

ISSN 0915-9916

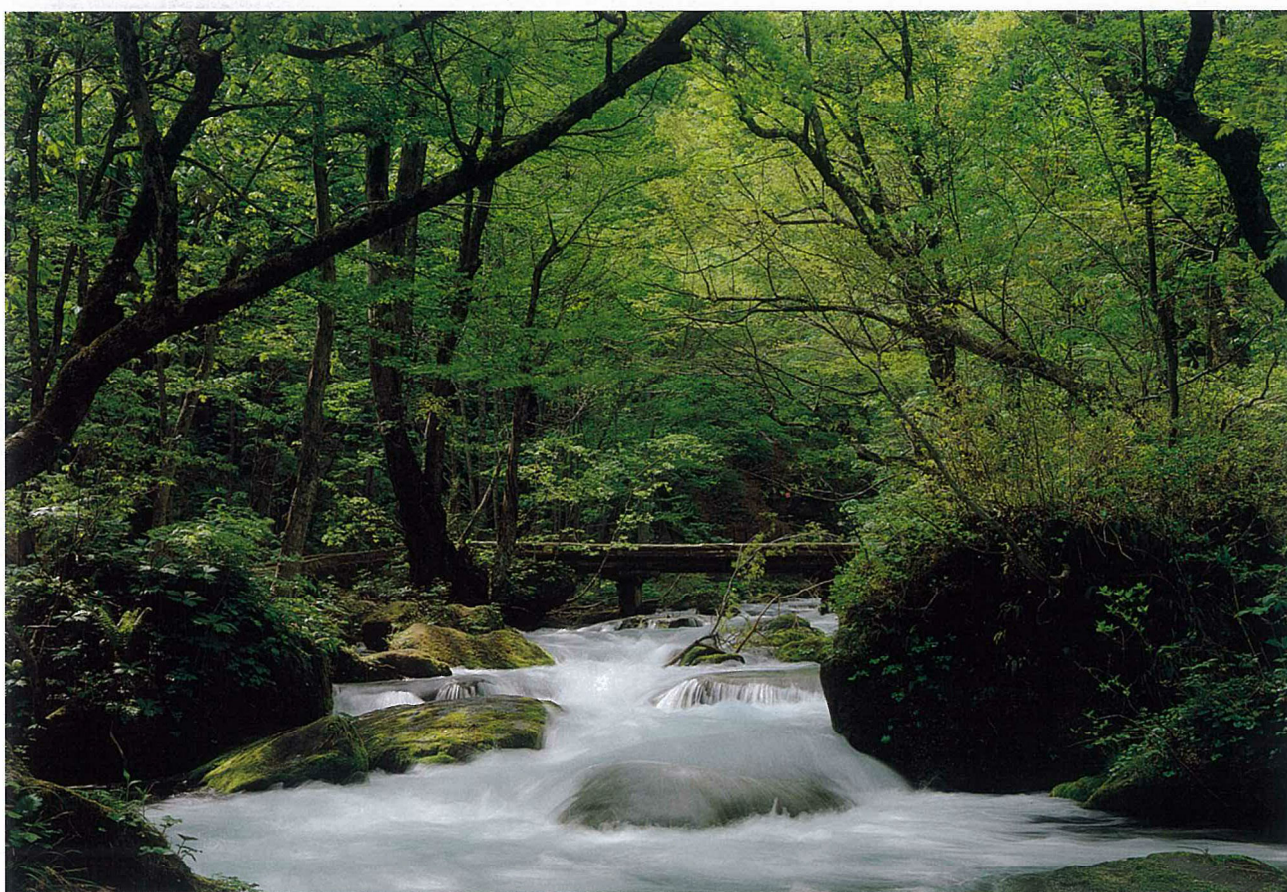


Readout

HORIBA Technical Reports

September 1999 ■ No. 19

特集 高機能エンジン計測



HORIBA

表紙写真

撮影：松井秀雄氏（二科会写真部関西支部）

誌名について

誌名“**Readout**”（リードアウト）には、「当社が創造・育成した製品・技術を広く世にお知らせし、多くの皆様に読み取っていただきたい」という願いが込められています。

Readout No. 19

特集 高機能エンジン計測

□巻頭言	Horiba / Jobin Yvon (JY) Global Technology Development Gilbert HAYAT	3
□インタビュー	The Future of Powertrains and Changes in Emissions Standards David E. FOSTER	5
□特集論文①	最新のULEV計測のニーズとホリバの対応 長野隆史/大崎拓司	11
	ULEV用エンジン計測システム 井上 香/米重芳一/武田賢二	14
	Mini-dilution Exhaust Sampling Systems William M. SILVIS	19
	Advanced Emission Test Cell Facility in Ann Arbor Frank COMMISKEY	23
	Recent Topics in the Development of Automotive After treatment Technologies David GREGORY	27
□特集論文②	ディーゼル排ガス計測システムおよび今後の動向 浅野一朗	35
	水素イオン化検出器を用いた粒子状物質の連続測定 福島宏和	40
	トランジェント対応マイクロトンネル MDLT-1302T 山岸 豊	45
□製品紹介	実車走行負荷模擬装置 VSET-1000	50
	エンジン計測汎用データロガー HERT-EZ	52
□寄稿	C-反応性タンパク(CRP)測定の臨床的意義 巽 典之/津田 泉/福森達郎/太田健介	55
	自動血球 CRP 測定装置 LC-270CRP の評価 藤田直久/湯浅宗一/吉村 學/奥 成博	62
	小児実地医療において CRP と WBC を診療時に即時測定する効果と意義 鈴江純史	68
◇施設紹介	ホリバグループ アプリケーションセンター	74
□一般論文	粒子径分布測定装置 LA-300 東川喜昭/黒住拓司	75
◇社外技術発表リスト		80
◇知的所有権メモ		82

Readout No. 19

Feature **Advanced Engine Measurement System**

<input type="checkbox"/>	Foreword	Horiba / Jobin Yvon (JY) Global Technology Development Gilbert HAYAT	3
<input type="checkbox"/>	Interview	The Future of Powertrains and Changes in Emissions Standards David E. FOSTER	5
<input type="checkbox"/>	Feature Article ①	Horiba's Approach to a Advanced ULEV Measurement System Takashi NAGANO / Takuji OSAKI	11
		Emission Measurement Systems for Development of Ultra-Low Emission Vehicles Kaori INOUE / Yoshikazu YONESHIGE / Kennji TAKEDA	14
		Mini-dilution Exhaust Sampling Systems William M. SILVIS	19
		Advanced Emission Test Cell Facility in Ann Arbor Frank COMMISKEY	23
<input type="checkbox"/>	Guest Forum	Recent Topics in the Development of Automotive Aftertreatment Technologies David GREGORY	27
<input type="checkbox"/>	Feature Article ②	Diesel Exhaust Emission Measurement Systems and The New Technology of Measurement Ichiro ASANO	35
		Real-time Measurement of Particulate Matter Using a Flame Ionization Detector Hirokazu FUKUSHIMA	40
		The MDLT-1302T Partial Flow Dilution Tunnel for Transient Test Cycle PM Sampling Yutaka YAMAGISHI	45
<input type="checkbox"/>	New Product	Vehicle Simulation System for Emission Test System VSET-1000	50
		Engine Performance Test System HERT-EZ	52
<input type="checkbox"/>	Guest Article	The Clinical Significance of the C-Reactive Protein Assay Noriyuki TASUMI / Izumi TSUDA / Tatsuo FUKUMORI / Kensuke OTA	55
		Evaluation of the LC-270CRP Automatic Blood Cell Counter and CRP Assay System Naohisa FUJITA / Soichi YUASA / Manabu YOSHIMURA / Narihiro OKU	62
		Efficacy and Importance in Pediatric Practice of Immediate Test of CRP and WBC Upon Diagnosis Junji SUZUE	68
<input type="checkbox"/>	New Facility	Horiba Group Application Center	74
<input type="checkbox"/>	Selected Article	The LA-300 Particle Size Distribution Analyzer Yoshiaki TOGAWA / Takuji KUROSUMI	75
<input type="checkbox"/>	Technical Reports List		80
<input type="checkbox"/>	Patents		82

Foreword
卷頭言

*Horiba / Jobin Yvon (JY)
Global Technology Development*

Two years ago the Horiba group acquired Instruments S.A. (Jobin Yvon) a French company specialized in the field of scientific instruments for spectroscopy. The origin of Jobin Yvon, 500 people strong and based mainly in Paris, France and Edison, New Jersey (USA), dates back 180 years to 1819.

In its very long history, the company has had a very illustrious track record of innovation in the field of optical instrumentation and of collaboration with very well known scientists such as Fresnel, Arago, Babinet, Fabry, Perot. Today this tradition continues with the joint work with the most famous university labs in France and in the USA, such as with the laboratory of Dr. Drevillion at Ecole Polytechnique in the field of Spectroscopic Ellipsometry.

JY / Horiba has a tradition of very highly technical personnel with close to 10% of the staff holding Ph. D. degrees. This has been a trademark of the company in terms of its innovation ability. The company, having been a small size company up to the purchase by Horiba, has had to rely on innovation, speed, and marketing skills to succeed.

The acquisition of JY by Horiba had global synergies in the field of commercial distribution and of technology cross fertilization as key goals.

The JY / Horiba philosophy in R&D has been to devote a small part of our resources to long term projects. For example, the first efforts on diffraction gratings were begun in the mid 1960's, the first patented innovations in this field by JY were in the late 1960's, the first significant commercial successes were ten years later, while profitability required another five years. JY is now the world leader in this field.

Since JY joined the Horiba group, several projects have been started in the direction of Global Technology Development between the Horiba operations and the JY operations. These projects will allow the Horiba group to show its leadership position in the field of scientific and analytical instrumentation. Listed below are some of the most important ones:

- Short term projects:

JY worldwide has standardized all of its electronics and mechanical CAD systems to the Horiba standards allowing for joint projects development.

The JY/Horiba ICP has the best performance in the market. JY and Horiba are now cooperating in order to further increase the performance and the reliability of the instrument. Horiba is bringing to JY its very expert industrial design experience.



Gilbert HAYAT, Ph.D

Chairman and CEO
Instruments S.A.



• **Medium term projects:**

The Horiba strategy is to become a leader in the field of Semiconductor equipment. Horiba has had experience in the field of robotized equipment. JY has a very high performance spectroscopic ellipsometer in this field. A new fully automated wafer characterization machine utilizing Spectroscopic Ellipsometry for 300 mm diameter wafers is being readied. This product may be extended to include Raman spectroscopy and other Horiba's sensors in the future.

• **Long term projects:**

Horiba is involved in the field of Process control and JY in the field of Raman spectroscopy. JY is working in Process Raman instrumentation and future products will be created merging the experiences of the two companies.

Horiba has obtained funding from the TAO (Telecommunications Advancement Organization of Japan) for further progress in the field of Wavelength multi plexers for the telecommunication industry. The work will permit to try to exploit the large number of JY patents in the field and to reach positioning from the point of view of cost, which would make these products a success in the market place.

Global technology cooperation between Jobin Yvon and Horiba has started and will be increased in the future in order to position the Horiba group as the top technology company in the analytical instrument field. I believe firmly the synergy effect of these joint developments to increase very significantly the overall growth of the Horiba analytical and semiconductor business.

ホリバ / Jobin Yvon (JY) のグローバル技術開発

分光応用機器を専門とするフランスのJobin Yvon (JY)は1997年にホリバグループに加わりました。JYの歴史は古く1819年にまで遡ります。JYはFresnel, Arago, Babinet, Fabry, Perotら著名な科学者と共同研究を行い、また、社内技術者の一割が博士号を持つという高い技術水準を誇ってきました。つまり、技術力、スピード、マーケティング力がJY成功の原動力だったのです。さらに、今回JYがホリバグループに加わったことにより、販売や技術開発の面でグローバルな相乗効果が発揮できるものと期待しています。

現在、ホリバ/JY社では共同で数々のプロジェクトを始めており、これらを通して科学・分析機器分野でホリバグループがリーダーシップを大いに発揮できるものと確信しています。プロジェクトの主なものをご紹介します。

• **短期プロジェクト**

CADシステムをホリバ標準と統一

ICP 発光分析装置の性能・信頼性の更なる向上とコストダウン

• **中期プロジェクト**

半導体ロボット装置、偏光分光計という双方の強みを生かした300mm対応の全自動ウェハ特性評価装置の開発。

• **長期プロジェクト**

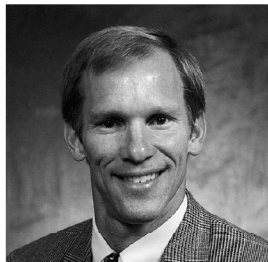
ホリバのプロセス分野での活躍とJYのラマン分光計分野での活躍の実績を融合させた新製品開発。

光通信用波長多重技術(WDM)の開発 (通信・放送機構 国際研究助成対象事業)

JYとホリバとの技術協力は始まったばかりですが、今後ホリバグループが分析機器分野でのリーダーとなるため一層強固になって行くでしょう。こうした共同開発の相乗効果がホリバの分析機器および半導体機器ビジネス全体の発展にきわめて大きく寄与すると強く確信しております。

Interview インタビュー

The Future of Powertrains and Changes in Emissions Standards.



Professor David E. Foster

University of Wisconsin, Department of Engineering

Dr. David E. Foster is a professor of Mechanical Engineering at the University of Wisconsin-Madison where he is the Past Director of the Engine Research Center. Researchers at the Center study problems in combustion, fluids, sprays, heat transfer, lubrication, and materials related to engines.

He is a recipient of the Ralph R. Teetor Award, the Foster R McFarland Award and the Lyoyd L. With Distinguished Speaker Award of the Society of Automobile Engineers. He has served as a member of the National Research Council PNG Review Committee for the past tree years.



<Interviewer>

Neal Harvey, Senior Vice President, Horiba Instruments, Inc.

Cordinated by Masayuki Adachi (Horiba Ltd.),

1999年5月28日、ホリバグループの米国会社 Horiba Instruments Inc 社の副社長ニール・ハーヴェイは、ウイスコンシン大学のエンジンリサーチセンタの前所長デビッド・フォスター教授の研究室を訪れ「パワーtrainの将来と排ガス規制の動向」についてお話を伺いました。インタビューは、内燃機関と化石燃料の将来性についてで始まり、燃料電池やハイブリッドカーについての見解を述べられ、さらに、国によって異なる排ガス規制へと活発な意見が交換されました。最後に、排ガス計測技術の向上に果敢に挑戦するホリバへの期待で締めくくられました。

On May 28, 1999 at the University of Wisconsin-Madison, Mr. Neal Harvey, Senior Vice President of Horiba Instruments, Inc. interviewed Professor David E. Foster, the Past Director of the Engine Research Center. Prof. Foster offers his view of the trends, opportunities, and challenges that will influence the development of powertrains in the next decade and beyond. The discussion begins with the future of the internal combustion engine and liquid hydrocarbon-based fuels. Prof. Foster shares his informed opinion about alternative power plants, including fuel-cells and hybrid engines. The participants discuss changes in emission standards and differences in vehicle emissions regulations in different countries. The interview concludes with a discussion of the technical challenges that face scientists and engineers who are working to improve emissions-measurement technologies.

N.II.: “Where do you see the development of automotive powertrains headed in the next ten or twenty years?”

D.F.: “In my opinion, ten to twenty years from now, the primary power plants for personal transportation are going to be internal combustion engines with some sort of petroleum-like fuel. I say that because the internal combustion engine is where it is for a good reason: it is responsive to highly transient operation and it has a high power density. The liquid hydrocarbon fuel has very high energy density, which makes it very convenient for on-board storage in transportation systems. The fuel is relatively safe to handle and there are significant challenges with any alternative that you think about.”

“Also, the rate at which oil reserves are being found is relatively high. The oil industries have a usage-to-reserve ratio that is less than 100 percent. Over the past several years, they have found more reserves than they have taken out of the ground. Natural gas and coal are very plentiful and the technologies exist so that the price of oil, per-barrel, does not have to reach historically unprecedented levels before technologies for making a good liquid fuel from natural gas or coal become viable. So, barring some sort of political upheaval, for the next twenty years or so we will have an available supply of inexpensive, high-energy-density liquid fuels, either directly from the ground or fabricated.”

“These two facts, combined with the infrastructure that’s in place, suggest that the internal combustion engine is going to be around for awhile.”

N.H.: “What do you see as the most promising of the new technologies for the internal combustion engine?”

D.F.: “Direct-injection gasoline engines are undergoing rapid development and direct-injection diesels for passenger cars are commonplace in Europe. However, I think that the answer is largely in the political arena, because the development of the engines and different vehicle technologies is driven by their potential to meet emission and/or fuel economy regulations. For example, the LEV-2 standards suggested by the California Air Resources Board are very stringent. For a passenger car diesel engine to meet these standards will require very aggressive exhaust gas after-treatment as well as an advanced combustion system and modified fuel composition. Whether these technologies can be developed to be reliable and manufacturable on a large scale, in a time-frame consistent with phasing-in of those emission regulations is difficult to predict.”

“Considering today’s technology, the LEV 2 standards tend to favor the conventional spark-ignition engine—the one we know in the United States. In Europe, the more stringent regulations are being phased in more gradually, which promotes an evolution of the diesel exhaust after-treatment processes. I expect to see diesel-type power plants continuing to progress in Europe with an advent of more extensive exhaust gas after-treatment. An interesting aspect of exhaust gas after-treatment is that it places requirements on the fuel. This in essence mandates a paradigm

＜パワートレインの展望と排ガス規制の動き＞

N.H.: 「今後 10 年から 20 年の間、エンジンはどうなってゆくと思われますか？」

D.F.: 「10 年後、20 年後も、人の輸送のための基本的なエンジンは内燃機関が主流を占めるでしょう。内燃機関は極めて連続的に機能し、エネルギー効率も高いからです。実は、石油は採掘量よりもたくさん埋蔵されているようです。今後しばらくの間は、内燃機関が健在だといえます。」

N.H.: 「内燃機関について最も期待できる新技術としてはどのようなものがありますか？」

D.F.: 「直噴式ガソリンエンジンや乗用車用の直噴式ディーゼルが有望です。エンジンや周辺技術の開発は排ガス規制の動きに強く影響を受けます。たとえば、カリフォルニア大気汚染対策局の LEV-2 標準は非常に厳しいものですが、規制の厳しさに対

shift, we must now view the fuel, engine, and exhaust gas after-treatment as an entire system, as opposed to independent entities-because they all interact. The emission and fuel economy regulations will drive the new technologies that will emerge in internal combustion engines, which will probably be different in different parts of the world. That is, in the near term, the ‘winning’ technologies will probably be indirectly determined in the political arena.”

N.H.: “What do you think about the fuel cell?”

D.F.: “There has been very exciting progress in the fuel cell. The power densities available in the fuel cell have increased dramatically. The developments in terms of manufacturability and cost reduction are impressive. In my opinion, the real challenge of the fuel cell can be boiled down to ‘where do you get the hydrogen?’ In all cases some sort of feedstock will need to be processed to get the hydrogen. This processing can either be done on or off the vehicle. If it is done off the vehicle then one needs a hydrogen storage system onboard. Onboard hydrogen storage leads to a simpler powertrain but has the disadvantage that the amount of hydrogen that can be carried on the vehicle limits the driving range. I have heard estimates that with onboard hydrogen storage, the vehicle range would be similar to that of an electric car. If one tries to design an onboard reforming system the powertrain becomes very complicated, and expensive.”

N.H.: “Will the overall thermal efficiency for a fuel cell system be competitive with the internal combustion engine?”

D.F.: “I think that if one looks at what is referred to as ‘wells-to-wheel-efficiency,’ that is the efficiency from the source of the energy to driving down the road, the fuel cell and a good internal combustion engine will be quite competitive. The fuel cell will probably have a higher on-road efficiency, however the losses that occur in the processing to get the hydrogen will be larger than the losses incurred in the processing of a typical internal combustion engine fuel. When one considers all of the losses, which is the correct thing to do, the efficiencies of the fuel cell and the engine are not so different. The fuel cell vehicle will probably have lower emissions, however. Whether this will be sufficient to offset their higher cost will be determined by whether engine emission reduction technologies can be developed to meet the ever-tightening standards.”

N.H.: “Would you view the hybrid engine as an interim approach to the fuel cell, which could be the ultimate solution, or will it be just be another alternative to fuel cells and internal combustion engines?”

D.F.: “The hybrid needs a major power source. It could be an internal combustion engine, or a fuel cell. The general philosophy of hybrid design is: ‘If you generate more power than you need, store it for later use.’ This sort of logic could be instrumental in a fuel-cell vehicle. For

応して、技術は大きく発展しています。注目すべき点は、従来は個々に検討されてきた、燃料、エンジン、排ガス処理などの技術を、今や相互に関係し合う一つの総合システムとして見直す必要が出てきていることです。ある意味では、技術開発の選択権を規制が持っているとも言えるのではないのでしょうか。」

N.H.: 「燃料電池についてはどう思われますか？」

D.F.: 「燃料電池はとても大きな発展を遂げていますが、燃料電池自動車開発における真の挑戦は「どこから水素を持ってくるか」に尽きます。水素をうまく車に蓄えておくことができればずっと単純な構造になります。しかし、電気自動車と同様に、車に積み込める水素の量によって走行距離が制限されてしまいます。この課題を解決しようとするれば、結局は、複雑で高価なものになってしまいます。」

N.H.: 「燃料電池の総熱効率は内燃機関に見合いますか？」

D.F.: 「エネルギー発生から走行までの総合的な熱効率をとってみると、燃料電池車



Neal Harvey

Senior Vice President
Horiba Instruments Inc.

example, if one were to use onboard fuel processing to get the hydrogen for the fuel cell, one would probably employ some sort of hybrid powertrain configuration. The onboard processor might not operate well in transients, or may need additional time to start from cold conditions. Hybrid concepts could alleviate these challenges. For onboard hydrogen storage, the fuel cell vehicle is basically an electric car, so hybrid concepts may not be too useful. Finally, the meaning that many people often attach to the expression hybrid vehicle is one in which you've got some sort of reciprocating piston engine plus an electric motor. It is a more narrow definition than I am using here."

"The motivating logic for the hybrid is to operate the engine in the most advantageous condition, such as highest efficiency, for as much of the driving cycle as possible. If the engine is generating more power than is needed, you store the extra work, to be used later. If you fill up your storage you can even turn the power source off for a while. This is done in the Toyota Prius. Consequently, you use an engine which, when operating at its peak efficiency, produces approximately the average power needed by the vehicle. There will be operating conditions where you will need an excess of power, more than the engine can supply. When this occurs you draw on the stored energy plus the engine itself, to meet the power requirement. That is, you are now subjecting the car to driving conditions where the maximum power demanded is not always available to you. The maximum power capability of the vehicle depends on the state of the energy storage reservoir."

"For example, imagine that you want to tow a boat up to the mountains. A hybrid vehicle would not be a very good choice because you will be operating for a sustained period at a very heavy load. You will eventually run out of your storage. In other words, one needs to optimize the size of the engine along with the storage capacity and electric motor to some driving cycle. If the driving cycle includes extended periods of light load or idle, like traffic in Tokyo, then a hybrid vehicle can make a lot of sense. You can shut the engine off and sit there. When it's time to go, you use the electric motor. When you need to recharge the battery, the engine starts. It works well. If you live in an open space, for example the midwestern United States, where you drive on open roads for prolonged periods of time, the hybrid may not make so much sense."

"In my opinion, from an engineering standpoint, the hybrid question hinges on two issues: (1) the cost of fuel and (2) the nature of the driving cycle. If one does a comparison between the cost and performance of the best internal combustion engine system and the best hybrid system, the viability of the hybrid will depend heavily on the cost of the fuel. Can you justify the incremental cost of the hybrid because of the incremental gas mileage improvement or fuel savings? With the cost of fuel in the United States, I am quite skeptical that the incremental gas savings will justify the increased cost. The hybrid is going to be hard to justify from a purely economic standpoint."

"However, there are varying extents to which one can hybridize a vehicle. It may be possible to use the hybrid selectively to offload the engine from certain operating conditions where the emissions are particularly high. You could use it as a means of meeting emission regulations. It's very exciting, all the possibilities. But I still come back to the pragmatic standpoint of the

は内燃エンジンに匹敵するものもあります。一方、燃料電池は排ガスの面で大きなメリットがあります。この点が、年々厳しくなる排ガス規制への対応を含め、コスト高をいかに払拭できるかの課題になります。」

N.H.: 「ハイブリッドエンジンは最終的な解決策となり得ますか？」

D.F.: 「ハイブリッド車の課題は燃費と走行サイクルに集約されます。つまり、走行中に必要以上のパワーが生み出された時に蓄えておき、走行開始直後などパワーが必要になったときに引き出すシステムのことです。おそらく、水素を予め積み込むタイプの燃料電池車ではハイブリッド化が基本になるでしょう。もちろん、エンジンサイズ、貯蔵能力、電気モータのバランスを、走行サイクルに合わせて最適化する必要があります。東京のような渋滞した道路の場合には、ハイブリッドカーは非常に良い選択でしょうが、アメリカ中西部のような空いた道ではノーでしょう。排ガス規制対策上はハイブリッド化は有効かもしれませんが、しかし、現実的には、燃費と走行条件を考慮すると難しいでしょう。」

cost of gasoline and the driving cycle as to whether or not it can be justified.”

N.H.: “When it comes to regulatory requirements for measurements of gaseous emissions, I see that the focus on specific gaseous emissions differs from country to country. Why do we have such differences between the countries?”

D.F.: “Within each country, researchers have been assessing their specific problems. In the United States, in areas such as the Los Angeles basin, in metropolitan areas like Denver, and New York City, interpretation of the data has indicated that to reduce smog requires very stringent regulations on nitrogen oxide and unburned hydrocarbons emissions. Consequently, there is a tremendous push to try to minimize the NO_x and hydrocarbon emissions. In Europe, there has been a high penetration of diesel passenger cars into the market. In the United States, diesel passenger cars have essentially zero market penetration. The diesel engines are more efficient than typical gasoline engines but they usually emit higher levels of particulates and NO_x than gasoline spark ignition engines do. Different countries have different perspectives on the relative weighting of fuel economy, emissions and driving characteristics. As I have said previously, the regulations can be used to encourage the introduction of different technologies. Taking all of these factors into account, the different geography, the different driving patterns, vehicle performance preferences, and opinions of fuel economy and emissions, results in different regulatory emission levels for different compounds.”

N.H.: “Do you see any driving forces toward changes in what new components of emissions get regulated in the future here in the United States or in other countries around the world?”

D.F.: “I think there will be strong driving forces in this area. You see some of that already, for example unburned hydrocarbon emissions are now measured as non-methane organic gases, because methane does not participate in photochemical smog reactions to the extent that other hydrocarbons do. So we are seeing some of that discrimination already. Furthermore, I know that within the scientific laboratories of the automotive manufacturers they are assessing the photochemical activity of the individual hydrocarbon species coming out in the exhaust gas. So it seems logical that this will progress into regulation.”

“If one imagines that there will be regulation on greenhouse gasses, (which is to say fuel economy), then it would make sense to say that there would also be regulation on gasses that have high infrared cross-sections such as N₂O. That might come across as specifications in catalyst performance, for example.”

“As the community gets smarter about the details of trace species in the exhaust, the challenge will be for the regulators to craft comprehensible standards that still allow industry flexibility in product design toward meeting the goals.”

N.H.: 「排ガス測定の方法規制は、国によって異なるのでしょうか？」

D.F.: 「燃費、排ガス、走行条件のどれを重視するかは、国によって様々です。アメリカでは、ロサンゼルスなどの都市部でデータを解析した結果、窒素酸化物と炭化水素が大気汚染の主因となっていると指摘され、これらの低減のために非常に努力されています。一方、ヨーロッパはアメリカと違い、ディーゼル乗用車が主流ですから、粒子状物質(PM)やNO_xが問題になります。規制は新しい技術開発を推進します。地理的条件、走行パターン、自動車への要求性能、さらに燃費や排ガスに対する考え方が違えば、規制対象物質も異なってきます。」

N.H.: 「今後、規制対象物質は変わって行くのでしょうか？」

D.F.: 「大きく変わって行くと思います。その動きは既に始まっています。たとえば、現在、未燃焼の炭化水素(HC)は、ノンメタンガスを計測してきました。これは、メタンが、他のHCに比べさほど光化学スモッグに影響を与えていないためです。規制を

N.H.: “It could be tragic if, in our effort to reduce global warming, we reduce CO₂ yet we generate a much higher proportion of N₂O.”

“Any final comment?”

D.F.: “A colleague, Professor John Heywood of MIT, made a comment that is absolutely consistent with my observation: right now, the transportation, power generation, and mobility field is as active as I have ever seen it. The challenges of trying to minimize these systems’ impact on the environment have raised some very difficult technical hurdles. The issues involved transcend political, economic, and technical arenas. If a company can’t meet the regulations, they can’t sell their product. So, they’re willing to investigate many different approaches to meeting the regulations. Five or ten years ago you would have laughed at some of the approaches being pursued today. Technology is now making things viable that, previously, would not have been. The demand for an efficient and clean transportation system is raising the hurdle very high. It is very exciting-the possibilities worthy of investigation are rapidly expanding. So companies like Horiba need to continue in their role of providing good and accurate measurement systems, and interfacing with people involved with the work so that, indeed, the society can move forward.”

N.H.: “Thank you very much.”

通じてアセスメントが進んでいくことは理にかなったことだと思います。温暖化防止の面からは、亜酸化窒素(N₂O)のように赤外線吸収の強いガスを規制対象にするべきだと思います。排ガス成分に関し詳しい知識が得られるのに従い、規制の策定側も、目標達成に向けて柔軟な製品開発ができるような、分かりやすい内容を指向するでしょう。」

N.H.: 「最後になにかありませんか？」

D.F.: 「私の同僚のヘイウッド教授の言葉ですが、非常に共感できるので引用します。“現在、自動車エンジン業界は活発に活動している。一方、環境保全の面で大きな障害があり、政治、経済、技術の分野にまたがっている。これを乗り越えなければ製品は売ることさえできないため、10年前なら笑い飛ばされていたような試みもが研究されている。技術は不可能を可能にしてきた。” ホリバのような企業は、より高品質で正確な測定装置を積極的に提供する必要があります。そうした活動により、真の意味で、社会が前進できるものと信じています。」

N.H.: 「どうもありがとうございました。」

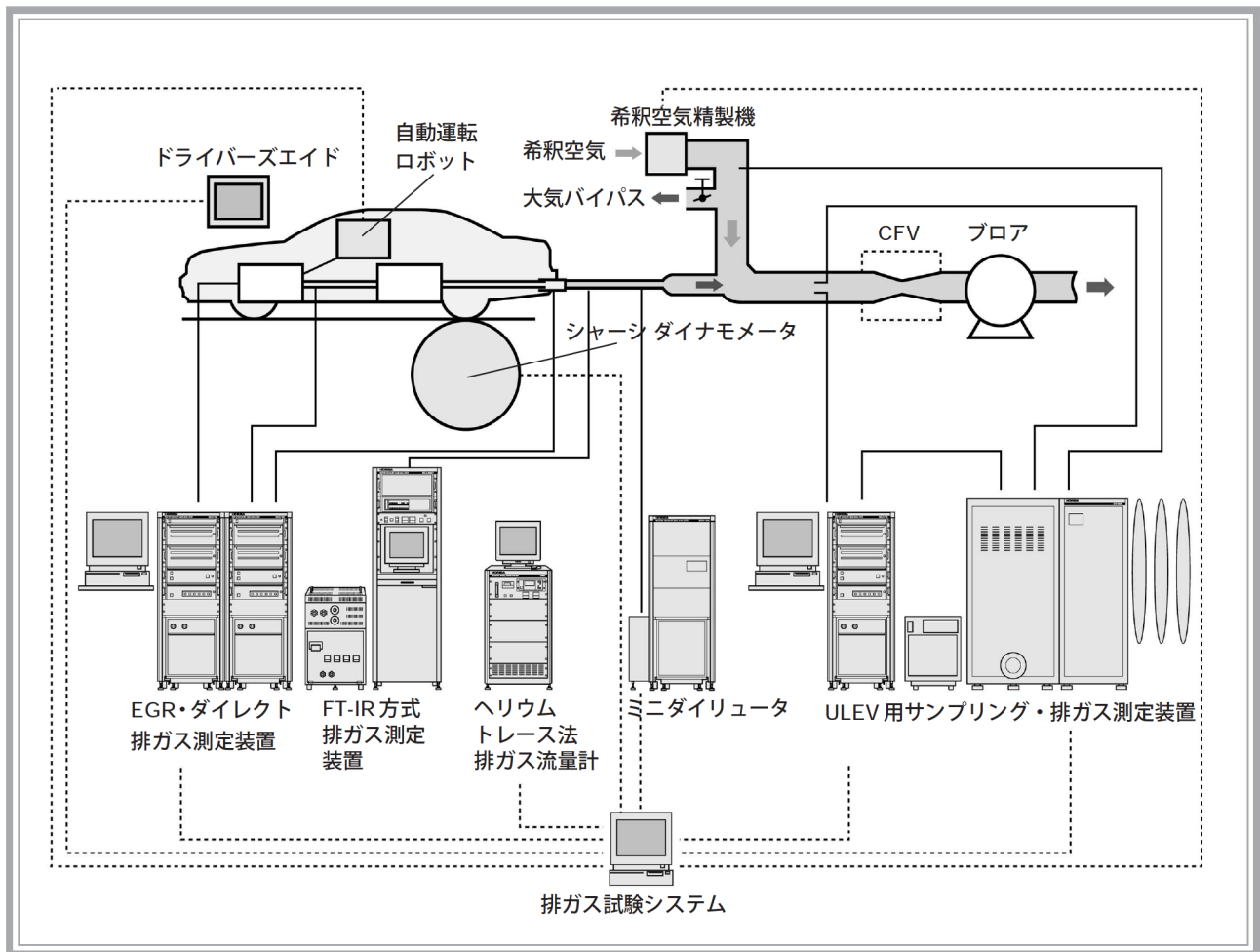
(抄訳 編集部)

Feature Article
特集論文①

最近のULEV計測のニーズとホリバの対応

Horiba's Approach to a Advanced ULEV Measurement System

長野隆史 大崎拓司



要旨

次世代のウルトラクリーンビークルの実現に向けてさまざまな研究開発が行われている。排ガスの低濃度化に伴い、これに対応するための計測性能・精度が著しく高度化している。ホリバは、これらの要求に対し、サンプリング系の多様化、分析機器の高精度化、さらにはテストセルの管理を含めたデータのネットワーク処理など、排ガス計測環境全体のシステムインテグレーションの実現に向けて様々な技術・製品開発を進めている。本稿では、ULEV計測システムを中心に、ホリバの新たな取り組みの概要を紹介する。

Abstract

Around the world research and development is taking place on the next-generation Ultra-Low Emission Vehicle. Horiba is facing this challenge by developing an integrated system of total exhaust gas measurement. The company has developed the necessary technologies including robust sampling systems, high-precision analyzers, and networks for data handling and test cell management. This article introduces Horiba's approach for a Advanced ULEV emission measurement system.

1. 排ガス規制と計測法の流れ

自動車排ガス計測の分野においてULEV (Ultra-low-emission vehicle) 計測という言葉が頻繁に聞かれるようになって久しい。ULEV以前にもLEV (Low-emission vehicle) という言葉が使用されていた時期があり、また最近ではSULEV (Super-ULEV) という言葉まで生み出されてきている。SULEV, ULEV, LEVという言葉は本来米国カリフォルニア州の排ガス規制値のカテゴリをさす言葉であるが(表1 規制値参照)

表1 カリフォルニア州にて提案中(1999年5月25日)のLEV II規制(抜粋)

対象: All PCs; LDTs < 8,500lbs. GVW

Durability Vehicle Basis(mi)	Vehicle Emission Category	NMOG (g/mi)	Carbon Monoxide (g/mi)	Oxides of Nitrogen (g/mi)	Form-aldehyde (mg/mi)	Particulate from Diesel Vehicles (g/mi)
50,000	LEV	0.075	3.4	0.05	15	n/a
	LEV, Option 1	0.075	3.4	0.07	15	n/a
	ULEV	0.040	1.7	0.05	8	n/a
120,000	LEV	0.090	4.2	0.07	18	0.01
	LEV, Option 1	0.090	4.2	0.10	18	0.01
	ULEV	0.055	2.1	0.07	11	0.01
	SULEV	0.010	1.0	0.02	4	0.01

このような規制値をクリアするような自動車の排ガス試験のための計測方法を、SULEV計測、ULEV計測、LEV計測と呼ぶようになってきている。以後、本稿ではSULEV計測、ULEV計測、LEV計測等の低濃度計測を総称してULEV計測と呼ぶこととする。

排ガス計測法に関しては、米国EPAが定めたCVS法を用いた排ガス重量計測法が70年代から認証用計測法として定められている。この手法は一定時間サンプリングした排ガスを計測するいわゆるバッチ計測ではあるが、排ガス流量の過渡的な計測無しに、排出ガス成分重量の計測が実現できる非常に有効な手段であり現在では世界的な標準計測法として広く使用されている。

2. 低濃度化にともなう新たな課題

このように非常に有効な手段であるCVS法も排ガス濃度レベルの極端な低下と共に新たな課題がでてきた。

排ガス対策が進むにともない、テールパイプから排出される排ガス濃度の低下により、希釈用空気(アンビエントガス)と、希釈後の排ガス(サンプルガス)との濃度差が小さくなり、場合によってはアンビエントガス濃度のほうが高くなる逆転現象も起きてきている。

サンプルガスとアンビエントガス濃度差をもとに排ガス重量計測を行うCVS法においては、この濃度

差の減少が計測精度に与える影響が非常に大きく、試験の再現性にも大きな影響を及ぼしている。

3. ホリバが提案するULEV計測システム

表紙の図はホリバが提案しているガソリンULEV計測システムの一例である。シャーシダイナモメータ上で自動運転ロボットにより各種走行モードを走行し、排出された排ガスが希釈空気精製器(DAR)からの清浄空気で希釈され、CVSによりサンプリングされる。得られたサンプルガスは低濃度専用分析装置にて精度良く測定され、結果はネットワークを通じて収集される。また、触媒の性能把握にはダイレクト測定用の分析装置群によるリアルタイム連続測定(高速、多成分など)が有効である。

さらに、ヘリウムをトレーサガスとした排ガス流量測定法や、希釈率の低減とアンビエントガス成分の影響を取り除くことを目的としたミニダイリュータなどを採用することで、より高度なULEV計測が可能となる。以下、本ULEV計測システムに盛り込まれている主要要素技術について述べる。

3.1 低濃度用LE分析計

1990年代初頭、低濃度での計測精度の向上という市場要求に応えるため、標準の濃度レンジ(CO:100ppm, THC, CH4:10ppmC, NOx:10ppm)に加え、低濃度レンジ(CO:10ppm, THC, CH4:1ppmC, NOx:1ppm)を装備した低濃度用LE分析計を自動車排ガス分析装置MEXA-9000シリーズの特殊バージョンとして市場投入した。また、1995年に発表したMEXA-7000においては、このLE分析計の標準化を推し進め、現在ではシャーシセル向けMEXA-7000の約50%にこのLE分析計が装備されている。また分析範囲の低濃度化と共に、サンプリング装置についても炭化水素の吸脱着を考慮した対策を行い、測定精度の向上を図っている。

3.2 各種CVS改良開発

CVSについても以下のような技術投入・提案を行ってきている。

(1) 希釈率の低減

希釈率を下げることによりサンプルガス濃度を相対的に上げる手法で、可変流量CVS(CVS-7600, CVS-7200S)、希釈空気除湿器・加熱器などがある。

(2) 希釈空気のバックグラウンド濃度の低減

バックグラウンドを低減する、或いは安定化することによってダイリュションファクタ(Dilution Factor:

DF) に起因する誤差を低減する手法で、希釈空気精製機 (DAR), 希釈空気安定化装置, アンビエント比例サンプリング装置 (Proportional Ambient Sampling: PAS) (特許申請中) などがある。

(3) ミニダイリユータ法

CVSに代わる希釈法として米国 AIGER (American Industry & Government Emissions Research) が提案している CVS 代替法についても、ホリバは独自の手法の提案を行っており、排ガス流量計測装置とあわせてサンプリング系の性能の向上を行っている。

3.3 機器のネットワーク化とデータ処理システム

排ガス浄化の目標を達成するために、排ガス計測やその前段のエンジン制御において取り扱う機器・分析装置の種類や設定パラメータが急速に増大している。ホリバはこの様な試験・実験の環境をより効率的なものとするため、排ガス計測のシステムインテグレーションの思想を提案し、機器のネットワーク化を進めるためのエンジン・自動車計測制御システム (HERT) や自動車排ガス試験システム (VETS) のシリーズを市場投入してきている。

ULEV, SUELVの実現を含む様々な次世代パワートレイン開発過程では、単に排ガスの成分・濃度や流量を計測するだけにとどまらない。温度だけを取り上げて、エンジン冷却水、潤滑油、排ガス、触媒など多くの部位のデータが必要である。さらに、自動車に搭載されている電子制御ユニット等からの情報の取り込みも欠かせない。自動車やエンジンの各種の計測情報は、できる限り上位コンピュータで一元的に管理するのが望ましい。同時に、このように非常に多様化、複雑化している要求に対応するためには、データ処理システムに十分なフレキシビリティを持つことが要求される。シャーシダイナモメータを用いた走行試験における、排ガス計測・データ処理システム構成の一例を図1に示す。実際には複数の計測ラボを

一括して管理することも多く、取り扱われるデータ量は膨大なものとなっている。

このように多様なデータ・情報をフレキシブルに収集し、有益に利用するためには、データの処理にトータルデータベース管理の考え方を導入することが重要である。従来のデータベース管理は、計測データのみを管理対象としてきた。今後は、その対象を広げ、ラボの設備や計測装置個々の管理、複数のラボや研究施設全体のスケジュール管理、さらには試験車両の管理を含めたトータルデータベース管理が重要である。また、ホリバが目指す排ガス計測のシステムインテグレーションは、このトータルデータベース管理の考え方に基づいたものである。

4. まとめ

ULEV レベルでも触媒ウォームアップ後の排ガスについては、アンビエントガスとの逆転現象が既起こっている。特に先端のエンジン開発の現場では、現在提案されている規制値 (SULEV, ULEV) よりもさらに厳しい排ガスレベルを狙った排ガス試験が実施されている。そのような場面においては本稿で述べた様々な提案が、複数組み合わせられている。

今後、より厳しい規制値レベルに合った最新の排ガス計測法の提案が従来にも増して重要であることは間違いないが、同時にその設備をどう維持メンテナンスするかも重要な課題である。例えば、低濃度計測システムチェック装置 (LEVS) という、ULEVレベルの計測精度を確認する装置なども開発中である。

今後は、お客様のご要望に添ったコストパフォーマンスの優れた計測システムを提案していくことが、我々の最重要課題であると認識している。

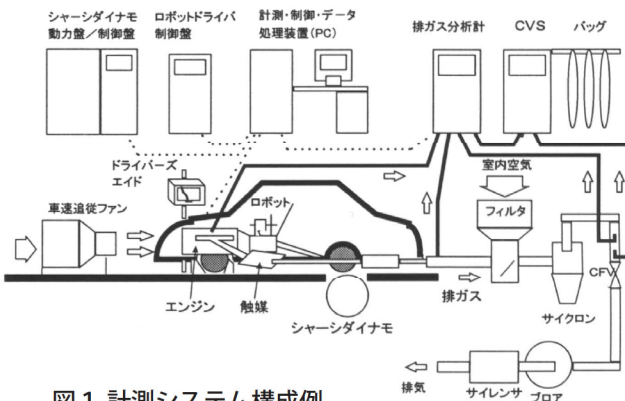


図1 計測システム構成例
Configuration of a typical engine emission measurement system.



長野隆史
Takashi NAGANO

エンジン計測企画開発部
部長



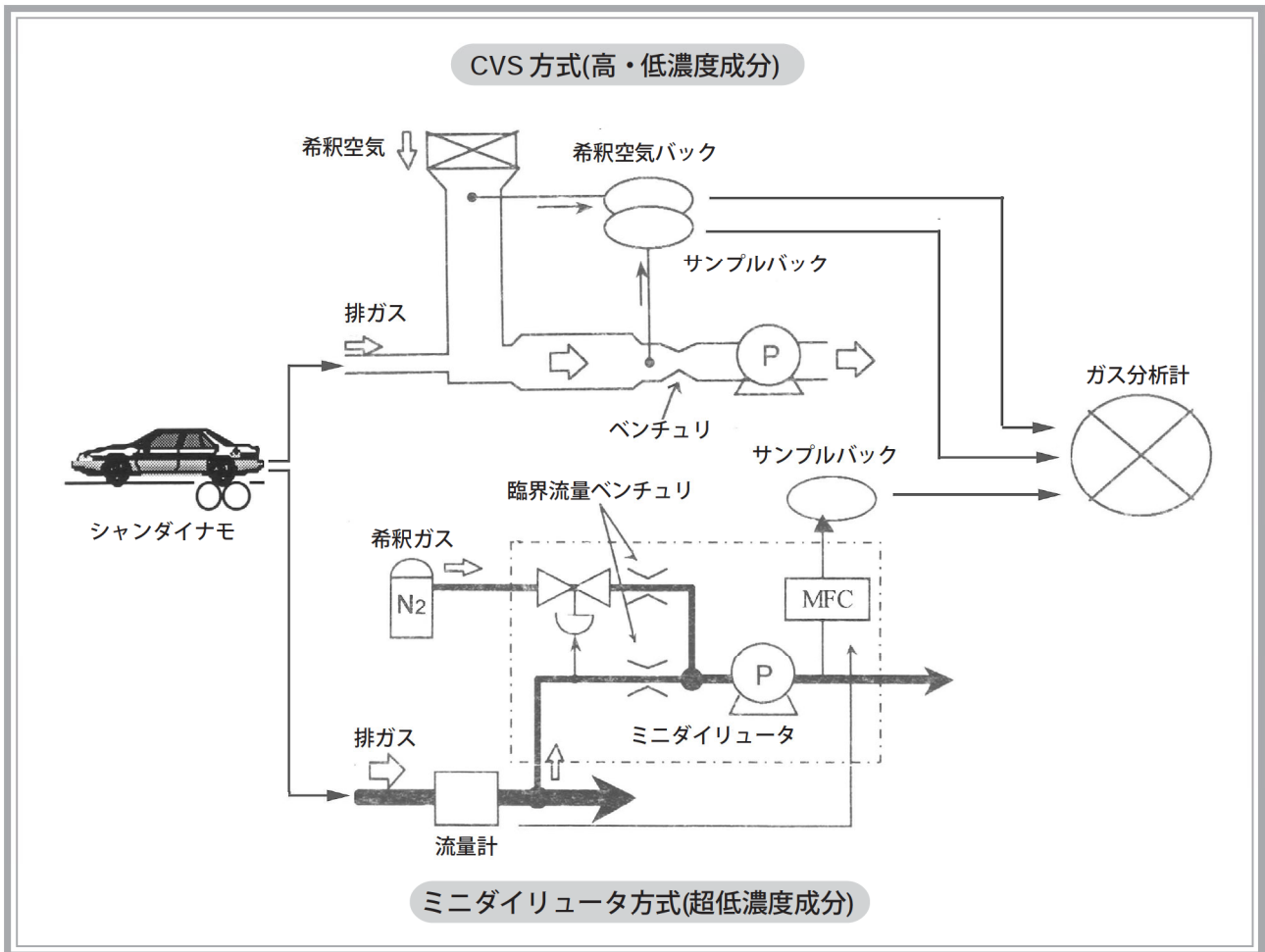
大崎拓司
Takuji OSAKI

エンジン計測企画開発部
チームリーダー

ULEV 用エンジン計測システム

Emission Measurement Systems for Development of Ultra-Low Emission Vehicles

井上 香 米重芳一 武田賢二



要旨

21世紀を目前にして、次世代パワートレインの研究開発の進展とともに、これを支えるエンジン計測システムもまた高度化・多様化が進んでいる。とくに、超低エミッション車(ULEV)の計測では、ガス分析計の高精度化とあわせて、サンプリングシステムの最適化が重要となっている。当社では、定容量希釈サンプリング装置の改良や空気精製機の採用、さらにはミニダイリュータなどの新しいサンプリング手法の積極的な導入を検討・推進している。

本稿では、サンプリングシステムの最適化を中心に、超低濃度ガス分析計や自動運転ロボットも含めた、ULEV用エンジン計測システムを総合的に紹介する。

Abstract

Looking toward the 21st century, the emission measurement systems that are indispensable for engine research and advanced powertrain development are becoming more and more complicated and diverse. Emissions measurements for the Ultra-Low Emissions Vehicle (ULEV) require not only highly-accurate gas analyzers but also an optimized emission gas sampling system. Horiba has suggested many options for ULEV emissions measurement including improvements of the constant volume sampler and the application of the dilution air refiner. Entirely new sampling systems such as the mini-diluter are regarded as beneficial and are being developed. This paper describes an integrated ULEV emission measurement system made up of gas sampling systems, gas analyzers, and an automatic driving system.

1. はじめに

環境問題への関心が高まる中、エンジン排ガスについてもより一層のクリーン化が求められている。たとえば、米国カリフォルニア州に代表される厳しい排ガス規制では、低エミッション車(LEV)レベルから超低エミッション車(ULEV)レベル、さらには Super ULEV(SULEV)レベルという超低濃度まで、段階的に一酸化炭素(CO)、全炭化水素(THC)、窒素酸化物(NO_x)を削減するよう要求されている¹⁾。このような動きに対し自動車業界では、エンジンの燃焼制御や触媒の改良、燃料電池などの新たな動力系開発といった、高効率な低公害車実現へ向けての様々な取り組みがなされている。その最前線において排ガスの計測は不可欠であり、より高度な要求に応えるべく計測システムの開発が同時に進められてきた。

本稿では、ULEV計測という断面から、排ガスサンプリングシステムならびに分析計、さらに、データ処理等の周辺設備を含むエンジン排ガス計測システム全体について、当社の最新の取り組みを紹介する。

2. ガスサンプリングシステム

現在、エンジン排ガス規制は指定された運転モードでの各ガス成分の排出重量を対象にしており、ガスサンプリングシステムとして定容量希釈サンプリング装置(CVS)が用いられている。ULEVレベル以下の低濃度サンプルの場合、このようなサンプリング手法・システムに起因する計測誤差は、最終結果である排出重量に大きく影響する^{2,7)}。そこでホリバでは、以下のような手法でCVSの最適化や代替法の検討を行い、その結果を製品にも反映させている。

2.1 定容量希釈サンプリング装置

図1に、CVSの構成概念図を示す。CVS法では自動車排ガスの全量を装置に導くと同時に、希釈後の流量が一定となるように希釈空気を導入する。希釈された排ガスと希釈に用いる空気は、それぞれサンプルバッグと大気バッグに補集される。排ガス成分の排出重量は、サンプルバッグおよび大気バッグ中のガス濃度の分析値と、バッグ採取していた間のCVS希釈流の総体積とを用いて算出される。

この方法の大きな特長は、定容量に希釈することで排ガス流量の測定が不要となることである。CVS法は、このように比較的簡単に排ガス成分の排出重量を計測できることから、広く用いられて来た。そ

の一方、ULEV車に应用する場合はもともと低濃度の成分がCVSでさらに希釈されてしまい計測が困難になる、との指摘がなされている。さらに、ULEV計測では、希釈空気中にも被測定成分がバックグラウンドとして含まれていることによる誤差も無視できない。

以下、これらの問題点への対応策の例をあげる。

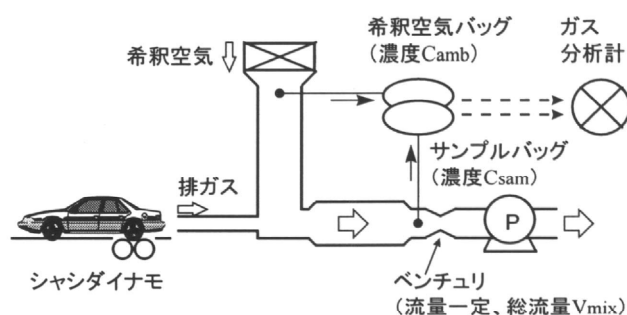


図1 CVS法排ガス計測システム
An emission measurement system using the constant volume sampler

2.1.1 希釈空気除湿による低希釈率化

バッグ濃度分析値の信頼性を確保するには、サンプルの希釈率をできるだけ小さくする方が有利である。その一方で、希釈にはサンプルバッグ内の露点を雰囲気温度以下に下げる目的もあり、ある程度の流量は必要である。希釈流量の設定にはこの両側面を充分考慮しなければならない。水分濃度を低く抑えたまま希釈率を下げるためには、希釈空気の除湿が効果的である。

図2に、米国の認証試験で用いられるFTP75モードを走行した際の、ミキシング部～バッグ入口およびバッグ内水分濃度の時系列変化の例を示す。ま

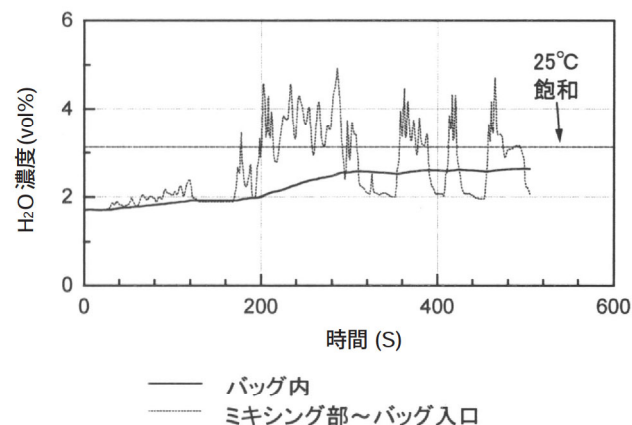
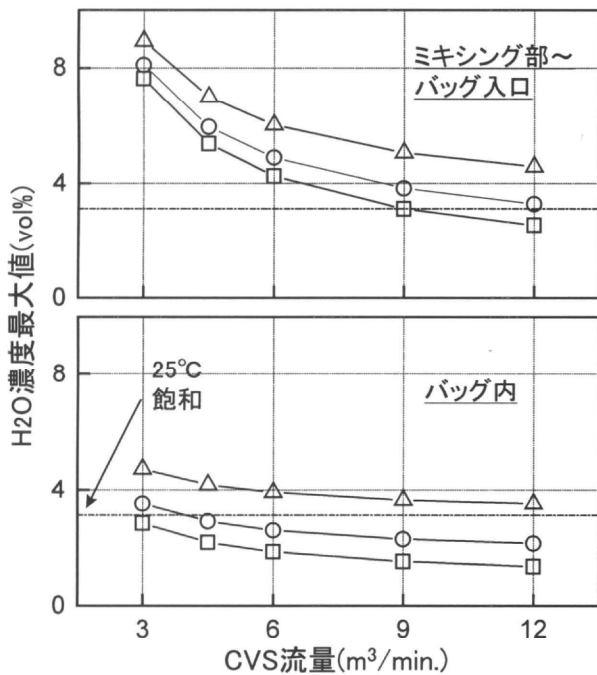


図2 CVS希釈後の水分濃度の時系列変化
(FTP75モードCTフェーズ, CVS希釈流量 6m³/min)
A time-trend chart of H₂O concentration after dilution in the CVS
(FTP75 CT phase, CVS total flow rate of 6m³/min.)

た、図3に、それらの最高値がCVS希釈流量でどう変わるかをシミュレーションした結果を示す。バッグ中の水分濃度は希釈空気的水分濃度に大きく依存しており、希釈空気中の水分濃度を低くすれば、比較的小さいCVS希釈流量でも露点は充分下がることがわかる。ただし、ガスが平均化されるバッグ内に比べ、バッグ入口までの水分濃度はかなり高くなる場合があるため、その部分の配管は加熱しておく必要がある。



希釈空気中のH₂O濃度(vol%)
 —△— 3.12, —○— 1.68, —□— 0.86

図3 CVS希釈後の最高水分濃度 (FTP75モードCTフェーズ)
 Maximum H₂O concentrations after dilution in the CVS (FTP75 CT phase)

2.1.2 可変流量 CVS

CVS法では、臨界流量ベンチュリ(CFV)が希釈後流量の制御に多く用いられる。この場合、希釈後流量は各CFV固有の一定臨界流量で固定であり、モード中の排ガス流量最大時においても充分な希釈率となるように設定する。このため、排ガス流量が低い部分では必要以上に希釈されてしまう。これに対し、走行モード中でも希釈後流量を変更可能としたのが可変流量CVSである。一例として、ベンチュリを臨界前領域で流量計として用い、希釈流量の制御は下流のプロワで行う方式があげられる。この方法では、CVS希釈流量はベンチュリの臨界流量以下の範囲で連続的に可変である。また、別の例として、異なる流量に対応する複数個のCFVを設けて、外部からの信

号で切り換える方法もある。いずれの方法でも、流量を細かく設定することで過度の希釈を避けることができる。

2.1.3 希釈空気精製機

希釈空気精製機(DAR)は、CVS法での大きな誤差要因のひとつである希釈空気によるバックグラウンドのレベルを下げ、また同時にその変動を抑える目的で使用される。この装置を用いた場合、希釈空気中のCO、THC、NO_xの濃度はそれぞれ0.1ppm/ppmC以下まで低減することができる。

図4に、バックグラウンド濃度レベルを3段階に変化

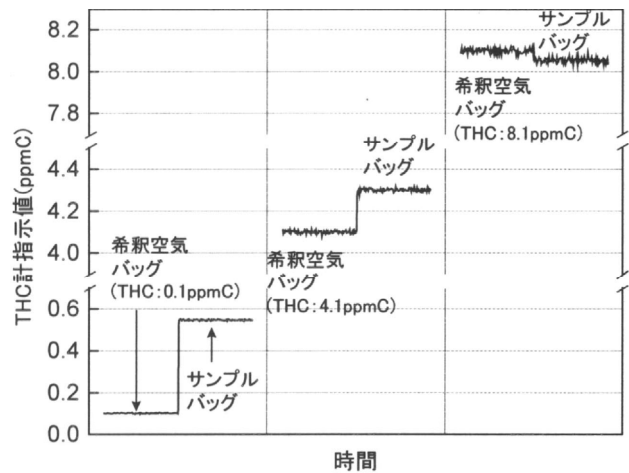


図4 希釈空気中のTHC濃度とTHC計指示
 (FTP75モードSフェーズ, CVS希釈流量6m³/min)
 Changes in THC analyzer outputs due to the THC concentration in the ambient air
 (FTP75 S phase, CVS total flow rate of 6m³/min)

させた場合の、サンプルバッグ・大気バッグ分析時の分析計時系列出力のシミュレーション例を示す。成分はTHCで、試験車両からの排出パターンはすべて同一である。いずれも最終的な排出重量は同じであるが、バックグラウンド濃度が低いほど両方のバッグ濃度は低くなり、分析計のノイズの影響を受けにくい。さらに、両バッグの濃度差はバックグラウンド濃度が低い時ほど大きく、以下に述べるような排出重量算出時の誤差も生じにくくなる。

式1に、CVS法における成分Xの排出重量M_xの計算式を示す。C_{sam}, C_{amb}はサンプルバッグおよび大気バッグのガス濃度分析値、V_{mix}は総希釈流量、P_xはガス密度である。DFは平均希釈率にあたるもので、計算により求める。式2に、ガソリン車でのDF算出式を示す。[CO₂]_{sam}, C[CO]_{sam}, [THC]_{sam}はそれぞれサンプルバッグ中の二酸化炭素(CO₂), CO, THCの濃度分析値(単位は%)である。

$$M_x = \rho_x \times \left(C_{sam} - C_{amb} \times \left(1 - \frac{1}{DF} \right) \right) \times V_{mix} \dots (1)$$

$$DF = \frac{13.4}{[CO_2]_{sam} + [CO]_{sam} + [THC]_{sam}} \dots (2)$$

このDFの算出法はいくつかの仮定，すなわち理論空燃比での燃焼，水の凝縮は起こらない，希釈空气中に既存のCO₂・CO・THC濃度は無視できる，などに基づいているため，現実には誤差を含むことが避けられない。式1から明らかな通り，ULEV測定時のようにサンプルバッグ濃度C_{sam}が下がって大気バッグ濃度C_{amb}との差が小さくなると，DF誤差が排出重量M_xの計算結果に影響しやすくなる。これを避けるためには，図4で説明したように，大気バッグ濃度C_{amb}を下げてサンプルバッグ濃度C_{sam}との差を再び大きくすること，つまり，DARによる希釈空気の影響が有効であることがわかる。

2.1.4 希釈空気比例サンプリング CVS 法

DF 誤差の影響をキャンセルできる別の方法として，希釈空気比例サンプリングCVS (PAS-CVS) 法が考案されている⁹⁾。この方法では，大気バッグへの採取流量を希釈空気の実流量に比例して連続的に変化させる。式3に，PAS-CVS法での排出重量M_xの計算式を示す。ここでV_{dil}は希釈空気流の総体積である。

$$M_x = \rho_x \times (C_{sam} \times V_{mix} - C_{amb} \times V_{dil}) \dots (3)$$

このように，PAS-CVS法は排出重量の計算にDFを用いないため，リーンバーンエンジンやディーゼルエンジンなど，理論空燃比からのずれが大きいエンジン排ガスの計測に効果が期待できる。

2.2 ミニダイリュータ

CVS法の最適化を図る一方で，他のサンプリングシステムも検討され始めている。図5に，その代表であるミニダイリュータ^{9,10)}の構成例を示す。ミニダイリュータ法では排ガスの一部を一定比率で希釈し，サンプルバッグへの採取流量は実排ガスの流量に比例して変化させる。希釈用ガスには窒素(N₂)あるいは精製空気を用い，バックグラウンド補正用の希釈ガスのバッグ採取は行わない。式4に，ミニダイリュータ法での排出重量M_xの計算式を示す。C_{bag}はサンプルバッグの濃度分析値，V_{tp}は実排ガスの総体積，DRは排ガスの希釈率である。

$$M_x = \rho_x \times C_{bag} \times V_{tp} \times DR \dots (4)$$

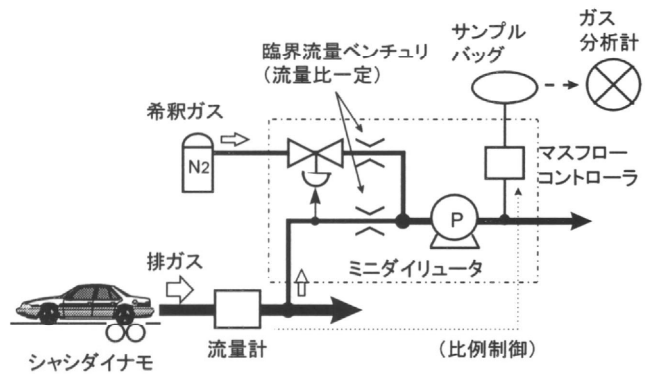


図5 ミニダイリュータ法排ガス計測システム
An emission measurement system using the mini-diluter method

ミニダイリュータ法では排ガス希釈率を最小限に抑えることができるほか，CVS法のようなDF値を用いたバックグラウンドの補正は不要である。このことから，排ガス中の超低濃度成分計測に対して非常に有用な技術となる可能性が大きい。一方，バッグ採取流量の制御には排ガス実流量の正確な測定とフィードバックが重要で，この点が技術的なキーポイントとなっている。

3 . 低濃度用分析計

ULEV 計測では当然分析計も高精度のものが要求され，従来分析計の1/10の濃度レンジ，たとえば，THCであれば0-1ppmCレンジが必要と見積もられている¹¹⁾。これを受けて，THC計，CO計，NO_x計のそれぞれに対して，精度を一桁あげるために検出器や信号処理法の改良が図られた。現在，ULEV用のMEXA-7000LEシステムの分析計として，それぞれ最低レンジでCO 0-10ppm，THC 0-1ppmC，NO_x 0-1ppmのものが実用化されている。

また，ULEV計測であっても，エンジンスタート直後の期間には高濃度のガスが排出される。この間に分析計などにHCが吸着すると，その後の低濃度試料の測定に影響する可能性がある。これを避ける方法として，たとえばCVSとの組み合わせ時に，高濃度バッグ用・低濃度バック用に専用分析計と配管ラインを設けて使い分けることも行われている。

4. 自動運転ロボット

排ガス濃度は走行状態の微妙な違いによって変化するため、同一車両の試験であっても運転者ごと、あるいは試験ごとに排ガス測定がばらつくことがある。特にULEV計測においては、このような運転条件による差も大きな意味をもつ。この誤差要因を最小にする手法としては、自動運転ロボットの採用があげられる。

図6に、自動運転ロボットと人間の運転者との、CO・THC排出重量の再現性の比較例を示す。両成分とも、自動運転ロボットの方が再現性に優れていることがわかる。さらに、自動運転ロボットは長時間あるいは低温低圧下での運転にも使用できるため、ULEV開発に欠かせない耐久試験などにも非常に有用である。

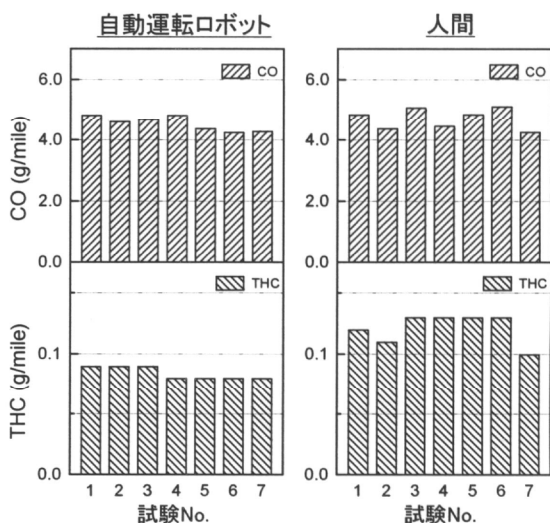


図6 自動運転ロボットと人間による排出重量再現性
Repeatability of mass emissions by an automatic driving system or a human driver (FTP75)

5. おわりに

以上、本稿では、主に規制対応のためのULEV計測に必要な不可欠なシステム、特にガスサンプリングシステムや低濃度用分析計について述べた。しかし、これらは実際に必要とされる計測システムのごく一部にすぎず、これ以外にも多くの要求・課題が残されている。世界をリードする排ガス計測機器の専門メーカーとしてこれらの要求にできる限り応えることで、ULEVの開発に貢献していきたい。

参考文献

- (1) California Air Resources Board : Proposed Regulations for Low-Emission Vehicles and Clean Fuels, 13 August, 1990
- (2) 澤野ほか : 自動車技術, Vol.50, No.3, p.21-26 (1996)
- (3) 齊藤 : 自動車技術, Vol.50, No.3, p.27-31 (1996)
- (4) J.F.Hood,et.al.: SAE paper 980404 (1998)
- (5) Tayama,A.,et.al.: SAE paper 982555 (1998)
- (6) Inoue,K.,et.al.: SAE paper 1999-01-0150 (1999)
- (7) 井上ほか : 自動車技術, Vol.53, No.3, p.10-15 (1999)
- (8) Silivis,W.,et.al.: SAE paper 1999-01-0154 (1999)
- (9) Silivis,W.,et.al.: SAE paper 1999-01-0151 (1999)
- (10) 依田ほか : 自動車技術会学術講演会前刷集 No.27-99, p21-24 (1999)
- (11) 武田 : Readout, Vol.6, p.55-61 (1993)



井上 香

Kaori INOUE

エンジン計測開発部



米重芳一

Yoshikazu YONESHIGE

システムインテグレーター部
部長



武田賢二

Kenji TAKEDA

システムインテグレーター部
チームリーダー

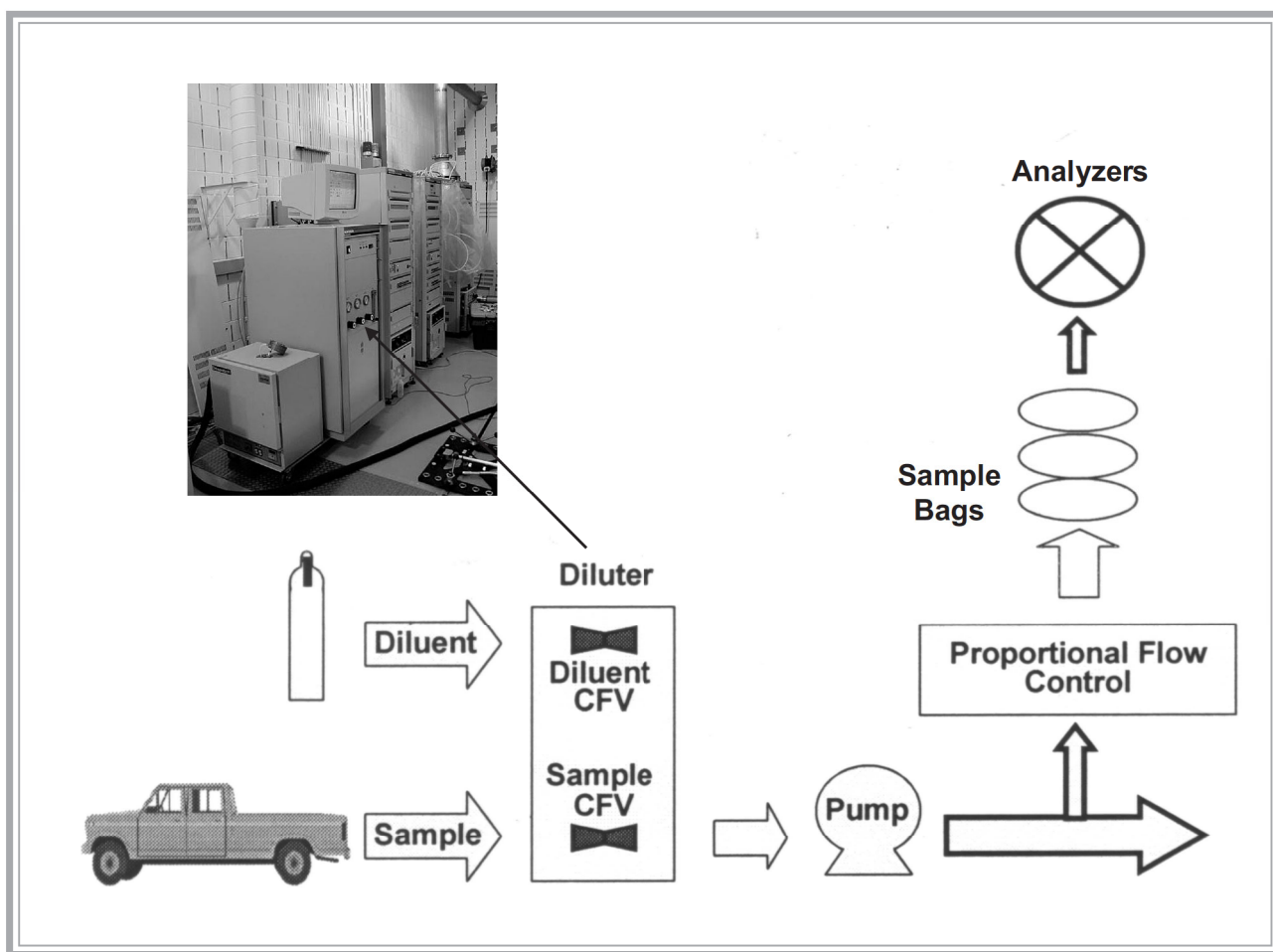
Feature Article
特集論文①

Mini-dilution Exhaust Sampling Systems

ミニダイリューション排ガス装置

William M. Silvis*

(* Horiba Instruments Inc.)



要旨

従来の自動車排ガスの測定方法はCVS法に基づいており、公的な規制文書にも記載されている。本法は排ガスの全量を希釈した後に、その一部分を定量的にサンプリングする手法である。この程、この順序を入れ替えることにより、排ガス計測の性能を向上させることが可能となった。ULEV車からの排出ガス濃度を考慮すると、ミニダイリュータは非常に興味深い排ガスのサンプリング装置である。本稿ではミニダイリュータの動作原理および最新の測定結果について紹介する。

Abstract

Traditional methods for sampling vehicle exhaust are based on the constant volume sampler (CVS) technique, as described in government regulations. This method dilutes the entire exhaust output from the vehicle, then takes a proportional sample for measurement. Reversing this process by sampling first, then diluting, offers new opportunities to improve the quality of this measurement. This is especially interesting considering the emissions levels from ULEVs. This paper describes the operation of and presents results from a “mini-dilution” system based on this principle.

1. MINI-DILUTERS

Mini-diluters are a new class of devices that avoid CVS limitations by reversing the order of the diluting and sampling of exhaust gases (see **Figure 1**).

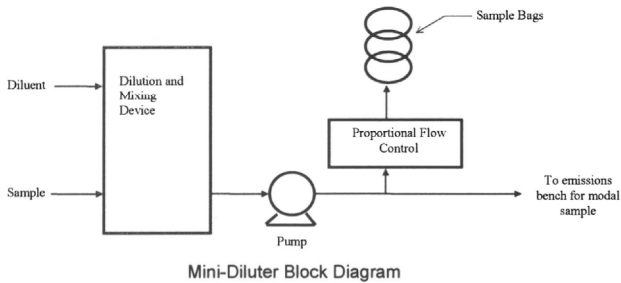


Fig. 1 Mini-diluter block diagram

CVSs dilute all vehicle exhaust at a variable dilution ratio, then take a proportional sample. The Mini-diluter takes a small sample of exhaust gas, then accurately dilutes it at a known dilution ratio. Since a smaller volume of diluent is needed, a dry, contaminant-free gas can be used. Two advantages are the higher, more easily measured concentrations and the lack of background contaminants. Also eliminated are separate, error-prone collection and analysis of the contaminants in ambient dilution air.

Table 1 Increased concentrations using a mini-diluter

Modern Vehicle Typical Bag Concentrations						
Test Phase	Mini-diluter		CVS			
	P1	P2	P1		P2	
	Sample	Sample	Sample	Ambient	Sample	Ambient
HC	34.6	2.1	11.8	2.3	2.7	2.3
CO	728.5	1.8	247.7	0.4	0.6	0.4
NOx	52.2	1.5	17.7	0.0	0.5	0.0

Table 1 illustrates the concentrations expected on the FTP phases 1 and 2 from a Mini-diluter and compares them with concentrations for a standard CVS, with fixed flow at 9 m³/min. Note that the CVS sample bags have much lower concentrations than Mini-diluter sample bags. Additionally, CVS Phase 2 sample concentrations are nearly the same as the ambient bag levels, rendering an accurate measurement more difficult. Mini-diluter sample concentrations for Phase 2 are high enough to measure with the analyzer ranges used today.

Two important technical challenges face the Mini-diluter. Its dilution ratio must be accurately known and stable, and the sampling rate over a test period must stay proportional to the vehicle's strongly varying raw exhaust flow.

There have been several devices described in the literature that use the Mini-dilution technique.^{2,3,4} Described below are the principles of Mini-diluter operation that we developed^{1,2}, using critical flow venturis to provide an accurate and stable dilution ratio. Also presented are results from vehicle tests comparing this Mini-diluter to a CVS.

2. CFV TYPE MINI-DILUTER

The features of the CFV type Mini-diluter illustrated in **Figure 2** are listed below.

- Two small CFVs establish a stable dilution ratio, one for the diluent and a smaller one for the sample gas.
- A differential pressure regulator. The reference port connects to the sample inlet, and regulator action maintains equal pressure at both the diluent and sample orifice inlets.
- Heated lines and an oven prevent sample condensation before dilution. The oven also maintains the same temperature at both orifice inlets.
- A mass flow controller sends flow to sample bags in proportion to vehicle-exhaust flow.

ミニダイリューション排ガス採集装置

1. ミニダイリユータ

ミニダイリユータ(MD)は、排ガスの希釈とサンプリングの順序を変えることによって定容量試料採取装置(CVS)の限界を越えることができる新しいタイプの装置である。

CVSでは全排ガスを一旦希釈し、希釈排ガスの流量に比例させてサンプリングする。一方、MDでは少量の排ガスを採取し、一定の率で希釈する。MDは希釈量が少ないため、水分及び不純物濃度が非常に低いゼロガスが使用できる。MDはCVSに比べ次の利点がある。

- 濃度が高く高精度の測定が可能
- バックグラウンド中の不純物影響を無視できる
- バックグラウンド測定が省略できる

FTPのPhase 1,2でのCVSとミニダイリユータとのガス濃度の比較を表1に示す。MDでは、Phase 2のサンプル濃度で十分に測定可能である。

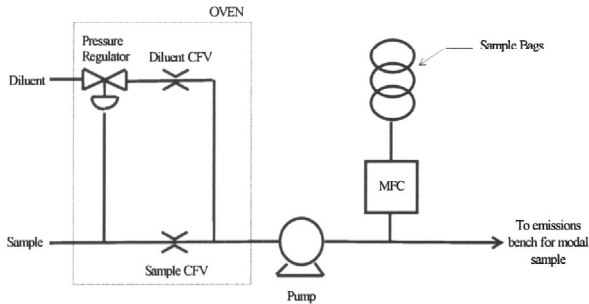


Fig. 2 CFV type Mini-diluter block diagram

3. THEORY OF OPERATION

Fundamental constant for the diluter component

The operation of the CFVs in the diluter portion of the device is described by the principles of sonic flow through nozzles. The diluent and sample CFVs determine a fixed dilution ratio. The action of the diluter can be characterized by the ratio of these flows, K .

From the continuity of the flow

$$Q_{md} = Q_{N_2} + Q_{samp} \quad \dots (1)$$

$$K = \frac{Q_{N_2}}{Q_{samp}} \quad \dots (2)$$

$$Q_{md} = (1 + K) \cdot Q_{samp} \quad \dots (3)$$

Proportional Sampling

The object of a bag sampler and analytical system is to calculate the grams of a pollutant emitted over a test interval. The diluting portion of the sampler dilutes the sample by the factor K so that:

$$[P]_{sample} = \frac{[P]_{raw}}{(1 + K)} \quad \dots (4)$$

Filling a sample bag at a flow rate proportional to the exhaust-flow rate ensures that:

$$n_{bag} = \alpha \cdot n_{ex} \quad \dots (5)$$

The action of collecting the sample gases in a bag integrates these quantities. At the end of a test phase or bag-filling interval, the concentration in the bag can be represented as:

$$[P]_{bag} = \frac{\int_0^{505} \frac{[P]_{raw}}{(1 + K)} \cdot \alpha \cdot n_{ex} \cdot dt}{\int_0^{505} \alpha \cdot n_{ex} \cdot dt} \quad \dots (6)$$

K and α are constant, so they can be taken out from under the integral and we can write:

$$\rho \cdot [P]_{bag} \cdot V_p \cdot (1 + K) = \rho \cdot \int_0^t \frac{n_p}{n_{ex}} \cdot n_{ex} \cdot dt = \rho \cdot \int_0^t n_p \cdot dt = grams_p \quad \dots (7)$$

This is the desired result: the grams from the test are obtained by multiplying the concentration in the bag by the total exhaust volume collected over the test phase and applying a constant dilution factor.

4. TEST RESULTS

The Mini-diluter's performance has been evaluated in several laboratory-test programs. The Mini-diluter was connected in series with a CVS system to obtain results from both samplers during the same emissions test.

Table 2 compares the weighted FTP results from a battery of tests conducted at the SAAB Technical Research Center. It shows the differences between Mini-diluter and CVS, expressed as a percentage of the CVS result.

Clearly, the results from the Mini-diluter and the CVS are substantially the same.

MDには次の技術要素が重要となる。

- ・希釈率が常に一定であること
- ・バッグへの採取流量は全排ガス流量と比例すること

2. 臨界流(CFV)タイプのMD

CFVタイプMDには次のような特徴がある。

- ・二つのCFVにより希釈率が安定である
- ・差圧レギュレータで希釈ガスとサンプルガスの入口圧を同じに保つ
- ・加熱配管とオープンにより水分の凝結を防ぎ、ガス温度を一定に保つ
- ・マスフローコントローラで排ガス流量に比例した流量でバッグへサンプリングする

3. 動作原理

CFVの動作はノズルを通過する音速流体の理論で記述される。希釈後のガス流量(Q_{md})、希釈ガス流量(Q_{N_2})、サンプルガス流量(Q_{samp})は、(1)~(3)式で表される。サンプルの希釈率は流量比(K)によって(4)式で、バッグへ採取されるサンプル流量は(5)式で表される。従って、車輦試験終了後のバッグ内の濃度は(6)式で表され、これを

Table 2 BMD/CVS as percentage of measured value

Vehicle	Ei18	TLEV		
Test #	HC	CO	NO _x	CO ₂
1114	1.9%	-0.3%	-1.9%	1.5%
1129	-3.1%	-0.8%	0.8%	-0.5%
1138	-0.1%	0.0%	0.5%	-1.4%
1143	-1.4%	1.0%	4.5%	0.3%
Ave	-0.7%	0.0%	1.0%	0.0%
SD	2.1	0.8	2.7	1.2

Vehicle	Ei11	LEV		
Test #	HC	CO	NO _x	CO ₂
1115	-0.1%	-0.7%	0.8%	-2.2%
1131	-1.6%	3.2%	2.2%	-1.7%
1140	-1.2%	-0.8%	1.8%	-1.8%
Ave	-1.0%	0.6%	1.6%	-1.9%
SD	0.8	2.3	0.7	0.2

Vehicle	Ei79	LEV		
Test #	HC	CO	NO _x	CO ₂
1117	5.7%	-1.0%	0.7%	-1.3%
1139	0.3%	0.0%	2.7%	-0.3%
1144	-0.5%	-1.0%	3.2%	-0.3%
Ave	1.8%	-0.7%	2.2%	-0.6%
SD	3.4	0.6	1.4	0.6

References:

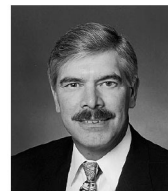
- 1) Silvis, W. M., "Mini-Dilution Sampling Systems for Vehicle Exhaust Emissions Measurement," Autotest '96, 1996.
- 2) Silvis, W. M., R. Neal Harvey, and Allen F. Dageforde, "A CFV Type Mini-dilution Sampling System for Vehicle Exhaust Emissions Measurement," SAE 1999-01-0151, International Congress and Exposition, Detroit, Michigan, 1999.
- 3) Yoda, Kimikazu, and Kenichi Uchida. "A New Proportional Collection System for Extremely Low Emission Measurement in Vehicle Exhaust," SAE 1999-01-1460, International Spring Fuels & Lubricants Meeting & Exposition, Dearborn, Michigan, 1999.
- 4) McLeod, J., et al, "A Sampling System for the Measurement of Pre-Catalyst Emissions from Vehicles Operating Under Transient Conditions." SAE 930141, 1993.

5. CONCLUSIONS

The Mini-diluter offers advantages over conventional CVS samplers:

- Less dilution is used because the diluent is dry, resulting in higher bag concentrations.
- The diluent contains very low levels of background contaminants, so no ambient sample bags are required.
- Exhaust sample is collected through a heated line and diluted to a non-condensing condition, so contaminants are not lost in mixing Tees, ductwork, or coolers.

Test results confirm that Mini-diluter measurements correlate well with the CVS method.



William M. SILVIS

Director
 Technical Applications Div.
 Horiba Instruments Inc.

書き換えた(7)式によって排出量を求めることができる。

4. 試験結果

CVSの前段にMDを接続することにより、両者のデータを同時に採ることができた。

表2はSAABテクニカルリサーチセンターで得られたFTPでの試験結果である。これらの試験により、CVSとMDとが同等であることを確認できた。

5. 結論

以上まとめると、MDは従来のCVSシステムよりも以下の点が優れている。

- 乾燥ガスを希釈に使うため、希釈率を最低限に押さえ、バッグガスを高濃度に保つことができる
- ゼロガスの不純物が非常に少ないため、希釈空気採取および測定が不要となる
- 加熱サンプリングのため、水分の凝縮が生じず、配管内やクーラに被測定成分が付着しない

以上の結果、ミニダイリュータ法とCVS法の間には充分な相関関係があることを確認した。

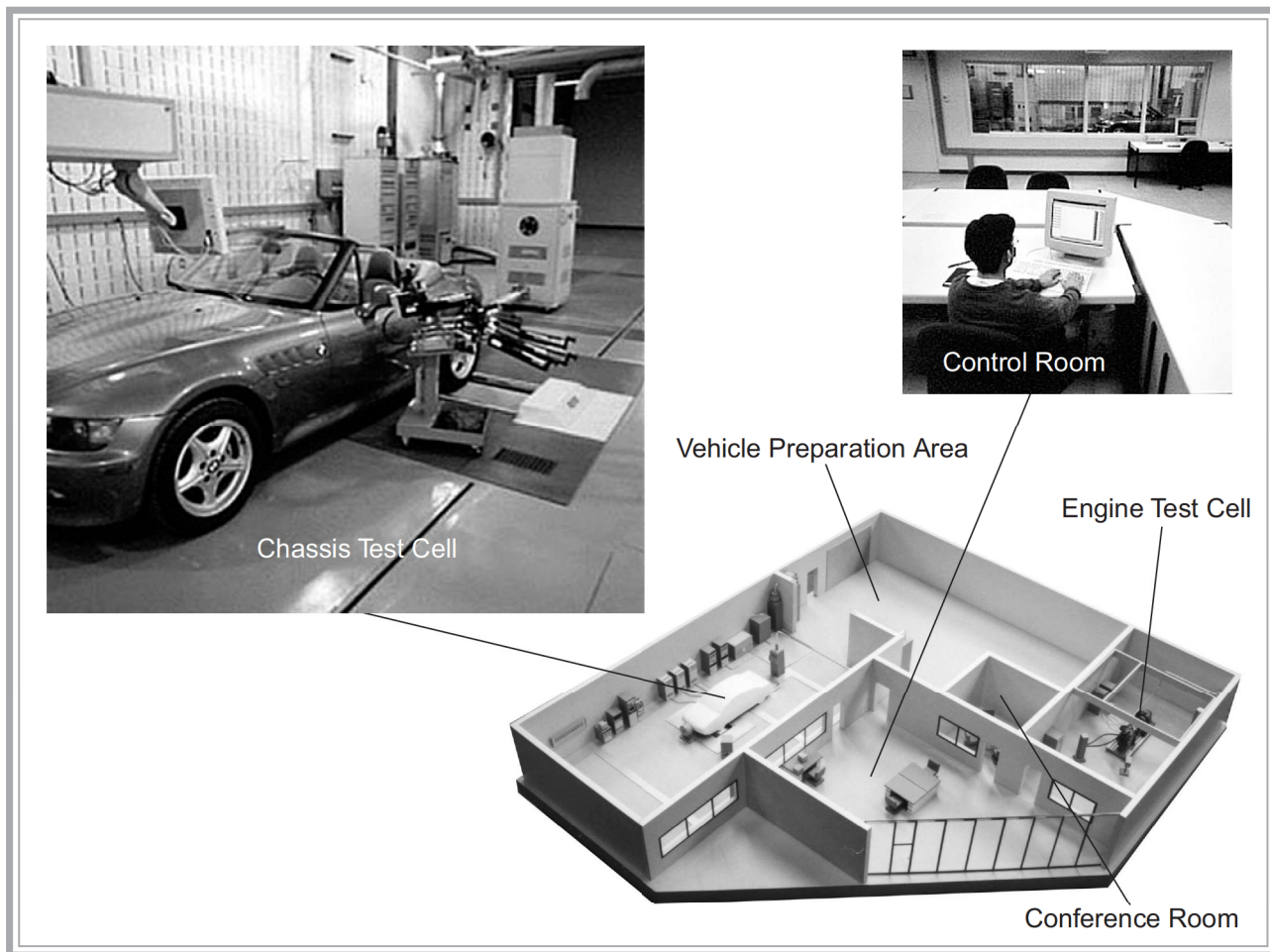
(抄訳 エンジン計測開発部 中谷 茂)

Feature Article
 特集論文①

Advanced Emission Test Cell Facility in Ann Arbor

Frank Commiskey[※]

([※] Horiba Instrument Inc.)



要旨

最新の自動車排ガステストラボが、ホリバグループの米国子会社 Horiba Instruments Incorporated (HII)の Ann Arbor Facility (ミシガン州) に 1999 年 3 月に開設された。この施設には、最新の台上排ガステストセル、エンジンテストセル、車両準備室、制御室、そして会議室などが設置されている。このラボは ULEV 車からの排ガスを計測するための計測機器を取り揃え、自動車業界に向かってかつてない程の野心的な提案を試みている。超高感度の分析計、新たなサンプリング手法、総合的な計測システムの設計などにより ULEV 計測の実現を支えている。本稿では、ULEV の計測に向かって挑戦する、新しいラボの概要と設備機器を紹介する。

Abstract

An automotive emissions test laboratory was recently established at Horiba's Automation Division in Ann Arbor, Michigan. The new facility features a state-of-the-art chassis emissions test cell, engine test cell, vehicle preparation area, control room, and conference room. The laboratory is equipped with instrumentation to test Ultra Low Emission Vehicles (ULEV), an application which presents unprecedented challenges to the automotive industry. Ultra-sensitive analyzers, new methods of exhaust sample handling, and special attention to the total system design are critical to the success of ULEV testing. This paper gives an overview of the new laboratory and provides details on the equipment and strategies that have been implemented in the chassis cell to address the ULEV challenge.

1. Facility Overview

Although Horiba has an automotive test laboratory in Japan, there were several compelling reasons to build a new facility in the United States. First, Horiba's global engineering capabilities have expanded in the past decade, and it became clear that an overseas laboratory was necessary to support international development efforts and local customization of products. A parallel objective was to establish a better way to demonstrate our products and systems to potential customers outside of Japan. Since product demonstrations are best in a realistic setting, building a laboratory was the obvious answer to this need. In addition, as emissions testing has become more complex, the need for training has become more critical. An important purpose for the test facility, therefore, was to provide a training ground for customers and employees.

The test facility has been designed to accommodate many

different types of instrumentation that can be changed-out on a continuing basis. This flexibility achieves three objectives: 1) it allows us to keep the facility equipped with state-of-the-art solutions for demonstration to customers; 2) it permits products under development to be tested in an integrated environment; and 3) it allows simultaneous operation of multiple sets of equipment to support side-by-side product comparisons. To achieve this flexibility, the test cells and control room were designed to be spacious, and all utilities (electrical, HVAC, gas lines, etc.) were sized to handle extra equipment.

2. Chassis Test Cell

Since ULEV testing is a chief concern of our automotive customers, the first set of equipment for the chassis test cell focuses on this application. As the flow diagram in **Figure 1** illustrates, the test cell is equipped for dual-catalyst efficiency testing and bag analysis. Among the products that support this application are the following:

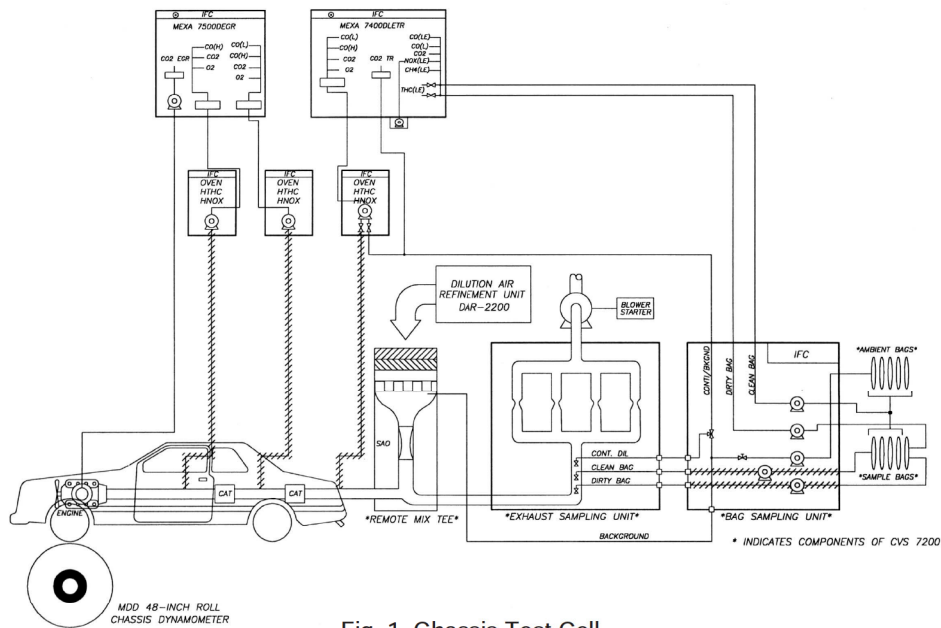


Fig. 1 Chassis Test Cell

アナーバーのエンジン・エミッション・テストラボ

設備の概要

ホリバは、1990年に自動車計測試験用ラボ(アクティブゾーン21)を設置して研究開発を支援してきた。ホリバグループのグローバル化の進展にともない、海外にも先進的なテストラボの設置が必要になってきた。テストラボには、次の3つの要件が具備されていなければならない。

- 1) お客様からの問題提起に対し最新の解答を提供し続けること。
- 2) 開発した製品を様々な環境条件下でテストできること。
- 3) 同時に複数の機器を比較評価できること。

シャーシテストセル

本ラボは、お客様のご要望にお応えして、今最も関心の深いULEV計測用として次に示すような最新のエンジン計測機器を備えている。(Fig. 1)

2.1 Medium Duty Chassis Dynamometer (Model MDD-48-108-200HP-AC)

During a test, the vehicle runs on the chassis dynamometer, which approximates actual driving conditions by simulating inertia, road load, windage, and grade. Horiba has designed and manufactured chassis dynamometers since 1980. The MDD is our newest large-roll AC dynamometer, and it offers such advantages as above-ground calibration and maintenance, an innovative torque measurement system for superior load sensitivity, inertia response times below 65 milliseconds, and exceptional simulation accuracy with our patented Feed-forward Inertia Road Load Simulation Technology (FIRST).

2.2 Automatic Driving System (ADS-1100)

The automatic driving system includes actuators to operate the clutch, accelerator, break, and ignition so that the vehicle can be driven on the dynamometer without human intervention. The mechanical unit is light-weight and can be easily installed in the seat of any vehicle. The control system includes special algorithms for “learning” the characteristics of a vehicle so that it can accurately control it to a predefined driving schedule during a test.

2.3 Constant Volume Sampler (CVS-7200S)

The purpose of a CVS is to dilute the exhaust with ambient air to prevent water condensation, measure the total diluted exhaust volume, and collect proportional samples of the diluted exhaust in bags for later analysis. Our test cell is equipped with a modular system that includes a heated Remote Mixing Tee (RMT), an Exhaust Sampling Unit (ESU), and a Bag Sampling Unit (BSU).

Since ULEV emissions are extremely low and difficult to measure accurately, it is important not to over-dilute the exhaust. In addition, water condensation and hydrocarbon hang-up are key concerns with low level emissions. The CVS-7200S uses several techniques to address these concerns. The remote mixing tee dilutes the exhaust gases with heated dilution air to maximize water suspension. The exhaust sampling unit has four critical flow venturis that provide 15 different flow rates between 8m³/min ~ 30m³/

min, making it possible to select the lowest optimum flow rate for each vehicle. Sample lines carrying the diluted exhaust to the bags are also heated to prevent condensation. Finally, the bag sampling unit includes a separate sample line and pump for cold start emissions (the “dirty bag”) vs. the remaining “clean” phases.

2.4 Dilution Air Refinement System (DAR-2200)

This system reduces the levels of THC, CO, and NOx in the background air before it is introduced into the CVS. Dilution air is drawn into the system, heated to a controlled temperature, then passed through a two-stage catalyst converter system. The air is then cooled through a heat exchanger and finally passes through a NOx oxidizing agent and activated charcoal. The purified air is piped to the remote mixing tee where it is mixed with the exhaust.

2.5 Emission Analyzer Systems

(MEXA-7400TR-LE and MEXA-7500DEGR)

The MEXA-7000 analytical equipment is used to determine EGR, pre-catalyst, mid-catalyst, tailpipe, CO₂ tracer, and bag concentrations. The system in our test cell includes three ovens with heated analyzers to measure total hydrocarbons and NOx at the engine, mid-catalyst, and tailpipe. The raw samples are then piped from the ovens to the cold analyzers. The MEXA-7000 requires only 1/3 of the exhaust volume of traditional systems, which is a benefit when dealing with the small exhaust volume of ULEVs.

For bag analysis, the MEXA-7400-TR-LE system is equipped with ultra-sensitive, low-emission analyzers. When measuring very low hydrocarbon concentrations, even a small amount of hang-up is problematic. Therefore, the total hydrocarbon analyzer (FIA-726LE) is heated and has separate lines for “clean” and “dirty” samples. Although this analyzer is capable of achieving a 1 ppm range, calibration gases are currently not available to support such a low range. Therefore we currently use the 5ppm range of the FIA-726LE.

Very low CO analysis is achieved with an ultra-sensitive NDIR (10 ppm range). When measuring such low concentrations, the interference of CO₂ is particularly

2.1 中量車シャーシダイナモメータ (Model MDD-48-108-200HP-AC)

ホリバは1980年以来種々のシャーシダイナモメータを設計・製作してきた。MDDには次のような利点がある。

- ①校正とメンテナンスがし易い。
- ②優れた負荷感度と格段のシミュレーション精度を誇っている。

2.2 自動運転システム (ADS-1100)

ADSは車両を所定のモードに従ってダイナモメータ上を自動的に走行できるようにした自動運転ロボットシステムである。各種のアクチュエータと高い学習機能を持ち、正確な運転制御が可能となる。

2.3 定容量サンプリングシステム (CVS-7200S)

CVSの目的は、水が凝集しないように大気で排ガスを希釈し、希釈された排ガスの総量を計測し、後の分析のためにバッグに希釈された排ガスに比例した試料を採取することである。ULEVからの排ガス濃度は極めて低いため、過剰な希釈、水分の凝縮、HCのハンガアップに気をつけなければならない。CVS-7200Sは、リモートミキシングティ (RMT)、排ガスサンプリングユニット (ESU)、バッグサンプリングユニット (BSU)などのモジュールから構成され、精度の高いサンプリングが可能である。

2.4 希釈空気精製システム (DAR-2200)

ULEV計測では、希釈空気中のTHC, CO, NOxなどのバックグラウンド濃度を減少させることが重要である。

troublesome. To address this problem, the MEXA Main Control Unit uses a polynomial algorithm to correct the interference in real time. In addition, the analyzer is calibrated through the bubbler that is used to check CO₂ interference.

2.6 Automation Systems

(VETS-7000, VETS 7000-NT, and CDTCS)

The control room is currently equipped with houses three automation systems for vehicle emissions testing: the VETS-7000, the VETS-7000NT, and the CDTCS. Although only one automation system is used at a time, our design accommodates all three so that our new software developments and customer-specific modifications for any one of them can be tested as well as providing customer demonstrations.

Each automation system includes software to control the test sequence and equipment, acquire data, and calculate the results. The systems differ in their hardware platforms, user interface, reporting capabilities, and targeted users.

3. Conclusion

The new test facility in Ann Arbor represents a renewed commitment by Horiba to address the needs of our customers with integrated solutions. By duplicating the environment in which customers use our equipment, we can better understand the challenges they face and more efficiently develop instrumentation and systems that meet their testing needs. As we look toward the future, we see many exciting opportunities for product development, training, and demonstrations in the facility.



Frank Commiskey

Director
Engine Measurement System Div.
Horiba Instruments Inc.

DAR-2200では大気を加熱した後、2段式触媒コンバータを通過させ、ふたたび冷却後、NO酸化剤と活性炭を通して精製する。

2.5 排ガス分析装置(MEXA-7400TR-LE and MEXA-7500DEGR)

MEXA-7000シリーズは、EGR率、プリキャット、ミッドベッド、テールパイプ、CO₂トレーサ、バッグ濃度などの測定に使われるが、従来の1/3のサンプル流量で可能なため、ULEV計測に威力を発揮する。バッグ分析計 MEXA-7400 TRLEは超高感度分析計を備え、フルスケール 10ppm 又は 1ppm(c)の分析ができる。

2.6 オートメーションシステム(VETS-7000, VETS-7000-NT, and CDTCS)

コントロールルームには、VETS-7000, VETS-7000NT, CDTSCの3種類の自動車排ガス試験システム・データ処理システムが設置されており、各種の試験にフレキシブルに対応できる。

3. まとめ

今回の新しいテスト設備は、お客様から投げかけられる様々な課題に対し、お客様と同じ環境に立って考え、解答を提供するために設けられたものである。この設備により新製品開発、トレーニング、デモンストレーションなど計り知れない効用がでるものと期待している。

(抄訳 編集部)

Guest Forum
技術講演会

Recent Topics in the Development of Automotive Aftertreatment Technologies



Dr. David Gregory
Technical Specialist in Combustion Chemistry,
Catalyst Development Team
Dunton Engineering Centre,
Ford Motor Company Limited.



Dr. David Gregory has been working at Ford's Dunton Engineering Centre for 3 years, previously as an Emissions Chemist, but recently promoted to Technical Specialist in Combustion Chemistry within the Emission Compliance Department. Currently working on the development and optimisation of aftertreatment systems for future generation powertrain technologies.'

1999年5月17日、ホリバ京都本社において、フォードモータ社のグレゴリー博士をお招きし、ガソリン排ガス処理システムやディーゼルパーティキュレートに関する技術講演会を開催しました。ご講演は、排ガス規制に対する議論に始まり、博士の研究所におけるNO_x還元触媒等の研究にホリバのフーリエ変換赤外分光計(MEXA-4000FT)がいかに活躍しているかに及びました。フォードモータ社の発明であるEGIシステムでは、非常に具体的な内容を話され、更に三元触媒に対する硫黄の悪影響の研究にはホリバの質量分析計(MEXA-4000MS)が極めて重要な解析ツールになっていることに言及されました。最後に、これからのディーゼルパーティキュレートについては、粒子を正確に輸送できるサンプリング手法の大切さを指摘して講演を締めくくられました。

At Horiba's headquarters in Kyoto on May 17, 1999, Dr. David Gregory from the Dunton Engineering Centre at the Ford Motor Company (UK) presented results from studies of exhaust gas after-treatment and diesel engine particulate emissions. Beginning with a discussion of regulatory requirements, Dunton reports how his team used the Horiba MEXA-4000FT system to take high-speed and high-precision measurements of the performance of a NO_x-reducing three-way catalyst system and a lean-burn NO_x trap. The lecture included results from an analysis of a catalyst-based de-NO_x system for diesel passenger cars. Dunton notes the effects of temperature on the performance of the catalyst and describes a Ford innovation: the Exhaust Gas Ignition (EGI) fast catalyst light-off system. Dunton's group used a Horiba MEXA-4000MS system to study the effect of sulfur-containing fuel on catalyst performance. The lecture concludes with a discussion of nanoparticle (< 50 nm) emissions from diesel engines and presents an example of data artifacts resulting from characteristics of the particle sampling method.

1. Introduction

“My name is David Gregory and I work at Dunton Engineering Centre for Ford Motor Company. It is my great pleasure to have the opportunity to give a presentation here at Horiba. My responsibilities at Dunton include the development of exhaust aftertreatment systems for diesel and direct injection spark ignition (DISI) engines, and also C/D car catalyst specifications (C/D cars are medium sized vehicles, such as the Ford Mondeo). I am also responsible for the understanding of automotive particle emissions.

As you are aware, there is increasing pressure on automotive manufacturers to reduce vehicle emissions to the levels required by future emissions legislation. Organizations such as the Ford Motor Company are continuing to work to meet these requirements.”

“Clearly, to meet these limits, an improved understanding of emissions formation and control processes is required. In addition, there are other unregulated emissions that may influence the formation of regulated emissions or be a potential customer concern. In this presentation I would like to discuss our present understanding of emissions formation of regulated and unregulated constituents and how they may be controlled using different aftertreatment technologies.

The development of different vehicle systems have different requirements with regard to the type and configuration of aftertreatment system and the exhaust gas components which need to be measured dynamically. For example, Port-Fuel Injection (PFI) engines operating at stoichiometric, require three-way catalysts for emissions control. In contrast, however, the recent development of Direct Injection Spark Ignition (DISI) engines which operate fuel-lean under certain driving modes require a different type of aftertreatment system; more specifically, lean-NO_x traps have been developed which are able to store NO_x under

lean conditions with short, periodic regeneration under rich conditions.

“For the development of these aftertreatment systems, analytical instrumentation must be used which can measure a range of exhaust components, organic and inorganic, with high speed and high precision. Recently, we have been using two such techniques, FT-IR and mass spectrometry.

2. Features of FTIR and MS

The following is a brief outline of the features of the two instruments; the MEXA-4000FT and MEXA-4000MS:

2.1 MEXA-4000FT

- * 22 components can be characterized every 1.0 second.
- * Developed specifically for automotive emissions analysis.
- * Can measure NO, NO₂, N₂O, NH₃, and C₁-C₄ HCs (ppm levels).
- * Useful for lean-burn gasoline aftertreatment development.
- * Suitable for application to diesel de-NO_x catalyst systems.

2.2 MEXA-4000MS

- * Can measure a wide range of organic and inorganic species.
- * User can specify components to be monitored and sampling.
- * Can measure SO₂, H₂S, COS, NO₂, NH₃, C₄-C₆ alkanes and BTEX (ppb levels).
- * Very efficient for measuring sulfur species from three-way catalysts and lean-NO_x traps.
- * Suitable for use with hydrocarbon traps and fast catalyst light-off systems.

自動車排ガス処理技術開発における最近の話題

1. はじめに

みなさん、こんにちは。私はフォードモータ社のダントンエンジニアリングセンターでエンジン最適化の研究を行っています。

エンジン最適化の後処理技術は、エンジンの大きさ、種類により異なります。従来のポート燃料噴射(PFI)は、三元触媒を用い理論空燃比で操作し後処理されるのに対し、直噴エンジン(DISI)では、リーン条件下で、周期的リッチパージを備えたリーンNO_xトラップ(LNT)による後処理技術が開発されました。

異なるシステムを扱う上では優れた分析装置を用いることが非常に重要です。最近ではFTIRおよびマススペクトロメトリーという二つの技術が用いられていますが、いずれも、排気物質の有機、無機成分を広いレンジで高速・高精度で測ることができます。

2. FTIR と MS の特徴

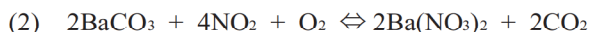
2.1 MEXA-4000FT

3. Application Example of FTIR Measurement

“It is very clear that for European Stage III regulations and beyond, the use of lean-burn engine technology will require the use of a close-coupled three-way catalyst (CC-TWC) in conjunction with an underfloor lean-NO_x trap (UF-LNT) for emissions control.”

3.1 Lean NO_x Trap

“Here I would like to talk about the function of the lean-NO_x trap. NO in the exhaust is oxidized to NO₂ on the surface of the LNT. NO₂ is then taken up by adsorbents, such as barium, to form the corresponding nitrate. These reactions are shown below:”



“Because the lean-NO_x trap has a finite capacity for trapping NO_x, periodic rich purges are required to regenerate the trap.”

“This example is the actual vehicle trace using a chassis dynamometer. See how the NO_x in the emissions is reduced from the feedgas through to the tailpipe. For the analytical instrumentation, we used the MEXA-4000FT. The vehicle was tested at 70 kph steady-state lean-burn conditions, with periodic rich purges (once approximately every minute) to regenerate the LNT.”

“Figure 1 shows the FTIR data for each of the nitrogen-containing species at each of the sampling points (engine-out, post-TWC and post-LNT).”

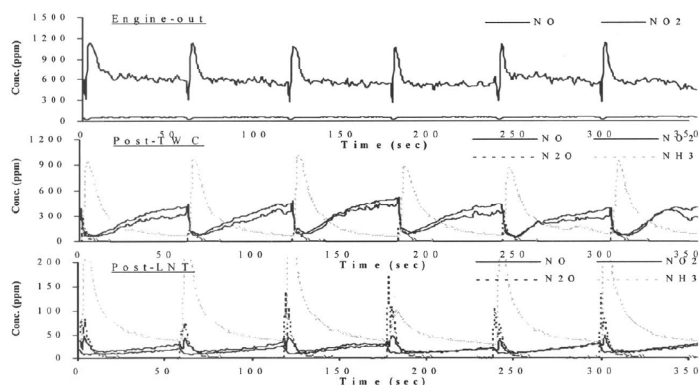


Fig. 1 Concentrations of oxides of nitrogen and ammonia from a lean-burn gasoline vehicle¹⁾

In the engine-out emissions, the periodic increases in engine-out NO correspond to the rich purges where the EGR is switched off. Notice that the engine-out NO₂ is approximately 10% of the total NO_x emission at this point. Post-TWC emissions show that the TWC is having a significant impact. The platinum component in the TWC is oxidizing a considerable portion of the NO to NO₂. The NO₂ formed by this reaction is stored in the form of nitrates (e.g. Ba(NO₃)₂). The storage mechanism appears to decrease in efficiency with time after the purge as the adsorption components become occupied by nitrates. The efficiency for oxidation of NO to NO₂ on the platinum surface also decreases gradually after the rich purge.”

“This is a result of the thermodynamics of the NO to NO₂ oxidation process. The storage of NO₂ will shift the equilibrium of the reaction towards the formation of NO₂. However, as the NO₂ adsorption sites become occupied, the NO₂ is not being removed efficiently and the chemical equilibrium will shift so there is less conversion of NO to NO₂. Another striking feature of the post-TWC data is that the levels of N₂O and NH₃ are quite high. These nitrogen-containing components are formed during the fuel-rich purge

- 22 個の物質を毎秒特定
- 自動車排気の解析のために特に開発された
- NO, NO₂, N₂O, NH₃, C₁-C₄ HCs を ppm レベルで測定可能
- リーンバーンガソリン後処理装置の開発に最適
- ディーゼルの NO_x 還元触媒システムの解析にも有用

2.2 MEXA-4000MS

- 有機・無機成分を広いレンジで測定可能
- 測定・サンプリングしたい成分をユーザー側で指定可能
- SO₂, H₂S, COS, NO₂, NH₃, C₄-C₆ alkanes, BTEX を ppb レベルで測定可能
- 三元触媒とリーン NO_x トラップを用いて硫黄測定に非常に効果的
- 炭化水素トラップ, 速い触媒ライトオフシステム解析に有効

3. FTIR 測定の応用例

3.1 リーン NO_x ラップ

ヨーロッパ排ガス規制のステージ III 以降では, リーンバーン車も対象となってきます。そのために, リーン

from reactions involving the desorbed NO.”

“The third chart shows the NO_x storage and reduction process in the LNT. Notice that the y-axis scale in the third chart is much lower than the first two charts. This clearly shows significant reduction of NO and NO₂. However, we still see the presence of tailpipe N₂O and NH₃ that cannot be observed with conventional analyzers.

3.2 Diesel de-NO_x Trap

“These data (see **figure 2**) are taken from an intercooled turbocharged 2.5 liter diesel engine with exhaust gas recirculation and an active (fuel injection pre-catalyst) diesel de-NO_x catalyst system.

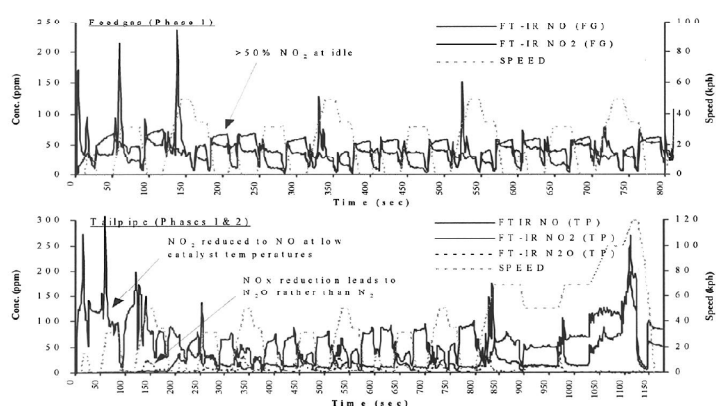


Fig. 2 Concentrations of oxides of nitrogen from a diesel engine over phase 1 (and 2) of the NEDC¹⁾

The data is taken over the European Stage III driving cycle. Observe the sharp increases in NO at the point of acceleration. This is the result of an increase of the combustion temperature. Also, note that the NO₂ concentration during the idling period is approximately 50% of the total NO_x concentration; this is much higher than the conventional number of 10% - 30% that most people used

to believe. The higher the engine-out NO₂ to NO ratio, the better an automotive manufacturer can reduce NO_x by application of diesel de-NO_x catalyst technology.”

“Profiles for the tailpipe nitrogen components are in sharp contrast to the engine-out NO_x (see **figure 2**). In particular, NO₂ is not observed in the tailpipe until approximately 200 seconds have elapsed. Some of the feedgas NO₂ may be stored on the cold catalyst surface or dissolved in condensed water. Comparing the engine-out to the tailpipe data, however, suggests that a proportion of the NO₂ is being reduced to NO during these cooler regimes. This is confirmed by the higher tailpipe NO during these periods and also agrees with literature data. The profiles also suggest that the overall NO_x reduction (of the order of 10%) does not lead to the desired formation of N₂, but instead forms N₂O. This may be an important criterion when different manufacturers’ diesel de-NO_x systems are being assessed”

“It is clear that by using the MEXA-4000FT we can obtain improved scientific understanding from the analysis of lean-burn gasoline engine aftertreatment systems as well as diesel engine de-NO_x systems. This data used to be impossible to collect by using conventional analytical tools such as CLA. I believe that the 4000FT is a capable tool for use with aftertreatment systems.”

4. Applications of MS

4.1 Impact of Sulfur of TWC

Impact of Sulfur on Three-Way Catalyst (TWC) Performance
 “You are all probably aware of the negative impact sulfur has on TWC performance, but you don’t have this problem in Japan because the sulfur levels in your fuel are very low.

NO_x トラップ(UF-LNT)を伴ったクローズドカップル三元触媒 (CC-TWC)が必要になります。リーンNO_xトラップの機能について説明します。排ガス中のNOは酸化してLNT表面でNO₂になります。NO₂はバリウムのような吸着剤に吸着され、硝酸塩が作られます。(式(1),(2))

リーンNO_xトラップはNO_xをつかまえるのに限られた能力しかもっていないため、トラップを再生させるためには周期的なリッチパージが必要となります。

次の例のような、排気中のNO_xが軽減されている様子(図1)に注目ください。

それぞれのサンプルポイント(供給ガス, TWC後, LNT後)における含窒素種のFT-IRのデータです。エンジン直後のNO₂は全NO_xの約10%となっています。TWC中の白金成分はNOのかんりの部分をNO₂に酸化しています。この反応で形成されたNO₂は硝酸塩(たとえばBa(NO₃)₂)の形で蓄積されます。TWC直後データのもうひとつの大きな特徴はN₂OとNH₃のレベルが極めて高いことです。3番目のチャートにより、テールパイプでは、従来の測定装置では観察が不可能であったN₂OとNH₃が現れているのがわかります。

3.2 ディーゼルNO_x還元触媒

図2により、加速時のNOが大きく増加していることがわかります。これは燃焼温度の上昇によるものです。また、アイドリング時のNO₂が約50%であり、従来信じられてきた10%~30%という値よりも高いことにも注目ください。

Sulfur in the fuel is still a major concern in Europe and in the United States. Let us begin with a brief overview. Sulfur dioxide, SO₂, formed from the fuel during engine combustion is able to interact with various components of the three-way catalyst such the precious metals (especially palladium) and also components of the washcoat (e.g. ceria and alumina)."

"The data in **figure 3** come from a 1.8 liter gasoline test vehicle, equipped with a close-coupled starter catalyst upstream of an underfloor three-way catalyst. This kind of aftertreatment system will be very common to meet European Stage IV legislation.

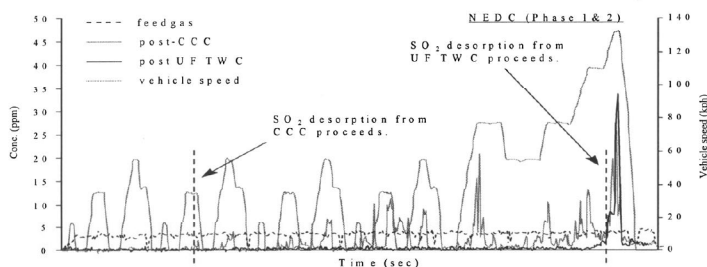


Fig. 3 Changes in SO₂ over a cascade system (NEDC)¹⁾

"These data was taken using the MEXA-4000 MS. The increasing amount of SO₂ after the close-coupled three-way catalyst is shown in red, and tailpipe SO₂ emissions are shown in yellow."

"If we look at the post-close-coupled TWC SO₂ emissions, we see that desorption of SO₂ starts at 300 seconds when the catalyst reaches approximately 600 °C. Sulfur desorption from the catalyst usually occurs at these temperatures. It is obvious that the temperature plays a major role in the desorption from the close-coupled three-way catalyst. However, the underfloor three-way catalyst does not start to desorb SO₂ until very close to the end of the cycle. Sulfur will therefore build up on the underfloor catalyst which will eventually lead to a

deterioration in catalyst performance. So it is very important to optimise the aftertreatment configuration to minimise the effects of sulfur."

4.2 Fast Catalyst Light-off

"To meet future legislation, it is quite clear that we need to minimize the emissions that occur during the engine start prior to catalyst light-off. Nearly 70% - 90% of the emissions occur before the catalyst reaches the light-off. A solution for this is a Ford innovation called Exhaust Gas Ignition, or EGI. This reduces the light-off time of the catalyst 10 seconds or less."

"**Figure 4** shows the general schematic of the EGI system. Feedgas is engine-out emissions. The exhaust flows left to right, to the tailpipe at the end. The front brick is a hydrocarbon trap which adsorbs hydrocarbons at low temperature and releases them at high temperatures. On the rear brick, there is a three-way catalyst, and a glow plug is located between the two bricks. There is modulated secondary air injection prior to this catalyst system. From cold start, the engine

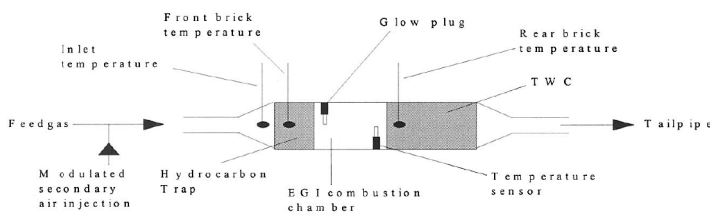


Fig. 4 Components of the HC trap-EGI system¹⁾

operates fuel-rich to produce high levels of engine-out hydrocarbons, carbon monoxide and hydrogen. Secondary air is injected prior to the catalyst assembly, to produce a flammable exhaust mixture with a lambda value just greater than 1. The glow plug ignites the fuel between the bricks

エンジン直後とテールパイプのデータを比べると、触媒の温度が低い間は、NO₂に比例した量がNOに還元されます。このことはこの間テールパイプでNOがより高濃度であることから実証され、また文献データとも一致しています。NO_x全体にわたる還元(10%程度)は、望ましいN₂よりもN₂Oを生成していることがプロファイルから言えます。これは異なるディーゼル車NO_x還元システムを評価する際の重要な基準となります。MEXA-4000 FTを用いてリーンバーンガソリンエンジン後処理システムやディーゼルエンジンNO_x還元システムの分析に新しい科学的知見が多く得られました。従来の分析ツール、たとえば化学発光法(CLA)等では不可能だったことを考えると、4000FTは後処理システムについて極めて優れたツールだといえましょう。

4. MS の応用例

4.1 三元触媒に対する硫黄の悪影響

硫黄がTWCに多大な悪影響を及ぼすことは有名です。日本では燃料中の硫黄のレベルが極めて低いためあまり問題にはなっていないかもしれませんが、ヨーロッパやアメリカでは燃料中の硫黄は大きな問題です。2段触媒システムにおけるSO₂の作用を図3に示します。このデータはMEXA-4000 MSで採ったものです。触媒の温度が約600°Cに到達した時点で、CC-三元触媒からSO₂の脱離が始まっています。三元触媒からの脱離に温度が大きな役割を果たしていることがわかります。SO₂の脱離プロファイルを観察し、触媒から硫黄を取

and the resulting heat lights-off the front face of the rear three-way catalyst brick very quickly. The resulting exotherm is maintained throughout the catalyst by careful calibration.”

“The EGI system reduces tailpipe CO and HC emissions considerably compared to conventional catalyst systems. Despite the rapid catalyst light-off characteristics of EGI, there is still a significant THC spike during the first 20 seconds. This can be reduced by including an upstream HC trap.

“The data (see figure 5) shown here are taken using the MEXA-4000MS.

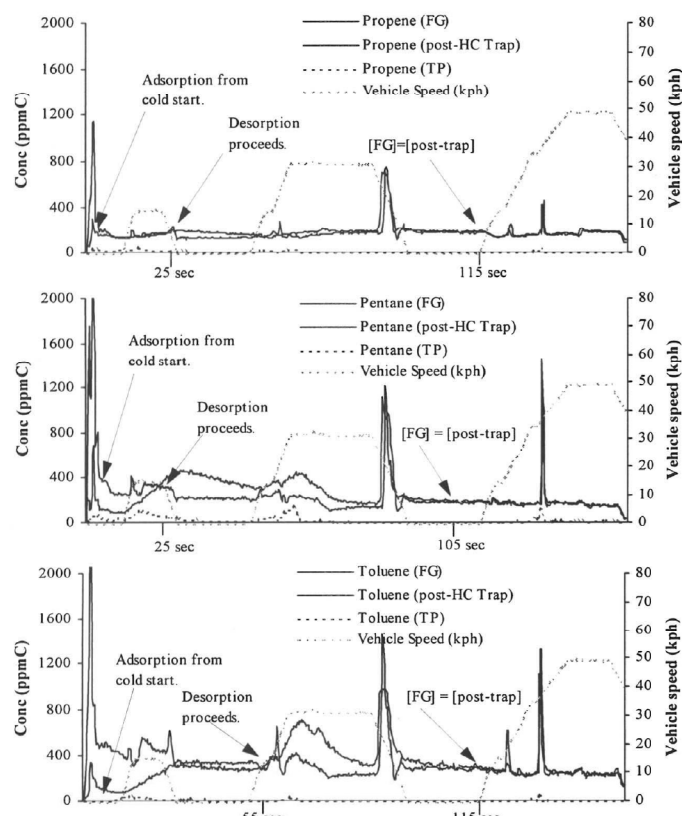


Fig. 5 Exhaust propene, pentane and toluene profiles in the HC trap-EGI configuration¹⁾

By sampling the feedgas directly behind the HC trap and post-TWC, it is possible to assess the trapping efficiencies and light-off characteristics for a range of hydrocarbons. There is considerable adsorption of each hydrocarbon on the trapping material from cold start; since during the first 20 seconds, the hydrocarbon concentration exiting the HC trap is significantly lower than that entering it. There does appear to be some selectivity towards adsorption, however, in that heavier hydrocarbons, such as toluene, are more efficiently stored on the trapping surface. Hydrocarbon desorption proceeds as the trap surface temperature increases. Desorption is characterized by a higher HC concentration observed at the ‘post-HC trap’ location than that observed at the engine-out location. There is selectivity in the temperatures at which desorption from the trap proceeds. Figure 5 shows toluene desorbing 30 seconds later than either propene or pentane. The characteristics of the fast catalyst light-off of EGI are clearly observed from the very low tailpipe profiles for each of the hydrocarbons.¹⁾

5. Particle Size Distributions

“Recently, both the size and number of particles from automotive exhaust have become very topical issues. Particle emissions by size and number are not easy to measure. It is very important that people are aware of this. There is certain literature available, which suggest that gasoline vehicles can produce as many particles as diesel. Under certain abnormal conditions, such as when a vehicle has a malfunction, or is operating very rich, then a gasoline vehicle can produce significant particles. But, unlike what is suggested in the literature, normal gasoline vehicles, operated in controlled conditions under closed-loop operation, do not produce as many particles

り除くことが非常に重要です。

4.2 超低排出触媒システム

エンジンをスタートさせてから触媒の起動までに起こる排ガスを最小に抑える必要がありますが、およそ70% - 90%の排ガスは、触媒が起動しはじめる前に排出されています。フォードが開発した Exhaust Gas Ignition システム (EGI)は、触媒の起動を少なくとも 10 秒は短縮することができます。

図4は EGIの概要を示しています。フィードガスが左側から入ります。前方のレンガは HC トラップで、後方は三元触媒です。その間にグロープラグが置かれており、このプラグにより、混合ガスが着火され、余熱により発熱化学反応が維持されます。EGI システムは従来の触媒システムに比べ、テールパイプの CO と HC 排ガスをかなり低減しています。

図5のデータは MEXA-4000 MS を用いて採ったものです。フィードガスを直接、HC トラップ直後、テールパイプの3ヶ所でサンプリングすることにより、あるレンジの HC 吸着特性と触媒のライトオフ特性を評価することが可能です。トラップからどの解離が先に進んで行くかについては、温度による選択性があります。

図5に見るように、トルエンの解離がプロペンやノルマルペンタンよりも約30秒遅れて起きています。テールパイプでは HC が極めて少ないことにより、EGI による触媒の速いライトオフ特性をはっきりと見ることができます。

as diesel engines. It is possible, therefore, that under certain conditions, there is some influence on particle size and number emissions which are not a direct result of the vehicle itself (see section on ‘Influence of Sampling’).”

“Potential harmful effects of particles are reflected in the legislation (currently mass emissions of particulate needs to be controlled). The current concern, when it comes to human health effects, is that size and number of particles are potentially more important than mass. It has been suggested that the smaller the particles become, the more harmful they are for the human health. Very important are the so-called ‘nano-particles’ - particles that are smaller than 50 nanometers in diameter. Nano-particles penetrate deeply into the human body possibly leading to respiratory diseases. It is quite clear that the engine designers are very efficient in developing engines with low particulate mass emissions. It has been questioned, however, that reducing particulate mass may be accompanied by an increase in particle numbers. Recent work with particle traps has shown that reductions in particle mass are in fact accompanied by a reduction in particle number.

6. Influence of Sampling

“One important concern I would like to emphasize for nanometer-size particulate measurement is the consideration of the influence of the sampling conditions. This is clear from the data shown in **figure 6**. From this we will see that the particulate measurement is difficult and is affected not only by the instruments but also by the sampling conditions and the sampling system itself.”

“These data (**figure 6**) show a comparison of particle size distribution from a 4-cylinder European gasoline car sampled using an ejector pump system and also using a dilution tunnel: a) was taken using an uninsulated transfer line, b)

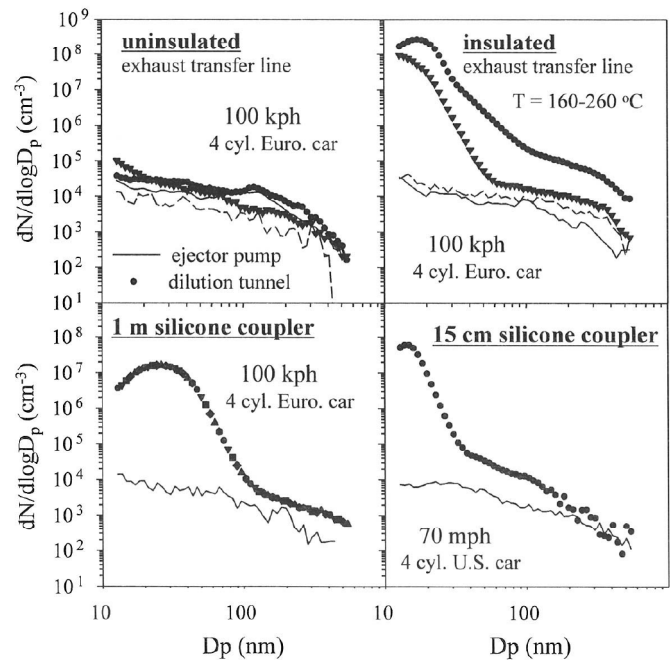


Fig. 6 Particle size distribution with different transfer lines²⁾

used an uninsulated transfer line, c) used an uninsulated transfer line and a 1-meter silicone rubber coupler, and d) used an uninsulated transfer line and a 15-centimeter silicone rubber coupler.”

“When an insulated hose or one containing a rubber coupler is used, a very intense spike of ultrafine nanoparticles (smaller than 30 nm) develops in the dilution tunnel particle size distribution. In this case, the ultrafine particles are attributed to desorption and pyrolysis of the silicone rubber material by the hot exhaust gases.”

“Data in **figure 7** shows the sequence of size distributions for a 1998 diesel car. Data was taken at 3 minute intervals while the vehicle speed was increased from 50 to 60 mph. The top panel illustrates the growth of the 20 nm artifact due to heating of the transfer hose. The bottom panel shows

5. パーティクル粒径分布

今日、パーティクルの大きさや数はとても大きな問題となっています。パーティクルエミッションの大きさや数を計測することは大変難しく、まずこの事実を知ることが大切です。現在では多くの文献があり、ガソリン車はディーゼルと同じだけパーティクルを排出しているとありますが、これは真実ではありません。パーティクルエミッションが正しく計測されていないこととなります。

パーティクルの潜在的な悪影響は規制からも明らかです。人体に対する悪影響から、現在ではパーティクルの大きさと数が、質量よりも問題だと考えられています。パーティクルは、小さい程人体に害が大きいと言われています。ナノパーティクル(直径50ナノメートル以下のパーティクル)は人体深くに浸透し、呼吸器官疾患を起こします。このより小さなパーティクルの影響を実証するデータはまだありません。

6. サンプリング系の影響

ここで強調しておきたいのは、ナノサイズのパーティクル計測がサンプリング系の影響を受けると言うことです。これは**図6**に示したデータからも明らかです。このことからパーティクル計測は難しく、測定装置だけでなくサンプリングシステムにも影響を受けることがわかります。

図6は排気ポンプとダイリューショントンネルでサンプリングされた、4-シリンダー ガソリン車のパーティ

a transient artifact from hydrocarbon build-up that ‘burns off’ the j-tube sample probe in the tailpipe.”

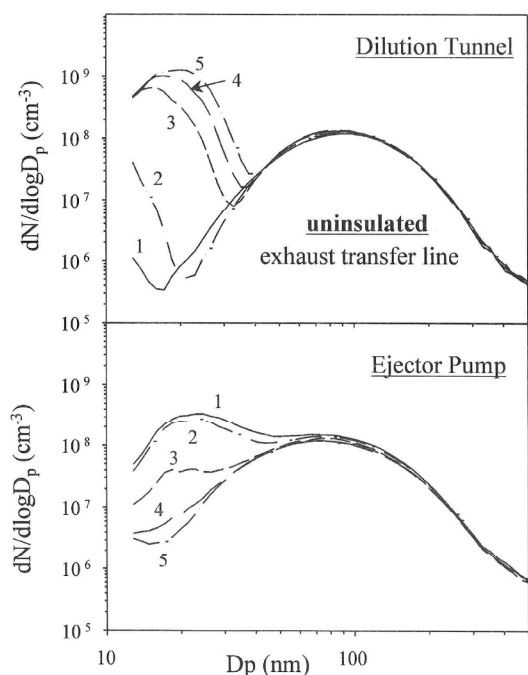


Fig. 7 Artifact formation - diesel vehicle²⁾

“The distributions exhibit an accumulation mode up to 10 to the power 8 particles/cm³ that is centered near 100 nm. As the speed increases, the discrepancy becomes apparent: the tunnel-derived distributions are bimodal, whereas those from the tailpipe show only the accumulated mode.”

“The number of ultrafine particles (up to 18 nm) sampled in the 60 mph dilution tunnel test exceeds the accumulation mode by a factor of 10. We conclude from this study that the hydrocarbon storage in the transfer hose and its subsequent release by the hot exhaust gasses can have a profound influence on the number and character of particles².”

“To summarize, it is very difficult to compare data using different sampling conditions. We face questions about the effects of the dilution ratio and the temperature. It is important that robust sampling and measuring procedures are developed. It is very important that clearly- defined testing protocols are used, which avoid possible artifact formation.”

“Of course, besides system optimization, we need a close collaboration between ourselves: Ford, the catalyst supplier, and the people developing the control systems. We all must work together. It is important that we recognize that emission analyzer development is an integral part of the process. It is true that we are not fully sure about particulate measurement yet. To clarify it, not just a static but a dynamic measurement property is required. In this field I am looking forward to developments in Horiba’s technology and I hope we can continue the collaborative work between Horiba and Ford Motor Company. Thank you for your attention.”

References

1. Gregory, D., Adachi, M., et. al, JSAE, No. 183 1999
2. Maricq, M.M., SAE, No. 1999-01-1461

クル粒径分布の比較を表しています。a) は非加熱移送ラインを用い、b) は加熱移送ラインを用い、c) は非加熱移送ラインと1 mのシリコンラバーカップラーを用い、d) は非加熱移送ラインと15cmのシリコンラバーカップラーを用いて採取されました。

図7のデータは1998年製のディーゼル車で採った分布図です。上方の図は、移送ホースの加熱に起因する疑似粒子を示しており、下方の図は、テールパイプの採取管から燃え出したHC集団に起因する疑似粒子を示しています。

まとめると、どのような規制においても、排ガス中のパーティクルを低減することが必要であることは明らかです。その大きさ、数、そして質量において、異なる希釈率のデータを比較するのは非常に困難です。希釈率と温度の影響についての問題が顕著になっています。確固としたサンプリング手法と計測手段の発展が重要となります。正確に粒子をサンプルできる、しっかりと定義されたテストプロトコルを用いることが重要です。もちろん、システムの最適化だけではなく、我々同士、フォードと触媒メーカー、制御システムの開発者たちとの密接な相互関係が必要です。我々はいっしょに進んでいかなければなりません。排ガス分析装置の開発はプロセスの中核だと認識することが大切です。パーティクル測定についてまだ十分に分かっていないことは事実ですが、それを解明するためには、静的なものだけではなく動的な測定手法が求められています。この分野でのホリバの技術開発に期待したいし、フォードとホリバが協力して開発に当たっていきたくて希望しています。

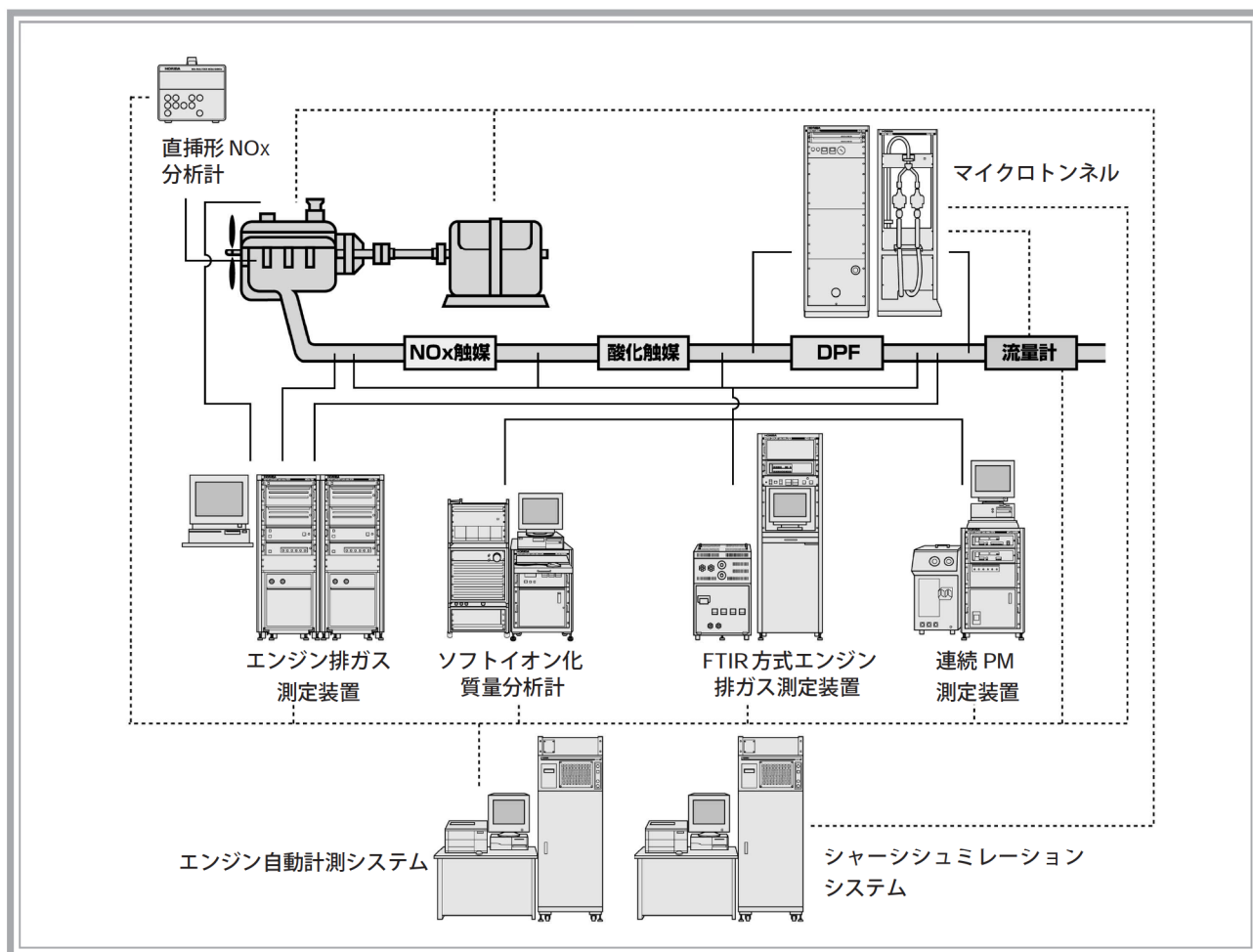
(抄訳 編集部)

Feature Article
特集論文②

ディーゼル排ガス計測システムおよび今後の動向

Diesel Exhaust Emission Measurement Systems and The New Technology of Measurement

浅野 一朗



要旨

ディーゼル排ガス計測システムは、ディーゼルエンジンの改良と、自動車の排ガス規制の強化にあわせて、順次改良されてきた。今後の排ガス規制の強化はゼロエミッションに近い状態まで目指すと考えられる。したがって、低濃度の排ガスおよび粒子状物質の測定精度をいかに確保するかが課題となってきている。また、ディーゼル排ガスの計測は、複雑化するディーゼルエンジンの改良や排ガス後処理システムの開発に重要な役割を果たすようになってきている。

Abstract

Diesel exhaust emissions measurement systems have been developed and systematically improved as a result of improvements in diesel engines and strengthening of exhaust emissions regulations. Future regulations are expected to require zero emissions levels. Therefore, to achieve and maintain regulatory compliance, a major objective of exhaust emissions measurement is ensuring that measurements of gaseous and particulate emissions are accurate. In addition, diesel exhaust emissions measurement has come to play an important role in the improvement of sophisticated diesel engine systems and the development of exhaust after-treatment systems.

1. はじめに

ディーゼルエンジンは、その優れた耐久性・経済性によって大型自動車をはじめ建設・農業用機械、発電機、船舶等の原動機として幅広く利用されている。また、近年の地球温暖化にかかわる二酸化炭素(CO₂)の排出削減の面でも期待されるエンジンである。一方、ディーゼルエンジンからの窒素酸化物(NO_x)および粒子状物質(PM)の排出削減が強く望まれている。

ディーゼルエンジン排ガス計測システムは、排ガス規制の強化に合わせ順次改良されてきた。しかし、最近の規制強化はきわめて厳しいものであり、これに伴って、排ガス計測システムの高感度化・高精度化の要求も厳しくなっている。

ここでは、最近の排ガス規制の現状、および排ガス計測システムの現状と今後の動向について述べる。

2. 排ガス規制の動向

ディーゼルエンジンはガソリンエンジンに比べて一酸化炭素(CO)や炭化水素(HC)の排出が少ないクリーンなエンジンである。しかし、ガソリンエンジンの排ガスを画期的に低減できる三元触媒のような公害防止技術がなかったため、段階的に排ガス削減が行われてきた。しかし、大気中の二酸化窒素(NO₂)および浮遊粒子物質(SPM)の環境基準達成率が大都市を中心に低い状況にあり、ディーゼルエンジンからのこれら汚染物質の大幅な排出削減が強く望まれている。

2.1 排ガス規制値

環境庁の中央環境審議会は、1998年12月「今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について(第三次答申)」を答申し、乗用車および軽量車については2002年末、中量車および12トン以下の重量車は2003年末までに、12トンを超える重量車は2004年末までに表1に示す目標(新短期目標)の達成を求めている。また、2007年頃を目途にこれらの目標値の1/2を新たな目標(新長期目標)とするよう求めている⁽¹⁾。

表1 ディーゼル自動車の許容限度設定目標値(平均値)
Target emissions limits for diesel vehicles

自動車の種別	NO _x	HC	CO	PM	測定の方法
乗用車 ~1.25t	0.28	0.12	0.63	0.052	10・15モード (g/km)
1.25t~	0.30	0.12	0.63	0.056	
軽量車 ~1.7t	0.28	0.12	0.63	0.052	
中量車 1.7~2.5t	0.49	0.12	0.63	0.06	
重量車 2.5t~	3.38	0.87	2.22	0.18	D13モード (g/kWh)

また欧州でも同様に、表2および表3に示す排ガス低減目標が検討されている。

試験モードが異なるため単純な比較はできないが、日本では比較的NO_xに厳しく、欧州ではPMに厳しい目標値となっている。

表2 EU小型ディーゼル乗用車排ガス規制値(g/km)
Proposed EU emissions limits for diesel passenger cars

	CO	HC+NO _x	NO _x	PM	Effective Date
Step 3	0.64	0.56	0.5	0.05	2000
Step 4	0.5	0.3	0.25	0.025	2005

表3 EUディーゼル重量車排ガス規制値(g/kWh)
Proposed EU emissions limits for diesel heavy duty vehicles

		CO	HC	NO _x	PM	Effective Date
EURO III	ESC	2.1	0.66	5.0	0.10	2000
	ETC	5.45	0.78		0.16	
EURO IV	ESC	1.5	0.25	2.0	0.02	2005
	ETC	4.0			0.03	

2.2 排ガス試験方法

米国の環境保護庁(US EPA)では乗用車および重量車用エンジン共にトランジェント試験を要求しているが、日本・欧州ではこれまで、重量車用エンジンには定常運転試験が要求されてきた。

しかし、欧州ではEURO III規制から定常試験サイクル(ESC; European Steady state Cycle)にくわえて、トランジェント試験サイクル(ETC; European Transient Cycle)が導入される。

また、中央環境審議会答申にも新長期目標において「過渡運転の試験方法(いわゆるトランジェントモード)の導入を検討する必要がある」とされており、国内でも新長期規制からトランジェント試験が導入されると考えられる。

<直接測定>

重量車用エンジンなどの定常運転試験では、エンジンからの排ガスを希釈せず直接採取し、排ガス中のCOなどの成分の濃度を測定する。

吸入空気流量と燃料流量から求めた排ガス流量と、排ガス中のCOなどの成分の平均濃度から、それら試験当たりの排出量を求める。

直接測定は、排ガスを希釈しないため、低濃度の排ガス成分の測定には、希釈測定より有利な方法である。しかし、トランジェント試験では、急激に変化する排ガス流量の計測が必要であるため、現在では、定常運転試験だけで直接測定が行われている。

<希釈測定>

トランジェント試験において排ガス成分の排出量

を求める場合、CVS (Constant Volume Sampling) 装置が用いられる。

CVS 装置は清浄な空気で排ガスの全量を一定の流量になるように希釈する。全希釈排ガス流量に対し、希釈排ガスの一部を一定の流量比率で試料採取バッグに採取することによって、運転中の平均濃度を代表する希釈排ガスを得ることができる。

また、希釈排ガスを連続測定して運転中の平均濃度を求めることもできる。

希釈排ガスの全流量と、希釈排ガス中のCOなどの成分の平均濃度から、排ガス成分の排出量を求める。

図1にCVS装置の構成例を示す。

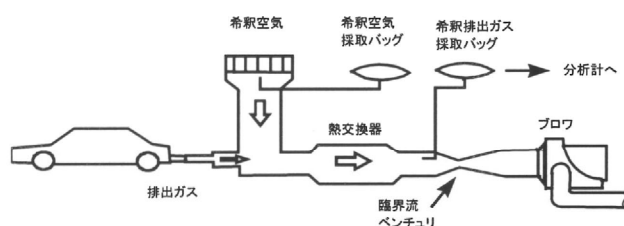


図1 CVS装置の構成例
Configuration of the CVS

CVS 装置は、トランジェント試験において排ガス成分の排出重量を求める優れた方法であり、1970年代初めから広く用いられてきた。しかしながら、規制の強化に伴って希釈排ガスの濃度が、希釈空気と同じレベルとなり、測定精度を維持できなくなっているため、新たな改良が必要とされてきている。また、重量車用エンジンの排ガス試験では、エンジンの排気量が大いのに加え、定格速度近くまで運転されるため、大流量の排ガスを希釈できる超大型のCVS装置が必要となる。

<粒子状物質測定>

ディーゼルエンジンから排出される粒子状物質(PM)は、エンジンからの排ガスを清浄な空気を流した希釈トンネルで52℃以下になるよう希釈・冷却し、捕集フィルタ上に採取して、その質量をマイクロ天秤を用いて測定する。

トランジェント試験では、排ガスの全量を一定流量になるよう希釈する全量希釈トンネルが使用される。全量希釈トンネルの構成例を図2に示す。

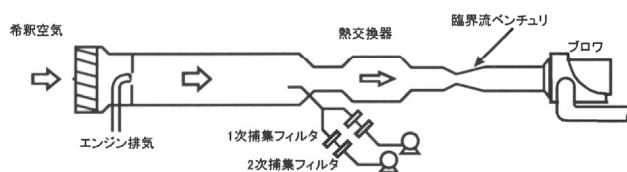


図2 全量希釈トンネルの構成
Configuration of the full - flow dilution tunnel

重量車用エンジンのトランジェント試験を、全量希釈トンネルで行う場合、希釈流量はエンジンの排ガス流量の10倍以上が必要のため、トンネルも巨大なものとなる。装置の大型化を避けるため、排ガスの全量を希釈した後、温度を下げるために希釈排ガスの一部をさらに希釈する2段希釈トンネルも使用されている。

重量車用エンジンの定常運転試験では、全量希釈トンネルのほかに、排ガスの一部をその流量に比例して採取し希釈する分流希釈トンネル(部分希釈トンネルとも呼ばれる)が使用されている^(2,3)。分流希釈トンネルのうち、排ガスを1/10から1/50程度に分割し、直径が75 mm以上のトンネルで希釈する方式はミニトンネルと呼ばれる。排ガス流量を測定し、これに比例した小流量の排ガスを採取し直径30 mm程度の小型のトンネルで希釈するものはマイクロトンネルと呼ばれている。(欧州では、分流希釈トンネルは全てミニトンネルと呼ばれている)。

3. 直接測定・分流希釈トンネルのトランジェント試験への適用

1997年、国連欧州経済委員会(ECE)傘下の車両構造専門部会「大気汚染とエネルギー」分科会(GRPE)にWHDC (Worldwide Heavy Duty Certification Procedure) Working Group が設立され、各国政府主導の下に、重量車の排ガス試験法の国際調和を目指し活動が開始された。WHDCは重量車用エンジンの排ガス測定法の規格作成をISOのTC22/SC5 (エンジンテスト) に依頼し、ワーキンググループ(WG2)が組織された。

現在、WG2において、「トランジェント試験に対応可能な分流希釈トンネルによるPM測定および直接測定による排ガス測定」の検討および規格化の作業が進んでいる。

WG2のドラフトスタンダード完成は1999年12月に予定されており、今後のEURO IV規制の測定法として引用される予定である。国内でも国際基準調和の観点から、新長期規制の測定法として採用されると考えられる。

また、これまで全量希釈トンネルでは装置が巨大なものとなりトランジェント試験ができなかったノンロード(自動車以外)エンジンの試験にもこの規格が使われる可能性が高い。

4. 低公害化技術と排ガス測定

ディーゼルエンジンの排ガス中のNO_x低減技術としてEGR(Exhaust Gas Recirculation)が、従来から使用されてきた。EGR率は排気中のCO₂濃度と排気再循環によって増加した吸気中のCO₂濃度を測定して下式のように求めることができる。

$$EGR_{ratio} = \frac{CO_{2(In)} - CO_{2(amb)}}{CO_{2(Exh)} - CO_{2(amb)}} \times 100 (\%)$$

排ガス中のNO_x濃度の測定には化学発光分析計または直挿型センサによるノンサンプリング方式のNO_x測定装置⁽⁴⁾によって簡便に測定できるが、PMの測定には大がかりな希釈トンネルが必要で、連続的に測定することができなかつた。

最近、水素炎イオン化検出器(FID)を使用した連続PM測定装置が開発され、PM中のすす(Soot)および可溶性有機成分(SOF: Soluble Organic Fraction)が同時に連続的に測定できるため、PMの低減に役立つと期待される。

EURO IIIおよび新短期規制の目標達成には、コモンレール式燃料噴射装置による高圧噴射や多段噴射、燃焼室の構造改良など、エンジンの燃焼自体の改良で対応し、EURO IVおよび新長期規制には、脱硝触媒(De-NO_x触媒)および連続再生トラップ(CRT: Continuous Regenerative Trap)などの後処理システムによる対応が必要になってくると考えられている。

触媒前後での窒素化合物の各成分は、フーリエ変換赤外線(FTIR: Fourier Transform Infra-Red)方式排ガス分析計によって、一酸化窒素(NO)、二酸化窒素(NO₂)だけでなく、亜酸化窒素(N₂O)やアンモニア(NH₃)も同時に測定でき、酸化・還元・吸着・脱着などの解析が可能となる。

図3にFTIR方式排ガス分析計によるCO、CO₂およびN₂Oの赤外線吸収スペクトルを示す。

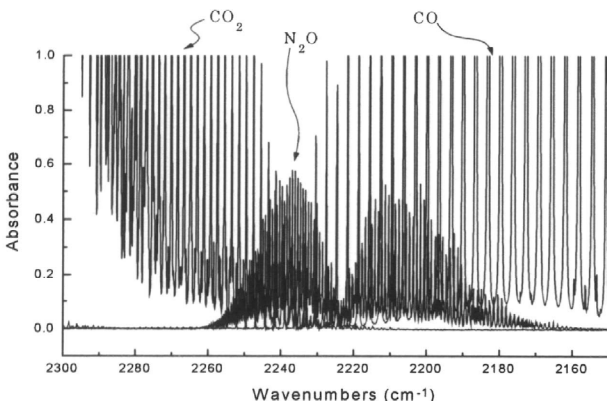


図3 CO、CO₂ および N₂O の赤外線吸収スペクトル⁽⁵⁾
Infrared absorption spectra for CO, CO₂ and N₂O

N₂Oの吸収スペクトルはCOおよびCO₂の吸収スペクトルと重なっているため、非分散形赤外線分析計で測定する場合は、COおよびCO₂が干渉成分となってN₂Oの測定に誤差が生じる。FTIR方式排ガス分析計の場合は、高分解能で吸収スペクトルを測定できるためスペクトルの重なりが少ないのに加え、COやCO₂も同時に測定し、補正演算を行うことで干渉影響のないN₂Oの測定値を得ることができる。

また、ソフトイオン化質量分析計を用い、触媒前後の排ガス中の二酸化硫黄(SO₂)や硫化水素(H₂S)を測定することで、触媒を被毒させる硫黄化合物の挙動を調べることができる。

図4にソフトイオン化質量分析計の概念図を示す。

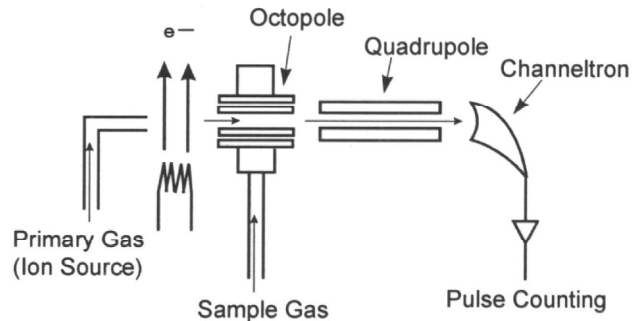


図4 ソフトイオン化質量分析計の概念図⁽⁶⁾
Schematic of the soft-ionization mass spectrometer

8重極(Octopole)において、測定対象成分の分子は、電子衝撃法によってイオン化された水銀やキセノンなどの1次イオンとの電荷交換によってイオン化される。そのうち、4重極(Quadrupole)の設定に応じた質量数のイオンだけが直進し検出器に到達する。到着したイオン数を検出することでガス成分の濃度を測定でき、測定する質量数を高速で切り替えることによって、高感度で多成分のガス濃度を同時に測定することができる⁽⁶⁾。

またソフトイオン化質量分析計は、排ガス中の1,3-ブタジエンやベンゼンなどの炭化水素も連続測定できるので、排ガス中の有害物質の低減に威力を発揮すると期待されている。

5. おわりに

以上、ディーゼル排ガス計測システムの現状とその動向を紹介した。ここで紹介できなかったが、コンピュータによる自動計測システムも複雑化する排ガス測定の精度を確保し、計測を効率よく行う上で重要な要素であることは言うまでもない。

ディーゼルエンジンの改良や排ガス後処理システムの開発に、排ガス計測がますます重要になってきており、われわれの計測システムが、ディーゼルエンジンの低公害化に貢献できるよう願っている。

参考文献

- 1) 環境庁: 中央環境審議会, 今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について(第三次答申), 平成10年12月。
- 2) 柳ほか, 大型ディーゼル機関に適応可能な小型の粒子状物質測定装置の研究・開発, 自動車研究, 第16巻第2号。
- 3) K. Engeljehring, et al, "Experiences with a Mini-Dilution System for Engine Homologation and Development", SAE Technical Paper No. 942418.
- 4) 井内ほか, "厚膜ジルコニア NOx センサを使用した直挿型 NOx 計 MEXA-120NOx", Readout No.15 September 1997.
- 5) M. Adachi, et al, "Discussion of Operating Parameters and Analysis Capability for a Fourier Transform Infrared Emission Analyzer", SAE Technical Paper No. 971018.
- 6) K. Akashi, et al, "Utilization of Soft Ionization Mass Spectrometer for Ultra High Sensitivity and Fast Responce Emission Measurement", SAE Technical Paper No. 980046.



浅野 一郎

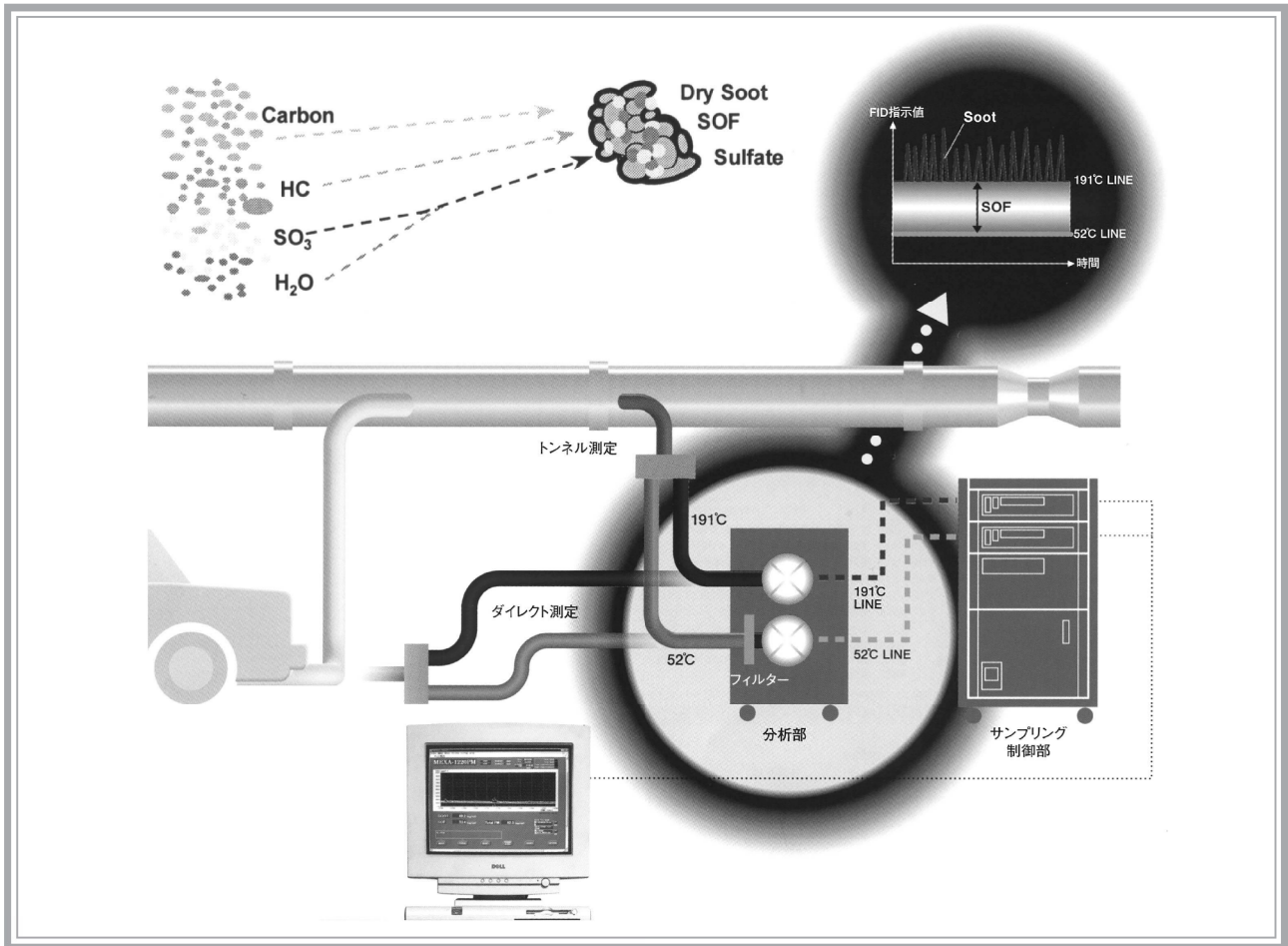
Ichiro ASANO

エンジン計測開発部
シニアマネージャー

水素炎イオン化検出器を用いた粒子状物質の連続測定

Real-time Measurement of Particulate Matter Using a Flame Ionization Detector

福島 宏和



要旨

車輛から排出される粒子状物質は環境面及び人体への影響という観点から、大きな問題の一つとして取り上げられている。粒子状物質の排出量を削減するためには、まず、いかなる運転状況において粒子状物質が生成されるのかを過渡的に把握する必要がある。そこでPMの連続測定を可能とする製品を開発した。原理として水素炎イオン化検出器がカーボン粒子に対してパルス状の信号を出力することを利用して、Sootの連続測定を可能とした。またサンプルガスを低温と高温ラインに分岐し、それぞれのラインでのTHC濃度の差を求めることにより、SOFの連続測定も可能とした。本稿では、本測定方法の測定原理および装置の構成を解説する。また、実エンジンを用いた多数のデータから、従来法との相関を確認し、連続測定の可能性を示した。

Abstract

Reduction of the particulate matter in engine emissions has been one of the major technical challenges in the industry. Total PM emissions can be reduced by precisely controlling sophisticated powertrain systems. Precise control requires obtaining information about the timing and quantity of PM emissions during transient operation. A product has been developed that can separately measure soot and soluble organic fraction in real-time. The product uses two fast FIDs: a high-temperature nonfiltered FID for soot and THC detection, and a room-temperature filtered FID for low-temperature THC detection. Pulse signals from the nonfiltered FID are used to quantify the amount of soot, and the difference between the baselines of the two FIDs is used to quantify the SOF amount. Evaluation using a variety of conditions shows a relatively high correlation with conventional methods and indicates feasibility for real-time measurement.

1. はじめに

ディーゼルエンジンから排出される粒子状物質 (PM) の削減要求は、年々厳しくなっており、PM 排出の瞬時的挙動を捉えることがエンジンの開発に必要不可欠な課題となってきた。

現在の規制に基づく PM 測定法は、排ガスを希釈トンネルに導入し、52℃以下の状態で PM をフィルタに捕集し、その質量をマイクロ天秤にて測定する。しかし、この手法はバッチ測定であるため、PM 中の煤成分である Soot、有機溶媒に可溶性成分である SOF (Soluble Organic Fraction) およびトータル PM (Soot+SOF) が、いかなるエンジン状態でいかなる挙動を示すのかを解析することが困難であった。

そこで、連続的に PM 排出の挙動を捉えるため、水素炎イオン化検出器 (FID) を利用することにより、Soot と SOF の分離測定およびトータル PM の測定が可能な測定装置 MEXA-1220PM を開発した。以下に本測定装置の原理および実エンジンをを用いた実験結果を報告する。

2. 測定原理

2.1 水素炎イオン化検出器

FID は、炭化水素に対して高感度な検出器として、一般的に使われている。その測定原理は、水素と空気を混合させて燃焼させ、ノズルの部分からサンプルガスを流す。その際、ノズルと水素炎の周囲 (コレクタ) に一定の高電圧を印加しておく。水素炎の高温環境下 (1500K 以上) では、サンプルガス中の炭化水素分子の一部はイオンとなるため、ノズルとコレクタ間にイオン電流が流れる⁽¹⁾⁽²⁾。そのイオン電流を増幅して検出することにより、炭化水素の濃度を測定することが可能である。

2.2 PM 中の Soot 測定

FID をエンジン排ガス測定に使用する場合、通常はサンプルガスをフィルタに通し、気体成分のみを FID に導入する。しかし、PM を含むディーゼルエンジン排ガスをフィルタなしで、直接 FID に導入した場合、スパイク状の信号が発生していることがわかった⁽³⁾。そこで、スパイク状信号が PM に含まれるカーボン粒子によるものであることを確認するため、以下の実験を行なった。

図 1 に、実験概略図を示す。炭化水素を含まない純粋なカーボン粒子を用いて評価を行なうため、700℃、

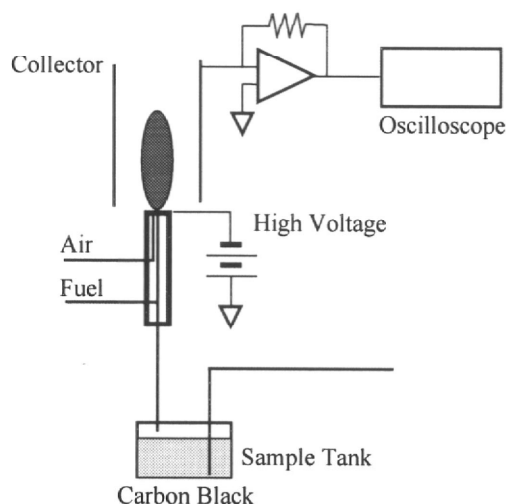


図 1 カーボン粒子導入実験概略図
Schematic of carbon sample introduction into a FID

24時間真空状態にて精製したカーボンブラックを容器に入れ、振動させながら容器に空気を送り込むことにより、カーボンブラックを直接 FID に導入した。また、高速応答で FID 出力を観測するため、FID の出力を直接オシロスコープに接続した。

図 2 に、実験により得られた FID 出力の一例を示す。ここでは、4 個のパルス状信号を観測することができた。最初の 3 個のパルス状信号の半値幅は同じで、この値は FID の時定数によって決まっているものである。また、半値幅が同じであるということから、これらのパルス状信号は一つのカーボン粒子が FID 内部を通過したときに発生したものであると考えられる。パルス状信号のピーク高さの違いは、カーボン粒子のサイズの違いにより引き起こされたものと考えられる。また、時刻 6 ミリ秒から 8 ミリ秒の間の 4 個目のパルス状信号には 2 個以上のピークが含まれており、複数の粒子による信号が重なり合ったものと考えられる。

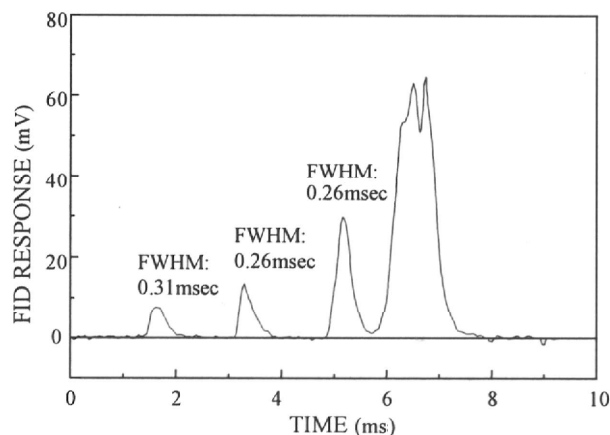


図 2 カーボン粒子に対する FID の感度
FID response to carbon black

以上より、FIDが純粋なカーボン粒子に対して、パルス状の応答を示すことを確認することができた。よって、ディーゼルエンジンから排出されるPMを直接FIDに導入し、発生するパルス状信号のみを検出することによって、PM中のSoot成分のみを連続的に測定することが可能であると考えられる。

2.3 PM中のSOF測定

図3に、PM中のSOF分の信号を得るためのフローを示す。PMを含む排ガスを2つのラインに分岐し、一方は191℃にて加熱を行い、直接FIDにPMを含む排ガスを導入し⁽⁴⁾、もう一方は52℃にて排ガスを導き、フィルタにてPMを取り除くことにより、気体成分のみをFIDに導くようにしている⁽³⁾。

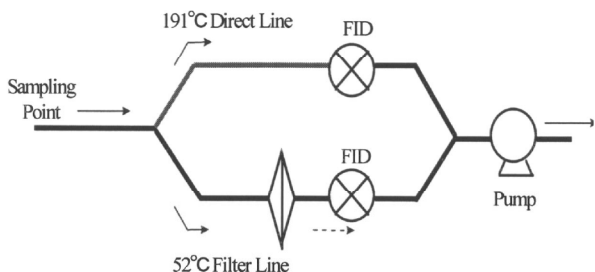


図3 SOF測定のためのガスフロー
Gas flow of SOF measurement

図4に、ディーゼルエンジンからの排ガスを図3のフローにて測定したときに、2台のFIDから得られた信号を示す。191℃ラインのFID出力は、191℃にて気体状態となっている炭化水素の指示がベースをつくり、そのベース信号にSootによるパルス状信号が加わったものとなる。また、52℃ラインのFID出力は、52℃にて気体状態になっている炭化水素によるものである。よって191℃ラインのベース信号と52℃ラインの信号の差は、52℃から191℃の間に液体から気体に変化した高沸点の炭化水素の濃度を表している。

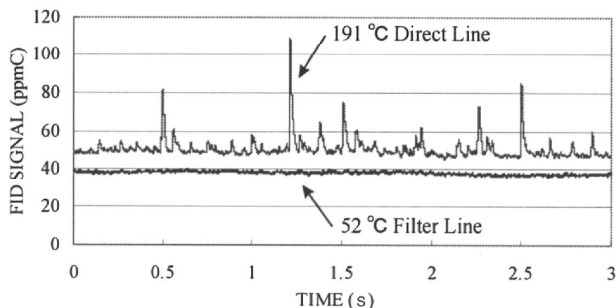


図4 191℃ラインと52℃ラインにおけるFID指示
FID Signals from 191 °C Line and 52 °C Line

つまり、191℃ラインと52℃ラインのFID指示のベース信号の差を求めることにより、PM中のSOF成分のみを連続的に測定することが可能であると考えられる。

3. 連続PM測定装置

3.1 構成

図5に、トンネルも含めた連続PM測定装置のシステム構成図を示す。装置は加熱導入部、FID分析部、サンプリング制御部、表示・操作部から構成されている。

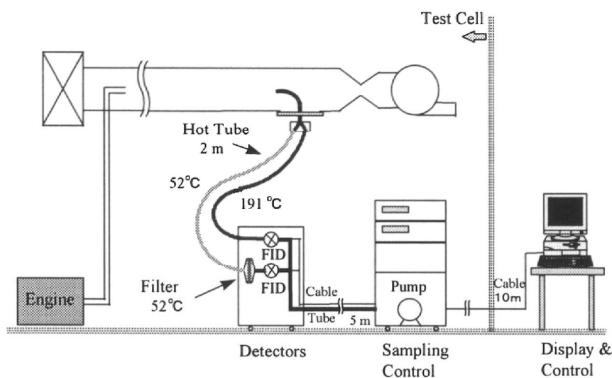


図5 PM測定システムの構成図
System block diagram for PM measurement

サンプル導入部より採取されたPMを含む排ガスは、191℃および52℃に温度調節された加熱配管へ分岐される。191℃ラインでは、排ガスが直接FIDへ導かれ、52℃ラインでは、排ガス中のPMが52℃に温度調節された加熱フィルタにより捕集され、気体成分のみがFIDへ導かれる。また、サンプルラインでPM粒子のたまりが生じないように、サンプルポイントからFIDまでの配管は段差がないように配慮し、ポンプもFIDの後段に接続している。2台のFIDからのアナログ出力はパーソナルコンピュータ(PC)に取り込まれ、Soot・SOFおよびトータルPMの濃度が0.5秒毎に演算出力される。また、表1に連続PM測定装置(MEXA-1220PM)の主な仕様を示す。

表1 MEXA-1220PMの主な仕様
Specifications for the MEXA-1220PM

型式	MEXA-1220PM
測定成分	Soot, SOF, Total PM (Soot+SOF)
分析器	2 Hot FID
サンプル流量	7 L/min
FIDレンジ	100 / 200 / 500 / 1000 ppmC
FID応答速度	T90 < 1 sec (プロパンガスによる)
電源	AC100V 50or60 Hz (標準)
外形寸法	
分析部	400(W) × 593(D) × 800(H)
サンプリング制御部	570(W) × 710(D) × 1000(H)
表示・操作部	410(W) × 450(D) × 520(H)

3.2 演算処理

2台のFIDからのアナログ信号は、5KHzのサンプリング周波数にてPCに取り込まれ、以下に示す演算処理が0.5秒毎に行われる。

191℃ラインの信号には、Soot濃度の情報を持つパルス状信号が含まれており、その信号のみを抽出する必要がある。しかし、小さなパルス状信号はノイズに埋もれて検出できない可能性がある。このことを回避するため、PC上でフィルタリング処理を施している。フィルタリングされた信号は、Soot濃度情報であるパルス部分と191℃において気体状態の炭化水素濃度を示すベース部分とに分離される。次に191℃ラインのベース信号と52℃ラインのベース信号との差がSOF濃度情報として演算される。

ここで得られたSoot濃度を示すパルス状信号とSOF濃度を示すベース信号の濃度差は、FIDから得られた信号であるため単位がppmCであり、これらの値を質量濃度の単位に換算する必要がある。そのためPCにて予め設定したSootおよびSOFの換算係数を用い、mg/m³の単位に換算して出力している。

また、測定されたSoot・SOFおよびトータルPM質量濃度は、デジタルデータとして保存することが可能である。

4. 実エンジン測定結果

4.1 フィルタ重量法との相関

本測定装置のSootおよびSOFの測定値と、現在の規制に基づく希釈トンネルを用いたフィルタ重量法との間に相関があることを確認するため、以下の実験を行った。

ディーゼルエンジンをダイナモに接続し、負荷および回転数一定の状態で行った。定常運転状態において発生するPMを含む排ガスをトンネルへ導き、52℃以下の状態でフィルタにより捕集すると同時に、ほぼ同一ポイントから本測定装置へのサンプリングを行い測定を行なった。

図6にSoot及びSOFに関する相関の結果を示す。グラフのプロット点は、ディーゼル13モードの代表的な各モードでの定常運転において、フィルタ重量法により得られたSoot質量濃度(mg/m³)と本測定装置のパルス状信号強度(=Soot, ppmC)、フィルタ重量法により得られたSOF質量濃度(mg/m³)と本測定装置の2台のFIDのベース信号の濃度差(=SOF, ppmC)の関係を示している。

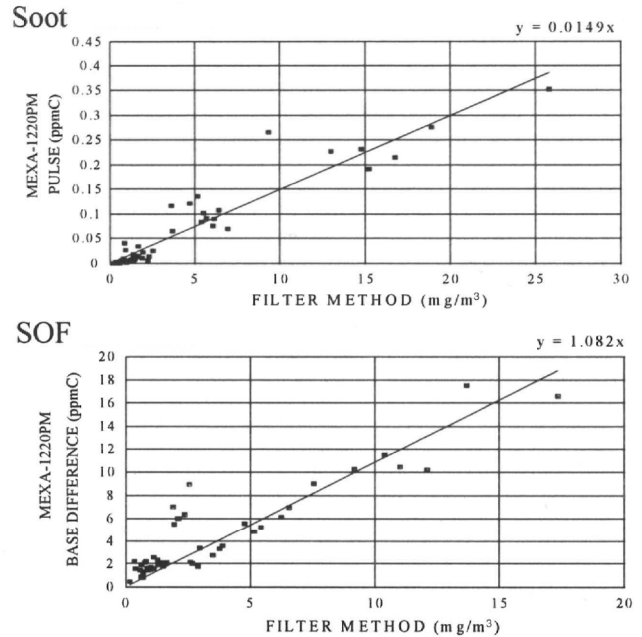


図6 フィルター法とFID法の相関関係
Correlation between filter method and FID method

これらの実験結果より、SootおよびSOFに比較的に強い相関関係があることがわかる。このことから191℃ラインのFIDのパルス状信号強度を求めることによりSoot質量濃度が測定可能であり、また2台のFIDのベース信号濃度の差を求めることによりSOF質量濃度の測定が可能であることが確認できた。

現在、SootおよびSOFの標準物質がないため、実エンジンを用いたフィルタ重量法と本測定装置の相関データを数多く求めた。これらのデータより、ppmCからmg/m³への換算係数を決定することができ、この係数を用いることによってSootおよびSOFの質量濃度を求めることが可能となる。

図7に、ディーゼル13モードの代表的なモードにおけるフィルタ重量法のトータルPM質量濃度(mg/m³)と本測定装置のトータルPM質量濃度(mg/m³)の比較を示す。

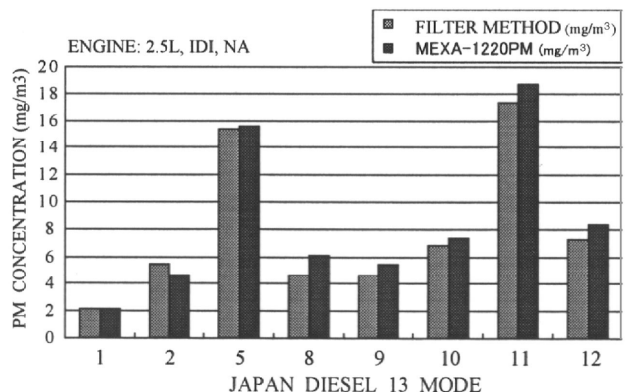


図7 13モード走行時のトータルPM質量濃度
Total PM concentration on Japan 13 mode

なおトータルPM質量濃度算出に必要なSootおよびSOFの質量濃度は、図6のプロットより最小二乗法を用いて得られた換算係数を用いた。この手法によってトータルPM濃度においても、本測定装置の質量濃度がフィルタ重量法の値に近い結果を得ることができた。

4.2 連続測定

本測定装置がエンジン状態の変動に伴うPM排出の挙動の変化を測定できることを確認するため、ディーゼル車をシャーシダイナモ上で走行させ、テールパイプより排ガスのサンプリングを行なった。

図8に、測定結果を示す。このグラフより車の走行状態に応じたSootおよびSOFの挙動の変化を見ることができる。

このように本測定装置を用いることにより、エンジン状態の変化にともなうSootおよびSOFの挙動の変化を解析することが可能であり、PM削減を目的とするエンジン開発の有効なツールとして機能することが確認できた。

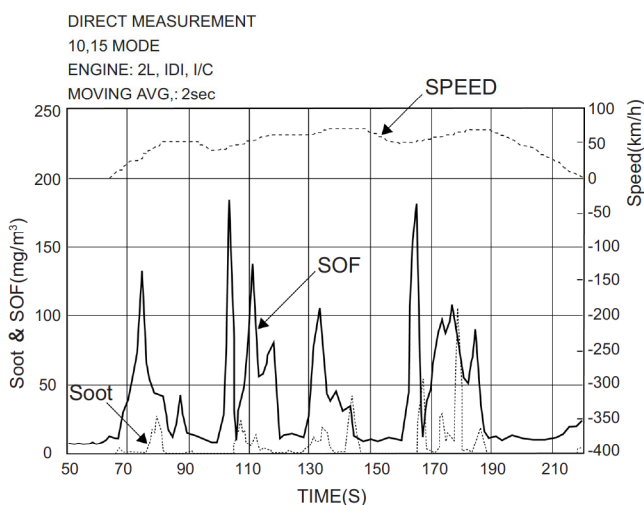


図8 SootとSOFの分離連続測定例
Example of continuous measurement (Soot & SOF)

5. おわりに

以上、FIDを利用した連続PM測定装置MEXA-1220PMの紹介を行った。本測定装置の特長は、従来、測定不可能であった、エンジン状態の変動に伴うSoot・SOFおよびトータルPMの連続測定を可能とした点にある。言い換えれば、本測定装置にて連続測定を行なうことにより、PM排出量の削減に必要な情報を容易に得ることが可能となる。

現在の深刻な環境問題に対し、MEXA-1220PMが問題解決の有効なツールとして利用され、PM削減に貢献できることを期待している。

また、従来のPM計測は質量測定にのみ焦点がおかれていたが、最近ではPMの粒子径が人体へ及ぼす影響についての研究がさかんに進められている。今後は、粒子径測定をも含めたPM計測に範囲を広げ、分析機器メーカーとして環境問題解決に取り組んでいきたいと考えている。

参考文献

- (1) T. A. Cool and E. M. Goldsmith "Laser-Enhanced Flame Ionization Detector", Appl. Opt., Vol. 26, No. 17, pp3542-3551
- (2) J. Staab and J. D. Baronick, Armin Kroneisen "Improving the Method of Hydrocarbon Analysis." SAE 810427
- (3) Terunao Kawai, Yutaka Iuchi, Shigeo Nakamura, and Kozo Ishida "Real Time Analysis of Particulate Matter By Flame Ionization Detection" SAE980048
- (4) C. Arcoumanis and A. Megaritis "Real-Time Measurement of Particulate Emissions in a Turbocharged DI Diesel Engine" SAE922390

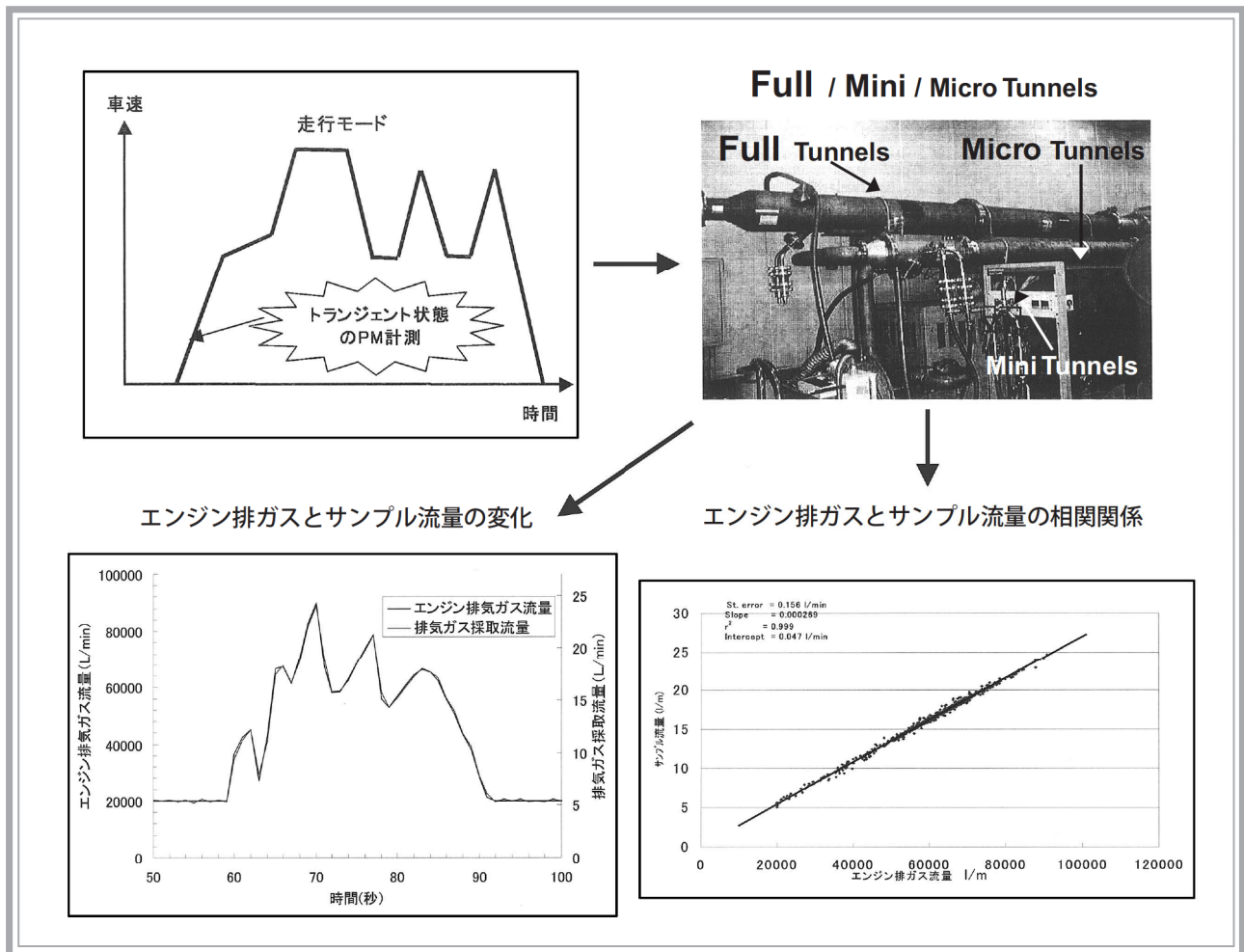


福島宏和
Hirokazu FUKUSHIMA
エンジン計測開発部

Feature Article
特集論文②

トランジェント対応マイクロトンネルMDLT-1302T
The MDLT-1302T Partial Flow Dilution Tunnel for
Transient Test Cycle PM Sampling

山岸 豊



要旨

エンジン排ガス中の粒子状物質(PM)の計測方法として、従来の定常試験法からトランジェント試験法への移行が検討されている。この度、ホリバは、PM捕集装置としてトランジェント対応マイクロトンネルMDLT-1302Tを製品化した。本装置を、ディーゼルエンジンをETCサイクルに基づいて評価した結果、応答速度0.5秒以内という高速サンプリングが可能であることを確認した。本稿では、MDLT-1302T開発上の技術課題と性能評価試験結果を紹介する。

Abstract

The present steady-state test cycle used for the measurement of particulate matter (PM) in engine emissions will be replaced by a new transient test cycle. Horiba has recently developed a PM sampling system using a partial flow dilution, the MDLT-1302T, to perform sampling during the transient test cycle. The MDLT-1302T has been evaluated using a diesel engine under the Euro Transient Cycle, and results confirm that a fast flow rate control has been achieved with a response time of less than 0.5 second. This paper describes the performance of the MDLT-1302T and the technical challenges encountered during its development.

1. はじめに

ディーゼルエンジンを搭載した車両が走行すると、テールパイプから放出される排ガス中のカーボン微粒子や高沸点炭化水素などが凝縮することによって粒子状物質 (PM) が生成される実際に路上を走行する状態をエンジン試験室で再現し、PMを計測するために希釈トンネルが用いられる。現在、自動車排ガス中のPMはこの希釈トンネルを用いた定常試験法に基づいて規制されているが、近い将来、過渡状況を把握できるトランジェント試験法への移行が検討されている。本稿では、トランジェント化のキーポイントである流量制御の高速化を中心にマイクロトンネルMDLT-1302Tを紹介する。

2. 希釈トンネルとトランジェント化の課題

PMの計測には、従来からは、エンジン排ガスの全量を希釈サンプリングする方式(フルダイリューション・トンネル)が用いられてきた。しかし、この方式では排気量の大きなエンジンを測る場合には、希釈トンネルも大きくしなければならない欠点があった。そこで、排ガスの一部を分流してサンプリングする部分希釈トンネルが使われている。

部分希釈法では、エンジンの排ガスを一定比率で希釈トンネルに分流し、トンネル内で清浄な空気により希釈・冷却させた後、この希釈排ガスの全てをトンネル出口に設けたフィルタを通過させ、PMを捕集する。式(1)にエンジン排ガスと希釈排ガスの関係を示す、

$$r = \frac{G_{exh}}{G_{tot} - G_{dil}} = \frac{G_{exh}}{G_{sam}} = const \quad \dots (1)$$

$$G_{sam} = G_{tot} - G_{dil}$$

ここで、 G_{exh} : エンジン排ガスの総流量

G_{tot} : 希釈後の排ガスの流量

G_{dil} : 希釈空気の流量

r : 排気ガス分割比

G_{sam} : 採取するエンジン排気ガス流量

(1)式が示すように、希釈後の排ガスの流量 G_{tot} を一定に保つためには、エンジン排ガス流量 G_{exh} の急激な変化に対し、希釈空気の流量 G_{dil} を素早くに制御する必要がある。そのため、希釈空気流量の計測と制御をいかに高速化するかがトランジェント対応マイクロトンネル実現の大きな課題であった。以下に、高速化へのアプローチを、時間的な経過を追って紹介する。

3. ファーストステップ

・・・定常試験用マイクロトンネルの改良・・・

高速化の初期段階では、従来の定常試験用マイクロトンネルを少しでも早くしたいという観点から様々なアプローチを試みた。図1に定常試験用マイクロトンネルのフローを示す。

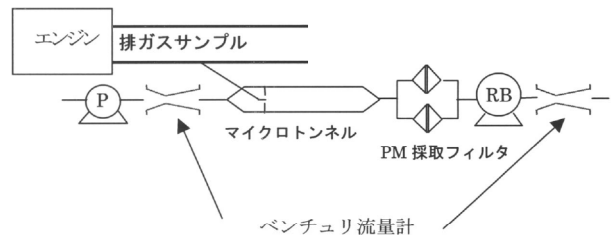


図1 定常試験用マイクロトンネルのフロー
Micro-tunnel flow for the steady-state test

3.1 ベンチュリ式流量計

ホリバの希釈トンネルは、高速応答で気体成分の粘性の違いによる誤差が生じないという長所を持つベンチュリ式流量計を用いている。ベンチュリ式流量計は、図2のように、管径を入り口側で急激に減少させ、出口側に向かって緩やかに拡大する構造になっている。流量は、入口部と最小断面積部との間の流速の違いにより生じる圧力差の平方根に比例することを利用して、流量を計測する。ベンチュリ流量計では流量が大きいほど、すなわち差圧が高いほど流量の計測精度は高くなる(図3)。なお、エンジン排ガスの密度はほぼ一定で、ベンチュリ式による流量計測における問題点とはならない。

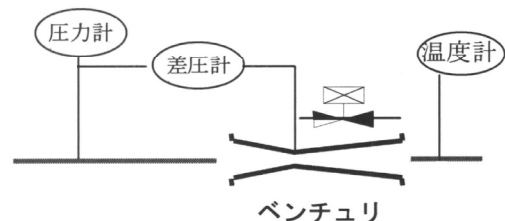


図2 ベンチュリー流量計の構成
Configuration of the venturi flowmeter

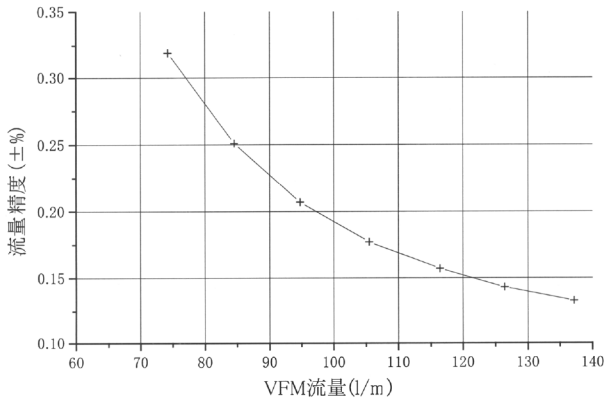


図3 ベンチュリー流量計の測定精度
Measurement accuracy of the venturi flowmeter

3.2 ブロアポンプによる分流採取と予測制御

マイクロトンネルでは、トンネル～PM採取フィルタの後段に設けたポンプの回転数を制御することにより希釈排気ガス流量を調整する。大流量のポンプでは慣性が大きく、希釈空気流量の制御に用いた場合、無視できない応答遅れが生じてしまう。このため、希釈空気用ポンプには慣性の小さい小型ブロアを、また、応答速度がさほど重要ではない希釈排ガス制御用には正置換型のルーツブロアをそれぞれ用いている。ベンチュリ流量計とブロアとの組み合わせによる流量制御のステップ応答特性を図4に示す。この例では遅れ時間(T_d)は約0.4秒、90%応答時間(T_{90})は0.5秒という応答速度が得られた。

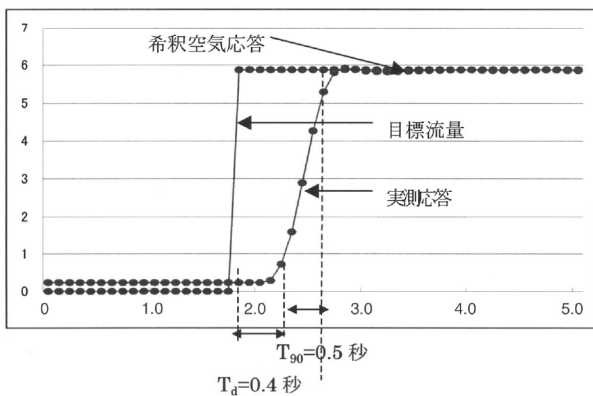


図4 空気ブロアによる流量制御のステップ応答
The step response of flow control using the air blower

一方、実際に自動車を走行させたとき出る排気ガスは、ステップ状ではなく幅を持って変化する。応答時間として、 T_{90} が0.5秒でも実用上は問題ないが、 T_d はさらに短くすることが望ましい。

そこで、PM採取を開始する前に所定モードで走行し、あらかじめ排気ガス流量の時系列データを採取しておく。そして、このデータに基づき遅れ時間を補正して実際のPM試験を行う、すなわち学習にもとづく予測制御法を採用した。

この予測制御法の導入により、図5のシミュレーション結果が示すように、希釈トンネルによるエンジン排ガスのサンプリング誤差を±5%以内に抑えることが可能となった。

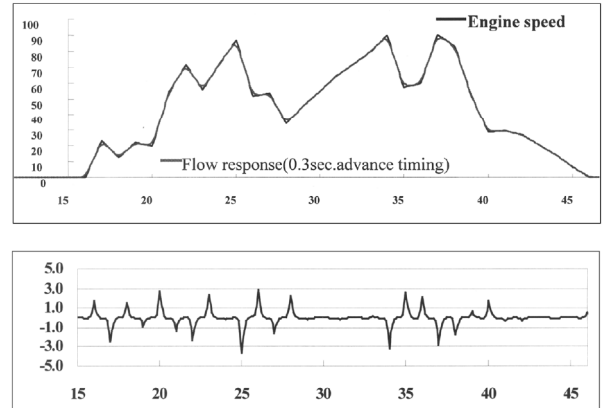


図5 予測制御法による流量制御誤差
Flow control error by the predictive control method

4. さらなる高速化

・・・MDLT-1302Tの開発・・・

ホリバはより早い流量制御に向けトランジェント対応マイクロトンネルMDLT-1302Tを開発した。図6にMDLT-1302Tのフローを示す。以下に、MDLT-1302Tに適応した新たな要素技術を紹介する。

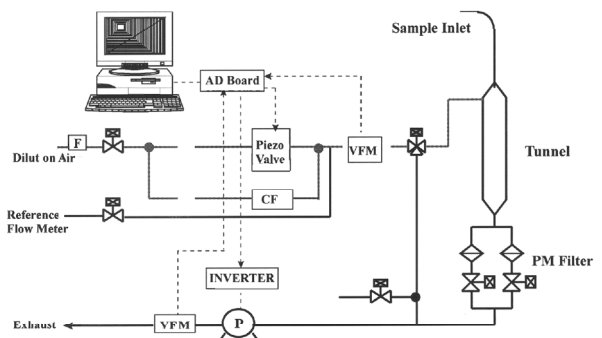


図6 MDLT-1302Tのフロー
MDLT-1302T flowchart

4.1 ピエゾバルブによる高速制御

トランジェント計測において問題となる“遅れ時間”発生の大いなる要因は、(1)排気ガス流量計測の出力と実際の排ガスの採取ポイントまでへの到達時間の差、(2)マイクロトンネルの流量制御の遅れ時間の二つがある。前者の要因は事前の排気ガス学習による予測制御で補正できる。ここでは、マイクロトンネル自体の高速化と言う観点から、後者の改善点について述べる。

まず、希釈空気の流量制御方法として、ブロアの回転数を制御する方式に代えて、加圧空気を用いてピエゾバルブの開度を調整し、高速で流量を制御する手法を採用した。加圧空気を用いる方法としては、従来、熱線式流量計と制御バルブを組み合わせた流体制御素子（マスフローコントローラ）があったが、計測精度、応答速度のいずれも不十分であった。

そこで、ホリバはベンチュリ流量計にピエゾバルブを組み合わせる方法を新たに開発した。また、このピエゾバルブと臨界流量オリフィス(CFO)を併用することにより、応答時間をさらに短縮した。これらの手法により、ステップ応答特性は T_d , T_{90} ともに 0.2 秒と大幅に改善された(図7)。

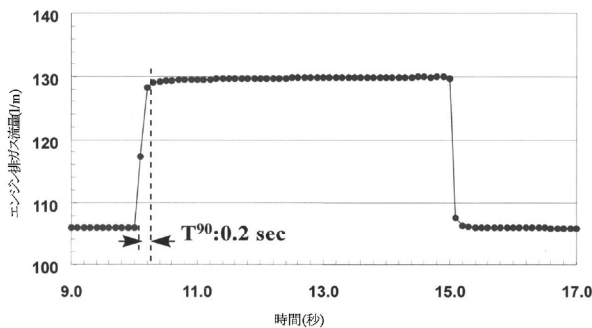


図7 ピエゾバルブによる流量制御のステップ応答
The step response of flow control using the piezo valve

4.2 流量制御用エレクトロニクス

高速な流量制御を行うためには、流量計や流体制御素子自体の性能向上に加え、信号処理系も高速でなければならない。とくに、ベンチュリ流量計の差圧計センサの出力から瞬時流量を演算し、目標流量との比較結果を流体制御素子にフィードバックするエレクトロニクス系がとりわけ重要な要素である。たとえば、ピエゾバルブにはヒステリシスがあり、バルブ開度すなわち流量とピエゾ素子への印加電圧は一意に定まらない。したがって単純に一定の目標電圧を印加するのではなく、短いサイクルで目標電圧を変えて調整するクローズドループ制御が必要となる。一般的に、制御理論では目標とする応答時間よりも一桁早い制御が必要とされている。MDLT-1302Tでは、流量制御の応答時間を200ms以内とする目標をさだめ、AD変換、流量演算、DA変換など無駄時間を最小にする工夫した上で、制御用エレクトロニクス系としては20msの高速制御ループを設計した。

5. MDLT-1302Tのトランジェント応答性の評価

ディーゼルエンジンをETC(Euro Transient Cycle)モードで運転したときの、エンジン排ガス流量とサンプル採取流量の時間変化の一部を図8に示す。

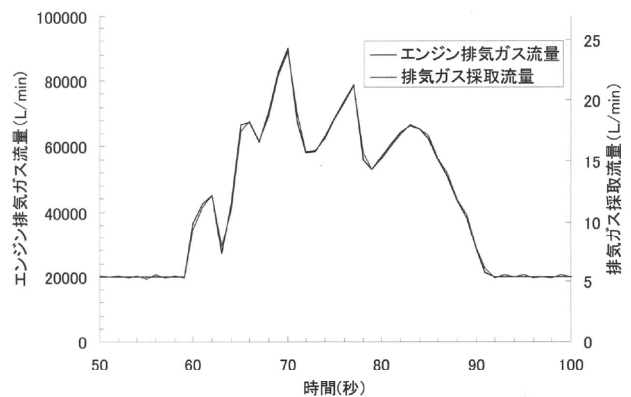


図8 ETCモード走行時のエンジン排ガス流量とサンプル流量の変化

The flow rate change of engine exhaust gas and sample gas in the ETC mode transit-time.

図9はETCモード全体(1800秒)にわたり、一秒ごとに測定したときの二つの流量の相関関係を示す。ここでは、サンプル採取流量は式1にあらわした希釈排気ガス流量および希釈空気流量から計算している。図8からわかるように、排ガス流量(入力)に対して、排気ガスサンプル流量は遅れ時間約0.2秒で追従させることが出来た。また、図9が示すように、両者の相関係数は0.998となっており、良好な比例制御が実現できていることが確認できる。これらの結果、MDLT-1302Tは、最小の遅れ時間と十分な高速応答性をもっており、とくに、コールドスタート時の排ガス評価に有効に働くことを明示している。日本国内の試験サイクルの一つである10・15モードで評価

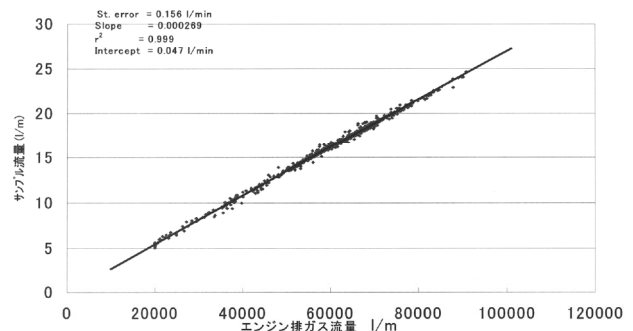


図9 ETCモード走行時のエンジン排ガス流量とサンプル流量の相関関係

The correlation of engine exhaust gas flow rate and sample gas in the ETC mode transit-time.

し、ETCと同様、優れたトランジェント対応性能を確認した(図10)。

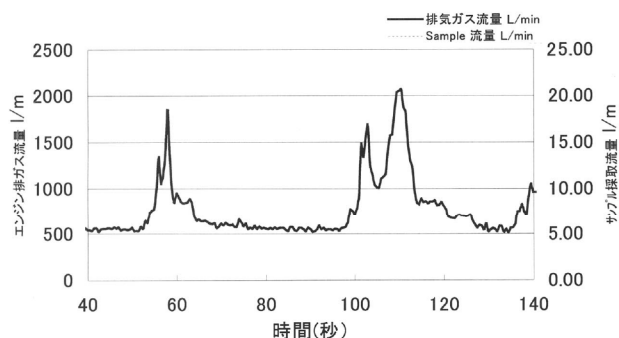


図10 10/15モード走行時のエンジン排ガス流量とサンプル流量の変化

The flow rate change of engine exhaust gas and sample gas in the 10/15 mode transit-time

7. おわりに

排ガス計測法のトランジェント化に向けての世界の動きが急激に加速している。当社は基礎実験研究に全力を傾注し、早々にMDLT-1302 Tを製品化した。開発途上で数々の課題が生じたが、いずれも、電気、機械およびソフトウェアの各設計担当者とのチームワークで乗り越えてきた。

今後は、お客様のご評価、新たな課題をいただく中から、更なる進展に向かって励んでいきたいと願っている。

6. MDLT-1302 Tの全体構成

MDLT-1302 Tの外観を図11に示す。エンジン試験室内に設置される希釈トンネル部(DLT-1302)と希釈流量制御部(DLS-2300)、および、計測操作室内に設置される操作・表示部とから構成されており、VFM、ピエゾバルブなどの制御ユニットは19インチラックに収めている。エンジン排気管から希釈トンネル入口までは、およそ1.5 m以内の加熱トランスファー管で接続する。この他、加圧空気がユーティリティとして必要となる。表示・操作部からは、エンジン排ガス流量の入力方法、リアルタイム入力制御/事前学習予測制御の選択、希釈空気制御モードの選択など、基本的な運転操作条件の設定ボタン、瞬時流量および積算流量の表示ができる。また、外部からの運転操作および瞬時流量出力も可能となっている。



山岸 豊

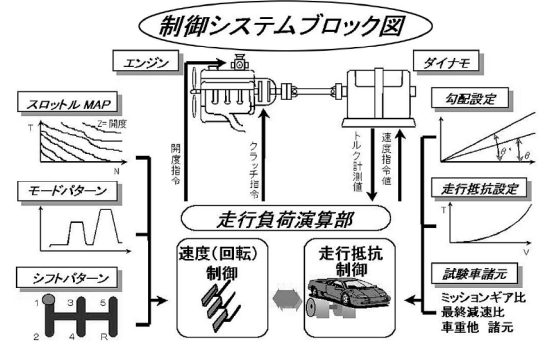
Yutaka YAMAGISHI

エンジン計測開発部
マネージャー

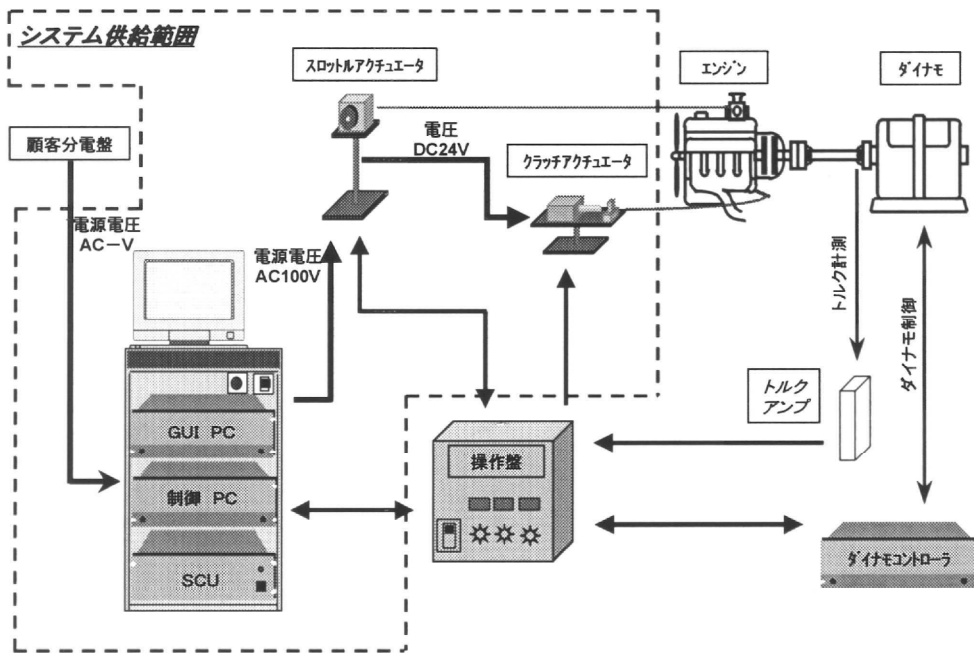


図11 トランジェント対応マイクロトンネル MDLT-1302
The MDLT-1302T Partial Dilution Tunnel for
Transient Test Cycle PM Sampling

エンジンダイナモ上で完成車の
排ガス試験を再現する
実車走行負荷模擬装置
VSET-1000



VSET-1000は、シャーシダイナモ上での規制モード走行をエンジンダイナモ上で実現するシステムです。これまで完成車でやってきた排ガス走行試験をはじめとする各種走行試験をエンジン単体で実施することができるため、開発の効率アップ・コスト削減を可能にしました。また、エンジンとダイナモの間にクラッチを設けることにより、お客様ご所有のDC/ACダイナモを利用することができ、設備投資を大幅に抑さえます。制御コンピュータは、お客様の操作盤を介してスロットルバルブ・クラッチ・ダイナモを制御し、モード走行運転を行います。ユーザは、ユーザインターフェースコンピュータにて走行条件設定・運転状況をモニタします。



ハードウェア構成図

特長

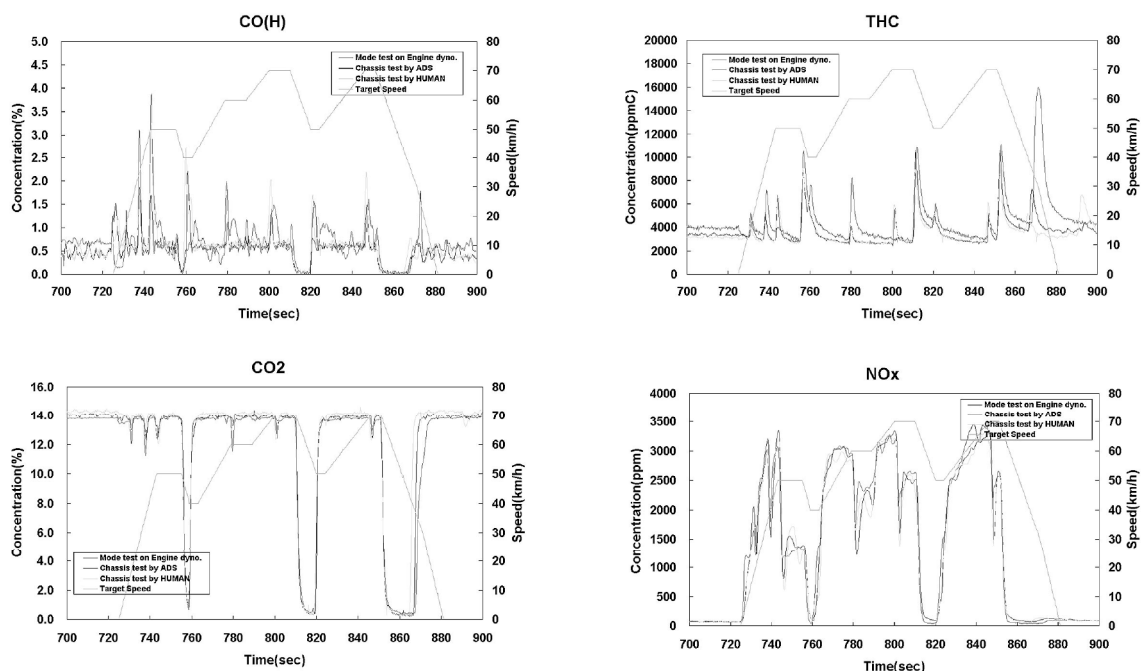
- クラッチとダイナモの間にクラッチを設けることにより、既設エンジンダイナモを利用することができます。
- MT車の走行状態を作ります。
- 実車のギア比・最終減速比・タイヤ径から構成される車両モデルを想定します。
- 車両慣性質量・伝達効率・路面抵抗などを考慮して、実車を走行させるために必要なトルクをエンジンから発生させます。
- トルク計測に軸トルク計を使用することによって、慣性の大きなダイナモでも応答よく制御します。
- 排ガス濃度を精度良く(±5%以内に)再現します。
- 設定パラメータ数を最小限(約20個)に抑えることにより、操作性を向上しています。
- 走行結果はASCII形式のテキストファイルに保存されるため、さまざまなコンピュータでスムーズにデータ処理をしていただくことができます。

主な仕様

- 対象エンジン**：ガソリン, ディーゼル(等速ガバナ)
対象ダイナモ：DC/AC ダイナモ
 応答速度 1,300 / 1.0sec (1/min / sec)
- 装置構成**：計測制御架台, 操作PC (OS : Microsoft Windows-NT*), 制御PC, シグナルコンディショナユニット, スロットルアクチュエータ, クラッチアクチュエータ, 実車走行負荷模擬ソフトウェア, グラフィックユーザインターフェースソフトウェア
- 走行モード**：JAPAN10.15, EC-15, LA-4, 任意
- 機能**：車両条件・計測制御条件設定機能, 運転状況モニタ機能, アラーム監視・非常停止(自動・手動)機能
- ユーティリティ**：エンジン特性学習機能, 走行データ保存機能(ASCII形式テキストファイル), アラーム情報保存機能
- 設置条件**：屋内使用, 周辺温度範囲 5 ~ 40℃
- 電源**：AC100 / 230V, 50/60Hz(許容幅 ±1Hz以内), 単相
- 電源容量**：最大3kVA

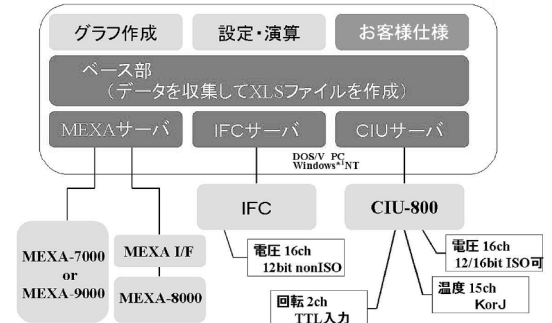
*Microsoft Windows-NTはMicrosoft社の登録商標です。

エンジンダイナモ上での仮想車両走行と、シャシダイナモ上での実車走行との相関性評価(排ガス濃度, JAPAN10.15)



(システムインテグレーター部 中西秀樹)

Windows*1 環境で計測データを
手軽に処理する
エンジン計測汎用データロガー
HERT-EZ



HERT-EZ とはホリバ製, 自動車排気ガス分析装置および定容量サンプリング装置と組み合わせが可能な, 低価格エンジン計測ベンチ用向けのデータロガー装置です。簡単なマウス操作により, 排気ガス関係のデータと併せて汎用のアナログ入力等の計測を行うことができます。もちろんデータは, Excel*1シートとして登録, 保存されるので, その後のデータ処理は Windows*1 環境で自由自在です。

システム構成

- HERT-EZ は, Windows NT*1 ベースの DOS/V コンピュータを中心とし, ホリバ製排気ガス分析装置 (MEXA-7000/9000 シリーズ) と 16ch のアナログ計測が可能な IFC ユニット (標準仕様) と接続されたシステムです。
- オプションの CIU-800 を IFC の代わりに接続することにより, パルス計測や温度計測といった高機能な計測を行えます。また, MEXA I/F を使用すれば MEXA-8000 シリーズにも対応でき, 過去に蓄積された資産の活用ができます。
- サーバーソフトウェアが, それぞれの接続機器に対して通信およびデータの一次処理を行うため上位ソフトウェアの負荷は軽減します。また, サーバーソフトウェアの変更で, 接続機器の変更が容易です。

製品の特徴

- 低価格で必要な機能を搭載。
- ホリバ製分析計と接続, 分析計関係のデータを簡単に手動計測が可能です。
- IFC ユニットまたは CIU ユニット (オプション) を使用し, アナログ項目も同時に計測できます。
- HERT-EZ から分析計に対して計測開始等のコマンドを発信します。
- データは, あらかじめエンジン型式や演算式などが登録された Excel*1 シートに保存されるため, お客様側で自由に設定可能です。
- Excel*1 シート保存されたデータは, 事務所等の Windows*1 環境のコンピュータで簡単に処理できます。

データ収集機能

- 分析計のシステムにより、ダイレクト測定、バッグ測定、または、ダイレクト2ライン計測による触媒評価に対応。
- 手動定常計測による台上エミッション試験も可能。
- 平均計測および時系列計測に対応。
- 分析計データと汎用アナログデータを同時に収集。CIUユニット(オプション)を使用することで温度やエンジン回転(パルス)等のカウンター入力も収集可能。

帳票およびグラフ作成機能

- 帳票フォーマットおよび演算式をあらかじめ設定した Excel*1 シートをベースシートとして内蔵。試験開始時にベースシートを選択することにより演算式や出力フォーマットを選択。
- ベースシートは Excel*1 ファイルで作成されているため、追加・変更がユーザーにて簡単に可能。演算式や出力フォーマットを自由に編集しベースシートとして追加。
- ユーザーの要望により、台上エミッション試験の演算式および出力フォーマットの添付が可能。
- オプションによりグラフ作成ツールをご用意。最大16軸までのグラフを作成でき、データの解析に力を発揮。

EMISSION TEST DATA										
Test Date	Test Number	Manufacture	Engine Family	Engine ID	Model Year	Total Production	FEL	Production End Date	Build Date	Test Plant Location
1900/1/0	TC12253	HORIBA	HORID023	1452384	1998	2546		1999/4/E	1998/10/25	HORIBA
Required Sample Size	Actual Sample Size	Sample Mean	Sample Std Dev	Service Accumulation	Cum Sum Current Stat	Cum Sum Prev. Stat	Cum Sum Ref. Point	Action Limit		
25	25.3									
Initial Result	Final Result		Fuel Density g/cm ³	H/C						
			0.768	1.85						
Manufacture Contact	RANDOMDE SC				REPAIRDES C					

Mode		NOx	THC	CO	CO2
		ppm	ppmC	%	%
1	100%	2304.0	4256.0	1.260	12.650
2	80%	2412.0	5612.0	1.340	12.540
3	60%	3025.0	7521.0	1.560	12.300
4	40%	2205.0	4056.0	1.150	12.780
5	0%	1570.0	3580.0	1.020	13.320

Atmospheric Condition			
	Start	End	Average
Time	0:00	0:00	
Dry Temp	25.0	26.7	25.9
Wet Temp	20.0	21.2	20.6
Pressure	101.3	98.0	99.7

Mode		Dry Temp	Wet Temp	Pressure	Eng. Ne	Torque	Fuel Flow	Fuel Temp	Coolant Temp	Cham. Temp	Ex. Temp
		degC	degC	kPa	rpm	N·m	l/h	degC	degC	degC	degC
1	100%	25.0	20.0	101.3	2000	22.00	2.5	20.0	80.0	64.0	700
2	80%	25.0	20.0	101.3	2000	25.00	2.8	20.0	80.0	64.0	700
3	60%	25.0	20.0	101.3	2000	50.00	3.5	20.0	80.0	64.0	700
4	40%	25.0	20.0	101.3	2000	10.00	2.2	20.0	80.0	64.0	700
5	0%	26.7	21.2	98.0	2000	0.00	2.1	26.5	81.0	94.0	752

Mode		NOx	THC	COwet	CO2wet	K
		ppm	ppmC	%	%	
1	100%	2304.0	4256.0	1.120	11.249	0.899
2	80%	2412.0	5612.0	1.192	11.157	0.890
3	60%	3025.0	7521.0	1.389	10.953	0.890
4	40%	2205.0	4056.0	1.022	11.359	0.899
5	0%	1570.0	3580.0	0.903	11.794	0.886

Mode		Output	FC	Air Humidity	KH
		kw	g/h	mg/kg	
1	100%	4.61	2031.46	14.7	1.151
2	80%	5.24	2275.23	14.7	1.151
3	60%	10.47	2844.04	14.7	1.151
4	40%	2.09	1787.68	14.7	1.151
5	0%	0.00	1626.13	16.4	1.230

Mode		NOx	KNOx	THC	CO
		g/h	g/h	g/h	g/h
		6943.5	5803.2	67.6	14924.0
		5869.8	6743.6	98.9	17636.5
		9059.9	10423.5	163.4	25312.4
		4250.4	4890.6	66.7	11986.5
		3031.1	3728.2	60.1	10909.9

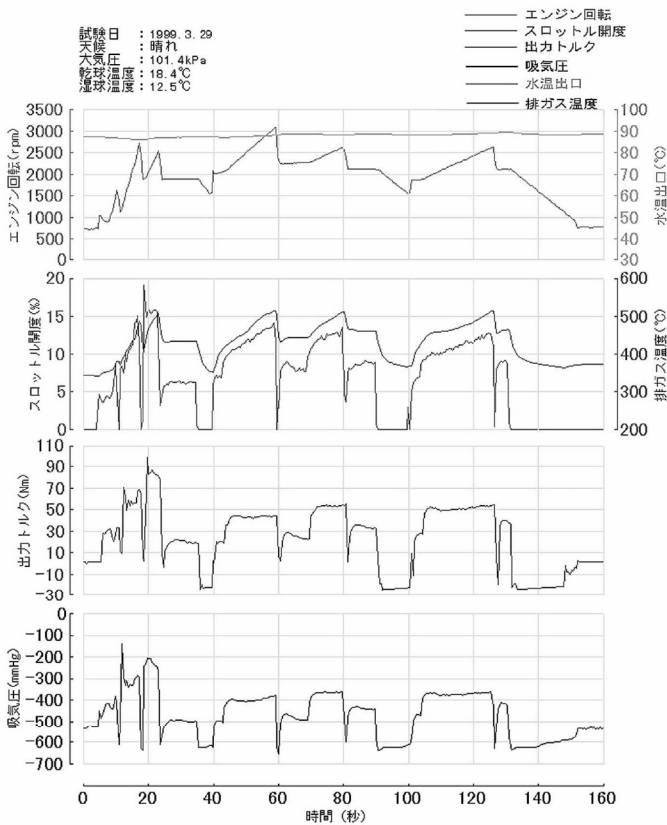
Mode	Weighting Factor	Output	FC	
		kw	g/h	
1	100%	6%	0.28	121.9
2	80%	14%	0.73	318.6
3	60%	15%	1.57	426.6
4	40%	25%	0.52	446.9
5	0%	40%	0.00	731.3
TOTAL	100%	3.10	2045.2	

KNOx	THC	CO
g/h	g/h	g/h
348.2	4.1	895.4
944.1	13.8	2467.7
1660.5	24.5	3786.8
1222.7	14.2	2897.1
1491.3	20.1	4244.0
5569.8	76.6	14401.1

SFC	THC+NOx	NOx	THC	CO
859.9	1019.1	1734.4	24.7	4639.7

Result(g/kw.hr)
Std(g/kw.hr)

台上エンジン試験結果



HERT-EZ システム構成

• コンピュータシステム

CPU	: Pentium II *2 350MHz 以上
メモリ	: 64MB
ハードディスク	: 4GB 以上
CRT	: 17 インチ
OS およびアプリケーション	: Microsoft Windows NT*1 4.0 Excel 97

• 接続機器

• IFCユニット(標準)	
アナログ入力	: ± 10 V /16ch /12Bit
• CIUユニット(オプション)	
アナログ入力	: ± 10 V /16ch /16Bit
温度入力	: 测温抵抗対 / K/T 熱電対 15ch
デジタル入力	: 32Bit
カウンタ入力	: 4ch

• 接続可能分析計

- MEXA-7000/ CVS-7000 シリーズ (LAN 接続)
 - MEXA-9000/ CVS-9000 シリーズ (GPIB 接続)
 - MEXA-8000/ CVS-5X シリーズ (LAN 接続)
- (オプションの 8000 シリーズ用ユニット CIU-800 が必要)

(システムインテグレーター部 小山 聡)

.....
 *1 Excel 及び Windows- NT は Microsoft 社の登録商標です。

 *2 Pentium II は Intel Corporation の登録商標です。

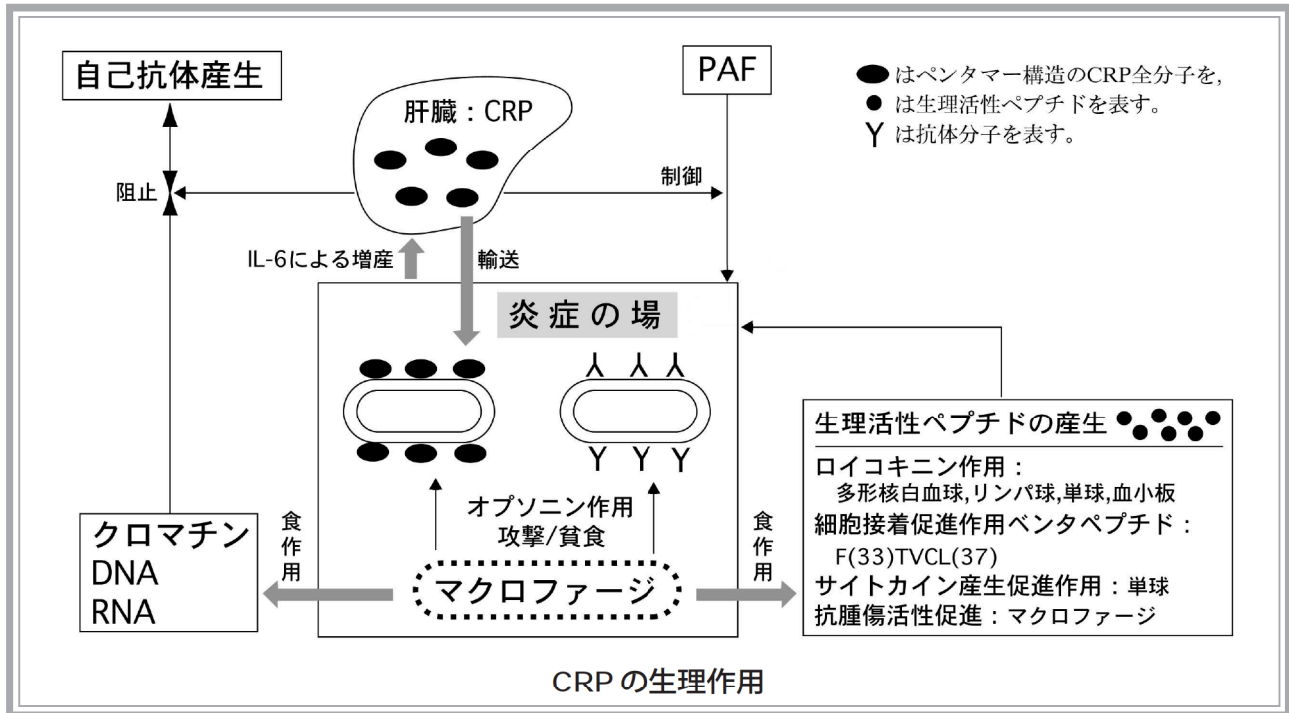
Guest Article
寄稿

C- 反応性タンパク(CRP)測定の臨床的意義

The Clinical Significance of the C-Reactive Protein Assay

巽典之* 津田泉* 福森達郎* 太田健介*

(*大阪市立大学)



要旨

CRPは、C多糖体と沈降反応を起こすことから、C反応性蛋白と呼ばれている。ヒトは炎症を起すとCRPが急激に増加し、病体の沈静化とともに速やかに減少する。その産生機序と生理機能は広汎なサイトカインネットワーク等の刺激によることが示されており、血中濃度への関心もさる事ながら、炎症部位への局在沈着が起こる事から、非特異的免疫の役割を負っていると考えられる。その測定法には、いわゆる命名法に示されるようにC-polysaccharideとの特異的沈降をみる方法も過去には用いられていたが、今日ではCRPの抗原性が高いことを利用した抗体の商業的産生により、少なからず測定原理の中核部分には免疫測定法が用いられている。CRPの測定は一般化し、かつ高頻度に検査されているにも拘わらず、WBCやSAAなどとの関連を考える時、利用法が単調である。発生機序も生理作用も全く異なるこれらの検査を、病相/病期との関連で説明するために更に高度利用されることが望まれ、そうなればCRP検査の重要性が再認識されるであろうし、行政上の配慮も行われることを期待する。

Abstract

CRP is called C-Reactive Protein because it causes a precipitation reaction with C- polysaccharide. When inflammation occurs in humans, CRP rapidly increases and then promptly decreases as the causative condition abates. The production and physiological functions of CRP are moderated by the presence of cytokines in the bloodstream. Aside from the interest in blood density, it is believed that CRP plays a role in nonspecific immunity since localized deposition occurs at the site of inflammation. In the past, CRP was assayed using the denomination method in which specific precipitation was observed. Today it is accurately measured using a commercially-available antibody. The measurement method relies on CRP's high degree of antigenicity. Although the CRP assay has become common and used quite frequently, it is always used the same way in relation to other tests such as WBC and SAA. By simultaneously using several tests for inflammation, each test relying on a different mechanism and physiological action, it will be possible to produce a more accurate picture of the condition and stage of disease. It is hoped that this will lead to a rediscovery of the importance of the CRP assay and result in changes in clinical and administrative practice.

1. 急性期タンパク CRP とは？

CRP(C-reactive protein)は肺炎患者の血清中に肺炎球菌のC多糖体と沈降反応を示す蛋白として見いだされた¹⁾。CRPの分子量は約112,540、沈降係数は7.5 Sで、尿素、グアニジニン塩酸もしくは弱アルカリで分子量23,048のサブユニット5個に分解される糖鎖を有しない環状ペプチド(cyclic pentamer)である。アミノ酸組成は免疫グロブリンと一次構造上でやや類似するが、免疫グロブリンのスーパーファミリーに属するほどの相似性はない。

CRPは熱に弱く65°C30分で破壊される。電気泳動上はβグロブリン分画に泳動され、当電点は4.82であるが、純品はむしろγ領域に泳動されることと、それをEDTAでカルシウムをキレートした条件下ではβ位置へシフトすることから、ヒト血清中にあるものは生体内での存在状態が複雑で、むしろ大部分がムコ蛋白と結合した形をとるものと考えられる。

CRPはヒトだけでなく節足動物や軟骨魚までも分布するが、炎症でCRP増加を示すのはウサギ(CxRP)やヒト(CRP)に限られたものであることから種特異性の高いものであるとされる^{2,3)}。その抗原性は高く容易に動物に抗CRP抗体を作らせることができ、その抗体を用いて現在、血中CRP濃度の測定が行われている。

急性炎症時には、一般検査変化と急性相タンパク出現が検査所見として得られ、それらの検査値の多寡が炎症重症度を決定付ける。

2. CRPの体内動態と生物活性

CRPの産生場所は未だ決定的でないが、主として肝臓で一部は脾臓で産生されるとされるが、炎症の局所でも活性化単球からの刺激を受けてTセルが産生するとの報告もある。これらのことから異物が侵入しマクロファージで貪食されると、そこからIL-6、IL-1、TNF-αなどのサイトカインが遊離され、局所でT細胞性にCRPが産生されると同時に、血中を通じてサイトカインが肝細胞を刺激する。そこでの主役はIL-6であり、肝細胞膜上のIL-6レセプター・gp130を経て、RAS-Raf-MEK-MAPKを介し核内転写因子(タンパク)であるNF-IL6でもって急性期タンパク遺伝子と結合し、そのmRNAを発現させる。その結果、CRPなど急性期タンパク合成が亢進する。通常その血中遊離は刺激を受けてから24~48時間以内で血中濃度は健常期レベルの2,000-4,000倍にも達し、数多くの急

性タンパクの内ではCRPが最も高濃度に血中に出現する^{4,5)}。CRPは肝細胞刺激後6~8時間で上昇し血中半減期は5~7時間で、急速な日内変動を示す。

遊離されたCRPは、細菌・カビの表面膜にある多糖体、フォスホリルコリン・フォスファティジルコリン(レシチンなど)、核酸などのポリアニオンなどに結合する。その結合体は補体古典的経路を活性化(C3との結合物の細菌壁への結合をする)と同時に、侵入異物のオプソニン化(C3b結合のほか、Ca依存性に細菌壁マンノースと結合することで)・貪食亢進・異物消化などの非特異的類抗体作用を示す⁶⁻⁸⁾、すなわち障害組織からの自己産生性有毒物質の認識、結合、無毒化、血中よりの異物排除に役立った後、CRP自体は異化される^{5,9)}。この過程で、CRPはCa依存性リポ蛋白、とくにVLDLと複合体を形成して活性化マクロファージに取り込まれ易い形となることから、アテローム硬化病変でのマクロファージの泡沫化に与する事になる。

CRPはC型肺炎球菌壁内リン脂質(レシチンなど)、特にリン酸コリンとカルシウムの存在下で強く結合する^{7,10,11)}。糖脂質であるgalactosyl ceramideが加わるとその結合は強くなる。しかし、無傷の細胞膜との結合性が低く、細胞壁を傷つけるなり、レシチンがリゾ化されることが必要となる¹²⁾。まず膜そして細胞核へと結合しCRP結合細菌が処理されて行く。組織崩壊物やガンでも同様の機構が考えられる。すなわちCRPには異物処理賦活作用があることになる³⁾。

CRPはリンパ球にも直接作用できる。CRPは免疫グロブリンFc部分に対するレセプター(IgGFcR)を保有するリンパ球と結合する^{13,14)}。さらに、Eロゼット形成試験抑制¹⁵⁾、T4細胞によるB細胞コロニー成熟作用の抑制・抗原刺激によるリンパ球の増殖・サブレッサーT細胞の産生の促進¹⁶⁾、リンフォカインの産生促進¹⁷⁻¹⁹⁾、CRPの合成能発現²⁰⁾などが報告されており、局所免疫反応刺激作用があることになる。

PAF(血小板刺激因子)を介するCRPの血小板や白血球に対する作用²¹⁾もCRPの生理的機能の一側面として知られている。すなわち、血中PAFが増加した時にPAFのリン酸コリン部とCRPとの結合体が血小板のPAF誘導性凝集と血餅退縮を阻害し²²⁻²⁴⁾、PAF誘導性白血球活性化を抑制する^{25,26)}ことから、微小血栓多発から組織壊死へと進展するのを阻止する作用、組織壊死阻止作用がある。

炎症局所を観察すると、炎症・壊死部に一致してCRPの沈着と好中球浸潤が認められる²⁷⁻²⁹⁾。このこと

からCRPは炎症病変の抑制・限局化作用を有することになる。

3. 血中CRP測定法

CRP計測法は、①古典的測定法であるC-polysaccharideとの特異的反応をみる方法と、②抗CRP抗体を用いた抗原抗体反応法とに大別できる。

すなわち、①の方法は、肺炎球菌から精製したpolysaccharideをCaイオン存在下で血清中のCRPと反応させて沈降物を形成させるものであり、溶液内沈降反応、受身赤血球凝集反応、肺炎球菌膜膨張反応などが挙げられるが、現在の臨床検査室ではほとんど利用されていない。

これに対してCRPの臨床的評価を高めたもので②に分類される方法として、毛細管法、単純放射免疫拡散法、ラテックス凝集法などが挙げられる。本法は抗CRPポリクローナル抗体(一部商品ではモノクローナル抗体)との特異沈降反応でもって反応を見る半定量(定性)ないし定量測定法であり、その結果定性的には(±), (1+), (2)----(6+)と表現される。昔の成書にはその陽性度の強さと疾患の重症度は相関しないこと、保存不良で細菌汚染された検体は偽陽性を示すこと、食後すぐに採血された乳び血清では判定し難いこと、ユーグロブリン血症では偽陽性を示すことから、疑いのある検体では37℃5分に加温するべきであること、血清中の補体成分吸着され非特異的抑制反応(偽陰性)が生ずることがCRP陰性検体の約20%にも上ることから検体を56℃30で血清非動化することで陽性の結果を得るようすべきであること、血沈と異なり抗γグロブリン血症・貧血・妊娠の影響を受けないこと^{2,3-31)}が記載されている。現在では、定性法ではなく精度の優れた定量反応法が普及している。

CRPの精製はその結合特異性を利用してアフィニティ・ゲル・クロマトグラフィーによる精製が行われ^{32,33)}、それを使ってポリクローナル抗体が作成されていたことを意味する。CRP精製の際の問題点はリン酸コリン・ポリカチオン等との結合性と同時にCaイオンの存否が大きな影響を及ぼすことである。特にCaの存否が結合性だけでなくCRP自体の高次構造にも変化を与えることからこの点を考慮した精製条件設定が必要となる。しかし抗原性が高いことからその抗体作成は比較的容易に行うことができる。

日本医師会CRP外部精度管理調査の結果をみると、1981年(n=1932)にはほぼ99.8%が半定量(定性)で、主

に毛細管法で実施されている。1988年(n=2093)では、43%が半定量、定量が57%となったものの、定量法2試料の精度がCVで51.3%および142.2%であることから、如何に精度が悪かったが推察される。これが1989年(n=1572)には半定量法はなくなり精度は23.4%, 64.1%となり、1996年(n=2189)のそれは8.5%, 10.7%と経年的に素晴らしく改善していることがわかる^{34,35)}。現在、利用されている測定法は原理別で、免疫比濁法>ラテックス免疫凝集法>免疫比濁法>蛍光免疫法の順であり、今後はラテックス凝集法が主流を占めるのではないかと予測されている。

それでは、その測定精度の著明な向上は何故達成されたのであろうか？

その要因として、(1)試薬系ではCRP純品精製法の改善、抗体作成・精製技法の改良、(2)機器系では各種の微量高感度測定法の開発であり、(3)測定系では国際標準品の開発と普及の三者が挙げられる。しかし、ここで忘れてはならないのは、精度向上に貢献した研究者、メーカー、検査室、そして精度管理事業に携わった現場の方々の努力であろう。

CRPのアミノ酸組成と塩基配列は既に明確にされており、アミノ酸206個(MW 23050)からなる非糖化ポリペプチドの一本鎖のサブユニットが基本的には5個が平円盤状に非共有結合した形を取り、血清アミロイドPタンパク・ペントラキシンファミリーに分類される³⁶⁾。モノマーごとにCa結合部位を2個有し、in vivoではCa依存性フォスフォコリン結合性を示す。CRPの遺伝子は第1染色体のq2.1に存在し、遺伝子配列は675bpのエクソンからなり、278bpのイントロンで分断されている^{37,38)}。CRPの遺伝子は第1染色体のq2.1に存在し、遺伝子配列は675bpのエクソンからなり、278bpのイントロンで分断されている^{37,38)}。この様な構造タンパクを用いてポリないしモノクローナル抗体を現在の遺伝子工学では容易に作り出すことができる。臨床検査でのEIAにおいて、ヒト体内活性と同様の高い生理活性を持つ抗体を得ることが必要である。同じ抗原を用いて型通りの抗体作製法をとって得られる数種の抗体は、その認識するエピトープが微妙に異なることが結果として抗体間差による測定値の大きな製品間差をもたらしていることは言うまでもない。

抗体間差に基づく計測値の製品間差は、基準測定法と共通する標準標品の利用で近接させることが可能である。クローン化された206アミノ酸を産生するサブユニット遺伝子の塩基配列に18アミノ酸のシグナ

ル・ペプチドを附加しクローン化することでrCRPを人工的に生産することが可能である³⁹⁾。このことから松尾らのグループは、まず最初はヒトCRP遺伝子の成熟タンパクをコードする領域をPCRで増幅し、大腸菌に入れて発現させた。得られたものは水不溶性の変性タンパク封入体であり抗原として有利であるが標準物質として利用できない物であった。そこでクローニングしたCRP遺伝子に大腸菌のアルカリ性フォスファターゼのシグナルペプチドを付加し、さらにコリシンE1分泌に関わるkill geneを共発現させるようにすることで、分泌性・水溶性のrCRPを大量生産することに成功している^{40,41)}。ちなみに大腸菌がCRPを多量に分泌するとCRPが発泡・溶菌作用を示すが、同様の作用がin vivoでも生ずるものと考えられる。彼らの得たrCRPの生化学的(Ca依存性フォスフォールコリン結合性)および免疫学的性状(SDS-PAGE・アミノ酸分析・免疫染色など)は天然型CRPの挙動と同一であり、臨床検査国際標準品として、また外部精度管理用試料として各国で広く利用されている。

CRP計測における過去の大きなバラツキは各試薬系に共通する標準品がなかったためであった。しかし、国内標準品、国際標準品としてのWHO標準品あるいはCRM470/RPPHSの利用頻度の上昇に伴い、試薬メーカーと各検査室がそれらの標準品を用いて測定を正しく校正する努力を重ねた結果、近年のCRP計測値は大幅に改善されたと考えられる^{34,41)}。

もちろん測定精度向上には試薬系だけでなく測定機器の改良が大きな役割を果たしている。抗原・抗体反応の取り込み、高感度酵素免疫測定法は比濁法、比臙法、ラテックス凝集法などの他、蛍光発光法や化学発光法がEIAを飛躍的に向上させたことは事実であり、これがCRPにも及んだことは言うまでもない。

臨床家にとって現在CRP計測の優秀さが理解されていることは年々その検査オーダーが増加の傾向にあることから確認できるが、よく問い合わされるのは「基準値に施設間差(試薬間差)の存在すること」である。これは計測値が機器と試薬の組合せで決定され、特に抗体差と測定原理差が大きく関わっていることが主たる原因となっている。しかし、その差は数年前に比し飛躍的に向上し、他の検査項目に比しCRPは現在その差が非常に少ない優れた検査項目のひとつであると考えて良からう³⁴⁾。

4. CRP測定値の臨床的有用性

CRPが急性炎症を知る確かなマーカーであることは充分ご理解戴けたと思う。また、CRPはガン、火傷などの組織破壊が生じた時や、炎症性膠原病の経過の観察、特に慢性関節リウマチの経過観察など、疾患のモニターと鑑別診断には最良の非特異的指標となる。

CRPは胎盤通過性はなく、脳血液関門や関節囊における移行性は低いが、腹水・胸水・関節液などには比較的高濃度に検出できる。新生児のCRP産生は生後に誘導されるため値は成人に比し低値をとる。新生児CRP値は成人基準値に達しない程低値であるためCRPを炎症指標とするには困難であった。これまでのCRP計測の泣き所は低値域の計測精度が優れず、一定の値以下を基準値(正常値)としていたからである。ところが最近計測法の向上により低濃度域を精密に計測できる高感度CRP測定法が開発された。高感度計測法の利点は炎症変化を鋭敏に数的定量情報として提供できることであり、血沈・白血球数では捕捉できない潜在性炎症の発症をCRP計測値の微妙な変化として反映しうる。新生児の場合、経時的にCRPの変化を観察することで感染症の存在を明確にとらえることができ、抗生物質の早期投与が可能となる^{42,43)}。この高感度測定は日本よりもむしろ欧米で盛んに利用されている。

4.1 血沈とCRP⁴⁴⁾

血沈は急性相タンパク、特にフィブリノゲンの増加と赤血球量、そして血漿中 γ グロブリン量が相加的に作用し、炎症時にはそれらの合成が亢進することからCRPと同様、非特異的マーカーとして重視されているものの、定量性に劣る欠点がある。木下らは外来患者を任意に抽出し血沈1時間値と(基本測定項目でないフィブリノゲンを除く)各種血液検査値を重回帰分析法を用いて解析を行った。赤血球数、ヘモグロビン、 $\alpha 1$ グロブリン、 $\alpha 2$ グロブリン、 γ グロブリン、桿状核球%、分葉核球%、リンパ球%、総タンパク量の寄与率が高いが、CRPと相関はスピルマン法で0.48、ピアソン法で0.58であるものの寄与率は低いと判定している。血沈とCRPはその増減に時期的なズレがあり、普通はCRPの変化が早く出て早く消失するのに対し、血沈の変化は遅くまで残る。両者の推移にはかなりの解離がある。このことから、血沈はCRPとは異なり、そのことから血沈は急性よりもむしろ慢性炎症の指標として扱うべきであろう。

ちなみに、IL6で活性化された後に形成される転写因子NF-IL-6は、アルブミンの転写の関わるC/EBPと同じ核内転写因子ファミリーに属し、IL-6刺激によるNF-IL-6がアルブミンのプロモーター領域に存在するIL-6RE(type1)にC/EBPに変わって結合することでアルブミンの転写が阻害され、その結果炎症時アルブミン産生の低下を来し、IL-6刺激がJAK-2を介して細胞内にあるAPRF(acute phase response factor;STAT-3)リン酸化され、これが核内へ移り急性期タンパク遺伝子プロモーター領域にあるIL-6RE(type2)に結合子、フィブリノゲンなどタンパク遺伝子発現を誘導し、そのタンパク産生を亢進させる。

4.2 白血球数とCRP⁴⁵⁻⁴⁷⁾.

急性炎症の指標として1世紀近くにも亘り白血球数(好中球数)が利用されている。この白血球の造生と増殖にはSCF, IL-3, GM-CSF, G-CSFが関与する。SCFは単球マクロファージ・線維芽細胞, 血管内皮細胞, IL-3は単球, マスト細胞, 血管内皮細胞, 活性化TおよびNK細胞, GM-CSFは骨髄ストローマ細胞, G-CSFは血管内皮細胞, 線維芽細胞, 単球マクロファージ, 骨髄ストローマ細胞から分泌されるが, 炎症時初期好中球動員はG-CSFが主に作用する。その遺伝子は第17染色体の長腕に位置する。この誘導因子はエンドトキシン, IL-3, IL-1である。

他方, これに対し炎症時に増加するIL6の遺伝子は第7染色体に位置し, 5つのエクソンと4つのイントロンより成り立っている。急性炎症の際には, 炎症の場でマクロファージ>Bリンパ球>Tリンパ球の順でIL-6が遊離されるが, その誘導因子はLPS, ウイルス, IL-1, TNF, PDGF, INF- β となっている。すなわち, 感染の場においては主として細菌壁成分, エンドトキシン, IL-1などがトリガーとなりIL-6とG-CSFの分泌を促していることになり, このIL6が肝細胞に達し, そこで急性期タンパク遺伝子に炎症情報が伝達される。このIL-6は血小板造成系で巨核球の分化因子として作用する。

実際の臨床の場では, 概ねCRPと白血球数の変動は連動するが絶対的でなく, 解離することが多い, 今その両者の相関性をみると, 意外に相関性が低いのが現実であり, 事実CRPと白血球数の関係を重回帰分析すると, 桿状好中球とCRPのみが関係することが示されている。急性炎症ではCRPが白血球動員に先行する。ここにCRPと白血球数の同時計測の意義が存在する。

4.3 SAA(血清アミロイドAタンパク)とCRP⁴⁶⁻⁴⁸⁾.

血清アミロイドP蛋白はCRPと同様全ての哺乳動物に存在し, 動物種によりどちらかが急性期タンパクとして作用する。両者は共に肝細胞産生性であって, 細菌壁ないし障害細胞壁のフォスフォリルコリンとCa存在下に結合する。X線結晶解析で血清アミロイドPは5量体が二重になった糖鎖のない環状ペプチド構造であるのに対しCRPは1重5量体とは構造が非常に類似する。遺伝子配列に於いて, CRP(206bp)と血清アミロイドP(204bp)の前駆体タンパクをコードする塩基配列には約60%, 最終産物のアミノ酸配列は約50%の相同性が認められる。この構造相同性からヒト血清電気泳動で血清アミロイドPはCRPに付随する小ピークとして出現し, 両者の分離には困難さを伴うことになる⁴⁰⁾。マウスでは血清アミロイドPが急性炎症で上昇するのに対し, ヒトで血清アミロイドPは炎症タンパクの中に分類されるものの, 炎症の程度とは相関性が低い。

ところでアミロイド(類澱粉)物質とは, 1854年Virchowがヨードでマホガニー様色に染められ希塩酸で褪色する組織内沈殿物質に対して病理学的に名付けたものであるものの, 多糖類には分類できないので, この用語は病理学的用語であって化学的には適正な名前であるとは言えない。本物質は, HE染色で好酸性に染まり, PAS弱陽性, ワンギーソンで黄色に染まる無構造物質で, コンゴ赤で淡赤染し, 偏光顕微鏡下で緑色蛍光, 電子顕微鏡下で8-15nmの2本の細線維で成り立ち, プロテイナーゼで消失する水難溶性の蛋白体の総称であり, その生化学的性状からAL(免疫グロブリン鎖を前駆体とし, 骨髄腫や全身性アミロイドーシスでみられる)やAA(不明のオリジンのもの。続発性アミロイドーシスでみられる), β 2-ミクログロブリン, トランスサイレチンなどの種類が知られている。臨床的炎症マーカーとして血清アミロイドA蛋白(SAA)は上述の血清アミロイドP蛋白とは別物でAAに分類される。

血清アミロイド線維蛋白(AA)は免疫グロブリンや他の蛋白と構造的類似性がなく, 分子量8,500, 76のアミノ酸で構成されていて糖を含まない。肝臓で4種類の遺伝子SAA1-4で合成される12,000ダルトンの前駆物質serum amyloid-associated proteinから由来し, リポタンパクのサブクラス・HDL-3と結合し末梢血中を循環する⁴⁹⁾。測定法にはSRID, EIA, RIA, 比濁法などがあり, 基準値は8 μ g/ml以下となり, 鑑別は表の様に行われる。血中動態の差は炎症よりも膠原病に於いて差となって表れることから, CRPとSAAの同

時測定は診断的価値が高められるので、今後両者の併用が勧められる⁵⁰⁻⁵²⁾。

表 1 CRP と SAA の検査所見と疾患

CRP 基準値 : <0.5mg/dl	SAA 基準値 : <8μg/ml	主な疾患
陽性	陽性	炎症、炎症性膠原病、転移ガン
陽性	陰性	炎症の回復期
陰性	陽性	急性ウイルス性感染症、真菌症、SLE、RA 筋炎、PSS、肺線維症、ガン、組織損傷
陰性	陰性	炎症は否定的

4.4 発熱と CRP

通常、発熱があれば急性炎症を疑い CRP の上昇をもってその存在を追認する。ところがガンの患者では発熱がなくて CRP の上昇のある場合を屢々経験し、腫瘍熱を疑わせる。残念ながら炎症に伴う発熱の機序はまだ不明な点が多い。全身および局所の温度上昇は筋肉を中心とする組織・器官での糖代謝亢進の結果であるが、発熱・倦怠感には IL-6 と TNF- α が悪液質因子として関与し⁵²⁾。発熱のメディエータとしては PGE2 と IL-1 が知られている。それらのサイトカインが視床前野～下部に位置する体温中枢に作用することで発熱をもたらす細胞代謝亢進を来すことになるものの、CRP 上昇と発熱との解離はそれらサイトカイン作用の時間的ズレや濃度の問題で説明をせざるをえない。

6. おわりに

免疫担当細胞が抗原に対して応答する際に分泌する γ グロブリンを除く活性物質にはサイトカインと、内因性の白血球遊走・活性化作用を有する物質であるケモカインがあるものの、CRP はその何れにも分類されていない。しかしその生物活性の広さと強さからみてサイトカインのひとつに分類しても良いかもしれない。この数年の国際的臨床化学領域での CRP に関する報告をまとめてみると、その殆どが測定法の微量化・迅速化が主題であることから、その生理学的・病態学的研究についての創造的な研究は少なく、どうやら円熟したとの印象がある。しかしながらその臨床的有用性にはまだまだ多くの可能性が含まれているようであり⁵³⁾、臨床的活用をこれからも大いに期待したい。

この意味から堀場製作所が発売している自動血球 CRP 測定装置 LC-270CRP は、全血算と CRP の同時計測と言う新しいチャレンジをしたものであり、上述のように決して同等の臨床的意義を有するのではなく、異なった観点から疾病を捉えうるだけに更なる普及が望まれる。

現在、CRP が直面する問題は、その検査の優秀さと臨床的有用性が高いにもかかわらず健康保険での支払いが定性検査としてしか認められていないことである。今後は定量検査として認められ、さらに迅速・簡易な検査法の開発を切望する。

参考文献

1. Tillet, W.S. and Francis, T.Jr.: Serological reactions in pneumonia with a non-protein somatic fractions of pneumococcus. *J Exp Med*, 52: 561-571, 1930.
2. 河合忠: CRP. *総合臨床*, 26: 2900-2903, 1977.
3. 岸田卓也, 桑島士郎, 野田忠文, 奥田清: CRP のリガンド結合性のクロマトグラフィー的検討。 *炎症*, 9: 369-374, 1984.
4. Kuby, J.: Cytokine secretion and biological activity of TH1 and TH2 subsets. In: *Immunology*. 2nd ed., Kuby, J., ed., NY: WH Freeman & Co., pp. 311-312, 1994.
5. Tietz, N.W.: C-reactive protein. In: *Fundamentals of Clinical Chemistry*. Philadelphia: WB Saunders Co., pp. 334, 1987.
6. Nakayama, S.: The protein of mice with human C-reactive protein (CRP) against pneumococcal infection. *JPN J Bacteriol*, 38: 557-563, 1983.
7. Kaplan, M.H. and Volanakis, J.E.: Interaction of C-reactive protein complexes with the complement system. *J Immunol*, 112: 2135-2147, 1974.
8. Siegel, J., Rent, R. and Gewurz, H.: Interactions of C-reactive protein with the complement system. *J Exp Med*, 140: 631-647, 1974.
9. Roitt, I.: *Essential Immunology*. 8th ed., Roitt, I., ed., Oxford: Blackwell Scientific Publishing, pp. 17-18, 1994.
10. Volanakis, J.E. and Kaplan, M.H.: Specificity of C-reactive protein for choline phosphate residues of pneumococcal C-plysaccharide. *Proc Soc Exp Biol Med*, 136: 612-614, 1971.
11. Padlan, E.A., Davies, D.R., Rudikoff, S. and Potter, M.: Structural basis for the specificity of phosphorylcholine-binding immunoglobulins. *Immuno-chemistry*, 13: 945-949, 1976.
12. Volanakis, J.E. and Wirtz, K.W.: Interaction of C-reactive protein with artificial phosphatidyl-choline bilayers. *Nature*, 281: 155-157, 1979.
13. James, K., Hansen, B. and Gewurz, H.: Binding of C-reactive protein to human lymphocytes. I. Requirement for a binding specificity. *J Immunol*, 127: 2539-2544, 1981.
14. James, K., Hansen, B. and Gewurz, H.: Binding of C-reactive protein to human lymphocytes. II. Interaction with a subset of cells bearing the Fc receptor. *J Immunol*, 127: 2545-2550, 1981.
15. Mortensen, R.F., Osmand, A.P. and Gewurz, H.: Effects of C-reactive protein on the lymphoid system. *J Exp Med*, 141: 821-839, 1975.
16. Whisler, R.L., Newhouse, Y.G. and Mortensen, R.F.: C-reactive protein reduces the promotion of human B-cell colony formation by autoreactive T4 cells and T-cell proliferation during the autologous mixed-lymphocyte reaction. *Cell Immunol*, 102: 287-298, 1986.
17. Koj, A.: Cytokines regulating acute inflammation and synthesis of acute phase protein. *Blut*, 51: 267-274, 1985.
18. White, A. and Fletcher, T.C.: The influence of hormones and inflammatory agents on C-reactive protein, cortisol and aqlanine aminotransferase in the plaice. *Comp Biochem Physiol*, 80: 99-104, 1985.
19. Moshage, H.J., Roelofs, H.M., van Pelt, J.F., Hazenberg, B.P., van Leeuwen, M.A., Limburg, P.C., Aarden, L.A. and Yap, S.H.: The interrelationship on the synthesis of serum amyloid A and C-reactive protein in primary cultures of adult hepatocytes. *Biochem Biophys Res Commun*, 155: 112-117, 1988.
20. Ikuta, T., Okubo, H., Ishibashi, H., Okumura, Y. and Hayashida, Y.: Human lymphocytes synthesize C-reactive protein. *Inflammation*, 10: 223-232, 1986.
21. Vigo, C.: Effect of C-reactive protein on platelet-activating factor-induced platelet aggregation and membrane stabilization. *J Biol Chem*, 260: 3418-3422, 1985.

22. Fiedel, B.A.: Platelet agonist synergism by the acute phase reactant C-reactive protein. *Blood*, 65: 264-269, 1985.
23. Marder, R.J., Fiedel, B.A., Osmand, A.P. and Gewurz, H.: Inhibition of rabbit platelet aggregation and clot retraction by rabbit and human C-reactive proteins. *Proc Soc Exp Biol & Med*, 155: 44-47, 1977.
24. Kilpatrick, J.M. and Virella, G.: Inhibition of platelet-activating factor by rabbit C-reactive protein. *Clin Immunol & Immunopathol*, 37: 276-281, 1985.
25. Tatsumi, N., Hashimoto, K., Okuda, K. and Kyogoku, T.: Neutrophil chemiluminescence induced by platelet activating factor and suppressed by C-reactive protein. *Clin Chim Acta*, 172: 85-92, 1988.
26. Kohayakawa, M. and Inoue, K.: Augmentation of PAF-induced human platelet activation by C-reactive protein. *Thromb Res*, 41: 649-657, 1986.
27. Du Clos, T.W., Mold, C., Paterson, P.Y., Alroy, J. and Gewurz, H.: Localization of C-reactive protein in inflammatory lesions of experimental allergic encephalomyelitis. *Clin Exp Immunol*, 43: 565-573, 1981.
28. Kushner, I. and Kaplan, M.H.: Studied of acute phase protein I. *J Exp Med*, 114: 961-973, 1961.
29. Shephard, E.G., van Helden, P.D., Strauss, M., Boehm, L. and De Beer, F.C.: Functional effects of CRP binding to nuclei. *Immunol*, 58: 489-494, 1986.
30. 松田重三: CRP。 *Medicina*, 16: 1754-1765, 1979.
31. 金井泉: C反応性タンパク定量。 *臨床検査法提要*, 改訂第28版。東京: 金原出版, pp. 24-27, 1978.
32. Chesbro, B. and Metzger, H.: Affinity labeling of phosphorylcholine binding mouse myeloma protein. *Biochemistry*, 11: 766-771, 1972.
33. Volanakis, I.E., Clements, W.L. and Schrohenloher, R.E.: Creative proteins, purification by affinity chromatography and physiochemical characterization. *J Immunol Methods*, 23: 285-295, 1978.
34. 日本医師会: CRP。我が国の臨床検査精度管理, 30年の歩み。東京: 日本医師会, pp. 146-148, 1998.
35. 日本医師会: 平成10年度臨床検査精度管理改善検討会。東京: 日本医師会, pp. 84-87, 1999.
36. Oliveira, E.B., Gotschlich, E.C. and Lin, T.Y.: Primary structure of human C-reactive protein. *J Biol Chem*, 254: 489-502, 1979.
37. Lei, K.J., Lin, T., Zon, G., Soravia, E., Lin, T.Y. and Goldman, N.D.: Genomic DNA sequence for human C-reactive protein. *J Biol Chem*, 260: 13377-13383, 1985.
38. Woo, P., Korenberg, J.R. and Whitehead, A.S.: Characterization of genomic and complementary DNA sequence of human C-reactive protein and comparison with the complementary DNA sequence of human amyloid P component. *J Biol Chem*, 260: 13384-13388, 1985.
39. Oamand, A.P., Friedman, B., Gewurz, H., Painter, R.H., Hofman, T. and Shelton, E.: Characterization of C-reactive protein and the complement subcomponent C1t as homologous protein displaying cyclic pentameric symmetry (pentraxins). *Proc Natl Acad Sci USA*, 74: 739-743, 1977.
40. 松尾雄志, 中村淳雄, 杉本通代, 結城俊明, 田中俊夫, 吾妻伸夫: 異種遺伝子発現技術の検査薬への応用と将来, 組み換えCRPの特性と検査薬としての有効性。 *JJCLA*, 23: 14-18, 1998.
41. 伊藤喜久, 河合忠: IFCC 血漿蛋白標準品 (CRM470/RPPHS) 開発の経緯, 特徴および日本への導入経過。 *臨床病理*, 特集101号: 24-37, 1996.
42. Shine, B., Gould, J., Campbell, C., Hindocha, P., Wilmot, R.P. and Wood, C.R.S.: Serum C-reactive protein in normal and infected neonates. *Clin Chim Acta*, 148: 97-103, 1985.
43. Kitahashi, S., Tatsumi, N., Tagawa, S., Matsui, M., Shintaku, H., Tomoda, S. and Tsuda, I.: Diagnosis of infections in newborns using a new particle-mediated immunoassay for serum C-reactive protein. *J Automatic Chem*, 20: 195-198, 1998.
44. 木下喜光, 左川均, 津田泉, 巽典之: 多因子分析法を用いた血沈の臨床的有用性の再評価。 *医学と生物学*, 135: 37-42: 1997.
45. 津田泉, 片上伴子, 田窪孝行, 木下喜光, 日野雅之, 巽典之: 外来患者におけるC反応性蛋白と白血球数。 *医学と生物学*, 136: 99-103, 1998.
46. Tanaka, T., Sugimoto, M., Nakamura, A., Oka, O., Naito, T., Ohtsuka, Y. and Matuo, Y.: Recent progress in C-reactive protein and serum amyloid P protein. *J Analytical Bio-sci*, 19: 159-167, 1996.
47. Hashimoto, K. and Tatsumi, N.: Rapid isolation of human C-reactive protein and serum amyloid P component. *J Immunol Methods*, 125: 295-296, 1989.
48. 津田泉, 巽典之, 井島聖行: CRPと白血球数(準備中)。
49. Robbins Pathologic Basis of Disease. 4th ed., Cotran, R.S., Kumar, V. and Robbins, S.L., ed., Philadelphia: WB Saunders Co., pp. 210-220, 1989.
50. 金井正光: 急性期反応タンパク。 *臨床検査法提要*, 改訂第31版。東京: 金原出版, pp. 497-502, 1998.
51. 吉崎和幸, 西本憲弘, 緒方篤, 嶋良仁: IL-6による急性相蛋白の誘導と炎症性疾患におけるIL-6の意義。 *治療学*, 30: 39-47, 1996.
52. 佐々木毅, 塚本さなえ: 赤沈・C反応性蛋白・血清アミロイドA。 *日本内科学会雑誌*, 87: 2390-2395, 1999.
53. Gambino, R.: C-reactive protein, undervalued, underutilized. *Clin Chem*, 43: 2017-2018, 1997.



巽典之

Noriyuki TATSUMI

大阪市立大学 医学部
臨床検査医学教室 教授
医学博士

津田 泉

Izumi TSUDA

大阪市立大学 医学部
臨床検査医学教室

福森達郎

Tatsuo FUKUMORI

大阪市立大学 医学部
臨床検査医学教室

太田健介

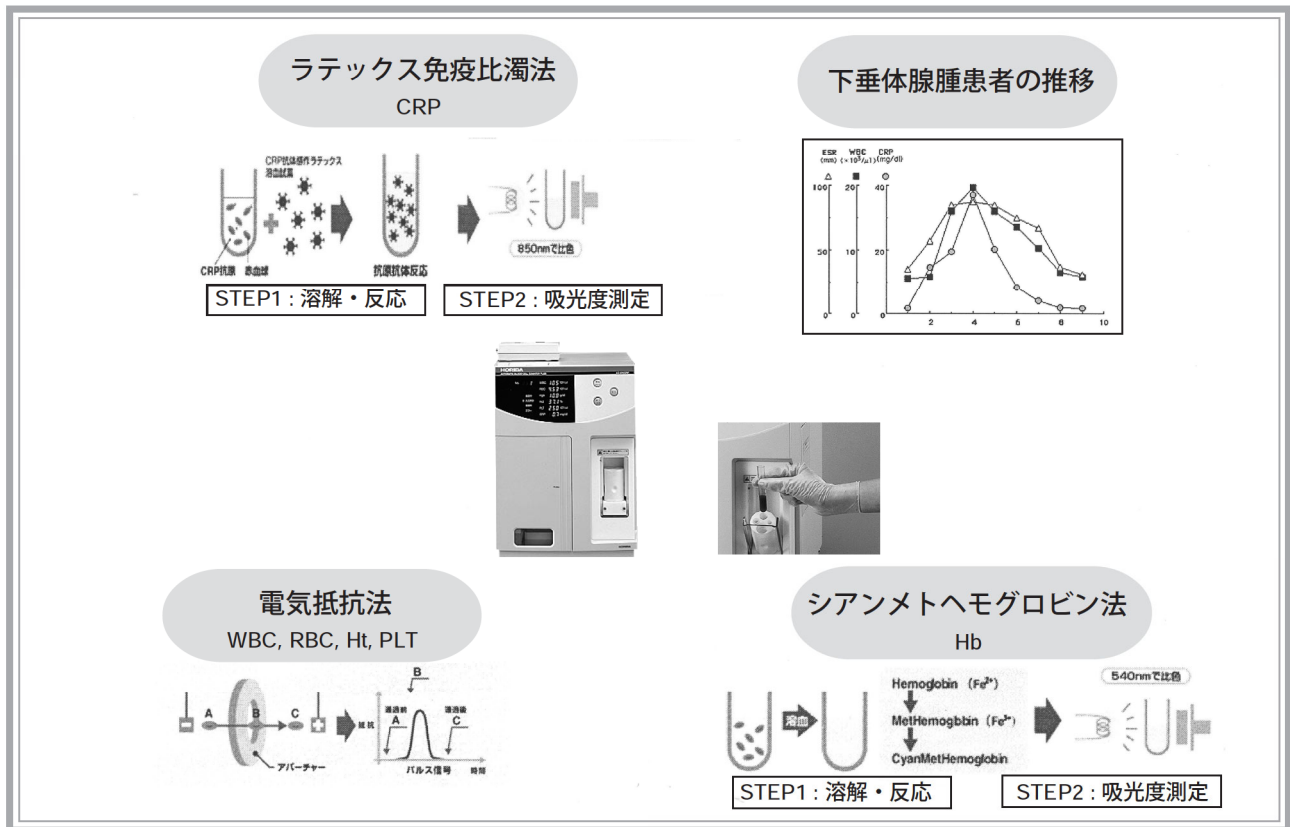
Kensuke OTA

大阪市立大学 医学部
臨床検査医学教室 講師

自動血球 CRP 測定装置 LC-270CRP の評価 Evaluation of the LC-270CRP Automatic Blood Cell Counter and CRP Assay System

藤田直久* 湯浅宗一* 吉村 學* 奥 成博

(*京都府立医科大学)



要旨

免疫血清検査のC反応性蛋白(CRP)は,急性炎症の診断指標として広く利用されている。一方,白血球数(WBC)もまた,炎症・感染症関連の診断にはなくてはならない検査項目である。従来はCRPとWBCとは別々の測定装置ではかっていたため,医療現場の医師や検査技師が不便を感じる事が少なくなかった。今回,堀場製作所は両者を一つの測定装置で同時に測定できる自動血球CRP測定装置LC-270CRPを製品化した。本装置は,CRPの測定には抗原抗体反応試薬によるラテックス免疫比濁法をまた,血球の計数には電気抵抗法を,ヘモグロビン測定にはシアンメトヘモグロビン法を使っている。本稿では,LC-270CRPの再現性,妨害物質の影響,従来法との相関,さらに,臨床現場における検査症例を報告する。

Abstract

Both C-reactive protein(CRP) and white blood cell counts(WBC) are widely used and essential for the diagnosis of inflammations and infectious diseases. We have frequently used these two tests as important clues for evaluating these conditions. These tests require separate instruments and have been thought to be separately measured so far, CRP in serum and WBC in EDTA-added blood, respectively. Now, Horiba offers a new diagnostic instrument "LC-270CRP automatic blood cell counter and CRP assay system" which performs both tests simultaneously. To measure CRP, the instrument uses an antigen-antibody reaction reagent to perform a latex turbidimetric immunoassay. Blood cells are counted using the impedance method, and hemoglobin is measured by the cyanmethemoglobin colorimetric method. This article describes evaluation test results of the LC-270CRP, the carryover, the minimum detectable sensitivity, the dilution linearity and the correlation with conventional measurement methods. And also report three clinical trial using this instruments.

1. はじめに

C-反応性蛋白(CRP)は肺炎球菌菌体多糖類(C-物質)と反応する蛋白で、急性の組織損傷、感染症において血液中に増加するため急性相反応性物質として広く利用されている。一方、血球成分中の白血球数もCRPと同様に感染症、炎症性疾患を診断する上で重要な検査項目であり、前者と共に炎症状態の把握においてなくてはならない検査項目である。これらの2項目を同時に、かつ迅速に検査することは感染症、炎症性疾患の診断および治療に有用と考えられる。ホリバはラテックス免疫比濁法を用いたCRP検査と従来の血球計数と組み合わせた新しい全血測定システム LC-270CRPを開発した。

2. LC-270CRP の測定原理

LC-270は、血球計数装置とCRPを同時に測定できる世界で初めての炎症マーカー計測機能付自動血球計数装置である。本装置で採用した測定方法としては、赤血球、血小板、白血球には電気抵抗検出法を、ヘモグロビンにはシアンメトヘモグロビン法を、そしてCRPにはラテックス免疫比濁法をそれぞれ使っている。本機の主な仕様を表1示す。

表1 LC-270CRPの主な仕様
Specifications of the LC-270CRP

測定モード	CBCモード(血算項目のみ) CRPモード(CBC+CRP)
測定項目	WBC, RBC, Hgb, Hct, PLT, CRP (C反応性蛋白)
血算項目	MCV, MCH, MCHC (プリンタまたはRS-232C接続時のみ)
測定方式	電気抵抗法: WBC, RBC, Hct, PLT シアンメトヘモグロビン法: Hgb ラテックス免疫比濁法: CRP
検体量	CBCモード: 10 μ l CBC+CRPモード: 18 μ l
測定時間	CBCモード: 75秒以内 CBC+CRPモード: 260秒以内
測定範囲	WBC: 0.5~80 10^3 個/ μ l RBC: 0.5~7.5 10^6 個/ μ l Hgb: 2.0~25g/dl Hct: 10~70% PLT: 20~900 10^3 個/ μ l CRP: 0.2~10.0mg/dl (血清: 0.2~7.0mg/dl)

2.1 電気抵抗検出法

電気抵抗検出法は、血液細胞(赤血球、血小板、白血球粒子)を等張性希釈液に懸濁させ、粒子が細い孔を通過するときに生じる抵抗の変化をアパーチャーの両側に取り付けた電極で計測するものである。そして、抵抗変化のパルス数から血球数を、パルスの高さから血球の容積を測定する。

2.2 シアンメトヘモグロビン法

まず、溶血剤により赤血球を破壊し、ヘモグロビンを希釈液中に溶出させ、溶血剤中の酸化物質によってメトヘモグロビンに転化し、さらにシアン化イオン(CN⁻)によってシアンメトヘモグロビンに転化させる。そして、ヘモグロビン濃度は、このシアンメトヘモグロビンの特性吸収波長である555nmにおける吸光度を測定してヘモグロビン濃度を求める。

2.3 ラテックス免疫比濁法

検体を溶血液(R-1)で溶血し、この溶血検体中のCRP抗原を抗ヒトCRP抗体感作ラテックス試薬(R-3)で凝集させる。この凝集塊に850nmの光を照射し、吸光度変化からCRP濃度を求める。また、同時に求めたヘマトクリット値から血漿中のCRP濃度を求める。

2.4 試料作成

血球計数用としてEDTA-2K入り採血管セキュータE4020(栄研機材)で採血された当院入院患者89名のEDTA全血、および同一人の血清を検討試料とした。

3. 結果

3.1 CRP 測定の基本特性

(1) 再現性

低濃度から高濃度までの3種類のEDTA全血および血清試料についてCRP測定を各々15回行なったところ、表2に示すように、EDTA全血ではCV2.21~5.31%、血清検体は1.72~2.34%といずれも良好な同時再現性が得られた。

一方、日差再現性については低濃度および高濃度の2種類の試料を冷蔵保存あるいは室温保存下で2日間測定した結果、CV3.1~4.2%といずれも良好な結果であった。(表2)なお、保存期間が3日を越えると検体に溶血が認められたため、日差再現性の検討は2日間のみとした。

表2 同時再現性と日差再現性

The precision of the CRP measurement, within-run and day-to day

	同時再現性			日差再現性			
	EDTA全血			室温		冷蔵	
	L(N=15)	M(N=15)	H(N=15)	L(N=3)	H(N=3)	L(N=3)	H(N=3)
Mean(mg/dl)	0.3	1.0	6.0	1.3	6.3	1.3	6.3
SD(mg/dl)	0.02	0.02	0.7	1.2	6.7	1.2	6.7
CV(%)	5.31	2.21	2.81	1.3	6.2	1.3	6.2
				1.2	6.7	1.2	6.3
				1.2	6.5	1.2	6.7
				1.2	6.6	1.2	6.7
				1.2	6.1	1.3	6.4
				1.2	6.3	1.2	6.6
				1.2	6.7	1.3	6.4
Mean(mg/dl)	0.8	3.0	7.0	1.22	6.46	1.24	6.48
SD(mg/dl)	0.02	0.07	0.13	0.04	0.24	0.05	0.20
CV(%)	2.20	2.34	1.72	3.6	3.6	4.2	3.1

(2) 妨害物質の影響

妨害物質の影響は、遊離型および抱合型ビリルビン、乳びについては干渉チェックAプラス(国際試薬)、リウマチ因子については干渉チェックRF(国際試薬)を用いて評価した。遊離型ビリルビンでは17mg/dl、抱合型ビリルビンでは20mg/dlまで、リウマチ因子は600IUまで影響は認められなかった。EDTAについては通常使用量の5倍である5mg/mlまで影響がなかった。一方、ホルマジン濁度2800まで影響を認めなかったため、高脂血症症例の血清を添加してその影響を検討したところ、トリグリセライド1200mg/dlの添加でも影響は認められなかった(図1)。

(3) キャリーオーバー

CRP濃度20mg/dl以上の高濃度検体を連続3回測定した後、CRP濃度0mg/dlの検体を連続3回測定するサイクルを2回繰り返したが、いずれもキャリーオーバーを認められなかった(図2)。

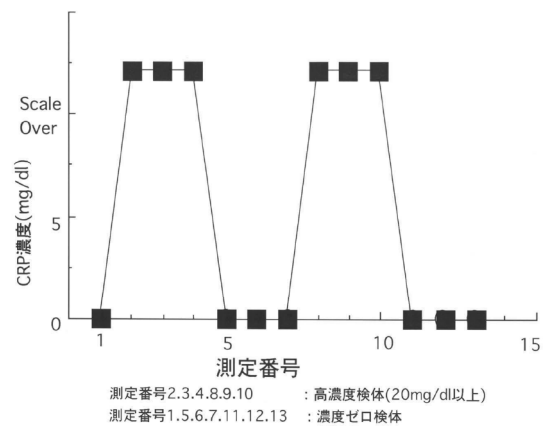


図2 キャリーオーバー

The carry over test for measurement of CRP

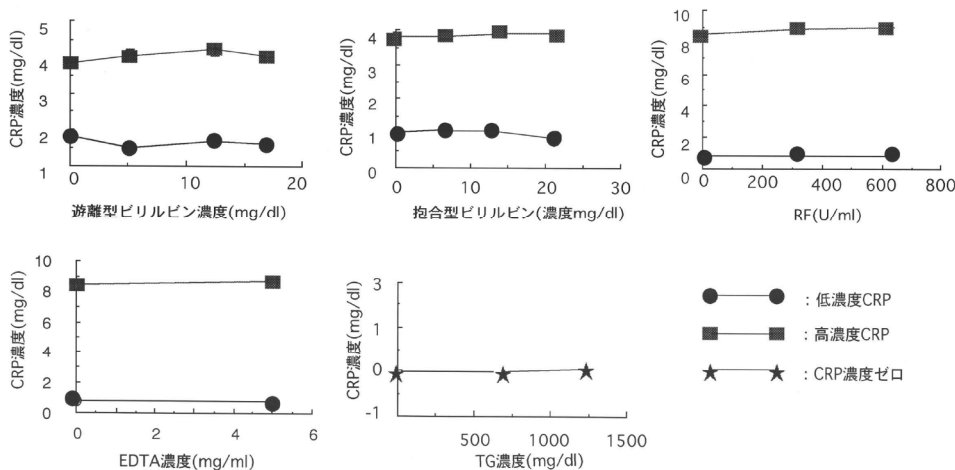


図1 妨害物質の影響

The influence of the interference substrate on the measurement of CRP

(4) 最小検出感度

CRP 濃度 0mg/dl の +2.6SD と各濃度の -2.6SD が重ならない最小の濃度を最小検出感度とすると最小検出感度は 0.2mg/dl であった(図 3)。

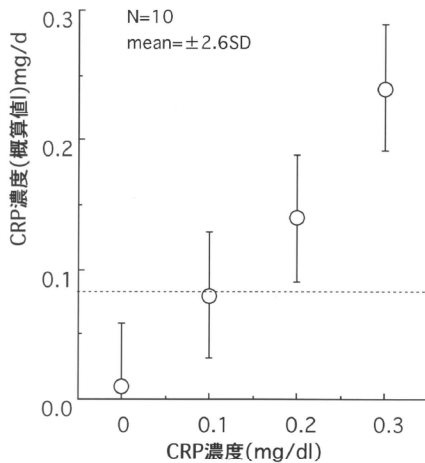


図 3 最小検出感度
The detection limit for the measurement of CRP

(5) 希釈直線性

血球計数用コントロール血液から血漿を遠心除去後同量の CRP 標準液(20mg/dl)を加え、これを更に血球計数用コントロール血液で段階希釈して直線性を調べたところ、10mg/dl まで直線性を示し、それ以上の検体でプロゾーン現象が認められた(図 4)。

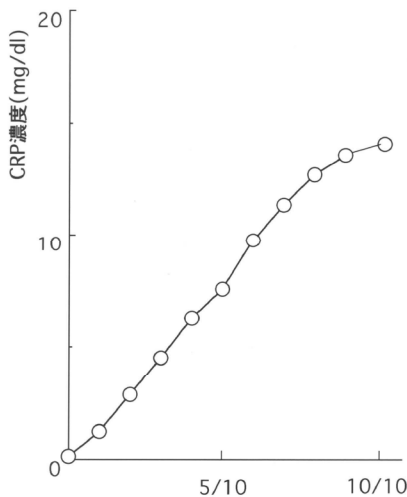


図 4 希釈直線性
The dilution linearity for the measurement of CRP

(6) 相関

EDTA 全血を試料とした本法での CRP の測定結果と同一人の血清を試料として日立 736 型自動分析機で測定した結果とを比較検討したところ(図 5)に示すように良好な相関が得られた(P<0.001)。

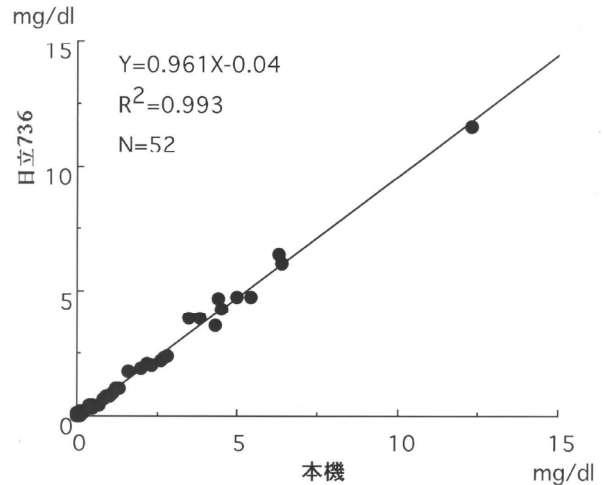


図 5 CRP 濃度の本法と他法の比較
The correlation between CRPO concentration by the Hitachi 736 and that by the LC-270CRP

なお、血球計数に関しては、本法と他法(Coulter counter STKS)との相関係数が 0.98 以上と良好なことを確認している。

3.2 臨床評価

本機を臨床検査の現場で使った症例を紹介する。

(1) 下垂体腺腫患者の症例

下垂体腺腫と診断された男性(63歳)の CRP, WBC および ESR を 10 日間に 9 回測定し、その変動を観察した(図 6)。発熱と共に CRP は正常範囲内から最高 38mg/dl まで、WBC は 5,200/μl から最高 19,000/μl まで増加、ESR は 28mm から 82mm まで促進し、全身状態の改善と共にほぼ正常範囲内にまで急速に減少している。このような症例においてはいずれのマーカーにおいても炎症状態を示唆する結果が得られるものと考えられる。

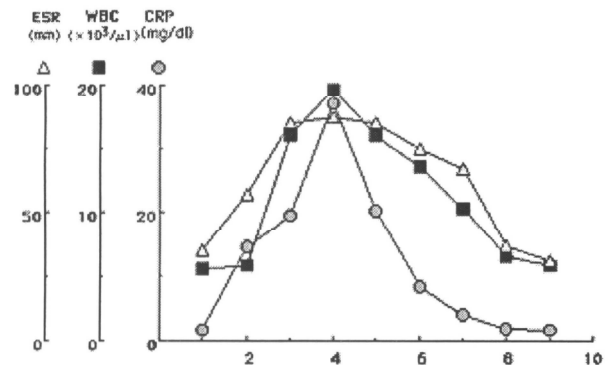


図 6 下垂体腺腫患者の症例
The case of the hypophyseal adenoma patient

(2) 脳腫瘍患者の症例

脳腫瘍と診断された女性(50歳)のWBCとCRPを22日間にわたり18回測定し、その変動を観察した(図7)。抗ガン剤の使用により白血球数が7,200/ μ lから減少傾向を示し、ついには400/ μ lにまで達した。それに対してCRPは白血球数が1,000/ μ lより更に減少する頃に発熱と共に急激に上昇し、ついには18mg/dlに達した。その後は白血球数の増加とともにCRPは正常域内にまで減少している。本症例の場合にはCRPの変動によってのみ炎症状態を把握することができた。

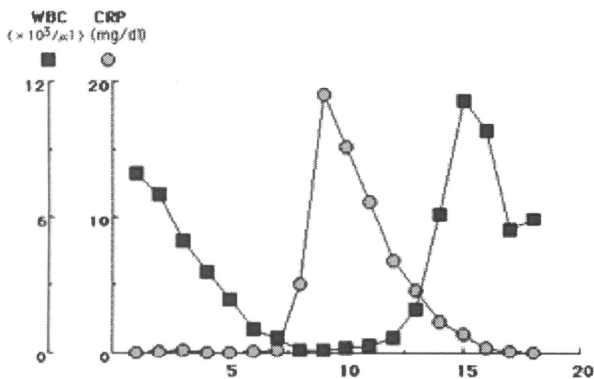


図7 脳腫瘍患者の症例
The case of the brain tumor patient

(3) SLE患者の症例

SLEと診断された女性(48歳)を10日間、8回測定した(図8)。

CRPはいずれも正常域内で変動しているが、WBCは40,000~5,000/ μ l程度であったのが23,000/ μ lまで急激に増加している。一方、この間、炎症を示唆する発熱等の症状は認められず、原因はステロイド剤投与によるものであった。

本症例より、WBCの急激な増加が必ずしも炎症状態を示すものではなく、症例2と同様にCRPの変動によってのみ炎症状態を把握することができた。

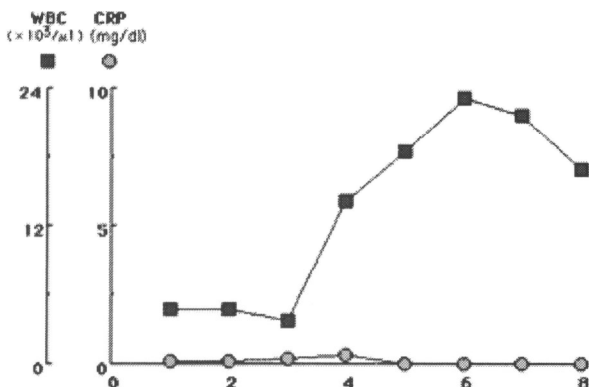


図8 SLE患者の症例
The case of the SLE patient

4. 考察

ホリバは炎症状態を迅速に把握し、しかも少量の採血で患者にかかる負担をいかに軽くするかという観点に立ち、CRPと血球数とを同時に測定できる自動血球CRP測定装置LC-270CRPを開発した。LC-270の再現性、妨害影響、キャリーオーバー、希釈直線性などの基本性能、他の機種との相関性はいずれも良好で、手軽な検査装置として十分に活用できるものである。

今回の試験では、全血を材料とする本装置のCRPの最小検出感度は、血清または血漿を材料とする他の方法^{1,2)}に比べ0.2mg/dlとやや低い傾向にあった。CRPの健常値について山岸らは0.06mg/dl以下³⁾、飯田らは健常者の84.5%は0.1mg/dlであると報告している。一方、新生児感染症ではCRPのみが経時的に上昇することが知られており⁵⁾、西田らは0.1~1.0mg/dlの範囲内でCRPの上昇傾向を捉えることで新生児感染症を早期に診断し得たと報告している⁶⁾。

簡便性と迅速性を特徴とする本装置は、健常値内の微小変化を捕らえたり、重症化予測診断や慢性化軽快期など低濃度領域の測定よりむしろ、CRP濃度0.5~10mg/dl程度で炎症の有無をスクリーニングし、加療するような急性・亜急性の感染症の診断・治療には極めて有用であると言えよう。

LC-270CRPの優れた点は、従来、血球計数の目的で採血されたEDTA加全血を用いて血球計数と同時にCRPの測定が行えることである。従来の考え方ではCRPは生化学検査室、血球計数は血液検査室という複数の検査室に検査依頼をするという固定観念があったが本システムはこれを払拭するものである。更に、またCRP測定にはプレーン容器、血球計数には抗凝固剤入り容器といった異なった採血管の準備も不要になった。しかもEDTA採血管を遠心分離をすることなくCRPと血球計数の同時測定が可能となった。このことは医療に従事する者の労力軽減のみならず、ベッドサイドで採血しその場で測定し、わずか5分で測定結果が得られるという診療直結型のベッドサイド検査を可能とした。このことは何よりも患者サービスにつながるものであり、今後の臨床検査の方向性を示唆するものと期待している。

参考文献

- 1) 大竹和子, 他: CRP測定用ラテックス試薬の日立7070形自動分析装置への適応, JJCLA, 20: 844-849, 1995
- 2) 石田浩二, 他: 日立7450自動分析装置を用いたラテックス免疫比濁法によるCRP測定, JJCLA, 21: 97-101, 1996
- 3) 山岸安子, 他: ラテックス近赤外比濁法(LPIA)によるCRPの微量測定 第2報 健常値と微量定量の意義, 臨床病理, 32:1389-1394, 1984
- 4) 飯田久也, 他: 近赤外比濁法(LPIA system)によるC反応性タンパク質(CRP)測定の検討, 臨床検査機器・試薬, 6: 705-709, 1983
- 5) 河野均也, 他: 座談会 免疫比濁報による血漿蛋白測定上の問題点, 臨床検査機器・試薬, 20: 503-517, 1997
- 6) 西田陽, 他: 新しい新生児モニタリングシステムの検討, 日本小児科学会雑誌, 90: 2691-2700, 1986



藤田直久

Naohisa FUJITA Md, PhD

京都府立医科大学
臨床検査医学教室
助教授



湯浅宗一

Soichi YUASA

京都府立医科大学
臨床検査部
技師長 補佐



吉村 學

Manabu YOSHIMURA Md, PhD

京都府立医科大学
臨床検査医学教室
教授



奥 成博

Narihiro OKU

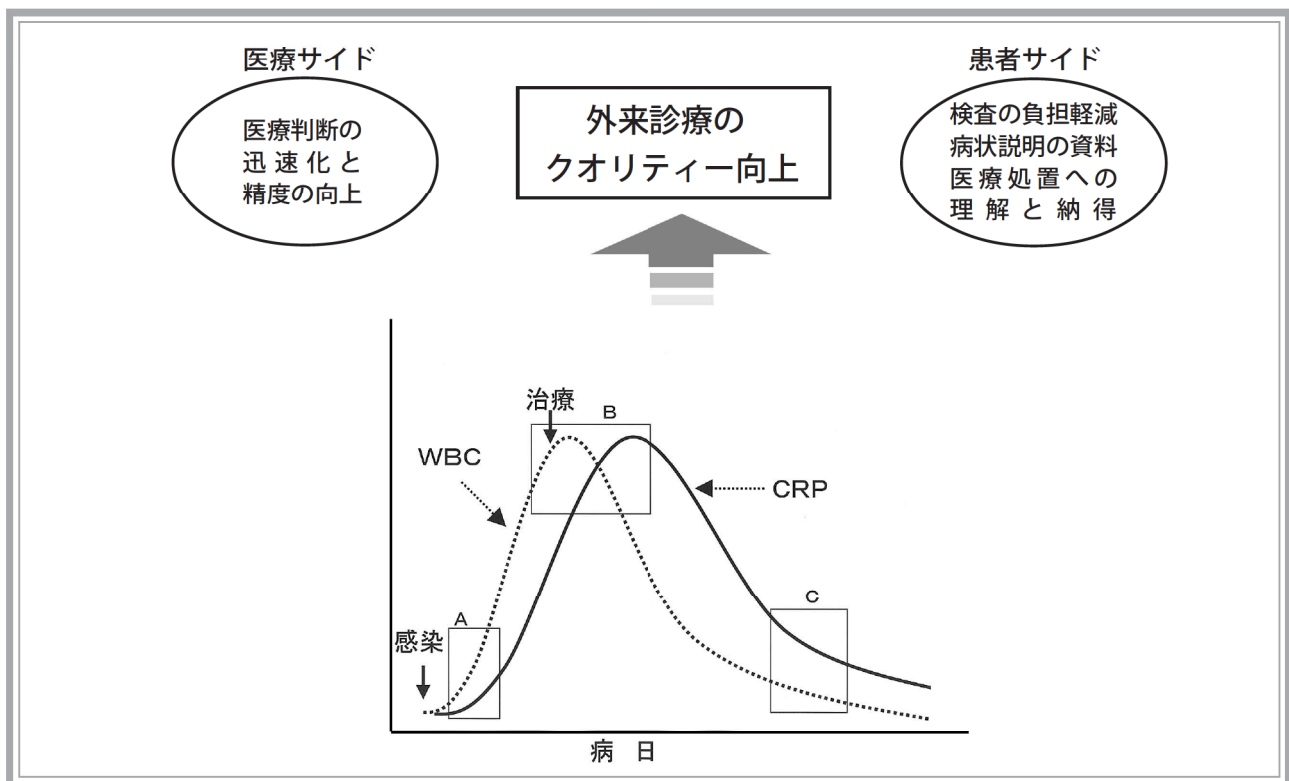
医用システム統括部
マネージャー

小児実地医療においてCRPとWBCを診察時に 即時測定する効果と意義

Efficacy and Importance in Pediatric Practice of Immediate Test of CRP and WBC Upon Diagnosis

鈴江 純史*

(*すずえこどもクリニック)



要旨

CRPとWBCの検査は、小児科でも感染症の診断や治療効果の確認のためにたびたび使われている。このとき、採血ができる限り少量で済ませられるか否かは、とくに患者が乳幼児の場合には非常に大きな課題となる。当院では 血球計数CRP測定装置(LC-270CRP)を導入したのを機会に、極微量の採血でしかもCRPとWBCの同時検査が小児科の外来診療にもたらす効果を解析・検討した。平成9年11月から1年間にわたり、乳幼児小児患者1058名に対するデータを通し、病態をつぶさに把握した。その結果、診断/治療方針決定、インフォームドコンセント、医療経済、などのあらゆる観点から本装置が有用であることを確認した。

Abstract

From time to time, the C-reactive protein (CRP) test and the white blood count (WBC) test are used by pediatricians to assist in diagnosing infectious disease, and to confirm the effect of treatment. When performing these tests, it is desirable to collect the smallest amount of blood possible; this is especially important when the patient is an infant. This paper reports on a study of the Horiba LC-270CRP Automatic Blood Cell Counter and CRP-Measuring Instrument in a pediatric outpatient clinic. The research examined the effect of performing simultaneous CRP and WBC tests using extremely small samples of blood. The authors collected data from 1,058 patients and conducted in-depth research on their conditions over the course of a one-year period beginning in November 1997. The results confirmed that the instrument was very useful in aiding diagnosis and treatment decisions, supporting informed consent, achieving medical economy, and delivering other benefits.

1. はじめに

小児外来診療において感染症への対応は重要で、日頃苦心することも多い。例えば入院、輸液のタイミング判断や、突然受診した重症感のある患児への対処等がある。

その際、CRPと白血球数(WBC)は感染症の診断、重症度及び治療効果の判定などに有用で、従来より効果的な指標として頻繁に用いられてきた。ところが小児科開業医の外来では、採血の困難性と測定時間の問題から両方の検査を手軽に同時施行することには限界があった。

自動血球計数CRP測定装置 LC-270CRPは、その性能(微量検体、迅速測定)からこの限界を払拭し、外来診察時に両検査を手軽に実施する事を可能にした。判断の困難な場面では、従来の経験や“勘”に加え積極的に検査を実施し、より正確な病態把握のもと、家族も納得した医療処置を決定できるようになった。本機の導入によって外来診療に質的改善、発展をもたらすことが期待できる。

2. 方法

平成9年11月から平成10年11月までの間に当院を受診した生後22日から13歳までの対象児1638名について、LC-270CRPによるCRP定量+CBC検査を1058名に、ラテックス凝集法によるCRP定性検査を580名に外来診察時に即時実施し、その効果を以下の点について検討した。

1) 簡便で採血時の痛みの少ない微量採血法を工夫し、診察時にCRPとCBC検査を簡単、迅速、低痛性に実施する方法を検討する。

低痛性採血法として血糖自己測定用採血器[CRP定性：トースティック(ディスプレイ型、輸入元：ホームメット、販売元：日本ヘキスト・マリオン・ルセル)、CRP定量+CBC：マイクロレット(深穿刺用キャップ、輸入元：バイエルメディカル、販売元：小野薬品工業)を使用し、主として母指頭部あるいは小指球部を穿刺した(写真1)。なおマイクロレットのキャップはそのつど交換し滅菌処置を行った。

2) 採血による痛みの程度を患児の表情、態度によって判断し、その頻度を求める。

3) 具体的疾患特に乳幼児熱性疾患について臨床的効果を検討する。なお、当研究中の平成10年8月での対象患児の主要な診断結果を表1に示す。



写真1 乳幼児小児患者からの採血
Blood collection from infant's patient

表1 調査乳幼児小児患者の診断結果

Diagnostic results from examined patients

病名	件数	病名	件数
咽頭炎	139	尿路感染症	4
気管支炎	294	細菌性腸炎	7
肺炎	59	細菌性髄膜炎	1
インフルエンザ	33	MCLS	4
インフルエンザ 気管支炎	70	百日咳様疾患	3
インフルエンザ 肺炎	7	熱性けいれん	10
扁桃腺炎	40	鼻出血	2
突発性発疹	16	不明熱	4

4) CRPおよびWBCの同時測定値の感染症における反応態度を分析し、疾患の病態把握への意義を明らかにする。

5) 外来診療時におけるCRPの定量と定性検査の有効性の比較および本検査導入の経済効果の有無について検討する。

3. 結果

1) 経皮的微量採血法によりCRP定量+CBCまたはCRP定性検査を施行した結果、患児の99%以上について即時検査として簡便に実施することが可能であった。

2) 本法による採血の痛み反応を連続する200名の検査前後で対比した結果、患児の74%(A+B)が泣かないほど低痛であった(図1)。

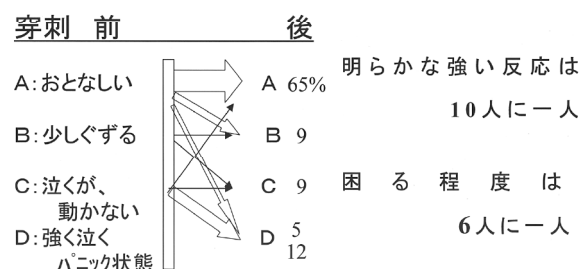


図1 採血による痛みと頻度

Classification of pain caused by blood collection

3) LC-270CRPによる測定値を微量採血と従来の静脈採血と比較検討した結果を表2に示す。

表2 微量採血と静脈採血が測定値及ぼす影響
Correlation and statistical value of infinitesimal and venous blood collection

	相関性		平均値の比較		
	相関係数	相関関係	微量採血	静脈採血	有意差
CRP (mg/dl)	r = 0.997	p < 0.01	1.99 ± 1.46	1.99 ± 1.47	N.S.
WBC (× 10 ³)	r = 0.988	p < 0.01	11.4 ± 4.8	10.4 ± 4.3	p < 0.01
RBC (× 10 ⁴)	r = 0.816	p < 0.01	472 ± 35	450 ± 28	p < 0.01
Hb (g/dl)	r = 0.884	p < 0.01	13.0 ± 1.1	12.4 ± 1.0	p < 0.01
Ht (%)	r = 0.886	p < 0.01	39.1 ± 3.5	37.0 ± 3.1	p < 0.01
Plt (× 10 ⁴)	r = 0.494	p < 0.05	10.4 ± 7.1	22.5 ± 7.7	p < 0.01
n = 20					

微量採血を採用する場合、なかなかメーカー指定のEDTA(Ethylene Di-amine Tetra-acetic Acid salt)を塗布したキャピラリの市販品入手は困難であり、多くはヘパリン抗凝固剤塗布キャピラリーによる採血をせざるを得ず、その場合は血小板数(PLT)計測値の信頼性に乏しい。

また経皮採血による血球計数値の正常値を静脈血採血検査値と直接厳密な相関を求める事はできないが、ヘパリン採血による血小板値は低く、血小板数以外の項目は臨床的に使用可能と判断した。

4) 具体的な疾患判断例としては、乳児重症細菌感染症(細菌性髄膜炎、重症肺炎、尿路感染症)のスクリーニングや、突発性発疹症およびMCLS(川崎病)などの急性熱性疾患の診断精度向上および鑑別診断などに有効であった。

CRP 定性検査を契機に発見された細菌性髄膜炎の1例(図2)、CRP及びWBC検査によってスクリーニングされた尿路感染症の6例(表3)、さらに、本検査を参考にして早期発見できたMCLSの5例(表4)を示す。

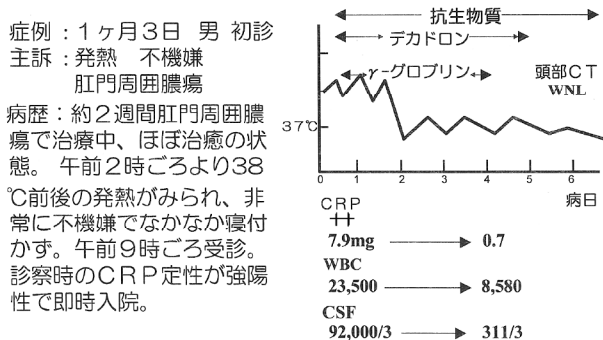


図2 細菌性髄膜炎の症状の経過
Progress of the symptoms of bacterial meningitis

表3 スクリーニングされた尿路感染症の6症例
Screened 6 cases of a urinary tract infection

症例	年齢	性	発熱期間	CRP(mg)	WBC(×10 ³)	入院	備考
1	1m22d	F	<1日	>10.0	22.5	+	水腎症
2	3m	M	<1日	5.8	10.7	+	
3	3m	F	<1日	+++ 5.8	22.8	+	
4	4m	M	<2日	+++ 5.2	11.3	+	片腎萎縮
5	5m	M	<2日	+++ 16.0	18.1	+	
6	6y	F	<1日	+++ 5.4	27.9	+	

表4 川崎病の検査所見と症状の頻度
Laboratory result abnormality and symptomatic frequency of Kawasaki Disease

症例	年齢	入院日	症状	CRP WBC	診察時の主要症状と頻度
1	7m	4	1. 2. 3 BCG部発赤	2.7 10.2	1 発熱 5/5
2	7m	4	1. 2. 4 BCG部発赤	>10 18.5	2 口唇、口腔所見 4/5
3	1y 6m	2	1. 2. 5	3.2 11.5	3 四肢末端の変化 2/5
4	2y 11m	3	1. 5 紹介時診断 頸部リンパ節炎	3.3 11.2	4 両側眼球結膜の充血 2/5
5	5y 1m	3	1. 2. 3 4. 6	5.1 10.8	5 非化膿性リンパ節腫脹 2/5
					6 不定型発疹 1/5

全ての検査施行者の結果を参考に、疾患におけるCRP及びWBCの変動態度をまとめてみると図3に

WBC	CRP	疾患
↑	→	細菌感染症初期, 脱水症, 白血病, 百日咳, ウイルス及び細菌感染の一部
↑	↑	細菌感染症極期, 川崎病「MCLS」
→	↘	細菌感染症快復期, ウイルス及び細菌感染の一部
↘	→	ウイルス感染

図3 WBC/CRPの変化と疾患
Changes in WBC/CRP and disease

示すように各種疾患の鑑別に有用であった。これはあくまで変動の傾向を、問診や他の臨床症状と比較して期待する異常程度との印象を示したものであり、実際は、疾病や病相、診断時の感染からの期間、加療の有無などにより多様である。

5) 細菌感染に伴うCRP・WBCの変動パターンを図4に概念図として示す。

感染初期のAポイントではWBCは増加するが、CRPの増加は軽度である。加療開始の直前Bポイントで極値に達し、治療開始後はまずWBCが先に減少し、CRPは短期間(約1日)増加した後減少に転じる。回復期のCポイントではWBCは正常化するがCRPに軽度の異常が残っている。典型的な変動を示した具

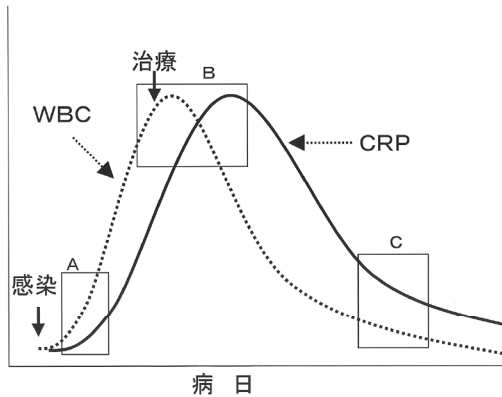


図4 細菌感染の発現と治療によるWBC/CRPの変化(概念図)
Change in WBC and CRP by manifestation and treatment of bacterial infection

体例として病初期より反復検査が可能であった急性細菌感染症の4症例におけるWBCとCRPの、治療経過と病日による変化を図5に示す。

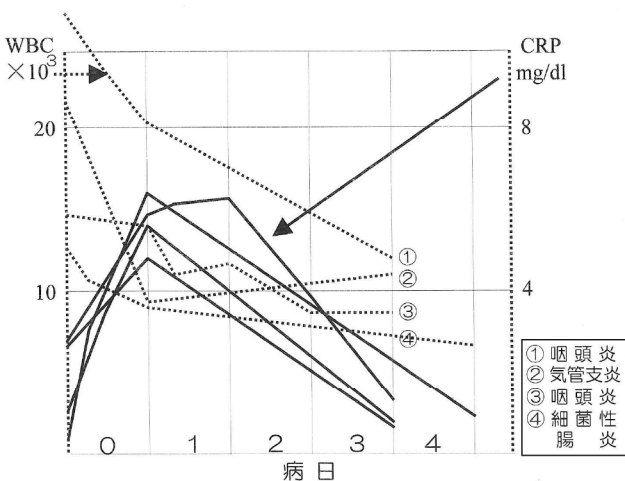


図5 急性細菌感染症の治療過程におけるWBCとCRPの変化
Change of WBC and CRP during treatment of acute bacterial infection.

このように、WBCとCRPの同時反復測定は感染の時期の特定、治療効果の早期判定、疾患の重症度の把握などに有効であった。

6) 病態把握と外来管理では、①細菌性腸炎の診断補助、②熱性けいれん時の細菌感染症合併診断、③下気道感染症およびインフルエンザ様疾患の管理などに有効であった。

7) 患児201例におけるCRP定量と定性の効果比較では、定量法の方が①炎症の程度評価と経過判定、②病状説明の説得力の点で優れていた(表5)。

8) 同一患児について検査導入により約45%の対象児に経済効果があった。効果の内容は、X-pを避けた(54%)、DIVを避けた(23%)、薬剤選択に効果(17%)などであった。経験した経済効果を図6に示す。

表5 CRP定量法と定性法の有効性の比較
Comparison of the effects of CRP quantitative and qualitative methods

	CRP定量	CRP定性
程度の判定	◎ >	△
経過の判定	◎ >	×
CBCとの併用	○ >	×
説明の説得力	◎ >	○
採血の容易さ	◎ =	◎
検査の迅速性	○ <	◎
検査の費用	○ <	◎

	例数
効果なし 判定項目 0	116
効果あり 判定項目 1	57
大きな効果あり 判定項目 2 以上	28



図6 WBCとCRPの同時反復測定導入の経済効果
Economic effect of installation of simultaneous repeated measurement of WBC and CRP

4. 考察

4.1 低痛性採血法及び迅速測定の効果

今回検討したマイクロレットを利用した指頭からの採血は、従来から行われている耳朶からの採血に比べ、以下の点で有利と考えられる。

- ① 採血時の患児の姿勢が母親の膝の上で安定しているので、安心感がある。
- ② 指頭部を固定する場合には患児が嫌がらない。一方、耳朶の場合は耳を触ったり、頭部を固定するのに嫌がる子供が多い。
- ③ 指頭では耳朶より安定した採血が可能。

一方、欠点としては、生後2-3ヶ月未満の乳児では、把握反射のために指頭部を固定し難くまた指先が採血にはあまりに小さい。したがって、この月齢では小指球部あるいは踵部から同様方法で穿刺して採血を行った。また、小学生以上になると指頭部は感覚が鋭敏になり痛みが増す(しかし検査は可能な程度の痛みと推測される)。この場合は耳朶を使用しても良いが、今回使用したマイクロレットでは穿刺の深さが十分ではないので他の採血機具を用いる方が良い。

LC270-CRPと指頭部よりの低痛性採血法によって、当院の検査施行タイミングの判断は大きく変化した。

従来は患児にはなるべく痛い思いをさせずに、臨床的経験のもとに必要な最低限の検査を選択していたが、本検査導入後は積極的に検査を施行し、検査結果を得て一歩進んだ病態把握のもとに医療判断を下せるようになった。

4.2 外来管理効果

本検査の外来管理効果としては、①スクリーニング効果、②診断および治療判断への効果、③病態は把握の3種類にまとめられる。

1) スクリーニング効果

スクリーニングあるいは早期診断に対する効果としては、症状が乏しく、進行の早い乳児重症細菌感染症において特に大きかった。尿路感染症の早期診断では、従来から用いられている検尿検査や尿培養は迅速性がないため本検査によるスクリーニングをまず行い、後に検尿検査で診断を確定する方法が有効であった。今回経験した細菌性髄膜炎、尿路感染症の多くは、発熱24時間以内に初診患者として受診しており、中には診察終了時刻間際や土曜日あるいは連休直前の受診など従来の外注検査では対応できない状況の症例も少なくなかった。このような重症細菌感染症に対するスクリーニング効果は小児患者にとって最も意義のある効果の一つといえる。

2) 診断・治療に対する効果

診断・治療に対する効果としては、例えばウイルス性疾患と細菌性疾患との鑑別に有用であった。その結果、炎症所見の程度の低い気管支炎などに対し余分なレントゲン検査施行や抗生物質の投与が減少する効果が認められた。川崎病では、診断基準合致以前の早期診断に効果的であった。

3) 病態把握効果

病態把握効果としては、特に細菌感染症における感染からの経過時期の把握と治療効果の判定に有用であった(図7)。これによって、タイミング良く適切な医療処置(レントゲン検査、DIV、入院判断など)を行うことが可能となった。

このような効果は従来の検査すなわちCRP定性あるいは定量検査や血液一般検査単独では不十分で、LC270-CRPと微量採血法によるCRP定量と血液一般検査の即時同時測定によってはじめて可能になったと言っても過言ではない。

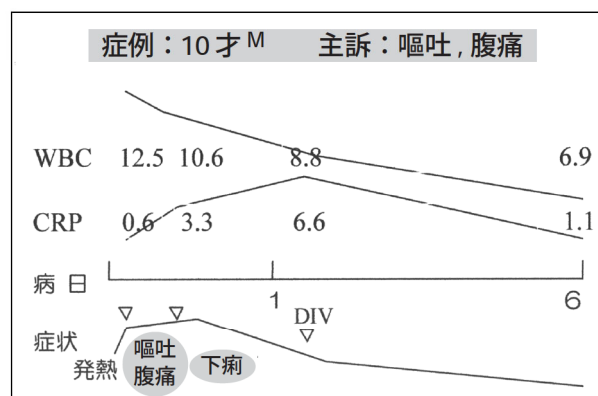


図7 細菌性腸炎の臨床経過と検査値

Clinical progress and final value for bacterial enteritis

4.3 CRP 定性検査と定量検査の比較

現在、最も手軽に外来で用いられている炎症把握の検査としてはCRP定性検査がある。本機器によるCRP定量検査実施時に、もし定性検査を選択すればどのような効果に差が生じ得るかを判定した結果が表3である。単一施設での検討でかつ対照を置いた比較ではないが、両者の効果比較の概略は把握できると思われる。

外来管理効果の面から見ると、CRP定性検査は、スクリーニング効果は可能であるが、診断・治療と病態把握に対する効果については不十分と考えられ、CRP定量検査が有利であることは疑いのないと思われる。

4.4 本機器導入による経済面への効果

表4は、当院単一施設での検討であるが、検査実施時に経済面の効果判定項目を4項目ほどとりあげ、該当した症例数を集計した結果である。レントゲン検査や抗生物質の使用頻度の減少などへの効果は医療費抑制などの時代の要請でもある。今後、多施設での検討がなされるべき重要な課題と考えられる。その際には、本機器による小児一般外来患者における検査結果と臨床効果の集積が貴重な資料となるであろう。

5. まとめ

LC-270CRPによる診察時のCRPおよびWBCの即時同時測定の効果をもとめると以下のごとく集約される。

- 1) 医療サイドでは医療判断・対処の迅速化と精度の向上が可能となる。
- 2) 患者サイドでは患者, 家族に重要な医療情報を与えその結果, 医療行為への理解と納得が得られる。
- 3) 医療および患者の両者に経済的効果が生じる。

このような効果によって, 医療および患者の両者の医療の技術と快適度が改善されることから, LC-270CRPが医療の質の向上という面にも貢献できるものと期待している。

尚, 本稿の結果の一部は第111回日本小児科学会徳島地方会(1998, 徳島), 第9回日本外来小児科学研究会(1999, 大阪)で発表済みであり後に原著として投稿の予定である。



鈴江純史

Junji SUZUE Med. Dr.

すずえこどもクリニック院長
医学博士

New Facility 施設紹介

ハイテクノロジーショールーム ホリバグループ アプリケーションセンター

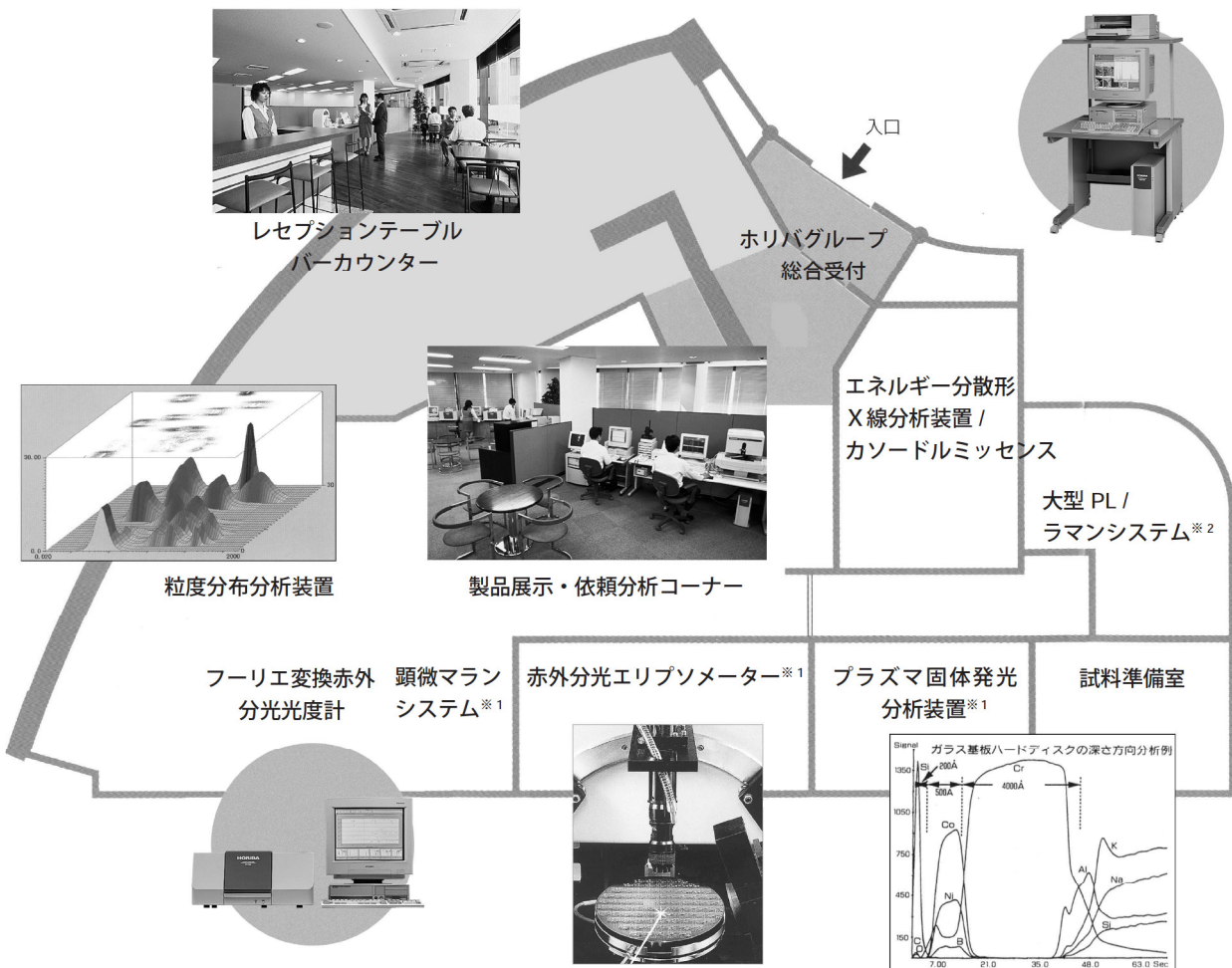
ホリバグループアプリケーションセンターは今年5月、愛宕物産(株)を含むホリバグループの東京オフィスへの集結に伴い、誕生しました。当センターはお客様のニーズを的確にキャッチし、オンデマンドに開発・改良された最新分析機器の展示、及びデモンストレーションを行っています。またお客様をはじめとするさまざまな人々が、自由に集まり最先端技術に触れ情報を交換できる多彩なコミュニケーション・スペースとしての大きな使命を担っています。

■ 最新のアプリケーション・ソリューション

当センターに設置されている分析機器は、実際の計測分析現場でのオペレーション水準とほぼ同様の作業環境を実現しています。ここではお客様からお預かりしたサンプルを依頼分析として受け付けているため、カタログのみでは判断しにくい分析機器の操作性やメンテナンスの簡便さ、正確さ、再現精度などについてお客様の試料にて実際に確認していただくことが可能です。

■ ニーズにお応えする充実した設備

お客様と交流を深めるために、当センター内にレセプションテーブル・バーカウンター等のアメニティ空間を設置。依頼分析以外の各種セミナーやご相談にもグループ各社のベテランスタッフが速やかに応じ、ソフト面の向上にも努めております。当センターが単なる分析機器の展示・デモンストレーションの場という枠を越え、ヒューマン・コミュニケーションの輪を広げる重要な役割



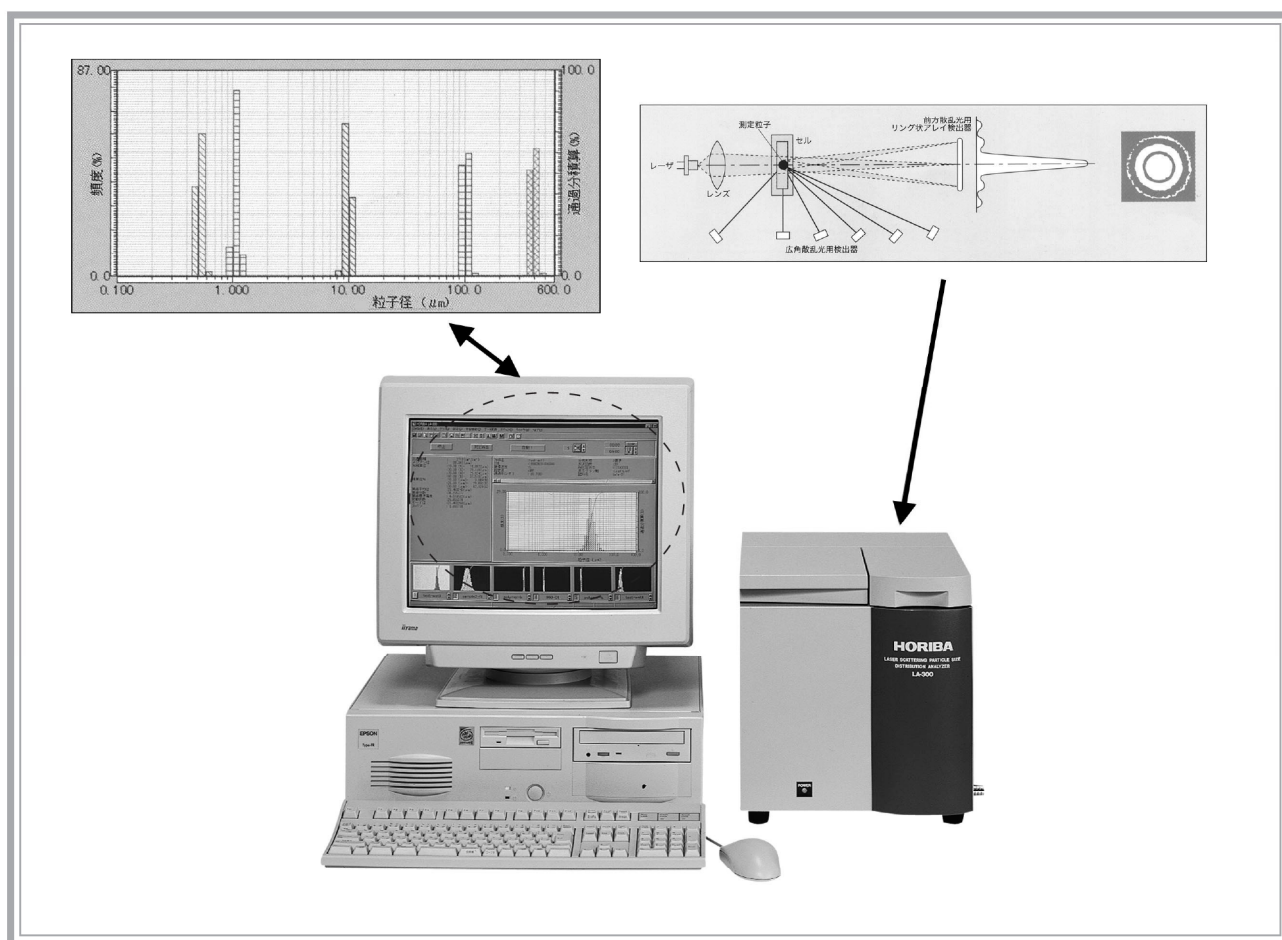
を果たしていることも大きな特徴です。
※1 PISA 製 愛宕物産(株)販売
※2 愛宕物産(株)製

Selected Article
一般論文

粒子径分布測定装置 LA-300

The LA-300 Particle Size Distribution Analyzer

東川 喜昭 黒住拓司



要旨

ホリバはこのほどレーザー回折／散乱式粒子径分布測定装置 LA-300 を製品化した。LA-300 は、高精度・高信頼性の粒子径分布装置として好評いただいている当社の LA シリーズの小型機種として開発された。本装置は、粒子径の測定範囲を市場からのニーズが最も多い $0.1 \sim 600 \mu\text{m}$ に合わせ、かつ、LA シリーズの高い性能を確保している。本稿では、小型で高いコストパフォーマンスを実現した主な技術課題を中心に、実測例を含めて紹介する。

Abstract

Horiba has developed the new LA-300, a compact particle size distribution analyzer for commercial applications. The instrument features the superior accuracy and reliability of the highly-regarded LA series of analyzers. This high-performance, versatile instrument can accurately measure particle sizes in a range of 0.1 to 600 microns. This paper describes the technical rationale for creating a compact, cost-efficient analyzer and provides an example of the analyzer's measurement performance.

1. はじめに

粒子径分布測定ニーズが拡大するのにもない、「より広い粒子径分布範囲を測定したい」、「より便利な機能を付けて欲しい」など、高度な粒子径分布測定装置に対する様々な要望がある。ホリバは、これまでに、各種のレーザ回折/散乱式粒子径分布測定装置LAシリーズを製品化し、これらの要望に応じてきた。一方、「短時間で測定できる」、「再現性が高い」「測定が簡単で、測定結果に個人差がない」など、レーザ回折/散乱式の優れた特長を生かしたまま、より小型で廉価な粒子径分布測定が欲しいとの要望もまた急激に増えている。

このたび、ホリバは、これらのご要望にお応えして、装置本体の設置面積がA-3サイズというコンパクトな設計のレーザ回折/散乱式粒子径分布測定装置LA-300を製品化した。

2. 測定原理

LA-300は、液体中の粒子にレーザ光を照射し、粒子により散乱されたレーザ光強度の角度分布(散乱パターン)から粒子径分布を求める、いわゆるレーザ回折/散乱式の測定原理に基づいている。

粒子にレーザ光を照射すると、レーザの波長より大きな粒子径の場合には、殆どがレーザ光の進行方向に散乱される(前方散乱)。一方、粒子径が波長と同程度または小さい場合には、レーザ光の進行方向に対して横方向(側方)や光源の方向(後方)への散乱光が増える(図1)。粒子径と散乱パターンはMie散乱理論に

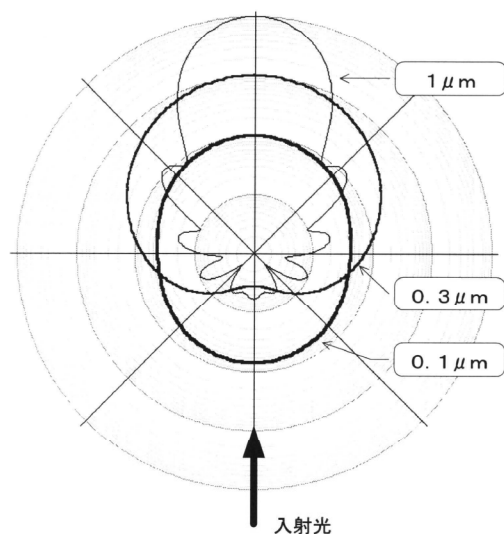


図1 粒子径と散乱光強度分布の関係
Relationship between particle size and scattered light intensity distribution.

より厳密に計算できる。いろいろな大きさの粒子が混ざった試料の場合には、各粒子径の散乱光が合成された形としての散乱パターンが検出される。この合成パターンを、あらかじめ求めておいた色々な粒子径の散乱パターンと検出された散乱パターンとを照合することにより、粒子径分布を求めることができる。

LA-300では、0.1～600 μm の粒子径範囲を一度に測定するために、前方散乱光を高い分解能で検出するリング状シリコンホトダイオードアレイ、および、側方や後方への散乱光を幅広く測定する6個のシリコンホトダイオードを使って、散乱パターンを高感度に検出している。

レーザ回折/散乱式を測定原理とするLA-300には次のような特長がある。

- (1)光路中を動いている粒子も測定できるため、測定途中で粒子が偏析しないように、試料液を攪拌したり循環させながら安定に測定することができる。
- (2)いちどに多数の粒子からの散乱光を測定し、また、同じ試料を繰り返し測定したデータを積算・演算するため、高い精度と再現性が得られる。
- (3)測定時間が短い。
- (4)粒子を非接触で測定するため測定後にサンプルの回収が可能である。

3. 設計のポイント

以下に、粒子径分布測定装置としての優れた基本機能を維持しながら、なおかつ、小型で廉価な装置を実現した主な設計ポイントを述べる。

LA-300は、試料を液体分散媒中に分散させ測定セルへ導くための「循環系」と、セル中の粒子にレーザを照射し散乱光を検出するための「光学系」とに大別される。図2にLA-300のシステム構成を示す。

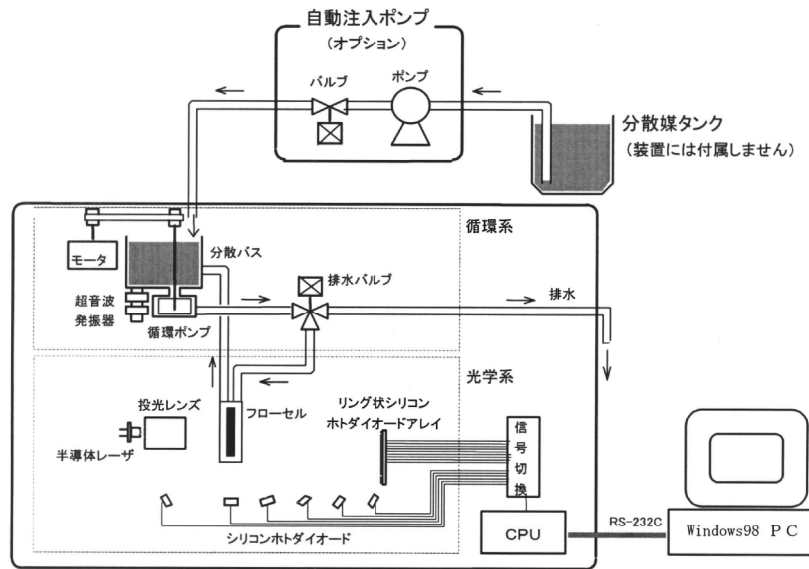


図2 LA-300の装置構成
System flow diagram of the LA-300 analyzer

3.1 循環系

試料粒子と分散媒はまず分散バスに投入される。このバスには超音波振動子を取り付けられており、凝集した粒子を分散させることができる。均一に分散されたサンプルは、循環ポンプにより、排水バルブ→フローセル(検出部)を通過した後、再び分散バスへ戻る。試料液は、測定後に排水バルブを排水側に切り替えることにより、装置外に排出される。

分散バスは、測定者が装置本体と最も多く接する部分であるため、測定作業性の良し悪しを左右する最も重要な構成要素である。LA-300では、「循環ポンプ」、「分散バス」、「超音波発振器」、「液面センサ」をひとつのユニット(図3)にまとめ、構造を工夫することにより、次のような効果がえられた。

- (1) 装置本体を小型化でき、設置スペースがA-3サイズと小さい。
- (2) 循環系全体の配管が短くすることにより、分散媒が少量ですむ。
- (3) 排水後の残液が少ないため、洗浄回数が少なく、洗浄液と時間が削減できる。
- (4) 大きな粒子の沈殿が押さえられ、偏析のない再現性の高い結果が得られる。
- (5) 分散バスの開口部が大きく、作業性が高い。

さらに、分散バス上部にフロート式の液面検知センサーを取り付けることによって、試料液中の粉体による詰まりがなく、安定に動作するように配慮されている。

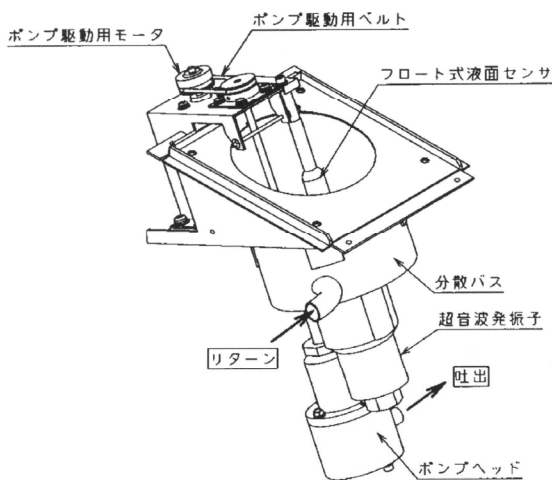


図3 分散バスユニット
Dispersion bath unit

3.2 光学系

半導体レーザーから発した光は、測定セル中の粒子により散乱され、36個の検出チャンネルを持ったリング状シリコンホトダイオードアレイと6個のシリコンホトダイオードにより検出される。得られた散乱パターンは、増幅、デジタル変換後、パソコンで粒子径分布を演算・表示される。

光源は波長650nmの半導体レーザーを使っている。レーザー光は投光レンズで収斂し、試料セルを照射後、散乱光を直接リング状シリコンホトダイオードアレイで効率よく検出する「逆フーリエ型光学系」を採用した(図4)。これにより小型化の障害となっていた大口径の集光レンズが削減でき、光学部品配置の自由度が増加するなど、光学系の大幅な小型化を実現した。

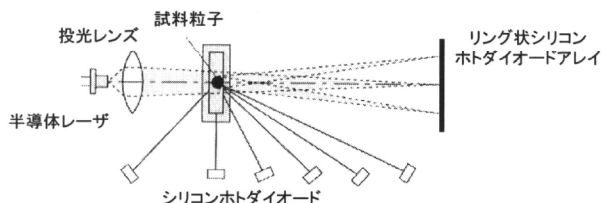


図4 LA-300の光学系
Optical system of the LA-300 analyzer

4. 信頼性の向上

高い信頼性がある測定結果を得るために、LA-300は次のような機能を備えている。

(1) ポリスチレンラテックス標準粒子による校正

本機はLAシリーズの他の機種と同様、米国国家標準技術局(NITS)まで遡って粒子径の精度を確認可能なポリスチレンラテックス(0.5 μ mおよび100 μ m)を用いて、トレーサビリティを確保している。ポリスチレンラテックスはよく粒子径のそろった球形の粒子で、各種粒子径のものが市販されている。

2)オートアライメント

レーザと検出器の光軸がずれると、散乱パターンを正確に捕らえられなかったり、ブランク値(粒子による散乱光以外の受光強度)が増加するなど、測定精度が悪化する。LA-300では、オートアライメント機構により、光軸を1 μ m程度の精度で制御することによって、高い測定精度を確保している。

(3) 測定状態のリアルタイム表示

粉体の分散中といった測定中でない状態でも、1秒ごとに透過率と簡易粒子径分布を画面に表示する。これにより、試料濃度や分散状況、気泡等異物の混入などが測定前に確認でき、測定ミスのない再現性の高い測定ができる。

(4) 強力な循環ポンプの採用

内蔵の遠心ポンプは小型ながらも最大5.5m³/minの大容量で、600 μ mの粗大粒子も十分に循環でき、偏析の発生を防止する。さらに、このポンプはローラポンプのようにチューブ交換の必要がなく、メンテナンスが楽である。

(5) 学習機能

操作手順を測定者自身が任意に設定でき、一連の操作を一つのボタンで実行させることができる。これにより、通常10回程度の操作手順が必要な場合でも2回の操作ですみ、操作ミスが防止できる。図5に学習機能を用いた自動測定の工程フローの一例を示す。もちろん、未知試料を測定する場合には、各因子を任意に手動で設定することもできる。

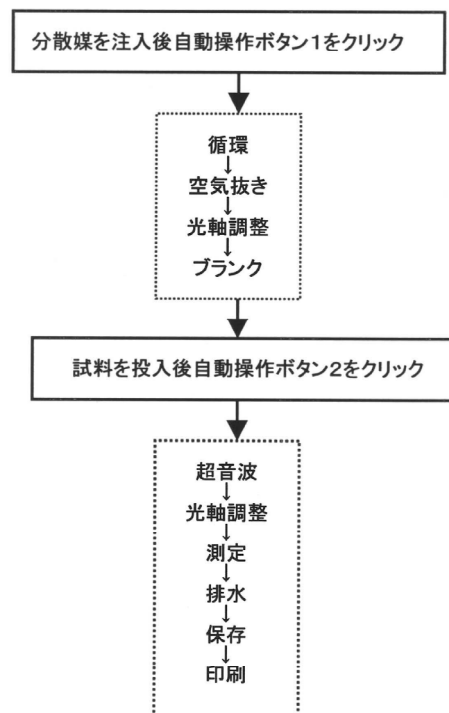


図5 学習機能を用いた自動測定の工程フロー例
Sequential flow of automatic measurement using the learning function

(6) 自動注入ポンプ

分散媒の自動供給および濃度の自動調整ができるオプションが用意されており、測定者への負担を軽減し、また、測定毎の試料濃度を一定に保つことによって測定の再現性が確保できる。LA-300の主な仕様を表1に示す。

表1 LA-300の主な仕様
LA-300 analyzer specifications

測定原理	Mie散乱理論
測定粒子径範囲	0.1~600 μ m
測定時間	通常約20秒(測定開始から結果表示まで)
測定必要試料量	10mg~5g(フローセル使用時約300 mlの分散媒、ただし試料により異なる)
光学系	光源 650nm半導体レーザー 検出器 リング状36分割シリコンフォトダイオードアレイ x 1 シリコンフォトダイオード x 6
試料循環系	超音波バス 15W 28kHz 遠心ポンプ、循環量5.5 l/分(水の場合)、15段階切替式 フローセルTempaxガラス
データ処理装置	Windows 98
外形寸法	296 (W) x 420 (D) x 320 (H) mm

5. 実測例

図6にLA-300を使って、いろいろな粒子径のポリスチレンラテックスを測定した実例を示す。この結果は、本装置の高い性能を裏付けている。

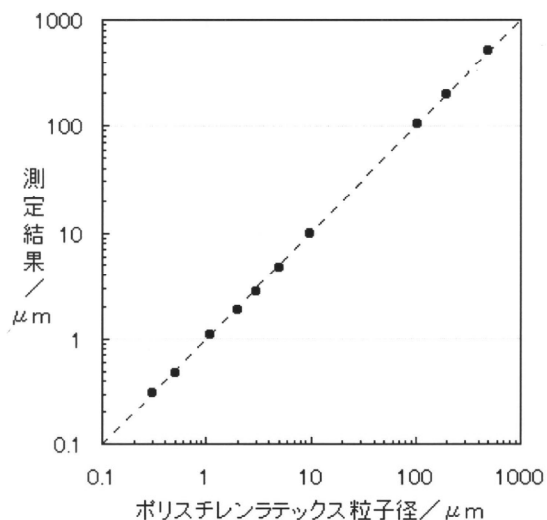


図6 ラテックス標準粒子の測定結果
Results from measuring standard latex particles

6. おわりに

以上に述べたように、LA-300は、上位機種と同レベルの精度と信頼性を確保しながら、小型化とローコスト化を実現した。より粒子径測定範囲が広いLAシリーズの上位機種とあわせ、用途に応じて機種を適時選択していただくことにより、様々の分野で粒子径分布装置で幅広くお使いいただける足がかりとなれば幸いである。

参考文献

- 1) 湯原欽公, 鈴木哲也, “レーザ回折/散乱式粒度分布測定装置LA-700”, Readout-HORIBA Technical Reports-, No.4, p 30-36(1992)
- 2) 湯原欽公, “乾式粒度分布測定装置 (LA-910, DPF)”, Readout-HORIBA Technical Reports-, No.8, p82-88(1994)
- 3) 高橋幹二著 “改訂 基礎エアロゾル工学”, 養賢堂(1982)



東川喜昭
Yoshiaki TOGAWA
科学計測開発部



黒住拓司
Takuji KUROSUMI
科学計測開発部

社外技術発表リスト

▶ 口頭発表

1999年1月～6月

標 題	氏 名	発表機関 (場所)	時 期
レーザー散乱/回折式粒径分布測定装置 LA-920 の LA 化におけるセキュリティシステムについて	池田英幸	日本粉体工業技術協会 計装測定分科会 (虎ノ門パストラル)	1999年1月28日
低真空 SEM での X 線分析	村瀬 潤	日本電子顕微鏡学会 医学・生物学 電子顕微鏡技術研究会 第 6 回走査電子顕微鏡実技講習会 (株)日製産業森の里テクノプラザ)	1999年1月29日
エンジン排気ガス計測法の基礎と動向	足立正之	機械学会基礎教育講習会-1:エンジンにおける実験・計測の基礎と応用 (工学院大学)	1999年2月4日
フーリエ変換赤外分光分析	横山政昭	第 56 回農林交流センター ワークショップ (農林水産省農林交流センター)	1999年2月18日
酸性雨情報 ホームページ「HONEST」の構築と運営	河内英司 永井 博 永友哲彰*1	第 11 回農業情報ネットワーク全国大会 (大宮ソニックシティ)	1999年2月27日
Numerical Analysis of Mass Emission Measurement for Law Emission Vehicle	井上 香 石原正昭 明石耕太郎 足立正之 石田耕三	Society & Automotive Engineer International Congress and Exposition (Cobo Hall Detroit U.S.A.)	1999年3月1日
New Concept of pH Measurement Using a pH Imaging Microscope Based on an Electrochemical-semiconductor Principle	S. Nomura M. Nakao T. Nakanishi S. Takamatsu K. Matsumoto K. Tomita	ピッツコン'99 (オーランドオレンジカウンティコンベンションセンター)	1998年3月8日
試料電解-水素化合物発生-ICP・AESによる鉄鋼中P,Sの迅速定量	植村 健 佐藤真樹*2 相本道宏*2	第 137 回日本鉄鋼協会春季講演大会 (東京工業大学)	1999年3月30日
クワ巨細胞に関する研究(第5報) X線分析によるCa及びSiの細胞内在性の検出	石川純代 森田洋二 新田育朗(他1名)*3	日本蚕糸学会第 69 回学術講演会 (信州大学)	1999年4月3日
エンジン排気ガス計測法の基礎と動向	長野隆史	技術情報協会 (東京大井町きゅりあん)	1999年4月22日
フッ化ジアミン銀溶液の根管壁への浸透と象牙細管の閉鎖に関する研究	村瀬 潤 横山恵以子(他4名)*4	第 110 回日本歯科保存学会春季学会 (奥羽大学)	1999年5月14日
フッ素徐放性修復材料による2次う蝕抑制効果の新しい評価法	吉光克弘 岡田 淳 二階堂徹*5 奥田真実子*5 ペレイラR(バトリア)*6 田上順次*5	第 110 回日本歯科保存学会春季学会 (奥羽大学)	1999年5月14日
SAW/GC (表面弾性波検出/ガスクロマトグラフィー)による有害大気汚染物質のリアルタイム測定	有田佳彦 広田 健(他2名)*6	第 60 回分析化学討論会 (弘前大学)	1999年5月15日
pH イメージングを用いた多孔質体内におけるプロトン拡散挙動の観察	野村 聡 高松修司 中尾 基 楊 延国(他2名)*7	第 60 回分析化学討論会 (弘前大学)	1999年5月16日
低真空走査顕微鏡による植物細胞の直接観察及びX線分析-受粉過程における乳頭細胞及び花粉での元素の変動-	森田洋二 岩野 恵(他3名)*8	電子顕微鏡学会 (名古屋大学)	1999年5月17日
水素炎イオン化検出器を用いた粒子状物質の測定	福島宏和 井内 穰 浅野一朗 中村成男	自動車技術会 (パシフィコ横浜)	1999年5月19日
Automotive Catalyst Development using FTIR Spectroscopy and Mass Spectrometry	David Gregory*9 Steven Brett*9 Devid Ketcher*9 Robert Marshall*9 Masayuki Adachi	自動車技術会 (パシフィコ横浜)	1999年5月20日
X線分析顕微鏡による分析深さの評価	万木利和 石川純代 吉光克弘	第 55 回日本電子顕微鏡学会 (名古屋国際センター)	1999年5月21日
液晶品位検査装置技術報告及び今後の展開	片西章浩	セミコン関西技術講演 (インテックス大阪)	1999年6月3日

注 *1(株)ダイナディクト・システム *2新日本製鉄(株) *3京都市芸織維大学 *4昭和大学歯学部 *5東京医科歯科大学 *6パブコック日立(株) 環境研究部
*7東北大学大学院 *8奈良先端大学院大学 *9Ford Motor Co.,

▶ 文書発表

1999年1月～6月

標 題	氏 名	発表書誌名
酸性雨情報ホームページ「HONEST」の構築と運営	河内英司 永井 博 永友哲彰 *1	第11回農業情報ネットワーク全国大会大会要旨集「農業情報研究」誌
計測とそのシステム化の現状と将来	石田耕三	自動車技術 Vol.53, No.3, p4-9
高度化する超低エミッション車測定技術の進展	井上 香 足上正之	自動車技術 Vol.53, No.3, p10-15
自動車から排出されるCO ₂ の測定について	武田賢二	自動車技術 Vol.53, No.3, p61-62
試料電解-水素化物発生-ICP・AESによる鉄鋼中P,Sの迅速定量	植村 健 佐藤真樹 *2 相本道宏 *2	材料とプロセス Vol.12, p611～
事例紹介「職場活性化」	宇野敏彦 堀井良雄	IEレビュー 201号
SAW/GC (表面弾性波検出/ガスクロマトグラフィー) による有害大気汚染物質のリアルタイム測定	有田佳彦 広田 健(他2名)*3	第60回 分析化学討論会講演要旨集
「おもしろおかしく」で職場活性化	宇野敏彦 堀井良雄	IEレビュー 210号 p24-30
13項目同時測定を可能にしたマルチ水質モニタリングシステム	森 健	計装 Vol.42, No.6, p62-65
分析機器メーカーにおける分析技術	池田昌彦	龍谷理工ジャーナル 11 巻 1号 p5-12
チャートで見る高分子・高分子添加剤の分析	池田昌彦 内原 博 貝沼和敏 *4	技術情報協会(単行本)

注 *1(株)ダイナディクト・システム *2新日本製鉄(株) *3バブコック日立(株)環境研究部 *4愛宕物産(株)

ガス分析計などのサンプリングポンプ

[登録番号] 実用新案第 2542402 号 [考案者] 藤原雅彦 藤田 勲 今木隆雄

[分野・目的]

気体または液体の各種の成分を測定する分析計に対して、電磁体に交流電源を接続し、電磁体による振動体の吸引とその解放の反復によりダイアフラムを振動させて、流入部から流入させた流体を流出部から送出しサンプル用のガスまたは液体を供給するためのサンプリングポンプに関する。

流体の流量調節が可能であるとともに、ダイアフラム部の交換を容易に効率よくかつ低コストで行うことができるガス分析計などのサンプリングポンプを得ることを目的とする。

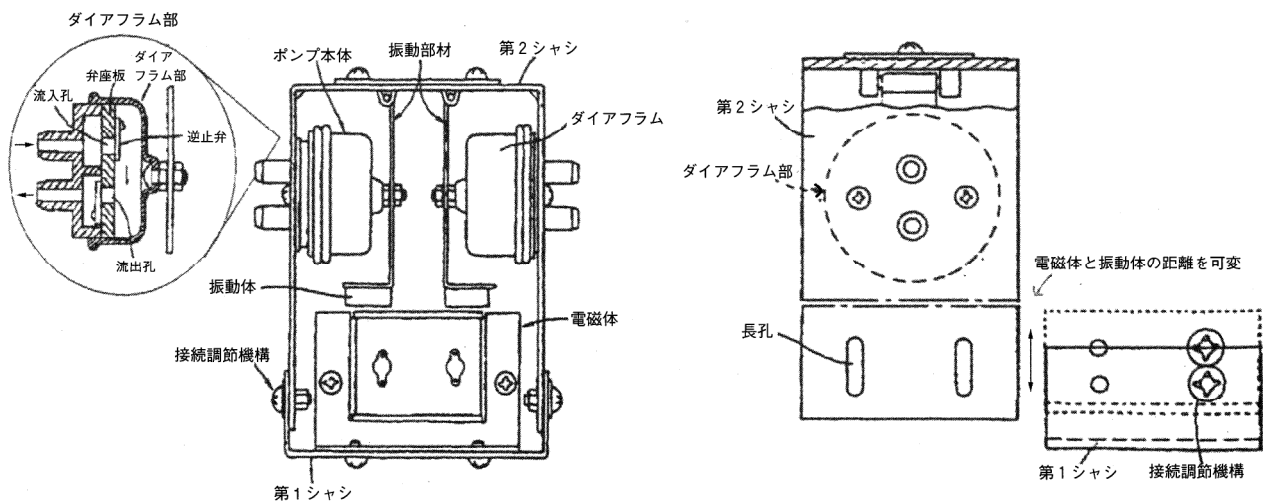
[概要]

第1シャシと第2シャシの接続部を調整して、磁石部と振動体との間隔を可変にし、もって磁石部、振動体間の磁力を連続的な無段階調整可能な構成とする。ダイアフラム部で流動させる流体の量を所定の範囲で任意に調節することができる。

[効果]

従来は振動体に作用させる電磁体の磁力を調整することが、ダイアフラム部で流動させる流体の量を調節することはできないものであった。また、ダイアフラム部を交換することが必要になる場合等は、多くの手間を要し、交換作業に熟練を要する。さらに、電磁体自体を交換するとコストが高くなる問題があった。本考案により、第2シャシ全体の交換のみでポンプの保守ができ、ダイアフラム部で流動させる流体の量を所定の範囲で任意に調節することができる。

また、第1シャシと第2シャシは、互いに分離することも可能であるから、ダイアフラム部と振動部材とを分離する場合の作業性がよくなり、容易にかつ効率よく低コストで交換作業を行うことができる。



HORIBA World-Wide Network

JAPAN

HORIBA Ltd.

Head Office

2 Miyano Higashi-cho, Kisshoin, Minami-ku, Kyoto 601-8510, Japan
Phone:81(75)313-8121 Fax:81(75)321-8312

STEC Inc.

Head Office

11-5 Hokodate-cho, Kamitoba, Minami-ku, Kyoto 601-8116, Japan
Phone:81(75)693-2300 Fax:81(75)693-2331

COS Co.,Ltd

Head Office

18 Maegawara-cho, Kisshoin, Minami-ku, Kyoto 601-8304, Japan
Phone:81(75)321-7184 Fax:81(75)321-7291

S.G. Instruments Co.,Ltd

Higashikanda Daiji-Bilg., 7-8 1-chome Higashikanda, Chiyoda-ku, Tokyo 101-0031, Japan
Phone:81(3)3866-0984 Fax:81(3)3459-6230

ATAGO BUSSAN Co.,Ltd

Sanyei Building 23-7, 5-chome, Shimbashi, Minato-ku, Tokyo, 105-0004, Japan
Phone:81(3)3432-8741 Fax:81(3)3459-6230

ASEC Inc.*

2 Miyano Higashi-cho, Kisshoin, Minami-ku, Kyoto, 601-8510, Japan
Phone:81(75)315-2881 Fax:81(75)321-6621

Chiyada Assy. Inc.*

55-3 Higashinokuchi-cho, Kamikatsura, Nishikyoku, Kyoto, 615-8221, Japan
Phone:81(75)394-5959 Fax:81(75)394-5963

MEC Co.,Ltd.*

5-F Sairaize Building 2-5-10, 2-chome Iwamoto-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 101-0032, Japan
Phone:81(3)3866-8090 Fax:81(3)3866-5041

(*:Affiliate Company)

U.S.A

HORIBA INTERNATIONAL CORPORATION

17671 Armstrong Avenue, Irvine, California, 92614, U.S.A.
Phone:(1)949-250-4811 Fax:(1)949-250-0924

HORIBA INSTRUMENTS INCORPORATED

Irvine Facility

17671 Armstrong Avenue, Irvine, California, 92614, U.S.A.
Phone:(1)949-250-4811 Fax:(1)949-250-0924

Ann Arbor Facility

5900 Hines Drive, Ann Arbor, Michigan 48108, U.S.A.
Phone:(1)313-213-6555 Fax:(1)313-213-6525

HORIBA/STEC INCORPORATED

Sunnyvale Office

1080 E. Duane Ave. Suite A, Sunnyvale, California, 94086, U.S.A.
Phone:(1)408-730-4772 Fax:(1)408-730-8975

Austin Office

9701 Dessau Road, Suite 605, Austin, Texas, 78754, U.S.A.
Phone:(1)512-836-9560 Fax:(1)512-836-8054

ABX Inc.

34 Bunsen Drive, Irvine, California, 92618, U.S.A.
Phone:(1)949-453-0500 Fax:(1)949-453-0600

Instruments S. A., Inc.

3880 Park Avenue, Edison, NJ 08820-3012, U.S.A.
Phone:(1)732-494-8660 Fax:(1)732-549-5125

BRAZIL

ABX BRAZIL

Americo Brasiliense, 2414 Chacara Santo Antonio, 04715-005 San Paulo-SP Brazil
Phone:(55)1151816040 Fax:(55)1151816040

GERMANY

HORIBA EUROPE GmbH

Head Office

Hauptstrasse 108, D-65843 Sulzbach/Ts., Germany
Phone:(49)6196-6718-0 Fax:(49)6196-6411-98

Leichlingen Facility

Julius-Kronenberg-Strasse 9, D-42799 Leichlingen, Germany
Phone:(49)2175-8978-0 Fax:(49)2175-8978-50

HORIBA EUROPE AUTOMATION DIVISION GmbH

Zabergaeustr. 3, 73765 Neuhausen, Germany
Phone:(49)7158-933-300 Fax:(49)7158-933-399

FRANCE

HORIBA FRANCE

Rue L. et A. Lumière Technoparc, F-01630 St-Genis-Pouilly, France
Phone:(33)4-50-42-27-63 Fax:(33)4-50-42-07-74

ABX S. A.

Parc Euromédecine, rue du Caducée, 34184 Montpellier Cedex 4, France
Phone:(33)4-67-14-15-16 Fax:(33)4-67-14-15-17

INSTRUMENTS S. A.

Head Office

16-18, rue du Canal, 91165 Longjumeau Cedex, France
Phone:(33)1-64-54-13-00 Fax:(33)1-69-09-93-19, (33)1-69-09-07-21

Sofie Division

7, Route D'Egly-91290 Arpajon, France
Phone:(33)1-64-90-93-65 Fax:(33)1-60-83-91-83

DILOR

244ter, rue des Bois Blancs 59000 Lille-France
Phone:(33)20-08-12-20 Fax:(33)20-08-12-28

AUSTRIA

HORIBA (AUSTRIA) GmbH

Kaplanstrasse 5, A-3430 Tulln, Austria
Phone:(43)2272-65225 Fax:(43)2272-65230

CZECHO

HORIBA CZECHO

Obchodni zastoupeni Praha, Petrohradská 13, 10100 Praha 10, Czecho
Phone:(42)2-717-47064 Fax:(42)2-717-47064

SWEDEN

HORIBA SWEDEN

Hertig Carlsväg 55-57, S-15138 Södertälje, Sweden
Phone:(46)8-550-80701 Fax:(46)8-550-80567

U. K.

HORIBA INSTRUMENTS LIMITED

Kyoto Close, Summerhouse Road, Moulton Park, Northampton, NN3 6FL, England
Phone:(44)1604-542500 Fax:(44)1604-542699

KOREA

HORIBA KOREA Ltd.

Pucheon Facility

12-1 Todang-Dong, Wonmi-ku, Pucheon, Kyonggi-do, Korea
Phone:(82)32-675-8201 ~ 8204 Fax:(82)32-675-8205

Seoul Office

112-6 Sogong-Dong, Choong-ku, Seoul, Korea
Phone:(82)2-753-7911, 7912 Fax:(82)2-756-4972

STEC KOREA Ltd.

Apt Type Factory (RA-604)

151, Yatap-Dong, Bundang-ku, Sungnam-City, Kyungki-Do, Korea
Phone:(82)342-701-8164 Fax:(82)342-701-8166

KOREA ATAGO SPECTROSCOPY Co.,Ltd

Korea Bldg. 44-12, Yoido-Dong, Yeongdungpo-ku, Seoul, Korea
Phone:(82)2784-0056 Fax:(82)2784-2019

SINGAPORE

HORIBA INSTRUMENTS (SINGAPORE) PTE Ltd.

31, Kaki Bukit Road 3, #06-12 Techlink, Singapore 417818
Phone:(65)745-8300 Fax:(65)745-8155

CHINA

HORIBA Ltd. BEIJING REPRESENTATIVE OFFICE

Room No.410, No.33 Cheng Fang Street, Xicheng District, Beijing, China, 100032
Phone:(86)10-66077630 Fax:(86)10-66077554

Readout

<Readout 編集委員会>

委員長 石田 耕三
副編集委員長 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
Tel:075-313-8121 Fax:075-321-5648

HORIBA Technical Reports

September 1999 No.19

発行日: 1999年9月6日
編集・発行人: 石田 耕三
発行元: 株式会社 堀場製作所
〒601-8510 京都市南区吉祥院宮の東町2番地
<http://gaiapress.horiba.co.jp/readout/index.htm>

HORIBA