



さまざまな農業機械のテスト要件を
満たすことができる極めて柔軟性の
高いHILシミュレータ

Testing On Demand

現在の農業機械は、主にエレクトロニクスとソフトウェアによって技術革新を実現してきましたが、その実現を担うソフトウェア開発者らは近年、テストすべき機能範囲の拡大とその量の増大という大きな課題に直面しています。日本の農業機械メーカーであるヤンマー社は、こうした課題に対し、SCALEXIOなどのdSPACE製品を用いた包括的なHILシミュレータを導入しました。



出典：© ヤンマー株式会社



出典：© ヤンマー株式会社



出典：© ヤンマー株式会社

人口の増加により、食糧に対する需要は増大していますが、耕作地は限られており、農業人口も減少の一途をたどっていることから、今日の農業従事者にとって、農地や農作業における生産性の向上は喫緊の課題となっています。日本の農業機械メーカーであるヤンマー社は、トラクター、コンバイン、田植機などの製品を提供することで、農業従事者の課題解決に貢献しています。農業従事者は、高効率かつ機能的な同社の農業機械を使用することで、労働時間の短縮と収穫量の最大化を実現し、生産性を向上させています。

高性能で使いやすいコンバイン

自脱型コンバインは、刈り取り、脱穀、穀粒選別などの機能を複合的に兼ね備えた、稲作用に最適化された収穫用農業機械であり、高速かつロスの少ない収穫が可能です。その機能の複雑さにもかかわらず、ヤンマー社のコンバインは、操作者をサポートする機能を多数備えているおかげで使いやすく、ストレスなく操作することができます（図 1）。その機能の 1 つがステアパイワイヤシステムであり、一般の乗用車に近い操作感覚をドライバーに提供します。操作者がステアリングを切る角度に応じて、車両左右のクローラの回転方向と回転速度を制御することにより、緩旋回から急旋回に至るまで、スムーズな旋回動作を行うことができ、車体をあぜ道にぴったりと沿わせる走行も容易となります。もう 1 つの例は、自動シャシです。これにより、柔らかな水田の上で車体が傾いても、車体を水平に保ち、刈り取りや穀粒選別の際の性能を最大限発揮することができます。また、同社の最新機種

のコンバインには、穀粒選別の自動調整機能が搭載されました。チャフシーブはコンバイン内部の装置で、収穫した穀物とわら屑とを選別する働きをしますが、この選別で生じる穀粒の損失（収穫ロス）は、チャフシーブの開き幅と刈り取り速度（車速）によって変化します。同社のコンバインはチャフシーブ端部のセンサで収穫ロス量を検出し、チャフシーブの開き幅と車速を自動的に調整することで、この収穫ロスを最小化します。この自動調整で収穫ロス量が減少していることは、操作者はモニターから知ることができます。

ソフトウェア開発者にとっての課題

これらの画期的な機能の開発には、エレクトロニクスとソフトウェアが大きく寄与しており、農業機械の技術革新において、ヤンマー社のソフトウェア開発者は重要な役割を果たしています。包括的なテストと妥当性確認において、彼らが作業すべき範囲は拡大し、その作業量も増大してゆく中、彼らは複数の課題を一度に克服する必要がありました。まず、一部の車種は実車によるテストを限られた期間でしか行えないため、実車テストの前に重大なエラーは排除しておかなければなりません。たとえば、コンバインで稲刈りのテスト中に何らかの欠陥が見つかってしまうと、ソフトウェアの修正作業によって、その収穫期に再度テストを行う機会が失われてしまうというリスクが生じます。また、水田の土壌状態や稲の品種の違いなど、複雑な作業条件下でのテストも必要です。もし、実車を使用した実際のテストでそのような作業条件を再現しようとするれば、多大な時間とコストがかかります。

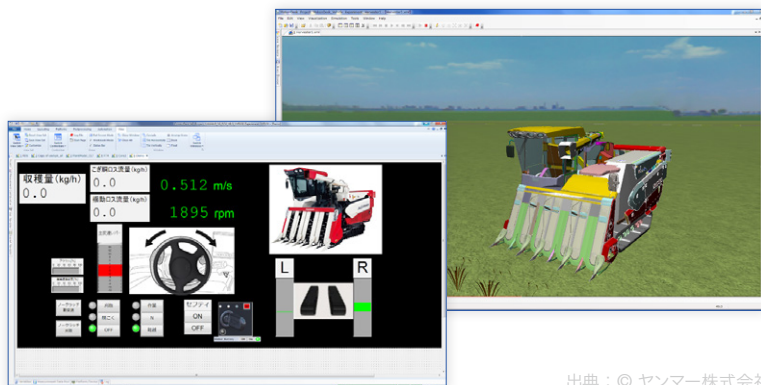
>>



出典：© ヤンマー株式会社

図1：ヤンマー社のコンバインは、ストレスの少ないスムーズな運転操作を実現するステアパイワイヤシステム（上）や、車体を水平に保つ自動シャシ（中）など、農業従事者に有益な機能を多数備えています。最新機種の穀粒選別自動調整機能では、こぎ胴で脱穀された穀粒が、自動調整されたチャフシープによって選別され、収穫ロスを最小化します（下）。

図2：ヤンマー社では、ControlDesk（左下）を使用して、HILシミュレーション向けの直感的なユーザーインターフェースを作成しています。MotionDesk（右上）では、ユーザの操作による車両の動きがリアルなビジュアルで表示されます。



出典：© ヤンマー株式会社

HIL シミュレータの迅速な導入

ヤンマー社では、これらの要求を満たすために、dSPACE SCALEXIO を使用した HIL (Hardware-in-the-Loop) システムを導入しました。HIL シミュレータは、現実に近い作業条件下での幅広い車両操作をシミュレートすることで、実車がない場合でも電子制御ユニット (ECU) のあらゆる機能をテストすることができます。同社はこの HIL システムの導入を次の 2 つのステップで行いました。まず、2015 年にトラクターのシミュレーション環境を導入しました。このステップでは、中央のプロセッサ/電源ラック 1 台に、エンジン制御、車両制御、および表示計器用の 3 台の I/O ラックを接続する構成でした。2016 年には、次のステップとして、コンバインの評価を行うために更に 2 台の I/O ラックを追加しました。I/O ラックに I/O ボードをただ追加するだけで、コンバインに搭載される ECU、通信バス、および電気負荷の物理的側面の要求を、最終的には全てカバーすることができました。

高度なソフトウェアツール

ヤンマー社は、農業機械の車体と作業環境のシミュレーションには同社が独自に所有するモデルを使用しましたが、ディーゼルエンジンと排気ガスの後処理のシミュレーションには dSPACE Automotive Simulation Models (ASM) のライブラリを使用しました。dSPACE のライブラリは、パラメータの調整により、同社の型式のディーゼルエンジンの挙動を完全に再現することができました。これらシミュレーションモデルは、複数のプロセッサコアに分散させることで、シミュレーションにかかる計算時間も最適化されています。HIL シミュレーションの監視および制御には、dSPACE の ControlDesk および MotionDesk を使用しました。ControlDesk により、同社のテストエンジニア向けにカスタマイズされた計器類と直感的なユーザーインターフェースを提供し、また、MotionDesk によって、農業機械のあらゆる動きをリアルな 3 次元のビジュアルで表示することもできました（図 2）。また、dSPACE AutomationDesk を使用することで、テストの自動化による更なる労力の軽減が可能です。ヤンマー社では、dSPACE のサポートを受けて、テスト自動化のためのフレームワークを構築しました。これにより、テストで与える入力値や、その結果として期待される出力値など、自動テストの

これらパラメータを更新するだけで、新しいテストケースをすばやく実装できるようになりました。

極めて柔軟なマルチ車両およびマルチドメインシステム

その一方で、ヤンマー社はこのモジュール化された SCALEXIO HIL システムをさらに柔軟に運用しています。同社は、エンジンや車両コンポーネントなどの特定の用途別に仕立てた I/O ラックを使用するのではなく、それぞれが全く同じ構成のハードウェア入出力で標準化された「マスター I/O ラック」を使用しています。このマスター I/O ラックをさまざまに組み合わせることで、同社の農業機械製品群の全てをカバーすることができます。テスト対象となる農業機械は、新製品の発売プランに応じてその時々で変わりますが、利用できるマスター I/O ラックの数が十分であれば、それらを使用して、直近のテストに必要な HIL システムを的確にセットアップすることができます (図 3)。

主な利用効果と今後の展望

dSPACE SCALEXIO のもつ優れた柔軟性と拡張性によって、ヤンマー社は非常に短期間のうちに HIL シミュレータを構築することができました。同社が最初の試運転にこぎつけたのは 2015 年末で、発注からわずか 6 カ月後のことです。HIL シミュレーションの導入と自動テストの実現によって、実機がない場合でもソフトウェアの隠れた欠陥を発見できるようになり、テストの作業負荷も軽減されました。これにより、開発者は発見した欠陥の解析に一層集中できるようになりました。同社は、トラクターとコンバインでの成功を皮切りに、その他の農業機械の開発においても HIL システムを幅広く展開しています。マ



標準化されたプロセッサ/電源ラックおよびマスター I/O ラックのセット

出典：© ヤンマー株式会社

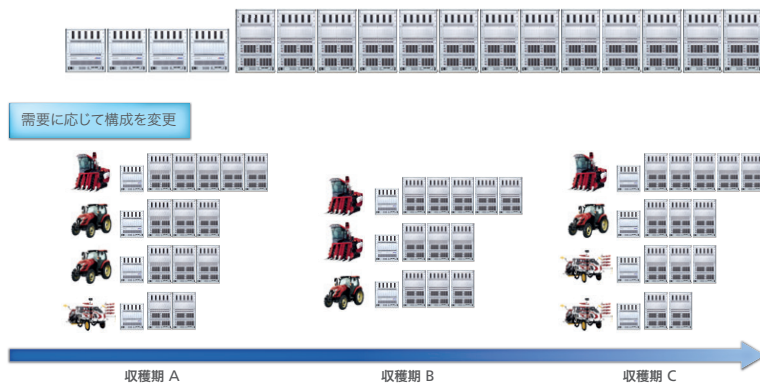


図 3：ヤンマー社では当初、HIL シミュレーションに用途別の I/O ラックを使用していましたが、現在は同一のマスター I/O ラックのみを使用しています。農業機械のそれぞれの機能セットには、一定数のマスター I/O ラックが必要です。

スター I/O ラックがもつ更なる柔軟性は、同社の開発者が HIL システムを自分自身の手で構築することを可能にし、自動走行が可能なトラクターなど、より革新的な制御機能のテストにも活用されています。このように、効率性の高いシミュレーションソリューションにより、農業機械が現代的な乗用車と同等に開発できる環境がまた 1 つ実現しました。 ■

ヤンマー株式会社のご厚意により寄稿



「柔軟かつ極めて高い拡張性をもつ dSPACE SCALEXIO と各種の高度なソフトウェアツールによって、我々は非常に短期間のうちに HIL シミュレーションの大きな恩恵を受けることができました。」

高川 功氏、ヤンマー株式会社 (大阪府) 電子制御開発部 開発企画部 ソフトウェアグループ グループリーダー (当時)、博士 (工学)