



Dynamic Firing Order

気筒ごとに点火タイミングしたり、気筒休止したりすることで、ドライバーが要求するトルクを発生させるエンジンを想像してください。シリコンバレーに本社を持つ Tula Technology のエンジニアは、このビジョンを実現化しました。さらに、OEM 各社と協力して、このエンジンの量産化を試みています。



動的な気筒休止方式 (DSF : Dynamic Skip Fire) は、Tula 社の新しいテクノロジーを示す名称です。DSF を使用すると各シリンダの点火の有無とタイミングを動的に決定できるため、極めて効率的なエンジン動作を実現できます。このエンジン制御技術では、要求されたトルクを発生させるために必要なシリンダの数と順序を決定したうえで、点火動作を行います (図 1)。

快適性と効率性を向上する動的な点火方式

シリンダの気筒休止を実現するうえで最大の懸案となるのは、量産用パワートレインにおける NVH (騒音、振動、乗り心地) です。Tula 社では、ユーザがいつでも快適な運転ができるよう、不快な共鳴を防止するインテリジェントなアルゴリズムを開発しました。DSF では、点火順序のタイミング制御を連続的に行うことにより共鳴周波数を避け、騒音抑制と振動低減を実現しています (図 2)。

コスト効率の良いソリューション

DSF は、市場で入手可能な低コスト、低燃費のテクノロジーの中でも最も燃料効率が高く、最大 20% の燃費向上を実現します。また、直噴方式、ターボチャージャー、アイドリングストップ、およびマイルドまたはフルハイブリッドなどの他の燃費向上技術との親和性が高いことも利点の 1 つです。Tula 社は、一部の OEM メーカーと提携して、DSF テクノロジーの量産化に取り組んでいます。

>>

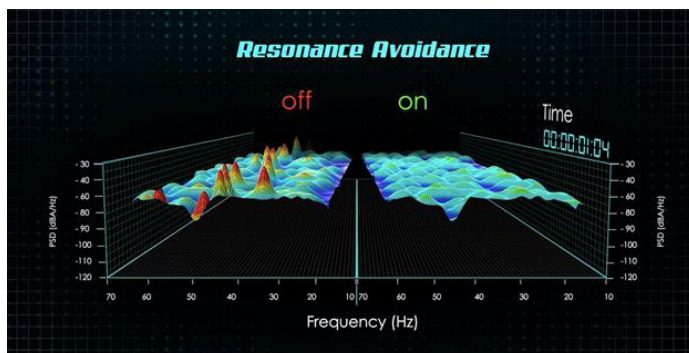
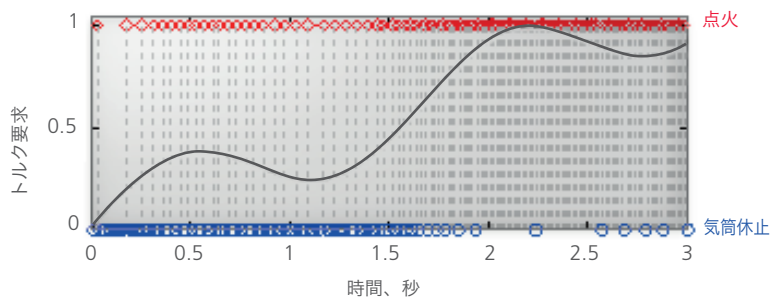


図1(上)：動的な気筒休止により各シリンダの点火タイミングを決定します。
図2(下)：インテリジェントなアルゴリズムにより共鳴周波数を避けることで、快適な運転操作を実現します。

実用化に向けた開発作業

Tula社の大きな強みは、可変的な気筒休止およびNVH抑制を実現するアルゴリズムにあります。しかし、このアルゴリズムの実用化の可能性を検証するためには、アルゴリズムをデモ車両に実装してテストを行う必要がありました。デモ車両でのテストは、GMCユーコン・デナリV8エンジンを制御するプロトタイピングシステムを使用して実施されます。ただし、アルゴリズムを実機エンジンで使用する前に、まずは機能的な妥当性確認を行う必要があります。そのため、このような用途に最適なテスト環境であるHIL(Hardware-in-the-Loop)シミュレーションシステムを採用しました。Tula社では、品質保証(QA)テストの完了までを含む全体的な開発期間の短縮が必要であり、開発作業にもHILシステムを利用する必要がありました。

また、ソフトウェア開発者およびテスト・QA担当エンジニアが、複数の場所からHILテストベンチにアクセスできる必要がありました。

ツールチェーンの結合

Tula社では、各ユーザのプラットフォーム上でDSFテクノロジーのプロトタイプを実行できるようにするため、dSPACEのラピッドプロトタイピングツールであるMicroAutoBox IIを採用しました。また、制御ソフトウェアの機能の妥当性確認のため、最新のASAM HIL API(ASAM = Association for the Standardisation of Automation and Measuring Systems)を搭載したHILテストベンチを開発しました。このHILテストベンチは、サードパーティ製エンジンをシミュレートするハードウェアおよびソフトウェア

からアナログおよびデジタルI/O信号を受信し、クランクおよびカムシャフト信号をdSPACE MicroAutoBox IIに送信します。このとき、MicroAutoBox IIではDSFソフトウェアが実行されます。さらに、テスト管理ツールであるdSPACE AutomationDeskを使用して、DSFソフトウェア上でテストが実行されます。この際、AutomationDeskは、共通のインターフェースを通じてすべてのコンポーネントと通信します。

ツール結合の課題

プロセスは、ソースコードの読み出し、自動化テストスクリプトの作成、テストベンチ用ソースコードのコンパイル、ターゲットHILテストベンチへの実行可能ファイルのロード、自動化テストスクリプトの実行、サマリレポートの生成、レビューおよび監査のための結果のアーカイブなど、多岐にわたっていましたが、それらを結合し、信頼性の高い方法で確実に再現できるようにする必要がありました。

目標を自動化により実現

Tula社では、プロセスの各ステップを実装するのに最適なソフトウェアソリューションを作成しました。まず、AutomationDeskをテストオートメーション用フレームワークとして使用して、エンジンシミュレーションをdSPACE MicroAutoBox IIに実装しました。この実装には、ASAM HIL API規格の最新バージョンを使用しました。HIL APIではテストスクリプトをPythonベースで記述できるため、スクリプトをAutomationDesk用のテストケースとして実行することができます。また、すべてのテストケースはAutomationDeskのプロジェクトとして適用でき、閉ループおよび開ループのいずれのHILテストベンチ上でも実行することができます。このプロセスは通常、既存の燃料テストプロファイル(FTP：米環境保護庁連邦テスト手順)の車両サイクルを実装する場合に行うものです。AutomationDeskプロジェクトでは、データを収集および記録してテストケース用に保存することも可能です。また、このデータをあらかじめ定義された合格/不合格基準と比較することで、実行済みのテストに対する総合的なレポートを生成することもできます。

「当社では、ASAM HIL API 搭載の dSPACE AutomationDesk を使用することで、テストの完全自動化を実現しています」

James McKeever 氏、Tula Technology 社

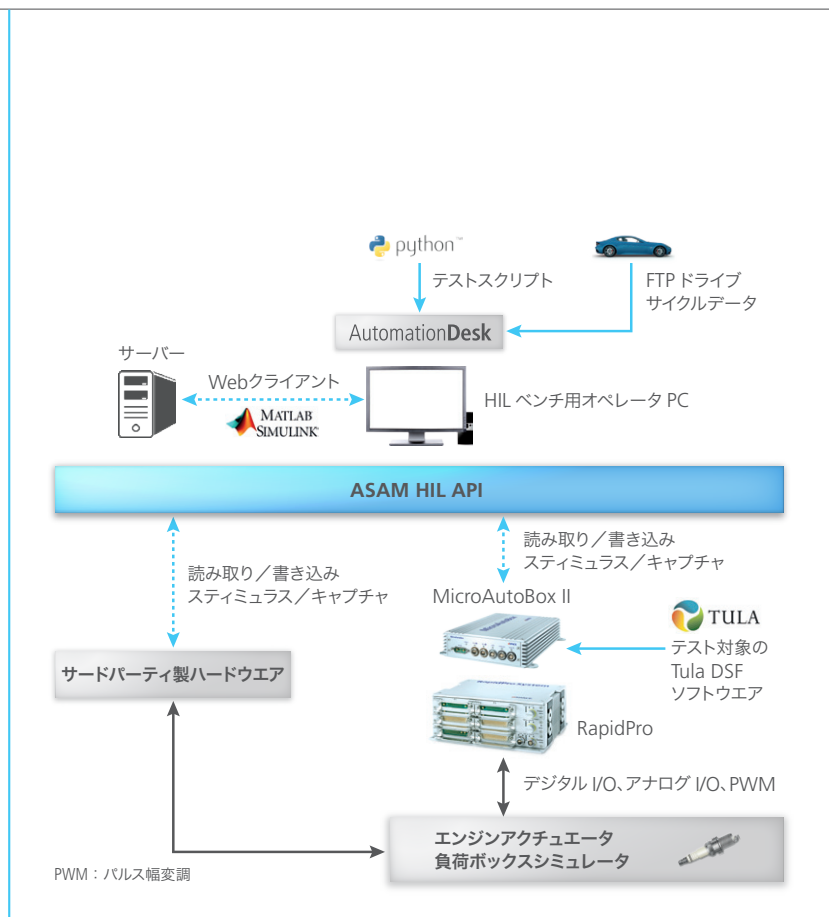


図 3 : Web ベースツールである WebCarLab により、複雑な HIL テストベンチへのリモートアクセスが可能になります。

WebCarLab – 最適なソリューション

Tula 社では、テストを中央のソースコードの保存場所から確実に実行したり、HIL テストベンチに複数の場所からリモートでアクセスできるようにするため、Web ベースのテストオートメーションツールである WebCarLab (図 3) を開発しました。Web インターフェースは、ソフトウェア設定管理 (SCM) システムを介して通信す

るアプリケーションにより提供されます。WebCarLab は直感的なユーザインターフェースを備えており、ユーザは HIL テストベンチ上で対話形式またはバッチモード (バッチ処理) を使用してテストを実行することができます。ユーザがモードを選択すると、WebCarLab は SCM システムから受信したコードを確認し、選択されたテストケースを実行します。WebCarLab で

は、通常のテストレポートを生成するだけでなく、将来の監査に備えて、テスト結果につながるすべての中間生成物を含むテストレポートを作成して保管することもできます。 ■

動的な気筒休止の模様を動画でご覧いただけます。



Paul Liu 氏

組込みソフトウェアエンジニア兼マネージャ、Tula Technology, Inc. (米国、サンノゼ)



James McKeever 氏

組込みソフトウェアシニアテストエンジニア、Tula Technology, Inc. (米国、サンノゼ)



Abhijit Bansal 氏

組込みソフトウェア制御およびテストエンジニア、Tula Technology, Inc. (米国、サンノゼ)

