



農機・建機・船舶向けの第 4 世代 ECU を開発 SAE J1939 のサポートを決め手に MICROSAR を選定

ヤンマーホールディングス株式会社（以下、ヤンマーホールディングス）は、農機、建機、および船舶で共通的に使用する第 4 世代 ECU プラットフォームを開発しました。アプリケーションソフトウェアの開発効率化と資産化を図るために新たに AUTOSAR Classic を採用し、ベクターの「MICROSAR Classic」を選定しました。決め手になったのが商用車や建機向けプロトコルの SAE J1939、その J1939 の農機向け拡張機能の ISO-BUS、船舶向け拡張機能の NMEA 2000 のサポートでした。

農機・建機・船舶用の ECU プラットフォームを共通化

同社はヤンマーディーゼルという旧社名からも分かるように、もともとはディーゼル・エンジンに強みを持ち、エンジン単体の供給のほか、農機事業、建機事業、および船舶事業を展開してきました。2013 年には持株会社制に移行し、ヤンマーホールディングス株式会社（本社・大阪府大阪市）の傘下に、農機を扱うヤンマーアグリ株式会社（本社・岡山県岡山市）、建機を扱うヤンマー建機株式会社（本社・福岡県筑後市）、船舶を扱うヤンマーマリンインターナショナルアジア株式会社（本社・大分県国東市）などの事業会社を置いています。

「製品の開発と販売は各事業会社が担当していますが、それぞれで ECU プラットフォームを開発したのでは非効率になってしまいますので、伝統的にヤンマーホールディングスが共通化を図って

開発を担当してきました」と、同社 技術本部 電動電制システム開発部の糟谷明範氏は説明します。

3 つの事業会社が共通的に使用していたのが第 3 世代の ECU プラットフォームでした。いわゆる OS レスで作られていて、各事業会社が製品ごとのソフトウェアを開発して実装していました（表 1 左）。ところが 2014 年頃に、採用していたマイコンが近い将来 EOL（生産終了）になることがベンダーからアナウンスされます。

ソフトウェアの資産化を目的に AUTOSAR Classic を採用

ヤンマーホールディングスはマイコンの EOL 予定を機に第 4 世代プラットフォームの検討に着手します（表 1 右）。アーキテクチャや構成に関していろいろな選択肢があった中で、同社が採用したのが AUTOSAR Classic（以下 AUTOSAR）でした（図 1）。

ECU プラットフォーム		第 3 世代	第 4 世代 ^{〔*1〕}
OS		なし	AUTOSAR Classic (MICROSAR)
演算性能 ^{〔*2〕}		1.0	約 2.5 倍
メモリ容量 ^{〔*2〕}		1.0	2 倍～ 4 倍
製品ごとのソフトウェア		独自構成	SW-C として開発
J1939 対応		○ (自社開発)	○ (MICROSAR BSW)
製品適用 (一部例外あり)	農機	適用済み	2023 年から順次
	建機	適用済み	2023 年から順次
	船舶	適用済み	2025 年から順次

〔*1〕AUTOSAR 搭載は作業機標準コントローラとモータコントローラ (図 7 参照)

〔*2〕第 3 世代 ECU プラットフォームを 1.0 としたとき (図 8 参照)

表 1. ヤンマーホールディングスの ECU プラットフォーム

その理由を糟谷氏は次のように説明します。「将来、ECU プラットフォームが第 5 世代、第 6 世代と進化したときも、その上のソフトウェアをそのまま使い続けられるようにしたいと考えました。また、第 3 世代までは当社独自の作りになっていましたので、ソフトウェアの開発を外部に委託する場合は、仕様のすべてを説明しなければなりません。そうした課題も踏まえ、業界で標準になっているアーキテクチャを採用すべきと考え、AUTOSAR を選択しました」

AUTOSAR についてはあらためて説明するまでもありませんが、車載ソフトウェア開発の効率化や再利用 (資産化) を促進するために定められた、いわゆる標準ソフトウェアの一種です。おおまかには、基本機能を実装した BSW (ベースソフトウェア) と、車種ごとのアプリケーションを実装した SW-C (Software Component) から構成されています (図 1)。ヤンマーホールディングスは、ECU ハードウェア、マイクロコントローラ抽象化レイヤー (MCAL)、BSW などは同社側で開発し、その上のアプリケーションソフトウェア (SW-C) は各事業会社で開発して製品に展開するという青写真を描き、各

事業会社とも協議しながら、2019 年に AUTOSAR の採用を正式に決定します。

SAE J1939 と ISOBUS をサポートする ベクターの MICROSAR を選定

農機・建機・船舶で共通的に使用する第 4 世代 ECU プラットフォームの開発では必須要件がありました。各製品で以前から使われてきた SAE J1939 への対応です。

J1939 は、トラック、トレーラー、バス、建機などを対象にした標準ネットワーク規格で、物理層として CAN を使用し、データレートは 250kbps (J1939/11) または 500kbps (J1939/14) です (図 2)。牽引車両で使われる ISO 11992、農機で使われる ISO 11783 (通称 ISOBUS)、船舶で使われる NMEA 2000 などは、いずれも J1939 の派生規格です。

J1939 では、ひとつの J1939 ネットワークに接続されている各 ECU にそれぞれ固有のアドレスを割り当てる「アドレスクレーム」という仕組みが定められています (図 3)。電源投入後、各 ECU は、通信を行う前に、あるアドレスを CAN メッセージを通じて宣言します。ここで複数の ECU が同じアドレスを宣言した場合は、デバイスネーム上の優先順位の高い ECU にそのアドレスが割り当てられる一方で、優先順位の低い ECU は別のアドレスに変えて宣言を行います。このようなシーケンスによって各 ECU には重複のない一意のアドレスが割り当てられます。

ところが、2019 年当時の AUTOSAR 規格では、J1939 (またはその派生規格) の中で定義されているアドレスクレーム機能が完全にはカバーされておらず、動的なアドレスの変更ができないという制限がありました。

制約のないアドレスクレーム機能を AUTOSAR 上で実現するには、購入した AUTOSAR の機能をカスタマイズするか、AUTOSAR 仕様の枠を超えて J1939 の仕様カバレッジが高い BSW を選定しなければなりません。「J1939 規格に準拠

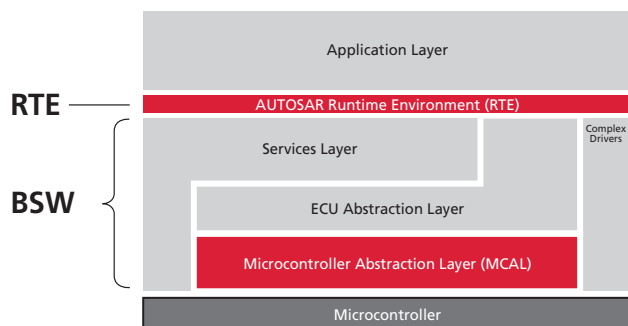


図 1. AUTOSAR Classic の基本的なソフトウェア構造。診断機能や通信ドライバなどの共通部分で構成される BSW (ベースソフトウェア) と、アプリケーションレイヤーとが分離されているのが特長。アプリケーションレイヤーのソフトウェアは SW-C とも呼ばれる

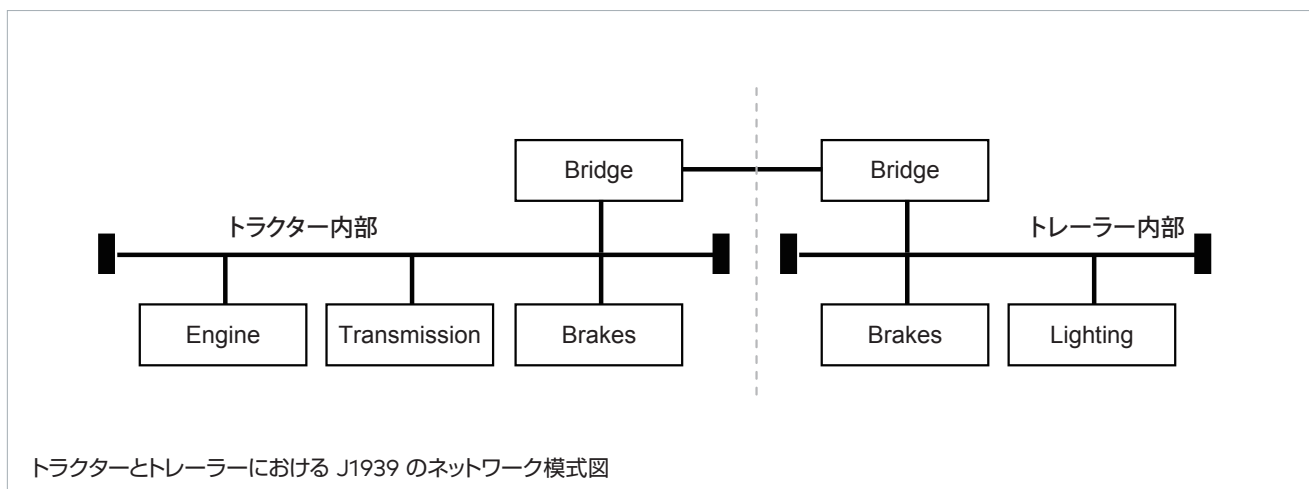


図 2. J1939 ネットワークの模式図

し、動的なアドレス変更にも対応した AUTOSAR を探したところ、私たちが探した範囲ではベクターの「MICROSAR Classic」(以下、MICROSAR) が唯一でした。そのうえ、Fast-Packet などの派生規格で規定された機能が実装済みであった点も大きく、当社が求める J1939 仕様への対応のしやすさが決め手になって MICROSAR を採用することにしました。当初は別のベンダーの AUTOSAR も検討していましたが、J1939 対応のためには追加の開発が必要であり、費用的にも時間的にも難しいと判断しました」と、ヤンマーホールディングス 技術本部 電動電制システム開発部の西川恭平氏は説明します。

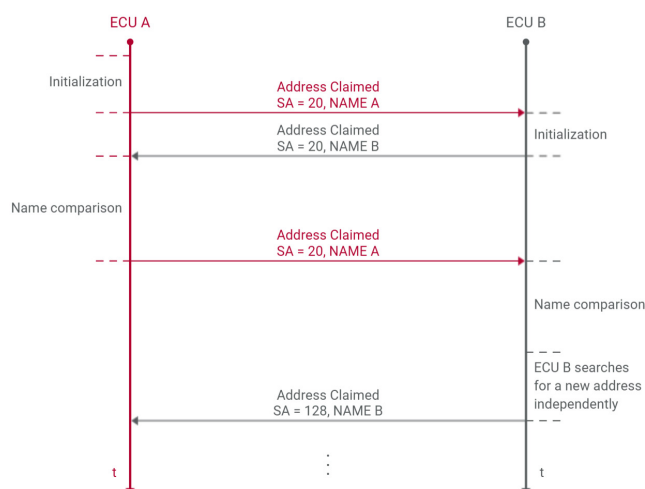
ベクターでは建機や農機などへの適用を想定して J1939 をいち早くサポートしてきました。具体的には、アドレスクレーム

などの機能をサポートするネットワークマネジメントモジュール「J1939Nm」、J1939 プロトコルのリクエスト/レスポンスを処理するリクエストマネージャーモジュール「J1939Rm」、各トランスポートプロトコルを処理するトランスポートレイヤーモジュール「J1939Tp」、診断メッセージを処理するダイアグコミュニケーションマネージャー「J1939Dcm」を MICROSAR BSW として提供しています(図 4)。

ベクターの MICROSAR セミナーを 事業会社の担当者とともに受講

ヤンマーホールディングスにとって AUTOSAR (MICROSAR) は初めてということもあり、第 4 世代 ECU ハードウェアへの基本実装は以前から取引のあった欧州のエンジニアリング会社に委託しました。「当社側でも、AUTOSAR の規格書を読んだり、MICROSAR のソースコードを読んで勉強しました。特に助けになったのがベクター・ジャパンのセミナーでした」と西川氏。各事業会社のアプリケーションソフトウェア開発担当

Address Claim Dynamic



© 2010-2017, Vector Informatik GmbH. All rights reserved. Any distribution or copying is subject to prior written approval by Vector. V2.0

図 3. J1939 におけるアドレスクレーム動作の仕組み。ECU A と ECU B が同じアドレス (この例では 20) の使用を宣言した場合、デバイス名の優先順位の高い ECU A がアドレスを取得したのち、ECU B は別のアドレス (この例では 128) に対して再び宣言を実行する【<https://elearning.vector.com/mod/page/view.php?id=1676>】

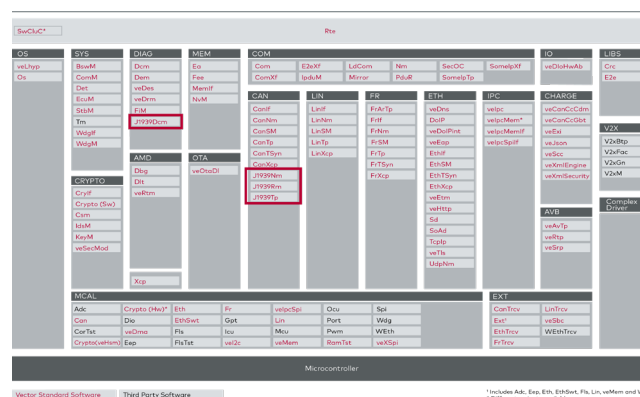


図 4. MICROSAR でオプションとして提供される SAE J1939 のモジュール(赤枠)

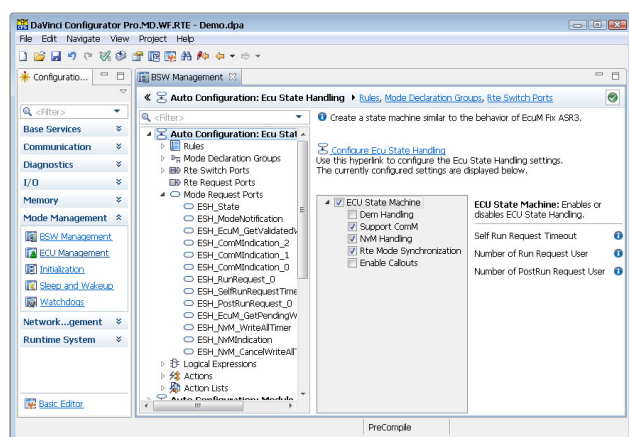


図 5. MICROSAR を構成する BSW や RTE の設定ツール「DaVinci Configurator Classic」

者を含めた約 20 名が「AUTOSAR ベーシック」コース（8 時間）を受講。さらに一部の担当者は「AUTOSAR Classic in Practice」コース（7.5 時間×3 日間）を受講したそうです。開発ツールとしては、MICROSAR の設定ツールである「DaVinci Configurator Classic」（図 5）と、SW-C の開発ツールである「DaVinci Developer Classic」（図 6）を導入しています。ヤンマーホールディングス 技術本部 電動電制システム開発部の渡邊隆氏は開発ツールについて次のように述べています。「DaVinci Configurator Classic は、スクリプトから操作できたり、コマンドラインから呼び出せる点などが便利だと感じます。具体的には、エラーの修正やパラメータの変更などを自動化して効率を高めています。DaVinci Developer Classic にはそうした機能がないため、今後実装されることを期待しています」

第 4 世代 ECU の単体テストに VT System と CANoe を活用

SW-C に相当するアプリケーションソフトウェアの開発（第 3 世代からの移植）は各事業会社が担当しました。「ECU そのものは同じハードウェアですが、マイコンの I/O ピンの割り当てはそれぞれの製品で異なることや、CAN データベースも各事業会社

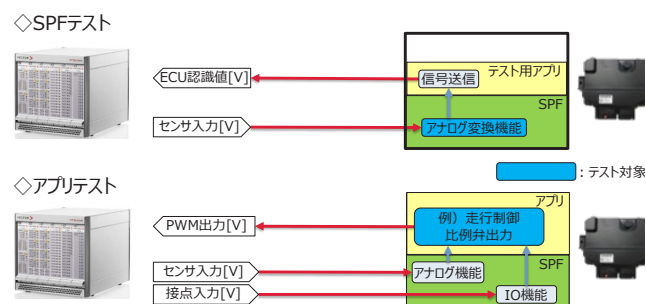


図 7. 第 4 世代 ECU プラットフォームの単体テスト環境。ベクターの CANoe と VT System を用いて、ソフトウェアプラットフォーム (BSW) 部分とアプリケーションソフトウェア (SW-C) 部分のテストの自動化を実現

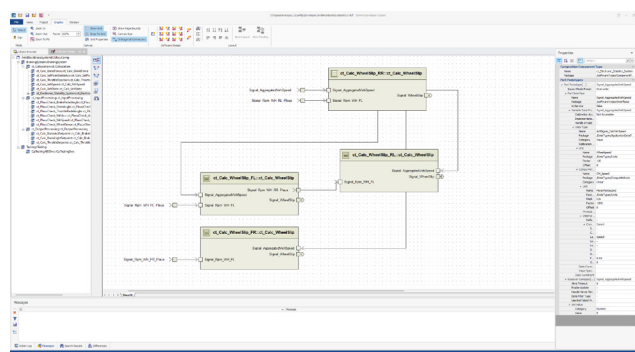


図 6. SW-C のグラフィカルな定義も可能な「DaVinci Developer Classic」

ごとに違いますので、DaVinci Developer Classic だけでなく DaVinci Configurator Classic についても各事業会社で揃えてもらいました」と西川氏は説明します。

第 3 世代 ECU のソフトウェア資産を第 4 世代 ECU に移植する作業は製品ごとに難易度に差があったそうで、糟谷氏は「第 3 世代の頃からソフトウェアを機能ごとにコンポーネント化していた製品は、各機能をそのまま SW-C 化する形で比較的順調に MICROSAR に移植できた」と聞いています。それ以外では少し苦労があったようです」と述べています。

ECU 単体のテストにはベクターの VT System と CANoe が活用されました（図 7）。VT System にてセンサーやスイッチを模擬した信号を ECU に与え、入力に対する出力を VT System でサンプリングして、機能が正しく実装されているかを判定するという流れです。ヤンマーホールディングスにおけるソフトウェアプラットフォーム (BSW) 部分のテストと、各事業会社におけるアプリケーションソフトウェア (SW-C) 部分のテストには同一の環境を使用し、CANoe を用いてテストスクリプトの実行や結果判定を行って、テストの自動化を実現しています。

なお、複数の入力信号を扱うアプリケーションテストでは合否判定が複雑になるため、ヤンマーホールディングスではテストケース構築を効率化するテンプレート作成を検討していく考えです。

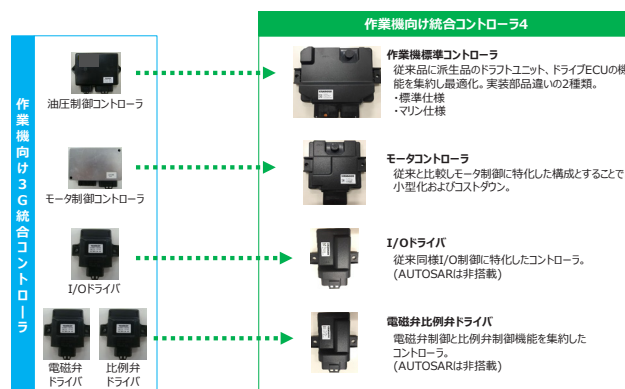


図 8. 第 4 世代 ECU プラットフォーム（作業機向け統合コントローラ 4）の構成。中心的な機能を担う「作業機標準コントローラ」とモータ制御を担う「モータコントローラ」に MICROSAR が搭載されている

製品	項目	性能比 (対3.5G)
作業機標準コントローラ	演算性能	×2.5 ↑
	メモリ	×2~4 ↑
	入出力数	×2 ↑
モーターコントローラ	演算性能	×2.5 ↑
	メモリ	×2~4 ↑
	入出力数	×0.6 ↓
I/Oドライバ	演算性能	×2 ↑
	メモリ	×4~5 ↑
電磁弁/比例弁ドライバ	演算性能	×2 ↑
	メモリ	×4~5 ↑
	出力数	×1.5 ↑

演算性能、メモリ
大幅増強

システムとして
入出力数の増強

図 9. 第 3 世代 ECU プラットフォームに対する第 4 世代 ECU プラットフォームの性能およびメモリ容量の比較

MICROSAR をはじめ、ベクターのツールチェーンを採用する上で、糟谷氏はベクター・ジャパンの対応を次のように評価しています。「ほかのベンダーの中には質問を投げかけても回答が遅く、ときには催促するまで回答がもらえない場合もありますが、ベクター・ジャパンはとてもレスポンスが早いと感じました」

渡邊氏も「J1939 周りはベクターのドイツ本社にエスカレーションされるため回答までに少し時間がかかっていましたが、ツール関係は 30 分ぐらいで回答がもらえることも多く、とても助かりました」と述べています。

MICROSAR 搭載の製品を 2023 年から順次発売

第 4 世代 ECU プラットフォームは、最終的に、油圧制御を中心とする「作業機標準コントローラ」、モータ制御に特化した「モータコントローラ」、I/O 制御に特化した「I/O ドライバ」(AUTOSAR 非搭載)、電磁弁制御と比例弁制御を集約した「電磁弁比例弁ドライバ」(同)の 4 台で構成されています(図 8)。EOL のアナウンスに伴いマイコンを刷新したことで、性能はおおよそ 2.5 倍に向上し、搭載メモリ容量も 2 倍から 4 倍に増強されました(図 9)。これら第 4 世代 ECU プラットフォームを搭載した製品は、農機と建機ですでに上市されています。船舶は 2025 年に上市される予定です。

糟谷氏は第 4 世代 ECU プラットフォームの開発を総括して次のように述べています。「今回は時間的な制約もあり、MICROSAR の実装や各アプリケーションソフトウェアの移植が開発作業の中心となり、AUTOSAR のメリットを生かすまでには至りませんでした。とはいえ、第 4 世代 ECU プラットフォームの導入が契機になって、各事業会社でアーキテクチャの見直しや ECU 統合などが進められています。今後は、BSW と SW-C の分離や SW-C の資産化なども含めて、事業会社の協力も得ながら開発の効率化に取り組んでいきます」

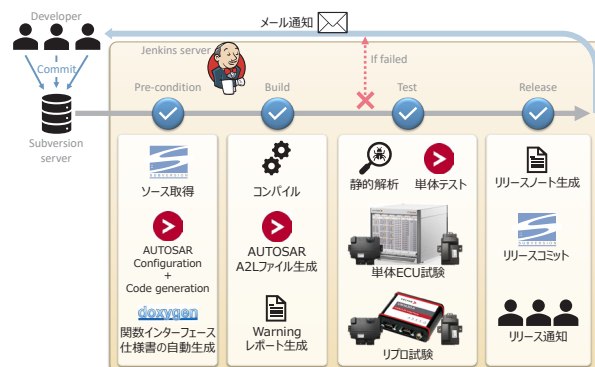


図 10. ヤンマーホールディングスが目指す CI/CD のループの概念図。ベクターのツールからは、MICROSAR を設定する DaVinci Configurator、A2L ファイルを作成する ASAP2 Tool-set、ECU テストを実行する VT System と CANoe、ソフトウェアテストを実行する VectorCAST などを用いる予定

同社は、開発のさらなる効率化を目指して、CI/CD 環境の構築に取り組んでいます(図 10)。MICROSAR のコンフィグレーション、A2L ファイル生成、単体テストなどに対応したベクターの各ツールのほか、他社のツールを組み合わせ、Jenkins で全体を回していく構想です。

なお、ベクターでは、AUTOSAR の基礎を説明した「はじめての AUTOSAR」^[*3]を公開しているほか、J1939 については基礎を説明した「はじめての J1939」^[*4]や Web サイト^[*5]で紹介しています。これからも J1939 を含め、さまざまな車載ネットワークのサポートに取り組んでいきます。

^[*3] はじめての AUTOSAR :

https://www.vector.com/ds_beginners-autosar_jp/

^[*4] はじめての J1939 :

https://www.vector.com/ds_beginners-j1939_jp/

^[*5] SAE J1939 ノウハウ :

<https://www.vector.com/jp/ja/know-how/protocols/sae-j1939/>

画像提供元 :

表紙画像、図 7、8、9、10 : ヤンマーホールディングス株式会社

表 1、図 1、2、3、4、5、6 : ベクター・ジャパン株式会社

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。所属、役職、諸元、ソリューション名などは、本記事発行時点の情報です。

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

TEL: 03-4586-1808

E-mail: sales@jp.vector.com