

自動車排ガス計測装置の性能

位 田 晴 良*・水 島 一 祐*

Performance of an Exhaust Gas Measurement System for Automobile

Haruyoshi Ida and Kazuhiro Mizushima

In the study, an exhaust gas purification system is applied to Diesel engine for automobile. In the system, a high pressure fuel injection and an electronic control are applied for improving a combustion process of the Diesel engine, increasing the thermal efficiency and reducing the particulate matters (PM). Furthermore, the residual PM is caught by use of a Diesel particulate filter (DPF). In addition, nitrogen oxides (NO_x) are decreased by use of an exhaust gas recirculation (EGR) and a Selective Catalytic Reduction (SCR). The exhaust gas is purified completely by applying those combustion process improvement and after-treatment technologies.

Before those technologies will be applied, the performance of a small Diesel engine for the test is examined with an introduced measurement system, and the present conditions of the engine are confirmed as a basis of comparison. In addition, a performance and characteristics of the measurement system are grasped under various operating conditions of the engine.

1. 緒言

化石燃料を使用する内燃機関が多くの自動車に搭載され広く普及している。しかし、近年それらが持つ地球規模の環境問題への関心が高まっている。とくに危惧されているのは資源枯渇問題や大気汚染問題であろう。そのため低燃費自動車の開発が進められ、自動車排ガスに対する規制はますます厳しくなっている。

ディーゼル・エンジンは内燃機関の中で最も高い熱効率をもち、CO₂ 排出量が低いため将来的にも有望なエンジンであるとして最近改めて注目されている。そのため欧州における乗用車用ディーゼル・エンジンのシェアは約 50%に達している。しかし、排出される粒子状物質 (PM : Particulate Matters) や、酸素過剰雰囲気下での窒素酸化物 (NO_x : Nitrogen Oxides) の処理など解決すべき課題は多い。

本研究ではディーゼル・エンジンを対象とし、燃料噴射の高圧化および電子制御により燃焼を改善し、熱効率の向上とともに PM 排出量の低減を図る。さらに後処理として、燃焼改善によっても排出される PM はフィルタ (DPF : Diesel Particulate Filter) の導入により捕集する。また NO_x については、排ガス再循環 (EGR : Exhaust Gas Recirculation) によりその低減を図るとともに、選択触媒還元 (SCR : Selective Catalytic Reduction) 装置を適用して処理することにより総合的に

* 機械工学科

排出ガスの浄化を図る。
 これらの排ガス浄化技術を適用した場合の自動車用ディーゼル・エンジンの構想を Fig.1 に示す。この構想の下に自動車排ガスの総合的な浄化を目指し、小型ディーゼル・エンジンおよび排ガス評価のための計測装置を導入し排ガス浄化技術について検討する。本研究では排ガス浄化試験に先立ち、

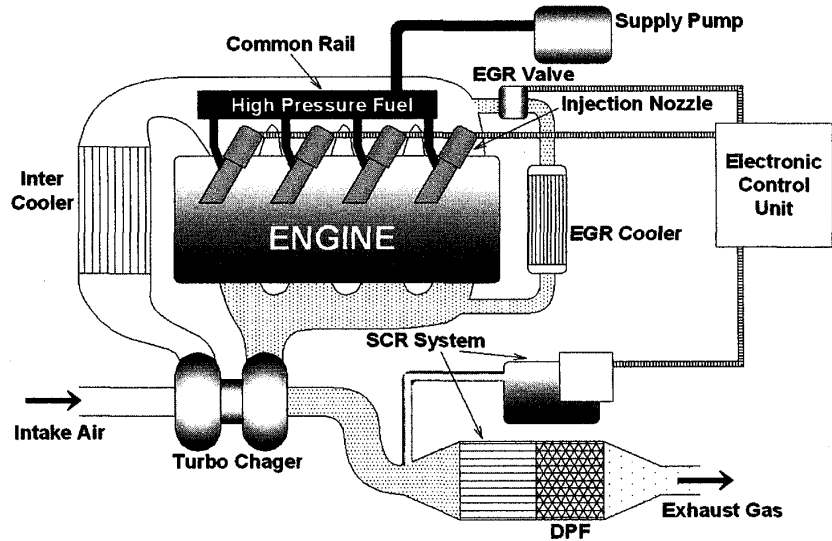


Fig.1 Concept of exhaust gas purification system applied to Diesel engine for automobile

導入された自動車排ガス計測装置による小型ディーゼル・エンジンの性能試験を行い、排ガス浄化技術適用後との比較検討を行う上での基礎となるエンジンの現状を把握するとともに排ガス計測装置の特性および性能を確認する。なお、本試験に使用する排ガス計測装置は平成 16 年度文部科学省私学助成補助金により導入したものである。

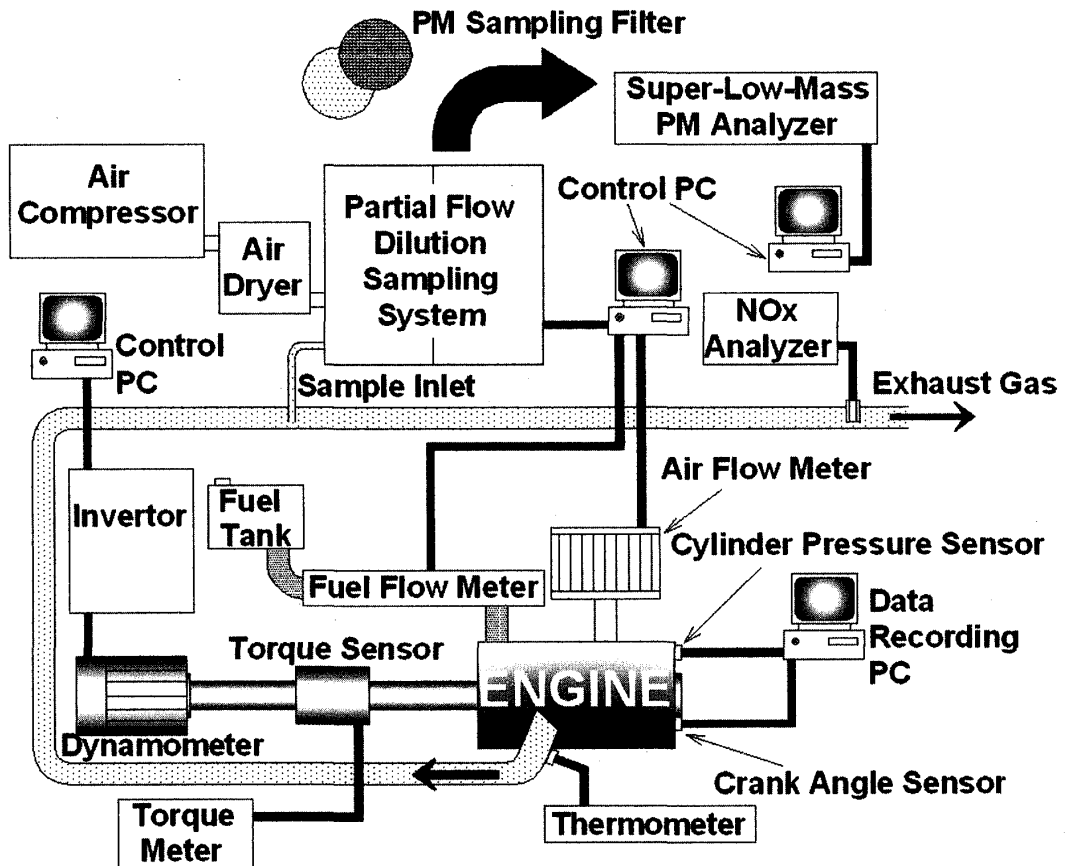


Fig.2 Schematic of exhaust gas measurement system

2. 小型ディーゼル・エンジンによる性能試験

2.1. 実験方法

性能試験用に小型ディーゼル・エンジンを導入するとともに、エンジンの負荷装置として直流電気動力計、ならびに排出ガス中の各成分の量を計測するため排ガス計測装置を導入した。これらの装置を使用することにより、各運転条件におけるエンジンの排ガス特性を計測、評価することが可能である。Fig.2 に排ガス計測装置の構成を示す。

回転数はエンジンの调速装置によって 800~2400rpm に設定し、各回転数においてエンジンの出力軸と接続したモータにより負荷条件を変更し、それぞれの条件におけるシリンダ圧力、排気温度、燃費、NO_x濃度、PM 中の各成分の量を計測する。それらの結果よりエンジン性能ならびに運転条件変更に伴う排ガス計測装置の特性および性能を検討する。

2.2. 供試エンジン

実験に供するディーゼル・エンジンの諸元を Table 1 に示す。

またエンジン・メーカー公表の性能曲線より、常用回転数は約 1600~2400rpm と判断される。

Table 1 Specification of test Diesel engine

Engine type	Horizontal, water cooled, 4 stroke
Combustion chamber	Direct injection
Cylinder / Bore and stroke [mm]	Single / 102 × 105
Displacement [l]	0.857
Maximum power [kW] {PS} / Engine speed [rpm]	12.5 {17.0} / 2400
Compression ratio	17.8
Air charging	Naturally aspirated

2.3. 負荷条件の設定

エンジンの負荷制御は直流電気動力計で行う。モータ駆動用インバータのトルク指令入力端子に印加する電圧に比例してモータの電流および発生トルクが変化し、エンジンの負荷トルクが変更される。

ここでは、直流電気動力計の特性を確認するために行った予備実験より得られたトルク指令入力端子への

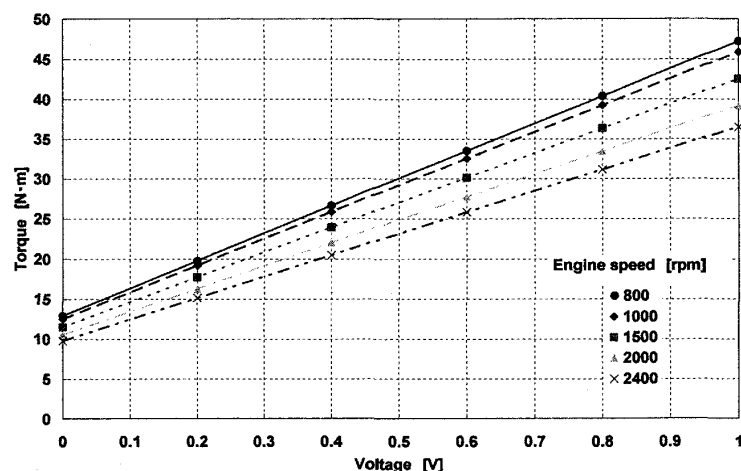


Fig.3 Relationship between dynamometer torque and terminal voltage

印加電圧に対するモータの発生トルクの関係 (Fig.3) を性能試験の負荷条件設定に適用する。この関係より、エンジン回転数と印加電圧を与えることで軸トルクを算出することができる。

3. 実験結果および考察

エンジンの運転条件 (回転数および負荷) を変更し得られた各測定結果を以下に示す。

3.1. 図示平均有効圧

エンジンの運転条件変更に対する燃焼状態を検討するためシリンダ圧力を測定した。これにより燃焼圧力による有効な仕事を算出する。軸トルク別に、エンジン回転数に対する図示平均有効圧の推移を示した Fig.4 においては、負荷の増加に対しシリンダ圧力は上昇し図示平均有効圧も当然ながら上昇している。またエンジン回転数の上昇とともに緩やかに上昇する傾向が確認できる。

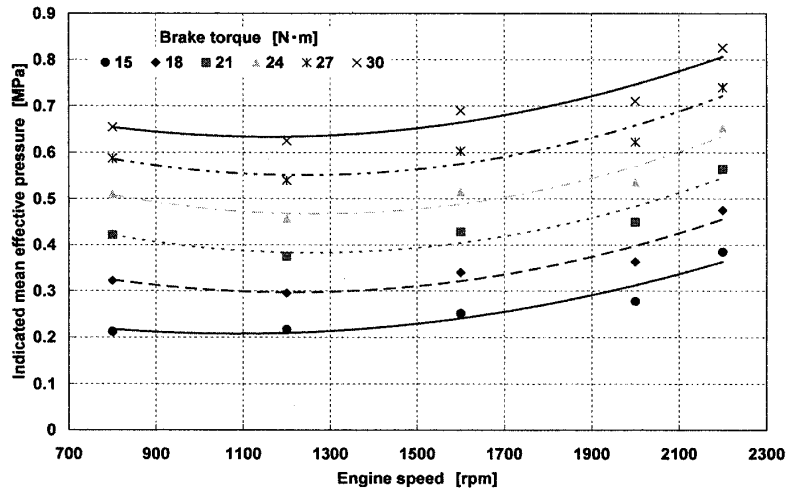


Fig.4 Indicated mean effective pressure vs. engine speed

3.2. 正味燃料消費率および空気過剰率

Fig.5 にエンジン回転数に対する正味燃料消費率の推移を軸トルク別に示す。また Fig.6 にエンジン回転数に対する空気過剰率の推移を軸トルク別に示す。Fig.5 より、負荷およびエンジン回転数の上昇とともに燃料消費率が增加することがわかる。この傾向は高回転時に著しく、ポンプ損失および排気損失の増加によるものと考えられる。また低回転時においても若干の燃料消費率増加が見られるが、これは燃料噴射時期固定の供試エンジンにおいては、常用回転数以下での運転の場合、適正噴射時期からのずれが大きくなり損失熱量が増加するためであると考え

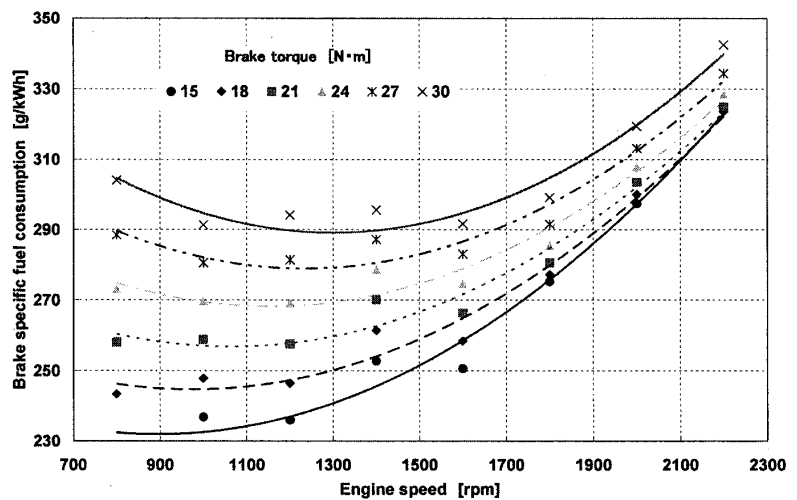


Fig.5 Brake specific fuel consumption vs. engine speed

られる。Fig.6 においては、Fig.5 で示された燃料消費率の変化を大きく反映し、負荷の増加とともに空気過剰率は低下する。またエンジン回転数に対しては、バルブ・タイミングや吸気管長さによる体積効率の変化が影響していると思われる。

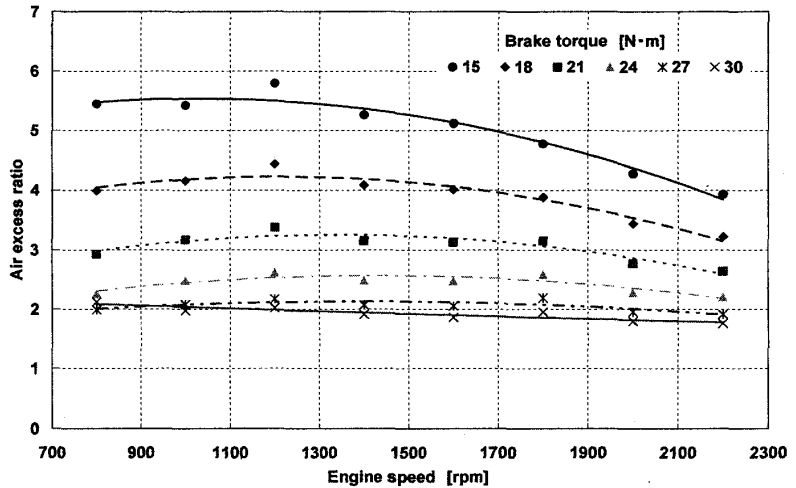


Fig.6 Air excess ratio vs. engine speed

3.3. 排気温度

軸トルク別に、エンジン回転数に対する排気温度の推移を示した Fig.7 においては、負荷およびエンジン回転数の上昇とともに排気温度が上昇している。これは当然の結果であるが、出力上昇に伴う供給熱量の増加が確認できる。

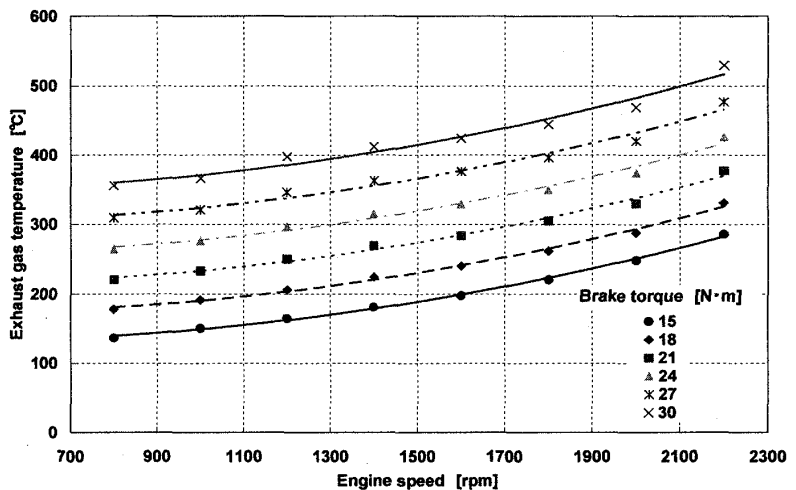


Fig.7 Exhaust gas temperature vs. engine speed

3.4. NOx

Fig.8 にエンジン回転数に対する NOx 濃度の推移を軸トルク別に示す。また Fig.9 にエンジン回転数に対する出力・時間当たりの NOx 排出量の推移を軸トルク別に示す。Fig.8 において負荷の増加とともに NOx 濃度が上昇するのは、Fig.4, Fig.5 および Fig.7 が示すように負荷の上昇、つまり図示平均有効圧の上昇とともに供給熱量が増加し、燃焼室内の温度が上昇したためであると考えられる。

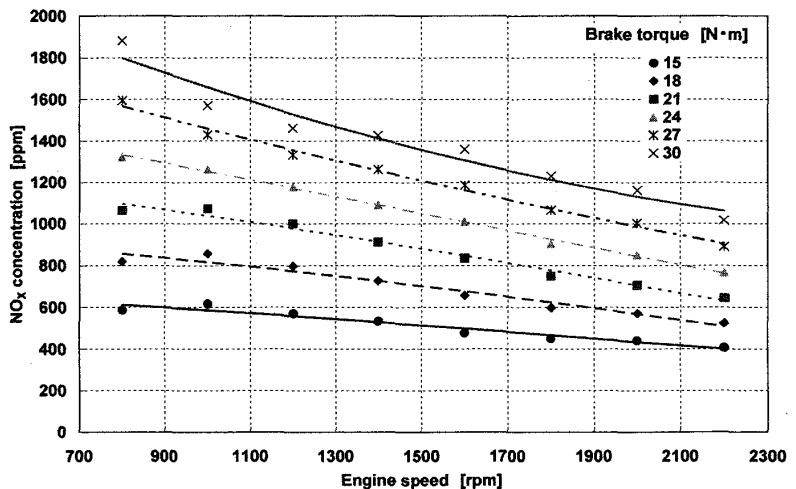


Fig.8 NOx concentration vs. engine speed

一方、エンジン回転数の上昇とともに NO_x 濃度が低下するのは、NO_x の生成量は燃焼ガス温度とその温度を保持する時間により決まるので、高回転時には最高燃焼ガス温度が高くても保持時間が短くなるためであると考えられる。また Fig.9 において負荷に対する NO_x 排出量の推移は Fig.8 と同様の傾向を示すが、エンジン回転数の上昇とともに NO_x 排出量は増加する。これより、NO_x 排出量はそれを含む排ガス量、つまりエンジン回転数に支配されているといえる。

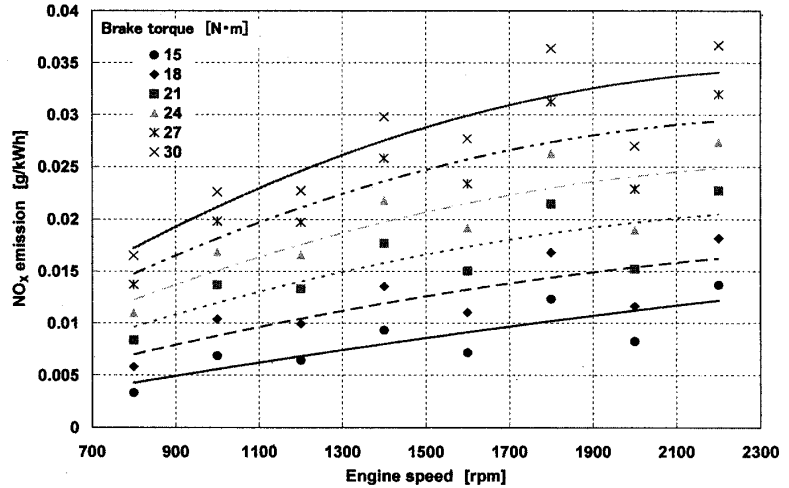


Fig.9 NO_x emission vs. engine speed

3.5. PM

燃料消費率については先に検討したが、Fig.10 に示すエンジン回転数に対する PM 排出量の推移は、Fig.5 の燃料消費率の推移と同様の傾向を示すことから、燃料供給の状態は PM 排出に著しく影響を及ぼすことが確認できる。噴射時期固定の供試エンジンでは、常用域よりエンジン回転数が低下すると、適正噴射時期に対し過早噴射、つまり圧縮による燃焼室の十分な

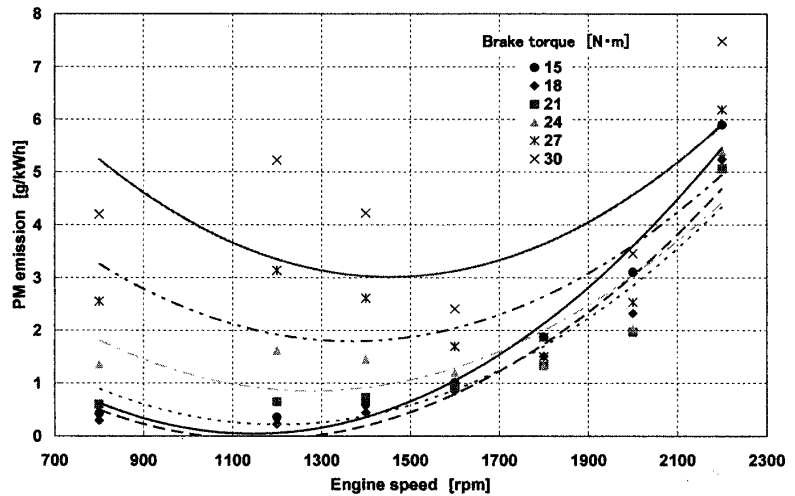


Fig.10 PM emission vs. engine speed

温度上昇が完了しない状態で燃料が噴射されるため、不完全燃焼により PM 排出量が増加していると考えられる。低回転域におけるこの傾向は、噴射量が増加する高負荷時に顕著である。また高回転時には、いずれの負荷条件においても比較的 PM 排出量が多い。Fig.5 において高回転時の燃料消費量が多いことから、大量の燃料が短時間に空気と混合し確実に燃焼するのは困難であるため、PM 排出量が増加することが考えられる。

エンジンの運転条件別に PM 成分の量を示す Fig.11 より、常用回転数域において負荷、つまり燃焼室温度が上昇するとともに未燃焼の燃料やオイルなど有機溶剤可溶成分 (SOF : Soluble

Organic Fraction) が減少する様子が確認できる。また高回転域および低回転高負荷域など燃料噴射量が増加する条件 (Fig.5) において煤 (SOOT) の割合が高く PM 全量の推移を示す Fig.10 と同様の傾向である。SOF や硫酸化物 (Sulfate) など他成分の変化が僅かであることから SOOT の量が PM 排出量に大きく影響するといえる。SOOT は部分的に気化不十分となった燃料粒が火炎に曝され炭素が分離したものであるため、燃料噴射量の増加とともに SOOT の量も増加すると考えられる。

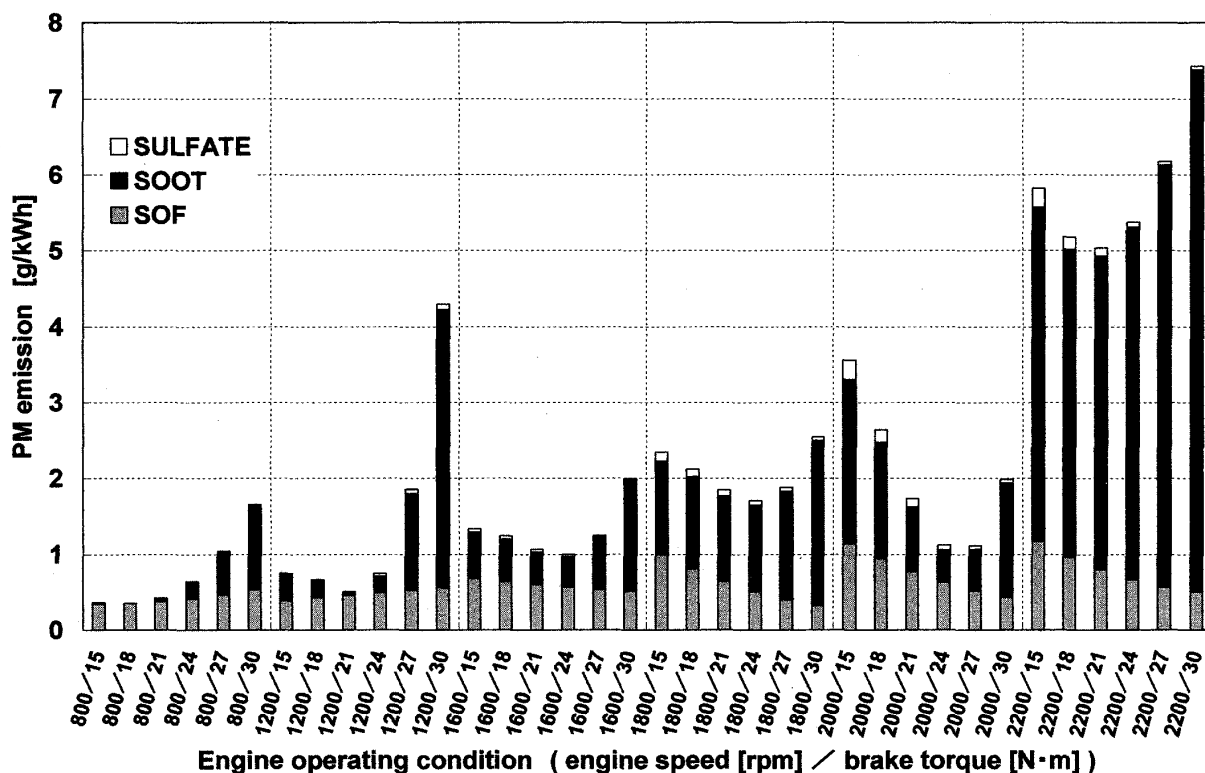


Fig.11 Ingredient of PM

4. 結言

排ガス浄化試験の基礎となる供試エンジンの初期性能の把握ならびに運転条件変更に伴う自動車排ガス計測装置の特性および性能の確認を目的とし、試験用小型ディーゼル・エンジンの性能試験を行い排出ガスとの関連を検討した結果は以下のとおりである。

- 1) 導入された電気動力計により負荷制御を行うことで供試エンジンの運転条件を変更することができ、それに伴う燃料消費率、空気過剰率や平均有効圧などエンジンの運転状況を測定することにより燃焼状態を評価することができた。
- 2) 供試エンジンの燃料装置は常用回転数付近において適正な設定がされており、噴射時期は固定されているが、任意の噴射時期、噴射量を設定可能な機構に変更することにより広い回転域での試験が可能である。
- 3) 導入された自動車用排ガス計測装置により、供試エンジンの排ガス中に含まれる NO_x および

PM 排出量を計測することができ、運転条件の変更に対するそれらの推移を示すことが可能である。

- 4) 本研究の構想に基づき、高圧燃料噴射による燃焼改善や SCR などの排ガス浄化技術を適用した場合、本排ガス計測装置を用いることによって適用技術の評価、検討が可能であることが確認された。

参考文献

- 1) 水島一祐：ディーゼルエンジン排出ガスのクリーン化に関する研究，平成 17 年度 FUT ORC 研究報告集，pp.5-8，2006
- 2) 池上詢：大気環境の現状と低公害自動車の開発，自動車技術，Vol.59，No.7，pp.8-9，2005
- 3) 大聖泰弘：ディーゼルエンジン技術に関する将来展望，自動車技術，Vol.59，No.4，pp.4-10，2005
- 4) 下田正敏・細谷満・竹中嘉英・下川清広・内田登・植松真一郎・五十嵐龍起：2010 年を予測した商用車における排出ガス低減技術，自動車技術，Vol.60，No.1，pp.49-54，2006
- 5) 平田公信・正木信彦・赤川久：大型車ディーゼルの尿素選択還元システム，自動車技術，Vol.60，No.9，pp.28-33，2006
- 6) 浜田秀昭・小淵存：ディーゼル NO_x と PM 後処理技術の展望，エンジンテクノロジー，Vol.6，No.4，pp.14-20，2004
- 7) 久保修一：乗用車における揮発性ナノ粒子の組成・生成解析，エンジンテクノロジー，Vol.7，No.1，pp.49-54，2005
- 8) 三輪恵：ディーゼル機関の燃焼制御と低エミッション化，エンジンテクノロジー，Vol.7，No.2，pp.66-73，2005
- 9) 江澤正名：クリーンディーゼル乗用車について，エンジンテクノロジー，Vol.7，No.3，pp.25-30，2005
- 10) 青柳友三・長田英朗・三沢昌宏・広沢友章・兵頭義之・小林雅行・野田明・後藤雄一：排出ガス低減技術（ディーゼル燃焼，後処理）の現状と将来，エンジンテクノロジー，Vol.8，No.1，pp.8-14，2006
- 11) ヤンマー農機株式会社営業技術部，NFD150・170 整備マニュアル，p.1，1987
- 12) 大道寺達，ディーゼル機関ハンドブック，日刊工業新聞社，1964
- 13) エンジンテクノロジー編集委員会：自動車エンジン要素技術 II，山海堂，2005
- 14) 斎藤孟：ディーゼルエンジン，自動車工学全書，5 巻，山海堂，1980
- 15) 長哲郎・佐藤伸・幸田清一郎・吉田忠雄・高橋甫・富永博夫：NO_x の化学，共立化学ライブラリー，15，共立出版，1978
- 16) 中村成男：自動車における PM 計測法，マリンエンジニアリング，Vol.42，No.1，pp.3-8，2007
- 17) 鈴木央一・石井素：2009 年規制 NO_x レベルの尿素 SCR における低減要因解析と課題の検討，JSAE SYMPOSIUM テキスト，No.19-06，pp.12-19，2007

(平成19年4月2日受理)