

直噴ディーゼル車から排出される粒子状物質および多環芳香族炭化水素に及ぼす新燃料の影響に関する研究

堀 重雄* 阪本 高志* 佐藤 辰二*

Study of Influence of New Diesel Fuels on
PM and PAH

Exhaust Emissions from DI Diesel Vehicles

by

Shigeo Hori*, Takashi Sakamoto*, Tatuj i Sato*

abstract

Particulate matter (PM) and polynuclear aromatic hydrocarbon (PAH) were measured under two running mode driving patterns, JE05 mode and Jam mode, that represent the traffic jam driving, in the exhaust of three different 2ton class DI diesel trucks that meet the Japanese long-term and Japanese new short-term emission regulations. The one vehicle that meets the Japanese long-term regulation has EGR system and one of the other vehicles is equipped with weak type oxidation catalyst and the last vehicle has continuous regeneration type Diesel Particulate Filter (DPF) System. The objective of this study was to examine and discuss the effects of new diesel fuels, that are Bio Diesel Fuel (BDF) and Gas to Liquid Diesel Fuel (GTL), on PM and PAH emissions from vehicles.

The following conclusions were obtained.

- (1) The soot emission is reduced in case of GTL and BDF fuels that have few aromatic components in comparison with ordinary diesel fuel. Furthermore, reduction effect of BDF on soot formation is great due to that BDF is oxygenated fuel.
- (2) PAH emission measured in this study decrease clearly in case of GTL compared with ordinary diesel fuel, However the tendency of PAH emission in case of BDF change by means of vehicles and driving modes.

(3) The SOF and PAH emissions decrease remarkably by after-treatment devices like as oxidation catalyst and DPF if these devices operate normally. Especially, as to BaP and BghiP these PAH emissions are less than the limit of detection in much cases, so the influence of fuels on PAH emissions become unclear.

1. はじめに

直噴ディーゼルエンジンから排出される粒子状物質 (PM) に与える燃料性状の影響については、軽油を対象として NOx など他の規制成分に及ぼす影響とともに多くの研究、報告がなされている。また、セタン価や蒸留性状、軽油を構成する芳香族成分含有量や構成成分、分子構造の相違そして、硫黄分含有量が PM 排出に影響を及ぼすことが明らかにされてきた^{1), 2), 3)}。さらに、排ガス規制の強化・進展に伴い燃焼改善が進み、排ガス後処理装置を装着した車両が実用化されることにより PM 排出量が低減し、軽油燃料性状が PM 排出に与える影響が小さくなる傾向にあることが指摘されている⁴⁾。しかしながら、未規制微量成分であり、環境省の未規制有害物質優先取り組み物質の一つとして指定されているベンゾ a ピレン (BaP) などの多環芳香族炭化水素 (PAH) 排出に与える燃料性状の影響については報告例が少なく不明な点が多い。

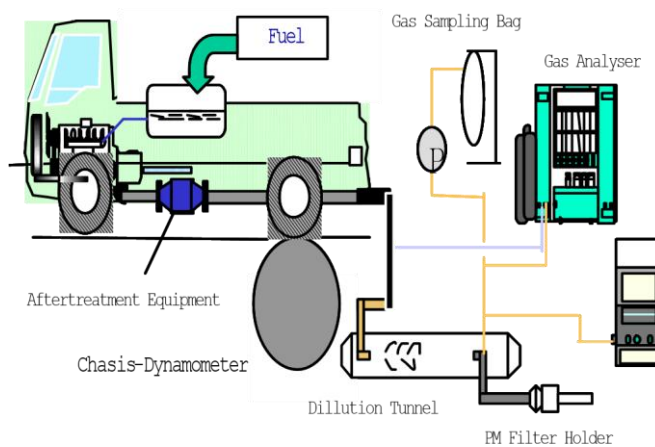
一方、近年地球環境温暖化対策や石油資源の枯渇化に対応してバイオディーゼル燃料 (BDF) や FT(Fisher-Tropsch) 反応により製造、精製される合成燃料 (GTL) がディーゼルエンジン代替用として研究、開発され実用化が進められている。しかしながら、これら燃料性状や構成成分分子が大きく異なる新燃料を DI ディーゼルエンジンに用いた場合の PM や PAH の排出特性については充分明らかにされていない。

本研究では、排ガス対策として EGR を主体とした長期規制対応車および EGR に加えて後処理装置を付加した新短期規制対応車など、排ガス低減対策の異なる既存の小型直噴ディーゼルトラックを対象として実走行実験を実施した。その結果から、軽油と比較したときの BDF および GTL の排出ガス特性

に与える影響のうち、PM および PAH 排出に及ぼす影響について検討、考察した。

2. 実験方法

Fig.1 に実験システムの構成を示す。実験は、シャシーダイナモメータを用いて Table.1 に示す 3 種類の小型直噴ディーゼル



トラックを対象として Fig.2 に示す JE05 モードおよび平均車速が 5 km/h の渋滞 Fig. 1 Outline of test equipments

Table.1 Specifications of test vehicles

Vehicle category ID	Vehicle A	Vehicle B	Vehicle C
Vehicle category	2-ton truck	2-ton truck	2-ton truck
Corresponding emission regulations	J-Long Term (J-1998)	J-New Short Term (J-2003)	J-New Short Term (J-2003)
Displacement vol. (CC)	4021	4777	4009
Injection system	Distribution type	Common Rail	Common Rail

Major emission control	EGR	EGR, Oxidation Cata.	EGR, CRT- DPF
Air intake	NA	TCI	TCI
Vehicle weight (kg)	2325	2320	2150
Transmission	MT	MT	MT

Table.2 properties of test fuels

	JIS-2	GTL	BDF
Density (15°C)/g/m ³	0.8285	0.785	0.882
Sulfur (ppm)	7	<1	-
Viscosity cst(30°C)	3.869	4.441	5.381
Flash Point (°C)	106	96.5	192

(Jam)モード走行時の排出ガスを希釈トンネルに導入し、PM をフィルタ捕集して行った。新長期規制用のトランジェントモードである JE05 モードの試験では、変速ポイントを専用のアルゴリズムで計算して決めた⁵⁾。A 車は長期規制適合車両で排ガス対策として EGR 制御を行っており、燃料供給方式は分配型噴射ポンプを用いている。一方、B 車、C 車はいずれも新短期規制適合車両でありクールド EGR 制御とともに後処理装置を装着し、コモンレール型噴射方式を採用している。B 車の酸化触媒装置は、500ppm 硫黄分の軽油に対応した酸化力の弱い触媒を用いている。また、C 車は連続再生式 DPF を装着し、DPF の作動制御を行うことにより新長期規制に応じた PM の排出低減を達成している⁶⁾。実験の再現性を確保するため本実験の前に充分暖気運転を行い、路上走行 60km/h を 15 分間実施することを原則とした。Table.2 に試験に用いた JIS2 号軽油 (軽油)、GTL, BDF の性状を示す。燃料は特設の燃料タンクから供給し、完全に燃料を交換した条件で実験を実施するように留意した。軽油は 10ppm 硫黄レベルの市販軽油である。GTL は軽油と比較してほとんど硫黄分および PAH を含む芳香族成分を含まない。密度が低くセタン指数が高いことが特徴であり、主としてノーマルパラフィンとイソパラフィ

Distillation (°C)	IBP	169	208.5
	T10	214.5	244
	T50	287	295
	T90	336.5	341
Cetane Index(JIS)		59.5	89.9
CH Ratio	6.24		6.36
O(Maas%)			8.8
PAH Conc. (ppm)			
	Phe	3.5	ND
	Py	3.9	ND
	BaP	0.12	ND
	BghiP	0.32	ND

ND; Phe:0.32, Py:0.22, BaP:0.004, BghiP:0.02

ンから構成される第 2 世代の GTL である⁷⁾。一方、BDF は、軽油と比較して密度、動粘度のほか流動点、目詰まり点が高く、主として炭素数が 16 および 18 の高級脂肪酸のメチルエステルからなるため、沸点範囲が狭く高い。また、酸素を 8.8%含んでおり、GTL 同様芳香族成分を含まない。以上のように軽油、GTL および BDF は、性状とともに構成成分分子が異なることが大きな特徴である。

フィルタに捕集した PM は Fig.3 に示すように、重量測定後、高速溶媒抽出法 (Accelerated Solvent Extraction Method)⁸⁾ により抽出溶媒としてジクロロメタンを用いて SOF を抽出した。PM の捕集量は捕集前後のフィルタの重量差より求め、SOF 量は SOF 抽出前後のフィルタ重量差より求めた。また、今回の実験では、各燃料中の硫黄含有率が少ないので、PM 排出量と比較してサルフェートはほとんど排出されず、PM から SOF を差し引いて求めた ISOF はほぼ SOOT と量的に等しいと考えられる。さらに、抽出した SOF について FID 付ガスクロマトグラフ (GC-FID) による組成分析および蛍光検出器付高速液体クロマトグラフ (HPLC) による各種 PAH の定量を行った。Table.3 に GC-FID および HPLC の分析条件を示す。HPLC による PAH 分析の対象として 3 環から 6 環の代表的な PAH を分

析したが、3環の PAH であるフェナントレン(Phe)は、沸点が比較的低いためフィルタで捕捉する PM に付着せず、ガス状でフィルタを通過する割合が高いため⁹⁾、ピレン(Py), BaP, ベンゾghiペリレン(BghiP)を解析対象とした。これらの PAHのうち、BaP は国際ガン研究所 (IARC) の発ガン性評価で 2A (人に対しておそらく発ガン性がある) に分類されている。

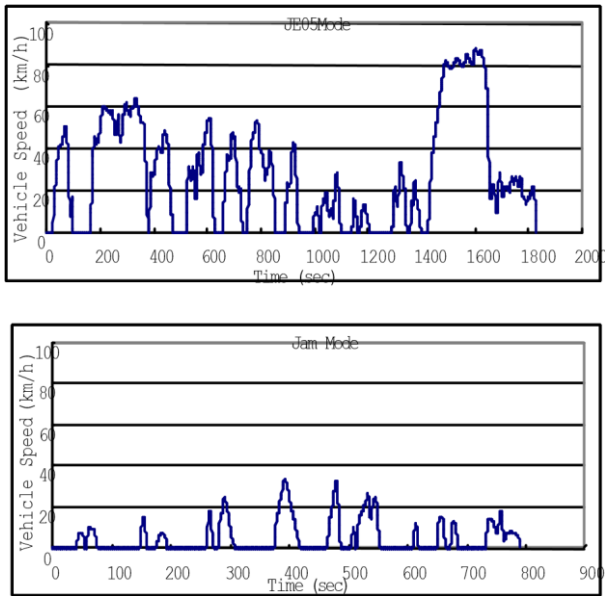


Fig. 2 Driving patterns for emission test

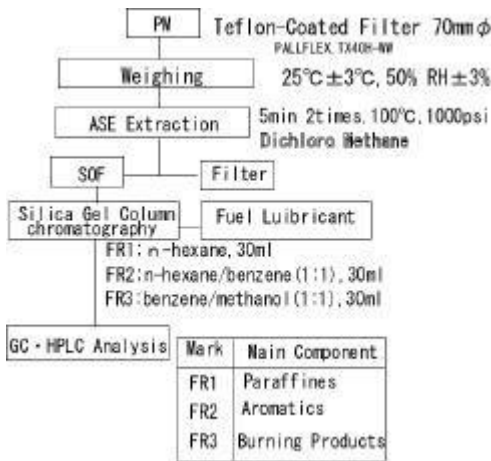


Fig. 3 Analytical procedures for PM

Table. 3 Analytical Condition for GC and HPLC

Instrument	Shimazu GC-7AG
------------	----------------

Column	Shimazu CBP-1 (OV-1 Corresponding) 0.2mmΦ x 25m
Carrier Gas	He 1ml/min (25℃)
Flow	
Temperature Program	70℃ (2min), -Increase velocity 8℃/min-300℃
Ditector	FID/320℃
Temp.	
Injection Method	Splitless method
Instrument	JASCO HPLC
Column	Zorbax ODS 4.6mmID x 25cm (5μm)
Guard	Zorbax ODS 4.6mmID x □. □□cm
Column	(5μm)
Column	40℃
Temp.	
Mobile Phase	85%CH ₃ CN/15%H ₂ O
Flow Rate	1.0ml/min
Ditector	FP2020
Injection	20μL
Volume	
Ditection	Ex/Em(nm)
	Phe(296/367), Py(340/393)
	BkF, BaP, BghiPe(382/407)
Wave Length	

3. 実験結果および考察

3. 1. 新燃料が PM および PAH 排出に与える影響

Fig. 4 に長期規制車両である A 車について新燃料が PM 排出に及ぼす影響について軽油と比較して示した。

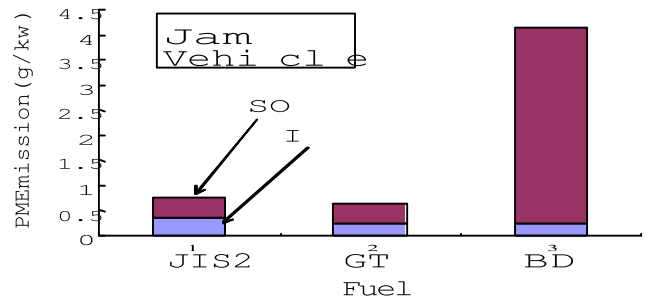
A 車は、排ガス対策として NO_x 低減のため EGR 制御を実施しているが、後処理装置は装着していない。JE05 モードと渋滞モードでは、g/kWh で表した排出レベルは渋滞モードが高いが、PM 排出量に与える燃料の影響は同様の傾向を示す。すなわち、軽油と比較して GTL では、ISO_F 排出量が明らかに低減するが、SO_F 排出量はやや増加し、PM 全体としてはほぼ同程度の排出量である。一方、BDF は、排出特性は大きく異なる。ISO_F 排出量は、軽油と比較して低減した GTL と比較してさらに低減するが、SO_F 排出量は軽油、GTL と比較して大幅に増加し、結果として PM 排出量は大幅に増加する。軽油と比較して GTL で ISO_F 排出量が低減する理

由は、セタン指数が高いにもかかわらず、SOOT 生

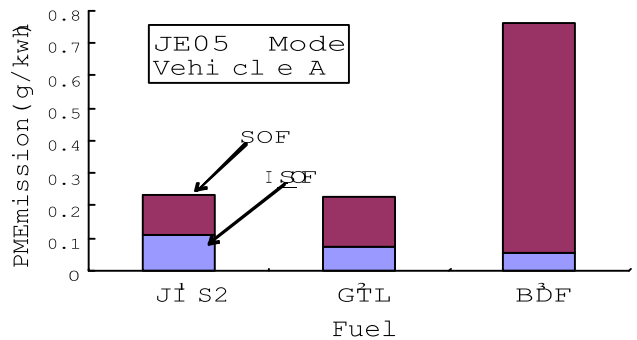
成を促進すると考えられる芳香族成分を GTL がほとんど含まないことが大きな要因であると考えられる^{10)、11)}。また、BDF は GTL と同様に Table.2 に示すように PAH を含む芳香族成分を含まないだけでなく分子中に 8.8% の酸素を含むため、この酸素の SOOT 生成抑制作用が加わることによりさらに SOOT 排出量が低減したと推察される¹²⁾。また、BDF では SOF 排出量が大幅に増加し、その増加率は渋滞モードで顕著である。そこで、その理由を検討するため、実路走行を代表する規制用の走行モー

ドとして作成された JE05 モードにおけるそれぞれの SOF について GC-FID による成分分析を実施した。結果を図 5 に示す。各燃料の GC パターンも比較のため示した。図中の数字はノーマルパラフィンの炭素数を表している。ノーマルパラフィンおよび高級脂肪酸メチルエステル類の同定は別途、GC-質量分析装置により行った。各燃料と各 SOF の GC パターンを比較することにより、BDF では、SOF の主要成分は BDF を構成する炭素数が 16 および 17 の高沸点の脂肪酸メチルエステルであり、一方、軽油および GTL では、SOF の主要成分は炭素数が 16 以上の高沸点の燃料成分であることがわかる。また、GTL と軽油では炭素数が 17 以下の領域で成分

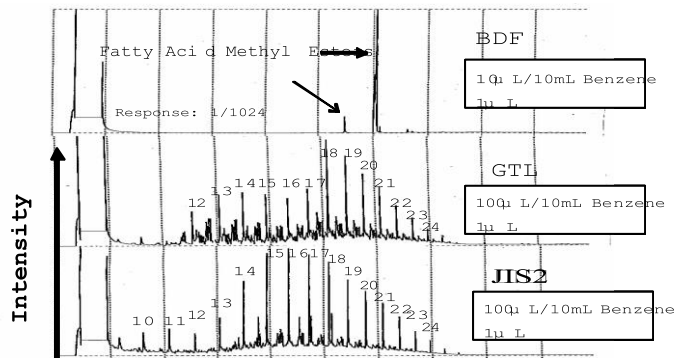
パターンが異なるにもかかわらず、SOF の GC パ



ターンはほぼ同様の形状をしている。以上のことから、SOF は主とし



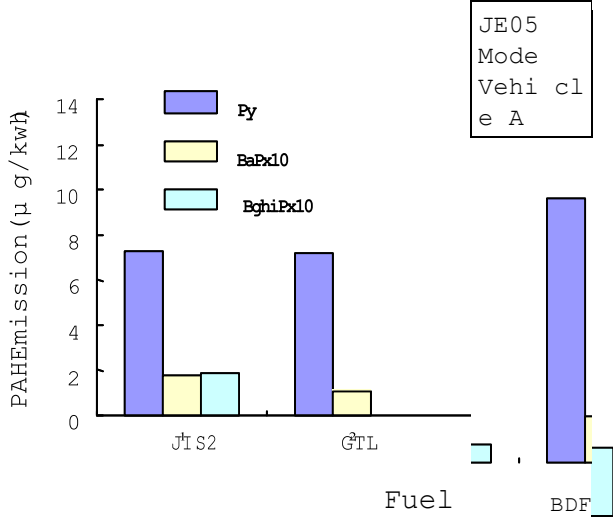
(a) JE05 Mode



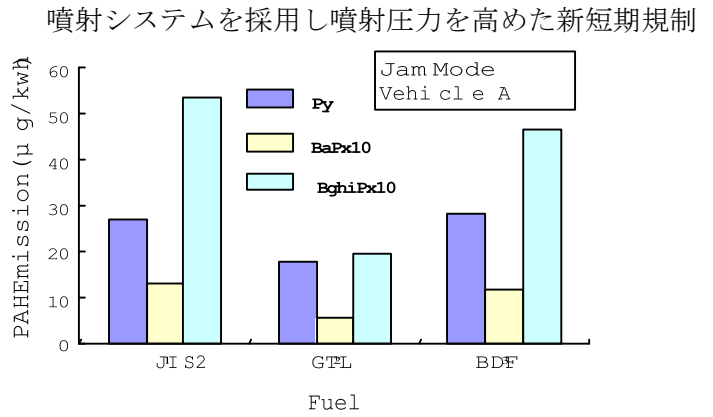
(b) Jam Mode

Fig.4 Influence of fuels on PM emission

0 4 8 12 16 20 24 28 32 36

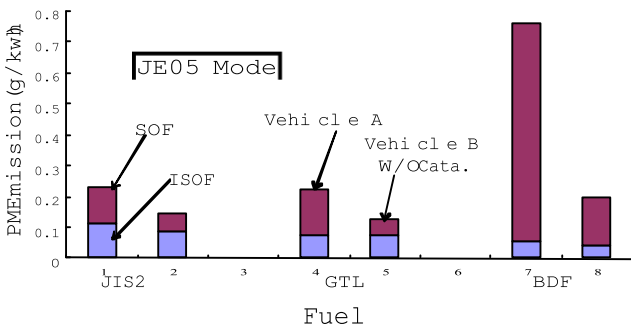


(a) JE05 Mode



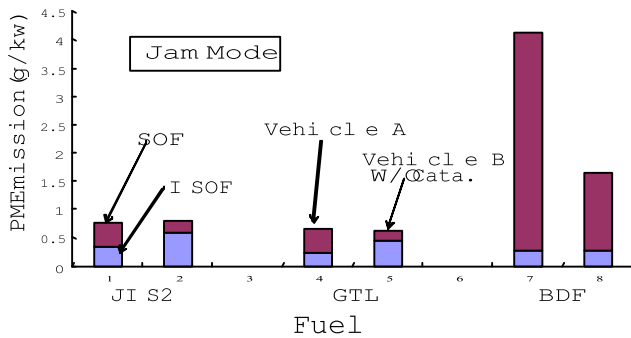
(b) Jam Mode

Fig. 6 Influence of fuels on PAH emission



emission

(a) JE05 Mode



(b) Jam Mode

Fig. 7 Influence of fuels on PM emission between Vehicle A and B necessary.

3. 2. 規制年度の異なる車両における新燃料が PM および PAH 排出に与える影響

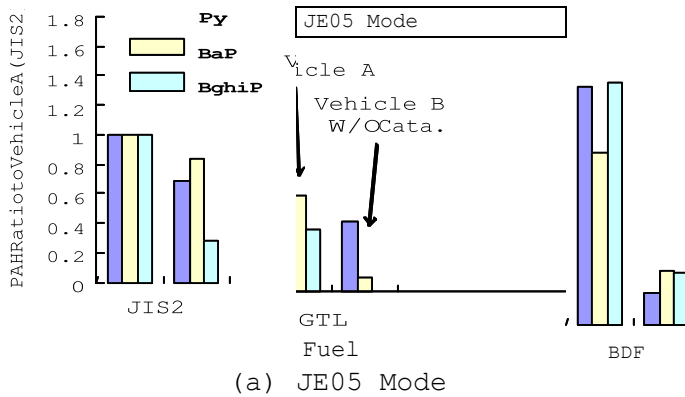
Fig.7 に車両 A と酸化触媒を取り外しダミー触媒を装着した車両 B について、新燃料が PM 排出量に与える影響について比較した結果を示す。長期規制対応車両である A 車と比較してコモンレール方式の

噴射システムを採用し噴射圧力を高めた新短期規制対応車両である B 車は、JE05 モードでは、いずれの燃料においても大幅な SOF 排出量の低減および軽油、BDF では SOOT 排出量の低減により PM 排出量は大幅に低減し、BDF でその傾向は顕著である。また、燃料が PM 排出に与える影響については B 車も前節で検討した A 車とほぼ同様の傾向を示す。以上のことは、A 車と比較して B 車では、コモンレール方式の燃料噴射ポンプを用いて噴射圧力を高めているため燃料の微粒化と混合気の均質化が促進され燃焼が改善された効果と考えられる。一方、渋滞モードでは、JE05 モードと同様に SOF は大幅に低減するが、軽油、GTL では、SOOT の増加によりほぼ同程度の PM 排出量を示している。この原因は、B 車では、NO_x 低減のための EGR 率増加の影響により特に低速低負荷領域での燃焼悪化により SOOT 生成が促進された結果であると考える¹⁶⁾。

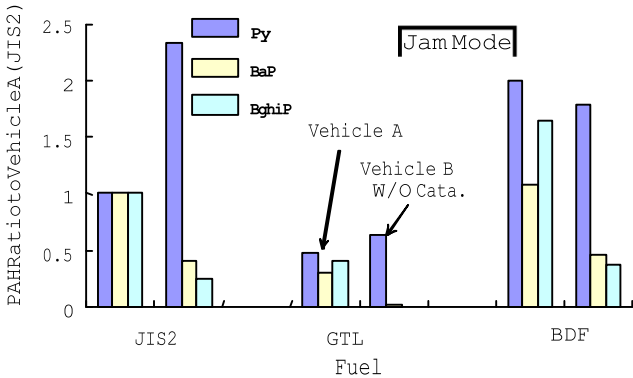
Fig.8 は Fig.7 と同様に新燃料が PAH 排出に与える影響について軽油と比較した結果を示した。A 車の軽油の排出量を 1 とした相対値で表示している。PAH 排出量は、JE05 モードでは、A 車と比較して B 車では、Py, BaP, BghiP のいずれの PAH についても、排出量が低減する傾向が明らかであり、A 車と異なり BDF についても軽油と比較して低減する。また、燃料による PAH の排出量は A 車と同様に GTL で最も排出レベルが低い。一方、渋滞モードでは、BaP, BghiP は JE05 モードで示された上記傾向と同様の傾向を示している。また、A 車と比較して SOOT 生成量の増加がみられた B 車の軽油、GTL

では、Py の排出量がやや増加している。以上のよ
うに、A 車と比較して噴射圧力を高めた B 車では、
PM, PAH ともに排出量は低減し、そのことにより
燃料が PM および PAH 排出に与える影響は小さく
なる傾向を示すと言える。そのことを、EGR 制御
を実施せず、後処理装置も装着しない単筒直噴ディ
ーゼルエンジンによる実験で確認した。その結果を
Fig.9、Fig.10 に示す。

Fig.9,10 は、排気量 2.147L の4サイクル単筒
直噴

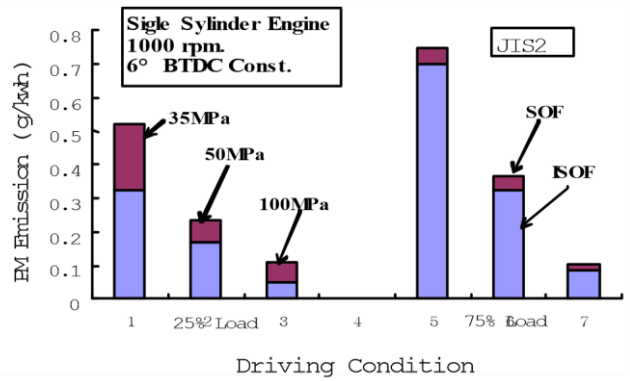


(a) JE05 Mode

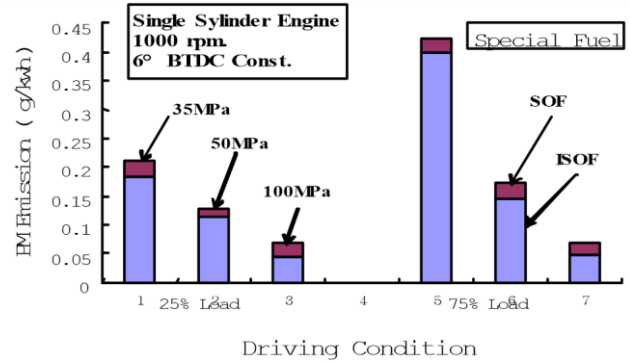


(b) Jam Mode

Fig.8 Influence of fuels on PAH emission between vehicle A and B



(a) JIS2



(b) Special Fuel

Fig.9 Influence of injection pressure on PM emission

エンジンで、回転数 1000rpm 一定、負荷率 25%、
75%の定常運転条件で、PM および PAH 排出量
を軽油と特殊燃料で比較した結果である。特殊燃料
は主として炭素数が 14 と 15 のノーマルパラフィン
からなる混合燃料で、第一世代の GTL と類似して
いる組成である¹⁷⁾。軽油は 500ppm 硫黄レベルで
あるが、今回用いた軽油と密度、分留性状の T90、
セタン指数はほぼ同一である。Fig.9 に示すように、
軽油と特殊燃料の PM 排出量を比較すると、いずれ
の負荷条件においても軽油と比較して特殊燃料は低
沸点成分から構成されているためと考えられるが
SOF 排出量は低減し、SOOT 排出量も大幅に低減
している。また、噴射圧力を 25MPa から 100MPa
に増加していくと、PM 排出量は軽油、特殊燃料と
もにいずれの負荷条件でも SOF および SOOT 排出
量のいずれも低減する。また、各 PAH 排出量は低
負荷条件では、PM 排出量と同様特殊燃料は軽油と
比較して低減し、また、軽油、特殊燃料ともに噴射
圧力の増加とともにいずれの PAH 排出量も低減す

る傾向が明瞭である。一方、高負荷条件では、Py については、いずれの燃料についても噴射圧力の増加とともに低減する傾向が見られるが、BaP,BghiP では、排出量が大幅に低減するため、噴射圧力および燃料の影響のいずれも小さくなること が特徴的である。軽油、特殊燃料ともに BaP,BghiP 排出量は燃焼が活発で気筒内燃焼温度が 高い高負荷運転条件で大幅に低減する。したがって、BaP, BghiP の排出要因として、排気弁、排気マニホールド直後の排気ガス温度条件による BaP, BghiP の物理化学的变化を考慮する必要を示唆している。

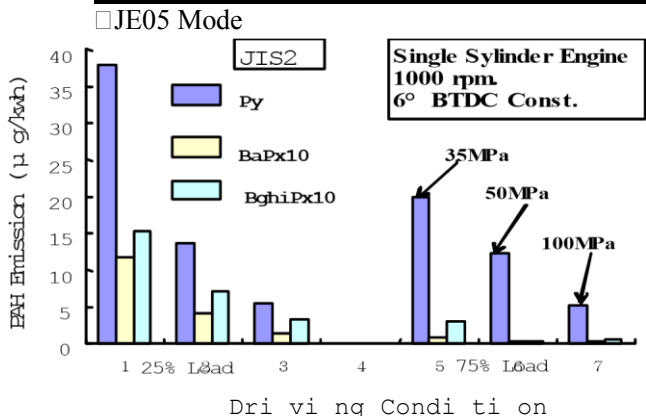
3. 3. 後処理装置装着車の PM および PAH 排出に与える燃料の影響

Fig.11 に後処理装置装着車の PM 排出に与える燃料の影響について検討した結果を示す。B 車は後処理装置として硫黄分 500ppm レベルの軽油に対応した弱い酸化力を有する酸化触媒を装着している。酸化触媒装置の PM 低減効果を検討するため触媒を担持して

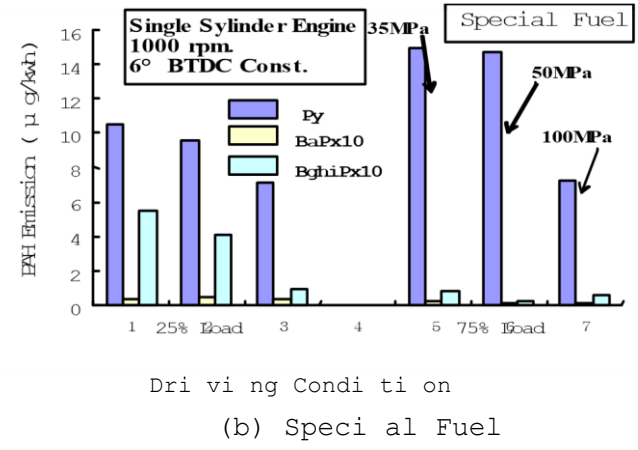
いないダミー触媒を装着して実験を行った。また、

Table.4 Limit of detection for PAH

	Py	BaP	BghiP
ng/フィルタ	0.39	0.04	0.22
絶対量 pg	7.8	0.78	4.4
μg/kwh □	0.05	0.005	0.03

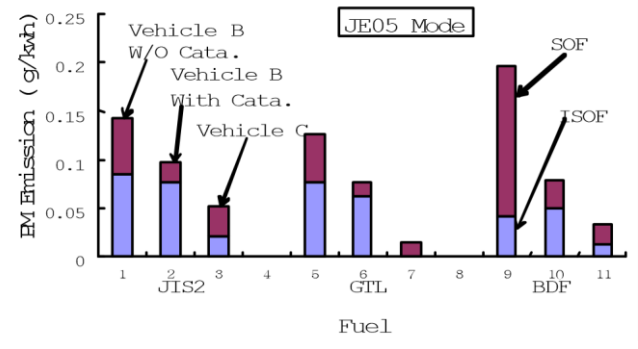


(a) JIS2

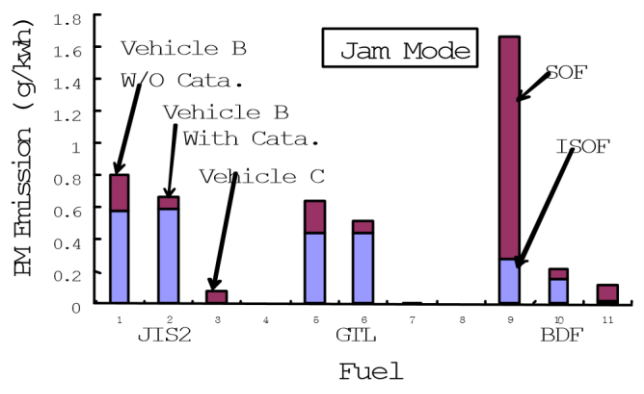


(b) Special Fuel

Fig.10 Influence of injection pressure on PAH emission



(a) JE05 Mode



(b) Jam Mode

Fig.11 Influence of fuels on PM emission from vehicles with after treatment devices 車は短期規制対応車両であるが、DPF を装着し、DPF の機能制御を行うことにより PM については、新長期規制レベルを達成する性能を有している。後処理装置の PM 低減効果は、酸化触媒ではいずれの燃料においても SOF を浄化することにより PM 排出量を低減するが、特に BDF ではいずれの走行モードにおいてもエンジンからの SOF 排出が多いため酸化触媒などの後処理装置は

PM低減対策として必須であることがわかる。一方、DPFを装着するC車では、SOOTが低減することによりPM排出レベルは大幅に低下し

GTLの排出レベルが最も低い。

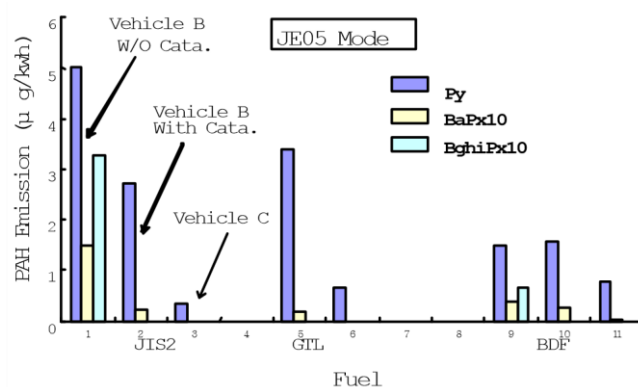
Fig.12に後処理装置装着車のPAH排出に与える燃料の影響について検討した結果を示す。PAHはSOFと同様に酸化触媒およびDPFにより大幅に低減される。特にDPFを装着したC車では、BaP,BghiPの5環、6環のPAHは軽油、GTL,BDFともに検出限界以下の排出量であり、燃料の影響について議論できるレベルではない。ただし、BDFで渋滞モードでは、検出限界以上の排出が見られる。図中、棒グラフで示されていない場合は検出限界以下の排出量を表しており、Table.5に検出限界における各PAHの排出量を各単位で示した¹⁸⁾。また、B車で酸化触媒が装着されていても軽油とBDFでは、触媒温度が低いまま推移する渋滞モードでは、BaP,BghiPは浄化率が低下し触媒装置未装着と同程度の量が排出されている。一方、もともと生成・排出量が少ないGTLでは、渋滞モードにおいても排出量は検出限界以下である。

以上のように、排気温度が高く後処理装置が活発に機能する条件では、BaP,BghiPなど5環、6環のPAHの排出量は大幅に低減し検出限界以下となるため燃料の影響については議論することが困難である。また、排気温度が低い渋滞走行では軽油及びBDFで検出限界以上の排出量が認められることから、今後、コールドスタート時などの後処理装置が不活性な状態や後処理装置の制御不良におけるPAH排出特性の検討が課題である。

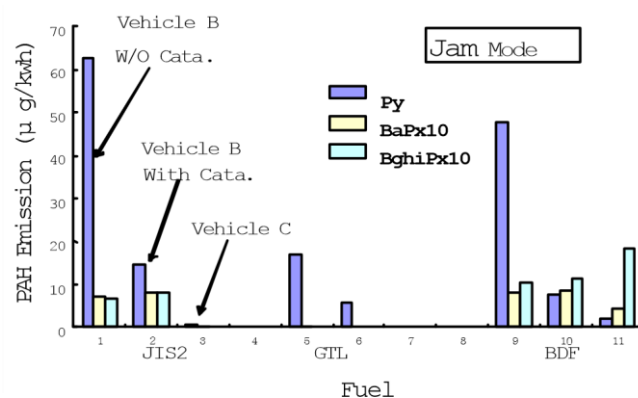
4. まとめ

排ガス低減対策の異なる既存の小型直噴ディーゼルトラックを対象として、JE05モードおよび渋滞モードの2種類の実走行実験を実施した。軽油と比較してBDFおよびGTLのディーゼル代替の新燃料を使用した場合の燃料特性がPMおよびPAH排出に与える影響について主として噴射圧力の増加や

後処理装置の効果に着目し検討した。結果をまとめると、以下のこと



(a) JE05 Mode



(b) Jam Mode

Fig.12 Influence of fuels on PAH emission from vehicles with after treatment devices

と言える。

(1) 軽油と比較して芳香族成分を含まないGTL、BDFでは、SOOT排出が抑制される。また、分子中に酸素を含むBDFのSOOT排出抑制効果は大きい。(2) 軽油、GTLおよびBDF使用時のSOF排出の主要因は未燃の燃料の高沸点成分である。したがって、一般に、高沸点成分割合が多い燃料ほどSOOF排出量は多くなる。

(3) 今回対象としたPAHの排出量は軽油と比較してGTLで明瞭に低減するが、BDFでは車両や走行モードにより異なった傾向を示した。

(4) 燃料噴射圧力の増加によりPM排出量は低減するが、PAH排出量も同様に低減し、燃料の影響は小さくなる傾向を示した。

(5) 酸化触媒やDPFの後処理装置の装着により、後処理装置が正常に機能する条件においては

PM および PAH は大幅に低減する。特に、DPF 装置の低減効果は大きく、BaP,BghiP は検出限界以下の排出量の場合が多く、燃料の相違は不明確となる。

参考文献

(1) 中島他、軽油性状のディーゼル排出物質への影響(2)一燃料中の芳香族種類が排気中の粒子状物質と半揮発性物質の性状に及ぼす影響一、大気環境学会誌、Vol.33,NO.4,p.262(1998)

(2) 木戸口他、直接噴射式ディーゼル機関の燃焼と排気特性に及ぼすセタン価および芳香族成分の影響、自動車技術会前刷集 NO.113-99 NO.9941773,(1999) (3) 中北他、軽油性状がディーゼル排気に及ぼす影響、第1報一代表的な3種の軽油での燃焼・排気特性の比較一、自動車技術会論文

文集 Vol . 30, NO. 2, P. 55

(1999)
(4) 河野他、最新後処理システム搭載ディーゼル車両の排出ガスに及ぼす燃料性状の影響検討、自動車技術会学術講演会前刷 NO. 102-

05, NO. 20055864 (2005) (5) 野田他、実走行過渡モードを個別重量車のエンジンベース試験条件に自動変換するアルゴリズムについて一重量車の新長期規制排出ガス試験法と燃費評価法への適用一、第2回交通安全環境研究所発表会講演概要、NO.16.p.115(2002)

(6) 南川他、DPR の開発一商用車用超低 PM 後処理システムの開発一、自動車技術会学術講演会前刷集、

NO88-03,NO.20035600,P.19(2003)

(7) 松原「GTL 燃料の生産動向とディーゼル車両への利用」、自動車技術、Vol.58,NO.11,p.41(2004)

(8) 高速溶媒抽出(ASE)法を用いた環境試料中多環芳香族化合物(PAHs)の抽出、ダイオネクスアプリケーションレポート AR012GE-0035

(9) Hori,et.al,The influence of Fuel Components on PM and PAH Exhaust Emissions

from a DI Diesel Engine-Effects of Pyrene and Sulfur Contents-,SAE Paper NO.2001-01-3693(2001)

(10) 辻村他、GTL 軽油ディーゼル車両の粒子状物質排出特性に関する研究、自動車技術会学術講演会前刷集、NO54-

06,NO.20065294,P.1(2006)

(11) 西海他、パラフィン燃料性状のディーゼルパーティキュレートに及ぼす影響、自動車技術会学術講演会前刷集、NO56-

05,NO.20055103,P.5(2005)

(12) 渋谷他、ディーゼル排出ガスに及ぼす植物油メチルエステルの影響、自動車技術会学術講演会前刷集、NO48-

03,NO.20035187,P.5(2003)

(13) 小熊他、DME 直噴ディーゼルエンジンの PM 解析、自動車技術会論文集、

Vol.36,NO.6,P.91(2005) (14) 登坂他、ディーゼル燃料の化学反応特性の調査、自動車技術会学術講演会前刷集、NO 113-

99,NO.9941773,P.1(1999)

(15) 堀他、バイオディーゼル燃料(BDF)使用時における排出ガス等への影響調査(第2報)一BDF使用時のPM並びに多環芳香族炭化水素(PAH)の排出特性について一、第4回交通安全環境研究所発表会講演概要、PS.NO.2.p.43(2004)

(16) 鈴木他、新短期規制適合ディーゼル車における実走行モード排出ガス挙動の解析、自動車技術会学術講演会前刷集、NO36-

06,NO.20065232,P.1(2006) (17) 堀他、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、第3回交通安全環境研究所発表会講演概要、NO.17,(2003)

(18) 宗森信、
「データの取り方とまとめ方一分析化学のための統計学」P.114、共立出版