

Readout

HORIBA Technical Reports

No.34
JANUARY 2009

特集 自動車計測技術



HORIBA

<http://www.horiba.com/jp/publications/readout/>

今号は、エンジン、パワートレイン、ブレーキなど自動車内部の駆動系制御に関わる計測から、シャシダイナモ、風洞実験、排ガスなど外部環境との相互影響に関わる計測まで、自動車の総合的な計測技術について特集しています。

またHORIBA Jobin Yvon社の蛍光分光装置を用いた、ライフサイエンスやナノ粒子など先端科学の研究例をご紹介します。



■表紙写真

撮影: 松井秀雄氏

(二科会写真部関西支部)

信州山奥の5月、未だ残る冬景色の中に新緑の若葉が春の到来を告げていました。

静けさの中に、これから訪れる春の息吹がこだましているようでした。

■誌名について

誌名 Readout(リードアウト)には、「当社が創造・育成した製品・技術を広く世にお知らせし、多くの皆様に読み取っていただきたい」という願いが込められています。

特集 自動車計測技術

巻頭言

- 2 自動車計測分野のソリューション
長野 隆史

総説

- 4 HORIBA メカトロニクス製品群の概要
Karl-Hermann Breyer

特集論文

- 8 エンジンテストシステム
富永 滋
- 14 ハイブリッドパワートレインの試験設備
George Gillespie
- 20 ブレーキテストシステム
Dieter Weiss
- 24 シャシダイナモメータによる車両試験
Martin Hermann
- 28 車両空力開発用風洞天秤システム
Hans Vogt
- 32 SPARC 共通コントローラ
Jürgen Pitz
- 36 STARS テストオートメーションプラットフォーム
James Fowler
- 40 テストベンチ環境用データソース ASAM ODS
Bruno Thelen

総説

- 44 自動車開発と HORIBA の排ガス計測技術の歩み
河邨 浩

特集論文

- 50 連続固体粒子数測定装置 MEXA-1000SPCS
日下 竹史, 浅野 一朗
- 60 酸化・酸化還元法 PM 分析装置 MEXA-1370PM
— PM 成分分離性能の改良 —
篠原 政良, 吉村 友志
- 66 自動車排ガス硫黄成分測定装置 MEXA-1170SX
村上 慎一

コラム

- 72 HORIBA Europe GmbH Darmstadt Office ~研修体験~
織田 香織

特別寄稿

- 74 ライフサイエンスにおける蛍光寿命と偏光解消の利用
—測定からどんなことがわかるのか?—
阿部 文快

一般論文

- 78 世界レベル最高感度を有する蛍光分光測定装置
Ray Kaminsky, Stephen M. Cohen
- 82 NanoLog™によるナノ粒子の研究
Adam Gilmore, Stephen M. Cohen
- 86 蛍光分光光度計 FluoroMax™-4 の生物学および生化学分野のアプリケーションについて
Lin Chandler, Stephen M. Cohen

- 90 特許メモ
- 92 社外発表リスト
- 104 HORIBA World-Wide Network

Foreword

巻頭言

自動車計測分野のソリューション



長野 隆史

Takashi Nagano



HORIBA Europe GmbH
President

近年、自動車の研究開発試験分野において要求されているものは、エンジン・駆動系・車両全般にわたる統合試験システムと、それらをグローバルに供給しサポートできる体制である。このような市場要求に応えるため、自動車排ガス計測技術の強みを生かしつつ、HORIBAは1990年代より長期戦略の一環として、英国Ricardo社との関係強化を図ってきた。2001年には、エンジン試験を中心とする統合オートメーションソフトウェアを共同開発するために、SRH Systems社¹⁾に参画した。さらに2005年10月には、Carl Schenck社の自動車計測機器事業を買収した。これにより、SRH Systems社で開発するソフトウェアに加え、統合システムに必要な自動車計測機器のハードウェア技術もHORIBAグループ内に取り込むこととなった。結果として、自動車排ガス計測中心であった従来の事業展開の枠を超えて、自動車の研究開発試験全般に対して広くソリューションを提供できる環境が整った。もちろんこれらの活動は、ガス分析計に始まり、サンプリング装置、シャシダイナモメータ、オートメーションシステムへと過去40年間にわたって事業拡大してきたHORIBA自動車計測部門の事業路線の延長線上にある。そしてこの事業路線は、“お客様にソリューションを提供する”という一貫したポリシーに裏打ちされたものである。

今日の自動車産業を取り巻く環境には、キーとなるテーマがいくつかある。その一つが環境負荷の軽減という大きなテーマであり、この30年間、年ごとに強化される排ガス規制への適合が図られてきた。排ガス規制への適合は、現在でも自動

車開発における必須のテーマである。加えて近年では、地球温暖化防止に向けたCO₂排出抑制要求の高まりによって、燃費改善もより大きなウェイトを占めるようになった。燃費改善が求められる背景には、環境問題以外にもエネルギー問題や燃料代の高騰など、多くの要因が複雑に絡んでいる。この重要テーマに対応するため、内燃機関の更なる改良をはじめ、排ガス後処理装置の高度化、代替燃料への対応、ハイブリッド車などの先進パワートレインの開発といった非常に高度で複雑な研究開発が必須となっている。研究開発過程で非常に重要な位置を占める試験・実験についても、単にボリュームが増加しているだけではなく内容そのものが以前とは比較にならないほど複雑化している。使用される試験装置のハードウェアとソフトウェアもより高度化し、さらにシステムとして統合されたものが要求されている。同時に、そのような設備の導入が投資回収の側面から見てコスト的に見合うことも重要な条件となっている。

本誌では、Carl Schenck社の自動車部門の買収により、HORIBAのラインナップに新たに加わったメカトロニクス製品群(エンジン試験、駆動系試験、車両試験、ブレーキ試験、風洞天秤)と、それらを統合的にシステム化するSTARSテストオートメーションシステムを中心に紹介している。我々の製品戦略は、コア製品である排ガス計測製品とこれらのメカトロニクス製品とを、自動車排ガス試験システムVETSとSTARSの2つのオートメーションシステムを柱にシステム化し、高度なソリューションを提供することにある。そのために、自動車産業を取り巻く動向をグローバルに注視するとともに、お客様一人一人の要求に真摯に耳を傾ける姿勢を持ち続けていきたい。

*1: SRH Systems社とは、Schenck, Ricardo, HORIBAにより設立されたジョイントベンチャー。HORIBAによるSchenck自動車計測部門の買収後は、RicardoとHORIBAの2社合弁事業となっている。

Review 総説

HORIBA メカトロニクス製品群の概要

Karl-Hermann Breyer

HORIBA自動車計測メカトロニクス部門は、数十年にわたって自動車テストシステムのソリューションを提供してきた。対象となるのは、エンジン、ブレーキ、駆動系コンポーネント(トランスミッション、クラッチ、トルクコンバータ、車軸)の試験から自動車一式の試験まで広範囲に渡る。これらの試験においては、試験体を実車両上で受ける負荷を再現するシステムにより実在しない部品と環境を置き換える。このようなシステムは基本的に、ダイナモメータやモータ、各種センサ、コントローラ、シミュレーションソフトウェア、テストオートメーションシステムなどから構成される。

はじめに～HORIBAのメカトロニクス製品

HORIBAは自動車産業の研究開発現場に対し個々のコンポーネントから車両全体に至るまでを対象にした試験設備を供給している。これらメカトロニクス製品の用途は、性能の最適化をはじめ、機能の確認、品質と耐久性のチェック、ますます複雑化するECU(電子制御ユニット)のキャリブレーション、騒音と振動の抑制、運転しやすさの向上と多岐にわたる。HORIBAでは、設備を使う側の視点からメカトロニクス製品群をエンジン試験設備・駆動系試験設備・ブレーキ試験設備・車両試験設備・風洞天秤に分類している(図1)。本稿ではこのようなHORIBAのメカトロニクス製品について概説する。

駆動系試験

- ・ギア、シフト、シンクロ試験
- ・効率、性能、寿命試験
- ・騒音・振動解析
- ・潤滑試験

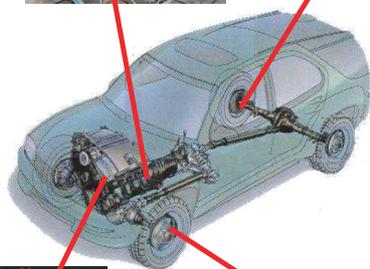
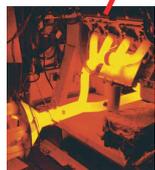


車両試験

- ・性能試験
- ・排ガス試験・耐久試験
- ・環境試験・風洞試験
- ・騒音試験・EMC試験

エンジン試験

- ・性能試験・寿命試験
- ・排ガス・燃費の最適化
- ・騒音試験・環境試験
- ・潤滑試験



風洞天秤

- ・空力計測
- ・地表シミュレーション試験
- ・ホイール回転試験



ブレーキ試験

- ・ブレーキパワー性能
- ・磨耗サービスライフ
- ・騒音・振動解析



図1 HORIBAのメカトロニクス製品

エンジン試験設備

エンジン試験では、エンジン単体での性能・出力・耐久性の確認や排ガスや燃費の最適化、騒音試験、環境試験などを実施する。エンジンに適切な負荷をかけて運転するためにはエンジンダイナモメータが使用される。初期のエンジン試験は定常状態におけるトルク計測・速度計測のみが実施されていた。このようなアプリケーションには、渦電流式ダイナモメータや水制動式ダイナモメータなどエンジントルクの吸収のみが可能なタイプのダイナモメータが使用できた。一方1980年代になると、排ガス規制の強化にともなって、駆動運転も必要とされる過渡試験の必要性が高まった。これに対応するものとしてHORIBAでは1990年代初めにAC（交流）ダイナモメータDYNASシリーズを開発した（図2）。DYNASシリーズは全速度範囲をカバーし、また動的試験にも適している。またダイナモメータを制御する上で、速度・トルク計測を最小限の遅れ時間で正確に行うことが非常に重要である。DYNASシリーズの標準システムでは、速度計測にはデジタル速度エンコーダ、トルク計測には試験体との接続部で実トルクを検出するトルクフランジを採用している。

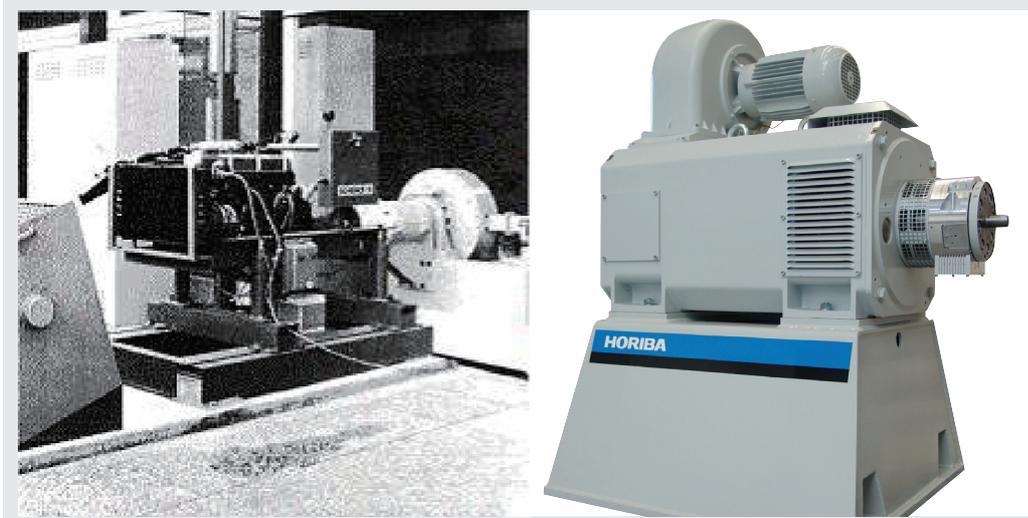


図2 エンジン試験設備（左：渦電流式ダイナモメータ（1970年代）、右：ACダイナモメータDYNAS3（2007））

駆動系試験設備

駆動系試験は駆動系のさまざまなコンポーネント（トランスミッション、クラッチ、トルクコンバータ、車軸など）を対象としている。この場合、実在しないコンポーネントについては負荷のシミュレーションが必要である。例えばトランスミッションを試験する際は、入力シャフトではエンジンの負荷、出力シャフトでは車体の負荷を再現する。この目的のためには、エンジン試験と同様、シャフトにアクチュエータ（ダイナモメータまたはモータ）が接続される。試験設備では速度とトルクを計測し、コントローラを介してアクチュエータを制御する（図3および図4）。この20年から30年の間に、試験に対する要求は定常運転にお

ける速度とトルク値を過渡運転に適用するという単純なものからバーチャルエンジン・バーチャル車両のシミュレーションにまで変化してきた。例えばバーチャルエンジンのシミュレーションでは、コンピュータでエンジンモデルを変更するだけで異なる種類のエンジンによるトランスミッションテストが可能となる。

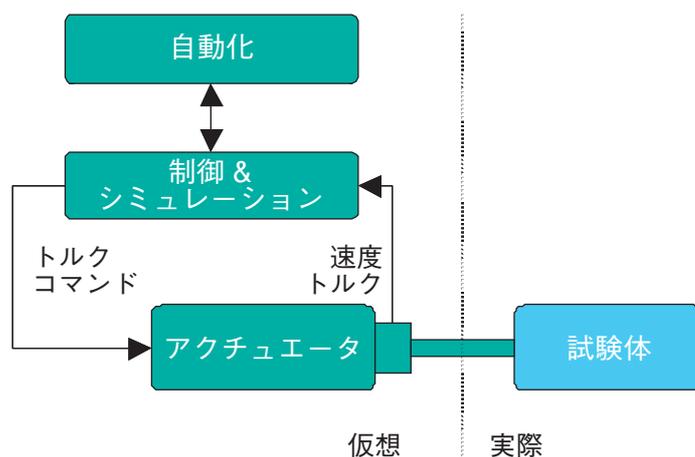


図3 制御の基本構成

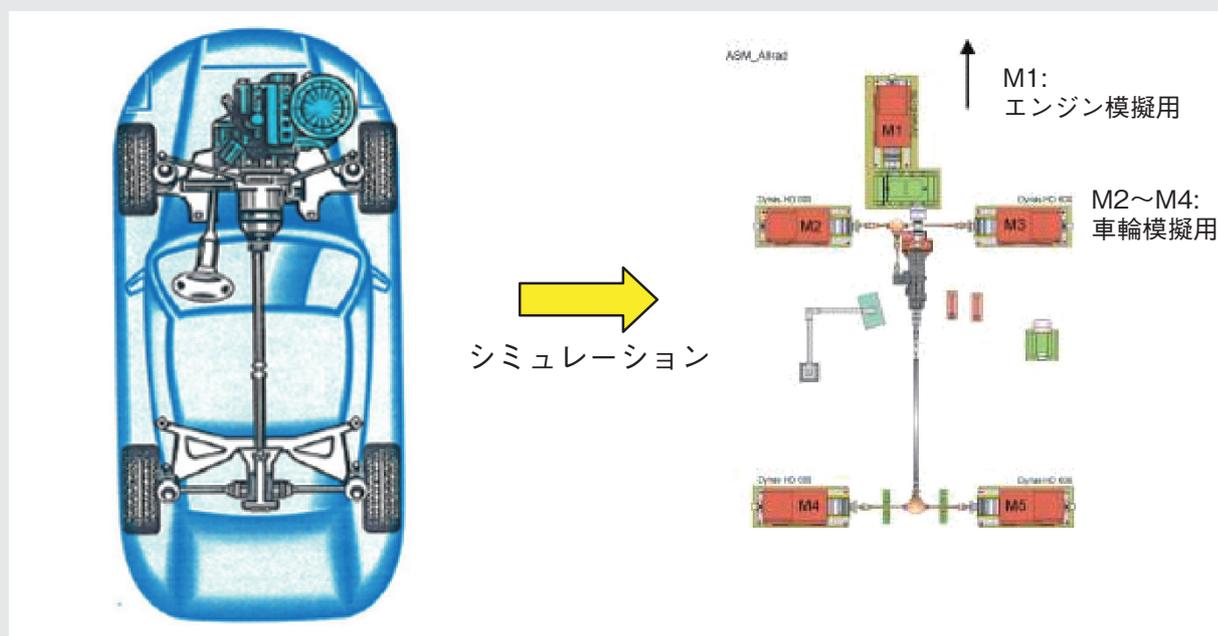


図4 AWD(全輪駆動)トランスミッション試験設備

ブレーキ試験設備

ブレーキ試験では、ブレーキ摩擦材の摩擦係数や磨耗またはブレーキ単体の性能試験などを実施する。また、ホイールも含めたアクスル(車軸)一式や、車両全体をサンプルにしたブレーキNVH(騒音・振動・ハーシュネス)試験も行われる。ブレーキ試験設備では基本的に、部品や車輪を回転させるためにダイナモメータやモーターが使用される。

車両試験設備

車両試験ではダイナモメータに接続されたローラ上に実際の車両を設置し走行させる。このための設備はシャシダイナモメータと呼ばれる。シャシダイナモメータでは主に、耐久試験、排ガス試験、NVH試験などが実施される。

風洞天秤

風洞天秤ではエンジン試験・駆動系試験・ブレーキ試験・車両試験などの設備とは多少異なる技術が使用されている。HORIBA風洞天秤は、風洞設備の中に組み込まれることを前提とした最先端の空力測定ユニットである。最近の風洞天秤では単に空力を測定するのみではなく、ローリングロードやホイールスピナにより車両の走行環境をシミュレーションすることができる。これにより、より実際に近い試験結果を提供できる。このように風洞天秤においても、その他のメカトロニクス製品同様、実際の状態をシミュレーションする技術が重視されている。

テストオートメーションシステム

前述のような試験設備全体の高機能化・複雑化によって、テストベンチの効率的な運転のためにオペレータをサポートするテストオートメーションシステムの必要性も増してきている。オートメーションシステムでは、テストスケジュールの生成、データの取得・ロギング、結果データの解析、レポート作成、状態監視などが実行される。HORIBAでは、メカトロニクス製品との接続を前提として、テストオートメーションシステムの改良・拡張を進めてきた。特に、2002年、Microsoft.NET技術を採用して開発されたSTARSは、その後のHORIBAのオートメーションプラットフォームの基本となっている。

おわりに

自動車の開発過程における各種の試験には、目的・対象が異なるものの試験手法としては似たものも多い。例えば、速度・トルクの計測やダイナモメータによる負荷の再現・制御、ソフトウェアによる各種シミュレーションなどは、各種試験に共通したキーテクノロジーである。HORIBAは、このような基本技術を各分野に応用するだけでなく、それを絶えず改良することでユーザに常に新しいアプリケーションを提供する方向を模索し続けている。



Karl-Hermann Breyer

HORIBA Europe GmbH
Managing Director
Ph.D.

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を開発してきた。その中で最新のものが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。

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

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。

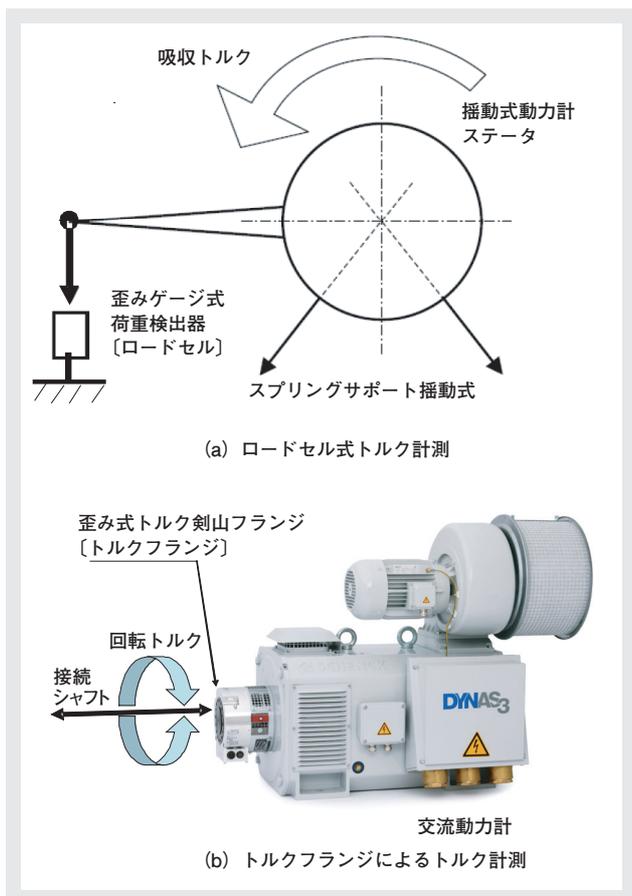


図1 動力計におけるトルク計測法

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。

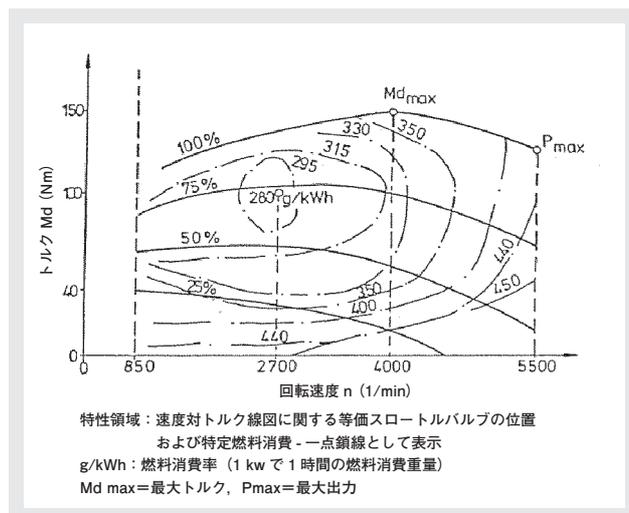


図2 エンジントルク特性の例

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。

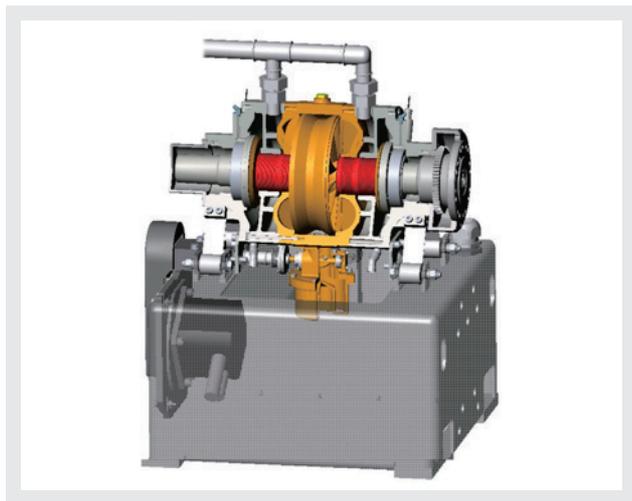


図3 DTタイプ水動力計(シングルロータ式)

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マルチデータローガー機能を装備
- ・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。

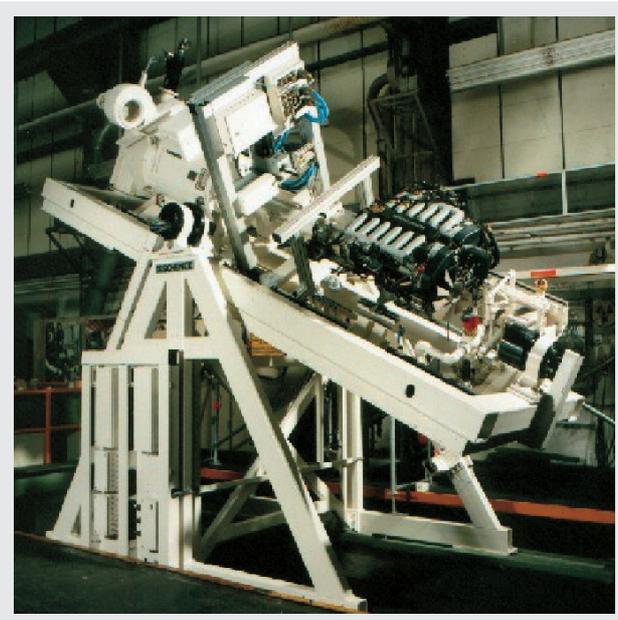


図10 傾斜ベンチ(交流ダイナモメータ装備, V12エンジン接続)

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

Feature Article

特集論文

ハイブリッドパワートレインの試験設備

George Gillespie

近年、ハイブリッドパワートレイン開発の急速な進展により、パワートレインの開発設備や試験装置に新たな対応が必要となっている。本稿では、パワートレイン統合の技術設計、制御系統と電気系統の統合マネージメント設計、HIL (ハードウェア・イン・ザ・ループ)を含む試験設備でのハイブリッドパワートレイン開発について説明する。さらに現在そして将来のハイブリッドパワートレインの特徴や、必要となる試験装置や試験要件などのソリューションを紹介する。

はじめに

すでに発売されている車両や現在開発中の車両も含め、ハイブリッド車(HEV)の台数は急増している。そのためパワートレイン(駆動伝達系)のOEM元や一次部品メーカーにとって、HEVパワートレインシステムに適した試験施設、ツール、開発方法の確立は急務である。HEVパワートレインの機能や特徴は従来のガソリン車やディーゼル車と共通する点も多いのだが、中核技術や性能面に違いがあるため開発工程において新たな要件が求められている。

HEVの動力源によって、パワートレイン構成要素の“最適な組み合わせ”はさまざまである。HEVパワートレインは一般に、マイクロ、マイルド、フルの3種類(後述)に大別される。その種類にもよるが、米国運輸省が定義するHEVパワートレインには従来車にはない構成要素やシステムが多く含まれる。HEVパワートレインの基幹システムに含まれる主な構成要素を次ぎに挙げ、図1に示す。

- ・従来型パワーユニット(ガソリンエンジン、ディーゼルエンジンなど)
- ・電気モータとコントローラ
- ・エネルギー蓄積システム(バッテリー、ウルトラキャパシタ^{*1}など)
- ・バッテリー充電用プラグ

- ・ハイブリッドパワーユニットの燃料系統
- ・統合型トランスミッションとコントローラ

*1: 大容量低インピーダンスのキャパシタ

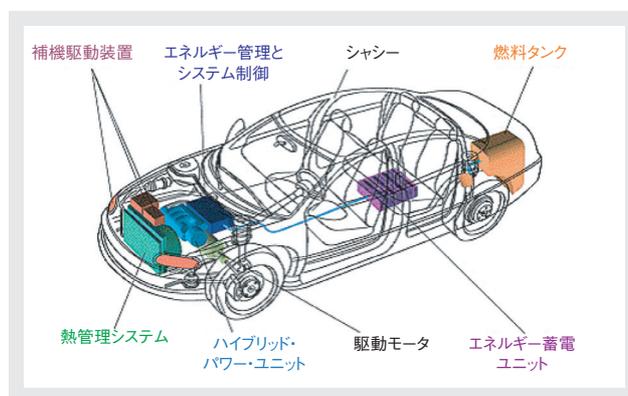


図1 HEVパワートレインの構成要素

HEVパワートレイン開発の難しい点は、パワートレインを一体として動作させるためのエネルギーマネージメントシステムが必要なことである。燃費、排ガス、操作性などの性能目標を達成するには、統合された駆動系における高度な出力制御が要求される。HEVの場合、ブレーキ系統についても同様の制御が必要である。従来車の場合、減速時には運動エネルギーが捨てられている。一方、HEVの種類によっては、回生ブレーキの搭載により、運動エネルギーをバッテリーに回収・蓄積し電力として再び使用することができる。これにより全体的な燃費が向上

する。さらに一部のHEVでは、バッテリーシステムの寿命を延ばす目的で、ウルトラキャパシタを採用している。ウルトラキャパシタは回生ブレーキによって発生する高出力の蓄電特性と発進時の放電特性に優れている。

さらに、パワートレインや車両の開発では各工程を短期間かつ並行して進めるのが通常である。従って開発段階ではパワートレインや車両が未完成で実際に使用できないため、その構成要素を正確なシミュレーションで補う必要が出てくる。

ハイブリッドパワートレインの技術

ハイブリッドシステムは渋滞時の燃費が良いという特性があり、発進・停止の繰り返しや低速走行の多い都市部での使用に適している。一方、高速での走行や混雑の少ない交通条件での走行のように高効率での燃焼や動力伝達を要求される用途にはディーゼル車の方が適している。しかし、今までディーゼル車の開発・普及に注力してきた欧州でも、すでにハイブリッド技術の開発が始まっている。これは環境規制の強化や顧客需要の拡大、ディーゼル後処理システムのコスト増大と複雑化、そして世界の各市場を視野に入れた製品ラインナップを揃える必要性などが理由である。

マイクロハイブリッド

マイクロハイブリッドは、欧州メーカーやサプライヤ数社が開発・生産に着手している。モジュール式のため、ほぼ従来通りの電気系・バッテリーと改良型のスタータ・オルタネータ^{*2}を使用することで、既存のパワートレインシステムに簡単に追加できる。さらにアイドルストップなどのエンジンの停止・再始動にも対応している。

*2: 交流発電機

マイルドハイブリッド

マイルドハイブリッドは、日本や欧州で開発・生産が進められている技術である。出力は通常30 kW未満でパワートレインに機械的に統合されている。ニッケル水素電池やリチウムイオン電池などの先進のバッテリー技術を採用しており、電気系統はマイクロ型よりも高電圧の100 V以上となっている。エンジン停止・再始動のほか回生ブレー

キ技術にも対応している。高出力であるため性能の向上やエンジンの小型化が見込まれる。

フルハイブリッド

フルハイブリッドシステムは、日米を中心に開発・生産が行われ、欧州がこれに続く形となっている。フルハイブリッドの出力は最大約80 kW、電圧は300 V以上になる。ニッケル水素電池・リチウムイオン電池のほか、スーパーキャパシタによるエネルギー蓄積も検討されている。フルハイブリッドはマイクロやマイルドと大きく異なり、エンジン停止状態でも電気モータのみで推進力が得られる。主に都市部での低速走行に使用される。フルハイブリッドは高出力であるため、燃費や性能面のメリットが大きい。

マイクロハイブリッドはエンジン補機駆動に、マイルドハイブリッドはエンジン出力やフライホイールとエンジンに、それぞれ機械的に統合される。フルハイブリッドはトランスミッションや駆動系への高度な統合が必要で全体的な設計はより複雑である。また車重も重くなる。

開発要件

各ハイブリッドシステムにはそれぞれの開発要件がある。ハイブリッド技術の開発工程における開発要件は、通常、マイクロ、マイルド、フルの順で段階的に増加していく。

マイクロハイブリッド型パワートレインシステム

エンジン機械系

マイクロハイブリッドの概略図を図2に示す。マイクロハイブリッドではエンジンハードウェアの変更点がありません。試験設備に求められる追加条件も少ない。多くの場合、エンジンはトランスミッションや駆動系とは独立のユニットとして開発されるため、従来のエンジン試験設備が使用できる。ただし、エンジン前面から駆動されるスタータ、オルタネータへの過渡負荷が増えるため、新たにFEAD(前面補機駆動)試験が必要になる。さらに、エンジントルクのシミュレーションを含む装置試験を実施することが理想的である。

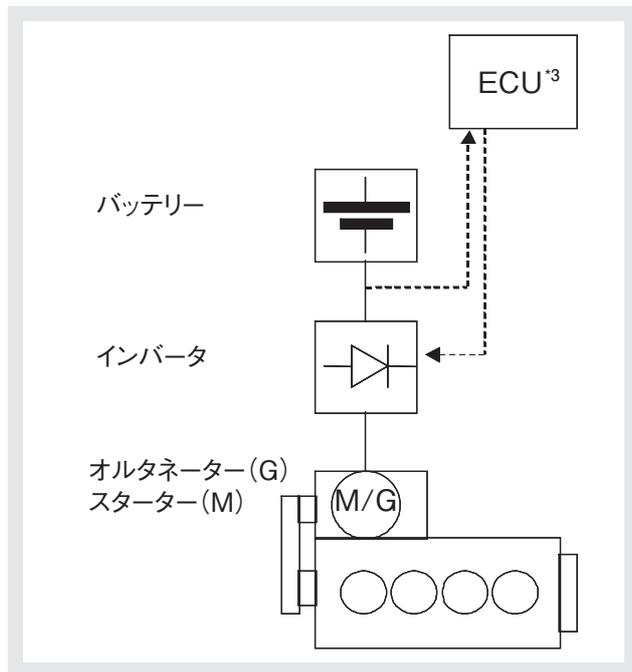


図2 マイクロハイブリッド概略図
*3: エンジンコントロールユニット

エンジン電気系

通常は従来型の12~42 Vの電気システムを使用するが、全体的な出力は増加する可能性が高い。通常、エネルギー管理は簡単で従来のエンジン制御システムに組み込まれているが、エンジン試験設備ではバッテリーのシミュレーションを行う必要がある。

ハイブリッド駆動システム

ハイブリッド駆動システムはFEADやエンジン停止・再始動に限定されるため、特別な開発要件はない。

トランスミッション

トランスミッションの追加の開発条件はない。

パワートレイン運転モード

主要な運転モードはエンジン停止・再始動である。試験設備でのシミュレーションでは、試験駆動系とエンジンの接続を外す、つまり“クラッチを切る”必要がある。低レベル回生ブレーキのシミュレーションによって動力性能が決定付けられるのだが、一般にこのシミュレーションは通常のエンジンダイナモメータで実施可能である。

マイルドハイブリッド型 パワートレインシステム

マイルドハイブリッドの概略図を図3に示す。マイルドハイブリッドでは、燃焼ユニットと電力ユニットが統合されていることから、開発工程と設備はマイクロハイブリッドより複雑である。マイルドハイブリッド型パワートレインの開発には、マイクロハイブリッドの要件に加えさらに次の2つの基本的アプローチが必要になる。

- ・パワートレイン以外の要素に関する広い範囲のシミュレーションによる、構成要素別のモジュール式開発
- ・パワートレインの完全統合とキャリブレーション

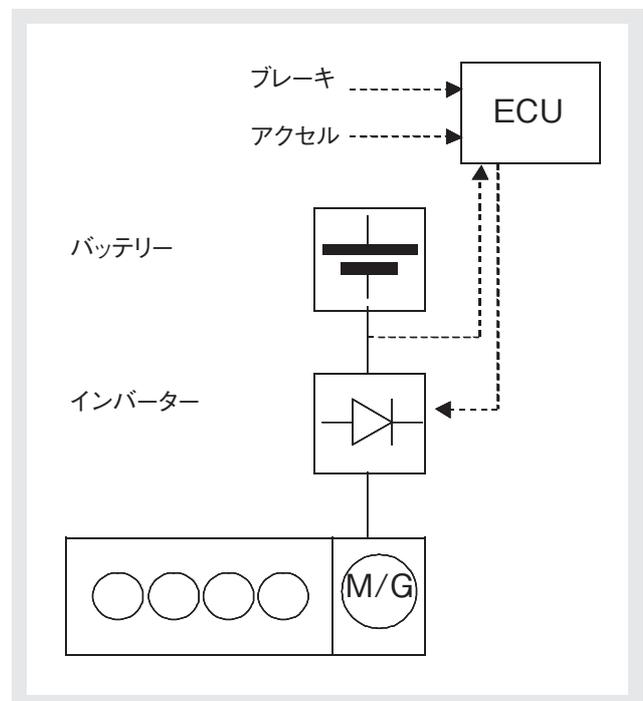


図3 マイルドハイブリッド概略図

機械系・電気系とハイブリッドシステムの開発

システム全体の開発の方法論として、マイルドハイブリッド型パワートレインを構成要素へと分割するモジュール式のアプローチが可能である。開発の初期段階では個々の構成要素やモジュールに集中し、駆動系のその他要素はシミュレーションで対応する方法が現実的である。モジュール式開発方法の成否を握る要素を以下にあげる。

- ・制御システム開発から全構成要素試験までシミュレーションモデルに一貫性があること

- ・固定ではなく実環境データに基づいた負荷特性による試験手順の一貫性があること
- ・さまざまな試験に統合できる柔軟なHILシステム^{*4}
- ・次の項目が実施できる適切な負荷装置
 - ・最大144 Vの可変電源でのバッテリー電気試験
 - ・最大144 Vの可変電源でのインバータ電気試験
 - ・従来のダイナモメータを使用したエンジンと発電機の機械試験
 - ・超低慣性ダイナモメータを使用したエンジン単体の機械試験
 - ・インバータとバッテリー構成部品の実環境シミュレーションと振動シミュレーション
 - ・構成要素からパワートレイン全体の試験や車両試験までの環境シミュレーション

ハイブリッドパワートレインは低いエンジン速度でも高い合計トルクを出力する。そのためエンジンと電気モータの組み合わせ試験を実施する場合は、エンジン試験設備として高トルク容量のダイナモメータが必要となる。

*4: 自動車のハードウェアを通常と同様な運転環境で試験する模擬システム。

トランスミッション

トランスミッションには、回生ブレーキとエネルギー回収システムが追加される。最終キャリブレーション時には、路上環境での最大30 kWのエネルギー回生を模擬できるホイールダイナモメータを使ってパワートレイン全体の試験を実施する必要がある。

パワートレイン運転モード

マイクロハイブリッド同様、マイルドハイブリッドでもエンジン停止・再始動の運転モードがある。その他の主な運転モードとして、回生ブレーキ、発進支援の統合トルク制御、追い越し操作、ブレーキ操作がある。これらに対する試験は上述の設備変更によって全て対応できる。

フルハイブリッド

フルハイブリッドの概略図を図4に示す。フルハイブリッドの開発はマイルドハイブリッドよりもさらに難しくなる。フルハイブリッド型パワートレインで新たに発生する課題を次にあげる。

- ・動力分割トランスミッションの追加(CVT(無段変速機)

も考慮)

- ・電圧、発電力、出力の大幅な増大
- ・さらに高度なエネルギー管理システム

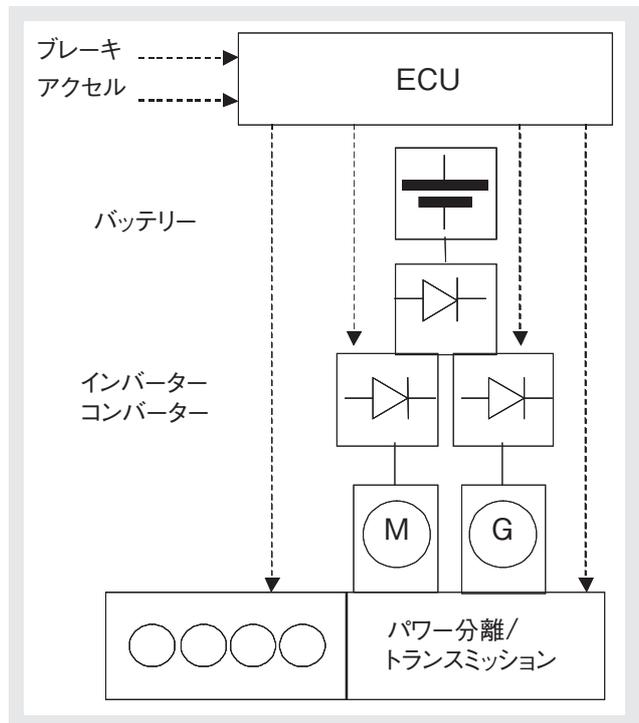


図4 フルハイブリッド概略図

機械系・電気系とハイブリッドシステムの開発

マイルドハイブリッドの場合と同様、駆動系の構成要素やモジュールは存在しない要素をシミュレーションで補うことで個別に開発される。しかし電気モータの出力が高いため、高速、高トルク対応の設備が必要とされる。また、電気系統の全体性能を厳しい環境条件で検証する必要がある。必要な電圧は500 V以上、電気システム系で300 Vになる。

フルハイブリッドのハイブリッド制御システムとエネルギー管理の仕組みは非常に複雑で、マイルドハイブリッドと同様、HIL試験への対応が必須である。エンジンのみを搭載した従来のパワートレインと比べ、フルハイブリッドのキャリブレーション作業には4倍以上の時間やコストが必要とされる。

トランスミッション

動力分割装置はトランスミッション開発時に検討される。その開発とキャリブレーションには、個別ホイールのエネルギー吸収・回生機能がある本格的なパワートレイン試験設備が必要になる。必要に応じて、エンジンの代わりに燃焼エンジンのトルクの周期変動を再現できる超低慣

Feature Article 特集論文 ハイブリッドパワートレインの試験設備

性モータを使ってシミュレーションを実施できる。また電気系同様、動力分割装置の性能を厳しい環境条件で検証する必要があり、本格的な環境試験が可能なパワートレイン試験設備が最適である。

パワートレイン運転モード

フルハイブリッドは、エンジン停止・再始動運転と回生ブレーキシステムに加えて電力のみで走行するモードを持つことを特徴とする。エンジン、トランスミッションを駆動させるその他のモードとこの電力モードとを統合し、さらに運転するには、パワートレイン試験設備での検証が必要である。電気モータは低速、高トルクという特性を持つため、今後はより高トルク対応のパワートレインダイナモメータが求められる。

HEV排ガス測定

試験サイクルのフェーズごとに切り替え可能なマルチベンチュリ法など低エミッション車用のCVS(定容量希釈サンプリング装置)や試験手順はすでに確立されている。希釈排ガスのバッグサンプル測定用に最適化された低濃度分析計もすでに存在する。さらにバッグミニダイリュータやモーダルマス計測など、米国の超低エミッション車(SULEV)基準をターゲットにした代替技術が開発されてきた。これらは低エミッションのハイブリッドシステムにも適している。しかし、ハイブリッドは全タイプとも走行中のエンジン停止・再始動を行なうため、エンジン停止時に車両の排気を吸引しないよう、排ガス測定システムを変更する必要がある。

おわりに

HEV市場の成長によってそのパワートレイン開発が新たな緊急課題となっている。“燃費がよく、低エミッションかつ十分な運転性能をもつ自動車”というニーズへの回答として、北米・日本においてハイブリッドパワートレインが市場に投入された。マイクロハイブリッドからマイルドハイブリッド、フルハイブリッドまでの幅広い技術がすでに製品化され、さらに多くのシステムの開発が進められている。

ハイブリッドパワートレインが開発試験設備や開発方法

に及ぼす影響は、どのような方式を採用するかに大きく左右される。マイクロハイブリッドの導入による影響は非常に小さいが、マイルドハイブリッド、フルハイブリッドの場合は多くの課題がある。高度なエネルギーマネジメントシステムを搭載した複雑なハイブリッドパワートレインのキャリブレーションには、個別のホイールハブのエネルギー吸収・制御機能を持った本格的なパワートレイン試験設備が必要とされる。さらに、環境試験施設へわざわざ移動することなく再現性のよい環境試験を実施できるように、温度・湿度や気圧といった環境シミュレーション機能も重要である。



George Gillespie

HORIBA Instruments Ltd.
Vice President
Strategic Business Development

Feature Article

特集論文

ブレーキテストシステム

Dieter Weiss

車両の安全システムとして重要なブレーキの品質保証と技術改良のため、さまざまなブレーキテストシステムが利用されている。ブレーキ部品の試験においては、摩擦材の試験片の磨耗と摩擦係数を調べる摩擦テストが使用される。摩擦テストは摩擦材の生産管理にも使用できる重要なツールである。自動車・ブレーキ関連のメーカーにおける摩擦材やブレーキアセンブリの研究開発では、慣性式ブレーキダイナモメータを用いた耐久試験などが実施される。さらにブレーキに起因するNVH(ノイズ・振動・ハーシュネス)の研究には、ブレーキNVHダイナモメータが利用される。このうち慣性式ブレーキNVHダイナモメータでは、ブレーキアセンブリだけでなくサスペンションやアクスルアセンブリも含めてNVH試験を実施する。また、シャシ式のNVHダイナモメータではオリジナルの車両全体が試験サンプルとなる。

はじめに

信頼性のあるブレーキは車両安全システムの最も根幹的な部分である。2000年前、ローマ軍の二輪戦車でさえ、既にブロックブレーキが装備されていたと伝えられる。現在、車両ブレーキの品質保証と技術改良という難しい課題に対応するため、さまざまな専用ブレーキテストシステムが世界中のブレーキ研究開発部門で利用されている。

表1に最も一般的なブレーキテストシステムを示す。これらは、ブレーキの性能やパワー、摩耗、耐久性、NVH(ノイズ・振動・ハーシュネス)特性などを調べるために使用される。本稿では表1にあげた中で、HORIBAで取り扱っている方式の概要を紹介する。

表1 ブレーキおよびブレーキ部品テストシステムの代表例

No	方式	試験目的	試験対象	結果の判断
1	ローラ式 ブレーキダイナモメータ	(修理工場, 車検場における) 車両ブレーキ機能テスト	車両に取り付けた状態の ブレーキ(テストは低速で実施)	ブレーキ機能の良否
2	ローラ式ブレーキ ・ABS機能テスト	(組立ライン末端における) 車両ブレーキおよび ABS機能テスト	車両に取り付けた状態の ブレーキ(テストは高速で実施)	ブレーキ機能の良否, ABS制御の良否
3	摩擦テスト	摩擦材のロット品質管理	摩擦材(ブレーキパッド ・ブレーキライニング)の試験片	摩擦係数, 摩擦材の 摩耗の状態
4	慣性式 ブレーキダイナモメータ	ディスクブレーキ ^{*1} , ドラムブレーキ ^{*2} の研究開発 ・機能テスト	ブレーキパッド・ロータディスク ・キャリパ(またはライニング ・シュー・シリンダ)の組み合わせ	摩擦係数, パーツの機能の良否, パーツの摩耗・耐久性
5	慣性式ブレーキ NVHダイナモメータ	ブレーキのNVH研究開発テスト (鳴き, ジャダー, クリープ, うなり音など)	ブレーキパッド・ロータディスク ・キャリパ(またはライニング ・シュー・シリンダ)の付いた アクスル一式	ブレーキ機能の良否, ブレーキからの共鳴振動 の有無
6	シャシ式ブレーキ NVHダイナモメータ	ブレーキのNVH研究開発テスト (鳴き, ジャダー, クリープ, うなり音など)	純正ブレーキシステム (ディスクブレーキまたは ドラムブレーキ)を含む 車両一式	ブレーキ機能の良否, ブレーキからの共鳴振動 の有無

*1: ディスクブレーキ: 車輪と一緒に回転する円盤(ロータディスク)をキャリパに組み込まれた摩擦材(ブレーキパッド)で両側から押さえつける構造のブレーキ。

*2: ドラムブレーキ: 摩擦材(ブレーキライニング)の付いたブレーキシューを車輪と一緒に回転する円筒形ドラムの内側にシリンダを使って押し付ける構造のブレーキ。

摩擦テスト

ブレーキパッドやブレーキライニングは、車両構成部品の中でも最も摩耗の激しい部品である。生産ラインにおけるブレーキ性能検査に確実に合格させるためには、研究開発を通じて個々の部品を改良し、信頼できる安定した品質で生産することが重要である。

摩擦テストは、ブレーキ部品テストの最も重要で、かつ一般的な例といえる。摩擦部品のペア(ディスク対ブレーキパッド、ドラム対ライニング)は、ブレーキアセンブリにおいて最も重要な摩耗・消耗パーツであり、負荷サイクルとドライバーの運転特性にもよるが、一般的にその寿命はブレーキパッドで5万km程度、ロータディスクで10万km程度である。

磨耗特性は各部品の性能として大切であるが、さらに重要な特性は、速度およびブレーキ温度に関係なく摩擦係数“ μ ”が安定していることである。通常、有機素材の摩擦材では摩擦係数 μ は0.2~0.4である。摩擦テストは、摩擦材の μ 値を簡単に再現性よく測定できるため、大量生産されるブレーキパッドおよびライニングのロット管理に最適である。

図1に摩擦テストの例を示す。摩擦材サンプルは50 × 50 × 15 (mm)以内の立方体で、テスト用ブレーキ(標準的なロータディスクとキャリパの組み合わせまたはドラムブレーキアセンブリ)に取り付けられる。さらに、このテスト用ブレーキはダイナモメータの回転軸に取り付けられている。試験条件を次に示す。

- ・ダイナモメータ回転速度：15~1500 rpm(可変, 50 kW ACモータにて駆動)
- ・ブレーキ制御：サーボ油圧アクチュエータ
- ・摩擦力測定：遥動型トルク計(T_{Brake})
- ・テストサイクル：コンピュータによる自動制御, デジタルデータ取得
- ・記録対象：試験速度[rpm], ブレーキ圧[bar], 温度[°C]
- ・摩擦係数計算式：

$$\mu(-) = T_{\text{Brake}} / 2 \times R_{\text{Friction}} \times \text{Radius} \times A_{\text{Piston}} \times P_{\text{Hydraulic}}$$
- ・データ記録・結果評価：自動(Excelマクロなどによる)

摩擦テストによる評価結果は、摩耗速度、およびブレーキパッド温度、 cm^2 あたりの公称適用圧力の関数として、

摩擦係数 μ で表わされる。

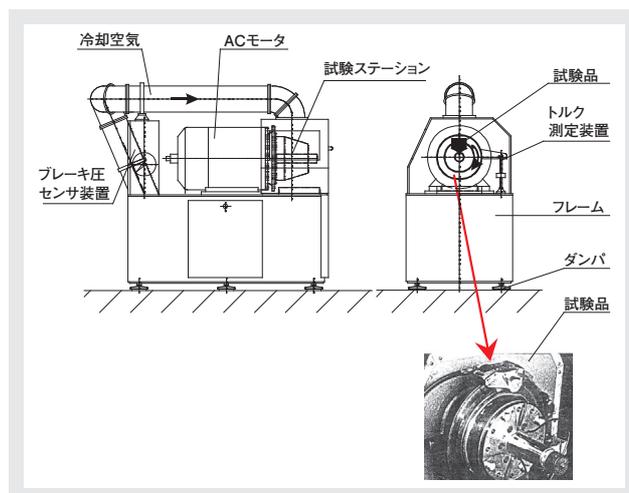


図1 摩擦テスト

慣性式ブレーキダイナモメータ

慣性式ブレーキダイナモメータは、摩擦材やブレーキシステムのメーカーおよび自動車メーカーにおいて、摩擦材およびブレーキアセンブリの基礎研究開発に使用される。図2に慣性式ブレーキダイナモメータの例を示す。試験品としては、実際に使用するロータディスク・ブレーキパッド・キャリパまたはブレーキドラム・シュー・ライニングからなるブレーキモジュールを取り付ける。通常の慣性式ダイナモメータテストでは、回転しないブレーキステータは揺動式計測台に取り付け、回転部品(ロータディスクまたはドラム)はダイナモメータのメインシャフトに取り付けられる。

この装置では、ブレーキモジュールの耐久負荷サイクル試験を必要回数繰り返すことができる。一般的な試験スケジュールでは、専用の自動制御システムによってブレーキの停止試験または引きずり試験を500~5000回行なう。この試験では、約200 kWのメインモータにて初期速度(3000 rpm以下)までダイナモメータを加速した後、テストブレーキに制御負荷をかける。車両慣性質量はフライホイールセットに運動エネルギーを与えることでシミュレーションする。さらに、正確にシミュレーションされた電氣的慣性もフライホイールの慣性に加えられる。この方法により、車両総質量に対して±1%以内のシミュレーション精度が得られる。一般的な試験条件を次に示す。

- ・ダイナモメータ初期速度：0~3000 rpm
- ・記録対象：試験速度[rpm], 圧力($P_{\text{Hydraulic}}$), ブレーキ

Feature Article 特集論文 ブレーキテストシステム

トルク(T_{Brake}), 温度($^{\circ}\text{C}$)など各種パラメータ

- ・摩擦係数計算式: $\mu = T_{\text{Brake}} / 2 \times R_{\text{Friction}} \times P_{\text{Hydraulic}} \times A_{\text{Piston}}$
- ・データ記録・結果評価: 自動(Excelマクロなどによる)

フルサイズの慣性式ブレーキダイナモメータでは, 耐久負荷サイクルをシミュレーションして, その間のブレーキの物理的パラメータを正確に測定できる。

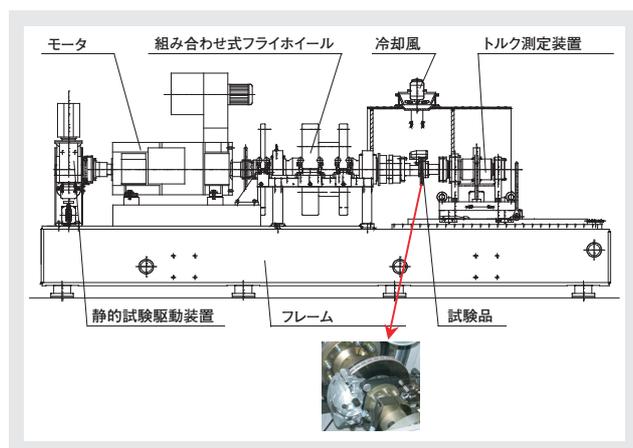


図2 慣性式ブレーキダイナモメータ

ブレーキNVHダイナモメータ

現代の車両は極めて高出力で, 高速での走行が可能となっている。そのため, ブレーキシステムも高エネルギー対応が必要であり, しかも, どちらかといえば小さいホイールヤリムに取り付けることが要求される。同時にサスペンションの性能を高めるため, ばね下重量を減らすか, あるいは少なくとも現状を維持する必要がある。このため, 基本制動力に対する技術的な要求が厳しくなり, 軽量かつ強力なブレーキの開発が課題となっている。このような傾向は, ブレーキが騒音・振動, 例えばブレーキ鳴き(1~15 kHz), ブレーキジャダー(1~100 Hz)などの影響を受けやすくなる一因となっている。

厳しい市場競争と顧客要求の結果, 新車保証期間が24ヶ月以上に延長される流れの中で, NVHの問題によるブレーキの修理費用が大幅に増加してきている。例えば, 早朝のブレーキ鳴きの対策のためだけに, ブレーキディスクとパッドがアセンブリ交換されるということも多い。摩擦材とブレーキのメーカーは, このようなブレーキNVHの有効な解決策を見つけるために努力を重ねている。ブ

レーキNVHダイナモメータは, このような研究開発課題に有効なツールである。

慣性式ブレーキNVHダイナモメータシステム

慣性式ブレーキNVHダイナモメータの基本的な考え方は, 前述の従来の慣性式ブレーキダイナモメータと同様である。乾燥状態の摩擦ブレーキで生じる複合的な振動を詳しく調べるには, 最低でもブレーキアセンブリと関連するサスペンションシステムを, 理想的にはアクスルアセンブリも含めて試験ステーションに取り付けてNVH測定を実施しなければならない。このように大型の試験サンプルに対応するためには, 大型の防音試験室と軸上に取り付けたブレーキトルク測定装置が必要である。また空調装置を追加使用することで, さまざまな温度, 湿度におけるブレーキNVH特性を測定することができる。

NVH試験では, PCを用いたマルチチャンネルの高速データ収集システムとFFTアナライザにより, すべての可聴ブレーキノイズや, 乾燥状態の摩擦部品ペアから車両アクスルおよびボディ構造に伝わる低周波数ボディノイズを採取し, 特性を明らかにする。専用のNVHテストサイクルは, NVH問題を発生させる典型的な速度・ブレーキ圧・温度範囲を対象としている。

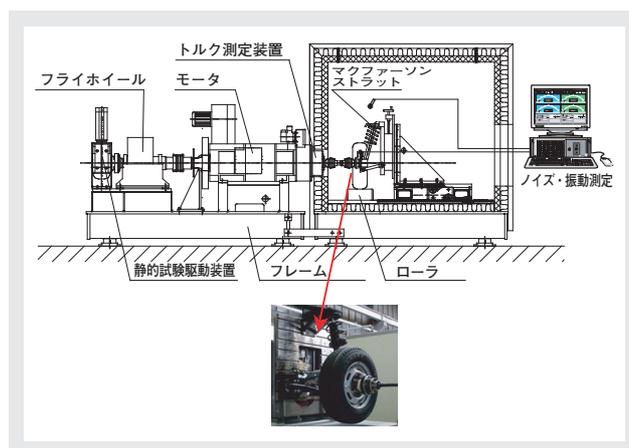


図3 慣性式ブレーキNVHダイナモメータ

シャシ式ブレーキNVHダイナモメータ

一般に, ダイナモメータシステムを使用した研究開発によって目指していることは, すべての関連する技術パラメータをシミュレーションし, 実際の動作状態に可能な

限り近づけることである。コストがかかる上、交通状況の変化によって再現性が制限されるという路上試験のデメリットも同時に克服できる。シャシ式ブレーキNVHダイナモメータ試験は、この目標を達成するために最も効率的な方法である。

シャシ式ブレーキNVHダイナモメータについても、慣性式ブレーキダイナモメータの基本的な考え方が踏襲されている。ただしシャシ式ブレーキダイナモメータでは、オリジナルの車両全体が試験サンプルとして使用される。このダイナモメータは、強力な断熱・防音機構と必要な空調装置を備えた大型の試験室内に設置される。典型的なダイナモメータは約300 kWのメインモータを備えた48インチ型シングルローラで、さまざまな速度・トルク・車両慣性を正確に制御できるものとなっている(図4)。

試験では通常、車両のエンジンは動作させない。ブレーキはロボットドライバによって、あるいはサーボ油圧制御によって直接操作する。専用の自動NVH試験マトリックスと専用NVH測定システムにより、ブレーキ関連の騒音・振動問題が発生する条件を含め、すべての動作状態のスクリーニング試験に対応することができる。この装置を使用して週末の3日間に自動テストサイクルを走らせれば、ストレスの多い路上テストを1週間実施した場合よりもさらに有用なNVH試験結果が得られる。すべての測定データは自動的に処理され、数値およびグラフで表示される。

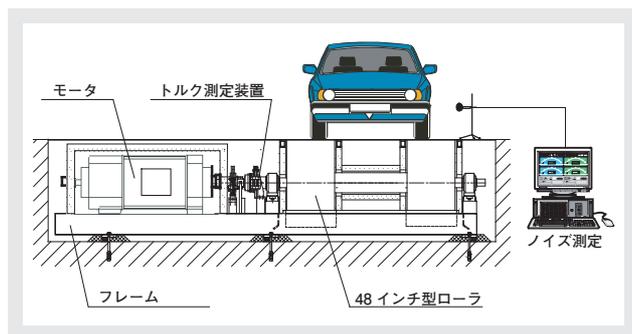


図4 シャシ式ブレーキNVH ダイナモメータ

おわりに

現在の摩擦式のブレーキでは部品の磨耗は避けられない。またブレーキングの際に、運動エネルギーを熱エネルギーとして捨ててしまうことになる。これに対し、最近増加しつつあるハイブリッド車などでは、運動エネルギーを電気エネルギーとして回収する回生ブレーキが使用されている。回生ブレーキは、回収したエネルギーを有効利用できるため燃費が向上するのが利点である。エネルギーやCO₂排出の問題が重要視される中、ブレーキのトレンドは今後も変化していくと予想される。ブレーキテストシステムについても、そのような新しい技術に対応したハードウェア、シミュレーション技術が開発され普及していくものと考えられる。



Dieter Weiss

HORIBA Europe GmbH
Business Unit Brake & Windtunnel
General Manager

Feature Article

特集論文

シャシダイナモメータによる車両試験

Martin Hermann

シャシダイナモメータは、モータがローラ間に配置される“センターマウント型”と、モータがローラの外に配置される“インライン型”の2種類に大別される。センターマウント型は主に排ガス試験や耐久試験に使用されるのに対し、インライン型はNVH(騒音・振動・ハーシュネス)試験などに利用される。一般的なダイナモメータによる試験設備は、ローラセットおよび電力制御盤、計測制御盤、操作PC、リモコン、送風機、車両固定装置、安全柵などによって構成される。さらに耐久走行用の場合、自動運転計測システム、自動運転装置、およびエンジン回転数・温度信号・点火信号などのインターフェース装置が含まれる。HORIBAの48インチシャシダイナモメータは最長で年間50万kmの走行が可能である。

はじめに

自動車開発工程における最重要課題は、新規開発車両の生産や新技術開発のリードタイム短縮である。そのため、シャシダイナモメータでの車両試験に関しても、多くの難題を解決する必要がある。HORIBAは、さまざまな条件下での運転を忠実かつ経済的に再現する車両試験システムを開発してきた。本稿では、シャシダイナモメータで実施される一般的な試験や、ダイナモメータの基本構成について紹介する。

シャシダイナモメータによる車両試験

シャシダイナモメータが初めて登場したのは20世紀初頭で、その歴史は長い。その後、新たな車両シミュレーションツールが次々と開発されてきたが、シャシダイナモメータは現在においてもなお、自動車開発工程における重要な試験装置である。近年、環境関連の規制強化に対応するため、高度な排ガス後処理システムなど非常に複雑化した車載機能が開発されている。そのため新しい試験や新しい要件が必要となっており、シャシダイナモメータによる車両試験の重要性はさらに増してきている。

以下に、シャシダイナモメータで行われる代表的な試験をあげる。

- ・性能・耐久試験
- ・車両や各種コンポーネント(燃料システム、冷却システム、ブレーキシステム、電気/電子系統、冷暖房システム)の機能試験と寿命試験
- ・排ガス試験
- ・環境試験(環境室での高低温試験)
- ・燃費試験、噴射調整
- ・排気装置および触媒コンバータ調整
- ・NVH(騒音・振動・ハーシュネス^{*1})試験
- ・EMC(電磁両立性)試験

*1: 路面の段差などによって車体がねじれる振動。

シャシダイナモメータの基本構造

シャシダイナモメータは、エンジンからホイールに伝えられた動力を測定する。さらに、タイヤからローラへ伝達される車両駆動力に応じ、ローラの速度や走行抵抗力を制御する。また排ガス試験においては、路上における車両の走行抵抗と慣性を再現して、実際の走行と同等の負荷を車両に与える。

シャシダイナモメータは、モータがローラ間に配置される“センターマウント型”と、モータがローラの外に配置される“インライン型”の2種類に大別される。現在、世界で最も使用されているのは、直径48インチローラのセンターマウント型シャシダイナモメータである。センターマウント型は米国環境保護庁(EPA)の排出ガス規制を想定して設計されているが、耐久走行にも使用されている。このようにセンターマウント型は主に排ガス試験や耐久試験に使用されており、これに対しインライン型はNVH試験などに使用される。NVH試験の場合、1.6 m, 2.0 m, 75インチなどのローラ径のシャシダイナモメータが使用される。

図1はセンターマウント型シャシダイナモメータ、図2はインライン型シャシダイナモメータの例である。



図1 四輪駆動(4WD)センターマウント型シャシダイナモメータ



図2 4WDインライン型NVH用シャシダイナモメータ

耐久走行用48インチシャシダイナモメータ

耐久走行は数週間に渡って連続で実施される長期試験である。法律で定められた試験をはじめとして、任意にプログラムされた試験、自動車メーカー独自の耐久走行(試験

期間を短縮した高負荷試験など)、および特殊な試験(路上運転パターン再現試験など)が行われる。排ガス試験用シャシダイナモメータの運転範囲は限定されているが、耐久試験用シャシダイナモメータは全ての運転条件・性能を試験できる能力が必要である。

耐久走行シャシダイナモメータの基本構成

一般的なシャシダイナモメータ試験設備は、ローラセット、電力制御盤、計測制御盤、操作PC、リモコン、送風機、車両固定装置、安全柵などによって構成される。さらに耐久走行用の拡張設備装置として、試験シーケンスを自動化するための自動運転計測システムと自動運転装置、エンジン回転数・温度信号・点火信号などの信号を接続するインターフェース装置が含まれる。エンジン回転数などの信号は、CANバスのデジタルインターフェースで車両の電子制御ユニット(ECU)から取得することもできる。

自動運転装置は自動運転計測システムと直接接続される。試験サイクル、監視データ、仮想ドライバデータ、変速特性など、多くの入力データは自動運転計測システムのデータベースに格納して管理される。これらのデータはネットワーク経由で耐久走行ラボの全シャシダイナモメータに転送することが可能である。

Feature Article 特集論文 シャシダイナモメータによる車両試験

耐久走行ラボは通常屋外に設置されるため、気温、大気圧、湿度などの環境条件が試験結果に影響を与えることがある。測定した車両のエネルギーや動力データを補正式で修正する場合は、オプションのウェザーステーションで試験時の気象データを測定する。また、燃料の自動給油ポンプは、各ダイナモメータ付近に取り付けられている(図3、図4参照)。

図5に耐久走行用シャシダイナモメータの概略を示す。自動給油システムを備えた大型の耐久走行ラボも、基本的にこのような設備で構成される。



図3 自動給油用燃料ノズル



図4 自動給油用燃料ポンプ

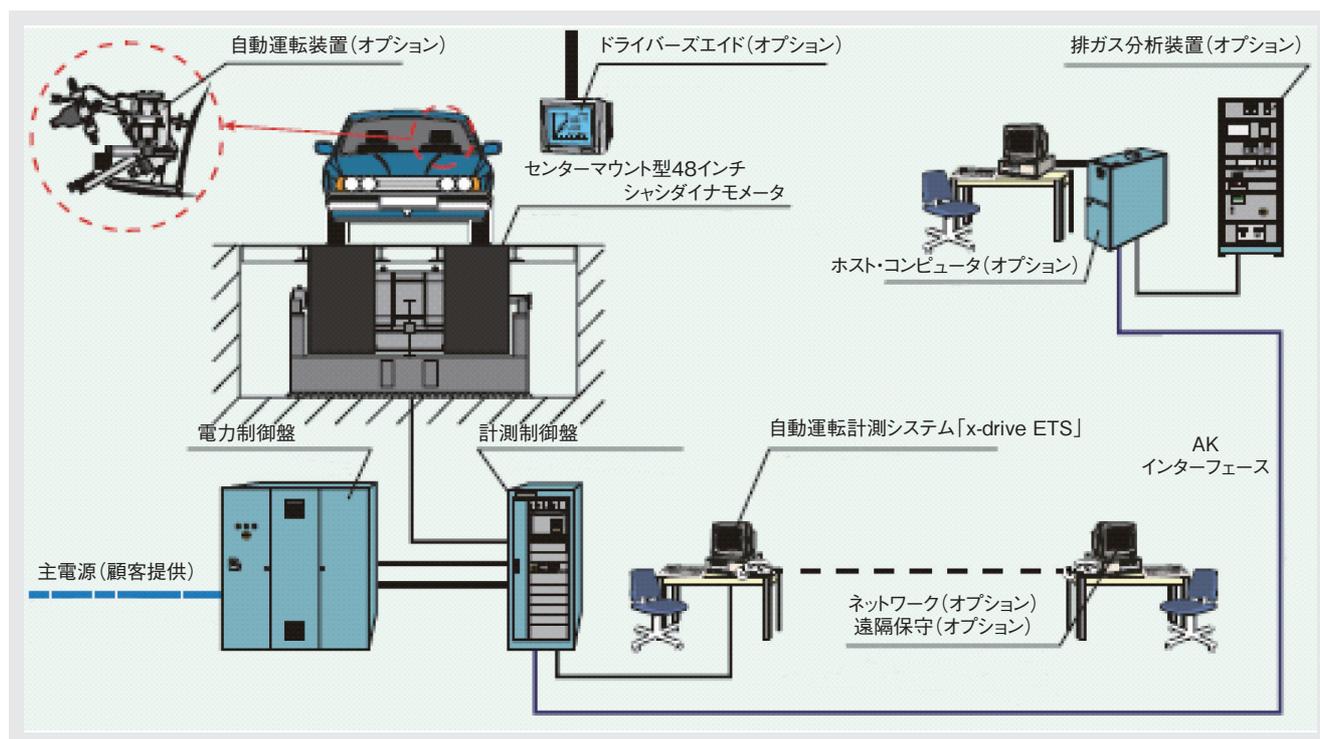


図5 自動運転装置を備えた耐久走行用シャシダイナモメータ

自動運転計測システムによる管理

耐久走行ラボは2式以上のシャシダイナモメータで構成される場合が多い。ラボ全体を最大限に活用するには試験装置の時間管理が必須である。

各試験設備の自動運転計測システムはデータベースとリンクしている。データベースに格納されている試験サイクル、監視データ、ドライバデータなどを含む試験データは、別の試験設備で使用することができる。例えば、試験サイクルを中断した場合は、開始しやすい状態から運転を再開する必要がある。そのため、サイクル内で事前に定義されている再開手順が実行される。中断前の試験経過と途中のサービス内容に関するログ情報は、最終的に、連続した試験データの一部として記録される。

図6に、HORIBA製シャシダイナモメータ2台を備えたラボの走行距離データの例を示す。AMA^{*2}などの標準試験サイクルを用いた場合、通常、シャシダイナモメータ1台につき年間25万kmの走行が達成できる。顧客固有の高速サイクル試験であれば、シャシダイナモメータ1台につき最大50万kmの年間走行距離が可能である。なお、走行距離の集計期間には、車両の設置や取り外しにかかる時間や故障による試験中断の期間も含まれている。

*2: 自動車製造業者協会(Automobile Manufacturers Association)。

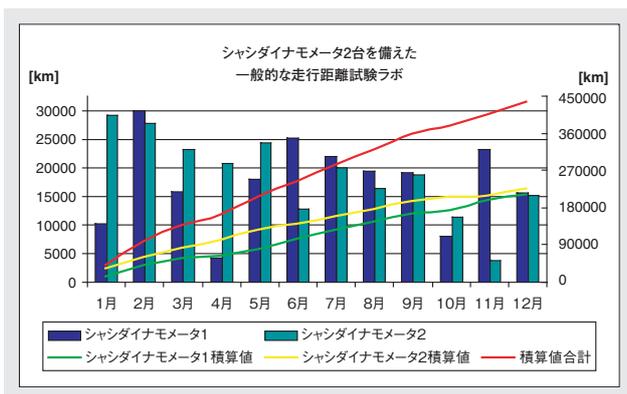


図6 シャシダイナモメータ(2式)の走行距離の例

48インチシャシダイナモメータの改良

HORIBAは、シャシダイナモメータ製品の今後の改良に向け、フレーム、モータ、ロードセル、支持構造などの機械部品についてモジュール型設計の採用を進めている。

改良の主な目的は以下のとおりである。

- ・モジュール化による柔軟な製造・在庫対応
- ・適正な価格
- ・システム全体のリードタイム短縮
- ・短時間での設置・試運転の実現
- ・ピットサイズ、主電源などの外部との取り合いの明確化

柔軟なモジュール型設計を特徴とした改良版の実現に向け、開発を進めている。

おわりに

前述のように、シャシダイナモメータは自動車試験に幅広く応用される設備であり、最も一般的な48インチシャシダイナモメータは、主に排ガス試験、耐久走行、環境温度試験に使用されている。HORIBAのシャシダイナモメータには、設計・製造・組立・設置・試運転において、Carl Schenck AG時代を含めると、約80年の実績がある。この経験を活かし、今後も車両試験のベストソリューションを提供するべく改良を重ねて行く予定である。



Martin Hermann

HORIBA Europe GmbH
General Manager
Business Unit Chassis Dynamometers

Feature Article

特集論文

車両空力開発用風洞天秤システム

Hans Vogt

風洞天秤は車両空力の最適化のために使用される試験設備である。風洞試験では車両は天秤システムである測定プラットフォーム上に設置される。HORIBA風洞天秤では空気の流れによって生じる3方向の力と3方向のモーメントを正確に測定することができる。さらに、車両下側と車輪周辺の空気の流れをより現実に近いものにするため、“動く路面”(ムービンググラウンド)システムを設置することが可能である。このムービンググラウンドシステムは、車体下側において風速に追従して動くセンターベルト(ローリングロード)と風速に同期して車輪を回転させる4つのホイールスピナベルトから構成されている。また、4つのホイールスピナベルトが天秤の測定システムの上に設置され、最高速度は250 km/hまで可能である。

はじめに

車両開発の1ステップとして、風洞設備内での車両空力(エアロダイナミクス)最適化が行われる。車両空力の改良は、燃費、運転快適性、性能、音響特性を最適化するために重要だからである。その対象項目の多くは数学的に算出できるが、実際の車両周りの空気の流れをシミュレーションした実車試験も不可欠である。

風洞内では車両下側の空気の流れを完全に再現することは難しい。その理由は、風洞内の車両はその場を動かないが、現実の車は路面に対して移動しているからである。また風洞内では測定フロアの終端近くに境界層が存在している。そのため最新の風洞内では、車両下側における空気の流れを改善するための特別な方法や装置が使用されている。

現在、車両下側の空気の流れをシミュレーションでき、かつ高精度の力測定が可能な最新式風洞設備への需要が世界的に高まっている。その中で、“動く路面”(ムービンググラウンド)システムを備えたHORIBA風洞天秤(図1)はこれらの要求を十分に満たすものである。次にHORIBA風洞天秤の概要を紹介する。

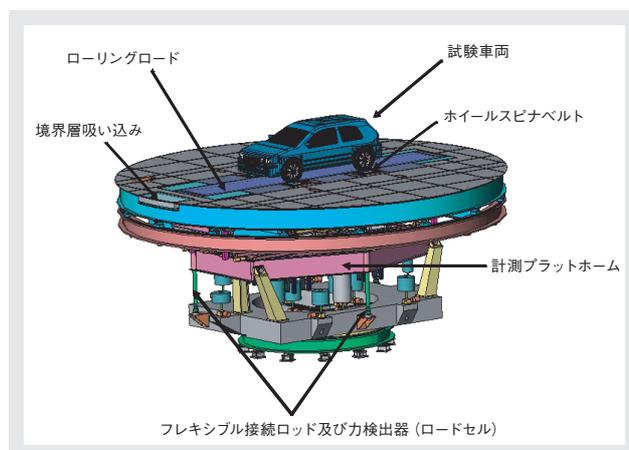


図1 ターンテーブルとローリングロードシステムを備えたHORIBA風洞天秤

風洞天秤

HORIBA風洞天秤はプラットフォーム型である。剛体のプラットフォームが6点で固定されており、これら6点のうち、3点は水平方向、3点は垂直方向にフレキシブル接続ロッドでフレームに固定されている。各ロッドの端部にはそれぞれ力検出器(ロードセル)が組み込まれている。6つのロードセルの信号から、コンピュータプログラムを用いて、 F_x (縦力)、 F_y (横力)、 F_z (鉛直力)の3方向の力、および M_x (ロールモーメント)、 M_y (ピッチモーメント)、 M_z (ヨーモーメント)の3方向のモーメントが算出される。

(図2)。この“コンピュータ分力検出”方式は、従来の機械的分力方式に比べて機械的ロスがなく高精度である。また構造が単純で可動部がないことも利点である。

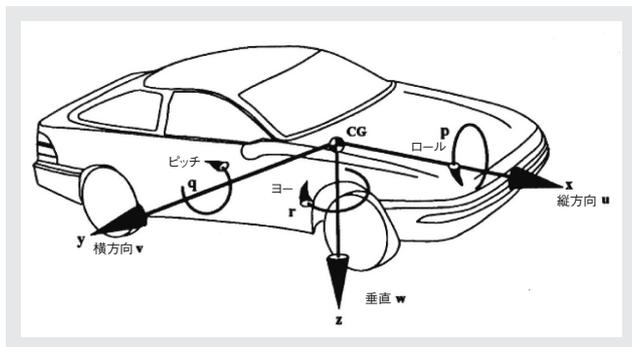


図2 風洞天秤で測定される3方向の力とモーメント

HORIBA天秤システムは、非常に高剛性でシンプルかつ安定性も良く、メンテナンスフリーの構造を特長とする。レバーシステムや油圧システムは使用されていない。また、車体質量補正システムは不要である。1 N程度の小さい分力を測定することが可能である一方、天秤のプラットフォーム質量・ホイールスピナベルト質量と車両質量の合計値で鉛直方向に静的初荷重約150000 Nをかけることができる。高品質ロードセルと正確な高解像度デジタル増幅システムを用いて、全測定範囲で0.02%~0.05%という極めて高い測定精度を達成している。鉛直力の測定範囲は最大15000 Nである。加えて、分力間の相互干渉については、独自の校正方法とデータ処理によってキャンセルされている。

HORIBA風洞天秤は、3種類のモデル試験用サイズを標準としているが、実車両試験用に任意の寸法での製作も可能である。また、航空機・船舶のモデルや二輪車その他の試験対象にも使用できる。

天秤の全機能は、イーサネットTCP/IP接続によりホストコンピュータから簡単に遠隔操作できる。さらに、専用プログラムによりスタンドアローンでのオペレーションも可能である。

図3に組み立て中の天秤プラットフォームを示す。プラットフォームはフレキシブルロッドによってフレームに固定されている。プラットフォームの上に取り付けられているのはホイールスピナベルト用のサーボモータである。



図3 固定された天秤プラットフォーム

ターンテーブルおよび車両リフトシステム

鉛直Z軸まわりに車両を回転させるため、風洞天秤およびターンテーブルも回転可能となっている。さらに、最高1800 mmまで車両を持ち上げられるリフトシステムが組み込まれ、車両下部の改造作業が風洞内で実施できる。図4にターンテーブルとリフトシステムの例を示す。リフトシステムはホイールスピナの周囲に組み込まれている。



図4 車両リフトシステム

ローリングロードシステムとホイールスピナ

ムービンググラウンドシステム(5ベルトシステム)は、風速に同期して動く車両下側のセンターベルト(ローリングロード)と、同じく風速に同期して車輪を回転させる4つのホイールスピナベルトから構成されている。センターベルトは天秤プラットフォームとは独立しておりターンテーブルの中に組み込まれている。試験車の車輪はプラットフォームに組み込まれたホイールスピナベルト上に設置される。車両に働く空力は、ホイールスピナベルトおよび車両位置固定用のロッカーパネルを介して天秤プラット

Feature Article 特集論文 車両空力開発用風洞天秤システム

フォームに伝達される。システムのオプションとして境界層吸い込み装置をセンターベルトの手前に取り付けることができる。図5に風洞内でターンテーブル上に車両を設置した例を示す。車両は4つのロッカーパネル固定システムによって固定されている。

センターベルトとして使用されている樹脂製ベルトは、最大出力250 kWの2式のサーボドライブで駆動される。また、横方向のベルト位置はレーザ式位置センサで検知される。ベルトの横方向位置と張力については、2式のサーボドライブによって駆動される追跡ステーションによって自動的に制御・調整される。空力により発生する車両下側の陰圧によってベルトが持ち上げられるのを防ぐため、センターベルトのフレームに8個程度の吸引チャンバを設けてベルトを吸引している。樹脂製センターベルトの場合、最高速度は250 km/hまで可能である。樹脂製ベルトの代替としてHORIBAではスチール製ベルトによるセンターベルトも提供している。このスチール製ベルトを使用した場合、最高速度300 km/hまで対応できる。

ホイールスピナにはV字溝付きの樹脂製ベルトが使用されている。ベルトはドラム上のV字溝によって駆動されるためベルトシステムのガイドは不要である(図6)。



図5 ターンテーブルに固定された車両



図6 ホイールスピナによる車輪の回転

おわりに

HORIBA風洞天秤は抜群の信頼性と測定精度で定評がある。シミュレーション品質、測定精度、強剛性、取り扱いやすさを兼ね備えた最新型の自動車用風洞設備である。HORIBA風洞天秤としては、ローリングロードシステムを備えたタイプのものが2基、ドイツおよびフランスへ納入されすでに稼動している。2007年末には中国に3基目が納入された。



Hans Vogt

HORIBA Europe GmbH
Business Unit Brake & Windtunnel
Ph.D.

Feature Article

特集論文

SPARC共通コントローラ

Jürgen Pitz

共通コントローラプラットフォームSPARCは、ダイナモメータシステムを主なターゲットにして、回転運動や直線運動のインテリジェント制御を行う装置である。このプラットフォームの専用ハードウェアおよびソフトウェアは、HORIBAの制御機器分野における20年以上の経験を活かし最適化されている。HORIBAはこのプラットフォームをベースとして、エンジン、駆動系、車両、ブレーキ試験用に各種制御およびシミュレーションのソリューションを提供している。さらにSPARCコントローラは、HORIBAテストオートメーションプラットフォームSTARSで拡張することも可能で、ユーザフレンドリな最新のインテリジェントコントローラが構築できる。

はじめに

HORIBAは、車両全体またはブレーキ、エンジン、トランスミッション、アクスル(車軸)など、さまざまな車両コンポーネント向け試験装置を幅広く提供している。これらのアプリケーションに共通することは、試験対象ユニットに接続される1台または複数のダイナモメータにおいて、速度、トルク、スロットル位置に対する高い制御性能を必要とする点である。次に挙げるように、この制御機能の要件は試験装置に共通する事項である。

- ・ 速度、トルク、スロットル位置の高精度・高速制御
- ・ ダイナモメータとの高性能インターフェース
- ・ オートメーションシステムとのリモートコントロールインターフェース
- ・ 試験設備のPLC(プログラマブル・ロジック・コントローラ)へのインターフェース
- ・ 高性能の制御およびシミュレーションアルゴリズム
- ・ 基本的なモニタリングおよびセーフティ機能

これらの実現のためHORIBAは、エンジン、および駆動系、シャシ、ブレーキ試験システムの全製品ラインナップ間でコントロール技術を共用し、優れた制御性能を保証するための共通コントローラプラットフォーム“SPARC”

を開発した。

ハードウェア

SPARCハードウェアは堅牢で信頼性の高いスタンドアロン型コントローラであり、過酷な電気的環境でも動作する。また操作コンソールや19インチ型ラック、あるいは直接キャビネットに取り付けることが可能である。SPARCユニットは、電源ボード、およびCPUボード、最大3枚のI/Oボード、CANインターフェースボード、拡張用のPC/104スロットから構成される(図1)。

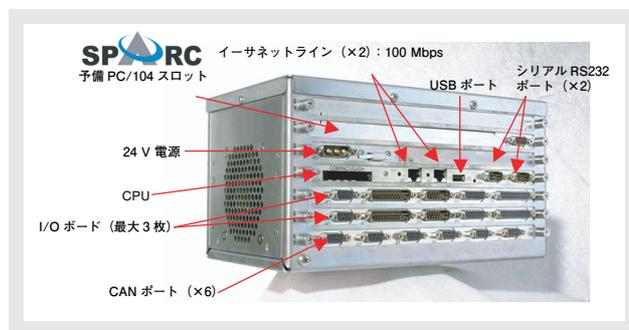


図1 SPARCボックス

CPUモジュールには、ファンやハードディスクのない低消費電力のCPUを搭載している。ソフトウェアはリムーバブルタイプのコンパクトフラッシュディスクに記憶され

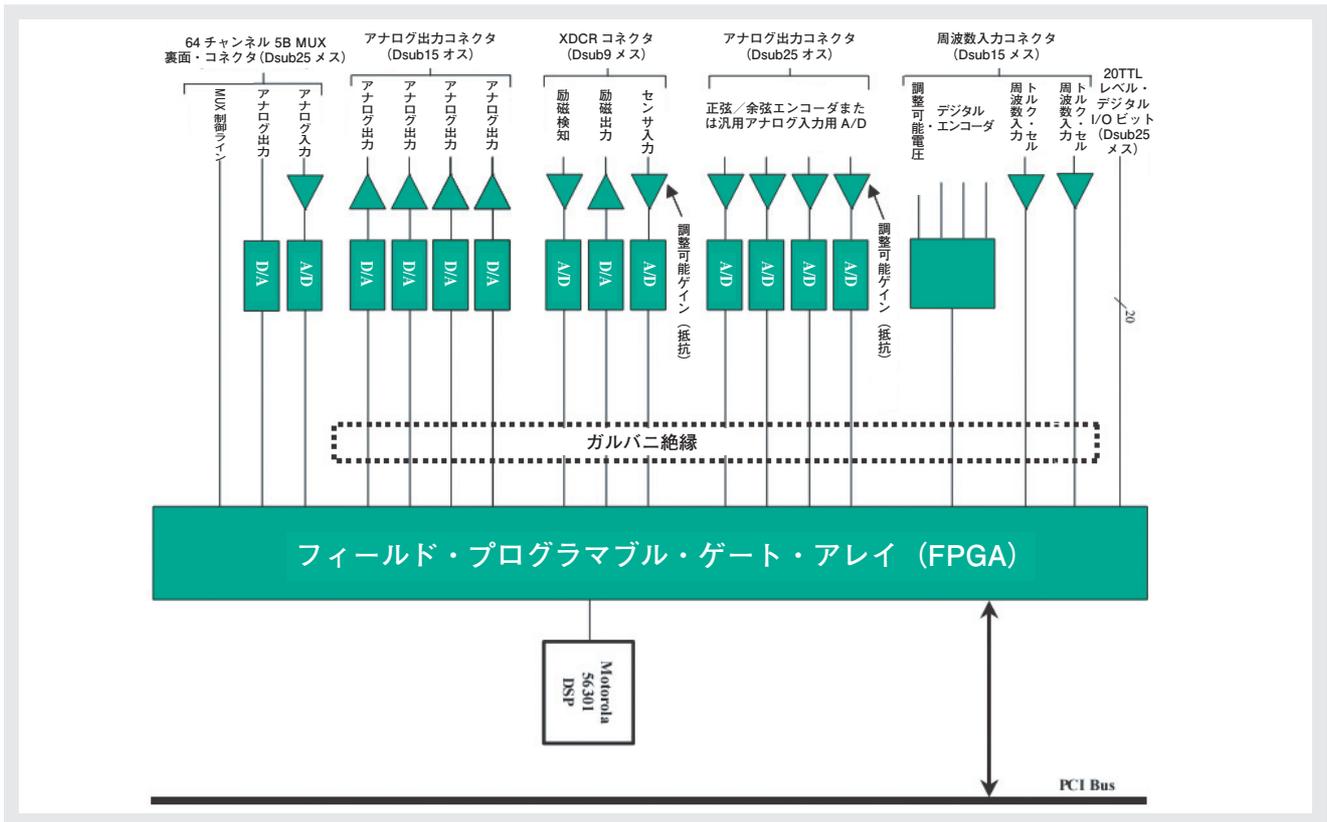


図2 SPARC I/Oボード

るため、システムのコンフィグレーション(設定)が容易である。イーサネットラインの一つはTCP/IPやUDP/IPの標準プロトコルをベースとし、オートメーションシステムへのリモートインターフェースとして使用される。もう一つのイーサネットラインは、複数のSPARCボックス間をつなぐ1kHzリアルタイム接続に使用され、3台以上のダイナモメータを同時に制御する場合などに必要となる。この高速リアルタイム接続は他社製のHIL(ハードウェア・イン・ザ・ループ)システムとのインターフェースとしても使用可能で、既に試験設備に存在するシミュレーション環境を活用できる。

I/Oボードには、単体のダイナモメータ制御のために最適化された独自のI/O構成が含まれ優れた性能を発揮する。I/O構成の要素は次のとおりである。

- ・エンコーダ(×1, 位置測定および速度測定)
- ・周波数入力(×2)
- ・アナログ入力(×4, フィルタ付き)
- ・アナログ出力(×4)
- ・ロードセル入力(×1, AC/DCモード)
- ・デジタルI/Oチャンネル(×20, 任意設定可能)
- ・モジュール型マルチプレクサ(64チャンネル)

- ・全I/Oのサンプリングレート：5 kHz

オンボードのFPGA(フィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ)は、周辺機器の制御だけでなく速度エンコーダの高度な信号処理を行う。DSP(デジタル・シグナル・プロセッサ)は、フィルタ(デジタル・アンチ・エイリアシング・フィルタ)機能など高速信号前処理のためのコンピューティングパワーを供給する。すべての入出力には完全な信号調整機能があり、アクチュエータやセンサをボードに直接接続することができる。

SPARCはCANポートを6つ備えており、ダイナモメータのインバータとの高速通信用や分散型CAN I/Oモジュールをベースにした拡張I/O用、ECU(エンジン・コントロール・ユニット)やTCU(トランスミッション・コントロール・ユニット)などの供試体制御ユニットとの直接通信用に使われる。

SPARCボードは、標準規格のPC104+バスで相互接続されている。これによりSPARCの機能を拡張でき、ProfiBusインターフェースカードなど各種の市販PC104ボードを用いて、例えばSPARCと設備PLCを接続するといったことが可能となる。

ソフトウェア

HORIBAのオートメーションプラットフォームSTARSと同様に、SPARCの制御アプリケーションはSTARS/SPARCランタイム環境上で実行され、いわゆる“コードモジュール”のダイナミックロードおよびダイナミックリンクを可能にしている。コードモジュールには、PIDアルゴリズムやフィルタアルゴリズムのようなさまざまな機能をもたせることができる。また各コードモジュール間の入出力を相互接続することで、複雑な制御システムを構築することが可能である。SPARCプラットフォームは、速度・トルク制御用コントローラ、フィルタ、ダイナモメータ用ハンドラ、走行抵抗シミュレーション、エンジンシミュレーションなどの共通コードモジュールライブラリを提供するので、この共通ライブラリをもとにさまざまな制御アプリケーションを短期間で開発できる。さらにSPARCとSTARSに同じランタイム環境を使用することで、オートメーションシステムとコントローラ間でコードの共有が可能となる。



図3 SPARCソフトウェア階層

コードモジュールはC言語で作成されるか、またはSimulink®ブロックから生成される。さまざまなコードモジュールをSimulink®内でつなぎ合わせて複雑な制御アプリケーションを構築する(図4)。このような図を用いた表現により、テキスト形式のプログラミング言語に比べ、制御構造がはるかに理解しやすくなっている。さらに制御アルゴリズムの共通化や、異なるアプリケーション間での共用も可能になる。

制御アプリケーション

SPARCには豊富な制御アプリケーションやシミュレーションアプリケーションが用意されている。例えばSPARC-EngineはTITANなどエンジンテストベンチ用として、オートマチックトランスミッションとマニュアルトランスミッションとドライバーのシミュレーションモデルを含む制御を提供している。駆動系試験用のSPARC-DrivelineにはETPS(エンジン・トルク・パルス・シミュレーション)、EIS(エンジン・イナーシャ・シミュレーション)、SLR(サービス・ロード・リプリケーション)が含まれる。

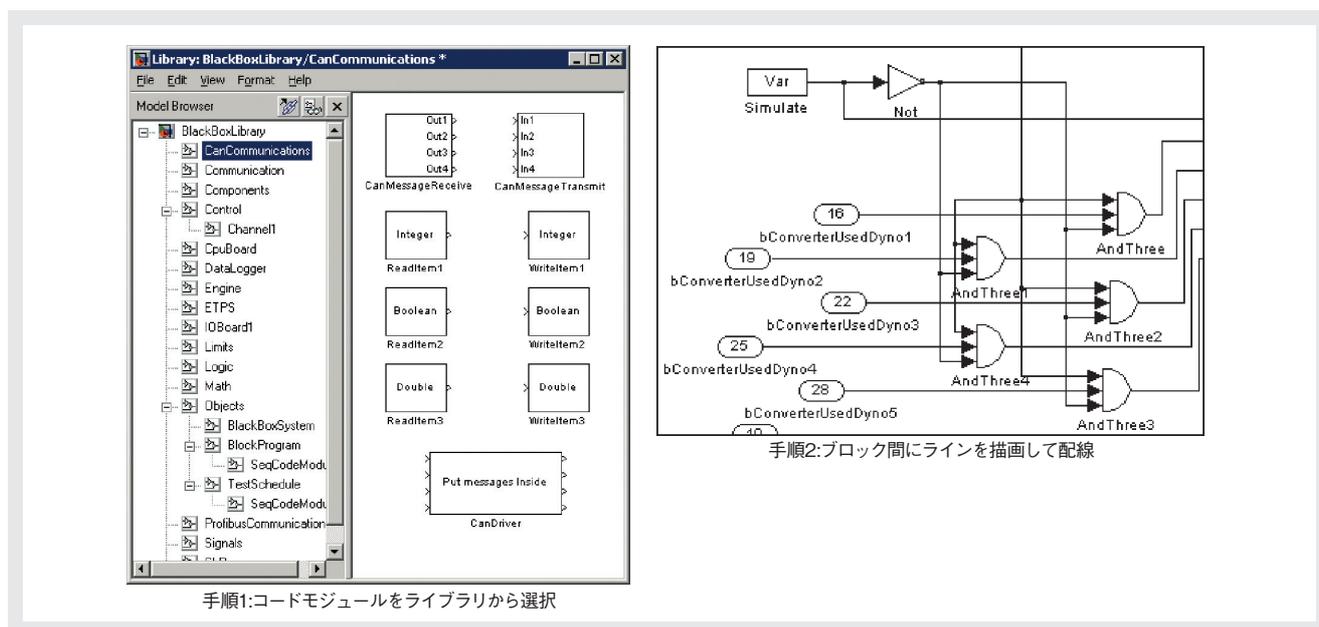


図4 コードモジュールの配線

スマートコントローラ製品

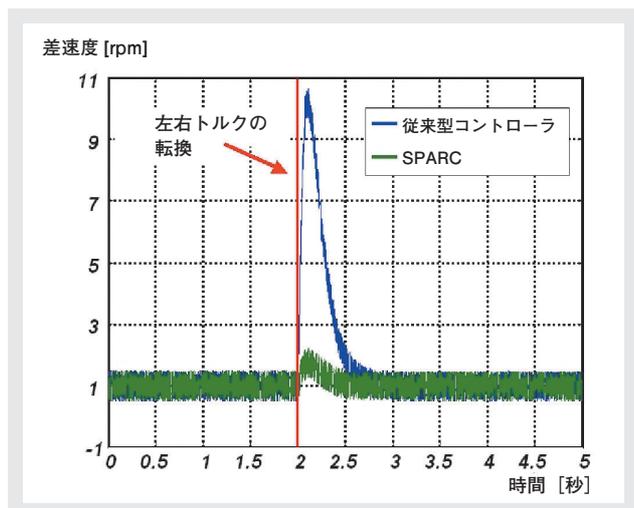


図5 差速度制御性能

SPARCの性能を示す例として、アクティブディファレンシャルギア付きの駆動系アプリケーションにおける差速度制御を図5に示す。左右の入力トルクの高低が入れ替わるときはディファレンシャルが閉から開に切り替わる。このときコントローラは、差速度を上限値(1 rpm)以下に保つ必要がある。従来のコントローラでは約10倍の速度偏差を示しているのに比べ、SPARCの差速度は範囲内となっている。

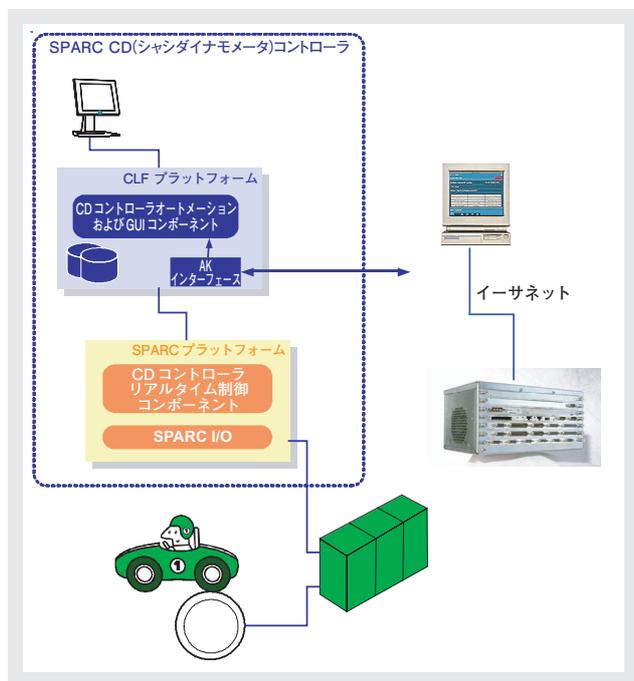


図6 SPARCシャシダイナモメータコントローラ

SPARCソフトウェアにはウェブサーバ機能が含まれ、基本設定機能と診断機能を備えている。SPARCは本来、GUI(グラフィカル・ユーザ・インターフェース)を必要としないスタンドアロンコントローラ用の“ブラックボックス”として設計されている。しかし最新のコントローラ製品には、ユーザフレンドリなGUIをはじめ、複数のパラメータセットを保持するための限定されたデータ管理機能、システム性能全体を確認するための自己診断機能、試験対象変更時の簡単に迅速なセットアップのためのオートチューニング機能などが求められる。このようなニーズに応えるため、SPARCコントローラプラットフォームはSTARSオートメーションシステムプラットフォームから派生したCLF(コントローラ・ライトウェイト・フレームワーク)によって機能を拡張することができる。新型シャシダイナモメータコントローラは、このコンセプトに基づいてSTARS, SPARCの両方の技術を組み込んだ初のHORIBAスマートコントローラ製品である。

おわりに

共通コントローラプラットフォームSPARCは、エンジン、駆動系、車両、ブレーキの各試験向けに各種の制御アプリケーション・シミュレーションアプリケーションを提供している。HORIBAテストオートメーションプラットフォームSTARSと組み合わせることでその応用範囲を拡張することも可能である。SPARCの応用範囲は今後もますます広がっていくものと思われる。



Jürgen Pitz

HORIBA Europe GmbH
Research & Development
Manager

Feature Article

特集論文

STARSテストオートメーションプラットフォーム

James Fowler

HORIBAとRicardo社の合弁事業 SRHシステムズ社は、包括的なオートメーションシステムとツールからなる製品群を構築するため、STARSテストオートメーションプラットフォームを開発した。STARSプラットフォームには、アーキテクチャをサービス別に構成するという非常に拡張性の高い手法が採用されている。基本となるサービスやデータベース構造は各STARS製品で共通であるが、個別にユーザインターフェースやアプリケーション機能を追加することができる。また各種のSTARSワークステーションをクラスタサーバに接続し、構成データや試験結果データを共有することも可能である。さらにSTARSの重要な付加価値として、試験機能の統合パッケージ“アプリケーションスイート”がある。アプリケーションスイートにより、高度なノウハウを必要とする試験をユーザが手軽に実行できる。

はじめに

HORIBAとSchenck社は、エンジン、駆動系、ブレーキ、シャシダイナモメータなどの各種テストオートメーションシステムをそれぞれ別々に販売・サポートしていた。このような状況を改善するため、HORIBA、Ricardo社、Schenck社の合弁事業としてSRHシステムズ社が設立された^{*1}。その目的は、エンジン、駆動系、ブレーキ、車両試験などの各種試験に対して包括的に対応可能なテストオートメーションシステムとツールの構築である。合弁事業を始めて7年後、その成果としてSTARSプラットフォームが開発された。本稿ではSTARSプラットフォームのアーキテクチャを解説し、本プラットフォーム上で開発されたオートメーションシステム、オプション、ツールの例を紹介する。

*1: HORIBAがSchenck社の自動車計測部門を買収したことから、現在はHORIBAとRicardo社の合弁事業となった。

STARSプラットフォーム

STARSプラットフォームには、広範な試験用途をサポートし、さらに試験エンジニアによるフレキシブルな構成が可能で、単独のテストベンチから複合設備のテストセル

に至るまでさまざまな規模の設備に対応するといった非常に拡張性の高い仕様が求められた。このような要求に対応するため、アーキテクチャをサービス別に構成する方法が採用された。図1に、“クラスタ(分散型テストセル)”構成のSTARSサービス別アーキテクチャを示す。

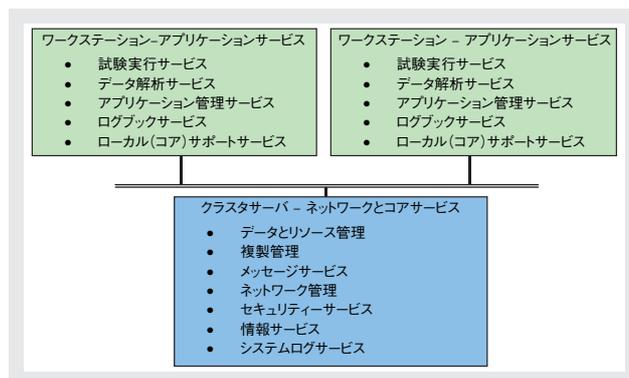


図1 “クラスタ(分散型テストセル)”構成のSTARSサービス別アーキテクチャ

このアーキテクチャでは、各サービスを階層グループに分け、STARSワークステーションやSTARSベースのツールといったユーザ環境で実行される試験や表示について、データ管理、通信、汎用アプリケーションのサポートを行う。共通STARSクラスタサーバで制御する分散配置の場合でも、コアサービスがSTARSクライアントの多数同時接続をサポートするため、本アーキテクチャは非常に高い拡張性を誇る。このサーバ構成では、クラスタ

サーバと各STARSワークステーション間の動的接続が維持される。そのため構成データや試験結果データをいつでも共有できる、つまり特別にデータの同期を取る必要がない。

製品とツールの構造化サポート

これまでに、STARSアプリケーション製品、STARSベースのツール・コントローラが多数開発されてきた。また多くの製品が開発中であり、さらに今後開発される予定で進められている。すべてのアプリケーションとツールの基本となるサービスやデータベース構造は共通であり、それぞれ個別のユーザーインターフェースやアプリケーション機能を追加することもできる。つまりSTARSファミリー製品として共通性を保ちながら、個々の製品シリーズで異なるユーザーインターフェースを持たせ、プラットフォームの汎用機能に用途別の拡張機能を追加することが可能である。これらの拡張機能は“アプリケーション機能セット”として提供され、コアサービスやアプリケーションサービスの機能を置換、または拡張する。図2に、アプリケーション機能セットによるSTARSプラットフォーム基本機能の拡張・カスタマイズ構成概念を示す。



図2 アプリケーション機能セットによるSTARSプラットフォーム基本機能の拡張・カスタマイズ

STARSワークステーション

STARS製品ファミリーの中心はSTARSワークステーションである。パワートレイン開発に関連するさまざまな用途に応じ、STARS Engine, STARS Driveline, STARS Brake, STARS Vehicle(シャシダイナモメータ設備用)といった各種のワークステーションがある。すべ

てのSTARSワークステーションシステムでは、STARS クラスタサーバに接続して構成データや試験結果データをオンラインで共有可能である。試験サイトで複数種類のSTARSワークステーションが使用されている場合でもそれらと同じクラスタサーバに接続したうえ、試験によっては各ワークステーションでの変更なしに実行できるよう構築することができる。一例を挙げると、排ガス装置関連の設定を実際の実機に応じて再設定するだけで、完成車用の排ガス試験サイクルをエンジン、駆動系、または車両用のテストベンチで実行できる。

前述のように、各ワークステーション製品のユーザーインターフェースはある程度の違いがある。例えばSTARS EngineとSTARS Drivelineでは、コア機能セットにある汎用ユーザーインターフェース環境を主に使用するが、この場合、試験の検索や実行、結果の確認やアクセスには、検索ツリーやショートカットバーなどを利用することが多い。インターフェース内の作業領域には表示ページやエディタがあり、試験で使用する各種リソースと通信して設定を実行できる。図3に、STARS Engineのユーザーインターフェース環境を示す。

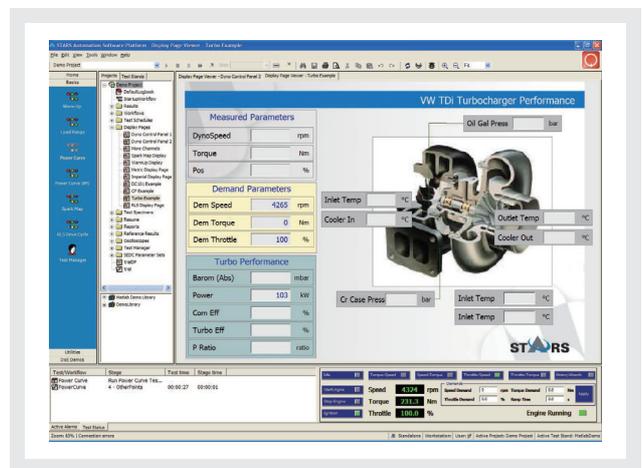


図3 STARS Engineのユーザーインターフェース環境

STARSワークステーションシステムの標準機能は、1つまたは複数のオプションをインストールすることで拡張できる。オプションはそれぞれ特有の拡張機能のパッケージで、カスタマイズされたユーザーインターフェースを使用する。例えば、“テストマネージャオプション”は試験を定義して実行するためのシンプルな統合環境で、状態移行、安定、計測の順に行うマッピング試験のような、一連の手順として行う試験に適している。これらのツールやオプションは通常、STARSの基本ユーザーインターフェース内の作業領域に統合する形で提供される。他のSTARS

ユーザインターフェース要素と同様に、必要な場合は作業領域から起動してスタンドアロンモードで実行可能である。図4に、STARS GUIから起動するテストマネージャオプション画面を示す。

STARS標準構成

STARSのような高度なオートメーションシステムを初めて使用する場合、特有のユーザ環境やアプリケーションツールに慣れるまで扱いにくさを感じることもある。新しいシステムを効率的に使用できるまでの期間を最短にするため、STARSワークステーション製品には、即座に実行できるアプリケーションサンプルや事前設定されたユーティリティ機能が“標準構成”として備えられている。標準構成は事前設定されたSTARSリソースのライブラリであり、これらのリソースを組み合わせて特定の試験を実行する方法を説明するサンプル試験を含む。これらのサンプルがユーザの試験の必要条件に完全に一致する可能性は低いものの、短期間でSTARSの操作を習得するうえで有効なツールである。

試験用途とその要件がユーザごとに異なり、すべてを包括することは難しい。しかし標準構成はSTARSシステムの操作習得の上で重要な要素である。ただし、STARSの各種トレーニングコースに対する代替としてではなく、むしろトレーニングを補完するツールとして位置付けている。

STARSアプリケーションスイート

ユーザにとって最も重要なのは、STARSシステムで可能な作業、つまりSTARSの応用性である。STARSはもとも高機能なアプリケーションツールボックスとして考案されたが、ユーザの多くは多種多様な設定済みアプリケーションを望んでいる。基本的なオートメーションシステムはもはや当たり前であり、多種多様な設定済みアプリケーションこそがユーザにとってSTARSの付加価値となっている。

“STARSアプリケーションスイート”とは、STARSプラットフォームに組み込まれたアプリケーションツールを主に使用して構築された試験機能の統合パッケージである。STARSツールを目的別コンポーネントによって補完し、該当するアプリケーションに最適化されたシンプルな環境を提供する。このアプリケーションスイートによって、ユーザがアプリケーションに関する高度なノウハウを新たに取得し利用することが可能となる。

STARS用に開発された最初のアプリケーションスイートがHDEETである。HDEETは大型車両用ディーゼルエンジン排ガス試験の構成、実行、解析、報告機能を統合したパッケージで、STARS Engineワークステーションで用いられる。このアプリケーションスイートには、欧州、北南米、アジア各地域における主要なオンロード／オフ

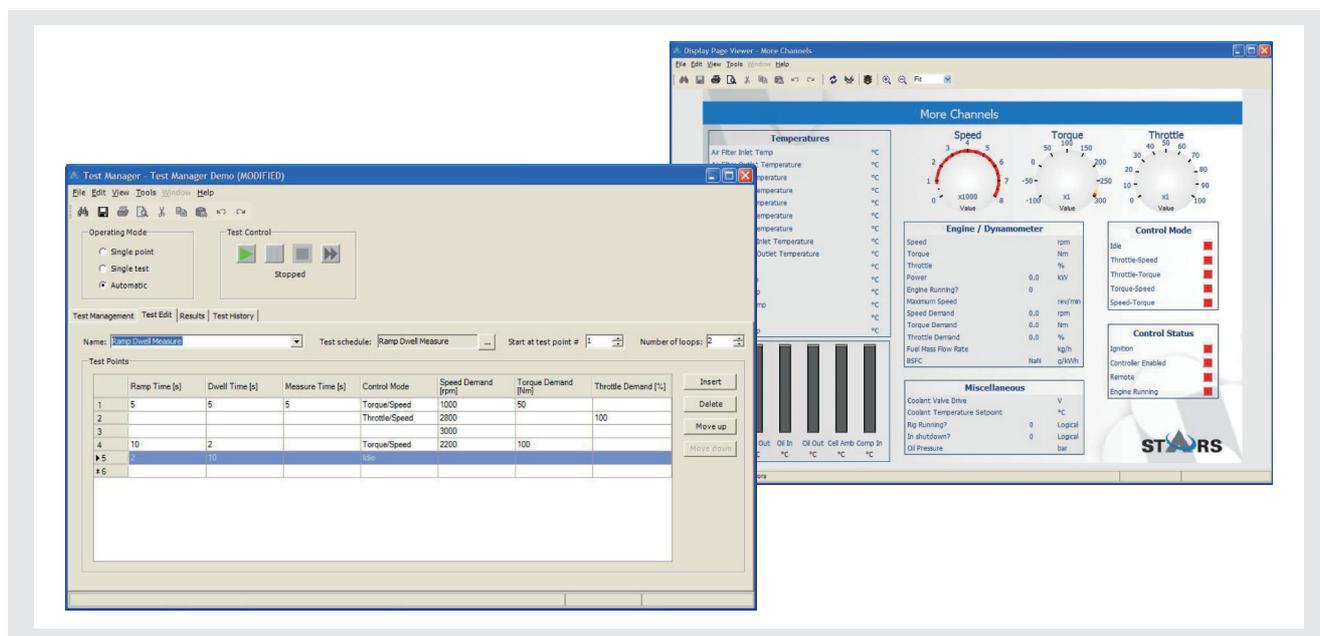


図4 STARS GUIから起動するテストマネージャオプション画面

ロード排ガス規制の認証試験が含まれる。これらの試験はすべて、該当する法的要求に適合している。

小型車両用のHDEETにあたるLDEETは、エンジン、駆動系、シャシダイナモメータの各テストベンチにおけるシャシダイナモメータ用の完成車排ガス試験サイクルに対応する。LDEETアプリケーションスイートは2009年販売開始予定である。LDEETに統合される試験、解析、報告機能については何も変更せずに実行できるが、排ガス分析装置やテストベンチの機器類は適宜設定する必要がある。

アプリケーションスイートにはそのまま使える試験セット一式が用意されている一方、さらに高度なカスタマイズも可能である。アプリケーションスイートのアーキテクチャは高度にモジュール化されており、その“内容(機能を実行するSTARSコンポーネント)”は使いやすいライブラリ構造になっている。ユーザはライブラリのコンポーネントを変更、置換することで、試験のあらゆる要素をカスタマイズできる。さらに試験そのものをコピーして新しい試験のテンプレートとして使用することもできる。このように、ユーザは試験にSTARSを使用することで該当分野におけるHORIBAの専門知識を活用できるという大きなメリットがある。同時に、必要であればアプリケーションスイートの機能の変更、拡張をユーザ自身で実施できる。

将来的にはアプリケーションスイートの種類を増やし、STARSプラットフォームがサポートする全試験領域で即座に実行できる試験機能を提供していく。

おわりに～STARSの今後

STARSプラットフォームをベースに多種多様なテストオートメーション製品が世に出されてきた。HORIBAは今後、STARS Brakeワークステーション、STARS Vehicleワークステーション、そしてそれらをサポートするアプリケーションスイートやオプションなどSTARSベースの製品を次々に開発、発売していく予定である。またSTARSプラットフォームの軽量版である“STARS LITE”とHORIBAのリアルタイム制御ユニット“SPARC”を使用して開発した、高性能コントローラ製品も近くリリースの見込みである。その後も、さらに多くのコントローラを製品化していく予定である。

パワートレイン試験では、試験工程全体の効率的サポートが生産性向上の大きなカギになりつつある。将来的には、高度データ管理や試験サイトの工程管理をサポートする新ツールチェーンがSTARS環境をさらに充実させていくことになるだろう。



James Fowler

SRH Systems Ltd.
Managing Director

Feature Article

特集論文

テストベンチ環境用データソースASAM ODS

Bruno Thelen

自動車関連製品の開発における異種データアーカイブの多様性と非互換性が、欧州においてASAM (Association for Standardization of Automation and Measuring Systems)コンソーシアムが設立されるに至った大きな理由の一つであった。過去15年間、ASAM は自動車製品試験分野で業界標準を策定してきた。試験データのアーカイブ標準は構造要素に意味付けをしたメタデータモデルに基づいている。汎用クライアントアプリケーションは、データ処理のために、ユーザ固有のデータ構造を参照してデータを検索できる。

はじめに

車両や部品の開発時には大量のデータが蓄積されるが、後処理ツール用にデータを標準化した形でアクセス可能にしようとする際、問題が発生する。そのため、データモデリングおよびデータ検索の標準化は、自動車業界と関連サプライヤにとって大きな課題であった。この課題に取り組むことになったのが ASAM (Association for Standardization of Automation and Measuring Systems)コンソーシアムである。コンソーシアムは過去15年にわたり、製品試験分野におけるデータのアーカイブ化と検索のためのソリューションを開発してきた。そして現在では標準が定められており、欧州の自動車業界はテストベンチのオートメーションシステムの一部として、各サプライヤに標準準拠を要求するようになっている。

ASAM について

ASAMは、自動車メーカーの研究開発時の製品試験用ソフトウェア標準策定を目的に1990年代初頭に設立された。ASAM は当初、ドイツの自動車メーカーとサプライヤの主導でスタートした。1990年代半ばには、策定されたASAM 標準はすべて当時の欧州共同体(EC)が AIT プログラムの一環として資金供給していた STAUMECS (Standardisation of Automation, Measuring and

ECU Calibration Systems)プロジェクトによって検証されていた。STAUMECS には当時、欧州の自動車・航空宇宙関連企業、サプライヤ、試験装置メーカーなど14社が参加していた。しかし1990年代終わりには、ASAM コミュニティは欧州、北米、アジア各国におよび、加盟社数は100社を超えた。ドイツから始まった構想はこの15年の間に世界規模のコンソーシアムとなったのである。

ASAM は現在、データ収集と管理、自動試験運転、測定データ評価といったさまざまな目的に対して、データモデルやインターフェース、仕様の標準を策定している。ASAM が提供する仕様には次のものが含まれる。

- ・ACI(Automatic Calibration Interface, 自動キャリブレーション・インターフェース):
エンジンキャリブレーション用テストベンチのオートメーションシステムのためのリモートコントロールインターフェース
- ・CEA(Components for Evaluation and Analysis, 評価・解析用コンポーネント):
解析ツールのためのフレームワーク
- ・GDI(Generic Device Interface, 汎用デバイス・インターフェース):
測定デバイス用インターフェース
- ・AE(Automotive Electronics, 自動車エレクトロニクス):

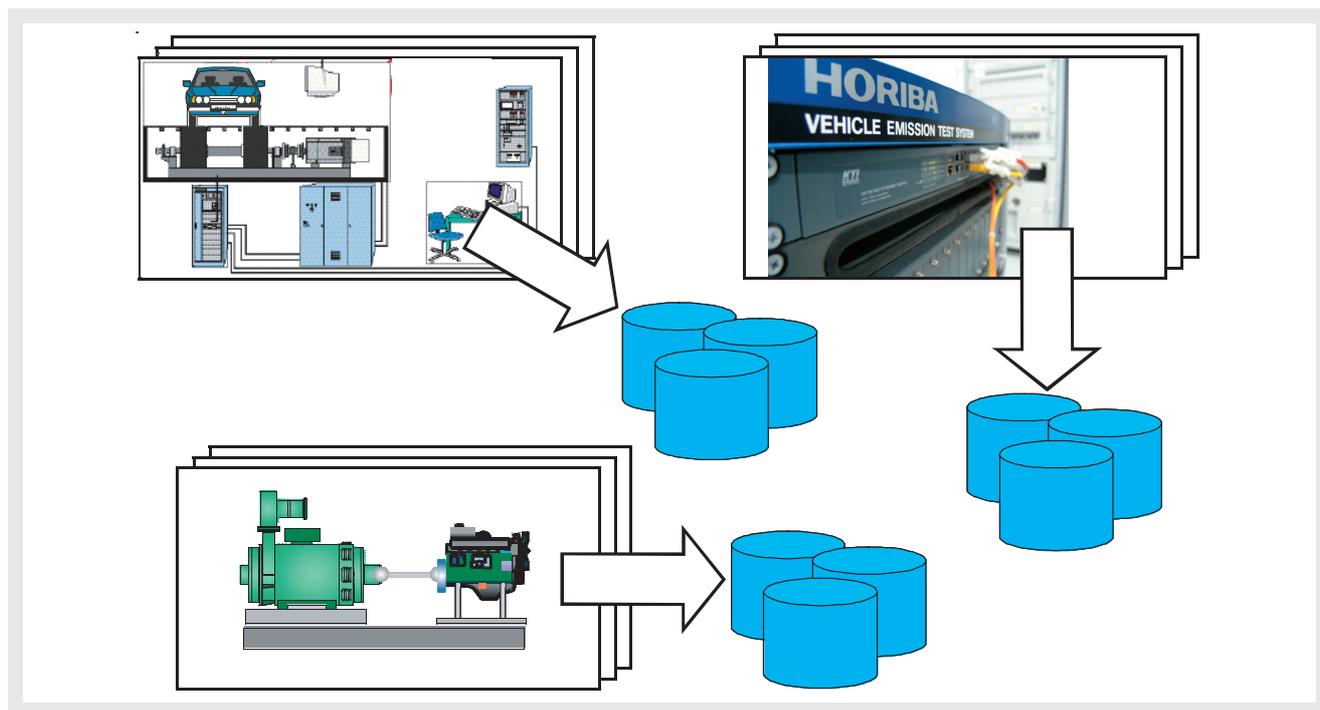


図1 ユーザ環境における試験データのアーカイブ化

自動車エレクトロニクス開発と試験プロセスのためのインターフェースとデータ構造

- ・ ODS(Open Data Service, オープン・データ・サービス): 汎用データモデルとデータ検索用インターフェース

HORIBA グループのHORIBA Europe Automotive Division GmbH(ドイツ)はASAMの創設メンバーである。ASAM設立初期より ASAM ワーキンググループに大きく貢献してきた。2007年, ACI ワーキンググループの議長と ASAM 技術諮問委員会の ACI 代表は著者が兼任している。この委員会はすべての技術プロジェクトを統括しASAM理事会とも連携している。2007年の年次総会では, HORIBA Europe GmbH(ドイツ)のDr. George Gillespie が新たに ASAM 理事に選出された。また HORIBA の本社が日本にあることから, Dr. Gillespie は アジア地域におけるASAM 普及サポートを進めているとしている。

ユーザ環境でのデータアーカイブ

OEM 工場の開発部署にとって測定データの保存と検索は重大な課題であった。確実かつ効率的なデータ検索は開発部署に多大なメリットをもたらす。本稿ではASAM ODS(オープン・データ・サービス)の仕様に焦点を当て、その基本概念を紹介する。

標準データアーカイブの重要性を簡単ではあるが、典型的なユーザを想定して説明する(図1)。

ユーザの試験施設には用途の異なるさまざまな試験装置が存在する。そこでは次の内容に関する大量のデータが生成されアーカイブ化される。

- ・ 試験環境の記述データ(テストベンチ, 試験品, ワークフロー)
- ・ テストオートメーションシステムの構成
- ・ エンジン, ブレーキ, 排ガス後処理システムなどの試験で測定されたデータ
- ・ エンジンや車両部品のキャリブレーションデータ

テストオートメーションシステムのメーカーは、従来、専用データアーカイブで実行される独自のデータ評価ツールをシステムの一部として提供してきた。しかし現在、その状況は大きく変化している。テストベンチのオートメーションシステムは、他社製の評価ツールでもアクセスできるよう、標準フォーマットで試験結果を提供することが必要となったのである。テストベンチのソフトウェアコンポーネントや評価ツールに関して特定のサプライヤに依存する必要がなくなるため、この標準化はユーザにとって大きなメリットである。ユーザは多様な解析ツールやテストベンチ用オートメーションシステムを利用できる。さ

Feature Article 特集論文 テストベンチ環境用データソースASAM ODS

らに試験システムコンポーネントの相互運用性を損なうことなく、A 社製から B 社製へとコンポーネントを交換できるようになった。結果として、欧州を中心に試験装置のコンポーネントに ASAM 標準準拠が求められるようになってきている。

ASAM ODS 汎用データモデル

当初、ASAM ODS ワーキンググループは、試験品構造、データ収集システム、個別の単位系、テストベッド構造、ワークフロー構成といったさまざまなユーザ要求の反映した各種試験をサポートすることが可能な標準アーカイブの開発という課題に直面した。この課題は、メタデータの構成要素ごとに事前定義された意味をもつメタデータモデルを採用するという特徴的な設計によって解決された。このメタデータモデルは追加規則によって定められる構造的枠組みを事前定義する(図2)。この枠組みは、ユーザが使用するアプリケーション固有のデータモデルへと拡張させることができる。クライアントアプリケーションは、メタデータモデルと、その構成要素に暗黙的に割り当てられた意味付け、および根底にある規則に通じることで、ユーザ固有のデータ構造を検索し、要求されたデータを取り出すことができる。

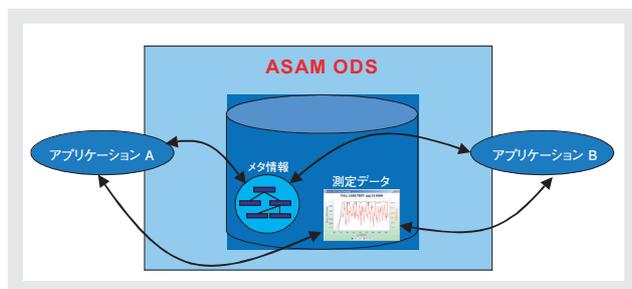


図2 測定データにアクセスする上でナビゲータの役割を果たすメタ情報

図3に、次の4要素に分類されるメタデータモデルの概念図を示す。

- ・管理データ
- ・記述データ
- ・測定データ
- ・物理量と単位系

管理データは、ユーザの要求に応じて、すべての試験結果をプロジェクトおよびサブプロジェクトへと構造化す

る。記述データは、試験品とテストベンチおよび試験手順といった試験内容の記録に使用される。これらの構成要素は必要に応じて細分化することができる。試験品やテストベンチの詳細構造を反映した階層構造を構築することも可能である。測定データ構造は、同一試験に属するすべての構成要素をつなぎ合わせる役目を果たす。数値の測定データは“データ列”で蓄積され、関連する測定物理量の記述や単位へのリンクが作成される。

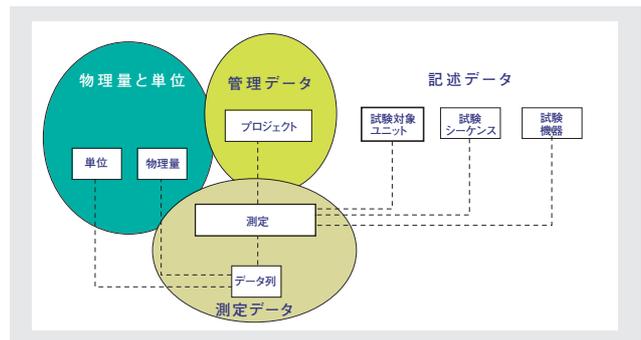


図3 ASAM ODS ベースモデルの概念図

試験環境の異なるさまざまな試験用途を網羅できるように、単一のデータモデルに標準化するのは実用的でない。したがってベースモデルは、ユーザ固有の用途に合わせて特定のデータモデルを抽出するテンプレートの役割しか果たさない。特定のデータモデルを抽出することで、ベースモデルの抽象要素ごとに明確なデータ要素を定義することができる。例えば、試験品一般を表わす汎用要素の“Unit Under Test(試験対象ユニット)”は、ガソリンエンジンなどの具体的な試験品を意味するように拡張される。このような拡張は、スパークプラグ、クランクシャフト、カムシャフト、バルブ、燃料供給装置、シリンダ、ピストンなど、エンジン構造のサブコンポーネントを反映し、必要に応じてさらに細分化することも可能である。各コンポーネントとそのサブコンポーネントは属性と属性値によって補完され、ベースモデルで事前定義されるコンポーネント間のリンク(図3の破線)はユーザ固有のデータモデルによって自動的に継承される。必要に応じて追加のリンクを定義することも可能である。

ASAM ODS サーバインターフェース

前述の汎用データモデルはASAM ODS サーバと呼ばれるコンポーネントによって実装される。ODS サーバはAPI(Application Programming Interface, アプリケー

ション・プログラミング・インターフェース)を実装する。API はメタデータ構造に応じてカスタマイズされ、データの要求・読み込み・書き出し、およびデータ構造の構成のための機能を提供する。

API の背後にある物理データのアーカイブは、クライアントアプリケーションからは隠されている。データアーカイブには、SQL データベースのようなリレーショナルデータベースから単純なファイル群までさまざまな構成が存在する。ODS サーバはデータベース用のアプリケーション固有のインターフェースで、製品試験での操作用に設計されている。

クライアントアプリケーションと ODS サーバはコンピュータネットワーク経由で接続される(図4)。コンピュータネットワーク上で ODS サーバに自由にアクセスするには、アクセス許可システムが必要になる。そのため、データ検索などのために ODS サーバにアクセスする場合は認証が必要になる。正規ユーザとして ODS サーバに登録されていないユーザのアクセスを拒否することも、ODS サーバのコンテンツごとに部分的アクセス権を付与することもできる。この機能により、機密試験データを閲覧できる拡張アクセス権を持たずに ODS サーバにアクセスするというユーザ要件を満たすことができる。

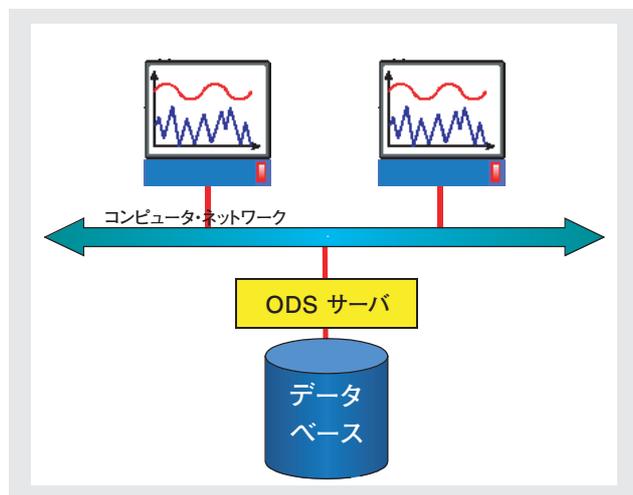


図4 コンピュータ・ネットワーク環境上の ASAM ODS サーバ

ASAM ODS の実力

欧州自動車市場において、テストベンチのオートメーションソフトウェアシステムは ASAM ODS 標準準拠がひとつの流れとなっている。

HORIBA は STARS オートメーションシステムの一部として ODS サーバを開発しすでに複数のシステムが稼動中である。この中には、ASAM ODS インターフェースにより、STARS ODS サーバに他社製のデータ評価ツール群を接続し実行させているという例もある。このような場合、既存の評価ツール設定を変更する必要がないという点で ASAM ODS 標準は非常に有益である。

ASAM ODS ワーキンググループは、ASAM ODS インターフェース統合ソフトウェア製品の品質検証・改善を目的に、照合試験を毎年実施している。この照合試験は通常、自動車メーカーによって主催されるものである。この試験では、すべての ASAM メンバーと ASAM ODS 製品のサプライヤに参加が呼びかけられる。該当試験データおよび試験シーケンスを照合試験の数か月前に配布し、試験準備の公平性を確保している。Audi社が主催したインゴルシュタット(ドイツ)での照合試験には、STARS ODS サーバを持参した HORIBAを含め、3社の ODS サーバのメーカーが参加した。照合試験では、クライアントツールのメーカー各社が自社製品を ODS サーバに接続し、試験シーケンスで要求される通りにサーバにコマンドを送信した。試験の結果、STARS ODS サーバがすべてのクライアントと問題なく動作することが実証された。また、2008年2月にはボルシェ主催の照合試験がドイツにおいて開催された。

おわりに

ASAMの構想は、この15年間で製品試験に関する標準を策定するための世界規模の組織にまで発展した。試験結果をアーカイブ化する標準法は、ユーザ固有のデータ構造をナビゲートするための設計として採用した汎用メタデータのコンセプトに基づいている。今日、欧州においては、試験オートメーションシステムやデータ評価ツールが ASAM ODS 標準に準拠するよう、ユーザからの要求が高まっている。HORIBA は主力の STARS 製品を ASAM ODS 仕様に準拠させ、このようなユーザ要求にグローバルに 대응している。



Bruno Thelen

HORIBA Europe GmbH
Research & Development
Ph.D.

Review 総説

自動車開発と HORIBA の排ガス計測技術の歩み

河邨 浩

HORIBAの自動車計測システム事業の進展は、自動車開発の動向と深く関係している。特に、排ガス規制やコンピュータ制御の導入に伴う自動車技術革新は、分析技術にも大きな影響を与えた。HORIBAでは、自動車排ガス規制の開始をきっかけに、1964年に最初の排ガス分析装置MEXA-1型と定容量希釈サンプリング装置(CVS)を開発している。その後、排ガス規制の強化をにらんだ高精度化や複雑化する実験効率を向上させるための自動化対応など、その時々
の要求に応える形で装置の改良に取り組んできた。この流れを汲む現機種MEXA-7000 ver.3では最新の超低エ
ミッション車の排ガス分析にまで対応が可能である。さらに現在では、40年の排ガス分析計開発の歴史をベースに、
MEXA・CVSを中心とするさまざまな排ガス試験設備を広く提供している。

はじめに

自動車に関連する計測の対象は、質量・大きさ・トルクに代表される物理的性質から、排ガス組成などの化学的性質、さらには乗り心地・ノイズ・振動といった官能評価項目など、非常に多岐にわたる。HORIBAは、赤外線吸収を応用したコア技術を自動車排ガス計測に展開した1964年以来、自動車計測システム機器の製作・販売を事業分野の柱の一つとしてきた。このような自動車計測システム機器事業の進展が、自動車開発の動向と深く関係しているのは言うまでもない。中でも、排ガス規制強化に対するエンジンや触媒の改良、車両へのコンピュータ制御の導入に伴う開発試験の複雑化の影響が極めて大きい。本稿では、このように自動車業界とのつながりの強いHORIBA排ガス計測関連製品の歴史について、排ガス分析計MEXAシリーズを中心に振り返る。

自動車排ガス計測の概要

自動車産業と排ガス計測

“自動車”へのニーズは、その利便性と並んで、移動に対する人間の本質的な欲求に根ざしたものである。今日の自動車産業の隆盛は、このニーズに対して持続的な技術開発を推進し、高品質の新製品をタイムリーに提供し続けてきた成果と言える。その過程においては、公害問題、オイルショックなど、さまざまな世界的課題にも直面してきた。しかし、それらの課題をきっかけとして積極的に捉えて活用し、新しいエンジン・触媒の開発など、技術革新につなげてきたのである。

HORIBAが展開する自動車計測システム機器は、このような自動車産

業の発展とともに進歩し成長を遂げてきた。中でも排ガス規制の開始・強化は、分析技術の発展にも大きなインパクトを与えている。排ガス規制を歴史的に見ると、米国において1970年に公布された大気浄化法（Clean Air Act）がその後の流れに大きな意味を持つ。大気浄化法では、1975年以降、自動車から排出されるHC・COの質量を規制することが明記された。この排出質量規制をにらんでHORIBAが実用化した基本技術が、排ガス濃度分析計であるMEXAシリーズと、その分析のために排ガスをサンプリングする定容量希釈採取装置（CVS）である。これらが、現在も受け継がれる排ガス計測システムの始まりとなった。前述の規制（実際には1978年より施行）の後、新型自動車に対する排出基準値は繰り返し強化されているが、“CVS+排ガス分析計”という排ガス計測の基本部分には大きな変更がないまま、現在に至っている。

排ガス計測の特徴

自動車またはエンジンの排ガスは、次のような物理的・化学的特徴を持つ。

- ・液滴・粒子を含んだ気体・液体・固体の混合流である。
- ・室温から700℃以上という急激な温度変化を示す。
- ・成分組成がエンジン運転状態で大きく変化する。

排ガスを計測対象として見た場合、このような特徴は非常に厄介なものである。そのため、排ガス分析装置には、対象成分を定量するという計測技術のみならず、排ガスを変質させることなく検出器まで導入するというサンプリング技術も不可欠である。

現在、排ガス分析に使用されているサンプリング法は次の2種類に分類される。

- ・バッチ計測：計測対象をバッグ等にサンプリングしておき、試験終了後に分析計に導入して濃度を計測する方法
- ・連続計測：計測対象を連続的に分析計に導入し、時間的変化を連続測定する方法

排ガス規制（新車型式認証）における排出質量計測に使用されるCVSは、バッチ計測の代表的なものである。規制のための計測の場合、基本性能への要求も法規で規定される。一方、連続計測はエンジンや触媒の開発にあたって用いられることが多い。開発用途の分析計の場合、精度、再現性、応答性など、いずれも計測の対象・目的に応じて異なり、有用性を十分検討する必要がある。

MEXAシリーズの発展の歴史

排ガス計測の必要性とMEXAの誕生

図1にHORIBAの排ガス分析計MEXAシリーズの歩みを示す。各国で排ガス規制を開始するにあたってまず要求されたのが、十分な精度・再現性をもつ排ガス分析計である。HORIBAでは、1964年に非分散赤外吸収（NDIR）方式による排ガス分析装置MEXA-1型、1966年にはMEXA-13型を開発した。さらに1970年には、NDIR方式のCO/CO₂計に加えて水素炎イオン化法（FID）によるTHC計と化学発光法（CLD）によるNO_x計を搭載したMEXA-77を、1972年には分析計の高感度化と

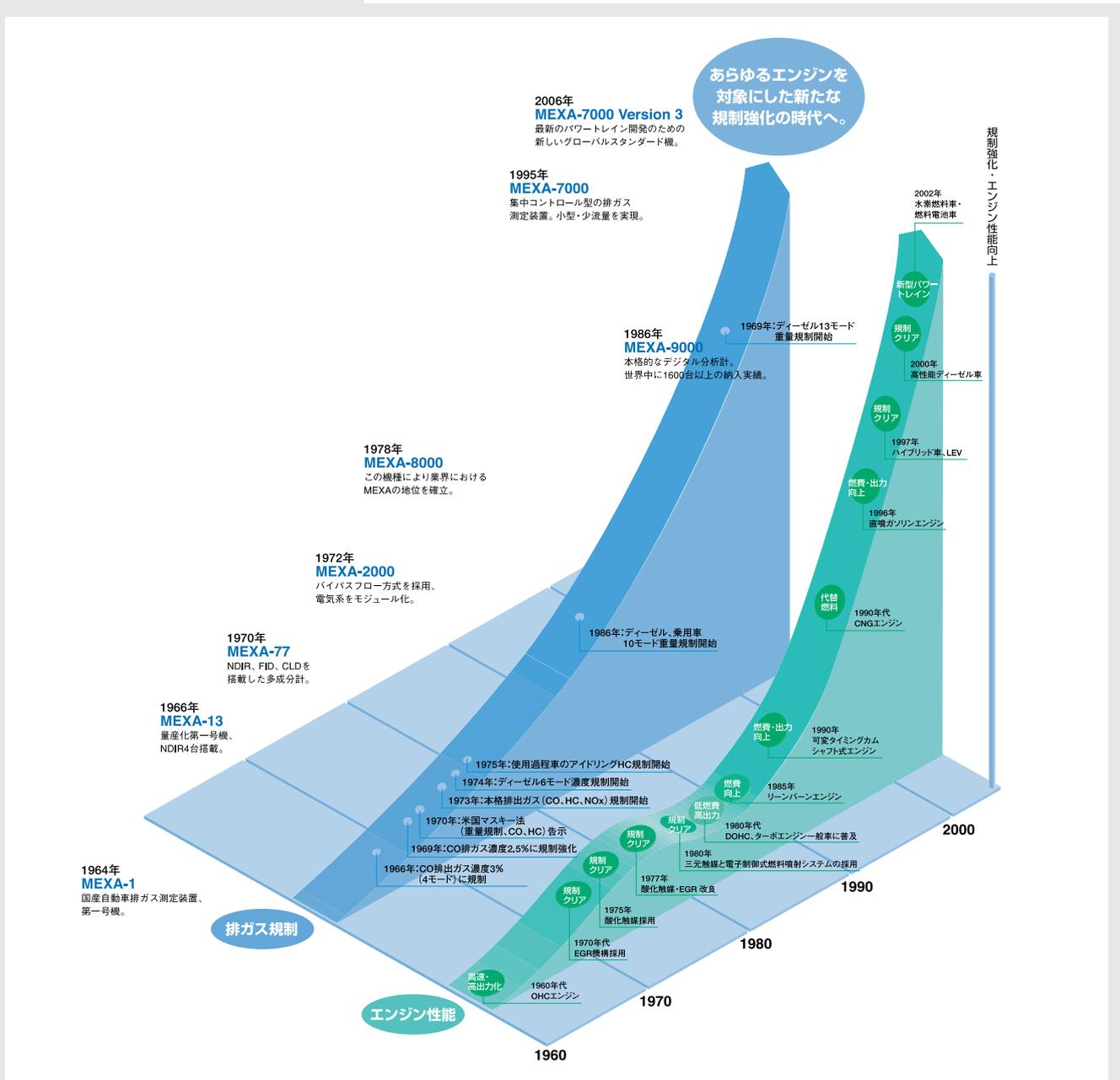


図1 エンジン技術とMEXAシリーズの歩み

ユニットモジュール化をすすめたMEXA-2000を製品化した。このようにMEXAシリーズにおいては、その開発初期から市場のニーズを捉え高品質な製品を提案する形での開発が行なわれてきた。その成果の一つが、1975年の米国環境保護庁（EPA）によるMEXAの採用である。これをきっかけに、HORIBAは、排ガス計測関連製品を積極的に海外展開していくことになった。

排ガス分析装置の確立

1970年代以後、なかなか改善しない大気汚染問題の対策として、規制強化すなわち排出基準値の低濃度化が段階的に実施されてきたのは既述のとおりである。これにより、排ガス分析計にも更なる高感度、高信頼性が要求されることとなった。これに対して、HORIBAでは、1978年にMEXA-8000を発売開始した。MEXA-8000では、前機種からのユニット化の流れを一層推し進め、測定成分として最大14成分の組み合わせを実現した。このMEXA-8000は現在のMEXAシリーズの基本形ともいえる製品で、国内外へも広く普及し、業界標準としてのHORIBA製品の地位を築く足がかりともなった。

デジタル化への対応

排ガス規制強化もひとつの動機となって、エンジンをより緻密に制御する技術である電子制御燃料噴射装置が実用化された。これは、自動車開発に燃料噴射制御の最適化という要素が加わって、開発実験が以前より複雑化することを意味する。その結果、排ガス分析に対しても、試験効率化や機能充実に関する要求が次第に高まってきた。この流れを受けて1986年に製品化されたのが、“デジタル化”をキーワードとするMEXA-9000シリーズである。さらに、MEXA-9000と通信するためのデータ処理装置（ホストコンピュータ）も同時に開発し、オンラインによる実験室稼働・データ採取・帳票作成を実現した。これにより、多様化する計測機器の操作一元化と、システムとしての機能向上が図られることとなった。HORIBAはこれを契機に、個々のユニット提供からシステム提供へとその重心を移していくことになる。すなわち、計測機器のシステム化を図り、多様な開発・実験業務の効率化へのソリューション提案を通じて、現在HORIBAが標榜するSolution Providerを目指すきっかけとなった。

超低エミッション計測

2000年代に入った現在、自動車の排ガスレベルは、CO・NO_xでは1970年代の1/100、HCでは1/1000以下をクリアするまでに低減されている。自動車業界において、いかに高度な技術革新が短期間で達成されたかを示すものといえよう。この間、HORIBAは一貫して、この技術革新を主に排ガス計測の断面から支えてきた。MEXAシリーズのラインナップとしても、1995年、現機種であるMEXA-7000のver.1を発表している。排ガス計測法そのものは1970年代に制定されたものが踏襲されているが、本機種ではさらなる高感度・高速応答・高精度を実現した。

MEXA-7000はその後, ver.2, ver.3とバージョンアップを重ね, 最新の排ガス規制の要求にも対応できるようになっている。また, MEXAと組み合わせるCVSについても, 接ガス部の面積最小化と材質の厳選により, 計測誤差要因となるHCによる汚染を極限まで抑制した。その他, さまざまな低濃度計測への最適化の結果, CVS-MEXAシステムは, 超低エミッション車 (SULEV) の排ガス計測も可能なレベルにまで到達している。

排ガス分析のための試験セル

実際に自動車やエンジンの排ガス計測を行なうためには, CVSとMEXA以外にも多くの設備が使用される。特に排ガス規制に対応するための設備の場合は, 車両またはエンジンの用途や使用燃料 (ガソリン・軽油), 車重・エンジン出力などによって, 細部に対する要求事項が異なる。また, 規制を行なう国・地域, あるいは規制の段階によっても差があり, 目的の規制に適合した設備を用意する必要がある。図2に, 最新の車両排ガス試験設備の一例を示す。車両の排ガス試験を実施するには, 専用の試験室 (試験セル) と, その試験室内で路上走行を再現するシャシダイナモメータという装置が必須である。排ガスはCVSでサンプリングするが, ディーゼル車の場合は, 粒子状物質 (PM) を採

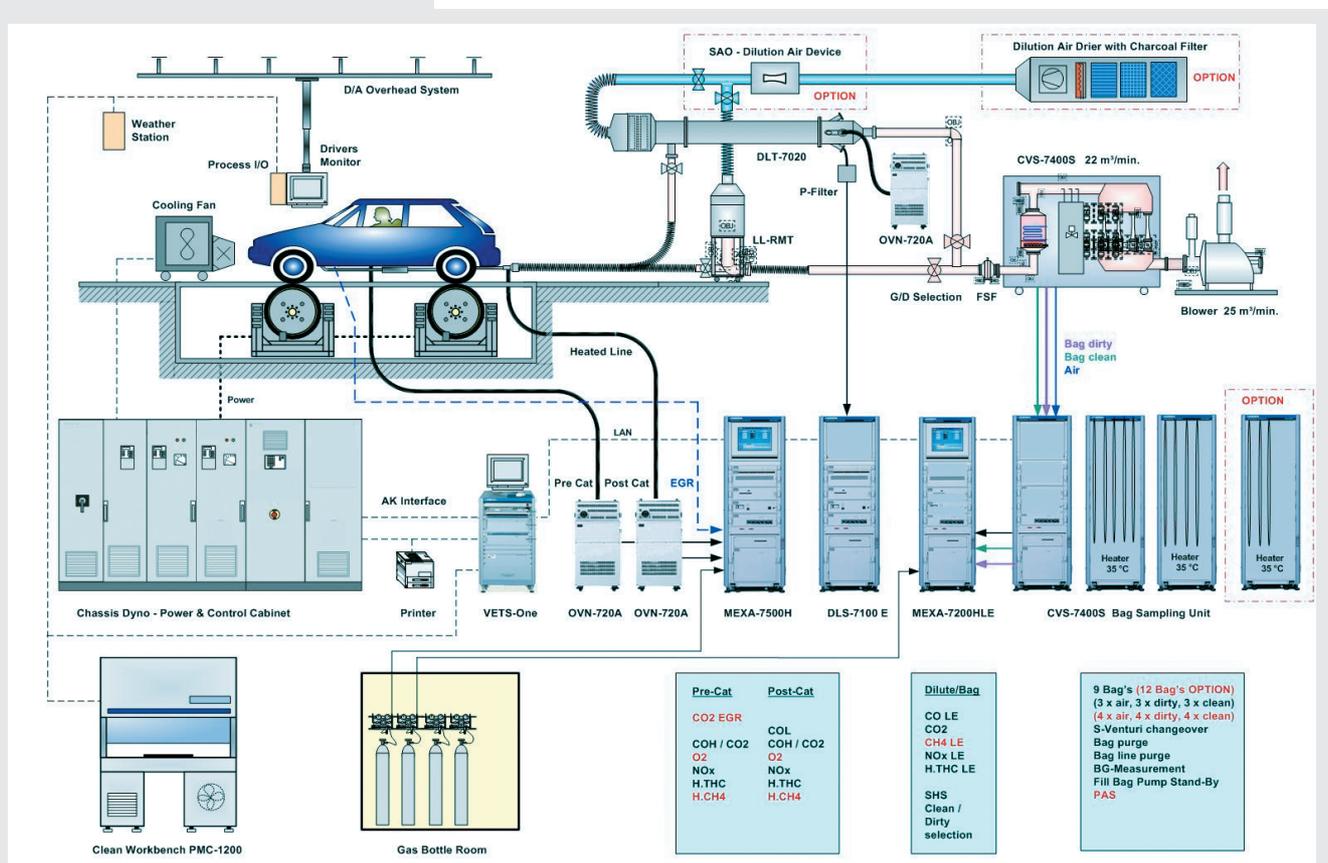


図2 最新の低濃度排ガス計測設備

取するためのトンネル設備 (DLT) も追加される。図の例は、ガソリン SULEV、クリーンディーゼル車の両方に対応したガソリン／ディーゼル共用の欧州向けシステムで、トンネル使用の有無が切り替え可能となっている。また、車両排ガス試験データ処理装置 (VETS) により、各設備の制御やデータ収集の自動化にも対応している。重量車の試験などでエンジン単体が試験対象になる場合には、また別のエンジン試験専用セルが使用される。このような排ガス試験セルは、排ガス認証試験のみならず、車両・エンジンの開発現場でも必要とされている。HORIBAは、40年の排ガス分析計開発の歴史をベースに、MEXA・CVSを中心とする各種の排ガス試験セル設備を広く提供している。

おわりに

本稿では、MEXA-1型からMEXA-7000シリーズにつながる排ガス分析計に焦点を絞って、その歴史を簡単に紹介した。実際には、HORIBAはその他にもさまざまな排ガス計測関連設備を開発してきた。分析計だけを挙げても、中古車の車検場を対象にした小型簡易分析計、開発用途で需要のある規制対象外成分計のラインナップ、実路走行中の排ガスを計測する車載型システム、粒子状物質の排出量をリアルタイムに計測するシステムなど、極めて多岐にわたっている。現在、自動車業界においては、環境意識の高まりを受け、新方式のディーゼル排ガス後処理システムやハイブリッド車など、さらに先進的な技術の開発が進められている。今後、そこから出てくる新たな計測要求に対しても、積極的に計測技術を提供していきたい。



河邨 浩

株式会社堀場製作所
自動車計測システム統括部
統括部長

Feature Article

特集論文

連続固体粒子数測定装置 MEXA-1000SPCS

日下 竹史, 浅野 一郎

MEXA-1000SPCSは、エンジン排ガスに含まれる固体粒子のうち一定の粒径範囲の粒子数をリアルタイムに計測する装置である。システムは国連欧州経済委員会(UN/ECE)傘下の排出ガス/エネルギー部会(GRPE-PMP)が推奨している粒子数計測法に準拠しており、サイクロン、揮発性粒子除去部(一次希釈器・気化器・二次希釈器)、凝縮粒子カウンタ(CPC)などで構成される。揮発性粒子除去部には独自のワイドレンジの連続希釈器を採用し、ガソリンエンジン・ディーゼルエンジン排ガス中の粒子を安定して計測できる。トンネル-CVS (Constant Volume Sampler)で希釈されたガスの計測、およびプレダイリュータと組み合わせた排気管からの直接計測の両方が可能で、規制対応から研究開発用途まで広く応用可能となっている。

はじめに

自動車エンジンから排出される粒子状物質(PM)は、現在“排出重量”で規制されている。ところが最近、欧州を中心に“排出粒子数”も規制が必要という考え方が出てきた。排出粒子を粒子数で見た場合、大多数を占めるのは粒径100 nm以下の超微小粒子である。これら微小粒子は、気管支や肺など人体内に侵入しやすいとされ、健康影響が懸念されている。そのため比較的大型の粒子に左右される排出重量ではなく、排出数で粒子を規制することに関心が集まっている。このような状況を受け、2001年、国連欧州経済委員会(UN/ECE)傘下の排出ガス/エネルギー部会(GRPE: Groupe des Rapporteurs pour Pollution et Energie)のもとPMP (Particle Measurement Program)が組織された。このPMPには日本を含む世界各国が参加し、具体的な粒子数測定方法の提案とその妥当性の評価試験などを進めている。さらに欧州連合(EU)では、2011年に導入することを目標とした暫定の粒子数規制値を既に公表している。

固体粒子数測定装置MEXA-1000SPCSは、PMPが発表した粒子数測定システムの推奨仕様^[1]に基づいて開発された。本稿ではMEXA-1000SPCSの構成と基本性能について述べる^[2]。さらに、各種の後処理装置を装着した車

両からの排出粒子数を測定した例を紹介する^[2, 3]。

MEXA-1000SPCSの概要

PMPの推奨仕様

エンジン排ガス中の微粒子のうち、可溶性有機成分(SOF: Soluble Organic Fraction)やサルフェート(Sulfate)など揮発性成分の凝縮による粒子は、排出された後の希釈条件に発生数が大きく依存するとされている。そのため、PMPではこれらの揮発性粒子をサンプルから除去し、残った固体粒子の数を測定することを推奨している。

図1にPMPが提案している粒子数計測システムの概要を示す。まず、全流希釈トンネルで希釈されたエンジン排ガスの一部を採取し、50%カットオフ粒径が2.5 μmの分級器を通してサンプリング部より発生していると考えられる粗大粒子を除去する。次にサンプルガスを加熱希釈器(PND1: Particle Number Diluter 1)によって希釈する。サルフェートやSOFの揮発性粒子が新たに形成されないよう、PND1の希釈空気は150℃以上に加熱されている。その後段の蒸発管(ET: Evaporation Tube, 300~400℃)では、希釈トンネルにおいて既に形成されていた

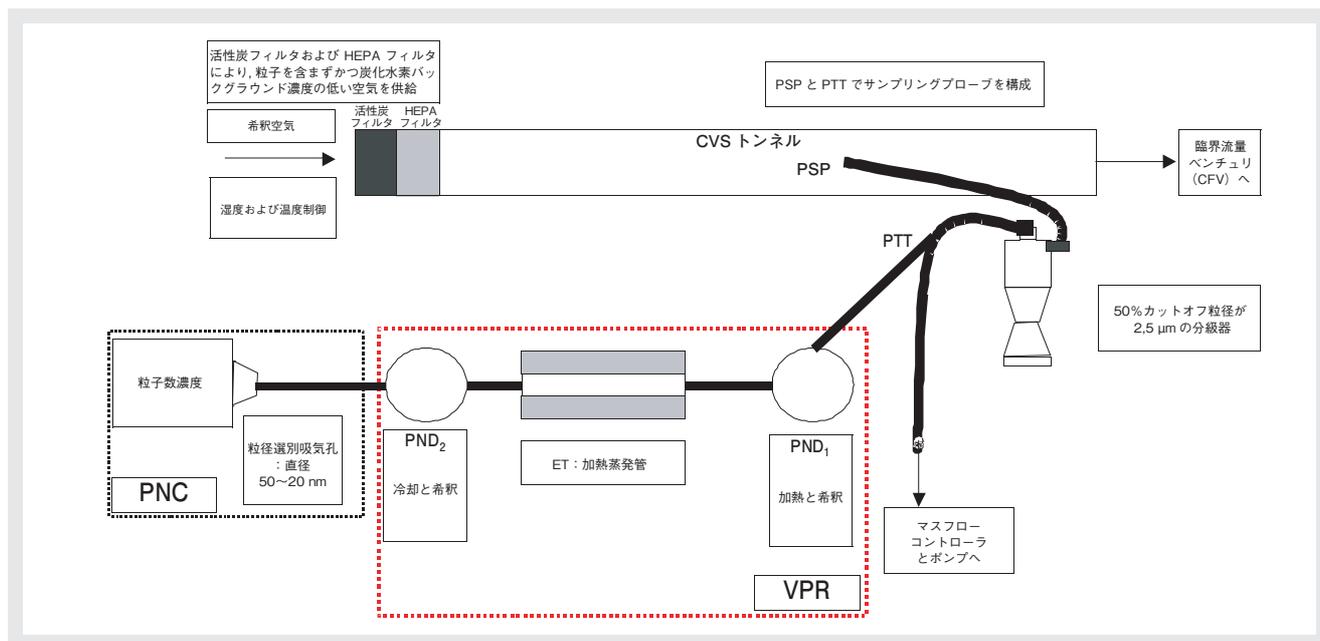


図1 PMPの推奨する粒子数計測システム^[1]
 PSP：粒子サンプリングプローブ(Particulate Sampling Probe)
 PNC：粒子数カウンタ(Particle Number Counter)
 PND1：加熱希釈器(Particle Number Diluter)
 PTT：粒子移送管(Particulate Transfer Tube)
 VPR：揮発性粒子除去部(Volatile Particle Remover)
 PND2：冷却希釈器(Particle Number Diluter)

揮発性粒子が気化する。その後、冷却希釈器(PND2)で再度希釈し、再凝縮による粒子生成と熱泳動による粒子損失を防止する。このPND1～PND2の部分は揮発性粒子除去部(VPR: Volatile Particle Remover)と呼ばれる。検出器となる粒子数カウンタには、検出下限23 nmの凝縮粒子カウンタ(CPC: Condensation Particle Counter)を使用する。検出する粒径の下限が決めているのは、装置による測定のはらつきを抑えるためである。

MEXA-1000SPCSの構成

図2に固体粒子数測定装置MEXA-1000SPCSの外観を、表1に仕様概要を示す。装置構成は図1で説明した

表1 MEXA-1000SPCSの仕様概要

型式	MEXA-1000SPCS
測定項目	固体粒子状物質の粒子数 0 - 10000 ~ 0 - 50000個/cm ³ (装置内希釈後)
装置構成 (標準ユニット)	本体架台: 揮発性粒子除去部(VPR)、 粒子数カウンタ部(PNC)、 電磁弁ユニット、フィルタ・ポンプユニット 制御部: 制御PC・LCD・キーボード・マウス
VPR仕様	分級器: サイクロン: 50%カットオフ粒径25~10 μm、 希釈器(WRCD): PND1: DR 10~700 PND2: DR 10~50 サンプル流量: 10~15 L/min
PNC仕様	検出器: レーザ散乱式凝縮粒子カウンティング(CPC)

WRCD: Wide Range Continuous Diluter
 DR: Dilution Ratio



図2 MEXA-1000SPCSの外観

PMP推奨フローに準じており、VPR: Volatile Particle Remover (PND1, 2およびET), CPCといった主要部品は架台内に納められている。また、装置は専用のコンピュータによって制御され、PMPの提案において要求されている各種チェック機能も備えている。

連続希釈装置

PMPの提案ではPND1は最大500倍まで広範囲に希釈できることが推奨されている。MEXA-1000SPCSでは、広範囲の希釈係数が設定できる連続希釈装置(WRCD: Wide Range Continuous Diluter)を使用している。図3にWRCDの概略を示す。WRCDはMEXA-1000SPCSのために新たに開発されたもので、マスフローコントローラ(MFC)、ピエゾバルブ(PV)、圧力変換器、熱電対、オリフィス流量計、臨界流オリフィスなどで構成される。

WRCDにおける各流量の関係および希釈係数(DF: Dilution Factor)は式(1)、式(2)で表される。

$$Q_s = Q_{total} + Q_{instrument} - Q_{air} - Q_{make-up} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$DF = \frac{Q_{air} + Q_s}{Q_s} = 1 + \frac{Q_{air}}{Q_s} \quad \dots\dots\dots (2)$$

WRCDにおいて希釈空気流量 (Q_{air}) は、MFCによって正確に制御されている。サンプル流量 (Q_s) はオリフィス流量計によって常時監視されている。さらにメイクアップ(補償)流量 ($Q_{make-up}$) は、 Q_s が一定になるようフィードバック制御される。これにより総流量 (Q_{total}) や装置流量 ($Q_{instrument}$) が多少変動しても、一定の希釈係数を維持することができる。

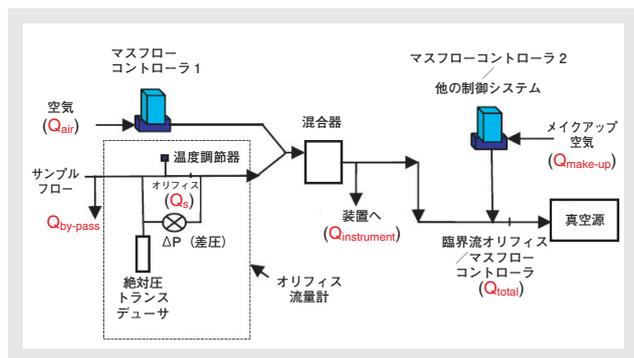


図3 連続希釈装置(WRCD)の概念図

基本性能の評価

粒子通過率

微小粒子は、熱泳動や拡散によって配管の壁面などに沈着し失われる。このため、粒子数測定装置では粒子通過

率が重要なファクタとなる。図4に粒子通過率の評価方法を示す。NaCl溶液をアトマイザで噴霧し、液滴中の水分をドライヤで除去して結晶化したNaClを固体粒子として使用する。

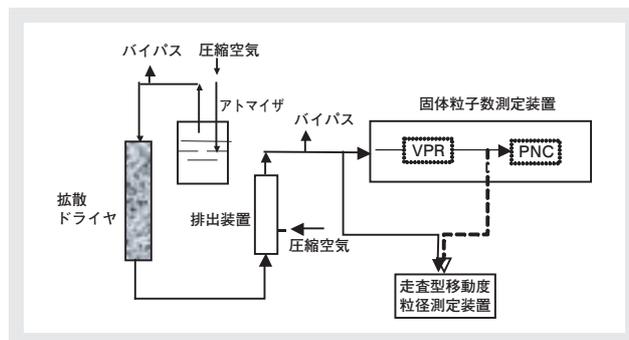


図4 粒子通過率試験のガスフロー

図5に、走査型移動度粒径測定装置 (SMPS: Scanning Mobility Particle Sizer) を用いて装置入口と検出器 (CPC) 入口での粒子径分布を測定した結果を示す。図中、Rawは装置入口における希釈前の粒子径分布、DR500, DR750, DR1000は希釈係数500, 750, 1000の条件におけるCPC入口での粒子径分布である。希釈後の粒子濃度は各々の希釈係数を乗じて補正されている。なお、熱泳動による粒子の損失も含めて通過率を評価するため、装置各部の温度は通常の測定状態と同一設定とした。

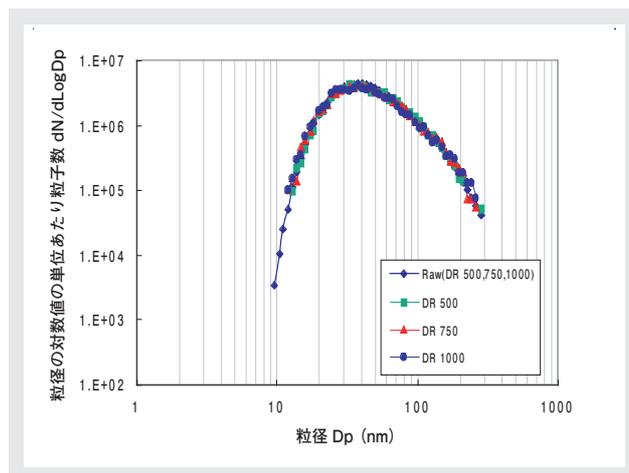


図5 希釈係数と粒子径分布

図6に全粒子径での粒子通過率を示す。希釈係数(DR total)が大きくなるほど粒子通過率が減少するのは、拡散による損失が増えるためである。にもかかわらず、1000倍の希釈係数でも95%以上の通過率を確保できている。

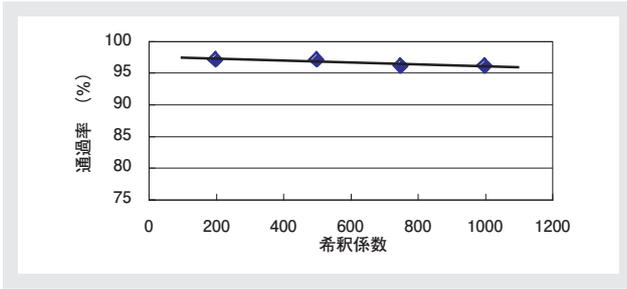


図6 希釈係数と粒子通過率の関係

直線性

MEXA-1000SPCSでは、粒子希釈器を利用した直線性チェックシーケンスが使用可能である。図7にこの機能によりCPCの直線性をチェックした結果を示す。横軸は粒子発生器の粒子を直接測定した濃度を粒子希釈器の希釈係数で除したもので、縦軸はCPCの出力である。

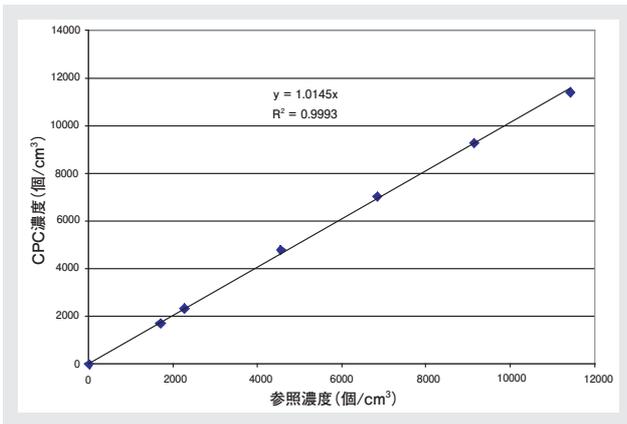


図7 CPCの直線性チェック

揮発性粒子捕集率

MEXA-1000SPCSでは固体粒子だけを測定するため、VPRでSOFやサルフェートから成る揮発性粒子を除去している。PMPでは、VPRの条件として30 nmのC40(炭素40個の炭化水素)粒子での粒子捕集率が99%以上であることを推奨している。図8に揮発性粒子捕集率の試験方法を示す。C40粒子は固体のテトラコンタンを蒸発させ、希釈・冷却することで発生させる。発生させた粒子から、微分型移動度分析装置(DMA : Differential Mobility Analyzer)によって必要な径の粒子を選択する。

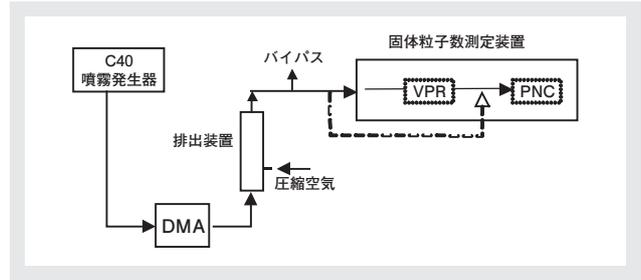


図8 揮発性粒子捕集率の試験

図9に、30, 50, 100 nmのC40粒子を99%以上除去するためのET (加熱蒸発管)の最低温度を調査した結果を示す。粒子数濃度は約104個/cm³、PND2の希釈係数は24.5としている。粒子径が小さいほど最低温度が低いことがわかる。MEXA-1000SPCSのETの設定温度(320℃)では、30, 50, 100 nmのC40粒子に対する粒子捕集率はいずれも99.9%以上であった。

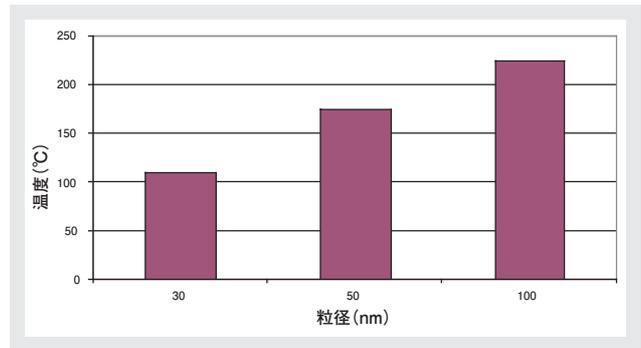


図9 C40粒子除去のための最低温度

希釈係数の精度

図10に、希釈係数の設定値とガス分析計で求めた値との差(%)を示す。試験では、ガス分析計として直線性のよい水素炎イオン化検出(FID)方式のTHC計、試験ガスとしてプロパンを用いた。この場合、高希釈時には希釈後のプロパンガス濃度が大気レベルに近づくためバックグラウンド補正が必要となる。この場合の希釈係数(DF)の計算式を次の式(3)に示す。

$$DF = \frac{C_{in} - C_{air}}{C_{out} - C_{air}} \dots (3)$$

C_{in} は装置入口でのガス濃度、 C_{out} はPND2の出口でのガス濃度、 C_{air} は希釈空気バックグラウンド濃度である。図10より、200~1000という広範囲の希釈係数において誤差は2%以内であったことがわかる。なお、PMPの推奨仕様における誤差許容範囲は±10%となっている。

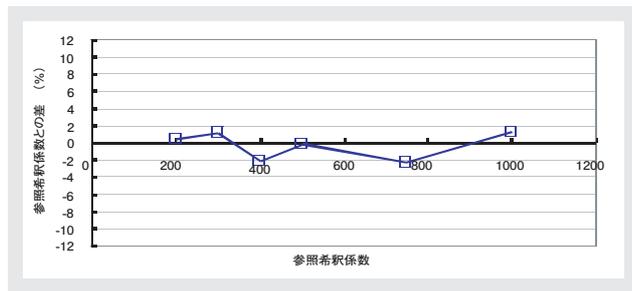


図10 プロパンガスによる希釈係数の精度確認

PMPのシステムとの比較

PMPでは、DPF(Diesel Particulate Filter, ディーゼルエンジンの排気ガスに含まれる粒子状物質を軽減させるフィルタ)装着のディーゼル乗用車をGolden Vehicle (GV), 推奨仕様に近い粒子数測定システムをGolden Particle Measurement System (GPMS) と名付け、これらを持ちまわって世界各国のラボの相関を調べるといふインターラボ試験 (ILCE: Inter-Laboratory Correlation Exercise) を行った。そのうち、交通安全環境研究所で行われたILCEにMEXA-1000SPCSも粒子数測定システムとして参加し、GPMSと並行して試験を行った^[2]。表2に試験に用いられた車両の概要を示す。

表2 試験車両の諸元

車両名	排気量	エンジンタイプ	後処理システム
GV	2.0 L	コモンレール直噴ディーゼル (ターボチャージャー付き)	SiC DPF
JV-1	3.0 L	直噴式ガソリン	三元触媒+ de NOx 触媒
JV-2	2.0 L	コモンレール直噴ディーゼル (ターボチャージャー付き)	DPF + 酸化触媒

図11にMEXA-1000SPCSによる測定結果を示す。上段はNEDC(New European Driving Cycle)サイクル試験時の固体粒子の瞬時排出濃度, 下段はそのうちコールドスタートから400秒までの拡大図である。7回の測定結果が同じ線上でほぼ重なり、再現性に優れていることがわかる。なおDPF装着車両では、DPFの再生直後は粒子の排出量が増加するため、再生の直後は2回以上のダミー運転を行った後に試験を実施した。

図12に試験車両の粒子排出量をGPMSとMEXA-1000SPCSで測定した結果を示す。両システムともほぼ同じ測定結果が得られている。なお従来の重量法で測定したPM排出量は、GVの場合で約0.37 mg/kmである。

図13に、繰り返し試験の再現性を変動係数として示す。MEXA-1000SPCSの再現性は、全体的にGPMSを上回っていることがわかる。なおJV-2の測定結果の再現性が他と比較して悪いのは、DPFの再生処理頻度が高いことが影響していると考えられる。

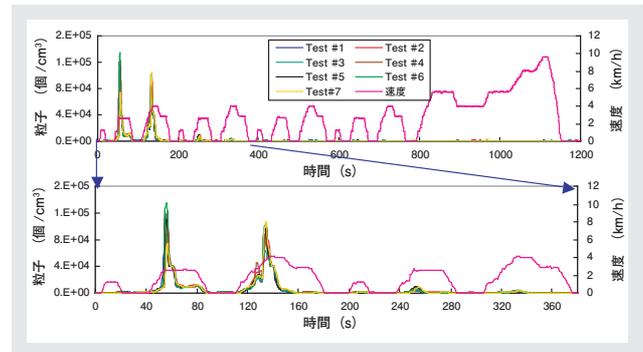


図11 GVからの固体粒子排出数

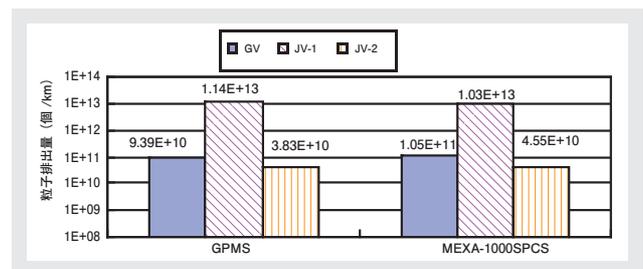


図12 車両による固体粒子排出数の違い

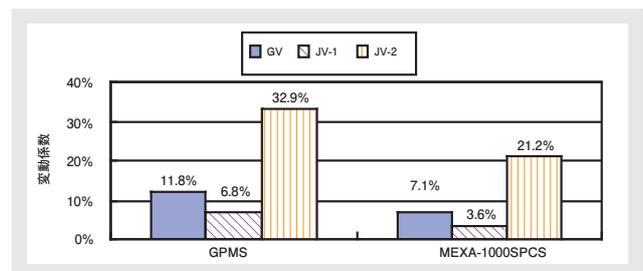


図13 粒子数計測システムの再現性(GPMS・SPCS)

各種車両からの固体粒子排出挙動

次に、MEXA-1000SPCSを用いて各種の後処理装置を装着した車両から排出される固体粒子の挙動を調査した結果を紹介する^[3]。

表3に供試車両の諸元の概略を示す。試験対象は、DPF非装着DI(Direct Ignition)ディーゼル車 (Non-DPF), DPF装着DIディーゼル車 (DDPF-1~DDPF-3), DIガソリン車 (DIG) である。試験は数箇所の試験施設にて実

表3 試験車両の諸元

項目	車 両				
	Non-DPF	DDPF-1	DDPF-2	DDPF-3	DIG
エンジン	DI Diesel	DI Diesel	DI Diesel	DI Diesel	DI Gasoline
燃料噴射システム	Common Rail	Common Rail	Common Rail	Common Rail	DI-EFI
排気量 (L)	2.2	2.0	2.2	2.0	3.0
最高出力 (kW/rpm)	105/4000	不明	105/4000	86/3500	188/6200
最高トルク (N-m/rpm)	340/2000	不明	340/2000	178/2000	314/3600
トランスミッション	6-Manual	6-Manual	6-Manual	5-Manual	Automatic
車重 (kg)	1637	1590	1637	1430	1855
燃費 (km/L)	14.5	不明	14.5	15.4	11.8
後処理	不明	DPF (SiC)+ FBC	DPF + DOC	DPF + DOC	TWC + NRC
空気吸入の方式	TCIC	TCIC	TCIC	TCIC	自然吸気
エミッションレベル	不明	EURO-IV	EURO-IV	JP (2000)	JP (2000)

Common Rail: 高圧に圧縮した燃料をコモンレールと呼ばれるパイプに蓄積して、燃料噴射のタイミングを最適化したシステム
 EFI: 電子制御燃料噴射(Electronic Fuel Injection)
 FBC: 燃料添加触媒(Fuel Borne Catalyst)
 DOC: ディーゼル用酸化触媒(Diesel Oxidation Catalyst)
 TWC: 三元触媒(Three way catalyst)
 NRC: NOx低減触媒(NOx Reduction Catalyst)
 TCIC: ターボチャージャーインタークーラ(Turbo Charger Inter Cooler)
 EURO-IV, JP(2000) 欧州および日本の、排ガス規制の年度基準

施したため、プレコンディショニングを十分に実施した。また、コールドスタート試験の際はその前に5時間以上ソーク(エンジン停止)した。排ガスは全流希釈トンネルを用いて希釈した。

DPF装着の有無による比較

図14にDPF非装着DIディーゼル車(Non-DPF)とDPF装着DIディーゼル車(DDPF-2)との比較を示す。

試験では同じ設備・希釈条件を用いNEDC(ホットスタート)を運転した。

図14(a)は、Non-DPFから排出されたリアルタイムの固体粒子数濃度(希釈後)である。加速時に粒子数のピークがみられる。特に高速になるEUDC (European Union Driving Cycle)部分(後半800秒以降)では、瞬時値として約 3.0×10^8 個/cm³という粒子数濃度が得られている。

図14(b)は、DDPF-2での粒子数濃度(希釈後)である。ほぼ全区間にわたり 1.0×10^4 個/cm³以下と、排出粒子数は全体的に非常に少ない。明らかな排出ピークがみられるのは、最初の200秒間および高速運転の1100秒付近のみである。

図14(c)に、ある時点までの累積排出粒子数と全排出粒子数との比(累積粒子排出率)を示した。DDPF-2では累積粒子排出率は直線的に増加しており、排出粒子数が試験サイクル全体にわたってほぼ一定であったことがわかる。このような挙動は、テールパイプ内の断続的な圧力変

動により、ごくわずかな量の粒子がDPFを通り抜けている⁴⁾ことを示すと考えられる。一方Non-DPFの累積粒子排出率は、ECE^{*1}部分(0~800秒)ではDDPF-2の約1/2で推移し、EUDC後半の高速加速部分で急増する。このようにNon-DPFでは、エンジン運転条件が累積粒子排出率に直接的に関係しており、高負荷・高速条件で多数の粒子が排出されることがわかる。

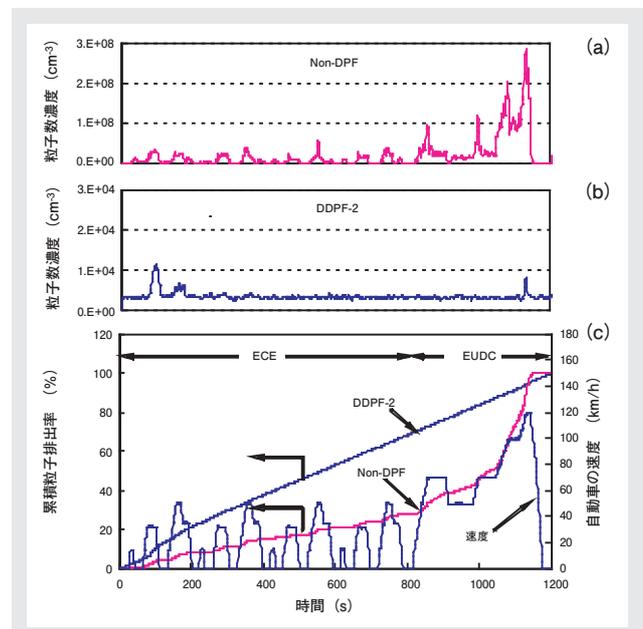


図14 DPFの有無による固体粒子排出数の比較

*1: 欧州経済委員会の略語であるが、ここではドライブサイクルのあるパターンをいう。

DPFのタイプによる比較

図15にDPF装着DIディーゼル車（DDPF-1～DDPF-3）の固体粒子排出特性の比較を示す。NEDC（コールドスタート）の全サイクル運転のうち顕著な差のみられる前半600秒のみを図示した。なお、これらの試験はそれぞれ異なる試験施設で実施した。

図15(a)～(c)は各車両の瞬時固体粒子排出数である。DDPF-1の最初の200秒間に固体粒子排出が集中する傾向がある。一方DDPF-2およびDDPF-3では、最初の200秒間の排出数はDDPF-1より少ないものの、それ以降もある程度の排出が続く。その結果、試験サイクル全体での排出粒子数は各車両ほぼ同等であった。図15(d)に各車両の累積粒子排出率を示す。DDPF-1では最初の200秒までに全排出粒子数の約80%を排出している。これに対しDDPF-2およびDDPF-3では、200秒までの寄与は30～50%と明らかな差がみられる。

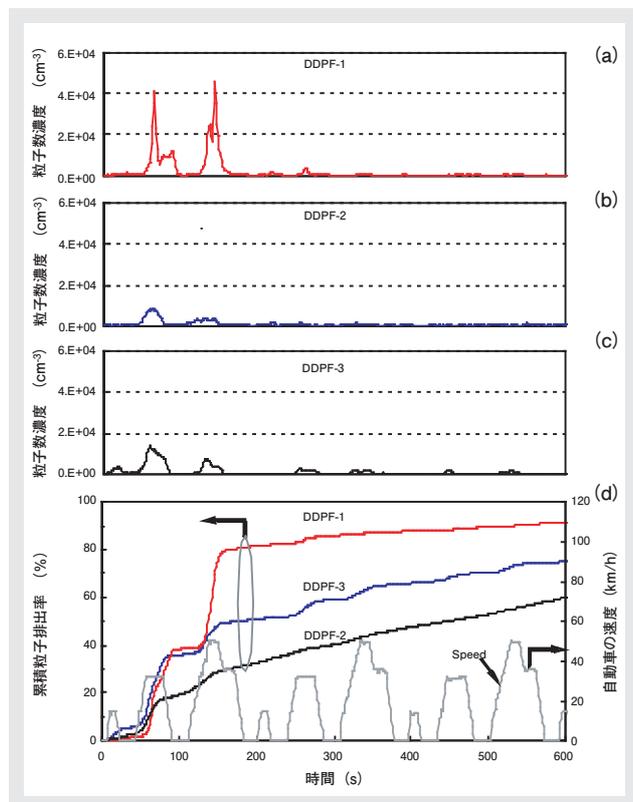


図15 DPF装着車同士の比較

DPF再生の影響調査

試験中にDPFの再生機構を作動させDPF再生中およびその後の粒子排出挙動を連続評価した。供試車両はDDPF-2で、NEDCをホットスタートで運転した。DPF再生の前にまず1回試験を行い、続いて2回目のEUDC部分で強制的に再生を開始させ、その後さらに連続4回の試験を行った。

図16にリアルタイムの粒子排出パターンを示す。図16(a)は、EUDC部分でDPF再生を開始させたときの粒子排出挙動で、DPF再生中に非常に多くの粒子が排出されることがわかる。図16(b)はDPF再生直後の結果である。再生後1回目の試験では、通常のDPFを装着した場合よりおよそ2桁高いレベルの粒子排出が観察された。図16(c)には再生後2回目の試験および再生前の試験を示す。再生後2回目では粒子数はかなり減少しているが、再生前のレベルまでは戻りきっていないことがわかる。

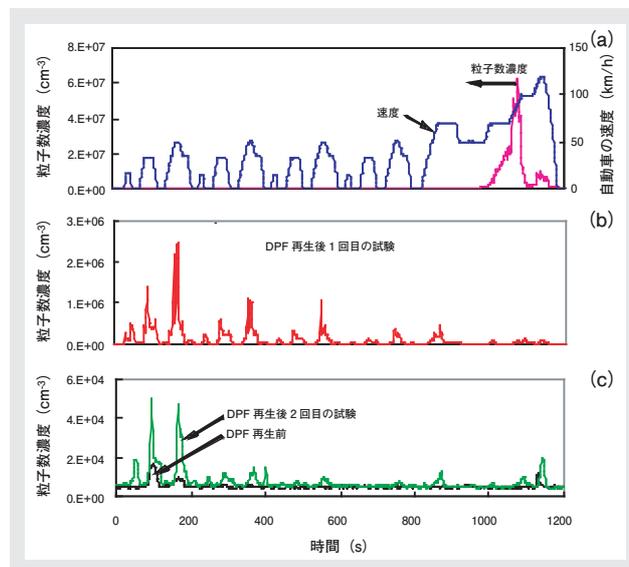


図16 DPF再生前後の排出粒子数の違い

図17に、同じ試験における全試験サイクルでの平均粒子数濃度とDPFの推定捕集率を示す。DPFの捕集率は、Non-DPFの排出粒子数(実測値)とDDPF-2のDPF入口での粒子数とが等しいと仮定して算出した。平均粒子数濃度はDPF再生により約200倍に増加するが、試験を繰り返すことにより急激に減少する。4回目の試験では、平均粒子数濃度、捕集率とも元のレベルに戻っている。このような挙動を示す理由として次のことが考えられる。DPFでは一般に、壁面の細孔に粒子状物質がまず堆積し

た後、移行段階を経由して粒子状物質が層状に堆積した“ストケーキ”を細孔の上に形成するとされる^[5]。DPFでのPM捕集にはこのPM層の有無が大きく影響するため、DPF再生によりこれが浄化されると捕集効率が悪化するものと推測できる。



図17 DPF再生後の平均粒子数濃度と推定捕集率

直接噴射式ガソリン車の評価

図18にDPF装着DIディーゼル車 (DDPF-1) とDIガソリン車 (DIG) との粒子排出挙動の比較を示す。試験は同じ設備を用いてNEDC (コールドスタート) を運転した。図18(a)に示すDDPF-1の排出粒子数濃度は、試験サイクルの初めは非常に高くその後急激に低下する。一方、図18(b)のDIGの粒子数濃度は試験サイクル全般で一貫して高い。図18(c)には両車両の累積粒子排出率を示した。DDPF-1が試験サイクルの最初の200秒間で全体の約80%を排出してしまうのに対し、DIGでは直線に近い排出率カーブを示しコンスタントに排出が続く。このように、粒子排出特性を改善する場合、DDPF-1では最初の200秒間に対処するだけで大きな効果があるが、DIGでは試験サイクル全体を考慮する必要があることがわかる。

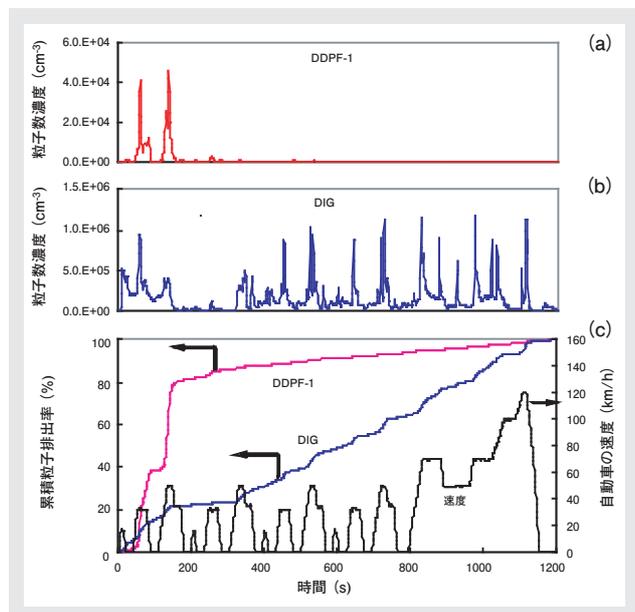


図18 DPF装着ディーゼル車とDIガソリン車の比較

全供試車両の比較

図19に、使用した全車両のkm当たりの排出粒子数を示す。DDPF-1~DDPF-3の排出粒子数は10¹¹ 個/km 未満でほぼ同レベルであった。一方、使用したDIGではそれより2桁高い排出数となっている。Non-DPFではさらに多くの粒子が排出されている。

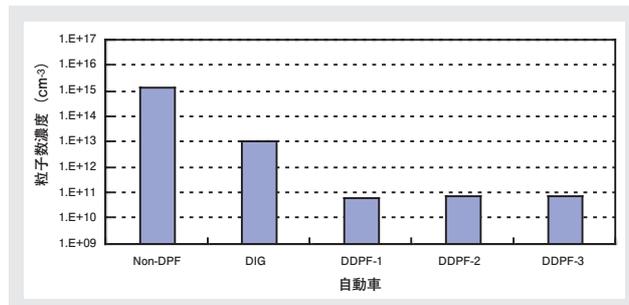


図19 全車両のkm当たりの排出粒子数

まとめ

固体粒子数測定装置MEXA-1000SPCSは、従来のフィルタ重量法によるPM計測とはまったくコンセプトの異なる装置である。サイクロン、VPR (PND1, ET, PND2)、CPCといった基本構成がGRPE-PMPの推奨仕様に準じているのはもちろん、性能面についてもPMPの要求を十分満たしている。これより、近い将来導入が予想される粒子数規制対応に対して非常に有効なツールとなると期待される。またMEXA-1000SPCSは、本来の使用法であるCVSトンネル接続による希釈サンプルに加え、専用プレダイリュータとの組み合わせによる直接測定も可能である。エンジンおよび後処理装置の研究開発分野における低濃度粒子計測にMEXA-1000SPCSが貢献できれば幸いである。

参考文献

- [1] ECE/TRANS/WP.29/2008/62
- [2] 浅野一朗他, エンジン排出固体粒子数測定システムの開発, 自動車技術会論文集, Vol.30, No.3, 43-48 (2007).
- [3] 浅野一朗他, 固体粒子数測定システムによるスート粒子排出挙動の調査, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.155-07, 13-16 (2007).
- [4] Johnson, J. H. et al., A Review of Diesel Particulate Control Technology and Emissions Effects - 1992 Horning Memorial Award Lecture, SAE Technical Paper 940233 (1994).
- [5] Konstandopoulos, A.G et. Al., Wall-Flow Diesel Particulate Filters-Their Pressure Drop and Collection Efficiency, SAE Technical Paper 890405 (1989).



日下 竹史

Takeshi Kusaka

株式会社堀場製作所
自動車計測システム統括部
自動車計測開発部
チームリーダー



浅野 一郎

Ichiro Asano

株式会社堀場製作所
自動車計測システム統括部

Feature Article

特集論文

気化・酸化還元法PM分析装置MEXA-1370PM —PM成分分離性能の改良—

篠原 政良, 吉村 友志

自動車エンジンから排出される粒子状物質は、現在、フィルタ重量法と呼ばれる測定方法で規制されている。フィルタ重量法では、希釈排ガスをフィルタに導き捕集された粒子状物質(PM)質量を精密天秤で秤量する。しかしこの方法は手間がかかるうえに、最近ではPM排出量が減少しているため、更なる精度向上が望まれている。そこで著者らはフィルタに捕集したPMを、気化および熱分解と酸化還元反応によりガス化して、可溶性有機成分(SOF)・すす(Soot)・サルフェート(Sulfate)および全PM(Total PM)として測定するMEXA-1370PMを開発した。MEXA-1370PMは捕集されたPM質量を簡便に計測でき、天秤によるPM秤量結果との相関も良い。一方、SOFとSootとの分離性能としてみた場合、PM捕集量0.5 mg以下ではSOFとSootの検出比率のばらつきが大きくなるケースがあった。この主要因となっているSOF測定中のO₂混ざり込みを抑制するように装置構成や条件の改良を実施した結果、0.2 mgまでのSOFとSootを精度よく分離できることが確認できた。

はじめに

近年、エンジン排ガスの後処理を目的として、ディーゼルパーティキュレートフィルタ(DPF)をはじめとする新技術の開発・改良が進められている。これにより、自動車からの粒子状物質(PM)排出量は非常に少なくなってきている。従来、エンジン排ガス中のPMは精密天秤を用いた重量法^[1]によって測定されてきた。ただし重量法では微量PMの計測が難しい上に、測定に多くの手間と時間を必要とする。加えて、SOF・Sootの成分分離計測を行う場合、ソックスレー抽出^[1]という作業がさらに必要であるという煩雑さがあった。この代替法としてHORIBAでは、気化・熱分解/酸化還元方式(以下、気化方式)を用いたPM分析装置MEXA-1370PMを2001年より販売している^{[2][4]}。MEXA-1370PMは、PMの成分分離計測が容易かつ迅速に行えるのが特長である。

著者らは今回、このMEXA-1370PMにおける成分分離精度をさらに向上させ、より低濃度のPM計測に適用可能とすることを目的に、装置構成や測定条件の改良を実施した。本稿では、改良にあたって検討したポイント、およ

び改良後の分離精度と従来法との相関試験結果について紹介する。

*1: 固体の試料を入れた容器の上部に冷却管を連結し、最下部のフラスコに溶媒を入れて加熱することで、溶媒の蒸気が冷却管で液体となり固体試料の上に落ちて、固体中の不揮発物質を溶媒で効率よく抽出する。

MEXA-1370PMの概要

MEXA-1370PMの外観と仕様

図1にMEXA-1370PMの装置外観を示す。また、表1に装置の概略仕様を示す。



図1 MEXA-1370PM

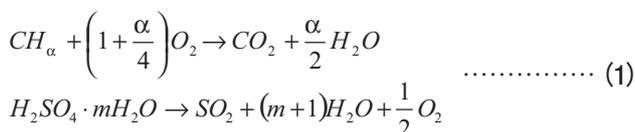
表1 MEXA-1370PMの概略仕様

型式	MEXA-1370PM
測定対象	内燃機関から発生する粒子状物質(フィルタ捕集後)
測定原理	酸化・酸化還元法(ガス検出器: 赤外線吸収法)
測定成分	SOF 可溶性有機成分 (Soluble Organic Fraction) Soot すず Sulfate サルフェート (硫化物) Total PM 全PM (SOF+ soot+ sulfate)
分析時間	240秒 (1サンプルあたり)
PM捕集フィルタ	専用石英フィルタ
表示	CRT上に表示(分析結果, グラフィック)
出力	ファイル保存, 検出器出力のアナログ出力(0-1V), プリンタ出力可(分析結果, 設定値)

測定原理

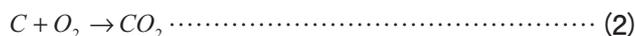
図2にMEXA-1370PMによるPM計測の概要を示す。分析サンプルとなるPMは重量法と同様、ダイリュージョントンネルを用いてフィルタに捕集する¹⁾。ただしフィルタには、高温でも変化をおこさない石英フィルタを使用する。

分析の際はまず、PMを捕集したフィルタを980℃の炉に挿入し、キャリアガスとして窒素(N₂)を導入する。PM中のSOFおよびSulfateは、このN₂雰囲気下で酸化または熱分解される。酸化したSOFは、炉の下流側で供給される酸素(O₂)により酸化され二酸化炭素(CO₂)となる。また、Sulfateは高温環境下のもとで二酸化硫黄(SO₂)に還元される。生成されたCO₂およびSO₂の濃度は、下流に配置した非分散赤外吸収(NDIR)ガス検出器で測定する。この段階の炉内の反応は次の式(1)で表される。



α : 炭素に対する水素の比率
 m : PM中の硫酸に対する結合水の比率

次にSOFの酸化が完了した後、炉に導入するキャリアガスをO₂に変更する。フィルタ上に残っていたSootはこの段階で酸化されてCO₂となる。このCO₂濃度も同様に下流のNDIR検出器にて測定する。Sootの反応は式(2)のように表される。



サンプルPM中に含まれていたSOF, Soot, Sulfateの質量は、対応するガス濃度ピークの面積から算出される。

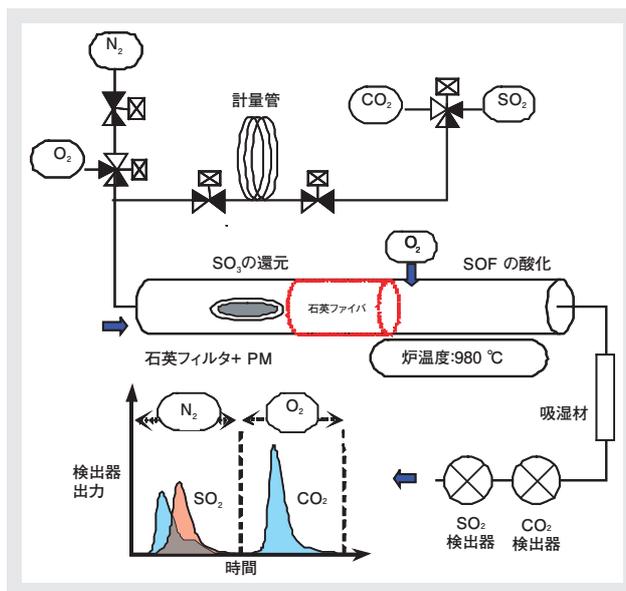


図2 MEXA-1370PMの測定原理

装置の改良

従来のSOF/Soot分離性能

図3に、従来のMEXA-1370PMによるCO₂濃度ピークの典型的なチャート例を示す。図中、90秒付近のものがSOF由来、350秒付近のものがSoot由来のCO₂である。SOFとSootの分離精度を確保するには、この2つのピークが完全に分離していることが望ましい。ところがこのチャートを拡大すると、SOFピーク出現後のベースラインが完全にはゼロに戻らずテーリングしていることがわかる。本装置では、このテーリング部分はSOFとみなしている。しかしSOFの化学的物性からは、このように長時間にわたるテーリングは考えにくく、フィルタ上に残っているべきSootの一部がCO₂に変換されている可能性がある。例えば、200~300秒部分のテーリング部の面積から計算したSOF量は約0.012 mgに相当する。これが仮にSoot由来であった場合、本来よりもSOF比率の大きい測定結果が得られてしまうことになる。実際にこのような現象が原因となり、従来のMEXA-1370PMの成分分離性能の下限は0.5 mg程度となっていた。

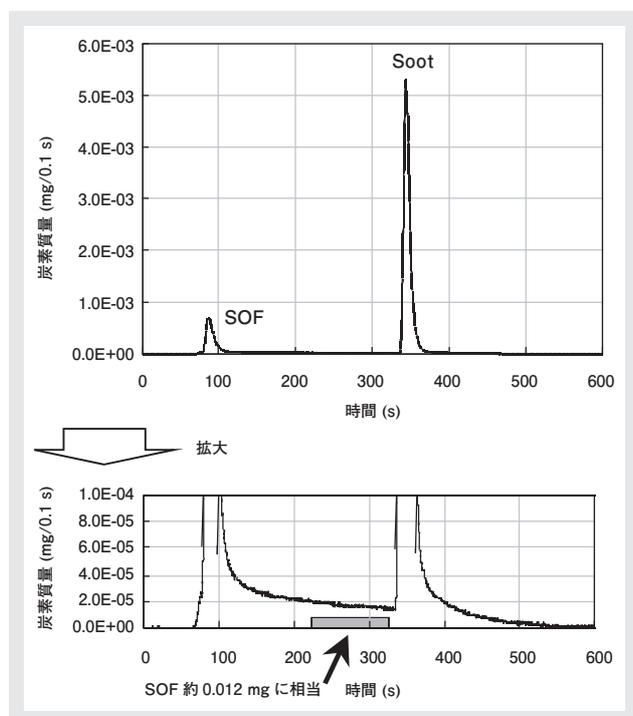


図3 CO₂濃度ピークのテーリング

改良点

前述のようなテーリングの主要因となるのは、SOF測定中に何らかの理由で燃焼炉内に侵入してくるO₂である。すなわち、キャリアN₂中に混入したO₂によって、SOF測定段階でフィルタ上のSootが燃焼する“先燃え現象”が起きている可能性が高い。そこで、O₂混入の原因となる次の3点について装置の改良を実施した。

- ・下流側からの拡散によるO₂混ざり込み
- ・フィルタ挿入時の大気への侵入
- ・キャリアガス切り替え時の配管内残留O₂

O₂の拡散

従来の測定シーケンスでは、測定開始時点から60秒間、キャリアN₂の導入を停止していた。これは後段の燃焼管をSOF酸化用のO₂で充分置換するためである。ただしこの時間が長すぎると、後段で添加しているO₂が前段のサンプルフィルタ部分まで拡散してくる可能性がある。そこで、この拡散時間の最適化を実施した。

図4に、模擬サンプル(カーボングラファイト)を用いた場合の拡散時間とSOF計測結果を示す。カーボングラファイトからは理論上、SOFは検出されないはずである。しかし標準の拡散時間である60秒では、60 μg以上のSOFが検出されている。さらに検出されるSOF量は拡散時間が短いほど小さくなり、20秒付近ではほぼゼロになる。これより、従来の拡散時間では確かに先燃え現象が起きていることがわかる。この結果に基づき、拡散時間を60秒から20秒に変更した。

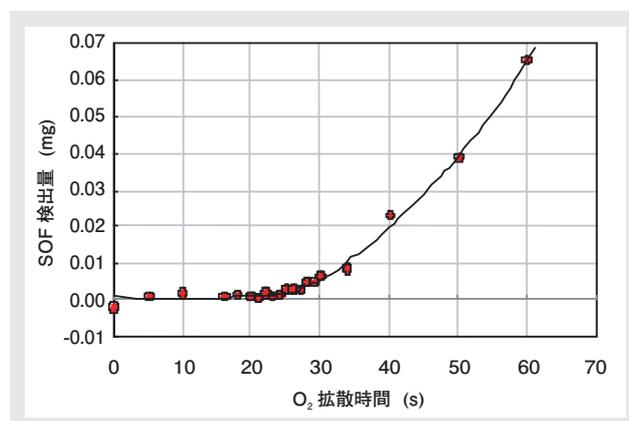


図4 拡散時間とSOF計測結果への影響

大気の混入

図5に装置のサンプル挿入口の断面図を示す。図中の右側が装置前面で左側が電気炉の中心部である。装置の外部(図中右側)と内部(図中左側)はシャッター(青色部分)で区切られる。シャッターは開閉時には上下に動く。図5(a)はシャッターが開いている時、図5(b)はシャッターが閉まっている時の状態である。また、図中の赤色部分は燃焼管を密閉するための押さえ板で、シャッターが開いている時には右側へ、閉まっている時は左側へ移動する。図5に示すように、シャッターが開いている時、押さえ板の左側には空間がありここに大気が存在している。その状態でシャッターを閉めると、押さえ板によりこの分の大気が燃焼管内に押し込まれてしまう。この大気中のO₂も、SOFとSootの測定成分比率の誤差要因となりうる。

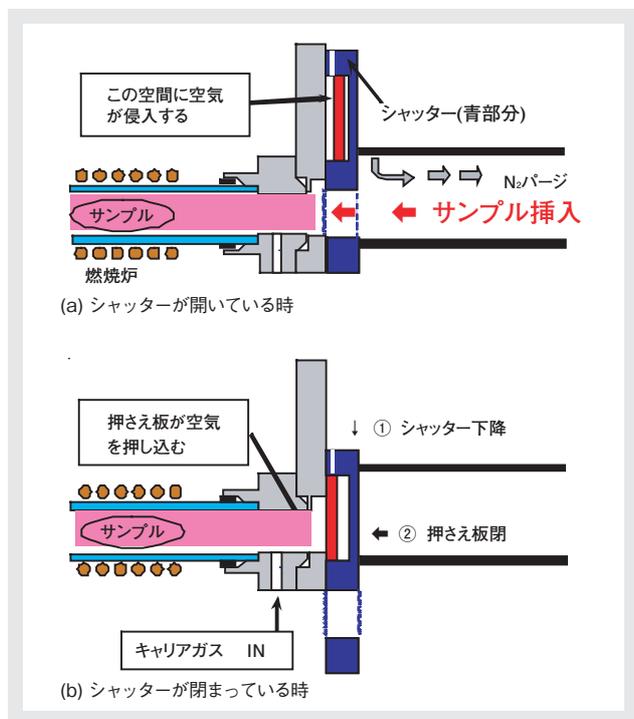


図5 サンプル挿入口の断面図

この問題に対する対策として、押さえ板の空間部分にN₂を2 L/minで導入するラインを追加した。図6に、この対策の有無によるSOF測定結果の比較を示す。試料にはカーボングラファイトを使用した。N₂導入がない場合、シャッターを開けている時間を1, 2, 5分と増加させていくにつれ、誤ってSOFとして検出されるカーボングラファイト量も増加する。5分間シャッターを開けていた場合、検出されるSOF量は10.9 μgであった。一方、対策後は同じように5分間シャッターを開けていても、SOFは全く検出されていない。実際の測定時においてサンプル挿入にか

かる時間は1分以内であり、この対策にはSootの先燃え現象を抑える効果があることが確認できた。

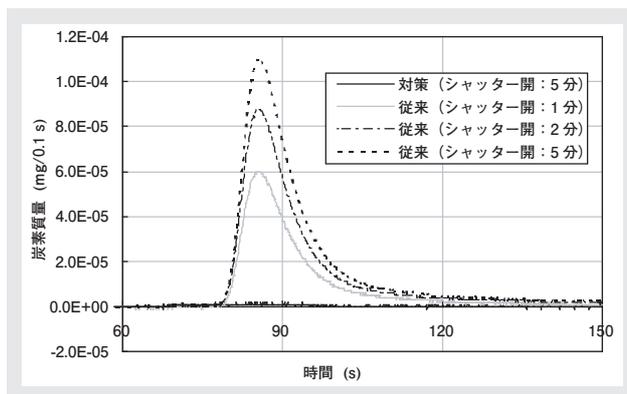


図6 大気混入対策の効果(カーボングラファイト分析時のSOFピーク)

配管内の残存O₂

装置の内部にはN₂キャリアガスとO₂キャリアガスで共通の配管を使っている部分がある。前回の測定後半に流したキャリアO₂の一部が配管内壁に吸着する、あるいは分岐部などのデッドボリューム部に残留していると、次の測定時のキャリアN₂にO₂が混入する可能性がある。このような残存O₂もSootの先燃え現象に影響すると考えられる。

この対策として、上述のキャリアガスラインをそれぞれ独立したラインに分割した。図7に対策前後の濃度ピーク波形の比較を示す。サンプルとしてはほぼ同量の標準資料(SRM1650)を用いた。図より、対策によってSOFピークのテーリングがほとんど見られなくなっていることがわかる。

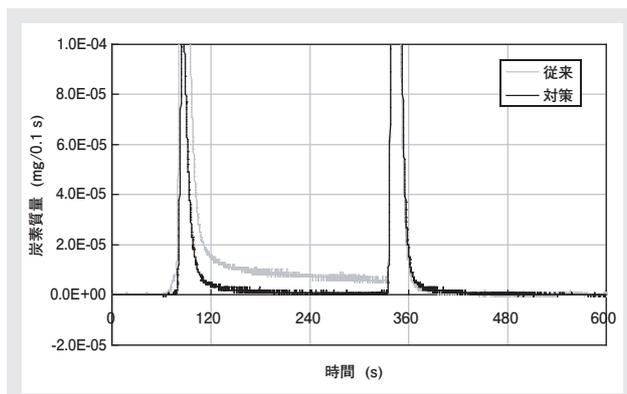


図7 キャリアガスライン分離の効果

改良後の評価

次に改良の効果を確認した結果を示す。

PM成分分離の確認

図8にサンプル量を変化させながらSOF・Soot・Sulfateの成分比率を分析した結果を示す。使用したサンプルはSRM1650である。図8(a)は従来の装置構成による結果で、全体的にばらつきが大きく、特に0.5 mg以下の領域ではSOF・Sootの成分比率が大きくSOF側に片寄ることがわかる。これは、サンプル量が少ない場合、Sootの先燃え現象の影響をより大きく受けていることを示している。一方、改良後の装置による図8(b)の結果では、0.2 mgまでは安定した成分比率が得られ、SOF・Sootの分離性能が向上していることがわかる。

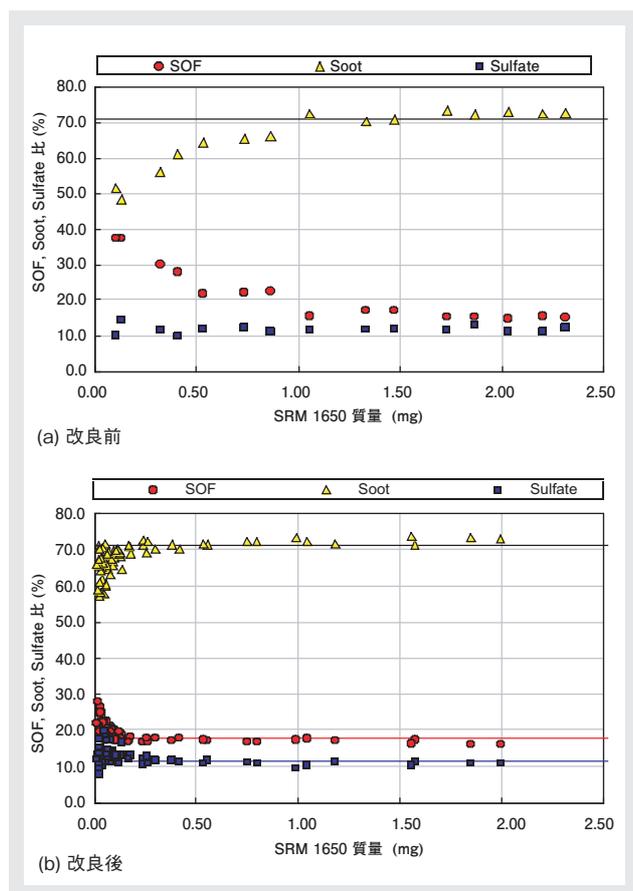


図8 標準PM(SRM1650)による改良効果確認

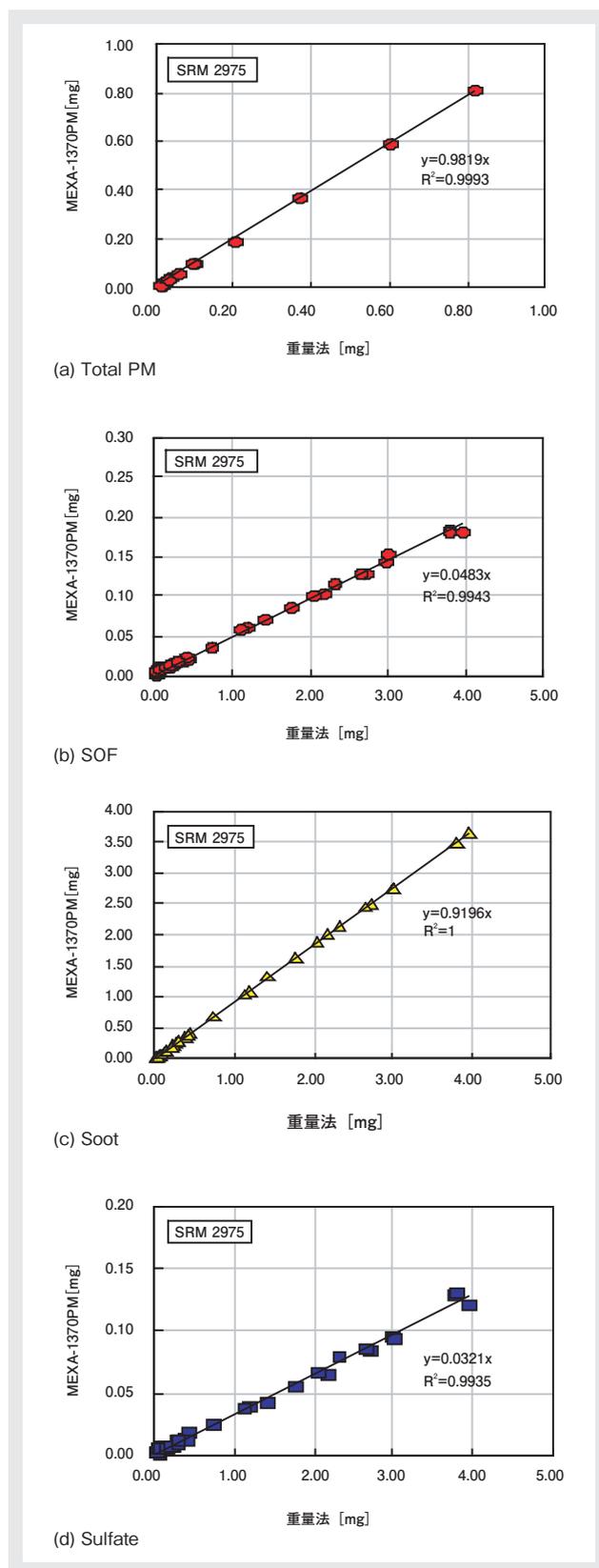


図9 重量法との比較

重量法との相関確認

図9に、改良後の装置について精密天秤との相関および成分比率の直線性を評価した結果を示す。試験では、サンプル(SRM2975)を精密天秤で秤量し、本装置にて分析を実施した。図9(a)にTotal PMでみた精密天秤との比較を示す。このように相関は良好で、 R^2 も良い値を示した。図9(b), (c), (d)は、本装置で得られたSOF・Soot・Sulfateの重量を天秤によるTotal PM量に対してプロットしたものである。それぞれ直線性は良好で、 R^2 の値はいずれも0.99以上であった。

まとめ

本稿ではMEXA-1370PMにおける成分分離精度を向上させることを目的に、SOF測定中にSootの一部がCO₂になる“先燃え現象”を抑制するための改良について紹介した。主な改良点を次に示す。

- ・測定開始時のO₂の拡散時間を従来の60秒から20秒に短縮
- ・開閉時の大気混入を防止するため、シャッター部に2 L/minのN₂によるパージを追加
- ・配管内の残存O₂対策として、N₂とO₂のキャリアガスラインをそれぞれ独立したラインに分割

これらの対策の組み合わせにより、PMの成分分離精度を0.2 mgまで向上させることができた。近年、エンジン機関や後処理システムの進歩によって排出されるPMはさらに低濃度となってきている。MEXA-1370PMがこのような低濃度PMの分析を通じて、PM排出削減の取り組みに貢献できることを期待したい。

参考文献

- [1] U.S. Federal Register: 40CFR part 86, 110-90 *Exhaust Gas Sampling System for Diesel Vehicle.*
- [2] Steven H. Cadle, Peter J. Groblicki, David P. Stroup: Automated carbon analyzer for particulate samples., *Anal. Chem.*, 52 (13), 2001-2206 (1980).
- [3] 福島宏和, 内原博, 浅野一朗, 足立正之, 中村成男, 池田昌彦, 石田耕三, ガス分析を用いた微量粒子状物質の測定, *自動車技術会論文集*, 33, 57-61, (2001).
- [4] Michael Akard, Karl Oestergaard, Richard E. Chase, Jowl F. O. Richert, Hirokazu Fukushima, Masayuki Adachi, Comparison of an Alternative Particulate Mass Measurement with Advanced Microbalance Analysis, *SAE paper*, 2004-01-0589.



篠原 政良

Masayoshi Shinohara

株式会社堀場製作所
自動車計測システム統括部
自動車計測開発部
ジョブリーダー



吉村 友志

Tomoshi Yoshimura

株式会社堀場製作所
自動車計測システム統括部
Integrated System Project

Feature Article

特集論文

自動車排ガス硫黄成分測定装置 MEXA-1170SX

村上 慎一

MEXA-1170SXはエンジン排ガス中の硫黄化合物の連続測定装置である。二酸化硫黄(SO₂)と全還元性硫黄化合物(TRS, 例えば硫化水素(H₂S))との分離計測およびPM中の三酸化硫黄(SO₃)も含めた全硫黄化合物(TS)としての計測の両方が可能で、触媒のS被毒の評価やSストレスによるオイル消費計測に応用できる。測定原理としては高感度・高速応答を特長とする紫外蛍光(UVF)法が採用されている。UVF法によるSO₂計は主にNO干渉の問題により、これまでエンジン排ガス計測には利用されてこなかった。MEXA-1170SXでは、オゾン添加という独自の発想によってこの問題を解決している。

はじめに

排ガス中の硫黄化合物は、粒子状物質(PM)の周囲に付着するなどして呼吸器系に入り、健康に悪影響を与えることが懸念されている。また、PM低減用の酸化触媒や窒素酸化物(NO_x)の吸蔵触媒を被毒・劣化させることが知られている。PM・NO_xの低減などを目的にさまざまな触媒の研究・開発が進められている中、排ガス中の硫黄成分の測定はますます重要になっている。

また別の断面からの硫黄計測の要求として、エンジンにおけるオイル消費量計測に関するものがある。オイル消費を測定する方法としては、現在、エンジンの動作前後のオイル重量の差から消費量を直接測定する重量法が一般的である。この方法はエンジンを定常運転させる条件での測定には適しているものの、運転中の状態変化に応じたオイル消費量の動きを追跡することは難しい。これに対し排ガス中の全硫黄濃度を計測できれば、硫黄をトレーサとするオイル消費の連続分析が可能である。

これらの要求を背景に、HORIBAでは高感度・高速応答の紫外蛍光(Ultra Violet Fluorescence : UVF)法硫黄成分測定装置MEXA-1170SXを開発した。本稿ではこのMEXA-1170SXの原理と排ガス測定例について紹介する。

装置の概要

仕様

図1にMEXA-1170SXの外観を、表1に仕様概略を示す。MEXA-1170SXでは、二酸化硫黄(SO₂)と全還元性硫黄化合物(Total Reduced Sulfur : TRS)とを分離測定する“SO₂・TRS同時測定モード”，およびPM中のサルフェート(Sulfate : 硫酸塩)を含む全硫黄化合物(Total Sulfur : TS)を測定する“TS測定モード”の2通りの使用法が可能である。なおTRSは、硫化水素(H₂S)などSO₂よりも還元性の高い硫黄化合物の総称である。



図1 MEXA-1170SX

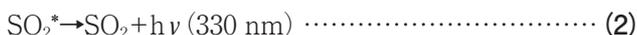
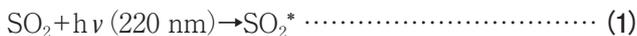
表1 MEXA-1170SXの仕様概略

型式	MEXA-1170SX
測定対象	エンジン排ガス
測定成分	SO ₂ ・SUM・TRS測定モード SO ₂ : SO ₂ ガス SUM : SO ₂ ガスおよび全還元性硫黄化合物ガス TRS : 全還元性硫黄化合物ガス (TRSは差量法による) TS測定モード TS : 気相およびPM中の全硫黄化合物 (SO ₂ ・SUM・TRS測定モードとTS測定モードは切り替え)
測定原理	紫外蛍光(UVF)法
測定範囲 SO ₂ ・SUM・TRS 測定モード	SO ₂ : 0-20~100ppm / 0-200~2000ppm SUM : 0-20~100ppm / 0-200~2000ppm TRS : 0-20~100ppm / 0-200~2000ppm (SO ₂ ・SUM・TRSのレンジは連動)
TS測定モード	TS : 0-10~100ppm / 0-200~2000ppm

測定原理

紫外蛍光法の原理

UVF法は、紫外域における蛍光発光を利用する分析法である。図2にUVF検出器の構造を示す。検出部に導入されたサンプルガス中のSO₂の一部は紫外光を吸収して励起状態(SO₂^{*})になる。この励起SO₂^{*}が基底状態に戻る際、紫外光を放出する。式(1)、式(2)にSO₂の励起・脱励起の反応式を示す。



UVF法によりSO₂濃度を測定するには、330 nm付近の光を検出できる光電子増倍管(Photomultiplier Tube : PMT)を紫外光源と垂直方向に設置する。これにより光源から散乱光が入ることを防ぎ紫外蛍光のみを検出する。サンプルガス中のSO₂濃度はこの紫外蛍光の強度から求められる。

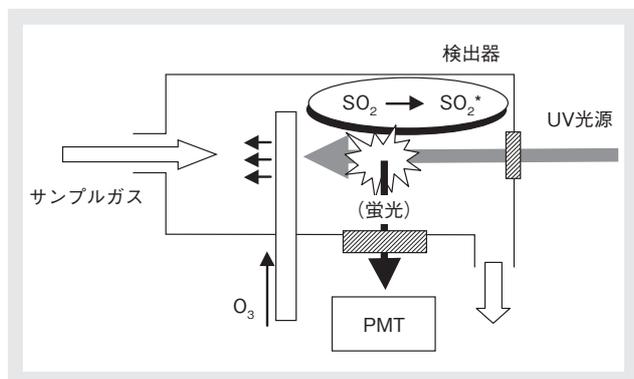


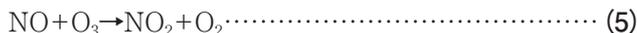
図2 UVF法によるSO₂検出の概念図

NO干渉の低減

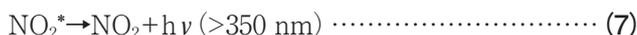
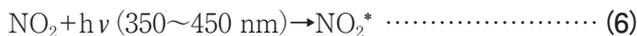
UVF法はSO₂と同じ機構により一酸化窒素(NO)にも感度を示す。紫外光によるNOの励起・脱励起と、その際の吸収・発光波長を式(3)、式(4)に示す。



このようにNOはSO₂と近い波長の蛍光を発するため、サンプル中にNOが存在するとSO₂指示に干渉影響が出る可能性がある。従来、UVF法はエンジン排ガスの測定にはあまり用いられてこなかったが、それは主にこのNO干渉による。対策として本装置ではサンプルガスにオゾン(O₃)を添加し、含まれているNOを二酸化窒素(NO₂)に酸化している(式(5))。



NO₂もNOと同様に紫外蛍光を示すが発光波長はSO₂より長波長にあたる350 nm以上である。そのため、250 nmから340 nmの光を選択的に透過する光学フィルタをPMTの前に設置することにより、NO₂の発光による干渉は回避することができる(式(6)、式(7))。



炭化水素(HC)干渉の低減

芳香族に代表される不飽和炭化水素も紫外蛍光を発することが知られている。そのため炭化水素もUVF法の干渉成分となり得る。このHC干渉についても、光学フィルタをPMTの前に置くことでキャンセルしている。またTS計測をおこなう場合は、後述するように、サンプルガスは検出器前段で電気炉を通過する。サンプル中の炭化水素はここで燃焼するためSO₂指示への干渉影響は無視できる。

測定モードとガスフロー

TRSモード

図3にTRSモード(SO₂・TRS同時測定)のガスフローを示す。TRSモードでは、サンプルガスを流路の途中で分岐させSO₂を測定するラインと、SO₂・TRSをまとめて測定するライン(SUMライン)とに分ける。SO₂ラインでは検出

器にサンプルガスをそのまま導入する。一方、SUMラインではサンプルガスにオゾンを追加したのち600℃の電気炉に通す。TRSは電気炉でSO₂に変換され、サンプル中に元から存在していたSO₂とあわせてSUMとして検出される。TRS濃度はSUM濃度からSO₂濃度を引き算することで求められる。

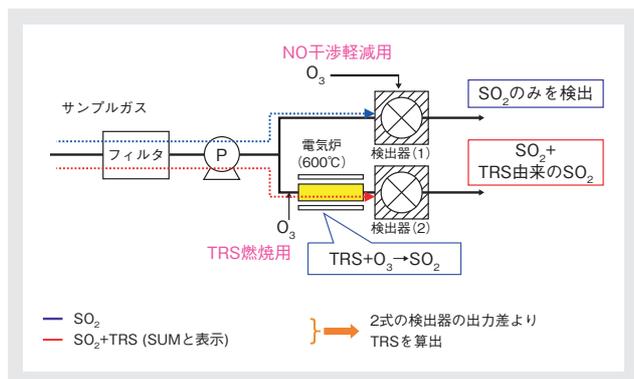


図3 SO₂・TRS同時測定のためのガスフロー

なお、NO干渉を抑えるため本装置では電気炉を通さないSO₂ラインでもオゾンを追加している。このオゾン添加はNO干渉低減には有効だが、一方でTRSの一部をSO₂に酸化してしまう可能性がある。これを回避するため、SO₂ラインではサンプルガスにオゾンを追加するポイントをできるだけ検出部分に近づけている。これはオゾンによるTRS酸化速度はNO酸化速度より遅いためであり、検出器内におけるTRSからSO₂への変換量は事実上無視できる。

TSモード

図4にTSモード(TS測定)のガスフローを示す。まず、サンプルガスは350℃の加熱配管で装置に導入される。この温度は排ガス中に含まれる硫酸(蒸発温度 約330℃)を気化できるように選定したものである。サンプルガスには次に酸素(O₂)が添加され1100℃の電気炉1に導かれる。電気炉1はPM中の炭素化合物を燃焼させると同時に、SO₃を熱分解によりSO₂へ還元する。さらに1100℃の電気炉1を出たガスはオゾンとともに600℃の電気炉2に導入される。600℃の電気炉2ではTRSがSO₂に酸化される。このように、2つの電気炉により、サンプル中の三酸化硫黄(SO₃)をはじめ、TRS、サルフェートがSO₂に変換される。サンプルガスは最終的にSO₂検出器に導かれ、SO₂、TRSおよびPM中のサルフェートのすべてがTSとして検出される。

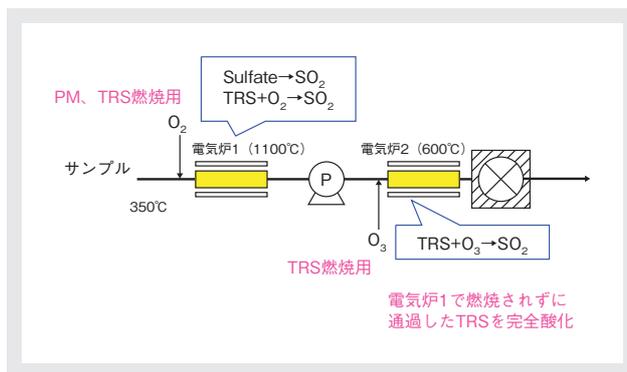


図4 TS測定のためのガスフロー

基本性能の確認

応答時間

図5にSO₂・TRS測定時(SO₂・SUM)およびTS測定時の応答速度を示す。確認試験にはいずれもSO₂ガスを使用し装置内部でゼロとスパンを切り替えた。応答速度は各検出器ともほぼ等しく、90%応答(T₉₀)で約4秒となっている。

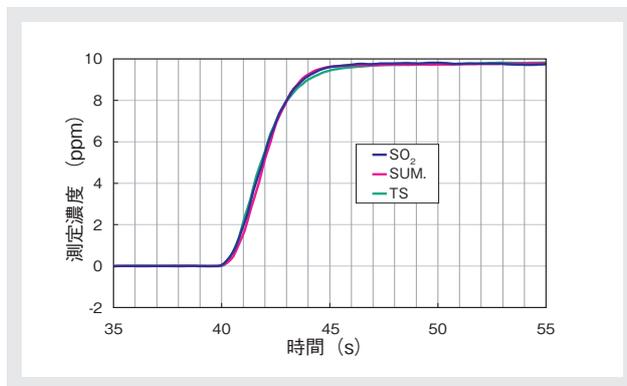


図5 校正ガスラインからの応答速度

なお、10 mのサンプルラインを装置に接続した構成での応答速度は、サンプルライン入口でガスを切り替えた場合、応答開始までの遅れ時間(T_d)は約3秒、T₉₀は約4秒であった。

TRSの酸化効率

表2に600℃の電気炉におけるTRSの酸化効率を示す。“O₂添加”の列はサンプルガスを電気炉に導入する前にO₂を添加した時の効率を、“O₃添加”の値はオゾンを追加した時の効率を示している。すべてのTRSについてオゾン

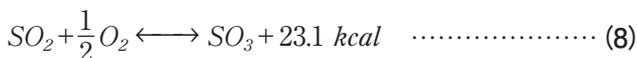
を添加した時の方が酸化効率は高く、ほぼ9割以上が酸化できている。このように、サンプルガスを電気炉に通す前にオゾン添加することでTRSを効率的に酸化できていることがわかる。

表2 還元性硫黄化合物の酸化効率

化合物および濃度	炉温600℃における酸化効率	
	O ₂ 添加	O ₃ 添加
H ₂ S 45.9ppm	58.8%	91.3%
CS ₂ 26.5ppm	8.1%	89.9%
COS 50.1ppm	1.7%	92.3%
(CH ₃)SH 49.3ppm	55.1%	90.7%
(CH ₃) ₂ S 53.2ppm	11.8%	89.1%
(C ₂ H ₅)SH 10.4ppm	76.9%	100.0%
(C ₂ H ₅) ₂ S 52.3ppm	32.7%	90.2%

SO₃還元効率の電気炉温度影響

図6にTSモードにおける電気炉1の温度とSO₃還元効率の関係を示す。測定では、電気炉1の温度を300℃から1150℃まで変化させた。図中にひし形でプロットされているのが実際に測定した還元効率、実線で示すのがSO₃とSO₂との平衡定数から計算される理論的な還元効率である。式(8)に、SO₃、SO₂の平衡反応式を示す。



還元効率の実測値は理論曲線より若干高温側にシフトしているものの、勾配については理論曲線と比較的よく一致していることがわかる。

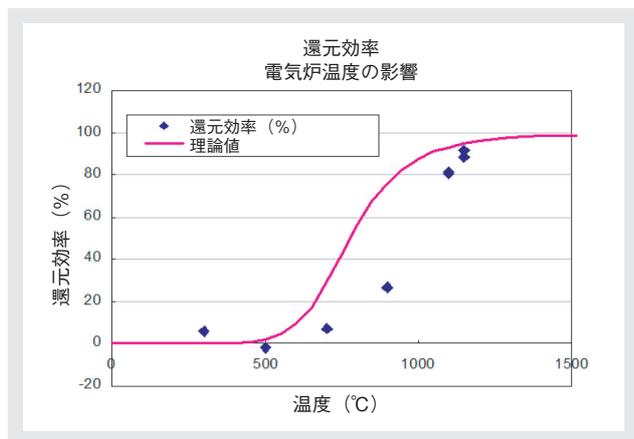


図6 SO₃還元効率の温度影響

実ガス測定例

TRS測定の場合

図7にディーゼルエンジン(排気量2.5 L)の排ガス中のSO₂・TRSを測定した例を示す。サンプリングポイントは触媒後で、この場合、燃料噴射により触媒から離脱する硫黄成分が計測されると考えられる。図では、燃料噴射に対して、SO₂・TRSがそれぞれ異なる挙動を示していることが明確に捉えられている。

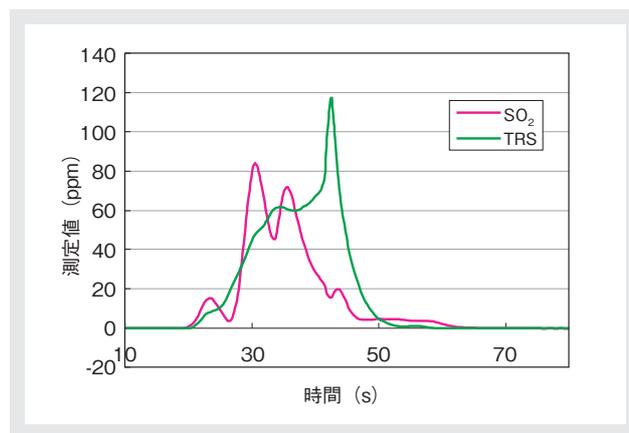


図7 ディーゼル排ガス中のSO₂・TRS測定例

TS測定の場合

エンジン回転数とTS濃度

図8にエンジン回転数を変化させTS濃度を測定した結果を示す。テストエンジンは排気量2.4 L、4気筒のガソリンエンジンである。燃料中の硫黄濃度は約5ppm、オイル中の硫黄濃度は質量として0.23%であった。エンジン回転数は1000 rpmから5000 rpmまで1000 rpm刻みで変化させた。高回転側ではTS濃度は不安定になるものの、全体の傾向としては、エンジン回転数の増加にともなってTS濃度も上昇する傾向が確認できる。濃度のレベルは1~2ppmである。検出されるTSの中には、オイル由来のものだけでなく燃料由来の硫黄も当然含まれていると考えられる。ただし排ガス流量が燃料流量にほぼ比例すると考えると、燃料由来のTSは濃度としてはエンジン回転数によらずほぼ一定になるはずである。したがって、図8でみられるTS濃度の増加分についてはオイル由来のものであると考えることができる。すなわちエンジン回転数の増加に伴い、オイル消費量が増加しているものと思われる。

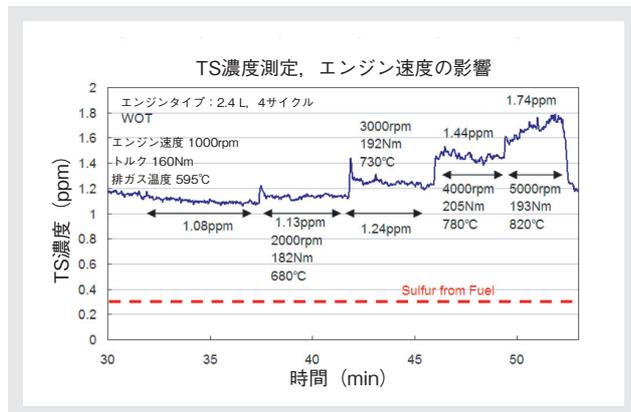


図8 回転数によるTS濃度の変化

トルクとTS濃度・オイル消費

Sトレス法で精度よくオイル消費率を測定するためには、オイルの硫黄濃度が高く、かつ燃料の硫黄濃度が低いことがポイントとなる。Sトレス法によるオイル消費率は、燃料および空気の質量流量とオイル・燃料・空気・排ガスにそれぞれ含まれる全硫黄濃度から計算される。式(9)に、オイル消費率の一般的な算出式を示す。

$$m_{oil} = \frac{m_{fuel} ([S]_{exh} - [S]_{fuel}) + m_{air} ([S]_{exh} - [S]_{air})}{[S]_{oil} - [S]_{exh}} \dots (9)$$

m_{oil} : オイル消費率 [kg/h]

m_{fuel} : 燃料流量 [kg/h]

m_{air} : 供給空気流量 [kg/h]

$[S]_{oil}$: オイル中の硫黄質量濃度 [%]

$[S]_{fuel}$: 燃料中の硫黄質量濃度 [%]

$[S]_{air}$: 供給空気中の硫黄質量濃度 [%]

$[S]_{exh}$: 排ガス中の硫黄(TS)質量濃度 [%]

図9にエンジントルクを変化させながら計測した吸入空気量・TS濃度と、そこから算出したオイル消費率を示す。エンジンの回転は1500 rpm一定である。試験には排気量2.2 Lの4気筒ディーゼルエンジンを使用した。燃料中の硫黄濃度は8ppm、オイル中の硫黄濃度は1%であった。図より、トルクを約50 N・mから300 N・mまで変化させたとき、TS濃度は0.5~2ppmのレベルで変動していたことがわかる。この変化はオイル消費率に換算すると5~35 g/hにあたる。また、トルクの大きい時ほどオイル消費量も大きくなるのが観察できる。

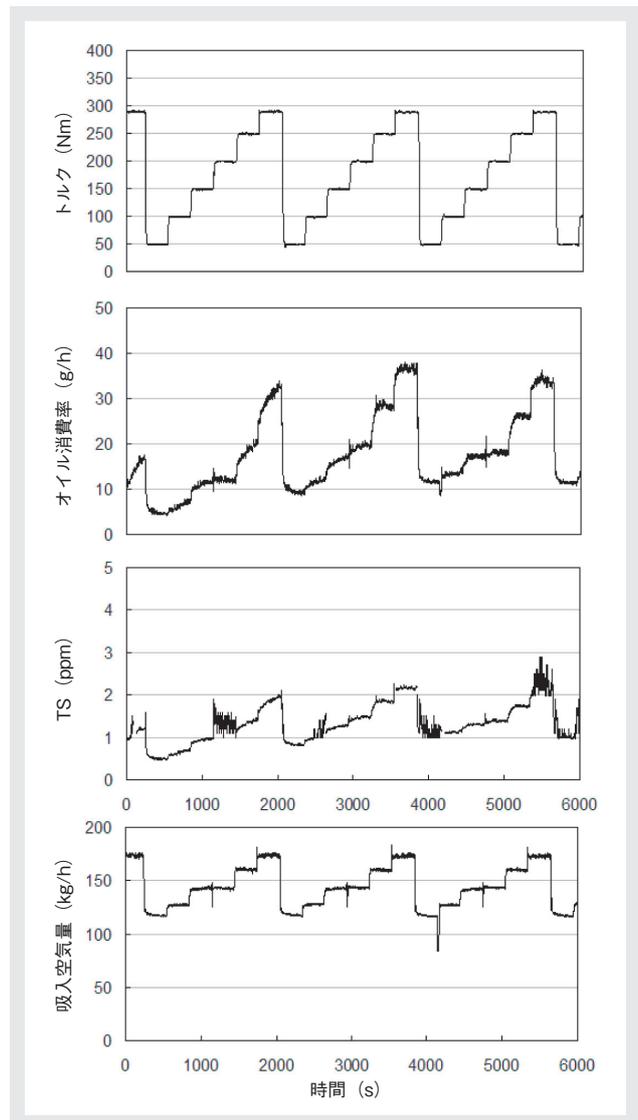


図9 オイル消費率測定例

まとめ

本稿では、UVF法硫黄成分測定装置MEXA-1170SXの構成および性能評価、実ガス測定例について紹介した。UVF法SO₂検出器は高感度・高速応答である反面、NO干渉があるため、これまで排ガス測定分野へは利用されてこなかった。これに対し、MEXA-1170SXではオゾン添加法によりこのNO干渉を抑制し、排ガス中の硫黄成分の連続・高感度計測を可能にした。さらにMEXA-1170SXでは、SO₂とTRSの同時計測および、Sトレス法オイル消費計測に必要な低濃度TSの測定の両方が可能となっている。本装置が触媒評価・オイル消費計測の分野で、今後ますます有効活用されることを期待している。

参考文献

- [1] H.Nakamura,et.al., Development of a new UVF Analyzer with O₃ injection for Measurement of SO_x and TRS in Vehicle Emission, SAE paper 2004-01-1959 (2004).
- [2] K.Froelund, Real-Time steady-state oil consumption measurement on commercial SI-engine, SAE paper 1999-01-3461 (1999).
- [3] W.B.DeMore,et.al., Chemical Kinetics and Photochemical Data for Use in Stratospheric Modeling, NASA (1994).
- [4] 村上ほか, 自動車排ガス中の硫黄成分濃度測定装置の開発, Proceedings of JSAE, No.20055270 (2005).
- [5] 村上ほか, 紫外蛍光法によるリアルタイム硫黄分析計を用いたオイル消費率測定, Proceedings of JSAE, No.20075319 (2007).
- [6] 井上ほか, 新しいオイル消費計による過渡時オイル消費の現象解析, Proceedings of JSAE, No.842055. (1984).
- [7] 堀場製作所自動車計測システム統括部 著, エンジンエミッション計測ハンドブック, 山海堂(2006).



村上 慎一

Shinichi Murakami

株式会社堀場製作所
自動車計測システム統括部
自動車計測開発部

Column

コラム

HORIBA Europe GmbH Darmstadt Office ～研修体験～

株式会社堀場製作所
法務・知的財産センター
知的財産部 織田 香織

HORIBA Europe GmbH Darmstadt Officeは、エンジンテスト、パワートレインテスト、ブレーキテスト、風洞実験などの機器の製造・販売を行っており、ドイツの南部、Darmstadtという町に位置する。

“海外で生活し、様々な人と交流して得た感動や驚きの体験は人を大きく成長させ、また、グローバルな視野を持つためには、実際に海外体験をしてみることが最も有効な手段である。”このような信念と期待とを持ちつつ、私は堀場製作所のある京都から、単身ドイツへと渡り、2007年～2008年の約1年間にHORIBA Europe GmbH Darmstadt Office(当時はHORIBA Automotive Test Systems GmbH, 以下HE Darmstadt Officeという)で過ごすこととなった。

私とHE Darmstadt Officeとの出会いは約3年半前にさかのぼる。当時、堀場製作所の主力製品である排ガス測定装置をメインとした自動車試験装置の特許業務を担当していた私は、約3年半前にHORIBA Groupの一員となったHE Darmstadt Officeの特許業務をフォローすることになった。しかし、日本からドイツへ、実際に目に見えない製品の特許出願や特許係争案件を担当することには、想像以上に様々な困難が伴った。そこで、HE Darmstadt Officeにて製品技術を勉強するべく、また、HE Darmstadt Officeの知的財産業務の現状把握と今後の業務展望を考えるべく、百聞は一見に如かずという思いでドイツへと渡った。

HE Darmstadt Officeの印象、それは、私にとっては今までかつて見たことのないようなものだった。

彼らの私へのホスピタリティには日々驚かされ、また、社内ですれ違うたびに互いに笑顔で挨拶を交わす姿勢は、日本にいてそのような基本的なことにも意識が薄れがちであった私にとって、自らの態度を見直す良い機会と

なった。また、就業時間に集中して業務に取り組むことで無駄な残業はなく、皆がアフターファイブの時間を有意義に過ごしていた。

これらのことは、ドイツへ渡る前から情報として自分の頭に入ってはいたものの、想像していたことと実際に目で見て肌で感じることとは大違いであった。人生の楽しみ方、それを彼らは本能的に知っているように見えた。

HE Darmstadt Officeの歴史は、株式会社堀場製作所による買収前のSCHENCK Groupであった頃にさかのぼる。1881年、Carl Schenck氏によって鉄鑄造と計量器の会社、Carl Schenck AGが設立され、1928年に初めてDynamometerおよびBrake試験装置を同社で開発した。その後、自動車と部品の開発テストシステム、製造部門での試験設備の分野を中心に事業を広げ、1998年3月にCarl Schenck AGの子会社として自動車関連計測事業を行うSchenck Pegasus GmbHが設立された。2005年9月にはCarl Schenck AGのもつ3つの事業分野のうち、事業活動の20%を占める自動車関連計測事業部門(DTS=Development Test Systems)を堀場製作所が買収した。それに伴って、Schenck Pegasus GmbHがHORIBA Groupの一員となり、その名を変更してHORIBA Automotive Test Systems GmbHとなった。2007年12月時点で、HORIBA Automotive Test Systems GmbHは、従業員数は約270人、資本金は5百万ユーロ、HORIBA Europe GmbHの100%完全子会社であった。2008年にHORIBA Europe GmbHと合併し、HORIBA Europe GmbH Darmstadt Officeとなった。

HORIBAはSchenck DTS部門の買収後、従来から得意とする排ガス計測を核としたエンジン計測事業から、エンジン、パワートレイン開発など、自動車の開発全般に対する計測設備を提供できる“トータルソリューション”の

供給が可能となり、総合計測設備メーカーへと事業を拡大している。

HE Darmstadt Officeでは、私は製品技術を学びながら、知的財産業務に携わっていた。知的財産業務とは、特許出願業務や特許係争対応、特許検索や知財管理などである。具体的には、例えば、HE Darmstadt Officeにて新しい発明が生まれた場合に、特許検索をし、その発明の特許性判断を行う。また特許係争対応では、問題となりそうな競合他社特許に対して、権利解釈を行ったり侵害・非侵害を検討したりする業務などである。このように知的財産に関する全ての業務に従事していた。

このような業務を通して、私はまず、HE Darmstadt Officeは特許に対して前向きだと感じた。新規発明の届出数が今年は格段に増え、また、積極的に他社特許に対するアクションを起こしたり、競合他社特許のチェックを定期的かつ詳細に行ったりすることでリスクの低減を行っている。また、開発部署からの要望で社内特許セミナーを開くこともあり、特許に対する意識が高いことを感じた。また同時に、彼らの特許に対するモチベーションを保つことも私の使命の一つとなった。

このドイツで過ごした1年は、私にとって大きな変化の1年であった。自分の中で一番変わった部分は、“理解し、受け入れる”ことができるようになったことだろう。新たな文化に触れて感じて、自分の当たり前だと思っていたことが当たり前でない世界で暮らすことで、様々なことを知り、相手のことを理解する幅が広がったように思う。今までいかに自分が狭い視野の中で、物事の良し悪しを判断したり、解決策を考えたりしていたかを、本当に実感した1年だった。

HORIBA Groupは世界各国に位置している。それは我々の顧客が世界中にいることに他ならない。それがゆえに、我々は日本文化のみならず世界の文化を知り、理解し、受け入れることが必要なのである。

この1年の心の成長、経験こそが私の研修の成果であり、帰国後にこの経験を社内に伝え広めることが私に課せられた使命でもある。

そして、真にグローバルなHORIBA Groupの実現を目指すことを心に誓った。



図1 筆者送別会での記念写真
筆者は中央で、研修受け入れ部署(Order Processing & Export Control Team)メンバーに囲まれ、彼らからプレゼントされたTシャツ(皆で撮った写真がプリント)を試着。

ライフサイエンスにおける 蛍光寿命と偏光解消の利用 —測定からどんなことがわかるのか?—



阿部 文快
Fumiyoshi Abe

独立行政法人海洋研究開発機構
極限環境生物圏研究センター
代謝・適応機能研究グループ
グループリーダー
横浜市立大学大学院国際総合科学
研究科 環境生命系 客員教授
博士(理学)

ライフサイエンス, 特に生きた細胞を対象とする研究領域では, 蛍光化合物を標識とした分子イメージングが現在盛んだ。これまで多くの興味は標的分子の量的変動や局在に向けられてきたが, 最近, 蛍光寿命や偏光解消といった蛍光分子が持つ魅力的な性質を利用するケースが増えてきている。本稿では, その基本的な原理と応用, 及び蛍光寿命測定装置FluoroCubeを用いて行った著者らの研究例について, いくつか紹介したい。

はじめに

現代ライフサイエンスは, “蛍光イメージング革命”と称されるほど飛躍的に向上した蛍光化合物の利用と, ハード面の充実に裏打ちされ, かつて想像すらし得なかった生き物の“なまの姿”を次々とあぶり出している。細胞内pHやCa²⁺濃度の変化に応答して蛍光強度比が変わるインジケータ, 間接蛍光抗体法に用いる色とりどりの蛍光色素(Invitrogen社のAlexaシリーズなど), あるいは目的タンパク質との融合産物として細胞内で発現させ, ライブセルイメージングを可能にする緑色蛍光タンパク質(Green Fluorescent Protein: GFP)などがその代表例である。ライフサイエンスでは, 蛍光物質を用いた技法のほとんどが, 細胞内で進行している眼に見えない現象を蛍光を標識に観察・計測するために行われている。目的タンパク質は細胞のどのあたりに局在しているのか? 存在量は多いのか少ないのか? 細胞に刺激を与えると, 内部のpHやCa²⁺濃度はどう変化するのか? いずれも蛍光の“強度”が観察・計測の対象となる。一方, 蛍光分子は“蛍光寿命”と“蛍光偏光”といった魅力的な特徴をあわせ持つ。筆者のいる細胞生物学・微生物学の分野でも, これらを積極的に活用しようとする動きが見られてきている。

蛍光寿命や蛍光偏光を知ることによって細胞の何が理解され

るのか? 筆者は蛍光分光学の専門家ではないので, 本稿ではアプリケーションに力を注ぐ現場の生物学者の立場から解説したい。事例として, HORIBA Jobin Yvon社のFluoroCubeを用いて得られた筆者らの最近の知見にも触れたい。なお, 優れた書籍が出版されているので参考文献^[1-3]として掲げている。

蛍光寿命の意味

まず, ごく簡単に蛍光寿命の意味について説明する。**図1(a)**に示すように, 蛍光分子が基底状態にある時, 電子はS₀と呼ばれるエネルギー状態にある。蛍光分子が光エネルギーを吸収すると, わずかフェムト秒のオーダーで励起状態に遷移し, 過剰なエネルギーを散逸して第1励起状態S₁の最低次の振動レベルまで落ちる。この状態は励起過程で最も安定であり, 滞在時間は数十から数ナノ秒が普通である。ここから基底状態に戻る過程で蛍光が発する。蛍光強度の時間変化F(t)は**式(1)**で与えられる(**図1(b)**)。

$$F(t) = F_0 \cdot \exp(-t/\tau) \dots\dots\dots (1)$$

ここで, F₀はt=0における蛍光強度でτが蛍光寿命であ

る。最初に励起状態にあった蛍光分子数に比べて、 τ だけ時間がたってもまだ励起状態にある蛍光分子数が $1/e$ (約37%)になっていることになる(図1(b))。蛍光分子周辺の誘電率が高い時(親水的)、あるいは近傍にエネルギー受容体があると τ は短くなる。従って、 τ を調べることで蛍光分子の周りがどんな環境にあるのかが理解される。

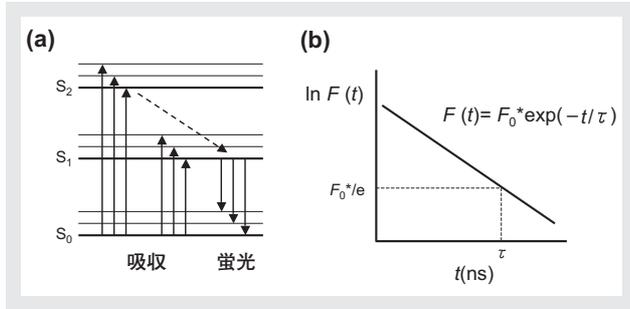


図1 蛍光分子の電子状態と蛍光の減衰曲線
 (a) 蛍光分子の電子状態
 基底状態(S₀)にある分子は励起エネルギーを吸収し、励起状態S₁やS₂に遷移する。
 最低次の励起状態S₁から基底状態に遷移するとき蛍光が発する。
 (b) 蛍光の減衰曲線
 τ は蛍光寿命を示す。

蛍光偏光解消法とは

光は横波の性質を持っており、進行方向に対して垂直な平面内で振動している(図2(a))。一方、蛍光分子が励起される場合、 $S_0 \rightarrow S_1$ 遷移には分子構造によって決まる向きがあり(これを遷移モーメントと呼ぶ)、直線偏光による入射光の振動方向が遷移モーメントと平行であれば励起効率は最大で、直交していれば0になる(これを光選択という)。従って、例えば水溶液中でランダムに分散している蛍光分子であっても、直線偏光で励起されるのはその時点で遷移モーメントが平行な分子集団に限られる(図2(b))。一方、発する蛍光にも固有の向きがあり、強く偏光していれば入射光と平行な蛍光の偏光成分が強くなる。この偏光の度合いを表すのに便利なパラメーターが蛍光異方性 r (fluorescence anisotropy) で、式(2)で表される。

$$r = (I_{\parallel} - I_{\perp}) / (I_{\parallel} + 2I_{\perp}) \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 I_{\parallel} と I_{\perp} はそれぞれ入射光の偏光方向と平行及び垂直な蛍光の偏光成分である。もし蛍光分子が激しく回転ブラウン運動していれば、 I_{\parallel} が小さくなり I_{\perp} が大きくなるので、 r は小さくなる。これが偏光解消である。従って、 r を調べることで蛍光分子の回転運動の度合いが理解される。

さて、蛍光寿命の計測と同様に r の時間変化 $r(t)$ を調べると何がわかるのだろうか。 $r(t)$ は式(3)で表される。

$$r(t) = r_0 \cdot \exp(-t/\theta) \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 r_0 は分子運動がない時に期待される異方性、 θ は回転相関時間(fluorescence rotational correlation time)であり、ナノ秒領域の分子の振る舞いを考える上で最も重要なパラメータである。ここで、 θ の意味について考えてみたい。分子を剛体球とみなした場合、 θ は式(4)で表される。

$$1/\theta = k_B T / v \eta \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 k_B はボルツマン定数、 T は絶対温度、 v は分子の体積、 η は溶媒の粘度である。従って、 θ さえ求めることができれば、 v と η の積がわかる。 v がわかっているれば溶媒の粘度 η が求まるし、 η がわかっているれば分子体積 v が求まる。こうした原理を生体膜の研究に応用した例を次に紹介する。

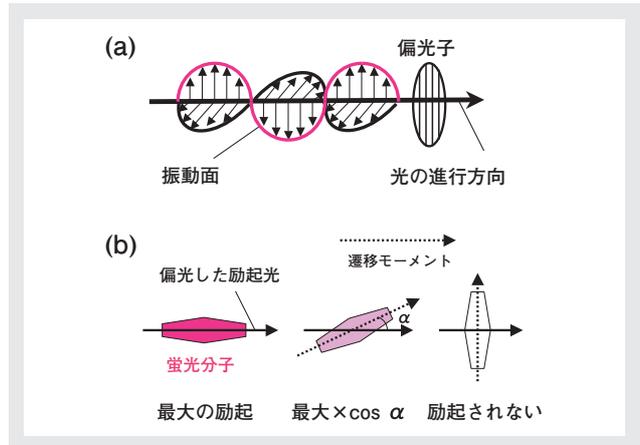


図2 偏光と光選択
 (a) 光は横波で、進行方向と垂直な面で振動
 偏光子を通せば特定の振動面にある光だけを得ることができる(ここでは赤で示す)。
 (b) 光選択の原理
 入射光の振動方向が、分子の遷移モーメントと平行であれば励起効率は最大、直交していれば0である。

偏光解消法を利用した生体膜局所粘性の解析

細胞やオルガネラ(細胞内小器官)はリン脂質二重層の膜におおわれ、特定のタンパク質や代謝中間体がコンパートメント化されている。細胞を包み込んでいるのが細胞膜(plasma membrane)で、そこには外界シグナルを伝達する受容体やチャネル、イオン環境を整えるポンプ、アミノ酸などを運び込むトランスポーターがぎっしりと敷き

つめられている。膜タンパク質の様々な機能を働かせるために肝心なのが、適切な生体膜の状態である。厚さわずか5nmのリン脂質二重層のダイナミクスを知るのによく使われるのが、DPH (1,6-diphenyl-1,3,5-hexatriene) とそのアナログTMA-DPH (4-trimethylammonium-phenyl-1,3,5-hexatriene) である (図3(a))。これらの分子は水溶液中では励起しても蛍光を發しないが、脂質中では強い蛍光を發する。また、棒状で強い偏光特性をもつため、図3(b)のように膜に埋め込まれた時、偏光解消から脂質二重層の動的構造がわかる。なお、TMA-DPHは極性基をもつためリン脂質の頭部にアンカーされる。人工膜DPPC (dipalmitoylphosphatidylcholine)をDPHとTMA-DPHでそれぞれラベルし、定常光励起によって異方性 r 値の温度依存性を調べたのが図4(a)である。DPHの r 値は42℃付近を境に急激に低下している。42℃はDPPCの相転移温度である。この温度以下でDPPC膜はゲルなので、DPHの分子運動が強く束縛されている。ところが、42℃を越えると液晶相となり、急速に分子の運動性が増し偏光解消が起こる。その結果として r 値は低下する。一方、TMA-DPHの異方性 r 値も42℃で急激に低下しているが、その度合いはDPHほど顕著ではない。これは、TMA-DPH分子の末端がリン脂質の頭部にアンカーされているせいで、液晶相にあっても分子の運動性がある程度制限されているためである。

これを出芽酵母 *Saccharomyces cerevisiae* の生きた細胞で実施した例を次に示す。まず、酵母細胞をリン酸緩衝液で洗浄後、5 μ MのDPHあるいはTMA-DPHで10分間室温でラベルする。次に余分な試薬を洗い流し、異方性の温度依存性を調べたのが図4(b)である。人工膜と違って相転移に伴う急激な r 値の低下は観察されないが、昇温と共に連続的に偏光解消が激しくなっていくのがわかる。一方、TMA-DPHでは温度依存性が小さいことが興味深い。

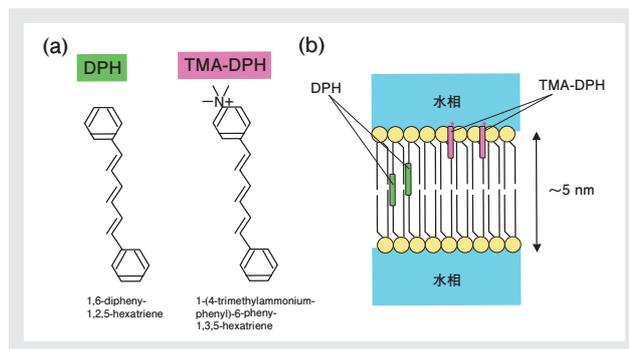


図3 DPHとTMA-DPAの分子構造と脂質二重層への局在
(a)DPHとTMA-DPAの分子構造
(b)DPHは脂質二重層の中央付近に、TMA-DPAは表面近くに局在する

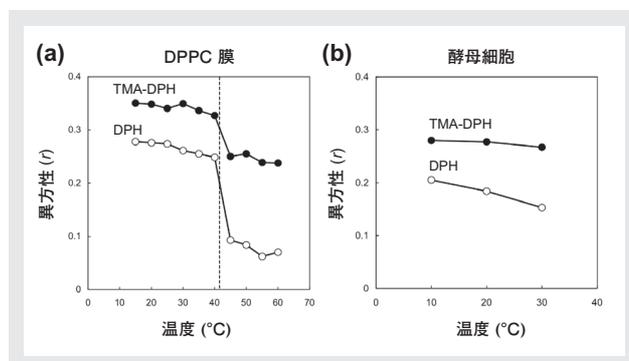


図4 DPPCと酵母細胞膜におけるDPHとTMA-DPHの異方性測定
(a)DPPC膜にDPHとTMA-DPHを取り込ませ、定常光励起により異方性 r 値の温度依存性を調べた。点線(42℃)より低温側がゲル相、高温側が液晶相である。
(b)酵母細胞膜にDPHとTMA-DPHを取り込ませ、定常光励起により異方性 r 値の温度依存性を調べた。生体膜では相転移が見られないのがわかる。

異方性の寿命を測る

最近、筆者らは蛍光寿命測定装置FluoroCubeを用いて、酵母細胞膜中のDPHやTMA-DPHの偏光解消を調べ始めた。詳しくは原著論文(投稿準備中)にゆずるとして、以下におおまかな結果を記したい。定常光励起による前述の測定と同様、細胞をラベルし、異方性の寿命を計測した。レーザー光源にはNanoLED-375Lを用い、460 nmにおける蛍光を測定した。その結果、DPHでは蛍光寿命 τ そのものは25℃と10℃とで大差なく約8 nsだった。ところが、回転相関時間 θ は25℃では3 ns(回転が速い)、それに対して10℃では5 ns(回転が遅い)となり、約1.7倍の差が見られた。このことは、低温によって脂質アルキル鎖の運動性が低下し、DPHの偏光解消が低減することを示している。一方、TMA-DPHでは25℃と10℃共に τ は約14 nsだった。 θ については、まだ測定結果にふれが大きいのだが、25℃では5~10 ns、10℃では15~20 nsとい

う値が得られている。やはり、低温では膜の分子運動の低下が見られる。FluoroCubeでは非常に広い範囲で多成分解析が可能である。このことは生体試料解析する際に重要である。例えば、細胞膜は人工脂質と違って組成が複雑であり、真核生物では大まかに分けてもグリセリン脂質、スフィンゴ脂質、ステロール及び膜タンパク質からなり、各々の成分が数種から数万種の物質で構成された混合物である。こうした膜が均一である証拠はなく、むしろ不均一でドメイン構造を作っているという傍証が多い。こうした場合、定常光による解析で得られる異方性 μ 値は各ドメインの平均値だが、FluoroCubeでは多成分解析により個々の成分を定量的に求めることができる。ただし、これはあくまで数学的なフィッティングなので、ドメインの存在については他の生化学的解析の裏付けが必要となる。

おわりに：ライフサイエンスにおける応用

生体膜に関して少し視野を広げてみよう。医療用薬剤の約50%は膜タンパク質をターゲットとしていて、その研究成果は私たちの健康な暮らしに直結する可能性が高い。また、コレステロールやスフィンゴ脂質の代謝異常で病気になる例がいくつも知られている。一方、ミトコンドリアや小胞体、あるいはゴルジ体といった膜系は、それぞれエネルギー生産、タンパク質合成並びに膜輸送など、生命維持にとって必須な機能を担っている。もし偏光性が高く、オルガネラ膜に特異的に取り込まれる蛍光試薬が入手できれば、膜の物性を深く理解した上で研究を展開できる。一方、水溶性タンパク質の回転運動に着目した解析もなされるであろう。タンパク質同士の会合・解離は、細胞骨格形成時や細胞内シグナル伝達系の分子間相互作用において重要である。タンパク質を剛体球と仮定すると、前述の通り θ は分子体積 v に比例する。2量体を形成すれば θ は2倍に、4量体なら4倍に近い値を示す。蛍光標識したタンパク質は溶液中でどのようなダイナミックな挙動を示すのか？ θ を求めることでその真の姿が明らかになるに違いない。ライフサイエンスの広範な領域で、蛍光寿命測定や偏光解消法が真価を發揮する日はすぐそこまで来ている。

参考文献

- [1] Joseph R. Lakowicz, *Principles of Fluorescence Spectroscopy*, 2nd. Ed., Kluwer Academic/Plenum Publishers (1999).
- [2] Bernard Valeur, *Molecular Fluorescence*, Wiley-VCH (2001).
- [3] 木下一彦・御橋廣眞編, 蛍光測定—生物科学への応用, 学会出版センター (1983).

Selected Article

一般論文

世界レベル最高感度を有する蛍光分光測定装置

Ray Kaminsky, Stephen M. Cohen

HORIBAグループのHORIBA Jobin Yvon (ホリバジョバンイボン)社は、定常スペクトル測定に対応する卓上型の蛍光分光光度計から、近赤外蛍光測定、蛍光異方性測定、蛍光寿命測定にアップグレード可能なモジュール型の蛍光分光測定装置、さらに顕微蛍光寿命マッピングシステムに至るまで、各種の蛍光分光装置を製造し、世界中の市場に供給している。

はじめに

蛍光分光分析は、励起光ではなく試料からの発光の検出を利用しているため、吸光分光分析よりも遥かに高感度な検出法である。蛍光分光分析が硬貨を直接秤に載せて重量を測ることに例えられるとすれば、吸光分光分析は硬貨を象の背中に載せたときと載せないときの体重差から硬貨の重量を求めるようなものと言える。

蛍光分析は高感度検出であるため、紫外～近赤外の波長域に対応する蛍光分光装置は、生化学・バイオテクノロジー分野において分子間距離の測定や、生体組織や細胞の局所環境のダイナミクスの研究等に広く利用されている。また、近年マテリアルサイエンス、特にナノテクノロジー分野において、カーボンナノチューブの構造解析、量子ドット、機能性色素の研究に活用されている。

HORIBA Jobin Yvon社の蛍光分光製品は、微弱な信号を検出する能力において業界トップクラスをほこる。HORIBA Jobin Yvon社では、新しい蛍光分光光度計を開発する際には、検出感度の向上を最優先事項においている。高感度の蛍光分光製品は、光学系、電子系、ソフトウェアに関して細部に至る創意工夫の積み重ねによってはじめて達成されるものである。

開発小史

1976年に発売のFluorolog™は、当時として最も先駆的な蛍光分光光度計であり、初めてコンピュータにより自動化された蛍光分光光度計としても知られている。その後、1980年代初頭には後継機であるFluorolog™-2を、1996年には現行機であるFluorolog™-3を発売した。

モジュール式のFluorologシリーズに対して、1990年には卓上型の蛍光分光光度計FluoroMax™を発売した。2006年からはひ孫世代に当たるFluoroMax™-4の販売を開始した。HORIBA Jobin Yvon社は、定常分析および周波数領域の蛍光寿命分析(位相変調方式)の技術に加えて、2003年にIBH社(英国)を買収することで時間相関単一光子計数(TCSPC)方式による蛍光寿命分析の技術を取得した。

現在、HORIBA Jobin Yvon社は、米国ニュージャージー州エジソンに研究開発センターを持ち、蛍光分光装置の世界的なリーディングカンパニーとしての地位を確立するとともに、業界最高の売上を誇っている。

全光路に反射型光学系を採用

HORIBA Jobin Yvon社の製品が高感度である理由の一つは、レンズの代わりにミラーを用いた光学系を採用し

ていることがある。ミラーの最大の利点は焦点合わせやコリメーションの際に色収差を生じない点であり、これにより光の波長に関係なく焦点を結ばせることが可能となる。これに対してレンズでは通常1波長に対してしか焦点を合わせることができないため、焦点から離れるにしたがって装置の送光・集光能力が低下する。光源、試料、検出器が小型である場合に特に顕著となる。

フォトンカウンティング検出

HORIBA Jobin Yvon社の製品が誇る高感度に寄与するもう一つの特徴は、光電子増倍管(PMT)の光電面から放出された光電子を増倍し、陽極から出力される電荷パルスを計数するフォトンカウンティング検出である。アナログ方式では、多数のパルスに由来する電流のほか、回路に起因するノイズ電流をも含めた総和を検出する。このためアナログ方式では、光量が弱くなると信号をバックグラウンドノイズから区別する能力に限界がでてしまう。パルスをアナログ的に扱うよりも、パルス数を数える方がはるかに信号対ノイズ比(S/N比)の点で優れた測定を行うことができる。

ルールドグレーティングとその分光感度(ブレース)、検出器、分光器の焦点距離、さらに光源の選択も検出の感度に大きく寄与する。ではなぜ他メーカーのシステムがこれら全てを備えていないのか。最も大きな理由は製品コストだろう。高感度検出を求めると、装置価格に反映されてしまうのである。

どうして蛍光分光に感度が求められるのか

検出感度は、低濃度試料からの微弱な信号を検出できる能力にはとどまらない。光子計数が多いほど統計的サンプルが大きくなり、データの正確度が高まることは明らかである。もし信号が強い場合には、正確なデータを得るのにかかる時間がそれだけ短くてすむことになる。

HORIBA Jobin Yvon社の蛍光分光光度計は、高感度、正確度、高速測定を提供できる。

卓上タイプの簡便さと モジュラータイプのフレキシビリティ

多分野の研究者の様々なご要望に応えるため、HORIBA Jobin Yvon社では、大きく分けて2タイプの蛍光分光装置を提供している。

まず、第1のタイプは、卓上タイプの蛍光分光光度計 FluoroMax™-4(図1)である。FluoroMax-4は先端研究で蛍光分析に要求される感度とアクセサリ類を豊富に備え、かつコンパクトで扱いやすい独立ユニットとして仕上げられている。自動波長校正、自動制御可能なスリット、ソフトウェアによる自動3Dスキャン機能等が標準で装備される。FluoroMax™-4は、納品のその日からすぐにデータ測定を開始することができる。

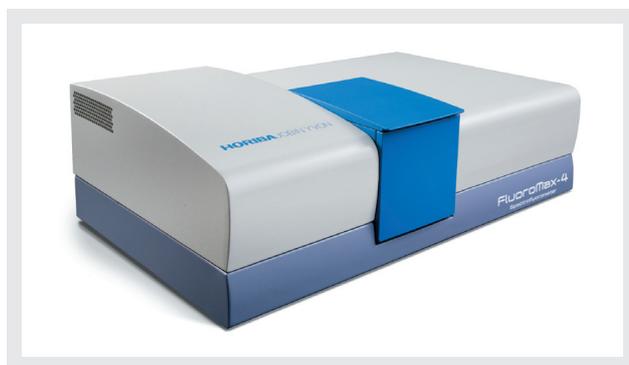


図1 卓上タイプ 蛍光分光光度計FluoroMax™-4

次に、第2のタイプは、モジュラータイプのFluorolog™-3(図2)で世界レベル最高感度を有するハイパフォーマンス装置である。Fluorologではユーザーの試料、用途、予算に応じて理想的なシステムを構築することができる。例えば、散乱の多い試料を測定する場合には、ダブルモノクロメーターを含む構成により、スループットを向上させてバックグラウンドノイズを効果的に低減したり、スペクトログラフとCCD検出器を搭載しスペクトルをミリ秒オーダーで測定することで、高速3Dマトリックスデータを取得することができる(図3)。モノクロメーターのグレーティングは交換可能で、各種検出器を選択することができる。グレーティングと検出器の適切な組み合わせによって紫外、可視、近赤外の幅広い波長領域の測定に対応することができる。また、目的に応じて複数の検出器や光源を選択することもできる。



図2 モジュラータイプ 蛍光分光測定装置 Fluorolog™-3

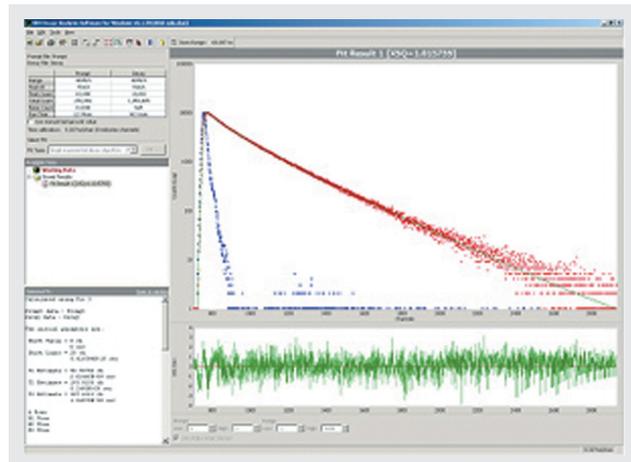


図4 TCSPC法によるピコ秒レベルの蛍光寿命測定

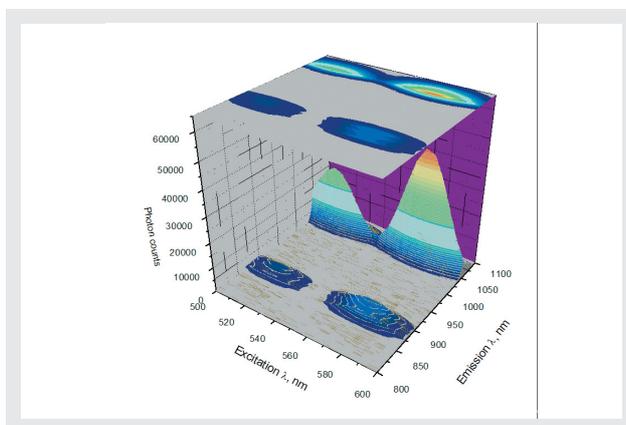


図3 モジュラータイプ Fluorolog™-3の変形バージョンを用いた近赤外3D発光マトリックス測定による超微量試料の特性評価

卓上タイプのFluoroMax™, モジュラータイプのFluorolog™ は、どちらも定常スペクトルを測定できるだけでなく、時間分解寿命ユニットを搭載すれば蛍光寿命測定にも対応できる。蛍光寿命は、励起光の吸収から蛍光の放出までの時間の平均値で定義される。蛍光寿命を測定することで、試料内のプロセスに関するダイナミクスの情報や、分子をとりまく環境、分子の大きさ、分子間の距離に関する一層詳細な知見が得られる。HORIBA Jobin Yvon社は、蛍光寿命を測定するための主な方法として、高感度を追及する時間相関単一光子計数(TCSPC)法(図4)と、高速データ取得を特徴とするマルチ周波数(位相変調)法の2つの方式を製品化している唯一のメーカーである。いずれの検出法によってもピコ秒台の短い蛍光寿命を測定することができる。

おわりに

以上, HORIBA Jobin Yvon社の蛍光分光光度計について簡単に説明した。蛍光分光光度計には, 温度調整機構, 顕微鏡ユニット, 異方性測定のための自動偏光子ユニット, クライオスタット等, 豊富なアクセサリを搭載することができる。

新しい研究分野のアプリケーションに, HORIBA Jobin Yvon社が誇る世界レベル最高感度の蛍光分光光度計の更なる活用を期待する。



Ray Kaminsky

HORIBA Jobin Yvon Inc.
Molecular and Microanalysis Division
Fluorescence Spectroscopy
Vice President



Stephen M. Cohen

HORIBA Jobin Yvon Inc.
Molecular and Microanalysis Division
Technical Writer
Ph.D.

Selected Article

一般論文

NanoLog™によるナノ粒子の研究

Adam Gilmore, Stephen M. Cohen

ナノ粒子の研究や応用への関心が高まるにつれて、ナノ粒子試料の定性・定量分析の迅速化が求められている。ナノ粒子の近赤外蛍光を利用する蛍光分光光度計NanoLog™及びそれに関連するソフトウェアNanosizer™が開発され、単層カーボンナノチューブ、量子ドットなどの試料の組成や性質を正確迅速に評価することができる。

はじめに

HORIBA Jobin Yvon (ホリバ・ジョバンイボン)社の蛍光分光光度計NanoLog™は、ダブルグレーティングによる励起モノクロメータ、グレーティングが交換可能なターレットを備えたイメージング分光器及び各種検出器からなり、ナノ粒子からの近赤外蛍光を記録するのに特に適している。側方測光モード、または表面測光モードのいずれにおいても、単層カーボンナノチューブ(SWNT)の研究や、あらゆる固体試料に対して最適な励起光学系¹を採用している。NanoLog™は、量子ドットの定常状態や発光寿命の測定用にカスタマイズ可能であり、材料科学、生物学、医学、エネルギーなどの分野で量子ドットのフォトルミネセンス測定に重要なツールとなりつつある。

NanoLog™によるEEM

カーボンナノ粒子の補正発光スペクトル²から、ある範囲の励起波長に対する励起-発光マトリックス (EEM)が得られる。データは数分間で取得できる ($\lambda_{exc} = 500 \sim 800 \text{ nm}$ (1 nm間隔), $\lambda_{em} = 830 \sim 1350 \text{ nm}$ (約1 nm/ピクセル)の場合)。EEMはHORIBA Jobin Yvon社のNanosizer™ソフトウェアによって作成される。このソフトに含まれる「ダブルコンボリューション・アルゴリズム (米国特許出願中)」によって、各化学種の励起及び発光波長の座標線が数分で自動的に計算され、ある範囲内で

のすべてのスペクトル帯域の寄与を知ることができる。製法の異なる2種のSWNT分散液のEEMデータ(図1, 実線:等高線)及びシミュレーション(カラーマップ)は、チューブ直径寸法及びカイラリティ分布で区別される。図1(a)は高圧一酸化炭素(HiPCO)法によるもの、図1(b)はコバルト・モリブデン触媒(CoMoCAT)法によるものである^{1,2}。HiPCO法SWNTは寸法分布が広く(直径0.6~1.3 nm)、カイラル角の種類も多く、化学種としては50種以上が存在する。CoMoCAT法の場合は平均寸法分布が狭く(直径約0.8 nm)、カイラリティ分布も狭く、カイラル指数(6,5)と(7,5)の2種が全強度の約58%を占める。所定の範囲内で、図1(a)ではHiPCO法による5つの主要な種が、図1(b)ではCoMoCAT法による4つの主要な種がそれぞれ同定される。図1(c)は図1(a)及び図1(b)に見られる種を比較したカイラリティ分布で、各発光強度(記号の大きさと色で示す)ごとにカイラル角と直径(nm)をプロットしたものである。HiPCO法チューブはCoMoCAT法チューブよりも平均して径が大きいことがわかる。

*1: Xeランプおよび基準ダイオードの波長範囲250~1000 nm, 励起モノクロメータのグレーティングのブレース波長500 nm (励起波長範囲333~1000 nm)

*2: 検出器の暗信号及びスペクトル応答, ランプ出力。

NanoLog™のS/N比

SWNT試料に含まれる複数の種を明確かつ迅速に定量分析するためには、S/N比が重要である。NanoLog™のS/N比は構成によって異なるが、NanoLog™のS/N比の高さを実証するため、HiPCO法SWNTの試料を研究した。ナノチューブはSDBS(ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム)に分散させた。用いたNanoLog™は、Fluorolog™-3にダブルグレーティング方式の励起モノクロメータと、512ピクセルのInGaAsアレイを採用したイメージング分光器iHR320を組み合わせたものである。励起波長は725 nm、バンドパスは25 nm、積分時間は1秒とした。図2に既知ピークが存在する835~1359 nmの発光スペクトル(a)と、600~800 nmのもう一つの励起スペクトル(b)を示す。後者では850 nmのノイズの存在が知られる。両スキャンからダークノイズを除去した後、基準信号で除算して光源の不均一性の影響を除去した。

S/N比は式(1)で定義される。

$$\frac{S}{N} = \frac{S_{\text{peak}} - S_{\text{background}}}{\sqrt{S_{\text{background}}}} \dots (1)$$

ピーク信号 S_{peak} は図2(a)の最高点である1171 nmのピーク((8,6)種)で、またノイズ $S_{\text{background}}$ は信号の存在しない領域(図2(b), 600~800 nm)での測定値である。“理想的な”系では600~800 nmにおいて $S_{\text{background}} = 0$ である。従って式(1)は

$$\frac{S}{N} = \frac{S_{1171\text{nm}} - S_{600-800\text{nm}}}{\sqrt{S_{600-800\text{nm}}}} \dots (2)$$

となる。図2(b)での平均ノイズは5.443, 最大信号は1171 nmでの7357.41であるため $S/N = 3151$ となる。これは他の分光光度計では得られない高いS/N比である。

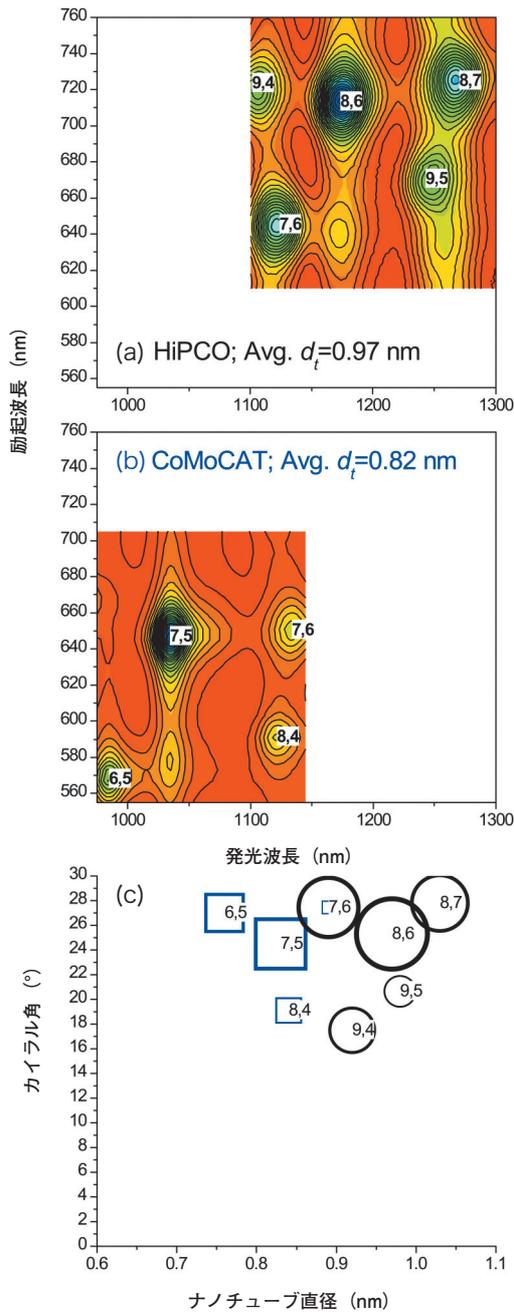


図1 SWNT分散液のEEMとカイラリティ分布
 (a)HiPCO法によるSWNT分散液のEEM
 (b)CoMoCAT法によるSWNT分散液のEEM
 (c)カイラリティ分布
 (a)(b)の実線はデータ、色はシミュレーション。(c)の記号の大きさはHiPCO法(円)及びCoMoCAT法(正方形)の最大値を1に規格化した相対強度。シミュレーションのR²値は0.997 (HiPCO)及び0.999 (CoMoCAT)。

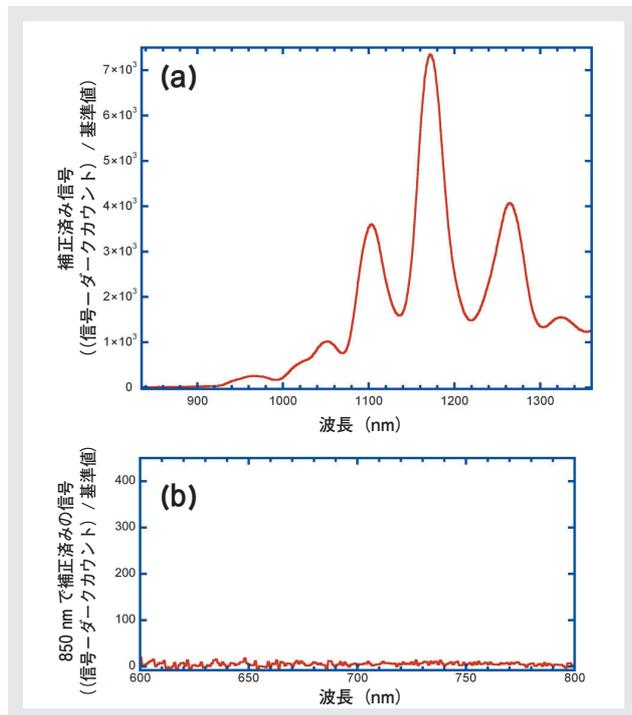


図2 HiPCO法ナノチューブのスペクトル
(a) 発光スペクトル ($\lambda_{\text{exc}} = 725 \text{ nm}$)
(b) 励起スペクトル ($\lambda_{\text{exc}} = 850 \text{ nm}$)
励起の不均一性及びダークカウントの補正済。 (b) を用いてノイズを計算した。

フォトルミネセンスの寿命

NanoLog™には時間相関単一光子計数(TCSPC)方式のマルチチャンネルスケーリング(MCS)アクセサリを装着することができる(図3)。この装置によりEvident Technologies社³提供の各種量子ドット試料を検討した。量子ドット(PbS + ポリカーボネート)の CHCl_3 分散液に対する結果を図4に示す。試料の励起にはパルスレーザーダイオード(50 kHz, $\lambda = 980 \text{ nm}$, パルス幅 $\approx 450 \text{ ps}$)を用いた。放射光は1465 nmにおいてバンドパス64 nmで記録した。記録には浜松ホトニクス社製10330-75近赤外光電子増倍管⁴とMCSを用いた(ここで使用したTCSPC及びMCSカードとの組み合わせにおいて、10330-75の寿命分解能は60 ps~DCである)。チャンネルごとの時間は100 nsとした。いずれかのチャンネルが10万カウントを記録するまで測定を継続した。レーザーパルスの占有するチャンネルは1本のみであるため、減衰のあてはめに際して再コンボリューションは不要である。

*3: Evident Technologies, 216 River Street, Suite 200, Troy, NY 12180.

*4: 感度波長範囲=950~1700 nm, 走行時間拡がり=300 ps

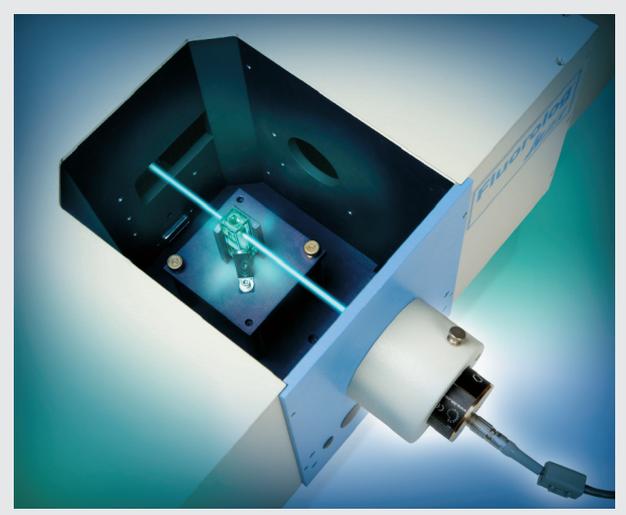


図3 NanoLog™の試料コンパートメントに装着したTCSPC/MCSアクセサリ

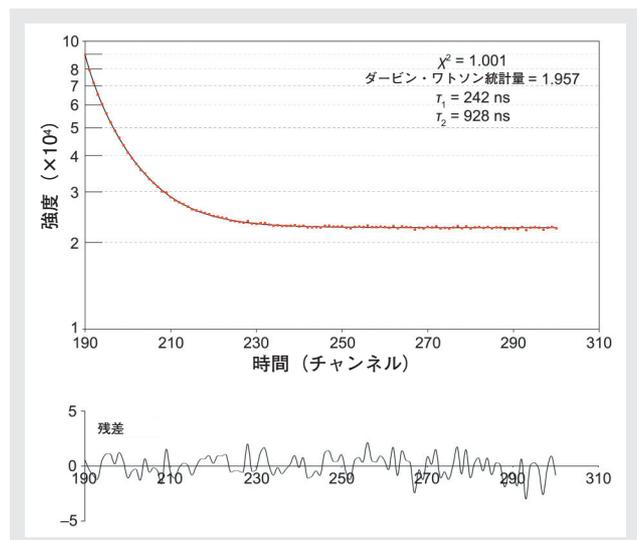


図4 CHCl_3 に分散させたPbS-ポリカーボネート量子ドット(Evident Technologies社)の蛍光減衰(上)及びあてはめ残差(下)
残差が小さく χ^2 及びダービン・ワトソン統計量が良好であることからデータがモデルに適合することがわかる。

二つの指数関数モデルを用いると $\chi^2 = 1.001$ 及びダービン・ワトソン統計量=1.957が得られ、図2のデータへのあてはめが良好であることがわかる。この量子ドットに対して得られた寿命の値は $\tau_1 = 242 \text{ ns}$, $\tau_2 = 928 \text{ ns}$ であった。各種のPbS量子ドットについて得られた寿命の値を表1に示す。

表1 二つの指数関数モデルとNanoLog™による各種量子ドット混合物の近赤外蛍光寿命と χ^2

分散媒	τ_1 (μ s)	τ_2 (μ s)	χ^2
$\lambda_{\text{abs}} = 1040 \text{ nm}; \lambda_{\text{exc}} = 980 \text{ nm}$			
ポリスチレン	1.82	0.69	0.91
PMMA	2.52	1.37	0.97
ポリカーボネート	2.22	0.79	1.10
フレキシ印刷インキ	0.57	0.17	1.10
$\lambda_{\text{abs}} = 1400 \text{ nm}$			
ポリスチレン ($\lambda_{\text{exc}} = 980 \text{ nm}$)	1.00	0.61	1.14
ポリスチレン ($\lambda_{\text{exc}} = 635 \text{ nm}$)	0.93	0.57	1.19
PMMA ($\lambda_{\text{exc}} = 980 \text{ nm}$)	1.12	0.62	1.03
PMMA ($\lambda_{\text{exc}} = 635 \text{ nm}$)	1.11	0.62	1.20
ポリカーボネート ($\lambda_{\text{exc}} = 980 \text{ nm}$)	0.93	0.24	1.00
ポリカーボネート ($\lambda_{\text{exc}} = 635 \text{ nm}$)	0.96	0.40	1.13
フレキシ印刷インキ ($\lambda_{\text{exc}} = 980 \text{ nm}$)	0.30	0.14	0.95

おわりに

NanoLog™は、量子ドットや単層カーボンナノチューブなど、主として近赤外領域でルミネセンスを生ずる試料の蛍光寿命測定に不可欠なツールである。Nanosizer™ソフトウェアを用いてSWNT混合物の組成を知ることができ、TCSPC/MCSアクセサリを用いて量子ドットのルミネセンス寿命を測定することができる。NanoLog™のその他の用途としては、固体物理学の研究、バイオセンシング、癌の検出などがある。またNanoLog™にはTCSPC方式のマルチチャンネルスケーリング(500 ns, 2 ns/チャンネル)オプション、5509広帯域光電子増倍管(感度波長範囲300~1700 nm, 走行時間拡がり1.5 ns)も用意されている。

参考文献

- [1] D.E. Resasco, *et al.*, *J. Nanoparticle Res.* **34**, 131-136(2002).
 [2] S.M. Bachilo, *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.*, **125**, 11186-11187(2003).



Adam Gilmore

HORIBA Jobin Yvon Inc.
 Molecular and Microanalysis Division
 Fluorescence Applications Scientist
 Ph.D.



Stephen M. Cohen

HORIBA Jobin Yvon Inc.
 Molecular and Microanalysis Division
 Technical Writer
 Ph.D.

Selected Article

一般論文

蛍光分光光度計FluoroMax™-4の生物学および生化学分野のアプリケーションについて

Lin Chandler, Stephen M. Cohen

HORIBA Jobin Yvon(ホリバジヨバンイボン)社の新しい蛍光分光光度計FluoroMax™-4は、自動偏光子ユニット、リン光測定ユニット、時間分解寿命測定ユニット等の多彩なオプションを搭載することができる。遺伝子発現の生化学的研究や、生体分子間の蛍光共鳴エネルギー移動(FRET)、生体環境における蛍光異方性測定に最適な装置である。

はじめに

蛍光分光光度計FluoroMax™-4は、学術研究分野に最適な装置で、生体分子内部または分子近傍の局所環境を研究するため、自動偏光子ユニット、リン光測定ユニット、時間分解寿命測定ユニットが用意されている。本稿ではいくつかの実例を挙げてアプリケーションを紹介する。

モレキュラービーコンを用いたアプリケーション

遺伝子発現の研究において、生体内反応を追跡するため“モレキュラービーコン(一本鎖DNA(ssDNA))”と呼ばれる蛍光基(ドナー)と消光基(アクセプター)を有するヘアピン状のオリゴヌクレオチドが利用される。このヘアピン状部分の両末端は互いに対となる相補的DNA(cDNA)となっており、ハイブリダイゼーションが起こると蛍光基と消光基が近接して蛍光はほとんど発生しない。モレキュラービーコンは酵素の相互作用、cDNAの配列決定、バイオセンシング等の研究に利用されている^[1,2]。

モレキュラービーコンの消光には、直接的なエネルギー移動と蛍光共鳴エネルギー移動(FRET)による2つプロセスがある。蛍光基と消光基が接近すれば直接エネルギー移動が起きて熱エネルギーが放散される。一方、より離れた距離(2~10 nm, 20~100 Å)では、蛍光基の発

光スペクトルと消光基の吸収スペクトルに重なりが生じFRETが起こる^[3]。

ssDNAのループがcDNAに遭遇するとヘアピンが自発的に開き、ssDNAとcDNAがハイブリダイズされて、蛍光基と消光基が離れるため、蛍光基からの蛍光発光が増大する(図1)。ハイブリダイゼーションの程度は蛍光強度に比例する。ssDNAは熱の影響によっても開く。ssDNAを加熱すると両腕が分離して蛍光基と消光基が離れるため蛍光を発する。

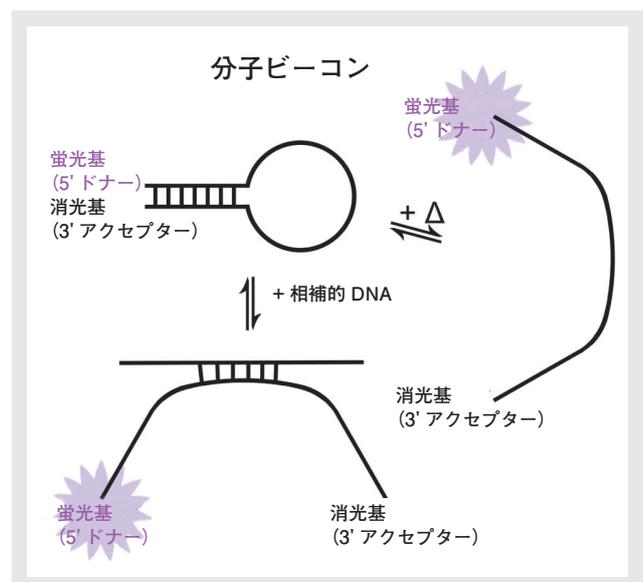


図1 モレキュラービーコンのループが開くと蛍光が発生する二つの過程 (左)cDNAとのハイブリダイゼーション, (右)加熱処理

生化学分野におけるモレキュラービーコンを使った実験の一例を示すものとして、蛍光色素(テトラクロロ-6-カルボキシフルオレセイン(TET), $\lambda_{em} = 447 \text{ nm}$)をssDNAの5'末端に、消光基(QSY)を3'末端に結合させた。蛍光分光光度計FluoroMax™-4を用いてssDNAを521 nmで励起し、サンプルを20~95 °Cの温度範囲において変化させながら525~675 nmの範囲で発光スペクトルを測定した。温度上昇に従ってヘアピンループの腕が離れ、蛍光色素(TET)と消光基(QSY)が遠ざかることにより蛍光発光が増大する(図2)。

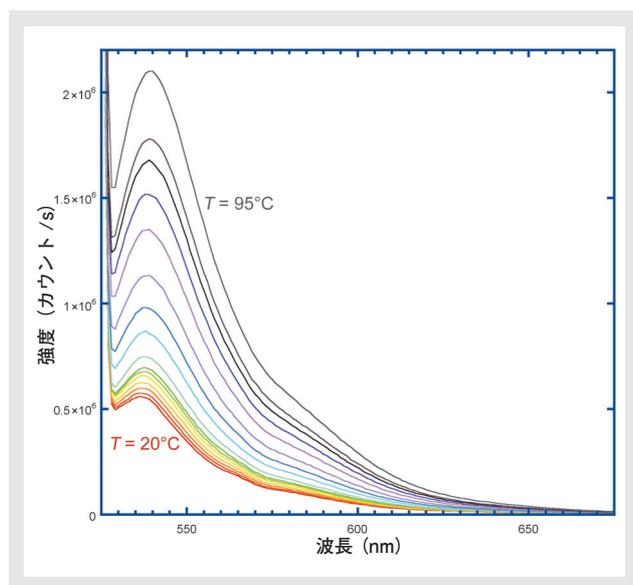


図2 サンプル温度を20~95 °Cの範囲で変化させた場合のTET(蛍光基)およびQSY(消光基)を備えたssDNAの発光スペクトル($\lambda_{exc} = 521 \text{ nm}$)。サンプル温度が上昇するにつれて蛍光基と消光基との距離の増大し蛍光強度が増加する。

FluoroMax™-4Pによる蛍光共鳴エネルギー移動(FRET)の測定

蛍光分光光度計FluoroMax™-4Pにリン光測定ユニットを装備したシステムをFluoroMax™-4Pと呼んでおり、強い短寿命の蛍光による妨害を受けることなく長寿命のリン光のみを効率よく測定することができる。このリン光測定によって化学や生化学における種々の興味深い系について重要な情報を得ることができる。その一例としてドナーであるペプチド・テルビウム複合体からアクセプターであるフルオレセインへの蛍光共鳴エネルギー移動(FRET)がある。複合体中のペプチドは280 nmの励起光を吸収して365 nmで発光する。テルビウムは365 nm付近でこの光を吸収して、485 nmでリン光を発生する。このリン光をフルオレセインが吸収して発光が起こる。リン光測定ユニットを用いて、280 nmの光で複合体を励起し

たとき520 nmでフルオレセインからの蛍光発光を観測する。

ペプチド・テルビウム複合体を水溶液とし、いくつかの試料にはフルオレセインを加えた。光源にはリン光測定用にキセノンフラッシュランプを用い、検出器には光電子増倍管(R928)を用いた。リン光測定ユニットを備えたFluoroMax™-4Pでは、光パルスにより試料を励起し、検出ウィンドウを開くタイミングと長さを可変的に制御できる。この測定では試料を280 nmの光で励起して100回のフラッシュで測定した。リン光スペクトル検出において積算時間は0.2 sに設定した。スペクトルのスキャンは常温常圧で行った。

リン光種はテルビウム(Tb)であることが実験から確認された。ペプチド・テルビウム複合体にフルオレセイン0.67 μM を加えた場合と加えない場合、キセノンフラッシュランプによるパルス励起の間に50 μs の遅延時間のある場合とない場合について、3つの発光種(ペプチド、テルビウム(Tb)、フルオレセイン)に対するプロットを図3に示した。363 nm付近の偽発光は、検出ウィンドウに50 μs の遅延時間を与えることで除去する。図3において、赤色の曲線で示すように遅延時間をかけない状態では蛍光とリン光が混じった状態で発光スペクトルが測定される。青色と緑色の曲線からフルオレセインの有無に関する違いが容易に比較され、511 nmにおけるフルオレセインのリン光発光は複合体からフルオレセインへのエネルギー移動によって起こることが示される。

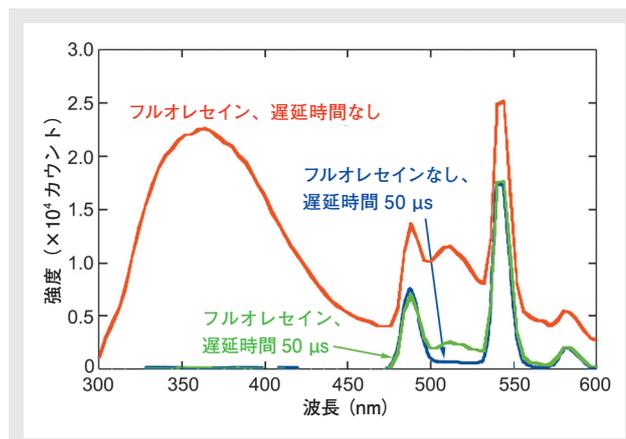


図3 ペプチド・テルビウム・フルオレセイン複合体の蛍光スペクトル(赤線)フルオレセイン0.67 μM 添加、励起後の遅延時間なし(緑線)フルオレセイン0.67 μM 添加、励起後の遅延時間50 μs (青線)フルオレセイン添加なし、励起後の遅延時間50 μs 。励起側および発光バンドパス5 nm、50 μs の遅延時間によりフルオレセインへのエネルギー移動による蛍光が除かれている。

時間相関単一光子計数(TCSPC)方式の時間分解寿命測定ユニットを用いて寿命測定を行ったところ(図4)、ド

ナーのみの蛍光寿命 τ_D (図示なし)が1.77 msに対して、テルビウム-フルオレセイン(ドナーとアクセプター)複合体の蛍光寿命 τ_{DA} は1.41 msであった。複合体の蛍光寿命の方が短いことはエネルギー移動を示唆している。

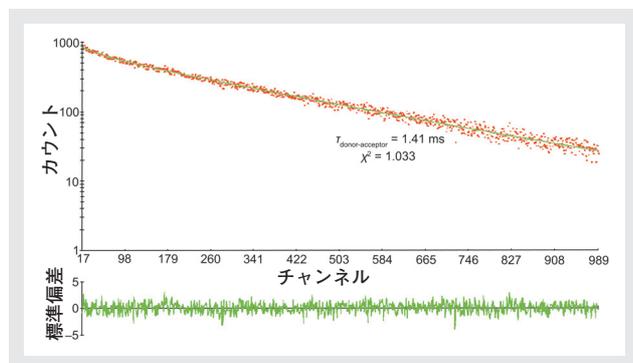


図4 テルビウム-フルオレセイン複合体の蛍光減衰曲線
解析フィッティングにより求めた蛍光寿命 $\tau = 1.41$ ms ($\chi^2 = 1.033$)

蛍光共鳴エネルギー移動(FRET)の効率 E は式(1)で求められる。

$$E = 1 \frac{\tau_{DA}}{\tau_D} \dots (1)$$

$$= 0.205$$

フェルスター (Förster) 距離 R_0 は 43.4 \AA 。ドナーとアクセプターとの距離 R_{DA} はこの R_0 の値を用いて式(2)^[4]により求められる。

$$R_{DA}^6 = \frac{R_0^6 - E(R_0^6)}{E} \dots (2)$$

$$R_{DA} = 54.4 \text{ \AA}$$

蛍光異方性を用いたアプリケーション

蛍光分子に偏光が当たると偏光蛍光が発生するが、次第に非偏光蛍光に戻り、その速度は回転拡散やその他の要因に依存する。“蛍光異方性”は偏光に直接関連しており、全光強度に対する偏光成分の比として定義される。蛍光分光光度計に偏光子ユニットを装着して、励起側の偏光子と発光側の偏光子を共に垂直方向に配置したときの発光強度を I_{VV} 、共に水平方向に配置したときの発光強度を I_{HH} 、励起側の偏光子を水平方向、発光側の偏光子を垂直方向に配置したときの発光強度を I_{HV} 、励起

側の偏光子を垂直方向に、発光側の偏光子を水平方向に配置したときの発光強度を I_{VH} とする。基本的な偏光子の設定(Lフォーマット)を図5に示す。蛍光分光光度計 FluoroMax™-4では、自動偏光子ユニットをアクセサリとして装着することで、Lフォーマットでの偏光測定を行うことができる。

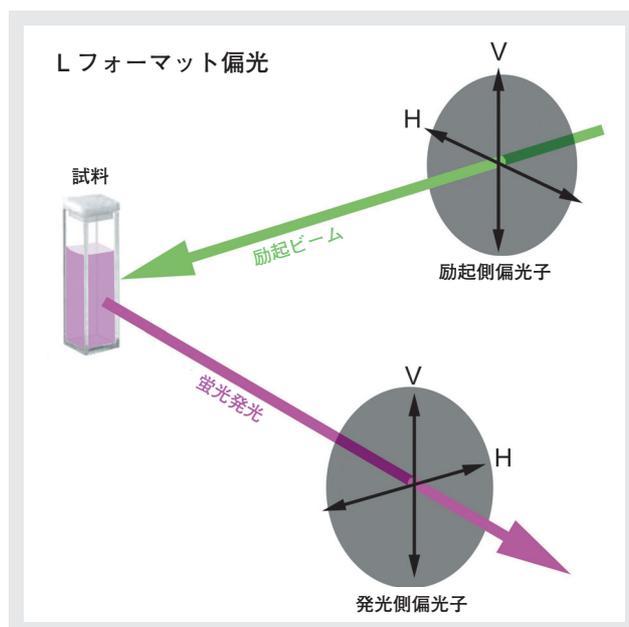


図5 Lフォーマットでの蛍光偏光の説明図
各偏光子の垂直方向(V)および水平方向(H)を示す。

蛍光異方性 $\langle r \rangle$ は式(3)で定義される^[5]。

$$\langle r \rangle = \frac{I_{VV} - G * I_{VH}}{I_{VV} + 2 * G * I_{VH}} \dots (3)$$

この G 、つまり G ファクターは式(4)で定義され、

$$G = \frac{I_{HV}}{I_{HH}} \dots (4)$$

蛍光異方性 $\langle r \rangle$ と偏光 P との関係は式(5)で示される。

$$P = \frac{3\langle r \rangle}{2 + \langle r \rangle} \dots (5)$$

蛍光異方性 $\langle r \rangle$ または偏光 P を決定するには、各偏光子の方位毎の4つの強度測定が必要である。

蛍光異方性の測定により、分子の大きさや形状、また蛍光団近傍の局所的粘度に関する情報が得られ、またポリ

Patent

流体分析用セル及びこれを用いた分析装置

【登録番号】 特許第 3762677 号

【発明者】 内村幸治

分野・従来技術

本発明は、流体分析用セル及びこれを用いた分析装置に関する発明である。

従来の流体分析用セルでは、照射光のロス防止及び外乱光の侵入防止するために、遮光構造や光軸調整機構が必要であった。また反射によって十分な光路長を稼ぐために、セル内部に反射構造を設けてあるものでは、精密で複雑な反射構造が必要であった。以上により、このような構造や機構を有するセルでは、セルの容積及びセルを配置するためのスペースが大きくなるといった問題もあった。

また従来の流体分析用セルでは、セルが直線的な形状をしていることが多く、セル自体を配置するためのスペースも大きくなると共に、多量のサンプルが必要となっていた。更に、セル長を変更する場合には分析装置全体の変更が必要となり、セル長を簡単に変更することができなかった。

目的

本発明は、セル配置の自由度を高め小さなスペースにも配置できると共に、少量のサンプルによって十分な長さの光路長を得ることができ、また遮光機構などの大掛かりな構成部品を必要とせず、更に光路長を容易に変更できる製造が容易な流体分析用セル及びこれを用いた分析装置を提供することを目的とする。

実施形態

図1は、本発明の実施例に係る流体分析用セルの概略的な構成を示し、図2はこの流体分析用セルを用いた分析装置の概略的な構成を示す。

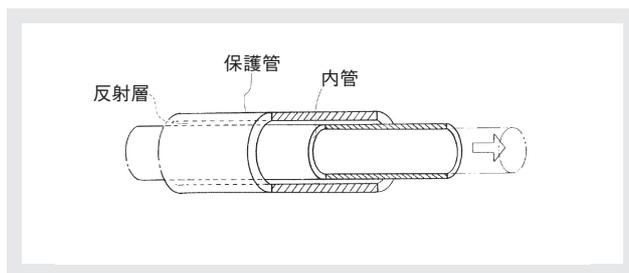


図1 本発明の流体分析用セル

ここで図1に示すセルはほぼU字形状をしており、内部にサンプルが通る内管とこの内管の外側に形成され、内管の形状を保持し、かつ外部からの光が内管側へと透過することを防止するための保護管と、内管と保護管との間に形成され、内管の内部を通る光を反射させるための反射層とからなる。なお内管は、照射部からの光が透過し、かつ内管の内部を通るサンプルによって腐食・溶解・軟化などの変質・変形が生じない、例えばFEP樹脂・ガラスなどからなる配管からなる。保護管は、例えば、ステンレスなどの金属やナイロンなどの樹脂などの配管からなる。反射層は空気層からなる。

次に図2に示す分析装置は、内部をサンプルが流れるように構成された図1に示すようなセルを有し、このセルの端側には照射部と検出器とがセルの一端及び照射部からの光が透過する透過窓部材が互いに対向する状態となるように、接続部材を通じて接続されている。

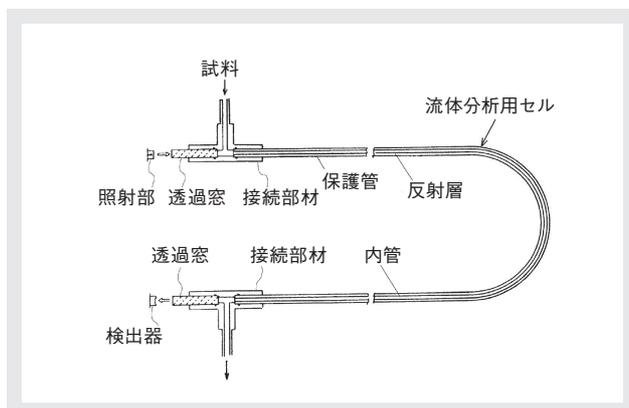


図2 本発明の流体分析用セルを用いた分析装置例

効果

この発明に係る流体分析用セルでは、反射層により照射光のロスを防止でき、また保護管によって外乱光の侵入を防止できることから、遮光構造を別途設ける必要がない。また、反射部からの光は反射層により繰り返し反射されながら内管の内部を通過することから、照射部からの光を適切に検出器にまで導くための絞りやレンズ等の大掛かりな光軸調整機構を別途設ける必要がない。以上から、装置構成をシンプルにすることができ、セル自体をより小さいスペースに配置することが可能となる。

ここでこの発明に係る流体分析用セルでは、照射部からの光は反射層によって繰り返し反射されながら内管の内部を通過して検出器まで向かうが、反射層は内管の外側に沿って形成されていることから、内管の内径を小さくすることができセル自体をより小さいスペースに配置することが可能となり、少量のサンプルによって十分な長さの光路長を得ることが可能となる。更に、照射部から検出器までの光の伝達に支障を来さない範囲で自在に湾曲させて形成することができるため、セル形状の自由度が高まり、より小さなスペースに配置することができる。

また反射層が空気層であるので、より低いコストでかつ容易に製造することが可能となる。そして、屈折率の非常に小さい空気層を反射層として用いていることから、内管と反射層との屈折率の差を非常に大きくすることが可能となり、内管内に導かれた照射部からの光が外部に漏れることをより確実に防止することができ、種々の試料を測定対象とすることができる。

更にこの流体分析用セルを用いた分析装置では、セル形状の自由度が非常に高くなり、光路長の変更を行う場合には、照射部や検出器などのセルが用いられる分析装置のハード的な構成要素を変更する必要がなく、セルの形状を適宜に変形することやセルの一部を切断することで、光路長の変更を簡単に行うことが可能となる。

文書発表

2007年1月～2008年6月

<p>標題</p> <p>発表者名</p> <p>社外発表者所属</p> <p>発表手段</p>
<p>3層NaI (TI) 検出器の性能評価</p> <p>河裾秀之¹／伏見賢一¹／保田賢輔¹／桑折範彦¹／能町正治²／吉田 齊³／碓 隆太⁴／江尻宏泰⁵／今川恭四郎⁶／伊藤浩史⁶</p> <p>¹ 徳島大学 ² 大阪大学 ³ 東北大学 ⁴ 広島大学 ⁵ ICU/Spring-8 ⁶ 株式会社堀場製作所</p> <p>「放射線」 Vol.33 No.1 P.55～P.59</p>
<p>Direct electrochemical detection of sodium azide in physiological saline buffers using highly boron-doped diamond electrodes</p> <p>鈴木あかね¹／トリビダサリ A. イワンデニ¹／紙谷聡英²／野村 聡³／山貫幹人³／松本浩一³／藤嶋 昭⁴／榮長泰明¹</p> <p>¹ 慶應義塾大学 ² 東京大学 ³ 株式会社堀場製作所 ⁴ 財団法人神奈川科学技術アカデミー</p> <p>「Sensors and Actuators B」 Vol.120 No.2 P.500～P.507</p>
<p>Multiphoton Ionization Detection of Aromatic Hydrocarbons at 157.6 nm</p> <p>菅野 望¹／藪下彰啓²／川崎昌博³／戸野倉賢一¹</p> <p>¹ 東京大学 ² 株式会社堀場製作所 ³ 京都大学</p> <p>「Chemistry Letters」 Vol.36 No.2 P.290～P.291</p>
<p>全血免疫分析装置—CRP迅速検査について</p> <p>大戸秀夫¹／中前雅美²／杉山庸子²</p> <p>¹ フクダ電子株式会社 ² 株式会社堀場製作所</p> <p>「臨床病理レビュー」 特集号 Vol.138 P.85～P.90</p>
<p>オンボード排ガス計測器の展開について</p> <p>木原信隆¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>(社) 日本マリンエンジニアリング学会講演会テキスト</p>
<p>ガス形成元素成分のための試料前処理および条件検討</p> <p>内原 博¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>「続 入門鉄鋼分析技術」 P.3～P.10</p>
<p>The on-site measurement of nitrate ion in tissue sap and soil using a portable ion meter based on an ion selective electrode</p> <p>江原克信¹／石井章夫¹／本城 充¹／小椋克昭¹／森 健¹／永井 博¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>Abstract of Pittcon 2007</p>
<p>ドライブレコーダの開発コンセプトと運用例</p> <p>石倉理有¹</p> <p>¹ 株式会社ホリバイテック</p> <p>「人間生活工学」 Vol.8 No.2 P.28～P.31</p>
<p>組込みソフトウェア開発のためのリバースモデリング</p> <p>北村裕之¹／道北俊行¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>「組み込みソフトウェア開発のためのリバースモデリング」</p>

<p>わが社の提供する分析装置</p> <p>田中 悟¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>「セラミックス岡山」 Vol.15 P.44～P.48</p>
<p>堀場製作所における技術部門と知財部門の連携の取り方・築き方</p> <p>青海 隆¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>「研究開発リーダー」 2007年5月号 Vol.14 P.34～P.36</p>
<p>Performance Test Results of a New On Board Emission Measurement System Conformed with CFR Part 1065</p> <p>中村博司¹／Michael Akard¹／Scott Porter¹／木原信隆²／足立正之²／Imad A. Khalek³</p> <p>¹ HORIBA Instruments Inc. ² 株式会社堀場製作所 ³ Southwest Research Institute</p> <p>SAE 2007 World Congress SAE Paper:2007-01-1326</p>
<p>Soot Emission Behavior from Diverse Vehicles and After-treatment Technologies Measured by a Solid Particle Counting System</p> <p>ラーマン モンタジュール¹／日下竹史¹／井上 香¹／木原信隆¹／浅野一朗¹／足立正之²／Qiang Wei²</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所 ² HORIBA Instruments Inc.</p> <p>SAE 2007 World Congress SAE Paper:2007-01-0317</p>
<p>二波長透過型光学式骨密度計測装置の開発</p> <p>田中茂雄¹／野川雅道¹／山越憲一¹／辻本敏行²</p> <p>¹ 金沢大学 ² 株式会社堀場製作所</p> <p>「2007年日本生体医工学学会論文集」</p>
<p>ハンディタイプ放射温度計</p> <p>浅川洋平¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>「計測技術」 Vol.35 No.6 P.10～P.13</p>
<p>自動車排ガス測定装置の変遷と動向</p> <p>江草隆志¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>「テストングツール最前線2007」 P.4～P.7</p>
<p>ソフトウェアプロジェクトにおける課題とその解決についての考察</p> <p>下野善弘¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>日本プロジェクトマネジメント協会オンラインジャーナル 2007年5月号</p>
<p>エンジン排出固体粒子数測定システムの開発</p> <p>浅野一朗¹／日下竹史¹／ラーマン モンタジュール¹／足立正之²／Qiang Wei²</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所 ² HORIBA Instruments Inc.</p> <p>「自動車技術会論文集」 Vol.38 No.3 P.43～P.48</p>
<p>Real-Time Analysis of Secondary Organic Aerosol Particles Formed from Cyclohexene Ozonolysis Using a Laser-Ionization Single-Particle Aerosol Mass Spectrometer</p> <p>成川正広¹／松見 豊¹／松本 淳¹／高橋けんし¹／藪下彰啓²／佐藤 圭³／今村隆史³</p> <p>¹ 名古屋大学 ² 株式会社堀場製作所 ³ 独立行政法人国立環境研究所</p> <p>「ANALYTICAL SCIENCES」 Vol.23 No. P.507～P.512</p>

文書発表

2007年1月～2008年6月

窒素酸化物及び粒子状物質等に係る排出ガス診断装置の実用性に関する調査研究 (平成18年度)
 山岸 豊¹
¹ 株式会社堀場製作所
 環境再生保全機構 平成18年度研究成果発表会:ERCAホームページ

酸性雨とpH
 佐竹大輔¹
¹ 株式会社堀場製作所
 [生物工学会誌] Vol.85 No.5 P.237～P.237

ヒト大腿骨海綿骨試料の骨密度と弾性定数の超音波による評価
 山本真人¹/萩野 浩¹/豊島良太¹/高田政彦²/真野 功³/辻本敏行⁴/大谷隆彦⁵
¹ 鳥取大学 ² 滋賀医科大学 ³ 応用電機株式会社 ⁴ 株式会社堀場製作所 ⁵ 同志社大学
 第27回日本骨形態計測学会 第27回日本骨形態計測学会抄録 P.O-48

残留ガス分析
 北浦宏和¹
¹ 株式会社堀場エステック
 [計測技術] 2007年6月号 P.31～P.35

牛海綿骨の構造異方性が縦波超音波音速に及ぼす影響
 水野勝紀¹/木村圭佑¹/松川真美¹/大谷隆彦¹/高田政彦²/真野 功³/辻本敏行⁴
¹ 同志社大学 ² 滋賀医科大学 ³ 応用電機株式会社 ⁴ 株式会社堀場製作所
 第27回日本骨形態計測学会 第27回日本骨形態計測学会抄録 Vol.27 P.s106

Measurements of Ammonium- and Sodium-salt Aerosol Particles Using a Laser-ionization Single-particle Aerosol Mass Spectrometer
 成川正広¹/松見 豊¹/高橋けんじ¹/数下彰啓²
¹ 名古屋大学 ² 株式会社堀場製作所
 [Chemistry Letters] Vol.36 No.7 P.904～P.905

EU環境政策の最新状況-RoHS指令を中心にー
 小山師真¹
¹ 株式会社堀場製作所
 1年が経過したRoHSー最新動向とカテゴリ-8、9の対応-セミナー予稿集

光ファイバーとプラスチックシンチレータで構成する放射線検出器の安定化
 馬場康雄¹
¹ 株式会社堀場製作所
 品質工学会 品質工学第15回全国発表大会予稿集

固相ESR法によるマンガン二価イオンの定量分析の研究
 藤田英夫¹/田嶋邦彦²/牧野主祐³/田中 悟⁴
¹ 京都薬科大学 ² 京都工芸繊維大学 ³ 京都大学 ⁴ 株式会社堀場製作所
 Bulletin of the Society of Sea Water Science, Japan Vol.61 No.5 P.281～P.285

走査型マルチプローブ顕微鏡における複数プローブのナノスケール位置認識
 樋口誠司¹/オリビエ ローラン¹/大堀謙一¹/中山知信²
¹ 株式会社堀場製作所 ² 独立行政法人物質・材料研究機構
 [電気学会論文誌C部門] Vol.127 No.9

次世代マフフローモジュール CRITETION D200シリーズ
 安田忠弘¹
¹ 株式会社堀場エステック
 「クリーンテクノロジー」 Vol.17 No.9 P.48～P.50

欧州REACH規則と半導体製造装置の対応
 小山師真¹
¹ 株式会社堀場製作所
 ISTF (Industry Strategy and Technology Forum) 2007講演予稿集

欧州REACH規則とカテゴリ-8、9関連機器
 小山師真¹
¹ 株式会社堀場製作所
 JAIMA環境規制関連セミナー予稿集

PTFE/不織布メンブレンフィルタのベータ線吸収法によるPM2.5計測への適用
 篠原政良¹/水野裕介¹/村尾直人²/太田幸雄²
¹ 株式会社堀場製作所 ² 北海道大学大学院
 [大気環境学会誌] Vol.42 No.5 P.292～P.300

自動車排ガス測定装置
 恩田義久¹
¹ 株式会社堀場製作所
 [計測技術] 2007年10月別冊号

固体粒子数測定システムによるスート粒子排出挙動の調査
 浅野一朗¹/ラーマン モンタジュール¹/井上 香¹/日下竹史¹/木原信隆¹
¹ 株式会社堀場製作所
 自動車技術会秋季学術講演会 自動車技術会学術講演会前刷集 No.155-07 P.13～P.16

Solid and Volatile Particle Emission Behavior from a Small Non-Road Diesel Engine
 浅野一朗¹/ラーマン モンタジュール¹/大槻喜則¹/井上 香¹/木原信隆¹
¹ 株式会社堀場製作所
 SAE/JSAE Small Engine Technology Conference 2007 抄録

Evaluation of palm-top-sized blood cell counter, Palm-LC prototype
 田窪孝行¹/土屋直道²/宮村和宏³/杉山庸子³/津田 泉⁴/宮崎 誠³
¹ 大阪医科大学 ² 天理よろづ相談所病院 ³ 株式会社堀場製作所 ⁴ 大阪市立大学
 [The Journal of Near Patient Testing and Technology] Vol.6 No.3 P.174～P.177

カソードルミネッセンス法、ラマン分光法、有限要素法によるSTI構造の微小場応力解析
 小寺雅子¹/井口 直¹/土屋憲彦¹/田村瑞樹²/柿沼 繁³/中庸行³/柏木伸介³
¹ 株式会社東芝セミコンダクター社 ² 東芝インフォメーションシステムズ株式会社 ³ 株式会社堀場製作所
 LSIテストシンポジウム/2007予稿集

PM・粒子数の計測 (PM計測の歴史と動向)
 浅野一朗¹
¹ 株式会社堀場製作所
 日本機化学会No07-114講習会抄録

文書発表

2007年1月～2008年6月

<p>多分散ナノ粒子測定用のラグ付フィボナッチ数列型 指数サンプリング相関器の開発</p> <p>山口哲司¹/河原林成行¹/奥山喜久夫²</p> <p>*1 株式会社堀場製作所 *2 広島大学大学院</p> <p>〔粉体工学会誌〕 Vol.44 No.12 P.846～P.851</p>	<p>フーリエ変換赤外分光光度計 (FTIR)</p> <p>中田 靖¹/内原 博¹</p> <p>*1 株式会社堀場製作所</p> <p>〔計測技術〕 2008年3月号 Vol.36 No.4 P.58～P.61</p>
<p>Continuous Size Classification of Nanoparticles Utilizing Brownian Motion in Micro Channel Size Exclusion Chromatography</p> <p>山口哲司¹/奥山喜久夫²</p> <p>*1 株式会社堀場製作所 *2 広島大学大学院</p> <p>〔Particle & Particle System Characterization〕 Vol.24 No.6 P.424～P.430</p>	<p>Vapor-phase growth of high-quality GaN single crystals in crucible by carbothermal reduction and nitridation of Ga₂O₃</p> <p>三浦 章¹/横山政昭²/嶋田志郎¹/関口隆史³/清洲文章⁴</p> <p>*1 北海道大学大学院 *2 株式会社堀場製作所 *3 独立行政法人物質・材料研究機構 *4 住友精化株式会社</p> <p>〔CRYSTAL GROWTH〕 Vol.310 P.530～P.535</p>
<p>Mid-infrared wire grid polarizer with silicidies</p> <p>山田逸成¹/金高健二²/秋岡 聡³/山岸 豊³/斎藤光徳¹</p> <p>*1 龍谷大学 *2 独立行政法人産業技術総合研究所 *3 株式会社堀場製作所</p> <p>〔OPTICS LETTERS〕 Vol.33 No.3 P.258～P.260</p>	<p>フーリエ変換赤外分光光度計 (FTIR)</p> <p>中田 靖¹/内原 博¹</p> <p>*1 株式会社堀場製作所</p> <p>〔計測技術〕 2008年6月号 Vol.36 No.7 P.56～P.60</p>
<p>LEMA (日本陸用内燃機関協会) 季刊誌 座談会</p> <p>木原信隆¹/浦谷勝己¹/岡田 薫¹/日下竹史¹/戸川 進¹/中谷 茂¹/松浦孝成¹/宮井 優¹/山岸 豊¹</p> <p>*1 株式会社堀場製作所</p> <p>〔LEMA2008〕 1/20冬号 No.490 P.25～P.32</p>	<p>残留ガス分析計</p> <p>北浦宏和¹</p> <p>*1 株式会社堀場エステック</p> <p>〔2008真空機器・装置技術大全〕 P.438～P.441</p>
<p>Properties and electronic structure of heavily oxygen-doped GaN crystals</p> <p>三浦 章¹/横山政昭²/嶋田志郎¹/立川寛人¹/北村俊夫³</p> <p>*1 北海道大学大学院 *2 株式会社堀場製作所 *3 独立行政法人産業技術総合研究所</p> <p>〔CHEMICAL PHYSICS LETTERS〕 Vol.451 P.222～P.225</p>	<p>2成分混合溶液を用いたCVD新酸化供給法の提案</p> <p>大嶋元啓¹/米田有紀子¹/富永浩二²/中尾 基³/清水哲夫⁴/千田二郎¹/石田耕三²</p> <p>*1 同志社大学 *2 株式会社堀場製作所 *3 九州工業大学 *4 株式会社堀場エステック</p> <p>〔日本機械学会論文集〕 Vol.74 No.742 B P.189～P.196</p>

口頭発表

2007年1月～2008年6月

標題	発表者名	発表機関 (開催場所)	発表日
揮発性有機化合物の一光子及び多光子イオン化質量分析法による検出	菅野 望 ¹ /川崎昌博 ² /戸野倉賢一 ¹ /藪下彰啓 ³	*1 東京大学 *2 京都大学 *3 株式会社堀場製作所	第17回大気化学シンポジウム (豊川市民プラザ) 2007/1/11
Raman分光の基礎とアプリケーションの紹介	中田 靖 ¹	*1 株式会社堀場製作所	岩手表面技術懇話会 (ホテルサンルートノ関) 2007/1/10
レーザーイオン化個別粒子質量分析計による標準粒子の質量スペクトル	成川正広 ¹ /高橋けんし ¹ /松見 豊 ¹ /藪下彰啓 ²	*1 名古屋大学 *2 株式会社堀場製作所	第17回大気化学シンポジウム (豊川市民プラザ) 2007/1/10
2006年春季の沖縄辺戸岬における単一エアロゾル粒子のリアルタイム測定	成川正広 ¹ /松見 豊 ¹ /高橋けんし ¹ /松本 淳 ² /藪下彰啓 ³	*1 名古屋大学 *2 東京工業大学 *3 株式会社堀場製作所	第17回大気化学シンポジウム (豊川市民プラザ) 2007/1/11
顕微ラマン分光の実際と表面分析への応用	中田 靖 ¹	*1 株式会社堀場製作所	表面技術協会東北支部岩手地区講演会 (岩手大学) 2007/1/15
有害元素のスクリーニング分析法	坂東 篤 ¹	*1 株式会社堀場製作所	有害元素セミナー (静岡工業技術センター) 2007/1/16
欧州WEEE/RoHS、ELV指令とは?	坂東 篤 ¹	*1 株式会社堀場製作所	有害元素セミナー (静岡工業技術センター) 2007/1/16

口頭発表

2007年1月～2008年6月

<p>欧州WEEE/RoHS、ELV指令とは？</p> <p>坂東 篤¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>静岡新材料技術研究会（静岡工業技術研究所）</p> <p>2007/1/16</p>	<p>親指サイズ電子顕微鏡技術とカソードルミネッセンス分析技術の紹介</p> <p>西方健太郎¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>オクテックセミナー（東京エレクトロン株式会社本社）</p> <p>2007/2/21</p>
<p>SESSAMEコミュニティへの参加とスキルアップ</p> <p>道北俊行¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>Open SESSAME Workshop 2007（東京両国KFCホール・ANNEX）</p> <p>2007/1/19</p>	<p>ドライブレコーダーの役割と活用</p> <p>石倉理有¹</p> <p>¹ 株式会社ホリバアイテック</p> <p>京都トラック協会物流セミナー（京都府トラック協会）</p> <p>2007/2/22</p>
<p>技術者の教育とキャリア形成</p> <p>青山剛士¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>同志社大学大学院ビジネス研究科イノベーションと人的資源（同志社大学）</p> <p>2007/1/20</p>	<p>親指サイズ電子顕微鏡技術とカソードルミネッセンス分析技術の紹介</p> <p>西方健太郎¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>光産業・光集積技術セミナー（財団法人京都高度技術研究所（ASTEM））</p> <p>2007/2/23</p>
<p>HORIBA products and R&D innovation strategy</p> <p>Paul Thellier¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>McGill MBA JAPAN課題発表</p> <p>2007/1/28</p>	<p>Development of a compact size cathodoluminescence scanning electron microscope</p> <p>西方健太郎¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>PITTCON 2007（McCormic Place, Chicago, USA）</p> <p>2007/2/25</p>
<p>EMAXの原理と分析ノウハウ</p> <p>宮坂真太郎¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>松下電器産業株式会社プロセス系新入社員研修（松下電器産業株式会社長岡工場）</p> <p>2007/1/30</p>	<p>pH Measurement of Room Temperature Ionic Liquids Using an Ion Selective Field Effect Transistor</p> <p>芝田 学¹ / 岩本恵和¹ / 野村 聡¹ / 内田訓彰² / 神崎 亮² / 梅林康宏² / 石黒慎一²</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所 ² 九州大学大学院</p> <p>PITTCON 2007（McCormic Place, Chicago, USA）</p> <p>2007/2/25</p>
<p>有害物質規制における蛍光X線分析装置の有効活用のご紹介</p> <p>大石 誠¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>有害元素セミナー（堀場製作所セールスオフィス（東京、名古屋、大阪））</p> <p>2007/2/15</p>	<p>マイクロチップ技術による医療計測装置の開発</p> <p>野田俊彦¹ / 宮村和宏²</p> <p>¹ 豊橋技術科学大学 ² 株式会社堀場製作所</p> <p>2007都市エリアフォーラムin豊橋（ホテル日航豊橋 ホリデイホール）</p> <p>2007/2/26</p>
<p>FTIRとRaman</p> <p>沼田朋子¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>固体分析の基礎（つくば国際農林交流センター）</p> <p>2007/2/16</p>	<p>Accurate Measurement of Particle Size Distribution by a Laser Diffraction/Scattering Analyzer</p> <p>伊串達夫¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>PITTCON 2007（McCormic Place, Chicago, USA）</p> <p>2007/2/26</p>
<p>製品含有化学物質規制の動向と分析技術</p> <p>坂東 篤¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>有害元素セミナー（堀場製作所セールスオフィス）</p> <p>2007/2/16</p>	<p>Reference Electrodes with a Remarkably Stable Liquid Junction Potential Based on a New Salt Bridge Composed of a Gelled Ionic Liquid</p> <p>芝田 学¹ / 西尾友志¹ / 岩本恵和¹ / 野村 聡¹ / 吉松孝宗² / 西直哉² / 垣内 隆²</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所 ² 京都大学大学院</p> <p>PITTCON 2007（McCormic Place, Chicago, USA）</p> <p>2007/2/26</p>
<p>蛍光X線分析装置「XGTシリーズ」のご紹介</p> <p>亀谷亜矢¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>有害元素セミナー（堀場製作所セールスオフィス）</p> <p>2007/2/20</p>	<p>Modification of the Accuracy on the Particle Size Measurement by Dynamic Light Scattering</p> <p>梅沢 誠¹</p> <p>¹ HORIBA Instruments Inc.</p> <p>PITTCON 2007（McCormic Place, Chicago, USA）</p> <p>2007/2/26</p>
<p>酸性雨のpH測定の問題点と将来</p> <p>芝田 学¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>第19回酸性雨東京講演会（国立環境研究所東京会議室）</p> <p>2007/2/21</p>	<p>Sample Preparation Technique for Scanning Electron Microscope utilizing RF Glow principle</p> <p>平野彰弘¹ / Patrick Chapon²</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所 ² HORIBA Jobin Yvon S.A.S.</p> <p>PITTCON 2007（McCormic Place, Chicago, USA）</p> <p>2007/2/27</p>

口頭発表

2007年1月～2008年6月

<p>RoHS指令に関する動向について</p> <p>坂東 篤¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>岐阜県産業技術センター技術セミナー（岐阜県産業技術センター）</p> <p>2007/2/27</p>	<p>シリコンX線検出器の原理からその応用まで</p> <p>新井重俊¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>大阪電気通信大学ワークショップ（大阪電気通信大学）</p> <p>2007/3/23</p>
<p>Innovation in Detectors for Oxygen and Nitrogen Analyzer using the Inert Gas Fusion method and its Applications.</p> <p>平野彰弘¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>PITTCON 2007 (McCormic Place, Chicago, USA)</p> <p>2007/2/28</p>	<p>吸光度測定マイクロチップ用集積温度制御機構の設計と製作</p> <p>広久保望¹ / 野田俊彦¹ / 高尾英邦¹ / 宮村和宏² / 松本浩一² / 澤田和明¹ / 石田 誠¹</p> <p>¹ 豊橋技術科学大学 ² 株式会社堀場製作所</p> <p>2007年春季第54回応用物理学関係連合講演会（青山学院大学）</p> <p>2007/3/27</p>
<p>Development of integrated control system for Multiple-scanning-probe microscopy</p> <p>樋口誠司¹ / 小松原隆司¹ / オリビエ ローラン¹ / 吉岡誠一郎¹ / 大塚謙一¹ / 中山知信²</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所 ² 独立行政法人物質・材料研究機構</p> <p>PITTCON 2007 (McCormic Place, Chicago, USA)</p> <p>2007/2/28</p>	<p>連続原料供給されたGa₂O₃の炭素熱還元窒化によるGaN結晶育成</p> <p>三浦 章¹ / 関口隆史² / 嶋田志郎¹ / 溝瀨文章³ / 横山政昭⁴</p> <p>¹ 北海道大学大学院 ² 独立行政法人物質・材料研究機構 ³ 住友精化株式会社 ⁴ 株式会社堀場製作所</p> <p>2007年春季第54回応用物理学関係連合講演会（青山学院大学）</p> <p>2007/3/27</p>
<p>高周波グロー放電プラズマを用いた新しい顕微鏡用試料前処理手法</p> <p>藤本明良¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>分析技術研究会（パナヒルス大阪）</p> <p>2007/3/8</p>	<p>マイクロ引張試験機を用いたラマン分光法によるシリコンの応力評価方法の検討</p> <p>柏木伸介¹ / 中 庸行¹ / 長井悠幸² / 生津資大² / 井上尚三² / 大槻久仁夫¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所 ² 兵庫県立大学</p> <p>2007年春季第54回応用物理学学会学術講演会（青山学院大学）</p> <p>2007/3/28</p>
<p>最新EDXのご提案</p> <p>石川純代¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>日立ハイテクノロジーズナノテクセミナー（九州天神ビル）</p> <p>2007/3/9</p>	<p>pH応答ガラスの表面分析と最近のpH応答ガラスの動向</p> <p>西尾友志¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>ニューガラス研究会（大阪キャッスルホテル）</p> <p>2007/3/30</p>
<p>Electrochemical Detection of Free Chlorine Based On Anodic Current Using Highly Boron-Doped Diamond Electrodes</p> <p>村田道生¹ / 野村 聡¹ / トリビダサリ A. イワンデニ² / 藤嶋 昭³ / 栄長泰明²</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所 ² 慶應義塾大学 ³ 財団法人神奈川科学技術アカデミー</p> <p>国際ダイヤモンドシンポジウム（慶應義塾大学）</p> <p>2007/3/9</p>	<p>Ga₂O₃とGeO₂の同時炭素熱還元窒化による高輝度GeドープGaN結晶粉末の作成と評価</p> <p>三浦 章¹ / 関口隆史² / 嶋田志郎¹ / 三浦洋子¹ / 溝瀨文章³ / 横山政昭⁴</p> <p>¹ 北海道大学大学院 ² 独立行政法人物質・材料研究機構 ³ 住友精化株式会社 ⁴ 株式会社堀場製作所</p> <p>2007年春季第54回応用物理学関係連合講演会（青山学院大学）</p> <p>2007/3/30</p>
<p>Detection of Trace Amount of Zinc Using Boron-Doped Diamond Electrodes</p> <p>Eri Hayashi¹ / 山貫幹人² / 野村 聡² / Takeshi Watanabe¹ / トリビダサリ A. イワンデニ² / Akira Fujishima³ / 栄長泰明¹</p> <p>¹ 慶應義塾大学 ² 株式会社堀場製作所 ³ 財団法人神奈川科学技術アカデミー</p> <p>9th International Mini-Symposium on Diamond Electrochemistry（慶應義塾大学）</p> <p>2007/3/9</p>	<p>殺虫剤ニテンピラムのイムノアッセイキットの開発</p> <p>近藤美香¹ / 内ヶ島美枝子¹ / 三宅司郎¹ / 山下 弘¹ / 伊東茂壽¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>日本農薬学会第32回大会（東京農工大学）</p> <p>2007/4/4</p>
<p>蛍光X線分析装置「XGTシリーズ」のご紹介</p> <p>亀谷亜矢¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>有害元素セミナー（堀場製作所セールスオフィス）</p> <p>2007/3/14</p>	<p>Real-time trace ambient ammonia monitor for haze prevention</p> <p>西村克美¹ / 坂口有平¹ / Eric Crosson² / Edward Wahl² / Chris Rella²</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所 ² Picarro, Inc.</p> <p>Photomask Japan 2007（パシフィック横浜）</p> <p>2007/4/17</p>
<p>Particle and Particulate Matter from Automobile and HORIBA's Solution</p> <p>ラーマン モンタジュール¹ / 浅野一朗¹ / 日下竹史¹ / 中谷 茂¹ / 井上 香¹ / Leslie Hill²</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所 ² HORIBA Instruments Limited</p> <p>International Conference on Transportation and Enviornment (Fierra Milano City, Milan, Italy)</p> <p>2007/3/20</p>	<p>製品含有化学物質規制の動向と分析手法 ～RoHS/ELV指令、中国版RoHS等各国の最新規制動向と分析の実際～</p> <p>坂東 篤¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>めっき部会 RoHSセミナー（東京理科大学森戸記念館）</p> <p>2007/4/25</p>
<p>最新の微小異物測定の実際と最適ソリューションの選択</p> <p>沼田朋子¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>ラマンセミナー（堀場製作所セールスオフィス（東京、名古屋、大阪））</p> <p>2007/3/22</p>	<p>近赤外光を利用した新規骨密度計測装置</p> <p>田中茂雄¹ / 野川雅道¹ / 山越憲一¹ / 辻本敏行²</p> <p>¹ 金沢大学大学院 ² 株式会社堀場製作所</p> <p>日本生体医学工学会（仙台国際センター）</p> <p>2007/5/2</p>

口頭発表

2007年1月～2008年6月

アフラトキシン通知試験法と併用可能なイムノアフィニティーカラムの開発とその応用
三枝麻衣¹/西島基弘¹/三宅司郎²/内ヶ島美岐子²/藤田和弘³/中島正博⁴
¹実践女子大学 ²株式会社堀場製作所 ³財団法人日本食品分析センター ⁴名古屋衛生研究所
食品衛生学会 (銀座プロッサム)
2007/5/10

プラスチック中クロム定量のための前処理方法の検討
橋本文寿¹/山田 薫¹/池田昌彦¹/内原 博¹
¹株式会社堀場製作所
第68回分析化学討論会 (宇都宮大学)
2007/5/19

シクロヘキセンのオゾン分解で生成した二次有機エアロゾルの生成機構: レーザーイオン化個別粒子質量分析計による解析
成川正広¹/松本 淳²/高橋けんし¹/松見 豊¹/佐藤 圭³/今村隆史³/数下彰啓⁴
¹名古屋大学 ²東京工業大学 ³独立行政法人国立環境研究所 ⁴株式会社堀場製作所
日本地球惑星科学連合2007年大会 (幕張メッセ国際会議場)
2007/5/21

レーザーイオン化個別粒子質量分析計を用いた春季沖縄でのエアロゾル観測
成川正広¹/松見 豊¹/松本 淳²/高橋けんし¹/数下彰啓³
¹名古屋大学 ²東京工業大学 ³株式会社堀場製作所
日本地球惑星科学連合2007年大会 (幕張メッセ国際会議場)
2007/5/21

キャビティリングダウン分光法を用いた大気エアロゾルの光学特性の実験的研究
中山智喜¹/坂本陽介¹/成川正広²/松見 豊²/内山明博³/川崎昌博¹/数下彰啓⁴
¹京都大学 ²名古屋大学 ³気象庁気象研究所 ⁴株式会社堀場製作所
日本地球惑星科学連合2007年大会 (幕張メッセ国際会議場)
2007/5/21

走査型マルチプローブ顕微鏡制御システムの開発と4プローブ位置認識手法
樋口誠司¹/小松原隆司¹/オリビエ ローラン¹/吉岡誠一郎¹/大塚謙一¹/中山知信²
¹株式会社堀場製作所 ²独立行政法人物質・材料研究機構
日本顕微鏡学会 (朱鷺メッセ)
2007/5/21

酸化方式を用いた微量PM分析装置のPM分離性能の改良
篠原政良¹/吉村友志¹/中谷 茂¹/木原信隆¹
¹株式会社堀場製作所
自動車技術会春季学術講演会 (横浜パシフィコ)
2007/5/23

酸化方式を用いた微量PM分析装置のPM成分分離性能の改良
篠原政良¹/吉村友志¹/中谷 茂¹/木原信隆¹
¹株式会社堀場製作所
人とくるまのテクノロジー展 (横浜パシフィコ)
2007/5/24

堀場製作所に於ける統合マネジメントシステムの実践的構築事例
小林正義¹/中村十規人¹
¹株式会社堀場製作所
講演 (シャープ株式会社)
2007/6/7

高周波グロー放電プラズマを用いた新しい顕微鏡用試料前処理手法
平野彰弘¹/坂東 篤¹
¹株式会社堀場製作所
(独) 日本学術振興会製鋼第19委員会第40回会議 (科学技術振興機構JSTイノベーションプラザ北海道)
2007/6/8

NOVEL ABSORPTION PHOTOMETRY MICROCHIP WITH NO REFERENCE SOLUTION
野田俊彦¹/広久保望¹/高尾英邦¹/宮村和宏²/松本浩一²/澤田和明¹/石田 誠¹
¹豊橋技術科学大学 ²株式会社堀場製作所
Transducers '07 (Lyon, FRANCE)
2007/6/11

BLOOD PLASMA SEPARATION DEVICE USING CAPILLARY PHENOMENON
クンファン ソマワン¹/田中¹/相田¹/宮村和宏²/米澤儀介²/大森陽一²/松本浩一²/孟志葱¹/大恵克俊¹/杉山 進¹
¹立命館大学 ²株式会社堀場製作所
Transducers '07 (Lyon, FRANCE)
2007/6/11

IN-SITU RAMAN SPECTROSCOPIC SURFACE STRESS MEASUREMENT OF SINGLE CRYSTAL SILICON MICROSTRUCTURES SUBJECTED TO UNIAXIAL TENSILE LOADING
生津資大¹/長井悠幸¹/中 庸行²/柏木伸介²/大槻久仁夫²/井上尚三¹
¹兵庫県立大学 ²株式会社堀場製作所
Transducers '07 (Lyon, FRANCE)
2007/6/12

より正確な分析結果を得るためのICP-OES最新アプリケーション
橋本文寿¹
¹株式会社堀場製作所
複合材料評価技術セミナー (堀場製作所東京セールスオフィス、名古屋国際会議場、大阪ビジネスパーク)
2007/6/13

電子材料から複合材料まで多分野におけるC/S/O/N/H分析最新アプリケーション
阪倉誠司¹
¹株式会社堀場製作所
複合材料評価技術セミナー (堀場製作所東京セールスオフィス、名古屋国際会議場、大阪ビジネスパーク)
2007/6/13

レーザーイオン化個別粒子質量分析計を用いた大気エアロゾルの生成・変質過程の研究
松見 豊¹/成川正広¹/松本 淳²/高橋けんし¹/数下彰啓³
¹名古屋大学 ²東京工業大学 ³株式会社堀場製作所
第23回化学反応討論会 (神戸大学百年記念館 (神大会館) 六甲ホール)
2007/6/13

最新EDXご提案とアプリケーションの紹介
石川純代¹
¹株式会社堀場製作所
材料解析テクノフォーラム (品川ココヨホール)
2007/6/15

pHの正しいはかり方
西尾友志¹
¹株式会社堀場製作所
分析化学会近畿支部 (大阪市立大学文化交流センター)
2007/6/22

化学物質の分析法と国際標準化の動向
坂東 篤¹
¹株式会社堀場製作所
日本医療機器産業連合会主催セミナー (国立オリンピック記念青少年総合センター)
2007/6/25

「製品含有法規制の規制動向」&「蛍光X線分析装置を用いたスクリーニングの実際」
坂東 篤¹
¹株式会社堀場製作所
Pbフリー接合研究会セミナー (山形県工業技術センター)
2007/6/26

社外発表リスト

口頭発表

2007年1月～2008年6月

<p>最新EDXの御紹介</p> <p>宮坂真太郎¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>日立走査電子顕微鏡セミナー（マロニエプラザ）</p> <p style="text-align: right;">2007/6/29</p>	<p>見せませす！基礎からやり直そう！ICP発光分光分析</p> <p>橋本文寿¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>2007分析展新技術説明会（幕張メッセ）</p> <p style="text-align: right;">2007/8/30</p>
<p>雑音除去機構および温度調節機構を集積化した吸光度測定スマートセンサチップの作製と基礎特性の評価</p> <p>野田俊彦¹／広久保望¹／高尾英邦¹／宮村和宏²／松本浩一²／澤田和明¹／石田 誠¹</p> <p>¹ 豊橋技術科学大学 ² 株式会社堀場製作所</p> <p>電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会（筑波大学）</p> <p style="text-align: right;">2007/7/3</p>	<p>プラスチック中クロム定量のための前処理方法の検討</p> <p>橋本文寿¹／山田 薫¹／池田昌彦¹／内原 博¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>2007分析展東京コンファレンス（幕張メッセ）</p> <p style="text-align: right;">2007/8/30</p>
<p>MEMS技術の医用分析装置への応用</p> <p>宮村和宏¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>「ナノマシン技術のバイオ計測へのアプローチ」発表交流会（京都リサーチパーク）</p> <p style="text-align: right;">2007/7/13</p>	<p>見せませす！迅速表面分析の最新分析テクニック（グロー放電発光分析GD-OES）</p> <p>河野博子¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>2007分析展新技術説明会（幕張メッセ）</p> <p style="text-align: right;">2007/8/30</p>
<p>大気環境モニタリングの現状と今後の展開</p> <p>大堀謙一¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>国際高等研究所の研究プロジェクト「文化財保存テクノロジー」2007年度第2回研究会（国際高等研究所）</p> <p style="text-align: right;">2007/7/13</p>	<p>アルゴンプラズマを用いた新しい顕微鏡用試料前処理法</p> <p>藤本明良¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>電子顕微鏡解析技術フォーラム（ウエルハートピア熱海）</p> <p style="text-align: right;">2007/8/31</p>
<p>最新EDXのご紹介</p> <p>石川純代¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>第7回日立ナノテクパーク21～ビームテクノロジーが切り拓くこれからの微細構造評価～（つくば国際会議場）</p> <p style="text-align: right;">2007/7/20</p>	<p>見せませす！ナノからセンチまで測定ニーズの多様化に応えた粒子径分布測定の最新アプリケーション</p> <p>篠崎陽子¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>2007分析展（幕張メッセ）</p> <p style="text-align: right;">2007/8/31</p>
<p>バイオセンサ</p> <p>奥村弘一¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>京都高等技術・経営学院（京都工業会）</p> <p style="text-align: right;">2007/8/8</p>	<p>微小異物分析の最新複合アプリケーション例</p> <p>沼田朋子¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>2007分析展（幕張メッセ）</p> <p style="text-align: right;">2007/8/31</p>
<p>沖縄辺戸岬におけるレーザーイオン化個別粒子質量分析計を用いた大気エアロゾル観測</p> <p>松見 豊¹／成川正広¹／高橋けんし²／松本 淳³／高見昭憲⁴／畠山史郎⁵／藪下彰啓⁶</p> <p>¹ 名古屋大学 ² 京都大学 ³ 東京工業大学 ⁴ 独立行政法人国立環境研究所 ⁵ 東京農工大学 ⁶ 株式会社堀場製作所</p> <p>第24回エアロゾル科学・技術研究討論会（国立保健医療科学院）</p> <p style="text-align: right;">2007/8/11</p>	<p>株堀場製作所に於ける統合マネジメントシステムの実践的構築事例</p> <p>小林正義¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>JQAIにおけるISOオータムセミナー（東京）</p> <p style="text-align: right;">2007/9/3</p>
<p>見せませす！世界最小クラス四重極質量分析計のご紹介～Micropole System～</p> <p>北浦宏和¹</p> <p>¹ 株式会社堀場エステック</p> <p>2007分析展（幕張メッセ）</p> <p style="text-align: right;">2007/8/29</p>	<p>多変量解析を用いたラマン分光法によるシリコン応力成分評価方法</p> <p>柏木伸介¹／中 庸行¹／長井悠幸²／生津資大²／井上尚三²／大槻久仁夫¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所 ² 兵庫県立大学</p> <p>第68回秋季応用物理学会学術講演会（北海道工業大学）</p> <p style="text-align: right;">2007/9/5</p>
<p>最新・顕微鏡試料の前処理</p> <p>宮坂真太郎¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>2007分析展（幕張メッセ）</p> <p style="text-align: right;">2007/8/29</p>	<p>最新EDXのご紹介</p> <p>石川純代¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>日立SEMセミナー（アクトシティ浜松）</p> <p style="text-align: right;">2007/9/6</p>
<p>酸化・熱分解/酸化還元方式を用いた微量PM分析装置のPM成分分離性能の改良</p> <p>篠原政良¹／吉村友志¹／中谷 茂¹／木原信隆¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>2007分析展東京コンファレンス（幕張メッセ）</p> <p style="text-align: right;">2007/8/29</p>	<p>最新EDXのご紹介</p> <p>石川純代¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>日立SEMセミナー（瀧定ビル）</p> <p style="text-align: right;">2007/9/7</p>

口頭発表

2007年1月～2008年6月

顕微鏡の前処理を10秒で！材料分野における迅速前処理装置のご紹介
 平野彰弘¹／藤本明良¹／石川純代¹／宮坂真太郎¹
¹ 株式会社堀場製作所
 九州電子顕微鏡技術研究会（福岡青少年科学館）
 2007/9/8

ラマン分光計測による単結晶Siマイクロ構造体の単軸引張荷重下での応力定量評価
 長井悠幸¹／生津資大¹／中 庸行²／柏木伸介²／大槻久仁夫²／井上尚三¹
¹ 兵庫県立大学 ² 株式会社堀場製作所
 日本機械学会2007年度年次大会（関西大学）
 2007/9/9

最新EDXのご提案と分析事例のご紹介
 宮坂真太郎¹
¹ 株式会社堀場製作所
 日立観察分析セミナー（パルテノン多摩）
 2007/9/12

Raman Spectroscopic Analysis of Surface Stress Distribution on Single Crystal Silicon Microstructures Under Uniaxial Tensile Loading
 長井悠幸¹／生津資大¹／中 庸行²／柏木伸介²／大槻久仁夫²／井上尚三¹
¹ 兵庫県立大学 ² 株式会社堀場製作所
 ATEM '07（アクロス福岡）
 2007/9/12

最新EDXのご提案と分析事例のご紹介
 宮坂真太郎¹
¹ 株式会社堀場製作所
 日立観察分析セミナー（日立ハイテクノロジーズ本社）
 2007/9/13

セルフクリーニング機能を有するpH電極の開発
 橋本忠範¹／安田有希¹／那須弘行¹／石原 篤¹／西尾友志²／岩本恵和²／野村 聡²
¹ 三重大学大学院 ² 株式会社堀場製作所
 日本セラミックス協会（名古屋工業大学）
 2007/9/13

世界最小クラス四重極質量分析計のご紹介～Micropole System～
 北浦宏和¹
¹ 株式会社堀場エステック
 真空展（東京ビッグサイト）
 2007/9/14

Spectrum Mapping Using X-ray Analytical Microscopy
 松永大輔¹／横田佳洋¹／大澤澄人¹／平田泰士¹／藤田一範¹／佐藤義通¹／駒谷慎太郎¹
¹ 株式会社堀場製作所
 ICXOM2007（京都大学）
 2007/9/17

最新EDXのご提案と分析事例のご紹介
 宮坂真太郎¹
¹ 株式会社堀場製作所
 日立観察分析セミナー（大宮ソニックシティ）
 2007/9/19

最新EDXとアプリケーションのご紹介
 石川純代¹
¹ 株式会社堀場製作所
 日立SEMパークin北九州（小倉興産KMMビル）
 2007/9/20

Nano Spectroscopic Study for Determining Stress Component in Single Crystal Silicon Microstructure using Multivariate Analysis
 中 庸行¹／柏木伸介¹／長井悠幸²／生津資大²／井上尚三²／大槻久仁夫¹
¹ 株式会社堀場製作所 ² 兵庫県立大学
 2007 International Conference on Solid State Devices and Materials（エポカルつくば）
 2007/9/20

Nano-Scale Stress Field Evaluation with Shallow Trench Isolation Structure Assessed by Cathodoluminescence, Raman Spectroscopy, and Finite Element Method Analyses
 小寺雅子¹／井口 直¹／土屋憲彦¹／田村瑞樹²／柿沼 繁³／中 庸行³／柏木伸介³
¹ 株式会社東芝 セミコンダクター社 ² 東芝インフォメーションシステムズ株式会社 ³ 株式会社堀場製作所
 2007 International Conference on Solid State Devices and Materials（エポカルつくば）
 2007/9/21

土壌および底質試料中全クロム定量分析のための前処理方法の検討
 橋本文寿¹／山田 薫¹／池田昌彦¹／内原 博¹
¹ 株式会社堀場製作所
 日本分析化学会第56年会（徳島大学）
 2007/9/21

コンビナトリアル的手法による農薬認識抗体認識特異性の解析とその向上
 岩井宏徒¹／小島美樹¹／伊原正喜¹／伊東茂嘉²／奥村弘一²／上田 宏¹
¹ 東京大学大学院 ² 株式会社堀場製作所
 日本生物工学会2007年大会（広島大学）
 2007/9/25

赤外分光分析の各種測定法での試料前処理ポイント
 内原 博¹
¹ 株式会社堀場製作所
 技術情報協会（中央大学駿河台記念会館）
 2007/9/27

最新EDXのご提案と分析事例のご紹介
 宮坂真太郎¹
¹ 株式会社堀場製作所
 日立観察分析セミナー（三島グランドホテル）
 2007/10/4

最新EDXのご提案と分析事例のご紹介
 宮坂真太郎¹
¹ 株式会社堀場製作所
 日立観察分析セミナー（日産横浜ビル）
 2007/10/5

LOW-NOISE OPERATION OF CHARGE-TRANSFER-TYPE pH SENSOR USING CHARGE ACCUMULATION TECHNIQUE
 渡邊恵弥¹／飛沢 健¹／石田稔幸²／高尾英邦¹／澤田和明¹／石田 誠¹／三村 享³
¹ 豊橋技術科学大学 ² 有限会社オリマッキー ³ 株式会社堀場製作所
 MicroTAS 2007（Paris, FRANCE）
 2007/10/7

レーザーラマン分光解析による単結晶Siマイクロ構造体の応力分布評価
 長井悠幸¹／生津資大¹／中 庸行²／柏木伸介²／大槻久仁夫²／井上尚三¹
¹ 兵庫県立大学 ² 株式会社堀場製作所
 第24回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム（電気学会 センサ・マイクロマシン部門主催）（東京・江戸川区タワーホール船堀） 2007/10/16

毛細管現象を用いた血液分離デバイスの製作および評価
 相田富実二¹／クンファン ソマワ¹／孟 志憲¹／大恵克俊¹／杉山 進¹／宮村和宏²／米澤徳介²／大森陽一²／池田元英²／松本浩一²
¹ 立命館大学 ² 株式会社堀場製作所
 第24回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム（東京・タワーホール船堀）
 2007/10/16

社外発表リスト

口頭発表

2007年1月～2008年6月

<p>溶液前処理機構と雑音除去機構を集積化した血液分析用スマートマイクロチップ</p> <p>広久保望¹/野田俊彦¹/高尾英邦¹/澤田和明¹/石田 誠¹/宮村和宏²/松本浩一²</p> <p>¹ 豊橋技術科学大学 ² 株式会社堀場製作所</p> <p>第24回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム（東京・タワーホール船堀）</p> <p>2007/10/16</p>	<p>He-MIP-AESを用いた大気中粒子状物質の特性化～大気中粒子状物質の粒径分布、組成分析、化学状態評価～</p> <p>菊地 正¹/相浦哲夫¹/浅野 比¹/和田 誠²/大石 誠³/青山朋樹³/岡田義明³/平沢尚彦²/船木 貴²</p> <p>¹ 山口東京理科大学 ² 国立極地研究所 ³ 株式会社堀場製作所</p> <p>第30回極域気水圏シンポジウム（国立極地研究所）</p> <p>2007/11/20</p>
<p>見せませ！ナノからセンチまで測定ニーズの多様化に応えた粒子径分布測定の最新アプリケーション</p> <p>篠崎陽子¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>粉体工業展（インテックス大阪）</p> <p>2007/10/18</p>	<p>製品環境法規制（RoHS/ELV等）に関する最新動向について</p> <p>坂東 篤¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>岐阜県産業技術センター技術セミナー（中津川商工会議所）</p> <p>2007/11/21</p>
<p>Introduction of New EMAX</p> <p>石川純代¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>日立FE-SEMセミナー（翠宮飯店、北京）</p> <p>2007/10/19</p>	<p>南極域における大気中エアロゾルの新手法による観測計画</p> <p>和田 誠¹/浅野 比²/青山朋樹³/岡田義明³/菊地 正²/沼子千弥⁴/谷口一雄⁵/平沢尚彦¹/船木 貴¹</p> <p>¹ 国立極地研究所 ² 山口東京理科大学 ³ 株式会社堀場製作所 ⁴ 徳島大学 ⁵ 大阪電気通信大学大学院</p> <p>第30回極域気水圏シンポジウム（国立極地研究所）</p> <p>2007/11/21</p>
<p>堀場製作所 科学機器製品のご紹介</p> <p>羽野成視¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>日本セラミックス協会関西支部第10回若手フォーラム（関西大学飛鳥文化研究所）</p> <p>2007/10/19</p>	<p>アフラトキシン通知試験法と併用可能なイムノアフィニティカラム</p> <p>三宅司郎¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>食品開発展2007（東京ビッグサイト）</p> <p>2007/11/22</p>
<p>ナノからミリまでの粒子径分布測定</p> <p>篠崎陽子¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>先端技術普及セミナー（京都工試協会）（京都市産業技術研究所工業技術センター）</p> <p>2007/10/25</p>	<p>最新EDXのご提案と分析事例のご紹介</p> <p>宮坂真太郎¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>第5回日立ハイテクパーク（水戸）</p> <p>2007/11/27</p>
<p>HORIBAの粒子径分布測定装置のご紹介</p> <p>堺 一人¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>日本顔料技術協会様見学（堀場製作所本社）</p> <p>2007/10/30</p>	<p>ワイドレンジ粒子径分布測定の最新技術とアプリケーション</p> <p>篠崎陽子¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>HORIBA粒子計測ジョイントセミナー2007（堀場製作所（本社、東京セールスオフィス））</p> <p>2007/11/30</p>
<p>二次元放射温度計の多画素化への取り組み</p> <p>中田嘉昭¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>平成18年度RITE成果報告会（ホテルグランヴィア京都）</p> <p>2007/11/1</p>	<p>顕微鏡・イメージングとその応用の多様な展開</p> <p>中田 靖¹/内原 博¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>日本顕微鏡学会北海道支部（北海道大学）</p> <p>2007/12/1</p>
<p>エンジン及び駆動系試験の動向</p> <p>雷永 滋¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>明星大学同窓会機械工学科支部講演会（明星大学）</p> <p>2007/11/4</p>	<p>アフラトキシン前処理における最近の話題</p> <p>三宅司郎¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>カビ毒勉強会（堀場製作所本社）</p> <p>2007/12/1</p>
<p>生物・化学物質に対するX線分析技術の現状</p> <p>池田昌彦¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>科学警察研究所（科学警察研究所）</p> <p>2007/11/16</p>	<p>最新のエネルギー分散X線分析装置による分析・解析例について</p> <p>宮坂真太郎¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>金属・樹脂部品の不良原因解析に関するセミナー（富士工業技術センター）</p> <p>2007/12/6</p>
<p>おいしい野菜づくりを支えるコンパクト硝酸イオンメータの開発</p> <p>永井 博¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>第3回バイオ計測プロジェクト～食材の新機能解析技術と新しい応用食材技術を目指して～フォーラム（京都リサーチパーク）</p> <p>2007/11/16</p>	<p>マイコトキシン前処理における最近の話題</p> <p>三宅司郎¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>2007HPCセミナー（薬業健保会館）</p> <p>2007/12/6</p>

口頭発表

2007年1月～2008年6月

<p>ワイドレンジ粒子径分布測定 of 最新技術とアプリケーション</p> <p>篠崎陽子¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>HORIBA粒子計測ジョイントセミナー2007 (堀場製作所 (本社、東京セールスオフィス)) 2007/12/7</p>	<p>新型EDXのご提案と分析事例のご紹介</p> <p>宮坂真太郎¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>第1回観察分析セミナーin千葉 (国際能力開発支援センター) 2008/2/7</p>
<p>Comparison between each measurements [邦題: 各測定結果の比較検討]</p> <p>中庸行¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>SEMICON JAPAN2007スタンダード関連プログラム「ひずみSiデバイス実用化に向けた測定標準技術の確立-JEITA標準測定WG成果報告」(幕張メッセ) 2007/12/7</p>	<p>マイクロチップ技術による医療計測装置の開発</p> <p>野田俊彦¹/宮村和宏²</p> <p>¹ 豊橋技術科学大学 ² 株式会社堀場製作所</p> <p>2008都市エリアフォーラムin豊橋 (ホテル日航豊橋) 2008/2/21</p>
<p>光を利用した骨密度計測法の開発-光源移動法による皮膚影響補償-</p> <p>田中茂雄¹/曹廷舜¹/山越憲一¹/辻本敏行²</p> <p>¹ 金沢大学 ² 株式会社堀場製作所</p> <p>第34回日本臨床バイオメカニクス学会 (早稲田大学) 2007/12/7</p>	<p>新型EDXのご提案と分析事例のご紹介~マッピングからの新しいアプローチ~</p> <p>宮坂真太郎¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>第5回日立ハイテクパーク (鹿島セントラルホテル) 2008/2/22</p>
<p>超音波による海綿骨弾性定数のin vivo計測</p> <p>大谷隆彦¹/真野功²/辻本敏行³</p> <p>¹ 同志社大学 ² 応用電機株式会社 ³ 株式会社堀場製作所</p> <p>第34回日本臨床バイオメカニクス学会 (早稲田大学) 2007/12/7</p>	<p>最新X線分析顕微鏡の技術とアプリケーションの紹介</p> <p>宮坂真太郎¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>第5回日立ハイテクパーク (鹿島セントラルホテル) 2008/2/22</p>
<p>Raman Spectroscopy for 300mm Wafers (FR-3000)</p> <p>柏木伸介¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>SEMICON JAPAN2007スタンダード関連プログラム「ひずみSiデバイス実用化に向けた測定標準技術の確立-JEITA標準測定WG成果報告」(幕張メッセ) 2007/12/7</p>	<p>顕微Raman分光の基礎とFTIRとの比較</p> <p>中田 靖¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>第45回粉体技術専門講座 (堀場製作所) 2008/2/28</p>
<p>分光計測技術開発と社会ニーズ</p> <p>池田昌彦¹/内原 博¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>最先端計測創造特別セミナー (東京工業大学) 2007/12/12</p>	<p>粒子径分布測定装置の原理説明と測定例のご紹介</p> <p>塚 一人¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>第45回粉体技術専門講座 (堀場製作所) 2008/2/28</p>
<p>新型EDXのご提案と分析事例のご案内</p> <p>宮坂真太郎¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>2008表面・分析セミナー (長野県松本文化会館) 2008/1/17</p>	<p>分析技術開発と社会ニーズの昨今</p> <p>池田昌彦¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>日本分析化学会中四国支部・広島地区分析技術研究会 (広島大学学生会館) 2008/2/29</p>
<p>SESSAME Workshop2008のねらいと問題提起、5年後のビジョン</p> <p>北村裕之¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>組込みソフトウェア管理者・技術者育成研究会 (東実年金会館) 2008/1/18</p>	<p>Development of Palm Top Size Particle Counting System Based on Coulter Counter</p> <p>宮村和宏¹/野村 聡¹/奥 成博¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>PITTCON 2008 (New Orleans, USA) 2008/3/4</p>
<p>新型EDXのご提案と分析事例のご紹介</p> <p>宮坂真太郎¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>2008表面・分析セミナー (長野厚生年金会館) 2008/1/18</p>	<p>A New Approach to the Measured Size of Nonspherical Samples by Light Scattering Method</p> <p>梅沢 誠¹</p> <p>¹ HORIBA Instruments Inc.</p> <p>PITTCON 2008 (New Orleans, USA) 2008/3/4</p>
<p>EMAXの原理と分析ノウハウ</p> <p>廣瀬 潤¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>松下電器産業株式会社半導体社新入社員教育 (大阪) 2008/1/29</p>	<p>Consideration of Surface Processing Conditions on Metal Material for SEM and Optical Microscopy using the Plasma Sputtering Method</p> <p>岩崎俊典¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>PITTCON 2008 (New Orleans, USA) 2008/3/4</p>

口頭発表

2007年1月～2008年6月

<p>APPLICATIONS OF CORRELATIVE RELATIONSHIP BETWEEN THE CONDITION OF SURFACE FINISHING FOR EBSD ANALYSIS</p> <p>井上貴仁¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>PITTCON 2008 (New Orleans, USA)</p> <p>2008/3/5</p>	<p>自己組織化単分子膜を用いた電界効果トランジスタ型マイクロチップpHデバイスの開発</p> <p>野村 聡¹/佐竹大輔¹/芝田 学¹/山内 悠¹/ワン ジンビン²/笹野順司²/逢坂哲彌²</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所 ² 早稲田大学</p> <p>日本化学会第88春季年会 (立教大学)</p> <p>2008/3/29</p>
<p>欧州環境規制最新情報</p> <p>小山師真¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>日本電気計測器工業会 (機械振興会館)</p> <p>2008/3/5</p>	<p>自己組織化単分子膜を用いた電界効果トランジスタ型DNAセンシングデバイスの開発</p> <p>野村 聡¹/笹野順司²/ワン ジンビン²/川口竜二³/逢坂哲彌²</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所 ² 早稲田大学 ³ 株式会社プロップジーン</p> <p>日本化学会第88春季年会 (立教大学)</p> <p>2008/3/29</p>
<p>エネルギー分散X線分析装置による分析・解析例について</p> <p>宮坂真太郎¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>微小領域の観察と元素解析に関するセミナー (静岡工業技術センター)</p> <p>2008/3/12</p>	<p>フラッシングスプレーCVD法によるHfO₂成膜</p> <p>大嶋元啓¹/木村大一郎¹/土田倫也²/寺阪正訓³/富永浩二³/山岸 豊³/中尾 基⁴ 千田二郎²/石田耕三³</p> <p>¹ 同志社大学大学院 ² 同志社大学 ³ 株式会社堀場製作所 ⁴ 九州工業大学</p> <p>2008年春季第55回応用物理学関係連合講演会 (日本大学船橋キャンパス)</p> <p>2008/3/29</p>
<p>第4回日立ナノ解析セミナー</p> <p>宮坂真太郎¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>第4回日立ナノ解析セミナー (天神ビル)</p> <p>2008/3/14</p>	<p>減速型静電レンズにおける球面収差係数の低減</p> <p>大橋聡史¹/粟田正吾¹/松本浩一¹/大塚謙一¹/志水一平²/田中武雄²</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所 ² 大阪産業大学</p> <p>応用物理学会 (日本大学船橋キャンパス)</p> <p>2008/3/30</p>
<p>酸化クロム (Ⅲ) 含有試料中クロム分析のための湿式分解法の検討</p> <p>橋本文寿¹/山田 薫¹/池田昌彦¹/大道寺英弘¹/内原 博¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>分析技術研究会 (パナヒルズ大阪)</p> <p>2008/3/14</p>	<p>pHを計る楽しさ・奥深さ</p> <p>野村 聡¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>キンカ京都化学者クラブ例会 (京大会館)</p> <p>2008/4/5</p>
<p>医療機器メーカーの視点から見たPOCT用チップの現状</p> <p>宮村和宏¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>第5回インテリジェントバイオチップ技術調査専門委員会 (奈良先端科学技術大学院大学)</p> <p>2008/3/14</p>	<p>分析講座 (EDX) 実践編</p> <p>石川純代¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>キャンノン株式会社様インハウスセミナー (堀場製作所東京セールスオフィス)</p> <p>2008/4/25</p>
<p>μTAS技術の血液分析装置への応用</p> <p>宮村和宏¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>化学工学会年会 (静岡大学)</p> <p>2008/3/17</p>	<p>新技術紹介 EMAX x-act</p> <p>宮坂真太郎¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>キャンノン株式会社様インハウスセミナー (堀場製作所東京セールスオフィス)</p> <p>2008/4/25</p>
<p>ポロンドープダイヤモンドが拓く電気化学分析の新展開</p> <p>栄長泰明¹/白石晴樹²/山貫幹人³/野村 聡³/松本浩一³</p> <p>¹ 慶應義塾大学 ² 立命館大学 ³ 株式会社堀場製作所</p> <p>日本化学会第88春季年会 (立教大学)</p> <p>2008/3/26</p>	<p>光空間分解法を用いた骨密度計測</p> <p>川口道寛¹/曹 廷舜¹/辻本敏行²/山越憲一¹/田中茂雄¹</p> <p>¹ 金沢大学 ² 株式会社堀場製作所</p> <p>日本生体医学工学会 (神戸国際会議場)</p> <p>2008/5/9</p>
<p>マイクロ引張試験機を用いたラマン分光法によるシリコン [100] 方向のGPa応力評価</p> <p>柏木伸介¹/中 庸行¹/長井悠幸²/生津資大²/井上尚三²/大槻久仁夫¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所 ² 兵庫県立大学</p> <p>第55回応用物理学関係連合講演会 (日本大学船橋キャンパス)</p> <p>2008/3/28</p>	<p>参照散乱体を用いた光深度分解法～骨密度計測への応用～</p> <p>曹 廷舜¹/川口道寛¹/辻本敏行²/山越憲一¹/田中茂雄¹</p> <p>¹ 金沢大学 ² 株式会社堀場製作所</p> <p>日本生体医学工学会 (神戸国際会議場)</p> <p>2008/5/9</p>
<p>ダイヤモンド電極を用いる玄米中の亜鉛・カドミウムのアノードリックストリッピング分析</p> <p>坂山邦彦¹/中島浩行²/山本春樹³/土肥 誠⁴/山貫幹人⁵/野村 聡⁵/松本浩一⁵ 栄長泰明¹/白石晴樹⁶</p> <p>¹ 滋賀県工業技術センター ² 立命館大学 ³ 琵琶湖環境科学センター ⁴ 滋賀県成人病センター ⁵ 株式会社堀場製作所 ⁶ 立命館大学</p> <p>日本化学会第88春季年会 (立教大学)</p> <p>2008/3/28</p>	<p>IACクリーンアップに向けての穀類からのアフラトキシン抽出溶媒の検討</p> <p>後藤彦久¹/富田彩香¹/内ヶ島美岐子²/中村祥子¹/佐々木麻子¹/三宅司郎²</p> <p>¹ 信州大学 ² 株式会社堀場製作所</p> <p>日本食品衛生学会 (銀座プロッサム)</p> <p>2008/5/16</p>

口頭発表

2007年1月～2008年6月

<p>X線分析顕微鏡 XGT-7000Vとアプリケーション</p> <p>横田佳洋¹ / 大澤澄人¹ / 松永大輔¹ / 駒谷慎太郎¹ / 大堀謙一¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>第69回分析化学討論会テクノレビュー (名古屋国際会議場)</p> <p>2008/5/16</p>	<p>職人とII型人間(技術者)～明治の科学技術革新と社会背景～</p> <p>池田昌彦¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>山形大学工学部特別セミナー (山形大学)</p> <p>2008/6/4</p>
<p>加速型静電レンズにおけるレンズ電圧の低減</p> <p>大橋聡史¹ / 栗田正吾¹ / 松本浩一¹ / 大堀謙一¹ / 田中武雄²</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所 ² 大阪産業大学</p> <p>日本顕微鏡学会 (京都国際会館)</p> <p>2008/5/21</p>	<p>物質評価法</p> <p>池田昌彦¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>東北大学・分析機器工業会共同事業 (東北大学大学院)</p> <p>2008/6/5</p>
<p>高感度高速ラマンイメージングによる医薬品錠剤の広領域分析</p> <p>中田 靖¹ / 内原 博¹ / Eunah Lee² / Andrew Whitley² / Fran Adar²</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所 ² HORIBA Jobin Yvon</p> <p>日本顕微鏡学会 (京都国際会館)</p> <p>2008/5/21</p>	<p>ここが違う、関西組込み教育～その売りを当事者が語る～</p> <p>北村裕之¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>Embedded Technology 関西 (インテックス大阪)</p> <p>2008/6/6</p>
<p>ダイヤモンド電極の電気化学応用のための基礎検討</p> <p>山貫幹人¹ / 井内 稔¹ / 野村 聡¹ / 松本浩一¹ / 栄長泰明² / 白石晴樹³</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所 ² 慶應義塾大学 ³ 立命館大学</p> <p>第69回分析化学討論会 (名古屋国際会議場)</p> <p>2008/5/22</p>	<p>素材分析の実際～元素分析を中心として～</p> <p>田中 悟¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>製品環境規制総合対策セミナー (滋賀県立男女共同参画センター)</p> <p>2008/6/12</p>
<p>蛍光X線分析の応用</p> <p>大石 誠¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>第11回分析基礎セミナー (九州大学)</p> <p>2008/5/28</p>	<p>JEITA標準ひずみ測定WG成果報告</p> <p>中 庸行¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>独立行政法人日本学術振興会結晶加工と評価技術第145委員会 (明治大学駿河台キャンパス)</p> <p>2008/6/13</p>
<p>Stress Analysis of Si1-xGex Embedded Source/Drain Junctions</p> <p>M. Bargallo Gonzalez¹ / E. Simoen¹ / 中 庸行² / Y. Okuno³ / G. Eneman⁴ / R. Loo¹ / C. Claeys¹ / V. Machkaoutsan³ / P. Tomasini⁴ / S. G. Thomas⁴ / J. P. Lu⁵ / A. Hikavy¹ / P. Verheyen¹</p> <p>¹ IMEC (Belgium) ² 株式会社堀場製作所 ³ IMEC (Belgium) /Panasonic ⁴ ASM Belgium ⁵ ASM America ⁶ Texas Instruments (USA)</p> <p>European Materials Research Society 2008 Spring Meeting Congress Center, Strasbourg, FRANCE</p> <p>2008/5/28</p>	<p>ICP発光分析装置の原理とアプリケーション事例</p> <p>橋本文寿¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>大型精密機器高度利用公開セミナー (岐阜大学)</p> <p>2008/6/25</p>
<p>Introduction of New EMAX and XGT</p> <p>廣瀬 潤¹</p> <p>¹ 株式会社堀場製作所</p> <p>HITACHI EM USER MEETING (韓国)</p> <p>2008/5/29</p>	

HORIBA World-Wide Network

JAPAN

HORIBA, Ltd.

Head Office Factory

2, Miyanoigashi-cho, Kisshoin, Minami-ku Kyoto 601-8510 Japan
Phone : (81)75-313-8121 Fax : (81)75-321-8312

HORIBA STEC, Co.,Ltd.

11-5, Hokodate-cho, Kamitoba, Minami-ku Kyoto 601-8116 Japan
Phone : (81)75-693-2300 Fax : (81)75-693-2350

HORIBA Advanced Techno Co.,Ltd.

31, Miyanonishi-cho, Kisshoin, Minami-ku Kyoto 601-8306 Japan
Phone : (81)75-321-7184 Fax : (81)75-321-7291

HORIBA Techno Service Co.,Ltd.

2, Miyanoigashi-cho, Kisshoin, Minami-ku Kyoto 601-8305 Japan
Phone : (81)75-325-5291 Fax : (81)75-315-9972

HORIBA ITECH Co.,Ltd.

1-7-8, Higashi-Kanda, Chiyoda-ku Tokyo 101-0031 Japan
Phone : (81)3-3866-0984 Fax : (81)3-3866-0908

ASEC Inc.

4F Higashikanda Arute Bldg, 1-7-8 Higashi-Kanda, Chiyoda-ku Tokyo 101-0031 Japan
Phone : (81)3-3861-8343 Fax : (81)3-3861-8344

U.S.A.

HORIBA International Corporation

17671 Armstrong Avenue Irvine CA 92614 USA
Phone : (1)949-250-4811 Fax : (1)949-250-0924

HORIBA Instruments Inc.

Irvine Facility

17671 Armstrong Avenue Irvine CA 92614 USA
Phone : (1)949-250-4811 Fax : (1)949-250-0924

Ann Arbor Facility

5900 Hines Drive Ann Arbor MI 48108, USA
Phone : (1)734-213-6555 Fax : (1)734-213-6525

Tempe Facility

2520 South Industrial Park Drive Tempe AZ 85282-1847 USA
Phone : (1)480-967-2283 Fax : (1)480-967-0281

HORIBA STEC Inc.

HORIBA Technology Center

3265 Scott Boulevard Santa Clara CA 95054 USA
Phone : (1)408-730-4772 Fax : (1)408-730-8975

New Hampshire Office

315 Derry Road Suite 13 Hudson NH 03051 USA
Phone : (1)603-886-4167 Fax : (1)603-886-4267

Portland Office

10240 SW Nimbus Avenue Suite L-5 Portland OR 97223 USA
Phone : (1)503-624-9767 Fax : (1)503-968-3236

Austin Office

9701 Dessau Road Suite 605 Austin TX 78754 USA
Phone : (1)512-836-9560 Fax : (1)512-836-8054

Reno Office

605 Spice Island Drive #5 Sparks NV 89431 USA
Phone : (1)775-358-2332 Fax : (1)775-358-0434

Dallas Office

670 International Pkwy Suite 170 Richardson TX 75081 USA
Phone : (1)972-470-9200 Fax : (1)972-470-0645

HORIBA Automotive Test Systems Corp.

2890 John R Road Troy MI 48033-2300 USA
Phone : (1)248-689-9000 Fax : (1)248-689-8578

HORIBA ABX Inc.

34 Bunsen Drive Irvine CA 92618 USA
Phone : (1)949-453-0500 Fax : (1)949-453-0600

HORIBA Jobin Yvon Inc.

3880 Park Avenue Edison NJ 08820-3012 USA
Phone : (1)732-494-8660 Fax : (1)732-549-5125

Ad Lab Inc.

3880 Park Avenue Edison NJ 08820-3012 USA
Phone : (1)732-494-8660 Fax : (1)732-549-1185

CANADA

HORIBA Automotive Test Systems Inc.

1115 North Service Road West Oakville Ontario L6M 1N1 Canada
Phone : (1)905-827-7755 Fax : (1)905-827-8162

BRAZIL

HORIBA ABX Brazil

Av. das Nações Unidas, 21.735 = Jurubatuba São Paulo CEP 04795-100 Brazil
Phone : (55)11-55-45-1500 Fax : (55)11-55-45-1570

TCA/HORIBA Sistemas de Testes Automotivos Ltda.

Rua Osvaldo Cruz, 1056 / 1070 090540-280 São Caetano do Sul SP-Brazil
Phone : (55)11-4224-0205 Fax : (55)11-8162-3425

RUSSIA

HORIBA, Ltd. Moscow Representative Office

Build 5, h.13, Altufevskoe shosse Moscow 127106 Russia
Phone : (7)495-221-87-67 Fax : (7)495-221-87-68

GERMANY

HORIBA Europe GmbH

Hans-Mess-Str. 6 D-61440 Oberursel / Ts. Germany
Phone : (49)6172-1396-0 Fax : (49)6172-137385

Berlin Office

Fichtestr. 32 D-10967 Berlin Germany
Phone : (49)3061-625-581 Fax : (49)3061-625-584

Darmstadt Office

Landwehrstr. 55 D-64293 Darmstadt Germany
Phone : (49)6151-5000-2896 Fax : (49)6151-5000-1235

Hanover Office

Bayernstr. 29 D-30855 Langenhagen Germany
Phone : (49)511-741095 Fax : (49)511-741053

Leichlingen Facility

Julius-Kronenberg-Str. 9 D-42799 Leichlingen Germany
Phone : (49)2175-89780 Fax : (49)2175-897850

Munich Office

Josephsburgstr. 88a 81673 Munich Germany
Phone : (49)89-2444779-0 Fax : (49)89-2444779-10

Potsdam Office

Neuendorfer Str. 39a D-14480 Potsdam Germany
Phone : (49)331-6490070 Fax : (49)331-6490074

Stuttgart Office (Neuhausen)

Zabergaeustr. 2 D-73765 Neuhausen Germany
Phone : (49)7158-933-800 Fax : (49)7158-933-899

Stuttgart Office (Boblingen)

Hans-Klemm-Str. 56 D-71034 Böblingen Germany
Phone : (49)7031-677-9440 Fax : (49)7031-677-9450

HORIBA Europe Automation Division GmbH

Zabergaust. 3 D-73765 Neuhausen Germany
Phone : (49)7158-933-300 Fax : (49)7158-933-399

HORIBA Jobin Yvon GmbH

All products except Raman

Hauptstr. 1 82008 Unterhaching Germany
Phone : (49)89-462-31-70 Fax : (49)89-462-31-799

Raman Division

Neuhofstr. 9 D-64625 Bensheim Germany
Phone : (49)6251-8475-0 Fax : (49)6251-847520

FRANCE

HORIBA France SARL

12 Av. des Tropiques Hightec Sud F-91955 Les Ulis France
Phone : (33)1-69-29-96-23 Fax : (33)1-69-29-95-77

HORIBA ABX S.A.S.

Parc Euromedecine, Rue du Caducée - BP 7290 34184 Montpellier Cedex 4 France
Phone : (33)4-67-14-15-16 Fax : (33)4-67-14-15-17

HORIBA Jobin Yvon S.A.S.

16-18 rue du Canal 91165 Longjumeau Cedex France
Phone : (33)1-64-54-13-00 Fax : (33)1-69-09-07-21

Thin Films Division

5 avenue Arago, ZI dela Vigne aux Lous 91380 Chilly Mazarin France
Phone : (33)1-69-74-88-60 Fax : (33)1-69-74-88-61

Raman Division

231 Rue de Lille 59650 Villeneuve D'ascq France
Phone : (33)3-20-59-18-00 Fax : (33)3-20-59-18-08

BIOPEP S.A.S.

Le Mas des Cavaliers II 471 Rue Nungesser 34130 Maugio France
Phone : (33)4-67-13-21-00 Fax : (33)4-67-13-21-01

BELGIUM

HORIBA ABX S.A.S. Belgium Branch

Luchthavenlei 7A Deurne 2100 Belgium
Phone : (32)3-281-49-08 Fax : (32)3-281-65-04

ITALY

HORIBA France SARL Italy Office

Europalace, Corso, Torino 43/45 10043 Orbassano Torino Italy
Phone : (39)011-904-0601 Fax : (39)011-900-0448

HORIBA ABX S.A.S. Italy Branch

Via Le Luca Gaurico 209/211, 000143 Roma Italy
Phone : (39)06-51-59-22-1 Fax : (39)06-51-96-43-34

HORIBA Jobin Yvon Srl

Via Cesare Pavese 35/AB, 20090 Opera Milano Italy
Phone : (39)02-57-60-30-50 Fax : (39)02-57-60-08-76

SPAIN

HORIBA ABX SAS Spain Branch

Avenida Caidos de la Division Azul 16 Madrid 28016 Spain
Phone : (34)91-353-30-10 Fax : (34)91-353-30-11

HORIBA Jobin Yvon S.A.S. Spain Branch

C. Francisco Silvela 56 Duplicado 2DIZQ Madrid 28028 Spain
Phone : (34)91-724-16-57 Fax : (34)91-724-13-73

PORTUGAL

HORIBA ABX S.A.S. Portugese Branch

Rua Alfredo da Silva, 8-A, 3C, Quinta Grande Alfragide Amadora 2610-016 Portugal
Phone : (351)214-72-17-70 Fax : (351)214-72-17-89

AUSTRIA

HORIBA GmbH

Kaplanstrasse 5 Tulln A-3430 Austria
Phone : (43)2272-65225 Fax : (43)2272-65230

CZECH REPUBLIC

HORIBA GmbH Czech Office

Organizační složka Praha Petrohradská 13 CZ-10100 Praha 10 Czech Republic
Phone : (42)2717-46480 Fax : (42)2717-47064

SWEDEN

HORIBA Europe GmbH

Sodertalje Office
Sydhamnsvägen 55-57 Sodertalje S-15138 Sweden
Phone : (46)8550-80701 Fax : (46)8550-80567

Gothenburg Office

Kaerlyckegatan 21 Gothenburg S-418 78 Sweden
Phone : (46)3164-4268 Fax : (46)3164-4269

NETHERLANDS

HORIBA Europe GmbH Netherland Office

Science Park 5080 (Ekkersrijt) 5692 EA SON, Netherlands
Phone : (31) 40-2900240 Fax : (31)40-2900624

U.K.

HORIBA Instruments Ltd. U.K. Service Centre

Kyoto Close, Summerhouse Road, Moulton Park Northampton NN3 6FL UK
Phone : (44)1604-542-500 Fax : (44)1604-542-699

HORIBA ABX S.A.S.

Kyoto Close, Summerhouse Road, Moulton Park Northampton NN3 6FL UK
Phone : (44)1604-542650 Fax : (44)1604-542651

HORIBA Jobin Yvon Ltd.

2 Dalston Gardens Stanmore Middlesex HA7 1BQ UK
Phone : (44)20-8204-8142 Fax : (44)20-8204-6142

HORIBA Jobin Yvon IBH Ltd.

Skypark 5, Level 1, The Clydeaway Centre, 45 Finnieston Street, Glasgow G3 8J UK
Phone : (44)141-229-67-89 Fax : (44)141-229-67-90

HORIBA STEC, CO., Ltd.

Kyoto Close, Summerhouse Road, Moulton Park Northampton NN3 6FL UK
Phone : (44)1604-542600 Fax : (44)1604-542696

SRH Systems Ltd.

Evesham House, Whittington Hall, Whittington Road, Worcester WR5 2ZX UK
Phone : (44)1905-359359 Fax : (44)1905-359332

Kore Technology Limited

Cambridgeshire Business Park Ely Cambridgeshire CB7 4EA UK
Phone : (44)0-1357-653030 Fax : (44)0-1353-653031

POLAND

HORIBA ABX Sp. Zo. o.

Ul. Wal MIEDZESZYNSKI 598-03 994 Warszawa Poland
Phone : (48)22-67-32-022 Fax : (48)22-67-32-026

KOREA

HORIBA Korea Ltd.

202-501 Pucheon Techno Park, 192 Yakdae-Dong, Wonmi-ku Pucheon Kyonggi-do Korea
Phone : (82)32-621-0100 Fax : (82)32-621-0105

Seoul Office

112-6 Sogong-Dong Choong-ku Seoul Korea
Phone : (82)2-753-7911 Fax : (82)2-756-4972

HORIBA Automotive Test Systems Ltd.

Room #906, World Meridian Venture Centre I, 60-24 Gasan-Dong Geumcheon-Gu Seoul 153-78 Korea
Phone : (82)25-62-72-96 Fax : (82)25-62-76-30

HORIBA STEC Korea, Ltd.

110 Suntech-City, 513-15 Sangdaewon Jungwon-ku, Sungnam-city Kyungki-do Korea
Phone : (82)31-777-2277 Fax : (82)31-777-2288

SINGAPORE

HORIBA Instruments (Singapore) PTE, Ltd.

10 Ubi Crescent #05-11/12, Ubi Techpark 408564 Singapore
Phone : (65)6745-8300 Fax : (65)6745-8155

CHINA

HORIBA Instruments (Shanghai) Co., Ltd.

No.2, Lane 1883, Huicheng South Rd. Jiading Industrial District Shanghai 201821 China
Phone : (86)21-6952-2835 Fax : (86)21-6952-2823

HORIBA Trading (Shanghai) Co., Ltd.

United Plaza, Room 1701, 1468 Nanjing Road West Shanghai 200040 China
Phone : (86)21-6289-6060 Fax : (86)21-6289-5553

Shanghai Zhanjiang Service Center (for Semiconductor business)
Room 303, No.84, Lane 887, Zu-chong-zhi Road, Zhanjiang Hi-tech Park Shanghai 201203 China
Phone : (86)21-5131-7150 Fax : (86)21-5131-7660

Beijing Branch Office

Room 1801, Capital Tower Beijing, Tower 1 No.6Jia, Jianguomenwai Ave. Chaoyang District Beijing 100022 China
Phone : (86)10-8567-9966 Fax : (86)10-8567-9066

Guangzhou Office

Room 1810, Golden Digital Network Center, 138 Tiyu Road East Guangzhou 510620 China
Phone : (86)20-3878-1883 Fax : (86)20-3878-1810

TAIWAN

HORIBA, Ltd. Taiwan Representative Office

3F, No.18, Lane 676, Jhonghua Rd., Jhubei City Hsinchu County 302 Taiwan
Phone : (886)3-656-1012 Fax : (886)3-656-1650

HORIBA STEC, Co., Ltd. Taiwan Branch

3F, No.18, Lane 676, Jhonghua Rd., Jhubei City Hsinchu County 302 Taiwan
Phone : (886)3-656-1160 Fax : (886)3-656-8231

Tainan Office

1F., No.117, Chenggong Rd., Shanhu Township Tainan County 741 Taiwan
Phone : (886)6-583-4592 Fax : (886)6-583-2409

INDIA

HORIBA India Private Ltd.

1212A, Hemkunt Tower, 98 Nehru Place 110 019 New Delhi India
Phone : (91)11-4669-5001 Fax : (91)11-4669-5001

HORIBA ABX S.A.S. India Representative Office

A-32, Mohan Co-operative Industrial Area New Delhi 110 044 India
Phone : (91)11-420-98-800 Fax : (91)11-420-98-850

THAILAND

HORIBA ABX Diagnostics Thailand Ltd

395, Latya Road, Somdetchaopraya Sub-district Klonsang District Bangkok 10600 Thailand
Phone : (66)2-861-59-95 Fax : (66)2-861-52-00

Readout HORIBA Technical Reports January 2009 No.34

発行日 2009年1月31日
発行人 石田 耕三
発行元 株式会社 堀場製作所
〒601-8510 京都市南区吉祥院宮の東町2番地
<http://www.horiba.com/jp/publications/readout/>

DTP・製版・印刷・製本 株式会社 写真化学

<Readout編集委員会>

委員長 石田 耕三
副委員長 臼井 誠次
編集局 吉良 昭道 牛之浜 慶子 森下 恵子

お問い合わせ先

株式会社 堀場製作所 知的財産部
Tel:075-313-8121 Fax:075-321-5648
e-mail:readout@horiba.co.jp

HORIBA

Explore the future



この印刷物は、ESPAのゴールド基準に適合し、地球環境負荷に配慮した印刷方法にて作成されています。
ESPA：環境保潔印製推進協議会