



電子制御ユニット (ECU) サプライヤとの共同作業を最適に行うため、PSA・プジョーシトロエンはドライブトレイン ECU の開発プロセスに AUTOSAR を導入することを決定しました。PSA・プジョーシトロエンでは、この導入プロセスを効率的に行うため、アーキテクチャの作成から実際の ECU の実装までの各段階をシームレスにサポートするツールチェーンを構築しました。以来、AUTOSAR 規格に準拠した複数の量産プロジェクトを成功させています。

# AUTOSAR Implemented

TargetLink と SystemDesk による  
AUTOSAR 準拠の量産ソフトウェア開発





PSA・プジョーシトロエンエンジンのECUソフトウェアは、内燃エンジン、ハイブリッドコントローラおよびトランスミッション向けの機能をサポートしています。

### TargetLink/Simulink に基づく実績のあるモデルベースのツールチェーン

PSA・プジョーシトロエンでは、2007年からドライブレイン分野（内燃エンジン、ハイブリッドコントローラおよびトランスミッションアプリケーション）の量産ソフトウェア開発用として、dSPACEの量産コード生成ツール TargetLink® を使用し

シトロエンは、AUTOSAR 規格に準拠した新たな開発環境を構築することで、サプライヤとの協力体制を単純化することができました。この環境の単純化こそ、PSA・プジョーシトロエンがツールチェーンを拡張して AUTOSAR 準拠の開発環境を整備し、専用フォーマットに代えて標準的な AUTOSAR-XML (ARXML) 交換

「PSA・プジョーシトロエンでは、2007年からモデルベース設計アプローチを用いたエンジンマネージメントシステム用のソフトウェア開発に TargetLink を使用しています。TargetLink は、開発プロセスを効率化し、AUTOSAR 準拠コードを作成するために必要な機能を提供します」

Nabile Khoury 氏、PSA・プジョーシトロエン

てきました。量産コードの自動生成を使用する理由には、市場投入時間の短縮や複雑化する車載ソフトウェアへの対応といった一般的な要因の他、PSA・プジョーシトロエン内の他部署から実行可能な仕様として提供されたモデルを実装チームが量産ソフトウェアに変換する手間を省くためという事情もあります。PSA・プジョーシトロエンで最初に使用された TargetLink バージョン 2.2.1 による社内ベンチマークテストでは、開発スピードおよびソフトウェア品質の向上という期待された効果を確認することができました。PSA・プジョー

フォーマットを使用する主な理由です。このために、PSA・プジョーシトロエンでは TargetLink AUTOSAR Module に加えて、その他のツール（特にシステムアーキテクチャツール dSPACE SystemDesk®）も使用しました。

#### 要件から実装へ

ソフトウェア要件は開発の出発点であり、基礎ともなります。ソフトウェア要件は、プロジェクトに応じて定義された2つの方法のうちの1つを使用してワークフローに組み込まれます。

### 1. Simulink/TargetLink モデル

ソフトウェア要件は PSA・プジョーシトロエンが社内開発するモデルに沿った形式で記述され、その後他のチームに提供されてソフトウェア実装が行われます。この場合、モデルはアルゴリズムの実行可能な仕様としての役割を果たします。このモデルには TargetLink によってソフトウェア特性の追加が行われた上で、ソフトウェアに変換されます。

### 2. テキスト形式の要件

ソフトウェア要件は、IBM® Rational® DOORS® などを使用して、従来のテキスト形式で指定することもできます。この場合、実装担当者は TargetLink を使用して実際の制御ロジックおよびアルゴリズムの開発を行います。また、作成したモデルからソフトウェアを実装する場合にも TargetLink を使用します。

### AUTOSAR 準拠の開発プロセス

ECU 向けのアプリケーションソフトウェアのアーキテクチャは、SystemDesk により AUTOSAR に準拠した形式で記述されます。現在、PSA・プジョーシトロエンが保有するエンジン ECU のソフトウェアアーキテクチャは、約 3000 のインターフェースと 300 のランナブルを含む 70 の AUTOSAR アプリケーションコン

ポーネントによって構成されています。ランタイム環境 (RTE) の生成に必要な部分を含むすべての AUTOSAR 仕様は、SystemDesk で完全に使用できます。このデータは、SystemDesk により手動で作成することができます。また、VisuIT! 社の Automotive Data Dictionary (ADD) や既存のモデルから既存のインターフェースまたはランナブルの仕様をインポートすることもできます。

ソフトウェアコンポーネントの機能開発では、最初に AUTOSAR プロパティを SystemDesk (AUTOSAR ARXML ファ

イル) からエクスポートし、TargetLink Data Dictionary に 転 送 し ます。TargetLink ユーザは、これらのプロパティから AUTOSAR フレームモデルを生成し、開発中の制御アルゴリズムをフレームモデルに挿入します(これはトップダウンアプローチと呼ばれます)。現在、AUTOSAR 規格バージョン 3.1.2 が使用されており、すべての PSA コンポーネントは TargetLink で実装されています。

#### モデル設計と自動コード生成

個々の AUTOSAR ソフトウェアコンポーネントを実装するための TargetLink モデルは、次のルールに基づいて設計されます。

- モデルは SystemDesk のソフトウェアアーキテクチャと互換性を持つこと。このルールは、AUTOSAR に準拠したワークフローおよび AUTOSAR フレームモデル生成時にはほぼ自動的に遵守されます。
- モデルはソフトウェア要件を実装していること。機能的な要件に関しては、仕様がモデルとして提供される場合であれば、通常このルールは遵守されています。このようなモデルは、必要に応じて Simulink® から TargetLink に変換するだけで済みます。ソフトウェア要件がテキスト形式である場合、モデル

の妥当性確認は、オフラインシミュレーションまたはその他の手法で行われます。個々のコンポーネントの実装に使用する TargetLink モデルはそれぞれサイズが大きく異なっており、最大 6000 の計算ブロックを含む大規模な SWC モデルも存在します。実際の制御設計では TargetLink ブロックに加え、PSA 専有ライブラリが使用されます。ライブラリはカウンタやフィルタなどの機能を含み、TargetLink のスケールリング値固定機能も部分的に使用されます。高品質なモデルを保証するため、MathWorks®、dSPACE、および PSA・プジョーシトロエンのモデリングガイドラインが適用されます。プロジェクトや複雑性、要求される精度によって、浮動小数点または固定小数点コードのいずれかが生成されます。

#### コンポーネントのテスト作業および統合

PSA・プジョーシトロエンは自社のソフトウェアに完全に責任を負っています。そのため、BTC EmbeddedTester® を併用しながら、TargetLink で SIL (Software-in-the-Loop) および PIL (Processor-in-the-Loop) シミュレーションを行って個々のソフトウェアコンポーネントをテストしています。



PSA・プジョーシトロエンエンジンの ECU ソフトウェアは、TargetLink と SystemDesk を使用して開発されています。

- テストベクトルの自動生成および BTC EmbeddedTester を使用したバックトゥバックテスト  
MIL/SIL/PIL シミュレーションの結果は、いわゆるバックトゥバックテストを使用して、EmbeddedTester によって生成される自動テストベクトルと自動的に比較されます。これは、特にコント





「SystemDesk は、エンジンマネジメントシステム向けのソフトウェアアーキテクチャを AUTOSAR に準拠した形式で効率的に設計できるようにします。また、SystemDesk の統合環境により、当社のアプリケーションが AUTOSAR プラットフォームに統合可能かどうかを検証することもできます」

Zhao Zuo 氏、PSA・プジョーシトロエン

ローラモデルが供給された際にコントローラモデルと TargetLink で実装されたソフトウェアの動作が同じであることを自動的に検証するための非常に有効な手段となります。十分なコードカバレッジが得られることを検証する場合には、変更されたコンディション/デジジョンカバレッジ (MC/DC) の計測も行われます。

#### ■ PIL テストによる必要な ECU リソースのプロファイリング

実行時のメモリ消費量 (RAM/ROM/スタック) を評価する際には、TargetLink PIL シミュレーションによりリソースプロファイルが作成されます。

#### ■ その他のデータを使用した機能テスト

その他のテストケースは、機能要件に基づいて手動で開発するか、または記録

された車両データから作成されます。これらのテストは EmbeddedTester および社内テストツールを使用して実行されます。PSA・プジョーシトロエンでは、コンポーネントのテストを行うだけでなく、テストを行う目的でソフトウェアを統合しています。ECU のソフトウェアアーキテクチャ全体の RTE が SystemDesk 内で生成され、一時的に TargetLink コンポーネントと統合されます (これは事前統合と呼ばれています)。このステップにより、後でサプライヤによって実際の統合が行われたときに問題が発生しないことが保証されます。

#### OEMメーカーとサプライヤの役割

PSA・プジョーシトロエンとサプライヤ間でのタスク分担と成果物のやり取りは次のよ

うになります。

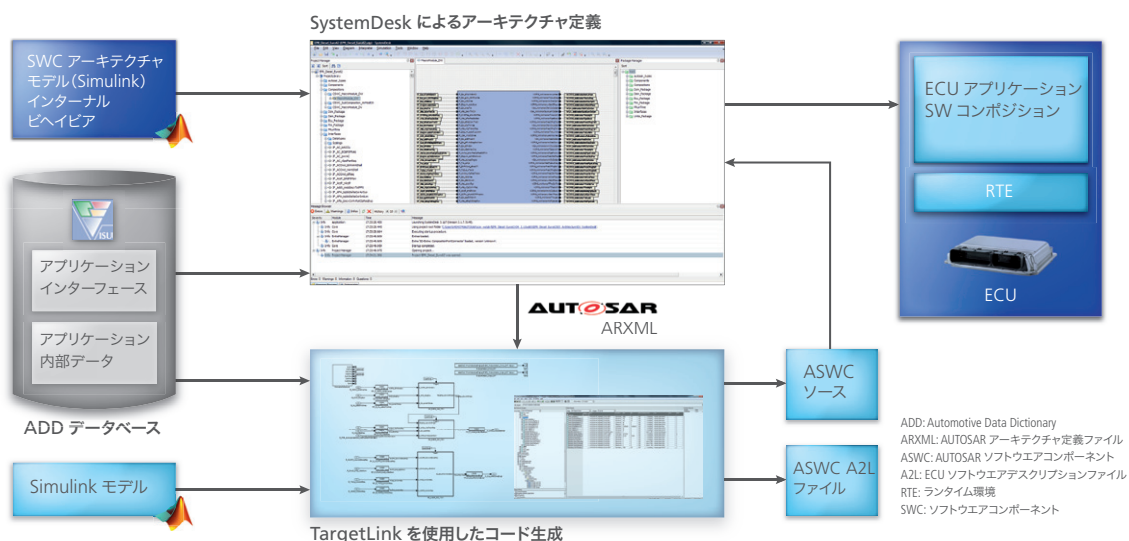
■ PSA・プジョーシトロエンが ECU のソフトウェアアーキテクチャを担当し、これを AUTOSAR ARXML 仕様としてサプライヤに提供します。

■ PSA・プジョーシトロエンが ECU のアプリケーションソフトウェアの主要部分を提供し、また上記の手順を通じて個々のソフトウェアコンポーネントを徹底的にテストします。

■ ソフトウェアコンポーネントの一部は外部開発業者に外注され (「製品としてのソフトウェア」)、PSA・プジョーシトロエンが直接利用できるようになります。

■ IP 保護の観点から、生成されたソースコードはコード難読化ツールによって意図的に読み取られにくい形式に変換されます。これにより、オブジェクトコード

SystemDesk および TargetLink を使用した AUTOSAR ワークフロー





のやり取りは不要となり、ECU サプライヤはコンパイラやコンパイラオプションを自由に選択できるようになります。

- また、ECU サプライヤもアプリケーションソフトウェアの一部の開発に携わります。開発されたこれらの部分は、RTE 生成を使用して、PSA・プジョーシトロエン供給のコンポーネントやベーシックソフトウェアも含めて ECU 上で統合されます。その後、ECU が PSA・プジョーシトロエンに納品されます。

#### dSPACE AUTOSAR ツールチェーンの使用経験

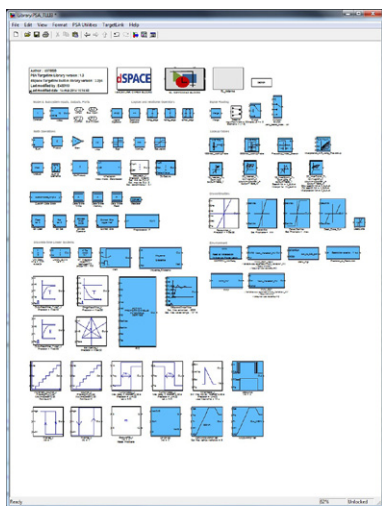
PSA・プジョーシトロエンでは、TargetLink/SystemDesk の組み合わせを使用し始めて以来、10 種類のエンジン ECU、1 種類のトランスミッション ECU、および 2 種類のハイブリッド ECU 向けのソフトウェア開発に成功し、これらを量産レベルに上げることができました。PSA・プジョーシトロエンが作成したアプリケーションソフトウェアの割合は、60% ~ 95% を占めています。ソフトウェア全体の開発は、TargetLink と SystemDesk を使用して行われました。これは、モデルベース設計と自動コード生成が確立した手法であ

ることを示しています。たとえばエンジン ECU の場合、PSA・プジョーシトロエンは、約 50 人の開発者によって作成されたおよそ 1 メガバイトのコードを使用します。現在のプロジェクトでは、Euro 6.2 規格による要件の実装に特に注力しています。このプロジェクトでは、AUTOSAR バージョン 3.1.2 に基づき、TargetLink 3.2 と SystemDesk 3.1 を使用しています。

#### まとめと今後の展望

SystemDesk と TargetLink による AUTOSAR 準拠のツールチェーンは、多くの量産プロジェクトで成功を収めています。SystemDesk は、さまざまなソフトウェアアーキテクチャを便利かつ効率的に設計できるようにします。TargetLink の 2 つの大きな長所には、ソフトウェア実装タスクに特化した機能、および MATLAB®/Simulink® や EmbeddedTester との緊密な連携があります。TargetLink の高度なユーザビリティ、効率的で完全に文書化された自動化 API、および PSA・プジョーシトロエン固有の拡張により、新しいユーザでも非常に短期間で生産的な作業を開始できます。PSA・プジョーシトロエンでは、将来的には AUTOSAR 4、TargetLink 3.5、および SystemDesk 4.1 への移行を計画しています。 ■

Nabile Khoury 氏、Zhao Zuo 氏、  
PSA・プジョーシトロエン  
(PSA Peugeot Citroën)



フィルタやカウンタなどの機能を再利用するための PSA ブロックライブラリ

## まとめ

フランスの自動車メーカーである PSA・プジョーシトロエン (PSA Peugeot Citroën) では、全車種のドライブレイン ECU 向けソフトウェアの開発を AUTOSAR に準拠した環境で行っています。同社は、アーキテクチャソフトウェアの SystemDesk、モデルベース開発環境の MATLAB/Simulink、および量産コード生成ツールの TargetLink で構成されるツールチェーンを使用して、アプリケーションソフトウェアの大部分を自社で開発しています。開発された機能は、まず PSA・プジョーシトロエンによって ECU に実装され、徹底的にテストされます。テスト済みの PSA ソフトウェアコンポーネントは次に、ECU サプライヤ側で開発したアプリケーションソフトウェアの一部とベーシックソフトウェアも含めて、ECU サプライヤによって量産 ECU 上で統合されます。開発プロセスの効率性は、標準化された交換フォーマット、明確に構造化されたコンポーネント、およびシームレスなツールチェーンによって保証されます。

Nabile Khoury 氏  
モデルベース設計スペシャリスト、  
PSA・プジョーシトロエン  
(PSA Peugeot Citroën)  
(フランス、ラ・ガレンヌ＝コロンブ)

Zhao Zuo 氏  
AUTOSAR ソフトウェア  
アーキテクト、  
PSA・プジョーシトロエン  
(PSA Peugeot Citroën)  
(フランス、ラ・ガレンヌ＝  
コロンブ)

