



エンジン制御全体をカバーする次世代 RCP 環境を構築

日産自動車の第4世代 MBD プロセスの開発を ETAS が徹底支援

エンジンを制御するソフトウェアは、規模も複雑さも増大し続けています。より高品質な制御ソフトウェアを、より高効率に開発するためには、モデルベース開発 (MBD : Model Based Design/Development) および RCP (Rapid Control Prototyping) を駆使した開発が必要不可欠です。ただし、これまでエンジン制御のような大規模ソフトウェアの場合一部だけしか RCP の対象にできませんでした。日産自動車株式会社 (以下、日産) と ETAS は、制御ソフトウェア全体を対象にした RCP の評価プロセスとツールチェーンの共同開発に挑みました。そして、前例のない大規模なモデルを対象にした RCP を量産プロジェクトに適用できるレベルで完成させました。

段階的な MBD の導入で、制御の大規模化と複雑化に対応
 年々厳しくなる環境規制に対応するため、エンジン制御のソフトウェアは、ますます大規模で複雑になってきました。自動車メーカーやサプライヤ各社は、限られた人数のエンジニアで、厳しい要求に応える制御ソフトウェアの必要に迫られています。日産は、エンジン制御ソフトウェアを、より高品質、より短時間で開発する環境を整備するため、1990年代から MBD の段階的導入に取り組んできました。1999年に導入した「第1世代」では制御の一部をモデル記述し、2006年導入の「第2世代」では自動コード生成の利用拡大と物理モデルと制御モデルを組み合わせさせたシミュレーションを適用し、2013年に導入した「第3世代」では制御アプリケーション全体を「テンプレート」としてモデル化し、社内外で共有する体制を整えました。2019年時

点では、約85%のプロジェクトに第3世代以降の MBD 開発を適用しています。近年では、エンジン制御ソフトウェアのアーキテクチャ刷新にも取り組んでいます。これまで日産では、「N-EMS (Nissan - Engine Management System)」と呼ぶ独自アーキテクチャを採用していました。ただし、アライアンスを組むグループ企業であるフランスの Renault との間にはアーキテクチャの違いがあり、グループ全体を俯瞰すればさらに効率化する余地が残されていました。

また昨今のソフトウェア開発標準化の重要なカギである AUTOSAR も大きく取り入れることで、更なる開発効率化や大幅な開発費削減も可能になります。そこで現在、制御ソフトウェアのアーキテ

クチャと MBD プロセスを、Renault などアライアンス企業間で共有する、AUTOSAR ベースに設計された「A-EMS (Alliance - Engine Management System)」を定義、さらなる効率化を目指す「第4世代」の MBD プロセスとしてアライアンス間のグローバル標準にする取り組みを進めています。

モデルの共用・有効活用を可能にする V & V サイクル
 日産では実際のプロジェクト開発プロセスに沿うように、MBD の V 字サイクルを2つ組み合わせさせた階層的開発プロセス「ダブル V サイクル」を採用しています (図1)。

1つ目の V 字サイクルでは、再利用可能な動作検証済みのソフトウェア部品 (SWC) のモデルを開発します。開発したモデルはアライアンス間で共通のデータベースライブラリに登録し、自社内またはアライアンス企業間の開発プロジェクトで共有して有効利用します。

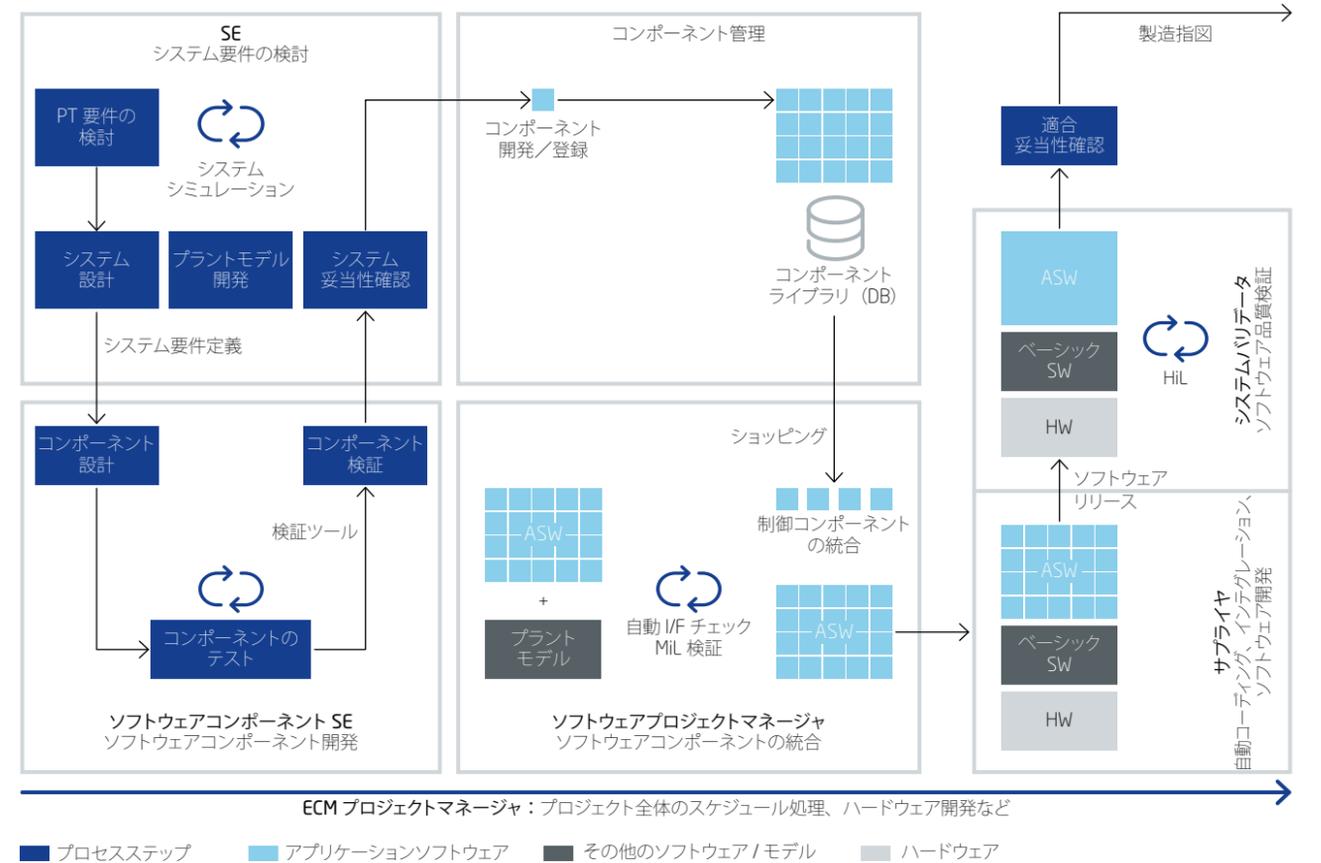
2つ目の V 字では、N-EMS や A-EMS ルール / プロセス に沿って制御ソフトウェアを組み上げます。エンジン性能に大きく影響するアプリケーションソフトウェア (ASW) は自動車メーカーが開発し、自動車メーカーにとっての非競争領域であるベースソフトウェア (BSW) や OS はサプライヤが設計 / 選定します。その際、自動車メーカーはライブラリ中の部品を組み合わせながら「テンプレート」と呼ぶ ASW 全体のモデルを作り、これをサプライヤが選んだ BSW や OS の上に載せて自動コーディングして量産コードを生成。その後、HILS によるリアルタイムでの検証や実際の ECU に実装して適合検証を行います。日産は、第3世代の MBD プロセスの導入以降、制御ソフトウェア全体をモデル化しています。ただし、RCP の対象は、一部の要素だけにとどまっていた。大規模で複雑な ASW 全体を対象にした RCP の環境がなかったからです。日産ではこうした制

御の一部を対象にした RCP を「パーシャルバイパス」と呼んでいます。パーシャルバイパスを行うためには、大規模なモデル全体から RCP の対象を切り出す必要があります。この作業は、とても煩雑なものです。このため、制御開発者からは煩雑な切り出し作業に対する不満が多く、開発効率が向上するはずの RCP のベネフィットは限定的なものでした。こうした状況を解消するため、「エンジン制御全体の ASW を丸ごと RCP 化できる評価プロセスとツールチェーンを、第4世代の MBD の開発と同時進行で整備することにしました」と日産 パワートレイン・EV 技術開発本部 パワートレイン・EV 制御開発部 EMS 制御技術開発グループ 主管の加藤浩志氏は言います。日産では、目指す ASW 全体を対象にした RCP を「フルバイパス」と呼んでいます。フルバイパスが実現すれば、ASW 全体を対象にした HIL テストもしくは実機評価が可能になり、劇的な評価期間の短縮や開発コストの削減が見込めます。また同時に開発している ASW 全体を MIL テストする「フル MIL」環境ともシームレスに繋げる事で、一貫したテストが可能になります。

評価プロセスで使う各ツール間の連携が評価効率向上のカギ
 日産におけるフルバイパスの RCP を実現する取り組みを、より効果的なものにするため、ETAS は 1 つの提案をしました。RCP 以降、開発の最終段階である適合検証まで、評価環境を一元化したシームレスな検証環境の構築を勧める提案です。

日産のパーシャルバイパスの評価プロセスでは、RCP から適合検証に至る評価プロセスで用いる各ツール間の連携に課題を抱えていました。例えば、HILS 上の制御対象のモデルで動作検証した量産ソフトウェアを制御対象を実機に変えて適合検証する際、ケーブルの付け替えで混入したノイズによって量産ソフトウェアが動かなくなる場合があります。こうしたノイズに起

図1：日産のパワートレインの制御開発プロセス「ダブルVサイクル」



因する不具合の原因を探る調査には長い時間を費やすことになり、これが制御開発の品質低下や評価時間の長期化の要因につながる可能性があります。

そもそも、こうしたツール間の連携が円滑に進まない原因は、ツールチェーンを構成する各ツールのベンダーが異なり、扱うデータの仕様や使い勝手がバラバラだったことに起因します。ツールチェーンを同じベンダー製のツールに統一して構成すれば、当然、ツール間の連携がよくなりますし、利用者にとっても同じような使い勝手に複数のツールを使いこなせるメリットがあります。ETASからの提案は、ETAS製のツールだけでツールチェーンを構成することのメリットを説く提案だったのです。

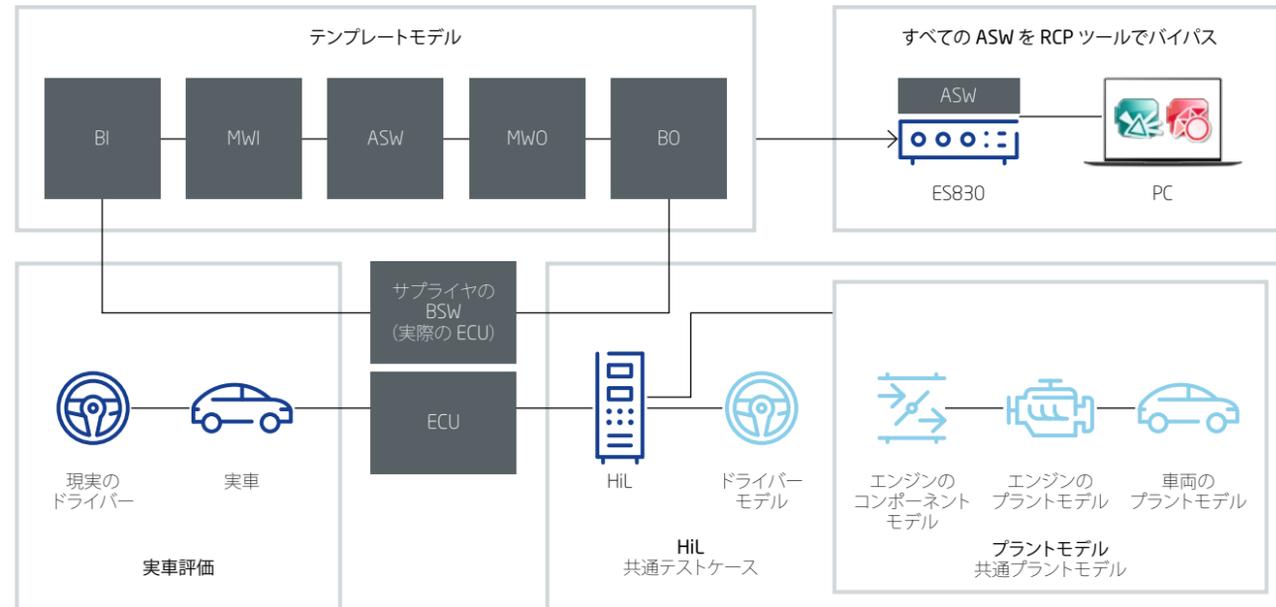
代えがたいツール「INCA」を起点にツールチェーンを統一

日産は ETAS からの提案を合理的であると認めました。そして、ETAS と共同でシームレスなツールチェーンとその活用を想定した評価プロセスを開発することにしました。これは、思い切った決断でした。日産の立場に立てば、単にツールの調達先を統一するだけならば、ETAS 以外のベンダーから調達するという選択もあったからです。しかし、日産には共同開発の相手が ETAS である理由がありました。

まず、ツールチェーンの一角を占める適合検証ツールに、ETAS の「INCA」に代わる機能と性能を持つツールがなかったのです。「MBD」での制御開発プロセスには、他のツールに置き換え難いツールが 2 つあります。1 つは制御開発の最初であるモデル開発で用いる MathWorks 社の「MATLAB®/Simulink®」。そして、もう 1 つがパワートレイン業界の標準ツールとして長年親しんできた INCA です」と加藤氏は言います。特に、グループ会社である Renault は欧州企業であり、開発環境やソフトウェア部品を共有するためには、業界標準のツールである INCA を起点にしてツールチェーンを構成する必要がありますがありました。

さらに第 4 世代のモデルベース開発を進めながら、同時に大規模モデルを対象にするフルバイパスの RCP の環境を開発するためには、日産と一緒に汗を流してくれるパートナーが必要不可欠だったのです。日産は、それができるベンダーとして ETAS を高く評価していました。加藤氏は「多くのベンダーは、自社が提供できる範囲の手持ちの提案をするだけです。これに対し ETAS は、自社が不利になるような客観的判断基準を提示してくれたり、1 つの提案が

図 2：日産と ETAS が共同開発したフルバイパスの RCP 環境



上手くいかない場合には次善の策をすぐに提示したりと、パートナーとして頼りになる期待感がありました」と振り返ります。

ASW 全体を対象にした RCP の開発、4 つのポイント

日産と ETAS が評価プロセスやツールチェーンの整備に際して想定した、フルバイパスの対象となる ASW のテンプレートは以下のように大規模なものでした。モデル数は約 1300 モデル、BSW から ASW への信号数は約 1300 個、ASW から BSW への信号数は約 300 個にも達します。そして、RCP ツール側の A2L ファイルのサイズは約 130MB、HEX ファイルのサイズは約 16MB です。こうした大規模モデルを対象にしたフルバイパス RCP の評価プロセスとツールチェーンを実現する際のポイントは大きく 4 つありました (図 2)。1 つ目は、RCP ツールの処理性能です。ETAS の RCP ツールの中で「ES910」と、検討時に投入されたばかりだった、より高性能な「ES830」が候補になりました。2 つ目は、インターフェースの通信性能です。ASW と BSW の間でやり取りするデータ量を念頭に置いて、ECU のインターフェースとして ETK、XETK、FETK が選択肢となりました。

加藤氏は、ツール選びの過程を振り返り、「当初、それほど高性能なハードを使わなくてもモデルを動かせると楽観していました。ES910 であっても量産 ECU に比べれば遙かに高性能であり、アーキテクチャの構造とインターフェースをスッキリと整理した自負があったので、通信量も必要な処理性能もそれほど大きくはならないと考えていたからです。ところが、ES 910 を実際に試すと、予想外の処理が数多く必要になり性能が全く足りなくなることがわかりました。そこで、ETAS と毎週のように連絡会を開き、代替案やより高性能な ES830 を採用した際の利害得失を議論し、ETAS でもまだ開発の最終段階だった ES830 を先行して使用させて頂き、お互いに開発を仕上げていく事にしました」と語っています。インターフェースも同様に、評価と議論の結果を基に、データ転送が高速な「XETK」を採用し、XETK と CPU のインターフェースを動作可能な最大周波数で使用しました。

3 つ目のポイントは、開発環境を構築する際のスピードアップ、効率化です。アーキテクチャのグローバル標準化などやるべき仕事が多く、手が足りなかったのです。「ETAS の迅速で的確なサポートがなければ、実現できなかった」と加藤氏は振り返り

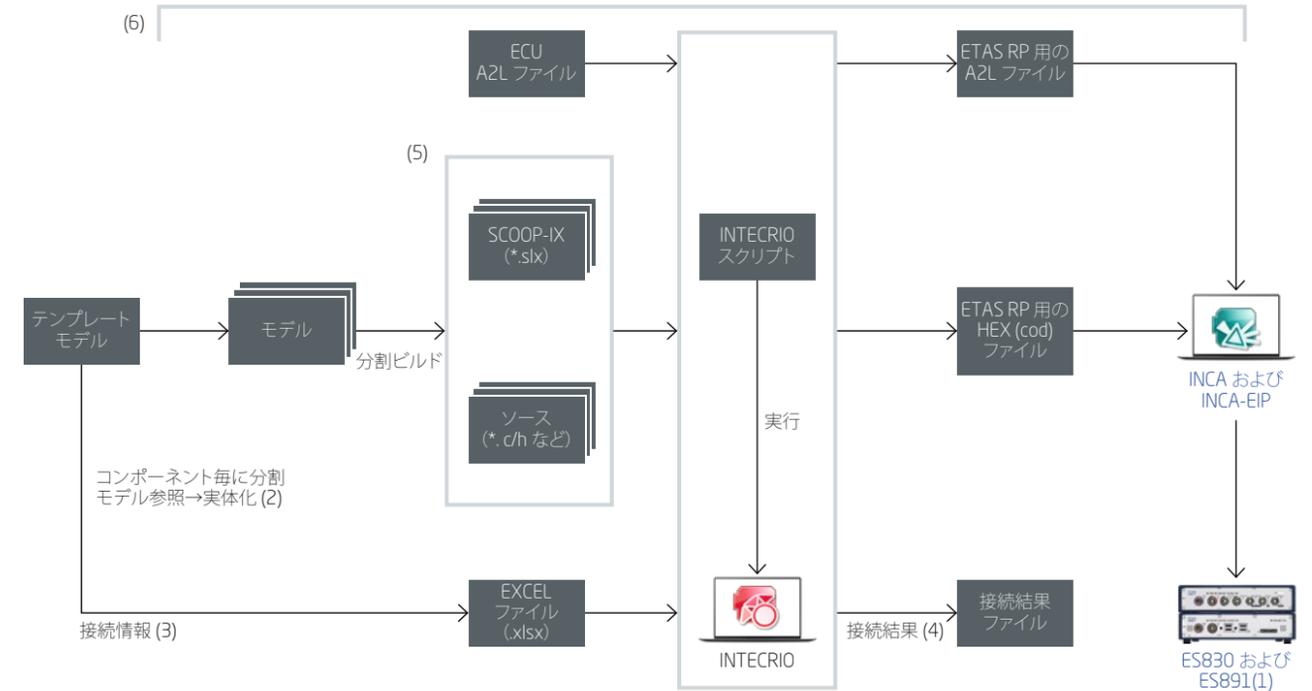


図 3：パートナーとして環境構築のスピードアップ、効率化に貢献

まず (図 3)。まず、ES830 のプロトタイプ版を ETAS から提供してもらい、それを活用することでフルバイパス環境を予定よりも早くリリースできました。さらに、評価効率をより高めるため、モデル変更時に変更部分だけをビルドする仕組み、INTECRIO でのインテグレーションに必要なモデル間の結線情報をテンプレートモデルから抽出する仕組み、未結線ポートの有無など結線結果をチェックする機能、バイパス側の適合変数を ECU 側と同様にラベル名だけで扱えるようにする機能、各工程の処理のスク립トによる自動化なども共同開発しました。

評価の効率を一層向上させるために、チームは協力して次のような一連の機能を開発しました：

- ES830 プロトタイプ版の活用、リリース前倒し (INTECRIO 側対応も含む) (1)
- モデルに変更を加えた場合、開発者は変更された部分だけをビルドすればよいようにするメカニズム (2)
- INTECRIO でのインテグレーションに必要なモデル間の接続情報を、テンプレートモデルから抽出するメカニズム (3)
- 接続結果 (例えば未接続ポートの存在など) をチェックする機能 (4)
- バイパス側の適合変数を ECU 側と同様にラベル名だけで扱えるように変更 (5)
- 各工程の処理をスク립トで自動化 (6)

4 つ目は AUTOSAR 対応です。ASW テンプレートモデルから AUTOSAR ライブラリで BSW にアクセスすることになりますが、一部機能はバイパスするための工夫が必要でした。DCM (Diagnostic Communication Manager)、DEM (Diagnostic Event Manager)、FIM (Function Inhibition Manager) の自動車メーカーとサプライヤのプラットフォーム間でのインターフェースは、現在の A-EMS の定義ではバイパスできません。DCM や COM のコールバックファンクションも同様です。そこで、プラットフォームインターフェースよりも上部をバイパスすることにしました。また、不揮発性メモリへの対応も求められることから、そこを ES830 の機能で代用しました。さらに DEM/FIM は簡易モデルで代用。サプライヤ診断は、FIM の結果をデータモニターすることで FIM 簡易モデルと接続させました。これら AUTOSAR 対応は、理想的には、RCP ツール側が求められると考えています。

共に進化するウイン・ウインのパートナー

日産と ETAS が一丸となって共同開発を進めたことで、エンジン制御のアプリケーション全体をカバーする、前例の無い大規模なモデルを対象にした RCP を量産プロジェクトに適用できるレベルで完成させることができました。

また、使い慣れた INCA のユーザーインターフェースで、計測データを集める感覚でシミュレーションやバイパスができるようになりました。ETAS が評価業務手順やツールの操作法をマニュアル化するなどその利用を徹底支援したことで、現場の技術者はストレスなく、新しい評価環境を活用できているようです。加藤氏は、「既に最新エンジンのプロジェクトに適用を開始し、開発スピードと品質の向上、さらには開発費の削減に効果が見え始めています。今後は日産オリジナル HEV の e-POWER や EV 開発にも拡大予定で、これから本格的に活用する事でさらに明確な効果が発揮されることでしょう」と期待を述べています。

ETAS にとっても、日産とのフルバイパスの RCP の共同開発は、大きなチャレンジでした。時代を先取りする技術要求に応える中で、将来直面する課題を経験し、ES830 など RCP 関連の製品をブラッシュアップできました。こうした自動車メーカーと ETAS のウイン・ウインの関係が原動力となり、自動車開発環境をさらに高度なものへと進化させることでしょう。ETAS では「次世代 RCP 環境の構築」で得た知見を活かし、協調シミュレーションのための統合プラットフォーム COSYM や DOE ツール ETAS ASCMO、実験自動化ツール INCA-FLOW、およびフリーテスト用大容量ドライブレコーダー ES820 と計測データ解析(自動) ツール EATB 等を活用し、日産のさらなる開発効率化に貢献していきたいと考えています。

インタビュー

加藤 浩志 氏、日産自動車株式会社
パワートレイン・EV 技術開発本部、パワートレイン・EV 制御開発部、EMS 制御技術開発グループ主管