

# Feature Article

アプリケーション

## 京都本社ラボに新規導入した 駆動系評価システムの紹介

Introduction of Driveline Test System newly Installed in the Laboratory  
at HORIBA Kyoto

池田 浩之

Hiroyuki IKEDA

駒田 峰之

Mineyuki KOMADA

近年の自動車は、環境意識の高まりを背景に変速機の多段化やCVT化など複雑化が進み、さらにはハイブリット車(HV)や電気自動車(EV)など電動化が進んできている。このような複雑さが増した車両開発への対応として、駆動系の評価の重要度が増大し、さらには駆動系単体ではなく、エンジンやモータと組み合わせたパワートレイン全体のシステム試験に重点が置かれるようになってきている。弊社ではこのような、顧客殿のニーズに直結した技術力の一層の向上と顧客殿に私達のソリューション価値を実感をして頂く為に、京都本社に駆動系の単体・システム評価とさらにはE-Motorの評価に共用できるフレキシブルなシステムを導入したので、その特徴について紹介する。

Recent automotive vehicles are increasing in sophistication due to the awareness of environment impact. As a result, automatic transmissions with increased gears and CVTs, as well as electrically driven vehicles, HVs and EVs, are expanding. The development of these complex vehicles is making driveline evaluation more important than before. These evaluations focus not only on driveline units, but the power-train system which includes the engine and/or e-motor. This exposition features a flexible driveline test system installed at HORIBA (Kyoto) that can evaluate driveline units, e-motors and power-train systems. The system recognizes HORIBA's capability for technological advancements, to find solutions and satisfy customer needs.

### はじめに

近年、環境意識の高まりを背景に、よりエネルギー効率のよい、あるいは排ガスの少ない次世代自動車の開発が盛んである。その開発現場では、エンジンの評価はもちろん、エンジンからの動力をタイヤに伝えるまでの機構、いわゆる「駆動系」の試験も欠かせない。最近では、変速機の多段化、さらには連続可変トランスミッション(CVT)の採用など、駆動系も複雑化しており、それらの開発に対応できる試験システムが求められている。また、ハイブリット車(HV)や電気自動車(EV)など、車両の電動化も大きな流れとなっている。このような電動車両には、動力源としてモータ(E-Motor)が欠かせない。E-Motorと一

口に言っても、駆動・発電兼用のものや発電専用のもの、エンジンやトランスミッションへのビルトインモータやインホイールモータなど、多様化が進んでいる。電動車両の駆動系実験においては、このようなE-Motorと、たとえばオートマチックトランスミッションとを組み合わせた試験なども必要である。

次世代自動車の開発現場では試験対象が複雑化するとともに、試験項目や適合作業も大幅に増加している。さらに、車両開発プロセス全体を見渡すと、エンジン、トランスミッションの並行開発が必須で、開発のフロントローディングが一層求められている。そのため、試験システムに対しても、テストアプリケーションへの適合性と拡張

性、試験装置のワイドレンジ化といったフレキシブルな機能が要求されている。HORIBAグループでは、多様なニーズにより具体的に答えるべく、2013年2月、京都本社の試験ラボの機能を一新した。本稿では、新しく設置した、駆動系評価・E-Motor評価の共用システムについて紹介する。

## 評価装置の一般的な構成

### 駆動系評価システム

「駆動系」とは、エンジンやモータからの出力を、車両を動かす力としてタイヤに伝えるための変速機やシャフト等の構造物を指す。さらに、自動変速機などの制御系を含めることもある。駆動系開発現場では、変速機単体の評価だけでなく、エンジンと組み合わせた状態でのさまざまな性能・信頼性評価が行われる。そのため、新規のパワートレインシステムを開発する場合など、個々のユニット完成後に組み合わせ試験を開始していたのでは、不具合発生時の仕様見直し等により開発期間が長大化しがちである。そこで必要とされるのが、エンジンが完成する前にトランスミッション評価を開始することのできる、駆動系評価システムである。

Figure 1に駆動系評価システムの代表例として、一般的な前輪駆動車用のトランスミッション評価システムのレイアウトを示す。中央に配置されているのはダイナモメータと呼ばれる装置で、エンジンの代用、いわば「バーチャルエンジン」として機能する。また、ドライブシャフトの左右にも、車両のタイヤの代わりとして「ホイール用ダイナモメータ」が設置されている。このように、エンジンやタイ

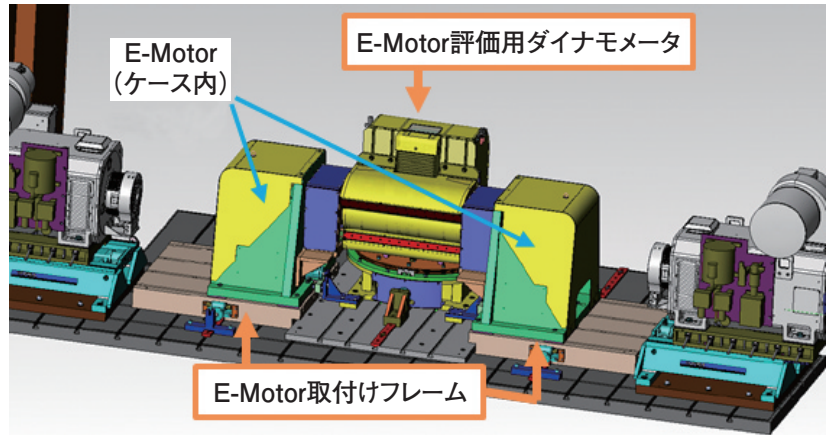


Figure 2 E-Motor Evaluation System Layout

ヤをダイナモメータで置き換えることで、開発プロセスにおける組み合わせ試験のフロントローディングが可能になる。

### E-Motor評価システム

Figure 2に、E-Motor性能評価試験装置のレイアウトの例を示す。E-Motorは、ハイブリッド車や電気自動車に、エンジンと同じような動力源、あるいは発電用として搭載される。E-Motorの試験の場合も、モータの負荷を再現するために、やはりダイナモメータが接続される。E-Motorでは、搭載される車両の仕様によって、最高回転数やトルク範囲の要求が大きく異なる。加えて、E-Motorの開発に際しては、効率・信頼性評価の他、インバータ・モータ適合、エネルギー管理管理等、多岐にわたる試験が必須である。そのため、E-Motor評価システムには、幅広い制御・計測レンジをもち、かつ高速応答が可能なダイナモメータが必要とされる。

## 新規導入したシステムの構成

### 主な構成ユニット

Figure 3に、今回導入した評価システムのブロック図を示す。このシステムは、メインとなるダイナモメータをバーチャルエンジン用、E-Motor評価用に共用できる仕様になっている。以下に、図中の主なユニット(①～⑦)の特徴を説明する。

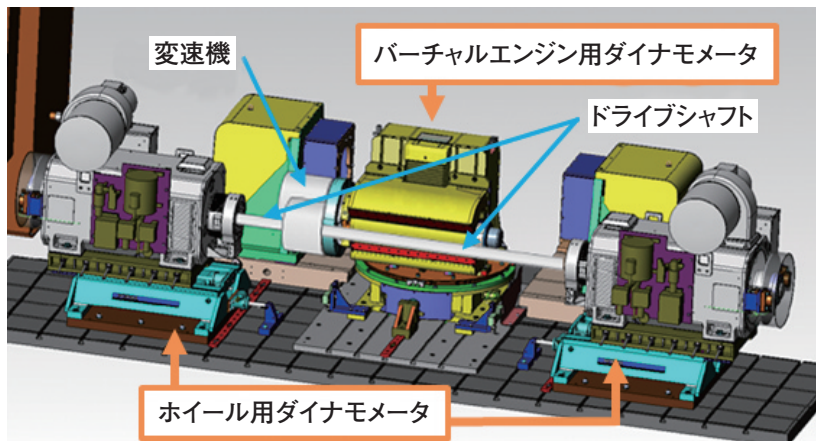


Figure 1 Front Wheel Drive Transmission Test System Layout

## 本社試験ラボ駆動系評価システムブロック図

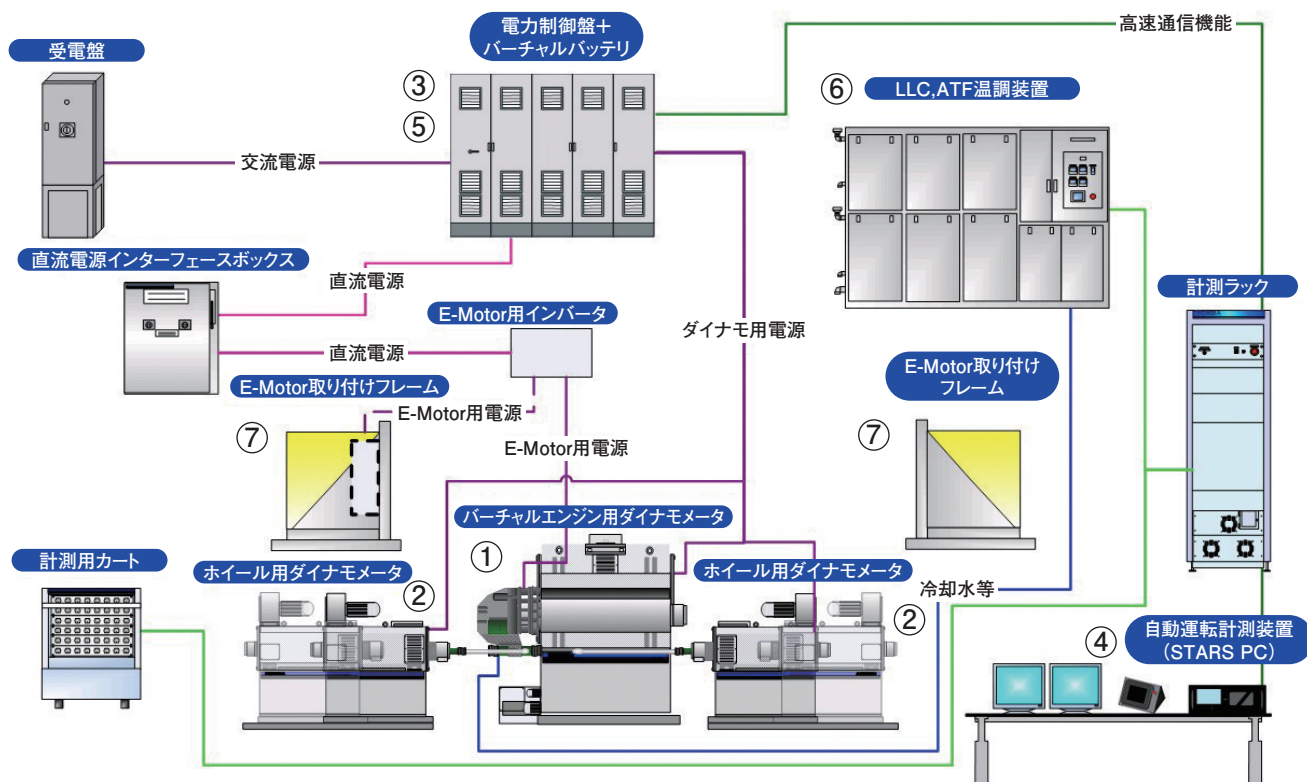


Figure 3 Driveline Test System block diagram in laboratory at HORIBA Headquarters

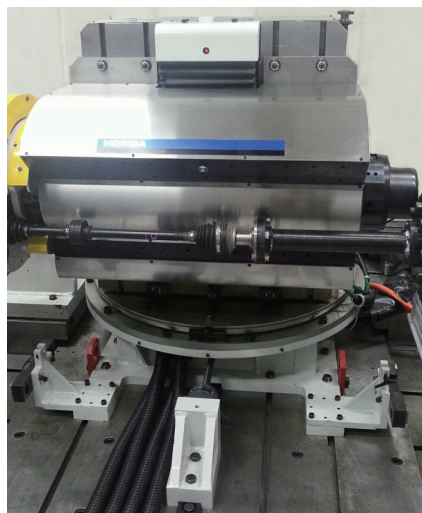


Figure 4 TP-260 Front View

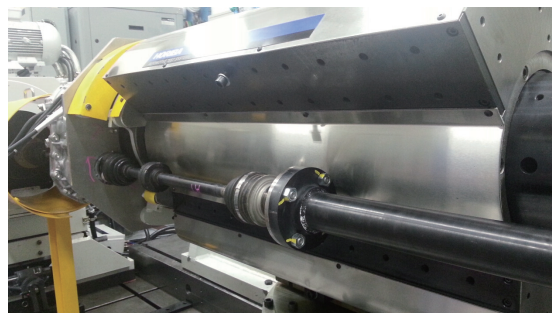


Figure 5 TP-260 Side view

### バーチャルエンジン/ E-Motor用ダイナモメータ①

バーチャルエンジン用、およびE-Motor試験用のダイナモメータには、HORIBA低慣性ダイナモTP260を使用している(Figure 4)。TP260は、定格出力260 kW、定格トルク450 Nmの性能をもつ。あわせて機械慣性量を低く抑え、電気慣性機能を組み合わせているため、広範囲の慣性量に対応できる。

TP260の定格出力・トルク性能は、バーチャルエンジンとして、乗用車(3000 cc程度)クラスのエンジンに相当する。また、小径であるため、トランスミッションの出力軸をまっすぐに配置することが可能である(Figure 5)。加えて、上下移動機構を備えており、車軸とエンジンとの高低差を再現することもできる。このように、TP260では、車両のトランスミッション搭載状態を再現した駆動系評価が実現できる。また、制御ソフトウェアには、後述するエンジンシミュレーション機能も含まれている。

また、TP260は、高回転・低慣性仕様であり、E-Motor試験で要求される、エンジンの2倍以上に達する高回転、およびエンジンよりはるかに速い応答性の要求に対応でき

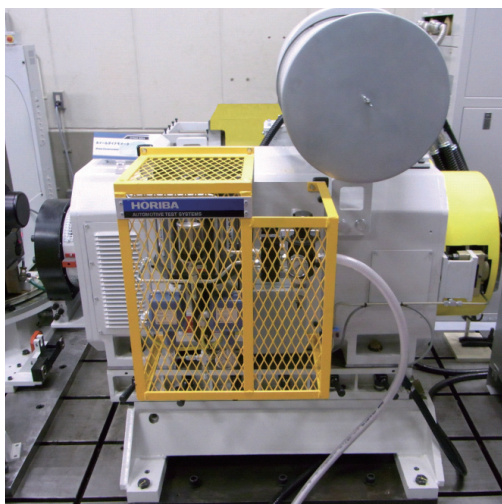


Figure 6 G224 Outline View

る。また、両サイドに計2式のE-Motorを接続し、同時に評価できることも、E-Motorの開発期間短縮に貢献する特徴といえる。

#### ホイール用ダイナモメータ(②)

車軸トルク吸収のためのホイール用ダイナモメータ(HORIBA製G224, Figure 6)2式は、それぞれ、定格出力224 kW, 最大トルク約4000 Nmの性能をもつ。機械慣性と電気慣性とを組み合わせる方式により、車両の走行抵抗をシミュレーションできる。また、本装置では機械式の保持ブレーキ機能を追加装備し、完全なゼロ速度を実現している。これは、オートマチックトランスミッションの発進時のトルク(ストールトルク)を試験するためには、完全停止状態の再現が必要で、通常のダイナモメータだけでは熱や制御上の課題があることによる。

#### 電力制御盤・バーチャルバッテリー(③⑤)

HV/EV用パワートレインシステムの試験では、E-Motorの電源が必要である。電源としてバッテリーを用いる場合、試験の再現性を確保するには、充放電などバッテリー条件の統一が不可欠である。ところが、バッテリーの出力は、外気温や充電状態(SOC: State Of Charge), 劣化度合いなどにより変動する。また、試験中にバッテリーのSOCが上下限を超えない配慮が必要で、試験パターンに制約が生じる場合もある。このような背景から、本システムでは、E-Motor電源として、直流電源を「バッテリーモデル」に基づいて制御する方式(バーチャルバッテリー)を採用した。このバーチャルバッテリーでは、専用のソフトウェアにより、種々のバッテリーの性能を模擬できる。初期値として、代表的なバッテリーモデルを提供できるほか、バッテリーのパラ

メータを変更して、独自のバッテリー特性を定義することも可能である。実バッテリーを使用する場合に比べて試験の効率化、再現性・信頼性向上が見込め、バッテリーとエネルギーシステムの並行開発に大いに貢献すると考える。

バーチャルバッテリーに使用している直流電源の能力は、乗用車クラス相当の200 kWである。この直流電源はダイナモメータの運転に使うインバータと同じ電力盤内に収納されており、回生効率をアップさせることで電力消費量を抑制している。さらに、特殊なインターロック機構を備えた専用の直流電源インターフェースボックスを採用するなど、安全面にも配慮している。

#### 自動運転計測装置(④)

本システムによるトランスミッション評価およびE-Motor評価は、自動運転計測装置(HORIBA製STARS)にて制御される。STARSには、ユーザが独自にシーケンスを作成できるワークフロー機能、テストスケジュール機能、演算、およびスクリプト言語など、さまざまな試験自動化機能が実装されている。加えて、電力計測やECUの読み書きを含め、100種類以上の計測機器との通信I/Fをサポートしており、さまざまな試験に対応できる。また、オートマチックトランスミッションやCVTの試験では、STARSの演算機能を用いて、バーチャルエンジン側からトランスミッション制御用ECUに各種情報を送信することも可能である。

#### LLC・ATF温調装置(⑥)

LLC・ATF温調装置は、ロングライフクーラント(LLC)およびオートマチックトランスミッションフルード(ATF)の温度を制御する装置である。トランスミッション、E-Motorおよびインバータの温度条件を安定させることで、評価試験の効率化と、データの再現性・信頼性向上の効果がある。なお、E-Motorが供試体の場合は、仕様に合わせ、温調装置と供試体のいずれのポンプを使用するかを選択できる。加えて、液面制御機能を搭載しており、さまざまな供試体および試験モードに対応できる。

#### E-Motor取付けフレーム(⑦)

E-Motorの最高回転数は、エンジンと比べて2倍以上に達する場合が多い。このような高速回転に対応するためには、E-Motorを支えるフレームの共振を考慮する必要がある。本システムのE-Motor固定フレーム(Figure 7)の設計にあたっては、固有振動数が最大回転数以上にな

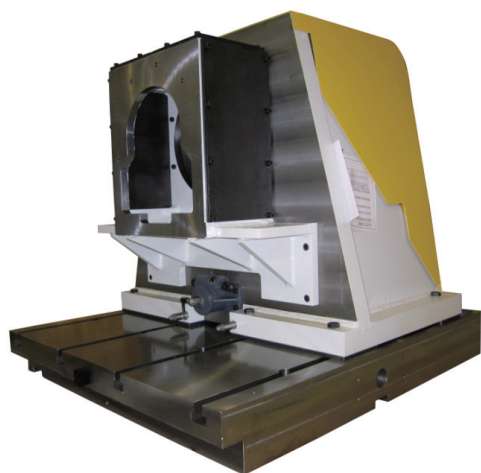


Figure 7 E-Motor Mounting Frame

るよう、CAEによる最適化を行い、共振のリスクを回避している。

### レイアウト上の工夫

前述の通り、本システムはE-Motorや駆動系の種々の試験に対応しているが、供試体によってはレイアウトの変更が必要である。そのような供試体設置の準備時間を短縮するため、本システムは以下のような可動機構を有している(Figure 8)。

- バーチャルエンジン/E-Motor用ダイナモメータ：  
前後移動機構①、回転機構②、上下移動機構③
- ホイール用ダイナモメータ：  
左右移動機構④、アライメント調整機構⑤
- E-Motor取り付け用フレーム：前後移動機構⑥

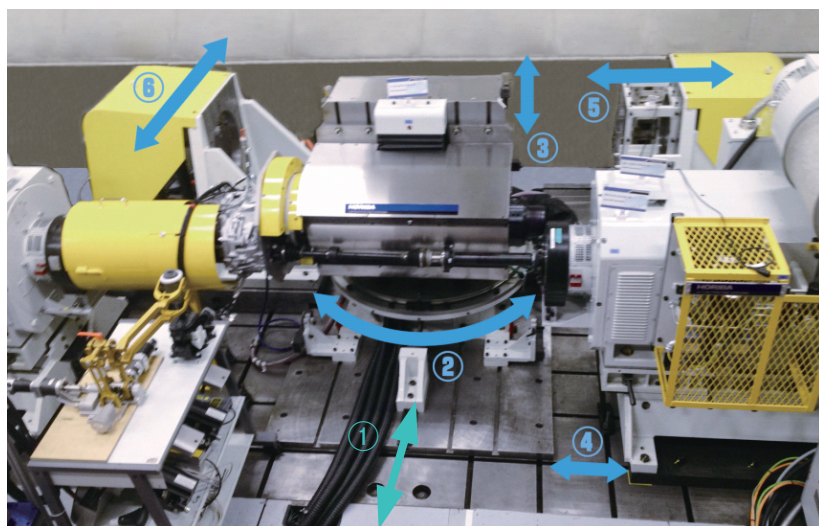


Figure 8 Positioning Mechanism of Dynamometer and Frame

## シミュレーション機能

### エンジンシミュレーション

以下に、本システムに搭載されているエンジンシミュレーション機能を紹介する。これらはいずれも、駆動系の試験をバーチャルエンジンで行うために必要とされるものである。

### エンジントルクマップシミュレーション(EMS)

実エンジンでは、出力されるトルクはスロットル開度と回転数で決定されており、また同一スロットルでも回転数により出力トルクは変化する。スロットル/回転数/トルクの間関係を正しくシミュレーションするのがEngine Torque Map Simulation機能であり、これにより、ギアごとの加減速の正確な評価などが可能になる。

### エンジン慣性シミュレーション(EIS)

変速時のように回転数が変化する条件では、慣性によるトルクが、変速ショックを引き起こすなどして評価結果に影響する。本システムでは、Engine Inertia Simulation機能により、実エンジンに相当する慣性力を電気慣性として模擬し、実エンジンの回転数変化時のトルク応答を再現している。

### エンジン制御信号シミュレーション(ECS)

実エンジンを用いたトランスミッションの評価試験では、エンジンコントローラとトランスミッションコントローラとの間でさまざまな信号を送受信している。本システムでは、Engine Control Signal Simulation機能を用いて、これをバーチャル環境で再現している。変速時のトルク減衰や、燃料カット、上死点といった模擬信号を各コントローラと通信し、変速ショックなどをシミュレーションすることができる。

### エンジントルクパルスシミュレーション(ETPS)

トランスミッション内のギアの信頼性評価や、ねじり振動影響を受ける部品の評価には、エンジンの爆発トルク変動による影響を考慮する必要がある。本システムでは、これを、Engine Torque Pulse Simulation機能として実現している。Figure 9に、4気筒ガソリンエンジンの模擬波形を示す。赤線が計算にて求められた理論燃焼トルク波形、黄線

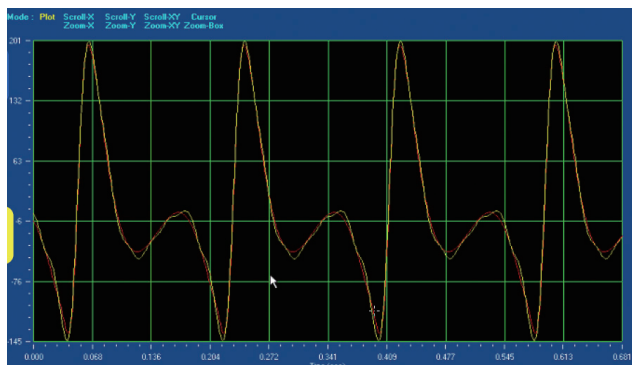


Figure 9 Simulated Wave Form by ETPS(4 cylinder gasoline engine)

が実際に台上で再現した燃焼波形である。この機能を用いることで、より実車条件に近い、信頼性評価や振動評価が可能である。

### ハードウェアインザループシステムと 評価システムの連携

車両のモデルベース開発が推奨される昨今、設計の妥当性検証はシミュレーションにて行われるのが一般的である。その場合、検証に使用する車両モデルと、駆動系試験ラボで使用されるモデルとの整合性が大きな課題となる。本システムでは、この課題を解決するために、シミュレーションモデルを任意のハードウェアインザループシステム(HILS)環境上で動作させ、リアルタイムに車両シミュレーションを行う。さらに、駆動系試験装置との間を高速同期通信させ、シミュレーションと実機を接続することで、連携を可能としている。この高速同期通信は、市場にある代表的なHILSハードウェアと時間遅れなく安定に通信でき、既存のHILSハードウェアやその上で動作するシミュレーションモデルの有効活用が可能である(Figure 10)。



Figure 10 High Speed Synchronized Communication Image with HILS

### おわりに

本稿では、京都本社の試験ラボに導入した駆動系評価・E-Motor評価システムの特徴および機能概要について紹介した。本システムの仕様は、ユーザの開発効率向上、試験期間短縮に貢献できるものと確信している。また、近年の中国の自動車関連産業の拡大を受けて、当社の上海に

も同様のラボを導入済みであり、京都ラボとの関連試験も予定している。今後、市場ニーズにより密着したアプリケーション拡張のため、これらの設備を活用して、ユーザからの要望に応えられる機能や試験方法の創出に継続的に取り組んでいく。そして、日本、中国をはじめグローバルのユーザに向けた、一層の提案力の強化に繋げていきたい。



池田 浩之

Hiroyuki IKEDA

株式会社 堀場製作所  
開発本部 エンジニアリングセンター  
自動車計測システム設計部



駒田 峰之

Mineyuki KOMADA

株式会社 堀場製作所  
開発本部 エンジニアリングセンター  
自動車計測システム設計部