

# 特集 DSP-CIT(Alpha-combo)及びveDYNAを用いた車両シミュレータ\* Vehicle Dynamics Models for HIL Simulation

鈴木 万治  
Manji SUZUKI

稲葉 康宏  
Yasuhiro INABA

鈴木 伸彦  
Nobuhiko SUZUKI

The key technology to reduce ECU development time should be hardware-in-the-loop (HIL) simulation which enables us to do vehicle-less evaluation from the early phase in algorithm development.

Therefore, we tried to build an ABS(Antilock Braking System) HIL simulator with state-of-arts commercial products and in-house utility software. And we found a big potential with the realtime vehicle maneuvering simulator, if we can make a good calibration for vehicle model.

**Key Words** : Vehicle dynamics, Simulation, Hardware in the loop

## 1. はじめに

これまでABS (Anti lock Braking System)などの走行系制御システムは、実車試験中心で開発が行われてきた。そのため、国内や国外の寒冷地での実車走行試験などを含め、高額な開発費用及び長期の開発期間が必要であった。(Fig. 1)

しかし今後、走行系制御システムは適用車種及び製品ラインナップが多岐にわたることが予想され、また「止まる・曲がる・走る」を統合制御することが求められているため、従来の開発手法では質・量ともに対応できない状況が迫っている。

そこで、本研究では実車試験前に机上で実車挙動をシミュレートすることで開発期間の短縮を可能とする「リアルタイム車両挙動シミュレータ」を構築することとした。



Fig. 1 Traditional method of vehicle control strategy

## 2. システムに対する要求

既存のシステムは独dSPACE社製のDSP-CITシステムをベースに構築したもので、リアルタイム処理システムDSP-CIT上に米The MathWorks社製MATLAB / \* 2000年9月27日原稿受理

SIMULINKを用いて記述した自社開発の簡易車両モデルを搭載していた。既存のシステムでは、基本的な車両挙動はシミュレート可能であるものの、以下の点に課題があった。(Fig. 2)

- (1) またぎμ路面等の複雑な路面状況の定義ができない
- (2) 種々のタイヤ特性の変更が困難
- (3) シミュレーション結果がグラフ表示のみで車両挙動を把握しづらい

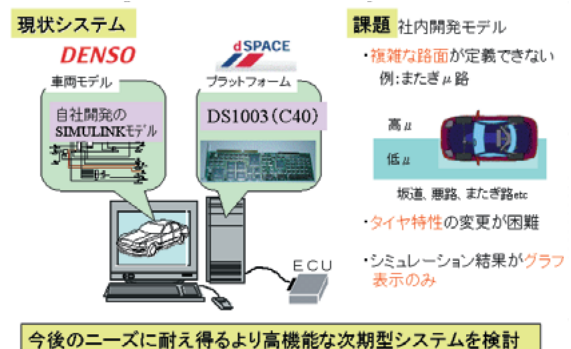


Fig. 2 Required features for next generation

今回、上記の課題を克服すべく次期型システムを検討することとした。以下に今回構築するシステムに対する要求を示す。

### (1) 車両モデル :

複雑な路面の定義、様々なタイヤへの対応等の高機能及び比較的大きな積分ステップにおいても安定する積分アルゴリズムであること。車両モデルの場合、車体のような大きな質量をもつ要素とタイヤのような小さな質量をもつ要素が混在する系であるため、一般

的な積分アルゴリズムを適用した場合には解が発振するケースがあるため、発振を防止するような独自のアルゴリズムを搭載した車両モデルが必須となる。

(Fig. 3)

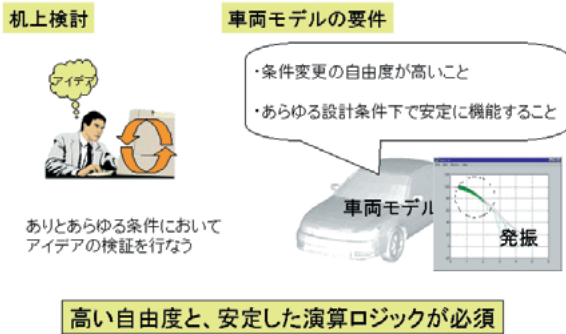
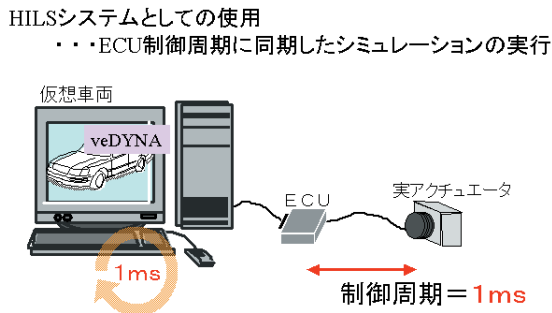


Fig. 3 Requirement #1:Flexible and Stable vehicle model

(2) プラットフォーム：

シミュレータとしてだけでなくHILS (Hardware In the Loop Simulation) システムとしても使用可能なようにモデル全体の演算時間が実アクチュエータと同じ1ms 周期以下で動作すること。モデルの演算時間だけでなく、実アクチュエータとの接続用入出力I/O 処理も含めた状態で全体が1ms 刻みで演算可能な超高速処理システムが必須となる。(Fig. 4)



モデルが1ms周期以下で動作するプラットフォームが必要

Fig. 4 Requirement #2:Execution performance

(3) 可視化ツール：

シミュレーション結果を把握する際に重要となる車両挙動のリアルタイム三次元表示が可能なこと。車両形状データを用意し、シミュレーションデータと車両形状をリンクしてリアルタイムに画面表示することで、シミュレーション実施中に車両挙動を直感的に把握できるシステムが必須となる。(Fig. 5)

グラフ表示だけでは挙動の把握が困難 アニメ表示ができれば一目瞭然

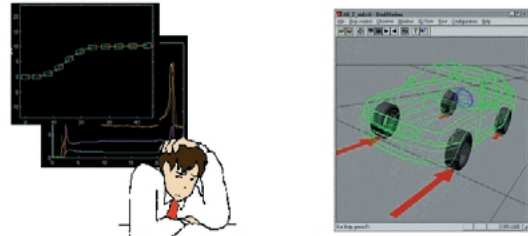


Fig. 5 Requirement #3:3D realtime visualization

3. システムの選定

(1) 車両モデル：

これまで自社開発のSIMULINK モデルを用いていたが、路面の定義、タイヤモデルの詳細化にあたっての課題が多いと判断したため、今後は市販の高性能車両モデルも併用することとした。

現在、いくつかの入手可能な市販の車両モデルがあるが、前述の要求機能をすべて備えかつ詳細なモデル適合が可能となるような多自由度をもった車両モデルとしては独TESIS社の車両モデル「veDYNA」を採用した。(Fig. 6)

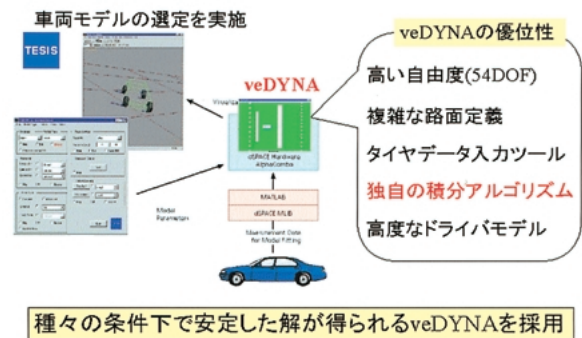


Fig. 6 Vehicle model selection:TESIS veDYNA

veDYNAは「54自由度」という高い自由度をもつ車両モデルで主にS-functionを用いてSIMULINKで記述された高性能な車両モデルである。veDYNA用に3Dの任意形状の路面を定義できる「Advanced road」モジュールが用意されており、他にもタイヤデータ、ドライバーモデル等周辺モデルも充実している。

また、前述した異なる質量要素で構成されたモデルの解の発振防止を防止するための独自積分アルゴリズムもモデル内に実装されている。

更に、高性能モデルの場合に問題になりがちな「各種設定」に関して専用 GUI (Graphic User Interface) が MATLAB で用意されており、極めて短時間で種々の設定が可能となっている。

(2) プラットフォーム：

車両モデル、制御ロジックモデル及びアクチュエータモデルのすべてを 1 ms 周期で計算するためには極めて高性能 CPU が不可欠である。事前検討として米 TI 社 TMS320C40 DSP 採用の DS1003 ボードベースのシステムに暫定版モデルを搭載して実行時間を計測したところ演算周期「約 2 ms」が限界であることが判明した。

そこで当時の CPU では最速の処理能力を誇る DEC Alpha AXP21164 チップを使用した独 dSPACE 社 AlphaCombo (DS1004 + DS1003) を搭載したシステムを検討した。この変更により数倍の処理速度を得ることができ、目標の 1 ms 以下の計算周期を実現可能とした<sup>2)</sup> (Fig. 7)

DS1003ではveDYNAを1ms刻みで実時間実行できない



AlphaCPUを搭載したDS1004(AlphaCombo)を採用

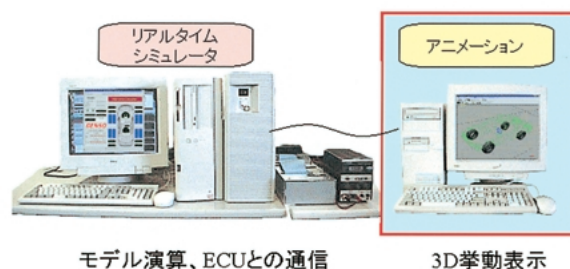
Fig. 7 System selection : dSPACE Alpha-combo

(3) 可視化ツール：

SIMULINK では各変数をグラフ表示でしか確認できないため、各変数の変化から車両の挙動を正確に把握することが困難である。シミュレーション実行中でも直感的に車両挙動を把握するためには、リアルタイムでシミュレーション結果を三次元表示するようなシステムが必須となる。

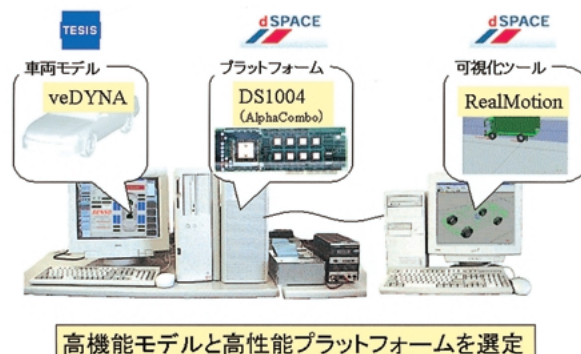
今回、独 dSPACE 社製 Real Motion を採用し可視化専用の PC を追加することで、シミュレーション結果をリアルタイム三次元表示可能とした<sup>2)</sup> (Fig. 8) このシステムの追加により、シミュレーション実行時の不具合を即座に検出できるようになり、実際のシミュレーションに要する工数低減にも有効であった。

上記のように選定したシステムのまとめを Fig. 9 に示す。



3D可視化専用のPCを追加しRealMotionを採用

Fig. 8 3D animator selection : dSPACE RealMotion



高性能モデルと高性能プラットフォームを選定

Fig. 9 Summary of selected model / system / animator

4. 車両モデルの適合

シミュレータで走行系制御システムを検討する場合、全体の精度は車両モデルに依存することになる。

ロジックデバッグ等の用途に対しては全体の挙動を再現可能な比較的ラフなモデルでもよいが、制御ロジック検討やアクチュエータ仕様検討を実施する際には、ある程度の高精度(誤差10%以内)がモデルに要求される。(Fig. 10)

そこで、今回採用した veDYNA を一車両に対して適合し、どこまでの精度を得ることができるかを検討した。(Fig. 11)



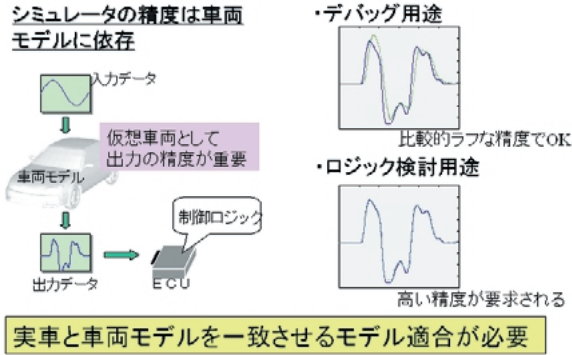


Fig. 10 Vehicle model calibration

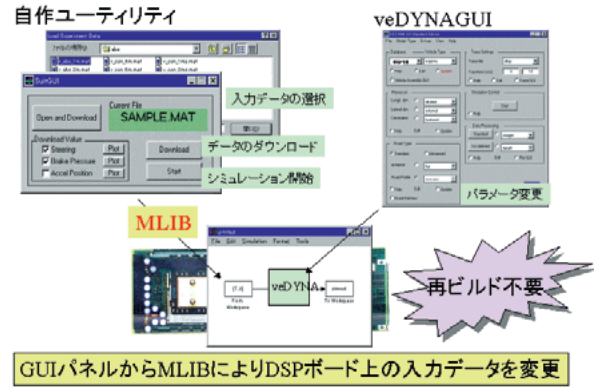


Fig. 12 Development of in-house utility software

vedynaにはロジック検討が可能な精度が求められる

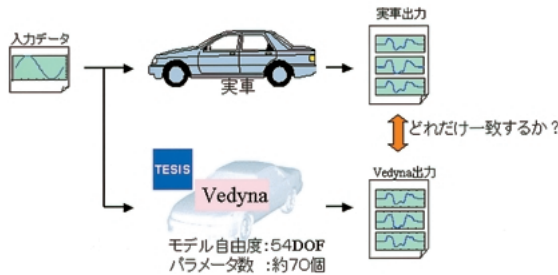


Fig. 11 Validation of veDYNA accuracy

モデルの適合作業は以下のステップで実行される。

- (1) モデル内のパラメータ変更
- (2) モデルを実行形式にビルド(コンパイル)
- (3) ビルドしたモデルをリアルタイムシステム上にダウンロード
- (4) シミュレーション実行
- (5) シミュレーション結果解析

非実時間システムの場合には、上記の工程の(2)と(3)が存在しないため、種々の条件下でのシミュレーションを極めて短いサイクルで回すことが可能となるが、リアルタイムシステムにおいては(2)と(3)の工程が必須となり、veDYNAのような複雑な車両モデルの場合(2)で約5分という時間を要する。

そのため、実際のモデル適合に際してパラメータ変更時間短縮を狙い、dSPACE社製MLIBを活用することで、ブレーキ圧力等の実車計測した入力データをMATLABのワークスペースとDSPメモリ間でデータ転送して直接veDYNAに入力するための簡単なユーティリティを開発した。(Fig. 12)

これにより、従来は変数変更毎に約5分間を要していたモデルの再ビルド(コンパイル)が不要となり頻繁に変数を変更しながら実施する車両モデル適合において、AlphaCombo上でveDYNAを実行させたまま適合条件を変更することが可能となり適合に要する時間を大幅に短縮することが可能となった。

今回はveDYNAを用いた初めてのモデル適合であり、veDYNAのモデル構造および各変数を変更した場合の全体への寄与度が把握できていなかったため、前述のユーティリティの開発を含めて目標精度まで適合するためにはかなりの時間を要した。

しかし、今回の一連の作業により「モデル適合手法」をまとめることができたため、次回からは今回の約半分の期間でモデル適合が完了すると見込まれている。

Fig. 13に適合後のveDYNAによるヨーレート、横G、車輪速度の実機データとシミュレーション結果の比較を示す。青線データが実機計測データで、赤線データがveDYNAによるシミュレーション結果である。

Fig. 13から明らかのように、実機計測データに非常に近い結果を得ることができた。ここに示したデータ以外にも車輪のスリップ、ロック挙動やスピン直前のヨーレート、車両前後Gについても実車に近い挙動をシミュレートすることができるようになった。精度も目標の10%以内を満足しており、これにより、走行系システムの制御ロジック検討に十分なモデル性能であることが確認された。

また、シミュレーション結果はRealMotionを用いて三次元のアニメーション表示することにより車両挙動を直感的に把握することも可能である。(Fig. 14)

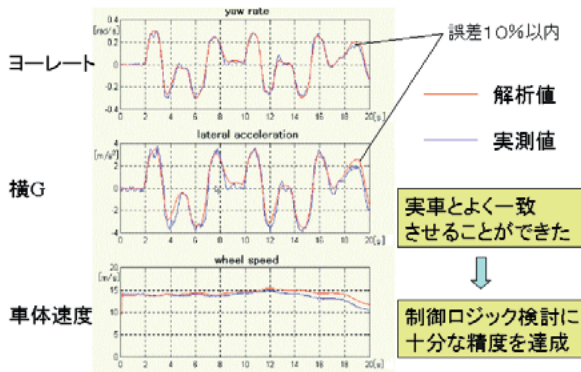
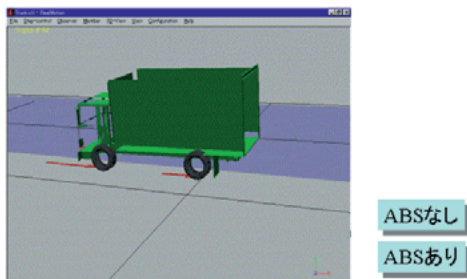


Fig. 13 Comparison ( Simulated vs. Measured )

RealMotionによる可視化例



解析実行中に車両挙動を直感的に把握することが可能

Fig. 14 Easy understanding with 3D animator

なお、車両形状に関しても市販のDXF形式のファイルを用いることができるため、米Viewpoint Visualization社等が販売している車両形状データを購入すればRealMotionで活用することが可能である。(3)  
(Fig. 15)

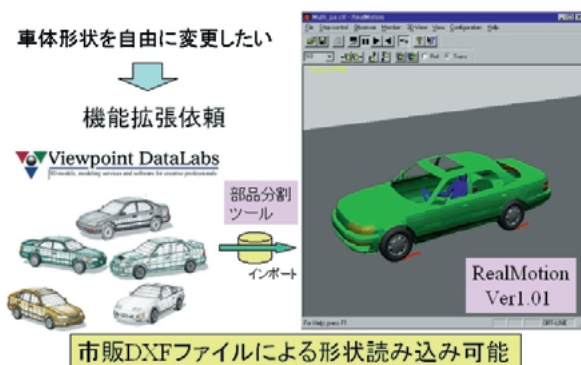


Fig. 15 Using commercial vehicle geometric data

5. まとめと今後の展開

次期型の車両挙動リアルタイムシミュレータとして、車両モデルに「独TESIS社製veDYNA」、プラットフォームに「独dSPACE社製AlphaCombo」及び三次元可視化システムに「独dSPACE社製RealMotion」を選定し、全体システムを構築した。

本システムにより、従来では不可能であった複雑な路面における車両挙動を三次元表示で確認しながらリアルタイムでシミュレートすることが可能となった。シミュレーションの精度も10%以内を確保できたため、実ECUを接続した状態での仮想車両によるECUデバッグだけでなく、仮想制御ロジックと仮想車両による制御アルゴリズム開発にも十分に耐えうるものとなり、車両制御ソフトウェア開発において上流から下流まで広範囲に適用できると考える。

また、今回のモデル適合作業の過程でveDYNAの柔軟かつ直感的な適合性が確認された。今後、本シミュレータを活用することにより実車試験の期間を大幅に短縮することができるだろう。なお現在ツール、モデルのプロト開発が完了した段階であり、今後徐々に量産製品開発に応用していく予定である。

今後、本シミュレータを活用することにより実車試験の期間を大幅に短縮することができるだろう。

なお現在ツール、モデルのプロト開発が完了した段階であり、今後徐々に量産製品開発に応用していく予定である。

今後、本シミュレータを活用することにより実車試験の期間を大幅に短縮することができるだろう。

< 参考文献 >

- 1) TESIS社webサイト <http://www.thesis.de/>
- 2) dSPACE社webサイト <http://www.dspace.de/>
- 3) Viewpoint Visualization社webサイト <http://www.viewpoint.com/>



< 著 者 >



鈴木 万治  
(すずき まんじ)

技術開発センター特定開発室R  
制御系ソフトウェアの新開発プロ  
セス(RDS)開発に従事。



稲葉 康宏  
(いなば やすひろ)

技術開発センター特定開発室R  
車両シミュレータ,リアルタイム  
システム開発に従事。



鈴木 伸彦  
(すずき のぶひこ)

安全走行技術1部 第2技術室  
車両制御ECUの開発環境の企  
画・開発に従事。