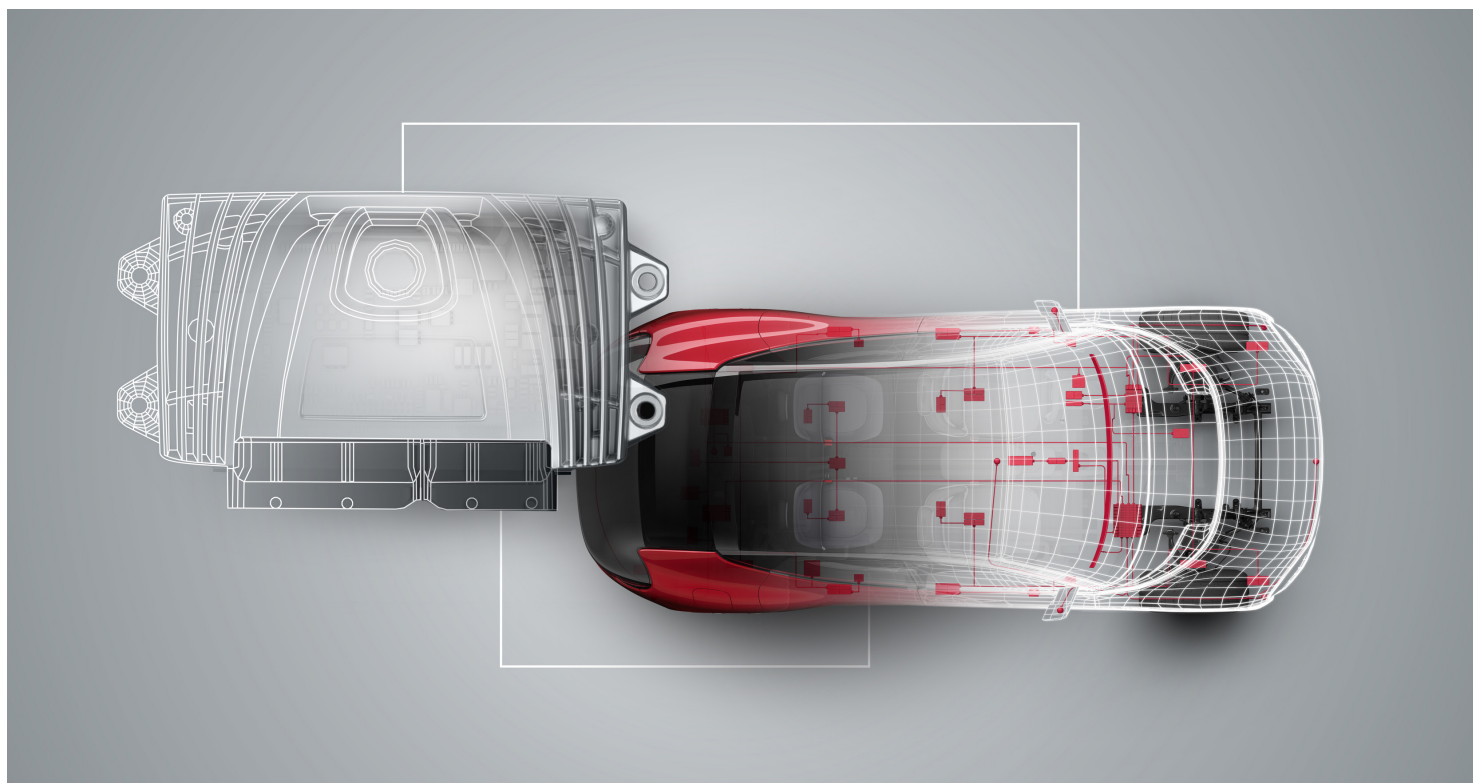




カーエアコンの冷媒制御ソフトを仮想 ECU 環境で開発 将来のコントローラー統合を見据えて SW-C 化を試行

カーエアコン用コンプレッサーや統合熱マネジメントシステム (ITMS) を手掛けるサンデン株式会社 (以下、サンデン) は、ITMS を構成する「CRU」(コンパクト冷媒ユニット) の制御ソフトウェアを、ベクターの vVIRTUALtarget を用いた仮想 ECU 環境で試験的に開発しました。今後見込まれる ECU の集約に向けて、制御ソフトウェアを AUTOSAR の SW-C として提供するための試みです。

EV 向けに統合熱マネジメントシステムを開発

群馬県伊勢崎市に本社を置くサンデンは、カーエアコン用コンプレッサーやカーエアコンシステムなどを手掛ける自動車部品メーカーです。従来からの機械式コンプレッサーおよび EV 向けの電動コンプレッサーを筆頭に、HVAC ユニット、熱交換器、水加熱ヒーター、空調用配管などの部品のほか、ヒートポンプシステム、建機や農機向けのオフハイウェイ車用空調システムなどを、世界各国の自動車メーカー (OEM) に提供しています。

さらに最近は、エンジンの排熱を利用できない EV 向けに、バッテリー、モーター、インバーターなどから熱を回収する統合熱マネジメントシステム (ITMS: Integrated Thermal Management System) の開発も進めています (図 2)。

今回の事例として紹介するのが、その ITMS を構成する「コンパクト冷媒ユニット」(CRU: Compact Refrigerant-Unit) の制御ソフトウェアです。「上位のソフトウェアから指示された目標水温になるように、冷媒の温度や圧力をセンシングしながら、

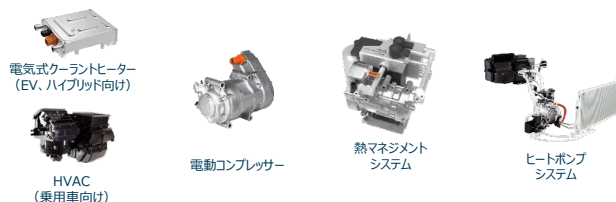
電動コンプレッサーの回転数や電子膨張弁 (エキスパンションバルブ) の開度を制御するのが CRU の役割です」と、サンデンの R&D センター ITMS ユニットの大庭氏は機能を説明します。



図 1. サンデンが手掛ける主な製品。特にカーエアコン用コンプレッサーにおいて世界シェア 2 位を誇る (同社調べ) ^[1]

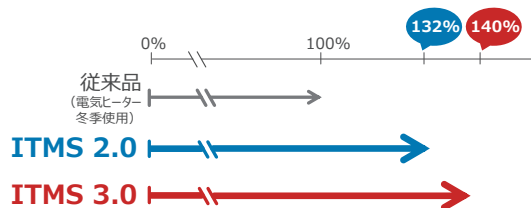
ITMSハードウェア×ソフトウェア

EC（コア部品）とソフトウェア両面のITMSコンポーネントを保有



技術優位性

競合対比優位な高い電費効率性を実現（航続距離の延長）

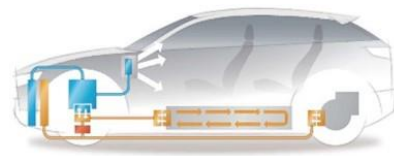


注：航続距離改善効果の一例、効果は走行条件等により変動します

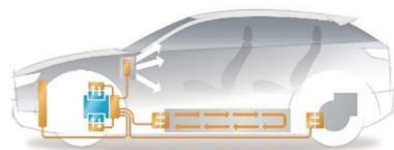
PFAS規制への柔軟な対応

ダイレクト方式/インダイレクト方式の2方式により、プロパンガスを冷媒とするシステムも安全に実現可能

ITMS2.0

ITMS2.0は**ダイレクト方式**であり、冷媒を直接エアコンユニットに入れ、応答性の優位性を実現

ITMS3.0

ITMS3.0は**インダイレクト方式**であり、**環境規制のPFAS対応**となるプロパンガス冷媒システムにおける冷媒量の大幅削減を実現図 2. EV のバッテリーやモーターの熱を回収してトータルな熱マネジメントを実現するサンデンの ITMS（統合熱マネジメントシステム）。冷媒をエアコンユニットに引き入れる ITMS 2.0 と、引き入れない ITMS 3.0 を開発中^{〔2〕}

ECU 集約に向けて

冷媒制御ソフトを SW-C として開発

サンデンでは、先行的な試みとして、ITMS を構成する CRU の制御ソフトウェアを AUTOSAR Classic（以下、AUTOSAR）の SW-C として開発しました。

「OEM から、ITMS の機能をドメインコントローラーあるいはゾーンコントローラーに集約したいので、CRU の制御ソフトウェアを SW-C として供給できないか、といったお問い合わせをいただくことも増えてきました。当社としても ECU 統合の時代に向けてスキームを確立しノウハウを蓄積しておきたいと考え、新たな試みとして取り組むことにしました」（大庭氏）

AUTOSAR 用の SW-C を開発しテストするには AUTOSAR を搭載した ECU を用意する方法がもっとも単純ですが、ECU 基板の開発や AUTOSAR 互換 OS のポーティングに多くの工数が必要で、大庭氏が目指したような先行評価には過剰となってしまいます。大庭氏は、「ある程度の工数は必要になることは承知のうえで、当初は実際の AUTOSAR を利用して SW-C を開発しようと考えていました。そこで AUTOSAR 互換 OS である MICROSAR を提供しているベクター・ジャパンにライセンスなどを問い合わせたところ、それであれば vVIRTUALtarget というツールを使えば実際の ECU や MICROSAR がなくても仮想環境で開発を進められるとの提案をもらい、その方法を採用することにしました」と説明します。

Level 1 から Level 3 の vECU を実現する vVIRTUALtarget

一般に「vECU」や「V-ECU」と表記される仮想 ECU（virtual ECU）は、ECU や車載 OS の挙動をソフトウェアを用いてシミュレートする仕組みであり、基板や OS の完成を待つことなく、開発やテストを進められるメリットがあります。

一口に仮想 ECU と言ってもどの範囲までを仮想化するかによって構成や目的は大きく変わります。AUTOSAR 環境を対象に業界で統一的に使われているのが、製品の開発や生産におけるデジタル化やデータ活用の標準化を進める業界団体の「prostep ivip」（ドイツ、ダルムシュタット）が定めた次の 5 つのレベルです（表 1）^{〔3〕}。

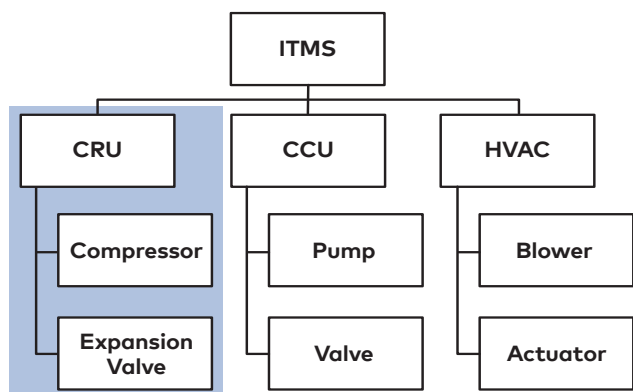


図 3. ITMS のイメージ図。事例に挙げた CRU（コンパクト冷媒ユニット）のほかに、CCU（コンパクトクーラントユニット）や HVAC（暖房・換気・空調）のサブシステムで構成される

レベル	概要
Level 0	SW-C の制御アルゴリズムのテストに使われます。コントローラーモデル、またはコントローラーモデルから生成された C コードのみで構成されています。定義はされていますが、仮想 ECU として扱われることはほとんどありません。
Level 1	SW-C のプロダクションコードのテストに使われる仮想 ECU です。RTE および一部の OS の機能をエミュレートすることで SW-C のコードを指定のタイミングで実行することが可能です。通信機能はなく、SW-C の通信部分は信号レベルになります。
Level 2	Level 1 と同じく SW-C のプロダクションコードのテストに使われます。Level 2 では BSW がエミュレートされるためネットワーク通信を介して SW-C の評価が可能です。
Level 3	SW-C のプロダクションコードのテストのほか、BSW のテスト (MCAL 等ハードウェア依存部を除く)、仮想 ECU 間のネットワークのテストなどに使われる仮想 ECU です。
Level 4	SW-C のテストに加え、MCAL やコンプレックスドライバーを含むすべての BSW のテストを対象にした仮想 ECU です。マイクロプロセッサを命令セットレベルでシミュレートするハードウェアシミュレーターが必要です。

表 1. prostep ivip が定めた仮想 ECU の 5 つのレベル

サンデンが取り組んだ SW-C の開発やテストには一般に Level 2 が適します。AUTOSAR の BSW などを開発する場合は、Level 3 または Level 4 を構築する必要があります。

ベクターの vVIRTUALtarget は Level 1 から Level 3 に対応した仮想環境を実現するソリューションです (図 5)。ECU ハードウェアの完成や AUTOSAR のインテグレーションを待たずに SW-C の動作検証を進められるのがメリットで、AUTOSAR Classic に対応しています。

Level 1 の vECU を構築して 冷媒制御ソフトをテスト

大庭氏はまず、Level 1 の環境構築に取り組みました (図 6)。「vVIRTUALtarget の使い方に習熟するとともに、SW-C である CRU 制御ソフトウェアの入出力確認と、SW-C のインターフェイスやデータタイプなどを記述した ARXML (AUTOSAR XML) ファイルの生成手順を確認することを目標として設定しました」と説明します。

最初に、MathWorks 社の MATLAB®/Simulink® で記述した CRU の制御モデルを同じく MathWorks 社の AUTOSAR Blockset というツールを用いて AUTOSAR 用の C コードと

ARXML ファイルを生成。それぞれを vVIRTUALtarget に与えて SUT (System Under Test) となる動的ライブラリ (DLL) を作成し、その .DLL を CANoe 上で実行する、という流れです。

「制御モデルを更新して AUTOSAR Blockset で C コードと ARXML を再度出力した際に、AUTOSAR Blockset の挙動によって過去の情報が ARXML に残ったままになることがあり、その原因究明に手間取りましたが、vVIRTUALtarget を含めた仮想 ECU の環境とテストはスムーズに進めることができました」(大庭氏)
なお、今回の環境では上位の ITMS コントローラーは存在しないため、指示として送られてくるであろう目標水温などは適当なメッセージを定義して設定しています。

Level 2 の vECU にスムーズに移行したのち 簡易 HILS も接続

続いて大庭氏のチームは Level 2 での仮想化に取り組みました (図 7)。

vVIRTUALtarget は BSW の通信モジュールである ComM をサポートしているため、SW-C から CAN や LIN などの通信要求を切り替えることが可能です。なお、ITMS では、電動コンプレッ

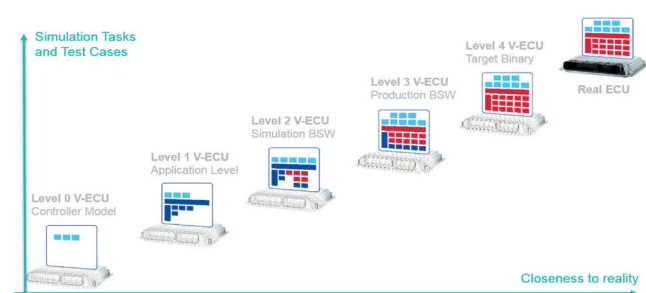


図 4. prostep ivip が定める仮想 ECU (vECU) のレベル。水色は SW-C、青色は AUTOSAR のうちシミュレート領域、赤色は AUTOSAR の実コードを表す^[*3]

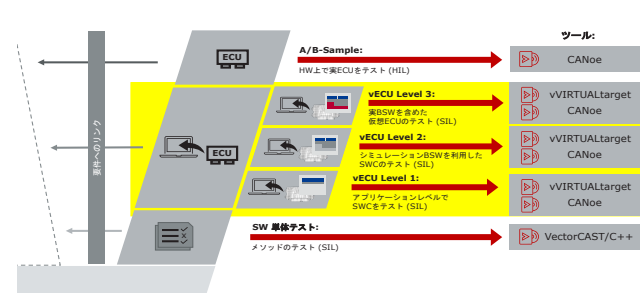


図 5. vVIRTUALtarget の対象領域 (黄色部分)。Level 1 から Level 3 の vECU 環境を構築できる

vECU Level 1: vVIRTUALtarget (BSW Emulation)

- ▶ vVIRTUALtargetのBSW EmulationによりvECU Level 1の構築が可能
 - ▶ 開発初期段階でSW-Cのテストが可能
 - ▶ vVIRTUALtarget Runtimeが、RTEおよびOSをエミュレートすることでRunnableを指定タイミングで実行
 - ▶ 周期実行、イベント実行
- ▶ vVIRTUALtargetが作成するソフトウェアインターフェイス:
 - ▶ SW Portへのアクセス
 - ▶ Open Port: 計測および制御用のDistributed Object / System Variable
 - ▶ Closed Port: 計測用のDistributed Object / System Variable
- ▶ 構築フロー例
 - ▶ ARXMLを用意 (SWC DescriptionなどのSWC情報を含むARXML)
 - ▶ vVIRTUALtargetでARXMLを読み込み各種設定後、Runnableに対応したコードを自動生成
 - ▶ 生成された空間数の実装後、vECUをビルド
 - ▶ MATLAB/Simulinkで生成したコードの利用も可能
 - ▶ CANoe - Communication SetupにvECUをロード

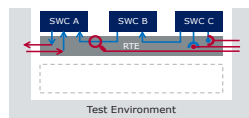


図 6. vVIRTUALtargetを用いた Level 1 vECU のイメージ図。CAN や LIN などの通信機能を持たないため、RTE 上でのメッセージとしてやりとりする必要がある。vVIRTUALtarget は図のように複数の SW-C にも対応している

サー、電子膨張弁、各センサーの接続には低コストな LIN が採用されています。

注意点としては、vVIRTUALtarget は単体では Level 2 には対応していないため、CANoe の「Interaction Layer (IL)」を併用する必要があります。この CANoe Interaction Layer は、ARXML などのデータベースに定義した通信仕様に従ってメッセージを送信するシミュレーション機能であり、ネットワークノード、メッセージ、シグナル、送信タイミングを表す送信タイプ、送信周期、送受信ノードの対応などの定義が可能です。

大庭氏は、「ベクターから提供された vVIRTUALtarget や CANoe Interaction Layer の関連資料を参照しながら環境を構築しました。Level 1 環境を構築できていたので、Level 2 にはスムーズに移行できました。通信に関しては、LIN の LDF (LIN 記述ファイル) にスケジュールなどを書いて、CRU 制御ソフトウェアから問題なく LIN 通信ができることを確認しました」と述べています。

最後のステップとして、同社が保有していたサードパーティ製の簡易 HILS 装置と接続してテストを行いました (図 8)。HIL 上には電動コンプレッサー、電子膨張弁、圧力センサー、温度センサーのほか、冷媒をモデル化。なお、冷媒には液体や気体などの相があり、温度や圧力によって相変化が生じるため、一般的なプラントモデルでの表現が困難ということで、同社内で開発した独自のモデルを使っているそうです。HILS と CANoe はベクターの VN1611 インターフェイスを介して接続しています。

「制御ソフトウェアの修正から再構築までをおよそ 10 分程度でできるようにするなど、テストを効率的に進められる環境を実現できました」(大庭氏)

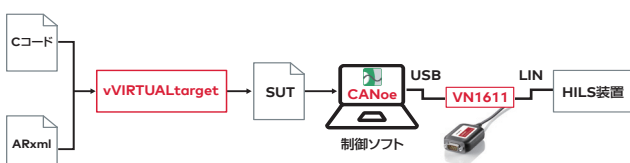
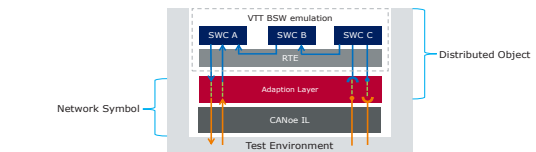


図 8. サンデンが保有するサードパーティ製の HILS 装置と連携させた環境の構成。VN1611 は CAN/CAN FD/LIN をインターフェイスするハードウェア

vECU Level 2: vECU Level 1 + CANoe Interaction Layer (IL)



- ▶ Adaption Layerの役割
 - ▶ Distributed ObjectとNetwork Symbolのデータ交換 (例: ComM - Nm)
 - ▶ プログラミング言語 (CAPL, C#) により実装
 - ▶ 要求が小さい場合はSymbol Mappingのみで実装可能
 - ▶ Level 1 → Level 2へスムーズな移行が可能
- ▶ 構築フロー例
 - ▶ ARXMLを用意 (ECU ExtractなどのSWCと通信設計を含むARXML)
 - ▶ Level 1 vECUを構築、CANoeにロード
 - ▶ CANoe - Simulation SetupでILを仮想ノードへ割り当て
 - ▶ Adaption Layerを実装
 - ▶ 仮想ノードにAdaption Layerを設定

図 7. vVIRTUALtargetを用いた Level 2 vECU のイメージ図。vVIRTUALtarget の BSW エミュレーション機能と CANoe Interaction Layer とを併用して構築する。SW-C からは CAN や LIN などのネットワーク通信が可能

コントローラー統合の時代に向けて技術を取得

今回の vVIRTUALtarget を用いた仮想 ECU 環境の構築と SW-C のテストを通じて、次のような効果が得られたと大庭氏は総括します。「ゾーンやドメインなどコントローラーの統合の時代に向けて、CRU 制御ソフトウェアを単体の SW-C として開発、テストするスキームと、vVIRTUALtarget を使った仮想 ECU の環境構築の方法をひととおり習得することができました。今後、OEM からそのような要望があった時にも、スムーズに対応できると考えます」。

Software-Defined Vehicle (SDV /ソフトウェア・デファインド・ビークル) の時代を迎えて ECU の構成は大きく変わりつつあり、AUTOSAR ベースでの開発や SW-C 単独での提供をサプライヤーが求められるケースも増えていくと考えられます。ベクターは vVIRTUALtarget を通じて AUTOSAR の仮想 ECU 環境の構築をサポートしていきます。

[*1][*2] 出典:サンデン株式会社 中期経営計画『SHIFT2028』2024年2月26日、https://www.sanden.co.jp/ir/document/pdf/brief/briefing36_12_4b.pdf

[*3] 出典:prostep ivip ホワイトペーパー「Virtual Electronic Control Units」、V1.0、2020年3月、https://www.ps-ent-2023.de/fileadmin/prod-download/WhitePaper_V-ECU_2020_05_04-EN.pdf

提供元:

図 1、2、3、8: サンデン株式会社

図 4、表 1: prostep ivip

表紙画像、図 5、6、7: 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