

フィルター振動法によるディーゼル排ガス中の水分の影響を考慮したより微少な排出粒子の測定(その2)

環境エネルギー研究領域大気環境保全研究グループ*西川和美
海上安全研究領域危険物輸送・防災研究グループ 中島康晴

1. まえがき

ディーゼルPM(微粒子)測定でフィルター振動法による場合は、他の方式に比べてリアルタイムで短時間の連続測定が可能である等の特徴をもっているが、PMによるフィルターの微少な重量変化による振動数の変化として検出しているため、従来の方法であるフィルターにサンプル後、水分除去処理をしてPMの重量測定をするのに比べ、幾らかの測定値への変動要因があると考えられる。

筆者らは、これまで排ガスやPM中に含まれる水分の蒸発、揮発分、圧力変動等の測定値への影響について調べてきたが、¹⁾本測定での測定値に及ぼす水分の影響について更に検討を試みた。即ち、PMサンプリング停止直後に確認される蒸発分が、フィルター上に捕集されたPM以外からのも含む事が考えられ、それらを考慮して排ガス水分のフィルターへの吸収特性を調べ、更に燃料の違いによるフィルター上PMの水分量の推定に関して検討した。蒸発分として水分量が推定できれば、本測定でより正確にPM測定値が得られる事になり、浮遊微粒子等の場合もより正確に測定できると考えられる。更に人体への影響がより大きいと考えられている微粒子の、約2.5 μ 以下(PM2.5)の排出割合について、カスケードインパクターとサイクロンの2種類の分粒器を使用して調べ、比較検討した。

2. 実験装置及実験条件

表1に示すような水冷式の単シリンダ小型高速ディーゼル機関を使用した。

図1は、PM測定装置の概要を示す。データは10秒間サンプリングした平均値を10秒間隔で記録した後、パソコンにとりこみデ

ータ処理した。

PMサンプリング流量は、表2に示すようにPM測定時は2.32L/min、PM2.5測定時は3及び4L/minとした。途上の水分凝縮の影響を少なくするため導管を180 $^{\circ}$ Cに、希釈器は50 $^{\circ}$ Cに加熱した空気で1/10に希釈した。スモークはボッシュ式を、排ガス分析計データ、運転状況データ及び燃焼解

表1 実験機関要目

サイクル	4
燃焼室形式	直接噴射
吸気方法	自然吸入
冷却方法	水冷
シリンダ数	1
内径×行程	112mm×110mm
最大回転数	2600 rpm
圧縮比	18.5
連続最大出力	16.3 PS
噴射ノズル	0.31mm×4

表2 実験条件

燃料	軽油 : 記号 L
	軽油+水(20%精比) : LE
回転数(rpm)	1400
負荷(Kgf-m)	5
噴射時期(BTDC)	6 $^{\circ}$ -17 $^{\circ}$
PMサンプリング流量(L/min)	2.32(PM測定) 3(サイクロン), 4(インパクター)

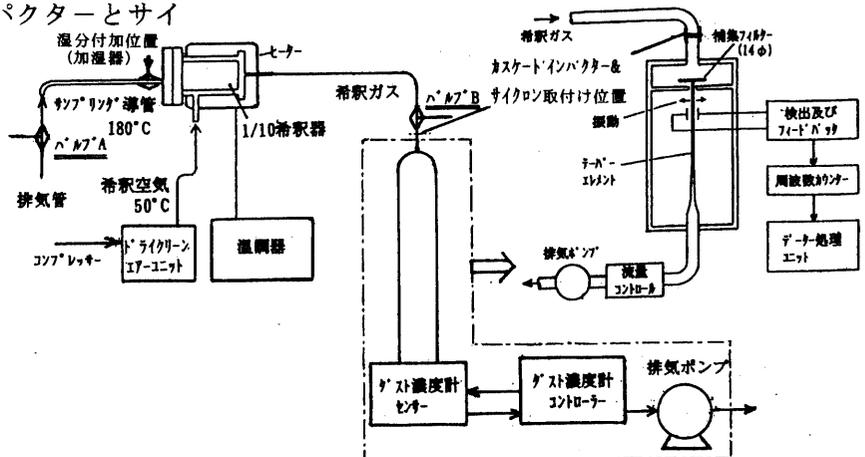


図1 PM測定装置の概要

析装置データは、パソコンにとりこんだ。

表2の実験条件に示すように燃料は、軽油(記号L)及びこのエマルジョン燃料(水添加率20%、容積比、記号LE)を使用した。なお水添加の場合、乳化剤を軽油の0.5vol%加えてミキサーにより充分混合して作成した。シリンダー冷却水温は約80°C、潤滑油温は約80°Cに保持した。噴射時期は上死点前6°~17°、回転数1400rpm、トルク出力は5kgf-m(定格)で実施した。

3. PM測定でのセンサー部の吸湿特性

図2は、フィルター振動法による燃料(LE)のPM実測データとフィルターのトータル重量の変化を示す。A、Bは測定開始と終了の位置を示す。10秒間サンプルした平均値データであっても変動があり、これは排気管の振動、及び排気管のサンプル位置から測定器センサー(振動フィルター)迄の間でのPMの壁面付着、脱落飛散等が主要因と考えられる。更に、フィルターでも蒸発分(主として水分)による変動が想定される。実測データによると、A点の測定開始からフィルターへのPM集積量は増加し、B点で測定停止した直後から測定値は負の値を示し次第に0位置に近づく経過を示す。そして、これに対応してフィルターのトータル重量値も僅かな低下を示し、その後時間と共に次第に一定値に近づく経過をとり、後再度サンプルを繰り返した。この経過は、主としてPM測定時のサンプリングガス中の蒸発分のフィルター部への一時的付着と、その後の蒸発分と考えられる。

図3は、新フィルタ及びPMを最大サンプル量の80%程度集積しているフィルタに対し、加湿器で湿分を、強度をA、Bの2段階(A<B)で短時間付加(図1参)し、その時のトータル重量の一時的増加を+、その後の減少を-で付加時間を変えて調べた結果を示すが、新フィルタでは、付加時間や付加の強度の少ない場合に増加分(+)と停止後の主に蒸発分と考えられる減少分(-)が、ほぼ同じになる傾

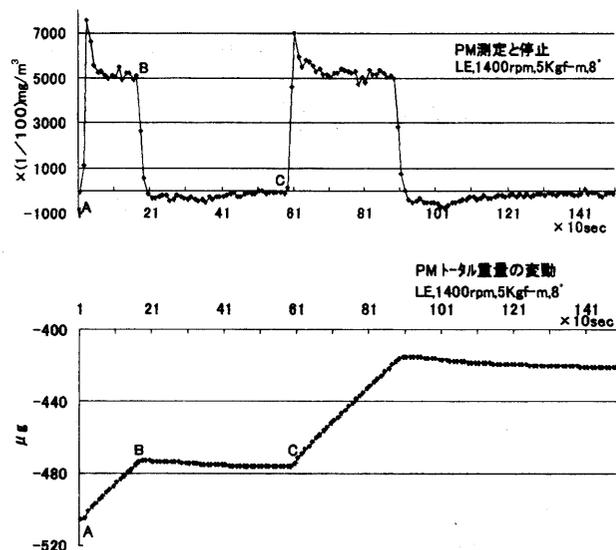


図2 PM実測データとトータル重量の変化

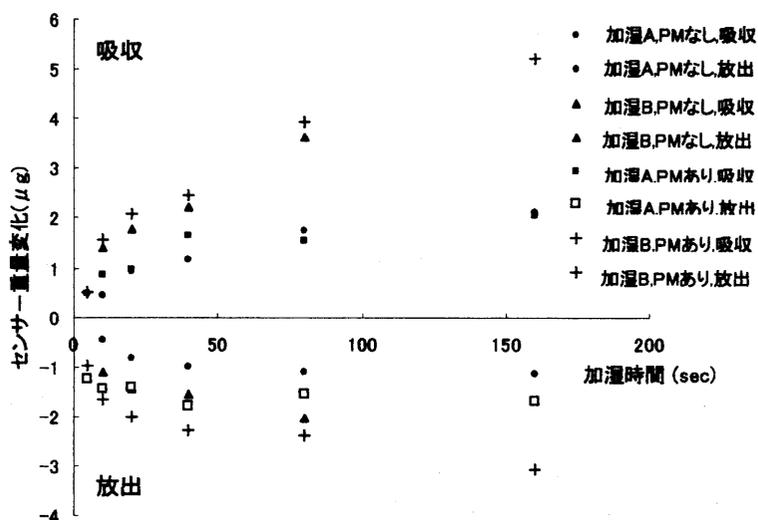


図3 湿分の付加によるトータル重量の変化

向が見られる。定常的な測定状態のサンプリングガス中の蒸発分の、フィルターに対する影響を想定した実験であるが、サンプリング初期にほぼ同様の状態が現れやすいと推定する。付加の強度大(B)で、付加時間が長くなると+のバランス傾向が崩れているが、この原因については、PMの測定値が0になり、変動が殆どなくなった状態をしばらく保持して後の減少重量のため、水分の不完全な放出等が想定される。PMを含むフィルターの場合でも同様の傾向が見られるが、付着及び蒸発分ともPMを含むフィルターで付加強度大

(B)の方が、同条件でPMを含まない場合より多い傾向が見られる。

図4は、それぞれL、LEで比較的少量のPM測定、停止を数回繰り返し、各段階までの積算重量(横軸)とその時の減少重量を調べた結果である。減少重量はセンサー部全体の水分除去のため、サンプル停止後PM測定値が0になり変動が殆どなくなった状態を保持し、更にトータル重量の変動が殆どなくなる状態迄とした。これによると、ほぼ直線的傾向でPM重量の増加と共に減少量が増える傾向が見られ、則ちPM量の増加と共に蒸発分の増加が見られ、この場合センサーのPM以外の部分の蒸発分の入出量が定常の測定状態では、ほぼ同じと想定して、その増加率について注目した。軽油(L)では、直線近似すると勾配が約-0.2、エマルジョン燃料(LE)では-0.35程度で、則ちPM測定値の、2%、3.5%程度となる。この勾配は、PMのフィルターへの集積量、使用フィルターによっても多少異なる結果を示した。

図5は、L、LEについてこの方法で求めた水分量の数回の実験結果をプロットしたもので、バラツキはあるがLよりLEの方が多く、Lで1-3%程度、LEで3-5%程度であることと、センサー部全体からの蒸発量も多い傾向を示した。

4. 2種類の分粒器によるPM2.5の測定

本装置は、分粒器の取り付けが可能である。

図6は、カスケードインパクター及びサイクロンをの原理の略図を示す。カスケードインパクターは、粗大粒子を衝突させて捕集し、測定する限界粒子径以下の粒径の粒子を通過させるのに対し、サイクロンでは、空気流が螺旋状に回転し限界粒子径以下の粒径の粒子を通過させ、大粒径の粒子はフィルターを使用せず捕捉可能な構造となっている。この分粒器をPM測定器センサー上部に取り付けることで(図2参)PM2.5の測定が可能となる。測定は、分粒器をとりつけた場合とない場合に測定し、それぞれ測定初期の安定した値を測定値とした。

図7に示すように、回転数1400rpm、トルク出力5kgf-m、噴射時期は上死点前8°~14°では、この2種類の分粒器によるPM2.5の測定結果はほぼ同じで、

バラツキはあるが90-95%(図参)程度であった。

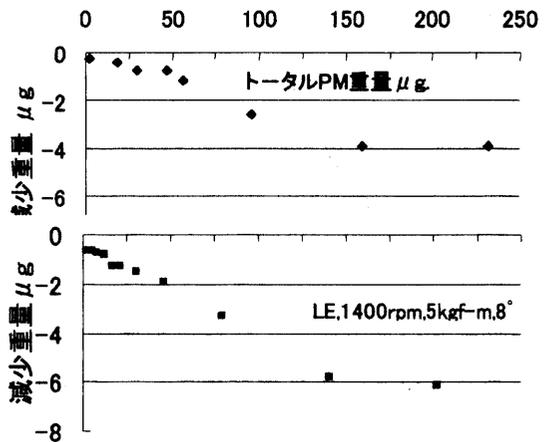


図4 PM測定停止時の積算重量と重量降下量

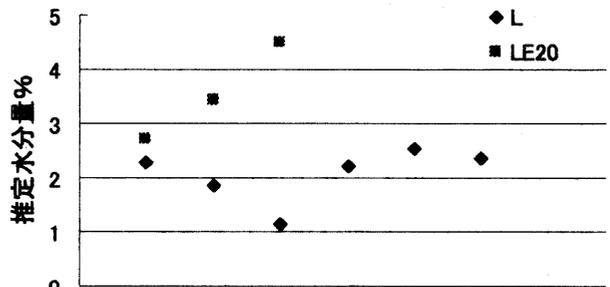


図5 燃料L、LEの蒸発分割合の推定値

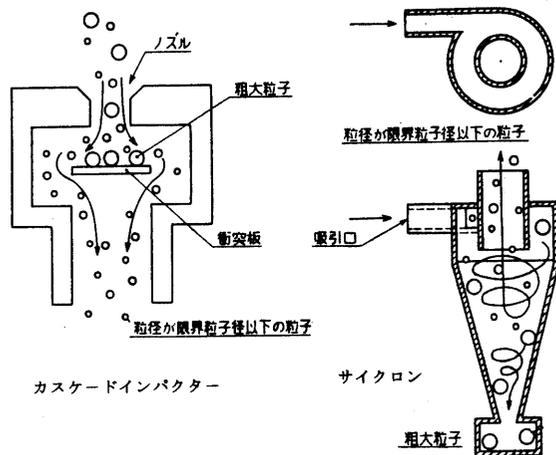


図6 カスケードインパクター、サイクロンの原理略図

5. PM中のSOFとスモーク、THC

図7の各噴射時期のPMに対応したスモークの排出傾向によると、何れも遅噴射時期で増加しているが、各噴射時期共LよりLEの方がPM、スモーク排出量は少ない。そして、L、LEを比較するとPMよりスモークの減少率の方が大きい傾向が見られる。一方THCの排出傾向によると、LEの方が多く、特に遅噴射時期で著しい。未燃焼ガスであるTHCはエマルジョン化による燃焼室温度の低下による影響が大きいと考えられる。

以上のように、エマルジョン化によるTHCの排出量が多いことから、同様に未燃焼成分(粒子状)であるSOFの含有量を調べた。PMは、希釈器入り口のバルブ切り換えによりインパクターのフィルター上に全量サンプリングした。そして、一定量サンプルしたPMをソックスレー法によりSOF重量を求め、SOF/PM(重量比)を調べた結果、噴射時期11°の場合燃料Lで30-35%、LEで50-60%という結果であったが、このようにエマルジョン燃料では、PM中のSOF排出割合が高くTHC同様未燃焼生成物の排出量が多い結果を示した。この場合、基本燃料が軽油(S:0.04%)であることから、PMは主としてスモークとSOFで構成していると想定される。

6. 結論

a. フィルター振動法によるPM測定で、センサーへの水分の吸収特性を調べると共に、測定値に及ぼす水分量を推定した結果、軽油で3%以内、20%エマルジョン燃料では5%以内の蒸発分として水分の測定値への影響がある。

b. 同一の燃焼条件でも蒸発分の推定には個別の変動があり、何らかのデータ処理上の補正が必要である事も考えられる。

c. 本機関から排出されるPM2.5(粒径2.5 μ m以下)の排出割合(重量比)をサイクロン及びカスケードインパクターにより調べた結果、ほぼ同じでL、LE共噴射時期8°-14°で90-95%で、2.5 μ m以下の粒子径がPMの殆んどを占めている。

d. 軽油エマルジョン燃料では、THCと同様にPM中のSOF排出割合が高い。

参考文献

- 1) 西川他:第1回海技研講演集P323~326、(2001.6)

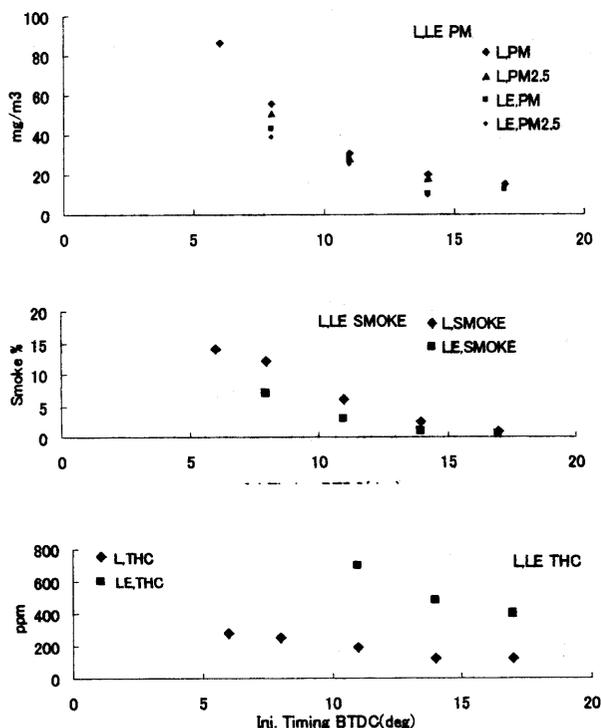


図7 燃料とPM、スモーク、THCの関係