



ここ数年間、ハイブリッドドライブは乗用車の世界に浸透してきました。発進と停止を繰り返す建設機械も、ハイブリッドドライブにとって理想的な適用分野です。エンジン専門メーカーのDeutz社および建設機械メーカーのAtlas Weyhausen社は、dSPACEツールを使用してハイブリッドドライブのホイールローダーを開発しました。このハイブリッドドライブは、従来のディーゼルエンジンよりも多くの点で優れています。



Diesel Meets Electric

ディーゼルエンジンと電気モーターを組み合わせた建設機械用
ハイブリッドドライブの開発 (Deutz 社)



ハイブリッドの特徴

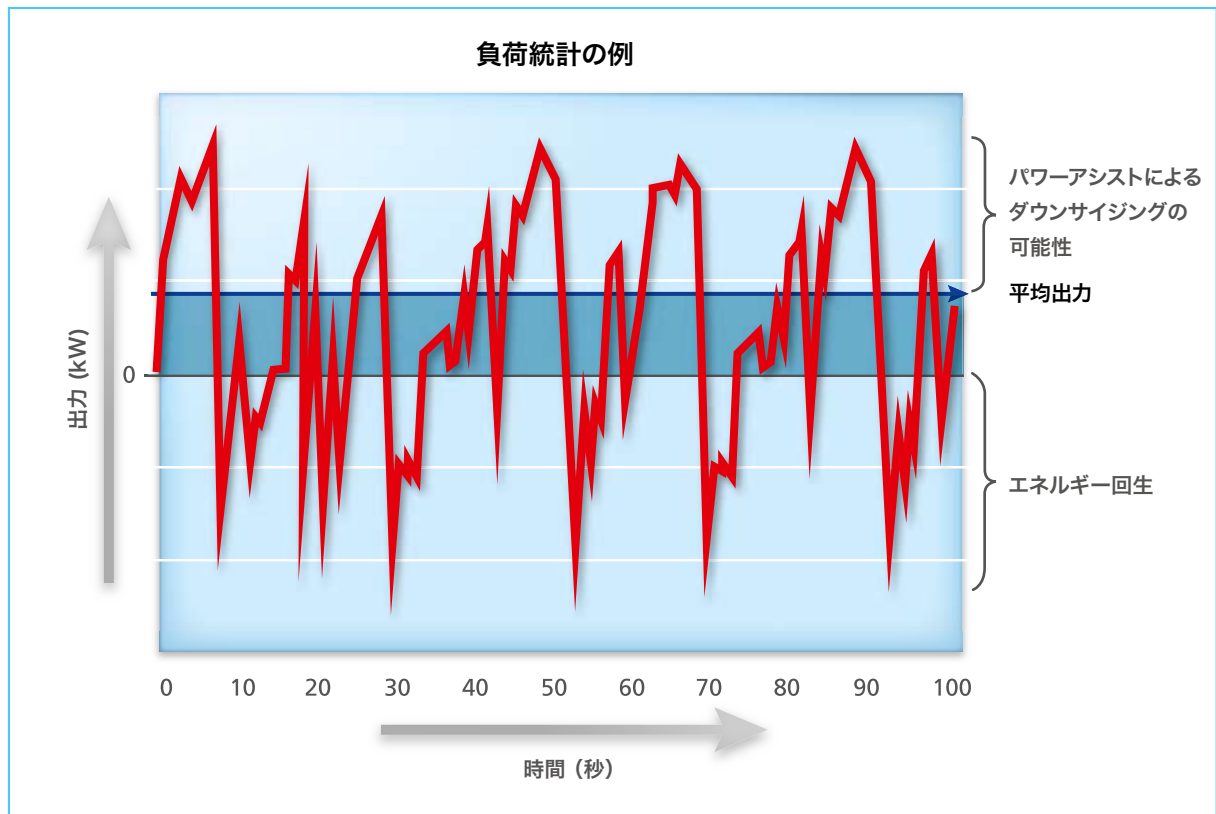
今日のハイブリッドドライブは、エンジンと電気モーターを組み合わせています。電気モーターには2つの役割があります。そのひとつが発電機としての役割で、従来は制動時に熱として放出されていたエネルギーを蓄積します。もうひとつの役割は、発進時や低回転時などエンジンの運転効率が低下する領域でエンジンのパワーをアシストすることです。内燃エンジンとは異なり、電気モーターはこうした条件において高いトルクを発生します。以上の利点を備えるハイブリッドドライブは、適切な場面で使用することによってシステムの効率を大幅に高め、結果的にCO₂排出量と燃料消費量を低減します。それゆえ、燃料価格の高騰と排出ガス規制の厳格化が進む中で、ハイブリッドドライブへの関心がますます高まっています。

不整地用車両での利点

ハイブリッドドライブは、制動時に発生する膨大なエネルギーを回生するため、加速と制動を頻繁に繰り返す車両において特に効果を発揮します。オンロード車に限らず、掘削機、ローダー、フォークリフトなど、あらゆる車両にこの利点を適用することが可能です。こうした不整地用車両は、いずれも極めて短い走行距離の中で制動と加速を頻繁に繰り返し、負荷のピークが高いという特徴があるため、ハイブリッドドライブを導入するには理想的な条件です。さらに、アイドリング時にエンジンのオン、オフを自動的に切り替えることで、燃料消費量をさらに節約することができます。

ハイブリッドドライブ付きホイールローダー

私たちは、ホイールローダーを得意とするAtlas Weyhausen社との共同プロジェクトにおいて、AR-65スーパーホイールローダー用の「マイルド」ハイブリッドシステムを開発するためにdSPACEツールを使用しました。「マイルド」とは、電気モーターをディーゼルエンジンに結合し、頻繁な制動と加速時にパワーアシストを行うという意味です。マイルドハイブリッドはこの点において、スタート/ストップ機能しか有しないマイクロハイブリッド、あるいはモーターだけで走行可能なフルハイブリッドとは異なります。ハイブリッドシステムは、以下の手段で燃料消費量を大幅に低減します。



建設機械の負荷曲線。制動、加速、アイドリングが頻繁に繰り返され、ハイブリッドドライブの適用には理想的



実装したハイブリッド機能により燃料費用をトータルで 20% 削減し、CO₂ 排出量も削減

実装したハイブリッド機能の概要

- **パワーアシスト**
出力がピークに達すると電気モーターを自動的に作動
- **負荷点の引き上げと移動**
ディーゼルエンジンの動作点がより効率の高い領域に移動
- **スタート/ストップ機能**
アイドリング時にエンジンを自動的に作動/停止
- **エネルギー回生**
余分なエネルギーをリチウムイオンバッテリーに蓄積

「RTI CAN MultiMessage Blockset のおかげで、CAN 通信システム全体をすばやく簡単に設定することができました」

Marco Brun, Deutz AG

- ディーゼルエンジンのダウンサイジング（電気モーターによるパワーアシストが加わるため、低出力のディーゼルエンジンで十分）
- 負荷点の上昇と移動（ディーゼルエンジンを最適な効率の領域で運転）
- エネルギー回生（制動エネルギーをバッテリーに蓄積）
- スタート/ストップ機能（アイドリング時にエンジンを自動的に停止）

システム設計

まずホイールローダーのパワートレインには、DEUTZ 社製 3 気筒ディーゼルエンジン（最高出力 36.9 kW/2100 rpm）を採用しました。そしてディーゼルエンジンのフライホイールバルハウジング内部には、定

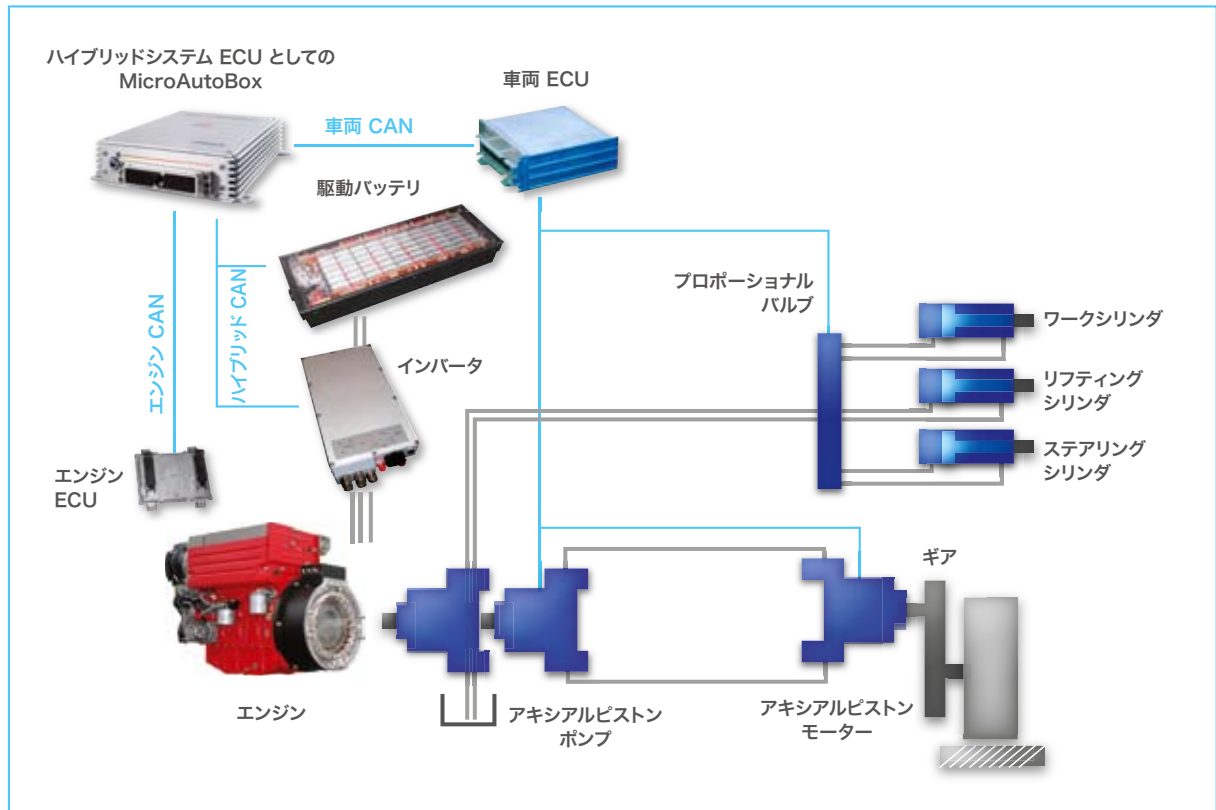
格出力 15 kW、最高出力 30 kW の永久磁石同期モーターが装着されています。ローターはクランクシャフトに直結されています。電気ユニットは大きな場所を必要としないため、このようなシステム構成であればハイブリッドドライブを機械的に問題なく統合することができます。ハイブリッドシステムの駆動バッテリーは定格電圧 400 V のリチウムイオンバッテリーで、インバータ経由でモーターと接続します。インバータは同期モーターを整流し、運転状況に応じてトルクを自動的に制御します。ハイブリッドドライブは、2 つの油圧ポンプであるトラクションポンプおよびワークポンプに接続しています。油圧式のトラクションモーターと同様に、トラクションポンプはアキシアルピストンポンプの構造を

しており、トラクションモーターの作動油圧を発生します。機械式のギアボックスを介さないことから、この機構は静圧トラクションドライブと呼ばれます。ワークポンプはプロポーションバルブを通じて、バケットの昇降とホイールローダーの操舵を行う油圧シリンダに油圧オイルを供給します。

開発に dSPACE のハードウェアとソフトウェアを使用

私たちはハイブリッドシステム ECU のソフトウェア機能を開発するために、以下の dSPACE ツールを使用しました。

- MicroAutoBox（ハイブリッドシステム ECU の役割）
- Real-Time Interface（MicroAutoBox 用入出力インターフェースの設定）
- RTI CAN MultiMessage Blockset（CAN 通信の設定）
- ControlDesk および CalDesk（ハイブリッド機能の適合）



ホイールローダーにおけるマイルドハイブリッドシステムの概観図。MicroAutoBox を上位のハイブリッドシステム ECU として使用

RTI および RTI CAN MultiMessage Blockset を使用することで、完全な機能システムソフトウェアを MicroAutoBox 上にわずか 3 ヶ月間で実装することができました。RTI CAN MultiMessage Blockset はとても使いやすいツールであり、CAN 設定ファイル (DBC ファイル) のリンクをサポートしているおかげで、CAN 通信を極めて短期間に設定することが可能です。

ホイールローダーには 3 つの CAN チャンネル (エンジン CAN、ハイブリッド CAN、車両 CAN) を設定しました。システムソフトウェアを Simulink で直接プログラミングしたおかげで、エンジン、電気機器、インバータ、バッテリー、ワーク油圧機器、トラクション油圧機器コンポーネントを含むソフトウェア機能をプラントモデル (MIL) 上で試行することができました。

すなわち、最初のプロトタイプコンポーネントが利用可能になるよりも前にソフトウェア機能のテストができるようになったのです。プロジェクトに与えられた開発期間が非常に短いという条件の中で、これは絶対に欠かせない要件でした。

私たちは、あらかじめテストしたソフトウェア機能と、RTI によって設定した入出力 (デジタル、アナログ、PWM、CAN) を使用することにより、MicroAutoBox 上で作動するソフトウェアバージョンを生成し、テストベンチ上で検証を行いました。スタート/ストップ機能などのテストと適合には ControlDesk と CalDesk を使用しました。

最後に、MicroAutoBox を上位のハイブリッドシステム ECU として使用することでホイールローダーを操作し、パワーアシストおよび負荷点の引き上げと移動に必要な機能を実装しました。

エミッションと費用の削減

ハイブリッドドライブは燃料消費量を抑制することで、CO₂ 排出量だけではなく、費用も大幅に削減することができます。試算してみればその効果は明らかです。従来の車両の燃料消費量が毎時 6.5 ℓ、軽油価格がリッターあたり 1.30 € の場合、燃料消費量を 20 % 削減することで毎時 1.70 € の燃料代が節約でき、通常の稼働日で計算すると年間 1500 € の軽減になります。車両の全使用期間を通じて削減可能な費用の総額は、ハイブリッドドライブの追加による価格上昇分を相殺して余りあるものです。

2010年の量産化を目指して

エミッションと費用の削減においてこうした明確な利点を備えるハイブリッドドライブは、建設機械の分野で大きな可能性を秘めています。私たちは次の段階として、さらに多くのホイールローダーや建設機械に dSPACE MicroAutoBox を搭載し、さまざまなお客様に現場で使用していただくことにより経験を積み重ねて参ります。2010年の半ばまでにハイブリッドシステムを量産化することが私たちの目標です。■

Marco Brun
Deutz AG
ドイツ



外観上、標準的なホイールローダーと異なる部分は、ルーフに搭載されたリチウムイオンバッテリーのみです。

ソフトウェア機能を MIL (Model-in-the-Loop) で開発

- ディーゼルエンジン、ECU、インバータ、電気モーター、BMS (バッテリー管理システム) のモデル化
- MIL テストに続きハイブリッドソフトウェア機能をセットアップ
I/O および CAN インターフェースのセットアップ
- ECU ネットワークの通信テスト



テストベンチ上でハイブリッドシステムのコミッショニング

- ディーゼルエンジン、電気モーター、インバータ、リチウムイオンバッテリー、ハイブリッド ECU のセットアップ
- 安全機能の実装
- ECU ネットワークの実装
- ハイブリッド機能のテストおよび事前調整



ホイールローダーの機能の実装および適合

- ステアリングホイール/アクセルペダル/インテックペダル/レバーを操作したときの発進/停止動作の適合
- パワーアシスト機能、負荷点の移動およびエネルギー回生の適合



ハイブリッドソフトウェア機能の開発用ワークフロー。機能システムソフトウェア全体を、ホイールローダーに搭載した dSPACE MicroAutoBox 上にわずか3ヶ月間で実装