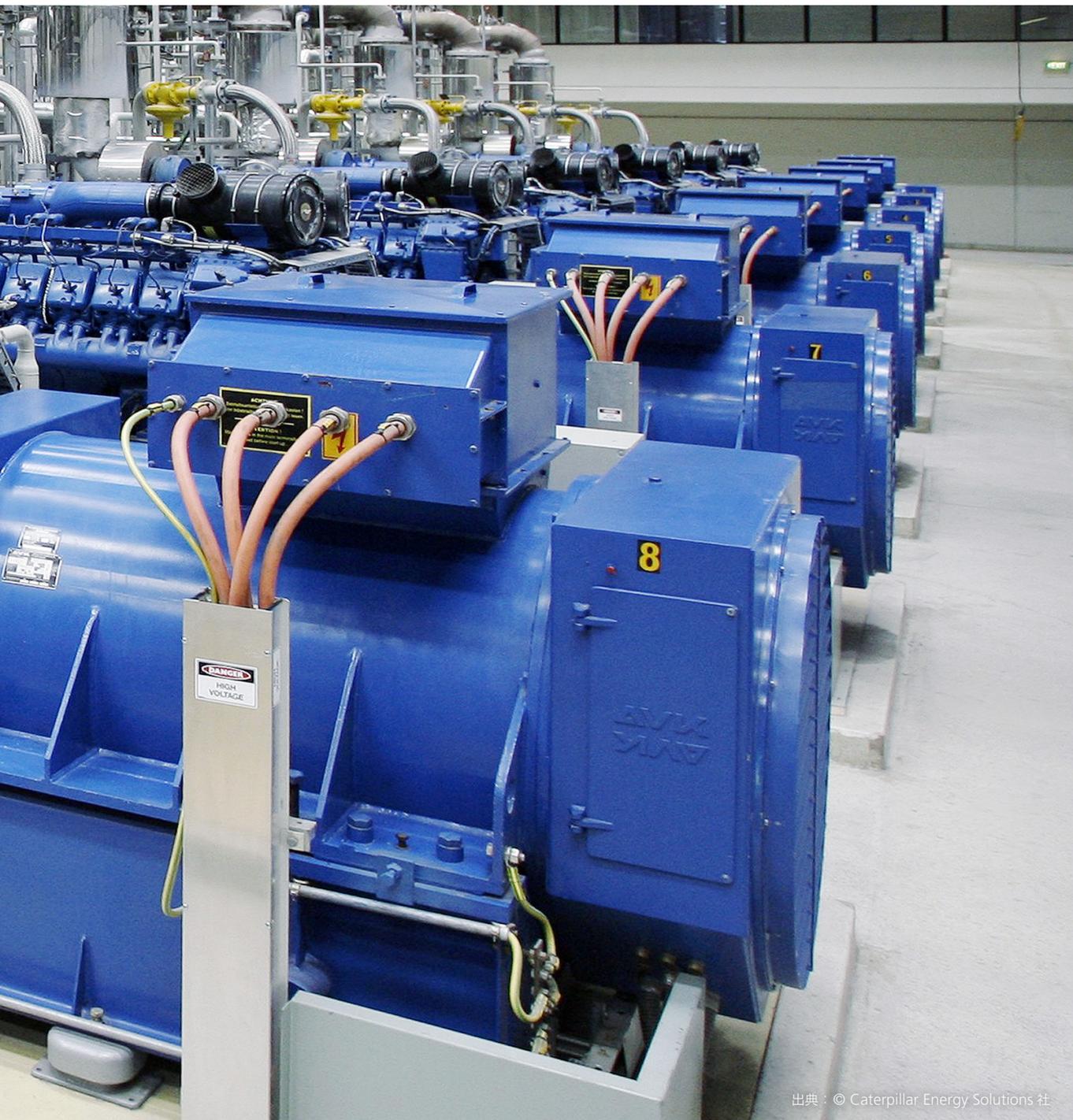




# Top Performer

エネルギー供給用高性能ガスエンジンの制御

1つ確実なことは、大型の高性能ガスエンジンを適正な発電機で始動できれば、最大4,500 kWの電力で最善の動力を現場で供給することができ、エネルギーや熱の安定的な生成用として使用することができるということです。Caterpillar Energy Solutions社は、まったく新しい制御方式を開発することにより、効率性、機動性、および保守性に優れた未来の発電所を実現しています。



出典：© Caterpillar Energy Solutions 社

**エ**ネルギー生成を分散して行えるプラントは、さまざまな分野で利用することができます。このようなプラントは、人里離れた原料採掘場、発展の進まない居住区域、さまざまな理由で既存インフラの利用料が高過ぎる地域など、電力が全く供給されない場所において独立系発電 (IPP) 施設として利用し、強力なエネルギーを柔軟に供給することができます。また、工業および農業分野でこのプラントを稼働すると、多くの場合副産物として可燃性ガスが生成されるため、エネルギーを自給自足したり、生み出したエネルギーを公共の敷設網に供給して金銭的なメリットを得たり、あるいは近隣の生産工場などにエネルギーを直接再販売したりすることが可能です。ガスエンジンと発電機で構成されるこのような IPP 施設は、公共の送電網の負荷がピークに達した場合の補完手段としても非常に適しています。また、水蒸気や温水などの発生を利用してプロセス熱を取り出したり、排出ガスを直接再利用して温室で植物に CO<sub>2</sub> を与えることなどもできます。

#### エネルギー生成用のガスエンジン



出典：© Caterpillar Energy Solutions 社

#### エネルギーや熱の生成に最適なプラント

Caterpillar Energy Solutions 社は、エネルギーおよび熱生成を分散して行うことが可能な、効率性に優れ、環境に優しい包括的なシステムを提供する業界屈指の企業です。同社のブランドである Cat および MWM 製品には、ガスエンジン、個別の発電プラントソリューション、完全なターンキーシステム、コンテナコジェネレーションプラント、柔軟性の高いモジュール型のガス発電プラントなどがあり、それぞれ設置が容易で経済的かつ環境に優しい仕組みを備えています。また、同社は総合的なコンサルティング、プラント設計、システム設置や稼働に向けたエンジニアリングサービス、さらにはカスタマーサポートや保守などのサービスを世界規模で提供しています。

#### ガスエンジンの稼働要件

公共の送電網からの供給が見込めず独力でエネルギーを作り出す必要がある用途において特に重要なのは、信頼性の高い発電プラントです。電力消費者は、送電網

が並列稼働している場合は必要に応じて公共の統合送電網を使用することができますが、送電網が隔離されている場合は狭い地域の数少ない電力会社に依存するしかありません。そのため、ガスエンジンの使用が必要になります。公共の送電網の場合でも、ピーク時の負荷をカバーするためには信頼性が高くすぐに利用できる電源が必要です。これは熱生成の場合も同様です。エネルギー供給で最も求められるのは、高い信頼性、効率性、および柔軟性です。これらの3つの要素は、設備の保守にも深くかかわる問題です。なぜなら、これらの3要素を満たすことにより、修理の手間を極力減らし、ダウンタイムを短くして維持費を低く抑えることができるからです。Caterpillar Energy Solutions 社の制御開発チームでは、上記に加え、潤滑剤の使用を極力減らせるエンジン機構を開発するなど、維持費を最小化する方法にも取り組んでいます。このようなソリューションで要件を満たすために重要となるのは、むしろ最新式の電子プラント制御であり、機械的な要素はほんの一部分に過ぎません。

#### 新たなプラント制御に向けて

Caterpillar Energy Solutions 社の目標は、最新式の電子プラント制御を活用して今後のプラントの効率性、柔軟性、保守性をより一層高め、同社のすべての製品に新開発の制御方法を導入することでした。このため、同社は今後のプラントではサードパーティ製電子制御ユニット (ECU) を自社製 ECU に置き換える決断を下しました。しかし、エネルギー生産用のガスエンジンでこれを実行する場合、従来の (乗用車などの) 内燃エンジンと比べてもより多くの困難が伴います。1 台の高性能ガスエンジンを生産する場合に必要なコスト、サイズ、および生産時間は膨大であり、製品のバリエーションも多岐にわたります。そのため、テスト専用のプロトタイプを構築することは通常は不可能です。そのため、同社の開発チームはこれまで、開始、停止、および緊急停止動作を集中的にテストする限界テストや高負荷テストを実行する際、実際のエンジンに深刻な損害を与えるリスクに常に直面していました。これにより、コストは極めて増大し、プロジェクトの遅延も発生していました。また、新たな制御方法では、テストを実際のエンジン入手前に行う必要がありました。そのため、

上位の制御システムで構成された HIL システムをプラントネットワーク上で構築し、オフライン機能開発 (Software-in-the-Loop、SIL) および HIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレータを用いてエンジンの制御システムをテストすることが必要となりました。同社のもう 1 つの要件は、多様なエンジンバリエーションをテストできる柔軟かつ拡張性の高い HIL シミュレーション環境を構築し、それを以降のソフトウェアリリースプロセスの基盤として活用することで、実際のエンジンによる物理的なテストをできるだけ排除することでした。

#### シミュレーションモデルの要件

ガスエンジンをシミュレートして ECU 開発を行う場合、固有のエンジン特性を十分な精度で再現できるシミュレーションモデルが必要です。シミュレーションは、個別の使用事例でも十分に高い品質と範囲で実行できる必要があり、ECU にはすべての作業段階で使用できる適切な値を提供しなければなりません。そのため、Caterpillar Energy Solutions 社は、既に業界で実績があり、ガスエンジンの特性に合わせて容易に調整できるモデルを必要としていました。内燃エンジンのプラントモデルに関する要件は次のようなものでした。

- エネルギー生産用のガスエンジンにも利用できる調整可能なオープンなモデルアーキテクチャ
- 最大 24 気筒でのリアルタイムシミュレーションに対応した効率性の高い演算性能
- 候補となる筒内圧センサを適切に特定できる高精度のシミュレーション
- 負荷点の数を限定したシミュレーションデータによるモデルの柔軟なパラメータ設定 >>

## モーター仕様

- シリンダ：8～20
- 出力範囲：通常時 400～4,500 kWel
- 対応するガスの種類：天然ガス、埋立地ガス、下水ガス、炭鉱ガス、コークス炉ガス、バイオガス
- 「従来型」のエンジン制御 (スロットルバルブなど) およびプロセス制御 (冷却、ガス圧、電気の位相など)
- 特殊緊急時対応方式 (緊急停止など)



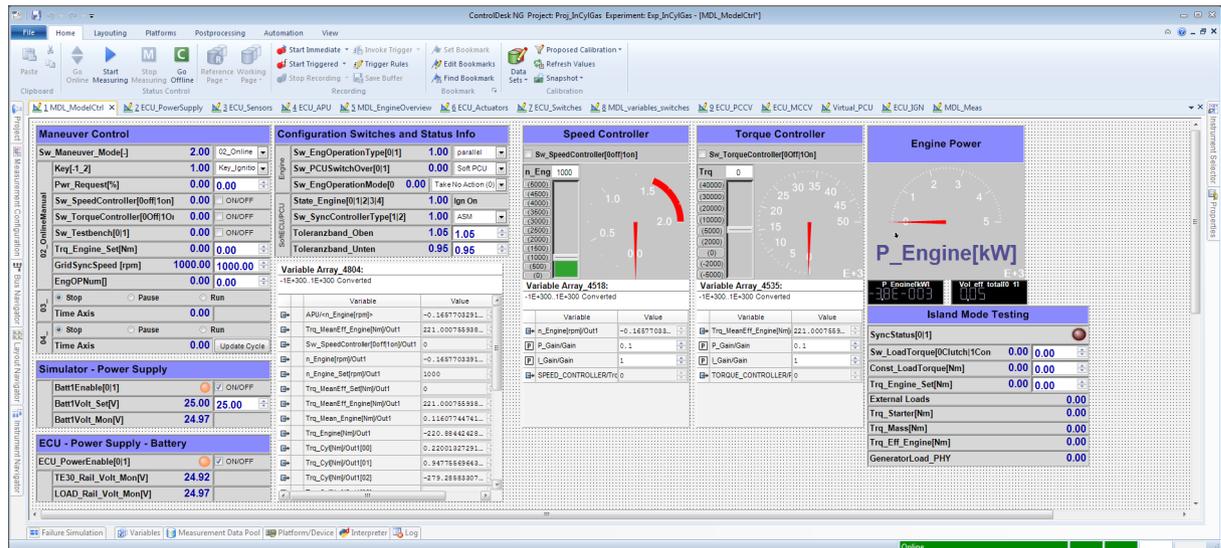
制御対象である多数のシリンダでは、特に効率性の高いシミュレーションモデルを使用して SIL および HIL テストを行う必要がありました。



Caterpillar Energy Solutions 社の Ralph Staudt 氏 (左) と Sreenivasa Ravipati 氏 (右) は、dSPACE シミュレータを使用してエンジン用 ECU の幅広い HIL テストを行いました。

「当社の主力パートナーである dSPACE は、ツールおよびエンジニアリングサービスのサプライヤとして、シミュレータ仕様から実 ECU によるクローズドループ制御に至るまで、当社の HIL システムに関する多数の細かな疑問にも対応してくれます。このおかげで、プロジェクトを大幅に迅速化することができました」

Magnus Euler 氏、Caterpillar Energy Solutions 社



ControlDesk Next Generation での計器制御

### ガスエンジン向けの dSPACE ASM

Caterpillar Energy Solutions 社では、dSPACE のエンジニアリングサポートを受けながら、オープンかつ高精度な Simulink® モデルであるオリジナルの ASM Gasoline Engine InCylinder モデルを同社向けのモデルとして調整し、これを使用してガスエンジンのシミュレーションを行えるようにしました。モデルの調整に際しては、次のような複数の段階が必要となりました。

- ライブラリブロックを一部再利用して、ベーシックモデルをインタークーラやバルブなどのユニットを備えた個別のエンジンスキーマ向けに調整。ASM モデルはデフォルトでツインターボチャージャーおよび V エンジンアーキテクチャを使用したエンジンポートのパラメータ化に対応しているため、この調整作業は容易に行うことができました。

- エネルギー供給テクノロジー要件に従い、自動車内燃エンジンモデルを再構成
- ベーシックモデルの物理的パラメータ、化学的パラメータ、および熱パラメータを変更
- 計測値の評価に基づきパラメータを自動的に最適化して、シミュレーション結果を改善
- オフラインシミュレーション時に ASM Engine Testbench を使用してモデルの妥当性を確認

### 新しいエンジンコントローラのテスト

Caterpillar Energy Solutions 社が開発したプラントおよびエンジンコントローラは、さまざまな領域においてテストを受ける必要がありました。たとえば、送電網での円滑な動作を保证するため、SIL シミュレーションによるオフライン機能テストや HIL シミュレータによる ECU テストを用いて、電気の位相との同期前、同期中、同期

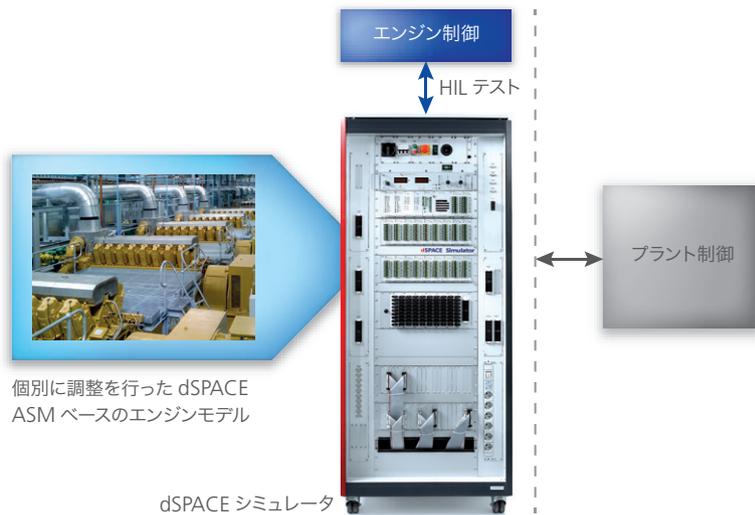
後におけるコントローラおよびエンジンの動作を、開始、停止、および緊急停止動作を含めてテストする必要がありました。すべてのテスト段階では、特別な調整を施した ASM モデルが使用されました。

### HIL テストシステム

HIL テストには、dSPACE Full-Size シミュレータが使用されました。このシミュレータには 2 つの拡張ボックスが搭載されており、それぞれに拡張 I/O 機能を備えた DS1006 ベースのシステムが含まれています。これにより、強力なマルチコアおよびマルチプロセッサオペレーションが可能になり、ASM モデルを I/O と切り離れた上で計算処理を行うことができたため、シミュレーション時間を大幅に削減することができました。また、dSPACE シミュレータには、シグナルコンディショニング用のモジュール、電氣的欠陥を挿入するための欠陥生成ユニット、電流計測および負

「当社の要件に合わせて調整された ASM Gasoline Engine InCylinder モデルを使用することにより、当社は十分に現実に即したガスエンジンシミュレーションをリアルタイムで実施することができました」

Magnus Euler 氏、Caterpillar Energy Solutions 社



同社は、dSPACE シミュレータおよび ASM Gasoline Engine InCylinder ベースの調整モデルを使用することにより、実際のエンジンを使用せずにエンジン制御に関する HIL テストを開発の早期の段階で実施することができました。

荷シミュレーション用のモジュールも含まれており、テストでは、インジェクタ、スロットルバルブ、ウェストゲートバルブなどの実負荷が使用されました。シミュレータはプラント制御用の大型の HIL システムにも接続され、dSPACE の試験ソフトウェアである ControlDesk® Next Generation を使用してシミュレーションのあらゆるタスクが実行されました。■

Magnus Euler 氏、  
Caterpillar Energy Solutions GmbH

## まとめ

Caterpillar Energy Solutions 社では、新しいプラントおよびエンジン制御システムの開発により、同社の Cat および MWM 製品の効率性、柔軟性、および保守性をより向上させることができました。その際、dSPACE により重要なツールだけでなくエンジニアリングおよびサポートサービスを含むワンストップソリューションが提供されたため、同社はプロジェクトを迅速に実行し、成功させることができました。また、SIL および HIL シミュレーションを通じて多数のテストを開発の早期の段階にフロントローディングすることにより、開発作業の大部分を実際のエンジン入手する前に実施することができたため、後の工程で実際の高価なエンジンを使用してさまざまなテストを行う必要がなくなり、開発時間の短縮も実現することができました。ここでは、多くの dSPACE ツールが導入され、同社のすべての製品向けのエンジン ECU や気筒数の異なるさまざまなエンジン向けの開発環境の構築に活用されました。Caterpillar Energy Solutions 社の新たなエンジン開発プロジェクトでは、すでに ASM が使用されています。

Magnus Euler 氏  
エンジン制御チーム責任者、  
Electrical Engineering 部門、  
Caterpillar Energy Solutions GmbH  
(ドイツ、マンハイム)

