

Readout

HORIBA Technical Reports

November 2016 No. **46**

特集 自動車計測への新たな展開



HORIBA

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



今号は、自動車計測を特集します。特に次世代技術として注目される自動運転に関して、2名の著名な専門家に寄稿論文を執筆いただきました。また、2015年にHORIBA Gr.傘下に入った英国HORIBA MIRA社の紹介記事を掲載するとともに、自動車計測のために新しく建設された実験施設E-LABと関連製品も紹介しています。



■表紙写真

撮影：松井秀雄氏

(二科会写真部 会友)

パリに泊まった翌朝、公園を訪れました。ヒンヤリとした冷気の中、手入れの行き届いた公園で読書を楽しむ人と共に空いたベンチを独り占めして我が物顔のカラスに目が行きました。平和な公園を人もカラスも平等に楽しんでいるようでした。

■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 自動車計測への新たな展開

巻頭言

- 4 自動車業界における世界規模の大きな流れ
George GILLESPIE

総説

- 6 HORIBA MIRA : 70年の“歴史”と“新たなあゆみ”
Geoff DAVIS

特別寄稿

- 20 自動運転によるモビリティの未来
須田 義大
- 25 次世代の自動車とドライバ特性
景山 一郎

特集論文 自動車計測への新たな展開

- 30 自動運転車に向けて：
構造化環境および非構造化環境のための高度に自動化された車両の開発
Roberto PONTICELLI, Tim EDWARDS, Andrew MALONEY, Anthony BAXENDALE
- 39 車両システムの安定性における課題
David WARD
- 47 HORIBAの最新自動車実験棟“E-LAB”
駒田 峰之, 大槻 喜則, 佐藤 康貴, 熊谷 樹, 伊藤 和哉, 伊藤 誠
- 58 インタビュー E-LAB建設プロジェクトを振り返って
ープロジェクトマネジメントの視点からー
米重 芳一, 塩見 和広, 柿野 徹

一般論文

- 63 車載型排ガス計測システム OBS-ONE シリーズ
大槻 喜則, 青木 伸太郎, 近藤 謙次

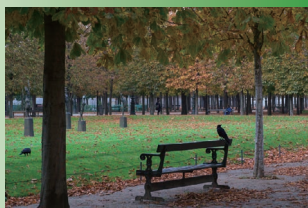
新製品紹介

- 72 浄水場における色度の測定と色度計の特長 HU-200CL CI-20
Color meter HU-200CL CI-20
木崎 寛子
- 77 純水用 TOC モニタ HT-200
中務 忠, 森田 敏夫
- 82 自動校正・KCl 補充を実現した微量サンプリング pH モニター UP-100
中井 陽子, 宮村 和宏

トピックス

- 86 第5回 HORIBA Group IP World Cup Gold Award 受賞案件の紹介
- 88 平成27年度近畿地方発明表彰 [文部科学大臣発明奨励賞] 内燃機関のEGR率測定装置
- 90 HORIBA World-Wide Network

This special edition focuses on automotive test systems. Two special articles by prominent professors on autonomous vehicle are included. In this edition we will report the technology of HORIBA MIRA and our new automotive testing laboratory "E-LAB".



On a crisp cold morning, I visited a pristine park in Paris. On a park bench, there was a man reading a book, and on another bench, a crow was resting as if he owned the bench. The two appear to share the peaceful park.

*-Photographer Hideo MATSUI-
(Member of NIKA Association of Photographers)*

Name of the book

This book is named "Readout" in the hope that "the products and technology we have created and developed will be read out and so become widely known".

New Development for Automotive Test Systems

Foreword

- 4** Global Megatrends in the Automotive Industry
George GILLESPIE

Review

- 6** HORIBA MIRA: Shaping Journeys for 70 Years
Geoff DAVIS

Guest Forum

- 20** Future of Mobility by Automated Driving
Yoshihiro SUDA
- 25** Driver Characteristics utilized in Automotive Engineering
Ichiro KAGEYAMA

Feature Article New Development for Automotive Test Systems

- 30** Towards Autonomous Vehicles:
Developing Highly Automated Vehicles for Structured and Unstructured Environments
Roberto PONTICELLI, Tim EDWARDS, Andrew MALONEY, Anthony BAXENDALE
- 39** Challenges in Vehicle Systems Resilience
David WARD
- 47** HORIBA New Building of Development Testing Facilities for
Automobiles "E-LAB"
Mineyuki KOMADA, Yoshinori OTSUKI, Yasutaka SATO,
Tatsuki KUMAGAI, Kazuya ITO, Makoto ITO
- 58** Interview: E-LAB Project
Yoshikazu YONESHIGE, Kazuhiro SHIOMI, Toru KAKINO

Selected Article

- 63** On-Board Emissions Measurement System OBS-ONE Series
Yoshinori OTSUKI, Shintaro AOKI, Kenji KONDO

Product Introduction

- 72** Water Color Monitoring in the Purification Process and
the Feature of the Color Meter HU-200CL CI-20
Color meter HU-200CL CI-20
Hiroko KIZAKI
- 77** Total Organic Carbon Monitor for the Pure Water HT-200
Tadashi NAKATSUKASA, Toshio MORITA
- 82** Micro Volume Sampling pH Monitor UP-100 achieved Automatic Sampling,
Calibration and KCl Refilling.
Yoko NAKAI, Kazuhiro MIYAMURA
-
- 90** HORIBA World-Wide Network

自動車業界における 世界規模の大きな流れ



George GILLESPIE, PhD, OBE

Senior Corporate Officer
HORIBA, Ltd.
CEO
HORIBA MIRA Ltd.

20世紀初頭、ヘンリー・フォードが自動車分野に大量生産技術を導入したことで、それまで富裕層の趣味であった自動車は、大衆にも手が届く移動手段へと変わりました。そして現在、自動車業界は、それ以来前例のないスピードで進む未経験の変化に直面しています。

大きな技術トレンドとしてまずあげられるのは、米国カリフォルニア州が排出ガス規制を導入した1970年代半ば以降、途切れることなく続けられているパワートレインの研究開発活動です。そして、業界が燃焼制御技術・排出ガス後処理技術を大きく進歩させた結果、この40年間で内燃エンジンはまったく新しいものに生まれ変わりました。この「低炭素化革命」において、HORIBAも、最先端の排出ガス計測システム、粒子状物質計測システムを提供することで大きな役割を果たしてきました。また、化石燃料使用量削減の動きは、自動車の駆動系の一部またはすべてを電動化するという動きと一体化しています。先陣を切ったのはやはりカリフォルニア州で、2050年までにすべての自動車をゼロエミッションビークル(ZEV)にすることを決めました。市場に出た車を完全に置き換えるのに平均17年かかるとすると、2035年ごろまでには、生産されるすべての新車をZEVにする必要があります。世界の全自動車生産台数に占めるZEVの割合が2%未満であるという現状からは、途方もなく大きな変化です。HORIBAは、この電動化の動きを、バッテリーパックや燃料電池などの車載動力源開発も含めた電動パワートレイン試験ソリューションで支援できると考えています。

もうひとつの大きな技術トレンドは、ここ数年で急加速してきた自動車のインテリジェント化とネットワーク化です。これは、業界を挙げた自動運転車への取り組みに伴うものであり、長年にわたって育んできたこのビジョンが実現すれば、道路網の安全性と効率性が一変することでしょう。高度にインテリジェント化・ネット

ワーク化された自動車では、車載ソフトウェアの複雑さが劇的に増大します。現在の最先端車両の車載ソフトウェアコード数はおよそ1億行ですが、完全な自動運転車両では2.5億行を超えると予想されます。このような自動車は、非常に複雑な製品です。さらに、インターネット接続の要素が加わることにより、製品の統合性維持とサイバーセキュリティを念頭に置いたレジリエンス(回復力)の確保が大きな課題となります。ここでのHORIBAの役割は、やはり試験ソリューションとエンジニアリングサービスにフォーカスしながら車両のレジリエンス強化に貢献することです。そうすれば、新たな分野で成長できる大きな長期的機会がもたらされます。

最後に、自動車業界の大きな変化として、消費者と物流業界が「車両」ではなく「移動性(モビリティ)」を購入するという「モビリティのサービス化(MaaS*1)」に向けた動きが挙げられます。これは、日本や米国などの先進市場においてすでに見られる現象であり、若者の間では移動に相乗りサービスを利用することが増えていることから、Y世代*2とZ世代*2の自動車所有数が減少しています。

自動車の完全な電動化と自動運転化にこのような社会的潮流が結びつくことで、自動車業界が100年以上の歴史の中で最も大きな変革の時代に入ろうとしていることは明らかです。HORIBAが総力を挙げて取り組むべきことは、自動車の研究開発に関する現在のニーズに応えるべくソリューションを提供し続けていくこと、そして、今後訪れる機会に対応できるよう、私たちの製品とサービスを充実させていくことです。

*1 : MaaS : Mobility as a Service

*2 : Y世代は日常的にインターネットを使いこなす2000年までに生まれた若い世代を指す。

Z世代は、その次の世代を意味し、生まれたときからインターネットが当たり前の世代。

HORIBA MIRA: Shaping Journeys for 70 Years

HORIBA MIRA : 70年の“歴史”と“新たなあゆみ”

Geoff DAVIS

For over 70 years, HORIBA MIRA has supported many of the world's most prominent vehicle manufacturers and suppliers, by providing them with cutting-edge design, test and development capabilities. The company has remained at the forefront of vehicle development and has broken many records throughout its rich history, by providing customers with services tailored to their exact requirements, by investing in the latest technology, and by fostering a culture of teamwork and innovation amongst its dedicated workforce. HORIBA's successful acquisition of MIRA in 2015 marked a significant milestone in the history of the company. By combining two highly respected global brands to form HORIBA MIRA Ltd. and by establishing MIRA Technology Park as a centre of excellence in developing the latest transport technologies, the company is continuing to shape journeys of the future around the world by making vehicles safer, cleaner, more efficient and rewarding to drive.

HORIBA MIRA社は、最先端の設計・試験・開発技術を提供することで、世界の主要な自動車メーカーやサプライヤーを70年以上にわたって支援してきた。HORIBA MIRA社は、顧客の要件に応じてカスタマイズしたサービスを提供し、最新の技術に投資し、チームワークと革新の文化を育んできた。それにより、自動車開発の最前線に立ち続け、その過程で数々の業績を残してきた。2015年にMIRA社(当時)がHORIBAグループに加わったことは、HORIBA MIRA社の歴史における画期的な出来事のひとつである。高く評価される二つのグローバルブランドが結び付いてHORIBA MIRA社が誕生し、最新輸送技術の開発における中核研究拠点となるMIRA Technology Parkも開設された。そして、HORIBA MIRA社は、自動車を、より安全・クリーン・効率的で、運転する価値のあるものとすることで、未来への“新たなあゆみ”をグローバルに進めている。



Introduction

HORIBA MIRA (formerly known as MIRA) was founded in 1946 and has been based at the heart of the UK's automotive industry for over 70 years. From its early beginnings as the government funded, Motor Industry Research Association, HORIBA MIRA has grown to become a global provider of pioneering engineering, research and test services to the automotive, aerospace, rail and defence sectors and a centre of excellence for vehicle development. The company works in close collaboration with vehicle manufacturers and suppliers around the world, providing comprehensive support ranging from individual product tests to turnkey engineering design, development and build programmes.

The company has seven decades of experience in developing some of the world's most iconic vehicles, with HORIBA MIRA's engineers utilising the latest test facilities and simulation tools to make vehicles and journeys safer, cleaner, more efficient and rewarding.

With a suite of 37 major test facilities, 100 km of specialised proving ground and a wealth of engineering experience, combined with an expanding international presence, HORIBA MIRA is working hard to achieve its vision – that “By 2020 every journey in the world will be positively influenced by HORIBA MIRA.” In order to realise this ambitious vision, HORIBA MIRA is developing MIRA Technology Park, the 1.75 million sq ft (162,500 sqm) site where its headquarters are located. The development is set to create over 2000 new jobs at a variety of skill levels, from apprentices to leading technical experts, and will become Europe's largest transport centric technology park and the home of European R&D centres for some of the world's most prominent vehicle manufacturers and Tier 1 suppliers.

HORIBA MIRA's proven track record and on-going ability to operate at the forefront of vehicle technology development has led it to become a globally recognised brand for vehicle development. By applying its advanced engineering, test and validation capabilities to customers' challenging programmes, HORIBA MIRA is already shaping journeys of the future.

History

The Beginning (Figure 1, 2 and 3)

HORIBA MIRA's drive towards positively influencing every journey in the world began on 1st January 1946, when the UK motor industry established its own research association known as 'MIRA', the Motor Industry Research Association. Formed from the Automobile Research Committee (ARC) of the Institution of Automobile Engineers, MIRA was carefully constructed to



Figure 1 34° banking under construction



Figure 2 Opening of the High-speed Circuit



Figure 3 HORIBA MIRA's famous Belgian Pavé test facility

はじめに

HORIBA MIRA (旧 MIRA)社は1946年に設立された。英国政府が出資する自動車産業研究協会(Motor Industry Research Association)として出発し、自動車、航空宇宙、鉄道、および国防の各分野に先駆的なエンジニアリング、研究、および試験サービスを提供するグローバルプロバイダーへ、そして自動車開発の中核研究拠点へと成長した。HORIBA MIRA社は、37の主要試験施設群と100 kmの専用テストコース、そして豊富なエンジニアリングの経験を持ち、事業を国際的に展開している。

歴史とあゆみ

創業

英国の自動車産業の自前の研究団体として、MIRA (Motor Industry Research Association)が1946年1月1日に設立された。



Figure 4 The original Crash Laboratory



Figure 5 A climatic chamber



Figure 6 Crash testing on the High Energy Facility



Figure 7 An early Land Rover model being tested

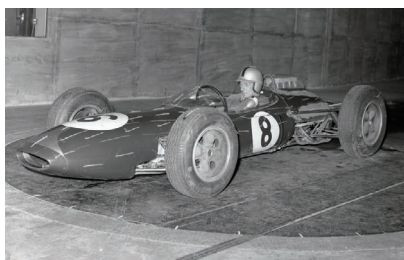


Figure 8 Aerodynamic testing of a Formula 1 car

serve the needs of the industry itself.

From its beginning, MIRA has been instrumental in making engineering knowledge and experience available to the world's vehicle and component manufacturers. As its story has unfolded the company has survived the peaks and troughs of an industry which, since its birth, has been used by various governments as an economic regulator. It has survived national and world industrial recessions, emerging fitter, stronger and more focused than ever before.

1940s & 1950s (Figure 4 and 5)

Following an evaluation of over 40 potential sites including Donington Park and Silverstone, MIRA's Proving Ground was established at RAF Lindley, a former airbase near Nuneaton in 1948. The early site consisted of more than 650 acres of land with three concrete runways, perimeter tracks, dispersal and hard standings, a control tower and one hangar.

The first major development to the Proving Ground – which would later grow to become the centrepiece of MIRA Technology Park – was a half-mile section of the famous Belgian Pavé road, which was opened for use in early 1950. The MIRA laboratory facilities were also constructed during this time on a prominent 11 acre site along the historic A5 London to Wales, Roman trunk road known as Watling Street.

By 1952 construction was underway on one of the three super-elevated bends on the High-speed Circuit. This 34° banking is still used today, and allows a neutral-steer speed of 85mph, meaning constant 100mph laps can easily be achieved.

At the end of the 1950s an extensive investigation of wind tunnel testing was carried out using the 24 foot diameter aircraft wind tunnel at RAE Farnborough. The conclusion was that the automotive industry required a purpose-built wind tunnel, and that MIRA should set about designing and building the world's first full-scale wind tunnel. It was built inside the remaining aircraft hangar on the Proving Ground and was one of the first purpose built facilities at MIRA which started a series of developments that would continue throughout the 1960s.

1960s & 1970s (Figure 6, 7 and 8)

During the 1960s, MIRA rapidly built facilities to accommodate the newly emerging engineering disciplines of the time. Developments included a crash laboratory, NVH (Noise, Vibration and Harshness) chambers and an 'Atmospheric Pollution' Emissions Laboratory that was built in 1967. In 1968

1940年代と1950年代

1948年、ナニートン近郊のリンドリー英国空軍基地の跡地にMIRA社のテストコース(Proving Ground)が設置された。後にMIRA Technology Parkの中核施設となるテストコースである。全長1/2マイルのベルジャン路が完成し、1950年の初めから使用が開始された。

1952年には、高速周回路の建設が進められた。ニュートラルステア速度85 mphが可能な傾斜角34度のバンクは、現在でも使われている。1950年代末には、ファーンボロー王立航空研究所(RAE)にて風洞試験に関する大規模な調査を実施した。その結果、テスト

コースに残されていた航空機格納庫に風洞試験専用施設が造られた。

1960年代と1970年代

1960年代には、衝突実験施設、NVH(ノイズ、振動、ハーシュネス)室などが建設された。1967年には「大気汚染」エミッション実験施設が建てられ、1968年には衝突実験施設も開設された。

同時期にHyGe衝突スレッド実験施設が設置され、衝突試験装置が改良された。これらのプロジェクトは、より広範な衝突試験能力を提供し、乗員の安全確保装置の開発に理想的な施設群となった。

the Crash Laboratory was opened by Anthony Wedgwood Benn, who, at the time, was the UK Government's Minister of Technology. This laboratory was the most advanced crash facility in the world and helped MIRA lead the way in the science of safety development engineering.

Also during this time, plans for extending MIRA's safety facilities at Nuneaton intensified which resulted in the installation of a HyGe reverse impact sled facility, and improvements to the crash test rig. These projects provided a greater range of crash test possibilities and were ideal facilities for the development of passenger restraint systems. The HyGe Laboratory was formally opened by HRH Queen Elisabeth II's cousin, Prince Michael of Kent in March 1979. Following the opening, a variety of work was undertaken, including seat testing, seatbelt evaluation, and pedestrian impact testing using both adult and child dummies. During this time, MIRA was also involved in a large cooperative project concerning the restraint of children in cars using adult seat belts, and the creation of design parameters for booster cushions.

1980s and 1990s (Figure 9, 10, 11, 12 and 13)

The 1980s saw many additions to MIRA's facilities; with the opening of the Engine Test Laboratory by HRH Prince Michael of Kent and the creation of a Straight Line Wet Grip surface on the Proving Ground, which was opened on an extremely wet day in April 1986 by Mr Peter Bottomley, MP - Parliamentary Under-Secretary at the Ministry of Transport.

In 1987 MIRA's first Semi Anechoic Electromagnetic Compatibility (EMC) chamber was also opened by Sir John Egan, Chairman and Chief Executive of Jaguar Cars.

MIRA's propensity for record breaking began in the 1980s when Richard



Figure 9 Peter Taylor breaking the lap record on the High Speed Circuit in a McLaren F1



Figure 10 Chris Boardman's Olympic winning Lotus 108 in the Full-Scale Wind Tunnel

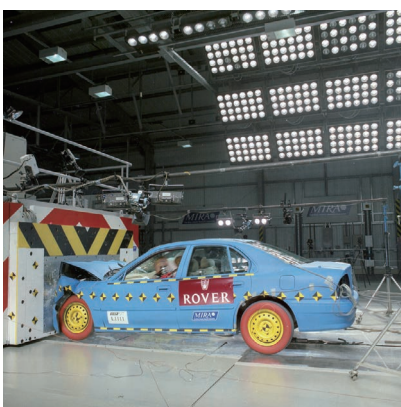


Figure 11 Crash Laboratory



Figure 12 Aerodynamic development of Thrust SSC

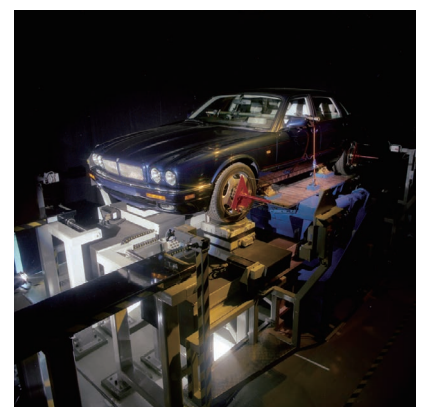


Figure 13 HORIBA MIRA's first Kinematics and Compliance Test Facility

1980年代と1990年代

1980年代には、エンジン試験施設が開設され、テストコースに直線ウェットグリップ試験路が作られた。1987年、MIRA社初の電磁両立性試験用半無響室も開設された。記録更新の挑戦は、1980年代に始まった。1985年9月、リチャード・クレーンは1時間の走行において、自転車の世界速度記録となる41.28 mphを達成した。

1996年には、欧州最先端の独立した運動学・コンプライアンス (Kinematics and Compliance : K&C) 施設を開設した。この新しい設備により、車両のサスペンションおよびステアリングシステムジオメトリーの運動学特性と、サスペンションスプリング、ア

ンチロールバー、エラストマーブッシュ、および部品変形のコンプライアンス特性を正確に実証できるようになった。

1990年代、MIRA社は、もうひとつの世界記録でも大きな役割を果たした。スラストSSCの独創的な後輪操舵システムの極秘試験と極めて重要なモデル風洞開発においてMIRA社がアドバイスしたことにより、スラストSSCのチームは、1997年10月15日に自動車で初めて763.035 mph (マッハ1.007)の速度を達成し、音速を超えることができた。

速度に関する記録としては、1998年12月に、高速周回路での新たな

Crane set a new world record for human powered vehicles during one hour's running on the Proving Ground's Horizontal Straights in September 1985, achieving a speed of 41.28 mph. The existing record he broke was 37.5 mph, and the aerodynamic development of the vehicle; 'Bluebell' achieved a drag coefficient of 0.095, after being development in MIRA's Full Scale Wind Tunnel.

The company's trend for record breaking continued into the 1990s. In preparation for the 1992 Barcelona Olympic Games, British racing cyclist Chris Boardman and Lotus Engineering took cycling to another level when they perfected the aerodynamics of both the Lotus 'super bike' and Chris's riding position. The revolutionary bike helped Chris to catch his opponent Jens Lehmann in the final of the 4km cycling pursuit and he went on to win the Olympic gold medal.

MIRA's vehicle dynamics capabilities significantly advanced in the 1990s when the company opened Europe's most advanced independent Kinematics and Compliance (K&C) Facility in 1996. This new rig enabled MIRA to accurately establish the kinematic characteristics of a vehicle's suspension and steering system geometries, and the compliance characteristics of the suspension springs, anti-roll bars, elastomeric bushes and component deformations. Knowledge of these characteristics is an essential aid for suspension engineers wishing to establish a thorough understanding of a vehicle's performance in terms of ride, impact isolation, steering and handling, and immediately became an essential engineering tool for vehicle and component manufacturers.

During this decade, MIRA also played a significant part in another world record. The company's input during secret tests on the unique rear-wheel steering system and vital model wind tunnel developments on Thrust SSC, meant the team were able to break the sound barrier with a car, achieving a speed of 763.035mph (Mach 1.007) on 15th October 1997.

Speed was also on the agenda on a cold, damp day in December 1998, when a new lap record for the High-Speed Circuit was set in a McLaren F1. It broke the record by averaging 168mph (270.36 km/h) around the circuit, and at one point reached speeds of 196.2 mph (315.75 km/h), beating the previous lap record of 161.655mph (260.15 km/h) which was achieved in a Jaguar XJ13 in April 1967.

The final major success for MIRA during the 1990s occurred in December, when the company won the top award for the best Teaching Company Scheme (TCS) programme.

な周回記録がマクラーレンF1により樹立された。この車は、平均周回速度168 mph (270.36 km/h)で記録を更新し、瞬間最高速度は196.2 mph (315.75 km/h)にも達した。それまでの周回記録は、ジャガーXJ13が1967年4月に達成した161.655 mph (260.15 km/h)であった。

MIRA社にとっての1990年代最後の大躍進は、最優秀企業教育 (Teaching Company Scheme : TCS) プログラムの最高賞の受賞である。

The 2000's (Figure 14, 15 and 16)

MIRA's ambitions for expansion were boosted at the start of the decade, when the company established a sister-site in Basildon, Essex. MIRA Quatro Park was opened on 27th June, 2000, by Dr Wilfried Janke, European Technical Director of Visteon. At the time it was built, this bespoke engineering test facility was the largest of its kind in the UK. Today it continues to offer independent validation testing on a variety of products for all engineering sectors.

In order to meet customer requirements, improvements were made to a number of facilities at the site in Nuneaton between 2003 and 2006. A second Climatic Wind Tunnel (CWTtwo) was opened in 2003, and MIRA's comprehensive Electromagnetic Compatibility (EMC) capabilities were further enhanced in 2006 with the opening of the Heavy Vehicle Semi Anechoic Chamber (HVSAC).

In 2007 MIRA won Automotive Testing Technology International magazine's 'Crash Test Company of the Year' award. This was a major achievement for the company, and signalled the culmination of decades of hard earned experience gained in the field of vehicle safety development.

Throughout 2009, MIRA was involved in numerous high-profile projects, including the SAFERIDER programme which focused on Advanced Rider Assistance Systems and On-Bike Information Systems. This innovation provided speed alert, curve warning, frontal collision warning and lane change support functionality.

A cooperative system, WATCHOVER, was also designed in 2009. This prevented accidents involving vulnerable road users in urban and extra-urban areas where clear line of sight was unavailable.

FOOTLITE was another project MIRA worked on during this decade. It highlighted the close-coupled relationship between Intelligent Transport Systems (ITS) and low carbon technology via the delivery of driver information systems that educate and encourage safer, greener driving and longer term behavioural changes.

In 2009 the company's research activities within the rail sector became centred on passenger safety, when MIRA entered into a partnership with Motorail Logistics to perform the first full-scale rail crash test in over 20 years. Later that year MIRA collaborated with fifteen partners from European rail operators and manufacturers as part of the SAFE INTERIORS research programme, which addressed the complexities arising from standing and unrestrained passengers.



Figure 14 Climatic Wind Tunnel One



Figure 15 MIRA's Quatro Park



Figure 16 Crash test dummies used in full-scale rail crash testing

2000年代

2000年代に入ると、MIRA社はエセックス州バジルドンに姉妹施設を開設した。今日まで、あらゆる技術分野のさまざまな製品に関する独立した検証試験を提供している。

2003年、2番目の環境風洞(Climatic Wind Tunnel : CWTtwo)が開設され、2006年には、大型車両半無響室(Heavy Vehicle Semi Anechoic Chamber : HVSAC)が開設された。

2007年、MIRA社は、Automotive Testing Technology International誌の「Crash Test Company of the Year」を受賞した。

2009年のSAFERIDER プログラムは、先進ライダー支援システム(Advanced Rider Assistance Systems)とバイク車載情報システム(On-Bike Information Systems)に焦点を当て、速度警告、カーブ警告、前面衝突警告、車線変更支援機能などを提供した。

2000年代にMIRA社が取り組んだFOOTLITEは、もうひとつの重要なプロジェクトである。より安全で環境に優しい運転と長期的な行動の変化をドライバーに教えて促す情報システムを提供した。



Figure 17 Dr. George Gillespie welcoming Aston Martin to MIRA Technology Park

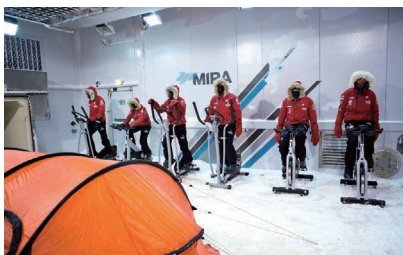


Figure 18 HRH Prince Harry training for a South Pole expedition in one of the Climatic Wind Tunnels



Figure 19 Transport Secretary Sajid Javid visiting HORIBA MIRA



Figure 20 The masterplan of MIRA Technology Park



Figure 21 An artist's impression of MIRA Technology Park in the future



Figure 22 Vince Cable with HORIBA MIRA's Connected Vehicle

The Dr Gillespie Era / HORIBA Acquisition (Figure 17, 18 and 19)

After taking charge of MIRA in January 2009, CEO, Dr George Gillespie formed a new Executive Team to lead the company, which drew upon a wide range of experience from across the engineering industry. Their vision was to bring the company together to form a cohesive commercial enterprise that was capable of expanding into international markets, while cultivating the very essence of the company that made it so unique and endearing to both its established customer base and its talented workforce. By strengthening its core capabilities within traditional vehicle engineering disciplines and investing heavily in emerging areas such as xEV systems and functional safety, the company quickly began to realise this vision.

MIRA's ambitious plans for establishing itself as a world leader in vehicle engineering first began to emerge with the announcement of MIRA Technology Park in 2010. MIRA Technology Park's vision was to build a state-of-the-art Engineering Centre and create the most advanced, independent transport Technology Park in Europe. This ambitious project, which is still ongoing, aims to generate more than 2,000 jobs by 2020.

During 2011 and 2012, The MIRA Technology Park plans attracted a lot of praise from the Government. In separate meetings with Nick Clegg (Deputy Prime Minister at the time), and Business Secretary Vince Cable, George Gillespie explained how a state-of-the-art Engineering Centre and Technology Park would help attract international companies looking for advanced engineering expertise and facilities.

Planning approval for MIRA's 1.75 million sq ft Technology Park development was endorsed by Secretary of State Eric Pickles in March 2012, and by November 2012 the first new building on the Technology Park, MIRA's new 43,000 sq ft Control Centre was opened by the Rt Hon Dr Vince Cable, Secretary of State for Business, Innovation and Skills.

Large advances within MIRA's autonomous and connected capabilities have

2009年には、鉄道分野での研究活動の重点を乗客の安全性に置き、Motorail Logistics社と提携して20年ぶり以上となる鉄道突撃試験を実施した。

ギレスピー博士の時代／HORIBAによる買収

2009年1月より、CEOのジョージ・ギレスピー博士は、エンジニアリング産業での幅広い経験を生かす新たな経営陣を組織した。伝統的な自動車エンジニアリング分野の中核実証試験分野を強化し、xEVシステムや機能安全などの新たな分野に集中投資した。

2010年に公表されたMIRA Technology Park構想のビジョンは、

最新のエンジニアリングセンターを建設し、欧州に最先端の独立した自動車テクノロジーパークを作ることであった。今日でも進行中のこの野心的プロジェクトは、2020年までに2,000人以上の雇用創出を目指している。

2011年から2012年にかけて、MIRA Technology Parkの計画は、政府から多くの賞賛を得た。この計画は、先進的エンジニアリングの専門知識と施設を求める国際企業の誘致に貢献すると考えられた。

175万平方フィートのMIRA Technology Parkの開発計画は、

been fostered during George Gillespie's leadership. Central to this is the development of MIRA's Connected Vehicle, a highly automated car that integrates with MIRA's City Circuit – a facility which provides a safe, comprehensive and fully-controllable connected city environment dedicated to the testing, validation and demonstration of co-operative systems in an urban and sub-urban environment and allows synchronisation of intelligent infrastructure and other intelligent vehicles. This research, which is still on-going, is an enabler of enhanced test capability for the City Circuit and also the foundation for further proving ground automation.

A spin-off from the Connected Vehicle programme is the field of Cooperative Driving. While independent autonomous vehicles currently tend to be very cautious due to their situation awareness limitations, MIRA's work involving data sharing is helping to improve awareness and cooperative actions amongst connected vehicles and infrastructure that can optimise traffic flows. This activity builds on the Connected Vehicle's foundations and is seen by MIRA as an enabler of technologies for the wider deployment of future autonomous vehicles.

In September 2013 MIRA hosted another royal visitor. This time it was HRH Prince Harry and the UK team of the Walking With The Wounded Allied South Pole Challenge. During the 24 hour exercise, the team were subjected to temperatures as low as -35°C, snow blizzards, and winds of up to 200 km/h so they could prepare for the brutal environment of Antarctica. The event received international media coverage and generated a significant amount of interest in MIRA's environmental testing services.

2014 saw Bob Joyce, Jaguar Land Rover's Executive Director of Product Creation and Delivery, launch MIRA's newly expanded Kinematics and Compliance Facility featuring Europe's only independent Suspension Parameter Measurement Machine (SPMM) with moment of inertia capability.

As 2014 came to a close, Dr Gillespie was awarded an OBE in the Queen's New Year's Honours List. The award was presented to George for his services to international trade, following his continued commitment to building business overseas. On route to gaining this award, George accompanied Britain's Prime Minister, David Cameron, on a trade visit to China in December 2013, and visited Japan, India and China on several occasions during 2014 to build long-term business relationships between international markets and the UK.

The latest chapter in MIRA's history was written in 2015 when HORIBA increased its operation through the purchase of MIRA. The major investment, which was completed on 14th July 2015, saw HORIBA expand its portfolio



Figure 23 Bob Joyce and Dr. George Gillespie at the opening of the new Kinematics and Compliance Facility

2012年3月にエリック・ピクルス大臣により承認された。計画の中心は、MIRA社のCity Circuitに統合される高度に自動化されたコネクテッドビークルの開発であった。City Circuitは、インテリジェントなインフラと他のインテリジェント車両との同期を可能にする。今日も進行中のこの研究は、City Circuitの試験能力を強化するものであり、試験場のさらなる自動化の基礎となっている。

コネクテッドビークルプログラムから派生したものが、協調走行 (Cooperative Driving) の分野である。今日の個々の自動運転車両は、状況認識能力の限界から非常に慎重になる傾向がある。MIRAの協調走行に関する研究は、将来の自動運転車両のより幅広い展

開に必要な技術を実現するものである。

2013年9月、英国の南極探検チームがMIRAを訪問し、南極の厳しい環境への準備として、24時間の演習を実施し、マイナス35°Cの低温や吹雪、最大200 km/hの風に身をさらした。この模様は国際メディアでも報道され、MIRA社の環境試験サービスへの大きな関心が集まった。

2014年新たに拡張された運動学・コンプライアンス施設は、欧州で唯一の独立したサスペンションパラメータ計測装置 (Suspension Parameter Measurement Machine : SPMM) を備え、慣性モー



Figure 24 A. HORIBA and G. Gillespie



Figure 25 The Management Team at HORIBA MIRA Ltd.



Figure 26 HORIBA MIRA's Control Centre

with a move into vehicle engineering and testing consultancy. By combining two highly experienced and internationally recognised companies to form the HORIBA MIRA brand, significant gains can continue to be made towards making vehicles and journeys across the world safer, cleaner, more efficient and rewarding.

HORIBA MIRA's Current Capabilities

HORIBA MIRA has a unique combination of test facilities and complementary engineering capability, and also provides a location for organisations to locate their R&D activities.

HORIBA MIRA's headquarters, based in the UK, house 37 major test facilities and over 100kms of test tracks. Test facilities include comprehensive suites of crash and safety development facilities, climatic and aerodynamic wind tunnels, EMC test laboratories, emissions and powertrain test labs as well as a range of component and structure test facilities.

The HORIBA MIRA Proving Ground is very comprehensive and allows vehicle, component and tyre testing across a range of high and low speed, durability and low friction surfaces.

HORIBA MIRA has engineering expertise that relates to the test facilities that already exist. In addition, HORIBA MIRA engineering expertise has been traditionally focussed on vehicle systems with a long-standing tradition of using this expertise to develop vehicle attributes and DNA, typically, ride and handling, steering, braking, durability, NVH and passive safety.

Over the past 20 years, vehicles have evolved with conventional diesel and gasoline powertrain systems being replaced with hybridised and electrical architectures. In response to this HORIBA MIRA has evolved comprehensive capability in electrical powertrain architectures, battery systems and energy management, underpinned by HORIBA MIRA's core capabilities in electrical systems and EMC.

In more recent years HORIBA MIRA has taken a leading role, globally, in the areas of systems safety. As vehicles have become more complex and reliant on electrical systems or systems that are safety critical, the importance of the application of a systems engineering approach and ISO 26262 has become more important. In response to this, HORIBA MIRA has pioneered engineering consultancy capability in this area.

HORIBA MIRA has traditionally encouraged many of its valued customers to locate their R&D capability at HORIBA MIRA's traditional headquarters in

メントの計測が可能である。

2015年、MIRA社がHORIBA グループに加わったことで、その歴史に新たな章が書き加えられた。HORIBA Gr.は、車両エンジニアリングと試験のコンサルティングに乗りだし、自らのポートフォリオを拡張することになった。豊富な経験を持つ国際的に認められた2企業が結び付いてHORIBA MIRAブランドを作り上げた。

HORIBA MIRA社の現在の能力

HORIBA MIRA社は、試験施設と補完的エンジニアリング能力を独自に併せ持ち、さらに各種機関に研究開発活動の拠点も提供し

ている。

HORIBA MIRA社のテストコースは極めて充実しており、車両、部品、タイヤなどを対象に、さまざまな速度での試験、耐久性試験、低ミュー路試験を行うことが可能である。また、HORIBA MIRA社は、既存の試験施設に関するエンジニアリングの専門知識を有している。

この20年、自動車は、従来のディーゼルとガソリンのパワートレインシステムをハイブリッドアーキテクチャや電動アーキテクチャに置き換えることで進化してきた。自動車がますます複雑に

the UK. These customers have benefited from easy access to test facilities and engineering capability and thus HORIBA MIRA has served as an attractive location looking to fast-track their R&D activity. Since 2010 HORIBA MIRA has built on this original principle, and has entered a period of on-going development as customised facilities are designed and built for a range of global customers looking to establish an R&D presence in Europe, and primarily the UK.

Current Areas of Research in Response to Industry

Following the arrival of the new Executive Team through 2009/10, and over the past 5 years, HORIBA MIRA has undertaken increasing levels of R&D. All R&D has been strictly focussed on developing capability and intellectual property in technical areas that have aligned with the overall strategy and business plan. Some key areas have included:

Battery pack design for vehicle applications, and development of battery management systems to ensure maximum life and performance

- HORIBA MIRA has designed and supplied bespoke battery packs for new Korean buses: a plug-in HEV and a pure EV with swappable packs. It was responsible for cell selection, hardware specification, BMS software, pack test and validation. The company worked in partnership with a Korean production supply chain and carried out cell characterisation and calibration using a unique process. The BMS was calibrated to cell characteristics and application for maximum performance of the pack and HEV system. In-house development and validation with advanced HIL and exercisers was also carried out.
- The finished pack had an integrated thermal system and platform and could be optimised for the local supply base. The pack's scalable architecture and BMS platform allowed pack development to be based off common systems and delivered in 9 months, while the BMS and pack design gave c.10% additional usable energy density compared to the industry standard.

Use of hydrogen for fuel cells application

- This is being conducted within a collaborative R&D project to develop a unique hydrogen generator using solid complex hydrides. HORIBA MIRA will develop a highly innovative continuous flow hot cell, producing 1 kW of hydrogen from a nano-structured ammonium borane composite. The project will develop a detailed understanding of the principles and material properties of the solid precursor material and

なり、電気システムや安全に関わる重要なシステムへの依存を強めているため、システムエンジニアリングアプローチとISO26262の適用がますます重要になっている。

HORIBA MIRA社は、研究開発活動を素早く進展させるための魅力的な拠点を顧客に提供している。欧州、特に英国に研究開発拠点を設けたいと考える世界中の顧客のために、カスタマイズした施設を設計・建設している。

業界に応える現在の研究分野

HORIBA MIRAの研究開発は、全体的戦略と事業計画に沿った技術分野における開発能力と知的財産に特化してきた。

バッテリーマネジメントシステム(BMS)の開発

- ・車両用バッテリーパックの設計と、最大限の寿命と性能を確保するバッテリーマネジメントシステム(BMS)の開発。

燃料電池への水素の利用

- ・固体錯体水素化物を用いた独自の水素発生装置の開発が、

thermal modelling, and simulation will be carried out to drive the design concepts. The project will also involve the development and build of a compact system incorporating thermal management, gas management, and movement of material and control electronics to generate hydrogen on-demand.

- The project is aimed at developing a patentable system for generating hydrogen from a solid fuel cartridge, and the system will mitigate the need for high barometric pressure and/or cryogenic hydrogen storage systems. The project is also aimed at drastically reducing the infrastructure and vehicle system costs.

Use of cryogenic fuels and liquid air as an alternative energy vector for fuel economy benefit

- HORIBA MIRA is actively researching technologies for the recovery of energy from liquid air through expansion, including how to integrate and control such cryogenic energy recovery systems in vehicles. A consortium of the Dearman Engine Company, HORIBA MIRA, Air Products and Loughborough University, with a grant from Innovate UK (the UK's innovation agency), have enabled the completion of the world's first demonstration of a liquid air engine in a commercial vehicle.

Cybersecurity of vehicle systems

- The growing importance of cyber security and vehicle resilience is closely aligned to the dual trends of increasing automation in vehicles and increasing growth in the use of consumer devices in vehicles. These parallel developments mean that ensuring the resilience of these systems is now a top priority for the industry, and HORIBA MIRA is taking a lead in this.

Intelligent and connected vehicles

- The automotive sector is facing various global challenges, and the requirement for safe, secure and environmentally friendly transport has never been greater. By developing automated intelligent and connected vehicles, HORIBA MIRA will make journeys of the future safer, more efficient and convenient. OEMs, infrastructure providers and suppliers require support to design, develop, validate and test these new vehicle systems and HORIBA MIRA is able to support them with this, as it has experience in developing vehicles that interact with intelligent infrastructure using its City Circuit Facility (a dedicated ITS proving ground). The company has also created Network Guided Vehicle - a highly automated demonstration platform for testing driverless

共同研究開発プロジェクトの中で実施された。

- プロジェクトは、固体燃料カートリッジから水素を発生させるための特許性のあるシステムの開発を目指している。

代替エネルギー媒体としての低温燃料と液体空気の利用による燃料経済効果

- 液体空気から膨張によってエネルギーを回収する技術进行研究している。

車両システムのサイバーセキュリティ

- サイバーセキュリティと車両故障からの復帰の重要性の高まりは、車両の自動化と消費者機器の利用拡大という2つの傾向と密接に結び付いている。

インテリジェントなコネクテッドビークル

- 自動車業界は、さまざまな地球規模の課題に直面しており、安全でセキュアで環境に優しい輸送の必要性が、かつてないほど高まっている。HORIBA MIRAは、自動化されたインテリジェントなコネクテッドビークルを開発することで、自動車をより安全で効率的で便利なものにしていく。

technologies, as well as a scaled-down testing environment (co-operative robots) which allow engineers to understand vehicle interactions and test algorithms/software.

- HORIBA MIRA has also developed a vehicle-in-the-loop system with its City Circuit to demonstrate cooperative vehicles with intelligent infrastructure, and had developed the intelligence and algorithms required for safe and highly efficient cooperative operation of autonomous vehicles. HORIBA MIRA's experts predict that up to a 25% improvement in efficiency can be achieved if vehicles and infrastructure cooperate effectively.

Lightweight commercial vehicle structures

- HORIBA MIRA worked on a project with a commercial vehicle OEM where it was responsible for the design, construction and testing of the hybrid technologies of a lightweight hybrid HGV. The aim of the project was to develop a hybrid HGV that was fuel efficient, quiet, highly manoeuvrable, had low emissions and an adaptable architecture. The OEM engineering team was based at MIRA Technology Park and HORIBA MIRA designed, integrated and validated the complete drivetrain. HORIBA MIRA was also involved in the sizing and design supply of the APU, battery pack and BMS, rear axle with integrated steering, traction motor and gearbox, thermal management system and hybrid control system.
- The finished vehicle featured a 25% payload increase, 4 wheel steer, zero emissions mode (EV), and achieved a reduction in CO₂ greater than 53%. There is a patent pending on body, rear axle and APU designs and HORIBA MIRA has secured a follow-on contract for the Urban Vehicle Range project, which will create low emission and fuel efficient refuse collection vehicles in the form of a CNG vehicle and a plugin-hybrid vehicle.

Unmanned ground vehicle technology

- HORIBA MIRA has experience of successfully designing and supplying an unmanned IED detection capability that was required in response to a UK MoD Urgent Operational Requirement. The vehicle needed to be safely controlled remotely and MIRA Autonomous Control Equipment (MACE) technology enabled the vehicle to be converted to feature unmanned capability. The MACE was integrated into a Land Rover Defender as part of a 12 month engineering development and delivery programme. A team of more than fifty HORIBA MIRA team members were involved in the project, and the company provided

・HORIBA MIRA社は、インテリジェントなインフラと協調型車両を実証するためにCity Circuitを用いたビークル・イン・ザ・ループ・システムも開発した。

軽量商用車の構造

・商用車OEMとのプロジェクトに取り組み、軽量大型トラックのハイブリッド技術の設計、構築、および試験を担当した。プロジェクトの目的は、低燃費・低排出ガスで静粛性と機動性に優れ、適応構造を備えたハイブリッド大型トラックを開発することであった。

・完成した車両は、積載量25%増加、四輪操舵、ゼロエミッションモード(EV)、53%以上のCO₂削減を特徴とした。ボディ、リアアクスル、APUの設計については特許を申請中である。

無人陸上車技術

・UK MoD Urgent Operational Requirementに基づく無人IED探知能力の設計と供給の経験がある。
・システムは2011年より英国陸軍に提供され、素早く安全な

full field support including all upgrades to the customer.

- The system has been in service with the British Army since 2011 and was used extensively for rapid and safe route proving. It has also been cited in UK MoD reports as “...a game-changing capability and the best system of IED detection currently deployed within the NATO group.”

Future Strategy

HORIBA MIRA solves problems, driven by key megatrends that will shape the transport industry over the next 25 years. The company’s future strategy is based around four key themes which will guide its overall direction and growth, namely;

- Making vehicles CLEANER
- Making vehicles and journeys SAFER
- Making journeys more EFFICIENT
- Ensuring vehicles remain REWARDING to drive

These key themes underpin the company’s long term vision that “one day every journey in the world will be positively influenced by HORIBA MIRA”.

A major part of the business growth strategy will involve research and development of new capabilities and intellectual property across a range of emerging technology areas. To accelerate this development a new business unit, Strategic New Growth (SNG) has been formed to focus on this challenge. SNG will take the lead in identifying, developing and maturing the new capabilities needed to achieve growth plans. The priority strategic technology themes for SNG have already been identified, namely:

- Future energy vectors
- Intelligent and connected vehicle technology
- Vehicle resilience
- Advanced vehicle technologies including light weighting

HORIBA MIRA has already developed the seeds of new capabilities in these technology areas from recent investments in research. Its growth strategy is to scale these capabilities up by establishing the operational structure for SNG and investing in the skills and facilities needed for expansion of these four technology areas. For example, expansion of its capabilities in the area of vehicle resilience will require research into potential vehicle vulnerabilities and investment in facilities for the evaluation of real vehicles and systems in a secured quarantined environment using realistic infrastructure (e.g. cellular communications) without disrupting public services.

For the core Engineering and Testing business HORIBA MIRA ensures its

ルート検証に広く使われている。

今後の戦略

今後の戦略は、全体的な方向性と成長を導く以下の4つのテーマに基づく。

- ・車両を「よりクリーンに」する
- ・車両と移動を「より安全に」する
- ・移動を「より効率的に」する
- ・車両が運転する「価値のあるもの」であり続けるようにする

事業成長戦略の中では、新たに出現するさまざまな技術分野での新しい能力と知的財産の研究開発も重要な部分である。SNG (Strategic New Growth)の優先的な戦略的技術テーマは、以下のよう

- ・将来のエネルギー媒体
- ・インテリジェントなコネクテッドビークルテクノロジー
- ・車両の復帰性
- ・軽量化を含む先進的な車両技術

SNGの運営体制を確立し、上記の四つの技術分野の拡大に必要な技能と施設に投資する。

remaining facilities remain relevant to the current needs of the industry. Whilst this generally requires HORIBA MIRA to ensure its test facilities are kept up to date, it does also require it to enter new avenues and as demand requires.

Following the recent controversies concerning the measurement of vehicle tailpipe emissions and their reporting, the topic of Real World Emissions has become immensely topical and HORIBA MIRA has noticed a seismic shift in the emissions measurement requirements of the industry. As a result, HORIBA MIRA is developing leading test and measurement capability in this field and has begun to plan the installation of a new Advanced Emissions Test Centre at MIRA Technology Park. This new high-tech facility will see a number of teams from across the HORIBA Group coming together to deliver the project, including HOR (HORIBA Japan – Project Management), HF (HORIBA France – Climatic System), HTA (HORIBA Test Automation – Emissions Test Automation System), HE (HORIBA Europe – Chassis Dyno), HUK (HORIBA UK – Emissions Measurement & Analysis Equipment) and H-M (HORIBA MIRA – Project Management, building and integration).

This is just one example, but areas of technical development that include test facility development include vehicle connectivity, Advanced Driver Assistance Systems and Active Safety.

Amongst HORIBA MIRA core engineering teams it continue to enhance its existing capability by continuing to develop improved simulations techniques, engineering processes and technical disciplines.

With a heritage of 70 years in the automotive industry and a strong culture of innovation, HORIBA MIRA is well equipped to continue to develop and deliver core engineering and test services. Increasing vehicle automation and connectivity is creating a revolution in the automotive industry, bringing many new challenges for the industry. Wherever there are new challenges there are new opportunities for HORIBA MIRA, and with the combination of our innovation culture and our growth strategy, we are well placed to face the future.



Geoff DAVIS

Chief Strategy Officer
HORIBA MIRA Ltd.
Ph. D.

最近、自動車排出ガスの計測と報告が議論的となった。その後、実走行時の排出ガス (Real World Emissions) が大きな時事問題になり、自動車排出ガス計測要求の劇的な変化に改めて気付かされた。これを受けて、HORIBA MIRA社は、この分野をリードする試験・計測機能の開発を進めており、新しい先進排出ガス試験センターをMIRAテクノロジーパークに設置する計画にも着手した。この新しいハイテク施設では、プロジェクトを実現させるべくHORIBA Gr.全体から多くのチームが結集した。主なメンバーは、HORIBA Japan(プロジェクト管理担当)、HORIBA France(環境システム担当)、HORIBA Test Automation(排出ガス試験自動化システム担当)、HORIBA Europe(シャシダイナモメータ担当)、

HORIBA UK(排出ガス計測・分析装置担当)、HORIBA MIRA(プロジェクト管理、構築、組み込み担当)などである。

自動車産業における70年の伝統と強力なイノベーション文化を持つHORIBA MIRA社は、核心となるエンジニアリング・試験サービスの開発と供給を続けるのに十分な能力を備えている。車両の自動化と接続性の拡大は、自動車産業に革命を起こし、多くの新たな挑戦を産業界にもたらすだろう。しかし、どのような新しい挑戦であっても、HORIBA MIRA社にとっては好機であり、我々のイノベーション文化と成長戦略との融合によってその未来の新しい要求に応えていく。(抄訳 編集部)

自動運転によるモビリティの未来

Future of Mobility by Automated Driving



須田 義大

Yoshihiro SUDA

東京大学 生産技術研究所
次世代モビリティ研究センター
センター長
教授 工学博士

はじめに

人間の移動と物の輸送を、効率的にかつ快適に行うこと、これは人類が文明社会を創成して以来の課題であろう。産業革命で蒸気機関が発明され鉄道が誕生した。内燃機関とゴムタイヤの発展により、自動車が陸上交通の主役となった。バッテリーや燃料電池の進展により電気動力の自動車への本格的な導入が現実的になり、かつICT (Information and Communication Technology)の進展によりIoT (Internet of Things)時代に突入し社会インフラと繋がるクルマは、人工知能とセンシング技術の大幅な進化により自動運転技術を身に付け、新たなモビリティ社会の主役になることが期待できる。ITS (Intelligent Transportation Systems ; 高度道路交通システム)の進化と自動運転により、モビリティ社会の変革の可能性がある。本稿では、最近の情勢を紹介したい。ただし、この分野、技術の進展のみならず社会情勢の変化も早く、日進月歩で進展する。詳細なテクノロジーの紹介ではなく、主としてコンセプトと社会情勢についての紹介としたい。

ITSの進展

20世紀には陸上交通の主役となった自動車は、いつでも、どこにでも、好きなときに人間に移動の自由度を与えた。一方で、道路インフラは有限であり、交通渋滞の発生、それに伴う交通事故や燃費の悪化などの課題が顕著になってしまった。交通事故は大幅に減少したとはいえ、我が国では依然4000名もの人命が一年間に失われ、世界規模で考えても安全性の一層の向上は急務である。地球の資源も有限であり、省エネルギーとCO₂の発生の抑制は、エネルギー消費の約20%を占める交通に与えられた使命である。また、自分で運転をする必要のある自動車は、高齢者や視覚障害者などの交通弱者にとっては必ずしも万能の乗り物ではない。そこで、これらの負の課題を解決するために、ITSへの取り組みが20年以上も前から行われてきた。すなわち、ドライバーと車両、そして道路インフラとを情報通信で結び、知的な交通システムを構築しようという試みが研究開発され、実用化を果たしてきた(Figure 1)。2013年に東京で開催されたITS世界会議では多くの実用化技術、実証実験が

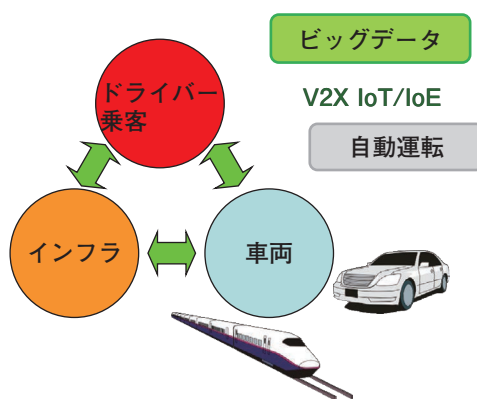


Figure 1 ITS(Intelligent Transportation Systems)

ショーケースとして展開された。自動ブレーキなどの高度安全運転支援技術もそのひとつである。ITSで定められた9つのテーマをFigure 2に示す。これらのほとんどは実用化され、なかなか普及の進まなかった高度安全運転支援技術についても、急速に普及が始まりつつある。

自動運転への進化

この高度安全運転支援技術の延長にあるのが、ITSの当初から研究者の間では最終ゴールとして開発のターゲットとされてきた自動運転である。2015年のモーターショーでは、自動運転が大きなトピックスとなった。ドライバーの役割は、認知・判断・操作であり、自分の走行する道路環境の認識と自分のクルマの状態の把握を行い、今後の走行のために必要な情報を集め、適切な経路選択を行い、車線変更などの運転行動を策定する。そして、追突や車線逸脱をしないように、絶えず車の挙動を制御する。この機能がうまく行われれば、何の問題もない。ところが、人間はいくら注意を払っていても時としてエラーを起こす。また、カーブの先、ブラインドコーナなどから侵入するクルマなど、認知が難しい場面もある。こんなときは、機械によるアシストは有効である。摩擦係数が著しく低下した路面で、安全にブレーキをかけるのも、人間よりも機械の方が得意である。認知については通信技術やセンシング技術の進展により人間より賢い場面も出てきているし、操作についても機械による自動制御のほうが、より高性能の場面もある。



Figure 2 ITS高度道路交通システム ファーストステージの開発9分野

近年のセンシング技術の大幅な進化は、自動運転を加速している。そして、人口知能(AI)の進展により認知についても人間に匹敵する機能が実現できれば、クルマの自動運転は現実的になってくるのである。AIについては、機械学習とその発展形である深層学習の進展により、従来では困難であった複雑な状況における自動運転への可能性が拓かれてきている。

著者も関わったNEDO「エネルギーITS推進事業」によるトラックの隊列走行・自動運転プロジェクトでは、2013年に車間距離をわずか4 mで、時速80キロで大型トラック3台と小型トラック一台の計4台による自動運転をテストコースで実証した例や、さらに、今まで自動車とは縁のなかったGoogleによる自動運転車両が有名になり、長年の自動運転に関する先駆的な研究事例を踏まえて、2013年は、自動運転実用化に向けた社会認知が得られた年といえよう (Figure 3)。そして、2014年からは、内閣府による戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)に自動走行技術が取り上げられ、省庁横断で官民一体となった自動運転技術の戦略的な取り組みも始まった。さらに、2015年には、経済産業省と国土交通省の自動車局が合同で自動走行ビジネス



Figure 3 大型トラックの自動運転・隊列走行 NEDOプロジェクト 2008-2013

検討会を立ち上げ、技術開発という研究開発にとどまらず、自動運転により自動車産業がどのようにあるべきかという議論も進められるようになった。

自動運転については技術的な課題だけではなく、社会制度との関わりが強い。後述のように自動運転のレベルに応じて求められる社会制度や社会受容性は異なってくるが、自動化の進展には、制度改革が不可欠になってくる。この点についても、警察庁による自動走行の制度的な課題等に関する調査研究会も始まり、公道実証実験のガイドラインを策定するなど、二年前の自動運転が注目を集めた状況からも、大きな進展を見せている。当初は実現性に疑問符がもたれていた無人走行ですら、内閣府の官民ロードマップで議論されるようになった。それを受け

て、自動運転を取り巻く状況は大きな変化を見せている。自動車産業や従来の交通システムに関わるビジネスのみならず、保険制度のような直接かかわる分野に加えて、IoTの観点から自動車や交通を考える立場も登場してきている。

自動走行レベル

一言で自動運転といっても、自動化のコンセプト、目的、目標や用途によって、自動化の考え方やレベルは多様である。一般的に、ドライバーは何もせずに、極端な場合は無人でも走るといったイメージが強いが、そういう完全自動走行に至る前に高度運転支援というレベルがある。現在、国家プロジェクトのSIPでは4つのレベルを規定しており、以下のように定義されている。

- ・レベル1：加速・操舵・制動のいずれかの操作をシステムが行う状態
- ・レベル2：加速・操舵・制動のうち複数の操作を一度にシステムが行う状態
- ・レベル3：加速・操舵・制動を全てシステムが行い、システムが要請したときのみドライバーが対応する状態
- ・レベル4：加速・操舵・制動の全てをドライバー以外が行い、ドライバーが全く関与しない状態

すなわち、アクセル、ハンドル操作、ブレーキ操作のうち、一つを自動化するのがレベル1、複数の操作を自動化するのがレベル2、そして、すべてを自動化するのがレベル3とし、その場合でも、運転に必要な状況の認識はドライバーの責任で行い、自動化が困難な場合は、ドライバーがオー

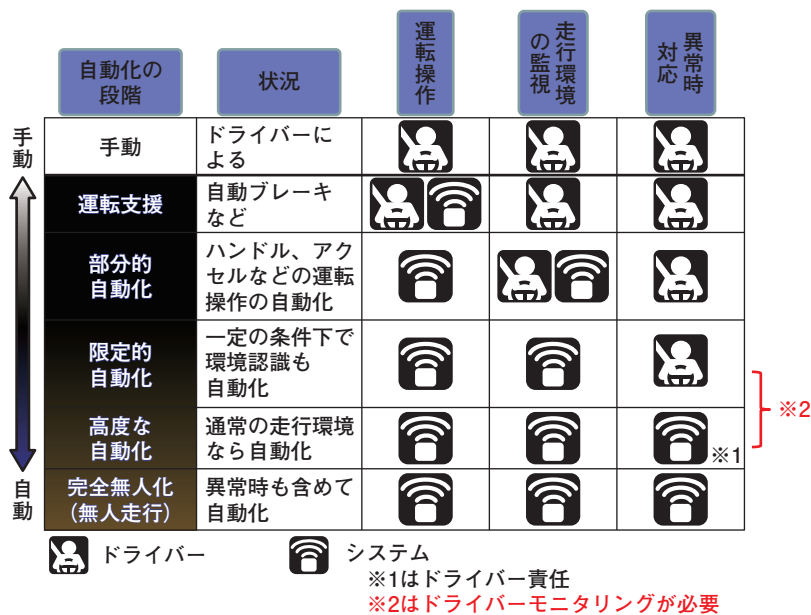


Figure 4 自動運転レベルの5段階

バーライドして手動で運転できることが当面の目標になっている。

一方、環境認識を含めて、すべて自動車が行う完全自動運転はレベル4として、最終的なゴールとなっている。人間のドライバーと機械の役割をもう少し明確に整理したのがFigure 4であり、自動化の段階において、運転操作、走行状況の監視、異常時の対応をドライバーが分担するのか、システムが支援するのかという観点で分類している。現在の法制度の下では、ウィーン条約、ジュネーブ条約という国際条約によって、公道を走行する自動車は、ドライバー主権・責任で走行することを規定しており、完全自動の無人自動車は制度改革が必要となる。そのため、ドライバーは走行環境や自動車の状況を監視する必要がある。自動走行中であっても、運転への責任がある。逆に、システムはドライバーをモニタリングして、運転が可能かどうかを監視する。自動運転で最も重要な技術開発項目は、HMI (Human Machine Interface; ヒューマンマシンインターフェース) であるという、一見パラドックスのような状況となっている。

自動運転のニーズと目的

そもそも、自動運転技術は手段であるため、ユーザや社会のニーズに合致した目的を明確にすることが重要である。社会的な大義としては、安全性の向上である。多くの交通事故はヒューマンエラーに起因しているため、自動化は安全性向上に寄与できる。交通事故死者数は最近までは右肩下がり減少し、より安全な車社会の実現に向けて順調に進んできていたが、近年では、高齢ドライバーによる事故が多発するようになり、2015年においては、わずかながら

交通事故死者数が増大してしまった。すなわち、安全性の向上については、自動運転を含む新たな取り組みが求められていると言える。

自動運転によりドライバーの負荷を軽減すれば快適性が向上する。快適性の向上は安全運転にも貢献するだろう。さらに、自動化により上手い運転ができれば、省エネ走行も可能となる。マイルドな加減速や一定速度で走行することで燃費は向上する。自動運転によりこのようなベテランドライバーの走行が誰でも実現できることになる。自動運転により車間距離を短縮できれば交通容量が増加して渋滞も減る可能性がでてくる。それにより、環境低負荷にも貢献する。隊列走行のように極端に車間距離を短縮できれば、燃費の向上にも貢献する。高齢者を始めと

する交通弱者にとっても、運転を自動化すれば非常に助かる。過疎地域では、公共交通は成立しにくく、タクシーにも頼ることが難しい。このような地域に完全自動の自動運転が実現できると、移動の自由が飛躍的に向上するだろう。

物流や事業用車両の自動運転によっても、ドライバー不足による課題を解決することが期待される。高速道路での大型トラックの隊列走行が実現できると、物流における革命がおきるかもしれない。このように、自動運転は交通体系の進化により社会の生産性向上に貢献できる。自動運転はモビリティ社会を大きく変革する非常に可能性の高い技術であろう。

自動運転のロードマップ

Google Self-Driving Carで有名となったアメリカのカリフォルニア州では、いち早く法制度の整備を実施してきたが、我が国においても内閣府省庁横断戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)や経済産業省と国土交通省による自動走行ビジネス検討会、警察庁による自動走行の制度的な課題等に関する調査研究会など様々な取り組みが行われ、現在では、レベル4を含めて自動運転の公道実証実験は我が国においても可能となっている。公道実証実験のガイドラインも示され、既存の自動車産業のみならず新規参入する業界も現れ、ますます自動運転の実用化に向けた官民一体の取り組みが加速されている。

今後の実用化については、まずできることからやっていくことが重要だと考えられる。ニーズと、社会的受容性のあるところから始めて、経験を積み、大量にデータを集め、開発にフィードバックするという繰り返しである。自動化



Figure 5 実用化が期待されるアプリケーション(経済産業省・国土交通省 自動走行ビジネス検討会 中間とりまとめ報告書より)

の容易性という観点からは、高速道路における自動走行実用化が大いに期待されており、世界中の自動車メーカーやサプライヤーが実現に向けた技術開発を行っている。公道実証実験も進められており、高速道路の入り口から出口までの間を、通常の交通環境であればドライバーが操縦せずに走行できる車が市販化される日も近いと予測される。

一方、自動運転のニーズということでは、ドライバーが急病で運転不能になったときに安全に停止させるデッドマンシステム、ドライバー不足が顕著となったトラック輸送への自動隊列走行の適用、駐車場や専用区間、場所を限定した地域での自動運転などがある (Figure 5)。低速での自動化も、やり易さと万一のトラブルに対しても被害を考慮すると優先的に取り組む対象である。ヨーロッパで行われているCityMobile2や最近注目されているラストワンマイルへの適用がその例である (Figure 6)。

また、重要な視点として、自律か、社会基盤(インフラ)に頼るかという観点もある。インフラや通信に頼らない完全自律システムは自由度があるが、様々な交通環境を考慮すると実現のハードルは高いと考えられる。インフラの活用は、衛星による測地システム(Global Navigation Satellite System : GNSS)による自己位置特定とデジタル地図利用、さらに、通信を使ったシステムは自動運転を安全に効率よく行うためには不可欠なシステムとも想定されている。デジタル地図およびGNSSは、自動運転の協調領域として多くの関係者が共同で取り組む課題といえる。通信技術の活用についても、既にITSとしてV2X(車車間通信V2Vおよび路車間通信V2I)が進んでいることから、自動運転についても重要な協調領域技術として研究開発が進められてきてい

る。2015年には、道路交通信号との路車間通信もITS Connectとして実用化が成されてきている。現在のところ、760 MHzおよび5.8 GHzのITS専用周波数帯の活用が検討され、情報提供やデジタル地図情報の更新などに活用されることが念頭に置かれているが、今後は自動走行のセンシングや制御への活用という観点も検討が進むと期待される。高速道路での合流支援、一般道路での交差点走行については、V2Xが重要な役割を果たすことになるかもしれない。また、5Gなどの新たな通信方式が実現してくると、それらを活用した新たな展開も想定されてくるだろう。このようなインフラ協調技術の活用については、適用が限定的にならざるを得ず、巨大な投資も必要になるという課題がある。また、進化の早いITをインフラに適用したときに、どのようにメンテナンスするか、そしてアップグレードしていくか、ということも課題もある。自律と協調については、どこに折り合いを見つけるかが重要な観点となる。

次世代モビリティ

現行の制度のもとでも、ドライバーの責任で走行を前提とすればレベル4までについても自動運転は2020年代には実現していくと考えられる。法律や保険などの制度の改革が必要な完全自動運転や無人車両の走行については、その実現について多くの議論があり、明確な道筋は未だ見えてはいないが、社会ニーズは高い。既にウイーン条約、ジュネーブ条約についても改定の議論が始まりつつあるので、意外と早く完全自動運転の環境が整うかもしれない。その時には、都市構造、PL(製造物責任法)制度、保険制度などの社会システムの改革とセットで考えることが重要であろう。実現の暁には自動運転車両というクルマは、新たなジャン



Figure 6 ITS世界会議2015 ボルドーにおけるレベル4相当と思われる自動運転の公道走行

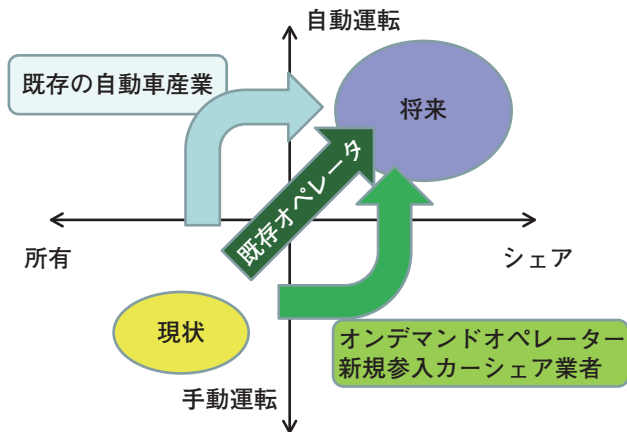


Figure 7 自動運転によるモビリティ・オペレーションの変革

ルのモビリティとなり、それによる新産業が創出され、より良い社会が構築されていくという期待が大きい。このような、自動運転に関わる多くの関係者が協力し、関係者にとってメリットがあるような仕組みをつくること、すなわち自動運転のためのエコシステムを構築していくことが重要である。

自動運転という新たな乗り物を考えると、従来の所有というコンセプトから、シェアというコンセプトで運用されることも考えられる。Figure 7には、手動と自動、そして所有とシェアという座標軸でモビリティ・オペレーションの変化を想定したコンセプトを示す。既存の自動車産業は所有の手動運転をベースとしているが、公共交通は手動であってもシェアをベースに運行されている。「ゆりかもめ」のような新交通システムでは、既に完全自動運転も実現している。自動車を用いるシステムでも、Uber（自動車配車Webサイト）のように、シェアモビリティをIoTで実現するビジネスも出現してきている。暇なドライバーと空いている自動車、そして移動を望む利用者をIoTによりリアルタイムに結びつけることができると、自分で運転するレンタカー、タクシー、バスなどの公共交通よりも便利な移動手段が提供されるようになってくる。このような新たなモビリティに自動走行技術が融合することは十分に想定されるだろう。このようなモビリティ社会が将来やってくることを想定して、技術開発、制度設計、ビジネスモデルを検討していくことが重要であろう。

おわりに

最完全自動運転が実現して、新たなモビリティ社会が実現したとき、人類はどのような進化を遂げるのであろうか。人間の健康や脳の活性化には、歩行は重要な役割を担う。全く歩かない社会は想像できない。クルマの運転は人間にとって、センシング・判断・操作という三つの機能をバランスよく行うため、健康の維持にも効果があるのではない

か、という仮説も提案されてきている。高齢ドライバーが運転を止めると認知症が進展するということも言われている。快適な環境で人間があたかも手動でクルマを運転するが、完全自動運転技術により、ドライバーがミスも事故を未然に防いでくれるという自動運転のコンセプトも有用かもしれない。自動運転の実現のために、インフラ協調を積極的に導入すべきか、それとも自律主体を進めるべきか、というバランスを考えるとともに、モビリティ社会で自動運転技術をどう活用するのが長期的な視野に立った大義なのか、このような観点の議論も必要かもしれない。

我が国の自動車産業における技術開発、そしてモビリティ社会に携わる全ての関係者が、新たなモビリティ社会の実現にむけて貢献することを期待したい。かつては制度改革が必要であるから自動運転が実現しないと思われていたこともある。総合的な取り組みがなされている昨今では、研究開発、技術開発に携わる研究者や技術者は、より一層の取り組みの深度化が求められていると思う。

次世代の自動車とドライバ特性

Driver Characteristics utilized
in Automotive Engineering



景山 一郎

Ichiro KAGEYAMA

日本大学 生産工学部
自動車工学リサーチセンター
センター長
教授 工学博士

まえがき

自動車を操縦するドライバの特性の重要性を歴史的にさかのぼると、蒸気機関を持つ世界最初の自動車であるキュニョーの砲車に行き着く。この車両は世界最初の交通事故(1770年)(Figure 1)を起こしたことで有名であり、この原因をフランス国立技術博物館に現存する車両について見ると、二点の問題点が見出せる。一つ目が操舵系であり、ハンドルを回すことにより、ボイラーを含め蒸気機関他が取り付けられている駆動系を含む前輪系全体を操舵する機構である。この機構からみて速やかな転舵が行える機構では無く、障害物回避性能は全く期待できないことがわかる。二つ目が制動装置である。ブレーキペダルの下にとりつけられている爪を、テコを用いて直接前輪に押しつけて制動する機構を持っている。このため人間の踏力から考え、駆動中の前輪を制動することは期待できず、急制動すること自体不可能と思われる。当時新たな原動機により砲車を動かすことが最大の課題であり、旋回や制動は主検討事項でなかったことを物語っているが、これは設計にドライバの限界特性等を考慮していないことがわかる。つまり、世界最初の自動車は基本的な人間の特性を考慮していないために、交通事故を起こしたとも考えられる。このように、自動車の歴史は、この領域で活用すべき人間工学の必要性を知らしめる歴史でもあり、その後のドライバ特性の活用へと繋がる。現在ドライバの特性を考える場合、反応時間や発生力等ドライバの基本特性を広いユーザに対し把握することが重要であり、さらにユーザ・インターフェイスを含め快適性や信頼性も重要な要素となる。

他方、2004年に米国国防高等研究計画局(DARPA)により

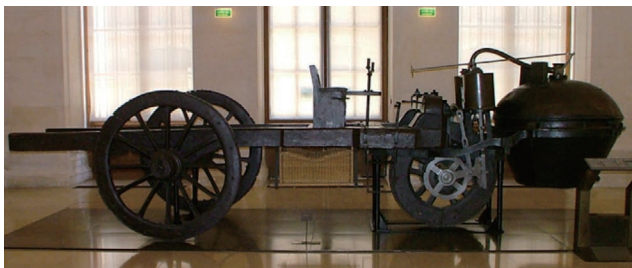


Figure 1 キュニョーの砲車(パリ工芸技術博物館 著者撮影)

実施された自律走行車両レース(グランドチャレンジ)^[1]は自動車社会への新たな方向性を示した。これを機に次世代の自動車技術の筆頭に自動操縦車両が躍り出たことになる。その時までも自動操縦車両に関わる研究は各国で実施されており、特にアメリカではカーネギメロン大学のNAVLAB^[2]やカリフォルニア大バークレー校が中心となったカリフォルニアPATHプログラム^[3]が実施されて来た。この二つの大きな違いは、前者が完全自律走行を狙ったものであるのに対し、後者はインフラに依存する磁気誘導方式となる。この自律走行技術を大きく飛躍させたものがこのDARPAのレースとなる。この年のレースを含め2005年、2007年の三回実施されており、特に2007年に実施されたアーバンチャレンジでは、都市内における自律走行車両の可能性を示した。その後2009年よりこの技術を受け継いだGoogle Car^[4]はカリフォルニア州やネバダ州において公道走行実験を開始し、それ以降Google Carは自律走行で160万キロ以上の走行を達成しているが、この6年間で14回の交通事故に遭遇したことが公表された。これらは人身障害を伴うような重大なものではなかったが、2016年2月に発生した事故^[5]はGoogle側が自律走行車両の“非”を初めて認めたもので、それまで議論されてきた自律走行車両の事故の責任問題を浮き彫りにし、今後の自律走行車両開発に大きな問題を定義した。

著者がこのような自律走行車両普及時にもっとも大きい問題と考える点は、通常のドライバと自律走行車両が混在走行する場合のお互いの認識の差である。自律走行車両は交通ルールを遵守するように構築されているが、通常ドライバは慣れ等から来る独自のルール(たとえば他車両とのアイコンタクト)を前提に走行している。このため、一般車両の交通流に教習車両が流入するような状態に匹敵し、近年海外における交通事故の原因の一つとして注目されるドライバのロードレイジ(Road Rage: ドライバが走行中他車両等に対する苛立ちや激怒)を周りの車両のドライバに与えてしまう可能性を持っているからである。つまり自律走行車両が走行する環境下では、これまで主に行われてきた運転に関する人間工学的な取り扱いでは不十分となり、走行する車両間のドライバ特性の連携が重要となる。そこで、本稿では自動車技術とドライバ特性に焦点を当て、筆者の

考えをまとめる。

自動車に活用される人間工学

自動車はドライバにより制御されるため、その制御性が重要な課題であり、同時に乗員に対し適切な環境になっているかがドライバの特性や評価等に大きく絡む。そこで、検討すべき項目を分類すると以下となる。

- (1) ドライバの運転環境とその改善に関わる分野
- (2) ドライバ行動計測・推定・評価に関わる分野
- (3) ドライバ状態計測・推定・評価に関わる分野
- (4) 運転支援・評価に関わる分野
- (5) ドライバのモデリング等に関わる分野
- (6) ドライバ意図検知過程に関わる分野
- (7) 周辺環境認識・推定・評価に関わる分野
- (8) 交通事故等の行動データベースに関わる分野
- (9) 交通事故時等の障害予測・評価に関わる分野
- (10) その他の分野(例えば長距離走行経路決定に関わるモデル、さらに自動車の選定等にかかわるユーザモデルや趣向等に関わる解析等、上記以外の人間に関わる分野)

これらの分類はドライバに課せられる種々のタスクの一分類と考えられる。また、これらの項目は単独で議論されるものではなく、総合的な人間の能力や理解等と絡む内容であり、自動車の開発にはこれらの人間に関わる総合的な研究が必要となる。特に次世代の自動車技術として自動操縦技術が普及すると、これまでとは大きく異なるドライバの

役割分担に注目する必要がある。そこで、次章でこの内容について触れる。

次世代のドライバ・自動車・環境系

車両の制御レベルとドライバ特性

前述のドライバの行動に関わる種々の検討項目に対し焦点をあてる必要があるが、次世代の自動車技術として現在脚光を浴びている自動操縦車両に注目する場合、ドライバの役割を規定しておく必要がある。そこで、これを航空機で扱うフライトコントローラとしてのパイロットの役割で見ると次の三つに分けられる^[6]。

- ① Human-in-the closed loop of vehicle
(パイロットによる手動制御)
- ② Human-on-the closed loop of vehicle
(パイロットが自動化システムを監視して必要に応じてオーバーライドするシステム)
- ③ Human-out-of-the closed loop of vehicle
(パイロットの支援を必要としない完全自律なシステム)

本稿では特にドライバの役割に注目して自動操縦車両の自動化レベルに注目してみる。

Figure 2に国土交通省で議論された自律走行車両の自動化レベル案を示す。これは米国運輸省道路交通安全局(NHTSA)が定義したものと米国自動車技術会(SAE-International)が行った定義をまとめて整理したものであ

NHTSA レベル	SAE レベル	SAEにおける呼称	SAEにおける定義	ハンドル操作、加減速の実行主体	走行環境のモニタリング	運転に関わる主導権	運転操作のバップアップ	システム能力(運転モード)
0	0	手動	ドライバが上記全ての運転操作を行う	ドライバ	ドライバ	ドライバ	ドライバ	なし
1	1	補助	運転支援システムが走行環境に応じたハンドル操作、あるいは、加減速のいずれかを行うとともに、システムが補助をしない部分の運転操作をドライバが行う。	ドライバ + システム	ドライバ	ドライバ	ドライバ	幾つかの運転モード
2	2	部分的な自動化	運転支援システムが走行環境に応じたハンドル操作と加減速を行うとともに、システムが補助をしていない部分の運転操作をドライバが行う。	システム	ドライバ	ドライバ	ドライバ	幾つかの運転モード
3	3	条件付自動化	システムからの運転操作切り替え要請にドライバは適切に応じるという条件のもと、特定の運転モードにおいて自動化された運転システムが車両の運転操作を行う。	システム	システム	ドライバ / システム	ドライバ	幾つかの運転モード
4	4	高度な自動化	システムからの運転操作切り替え要請にドライバが適切に応じなかった場合でも、特定の運転モードにおいて自動化された運転システムが車両の運転操作を行う。	システム	システム	システム	ドライバ / システム	幾つかの運転モード
	5	完全自動化	ドライバが対応可能でない、いかなる道路や走行環境条件のもとでも、自動化された運転システムが、常時車両の運転操作を行う。	システム	システム	システム	システム	全ての運転モード

Figure 2 自動操縦車両の自動化レベル(参考：自動運転一検討課題の整理—国土交通省)^[7]

る。この中で、レベル0が前述の①に相当するドライバ・自動車・環境系となる。これに対し種々の運転支援システムを組み込み、この延長線上としてレベル2が考えられる。これは限られた環境下での自動化されたシステムレベルを言い、現状で既に市場投入されているACC(Adaptive Cruise Control：定速走行・車間距離制御装置)、レーンキープアシスト、ならびに自動ブレーキを組み合わせることで実現されており、同様に部分的なものとして自動駐車アシストも市場投入されている。これに対し、レベル3以上が今後市場に投入される自動操縦システムになる。このレベル3のシステムでは、走行環境のモニタリングは自動化システムが行うが、運転操作のバックアップの主体は人間にあり、全システムの責任を人間が持つというシステム構成となっている。ある意味ドライバ運転支援システムの域を出ていない。つまり、走行環境のモニタリングはシステムが行うものの、ドライバがシステム監視を怠ることはできないことになる。特に、システムからドライバへの操縦動作の権限移譲要求があった場合、どれだけの許容時間をもって移譲要求が出されるかに応じて、ドライバは対処できない状態で権限移譲されることになり、単にドライバに対しての責任転嫁となるためである。

さらに、レベル4においても、システムが権限移譲要求を出す場合があり、ドライバが適切に対応できない場合はシステムが運転操作を行うことになるものの、ドライバが行う監視体制を全く解放しているわけではない。この場合、システムはドライバの覚醒度等を含め状態監視を行う必要があり、さらにはドライバが操縦動作等の権限委譲ができる状態にあるのかを常に判断する必要がある。しかし、このようなドライバ自体を監視するための研究は未だ実用化レベルまで行われておらず、今後自律走行車両技術の高度化が進むのに合わせ実施しなければならない重要な課題となる。ここまでが前述の②に相当する。これに対し、前述の③に相当する内容はSAEにおける呼称のレベル5に相当する。この段階の走行にはドライバ自体が存在せず、乗員すべてが乗客となる状況である。その段階で乗員が行うタスクは目的地の設定程度である。完全自動機であるため、例えばエレベータに乗っている場合に相当し、目的階数を指定すること以外せいぜい早めに扉を閉めるという意味指定しかない。そこで、この段階での人間工学的検討項目は、主に乗員側から見た受動的な特性となる。例えば長時間振動環境等におかれる場合の疲労、乗員としての不安や恐怖、音や温度を含む周りの雰囲気、周辺や位置等に対する情報提示方法等々が関わる。この場合、運転している場合の提示と、このような③における提示ではタス

ク等に対する負担の種類や大きさが異なるため、①や②と比較して検討項目や評価基準が異なる可能性がある。そこで、本稿では主に①と②について扱う。

通常車両を運転するドライバ特性

ドライバ特性を考える場合、情報の伝達経路を考える必要がある。そこで、一般的なドライバ・自動車・環境系のモデルをFigure 3に示す。この図は前述の①に相当するものであり、人間が主コントローラとしての役目を担うシステムである。この場合の人間・自動車・環境に分類され、特に環境要素はいくつかの内容に分類され、それぞれ直接自動車に働く項目、人間が直接受け取る項目、両方に絡む項目に別けることができる。この図において、ドライバは感覚器(視覚、聴覚、触覚・力覚、加速度感覚等々)で直接車両の運動情報(位置、加速度、速度、ヨーレート他)を受け取る他、情報表示器等からの情報(速度、エンジン回転数、ナビゲーション情報、オーディオ情報等々)を受け取る。また、種々の環境情報を受けとり(道路形状、周りのクルマの行動、歩行者等の環境、渋滞情報、信号情報等)、現状の状況認識等の情報処理過程を基に運転行動を決定することになる。さらに運動器官を用いてこの結果を自動車に伝える(ハンドル操作、アクセル操作、ブレーキ操作等々)ことになる。この間に種々の検討項目が存在する。安全性確保のためにはドライバの視線行動、入出力時の感度、HMI(Human Machine Interface)評価、肉体的な能力等々の様々な人間の特性が重要となる。このため、これらドライバ特性の詳細を検討する必要があるが、人間のモチベーションレベル、その時の覚醒度を含めた集中レベル、人間の個人差や個人内差等様々な問題があり、実施しなければいけない膨大な課題が存在し、全容を掴むまでには至っていない。図中には現在検討が行われている個別項目を記載してあるが、この他、非常に広範囲な情報提示およびその情報の理解・評価等が検討課題として残されている。

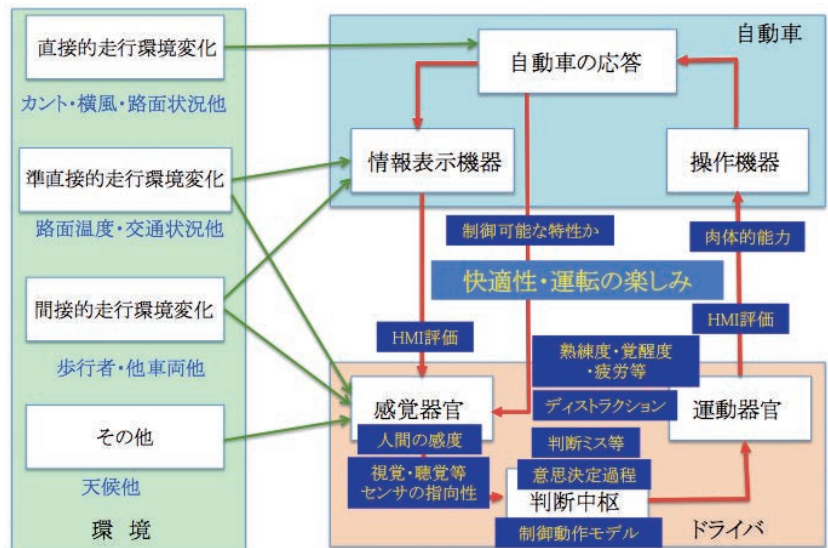


Figure 3 ドライバ・自動車・環境系

自動化システムにおけるドライバ特性

現在各種車両には種々の支援システムが搭載されており、現状でも搭載されているECUの数も数十を数える。そこで、ドライバが意識しているかどうかは別として、目的に応じた自動化された支援が行われている。しかし、運転の主体が人間にあり、基本の三つの機能(走る・止まる・曲がる)に関わる意思決定や動作等が人間によって行われている場合は手動制御に分類される。そこで、前節の基本タスクからある程度開放された自律システム(SAEの区分ではレベル2以上)について検討を必要とするが、紙面の都合上ここでは特にこれから展開される自律走行システムについて取り扱う。

自律走行車両とドライバの関係は、プラント等の自動化システムにおけるオペレータの監視業務に近い位置けであり、Figure 4に示す情報の流れとなる。つまり、その制御系の情報処理は自律系コントローラに任されているが、特にその導入初期段階では人間が操縦する車両との混合交通となるため、意思決定や操作等のアルゴリズムは人間の行動に学ぶ必要がある。このような③に到達する前までの自律走行車両系はスーパーバイザリー・コントロールシステムと呼ばれ、ドライバ席に座る人間には、いくつかの課題が課せられる。この図はドライバが基本制御システムから独立していることを示しており、自律系コントローラは環境情報や車両情報をすべて監視下に置き、自動車の操縦操作を司ることになる。この場合、レベル3の状態ではドライバは常に監視義務が生じ、システムが動作異常に陥ったり権限移譲要求を出した場合に、これを受け操縦動作を行う必要がある。この場合、ドライバの能力として人間工学的に検討を必要とするのは、システム監視の集中度合い、システムの状態理解、疲労レベル等であり、さらに、権限移譲を受ける場合の無駄時間や反応速度が上げられる。本来人間がこのような監視業務を行う場合、オペレータはシステ

ム全体をイメージできる必要があるが、一般ドライバにこれを期待するには無理がある。つまり、レベル3以上では何故システムが制御破綻を起こしたかが重要な情報となり、権限移譲されてもドライバが操縦動作を継続できるかが重要な問題となり、この場合、ドライバのシステム理解が最大の課題と考えられる。このようなスーパーバイザリー・コントロールを行うためには、これまでの運転訓練とは異なる権限移譲に関する訓練が必要となる。特に権限委譲が必要になった経緯や事由が分からない状態での権限委譲は、かえって危険な状態すら作りかねない。このあたりの人間の特性(特にシステム理解)に対する検討が十分でないかぎり、自動操縦車両への移行には安全上の問題が残る。さらに、現状の自動操縦車両で実施しているドライバがハンドルをいつでも握れる状態にして走行することは、通常運転よりも疲労を増大することになり、本来の自律走行車両の意味を持たない、あくまで自律走行車両の安全性を確認するまでの試験的な状態となる。

自律走行車両構築に向けたドライバ特性

自律走行車両が最初に走行する環境は、人間が運転する車両と共存する道路となる。このため、システムの安全性を考える上で人間の特性を明確に把握する必要がある。Google Car が起こした種々の事故の原因は、周りのドライバとの意識の齟齬にあることは明白である。特に前述のGoogle側が非を初めて認めた自動操縦車両の事故においても、相手の運転手との間の意思疎通が十分でないことに起因しているものと思われる。自律走行車両は本来ドライバが受け持つ情報処理のなかの「知覚」「認知」「判断」「操作」に関わる部分をすべて自律化することになるが、人間の特性が明確に把握でき、さらに人間の意思決定過程を明確に理解し、その行動を予測して運動を決定しなければ自動操縦車両の安全性も確保できないことになる。しかし、このような他車両のドライバとの意識の齟齬により起こす事故

は、人間のドライバ間で頻発する問題でもある。つまり、人間が操縦する車両がどのような原因で事故を起こしているか等の把握が、今後訪れる自律走行車両が普及する社会の安全性確保のために非常に重要となる。しかし、現状で構築されているこれら事故データベースは事故の統計処理のために用いられており、必ずしも自律走行車両の安全性確保の目的で利用できるように展開がされているわけではない。その意味から、自律走行車両の安全性を前提とした事故データベース(本質的な原因やドライバ間の意識の齟齬等の解析を含む)を早急に整備する必要がある。

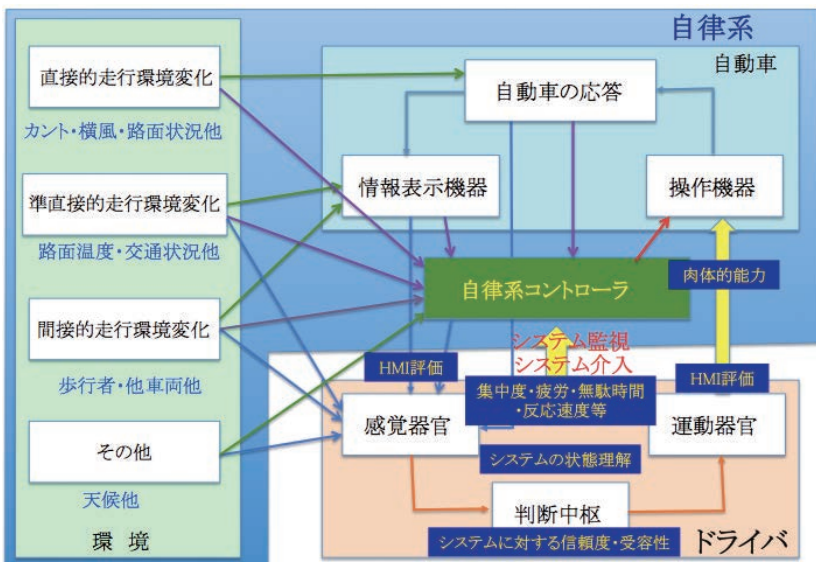


Figure 4 自律走行車両におけるドライバの位置付け

まとめ

完全な自律走行車両までの道のりは人間への支援や低負担化という同一直線上を歩んでいるように見えるが、実際にドライバ特性に対する検討項目を見ると、同一線上にいるわけではないことがわかる。つまり、前述Figure 2のフェーズごとにドライバが担うタスクが異なることになり、特に前述の①と②と③の間で全く異なっていることを示した。このため、その段階のシステム構築には異なった視点からの人間の特性検討が必要となる。つまり、①の段階ではドライバがいかに安全に、また快適に運転が行えるかに対する検討が重要であり、②の段階ではドライバがシステム状況をいかに理解するか、また異常時にどのように権限委譲をすることが安全上重要か等々の監視業務に変わっているため、システムが破綻した場合に、通常のドライバと同じ行動を取ることを前提に議論をすることはいけないことになる。そこで、フェーズ③が本来の自律走行車両であるが、フェーズ②はフェーズ①と③の両面を重ね合わせたものと考えるのは問題である。つまり、安全上システムを二重系にし、片方のシステムが破綻した時にもう一方のシステムを使用するが、そのバックアップシステムを人間が担うという考え方になる。しかし、自律走行車両システムの場合、人間の反応速度等と比較するとシステムの動作速度や情報処理速度が早く、対処時間等が圧倒的に短いという問題点がある。これを一般ドライバに課す場合、別途システム状況理解や監視方法等の特殊な訓練を必要とする。そこで、自律走行車両の開発には、自律系の設計自体非常に重要となり、そのハード面の検討がどうしても先行するが、これと並行して人間工学的な検討を十分に行っておくことがいかに重要であるかを理解しておく必要がある。

あとがき

平成27年の交通事故死者数は4117名となり、近年もっとも多い死者数を出した昭和45年の16765名に対し1/4以下に減少している。現状の自動車におけるドライバ運転支援は必ずしも十分とはいえないが、種々の対策効果が確実に現れている。しかし、ここ数年はあまり大きな減少がなく、種々の対策効果が収束して来ているように思われ、さらに大きな効果を期待するには自律走行車両の普及が一つの策になるものと考えられる。しかし、その投入初期は必ずしも劇的な効果を期待できるわけではない。それらは前述のドライバ特性をどの程度考慮できるか等が不透明であることにも依存する。特に不確定性の大きい人間のドライバと自律走行車両の混合交通が大きな問題となることは明らかである。以前、井口雅一東大名誉教授が、将来の自動車のあり方について指摘した「現在乗馬をしたい人は馬場に行くのと同様に、将来自動車を自分で運転したい人はサーキット等に行き、通常の道路からは人間が操縦する車両は排除されるだろう」という流れがどのくらい先に実現され

るかにも依存する。また、自動操縦車両への新たな問題点が外部からの悪意によるハッキングであり^[6]、交通の安全性に関しては、別な意味での人間の特性が介在する可能性を持っている。

参考文献

- [1] <http://archive.darpa.mil/grandchallenge/>(参照：2016-04-04)
- [2] <http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/alv/www/>(参照：2016-04-04)
- [3] <http://www.path.berkeley.edu/>(参照：2016-04-04)
- [4] <https://www.google.com/selfdrivingcar/>(参照：2016-04-04)
- [5] <https://static.googleusercontent.com/media/www.google.com/ja//selfdrivingcar/files/reports/report-0216.pdf>(参照：2016-04-04)
- [6] 金井喜美雄, “フライトコントローラ設計とCAE”, 自動車技術に関するCAEフォーラム2016, b2-3, 2016
- [7] <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/autopilot/pdf/05/2.pdf>(参照：2016-04-04)
- [8] <http://www.asahi.com/articles/ASH974WJ8H97ULFA014.html>(参照：2016-04-04)

Towards Autonomous Vehicles:

Developing Highly Automated Vehicles for Structured and Unstructured Environments

自動運転車に向けて：

構造化環境および非構造化環境のための高度に自動化された車両の開発

Roberto PONTICELLI

Tim EDWARDS

Andrew MALONEY

Anthony BAXENDALE

In this paper some of the latest HORIBA MIRA developments on systems for the simulation and development of automated vehicles are introduced. For the structured environment case the emphasis is on the longer term research challenge of developing systems for cooperative automated driving allowing the benefits in both safety and efficiency to be realised in the future. This includes developments on traffic simulations and management systems since these will also be key to reaching the longer term vision of cooperative autonomous driving. For the unstructured environment case the emphasis is on the shorter term development challenge of engineering unmanned vehicles that can be safely and reliably deployed in demanding customer specific off-road environments. Finally, some conclusions and a selection of future works are presented.

本稿では、自動運転車のシミュレーションと開発のためのシステムに関して HORIBA MIRA社の最新開発事例のいくつかを紹介する。構造化環境^{*1}を対象とする場合は、安全性・効率性の双方の実現に有効な協調型自動運転システムの開発という長期的な研究課題を重視している。開発対象には、交通量および交通管制シミュレーションや、管理システムも含まれる。いずれも協調型自動運転の長期ビジョンに到達するための鍵となるからである。非構造化環境^{*2}の場合は、顧客が指定するオフロード環境に安全確実に対応できる無人車の開発という短期的課題が重要である。最後には、まとめと今後の取り組みにもふれる。

*1：構造化環境(structured environment)：ネットワークに接続できるいわゆる「コネクテッドカー」の無人運転制御のために、データ通信などのインフラが整備された環境のこと。

*2：非構造化環境(unstructured environment)：上のような専用インフラが整備されておらず、個々の自動運転車が自律的に無人運転を制御する必要がある環境のこと。

Introduction

Automobiles have become essential to our life and so will

higher levels of automated driving. Automated Driving is, for the European Road Transport Research Advisory Council (ERTRAC), one of the major technological

はじめに

自動運転とは、欧州道路輸送調査諮問委員会(ERTRAC)によれば、将来の私たちのモビリティ社会と生活の質を向上させる大きな技術進歩のひとつである^[1]。安全性(ヒューマンエラーに起因する事故の低減)、効率性(輸送システムの効率を高めて自動車の排出ガスを低減)、快適性(自動化システムの作動中は利用者が運転から解放され、他の活動を行える)、社会的包摂(すべての人にモビリティを確保)、およびアクセス性(都市の中心部へ容易にアクセス可能)などがある。欧州での協調型高度道路交通システム(C-ITS)の共通な共有ビジョンを業界代表と公的機関が合意して、

C-ITSプラットフォームが制定された^[2]。

将来の自動車と交通システムの技術の進歩に関して HORIBA MIRA 社^[4]は、高度自動化機能を組み込んだ車両の普及の実現に向け、必要な信頼できる設備を提供する。

無人陸上車両(UGV)は自動運転車両の一種であり、通常人間が制御ループに組み込まれ(マン・イン・ザ・ループ：man in the loop)、監督や監視を人間が行えるようになっている。

advancements shaping our mobility and quality of life in the future.^[1] Amongst the main drivers for higher levels of automated driving are: safety, reducing accidents caused by human errors; efficiency, increasing transport system efficiency, reduced emissions of vehicles; comfort, freeing the user for other activities when automated systems are engaged; social inclusion, ensuring mobility for all; and accessibility, facilitating access to city centres. Furthermore the importance of cooperative automated driving has been recognised by the European Commission who have coordinated the establishment of the C-ITS Platform where industry representatives and public authorities have agreed on a shared vision for the coordinated deployment of Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS) in Europe.^[2] This is an important step towards connected and cooperative cars as C-ITS enable vehicles to communicate with each other and with the infrastructure, an essential step to enable efficient highly automated driving. The impact of the advancement in Connected and Autonomous Vehicles (CAV), will reach many adjacent sectors including insurance, telecommunications, electronics, technology, IT, transportation, logistics, advertising, digital and retail.^[3]

The HORIBA MIRA offering^[4] on the advancement of future vehicle and systems technology is helping in the development and testing of reliable technology, required to eventually achieve a deep penetration level of vehicles with high-automation features integrated. There is an active programme of research and development in Autonomous Vehicles and their related technologies carried out for both on-road structured environments and off-road unstructured environments.

The research scope for both environments are complementary. For the on-road structured environment, the ever-increasing complexity of vehicle's systems and the incorporation of newer Advanced Driver Assistance Systems (ADAS),^[5] is making the process of comprehensive validation and implementation of system design increasingly challenging. The high number of different subsystems, use cases, environmental conditions and driver profiles, among many other factors, makes

the testing and validation of all the vehicle's automated systems under all possible combination of factors unfeasible. Intelligent, configurable test protocols and specialized simulation and test facilities dealing with this validation process complexity are required. Additionally, as CAVs come to rely on external information for planning of safety related functions, any corruption or misuse of these communication channels could compromise vehicle safety. Added to the challenges for CAVs is the inter-operability and market penetration.

Off-road environments are largely unstructured. Unmanned Ground vehicles (UGVs) are a class of autonomous vehicles that are typically designed to be used instead of manned vehicles particularly in dull, dirty or dangerous applications. Although these vehicles are unmanned they still normally have a "man in the loop", i.e. in a supervisory or monitoring capacity. However, navigating complex terrain at speed with minimal human supervision represents a major challenge for UGVs. For example, this requires advanced on-board perception systems featuring innovative algorithms for interpreting challenging environments such as mountains, deserts, woodland and wetland. Key challenges are the sensor suites and sensor fusion needed to provide perception information to the automation control systems to enable the vehicle to operate in off-road terrains and in harsh environmental conditions. This combined with addressing key engineering requirements such as reliability, safety and operational integration with other systems means that advanced algorithms coupled with appropriate test and validation tools are also required.

In this paper some of the latest HORIBA MIRA developments on systems for the simulation and development of automated vehicles are introduced. For the structured environment case the emphasis is on the longer term research challenge of developing systems for cooperative automated driving allowing the benefits in both safety and efficiency to be realised in the future. This includes developments on traffic simulations and management systems since these will also be key to reaching the longer term vision of cooperative autonomous driving. For the

構造化環境における自動運転

高度な自動化^[6]を広く運用できる前に自動車業界が取りくむべき課題は多い。HORIBA MIRA社は、車両エンジニアリング、機能安全、試験、検証などの多くの重要分野の専門知識を有している。

協調型運転シミュレーションとロボティクスのテストベッドは、協調型自動運転アルゴリズムの素早い反復とベンチマーキングを可能にする。

協調型運転シミュレーションとロボティクス

このテストベッド(Figure 1参照)は、道路網全体とすべての車両のリアルタイム状態を認識し、各車両制御に必要な信号を供給している。環境マネージャは、新しいETSI協調型認識メッセージ(Cooperative Awareness Message : CAM)を受信した時にメッセージの受信範囲内に位置する車両を特定し、それらの制御装置にのみCAMを転送する。

実際にこのシミュレーションを走らせることによってピークル・ハードウェア・イン・ザ・ループ(VeHIL)が可能になる。これは、

unstructured environment case the emphasis is on the shorter term development challenge of engineering unmanned vehicles that can be safely and reliably deployed in demanding customer specific off-road environments. Finally, some conclusions and a selection of future works are presented.

Automated Driving in Structured Environments

Automation in passenger vehicles and public transport systems offers many societal benefits but there are significant challenges for the industry to address before high levels of autonomy^[6] can be deployed widely. HORIBA MIRA has expertise in many of these crucial areas such as vehicle engineering, functional safety, test and verification. Furthermore, a number of strategic research themes have been identified which are supported by internally funded and collaborative research and development activities. These themes include autonomy in complex urban environments, cooperative driving algorithms, simulation, safety and cyber security. Current collaborative programmes include UK Autodrive which is trialling different levels of automation for private road vehicles and public transport “pods” in two UK cities, and UK CITE which is exploring hybrid-connectivity approaches to connected vehicles on highways and urban roads.

The need for a scalable approach to component and vehicle testing, and to support the development of CAVs, has led HORIBA MIRA to develop a set of simulation tools. The Cooperative Driving Simulation and Robotics testbed allows for rapid iterations and benchmarking of cooperative and automated driving algorithms. The Cloud based Traffic Management System (CTMS) simulation system^[7] allows integrated simulation of vehicles and traffic management systems in a scalable, and hierarchical, distributed cloud-based computing architecture. These tools have all been designed for real-time simulation to support advanced hardware-in-the-loop (HIL) testing.

Cooperative Driving Simulation and Robotics

This testbed (see Figure 1) was created to allow rapid

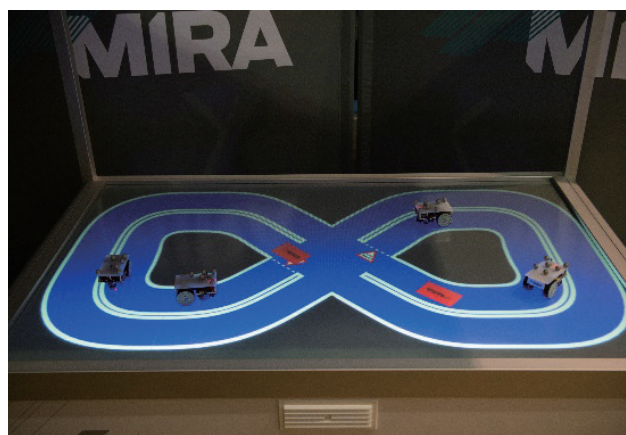


Figure 1 Cooperative Driving Simulation and Robotics demonstrator. Real moving Robots interact with simulated Tracks and Vehicles.

evaluation of new control algorithms in a controlled and repeatable way. Within this simulated environment any number of real vehicle controllers can be run with an accompanying plant model to replicate the real-time effects of control decisions. Central to this is the powerful concept of an “Environment Manager”. The Environment Manager has an awareness of the full road network, and the real time status of all the vehicles, allowing it to feed each vehicle controller with a realistic set of sensor inputs. This starts with parameters such as speed, heading and position but can be extended to include more complex aspects such as wireless communications data or object tracks from ADAS sensors. For example in a cooperative driving scenario the individual vehicle controllers each send out periodic beacon messages, based on the ETSI Cooperative Awareness Message (CAM)^[8]. When the Environment Manager receives a new CAM it decides which vehicles would be in range to receive that message and it rebroadcasts it to those controllers only.

Running the simulation in real-time allows physical vehicles to interact with simulated vehicles and events, known as Vehicle Hardware-In-the-Loop (VeHIL). This demonstrates the validity of the simulation and models and can be used as an initial demonstration of high risk functions such as automated overtaking and merging at junctions. As an interim step HORIBA MIRA have built a fleet of small robot vehicles to allow engineers to quickly check

シミュレーションとモデルの妥当性を実証し、自動運転による追い越しや高速道路での合流といった高リスク機能の初期実証として使うことができる。

HORIBA MIRA社のネットワーク誘導車両(Network Guided Vehicle : NGV, Figure 2参照)^[9, 10]は、高度自動運転機能の安全と制御のために協調型な車車間(V2V)および路車間/道路車車間(V2I/I2V)システムを使用する研究・実証車両プラットフォームである。

クラウドベースの交通管理システム

HORIBA MIRA社のクラウドベースの交通管理システムは、複雑な都市交通の管理ソリューションであり、車両と交通信号制御装置の連携によって交通の流れを最適化することを目指している。

交通管理システム(Cloud based Traffic Management System : CTMS)と連携するために微視的交通シミュレーションツール^[11]が開発され、実装された交通管理戦略の評価に使われている。シミュレータの最大の目標は、複雑な交通条件を微視的スケールでシミュレートするための普遍的で拡張可能なプラットフォームを



Figure 2 UGV System Architecture – Perception/Reasoning/Motion

the validity of simulation by introducing physical vehicles in the laboratory.

HORIBA MIRA's Network Guided Vehicle (NGV, see Figure 2)^{[9] [10]} is a research and demonstration vehicle platform which utilises cooperative Vehicle-to-Vehicle (V2V) and V2I/I2V systems for both safety and control of highly automated driving functions. The latest automation software being developed at HORIBA MIRA is written in a modular way which allows algorithms developed in simulation to be directly ported to robots, and then to the full size vehicle. Most recently this approach has been employed to demonstrate multiple vehicles operating independent automated driving controllers in scenarios such as platooning, intersection priority management and merging with traffic at slip roads. The controllers can process complex road maps and derive situation awareness from V2x messages received from surrounding vehicles, which may be real or simulated.

Cloud based Traffic Management System

HORIBA MIRA's Cloud based Traffic Management System is a complex urban traffic management solution aiming to optimise traffic flow by means of coordinated cooperation between the vehicles and traffic signal controllers. The system is realised as a collection of cloud services deployed on the ITS-Cloud platform. Such a

提供するものである (Figure 3参照)。

協調型アダプティブクルーズコントロール (Cooperative Adaptive Cruise Control : CACC) などの適応・協調型の交差点・車両管理手法を用いれば、移動時間とエネルギー消費量で表現される両方の交通スループットを最適化できることが、このシミュレーションを用いて実証されている。現在研究されているのは、実際の市街地と戦略的幹線道路について、CAV に必要なITS機能とあわせてシミュレーションとモデリングを行うことである。短期的には、英国の初期の使用事例は、CACC, 安定プラトウニング^[12, 13], 協調交差点などの車車間・路車間通信 (Vehicle-to-All

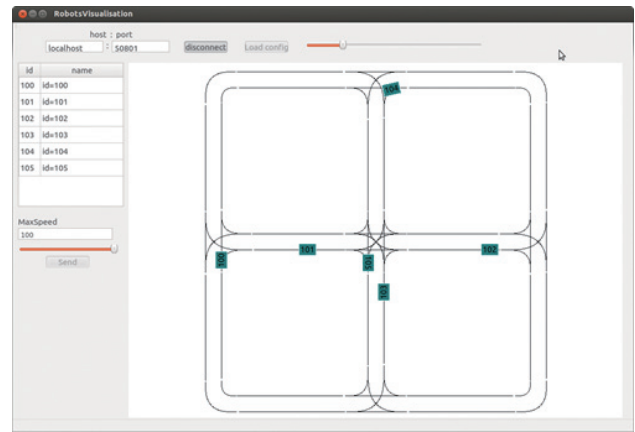


Figure 3 Configuration tool of the Cooperative Driving Simulation and Robotics tested

design ensures scalability and reliability of the system, and provides an abstraction layer between the traffic control algorithm and the sensing/actuating equipment.

A microscopic traffic simulation tool^[11] has been developed to cooperate with the CTMS and is used to evaluate the traffic management strategies implemented. The main goal of the simulator is to provide a universal and extensible platform for simulating complex traffic conditions on a microscopic scale (see Figure 3). It has been designed as a tool to support research on traffic control and its impact on general vehicle flow and individual vehicle behaviour. Each vehicle in the simulation is a semi-independent agent that can have its behaviour customised. Vehicles equipped with wireless communications can communicate with the infrastructure using V2I communications enabling them to receive intersection approach advice and dynamic routing information. Vehicles can also engage in cooperative driving such as platooning.

Using this simulator it has been demonstrated that both traffic throughput, expressed in terms of travel time and energy expenditure, can be optimised using adaptive and cooperative intersection and vehicle management methods such as Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC). Current research includes the simulation and modelling of real urban and strategic highways along with their ITS features required for CAVs. In the short term modelling will be used to inform some of the first use cases in the

Communications : V2X) と自動化技術によって実現され、それらの特徴づけるのにモデリングが使われるであろう。

試験施設と設備

HORIBA MIRA社のCity Circuitは、コネクテッド自動運転車両と関連ITS技術に特化した試験コースである。試験施設は、十字路、T字路、坂道などを含む都市道路網を再現し、さまざまな種類の路面、路面標識、路側設備を備えている。安全で制御された現実的な物理的環境に、同じく制御された代表的な無線環境が組み合わされていることが、この施設の特徴である。携帯電話網を含む

UK enabled by the Vehicle-to-All Communications (V2X) and automation technologies, for example CACC, stable platooning^{[12][13]} and cooperative intersections.

Test Facilities and Equipment

The HORIBA MIRA City Circuit is a proving ground specifically for automated and connected vehicles, and related ITS technologies. The test facility features a network of urban roads including cross roads, T-junctions, and hill sections, and it features different types of road surface, road markings, and roadside equipment. What makes this facility unique is that this safe, controlled, and realistic physical environment is coupled with an equally controlled and representative wireless environment. Wireless communications including cellular networks, Global Navigation Satellite System (GNSS), Wi-Fi and Dedicated Short Range Communications (DSRC/V2x) all increasingly play a role in how cooperative automated vehicles will perform. The City Circuit can provision, and deny in a controlled way, the availability of each of these networks. This allows the creation of a wide range of test scenarios ranging from ideal conditions, through to intermittent network coverage, and congested networks. Furthermore, real-time GNSS denial is available based on simulated City infrastructure configured for individual vehicles, replicating the effects of features such as tall buildings, tunnels and GPS jammers.^[14]

City Circuit monitoring systems allow the facility to operate as an outdoor laboratory. RTK-GPS reference stations

allow vehicles to be tracked with +/- 1 cm accuracy, and an always-on Mesh network connects test vehicles with the facility infrastructure for data collection and the triggering of synchronised events. A novel prototype 3D motion capture system is installed at a large intersection that can track objects, such as pedestrian dummies, with high precision and at a fast frame rate.

Developing Unmanned Ground Vehicle Systems for Unstructured Environments

HORIBA MIRA has extensive experience in the development of autonomous unmanned and tele-operated vehicles for both civil and defence applications. Since 2002, HORIBA MIRA have led the way in the development and delivery of advanced UGVs featuring the proven and award winning MIRA Autonomous Control Equipment (MACE) technology - the system which provides the basis for all HORIBA MIRA's UGV vehicle conversions. Further enhancements to this UGV technology continue to be made through HORIBA MIRA's Autonomy Development Programme (ADP). New technologies, software and algorithms are integrated and tested on the third-generation off-highway research vehicle MACE III which is based on a Land Rover Defender chassis using in-house designed actuators to convert the vehicle to Drive-by-Wire (DBW). It is fitted with three forward and one rearward facing driving camera to allow monitoring and real time tele-operation. The platform is also equipped with an integrated Global Positioning System (GPS) and Inertial Navigation System (INS) with wheel

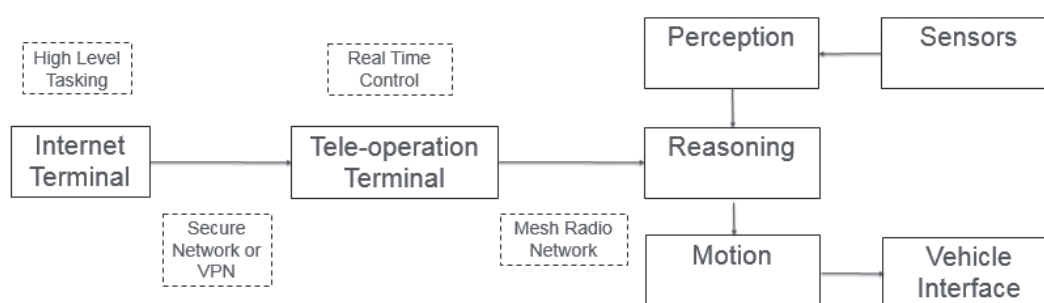


Figure 4 NGV at the Master Intersection in the City Circuit Proving Ground

無線通信、全地球航法衛星システム (Global Navigation Satellite System : GNSS), Wi-Fi, および専用狭域通信 (Dedicated Short Range Communications : DSRC/V2x) は、いずれも協調型自動運転車両の動作においてますます大きな役割を果たすようになってきている。

非構造化環境のための無人陸上車両システムの開発

HORIBA MIRA社は、民生用および国防用の自動無人・遠隔操作車両の開発において豊富な経験を有している。2002年以来、HORIBA MIRA社は、MIRA自動制御装置 (Autonomous Control

Equipment : MACE) 技術を採用した先進的UGVの開発と供給を主導してきた。MACEは、HORIBA MIRA社で行うすべてのUGV改造の基礎となる。

MACEは、認知/判断/操作アーキテクチャを採用している (Figure 4参照)。各要素は、基本的にそれぞれのコンピュータプラットフォームにホストされている。認識コンピュータは、LIDAR (Light Detection And Ranging), GNSS, ホイールエンコーダ, カメラなどの車両センサからの入力を受け取り、車両の周囲の環境情報を認知する。この軌跡は、次に判断コンピュータに転送され、判断コンピュータは車両DBWシステムの制御要求を生成

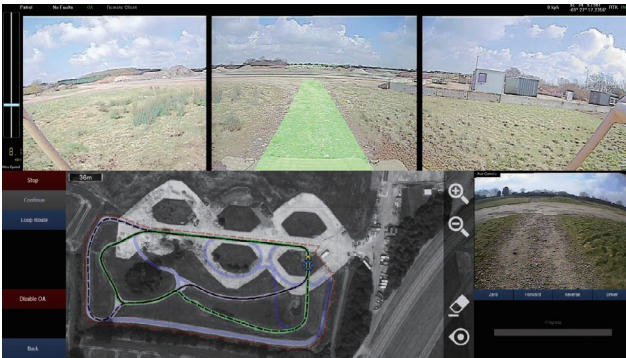


Figure 5 Operator Control Station primary display. The predicted path of the vehicle is shown as a green path in the centre monitor.

angular position encoder input. A mesh network radio system provides communications with the vehicle and an E-Stop system provides a safe and high-integrity way of remotely stopping the vehicle in an emergency.

MACE adopts a Perception / Reasoning / Motion Architecture (see Figure 4). Each element is typically hosted on its own computer platform. The Perception computer takes input from the vehicle sensors such as Light Detection And Ranging (LIDAR), GNSS, wheel encoders and cameras, and builds an understanding of the world around the vehicle. The virtual world is made available to the reasoning computer which also takes inputs from the operator control station and combines this with on-board mission plans and known route networks to decide on a vehicle trajectory. The trajectory is then passed to the motion computer which in turn generates control demands for the vehicle DBW systems. The vehicle can be tele-operated from a local operator control station (see Figure 5) over a radio link or placed into an autonomous mode where it can be tasked from anywhere in the world over a secure internet connection.

The tele-operation terminal or Operator Control Station (OCS) is hosted either on a PC or rugged laptop. For tele-operation either a hand controller with joysticks or a steering wheel and pedals are connected to the computer. The OCS also interfaces to an E-Stop button and a mesh radio network node for communications with the vehicle. Live camera views allow the UGV to be monitored or

する。現場の操作員制御端末から無線リンクで車両を遠隔操作することができる (Figure 5参照)ほか、自動運転モードに設定すると、世界のどこからでもセキュアなインターネットによって、自動運転の最高速度の設定を可能にする。地図の俯瞰表示は、車両の位置を表示して、自動運転で走行するルートの作成または選択を可能にする。「触手」は、予測される車両の進路を表示し (Figure 6参照)、障害物が検知された場合には、システムが適切な行動をとることができる。

LIDARのシステムは、車両周囲の地形図を作成し、障害物をリアルタイムに検知して回避するのに使われる。LIDARが生み出す大

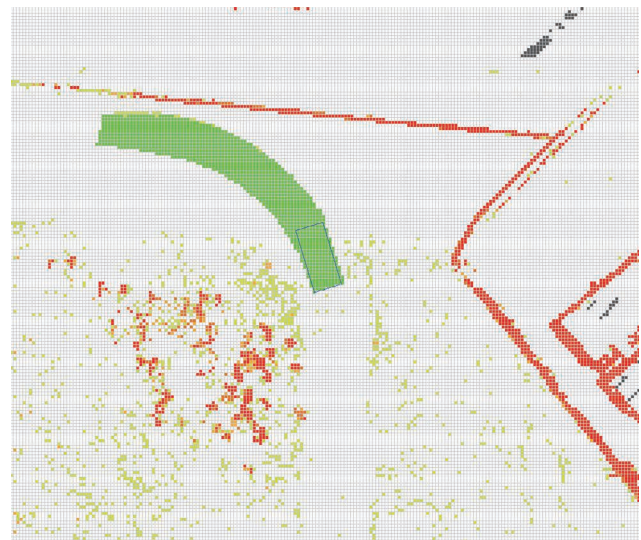


Figure 6 Snapshot from the Obstacle Map showing the MACE III Vehicle (Blue Rectangle) predicted trajectory (Green Tentacle), traversable terrain (White, Yellow and Orange) and obstacles (Red).

controlled in real-time. A user-configurable speed profile allows maximum autonomous driving speed to be set, an overhead map view allows the position of the vehicle to be shown and routes to be created or selected for autonomous operation. A “tentacle” shows the predicted path of the vehicle (see Figure 6) and if any obstacles are detected then the system can take appropriate action. The obstacle detection system makes it virtually impossible for the vehicle to collide with any object or drive onto any untraversable terrain either when it is being tele-operated or autonomously driven.

A system of LIDARs is used to map the terrain around the vehicle and to detect and avoid obstacles in real time. There is a horizontal LIDAR mounted on the front and rear bumpers providing a safety skirt around the vehicle and a “push broom” LIDAR mounted on the roll cage which is able to generate 3D terrain information as the vehicle moves forward. The primary sensor mounted on top of the vehicle’s roll cage is a Velodyne HDL 32 spinning LIDAR which has a range of 70 m around the vehicle.

The LIDARs produce a huge amount of information

量の時間同期情報は、時間同期ハブにおいて他の車両センサと結合される。ハブは同期されたデータを認知コンピュータに提供し、認知コンピュータはソフトウェアアルゴリズムを実行して、大量のLIDARデータからスクロール表示の障害物地図を作成する。障害物地図は、通常、0.2 m四方の三次元ボックスセルを表すセルで構成される。

次にシステムは、車両の予測軌跡を見て、進路上に障害物がないか確認する。障害物地図ディスプレイでは、障害物が赤に、全速で通過可能な地形が白に着色される。黄とオレンジのセルは、通過可能だが速度を落とす必要がある地形を表す。

which is time-synchronised and fused with the other vehicle sensors in a time synchronisation hub. The hub makes the synchronised data available to the Perception computer which runs software algorithms to turn the huge amount of LIDAR data into a scrolling obstacle map used to navigate the vehicle through the terrain.

The obstacle map is made up of cells which represent three dimensional voxels typically 0.2m square. An algorithm is run on the LIDAR data corresponding to each cell and the result is a value per cell representing the traversability of the terrain. The system then looks ahead at the vehicles predicted trajectory and checks to see that there are no obstacles in the path. In the obstacle map display obstacles are coloured red and terrain that can be traversed at full speed is coloured white. Yellow and orange cells represent terrain that can be driven but at a reduced speed.

The usual UGV operating environment is challenging for radio links. Tele-operation of the UGVs requires robust data links, with relatively high bandwidth in order to provide sufficient video resolution, frame rate, and low latency in order to reduce operator work load and to enable control at relatively high speeds. ADP research has developed a system which can deliver the equivalent of 4 PAL (720 × 576) video camera streams over a mesh network with a glass-to-glass latency of approximately 100ms. Glass-to-glass latency refers to the amount of time it takes between something being seen at the vehicle cameras lens (glass) and appearing on the operator control station screen (glass). A mesh network approach allows the communications data link to achieve coverage beyond the line of sight by hopping across radio nodes in the network. Each additional hop the video and control signals have to make adds only 10ms additional latency. The radio data link uses Forward Error Encoding (FEC) and Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing (COFDM) to achieve a robust link between the vehicle and control station. The FEC essentially provides an efficient way of sending the same data more than once and the COFDM transmits that data across different frequencies in order to maximise the chance of the data being

received.

Current UGV research being carried out includes work on machine perception and image processing to allow the UGVs to navigate and operate without being reliant on Global Navigation Satellite System (GNSS). The work includes road edge detection and tracking in unstructured environments where computer vision cameras look ahead of the vehicle and using image processing techniques to look for edges of an off-road track. The approach uses an image processing pipeline to identify off-road track edge candidates and assigns the candidates to a particle filter which then tracks the road edge. The goal is to be able to follow a track network without using GNSS. Other new research being performed includes using convolutional neural networks and deep learning techniques with computer vision to recognise landmarks for navigation and also identify traversable terrain.

The range of application areas for UGV technology is continuing to expand. For example, HORIBA MIRA is leading research into Intelligent Autonomous Digital Construction Machines through a UK government funded project collaborative research project. The purpose of the project is to research future construction techniques involving a combination of automation, information technology and machine guidance.

The UGV Proving Ground

The purposed-built UGV proving ground at HORIBA MIRA's main site is used extensively for UGV systems development for off-road environments. The facility includes approximately 4 km of off-road test tracks with various features designed to allow engineers to push these vehicles to their limits. Key features include: test hills, positive and negative obstacles, complex bend radii, non-line of sight testing and a fully integrated, elevated control room with line of sight of the whole UGV proving ground.

Conclusions

Achieving autonomous driving and the encompassing

ADP研究は、グラス・トゥ・グラス遅延が約100 msのメッシュネットワーク上で4PAL (720×576)相当のビデオカメラストリームを提供できるシステムを開発した。グラス・トゥ・グラス遅延とは、何か車がカメラのレンズ(グラス)で見えてから操作員制御端末の画面(グラス)に表示されるまでにかかる時間のことである。現在実施されているUGV研究には、UGVが全球航行衛星システム(Global Navigation Satellite System: GNSS)に頼らずに航法と動作を行えるようにする機械知覚と画像処理に関する取り組みが含まれる。

UGV試験コース

HORIBA MIRA社の本拠地に作られたUGV専用試験コースは、オフロード環境でのUGVシステムの開発に広く使われている。施設には、エンジニアが車両を限界まで試すことができるように設計された約4 kmのオフロード試験コースがある。主な特徴として、登坂路、上方および下方障害物、複合曲率コーナー、見通し不良環境に加え、UGV試験コース全体を見渡せる高い位置に統合された制御室が設けられている。

C-ITS will bring remarkable benefits. The complexity of such vehicles as well as the foreseeable growth in the number of interconnected subsystems in ITS-enabled vehicles calls for developments in procedures, tools and facilities to test and assess the vehicles and ITS infrastructure under a sufficiently comprehensive set of conditions. The HORIBA MIRA R&D portfolio addresses some of the key development and testing challenges required to eventually achieve a deep penetration level of vehicles with high-automation features and the supporting ITS technologies.

For the structured environment case the emphasis is on the longer term research challenge of developing systems for cooperative automated driving, whereas the emphasis for the unstructured environment case is on the shorter term development challenge of engineering unmanned vehicles that can be safely and reliably deployed in demanding off-road environments.

The development of the real-time simulation tools addresses the need for more virtual techniques for test and validation in the longer term. The development of the Cooperative Driving Simulation and Robotics testbed allows for rapid iterations and benchmarking of CAVs through Robot Hardware-in-the-loop. Vehicle Hardware-In-the-Loop simulations demonstrate the validity of the simulation and robot models through the use of the NGV and the City Circuit.

In the area of unstructured environment automated driving, the development and client use of advanced UGVs and vehicle conversions featuring the MACE technology demonstrates a proven HORIBA MIRA technology. Further enhancements continue to be made and new technologies, software and algorithms are typically integrated and tested on the latest-generation, off-highway research vehicle MACE III and the UGV proving ground.

Future Works

Building on the existing work outlined in this paper HORIBA MIRA is embarking on a number of routes to

further expand the current scope of its research in autonomous vehicles.

More in-depth communications Simulation and Modelling capability is to be developed and integrated into the CTMS to better understand the effects of communications related issues in ITS application. New algorithms for cooperative driving and traffic management will also be the subject of future research. These will be developed and tested initially using the cooperative robots and then tested at full scale.

To cope with more complex and realistic conditions during automated vehicle system tests the availability of sensor models and automated vehicle features in the simulation platform will be further expanded.

For unstructured environments, improvements to the UGV operator control stations are planned to increase system productivity, for example in construction applications. Ultimately these will realise the goal of simultaneous multi-vehicle control from a single operator station. To facilitate this the system will be developed to allow the scheduling of autonomous vehicle tasks and the control of vehicles over the Internet.

Further work is also planned on UGV obstacle mapping and terrain classification systems to enable vehicles to be able to react appropriately to dynamic obstacles and to allow increased vehicle autonomy on more complex off-road routes.

まとめ

自動運転を実現し、C-ITSを取り入れることで、著しい便益がもたされるであろう。こうした車両の複雑さに加え、ITS対応車両の相互接続されたサブシステムの増加が予測されることから、十分に包括的な条件下で車両とITSインフラの試験と評価を行うための手順、ツール、および施設の開発が必要である。HORIBA MIRA社の研究開発ポートフォリオには、高度な自動化機能と支援ITS技術を備える車両を最終的に普及させるのに必要な開発と試験の主要課題が含まれている。構造化環境の場合は、協調型自動運転のシステム開発という長期的な研究課題が重視される。一方、非

構造化環境の場合は、厳しいオフロード環境で安全確実に展開可能な無人車両の製作という短期的開発課題が重視される。非構造化環境分野では、自動運転、先進的UGVの開発と顧客利用、MACE技術を用いた車両改造が、定評あるHORIBA MIRA社の技術を実証している。

今後の取り組み

この論文で概説した現在の取り組みを基礎として、HORIBA MIRA社は、自動運転車両における現在の研究範囲をいっそう拡大するために多くの方法に着手している。

References

- [1] E. T. F. Connectivity and Automated Driving, "Automated Driving," European Road Transport Research Advisory Council, 2015.
- [2] D. M. C-ITS Platform, "Final report," 2016.
- [3] KPMG, "Connected and Autonomous Vehicles – The UK Economic Opportunity," The Society of Motor Manufacturers and Traders (SMMT), 2015.
- [4] HORIBA MIRA, "Engineering Services," HORIBA MIRA, [Online]. Available: <http://www.horiba-mira.com/our-services>.
- [5] A. Perallos, U. Hernandez-Jayo, E. Onieva and I. Julio Garcia-Zuazola, Intelligent Transport Systems: Technologies and Applications, John Wiley & Sons, Ltd., 2016.
- [6] S. I. On-Road Automated Vehicle Standards Committee, "Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems," SAE International, 2014.
- [7] P. Jaworski, T. Edwards and K. Burnham, "Cloud Computing Concept for Intelligent Transportation Systems," in IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, 2011.
- [8] ETSI, "Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service," 2014.
- [9] T. Edwards, J. Moore, M. Loukadaki and P. Jaworski, "A Network Assisted Vehicle for ADAS and ITS testing," in IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, 2011.
- [10] T. Edwards, P. Jaworski and M. Loukadaki, "Autonomous longitudinal control for a Network Assisted Vehicle," Advanced Vehicle Controls (AVEC), 2012.
- [11] P. Jaworski, T. Edwards, K. Burnham and O. Haas, "Microscopic Traffic Simulation Tool for Intelligent Transportation Systems," in IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, 2012.
- [12] R. Caudill and W. Garrard, "Vehicle-Follower Longitudinal Control for Automated Transit Vehicles," Dynamic Systems, Measurement, and Control; Journal of, pp. 241-248, 1977.
- [13] C. Liang and H. Peng, "Optimal adaptive cruise control with guaranteed string stability," Vehicle System Dynamics, vol. 32, no. 4-5, pp. 313-330, 1999.
- [14] M. Dumville, W. Roberts, D. Lowe, B. Wales, P. Pettitt, S. Warner and C. Ferris, "Skyclone: Realtime GNSS Signal Denial for Testing GNSS-based Automotive Applications," 2012.
- [15] Deloitte, "Trends and Outlook of the Auto Electronics Industry," Deloitte, 2013.
- [16] G. Meyer and S. Deix, Road Vehicle Automation - Research and Innovation for Automated Driving in Germany and Europe, vol. Part II, Springer International Publishing, 2014, pp. 71-81.
- [17] E. T. P. o. S. S. I. EPoSS, "Smart Systems for Automated Driving," 2015.



Roberto PONTICELLI

Chief Engineer
Intelligent Mobility
HORIBA MIRA Ltd.



Tim EDWARDS

Principal Engineer
Future Transport Technologies
HORIBA MIRA Ltd.



Andrew MALONEY

Chief Engineer
Autonomous and Unmanned Ground Vehicles
HORIBA MIRA Ltd.



Anthony BAXENDALE

Manager
Future Transport Technologies Research
HORIBA MIRA Ltd.
Ph.D.

ITSの適用における通信関連問題の影響をよりよく理解するには、さらに詳細な通信のシミュレーションとモデリングの能力を開発し、CTMSに組み込まなくてはならない。協調型運転と交通管理のための新しいアルゴリズムも、将来の研究対象になるであろう。自動運転車両システムの試験中により複雑で現実的な条件に対応するため、シミュレーションプラットフォームにおいてセンサモデルと自動運転車両機能の可用性がさらに拡大するであろう。非構造化環境では、建設用途などでのシステムの生産性を高めるためにUGV操作員制御端末の改善が計画されている。最終的には、1台の操作員端末から複数の車両を同時に制御するという目標が実現されるであろう。

UGVの障害物地図作成と地形分類のシステムについても、さらなる取り組みが計画されている。これによって、車両が動的な障害物に適切に対応できるようになり、より複雑なオフロードルートでの車両の自律性を高めることができる。

(抄訳 編集部)

Challenges in Vehicle Systems Resilience

車両システムの安定性における課題

David WARD

Since the introduction of the first microprocessor-based systems into mass-produced vehicles in the 1980s, the electronics content of automobiles has continued to grow. Future trends including moves towards autonomous vehicles and connected cars will continue this growth. Historically disciplines such as reliability analysis and systems engineering have been used to develop robust electronic systems and more recently functional safety builds on these foundations. However the future growth means that it is important to consider the holistic issue of resilience of electronic systems with a cross-disciplinary approach incorporating wider issues including cybersecurity and fail operational properties.

1980年代にマイクロプロセッサシステムが量産車に初めて導入されて以降、自動車に搭載される電子機器は増加の一途である。自動運転車やコネクテッドカーへの移行が予想される今後の傾向としても、この増加は続くと思込まれる。歴史的には、信頼性解析やシステムエンジニアリングなどの分野が、耐久性のある電子システムの開発に応用されてきた。最近でも、機能安全はこれらの基礎の上に構築されている。しかし、今後も電子機器導入がさらに増加することから、サイバーセキュリティや故障時動作継続特性などより幅広い視点を取り入れた横断的アプローチにより、電子システム故障からの復帰という全体的な課題を検討することが重要である。

Introduction

While the history of electrical and electronic systems in vehicles is nearly as old the car itself, it was in the 1980s that significant growth in the electronics content of mass-produced vehicles first started. The 1980s saw the introduction of tailpipe emissions regulations, initially in the USA, that required the engine to be electronically managed in order to meet the required targets.

The growth in electronic systems has continued unabated; the trend is typically that advanced systems are first introduced into luxury vehicles and then become standard fitment in mass-market vehicles once the technology becomes accepted and commoditized. The following table shows for each recent decade a key electronic system that has started to be fitted to mass-market vehicles as standard and the motivation for this.(Table 1)

はじめに

車両用の電気・電子システムの歴史は、自動車自体の歴史とほぼ同じくらい古いですが、量産車の電子機器搭載量の大幅な増加が最初に始まったのは、1980年代であった。1980年代には、まず米国で排ガス規制が導入され、その要求目標を達成するために、エンジンを電子的に制御することが求められた。

その後、電子システムの技術は継続的に進歩してきた。典型的な動向として、先進的なシステムは、まず高級車に導入され、その技術が受け入れられて商品化されてから量産車の標準装備になる。

以下の表は、量産車に標準装備され始めた主要電子システムとその誘因を、最近の各年代ごとに示す(Table 1)。

車両の電子機器搭載量については様々な統計が引用されているが、典型的な見積りによれば、車両の部品代のうち、20~40%が電気・電子システムであり(車両の市場とブランドにより異なる)、約100個のコンピュータシステムが含まれている。いくつかの資料によると、今や自動車は、Boeing社787 Dreamlinerよりも多くのソフトウェアを搭載(Figure 1)しているとされるが、著者の考えでは同列に比較することはできないと思われる。

Table 1 Each recent decade a key electronic system

Decade	System	Motivation
1980s	Engine management	Emissions legislation
1990s	Restraints e.g. airbags	Market forces
2000s	Electronic stability control	Legislation
2010s	Driver assist e.g. AEB	Market forces e.g. EuroNCAP

Various statistics are quoted for the electronics content of vehicles but typical estimates are that between 20% and 40% of the value of the bill of materials in a vehicle is in its electrical and electronic systems (depending on the market and brand of the vehicle) with around 100 computer systems. Some sources cite that vehicles now contain more software than a Boeing 787 Dreamliner although in the author’s opinion this may not be comparing like-for-like. (Figure 1)

In the future the major trends will be the “connected car” and greater use of driver assist systems leading to deployment of systems with higher degrees of automation and eventually fully autonomous vehicles.

Development of the “connected car” is proceeding in three directions. Firstly, vehicle-to-vehicle and vehicle-to-infrastructure communications continue to be developed and deployed in some markets (notably the long-standing use in Japan, and a recent legislative mandate in the USA). Secondly, some vehicle manufacturers already embed a cellular modem for remote diagnostics and service, and the European e-call requirements will mandate fitting of such technology.

However the third significant growth area is the use of consumer devices in the vehicle that effectively make the car an “always on” internet node due to 3G/4G wireless connectivity. Many manufacturers are providing seamless integration and “hand off” between consumer devices and Apps in the car; and also the facility for a wireless hotspot in the car.

The safety and reliability of these electronic systems has always been a consideration for the industry but these parallel developments of connected cars and greater use



Figure 1 Which has the most software?

of autonomy means that ensuring the resilience of these systems is now a top priority for the industry.

What is Vehicle Systems Resilience?

HORIBA MIRA is using the term “vehicle systems resilience” to refer to the properties or attributes of the mission-critical electronic systems used on vehicles. As shown in Figure 2, traditionally development of all vehicle systems (not only the electronic systems) has considered their reliability using failure mode avoidance techniques such as failure mode and effect analysis (FMEA) and fault tree analysis (FTA). Many vehicle engineering lifecycles use a “V” model or waterfall model derived from systems engineering where high level requirements derived from product attributes are cascaded down through successive levels of architectural design until a suitable level of detail for implementation is reached. The implemented elements are then integrated and verified in a stepwise fashion to demonstrate confidence in the completed product.

More recently functional safety has become an integral part of the development lifecycle. In its widest sense, functional safety is the part of overall system safety concerned with demonstrating that technology-based systems operate correctly in response to their inputs (and therefore do not generate a potentially unsafe condition by incorrect operation). Specifically in the automotive industry, the international standard ISO 26262^[1] is concerned with avoiding hazards that could result from malfunctioning behaviour of electrical or electronic systems.

The scope of ISO 26262 is therefore narrower in comparison to some other practices in functional safety, since it is only concerned with the requirements for design of

今後は、「コネクテッドカー」と運転支援システムの利用増大が大きな流れになる。これが、自動化の度合いを高めたシステムの展開につながり、最終的には完全自動運転車両に至るであろう。

業界にとって、これらの電子システムの安全性と信頼性は、常に検討事項であり続けてきたが、コネクテッドカーの並行開発と自動運転機能の利用拡大は、これらのシステムの安定性が今や業界の最優先事項であることを意味している。

車両システムの安定性とは何か？

HORIBA MIRAは、「車両システムの安定性(回復力)」という言葉を用いて、車両で使われる不可欠な電子システムの特長または属性を指すために用いている。Figure 2に示すように、伝統的にあらゆる車両システム(電子システムに限らない)の開発では、故障モード影響解析(Failure Mode and Effect Analysis: FMEA)や故障の木解析(Fault Tree Analysis: FTA)などの故障モード回避技術を用いてシステムの信頼性を考慮してきた。

最近では、機能安全が開発ライフサイクルに不可欠な部分となって

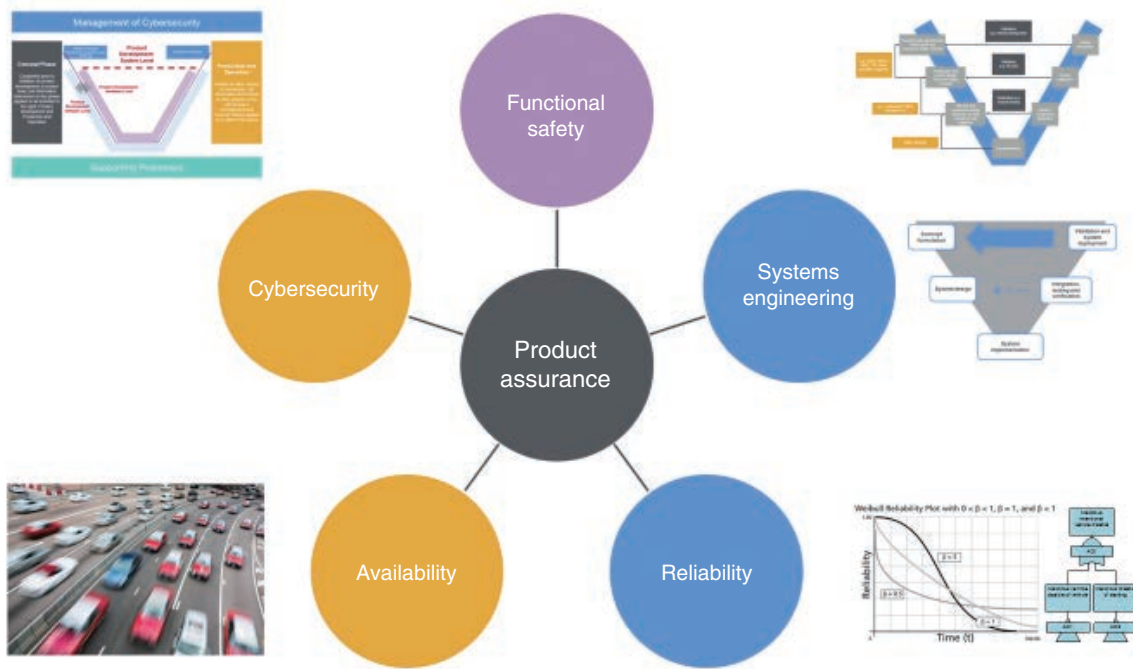


Figure 2 Product integrity and assurance in road vehicles

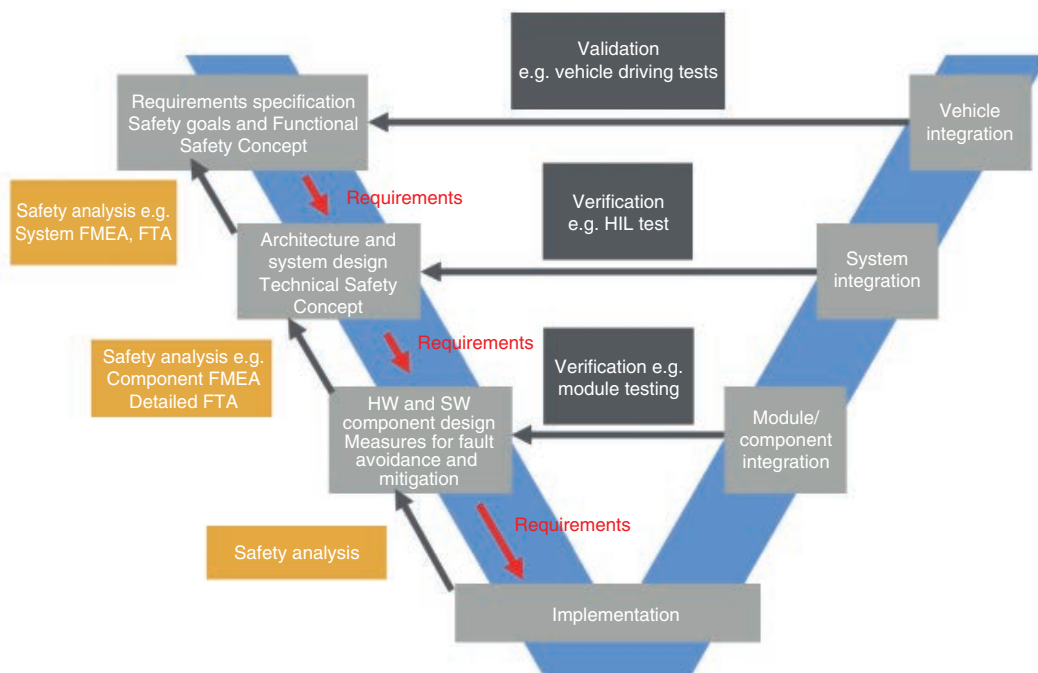


Figure 3 Concept of systems "V" model in ISO 26262

いる。最も広い意味では、機能安全は、関係するシステムの安全性全体の一部であり、技術ベースのシステムが入力に対して正確に作動する(すなわち、誤操作により潜在的に危険な状況を生み出さない)ことを示している。特に自動車産業においては、国際標準 ISO 26262^[1]が、電気・電子システムの誤作動に起因する危険の回避に関して定めている。

ISO 26262は、品質管理システムで規制されるような基礎的要件よりも厳密な要件をエンジニアリングプロセスに導入する。その主な理由のひとつとして、電子システムの複雑さゆえに、製品開発ライフサイクルの最後に試験を行い、見つかった問題に「事後的」

アプローチを適用するだけでは、製品が「正しい」ことを証明できないことが挙げられる。代わりに、システムの不具合の影響と不具合の原因を理解し、不具合の適切な防止策をシステムの設計に取り入れるために、システムエンジニアリングと信頼性解析の原理を適用することで、システムの信頼性を育むプロセスが求められる。ISO 26262は、他の機能安全基準と同様に、電子システムの設計に求められる厳密さを指すために「安全度」という言葉を用いている。また、ISO 26262は、Figure 3に示すようにシステムエンジニアリングにおける古典的な「V」モデルに基づいている。

2011年にISO 26262の初版が発行されて以来、業界はこの課題に

Table 2 A summary of the SAE Levels and example features; this is necessarily simplified and interpreted so the reader is referred to SAE J3016^[2] for full details.

SAE Level	Degree of automation	Driver in loop?	Example feature
0 – no automation	Warning only	Yes – full time	Lane Departure Warning (LDW)
1 – driver assistance	Speed only or steering only	Yes – full time	Lane Keep Assist (LKA)
2 – partial automation	Speed and steering	Yes – full time	Traffic Jam Assist (TJA)
3 – conditional automation	Full automation of specific driving tasks	Yes – part time, expected to respond to request to intervene within a defined period of time	Highway chauffeur
4 – high automation	Full automation of specific driving tasks	No – under defined constraints	Automated valet parking
5 – full automation	Full automation under all environmental and traffic conditions	No	Self-driving car that can execute a complete arbitrary journey

systems based upon electrical and electronic technology. It is not concerned with how to design safely other elements such as hydraulic components even though, by definition, these also come into the scope of a wider “functional safety” activity.

ISO 26262 introduces requirements for rigour in the engineering process that go beyond the base level of requirements such as those regulated by a Quality Management System. One of the key reasons for this is that, due to the complexity of the electronic systems, it is not possible to demonstrate that a product is “correct” simply by testing it at the end of the product development lifecycle and applying a “fly-fix-fly” approach to any issues found. Instead a process of building confidence into the system is required through applying the principles of systems engineering and reliability analysis to understand the consequences of malfunction of the system, the causes of malfunction and to ensure adequate defences against them are designed in to the system. ISO 26262, in common with other functional safety standards, uses the term “safety integrity” to refer to the rigour required in design of an electronic system. ISO 26262 is also based on the classical “V” model in systems engineering as shown in Figure 3.

However in reality many practitioners focus on malfunctions – avoiding random faults in hardware or systematic faults in the system, hardware or software design – rather than on malfunctioning behaviour. We will return later in this paper to consider some important additional factors

that are part of this wider term.

Since the initial publication of ISO 26262 in 2011, the industry has taken up the challenge and functional safety is now a core discipline in the design of vehicles and their components. However the two key growth aspects of autonomous functions and connected vehicles means that the required robustness of vehicles is a wider issue than safety integrity alone. We consider two of the key implications of these technologies to demonstrate the need to consider resilience, not only safety integrity.

Fail Operational Behaviour

In ISO 26262, there are a number of unwritten assumptions including

- The driver is part of the control loop of electronic systems and whether the driver can react to mitigate the outcome of hazards is considered during the hazard analysis activity.
- Fail-silent behaviour (i.e. to remove electronically-controlled functions) is generally considered as a suitable final reaction to system malfunction.
- “Drive by wire” functions in steering and braking retain a mechanical fall-back in case of total failure of the electronically controlled functions.

These assumptions are reasonable for a vehicle and systems where the driver is expected to be monitoring and controlling functionality on a full-time basis. These assumptions extend to some of the automated functions

取り組み、今や機能安全は、車両とその部品の設計において中心的な分野となっている。しかし、自動運転機能とコネクテッドビークルという二大成長分野においては、車両に求められる強靭性が、単なる安全度よりも幅広い問題であることを意味する。私たちは、これらの技術に含まれる二つの重要な意味を考え、安全度だけでなく回復力を考慮する必要がある。

故障時動作継続挙動

ISO 26262には、以下を含めて明示されていない多くの仮定がある。

- ドライバーは、電子システムの制御ループの一部であり、危害要因がもたらす結果を緩和するためにドライバーが対応できるかどうか、危害要因分析作業時に考慮される。
- フェイルサイレント挙動(すなわち、電子制御機能を取り除くこと)は、一般的にシステム不具合に対する適切な最終反応とみなされる。
- ステアリングとブレーキングにおける「ドライブ・バイ・ワイヤ」機能は、電子制御機能が完全に故障した場合に備えて機械的代替手段を保持する。

already being introduced, at least in systems defined as Level 1 or Level 2 functions in accordance with the SAE taxonomy of autonomous functions^[2], where the systems support some aspects of driving but the driver is expected to be in full-time control. Examples of this are seen in functions where the driver is still expected to keep hold of the steering wheel such as Lane Keep Assist (LKA), a Level 1 function, and Traffic Jam Assist (TJA), a Level 2 function.

As more advanced autonomous systems are introduced, the need for “fail operational” behaviour is emerging. “Fail operational” behaviour means that there are circumstances where it is not appropriate to remove the electronic function in case of malfunction and instead continued operation or “availability” over a defined period of time is required.

Example requirements for such behaviour include

- An electrical power steering system (EPAS) used as an actuator for a Level 3 lane-change function must have defined availability over the typical time required to complete such a manoeuvre;
- A Level 3 system might require to hand-over to the driver, and if the driver does not respond in a timely manner initiate a safe stop (“automatic emergency landing”);
- An arbitrary journey conducted “end to end” under full autonomy requires availability to complete the mission.

It is therefore acknowledged that future features associated with SAE Level 3 and above driver assist functions (leading up to full autonomy) have requirements for availability and to “fail operational”.

There are two principal solutions emerging to fail operational requirements. One solution is to use existing systems as a back-up, for example since electronic stability control (ESC) permits individual wheel braking this could be used for a short-term backup if EPAS fails although such a solution is likely to only be feasible to bring the vehicle to a safe stop in a relatively short time window,

The alternative solution is to provide some form of redundancy within the systems themselves so that they can continue operating in a defined manner in the presence of one or more failures. In ISO 26262 Edition 2 it is proposed to give some consideration to these types of fail operational requirements but these are currently at the level of hardware and software solutions to achieve a defined availability. Further guidance is needed to identify how this availability is identified and defined particularly in the areas of:

- Performing hazard analysis and risk assessment; we consider that a “layered” approach is required incorporating safety of the intended functionality (i.e. non-faulted behaviour), malfunctioning behaviour, and performance of a backup system (e.g. an “automatic land” function). Such an analysis may therefore result in different sets of safety requirements and attributes (integrity, availability) for the different layers.
- Methods that can be used to specify and evaluate architectures required for fail operational requirements. The present proposals in the draft of Part 5 (hardware) of ISO 26262 Edition 2 are focussed on hardware-level solutions e.g. microcontroller architectures. This guidance needs translating to the system architecture level. For example, for an EPAS that needs availability for the duration of an autonomous mission, should a classical “2 out of 3” redundant architecture be used?
- Specifying hardware targets (metrics) against random hardware failures. The current approach in ISO 26262 is based on a classical approach to hardware reliability but the methods and targets may need revisiting for availability requirements.

Cybersecurity

Another increasingly important aspect of resilience is cybersecurity. The electronic systems in modern vehicles are considered to be cyber-physical systems – that is, systems of collaborating computational elements controlling

これらの仮定は、ドライバーが機能性を常時監視して制御することを期待される場合には、車両とシステムにとって合理的である。これらの仮定は、少なくともLevel 1またはLevel 2のシステム(自動化機能のSAE分類^[2]による)に導入済みの自動化機能に適用される。こうしたシステムは特定の運転を支援するが、ドライバーはいつでも操作可能な状態にあることを期待されている。その例として、Level 1の車線維持支援機能(Lane Keep Assist : LKA)やLevel 2の渋滞支援機能(Traffic Jam Assist : TJA)などでは、ドライバーはステアリングホイールを保持し続けることを依然として期待されている。SAEのレベル区分と代表的な装備について概要をTable 2に示す。この表はやむを得ず内容を簡略化してある

ため、詳細についてはSAE J3016^[2]を参照のこと。

より先進的な自動運転システムの導入に伴い、「故障時動作継続」挙動の必要性が高くなっている。「故障時動作継続」挙動は、不具合発生時に電子機能を除去することが適切ではなく、代わりに継続的な動作または所定の時間での「可用性」が必要になることを意味する。

故障時動作継続の要件に対して、二つの主要なソリューションがある。ひとつは、既存のシステムをバックアップとして用いることである。もうひとつのソリューションは、ひとつまたは複数の

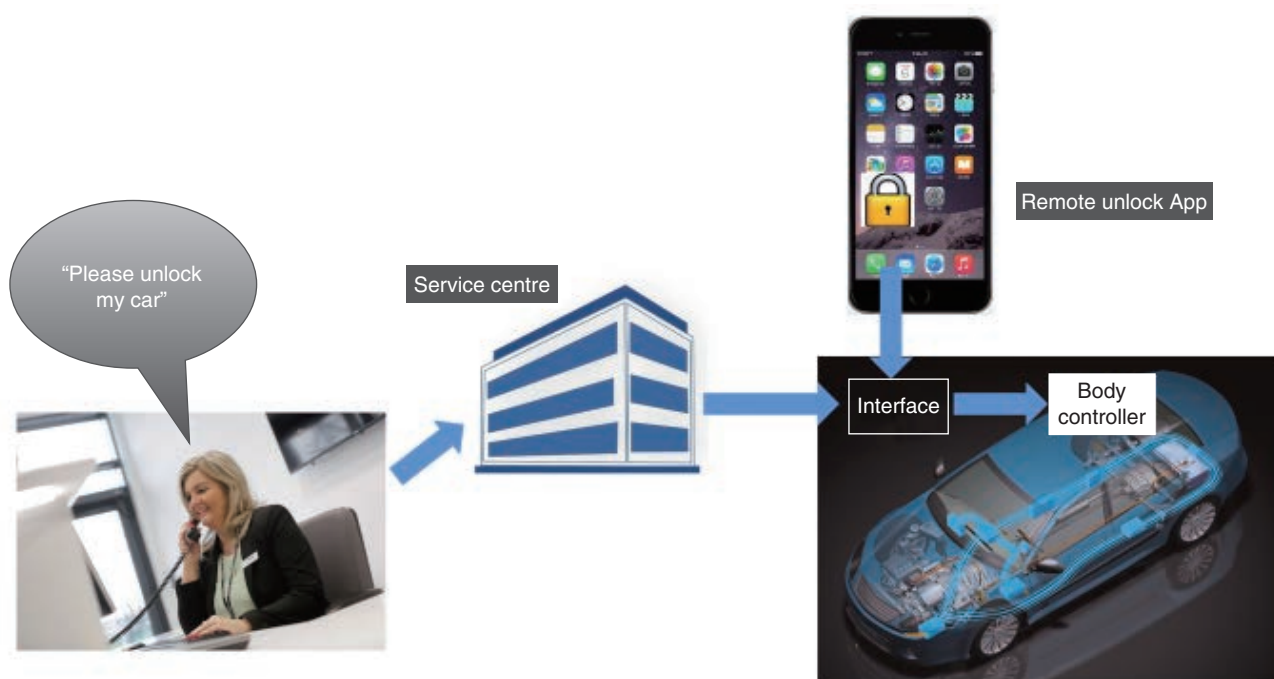


Figure 4 A typical connected car application – remote unlocking

physical entities. Due to the fact that vehicles and their systems have increasing levels of external connectivity, risk to cyber-physical systems may arise due to an attack exploiting a vulnerability in these connections. Cybersecurity refers to avoiding risk to cyber-physical systems due to an attack. Note that while cybersecurity often assumes malicious activity, accidental activity should also be considered (e.g. an enthusiastic vehicle owner who tries to make their own wireless connection to a vehicle system which has an unforeseen consequence).

Security of IT-based systems is a well-established discipline and is an important part of securing “connected car” applications. Figure 4 shows a typical application where remote unlocking of a vehicle is possible either by the vehicle owner using a smartphone App, or by making contact with a service centre that can issue a remote unlocking command. In this concept, all of the assets shown are potential attack points for an attacker for example by:

- Impersonating the owner calling the centre;
- Social engineering of the service centre personnel to gain access to credentials;
- Conducting a “man in the middle” attack on the communications between the service centre and the vehicle, or between the smartphone and the vehicle;
- Introducing a compromised App into the smartphone.

When evaluating cybersecurity risk, the severity of consequences and the likelihood of mounting a successful attack need to be considered. Consequences of a cybersecurity attack may include loss of privacy, financial loss to owners, operators or manufacturers of vehicles, loss of reputation, operational limitations and safety concerns. The likelihood of mounting a successful attack depends on a number of factors including whether a potential attacker needs access to specific information about the

故障が存在してもシステムが所定の方法で動作を続けられるように、システム自体の中になんらかの形の冗長性を持たせることである。

サイバーセキュリティ

回復力に関して重要性を増しているもうひとつの側面が、サイバーセキュリティである。注意すべき点として、多くの場合、サイバーセキュリティは悪意ある行為を想定しているが、偶発的行為も考慮すべきである。

IT ベースのシステムのセキュリティは、確立された専門分野であり、「コネクテッドカー」アプリケーションの保護における重要な部分である。Figure 4に示す典型的なアプリケーションでは、車両の所有者がスマートフォンアプリを用いて、またはリモートロック解除コマンドを発行可能なサービスセンターに連絡することにより、車両のリモートロックを解除することができる。このコンセプトでは、示されているすべての資産が、以下の例のような攻撃を受ける可能性がある。

- ・所有者になりすましてセンターへ電話をかける。
- ・サービスセンターのスタッフがソーシャルエンジニアリングに

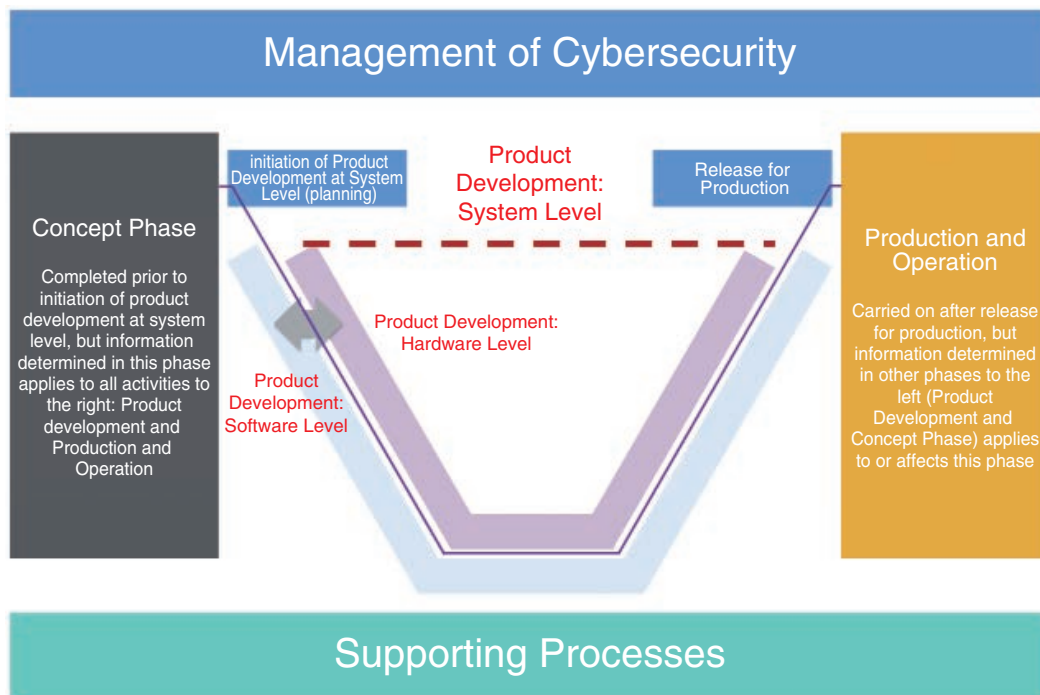


Figure 5 SAE J3061™ lifecycle. © SAE International

system and specialist tools or resources, and the time needed to develop the exploit^[3].

In terms of approaches for protecting cyber-physical systems, established IT security principles need to continue to be applied to assets such as back office systems and App development. However specialized techniques are needed for in-vehicle aspects where the security countermeasures need to be scaled to align with the requirements of real-time embedded control systems. It should also be noted that many aspects of research into vehicle cybersecurity are focussing on the external interfaces and how to secure this against attack; however this must be seen as the first line of defence. Given the continually developing nature of cybersecurity threats, a “defence in depth” strategy that also covers aspects such as internal communications buses in the vehicle is also needed to help defend the system against “zero day” exploits – once a vulnerability in an interface is discovered, it is immediately exploitable until an update is applied to resolve it.

The automotive industry has recognized the need for standards to address cybersecurity development of embedded systems and has recently published an SAE Recommended Practice J3061™, Cybersecurity Guidebook for Cyber-Physical Vehicle Systems^[4]. A key aspect of this document is that it recommends a lifecycle for cybersecurity engineering that is derived from the ISO 26262 safety lifecycle and can also be aligned with it. This recognizes that functional safety and cybersecurity share many common aspects and that certain activities need to be harmonized, for example a cybersecurity attack may be the cause of a functional safety hazard. The J3061™ lifecycle is shown in Figure 5.

A further important aspect of cybersecurity concerns testing and evaluation. The industry needs to work with trusted partners who can evaluate and demonstrate cybersecurity concerns and solutions in safe and secure environments, rather than using public infrastructure for studies and demonstrations. This will require the development of appropriate capabilities for conducting research

より機密情報へのアクセスを得る。

- ・ サービスセンターと車両の間、またはスマートフォンと車両の間の通信への「中間者」攻撃の実施。
- ・ スマートフォンへの不正アプリの導入。

自動車産業は、組込みシステムのサイバーセキュリティ開発に取り組むには基準が必要であることを認識しており、最近、SAE推奨基準 J3061™「サイバーフィジカル車両システムのためのサイバーセキュリティガイドブック (Cybersecurity Guidebook for Cyber-Physical Vehicle Systems)^[4]」を発行した。この文書の重要な側面は、ISO 26262の安全ライフサイクルに由来し、同基準と

整合可能なサイバーセキュリティエンジニアリングのライフサイクルを推奨していることである。このガイドブックは、機能安全とサイバーセキュリティが多くの共通の側面を共有し、いくつかの活動を調和させる必要があることを認識している。たとえば、あるサイバーセキュリティ攻撃は、機能安全危機の原因となる可能性がある。J3061™ライフサイクルをFigure 5に示す。

回復性のその他の側面

上記の明らかになりつつある側面の他にも、以下を含め、システムの回復性に寄与する多くの要素がある。

into potential vehicle vulnerabilities in a confidential manner, and enabling evaluation of real vehicles and systems in a secured environment. Typical requirements for such evaluations could include:

- A quarantined environment where resilience evaluation can be conducted using realistic infrastructure (e.g. cellular communications) without disrupting public services;
- The ability to exercise vehicles and their systems in realistic operating conditions (e.g. driving at speed, concerning with a stability control intervention) without the use of public roads;
- The ability to combine multiple aspects of resilience during an evaluation e.g. combining electromagnetic interference with exploitation of a security vulnerability;
- Conducting evaluations according to a well-defined code of ethics e.g. in terms of confidentiality.

Other Aspects of Resilience

Besides the emerging aspects noted above, there are a number of other factors that contribute to resilience of systems. These include:

- Human interactions: for example ensuring that clear and understandable information on the operation of a system is given to the driver, that such information is not distracting, and that the interfaces are defined in such a way that the possibility of mis-operation by the driver is avoided.
- The behaviour of mechanical systems as a cause of the behaviour of electronic systems: some practitioners take a very narrow view when applying ISO 26262 but it is important to consider all external interfaces and the influence that these may have on correct operation of the system.

Conclusions

Systems engineering and reliability analysis techniques have provided a strong foundation for many of the

challenges faced in the current generation of vehicles, as reflected in practices such as ISO 26262. To face the challenges of future vehicles, including connected cars and greater use of autonomy, a cross-disciplinary approach based on the concept of resilience is required. This encompasses many of the attributes required including safety integrity, availability, reliability and cybersecurity.

References

- [1] ISO 26262:2011, "Road vehicles - Functional safety"
- [2] SAE J3016, "Surface Vehicle Information Report, Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems", January 2014.
- [3] ISO/IEC 18045:2008, "Information technology - Security techniques - Methodology for IT security evaluation".
- [4] SAE J3061™, "Surface Vehicle Recommended Practice, Cybersecurity Guidebook for Cyber-Physical Vehicle Systems", January 2016.



David WARD

General Manager
Functional Safety
HORIBA MIRA Ltd.
Ph. D.

まとめ

- ・人間との相互作用：たとえば、システムの動作に関する明確で理解可能な情報をドライバーに与えること、その情報がドライバーの注意をそらせることないこと、そしてドライバーの誤操作が避けられるようにインターフェイスが定められていること。
- ・電子システムの挙動の原因となる機械システムの挙動：専門家がISO 26262を適用する際には視野が狭くなりがちであるが、あらゆる外部インターフェイスと、それらがシステムの正確な動作に及ぼす影響を考慮することが重要である。

システムエンジニアリングと信頼性解析技術は、ISO 26262などの基準に反映されているように、現世代の自動車が直面する課題の多くに強力な基盤を提供してきた。コネクテッドカーや自動運転の利用拡大を含む今後の自動車の課題に対応するためには、回復力のコンセプトに基づく分野横断的なアプローチが求められる。これには、安全度、可用性、信頼性、サイバーセキュリティなどの必要な属性の多くが含まれる。

HORIBAの最新自動車実験棟 “E-LAB”

HORIBA New Building of Development Testing Facilities for Automobiles “E-LAB”

駒田 峰之
Mineyuki KOMADA

大槻 喜則
Yoshinori OTSUKI

佐藤 康貴
Yasutaka SATO

熊谷 樹
Tatsuki KUMAGAI

伊藤 和哉
Kazuya ITO

伊藤 誠
Makoto ITO

はじめに

「より高い精度で」計測したいという要求は、排ガス計測のもっとも基本的、かつ究極の課題だといえる。そのためには、単に実験室レベルで分析計の性能を高めるだけではなく、実排ガス中の測定対象外成分からの干渉影響の把握と排除、排ガスを分析計へ導くサンプリングシステム最適化などの技術も必要となってくる。また、エンジンや車両の排ガス計測時の負荷を再現するためのエンジンダイナモやシャシダイナモといったメカトロニクス(MCT)製品にも高い性能が求められる。このような視点に立つと、計測システム開発の過程においては、実際のエンジンや車両を用いて要素技術・製品の検証を行うことが不可欠である。HORIBAは、そのための試験設備を社内に持つことを早い段階から志向し、1977年には、排ガス試験のできる商品テストセンタ、1990年には自動車試験ラボ「アクティブゾーン21」を稼働させた。本稿では、これらに続く第三世代のラボ設備として、2016年にびわこ工場E-HARBORに完成した新実験棟「E-LAB」を紹介する。

E-LABのコンセプト

近年、自動車開発・エンジン開発の現場において、高効率化・クリーン化、HVシステムや新たな機構をもった変速機などによって、大きな変革が求められてきた。それに伴ってパワートレインは複雑化かつ各制御系の統合化が進行し、実験工数が増大する要因となった。これに伴い、開発初期段階における前倒し試験や、CAEを活用したバーチャル解析を統合したシステムなどの試験高効率化ソリューションが求められてきた。一方、排ガス規制における新しい試験法や代替試験法の採用を背景に、正確・高精度な計測が求められている。このような状況の中、新実験棟E-LAB (Figure 1)は、アプリケーション志向の新しい価値を創造していくために欠かせない場になるはずである。



Figure 1 E-LAB(手前)とE-HARBOR本棟(奥)

最新設備による製品検証や外部の研究者との共同開発によってこそ、装置を使う側の視点と、計測とアプリケーションに関する経験や勘が培われると考えるからである。これらを実現するために、E-LABのコンセプトを以下とした。

- (1)次世代車両・エンジンの超低エミッション・低燃費を高精度に計測(=実験室・吸入空気温度湿度、冷却水・オイル等の制御精度など、環境条件の厳密な管理・制御)
- (2)新規規制の計測や代替計測法、開発段階での解析的計測に対応(=複数の計測法を同時に評価できる設備を導入)
- (3)実車試験や路上試験(RDE)の先取り(=バーチャル試験設備の導入)
- (4)試験効率化(=テストセルごとの工夫と、データ・設備の集中管理システムの導入)
- (5)ショールームとしてのテストセル(=見学の利便性確保と同時に、共同開発実験を想定したシークレットエリアを用意)

E-LABは、テストセル1~3と集中管理室、将来の拡張用のテストセル4用のスペースからなる(Figure 2)。以下、E-LABの詳細について紹介する。

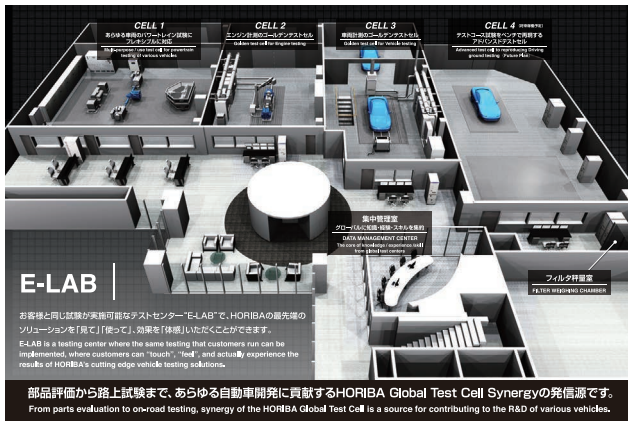


Figure 2 E-LAB全体配置図

セル1：マルチテストセル

コンセプト

テストセル1 (Figure 3) は、R&Dプロセスにおけるパワートレイン・駆動系・エンジンの評価テストを想定した、多目的のマルチテストセルである。近年の車両は、低燃費と低エミッションに加えて、静粛性や振動、加速性能など商品性の高さを確保する必要がある。そのため、動力源である内燃機関の改良のみならず、変速機など駆動系の改良もポイントとなる。CVT (無段変速機) やDCT (デュアルクラッチ変速機) に代表される新しいシステムの導入や、内燃機関と変速機の統合制御が重要な開発課題となっている。特にハイブリッド車(HV)においては、これに電動モーターや発電機、バッテリーなどのハードウェア、制御系が加わり、さらに複雑となっている。これら次世代自動車に対応した試験システムとして、HORIBAでは、2013年、京都本社の試験ラボ(#4ラボ)に3軸の駆動系評価試験装置を導入した。当時は、ラボ設備上の制約により、2軸や4軸などの内燃機関を含むパワートレイン試験には対応できず、内燃機関と駆動系とからなるパワートレインシステムの評価には必ずしも十分とは言えなかった。そこで、E-LAB立ち上げに伴い、駆動系単体、エンジン単体、モーター単体、あるいは駆動系とエンジン、加えて電動系との組み合わせといった、さまざまな供試体に対応する試験設備として、テストセル1を整備することにした。「マルチテストセル」という呼び名には、対応できるシステムの「多様性」と、ラボの

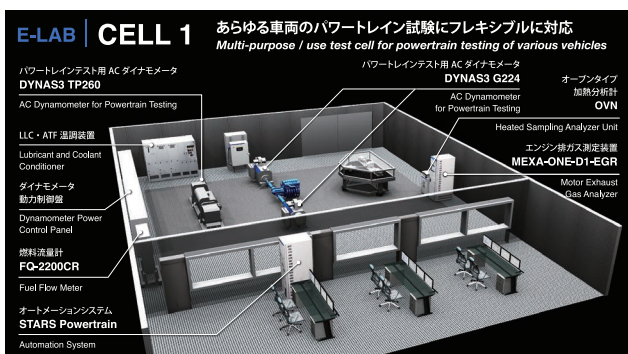


Figure 3 テストセル1全体図

運用方法や見せ方を状況に応じて変更できる「多様性」、これら2つの意味を含んでいる。

設備

特徴とポイント

Figure 4に、テストセル1の写真を示す。パワートレインの試験において、ドライブシャフトやプロペラシャフトを含んだパワートレイン試験においては、その供試体が搭載されている状態のレイアウトを再現することが重要であると考える。すなわち、FFの場合では、横置きエンジン(ないしは横置きバーチャルエンジン)に対応した3軸試験レイアウト、縦置きエンジン(ないしは縦置きバーチャルエンジン)に対応し、プロペラシャフトの軸長を確保できるFRレイアウト、1台のダイナモメータで試験可能なE-Motorのレイアウト、さらには、試験車両のホイールを取り外してダイナモメータへ直結する4軸独立実車試験のレイアウトなどである。これらの多様なレイアウトを考慮して、試験室として十分なスペースを準備するとともに、定盤サイズを大きく確保した。また、駆動系試験に加えてエンジン試験にも対応すべく、エンジンを運転するためのユーティリティ(燃料供給・排気ファンなど)、およびダイレクトサンプリング方式の排ガス計測システムも導入した。

システム構成

Figure 5に、テストセル1のシステム構成を示す。

- バーチャルエンジン用ダイナモメータ
高速低慣性ダイナモTP260型：1式
(駆動系単体評価でエンジンを模擬)
- ホイール用ダイナモメータ
高トルク型ダイナモDYNAS3 G224型：2式
(左右のタイヤを模擬)
- DC電源装置：1式
- バーチャルバッテリー：1式
(HV試験時に実バッテリーに代わってDC電源を供給、バッテリーの実特性の模擬も可能)



Figure 4 テストセル1機器設置の様子

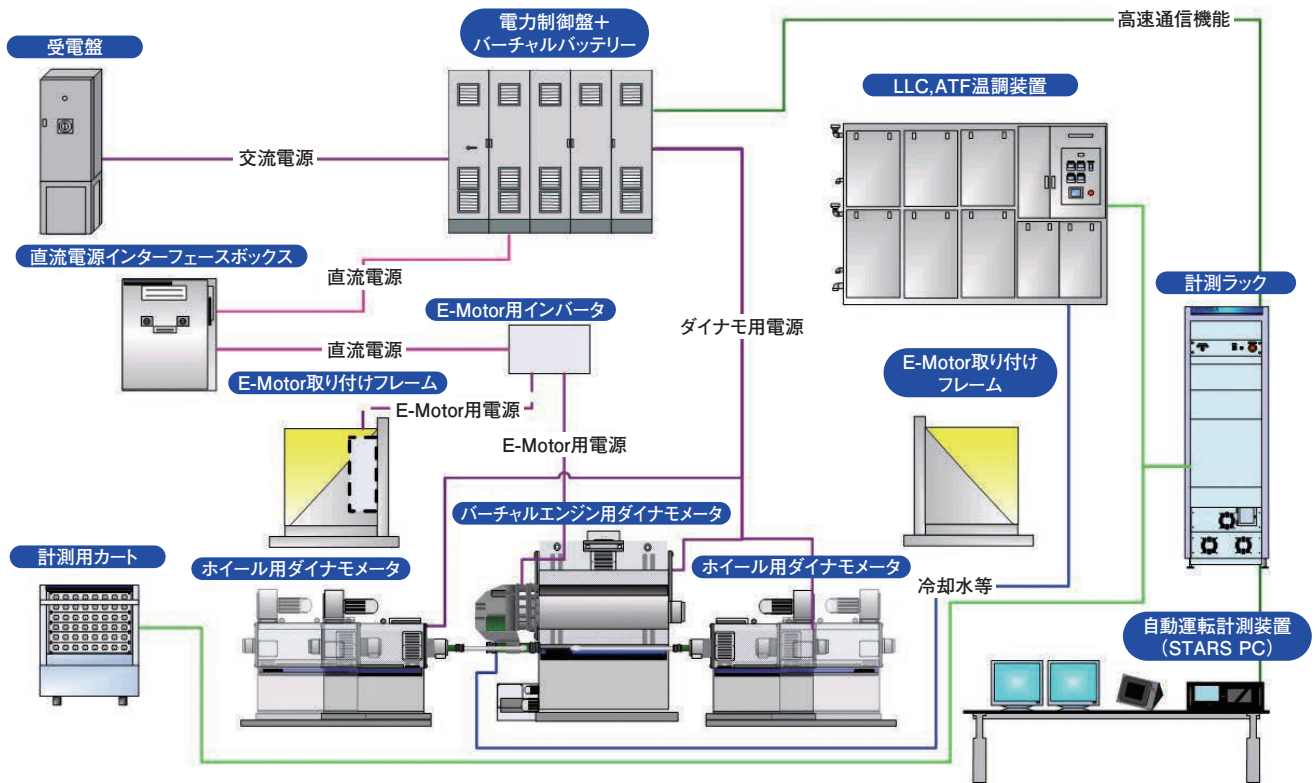


Figure 5 テストセル1のシステム構成図

- 自動運転装置STARS Powertrain：1式
(テストセル全体の制御，計測，解析)
- HILSシステム：1式
(自動運転装置と連携して動作，実存しない車体と路面の動きをコンピュータ上で再現し，実使用状況を模擬した計測が可能)
- 各種温調装置：1式
(トランスミッションオイル温調装置，エンジン冷却水温調装置，E-Motor冷却水温調装置)
- 燃料流量計FQ-2200CR：1式
- ダイレクト排ガス計測システムMEXA-ONE-D1-EGR：1式
(各成分のリアルタイムでの挙動，および触媒やDPFでの変化を解析)

アプリケーションの例

以下に，テストセル1で想定しているアプリケーションの例を紹介する。

1) 実路走行負荷の台上再現

バーチャル空間に仮想路面を作成し，試験システムと組み合わせることで，実路試験を想定した台上試験が実現できる。具体的には，HILS (Hardware In the Loop System) 上に車両ダイナミクスと，路面シミュレーションを実装し，リアルタイム通信技術を用いて，試験システムと組み合わせている。これにより，気象影響や路面状況など，実路では再現が困難な条件を考慮した台上試験アプリケーションが構築できる。

2) トランスミッション評価アプリケーション

3軸試験アプリケーションの例として，オートマチックトランスミッションの変速ショックの定量評価が挙げられる。HILSを用いることで，タイヤやサスペンション等の弾性系のシミュレーションと組み合わせ，コーナリング中の変速ショックやタイヤスリップの挙動を再現するなどのアプリケーションが構築できる。

3) ハイブリッドパワートレインシステムの評価

DC/DC電源装置と車載バッテリーを数理モデル化し，バッテリー挙動を模擬してDC/DC電源に車載時挙動や充放電状態を模擬させるアプリケーションソフトウェアを搭載し，さらにホイールダイナモメータを組み合わせることで，電動系システムのエネルギーマネジメントを評価することが可能となる。これにより，繰り返し精度の高いハイブリッドシステムの評価アプリケーションを構築できる。

テストセル1の運用

テストセル1の第一の使用目的は，導入した計測システムを利用して，車両開発に実際に貢献できるさまざまなアプリケーションを開発することである。駆動系やパワートレインシステムの開発はもちろん，効率的なコンポーネント適合やシステム評価に寄与するアプリケーションの開発も目指している。また，もうひとつの利用形態として，供試体の持ち込み試験や共同開発試験，設備納入前のトレーニングなど，社外の研究者・技術者の方々に，セル内の設備を使用いただくケースを想定している。そのため，テスト

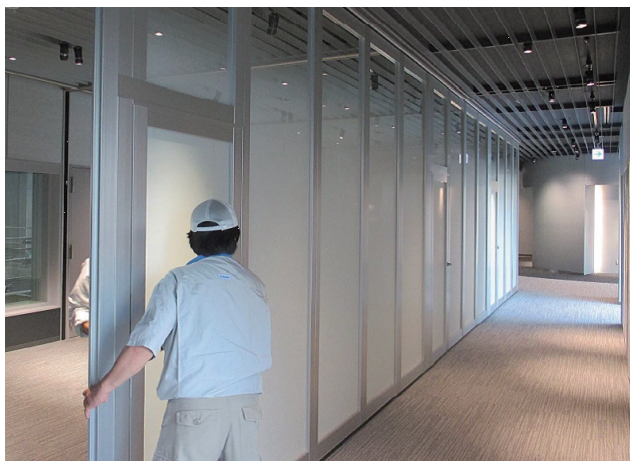


Figure 6 移動式パーティション

セル1では、情報のセキュリティ確保も重視した。具体的には、セルを3分割可能な構造とし、移動式のパーティションを設けている (Figure 6)。これにより、社内使用、持ち込み試験や共同開発、見学等、多くの使用目的の一つのセルで実現した。

テストセル2：ゴールデンエンジンテストセル

コンセプト

テストセル2 (Figure 7) は、重量車・ノンロードエンジン等、エンジン単体でのエミッション認証試験を想定している。昨今、世界各国で排ガス規制・燃費規制が強化されると同時に、使用設備や試験環境などの要件がより厳格に規定されるようになってきている。本テストセルは、エミッション認証試験に対して最高レベルの精度を保証するだけでなく、バラつき要因まで解析可能な「ゴールデンエンジンテストセル」を目指している。加えて、レギュレーションで定義される標準法と代替計測法との比較や、研究・開発段階で利用される解析的計測手法との比較なども目的としている。一方、エンジン適合の分野では、作業の効率化のためにエンジン適合ツールの最適化が不可欠である。本テストセルでは、さまざまなエンジンに対して最適な適合ツールを提供すること、そのためのカスタマイズ開発を行うことも目的の一つとしている。

設備

特徴とポイント

(1) 法規・規則

各国の重量車エンジン・ノンロードエンジン認証試験に対応するため、テストセル2には、以下の法規および規則に適合したシステムを導入した。

1) 重量車エンジン

- ・ US EPA 40 CFR Part 1065 (2015年2月改正)
- ・ 道路運送車両の保安基準の細目を定める告示 別添41 (2015年7月改正)

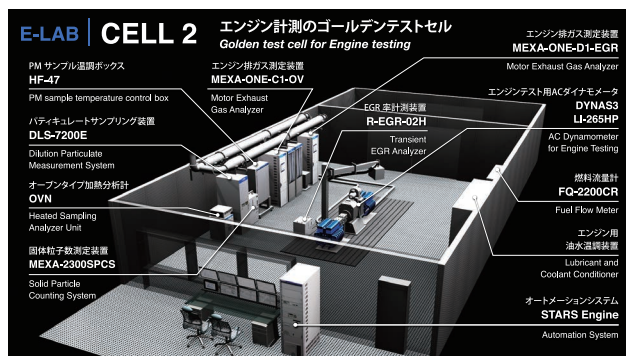


Figure 7 テストセル2全体図

- ・ Commission Regulation (EU) No.582/2011 (2014年2月改正)
 - ・ Global Technical Regulation No.4 (WHDC) (2015年6月改正)
- 2) ノンロードエンジン
- ・ US EPA 40 CFR Part 1065 (2015年2月改正)
 - ・ 道路運送車両の保安基準の細目を定める告示 別添43 (2014年1月改正)
 - ・ Directive 97/68/EC (2012年12月改正)
 - ・ Global Technical Regulation No.11 (NRMM) (2012年4月改正)

(2) 試験誤差の管理

本テストセルでは、試験における誤差要因を可能な限り排除するため、定点計測を実施している。これにより、計測データの経時変化や異常点の有無を確認し、計測システムの状態とエンジンの運転条件を厳格に管理している。また、試験再現性確保のため、エンジンの吸入空気温湿度やエンジン冷却水温・オイル温度が試験に応じて制御可能な温調装置を導入した。加えてインタークーラー温調装置も導入し、エンジン温調精度を向上させた。

(3) 計測対象

広範囲の試験を想定し、テストセル2では、ダイレクト・ダイリユートモダール・バッグ計測の3通りのサンプリング方法に対応している。主な計測対象は以下の通りである。

1) テールパイプエミッション：

従来のCVS法(バッグ法、ダイリユートモダール法)に加えて、排ガス流量計を用いたダイレクトモダールマス計測が可能。QCL法分析計・FTIR法分析計の導入により、 N_2O (GHG規制)や NH_3 などの新しい規制対象成分の計測にも対応している。将来的に、アルコール・アルデヒドの捕集システムも追加する予定。排ガス計測による、エンジン・後処理装置の評価が可能。

2) 粒子状物質：

全流希釈トンネル(フルトンネル)と分流希釈トンネル(マイクロトンネル)を導入したことにより、両手法の比較が可能。希釈段数比較や温度管理の有無および加熱法の違いによるPM測定値への影響などを評価できる。固体粒子数計測装置によるPN連続計測にも対応。

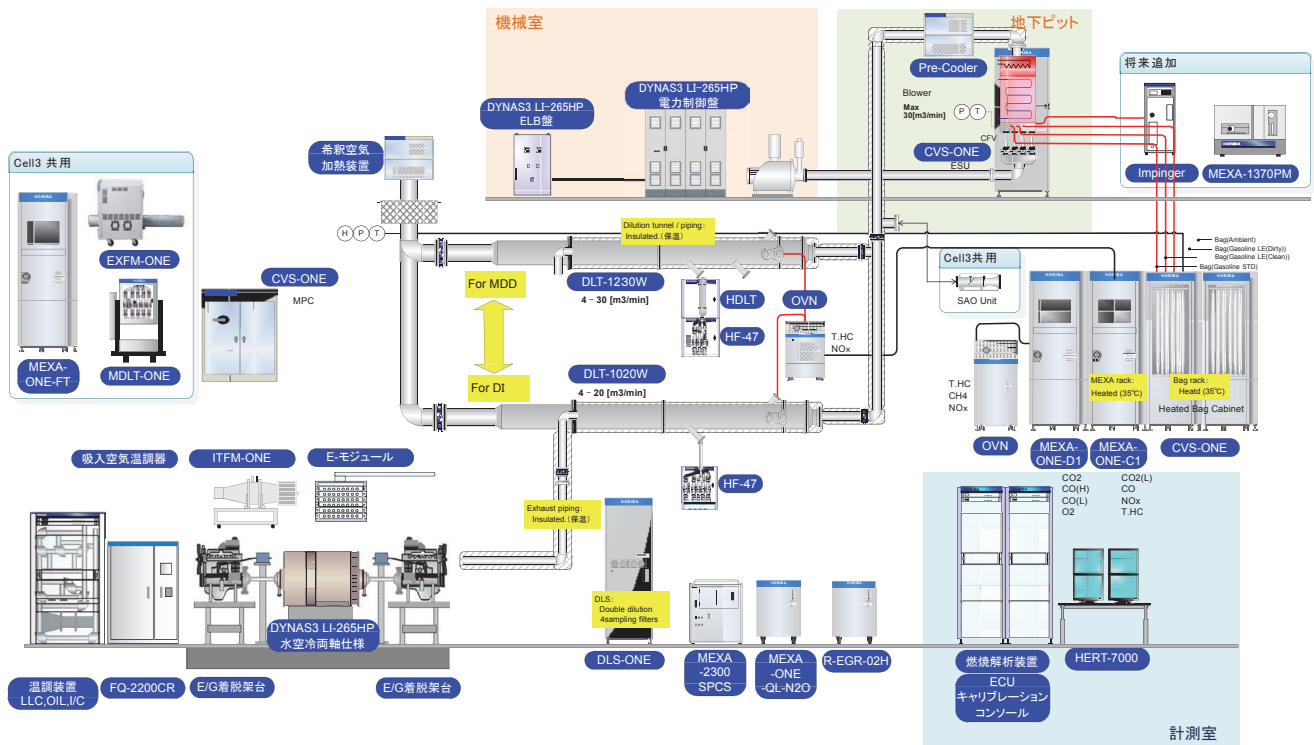


Figure 8 テストセル2のシステム構成図

3) 燃費：

以下の手法が可能。

- ・CVSによるカーボンバランス法
- ・排ガス流量計と空燃比計の組み合わせによるカーボンバランス法
- ・燃料流量計による直接計測

システム構成

Figure 8に、テストセル2のシステム構成を示す。

- エンジンダイナモメータDYNAS3 LI-265HP：1式
(前後にエンジン搭載可能な両軸タイプ、ガソリンエンジン・ディーゼルエンジンを切り替えて評価可、空水冷式)
- エンジン用クイックパレットシステム：1式
- 各種温調装置：1式
(エンジン用油水、インタークーラー)
- 自動運転計測システムSTARS Engine (HERT-7000)：1式
(テストセル全体の制御、計測、解析用。ロードロードシミュレーションにも対応)
- 燃焼解析装置：1式
- ECUキャリブレーションコンソール：1式
(STARSからの自動適合に対応)
- 排ガス計測装置：(Table 1参照)
(ダイレクト計測、ダイリユートモーダル計測、バッグ計測の3通りのサンプリング方法に対応)

Table 1 排ガス計測装置(テストセル2)

名称	型式	備考
エンジン排ガス測定装置	MEXA-ONE-C1-OV	ダイリユート
エンジン排ガス測定装置	MEXA-ONE-D1-EGR	ダイレクト
定容量希釈サンプリング装置	CVS-ONE-MV-HE	12バッグ
全流希釈PMサンプリングシステム	DLT-1230W/1020W DLS-ONE HF-47	フルトンネル
QCL方式N ₂ O分析計	MEXA-ONE-QL-N2O	
固体粒子数計測装置	MEXA-2300SPCS	ダイリユート
FTIR方式排ガス測定装置	MEXA-ONE-FT	
分流希釈PMサンプリングシステム	MDLT-ONE	マイクロトンネル
排ガス流量計	EXFM-ONE	
燃料流量計	FQ-2200CR	
吸入空気流量計	ITFM-ONE	

アプリケーションの例

以下に、テストセル2で想定しているアプリケーションの例を紹介する。

1) CVS代替手法の評価

従来のCVSバッグを用いた希釈測定法は、長年の実績に裏付けられた信頼性の高い測定法として認知されている。一方で、最近では、ガス分析計と排ガス流量計を組み合わせ、STARSでリアルタイムマス演算を行う直接計測(ダイレクトモーダルマス計測)の適用事例も増えている。ダイレクトモーダルマス計測とCVSバッグ計測との同等性が証明できれば、バッチ計測ではできない過渡

的なエミッション変化の評価が可能となる。さらに、瞬時燃費計測やオイル消費計測のアプリケーションを構築できる。

2) シャシ試験の代替となる過渡適合

ECU自動適合ツール(STARS Calibrate), CVS計測またはダイレクト計測, Road Load Simulation (RLS)を組み合わせることで、エンジン試験設備でシャシ試験を模擬することが可能となる。これにより、完成車の早期過渡適合評価のアプリケーションを実現できる。

3) Real Driving Emissions (RDE) 試験の再現

PEMSを用いたRDE試験を規制に導入しようという動きの中、実路走行時のエミッションを精度よく計測することが開発現場において急務となっている。エンジン試験設備で実路走行のシミュレーションが実現できれば、車両開発の最終段階を前倒して評価できる。

テストセル2の運用

テストセル2の重要な使用目的は、弊社の開発過程における排ガス計測機器や関連設備の評価である。ゴールデンテストセルとして、既存製品と、バージョンアップまたは新規開発した製品を相互チェックするための基準テストセルとしての役割を担う。したがって、このシステムの最優先課題は、法規改正や製品改廃等にかかわらず、要求される計測品質を維持、向上することである。さらに、認証設備相当の性能保証と設備管理がなされ、多様な計測手法が実現可能なことから、アプリケーション開発を行う場としても最適である。さまざま各計測手法の相関試験や計測誤差要因の解析結果から、ユーザに最適な計測手法を提供できると考えている。また、もう一つの大きな目的として、他のテストセル同様、供試体の持ち込み試験やトレーニングなど、社外の研究者・技術者の方々に、設備を使用いただくケースも想定している。これにより、装置の仕様決め段階で、最適な装置およびアプリケーションを確認できる。

テストセル3：ゴールデンシャシテストセル

コンセプト

テストセル3(Figure 9)は、完成車両を用いて行うエミッション認証試験を想定している。エンジン認証試験を想定したテストセル2と同様に、テストセル3も「ゴールデンシャシテストセル」をコンセプトとして掲げた。すなわち、「最新法規に準拠した計測システム」であることはもちろん、「誤差をも管理し再現性の高いデータが採取可能な計測システム」を目指している。ダイナモメータは低車速での精度にも優れた四駆タイプを設置した。これにより、排ガス試験のみならず、性能試験やEV・HVの低速を含む全域での性能評価も可能となっている。また、テストセル2と同様、計測方法自体の評価試験などにも利用できる。

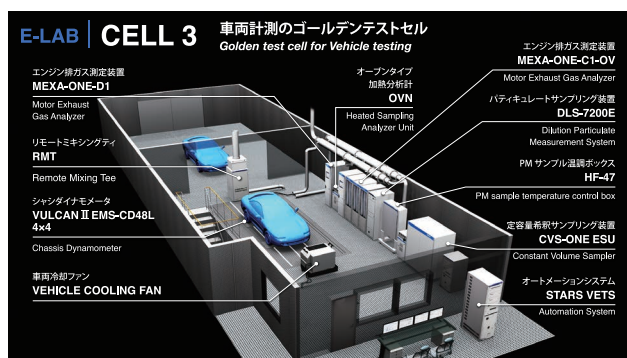


Figure 9 テストセル3全体図

設備

特徴とポイント

最新の法規・規則に準拠した設備要件を満たしつつ、誤差の低減、および運用効率向上を目指した設備を導入している。

(1) 法規・規則

テストセル3には、日欧米の最新の小型車排ガス規制に準拠したシステムを導入した。主な法規および規則は、以下のとおりである。

軽量車

- ・ US EPA 40 CFR Part 1066 (2015年2月改正)
- ・ 道路運送車両の保安基準の細目を定める告示 別添42 (2012年改正)
- ・ Commission Regulation (EU) No.692/2008 (2013年2月改正)
- ・ Global Technical Regulation No.15 (WLTP) (2014年3月改正)

(2) 誤差の管理

シャシ試験においては、計測装置の誤差低減・再現性向上はもちろん、排ガス発生源である車両の条件をいかに整え、同一条件で試験を行うかも重要である。Figure 10に、従来計測法(CVS法)における誤差の特性要因図を示す。分析機器関連だけでなく、車両固定具なども重要な誤差要因のひとつである。テストセル3では、車両固定条件による車両負荷のばらつきを抑えるべく、様々な固定方法を実現出来るよう、車両固定具を取り付けるルールを工夫している。また、タイヤ温度・ダイナモローラ表面温度の変化による負荷バラつきを低減するため、タイヤ冷却ファンを床下に設置している。

排ガス計測システムとしては、排ガスの導入配管長を最短にできる可動式ミキシングチャンバ(RMT)を採用し、水分凝縮による影響を抑えている。また、低濃度計測時に問題となる大気中のバックグラウンドを低減するため、希釈空気精製器(DAR)も設置されている。トンネルはデュアルトンネル(12インチ, 14インチ)とし、将来のトンネル加熱を念頭に置いたシステムとなっている。

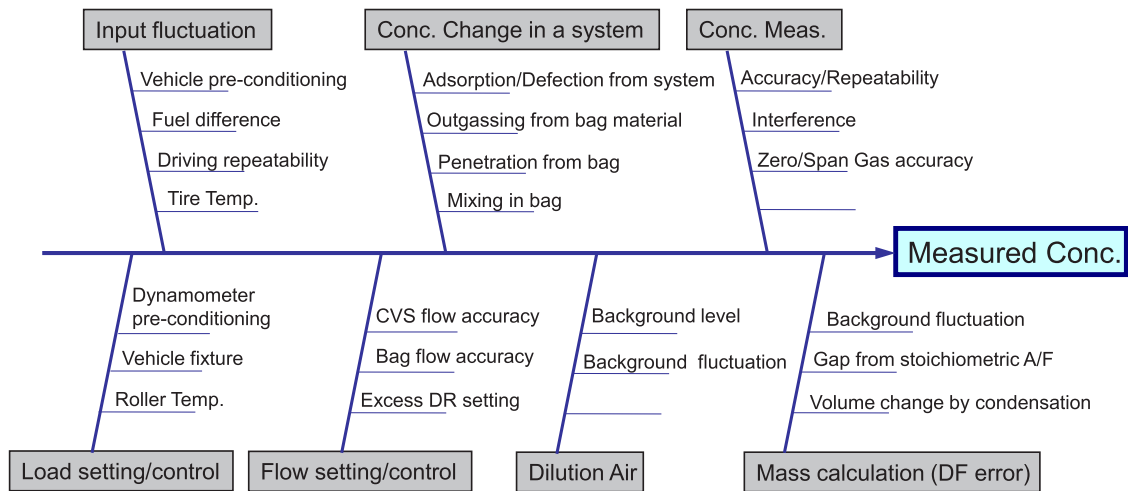


Figure 10 CVS法による排ガス計測誤差の特性要因図

(3) 運用効率の向上

大型の計測設備だけでなく、持ち運び可能な計測機器をワゴンなどに載せて車両近傍に設置することを念頭に、段差を限りなく無くし防滑塗装を施した床を導入している。さらにこれら機器の接続を容易にするために、床下に信号取合とAC電源取合を設けている。また、車両通路に設置する必要のある計測設備を床下に収納可能とし、車両の出し入れを容易にしている。

設備

Figure 11に、テストセル3のシステム構成を示す。CFR

Part 1066では、従来のCVSバッグ法によるマスエミッション算出に加えて、直接測定法、希釈積算計測法による測定も許容している。そのため、テストセル3も、セル2と同様、3種類のサンプリング手法による計測が可能となっている。

- シャシダイナモメータ VULCAN II : 1式
(四駆タイプ、前後輪単独最大230 kW)
- 自動運転ロボット ADS-7000 : 1式
(規制モードもしくは任意のモードを自動運転)
- 自動運転装置 STARS VETS : 1式
(テストセル全体の制御、計測、解析用。HV・PHVの試験シーケンスをはじめ、最新の規制に対応。車両データ

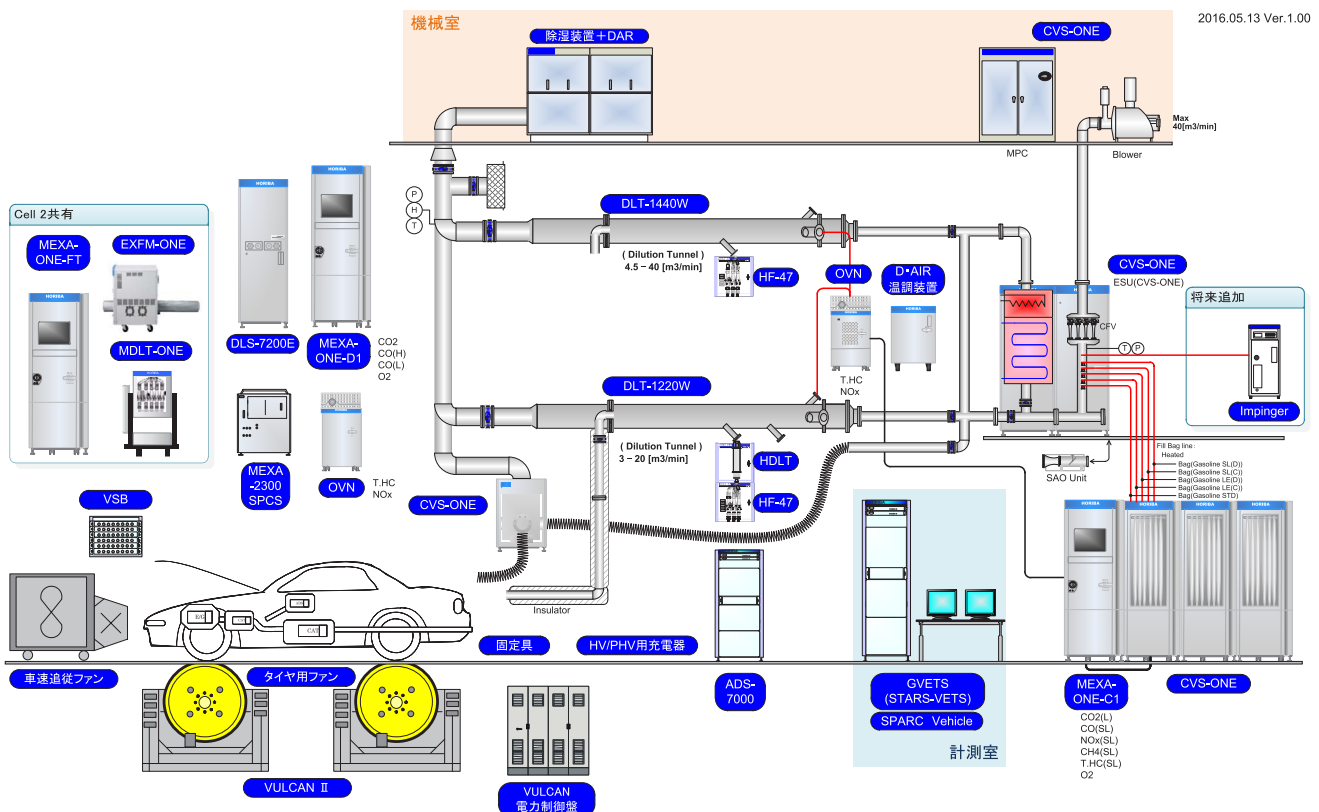


Figure 11 テストセル3のシステム構成

Table 2 排ガス計測装置(テストセル3)

名称	型式	備考
エンジン排ガス測定装置	MEXA-ONE-C1-OV	ダイリユート
エンジン排ガス測定装置	MEXA-ONE-D1	ダイレクト
QCL方式N ₂ O分析計	MEXA-ONE-QL-N2O	
固体粒子数計測装置	MEXA-2300SPCS	ダイレクト
希釈空気精製器	DAR-2200	
定容量希釈 サンプリング装置	CVS-ONE-MV-HE	16バッグ 熱交換器付
全流希釈PM サンプリングシステム	DLT-1230W/1430W DLS-7200E HF-47	フルトンネル
燃料流量計	FQ-2200CR	
PM秤量 クリーンチャンバ	CHAM-1000	

や試験結果のデータベース管理)

- 排ガス計測装置：(Table 2参照)
(SULEV計測用に希釈空気精製器(DAR)設置)
- ECUモニタ, パワーアナライザ, 急速充電器

アプリケーションの例

以下に、テストセル3で想定しているアプリケーションの例を紹介する。

1) LDV認証試験パッケージの評価

テストセル3を用いて、計測再現性を向上するための新たな機能や設備、運用方法の効果を実証する。それにより、代替計測手法も含め、各国の認証試験に最適なシステムを構築する。さらに、各計測機器を常に最高の状態に保つ、認証ベンチとしてのメンテナンス手法の有効性を実証する。

2) 実路走行の再現

欧州では、LDVの型式認証に実路排ガス(Real Driving Emissions: RDE)試験を導入することが検討されている。その場合、車両開発プロセスを前倒しするためには、実路で採取したデータを基に、シャシベンチでRDE試験を模擬する機能が求められる。テストセル3を用いて、実路走行状態の再現試験、並びに実路試験が困難な試作車両などの実路相当の試験をシャシベンチにて再現するため要素技術の開発とノウハウの蓄積を行う。さらに進めて、未走行路のシミュレーションをも実現する。

3) シャシベンチの開発用途アプリケーション

車両を構成するシステムの複雑化により、開発プロセスにおいて、各コンポーネントはもちろん、車両での評価項目も増加している。一方で、開発期間短縮の要求も強い。テストセル3では、研究・開発の効率化に寄与する各種アプリケーションの検証を行う。たとえば、OBD機能の評価のため、ECU・VCUなどの車両制御全体を司る制御ユニットのモニタリングと、排ガス計測システムが連動できるシステムを構築する。また、ハイブリッド車(HV)やプラグインハイブリッド車(PHV)では、燃費だ

けでなく電費も含めた省エネ化が大きな商品力となる。そのため欠かせない、エネルギー管理最適化アプリケーションを検証する。

テストセル3の運用

テストセル3の重要な使用目的は、テストセル2と同様、弊社の開発過程における排ガス計測機器や関連設備の評価である。新たな計測手法・運用方法、計測対象に対して、「何が」「どの程度」の誤差要因となっているのかを把握して、誤差を徹底的に管理するノウハウを蓄積する。それにより、より再現性の高いデータが得られるよう、システムを進化させていく。さらに、新たな計測対象・計測方法・運用の具現化をユーザ視点で実現する「場」として活用し、新たな価値を創造していきたい。

集中管理室

コンセプト

E-LABの集中管理室(Figure 12)は、予備のテストセル4を含む全テストセルを対象に、試験状況や運用効率を包括的に監視・管理できる機能をもつ。自動車・エンジンの計測や開発現場においては、試験設備や計測機器の高機能化・多機能化が求められている。監視対象・操作対象が増加する一方で、用途の複合化、管理形態の複雑化が進み、オペレータや管理者の負担が増加する傾向にある。また、試験設備の準備、操作ミスによる廻り試験に多くの時間を費やすなど、非効率的・非生産的な状況も生まれている。そのため、安全対策の意味も含めて、人為的ミスや非効率な作業が発生しないような設備の管理・運用が求められている。

特に、多数の試験ベンチや複数の建屋にまたがる試験設備を管理しながら研究開発・試験を行う場合、試験・実験オペレータの人数や時間、設備の稼働状況等を考慮し、効率的に研究・開発を実施していかなければならない。試験計画、設備のメンテナンス計画から、運用プロセスの管理も含めた、包括的な運用が求められる。各試験ベンチに設置している機器・設備やベンチ自体を安定的かつ安全に稼働

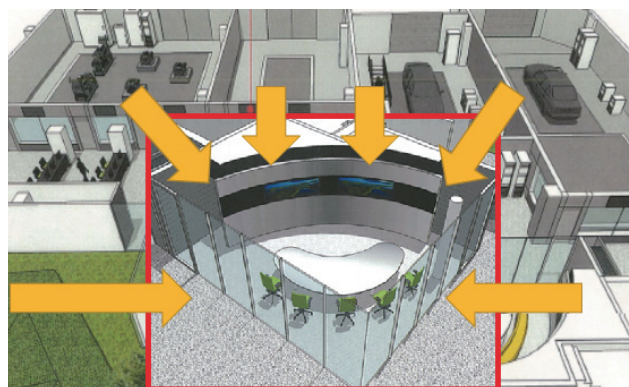


Figure 12 集中管理室

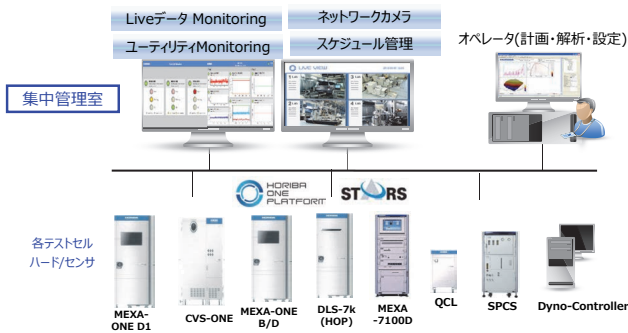


Figure 13 集中管理室システム概念図

させ、試験計画を包括的・効率的に運用していくためには、運用プロセスや計画に関わるデータを一括集中管理し、そのデータを有効活用できる仕組みが重要となる。小規模ながら複数のラボをもつE-LABでこのような管理機能の有効性を実証するのが、「集中管理室」導入の狙いである。集中管理室の持つ機能と将来性は、各テストセルの機能にさらに付加価値を与えていくものと考えている。

設備

Figure 13に、集中管理室のシステムのイメージを示す。テストセルにおける試験データの監視(Liveデータモニタリング)、現場状況の確認(ネットワークカメラ)、ユーティリティや消耗品の状況(ユーティリティモニタリング)などを一括管理する。E-LABの実際のテストセル数は4つであるが、数十式のテストセルを運用・管理することも想定したシステムとなっている。

機能

集中管理室の主な4つの機能を紹介する。

(1) Monitoring/Remote機能

- 集中モニタリング：カメラ, Liveデータ, 警告
- 集中オペレーション：リモート操作
- グローバルラボ：グローバルネットワーク

ラボの可視化、リモート操作に関する機能である(Figure 14)。横断的・直感的な可視化を行い、リアルタイム情報、機器のステータスを一元的に見ることができる。また、リモート操作により、集中管理室から各テストセル

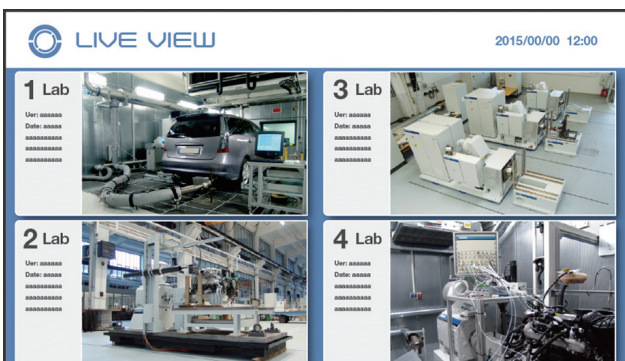


Figure 14 全ラボのネットワークカメラ

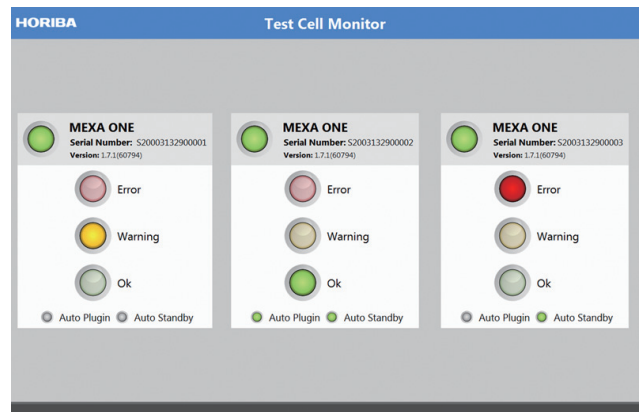


Figure 15 各装置の状態管理例

を保守することができる。さらに、海外グループ会社のラボにカメラを設置し、E-LABの集中管理室と繋がれば、ネットワークによる指示や状況確認などが可能である。

(2) Facility Management機能

- 準備・終了自動シーケンス
- 装置状態管理
- 予防保全(品質結果管理, 定期保守結果管理)

試験セルの暖機・終了の自動化、および、装置の状態監視に関する機能である(Figure 15)。計測装置や試験装置を、計測・稼働可能かつ性能・精度・機能性を保った状態に維持する。

(3) Test (Data) Management機能

- 試験データ・レポート・解析
- 試験データ再利用
- 試験データ共有(各試験レイヤ間)

試験データのレポートや解析した結果の管理、試験データの再利用、各試験レイヤ間でのデータ共有に関する機能である。試験レイヤにおいて試験データを共有化し、再利用が容易なデータフォーマットを構築して、扱いやすいインタフェースを定義する。

(4) Process Management機能

試験テストセルや建屋の枠を超えた管理・運用プロセスに関する機能である。ユーティリティや消耗品の発注、メンテナンス計画など、基幹システムとの連携により、さらに効率的な運用が可能である。

アプリケーションの例

集中管理室によって可能となるアプリケーションの例を紹介する。

1) 耐久試験における省人化と安全性確保

耐久試験時など、集中管理室からのネットワークカメラとリモート操作によって、試験テストセルごとに人を割り当てることなく、全体の監視・操作を実施する。同時に、安全管理システムと連携させ、インターロックを試験の実施方法に合わせてカスタマイズする。

2) 校正ガス管理システム

管理システムに分析計の校正ガス濃度値を入力し、集中

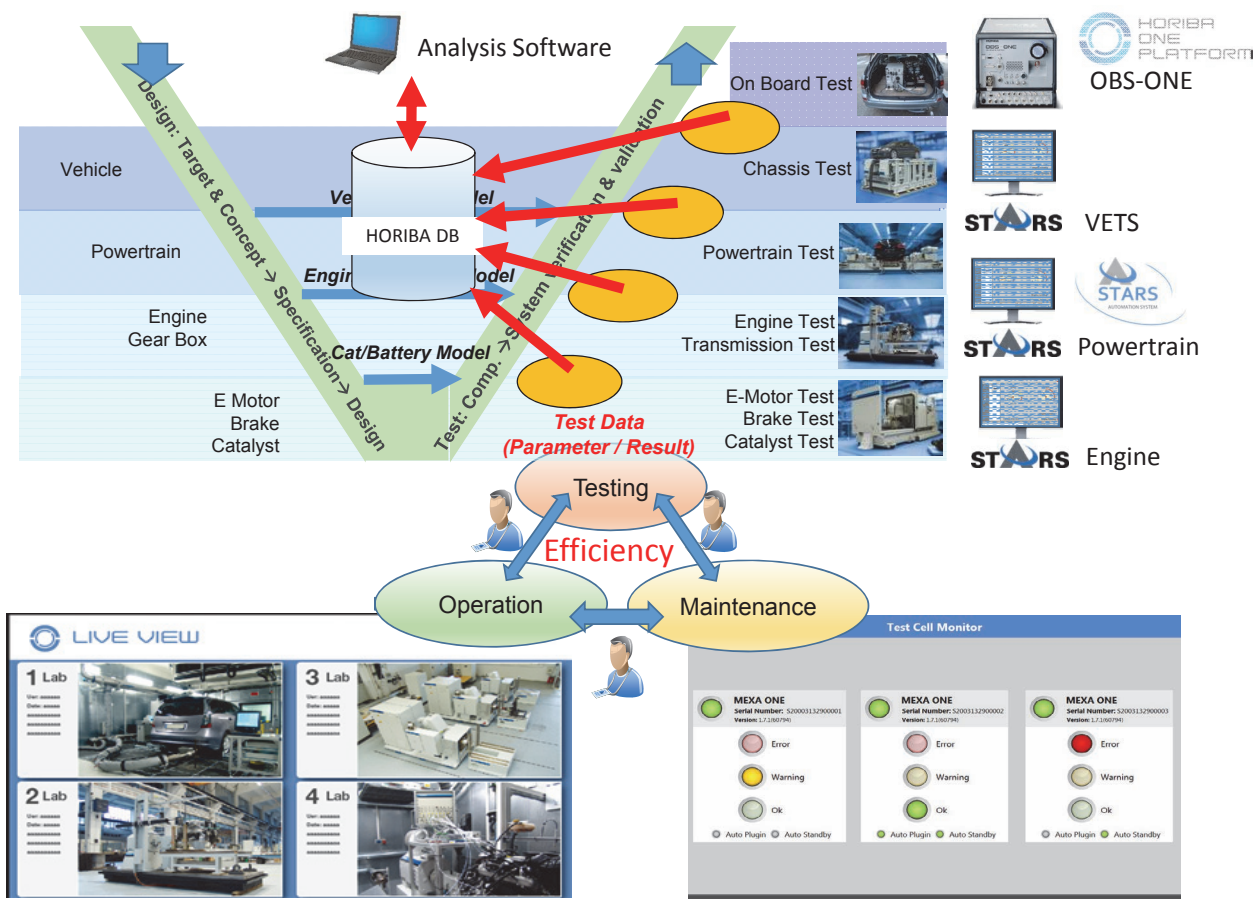


Figure 16 高効率な環境における運用プロセス構築

的に管理する。これにより、ポンベ入れ替え時には、対応する全分析計の設定更新を同期させることができる。また、ポンベの残圧から空になるまでの時間を予測し、その期限前にポンベの交換を行うことで、試験途中での校正ガス圧力低下や感度ドリフトなどのトラブルを回避できる。

3) WLTP/RDE試験後の解析・検証システム

EUの乗用車排ガス規制にて検討されているRDE試験では、そのデータ解析時に、シャシベンチでWLTP試験を実施した結果を使用する。集中管理室のデータ管理機能を用いて、対象車両におけるWLTP試験結果とRDE試験結果との比較が実施できる。また、集中管理室で管理する過去に取得したRDE試験データを利用して、シャシベンチやエンジン、パワートレイン系評価ベンチでRDE試験を再現させ、開発のフロントローディングや検証・解析の効率向上につなげる。

将来、オンライン通信にて、実路試験中のデータを机上にてリアルタイムに解析・評価することが可能になると予想される。路上再現精度や各シミュレーション技術の向上も伴って、世界各国で路上走行した計測データを日本のテストセルで再現する「グローバルテストシステム」も実現されようとする。

今後、有用なデータを包括的かつ適時に活用できるシステムをいかに構築していくかが重要になる。データを有機的に繋ぐことで、国境を越えて知識・知恵・人を繋ぎ、自動車開発・試験プロセスの効率化の一端を担っていきたい。そのための第一歩が、このE-LABでの「ほんまもん」の高効率な実験環境の実現にあると考えている。

おわりに ～HORIBAの自動車計測システムの未来～

さまざまな次世代自動車の実現にむけて、自動車関連技術は発展を続けている。計測技術もまた、自動車の機能進化と、「より高い精度で」計測したいというニーズに応えるために進化し続けることが求められている。たとえば、近い



駒田 峰之

Mineyuki KOMADA

株式会社 堀場製作所
開発本部 第1 製品開発センター
システムソリューション部



大槻 喜則

Yoshinori OTSUKI

株式会社 堀場製作所
開発本部 第1 製品開発センター
自動車計測開発部



佐藤 康貴

Yasutaka SATO

株式会社 堀場製作所
営業本部
MIRA プロジェクト



熊谷 樹

Tatsuki KUMAGAI

株式会社 堀場製作所
開発本部 第1 製品開発センター
システムソリューション部



伊藤 和哉

Kazuya ITO

株式会社 堀場製作所
開発本部 第1 製品開発センター
自動車計測設計部



伊藤 誠

Makoto ITO

株式会社 堀場製作所
営業本部 ATS プロジェクト

インタビュー

E-LAB建設プロジェクトを振り返って ープロジェクトマネジメントの視点からー

E-LAB Project

HORIBAの最新実験棟E-LAB建設プロジェクトの推進役であった米重芳一さん(生産本部 びわこ工場生産センターセンター長), 塩見和広さん(経営戦略本部 自動車計測事業戦略室), 柿野徹さん(営業本部 ATSプロジェクト)に、プロジェクトを振り返っていただきました。

E-LABへの期待

(編集部): 最初に、今回のE-LABまでの、試験ラボの歴史と言いますか、位置づけのようなものを教えていただけますか。

(米重): HORIBAが最初の排ガス分析計を販売したのは1965年、試験ラボを開設したのは1977年です(Figure 1)。「商品テストセンター」という名前のとおり、信頼できる排ガス分析計を開発するための、実車を用いた検証が目的でした。その後、1990年、京都本社の新棟建設にあわせて、1階フロアの半分を使って4つのテストセルと計測室からなる試験ラボが整備されました。設備は、当時の最新機器です。このラボは、「アクティブゾーン21」という呼び名で、HORIBAを訪問される多くのユーザーの見学コースになっていました。もちろん、開発中の計測機器や計測制御システムを実検証する役割も担っていて、これまで多くの製品がここで開発・検証され、最終製品として生み出されてきました(Figure 2)。

(編集部): エンジン排ガス分析計MEXAシリーズや、自動車排ガス試験システムVETSシリーズなど、みんなそうですね。

(米重): はい。ただ、アクティブゾーン21ができてから四半世紀の間に、自動車を巡る状況は一変しました。自動車はますます高機能になって、複雑化・統合制御化が進んでいます。それに伴って、排ガス試験への要求もどんどん変化しています。加えて、カール・シエンク社のDTS部門買収により、駆動系試験・ブレーキ



Figure 1 商品テストセンター

試験など、排ガス以外の自動車試験設備へ守備範囲を大きく広げてきました。その最新状況を反映させて、一から構築し直した試験ラボが、今回の「E-LAB」です。E-LABには、開発中製品の性能試験や検証、設備が実稼働しているショールームとしての機能以外にも、いろいろな思いや期待、将来への展開を盛り込んでいます。

次世代の自動車計測ラボを実現「アクティブゾーン21」

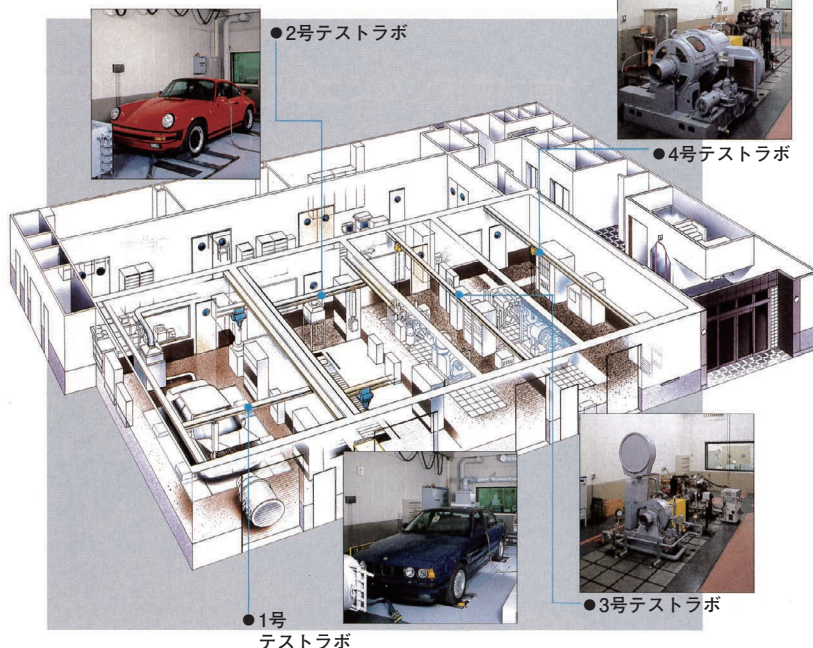


Figure 2 アクティブゾーン21

(編集部): たとえば, どのようなことですか?

(塩見): 我々が, 今, 注目しているのは「アプリケーション」です。これまでは, 開発された「製品」を組み合わせてみて何ができるかを考える, 製品中心の発想をしていたように思います。そうではなくて, 実現したいアプリケーションがまずあって, それに対してソリューションを考えて提案する。そういうアプローチでこそ, 新しい価値が生み出せるのではないかと考えています。装置の開発者側ではなく, ユーザ側の目線で見ると言ったらいいのかもしれませんが。E-LABは, そのようなアプリケーション志向の試行錯誤をするための, 格好の「場」になると期待しています。実際に手を動かして, 準備から結果を得るまでの過程も経験し, 得られた結果の解釈を色々な人と討議する, そのようなプロセスを実践することで, 本当に必要とされる製品を開発できるセンスが磨かれるのではないかと思います。

(編集部): 「人材」開発的な意味も期待している, ということですね。

(塩見): そうです。ですから, E-LABでは, 外部の方との共同開発や実験にも積極的に取り組みたいと考えています。自分たちの開発した装置がどのように使用されるのかを直接知ることは, 非常に大きな刺激になると思います。

(編集部): 共同開発実験を受け入れるとなると, それに耐えるだけの, 先進性と信頼性のある設備が必要だと思えます。それもE-LAB建設にあたって考えられているということですね。

(柿野): もちろんです。今回のE-LABプロジェクトは, アクティブゾーン21以来, 約20年ぶりのラボ大型投資です。そのため, 建設には, 要求される設備仕様に対してソリューションを提案し, 設備計画から運用開始までを一括して管理遂行する「プロジェクトマネジメント」の能力が不可欠でした。それぞれのテストセルに関して, 実現したい機能と役割を最適な品質・コスト・納期で実現するべく, 多くの関係者を巻き込みプロジェクトを立ち上げ推進してきました。

E-LABプロジェクトの特徴

(編集部): 「プロジェクト」として見たときの, E-LAB建設の特徴のようなものはどうですか? 柿野さんは, 普段の業務でも, HORIBAが受注したラボ建設のプロジェクトマネジメントを担当されていますよね。それとの違いはありましたか?

(柿野): 自社の設備であるE-LAB建設では, 我々自身がこのターンキープロジェクトの施主であること。当たり前の

E-LABプロジェクト 施主 + 受注者の設備計画を経験

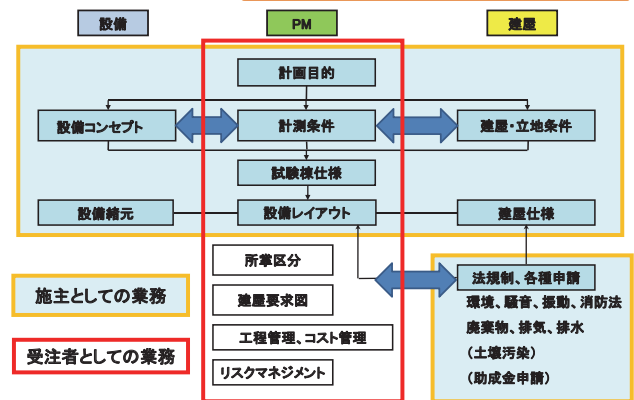


Figure 3 E-LABでのプロジェクトマネジメント業務範囲

ようですが, これが今回のプロジェクトの大きな特徴ですね。(Figure 3) 施主の立場といえますか, 建屋建築計画を立てる側の業務を直接体験できる貴重な機会となりました。若手エンジニアに経験を積ませるようにして, 技術の継承の機会にもできたと思います。また, 普段ならできない, 建設現場でのビデオやカメラ撮りなども可能でした。おかげで, 特殊機材を用いた据付作業を中心に, 進捗や仕上りの定点観測や実工事作業のノウハウやテクニックをビデオ撮影による記録で残せました。現場作業の担当技術者の大きな財産になると思います。

(編集部): さきほど, 「建築計画を立てる側の業務」といわれましたが, 具体的にはどんなものですか?

(柿野): いろいろあります。まずは, 建屋建設の目的を明確にしてコンセプトを立案すること。これがしっかりしていないとプロジェクトは成功しません。それから, 建物の基礎や建物そのものに関わる計画ですね。たとえば, 地盤調査をアレンジして立地条件を検証したり, 耐震構造を決めたり, ということです。建物の耐荷重の決定もそうですね。あとは, 官公庁への諸手続きでしょうか。助成金の申請や環境保全の対応も行ってきました。自治体の条例などの確認も重要です。大津市に自動車及びエンジン用ラボを建築するのは今回が初めてだったのですが, 大津市消防局の方々にご協力・ご指導いただき, 構造物や設備を大津市の火災予防条例に適合できました。

E-LABのレイアウトの工夫

(編集部): E-LABへの期待に応えるために, レイアウトにはいろいろ特徴があると思うのですが, 特に工夫されたのはどんな点でしょうか?

(塩見): 一番重視したのは, パワートレイン開発のさまざまな試験に対応できるレイアウトにすることです。今現在だけでなく, 将来のパワートレイン開発をも見越した設備

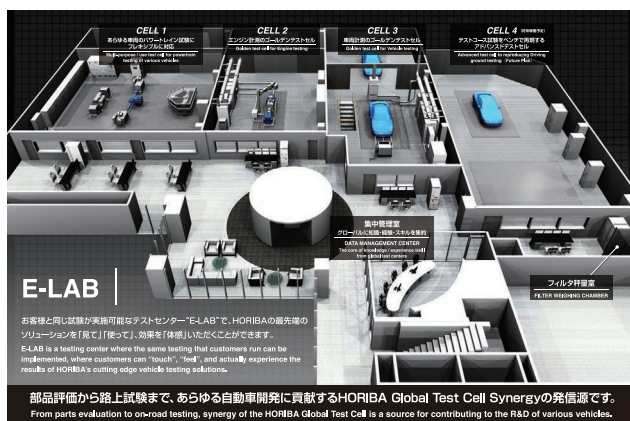


Figure 4 E-LAB全体配置

となるよう、関係者で知恵を絞りました。パワートレイン開発のさまざまな要求に対応できることが、新しい付加価値の創出につながるはずですから。

(編集部)：将来を見越したレイアウトがどんなものか、大変興味があるので、もう少し具体的に説明いただけませんか？

(塩見)：わかりました。まず、テストセル1は、主に駆動系・パワートレイン試験用です。このセルでは、パワートレイン試験の多様性に対応できるよう、「マルチユースのテストベンチ」を目標にしました。たとえば、試験室の広さを普通のエンジンテストセルの約3室分確保しました。これだけのスペースがあれば、エンジン・電気・ハイブリッドなど、さまざまなレイアウトの試験に対応できます。次に、テストセル2は、エンジン排ガス規制試験をメインとしたベンチとして設計しました。標準的な従来計測法の機器を揃えるのはもちろんですが、今後提案される代替法の評価もしていきたいと考えています。ですから、追加の分析計の設置スペースとして地下室を設けたり、ガソリン・軽油、2種類の燃料を常時供給できる地下タンクを設置したりして、対応できる試験の幅が広がるように配慮しています。テストセル3は実車の排ガス規制試験をメインとしたテストセルです。テストセル2と同様の試験・開発をシャシダイナモ試験に対して行うことが可能です。特にシャシダイナモメータは低車速での精度にも優れた4駆タイプを設置しているため、排ガス試験のみならず性能試験やEV、HVの低速での制御の確認も可能です。集中管理室では、大型モニタを2面設けて、管理すべき設備や試験の情報をマルチ画面で写し、試験環境・管理の「見える化」に役立つと思います。

(柿野)：テストセル4は、将来のための拡張スペースです。2階の機械室にも設備拡張用スペースを確保し、また各セルの天井を高くしておくことにより、将来、新たな計測技術設備が必要になった時に、すぐに導入や入れ替えができるようにしています。10年後、20年後でも、最先端の技術

を体感できるテストラボであり続けるのが、大きな目標ですね。

(編集部)：E-LABには、HORIBA製品のショールームとしての役割もありますよね。それもレイアウトには影響しましたか？

(米重)：E-LABのレイアウトのもう一つの特徴が、まさにそれなんです。E-LABでは、HORIBAブランドの個々の製品だけでなく、空調設備などユーティリティ設備も含めたラボ全体を見ていただきたいと考えました。そのために、見学の際の「動線」がオープンであることを重視しました。たとえば、シャシ試験用のテストセル3では、シャシダイナモメータの本体を間近に見られるよう、地下ピット見学の階段を設けてあります。なかなか見る機会のないものですから、興味を持っていただけるのではないかと思いますよ。

(柿野)：ショールームとして作りあげていくのですから、建物の内装にも特にこだわりました。各テストセルの観測ガラス窓は強度を確保した上で最大限大きくしましたし、計測室の床にはカーペット材を使用して、天井にスポットライト式の照明を設置しました。試験室内の壁面も、美観を保ちつつ、騒音を吸収する壁材を採用しました。この壁材は、ユーザの建物にもお勧めできていると思います。また、E-LABでは、共同開発試験や受託試験も積極的に行っていく予定です。ですから、「オープンな空間であること」という要求とは相反して、「秘密保持が可能なこと」も大切です。その解決策として、各セルのオペレーションエリアを区切るための可動式ガラスパーティションを設置したのも工夫のひとつですね。

E-LABプロジェクトにおけるQCD管理

(編集部)：プロジェクトマネジメントでは、QCD、つまり、品質、コスト、納期を最適に管理することがポイントだと思いますが、そのために特に重視された点はありますか？

(柿野)：では、品質から順番にお話しします。「品質」と一言で言っても実はいろいろな要素があるのですが、プロジェクトマネジメントの立場で特に注意すべき点は、まずは「安全品質」ではないかと思っています。E-LABでは、安全品質の確保のため、さまざまな機構を取り入れました。設備の耐震固定、試験装置の稼働時の振動吸収、危険物取扱室の換気などがそうです。それから、緊急警報時や災害発生時の対応方法もポイントですね。自動遮断やインターロックなど設備で対応する部分と、人が判断して対処する部分をより明確にして運用する、そのような運用方法の提案・実現も安全品質の重要なポイントです。E-LABで試みた品質安全の取り組みは、今後手掛けていく試験設備にも活かして

いきます。次に、「コスト」については、初期導入費用とランニングコストの両面を考えました。初期費用の抑制策として、導入候補にあがった設備・ユーティリティを、すぐに必要なものと、そうでないものに「仕分け」しました。最初に揃えるのはすぐに必要なものだけにし、急がないものは、必要になった時にその都度導入するというやり方です。さきほどご説明した設備拡張用スペースを使って、目的にあった最新の開発製品を導入していくつもりです。

(塩見)：今回導入した設備の一部は、アクティブゾーン21で稼働していた研究用設備です。ただし、手を入れて、最新の計測手法に対応できるようにバージョンアップしています。このような既存品の有効活用も、コスト削減策の一部ですね。

(柿野)：ユーザからご用意いただいたプロジェクトでも、同じように既存設備を利用する場合があります。それから、ランニングコストの削減としては、試験室の空調設備の冷熱源機に、高効率の空冷モジュールチラーを採用しました。負荷に応じて運転台数および出力を制御することで、消費エネルギーを節約できます。また、温熱源には蒸気ボイラーを利用しています。電気ヒーター方式よりも電力デマンドが抑制できるので、受変電設備のランニングコスト削減につながります。

最後の「工程」の管理ですが、これについては、建築図の作成段階から、毎週建屋建築の定例会に参加して、建築図にすべての設備に合わせた施工仕様を盛り込みました、そして、建築施工と並行して設備を導入することにより、計画全体の工期短縮を図りました(Figure 5)。今後この手法を磨き上げ、設備メーカーであるHORIBAがプロジェクトをマネジメントする最大のメリットを打ち出していきたいと思えます。実績をどんどん積み重ねて、ユーザからの「建築の構想から設備の稼働まで、すべてHORIBAに任せたい」とのリクエストを増やしていきたいですね。また、現場での製品据え付けでは、「置きボン」によって工程遵守に努めました。「置きボン」というのは、設備を据え付けたらボンと立ち上がるイメージを表現したもので、具体的には、現場への設備納入前に、製品仕様、据付け試運転の段取りを決めていく方法のことです。これにより現場での工程負荷を削減し工期短縮が図れます。「置きボン」は製品や設備仕様ごとにいろいろな方法が考えられるので、今後も継続して発展させていきます。

■開発・実験棟建築における全体工期の最短化

- 建築と同時に付帯設備の導入工事を行うことによる工程短縮
- 関連業者との窓口を一本化し、全ての検討を即座に行うことによる工数削減

(工程短縮の一例)

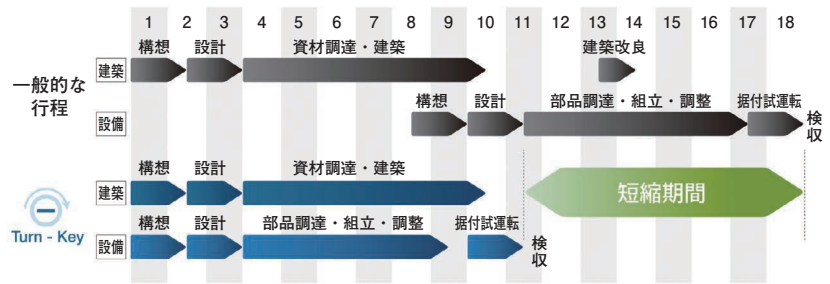


Figure 5 全体工期短縮への施策

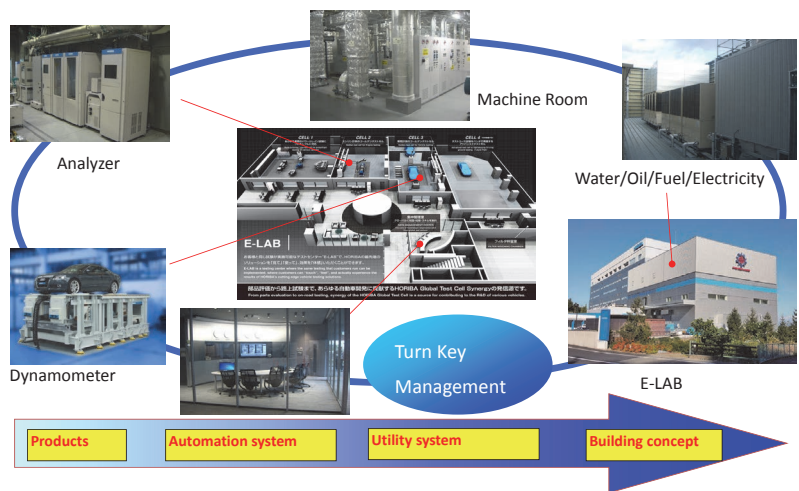


Figure 6 E-LABフルターンキープロジェクト

プロジェクトマネジメントから見た E-LAB建設の意味

(編集部)：最後に、今回のE-LAB建設プロジェクトは、「プロジェクトマネジメント」からみて、どんな意味がありましたか？

(柿野)：E-LAB建設のプロジェクトを実行したことにより、ラボ建設を発注する側の立場というものを十分に体感できました。ターンキープロジェクトの計画を練る際に、これまでよりも、設備を使用される方により近い視点で考えることができるようになったと思います。この経験を最大限に活かして、最適な「トータルソリューション」を提供できるプロジェクトマネジメントを実践していきます(Figure 6)。

(編集部)：本日はどうもありがとうございました。

インタビュアー：Readout編集部 関 秀世, 井上 香



米重 芳一

Yoshikazu YONESHIGE

株式会社 堀場製作所
生産本部 びわこ工場生産センター
センター長



塩見 和広

Kazuhiro SHIOMI

株式会社 堀場製作所
経営戦略本部 自動車計測事業戦略室
マネジャー



柿野 徹

Toru KAKINO

株式会社 堀場製作所
営業本部 ATS プロジェクト

車載型排ガス計測システムOBS-ONEシリーズ

On-Board Emissions Measurement System OBS-ONE Series

大槻 喜則

Yoshinori OTSUKI

青木 伸太郎

Shintaro AOKI

近藤 謙次

Kenji KONDO

度重なる排ガス規制の強化にもかかわらず、特に大気環境中の粒子状物質および二酸化窒素の低減が遅れている。その原因の一つとして自動車排ガス測定試験室における排出量と実路排ガスの排出量であるRDE (Real Driving Emission)との乖離が指摘されている中、実走行条件下における排ガス計測に注目が集まっており、認証試験でもPEMS (Portable Emissions Measurement Systems)と呼ばれる車載型排ガス計測システムの導入が検討されている。このような背景から、新たにOBS-ONEシリーズを開発し、車載計測市場の要求にタイムリーに応える製品ラインナップを提案した。本稿では、OBS-ONEシリーズの製品と技術の概要を紹介するとともに、車両の実走行条件における排ガス測定に適用した例を示す。

Reduction in pollutants such as particulate matter and nitrogen dioxide in the environment is behind the schedule in spite of repeated reinforcement of emission regulations. Because it is pointed out that there is the difference between real driving emissions (RDE) on the road and emissions during regulatory defined test cycles in test laboratories, emission measurement during real driving conditions is attracting attention. Introduction to regulatory defined measurement procedures of the portable emissions measurement system (PEMS) which can determine vehicle emission on the road is currently scheduled. In order to meet such requirements from on-board emissions measurement markets timely, OBS-ONE series has been developed. The concept and technical outline of OBS-ONE series will be introduced. Examples of application to RDE measurement will be explained as well.

はじめに

新車の排ガス認証試験では、試験室内に設置されたシャシダイナモメータ上に車両を固定し、決まった運転パターンを走行して排ガス量を測定する。この方法は試験条件をそろえて再現性を確保できる一方、実路を走行しているときの排ガスの状況をどこまで反映しきれるのか、という点が懸念されてきた。これに対し、実路走行中の排ガスを計測するために開発されたのが、車載型排ガス計測システム (PEMS: Portable Emissions Measurement System) である。

PEMSは、当初、リアルワールドの排ガス実態調査など、研究目的で主に利用されていた。しかし、最近では、排ガス規制にもPEMSを採用する動きが広がっている。まず、2007年、米国における使用過程の重量車エンジンの排ガス

検査に、NTE (Not-to-Exceed)ゾーン^[1]と呼ばれる特定のエンジン条件下での排ガス量を、PEMSを用いて評価するNTE試験が導入された。この米国の使用過程車検査では、ガス成分のみでなく、粒子状物質 (PM) のPEMS計測も要求される。続いて2013年、EUにおいて、使用過程の重量車エンジンの検査にPEMSが採用された。EUの試験方法^[2]は、定められた走行区間の排出率を連続的に測定するMAW (Moving Average Window) 法である^[3]。さらにEUは、2016年より、小型車の新車排ガス認証試験項目として、PEMSを用いた実路走行排ガス (Real Driving Emissions: RDE) 試験を追加した。2017年9月からは、このRDE試験に窒素酸化物 (NOx) および排出粒子数 (PN) の基準値が設けられ、本格的にRDE規制が開始される予定である^[4]。

HORIBA Gr.では、このようにPEMSの用途が広がるのに合わせ、車載型排ガス測定システムOBSシリーズを順次製

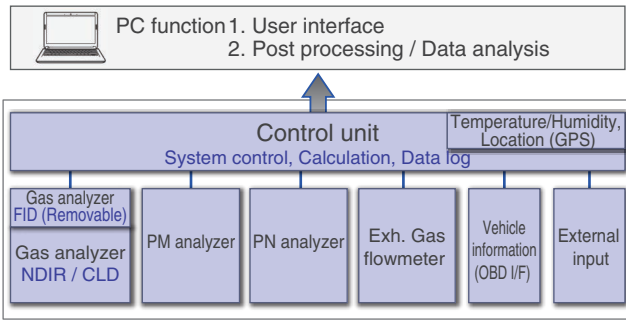


Figure 1 System configuration of OBS-ONE

品化してきた。その最新機種であるOBS-ONEシリーズでは、現在の車載計測市場の要求に応える製品ラインナップを提案している。本稿では、OBS-ONEシリーズの概要を紹介するとともに、実路走行試験に適用した例を紹介する。

OBS-ONEシリーズの概要

全体構成とコンセプト

OBS-ONEシリーズは、従来機に対してより小型化と軽量化を進め、仕様・性能とも向上させた。Figure 1に、OBS-ONEシリーズのシステム構成を示す。OBS-ONEシリーズでは、認証から研究用途まで幅広く応用できることを目的に、機能毎にモジュール化を図った。ガス分析計モジュールOBS-ONE-GS、PM計測モジュールOBS-ONE-PM、PN計測モジュールOBS-ONE-PN（開発中）など、必要なモジュールの組み合わせにより、軽量車から重量車までの実路走行試験に適用できる。

Figure 2に、車内および車外へのOBS-ONEの搭載例を示す。各国・各地域で異なる道路条件や関連法規にあわせ、最適な搭載方法を選択できるようになっている。また、PEMSでは、試験毎に車両への取付け・取り外し作業が必要となる。OBS-ONEは、配管・配線のコネクタ類にワン

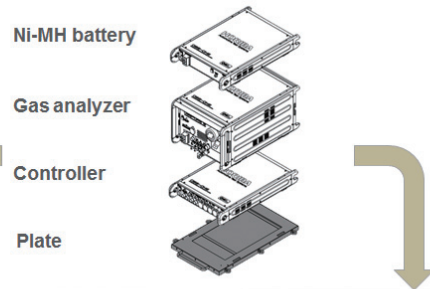


Figure 2 Installation of PEMS on the vehicle



タッチタイプを採用し、作業時間の短縮と接続ミスを防止している。

また、OBS-ONEでは、オペレータの使い勝手にも配慮した。採取データの演算やレポートを提供する基本機能に加え、実路走行中のデータの有効性をリアルタイムに判断する機能や、ドライブレコーダ等のビデオ画像データとのリンクにより、エミッション解析のサポート機能も充実させた。

OBS-ONE-GSモジュールの構成

Figure 3にガス分析用モジュールOBS-ONE-GSの外観を、またTable 1に仕様の概略を示す。すべての分析計は加熱仕様であり、湿潤(Wet)状態の濃度測定が可能である。サンプルの水分(H₂O)状態そのままでの測定であることから、低温によりテールパイプで結露が発生するような条件でも、正確にガス濃度を知ることができる。除湿器が不要であるため、分析計の応答性への影響もなく、二酸化窒素

Table 1 Specifications of PEMS for gaseous components

Model		OBS-ONE (for RDE-LDV)	OBS-ONE (for HDV or R & D)
Exterior			
Measurable comp.		CO / CO ₂ / NO _x / NO / NO ₂	CO / CO ₂ / NO _x / NO / NO ₂ / THC
Detection method		Heated NDIR, CLD×2	Heated NDIR, CLD×2, FID
Response time (T ₁₀₋₉₀)		Within 2.0 s	Within 2.5 s
Power consumption		Apr. 200 W (with 2 m tube)	Apr. 450 W (with 5 m tube)
Dimension [mm]		350 (W) × 330 (H) × 470 (D)	350 (W) × 460 (H) × 470 (D)
Weight	Analyzer	Apr. 32 kg (with Control Unit)	Apr. 45 kg (with Control Unit)
	Battery	Apr. 13 kg (25 Ah) for 2.5 hours	Apr. 64 kg (100 Ah) for 4.5 hours
	Cylinder	—	Air. Mix span, H ₂ / He
Total weight		Apr. 45 kg Inc. Ni-MH battery & PC	Apr. 115 kg Inc. Lead battery & PC (w/o cylinder)

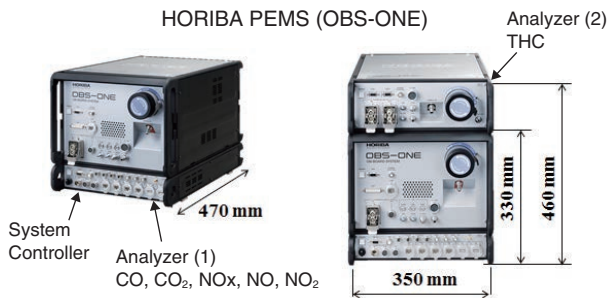


Figure 3 Outline of PEMS for gaseous components

(NO₂)のような水溶性成分のロスも無視できる^[5]。

Table 2に、OBS-ONE-GSで使用している測定原理を示す。一酸化炭素(CO)と二酸化炭素(CO₂)は非分散形赤外線吸収法(NDIR: Non-Dispersive Infrared)、一酸化窒素(NO)とNO_xは化学発光法(CLD: Chemiluminescence Detection)、全炭化水素(THC: Total Hydrocarbons)は水素炎イオン化法(FID: Flame Ionization Detection)でそれぞれ測定される。排ガス中のH₂Oの干渉影響を受けるガス成分は、NDIRで同時に検出しているH₂O濃度を使って補正される。

CO, THC, NO_x, CO₂の排出質量は、濃度、排ガス流量及び各成分の密度から算出する。Equation 1に、瞬時排出質量 $m_x(t)$ [g/s]の導出式を示す^[6]。

$$m_x(t) = c_x(t) \times 10^{-6} \times q_{mew}(t) \times \frac{1}{60 \times 1000} \times \gamma_x$$

..... (1)

ただし、 $c_x(t)$ [ppm]はガス成分の瞬時濃度、 $q_{mew}(t)$ [L/min]は瞬時排ガス流量、 γ_x [g/m³]はガス成分の密度である。走行距離当りの排出量 M_{x_total} [g/km]は、Equation 2で計算する。

$$M_{x_total} = \sum (m_x(t) \times t_{interval}) \times \frac{1}{L}$$

..... (2)

ここで、 $t_{interval}$ [s]はデータのサンプリング周期、 L [km]は走行距離である。

Table 2 Detection principle of gaseous components

測定成分	検出原理	特徴
NO, NO _x	加熱型Dual-CLD	<ul style="list-style-type: none"> 除湿器を使用せず、高速応答を確保 小型、少サンプル流量
NO ₂	(Dual-CLDより算出)	<ul style="list-style-type: none"> 除湿器を使用しない為、水分溶解によるNO₂損失が無い
CO	加熱型NDIR	<ul style="list-style-type: none"> 除湿器を使用せず、高速応答を確保 同時測定しているH₂Oで補正している
CO ₂		
THC	加熱型FID	<ul style="list-style-type: none"> 減圧タイプを採用し、高速応答を確保 191°CでTHC測定することにより、HC吸着が発生しない コンパクトデザイン

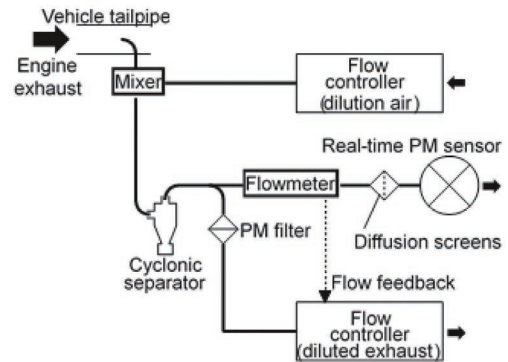


Figure 4 Configuration of PEMS PM

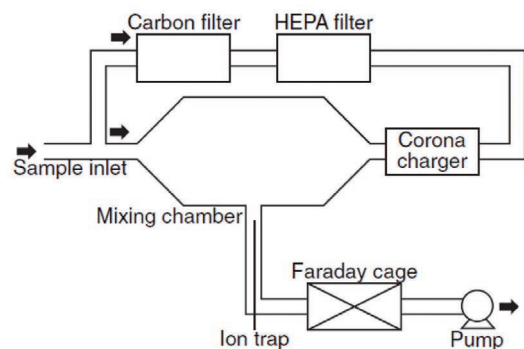


Figure 5 Configuration of diffusion charger Sensor

OBS-ONE-PMモジュールの構成

PM計測の従来法であるフィルタ重量法は、バッチ測定法であるため、先に述べたNTE法など実路走行試験にそのまま適用するのは難しい。OBS-ONE-PMでは、すべてのNTEイベント又は実路走行試験全体でフィルタ捕集されたPM質量でPMセンサを校正することで、PMの瞬時排出量をリアルタイムに測定できる^[7]。

Figure 4に、OBS-ONE-PMの構成を示す。希釈排ガスをフィルタに捕集するとともに、その一部を拡散荷電センサ(DCS: Diffusion Charger Sensor)にサンプリングし、リアルタイムのPM濃度を測定する。Figure 5に、DCSの構成を示す。DCSは、PMの質量濃度を直接測定するセンサではないため^[8]、試験毎にフィルタで捕集されたPMの質量によって校正する必要がある。DCSの指示値 $c_{DCS}(t)$ [mm/cm³]を質量濃度に変換する係数 k_c [g/mm]は、Equation 3で求められる^[9]。

$$k_c = \frac{M_{PM}}{\int_0^{t_t} q_f(t) \cdot c_{DCS}(t) dt}$$

..... (3)

ただし、 t_t [s]はPMをフィルタに捕集した時間、 M_{PM} [g]はフィルタに捕集されたPMの質量、 $q_f(t)$ [L/min]はPM捕集フィルタを通過する希釈排ガスの瞬時流量である。この換算係数を使えば、排ガス中のリアルタイムのPM瞬時排出量 $m_{PM}(t)$ [g/s]がEquation 4で得られる。

Table 3 Specifications of PEMS PM



Model	OBS-ONE-PM
Exterior	
Measurable comp.	Particulate matter
Detection method	Gravimetric filter and diffusion charger sensor
Dilution control	Partial flow dilution method - Proportional sampling - Constant dilution ratio sampling
Diluted exhaust flow	15 L/min
Power consumption	Apr. 250 W (with 6 m heated transfer tube)
Dimension [mm]	350 (W) × 470 (D) × 460 (H)
Weight	Apr. 45 kg

Table 4 Specifications of PEMS PN

Model	OBS-ONE-PN
Exterior	
Measurable comp.	non-volatile particle number
Detection method	Condensation particle counter
Response time (t ₁₀₋₉₀)	< 3.5 s
Delay time	< 5.0 s
Total dilution factor	100 (primary: 10, secondary: 10)
Power consumption	Apr. 150 W (with 0.75 m heated transfer tube)
Dimension [mm]	350 (W) × 470 (D) × 225 (H)
Weight	Apr. 20 kg

$$m_{PM}(t) = k_c \frac{\int_0^{t_t} q_{mew}(t) dt}{\int_0^{t_t} q_{mdew}(t) dt - \int_0^{t_t} q_{mdw}(t) dt} \times \frac{1000}{60} c_{DCS}(t) \cdot q_{mdew}(t) \quad (4)$$

ここで、 $q_{mew}(t)$ [L/min]は瞬時排ガス流量、 $q_{mdew}(t)$ [L/min]は瞬時希釈排ガス流量、 $q_{mdw}(t)$ [L/min]は瞬時希釈空気流量である。PMの瞬時排出量がわかれば、任意の区間におけるPMの排出量を算出することが可能で、NTE法やMAW法に容易に適用できる。

Table 3に、OBS-ONE-PMの仕様を示す。車載分析計として以上のような高機能が要求される一方、ガス分析計と同様に、小型化、低消費電力化と搭載の容易さも重要である。

OBS-ONE-PNモジュールの構成

EUでは、2011年9月から、シャシダイナモメータ上やエンジンダイナモメータ上で実施する排ガス試験に対して、PN規制を段階的に導入してきた。PN規制では、周囲環境や希釈条件に大きく影響される揮発性粒子を除去する試験法が採用されている。PN計測法は、PM計測法と比較して、より高感度という特長がある^[10]。

OBS-ONE-PNは、RDE試験におけるPN濃度を計測するためのユニットである。Table 4に、OBS-ONE-PNの主な仕様を示す。

Figure 6にOBS-ONE-PNの構成を示す。装置は主に一次希釈器、加熱触媒管(CS: Catalytic Stripper)、二次希釈器及び凝縮粒子カウンタ(CPC: Condensation

Particle Counter)の4つの機能で構成されている。

一次希釈器にはテールパイプ直後で排ガスを希釈する目的があり、高温の排ガスをすぐに希釈冷却することで熱泳動による粒子損失を軽減する^[11]とともに、結露を防止する。ループ希釈方式を採用しており、一次希釈器出口のガスを除湿して希釈ガスとして再利用する。希釈ガス中の粒子はHEPA (High Efficiency Particulate Air) フィルタで除去される。希釈率(DF: Dilution Factor)の精度を犠牲にすることなく、流量を測定するポイントを減らし、構造を簡略化することに成功した。

CSは、揮発性粒子の主成分である炭化水素を酸化除去する機能を持つ。再凝縮しやすいサルフェートも吸着する効果がある。RDE試験におけるPN計測では、定置型のPN計測システムと比べ、排ガスを低DF設定で測定することになる。そのため、より能動的に揮発性粒子を除去できる機構として、このCSを採用している。

二次希釈器には、粒子数濃度をCPCで測定するのに適した範囲に調整する目的がある。単純な構造にすることで小型化に貢献している。

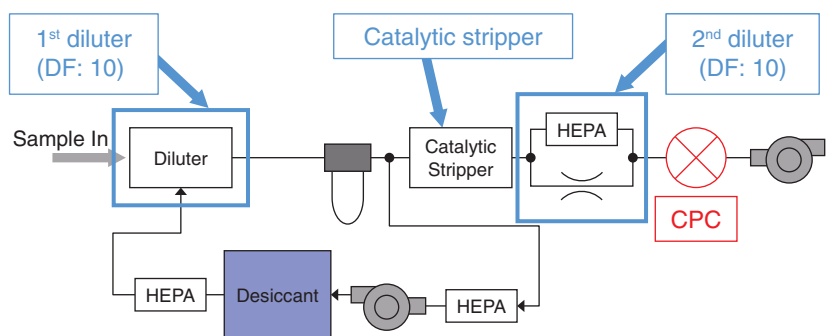


Figure 6 Configuration of PEMS PN

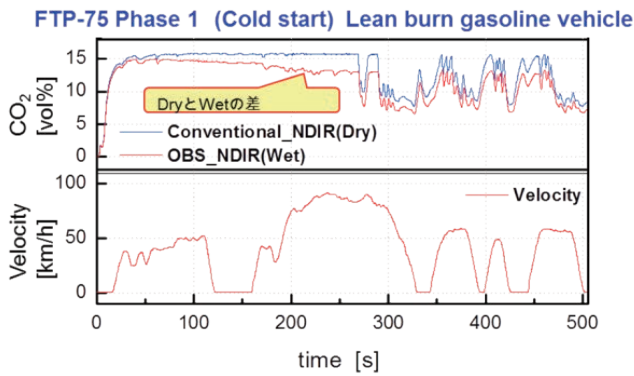


Figure 7 Comparison of CO₂ measurement by heated and cold NDIR during engine warmup

CPCは、粒子で散乱されたレーザパルスをカウントする手法で、詳細は既報のとおりである^[12]。なお、PNの検出原理としてDCSも認められる予定であるが、検出効率に粒子径依存性があるため、CPCがより適した手法と考えられる^[13]。

基本性能の検証

OBS-ONE-GSの性能

加熱分析計採用の効果

Figure 7に、OBS-ONEシリーズに使用している加熱型CO₂計(Wet計測)と定置型分析計に使用している非加熱型CO₂計(Dry計測)の比較を示す。試験では、コールドスタートの条件で車両を走行し、CO₂を連続計測した。排気系の温度が上昇するまでは、排気系における凝縮により、サンプルポイントにおけるH₂O濃度は低い。その後時間経過とともに排気系の温度が上昇して、エンジン燃焼に伴う高濃度のH₂Oがサンプルポイントまで到達する。このH₂O濃度変化によりCO₂濃度が変化する。Wet計測では、正確にこの挙動をとらえていることが確認できる。

CLDの水分クエンチ補正

CLDでは、サンプルガス中に水分が含まれると、検出部での発光が抑制されるクエンチング現象が起きる。OBS-ONE-GSでは、NDIRで検出したH₂O濃度を使って補正することで、このクエンチングの影響を軽減している。Table 5に、クエンチング補正の効果を示す。CLDの検出値に対して補正を加えることで、測定精度が向上することがわかる。

Table 5 Quenching correction of CLD

Test Engine	CLD Error Caused by CO ₂ and H ₂ O Quenching		Sample Condition	
	Without Compensation	With Compensation	CO ₂ Conc.	H ₂ O Conc.
Gasoline Engine	-3.7%	-0.2%	13.4 vol%	12.6 vol%
Diesel Engine	-2.4%	-0.2%	9.0 vol%	8.0 vol%

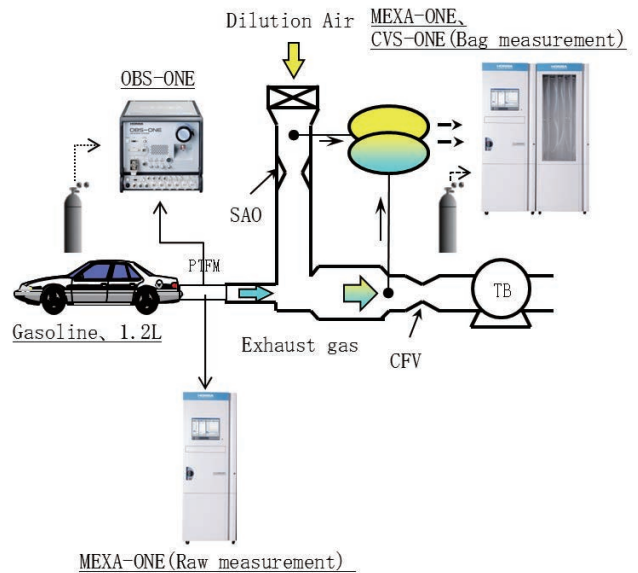


Figure 8 Measurement Scheme

CVS法との相関

OBS-ONE-GSの実ガスの測定精度を、マスエミッション測定標準である定容量試料採取(CVS: Constant Volume Sampling)法との比較により検証した。Figure 8に、試験に用いた計測システムを示す。検証には、小型車排ガス試験の世界技術規則に定められているWLTC (Worldwide Light-duty Test Cycles)、およびEUの排ガス規制の現行試験サイクルであるNEDC (New European Driving Cycle)を用いた。

Table 6に計測したCO₂、COとNO_xの排出率[g/km]を示す。CVS法を基準としたOBS-ONE-GSのCO₂相対誤差は±10%以内に収まっており、良い相関が確認された。また、COとNO_xも、排出量自体が低いことを考慮すれば、良好な結果といえる。

Figure 9に、COおよびNO_xのWLTC走行時のリアルタイム排ガス濃度を示す。OBS-ONE-GSとの比較には、定置型ダイレクト測定分析計(MEXA-ONE)を使用した。いずれの成分も、MEXA-ONEに対して良好な追従性と相関を示すことが確認された。

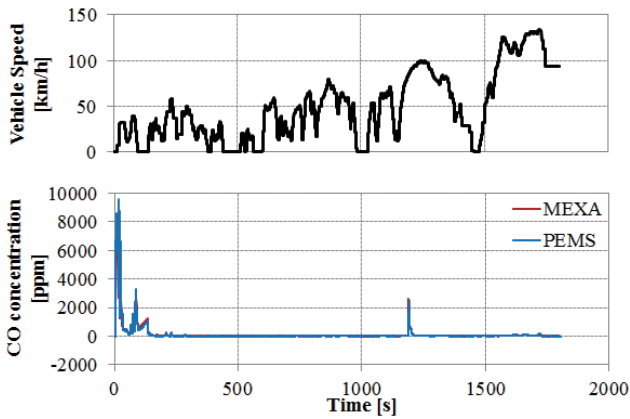
OBS-ONE-PMの性能

流量計の直線性と希釈比の精度

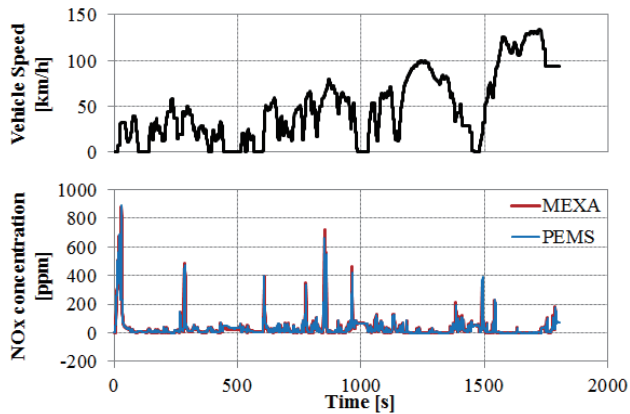
流量計の精度はPMサンプラにとって重要である。OBS-ONE-PMには3つの流量計があり、それぞれの直線性を検

Table 6 Comparison with CVS method

Test cycle	OBS-ONE			CVS/MEXA		
	CO ₂ [g/km]	CO [g/km]	NO _x [g/km]	CO ₂ [g/km]	CO [g/km]	NO _x [g/km]
WLTC	121.3	0.099	0.037	125.5	0.092	0.031
NEDC	128.6	0.146	0.014	129.6	0.155	0.012



(a) Comparison in CO concentrations



(b) Comparison in NOx concentrations

Figure 9 Real-time concentrations in WLTC

証した。Figure 10に、基準流量計と各流量計を比較した結果を示す。各流量計の測定精度は良好であった。OBS-ONE-PMは独自に流量計間の相対差を最小化する校正機能を搭載しており、希釈比精度を高く維持できる特徴がある。Figure 11に、希釈前後のCO₂濃度で希釈比を検証した結果を示す。理論的に、希釈比設定が大きくなるほど希釈比誤差も大きくなる傾向が知られている^[8]が、高希釈比においても依然として実用可能な性能が確認された。

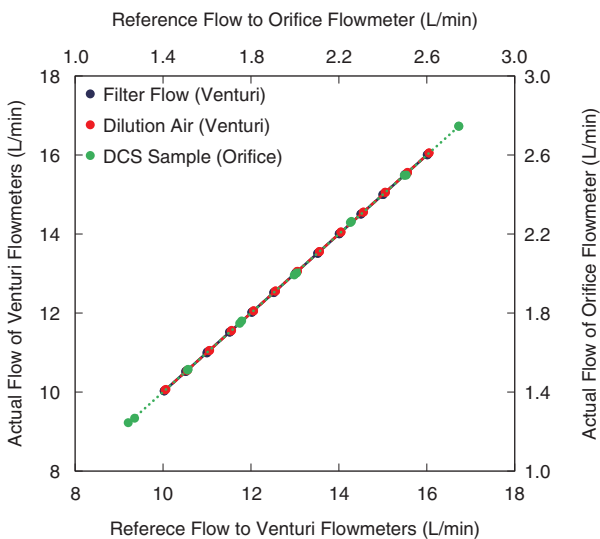


Figure 10 Linearity of flowmeters

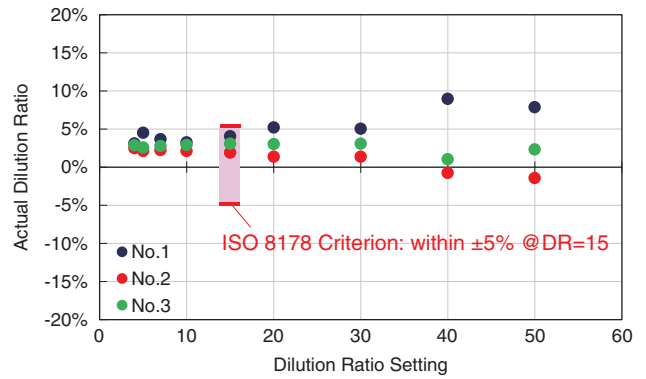
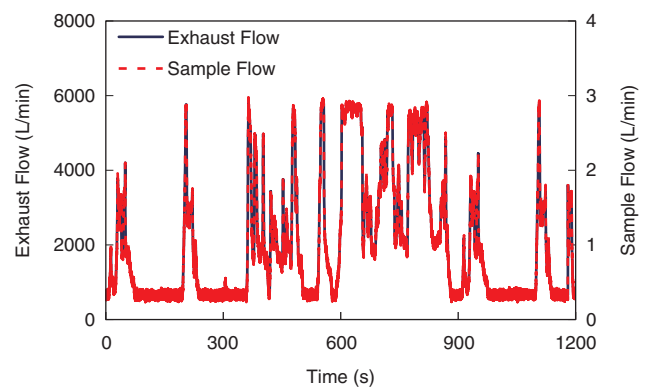


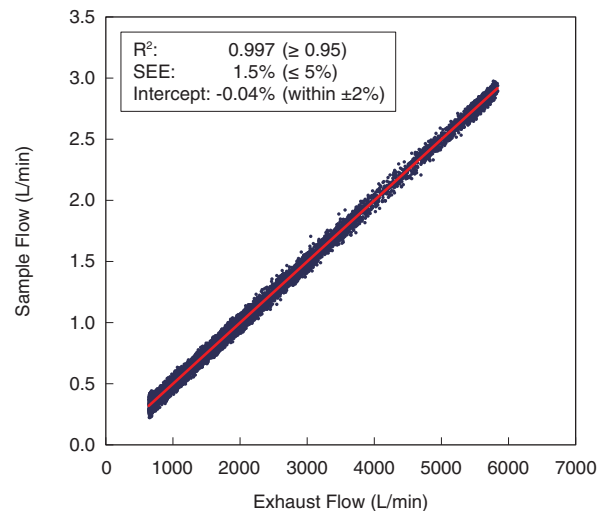
Figure 11 Dilution ratio verification by CO₂ concentration

サンプル流量の排ガス流量への比例性

実走行条件では、道路状況に応じて排ガス流量が大きく変化する。OBS-ONE-PMは比例サンプリングを基本としており、排ガス流量の変化に対する追従性も重要である。Figure 12に、OBS-ONE-PMのサンプル流量の排ガス流量に対する比例性を評価した結果を示す。試験では、北米のFTP (Federal Test Procedure) heavy-duty transient cycleをエンジンダイナモメータ上で運転した。排ガス流量とサンプル流量の比例性が良好であり、流量制御の精度だけでなく、応答も十分に速いことが示された。



(a) Flow during FTP heavy-duty transient test cycle



(b) Proportionality of sample flow against exhaust flow

Figure 12 Dilution ratio verification by CO₂ concentration

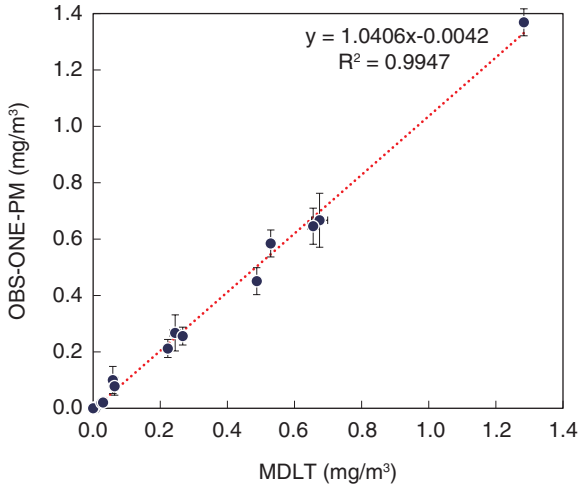


Figure 13 Correlation with stationary sampling system

認証試験設備との相関

Figure 13に、認証試験に用いられる定置型の分流希釈システム(“MDLT(mg/m³)”)とOBS-ONE-PM(“OBS-ONE-PM(mg/m³)”)でエンジン排ガス中のPMを計測した結果を示す。決定係数0.9947と、良い相関が得られた。PM濃度の測定結果もほぼ同等であった。

OBS-ONE-PNの性能

揮発性粒子除去効率

PN計測において、揮発性粒子の除去効率は測定精度を維持するために重要であるため、システムの除去能力を検証した。揮発性粒子としてテトラコンタンを使用した。通常の30 nmの粒子に加えて、より除去することが難しい高濃度の大きな粒子(50 nm)でも検証した。Figure 14に、検証結果を示す。すべての条件においてほぼ100%の除去性能が得られ、CSの酸化作用の効果が高いことが示された。

定置型分析計との相関

Figure 15に、エンジン排ガスをサンプルとした、定置型ダイレクトPN分析計(MEXA-2300SPCS)との比較結果を示す。実排ガスにおいても、定置型PN分析計として実績ある装置と良い相関が確認された。なお、CPC方式のPEMS PN

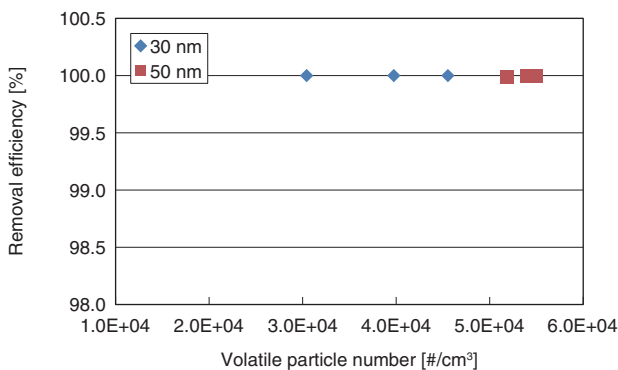


Figure 14 Volatile particle removal efficiency

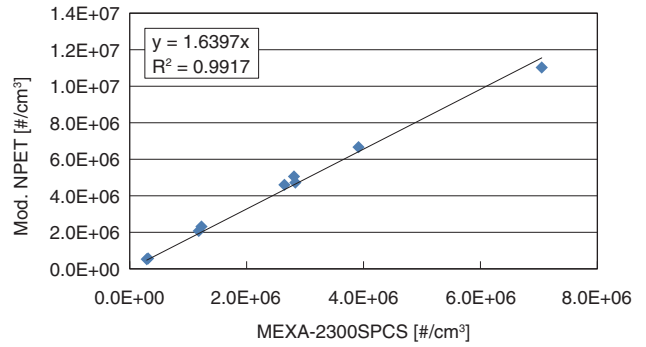


Figure 15 Correlation with stationary PN analyzer

が認証設備との良好な相関を示すことは、公的機関からも報告されている^[14]。

実走行エミッション(RDE)試験の例

以下に、OBS-ONEを用いたRDE試験の例を紹介する。

OBS-ONE-GSの計測例

OBS-ONE-GSをディーゼル車両(2.2 L, 4気筒)に搭載し、コールド状態から走行を開始して、その際のNOとNO_xの濃度、およびその差分としてのNO₂濃度を測定した。Figure 16, Figure 17に、テールパイプの排ガス温度とNO_xに占めるNO₂の比率の変化をそれぞれ示す。市街地で

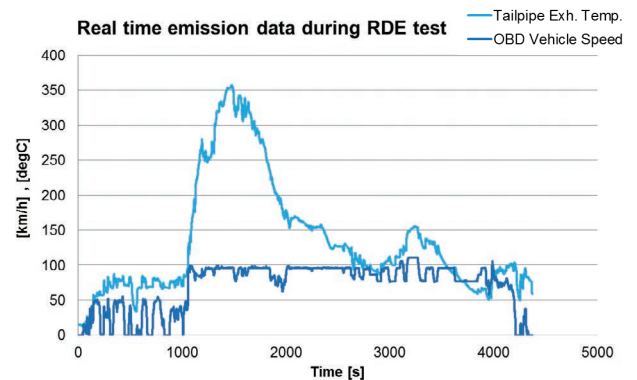


Figure 16 Exhaust temperature during RDE test

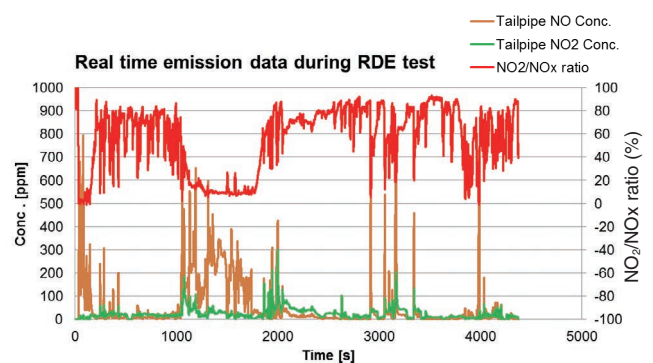


Figure 17 NO and NO₂ emissions during RDE test

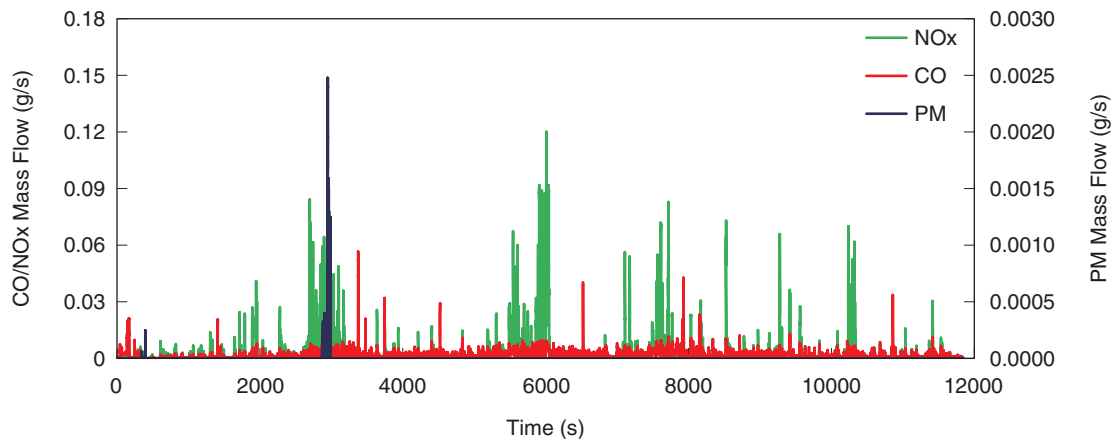


Figure 18 Gaseous and particulate emissions during RDE test

は、エンジン及び排気系の温度が上昇するに従いNO₂の比率が上昇し、およそ80%で安定した。その後、高速道路を走行してさらに排ガス温度が上昇すると、NO₂の比率が低下した。

OBS-ONE-PMの計測例

Figure 18に、OBS-ONE-GSとOBS-ONE-PMを乗用車の後方トランクに搭載し、実路におけるガス成分とPMの排出量を同時測定した結果を示す。まず、測定開始後3000秒前後で、PMの排出量が上昇している。この車両にはDPF (Diesel Particulate Filter)が搭載されており、再生が起こったものと考えられる。排ガス温度の上昇も同時に観測された。この期間のガス成分の挙動をみると、NO_xの排出量が増加しており、排ガス温度の上昇と関係していると考えられる。この現象はFigure 16とFigure 17の1000秒から2000秒の間でもみられ、同様にDPF再生中であったと考えられる。なお、DPFが再生していない間は、エンジンの始動直後にCOとPMの排出量の小さな上昇がみられた以外、各成分の排出量の相関は低く、PMはほとんど排出されなかった。

おわりに

新開発の車載型排ガス計測システムであるOBS-ONEシリーズは、従来機種に比べ、大幅な小型化を実現している。同時に、希釈しない排ガスを高濃度レンジで測定する条件では、認証試験に使用される定置型分析計と同等に近い性能を持ち合わせるまでに進化した。ガス分析計OBS-ONE-GSだけでなく、PM分析計OBS-ONE-PMもまた、乗用車のRDE試験に十分適用できることが示された。また、OBS-ONEシリーズは、規制におけるガス計測のみならず、車両の開発現場にも役立つアプリケーションを目指している。たとえば、OBS-ONEによるRDE試験では、マスエミッションデータ以外に環境条件や車両の情報も得られる。これらのデータをうまく利用すれば、シャシやエンジン試験室に

おいて実路走行に近い状況を再現できる可能性がある。より検証しやすい環境の整ったこれらの試験室に実路シミュレーションを導入することで、RDE試験のフロントローディングを実現し、車両開発の効率向上に貢献できるものと期待している。

参考文献

- [1] US EPA, Title 40 CFR part 86-N Emission Regulations for New Otto-Cycle and Diesel Heavy-Duty Engines; Gaseous and Particle Exhaust Test Procedure
- [2] Weiss M, *et al.*, "Analyzing on-road emissions of light-duty vehicles with portable emission measurement systems", JRC Scientific and Technical Reports, EUR 24697 EN(2011)
- [3] European Union, COMMISSION REGULATION (EU) No 582/2011 of 25 May 2011, implementing and amending Regulation (EC) No 595/2009 of the European Parliament and of the Council with respect to emissions from heavy duty vehicles (Euro VI) and amending Annexes I and III to Directive 2007/46/EC of the European Parliament and of the Council
- [4] European Union, amending Directive 2007/46/EC of the European Parliament and of the Council, Commission Regulation (EC) No 692/2008 as regards emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 5 and Euro 6) and Commission Regulation (EU) No 582/2011 as regards emissions from heavy duty vehicles (Euro VI), Including Plug-in Hybrid Vehicles, COMMISSION REGULATION (EU), No 136/2014(2014)
- [5] 青木伸太郎, 他, "CFR Part1065 対応車型排ガス計測システムの評価", 自動車技術会学術講演会前刷集, **27-06**, 11(2006)
- [6] 青木伸太郎, 他, "PEMS (Portable Emissions Measurement System)を用いた実走行条件下でのNOx排出量の挙動調査", 自動車技術会学術講演会前刷集, **55-15S**, 1308(2015)
- [7] Wei Q, *et al.*, "The On-Board PM Mass Calibration for the Real-Time PM Mass Measurement", SAE Technical Paper 2010-01-1283(2010)
- [8] Park K, *et al.*, "Structural Properties of Diesel Exhaust Particles Measured by Transmission Electron Microscopy (TEM): Relationship to Particle Mass and Mobility", *Aerosol Sci. Technol.*, **38**, 881(2016)
- [9] Otsuki Y, *et al.*, "Optimized On-Board PM Analyzer Consisting of Real-Time Diffusion Charger Sensor and Particulate Sampler", SAE Technical Paper 2016-01-0993(2016)
- [10] Otsuki Y, *et al.*, "The methodologies and instruments of vehicle particulate emission measurement for current and future legislative regulations", *Meas. Sci. Technol.*, **26**, 092002(2015)
- [11] Otsuki Y, *et al.*, "Evaluation of Exhaust Particle Emissions from a DI Diesel Engine Using a Solid Particle Counting System with Direct Sampling Unit", SAE Technical Paper 2011-01-2057(2011)
- [12] 日下竹史, 他, "連続固体粒子数計測装置MEXA-1000SPCS", *Readout*, **34**, 50(2009)
- [13] Otsuki Y, *et al.*, "Applicability of Diffusion Charger Sensor to Portable Emission Measurement System", SAE Technical Paper 2015-01-1994(2015)
- [14] Giechaskiel B, *et al.*, "Feasibility study on the extension of the Real Driving Emissions (RDE) procedure to Particle Number (PN): Chassis dynamometer evaluation of portable emission measurement systems (PEMS) to measure particle number (PN) concentration: Phase II, JRC Scientific and Technical Reports, EUR 27451 EN(2015)



大槻 喜則

Yoshinori OTSUKI

株式会社 堀場製作所
開発本部 第1製品開発センター
自動車計測開発部



青木 伸太郎

Shintaro AOKI

株式会社 堀場製作所
開発本部 第1製品開発センター
自動車計測開発部



近藤 謙次

Kenji KONDO

株式会社 堀場製作所
開発本部 第1製品開発センター
自動車計測開発部

Product Introduction

新製品紹介

浄水場における色度の測定と色度計の特長 HU-200CL CI-20 Color meter HU-200CL CI-20

Water Color Monitoring in the Purification Process and the Feature of the Color Meter HU-200CL CI-20
Color meter HU-200CL CI-20

木崎 寛子

Hiroko KIZAKI

日本の浄水処理技術は高く、水道起因の水系感染症の感染確率は極めて低いことが知られている。その水道水の水質基準を保つために、残留塩素計をはじめとする、pH計、濁度計などのHORIBA Gr.の水質計器が活躍している。日本の上水試験法には水道水中の水質管理についての項目とその基準値が記載されている。管理項目の1つである色度は、目視でも確認できるため注目されやすく重要な項目である。色度計 HU-200CL CI-20では2波長吸光光度法を採用し、自動ワイパー洗浄器を装備することにより、メンテナンスなしで長期の安定測定を可能にした。本稿では色度の測定方法と色度計の測定原理、特長について紹介する。(Figure 1)

It is commonly known that the possibility of infection route from tap water is very low because Japanese water purification technics are on a high level. In a purifying process those typical monitors from HORIBA Gr. including residual chlorine meter, turbidity meter or pH meter are applied to maintain required water quality. Several water quality items and criterions are shown in the book of Japanese water examination methods. Color one of the water quality items is an important and attentional item which can be observed by eyes. The Color meter HU-200CL measures the color by 2-wave length absorption method that makes it possible to be long term stable measurement with no maintenance helped by an auto cell cleaning wiper in the CI-20. In this paper the measuring method of color, principle and feature of the color meter are described. (Figure 1)

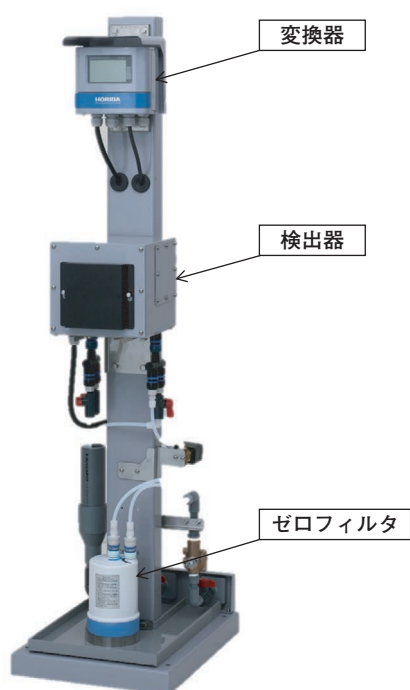


Figure 1 色度計 外観

はじめに

水道水は私たちの生活に欠かせないLifelineのひとつであり、わが国では安全・安定・安価な水が蛇口をひねれば何時でも得られる快適な環境が維持されている。国内の水道普及率は97.7%^[1]で、水道水の安定供給を確保するために浄水場などの施設が整備され、水道法にもとづき必要な運転管理が行われている。51項目にのぼる水質基準が規定されており、基準を満たした水道水を供給しているか確認するため、定期的な水質の検査が実施されている。

浄水処理が最適な条件で行われるために、各処理プロセスにおける水質をpH計、残留塩素計、濁度計、色度計など計測器を用いて監視している。浄水場ではpHや残留塩素、濁度、色度などの必須測定項目を測定する計測器をユニットとして専用の部屋に設置することが多い。そのためHORIBA Gr.でも浄水向けH-1シリーズでそろえた、色度計をラインアップする必要があった。また、人材不足やコスト削減の観点からメンテナンスが不要で、安定測定でき

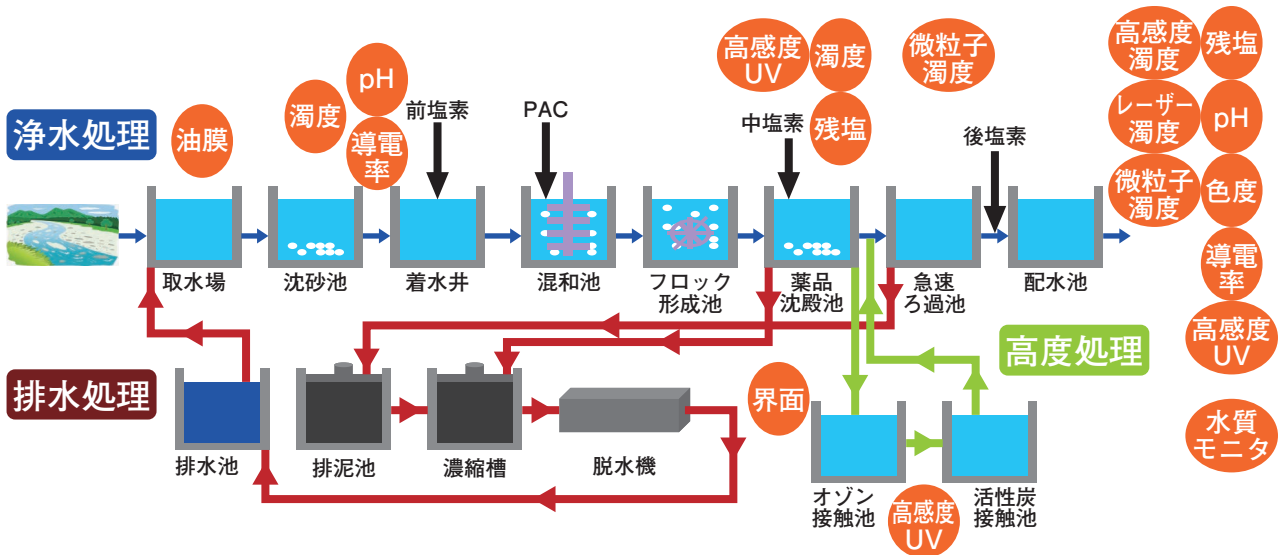


Figure 2 浄水処理プロセスの流れ

る連続測定機器が求められていた。本稿では、浄水処理の紹介から色度の定義と色度計の測定原理、特長について説明する。

浄水処理の一般的な流れ

一般的な浄水処理プロセスの流れをFigure 2に示す。普及している浄水方式は、水源の水量と水質の違いにより4方式(消毒のみ、急速ろ過方式、緩速ろ過方式、膜ろ過方式)に大別され、浄水量の約8割を占める急速ろ過方式が最も標準的である。急速ろ過方式は、凝集・沈澱・ろ過・消毒の各プロセスから成り立っており、短時間で大量の水をろ過できる^[2]。一部の溶解性物質やコロイドも除去できるが、基本的には懸濁物質の除去を目的としている。懸濁物質とは、粘土質や藻類による濁りだけではなく、肉眼では見えないような細菌の一部や耐塩素性病原生物(クリプトスポリジウム等)をも含むので、濁度を指標とする懸濁物質の

除去は、水道水の衛生学的安全性を担保するために非常に重要である。

浄水プロセスでは様々なHORIBA Gr.製品が活躍している。(Table 1 HORIBA Gr.浄水向け計器ラインナップ)まず、近くの河川やダム湖から取水場に水を取り込む。取水場では油膜検知器を用い、河川から取水した原水に油が含まれていないかを確認する。原水は取水場から沈砂池に送られ、大きな砂やごみは一次処理層である沈砂池で沈降処理により除去される。その後、着水井に送られ、着水井では水中に存在する鉄・マンガン・アンモニアなどの除去、微生物の殺菌、藻類の発生防止する場合には次亜塩素酸ナトリウム(次亜塩素酸ソーダ)の投入、原水の異臭分を除去する場合には活性炭の投入が行われる。沈砂池、着水井で除去しきれない懸濁物質の処理にはポリ塩化アルミニウム(PAC)、硫酸アルミニウム(硫酸バンド)のような凝集材を投入し、小さな砂や浮遊固定物を凝集沈殿させる。pHに

Table 1 HORIBA Gr.浄水向け計器ラインナップ

製品	油膜検知	pH	導電率	残留塩素	残留塩素	浸漬濁度	濁度	高感度濁度	レーザ濁度	レーザ濁度	微粒子濁度	色度	高感度UV	水質モニタ	界面
型式	LO-200	HP-200	HE-200C	HR-200	HR-200RP	HE-200TB-IM	HE-200TB-W	HU-200TB-H	HU-200TB-EH	HU-200LT	HU-200LP	HU-200CL	CW-150B	TW-100	SL-200
原理	レーザー	ガラス	2電極法	3極電極式	回転電極式	透過90度	透過90度	透過90度	散乱光式	レーザー干渉縞	レーザー干渉縞	2色透過光式	セル長	測定項目による	超音波
	反射式	電極法				散乱法	散乱法	散乱法		カウンタ方式	カウンタ方式				
レンジ	max 3 m	pH 0-14	200 mS/m	3 mg/L	3 mg/L	4000度	2000度	10.00/2.000度	2.0000度	2.0000度	2.0000度	色度：100度 濁度：50度	5.0000 Abs		0-10 m
用途	流入油膜	PAC制御	原水監視	処理水管理	処理水管理	原水監視	原水監視	配水監視	膜破断検知	配水監視	膜破断検知	配水監視	有機物監視	給水管末	沈殿
	管理	配水監視	配水監視	配水管理	配水管理	処理水監視	処理水監視		配水監視		クリプト監		THM管理		オゾン管理

よって凝集効果が異なるので、最適なpHコントロールが行われている。微小な懸濁物質は凝集フロックをろ過することにより取り除かれる。ろ過水の濁度を濁度計で測定し、凝集剤の量をコントロールしている。その後、次亜塩素酸ナトリウムを投入し殺菌消毒を行い、一般家庭へ配水する。水道法で配水可能な色度の値は5度以下と定められている。また、pH、残留塩素、濁度に関しても基準が定められている。そのため、処理水のpHと残留塩素濃度を監視し、基準を超えた処理水が家庭に配水されないように配水池に濁度計や色度計などが設置されている。

色度の定義とその要因

水道法における色度^[3]とは、「水中に含まれる溶解性物質及びコロイド性物質が呈する淡黄色から黄褐色系統の色を対象として、目視によって識別できる程度を数値で表したものである。濁度の高い河川水は、色度も高く見える場合があるが、その濁りを遠心分離、あるいはろ過操作により除去すると、色度が認められなくなる場合が多い。このように、色度には、「浮遊物によって与えられるみかけの色度」と、「濁りを除いてもなお残る真の色度」とがあるが、ここでは「真の色度」を対象とする。

河川や湖水では、植物の腐植質(フミン酸、フマル酸)により、色度が上昇することがある。また地下水では、無機の鉄やマンガンの酸化物が色度の原因となることがある。河川水等の着色の主な原因であるフミン質は、人体に対し特に有害なものではないが、上水などでの塩素消毒によって生成するトリハロメタンなどの有機ハロゲン化合物の前駆物質といわれている。

色度の浄水処理方法

色度の除去方法としては酸化吸着法やオゾン処理、生物活性炭処理、膜ろ過処理などの方法があり、浄水場では主に酸化吸着法が用いられている。酸化吸着法は塩素処理により色度となる物質を酸化させ凝集沈殿、およびろ過により、

色度を取り除いている。

色度の測定方法

色度を目視で測定する方法として、ヘキサクロロ白金酸カリウムと塩化コバルトを混合して作成した標準列(色度標準液)と試料水を肉眼で比較する比色法がある。また自動測定が可能な方法として390 nm付近の吸光度を測定する透過光測定法がある。

比色法は、水中に含まれる溶解性物質およびコロイド性物質が呈する類黄色ないし黄褐色の程度を、低濃度ではほぼ同様の色を呈する色度標準液を段階的に希釈し作成した標準例と肉眼により比較測定する。また、比色法を用いる場合、混濁した試料において、外観上色度が高く見えるときは、まず、みかけの色としてそのまま色度を測定し、その後遠心分離し、上澄み水またはろ過水について測定しなければならない。

一方、透過光測定法は水中に含まれる溶解性物質およびコロイド性物質が呈する類黄色ないし黄褐色の程度を、波長390 nm付近で吸光度により測定するため、連続測定が可能である。

測定原理

色度計で採用した二波長吸光度法では、光源には390 nm付近および660 nmの波長を放射する二波長LED光源を用いて、セル長100 mmの測定セルの透過率から色度と濁度を求めている。660 nmの波長では濁度を測定する。色度を測定するための390 nm付近の光の吸収は、濁度によって影響されるため、390 nm付近の吸光度から、任意の係数を掛けた660 nmの吸光度を引くことで、濁度による影響を補償した色度を得るようにしている。

上水試験法では色度の測定方法について光路長50 mmまたは100 mmのものとされており、色度計では光路長100 mmの光学セルを採用しつつ、0~100度までの測定範囲を拡げている。光学セルに波長390 nm付近の光と、660 nmの光を交互に入射し、それぞれ透過光量を検出する。(Figure 3

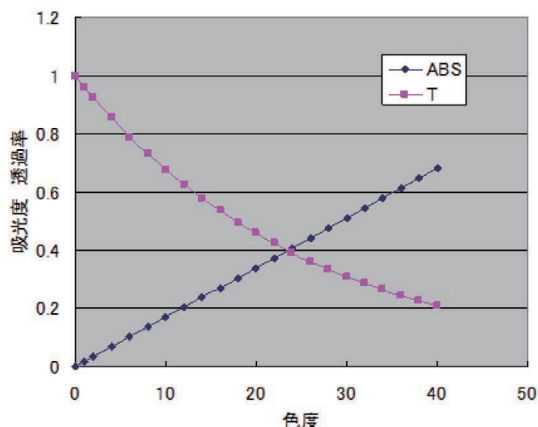


Figure 3 色度 吸光度 透過率

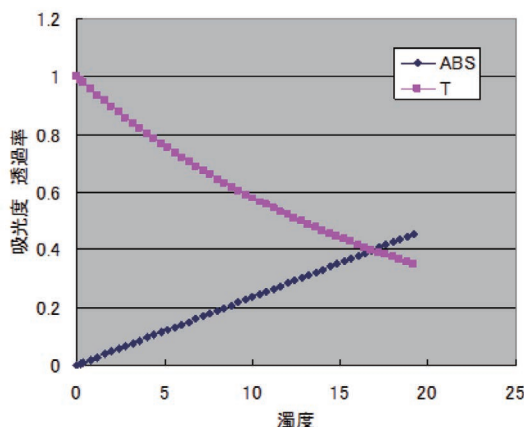


Figure 4 濁度 吸光度 透過率

色度 吸光度 透過率)(Figure 4 濁度 吸光度 透過率)また、参照用にそれぞれの光源の強度を検出する。ゼロ水を満たした状態で、それぞれの波長での透過率を100%と見做すゼロ校正を行い、最新のゼロ校正の透過光量と比較して、試料水の透過率を求める。

- ①390 nmの透過率 $T_c = (C_s / C_z) / (C_{rs} / C_{rz})$
 Cs:390 nmの試料水の透過光量,
 Cz:390 nmの記憶されたゼロ水の透過光量
 Crs:390 nmの参照光量1,
 Crz:390 nmの記憶されたゼロ校正時の参照光量
- ②660 nmの透過率 $T_t = (T_s / T_z) / (T_{rs} / T_{rz})$
 Ts:660 nmの試料水の透過光量,
 Tz:660 nmの記憶されたゼロ水の透過光量
 Trs:660 nmの参照光量,
 Trz:660 nmの記憶されたゼロ校正時の参照光量

それぞれの透過率から吸光度を計算する。

- ③390 nmの吸光度 $A_c = -\log T_c$
- ③660 nmの吸光度 $A_t = -\log T_t$
 補償された吸光度 $A_k = A_c - k * A_t$
 (kは濁度補償用の係数0.00から10.00まで)
 色度 = $F_c(A_k)$; F_c は色度を求める A_k の関数
 濁度 = $F_t(A_t)$; F_t は濁度を求める A_t の関数
 (ただし、濁度標準物質ごとに異なる関数)

色度計の特長

色度計の検出器の構成と特長をFigure 5に示す。前述でも述べたように、光路長100 mmのガラス管を採用しつつ、色度は最大100度、濁度は最大50度まで測定範囲を広げた。色度、濁度ともに低濃度域の最小分解能は0.01度である。

光源にはワンチップで390 nmと660 nmを発光する二波長LEDを採用して、装置の小型化を図っている。二波長を交互に点滅させ、測定セルを透過する光と参照光をフォトダ

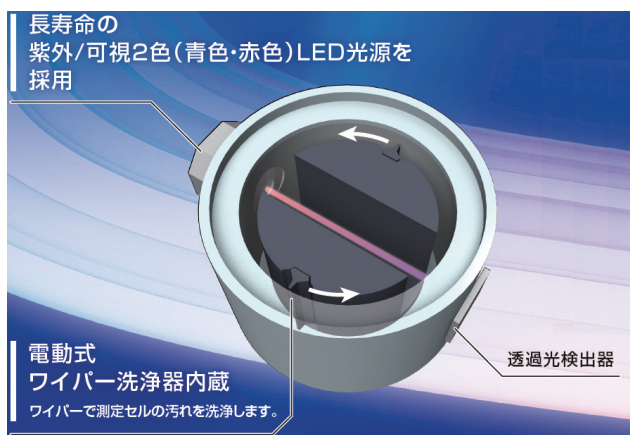


Figure 5 検出器の構成・特長

イオード検出器で検出し、4つの信号から色度と濁度を求めている。また、この点滅光源により周囲光をキャンセルすることができる。単色性の高い光源の特性で、スパン感度が安定しており、自動的に実施されるゼロ校正機能で長期の安定性が確保される。測定値の精度を維持するためには、検出器の経時変化によるドリフトと気温、水温によるドリフトを補正する必要がある、適時のゼロ校正が必須である。自動ゼロ校正機能は内部タイマーもしくは外部接点による指令により動作制御が可能である。試料水とゼロ水を切り替える自動ゼロ校正機能は、ソフトウェアと制御出力が標準装備されており、外部に3方電磁弁を設けることで、自動ゼロ校正を機能させることが可能である。

また、検出器の円筒ガラス管の内面を自動的に洗浄するワイパーを装備している。自動ワイパー洗浄を装備することで、メンテナンスなしで長期の安定測定を可能にした。ワイパーにより汚れだけでなく、気泡を除去できるので、立ち上げの際の泡の付着問題を解消できる。さらに、ワイパーユニットの容積を大きくすることで、測定セルの内容積を減らして、試料水の置換を速めている。ワイパーの動作についても、自動ゼロ校正機能と同様に、内部タイマーもしくは外部接点による指令により動作制御が可能である。

季節により室温と水温の差が大きく計器内が結露する課題があったが、乾燥剤を二重構造にすることで問題なく測定することが可能となった。測定セルの前面は透明窓となっており、気泡や測定セル内の汚れ状態を目視で確認することができる。また、Figure 6に示すように透明窓を外しワイパーユニットの取り外しも可能な構造となっている。ワイパーユニットを取り外すと、測定セルの内部を隅々まで掃除することも可能である。さらにFigure 7のようにワイパーユニットに付属されたワイパーブレードのみの取り外しも可能で、容易に交換することができる。さらにオプションとして、自動ゼロ校正組み込み架台や、Figure 8のようなセンサを加圧状態で気泡分離できる加圧脱泡槽を提

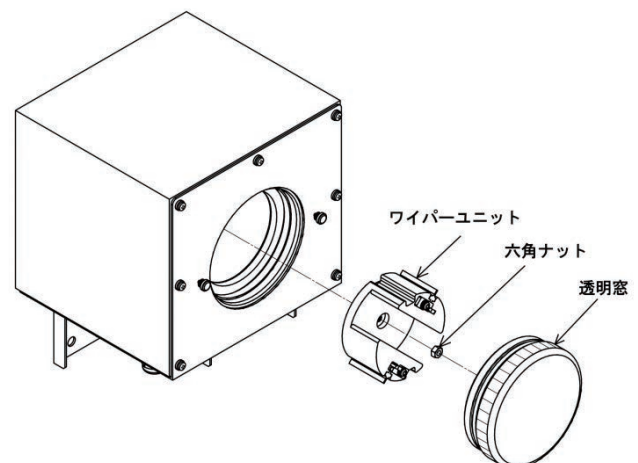


Figure 6 メンテナンス例(セル内部の清掃)

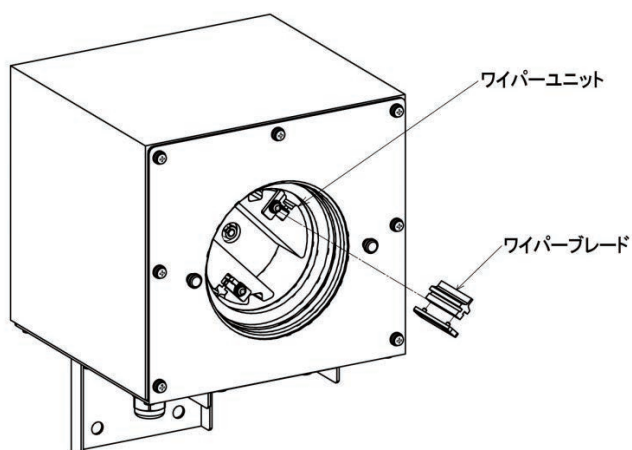


Figure 7 メンテナンス例(ワイパーブレードの交換)

供している。自動ゼロ校正組み込み架台では、試料水の圧力(大気圧と有圧)の二種類のフローを用意することで、浄水場の多様なフローに対応できるようになった。

おわりに

従来の色度計と比較して、小型でありながら洗浄器を備え、処理水の低い色度から、原水側の高い色度まで、安定に色度を測定できることは他に例がない。メンテナンス面では自動ゼロ校正機能により校正の手間がなく、簡単にセルを掃除できる構造としたことで、原水側の測定においても、ユーザの負担を少なくすることができたと自負している。透過測定法は色度や濁度の測定に限らず、水に関するさまざまな成分の測定を行うことが出来る技術である。今回の色度計開発の経験を生かし、今後も水分析による社会貢献をしていきたい。

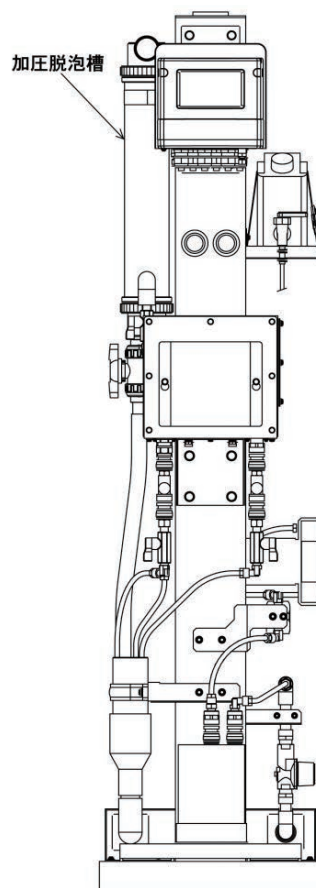


Figure 8 色度計 自動ゼロ校正組み込み架台 外観

参考文献

- [1] 厚生労働省“平成25年度水道の基本統計 給水人口と水道普及率”
- [2] 実用 水の処理・活用大辞典編集委員会編,“実用 水の処理・活用大辞典”
- [3] 上水試験方法(日本水道協会2011年版)



木崎 寛子

Hiroko KIZAKI

株式会社 堀場アドバンスドテクノ
開発部 ソリューション開発課

Product Introduction

新製品紹介

純水用TOCモニタ HT-200

Total Organic Carbon Monitor for the Pure Water HT-200

中務 忠

Tadashi NAKATSUKASA

森田 敏夫

Toshio MORITA

透析医療で用いられる透析用水の清浄化管理指標の一つであるTOC (Total Organic Carbon以下: TOC)の連続モニタ用としてTOCモニタの開発を行った。人工透析とは、腎不全で低下した腎臓の機能を人工的に代替し血液の浄化を行う治療である。近年、人工透析患者数は増加の一途をたどり透析医療は生命を維持していくために重要な医療行為となっている。人工透析で使用する透析用水は透析用粉末の溶解や透析液原液の希釈のみならず、配管、装置の洗浄、消毒などに使用されており、化学物質の汚染、生物学的汚染がなく、かつ安全な水が必要とされている。本稿では、透析用水製造工程を紹介し、この透析用水の清浄化管理指標の一つとして用いられるTOCの測定原理とHORIBA Gr.のTOCモニタの特徴について紹介する。(Figure 1)

We have developed a TOC continuous monitoring instrument for the water which is used in medical artificial dialysis. Total Organic Carbon is one of the quality indexes of the water purity. Artificial dialysis is the treatment of the blood purification instead of the kidney of the patients suffering from renal insufficiency. In recent years the number of patients who need artificial dialysis increases year by year. The dialysis care is a very important medical treatment to maintain life. The water for the artificial dialysis is used for not only dissolution of powder or dilution of stock solution for dialysis but also cleaning or sterilization of pipes and apparatuses. The water should be safe and free from chemical or biological contamination. In this paper the dialysis water process is introduced first and the measuring principle of TOC which is an index of water purity control and major characteristics of the TOC monitor are followed. (Figure 1)



Figure 1 TOCモニタの外観

はじめに

透析用水とは透析液の調整や透析にかかわる設備の洗浄、消毒などに使用されている水のことを指し、各医療機関で原水(水道水もしくは地下水)をろ過・イオン交換・吸着・逆浸透などの方法を用いて処理し、化学物質を基準値未満に管理されている。透析用水の水質監視は、導電率(以下電気伝導率)での測定が一般的であるが、電気伝導率では測定することのできないエンドトキシン(Endotoxin)や細菌などの不純物も多く含む為、電気伝導率測定に加え、混在する有機物総量の目安としてTOCを測定することで、より高精度な水質管理が可能であるとされている。TOCは連続測定が可能であり、また公益社団法人 日本臨床工学技士会透析液等安全委員会で作成された「透析液清浄化ガイドライン Ver. 2.01」においてもTOC値の基準として500 ppb未満に管理することが望ましいとされ各施設で警報基準値お

よび処置基準値を定め、連続でモニタリングすることを推進する動きがある。

一般的な透析用水製造の流れ

透析用水は水道水や地下水などを原水として使用する。この原水中には無機物汚染物質、有機物汚染物質、細菌、塩素など不純物を含まれており、これを逆浸透(Reverse Osmosis 以下RO)装置を用いて除去する。特に細菌は有機物を栄養源に増殖するため、有機物除去は微生物の汚染防止につながる。透析用水の90%以上はRO装置を用いて製造されており、Figure 2に一般的な透析用水製造工程のフローと以下に構成機器について説明する^[1]。

一次プレフィルタ

原水中の鉄錆や砂などの粗いゴミを除去するために用いられ10~30 μ以上の大きな濁物質や不溶性物質等の荒い物質を除去する為のフィルタである。

軟水装置

硬水を軟水に変える為の装置で、強酸性イオン交換樹脂(スチレン・ジビニルベンゼン共重合体)にて、原水中のカルシウム(Ca²⁺)イオン・マグネシウム(Mg²⁺)イオンなどの陽イオンを、イオン交換樹脂の働きでナトリウム(Na⁺)イオンと交換し除去する。一般的に硬水はカルシウムイオンやマグネシウムイオンが多く含まれている水を指す。原水中にカルシウムやナトリウムが多いと、カルシウム塩(CaCl₂)やナトリウム塩(NaCl)などの沈殿物が生成し、RO装置の性能を著しく低下させる。その為にRO装置の手前でカルシウム・マグネシウムを取り除く必要がある。

活性炭ろ過装置

多孔質活性炭の触媒および吸着能力を利用して、遊離塩素、

クロラミン(NH₂Cl)、有機物を吸着する。水処理装置の中で、塩素を除去することが可能な装置は活性炭ろ過装置だけである。ただし塩素除去後の微生物の繁殖等の問題があるため、運用は透析機器安全管理委員会で検討し、適切な管理(熱水消毒など)を行う必要がある。

二次プレフィルタ

二次フィルタは、一次フィルタと同様のものを使用します。これは、軟水装置や活性炭ろ過装置から出る微粒子を除去して、RO装置の負担を減らす為に設置されている。

RO装置

RO膜を介して一次側溶液に浸透圧以上の圧力を加えることにより、水成分がRO膜をろ過してくる現象を利用した膜分離法である。この方法により塩素以外の水道水中の溶解イオン、有機物、バクテリア、パイロジェン等をほぼ完全に除去することが可能で、透析用水を製造するうえで必要不可欠の装置である。RO膜素材は、セルロース系膜、芳香族ポリアミド系膜、合成複合膜が使用されます。

RO水タンク(紫外線殺菌灯)

RO装置より処理された透過水を一次的に貯留する為のタンク。タンク内には紫外線殺菌灯を設けておりタンク内での菌繁殖を防止している。

UF膜フィルタ

孔径が0.01~0.001 μmのろ過膜、限外ろ過膜(Ultrafiltration Membrane 以下UF)と呼ばれる。RO膜ではエンドトキシンや細菌を100%除去することが出来ない為、RO膜の後段にUF膜フィルタを設置することによりRO処理水の清浄度を保証することが可能とされている。UF膜フィルタは、RO水タンクの出口側に設置しループ配管では、逆汚染防止のためRO水タンクの返送ライン側に設置する場合もある。UF膜フィルタは、膜の目詰まりやリークの判別、定期的消毒などの管理が必要となり、膜の目詰まりは、UF膜フィルタ出入口の圧力差や出口側圧力をモニタリングし、規定値を逸脱した場合は交換が必要となる。リークは、UF膜フィルタ出口側のエンドトキシンや細菌の活性値と生菌数で判別するが、RO処理水のエンドトキシンや細菌が測定感度以下の場合、リークの判別が困難となるため、メーカー推奨の時期での交換が推奨される。UF膜フィルタを新たな汚染源としないためにもRO処理水配管とUF膜フィルタを定期的に消毒する必要がある。

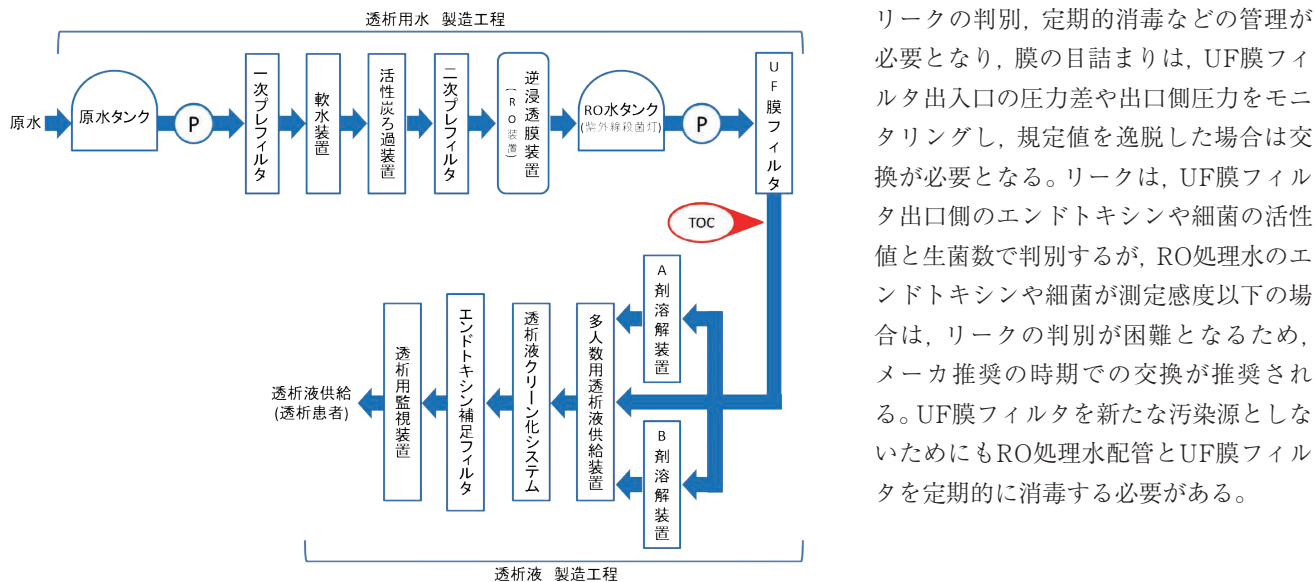


Figure 2 一般的な透析用水の構成フロー



Figure 3 TOCの測定原理と測定レンジ

一般的なTOCの測定方法^[2]

TOCの測定は、有機物を分解する手法と二酸化炭素の測定方法を組み合わせるため、主に三種類の測定方法がある。(Figure 3)日本において、この三種類の測定方法が主流であり、測定対象に合った分析方法の選択が効果的であるが、特に製薬業界や医療業界では低ランニングコストで連続測定が可能な紫外線酸化分解導電率方式が好まれている。以下に三種類の測定方法と特徴を説明する。

紫外線酸化分解導電率方式 (Figure 4)

測定方法

試料水に紫外線を連続照射することで、有機物を酸化分解し、その時に発生する二酸化炭素によって電気伝導率値が変化する。この電気伝導率値と紫外線を照射する前の電気伝導率値の変化量からTOCを換算する。電子産業や医薬品工業で米国薬局方(USP)・欧州薬局方(EP)対応として、精製水(PW)／注射用水(WFI)のTOC管理に最も多く導入されています。測定器自体を安価で製作が可能であり、ランニングコストも安価で低濃度域でのTOC測定に優れています。

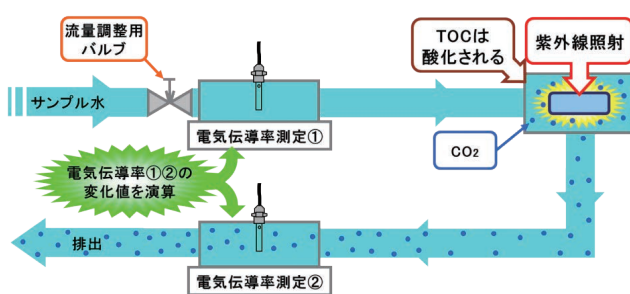


Figure 4 紫外線酸化分解導電率方式

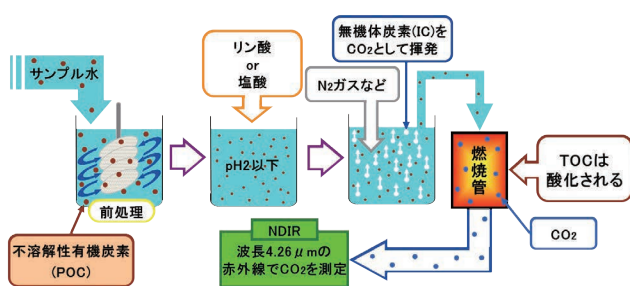


Figure 5 燃焼酸化非分散赤外線吸収方式

特徴

- ・ 試薬やパージガスなどが不要で、ランニングコストが安価
- ・ 測定原理上装置をコンパクトな構成で、装置自体も安価に製作が可能
- ・ 高感度、校正の安定性がある
- ・ 試料水の電気伝導率値に上限の制限がある

燃焼酸化非分散赤外線吸収方式 (Figure 5)

測定方法

試料水中の無機体炭素(IC)は、炭酸イオン(CO₃²⁻)、炭酸水素イオン(HCO₃⁻)あるいは炭酸(H₂CO₃)として存在するが、強酸域ではほとんどが炭酸となり、試料を酸性化し、二酸化炭素を含まない窒素ガスなどを通過させることで、試料中の無機体炭素を二酸化炭素として除去する。この試料を高温の燃焼炉に注入し、有機物を燃焼させて発生した二酸化炭素濃度を非分散形赤外線ガス検出器(NDIR)で測定しTOCとして換算する。高温で燃焼させるため、難分解性の有機物や懸濁物などの粒子性有機体炭素も完全に酸化分解することができる。最も一般的な測定原理であり、河川水や工場排水のような高濃度測定に多く使用されている。

特徴

- ・ 触媒の交換、試薬やパージガスが必要
- ・ 測定濃度範囲が広く比較的低濃度から高濃度まで対応が可能
- ・ 難分解性の有機物や懸濁物などの粒子性有機体炭素も酸化分解可能

湿式酸化非分散赤外線吸収方式 (Figure 6)

測定方法

燃焼酸化非分散赤外線吸収方式と同様に、試料水に試薬を添加して酸性状態とし、窒素ガスを導入する事により、サンプル中の無機体炭素を除去する。無機体炭素を除去した試料に紫外線を照射し、有機物を分解する。分解で発生した二酸化炭素を非分散形赤外線ガス検出器(NDIR)で測定し、TOCに換算する。電子産業・ボイラ腹水(給水)・医薬品工業(各種用水)などの高純度水質管理に適しており、多くのユーザに普及している。Lab useにおいても低濃度測定に使用される傾向も増えつつある。

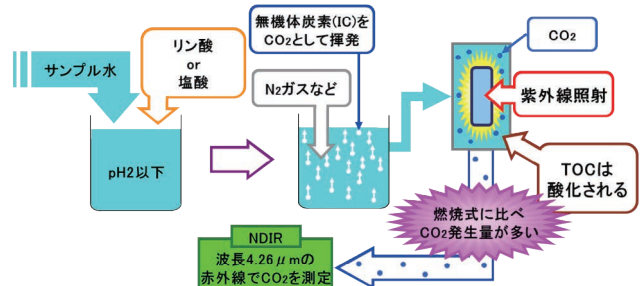


Figure 6 湿式酸化非分散赤外線吸収方式



純水用TOCモニタ：HT-200 従来製品TOCモニタ：HT-110

Figure 7 TOCモニタの外観比較

特徴

- ・ 試薬が必要
- ・ 測定濃度範囲が広い

TOCモニタの特徴と従来製品との比較 (Figure 7)

本製品の測定方式は従来からのHORIBAでコア技術である電気伝導率センサ技術を使用した紫外線酸化分解導電率方式(前章参照)を採用し、RO装置への内蔵を目的とし小型化を図った製品である。また同一測定原理の製薬市場向けオンラインTOC計(以下HT-100/110)を販売しているが、純水用TOCモニタ(以下HT-200)は従来の電気伝導率センサの一部改良し、応答性の向上により試料水の使用流量を低減する事ができた。また従来から市場要求が高かった紫外線ランプの光量モニタを内蔵し、ランプ光量下限や光源切れなどを検知する自己診断機能を新たに追加した。HT-200はRO装置への内蔵を前提として開発されるため、表示部や操作部は無く、RO装置制御用PLC(Programmable Logic Controller)とRS-485通信を行いRO装置側の制御画面に測定値などを表示します。メンテナンスはサービス員が専用PCと専用の通信ソフトを用いて、HT-200の調整や機器の校正作業、状態確認などを行う。

性能と測定事例

安定した測定を行うためにHT-200のシステムの構成をFigure 8に示す。紫外線酸化分解導電率方式は試料水へ紫外線の照射時間を一定にすることにより安定した測定をすることが出来る。よってTOCモニタには安定した一定流量の試料水を供給する必要がある。そのためHT-200用に一定流量での供給を目的とした定圧ユニットをTOCモニタ前段に設置することで、元圧変動に対応しても一定流量をTOCモニタへ供給することが出来ます。また測定に大きく影響する気泡に対しても、定圧ユニット内に設置された気泡分離フローにより気泡を除去することが出来る。RO処

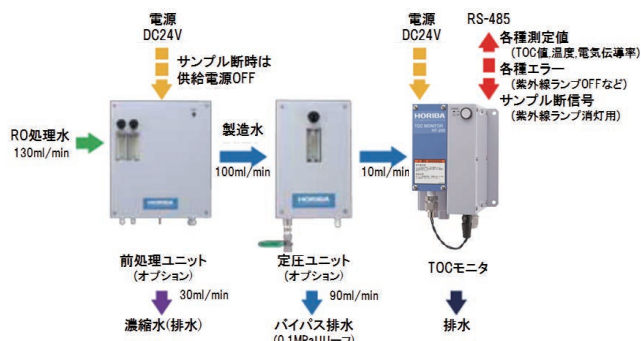


Figure 8 HT-200システム構成

理水は脱イオン処理が行われていないことが多く、原水の状態などによりベース電気伝導率が大きく異なる。また季節変動により原水への溶解成分が変化し、水質の変動が見られる。本測定原理上導電率が高い場合には試料水中の妨害成分も多くなり、電気伝導率が低い場合と比較して有機物の酸化分解の効率が悪化し、正しく測定を行うことが困難となる(Figure 9：電気伝導率影響)。この問題に対して試料水の電気伝導率を一定にする為、小型の電気再生式イオン交換装置(以下：EDI)を内蔵した前処理ユニットを設置することで電気伝導率を低く保ち、安定したTOCの測定を行うことが可能となった(Figure 10：連続TOCの測定値)。

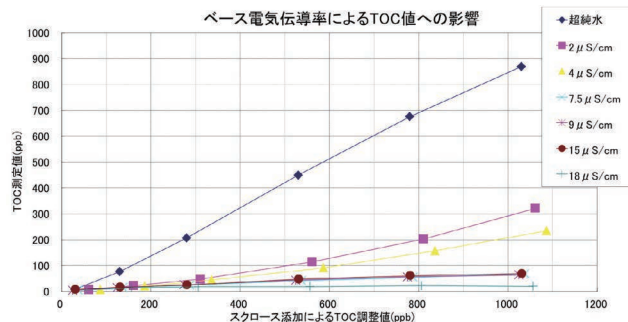


Figure 9 ベース電気伝導率影響(スケロース添加による確認)

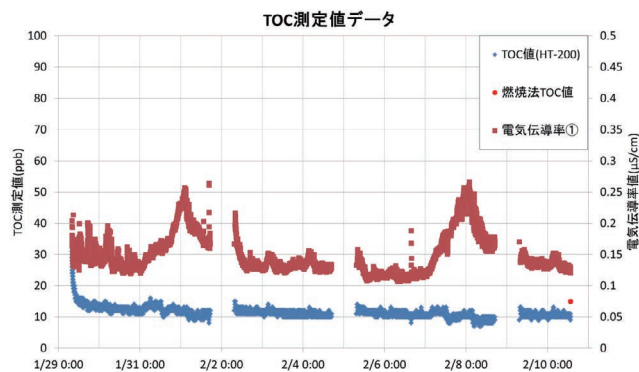


Figure 10 TOC測定値トレンド



Figure 11 TOCシステムの一体化キャビネット外観

おわりに

今回TOCモニタの開発を行い、透析医療業界へ進出することが出来た。これを足掛かりに新たに医療業界で要求される水質計測機器の開発や、本TOCモニタを広く普及し透析医療における用水清浄化へ協力し社会的貢献をしていきたい。尚、本TOCモニタはRO装置メーカーや設備業者での施工が必要となり、小規模医療施設や個人病院などの、既設設備への機能強化については困難であるが、現在既設のシステムへ機能強化が容易に行えるようTOCモニタ本体と表示ユニットおよび前処理ユニットを一体化したキャビネットシステム(Figure 11)の設計を現在進めている。

参考文献

- [1] 公益社団法人 日本臨床工学技士会「透析液清浄化ガイドライン Ver. 2.01」
http://www.ja-ces.or.jp/ce/?page_id=765 (参照：2016-3-28)
- [2] 堀場アドバンスドテクノwebサイト「HATWAVE～技術情報とトピックス/TOCとは」
http://www.horiba.com/jp/horiba-advanced-techno/hatwave/voll/ht-100_dic/ (参照：2016-3-28)



中務 忠

Tadashi NAKATSUKASA

株式会社 堀場アドバンスドテクノ
開発部 コア製品開発1課



森田 敏夫

Toshio MORITA

株式会社 堀場アドバンスドテクノ
開発部 コア製品開発1課

Product Introduction

新製品紹介

自動校正・KCl補充を実現した微量サンプリング pHモニター UP-100

Micro Volume Sampling pH Monitor UP-100 achieved Automatic Sampling,
Calibration and KCl Refilling.

中井 陽子

Yoko NAKAI

宮村 和宏

Kazuhiro MIYAMURA

一般的なガラス電極法を用いたpHプローブでの測定では、その原理上、サンプル中へのガラス成分や内部液の溶けだしが問題になる場合がある。堀場製作所では半導体をはじめとする工業プロセスにおいての使用を想定し、微量でのサンプリングが可能であると同時に自動で校正、内部液補充が可能なるpHモニターを上市した。本稿ではモニターの概要とその応用事例について紹介する。

When measuring samples with traditional glass pH electrodes, sample pollution by glass material and internal solution are often problematic. We have developed a novel pH monitor that enables micro volume sampling, automatic calibration and internal solution refill for industrial process monitoring such as in semiconductor industry. In this paper, outline of this pH monitor and its application examples are introduced.

はじめに

HORIBA Gr.では電気化学技術、光学技術、X線技術等様々な基礎技術を応用した分析、計測ソリューションを提供している。その中でもpHメーターはHORIBA Gr.の創業製品であり、創業以来60年以上にわたり皆様にご使用いただいている主力製品である。長年蓄積した技術とノウハウを活かし、耐フッ酸電極や、独自の半導体センサーを使用した電極や、カード式pH計など、それぞれの時代において画期的な製品を送り出してきた^[1]。

一方、光学技術を活かした分野として、紫外／近赤外の吸収分光を使用した半導体洗浄工程向けIn-line薬液濃度モニターCS-100シリーズがトップシェアを維持してきた。長年の半導体業界での経験から、pHはプロセス管理上重要なパ

ラメーターである一方、pH電極で測定するとサンプルが汚染される点、校正や内部液の補充といったメンテナンスが煩雑なことから採用に二の足をふむユーザが多く、何等かのソリューションの必要性を感じていた。著者らはこの課題を解決すべく、HORIBA Gr.のpH測定技術、マイクロタス技術、そして半導体製造工程でのIn-line薬液計測技術を融合した微量サンプリングpHモニターを開発した。Figure 1に本装置の外観写真を示す。本稿では本装置の特長と応用事例を紹介する。

pH測定原理

UP-100では一般的に用いられているガラス電極法を採用している。初めにその原理について説明する

Figure 2にpH電極の原理図^[1]を示す。溶液中にガラス電極



Figure 1 微量サンプリングpHモニター UP-100

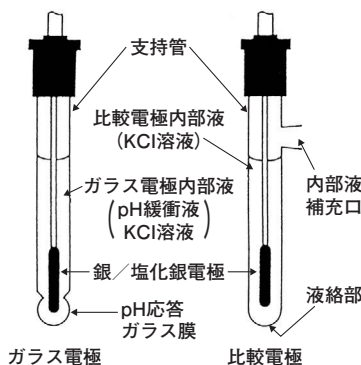


Figure 2 pH電極の原理的な構成図

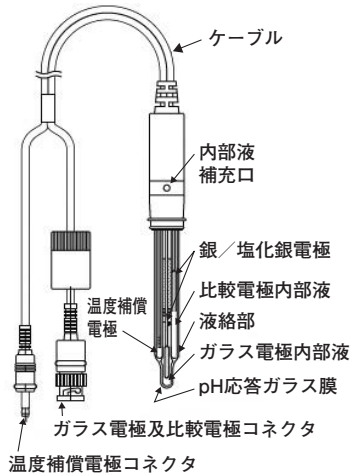


Figure 3 複合型pH電極の構造

(pH電極)と比較電極を浸すと、ガラス電極と比較電極の間に電位差が生じ、この電位差と、その際の液温から Equation 1に従ってpHが求められる。

$$pH(X) = (Ex - Es) / (2.3026RT/F) + pH(S) \dots\dots (1)$$

pH(X) : サンプルのpH値

pH(S) : 校正用標準液のpH値

Ex : サンプル中で計測した電位差

Es : 校正用標準液中で計測した電位差

R : ガス定数

T : 絶対温度

F : ファラデー定数

ガラス電極には通常アルカリ金属を添加したガラスが用いられ、ガラス電極の内部液と試料溶液のpH差に応じた電位が生じる。一方で比較電極部は内部の塩化カリウム溶液が液絡部を通じて試料と接しており、試料のpHが変化しても常に一定の電位を示す。このように比較極を基準とし、ガラス電極に生じた電位との電位差を測定回路にて検出している。一般的にはFigure 3に示すように、ガラス電極と比較電極、さらに温度センサーを一体化した複合型電極が用いられることが多い。

プローブ式ガラス電極における課題

前記のように、簡単に溶液のpHを測定することができるガラス電極ではあるが、その原理上、比較電極の内部液とサンプル液が接している必要がある。液絡部にはポーラス状の物質が使われるなど、比較電極からのKCl浸出は最低限に抑えられるよう設計されているが、半導体製造工程や製薬などサンプルを高純度に保つ必要があるような製造プロセスではごく微量のKClの浸出が問題視されるケースがある。そのような場合はサンプルを一部取り出し、測定後に

廃棄する必要がある。pHの測定頻度が多くなるほどサンプルの廃棄量が増加し、サンプル液のロスによるコスト負荷や廃液処理のコスト負荷が問題となる。また、メンテナンス面では定期的な校正が必要である、さらにKClが浸出することにより、定期的に比較電極へのKCl補充が必要である。このようなメンテナンス作業は実験室であれば容易な作業ではあるが、製造プロセスにおいては、配管中に取り付けたガラス電極を作業者が取り出し、手作業でKClを補充、校正を実施する必要がある。有毒なサンプルが取り扱われる場合は危険を伴う上、生産プロセスをストップさせるの作業が必要となり、高い歩留りが求められる製造現場ではコスト面、安全面でのデメリットがあった。

UP-100の特長と構造

特長

このような問題を肌身で感じてきた中で開発されたのが微量サンプリングpHモニターUP-100である。UP-100は自動校正、自動KCl補充機能を備えており、メンテナンスの手間が大幅に削減されるだけでなく、装置内部でこれらの操作が行われるため人が介在せず安全である。加えて、1測定に500 μLという極微量サンプル量でよいいため、1分に1回の連続測定しても1時間で30 mLという少ないサンプル消費量で済むという利点がある。

装置構成

UP-100の構成をFigure 4に示す。本装置は大きく、コントローラー部とセンサーユニット部に分かれている。コントローラーは製造現場の電装部に、センサーユニットはサンプルの流れる配管エリアに取り付けられることを想定している。コントローラー部はセンサーユニットからの信号を処理する部分で、表示部や操作キー、通信のための入出力ポートが備わっている。センサーユニットはサンプル・校正液等の送液コントロール部や試薬ボトル、pH電極、各種センサーが備わっている。

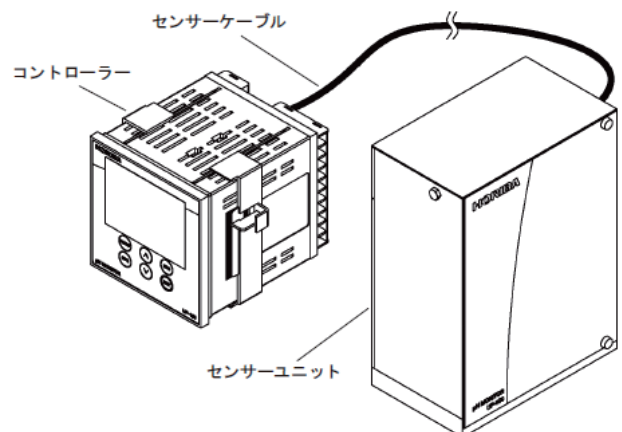


Figure 4 装置構成

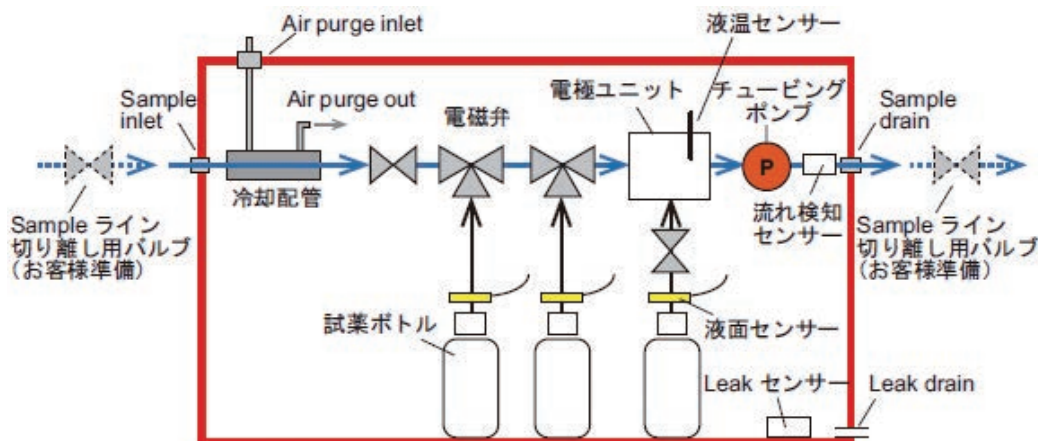


Figure 5 センサーユニットの構成

Figure 5に示すセンサーユニット内部には校正用のpH標準液と比較極用の内部液のボトルがセットされている。サンプルはSample inletポートから導入され、内蔵されたチュービングポンプで吸引し、電極を通して排出される。校正のためにpH標準液を流す場合や比較電極内部への補充のためKClを流す場合は自動的にバルブが開閉し、ポンプでこれらの液を流すようになっている。一連のサンプル測定-校正-KCl補充は一定のシーケンスに従って自動的に行われる。通常の使用状態で試薬の交換周期は連続使用状態で6ヶ月である。工業用の送液ラインでの取り付けを想定し、サンプル圧はInlet側で最大0.2 MPaまで対応可能、高比重のサンプルも測定可能である。

工業用途での遠隔操作を想定し、コントローラー部でのキー操作の他、信号入出力による動作コントロール・各種信号出力、RS-485通信、アナログ出力を備えている。また、予防保全を考慮し、様々なアラーム、エラー出力機能を備えている。たとえば、フローセンサーを搭載しており、流路の詰まりやポンプの故障でサンプルが流れていない場合の検知、校正時の電圧が異常時の検知、電極の劣化検知、ボトル内の試薬が一定量消費され交換が必要な場合、完全に試薬がなくなった場合、などの場合にエラーを出力する仕組みとなっている。

電極構造

微量サンプリングを実現した技術の要は電極部分である。この電極構造をFigure 6に示す。

一般的なpH電極はpH応答ガラスを介して外側にサンプル、内側に内部液があるロッド状の形状であるが、本装置では微量測定を実現するためにpH応答ガラスを内径0.6 mmのキャピラリー形状とした。このキャピラリー内部にサンプルを通し、外側に内部液がある構造となっている。また、比較電極は同じく流通型であり、高圧、高比重サンプルに

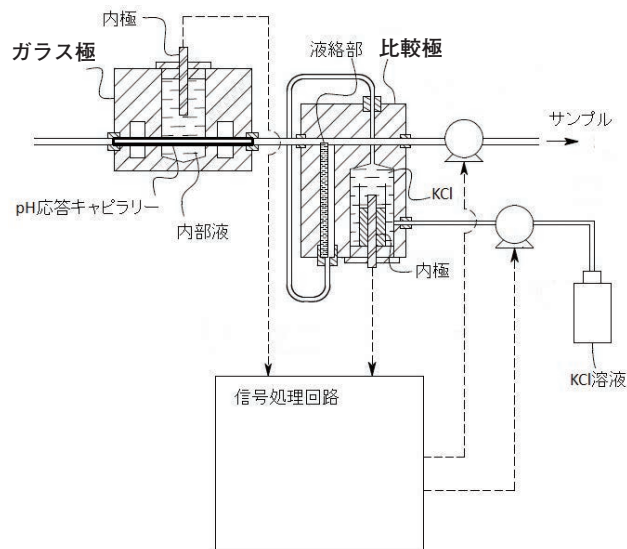


Figure 6 キャピラリー型pH電極

耐えうる独自の構造を開発した。さらに気泡の影響を最小限に抑える構造上の工夫と、ソフトウェアにてノイズを除去するアルゴリズムにて、長時間安定に測定することができる。

UP-100の特色を生かした応用事例

近年、半導体の洗浄プロセスではごく低濃度の薬液が使われることがあり、その濃度測定に対するご要望をいただくことも多い。従来の光学式のモニターでは測定限界の数～数十ppm領域での測定の要望もある。このような場合、pHは水素イオン濃度を対数で表しているため、中性付近ではごく微量の水素イオン濃度の変化を拡大して表すことができる。そこでUP-100を用いて低濃度のアンモニアの測定を行った。

Figure 7にアンモニア濃度とpHの相関図を示す^[2]。測定時のサンプル液への空気中の二酸化炭素の溶け込みを考慮

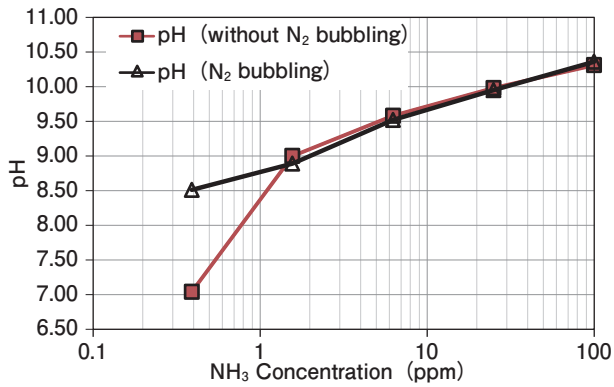


Figure 7 アンモニア濃度とpH相関

し、サンプルをN₂でバブリングした場合としない場合において測定をおこなった。N₂バブリングをおこなった場合は0.3 ppmから100 ppmの範囲においてpHとアンモニア濃度の対数は良好な線形性を示し、pHがアンモニア濃度の指標として活用できると考えられる。

Figure 8に約1 ppmのアンモニア溶液を連続測定されていることがわかる。このように、不慮の事態によって二酸化炭素の溶け込みが発生した場合、連続測定であれば異常をリアルタイムに検出できる。このように低濃度のアンモニアの濃度変化に対する監視と、そこへの二酸化炭素の溶け込みの監視に役立つと考える。

おわりに

その簡易さ・コストの安さからラボ、上下水、工業用など広く受け入れられているガラス電極方式のpHプローブではあるが、製造工程等で精密、連続的に運用する上では、原理上、測定後サンプルの廃棄コスト・メンテナンス上の問題があった。その運用の困難さからpH測定そのものを断念されてきた現場も多くあると思われる。このような問題解決に役立つUP-100をご活用いただくことで、製造プロセスの最適化、省コスト化、品質向上に計測機器メーカーとしての貢献できると考えている。今後、pHのみならず電気伝導率、他のイオン測定などの組み合わせにより、さらに多くの業界へ展開するシリーズ第1号機である。いつの間にか分析・解決している世の中に向けて。

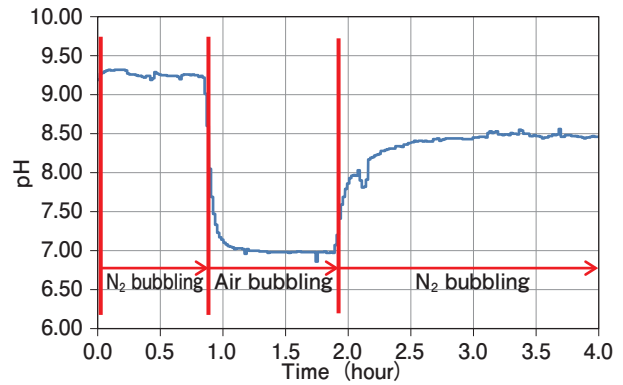


Figure 8 約1 ppmアンモニアの連続測定結果

参考文献

- [1] 大川 浩美, 西尾 友志, “堀場製作所の基礎技術2 pH電極”, *Readout*, 41, 61 (2013)
- [2] Yoko NAKAI, Kazuhiro MIYAMURA, Yoshihiro MORI, “Real-time pH Monitoring of Ultra-diluted Chemistry with Micro-sampling pH Monitor”, 228th ECS meeting, 2015



中井 陽子

Yoko NAKAI

株式会社 堀場製作所 第2製品開発センター
液体計測開発部

宮村 和宏

Kazuhiro MIYAMURA

株式会社 堀場製作所 第2製品開発センター
液体計測開発部

第5回HORIBA Group IP World Cup Gold Award受賞案件の紹介



Figure 1 HORIBA Group IP World Cup

HORIBA Groupで生まれた数々の独創的な技術や知的財産が事業の推進力となってきた。技術開発とその成果たる知的財産がHORIBAブランドの本質的な要素であり、HORIBA Group IP World Cup (Figure 1)は、HORIBA Group is One Companyの精神のもと、事業を牽引する技術・知的財産をグループ全体で賞賛し、次なる成長の起爆剤となる技術・知的財産の創出をさらに奨励していくことを趣旨として創設された。

第5回HORIBA Group IP World Cup^{*1}では、海外を含むHORIBA Gr.の開発拠点から17件の応募があった。2015年3月25日に第5回HORIBA Group IP World Cupの授賞式が行われ、ホリバ・インスツルメンツ社の「Real-Time Water Treatment Monitoring with Absorbance and Fluorescence (吸収と蛍光の測定を用いたリアルタイム水処理モニタリング)」がGold Awardを受賞した (Figure 2)。HORIBAグループを代表する技術として以下に紹介する。

*1：第5回では、2014年7月1日から2015年6月30日の間に創作、出願、論文発表、特許登録、または外部表彰を受賞したなどの知的財産を対象としている。

吸収と蛍光の測定を用いたリアルタイム水処理モニタリング

Gold Award受賞案件の概要

2015 HORIBA Group IP World Cup Gold Awardを受賞した知的財産(IP)は、紫外-可視光吸収と三次元蛍光(EEM)データを用いることで、重要な水処理パラメータをリアルタイムで測定する装置・技術である。このIPについては米国特許出願を完了させている。このIPのユニークな点は、早く、かつ最適なスペクトル情報を提供するために、マルチチャンネルのスペクトラム検出とそのスペクトラム解析に極力、演算負荷を低減した解析アルゴリズムを採用していることである。従来の手法と比較して、このIPは水処理にとって重要な多種多様な物質を高い選択性・感度で検出することに貢献している。さらに今回の装置は、水のモニタリングを工業的に行う際に求められる、可動する光学部品やメンテナンス部品の最小化や、プロセス制御を効果的に行うために重要なプロセスポイント(複数)から自動でサンプリングする機能に対応している。

今回のIPを用いた装置 (Figure 3)では、吸収と蛍光の測定により様々な有機物を感度よく検出できる。また無機物は濁度と同様に、吸収で検出できる。このIPの技術の重要なアプリケーションとしては以下の三つを少なくとも挙げる事ができる。1)飲料水中の消毒副生成物を減少させること 2)下水リサイクルプロセスや海水淡水化装置における膜ろ過システムの膜の詰まりや濾過システムの機能不全を減少させること 3)下水・石油製品・藻等による汚染の検出を容易にすることである。しかし、これらに限らず、将来は防水性を有した、現場へ



Figure 2 Gold Award受賞者の写真

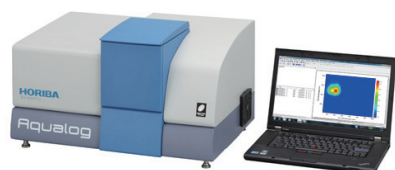


Figure 3 水中溶存有機物 (CDOM) 蛍光測定装置 Aqualog (アクアログ)

持ち込みができる汎用的な水質モニタリング装置や研究用装置にも適用可能である (Figure 4)。

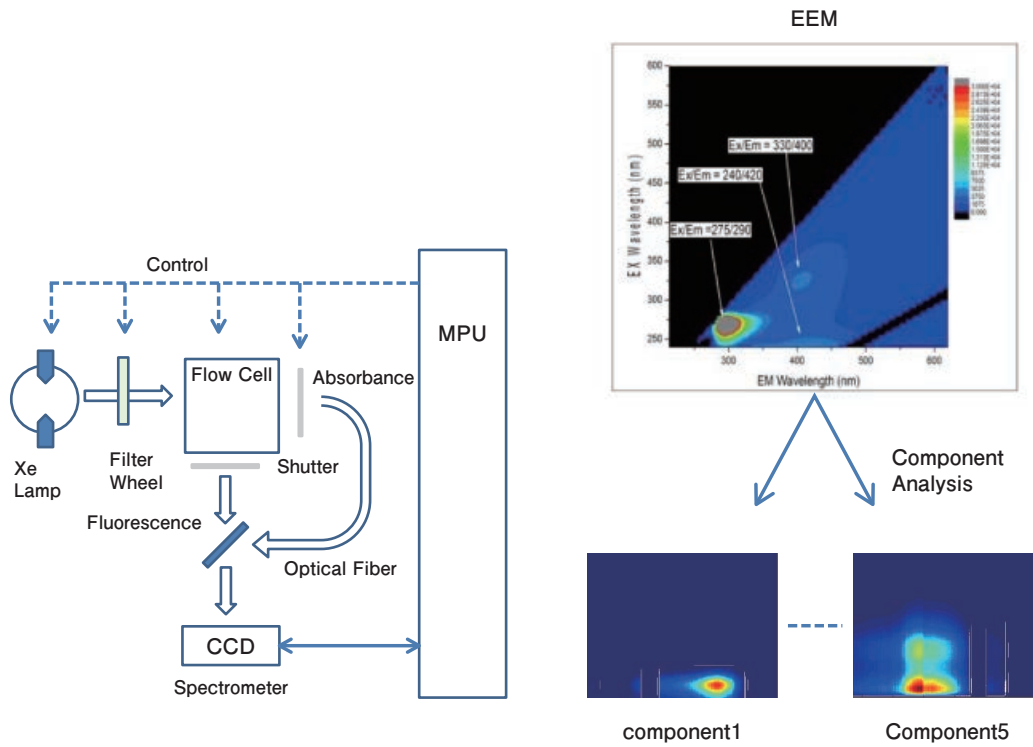


Figure 4 本IPを用いた装置の概要

第5回HORIBA IP World Cup受賞者



【Gold Award】

【受賞課題】

蛍光、吸光を利用した
リアルタイム水質モニタリング装置
HORIBA Instruments Incorporated
受賞者 Adam GILMORE, Xiaomei TONG
株式会社 堀場アドバンスドテクノ
受賞者 富岡 紀一郎

【Silver Award】

【受賞課題】

チップ増強ラマン分光に関するノウハウ
HORIBA Jobin Yvon SAS
受賞者 Marc CHAIGNEAU

【Bronze Award】

【受賞課題】

低スピード&角度位置制御モード
HORIBA Instruments Incorporated
受賞者 Norman NEWBERGER,
Richard RUMER, Bryce JOHNSON
株式会社 堀場製作所
受賞者 上野 直司

【Honorable mention】

【受賞課題】

熱型赤外線センサー
株式会社 堀場製作所
受賞者 高田 秀次, 古川 泰生, 大須賀 直博

平成27年度近畿地方発明表彰

文部科学大臣発明奨励賞

内燃機関のEGR率測定装置(特許第5506376号)

表彰の概要

本発明表彰は、近畿地方における発明の奨励・育成を図り、科学技術の向上と地域産業の振興に寄与することを目的としており、近畿地方において優秀な発明、考案、または意匠(以下「発明等」という。)を完成された方々、発明等の実施化に尽力された方々、発明等の指導、奨励、育成に貢献された方々の功績を称え顕彰するものである。HORIBAからは特許第5506376号(内燃機関のEGR率測定装置)が応募案件の中で最も高い評価を受けた発明に与えられる文部科学大臣発明奨励賞(Figure 4)をHORIBAとして初めて受賞した。

表彰案件の社内外からの評価

本発明はReadout No.41 September 2013^[1]に掲載(http://www.horiba.com/uploads/media/R41_20_112_01.pdf)の第2回HORIBA Group IP*¹ World CupでGold Awardを受賞している。HORIBA Group IP World Cupは、国内外全てのHORIBAの中で優れた知的財産を表彰する社内表彰である。また本発明は第64回(2014年)自動車技術会・論文賞(Figure 1)を受賞^[2]している。(<http://www.jsae.or.jp/09award/jigikaisho/2014/16.html>)。本賞は、自動車技術に関係する優れた論文を発表した個人およびその共著者に与えられるものである。

*1 : IP = Intellectual Property(知的財産)

表彰案件内容

本発明は、排ガス再循環(以下、EGR(Exhaust Gas Recirculation))システムを搭載した内燃機関のEGR率(排気管からのガス再循環量と、再循環量も含めた吸気量との比率)を測定するEGR率測定装置(Figure 2)に関するものである。本発明のEGR率測定装置は、排ガスのサンプルポイントから分析計までの排ガス流路を加熱して結露を防止することで、従来必要とされた水分除去機構を設けず、排ガス中の水分によるCO₂濃度の干渉影響を排除し、吸気側及び排気側のCO₂濃度を高精度に測定し、EGR率の測定精度(Figure 3)を向上させるものである。また、水分除去機構を設けないため流路長を短くでき、吸気導入ライン及び排気導入ラインの構成を等しくすることで、高速応答かつトランジェント誤差を低減したEGR率の測定を可能とすると共に、ポンプ等も小型化することができ、省スペースおよび省電力化を促進できる^[3]。



Figure 1 第64回(2014年)自動車技術会論文賞 授賞式の様子



Figure 2 本発明が搭載されている装置(EGR率測定装置)

本発明により、EGR率測定装置を開発中のエンジンの近くや車両内にも設置が可能となり、エンジン開発の効率化に大きく寄与する。これにより、高効率でクリーンなエンジンの開発に貢献できる。

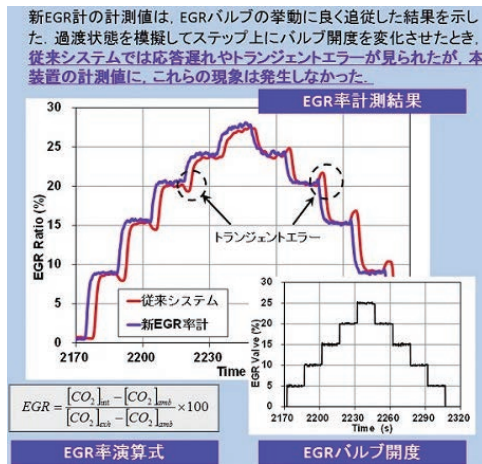


Figure 3 本発明が搭載されている装置 (EGR率測定装置)

【登録番号】

特許第5506376号

【発明者】

吉村友志, 宮井優

その他受賞案件

受賞名	特許番号	発明の名称	発明者氏名
京都発明協会 会長賞	特許第4691266号	自動全窒素・ 全りん測定装置	坂井二郎, 山田壽紀, 石藤昇
発明奨励賞	特許第5072777号	試料測定装置	江原克信, 小椋克昭, 辻岡唯二
発明奨励賞	特許第5198947号	元素分析装置	平田泰士
発明奨励賞	特許第5475817号	液体材料気化装置	西川一郎, 河野武志



Figure 4 平成27年度近畿地方発明表彰 HORIBA受賞者

参考文献

- [1] “第2回HORIBA Group IP World Cup Gold Award受賞案件の紹介”, *Readout*, 41, 112 (2013)
- [2] 吉村友志, 他, “加熱NDIR分析計を用いた過渡EGR率測定とEGRガス濃度応答時間の解析”, *自動車技術会論文集*, 44, No. 1, 21 (2013)
- [3] 吉村友志, “加熱NDIR計を用いた過渡運転時のEGR率計測装置の開発”, *Readout*, 40, 81 (2013)

HORIBA World-Wide Network

CHINA

Beijing HORIBA METRON Instruments Co., Ltd.

Chaoyang District, Bei Yuan Road 40, Beijing
Phone : (86)10-8492-9402 Fax : (86)10-8492-7216

HORIBA INSTRUMENTS (SHANGHAI) Co., Ltd.

No.200, Taitao Road, Anting Town, Jiading District, Shanghai 201814
Phone : (86)21-6952-2835 Fax : (86)21-6952-2823

HORIBA (China) Trading Co., Ltd.

Unit D, 1 Floor, Building A, Synnex International Park, 1068 West Tianshan Road, Shanghai, 200335
Phone : (86)21-6289-6060 Fax : (86)21-6289-5553

Beijing Office

12F, Metropolis Tower, No. 2, Haidian Dong 3 street Beijing 100080

Phone : (86)10-8567-9966 Fax : (86)10-8567-9066

Guangzhou Office

Room 1611/1612, Goldlion Digital Network Center, 138 Tiyu Road East, Guangzhou 510620

Phone : (86)20-3878-1883 Fax : (86)20-3878-1810

Shanghai Service Center

Room 303, No.84, Lane887, Zu-Chong-Zhi Road, Zhangjiang Hi-tech Park, Shanghai, 201203

Phone : (86)21-5131-7150 Fax : (86)21-5131-7660

Shanghai Technical Center

No.200, Taitao Road, Anting Town, Jiading District, Shanghai, 201814

Phone : (86)-21-6289-6060 Fax : (86)-21-6289-5553

MIRA China Ltd.

Jingan Zhonghua Plaza, No.1701, Beijing West Road, Shanghai, 200040

Phone : (86)21-5157-2236 Fax : (86)21-5157-2238

INDIA

HORIBA India Private Ltd.

246, Okhla Industrial Estate, Phase 3, New Delhi, 110020

Phone : (91)11-4669-5001/(91)11-4646-5000

Fax : (91)11-4669-5010/(91)11-4646-5020

Bangalore Office

No.55, 12th Main, Behind BDA Complex, 6th sector, HSR Layout, Bangalore South, Bangalore-560102

Phone: (91) 80-4127-3637

Chennai office

The ground floor New No. 41, Old No. 15/3, Velachery Road, Little Mount, Saidapet, Chennai - 600015

Phone : +(91)-44-42077899

Technical Center

D-225, Chakan MIDC Phase-II, Bhamboli Village, Pune-410501

Phone : (91)-02135-676000

INDONESIA

PT HORIBA Indonesia

JL. Jalur Sutera Blok 20A, No. 16-17, Kel. Kunciran, Kec. Pinang Tangerang 15144

Phone : (62)21-3044-8525 Fax : (62)21-3044-8521

KOREA

HORIBA KOREA Ltd.

202-501, Bucheon Techno Park, 388, Songnae-Daero, Wonmi-Gu, Bucheon-Si Gyunggi-Do, 14502

Phone : (82)32-621-0100 Fax : (82)32-621-0105

Seoul Office

10, Dogok-Ro 6-Gil, Gangnam-Gu, Seoul, 06259

Phone : (82)2-753-7911 Fax : (82)2-756-4972

Suwon Office

D2f Hae Sung Building 107-5 Yuljeon-Ro, Jangnang-Gu, Suwon-Si Gyeonggi-Do, 16361

Phone : (82)31-296-7911 Fax : (82)31-296-7913

Ulsan Office

601, Kaya Building, 93, Sinjeong 3 Dong, Nam-Gu, Ulsan, 44684

Phone : (82)52-275-0122 Fax : (82)52-276-0136

HORIBA STEC KOREA, Ltd.

110, Suntech-City, 474, Dunchon-daero,

Jungwon-Gu, Seongnam-si, Gyeonggi-Do, 13229

Phone : (82)31-777-2277 Fax : (82)31-777-2288

SINGAPORE

HORIBA Instruments (Singapore) Pte. Ltd.

3 Changi Business Park Vista #01-01 Akzonobel House, Singapore, 486051

Phone : (65)6-745-8300 Fax : (65)6-745-8155

West Office

83 Science Park Drive #02-02A, The Curie Singapore 118258

Phone : (65)6-908-9660

TAIWAN

HORIBA Taiwan, Inc.

3 Floor, No.18, Ln. 676, Zhonghua Road, Zhubei, Hsinchu country 302

Phone : (886)3-656-1160 Fax : (886)3-656-8231

Tainan Office

1 Floor, No.117, Chenggong Road, Shanhua, Township Tainan country 741

Phone : (886)6-583-4592 Fax : (886)6-583-2409

THAILAND

HORIBA (Thailand) Ltd.

393, 395, 397, 399, 401, 403 Latyah Road, Somdetchaopraya, Klongsan, Bangkok 10600

Phone : (66)2-861-59-95 Fax : (66)2-861-52-00

East office

850/7 Soi Lat Krabang 30/5, Lat Krabang Road, Bangkok 10520

Phone : (66)2-734-4434 Fax : (66)2-734-4438

VIETNAM

HORIBA Vietnam Company Ltd.

Hanoi Office

Unit 6, 10 Floor, CMC Tower, Duy Tan Street, Dich Vong Hau Ward, Cau Giay, Hanoi

Phone : (84)4-3795-8552 Fax : (84)4-3795-8553

Readout HORIBA Technical Reports November 2016 No.46

発行日 2016年11月30日
発行人 足立 正之
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 足立 正之
副委員長 野村 聡
編集委員 伊藤 和哉, 伊藤 誠, 西川 雅浩,
塩見 和広
編集局 関 秀世, 中田 靖

お問い合わせ先

株式会社 堀場製作所 開発本部 開発企画センター
Tel:075-325-5036 Fax:075-325-5192
e-mail:readout@horiba.co.jp

HORIBA

Explore the future



この印刷物は、EPAのシムルバー基準に適合し、
地球環境改善のために製造した印刷方法にて作成されています。
EPA：環境保護印刷推進協議会
<http://www.e3pa.com>