

Readout

HORIBA Technical Reports

特集 高機能分析

March 1999 ■ No.19

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

浅野一郎
Ichiro ASANO

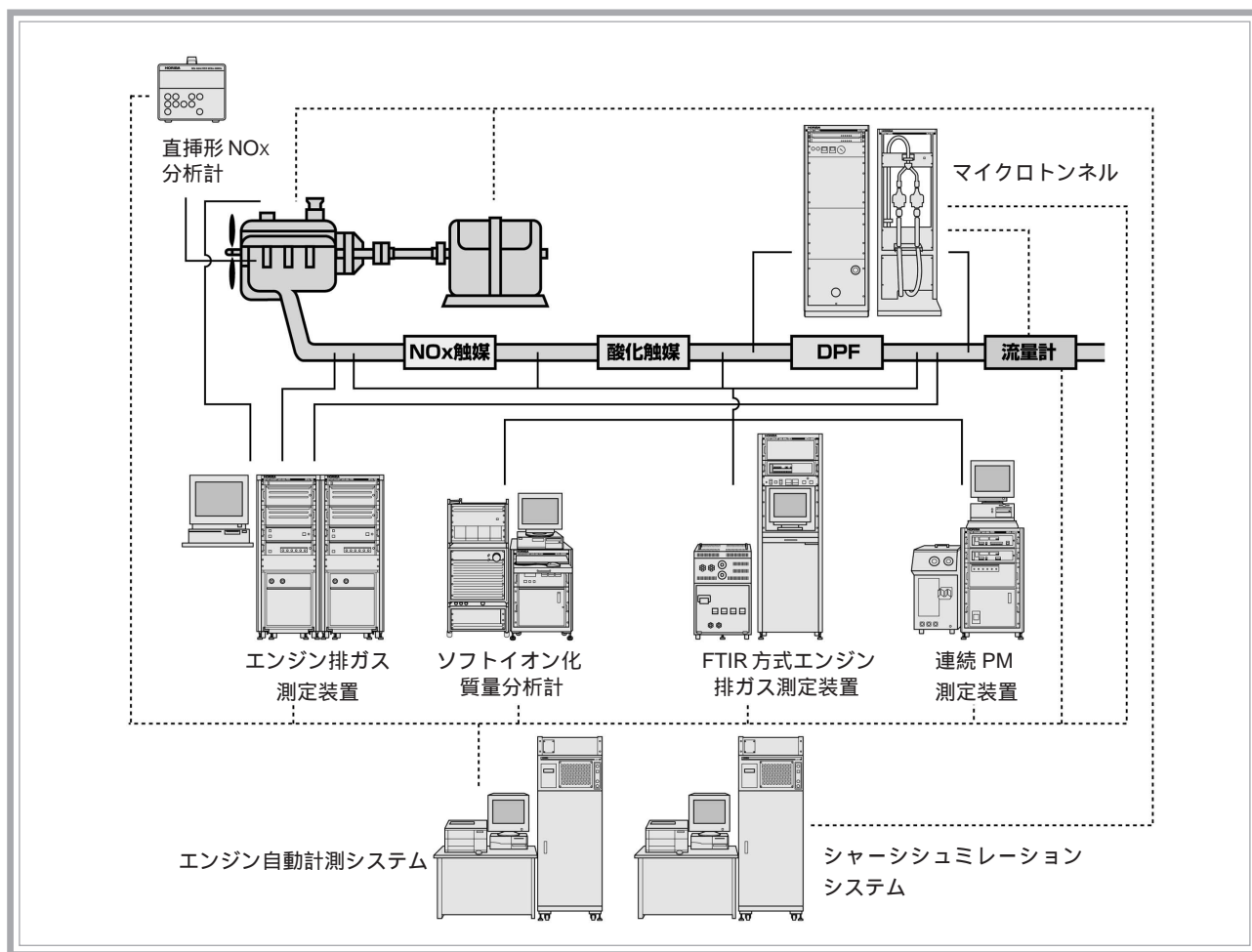
(Page35-39)

株式会社 堀場製作所

Feature Article
特集論文

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た。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。

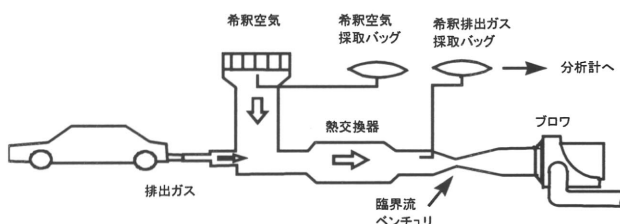


図1 CVS装置の構成例
Configuration of the CVS

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。

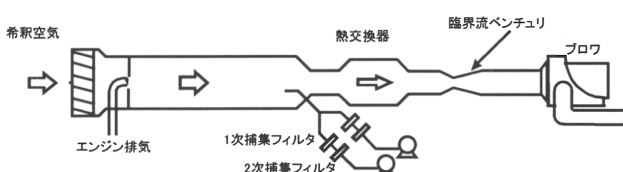


図2 全量希釈トンネルの構成
Configuration of the full - flow dilution tunnel

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倍以上が必要なため、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。

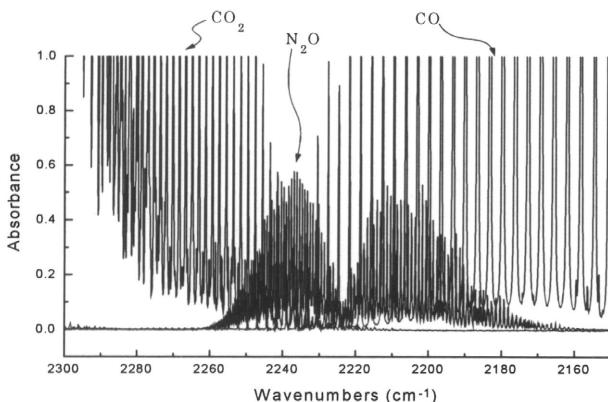


図3 CO、CO₂ および N₂O の赤外線吸収スペクトル⁽⁵⁾
Infrared absorption spectra for CO, CO₂ and N₂O

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。

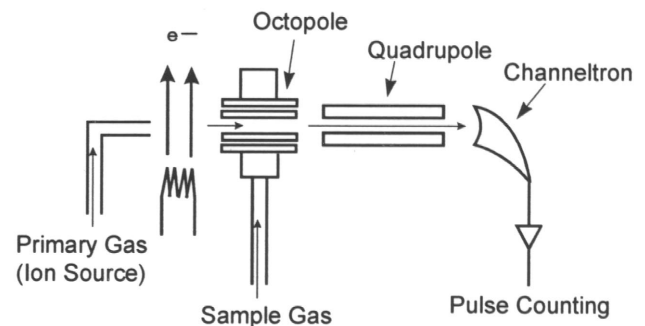


図4. ソフトイオン化質量分析計の概念図⁽⁶⁾
Schematic of the soft-ionization mass spectrometer

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. Engeljehringer, 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 Response Emission Measurement", SAE Technical Paper No. 980046.



浅野 一朗
Ichiro ASANO

エンジン計測開発部
シニアマネージャー

