



SUBARU がデジタルツイン環境にベクターのツール群を採用

～高速な FDX インターフェイスで外部 HILS と連携～

株式会社 SUBARU は、車両テストの効率化と新価値創造を目的に、デジタルツイン環境「IVX-D」を構築しました。実 ECU、センサー、アクチュエータなど数百にも及ぶ部品で構成される「電子ベンチ」にベクターの「CANoe」や「VT システム」などを採用。CANoe と外部 HILS との連携には、Ethernet(UDP)ベースで高速にやりとりできるベクターの FDX インターフェイスを選択し、デジタルツインとして高い応答性を得ています。

電子化の深化に向けて開発・テストの効率化を推進

株式会社 SUBARU が誕生したのは 1917 年。航空機の開発と製造を手掛ける中島飛行機製作所として群馬県尾島町（現太田市）で創業しました。

1953 年に富士重工業となったのち、1958 年 5 月に発売した「スバル 360」が国民車として人気を博し、スバルの名前は消費者に一躍知れ渡ることとなります。その後はレオーネ、レガシィ、インプレッサ、フォレスタ、レヴォーグなどを展開。「安心」と「楽しさ」を両立したオンリーワン商品群を提供するトップブランドとして、独自のプレゼンスを誇っています（図 1）。

同社の名前をさらに有名にしたのが、2010 年に販売が始まった安全支援機能の「EyeSight（アイサイト）」です。「ぶつからないクルマ」という分かりやすいキャッチコピーと、衝突被害の軽減もしくは衝突の回避を実現する高い安全性が消費者に受け入れられ、今では安全装備の代名詞として市場から認知されるまでにしました。



図 1. SUBARU の主力車種の大きな歴史

アイサイトの進化 (ver.2 → ver.3 → アイサイト X) に加えて車両全体の電子化を推し進めている SUBARU では、高度化かつ複雑化する ECU の開発およびテストを効率化するために、さまざまな取り組みを行っています。

ECU の機能をモデルで記述するモデルベース開発 (MBSE: Model-Based System Engineering) の導入をはじめ、CAE を活用したシミュレーション、ラピッドプロトタイピング、テストの自動化などがその一例で、V 字プロセスを前倒しするいわゆる「Shift Left」を進めています (図 2)。

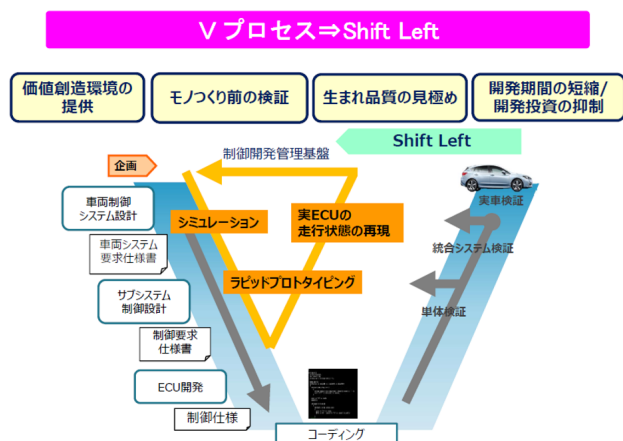


図 2. SUBARU が推進している V 字プロセスと「Shift Left」の考え方

実車のデジタルツイン環境「IVX-D」を構築

さらなる品質の向上とテストの効率化を目的に、同社が構築したのがデジタルツイン環境「IVX-D」(Intelligent Vehicle X-D、X は 10 年後を目指した先行開発の意味、D は「デジタルツイン」および後述の「電子ベンチ」の意味) です (図 3)。クルマ一台分の ECU、センサー、アクチュエータなどを実際のハーネスで結び、設定したコースをクルマの運動モデルに基づいて仮想的に走行し、2D もしくは 3D 画像として表示する、いわゆるドライビングシミュレータを実現したシステムです。

開発の背景について、スバル技術本部 技監の樋渡 穰氏は次のように説明します。

「電動化、ADAS/AD、コネクティビティといった自動車の電子技術の変革に対応しながら品質を担保していくには、統合テストの最終段階において、テストコースで実車（試験台車）を走らせて不具合を見つけ修正していくという従来の手法には限界がきていました。実際に、各部署でテストが終わったすべての ECU を試験台車に組み込んだときに正しく動作しないトラブルも起きていましたので、実車テストの前に、あるいは実車テストと並行して、クルマ全体を仮想的にテストできる環境の構築を目指しました」。

デジタルツインの試み 「IVX-D」

IVX-D: (Intelligent Vehicle X-D) DはDigital Twin、電子ベンチの意味



図 3. 実車のデジタルツイン環境を目指した「IVX-D」の運転席周りの様子

「5 社連携」によって半年強でデジタルツインを実現

IVX-D の構成は図 4 のとおりです。点線より下側は「電子ベンチ」と呼ばれる部分で、クルマ一台分の実 ECU、センサー、アクチュエータ、およびハーネスなどで構成されています。エンジン、トランスミッション、エアバッグなどはダミー素子やモデルで代用していますが、ワイパー、ヘッドランプ、電動リアゲート、インパネ、インフォテインメントシステムなども含んでおり、車種やグレードによりますが数百個の部品で構成されています。

図 4 の点線より上側が IVX-D で追加した部分で、車両の運動モデルを実行する dSPACE のリアルタイムシステム「SCALEXIO」、運動モデルを記述する MathWorks の「Simulink」、走行コースを記述する MathWorks の道路オーサリングツール「RoadRunner」、設定したコースの走行をシミュレーションしビジュアライズする Ansys の仮想ドライビングシミュレータ「VRXPERIENCE Driving Simulator」、車室空間の仮想的なイメージを 3D 映像として生成し VR ゴーグルに投映する「VRXPERIENCE HMI」、制御モデルと連携し、インテリジェントランプを検証可能な「VRXPERIENCE Headlamp」で構成されています。

ドライバー役は、さまざまなシチュエーションが設定された仮想コースを運転したり、ゴーグルに 3D で投映されたボタンやスイッチを仮想的に操作して、クルマの各機能の動作を確認しながら、それまでの単体テストや複数 ECU の統合テストでは見つけれなかった不具合を見つけていきます。

「ベクター・ジャパンのほか、dSPACE、MathWorks、Ansys の各日本法人の尽力もあり、いわば『5 社連携』によって、2020 年 8 月から 2021 年 3 月という短い期間で IVX-D を構築することができました」と樋渡氏は説明します。

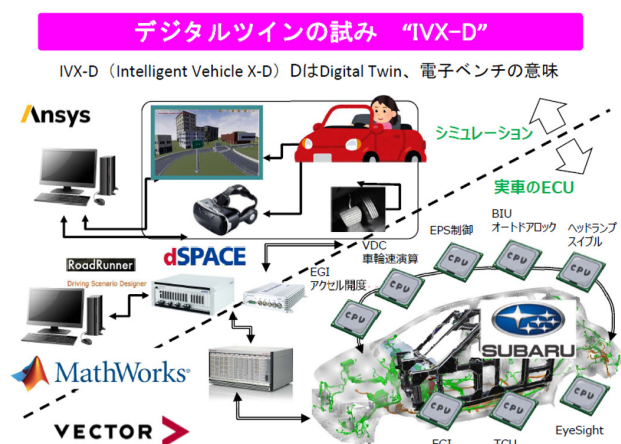


図 4. IVX-D の大まかな構成

IVX-D のコアとなる「電子ベンチ」にベクターのツール類を採用

車両一台分の実部品で組んだ電子ベンチはIVX-Dの前身となるシステムで、量産車の品質向上を目的に、IVX-Dの3年前の2017年に樋渡氏のチームで先行的に構築されました。

ベクターの「CANoe」を中心に、センサーやアクチュエータをI/Oとして接続できるモジュラーハードウェア「VTシステム」、およびテストシーケンスの自動実行ツールであるベクターの「vTESTstudio」を組み合わせ、vTESTstudioで記述したテストシナリオを実行する環境として構成されています。

IVX-Dはこの電子ベンチをベースに構築されました。「電子ベンチでは車両一台分のテストはできるものの、あらかじめ決めたテストシナリオの範囲でしかテストができません。たとえばドライバーが適当なタイミングでステアリングを切りながらアクセルを思いっきり踏んだらどうなるか、といったテストは実車でやるしかありませんでした。シミュレータであればそういったテストも実車を用意することなく実現できると考えました」（樋渡氏）。

IVX-Dの流れは次のとおりです。まず、車両の運動モデルをMathWorksのSimulinkを使って記述しておきます。たとえば、電子ベンチから与えられるアクセル開度に従い、エンジンモデルやトルクマップから回転数とトルクを得て、トランスミッションのモデルで減速し、ディファレンシャルギアのモデルを介してタイヤのモデルに伝え、さらに空気抵抗や転がり抵抗や車両重量などを加えながら車両の加速度を求める、といった流れです。

「車両の運動モデルは、30年以上クルマの開発に関わってきた私の経験などをベースに社内でも開発しました。あまり細かく作り込んで計算量が増えるだけです。実用上問題のない粒度に収めています」と樋渡氏は説明します。

運動モデルはHILSであるdSPACEのSCALEXIOで実行され、ベクターのCANoeからSCALEXIOに渡されたアクセルペダルの開度、ブレーキペダルの踏み、ステアリングの切り角などを入力し、車速などの計算結果をCANoeを介してECUに返します。

合わせて、XY座標、ヨー（回転の動き）、車体の向きなどを計算し、それらの情報から走行軌跡を求めてAnsysのツールでビジュアライゼーションを行っています。

UDPベースの高速なFDXインターフェイスで外部HILSと連携

IVX-Dの開発で課題のひとつになったのがシミュレータとしての応答性能でした。テスター（ドライバー）が、アクセル、ブレーキ、ステアリングを操作したときに、実車を運転しているときと近い感覚で画面が更新されるように、系全体の応答時間を設定する必要がありました。

しかし、IVX-Dを開発した当初、画面の更新は1秒間に数回にとどまり、いわゆるカクカクとした表示しか得られなかったそうです。その原因を探ったところ、ベクターのCANoeと外部HILS（dSPACEのSCALEXIO）との間のデータ受け渡しがボトルネックのひとつになっていることが判明しました。

このとき、両者の間でデータのやりとりで使用していたのは、電子ベンチで実ECUをつないでいるCANとは別に設けたCANでした。CANoeも外部HILSもCANを標準で備えていますので、外付け機器や専用プロトコルを用意することなく接続が可能です。ただし、CANoeにおいて、実ECUを接続しているCANと外部HILSとの接続に設けたCANとの間でデータ交換のオーバーヘッドが生じてしまうこと、CANは仕様上ひとつのデータフレームで最大8バイトしか送信できないため、まとまった量のデータの送受信には適さないこと、などが性能の律速要因として考えられました。

SUBARU、dSPACE、およびベクター・ジャパンで対策を協議する中で、ベクター・ジャパンから提案したのが、CANoeとSCALEXIOの間をEthernetで接続する「FDX（Fast Data Exchange）」でした（図5）。オーバーヘッドの少ない軽量なUDP（User Datagram Protocol）でデータ通信を行うため、応答性の課題に対してもっとも適した解決策であるとベクター・ジャパンでは考えました。

FDXサーバーは標準機能としてCANoeに搭載されていますが、ベクター独自のデータ交換フォーマットですのでSCALEXIO側にベクターが提供するFDXクライアントを実装してもらう必要があります。

Fast Data Exchange (FDX): 機能

- ▶ Ethernet (UDP) ベースのCANoe独自のオープンインターフェイス
 - ▶ バスシグナル、環境変数、システム変数の読み書き
 - ▶ CANoeの測定開始/停止を外部アプリから制御
 - ▶ 複数のPCやCANoe RTを利用した分散環境での実行が可能 (単一PC上での連携も可能)
- ▶ 外部アプリ側にFDXクライアントの実装が必要※1。一方、FDXサーバーはCANoeに標準装備されているため定義ファイルの指定のみ

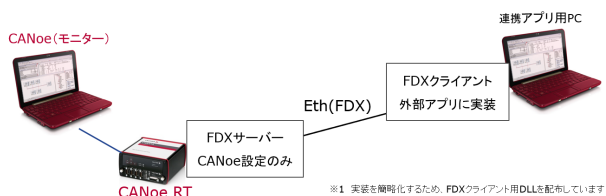


図 5. 外部 HILS 等との高速な通信を実現するベクターの FDX

「ベクター・ジャパンの提案を受けて、dSPACE に対して FDX クライアントの実装や動作検証を SUBARU から依頼しました。dSPACE 側も短期のうちに組み込んで検証してくれたり、市場でときには競合関係にある両社が親身に対応してくれました」と樋渡氏は述べています。

ベクターの CANoe と dSPACE の SCALEXIO 間のインターフェイスを FDX に変更した結果、「運動モデルやビジュアライゼーションなどのチューニングももちろん行いましたが、CAN から FDX への変更が最も効果的で、画面更新のレートが一桁以上速くなり、シミュレータとして違和感のないレスポンスが得られるようになりました」と樋渡氏は評価しています。

テストの効率化に加えて新価値の創造に活用が進む IVX-D

IVX-D は試験台車での実走行テストを補完する役割を担っていて、実際に単体テストや統合テストでは出なかった不具合が見つかったこともあったと樋渡氏は述べています。順列組み合わせ的なテストに加えて、ドライバーのきまぐれな操作やいじわる操作によるテストができるのが、実部品で構成した IVX-D のメリットと言えます。

今後は品質向上だけでなく新機能のコンセプト検証や新価値の創造にも IVX-D を活用していきたい考えです。

樋渡氏は IVX-D の開発を次のように総括しています。「2020 年夏に私が還暦を迎えたことをきっかけに、なにか新しいことをやってみたくて IVX-D を構想し、各ツールの使い方を自分でも覚えながら構築を進めていきました。その過程で『オールジャパン』となるツールベンダー各社の日本法人の皆さんも本当に頑張ってくれたと思います。ベクター・ジャパンの担当者も、FDX を提案してくれるなど、SUBARU が必要としているソリューションを的確に提供してくれたことにとても感謝しています」。

安全思想のもと、アイサイトを含めたさまざまな仕組みによって「自動車事故ゼロ」を目指す SUBARU。電子化と電動化という大きなトレンドの中で、IVX-D のようなデジタルツイン環境の役割はより大きくなっていくでしょう。ベクター・ジャパンは開発やテストの効率化を実現するソリューションの提案、提供に引き続き努めていきます。

また、ベクターのツールと外部 HILS との接続で応答性を望まれる自動車メーカーやサプライヤーのお客様に対して、FDX の提案を進めていきます。

画像提供元:

表紙画像、図 5: ベクター・ジャパン株式会社

図 1-4: 株式会社 SUBARU

Anslys®、及びその他すべての ANSYS, Inc. の製品名は、ANSYS, Inc. またはその子会社の米国およびその他の国における商標または登録商標です。その他、記載されている会社名、製品名は、各社の商標または登録商標です。

■ 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

(東京) TEL: 03-4586-1808 (名古屋) TEL: 052-770-7180

E-Mail: sales@jp.vector.com