

ISSN 0915-9916

Readout

HORIBA Technical Reports

特集

環境・エンジン・計測

September 1997 ■ No.15



HORIBA

○誌名について

誌名“Readout”（リードアウト）には、「当社が創造・育成した技術を、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)
冬を予感するもみじは、いのちの時差に
それぞれの色をみせていく。

- 巻頭言 環境・エンジン・計測に向けて 松本 興一 ————— 3
- 座談会 第一線の研究者・技術者たちが語る「環境，エンジン，そして計測」
飯田 訓正・内田 謙一・小嶋 一雄
仙北屋 茂夫・齊藤 壽一・足立 正之・石田 耕三 ————— 4
- 特集論文 エンジン計測システムの発展と方向性 中村 成男・米重 芳一 ————— 13
- The Algorithmic Structure of the Air/Fuel Ratio Calculation
(There is really only one A/F ratio equation.) William M. SILVIS ————— 17
- エンジンからの排ガス流量計測 希釈法から流量直接計測法へ
足立 正之・榎村 和紀 ————— 25
- ディーゼル排気微粒子の測定法 坂本 漱仁 ————— 31
- 超高速応答形エンジン排ガス測定装置 MEXA-1110/1210FRF
武田 賢二 ————— 37
- 高精度広域帯ガス分割器 平井 仁史 ————— 43
- 厚膜ジルコニアNOxセンサを使用した直挿型NOx計 MEXA-120 NOx
井内 穰・木原 信隆 ————— 47
- ホリバのエンジン計測関連の技術開発・生産拠点のグローバル化
齊藤 壽一・長野 隆史 ————— 53
- 特別寄稿 Volvo's Philosophy of the Preservation of the Environment
Ulla-Britt Fräjdin HELLOQVIST ————— 57
- ◆トピックス 環境マネジメントシステム ISO 14001を取得 鈴鹿 周正 ————— 64
- 一般論文 Particle Size Distribution Analyzer: Model LA-920
Terry STAUFFER and Tatsuo IGUSHI ————— 67
- ハンディ pHメータD-20シリーズ
武市 伸二・岡田 敦朗・Jeffery FISHER ————— 75
- 相分析機能を応用した不均一な金属試料のX線定量分析の精度向上
森田 洋二・石川 純代 ————— 79
- ◆施設紹介 半導体プロセス用クリーンルーム 衣斐 寛之・中西 剛 ————— 83
- ◇知的所有権メモ ————— 86
- ◇社外技術発表リスト ————— 87

□Foreword	Toward "Environment Engine and Measurement" Koichi MATSUMOTO _____ 3
□Free Talking	The Environment, Engines, and Measurement Technology Norimasa IIDA, Kenichi UCHIDA, Kazuo KOJIMA, Shigeo SENBOKUYA, Juichi SAITO, Masayuki ADACHI, Kozo ISHIDA _____ 4
.....	
●Feature Articles	A Study on the Automation of Automotive Engine Laboratories Shigeo NAKAMURA and Yoshikazu YONESHIGE _____ 13
	The Algorithmic Structure of the Air/Fuel Ratio Calculation (There is really only one A/F ratio equation.) William M. SILVIS _____ 17
	3Direct Measurement of Flow of Exhaust from Automotive Engines Masayuki ADACHI and Kazuki MAKIMURA _____ 25
	Analysis of Diesel Exhaust Particles (DEP) by Microwave Induced Plasma Emission Spectroscopy Soji SAKAMOTO _____ 31
	Engine Exhaust Analysis with 2 Millisecond Response The MEXA-1110/1210FRF Series Kenji TAKEDA _____ 37
	A Precise Gas Mixing Device for Calibration Service : the HORIBA GDC-703 Hitoshi HIRAI _____ 43
	Non-sampling NOx Analyzer Using Thick Film Zirconia NOx Sensor MEXA-120 NOx Yutaka IUCHI and Nobutaka KIHARA _____ 47
	HORIBA's R & D and Production on a Global Basis for the Measurement of Engine Parameters Juichi SAITO and Takashi NAGANO _____ 53
.....	
□Guest Forum	Volvo's Philosophy of the Preservation of the Environment Ulla-Britt Fräjdin HELLQVIST _____ 57
.....	
◆Topics	HORIBA's Environmental Management System Certified to Comply with the Requirements of ISO 14001 Norimasa SUZUKA _____ 64
.....	
●Selected Topics	Particle Size Distribution Analyzer: Model LA-920 Terry STAUFFER and Tatsuo IGUSHI _____ 67
	The D-20 Series Handheld pH Meter in Immersion-proof Case Shinji TAKEICHI, Atsuro OKADA and Jeffery FISHER _____ 75
	A Study on the Accuracy of Quantitative Analysis of the EDX for the Elements Contained Unevenly in a Specimen Yoji MORITA and Sumiyo ISHIKAWA _____ 79
.....	
◆New Facility	A Clean Room for the Limited Production of Semiconductor Devices Hiroyuki EBI and Tsuyosi NAKANISI _____ 83
.....	
◇Patents _____ 86	
◇Technical Reports List _____ 87	

今や、ありとあらゆる企業が環境問題を第1テーマとして取り組みだした感がある。堀場製作所のエンジン計測システム統括部は、自動車の排ガス計測をキーワードとして環境問題と早くから取り組んできたが、様変わりに今昔の思いを深くしている。当社がISO 14001をいち早く取得できたのも、常に全社員が環境保護を文化として継承してきたせいかもしれない。

ホリバのエンジンとの関わりは1966年のCO排出規制の少し前から始まるが、人と環境という点では、当社創立以来それにこだわり、それしかやってこなかったと言ってもいいのではないと思う。1961年に世界最初の有人衛星ヴォストークが打上げられたが、それより数年前、当社は低圧室内で働く呼気中炭酸ガス濃度測定装置を開発しデータを提供した。これが排ガス計測機器の原形となった。世界の何処かで大きな技術の飛躍があったとき、当社の技術が何らかの形でこれに貢献してきたことは計測器メーカー冥利につきる。

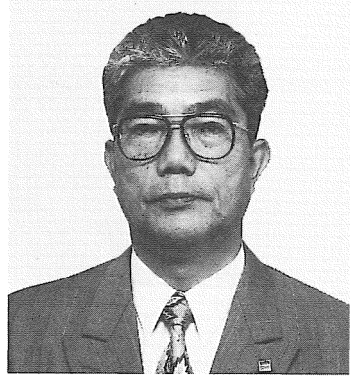
当初、排ガス計測器は規制値をクリアしているか否かのチェックが主目的だったが、現在は燃費向上や排ガス浄化などと共にエンジン性能の向上、開発に用途が拡大し、直接・間接的に地球環境問題に貢献するところまでに至っている。

現在、当社はエンジンダイナモテスト室2部屋、シャーシダイナモテスト室2部屋を常に稼働させ、お客様と同じ立場に立って提案できる環境作りに努力している。ここで、エンジン内の限られた部位を超高速でガス分析したり、触媒前後と同時に触媒表面でのガスの挙動をリアルタイムに解析できる技術開発に取り組んでいる。大量に放出されるガスの正確な質量計測、FTIR、高速GC、MSなどの汎用分析技術をベースとした極微量成分の測定、さらには、実験である程度の正確な情報が得られれば、その先はシミュレーション解析でと言うエンジン自動計測システムの開発も手がけている。

計測機器を取扱う上で最も基本的で大切なことに、計器の校正とトラブル対応がある。これらも電話回線や通信衛星を利用して手軽にできる時代を迎えつつある。世界のどこにいても欲しい情報をリアルタイムに入手できる今日、それだけの理由で人口密集地域に拠点を構える時代でなくなっている。インターネットを代表する通信網の発達、世界を対象とした最適地生産などグローバル化と、サービスなど人にかかわる部分のローカル化の二律背反をうまく処理できるに違いない。

今や、ホリバは理論上は何でも測れるセンサ、情報処理システム、伝達システムを持っていると自負している。しかし、測定できると言うことだけでは意味合いは少なく、お客様の目的に応じた使われかた、情報の提供があつて始めて計測と言える。さらに、その延長線上が地球環境の改善、少なくとも負荷の軽減へと、つながるだろう。

「地球からお借りした物はできる限り元の形に戻してお返しする」この謙虚な姿勢を失わなければ、まだまだ幾世代にも人類の存在を地球から否定されることはないだろう。



エンジン計測システム統括部
統括部長

松本 興一

Koichi MATSUMOTO

第一線の研究者・技術者たちが語る 「環境，エンジン，そして計測」

The Environment, Engines, and Measurement Technology

21世紀へむけて、人類の持続的な発展のためには、環境保全とエネルギー資源の枯渇問題を避けて通ることはできない。そのためには、環境と効率の両立を目指すエンジン、燃料の開発が必要不可欠になる。最先端の研究開発動向と今後の課題は？そして、研究開発、生産現場で求められる計測技術とは？

大学、自動車および石油業界の第一線で活躍されている研究者を当社にお迎えし、大いに語っていただいた。

出席者（敬称略）

飯田 訓正	慶応義塾大学理工学部 教授
内田 謙一	トヨタ自動車(株) 第4開発センター 担当員
小嶋 一雄	日産自動車(株) パワートレイン開発本部 課長
仙北屋 茂夫	出光興産(株) 石油技術センター 研究主任
齊藤 壽一	(株)堀場製作所 エンジン計測企画開発部 部長
足立 正之	(株)堀場製作所 エンジン計測開発部 チームリーダー

<司会>

石田 耕三	(株)堀場製作所 専務取締役
-------	----------------

開催日 平成9年6月26日

開催場所 (株)堀場製作所 本社

技術開発の戦国時代

司会 本日はお忙しい中、座談会にご出席いただきまして、ありがとうございます。今年、地球温暖化防止の京都会議COP3、国連の環境特別会議など、環境に関連する大きな国際会議が開催されることになっています。21世紀に向けての環境問題に対するグローバルな取り組みは、様々な分野で新しい段階に入ってきていると思います。そのような状況の中で、エンジンあるいは燃料に要求される課題は、今まで以上に厳しく、多様になり、それを解決する技術的な困難さも、今まで以上に大きくなっていくと思われます。まずは、それぞれのご専門分



野で、特に地球環境との関連で、今取り組まれている研究開発の話を知りたいのですが、飯田先生、最初に話題をご提供いただけますか。

飯田 大学で内燃機関の研究を、特に排気をきれいにして社会に役立てようという掛け声のもとに、学生とともにやっています。

以前、学生に「先生の車は後ろから煙が出るよ」と言われたことがあるんです。(笑い) 古い車でも大切に乗りようということを示したかったのですが、排ガスという観点から見ると、マイナスに影響しているんですよ。ということは、古いものをどんどん捨てていかなければならないということで、そのあたりにも今の環境問題の難しさがあると思います。たしかに、ワープロで「ハイキ」を変換すると、「排気」と「廃棄」が出てきます。今、中国やインドの市場が非常に有望視されていますから、そこには当然、大量の自動車が普及するでしょう。すると、日本で見てきた問題がそのまま世界の問題として出現してくるわけですね。その時、人類とか地球のキャパシティは耐えられるのか。将来の技術開発は今の延長線上だけで考えるのではなく、違った見方で方向修正する必要があるのではないのでしょうか。

内田 テレビや雑誌等で見ると、これから自動車が普及していくであろう国々でも、特に都市部での大気汚染というのは厳しい状況にあるようですね。車の販売、消費に関しても、環境問題に取り組みながらでないと、自動車の市場そのものを閉塞してしまうんですね。

小嶋 一口に環境保全と言っても難しい問題があると思います。ちょっと前まではHC(炭化水素)、CO、NOxなどを低減すれば良かったのですが、今は、地球温暖化の原因であるCO₂も低減する必要があります。希薄燃焼のようなものはCO₂は低減できるけれど、必ずしも排気の質と両立できない局面もでてきます。そういうものを、どのようにバランスをとっていくかが我々自動車メーカーも自身の見解をもって進めていく必要があると思います。それが、今の環境問題の特に難しいところですね。

内田 エンジン自体、選択肢がたいへん増えてきていますね。リーンバーン、直噴しかり、CNGがあり、電気やハイブリッドがあり、今後、環境問題とからんでどう推移、発展していくのが課題ですね。

司会 エンジン開発と切り離せない燃料の方の開発状況はいかがですか。

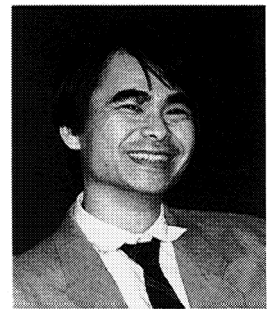
仙北屋 我々の場合ですと、ベンゼンを減らしたガソリンを、プレミアム、レギュラーとも先陣を切って販売してきました。今後の状況を考えますと、ガソリンの場合は比較的成分調整が可能ですので、ある意味ではやりやすいですね。難しくなるのはディーゼル燃料だと思います。

もう少し付け加えると、これからは、車の対策と燃料の対策とをいかに総合的に組み合わせる良い方向を狙っていくのが重要なカギを握っていると思います。昔の話ですが、芳香族が多いとNOxが多いという話が文献の中にありました。しかし実際には、メカの影響ではないかと思ったわけです。この場合、芳香族と比例して密度も変化しており、密度の影響で噴射時期が変化したため、NOxも変化したと考えました。

環境問題を解決する場合、メカで解決できる問題なのか、燃料で解決しなければならない問題なのかをきちんと区別する必要がありますね。燃料の組成をいじるのは、燃焼的に必然性がある場合ですね。エンジンと燃料の間で、そこまでのコンセンサスが取れていないし、共有化もされていないのが現状だと思います。

司会 燃料あるいはエンジンからのアプローチを考えるにしても、市場の動向、とくにアジア地域の今後の発展をどう捉えるかが重要になりますよね。

仙北屋 東南アジアの石油需要が増えてくることは、我々も非常に興味を持っています。たとえば中国での車の普及を考えた場合、ガソリン指向になるのか



飯田 訓正氏

燃焼工学・内燃機関を専門とし、近未来形エンジンの研究開発を担当。最近では代替燃料や自動車のLCAの最適な導入方法にも研究分野を拡張しています。

ディーゼル指向になるのかということによっても、ガソリンや軽油の需要構成が大きく違ってきます。

小嶋 ディーゼルとガソリン、あるいは直噴のような、ある意味では中間的なものまでそれぞれ研究開発が進んでいますが、将来的には、ディーゼルはディーゼルとして最高の技術レベルにしていこうとか、ガソリンはガソリンとしてというのではなく、トータルとしてどのようにしていこうかという、ある程度ポリテカルな面での検討が必要になってきているといえます。

80年代から90年代の前半までは、環境という意味では割合安定していた時期で、理論空燃比で三元触媒を使うという、技術的には同じスタンスで進んでいったと思うのです。ところが、これから2000年前半にかけては、ベンゼンやアルデヒド、ガソリンのPM(粒子状物質)などの微量物質の規制、さらには、インフラの整備を含めた燃費の向上など、技術開発の対象が非常に多様化しているという意味では、戦国時代なのかなと思います。



内田 謙一氏

排気に関する計測全般を担当。最新のシーズを駆使して新たなニーズを発掘したいと、日夜知恵を絞っています。

見えることが環境問題認識の第一歩

司会 たとえば、エネルギーとかCO₂負荷を減らすということを考えた場合、最適な選択肢というのはメーカとして決まっているのでしょうか。

小嶋 電気自動車でも、CNG車やハイブリッドでも、環境にやさしい車を作ったとしても、ユーザに使ってもらわなければ結局何にもならないわけです。インフラも含めた市場の必要性をきちんと読んでいかないと、悪い言葉でいうと、技術者の自己満足ということになります。まさに今我々が悩んでいるのは、技術とは違うレベルで、市場にどうやって受け入れられていくのかということなのです。たとえば、昨今世の中の人が、環境に対して非常に敏感になっているので、以前と同じ値段でより排気のきれいな車なら買ってくれるでしょう。それでは、どれくらいの値段なら買ってもらえるのかということが読めないところです。

飯田 きわめて卑近な言い方をすれば、人間は見えないとだめですね。ある先生がおっしゃってたけど、バスの排気管なんかも、自分の後ろにあるから自分の煙が見えないんで、あれをぐるっと前にまわしてフロントガラスに煙を出すようにしたら、煙の出ないような運転を心がけるし、バスに乗ってる人も「この運転手さん運転しようずね」とか、「このバス会社はいい車を使ってるのね」なんて話にもなりますよね。(笑)

仙北屋 我々の場合、排ガスに効果があるエコマークを取ったガソリンを売っているのですが、それで売れるかというところ、そうでもないわけで、やはり先生がおっしゃるように、見えないといけないんですかね。(笑)

齊藤 先日イギリスから、排ガスの研究を担当されている石油メーカの方が来られた時の話ですが、地球を守る、環境を守るということは、人間の当然の勤めだから、ガソリンが1割高くても、きれいな排ガスのためであれば、それは十分に市場価値があるとヨーロッパでは認められていますと言われていましたね。

仙北屋 環境問題が、北欧ではより深刻なんじゃないかな。紫外線の問題とか、温暖化によって北極の氷がとけて国がつぶれるとか、大理石の古い建物が酸性雨でいたんだりとか、目に見えてますからね。

社会全体のシステム整備を

飯田 これまでは、自動車の利便性とか快適性、あるいは低燃費の経済性とかを追求してきましたが、自動車を含めて社会全体をどう変えていくかという視点も大切でしょう。たとえば、趣味とか個人用に1台の車は所有してもいいけれど、それ以上は、公共の自動車が良いのではないかと思いますね。通勤は、家か

ら駅まで公共の電気自動車で行って、電車に乗れば良い。その電気自動車というのは、レンタカー会社が運営してもいいし、自動車メーカーがおやりになってもいいわけです。PHSで車を予約しておいて、カードを使って暗証番号さえ入れればすぐに乗れるような有効利用システムです。今の情報ネットワークとか通信網を使えば、そういうシステムが可能なのではないかと思うのですが、ちょっと話が大きすぎましたね。(笑い)

小嶋 今、先生がおっしゃった交通システムとして考えていくことは、確かに一つの方向だと思います。その整備と、環境負荷の少ない魅力的な車を個人で持つというのは、必ずしも相反するものではなく、そういうものを共存させていくことが一つの方向なのかなという気がしますね。

齊藤 アメリカにはカープールというシステムがあって、何人以上の事業所は、車で通勤する人の何割かは乗合でいっしょに乗ってきなさいというのがあります。個人的な楽しみとしての車は残しつつ、楽しみ以外で車を使う場合は、このような対策などによってCO₂を削減し、排ガスを出さないようにしていくという方向にもっていかなければ、これからの社会に生きられないのではないかと思いますね。

足立 皆さんがおっしゃるように、社会のシステムとして環境負荷を削減するしくみを実現できたとしても、エンジン技術者さんあるいは燃料を考慮しておられる方々は、技術目標として、高効率低エミッションの車をいつまでも追い続けられるのではないのでしょうか。

小嶋 完全に対策の終わった新車の場合だと、条件によっては排気ガス中の有害物濃度は吸っている空気より低い場合もありますよね。しかし、それでもエネルギーやCO₂の問題は解決しているわけではありませんから、そういった問題をどう解決していくのかというのが次の課題かなと思っています。

飯田 燃費の向上ということに関しては決定打はないと思います。いかに少量の車を大量の人が使っていくかということと同時に、燃料以外の資源をいかに上手に使うのが問題になる。できるかどうかはわからないが、車体は長く使うけれども、エンジン部分だけは古くなったら、燃費向上した新型エンジンと取り替えることのできるようなシステムを考えられないか。パソコンのCPUだったらインテルが作っているように、たとえば、エンジンだったらトヨタさんが、あるいは日産さんが供給する、エンジンを付け替えて、1台の車体を長く使うシステムです。排気および燃費の解決策をエンジン屋さんだけが考える時代はもう終わったんですね。エンジン屋さんもがんばりますが、地球規模の環境問題を議論する場合には、それだけでは解決できないと思いますね。

エンジン、燃料、計測の協力による問題解決 ー共通の定規ー

司会 最初に仙北屋さんがおっしゃったように、エンジン屋さんと燃料屋さんなどが協力しながら、またそれぞれ個別に解決しなければならないことは何なのでしょうか。

仙北屋 いずれ、細かいところまで規制されてくると思うのですが、その規制対象が本当に妥当なのかということと、それをきちんと分析する手段があるのか、そのあたりがわからないところですね。

内田 そのために、エンジンを開発している人たちが、製造の難しさを含めて燃料を知ること、それから石油メーカーさんは逆に車、エンジンを知ることが必要ですね。その共通の土俵が排気であり、測るところにも関係してくるんですね。測り方の共通化ということも含めて、今まさに、同じ土俵の中に両者が入ったところですね。



小嶋 一雄氏

入社以来エンジン開発に従事。最近では総合研究所で排気の企画研究から市場品質まで全般を担当し、将来の自動車のエネルギー源について夢を広げています。



仙北屋 茂夫氏

主に輸送用燃料の品質向上を担当。本年7月1日より石油産業活性化センタ石油基板技術研究所に出向し、自動車と燃料による環境改善に取り組んでいます。

仙北屋 ディーゼル排気中のSOF(可溶有機成分)の成分分析に関しては、世の中で共通化された、標準的な測定法というものがないんですね。ベンゾ(a)ピレンが問題だということはわかっているのですが、それが燃料の問題なのかメカの問題なのかという、わからないんですね。

司会 今、SOFの計測のお話がでましたが、内田さんはどう測るかということで、当社に対し厳しい課題をいただいています。(笑) ご苦労話などを。

内田 規制などの新しい課題があるときには、まず社内で検討と測定を始めるわけですが、それを共通の土俵で定量的に議論していく場合、何で、どう測るかという共通の定規が必要になってきますよね。しかし、それが特殊な成分になってくると、共通の定規にするということがむずかしいフェーズに入ってきています。そこをどうしていくかが、計測からみた最大の課題だと思います。一方、社内で開発なり、解析しているときには、逆に細かい定量性ではなく、いかに微細に、他の成分と同時にという解析的なニーズの方が強くなってきています。その両方が必要ですね。経験的に、ツールが変われば見える世界が変わってくるというのも事実です。同じ成分でも速さが変われば、データが変わる。成分がふえれば情報量が増えてきます。

齊藤 イギリス政府がガソリンエンジンからのパーティキュレートの人体への影響ということを発表してから、パーティキュレートの粒径計測という動きが出てきています。サイズがあつてないようなパーティキュレートを定量化し、どのレベルから人体に影響があるのかを決めようと動いています。このようなむずかしい成分になってくると、共通の定規というものが非常に重要になってくると感じます。

小嶋 パティキュレートの粒径分布を取れる装置はないのですか。

足立 決定的な手法はまだ存在しませんが、数々の手法があり我々も研究しております。最新の例としては、パーティキュレートを1つずつヘリウムのプラズマの中で燃やして、発光の強さと波長で元素分析をすると同時にパーティキュレートのサイズも測るというものです。これは横河電機さんが開発された技術を応用したのですが、たくさんの方々に興味をもっていていただきます。

内田 パティキュレートが一番むずかしい成分であると思います。なぜかというと、物理的とか化学的な定義がきわめてあいまいな物質というか範囲で、計測ツールを考える側からすると、そこが決まらなると新たな計測手段も決められないという面があります。

司会 パティキュレートに関しては、本来問題がある物質とは何なのかを排ガスのトータル成分としてきちんと捕えていかなければならない。この点からは、我々計測機器メーカーは、答えきれていないかと思っています。

飯田 希釈トンネル法は、最初の段階としては非常に賢明な方式だったと評価しているんです。だけど今、発癌性の問題に関して、ニトロピレンやベンゾ(a)ピレンなどの芳香族が問題なのか、それともDry sootと言われるカーボン粒子が問題なのか議論されています。成分に加えてサイズが問題になっているのは、最近ですよ。火炎中では30nmとか50nmのサブミクロン粒子が観測され、排気管出口ではミクロンオーダーまで肥大した粒子が存在する。その中のどれが発癌性に絡むのか、あるいは発癌性の引き金になるものとサポートするものはどれなのか。そこは神のみぞ知るで、どこまで分析してもわからないと思うんですよ。(笑) でも、サイズをきちんと計れること、あるいは分析することから、科学的な全ての論議が始まります。ですから、調べる手段は非常に大事だと思います。

齊藤 先ほど内田さんがおっしゃったように、解析ツールとして、たくさんの方の情報を見てみて、できることかできないかがわかるのであって、細かいことが測れて、初めて簡便なもので良いということになる。

内田 計測をやっているいろんなことが全部見えるというのは、うれしいことだと思いますが、見えて何がうれしいのという質問に対して、答えに詰まる場合がありますね。(わかるなあ。笑い) 何がうれしいかはこれから考えるんだけど、そこはつながるようでつながらない場合もあるし、むずかしいところですね。

飯田 燃焼でいえば、ダイオキシンの問題と同じですね。理想的には、すべての成分がわかって、その成分のそれぞれが人体にどういう影響を与えるのかがわかると良いですね。実際には、生体の方は生体の方で、免疫機構とか学習機構とかがありますから、難しいのですが。ただ、計れないことには議論が始まらない。さきほどの粒径の問題にしても、成分の問題にしても、成分がわかれば相関はつかめていくと思うのです。

仙北屋 どちらの影響が大きいかわからないままに、燃料の組成をよくしるとかエンジンの対策をしるとかなるわけですが、一定の経営の中で開発しているわけですから、厳しい面もあるわけです。

司会 理想的なエンジンとか燃焼の研究というのはあると思うのですが、理想的な燃料の研究というのはあるのですか。

仙北屋 オールマイティーにガソリンを作ることはできません。ある車に対して、どんなガソリンが良いのかということは考えられますが、先ほどから出ていますリーンバーンに適した燃料というものも、概念としてはあります。世の中でリーンバーンという普遍的な概念があって、これが将来普及していくとなれば、それに合わせたガソリンを当然考えていくことになります。

小嶋 自動車側からも、排気だけの側面なら高くてもいいからこんな車を作れないかというのがいえるのですが、自動車トータルとしては、まだ方向性は定まっていないと思います。

飯田 そうですね。たとえば、リーンバーンでエンジン屋さんが燃費とNOxとのトレードオフとの関係でがんばっていく。あるいは、燃料屋さんがパーティキュレートであれば硫黄分をどこまで減らそうかと考えていく。問題は、どこで誰が負担するかということですね。エンジン側で負担すべきなのか、燃料の精製のプロセスで負担していくのか。どこでどれだけ寄与しているかがわかった時点で、それに合わせて、一番経済的に負荷の少ないもの、環境負荷の少ないものを選択してゆくべきです。

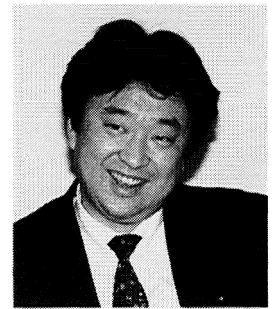
今後の計測機器に求められるもの

司会 研究開発に共通の定規が重要なことは良く分かりました。次に計測関連の技術に対して、現場で困っておられることや考えておられることをお話してください。

内田 排気計測をするとき、片方には測定成分があって、もう一方には濃度範囲、応答速度、干渉影響などのような3つ4つの項目があるマップを作って、今、何があって、何がぬけているかを確認しています。触媒の中はあまり見えていないので、そこを簡便かつトランジェント状態が測れるものが欲しいですね。

小嶋 ユーザの矛盾した勝手な言い分なのですが、1つは情報を加工して欲しいなと思います。反面、見る観点が刻々と変わってきますので、ユーザのニーズに合わせた処理ができるようなフレキシビリティが欲しい。さらに、メーカーごとの独自のデータベースシステムと相容れる様な、データ処理というような観点が欲しいですね。

齊藤 情報の加工とフレキシビリティというのは、一番むずかしいところですね。お客様がどのような試験をし、そして、どのような結果を求めておられるのかということを知らないと、そこには入っていけない。計測機器メーカーとしても、エンジンの開発についての知識を上げていく必要があると思います。



齊藤 壽一

エンジン排ガス計測機器の製品開発・販売企画を担当。8年余りの海外勤務の経験を生かし、欧米はもちろんアジア諸国の環境問題にも寄与できることを願っています。



足立 正之

エンジン排ガス計測機器の研究開発を担当。FTIRに始まり、高速ガスクロ/マスなど最先端の分析技術の排ガス計測への応用に取組んでいます。

足立 膨大なデータをより高速にという時代なんですね。われわれの製品も、単なる排ガス分析から始まって、エンジンラボにおけるシステム全体を統括できるラボラトリーオートメーションへの要求にお応えしてきた歴史があります。

司会 いろいろなわけのわからない未整理のデータがカオス状態であった場合、結果的には一人一人のエンジニアの感性とか特性が素晴らしい結果を生み出していると思いますが、それは踏み込めない領域だと思いますね。そうではなくて、自ずと果たす役割があるような気がするのです。

内田 そういう意味では、料理しやすい素材を提供いただくことが必要な。人によって切り出し方が違うし、同じ情報でも見える領域が違うんですね。ですから、料理しやすい素材をテーブルにシャープにそろえていただいて、料理は技術屋さん、開発に直結している人がやるということになるかと思います。

仙北屋 私どもは汎用の分析計を使うことが主体なんですね。分析計の精度をきちんと保ったまま保守管理していけるかが一番気になるところです。

足立 トレーサビリティの問題ですね。基本的には、スパンガス、検量線、干渉の3つを押さえれば良いのです。今は全て自動的に測ってしまいますからね。

内田 こんなことを言うと、古い人間だと思われるかもしれないのですが、データが妥当なのかどうかを常にチェックしながら計るべきだと思うのです。今の若い人たちは、数値が出てきたら、それが真値だという前提で話しますけれど、それではいけないと思うのです。

飯田 うちの研究室に笑い話があります。後輩が「先輩、再現性がありません」というと、先輩が「2回も測るからだ」と言ったそうです。(笑い) それくらい再現性というのはむずかしいですね。

足立 計測というのは、計測器自体の精度だけをいっても、実験の条件とか、システム全体のトレーサビリティがあるかどうかという問題もありますからね。

仙北屋 途中過程の、ダイナモとかエンジンの制御の状態が悪いとか、いろいろなことがありますよね。でも、それをトータルにチェックできにくくなってきているのです。

齊藤 良い結果を出すためには、全体のマネージメントが大切ですね。計測器もはかるという目的を達成することと同時に、総合的なマネージメントの中で位置づけられていくべきだと思います。そのあたりのコンセプトを我々も学んでいく必要がありますね。もちろんメンテナンスとかも含めて。

小嶋 低濃度になりますと、我々が一番悩むのは、どこの精度を上げたら良いのかということです。それに関しては、餅は餅屋といいますから、ホリバさんの方がプロだと思いますので、サンプリング系のラインまでも含めた、トータルとしての保証を考えてもらえたらありがたいですね。

21世紀を見つめて

司会 貴重なご意見を多数いただきましたので、そのご意見を反映したより良い分析計づくりに努めていきたいと思えます。時間もそろそろまいりましたので、最後に皆様方にひと言ずつ、21世紀に向けて、仕事を通じて抱いておられます夢とか目標をお話いただければと思います。

小嶋 個人的な趣味で自動車会社に入ったのですが、昨今の環境問題を考えると、社会的な責任も感じます。これからも、ライバル会社と競争していくのですが、同時に社会的な部分というのは協力しながらやっていく必要があると思っています。企業を離れた個人としても、社会的に貢献していきたいと思えます。

仙北屋 環境問題は避けて通れないということは、皆さん共通の認識だと思います。そこで何が大事かという、研究開発のスピードと成果をいかに達成して

いくかということですね。自動車屋さん和我々が協力していく中で、分析メーカーさんもいっしょに入っただいて、困ったことをお互いに解決しながらやっていけたら良いのではないかと思います。

内田 今のところはおかされた、見えたで喜んでいただけなのですが、次の段階としては、はかれた見えたで何がうれしいのかを発言していきたいと思います。その時には、新しいものがはかれた、見えたでなければならないわけです。そこではホリバさんには無理難題をお願いするかと思います、是非いっしょにやらせていただけたらと思います。

足立 お話にでましたように現状は感度向上や数々の手法を適用することによって、はかれた、新しく見えたということで喜んでいらっしゃる段階ですが、もっと先まで見通すと、それによってエンジンあるいは車の開発において何がうれしいのかをこちらから提案できるようになりたいと考えています。

齊藤 はかろうとしているものがはかれるのか、それが真値としてはかかれているのか、ユーザが求められているレベルではかかれているのか、そこに近づけるように努力していきたいと思います。

飯田 今までのエンジン技術者は燃費の良いエンジンであるとか、スムーズなエンジンであるとか、排気ガスがきれいなエンジンを作ってきたし、これからもその努力は続いていくでしょう。でもここに来て、みんなでどういう使い方をしたらいいのかということを考える時期にきています。エンジニアの技術ができるだけストレートに社会に貢献していくには、どういシステムを作ったらいいのか。それを経済学者たちだけにまかせておいてはいけない、エンジニアの立場からも考え、それから、まったく知らない素人の人に橋渡ししていくことも大切です。自分自身も、そのようなことを理解できる次世代の若い人を大学で教育していきたいと思っています。

司会 我々は環境問題に対して、計測器を通して、縁の下の力持ちで関わっているわけですが、改めて、エンジンや燃料などの先端技術をサポートしていくことの重要性を感じました。個人としても環境問題を考え、また、まわりの人、次世代の人に伝えていけるよう、少しでもお役に立ちたいと思います。

本日は大変お忙しい中、有意義なお話をありがとうございました。

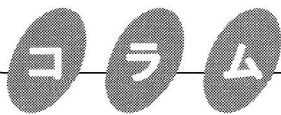


石田 耕三

研究開発・生産・販売にわたる経営全般を担当。パティキュレートなどエンジン計測に興味は尽きませんが、持てる資源の効果的な配分に苦慮しています。

The Environment , Engines, and Measurement Technology

Technical opinions were exchanged at a discussion meeting held at Horiba on automobile engines and the environment, and the measurement technologies that help scientists and engineers in these fields. The topics included the relationship between the type of fuel and the mechanical design of the internal combustion engine, fine particulate emissions, chemical compounds that are not yet regulated, fuel consumption related to the carbon dioxide problem, algorithms that can combine various data into easily read analysis results, and the traceability of measured values. The guests at the meeting were Professor Norimasa Iida of Keio University, an expert on the combustion science, Mr. Kenichi Uchida of the R&D Center of Toyota Motor Co., Ltd, Mr. Kazuo Kojima of the Power Train Engineering Div. of Nissan Motor Co., Ltd, and Mr. Shigeo Senbokuya of the Petroleum Refining Technology Center of Idemitsu Kosan Co., Ltd. Mr. Juichi Saito and Mr. Masayuki Adachi from the Engine Measurement Department of Horiba also joined the discussion. The meeting was conducted by Dr. Kozo Ishida, the senior executive of HORIBA, Ltd.



エンジンな人

かつて人類は、人力、馬力、風力、水力などの自然の動力源に頼っていた。ジェームズ・ワットが効率の悪かった初期の蒸気機関を改良し、回転式蒸気機関を発明してからは、エンジンが紡績機、製鉄法、交通機関などのさまざまな場で利用されるようになった。いわゆる動力革命である。

ここまではよく知られている話だが、少し違った角度から、エンジン(engine)を「言葉」としてながめてみることにしたい。

手近の英和辞典を調べると、「エンジン」あるいは「機関車」などという意味しか載っていない。好奇心に誘われて、Oxford English Dictionary (通称OED) のengineのページを開いてみた。

engineには動詞、名詞、共に実に様々な意味がある。その中で、特に興味をひかれたものが、“Native talent”と“genius”である。エンジンは天才？疑問に思い読み進む。engineの語源は、遡ればラテン語の*ingenium*であり、「生まれ持った、独創的な、工夫に富んだスキル」といったnatural abilityを表す言葉であった。geniusは「生まれつき才能がある」、転じて「天才」。今日では殆ど意識

されていないが、「すばらしい発明・考案(の才能)」、「賢明な発明」という意味があったのだ。

それでは、engineに接尾辞erのついたengineerは何か。すでに触れたラテン語の*ingenium*を念頭において考えてみよう。すると、「生まれながらに才能のある人、あるいは技術を本来兼ね備えた人」という意味にはならないだろうか。OEDにも“engine”もしくはenginesを扱う人」と書かれている。かつてエンジニアと呼ばれた人たちは、才能をすでに授かって生まれてきたと考えられていたのだろう。それが現在では、「技術者、機関士、技師、あるいは機関車、エンジン、自動車をデザインする人」といった「大学などで技術を修得した人」と一般的に考えられるようになったのだ。

機械の動力源であるエンジン、これは、人類が創意工夫をこらした装置である。産業革命をもたらしたengine(=すばらしい発明品)は、今日、我々の生活に必要な不可欠なものとなっている。これほど、人間の生活を変えた発明品は、他にないだろう。そのようなエンジンを創りあげることのできる人間には、幸運なことに、“engine”そのものが生まれつき授けられていると言えるのではないだろうか。

(知的所有権部 宇野 さやか)

エンジン計測システムの発展と方向性

A Study on the Automation of Automotive Engine Laboratories

中村 成男・米重 芳一
Shigeo NAKAMURA and Yoshikazu YONESHIGE

【要旨】

掘場製作所は、エンジンの計測の自動化による作業効率の向上のために各種のエンジン計測システムを開発、提供してきた。近年、計測関連業務のさらなる効率改善のために、システムの高度化、共通化が求められている。本稿では、エンジン計測システム発展の経過をレビューし、今後の進むべき方向性について論じた。

Abstract

Many of the data useful to developing new engines are obtained through experiments in engine laboratories. Today, the computer plays a major role in the laboratory and there is a great variety of application software designed for various projects, independent tasks, and new hardware devices. The standardization of measurement systems and related items are discussed in this paper with the intention of making laboratory procedures more efficient.

1 はじめに

エンジンは、常に高効率への要求と環境へのやさしさとの最適化をはかりながら発展してきた。ここ20年で、燃料の消費率は30%向上、排ガスの清浄度は10倍にと飛躍的に改善されている。これには、エンジンをきめこまかく制御するための数多くのデータが必要となるが、これらは実験的に求められる事が多く、このため計測の自動化による効率向上の必要性がますます増加している。

一方、エンジンの実験・計測作業の自動化はコンピュータの進歩とともに発展してきたが、生産の合理化や省力化に比べると進展が遅く、労働集約型の作業になってきている。本稿では、エンジン計測システム発展の経緯をレビューしつつ、今後、より合理化を進めるために、システムの共通化に対する一つの考え方を提案する。

2. 発展の経緯

エンジンの計測システムの発展と言えば、コンピュータの発展の歴史とともに進化してきたラボラトリーオートメーションの変遷そのものと考えて良い。そのシステムの構成や作り方などに注目しつつ、次の4世代に分けて発展の経緯を紹介する。

2.1 第1世代「混沌の時代」＜一品一様システム＞

エンジン計測システムは、他の産業と同じように、簡単なシステムを実験者自身が製作するところからスタートした。第1世代では、コンピュータは大型コンピュータからマイコンまで各種のハードが、オペレーティングシステム(OS)にはモニターレベルから各コンピュータ専用のOSが、ソフトウェア開発言語にはアセンブラやFORTRANなど種々雑多のソフトが使われた。

一方、システムは、大規模集中処理が良いとする意見や個別分散型を採用すべきとの議論があり、完全に一品一様のシステム構成で、その資産が再利用されることはなかった。

2.2 第2世代「EWSとPCの台頭」＜OSが牽引の時代＞

第2世代では、計測用ハードとしてはワークステーション(EWS)やパソコン(PC)が多用され始め、EWS-UNIXに代表されるような分散型でネットワークを組む方法が主流をとってきた。開発用の言語も高級化して、後半にはC言語が主流になり、同じOSの範囲内ではデータの交換や解析ができるなど、他のソフトを有効に活用できるようになった。

このように計測システムの大枠が固まってきたが、システムの拡張やソフトウェアが容易に変更できない問題なども目立ってきた。

2.3 第3世代「Windowsの時代」＜プラットフォームの標準化＞

第3世代では、分散型のハードウェアを通信回線で接続し、すべてをWindows™でコントロールする構図が出来上がった。開発環境の標準化が進み、システムの拡張性向上、データの互換性拡大、多言語化などはかなり改善されたが、多様なアプリケーションソフトへの対応力が課題となってきた。

2.4 第4世代「標準システムの時代」＜アプリケーションの流通＞

まだこれからの世代と見ているが、第3世代でのアプリケーションソフトでの問題点の解決のために、ソフトウェアが規定のルールに則った部品として設計され、その部品が市場で流通する時代が実現するのではないかと期待している

このような変遷を経て発展してきたエンジン計測システムであるが、いつの時代にも問題を抱えており、それらのほとんどはソフトウェアの作り方であった。元来、ソフトウェアのようにたいへん開発費用がいるが転用のできる生産物は、一旦開発した後はできる限り多くの場所で使用されるべきだが、従来はこの特徴が十分に生かされてはいない。このような断面から、今後のあり方についての考え方を示す。

3 今後の方向性への一つの提案

前章で紹介したように、エンジン計測システムは多種多様なものが作られてきた。この原因は理論体系の欠如もあろうが、最大の課題は、システムの共通化、特にソフトウェアの効率的な開発と維持に尽きるのではなからうか。究極的には、ハードウェアの変更・更新には関係なく、一度開発したソフトを幅広く活用し、長く使えるようにすることが理想と考えている。

3.1 システムの作り方の協調化

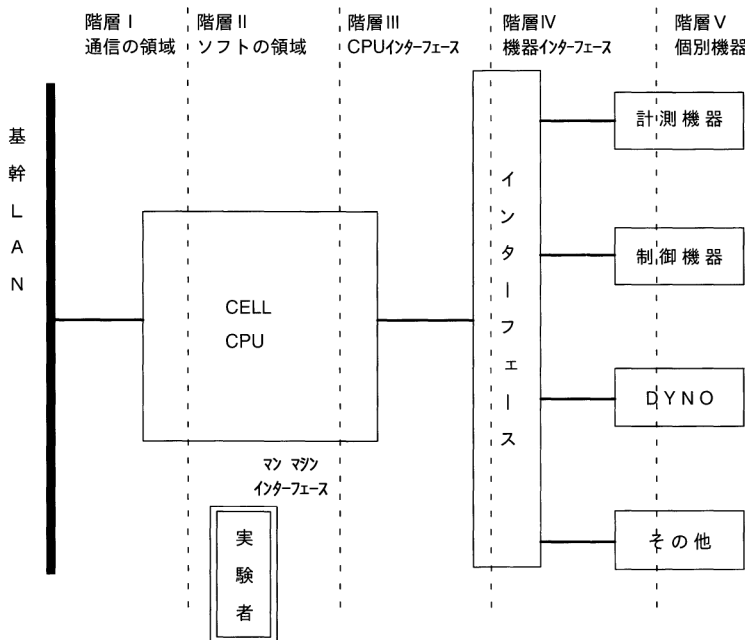
システムは設計者の思想に基づき作られるが、この思想そのもののベクトル合わせがないと、その後続く設計や、要素技術に共通項を求めることはむずかしい。

その時の、その環境での都合に左右されることなく、学会や業界などにおける共通化の思想などを積極的に取り込み、その上、システムを階層的に作るとの姿勢が重要である。

3.2 システムの階層化による共通化

システム全てを標準化することは理想だが、機器の発展、研究者の要望の変化などを考えると現実的ではない。そこでシステムを適度な階層に区分して、できる限り共通化をはかることを提案する。

下図に示すように、典型的なエンジン計測システムの構造をいくつかの階層に分けて、各階層での状態量の定義やソフトの作り方の共通化をはかろうとするものである。従来、計測機器は個々の機器メーカーが製作し、一方、ソフトウェアは別メーカーが担当していた。ここで提案する階層化とは、ソフトウェアの中で、各機能ごとに階層を定義するもので、その一部にはハードウェアも含まれているとの考え方である。これは、ソフトウェアの流通を促すための界面の定義と言うこともできる。



エンジン計測システムの階層構造
Hierarchical structure of engine measurement system

3.3 個別機器とのインターフェースの共通化

次は各階層における処理の一般化・共通化である。これまででも、通信形態や言語を指定して既存の機器の再設計をするケースもあったが、得られた効果は必ずしも十分ではなかった。これらの経験を踏まえて、階層IIとIIIの「ソフトの領域」部と「CPUインターフェース」部の接続の標準化に進むのがより良いと考えている。そして、階層IVについては緩い標準化が、階層Vの機器についてはメーカー個々の特徴を残す方向ではないかと考えている。

3.4 ソフトの領域での共通化

この領域のソフトは、エンジン計測システムの主機能を作り出す最も重要な部分であり、最も開発費用がかかる部分と考えている。従って、ソフトの流通を目指すためには、この部分でのソフトの作り方に共通のルールが必要となる。

3.5 その他の部分の共通化

これらの他に、通信の定義、その上位のデータベースの定義あるいはグラフィカル・ユーザ・インタフェース(GUI)の共通化、市販ソフトの導入など共通化には種々の課題がある。特にGUIの共通化は、本システムを使用する人にとってはたいへん有益であり、早急な対応が必要と考えている。

以上のようにエンジン計測システムの階層化をはかり、処理やソフトの作り方の共通化を推し進めることにより、ソフトの流通性への基礎ができると期待している。一方、このような方向は、自社の特徴がなくなると心配される方もあるが、システムの構成を共通化して、多くの共通のアプリケーションソフトが使用されたとしても、各ラボでの実験・研究の独自性が損なわれるとは思えない。むしろ、システム開発のための工数が少なくなり、その時間をエンジンそのものの開発に振り向けることができると確信している。

4. まとめ

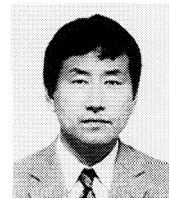
エンジン計測システムの構築について一つの面からの意見を述べた。エンジンの開発・設計作業の一層の合理化が求められる中、エンジン計測システムの標準化は緊急の課題となっている。当社は、世界中のいろいろなエンジン計測システムの分野において、積極的に共通化を推進したいと考えている。さらに、単に実験作業の合理化だけではなく、シミュレーション技術を導入して実験の数を削減しながら、良いエンジンをすばやく開発できる環境作りに貢献したいと願っている。



中村 成男

Shigeo NAKAMURA

エンジン計測システム統括部 副統括部長
1979年入社
エンジン計測用機器・システム開発の統括



米重 芳一

Yoshikazu YONESHIGE

エンジン計測システム統括部 マネージャー
1982年入社
エンジン計測用システムの開発

The Algorithmic Structure of the Air/ Fuel Ratio Calculation (There is really only one A/F ratio equation.)

William M. Silvis*

<Abstract>

A confusing number of equations have been developed and published for calculating the air/fuel ratio of an operating engine from the composition of its exhaust gasses. These equations make varying use of the information available from the gas concentration measurements, but all are based on the same physics and chemistry of combustion. The MEXA 9000 line of motor exhaust analyzers had been required to support 72 different equations of this type. It can be shown that the combustion chemistry has a structure that can be used to design a single algorithm that duplicates the results of these many equations. The new MEXA 7000 series uses this algorithm to simplify the measurement of this important parameter and provide the user with greater flexibility.

1. Introduction

There seems to be an uncountable number of different equations for calculating the air to fuel ratio of an engine's combustion process from its exhaust emissions. As an example, in our company, the control computer for the MEXA motor exhaust analysis system had been required to support 72 such equations. Many authors have published papers that are referenced as sources for them.

However, there is only one mother nature. All of these equations are based on the same chemistry and physics of the same combustion phenomena. This paper presents a unified method, an algorithm, that produces the same results as any of them. Elements of the calculation that describe the fuel and air properties are

* Horiba Instruments, Inc

空燃比計算のためのアルゴリズムの構造 (空燃比計算式は、実際には一種類しかない)

1 はじめに

排気ガスから空燃比を求める計算式について多くの論文が発表されている。当社の自動車排気ガス測定装置では72種類の計算式が用意されていた。しかし、燃焼に関する自然の法則は一つしかなく、計算式は同じ物理化学に基づいている。

本稿では、これらの計算式と同じ結果が得られるアルゴリズムについて紹介する。燃料や空気の性状などを、パラメータを求める計算方法として表し計算を単純化している。また、測定の非理想状態に対する補正も多くを取り入れた。

2 空燃比計算式の簡単な歴史

D'Alleva¹⁾が最初に論文を発表し、排気ガス成分と空燃比との関係を説明した。排気ガス濃度から空燃比を読み取る図を発表し、1936年当時広く必要とされた。

included as parameters. Different utilization of the available information, which has resulted in very different looking equations, are presented simply as alternative methods for calculating the same parameter: the amount of water in the exhaust. Also, a number of small corrections for non-idealities of the measurement process, which are usually overlooked, are included.

2. A Brief History of the Development of A/F Equations

D'Alleva¹⁾ wrote the earliest paper regularly cited in the literature. He described the relationship between the exhaust gas composition and the air fuel ratio. He published charts that could be used to read the A/F ratio based on exhaust concentrations, according to the fuel h/c ratio. This was in 1936, when charts were a common and necessary engineering practice.

Spindt²⁾ published the next step forward. He published an actual formula using CO, CO₂, HC and O₂. It did not require an assumption of complete combustion.

In 1973, William Holl³⁾ at AC Spark plug published formulae that did not require a measurement for oxygen. Since the formulae are algebraically complex, he developed simplified equations by using power series approximations and ignoring the higher order terms.

In 1974 Simons⁴⁾ from the German TÜEV recognized that the extra degree of freedom provided by an O₂ measurement could be used to calculate the equilibrium constant K. This improved the agreement of his formula to measured test data. It showed that K could vary, and that it was generally lower than the 3.5 that was commonly assumed.

In 1979 Brettschneider⁵⁾ added terms to Spindt's equation to account for both water in the ambient air and to incorporate a measured NO_x into the equation. He also included terms for oxygenated fuels.

Thus the published methods fall into three classes, - those represented by Spindt/Brettschneider, by Holl, and by Simons. Each class distinguishes itself from the others in the manner in which the water from combustion is estimated. To see this, we look at some of the details of the algorithm.

Spindt²⁾は、さらに進んで、CO, CO₂, HCおよびO₂を用いて、完全燃焼を仮定する必要がない計算式を発表した。

1973年、William Holl³⁾は酸素の測定が不要な計算式を発表した。式は複雑であったが、べき級数近似による簡略式を開発した。

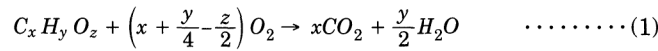
1974年、Simons⁴⁾は、O₂の測定により平衡定数(K)が計算できることに気づき、計算値と実測値との一致度が改善された。Kは変動し、通常仮定される3.5より低いことを示した。

1979年、Brettschneider⁵⁾は大気中の水分とNO_x測定値を考慮した項を、Spindtの計算式に追加した。また、含酸素燃料に対する項も加えた。

以上、発表された方法は、Spindt/Brettschneiderに代表されるもの、Hollに代表されるもの、Simonsに代表されるもの、三つのグループに大別される。各グループの違いは、燃焼による水分を推定する方法にある。

3. Building an Algorithm to Calculate A/F

First, consider the chemical equation for ideal complete combustion. This is the basis for computing the stoichiometric amount of oxygen (or air) that is used to burn a given fuel. This quantity is used to calculate the normalized air fuel ratio, lambda (or phi, the inverse of lambda), and this equation is a good start toward a practical chemical equation to describe actual combustion:



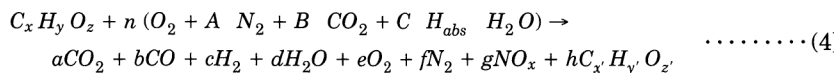
So we see that when the combustion is complete, and the mixture of reactants is stoichiometric, the moles of oxygen required are:

$$n_{stoich} = x + \frac{y}{4} - \frac{z}{2} \quad \dots\dots\dots(2)$$

For the more general case, there may be more or less moles of oxygen (air) than the stoichiometric amount. In this case, the factor lambda, the excess oxygen factor or normalized air fuel ratio, is used to describe the combustion chemistry. It is the ratio of the moles of oxygen actually used to the stoichiometric amount

$$\lambda = \frac{n}{n_{stoich}} = \frac{n}{\left(x + \frac{y}{4} - \frac{z}{2}\right)} \quad \dots\dots\dots(3)$$

It is clear then, that to calculate air fuel ratios from actual, measured exhaust gas concentrations, we need to calculate *n*, the amount of oxygen actually used in the combustion. To do this, we need a more practical chemical equation for the combustion, one that also accounts for the non-ideal conditions, such as incomplete combustion and the moisture and CO₂ already in the ambient air. An unbalanced chemical equation for this combustion that includes terms for these factors is:



To be able to calculate *n*, we obtain a set of equations for the unknown mole quantities by balancing this equation. We write 5 equations; the 4 atomic balances (C, H, O, N) and the total mole balance

$$\text{Carbon balance} \quad : x + n B = a + b + x' h \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{Hydrogen balance} \quad : 2 n C H_{abs} + y = 2 c + 2 d + y' h \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{Oxygen balance:} \quad z + 2n + 2n B + n C H_{abs} = 2a + b + d + 2e + g + z' h \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{Nitrogen balance} \quad : 2 n A = 2f + g \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$\text{Total moles(dry) balance:} \quad n_{tot} = a + b + c + e + f + g + h \quad \dots\dots\dots(9)$$

3 空燃比計算のためのアルゴリズムの構築

理想的な完全燃焼の場合、化学反応は式(1)で表される。この式は、燃焼に必要な酸素(または空気)の理論量を求める基本である。理論混合気が完全燃焼する時、必要な酸素のモル数(*n_{stoich}*)は式(2)で表される。

通常は理論量より多いか少ない酸素が存在する。この場合、空気過剰率(*λ*)が燃焼反応を記述するために使われる。*λ*は使用された酸素のモル数(*n*)と理論量(*n_{stoich}*)との比である。実際の空燃比を求めるには、不完全燃焼や大気中の水分とCO₂などを含む燃焼反応式が必要であり、これを式(4)に示す。ここで、C, H, O, Nの平衡と全体のモル数から式(5)~(9)を得る。

通常、水分を除去したHC, CO, CO₂およびNO_xの濃度が測定される。濃度とモル数とは式(10)の関係となる。式(10)は、既知のパラメータと濃度を測定するCO₂, CO, HCのモル数を含んでいるから、全モル数(*n_{tot}*)は式(11)から求めることができる。次に、酸素の平衡から、*n*を求める式(12)が得られる。

ここで、*n*を解き*λ*を計算するには、水のモル数*d*に対する式をまとめればよ

We normally measure the concentrations of HC, CO, CO₂ and NO_x. Concentrations are mole fractions. They are usually measured on a dry basis, that is, after most water has been removed from the sample. They can be related to the mole quantities by the following equation, ($n_{H_2O_{cooler}}$ is the moles of water left in the sample after it exits the cooler)

$$[X] = \frac{n_X}{n_{tot} + n_{H_2O_{cooler}}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

Since the first equation above includes only known parameters and mole quantities whose concentrations are always measured, CO₂, CO, and HC, it can be used to calculate n_{tot} :

$$n_{tot} = \frac{x + B}{[CO_2] + [CO] + [HC]} n \quad (1 - [H_2O]_{cooler}) \quad \dots\dots\dots (11)$$

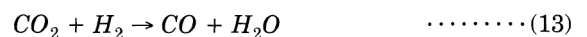
There are now the four unknowns, n , c , d , and f , and the remaining 4 equations. The oxygen balance provides a convenient solution for n :

$$n = \frac{2a + b + d + 2e + g + z'h - z}{2 + 2B + C} H_{abs} \quad \dots\dots\dots (12)$$

At this point, we only need to develop an expression for d , the moles of water, in order to solve for n and therefore lambda. It is also at this point that the methods of Spindt and Brettschneider differ from the methods of Simons. The differences in these approaches can be viewed simply as a difference in the technique used to calculate d . Brettschneider and Spindt use another chemical reaction, the water/gas reaction, and Simons uses the remaining two equations, the nitrogen balance and the total moles balance.

3.1 Brettschneider/Spindt Method

At the high temperature and pressures in the exhaust cylinder during the combustion of a rich mixture of air and fuel, the CO₂ and H₂O in the mixture dissociate, creating some H₂ and some CO. This is described by the following chemical equation for the water/gas reaction. These species reach an equilibrium described by the equilibrium constant for this reaction, K . The equilibrium depends on the combustion temperature and is influenced by catalytic converters.



The equilibrium is described by:

$$K = \frac{b \cdot d}{a \cdot c} \quad \dots\dots\dots (14)$$

い。この点こそが、Spindt/Brettschneiderの方法がSimonsの方法と異なる点である。Brettschneider/Spindtは、水性ガス反応平衡を利用しているのに対し、Simonsは窒素および全体のモル数の平衡を利用している。

3.1 Brettschneider/Spindtの方法

高い温度と圧力において過濃混合気が燃焼する時、CO₂およびH₂Oは解離し、H₂とCOが生成される。反応平衡定数 K は式(14)で示される。水素の平衡から水素のモル数 c の式が得られ、式(14)に代入して水のモル数 d が式(15)から得られる。

3.2 Simonsの方法

Simonsは、窒素および全体のモル数の平衡を利用して d を求めている。窒素、酸素および水素の平衡から f , n および c の式を求め全体のモル数の平衡、式(9)に代入すると、式(16)が得られる。

3.3 O₂の測定値がないときの方法

水性ガス反応平衡から d が既知のとき、式(17)によって酸素のモル数 e を求めることができる。これが3番目の方法、すなわち酸素の測定値がないときの発想である。

Next, from the hydrogen balance we can get an expression for the hydrogen moles, c , and substituting this into the equilibrium condition, we get the following expression for the moles of water:

$$d = \frac{y + 2 n C H_{abs}^{-y'h}}{2\left(\frac{b}{aK} + 1\right)} \dots\dots\dots(15)$$

3 2 Simons Method

Simons described another approach. His method uses the nitrogen and mole balance to find d . We can obtain expressions for f , n and c from the nitrogen balance, the oxygen balance and the hydrogen balance. Substituting those into the total mole balance, we get the following algebraic simplification:

$$d = \frac{\left(n_{tot} - a - b - \left(\frac{y-y'h}{2} + n C H_{abs}\right) - e - \frac{g}{2} - h\right) \frac{2+2 B+C H_{abs}}{A} - 2a-b-2e-g-z'h + z}{1 - \frac{2+2 B+C H_{abs}}{A}} \dots\dots(16)$$

3 3 Method when no O₂ measurement is available

Note that if d is known from the water gas equilibrium, similar steps can be used to calculate e , the oxygen. This is useful for cases when the oxygen concentration is not measured. This is the idea behind the third type of A/F calculation, the “no O₂” type.

$$e = \frac{n_{abs} - a - b - c - \frac{A}{(2+2B+C H_{abs})} (2a + b + d + 2e + g + z'h - z) + \frac{g}{2} - g - h}{1 + \frac{2A}{2+2B+C H_{abs}}} \dots\dots(17)$$

3 4 Fixed Point Iteration

At this point it is important to note that the equations above are circular. The calculation for n depends on d , which in turn depends on n . The circularity arises when some of the second order effects that are usually ignored are included. Of course, this could be resolved by a great deal of algebra and a very complicated closed form equation for n could be written. However, this is not necessary. It is convenient to use a fixed point iteration. We assume an initial value for n , use it to calculate d and subsequently another n . This is repeated until the new values for n are no longer significantly different. This happens after just a few iterations.

3 4 不動点反復法

上記の式が循環的なことが重要な点である。nの計算はdに依存し、dの計算はnに依存する。代数的に処理すると非常に複雑な式を解かなければならないが、不動点反復法によればその必要はない。nの初期値を仮定し、これを用いてdを計算し、続いて次のnを計算する。nの新しい値に有意差がなくなるまで繰り返す。

4 アルゴリズム

本提案のアルゴリズムは次のように要約される。

- (1) nの初期値を1.0, dの初期値を1.0とする。
- (2) 式(11)によってHC, CO, CO₂濃度からn_{tot}を計算する。
- (3) 式(10)によって各濃度からモル数を計算する。
- (4) 水のモル数dを次のいずれかから計算する。

BrettschneiderのK, つまり式(9)

酸素を測定しない場合は、式(17)によってdを使ってeを計算する。

または、式(16)からdを計算する。

4. Algorithm

The following steps summarize the algorithm:

- (1) Assume an initial value of 1.0 for n , and an initial value of 1.0 for d
- (2) Calculate n_{tot} from HC, CO, and CO₂ concentrations according to equation 11
- (3) Calculate the mole fractions from the concentrations and n_{tot} according to equation 10
- (4) Calculate the water moles, d , from one of:
 - the Brettschneider K formula, equation 15
 - If an oxygen measurement is not available, use this d and calculate e by equation 17
 - Or calculate d from equation 16
- (5) Calculate n from the total oxygen moles equation 12
- (6) Compare this to the old value for n . If the difference is small, go to the next step
 - Otherwise, go back and repeat, starting with the n_{tot} calculation, step 2
- (7) Once n is calculated, calculate λ from n/n_{Stoich} , equation 3

5. Example

As an example, we can compare the A/F ratio calculated from this algorithm to that from the equation published by Brettschneider. The following table shows a comparison using data he included in his paper. The algorithm and the Brettschneider equation give identical results.

Parameters		Exhaust C _x H _y O _z											
Fuel C _x H _y O _z		x'	1	No	CO ₂ %	CO ppm	THC ppm	NOx ppm	O ₂ %	Algorithm	λ B-calc	Diff	
x	1	x'	1	1	10.06055	77675.8	3975.0	360.0	0.17496	0.7811	0.78109	0.00%	
y	1.817	y'	1.817	3	11.49805	54423.8	3481.0	737.5	0.21246	0.8432	0.84322	0.00%	
z	0	z'	0	5	12.99805	29121.1	2856.0	1473.8	0.30621	0.9172	0.91719	0.00%	
Air		Bench		7	14.06055	10498.0	1715.5	2131.0	0.42493	0.9822	0.98224	0.00%	
Habs	4.85	Cooler 'C	na	9	14.39844	3843.4	887.5	2318.5	0.58118	1.0149	1.01489	0.00%	
[O ₂] _{amb}	20.99%			11	13.43555	1187.3	315.7	1938.8	2.04980	1.1025	1.10249	0.00%	
[N ₂] _{amb}	79.01%	K	3.5	13	11.89844	937.3	137.5	356.3	4.09277	1.2309	1.23085	0.00%	
[CO ₂] _{amb}	0.000%			15	10.94727	1093.6	278.2	87.5	5.28613	1.3213	1.32135	0.00%	
GMW _{air}	28.97												

An appropriate choice of parameters for this algorithm has been shown to duplicate nearly all of the 72 various equations that previously had been supported by individually programmed computer subroutines.

- (5) 式(12)から n を計算する。
- (6) 計算した n の値と前の n の値を比較する。差が小さければ次のステップへ、そうでなければステップ2に戻って n_{tot} の計算から繰り返す。
- (7) n の計算ができれば、式(3)から λ を計算する。

5 計算例

一例として本アルゴリズムとBrettschneiderによる結果の比較を次の表に示す。また、本アルゴリズムのパラメータを適切に選択することで、個別にプログラムされていた72種類の空燃比計算式のほとんどと同じ結果が得られた。

6 MEXA-7000 A/Fパラメータ画面

MEXA-7000にはタッチパネル式スクリーン(図)が組み込まれ、ユーザがパラメータを設定し易くしている。画面左側に燃料の性状を炭素、水素、酸素の原子数比 x, y, z として設定する。排気ガス中の未燃焼成分の原子数比は別に設定できる。中央に空気の性状を、右側に濃度測定値の詳細を設定する。計算方法は中央の

6. MEXA 7000 A/F Parameter Screen

In order to make it convenient for the user to specify the parameters that define this algorithm, a convenient touch panel screen, illustrated in the following figure, has been built into the Main Control Unit of the MEXA 7000 series emissions bench

In the upper left area are the fields for the properties of the fuel. These are expressed in the usual x, y, z notation for the molecular ratios of the hydrogen, carbon and oxygen. The ratios found unburned in the exhaust gas can be specified separately. The fields in the middle area can be used to specify the properties of the combustion air, in case it is useful to alter these to match the values used in a particular equation. On the right side one can specify details about the concentration measurements such as wet or dry basis or if an assumed value should be used. The method for the calculation is selected by a drop down list in the center.

As an important added convenience, sets of these parameters can be saved under a user definable name for quick recall. This makes it a simple matter to switch the calculation for different fuels or sampling points.

ドロップダウンリストから選択する。さらに、一連のパラメータは保存・呼出しができ、燃料やサンプル採取点が変わっても計算方法を簡単に切り替えることができる。

7 結論

従来の空燃比計算式の多くを、一つの手順に置き換えるアルゴリズムを示した。簡単な反復法により、複雑な代数式を導入することなく、非理想状態に対する補正をすることができる。MEXA-7000のセットアップ画面とパラメータの設定で、測定成分やサンプル採取点の違い、ユーザの好みにフレキシブルに対応できる。

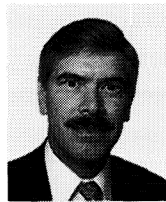
(抄訳 エンジン計測開発部 浅野一朗)

7. Conclusion

An algorithm has been demonstrated that can replace the myriad of available air fuel ratio equations with a single procedure. A simple iterative technique accommodates terms to correct for non-ideal effects without introducing badly complicated algebraic forms. Parameters to the procedure and a convenient set-up screen on the MEXA 7000 provide the flexibility to adapt to different available measurements, sample points, and user preferences.

References

- 1) D'Alleva, Basil A , "Procedure and Charts for Estimating Exhaust Gas Quantities and Compositions", General Motors Research Laboratories Report, GMR 372, May 15,1960
- 2) Spindt, R S , "Air Fuel Ratios form Exhaust Gas Analysis", SAE 650507, Society of Automotive Engineers, 1965
- 3) Holl, William H , "Variables for Emission Test Data Analysis ", Paper 730533, Society of Automotive Engineers, 1973
- 4) Simons, Wilhelm, "Berechnungen zur Bestimmung der Luftzahl bei Ottomotoren", MTZ Motortechnische Zietschrift 46 (1985) 7/8, p 257-259
- 5) Brettschneider, Johannes, "Berechnung des Liftverhaeltnisses λ von Luft-Kraftstoff-Gemischen und des Einflusses on Meßfehlern auf λ ", Bosch Technische Berichte, Band 6, Heft 4, Seite 177-186, Stuttgart, 1979
- 6) Silvis, William M , "An Algorithm for Calculating the Air/Fuel Ratio from Exhaust Emissions", SAE 970514, Society of Automotive Engineers, 1997



William M Silvis

Director
HORIBA Instruments Inc

エンジンからの排ガス流量計測
希釈法から流量直接計測法へ
Direct Measurement of Flow of Exhaust
from Automotive Engines

足立 正之・横村 和紀
Masayuki ADACHI and Kazuki MAKIMURA

【要旨】

環境保全の声が高まり、低燃費でしかもクリーンな排出ガスの自動車(LEV, ULEV)が実現されるようになってきた。これに対しエンジンの研究開発を支援する、排出ガス重量測定は、従来の希釈法に加えて、希釈をしない直接計測法への要求が高まり、これを実現するための流量計測技術が必要となってきた。本稿では、この排ガス流量計測の種々の技術と特徴を紹介し、さらにいくつかの測定結果について述べる。

Abstract

Tighter restrictions on emissions levels demand a measuring method that produces more reliable data on the flow of automotive exhaust for calculating emission mass. The laser Doppler velocity meter, ultrasonic flow meter, CO₂ tracer technique, and helium tracer flow meter are compared with the current CVS (Constant Volume Sampler) measurement method and experimental data are reported.

1 はじめに

今日の排ガス規制は、排ガス濃度に基づく規制と、排出総流量(総体積)を用いて排気ガス重量を規制される場合とがある。排ガス濃度計測には各ガス成分に対応したガス分析計を用い、重量の計測にはこれらの分析計に排ガス流量を計測するサンプリング系を組合わせて計測する。排気ガスのサンプリング法には、①定容量サンプリング法(Constant Volume Sampling: CVS)、②モーダルマス法、③ミニダイリユータ法などがある。

このうち、現在もっとも一般的に使用されているCVS法は、過渡的に流量が変化する排ガスを大気で希釈して、希釈後の流量を一定の既知流量とし、希釈後のガス成分濃度との演算を用いて重量を算出する。CVS法は構造が簡単で理論的にも理想的な計測方法であるが、全排ガス流を大気を用いて希釈する。このため、対象とするガス成分によっては、すでに大気濃度の近くまで浄化されているクリーンな排ガスをさらに薄めるため、重量測定精度が極端に悪くなったり、より高感度の分析計が必要になる。つまり、無希釈あるいは純窒素(ゼロガス)を用いた希釈によるサンプリングが必要となる。

一方、モーダルマス法とは、連続に計測する無希釈のガス成分濃度と連続に計測する排ガス流量を掛け合わせ、連続の排出重量を得るものである。

また、ミニダイリユータ法とは、排ガスの一部を採取し、ゼロガスで一定希釈し、連続に測定する排ガス流量に比例した分をバッグ内に採取していくものである。いずれにせよ、排ガス流量を正確かつ連続に測定する必要がある

2. 排ガス流量計測技術

2.1 排ガス流量計測における必要条件

エンジン排ガスは流体としてさまざまな特徴を持つため、流量計は次にあげるような条件を満たす必要がある。

- ① 排ガスの過渡的な温度変化あるいは組成変化に対応できること
- ② 強い脈動に対して誤差を生じないこと。
- ③ 計測の際に圧損を生じないこと
- ④ 秒単位の流量変化を測定できる応答を持つこと。

2.2 測定場所による計測法の分類

図1に、計測点で分類した排ガスの流量計測法を示す。

図から分かるように、(1)エンジンの吸入空気と燃料流量を用いて算出する方法、(2)排ガスのテールパイプ流量を直接測定する方法、(3)CVSの希釈側空気流量測定法、(4)トレースガス法がある。

このうち、CVS希釈空気流量測定法は、CVSのメイン流量から希釈空気流量を差引くことによって排ガス流量を計測する差量法である。従って、CVSメイン流量が大きくなればなるほど、測定する希釈空気流量の絶対値に対して求める排ガス流量の割合が小さくなり測定精度が悪化する。一方、希釈空気流量の測定は、常に組成が安定し温度変化も少ない大気を対象にしているため、前述の条件①が要求されないので計測には都合が良い。なお吸入空気と燃料流量による計測法は、ここでは議論しない

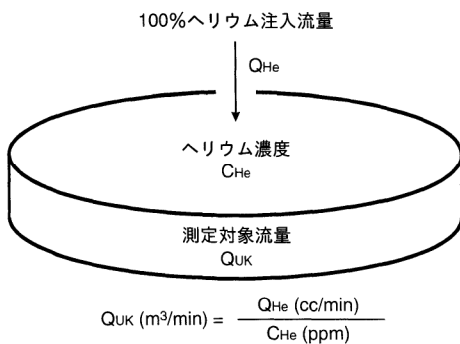


図1 ヘリウムトレース法の原理
Measurement principle of exhaust gas flow using helium gas

2.3 流体としての性質を利用した低圧損流量計

流体の性質を利用した流量計測器として、圧損が低くしかも排ガス流れにあまり影響を及ぼさない、渦流量計・熱線式流量計そしてピトー管があり、テールパイプ直接測定、CVS希釈流量測定に使われている。これらはいずれも一方向の流れしか計測できず、エンジンのアイドリング運転時のような強い脈動流の場合には、脈動を抑える機構が必要となる。そのうえ、圧力や温度の補正が必要となり、これらの計測誤差も含まれるため、精度の高い値を得ることはさらに困難となる

2.4 非接触の流量計

非接触の技術としては、レーザドップラ流速計(LDV)、超音波流量計、そしてトレースガス法があり、どの場合も圧力損失は無視でき、エンジン排ガス測定には都合が良い。

2.4.1 レーザドップラ流速計

非接触の流量計測技術であるが、トレーサとしての微粒子を混入させ、レーザによって形成される干渉縞領域を、微粒子が通過する際に発する光の散乱信号から流速を計測し、流量を算出する方法である。装置は大掛かりであり、そのうえレーザ発生装置を含む光学系が高価である。性能面而言えば、微小空間での流速計測から流速を求めるため、変動流速流の場合、揺らぎが大きく全体流の平均流

速をとる際、測定点を多くとるか、あるいは時間平均を取る必要があり、計測時間が長くなる欠点がある。

2.4.2 超音波流量計

管内に2つの超音波発振子をそれぞれ、上流、下流に配置し、送受信を交互に行い、そこで得られる時間差をもとに流速さらに流量へと換算する。

この方法は、完全な非接触型の流量測定技術で、超音波の飛行距離間の平均流速が測定でき、変動流に対しても超音波のパルスを制御することで十分な性能を発揮することができる。

2.4.3 トレースガス法

トレースガス法にはCO₂トレース法とヘリウムトレース法がある。他の方法は温度補正が必要であるのに対して、この方法ではガス容積濃度は温度に依存しないことから、温度補正を必要としない長所がある。

(1) CO₂トレース法

テールパイプの直接排ガスのCO₂濃度とCVSにより希釈された後のCO₂濃度の比を測定し、CVSにおける希釈率を求めて排ガス流量を算出する。従ってエンジンからのCO₂の排出量の測定とCVSの使用が前提となる上、直接および希釈のCO₂濃度計測の遅れが誤差の原因となる

(2) ヘリウムトレース法

図2にヘリウムトレース法の計測概念図を示す。

ここで、 $Q_{He}(ml/m)$ は排ガス中に注入する100%ヘリウムの流量、 $C_{He}(ppm)$ は排ガス中で完全に混合した場合のヘリウムの濃度、 $Q_{UK}(m^3/m)$ は求める排ガス流量である。従って、 Q_{UK} は $Q_{He}(ml/m)$ を $C_{He}(ppm)$ で割れば算出できることになる。

このようにヘリウムトレース法はCVSを必要としない。また、ヘリウムは、高温下あるいは、化学的に活性な雰囲気の下でも安定なため、トレーサに非常に適している。質量分析計で計測する際には、質量数4を計測しておけば他の共存成分からの干渉もなく計測できる。正確に測定するためには、ヘリウムガスとサンプルガスの完全な混合が必要条件であり、ミキシングのために注入点から採取点まで、ある程度の距離を隔てる必要がある。この間の容積(デッドボリューム)によって、反応の時間遅れ(タイムラグ)が生じ、誤差の原因となることも考えられるが、最近の報告では、ヘリウムガスが比較的短距離で混合することが確認されており、顕著な誤差原因とはならない¹⁾。

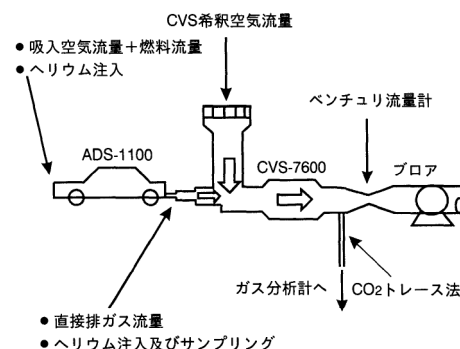


図2 排ガス流量計測
Exhaust flow measurement

3. FTP75走行モードを用いた測定例

図3に、ここで用いた実験装置の構成図を示す。

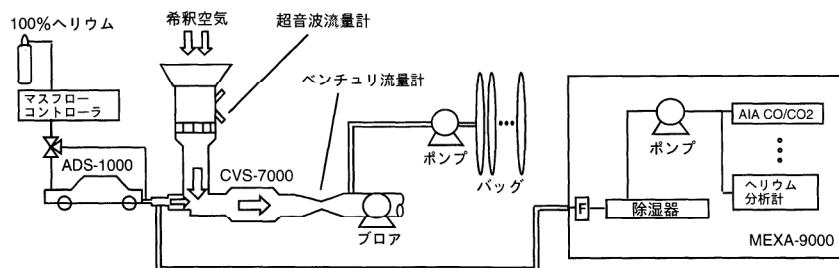


図3 実験セットアップ
Experimental setup

100%ヘリウムは、マスフローコントローラによって標準流量に制御され、エンジンインテークあるいはテールパイプから注入可能となっている。テールパイプから採取された排ガスは、サンプルラインを通りガス分析計へと導かれる。ここで排ガス中の粒子状物質と水分の除去が行われ、排ガス分析計及びヘリウム分析計へと導かれる。この構成によりヘリウムトレース法が計測する流量は排ガスを脱水した流量であり、同じく脱水したガス成分濃度と直接掛算することにより各成分の排出重量が算出される。

一方、CVS希釈側にはベンチュリ流量計あるいは超音波流量計が取り付けられるようになっている。また、希釈後にバッグヘサンプリングし、通常の排ガス重量測定も可能である。

走行モードは米国で認証試験に用いられているFTP75トランジェントモードを用い、ロボットドライバ(堀場製作所製ADS-1100)によって運転される。

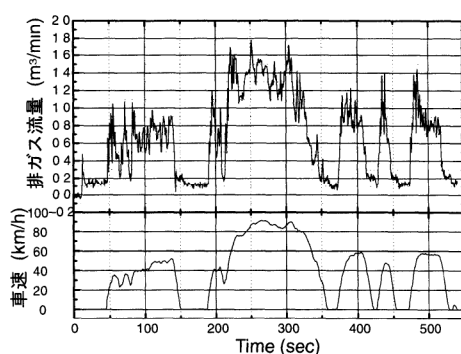


図4 CVS希釈空気測定法：
ベンチュリ流量計(Car A)
CVS dilution air method with ultra sonic flow meter(Car A)

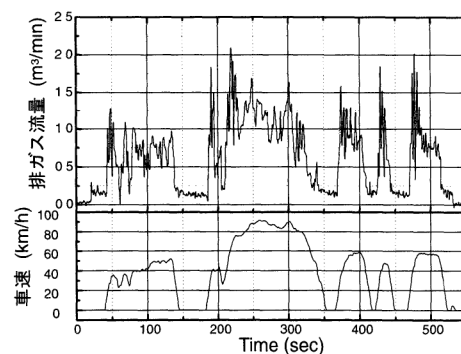


図5 CVS希釈空気測定法：超音波流量計(Car B)
CVS dilution air method with ultra sonic flow meter(Car B)

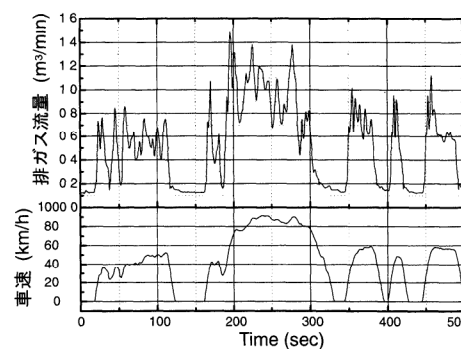


図6 ヘリウムトレース法による直接排ガス流量
(Car C)
Direct exhaust flow rate with Helium trace
method(Car C)

3.1 CVS希釈流量測定による排ガス流量測定

図4にベンチュリ流量計による排ガス流量測定結果を示す。

差量法であるにもかかわらず、エンジン作動時の流量変動やアイドリング時の比較的低流量域も安定した計測結果が得られている。著者らが別に行った低圧損流量計と比較して、脈動による誤差は顕著に少ない結果となった。ただし、本方法は圧損を生じるためテールパイプに対して多少の負圧を返すこととなる。

図5に超音波流量計を用いた排ガス流量計測結果を示す。

ベンチュリ流量計同様の差量法であるが、ベンチュリ流量計と同レベルの計測結果を得ることができた。脈動による影響は、本方法が両方向の流れを計測できることから、時間的に平均化された流量が計測されると考えられ、また、圧損を生じない方法なのでエンジンの運転条件に対する影響も考慮しなくて良いと判断している。

3.2 ヘリウムトレース流量計を用いた直接流量計測法

図6にヘリウムトレース法を用いた排ガス流量計測結果を示す。直接計測法であることや、脈動の影響を受けないことなどの利点により、アイドリング時の流量は平均化された安定した結果となる。また、ここでの流量は排ガス中の水分を除去したドライベース流量なので、その分実際のウエットベース流量よりは水の体積分低く計測される。通常のテールパイプ排ガス直接測定では、脱水されたガス成分濃度が計測されるので、このドライベース流量と直接掛け合わせ、排出重量を算出することが出来る。他の流量計ではウエットベース流量しか計測できないので、ガス成分濃度をウエットベースに変換する処理が必要で、大きな誤差要因となっているが、ヘリウムトレース法ではこの処理が省けるために、排ガス重量計測の精度が高くなることが報告されている¹⁾。

4. まとめ

以上述べてきたように、排ガス流量計測には測定点、測定方法により数々の方法が存在し、最終目的である排ガス重量を正確かつ簡便に計測するという観点で見れば、世界中で最適な手法を模索している状況にある。ここでは単に流量だけを正確に計れるというだけでなく、ガス濃度計測との組合せや試料採取方法との組合せを最適化し、さらにエンジン開発のツールとしての簡便性がうまく調和した方法が、将来生き残って行くと思われる。

CVS法は低濃度成分の場合には測定精度上の限界も見られるが、CO₂のような高濃度成分については精度が高く、排ガス流量計測を含むような新しい重量測定手法より優れている。このような事から、将来の排出重量測定は、CVS法と流量計測を用いる新手法との併用、あるいは対象成分ごとにこれらを使い分けて行くものと思われる。

参考文献

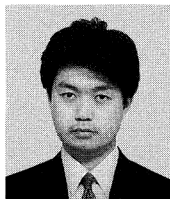
- 1) M. Adachi, et. al., SAE Paper No.971020.



足立 正之

Masayuki ADACHI

エンジン計測開発部 チームリーダー
1985年入社
エンジン排気ガス測定装置の
開発に従事



楨村 和紀

Kazuki MAKIMURA

エンジン計測開発部
1994年入社
エンジン排気ガス測定装置の
開発に従事



八瀬 大原 吉永 秀

ディーゼル排気微粒子の測定法

Analysis of Diesel Exhaust Particles (DEP) by Microwave Induced Plasma Emission Spectroscopy

坂本 漱仁
Soji SAKAMOTO

【要旨】

自動車排ガスによる大気汚染の健康に対する影響を示唆する多くの報告があるものの、自動車排ガスに曝露される地域が限定されていることと、自動車排ガス中に含まれる物質が多様であることから、原因を特定することができていないのが現状である。そこで、当社では自動車排ガス中の微粒子の同定を行う手法の一つとしてマイクロ波誘導プラズマ発光分光法 (He-MIP)を用いたパーティクルアナライザでの測定の可能性を検討してきた。本稿ではこの測定方法の原理と特徴について述べる。

Abstract

The application of helium microwave induced plasma emission spectroscopy (He-MIP) to analyze unidentified particles in diesel exhaust that may affect human health is discussed. He-MIP can detect light elements such as boron and carbon with sufficient sensitivity. HORIBA has been studying the applicability of particle analysis using the He-MIP. The article here refers to the principle and characteristics of this analysis procedure.

1. はじめに

ディーゼル車は燃料が安いことと燃費が良いことなどから近年増加の一途をたどっている。最近ではRV車にまでディーゼル車が増え続け、大都市部の浮遊粒子状物質(以下SPM)の汚染は深刻な状況にある。

一方、米国では大気汚染による健康影響に関する調査から、SPMが問題視され始めている。現状の環境基準以下であっても健康影響から死亡率の増加につながるという指摘がされている調査結果もでている¹⁻⁴⁾。

SMPの人の健康におよぼすリスク評価を行うためには、人がどのような性状のSPMに、どの程度さらされているのかを明らかにする必要がある。しかし、現在、正確なSPMの測定法や汚染の実態は明らかでない。

そこで、マイクロ波誘導プラズマ発光分光法(Helium-Microwave Induced Plasma : He-MIP)を用いたパーティクルアナライザ(図1)で、SPMの一つ一つの同定を行うことができる分析方法の検討を行ってきた。以下にその方法について詳しく述べる。

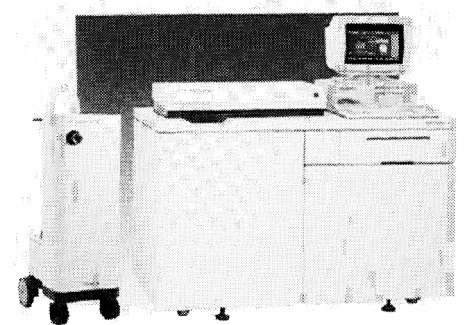


図1 パーティクルアナライザ
Particle analyzer

元素	測定範囲*
Si	0.90 ~ 6.7
Fe	0.15 ~ 1.2
Ni	0.40 ~ 2.8
Al	0.55 ~ 3.5
Pb	0.30 ~ 1.7
Cr	0.50 ~ 3.0
Cu	0.25 ~ 1.8
C	1.00 ~ 7.5
Mo	0.35 ~ 1.9
Ca	0.20 ~ 1.0
W	2.2 ~ 12.7
B	0.50 ~ 3.9
Ti	0.70 ~ 4.2
Na	0.45 ~ 2.6
K	2.3 ~ 16.4
Zn	0.35 ~ 2.7
Mn	0.25 ~ 1.8
Co	0.75 ~ 4.6
Au	0.50 ~ 3.6
Mg	0.25 ~ 1.8
V	0.55 ~ 4.2
F	6.6 ~ 20
Cl	5.3 ~ 20
S	3.2 ~ 19.6
N	3.4 ~ 20
Ag	0.20 ~ 1.5
Zr	0.50 ~ 3.8
P	0.70 ~ 5.3
Ba	0.60 ~ 3.5
Ga	0.15 ~ 1.1
As	0.30 ~ 2.3
Ce	1.80 ~ 9.8

*等価粒子径 [μm]

表1 検出可能元素と粒子サイズ
Detectable elements and particle size

2. パーティクルアナライザの原理

2.1 微粒子原子化と励起

2.45GHzのマイクロ波を電磁空洞共振器(共振モードTM010, Beenakker型キャビティ⁵⁾)に導入し、キャビティの中心部にある石英管の中にエネルギーを集中させ、Heを流し、放電開始電圧の高いHe-MIPを大気中で発生させている。こうして得られた大気圧He-MIPは電子密度 $5 \times 10^{13}/\text{cm}^3$ ⁶⁾、励起温度3,300Kの高温のプラズマであり、この中に微粒子を導入すると、蒸発、原子化され、さらに原子やイオンも励起される。この励起に伴う発光スペクトルを利用して元素分析を行う。本分析方法の特長としては次の3点が上げられる。

- (1) 高温・高密度のHeプラズマの採用によりほとんど全ての元素の分析が可能。
- (2) 微粒子個々の情報が、短時間で得られる。
- (3) 発光の同時性で組成の解析が可能。

He-MIPはその励起エネルギーが大きいために、理論的にはすべての元素の発光線を通常の可視・紫外領域で測定できる。その結果、蛍光X線分析(XRF)やICP発光分析では感度不足であったハロゲンやボロン、炭素等の軽元素も高感度で分析できる。表1にその測定可能元素と測定粒径領域を示すが、適切な粒子状標準試料の有無や発光スペクトルの重複などから測定元素が絞られ、現在32元素の測定が可能である。この装置では特に有機物のような軽元素の検出ができることから発塵源の特定に有効となる。

2.2 微粒子の導入

大気圧He-MIPは大きな励起エネルギーを持つ反面、プラズマは内径の小さな石英トーチ内に点灯するため、He以外の不純物ガスが存在するとプラズマが不安定になり、萎縮や片寄りを生じる。またプラズマ中での熱分解が不完全となり、発光強度が変化し、マトリックスや分子イオンの影響、クエンチングといった現象が発生する。したがって微粒子だけをプラズマに導入する手法が必要となる。

微粒子は、ポア径0.4 μm、外径2.54mmのニュークレポアフィルタに集塵し、そのフィルタをHe雰囲気中に置き、Heをキャリアガスとするアスピレータを用いて吸引ノズルの先端から吸い上げ、順次プラズマの中心に導入する。

He-MIPの発光強度は物質の質量に比例するので、真球で単一組成の物質であれば発光強度は粒径の3乗に比例する。

2.3 等価粒径

上述のように各元素は、信号強度の3乗根を求めることによって、各元素を真球とみなした場合の下記の式を用いることにより(等価)粒径を求めることが出来る。

$$D = KI^{1/3}$$

D: 等価粒径, K: 粒径感度補正係数, I: 発光強度

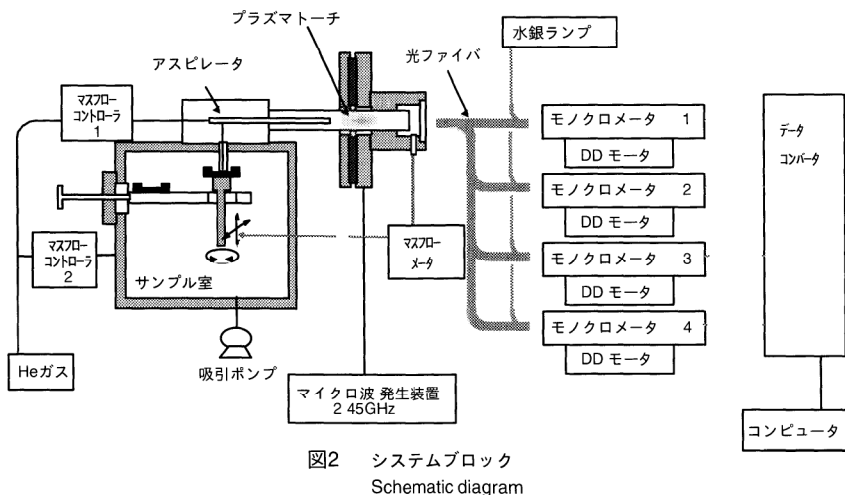
なお、粒径感度補正係数は以下の方法でもとめる。

- (1) 粒径が公称数 μmで、しかも粒径分布が正規分布している標準サンプルを各元素ごとに探す。
- (2) この標準サンプルをアスピレータにより凝集している微粒子を1個づつ分離させ、フィルタ上に捕集する。フィルタ上に捕集した粒子を走査型電子顕微鏡: SEMで写真を撮り、画像処理装置で粒径を求める。この粒径はSEM写真において微粒子の面積と等しい円の直径即ち、円相当径であらわす。
- (3) パーティクルアナライザでこの標準サンプルの発光強度の3乗根を測定する。
- (4) (2)で求めた粒径と(3)で求めた発光強度を比較して、粒径感度補正係数(1 μmに相当する発光強度の3乗根)を求める。

自然界に存在する微粒子は真球ではなく、また単一組成ではないことが一般的である。パーティクルアナライザではこのような微粒子については各元素の発光強度を測定し、これと同じ発光強度の単一組成の真球に換算して測定・表示しており、この粒径を等価粒径と呼ぶ

3. パーティクルアナライザの構成

図2 にパーティクルアナライザのシステムブロック図を示す



微粒子を集塵したフィルタは、ターレットに1つのバックグラウンド測定用フィルタと4つのサンプルをセットすることができる(図3)。そのフィルタはHe雰囲気中においてX軸(スキャン軸)、Z軸(ギャップ軸)、回転の3方向の駆動が可能であり、フィルタ表面とアスピレータのギャップを制御しながらアスピレータでフィルタ上をスキャンすることが出来る。スキャン幅は16mmで、最大15スキャンが可能である。1スキャンが終わるとフィルタを12度回転させ次のスキャンに移る。1枚のフィルタで最大15スキャンが可能で、フィルタ面積の約60%をスキャンすることが出来る(図4)。

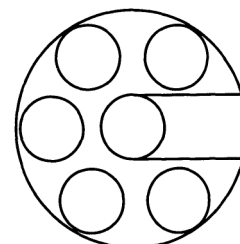


図3 サンプルターレット
Sample turret

アスピレータとフィルタのギャップは、アスピレータ先端から微粒子とともに吸い上げるHe流量と一次相関にあり、吸引流量を制御することで一定に抑えられる。マスフローメータで検出されるプラズマガス流量はキャリアガス流量と吸引流量の和であり、キャリアガス流量は一定なので、プラズマガス流量のみを制御すれば、ギャップを一定に保つことが出来る。プラズマトーチはキャビティの中心を貫通するディスチャージ管(石英製)と内管であるセンター管(SUS:ステンレス製)とで構成される二重管構造のセンターフロートーチである(図5)。

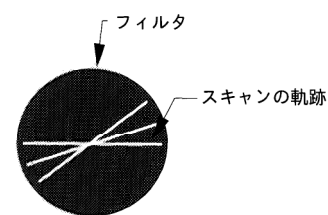


図4 スキャンの例
Typical scanning pattern on filter

プラズマガスと微粒子はセンター管から導入されるので、プラズマはディスチャージ管の中心にたち、微粒子はプラズマの中心に効率よく導入される。

Heプラズマトーチで粒子は原子化され、発光し、この発光強度を波長の異なる4個の検出器で同時に測定する

微粒子1個の発光はディスチャージ管の横軸方向から取り出され、ファイバーを通して4台の分光器に入る。4つの検出器は測定前に水銀ランプにより自動校正される。分光された光は光電子増倍管により電気信号に変換され、このピークをデータコンバータに送られる。データコンバータでは、130 μ sの時間分解能で出力信号のピークをサーチし、その時間と電圧をメモリする。ピークと同時に時間情報も得られる。発光波長から元素種を、発光強度から粒径、発光数から粒子数を読取る。また、発光を4種類の波長で同時に測定することにより、組成の4項目を同時に解析できる。

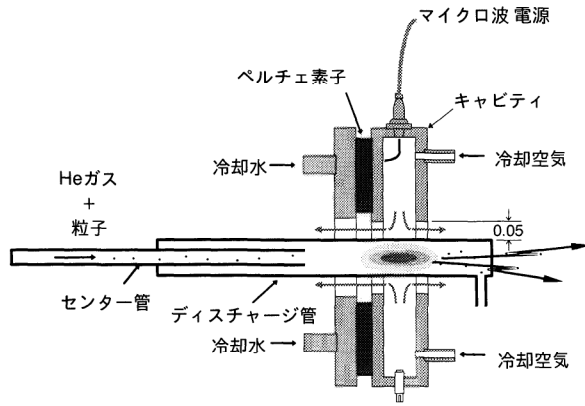


図5 プラズマトーチ
Plasma touch unit

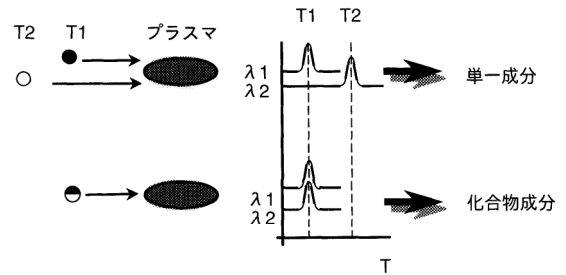


図6 組成解析のメカニズム
Mechanism of composition explanation

組成解析のメカニズムを図6に示す。微粒子が2元素以上の成分で構成されている場合はプラズマ励起によりそれぞれの波長で発光する。それを、装置が同時発光の有無を判断し、単一組成か化合物かを識別する。例えばステンレス微粒子の場合、Fe、Cr、Ni等の成分の同時発光性を評価できれば、発塵源特定の切り分け、微粒子の発生源を特定するためには非常に有効となる。

4 自動車排ガスの測定と結果

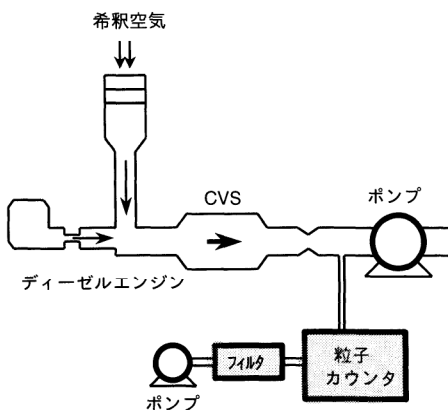


図7 サンプルコンディショニング(自排ガス)
Sample conditioning

自動車排ガスをパーティクルアナライザ用のフィルタへ捕集し、測定を行った。サンプル捕集用のシステムはCVS (Constant Volume Sampler : 定容量採取装置)の終端にサンプル採取用のライン(微粒子の採取孔)を設け、そのラインにパーティクル・カウンタとフィルタ、吸引ポンプを設け、サンプルをフィルタ上に捕集した。カウンタには $0.5\mu\text{m}$ 以上を検出できるものを使用し、200,000個の粒子をサンプリングした(図7)。

また、測定対象のエンジンはノーマルアスピレーション、直接噴霧、排気量30L、4気筒直列ディーゼルエンジンを使用した。サンプル条件はサンプル1では回転数2500rpm、トルク167Nmの高回転・高負荷のものを、サンプル2は回転数1800rpm、トルク13Nmの低回転低負荷とした。

測定した元素は自動車の燃料、エンジンオイル、エンジン構成物と考えられるものに着目しFe、Si、Ca、Zn、C、Sを測定した。

測定の結果より着目した元素は簡単に測定することが出来た。測定した結果の一例として、それぞれのカーボンのヒストグラムを図8に示す。

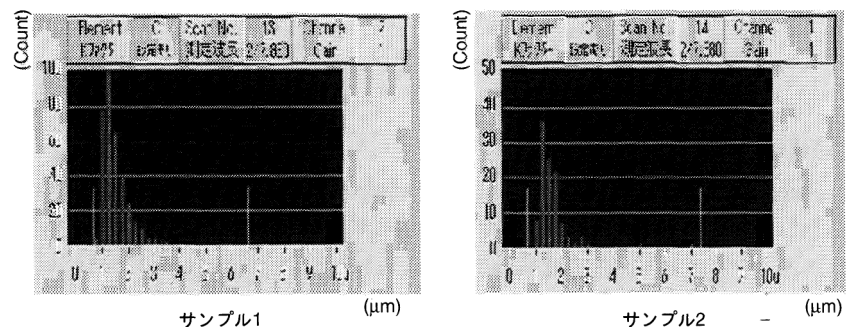


図8 測定例(自排ガス)
Example of measurements

次に組成解析データ中の微粒子解析結果の一例を示す(図9)。このデータはディーゼル車のオイルを測定した物で、CaとCの組成解析を行った。この図から、軸上にあるCおよびCaは単一成分、その他の部分は同時に発光していることからCとCaは化合物になっていることが分かる。

5 おわりに

従来は微粒子のスピシエーションは非常に困難かつ時間を要するものであった。しかし、パーティクルアナライザによりディーゼル排気微粒子のスピシエーションが短時間におこなえ、今までにはなかった多くの情報が得られると考えられる。この装置の開発により環境問題の解決の一翼をになえることを期待している。

<謝 辞>

本研究を推進するにあたり、共同研究者である横河電機株式会社PTセンター殿のご尽力に感謝いたします。

参考文献

- 1) Reichhrdt, T ; Enviromental Science and Technology 29, 360A-364A, 1995
- 2) Dockey, D W et al ; N Engl J Med 329, 1753-1759, 1993
- 3) Pope, C A et al ; Am J Respir Crit Caer Med 151, 669-674, 1995
- 4) "Air Quality Criteria for Particulate Matter" U S EPA EPA600-AP-95-1001A, 1995
- 5) C I M Beenakker ; Spectrochimica Acta, Vol 31B p 483, 1976
- 6) K Tanab, H Haraguti, K Fuwa ; Spectrochimica Acta, Vol 38B p 49, 1983



坂本 漱仁

Soji SAKAMOTO

基礎技術開発部 ジョブリーダー
1989年入社
微粒子分析関連製品の開発

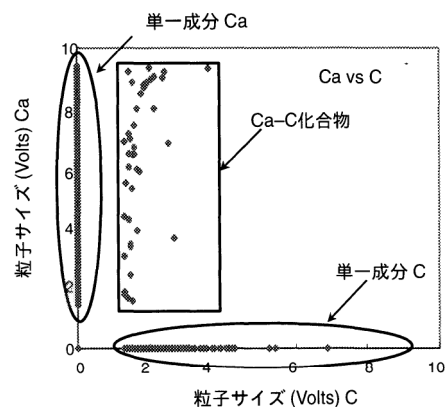
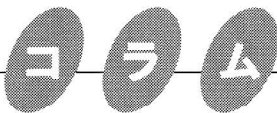


図9 組成解析
Correlation diagram



“忙中有閑”

夏のある日、まだ明るいうちの退社時、意外な発見をした経験が幾度かある。いつもの通勤コースで見慣れたはずの風景なのに、実に新鮮に感じるときがある。「アレ、こんな所に花壇があったんだ。きっと、近所の花好きの奥様が丹精込めて造っているんだな。」と、しばし足を止めて小さな憩いを感じる。思い返してみると、このような機会の多くは、仕事で何か難問にぶつかり、考えに考え、それでも答えをだせず、半分あきらめかけていたときに遭遇したようだ。でも、悲しいかな凡人、アルキメデスのように裸で風呂を飛び出すようなひらめきを得た経験はない。

最近、本屋の店頭には、“複雑系”とか“カオス”などの表題をつけた新刊で溢れている。これは、物理学者たちが、デカルトらしい的分析的アプローチに閉塞性を感じ、パラダイムの転換を求めてさ迷い歩いているの見たマスコミが、ブームに火を付けたのがことの起こりのようだ。火星の上をロボットが走り廻り、一方で、14歳の少年の心を開かせることができない現代社会は、まさに、複雑極まりない。

当社は粒度分布測定装置を作っている。この測定装置は、サブミクロンからミリオーダーまでの広い範囲で、粉粒体の大きさの分布(粒度分布)をはかる機械で、セラミックや食品・医薬など幅広い分野で使われている。

ところで、粒度分布の測定というのはなかなかの曲者で、粉粒体自体の形状や物性はもちろん、測り方によっ

て測定結果が大きく異なることがある。実際、あるサンプルの粒度分布を、遠心沈降法、レーザ回折法、電子顕微鏡写真の画像解析法の3種類の手法で測ってみると、表示結果が互いに大きくズレることも少なくない。「測定原理が異なれば、得られる結果が違うのは当たり前です。」と言い放つことはた易い。しかし、これでは“分析のプロ”の看板が泣く。「この測定原理からは粒子のこの性質に関する情報が、また、この原理からは違った情報が得られていますよ。」とお客様に説明すると、多くの場合、納得していただける。

そもそも、現在、標準的に用いられている円相当径という概念は、さまざまな形状を持つ粉粒体の性質の一つの評価パラメータとしてヘイウッド博士が提案したものだ。ますます多様化する粉粒体を、一つや二つの因子で評価しようとする自体、多少無理なのかも。粒度分布の測定も、複雑系に適応できる新たな理論が必要な時代を迎えているのかも知れない。とは言え、現在広く普及している粒度分布測定装置が役に立たないというのでは決してない。それどころか、粉粒体を取り扱う工場や大学において、品質管理や研究用としてなくてはならない計測機となっている。

今、我々技術者に求められている素養は、新たなコンセプトに対し果敢に取り組むしなやかさであり、それを生み出す自然を慈しむ豊かな感性ではないのだろうか。

(開発管理 伊藤省二)

超高速応答形エンジン排ガス測定装置 MEXA-1110/1210FRF

Engine Exhaust Analysis with 2 Millisecond Response The MEXA-1110/1210FRF Series

武田 賢二
Kenji TAKEDA

【要旨】

近年、地球環境問題の高まりとともに、よりクリーンで燃焼効率の高いエンジンの研究開発のために、高速応答の排ガス測定装置が求められている。堀場製作所では、応答速度30msの高速応答形自動車排ガス測定装置MEXA-1X00FRXシリーズを1990年に開発し、燃焼解析のツールとして提供してきた。しかし、より緻密なエンジン開発のためには、シリンダ内の状態を解析する必要があり、さらに1桁速い超高速応答形の排ガス測定装置の開発への要求がでてきた。本稿では、新しく開発した応答速度2msの超高速応答形エンジン排ガス測定装置(炭化水素計)について、その測定原理と特長、およびエンジンのシリンダ内の実測例を紹介する

Abstract

The HORIBA MEXA-1110/1210FRF Engine Exhaust Analyzer Series was developed to analyze the gaseous components in the cylinder of an automotive engine during combustion. Its 2 millisecond response time is sufficiently fast to provide data of transient phenomena on various operating conditions of the engine.

1. はじめに

最近、CO₂などの温室効果によるといわれる地球温暖化や、大気汚染による地球規模の環境問題のなかで、その一因となっている自動車の排ガスもより厳しく規制されてきている。そのため、排ガス対策も、触媒処理などの従来技術の延長だけでは対応できず、燃焼方式やエンジンの制御システム全体にさかのぼった新たな技術開発が必要になってきた。このためには、エンジンの始動時や加減速時などの数秒から、数十秒間の過渡状態における排ガス挙動の解析が重要になってきている。

これらの要求に応えるため、当社では90%応答が30ms以下という高速応答形の自動車排ガス測定装置MEXA-1X00FRXシリーズを製品化した。

しかし、より低燃費化のためには、筒内噴射ガソリンエンジン等、より緻密なエンジンの開発が必要であり、さらに1桁速い応答速度の分析装置の要求がでてきた。本稿では、自動車排ガス測定装置MEXA-1X00FRXシリーズおよび、新しく開発した超高速応答形エンジン排ガス測定装置MEXA-1110/1210FRF(超高速応答T・HC計)について、その測定原理と特長、および筒内測定の一例を紹介する。

2. 高速応答形自動車排ガス測定装置MEXA-1X00FRXシリーズ

2.1 MEXA-1X00FRXシリーズのシステム構成

従来の排ガス測定装置では、分析部は装置架台内部にあり、サンプルガスをエンジンから長い配管により装置架台内の分析部に引きこんでくるため、配管の途中でサンプルガスのたまり、混合や乱れなどを生じ、応答が遅くなっている。

応答を高速化するためには、分析部をエンジンの近くに置き、サンプリング経路をできる限り短くする必要がある。このため、MEXA-1X00FRXシリーズのシステム構成は、図1に示すように前置分析部と装置本体架台とに分離したものとなっている。

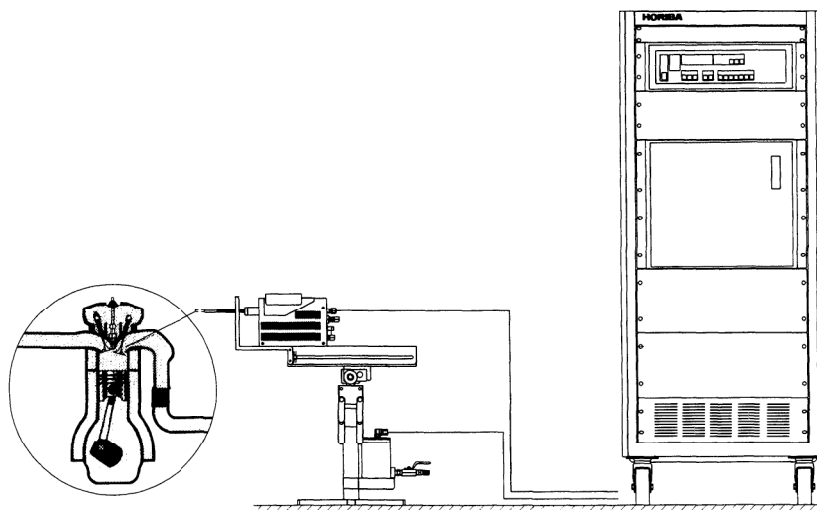


図1 高速応答MEXAのシステム構成図
System configuration

また、サンプリング方式は、サンプルガスの流速を速くするため、減圧による吸引方式を採用するとともに、サンプル採取点から前置分析部までのサンプルガス導入路に、応答を遅らせる要因になるポンプや電磁弁などを置かない構成としている。そのため、分析計の濃度校正は、サンプリングプローブを二重管とし、校正ガスを外管を通してサンプル入口まで導入し、オーバーフローさせて行うようにしている。

通常、前置分析部にはサンプル導入管、フィルタ、サンプル流量制御部、検出器およびアナログアンプなどがまとめられ、本体架台には、サンプリングポンプ、校正ガス切換え装置、信号処理部および操作部がまとめられている。

濃度出力としては、操作部にデジタル濃度を表示し、またアナログ出力信号を用意している。アナログ出力信号は、データロガーやパーソナルコンピュータにより出力信号の収録や演算処理を行うことができる。

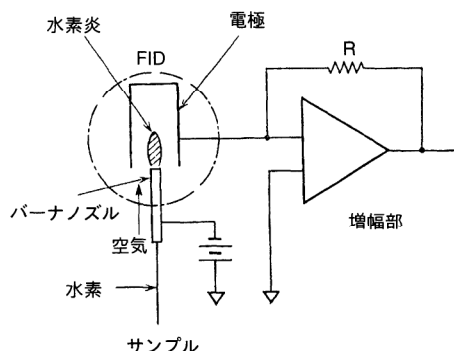


図2 水素炎イオン化検出器の動作原理図
Flame ionization detector

2.2 高速応答T・HC計の測定原理

高速応答T・HC計は、加熱型水素炎イオン化分析法(加熱型FID法)を用いて排ガス中の全炭化水素(T・HC)を測定するものである。

水素炎イオン化検出器(FID)の動作原理を図2に示す。

図のように、水素炎中に炭化水素を含んだサンプルガスがFIDに導入されると、バーナーノズル先端で燃焼している高温の炎のエネルギーによって、複雑なイオン化が起こる。この水素炎の周りに電極を設け、バーナーノズルとの間に直流電圧を印加すると、炭化水素の炭素数に比例した微小イオン電流が流れる。この電流を高抵抗を介して電圧に変換し、T・HCの量として取り出すのがFID法の測定原理である。

FID法では、水素炎によるイオン化の過程が高速なので、「サンプルガスを検出器までいかに速く、また前後のガスの混合が起これぬように導くか」がポイントとなる。特に、検出器に最終的に導入されるサンプルガスの流量は、10数ml/mと微小であるため、サンプルガスの流れの速い中心部から取り出し、またバーナーノズルの先端付近までキャピラリを挿入するなどの工夫をしている。また測定対象が、エンジンの排気弁から排出されるT・HC濃度の直接測定となるため、T・HCの吸脱着の影響を少なくするように、検出器は191℃に温度調節している。

2.3 超高速応答T・HC計のサンプリングフロー

応答の高速化を図るには、サンプリング部の工夫も検出部の高速化と同様に重要となる。図3に、高速応答T・HC計のフローシートを簡略化して示す。

従来の排ガス測定がエンジン全体の平均濃度を測定するのとは異なり、高速応答排ガス測定では、各気筒の排ガス過渡変化の測定が中心となるため、サンプルガスの採取点は、排気マニホールドの排気弁近くにしなければならない。このため、サンプル採取点の圧力変動範囲は従来の-5~+30kPaよりもはるかに広い範囲、すなわち平均圧で-10~+100kPaを考える必要がある。

図3で、サンプルはサンプリングプローブ入口より入り、校正用二重管を通り、フィルタ、サンプリングキャピラリを介して分析部に入り測定される。一方、サンプルガスの一部はバイパスラインを通過してバイパスポンプに送られる。本装置では、この広い圧力範囲で測定できるように、ニューマチックタイプの圧力調整器を用い、二段階で調圧することにより、サンプリング点での圧力変動(-10~+100kPa)による指示誤差を、±1%FS以内に低減している

表1にMEXA-1X00FRXシリーズの主な仕様を示す。

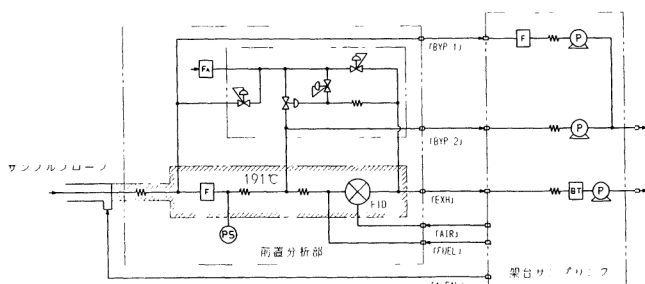


図3 高速応答T・HC計フローシート
Flow schematics of MEXA-1x00FRx Series

形式	MEXA-1300FRI	MEXA-1100FRF	MEXA-1100FRC
測定原理	非分散形赤外線分析法 (NDIR法)	水素炎イオン化分析法 (加熱型FID法)	化学発光分析法 (CLD法)
測定成分	CO/CO ₂ /HC	T・HC	NO
測定ライン数	1または4	1	1
応答速度	T _d ≤ 100msec (サンプル配管長 500mmにて) T ₉₀ ≤ 30msec (サンプル配管長 500mmにて)		
再現性	フルスケールの±1%以内		
ゼロドリフト	フルスケールの±1%以内/1時間		
スパンドリフト	フルスケールの±1%以内/1時間		
直線性	フルスケールの±1%以内 (T・HC計は20,000ppmC以下)		
設置条件	5~35℃ 85%RH以下 (分析部は0~40℃)		
電源	AC100, 120, 200, 220及び240V (いずれか指定)		
信号出力	0-10Vまたは5Vまたは1V (各成分、各チャンネル毎に出力)		
測定レンジ	CO : 0-12% CO ₂ : 0-16% HC : 0-2% (n-C ₆ H ₁₄ 換算) T・HC : 0-2,000/5,000/10,000/20,000/50,000/100,000ppmC NO : 0-200/500/1,000/2,000/5,000/10,000ppm		

表1 高速応答MEXAの仕様
Specifications of MEXA-1x00FRx Series

3 超高速応答形エンジン排ガス測定装置MEXA-1110/1210FRF

今回開発したMEXA-1110/1210FRFは、MEXA-1X00FRXシリーズよりさらに1桁速い、応答速度(T_{10-90})2msを実現した。表2にMEXA-1110/1210FRFの主な仕様を示す。また、超高速化への改良点とその特長について説明する。

(1) サンプリングプローブの短縮

前置分析部をMEXA-1X00FRXシリーズに対して体積比で1/4に小型化することにより、サンプリングプローブを200mmとした。

(2) 前置分析部の小型化

高速応答性を最優先し、1段調圧方式のバイパスフローへの変更とサンプルフィルタを削除することにより、分析部を1/4に縮小した。

図4に超高速応答T・HC計のフローシートを簡略化して示す。なお、1段調圧方式のため、サンプリングポイントにおける圧力変動の影響は、 $\pm 5\%$ FS以内(0→160kPa：静圧特性)、 $\pm 2\%$ FS以内(0→-10kPa：静圧特性)である。またサンプルフィルタを削除したこともあり、サンプルキャピラリーの詰まりを考慮して、サンプルキャピラリーを簡単に工具なしで交換できるようにした。

(3) 配管等のガス溜まり部(デッドスペース)の低減

分析部の小型化に伴い、ガス配管マニホールド(フローパターン)も小型化して、デッドスペースを極力少なくした。

(4) 信号処理系の低雑音化と高速応答化

前置分析部の小型化のため、プリアンプユニットを操作部に移す一方で、ノイズ低減用フィルタなど信号処理系の低雑音化と高速応答化をはかった。

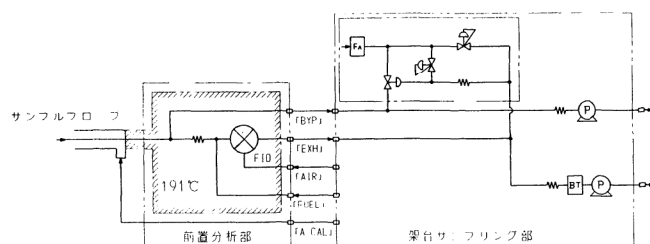


図4 超高速応答T・HC計フローシート
Flow schematics of MEXA-1110FRF/MEXA-1210FRF

形 式	MEXA-1110FRF, MEXA-1210FRF
測定原理	水素炎イオン化分析法(加熱型FID)
測定対象	ガソリンエンジン排ガス中のT・HC及びシリンダ内T・HC
測定レンジ	0-2,000/5,000/10,000/20,000/50,000/100,000 ppmC
測定ライン数	MEXA-1110FRF: 1ライン MEXA-1210FRF: 2ライン(個別操作)
サンプル採取流量	約 3.5 l/min (排気管計測, 入口大気圧条件にて)
応答速度	$T_d \leq 20\text{msec}$ (プローブ長 200mmにて) $T_{10-90} \leq 2\text{msec}$ (プローブ長 200mmにて)
再現性	フルスケールの $\pm 1\%$ 以内
ゼロドリフト	フルスケールの $\pm 1\%$ 以内/1時間
スパンドリフト	フルスケールの $\pm 1\%$ 以内/1時間
直線性	フルスケールの $\pm 1\%$ 以内(20,000 ppmC以下)
アナログ出力	0-10Vまたは5Vまたは1V(各チャンネル毎に出力)
設置条件	5~35°C 85%RH以下(分析部は 0~40°C)
操作ガス	FUEL: 40%He/H ₂ , 助燃AIR: リサーチAIR ゼロガス: N ₂ 99.99%, スパンガス: C ₂ H ₆ /N ₂
接続長さ	分析部~架台本体間: max 5m
電 源	AC100, 120, 200 または 230V(いずれか指定)
電源容量	約 1.5 kVA
外形寸法	分析部: 75 (W) × 190 (D) × 135 (H) 架台: 530 (W) × 710 (D) × 1500 (H)

表2 超高速応答T・HC計の仕様
Specifications of MEXA-1110FRF/MEXA-1210FRF

4 応答速度の測定

サンプリングプローブ先端に取付けた電磁弁の切換えにより、ゼロガスからスパンガス(600ppmのC₃H₈)に切り換えたときの測定結果を図5に示す。

応答速度(T₁₀₋₉₀)は1.4ms, デッドタイム(T_d)は約5msであることがわかる。なおT_dは電磁弁の切り換わった際のガスの流れの圧力(音圧)をマイクロフォンで計測することにより測定した。

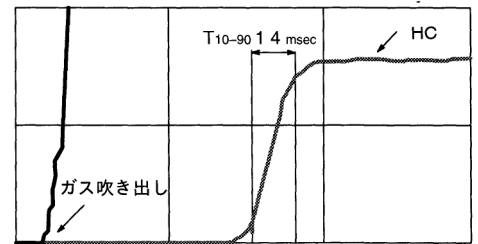


図5 トランジェットに対する応答速度試験結果
Response to the step change : from zero gas to span gas

5. 筒内ガスの実測結果

実ガスでの測定例として、エンジン筒内のT・HCの挙動の測定を試みた。

実験は、1.8l, 4気筒16バルブSOHC形の電子燃料制御付エンジンを用い、動力吸収装置はDCダイナモメータ(110kW, フライホイール, 伝達トルク計付き)を用いた。図6にサンプリングプローブ等のエンジンとの取付状況を示す。エンジンの動作条件は、回転数2000rpm, マニホールド負圧-400mmHg, Pe(平均有効圧力)2.74kg/cm²とし、点火プラグ付近のT・HCを計測した。

図7に測定結果例を示す。横軸にクランク角(deg), 縦軸にはT・HC濃度の出力を示した。また図中に点火プラグの点火時期, 排気弁及び吸気弁の開閉状態を示した。

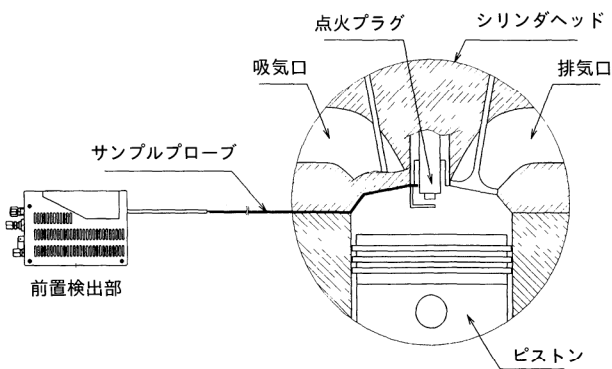


図6 MEXA-1110FRF エンジン筒内サンプリング図
Sample probe placed in the cylinder to engine

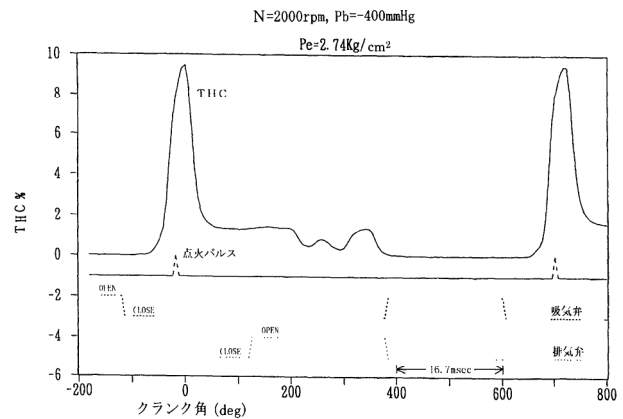


図7 エンジン筒内ガス測定例
Change of THC concentration in the cylinder of engine

筒内計測では、吸気弁と排気弁が閉じた時に筒内圧が上がり、その際サンプリングプローブから分析計にガスが流れT・HCの出力ピークが得られる。逆に、吸気弁と排気弁が開いた時には分析計にガスが流れず、出力はゼロとなる。図はその結果を示している。またエンジンの条件を変えても同様の結果が得られた。

6. おわりに

以上のように超高速応答形エンジン排ガス測定装置MEXA-1110/1210FRFは、エンジンの過渡運転時のT・HC濃度をリアルタイムに計測することができるため、エンジンの低燃費化の改良や高効率の開発には有効なツールになるものと期待している。今後もエンジン開発の大きな力になれるよう、より有効な計測システムについて提案していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 武田賢二, 青木潤次, “高速応答排ガス測定装置による過渡運転時の排ガス特性” 内燃機関, Vol 30, No 380, p 55-61 (1991)



武田 賢二

Kenji TAKEDA

エンジン計測設計部 チームリーダー
1982年入社
自動車排ガス測定装置の研究開発

高精度広域帯ガス分割器

A Precise Gas Mixing Device for Calibration Service : the HORIBA GDC-703

平井 仁史
Hitoshi HIRAI

【要旨】

エンジンが急速に低エミッション化する近年では、より高精度なエンジン排ガス測定装置が望まれており、ホリバはエンジン排ガス測定装置MEXA-7000を製品化した。分析精度を左右する要因の一つとして濃度目盛校正用検量線の適正な維持管理がある。我々はMEXA-7000の開発と同時に、高精度な検量線を作成するためのマスフローコントローラを使った高精度ガス分割器(GDC-703)を開発、製品化した。GDC-703は発生流量4 0l/m, 最大分割比1/500の性能を持っている。本稿では、GDC-703の動作原理、機能、さらに分割精度の検証結果について紹介する。

Abstract

By means of flow rate dilution, GDC-703 generates calibration gases of desired concentrations with a single reference and a base gas. Mass flow controllers are equipped for accuracy that meets the requirements for low emission vehicle testes. The dilution ratio of 1/500 allows to evaluate sample gas just on a wider range. The GDC-703's operating principle and its applications are described.

1 はじめに

エンジン排ガス測定システムは近年、急速に高精度化、自動化が進められている。その流れの中で、1996年にホリバはエンジン排ガス測定装置MEXA-7000シリーズを市場に投入した。

MEXA-7000の分析計では、濃度レンジ比50倍という広いダイナミックレンジを実現した(最低レンジを100ppmとすると最高レンジは5000ppm)。この分析計と高分解能のガス分割器を組み合わせることにより、従来の多数レンジで行っていた測定を1つのレンジで測定することができる。このガス分割器を使うと、レンジ相関や測定レンジの自動切り替えなどの操作が不要になるだけでなく、校正ガスの使用本数の大幅な削減にも役立つ。

2 GDC-703によるガス分割

ガス分割器は、既知濃度のスパンガスと希釈ガスとを所定の割合で混合し、所定の濃度のガスを取り出すのに使われる。ガス分割の手法としては、従来、キャピラリー方式が一般的であったが、今回製品化した高精度ガス分割器GDC-703で

は、半導体プロセスに使用されているマスフローコントローラ(MFC)を組合せて、広範囲にわたり高い分割精度を実現した。

GDC-703のガスフローを図1に、主な仕様を表1に示す。

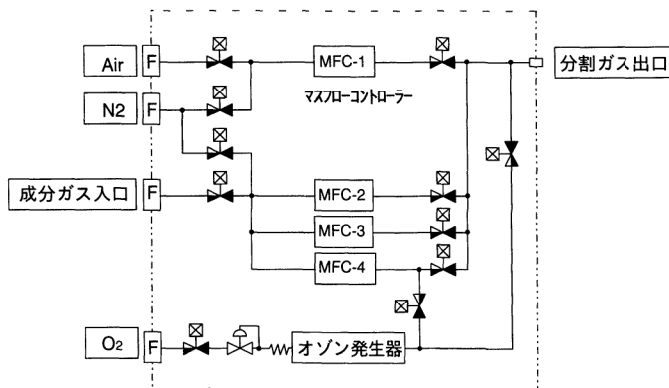


図1 GDC-703フロー
Flow schematic of GDC-703

項目	規格
型式	GDC-703
ガス発生方式	マスフローコントローラによる流量比混合
分割ポイント	100, 90, 88, 8, 0.2, 0%
分割精度	±1.0%RS 4.0l/m発生時
再現性	±0.5%RS
分割時の発生流量	4.0l/m
発生圧力	30±5kPa
原料ガス供給力	100±10kPa
バランスガス	N ₂ もしくはAir
成分ガス	CO 10~12000ppm CO ₂ 0.5~20vol% O ₂ 1.0~25vol% CH ₄ 1.0~2000ppm C ₂ H ₆ 0.3~2000ppm n-C ₆ H ₁₄ 1.0~1000ppm NO 1.0~1000ppm
コンバーター発生流量	2.2±0.4l/m
NOxガス発生濃度範囲	10~1000ppm
ノイズ	±1.0%FS
電源	AC 100~240V 50/60Hz
消費電力	±1.0%FS
使用温度範囲	5~45°C 精度保証範囲15°C~35°C
暖機時間	1時間
外形寸法	430(W)×177(H)×450(D)

表1 GDC-703仕様
GDC-703 specification

GDC-703は4つのMFCを搭載しており、1つは希釈ガス用で、残り3つは成分ガス用である。希釈ガスは、窒素(N₂)とAirを選択できるようになっている。任意の分割点に対して、成分用の3つのMFCの中から選択して動作させている。

3. 特長的な機能

3.1 自動検量線作成機能

MEXA-7000は、GDC-703と組み合わせることで、図2に示すような自動検量線作成メニューにて分析計の濃度検量線を作成することができる。この機能を使用することによって、従来のキャピラリー分割器での最高分割点数が10点であるのに対して、GDC-703では100点の分割点数の入力が可能になり、高精度の検量線を作成することができる。夜間に、すべての分析計の検量線を作成できる機能も搭載し、測定業務の大幅な合理化に役立つ。

The screenshot shows the 'Linearization Data Collection' interface. It includes sections for 'Current Analyzer' (Line: Tailpipe, Component: THC, Range: 500ppmC), 'Current Curve' (Curve Order: Auto, Error Criteria: EPA, Fit Criteria: Weights*2), and 'Candidate Curve' (Curve Order: Auto, Error Criteria: EPA, Fit Criteria: Weights*2). A 'Coefficients' table is also visible. The main part of the screen is a 'Candidate Data Set' table with columns for Point #, Z/S Adjusted Counts, Gen conc (ppm), Meas conc (ppm), Error (%), Result, Meas conc (ppm), Error (%), and Result. The table shows 6 data points, with the first two failing and the last four passing. At the bottom, there are buttons for 'Verify', 'Copy Data Set from Other', 'Collect Data w/ Gas Divider', 'Show Plot', 'Accept Current', 'Accept Candidate', 'Hold Candidate', and 'CANCEL'. A 'Barometric Pressure' of 90.2 kPa is also displayed.

図2 MEXA-7000での自動検量線作成画面
Auto-linearization data collection screen on MEXA-7000

3.2 コンバータ効率チェック機能

GDC-703は、化学発光法による窒素酸化物(NOx)分析計用のNOxコンバータの変換効率をチェックするためのオゾン発生器も搭載している。化学発光法では、活性化された一酸化窒素分子(NO)が基底状態にもどる際の放射エネルギーを測定することによって濃度を知る。よって、NOxを測定する際は、一度コンバータ(触媒)によってNOに変換する必要がある。変換効率を正しく維持・管理することは、分析精度に直接影響する。

GDC-703に搭載されているオゾン発生器は、約10ppm～約1000ppmNOをNOxに変換する能力を持っており、このオゾンで既知濃度のNO(スパンガス)を酸化し、一定濃度のNOxを発生させる。この既知濃度のNOxを用いて、コンバータの変換効率をチェックする。MEXA-7000では、これらの一連の操作を自動プログラムによって行うことができる。

その測定画面の一例を図3に示す。

The screenshot shows the 'NOx Efficiency Check' interface. It includes fields for 'Line', 'Tailpipe', 'Component', 'NOx', and 'Range' (set to 10 ppm). There are buttons for 'Auto Mode', 'Manual Mode', and 'Start'. Below these are 'Ozone Initial Count' (5) and 'Ozone Step Count' (1). A table titled 'NOx Efficiency Steps' lists various test conditions (a-d) for NO and NOx, including O3-gen, O2 flow, Mode, Target, Conc, and Std Dev. The 'Results' section displays the efficiency calculation: $Eff = [1 + (c-d)/(a-b)] * 100$ resulting in 98.7% and 'Pass', and 'NOx in NO' at 0.0 and 'Pass'. A 'CANCEL' button is located at the bottom.

図3 MEXA-7000での自動コンバータチェック画面
Auto NOx efficiency data collection screen on MEXA-7000

4 分割精度の検証

GDC-703の分割精度を検証するにあたって、分割が正確に行われていれば、分割率に対する成分ガス流量、もしくは発生濃度は一次式になるはずである。この前提にて、以下の方法にてGDC-703の精度を検証した。

4.1 流量比による検証

GDC-703のガス分割精度は、表1に示したように任意の測定点に対して±10%以内を保証している。今回の試験では、数十点の分割点で成分ガスを発生させ、流量を石鹼膜流量計で測定した。その成分流量の総流量(4000ml/m)に対する比率を分割率として求めた。その結果を表2に示す。なお、表2では、MFC2からMFC4までを使う分割点で測定し、その流量測定による分割率精度を“%PT”によって表わしている。

MFC				設定分割点(a/500)と流量		実測流量 (ml/min)		分割精度 (ml/min)	
1	2	3	4	設定分割点(a)	分割比(%)	希釈ガス	成分ガス	実測分割比%	%PT
			○	500	100.0%		4001.0	100.0%	0.00%
○			○	450	90.0%	402.0	3600.0	89.96%	-0.04%
○			○	300	60.0%	1599.0	2401.0	60.03%	0.03%
○			○	200	40.0%	2398.0	1602.0	40.05%	0.05%
○			○	63	12.6%	3499.0	505.0	12.61%	0.01%
○	○			62	12.4%	3504.0	497.0	12.42%	0.02%
○	○			40	8.0%	3679.0	320.0	8.00%	0.00%
○	○			20	4.0%	3840.0	162.0	4.05%	0.05%
○	○			8	1.6%	3936.0	64.9	1.62%	0.02%
○	○			7	1.4%	3945.0	55.8	1.39%	-0.01%
○	○			5	1.0%	3959.0	40.3	1.01%	0.01%
○	○			2	0.4%	3985.0	16.0	0.40%	0.00%
○	○			1	0.2%	3993.0	8.4	0.21%	0.01%
○	○			0	0.0%	3999.0		0.00%	0.00%

表2 GDC-703分割精度の流量比による検証結果
Evaluation results of GDC-703 performance using flow rate method

それぞれの流量測定点での±1.0%(相対誤差; ±1%PT)以内であり, 分析計検量線作成の上, 十分な精度であることが確認できた。

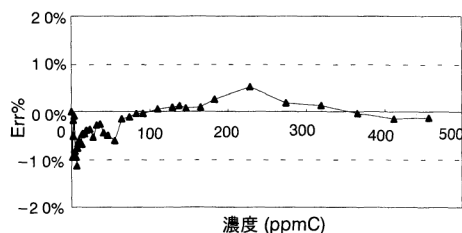


図4 GDC-703によるTHC計の検量線誤差評価
Calibration curve error of THC analyzer with GDC-703

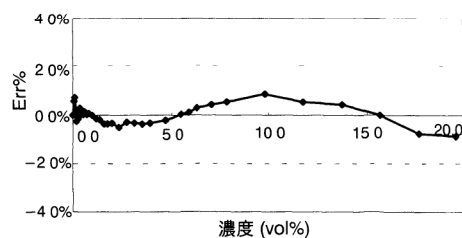


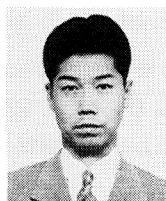
図5 GDC-703によるCO₂計の検量線誤差評価
Calibration curve error of CO₂ analyzer with GDC-703

4.2 分析計の検量線による検証

流量による検証では, GDC-703の精度は十分なものであることは分かった。しかし, 実際に分析計の検量線作成で, その精度が保たれているかどうか検証する必要がある。そこで, GDC-703にてプロパン(C₃H₈)の500ppmCスパンガスを用いて, 全炭化水素化合物分析計(THC計)の0~500ppmCのレンジにて検量線を作成した。THC計の測定原理は水素炎イオン化法であり, 一般に, その検量線は直線近似が可能であるといわれている。その結果を図4に示す。この図中の誤差(Err%)とは, 実測の分割点濃度と理論分割濃度(計算によって求められる分割濃度)の差の割合を示したものである。図4に示すように, GDC-703を用いたTHC計の検量線の誤差は±2.0%以内であることが検証されている。一方, GDC-703を使って他の成分の検量線誤差の測定結果を図5に示す。ここでは, 非分散形赤外線CO₂分析計の0~20vol%の広い範囲で40点に分割して検量線の作成を行った。

5 おわりに

高精度ガス分割器GDC-703の動作原理, 特長, さらに検証結果を紹介した。MEXA-7000シリーズとGDC-703を組み合わせることによって, 高精度な1つのワイドレンジによる排ガス測定が可能になる。従来, 測定濃度範囲ごとに多数のボンベガスが必要であった濃度目盛り校正作業を大幅に削減し合理化をはかり, しかも高精度に行なうことができるようになった。今後は, 測定機器の性能向上はもちろん, 一層使いやすい機器の提供を通じて, お客様の要望に応じていきたいと考えている。



平井 仁史

Hitoshi HIRAI

エンジン計測設計部

1993年入社

自動車排ガス分析装置の研究 開発

厚膜ジルコニアNO_xセンサを使用した
直挿型NO_x計 MEXA-120 NO_xNon-sampling NO_x Analyzer Using Thick Film Zirconia NO_x
Sensor MEXA-120 NO_x

井内 穰・木原 信隆

Yutaka IUCHI and Nobutaka KIHARA

【要旨】

ジルコニア固体電解質を利用した窒素酸化物センサを使った小型・軽量の自動車排ガス用直挿型NO_x計 MEXA-120NO_xを開発した。本稿では、窒素酸化物センサの測定原理、MEXA-120NO_xの構成を紹介する。さらに、実際のエンジンを使った化学発光分析法との評価試験の結果、高い測定精度と応答性を有していることを確認した。

Abstract

A non-sampling NO_x analyzer MEXA-120NO_x with a sensor made from a solid electrolyte is described. The sensing head can be inserted directly into the exhaust pipe. MEXA-120NO_x is housed in a portable case and designed to output the NO_x concentration. This report includes the measurement principle, the specifications and the experimental data by the gasoline engine.

1 はじめに

自動車はより燃料消費を抑えることが常に要求されている。燃料消費低減のため、近年、より多くの車が希薄燃焼技術を利用し、燃費の向上したリーンバーンエンジンを搭載しつつある。

リーンバーンエンジンからの排ガス中の窒素酸化物(NO_x)濃度は、理論空燃比で運転されるエンジンより低濃度になる傾向にある。しかし、理論空燃比で運転されるエンジンには高性能の三元触媒^{*1}が利用でき、触媒を取り付けた車の排ガス中のNO_x濃度はリーンバーンより低くなる。一方、リーンバーンエンジンの場合は、排ガス中に酸素が多量に残存しているため、従来使われているNO_x触媒が利用できない。現在、リーンバーンエンジン用のNO_xトラップやNO_x触媒の開発が進んでいるが、合わせてリーンバーンエンジン自身から排出されるNO_x低減も必要である。このために、NO_xをより高速・簡便に測定する技術が求められている。

従来の化学発光分析法(CL)または非分散赤外分析法(NDIR)を使ったNO_x分析計は、サンプリング系が必要となり、小型化が難しく、手軽に持ち運んだり車に搭載するには適さなかった。そこで、当社では、ジルコニア固体電解質を利用した窒素酸化物(NO_x)センサを日本ガイシ(株)殿が開発されたのを機に、このたび、これを使った直挿型自動車排ガス用NO_x分析計MEXA-120 NO_xを製品化した。

^{*1} 三元触媒
排ガス中のCO, HC, NO_xを浄化する触媒。還元雰囲気
でNO_xを分解、酸化雰囲気ではCO, HCを酸化して、
無害なCO₂, H₂O, N₂に変える

2 測定原理

2.1 NOの解離と酸素濃度の測定

板状のジルコニア固体電解質の両面に、電極を形成すると、ジルコニア板の前後に酸素濃度差があるとき、両電極間に起電力が発生する。逆に、電極間に外部より電圧を加えると、酸素イオンがジルコニア中を移送でき、ジルコニア板の前後で酸素濃度差を作ることできる。これをイオンポンプと呼ぶ。

一酸化窒素(NO)の解離、結合平衡反応は下式で表わされる



ここで、(1)式の右辺において酸素を除去することで、平衡は、NOの解離に傾き下式の解離反応が進む。



(2)式より、解離・除去された酸素量はNO量に比例する。すなわち解離した酸素を測定することでNOが測定できる。図1に測定原理を示す。

NOの解離により生じる酸素の変化量の計測を測定原理に使用しているため、サンプルガス中の酸素濃度をNOx測定の前に、一定の極く低い酸素濃度に処理する必要がある。そのためNOxセンサは、第一内部空間と第二内部空間の二つの空洞を持ち、それぞれの内部空間には異なった機能をもつイオンポンプが製作されている。第一内部空間で、サンプルガス中の酸素をイオンポンプにより汲み出し、酸素濃度を極めて低い濃度に制御している。その後サンプルガスは第二内部空間に拡散する

第二内部空間にはロジウム(Rh)電極(これをNO検出電極と呼ぶ)をもつイオンポンプが製作されている。またさらに第二内部空間の酸素濃度は、ほぼゼロ近くまで下げられる。Rhは、ほとんど無酸素の条件下ではNO分解の良好な分解触媒であり、Rh表面でNOがN₂とO₂に分解する。この分解により発生した酸素をイオンポンプで汲み出し、その電流を測定すれば、NOの濃度を求めることができる。なおNO₂に対しても同様な解離が行われ、酸素イオン電流を測ることでその濃度を測定することができる。しかしNO₂に対するセンサの感度はNOに対するその0.8である。その原因は第一内部空間でのNOへの解離及びNOとNO₂の拡散係数の違いによるものと考えられる。

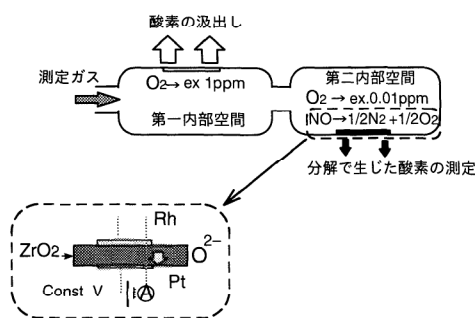


図1 ジルコニアNOxセンサの測定原理
Principle of zirconia NO sensor

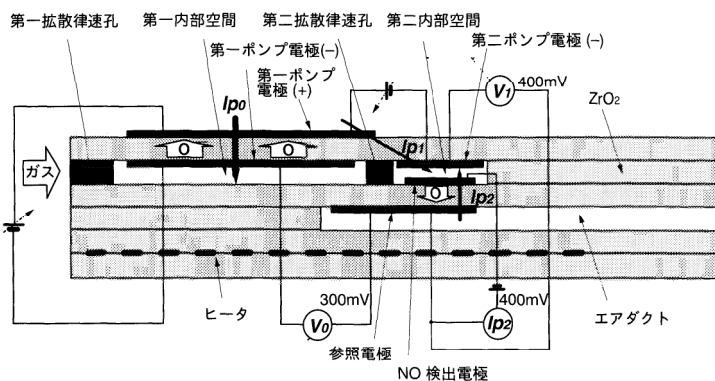


図2 NOxセンサの縦断面
Cross-section view of NOx sensing element

2.2 センサの検出原理

センサはジルコニア固体電解質の厚膜積層によって製作される。センサの構造を図2に示す。センサは電解質中のイオン移動の効率をあげるため700~800℃程度に加熱されている

第一内部空間の酸素濃度は V_0 で検知され、ポンプ駆動電流 I_{p0} を制御することで、第一内部空間の酸素濃度を一定(約1ppm)に保っている。同様に、第二内部空間の酸素濃度は、 V_1 で検知され、ポンプ駆動電流 I_{p1} の制御により酸素濃度を一定(約0.01ppm)に保っている。

センサには、第一、第二内部空間以外の間隙としてエアダクトがあり、第一、第二内部空間内の酸素濃度を測定するための基準電極(大気基準)が取り付けられている。NO検出電極には基準電極との間に一定電圧(例400mV)を印加しNOを分解、その際に発生するイオン電流 I_{p2} の大きさを測定してNO濃度に換算する

なお、第一内部空間だけを見ると限界電流式酸素センサと同様の構造と機能を持っており、酸素濃度、空気過剰率(λ)または空燃比(A/F)を測定することができる

3 MEXA-120 NO_xの構成

MEXA-120 NO_xは、理論空燃比から希薄にかけての燃焼条件で排出されるガソリンエンジンまたはディーゼルエンジンからの排ガス中のNO_x濃度測定を目的としている。外観を図3に、図4にブロックダイアグラムを、表1に仕様を示す。



図3 自動車排ガス用直挿型NO_x計MEXA-120NO_x Overview of MEXA-120NO_x

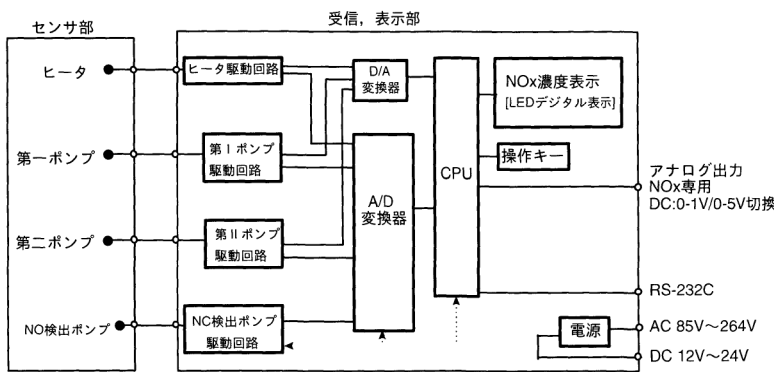


図4 MEXA-120NO_xの電気回路ブロックダイアグラム
Electric block diagram of MEXA-120NO_x

測定項目	NO _x , 酸素濃度, λ , A/F
測定範囲	NO _x : 0~5000ppm O ₂ : 0~25% λ : 2.4~4 A/F : 6~60
表示	NO _x : 赤色LEDデジタル表示5桁
デジタル出力	RS-232C
アナログ出力	NO _x : DC0~1または、DC0~5V
再現性	±2%FS
直線性	±1%FS
応答時間	T ₉₀ = 0.5 sec (流量15 l/minの時)
暖機時間	約3分 (指示安定まで約5分)
供給電源	AC 85V ~ 264V DC 12V ~ 24V 50VA
外形寸法	150(W) × 125(H) × 275(D) mm
重量	約3kg

表1 MEXA-120NO_xの仕様
Specifications of MEXA-120NO_x

本分析計はセンサ部と受信・表示部で構成され、センサを直接排気ガスにさらすことでNO_x濃度を測定する。センサは取付部外径が自動車用酸素センサと同径であり、酸素センサ取付口などを利用して直接に排気管に挿入することも可能である。

受信・表示部はセンサの信号を濃度に変換し表示するもので、軽量小型であり、前面シートキーのみですべての操作が可能である

4 測定例

(1) 直線性の確認

図5に既知濃度のNOガスを流したときの、ガス濃度とセンサの出力の関係を示す。NO_xセンサが広い濃度範囲で良好な直線性を持っていることがわかる。

(2) 化学発光法との相関

実際の排ガスによる本計測方法の評価を試みた。評価は、エンジン排ガス測定方法として実績があり、精度が高い化学発光法との比較により行なった。

図6にMEXA-120 NO_xと相関関係を示す。エンジンは2.0lのガソリンエンジンを理論空燃比(A/F=14.7)で運転し、NO_x濃度はEGRを作動させて変化させた。横軸は当社の化学発光法NO_x分析計CLA-150で測定された濃度で、縦軸がMEXA-120 NO_xによるものである。両者は良好な相関を示している

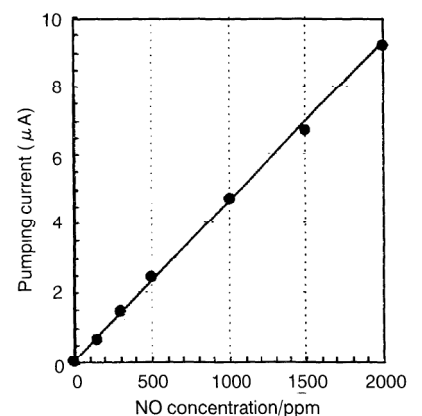


図5 NO_xセンサの直線性
Linearity of NO_x sensing element

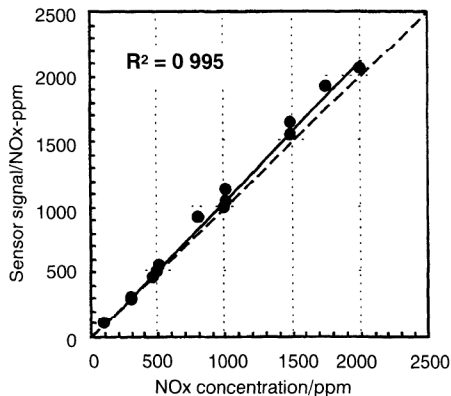
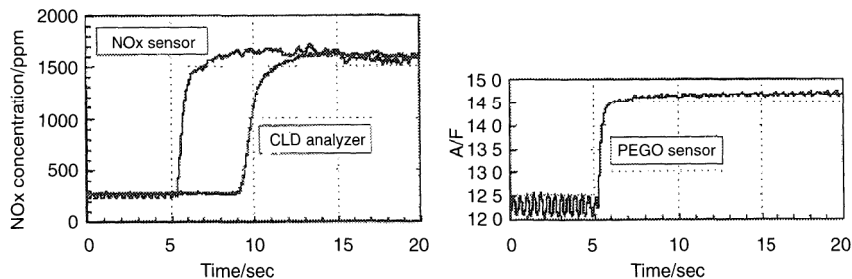


図6 ガソリンエンジンによるCLA-150とMEXA-120NOxの相関関係
Correlation between CLA-150 and MEXA-120NOx using gasoline engine

(3) 応答速度

図7に排気管にNOxセンサを直挿したときの応答速度を示す。MEXA-120 NOxのセンサと、空燃比を計測するための酸素センサ(Proportional Exhaust Gas Oxygen Sensor: PEGO)は、排気ポートより1.5m下流の排気管に直接挿入した。同時に、NOx濃度を確認するためにCLA-150も併設しているが、サンプリングチューブ(6m)が長い分だけ応答が遅れが生じている。



(A) Response curve of CLA-150 and MEXA-120NOx

(B) Response curve of PEGO O₂ sensor

図7 ガソリンエンジンによる応答速度

Response properties using gasoline engine

この試験では、NOx濃度をステップ状に変化させるため、2.0lガソリンエンジンを2400rpm/5.0kgmで運転し、空燃比を12.3から14.7へ急激に変化させた。このときのPEGOセンサの応答($T_{33-66}=160\text{msec}$)から推察すると、NOx濃度変化は、 $T_{33-66}=160\text{msec}$ 以内で起こっていると思われる。

本試験の結果、NOxセンサの応答は $T_{33-66}=260\text{msec}$ と高速応答を示している。一方、NOxセンサの指示値はCLA-150とほぼ等しい値を示し、高速応答ばかりでなく正確な計測も可能であることを示している。

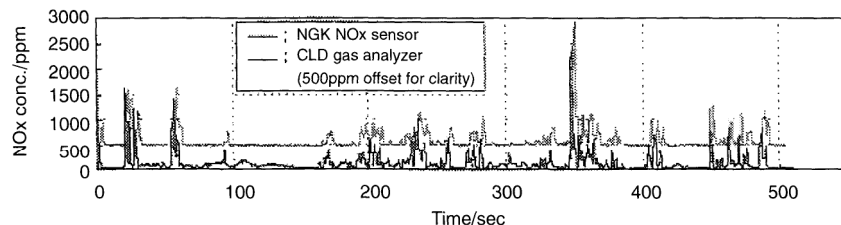


図8 ガソリンエンジンによる走行試験 (FTP-75 (HOT-505))

Response curve using gasoline engine on driving pattern FTP-75

(4) トランジェントモード運転

図8にトランジェントモード(FTP-75)走行^{*2}のダイレクトサンプリングによる測定結果を示す。比較に用いたCLA-150のサンプリングホースによる応答遅れは、CLA-150本体のサンプルガス入り口付近にNOxセンサを挿入して補正した。

両者は極めてよい一致を示しており、定常状態だけでなく、過渡状態にあるエンジンのNOx濃度も正確に測れることが分かる。

5. まとめ

以上、ジルコニア固体電解質NOセンサを用いたMEXA-120NOxは、小型で取扱いが簡単で、しかも排気管に直接挿入も可能なNOx計であることを確認した。

これらの特長は他の測定方法では得難いものであり、さらなる改良を加え、リーンバーンエンジンだけでなく、使用過程車のNOx測定や車検場、修理工場といった方面への展開をはかって行きたい。

^{*2} トランジェントモード走行
自動車の排ガス特性を試験するために定められた、実際の走行状態シミュレートするための走行パターン

参考文献

- 1) Nobuhide Kato, Yasuhiko Hamada, and Hiroshi Kurachi “Performance of thick film NOx sensor on diesel and Gasoline engines ” SAE paper NO 970858
- 2) Nobuhide Kato, Kunihiko Nakagaki, and Noriyuki Ina “Thick film ZrO₂ NOx Sensor.” SAE paper NO 960334
- 3) Shigeo Soejima and Shunzo Mase “Multi-layered zirconia oxygen sensor for lean burn engine application ” SAE paper NO 850378
- 4) Noboru Higuchi, Shunzo Mase, Atsushi Iino, and Nobuhide Kato “Heated zirconia exhaust gas oxygen sensor having a sheet-shaped sensing element ” SAE paper NO 850382



井内 穰

Yutaka IUCHI

エンジン計測開発部

1989年入社

主にディーゼルPM分析関連製品の
開発



木原 信隆

Nobutaka KIHARA

エンジン計測開発部 チームリーダー

1982年入社

排ガス測定装置の開発



右京 越畑 吉永 秀

ホリバのエンジン計測関連の 技術開発・生産拠点のグローバル化

HORIBA's R & D and Production on a Global Basis for the Measurement of Engine Parameters

齊藤 壽一・長野 隆史

Juichi SAITO and Takashi NAGANO

【要旨】

ホリバグループでは、'70年代の早い時期から欧米に子会社を設立し、それぞれの市場要求に合ったエンジン計測システムを現地で生産・開発し、提供してきた。以来、開発プロジェクトについても現地の要求事情に合わせて個別に各国で進めていたが、'80年代後半から顧客のグローバル化が急速に進み、今までそれぞれの地域内に留まっていたローカル製品が、他地域に導入されるようになった。これに伴い同じ目的の製品が、ホリバ内に複数存在するという非効率さが、大きな問題となってきた。近年、堀場製作所が中心となり、全世界の開発作業を取りまとめ、世界共通仕様での製品開発を推し進める体制を整備している。

Abstract

In the mid-1960s HORIBA introduced automotive emission analyzers to the US market soon after the commencement of their production in Japan. Engineering and production activities were initiated in California in 1970 and in Europe in the late 1970s. Today, HORIBA's products in this field are developed and manufactured at the various facilities around the world following the philosophy of "Do it in the place where it will be done the best". Details are reported.

1. はじめに

1960年代に自動車からの排出ガスによるスモッグが大きな社会問題となって以来、ホリバグループ(ホリバ)は自動車を始めとする内燃機関からの排ガス用分析計を開発、全世界に出荷してきた。また排ガス分析計だけでなく、排ガス試料採取装置、排ガス試験自動化システム、排ガス試験用路上走行再現装置(シャシダイナモ)、人間に代わるロボットドライバーなど周辺装置を順次、開発/導入し、排ガス試験設備・機器の総合メーカーとして、トータルシステムを提供できる能力を持つに至った。

排ガス分析計の多くは、堀場製作所が独自に開発した技術を基にしているが、海外子会社での開発技術や海外の企業からの技術導入によるところも少なくない。

360円/\$の頃から米国で排ガス測定装置を生産してきた当社にとって、現地生産のメリットは、カスタム製品を中心としている性格上、生産コストの削減以上に、いかに正確迅速に顧客の要求に応えるかにあった。言い換えれば、海外で経



図1 初期のHIIにおけるMEXA組み立て風景
MEXA assembly at HII in its early stage

- 1970：現地合弁会社(Olson/Horiba Ltd)設立
- 1972：定容量排ガス試料採取装置(CVS)の生産開始
- 1973：HII(Horiba Instrument Inc)設立
- 1975：米国環境保護庁(EPA)に排ガス分析システムを納入
- 1977：ミシガン州アン・アーバーにHADを設立
EPAの試験手順(FTP)に沿った車両やエンジン単体での排ガス試験自動化システムの開発生産を開始。
- 1980：電気慣性方式の排ガス試験用二軸DCシャシーダイナモメータの開発に成功 日本を始めとする全世界へ出荷を開始
- 1991：48インチ軸ACシャシーダイナモの開発に成功 米国EPAの排ガス認証試験用に納入 全世界100台以上の販売実績
- 1991：CFV(臨界流ベンチュリ)に代わる、亜音速ベンチュリ流量計を使った可変流量CVSの開発に成功 米国EPAなどへ納入開始

表1 米国における排ガス計測事業の発展経過
History of MEXA business in U S A

- 1972：ドイツ フランクフルト市にHoriba GmbH(後のHE)を設立
- 1977：英国にHILを設立
- 1977：HEにエンジニアリング部門を設置
- 1979：MEXA-8000シリーズの生産開始
- 1990：ベンツ社から排ガス試験設備の自動化/データベースシステムを受注
- 1996：シュツットガルトにHEADを設立

表2 ヨーロッパでの排ガス計測事業の発展過程
History of MEXA business in Europe

験の少なかった日本企業である堀場製作所が、米国ビッグスリーなど大手顧客に参入しようとする、機能的には顧客がすでに使っているシステムにできる限り合わせ、分析部の性能で競合との差別化を行う必要があった。

2. 米国での開発生産活動

ホリバのエンジン計測関連製品の海外生産は、大気浄化法案改定(マスキー法)で揺れていた'70年に、米国カリフォルニア州に現地企業との合弁会社で始まった。'73年に合弁を解消してHoriba Instrument Inc (HII)を設立し、以来、ホリバの海外での開発・生産の中心となっている。

同社では、'75年には米国環境保護庁 (Environmental Protection Agency : EPA)に排ガス分析システム(図1)を納入したのに続き、'77年にはEPAの自動車排ガス試験場があるミシガン州アン・アーバー市に排ガス試験自動化システムの開発生産部門「Horiba Automation Division(HAD)」を開設した。現在HADはホリバのソフトウェアシステム技術開発の中心的役割を果たしている 表1にホリバの米国における排ガス計測事業の発展経過を示す。

3. ヨーロッパでの生産開発活動

'72年、当時の西ドイツ・フランクフルト市にあった現地事務所をベースに、Horiba GmbH(後にHoriba Europe GmbH(HE)に改称)を設立した。'77年には英国にHoriba Instruments Limited : HILを設立、以後、フランス、オーストリア、スウェーデンにHEのオフィスを開設した。

設立当初、これらのヨーロッパの子会社は、日本や米国で開発生産された製品の販売・サービスを主に担当していた。その後、寸法単位や電源の違いなど、現地の顧客要求に合った計測システムを提供するために、'77年にHEエンジニアリング部門を設置し、'79年からは当時の最新鋭排ガス分析装置MEXA-8000シリーズの生産を開始した。

その後、納期、品質保証の面から、一時期、日本での生産に戻すこともあったが、現在では日・米・欧の三極体制が整っている。

'90年にベンツ社から排ガス試験設備の自動化/データベースシステムを受注したのを機会に、同社のあるシュツットガルト市にHEのエンジニアリング部門の一部を移し、さらに'96年には、Horiba Europe Automation Division(HEAD)を設立した。今後HEADは、ソフトウェア製品の全ヨーロッパの拠点となる事が計画されている。

表2にホリバのヨーロッパでの排ガス計測事業の発展過程を示す。

4 アジア地区での生産活動

(1) 中国

'85年、中国での自動車車検制度導入に備え、中国政府環境庁および自動車工業部(省)からの要請により、広東省の佛山分析儀器廠へ自動車車検用小型排ガス分析計(MEXA-324Fシリーズ)の技術移転を行った。佛山での生産活動は順調に推移し、現在、年間約800台の生産を誇っている。近い将来の本格的なモーターゼーションの到来に備え、現在、中国政府は新しい排ガス規制を検討している。今後とも佛山分析儀器廠と協力して、中国市場に適した排ガス計測システムを開発・生産して行く予定である。

(2) 韓国

'80年代の韓国自動車産業の急成長に呼応して、'88年12月、すでに設置していた販売サービス会社とは別に、Horiba Korea Ltd.(HKL)を京畿道富川市に設立した。HKLでは、現在、年間1500式程度の車検用の小型排ガス分析計の生産と、大型排ガス分析計MEXA-9000シリーズの組み立てを行っている。

5. グローバル化への対応

5.1 個別製品のグローバル化

当初、エンジン計測製品のほとんどは日本、米国、欧州で独自に開発されていたが、1985年には、堀場製作所とHADにより排ガス試験自動化システム(VETS)を初めて国際共同開発した。システムエンジニアリング技術の優れたHADに開発担当者を集め、開発を完了した後、製品/技術を日本やアジアで展開する方式を取ったのである。

5.2 MEXA-7000の開発

'80年代後半に自動車メーカーのグローバル化が本格化するのにもない、分担開発・生産体制に問題が生じてきた。日・米・欧の特定地域向けに開発された限定仕様の製品が他の地域で使われることが多くなり、世界共通仕様の製品開発が緊急課題となってきた。

'93年エンジン排ガス分析装置MEXA-7000シリーズの開発にあたり、各国の市場要求に共通仕様で応える為、日・米・欧によるグローバル開発プロジェクト(図2)を発足させた。

プロジェクト開始当初、定期的なミーティングによる仕様のやり取りだけでは各国の議論がかみ合わず、技術者の相互派遣によって1年半という短い期間で開発を完了した。

とくに、今まで独自の製品開発を行っていた米国人スタッフ数名を、常時堀場製作所に迎えたことにより、ホリバグループ意識がさらに高まった。'95年2月の米国自動車技術者学会(SAE)で新製品MEXA-7000(図3)を発表したが、顧客の良好な反応はもちろん、HIIスタッフが自信を持ってセールスプロモートする様子は、ホリバのグローバル化を象徴していた。

5.3 グローバルな製品企画

このプロジェクトの成功以後、グローバルに対応可能な製品の重要性、効果は全世界のホリバ・エンジン計測グループ、および経営陣に認められ、日米欧の組織を超えたグローバル製品企画グループ(Global Products Planning Group : GPPG)が結成された。GPPGは年に数回一同に会してミーティングを開き、開発テーマの選択、仕様、市場性、開発場所/方法などについて討議すると同時に、全世界のホリバをつなぐ社内情報システム(HORNET)を利用し、常に情報の共有化をはかっている(図4)。

新シャシダイナモの日米共同開発や新コンピュータシステムの日米欧共同開発、ディーゼルパティキュレート試験装置の英国での日欧共同開発など、それぞれの開発テーマに応じて、最適な技術、リソースのある場所にグループ内の人員を結集させ、グローバルな開発を推し進めている。

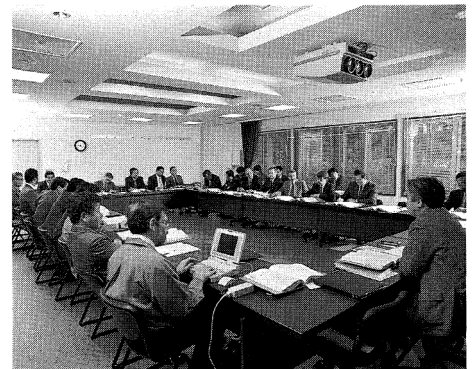


図2 MEXA-7000開発プロジェクト会議
MEXA-7000 project meeting

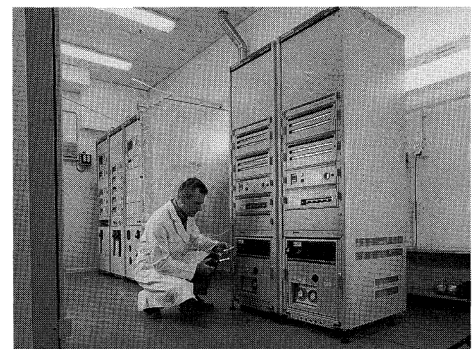


図3 エンジン排ガス測定装置MEXA-7000シリーズ
Motor exhaust gas analyzer MEXA-7000 series

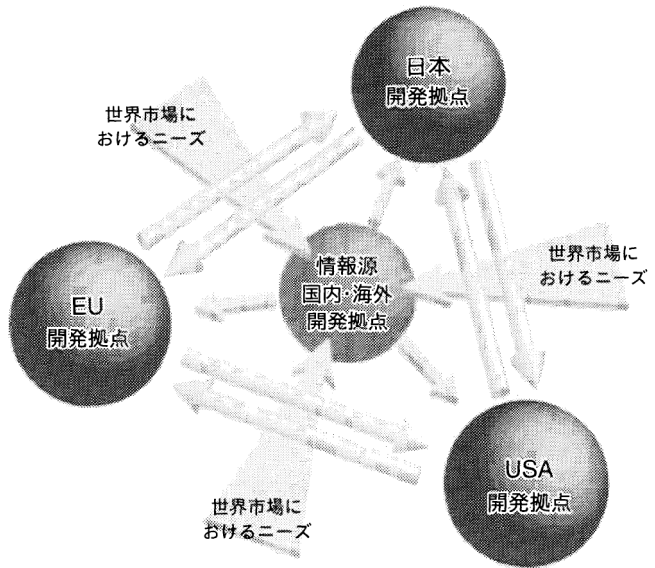


図4 ホリバグループのグローバルな製品開発体制
Global product development in HORIBA group

6 おわりに

現在、ホリバ・エンジン計測グループでは、ますます加速する市場・技術のグローバル化に合わせ、世界共通仕様の製品を集中開発し、各地域の市場要求に応じて現地で製品をシステムアップする方向に移行している。この為、全世界の市場要求を常に把握出来る情報ネットワーク、組織を構築し、お客様のニーズにリアルタイムに応じて行きたいと考えている。



齊藤 壽
Juichi SAITO

エンジン計測企画開発部 部長
1982年入社
エンジン計測関連製品の製品企画



長野 隆史
Takashi NAGANO

エンジン計測企画開発部 チームリーダー
1985年入社
エンジン計測関連製品の製品企画

Volvo's Philosophy of the Preservation of the Environment



Ulla-Britt Fräjdin
Hellqvist

Director of Competence centre
Environment, Volvo Car Corpora-
tion

<Experience>
Master of Science Technical Phys-
ics, in 1979, from Chalmers Univer-
sity of Technology

She begun working as computer
analyst at Volvo Car Corporation,
and developed in-house Computer
Aided Design systems

She has held several responsible
positions within the Engine depart-
ment at VCC since then and played
a major role in defining the envi-
ronmental strategies for VCC be-
fore becoming Environmental Di-
rector.

She is also a member of the Re-
search Committee, Swedish Envi-
ronmental Protection Agency and
member of the board of the Swed-
ish Foundation for Strategic Envi-
ronment Research. She has been
member of the Swedish EMAS
Council 1995-96

She is currently Director of Envi-
ronment at the Volvo Car Corpora-
tion company.

Introduction

Volvo has regarded the environment as a very important issue since 1972. We have defined environmental work as including the whole life cycle of the product as well as the total value chain. In order to minimise the environmental impact we have to understand how our activities affect the environment in the value chain areas including the various processes, products and transports related to each step in the value chain.

In all its environmental work, therefore, Volvo has adopted a cradle to the grave approach in all its operations which, means incorporating the principal of Life Cycle Assessment (LCA) in the work. We can no longer just look at the impact of the car on the environment when the car is produced or scrapped. We have to acknowledge that the impact of the car on the environment is at its heaviest when the vehicle is being operated, in other words, when the customers are using the car. Some might think that this is beyond the control of the car industry, but the truth is that we are the ones who set the parameters for the use of the car.

Where are we now on the “learning curve” of environmental impact?

In June 1995 Volvo Car Corporation (VCC) set up a course of environmental training for the whole company - the Dialogue on Environment. The main purpose was for everyone to understand what the environmental problems are, especially those related to car industry.

ボルボ社における環境保全の理念

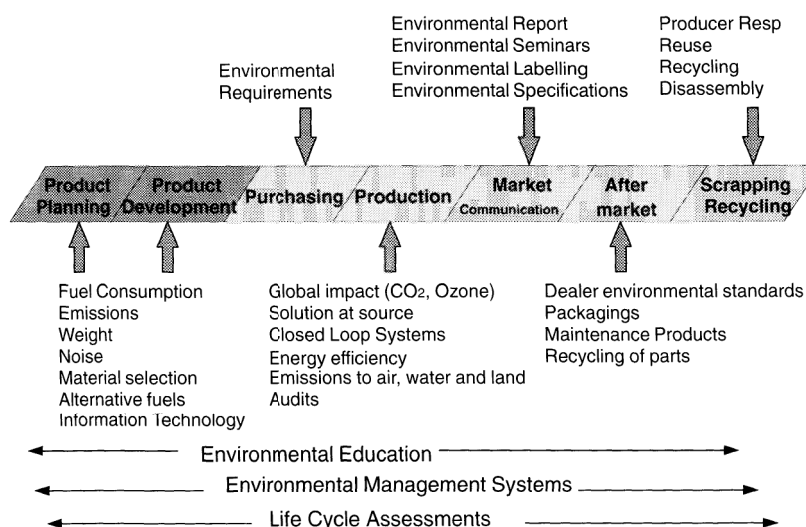
はじめに

1972年以来、ボルボは環境への対処を製品の全ライフサイクルを含む価値創成の一環と定義づけ、これら一連の価値創成に関連したさまざまな工程、製品、輸送が、いかに環境に影響しているかを理解するために、ライフ・サイクル・アセスメント(LCA)の原理を取り入れてきた。車の環境への影響が最も大きいのは、使用時、つまり製品が我々の手を離れ、使用者の手に渡ってからであるが、我々は、使用時に発生する環境事象の諸変数を決めるのは製造者の責任であるとの認識に立っている。

我々は今、環境影響についてどの位知っているのだろうか？

1995年6月、ボルボ自動車会社(VCC)は全社的な環境教育のコース「環境についての対話」を設定した。主たる目的は、環境問題をすべての従業員が理解することであった。我々は品質不良と保証コストの関係、販売の落込みや顧客の不満には敏感に反応するが、環境への姿勢の悪さが直ちにそれらに反映するわけではない。我々は、従業員に対する環

The Environmental Issue at Volvo 1997



We are used to giving importance to all aspects of quality performance including production, marketing and service. We can easily see the results of poor quality in high warranty costs, lost sales and dissatisfied customers. But this is not evident when it comes to environmental performance. Poor environmental concern does not immediately effect the cost account, the sales report or customer satisfaction report.

We believe that, at the turn of the century, a company in the forefront of environmental concern has invested in a good portion of basic environmental training for all employees.

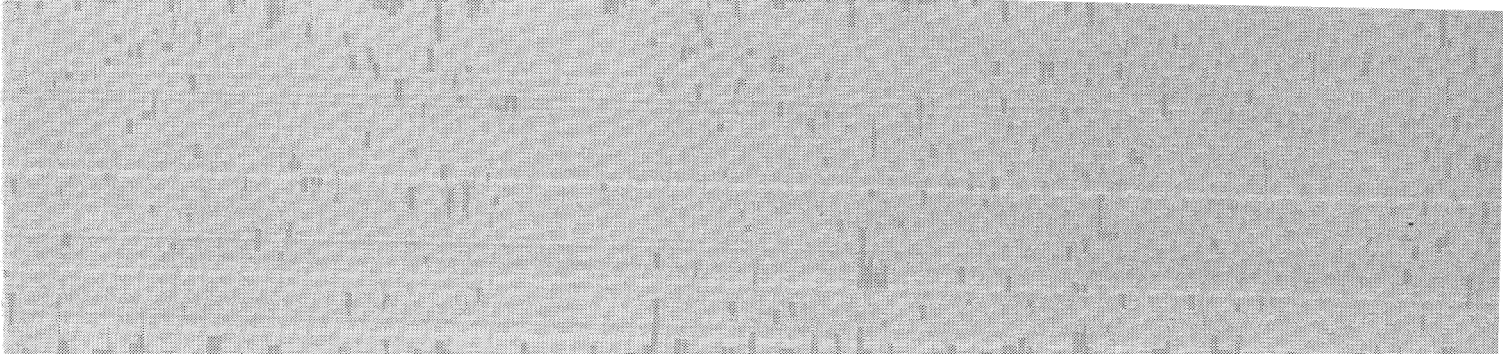
環境教育に十分な投資が必要であると考え、理解を実行に移すために、環境作業の改善継続を事業計画に組み入れる「ボルボ環境管理システム(VEMS)」を設定した。

環境—事業評価の新しい分野

自動車産業の環境対策は、会社の技術者と関係当局の折衝が主であった過去に比べて、事業計画として環境目標を達成しようとする今では、その多くがトップの議題である。環境は経済に関係しており、いかに注目を引き重要な事項と思われても、経済的な解決がなければその結果は悲惨である。我々はLCA手法を採用することが実施の道と考え、環境評価に5つの主題：生体の多様性考慮、人類の健康に対する価値、持続可能な生物学的再生産、次世代のための自然資源の確保、そして自然の美しさの保存、を基底においている。

グリーン・マニュファクチャリング

環境問題の発生を避け、資源の使用を出来るかぎり少なくする生産プロセスの開発が、この問題の焦点である。多くの化学生成品が製品の材料として使われているが、その管理は実際上製造企業の責任である。我が社のMOTIVシステムは5千種の化学品についてその使用・管理を規定し、さらに、納入業者および契約者に対する「環境要求」を設定した。こ



Understand the problems is one thing but to doing something is another We have therefore established the Volvo Environmental Management System (VEMS) to ensure that we have an organised way of handling any environmental issue The VEMS will ensure that we continuous improve the environmental work within all our operations and make this publicly known.

Environmental performance – a new area for business considerations

It can be said that environmental work in most of the car industry has been an issue between the companies' technicians and authorities However, environmental concern has increasingly become a permanent issue on the top management agendas Yesterday's periodical reports from the environmental manager on how production plants lived up to the requirements set by the local authorities give a sharp contrast to today's company-wide work to achieve the environmental goals set in the company business plan

In order to have everybody understand the impact on the environment of our products we believe it is essential that we use a well-known scientific method on which to base all our findings and integrate these findings into the ordinary business decision making It is important that environment and economy are related Interesting and important environmental findings but no economical solutions is a disaster both for ecology and economy We believe the way of doing this is by using LCA The LCA method is mostly used to compare two or more possible choices and today it has been partly integrated with the ordinary design and developing procedures


れにより、すべての関連する人たちがその製品の全ライフサイクルについて、同等の高い環境基準に立って環境への影響を減少させることを期待している。

燃料消費／CO₂

自動車産業に対する車の燃料消費削減要求は、地球温室効果に対する懸念の増大によって強化されて来た。我々は新しい概念に基づいて、軽量で再生可能な新素材、効率のよい動力系統と付属品の新開発、そして代替燃料の発見と使用についても関心を高めている。ヨーロッパでは地球温暖化をきわめて深刻にとらえ、多くの施策を実施し、大気中CO₂量の安定化対策への提案を行ってきたが、ボルボは1990年から2005年の間にヨーロッパで売られる車の平均燃料消費を25%減少させることを表明している。

エミッション

過去数十年、有害排出物の処理システムの改良が進み、間もなくそれ以上に有害排出物を減少させても、大気の質の改善には殆ど貢献しないほどになると予測される 新世紀に入る頃に販売される新しいガソリン車は、きわめて高効率の排気制御システムを装備し、これらの車からの排気は、汚染された都市の大気より清浄なものになるだろう。排気制御



We base our environmental valuations on five safeguard subjects Bio-diversity (a large bio-diversity reduces the risk of environmental disturbance), Human health (Good quality of life-healthy living and general well-being), Production (Sustainable biological production is necessary for long-term survival), Resources (The safeguarding of our natural resources to be used by future generations) and Aesthetic values (preservation of the beauty of nature)

Green manufacturing

The main focus is on developing production and process solutions at the source i.e avoid the creation of an environmental problem which would lead to heavy investments in after treatments and cleaning processes as well as using as few or as little of nature's resources as possible

One of the remaining challenges is to control the use and spreading of chemical compounds The world knows of about 10 million chemical compounds today About 100 000 of these are ingredients in chemical products frequently used in today's society. It goes without saying that it is an impossible task for the authorities to control the use of chemicals. It will therefore be up to the corporations to control the use themselves We has developed our own system MOTIV which includes 5000 chemicals in production

Another big challenge is to secure that all our suppliers hold, at least, the same level of environmental performance Volvo has therefore developed Environmental Requirements on Suppliers and Contractors We expect everybody to decrease the

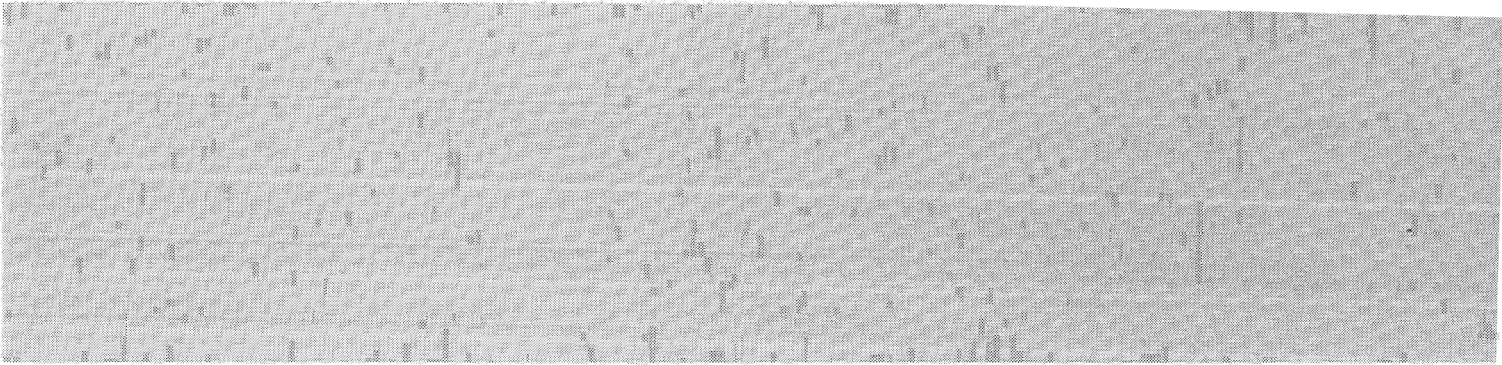
システムに欠陥のある車一台は新車百台分のエミッションを排出することになることを考えると、車のライフタイムを通じたエミッションの管理こそ重要な課題である。

代替燃料

主な代替燃料は液化または高圧のメタン(天然/生物資源系ガス)、アルコール(メタノール/エタノール)、液化石油ガス(LPG)、植物系油(パーム オイル/菜種油-RME)、ジメチル・エーテル(DME)、それに電気である。ボルボの「代替燃料バンク」の原料抽出から燃焼に至る分析では、再生可能燃料がすべて環境的に無害ではない。ボルボが提示している二種燃料併用車(メタン/ガソリン)S70およびV70は、カリフォルニアのULEV規制に合致し、バイオガスおよび天然ガスでも走行する。

リサイクリング

1980年代以来、捨て場面積不足が主な理由で車のリサイクリングが注目を浴びた。効率良いリサイクリング・システムは重量比で約75%を回収し、技術上100%回収も可能だが、環境的には大異変、経済的には狂気の沙汰である。ボルボの研究では、環境上のメリットはリサイクリングが最適レベルに達するまで増加、それ以上では減少する。リサイクルは



environmental impact of the full life-cycle of their products, from the cradle to the grave, comply with the same high environmental standard.

Fuel consumption/CO₂

The car industry is required to cut down on fuel consumption, which is a demand being intensified to a great extent by growing concern about the global greenhouse effect

As a consequence we can see new developments in respect of new concepts, the use of new lightweight and renewable materials, more efficient drive lines and accessories and increased interest in finding and using alternative fuels, both fossil, and renewable sources

There are different driving forces in different geographical areas behind this movement. Europe is taking global warming very seriously and number of measures have been taken and suggested in order to fulfil the commitment to stabilise the amount of CO₂ in the atmosphere

We at Volvo have made a commitment to reduce our average fuel consumption by 25% between the year 1990 and 2005 for the average car sold in Europe

環境メリットに集中するのが賢明で、軽量の車がライフタイムを通じてより少ない燃料消費ならば、再生メリットが低い軽量材料を使用しても、環境上の影響は少なくて済む。EU委員会の95%回収要求は軽量材料の開発を抑制しはしないだろうか。

顧客の環境意識

車の顧客および消費者団体が、車が製造される時、使われる時、廃棄される時の環境影響について、製造者の説明を求める声はますます高まってくる。ボルボは自発的にその製品系列についての「環境仕様」を公表しているが、将来は車の環境性能についても公表の基準が決められることになるだろう。そうなれば、誰も環境に関する公共とのコミュニケーションを避けては通れない。それはボルボにとっても歓迎すべきことである。

(抄訳 編集部)



Emissions

During the last decades the car industry has improved the after treatment systems to reduce harmful emissions. Harmful emissions will gradually decrease as we will soon be dealing with very small emissions and further reductions contribute very little to improve the quality of the air-which for a very long time to come will be affected by the properties of the existing (old) car fleet.

The emissions from new petrol cars sold around the turn of the century will have emission control systems that are so efficient that the polluted air in many European cities will actually be cleaned by these cars!

A car with a defect emission control system emits as much as one hundred new cars! It is extremely important to safe-guard exhaust emission control over the car's lifetime.

Alternative Fuels

The main alternative fuels are liquified or compressed methane (natural gas or bio-gas), alcohols (methanol and ethanol), Liquified petrol gas (LPG), vegetable oils (palm oil and rapeseed oil-RME), dimethyl ether (DME) and electricity (from different sources).

Volvo has developed an Alternative Fuel Bank including all the phases, from the extraction of raw material to combustion of the fuels. This "cradle-to-the-grave" analysis is of great importance when it is being decided which alternative fuel to use today and tomorrow. Not all renewable fuels are environmentally sound from a holistic point of view. We can see that many alternative fuels originates from local interests and local solutions are developed. The challenge is to develop an alternative fuel, for all cars, which can be used world-wide like we today use petrol and diesel.

The dominant fuels in the near future will be further developed petrol and diesel qualities with a lower aromatic content, increased use of oxygenates and lower sulphur contents.

Today Volvo offers bi-fuel (methane and/or petrol) S 70 and V 70 cars to our customers. These cars meet the California ULEV emission level requirement and can run on both bio-gas and natural gas.

Recycling

Recycling of cars is an issue that has been focused primarily in Europe since the late eighties. The original reason was the lack of landfill space. In most countries about 75 percent of the weight of the cars are recovered in well functioning recycling systems. It is the metals that are recovered due to their inherent value as recycled materials.

A car is technically feasible to recycle completely to one hundred percent. But this would mean an environmental catastrophe and economical insanity! Research carried out by, among others Volvo, clearly clarifies that the environmental gains increases when investing in recycling up to a certain optimum and then decreases.

It is essential to have the environment in focus when giving priority to what to recycle. Our research tells us that the total environmental gain is small on materials like plastic, rubber and glass. Our conclusion is that it is wiser to concentrate on recycling the materials that give the big positive environmental effects rather than on the materials which give high recycling results in terms of weight.

Future car will most probably contain a higher portion of light weight plastic material due to that the concern for lower fuel consumption. These plastic material will not all be suitable or possible to recover as material. We get lower environmental impact if a light-weighted car consumes less fuel over its lifetime than to get these light-weighted materials recovered as material. To demand, as proposed by the EU commission, 95 percent recycling as recovered material would therefore prevent promising light weight design materials to develop.

Customers' environmental awareness

We can foresee a rapidly increasing demand from car customers and consumer organizations on the car manufacturers to describe the environmental impact of the car when it is produced, when it is used and when it is due for scrapping. Volvo has voluntarily published Environmental Specifications of our product range. In the future, we believe, there will exist developed standards for how to declare the environmental performance of a car. From then on it will be hard to get away with "green washing" in environmental communication to the public. Volvo looks forward to this development!

環境マネジメントシステム ISO 14001を取得 HORIBA's Environmental Management System Certified to Comply with the Requirements of ISO 14001

鈴鹿 周正

Norimasa SUZUKA

地球環境の保全に世界的な感心が高まる中、堀場製作所は、品質管理に関する国際規格であるISO 9001の認証を1993年10月に取得したのに続き、いち早く環境管理システムの構築に着手した。環境理念と環境方針の策定、環境計画の設定、効果的な運用へと進め、おりしも、地球温暖化防止に関する国際会議(COP3)が京都で開催される本年の環境月間(1997年6月)に、国内の分析・計測機器メーカーとして最初にISO 14001の認証を取得した。

今後、環境マネジメントシステムのさらなる発展をはかり、環境計測機器の製造販売とともに、関連するノウハウ・情報の積極的な提供を通じて、地球環境の保全に寄与できることを願っている。

1. 環境ISO取得に向けて

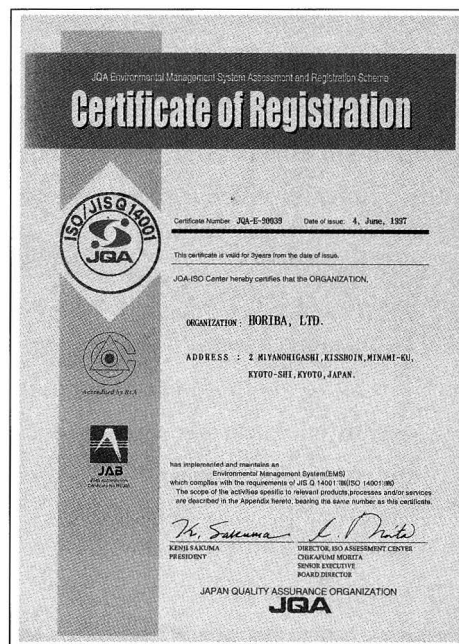
当社の製品は環境関連に深く関わっており、環境保全に必要な計測機器の生産・販売が主たる事業と言っても過言ではない。

大気汚染防止・水質汚濁防止のためには、計測という手段により現状把握から始まる。国内において、公害という社会言語的な用語が使われ始めたのは、歴史的にはそう古くはない。終戦後の重化学工業の発展とともに、工場から発生する「ばい煙」や「排水」、また自動車による「排出ガス」が、周辺住民の人体の健康被害をもたらした。その対策として、大気汚染防止法と水質汚濁防止法が制定され、規制が1950年代後半頃より順次、実施・強化された。

当社ではこれらの規制に対応した計測機器として、pH測定器、大気汚染監視装置、自動車排出ガス測定装置、煙道排ガス測定装置、COD測定装置、有機汚濁物質測定装置などの公害関連製品を生み出した。その後年々規制値の強化や規制範囲の拡大により、次々と新しい製品を開発した。

このような状況下、環境関連事業に深く関わりがある当社としては、「環境を守り続ける企業」として、1991年には環境管理室を設置し、母体組織を設立した。

この頃、地球環境に関連した事業として、1992年6月に南米のブラジルで開催された地球サミットには、国内企業として展示会に単独出展し、ホリバグループの国際的な活動を積極的にPRした。



登録証

また、この年には、世界気象機構(WMO)の基準観測所としての気象庁南鳥島観測所に、バックグラウンドの大気中炭酸ガス濃度連続測定装置を納入し、地球温暖化防止へ大いに貢献している。

その後、1993年には、国際標準化機構(ISO)の品質関連の規格であるISO 9001を取得したのを機会に、環境ISOの規格化動向とあわせて本格的にISO 14001の取得に動きはじめた。

2. ISO 14001の規格要求事項と当社の対応

2.1 環境方針

環境方針の制定にあたり、まず、企業としての「環境理念は当社の創立記念日の1996年1月26日を目指して策定された。この日、経営者のISO 14001取得を目指す発表がなされるとともに、社内ポスター：Challenge! ISO 14001を掲示し、各関連部署において、従業員全員に取得に向けて啓蒙活動にはいった。

また、社内報を通じてISO 14001とは何かを意識させる啓蒙活動もおこない、15週間にわたりISO特集を連載した。

環境理念に並行して環境方針を作成し事業活動の見直し進展により、数回修正され、現在の環境方針に至った。



<環境方針>

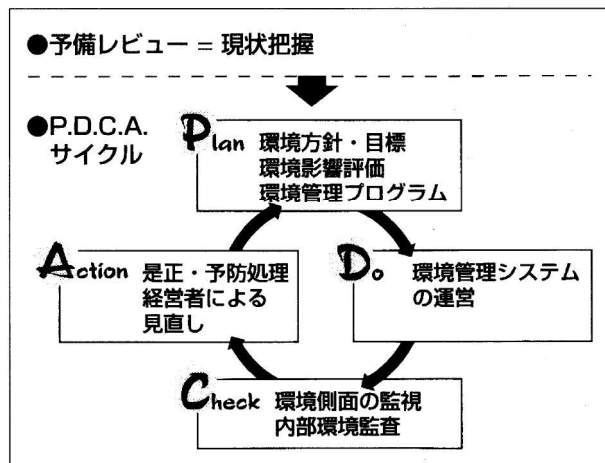
地球環境の保護・改善に貢献する分析機器・計測システム及び周辺機器の開発と普及による社会的責任を果たすべく、以下の環境方針を定める。

1. 省資源・省エネルギーに重点を置き、環境負荷の少ない製品開発に努める。
2. 継続的な環境改善活動を展開し、環境汚染の予防、資源・エネルギーの節減に努める。
3. すべての環境関連法規等を遵守すると共に、自主管理基準を設け、環境の保護・改善を図る。

2.2 計画

当社においては、法規制の対象となる項目では負荷の大きな環境側面はほとんどなかったが、地球環境面から省資源・省エネルギーや、廃棄物・廃液、そして、当社の独自性を考慮した環境目的・目標の作成にあたった。これらの目的・目標については、ISO 14001取得活動開始以前より推めてきた「省エネルギー活動」、「コピー枚数削減活動」、「休憩時間の消灯活動」、「モデルチェンジ製品の省エネルギー化の推進」などとの整合をはかり、また、当社がキーステーションとなっている国内の酸性雨測定ネットワーク「HONEST」などを自主環境改善テーマに盛り込むなど、検討を加えた。

これらを含めた現状把握をもとに、計画・実施・確認・処置の(PDCA)サイクルを循環させ、持続可能なシステムの構築をはかり、数回の修正を経た上で、現在の環境目的・目標を掲げた。



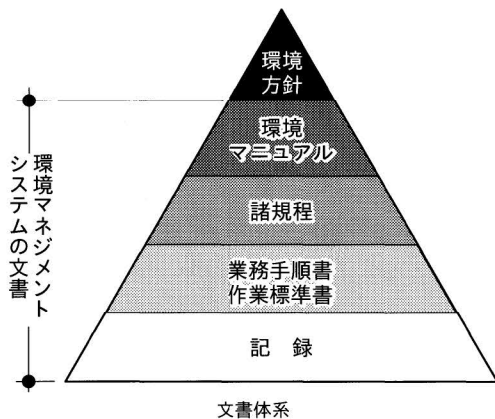
<環境目的・目標>

- 環境負荷の少ない製品開発に取り組む。
新製品の消費電力および廃液発生量の削減に積極的に取り組み、目標として5%削減とする。
- オゾン層破壊および地球温暖化の防止に取り組む。
プリント基板の無洗浄化、金属加工品の水洗浄化、既納の油分濃度計の溶剤の代替溶剤化により、フロン系溶剤や塩素系溶剤の撤廃を2000年度までに実施する。
- 電気エネルギーの節減に努める。
新規導入設備の省エネ設備の採用、昼休みの消灯、OA機器の電源を退社時に切断する。
- 廃棄物のリサイクルに取り組む。
梱包時の緩衝材についてダンボール紙等に置き換え、木屑・紙屑・可燃廃プラスチック・電池の社外リサイクルを行う。
- 環境汚染の予防に積極的に取り組む。
異常時、緊急時に想定される環境汚染の予防措置を構築する。

2.3 実施と運用

環境活動を効果的に進めるために、会社規程の充実をはかり、規程・基準で補えない範囲は、手順書レベルにまで落とし込みを行い、整備した。

環境マニュアルは、1996年10月に初版が作成され、社内緊急プロジェクトの発足を同時に行い、環境管理室と一体となり、最後の追い込みにかかった。



2.4 点検と是正処置

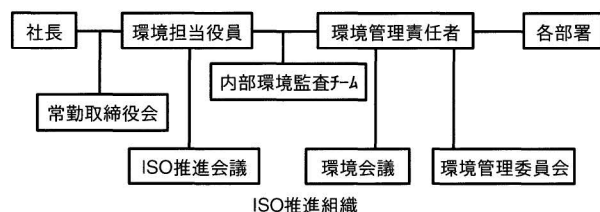
環境マニュアルおよび関連規程、基準、手順にもとづき、実施される体制が初動した事で、運用に向けて監視・測定、記録を開始した。この後、環境マネジメントシステムの稼動状況について、当社の内部監査員(ISO 14001内部監査員教育による資格取得者は現在総勢18名)による内部監査を本年2月に一斉に実施し、システムの総点検を関連部署全てにわたり行なった。

この内部監査による不適合の是正と、改善すべき事項の洗い出しをおこない、ISO 14001の受審の準備が整った。

2.5 経営者による見直し

ISO推進会議が経営者(環境担当役員)による見直しの会議として位置づけられている。この会議は、各部署の代表者により構成されており、経営者の見直しによる決定事項について各部署に落とし込んでいくシステムで動いている。さらに、下位の環境会議にて各部署へのライン活動に向けた具体的な指示・伝達をおこなう。また、環境管理委員会では、環境に関する日常業務における課題の洗い出しや審議をおこない、環境管理責任者に報告するシステムをとっている。

おのおのの会議の責任と権限そして、環境担当役員、環境管理責任者、各部署の責任者の果たすべき役割については、「環境マニュアル」に明示している。



3. 環境計測機器メーカーとしての役割

ISOの要求事項には法的及びその他の要求事項の遵守が規定されている。

現在、国内には、環境関連の法律である環境基本法をもとに、大気汚染防止法、水質汚濁防止法、下水道法、悪臭防止法、騒音規制法、振動規制法、廃棄物処理法、省エネルギー法など数多くの環境保全法がある。さらに、地方自治体の議会で制定される条例や協定があり、企業はこれらを遵守し生産活動にあたるのが義務付けられている。そのため、各種の計測機器を使って環境に対する負荷を的確に把握し、企業活動に素早くフィードバックすることが不可欠である。ここで重要な点は、計測目的に最も適した計測機器を設置し、正しく管理することである。

当社は、大気・水質分析計、排水・排ガスモニタリングシステム、酸性雨測定キットなどの各種の環境計測機器を製造・販売している。今回、当社がISO 14001認証を取得したことは、従来のように計測機器の提供者という立場だけでなく、ユーザーの視点に立った情報を提供できる機会を得たものと認識している。これらの情報を本誌(Readout)始め、当社のホームページ(GAIAPRESS)、当社が環境保全活動として推進している酸性雨に関するパソコンネットワーク(HORNET)などを通じて積極的に公開し、さらに、品質の国際規格(ISO 9001)による環境負荷低減を考慮した商品の研究開発により、お客様と一緒に環境保全活動を継続することが、21世紀の持続的な発展につながるものと確信している。

In June of 1997, HORIBA Ltd. was certified and registered internationally as an organization that has implemented an Environmental Management Systems(EMS) that complies with the requirements of ISO 14001. This paper reports the complementary tasks and related activities conducted within the company to apply the HORIBA's EMS according to the specifications required by the ISO 14001.



鈴鹿 周正
Norimasa SUZUKA

環境管理室 室長
1971年入社
環境管理および施設管理、
技術情報室長兼務

Particle Size Distribution Analyzer: Model LA-920

Terry STAUFFER* and Tatsuo IGUSHI

<Abstract>

The new Horiba LA-920 particle size distribution analyzer was designed to meet the present needs in particle measurement with significant advances in the hardware technology and in the software - in both the algorithms employed and in the automation and operational conveniences that were added. Measurement performance, in terms of resolution, dynamic range (0.02 to 2000 microns), repeatability and reproducibility, have all been improved with a new 87-element detector system, auto-alignment and an advanced iterative algorithm that optimizes the resolution. A new circulation system features a centrifugal pump, solvent-compatible surfaces, and an ultrasonic probe in the flow stream for maximum particle dispersing capability. The operation of the analyzer is much simplified with automatic features that minimize operator involvement, and data retrieval and manipulation capability is enhanced with a new data base management system.

1. Introduction

The new Horiba LA-920 particle size distribution analyzer was designed to meet the present needs in particle measurement with significant advances in the hardware technology and in software, in both the algorithms employed and in automation and conveniences.

* HORIBA Instruments Inc.

粒度分布測定装置 LA-920

1. はじめに

粒度分布測定におけるユーザーニーズの傾向は、分解能、ダイナミック・レンジ、再現性等を含む測定性能、最高の粒子分散、自動化、操作性などに顕著である。堀場の粒度分布測定装置LA-920はこれらのニーズに対応し、新たに設計したハードウェアおよびソフトウェアによって、粒度測定における光散乱/回析法の有用性を実証した。

2. 測定性能

2.1 分解能

LA-920によるNISTラテックス標準試料0.2、0.3および0.5ミクロンの混合サンプル(図1)、ラテックス標準試料0.7および1.0ミクロンの混合サンプル(図2)の測定結果を示す。この分解能は、第一に広角検出器の数を2倍にし、第二に2種の異なった波長の散乱光により検出情報を増加し、第三に検出アレーを含む検出

* Angular light scattering is based on the principle that particles scatter light at angles inversely proportional to their size, the smaller the particle the larger the angle of scatter. As with all particle size measuring techniques, the method assumes that the particles are spherical. Factors affecting the measurement include shape, refractive index and sampling and dispersing techniques^{1,2)}

1.1 Trends in User Needs in Particle Size Analysis

General user needs in particle size analysis have moved in the direction of improved measurement performance, optimal particle dispersing ability, automation, and operational conveniences. Measurement performance includes such criteria as resolution, dynamic range, instrument repeatability and instrument-to-instrument agreement.

1.2 Trends in Light Scattering Technology

Angular light scattering technology* has made advances in all these areas. The need for measuring finer and finer sizes (increased dynamic range) was met by including Mie corrections in the deconvolution algorithms, which themselves have advanced from the early matrix inversion approach to iterative routines that maximize resolution. Continuous advances in computers and software have allowed more and more automation of the measuring process as well as data and display manipulation conveniences for the operators.

2 Measurement Performance Needs

2.1 Resolution

Resolution in particle size distribution analysis refers to the ability of the analyzer to resolve multiple peaks (modes) in the distribution and the extent to which separation occurs between adjacent peaks. For example, two instruments may resolve a mix of two different narrow distributions, but one may go to baseline between peaks and the other only down to say 50% of the height of the peaks. The instrument that goes to baseline between the two peaks would be considered to have better resolution, even though both identified the two modes correctly.

A high degree of resolution is desired to be able to detect minor but important differences in size distribution. Often small amounts of a slightly coarser mode than the main mode indicates unwanted agglomeration, or stray particles that can damage surface finishes, by abrasives or in coating applications. A small amount of an additional fine mode may indicate the small amount of active ingredient added to a pharmaceutical preparation, and therefore it must be measurable to maintain correct specifications.

Figures 1 and 2 show some results of measurements on the new Horiba LA-920 particle size analyzer. In Figure 1, a mixture of three NIST-traceable latex standards, at 0.2, 0.3 and 0.5 microns, demonstrates excellent resolution to

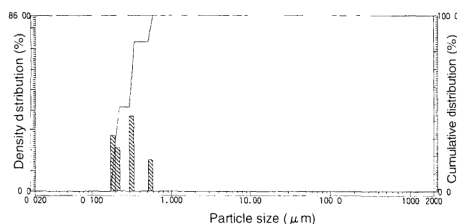


Fig 1 Measured result of mixed polystylen latex standard (0.2, 0.3, 0.5 μm)

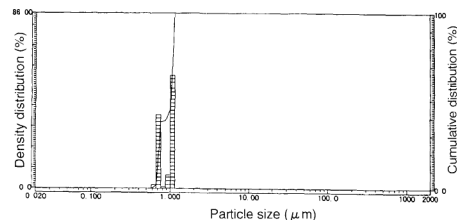


Fig 2 Measured result of mixed polystylen latex standard (0.7, 1.0 μm)

器の素子総数を87個に増加して、達成された。さらにアルゴリズムの改良によって最適の分解能を得る反復計算の回数を自動的に決定するようにしている。

2.2 測定範囲

LA-920の測定範囲は、0.02~2,000ミクロン、ダイナミック・レンジは100,000である。後方散乱(図3)は、633nmのレーザー光に加えて、波長405nmの入射光により検出情報量を増加して0.02ミクロンまでの微粒子検出を可能にし、中心部に検出器を追加した。75素子のアレー検出器(図4)により、1,000~2,000ミクロンの範囲の粒子の検出を可能にしている。

2.3 繰り返し精度

LA-920は、自動光軸調節装置により常に光軸がアレー検出器の中心に当るように設計されており、手動作業では達成できない高い繰り返し精度の保持を達成した。

baseline between the peaks, which are separated by only 0.1 and 0.2 microns respectively. Figure 2 shows a mix of two latex standards at 0.7 and 1.0 microns with the same degree of resolution. Note also that each standard is reported at exactly its specified size in both graphs.

This superior resolution is accomplished with a combination of features that work together to achieve the end result. First, the number of wide angle detectors which detect the fine size range have been increased from six to twelve, providing more measured points in the range. Second, each of these detectors measures the scattered light from two different wavelengths, which doubles the amount of information used in the calculation. Third, the total number of detectors has now been increased to 87, which improves the resolution capability by a factor of more than three. And fourth, an advanced algorithm that automatically determines the number of iterations to use to achieve the optimum resolution has been incorporated into the size calculations.

2.2 Range

A wider range capability gives the user more flexibility in that one instrument can handle more applications, and that minimizes the amount of equipment the user needs to have for particle size analysis.

The range of the LA-920 is from 0.02 to 2000 microns, giving it a dynamic range of 100,000; this is the largest dynamic range available with angular light scattering instruments. It is made possible in the LA-920 by a combination of the 12 wide angle detectors, the 405-nm wavelength incident light source and the new 75-element forward detector array.

The wide angle detector system senses scattered light up to 150 degrees from the forward direction, which contributes more information to calculation of the finest sizes (smaller particles scatter light at higher angles). The 405-nm wavelength, in addition to providing more information to enhance resolution, allows the LA-920 to sense the light from particles that are smaller than can be sensed by the 633-nm laser light, by a factor of 405/633; in other words, it can sense particles that are 405/633, or 0.64 times the diameter of the smallest particles sensed by the laser light. This, combined with the wide angle detectors, is what gives the LA-920 the smallest low-end range in angular light scattering instrumentation. Figure 3 is a diagram of the wide angle detector layout in the LA-920.

The new 75-element silicon diode forward detector array, in addition to enhancing the resolution in the medium and upper size ranges, provides additional

2.4 再現性

工場出荷時に、LA-920は装置全数をNISTの標準試料で校正し、装置間の差(RSD)を2パーセント以内としている。4台のLA-920についてNIST標準試料3種を測定した結果を示す(図5)。

2.5 精度のトレーサビリティ

米国の製薬産業では測定機の検定内容がFDA(米国食品医薬品局)要求に適合しないと、新しいプロセスは稼動できない。出荷時にNIST標準試料で校正しているLA-920は容易にこの要求を充たす。1,000ミクロン標準試料による結果を示す(図6)。

3 サンプル粒子の分散

サンプル中で一部の粒子が互いに凝集していたり、凝固しているような場合、目的により、測定に先立ってそれらを最適状態に分散させる必要がある。

detectors at very low angles to sense particles that range from 1000 to 2000 microns, effectively doubling the range of the new instrument. See Figure 4 for a schematic of the forward detector array.

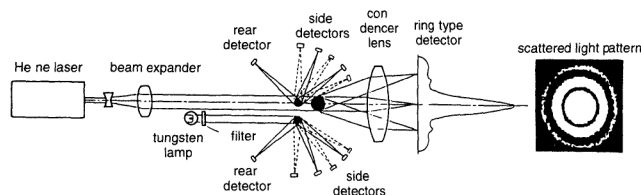


Fig 3 Wide angle detection system

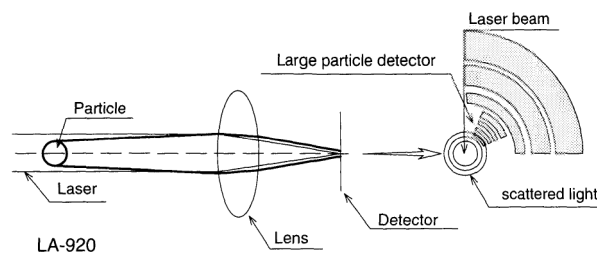


Fig 4 Forward detector array

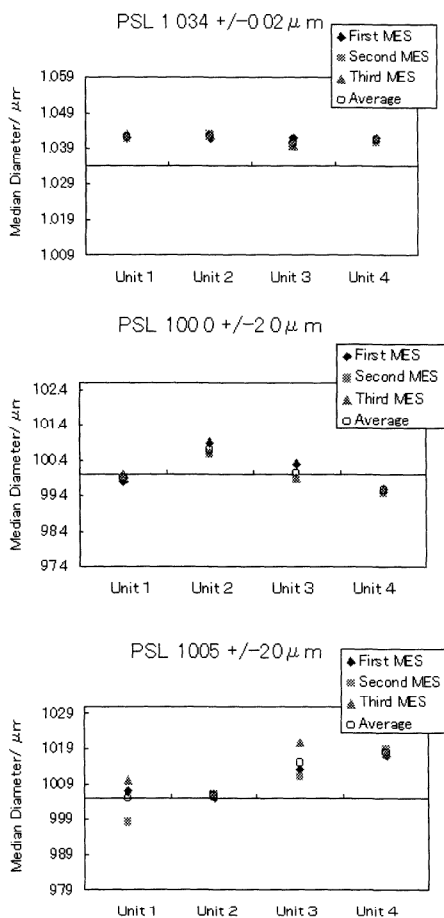


Fig 5 Reproducibility on four LA-920

2.3 Repeatability

The greater the instrument repeatability, the fewer the number of samples that need to be measured to achieve the same level of tolerance in statistical quality control applications³⁾. The LA-920 has a new auto-alignment system that automatically assures that the light beams stay targeted dead center on the forward detector array. This allows the instrument to maintain a level of precision for each measurement, and therefore a level of repeatability, that could never be achieved manually.

2.4 Reproducibility

Most companies have needs for more than one particle size analyzer, and most are involved in supplier-customer relationships for powdered materials. This creates a very strong need for maximum reproducibility among instruments. Customers need to verify specifications of incoming materials from their suppliers, and plants located around the world must get the same results from their instruments to insure company-wide product uniformity.

The complete detector system, both the wide angle and forward array, of every LA-920, is factory-calibrated using NIST-traceable particle standards. This standardized calibration assures a level of instrument-to-instrument reproducibility which results in less than a 2% Relative Standard Deviation (RSD) among instruments. Figure 5 illustrates typical reproducibility on four production LA-920 analyzers. Results are given for each analyzer on three different NIST standards (1,100 and 1000 microns) in a series of three measurements each.

3.1 分散エネルギーの設定

LA-920の循環システムに組み込まれている超音波プローブは、パソコンで必要な強さ、必要な時間等の条件を設定することにより、凝集・結合した粒子を任意のエネルギーで分散させることができる。

3.2 耐薬品性

循環システムの接液部は、ステンレス鋼、ガラス、テフロンまたはチタンである。これらの材質により、ほとんど全ての溶媒で問題なく使用できる。

3.3 測定セルにおけるサンプルの流れ

LA-920に採用した循環システム(図7)は、測定フローセル部において分散媒中の粒子が常に均一に流れるように設計されている。遠心ポンプは2,000ミクロンの鋼球を含むサンプルの循環に対しても十分な能力を有する。

2.5 Accuracy Traceability

The pharmaceutical industry especially, among others, must be able to validate the performance of their instrumentation. Their validation has to meet FDA requirements before any new process can be put on stream. The LA-920 can easily be validated by measuring NIST-traceable standards, since the instruments are calibrated to these specifications before they leave the factory. The result of a 1000-micron standard is shown in Figure 6.

3. Dispersion Needs

Particulate systems occur in many different states of dispersion. In some, each particle is discrete and separate. Others may be weakly “stuck” together (flocculated or agglomerated) or strongly bonded (aggregated). And, depending on the application, some need to be measured in their naturally occurring state whereas others may need to be further dispersed, or separated from each other.

3.1 Dispersing Energy

The LA-920 circulation system provides an in-stream 30-watt ultrasonic probe to allow the user to disperse the particles to any degree desired. The probe can be used at a number of different power settings and for variable amounts of time. The probe is located in the circulation stream in such a way that all the particles impinge on the probe tip, where the ultrasonic energy is at its maximum. This means that particles can be completely dispersed in the minimum amount of time.

3.2 Solvent Compatibility

All wetted surfaces of the circulation system are either stainless steel, titanium glass or Teflon. With these inert materials, any of the liquids needed for carrying particles for size analysis can be employed with no problem.

3.3 Representative Presentation

The LA-920 uses a newly designed centrifugal circulation pump and flow path to ensure that a representative sample of the size distribution appears in the sensing zone at all times. The pump is powerful enough to circulate 2000-micron particles as heavy as steel, and the transition pieces from the circular Teflon tubing to the rectangular sample cell create a continuous flow distribution, free of any eddy currents, providing a representative sample across the entire sample cell. The complete layout of the circulation system components and actual flow path are shown in Figure 7.

4 自動化

LA-920のソフトウェアは、すべての操作をパーソナルコンピュータにより制御設定できるように設計されている。最大24種の測定手順ファイルの組込みが可能で、個々のボタンやスイッチによる調整や操作をする必要がなく、自動的に測定手順を実行させることができる。

5 操作の容易性

5.1 データの取扱いと表示

Windows95™をベースにしたLA-920のソフトウェアは、測定結果の整理が容易にできる。粒度分析に使用される代表的なグラフおよび表の出力形式を網羅している。さらに、画面のレイアウトは、自由に設定することができ、異なったサンプルの測定結果を画面上の別々のグラフで表示できる(図8)。

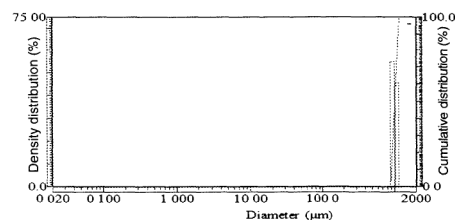


Fig 6 Measured result of 1000 μm standard

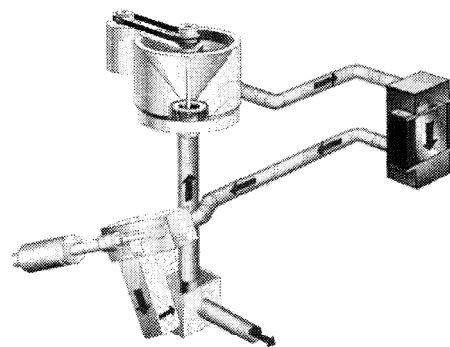


Fig 7 Newly developed circulation system

4. Automation

Automation in analyzers offers two major benefits to the user: 1) it saves money by freeing up an operator's time, and 2) it gives consistently correct results by eliminating operator error and variability

The LA-920 sample delivery software gives the operator freedom to interact with the analyzer, perhaps when more in a research environment, or to set up automatic routines for on-going quality control applications

The LA-920 software provides keyboard control of the: 1) circulation pump and speed, 2) sample chamber fill pump, 3) sample drain actuation, 4) ultrasonic power and time, 5) an automatic dilution control function, and 6) measurement time. The software also allows the operator to set up measure condition files where the sequence of sample preparation (e.g., ultrasonic treatment) and delivery events are automatically executed. As many as 24 different files of this type can be programmed for recall and use at any one time, but an unlimited number of groups of 24 can be stored for recall and use.

5. Operational Conveniences

5.1 Data Manipulation and Display

The Windows based operational software for the LA-920 provides many user conveniences. Data can easily be manipulated after the measurement to examine how the distribution would be reported with different optical parameters, or with a different number of calculation iterations. The data can also be reported in a wide variety of graphical or tabular formats which cover all of the typical formats used in particle size analysis. Furthermore, both the screen and hard copy report layouts can be formatted, independently, in the full variety of selections. One screen layout contains numerous (depending on monitor type) separate sample reports displayed graphically for easy comparison purposes. These data can then also be overlaid on one graph. An example of this particular screen is shown in Figure 8.

5.2 Data Retrieval and Batch Operations

A data storage system allows easy flexible retrieval of data records. Data can be retrieved by various retrieval criteria. The data, once retrieved, can be printed, exported to spreadsheets or other computers, or recalculated, in a batch operation, instead of individually, record by record.

5.2 データの修正・検索

ハードディスクなどに保存した測定結果を指定した基準に従って検索することができる。検索した結果をプリントし、再計算し、あるいは他のコンピュータに出力することができる。

5.3 レポート書式のカスタム化

LA-920では、自社のタイトルやロゴなどを使って固有のレポートフォーマットを作成することができる。作成されたレポートの画面の例を示す(図9)。

5.4 機密保護

LA-920のソフトウェアは保護機能を持っている。保護の設定により、他の者が、測定条件のファイルなどに勝手に変更することが防止される。このときLA-920にアクセスするには、使用者が各自のパスワードを入力する必要がある。

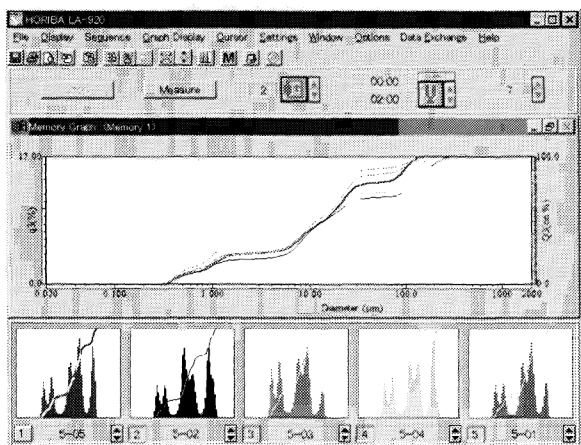


Fig 8 Screen display of multiple sample

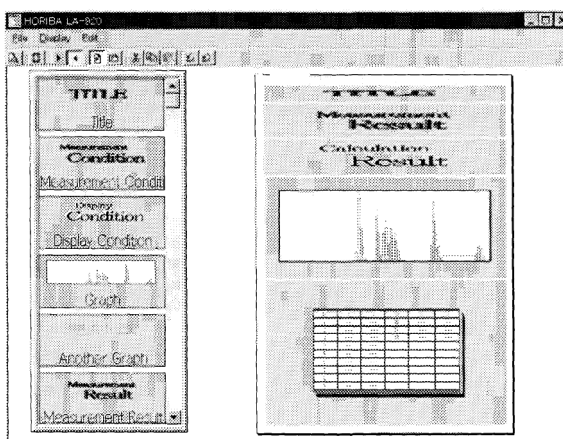


Fig 9 Screen display for creating reports

5.3 Custom Report Formats

Another convenience feature of the LA-920 is the ability to create custom report formats. Figure 9 shows the screen for creating these reports. Custom title blocks, logos and other company-specific formats can be created along with the specific report layout for the data.

5.4 Security

A security function is also included in the LA-920 software. This feature, required by most pharmaceutical companies and in an increasing number of other applications, allows the lab supervisors to set up different levels of security. These different levels prevent unauthorized personnel from changing such items as measure condition files, report display and hard copy formats, and other parameters that must be maintained. All levels of access require passwords to be set up and entered by each user.

6. Summary

The LA-920 comes with all the functions and features to meet the user needs in particle size measurement. Performance is optimized; sample dispersion can be optimally achieved; automation is available in the operation of the instrument; and, finally, the analyzer software provides all the convenience features, from custom reporting to security, that are in demand today.

6 まとめ

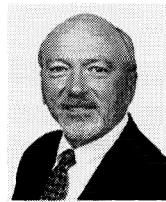
光散乱/回析法を使ったLA-920は、その測定性能、自動化、操作性などにおいて、最新のユーザーニーズにお応えできる、最も有用な粒度分布測定装置だと自負している。

(抄訳 編集部)

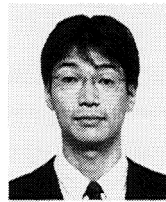
All of these contribute to angular light scattering, and the LA-920 in particular, to being the most versatile particle size measuring system available - one that can meet almost any application

<Reference>

- 1) T Allen, *Particle Size Measurement*, Chapman & Hall, London, Fourth Edition, 1990
- 2) M Kerker, "The Scattering of Light and Other Electromagnetic Radiation", Academic Press, New York, 1969
- 3) E Heidenreich & M Stintz, *Evaluation of Particle Analysis Data Regarding Reproducibility and Accuracy* "Particle Size Analysis", Edited by N G Stanley-Wood & R W Lines, Redwood Press Ltd , Wiltshire, England, 1992



Terry STAUFFER
General Manager
HORIBA Instruments Inc



Tatsuo IGUSHI
Job Leader
HORIBA Ltd

ハンディpHメータD-20シリーズ

The D-20 Series Handheld pH Meter in Immersion-proof Case

武市 伸二・岡田 敦朗・Jeffery FISHER*
Shinji TAKEICHI, Atsuro OKADA and Jeffery FISHER*

【要旨】

このほど開発したハンディタイプpHメータ「カスタンイーACT pHメータD-20シリーズ」は、野外における水質測定に欠かせない完全防水型で、pH、ORPのほかに測定用途に応じて、イオン、導電率、溶存酸素のいずれかを同時に測定できるマルチ測定機能を搭載した。電極は、応答速度の速いプラスチックボディの標準pH防水電極に合わせ、堅牢なチューブ状のガラスボディpH防水厚膜電極も新たに開発した。

Abstract

This paper introduces a series of handheld pH meters that are immersion-proof rated JIS C 0920 grade 7 (equivalent to IP-67 standard) The incredibly tough pH-sensitive glass membrane is 0.5mm thick and 1mm thick at the tip The meter can be used for such multiple applications as pH-ORP, pH-ISE (selective ion), pH-COND (electrolytical conductivity), and pH-DO (dissolved oxygen) measurement with convenient plug-in sensors

* Horiba Instruments Inc.

1. はじめに

近年、環境問題の高まりとともに、手軽なpHメータが求められている。さらに、pHと酸化還元電位(ORP)以外にも導電率や溶存酸素の値も水質管理項目として重要性が増してきており、また、測定環境も研究室などの室内だけでなく、農業、水産業、排水管理、環境測定など屋外の悪条件下での用途が増してきている。このようなニーズに応えるため、次のような特長を持ったハンディタイプpHメータ「カスタンイーACT pHメータD-20シリーズ」を開発した。

2. 機器の構成と特長

pHメータD-20シリーズの外観を図1に示す。

本器は図2に示すように、表示部、操作キー部、電極コネクタ部、温度コネクタ部、電極保持用溝部、拡張ユニット取付部、乾電池取付部で構成される。拡張ユニットを取付けることにより、時計機能、商用電源供給、RS-232C通信、プリンタ出力、レコーダ出力の機能が付加できる。

測定項目は図3に示したように、目的に応じ、pH+イオン、pH+導電率、pH+溶存酸素と、2つの測定項目の同時測定(マルチ測定)可能な3つの機種を設定した。

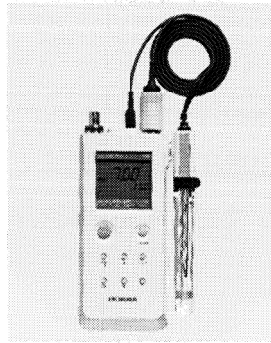


図1 カスタニーアクトpHメータ
D-20シリーズ
New waterproof pH meter D-20 series

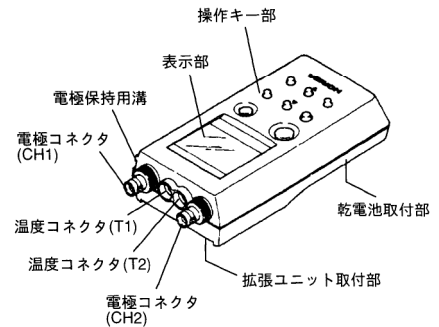


図2 本体の構成(D-23, 24, 25)
External view

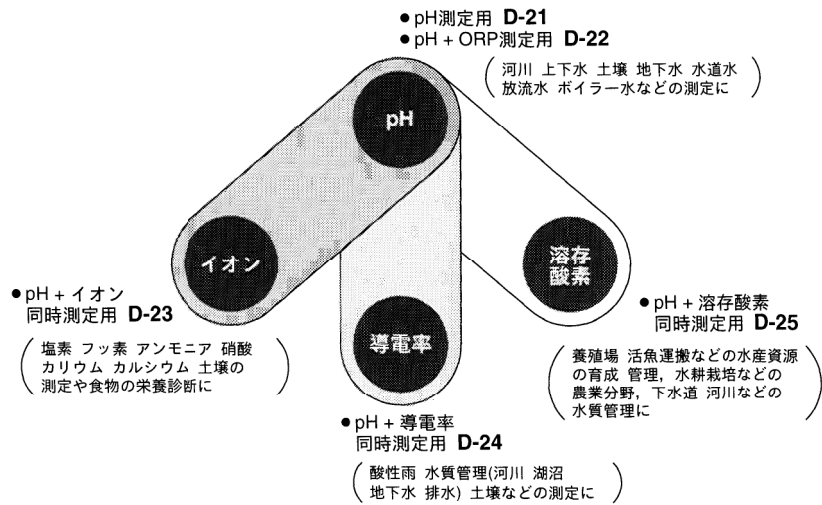


図3 機種構成と用途例
Model line up and applications

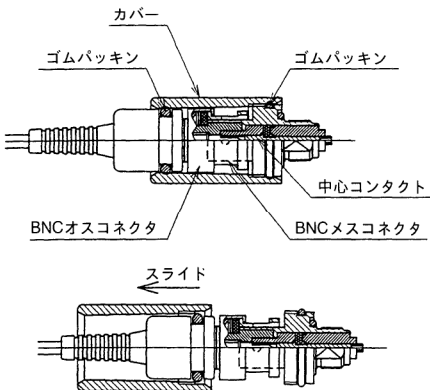


図4 BNCコネクタ部の防水構造
Cross section of waterproof BNC connector

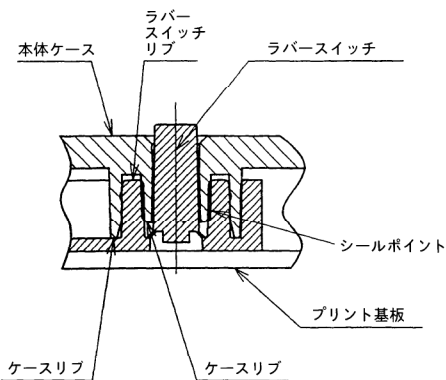


図5 操作キー部の防水構造
Cross section of waterproof operational key

2.1 完全防水構造

本体および各電極は降雨中でも測定できる完全防水構造(水深1メートルに30分間放置しても浸水しない)を採用している。

完全防水構造を実現する上でのポイントとなったのは、(1) 電極と本体を接続するBNCコネクタ部、(2) 操作キー部の2箇所である。

(1) BNCコネクタ部の防水対策

BNCコネクタ部は、図4に示すようにオスコネクタ(電極側)およびメスコネクタ(本体側)の外郭の2カ所のゴムパッキンと、その外側の円筒状カバーで構成されている。オス・メスコネクタが接続された状態で、円筒状カバーはゴムパッキンを押しつぶしながら、コネクタ部全体にスライドさせ装着することにより袋構造となり、接続部の防水構造が形成される。BNCコネクタの脱着は、カバーをスライドさせることにより従来通り容易にできる。

(2) 操作キー部の防水対策

操作キー部は、図5に示すように、本体ケースのスイッチ穴内側の周辺にある円筒状のケースリブと、ラバースイッチの円筒状部分でシールされる構造となっている(ラバースイッチがパッキン機能を兼ね備えている)。この構造により、本体ケースとラバースイッチの間のシールポイントまでの空間が小さくなり、水の溜りを極力小さくすることができる。

(3) 防水性能

D-20の防水性能は日本工業規格「電気機械器具の防水試験および固形物の浸入に対する保護等級」(JIS C 0920-1993 : 表 1)に準拠している。本体は、電極を接続した状態で水中に落としても水が内部に侵入しないように、この規格の保護等級7(防浸形)の性能を満足している。その試験条件を表 2 に示す。また、拡張ユニット装着時については、いかなる方向から水の飛まつを受けても有害な影響がないようにこの規格の保護等級4(防まつ形)を満足している。

2.2 マルチ測定

一つの試料に同一計器から2種類以上の電極で測定した場合、出力信号が互いに干渉し測定値に影響を及ぼすことがあるが、D-20シリーズでは、1つの電極の信号を取込んでいる時は別の電極からの信号を絶縁する独自の切換回路により、電極相互間の干渉影響をなくし2項目同時測定のマルチ測定を可能とした。マルチ測定の項目と機種構成および用途例を図 3 に示した。食品、農業、水産業、環境などの分野において威力を発揮する。また、2本の電極が本体に装着できる2チャンネル電極ホルダを準備しており、用途に応じて機種を選択すれば、今までのように2台の計器を持ち歩く必要はなくなった。

2.3 標準pH防水電極

D-20シリーズに標準付属のpH電極は、ボディがプラスチック製で、堅牢性、防水性に富んでいる。また、pH応答ガラス膜の改良により、水道水、地下水、河川水のように緩衝能が小さいため、測定に時間がかかるサンプルに対しても応答性が優れている。標準pH防水電極の水道水に対する応答の例を図 6 に示した。

2.4 pH防水厚膜電極

従来のpH電極の応答部は0.1mm前後の薄いガラス膜を球状に加工したもので、誤ってピーカの底などに当たると破損することが少なくなかった。そこで、図 7 に示すように、応答部のガラス膜の材料を見直すと同時に、1mm前後と、厚くし、チューブ状に加工することによって、大幅に強度を向上させた。なお、膜厚を厚くすることによる膜の電気抵抗値の増加は応答膜チューブを長くして接液面積を増大させることにより解決した。

このようなpH応答膜の強度アップにより、従来困難であったスポンジによるpH応答膜の洗浄や、図 8 に示すように、ガラスピーカ中の溶液を攪はんしながらの測定が可能となった。これらの特長により、あらゆる測定・教育現場で、誰もが容易に取り扱うことができるpHメータとして期待される。

2.5 正常作動確認(バリデーション)機能

本測定器が正しい状態で管理されているかを確認するため、次の3つの正常作動確認(バリデーション)機能が搭載されている。

- 電池の交換時期がひと目で確認できる電池電圧チェック表示。
- あらかじめ設定しておいた回数以上の測定を行うと校正時期を知らせる校正周期アラーム機能(点検時期の明確化)。
- 前回校正した日時の確認と電極の交換時期の判断ができる校正履歴/電極感度表示機能(点検結果の明確化)。

保護等級	種類	用語の意味
0	—	無保護のもの。
1	防滴Ⅰ形	鉛直から落ちてくる水滴によって有害な影響のないもの。
2	防滴Ⅱ形	鉛直から15度の範囲で落ちてくる水滴によって有害な影響のないもの。
3	防雨形	鉛直から60度の範囲の降雨によって有害な影響のないもの。
4	防まつ形	いかなる方向からの水の飛まつを受けても有害な影響のないもの。
5	防噴流形	いかなる方向からの水の直接噴流を受けても有害な影響のないもの。
6	耐水形	いかなる方向からの水の直接噴流を受けても内部に水が入らないもの。
7	防浸形	定められた条件で水中に没しても内部に水が入らないもの。
8	水中形	指定圧力の水中に常時没して使用できるもの。
—	防湿形	相対湿度90%以上の中で使用できるもの。

表1 日本工業規格による防水の定義¹⁾
Definition of waterproof from JIS

保護等級	種類	性能
7	防浸形	4.9の(1)に示す方法で試験したとき、機材の内部に浸水の形跡がないこと。又は(2)に示す方法で試験したとき、気泡を生じないこと。

4.9 保護等級7(防浸形)に対する試験 次のいずれかの方法による
(1) 機材の最上部が水面下150mmより深く、最下部が水面下1mmより深い位置になるようにして30分間水中に放置する
(2) 機材の外表面面に石けん液を塗布するか、又は機材の上部表面まで水中に没し、機材内部に0.05kgf/cm²(4.90kPa)の空気圧を1分間加える

表2 保護等級7(防浸形)の性能及び試験方法¹⁾
Test procedure and required performance of grade 7

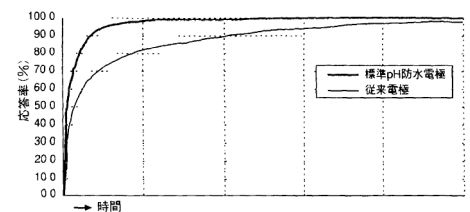


図6 標準pH防水電極の水道水試料に対する応答速度
Comparison of response speed between conventional and new type standard pH electrode (Sample : Tap water)

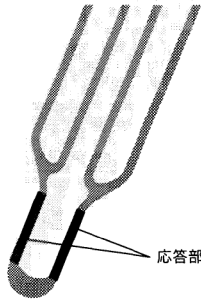


図7 pH防水厚膜電極の応答部の構造
Sectional view of waterproof durable type pH electrode

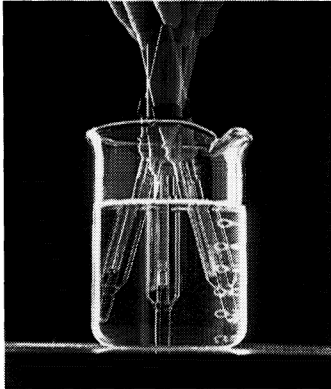


図8 pH防水厚膜電極の使用例
Application of waterproof durable type pH electrode

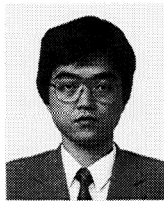
3. おわりに

防水構造，マルチ測定，厚膜pH電極，バリレーション機能といった特長となる機能を中心にハンディタイプpHメータ「カスターニーACT pHメータD-20シリーズ」を紹介した。

「カスターニーACT pHメータD-20シリーズ」は，pHおよびORP測定だけでなく，イオン，導電率，溶存酸素など重要な水質管理項目が，環境の厳しい測定現場で，簡単にできるように機能を充実させたものである。従来の研究室でのpHの単体計測に加えて，屋外の水質管理の分野でも利用が広がることを期待している。

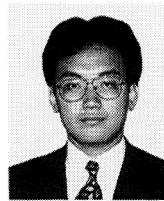
参考文献

- 1) 電気機械器具の防水試験および固形物の浸入に対する保護等級JIS C 0920-1993



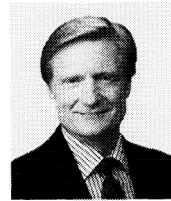
武市 伸二
Shinji TAKEICHI

科学計測開発部
1985年入社
電気化学分析装置の開発



岡田 敦朗
Atsuro OKADA

分析システム営業部
海外科学機器 チームリーダー
1988年入社
理化学製品の欧米向け販売



Jeffery FISHER

Manager
HORIBA Instruments Inc

相分析機能を応用した不均一な金属試料の X線定量分析の精度向上

A Study on the Accuracy of Quantitative Analysis of the EDX for the Elements Contained Unevenly in a Specimen

森田 洋二・石川 純代
Yoji MORITA and Sumiyo ISHIKAWA

【要旨】

従来、組成が不均質な試料の定量分析は電子プローブマイクロアナライザ(EPMA)で行うことは困難であった。堀場製作所が開発したエネルギー分散形X線分光法(EDX)の相分析機能を応用し、より簡単に正確な定量分析方法を考案した。本稿ではこの手法および実測例について紹介する。

Abstract

We have developed a data handling procedure for the quantitative analysis of elements dispersed unevenly in a specimen to be viewed with the energy dispersive X-ray spectroscopy(EDX). The procedure employs the technique of clustering, which entails gathering similar parts based on structural conditions, co-existing elements, etc. on color-coded maps of the EDX so that the optimal coefficient can be adopted individually for each cluster for higher accuracy.

1. はじめに

電子プローブマイクロアナライザ(Electron Probe Microanalysis : EPMA)は、細く絞った電子線を試料に照射し、発生したX線を計測する事により、 $1\mu\text{m}$ 程度の微小領域の元素分析を行う手法である。X線の分光方式により、波長分散形X線分光法(Wavelength Dispersive X-ray Spectroscopy : WDX)とエネルギー分散形X線分光法(Energy Dispersive X-ray Spectrometer : EDX)に大別される。

EPMAの開発当初はWDXが主流であったが、走査型電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope : SEM)に半導体X線検出器を取付けたEDXが実用化されてからは、迅速性・簡便性が評価され、EDXが幅広く使われるようになって¹⁾。とくに、コンピュータの急速な進歩にともない、SEMやEDXの操作性や機能が著しく向上し、最近では、EDXは研究開発分野に限らず、品質管理部門での検査機器として必須の装置となっている。

当社では数年前、EDXでは初めて、相分析機能を導入し、不均質試料において組成ごとの分布状態を容易に解析できる装置EMAX(図1)の製品化を行った。この機能を使って鉱物試料に相分析を行った実例が本誌に報告されている²⁾。

今回、筆者らはこの相分析機能をさらに発展させて、微少部分の組成が異なる不均一な金属試料の、定量分析が容易な演算手法を考案したので報告する。

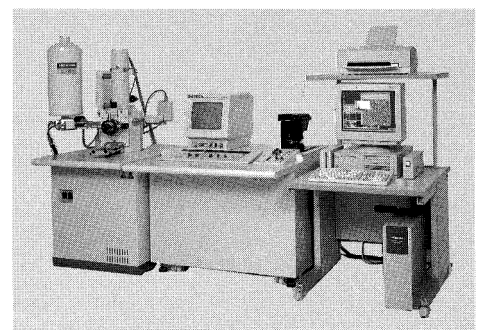


図1 エネルギー分散形X線マイクロアナライザー EMAX-7000 (日立製作所走査型電子顕微鏡S-2380Nと組合せたもの)
Energy dispersive X-ray micro-analyzer EMAX-7000 (A combination with scanning electron microscope S-2380N manufactured by Hitachi, Ltd.)

2 不均質な試料の定量分析

2.1 従来法の問題

試料から発生する特性X線強度は試料中の元素濃度とは比例しない。特性X線強度は他に共存する元素による影響、すなわち、マトリックス効果を受けるからである。EPMAでの定量分析では、元素濃度と特性X線強度との関係の比例関係からのずれを補正するために、ZAF補正をはじめとする、さまざまな補正計算モデルが提案されているが³⁾、いずれも試料は均質であるという仮定に基づいている。

一方、不均質な試料は、電子線で試料表面を走査して照射し、発生した平均X線強度を測定し、既存の均一試料用の補正計算を行っても、試料の平均組成とは一致しない。

このため、明らかに偏析の認められる試料に対しては、次の方法で定量分析が行われてきた。

- (1) あらかじめ均一組成になるような領域を選び、複数個所を定量分析し、平均値を得る。
- (2) 構成元素が同じで、かつ濃度があらかじめ分った標準試料を使って検量線を引き、未知試料の濃度を求める。

しかし、これらの手法は、一つの試料の分析に3~4時間もかかる、あるいは、標準試料の確保が難しいことや研磨などの前処理によって分析結果に影響を与える欠点があった。

2.2 相分析の応用による定量分析

本法は相分析によって分けられた組成別に定量演算(ZAF補正演算)を行い、構成元素の密度を考慮して各組成の面積比率を重量比率に換算し、試料の平均濃度を算出するものである。

(1) 定性分析

まず試料がどのような元素から構成されているか定性分析を行う。この時同時に定量演算用にバックグラウンドの情報も採取する。この結果、aとbの2種類の元素が検出されたとする。

(2) 各相の定量分析と面積比率

相分析機能の定量マップにより組成別の分類をおこない、各相の構成元素濃度と面積比率を求める。相分析の結果A相とB相に分かれたとし、それぞれの相における各元素の濃度と面積比率をそれぞれ次のように表す。

- 元素濃度 A相 元素a : C_{Aa} wt%, 元素b : C_{Ab} wt%,
B相 元素a : C_{Ba} wt%, 元素b : C_{Bb} wt%,
- 面積比率 A相 : S_A % B相 : S_B %

(3) 各相の密度

今回は次の近似式で各相の密度を求めた。

- A相の密度 :

$$\rho_A = \{(C_{Aa}/100)\rho_a + (C_{Ab}/100)\rho_b\}S_A / \{(C_{Aa}/100)\rho_a + (C_{Ab}/100)\rho_b\}S_A + \{(C_{Ba}/100)\rho_a + (C_{Bb}/100)\rho_b\}S_B$$

- B相の密度 :

$$\rho_B = \{(C_{Ba}/100)\rho_a + (C_{Bb}/100)\rho_b\}S_B / \{(C_{Aa}/100)\rho_a + (C_{Ab}/100)\rho_b\}S_A + \{(C_{Ba}/100)\rho_a + (C_{Bb}/100)\rho_b\}S_B$$

ここで ρ_a : 元素aの密度

ρ_b : 元素bの密度

(4) 平均重量濃度の算出

元素 a : $C_a = S_A \rho_A C_{Aa} + S_B \rho_B C_{Ba}$

元素 b : $C_b = S_A \rho_A C_{Ab} + S_B \rho_B C_{Bb}$

3. 適応例

今回開発した相分析による不均一試料の有効性を確認するために、実際の不均一試料として錫、鉛が偏析しているハンダ、およびシリコンが偏析しているアルミ合金について化学分析法と比較した。

図2に、ハンダの反射電子像、相分離像、各相の重量濃度、面積率の測定結果を示す。化学分析法、本提案の相分析法、および試料上に電子線を走査させて得た平均X線強度からZAF演算した方法(便宜上スペクトル法と記す)、それぞれの定量分析結果を表1に示す。

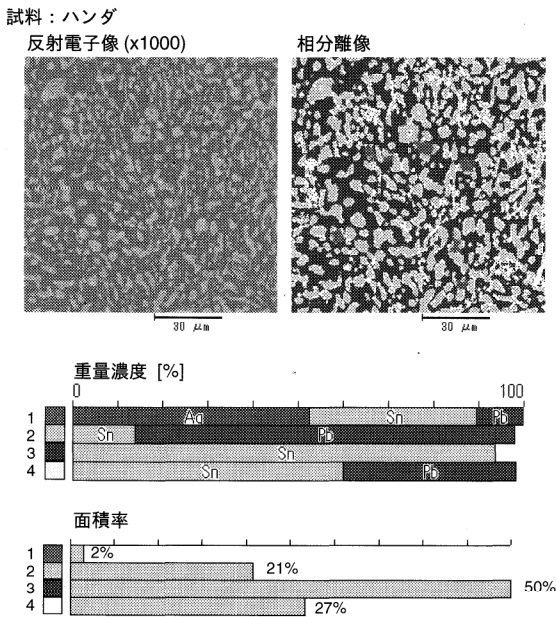


図2 ハンダ中の元素の分布状態
Distribution of elements in solder

ハンダ		(wt%)		
	CA値	相分析法	スペクトル法	
Ag	1.98	1.89	1.28	
Sn	61.9	63.60	68.06	
Pb	36.3	34.49	30.66	

	CA値	相分析法	スペクトル法	
Sn	12.3	13.22	23.81	
Pb	87.6	86.78	76.19	

	CA値	相分析法	スペクトル法	
Sn	62.3	62.92	69.01	
Pb	37.6	37.08	30.99	

Al中Si				
	CA値	相分析法	スペクトル法	
1	1.01	1.3	1.0	
2	5.03	5.0	7.2	
3	9.09	9.5	12.9	
4	12.14	11.9	17.3	

CA値：化学分析値 相分析法：本提案法 スペクトル法：従来法(全体をZAF演算)

表1 ハンダとAl合金の組成分析の結果
Phase analysis results for solder and Al alloy

ハンダの定量値を化学分析値と比較すると、観察全領域ZAF演算(スペクトル法)をした場合には化学分析値と大きくずれている。これに対して、相分析法は化学分析値と良く一致しており、本法の有効性が確認できた。また、Al中Siも同様に本法は化学分析値と良く一致している。

なお、この演算式を市販の表計算ソフトに記憶させることにより、各相ごとの定量値を入力するだけで、試料の平均的な定量値を得ることもできる。

4. おわりに

以上、EMAXの相分析機能を応用した不均一試料の演算手法を考案し、実際にアルミ合金とハンダに適応した所、化学分析値と良く一致することが確認できた。これにより、従来のEPMAでは困難であった不均一試料も本手法を使うことにより、簡単な操作で定量分析が可能になった。今後は金属以外の試料でも有効性を確認し、本手法の適応可能範囲を広げていきたい。

参考文献

- 1) 坂東篤 “エネルギー分散形X線マイクロアナライザ(EMAX-2770シリーズ)”, Readout No 1, p 66-74 (1990)
- 2) 吉光克弘 “エネルギー分散形X線分析装置の相分析機能の鉱物と微粒子解析への応用”, Readout No 9, p 45-52 (1994)
- 3) 合志陽一 佐藤公隆, “エネルギー分散形X線分析”, 学会出版センター (1993)



森田 洋二
Yoji MORITA

分析センター マネジャー
1967年入社
X線分析装置の分析業務および
応用技術の開発



石川 純代
Sumiyo ISHIKAWA

分析センター
1993年入社
XMAの分析業務

半導体プロセス用クリーンルーム

A Clean Room for the Limited Production of Semiconductor Devices

衣斐 寛之・中西 剛

Hiroyuki EBI and Tsuyosi NAKANISI

【要旨】

半導体デバイスの研究開発および小規模生産を目的とする、コンパクトなクリーンルームを新たに設置した。この半導体プロセス用クリーンルームでは、4インチウエハを用いたCMOSプロセスを流すことができる。半導体センサの研究開発やセンサ計測用の信号処理回路の作製、あるいは半導体センサと回路とのワンチップ化の推進に、おおいに役立つものと期待されている。

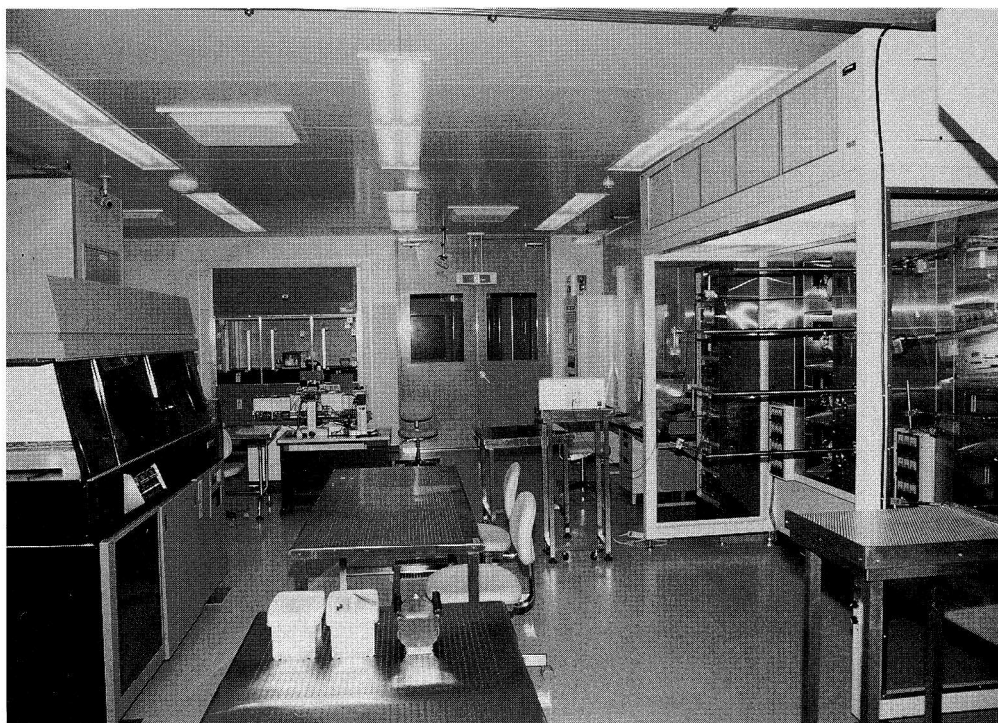
Abstract

A clean room was constructed for developing and producing various types of semiconductor devices for specialized applications in limited quantities. The facility contains processing lines for 4-inch wafers to produce semiconductor sensors and C-MOS data processing circuits. This paper describes the details of the facility, including the interior layout, and the supporting systems.

1. はじめに

近年、分析機器の小型化の要求が著しい。それは、省エネルギー化・省資源化のためであり、またプロセス装置などに組み込んでin-situ計測をするためである。さらに、一般のユーザーに広く使われる製品にするためにも、小型化は欠かせない。その実現のためには、分析機器の心臓部たるセンシング部のマイクロ化・集積化が必要である。

当社も、赤外線センサをはじめとして微細加工技術・薄膜成膜技術を用いた製品を作製するための設備を早くから設置してきた。しかしながら、今後、さらにセンサと信号処理回路を一体化したワンチップデバイスなど、センシング技術とエレクトロニクス技術を融合させたマイクロセンサや機能デバイスの研究開発を進めてゆくには、これらに最も適した半導体製造装置とそのための専用クリーンルームが必要不可欠となる。このたび、研究開発棟の一部を大幅に改修して、半導体プロセス用クリーンルームをあらたに建設した。



このクリーンルームの特長としては、つぎのような点があげられる。一つは、半導体メモリの製造ラインのように大規模ではないが、コンパクトなCMOS専用ラインとなっていることと、いま一つは、基本的に研究開発用ラインであるが、センシングデバイスのような少量多品種の製品に対応した小規模生産も可能になっていることである。なお、CADを利用した回路入力、シミュレーション、パターンレイアウト、デザインルールチェックと後行程のウエハのダイシング、ダイボンディング、ワイヤボンディングは別の部屋で行う。

2. クリーンルームの概要

半導体プロセス用クリーンルームは5つのエリアから成り、総床面積は約450m²である。半導体製造用の各装置は、CMOSプロセスを流す際の動線を考慮して設置されている。床はクリーンルーム内の装置再配置にともなう真空配管・電気配線の変更を容易にするため、フリーアクセスフロアとした。

見学者の便宜のために通路と窓をメンテナンスエリアに設け、通常の服装のままクリーンルーム内部を見渡せるようにした。

以下、各エリアごとに説明する。

2.1 クリーンエリア

(1) プロセसरーム

面積：145m²
クリーン度：クラス1000
温度：23°C±2°C
湿度：50±10%
装置：酸化・拡散炉、スパッタ・CVD等各種成膜装置、ドライ・ウェットエッチング装置、各種物性測定・評価装置

このエリアは本施設を中心となるものでCVDによる酸化膜・窒化膜・ポリシリコン膜の成膜、酸化炉・拡散炉による熱酸化膜形成・不純物拡散、スパッタリングによるアルミ薄膜の堆積、イオン注入による不純物の添加など、センシングデバイスの開発・生産に必要な機器は一通り設置されている。

なお、ウェットプロセスでのウエハ洗浄・エッチングに用いる各薬液(アンモニア/過酸化水素、フッ酸など)の濃度監視には、当社の半導体洗浄プロセス用薬液濃度モニタ¹⁾、半導体洗浄プロセス用フッ化水素酸モニタ²⁾を用い、これらの製品の社内評価も同時に行っている。

(2) イエロールーム

面積：31m²
クリーン度：クラス100
温度：23°C±2°C
湿度：50±10%
装置：マスクアライナ等フォトリソ関連装置

このエリアでは、感光性のレジストの塗布、露光、現像、バークをおこなう。したがって、このエリアの照明は紫外線をカットした、いわゆるイエローランプになっている。

(3) クラスタCVDルーム

面積：93m²
クリーン度：クラス10000
温度：25°C±2°C
湿度：60%以下
装置：クラスタCVD装置、イオン注入装置

ここには、超高真空下でエピタキシャル成長のできる複数のチャンバと、絶縁膜を減圧CVD法で作製できるチャンバとが結合されたクラスタCVD装置を設置している。この装置でセンサの材料となるエピ基板やセンシング薄膜の開発をおこなう。なお、このクラスタCVD装置は、RITE⁺¹⁾の技術開発促進事業「微生物活性度測定装置の開発」の一環として導入されたものである。

2.2 清浄管理エリア

このエリアは、特別にHEPAフィルタ(高効率の空気フィルタ)を通した空気を供給していない一般空調である。しかし、外気と完全に遮断して、通常時の人間の在室を極力少なくし、さらにクリーンエリア側からエアードンパを介して清浄な空気を流入させているので、結果としてクラス100000程度のクリーン度に保たれている。

(1) メンテナンスエリア1

装置：シリンダーキャビネット、ベントパージ用除害装置、超純水製造装置他

(2) メンテナンスエリア2(見学者通路兼用)

装置：酸素ガス精製機、窒素ガス精製機、クリーンドライエアや恒温水設備などのユーティリティー設備

このエリアは見学者通路を兼ねており、無塵服を着用せずに、ここからクリーンエリア内を見渡せるようになっている。

3. ユーティリティー設備

3.1 空調設備

空気調整には、ボイラの温水とガス吸収式冷水発生器からの冷水を熱源としたガス空調方式を採用している。

取り入れられた外気は、まず外気処理ユニットにおいて粗い塵埃を取り除かれ、ほぼ所定の温湿度にされる。その後、各エリアのエアハンドリングユニットに送られ、さらに精度のよい温湿度の調節がなされてから、HEPAフィルタを通してクリーンエリアの天井より吹き出される。このため温湿度制御が正確におこなえ、室内のクリーン度が保てる。各エアハンドリングユニットは、省スペース化のため、クリーンルームの天井裏に懸架する構造とした。

3.2 排気処理

半導体製造設備はシラン、ジシラン、ホスフィン、ジボランなどの特殊高圧ガス、ジクロロシランなどの特殊材料ガスを使用しており、特定高圧ガス消費の法的規制に従ったシリンダーキャビネット、除害装置等の設備を設けている。

これらのガスを使用する装置の排気は除害装置に通され、TLV-TWA*2値以下の濃度になる。除害装置からの排気は、さらに屋上の湿式除害装置に接続されてさらに低濃度にされる。シリンダーキャビネット、除害装置、装置の筐体排気も、屋上の各湿式除害装置に接続されている。

なお、排気はガスの種類によって酸・アルカリ・有機・可燃性の4系統に分けてそれぞれ専用の除害装置で処理している。

3.3 廃液・排水処理

ウェットステーションで用いたフッ酸、塩酸、硫酸、アンモニア、過酸化水素水などの薬液の廃液は、廃液貯槽に溜めておいて全量回収している。純水洗浄の排水も、基準値以下になるまでは廃液貯槽に回収されるようにウェットステーションのシーケンスが組まれている。

3.4 安全対策用設備

特殊高圧ガスを使用しているため、シリンダーキャビネット、半導体製造設備、除害装置にガス検知器をつけている。また地震計を備えており、ガス漏れ時・地震発生時には特殊高圧ガス用シリンダーキャビネット内の配管の緊急遮断弁およびボンベ弁緊急遮断装置が動作し、ガスの流出を防ぐ。この時、湿式除害装置の排気風量は2倍に増え、ガスを速く排出する。また室内では警報が鳴り、守衛室にもこの警報が接続されている。

これらの警報システムと、屋内消火栓用ポンプ、可燃性ガス用湿式除害装置は、停電時でも動作可能なように保安電源でバックアップされている。照明も、約半分の蛍光灯がバッテリー付きのものになっている。

排気ダクトは、その内部の状態が観察でき、清掃できるように、ダクトの数箇所がとり外せる構造になっている。

レジスト剥離用ステーションには、炎センサと煙センサがとりつけてあり、火災時には自動的に消火器が動作し、同時に警報が発報される。

4. おわりに

以上述べたように、今回導入した半導体プロセス用クリーンルームは、本来の半導体デバイスの研究開発だけでなく、半導体プロセス向け分析計の社内評価のための実装試験など当社の製品・技術の信頼性向上におおいに貢献できるものと期待している。

参考文献

- 1) 井上 克, 横山一成, Readout, No.10, 99-105 (1995).
- 2) 福嶋良助, 隅田晋一, Readout, No.8, 35-39 (1994).



衣斐 寛之
Hiroyuki EBI

基礎技術開発部 ジョブリーダー
1979年入社
センシングデバイスの研究開発



中西 剛
Tsuyosi NAKANISI

基礎技術開発部
1986年入社
半導体センサの研究開発

*1 RITE
(財)地球環境産業技術研究機構

*2 TLV-TWA
Threshold Limit Value for Chemical Substances and Physical Agents
in Workroom Environment-Time Weighted Average
1日8時間, 週40時間の労働時における許容濃度

試料分析装置における電力による温度制御方法

【登録番号】特許第1960690号

【発明者】平野彰弘，栗栖宏史，長谷川良晴

【分野・目的】

本発明は、試料を収容した黒鉛るつぼに通電して加熱する(直接通電方式)ことにより試料中に含まれる元素分析を行うようにした試料分析装置における電力制御方法に関する。

従来は、①単に電力制御を行うか、②光センサで、るつぼの温度を測定しながら電力制御を行っていたが、①では、電力を直線的に増加させても、輻射熱等により温度上昇の時間変化は曲線になり、データの読み替えや編集などが必要であった。

②の場合は、黒鉛ダストによってセンサ窓が汚れたりして、長期の安定性がなかった。

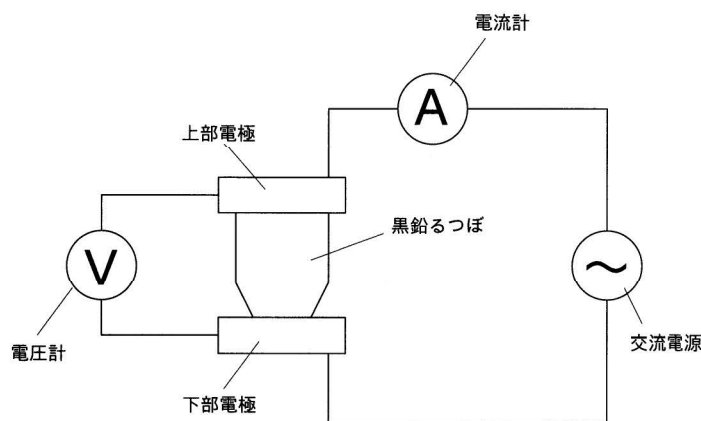
本発明は、長期間に亘って安定して温度制御を行うことができる試料分析装置における、電力による温度制御方法を提供することを目的とする。

【概要】

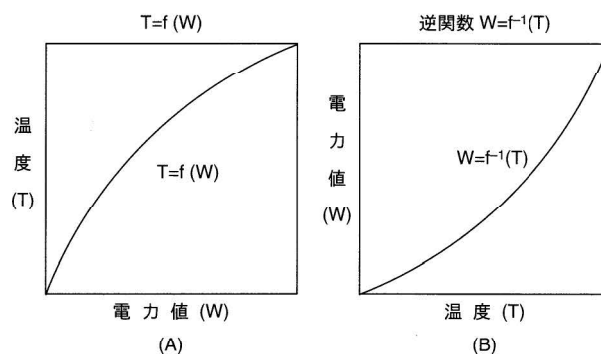
直接通電方式の試料分析装置において、加熱検量線を表示する温度 T と加熱に要する電力 W との関係式 $T=f(W)$ を、予めこの温度 T をるつぼ内側における高温部において各種試料の溶解をもって決定して求めておき、この関係式の逆関数 $W=f^{-1}(T)$ によってこの温度 T に対応する加熱電力を順次制御し、これにより温度上昇の時間変化をリニアにして前記るつぼの温度制御を行う電力による温度制御方法。

【効果】

本発明では、実際にるつぼ内に入れて加熱溶融した各種試料(例えばCu, Ni, Fe, Ta, Mo等の純金属)の融点からるつぼ内の温度を知り、 $T=f(W)$ を求め、その逆関数 $W=f^{-1}(T)$ によって、この温度 T に対応する加熱電力を順次制御しているため、測定時の試料の加熱される正確な温度と電力の関係に基づき、その逆関数で電力を制御するため、温度上昇の時間変化は正確かつリニアなものとなり、ガス抽出曲線との対比を容易にでき、また、データ自体精度の良いものとなる。



直接通電方式の概略構成図



電力と温度との関係を示す加熱検量図

社外技術発表リスト

▶ 口頭発表

1997年1月～1997年6月

標 題	氏 名	発 表 機 関 (場 所)	時 期
ESCA等による試料分析『固体資料分析の基礎』 ーフーリエ変換赤外分光分析ー	横山 政昭	第37回農林交流ワークショップ (国際農林水産業研究センター)	1997年2月7日
Particulate Characterization of Automotive Emissions by Helium Microwave Induced Plasma Atomic Emission Spectrometry	S.SAKAMOTO J.SAITO T.KISHIMOTO K.ISHIDA	SAE Conference (Detroit, U.S.A.)	1997年2月27日
正確な粒度分布測定のために！ 最新の分析技術と測定ノウハウについて	中山かほる	東海無機分析化学研究会分析技術講演会 (名古屋工業研究所)	1997年3月7日
電気化学法ではかる	大川 浩美	奈良化学系産官学技術懇話会 (奈良工業高等専門学校)	1997年3月14日
Development of 2-Dimensional pH-imaging Apparatus	K.TOMITA S.TAKAMATSU T.NAKANISHI S.NOMURA M.NAKAO	Pittcon '97 (Atlanta, U.S.A.)	1997年3月16-21日
FTIR法による燃焼排ガス測定技術	井上 香	日本機械学会関西支部第72回定時総会講演会 (大阪産業大学)	1997年3月22日
自動車の排ガス計測技術	塚本 時弘	平成9年電気学会全国大会 (同志社大学)	1997年3月26日
カルシウムアパタイト電折過程における電極近傍の pH変化の観察	1) 伴 清治 野村 聡 高松 修司 中西 剛 中尾 基 富田 勝彦	電気化学会第64回大会 (神奈川大学)	1997年3月28日
紫外線分解法による全窒素分析法	平田 秀一 山田 壽紀 福嶋 良助 2) 長島 珍男	日本化学会 第72春季年会 (立教大学)	1997年3月30日
紫外線分解法による全リン分析法	山田 壽紀 平田 秀一 福嶋 良助 2) 長島 珍男	日本化学会 第72春季年会 (立教大学)	1997年3月30日
半導体プロセスにおける有害ガス除外装置用新型劣化 モニター	辻 勝也 藤原 雅彦 3) 清水 哲夫 4) 原田 宙幸	第15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)	1997年4月14日
ガス分析におけるケモメトリックスの応用	右近寿一郎	第1回分析化学のためのケモメトリックス討論会 (名古屋市工業研究所)	1997年4月25日
レーザ回折/散乱光による粒度分布測定技術の実際と 応用	小倉 淑子	第14回九州科学機器展 (博多スターレーン)	1997年5月15日
電解-ICP発光分析法による鉄鋼中のリンの迅速定量	5) 相本 道宏 5) 近藤 裕之 5) 佐藤 真樹 5) 小野 昭紘 植村 健	日本分析化学会第58回分析化学討論会 (福岡大学)	1997年5月25日
FPD品位検査装置FP-2000の紹介	西條 豊	セミコン関西 '97 (インテック大阪)	1997年5月28日
材料分析技術の現状と今後の展開について ーX線による元素分析技術の現状とその応用例ー	吉光 克弘	共立医科展示会 (盛岡平安閣)	1997年6月11日
FT-IRにおけるサンプリングと前処理方法及び分析例の 紹介	横山 正昭	共立医科展示会 (盛岡平安閣)	1997年6月11日
X線分析技術の現状および新型EDXの紹介とその応用例	吉光 克弘	宇都宮地区異物解析セミナー (卸商業団地会館)	1997年6月23-24日
異物分析における顕微FT-IRの応用	横山 政昭	宇都宮地区異物解析セミナー (卸商業団地会館)	1997年6月23-24日
FT-IRのGLP/GMP対応機能について	横山 政昭	宇都宮地区異物解析セミナー (卸商業団地会館)	1997年6月23-24日
X線分析機器の紹介とその分析例 (有機関連/無機関連)	石川 純代 内原 博	電子部品評価セミナー (名古屋市工業試験所)	1997年6月26日

注 1) 愛知学院大学 2) 工学院大学 3) エステック 4) 三菱商事 5) 新日鉄先端技術研究所

社外技術発表リスト

▶ 文書発表

1997年1月～1997年6月

標 題	氏 名	発 表 書 誌 名
簡易放射温度計 (2)	松田耕一郎 野村 俊行 矢田 隆章	日本赤外線学会誌 6, 2, 25-30, 1997
[巻末特集]使ってガッテン!! “現場お役立てグッズ” コードレスpHメータと全自動校正ユニット	森 健	新電気 51, 3, 138-140, 1997
Characterization of Fuel Vapor Concentration Inside a Flash Boiling Spray	M.M.ADACTI 1) V.G.McDonell 2) D.TANAKA 2) J.SENDA 2) H.FUJIMOTO	SAE Paper 970871,1997
Discussion of Operating Parameters and Analysis Capability for a Fourier Transform Infrared Emission Analyze	M.ADACHI K.INOUE Y.YAMAGISHI K.ISHIDA	SAE Paper 971018, 1997
Measurement of Exhaust Flow Rate : Helium Trace Method with a Mass Spectrometer	M.ADACHI T.HIRANO K.ISHIDA 3) C.CEPEDA 4) Y.NAGATA 4) A.KUBO 4) S.NAKAMURA	SAE Paper 971020, 1997
Real-Time Imaging of Microscopic pH Distribution with a Two-Dimensional pH Imaging Apparatus	S.NOMURA M.NAKAO T.NAKANISHI S.TAKAMATSU K.TOMITA	Analytical Chemistry 69, 5, 977-981, 1997
新編「温度計の正しい使い方」, 第5章3節 非接触方式による温度測定 他	松田耕一郎	新編「温度計の正しい使い方」(日本電気計測器工業会編, 日本工業出版) 179-191, 239-244, (1997)

注 1) Univ. California 2) 同志社大学 3) Massachusetts Ins. Technology 4) ULVAC Jpn.

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.15

1997年9月10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

本誌に掲載の商品の名称は、各社が商標としている場合があります。
©株式会社堀場製作所 1997 無断転載を禁じます。

HORIBA