

# ディーゼルエンジンから排出される多環芳香族炭化水素に及ぼす燃料性状と噴射圧力の影響について

環境研究領域

堀 重雄 鈴木 央一

## 1. はじめに

ディーゼル車からの排出ガスに与える燃料性状の影響については多くの研究がなされており<sup>(1)</sup>、排出ガス規制の進展に応じてエミッションレベルが低下した車両では従来車両と比較して燃料性状が粒子状物質(PM)排出に与える影響は小さい傾向があることが報告されている。<sup>(2)</sup>

一方、ディーゼルエンジンから排出される未規制有害物質である多環芳香族炭化水素(PAH)の排出特性に及ぼす燃料性状および機関運転条件の影響については報告例が少ない。

本報告では、単気筒DIディーゼルエンジンを対象として、PM排出量に影響を及ぼす要因である燃料組成と噴射圧力が3環から6環の代表的なPAH排出に及ぼす影響について検討した。

## 2. 実験方法

実験は、コモンレール式噴射ポンプを装着した単気筒ディーゼルエンジンを用いて行った。図1に実験装置の概略を、また表1にエンジン諸元を示す。エンジンを十分暖気後、回転数を1000rpm一定で負荷率を低負荷(25%)と高負荷(75%)に設定し、燃料噴射時期を6° BTDC一定で噴射圧力をパラメータ(それぞれ35MPa, 50MPa, 100MPa)として各種燃料を用いて運転し実験を行った。表2に実験に用いた試験燃料の性状を示す。Fuel Aは、炭素数が主として14, 15のノーマルパラフィンから構成され、硫黄分をほとんど含まない特殊燃料である。一方、Fuel Bは市販のJIS 2号軽油(軽油)であり、芳香族成分および硫黄分を含む。また、4環のPAHであるピレンの影響について検討するため軽油に400ppmの濃度になるようにピレン(以下Py)を添加した燃料も作成し、実験を行った。

運転時の排気ガスを全量希釈トンネルに導入

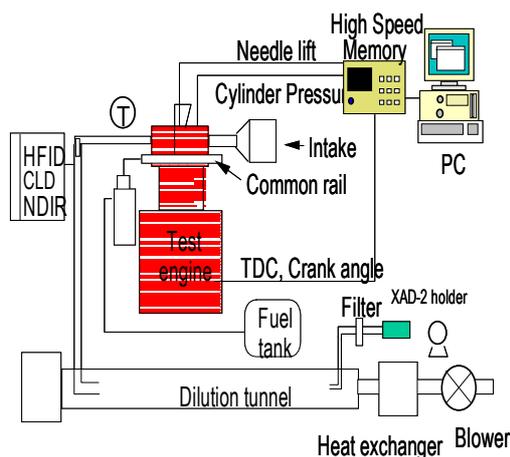


図1 実験装置の概略

表1 単気筒ディーゼルエンジンの諸元

Type	4 cycle, Single Cylinder
Combustion Chamber	Direct Injection
Bore x Strok	135.0 x 150.0
Displacement L	2.147
Compression Ratio	16
Maximum Power kW	25/2000rpm
Swirl Ratio	2.2
Injection System	Common rail
Nozzle Spec. mm x #	0.26 x6

表2 使用燃料の性状

	FUEL A 特殊燃料	FUEL B JIS 2号軽油
密度 (15 )	0.77	0.82
硫黄分 wt%	0	0.042
粘度 cst(30 )	2.77	3.718
引火点	122	79
分留性状		
IBP	250	
T10	253	
T50	255	
T90	260	333
セタン指数	82	59

し、その一定量を30分間吸引し、PMをフィルタ捕集するとともに、フィルタを通過するガス状のPAHを吸着剤(XAD-2)で捕集した。また、NOx、T.HCの各テールパイプ排気ガス濃度を測定した。

一方、燃焼解析には、ピエゾ式圧力変換器により気筒内圧力を測定し、連続した20サイクルの平均値を用いた。

図2に分析操作手順の概略を示す。PM重量は、PM捕集フィルタ(PALLFLEX, TX40H-WW)を16時間、恒温、高湿のチャンバー(温度25 ± 1, 相対湿度50% ± 3)に放置した後秤量し、捕集前の質量との差から求める。一方、PM捕集フィルタをジクロロメタンによりASE抽出し(ダイオネクス社製の高速溶媒抽出装置)抽出後のフィルタをチャンバーに放置後、質量を測定する。SOF重量は、抽出前後の質量差から求めた。PM重量からSOF重量を引いた値をISOF重量とした。今回の実験では、触媒等の後処理装置を使用していないのでISOFはほぼSOOTからなると考えられる。また、ガス状のPAHを捕集したXAD-2樹脂は、ASE抽出に不適のためソックス抽出により抽出した。さらに抽出物をシリカゲルカラムにより処理し、高速液体クロマトグラフにより各PAH成分の測定を行った。

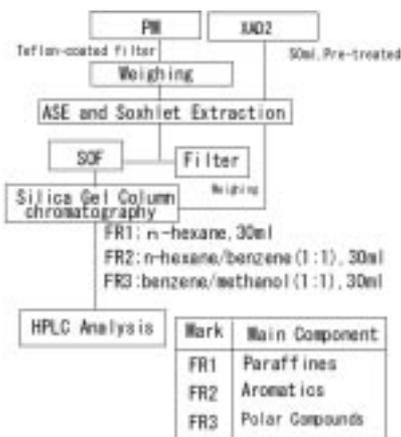


図2 分析の操作手順

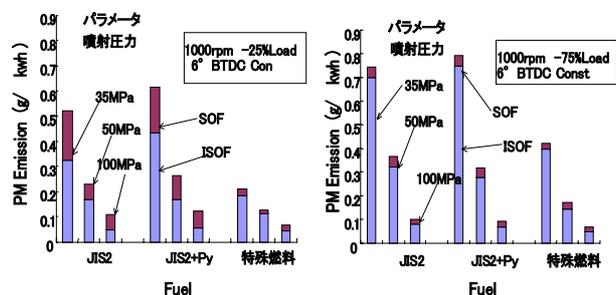


図3 燃料組成、噴射圧がPM排出に与える影響

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1. 燃料組成および噴射圧力がPMおよび排ガスエミッションに及ぼす影響

図3、図4に燃料組成がPM排出およびNOx、T.HCに与える影響について検討した結果を示す。PMはISOFとSOFに分けて比較した。低負荷、高負荷の両運転条件においてPM排出量は噴霧の微粒化および空気と燃料の混合が促進されるためと考えられるが、いずれの燃料においても噴射圧力の増加とともに大幅に低下する傾向を示す。一方、NOx排出は、逆に噴射圧力を増加すると増加する。これは、噴射圧力の増加による燃焼の活発化と燃焼期間の短縮による初期燃焼の活発化によるものと考えられる。一方、燃料組成の違いがPMおよびNOx排出に与える影響について比較すると、NOx排出は燃料組成の影響をあまり受けないが、PM排出は大きな影響を受けることが特徴的である。同一噴射圧力で比較したPM排出量

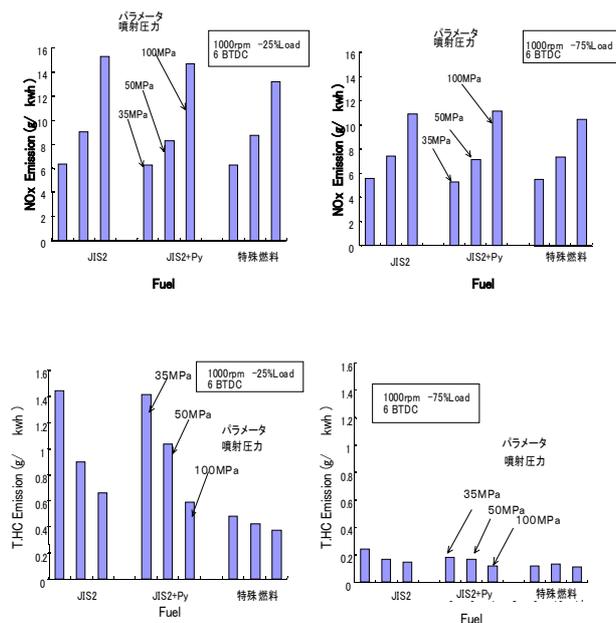


図4 燃料組成、噴射圧がNOx、T.HC排出に与える影響

は軽油では特殊燃料と比較して増大するが、NOx 排出量はいずれの噴射圧力においてもほぼ同程度の排出レベルである。このことはNOxと比較してPM生成、排出は燃料成分に対する依存性が高いことを示しており、特殊燃料がほとんど含まない芳香族成分などの影響と考えられる。

図5に一例として低負荷条件における各燃料使用時の熱発生率の比較結果を示す。軽油へのピレン添加はほとんど熱発生率に影響を及ぼさない。特殊燃料は軽油と比較してセタン指数が高いため熱発生率の立ち上がり早い傾向を示すが、このこととSOOT生成抑制との関連については明らかでなく、さらに検討が必要である。

一方、PMをISOFとSOFに分けて比較すると、ISOFは噴射圧力が100MPaと高くなるといずれの運転条件においても排出量が低減し、軽油と特殊燃料の組成の相違が排出に与える影響は小さくなる傾向がある。SOFは、高負荷条件では排出量が低減し、燃料組成が排出に与える影響はほとんどみられないが、低負荷条件では、噴射圧力が100MPaにおいても軽油が特殊燃料よりも排出量が多い。このことはSOFが主として未燃の燃料中の高沸点成分から構成されており、燃烧生成物の寄与分が少ないことから、高沸点成分を含まない特殊燃料ではSOF排出が少なくなったものである。図6に一例として低負荷条件におけるそれぞれのSOFのガスクロマトグラフパターンを軽油成分のガスクロマトグラフパターンと比較した結果を示す。軽油使用時のSOFは主として炭素数が16以上の未燃軽油の高沸点成分から構成されている。また、特殊燃料は沸点が低いいため未燃のまま排出されてもSOFに寄与せず、SOFは主として燃烧生成物および未燃のオイル成分からなると考えられる。

また、PM排出量に与えるピレンの影響は、噴射圧力が35MPaの条件で低負荷、高負荷でISOFの増加をもたらすが、噴射圧力が50MPa以上では、明確な影響はみられない。また、T.HC排出は低負荷条件でPMと同様の傾向を示すが、高負荷では、排出量が大幅に低減するために燃料の影響は小さくなる。

### 3.2. 燃料組成および噴射圧力がPAH排出に与える影響

図7に燃料組成がフェナントレン(以下Phe)およびピレン(以下Py)排出に与える影響について

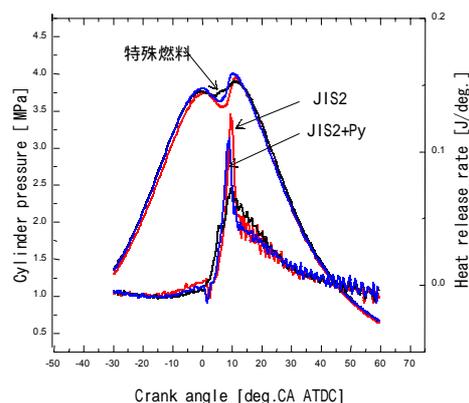


図5 各燃料使用時の熱発生率の比較結果

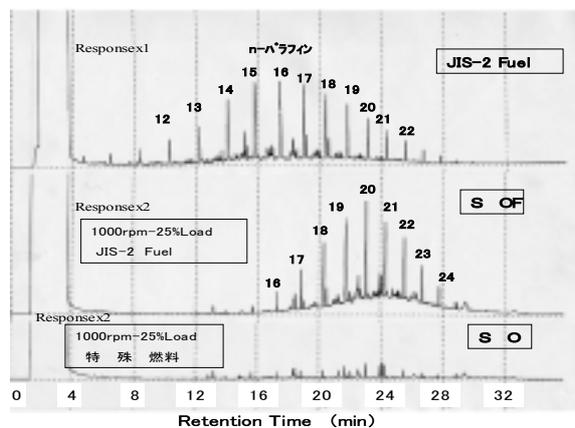


図6 各燃料使用時のガスクロマトグラフパターンの比較結果

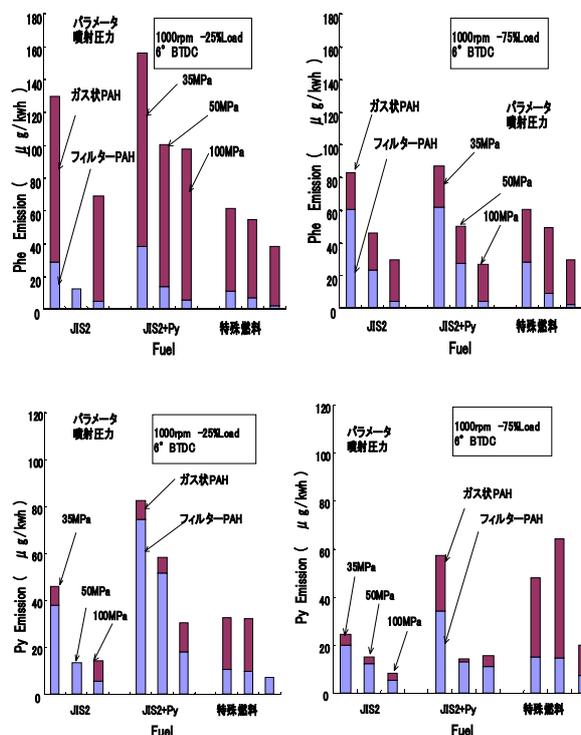


図7 燃料組成、噴射圧がフェナントレン、ピレン排出に与える影響

て検討した結果をフィルターPAHとガス状PAHに分けて示す。

Phe, Py排出量は、いずれもPM排出と同様に噴射圧力の増加とともに低減する傾向がある。このことから、燃料の微粒化や燃料と空気の混合促進によりPM同様にPAHについても生成、排出が抑制されるものといえる。また、軽油と特殊燃料を比較すると、低負荷、低噴射圧力では燃料組成の影響が明確にあらわれ組成の複雑な軽油が特殊燃料と比較して排出量が増加するが、高負荷、高噴射圧力では燃料の差が排出に与える影響が小さくなる傾向がみられる。これもPMの排出傾向と類似している。しかしながら、Py排出については、高負荷条件で特殊燃料が排出量が多いが、この原因については今後検討する必要があると考える。

一方、軽油にPyを添加すると低負荷条件ではいずれの噴射圧力においてもPhe, Py排出は増加する。このことは、添加したPyが未燃のまま排出するとともにPheに分解して排出されてそれぞれの排出増をもたらしていると考えられる。

図8に燃料組成がベンゾ(a)ピレン(BaP)、ベンゾ(ghi)ペリレン(BghiP)排出に与える影響について検討した結果を示す。BaPおよびBghiP排出も噴射圧力が増加すると低減する傾向がある。また、燃料にPyを添加すると、低負荷条件で噴射圧力が35MPaではPy成分からBaP、BghiPが生成するためと考えられるが、排出増がみられるが、噴射圧力が増加するとPy添加の影響による排出増はほとんどみられなくなる。また、軽油と特殊燃料を比較すると、低負荷条件にみられるように、大幅に軽油の排出量が多いが、これは、燃料中のBaPが未燃のまま排出される部分と図7に示したピレンなどの他の燃料成分から生成される部分の両者に起因すると考えられる。

一方、高負荷運転条件では、排出量が大幅に低減する。高負荷条件におけるBaP, BghiPの排出低減はPhe, Pyと比較して顕著であるが、これは沸点が高くSOFを構成する成分であるBaP, BghiPがSOFと同様の挙動をするためと考えられる。

#### 4. まとめ

単気筒DIディーゼルエンジンを対象として、燃料組成と噴射圧力が未規制物質である3環から6環の代表的なPAH排出に及ぼす影響について検討した結果をまとめると以下のようである。

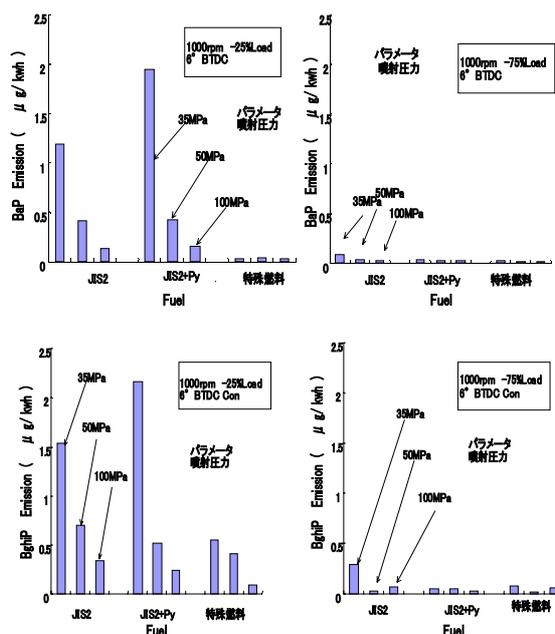


図8 燃料組成、噴射圧がベンゾ(a)ピレン, ベンゾ(ghi)ペリレン排出に与える影響

(1) いずれのPAH排出も、低負荷、高負荷の運転条件においてPM排出と同様噴射圧の増加により低減する傾向を示した。このことから、燃料の微粒化や燃料と空気の混合促進によりPM同様、PAHについても生成、排出が抑制される。

(2) いずれのPAH排出も、燃料組成の影響を受け、特に低負荷運転条件において組成の単純な特殊燃料と比較して芳香族成分等を含む軽油で排出が増加する傾向がある。しかしながら、噴射圧の増加によるPAH排出低減によりPAH排出に与える燃料組成の影響は小さくなる傾向がある。

#### 参考文献

- (1) 自動車技術会 2002年春季大会 JCAPセッション資料集
- (2) 秋本他、自技会 学術講演会前刷集、NO.20005148, (2000)