

ディーゼル代替GTL燃料が規制年度の異なる中型トラックのPMおよび芳香族炭化水素排出に与える影響について

環境研究領域 堀 重雄、阪本高志、佐藤辰二、山田裕之

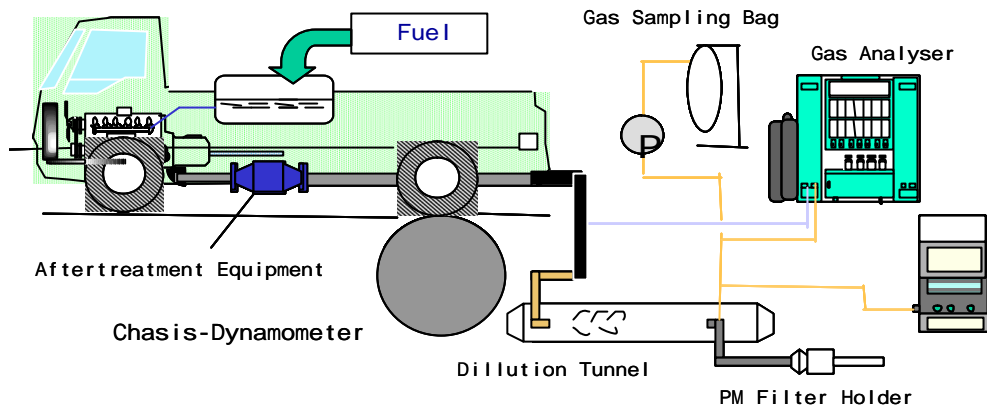


図1 実験装置の概略

1. はじめに

環境保全および将来の自動車用燃料の枯渇化の観点から近年ディーゼル代替燃料の一つとして天然ガスを原料としたFT(Fischer-Tropsch)合成プロセスによるGTL(Gas To Liquid)燃料(以下GTL)が注目されている。ディーゼル代替のGTLとしてはGTL専用の車両の開発とともに既存車両の軽油に混合して使用することも有効な方法の一つと考えられる。

GTL専用車両の開発あるいは既存で車両に混合して使用するにしても、実用化に際してそれらのGTLを使用したときの排出ガス特性に与えるGTLの影響について十分な検討を行うことが必要である。

本研究・調査では、規制年度の異なる既存の中型トラックを対象としてGTLおよびGTLを軽油に混合した場合の排出ガス特性への影響のうち、粒子状物質(PM)および環境省の定める有害取り組み物質の一つであるベンゾaピレン(BaP)などの芳香族炭化水素(PAH)排出に与える影響について検

表1 実験車両の諸元

諸元	A車	B車	C車
車種	中量貨物	中量貨物	中量貨物
年式	平成10年度	平成15年度	平成15年度
規制年	平成10年	平成15年	平成15年
規制レベル	長期規制適合	新短期規制適合	新短期規制適合
エンジン排気量(L)	4021	4777	4009
燃料供給方式	分配型噴射ポンプ	コモンレール	コモンレール
主な排気対策	EGR	EGR,酸化触媒	EGR,連続再生式DPF
過給器	なし	なし	あり
空車重量(kg)	2325	2320	2150
変速機	MT	MT	MT

表2 使用燃料の性状

	低硫黄軽油	GTL
Density (15)g/m ³	0.8278	0.785
Sulfur (ppm)	7	1
Viscosity cst(30)	4.01	4.441
Flash Point	74.5	96.5
Distillation		
IBP	176.5	208.5
T10	214	244
T50	286.5	295
T90	336	341
Cetane Index(JIS)	59.7	89.9
PAH Conc. (ppm)		
Phe	6.3	0.09
Py	3.4	0.11
BaP	0.06	ND*
BghiP	0.02	ND**

* 0.001ppm以下 ** 0.002ppm以下

討した。

2. 実験方法

図1に実験装置の概略を示す。実験はシャシーダイナモを用いて表1に示す規制年度の異なる各種の中型トラックを表2に性状を示す低硫黄軽油、GTLおよび両燃料の混合燃料を用いてモードおよび定常運転条件で走行し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。軽油とGTLのディーゼル燃料としての性状の違いとして、GTLは、軽油と比較してほとんど硫黄分および芳香族成分を含まず、密度が低くセタン指数が高い。また、今回供試したGTLは軽油と比較して蒸留性状特性がやや高沸点側にシフトしている。これらの性状の相違が気筒内での混合気状態や燃焼特性に影響を及ぼし、排気ガス特性に影響を与えると考えられる。

フィルタに捕集したPMは図2に示すように、重量測定後、迅速溶媒抽出法（ASE法：Accelerated Solvent Extraction Method）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極めて少ないので、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GC-FIDおよびGC-MS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ィによる各種PAHの定量を行った。

3. 実験結果および考察

3.1. JE05モード走行時のPMおよびPAH排出特性について

図3に各種車両の新長期規制排ガス試験用モードであるJE05モード走行時において軽油、GTLおよび両者を等量混合した場合のPMおよびPAHの排出量の比較結果を示す。PAHとして4環のPAHであるピレン(以下Py)および5環のPAHであるベンゾaピレン(以下BaP)を示している。

PM排出量はいずれの燃料および混合においても全体として規制年度(排気対策技術)が進展するに従って低減する。酸化触媒を装着したB車では、触媒未装着のA車と比較して、いずれの燃料条件においてもSOFが大幅に浄化され、またISOF排出

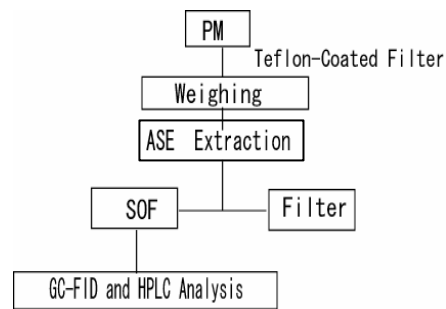
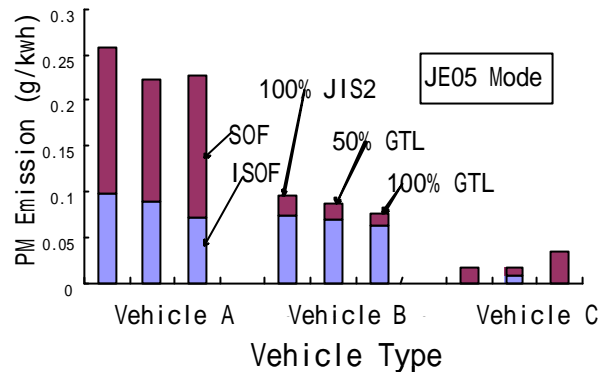
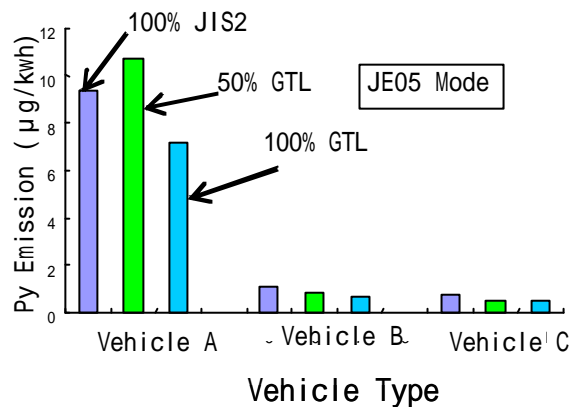


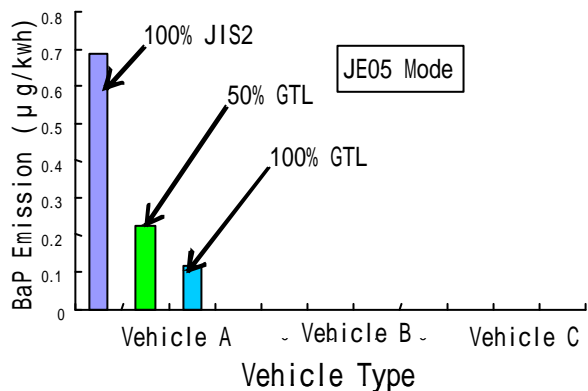
図2 PMの分離測定法の概略



(a) PM



(b) Py



(c) BaP

図3 軽油およびGTL燃料混合時におけるPMおよびPAH排出の比較結果

も低減するため大幅にPM排出量は低減する。さらに、DPFを装着したC車のPM排出レベルはISOF排出の低減により極めて低い。後処理装置を装着していないA車では、軽油と比較してGTLではISOF排出量が低減する傾向が見られる。この傾向は酸化触媒を装着したB車についても同様である。この理由としては、GTLがISOF生成を促進させる芳香族成分をほとんど含まないためと考えられる。

(1) 一方、A車のSOF排出は明確な傾向はみられなかった。そこで、この理由を考察するため、A車における軽油とGTL使用時での各SOFをGC分析し、それぞれのガスクロマトグラムを比較した。結果を図4に示す。図5には軽油とGTLのガスクロマトグラムを比較のために示した。図5から図4中の各SOFは主として炭素数16以上の未燃の燃料成分から構成されることがわかる。また、今回使用したGTLは表2に示した蒸留性状を反映して、やや炭素数の多い高沸点成分側に組成がシフトしている。これらのことから、今回、GTLと軽油でSOF排出に大きな差が出なかったのは、GTLがやや高沸点側にシフトしていることによるSOF増の要因と、SOFに寄与すると考えられる高沸点の芳香族成分を含まないことによるSOF減の要因が組み合わさったためと考える。

一方、PAH排出については、PyおよびBaP排出とともに、車両によるPM排出の傾向と同様に、PM排出の低減とともに低減する傾向を示している。特に、後処理装置を装着したB車、C車では、A車と比較していずれの燃料条件においても大幅に排出量は低減しており、特に、BaP排出はB車、C車ともに検出限界以下であった。(検出限界; BaP; 0.013 $\mu\text{g}/\text{kWh}$)

また、後処理装置を装着していないA車のBaP排出量は、GTL混合率とともに低減する傾向を示しているが、Py排出量については明確な傾向はみられない。後処理装置を装着したB車、C車では、排出量が大幅に低減するため、燃料の違いによる差が小さくなる。

3.2. 各種走行条件におけるPMおよびPAH排出の比較

図6に軽油100%、GTL100%使用時の車両A、Bの各種運転条件におけるPM排出量を比較して示した。走行モードのうちモード走行としてJE05モード

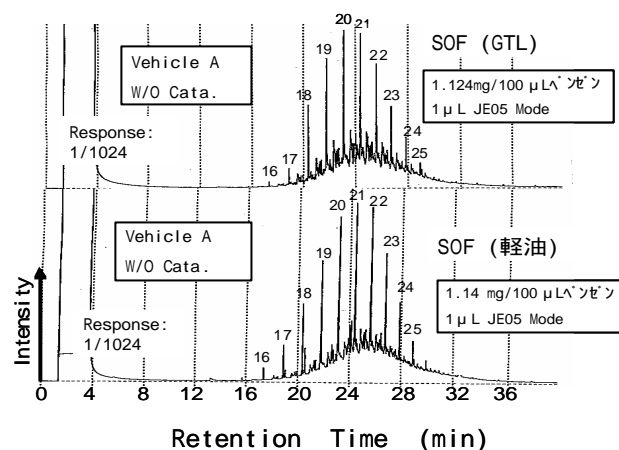


図4 各SOFのガスクロマトグラフパターンの比較結果(車両A, W/O Catalyst)

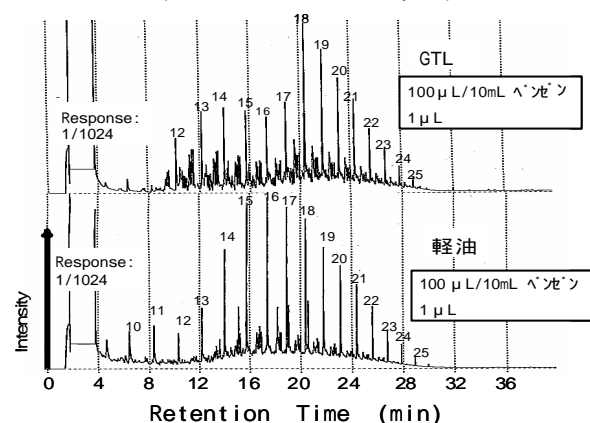


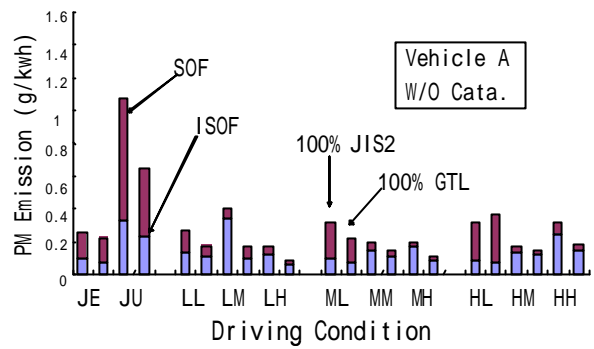
図5 軽油およびGTL燃料のガスクロマトグラフパターンの比較結果

(JE)、平均車速が5.0km/hと低くアイドル状態の割合の高い渋滞モード(JU)また、定常走行運転としてエンジン回転数と負荷を組み合わせた低回転低負荷(LL)から高回転高負荷(HH)の9条件で実験を行った。

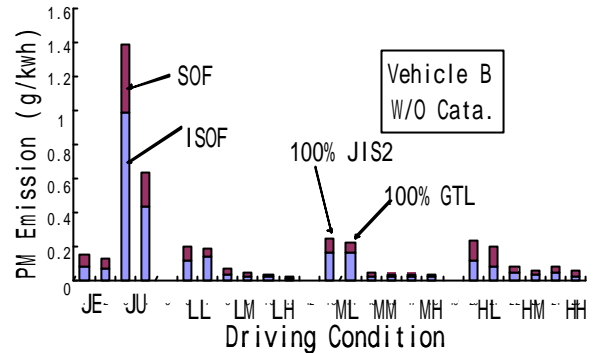
ディーゼル気筒内におけるSOOT生成の前駆体としてPAHが注目されるとともに、PAHの発生源や発生メカニズムさらに燃料組成・成分とPMおよびPAH排出の関連についても不明な点が多い。それぞれの走行条件におけるPM排出とPAH排出の関連を調べることを目的として車両Bについては、触媒装置を取り外して同一仕様のダミー触媒装置を装着して実験を行った。

PMの排出傾向は、A車、B車ともに、低負荷走行やアイドルの多い渋滞モードでPM排出レベルは高い。A車とB車のPM排出レベルは、燃料噴射圧力が高く、燃料と空気の均一混合が促進されるコモンレール噴射方式のB車がA車と比較してPM排出レベルは全体として低い傾向を示す。

また、A車の定常運転条件におけるPM排出は、軽油およびGTLともに、低負荷ではSOF排出が多く、ISOF排出は少ないが、一方、高負荷条件ではSOF排出が少なくISOF排出が多い傾向を示す。軽油とGTLを比較すると、GTLでは、ISOFは高負荷領域ほど軽油と比較して低減する傾向があり、SOFは逆に低負荷領域で低減する傾向が見られる。一方、B車では、A車と比較してPM排出傾向が異なり、低負荷領域においてISOFおよびSOFともに排出量が多い。この理由は、B車では、低負荷領域でNOx低減のためにEGR率を高くするため燃焼が悪化するためと考える。⁽²⁾ 軽油とGTLの比較では、A車よりも差が小さいが、A車と同様にGTLは高負荷領域で軽油と比較してISOFが少なく、また、SOFは低負荷領域で少ない傾向を示している。A車、B車ともに、GTLは軽油と比較してISOFおよびSOF排出が低減するが、これらの傾向がモード走行時に反映し、JE05モード走行でのGTLのPM排出量の低減をもたらしたものと考えられる。

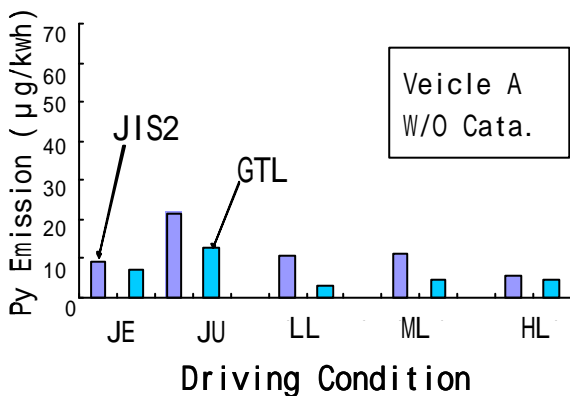


(a) Vehicle A

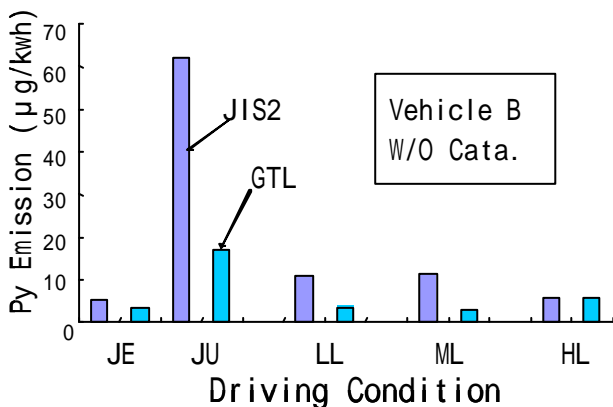
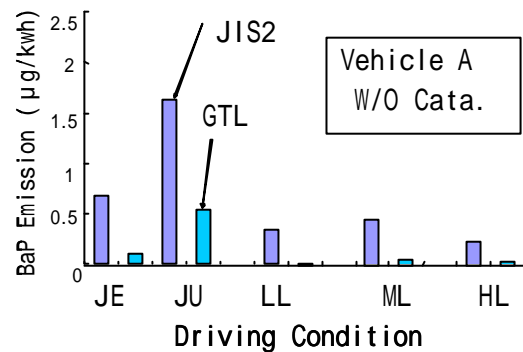


(b) Vehicle B

図6 軽油およびGTL使用時の各種運転条件における車両A,BのPM排出量の比較



(a) Vehicle A



(b) Vehicle B

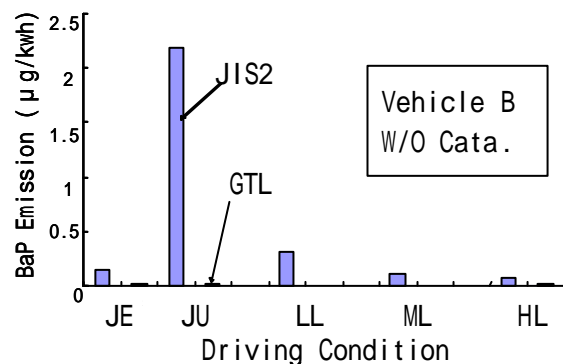


図7 軽油およびGTL使用時の各種運転条件における車両A,BのPy,BaP排出量の比較

一方、図7に図6に対応するSOF中のPyおよびBaPの排出量の比較結果を示す。定速走行運転条件は、PM排出量の多い各エンジン回転数における低負荷条件での結果を示している。軽油、GTLいずれの場合もPM排出と同様、Py、BaPともに渋滞走行モードにおいて排出量は最も多い。例外は、B車でGTLを使用した時のBaPである。定速走行条件では、軽油を使用した場合にPy、BaPが低速度条件でやや排出量は増加する傾向が見られる。特徴的なことは、A車、B車ともにいずれの走行モード、定速走行においても軽油と比較してGTLの場合にPy、BaP排出量が低減することであり、とくにBaPはその傾向が顕著である。この原因としては、軽油と比較してGTLが芳香族成分をほとんど含まないなどのGTLと軽油の構成成分の違いによるPAH燃焼生成量の相違など様々なPAH排出要因が考えられるが、今後さらに検討が必要である。

3.3 軽油およびGTL燃料使用時におけるPM排出とPAH排出の相関について

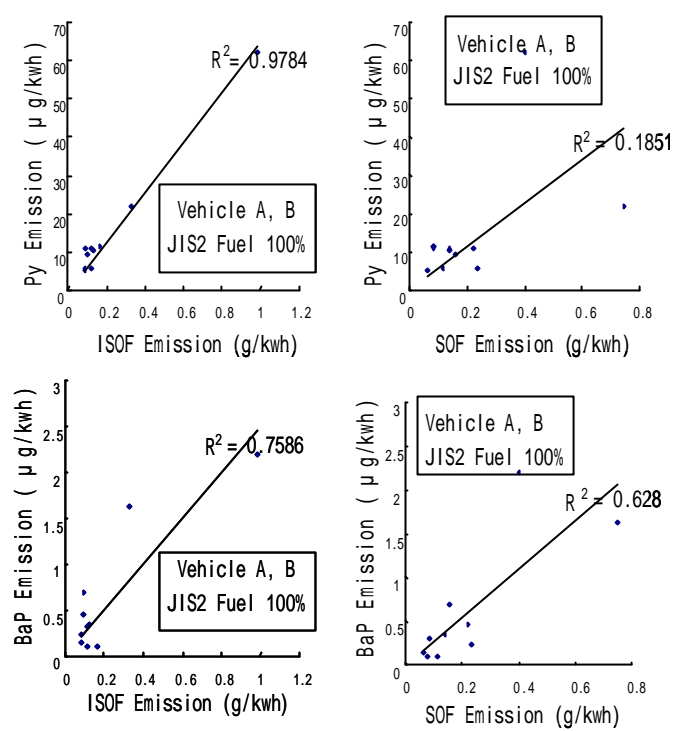
気筒内で生成・排出されるPMの前駆体としてPAHが注目されそれらの関連について検討されている。⁽³⁾そこで、図6に示したPMをISOFとSOFに分けて、それらの排出量と図7に示したPAH排出量の相関について検討した。その結果を図8(a)、(b)に示す。

図8に示すように、軽油、GTLともにISOFについてPy排出との相関が高く、GTLではISOFとBaPとの相関は低い。このことはSOOT生成とBaPとの関連は小さいこと、また、PyがSOOT生成の中間体として寄与している可能性を示しているとも考えられる。一方、SOFについては、軽油、GTLともにPyとの相関はほとんどないが、Pyと比較して沸点の高いBaPとの相関はやや高い。これはSOFが主として燃料の未燃の高沸点成分から構成されるためであると考えられる。

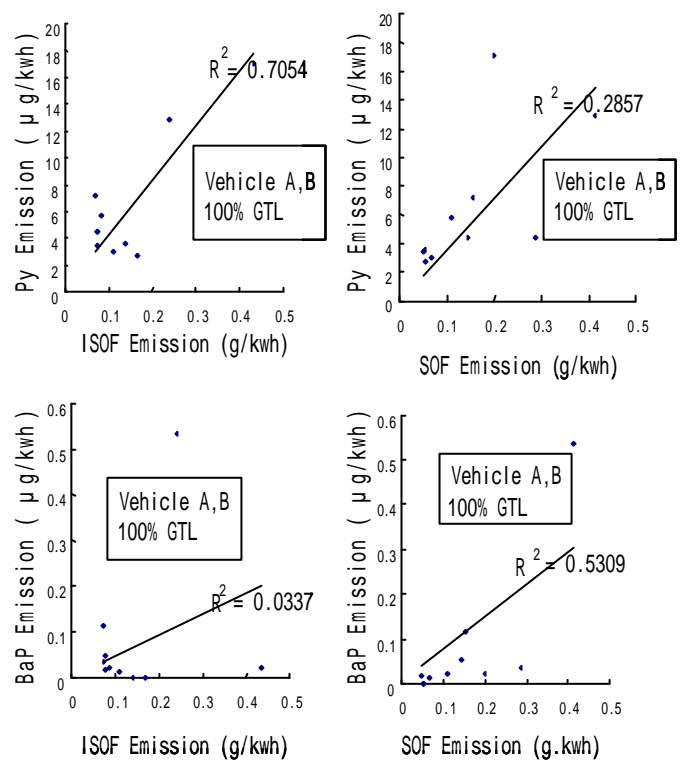
3.4 後処理装置によるPMおよびPAH排出の低減効果

図9に後処理装置がPMおよびPAH排出に与える影響について、JE05走行モードで軽油とGTLを等量混合した実験で検討した結果を示す。

車両Aは本来後処理装置を装着していないが、この実験においては市販の酸化触媒型DPFを装着して実験を行った。また、車両Bにおいては本来



(a) 軽油



(b) GTL

図8 軽油およびGTL使用時の各種運転条件におけるISOFおよびSOF排出とPy、BaP排出の相関

装着している触媒(W Cata.)に加えて酸化力を強めた触媒(S Cata.)を装着した実験も実施した。

PM排出は車両A,BにおいてはいずれもSOFの浄化によりPMは低減する。SOF排出量の多いA車においてSOFの大幅な浄化によりPM低減効果は大きく、ISOFも酸化触媒の装着によりやや低減している。B車では、強酸化触媒より純正の弱酸化触媒がSOF低減率が高くなっている。また、C車にみるように酸化触媒と比較してDPF装置システムのPM低減効果が大きいことがわかる。

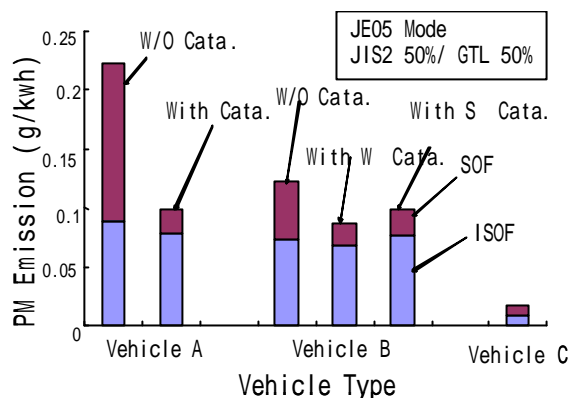
一方、PyおよびBaPについても後処理装置の低減効果は高く、車両A,BのPy浄化率は78%から91%の範囲にあり、5環のPAHであるBaPの浄化率は94%以上の高い値を示した。(触媒装着時は検出限界以下)また、DPFを装着したC車の排出量は極めて低いレベルである。(検出限界以下)

以上のようにPMおよびPAH排出低減対策として後処理装置の装着は効果が大きく、GTLと軽油の燃料性状の違いがPMおよびPAH排出に及ぼす影響は小さくなると考えられる。

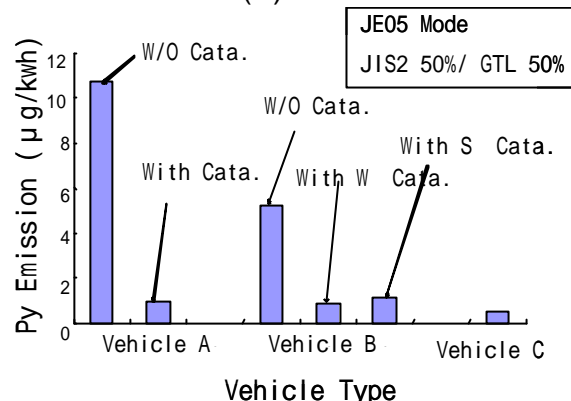
4. まとめ

規制年度の異なる既存の中型トラックを対象としてGTL燃料およびGTL燃料を低硫黄軽油に混合した場合の排出ガス特性への影響のうち、PMおよび環境省の定める有害取り組み物質の一つであるベンゾaピレン(BaP)などの芳香族炭化水素(PAH)排出に与える影響について検討した結果をまとめると以下の通りである。

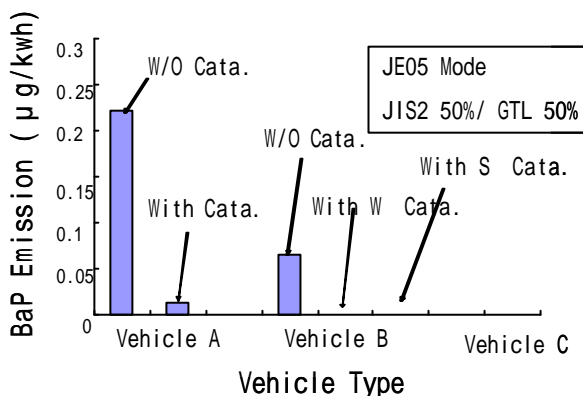
- (1) PM排出量は車両の規制年度が進むに従っていずれの燃料においても低減する傾向を示した。A車、B車ともに、GTLを混合した燃料を使用するとISOFは高負荷領域で、SOFは低負荷領域で軽油と比較して低減し、PM排出量は低減した。
- (2) A車および後処理装置を使用しないB車では、PAH排出量($\mu\text{g}/\text{kWh}$)は、GTLでは軽油と比較していずれの走行条件でもPyおよびBaP排出量は大幅に低減する。この傾向は、特にBaP排出で顕著であった。
- (3) PMおよびPAH低減対策として後処理装置は有効である。特に、DPFによる浄化効率が高い。また、後処理装置の使用により軽油とGTLの性状の違いがPMおよびPAH排出に及ぼす影響は小さくなる。



(a) PM



(b) Py



(c) BaP

図9 後処理装置によるPMおよびPAH排出の低減効果

参考文献

- (1) 辻村他、「GTL軽油性状がディーゼル車両排出ガス特性に及ぼす影響」、自動車技術会学術講演会前刷集NO.56-05(2005)
- (2) 河野他、「ディーゼル排出ガスに及ぼす運転状態ならびに燃料性状の影響」、自動車技術会学術講演会前刷集NO.30-05(2005)
- (3) 茶谷他、「SOOT生成・凝集過程シミュレーション」、自動車技術会学術講演会前刷集NO.43-03(2003)