



アシスト機能の自動化により、収穫時の効率を向上

# Controlled Harvesting

新しい支援システムを搭載した CLAAS 社のコンバイン収穫機では、常に収穫プロセスを監視することが可能なため、オペレータが行うよりも迅速かつ正確に、機械の設定を現在の状況に合わせて自動で最適化することができます。このように自動的に最適化を行うプロセスには、分散制御システムが使用されています。dSPACE の量産コード生成ツールである TargetLink を活用することで、この複雑なプロジェクトの開発は行われました。



# 収

穫期は、1年のうちの非常に短い期間です。

小麦、ライ麦、大麦、とうもろこしといった穀物は、成熟度を見極め、最適な時点で収穫する必要があります。いったんその時期が来れば、コンバインを使用して昼夜を問わず畑で収穫を行う必要が生じます。しかし、コンバインの運転は、非常に複雑な作業です。コンバインには、リールからチョッパーまで最大 50 個のパラメータが搭載されており、これらの調整が収穫高に影響を与えます。オペレータは、これらのうち、10 個余りのパラメータを継続的に監視し、評価しなければなりません。常にすべてに目を配り、機械の全性能を引き出すことができるオペレータはほとんどいません。

## 収穫作業の複雑さを軽減

必要なパラメータや設定が非常に多いのは、気候や土壌などの環境要因が多岐に渡るためです。さらには、収穫量、燃費、脱穀品質に関する基本的な条件も加わります。このため、収穫プロセスの最適化は極めて複雑になります。オペレータは、設定の選択と表示値のチェックを何度も行

わなければならないため、作業は煩雑になり、作業の習熟にも手間がかかります。ただし、いくつかの機能を部分的に自動化できれば、このような負担を軽減して、最も重要な設定の入力だけで済むようにすることが可能です。CLAAS 社では、新しい支援システムである CEMOS AUTOMATIC (CLAAS 電子機械最適化システム) により、収穫高を最適化するという難題に取り組んでいます。CEMOS を使用すると、収穫条件に合わせて、継続的に収穫プロセスの監視、プロセスパラメータの制御、および機械設定の調節を行うことができます。支援システムは、機械と環境モデルを常に計算し、パラメータを分析して、最適なパラメータセットを決定したうえで、その情報を機械に送信します。これは、オンラインモデリングにより実現しました。

## 収穫の自動化

オペレータはコンバインを稼働させる前に、グラフィカルなダイアログボックスで表示されるユーザインターフェースを使用して、収穫目標を入力します。CEMOS AUTOMATIC は、これに応じて目標値、センサデータ、および機械の設定を

分析し、パラメータの最適な組み合わせを瞬時に決定します。収穫条件は 1 日の中でも変化するため、システムは、どのような設定が最適かを繰り返し確認し、継続的に調節します。つまり、CEMOS AUTOMATIC では常に設定の再調節が行われることになります。これはオペレータ 1 人では実現不可能な作業です。このようなパラメータの自動調節により、オペレータは、最高の穀粒品質と穀粒清浄度を保ちながら最大の収穫量を達成できるだけでなく、燃費の大幅な低減も実現することができます。運転速度を制御する CRUISE PILOT や、コンバインのハンドル操作を行う LASER PILOT などの他の支援システムを組み合わせると、コンバインを完全に自動化することが可能です。

## 収穫の最適化を可能にする ECU システム

収穫を最適化するには、コンバインのすべてのシステムを適切に連携させる必要があります。そのため、個々のシステムの ECU の上層で機能するメカニズム、つまり ECU ネットワークの自動化が必要です。ECU ネットワークは、基礎的な制御を行う制御ユニットと上位の ECU で構成されています。CLAAS 社では、収穫プロセスに直接関与するシステムである ECU を自社で開発しており、フル装備の LEXION 780 コンバイン収穫機には、CAN バスを介して接続された 35 台の ECU が搭載されています。燃焼エンジンなどのシステムを購入する場合は、CLAAS 社のサプライヤが提供する ECU を搭載します。ECU には、個別のタスクに応じて、固定小数点数演算または浮動小数点数演算ベースのプロセッサが実装されます。CEMOS AUTOMATIC の ECU は、32 ビット PowerPC 用に設計されています。

## モデルベースの ECU ソフトウェア開発

CLAAS 社では、ECU ソフトウェアの開発をモデルベースで行っており、大型の制御ユニットを開発する場合はすべて、MATLAB®/Simulink® および dSPACE TargetLink® を使用しています。機械の各機能は、分散自動化を実現するように記述された 1 つの全体的なモデルを使用して設計されます。この複雑なモデルのサイズは 50 メガバイトもあります。システム機能間のタスク制御と通信は、OSEK (車載電

>>

CEMOS AUTOMATIC とサブシステム、AUTO SEPARATION、AUTO CLEANING、および CRUISE PILOT。



## TargetLink で開発された支援機能

### DYNAMIC COOLING:

必要な冷却力に応じて、コンバイン(ディーゼルモーターおよび油圧システム)の冷却システムを自動設定

### CEMOS AUTO SEPARATION:

残留穀粒の分離を自動的に調節

### CLAAS LASER PILOT:

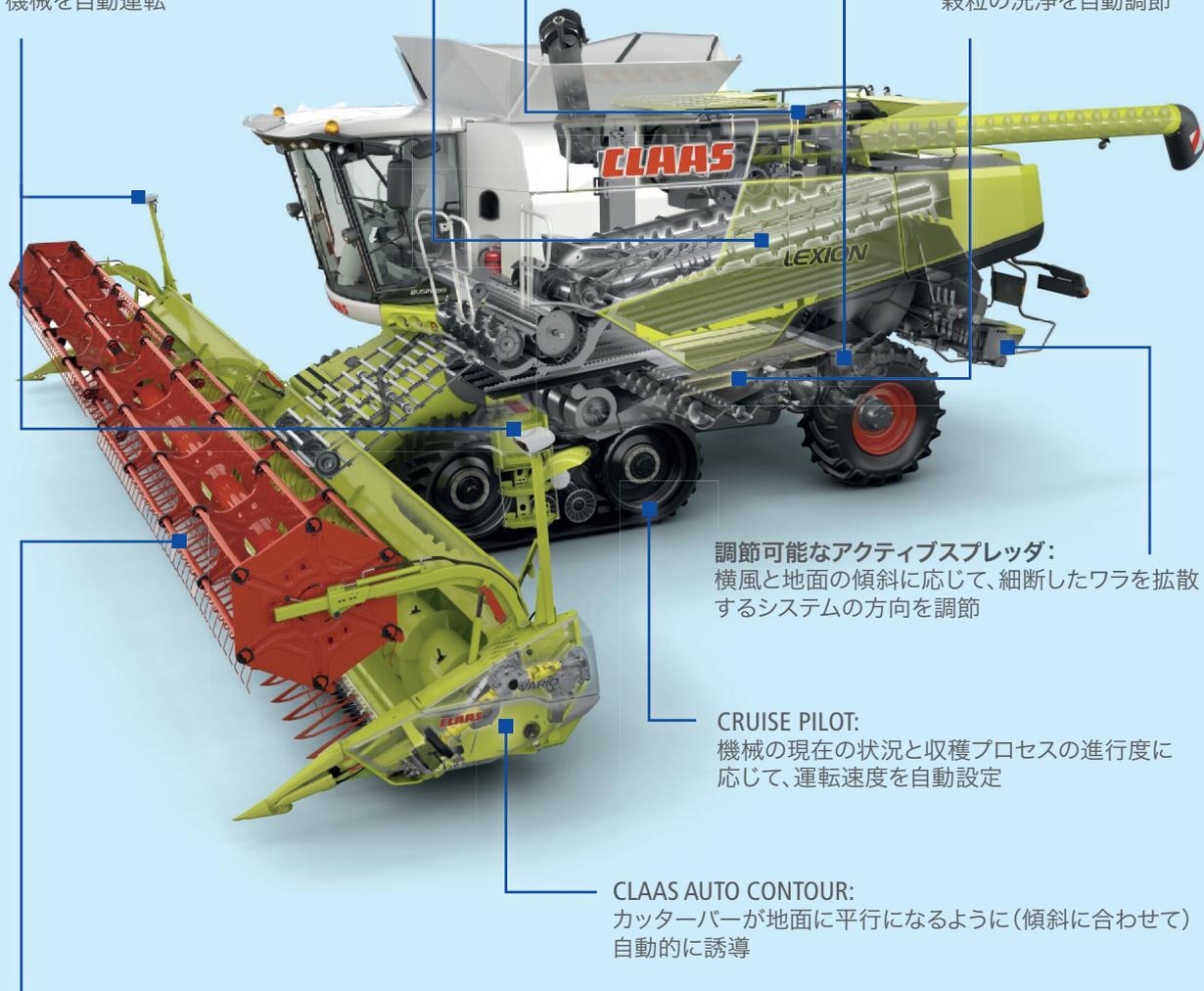
レーザースキャナを使用して、作物と刈り株の境界に沿って機械を自動運転

### MONTANA:

急勾配の地面での作業時に、ポータルアクスルをスイングさせて左右への傾きを最大 17%、前後への傾きを最大 6% 補正する自動シャーシ

### CEMOS AUTO CLEANING:

穀粒の洗浄を自動調節



### 調節可能なアクティブスプレッド:

横風と地面の傾斜に応じて、細断したワラを拡散するシステムの方向を調節

### CRUISE PILOT:

機械の現在の状況と収穫プロセスの進行度に応じて、運転速度を自動設定

### CLAAS AUTO CONTOUR:

カッターバーが地面に平行になるように(傾斜に合わせて)自動的に誘導

### リール速度自動制御:

リールの円周速度を機械の運転速度と同調(2001年、TargetLinkのパイロットプロジェクトを活用し、使用可能な油圧機器コンポーネントの開発から最初のプロトタイプ機能のECUへの組み込みまでをわずか5日間で達成)

### 基本機能:

- さまざまな速度設定
- さまざまな位置設定



グラフィカルなユーザインターフェースにより、目標値を容易に入力できます。

>> 子機器用の公開システムおよび対応インターフェース)に基づいて行われ、インターフェースとタスクの定義には、TargetLink用の OSEK モジュールを使用しています。そのため、開発された支援機能は既存の環境に接続するだけで使用できます。

#### コード生成とオフラインテスト

新機能をモデルベースで開発した後は、コードをインクリメンタルに生成するか、または全体的に生成してコントローラに適用します。個々の機能用にコードを生成すること（インクリメンタルコード生成）も、コントローラ機能全体用にコードを生成すること（完全コード生成）も可能です。TargetLink はさまざまなシミュレーションモードをサポートしているため、可能な限り早期の段階で新機能のテストを行うことができます。収穫期が始まる前の段階で機能の妥当性確認を行えることは非常に重要です。収穫期に入ると、畑での作業中に開発チームが実装エラーを探している

時間はないため、収穫期が始まる前にソフトウェアを十分にテストしておく必要があります。妥当性確認の段階では、組み込みテストの他に、複雑なプラントモデルを使用した集中的な機能の検証も行われます。オフラインテストシナリオでは、実際の収穫作業で収集される大量のデータを使用しながら、収穫時のさまざまな状況に応じたテストを行います。

#### バーチャル ECU

CLAAS オンラインシミュレータを使用すると、実際の収穫作業の前に、さまざまな条件下でコンバインの動作テストを行うことができます。PC ベースのシミュレーションシナリオを使用すれば、オペレータはコンバインの操作に慣れたり、操作技術を磨いたりすることも可能です。オンラインシミュレータを使用すると、さまざまな機械コンポーネントや、長年の収穫経験から得たデータを含むプロセスモデルを仮想的に再現することができます。シミュレー

タでは、実際の ECU に相当するソフトウェアとともに、リアルタイム対応の仮想 ECU がバックグラウンドで動作します。このようなシミュレーションを実際の収穫前に実行することで、収穫中の機械の損傷や操作ミスリスクを最小限に抑えることができます。

#### 高い評価を得た TargetLink

CLAAS 社は、長年にわたり、TargetLink を使用して基本的な機能を開発してきました。TargetLink を使用した初のパイロットプロジェクトであるリール速度の自動制御もその 1 つです。その場合でさえ、使用可能な油圧機器コンポーネントの開発から最初のプロトタイプ機能の ECU への組み込みまでわずか 5 日間という、驚異的に短い期間での開発が可能でした（「TargetLink Goes to the Fields」、dSPACE NEWS、2001/2 号）。

また、ますます複雑化してゆくコンバインの ECU システムの開発においては、操作性の向上や習熟期間の短縮だけでなく、CEMOS AUTOMATIC の各機能をモデルや複雑な ECU ネットワークに組み込みやすくするといった点にも重点が置かれていますが、やはり TargetLink 自体の計器を使用するラボ内でソフトウェアをテストできるということは、早期の段階での各機能の妥当性確認という面で重要です。TargetLink では、マルチレートタスクやバックグラウンドタスクなどの特殊な機能の定義でさえ正確に記述および実装することができます。TargetLink と OSEK モジュールを組み合わせて使用することにより、CLAAS 社の開発者は本来の開発業務に集中できるのです。TargetLink では、モデルの複雑度にかかわらず、個々の機能（インクリメンタルコード生成）と ECU ネットワーク全体の両方に対応したコードを効率的かつ迅速に生成できます。

#### CEMOS AUTOMATIC 支援システム

CEMOS AUTOMATIC 支援システムは、

「新しい支援機能により、コンバインでの収穫作業を大幅に効率化できました。コンバインの開発には、dSPACE の量産コード生成ツールである TargetLink を活用しています。」

Andreas Wilken 氏、CLAAS 社



環境要因に即した収穫プロセス、運転操作、および機械パラメータ。

商用車にとってソフトウェアがいかに重要かを示す明らかな例です。このシステムは、LEXION 740-780 シリーズのコンバイン収穫機のオプション機能として最初に量産されました。このシステムを通じて新しい機能をモデルベースで開発し、量産コードを生成することにより、機能の実装とテストを容易に行えるようになりました。生成されたコードの信頼性は高く、エラーもないため、開発者は、畑でマシンを操作

して行う最終機能テストをごく短い期間で完了しなければならない場合でも、最も重要なタスクに集中できます。■

Andreas Wilken 氏、CLAAS 社

## まとめと今後の展望

現代のコンバイン収穫機では、燃料消費の効率化と低減に対する需要がますます増加しています。CEMOS AUTOMATIC (CLAAS 電子機械最適化システム) などの支援システムは、実証済みのソリューションであり、その重要性はますます増大しています。また、量産コード生成ツールである TargetLink は、このような支援システムの開発プロセスの一部として、確立された地位を築いています。TargetLink の機能は操作しやすいため、複雑な制御システムの開発も容易であり、信頼性の高い量産コードの生成が可能です。

TargetLink モデルは、学習用として PC 上の仮想 ECU で使用することもできるため、オペレータは実際の収穫の前にコンバインの操作に習熟することができます。TargetLink のようなツールは、技術革新を可能にする理想的なソフトウェアです。将来的には、AUTOSAR などの新しい規格を通じて、分散型コントローラや容易に再利用可能なソフトウェアの開発が促進されることが期待されています。

Andreas Wilken 氏  
機能システム分野の予備開発担当者、CLAAS  
Selbstfahrende Erntemaschinen GmbH  
(ドイツ、ハルセヴィンケル)

