

電子制御システム開発効率向上のための車 1 台分 HILS

Full Vehicle HILS for Enhancing Development Efficiency of Electronic Control Systems

河 守 俊 明*
Toshiaki KAWAMORI

酢 谷 慶 治*
Yoshiharu SUDANI

嶋 田 敏*
Satoshi SHIMADA

要 旨

車両に搭載される電子制御システムは、複数の Electronic Control Unit (ECU) による多重通信を用いた機能連携が進み、これらを結合した車 1 台分統合電子制御システムとしての ECU 実機検証は、品質確保の効果を増している。この実機検証の効率向上を目的とし、実車試験に先行して、車載ネットワークを構成するすべての ECU の統合実機検証をおこなう環境として、Honda Electrical Revolution for Control Unit by using Large Examination System (HERCULES) を開発した。これにより、従来に比べ約 3 か月先行して、実機検証ができるようになった。同時に構築した自動運転機能によって、試験期間を 1/2 以下に短縮した。

ABSTRACT

Electronic control systems mounted in vehicles are increasingly functioning cooperatively by means of multiple communication that uses multiple ECUs (electric control systems), and verification of actual ECUs as a full vehicle integrated electric control system that links these ECUs is more efficient in securing quality. To increase the verification efficiency, Honda has developed the Honda Electrical Revolution for Control Unit by using the Large Examination System (HERCULES) as an environment that can perform integrated verification of all ECUs that comprise the on-board network, in advance of tests using actual vehicles. This enables verification of ECUs approximately three months earlier than with the conventional method, and automated test operation functions constructed at the same time also reduced the testing period by one-half.

1. はじめに

近年の自動車には安全、環境、快適などの分野に関する高度な要求を満足するために数多くの ECU が搭載されている。これらの ECU は、Fig. 1 に示すような Controller Area Network (CAN) をはじめとする複数の車載ネットワークによる多重通信を用いて、センサ信号の共用や個々のアクチュエータ制御への介入といった機能連携を強化し、車両全体としての高機能化と高性能化を実現している⁽¹⁾。

そのため、車載ネットワーク全体を結合した車 1 台分統合電子制御システムとしての ECU 実機検証 (以下、ECU 統合実機検証) は、品質確保の要として適用が進められて

いる。しかしながら、試作車を主体とした実機検証は、以下のような効率面での課題があった。

(1) 試験タイミング

すべての車種バリエーション (機種、仕向け、グレード、オプション) に対応した各試作車を、開発の初期段階で確保することは困難であり、その結果、ECU 統合実機検証の実施時期は遅れ、試験工程が開発後期に集中する。

(2) 試験期間

特殊な環境下での走行と操作、劣化要素などの現物実現、車両組み付け状態における ECU の電气的特性計測、解析のための同一状況の再現が困難であり、準備と解析を含む試験工程に多くの期間を要する。

*四輪 R&D センター

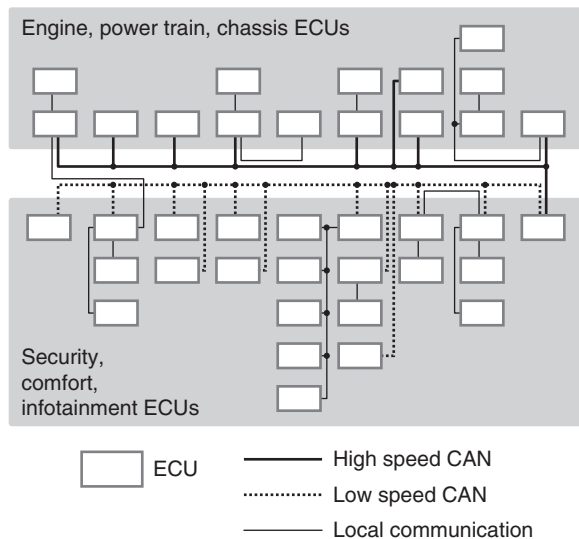


Fig. 1 Example of ECU network

このような課題への対応として、実車を用いずに複数の ECU とそれらの制御対象を台上で接続した静的な実機検証環境や、複数の制御対象を Hardware In the Loop Simulation (HILS) に置き換えた動的な実機検証環境の導入が、欧米自動車メーカを筆頭に進められている^{(2), (3)}。

今回、上記の課題解決に向け、車載ネットワークを構成するすべての ECU の制御対象を HILS に置き換えた HERCULES を開発し、量産車開発工程へ試験適用した。本稿では、その構成と、試験適用で得られた効果について述べる。

2. 開発のねらい

HERCULES 開発のねらいを以下と定めた。

- (1) 車載ネットワークを構成するすべての ECU に対し

て、それらすべての制御対象をモデル化し、実車試験に先行して車両全体の動的な ECU 統合実機検証が可能な環境を構築する。

- (2) 定型的な有人試験条件をデータ化して同一状況の再現性を確保すると共に、試験の自動運転が可能な構成として、試験と解析に要する期間の短縮を図る。

3. システム構成

HERCULES は、Fig. 2 に示すように、車載ネットワークを構成するすべての ECU の制御対象を包括した車両モデルと、走行試験を模擬するための環境、ドライバモデル、また、それらを実時間で演算して ECU へ電気信号として帰還させるプロセッサボードと Input/Output (I/O)、およびそれらの自動運転をつかさどる Host PC にて構成されている。

3.1. ハードウェア

3.1.1. I/O, プロセッサボード, ラック

約 40 の ECU に対応する、以下の I/O を実装した。

- ・デジタル I/O = 828 ch
- ・アナログ I/O = 454 ch
- ・パルス幅変調, 可変抵抗, その他の I/O = 484 ch

これらの I/O と ECU 間の配線上には、意図的な接続故障 (断線, 短絡) を生成するためのリレー回路を実装した。その他、プロセッサボードや電源といったすべてのハードウェアを格納する筐体として、計 7 台のフルサイズラックを用いた。

3.1.2. ECU 電源

車両に搭載されるバッテリーは、劣化や充電状態などの要因から電流負荷による電圧変動が発生する。そのため、

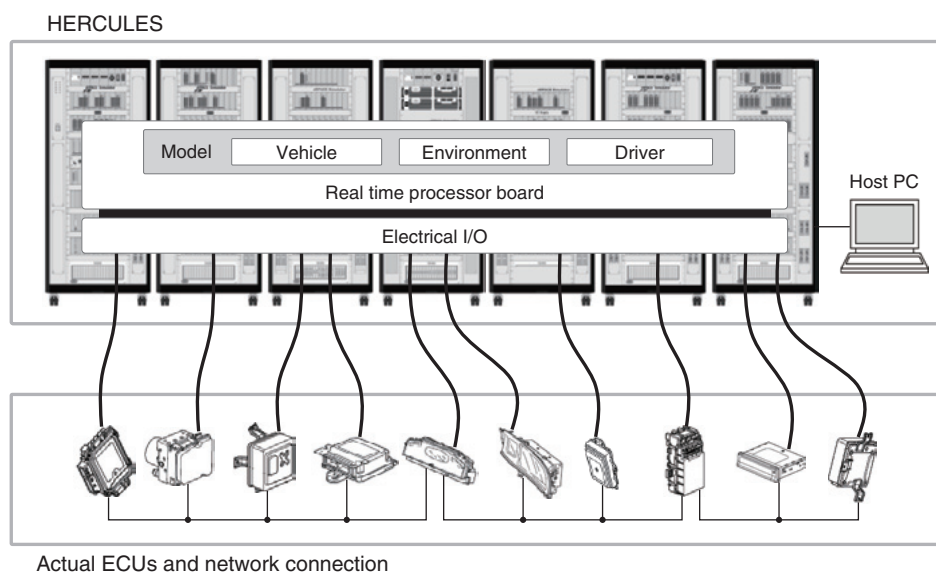


Fig. 2 HERCULES structure

Fig. 3 に示すように実際のバッテリー相当の電圧変動を生成するためのプログラマブル電源を実装した。また、車種ごとに異なる ECU の電源接続構成の変更や、各種ヒューズ抜き状態の再現をするため、ECU ごとに独立したリレー回路を実装し、実車同等のさまざまな電源状態を模擬できるようにした。さらに、ECU 電源の上流配線上に個別の電流計を実装して、ECU ごとの消費電流計測を可能とした。

3.1.3. その他の特徴的な機能

3.1.1. 項で示した標準的な I/O 以外の入出力を有する ECU については、専用の I/O 機能を構築した。例として、大電流や無線通信を取り扱う ECU への対応手法を記す。

(1) パワーレベルシミュレータ Electric Power Steering (EPS) ECU は、モータ駆動のためのパワー回路を内蔵するため、制御対象となるステアリング系の負荷に応じたモータの実電流を ECU に帰還させる必要がある。そ

のため、Fig. 4 に示すように、ブラシレスモータの電气的状態を実時間で演算するための Field-Programmable Gate Array (FPGA) ボードと、演算されたモータ電流を実時間で生成するための電子負荷装置を用いたパワーレベルシミュレータを構築した。

(2) 無線シミュレータ Tire Pressure Monitoring System (TPMS) ECU は、タイヤ各輪に内蔵されたセンサが検出した圧力値を、Radio Frequency (RF) 帯無線信号として受信している。そこで、車両モデルの状況に応じてこれらの信号を擬似生成可能な無線シミュレータを構築した。

3.2. モデル

Fig. 5 に、モデルの全体構成を示す。モデルは車両、環境、ドライバに分かれており、各々がグループ結合されている。

dSPACE 社製のモデルパッケージを基本に、独自の機

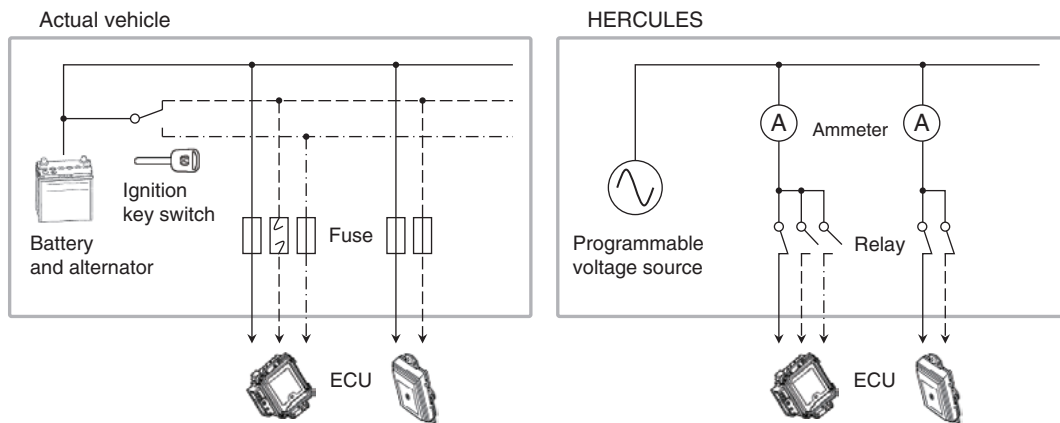


Fig. 3 ECU power supply structure

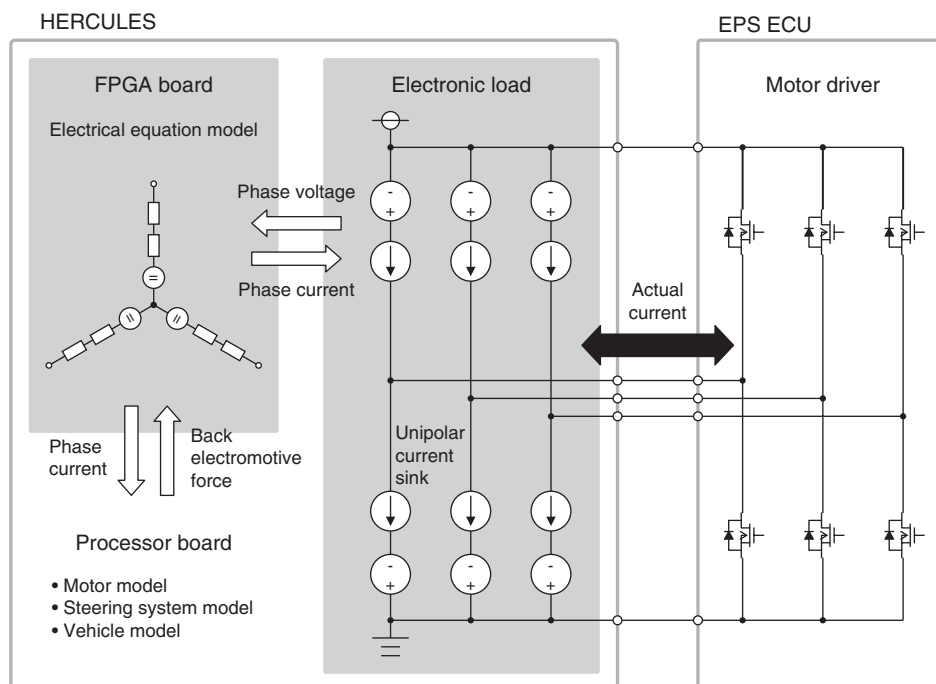


Fig. 4 Power level simulator for EPS ECU

構、ボデー電装に関する不足箇所、および I/O 制御に関する機能を追加した。

3.2.1. 車両モデル

車両モデルは、ネットワークに接続されるすべての ECU 制御対象を含んでいる。モデル作成における精度要件は、すべての制御対象が、ECU の規定する正常範囲内の挙動を満たせる精度とした。特徴を以下に記す。

(1) エンジン補機類 Exhaust Gas Recirculation (EGR), Evaporative Emission Control System (EVAP) を模擬したモデルと、バッテリー状態に影響するオルタネータ、スタータモータのモデルを追加した。

(2) パワーステアリング EPS パワーレベルシミュレータのためのブラシレスモータモデルと、ステアリングギヤボックスのモデルを追加した。

(3) バッテリー 劣化や充電状態による電流負荷に応じた電圧変動を模擬するためのモデルを追加した。

(4) ボデー電装 パワーウィンドウや各種の快適装備に用いられる電動アクチュエータを模擬したモデルを追加した。

3.2.2. 環境モデル

各種の走行状況を模擬するため、コースレイアウトや路面摩擦といった条件を任意に定義可能な構成とした。

3.2.3. ドライバモデル

有人試験条件の置き換えをするため、自律的な車線追従走行 (アクセル、ブレーキ、ステアリングの自律操作) および、走行状況に同期した任意タイミングでの車両装備の操作 (イグニッションキー、各種スイッチ操作) ができるようにした。また、車両の検査工程を想定した外部診断ツールの操作も可能な構成とした。

3.2.4. モデル演算

モデルの基本演算周期は 1 ms とし、高速性を要する箇

所については部分的な反復演算を用いる。7 台のプロセッサボードによる並列演算により実時間で計算する。

3.3. 自動テスト

定型的な繰り返し試験に要する期間の短縮、および操作や計測をおこなう作業時間の削減のため、複数の試験項目を連続で自動運転する機能を構築した。任意の試験条件 (テストパターン) を定義し、それらの実行順序や判定条件を指定することで、結果レポート生成までの一連の作業が自動でおこなわれる。

3.3.1. テストパターン

基本的なテストパターン定義の例を Fig. 6 に示す。ここでは、有人車両走行や操作試験のモード定義に沿って、走行位置もしくは経過時間における車速と装備操作をデータ化する。

3.3.2. 判定条件

車両状態 (モデル変数) や各 ECU の状態出力値は、任意に定義したしきい値、および論理式に基づき判定できる。

3.3.3. 結果レポート

自動テストによって生成された結果レポートの例を Fig. 7 に示す。ここでは判定条件の例として、各 ECU の失陥警告灯表示、シャットダウン後の待機電流、Diagnostic Trouble Code (DTC) ストアを定義しており、各々の結果を ECU 単位で表示している。

3.4. システム概観

完成したシステムの概観を Fig. 8 に示す。検証対象とする ECU および、それらのネットワーク接続は Fig. 8 中央に位置する 2 台の ECU ラックに配置される。検証車種の切替えは、これら ECU ラックの入れ替えにておこなう。

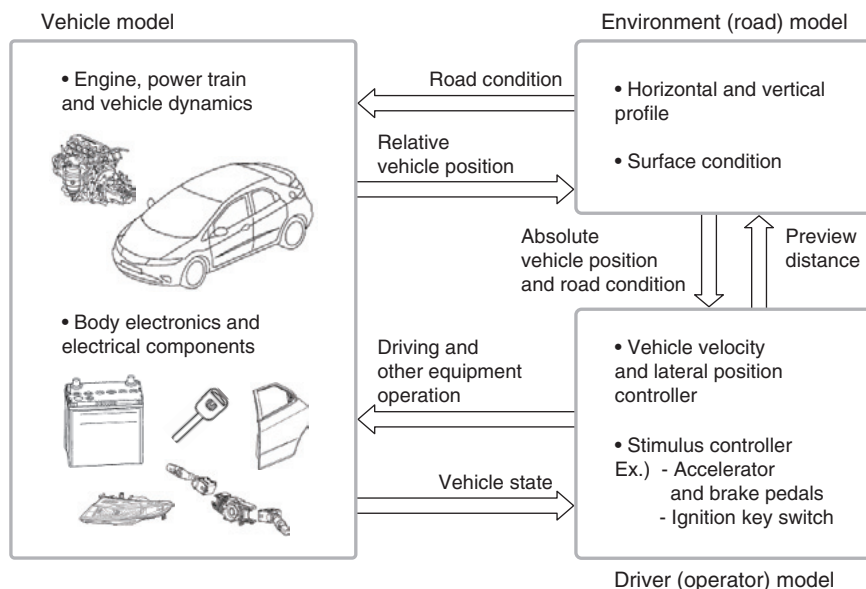


Fig. 5 Model structure

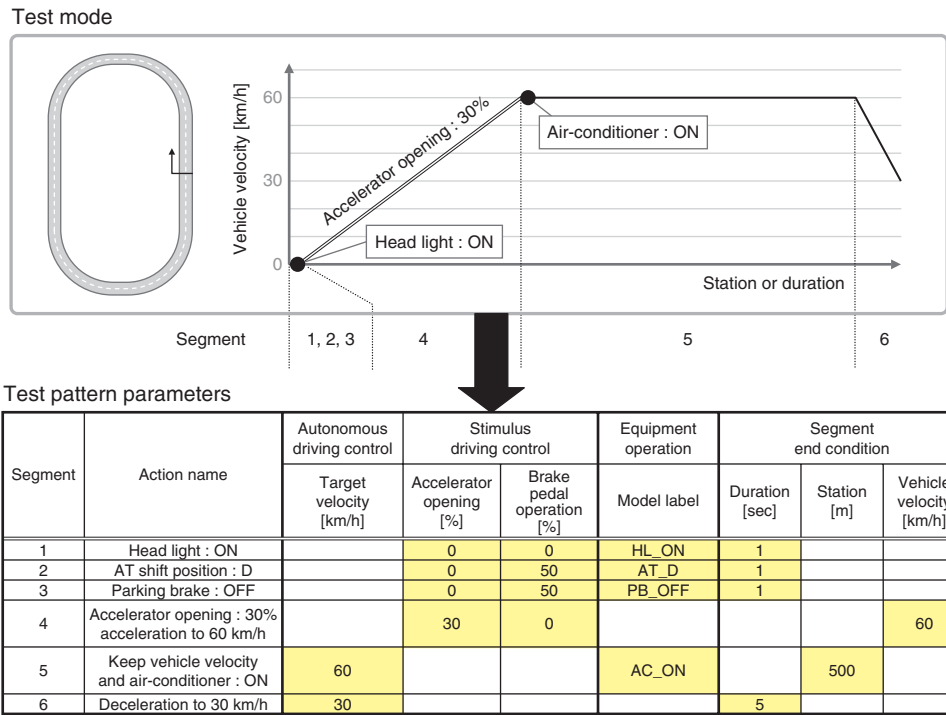


Fig. 6 Example of test pattern parameters

Test pattern No.1

ECU name	Warning lamp	Standby current	DTC
ECU_A	Failed	Passed	Failed
ECU_B	Passed	Passed	Passed
ECU_C	Passed	Passed	Passed
ECU_V	Passed	Passed	Passed
ECU_W	Passed	Failed	Passed
ECU_X	Passed	Passed	Passed
ECU_Y	Passed	Failed	Passed
ECU_Z	Passed	Passed	Passed

Fig. 7 Example of report file

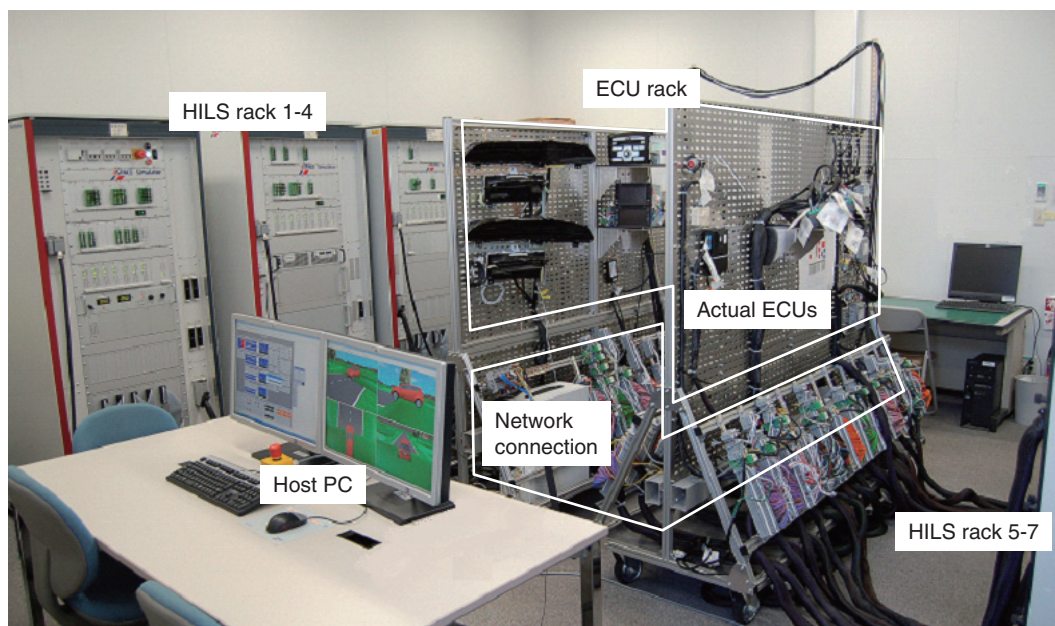


Fig. 8 HERCULES overview

4. システム精度検証

HILS に置き換えられたすべての制御対象が、ECU の規定する正常範囲内の挙動を満たすことを検証した。車載ネットワークを構成するすべての ECU を接続し、動作させた状態での車両モデルの検証事例を記す。

Fig. 9 に、旋回走行時の車両走行軌跡と、横加速度、ヨーレートのモデル演算結果と実車計測結果を示す。この事例では、横加速度とヨーレートのモデル演算結果の相関性が、ECU の規定する正常範囲に収まることを確認した。

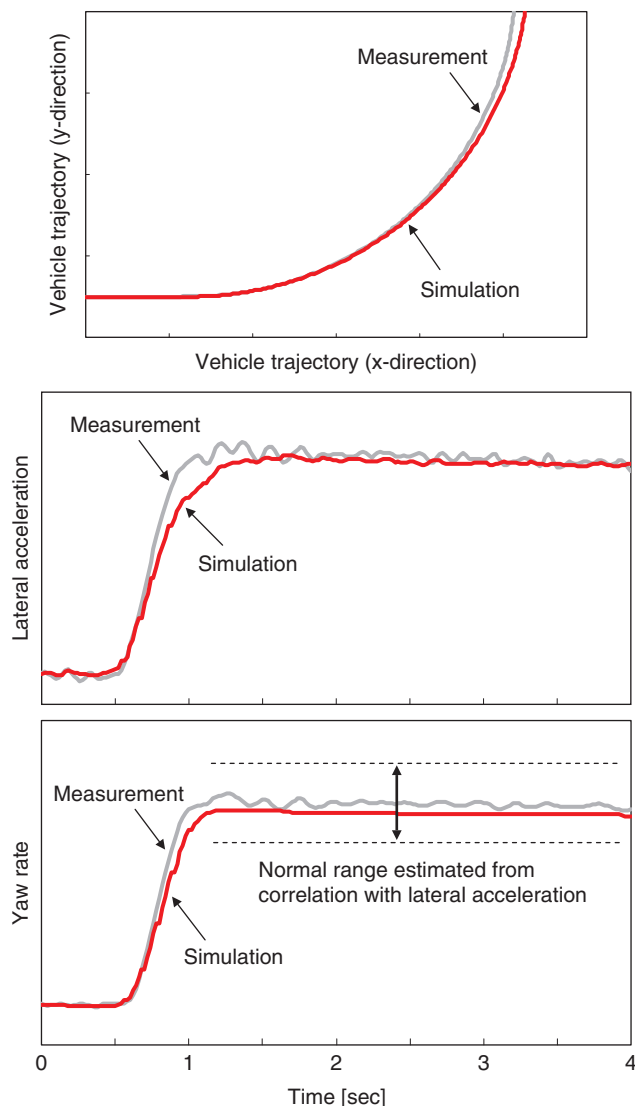


Fig. 9 Example of HILS verification

5. 試験適用効果

2011 年モデル量産車開発工程への HERCULES 試験適用を経て、以下の効果が確認できた。

- (1) 約 1200 パターンの試験項目について、従来の実車試験に比べ、約 3 か月先行して実施できた。HERCULES

は、実車試験で抽出した不具合事象を、同様に、再現および抽出できることを確認した。

- (2) 自動運転機能を用いた昼夜連続運転および、HILS による高い状況再現性、解析容易性から、試験と解析に要する期間を 1/2 以下に短縮できた。

6. まとめ

HERCULES の開発により、実車試験に先行して、実車を用いず ECU 統合実機検証が可能となり、併せて試験期間の短縮が可能となった。今回構築したシステムおよびテストパターンは、拡張性や流用性を備えており、今後、多くの車種に展開することでさらなる効果が期待できる。

参考文献

- (1) Schaeuffele, J., Zurawka, T.: Automotive Software Engineering, SAE International, 408 p.(2005)
- (2) Plöger, M., Sauer, J., Büdenbender, M., Held, J., Costanzo, F., De Manes, M., Di Mare, G., Ferrara, F., Montieri, A.: Testing Networked ECUs in a Virtual Car Environment, SAE Paper, No. 2004-01-1724(2004)
- (3) Heiming, B., Haupt, H.: Hardware-in-the-Loop Testing of Networked Electronics at Ford, SAE Paper, No. 2005-01-1658(2005)

■ 著 者 ■



河守 俊明



酢谷 慶治



嶋田 敏