

# 車載型排ガス計測システム OBS-1000の開発

中村 博司, 木原 信隆

## 要旨

リアルワールド(実路走行,実走行環境)における自動車排ガスの実態調査が,近年大きな関心を集めている。従来,自動車の排ガスは実験室内において計測されてきたが,それらの計測技術を改良し,更に新しい技術を取り入れることにより車両搭載型の計測システムの開発を行った。この車載型排ガス計測システムOBS-1000について紹介する。

## 1 はじめに

エンジン排ガスが環境に与える負荷への関心が高まる中,自動車の排ガス規制はより厳しいものになってきている。にも関わらず,局所的に高濃度の窒素酸化物( $\text{NO}_x$ )が検出されるなどの問題は依然として解消されていない。従来,自動車排ガスの評価は実験室内,すなわち中・小型エンジンならシャシダイナモ上,大型エンジンならエンジンダイナモ上で,一定のモード走行を基準に行われてきた。もちろん,こうした実験室内での排ガス計測は,認証試験など,条件を統一しての評価には非常に有効である。その一方,実走行環境を再現するのは困難であり,国内外で大きな関心を集めている実路走行における排ガスの実態調査には適していないのも事実である<sup>(1)(2)</sup>。

本稿では,このような背景をもとに開発された,車載型排ガス計測システムOBS-1000の構成,データ処理,走行試験データについて紹介する。

## 2 システムの構成

### 2.1 加熱型NDIR 3成分計(MEXA-1170HNDIR)

OBS-1000システムでは, $\text{CO}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{HC}$ 計として,新たに開発した加熱型の非分散形赤外線分析計(H-NDIR),MEXA-1170HNDIRを採用している。図1に,H-NDIR分析部の模式図を示す。

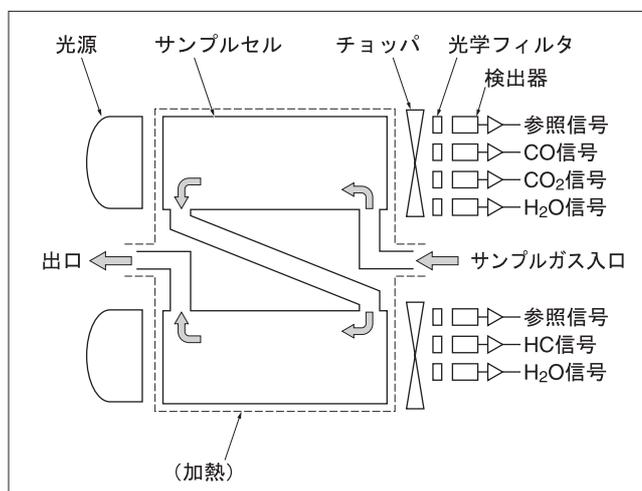


図1 加熱型NDIR分析計の分析部模式図

分析部は2組の光源・セルで構成され,一方のセルには $\text{CO}\cdot\text{CO}_2$ 用の赤外線検出器,もう一方のセルにはHC用の赤外線検出器が配置されている。光源から出た赤外光はセル内のガス成分による吸収を受けた後,光学フィルタを通過して検出器へ入り,各成分の濃度信号に変換される。ここで,検出器には焦電型赤外線センサを用いている。ガス配管及びセルは約 $120^\circ\text{C}$ に加熱されており,サンプルガスは除湿せずにそのままセルに導入される。この構成の場合,サンプル除湿を前提とする常温型NDIRよりもセル中の $\text{H}_2\text{O}$ 濃度が高くなる。そこで,各セルに $\text{H}_2\text{O}$ 用の検出器を設け,その出力を用いて,対象成分( $\text{CO}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{HC}$ )に対する $\text{H}_2\text{O}$ の影響を補正している。

このMEXA-1170HNDIRは,実験室用の $\text{CO}\cdot\text{CO}_2$ 計として採用されているコンデンサマイクロホン型NDIR(常温タイプ)に比べ,振動に強いことを大きな特徴とする。また,水分干渉を内部で補正できる,つまり,従来の実験室用では不可欠な除湿装置が不要であることから,装置全体の消費電力を抑えることが

できる。このような耐振動性・省電力は、車載用としては非常に重要である。もちろん、除湿なしでCO・CO<sub>2</sub>濃度が得られることそのものも、ダイレクト・モジュール計測が前提の車載分析計としては有利である。更に、MEXA-1170HNDIRをHC計としてみた場合、一般的な水素炎イオン化検出器(FID)のような操作ガス(燃料水素、助燃空気)が不要であることも、車載用途に適した点としてあげることができる。

## 2.2 直挿形NO<sub>x</sub>-A/F計(MEXA-720NO<sub>x</sub>)

OBS-1000に使用されているもう1台のガス分析計はMEXA-720NO<sub>x</sub>である。このMEXA-720NO<sub>x</sub>は、ジルコニア(ZrO<sub>2</sub>)式の直挿形分析計で、1つのセンサでNO<sub>x</sub>と空燃比(A/F)を同時に計測できる。従来、同じ原理でNO<sub>x</sub>計、A/F計として独立して使用されていたものを、今回新たに一体化した。このセンサ部は排気管に直接取り付けられるため、車載用には非常に適している。更に、MEXA-1170HNDIRと同様、操作ガスが不要で小電力という利点も合わせ持っている<sup>(31415)</sup>。

## 2.3 車載計測システム

図2に、OBS-1000を実際に車に搭載した例を示す。ガス濃度測定には、前節で説明したH-NDIR(CO・CO<sub>2</sub>・HC計)とZrO<sub>2</sub>センサを用いた直挿形NO<sub>x</sub>・A/F計とを使用している。また、排ガス流量計測器としては、ピトー管式流量計(後述)を採用している。このピトー管流量計は、排ガス温度計、排ガス圧力測定ポート、直挿形NO<sub>x</sub>・A/Fセンサ、H-NDIRのサンプリングポート等と一体化したアタッチメントとして、簡単に車の排気管に取り付けることができる。また、OBS-1000には、これらの排ガス測定機器・センサの他にも、周囲環境モニタ用に大気圧力センサ、温度・湿度センサを搭載しており、更にGPS位置情報の受信機能も備えている。これらのセンサ類からの時系列データは、車速・エンジン回転などの車両データと共に、データロガーへ送信・記録される。



図2 車載型排ガス計測システム(OBS-1000)の車両への搭載例

## 3 OBS-1000におけるデータ処理

### 3.1 ピトー管による流量計測

車載型排ガス計測システムで分析計の濃度データを質量排出量に換算するためには、排ガス流量計が必要である。排ガス流量は、流量自身が瞬時にかつダイナミックに変化するばかりでなく、成分組成やガス温度も大きく変化することから、精度よく測定するのは非常に困難とされている。OBS-1000では、ガス条件変化の影響をできる限り抑え、かつ簡易に車両に搭載することができる流量計として、ピトー管式差圧計を応用している。

図3に、模式図を示す。

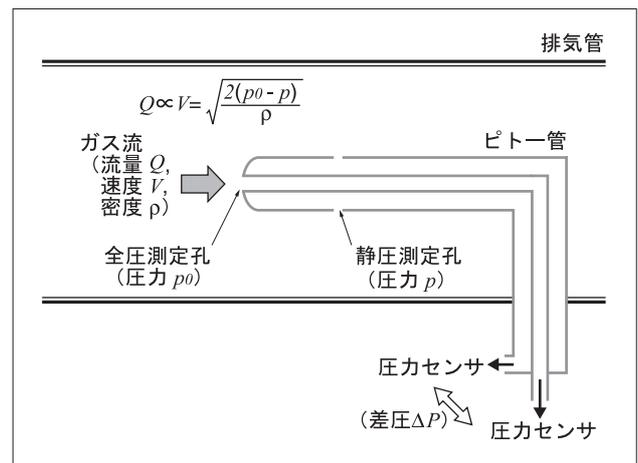


図3 ピトー管式流量計の模式図

ピトー管は、通常、風速計として用いられるもので、先端の全圧測定孔 (Stagnation point) と側面の静圧測定孔 (Static point) の差圧からガス流速を求める。ここで、エンジン排気管のように限定された空間を同一方向にガスが流れる場合、ピトー管で測定されるガス速度とガス流量とは比例するとみなすことができる。式(1)に、その関係式を示す。

$$Q_{exh}(t) = K \times \frac{P_{exh}(t)}{101.3} \times \frac{293.15}{T_{exh}(t)} \times \sqrt{\frac{\Delta P(t)}{\rho_{exh}}} \dots(1)$$

- $Q_{exh}(t)$  : 排ガス流量 (標準状態換算) [m<sup>3</sup>/min]
- $K$  : 比例係数
- $P_{exh}(t)$  : 排ガス圧力 [kPa]
- $T_{exh}(t)$  : 排ガス温度 [K]
- $\Delta P(t)$  : ピトー管の差圧 [kPa]
- $\rho_{exh}$  : 排ガス密度 [g/m<sup>3</sup>]

すなわち、比例係数Kをあらかじめ求めておけば、排ガスの温度・圧力及びピトー管の差圧の測定値から、流量算出が可能である。OBS-1000では、比例係数Kは、SAQ (Smooth Approach Orifice) 流量計によって校正した結果より算出している。

### 3.2 排出質量及び燃料消費の算出

各測定成分 (CO・CO<sub>2</sub>・NO<sub>x</sub>・HC) の単位時間あたりの排出質量は、排出濃度、及び排ガス流量、各成分の密度から算出される。式(2)に、その計算式を示す。なお、本装置で用いている分析計のうち、H-NDIR方式HC計はヘキサン (n-C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>) 換算、すなわちn-ヘキサンとしてのppmを出力するように校正される。全炭化水素としてのppmC単位での値を得る際には、FID方式の分析計と比較試験を行うことによって得られる換算係数を用いて計算している。また、式(3)に、走行距離あたりの排出質量の計算式を示す。

$$M_x(t) = C_x(t) \times 10^{-6} \times \frac{Q_{exh}(t)}{60} \times \rho_x \dots(2)$$

$$M_{x\_total} = \sum M_x(t) \times \frac{1}{L} \dots(3)$$

- $M_x(t)$  : 成分xの単位時間あたりの排出質量 [g/s]
- $C_x(t)$  : 成分xの排出濃度 [ppm]
- $Q_{exh}(t)$  : 排ガス流量 (標準状態換算) [m<sup>3</sup>/min]
- $\rho_x$  : 成分xの標準状態における密度 [g/m<sup>3</sup>]
- $M_{x\_total}$  : 成分xの走行距離あたりの排出質量 [g/km]
- $L$  : 車両走行距離 [km]

本システムではA/Fを計測しているため、燃料消費率及び燃費の算出も可能である。式(4)式(5)に、それぞれの計算式を示す。

$$F_c(t) = \frac{Q_{exh}(t)}{60} \times \rho_{exh} \times \frac{1}{(A/F)+1} \dots(4)$$

$$F_e = \frac{1}{\sum F_c(t)} \times \rho_{fuel} \times L \dots(5)$$

- $F_c(t)$  : 燃料消費率 [g/s]
- $Q_{exh}(t)$  : 排ガス流量 (標準状態換算) [m<sup>3</sup>/min]
- $\rho_{exh}$  : 標準状態における排ガス密度 [g/m<sup>3</sup>]
- $A/F$  : 空燃比
- $F_e$  : 燃費 [km/L]
- $\rho_{fuel}$  : 燃料密度 [g/L]
- $L$  : 車両走行距離 [km]

## 4 走行試験例

実験室内における試験で、OBS-1000と従来の実験室用測定設備とを比較した例を紹介する。表1に、使用した試験車両を示す。ガソリン車3台、ディーゼル車1台の計4台で評価を行った。

表1 試験車両データ

項目	車両 A	車両 B	車両 C	車両 D
エンジンタイプ	ガソリン	ガソリン	DIガソリン	EGR付きDIディーゼル
排気量	約1.0 [L]	約1.6 [L]	約2.0 [L]	約2.2 [L]
備考	LEV	LEV	無段変速装置	高圧噴射

### 4.1 排ガス流量計測結果

図4に、試験車両B・Cを用いた、ピトー管による排ガス流量の計測結果を示す。比較として示したCO<sub>2</sub>トレース法の排ガス流量は、エンジン排ガス中のCO<sub>2</sub>濃度 (OBS-1000内のMEXA-1170HNDIRによるダイレクト計測結果) と、従来設備 (常温型NDIR) によるCVS希釈排ガス中のCO<sub>2</sub>濃度及びCVS流量から算出した。

CO<sub>2</sub>トレース法には分析計間の時間軸ズレや応答時間差の問題があり、必ずしも正確な流量を表して

いない部分もあるものの、全体で見ると、両計測方法の基本的な流量パターンは比較的よく一致している。ただし、車両Bの場合に、アイドリング部分でピトー管の計測結果が高めに出る現象がみられる。原因としては、アイドリング時の大きな脈動が差圧計測に影響していることが推測される。なお、この現象は車両Cのデータではほとんど認められず、今後計測条件を改善することにより、ピトー管による充分な精度の流量計測が可能であることを示している<sup>[6]</sup>。

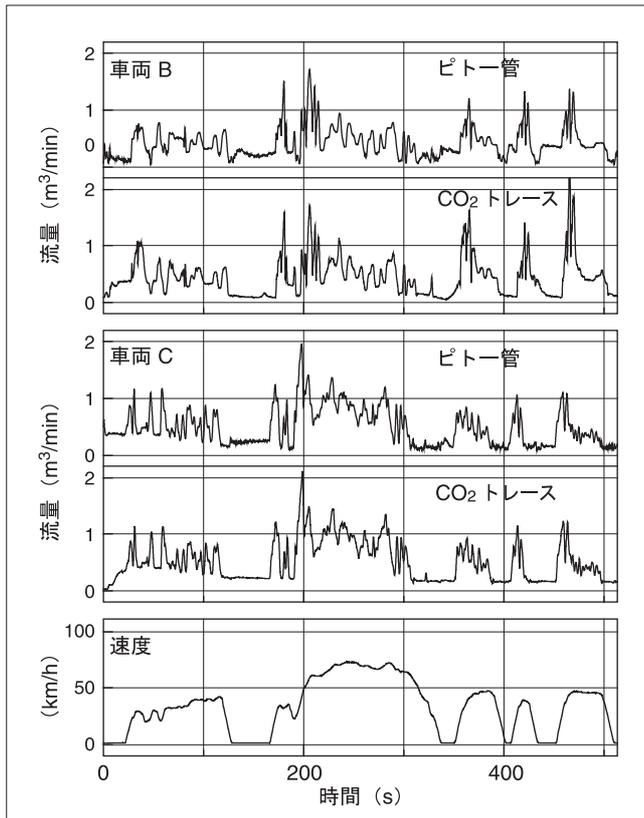


図4 ピトー管式流量計及びCO<sub>2</sub>トレース法で計測した排ガス流量の比較 (FTP75 CT phase; EPAによって定められている米国規制モードの一部)

## 4.2 H-NDIR方式HC計とH-FIDとの比較

図5に、OBS-1000中のMEXA-1170HNDIRと、比較用の加熱型FID(H-FID)による、HC(THC)排出質量の算出結果を示す。図中、塗りつぶしのプロットはガソリン車(車両A、及びC)、白抜きのプロットはディーゼル車(車両D)のデータである。この試験では、H-FIDによるTHC排出質量計算値はH-NDIRの約1.66倍で、全体としてかなりよい相関が得られている。ここで、排出質量の比率が1:1にならないのは、FID・NDIRそれぞれの特徴によるものである。FIDでは、原理的に、HCの種類にかかわらず炭素数にほぼ比例した出力が得られる。一方、各HC成分の赤外吸収強度は炭素数だけに単純に比例するものではないため、NDIRにおけるHC種ごとの感度のばらつきはFIDより大きくなる。にも関わらず両分析法に一定の相関がみられることから、NDIRはHC車載計測に十分利用可能と言える。また、NDIRの感度はサンプルのHC組成により差が出ることが推測されるが、今回の試験では試験車両、走行モード共に感度への大きな影響は認められなかった。更に多くの車両・走行モードの組み合わせで確認することで、一律、あるいはガソリン車・ディーゼル車などの車種ごとの簡易的な換算係数が決定できる可能性もある<sup>[7]</sup>。

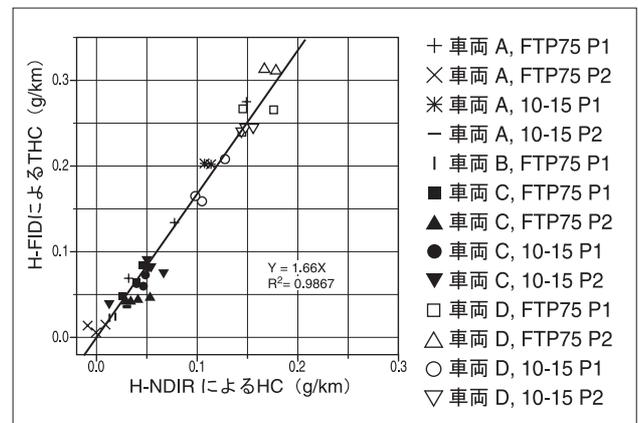


図5 H-NDIR方式HC計とH-FIDとの比較

図6に、車両C及びDについて、H-NDIRとH-FIDとの時系列濃度プロファイルの比較を示す。H-NDIRのデータは $C_6H_{14}$ としてのppmで出力されるため、まず6倍してppmCに換算し、更に図6で得られた係数(1.66)を乗算した。ガソリン車(車両C)、ディーゼル車(車両D)とも、濃度レベル・排出パターンはほぼ一致しており、ここからもH-NDIRによるHC車載計測の妥当性が確認できる。FIDのような特別な操作ガスを必要としないNDIRのメリットを考慮すれば、HC車載計測の測定原理として非常に有望であると言える。

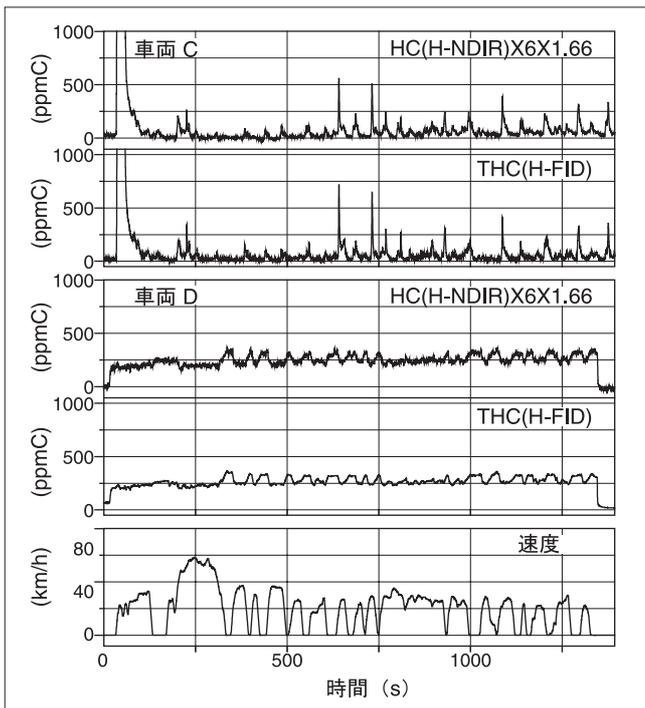


図6 H-NDIR方式及びH-FID方式で測定した瞬時のHC濃度

### 4.3 車載計測とCVS-bag法との比較

図7に、OBS-1000による排出質量と、CVS-bag法による排出質量の関係を示す。各成分とも  $y = x$  の直線近くにデータ点が分布しており、車載システムによる計測とCVS-bag計測の間には、基本的に十分な相関が認められる。ただし、結果を詳細にみると、 $CO_2$ のプロットでは、車載システムの結果が車両A,Bの場合にCVS-bag法より高めとなる傾向がみられる。これは、前節で示したように、車両A,Bではアイドリング時の排ガス流量が高めに検出されることが影響していると考えられる。 $CO$ 、 $HC$ でこの影響が顕著でないのは、 $CO_2$ はアイドル時でも高濃度で排出されるのに対して、 $CO$ 、 $HC$ はアイドル時の排出濃度が低いと考えられる。一方、 $HC$ 排出量のばらつきが低排出量域で大きくなっているのは、H-NDIR方式HC計の感度がH-FIDと比較すると低いと推測される。これら

の結果から、ピトー管式流量計のアイドル時の脈動影響、及びH-NDIR方式HC計の感度をそれぞれ改善することにより、CVS-bag法との相関は更に向上することが期待できる。

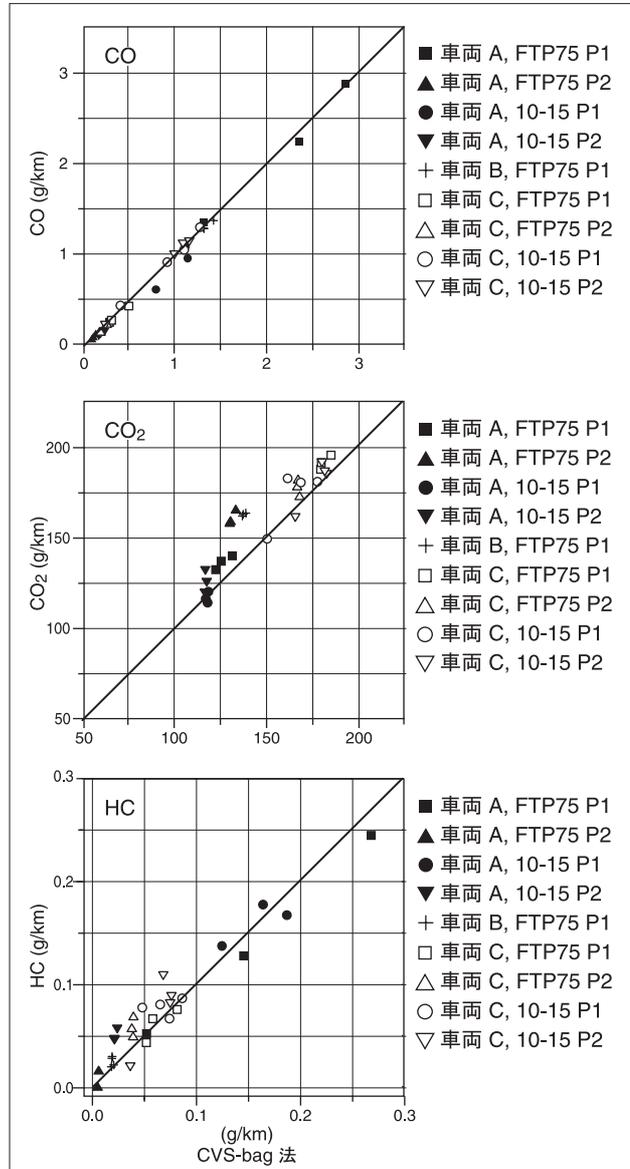


図7 車載型排ガス計測システム及びCVS-BAG測定法で計測した排出量の比較

## 5 まとめ

以上に紹介したように、車載型排ガス計測システムOBS-1000は、リアルワールドでの排ガス計測が可能である。今後、道路交通システム(ITS)、道路インフラ事業、大気モデリングなどの基礎研究分野、またアイドリングストップ運動などの一般的な活動に対する評価、更には、オンボードでの排ガス認証試験など、さまざまな分野でOBS-1000が活用され、有用な情報を提供できることを期待している。

### 参考文献

- [ 1 ] J. Jetter et.al., Development of an On-Board Analyzer for Use on Advanced Low Emission Vehicles, SAE paper 2000-01-1140
- [ 2 ] T. J. Truex et.al., Measurement of Ambient Roadway and Vehicle Exhaust Emission - An Assessment of Instrument Capability and Initial On-Road Test Results with an Advanced Low Emission Vehicle, SAE paper 2000-01-1142
- [ 3 ] N. Kihara et.al., Real-time On-board Measurement of Mass Emission of NO<sub>x</sub>, Fuel Consumption, Road Load, and Engine Output for Diesel Vehicles, SAE paper 2000-01-1141
- [ 4 ] 木原他, 車載型分析システムによるNO<sub>x</sub>排出量のリアルタイム計測, 自動車技術会2000年春季大会学術講演前刷集, No.20005192
- [ 5 ] N. Kihara et.al., Real-time On-board Measurement of Mass Emission of NO<sub>x</sub>, THC and Particulate Matter from Diesel vehicles, COMMODIA 2001
- [ 6 ] H. Nakamura, et.al., Development of a Wet-based NDIR and Its Application to On-board Emission Measurement System, SAE paper 2002-01-0612
- [ 7 ] 中村他, 加熱型NDIRを用いた車載型計測装置の開発, 自動車技術会2002年春季大会学術講演前刷集, No.20025258



中村 博司

Horoshi Nakamura

エンジン計測システム統括部  
エンジン計測開発部



木原 信隆

Nobutaka Kihara

エンジン計測システム統括部  
エンジン計測開発部  
チームリーダー