







# Smooth Success

トラクタ用の無限可変トランスミッションの開発

出典：© CLAAS 社

CLAAS Industrietechnik (CIT) 社では、新しいトラクタ用トランスミッションを開発する以前はモデルベースのソフトウェア開発の経験はまったくありませんでした。しかし、開発した製品は結果的に期待をはるかに越える性能を発揮しました。この成功には、強力な dSPACE ツールの導入が大きく貢献しています。





フロントローディング



刈取り



耕作



市町村事業

CLAAS Industrietechnik GmbH (CIT) 社の大型トラクタの始動性は非常に優れています。トラクタが静かに丘の上を走り出すと、滑らかに加速し、動力を失うことなく最高速度に到達しますが、この間、ドライバーがクラッチや変速レバーを操作する必要はありません。単にアクセルを踏むだけです。これは、同社が開発したトラクタ用新型トランスミッションである無限可変トランスミッション (IVT)、EQ 200 により実現しています。EQ 200 を使用すると、斜面でもトラクタを適切なアイドル状態に保ち、アクセルの指令にすばやく反応させることができます。EQ 200 の設計では、トラクタが最高速度の時速 50 km で走行している場合でも 1,500 rpm という極めて低いエンジントルクを実現できるようになってお

り、燃費の向上も可能にしています。CIT 社がこのようなトランスミッションを独自に開発したのは、効率性と快適さを共に向上させるためでした。CIT 社製品部の責任者である Jan-Willem Verhorst 氏は、「市販のトランスミッションでは当社のニーズを満たすことができませんでした」と述べています。

#### 動力源としてのトラクタ

トラクタの主な機能の 1 つは、動力取出装置 (PTO) を利用して、干し草乾燥機などの作業ツールを駆動させることです。「だからこそ、私達はトラクタを車両としてだけでなく、動力源としても考える必要がありました」と CIT 社のエレクトロニクス開発担当者である Helmut Konrad 氏は述べています。「もちろん、これには新たな課

題が伴います」。同氏は、装着式の農機具の処理速度に特に着目しました。なぜなら、これらはトラクタの推進力とは関係なく制御できる必要があるためです。CIT 社の開発チームにとって極めて重要な課題は、効率的な開発プロセスの構築と、どのような速度でも一貫して最適化された作業を行える優れた制御性でした。

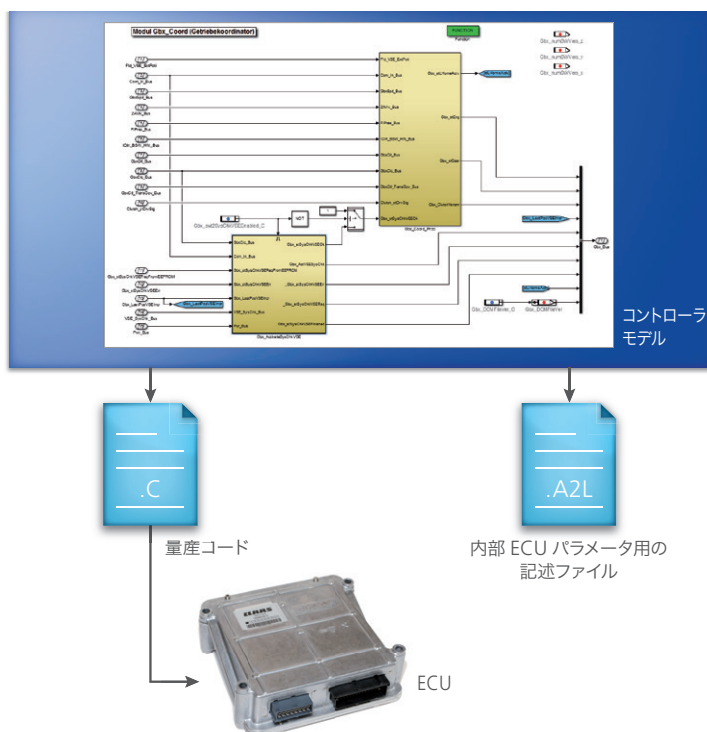
#### 技術的な要件

CIT 社では、農機具の最適な駆動方式や操作方式を自動的に特定できるドライブコントローラを使用して、トラクタの多様な用途に対応できる理想的な動作を保証することにしました。同社で求められる駆動コンセプトを実現するコントローラを独自に開発することの意義について、Verhorst 氏は次のように説明しています。「当社では、低トルクおよび低燃費の実現だけでなく、多種多様なニーズに対応できることを求めています」。さらに農業関連のエンジニアリングではフェールセーフ機能に関する厳しい要件があります。技術的な欠陥により車両を使用できない場合があると、生産性が大幅に低下してしまったり、全収穫を失うことにもなりかねません。

#### 開発タスク：無限可変トランスミッション (IVT)

CIT 社にとって、無限可変トランスミッション (IVT) EQ 200 を開発する上で、こうした要件のすべてを取り込むということが極めて重要な目標でした。さらに、トランスミッション ECU やドライブコントローラの開発も必要でした。「CIT では、この性能クラスにおいて前例となるようなプロジェクトがなかったため、当社の開発者はゼロからスタートしなければなりませんでした」と、R&D Tractor Powertrain 部門のシステムエンジニアである Thomas Gohde 氏は回想します。「そのため、当初の私達の目標は果てしないものになってしまいました」。最初に作られた設計案は、後に社史で「ドライバーの夢の国」と記録されるほど、要件の厳しい仕様でした。それと同時に、開発者は自動車規格や農業用車両向けの電子制御ユニット (ECU) の機能安全を定義する ISO 25119 規格など

TargetLink を使用して、コントローラモデルから量産コードを効率的に生成し、ECU に実装します。





冬期の保守

夜間の操作

出典：© CLAAS 社



## 「MicroAutoBox を活用することで、制御方式の車載テストと評価を容易かつ迅速に行うことができました」

Jan-Willem Verhorst 氏、R&D Drivetrain 部門責任者、  
CLAAS Industrietechnik GmbH

の一般的な要件への準拠も一貫して求められました。

### ツールチェーンの選択

CIT 社は、ドライブコントローラおよび EQ 200 の ECU の開発手法として、初めてモデルベースのソフトウェア開発プロセスを選択しました。ただし、同社はこの分野での経験がなかったため、業界で実績のある標準的なツールだけで作業を行えることを望んでいました。このため、同社は開発環境としてすぐに Simulink® を選択しました。しかし、どのように 2 つの ECU 用のターゲットコードを生成するかという問題が残っていました。同社は他部門で以前行った調査結果を調べたうえで、dSPACE の量産コード生成ツールである TargetLink® を使用することにしました。トラクタのプロトタイプでアルゴリズムのテストを行う際のツールとしては、車両開発で定評のある dSPACE ツール MicroAutoBox® を選択しました。さらに、ECU テスト用として、2 つの dSPACE HIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレータを開発フェーズに導入しました。

### 機能の開発

プロジェクトの開始時点では、CIT 社の開発チームは 4 人でしたが、追加タスクが増えるにつれ、チームの規模はすぐに大きくなりました。しかし、チームが拡大したとはいえ、求められる仕様は厳し過ぎるものであったというのが実情でした。そのため、同社は仕様書を「現実的」に改訂し、より実際的な方法を模索することにし

ました。CIT 社にはモデルベース開発での経験が最初は皆無であったにも関わらず、dSPACE 製品を使用することで、その後の開発作業はすぐに順調に進むようになりました。「dSPACE のツールチェーンにより、それほど多くのコーディング作業に取り組む必要もなく機能開発に集中することができたため、私たちはトランスミッション開発において機械装置との通信を容易に改善させることができました」と Gohde 氏は述べています。CIT 社では、開発パートナーが当初行っていたトランスミッション ECU のプロジェクトを引き継ぎ、自社で継続することもできました。

### 機能の実装

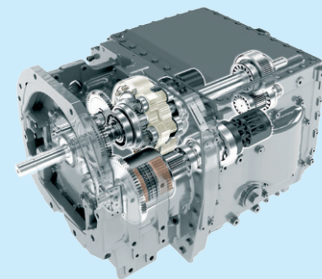
CIT 社は、機能モデルの開発に TargetLink Blockset を使用しました。「当社は、ネイティブな TargetLink ブロックのほかに、頻繁に使用するフィルタなどの機能をまとめた独自のライブラリを作成しました」と Gohde 氏は述べています。また、開発チームはモデルリファレンス機能により、分散型のモデル開発も行いました。モデルリファレンス機能とは、機能の一部を個別に作成、生成、およびテストし、それらを上位の統合モデルに取り込み、そこからソフトウェア統合のためのグルーコードを TargetLink で生成する機能です。開発チームは保存領域を十分に確保するため、ページ切り替え機能も活用しました。これにより、さまざまなパラメータ設定変数を容易に切り替えたり、適合および計測ツール用の A2L ファイルを TargetLink で生成したりすることがで

&gt;&gt;

## 無限可変トランス ミッション (IVT) EQ 200

EQ 200 のコンポーネントには、複合比プラネタリトランスミッション、油圧トランスミッションユニット、および 2 つのマルチプレートクラッチが含まれています。EQ 200 では、どのような速度でもトランスミッションがほぼ一定の高い効率性を確保できるように各部品が組み合わされています。ギアが自動変速すると、ギア比だけでなくトランスミッションを通じたパワーフロー全体も変化します。2 つのクラッチシャフトのトルクは、速度が増すにつれて互いに同期していき、最終的には同じトルクになります。2 つのトルクが完全に同期すると、マルチプレートクラッチによりギアが変化します。このため、負荷がかかっている状態でも回転速度やトルクが急上昇することなくギアが切り替えられ、滑らかなアクセル動作が実現されます。

EQ 200 トランスミッションの動作については、次の動画でご確認ください。  
[www.dspace.jp/go/dMag\\_20161\\_CLAAS\\_E](http://www.dspace.jp/go/dMag_20161_CLAAS_E)



EQ 200 トランスミッションは、振動のないギア変更と滑らかな動作を実現する優れた性能を備えています。





「TargetLink を使用することにより、当社では開発工程の一部をまるごと省略しながら、常に信頼性の高い量産コードを生成できるようになりました」

Thomas Gohde 氏、R&D Tractor Powertrain 部門システムエンジニア、CLAAS Industrietechnik GmbH

きました。さらに、TargetLink の独自機能や BTC EmbeddedTester を使用して徹底的なコードのテストを行い、開発の早期の段階でエラーを検出し排除しました。TargetLink で生成した効率性に優れた量産コードは、こうして制御ユニットに実装されました。

#### ECU ソフトウェアの妥当性確認

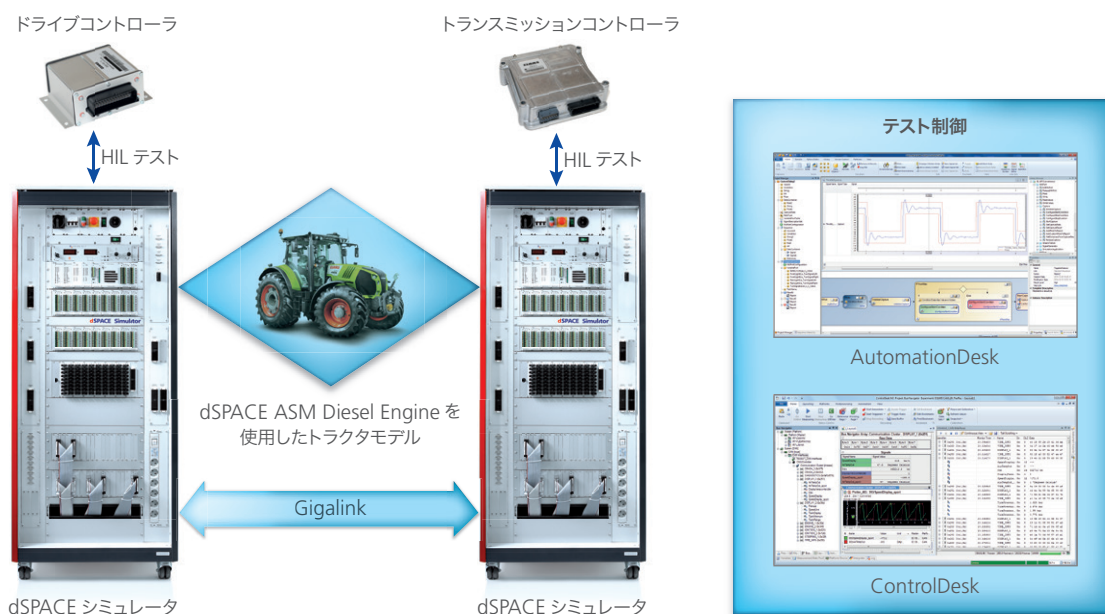
「私達は、プロジェクトの開始当初から、ECU のテストには ECU ソフトウェアの開発と同等の作業が必要となることはわかっていました」と Konrad 氏は回想しています。「このため、当社は開発チームとテストチームという強力な 2 つのチームを同

時に立ち上げ、それぞれのチームを個別に動かして互いに実力を発揮できるようにしたのです」。HIL テストは、ドライブ制御 ECU から開始されました。CIT 社は、エンジンシミュレーション用に dSPACE の ASM Diesel Engine モデルを使用しましたが、この作業に必要なシミュレーションモデルのほとんどは自社で開発しました。開発者は、AutomationDesk を使用してテストライブラリを構築し、開発プロセスを通じて多数のテストを自動的に実行できるようにしたため、夜間に自動で新しいソフトウェアバージョンをテストし、すぐ翌日にその結果を評価することができるようになりました。

#### システムテストによる検証および妥当性確認

CIT 社では、コンポーネントのテストが完了した時点、つまりドライブおよびトランスミッション制御用の ECU を単体でテストした時点で、直ちに 2 つの ECU をネットワーク化し、統合テストを実施しました。さらに、開発したテストライブラリを拡張することにより、レスタバスシミュレーションを行った車両で 2 つの ECU の相互作用をテストできるようにしました。同社は、2 つの dSPACE シミュレータ上で AutomationDesk を稼働することにより、2 人のテストエンジニアだけでシステムテスト全体を 3 週間で実施することが

テストオートメーションにより、テストを夜間に自動実行できる HIL テストベンチ構成





整地



分散

出典：© CLAAS 社

できました。このように徹底したテストを行ったため、ECUのISO 25119への適合性は容易に証明することができました。ラボで事前に検証を行っていたため、その後のフィールドテストでもソフトウェアの高い完成度が実証されました。これまで、類似のプロジェクトでは電子システムのテストにおよそ11,500時間かかっていたのに対し、新しいモデルベースの手法ではテストに必要な時間はわずか3,500時間で済みました。

#### 量産の成功

2014年に、無限可変トランスミッションEQ 200とドライブ制御ユニットの量産が開始されました。これらはARION 500/600シリーズのトラクタに搭載され、その効率性と利便性はすぐに多くの顧客からの注目を集めました。そのため、同トラクタシリーズの出荷台数は同社の事業計画の予想を超え、顧客はトラクタの納車までおよそ1年間待つことになりました。しかし、Verhorst氏、Konrad氏、およびGohde氏の率いる開発チームは、商業的な成功だけでなく、トラクタの走行性能と燃費に関する顧客からの好意的な意見にも感激しています。「CIT社でこのプロジェクトが最大かつ最も成功したプロジェクトとなった理由は、当社の揺るぎ無い努力だけでなく、効率的で操作しやすいツールチェーンのおかげでもあります。当社の開発者はモデルベース開発の専門知識がない状態から活動を開始したにもかかわらず、私たちは適切かつ適正な製品、つまり1年中農作業を続けてもソフトウェアにエラーが発生しない製品をお届けすることができました」。

CLAAS Industrietechnik GmbH (ドイツ、パダーボルン) のご厚意により寄稿

## プロジェクト

### タスク

トラクタ用のドライブコントローラおよびトランスミッション ECU の開発

### 技術的課題

モデルベースの開発手法および適切なツールチェーンの導入により、ISO 25119に準拠した ECU ソフトウェアの機能開発および妥当性確認を実現

### ソリューション

モデルベースの ECU 開発プロセスの構築。CIT 社では、ラピッドコントロールプロトタイプングには MicroAutoBox、ソフトウェア実装には TargetLink、ECU の妥当性確認には AutomationDesk を搭載した dSPACE シミュレータを効率的に利用しています。今後は、データ管理ソフトウェア dSPACE SYNECT® を使用して、プロジェクトにおける包括的なテストケースおよびテストデータの管理および評価を行う予定です。



「dSPACE シミュレータの活用により、ソフトウェアおよびハードウェアの品質を大幅に向上することができました」

Helmut Konrad 氏、Electronics Development 部門責任者、CLAAS Industrietechnik GmbH