

Feature Article

特集論文

エンジンテストシステム

富永 滋

エンジンテストでは、その出力軸に制御された負荷を与えエンジンの速度とトルクを計測する。HORIBAは、エンジンテストに使用する動力計として、吸収型である水動力計・渦電流動力計、吸収駆動型である直流動力計・油圧動力計・交流動力計など、多くのタイプのもを開發してきた。その中で最新のもがACモータを基本とする交流動力計DYNAS3で、エンジンテストベンチにおける中心的な動力計の一つとなっている。HORIBAは、このような動力計や、テストオートメーションシステムSTARS、リアルタイムデジタルコントローラSPARCといったキーコンポーネントを中心に、標準エンジンテストベンチTITANをはじめ、コンテナ型テストシステム、傾斜ベンチ、タービンエンジンテストベンチなどさまざまなアプリケーションに対応するエンジンテストシステムを提供している。

はじめに

自動車のエンジンには、出力・加減速応答性のほか、経済性、耐久性、静粛性、低エミッションなどさまざまな性能が要求される。これらの性能要素は互いに矛盾する点も多く、全体のバランスを取って総合性能を最適値にもってくるには多くのパラメータを正確に調整・制御しなくてはならない。そのため自動車の開発においてエンジンの試験は欠かせないものとなっている。本来、エンジンは車両に搭載して使用されるため、単体で運転して試験するにはさまざまな専用設備や制御システムが必要である。本稿ではエンジンテストに欠かせない動力計などのコンポーネントについて概説する。またエンジンテストシステムのアプリケーション例についても紹介する。

換し、その過程で回転・トルクを計測する。そのために使用されるのが動力計(ダイナモメータ)である。この動力計により吸収、すなわち制動したトルクを計測し、このトルクと回転速度からエンジン出力を計算する。エンジンの機械損失計測や路上シミュレーション運転をする場合には、エンジン出力の吸収だけでなくエンジンを駆動する能力も必要となる。

図1に代表的なトルク計測法の概念図を示す。このうちロードセル式の場合は、動力計の軸にかかるトルクを、揺動式ステータに取り付けられたレバーアームで支持された歪みゲージ式荷重検出器(ロードセル)で検出する。またトルクフランジ式では、エンジンと動力計の間に設置した歪み計測式トルク検出器(トルクフランジ)で計測を行う。また速度は動力計に装備したパルス検出器で計測する。

エンジンテストの概要

エンジントルク・速度の計測

エンジンテストにおいては、試験体であるエンジンの出力軸に負荷を与え、発生する機械的エネルギーを異なるエネルギー(例えば電気エネルギーや熱エネルギー)に変

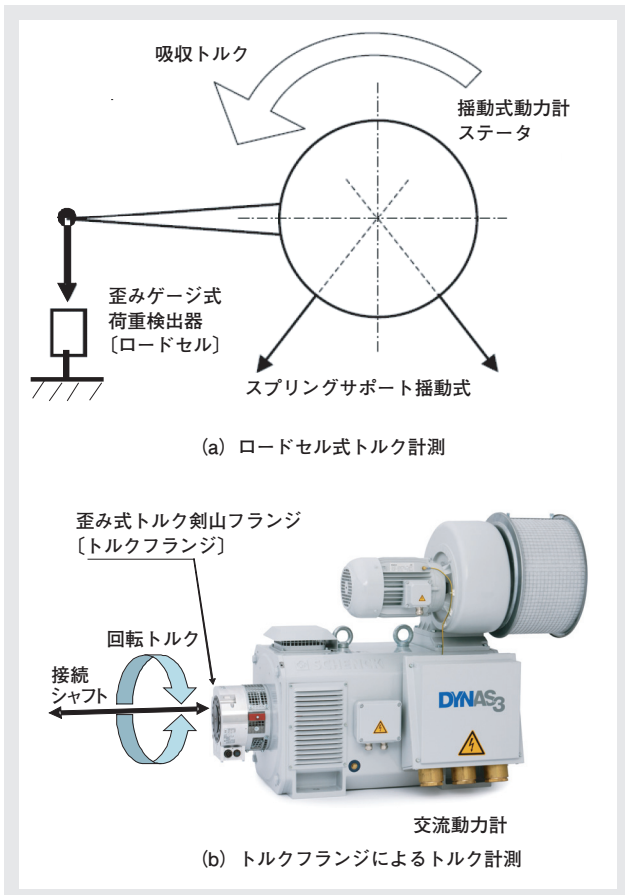


図1 動力計におけるトルク計測法

エンジン出力特性試験と自動化

図2にエンジントルク特性の一例を示す。このようなトルク特性を得るには、そのエンジンが異なる速度において発生するトルクを動力計で計測する。エンジン開発段階の試験においては、エンジン特性を把握するために条件の異なる多数の計測点データが要求される。熱的に安定した状態で計測を行なうには各条件で十分な安定時間をとる必要があり、データの採取工程だけでも長時間の作業が要求される。そのため、回転・トルクのデータを自動的に測定・記録できる自動運転記録装置が開発され発展してきた。自動運転記録装置では、同時に排ガスや燃費、温度、圧力、その他の計測項目のデータも採取できるのが普通である。もちろん排ガス計測やモード燃費計測に要求される規定のモードでの運転も可能である。

また最近では、エンジンの制御に電子制御装置(ECU)が広く使用されている。ECU制御特性マップ作成には、さらに膨大な試験時間が必要である。この自動化のため、エンジンECU自動最適マッピング装置の開発が行なわれている。

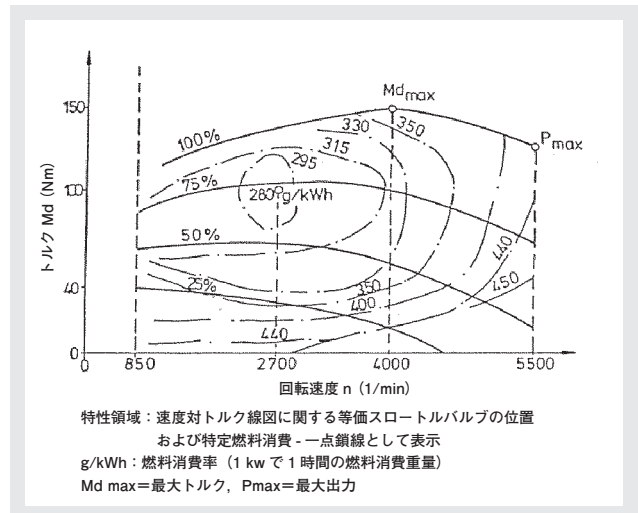


図2 エンジントルク特性の例

シミュレーション試験

ECU制御の車両の場合、エンジンのみならず、トランスミッション、車両運動、ブレーキシステムなども互いにリンクし、多くの情報を交換しながら車両運転を最適に制御している。そのため、車両開発段階において各パートの実働状態をテストスタンド上で再現し、相互に最適化を図る必要が生じた。このような要求を受け、駆動吸収動力計およびシミュレーションシステムを使用したエンジンテストベンチが開発されている。

具体的には、駆動吸収型の交流動力計DYNAS3、およびテストオートメーションSTARS、デジタルコントローラSPARCを使用して、ドライバー・駆動系・車両のシミュレーションを行なうことができる。駆動系としては、マニュアル、オートマチックの両方に対応可能である。また、高出力のエンジンを試験する場合は、DYNAS3に別の吸収型動力計を組み合わせたタンデム型ダイナモメータが使用される。さらに、シミュレーションモデルとしては、HORIBA独自のモデルのほか、市販のMATLAB®/SIMULINK®を使用したHILモデル*1も組み込み可能で、非常に応用範囲の広いシステムを実現している。

*1: HILとはHardware-in-the-Loopの略。例えば、エンジン電子制御装置(ECU)が開発対象である場合、ECUには実際のハードウェアを使用し、制御対象のエンジンはソフトウェアで模擬して動作させるシミュレーションモデル。主に各パーツの開発過程の試験で使用される。

エンジンテストシステムのコンポーネント

次にエンジンテストシステムに関連して、HORIBAが実際に提供している製品をコンポーネント別に紹介する。

動力計

水動力計

水動力計はロータが水をかき回しながら回転する際の抵抗を利用する。エンジンにおける発生トルクの吸収のみが可能な吸収型動力計である。HORIBAのDTタイプ水動力計では、内部に1つないし2つのロータが組み込まれ、排水弁開度制御によりトルクを制御する。従来の水動力計に比べて速い応答と良好な制御性を持ち、耐久性も高いのが特長である。

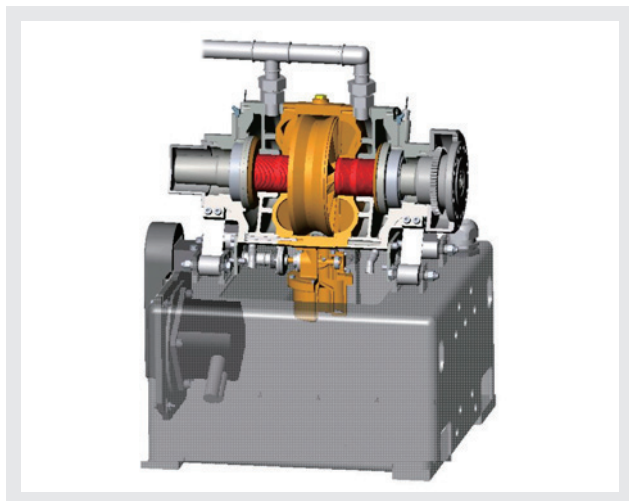


図3 DTタイプ水動力計(シングルロータ式)

渦電流動力計

渦電流動力計では、内部で発生する渦電流を熱として消費することで動力を吸収する。渦電流動力計WTタイプは、ディスク型ロータとステータを持ち、冷却板の外側に設置した軸受けでそれらを支える構造をとっている。この方式は旧シェンク社により特許が取得され、世界で広く使用されているディスク型渦電流動力計の原型となった。両方向回転での動力吸収が可能で、かつ動力吸収範囲が広く良好な制御性を持つ。そのため、定常試験からトランジェント試験まで幅広い応用が可能で、エンジン開発だけでなく組み立てラインでも使用されている。

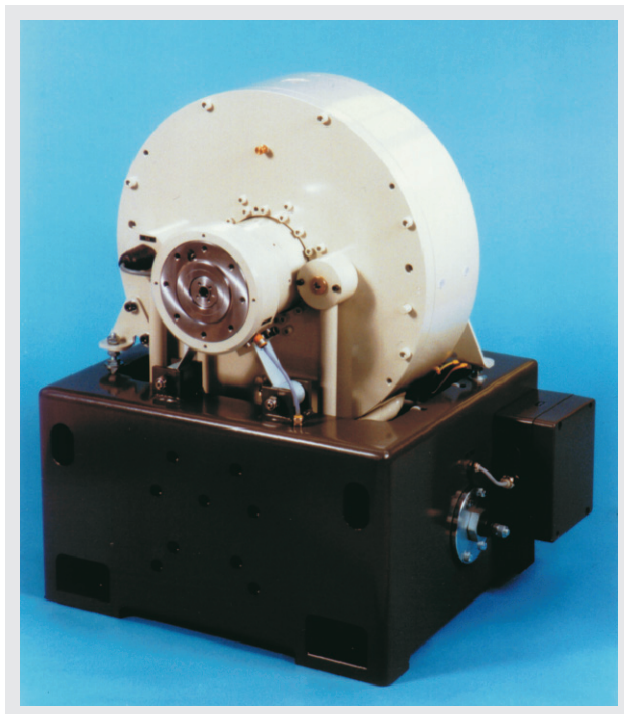


図4 WTタイプ渦電流動力計

交流動力計

エンジン定常試験だけでなく、トランジェント試験、シミュレーション試験までの応用を前提とした場合、駆動吸収型の動力計が必須である。このような動力計としてHORIBAでは、直流動力計、油圧動力計、交流動力計などを順次開発してきた。そのうち最新の交流動力計DYNAS3は、ACモータを基本とする方式で、HORIBAの駆動吸収型動力計としては第4世代にあたる。このDYNAS3はさまざまな改良を経て、このクラスをリードする動力計となっている。

DYNAS3には、トルク計測フランジ、パルスエンコーダが組み込まれ、動的で正確な速度とトルクの計測制御が可能である。良好なトルクレスポンスと駆動吸収能力を持ち、エンジンの開発から生産まで広い範囲をカバーできる機種がシリーズ化されている。電源スイッチングエレメントとして最新のパワートランジスタが使用され、組み込みのパワーフィルタとあわせて、正確なサイン波と広い範囲でのクリーンな電源制御を実現している。



図5 交流動力計DYNAS3

タンデム型ダイナモメータ

タンデム型ダイナモメータは、水動力計・渦電流動力計などの吸収型動力計と駆動吸収型動力計である交流動力計を組み合わせたものである。大きな吸収容量を持ち、低慣性、高速回転、高トルクでの運転が可能で、500 kW以上の大型エンジン試験に使用される。

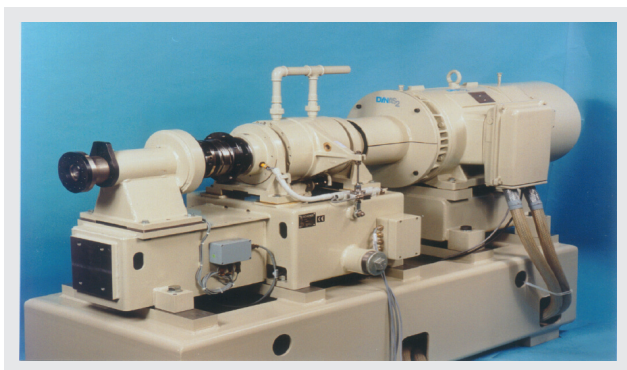


図6 タンデム型ダイナモメータ

制御システム

テストオートメーションシステム

初期のエンジン自動運転は、トルク・速度・スロットル開度の設定値を時間ベースで対象機器へ出力することから始まった。現在では、最新のテストオートメーションシステムSTARSとして、より高度なシミュレーションを含む自動運転システムとして完成されている。STARSは、多機能で柔軟性のある多目的システムである。次にSTARSの主な特徴をあげる。

- ・試験プロセスの組み込みが簡単で、1つのシステムで多くの試験ニーズに対応
- ・Windows-OSとリアルタイムソフトウェアの採用で操作性も良好

- ・最高1 kHz, 高速リアルタイム試験スケジュールの実行が可能, SPARCデジタルコントローラ(後述)とも1 kHzでリンク可能
- ・ワークフローが視覚的に画面表示され, 簡単なアイコン操作で試験可能
- ・複数レベルのアラームシステムと1 kHzマルチデータロガー機能を装備
- ・路上実走行状態をエンジンテストスタンド上で再現する走行抵抗シミュレーション(RLS)に対応

リアルタイムデジタルコントローラ

リアルタイムデジタルコントローラSPARCは、エンジンテスト用コントローラあるいは試験システムの汎用制御系の構成要素として開発された。単独のマニュアル運転をはじめ、前出のSTARSへの組み込みやその他のオートメーションシステムとの接続も可能である。正確なデータ計測をサポートするオンボード5 kHzアナログ、およびデジタル、パルス入出力を備え、さらにインタフェース拡張用のCANバスポート(6ポート)も組み込まれている。また、エンジンテストおよび駆動系のテスト用に、再現性の高いコントロールアルゴリズムが採用されている。SPARCコントローラには、より正確で高速のエンジン制御を可能とするエンジンマップ機能など、先進の機能が組み込まれる。



図7 リアルタイムデジタルコントローラSPARC

エンジンテストシステムのアプリケーション

標準的なエンジンテストシステム

最新のエンジンテストシステムとしては、交流ダイナモメータDYNAS3とテストオートメーションシステムSTARSの組み合わせが基本になる。さらにHORIBAでは、このような基本的なエンジンテストシステムに、制御

Feature Article 特集論文 エンジンテストシステム

装置やエンジン冷却システムなどの周辺機器モジュールを組み合わせ、標準エンジンテストシステムTITANとしてラインナップしている(図8)。



図8 標準エンジンテストスタンドTITAN

コンテナ型テストシステム

HORIBAではエンジンテスト設備一式をコンテナ内に納めたコンテナ型テストシステムも供給している(図9)。必要な機器があらかじめ設置されているので、テストシステム立ち上げ期間が短いのが利点である。さらに工場内だけでなく屋外にも設置可能で、設置後の移設にも対応している。このため工場内設備の新設・増設など、さまざまな要求にフレキシブルに対応できるシステムとなっている。

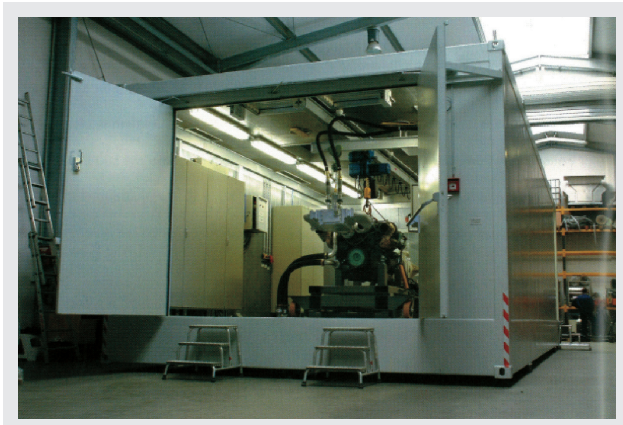


図9 コンテナ型テストシステム

傾斜ベンチ

傾斜ベンチは、実路の勾配や車両走行時の加速度の影響

をシミュレーションするためのシステムである(図10)。このように、ダイナモメータとエンジン、周辺機器を傾斜・旋回が可能なエンジンベンチに設置する。HORIBAの傾斜ベンチは、傾斜、旋回とも55度まで再現可能である。傾斜状況下のオイルパン、潤滑ポンプ、油泡分布、オイルスプレーなどの状況と、エンジン機能への影響確認試験に応用されている。

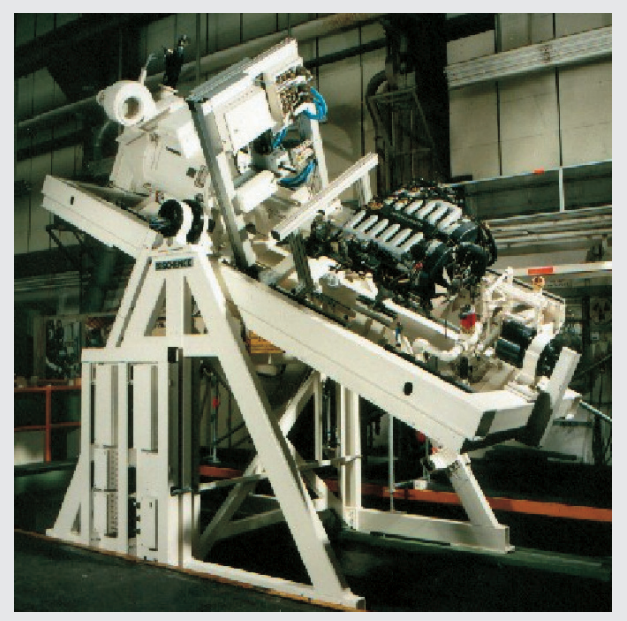


図10 傾斜ベンチ(交流ダイナモメータ装備, V12エンジン接続)

ガスタービンテストシステム

発電所や航空機に使用されるガスタービンの試験では、低慣性のダイナモメータによる高精度で再現性のよい計測、さらにエンジンへの過渡負荷を適切に上昇・降下させることが重要となる。HORIBAでは、軸出力タービンエンジン用の試験設備としても、ダイナモメータ、および計測制御、自動運転装置を長年提供してきた。ガスタービンエンジンテスト設備では、出力・回転速度・トルクの計測やガスタービンの試験、新しいタービン技術の開発、馴らし運転、耐久運転などが行なわれている。

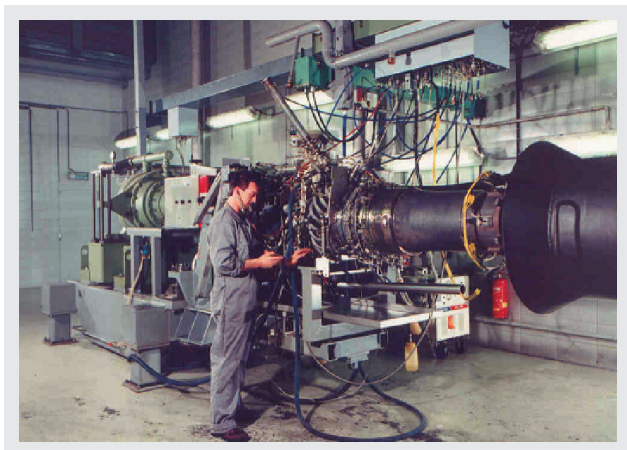


図11 ガスタービンエンジンテストスタンド(Dタイプ水動力計)

おわりに

このようにHORIBAでは、エンジン試験用の各種コンポーネントを組み合わせ、さまざまなシステムを供給してきた。今後も、エンジンテストシステムのリーディングサプライヤーとして、市場の要求を見据え、将来にわたる需要に適合する製品を開発していくことが重要だと考えている。さらに、経験とノウハウを活かし、世界市場の要求に沿う先進的でユーザーフレンドリーな製品とエンジンテストソリューションを提供していきたい。



富永 滋

Shigeru Tominaga

株式会社堀場製作所
自動車計測システム統括部
自動車メカトロニクス部