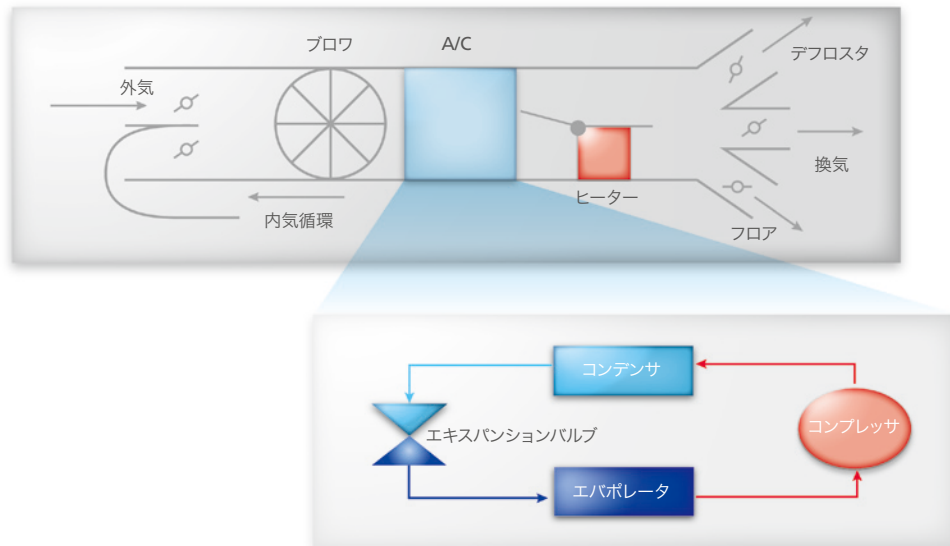


Climate Under Control

TargetLink によるクライメートコントロール用ソフトウェア開発
(Volvo Technology 社)



Volvo グループの技術革新と研究開発を担う Volvo Technology 社は、すでに量産実績のある CCM (Climate Control Module) を継続的に改善、拡張しています。同社の CCM ソフトウェアは、乗用車、トラックおよび建設機器の世界的なメーカーで採用されています。Volvo Technology 社はコントローラ開発、自動コード生成およびチューニングの各段階で TargetLink を集中的に使用しています。



クライメートユニットの概略図 (HVAC : Heat, Ventilation and Air Condition)

CCM による車内環境の改善

Volvo Technology 社のクライメートコントロール開発における主な役割は、近年室内環境に求められる条件を満たし、ウィンドウの曇り除去や、臭気および騒音の制御およびエネルギー効率といった課題を解決するソフトウェアを提供することにあります。現在の開発では、新世代の車両に合わせた効率の向上と、新機能の搭載および新たな要件への対応に重点が置かれています。同社の開発サイクルは、主としてテスト主導型で行われ、プロトタイプおよび量産先行モデルを使ったテストおよびチューニングが一般的な手法となっています。Volvo Technology 社の機能設計、自動コード生成、チューニングおよびテストといった開発プロセスでは、dSPACE の量産コード生成ツールである TargetLink が活躍しています。

優れたクライメートコントロールの条件

クライメートコントロールに求められる条件は、ドライバーが好みの設定を選ぶことができ、期待通りの快適性が得られることです。つまり、車内の気温があらかじめ設定された範囲となること、ドラフト現象がないこと、ファンの静粛性、日没時に気温低下がないこと、フロントウィンドウが曇らないことなどです。これらすべてを実現するため、クライメートコントロールでは次のような制御目標があります。

■ 温度制御

ヒーター、クーラー、プロワおよびエア配分を制御し、速やかに気温の上昇/低下を達成するとともに、走行条件が変化しても室内の温度が安定するよう制御すること。また、外気温の高低、日射量および車速などの外乱にも対応する必要があります。

■ ウィンドウの曇りの制御

フロントウィンドウの凍結および曇りがないう制御すること。この制御では、プロワ、デフロスタおよび A/C (エアコン) の冷却/再加熱機能、およびヒーターシステムを使用します。

■ 臭気制御

臭気制御は一般的に AQS (Air Quality System) として知られ、外気導入/内気循環フラップを経由して外界からの不快な臭気が室内に侵入するのを防ぎます。

■ 駐車中の車内環境

乗用車および商用車のいずれでも、駐車中の車内環境を制御する機能があります。トラックでは、ドライバーが駐車中のキャビンで休息や睡眠を取るため、特に車内環境が重視され、快適な気温および騒音に対する厳しい要件が設けられています。

クライメートコントロールの一般的なハードウェア

クライメートコントロールでは、制御ソフトウェアの設計意図を実現するため、数々のハードウェアが必要となります。そのひとつがクライメートユニットで、これは HVAC (Heat, Ventilation and Air Condition) とも呼ばれます。クライメートユニットの内気循環は主に、外気温が高い環境下ですでに冷却/除湿された空気を再循環させ、冷房性能を高めるために使用されます。また、外界の臭気および汚染物質が車内に侵入するのを防ぐためにも内気循環を使用します。HVAC の中で冷房機能を果たするのが A/C (エアコン) で、これはコンプレッサ、コンデンサ、エクスパンションバルブおよびエバポレータで構成されています。クライメートコントロールでは、数々のセンサも重要な役割を果たします。内気温センサやエバポレータ温度センサなどのセンサは、ECC (Electronic Climate Controller) 専用のものです。車速センサや外気温センサなどのように、基本的には他の車載システムのために存在しながら、ECC でも重要な役割を果たすセンサもあります。



CCM の構成

CCM (Climate Control Module) は、車載エレクトロニクスシステムの一部で、CAN および LIN で他のサブシステムに接続されています。また、CCM にハードワイヤ接続されるセンサやアクチュエータもあります。クライメートコントロールは、それ自体で上記のすべての機能、つまり、温度制御、曇り制御、臭気制御、および駐車中の室内環境の制御といった機能を果たします。CCM は、機能別にモジュール化されています。まず、コントローラ入力

既存機能の微調整および拡張が必要になります。

大まかに見ると、プロセスには次の 4 種類の作業があります。

- ソフトウェア要件の定義
- 制御設計および実装
- コントローラのチューニング
- テストおよび妥当性確認

で見落とされた動作を補うために、制御設計を繰り返し変更、更新する必要があります。

ソフトウェア要件の定義

お客様からの要件は、システムレベルで提示されます。これらはエンドユーザの使用場面、たとえば「頭部位置の温度が $X^{\circ}\text{C}$ と $Y^{\circ}\text{C}$ の間」といった形で表現されます。要件定義の最初の反復段階で、システム要件を細かく分解して行き、意味のあるソフトウェア要件を定義します。以前のプロジェクトから再利用されるソフトウェア要件もあります。その後の反復で、実車テストおよびチューニングの結果、調整が必要なソフトウェア要件も出てきます。

「TargetLink を使ってクライメートコントロールモジュール (CCM) のほとんど 100% のアプリケーションレイヤを自動的にコード生成しています」

Dr. Mats Andersson, Volvo Technology 社

信号が処理されます。これには、制御アルゴリズムで必要なデータのセンサフュージョンおよびモデリングだけでなく、基本的なフィルタリングおよびエラー処理が含まれます。ここでのコントローラ構造は、アクチュエータ指向ではなく、機能指向となっています。つまり、温度制御、曇り制御および臭気制御のモジュールすべてがアクチュエータの動作を要求します。コントローラの動作の優先順位付けが完了すると、ドライバーの操作による手動制御への対応が行われ、最後にアクチュエータ動作の信号が送信されます。

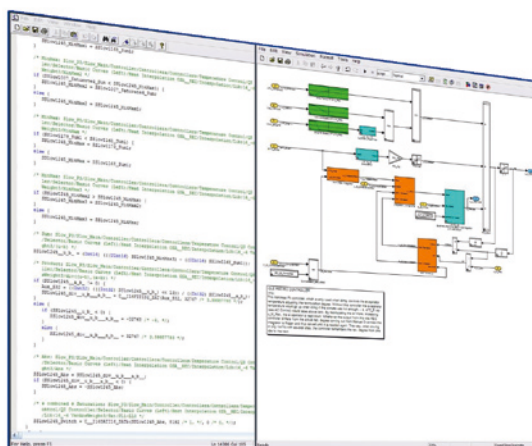
開発プロセスは、テストおよび実験主導型で、反復が多いものとなっています。これは、乗員が快適と感じるかどうかは主観的でモデル化が困難であるため、CCM のテストおよび微調整の多くは実車内で行う必要があるためです。そのため、ソフトウェア要件定義および制御設計の初期段階

コントローラの実装

CCM の中核となる機能は、TargetLink モデルの形で存在し、このモデルから各種量産プロジェクトのためにコードが生成されます。実際の制御設計は、TargetLink Stand-Alone Blockset を使用して、すべての設計を Volvo Technology 社が行います。開発プロセスの最初の反

開発プロセスの概要

CCM は量産実績のある製品であり、TargetLink を使った開発プロセスも確立されています。一般的に、新しい開発プロジェクトでは、ソフトウェア要件、TargetLink モデルおよびテストケースなど、以前のプロジェクトから既存のリソースを再利用し、新規要件に対応するため、CCM の



コントローラモデルおよびコード：TargetLink を使用して CCM のほぼすべてのアプリケーションレイヤを自動的にコード生成します。



Dr. Mats Andersson (左)

制御およびシミュレーショングループ
マネージャ、Volvo Technology 社、
スウェーデン

Björn Fridholm 氏、M.Sc. (中央)

制御開発担当、Volvo Technology 社、
スウェーデン

Henrik Weiefors 氏、M.Sc. (右)

制御開発担当、Volvo Technology 社、
スウェーデン

復で、制御設計で最も大きな部分の作業が完了し、既存の TargetLink モデルは、新しいソフトウェア要件を満たすように調整されます。以後の反復では、プロジェクトの進行中で必要となるソフトウェア要件の変更を反映するために制御設計の修正を行います。

TargetLink による制御設計と実装は、ほぼ並行して行われます。CCM のアプリケーションレイヤの 100% 近くが TargetLink によって効率的な固定小数点コードの形で自動的にコード生成されます。さらに、TargetLink の柔軟性により、後に CCM のソフトウェアアーキテクチャに統合するのに非常に適したインターフェースの生成が可能です。

開ループおよび閉ループのシミュレーションを使用して、コントローラおよび生

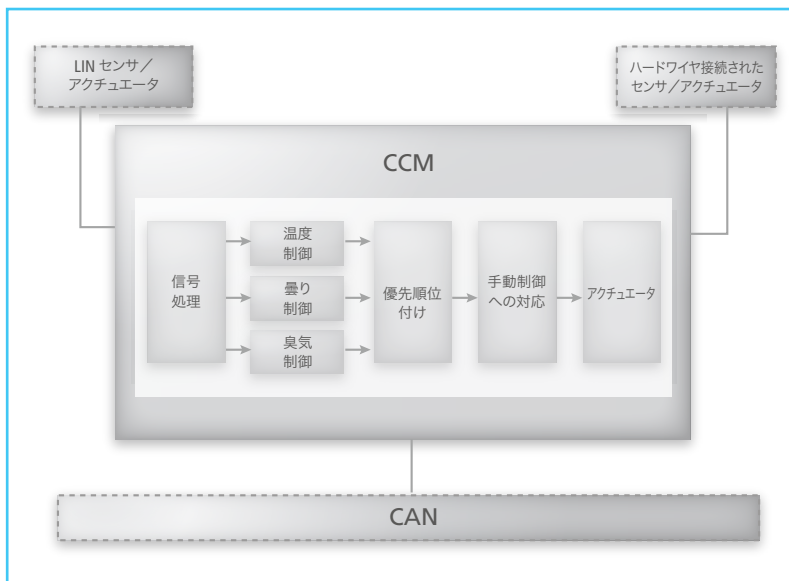
成されたコードの動作を試験します。シミュレーションには実車で取得した stimulus 信号、および単純化されたプラントモデルが使用されます。コントローラの全体的なシステム動作は MIL (Model-in-the-Loop) シミュレーションで浮動小数点演算を使って検証されます。コントローラ用に生成したコードの動作の検証には、SIL (Software-in-the-Loop) シミュレーションを使用します。TargetLink の統合シミュレーションコンセプトを使って MIL と SIL シミュレーションを比較し、実装モデルのスケールリングに問題がないかを検出します。制御設計および実装段階の結果として、適切にスケールリングされた TargetLink モデルとそのモデルから生成されたコードが得られます。

コントローラのチューニング

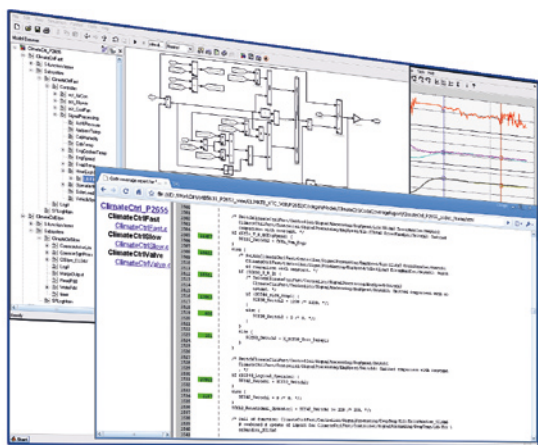
クライメートコントロールは、基本的には車室内への空気の流れを制御することを意味します。制御設計および実装段階で使用されるプラントモデルは、快適性および騒音の主観的な側面のすべてをカバーできません。その結果、コントローラの最終調整は実車で行う必要があります。その際、既存の車両のハードウェアの一部を交換したプロトタイプ車両から始めるケースが多くなっています。チューニングを行うため、実装モデル用に生成された TargetLink コードがアプリケーションのリアルタイムフレームに統合され、コンパイル後に車両のクライメート ECU にフラッシュされます。さらに、TargetLink が生成した ASAP2 ファイルを使って適合パラメータを調整し、CCM を効率的に調整し、その機能の検証が行われます。初期のチューニング試験およびテストは、気候風洞などの制御された環境下で行われます。プロジェクト後半では、道路での実車テストを行うのが一般的です。コントローラの微調整は、プロジェクト全体の進捗に応じて段階的に進められます。

テストおよび妥当性確認

ソフトウェアを車両生産に回す前に、徹底的なテストが行われます。主として、TargetLink で MIL (Model-in-the-Loop) および SIL (Software-in-the-Loop) テストを実行し、モジュールをテストします。



CCM (Climate Control Module) および機能別にモジュール化された CCM コントローラの物理インターフェース



TargetLink によるコードカバレッジ分析

これには、構造テストだけでなく機能テストも含まれます。TargetLinkのコードカバレッジ機能を十分に活用し、生成されたコードをテストパターンが十分に網羅しているかを確認します。また、全般的なテストを行い、その結果を以前のシミュレーションと比較し、チューニングと並行して評価を行います。これは、テストが全般にわたり、高い技術をもったクライメートコントロール技術者が評価する必要があるため、しばしば手作業で行われます。システ

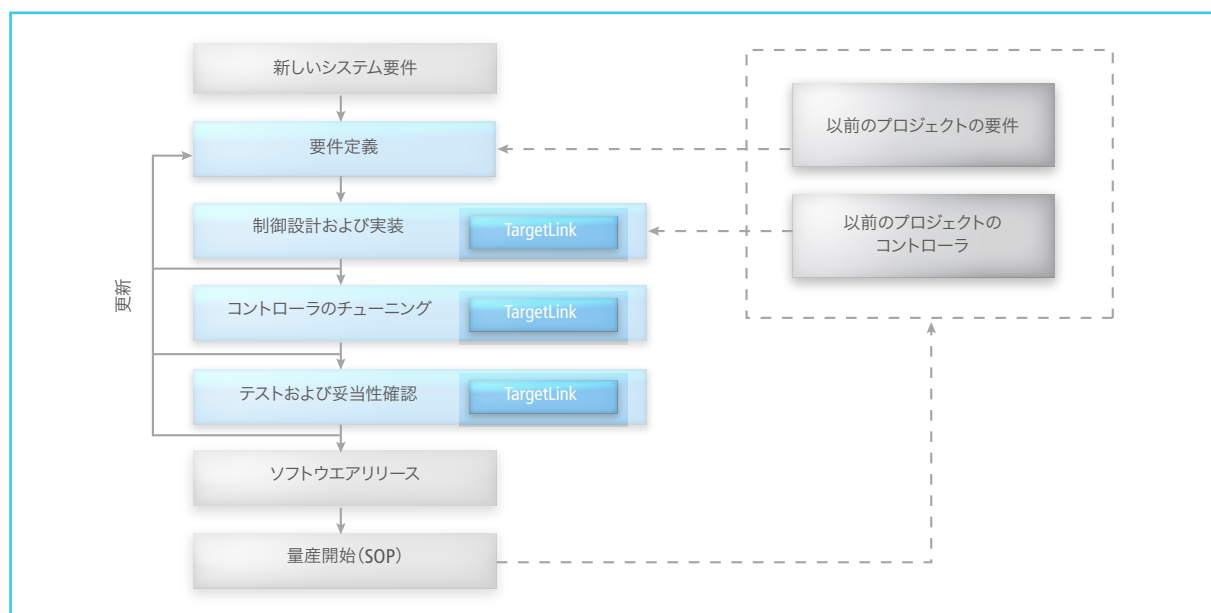
ムとソフトウェアの統合テストは、dSPACEのHIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレータを使用して実際の ECU 上で行われます。一般的に、テストプロセスの効率化を図るため、多くのテストケースが異なる開発段階を通して MIL、SIL および HIL モードで再利用されます。■

Dr. Mats Andersson,
Björn Fridholm 氏、
Henrik Weiefors 氏、
Volvo Technology、スウェーデン



まとめ

- Volvo Technology 社の CCM (Climate Control Module) は長年にわたり改良を続け拡張されてきました。
- コントローラ開発、自動コード生成およびチューニングにおいて TargetLink が成果を挙げています。
- CCM のほとんどすべてのアプリケーションレイヤが TargetLink で自動的にコード生成されています。
- CCM は乗用車、トラックおよび建設機器の世界的なメーカーで採用されています。



CCM (Climate Control Module) の反復開発プロセス