

ディーゼル車排出ガス中のPM低減調査

- 燃料性状及び酸化触媒によるPMに与える影響

Survey of particulate matter in diesel exhaust gas
- Effects of fuel properties and oxidation catalyst on PM emission -

岩 渕 美 香	Mika	IWABUCHI
江 田 良 将	Yoshimasa	EDA
菊 地 美 加	Mika	KIKUCHI
浦 木 陽 子	Yoko	URAKI
原 久 男	Hisao	HARA
井 上 俊 明	Toshiaki	INOUE
藤 田 周 治*	Shuji	FUJITA
廣 瀬 健 二*	Kenji	HIROSE

キーワード：ディーゼル排気粒子、酸化触媒、有機炭素、多環芳香族炭化水素
Key words : diesel exhaust particles, oxidation catalyst, organic carbon, polynuclear aromatic hydrocarbons

1 はじめに

大都市の幹線道路沿道では二酸化窒素や浮遊粒子状物質による大気汚染が未だ深刻であるが、その原因としてディーゼル車排出ガスの寄与が非常に大きい¹⁾。また、ディーゼル車排出粒子は極微小であることから呼吸器疾患や、発ガン性等の健康影響も懸念されている。

現在走行しているディーゼル車から排出される粒子状物質（PM）を減らす方法として、PMやPM中の有害物質の低減効果が認められているクリーン軽油²⁾（軽質軽油）など良質な燃料の使用やDPF、酸化触媒装置などの低減装置の装着があげられる。しかし、酸化触媒の処理後の排出ガス中に含まれるPAH等の有害物質排出状況については余り報告例がない。

そこで、今後の普及のための基礎資料を得ることを目的として、酸化触媒装置の有無や燃料種がディーゼル車排出ガス中のPM及びPM中の炭素成分や多環芳香族炭化水素（PAH）等に与える影響をについて調査を実施した。

なお、この調査は神奈川県、新日本石油(株)との共同調査である。

2 調査方法

2.1 調査場所及び調査期間

調査は神奈川県環境科学センターのシャーシダイナモメータを使用して実施した。

調査期間は平成14年9月4日～27日である。

2.2 試験車両

試験車両は川崎市の小型空きびん収集車を使用した。試験車両の主要諸元を表1に示した。

2.3 酸化触媒

使用した酸化触媒装置の外観を図1示した。酸化触媒はJohnson Matthey社製で、推定触媒量3,400cc、触媒1L当たり白金を約2g担持してある。

表1 試験車両の主要諸元

車名	いすゞ
登録番号	川崎 11 す 9503
初年度登録	平成7年12月
排出ガス規制年度	平成6年度短期規制
型式	KC-NKR66 EAV改
車 全長(cm)	481
全幅(cm)	189
全高(cm)	228
車両重量(kg)	2820
体 定員(人)	3
車両総重量(kg)	4985
エ 型式	4HF1
ン 気筒配置	直列4気筒
ジ 吸気方法	自然吸気
ン 総排気量(cc)	4334
変速機	手動5段変速



図1 酸化触媒外観

*公害部自動車対策課

表2 燃料性状

燃料名		硫黄分 0.05% 一般軽油	硫黄分 50ppm 一般軽油	硫黄分 50ppm 軽質軽油	
密度(15°C)	kg/m ³	831.6	827.5	808.6	
粘度(@30)	mm ² /s	3.351	3.016	1.923	
硫黄分	mass ppm	480	28	29	
低発熱量	MJ/kg	42.56	42.68	42.73	
容量発熱量	MJ/L	35.39	35.32	34.55	
セタン指数	旧JIS	58.9	58.5	53.3	
	新JIS	55.0	54.6	51.4	
セタン価		52.7	53.2	54.3	
蒸留性状	IBP °C	168.5	164.0	172.0	
	10% °C	203.0	195.5	188.0	
	50% °C	276.5	268.0	223.5	
	90% °C	336.5	333.5	286.0	
	95% °C	350.5	349.5	312.0	
	EP °C	364.0	367.5	329.5	
組成分析	Saturates	vol%	75.0	77.3	78.9
	Total Aromatics	vol%	25.0	22.7	21.1
	1-Aromatics	vol%	21.5	20.4	19.6
	2-Aromatics	vol%	2.7	2.3	1.4
	3+Aromatics	vol%	0.8	0.0	0.1

2.4 使用燃料

使用した燃料は一般軽油（硫黄分500ppm以下）低硫黄軽油、クリーン軽油（ともに硫黄分50ppm以下）の3種類である。なお、燃料性状は表2にまとめた。

2.5 試験内容

シャーシダイナモメータに試験車両を固定し、酸化触媒を装着あるいは未装着で T1（渋滞時：平均車速5.5km/h）T2（一般時：平均車速12.65km/h）T4（一般時：平均車速24.1km/h）の県内走行モードによる排ガス試験を行った。図2に走行モードの詳細を示した。

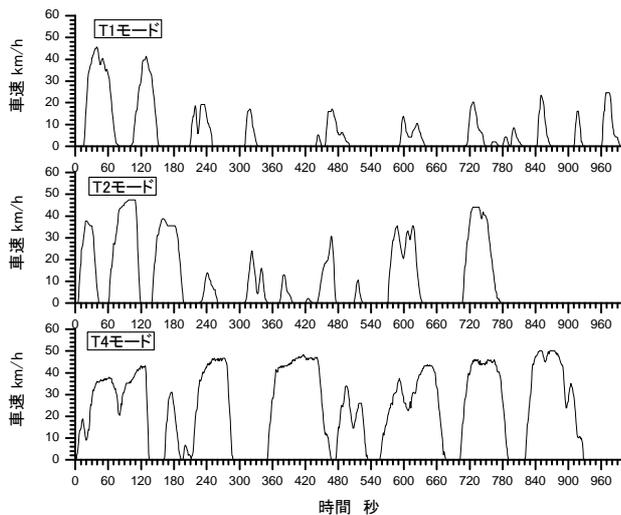


図2 県内走行モード

排出ガス性能試験は、使用燃料、試験モード及び酸化触媒の有無について表3に示す内容で実施した。

表3 排出ガス性能試験の内容

触媒装置	供試燃料	T1	T2	T4
無し	クリーン軽油	○	○	○
	低硫黄軽油	○	○	○
	一般軽油	○	○	○
有り	クリーン軽油	○	○	○
	低硫黄軽油	○	○	○

* :実施

PMの捕集には70mmの石英繊維ろ紙(Pallflex 2500QAST)及びテフロンコーティングろ紙(TX40H120-WW)の2種類を使用し、同一の試験を各ろ紙1回づつ実施した。また、粒子状態で存在するPAHとガス状態で存在するPAHを分別捕集するため、前段に石英繊維ろ紙、後段にエムポアろ紙(住友3M)を装着したPAH捕集用サンプラーを、PM捕集装置と並行稼働した。以下では、石英繊維ろ紙に捕集されたPAHを粒子状PAH、エムポアろ紙に捕集されたPAHをガス状PAHと呼ぶ。

2.6 測定項目及び分析方法

測定項目は、NOx、NO、CO、HC、CO2の排出ガス成分とPMである。また、ろ紙上に捕集されたPMを秤量後、PM中のサルフェート、炭素成分(元素炭素:EC、有機炭素:OC)、PAH成分の分析を行った。

分析方法は次のとおりである。炭素成分は熱分離法により分析した。PAH成分はPM捕集ろ紙をソックスレー抽出器で16時間ジクロロメタン抽出した後、質量分析装置(GC/MS)で分析した。分析対象物質は表4に示した

表4 分析対象物質 (PAH)

物質名	略称	物質名	略称
9-フルオレン	9-FO	ベンゾ(b)フルオランテン	B(b)F
ジベンゾチオフェン	DBTP	ベンゾ(j)フルオランテン	B(j)F
フェナントレン	PHE	ベンゾ(k)フルオランテン	B(k)F
アントラセン	ANT	ベンゾ(e)ピレン	B(e)P
カルバゾール	CHA	ベンゾ(a)ピレン	B(a)P
フルオランテン	FLR	ペリレン	PER
ピレン	PYR	ジベンゾ(ah)アントラセン	Db(ah)A
ベンゾ(a)アントラセン	BaA	ベンゾ(ghi)ペリレン	B(ghi)P
クリゼン	CHR		

なお、ベンゾ (b)フルオランテン、ベンゾ (j)フルオランテン、ベンゾ (k)フルオランテンについては分離が不十分であったため、3成分をまとめて、B(bjk)Fとした。また、サルフェートは水抽出した後、イオンクロマトグラフィで分析した。

分析条件

・炭素成分

炭素分析計：MT-6 CHN コーダー（ヤナコ製）
320 で酸素+ヘリウム気流下で有機炭素を分離
950 で酸素+ヘリウム気流下で元素状炭素を分離

・サルフェート

イオンクロマトグラフ：DX-500（ダイオネクス製）
（陰イオン）カラム：AS14、溶離液：Na₂CO₃+NaHCO₃
（陽イオン）カラム：CS12A、溶離液：メタノール

・PAH類

GC/MS：SX/SX102A（日本電子製）
カラム：5%フェニル-メチルシリコン

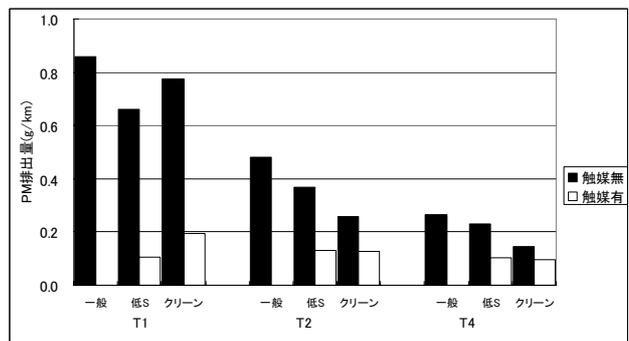
3 走行モード別排出量結果

3.1 排出ガス中各成分結果

3.1.1 PM 排出量

走行モード別 PM 排出量を図3に示した。走行モード別のPM排出量は、燃料によらず平均車速が大きくなるほど排出量が減少する傾向がみられた。

一般軽油に対する低減率をみると、酸化触媒未装着の場合、低硫黄軽油では13.2~23.1%PM排出量が低減でき、クリーン軽油ではT1モードで低減率が約10%とやや低めであったが、T2、T4モードでは44.8~46.2%と、平均車速が大きい場合、クリーン軽油の使用により酸化触媒が未装着でもPM排出量を一般軽油に比べ約1/2に低減できることがわかった。また、酸化触媒装着時では一般軽油に比べ低硫黄軽油、クリーン軽油ともに60%以上のPM低減効果が認められた。



注) 走行モードは県内走行モードのT1(渋滞時)、T2(一般時)、T4(一般時)の3種類を実施した。平均車速はT1=5.5km/h、T2=12.65km/h、T4=24.1km/hである。

図3 走行モード別 PM 排出量

3.1.2 NO、NOx 排出量

走行モード別 NO、NOx 排出量を図4、5に示した。NO、NOx 排出量はともに類似した排出傾向を示し、燃料にかかわらず平均車速が大きくなるほど排出量が減少する傾向がみられた。しかし、同一モードではNO、NOx 排出量に対する燃料の違いや酸化触媒の効果は明確には認められなかった。また、酸化触媒によりNO NOx への反応が促進すると予想されたが、酸化触媒装着時にNO 排出量が減少しNOx 排出量が増加する傾向は認められず、むしろ酸化触媒を装着した場合、NO 排出量は一般軽油に対し低硫黄軽油でT1、T2モードで14.6~18.4%、クリーン軽油で2.5~5.8%増加した。

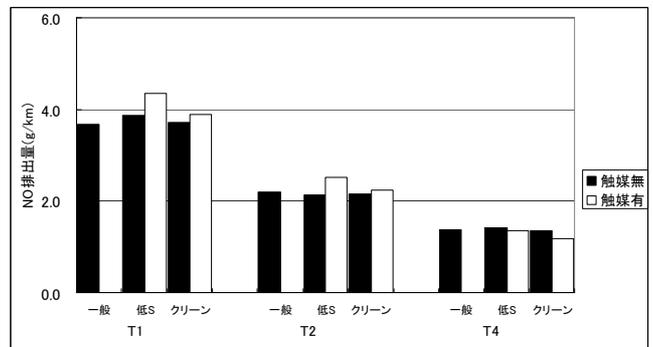


図4 NO 排出量

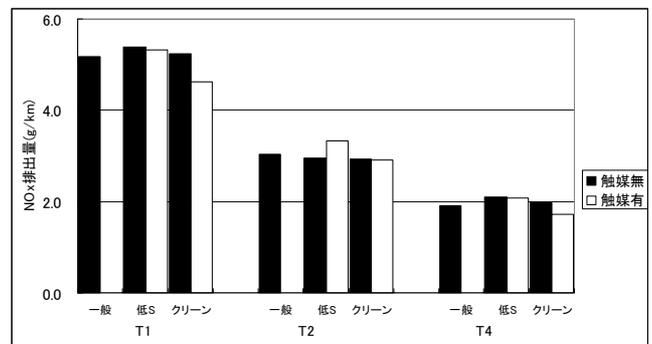


図5 NOx 排出量

3.1.3 HC 排出量

走行モード別 HC 排出量を図6に示した。走行モード別の HC 排出量は、燃料にかかわらず平均車速が大きくなるほど排出量が減少する傾向がみられた。

一般軽油に対する HC 排出量の低減率は、酸化触媒未装着の場合、低硫黄軽油では T1、T2 モードで約 10% の低減率であったが、T4 モードでは 8.9% の増加となった。またクリーン軽油では T1 モードで HC 排出量が 2.6% 増加し、T2、T4 モードでは 0.4 ~ 3.2% の低減率にとどまった。

一方、酸化触媒装着時では一般軽油に比べ低硫黄軽油、クリーン軽油とともに 98% 以上と HC 排出量に対する酸化触媒の大きな低減効果が認められた。

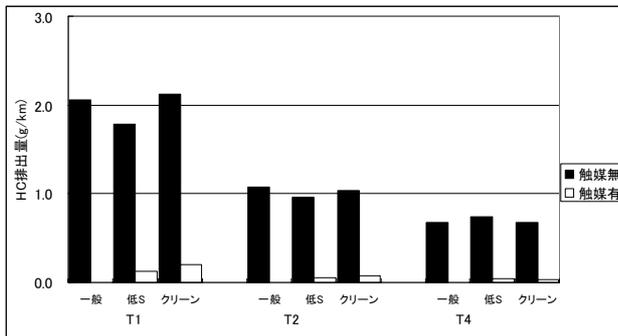


図6 HC 排出量

3.1.4 CO 排出量

走行モード別 CO 排出量を図7に示した。走行モード別の CO 排出量は HC 排出量と類似した排出傾向を示した。一般軽油に対する低減率は、酸化触媒が未装着の場合、低硫黄軽油が T1、T2 モードで約 10% の低減率であったが、T4 モードでは 17.5% の増加となった。またクリーン軽油では全モードで CO 排出量が約 10% 増加した。

一方、酸化触媒装着時では一般軽油に比べ低硫黄軽油、クリーン軽油とともに 98% 以上の CO 低減率を示し、酸化触媒による大きな CO 低減効果が認められた。

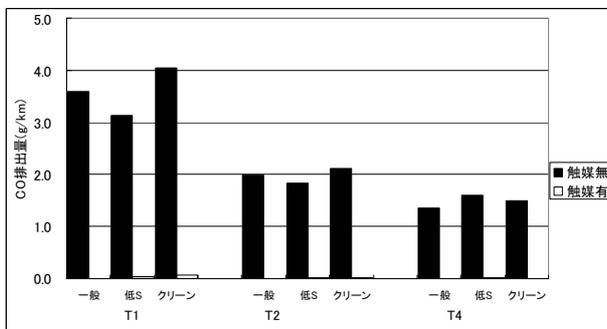


図7 CO 排出量

3.1.5 CO2 排出量

走行モード別 CO2 排出量を図8に示した。走行モード別の CO2 排出量は HC、CO 排出量と類似した排出傾向を示した。

一般軽油に対する低減率は、酸化触媒が未装着の場合、低硫黄軽油が T1、T2 モードで 10% 程度の低減率を示し、T4 モードでは約 3% であった。またクリーン軽油では CO2 排出量が 3.0 ~ 11.4% 増加し、T4 モードでも 0.8% の低減率にとどまった。

一方、酸化触媒装着時では一般軽油に比べ低硫黄軽油、クリーン軽油とともに T1 モードでは排出量が低減したが、T2、T4 モードではむしろ CO2 排出量が増加した。

酸化触媒は金属の酸化作用により CO を CO2 に酸化する。前述したように酸化触媒の使用で排出ガス中の CO は大きく減少することが認められており、この T2、T4 モードにおける CO2 排出量の増加分の一部は CO が酸化されて生成した CO2 と考えられるが、それ以外の増加分については不明である。

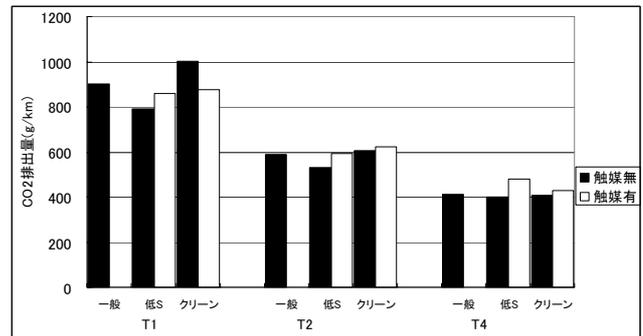


図8 CO2 排出量

3.2 PM 中の成分

3.2.1 炭素成分排出量

走行モード別炭素成分排出量を図9に示した。走行モード別の炭素成分排出量は 3.1 で取り上げた排ガス成分同様、燃料にかかわらず平均車速が大きくなるほど排出量が減少する傾向がみられた。

一般軽油に対する EC 排出量は、酸化触媒未装着の場合、低硫黄軽油の使用で EC が 13.4 ~ 27.0% 減少したが、クリーン軽油の使用では T1、T2 モードで EC が 19.8 ~ 76.2% 増加し、T4 モードでは EC 排出量は 2.7% の減少にとどまった。一方、酸化触媒装着時では一般軽油に比べ低硫黄軽油の使用で EC は 10.2 ~ 37.4% 減少し、クリーン軽油では 11.8 ~ 32.3% 減少した。

次に一般軽油に対する OC の低減率であるが、酸化触媒が未装着の場合、低硫黄軽油では 3.8 ~ 41.9%、クリーン軽油で 63.7 ~ 71.9% であり、酸化触媒装着時では低硫黄軽油が 91.6 ~ 96.1%、クリーン軽油で 93.2 ~ 94.9% と、酸化触媒の装着によりいずれの燃料でも OC 排出量が大幅に低減された。

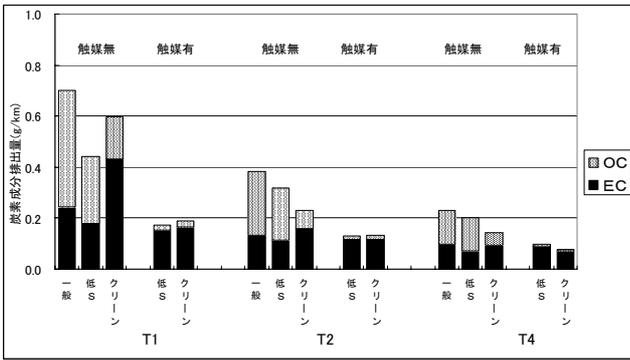


図9 走行モード別炭素成分排出量

ディーゼル排出粒子はその成分のほとんどがECとOCであるが、そのうち触媒の酸化作用で除去されるのはOC分である。図10には燃料別に酸化触媒装着時の一般軽油に対するDEP排出量及びSOF排出量の減少量を示したが、両者は同じパターンを示し、燃料の違いや酸化触媒の有無によるPM排出量の減少は主にOC排出量の減少によるものであることが確認された。

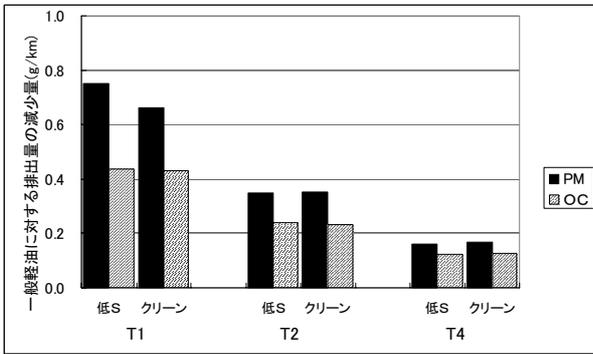


図10 一般軽油に対するPM、OC排出量の減少量

3.2.2 PAH成分調査結果

(1) 排出量及び低減率

走行モード別にガス状、粒子状PAH及びこれらを合計した排出量を図11～13に示した。排出されるPAHは主に一部の4環成分と3環成分からなるガス状PAHであり、ガス状PAH、粒子状PAHともに平均車速が大きくなるほど排出量が減少する傾向がみられた。

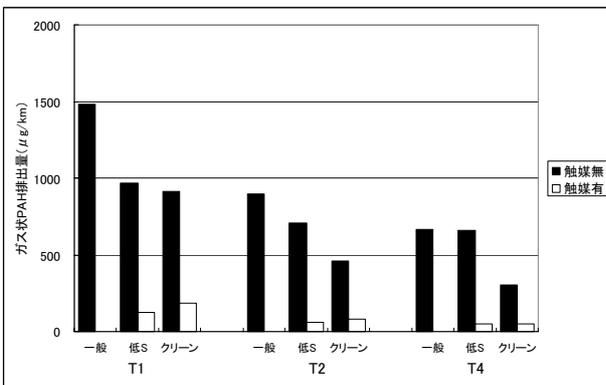


図11 走行モード別ガス状PAH排出量

一般軽油に対するガス状及び粒子状PAHの合計排出量の低減率は酸化触媒が未装着の場合、低硫黄軽油で2.6～36.2%、クリーン軽油で40.1～51.9%であった。また、酸化触媒装着時では低硫黄軽油が90.2～91.5%、クリーン軽油が84.0～90.3%の低減率を示した。

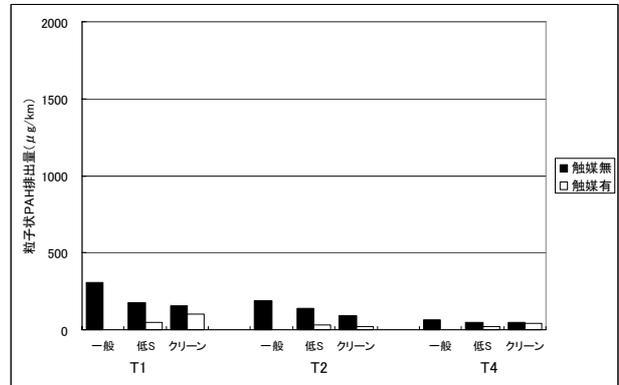


図12 走行モード別粒子状PAH排出量

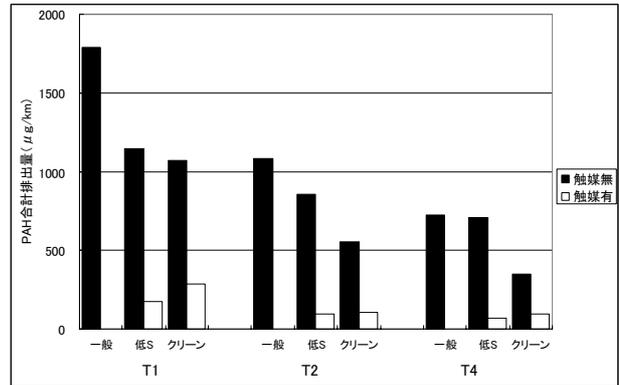


図13 走行モード別PAH合計排出量

次にガス状PAH排出量の低減率をみると、酸化触媒が未装着の場合、低硫黄軽油で0.7～34.8%、クリーン軽油で38.2～54.6%であった。また、酸化触媒装着時では低硫黄軽油が91.4～93.3%、クリーン軽油が87.7～92.7%の低減率を示した。

一方、粒子状PAH排出量の低減率は酸化触媒が未装着の場合、低硫黄軽油で22.9～42.9%、クリーン軽油で23.1～49.7%であった。また、酸化触媒装着時では低硫黄軽油が68.7～84.1%、クリーン軽油が28.8～87.1%であった。酸化触媒が未装着ではガス状PAH、粒子状PAHともに低減率は50%未満であったが、酸化触媒装着時ではガス状PAHの低減率がほぼ90%以上を示したのに対し、粒子状PAHの低減率は概ね60～85%とやや低い結果となった。

次にPAHの中で国際がん研究機関によりクラス2A(人に対して発ガン性があるかもしれない)に分類されているB(a)Pの走行モード別排出量を図14に示した。酸化触媒が未装着の場合、低硫黄軽油ではすべてのモードでB(a)Pが増加する結果となり、その増加率は-60.1～

-3.7%であった。一方クリーン軽油ではB(a)P 排出量が21.4~53.5%低減した。また、酸化触媒装着時は低硫黄軽油で37.9~72.4%、クリーン軽油では46.8~80.6%の低減率を示した。

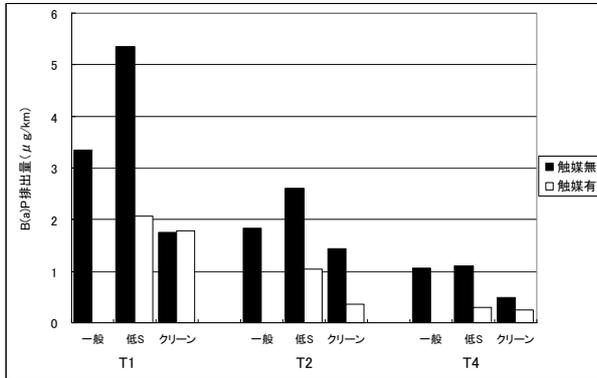


図14 走行モード別B(a)P 排出量

(2) ガス、粒子分配

図15には走行モード別にPAHの各成分についてガス状PAHと粒子状PAHの割合を示した。

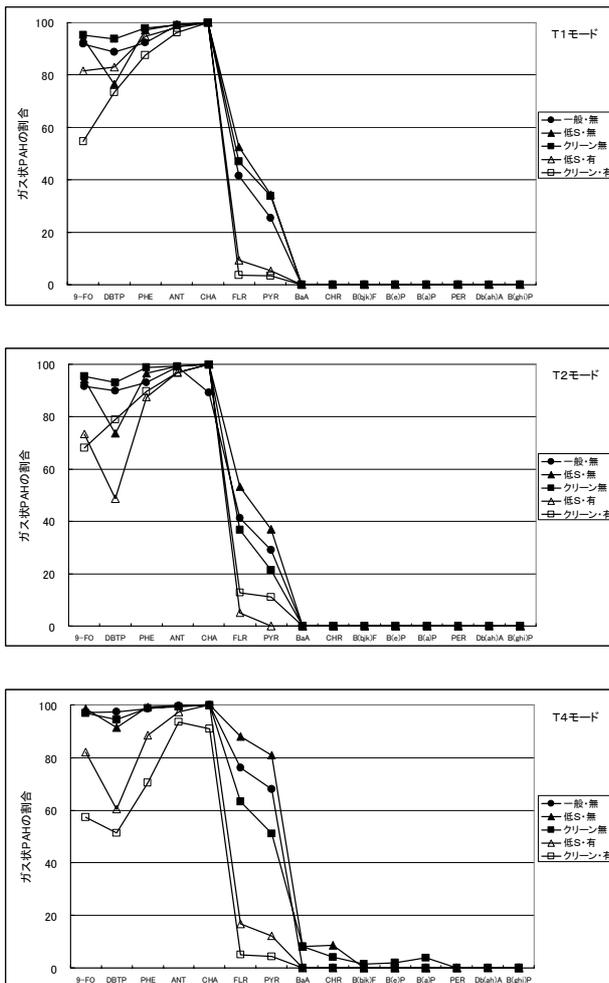


図15 走行モード別ガス状PAHと粒子状PAHの割合

酸化触媒が未装着の場合、9-FQ、DBTP、PHE、ANT、CHAがほぼ100%、FLR、PYRについては40~80%がガス状で存在し、酸化触媒装着時には9-FQ、DBTP、PHEはガス状で存在する割合が50~95%と、むしろ粒子として捕集される割合が高くなり、FLR、PYRについてはほぼ100%が粒子として捕集されることがわかった。BaA、CHR及び5環以上の成分は酸化触媒装着の有無に関係なく、ほぼ100%が粒子として捕集されていた。

一般に環境大気中では4環成分はガスと粒子の両状態で存在し、5~7環成分では大部分が粒子状で存在することが報告されている³⁾。また、4環成分のPAHについてはBaA、CHRのろ紙捕集率は高く、FLU、PYRのろ紙捕集率は低いことがこれまでの調査⁴⁾により明らかになっている。

今回の調査では、酸化触媒が未装着の場合は成分のガス-粒子分配はほぼ環境大気中と同じ結果となったが、酸化触媒の装着時は9-FQ、DBTP、PHEのろ紙捕集率が増加し、さらにろ紙捕集率が低いFLU、PYRも大部分がろ紙捕集される結果となった。今回の調査においてPM中のEC割合は30-60%を占める。ECは酸化触媒により除去しにくいいため、多孔質のEC内部に吸着したFLU、PYRは結果としてみかけ上粒子捕集率が上昇したのではないかと推測した。

4 まとめ

ディーゼル車排出ガスのPM低減装置の一つである酸化触媒装置を数種類の燃料を使用しPMに対する低減効果を調査検討したところ次のことがわかった。

- (1) 走行モード別にみるとPM、ガス状成分、PM中の炭素、PAHsのすべての成分で平均車速が大きくなるほど排出量が減少する傾向が認められた。
- (2) PM排出量は酸化触媒が未装着の場合、一般軽油に対し低硫黄軽油で20%前後、クリーン軽油で45%前後排出量が低減し、酸化触媒装着時では低硫黄軽油、クリーン軽油とも60%以上の低減効果が認められた。
- (3) NO、NOx、CO₂排出量に対する燃料の違いや酸化触媒装着の有無による影響は明確には認められなかった。
- (4) HC、CO排出量は酸化触媒が未装着では燃料の違いによる排出量の低減効果は認められなかったが、酸化触媒装着時では低硫黄軽油、クリーン軽油とも98%以上の低減効果が認められた。
- (5) PM中のOC排出量は酸化触媒装着時では一般軽油に比べ低硫黄軽油、クリーン軽油とも90%以上と大幅に低減できることがわかった。
- (6) 排気ガス中のPAHは主に一部の4環成分と3環成分であった。ガス状及び粒子状PAHを合計したPAH排出量の低減率は酸化触媒未装着時でもクリーン軽油で40%以上低減でき、酸化触媒装着時では低硫黄軽油、クリーン軽油とも80%以上の低減効果が認められた。
- (7) B(a)Pは、酸化触媒未装着時でも一般軽油に比べクリーン軽油では21.4~55.3%の低減率を示し、酸化触媒

装着時では、低硫黄軽油で37.9~72.4%、クリーン軽油で46.8~80.6%の低減率を示した。

(8) 捕集されたPAHのガス-粒子分配は環境大気中と同様に、BaA、CHR及び5環以上の成分については酸化触媒装着の有無にかかわらずほぼ100%が粒子として捕集されていた。

文献

- 1) 関東地方環境対策推進本部大気環境部会：平成12年関東浮遊粒子状物質合同調査報告書(2002)
- 2) 井上俊明、古川功二、松尾清孝、菊地美加、浦木陽子、廣瀬健二、武川満、鈴木正明：川崎市におけるディーゼル排ガス中のPM削減緊急対策-クリーン軽油によるPM及び多環芳香族類の低減効果、第25回公害研究合同

発表会講演要旨集(2001)

- 3) 高橋ゆかり、雨谷敬史、松下秀鶴：蒸気状及び粒子状多環芳香族炭化水素による室内及び大気環境の汚染状況-静岡市及び清水市における調査結果-、環境化学、8(1)、71-87(1998)
- 4) 岩淵美香、松尾清孝、林久緒：都市大気中の多環芳香族炭化水素濃度調査-ガス状及び粒子状成分-、全国環境研会誌、26(4)、20-27(2001)

表5 モード別排出ガス成分量(T1モード)

触媒装置	供試燃料		排出量(g/km)						燃料消費率 km/L
			NOx	NO	HC	CO	CO2	PM	
無し	一般軽油	一般	5.181	3.677	2.065	3.593	900.3	0.858	2.605
	低硫黄軽油	低S	5.391	3.875	1.789	3.140	792.6	0.661	2.961
	クリーン軽油	クリーン	5.227	3.716	2.118	4.053	1002.5	0.774	2.341
有り	低硫黄軽油	低S	5.313	4.353	0.129	0.044	859.6	0.107	2.764
	クリーン軽油	クリーン	4.631	3.891	0.204	0.064	876.0	0.195	2.712
			削減率(%)						燃料消費率 km/L
			NOx	NO	HC	CO	CO2	PM	
無し	低硫黄軽油	低S	-4.052	-5.387	13.372	12.618	11.960	22.950	-13.631
	クリーン軽油	クリーン	-0.904	-1.063	-2.585	-12.793	-11.353	9.856	10.154
有り	低硫黄軽油	低S	-2.561	-18.394	93.751	98.780	4.514	87.496	-6.104
	クリーン軽油	クリーン	10.610	-5.815	90.131	98.217	2.694	77.242	-4.084

表6 モード別排出ガス成分量(T2モード)

触媒装置	供試燃料		排出量(g/km)						燃料消費率 km/L
			NOx	NO	HC	CO	CO2	PM	
無し	一般軽油	一般	3.028	2.189	1.073	1.987	589.9	0.479	3.989
	低硫黄軽油	低S	2.940	2.133	0.958	1.839	528.7	0.368	4.449
	クリーン軽油	クリーン	2.933	2.154	1.039	2.114	607.6	0.258	3.874
有り	低硫黄軽油	低S	3.334	2.508	0.052	0.016	593.0	0.131	4.008
	クリーン軽油	クリーン	2.910	2.244	0.072	0.012	623.9	0.126	3.810
			削減率(%)						燃料消費率 km/L
			NOx	NO	HC	CO	CO2	PM	
無し	低硫黄軽油	低S	2.914	2.568	10.716	7.467	10.387	23.141	-11.537
	クリーン軽油	クリーン	3.120	1.586	3.211	-6.344	-3.000	46.155	2.873
有り	低硫黄軽油	低S	-10.105	-14.585	95.123	99.179	-0.513	72.763	-0.490
	クリーン軽油	クリーン	3.896	-2.513	93.249	99.376	-5.757	73.609	4.475

表7 モード別排出ガス成分量 (T4 モード)

触媒装置	供試燃料		排出量(g/km)						燃料消費率 km/L
			NOx	NO	HC	CO	CO2	PM	
無し	一般軽油	一般	1.902	1.367	0.681	1.356	412.6	0.265	5.705
	低硫黄軽油	低S	2.091	1.423	0.741	1.594	398.4	0.230	5.900
	クリーン軽油	クリーン	1.978	1.342	0.678	1.489	409.2	0.146	5.747
有り	低硫黄軽油	低S	2.074	1.352	0.044	0.023	478.5	0.103	4.966
	クリーン軽油	クリーン	1.713	1.193	0.036	(0.003)	430.5	0.097	5.527
			削減率(%)						
			NOx	NO	HC	CO	CO2	PM	燃料消費率
無し	低硫黄軽油	低S	-9.914	-4.043	-8.892	-17.499	3.425	13.247	-3.424
	クリーン軽油	クリーン	-3.999	1.830	0.353	-9.800	0.816	44.846	-0.743
有り	低硫黄軽油	低S	-9.046	1.137	93.552	98.340	-15.986	60.979	12.939
	クリーン軽油	クリーン	9.934	12.756	94.755	100.187	-4.338	63.503	3.114

表8 走行モード別成分排出量 (T1 モード)

触媒装置	供試燃料		排出量(g/km)		
			サルフェート	OC	EC
無し	一般軽油	一般	0.00164	0.455	0.245
	低硫黄軽油	低S	0.00049	0.264	0.179
	クリーン軽油	クリーン	0.00428	0.165	0.432
有り	低硫黄軽油	低S	0.00041	0.018	0.153
	クリーン軽油	クリーン	0.00124	0.023	0.166
			削減率(%)		
			サルフェート	OC	EC
無し	低硫黄軽油	低S	69.982	41.867	27.041
	クリーン軽油	クリーン	-160.595	63.740	-76.164
有り	低硫黄軽油	低S	75.003	96.137	37.386
	クリーン軽油	クリーン	24.714	94.912	32.397

表9 走行モード別成分排出量 (T2 モード)

触媒装置	供試燃料		排出量(g/km)		
			サルフェート	OC	EC
無し	一般軽油	一般	0.00072	0.251	0.133
	低硫黄軽油	低S	0.00036	0.202	0.115
	クリーン軽油	クリーン	0.00045	0.070	0.159
有り	低硫黄軽油	低S	0.00014	0.013	0.118
	クリーン軽油	クリーン	0.00025	0.017	0.117
			削減率(%)		
			サルフェート	OC	EC
無し	低硫黄軽油	低S	49.398	19.334	13.355
	クリーン軽油	クリーン	37.805	71.895	-19.836
有り	低硫黄軽油	低S	80.869	94.998	11.122
	クリーン軽油	クリーン	64.774	93.171	11.801

表10 走行モード別成分排出量 (T4 モード)

触媒装置	供試燃料		排出量(g/km)		
			サルフェート	OC	EC
無し	一般軽油	一般	0.00070	0.134	0.097
	低硫黄軽油	低S	0.00016	0.129	0.071
	クリーン軽油	クリーン	0.00018	0.047	0.094
有り	低硫黄軽油	低S	0.00013	0.011	0.087
	クリーン軽油	クリーン	0.00014	0.008	0.071
			削減率(%)		
			サルフェート	OC	EC
無し	低硫黄軽油	低S	77.214	3.780	26.405
	クリーン軽油	クリーン	74.754	65.033	2.725
有り	低硫黄軽油	低S	81.962	91.577	10.150
	クリーン軽油	クリーン	80.438	94.064	27.000

表11 走行モード別 PAH 排出量 (ろ紙捕集分)

触媒装置	供試燃料		排出量 (μg/km)															
			9-FO	DBTP	PHE	ANT	CHA	FLR	PYR	BaA	CHR	B(bjk)F	B(e)P	B(a)P	PER	Db(ah)A	B(ghi)P	
無し	一般軽油	一般	#####	5.395	69.359	3.340			61.653	100.186	6.165	12.331	16.441	5.652	3.340	1.002	0.745	5.138
	低硫黄軽油	低S	7.75241	2.566	16.574	1.524			32.079	64.158	5.079	9.089	16.841	6.416	5.346	1.711	0.909	6.950
	クリーン軽油	クリーン	7.90708	1.472	12.542	0.845			46.352	57.258	2.999	7.907	11.724	4.090	1.745	0.736	0.464	2.181
有り	低硫黄軽油	低S	4.19643	0.560	4.430	0.303			11.190	10.724	0.816	1.679	6.528	2.285	2.075	0.816	0.256	3.264
	クリーン軽油	クリーン	#####	1.889	18.148	0.741			25.185	21.111	1.074	2.593	8.148	2.704	1.778	0.778		2.518
				削減率 (%)														
無し	低硫黄軽油	クリーン	9-FO	DBTP	PHE	ANT	CHA	FLR	PYR	BaA	CHR	B(bjk)F	B(e)P	B(a)P	PER	Db(ah)A	B(ghi)P	
	低硫黄軽油	低S	59.2	52.4	76.1	54.4	-	48.0	36.0	17.6	26.3	-2.4	-13.5	-60.1	-70.8	-22.0	-35.3	
	クリーン軽油	低S	58.4	72.7	81.9	74.7	-	24.8	42.8	51.4	35.9	28.7	27.6	47.7	26.5	37.8	57.5	
有り	低硫黄軽油	クリーン	77.9	89.6	93.6	90.9	-	81.8	89.3	86.8	86.4	60.3	59.6	37.9	18.6	-	36.5	
	低硫黄軽油	低S	8.4	65.0	73.8	77.8	-	59.2	78.9	82.6	79.0	50.4	52.2	46.8	22.4	100.0	51.0	
	クリーン軽油	低S																

T2モード

触媒装置	供試燃料		排出量 (μg/km)															
			9-FO	DBTP	PHE	ANT	CHA	FLR	PYR	BaA	CHR	B(bjk)F	B(e)P	B(a)P	PER	Db(ah)A	B(ghi)P	
無し	一般軽油	一般	#####	2.901	38.176	1.832	1.105		36.649	61.081	4.581	8.551	11.453	3.818	1.832	0.473	0.382	2.443
	低硫黄軽油	低S	5.35875	1.684	13.627	1.148			27.559	61.243	4.134	7.349	10.411	3.828	2.603	0.873	0.337	2.603
	クリーン軽油	クリーン	3.73003	0.746	3.560	0.441			27.128	37.300	2.204	5.426	7.121	2.713	1.441	0.526	0.153	1.289
有り	低硫黄軽油	低S	3.35164	0.481	5.392	0.219			6.266	5.975	0.670	1.282	4.372	1.428	1.035	0.437		1.355
	クリーン軽油	クリーン	4.27339	0.451	5.935	0.285			4.748	3.799	0.332	0.665	2.042	0.617	0.356			0.499
				削減率 (%)														
無し	低硫黄軽油	クリーン	9-FO	DBTP	PHE	ANT	CHA	FLR	PYR	BaA	CHR	B(bjk)F	B(e)P	B(a)P	PER	Db(ah)A	B(ghi)P	
	低硫黄軽油	低S	51.3	42.0	64.3	37.3	-	24.8	-0.3	9.8	14.1	9.1	-0.3	-42.0	-84.4	11.8	-6.5	
	クリーン軽油	低S	66.1	74.3	90.7	75.9	-	26.0	38.9	51.9	36.6	37.8	28.9	21.4	-11.0	60.0	47.3	
有り	低硫黄軽油	クリーン	69.5	83.4	85.9	88.1	-	82.9	90.2	85.4	85.0	61.8	62.6	43.5	-	-	44.5	
	低硫黄軽油	低S	61.1	84.5	84.5	84.5	-	87.0	93.8	92.7	92.2	82.2	83.8	80.6	100.0	-	79.6	
	クリーン軽油	低S																

T4モード

触媒装置	供試燃料		排出量 (μg/km)															
			9-FO	DBTP	PHE	ANT	CHA	FLR	PYR	BaA	CHR	B(bjk)F	B(e)P	B(a)P	PER	Db(ah)A	B(ghi)P	
無し	一般軽油	一般	2.45399	0.517	4.908	0.391			11.275	23.877	2.388	5.107	6.433	2.321	1.061	0.338	0.179	1.194
	低硫黄軽油	低S	1.16473	0.388	2.135	0.285			6.277	18.765	2.653	5.241	5.824	2.135	1.100	0.466	0.207	1.488
	クリーン軽油	クリーン	1.62504	0.345	1.885	0.273			13.000	18.850	1.365	3.705	4.225	1.560	0.475	0.267	0.059	0.364
有り	低硫黄軽油	低S	1.71086	0.342	3.849	0.153			4.827	4.888	0.293	0.672	1.466	0.538	0.293	0.159		0.330
	クリーン軽油	クリーン	6.56433	0.784	12.737	0.323	0.265		10.777	7.838	0.411	1.372	2.253	0.676	0.245			0.206
				削減率 (%)														
無し	低硫黄軽油	クリーン	9-FO	DBTP	PHE	ANT	CHA	FLR	PYR	BaA	CHR	B(bjk)F	B(e)P	B(a)P	PER	Db(ah)A	B(ghi)P	
	低硫黄軽油	低S	52.5	25.0	56.5	27.2	-	44.3	21.4	-11.1	-2.6	9.5	8.0	-3.7	-37.7	-15.6	-24.7	
	クリーン軽油	低S	33.8	33.4	61.6	30.2	-	-15.3	21.1	42.8	27.4	34.3	32.8	55.3	21.2	67.0	69.5	
有り	低硫黄軽油	クリーン	30.3	33.9	21.6	61.0	-	57.2	79.5	87.7	86.8	77.2	76.8	72.4	-	-	72.4	
	低硫黄軽油	低S	-167.5	-51.5	-159.5	17.4	-	4.4	67.2	82.8	73.1	65.0	70.9	76.9	100.0	-	82.8	
	クリーン軽油	低S																

表12 走行モード別 PAH 排出量 (エムポアろ紙捕集分)

T1モード

触媒装置	供試燃料		排出量 (μg/km)															
			9-FO	DBTP	PHE	ANT	CHA	FLR	PYR	BaA	CHR	B(bjk)F	B(e)P	B(a)P	PER	Db(ah)A	B(ghi)P	
無し	一般軽油	一般	217.095	42.561	833.430	293.120	16.752	43.512	34.264	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	低硫黄軽油	低S	124.172	8.314	538.766	207.016	19.112	35.336	33.358	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	クリーン軽油	クリーン	152.947	22.217	564.947	96.562	7.672	40.921	29.224	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
有り	低硫黄軽油	低S	18.616	2.719	81.282	15.305	7.121	1.138	0.591	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	クリーン軽油	クリーン	20.907	5.193	126.184	18.889	9.749	0.957	0.716	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				削減率 (%)														
無し	低硫黄軽油	クリーン	9-FO	DBTP	PHE	ANT	CHA	FLR	PYR	BaA	CHR	B(bjk)F	B(e)P	B(a)P	PER	Db(ah)A	B(ghi)P	
	低硫黄軽油	低S	42.8	80.5	35.4	29.4	-14.1	18.8	2.6	-	-	-	-	-	-	-	-	
	クリーン軽油	低S	29.5	47.8	32.2	67.1	54.2	6.0	14.7	-	-	-	-	-	-	-	-	
有り	低硫黄軽油	クリーン	91.4	93.6	90.2	94.8	57.5	97.4	98.3	-	-	-	-	-	-	-	-	
	低硫黄軽油	低S	90.4	87.8	84.9	93.6	41.8	97.8	97.9	-	-	-	-	-	-	-	-	
	クリーン軽油	低S																

T2モード

触媒装置	供試燃料		排出量 (μg/km)														
			9-FO	DBTP	PHE	ANT	CHA	FLR	PYR	BaA	CHR	B(bjk)F	B(e)P	B(a)P	PER	Db(ah)A	B(ghi)P
無し	一般軽油	一般	119.917	25.890	505.216	185.549	9.088	25.613	24.911	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	低硫黄軽油	低S	87.776	4.718	382.929	153.008	14.311	31.446	36.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	クリーン軽油	クリーン	78.475	9.981	282.431	53.467	9.403	15.714	10.068	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
有り	低硫黄軽油	低S	9.275	0.456	37.735	6.732	5.751	0.325	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	クリーン軽油	クリーン	9.093	1.696	51.637	8.867	8.875	0.685	0.471	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				削減率 (%)													
無し	低硫黄軽油	クリーン	9-FO	DBTP	PHE	ANT	CHA	FLR	PYR	BaA	CHR	B(bjk)F	B(e)P	B(a)P	PER	Db(ah)A	B(ghi)P
	低硫黄軽油	低S	26.8	81.8	24.2	17.5	-57.5	-22.8	-44.5	-	-	-	-	-	-	-	-
	クリーン軽油	低S	34.6	61.5	44.1	71.2	-3.5	38.6	59.6	-	-	-	-	-	-	-	-
有り	低硫黄軽油	クリーン	92.3	98.2	92.5	96.4	36.7	98.7	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-
	低硫黄軽油	低S	92.4	93.5	89.8	95.2	2.3	97.3	98.1	-	-	-	-	-	-	-	-
	クリーン軽油	低S															

T4モード

触媒装置	供試燃料		排出量 (μg/km)														
			9-FO	DBTP	PHE	ANT	CHA	FLR	PYR	BaA	CHR	B(bjk)F	B(e)P	B(a)P	PER	Db(ah)A	B(ghi)P
無し	一般軽油	一般	85.820	19.134	344.185	121.373	5.553	36.182	50.607	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	低硫黄軽油	低S	74.141	4.173	317.634	125.541	9.700	46.701	79.530	0.238	0.488	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	クリーン軽油	クリーン	49.427	5.946	164.207	35.033	3.887	22.408	19.620	0.122	0.156	0.059	0.030	0.019	0.000	0.000	0.000
有り	低硫黄軽油	低S	7.907	0.521	29.518	5.737	1.890	0.967	0.683	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	クリーン軽油	クリーン	8.813	0.826	30.426	4.639	2.625	0.557	0.35								