

ISSN 0915-9916

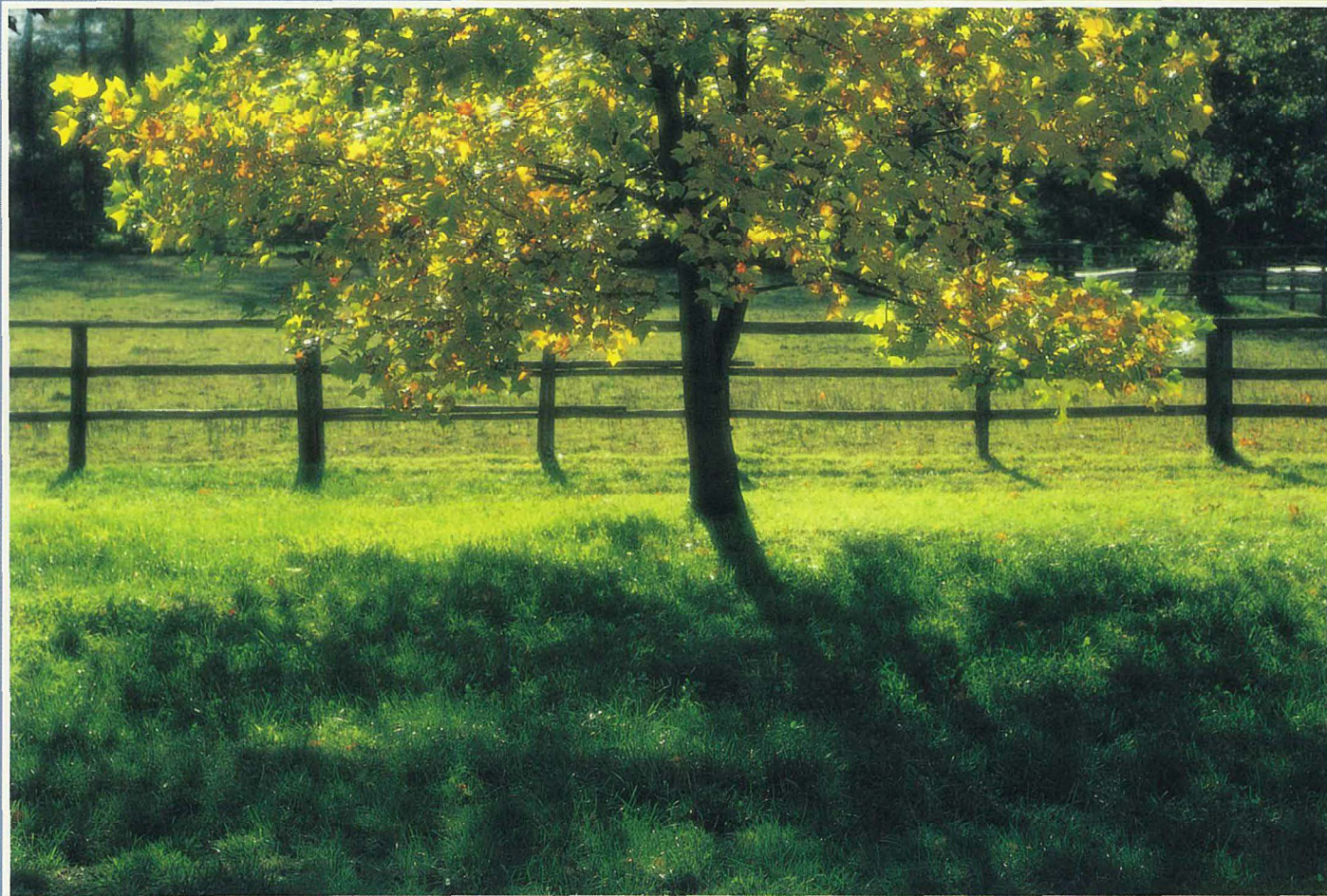
# Readout

HORIBA Technical Reports

特集

量から質へ エンジン排ガス分析

September 1995 ■ No.11



**HORIBA**

#### ○誌名について

誌名“Readout”（リーダウト）には、「当社が創造・育成した技術を、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。

#### ○表紙写真

撮影：松井秀雄氏(二科会写真部関西支部所属)  
木立ちの作る陰は下草を緑に染める。瞬間のコントラストは秋の子感。

- 
- 巻頭言 21世紀の試練 堀場 雅夫 ——— 3
- 特別寄稿 2-D イメージングによるディーゼル機関内の燃焼生成物の計測 神本 武征 ——— 4  
Passenger Car Exhaust Emissions  
—Trends in Legal Requirements, Control Technology and Exhaust Gas Analysis—  
Dr.Horst - Erich Rikeit ——— 10
- 特集論文 エンジン排ガス測定装置 MEXA-7000シリーズ  
1. 製品コンセプト 大橋 秀樹・齋藤 壽一 ——— 19  
2. 分析計の小型化・モジュール化 武田 賢二・小池 日出樹 ——— 25  
3. データ処理系と通信ライン 岡田 薫 ——— 31  
Constant Volume Sampler CVS-7000 Series  
—Variable Flow CVS-7600 type based on Sub-Sonic Venturi Flowmeter—  
William Silvis ——— 35  
高速自動車排ガス中炭化水素(C<sub>2</sub>-C<sub>12</sub>)分析装置 MEXA-3000GC  
大家 勉・大槻 聡 ——— 43  
エンジン排ガス測定装置 MEXA-4300FT 井上 香・山岸 豊 ——— 51
- 
- 特別寄稿 歴史資料を科学する 田口 勇 ——— 56
- 
- 新製品紹介 軽元素対応型 X線分析顕微鏡 XGT-2000V ——— 62
- 
- ◇一口メモ 走査プローブ顕微鏡とは何だろうか 中井 祥夫 ——— 64
- 
- 一般論文 理化学分析計とMS-Windows™  
酒井 俊英・佐藤 義通・西方 康博・北村 裕之 ——— 65  
自己診断機能付き焦電形赤外線センサ 岡本 一隆 ——— 71
- 
- ◇一口メモ MOCVD法によるPZT系強誘電体薄膜の作成 富永 浩之 ——— 77
- 
- 施設紹介 —情報ハイウェイ— 総合情報通信ネットワークHORNET 新井 修 ——— 78
- 
- ◇知有権メモ ——— 82
- ◇社外技術発表リスト ——— 84
-

□Foreword	Trials in the 21st Century Masao HORIBA ——— 3
□Guest Forum	2-D Imaging of Pollutants formed in the Combustion Chamber of Diesel Engines Takeyuki KAMIMOTO ——— 4
	Passenger Car Exhaust Emissions —Trends in Legal Requirements, Control Technology and Exhaust Gas Analysis— Horst-Erich Rikeit ——— 10
●Feature Articles	Motor Exhaust Gas Analyzer MEXA-7000 Series 1. Product Concept Hideki OHASHI, Juichi SAITO ——— 19 2. Downsizing and Modular Configuration of Analyzers Kenji TAKEDA, Hideki KOIKE ——— 25 3. Data Processing System and Communication Line Kaoru OKADA ——— 31 Constant Volume Sampler CVS-7000 series —Variable Flow CVS-7600 type based on Sub-Sonic Venturi Flowmeter— William Silvis ——— 35 MEXA-3000GC High-speed Analyzer of Hydrocarbons (C <sub>2</sub> -C <sub>12</sub> ) in Automotive Emissions Tutomu OIE, Satoshi OHTSUKI ——— 43 Engine Emission Gas Analyzer MEXA-4300FT Kaori INOUE, Yutaka YAMAGISHI ——— 51
□Guest Forum	Scientific Research of Historical Objects Isamu TAGUCHI ——— 56
●New Products	X-ray Analytical Microscope XGT-2000V ——— 62
◇Short Note	What is the Scanned Probe Microscope? ——— 64
●Selected Topics	Analyzers for Physics and Chemistry with MS-Windows™ Toshihide SAKAI, Yoshimichi SATOU Yasuhiro NISHIKATA, Hiroyuki KITAMURA ——— 65 Pyroelectric IR Sensor with Check Mode Kazutaka OKAMOTO ——— 71
◇Short Note	Preparation of Ferroelectric PZT Thin Films by MOCVD Koji TOMINAGA ——— 77
●New Facility	—The information highway— HORIBA Network & Telecommunication System HORNET Osamu ARAI ——— 78
◇Patents	——— 82
◇Technical Reports List	——— 84

21世紀を迎える企業としての対応すべきキーワードとは何か。色々論議があると思うが私はこれを4つにしばり込んでみた。

その1は国際化。すでに余りにも言われ続けている言葉であるが、真の国際化と言うのは相手の国の事を理解するだけでなく如何に自分の国の文化とか思想を相手に理解させるか、そしてこの異なる価値観にどのような共通点を見出すかという事である。単なる妥協ではお互いの尊敬もなく長続きしない。

その2は情報化である。情報の世界におけるハード、ソフトの進歩は全く素晴らしい。見方によってはジェームス・ワットの発明した蒸気機関が産業革命を引き起したと同様に、世界の産業はもとより人間のライフスタイルまで根本的に変える大きな変革といえる。特に流通、労働、金融といった周辺の部分に大きな影響を及ぼし、ボーダーレス化の進行は国家独立性をも脅かすものである。

その3は環境問題である。これは本質的に人間にとってやっかいなものである。社会主義が凋落した現在、資本主義を前提とした自由主義経済が世界を制覇しているのは、この考え方が結局人間の本能により近いからである。確かに人間の能力や努力に対応した結果が出る事は素晴らしい事であるが、人間の欲望は果しなく地球にとって自然環境にとって協力的でない。それどころかネガティブの面が大きい。事業の成長、シェアの拡大とは言葉を変えていえば大量生産、大量消費、そして大量廃棄という過程のサイクルを如何に速めるかという事に外ならない。自由主義経済、市場原理主義と言うのは、環境にとっては根本的にアンチテーゼであると言わざるを得ない。自由主義経済の発展に最も大きな役割を演じた技術も同じ運命を背負っている。技術は飢えや疫病を追放し人類に大きな幸福をもたらした反面、大量の資源、大量のエネルギーを消費して新製品、新サービスを送り出した。人間の欲望は経済においても技術においても環境問題とは全く無関係の所にある事を理解し、この相反する人類の発展と環境保全の調和をどうとるかという極めて困難な問題をさけて通れない。

その4は人間そのものである。これからの時代は国家あつての国民、会社あつての社員ではなく、国民あつての国家、社員あつての会社でなくてはならない。即ち個人の生きがい働きのある人生を送れる社会でなければならない。然し人間の欲望と社会、国家、そして地球の未来には大きな矛盾を持っている。

どうこれを解決するのか、この問題について技術の果す役割はどのようなのか、21世紀に向ってのチャレンジの原点はこの辺にあると考える。サルトルの言った“現代人は多くの正反対をかかえて生きている。それが彼をして現代人たらしめている”という言葉は極めて重い。



会長  
堀場 雅夫  
医学博士

Masao HORIBA, M.D.  
Chairman

# 2-Dイメージングによるディーゼル機関内の 燃焼生成物の計測

## 2 - D Imaging of Pollutants formed in the Combustion Chamber of Diesel Engines

### 1. 燃焼研究の動向

ディーゼル機関の燃焼研究の歴史は古く、1940年代から火炎の高速撮影や分光分析が行われていた。その後、燃焼研究が急速に進展したのは、各国でディーゼル車に対する排気規制が云々され始めた1970年代の後半からである。この当時の研究の主流は、シリンダ内から燃焼ガスを直接サンプルして分析し、すすやNOといった有害成分の空間的、時間的变化を調べることであった。図1は典型的な測定例であって、ボア95mmの直接噴射式ディーゼル機関のシリンダヘッドに電磁式の高速度ガスサンプリング弁を取り付け、直接1.5mmの採取孔から約1.0msの期間、セットしたクランク角度で燃焼ガスを約0.5cc、30~300サイクルにわたってサンプル、分析した結果である。図より、すすは着火と同時に急速に生成され、ほぼ噴射終了時に最大値を示したのち酸化、消滅していくこと、最大値の1/50程度が未酸化のまま排出されること、NOについては、すすに比べて生成速度が遅く、すすが極大となる時期にクランク角度で約15°遅れて極大値をとり、その後空気に希釈されてゆるやかに濃度が低下することなどがわかる。このようなガス分析の研究により、直噴式、副室式ディーゼル機関燃焼室内の有害成分の生成と消滅の過程はおおむね理解されるに至った。

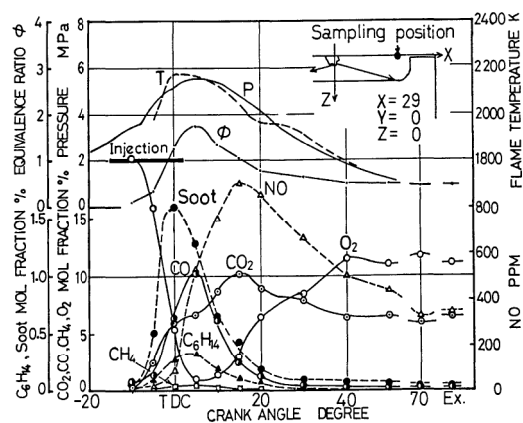


図1 ガスサンプリング法により計測された直噴式ディーゼル機関内の燃焼生成物濃度の時間履歴  
Time histories of combustion products concentrations in a direct injection Diesel engine measured by a gas sampling analysis

その後、レーザードップラ流速計を始めとしてCARS法、ラマン法といったレーザー分光法をディーゼル機関の燃焼計測に応用しようとする動きが続いたが、火炎が輝炎であること、雰囲気圧力が高いことなどが障害となり信頼性のある測定結果が得られないまま今日に至っている。他方、Gosman教授(現インペリアルカレッジ)がパイオニアとなって始めた多次元数値流体モデリングがコンピュータの発達



東京工業大学工学部制御システム工学科教授  
工学博士

神本 武征

Takeyuki KAMIMOTO, Dr.Eng.

<略歴>

1965年：東京工業大学助手  
1981年：東京工業大学助教授  
1986年：東京工業大学教授

<併任>

1990～1992年：  
航空宇宙技術研究所客員  
研究官

<専門>

内燃機関の燃焼とその計測

<研究業績>

ディーゼル噴霧内の燃料粒子径と  
当量比分布の定量測定，火炎温度  
の画像計測，火炎内のすすとOHの  
画像計測など

と呼応して急速に進展し，ある程度、理論的にディーゼル燃焼や有害成分の生成過程を追求することが可能となりつつある．アメリカではDOE (Department of Energy) の資金でKIVAを開発したロスアラモス研究所，イギリスではインペリアルカレッジ，ヨーロッパではオーストリアのAVL社などが有名である．

この間，内外のディーゼル車に対する排気規制は年を追うごとに厳しくなり，国内では1994年規制をクリアしたエンジンが市場に投入されつつある．この規制は噴射ポンプの高圧化など従来技術の延長でクリアされたが，将来の厳しい排気レベル規制を満足するには高過給，EGR，電子制御式ユニットインジェクター，脱硝触媒など高レベルな新技術の投入が避けられないものと予想される．さらに炭酸ガスによる地球温暖化というグローバルな問題が顕在化したのでディーゼル機関の持つ他種エンジンに比して高効率という優位性を維持向上させることも重要な課題となっている．

このようにディーゼルエンジンに対する社会的要求には厳しいものがあるが，燃焼現象が複雑であるため従来からのアプローチでは燃焼チューニングに限界があり，燃焼に対するより深い理解が求められている．

## 2. ディーゼル火炎の不均一構造と排気

従来のガスサンプリング法やLDV法などの計測法では，シリンダ内一点における組成や流速を多数サイクルにわたってサンプリングし，そのサイクル平均値の時間変化を調べていた．しかし，ディーゼル機関の燃焼は，燃料を直接エンジンシリンダ内に噴射させつつ燃焼させる，いわゆる乱流拡散燃焼であるため，火炎内はきわめて不均一な構造を有する．すなわちノズル近傍の噴霧周辺の剪断流において発達した大規模な渦によって誘引された空気と燃料蒸気が混合し，カスケード的に微小なスケールに混合してゆく過程で燃焼は進行する．このような燃焼場において有害成分の生成や燃焼過程を調べるには，サイクル平均値の時系列データだけでは現象の本質を把握することは困難であり，瞬時の濃度分布，温度分布，流速分布などを画像として観察することが有効である．

ディーゼル機関では全当量比は理論当量比より低く，いわゆる希薄混合気で燃焼が行われている．それにもかかわらず黒煙あるいは微粒子が排出され，またNOも当量比から予想されるよりも高い濃度が排出される．これらはいずれも火炎構造が不均一であることに由来しており，すすは局所的に空気不足の領域で生成され，NOは，局所的に温度の高い理論混合比の領域で生成されるものと推定されている．このように不均一な火炎構造と有害成分の生成は深く関わっていると考えられるので，火炎内成分の瞬時の2次元濃度分布を可視画像化する事が重要な計測上の課題となる．

### 3. エンジンにおける2次元画像計測

定常火炎内の化学成分の2次元濃度分布測定については、1970年代からレーザー誘起蛍光法(Laser Induced Fluorescence:LIF法)によるOH測定などが米国サンディア国立研究所を中心に始められた。一方、エンジンにおけるレーザー応用計測も進み、火花点火機関ではレーザードップラ流速計により、シリンダ内平均流速だけでなく火炎面前後の乱れの変化が測定された。またラマン散乱法やCARS法によりエンドガスや既燃ガスの温度の点測定も行われた。しかし、ディーゼル機関においては輝炎中のすすからの輻射光が妨げとなってこれらのレーザー計測法の応用は不成功に終わっている。

エンジンシリンダ内の現象解明のためにレーザー画像計測が応用され始めたのは1980年代の後半になってからである。ガソリン機関ではリーンバーンエンジンや直接噴射式エンジンの開発が世界的に活発化し、シリンダ内の混合気の分布が燃焼と排気特性を支配することからLIF法やレイリー散乱法によるシリンダ内燃料蒸気濃度分布の2次元画像計測が広く行われるようになった<sup>2)</sup>。さらに火炎の伝播状況を可視化するためLIF法によるOHラジカルの画像計測も行われている<sup>3)</sup>。

ディーゼル機関については、火炎内のすすの2次元可視化に関する研究が米国サンディア研究所<sup>4)</sup>、京大、東工大でほぼ同時に1990年頃始まり、現在も継続されている。その後OHやNOのLIF画像計測が進展しつつある<sup>5)</sup>。また窒素雰囲気中の蒸発噴霧内の燃料蒸気濃度分布もLIF法により定量的に測定できるようになった。

### 4. ディーゼル火炎内のすすとOHの2次元画像計測

火炎内のすすを可視化する方法は二つある。一つは入射したレーザーシート光をすす粒子が散乱する散乱光を画像化する方法であり、この方法ではすす粒子径が入射レーザー光の波長より一桁小さいので、レイリーの散乱理論が近似的に適用できる。すなわち散乱光強度はすす粒子径の6乗と粒子数密度の積に比例する。レーザーシート光入射方向に対して直交する方向の散乱光を撮影するが、レーザー光の偏光面をレーザーシート面と一致させ、すす粒子からの熱輻射の連続スペクトルの中から散乱光のみを抽出するため出力の大きなレーザーを用い、かつ撮像レンズの前に狭帯域のレーザーフィルターを設ける必要がある。欠点は視野中に燃料液滴粒子が残存する場合、その粒子も弾性散乱光を発生し、それがすすからの散乱光画像に重複することである。したがってこの方法の適用は燃料粒子の存在しない火炎先端領域に限られる。

もう一つの方法はレーザー誘起赤熱法(Laser Induced Incandescence:LII)である。



エネルギー密度の高いレーザーシート光を輝炎に入射すると、火炎中のすす粒子がレーザー光の一部を吸収して燃焼温度(～2300K)よりさらに高温となる。レーザーのパワーと照射時間を適当に選べばレーザーシート入射面(厚さ0.2mm程度)に存在するすす粒子の温度は4500K程度に上昇し、その熱輻射スペクトルのピーク波長は2300Kにおける $1.26\mu\text{m}$ から $0.644\mu\text{m}$ へシフトする。火炎の厚みを考慮しても、紫外波長域における4500Kのすす粒子からの熱輻射は2300Kのすす粒子の熱輻射の数十倍に達する。したがって撮像レンズの前に狭帯域の紫外波長フィルタを設ければレーザーシート入射面内のすす粒子からの熱輻射のみを画像として捉えることができる。観察領域内に燃料液滴粒子が存在してもその影響を受けないという長所を有する。またこの熱輻射は粒子直径の3乗と数密度の積に比例する。

筆者らは図2に示すような直径196mm、圧縮比15の大形急速圧縮装置を用いて実際のディーゼル機関燃焼室内と同等の雰囲気の中にディーゼル火炎を実現し、この火炎にNd:YAGレーザーからのシート光を入射してすすの可視化実験を行っている<sup>5)</sup>。

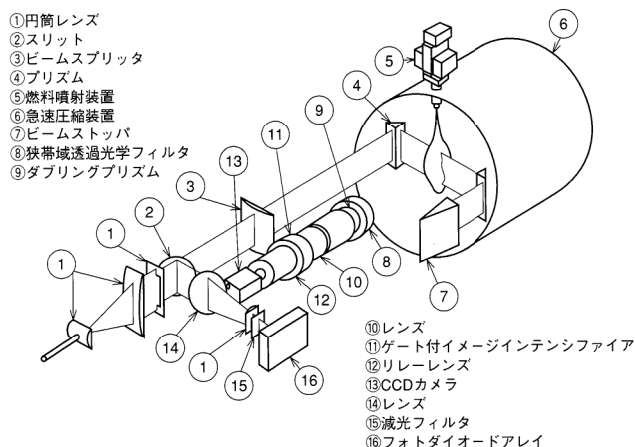


図2 非定常噴霧火炎内のすすとOHの同時二次元画像計測のための光学系  
Optical arrangement for 2-D imaging of soot and OH in a transient spray flame

レーザーの波長は532nm、出力は100mJ/パルス、パルス巾は6～9nsである。すす粒子からのレイリー散乱光とLII光をシート入射方向に直交する方向からイメージインテンシファイアで撮像している。撮像レンズの前にダブリングプリズムを設け、左右にレイリー散乱画像用のレーザーフィルタとLII用の中心波長400nm、半値巾66nmのフィルタを各々付けて両画像を同時に撮影している。図3がその一例であり、両画像より粒子直径の相対値 $(I_{SCA}/I_{LII})^{1/3}$ の分布と粒子数密度の相対値 $(L_{II}^2/I_{SCA})$ の分布を得ている。火炎先端の周辺部のすす濃度 $(L_{II})$ が高いこと、この例では画像の右側で粒子径が大きく、数密度が低いことがわかる。

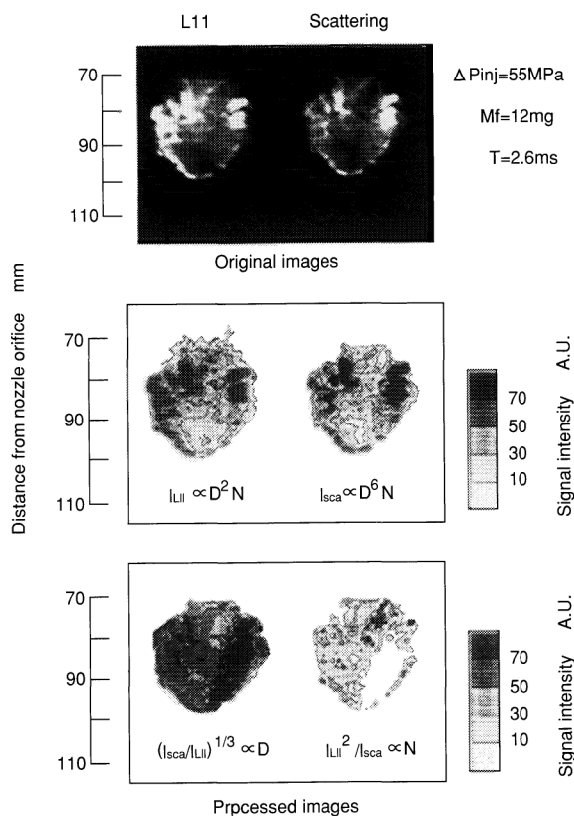


図3 LII画像と散乱光画像の解析による火炎内すすの濃度、粒径、数密度の同時測定  
Simultaneous measurement of concentration, particle size and number density of soot in a flame by an analysis of LII image and scattering image

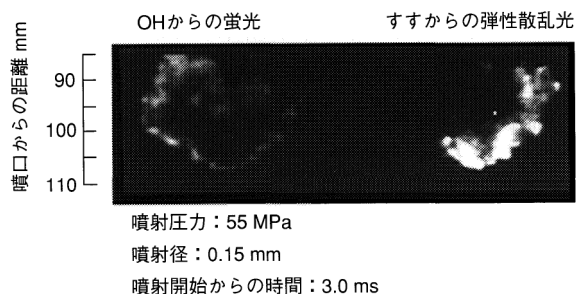


図4 火炎内のすすとOHの同時可視化画像  
Images of LIF emission of OH and elastic scattering of soot in a flame taken simultaneously

同じ燃焼装置と光学系を用いてレーザー誘起蛍光法により火炎内のOHラジカルの画像測定を行っている。Nd:YAGレーザーの波長532nmで色素レーザーをポンピングし、OHの(1, 0)バンドの波長284nmのシート光を火炎に入射してOHの(0, 0)バンド、波長308nmの蛍光を画像として撮っている。色素レーザーの出力は3~6 mJ、レーザーシート光の中は25mmである。通常のディーゼル軽油を燃料とすると火炎中のすす濃度が高すぎるため、含酸素燃料をブレンドしてすす生成量をコントロールして実験を行っている。図4が可視化画像の例であり、OHの蛍光とすすのレイリー散乱光を同時に撮影した珍しい写真である。OHはNOの生成に関与するだけでなくすすの酸化に強く関わっている分子であるが、この画像を見た限りではOHの存在領域はすすの存在領域とずれている。OHはすすが存在すると直ちにすすの酸化に消費されてしまう可能性が高い。

## 5. 今後の課題

ディーゼル機関の燃料計測について1970年代から今日までの経過の概略を述べ、最後に筆者らの行っている最新のレーザー画像計測の実際に触れた。最近になりようやくディーゼル火炎内の不均一の構造やすすの生成・酸化についての理解が深まってきたが、今後さらに現象を追求するには火炎内の速度ベクトル分布の画像計測を行い、各種成分の変化をラグランジェ的に追跡する必要がある。また一部で試みられているNOの可視化については、サイクル平均的な画像計測ではなく瞬時の画像計測の実現が望まれる。

### 参考文献

- 1) 青柳友三, 松井幸雄, 神本武征, 松岡 信, “直接ガスサンプリング法による直噴式ディーゼル機関におけるNOとすす生成に関する研究”, 日本機械学会論文集, 46巻403号, pp540-549 (1980)
- 2) R. Shimizu, S. Matumoto, S. Furuno, M. Murayama and S. Kojima, “Measurement of Air-Fuel Mixture Distribution in a Gasoline Engine Using LIEF Technique”, SAE paper NO.922356 (1992)
- 3) 田中達也, 田端道彦, “PLIFを用いたガソリン機関燃焼室内のOHラジカルの2次元分布計測”, 第11回内燃機関シンポジウム講演論文集, pp115-120 (1993)
- 4) A.O.zur Loye, D.L.Siebers and J.E.Dec. “2-D Soot Imaging in a Direct Injection Diesel Engine Using Laser-Induced Incandescence”, Int. Symp. on COMODIA 90, pp523-528 (1990)
- 5) B. Alatas, J.A. Pinson, T.A. Litzinger and D.A. Santavicca “A Study of NO and Soot Evolution in a DI Diesel Engine via Planar Imaging” SAE paper NO. 930973

---

## 2-D Imaging of Pollutants formed in the Combustion Chamber of Diesel Engines

In 1970s, when regulations for emissions from Diesel engines started, studies on combustion phenomena including NO and particulates formation were conducted worldwide mostly by means of gas sampling analysis. These studies provided deep insights into pollutant formation in the diesel engine cylinder, but the cycle averaged data was insufficient to describe the inhomogeneous nature of Diesel flame to which formation of NO and particulate in the Diesel flame is closely related. For this reason, two dimensional instantaneous imaging of pollutants in the combustion chamber has so far been developed intensively. Principles and instruments of simultaneous imaging of soot and OH radical in a Diesel flame on which the authors group is working are outlined and some of the images are presented.

## 1. State-of-the-Art

### 1.1 Legislation

Since the late 60s, air pollution by passenger cars has become an issue of growing public and governmental concern worldwide. So, induced by severe environmental problems in the highly polluted area of Los Angeles the first legal requirements including limit values for passenger car exhaust emissions evolved in 1966. Since then many other countries have followed. At the moment 154 countries around the world -ranging from Austria to Zaire- have exhaust regulations for passenger cars.

Though the approaches of these countries to exhaust legislation were (and in some parts still are) different, today most of them refer to comprehensive standards like the US Federal Test Procedure (Fig.1) or the EC Standard (Fig.2).

### 1.2 Emission Test Procedure and Equipment

The general outline of the test procedure for official exhaust emission testing (not taking into account any evaporative emissions requirement) thus follows the same schematic. After some preparative action, like e.g. fuelling the car with specific reference fuel and preconditioning, the car has to be parked under defined ambient conditions within a temperature range normally between 20 and 30 deg C for 12 to 36 hours. The start after this period is a cold start. The car then has to be pushed onto a chassis dynamometer simulating all normal road forces, where it has to follow a driving schedule which the government considers representative or from the point of pollution prevention especially important for the country.

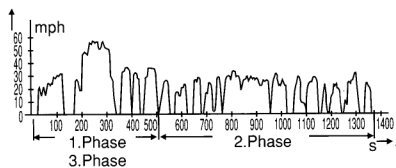


Fig. 1 US-driving schedule FTP-75

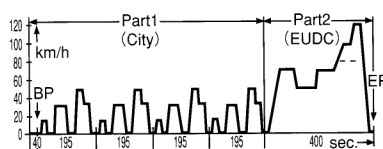


Fig. 2 European driving schedule

## 乗用車の排出ガス

— 排出規制・排出制御技術・排ガス分析の動向 —

Prof. Dr. Horst-Erich Rikeit

(メルテス・ベンツ株式会社 排ガスセンター 品質管理部部長)

### 1. 現在の状況

#### 1.1 法規制

ロサンゼルスの大気汚染がきっかけとなり、1966年型車より米国に始まった自動車排ガス規制は、現在では世界154か国で行われている。規制の内容は国ごとに異なっているが、大半はアメリカやヨーロッパ共同体(EC)の試験方法が規範となっている。

#### 1.2 試験方法と測定装置

一般的な排ガス試験は、テスト車を所定の環境条件に置いた後(20~30℃, 12~36時間)、シャシ・ダイナモ上を規定のモード(図1,2)で走らせて行う。排ガスは定容量試料採取装置



Prof. Dr.  
**Horst-Erich Rikeit**

Manager Exhaust Emission Laboratory  
Mercedes-Benz AG, Bremen, Germany

Lecturer at Hochschule Bremen, Germany

< Experience >

Born April 12, 1953

1976-79: Assistant at Technical University Clausthal, Germany  
Research on the emission of hydrocarbons from gasoline engines

1976-83: Employed with Daimler-Benz AG, Stuttgart, Germany, Central Research Department  
Research on formation, emission and health effects of exhaust compounds from mobile sources

1983- : Employed with Mercedes-Benz AG, Bremen, Germany, Quality Assurance Exhaust Emissions  
Testing of exhaust emissions from passenger cars for legal conformity of production requirements and for development purposes

While the car is driven on the dynamometer, its exhaust gas is sampled with a CVS (Constant Volume Sampling-system) (Fig.3). There the exhaust gas is diluted with ambient air to prevent water, amounting to roughly 12 to 14% of the exhaust gas volume and thus being one of the most predominant exhaust compounds, from being condensed. In today's conventional CVS-systems the volume of dilution air exceeds the volume of raw exhaust gas by a factor of 8 to 20. The test results are then calculated from the analytical data of the diluted exhaust gas and the dilution air.

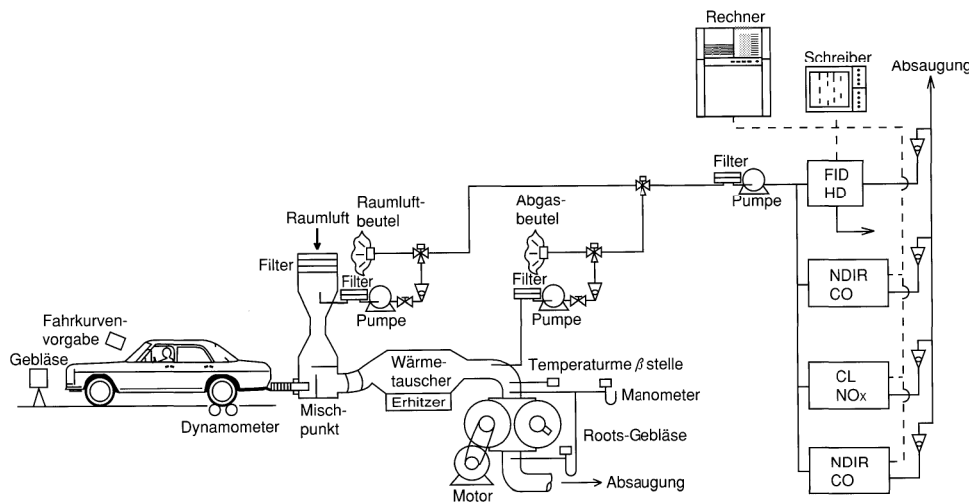


Fig.3 CVS-sampling and analytical system<sup>1)</sup>

(CVS)で水分が凝縮しないように大気で希釈し、排ガス中の各成分濃度を分析する。この分析値と希釈大気の量とから排出された質量を算出する(図3)。

1.3 制御技術

現在、乗用車の排ガス浄化装置としては三元触媒(TWC)が最も普及している。TWCの効率は、空燃比と動作温度によって左右されるが(図4)、次の条件下では極めて有効に働く。

\* 閉ループエンジン制御システムを併用して、空燃比を理論空燃比( $\lambda=1$ )になるような条件下で作動させたとき

\* TWCの温度が触媒活性温度(light-off temperature:通常200~300℃)に達したとき。

種々の浄化方法の浄化効率を表1にまとめた。

### 1.3 Control Technology

The legal limits for exhaust components which grew more and more stringent in the course of time and the efforts of the automobile industry to reduce car exhaust emissions led to the development of three-way-catalytic converters (TWC), the system which is now most commonly used for passenger car exhaust purification.

Fig. 4 shows, that the TWC is a very powerful means for exhaust emission reduction provided that

- \* it is operated together with a closed loop motor management system making sure that the catalytic converter is only confronted with exhaust gas from stoichiometric ( $\lambda = 1$ ) combustion, and
- \* it has reached its light-off temperature which is -depending on the formulation and age of the TWC- in the range of 200 to 400 deg. C.

The effects of other systems which may be implied in addition to TWCs is shown in Table 1.

	HC	CO	NOx
Raw Emission	100%	100%	100%
+Variable Camshaft Timing	96%	100%	85%
+Exhaust Gas Recirculation	91%	100%	53%
Catalytic Converter	7%	16%	9%
+Secondary Air Injection	5%	8%	4%
+Ignition Adjustment	3%	6%	3%

Table 1 Effect of exhaust gas cleaning systems on emissions

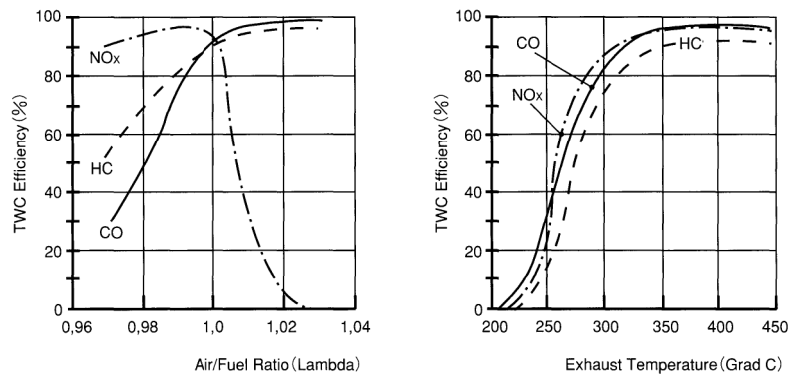


Fig.4 TWC efficiency as a function of the air/fuel ratio of the engine and of the TWC temperature

## 2. 法規制の動向

環境問題の高まりとともに排ガス規制を強化しようとする動きがあるが、いずれも現在の排出抑制技術の限界に挑むものである。

カリフォルニア州で新たに可決された排ガス規制(表2)では、車/エンジン/燃料を一体として捕らえ、高度な診断システムの搭載を義務付けている。また、蒸散ガス規制が強化され、試験方法が変更され、炭化水素による光化学スモッグが規制対策の焦点となっている。これに伴い、炭化水素の定義が変更され、最大許容限度も大幅に削減される見込みで、スモッグを形成する各成分が測定・評価の対象となる。

ECでも新たに規制(表3)が強化され、今世紀末までには米国の規制レベルと同程度になる見込みだが、現在の技術水準では達成は難しい。

## 2. Trends in Legal Requirements

In recent years, facing severe environmental problems and/or political pressure from the public several governments felt the need to push forward very stringent new automotive emission regulations, which for example are both legislated in the US and proposed in Europe and which challenge the limits of current emission control technology.

So for example California passed a new complex framework of exhaust requirements, which do not only regard fuel and car/engine as an integrated system, require sophisticated on-board-diagnosis systems, enforce strict limits on evaporative emissions and alter test procedures but also focus on the smog forming potential of hydrocarbon emissions. Consistently the definition of "hydrocarbons" was altered and the maximum tolerable amount of hydrocarbons emitted has been and will be further drastically reduced over the years to come. No longer are they regarded as a sum value. A whole variety of components has to be measured and evaluated individually for their smog forming potential.

Parallely to the USA the European Community, too, introduced new requirements and tightened its emission standards. By the end of this century both requirements can be considered equivalent, and cannot be met with today's state-of-the-art-technology. Table 2 shows the emission standards California<sup>2)</sup> and Table 3 shows the emission standards Europe<sup>2)</sup> (These tables are attached on the last page of this report)

---

### 3. 排出の制御技術の動向

排ガスは始動時に主に発生するため、自動車メーカーでは触媒の活性化時間の短縮に努力してきた。図5に触媒搭載車の炭化水素の排出特性を示す。

ULEV (Ultra Low Emission Vehicle) や European stage II standard への対応策は、エンジンの始動から触媒の活性温度に達するまでの時間を20秒以内に押さえることである。現在、受動的・能動的の両面からの次のような技術開発が行なわれている。

#### (1) 受動的な対応策

- \* 点火時期、クランクシャフト・タイミングなどによるエンジン管理
- \* 空気噴射や排ガス再循環方式 (EGR) の補助装置
- \* 触媒の組成と装着位置の最適化
- \* 触媒の前の排気管を断熱
- \* 前置触媒 (pre-catalyst)

### 3. Trends in Control Technology

Since most of the emissions are generated in the cold start portion of the driving cycle, the auto manufacturer's development efforts have primarily directed to reducing the time necessary to achieve catalyst activity.

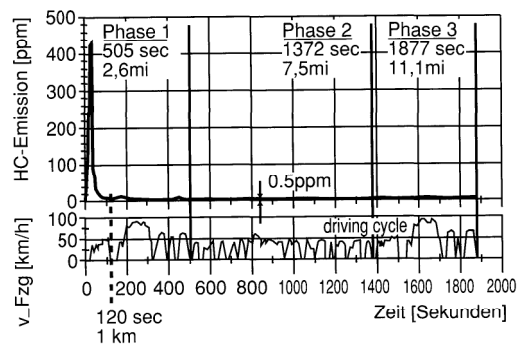


Fig. 5 Emission of hydrocarbons during an FTP-test of a car with catalytic converter

To cope with ULEV or European stage III standards it is currently believed that the catalytic converter has to reach its light-off-temperature at least 20 seconds after the start of the cold engine.

The development efforts have encompassed improvements to passive technologies like

- \* engine management, with e.g. ignition timing, crankshaft timing
- \* supplementary systems, like e.g. air injection, EGR
- \* catalyst formulation and position in the exhaust duct
- \* heat insulation of the exhaust pipe in front of the catalyst
- \* pre-catalysts and to development of new active systems like e.g.

#### (2) 能動的な対応策

- \* エンジン始動時の冷えた状態で発生する炭化水素を一旦吸着し、触媒活性温度に達した後再び放出するような吸着剤(adsorber)
- \* エンジン始動後急速に触媒を昇温させるバーナー (図6)
- \* 触媒を電氣的に加熱するヒータ

#### 4. 排ガス分析の動向

このような規制の動きに対し、排ガス分析装置には次のような対応が求められている。

- \* 排ガス中の各成分濃度の低下に対応できる測定範囲の低濃度化。
- \* CVSによる排ガス希釈率の最適制御：希釈し過ぎると微量成分の検出が困難になり、逆



- \* adsorbers, which adsorb the hydrocarbons during cold engine operation and release them after the catalyst has reached its operating temperature,
- \* burners to quickly increase the catalytic converter temperature after cold start,
- \* electric heater systems which increase the TWC-temperature by means of electric power

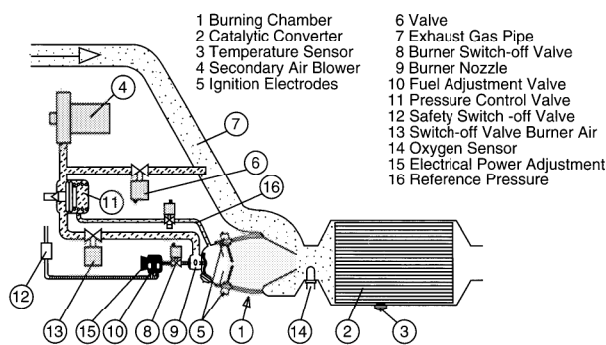


Fig.6 Burner system <sup>3)</sup>

## 4. Trends in Exhaust Gas Analysis

As far as Passenger car exhaust gas sampling and analytical systems are concerned the new regulations mean

- \* lower measurement ranges for the lower concentration levels of the exhaust compounds,
- \* a better control of the exhaust gas dilution during the CVS-Test, as with higher dilution the concentration levels of the components to be detected drop and thus are more difficult to detect and with lower dilution the danger of water condensation increases,

に足りないと水分が凝縮する。

- \* 希釈用空気の清浄化：大気中には各種成分とくに炭化水素が排ガスと同程度含まれており、生の大気では正確な測定が困難になる。
- \* アルデヒドや個々の炭化水素など、従来は排ガス試験の対象になっていない新たな成分の分析技術の開発。

## 5. おわりに

新たな排ガス試験基準が検討されている中、各国政府は個別に対応しようとしている。資源に限りがあることが明白な今日、国際市場で活躍する自動車メーカーは、明確で世界的に統一された指針を求めている。この指針に向かって自動車技術の発展を集中させて行けば、環境保全が図れるであろう。 (抄訳 編集部)

- \* cleaning of the dilution air, as ambient air contains all compounds present in automotive exhaust and especially as far as hydrocarbons are concerned in concentrations close to those in exhaust gas. The closer the gap between these two concentration levels is and the more fluctuations there are in the ambient air concentrations, the more difficult it is to achieve correct exhaust results.
- \* analytical tools have to be applied for new compounds so far unknown in conventional exhaust emission testing, like e.g. aldehydes and individual hydrocarbons.

## 5. Final Remarks

In some new and very complicated legal requirements for the emission test procedure there is a clear danger to be seen that the governmental emphasis might be laid more on specific, national and procedural aspects than on environmental protection. In a world where it is obvious that mankind's resources are limited car manufacturers on the international market need clear and throughout the world uniform guidelines so they can concentrate their efforts on progress in car technologies with real benefits for the environment rather than on a broad variety of different procedural requirements, where it is hard to realize, what they are useful for.

### <Literature>

- 1) W. Berg, "Aufwand und Probleme für Gesetzgeber und Automobilindustrie bei der Kontrolle der Schadstoffemissionen von Personenkraftwagen mit Otto- und Dieselmotor", Dissertation TU Braunschweig, Germany (1982)
- 2) N.N., "Exhaust Emissions - Standards, Regulations and Test Procedures for Passenger Cars", Mercedes-Benz AG, Dep. EP/CZ, July 1995 (in preparation)
- 3) A. Schürfeld, G. Härtel, "Brennersystem zur schnellen Aufheizung von Abgaskatalysatoren", 14th. Internationales Motoren symposium, Vienna (1993), VDI-Fortschrittsberichte 12, 1982, VDI-Verlag, Düsseldorf (1983)

Passenger Car Exhaust Emission Regulations—USA california (ARB) and Sect.177 States												
Fuel	Standards	Vehicle Useful Life (miles)	THC [g/m]	NMHC [g/m]	OMHCE [g/m]	OMNM HCE [g/m]	NMOG [g/m]	CO [g/m]	NOx [g/m]	PM [g/m]	HCHO [g/m]	
Gasoline	Tier 0	50 000 (full useful life)	0,41	0,39	-	-	-	7,0	0,4	-	-	
	Tier 1	50 000 (half useful life)	-	0,25	-	-	-	3,4	0,4	-	-	
		100 000 (full useful life)	-	0,31	-	-	-	4,2	0,6	-	-	
Diesel	Tier 0 Tier 0/Option 2	50 000 (full useful life)	0,41	0,39	-	-	-	7,0	0,4	0,08	-	
		100 000 (full useful life)	-	0,46	-	-	-	8,3	1,0	0,08	-	
	Tier 1	50 000 (half useful life)	-	0,25	-	-	-	3,4	0,4	0,08	-	
		100 000 (full useful life)	-	0,31	-	-	-	4,2	0,6	-	-	
	Tier 1/Option 2	100 000 (full useful life)	-	0,31	-	-	-	4,2	1,0	0,08	-	
		100 000 (full useful life)	-	0,31	-	-	-	4,2	1,0	0,08	-	
Methanol/Ethanol (Alcohols) (13)	Tier 0	50 000 (full useful life)	0,41	-	0,39	-	-	7,0	0,4	0,08	0,015	
	Tier 1	50 000 (half useful life)	-	-	-	0,25	-	3,4	0,4	0,08	0,015	
		100 000 (full useful life)	-	-	-	0,31	-	4,2	0,6	-	-	
		100 000 (full useful life)	-	-	-	0,31	-	4,2	1,0	0,08	0,015	
All Fuels	TLEV Transient Low Emission Vehicle	50 000 (half useful life)	-	-	-	-	0,125	3,4	0,4	-	0,015	
		100 000 (full useful life)	-	-	-	-	0,156	4,2	0,6	0,08	0,018	
	LEV Low Emission Vehicle	50 000 (half useful life)	-	-	-	-	0,075	3,4	0,2	-	0,015	
		100 000 (full useful life)	-	-	-	-	0,090	4,2	0,3	0,08	0,018	
ULEV Ultra Low Emission Vehicle	50 000 (half useful life)	-	-	-	-	0,04	1,7	0,2	-	0,08		
	100 000 (full useful life)	-	-	-	-	0,055	2,1	0,3	0,04	0,011		
Electricity	ZEV Zero Emission Vehicle	No durability requirements Useful Life not defined	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Electricity/Internal combustion engine	HEV-Type A/B/C Hybrid Electric Vehicle	Specific durab.requirements 100 000 (full useful life)	-	The internal combustion engine must meet one set of standards as indicated above, but not the Tier 0 standards.								
Additional Requirements												
Requirement	Model Year											
	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
OBDD II	OBDD I		(21)		100%							
Enhanced Evap Procedure	(Current Test Procedure)		10%	30%	50%	100%						
Cold Temperature CO					100% from MY 1996 on							
50° F-Test					Applicable to TLEV, LEV, and ULEV vehicles							

Table 2 Emission standards California<sup>2)</sup>

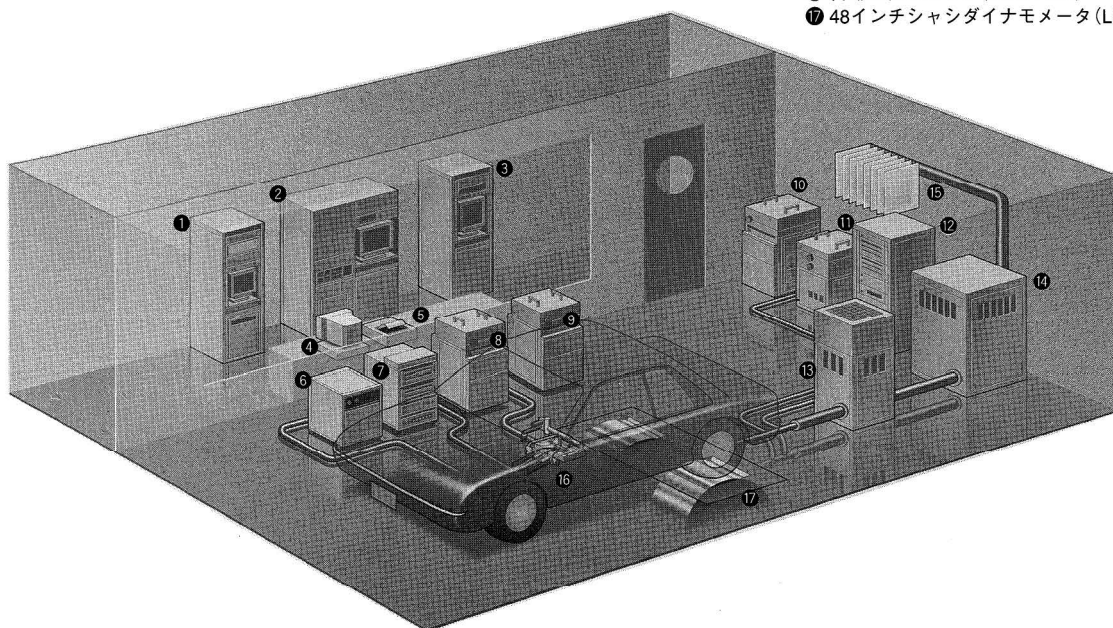
Passenger Car Exhaust Emission Regulations European Union						
Effective	MVEG-A Testcycle	Certification Standards[g/km]				
		NMHC	NOx	HC+NOx	CO	Partikel
1/93	EURO 1 Diesel	-	-	0,97	2,72	0,14
1/93	EURO 2 Diesel IDI-Motoren Diesel DI-Motoren	-	-	0,5	0,2	-
		-	-	0,7	1,0	0,08
1/2000	EURO 3* Diesel	0,05	0,14	0,14	2,2	-
		0,05	0,40	0,40	1,0	0,05

\*proposal Germany

Table 3 Emission standards Europe<sup>2)</sup>

## 今、ホリバが提案する排ガス総合試験設備

- ① 自動運転ロボット、操作部 (ADS-1100)
- ② GC-FID/排ガス測定装置 (MEXA-3000GC)
- ③ FTIR/排ガス測定装置 (MEXA-4300FT)
- ④ ホストコンピュータ (VETS-7000)
- ⑤ プリンタ
- ⑥ 排ガス測定装置、サンプリング装置 (MEXA-7500H EGR)
- ⑦ 排ガス測定装置、分析部 (MEXA-7500H EGR)
- ⑧ 排ガス測定装置、触媒前用オープン (MEXA-7500H EGR)
- ⑨ 排ガス測定装置、触媒中間用オープン (MEXA-7500H)
- ⑩ 排ガス測定装置、テイルパイプ用オープン (MEXA-7400H)
- ⑪ FTIR/排ガス測定装置、サンプリング装置 (MEXA-4300FT)
- ⑫ 排ガス測定装置 (MEXA-4300FT)
- ⑬ CVS/定容量試料採取装置、リモートミキシング架台 (CVS-7000)
- ⑭ CVS/定容量試料採取装置 (CVS-7000)
- ⑮ CVS、サンプリングバッグ (CVS-7000)
- ⑯ 自動運転ロボット (ADS-1100)
- ⑰ 48インチシャシダイナモメータ (LDV-48)



# エンジン排ガス測定装置 MEXA-7000シリーズ

## 1. 製品コンセプト

### Motor Exhaust Gas Analyzer MEXA-7000 Series

#### 1. Product Concept

大橋 秀樹・齋藤 壽一  
Hideki OHASHI, Juichi SAITO

#### 【要旨】

地球環境問題の高まりとともに、自動車を始めとする各種の内燃機関からの排ガスを、よりきれいに、より少なくしようとする様々な努力がなされている。これにともない、測定すべき排ガスは、測定項目、内容、対象ともますます多様化・高度化している。

堀場製作所では、永年の実績と最新技術を駆使して、エンジン排ガス測定装置 MEXA-7000シリーズを開発した。本稿では、MEXA-7000シリーズの開発コンセプトを中心に、特長的な機能と仕様を紹介する。

#### Abstract

Along with increasing concern regarding global environmental issues, various efforts have been made to further clean and reduce the amount of gases emitted from internal combustion engines used, for example, in automobiles. Consequently, the measurement items, content and range of emission gases, that must now be measured, have become more diversified and more complex.

HORIBA has applied years of achievements and the very latest technology in the development of the MEXA-7000 series of motor exhaust gas analyzers. This paper focuses on the development concept behind the entire MEXA-7000 series, and introduces its characteristic functions and specifications.

#### 1. はじめに

当社では自動車などからの排出ガスによるスモッグが社会的問題となり始めた1960年代より排ガス測定装置MEXAシリーズを開発し、製品化をして来た。1964年にMEXA-1形自動車排ガス測定装置を製品化して以来、現在まで、大型の多成分測定装置に限っても世界中に4000台以上出荷している。現在の主力製品であるMEXA-9000シリーズは、排ガス分析装置として初めて $\mu$ -CPUを本格的に採用したデジタル・システムとして、世界中のエンジン開発・生産の現場で活躍している。近年、日本国内ではディーゼルエンジンのNO<sub>x</sub>の規制強化、カリフォルニア

ア州の低公害車規制，ヨーロッパ連合(EU)での規制強化など，自動車排ガス計測に対する要求はますます厳しくなってきた。それに加え，1990年の米国大気浄化法改訂では自動車，バイク以外のオフロード機器や汎用のエンジン規制が追加され，国際海事機構(IMO)では，船舶からのNOx/SOx規制や，日本においても建設機械の排ガス規制など，ほぼ全ての内燃機関の排ガス規制が検討されている。このような状況の中，多様化した排ガス規制への要求に柔軟に対応でき，将来に向けて拡張性を持った高性能な排ガス測定装置を開発する事が必要となった。

## 2. 製品コンセプトと特長

このように排ガス測定ニーズが高度化・多様化する中，当社では全く新しいエンジン排ガス測定装置MEXA-7000シリーズ(以後，MEXA-7000という)を開発した(図1)。

以下にMEXA-7000の主な開発コンセプトと特長を述べる。

### 2.1 モジュール化

排ガス対策として代替燃料，希薄燃焼，排ガス再循環(EGR)，ディーゼル触媒などエンジン廻りの研究開発が精力的に進められている。これに合わせ柔軟に対応できる排ガス測定システムの提供が求められている。

MEXA-7000では，排ガス測定システムを機能ごとにグループ化し，それぞれを独立したモジュールにまとめた。これにより，現在はもちろん将来の多用な要求に合わせ，最適の排ガス測定システムを柔軟に構築できるようにした。なお，各モジュールは19インチの標準ラックに収め，分析装置の設置スペースの削減にも役立つよう配慮されている。

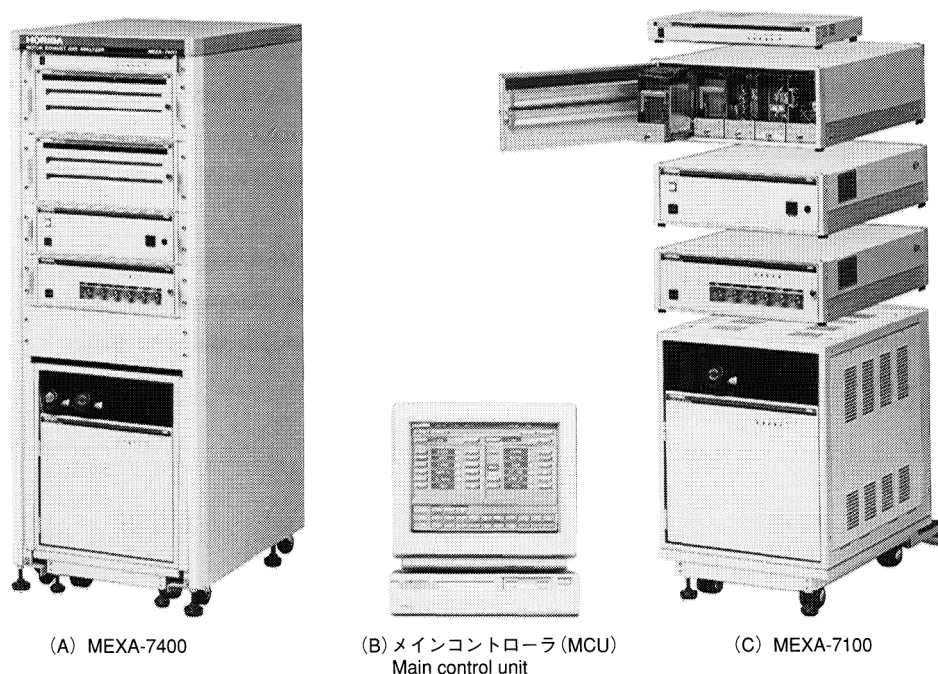


図1 エンジン排ガス測定装置 MEXA-7000シリーズ  
Motor exhaust gas analyzer MEXA 7000 series

## 2.2 サンプル量の削減

測定対象の拡大により、サンプル量をいかに少なくするかが大きな課題となっている。

これは、従来の排ガス測定装置ではサンプル流量を減らすと応答速度が遅くなる欠点があったためである。とくに、小形エンジンの場合には、排ガス量が少ないためこの問題は大きくなる。また、排ガス処理用触媒を搭載した場合には、サンプル採取量によって触媒活性が影響を受ける恐れもある。

MEXA-7000では、分析部の大きさやサンプリング系を改善し、従来と同等の応答速度を保ちつつ、サンプル量を1/3（当社従来製品比）に低減した（図2）。

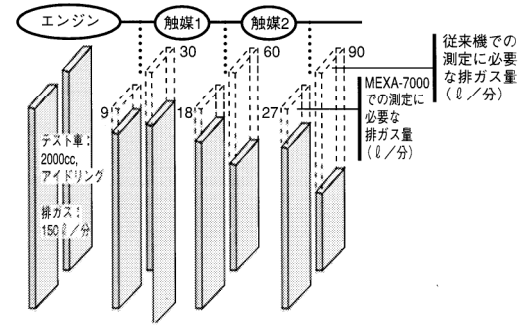


図2 試料採取量の削減  
Reduction in test sample volumes

## 2.3 濃度レンジの拡大

規制強化により、分析計の濃度レンジも拡大する必要がある。天然ガス車や汎用小形エンジンなど、排ガス組成は多様化し、測定すべき濃度範囲は大幅に広がっている。

MEXA-7000では、分析部の構造や信号増幅系を見直し、各々の分析計の濃度レンジを大幅に拡大した。

## 2.4 ラボラトリー・オートメーション

当社では、ILAS (Integrated Laboratory Automation System) を合言葉に、エンジン排ガス計測関連製品のラボラトリー・オートメーション (LA) 化を進めている。

MEXA-7000では、パソコンをメイン・コントローラ (MCU) とし、ホスト・コンピュータとの接続を含め、オペレーション・システム (OS) にはUNIX\*1を採用した。これにより可変流量採取装置 (CVS) やダイリュション・トンネルなどの周辺機器を1台のMCUで操作することができる。また、測定データの平均化や積算、リアルタイム・グラフ表示、空燃比の演算処理、さらに機器の状態監視や履歴管理など、従来の排ガス分析装置の概念を打ち破る、「ILAS」を目指した各種機能を持っている。また、各モジュール ↔ MCU ↔ ホスト・コンピュータの間は域内通信網 (LAN) で通信し、大量のデータ処理、高速のデータ転送が可能である。

\*1 UNIXはX/Openカンパニーリミテッドの登録商標です。

## 2.5 ランニング・コストの削減

高い測定精度の維持に欠かせない目盛校正用スパン/ゼロガスの消費、不純物除去フィルタの交換、電力消費などランニング・コストの削減も大きな課題の一つである。

MEXA-7000では、サンプル量と同時にスパン/ゼロガス量も削減した。また、分析計の安定性が向上したことにより校正間隔を延ばし、校正用ガスの消費をさらに削減することができた。また、消耗部品の寿命の向上、機器や部品の小型化により、消費電力も大幅に削減した。

## 2.6 保守性の向上

MEXA-7000では、個々の分析部をセンサ (検出器) として位置づけ、調整不要のブラック・ボックス化をはかった。また、ゼロ/スパン係数、検量線の履歴、警報発生時刻と内容、温度・流量・電源変動など排ガス測定システムの稼働状況に関するすべての情報をMCUに集約し、保守性の向上をはかった。

### 3. MEXA-7000シリーズの構成

MCUを核としたMEXA-7000のシステム構成を図3に示す。各装置には信号変換用のインターフェースユニット(IFC)を設け、MCUとはLANで通信する。

各ユニットをつなぐシグナルダイアグラムを図4に示す。IFCの下部にある分析計モジュールを搭載する分析計ラック(ANR)、ゼロ/スパン及び各種操作ガス用の電磁弁をまとめた電磁弁ユニット(SVS)、サンプル吸引及び処理を行うサンプリングユニット(SHS)、検量線のチェック、作成に重要なガス分割器(GDC)は、それぞれ独自の通信ラインでIFCと接続される。IFC1台で複数のユニットの接続が可能である。システムを構成している各モジュールの概要を以下に示す。

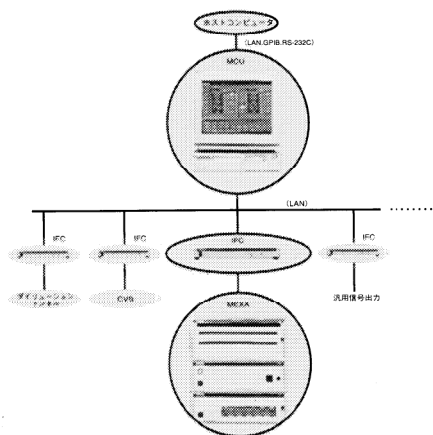


図3 MCUを中心としたMEXA-7000の通信網  
MEXA-7000 series communications network centering on the MCU

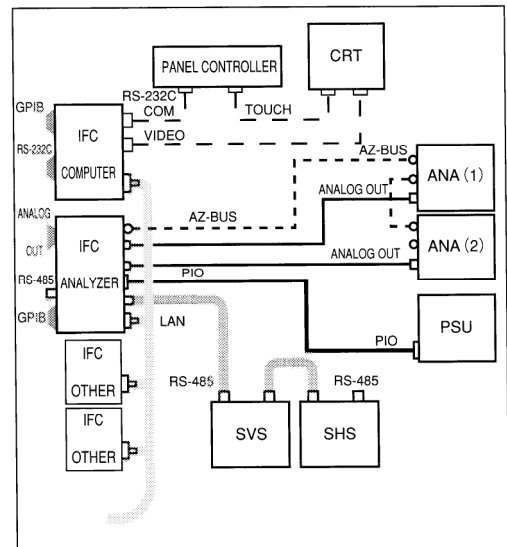


図4 MEXA-7000の信号処理系  
MEXA-7000 series signal processing system

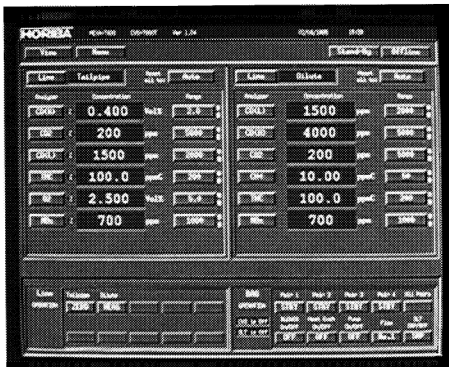


図5 MCUの基本画面  
MCU Basic screen

#### (1) コントロールユニット (Main Control Unit : MCU)

MEXA-7000の信号処理のかなめとして機能する。ハードウェアは汎用パーソナルコンピュータを採用した。

従来のシステムでは信号の雑音低減処理、出力の直線化、干渉低減化演算、感度校正等の機能は機器にあらかじめ組み込まれていたが、本システムではMCUを使って、測定条件、使用方法によってユーザー自身による変更、選択が可能となっている。MCUの基本画面の一部を図5に示す。

#### (2) インターフェースコントローラ (Interface Controller : IFC)

MCUの下位側の信号統合窓口として、各モジュールとMCUの通信を取り持つ機能を持つ。IFC内にはサブユニットとしてアナログ/パラレル入出力他の基板を最大3枚まで装着する事ができ、各装置によって自由に仕様を組み合わせる事ができる汎用性を持つ。

#### (3) 分析計ラック (Analyzer Rack : ANR)

ANRは、76mm(W)×400mm(D)×160mm(H)と超小型化された各分析計を最大5台(7成分)までプラグインできるスロットを持つ。標準ではダイレクトサンプル分析、CVS希釈サンプル分析が、それぞれ1台のANRモジュールで構成できる。内部には高精度の自動調圧弁を持ち、サンプルの圧力変動による分析計指示の変化を最小限に押さえている。同時に大気圧補正用センサも搭載している。ANR



とIFCは高速のデジタルバスで接続され、分析計内の24ビット・アナログ/デジタル変換器でデジタル変換された検出器の信号を標準20HzでIFCに送る。ANR及び分析計は全て直流電源を使用し、電源電圧、周波数変動による分析計指示への影響を最小限に押さえている。

#### (4) 電磁弁ユニット (Solenoid Valve Selector : SVS)

校正ガス等の切り換えを一括してまとめたモジュールで、これ1台でANR 2台に必要な電磁弁を搭載している。前面にはクイック・コネクタを装備、分析計のメンテナンス時に外部校正ガス、各種チェッカーの接続を可能にしている。また米国連邦規制 (Code of Federal Register : CFR) 等の規定に準拠した分析計の水分干渉のチェックが自動で行えるように内部に標準ガス加湿器 (bubbler) も装備できる。

#### (5) サンプリングユニット (Sample Handling System : SHS)

サンプル流量を約9ℓ/minまで削減することでSHSの主要部品の小型化を実現した。1台のSHSで、EGR・CO<sub>2</sub>用を含む最大3ラインのサンプル処理を可能にした。また長時間の連続測定のため、クーラーで排除された水の連続自動排出、1次フィルタへの水の混入を極力防ぐフローなど、さまざまな改良を行った。同時にこれらによりフィルタが長寿命化し、交換頻度を低減させた。SHSの基本フローを図6に示す。

SVS、SHS共、IFCとの信号取合いはRS-485によるシリアル通信を採用、ケーブルの簡素化と汎用性を図った。

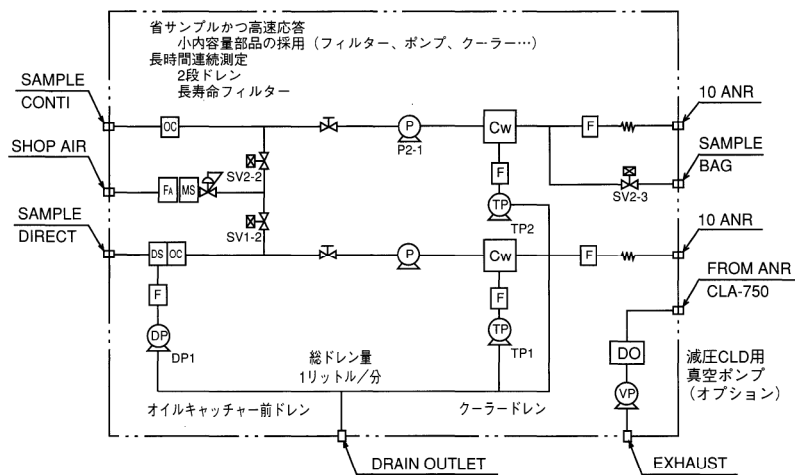


図6 MEXA-7400のサンプリング・フロー  
MEXA-7400 Sampling flow

#### (6) 電源ユニット (Power Supply Unit : PSU)

各モジュールに直流電源を供給するモジュールで、このPSU 1台で最大ANR 2台分の容量を持つ。

#### (7) スパンガス・セレクター (Span Gas Selector : SGS)

分析計のレンジごとに目盛校正が必要な場合、SVSに供給するスパンガスを切り換えるユニット。また、ガス分割器 (GDC) による分析計の校正曲線のチェックを完全自動化する為にも使用できる。独立したモジュールとする事により、ガスシリンダの近くに設置し、ガス供給配管を簡略化する事も可能。このユニットもまたIFCからRS-485で制御される。

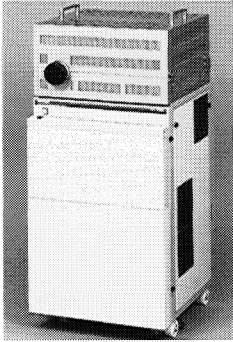


図7 加熱分析ユニット  
Heating analysis unit

#### (8) サービス・ノート・ブック (Service Note Book : SNB)

MEXA-7000では、操作の中心となるMCUが離れた計器室に設置される場合が少なくない。このため、MCUの端末として操作できるSNBも同時開発した。SNBはノートブック型パソコンを使っており、MCUが離れた場所にあっても分析部の横にSNBを置いて濃度値や検出器出力、各種電圧、温度などの読み取りができる。高機能のリモコンとして、あるいは通信ラインの動作の確認を含めたメンテナンス時の補助ツールとして活用できる。

#### (9) 加熱分析計ユニット (Oven : OVN)

高温型の分析計は全て前処理装置としてのオープンと一体化した(図7)。従来の加熱FID (THC計)に加え、今回更に加熱CLD (NOx計)も同じオープンに搭載、かつサンプリングポンプを1台に集約し、常温分析計にもこのオープン架台で処理したガスを供給するシステムとしている。架台にはFIDをTHC用とCH4用の2台搭載する事ができる。若干の加熱ラインの長さの制限はあるが、最大4点までのサンプルポイント切り替え機能が追加できる。OVNは常温モジュールとは独立したIFCでLANによりMCUと接続される。

### 4. おわりに

MEXA-7000の開発にあたり、初めて本格的なグローバル開発体制を取った。製品コンセプトの決定は、日本、韓国、米国、欧州のホリバグループ各社の各担当責任者があたり、約1年を要した。当社のエンジン排ガス測定装置は、世界各国に、多くの納入実績を持っており、大量の情報が得られる半面、その事がコンセプトの確立に時間を要する原因ともなった。それぞれの国の事情に合った製品を提供するために製品コンセプト決定に十分な時間を費やし、各国合意のもと、開発を開始した。基本装置ハードウェアの開発を日本本社が受け持ち、コントローラのソフトウェアの開発を日本と米国で分担した。また、英・独・仏の現地子会社からも本社開発プロジェクトチームにエンジニアが参加し、海外拠点と共同でのグローバル開発体制を取った。

今後順次、日・韓・米・英・独の5ヶ所で本製品の現地生産を開始し、ソフトウェアを含めたモジュールの相互供給をはかっていく。今後は、開発から生産、販売、サービスまで全てのビジネス機能を、世界中で最も適した拠点を確立し、お客様のご要望に一層応えて行きたいと考えている。



大橋 秀樹

Hideki OHASHI

NMプロジェクト 副部長  
1972年入社  
エンジン排ガス分析装置の開発



齋藤 壽一

Juichi SAITO

製品開発部 係長  
1982年入社  
エンジン計測関連製品の製品企画

# エンジン排ガス測定装置MEXA-7000シリーズ

## 2. 分析計の小型化・モジュール化

### Motor Exhaust Gas Analyzer MEXA-7000 Series

#### 2. Downsizing and Modular Configuration of Analyzers

武田 賢二, 小池 日出樹  
Kenji TAKEDA, Hideki KOIKE

#### 【要旨】

エンジン排ガス測定装置MEXA-7000シリーズの開発コンセプト“システムのモジュール化”にもとずき、分析部は濃度測定のための“センサ”と位置付け、排ガス用分析計としては、類をみないほどの小型化(従来比 1/4)を実現した。また“センサ”は小型化と同時に可能な限りメンテナンスフリーになるように考慮した。

本稿では、常温型分析計モジュールの特長とハード技術の開発ポイント及び加熱形分析計の特長について報告する。

#### Abstract

Based on "the modular configuration of systems," the development concept of the MEXA-7000 series, analyzers are now positioned as sensors for measuring the concentrations of emitted gases, and as emission gas analyzers have undergone unprecedented downsizing (1/4 that of conventional downsizing). Also, "sensors" now can be produced in compact sizes and as maintenance-free as possible.

This paper reports on the features of constant temperature type analyzer modules, and describes the main points in the development of their hardware and the characteristics of heating-type analyzers.

### 1. 分析計モジュール

エンジン排ガス測定装置MEXA-7000シリーズ(以後MEXA-7000)では、分析計モジュールを濃度測定のためのセンサと位置付け、表示・電源・操作などは省いて、最小限の機能で構成されている(図1)。検出器の出力は、プリアンプでアナログ増幅した後、24ビットのADCでデジタル化され、LANを通じてメインコントローラ(MCU)に送信される。一方、測定条件の設定、検量線作成、干渉補正、目盛校正、結果表示など、全ての測定操作がMCUで処理されるように設計されている。

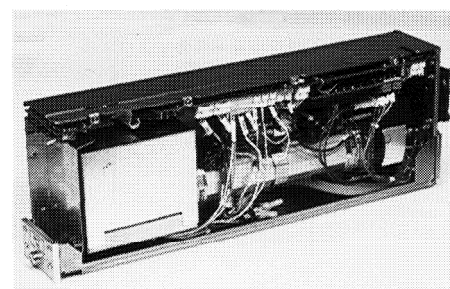


図1 分析計モジュール(AIA-721 CO(L))  
Analyzer module

## 2. 分析計モジュールの特長

### 2.1 一段調圧方式による小流量化

排ガス測定装置全体の小流量化のためには個々の分析計の流量も減らす必要があり、応答速度を考慮して、分析計の基本フローを見直した。従来は、システム全体の圧力を制御する主圧力調整器と各分析計ごとの圧力調整器を持つ二段調圧方式のため、多くの流量が必要であった。MEXA-7000では主圧力調整器だけの一段調圧方式とし、各分析計モジュールには必要最小限の流量を供給するようにした。図2に分析計ラック(ANR)のガス・フローを示す。

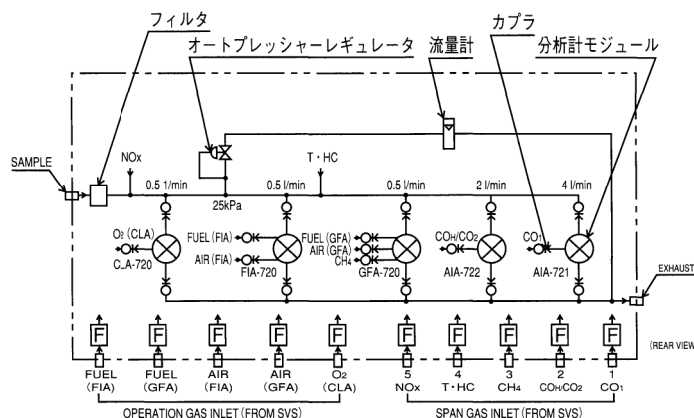


図2 分析計ラック(ANR)のガス・フロー  
Gas flow in analyzer rack (ANR)

主圧力調整器には、制御バルブの一次側の圧力センサ出力と設定値とを比較し、常に一定圧力になるように制御バルブを調整する自動調圧器(APR)を採用した。APRは流量の圧力変動が少なく、制御精度や追従性にも優れている。図3にAPRの圧力制御特性を示す。

この結果のサンプル流量は従来比で約1/3に低減できた。

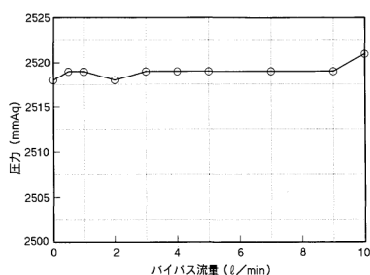


図3 自動調圧器(APR)の圧力制御特性  
Pressure control characteristics of automatic pressure regulator (APR)

### 2.2 プラグイン方式

ANRを小型化し、小流量サンプリングを実現できたのは、分析計モジュールをプラグイン方式にしたことによる。プラグイン方式とは、モジュールの裏面にガス供給用のストップ機構付きカプラ部と電気接続用コネクタ部を設け、ANRへの着脱を前面より簡単に行えるようにした機構である(図4)。

ガス供給用カプラは最大5個設けられている。サンプル導入部①と排気部⑤はANRの共通バスブロックに直接接続されており、配管でのロスは殆どない。②③④は各分析計に個別に供給される操作用のガス供給部となっている。また、電気接続用コネクタ部では、駆動用DC電源と各種信号を接続している。

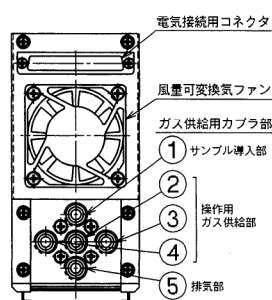


図4 分析モジュールのリアパネル(プラグイン方式)  
Rear panel (plug-in type) of analyzer module

### 2.3 共通部品の小型化とマスフローセンサ

共通部品の調圧器は従来の約1/4, 2方電磁弁は約2/3に小型化した。サーマルフロー方式の質量流量センサ(MFS)を新規に開発した。MFSはガス流量を半導体チップの温度変化として検出するもので、各分析計モジュールの流量をMCUで監視できるようにしている。

### 3. 各分析計モジュールの仕様と開発ポイント

主な分析計モジュールの仕様を表1に示す。分析計モジュールごとに開発ポイントと特長を以下に紹介する。

型式	AIA-721	AIA-722	CLA-720	FIA-720	MPA-720	GFA-720
測定成分	CO(L)	CO(H)/CO <sub>2</sub>	NO(H)/NO <sub>x</sub>	T・HC	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
原理	NDIR	NDIR	CLD	FID	MPA	GC-FID
測定範囲	0.50~2500ppm 0.100~5000ppm	CO 0.05~10v01% CO <sub>2</sub> 0.05~20v01%	0.10~10000ppm	0.10~20000ppmC	0.1~25v01%	0.5~2500ppm
再現性	±0.5%FS以内					±1%FS以内
ゼロドリフト (周囲温度 ±2℃ 以内)	±1%FS以内/24hr (100ppm以上) ±2%FS以内/24hr (50ppm以上~ 100ppm未満)	±1%FS以内/24h				±1%FS以内/24h
スパンドリフト (周囲温度 ±2℃ 以内)	±1%FS以内/24h					±2%FS以内/24h
ノイズ	±0.5%FS以内	±0.5%FS以内	±0.5%FS以内	±0.5%FS以内	±0.5%FS以内 (5v01%以上) ±1%FS以内 (5v01%未満)	—
直線性	±1%FSまたは±2%RS以内どちらか小さい方					
応答速度 T <sub>90</sub> ・分析計 入口より	2.0秒以内 (100ppm以上) 3.0秒以内 (50ppm以上~ 100ppm未満)	1.5秒以内	1.5秒以内 (50ppm以上) 2.0秒以内 (50ppm未満)	1.5秒以内	1.5秒以内 (5v01%以上) 2.0秒以内 (5v01%未満)	測定周期 ±15秒
試料流量	4ℓ/min	2ℓ/min	0.5ℓ/min			
電源	DC24V					
外形寸法	76(W)×160(H)×400(D)					

表1 主な分析計モジュール仕様  
Main analyzer and specifications

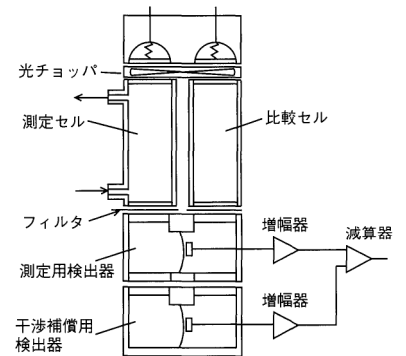


図5 非分散形赤外線ガス分析(NDIR)の動作原理<sup>1)</sup>  
Operating principles of non-dispersive Infra-red (NDIR) analyzer

#### 3.1 CO, CO<sub>2</sub>計: AIA-721, AIA-722

CO, CO<sub>2</sub>の分析には分子の赤外線吸収を利用した非分散形赤外線ガス分析計(Non-dispersive Infrared Gas Analyzer:NDIR)が用いられている。図5にCOガス分析計(AIA-721)の基本構成<sup>2)</sup>を示す。

以下にNDIRの小型化のための設計ポイントを述べる。

##### (1) 光学部品の小型化とセル長の短縮

分析部を76mm(W)×160mm(H)×400mm(D)のケース内に納めるためには、セル長の短縮、光源など光学部品の小型化などをはからなければならない。感度を落とさずに如何に小型化するかがポイントで、光学調整機構、信号処理方法の変更を含めて根本的に見直した。

表2に主な変更点を、従来機と比較してまとめた。

##### (2) 保守性の向上

図6に絶対値整流方式と同期整流方式による複光路式NDIRの検出器の出力特性を示す。絶対値整流方式では変曲点(光量変化に不応答領域)を持つため、光軸調整や光量調整などにより、光学的な位相シフトをさせる必要がある。一方、MEXA-7000に採用した同期整流方式は光学的なシフトは原理的には不必要で、分析計の小型化に有利で、保守性も大きく向上した。

項目	AIA-72Xシリーズ	従来機
光源	58(W)×40(H)×30(D)	60(W)×60(H)×32(D)
セル長	200mm	250mm
チョッパ	チョッパモータ	チョッパ、モータ分離型
位置調整	無し(機械公差と信号処理にて対応)	有り(チョッパ部機械式調整)
光量調整	光源印加電圧の調整	透光板による調整
信号処理	同期整流方式	絶対値整流方式

表2 NDIRの主な変更点  
Main improvement of NDIR

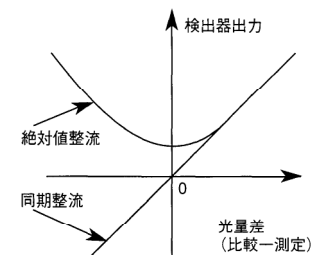


図6 ニューマチック検出器の出力特性<sup>1)</sup>  
Output characteristics of pneumatic detector

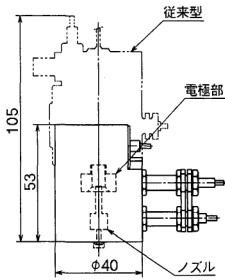
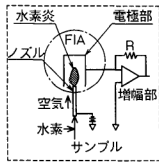


図7 水素炎イオン検出器  
Flame ionization detector

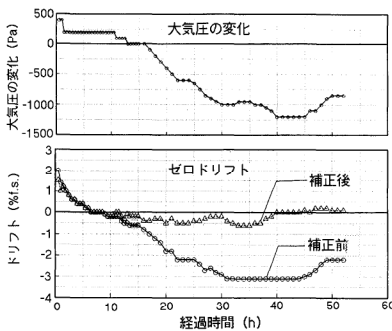


図8 FIA-720の大気圧補正効果  
Effect of atmospheric pressure compensation of FIA-720

### 3.2 THC計:FIA-720

全炭化水素 (THC) の分析は、炭化水素を水素炎で燃焼し発生したイオン電流を測定する、いわゆる水素炎イオン化検出法 (Flame Ionization Analysis:FIA) で行う。以下にFIAの改良ポイントを述べる。

#### (1) 検出器の小型化

FIA-720では検出部を従来の1/2の大きさとした(図7)。

検出部の小型化にともなう感度低下は、燃料(H<sub>2</sub>/He)および助燃空気の流量を最適化させることにより解決した。なお、10~10,000ppmCの範囲内では十分な直線性が得られている。

#### (2) 検出器とオペアンプの一体化

一般に検出器の微小信号は、信号ケーブルの振動や電磁誘導による雑音影響を受けやすい。FIA-720では、検出部とプリアンプ基板にオペアンプや駆動用回路を一体化し、さらに温調することにより、雑音やドリフトを大幅に改善した。

#### (3) 大気圧補正

FIAでは大気圧力の変化がゼロドリフトやスバンドリフトの原因となる。FIA-720, FMA-720では大気圧センサを用いて検出器の大気圧変動をMCUで補正し、長期安定性を向上させた(図8)。なお、大気圧補正は各分析計ごとに行っている。

### 3.3 O<sub>2</sub>計:MPA-720

近年、高精度化するエンジン制御のために、空燃比(A/F)の測定用酸素計の測定範囲が1vol%レンジと高感度化の要望が増えている。磁気圧方式の酸素分析計は、酸素の磁化率が他のガス成分に比べて大きいことを利用したもので、ガスセル部に磁界を作り、サンプル中の酸素が磁極に集まることにより生じる圧力差をコンデンサ・マイクロフォンで検知することを原理としている。このため磁気圧法は、機械振動がマイクロフォンに伝わるとノイズ発生の原因となる欠点がある。

従来当社では、自動車排ガス測定用の酸素計には2極-ダブルセル方式を採用して振動影響を取り除いてきた(図9)。

今回、磁極を1つにし、差動型コンデンサ・マイクロフォンを使ったシングルセル方式の酸素検出器を開発した。これにより、振動影響が少なく、かつ従来と同等以上の感度を持つ酸素分析計を実現した(図10)。

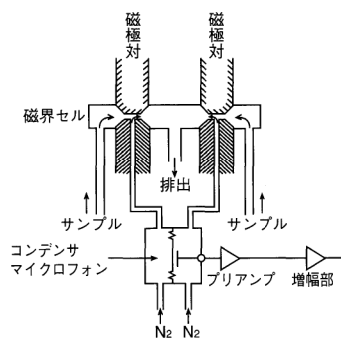


図9 2極-ダブルセル型磁気圧式酸素検出器  
Bi-polar double-cell magnetic pressure type oxygen detector

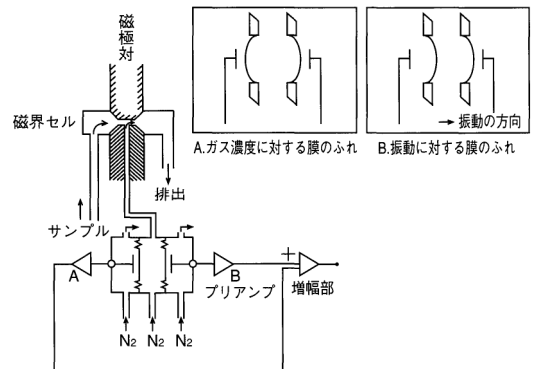


図10 1極-シングルセル型磁気圧式酸素検出器  
Uni-polar single-cell magnetic pressure type oxygen detector

### 3.4 NO<sub>x</sub>計:CLA-720,CLA-750

化学発光法 (Chemiluminescence Analysis:CLA) は、NOとO<sub>3</sub>との化学反応の過程で生成される励起状態にあるNO<sub>2</sub>が、基底状態に戻る際に800~2500nmの光を発

光することを利用したものである ( $\text{NO}+\text{O}_3\rightarrow\text{NO}_2^*$ ,  $\text{NO}_2^*\rightarrow\text{NO}_2+\text{h}\nu$ ). しかし, CLAでは, ガス密度が高いと発光量が減少し, 感度が低下する欠点がある(クエンチング現象). そこで従来は, 低濃度の $\text{NO}_x$ 測定には, 化学反応槽を0.1kPa程度に減圧して測定していた. しかし, 減圧用の真空ポンプの保守を含めて, 課題が少なくない.

CLA-720は次のようなハード・ソフト面からの検討を加え, 常圧方式で最小濃度レンジ10ppmを達成した. また, ガスタービンエンジン排ガスのように高濃度 $\text{NO}_x$ も測れるように, 最大濃度レンジ10,000ppmも可能にした. 10ppmレンジでの出力例を図11に示す.

なお, 低排出ガス車(LEV)のようにさらに低い濃度のガスを計測するために減圧方式の分析計(最小濃度レンジ1ppm)も用意している.

#### (1) 常圧式CLDの高感度化

高感度化のポイントとしては以下3点が挙げられる.

- ① サンプル流量の増加
- ② 集光効率の向上
- ③ 反応槽の構造の最適化

#### (2) ノイズおよびドリフトの低減

ノイズおよびドリフトの低減に対して以下3点を改良した.

- ① フォトダイオードの冷却による熱雑音の低減
- ② 出力信号の時間分別処理によるスパイク状ノイズの低減
- ③ オペアンプの温調によるドリフト防止

#### (3) $\text{NO}_x$ コンバータの改良

CLAでは排ガス中のすべての $\text{NO}_x$ (主として $\text{NO}_2$ )をいったん $\text{NO}$ に変換するためのコンバータが必須となる.  $\text{NO}_2$ はコンバータ中の炭素と反応して $\text{NO}$ に変換された後に,  $\text{O}_3$ と反応して発光する( $\text{NO}_2+\text{C}\rightarrow\text{NO}+\text{CO}$ ).

今回,  $\text{NO}_x$ コンバータを見直して, 動作温度の低下をはかった. これにより, 芳香族炭化水素等がコンバータ上で副反応を起こして配管を閉塞させる恐れはなくなった. さらに, サンプルを触媒に導入する前に予備加熱するようにして, 応答速度の向上と触媒量の低減もはかった.

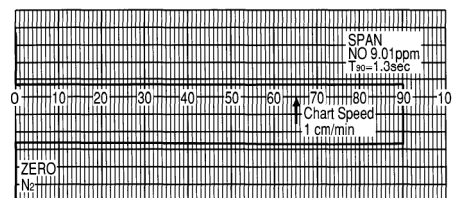


図11 CLA-720 ( $\text{NO}_x$ :10ppmレンジ)の出力例  
CLA-720 ( $\text{NO}_x$ : 10ppm range) output example

### 3.5 $\text{CH}_4$ 計: GFA-720

$\text{CH}_4$ の計測は, ガスクロマトグラフ法をベースにしており, ハードウェアはFIA-720と共通化している. 今回配管フローパターンと小型2方電磁弁を組み合わせた小型十方切換バルブを新しく開発することにより, 小型化と保守性が向上した.

## 4. 加熱分析計ユニット

### 4.1 特長

#### (1) $\text{CH}_4$ /NMHC/THC 3成分の連続測定

加熱型FIA分析計ユニット(OVN)には, 主にディーゼル・エンジンの排ガス測定用として, 最大2台の分析計を搭載した. これは, 最近天然ガスなどの低公害燃料を用いた自動車の排ガス中の $\text{CH}_4$ , 非メタン炭化水素(Non-methane Hydro Carbon:NMHC)を連続測定したいとの要望に応えるためである. FIAの1台はTHCを測定し, もう1台はNMHCを選択的に燃焼させる触媒(Non-Methen Cutter: NMC)を使ったカッター法の連続 $\text{CH}_4$ 計とした. 2台のFIA出力を演算処理することにより,  $\text{CH}_4$ /NMHC/THC 3成分の連続測定が可能となった.

## (2) NOx計の混載

加熱型FIAの他に加熱型CLAも搭載可能とした。また、サンプリングポンプは1台に集約した。ガソリンおよびディーゼルエンジンの排ガス中のNOxを高温で直接サンプリングする方法には、NOxコンバータまでの間を加熱して、電子冷却式除湿器でサンプルガス中の水分を取り除く乾式法(Dry法)と、分析部までの間を加熱する湿式法(Wet法)の二通りあり、どちらかを任意選択できるようにしている。

## 4.2 仕様

表3に加熱分析計ユニットに搭載できる分析計の主な仕様を、また、表4に主な組み合わせを示す。

型式	FIA-725	FIA-721H	CLA-720M	CLA-755
測定成分	T・HC	T・FHC/CH <sub>4</sub>	NO/NO <sub>x</sub>	NO/NO <sub>x</sub>
原理	H・FID (加熱オープン)	H・FID/NMC (加熱オープン)	常温・常圧(DRY) (コンバータまで加熱)	加熱・減圧(Wet) (分析部まで加熱)
測定範囲	0.10~5000ppmC		0.10~10000ppm	
再現性	±0.5%FS以内			
ゼロドリフト	±1%FS以内/24h(周囲温度±2℃以内)			
スバンドリフト	±1%FS以内/24h(周囲温度±2℃以内)			
ノイズ	±0.5FS以内		±1%FS以内	
直線性	±1%FS又は±2%FS以内どちらか小さい方			
応答速度 T <sub>90</sub>	1.5秒以内	1.5秒以内(THC) 3.0秒以内(CH <sub>4</sub> )	2.0秒以内(50ppm以上) 2.5秒以内(50ppm未満)	
試料流量	0.5 ℓ/min		1 ℓ/min	
電源	AC100*240V(各国対応)			

表3 加熱分析計ユニット(OVN)の主な仕様  
Main functions heating analyzer unit (OVN)

型式名	搭載分析計			
	FIA-725 T・HC	FIA-721H T・HC/CH <sub>4</sub> (NMC)	CLA-720M Dry・常圧 NO <sub>x</sub>	CLA-755 Wet・減圧 NO <sub>x</sub>
OVN-720	○			
OVN-721		○		
OVN-722	○	○		
OVN-723	○		○	
OVN-724	○			○
OVN-725		○	○	
OVN-726		○		○
OVN-727	○	○	○	
OVN-728	○	○		○

表4 加熱分析計ユニット(OVN)の搭載分析計  
On-board analyzer of heating analyzer unit (OVN)

## 5. 分析計異常診断

分析計モジュールの各種信号をMCUに転送させ、故障や異常の判断をして、適時アラームを発生させることで保守性の向上をはかっている。また、FIA, CLA, GFAでは、自己診断機能としてプリアンプ基板上に模擬入力発生回路を設置し、電気系の異常判定を行えるようにした。

### 参考文献

- 1) 武田賢二：“低濃度測定用自動車排出ガス分析装置” Readout—HORIBA Technical Reports— No.6, p.55-61 (1993)。



武田 賢二  
Kenji TAKEDA

NMプロジェクト 係長  
1982年入社  
自動車排ガス測定装置の研究開発



小池 日出樹  
Hideki KOIKE

NMプロジェクト 主任  
1987年入社  
自動車排ガス分析装置の研究開発



# エンジン排ガス測定装置MEXA-7000シリーズ 3. データ処理系と通信ライン

## Motor Exhaust Gas Analyzer MEXA-7000 Series 3. Data Processing System and Communications Line

岡田 薫  
Kaoru OKADA

### 【要旨】

エンジン排ガス測定装置では、計測データの演算処理と計測システム全体の制御は、タッチパネル方式のグラフィカル・ユーザー・インタフェースを搭載した汎用パソコンをベースとしたメインコントローラ(MCU)で集中管理している。また、各モジュールとMCUの間、MCUとホストコンピュータの間はLANを介して通信される。これにより、高い操作性と柔軟性に富んだ排ガス測定システムの構築が可能となった。本稿では、MEXA-7000シリーズのデータ処理系と通信ラインについて述べる。

### Abstract

On this motor exhaust gas analyzer, computation of measurement data and control of the entire measurement system is managed centrally by a main control unit (MCU) mounted on a general-purpose personal computer featuring a touch panel type GUI (Graphical Users Interface). Also, communication between the MCU and peripheral modules, and the MCU and a host computer is carried out over a LAN (Local Area Network). This allows user-friendly and highly flexible automotive emission gas analyzers to be built. This paper describes the data processing system and communications line of the MEXA-7000 series.

### 1. はじめに

MEXA-7000シリーズは、多様な市場要求に柔軟に対応できる排ガス測定システムの構築を目指して開発をスタートした。これを実現するためには、データ処理系と通信ラインもまた柔軟性にとみ、操作性の高いものでなければならない。そこで、域内通信網(LAN)やRS-485等の通信ラインの導入や、データの一元管理のためにパソコンをメインコントローラとして採用することにした。

## 2. 通信ラインの構成

MEXA-7000シリーズの通信ラインの構成を図1に示す。計測システム全体を統括・制御するメインコントローラ(MCU)と、各モジュールのデータ変換を行うインタフェースコントロールユニット(IFC)とはLAN(10Base2, Thin wireの同軸ケーブル)で接続されており、複数のIFCの接続が可能である。接続には汎用LANを採用しており、規格はIEEE 802.3(ISO 8802/3)に従っている。

表1に各種の通信ラインの仕様を示す。

IFCと分析部は、専用デジタルバス(AZ-BUS, 37ピンD-SUBコネクタ)で接続されている。一つの分析計ラック(ANR)には最大5台の分析計を装着できる。また、それぞれのIFCには2台のANRを接続できるため、1台のIFCには計10台の分析計を接続することが可能である。24ビットのアナログ・デジタル変換器(ADC)を分析計内に搭載しており、IFCがAZ-BUSを経由して分析計信号を読み取っている。

IFCと、電磁弁ユニット(SVS)、サンプリングユニット(SHS)、スパンガス・セレクター(SGS)、温調制御システム(TCS)はRS-485ケーブルで接続されている。各IFCは2個のRS-485コネクタを持っており、第1コネクタには最大5台、第2コネクタには最大8台のユニットの接続が可能である。RS-485は、通信速度を19,200bpsに設定している。ケーブル長は最長120mで、自由なシステム・レイアウトを行うには十分な長さである。IFCは、標準仕様ではRS-232Cインタフェース機能を、オプションとしてGPIBインタフェース機能を持っている。

種類	伝送速度	ケーブル長	接続形態	接続台数
GPIB	1M byte/sec (実質 10 Kbyte/sec)	4m	バス形	15
RS-232C	20 kbps	15m	ポイント・ツー・ポイント	1
RS-422	10 Mbps (実質 1 m)	120m (1Mbps時)	ポイント・ツー・ポイント	1
RS-485	10 Mbps (実質 1 m)	120m (1Mbps時)	バス形	32
10BASE5	10 Mbps	500m	バス形	100
10BASE2	10 Mbps	185m	バス形	30
10BASE-T	10 Mbps	100m	スター形 (バス)	HUB接続 10台まで

表1 通信ラインの比較  
Communications line specifications

## 3. データ処理手順

図2に分析計の信号処理フローを示す。

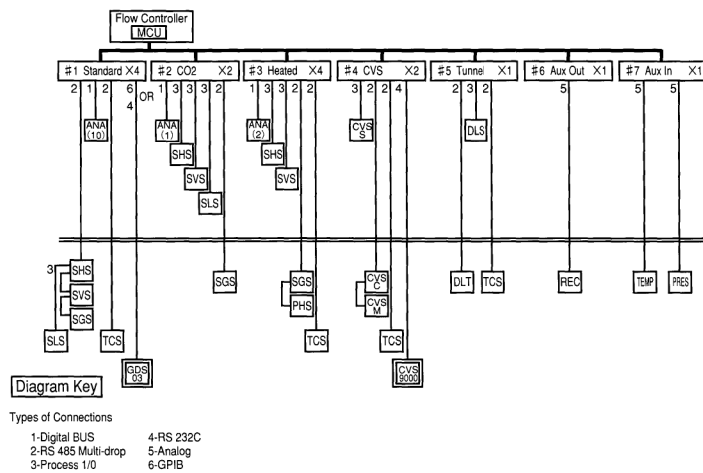


図1 MEXA-7000システムの通信ライン構成  
MEXA-7000 series communications line

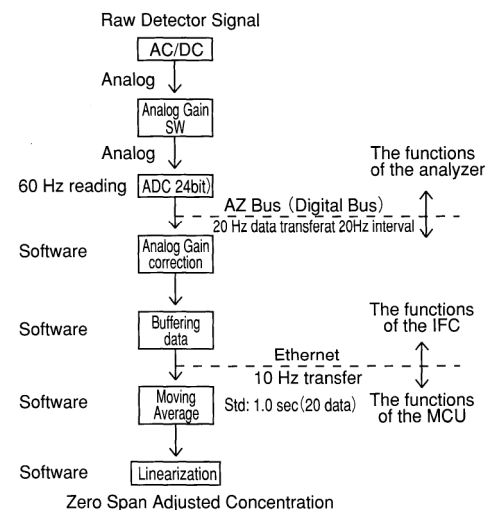


図2 FIAとCLA分析計の信号処理フロー  
Signal processing flow of analysis data

標準仕様の製品では、IFCは分析計の出力信号を50msごとに読み取り、アナログ信号の増幅率を補正した後、2回分の信号を1つのデータパケットとしてLANで100msごとにMCUへ送り出している。MEXA-7100用の限定オプション仕様の製品では、25msごとに読み取り、4回分の信号を1データパケットとして100msごとにMCUへ送り出している。

MCUでは、IFCから受信した分析計の出力値は移動平均法によるノイズ軽減処理を行う。さらに、ゼロ点・スパン点の校正や、直線性の補正処理などを行なった上で、ppm単位およびVol%単位で濃度値を算出している。

各ガス成分ごとにこれらの演算処理が平行して行われる。濃度のアナログ出力信号は、MCUからデジタル・アナログ変換機能(DAC)を持ったIFCへLANを通して送出される。

制御信号は、MCUからTCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)でLANを通してIFCへ送られる。TCP/IPでは確実に受信したかどうかの確認信号を内部で返すようになっており、不具合があった場合には自動的に再送信される。

#### 4. MCUの構成と機能

MCUは、計測データ演算処理とシステムの制御を行う重要なコントローラである。MCUのパソコン本体は、IBMなどの汎用パソコンと互換性を持たせており、世界中どこでも容易にメンテナンスができる。オペレーティングシステム(OS)としては、リアルタイムUNIXを搭載している。負荷の大きな処理を同時に行えること、内部通信バスのLAN通信を標準かつ強力にサポートできることが、本OSを採用した大きな要因である。

MCUでは分析計の演算処理や係数データを集中的に管理しており、ガス成分相互の干渉補正演算、圧力補正、温度補正などの付加的なデータ処理も容易に追加できる長所がある。重要な係数データはMCUのハードディスクにセーブされるだけでなく、分析計ユニット内にある消去形メモリ(EEPROM)にも同時にセーブされている。分析計が交換された場合には、MCUのデータまたはEEPROMのデータのどちらを使用するか選択できるようになっている。

図3に分析ユニットの保守に必要な情報をリアルタイムで表示するメンテナンス用画面を示す。トレンドチャート表示機能は、リアルタイムで濃度値等の変化を常にグラフで表示し、オペレータが刻々の変化を視覚的に捉えることができる効果的な機能となっている。図4にトレンドチャート表示例を示す。なお、この機能はオプションとなっている。

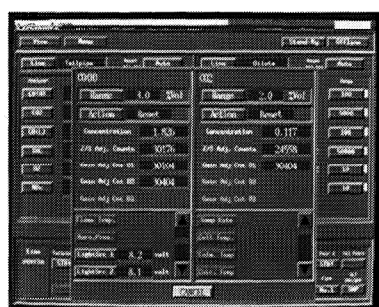


図3 分析ユニットのメンテナンス画面  
Maintenance screen of analysis unit

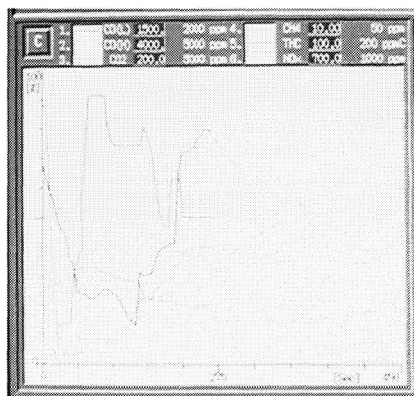


図4 トレンドチャート  
Trend chart

直線性チェック機能も大幅に向上された。手動式ガス分割器の補助機能は、分析計の直線性の校正の際に各分割点の信号を読み込めるようにしたものである。当社のガス分割器と接続すると、自動的に直線性をチェックすることが可能である。また、低濃度レンジの分割点データを他のレンジの分割点データに読み込めるようにしたのは、低濃度領域での直線性校正の精度をあげるためと、複数のレンジをカバーする直線性校正係数を算出することを可能にするためである。

MCUはMEXA-7000の制御だけでなく、CVSなど周辺機器も一台のMCUで制御できるようにもしている。

17インチカラーディスプレイの画面はタッチパネルを採用している(図5)。タッチパネルは表面超音波方式のアナログ検出型のもので、静電気や埃に強く、優れた耐久性があり、かつZ軸方向にも16段階の認識が可能という特長を持つものである。またマウス操作に切替えることも可能である。グラフィカル・ユーザー・インターフェースを用いた画面は、長時間の使用にも目の疲れが少ない色を採用している。

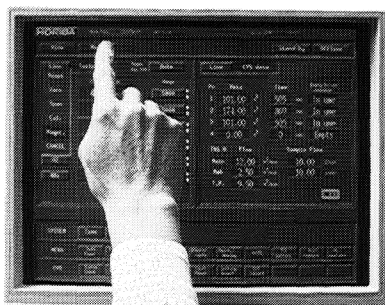


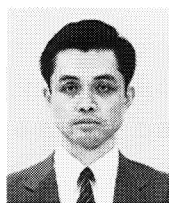
図5 タッチパネル方式によるシステムの操作  
Operating the system by the touch panel

## 5. ホストコンピュータ接続の対応

ホストコンピュータとの接続には、標準仕様ではLANが用意されている。アメリカAIGER\*1グループのSCPI\*2コマンドの要求やドイツ自動車計測標準化委員会(AK\*3)のRS-232Cからの拡張としての要求等を考慮して、LANインターフェースを採用している。LANのデータ内容は、複雑なシステム構成の複数ガスラインの制御が可能のように考慮してある。

また、従来のMEXA-9000シリーズと同様、 GPIBインターフェースも用意している。ただしこの場合には、制御可能なガスライン数は最大4ラインとなる。なお、AKプロトコルのRS-232Cインターフェース対応も進めており、ワールドワイドなサポート体制を整えている。

- \*1 AIGER  
American Industry/Government Emissions Research group  
米国政府と米国大手自動車会社が共同で将来のエミッション計測技術を確立しようとする組織
- \*2 SCPI  
Standard Commands for Programmable Instruments  
米国における計測器一般の標準インターフェースコマンド。ヒューレット・パッカード社内標準コマンドをもとに展開
- \*3 AK  
Arbeitskreis  
ドイツ自動車計測標準化委員会として1987年から活動している自動車メーカーの組織



岡田 薫  
Kaoru OKADA

NMプロジェクト 係長  
1985年入社  
自動車エンジン排ガス分析計装置の  
ソフト開発

# Constant Volume Sampler CVS-7000 Series

## —Variable Flow CVS-7600 type based on Sub-Sonic Venturi Flowmeter—

William Silvis\*

### <Abstract>

The constant volume sampler has been used for more than 35 years to sample gasses from automobiles tested in emissions laboratories. More recently, the need to test vehicles operating on alternative fuels and LEVs (low emission vehicles) have made new demands on the performance of these samplers. Alternative fuels can produce much more water as a combustion product, increasing the flows needed for condensation free sampling, while the LEVs need lower flow rates since the concentrations that must be measured are already very low.

Since conventional CVSs are limited in the number of different flow rates they can offer, it has become necessary to improve the sampler in order to provide laboratories with a device that offers more flexibility to adapt to different fuels, driving cycles and ambient conditions. The CVS-7000 series includes a new type, the model 7600, that meets these requirements.

This paper describes how this is accomplished by combining sub-sonic flowmeters for flow measurement, heated components for preventing condensation, and mass flow controllers for maintaining a proportional sample. The package integrates seamlessly with the MEXA-7000 to offer a convenient system for flexible sampling and analysis of vehicle emissions.

\*Horiba Instruments Incorporated.

---

### 定容量試料採取装置 CVS-7000シリーズ

—サブソニック・ベンチュリ流量計を備えた可変流量型CVS-7600—

#### 1. はじめに

定容量試料採取装置 (CVS) が1970年代の初頭に実用化されていらい、自動車排ガスの質量測定が可能となった。排ガスの環境への影響は、単位走行距離 (1マイル) 当たりに排出される汚染物質の質量 (g) で評価される。自動車をシャシダイナモに乗せて、路上での走行状態を再現し、排出される排ガスの質量を測定する。

CVSは次のような原理で働く。

- (1) 自動車から排出されたガス (ダイレクトガス) に希釈用大気 (希釈空気) を加えて混合する (混合ガス)。このとき、混合ガスの流量が一定になるように希釈量を調節する。

## 1. Introduction

The CVS, or constant volume sampler, was first applied in the late 1950's to make possible the measurement of the mass of exhaust emissions. Before that time, emissions tests had been based on concentration limits. Since the effect on the environment is assessed by the grams of pollutants emitted by vehicles per mile driven, a sampling system was needed that could measure the mass of these emissions while the vehicle was operated through a sequence of accelerations and decelerations that approximated normal driving.

These sampling devices operate by mixing the vehicle's exhaust and ambient air at a constant combined flow rate. As the vehicle produces more exhaust, less ambient air is mixed with it in order to keep the total flow constant. In this manner, the total volume of the mixture is easy to determine from the time of the sampling multiplied by the constant flow rate. A small sample of these gasses is collected during the same sampling period. This sample is analyzed later for the concentrations of the pollutants. Today, CVS units do not actually operate at a constant rate of flow, but the name CVS is still used.

The modern devices included in the CVS-7000 series have taken advantage of electronics and computer technology to lower the cost and improve the precision of the CVS. All these sampling systems must perform the following three functions:

- Prevent the condensation of water in the sample before it can be measured. The exhaust is diluted to the point where the water vapor in it will not condense when cools to room temperature.
- Measure the total diluted exhaust volume over a sampling interval, so the mass of emissions can be calculated.
- Collect a proportional sample of diluted exhaust in a sample bag for later analysis. At any time, the rate of flow of sampled gasses and the total rate of flow of diluted exhaust through the CVS must be in the same proportion.

## 2. New requirements

More recently, the requirements of testing modern vehicles make it necessary to have a more flexible and adaptable CVS. Vehicles today may use alternative fuels

- 
- (2) 混合ガスを一定量抽出し(サンプルガス), 各汚染成分の濃度を測定する.
  - (3) この濃度と混合ガスの体積とを演算処理して, ダイレクトガス中の各成分の質量を求める.

CVSには次のような機能が必要となる.

- \* サンプリング中に, 排ガス中の水分が冷えて凝縮しない程度に大気で希釈する.
- \* サンプリング中の全時間にわたって混合ガスの体積を測定し, 質量を算出する.
- \* サンプルガスの流量と混合ガスの流量の比率は常に一定である.

### 2. 新たな要求事項

近年, CH<sub>3</sub>OH, CNG, LPGなどの代替燃料車が開発されている. これらの排ガスは水分を多く含むため, 希釈空気量を増やさなければならない. 一方, 排ガスの低濃度化(LEV)にともない, サンプルを希釈し過ぎないように注意が必要である. このため, CVSは車種/燃料/環境に合わせた流量の最適化が必要となる. 固定流

such as Methanol, CNG and LPG. Burning these fuels produces more water, requiring more dilution and higher CVS flow rates.

However, the same vehicles are likely to be LEVs, or low emission vehicles. The emissions from these vehicles are very low, and the concentrations produced have become more difficult to measure accurately. It is clearly important not to over-dilute these samples, making them even more difficult to measure. For this reason, the CVS flow rates need to be lower.

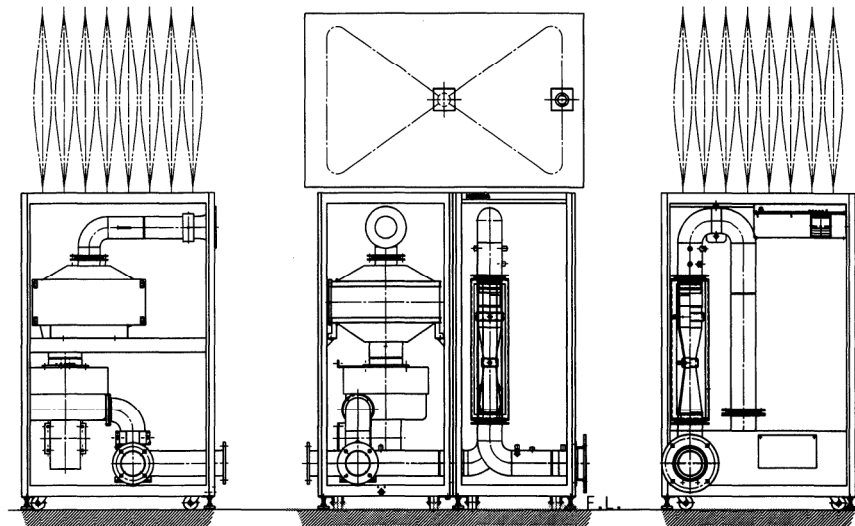


Fig.1 The CVS-7600

To meet these conflicting requirements, a CVS needs to operate at the correct flow rate for each vehicle, fuel and ambient condition. CVS units based on fixed flow metering orifices however, are only able to operate at a relatively small number of fixed flow rates. The CVS-7600 offers a flow rate that can be set for any value over the range of flows needed for vehicle emissions testing. The figure 1 shows the overview of the CVS-7600. Proper choice of this flow rate allows the CVS-7600 to operate at the theoretically minimum possible flow rate, making the maximum pollutant concentrations available for analysis.

The figure 2 shows a simplified diagram of the CVS-7600.

The key points are:

—A variable speed blower and motor controller. The speed of the blower deter

量制御式オリフィスを使ったCVSの設定流量は限られているが、CVS-7600では理論的に最小の流量で作動でき、高い分析感度が得られる。

CVS-7600 (図1) には次のような特長がある。

- \* 速度可変式ブローアにより、車種/燃料/環境に合わせて流量を最適化できる。
- \* サブソニック・ベンチュリーにより、広い流量範囲を測定できる。
- \* マス・フロー・コントローラによりバッグへの流量を最適化できる。
- \* サンプルガスの流路の加熱により、水分の凝縮が防止できる。
- \* スムース・アプローチ・オリフィス型流量計 (SAO, オプション) により希釈空気の流量を測定できる。(生ガス流量 = 混合ガス流量 - 希釈空気流量)  
この手法は、サンプルガスの応答遅れや減速走行時の燃料カットなどの影響を受け難く、CO<sub>2</sub>トレーサ・ガス法より優れている。

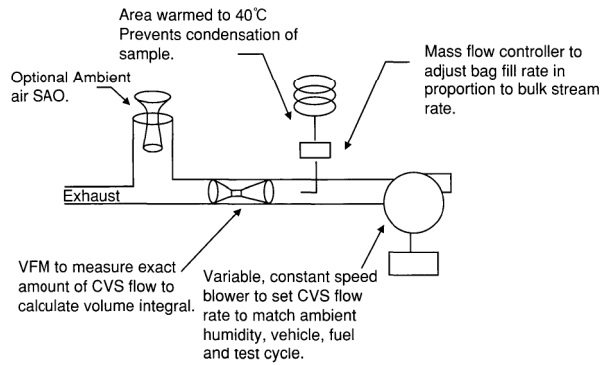


Fig.2 Simplified diagram of the CVS-7600

mines the bulk stream flow rate, providing the flexibility to set any desired speed, depending on the vehicle, the test cycle and the conditions of the ambient dilution air.

- A subsonic venturi for measuring the total bulk stream flow rate. Two pressure transducers are used in order to accurately measure flows over a wide dynamic range.
- Mass flow controllers are used to regulate flow to the sample bags. These controllers keep sample flow to the bags proportional to the main flow rate. They also can adjust the flow rate according to the length of the measuring period so a proper amount of sample is collected. In this way, there is always enough gas to analyze even for short test phases. It also avoids the risk of overfilling the bags with longer test phases.
- Sample lines carrying the diluted exhaust to the bags are heated to prevent any condensation from forming when the vehicle accelerates, causing the dewpoint of the diluted gasses to become temporarily high.
- As an option, a smooth approach orifice (SAO) can be installed in the ambient flow path of the mixing T in order to measure the ambient air flow. This offers a means to determine the vehicle exhaust flow by subtracting this from the main flowrate. This has advantages over the CO<sub>2</sub> tracer method for determining exhaust flow, since it is not affected by the inherent delays for the tracer gas to reach the analyzers or a lack of tracer gas when fuel is cut off on decelerations. This SAO can also be conveniently used as a built-in calibration device.

### 3. 体積の測定

体積の算出が容易なため初期のCVSには定容積型ポンプ(PDP)が使われていた。その後、臨界流量ベンチュリー型(CFV)のCVSが開発された。CFV型オリフィスでは、両端の圧力降下が大きくなると、スロート部の流速は音速に到達する。この流速と測定時間の積がオリフィスを通るガスの体積に相当する。流速は温度の関数だが、MCUで補正する。CVS-7100とCVS-7300はこのタイプである。

一方、CVS-7600では、速度可変型プロアで流量を設定し、サブソニック・ベンチュリー型流量計(subsonic-VFM)で測定する(図2)。

VFMのスロート部(図3)での流速は音速より遅く、ベルヌーイの原理に基づいて作動する。VFMの流量は(1)式で、CFVでは(2)式となる。CFVの臨界流量特性は、VFMのサブソニック流量が飽和した状態である(図4)。

CVS-7600では、入口圧力、スロート圧力、入口温度をVFMから高速に読取って



### 3. Measuring the volume

The first CVS's used a positive displacement pump running at a constant rpm and preceded by a heat exchanger. This simplifies the problem of measuring volume, since it is a simple matter to take the number of revolutions of the pump together with the pump calibration to calculate a volume.

Later, the critical flow venturi or CFV type CVS, represented in the CVS-7000 series by the 7100 and 7300 models, was developed. This type uses the CFV metering orifice to fix a given flow rate. It is a physical property of this kind of orifice that when the pressure drop across it is large enough, the gas velocity in the throat reaches the speed of sound and the flow rate through it becomes an easily determined, fixed value. The volume of gas through the orifice is the simple product of this flow rate and the time period of the test phase. The flow rate is actually dependent on the temperature, but the Main Control Unit integrates this and provides an accurately measured volume.

The CVS-7600 performs the same functions by using a variable speed blower to set the flow and a subsonic venturi flow meter (VFM) to measure it. The VFM (figure 3) is similar to the CFV, however the speed of the flow in its throat is less than the speed of sound, so it is called a sub-sonic venturi. It measures the flow but does not regulate it. As with any head type flowmeter, this device operates according to the Bernoulli principle. The pressure in the throat is proportional to the square of the flow rate. When the compressibility of the gas is taken into account, the flow is given by the following equation:

$$Q_{std} = K \cdot C_d \cdot Y \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{P}} \cdot \frac{P}{\sqrt{T}} \quad \dots\dots (1)$$

The flow through the CFV type orifice is given by:

$$Q_{std} = \frac{C_i P}{\sqrt{T}} \quad \dots\dots (2)$$

The critical flow property used by the CFV is the limiting case of the sub-critical flow used by the VFM, as can be seen on the figure 4.

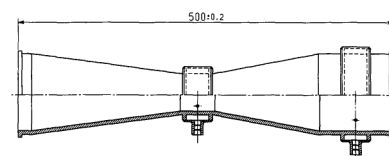


Fig.3 Subsonic venturi flow meter (VFM)

- \* equation 1
- Q<sub>std</sub> : standard flow rate
- K : conversion constant
- C<sub>d</sub> : discharge co-efficient
- Y : expansion factor
- d : orifice throat diameter
- ΔP : throat differential pressure
- P : inlet pressure
- T : inlet temperature
  
- \* equation 2
- Q<sub>std</sub> : standard flow rate
- C<sub>i</sub> : orifice co-efficient
- P : inlet pressure
- T : inlet temperature

MCUで演算して正確な体積を求める。

#### 4. 凝縮の防止

CVSは、多量の水分を含んだ排ガスを大気で希釈して、サンプルガスの露点を室温より下げる働きをする。希釈ガス流量は、希釈用大気の相対湿度、排ガスの水分濃度および排ガスの量によって決まるが、これらがいかに変動してもCVSは常に最適流量に設定できなければならない。

排ガス中の水分濃度は、燃料の種類、とくに水素の含有量に依存する。メタノール車はガソリン車比べ倍近い水分を含む(図5)。

排ガス量は車の燃費によって変わる。所定の排ガス試験モードでの走行距離と燃費から、燃料の消費量(CO<sub>2</sub>の排出量に比例)が分かり、最終的に排ガスの総量を求めることができる。ガソリン車をEPA 75 Phase I (LA-4)で走行させたときの、燃費と排ガスの総量の関係を示す(図6)。このように、大気の湿度、燃費、燃料

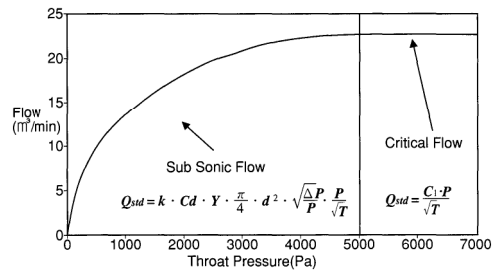


Fig.4 The flow property of the VFM & CFV

The CVS-7600 collects the inlet pressure, throat pressure and inlet temperature from the VFM at a high sample rate and calculates the instantaneous flow rate. Its Main Controller Unit integrates the volume from these instantaneous values. This insures an accurate volume measurement.

#### 4. Preventing Condensation

An important function of the CVS is to manage the water in the exhaust gas. It does this by adding enough ambient air to the wet exhaust so that the dewpoint temperature of the resulting mixture is below the ambient temperature. This requirement is described by the following equation:

\* equation 3

$Q_{CVS}$  : flow rate through CVS

$[H_2O]_{TP}$  : water concentraion in tailpipe exhaust gasses

$[H_2O]_{sat}$  : saturated water concentraion at test temperature

R : relative humidity of dilution air

$Q_{TP}$  : flow rate of exhaust gas

$$Q_{CVS} = \frac{\left[ \frac{[H_2O]_{TP}}{[H_2O]_{sat}} - R \right] Q_{TP}}{1 - R} \quad \dots\dots (3)$$

From this we see that the amount of flow needed depends on the relative humidity of the dilution air, on the concentration of water in the exhaust, and on the amount of exhaust. It becomes clear that a modern CVS needs to supply the appropriate flow rate for any combination of these conditions.

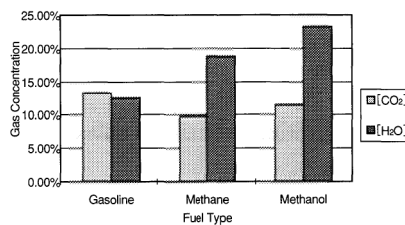


Fig.5 Exhausted gas compositions of various fuels

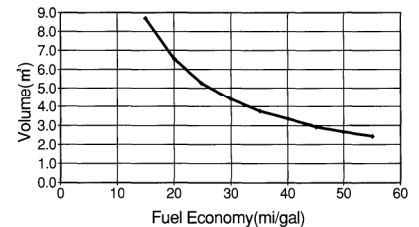


Fig.6 Total amount of exhaust gas vs fuel economy Gasoline fueled vehicle during EPA P1

の種類が分かれば、CVSで必要な流量が計算で求めることができる(図7)。

車が加速すると、排ガス総量(水分も)が平均値を上回り、混合ガスの露点が室温より高くなり、水分が凝縮する恐れがある。逆に、アイドリング時には露点より十分に低くなる。そこで、加速からアイドリングまでの排ガスをバッグに補集すると、露点のバラツキは小さくなる(図8)。

水分の凝縮を防止するため、ダイレクトガスの採取点からバッグ補集点までサンプリング系全体を40℃まで加熱する必要がある。一方、バッグに補集されたサンプルは、積分効果のために特別に加熱する必要はない。

#### 5. 比例サンプリング

CVS-7600では、MFCとPIDコントローラによって、サンプルガスと混合ガスの流量比が所定の値になるようにしている。このために、サンプルガス採取点と希釈サンプルバッグとの間、および、希釈空気採取点と希釈空気バッグの間にMFC

The concentration of water in the exhaust depends on the fuel type, especially on the amount of hydrogen in the fuel. The following figure 5 shows the water and CO<sub>2</sub> concentrations produced for some common fuels. Note that methanol produces almost twice the amount of water as gasoline.

The amount of exhaust gas containing this concentration of water that a vehicle emits depends on its fuel economy. Driving a car through a test cycle requires a certain amount of energy, which comes from burning the fuel. If we know the distance of the driving cycle and the fuel economy of the vehicle, we can determine how much fuel it will burn. From this the total amount of exhaust gas produced can be determined. Figure 6 displays this result for a gasoline fueled vehicle during the first phase of the EPA 75 test.

Thus the CVS flow rate required to hold the water from the vehicle's exhaust depends on an interesting combination of the ambient conditions, the fuel type and the fuel economy of the vehicle. With this information, the dilution equation given above can calculate the optimal flow rate. Figure 7 shows this graphically.

When a vehicle accelerates, the volume of exhaust (and water vapor) exceeds the average level and the resulting dewpoint temperature of the diluted exhaust will exceed ambient temperature, creating a possibility of condensation. Similarly, during idle periods, the dewpoint temperature will be below ambient temperature. As these gasses collect in the sample bags, these fluctuations in dewpoint temperature are integrated and the variations are not nearly so great. The figure 8 shows this situation for the first phase of the US EPA 75 test.

From this information we see that the lines carrying the diluted gas from the sampling point to the bags need to be heated to 40°C to prevent condensation. Because of the integrating effect of collecting the sample gasses in the bags, the dewpoint in the bags themselves rises only slightly above ambient, so extra heating is not required.

## 5. Proportional sampling

The CVS-7600 maintains the proportionality of the sample flow to the main flow by means of mass flow controllers and PID controllers. In this way, sample flows and bulk-stream diluted exhaust flows are maintained at the desired ratio.

を設けて、サンプルガス流量を制御している。そして、MCUでバッグの容量と試験時間とから必要流量を計算し、MFCの設定値としている。

混合ガスの流量は、プロアをフィードバック制御することによって一定に保たれる。MCUは、希釈空気、燃料、燃費などから所定の流速を求めてプロアに送信するとともに、実際の流量を毎秒10回算出してフィードバックする。

## 6. MEXA-7000シリーズとの統合

CVS-7000シリーズのオペレーティング・システム (OS) とウィンドウ・グラフィック・ユーザ・インターフェースはMEXA-7000シリーズと共通であり、CVS-7000用に別のコンピュータを用意する必要はない。また、コンピュータは、一つの高分解能タッチ・スクリーン方式のCRTで操作できる。

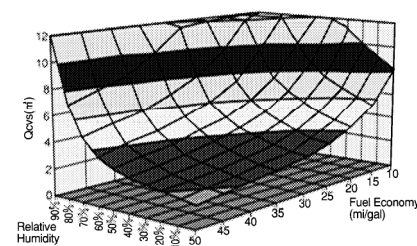


Fig.7 Required CVS flow vs humidity and fuel economy Gasoline ( $\gamma=1.85$ ) at 20°C

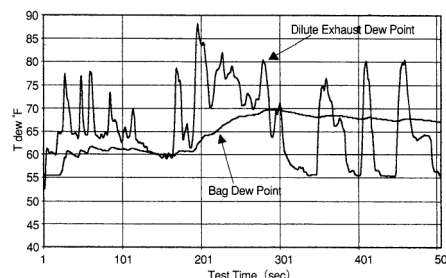


Fig.8 Dewpoint temperature in sample bag and in sample line during phase I of EPA 75 test (Minimum dilution at 50%RH and 68°F)

To control sample flows, the mass flow controllers are installed between the dilute sample point and the dilute bags and between the background sample points and the background bags. The Main Control Unit calculates the desired flow from the size of the sample bag and the length of the testing phase. It provides this value as the setpoint for the mass flow controller.

The bulk stream flow of diluted exhaust is maintained by feedback adjustments to the speed of the blower. The Main Control Unit provides a setpoint signal for the desired standard flow rate as determined from the considerations outlined above. It also calculates the standard flow rate ten times a second. This signal is the process variable for the PID controller feedback loop.

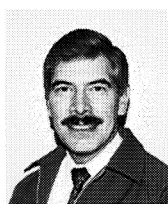
## 6. Integration with the MEXA-7000

The CVS-7000 series uses the same software operating system and windowed graphical user interface as the MEXA-7000. It runs on the same hardware platform, so an additional computer for the CVS-7000 is not needed. This user interface smoothly integrates with the MEXA-7000 user interface to provide uniform and consistent operation of both devices. Both the sampler and the bench are operated conveniently from the same large format, high resolution touch-screen operator's CRT monitor.

## 7. Summary

The application of the CVS-7000 series in the emissions laboratory offers users a new opportunity to enhance their ability to measure emissions. With the variable flow CVS-7600, one can adjust the sampling to meet the specific requirements of a given vehicle on a given day for a given test cycle. It is no longer necessary to accept merely the best available flow setting and compromise the test result. Each test can be operated at the theoretically optimum point.

The smooth integration of the control computer and user interfaces with the MEXA-7000 offers both cost advantages and an ease of use. CVS-7000 Software uses the same operating system as the MEXA-7000 and can operate in the same computer, saving the costs of multiple controllers. The CVS-7000 user interface has the very same look and feel as the MEXA-7000 interface, making it both easy to learn and easy to operate.



William Silvis  
HORIBA Instruments Inc.  
Director  
Technical Applications

---

### 7. まとめ

自動車排ガス試験室にCVS-7000シリーズを導入することにより、排ガス測定に新たに機能の拡大が期待できる。CVS-7600では、オペレータは、試験車の種類、大気の状態、試験サイクルなどの具体的な条件に合わせて最適の状態での試験ができる。

(抄訳 編集部)

高速自動車排ガス中炭化水素 (C<sub>2</sub>-C<sub>12</sub>) 分析装置 MEXA-3000GCMEXA-3000GC High-speed Analyzer of Hydrocarbons (C<sub>2</sub>-C<sub>12</sub>) in Automotive Emissions

大家 勉, 大槻 聡

Tsutomu OIE, Satoshi OHTSUKI

## 【要旨】

世界的に大気汚染に対する関心が高まる中、特に自動車排ガスに対する規制はいつそう厳しいものとなってきている。近年、光化学反応の面から自動車排ガスのスピーシエーション、すなわち個々の成分の排出重量を測定する事が必要となってきた。そこで、当社では自動車排ガスのスピーシエーションを高速かつ簡易に行えるMEXA-3000GCを開発してきた。本稿ではこのMEXA-3000GCの測定原理と特長について述べる。

## Abstract

High concern for air pollution throughout the world has been placing even stricter restrictions on automotive emissions. Recently, from the point of view of photochemical reactions, the speciation of automotive emissions, namely the measuring of the weight of the each component has been requested. For this reason, we at HORIBA have developed the MEXA-3000GC analyzer capable of easily and quickly measuring the speciation of automotive emissions. This paper describes the principles of operation and features of the MEXA-3000GC.

## 1. はじめに

近年、環境問題への対応が緊急の課題となっているが、その一つに自動車排ガス問題がある。この中には非常に多くの化合物が含まれているが、中でも炭化水素は光化学反応によりオゾンを生じ、光化学スモッグの原因の一つとなっている。

従来、これらの炭化水素は、全炭化水素 (Total Hydrocarbon: THC) として測定されてきたが、オゾン生成能力が個々の成分によって異なるため、近年、個々の炭化水素を測定する必要性が指摘されている。現在は主にガスクロマトグラフ法 (GC) が使われているが、排ガス中の炭化水素は、成分数として200以上あり、従来のGC装置では分離時間が約60分と非常に長くかかっていた。

MEXA-3000GC (図1) はこの分離時間を5分に短縮化した。

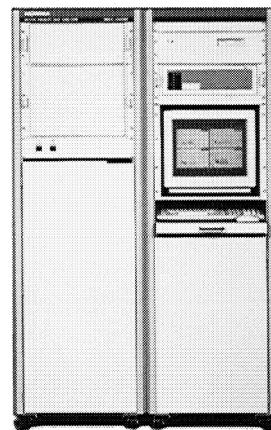


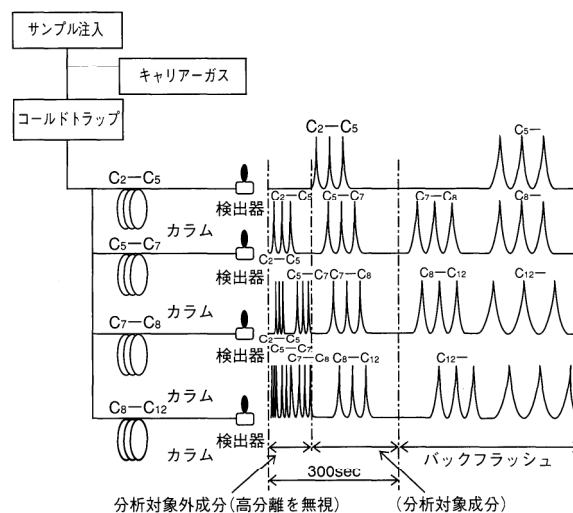
図1 MEXA-3000GC  
MEXA-3000GC

## 2. 高速化の方法

### 2.1 並列マルチ4カラム方式

自動車排ガス中の炭化水素の成分数は200以上と非常に多く、その沸点の範囲も非常に広い。このため、これら個々の成分を沸点の違いを利用して1本の分離カラムのみで分離、分析しようとする、約40分を要してしまう。全ての成分がカラムから出てくる(溶出するという)時間を短縮する方法としては、分離中のカラムの温度を上げることがあるが、この方法では高速化はできるが、沸点の低い成分すなわち初期の溶出成分が十分に分離できない問題が生じる。つまり広い範囲の沸点を持つ多成分サンプルを1本のカラムで分離しようとする、高速化と高分離は両立しにくいことになる。この問題を解決する方法として考案したのがマルチカラム方式である。

MEXA-3000GCでは4本のカラムを用い、それぞれのカラムには異なった温度条件等を与えている。これが並列マルチ4カラム方式(Multi-4 columns method)方式であり、その概念図を図2に示す。以下にこの測定原理を示す。



測定の目的成分である炭素数 $2\sim 12$ の成分をほぼ沸点の順に4グループに分け、低沸点成分、中沸点成分、中高沸点成分、高沸点成分をそれぞれGr1、Gr2、Gr3、Gr4と命名する。各グループの内分けはほぼGr1: C $2\sim 5$ 、Gr2: C $5\sim 7$ 、Gr3: C $7\sim 8$ 、Gr4: C $8\sim 12$ となる。各グループには1本ずつのカラムを用意し、排ガスサンプルを4つに分けそれぞれのカラムに導入する。そして各グループの測定成分が5分で分離するようにそれぞれのカラム条件を最適に設定する。

たとえば第1のカラムではカラムの温度を最も低く設定し、Gr1の低沸点成分が明確に分離出来るように条件を決める。

一方、この条件下では、Gr2、3、4の成分はカラムから溶出してくるのが遅いので、これらの成分はバックフラッシュつまりキャリアーガスとは逆方向にパージガスを流して追い出してしまい、検出器に到達しないようにする。

次に第2のカラムではC $5\sim 7$ の成分が分離するように条件を最適化する。ここではGr1の成分は分離しなくなるが、この分の測定は行わない。

一方、Gr3、4の成分は5分以上の時間で溶出してくるため、バックフラッシュ

をかけて追い出してしまう。Gr3, 4の成分の測定もGr2同様の手法で行う。

このようにして4つのグループの測定成分を個別に測定し、それらの結果を総合することにより、C<sub>2</sub>~C<sub>12</sub>までの成分を分離時間5分で高速に測定できることになる。

## 2.2 ミッドポイントバックフラッシュ法

自動車排ガス中の成分にはC<sub>12</sub>より沸点が高いC<sub>13</sub>以上の成分も含まれる。これらの成分はC<sub>12</sub>より溶出時間が長いので、C<sub>2</sub>~C<sub>12</sub>の測定が終了した時点でカラムに残存し、次の測定サイクルの障害となってしまう。このため測定を連続で行うためには、次の測定を行う前に残存成分をバックフラッシュして追い出す必要がある。

1本のカラムでの分析では、C<sub>12</sub>が溶出してくるまで時間が長く、またバックフラッシュもC<sub>12</sub>の測定が終了するのを待ってから行う必要がある。さらにバックフラッシュの時間もできる限り短くしたい。

この問題を解決したのがミッドポイントバックフラッシュ法である。2.1章で述べたマルチ-4カラム方式では、各カラムでバックフラッシュを行うので、全成分が溶出するまで待つ必要はなく、各グループの測定成分の溶出が終わった時点でバックフラッシュをかけることも高速化の方法となっている。さらにミッドポイントバックフラッシュ法によりバックフラッシュに費やす特別な時間も省くことができる。

図3にミッドポイントバックフラッシュ法の概念図を示す。図中aは各グループの測定対象外成分であり、bは測定成分、たとえばGr1ではC<sub>3</sub>~C<sub>5</sub>の成分である。

各カラムの中央付近(ミッドポイント)にT字型分流路②と電磁弁SV<sub>1</sub>を設ける。図3(A)では全成分が分離カラムに導入され、カラムの前半①~②で分離されながら検出器(Flame Ionization Detector:FID)へ運ばれる。このときSV<sub>2</sub>は閉じている。図3(B)では測定成分bがミッドポイントを通過した瞬間、電磁弁SV<sub>1</sub>を開ける。すると測定成分bは引き続きカラムで分離されながらFIDへ運ばれ分析を続行する。

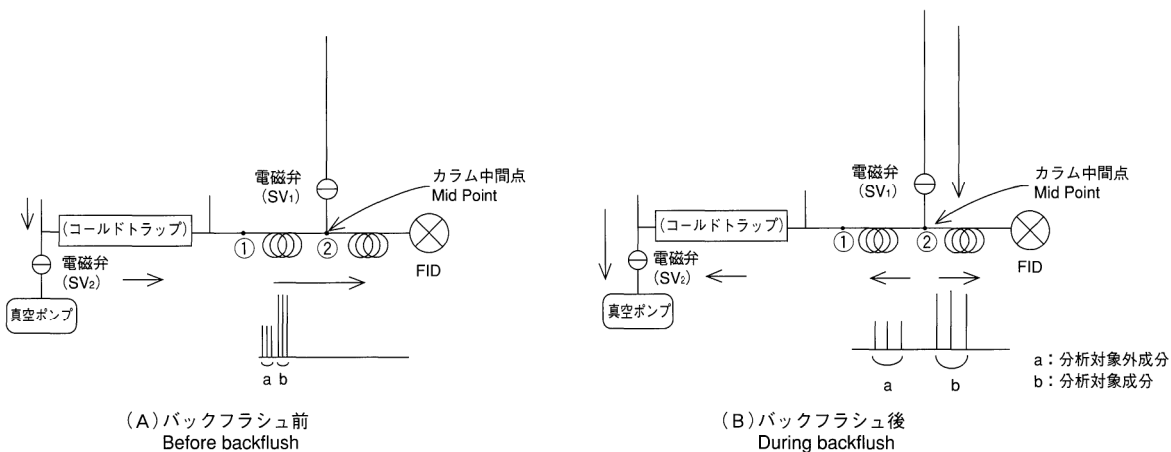


図3 ミッドポイントバックフラッシュ  
Midpoint backflush

一方、同時に測定対象外成分aはSV1からのキャリアガスの逆流で、バックフラッシュされ追い出される。この時バックフラッシュ時間とbの分析時間とがほぼ同じになるので、測定成分bの分析が終了した時、測定対象外成分aのバックフラッシュも終了する。このためバックフラッシュのための特別な時間は必要としなくなる。この結果、マルチ-4カラム方式とミッドポイントバックフラッシュ法を合わせると、5分で測定が終了するのである。

### 3. デュアルトラップと高速気化法

ガスクロマトグラフィでは、分離カラムに導入されるサンプルバンド幅をいかに小さくできるかが高速・高分離を達成する鍵となっている。

サンプルが液体の場合には、サンプル注入口の温度をあらかじめ250度近くまで加熱しておき、シリンジで注入されたサンプルを一気に加熱、気化することができる。さらに、サンプルバンド幅を小さく保つためにサンプルの大部分を捨て、一部のみをキャピラリカラムに導入するスプリットと呼ばれる技法を用いることにより、サンプルバンド幅を非常に小さくすることができる。

自動車排ガスのようにサンプルが気体の場合には、これらの方法は用いることができず、クライオトラップ(コールドトラップ)と呼ばれる技法を用いる。

この技法は、あらかじめ冷却したトラップ管にサンプルを導入し凝縮させトラップする。次にトラップ管を急速に加熱し、サンプルを短時間に気化させサンプルバンド幅を小さくしてからカラムに導入する技法である。加熱速度が大きいほど小さいサンプルバンド幅が得られる。

また正確に定量分析するためには、注入したサンプルを100%トラップする必要がある。前述したように、自動車排ガスの成分は広い沸点範囲を持っており、C<sub>2</sub>~C<sub>12</sub>だけでも最低沸点の約-100℃から最高沸点は約200℃までである。従って、低沸点成分を全てトラップするには、-100℃より更に低い温度が必要になる。一方、より低温でトラップすれば高沸点成分が気化するのに時間がかかってしまう問題が生じる。

このように自動車排ガスサンプルのトラップには、広い沸点範囲の成分の確実なトラップと、トラップ管の加熱速度を大きくすることが重要な技術となる。

これらの問題を解決する方法がデュアルトラップ方式とコンデンサを用いた高速加熱方式である。

#### (1) デュアルトラップ法

デュアルトラップ法は低沸点成分(C<sub>2</sub>~C<sub>5</sub>)用と、中・高沸点成分(C<sub>5</sub>~C<sub>12</sub>)用の2本のトラップ管を用いる方法である。低沸点用のトラップ管は、確実なトラップのために極端に低い温度になるのを避ける目的で、内部に吸着剤をコーティングした管を用いる。このため低沸点用のトラップ管をプロットトラップと呼ぶ。



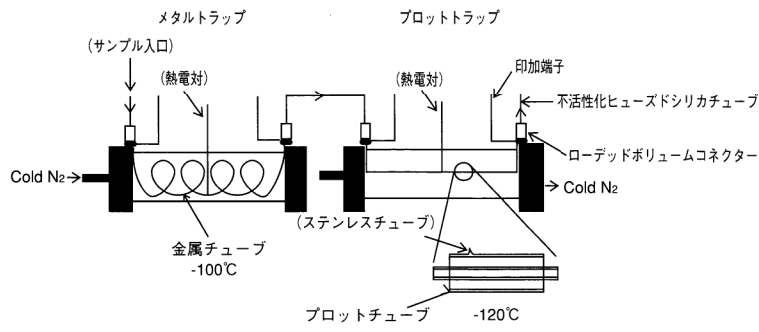


図4 デュアルトラップ  
Dual trap

一方、中・高沸点用のトラップ管はコーティングなしの金属管を用いておりメタルトラップと呼ぶ。デュアルトラップは、図4に示すようにこれら2種類のトラップを直列につないだ構造となっている。各々のトラップは冷却されたN<sub>2</sub>ガスを流すことによって、内部を冷却した石英のチャンバー内に各々のトラップ管が通る構造となっている。それぞれの温度はプロットトラップが-120℃、メタルトラップが-100℃である。そしてサンプル吸引時は、上流にメタルトラップを、下流にプロットトラップとなるように2つのトラップを直列に配置している。このように配置することにより全ての成分を確実にトラップ、気化させることができるようにしている。

#### (2) 高速加熱方式

サンプルの気化のためのトラップ管の加熱は、特製のコンデンサを用い、電気的にも直列に接続した2つのトラップ管一気に電流を流すことにより行っている。このため数msの時間でトラップ管を加熱することができる。なおプロットトラップ自体は導電性ではないためステンレスのチューブをかぶせている。このようにして非常に小さなサンプルバンド幅を得ることが出来、高速高分離が得られるのである。

### 4. サンプルフローとフローシーケンス

#### 4.1 サンプルフロー

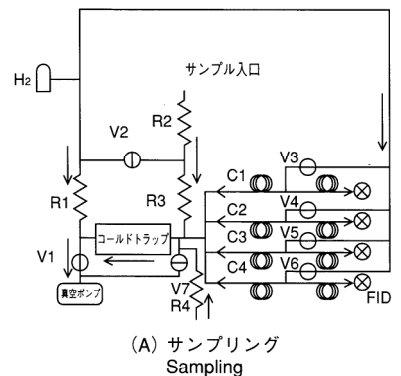
図5にMEXA-3000GCの流路を示す。

R1~R4、は流路抵抗、V1~V7は電磁弁、C1~C4はカラムである。トラップ部は、メタルトラップ(M)、プロットトラップ(P)のデュアルトラップ構造となっている。また4カラムの流路はキャリアガスが均等に流れる構成となっている。

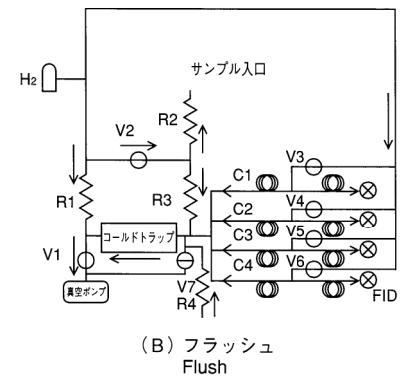
4つのカラムは各グループの測定対象成分に最適な条件が設定できるように、個別の4個のオープンに収納されている。V3~V6はミッドポイントバックフラッシュ用の電磁弁である。

#### 4.2 フローシーケンス

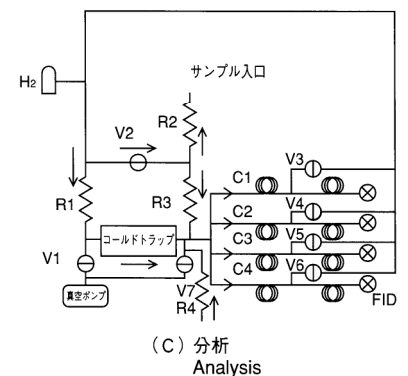
図5のように、電磁弁の開閉によって、(A) サンプルング、(B) フラッシュ、(C) 分析、(D) 分析とバックフラッシュの4つのモードがある。これらはコンピュータで制御されている。



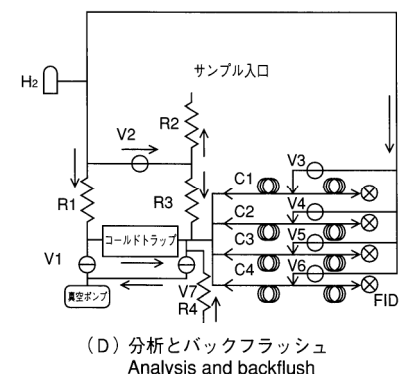
(A) サンプルング  
Sampling



(B) フラッシュ  
Flush



(C) 分析  
Analysis



(D) 分析とバックフラッシュ  
Analysis and backflush

図5 MEXA-3000GCのガスフロー  
Gas flow in the MEXA-3000GC

- (A) サンプルモードが始まると、サンプルガスは真空ポンプによって注入口 (Inletport) からコールドトラップに吸引され凝縮される。
  - (B) 次に、電磁弁V2を開きフラッシュモードにして、サンプリングを止めてサンプリングラインをクリーンアップする。
  - (C) 次に電磁弁V1, V3～V6を閉めて、図に示すようにキャリアガスの方向を変える。この時コールドトラップを急速に加熱すると、凝縮しているサンプルが急速に気化して同時に4本のカラムに運ばれる。そこで分離された後、FIDによって分析される。
  - (D) 分析対象成分がカラムの中間点を通過した時、電磁弁V3～V6を開き、測定外成分はバックフラッシュし、カラムから排出する。
- 図6に分析サイクルのタイムチャートをしめす。1分析サイクルは約10分である。

## 5. 結果と機器構成

図7(A)は自動車排ガスのクロマトグラム、図8はグループ4の拡大図である。なお本サンプルはCVS装置を通してバックに採集したものを使用した。また図7(B)は標準ガスのクロマトグラムである。定性、定量した結果を表1に示す。保持時間 (Retention Time) の変動係数 (CV値) はグループ4のp-Xylene, n-Undecaneではそれぞれ0.19%, 0.14%である。またノイズ幅に対するピーク高をS/N比として、 $S/N = 2$ を検出限界とすると、Benzene, Toluene, n-Octaneはそれぞれ、24.8ppbc, 25.3ppbc, 24.0ppbcとなる。

図9にMEXA-3000GCの機器構成を示す。

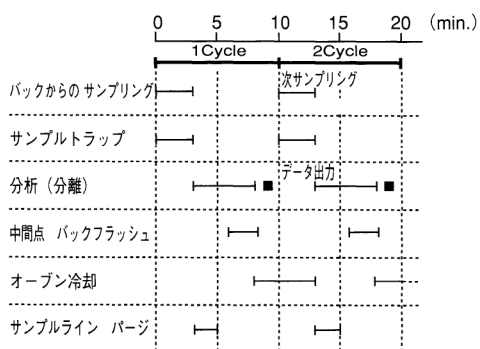
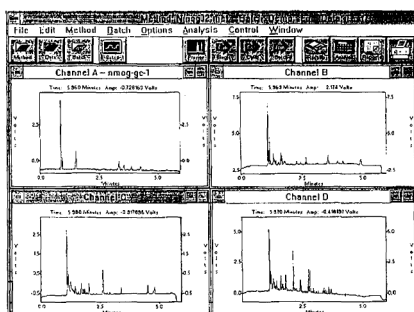
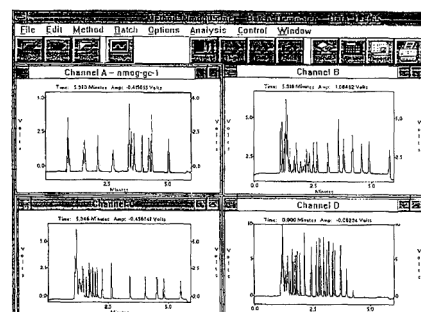


図6 タイムチャート  
Time chart



(A) 自動車排ガス実サンプル  
Exhaust gas



(B) 標準ガス  
Standard gas

図7 自動車排ガスの4チャンネルクロマトグラム  
4-channel chromatograms of exhaust gas

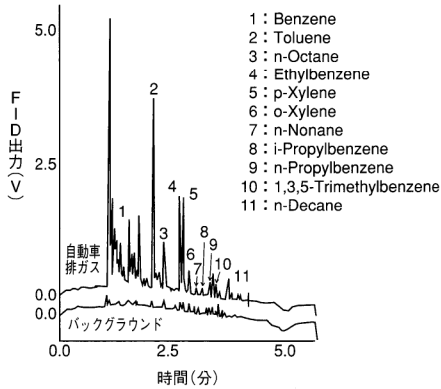


図8 排ガスのGr.4のクロマトグラム  
chromatogram of exhaust gas of Gr.4

成分	濃度 (ppm)
Ethylene	9.60
Ethane	1.32
Propane	1.97
iso-Butane	0.12
I-Butene+Isobutylene	1.02
n-Butane	0.48
t-2-Butene	0.34
c-2-Butene	0.37
n-Pentane	0.87
Cyclohexene	0.46
n-Hexane	1.43
Benzene	1.05
Methylcyclohexane	0.13
Toluene	2.13
n-Octane	0.59
Ethylbenzene	1.05
p-Xylene	1.17
o-Xylene	0.15
n-Nonane	0.015
n-Propylbenzene	0.035
1,3,5-Trimethylbenzene	0.10
n-Decane	0.09

表1 排ガス中の成分濃度  
Calculated concentrations of representative compounds

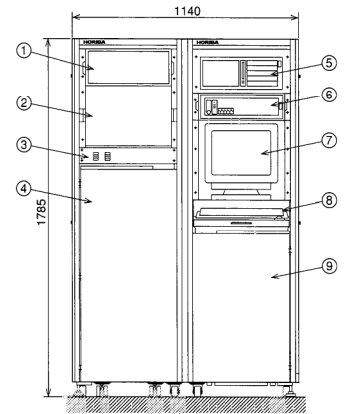


図9 MEXA-3000GCの機器構成  
Construction of MEXA-3000GC

- ① 電源ユニット
- ② サンプルングユニット
- ③ 電源スイッチ
- ④ 分析ユニット
- ⑤ コンピューター
- ⑥ インターフェイスユニット
- ⑦ ディスプレイ
- ⑧ キーボードとマウス
- ⑨ 冷却ユニット

## 6. おわりに

自動車排ガス中の炭化水素のスピシエーションは、従来、汎用GCによる1時間以上の長時間を必要としていた。今回開発したMEXA-3000GCによって約10分で測定できるようになった。今後はMEXA-3000GCの高速性が、自動車排ガスの分析、解析を更に発展させ、環境問題の解決のお役に立てることを願っている。

### 参考文献

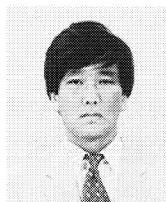
- 1) S.Ostuki,T.Oie,K.Ishida,"Hydrocarbons Speciation of Automotive Emissions Using High Speed Gas Chromatography",SAE Paper 950513,1995.
- 2) California Air Resources Board,"Proposed Regulations for Low-Emissions Vehicles,Technical Support Document",August 13,1990.
- 3) Klemp,M.,et.al.,"High Speed GC Analysis of VOCs: Sample Collection and Inlet Systems", Environ.Sci.Technol., Vol.28,No.8,1994.



大家 勉

Tsutomu OIE

エンジン計測開発部 係長  
1991年入社  
エンジン排ガス分析装置の研究・開発



大槻 聡

Satoshi OHTSUKI

エンジン計測開発部 主任  
1992年入社  
エンジン排ガス分析装置の研究・開発

## 次元の低い話にもご注意を

まず始めに簡単なクイズを考えてみる事にします。我々の住んでいる地球は半径約 6000 千 Km の球体と考えてよいのですが、今仮にその赤道に沿ってぴったりと鉢巻き状にワイヤーを巻き付けてみます。このとき必要なワイヤーの長さは(赤道面の直径)×3.14で、直ぐ求められます。そこでこのワイヤーより 1 m だけ長い第 2 のワイヤーを準備します。第 2 のワイヤーを鉢巻き状の第 1 のワイヤーの外側に沿って土星の環のようにぐりとひと巻きしたとき、第 2 のワイヤーはもとのワイヤーの外側何 cm ぐらいのところを通るとお考えでしょうか？

答は次の様にすれば簡単にもとまります。いま、第 2 のワイヤーで作った環の半径が第 1 のワイヤーの半径(R)より  $\Delta R$  だけ大きくなったと仮定しますと、円周の長さは夫々  $2\pi \times (R + \Delta R)$  及び  $2\pi \times (R)$  で与えられ、その差を 1 m として計算しますと  $\Delta R$  は約 15 cm となります。実は、私はこの簡単な計算の結果がすんなりとは納得できません。ダイエットに失敗してズボンのベルトを泣くなく数センチ延ばした時は、おなかに厚さ約 1 センチの脂肪が溜まっていますよという話は誠にもっともなのですが、何万 Km という長さのワイヤーをたった 1 m 延ばすだけですから、 $\Delta R$  はせいぜい何百分の 1 mm 程度にしかならないと思えるので、周りの人にも尋ねてみましたところ、どの人からもほぼ同じような返事がかえって来ました。とにかく、新しい地面がムクムクと 15 cm もせり上がってくるような結果になるのは許せません。

1 m という長さは地球の周長と比べて非常に小さい微小量ですが、15 cm という量も地球の半径にたいしては実は同じ程度の微小量なので、数学的には地面が 15 cm 盛り上がっても当然であります。しかし、こう考えてもどうも腑におちない点が残るような気がするのはどうしてでしょうか？

以下は自分なりの納得の方法なのですが、水平方向の長さの感覚と上下方向の高低の感覚の心理的な単位が同じではないため、つまり左右の拡がりに比べて上下の差はうんと誇張して感じられる為ではないかと思えます。つまり我々は地球の丸いことは認めながらも無意識的には主に横に拡がった 2 次元的な感覚に支配

されており、太古以来の低次元感覚から完全に自由にはなっていないとも言えそうですが、如何なものでしょうか。

3 次元的な感覚が正確であれば、つまり上下と左右の感じかたが対等であれば、こんなことになる筈はないのでして、直感的には我々(但し、スペースシャトルの毛利さんや向井さんなどのような特別の訓練を受けた人達は除いたほうがよさそうです)はほぼ 2.5 次元程度の感覚に支配されているとも言えそうです。しからば、何故そうなのかと問われても残念ながらこれ以上のお答えのしようはありません。

以上は我々が知らずしらずのうちに何らかの低次元的な呪縛を受けているのかもかもしれないという話であります。私の関係している物性論(物性光学)の業界では、最近はむしろ積極的に低次元の物質の性質を詳しく調べることがはやっております。今までは結晶構造の安定性とか、電気伝導率、透磁率、光学定数などはすべて 3 次元的な構造を持った物体について調べられておりました。それはそれでいろいろの事がよく解って広く応用されてきております。しかし最近のハイテクでは低次元指向のものが多く、非常に薄い膜や境界面などの 2 次元的な性質、さらに有機高分子や線状金属錯体化合物などの 1 次元の線型物質、またはコロイド状の微粒子を 0 次元と考えたものなどの物理的な性質を詳しく調べることが流行しています。例えば 3 次元では青く光らない筈と信じられていたシリコンなどの物質も低次元に加工してやると光り出すようになるらしいといったようなことがわかってきました。この様なわけで最近の物性論の話の次元はどんどんと低いほうへと移りつつあるようですので、皆様もこれからは次元の低い話にもよく耳を傾けていただく様にお願ひしたいと思います。

(中井 祥夫)

# エンジン排ガス測定装置 MEXA-4300FT

## Engine Emission Gas Analyzer MEXA-4300FT

井上 香・山岸 豊

Kaori INOUE, Yutaka YAMAGISHI

### 【要旨】

エンジン排ガス測定装置MEXA-4300FTは、FTIR法によるガス分析計(MEXA-4000FT)と、水素炎イオン化法および磁気圧法による分析計とを組み合わせたものである。この装置では、MEXA-4000FTでのこれまでの測定成分に加え、新たに全炭化水素および酸素濃度も同時に測定可能である。各分析計間の応答差は補正されており、さらに、各分析計の測定値より算出した非メタン炭化水素濃度および空燃比もリアルタイム出力される。本稿では、このMEXA-4300FTの構成について述べる。

### Abstract

The Engine Emission Gas Analyzer MEXA-4300FT combines the MEXA-4000FT that utilizes FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) analyzer, a FID (Flame Ionization Detection) analyzer and a MPD (Magnetic Pressure Detection) analyzer. In addition to the measurement components already supported by the MEXA-4000FT, the MEXA-4300FT is also capable of simultaneously measuring THC (Total Hydrocarbon) and oxygen concentration. The difference in response between analyzers is compensated, and the NHMC (Non-Methane Hydrocarbon) concentration and the air/fuel ratio calculated from the measurement values of each of the analyzers are also output in real-time. This paper describes the configuration of the MEXA-4300FT.

## 1. はじめに

自動車等のエンジン排ガスには非常に多くの化合物が含まれている。そのうち、一般的に濃度測定がおこなわれる主要な成分としては、一酸化炭素、二酸化炭素、窒素酸化物(NOx)、全炭化水素(THC)\*1、酸素があげられる。測定の目的は国内外の排出ガス規制への対応、燃料消費量や空燃比(A/F)\*2の算出などで、それぞれ専用の測定装置が開発されている<sup>1)</sup>。しかし、近年、環境への意識が高まるにつれ、ホルムアルデヒド、亜酸化窒素など上記以外の成分の排出挙動も注目されるようになってきた。自動車のエンジンや触媒、燃料の研究開発にあたっては、こ

\*1 全炭化水素(Total Hydrocarbon: THC)

エンジン排ガス中に含まれる化合物のうち、炭化水素に分類されるものを総量で表したもの。通常、水素炎イオン化法で測定される値を用いる。単位はppmCなど。

\*2 空燃比(A/F)

エンジンに供給される空気と燃料の比率。通常、燃料の平均組成(炭素・水素・酸素の比率)、および排出ガス中の一酸化炭素、二酸化炭素、炭化水素、酸素、窒素酸化物濃度などから算出する。算出に用いられる式は前提条件によって複数あり、酸素濃度や窒素酸化物濃度を用いない場合も多い。

れら比較的濃度の成分の分析も不可欠となっている。

フーリエ変換赤外分光法 (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR) によるエンジン排ガス測定装置は、そのような成分の測定に用いられる分析計の一つである。FTIR法によるガス分析は排ガス中の各成分が固有の波長域の赤外光を吸収することを応用しており、1台の分析計で多成分同時連続測定ができることを特徴とする<sup>2,6)</sup>。FTIR法による分析計では一酸化炭素、二酸化炭素、一酸化窒素なども測定対象となるため、全炭化水素計および酸素計と併用すれば前述した従来の主要測定成分すべてに対応できる。ただし、このように成分ごとに異なる分析計を用いると、試料ガスのサンプリング法や各分析計の応答速度の違い、あるいは測定値の出力形式の違いなどが問題になる場合がある。そこで、著者らは、FTIR法排ガス分析計と他の方法による分析計を組み合わせ、これまでのFTIR法の測定成分に加えて全炭化水素および酸素濃度も出力可能な装置を開発した。

## 2. MEXA-4300FTの構成

### 2.1 装置架台

本装置は、FTIR法エンジン排ガス測定装置MEXA-4000FTを基本とし、全炭化水素計FIA-125 (水素炎イオン化法<sup>\*3)</sup>、酸素計MPA-120 (磁気圧法<sup>\*4)</sup>) を組み合わせている。MEXA-4000FTについては本誌既刊でも紹介しており<sup>6)</sup>、またFIA, MPAとも一般的な手法<sup>7)</sup>による分析計であるため、本稿では分析部の詳細については省略する。

図1に、装置の外観図を示す。装置は、MEXA-4000FTのサンプリング架台 (FTIR-S架台) と本体架台 (FTIR-C架台)、およびFIA, MPA分析部 (以下、FMA分析部という) を搭載したFMA架台の3本の独立した架台から構成される。FMA架台にはFMAのサンプリング部、およびそれを制御するフローコントローラも収納されている。

FTIR-C架台はFTIR分析部とメインコンピュータ、操作・表示部などからなり、装置全体の制御、FTIR分析部の信号処理および多成分濃度演算、FMA分析部の指示取り込みをおこなっている。また、外部ホストコンピュータとの通信もこのメインコンピュータよりおこなう。

**\*3 水素炎イオン化法**

水素炎中で有機化合物を燃焼させ、このとき生成されるイオンの量を電極で検出する分析法。試料中の炭素の量にほぼ比例した出力が得られる。

**\*4 磁気圧法**

酸素が他のガス成分に比べて高い磁化率を示すことを利用する酸素分析法の一つで、磁界付近の酸素濃度変化を圧力変化として検出する。

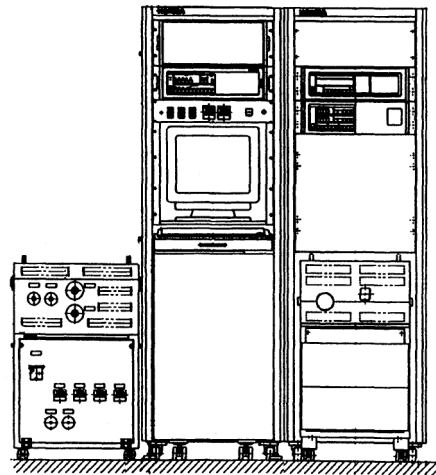


図1 MEXA-4300FTの外観図  
External view of MEXA-4300FT

## 2.2 架台の配置とガスフロー

図2 (A) (B)に、各架台の配置とガスフローの概念図を示す。このうち、(A)に示す構成では、FTIR法では試料を非破壊で測定できることを利用し、FTIR分析部からの排気の一部をFMA分析部の試料としている。このフローの主な利点としては、①実際にFTIRで測定した試料をFMAで分析するため両者のサンプリング条件の違いによる指示差が出にくくなる、②FTIRの分析部ガスセルがバッファタンクの役割をすることで各分析部の応答速度の差が小さくなるの2点があげられる。

また、FIAは加熱タイプで、温度はFTIRのサンプリング部、分析部と同じく113℃である。この113℃という温度は、排ガス中のメタノール測定時の試料処理温度として米国での排ガス測定法に定められている。一方、一般にディーゼル排ガス中の全炭化水素を測定する際、試料はさらに高温の191℃で取り扱われる。これはディーゼル排ガスに多く含まれる高沸点炭化水素の液化を避けるためである。本装置でFIAの温度をディーゼル対応(191℃)とする場合、113℃のFTIR分析部とは独立に試料を採取する。(B)にその構成を示す。

なお、(A) (B)のいずれの構成においてもFTIR分析部、FIA分析部は十分高温であるため、試料は除湿されることなく、排出される水蒸気をすべて含んだままで測定される。通常のMPAでは試料の水分濃度を5℃飽和程度まで下げているが、本装置では他分析部と測定条件をそろえるため70℃に加熱し、除湿せずに酸素濃度を測定している。

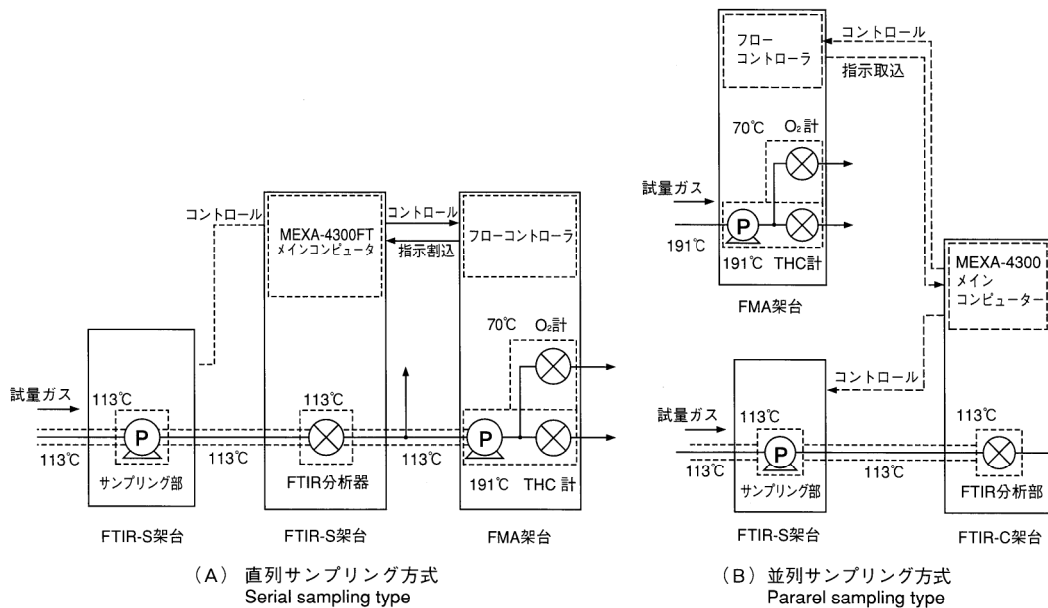


図2 MEXA-4300FTの装置構成  
System configuration of MEXA-4300FT

## 2.3 測定成分

\*5 非メタン炭化水素(Non-Methane Hydrocarbon : NMHC)  
メタン以外の炭化水素の量。全炭化水素量からメタンを差し引いて求める。メタン濃度を分析するには、通常、メタン以外の炭化水素を触媒で燃焼させる、あるいはガスクロマトグラフによりメタンだけを分離するなどの方法を用いる。

表1に、MEXA-4300FTの測定成分と濃度範囲(レンジ)を示す。FTIR分析部の測定成分はMEXA-4000FTと同様で、オプションも含めて3通りの成分セットとなっている。さらに、以下に説明するように、MEXA-4300FTではFMA分析部の指示、および各分析部の指示を用いて算出した非メタン炭化水素(NMHC)\*5、空燃比の値も同時に出力される。

測定成分	測定範囲(レンジ)		
	標準*	CNG(オプション)	LPG(オプション)
一酸化炭素 CO	0- 200 ppm 0-1000 ppm 0-5000 ppm 0- 2 % 0- 10 %	0- 200 ppm 0-1000 ppm 0-5000 ppm 0- 2 % 0- 10 %	0- 200 ppm 0-1000 ppm 0-5000 ppm 0- 2 % 0- 10 %
二酸化炭素 CO2	0- 1 % 0- 5 % 0- 20 %	0- 1 % 0- 5 % 0- 20 %	0- 1 % 0- 5 % 0- 20 %
一酸化窒素 NO	0- 200 ppm 0-1000 ppm 0-5000 ppm	0- 200 ppm 0-1000 ppm 0-5000 ppm	0- 200 ppm 0-1000 ppm 0-5000 ppm
二酸化窒素 NO2	0- 200 ppm	0- 200 ppm	0- 200 ppm
窒酸化窒素 N2O	0- 200 ppm	0- 200 ppm	0- 200 ppm
水 H2O	0- 24 %	0- 24 %	0- 24 %
アンモニア NH3	0- 500 ppm	0- 500 ppm	0- 500 ppm
二酸化硫黄 SO2	0- 200 ppm	0- 200 ppm	0- 200 ppm
ホルムアルデヒド HCHO	0- 500 ppm	0- 500 ppm	0- 500 ppm
アセトアルデヒド CH3CHO	0- 200 ppm	0- 200 ppm	0- 200 ppm
メタノール CH3CH4	0- 500 ppm 0-2000 ppm	—	—
アセトン CH3COCH3	0- 100 ppm	—	—
メチルシヤリブチルエーテル (CH3)3COCH3	0- 200 ppm	—	—
蟻酸 HCOOH	0- 100 ppm	0- 100 ppm	0- 100 ppm
メタン CH4	0- 500 ppm	0- 500 ppm 0-2000 ppm 0- 1 %	0- 500 ppm
エチレン C2H4	0- 500 ppm	0- 200 ppm	0- 200 ppm
エタン C2H6	0- 200 ppm	0- 500 ppm	0- 200 ppm
プロピレン C3H6	0- 200 ppm	0- 100 ppm	0- 200 ppm
プロパン C3H8	—	0- 200 ppm	0- 500 ppm
1,3-ブタジエン 1,3-C4H6	0- 200 ppm	—	—
イソブチレン iso-C4H8	0- 200 ppm	—	—
n-ブタン n-C4H10	—	0- 100 ppm	0- 100 ppm
イソブタン iso-C4H10	—	0- 100 ppm	0- 100 ppm
ベンゼン C6H6	0- 500 ppm	—	—
トルエン C7H8	0- 500 ppm	—	—
(NO+NO2)	加算値	加算値	加算値
(全炭化水素 THC )	(FMAより読み込み)		
(比メタン炭化水素 NMHC )	(FTIR,FMAの指示より算出)		
(酸素 O2 )	(FMAより読み込み)		
(空燃比 A/F )	(FTIR,FMAの指示より算出)		

\*標準セット-ガソリン・ディーゼル・メタノール車用

表1 MEXA-4300FTの測定成分と測定範囲(レンジ)  
Measurement components and range of MEXA-4300FT

\*6 デッドタイム(Td)

分析試料採取点で試料濃度が変化してから、実際に分析計指示が変化し始めるまでの遅れ時間。主に、試料採取点から分析部までの配管長・内径、さらに時間あたりの試料流量によって規定される。なお、FTIRガス分析計の場合、濃度演算処理時間も遅れの要因となる。

\*7 90%応答速度(T90)

試料濃度が十分短い時間内に0から100まで変化した場合に、分析計が応答し始めてから90%まで達するのに要する時間で、応答の鈍りにあたる。応答し始めるまでのデッドタイム(Td)は含まない。試料採取点からの配管および分析部セルの容積、時間あたりの試料流量の影響が大きい。また、ノイズを減らす目的で、電氣的あるいはその後の演算処理で故意に鈍らせる場合もある。

### (1) FMA分析部からのデータ取り込み

本装置のFTIR分析部の濃度出力は1秒間隔である。一方、FMA分析部から出力されてくる濃度値の更新間隔は200ミリ秒で、そのままでは出力間隔が異なる。さらに、通常、デッドタイム(Td)\*6や90%応答速度(T90)\*7にも差があるため、各分析計の指示を単純に取り込むだけでは指示値の比較ができない。そこで、本装置では、各分析計の指示をいったんメインコンピュータ内のバッファに記憶し、お互いのTdの差を補正したうえでFMA指示も1秒ごとに出力するようにしている。また、T90の差が大きい場合は、応答の速い方の分析計の出力を移動平均処理することで調整している。



図3に、プロパンと酸素の混合ガスを流した場合の、各分析部の応答の例を示す。分析部間の応答差をこのように補正することで、FMAから読み込んだ指示値もFTIRの指示値と同じ時間軸で扱えるようになる。

### (2) 非メタン炭化水素および空燃比の算出

図4に、本装置で自動車排ガスを希釈せずに測定した場合の出力例を示す。このうち、非メタン炭化水素はFIAで得られる全炭化水素濃度 (ppmC) からFTIRによるメタン濃度を差し引いたものである。なお、FIAのメタンに対する感度はプロパンで校正するのが一般的であるため、FTIRのメタン指示値には係数をかけて相対感度\*8分を補正している。空燃比は、FTIRで測定した一酸化炭素、二酸化炭素とFMAの全炭化水素測定値から算出したものである。このとき、一酸化炭素、二酸化炭素などの測定値は、同時に測定した水の濃度値を用いて除湿した状態に換算している。

一般に、空燃比の計算式は一酸化炭素、二酸化炭素を除湿して測定していることを前提としているが、この方法であれば従来と同じ計算式が使用可能で、さらに、試料採取点以前で水が結露または再蒸発するような場合にも対応できる。エンジンと試料採取点の間で水が結露すると、採取試料中の水分濃度がエンジン内で実際に発生した濃度より低くなり、また、全体の体積が減少することで一酸化炭素や二酸化炭素の濃度は高くなる。結露していた水が再蒸発するときは、逆に水分濃度が増加し、他成分濃度は減少する。エンジンや車体が冷えた状態からの測定時はこれらの現象がおきやすいが、各成分の濃度測定値を水分量一定の状態に換算することで、空燃比の計算値に与える影響を除くことができる。

なお、エンジン等が十分暖機されている場合、このような換算をおこなわずに直接空燃比を算出しても問題はなく、水の濃度測定値自体を空燃比算出に用いることもできる。また、空燃比の計算式には窒素酸化物、酸素濃度などが必要なものもあるが、それぞれFTIR、MPAの測定値が使用可能である。

## 3. おわりに

本稿では、FTIR法エンジン排ガス測定装置MEXA-4300FTについて述べた。この装置では測定対象に全炭化水素と酸素が加わったことで、従来の主要測定成分とFTIR法特有の成分の両方、さらに非メタン炭化水素、空燃比の測定にも対応することができる。

このように同時に測定できる成分が増えたことにより、エンジン排ガス成分の排出挙動についてより多く情報が得られると考えられる。この装置の開発によって、エンジンの研究開発に対してFTIR法がこれまで以上に役立てることを期待している。

### 参考文献

- 1) 塚本ほか, "自動車排気ガス分析装置, 自動車部品一装置と試験機器 '93/94", 内燃機関臨時増刊, Vol.32, No.12, p.215-220 (1993).
- 2) Heller, B., et al, "Performance of a New System for Emission Sampling and Measurement (SESAM)", SAE Paper 900275 (1990).
- 3) Adachi, M., et al, "Automotive Emission Analyses using FTIR Spectrometer", SAE Trans., Vol.101, Section4, p.820-827 (1992).
- 4) 加地ほか, "フーリエ変換赤外分光法を用いた自動車排出ガス分析", Readout, No.6, p.38-43 (1993).
- 5) 井上ほか, "FTIRによる自動車排気ガス測定", 自動車技術, Vol.47, No.3, p.22-27 (1993).
- 6) 井上ほか, "FTIR方式エンジン排気ガス測定装置MEXA- 4000FT", Readout, No.9, p.63-69 (1994).

### \*8 相対感度

各種炭化水素のFIDに対する感度を、特定の化合物を基準にした比率で表したものを、FIDの指示値は試料中の炭素の量におおよそ比例するが、厳密には化合物ごとに多少感度が異なる。排ガス分析ではプロパンなどが基準として用いられる。

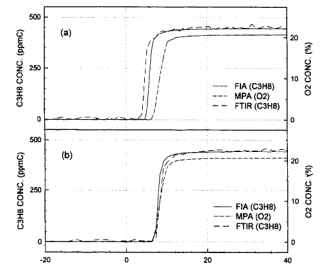


図3 MEXA-4300FTの各分析部の応答 (a:補正なし b:補正後)  
Response of MEXA-4300FT analyzers (a: before compensation, b: after compensation)

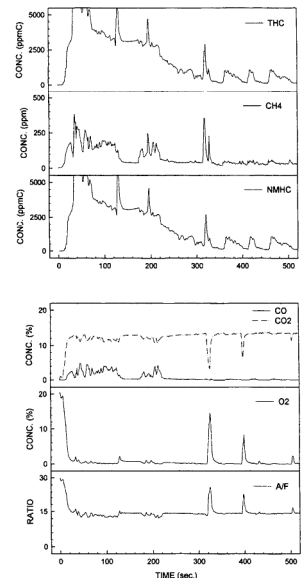
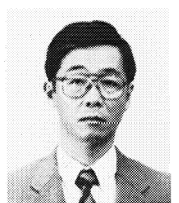


図4 MEXA-4300FTによる自動車排ガス測定例 (ダイレクト測定, LA4, CTモード)  
Example of automotive emission gas measurement by MEXA-4300FT (direct sampling, LA4, CT mode)



井上 香  
Kaori INOUE

エンジン計測開発部 主任  
1987年入社  
エンジン排ガス分析装置の  
開発・研究



山岸 豊  
Yutaka YAMAGISHI

エンジン計測開発部 係長  
1972年入社  
自動車用ガス分析装置の  
開発・研究

## 1. はじめに

最近、数多くの歴史資料(木器、土器、金属器、石器、骨角器など)が出土している。これらの歴史資料の研究には従来の考古学的研究に加えて、最近では自然科学的研究が実施されることが多くなってきた<sup>1)</sup>。特に歴史資料の物性、年代、産地、製法などについては自然科学的研究の対象となっている。

しかし、歴史資料の自然科学的研究には、歴史資料が不均質であることや原則として非破壊で実施しなければならないことなどの制約があり、工業分野など、他分野の資料の研究に比較して困難である。非破壊分析が原則であることから、放射線を使用する方法と装置が適用される場合が多いが、上記の目的を達成するためには十分でない。また、工業分野の日本工業規格のように共通化された方法がないので、分析結果を相互比較できず、進展を阻んでいる。現時点では、まず歴史資料分析用の方法と装置を開発し、数を多くし、要請に対処することが急務となっている。

以上から、これまでの歴史資料の物性に関する分析研究では、考古側で採取し、提供されたサンプルについて、化学分析値(%)を提供することに止まっていた。しかし、上記の研究には、このような数値(%)のみでは十分でなく、元素の二次元的分布状態を分析することも要求されるようになってきた。こうした分析結果の多次元化は、工業分野においてはすでに約10年前に分析側に要望され、分析側で研究開発が実施された。

著者<sup>2)</sup>は当時、新日本製鐵株式会社第一技術研究所(現在、先端技術研究所)に所属し、連続鋳造された鋼スラブの品質評価を目的として、二次元元素分布分析装置の開発研究に当たった。開発した分析装置はEPMAを原理として、鋼スラブ試料(最大縦横9cm)を順次移動させることによって、多数の分析情報を採取し、当時長足に進展していたコンピュータの支援を得て、情報採取位置との関連をつけて、ディスプレイする装置であった。現在、国内で使用されているEPMAのほとんどは二次元的元素分布分析機能を有している。

しかし、この装置そのものは歴史資料を対象とした場合、分析できる資料が小さい問題(歴史資料の場合には50cm角位まで必要)、歴史資料を真空にする問題(電子線照射なので試料室内は真空)や5元素までしか同時にできない問題などがあつた。そこで、歴史資料用には専用装置を開発することとした。

## 2. 分析装置の作製

開発したマッピング型蛍光X線分析装置を図1に示す。(A)は装置全体で、(B)



前国立歴史民俗博物館教授  
(現専修大学教授)

田口 勇

Isamu Taguchi, Dr.Eng.  
工学博士(東京大学)

<略歴>

1959年：東京大学理学部化学科卒業

1959年：八幡製鐵株式会社(現在、新日本製鐵株式会社)

1969年：工学博士(東京大学)

1986年：国立歴史民俗博物館教授

1989年：東北大学教授併任

1995年：専修大学教授

<主な要職, 受賞>

産業考古学会理事

日本文化財科学会評議員

国際金属歴史会議副実行委員長

国立歴史民俗博物館共同研究員

科学技術庁長官賞(1984)

機械振興協会賞(1985)

日本金属学会論文賞

(1981,1982,1987)

International Metallographic

Society: Pierre

Jacquet Gold Metal Award (1981)

<主な著書>

100万人の分析化学(アグネ)

鉄の歴史と化学(裳華房)

最先端分析技術とその応用(アグネ

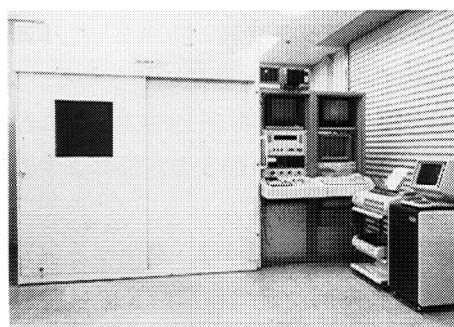
技術センター)

みちのくの鉄(アグネ技術センター)

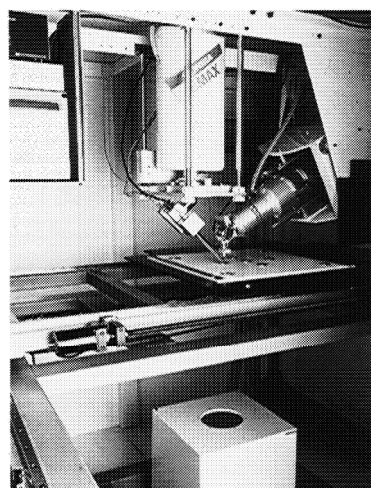
みちのくの金(アグネ技術センター)

はX線照射室内である。マイクロフォーカスX線の発生には、コリメータ方式(最高200kV,コリメータ最小径:0.1mm)を採用した。

図1の(A)の中央から左は鉛製防護X線照射室である。(A)の右手前はX線マイクロアナライザとそのプリンタで、装置右端ラックはコンピュータ(中段)と照射分析室内用モニタ(上段),その左のラックは画像処理装置イメージΣ(中段),同CRT(上段)とハードコピー(ラック上)である。鉛製X線防護キャビネットの内寸は2×2×2mである。キャビネットの壁は、X線照射方向は厚さ6mmの鉛板の前後に厚さ2mmの鋼板を配置したもの、X線照射方向と直角の方向は厚さ5mmの鉛板の前後に厚さ2mmの鋼板を配置した。キャビネットはインターロックである。



(A) 外観  
EDA911



(B) X線照射室内  
X-ray irradiation room

図1 マッピング型蛍光X線分析装置  
(EDA911, 国立歴史民俗博物館蔵)  
Mapping type X-ray fluorescence analyzer  
(EDA 911, National Museum of Japanese)

図1の(B)はX線照射分析室内を示した。キャビネット中央にスキャンニング・ステージ(1000×1000×10, 四隅の140×140mmは切断, XYZに可動, 真中に透過測定用の500×500mmの孔)があり, その下にイメージ・インテンシファイア(I.I.)用撮像管(径160mm, 資料の透過像測定に使用)がある。スキャンニング・ステージは1m×1mの資料(高さ:50cmまで)を指定位置に移動することができ, そのうちの50cm×50cmについては自動スキャンニング(最高250,000点の微小部分, 500点×500列, 最大速度:20mm/秒)できる。スキャンニング・ステージは下から50cm(I.I.用撮像管表面)位置から120cmの間を動くが, 上下移動には多少時間がかかる。なお, このスキャンニング・ステージは7個のステッピング・モータで動かす(4個:上下, 2個:前後, 1個:左右)。

スキャニング・ステージの上には、コリメータとHe-Neレーザー位置ぎめ器をつけたマイクロフォーカスX線照射管が、37°の傾斜で（高さについての制限のため）設置されている。コリメータは径1mmを標準とするが、他に径5mm、径3mm、径0.2mmと径0.1mmがある。レーザー位置ぎめ器はコリメータの直上に位置し、その両端からレーザーをV字型に資料に照射する。レーザースポット（スポット径：1mm）はハーフミラーより、発信器から二分されて資料に照射されるが、一定の資料位置になると重なって一つになる。その一つになった交点にX線を照射するようにあらかじめ定めてある。資料を分析するときは、まず対象の資料位置をこの交点に合わせる。コリメータに近接して、X線検出器先端が45°に設置されている。その先端の延長線は上記の交点に一致している。

多数の微小部分（250,000点まで）の自動マッピングは通常の分析装置のように、250,000点のマッピング分析の場合、500点進め、折り返し、500点進め、折り返しを500回繰り返す方法である。実際には指定したコリメータの径で線分析し、一定時間内のX線のカウントを一定点に帰属するカウントとする。各カウントは分光後、そのままコンピュータ（図1の(A)の右端のラック中段）のCRT上にリアルタイムで表示されるので、マッピング自動分析の進行状態は容易に知られる。なお、分析終了後、下記の補正法に従って補正計算し、結果を再び上のCRT上に表示する。このマッピング分析の測定条件などは、後掲の図3と図5の左端のよう表示された。

こうした広い面積の資料の水平維持は難しく、資料が傾けば、発生する蛍光X線の強度が変化し、分析結果に影響する。また長時間測定では照射X線強度が変化し、発生する蛍光X線の強度が変化し、分析結果に影響する。そこで、これらの補正方法を考案した。すなわち、資料面に合わせて、その両側の分析対象面積（500×500cm）内にステンレス・テープ（18Cr-8Ni、アルミニウム・テープは不適）を1cm以上の幅で基準物資として貼る。スキャニングする場合にステンレス・テープも共に分析してそのカウント数（鉄が推奨されるが他元素も可）で測定値を補正する方法である。

### 3. 適用例

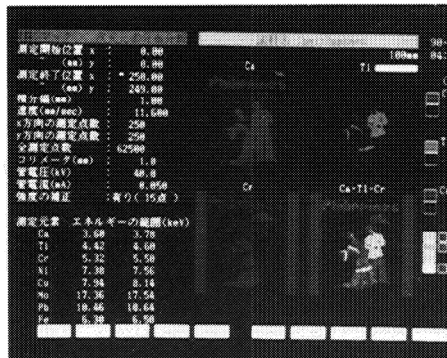
#### 3.1 布に描かれた絵

フィリピン製民俗資料（麻製）に描かれた絵（図2、20×24cm）を本装置でマッピング分析した。絵には測定値補正用に幅4cmのステンレス・テープを貼りつけた。分析結果などを図3にまとめた。なお、測定条件と分析元素は図3の(A)の左端に示した。分析所要時間は1時間30分間、計算処理時間は30分間であった。

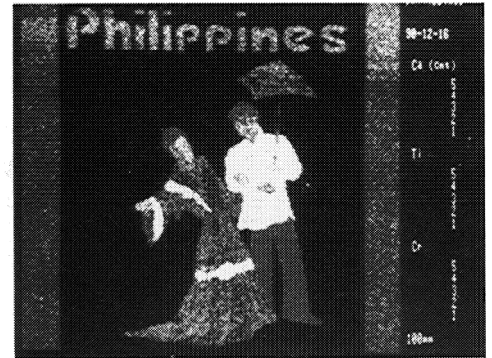
図3の(A)には、分析した8元素の中で、多く含まれている3元素(Ca,TiとCr)について、Caは赤、Tiは緑、Crは青で、CRT上に2値化表示で示した(Ca-Ti-Cr)は3元素同時表示を示す。図3の(A)の右下に示すように、赤と緑で黄となり、赤と青とで桃となり、緑と青で空となる。赤、緑と青では白となる)。濃い緑のPhilippinesの文字にはCaとCrが、人物を描く白、緑、濃い緑(文字と同じ色)にはそれぞれCaとTi、Cr、CaとCrが含まれていることがわかった。図3の(B)は、測定結果を本装置の画像処理装置イメージΣに転送し、各元素6階調で重ね合わせを実施して、その結果を拡大表示で示したものである。(B)によれば、絵の傘の部分からわかるように、上記の元素の分布状態がより明らかである。



図2 フィリピン製民俗資料(麻、20×24cm、左右に補正用ステンレス・テープ(幅4cm、原写真カラー)  
Philippine folklore picture sample (20 x 24cm, color photo)



(A) 通常表示  
Ordinal display



(B) 拡大表示  
Enlarged display

図3 EDA911による民俗資料(図2)の絵のマッピング分析結果  
(赤:Ca, 緑:Ti, 青:Cr, 原写真カラー)  
Mapping analysis of the picture sample (Fig.2), using EDA911  
(red:Ca, green:Ti, blue:Cr, color photo)

### 3.2 陶器の表面文様

図4の陶器資料(明治中期、高さ:22.0cm)の表面文様(図4のふくらみ部中央の赤い花の文様)を本装置でマッピング分析した(分析面積:50×50mm)。文様には分析値補正用に幅1cmのステンレス・テープを両側に貼りつけた。分析結果を図5にまとめた。なお、測定条件と分析元素は図5の(A)の左端に示した。分析所要時間は2時間20分、計算処理時間は30分間であった。

マッピング分析の基礎データはCRT上に表示され、図5の(A)のようである。図5から文様中に多く含まれている3元素(Co, Pb, Fe, ステンレス・テープの主成分であるCrは除去した)についてCRT上に2値化表示した(Co-Pb-Coは3元素同時表示を示す。色の混合による発色は3.1と同じ)。図5によれば、図4の赤い花の部分はPbとFeが、紫の部分にはCoが含まれていることがわかった。またCo-Pb-Feについては、3.1のように6階調同時表示を行って、結果を図5の(B)に示した。この結果によると、図4の赤い花の上および下の左右の薄橙色の文様は主としてFeであることがわかった。

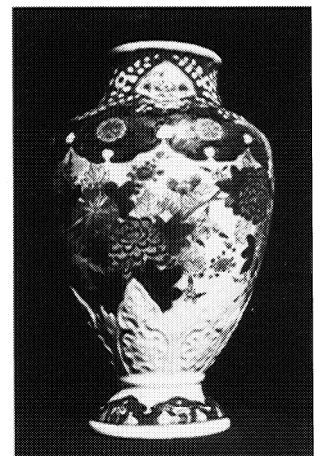


図4 陶器資料(明治中期、高さ22cm、原写真カラー)  
Japanes ceramic sample (Meiji era, 22cm high, color photo)

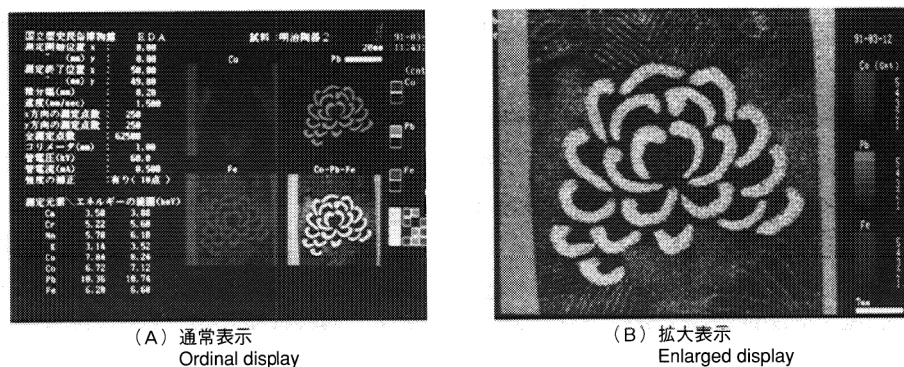


図5 EDA911による陶器資料(図4)のマッピング分析結果(赤:Fe, 緑:Pb, 青:Co, 原写真カラー)  
Mapping analysis of the ceramic sample (Fig.4) using EDA911 (red: Fe, green: Pb, blue: Co, color photo)

#### 4. おわりに

歴史資料は不均質であり、非破壊で分析しなければならないので、その分析方法は困難であり、専用装置の開発も遅れていた。最近、歴史資料のキャラクター化が急務となり、元素の二次元的分布状態を知ることが要求されるようになった。

そこで、マイクロフォーカスX線を資料の指定位置に照射し、発生する特性X線をエネルギー分散型X線マイクロアナライザで分析することを、順次に資料表面で繰り返すことを原理とするマッピング型蛍光X線分析装置を新規に作製した。X線は径0.1mmまで絞り、50×50cmまでの資料表面の250,000点について、8元素までの同時分析を実施し、コンピュータを使用してそれぞれの元素の二次元マップを作成する。本装置の適用例として民俗絵資料と陶器資料の分析例を示した。なお、この研究の一部はすでに報告した<sup>3)</sup>。

近年X線を微小に絞る種々の方法が提案されており<sup>4)</sup>、エネルギー分散型X線検出器とマッピング機能とを組み合わせた製品も市販されている<sup>5)</sup>。これら新たな技術の発展が、歴史資料を科学するのに役立つものと期待している。

#### 参考文献

- 1) 田口 勇編:「最先端分析技術とその応用」, アグネ技術センター(1995)
- 2) I.Taguchi,H.Hamada: Analytical Sciences, 1, p.119 (1985)
- 3) 田口 勇: 国立歴史民俗博物館研究報告, 38, p.249 (1992)
- 4) Rindby A: Progress in X-ray Microbeam Spectroscopy, X-Ray Spectrometry, Vol.22,N4 (Jul-Aug) ,p.187-191 (1993)
- 5) 福本 夏生, 柏原 孝造:「生物体内の元素を生きたままではかる」 Readout,9, p.23-31 (1994)

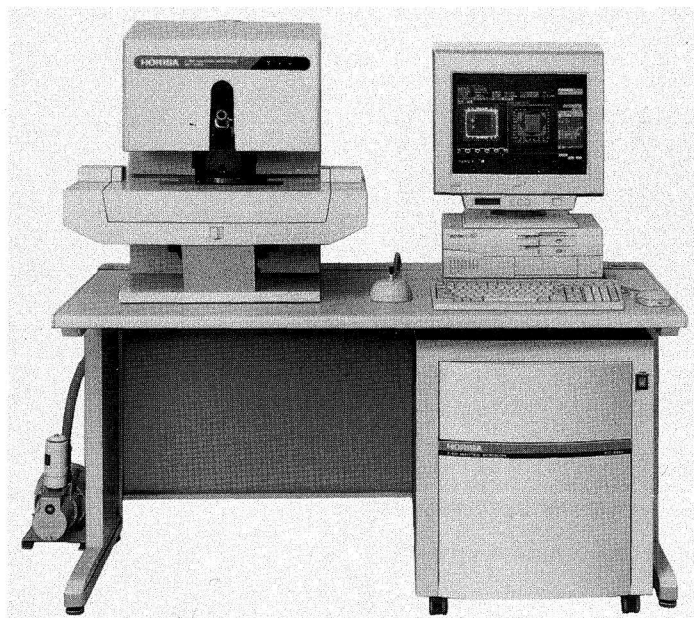
---

### Scientific Research of Historical Objects

Investigation of historical objects is difficult because of the heterogeneity and the requirement for nondestructive analysis. There has been no useful microanalysis method for historical objects. Micro-focussed X-ray suitable for microanalysis was used instead of conventional X-ray. The micro-focussed X-ray was irradiated to the designated micro point, and thus generated characteristic X-ray was measured using an energy dispersive X-ray micro-analyzer. The diameter of focussed X-ray was narrowed down to 0.1mm, thus enabling qualitative and quantitative analyses of historical objects. Furthermore, scanning method enabled simultaneous mapping analysis of eight element distribution on the object surface, up to 50×50cm. This equipment enabled analysis of drawings and patterns on surfaces of cloth objects and potteries.

軽元素対応型

X線分析顕微鏡 XGT-2000V



XGT-2000V

X線分析顕微鏡 XGT-2000Vは、マイクロX線ビームを光源として、蛍光X線、透過X線、回折X線の分析機能をコンパクトに融合し、新たに真空プローブを装備して、大気中でナトリウム以上の軽元素検出を可能にした、世界で初めて実用化されたX線顕微鏡です。

微小領域の分析から、200mm×200mmの大きな試料までを高分解能10 $\mu$ mで分析でき、電子部品、半導体分野、鉱物、工業材料の分析をはじめ、科学捜査、宝石鑑定、考古学、美術など、さまざまな用途に活用可能な装置です。

1. 特長

- X線導管(XGT)の開発によって分解能10 $\mu$ mのマイクロX線ビームを実現しました。
- 試料に対し、非破壊、非汚染、前処理不要で測定、さらに試料は大気中で測定できます。
- 透過X線による試料内部構造と表面元素31種類の元素マッピングが同時に観察、分析できます。
- 測定元素は軽元素NaからUまで、濃度は数十ppmから検出可能です。
- 分析領域は、最小512 $\mu$ m×512 $\mu$ mから、最大100mm×100mmまで、試料の厚さは30mmが可能。さらに、大面積試料用に200mm×200mmのXYステージが、オプションでご使用になれます。

- 蛍光X線検出器の液体窒素の供給は、装置稼働時のみで、経済的です。
- 元素マッピングの他に、点分析、線分析が可能で、RGB合成など各種画像処理機能を備えています。
- この他DTPや相分析など豊富なオプション機能を用意しています。

2. 主な仕様

2次元分解能倍率	10 $\mu$ m(WD=1mmにおけるFWHM) ×320~×0.25
X線ビームスポット切替え機構	$\phi$ 10 $\mu$ mと $\phi$ 100 $\mu$ mのXGT
X線発生器	X線管ターゲット Rh 管電圧 50,30および15kV 感電流 1.0, 0.5, および0.1mA
分析元素	$_{11}$ Na~ $_{92}$ U
試料の大きさ	100(W)×100(D)×30(H)mm (オプション:200×200×30mm)
分析走査範囲	最小 512 $\mu$ m×512 $\mu$ m 最大 100mm×100mm
走査時間	最短 80秒(512 $\mu$ m×512 $\mu$ m)
マッピング画素数	512×512, 256×256, および128×128
マッピング像	透過X線マッピング像1画像と、 蛍光X線マッピング像31画像を 同時測定(512×512画素では7画像)
画像表示	17インチ, カラーCRT
画像表示処理	疑似カラー, RGB合成, 2値画像合成, 画像間演算, 画像線分析, および画像点分析
光学像観察	倍率×10 (オプション:CCDカメラ, カラーCRT)
装置大きさ	1400(W)×800(D)×1350(H)mm
重量	約180kg
液体窒素	消費量 1リットル/日
電源	AC100V, 50/60Hz, 1.3kVA

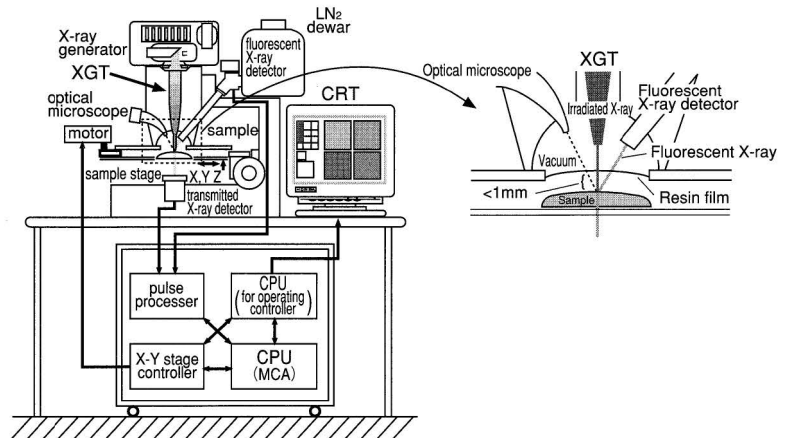


### 3. 測定原理

#### ■ X線マイクロビームによる試料への照射

X線発生器で、発生させた連続1次X線は、直下のX線導管(XGT)内壁(回転放物面状に形成されている)で、全反射により、その焦点に集光され試料表面に照射されます。

試料はXY試料ステージ上に載せ、大気中で2次元走査を行います。最大512×512の画素ごとに、透過X線、蛍光X線、回折X線、および散乱X線により、試料内部、表面元素、結晶性、形状などの情報が得られます。



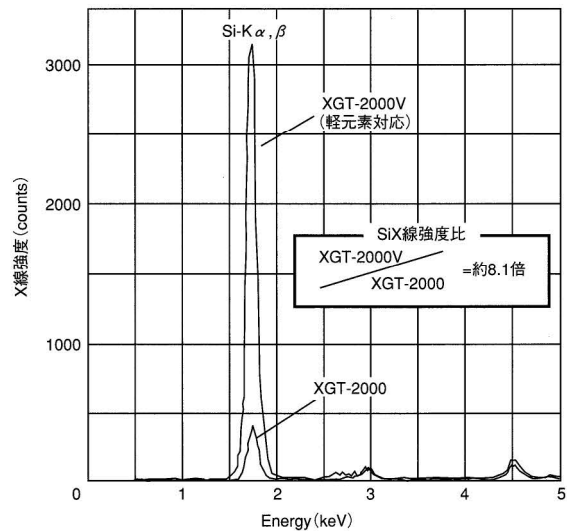
XGT-2000Vの構成

#### ■ 真空プローブによる軽元素蛍光X線の検出

XGTから照射する1次X線経路と、試料から蛍光X線検出器への蛍光X線入射経路の大部分を真空中に保持し、しかも、試料は大気中のまま測定する新方式を開発(特許出願中)。大気における軽元素の蛍光X線の吸収を極力抑えて、例えば、Si元素での検出感度は当社比で約8.1倍となります。

#### ■ 各2次X線の検出と画像処理

透過X線は、試料直下にあるNaIシンチレーション検出器で検出し、2次X線の蛍光X線、回折X線、ならびに散乱X線は、エネルギー分散形HP-Si検出器で検出します。各検出信号は、パルスプロセッサーを通してデジタル信号に変換し、コンピュータにより演算処理されて、スペクトルおよびマッピング画像として、CRT上に表示されます。

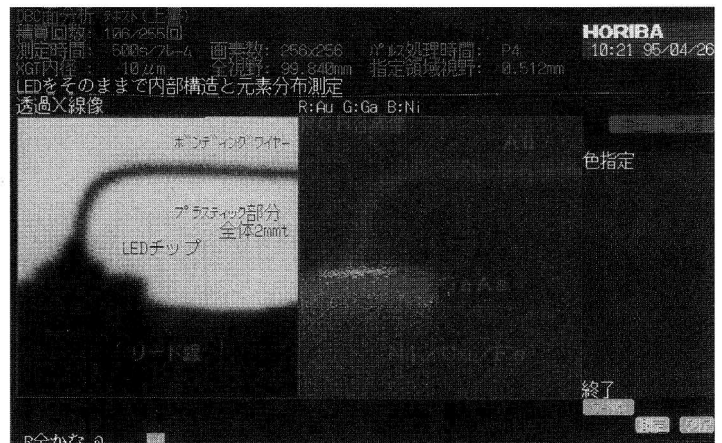


XGT-2000VによるSiの蛍光X線スペクトル

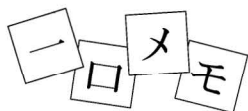
### 4. 分析例

市販の発光素子(LED)を樹脂モールドのまま、分析した例です。厚み1mmの樹脂を通して内部デバイスの元素分布が非破壊で、そのまま分析できています。

X線分析顕微鏡以外では不可能な分析例です。



LED内部の透過X線像と元素分布



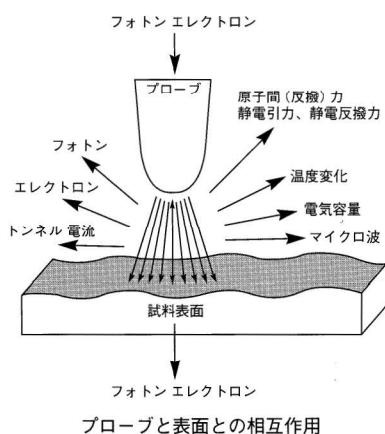
Short Note

# 走査プローブ顕微鏡とは何だろうか What is the Scanned Probe Microscope ?

中井 祥夫  
Yoshio NAKAI

●波長 $\lambda$ の光によって生じる光学像を用いて記録することを試みるかぎり、分解能を回折の限界である $\lambda/2.3$ より小さくすることはできない。つまり $\lambda=500\text{nm}$ の緑色の光では $\sim 200\text{nm}$ 以下のサイズの図形を識別することはできない。このことは古くから知られた光学の定理で、より小さい物を見ようとすれば電子顕微鏡が必要になる。しかし光学的な結像素子を使わずに全く別の工夫をすればこの限界を簡単に乗り越えられることがわかってきた。

●医者はおなじみの聴診器で波長 $\sim 10\text{m}$ の音波を使って心臓の位置を $10\text{cm}$ 以下の精度で探り当てる。聴診器に相当する探針の先をできるだけ尖らせて、試料の表面をなでながらスキャンしてやるのが走査プローブ顕微鏡 (SPM) といわれるもので、コンピュータ操作によって試料またはプローブを思ったとおりの精度で適当な時間内に細かく動かして走査するという技術が基本になっている。SPMの中で最もよく知られているのがSTMという呼び名の走査トンネル顕微鏡である。試料面にそって細いプローブ電極をスキャンしたときに、プローブと試料との間に流れるトンネル電流が変化する様子を精密に追うことで立体的な像を描かせることのできる顕微鏡である。プローブと試料との間の相互作用としては、トンネル電流以外にも図のように種々の物理量があり、全て顕微鏡として使えるものである。



●トンネル電流のかわりに光で照らされた試料からにじみ出る光子を細くとがらせた光ファイバーで拾い上げて、光ファイバー・プローブの走査とともにその強さが変化する様子をプロットすれば光学的な立体像が得られる。これが近接場走査光学顕微鏡 (SNOMまたはNSOM)

である。この場合異なった媒質の間を光子が移行しているので光子走査トンネル顕微鏡 (PSTM) と呼んでいる人もいるが、トンネル現象の物理的な解明がもう少し進むまではこの呼び名は保留したほうがよさそうである。

●試料表面に沿ってのSNOMの分解能はもっぱらプローブの先端のサイズ (最近のデータによると先端での太さは $\sim 50\text{nm}$ で赤色光の波長の $\sim 1/12$ 程度) で決まってしまう。光ファイバーの場合は先端のサイズをあまり小さくするとそこを出入りする信号光の強度が落ちるので適当な条件で妥協する必要がある。したがって今のところ、SNOMの分解能 ( $\sim 50\text{nm}$ ) はSTMの分解能 ( $\sim 1\text{nm}$ ) には及ばない。

●試料表面からにじみ出てくる光子とは一般にエバネッセント波と呼ばれる電磁波のことで、強度はSTMでのトンネル電流と同様にプローブの先端が境界面から遠ざかるにしたがって指数関数的に減少する。光学や電磁気学で近接場 (near field) と呼ばれているもので、指数関数的な激減のため、試料面に垂直な方向での位置決め精度が極めて高くなる。

●距離が増えると強度が激減するものは外にもある。プローブの先端に一個の原子があり、それが試料表面にある一個の他の原子にほとんど触れ合わんばかりに近づいたとする。このとき $\sim 60 \times 10^{-9}\text{N}$ ほどの力で原子同士は反撥するのでプローブが適当に柔らかければその微妙な変形を記録することができる。量子力学によればこのときの反撥力の大きさは原子間の距離とともに指数関数的に激減する。この性質をうまく利用したものが原子間力顕微鏡 (AFM) である。STMと違って絶縁体試料にも有効である。プローブとして光ファイバーを使ったものもあって発案者は近接場光学原子間力顕微鏡 (SNOAM) とよんでいる。これはSNOMとAFMが合体したものであると考えてよい。

●昔からよく使われている顕微分光光度計での顕微鏡の部分SNOMに置き換えると光子走査トンネル分光顕微鏡 (APSTM) となる。試料の極微小部分をレーザー励起して出てくる蛍光のスペクトルをAPSTMで調べると試料面でのマイクロな欠陥の詳しい地図を描くことができる。近接場蛍光走査顕微分光光度計 (SNFM) と呼ばれており実用的に重要な装置である。現在達成されている分解能は $100\text{nm}$ の程度である。



中井 祥夫  
Yoshio NAKAI, Dr. Sci  
京都大学名誉教授  
堀場製作所技術顧問

(SPMに関する用語は83ページを参照)

## 理化学分析計とMS-Windows™

# Analyzers for Physics and Chemistry with MS-Windows™

酒井 俊英, 佐藤 義通, 西方 康博, 北村 裕之  
Toshihide SAKAI, Yoshimichi SATOU  
Yasuhiro NISHIKATA, Hiroyuki KITAMURA

---

### 【要旨】

パーソナルコンピュータのユーザーインターフェイスの一つとして米国、マイクロソフト社の開発したMS-Windows™ (以下Windowsという) があげられる。

Windowsは、'80年代後半から注目されているダウンサイジングの傾向やパソコン本体の高性能化、低価格化に合わせて今や標準のオペレーティングシステム(OS)として広く認められている。

Windowsの出現とパーソナルコンピュータの低価格、高性能化は、理化学用分析機器の分野にも大きな影響を及ぼしている。

理化学分析計は当初は専門の技術者を対象に開発されてきたものであるが、最近では、特別な専門知識をもたなくても容易に操作できるものが求められており、当社ではWindowsを搭載した高性能な製品の開発を進めている。

### Abstract

MS-Windows™ (simply called "Windows" from here on) developed by Microsoft Corp. (U.S.A.) is a user interface used in personal computers.

Windows is widely recognized as a standard operating system (OS) today as it meets the trend towards downsizing, that has been gaining attention since the latter half of the 80's, and the demand for higher-performance, lower-costing personal computers.

The appearance of Windows and the demand for higher-performance, lower-costing personal computers has greatly affected the field of analyzers for physics and chemistry. Initially, analyzers for physics and chemistry were developed primarily for engineers in specialist fields. However, recently, there has been a demand for analyzers that can be operated easily by inexperienced users without any specialist knowledge. So, at HORIBA we have been developing high-performance products running on Windows.

---

\* Windowsはマイクロソフト社の商標です

## 1. はじめに

一般にWindowsの特徴といえば「高機能」, 「使い易い」, 「簡単」, また「マルチメディア対応」とも言われている。しかし, 単に分析計にWindowsを組み込んだだけでは必ずしもこれらの特徴を発揮することはできない。

従来の理化学分析計は目的とする分析のみを行う, いわゆる「専用機」と呼ばれ, それぞれの用途や仕様に最適な操作環境を持ったマンマシンインターフェイスを採用してきた。

今回Windowsの環境下で有効なマンマシンインターフェイスを実現するために, これらの従来の専用機の優れた操作性を解析し, これに決して劣らない性能を発揮し, かつWindowsの特長を生かした分析システムの実現に成功した。

本稿では, Windowsを採用した理化学分析計の代表的な例としてエネルギー分散形X線分析装置(EMAX-5770W), フーリエ変換赤外分光光度計(FT-IR for Windows™), レーザ散乱粒度分布測定装置(LA-910Win)について紹介する。

## 2. EMAX-5770W

### 2.1 機能別のウィンドウ

EMAX-5770Wに適用したWindowsの機能としては, 大きく分けてスペクトルウィンドウ, DBCウィンドウの2つから構成され, これら2つでEMAX分析部を制御している。DBCウィンドウでは元素分析のマッピングや線分析のための電子ビームのビームコントロール(Digital Beam Control : DBC)を行いながらの測定を, スペクトルウィンドウではX線スペクトルを測定して元素の定量, 定性分析を行う。図1にそれぞれの表示画面を示す。

測定の内容に応じてウィンドウを分けることで, 各測定に最適な操作環境を実現することができた。

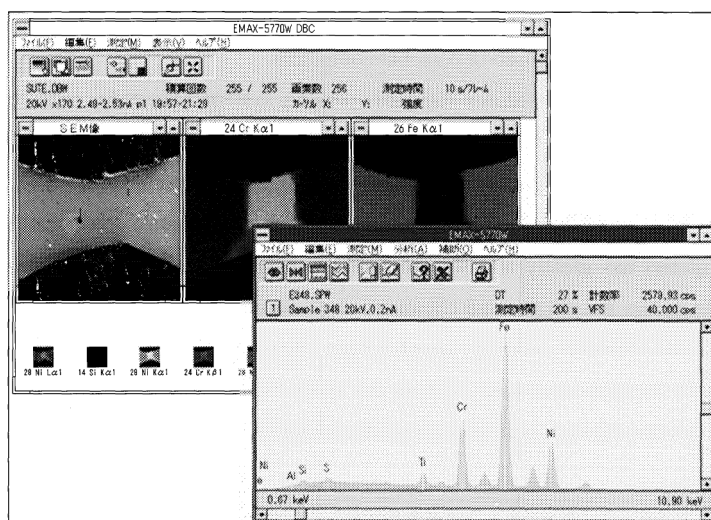


図1 EMAX-5770のスペクトルウィンドウとDBCウィンドウ  
EMAX-5770 spectrum window and DBC window

## 2.2 マルチタスク測定

汎用X線マイクロアナライザに初めてパーソナルコンピュータを適用した当社のEMAX-2770シリーズでは、データサンプリングを行っている間に、定量計算などのデータ処理を並行して行うため、分析効率が大幅に向上した。

EMAX-5770Wでは、この操作性をさらに前進させ、ワープロ、表計算など各種アプリケーションプログラムを実行させながら測定処理を実行することが可能になっている。これは、Windowsのマルチタスク機能を利用したもので、パーソナルコンピュータは一定周期でハードウェアから測定データを取り込む処理を実行する。データ処理は瞬時で終了するため、次の取り込みタイミングまでの間に、他のアプリケーションプログラムを並列に実行することができる。この機能により、操作性をさらに向上させることができた。

## 2.3 自由にレイアウトできる画像

従来、マッピング画像の表示は各画像のサイズを数段階に変えて表示する事ができるようになっており、また、表示サイズを変えると31元素の画像を一度に表示し、さらに各画像を拡大して表示することができるようになっていた。EMAX-5770Wではさらにこれらの機能を拡大させて、それらマッピング像をオペレータの指定した大きさ、レイアウトで表示することができるようになっていた。さらに、レイアウトや画像の大きさを変えることからくる煩雑さを避けるため整列機能を持たせている。EMAX-5770Wでは、他のWindowsのアプリケーションのように、各画像のウィンドウの形がタイル形式\*1で整列されるようなものでなく、マッピング画像が正方形になるようにして整列させる工夫を行っている(図2)。

\*1 タイル形式

各画像を表示するウィンドウの親ウィンドウとなる、外側に位置するウィンドウにぴったりはまるように各画像のウィンドウの形や大きさを変えて整列させること。

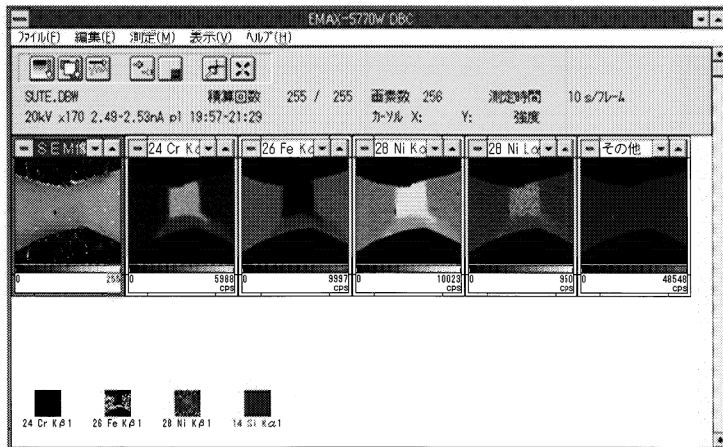


図2 EMAX-5770のDBCウィンドウの整列機能  
EMAX-5770 DBC window tidy function

### 3. FT-IR for Windows™

フーリエ変換赤外分光光度計 (FT-IR for Windows™) は、メモリウィンドウ機能、印刷レイアウト/プレビュー機能によって、操作性の向上を実現した。

#### 3.1 メモリウィンドウ機能

FT-IRでは、通常測定したスペクトルデータをCRT画面上に表示し、スペクトルの比較、演算といった操作を頻繁に行う。そのため、従来は図3のようにキーボードの上に専用キーを設け、画面上に表示するデータの選択を容易にし、スペクトルの表示、非表示をLEDによりモニタしていた。

今回開発したFT-IR for Windows™ソフトでは、この機能をもう一步進め、図4のように格納されているデータのイメージを画面下部に表示させ、表示データの選択をマウス操作でワンタッチで行えるようにした。同時に表示、非表示はスペクトルの背景色を変えることにより一目で判別できるようにした。このメモリウィンドウ機能により、測定スペクトルのハンドリングが非常に容易に、かつ、スピーディに行えるものとなった。

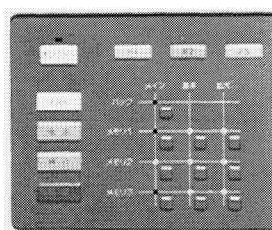


図3 表示データを選択する専用キー  
Keyboard of the special function

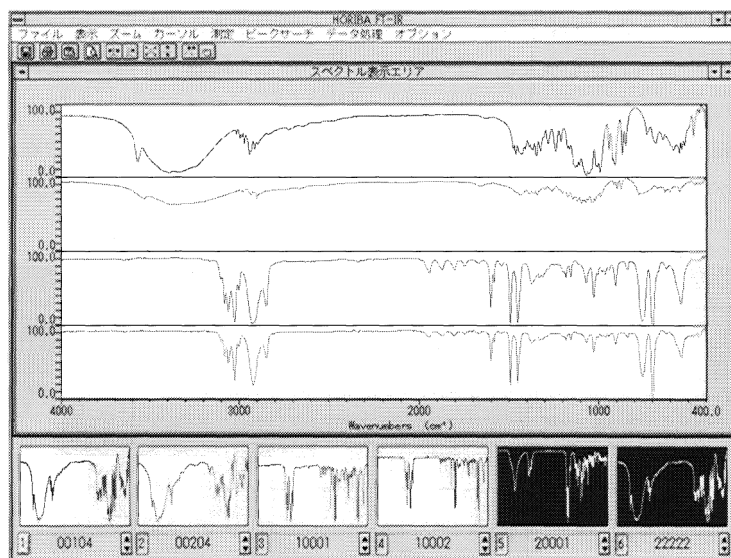


図4 メモリウィンドウ機能  
Memory window function

#### 3.2 印刷レイアウト/プレビュー機能

FT-IRのソフトウェアの機能としては、印刷時のフォーマットをオペレーターが、どの程度自由に編集および指定できるかが重要となる。

FT-IRを使われる業種、分野は多種多様でありユーザーごとに求められる印刷フォーマットもそれぞれ異なっている。

今回開発したFT-IR for Windows™では図5に示すような目的に応じた出力フォーマットを自由自在に作成できるように、印刷レイアウト機能によりさまざまな要求に対応した。印刷したいアイテムの位置、大きさをマウス操作で自由に編集し、登録する事が可能となっている。

また、作成したレイアウトのイメージは、印刷を実行しなくても、図6に示す印刷プレビュー機能により、事前にCRT上で確認することも可能である。

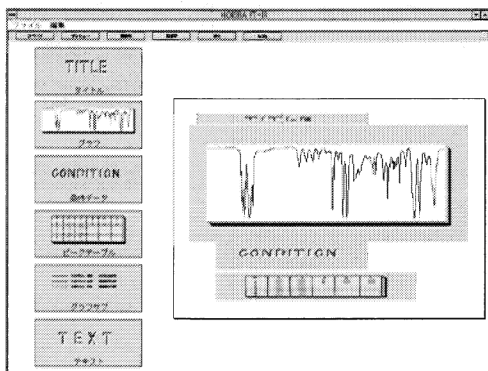
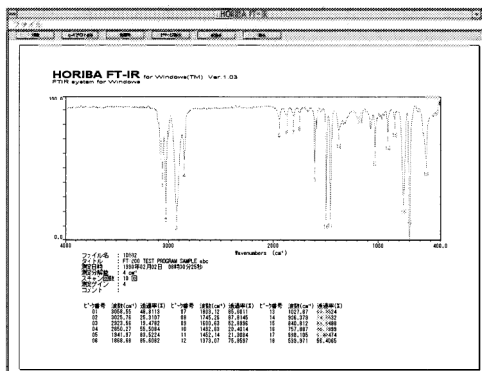


図5 印刷レイアウト機能  
Print layout function



#### 4. LA-910Win

LA-910Winには、測定、条件設定、学習の機能がある。

とくに測定は簡単な操作を追求し、Windows環境下でも使い勝手が良いように測定専用のボタンを用意し従来の専用機と同等な操作性を確保した。

学習機能はシーケンスプログラムと呼ばれるあらかじめ用意された「測定」、「注入」など、工程に関するコマンドを記述したプログラムで、最初に設定した条件にもとづいて測定やデータ処理を自動的に実行できる機能である。

学習機能はシーケンスプログラムの編集のためのエディタと、シーケンスプログラムを実行する機能から構成される。

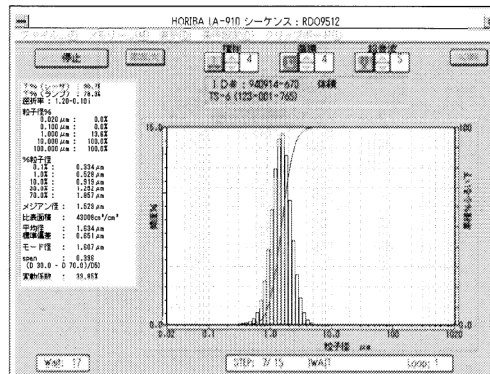
プログラムの編集は、オペレータが画面に表示されているコマンドをマウスで選択し、それを並べるといった方法を採用した。図7にプログラムの編集画面を示す。

各々のコマンドには対話形式のダイアログBOXが用意されており、プログラムの組み立て時に容易にコマンドの機能が理解でき、実行時の細かな条件の設定もすることができる。実行時にエラーが発生した場合にはエラー発生の原因やプログラム上の発生箇所が示されるようにして、プログラムの修正が容易に行える。

図8に学習機能実行画面を示す。



図7 シーケンスプログラム編集機能  
Sequence program edit function



学習機能の動作中は、現在実行されているプログラムの行数、ループの回数等のステータス情報が表示される。学習機能においても通常の測定等と同様に、停止ボタンを押すことにより実行中の動作を停止し、すべての動作中の周辺機器は初期状態に戻される。

これらの機能を搭載したことによりユーザーの求めるオリジナルな処理を通常の測定等の機能と同じ感覚でできるようになった。

## 5. おわりに

グラフィカルユーザーインターフェース (GUI) がOSの一部として事実上の標準となった事はユーザーにとっても、ベンダーにとっても、多くのメリットを享受できるようになった。ユーザーはグラフィカルなアイコンとプルダウンメニュー、ダイアログボックスをみてそれらの機能を連想したり、説明を見ながら操作ができる。

Windowsアプリケーションには操作上の共通点があり、操作に対する不安は少ない。このようなことが、一般に使いやすいと受け取られる一つであろう。

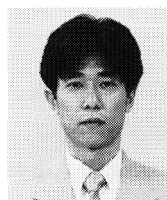
当社のWindowsアプリケーションにおいては従来の“ユーザーフレンドリー”な専用キーシステムからの操作性の良さを継承しつつ、より多くのお客様に当社のWindowsでの応用製品を使って頂いて「便利になった」、「能率が良くなった」と喜んで頂けるよう、今後とも研究を重ねていく所存である。



酒井 俊英

Toshihide SAKAI

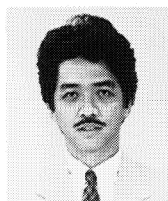
コンピュータ技術部 部長  
1979年入社  
製品ソフトウェア開発管理



佐藤 義通

Yoshimichi SATO

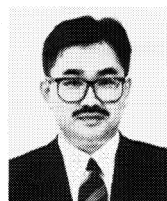
理化学開発部 係長  
1983年入社  
X線分析装置のソフトウェア開発



西方 康博

Yasuhiro NISHIKATA

理化学開発部 主任  
1985年入社  
理化学用分析装置のソフトウェア開発



北村 裕之

Hiroyuki KITAMURA

理化学開発部 係長  
1983年入社  
理化学用分析装置のソフトウェア開発



# 自己診断機能付き焦電形赤外線センサ Pyroelectric IR Sensor with Check Mode

岡本 一隆  
Kazutaka OKAMOTO

## 【要旨】

熱型の赤外線センサの一種として知られる焦電形赤外線センサは、人体から放射される微弱な赤外線を検知する光学素子で、侵入者警報器などに数多く用いられている。焦電センサの内部にチェック機能としての発熱体を付加した、『自己診断機能付き焦電形赤外線センサ』を新しく開発・製品化した。

このセンサをセキュリティシステムに適用すれば、これらを管理する警備会社は通信回線を利用して遠隔かつリアルタイムにシステムが正常に動作しているか否かの点検作業が可能となる。本稿では本センサの原理、特長に合わせ、セキュリティシステムへの応用例を紹介する。

## Abstract

Pyroelectric sensors are known as a kind of thermal type infrared sensor. These optical devices detect very weak infrared radiation emitted from the human body, and so they are frequently used in applications such as motion detectors for security systems. Recently, we at HORIBA have developed and put onto the market a Pyroelectric IR Sensor with Check Mode. This pyroelectric IR sensor contains a heater for use as a check function.

Applying this sensor in security systems allows security companies to check in real-time from a remote location over a communications line whether or not the system is functioning normally. This paper describes the principles of operation and features of the sensor, and gives examples of how it is applied in security systems.

## 1. はじめに

自動化・省力・省エネなどの言葉が使われ始めてから久しい。焦電形赤外線センサ(図1, 以下焦電センサと呼ぶ)を使った人体検知システムは、侵入者警報器や自動ドア, ライトスイッチ(自動照明)など, 私達の生活空間において活用されている。

近年, 生活環境の快適さ, 安全性を追求するための機器はますます複雑化し,

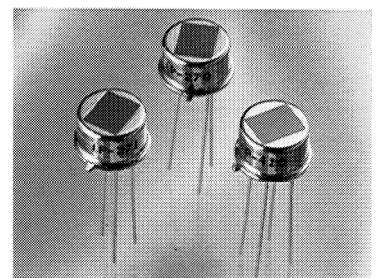


図1 焦電形赤外線センサ  
Pyroelectric IR sensors

保守点検のための工数も増加しがちである。本来、保守作業までが簡略されてはじめて省力化が達成できたといえる。

『自己診断機能付き焦電センサ』はこのような課題に応える新しい製品である。

## 2. 焦電センサと人体検知ユニット

\*1 非分散形赤外線ガス分析計  
赤外線の照射を受けたガス分子が、その固有の振動及び回転スペクトルに相当する波長の赤外線で励起され相応する赤外線を吸収する効果を利用したガス分析計

当社では、永年にわたって培ってきた赤外線の基盤技術をもとに、各種の赤外線関連製品を取り揃えている。焦電センサは、非分散形赤外線ガス分析計\*1の核である検出用として、あるいは人体検知用として幅広く利用され、当社では最も小形でかつ量産（生産能力20万個/月）される製品である。

焦電センサは赤外線検出器のうちでも、感度の波長依存性がなく、室温で動作する“熱型”のセンサであり取扱いが容易なうえ安価である。

赤外線を集光するミラーやフレネルレンズなどの光学系と、バンドパスアンプやコンパレータなどの電気回路を接続すれば人体検知ユニット（図2）が構成される。本ユニットは、侵入者警報器や自動ドア、ライトスイッチとして室内の一角に設置され、その視野内（警戒エリア、図3）の人体の動きを非接触で検知して電気信号として出力する。

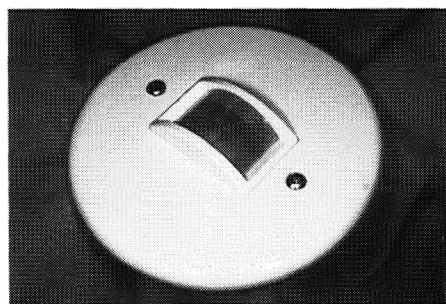


図2 人体検知ユニットと構成図  
Motion detector and configuration

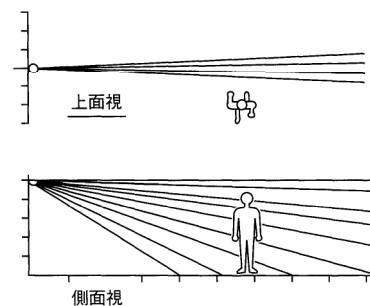
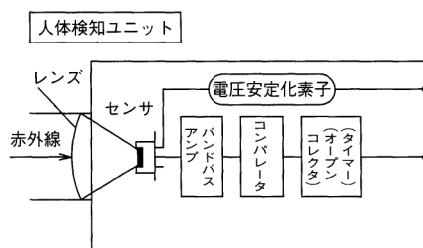


図3 人体検知器の警戒エリア  
Detection area of motion detector

## 3. セキュリティシステムの点検と自己診断機能付き焦電センサ

### 3.1 セキュリティシステムの点検

“治安が行き届いた国”といわれてきたわが国でも、天災、人災を問わず、社会不安を感じる事が多い昨今、“安全・安心・快適”を提供するセキュリティ産業の成長は目覚ましいが、セキュリティシステムには常に万全な態勢が必要で、警報器の定期点検は欠かせない。

従来、警報器は点検者が設置現場に向いてチェックしているが、その設置台数は年々増加しており、点検作業を合理化することが大きな課題となっている。

システムになくはない警報機器には主に受動形赤外線式の端末器が採用されており、その心臓部には焦電センサが使われている。

### 3.2 自己診断機能付き焦電センサ

従来の焦電センサは、人体から放射される赤外線 ( $h\nu_1$ ) を透過させる赤外線透過窓と赤外線検出部とから構成される。一方、自己診断機能付き焦電センサは、パッケージ内部に更に別の赤外線 ( $h\nu_2$ ) を放射する発熱体を配置し、赤外線検出

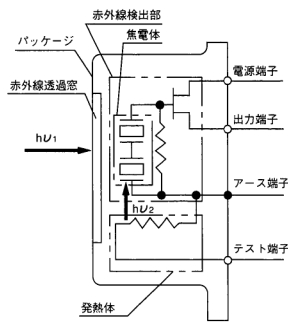


図4 自己診断機能付き焦電センサ  
Pyroelectric IR sensor with check mode

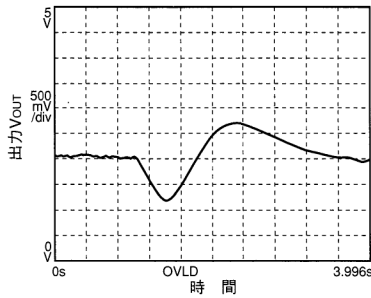


図5 自己診断機能による出力波形の一例  
Example of output waveform generated by check mode

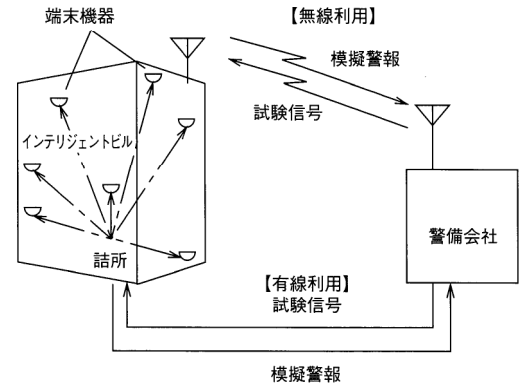


図6 自己診断機能の利用方法の例  
Example of how to use check mode

部とを複合化させている(図4)。

使い方は、センサの発熱体に外部から所定の電圧を印加して赤外線( $h\nu_2$ )を発生させると、人体を検知した時と同様の模擬信号が出力される(図5)。この模擬信号によってシステムが正常に働いているか否かが容易に確認できる。これを『自己診断機能』と呼ぶ。

自己診断機能の利用方法を、警備会社とインテリジェントビルに適用した例を図6に示す。

通信回線(有線や無線)を利用して警備会社から自己診断機能付き焦電センサを使った警報器の端末機器に対して、自己診断機能を動作させる命令( $h\nu_2$ の点灯命令)を送ればこれに反応した模擬警報が戻ってくる。これを各端末に次々と繰り返すことにより、全ての端末機器が手で点検できることになる。

## 4. 新しい焦電センサの動作原理と内部構成

### 4.1 動作原理

センサの受光部にはPZT(チタン酸ジルコン酸鉛)系の強誘電体\*2からなる焦電素子が配置される。

素子が赤外線を受けると、素子表面の電荷量が過渡的に変化し、素子に並列に接続された負荷抵抗に焦電流が流れる。この現象は焦電効果とよばれる。

センサの等価回路を図7に示す。焦電流 $I_p$ は負荷抵抗 $R_g$ の両端に電圧 $V_p$ を発生させるが、負荷抵抗のインピーダンスが $1 \times 10^{11} \Omega$ (100G $\Omega$ )と非常に高いため、FETでインピーダンス変換し、外部に電圧出力する。 $R_p$ と $C_p$ は焦電素子の絶縁抵抗と静電容量であり、 $R_r$ は自己診断機能としての役割を担う発熱抵抗体である。

\*2 強誘電体  
自発分極が、周囲の電場によってその方向を反転できる結晶

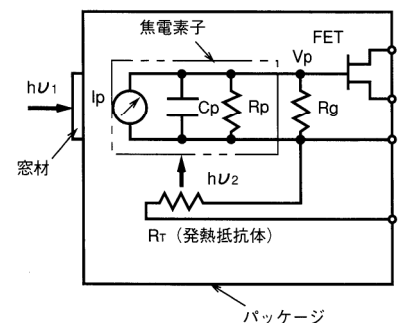


図7 センサの等価回路  
Equivalent circuit of sensor

### 4.2 内部構成

焦電センサの断面図を図8(A)に示す。電磁シールドと気密封止を行うため検出器は通称TO-5型と呼ばれる金属パッケージに収納する。パッケージの開口部は赤外線透過窓で封止されるが、焦電素子の感度は波長依存性がないため、透過窓は用途に応じて波長選択性を持たせる。人体を検知する場合は、人体から放射する6~12 $\mu$ mの赤外線を透過し、それより短波長の光(特に可視光)の影響を受けないような光学フィルタを窓材に使う。

センサ内部ではステム上部にリードピンを介して回路基板が配置される。基板の上面の支持台に焦電素子を置く。この支持台は、焦電素子と基板とのスペーサ

の役割を担い、素子が受けた熱が基板へ散逸しないように断熱し、焦電効果を有効に活用する。基板の裏面にはチップ状の高抵抗やFETのほか、自己診断機能を果たす発熱体としての薄膜チップ抵抗体を実装する。発熱体周辺部を拡大して図8(B)(特許出願中)に示す。この抵抗体で発生した熱を焦電体に伝える方法がポイントとなる。

基板裏面のチップ抵抗体での熱は熱伝導率の高い金属(銅)導体部を選択的に伝わり、スルーホール中のハンダを経て基板表面の発熱端面及びその周辺部から焦電素子へ熱放射される。

このチェック用赤外線( $h\nu_2$ )を受光して、検出器は人体を検知した時と同様の模擬信号を出力する。

焦電センサ内部の基板裏面の部品実装状態を図9に示す。表面実装部品は通称1608サイズと呼ばれる小形部品を採用し、高密度実装を達成している。こうしてわずか直径8mmのTO-5型パッケージに赤外線検出部と発熱抵抗体とを複合化した。

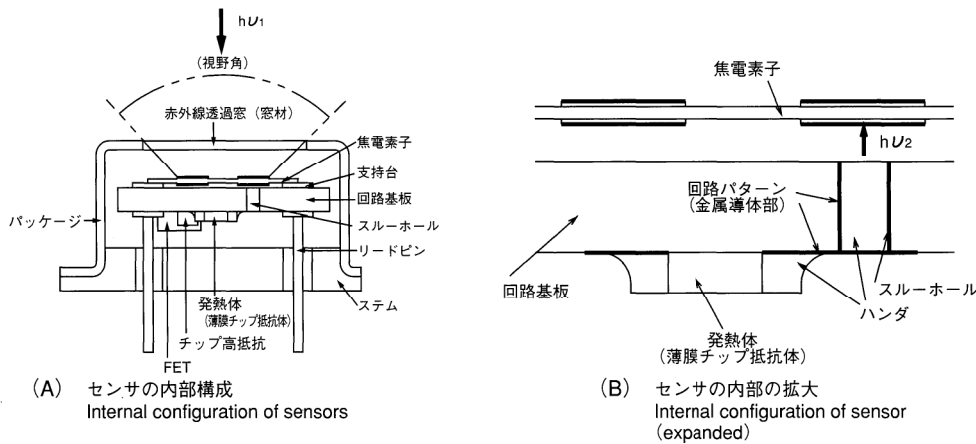


図8 自己診断機能付き焦電形赤外線センサ  
Pyroelectric IR sensor with check mode

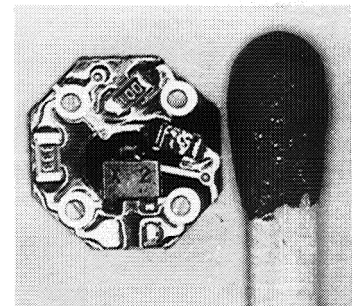


図9 構成部品の実装(参考にマッチ棒を添えている)  
State of mounted components (match stick provided as reference)

## 5. 『自己診断機能付き焦電センサ』を選択するポイント

最良の自己診断機能付きセンサを選択する上での設計ポイントがいくつかある。

(1) 適切な「自己診断機能」を確認すること。

① 正常な自己診断機能と誤動作

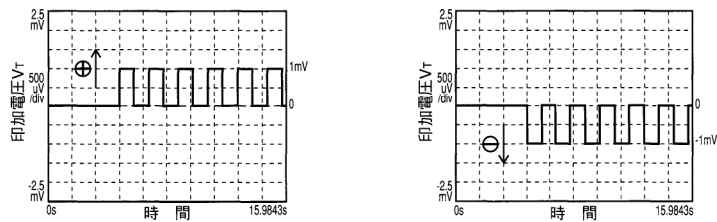
自己診断機能の出力は、センサ内部の赤外線( $h\nu_2$ )によるものを選択すること。市販品のなかには、発熱体へ電圧 $V_T$ を印加すると、熱によってではなくセンサ内部で起こる電磁場の乱れによって出力し、これを自己診断機能と称するセンサがある。この場合はセンサから後のシステムは点検できても、センサ自体の異常は発見できず、失報を招くことになる。

② 自己診断機能の動作と誤動作の判別方法

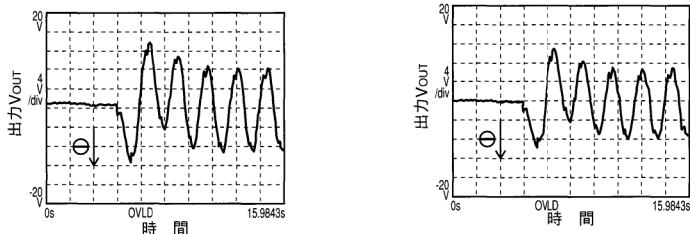
誤動作か否かは発熱体へ印加する直流電源 $V_T$ の極性を反転させて(図10(A)、図11(A))焦電センサの出力の極性が反転するか否かで判断できる。

当社のセンサは $h\nu_2$ により選択的に動作するから、 $V_T$ の極性に関係なく、出力( $V_{out}$ )の極性は-で変わらない(図10(B))。

一方、誤動作するセンサは、 $V_T$ の極性を+から-に反転させると $V_{out}$ の極性が-から+に反転しており(図11(B))、 $V_{out}$ は $h\nu_2$ によるものではなく他の雑音に起因する誤動作と判別できる。

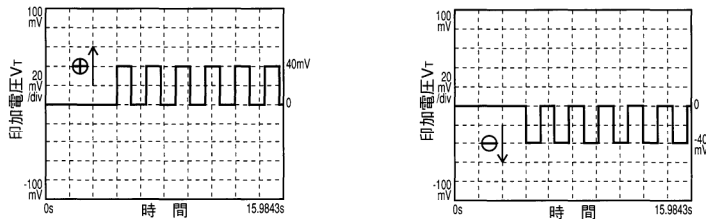


(A) 発熱体への印加電圧  
Applied voltage to the heater element

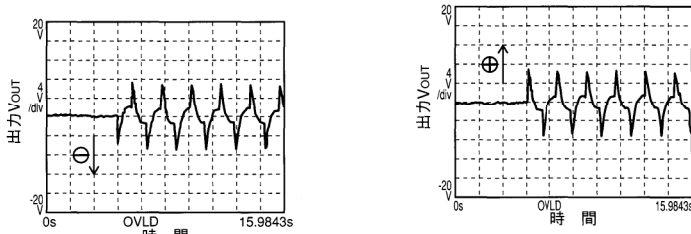


(B) センサ出力  
Output of the sensor

図10 発熱体への印加電圧とセンサ出力(自己診断機能が正常な場合)  
Applied voltage to the heater element and output of the sensor (Within normal check mode)



(A) 発熱体への印加電圧  
Applied voltage to the heater element



(B) センサ出力  
Output of the sensor

図11 発熱体への印加電圧とセンサ出力(自己診断機能が適切でない場合)  
Applied voltage to the heater element and output of the sensor (Bad check mode)

## (2) 電圧感度のばらつきが少ないセンサを選択すること

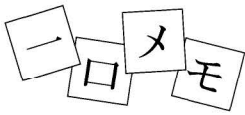
侵入者警報器は検出感度を設定するため、人体にかわる熱源を移動しながら、警報器のバンドパスアンプのゲインボリュームを調整する。

当社の自己診断機能付き焦電センサは、電圧感度(人体から放射される赤外線  $h\nu_1$  を検知する感度)のばらつきが少なく、かつ自己診断の出力  $V_{out}$  (赤外線  $h\nu_2$  を検知して出力)との相関があるから、ゲイン調整の手段として自己診断機能を利用できる。即ち、自己診断機能の出力が所定の値になるようにボリュームを調整すれば人体による調整は不要となる。

## (3) 自己診断機能付き焦電センサは従来モデルとの互換性を確認すること

センサを多機能化する場合、往々にしてパッケージが大きくなりがちである。それに応じてユーザーがユニットの設計変更を余儀なくされることがある。





Short Note

# MOCVD法によるPZT系強誘電体薄膜の作成

## Preparation of Ferroelectric PZT Thin Films by MOCVD

富永 浩二  
Koji TOMINAGA

### ●PZT薄膜とメモリへの応用

チタン酸鉛 ( $\text{PbTiO}_3$ ) 強誘電体酸化物は、高温超伝導体と同様な結晶構造をもつ。一般に、 $\text{PbTiO}_3$ のPbあるいはTiの一部を他の元素(LaあるいはZr)で置換した化合物はチタン酸ジルコン酸鉛(PZT/PLZT)と称される。

近年、PZT系強誘電体薄膜を用いたメモリへの応用開発が盛んに行われており、一つはDRAM用キャパシタ材料、もう一つは不揮発性メモリである。

4倍周期に集積化しているDRAMは、16Mあるいは64M以降において最低必要な電荷量(30fF)をチャージするためには、3次元構造にして表面積をかせぐ必要がある。現在、キャパシタ材料には $\text{SiO}_2$ や $\text{Si}_3\text{N}_4$ が用いられており、それらの比誘電率は約4.2, 7と小さい。一方、PZT系強誘電体薄膜では約1000以上ある。これを用いると3次元構造から平坦な構造に戻すことができ、工程の簡素化や歩留りの向上が期待できる。また、電源を切っても記憶内容が消えない不揮発メモリを用いれば、フロッピーディスクやハードディスクなどの記憶媒体が不要になり、パソコンのより一層の小型化が期待できる。

### ●MOCVD法によるPZT/PLZT薄膜の作成

PZT系強誘電体薄膜の堆積方法としては、スパッタ法、ゾルーゲル法、CVD法などが一般的に知られているが、近年、堆積速度が速い、ダメージが少ない、組成制御が容易、ステップカバレッジが良いなどの点から、MOCVD法が注目されている。

MOCVD法は、ガス化させた有機金属原料を基板に吹き付け、基板上で化学反応させ薄膜を形成する手法である。

著者は原料、基板温度、基板材料などの成膜条件と薄膜特性との関係を詳細に検討し、メモリ材料として良好な結果を得た。

#### (1)原料と成膜条件

ソース原料としてはテトラエチル鉛 [ $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ ]、ランタントリジビバロイルメタン [ $\text{La}(\text{C}_{11}\text{H}_{19}\text{O}_2)_3$ ]、ジルコニウムテトラジビバロイルメタン [ $\text{Zr}(\text{C}_{11}\text{H}_{19}\text{O}_2)_4$ ] およびテトライソプロポキシチタン [ $\text{Ti}(\text{i-OC}_3\text{H}_7)_4$ ] を用い、さまざまな条件で実際に成膜、評価して原料を選択した。

まず各々の活性化エネルギーを調べ、その値に大差ない原料を選んだ。これらの活性化エネルギーは約13~21kcal/molと見積られた。また、気相中での核生成反応が起こらないことも条件になる。基板温度600~650°C、系の圧力が665Pa(5Torr)では核生成反応が起こらないこ

とを確認した。

#### (2)基板材料と薄膜組成

薄膜形成の基板としては、 $\text{MgO}$ (100)単結晶、 $\text{MgO}$ 基板上に白金を(100)方向に配向させたPt(100)/ $\text{MgO}$ (100)基板、およびSi基板を表面酸化させた後Ptを(111)方向に配向させたPt(111)/ $\text{SiO}_2$ /Si基板を用いた。

PZT系強誘電体薄膜の組成を $(\text{Pb}_{1-y}\text{La}_y)(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ で示すと、著者が合成した薄膜は $y=0$ 、 $x=0\sim 0.8$ のいわゆるPZTと、 $y=0\sim 0.21$ 、 $x=0.25, 0.40, 0.45, 0.50$ のいわゆるPLZTである。

この組成で、 $\text{MgO}$ (100)、Pt(100)/ $\text{MgO}$ (100)基板を用いた場合は、c軸方向に強く配向した。一方、Pt(111)/ $\text{SiO}_2$ /Si基板を用いた場合は比較的(111)方向に配向した。c軸方向に配向していることは、分極方向と同じため、焦電特性および強誘電性の向上が期待でき、センサ・デバイスへの応用にも有効であると考えられる。

#### ●膜特性

PZT系強誘電体薄膜の電気的特性(比誘電率、残留分極、抗電界)は、Pt(100)/ $\text{MgO}$ (100)基板の場合はPZT単結晶のc軸方向の傾向と一致し、Pt(111)/ $\text{SiO}_2$ /Si基板ではPZTセラミックスの傾向と一致した。また、膜厚依存性は、膜厚が約0.4 $\mu\text{m}$ 以下では結晶粒径のサイズ効果、空間電荷効果、膜内部歪みの影響などにより、比誘電率と残留分極は減少し、抗電界は増加した。

メモリ応用に関しては、PLZT薄膜の有効電荷量は35fF/ $\mu\text{m}^2$ で64M、256M用のDRAMに対して十分な値であると考えられる。スイッチング時間も100ns以下と十分な値であった。

一方、分極反転回数にともなう分極値の変化(膜疲労特性)は、 $2\times 10^{11}$ 回までは認められなかった。通常、メモリは10年間の耐久性を保証するために、 $10^{15}$ 回以上変化しないことが必要といわれている。実験値はまだ十分とは言えないが、現在報告されている値の約20倍以上であり、トップデータであると考えられる。

本報告は、著者の学位取得論文「MOCVD法によるPZT系強誘電体薄膜の不揮発メモリへの応用に関する基礎的研究」を要約したものである。



富永 浩二  
Koji TOMINAGA, Dr.Eng.  
1993年入社  
工学博士  
赤外線検出器の研究開発

# —情報ハイウェイ— 統合情報通信ネットワーク HORNET

—The information highway—

## HORIBA Network & Telecommunication System HORNET

新井 修  
Osamu ARAI

**【要旨】**

堀場製作所では、総ての情報システムをローカル・エリア・ネットワーク (LAN) で接続した統合情報通信ネットワーク (HORNET) を構築中である。このネットワークの紹介と、1995年3月より「情報は共有してこそ価値がある」をスローガンとしてスタートした、コミュニケーションシステムの現状と将来構想を紹介する。

**Abstract**

HORIBA is currently in the process of building the HORIBA Network & Telecommunication System (HORNET), a local area network (LAN) designed to integrate all information systems.

This paper describes this network, and the current status and future outlook of communication systems that have been started since March 1995 under the banner "Value Through Information Sharing."

**1. はじめに**

1988年、CAD用として導入した米国SUN・マイクロシ

ステムズのワークステーション (Sun3) が、LANとの出会いであった。それまでは、汎用コンピュータ用同軸ケーブルによるイモズル方式のネットワークしか知らなかった我々にとって、1本のイエローケーブル (黄色の同軸ケーブルなので一般に呼ばれている) 上に、自由にコンピュータが接続できるイーサネット<sup>®</sup>は驚きであった。ネットワークとの付き合いはこのCADシステムに始まり、CAD・ソフトウェア開発システムを中心にイーサネット・トークリングLAN・アポロドメインによる技術系LANの構築を行った。

また汎用機のLAN接続により、オンライン端末としてパソコンの利用が可能となり、総延長約10KmのLAN上に約400台のワークステーション・パソコンを接続するに至った。

**2. 統合情報通信ネットワーク**

統合情報通信ネットワーク (HORIBA Network & Telecommunication System: HORNET) (図1) では、「いつでも・どこでも必要とする情報にアクセスできる」環境の構築を目指している。LAN・通信回線は以下の特徴を持つ。

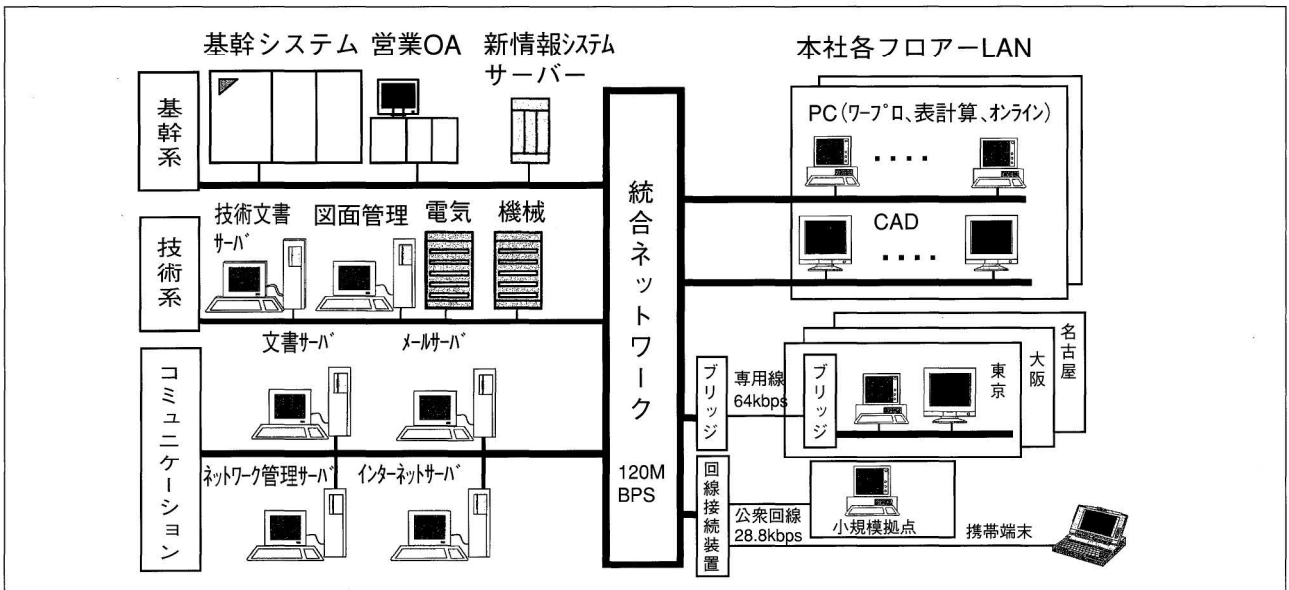


図1 統合情報通信ネットワークの構成  
Configuration of HORIBA Network & Telecommunication System : HORNET



- ①用途により最適なサーバー，通信プロトコルを使用するが，ネットワークはイーサネットに統一する(表1)。
- ②ネットワークは用途毎に分離し，高速ルーター\*2 (PowerHub：120MBPS) にて接続。
- ③本社内およびセールスオフィス，サービスステーション，協力会社との接続
  - ・セールスオフィス：専用線による接続
  - ・サービスステーション，協力会社：ISDN回線\*3
  - ・携帯端末：公衆回線
- ④社内LANからインターネット接続ができる

用途	サーバー	通信プロトコル
CAD・図面管理	UNIX*4	TCP/IP*5
オンラインリアルタイム処理	汎用機	HNA*6 TCP/IP
文書管理	NetWare*7	IPX*8
グループウェア・電子メール	OS/2*9	IPX, TCP/IP
ソフト開発	UNIX, NetWare	TCP/IP, IPX

表1 用途別のサーバーと通信プロトコル  
Application-specific servers and communications protocol

### 3. 各統合情報通信ネットワークの概要

#### 3.1 本社LAN

##### (1) 基幹システム用汎用機LAN

日立 (M660)，ユニシス (U2200) の汎用ホストコンピュータはLANに接続し，他のシステム (CAD, PC の表計算等) とのデータ交換を行うとともに，パソコンに，オンライン端末用ソフトを搭載し，ホスト端末として利用している。

##### (2) 技術系CADシステム用LAN

電気・機械システムとも，ファイルおよびデータベースをUNIXサーバーに集中管理。

- 電気系：Mentor\*10・図研\*11
- 機械系：Advance CAD\*12，Pro-Engineer\*13

CADからの生産管理用部品・図面データはLANを通じて汎用機にファイル転送。

##### (3) 文書系システムLAN

技術文書 (Interleaf\*14) は UNIXファイルサーバーに，一般文書はNetwareファイルサーバーにて集中管理。

##### (4) コミュニケーションLAN

社内電子メール，インターネット接続用の各サーバーを接続。(後述)

### 3.2 WAN (ワイド・エリア・ネットワーク)

東京・大阪・名古屋セールスオフィス間は高速デジタル回線 (64Kbps) によりリモートブリッジ接続\*15 (図2)。



図2 リモートブリッジ接続によるWAN  
Remote bridge-connected WAN

### 4. 統合情報通信ネットワークのコミュニケーション利用

統合情報通信ネットワークにより，各種の情報システムのデータ交換，パソコンからの汎用ホスト，ファイルサーバー，データベースの活用が可能となった。本年度よりこのネットワークを使い，「情報共有，意見交換，判断」というコミュニケーションプロセスの電子化を行うため，グループウェアソフトLOTUS-Notes\*16を採用。

#### 4.1 コミュニケーションシステムの機能

- 電子メール：いつでも，どこでも話すことができる。
- 文書サーバー：いつでも，どこでも情報が得られ，情報が共有できる。
- 電子会議：会議に参加するメンバーが事前に状況を知り，情報を共有したうえで意見を交換できる。
- 電子掲示板：情報を同時に参加者全員に知らせることが出来る。

これらコミュニケーション機能だけでなく，「こういう問題がわからない」という質問に対して，文字通り“衆知”を集める「Q&A」やISO9000用文書 (規程・基準・手順書) のデータベース化を進めている。

#### 4.2 管理職から開始

このコミュニケーションネットワークの開始にあたっては，情報を一番受発信する管理職こそが，情報の作成・発信・受信を自らが行わなければ，ネットワークが真のホワイトカラーの生産性向上には繋がらない。

このため，本年3月より，社長，本部長，副本部長，

\*1 イーサネット：米国XEROX社が開発したLAN方式

\*2 ルーター：異なるLANアドレス間の接続装置

\*3 ISDN：NTT社の統合サービス・デジタル網

\*4 UNIX：ワークステーション用のOS

\*5 TCP/IP：UNIX用の通信規約

\*6 HNA：日立製作所のネットワークアーキテクチャ

\*7 Netware：米国ノバル社のネットワークOS

\*8 IPX：Netware用の通信規約

\*9 OS2：IBM社のマルチタスク32ビットOS

\*10 Mentor：米国Mentor Graphics社プリント板設計CAD

\*11 図研：図研社のプリント板設計CAD

\*12 Advance-CAD：伊藤忠テクノサイエンス社の2次元機械設計CAD

\*13 Pro-Engineer：米国PTC社の3次元機械設計CAD

\*14 Interleaf：米インターリーフ社の構造化文書ソフト

\*15 リモートブリッジ：回線を経由したLANの接続装置

\*16 LOTUS-Notes：米国Lotus Development社が開発したグループウェア

統括部長，セールスオフィス所長15名による電子メールを開始した。

日頃，不在の多いメンバーであるため，相手の在席確認・時間・距離を意識しない電子メールは予想を超える利用状況となり，4月には，引き続き部長18名にパソコンを設置した。

### 4.3 社内OAインストラクターの養成

日頃パソコンに馴染んでいない管理職が少なくないことと，今後，各職場での本システムの啓蒙・教育が必要となるため，全社22ブロック毎に女性インストラクターを選任し，インストラクター養成研修を実施した。これらのインストラクターによる各職場研修を行い，7月末には，本システムパソコンは約120台となり，管理職全員が本システムを使用出来る状態となった。

今後はチームリーダー全員への展開を目指しており，本年度中には200台の配置を行う予定である。

図3は本システムのメニュー画面で，アイコンをマウスでクリックするだけで使用できる。

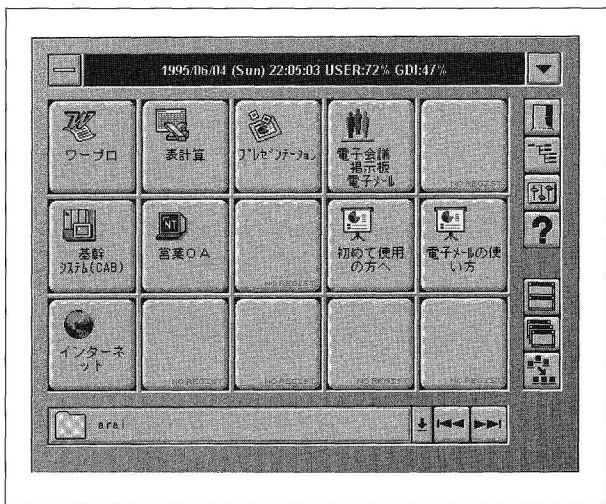


図3 パソコンのメニュー画面  
Personal computer menu display

### 4.4 システムの特徴

本システムは機密の保持とサーバーおよびファイルへのアクセス権を設定している。このため，本システムでは，ユーザーのID(名前を基本とした8桁コード)とパスワードのチェックを行っている。このID名はインターネッ

OS	Windows3.1 (Microsoft社)
ワープロ	Word (Microsoft社)
表計算	Excel (Microsoft社)
プレゼンテーション	Power Point (Microsoft社)
電子メール	Lotus Notes (LOTUS社)
汎用機	日立：560/20エミュレータ
オンライン	ユニシス：NTエミュレータ

表2 コミュニケーション用ソフトの一覧  
List of communications software

トではメールアドレスとなる。

また，表2の利用ソフトデータは総てサーバーに統合管理しているため，社内のどのパソコンを使用しても，自分のIDとパスワードを入力(ログインと呼ぶ)すると，自分のファイル，メールにアクセスする事ができる。

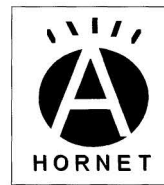


図4 HORNETのシンボルマーク  
HORNET symbol mark

本システム用パソコンには，図4のマークを表示し，部課長のパソコンであっても，未使用時には誰でも使用できるよう，ログアウト(使用状態を解除)する事としている。

なお，Lotus Notes(図5)については，電子メールはメールアドレス本人のログインでなければ開封できない事はもちろん，電子会議等も参加メンバーのみのメニュー表示に制限している。一方，Q&Aや掲示板については，全社員が自由に参照できるようオープンパソコンの設置を計画している。

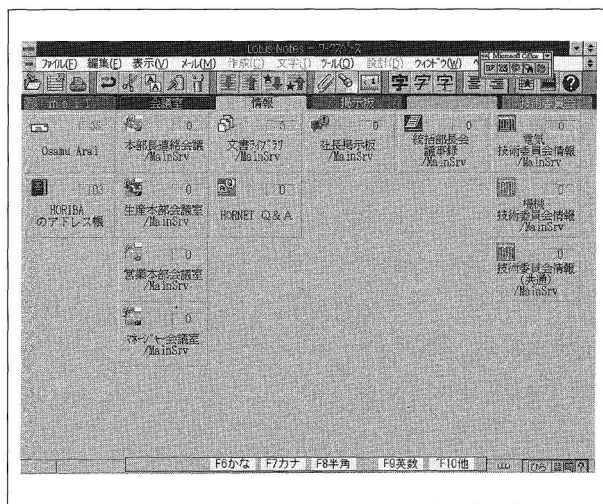


図5 電子メール，会議室，掲示板画面  
Electronic mail, conference room, bulletin board menu

### 4.5 システム構成

コミュニケーションシステムは，サーバーシステム(図6)によって構成する。

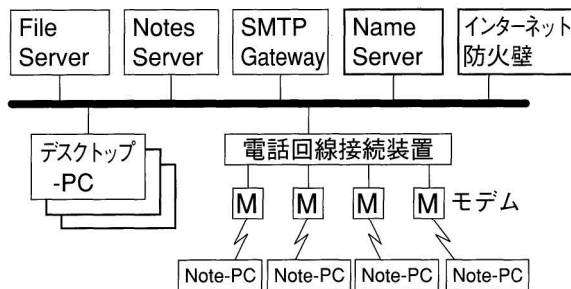


図6 コミュニケーションシステムの構成  
Configuration of communication system

(1) ファイルサーバー (文書・プリンター共有)

本サーバーはワープロ、表計算データのファイル・プリントサーバー機能だけでなく、各パソコンへのソフトウェアの配信と、ネットワーク利用者のログイン名、アクセス権、パスワードを管理。

(2) Notesサーバー (コミュニケーション)

(3) SMTP\*17ゲートウェイ (電子メール)

社内メールであるNotesより、インターネットを通じて社外との電子メールの送受信を行う。

(4) ネームサーバー (アドレス管理)

ネットワーク接続コンピューターのアドレスを管理。

(5) 防火壁 (Fire Wall)

社内LANに対する外部からの侵入を防止するため設置、企業情報発信WWWサーバー\*18は図7の通り防火壁の外側に設置する。

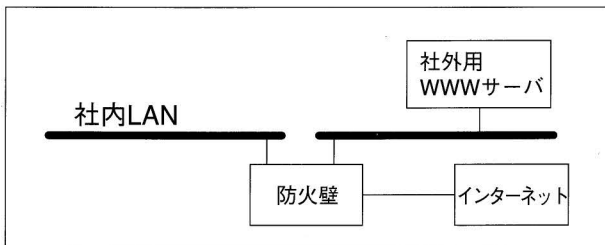


図7 インターネットの接続  
Ethernet connection

(6) 電話回線接続装置

モデム経由で電話回線よりLANに接続する。本接続も社外からのアクセスを防止するため、電話回線接続を許可されたID保有者のみが接続できる。

## 5. 今後の展開

統合情報通信ネットワークの目的「いつでも・どこでも必要とする情報にアクセスできる環境」の充実には、より高速のネットワーク、接続拠点の拡大が必要となる。

(1) 本社LANの高速化

本社LANのATM化\*19とATM間の光ファイバー化により、サーバーと各LAN幹線接続の高速化を行う。

(2) サーバーの分散

各拠点へのサーバー設置を行い、拠点内データ処理スピードアップを行う。

(3) 接続拠点の拡大

図8の通り、フレームリレー (国内外)\*20の採用により、海外子会社、国内の小規模な事業所 (サービスステーション、営業所、出張所) 間との接続を行う。

(4) 携帯端末利用

今後の勤務形態の変化や出張先、訪問顧客先からの

接続には、携帯端末 (ノートパソコン) のLAN接続が必要となるため、電話回線からのLAN接続装置を各拠点 (日本主要都市、海外子会社) に配置する。また、現在以上に長時間のLAN接続が必要なため、従量制のパケット回線接続を検討する。

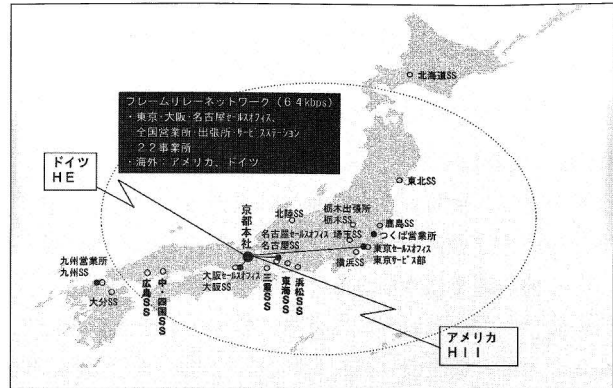


図8 フレームリレーによるWANの構成

\*17 SMTP:電子メール転送プロトコル

\*18 WWW:企業情報 (文字、画像等) をインターネットから見るための情報提供の仕組み (World Wide Web)

\*19 ATM:Asynchronous Transfer Mode (非同期転送モード) の略。高速なデータ通信を可能にする技術

\*20 フレームリレー:高速データ転送用パケット技術



新井 修  
Osamu ARAI

業務改革推進センター 課長  
1972年入社  
業務プロセス改革推進と情報システムの開発と運用

## ガス分析装置におけるパージ/バックフラッシュ用回路

【登録番号】 実用新案登録第1982564号

【考案者】 松木雄三，大橋秀樹

### 【分野・目的】

本考案は、試料ガスを装置内に吸引導入するサンプリング用ポンプの前段に、導入試料ガスに対して水分除去などの前処理を施す前処理部を設け、かつ、前記ポンプの後段に、導入試料ガスを分析するガス分析部を設けてなるガス分析装置内に装着されるパージ/バックフラッシュ用回路の改良に関する。

パージ/バックフラッシュとは、サンプリング用配管や検出器などへの吸着によるテーリング現象を防止するために行うもので、フィルターを洗浄することも目的としている。

従来、パージ用およびバックフラッシュ用にそれぞれ別のポンプを用いるなど構造が複雑で大型化して製造コストや設置スペースの面で非常に不利であるという欠点があった。

本考案の目的は、非常にシンプルかつコンパクトで安価に構成できながら、かつ、十分な機能を発揮し得るとともに、騒音や振動影響を可及的に小さく抑制可能なガス分析計におけるパージ/バックフラッシュ用回路を提供することにある。

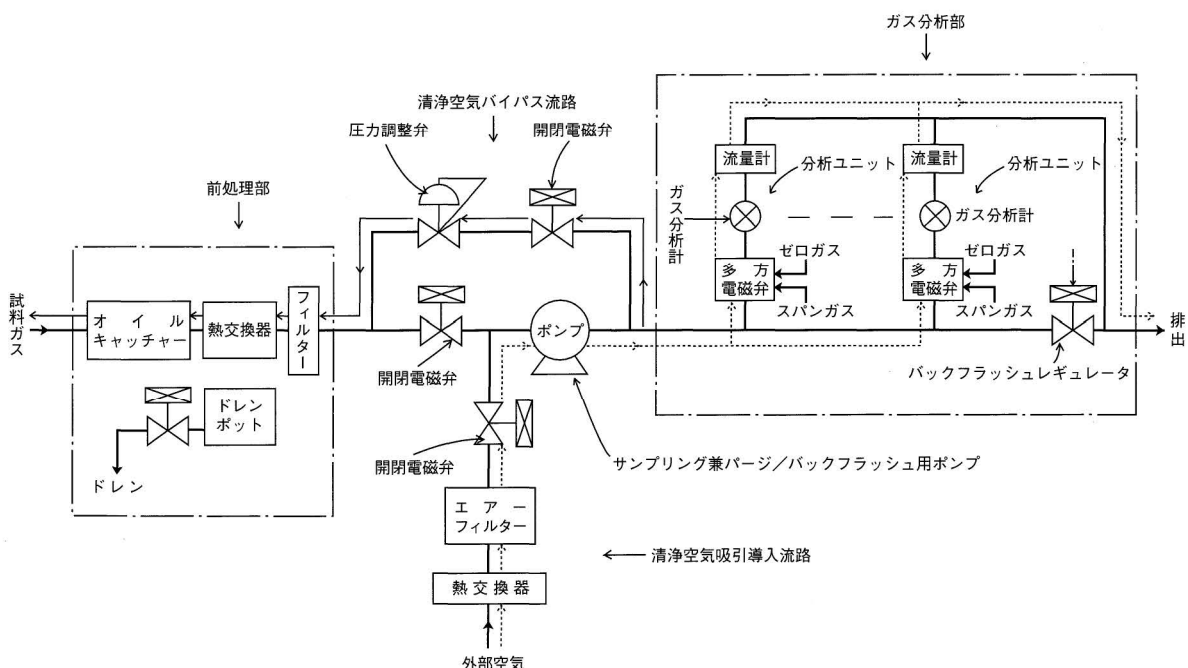
### 【概要】

本考案は、サンプリング用ポンプにより清浄空気を吸引導入可能に構成するとともに、その吸引導入された精製空気をサンプリング用ポンプの動力を利用して、ガス分析部に対してパージ用空気として順方向に圧送供給し、かつ、前処理部に対してはバックフラッシュ用空気として逆方向に圧送供給可能に構成されていることを特長としている。

具体例としては、開閉電磁弁、清浄空気吸引導入通路及びポンプを有する流路に圧力調整弁及び開閉電磁弁を有する清浄空気バイパス流路を設ける構成をとっている。

### 【効果】

ガス分析装置における必須構成要素として本来備えられている1台のサンプリング用ポンプを、パージ操作用としてのみならず、バックフラッシュ操作用としても兼用可能に構成したことにより、非常にシンプルかつコンパクトで安価にパージ/バックフラッシュ機能を十分に発揮できるものとなった。



走査プローブ顕微鏡族の用語と参考文献

略語	英語表記	日本語表記	参考文献
AFM	Atomic Force Microscope	原子間力顕微鏡	G.Binnig, C.F.Quate, and Ch.Gerber:Phys.Rev.Letters,56-9,930,1986
APSTM	Analytic Photon Scanning Tunnel Microscope	フォトン走査トンネル分光顕微鏡	P.J.Moyer, C.L.Jahncke, M.A.Paesler, R.C.Reddick, and R.J.Warmack:PHYSICS LETTERS A145,343,1990
NSOM	Near-Field Scanning Optical Microscope	近接場走査光学顕微鏡	E.Betzig, J.K.Trautman, T.D.Harris, J.S.Weiner, and R.L.Kostelak:SCIENCE vol.251,p.1468,1991
PSTM	Photon Scanning Tunnel Microscope	フォトン走査トンネル顕微鏡	太津元一:バリテイ、vol.9,No.11,p.60,1994
SNFM	Scanning Near-Field Fluorescence Micro-spectroscopy	近接場蛍光走査顕微分光光度計	H.F.Hess, E.Betzig, T.D.Harris, L.N.Pfeiffer, and K.W.West:SCIENCE vol.264,p.1740,1994
SNOAM	Scanning Near-Field Optical/Atomic Force Microscope	近接場光学原子間力顕微鏡	H.Muramatsu, T.Ataka, H.Monobe, and M.Fujiwara:Ultramicroscopy,vol.57,p.118,,1995
SNOM	Scanning Near-Field Optical Microscope	近接場走査光学顕微鏡	E.Betzig and R.J.Chichester:SCIENCE vol.262,p.1422,1993
SPM	Scanned Probe Microscope	走査プローブ顕微鏡	M.Welland:Physics World March 1994,p.32, SPMの解説;バリテイ、vol.9,No.8,p.11,1994に和訳
STM	Scanning Tunnel Microscope	走査トンネル顕微鏡	G.Binnig, H.Rohrer, Ch.Gerber, E.Weibel:Phys.Rev.Letters 49,57,1982

# 社外技術発表リスト

## ▶ 口頭発表

1995年1月～1995年6月

標 題	氏 名	発 表 機 関 (場 所)	時 期
鋼中極微量炭素分析ならびに窒素・酸素・水素分析について	伴 弘一	東海無機分析科学研究会第7回金属部会 (名古屋市工業研究所)	1994年7月18日
酸性雨草の根ネットワーク	永井 博	第5回環境システム自動計測制御国内ワークショップ (京都市ササケパーク)	1994年9月9日
酸性雨測定と教育	大石 正行	日本化学会酸性雨問題研究会 (東京化学会館)	1994年11月24日
Hydrocarbons Speciation of Automotive Emissions using High Speed Gas Chromatography	K.ISHIDA T.OIE S.OHTSUKI	Soc. Automotive Eng. Show (Detroit,USA)	1995年2月28日
Development of A High-speed Gas Chromatograph for Automotive Exhaust Speciation Analysis	1) MARK A.KLEMP 1) ANITA J.PETERS T.SHIGA	'95 Pittsburgh Conf. (Los Angeles,USA)	1995年3月4日
海綿骨の異方性と音波伝搬波形	平田 治義 2) 細川 篤 2) 太谷 隆彦	日本音響学会平成7年度春季研究発表会 (武蔵工業大学)	1995年3月15日
MOCVD法によるc-軸配向PZT薄膜の高速成長	3) 浅野 貴之 3) 朝倉 享生 富水 浩二 富田 勝彦 3) 岡田 勝	才42回応用物理学会関係連合講演会 (東海大学)	1995年3月30日
FIA蛍光X線による液体中金属元素の高感度分析法の検討	吉光 克弘 内原 博 池田 昌彦	日本分析化学会第56回分析化学討論会 (大阪工業大学)	1995年5月12日
X線分析顕微鏡とその応用	細川 好則	溶接学会マイクロ接合研究委員会 (自動車会館)	1995年5月26日
新しい研究法 X線分析顕微鏡を使用した沸石岩石中の沸石鉱物の研究	細川 好則 4) 湊 秀雄	日本鉱物学会95年年会 (大阪市立大学)	1995年6月1日
エンジン排気ガスの分析	井上 香	日本機械学会講習会NO.95-29内燃機関の燃焼と排気改善のための計測技術 (工学院大学)	1995年6月2日
新しいインライン式半導体ガス濃度計の開発	嘉田 教夫 秋山 重之 5) 清水 哲夫 6) 原田 宙幸	第13回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会 (早稲田大学)	1995年6月14日

注 1) Chromatofast 2) 同志社大学 3) 中部大学 4) 東京大学 5) エステック 6) 三菱商事

## ▶ 文書発表

1995年1月～1995年6月

標 題	氏 名	発 表 書 誌 名	
酸性雨分取器の開発	永井 博	環境技術	23,11,661-665,1994
Incorporating Dodecylbenzenesulfonic Acid in a Poly (vinyl chloride) Matrix Chloride Ionselective Membrane Based on Tertiary Ammonium	S.NOMURA	The Analyst	120,503-504,1995
FTIR方式エンジン排気ガス測定装置 MEXA-4000FT	井上 香	日本エネルギー学会誌	74,2,121-122,1995
フッ素樹脂薄膜を用いたピンポイント濃縮顕微赤外分光法によるテトラヒドロカンナビノールの検出同定	池田 昌彦 内原 博 1) 宮沢 正 1) 中島 邦生 1) 南 幸男	分析化学	44,2,217-219,1995
走査電子顕微鏡の最新成果 X線分析顕微鏡	細川 好則	電子材料	34,2,105-111,1995
Multiplicity and Lattice Relaxation of The DX Center Studied by Electron Emission Spectra under Pressure	2) K.TAKARABE 2) N.SHIRASE 2) S.MINOMURA 3) H.KATO 3) Y.WATANABE K.MATSUDA	J.Phys.Chem.Solids	56,3/4,631-634,1995
冷凍食品工場における品質・衛生管理機器装置 2. 現場用品質管理計測器 2.1 pHメーター	鈴木理一郎	冷凍	70,4月,42-45,1995
顕微FTIRの最新応用技術	池田 昌彦 内原 博	ぶんせき	4月,268-275,1995
煙道排ガス分析装置 ENDA-2000シリーズ	嘉田 教夫	計測技術	23,6,81-87,1995

注 1) 大阪府警察本部科学捜査研究所 2) 岡山理科大学 3) 関西学院大学

## Readout 編集委員会

委員長：石田 耕三

副委員長：青海 隆

事務局：伊藤 省二

### ●お問い合わせ先

株式会社 堀場製作所 知的所有権部

電話 (075)313-8121 Fax (075)321-5648

---

## Readout HORIBA Technical Reports

### No.11

1995年9月8日発行

編集・発行人 石田 耕三

発行所 株式会社 堀場製作所

〒601 京都市南区吉祥院宮の東町2番地

電話 (075)313-8121

印刷・製本 阿部写真印刷株式会社

〒550 大阪市西区靱本町1-18-8 電話 (06)446-5177

**HORIBA**