



プリウス PHV の充電制御 ECU のテストを VT システムで効率化

～リグレーションテストの自動化も実現～

トヨタ自動車株式会社（以下、トヨタ自動車）が 2017 年 2 月に発売した第 2 世代のプリウス PHV において、充電制御 ECU の開発を担当した株式会社豊田自動織機（以下、豊田自動織機）は、テストの効率化や自動化を図るために、ベクターの VT システムおよび vTESTstudio を導入しました。CAN テスト工数の 50%削減のほか、リグレーションテストの自動化も実現。今後はモデルベース開発における MILS プラントモデルの有効活用も進めていく予定です。

◆プリウス PHV の車載充電器の開発を担当

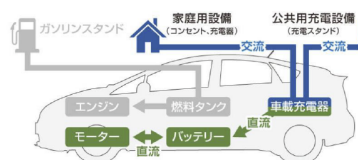
ハイブリッド車の先駆けとなったトヨタ自動車の「プリウス」。1997 年 12 月に第 1 世代が発売されて以来、2017 年 12 月末時点でのグローバル累計販売台数は 654 万台^[*1]を数えています。

当初はハイブリッド仕様のみの設定でしたが、2009 年に発売されたいわゆる「第 3 世代」において、商用電源や充電スタンドから充電できるプラグインハイブリッドモデル「プリウス PHV」が設定されました。

プリウス PHV はその後 2017 年 2 月にフルモデルチェンジが行われ第 2 世代となり、容量 25Ah のリチウムイオンバッテリーだけで最大で 68.2km^[*2]の走行が可能になっています。

◎適用製品：EV/PHV向け車載充電器

家庭用充電ケーブルや公共充電スタンドの交流電源を直流変換して車両の高圧バッテリーに充電する



新型プリウスPHV用
ECU内蔵高機能充電器

図 1. 2017 年 2 月に発売されたトヨタ自動車のプラグインハイブリッド「プリウス PHV」向けに豊田自動織機が開発した車載充電器

このプリウス PHV の車載充電器の開発を担当したのが豊田自動織機です。1926 年 (大正 15 年) 創業の同社はトヨタグループの源流となる企業であり、社名のとおり当初は織物用の機械を手掛けてきましたが、現在は、自動車関連事業、産業車両 (フォークリフト) 事業、および繊維機械事業を展開。このうち自動車関連事業の中では、カーエアコン用コンプレッサーで世界ナンバーワンシェア^{【*3】}を誇ります。

さて、プリウス PHV の充電器は、家庭用コンセントに接続された充電ケーブルや充電スタンドから供給される電力をコンバータ回路を通してバッテリーに充電するという役割を担っており、内部は、充電制御 ECU、バッテリーに高圧直流電力を制御する AC/DC コンバータ回路、AC/DC コンバータ回路を制御するマイコン、充電中に補機類に 12V を供給する DC/DC コンバータ回路などで構成されています。

このうち、本記事では充電制御 ECU の開発を取り上げます。充電制御 ECU は第 2 世代プリウス PHV の車載充電器に搭載され、公共充電設備や他の ECU と協調して車両の高圧バッテリーに充電するなど PHV 特有の機能を担っています。

◆充電制御 ECU のテスト効率化を目指して VT システムを導入

豊田自動織機においてプリウス PHV (第 2 世代) 向け充電制御 ECU の機能テストを始めた当初の構成を図 2 に示します。この図で「被試験 ECU」が充電制御 ECU を表しています。右側の「シミュレーター (内製)」はマイコンで構成された同社内製のツールで、充電インレットに接続される充電スタンドの信号負荷を模擬する機能や、対向する上位 ECU をシミュレーションする機能が搭載されています。

この構成において、被試験 ECU とシミュレーターの対向 ECU とを結ぶ CAN バスをベクターの ECU 開発ツール「CANoe」を用いてモニターし、バス負荷率 (性能) 測定などの CAN 通信テストを行っていましたが、次のような課題があったと技術・開発本部 EC 開発部 開発第二室主担当員の内田 圭氏は述べています。「内製シミュレーターや 12V 電源の操作は基本的に手動で行っていたため、繰り返し試験における再現性に乏しく、試験のやり直しが度々発生するという課題がありました」。

それらの課題を解決するために、同社が導入したのが、ベクターの「VT システム」(図 3) でした。担当者が CANoe に習熟していること、課題となっていた CAN 周りのテストの効率化が見込めること、環境構築が社内ですべて完結すること、などが選定の理由だったそうです。

大規模 HILS (Hardware In the Loop Simulation) を用いる方法もありますが、投資コストが大きいため、今回は選択肢とはしませんでした。

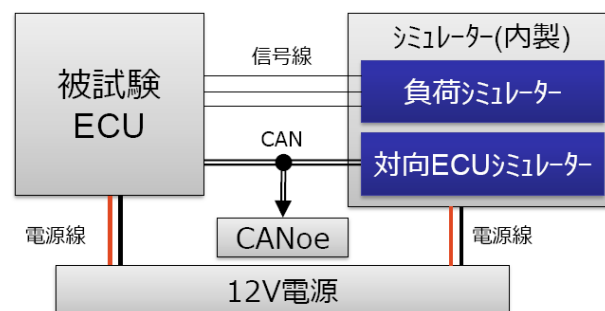


図 2. VT システム導入前のテストシステムの構成

ちなみにベクターの VT システムは、CAN バスを含む各種信号の測定、断線や短絡など信号エラーの再現、実センサーやアクチュエーターとの接続、センサーやアクチュエーターの信号模擬などが可能な I/O インターフェイスで、ネットワークインターフェイスモジュール、電源モジュール、汎用リレーモジュールなど、機能に応じたモジュールを筐体の実装することで、さまざまなテストに対応する環境を構築できます。



図 3. ベクターが提供する I/O インターフェイス「VT システム」の外観

◆負荷シミュレーターや対向 ECU を CANoe + VT システムで置き換え

まず同社では、図 2 において、被試験 ECU とシミュレーター (内製) に与える 12V 電源線の変動テストに VT システムを用いました。OEM の CAN 試験規定により電源線の操作やシーケンスが明示されているためで、テスト効率の向上に加えて、繰り返し試験で再現性の高いテストを実現することが目的です。

続いて、シミュレーター (内製) の置き換えを行いました。「試作の繰り返しに対して、仕様違いのシミュレーターをいつまでも内製していたのでは費用や工数が掛かってしまいます。そこで信号負荷や対向 ECU の模擬も VT システムで行うことにしました」(内田氏)。

それまでシミュレーター（内製）が実現していた機能を VT システムで実現するにあたってはベクターが提供する言語である CAPL を用いて実装。CAN バスの合否判定などにはベクターの「TAE (Test Automation Editor)」が使われました（現在、TAE は後継ツールとなる「vTESTstudio」に置き換わっています）。

成果としては、VT システムの導入によって CAN テスト工数の 50%削減を実現（テストの効率化は継続的に行われており、現在はさらに低減されているとのこと）。また、内製のシミュレーターの開発が不要になったこともメリットとして挙げています。

さらに、被試験 ECU のハードウェア機能テストにおよそ 2 時間を要していたのが 20 分に短縮されたほか、OEM の要求仕様である電源シーケンスなどの再現性やタイミング精度の向上も図れており、より品質の高い開発へとつながっています。

◎ CANoeテスト機能とVTシステムを活用

CAN通信 + 信号線シミュレーションの自動化

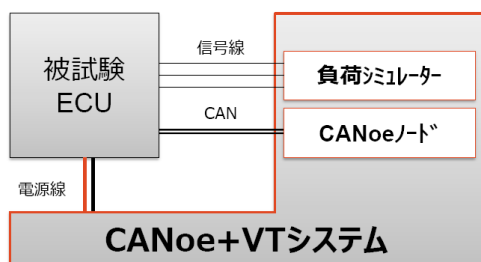


図 4. VT システムを使って効率化を図った構成

◆リグレーションテストの自動化にも適用

VT システムの導入によってテストの効率化が実現できたことを受けて、続いて同社ではリグレーションテスト（回帰テスト）への適用を進めました。

回帰テストは、OEM の要求仕様をベースにしたテスト項目と、実際の使われ方を想定したテスト項目とを合わせたシナリオテストを中心に構成。テストコードの実装にはベクターのテストオーサリングツール「vTESTstudio」が使用されています。ちなみにテスト項目数は数千とのこと（図 5）。

同社では、機能の一時的なデバッグや、仕向け開発に伴う機能追加などを理由に、本来のテストコードのほかに派生的なテストコードが数多く発生するという課題が生じていました。開発では

◎テスト工程とツールチェーン

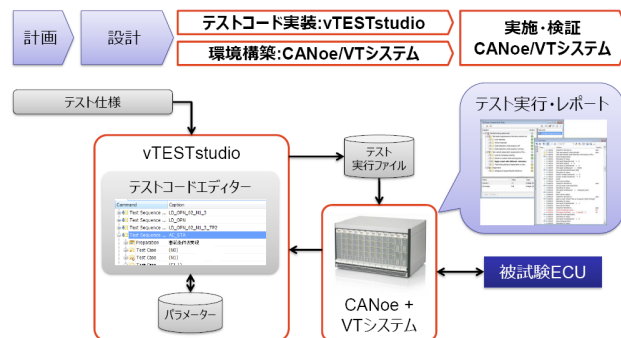


図 5. ベクターのソリューションで構築した充電制御 ECU のテスト工程

そこで vTESTstudio を用いてテストシーケンスをテンプレート化し、外部から与えるパラメータを通じて、実行するテスト項目を選択する方法を開発することでテストコードの「増殖」を防止しました。

結果として、リグレーションテストの効率化を実現するとともに、派生テストコードの抑制による管理の簡素化や実行ミスの抑制などの効果を得ています。

◆ MILS モデルの連携を目指す

同社が新たに取り組むのが、モデルベース開発 (MBD) 導入を目指した MATLAB/Simulink (MathWorks 社) との連携です（図 6）。

◎ Simulinkモデルを取り込んだテスト自動化

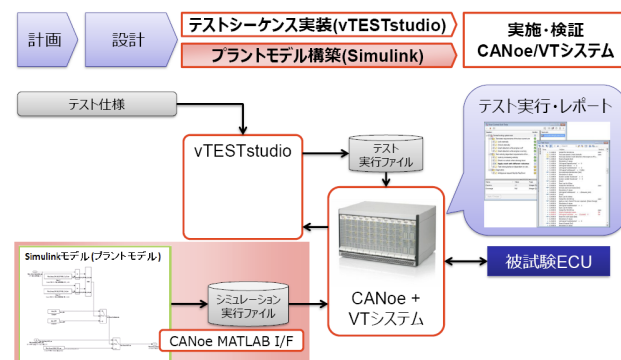


図 6. MATLAB/Simulink による MILS モデルを取り込んだテスト環境

モデルベース開発においては、MILS (Model In the Loop Simulation) 環境で使ったプラントモデルとテストベクターを HILS 環境でそのまま使用できるのが理想です。そこで同社では MATLAB/Simulink で作成した MILS のプラントモデルを、ベ

クターが提供する「CANoe/MATLAB インターフェイス」を介して前述のテスト自動化環境に組み込み、シームレスに開発を行えるようなスキームを検証中です。実際には、HILS のプラントモデルでは CAN 通信の信号に対しモデルの変換を行う必要がありますが、同社では MILS 時からモデルのレイヤー設計の工夫や、信号の命名規則を設けることで変換作業の自動化を行うとのこと

です。

技術・開発本部 EC 開発部 部長の犬塚 浩之氏は次のように述べています。「MILS のプラントモデルやテストベクターを HILS 環境でも使えるようになれば、MILS 資産の有効活用に加えて、HILS 時のテスト結果を基に MILS のプラントモデルの改善ができ、派生開発の効率化が図れると期待されます。その有用性はすでに確認済みで、次の車種の ECU 開発に適用を検討しているところ」。

以上、豊田自動織機における VT システムの活用事例の概要をまとめましたが、今後見込まれる自動運転や V2X（車々間通信・路車間通信）などの実用化を見据えると、ECU の複雑性はさらに増していくであろうことは容易に推測されます。

「難易度が高くなっているというよりも、やるべきことが多くなっているなかで、さらなる効率化をいかに進めていくかが鍵といえます」と犬塚氏は述べています。

ベクターは引き続き、開発や検証を効率化し、サポートしていくソリューションの提供に努めてまいります。

*1：2018 年 2 月 2 日付トヨタ自動車プレスリリース「トヨタ自動車、2017 年の電動車販売 152 万台を達成」から、「プリウス」、「プリウスα (Prius v, Prius +)」、「アクア (Prius c)」、および「プリウス PHV」のグローバル累計販売台数（同社調べ）をベクター・ジャパンにて合計した値

*2：JC08 モードでのトヨタ自動車公表値

*3：豊田自動織機調べ

画像提供元：

表紙画像、図 3：ベクター・ジャパン

図 1、2、4、5、6：豊田自動織機

■ 本件に関するお問い合わせ先

ベクター・ジャパン株式会社 営業部

E-Mail: sales@jp.vector.com