

ホリバにおける PM 計測機器の開発

Development of PM Measurement at Horiba

中村 成男

要旨

ディーゼルエンジンから排出される粒子状物質 (PM) の削減に向けた研究開発が精力的に進められている。これらの開発現場からは、より正確で連続的な PM 計測技術が求められている。ホリバは、20 年以上にわたり PM 計測装置の開発、製品化に取り組んでいる。本稿では、各種の PM 計測技術をレビューし、マイクロトンネルや気化・熱分解、酸化還元法を使った PM 測定装置など、最新の PM 計測装置を紹介する。

Abstract

The reduction of the particulate matter (PM) is strongly demanded in the engine development field. This development requires more accurate and continuous PM measurement. HORIBA has been developing products and encouraging the technology of PM measurement for over 20 years. This paper reviews the various types of PM measuring technology and introduces the latest PM measuring instrument such as the micro-tunnel and devices using the method of oxidization reduction via vaporizing/thermal decomposition. This paper reviews the various types of PM measuring technology and introduces the latest PM measuring instrument such as the micro-tunnel and devices using the method of oxidization reduction via vaporizing/thermal decomposition.

1 はじめに

ディーゼルエンジンは熱効率の良さから地球温暖化を防止すると注目されている。その一方で、排ガスに含まれる粒子状物質 (PM : Particulate Matter) が問題となっている。エンジンの改良を進めるためには、まず PM の排出量を正しく計測することが必要である。現在、公的に規定されている排ガス測定法では、PM をフィルタに捕集して天秤で計測することになっている¹⁾。しかし、この計測方法は発生する PM をダイナミックに捉えることができないため、エンジンの研究開発に対して、必ずしも多くの知見を与えてくれる方法ではない。

そこでホリバは、連続的でより多くの情報が得られる各種の PM 計測方法を求め、20 年以上の試行錯誤を積み重ねてきた。発生機構も組成も複雑であるという PM 計測特有の難しさにぶつかりながらも、お客様のお役に立つ製品に育ってきたと自負している。

2 PM の生成

ディーゼルエンジンからはガス状物質のほか、超微小粒子が鎖状、あるいは塊状に集合した微粒子が排出される。この粒子状物質が PM と呼ばれ、すす (soot)、可溶性有機成分 (SOF: Soluble Organic Fraction)、サルフェート (sulfate) の 3 種類の区分にされている。

soot は燃料が高温下で不完全燃焼することにより発生し、炭素が主成分である。SOF は燃料やオイルの燃え残り、有機溶媒に溶ける成分を指す。sulfate は燃料中の硫黄が燃焼反応により、硫酸や硫酸塩を形成したものである。

3 希釈サンプリング装置

3.1 フルトンネル

現在の公定PM測定法では、排ガスを清浄な空気を流した希釈トンネルで52°C以下になるよう希釈・冷却後、その一部をフィルタでPMを採取する。PM捕集したフィルタは、約25°C・相対湿度50%の雰囲気中に1時間以上保ち安定化した後、天秤で質量を測定する。PM質量は、捕集前後のフィルタの質量差とフィルタに流したサンプルの割合から算出される。

図1に全量希釈装置(フルトンネル)の構成を示す。

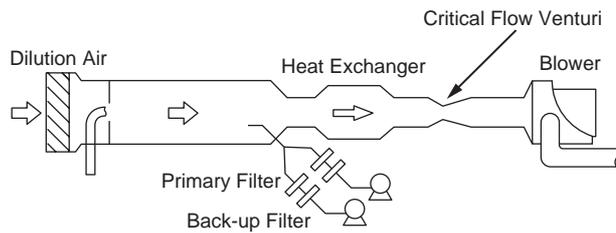


図1 全量希釈サンプリング装置

3.2 ミニトンネルとマイクロトンネル

フルトンネルで大型エンジンを試験する場合には、大量の排ガス温度を52°C以下に冷却する必要からトンネルが巨大なものになってしまう。

そこで、排ガスを1/10 ~ 1/100に分割してからトンネルに導こうとのアイデアから、より小型のミニトンネルが開発された。さらに、排ガスを一端分割してから捕集するのではなく、全排ガスの1/5000程度を直接採取すればいいのではないかと考え、より小型化したマイクロトンネルが考案された。

これらの新しい方式を導入するためには、公定法であるフルトンネルとの相関をどう確保するかが重要になる。このために、ホリバは膨大な実験・検証を繰り返し、部分希釈サンプリング装置マイクロトンネルMDLTシリーズ²⁾を開発した。図2にマイクロトンネルを使ったPMサンプリングシステムを示す。

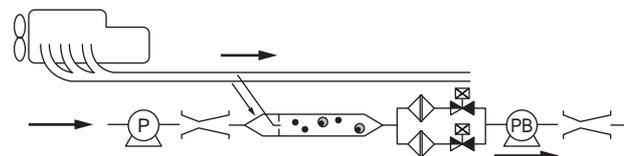


図2 マイクロトンネルPMサンプリングシステム

4 PM計測法開発の経緯

公定法ではPMをフィルタで捕集し、SOF, soot, sulfateすべてを含めたPM総重量を求める。このため、走行時の排出状態をリアルタイムに計測できず、また、設備が大がかりとなり高価なものになってしまう。

ホリバは、排ガス計測機器のメーカーとして、これらの課題を解決したいと願い、20年以上前からさまざまなPM計測装置の研究開発を試みてきた。

4.1 光音響法

最初に、光音響法(PAS: Photo Acoustic Spectrometric)の開発に取り組んだ³⁾。

PAS法によるPM連続測定装置のフローを図3に示す。排ガスを2つに分岐し、一方はフィルタでPMを除去後測定セルに、もう一方は直接測定セルにそれぞれ導く。測定セルをCO₂レーザー光で照射すると、PMがレーザー光を吸収・共鳴して音波を発生する。2つのセルの音波の強度差と排ガス流量とを演算すると、PMの質量濃度が連続的に得られる。

本方式は、応答の速いPM連続測定法として注目されたが、フィルタ法との相関性やレーザーの安定化などが課題となった。

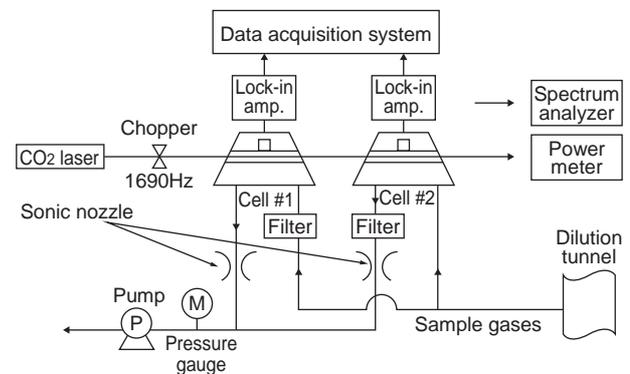


図3 光音響法によるPM連続測定

4.2 導電率法

導電率法 (EDM:Electron Diffusibility Measurement) は、sootの導電率が高いことを利用してsootを選択的に連続測定する方法である。図4にEDMの測定原理を示す。

本方式は装置が簡単になるという利点はあるが、sootだけを選択的に検出するため、フィルタ法との相関関係はとりにくい。

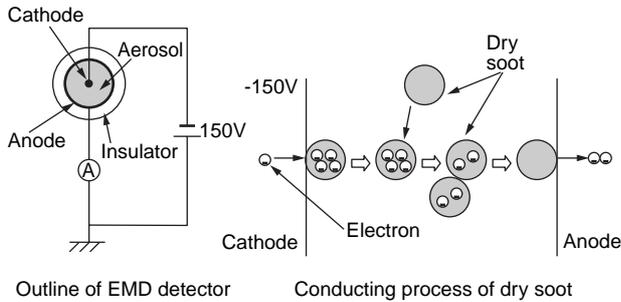


図4 EDM法の測定原理

4.3 フィルタ燃焼法⁴⁾

ボッシュ式の吸引器を使ってテールパイプから直接排ガスを採取する、バッチ式のPM測定法である。石英フィルタを取り付けたボッシュポンプで一定体積の排ガスを吸引し、フィルタに付着したPMを完全燃焼させ、発生するCO₂濃度よりPMの質量を算出する。図5に本測定法の構成を示す。トンネル法と相関性は高いが、連続測定は難しい。

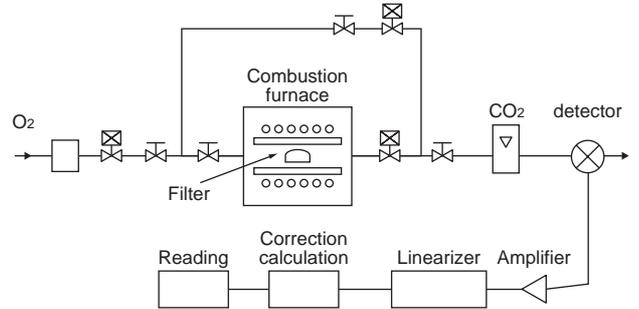


図5 フィルタ燃焼法

4.4 CO₂差量法

「とにかく、PMを連続的に測りたいんだ」との強いニーズを受けて考えだされた手法である。図6にCO₂差量法の測定原理を示す。

PAS法と同様、サンプルガスを2分割し、一方はPMを取り除いた後で、もう一方はそのまま燃焼炉に送る。後者の中のPM成分は完全燃焼してCO₂、H₂OおよびSO₂を発生するが、前者は変化しない。この差分がPMとなる。また、CO₂、H₂O、SO₂それぞれ濃度を測定・演算すれば、soot、SOF、sulfateおよびトータルPMがそれぞれ連続的に測定できる。本方式は、PMの連続測定には大変有効ではあるが、高感度化が課題である。

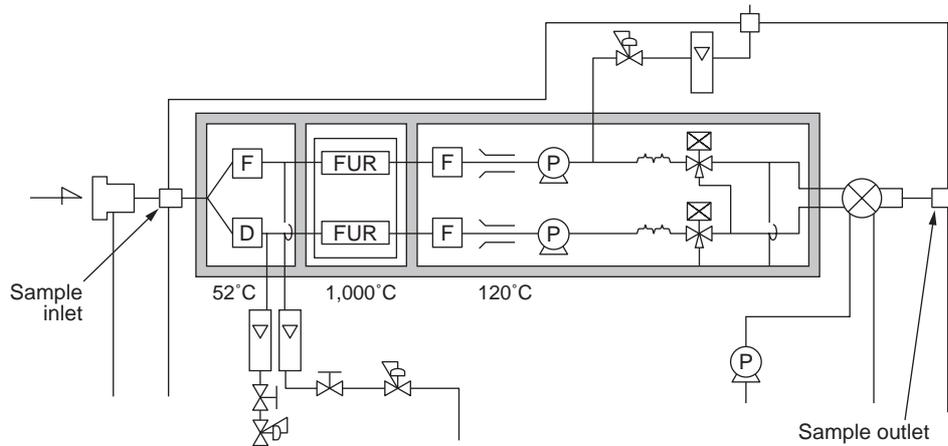


図6 CO₂差量法

4.5 ロールフィルタ法

本法は、ロール式の細長いフィルタ上にPMを捕集し、適当なソークを経てレーザにより燃焼させ、発生したCO₂ガス濃度からPMを連続的に測定する手法である(図7)。

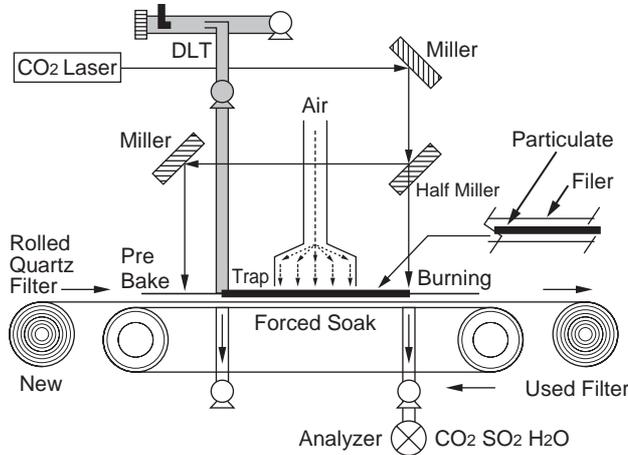


図7 ロールフィルタ法

5 リアルタイム性と高相関性の二分化

これらの野心的な試みは、市場環境の変化もあり、必ずしもすべてが成功したわけではないが、その後のPM計測機器の研究開発に貴重な指針を提供してくれた。ホリバは、リアルタイム性を徹底的に追求したFID法と、相関性の高さを主体とした酸化還元法の2手法に絞って開発すべきであるとの判断に達し、新たなPM計測装置を製品化した。

5.1 FID法

水素炎イオン化法(FID:Flame Ionization Detection)は、排ガスを水素炎で燃焼し、生成するイオン電流によりPM量をはかる方法で、sootとSOFそれぞれを連続的に測定できる。

図8に本測定法のガスフローおよびディーゼルエンジンの排ガスを実測したときの検出器の出力信号を示す。

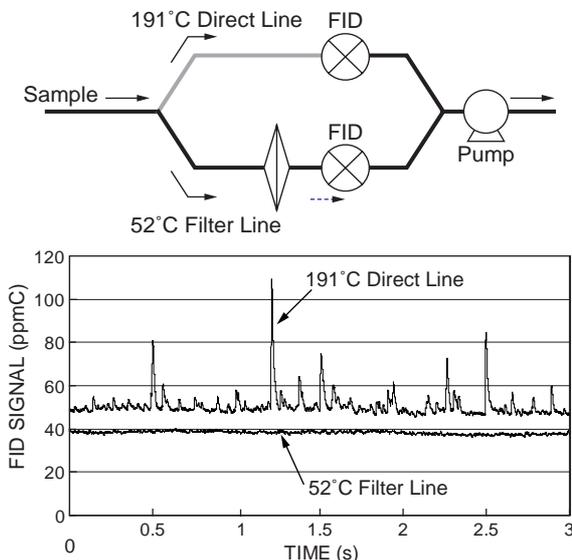


図8 FID法のサンプリングフローと検出器の出力信号

排ガスは191°Cと52°Cに温度調節された2つのサンプルラインへ分岐される。52°Cラインでは、排ガス中の固体成分がフィルタにより除去されて気体成分のみがFIDへ導かれる。一方、191°Cのラインでは直接FIDへ導かれる。

191°Cラインの出力にはパルス状の信号が含まれている。これは炭素粒子起因するもので、sootの濃度に比例する。一方、191°Cラインと52°Cラインの間で気化される炭化水素成分、つまり両ラインの出力差がSOFの濃度に相当する。なお、各種のエンジン排ガスをフィルタ法とFID法で計測して、濃度目もりを校正している。

図9にディーゼル車をシャシダイナモ上で走行させたときのPMの連続測定結果を示す。soot, SOFとも車速に応じて排出量に変化しているのがわかる。

FID法を使った連続PM測定装置MEXA-1220PMは、エンジンの研究開発に欠かせないデータを短時間かつ容易に収集できると好評いただいている。MEXA-1220PMの詳細は本誌のバックナンバー⁵⁾を参照いただきたい。

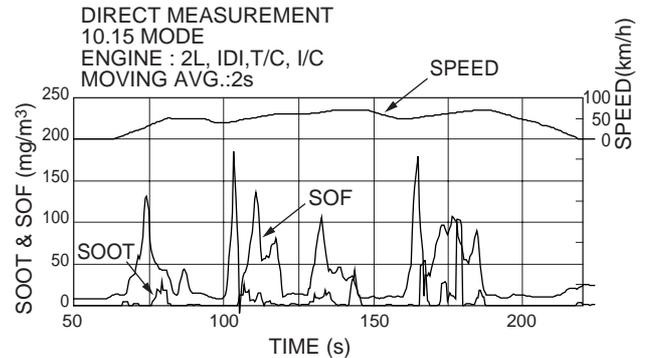


図9 FID法によるディーゼル車のPM排出量の測定

5.2 気化・熱分解、酸化還元法によるPM測定

ディーゼルエンジンの研究開発が進むに従い、より微量のPMを計測したいとのニーズが急増している。

本法はフィルタ法を基本としているが、非分散形赤外線ガス分析技術を応用して、0.2μgの超微量のPM測定を実現した。詳細は本誌の別稿(超微量PM分析装置MEXA-1370PM)に紹介しており、soot, SOF sulfate それぞれを個別にはかることができる。

本法とフィルタ重量法との実車測定結果の比較を図10に示すが、微量域でも高い相関関係が認められる。

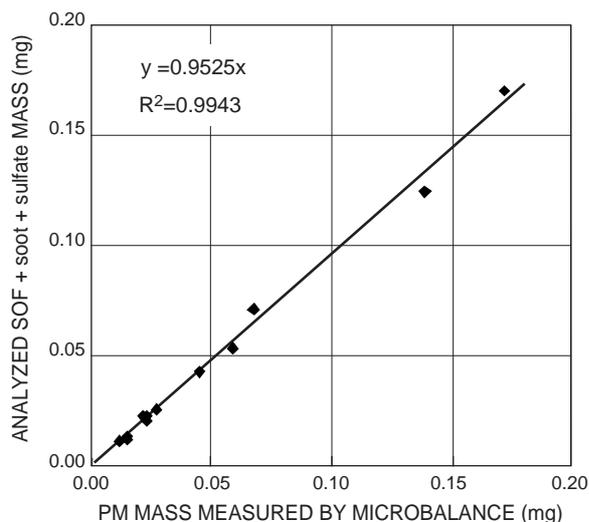


図10 気化・酸化還元法とフィルタ重量法の相関関係

6 おわりに

ディーゼル排ガス中のPMの削減は、待ったのきかない緊急の課題である。しかし、一方で、複雑な組成や挙動を示すPMを、うまく計測できる技術は十分には確立されていない。

ホリバは、永年にわたってこのテーマにチャレンジして、さまざまな技術開発を試みてきたが、失敗も少なくなかった。しかし、ここにきて、連続測定と超高感度測定の二面からそれぞれアプローチすることにより、実用に耐え得る計測機器を市場に提供できるようになった。

今後PMの排出量は極めて少なくなり、ますます測定は困難となるであろうが、今日までに蓄積してきた技術を基に、より簡便で有用なPM計測法の確立を通じてクリーンなエンジンの開発、ひいては環境保全に貢献していきたい。

参考文献

- 1) USA-Code of Federal Regulation 40, Part 86
- 2) 山岸 豊, “ トランジェント対応マイクロトンネルMDLT-1302T ” Readout, No.19(1999)
- 3) Osada, H., et al, “ Real-time Measurement of Diesel Particulate Emissions by the PAS Method Using CO₂ Laser, SAE paper 820461
- 4) Yamazaki, H. and Hori, M. et al, “ A Study of Simplified Measurement Method for Diesel Particulate, Society of Automotive Engineers of Japan. Preliminary Staff Report, 911 1991-5
- 5) 福島宏和, “ イオン化検出器を用いた粒子状物質の連続測定 ” Readout, No.19(1999)



中村 成男

Shigeo NAKAMURA

エンジン計測システム統括部
技術担当統括部長