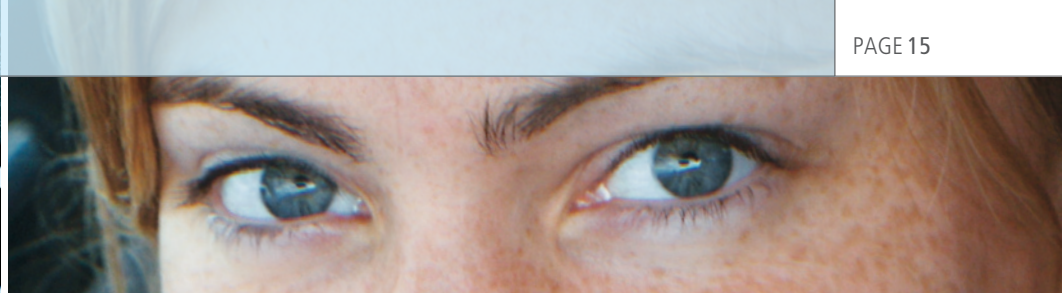




Looking forward

予測型温度管理による燃料効率と
ダイナミクスの最適化



過渡期にあるモビリティ

今日私たちが利用している移動手段は、いつまでも現在と同じ姿であり続けることはできません。世界におけるエネルギー需要の増大、限りある化石燃料資源、政治的危機、不安定なエネルギー価格などの脅威の下で、移動手段は中期的な変化を強いられることとなります。世界中の国々は、燃料消費の制限とCO₂排出量の削減に向けた施策を法制化することによって、こうした状況に対応を始めています。既に世界市場の90%以上が、燃料消費の削減とCO₂排出量の削減に関する規制を受けています。この法規制は、まだ決定的なものではなく、最終的な詰めはこれからですが、全体としての方向は明白です。今後10年間で、自動車メーカーは、燃料消費とCO₂の排出量を現在の25~30%削減する必要があります。この目標を達成することができない場合、企業は莫大な罰金を課せられ、あるいは製品製造の承認を受けることができなくなります。

内燃エンジンに対する新しいアプローチ

このような厳しい削減目標は、エンジン単体の従来手法による開発だけでは達成できません。そのためBMWグループでは、あらゆる物理的アクチュエータを詳細に解析し、エネルギーバランスに関する効

果の査定を開始しました。

内燃エンジンは、今後も車両の主要な動力装置として重要な役割を果たしていくものと考えられるため、さらに集中的な開発が続けられています。決定的な要素の1つは、プレミアムブランドカーのダイナミクス性能を損なわずに、通常の運転時の燃料消費を削減することです。有望なアプローチの1つは、前方の路面の情報を、速度とカーブプロファイル、丘陵または勾配などとともに、従来の内燃エンジンの温度管理に統合する方法で、BMW EfficientDynamics ストラテジもこのアプローチを採用しています。BMWグループによって開発されたプロトタイプは、予測型温度管理のメリットを明らかにしています。

最新の車両温度管理システム

最新の冷却システムの制御方法の1つに、燃料効率、ダイナミクス、快適性を一体化しながら、同時に温度管理の信頼性を保証する要件駆動型温度管理があります。冷却システムのアクチュエータを電動化し(図1)、車両の全体制御ストラテジと組み合わせることにより(その結果、制御対象システムの自由度が増大)、冷却の本来の目的をはるかに超える機能性を実現しています。

BMWの温度管理システムの中核となる

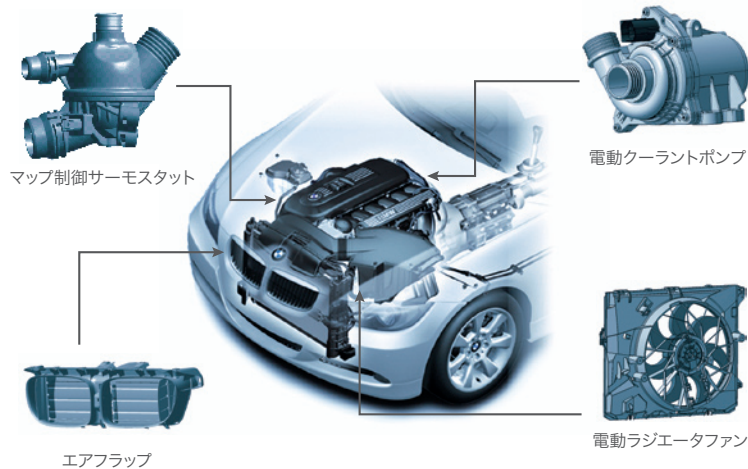


図 1：冷却システムの電動式アクチュエータ（出典：BMW, International Technical Training）

機能は、エンジン制御機能内での運転モードの選択です。たとえば、冷間始動後には暖機モードに移行し、エンジンを短時間で動作効率の良い温度域にします。このモードでは、電動クーラントポンプはエンジンの回転速度とは関係なくクーラントの流れを停止させるため、燃焼室の壁面からクーラントへの熱の移動が抑えられ、エンジンが早く暖まります。

状況依存型制御ストラテジ

暖機モードが完了したら、エンジン制御システムは、運転状態に基づいてクーラントへの要求の計算を行います。従来の制御ストラテジでは、2つの競合する目的の調停が試行されます。エンジンとクーラントの温度を上げることによって内部摩擦を減らす必要がありますが、同時に温度的な信頼性基準を守る必要があります。エンジンの全性能レンジが、運転マップと所定のしきい値の組み合わせによって決定されます。これらはクーラントの温度と冷却温度に影響を与え、これによって、従来の温度管理システムでの冷却システムの動作モードが決定されます。冷却能力を大幅に抑えたクーラント温度の高い省エネ指向動作（ECO 動作）から、高度にダイナミックな動作まで、冷却レベルが変化します。高度にダイナミックな動作モードでは、大幅に引き下げられたクーラント温度により、エンジンの高負荷時に最大の冷却能力を得ることができます。状況にもよりますが、量産車両で現在使用されている運転ストラテジでは、冷却能力の不要な調節が行われることがあります。これは、たとえば、市街地の交差点など、従来の温度管理システムが、急加速による温度上昇を補正するための予防手段をとる場合に特に顕著です。このケースでは、クーラント温度を下げるために使用されるエネルギーが無駄になります。温度的な

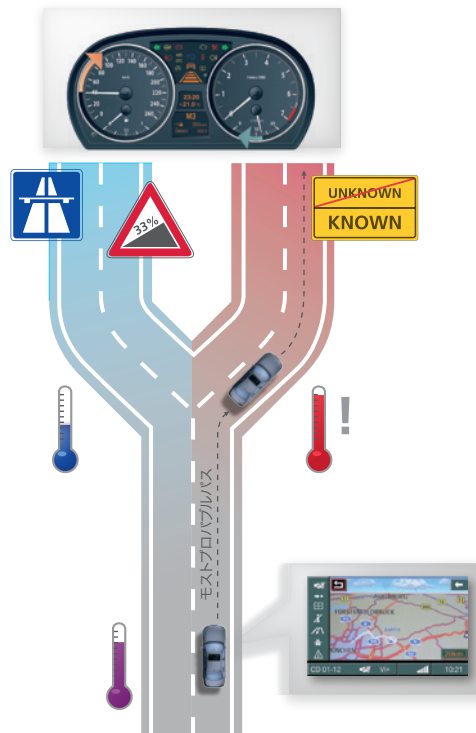
信頼性が制御ストラテジで常に最高の優先順位を与えられるため、現在の運転状況がまず第一に制御システムに入力されるためです。

状況駆動型アプローチの限界

BMW グループは、冷却システムの挙動に関してテストドライブの評価を行い、予測制御の適用ケースを調査しました。代表的な適用ケースは、交差点での発進加速、

田舎道での短時間の加速、またはエンジンが停止しているときなどです。従来の反応型制御システムでは、現在の運転状況に直接的に反応するため、わずかにダイナミックな運転スタイルの操作を行っただけで、その影響により ECO 動作から逸脱してしまいます。運転者が、たとえば市街地などでごく短時間アクセルペダルを踏み込んだとき、必要でないときでも冷却能力が上昇して冷却温度が下降します。

図 2：予測型温度管理システム概念およびアプローチ。エンジンおよび冷却システムが、モストプロバブルパスに基づいて体系的に事前調整されます。この例では低温での高速道路の登り坂走行と、高温での市街地走行を示しています。



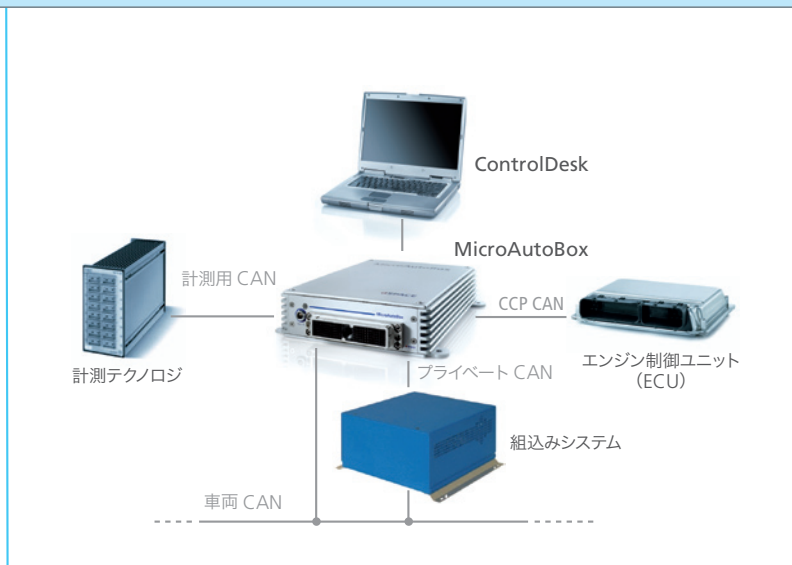


図3：実験車両のハードウェアおよび通信システムの構成

予測型運転ストラテジ

道路前方のデータ解析および評価は、エレクトロニックホライズン (electronic horizon) と呼ばれています。予測型温度管理システムでは、このエレクトロニックホライズンを使用して、現在の運転状況による直接的な影響をインテリジェントに抑えています。また、エレクトロニックホライズンを使用して、エンジンおよび冷却システムの事前調整を行うこともできます。運転状況は、堅実からスポーティまで、運転者のタイプを使用して差別化されています (図2)。

アクセルを踏む時間や、最大到達速度を判断するような予測情報によって、必要な冷却能力をよりよく推定、調整できるようになります。この場合、ECO 動作を維持することにより燃料消費が抑えられます。これは、電動クーラントポンプなどのアクチュエータに大きな負荷がかかるのを防止するのに役立ちます。短時間の加速動作では、その間に上昇した温度レベルを維持しても、冷却システムの限界を超えることはありません。

予測調整によるダイナミクスの向上

予測型温度管理システムにより冷却能力とエンジンの温度を事前に調節することができ、エンジン出力の増大を予測して、エンジンの状態を事前に調整することができます。これは、エンジン性能を最適に保つための冷却要求に大きな影響を与えます。予測介入の程度を、運転者タイプおよび運転状況の遷移タイプに基づいて選択することができます。温度管理によって実行される予測調整には、ノッキングやエンジン給気に対するプラスの効果があ

ります。また、たとえば、スポーティな運転スタイルで高速道路を走行するときなど、車両のダイナミクスを大幅に向上させることができます。

プロトタイプ車両のセットアップ

コンセプト車両の実現可能性を検証するために、BMW グループ内の温度管理部門は、量産車の BMW 335i をベースにした上記の適用ケース用のプロトタイプ車両を製作しました。

このプロトタイプ車両のエレクトロニックホライズンは、BMW Forschung und Technik GmbH によって開発されました。Intelligent Learning Navigation (iLeNa) プロジェクトは、現在の既製ナビゲーションソリューションと比較して拡張された機能を提供しています。特別な機能の1つとして学習式のデータベースがあり、デジタルマップの法定速度だけでなく、たとえば、習慣的な速度パターンなど、実際に走行した道路プロファイルを保存することができます。運転者がナビゲーションシステムをオンにしていない場合でも、目的地およびルート検索システムが、保存されている運転パターンを使用して、モストプロバブルパスの計算を行います。iLeNa は、位置を特定し、マップマッチングを実行するために、車載機器通信用のバスを通じて車両の GPS アンテナにアクセスします。MS Windows オペレーティングシステムを使用した自動車用組み込みシステム (図3) が、このナビゲーションプラットフォームのハードウェア環境を構成しています。これは、マップベース運転支援システム用の NAVTEQ 社開発環境 (ADAS RP) をベースにしたものです。

用語解説

ADASIS – Advanced Driver Assistance Systems Interface Specification (先進運転支援システムインターフェース仕様)、ADASIS フォーラムの Web サイト : www.ertico.com/en/activities/safemobility/adasis_forum.htm

ADAS RP – Advanced Driver Assistance Systems Research Platform (先進運転支援システムリサーチプラットフォーム)。NAVTEQ 社のマップベース運転支援システム用開発プラットフォーム。

BMW EfficientDynamics – 燃料消費と CO₂ 排出を削減すると同時に、ピークダイナミクスおよびエンジン出力を増大することを実現するために、BMW グループによって使用されているストラテジ。以前はこの2つを同時に実現することは不可能と考えられていました。燃料に含まれるエネルギーを最大限に有効利用することを目的としています。

GPS – Global Positioning System (全地球測位システム)。人工衛星からの電波を使用して位置と時間を計測し、地球上の任意の位置を正確に測定するシステム。

マップマッチング – 特定した位置をデジタルマップ上の地理データと照合すること。

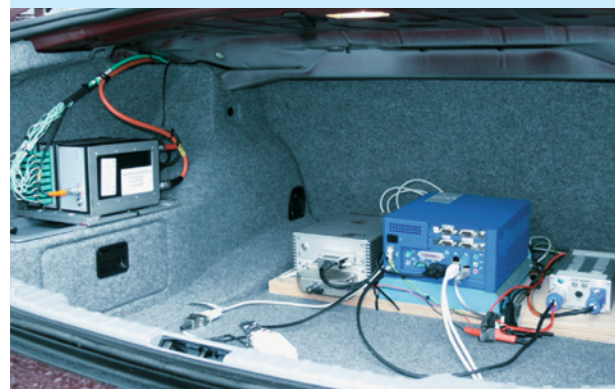


図4：実験車両のハードウェアセットアップー測定装置、MicroAutoBox、組み込みシステム、電源 (左から)

コントローラの構成および機能ロジック

CAN Calibration Protocol (CCP) を使用した CAN インターフェースを介して、エンジン制御ユニット (DME) に搭載された BMW 温度管理システムと MicroAutoBox を接続しています。コントローラの構成と予測型温度管理システムの機能ロジックは、The MathWorks® 社の MATLAB®/Simulink®/Stateflow®



を使用して設計され、車両内に設置された dSPACE MicroAutoBox に実装されています (図 4)。

dSPACE RTI CAN Blockset を介して適切な DBC コンフィギュレーションファイルを読み取ることで、温度および電圧測定用の既存の計測テクノロジーを Simulink® モデルに簡単に統合して、MicroAutoBox に接続することができました。

予測型温度管理システムの機能ブロック

予測型温度管理システムは複数の論理的機能ブロックで構成されています (図 5)。リコンストラクタは iLeNa とのインターフェースで、CAN バスを通じて送信されたデータパケットの処理を行います。これに使用される通信プロトコルは、BMW 固有の要件に適合させた ADASIS プロトコルです。エレクトロニックホライズンは、バス上の負荷を減らすために周期的に送信されるため、バッファおよび温度管理固有の状況評価のためのインターフェースとして機能するメモリブロックが存在します。タイプ (デジタルマップから取得) および

予想される速度 (iLeNa 知識ベースから取得) に関するプロファイルが、上記の状況に関してフィルタリングされ、距離デー

システムの運転ストラテジや車両の省エネ効果とともに dSPACE ControlDesk に表示されます。

「予測型運転ストラテジを使用してエンジンの事前調整を行うことで、ダイナミクスと燃料効率の向上を同時に図ることができます」

Mathias Braun 氏、BMW グループ

タとともに実際の予測機能ロジックに転送されます。このロジックは、現在位置に関して状況視界 (situation horizon) の評価を行い、温度管理システムによる制御介入の程度とタイミングを計算します。最後に、プレビューの妥当性と現在の車両パラメータを使用して、機能介入の優先順位付けが行われ、あるいは、量産 ECU の挙動へのシステムの切り替えが行われます。現在および予測される環境に関する評価情報が、従来型および予測型の温度管理

燃料消費削減に関する結果

温度管理システムと車両ナビゲーションシステムをネットワークで結ぶことにより、車両の燃料効率とダイナミクスのインテリジェントで同時的な改善を図ることができます。上昇した温度レベルでのより均一なクーラント温度動作を、市街地での通常の運転のために実装することができます。要求される冷却能力における不必要なピークをなくすことによって、車両電装系の負荷を減らし、新たにコンポーネント

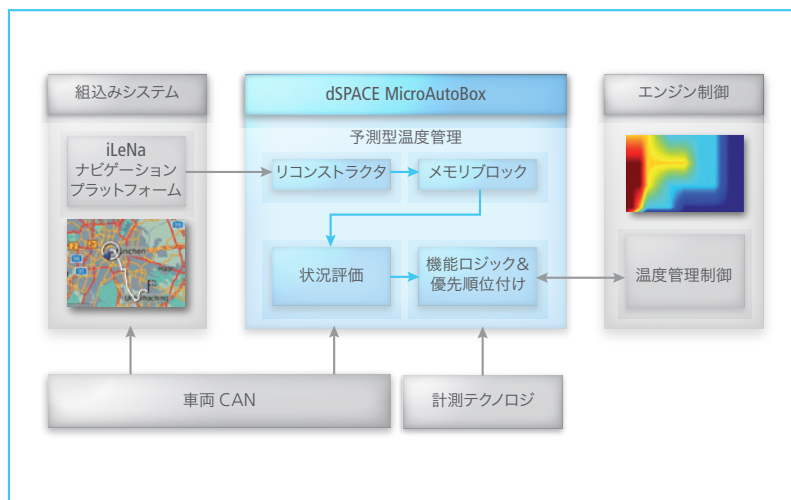


図 5：予測型管理システムのソフトウェアおよび制御の構成

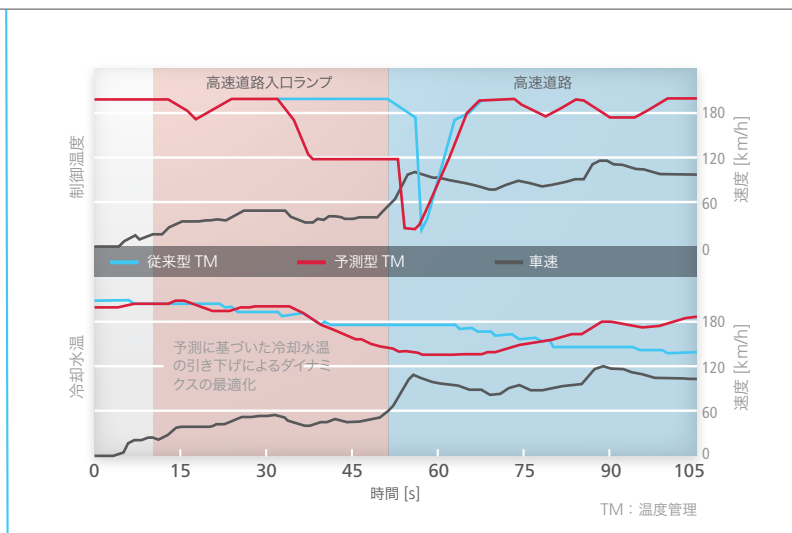


図6：従来の温度管理と予測型温度管理による制御の比較

を追加することなく、運転ストラテジを調整するだけで、燃料消費を最大1%も削減することができます。これは、BMW EfficientDynamics パッケージ全体の他の多くのストラテジの中でも将来的に重要となるストラテジの1つです。

ダイナミクスの向上

ここで説明する2番目の適用ケースでは、予測型温度管理システムを使用して、低負荷時のエンジンの温度レベルを上昇させ、かつ高負荷ポイントへの移行時に限度を超える危険性を回避することができます。また、予測に基づいて温度レベルを下げてエンジンの事前調整を行うことにより、ダイナミクスが向上することが分かりました(図6)。この効果は、加速フェーズ、特に自然吸気式エンジンの一般的な中速域での加速時(たとえば、60~120 km/h への加速時)に測定することができ、無過給のBMW 直列6気筒工

ンジンでは、その範囲は3~5%になります。

ターボチャージャーによる過給エンジンの場合は、それほど目立った予測型温度管理システムのプラスの効果は見られません。これは、シリンダへの給気量が、ターボチャージャーの作動プロセスに依存するためです。

ただし、エンジン全負荷時には、予測による温度の引き下げによって、より適切な点火角度を選択してシリンダ内の燃焼を最適化することで、ターボ過給エンジンの効率の向上を図ることができます。■

Mathias Braun,
Dr. Matthias Linde,
Dr. Andreas Eder,
BMW Group
Dr. (RUS) Evgeny Kozlov,
ALTRAN Technologies

まとめと展望

パワートレインの従来の温度管理システムに予測コンポーネントを追加することによって、インテリジェントな温度管理システムを実現することができました。BMW 3シリーズをベースにしたプロトタイプに、最初の制御ストラテジが実装され、その機能性と潜在能力の検証が行われました。車両内に既に存在する情報を使用するために、さまざまなECUをネットワークで結ぶことで、予測型温度管理システムの例に見られるように、燃料効率とダイナミクスの向上を同時に図ることができました。

ナビゲーション領域をネットワークで結ぶことにより、アダプティブクルーズコントロールや制限速度ディスプレイなどの運転支援システムに対するメリットが生まれました。デジタルマップに含まれる情報の質と量に関する進歩が(ナビゲーションをオンにしていない場合でも)、エネルギーおよび車両内の熱の流れの最適な制御のための予測機能の実現に道を開きます。

予測型温度管理システムだけでなく、モーターのみで駆動する電気自動車の航続距離をもっと正確に計算するなど、他の可能性も存在します。これらの追加機能が実現すれば、BMWグループが開発したBMW EfficientDynamicsストラテジの適用分野はますます拡大していくことでしょう。

物理学専攻
Mathias Braun 氏
BMW グループ

温度管理
博士課程
「予測型温度管理」

理学博士
Matthias Linde 氏
BMW グループ

温度管理
プロジェクトマネージャ
「予測型温度管理」

工学博士
Andreas Eder 氏
BMW グループ

温度管理
部長、先端開発および
シミュレーション

博士(ロシア)
Evgeny Kozlov 氏
ALTRAN Technologies 社

経営コンサルタント
ラビッドコントロール
プロトタイプング

