

ハイブリッドドライブの開発

▲ MAGNA STEYR 社は SUV にハイブリッドドライブを搭載

▲ ハイブリッドデモ車両に dSPACE プロトタイパーを使用

▲ MicroAutoBox と RapidPro がハイブリッドコンポーネントを制御

ハイブリッド車両のドライブトレインにコンポーネントを統合するためには、すべてのシステムをハイブリッドドライブ制御によって全体的に最適化できるように、電子システムと機械システムを広範囲に変更する必要があります。MAGNA STEYR 社とそのパートナー企業は、dSPACE プロトタイパー (MicroAutoBox と RapidPro) を使用して、新しいハイブリッドコンポーネントを量産車に統合し、制御システムを実装しました。ハイブリッドデモ車両 HySUV (メルセデス M クラス) では、dSPACE プロトタイパーをドライブトレイン制御の中心として採用することにより、ハイブリッドドライブを実現しています。MAGNA STEYR 社とそのパートナー企業はこのデモ車両をプラットフォームとして使用し、走行特性、燃費、排気ガスのさらなる最適化を目指しています。

将来のドライブシステム

内燃エンジンと電気駆動を 1 台の車の中で結合する場合、2 種類の駆動タイプの動作点を最適化させることにより、内燃エンジンのみを搭載する車と比べて、燃費、ダイナミクス、排気ガスを大幅に改善することができます。MAGNA STEYR 社は、MAGNA POWERTRAIN 社および Siemens VDO 社と共同で、モジュラー方式のハイブリッドドライブシステムを開発しました。この中で、「将来の車両ドライブ」のための専門家ネットワークである K-net KFZ の研究成果を利用しました。燃費、ダイナミクス、排気ガスを最適化できる可能性を調査するため、MAGNA 社が開発したハイブリッドコンポーネントが、自動車メーカーのサポートを得ながらプロトタイプドライブトレインに統合されました。制御システム、およびドライブトレイン

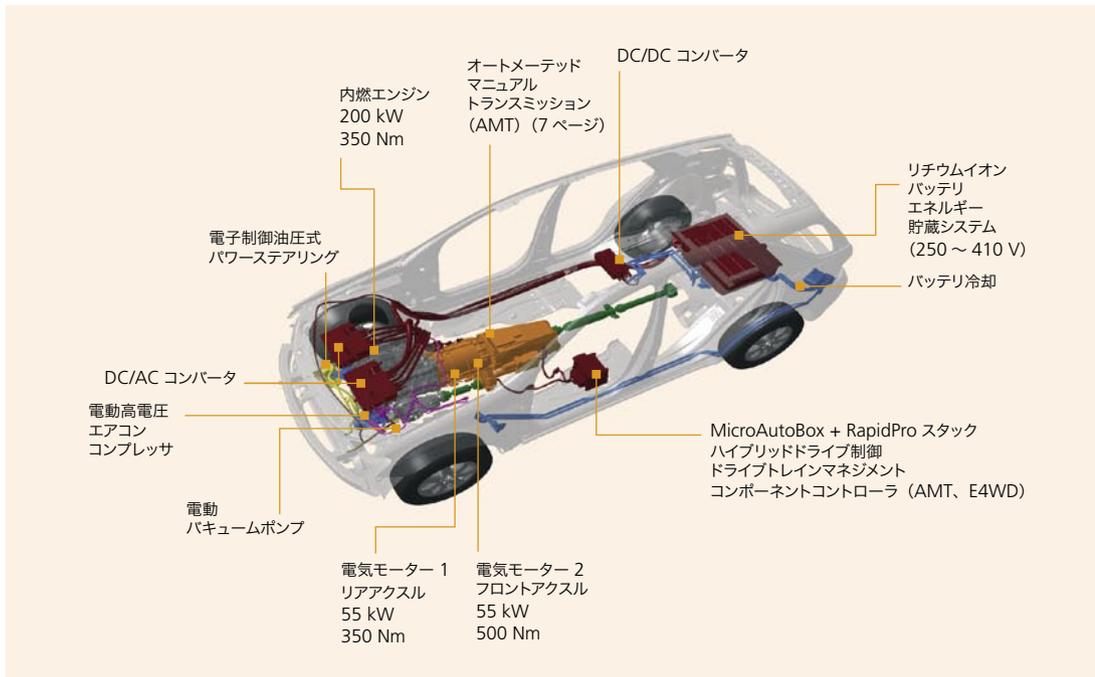
内部で相互接続される新しいコンポーネントは、主幹ハイブリッドドライブ制御に基づき、dSPACE プロトタイパー (MicroAutoBox と RapidPro) を使用して実装されます。MAGNA STEYR 社は、この作業をハイブリッドデモ車両 HySUV (メルセデス M クラス) の車内で実施しました。

ハイブリッドコンポーネント

HySUV デモ車両では、ML350 (メルセデス M クラス) のオートマチックトランスミッション (AT) とトランスファケースを、オートメーテッドマニュアルトランスミッション (AMT) とハイブリッドモジュール (E4WD モジュール) に置き換えました。電気式四輪駆動を備えるフルハイブリッドドライブトレインは、このようにして実装されました。リアアクスルは内燃エンジンと電気モーターの両方によって駆動され、フロントアクスルは純粋に電気モーターのみで駆動されます。このモジュール型ドライブトレインコンセプトの核となるものが、MAGNA 社の E4WD モジュールです。このモジュールは、出力 55 kW の 2 基の電気モーターと、トルク伝達を制御する 4 基の油圧式多板クラッチで構成されています。電力は、MAGNA STEYR 社が開発した 70 kW/360 V リチウムイオンバッテリーシステムに蓄積されます。電気モーターのみで駆動する場合に備え、内燃エンジンの補機類を電動式のコンポーネントに置き換えています。



▲ デモ車両 HySUV (メルセデス ML350 改造) によるハイブリッドドライブの体験：
ドライバーと乗員は、ディスプレイに表示される 3 つの駆動ユニットのトルク伝達状況を見ることができます。



◀ デモ車両に搭載されたハイブリッドドライブトレインのすべてのコンポーネントは、dSPACE プロトタイプ（MicroAutoBox と RapidPro ハードウェア）によって制御されます。

プロトタイプハードウェアの選択

目標は、ハイブリッドドライブトレインのすべてのコンポーネントを、たったひとつのプロトタイプで制御することでした。この目標を達成するために、処理能力とハードウェアインターフェースに厳しい要求が課されました。そのため選択された MicroAutoBox は、それ以来、MAGNA STEYR 社の標準ツールとなり、幅広い種類のドライブトレインアプリケーションのプロトタイプを効率的に実装するために使用されています。限られた開発期間と、わずかな数量しか必要とされない状況では、社内または外注でハードウェアを開発することは合理的ではありません。そこで、MAGNA STEYR 社は、MicroAutoBox に加えて RapidPro システムを使用しています。RapidPro は設定と拡張を自由に行えるドライバハードウェアソリューションで、MAGNA STEYR 社の要件を完全に満たします。ソフトウェアおよびハードウェアによって信号の入出力を変更できるという柔軟性は、特にプロトタイプ開発の初期段階において、センサシステムとアクチュエータシステムがまだ完全に定義されていない場合に効果を発揮します。制御ロジックソフトウェアに統合可能な診断コンポーネントを組み合わせ、十分な実績と信頼性を備えた RapidPro ハードウェアのおかげで、制御ロジック開発の重要な側面に集中することができます。MAGNA STEYR 社は HySUV デモ車両のために、3 台の RapidPro Power Unit と 1 台の RapidPro Control Unit (MPC565) で構成されるスタックを使用しています。

「MicroAutoBox が MAGNA STEYR 社の標準ツールとなったことにより、幅広い種類のドライブトレインアプリケーションのプロトタイプを効率的に実装できます」

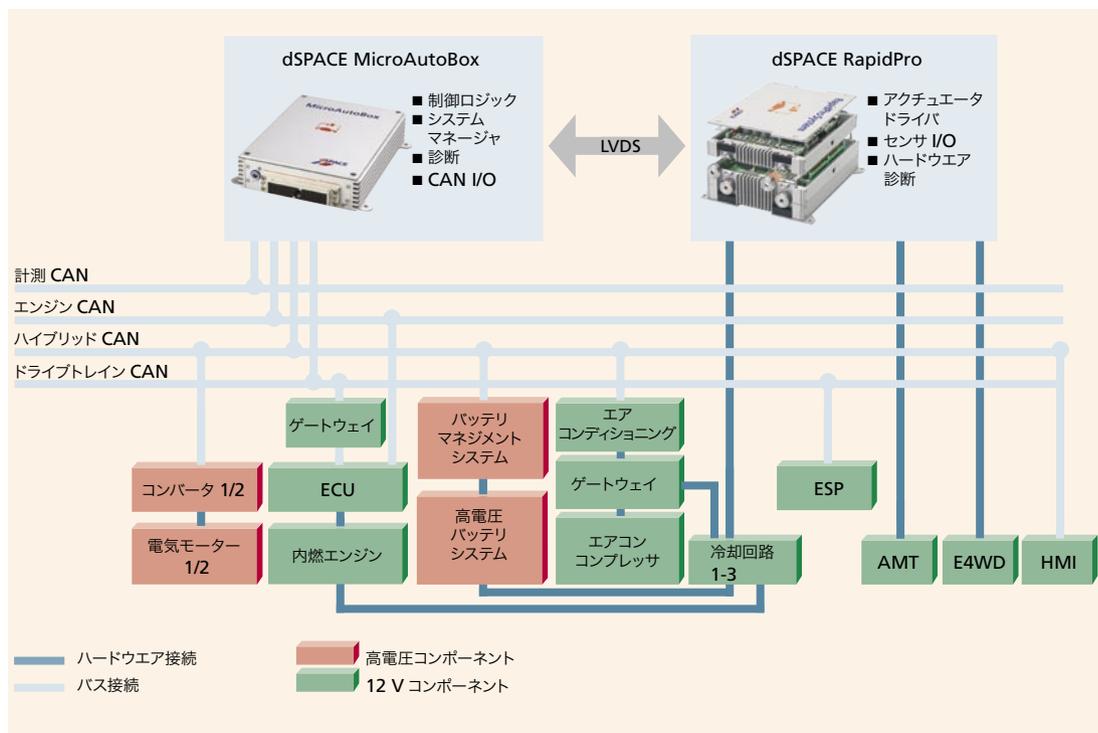
工学修士 Theodor Schöberl, MAGNA STEYR Fahrzeugtechnik AG & Co KG

RapidPro システムのデータ

- PWM 信号により制御される 13 個のバルブと PWM 同期電流計測
- 4 台の PWM 制御ポンプ
- 圧力、排気量、エンジン回転数の計測に使用する 12 個のデジタル入力
- 温度と圧力の計測に使用する 8 個のアナログ入力

統合された開発プロセス

開発の当初から、制御ロジックとソフトウェアの開発プロセスでは、量産開発、特に量産コード生成へのシームレスな移行を重視しています。MAGNA STEYR 社では、量産コードの生成に TargetLink を使用しています。このための要件が設計段階の構成管理の時点から考慮され、モデリングガイドラインとモデルライブラリに反映されています。いくつかの階層レベルにまたがってモジュール化を行えるように



▲ システムアーキテクチャ：車両内部にネットワーク化された dSPACE プロトタイプ

Simulink®/Stateflow® 開発環境が拡張され、複数のエンジニアリングチームに作業プラットフォームを提供するとともに、シミュレーション、ラピッドプロトタイピング、量産コード、テストベンチ操作のバージョン管理もサポートしています。

制御ロジックの開発

ドライブレインコンポーネントのモジュラー型の設計は、ソフトウェア設計に反映されています。この方式は、多数のハイブリッドドライブレイン構成に拡張することが可能で、量産プロジェクトにおけるユーザ固有の機能に対しても対応します。制御ソフトウェアは、ドライブレイン内部のトルク伝達経路全体を制御するロジックとインターフェースから構成され、ドライバー入力の取得からドライブコンポーネントのための動作点の選択、最適なトラクションを得られるような駆動トルク配分、さらにはカップリングとオートメテッドマニュアルトランスミッション (AMT) と補機類のためのコンポーネント制御までを網羅します。これらに加えて、ドライブレイン内部のコンポーネントの動作状態を制御し、制御ロジックソフトウェアと RapidPro スタックからの診断情報を取得、評価するための中央制御ロジックが備わります。

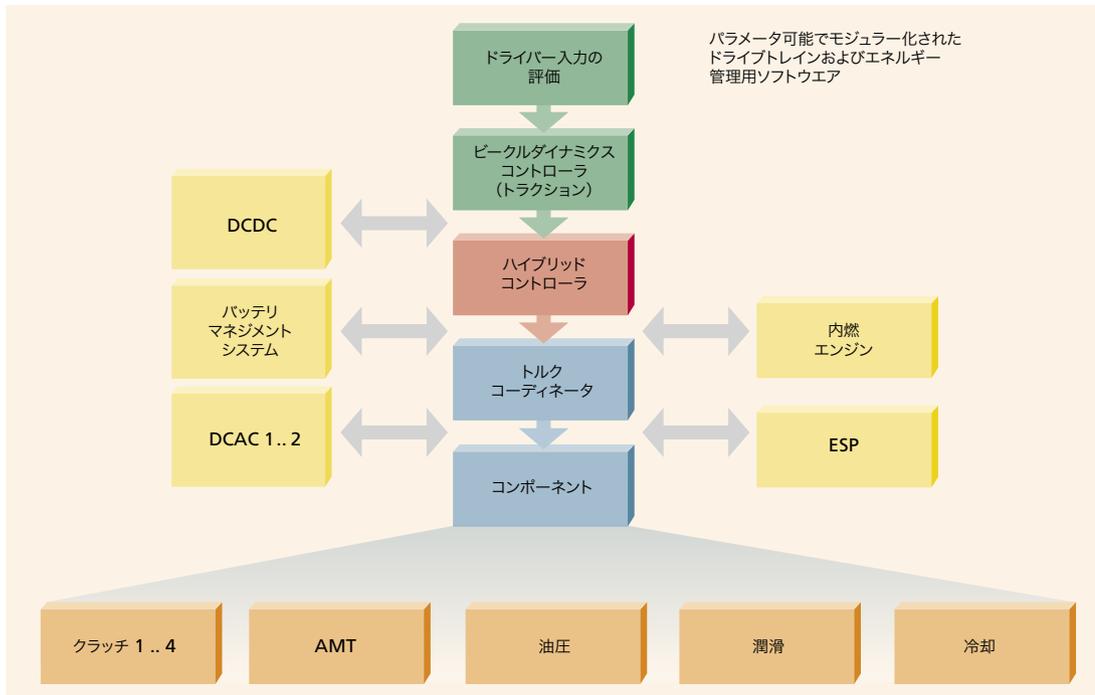
ソフトウェアコンポーネント

- **ドライバー入力の取得：**
アクセルペダル、ブレーキペダル、ギアレバーを介して、ドライバーが要求するトルクを決定します。

- **ピークルダイナミクス制御システム：**
ドライバーによるトルク要求を、3つの駆動ユニットの利用可能状況に基づき、トラクションを最適化するように各アクスルへ配分します。
- **ハイブリッド制御システム：**
効率性、ダイナミクス要求、バッテリーの充電状態、快適性、熱的な動作条件を考慮して、トルク配分と必要なギアを決定します。
- **トルクコーディネータ：**
ドライブレイン内部の設定および制御の過渡プロセスを管理します。
- **コンポーネント制御：**
オートメテッドマニュアルトランスミッション (AMT) と E4WD モジュールのコンポーネントを制御します。

コンポーネントのテスト

コンポーネント制御やトランスミッション制御などのハードウェアに関する制御ロジックは、プロジェクトの早い段階にプロトタイプハードウェアを使用して、コンポーネント上でテストと最適化が行われます。走行制御の中心となるハイブリッド制御システムは、実際に機能する車両を用意するまでテストを行うことができません。それにもかかわらず、プロジェクトの初期段階で機能を検証することが求められており、そのためにはシミュレーション環境を用意する必要があります。そこで、プロジェクト初期段階のコンセプト評



▲ 数多くのソフトウェアコンポーネントにより、アクセルペダル、ブレーキペダル、ギアレバーを介して伝えられるドライバーの要求に対して、ハイブリッドドライブが最適に反応します。

価に使用されたドライブトレインとハイブリッドコンポーネントのモデルを調整することによって、この環境を生み出しました。パラメータ化が可能なドライバーモデルのおかげで、さまざまな走行プロファイルを実装して、発進操作時、スロットルのオン/オフ時、ギア変更時における走行動作を評価し、さらに極限状態でのシステム動作を検証することができます。こうして作成されたモデルは、MicroAutoBox 上でハイブリッド制御システムと組み合わせて実行できるため、コード生成とランタイムプロパティの効果を早い段階で検討することができます。

現在のモデルデータ

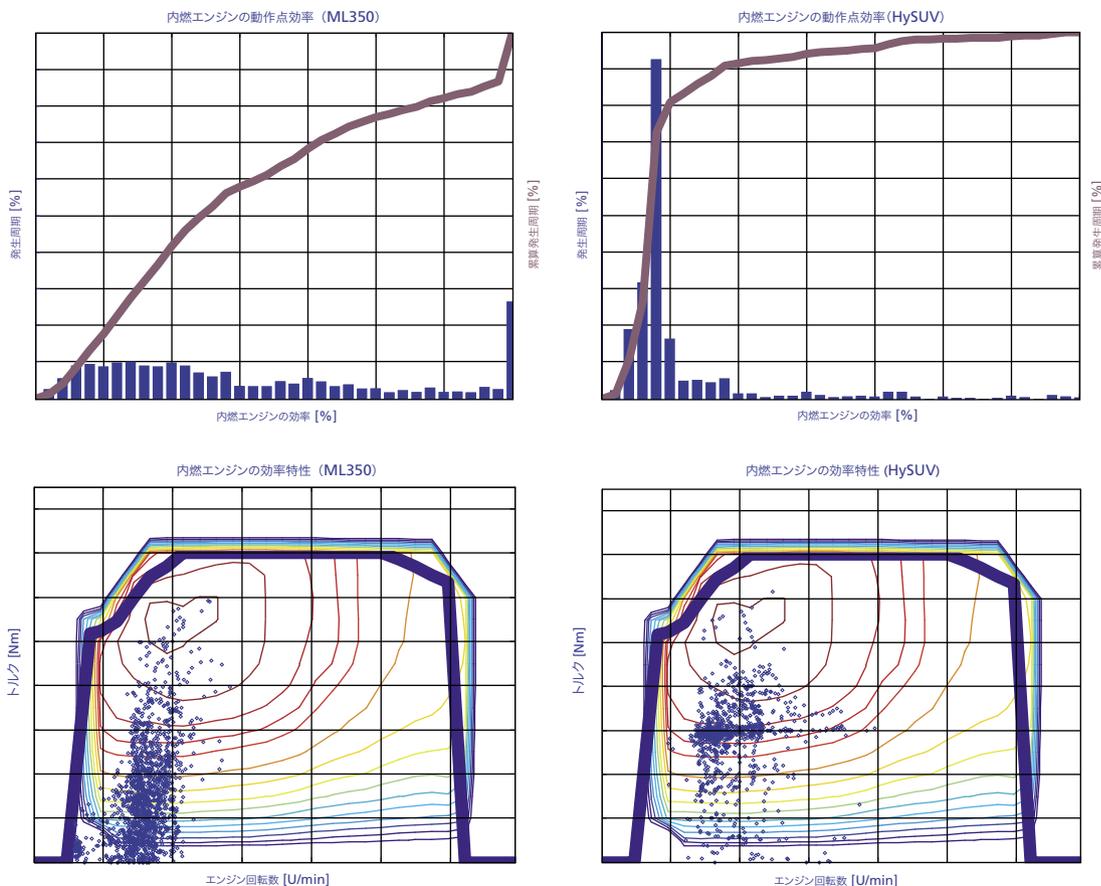
- 44,000 ブロック
- 257,000 ラインの C コードを生成 (Real-Time Workshop®)
- コード生成時間：1 時間 40 分 (Core 2 Duo 2.67 GHz ; 4 GB RAM)
- 4.5 MB MicroAutoBox アプリケーション
- 4 つのタスクを MicroAutoBox 上で CPU 負荷 95% で実行

最適化のステップ

ハイブリッド制御システムの中では、多数の異なるドライブトレイン構成のために必要となる複雑な計算をすべて並列で処理しなくてはならず、そのために非常に高い処理能力が求められます。リソースを体系的に配分するためのマルチタスクシステムは以前から導入されていましたが、統合段階で大規模なモデルを扱うときには、MicroAutoBox の性能を限界まで使用しました。それでも、リソース消費を検討してコードの見直しを行うことにより、モデル内部における CPU 実行時間の浪費を見つけました。コードジェネレータ (Real-Time Workshop®) 内部の最適化調整に加えて、コードの効率性を向上させるためにはモデル化をさらに推し進めることが必要でした。

車内での制御システムのコミッショニング

システムは徐々に車両に実装されていきました。最初のパラメータ設定の段階で、内燃エンジンの動作点配分に関する制御方式について、すでに好ましい効果が現れました。効率性の低い動作点は、完全な電気制御、または内燃エンジンの負荷点移動に置き換えられています。現在のコミッショニング作業では、drive-off 制御とブーストに焦点を絞っています。調整されたシミュレーションモデルと実際の計測値に基づいてハイブリッド制御システムをシミュレートすることにより、車両開発をサポートしています。



▲ お客様の視点に立って比較運転を実施したところ、内燃エンジンの動作点配分に関する制御方式は好ましい効果を示しています。効率性の低い動作点は、完全な電気制御、または内燃エンジンの負荷点移動に置き換えられます。その結果、動作点が内燃エンジンの最適な動作範囲へと明確に移動しています。

次のステップ

制御ロジックソフトウェアの実装とテストに成功し、現在は、さらなる最適化を目指してテストドライブを行っている段階です。実績のあるモジュラー方式の dSPACE プロトタイプは、必要な信頼性と柔軟性を備えています。今後の課題として次のことが計画されています。

- ドライブトレイン内部のダイナミックプロセスの調査と最適化
- ダイナミックプロセスを研究するためにドライブトレインモデルを拡張し、シミュレーション内部でトラクション制御システムをさらに開発
- 動力性能、燃費、排気ガスに関する制御方式の最適化
- 最適なブレーキエネルギー回生のために、制御方式へのブレーキシステムの統合をさらに促進

- リチウムイオンバッテリーを量産レベルにまで開発。バッテリー管理システムの制御ロジックソフトウェアを開発するために TargetLink を使用

工学修士 Theodor Schöberl
工学修士 Franz-Gunnar Grein
部門：
Drivetrain Control Systems
(ドライブトレイン制御システム)
MAGNA STEYR
Fahrzeugtechnik AG & Co KG Graz
オーストリア