹介する。

##### 4. 1 実行環境管理 (図-10)

関連アプリケーションの起動及び、計測・シミュレーション条件などの各種データ設定・登録・管理を行う CRAMASメインの基本ツールである。登録設定されたデータは、テストパターンデータファイルとして保存でき、必要な場面で呼び出してシミュレーションを再現することができる。



図-10 実行環境管理

Fig.10 Operating environment control

また、複数のテストパターンを連続自動運転用のバッチデータとして登録することができる。さらに、これらのデータ群を機種別にフォルダー管理することも可能である。

リアルタイム処理部のI/Oボードの設定や確認、及び COREボードのファームウェアのダウンロードも本アプリケーションから行う。

##### 4. 2 パターン編集 (図-11)

内部で擬似的に発生させる信号波形を時系列データとしてマウスのプロット操作で簡単に作成することができるツールである。直線補間、スプライン、デジタルの波形を拡大／縮小・既存波形と比較しながら編集でき、さらにキー操作による数値入力も可能である。CSV形式のデータ点列であれば自由にに取り込むことができ、Microsoft-Excelなどでデータ点列を作成しこれを取り込むことも逆に貼り付けることもできる。また、他の計測機で取り込んだ実測データもCRAMASパターンデータに変換して扱うことも可能である。

リアルタイム処理部では、パターン信号生成のために 20Mbyte(標準)のメモリ空間を確保している。スプライン波形の場合、開始時に全時刻値のデータをメモリ展開するため、最大 約4分間 (登録10本・生成周期 1msecの場合)の波形生成ができ、直線補間・デジタル信号の場合は、最大約35,790分 プロット変化点最大87,300個 (同条件) 相当の波形生成が可能である。

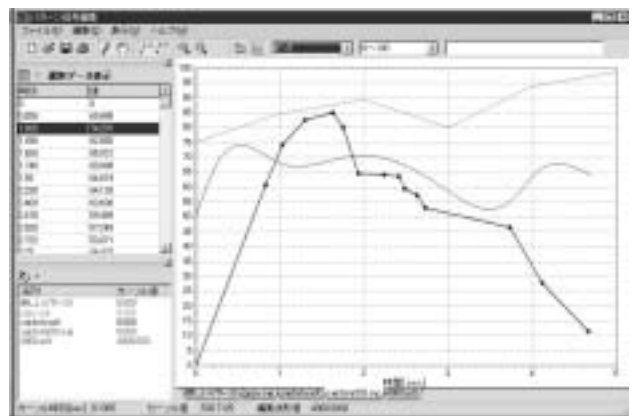


図-11 パターン信号編集

Fig.11 Pattern signal editing

##### 4. 3 リアルタイムモニタ (図-12)

シミュレーション実行時にリアルタイム処理部から転送されてくる計測データを、リアルタイムにチャート表示したり、シミュレーションの実行パラメータを操作することが可能なツールである。

主に次のような機能別のコントロール画面を持つ。

## ①リアルタイムチャート画面

複数のラベルデータをリアルタイムで同一チャート上に表示する。それぞれのラベルデータ表示には、AUTOスケール指定、物理値／論理値表示などを指定できる。

## ②仮想計器（コントロールパネル）

ユーザが独自に、アナログメータやスライダー等のコントロール部品をパネル上に自由に配置して、目的にあった計測・コントロール画面を自由に構築することができる。

CRAMAS 2001では、従来の既存部品に加えて、市販のActiveX部品を取り込むことができるようになったことで、ユーザーニーズにあったコントロール部品をタイムリーに提供できる仕組みとなった。

## ③LEDチェッカ

ECUマイコンのRAM値をLEDライクにビット表示したり、物理量換算で表示するツールである。

CRAMAS 2001では、それぞれのコントロール画面を別モジュールとし、実行時にリンクする方式としている。それによりユーザーニーズに応じて自由にツール構成を変えたり、将来的な機能拡張、ユーザカスタマイズ等に迅速に対応できるようにしている。計測データのビジュアル化に関しては、ユーザーニーズが高いと同時にカスタマイズ性が強く、今後3D-CAD連携や他のデータ解析ツールとの連携も行っていく予定である。

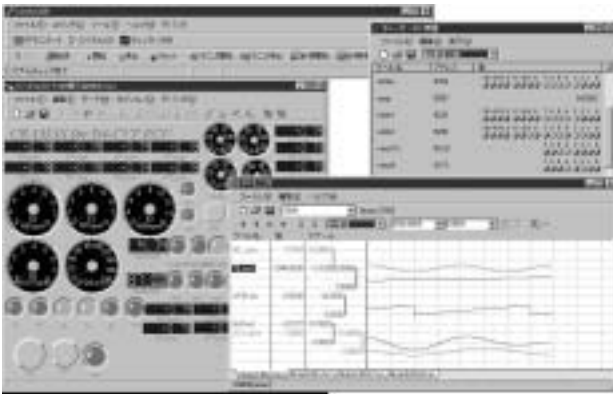


図-12 リアルタイムモニタ  
Fig.12 Real-time monitoring

## 4.4 計測データの解析（図-13）

計測データを詳細に解析するツールである。

指定部分の拡大及び、マウス操作によるカーソル値の表示（チャート上の任意の時刻の値表示）、2点間の時間差と値差、条件一致検索機能など様々な解析機能を装備している。



図-13 計測データ解析  
Fig.13 Measurement data analysis

また、操作面ではおもに、拡大・縮小操作のUndo/Redo（元に戻す/やり直し）機能、表示モード（物理値/論理値16進,10進,2進）に応じたスケールMAX/MIN値表示、リアルタイムモニタとのスケール情報の共用などを行っている。

さらにドキュメント作成ツールとしての機能も強化した。

線幅の指定、計測点のプロット表示、計測点間描画方式指定、チャートへの任意テキストラベル（コメント）の貼り付け、印刷機能強化。これらの機能追加により、デバッグ資料ドキュメント等、実務レベルの資料作成が容易に行えるようになった。

## 5. 応用事例

本章では、CRAMASを利用したシステム事例を紹介する。

## 5.1 CVTシステム（図-14）

「直噴4気筒エンジン・電子スロットル・無段変速機（CVT）の制御用ECU」の開発設計段階において、これまでに使用していた試験装置だけでは、ECUを十分に評価することは困難であった。これは、従来の試験装置では、複雑かつ連続的に変化するCVTの動きに応じた信号を発

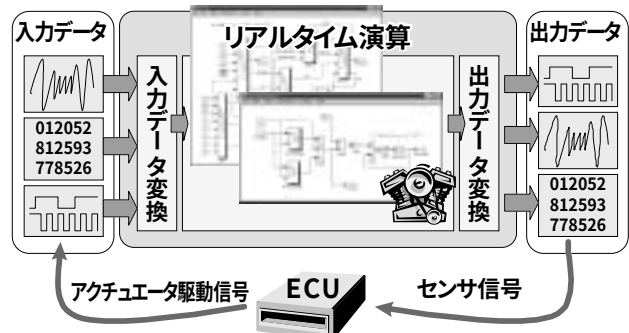


図-14 CVTシステム  
Fig.14 CVT system



生することができなかったためである。

そこで、CVT部分を中心とした実車の挙動を、物理法則に基づいて数式化(モデリング)し、CRAMAS上でリアルタイムにシミュレーションしながらECUの種々の評価を実施できるようにした。結果として、実車試験と同じような状況下でECUを評価することが可能となった。また車両の挙動とECU内のRAM値の動き、制御データとI/O信号の動きを同時に計測し、同一画面上で解析することができるので、ECU制御プログラム設計評価工数を当社では最大60%削減することができた。

## 5.2 ECU製造ライン検査システム

当社ECUの製造検査工程に「CRAMASによる検査」を追加することで、従来の断片的な静的検査から、擬似実車環境下での動的な総合機能検査を行うことが可能となった。本検査では、実車の挙動を数式化したもの(モデル)とECUの入出力信号を相互にやり取りしながら、「エンジン停止状態→スタータをON→アクセルの踏み込みによるエンジン回転数や車速の上昇」等の実車の状況を逐次模擬しながらECUの検査を行っている。

なお、本システムは、当社製造ラインで運用しているライン制御システム(WFLEX)から、CRAMAS-APIを利用する構成になっている。

## 5.3 電源変動試験システム (図-15)

ECU試験規格の電源変動試験波形パターンをCRAMASのパターンエディタあるいは、Excelで作成・登録し、複数の試験項目を昼夜無人で自動運転・判定・データ保存を行うシステムである。ガス封入リレーによる1msec高速電源遮断が可能な専用のインターフェース部を設け、ECUダイアグの読み取り・消去が可能なISO9141通信機能を装備している。本システムにより、従来の試験工数の最大80%が削減できている。

なお、この機能はCRAMASの定型的な試験パターンを

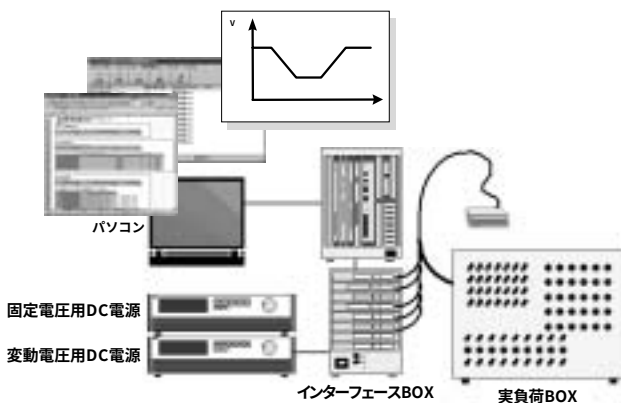


図-15 電源変動試験システム

Fig.15 Power supply voltage fluctuation testing system

あらかじめ設定・登録しそれを逐一実行する「連続自動運転」の機能を応用して実現したものである。

## 5.4 FMEA・ダイアグ仕様デバッグ (図-16)

ECU端子のオープン、GNDショート、バッテリー電圧ショートなどをCRAMASのパターン信号で制御しECUの挙動を確認する事例である。制御中のセンサ信号断線、ソレノイド故障、リレー故障などのダイアグ仕様をデバッグする。

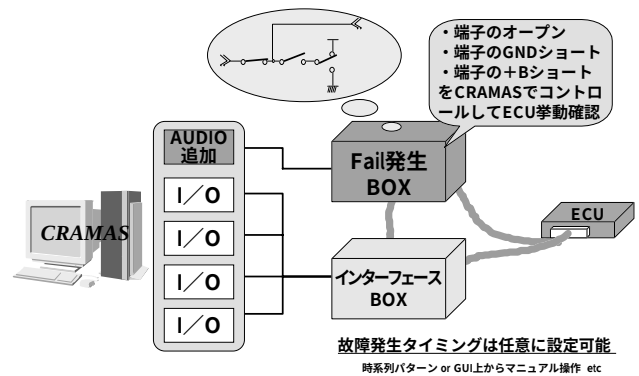


図-16 FMEA・ダイアグ仕様デバッグ

Fig.16 FMEA diagnostic debugging

## 5.4 CAN通信 (図-17)

CAN(Controller Area Network)は、自動車分野で広く使用されている通信プロトコルである。今回、CRAMAS 2001ではPCI-CAN通信ボードを開発し、CANbus上へのデータ送信(ノードシミュレーション)、データのモニタが行えるようになった。

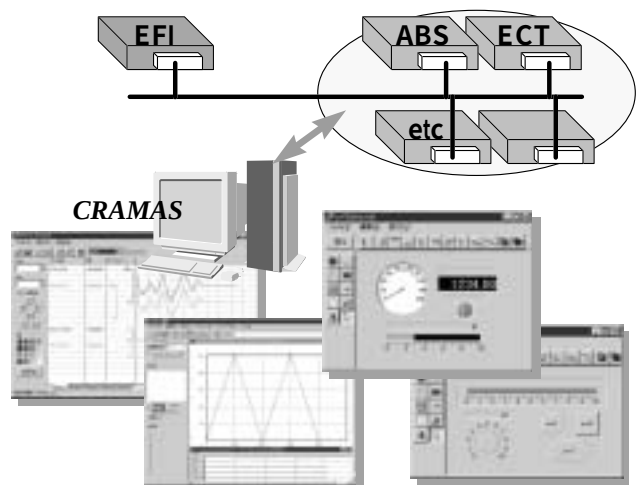


図-17 CAN通信

Fig.17 CAN communications

## 6. おわりに

今回の開発により高速で汎用性・拡張性があり、今後のシミュレーションの大規模化や多種多様なシステムへの対応が可能なプラットフォームCRAMAS 2001ができた。

シミュレーション技術は自動車業界のみならず、他の業界においても今後活用されていくのは明らかである。

今後もCRAMASの更なる高機能化、種々の業界向けアプリケーションの開発を行い、自動車業界および新規の市場にむけ販売を拡大していきたい。

## 参考文献

- 1) 金子編：オープンデザインNo7、PCIバスの詳細と応用へのステップ、CQ出版社(1997)
- 2) 舟木：LINUXリアルタイム計測／制御開発ガイドブック、株式会社秀和システム(1999)
- 3) 斗納他：エンジン制御ECU用高機能ソフトチェッカ、富士通テン技報Vol.15 No2(1997)

## 筆者紹介



**深澤 健 (ふかざわ たけし)**

1980年入社。以来、エンジン制御電子機器の開発、営業技術を経て、2000年より開発支援ツールの開発に従事。現在モータロニクス本部CRAMAS事業推進部SE技術課長。



**山田 典生 (やまだ のりお)**

1976年入社。以来自動車用電子制御機器の開発及び設計支援ツールの開発に従事。現在モータロニクス本部CRAMAS事業推進部IP技術課に在籍。



**安田 武史 (やすだ たけし)**

1983年入社。以来ECT,EFI,ABSなど車両制御システム、及び開発支援ツールの開発に従事。現在モータロニクス本部CRAMAS事業推進部SE技術課に在籍。



**神山 尚也 (かみやま なおや)**

1992年入社。以来、ABSなど車両制御システム、及び開発支援ツールの開発に従事。現在モータロニクス本部CRAMAS事業推進部IP技術課に在籍。