

自動車からの有害大気汚染物質の排出量

泉 川 碩 雄 横 田 久 司 舟 島 正 直
佐 野 藤 治 田 原 茂 樹 坂 西 丕 昌

要 旨

ガソリン車及びディーゼル車から排出されるベンゼンやアルデヒド、多環芳香族炭化水素類の排出実態調査を実施した。

これら物質の排出特性は、NO_x等と同様に燃費の悪い平均車速の遅い領域で排出量が多く、車速の増加とともに減少する傾向にある。

ベンゼンの排出量は、ガソリン車では車両間の差が大きく走行パターンの平均値で0.006~35mg/kmの範囲にあった。

ディーゼル車では、車両間の差がガソリン車より小さく1.4~8.3mg/kmの範囲にあった。

アルデヒドの排出量は、ホルムアルデヒド及びアセトアルデヒドともディーゼル車がガソリン車に比べ100~250倍高い値であった。

都内における自動車からのベンゼンとアルデヒドの排出量を試算した結果、ベンゼンが430 t/年、ホルムアルデヒドが2200 t/年、アセトアルデヒドが930 t/年が得られた。

キーワード：自動車排出ガス、有害大気汚染物質、ベンゼン、アルデヒド

Discharge of Hazardous Air Pollutants from Vehicles

Sekio Izumikawa, Hisashi Yokota, Masanao Funeshima,
Fujiharu Sano, Shigeki Tahara and Motomasa Sakanishi

Summary

Selected vehicle emissions, benzene, aldehyde, and polynuclear aromatic hydrocarbons were measured under actual driving conditions using a chassis dynamometer. Upon emission, these materials have a tendency to increase, similar to NO_x behaviour, in the low speed range, though decrease with vehicle velocity.

The benzene emission of gasoline vehicles ranged widely among vehicles, between 0.006 and 35 mg/km as the average of running test patterns. On the contrary, for diesel vehicles, it was 1.4 - 8.3 mg/km and the difference between vehicles was small. The emission of both formaldehyde and acetaldehyde was 100 - 200 times higher in diesel vehicles than gasoline vehicles.

From the emission data, the annual discharge amount of benzene, formaldehyde and acetaldehyde in Tokyo was estimated to be 430 t, 2200 t and 930t, respectively.

Keywords : vehicle exhaust gas, hazardous air pollutant, benzene, aldehyde

1 はじめに

有害大気汚染物質の中でベンゼンやアルデヒド、多環芳香族炭化水素などは、自動車为主要な発生源とみられ

ている。

今回、これらの物質についてガソリン自動車およびディーゼル自動車の発生原単位を求める調査を実施したの

で報告する。

2 調査内容及び方法

(1) 調査内容

ア ガソリン自動車及びディーゼル自動車からの有害大気汚染物質の排出特性

ガソリン車及びディーゼル車をシャシーダイナモメータ上で東京都実走行パターンに沿って運転し、有害大気汚染物質（以下、HAPsと記す）の各実走行パターンごとの排出量から排出特性を調査した。

イ ガソリン自動車及びディーゼル自動車からの有害大気汚染物質の排出量調査

(2) 調査物質

調査は、表1に示したガス状HAPsと粒子状HAPsについて行った。

表1 調査物質

分類		調査物質名
ガス状	芳香族炭化水素	ベンゼン トルエン エチルベンゼン m、p-キシレン スチレン o-キシレン
	アルデヒド	ホルムアルデヒド アセトアルデヒド
粒子状	多環芳香族炭化水素 (PAHs)	ベンゾ(a)アントラセン ベンゾ(k)フルオランテン ベンゾ(b)フルオランテン ベンゾ(a)ピレン ベンゾ(ghi)ペリレン
	ニトロ多環芳香族炭化水素 (NPAHs)	1-ニトロピレン

(3) 調査車種

調査したガソリン車及びディーゼル車の主要諸元を表2に示した。

表2 調査車両主要諸元

	車両記号	排気量 (cc)	等価慣性重量 (t)	燃焼室形式	排出ガス対策	備考
ガソリン車	A	658	1.0	筒内噴射	CCo、EGR	軽貨物車
	B	1834	1.26		3W、EGR	乗用車 (4人乗り)
	C	1998	1.89		3W、EGR	普通貨物
	D	3274	1.97		3W	乗用車 (8人乗り)
ディーゼル車	E	2488	1.75	直噴副式	CCo、EGR	乗用車 (8人乗り)
	F	2982	2.03		EM	乗用車 (10人乗り)
	G	3153	1.64		EGR	貨客車
	H	4104	5.085		EM	小型貨物
	I	4334	5.25		EM	小型貨物
	J	6925	7.705		EM	普通貨物
	K	6925	7.705		EM	普通貨物
	L	12060	17.9		EM	普通貨物
	M	12880	17.99		TC、IC	普通貨物
	N	17990	14.15		直噴	EM

(註) EM: エンジン (燃焼) 改良、CCo: 酸化触媒、3W: 三元触媒、EGR: 排出ガス再循環装置
TC: 過給・ターボチャージャー、IC: インタークーラー

(4) 調査方法

ア 試験条件

調査対象自動車をシャシーダイナモメータ上で下記条件で運転した。

荷重条件: 1/2積載として等価慣性重量を設定

走行条件: 東京都実走行パターンNo2 (平均車速8.12 km/h)、No5 (平均車速18.18 km/h)、No8 (平均車速28.79 km/h)、No10 (平均車速46.39 km/h) の4本

イ HAPsの採取

(ア) ガス状HAPs

定流量試料採取装置 (CVS) の希釈排出ガス測定用テドラバッグと希釈空気測定用テドラバッグから行った。

(イ) 粒子状HAPs

希釈トンネルで希釈した排出ガスをハイボリウムエアサンプラーを用い石英繊維製ろ紙 (8インチ×10インチ) 上に採取した。

ウ 試料の分析

(ア) ガス状HAPs

①芳香族炭化水素

希釈排出ガス及び希釈空気の一定量を濃縮装置で冷却濃縮後、キャピラリーカラム付きGC/MSに加熱導入しマスキロマトグラフ法により分析を行った。

②アルデヒド類

希釈排出ガス及び希釈空気の一定量を2,4ジニトロフェニルヒドラジン (DNPH) 含浸カートリッジに通気しDNPHアルデヒドとして捕集する。捕集したDNPHアルデヒドを高速液体クロマトグラフ (HPLC) で分析した。

(イ) 粒子状HAPs

粒子状物質を採取したろ紙の一部についてジクロロメタンを抽出溶媒としてソックスレー抽出を約16時間行う。

抽出液をシリカゲルカラムクロマトグラフ法により多環芳香族炭化水素（以下、PAHsと記す）とニトロ多環芳香族炭化水素（以下、NPAHと記す）等に分画する。

分画したPAHは、蛍光検出器付きHPLCで、NPAHはアミノ還元処理した後、蛍光検出器付きHPLCで分析した。

3 調査結果と考察

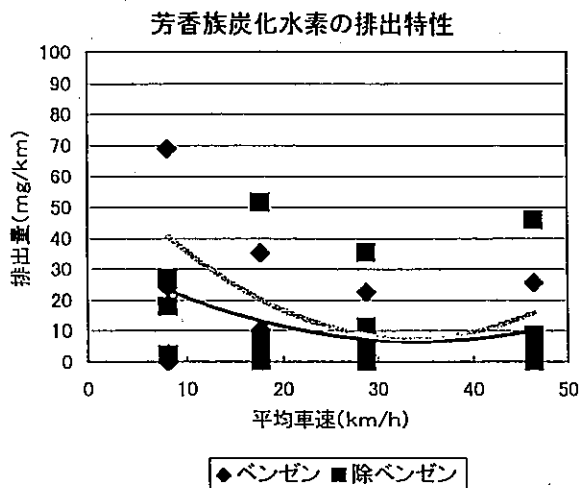
(1) HAPsの排出特性

ガソリン車及びディーゼル車をシャシーダイナモメータ上で東京都実走行パターン(以下、走行パターンと記す) No.2、5、8、10で運転し、各走行パターン別のガス状HAPs（芳香族炭化水素、アルデヒド）の排出量を求めた。

また、ディーゼル車については、粒子状HAPs（PAH、NPAH）の排出量についても求めた。

ア ガソリン車のガス状HAPs

図1に調査したガソリン車4台（車両A～D）のベンゼンと除ベンゼンを除いた芳香族炭化水素（以下、除ベンゼンHCと記す）及びアルデヒド（ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド）の走行パターン（平均車速）別排出量を示した。



(ア) 芳香族炭化水素

自動車からの窒素酸化物や一酸化炭素などの汚染物質の排出特性は、一般的に燃費の悪い走行パターン（平均車速の遅い領域）で走行距離(km)当たりの排出量が多く、平均車速が早くなるにしたがい排出量が減少する特性を示す。

ベンゼン及び除ベンゼンHCについても車両A、B、Dが同様の傾向を示している。車両Cは、車速の増加とともに排出量が多くなる傾向にあり、これは同時に測定した一酸化炭素、総炭化水素に見られている。

これは高速領域で排ガス量が増加し触媒の処理能力を上回っていることが原因の一つと考えられる。

(イ) アルデヒド

ガソリン車3台（車両B、C、D）のホルムアルデヒドとアセトアルデヒドの排出特性は、車両Cのアセトアルデヒドが低速域から高速域でほぼ同排出量となるパターンを示している他は、ホルムアルデヒド及びアセトアルデヒドとも低速域で排出量が多く高速域になるにしたがい減少するパターンとなっている。

イ ディーゼル車のガス状HAPs

図2に調査したディーゼル車9台（車両E～N）の芳香族炭化水素とアルデヒドの走行パターン別排出量を示した。

(ア) 芳香族炭化水素

ベンゼンと除ベンゼンHCの排出特性は、調査したディーゼル車のほとんどがガソリン車で見られた低速域で

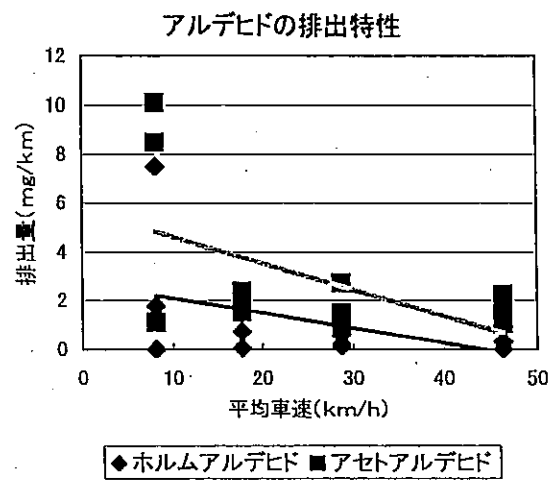


図1 ガス状HAPsの排出特性（ガソリン車）

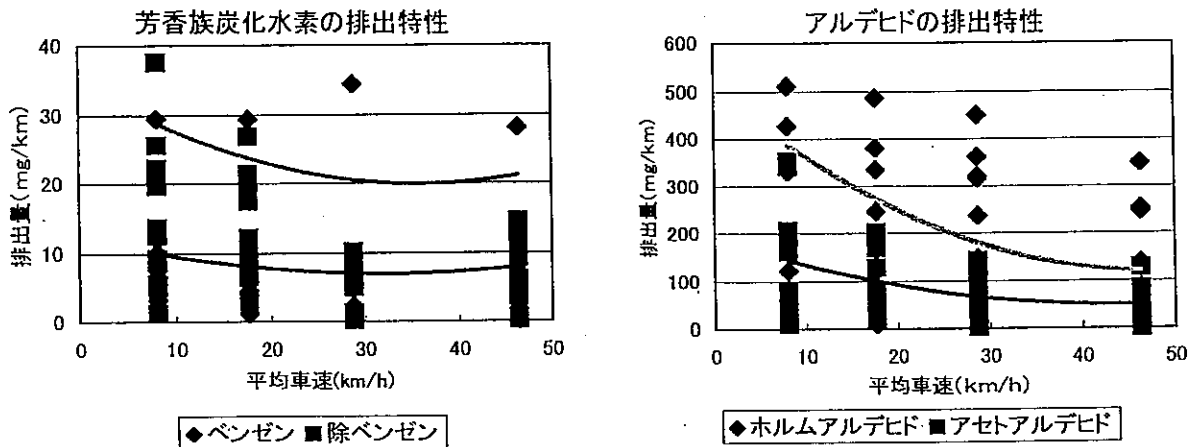


図2 ガス状HAPsの排出特性（ディーゼル車）

排出量が多く高速域になるにしたがい減少する特性を示しているが車両FとHが低速域と高速域で排出量が多く、中速域で最低排出量となる特性を示している。

(イ) アルデヒド

ディーゼル車9台のホルムアルデヒドとアセトアルデヒドの排出特性は、いずれの車両とも低速域で排出量が多く高速域になるにしたがい減少する特性を示している。

ウ ディーゼル車の粒子状HAPs

図3に調査したディーゼル車9台（車両Hを除く）のPAHsとNPAHsの走行パターン別排出量を示した。

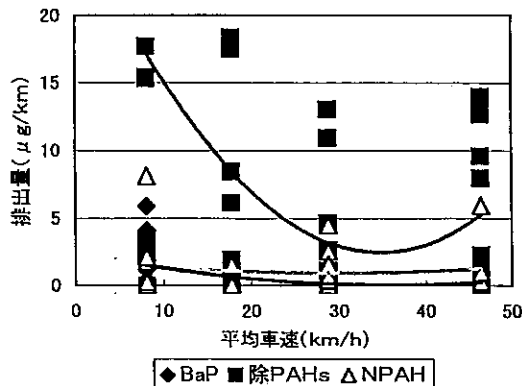


図3 粒子状PAHxの排出特性（ディーゼル車）

(ア) PAHs多環芳香族炭化水素

ディーゼル車9台のBaPとBaPを除いたPAHs（以下、除PAHsと記す）の排出特性は、いずれの車両とも低速域で排出量が多く高速域になるにしたがい減少する特性を示している。

(イ) ニトロ多環芳香族炭化水素（NPAHs）

ディーゼル車8台のNPAHsの排出特性は、低速域から高速域まで排出量に大きな差がなく、他物質で多く見られる低速域で排出量が多く高速域になるにしたがい減少する特性と異なる傾向を示している。

(2) HAPsの排出量

ア ガス状HAPs

ガソリン車及びディーゼル車からのガス状HAPsの排出量（走行パターンNo2、5、8、10の平均）を図4～5に示した。

(ア) 芳香族炭化水素

①ガソリン車

ガソリン車4台（車両A～D）のベンゼンの排出量は0.06～35mg/kmの範囲にあり、排出量の多い車両と少ない車両とで約600倍の差がみられる。また、除ベンゼンの排出量は、0.3～51mg/kmの範囲にあった。排出量の多い車両と少ない車両とで約170倍の差がみられている。

この排出量の差は、車両の排出ガス対策差やエンジン形式によると思われる。

排出量が多い軽貨物車（車両A車）の排出ガス対策は、EGRと酸化触媒装置が装着されている。

また、最も排出量の少ない車両Bは、GDIエンジンを搭載し、排出ガス対策として三元触媒（吸蔵触媒）、EGRが取り付けられている。

②ディーゼル車

ディーゼル車9台（車両E～N）の排出量は、ベンゼンが1.4～30mg/km、除ベンゼンが2.2～140mg/kmとなって

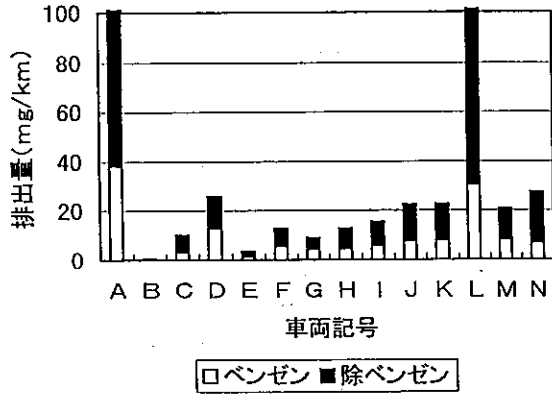


図4 ガス状HAPs (芳香族炭化水素) の排出量

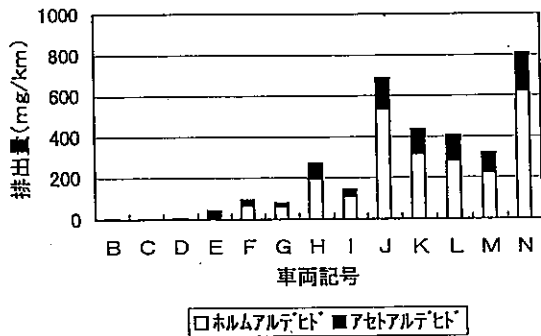


図5 ガス状HAPs (アルデヒド) の排出量

いる。ベンゼンの排出量は、ガソリン車に比べ各車両間の排出量の差が小さく特に車両Lを除いたベンゼンの排出量が1.4~8.3mg/kmの範囲にある。

(イ) アルデヒド

①ガソリン車

ガソリン車3台(車両B~D)のホルムアルデヒドの排出量は、0.1~2.5mg/km、アセトアルデヒドが1.6~3.9mg/kmの範囲にあった。ホルムアルデヒドとアセトアルデヒドの排出量を比較すると調査した3台ともアセトアルデヒドの排出量が多くなっている。

②ディーゼル車

ディーゼル車10台(車両E~N)の排出量は、ホルムアルデヒドが11~620mg/km、アセトアルデヒドが16~190mg/kmとなっており、ガソリン車に比べ100~250倍程度高い排出量となっている。

ホルムアルデヒドとアセトアルデヒドの排出量を比較すると車両記号Eを除いた車両すべてがホルムアルデヒドの排出量が高く、ガソリン車と異なる傾向を示している。

車両Eは、排出ガス処理装置として酸化触媒、EGRを装着しており排出傾向は、ガソリン車と同様にアセトア

ルデヒドの排出量が多くなっている。

イ 粒子状HAPs

ディーゼル車からの粒子状HAPsの排出量(走行パターンNo.2、5、8、10の平均)を図6に示した。

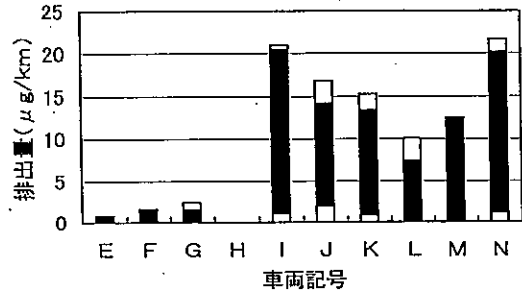


図6 粒子状HAPsの排出量

(ア) 多環芳香族炭化水素 (PAHs)

ディーゼル車9台(車両Lを除いた車両)の排出量は、BaPが0.02~2.0μg/km、除PAHsは0.7~11.4μg/kmの範囲にあった。

(イ) ニトロ多環芳香族炭化水素 (NPAHs)

ディーゼル車9台の1-ニトロピレンの排出量は0.01~2.7μg/kmの範囲にあった。

(3) 仕事当たりのPAHsの排出量

汚染質の仕事当たり(以下、t・kmと記す)の排出量は、一般的に等価慣性重量の小さい車種で多く、等価慣性重量の大きい車種で少ない値となる。

今回調査したガソリン車、ディーゼル車の仕事当たりの平均排出量(走行パターンNo.2、5、8、10での排出量を車両の等価慣性重量で除算した値の平均値)を図7~9に示した。

ア ガス状HAPs

(ア) 芳香族炭化水素

①ガソリン車

ガソリン車における仕事当たりのベンゼンの排出量(図7の車両A~D)は、0.02~38mg/t/km、除ベンゼンが0.5~65mg/t/kmの範囲にあり、等価慣性重量との間に一定した傾向はみられていない。これは、触媒装置の装着など排出ガス対策の差異の影響が大きいことを示している。

②ディーゼル車

ディーゼル車における仕事当たりのベンゼンの排出量(図7の車両E~N)は、等価慣性重量が2t・kmの車両

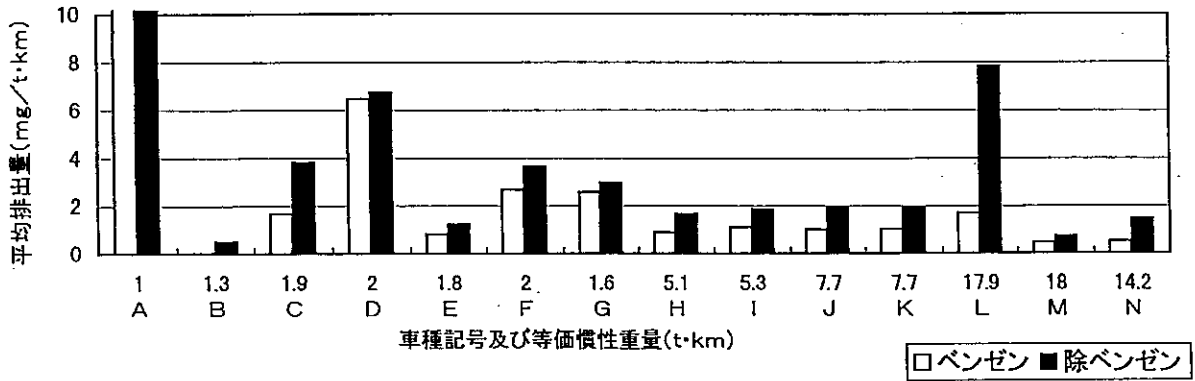


図7 仕事当たりのガス状HAPs (芳香族炭化水素) の排出量

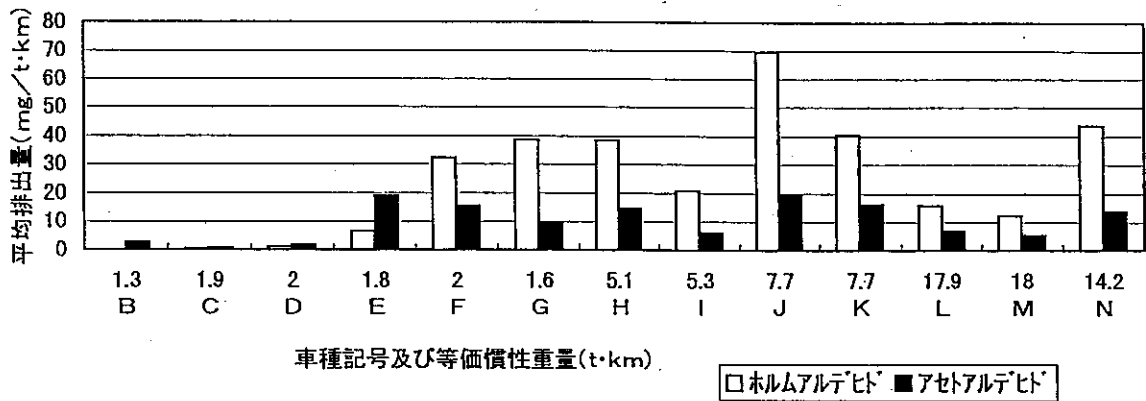


図8 仕事当たりのガス状HAHs (アルデヒド) の排出量

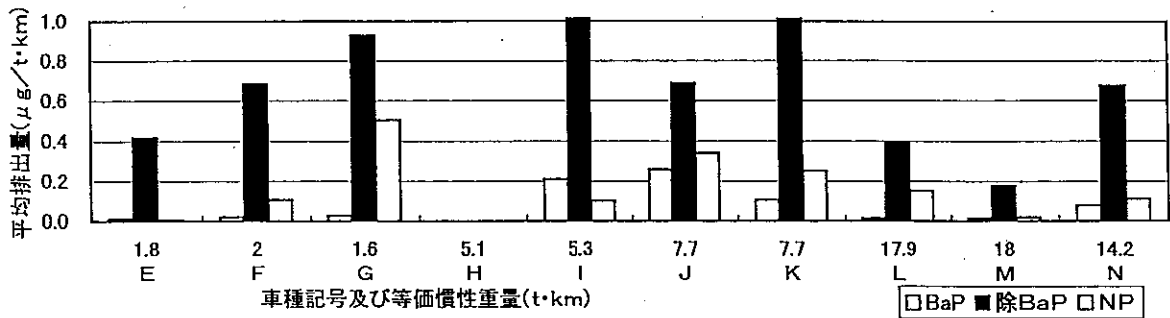


図9 仕事当たりの粒子状PASsの排出量

で1~3mg/t・km、5~8 t・kmの車両が1 ng/t・km、14~18 t・kmの車両が0.5mg/t・kmとなっている。

(イ) アルデヒド

①ガソリン車

ガソリン車における仕事当たりのホルムアルデヒドの排出量 (図8の車両B~D) は、0.05~1.25mg/t/kmの範囲にあり、等価慣性重量の増加とともに排出量が増加する傾向がみられる。アセトアルデヒドは、0.84~2.73mg/t/kmの範囲にあり、等価慣性重量との間に一定した傾向はみられていない。

②ディーゼル車

ディーゼル車における仕事当たりのホルムアルデヒドの排出量 (図8の車両E~N) は、等価慣性重量が2~8 t・kmの車両で21~69mg/t・km、14~18 t・kmの車両が12~44mg/t・kmとなっている。

アセトアルデヒドは、等価慣性重量が2~8 t・kmの車両で10~20mg/t・km、14~18 t・kmの車両が7~14 mg/t・kmとなっている。

イ 粒子状HAPs

(ア) PAHs

ディーゼル車における仕事当たりのBaPの排出量（図9の車両Hを除く車両E～N）は、等価慣性重量が2 t・kmの車両で0.01～0.03 μg/t・km、5～8 t・kmの車両が0.1～0.3 μg/t・km、14～18 t・kmの車両が0.01～0.08 μg/t・kmとなっている。

(イ) 除BaP

ディーゼル車における仕事当たりの除BaPの排出量（図9の車両Hを除く車両E～N）は、等価慣性重量が2 t・kmの車両で0.4～0.9 μg/t・km、5～8 t・kmの車両が0.7～2.2 μg/t・km、14～18 t・kmの車両が0.2～0.7 μg/t・kmとなっている。

(ウ) NPAHs

仕事当たりのNPAHsの排出量（図9車両Hを除く車両E～N）は、等価慣性重量が2 t・kmの車両で0.01～0.5 μg/t・km、5～8 t・kmの車両が0.1～0.3 μg/t・km、14～18 t・kmの車両が0.02～0.15 μg/t・kmとなっている。

(4) 汚染物質相互の関係

HAPsと同時に自動測定器で測定したCO、HC、NOxとの関係を調べた。結果を図10～13に示した。

これによると高い相関関係が認められたHAPsは、ガソリン車ではベンゼンとHC ($r^2:0.86$)、除ベンゼンとHCで ($r^2:0.91$) であった。

ディーゼル車では、ベンゼンとCO及びHC ($r^2:0.4$)、除ベンゼンとCO及びHC ($r^2:0.4\sim0.7$)、ホルムアルデヒド及びアセトアルデヒドとHC ($r^2:0.62\sim0.67$) であった。

(5) 都内における自動車から排出されるHAPsの排出量の試算

これまでに都内全域におけるディーゼル車から排出されるBaPの排出量を試算したが、この試算式を使用し都内全域におけるベンゼン、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドの排出量を試算した。

試算は次式により行った。

$$Q_n = D_n \times \sum (X_i \times E F_i)$$

Q_n : 車種毎の排出量 (kg/年)

D_n : 各車種別走行量(100万台km/年)

X_i : 都内の平均車速分布

i は 5 km/h毎の各平均車速

E F_i : 各車種の平均排出係数 (μg/km)

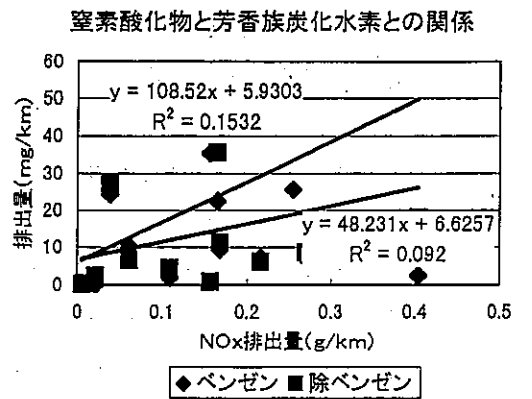
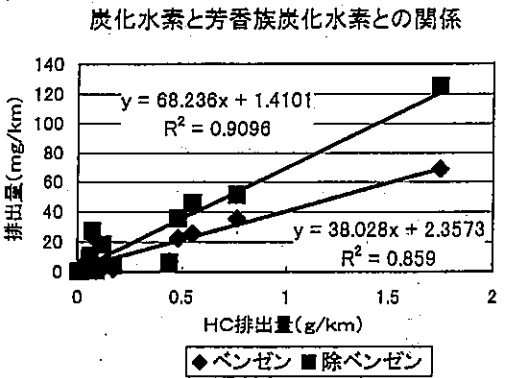
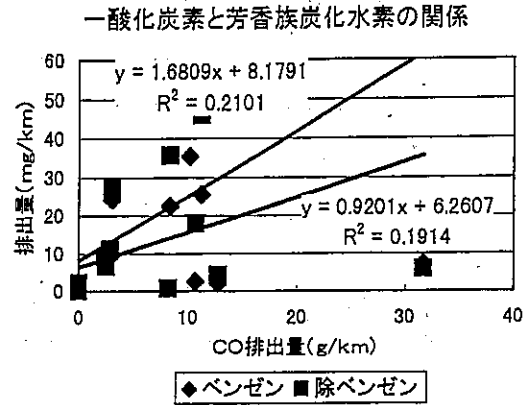


図10 CO等と芳香族炭化水素との関係 (ガソリン車)

ここで、車種別走行量及び平均車速分布は、「平成8年度 東京都内自動車走行量及び排出ガス量将来予測調査報告書」に示されている平成7年度の予測値を用いた。その値を表3、4に示した。また、ベンゼンとアルデヒドの平均排出係数は、各車種毎の各走行パターン平均値を用い作成した排出量曲線から読み取った値を用いた。

なお、特殊車の排出係数は、等価慣性重量が類似する普通貨物車の値を用いた。試算結果を表5に示した。これによるとベンゼンの年排出量は、都全域で430 tで、

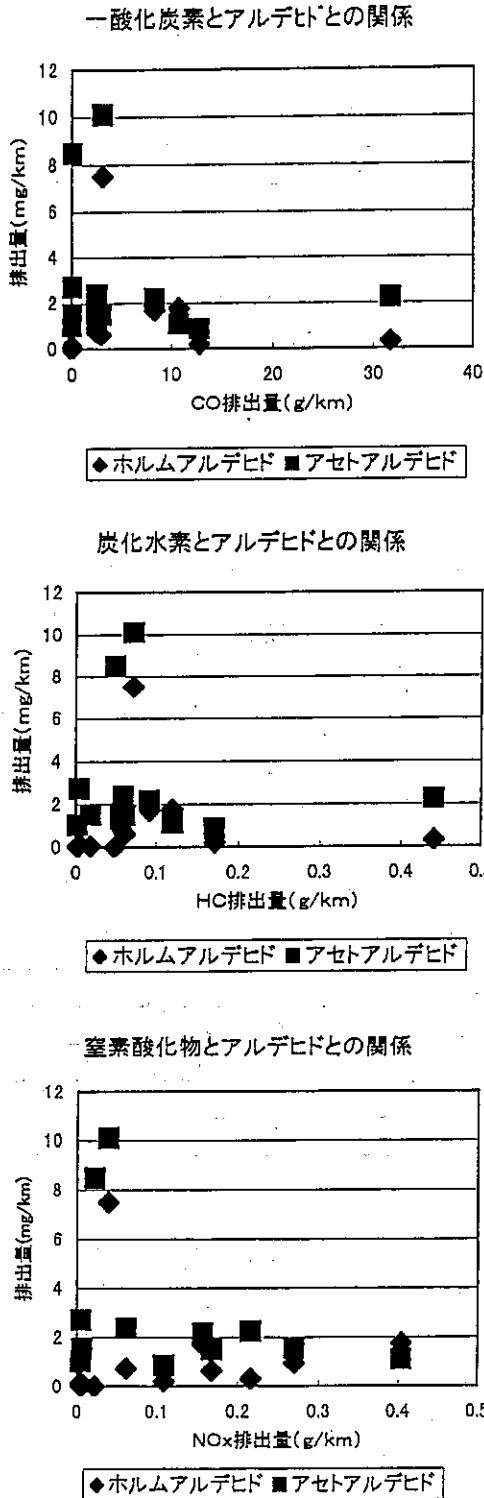


図11 CO等とアルデヒドとの関係（ガソリン車）

この内の約80%はガソリン車から排出されている結果となっている。

ホルムアルデヒドは、都全域で2200 t 排出され、約98%はディーゼル車から排出されている。また、アセトアルデヒドは、930 t で、約89%がディーゼル車から

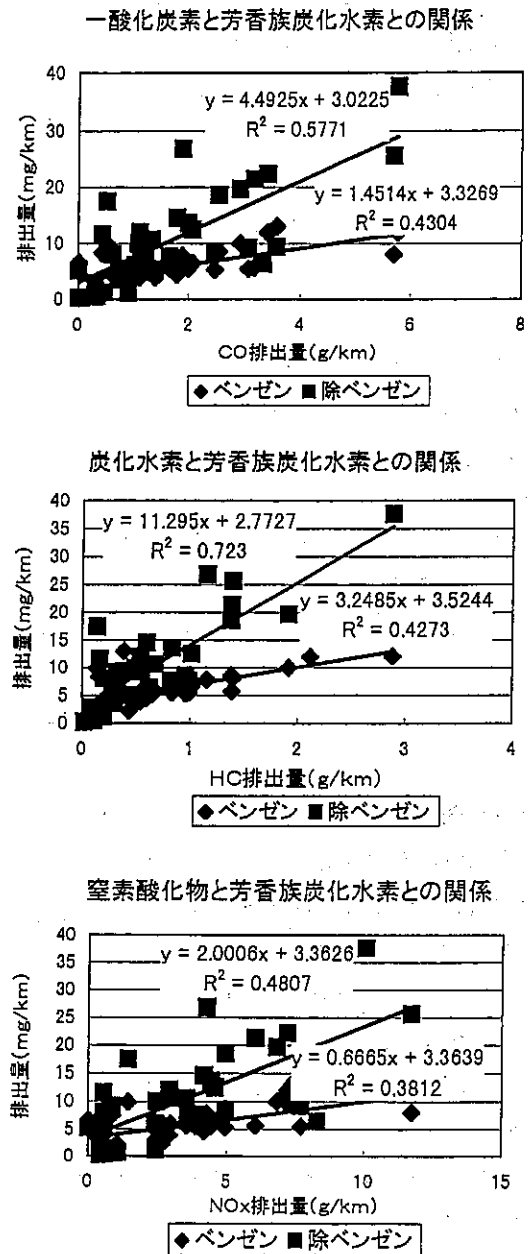


図12 CO等と芳香族炭化水素との関係（ディーゼル車）

排出されている結果となっている。

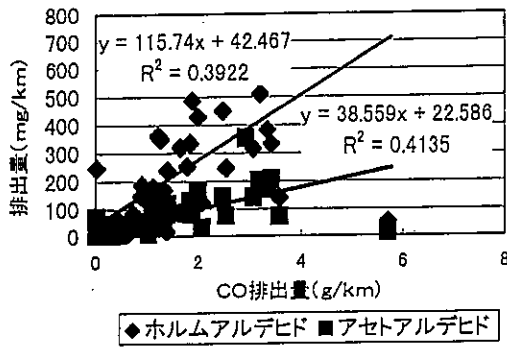
4 まとめ

①自動車から排出される有害物質は、一般に燃費の悪い走行車速の遅い領域で排出量が多く、車速の増加とともに減少する。

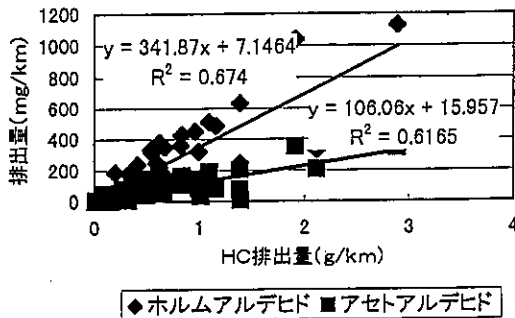
調査結果では、ガソリン車とディーゼル車の芳香族炭化水素やアルデヒド、多環芳香族炭化水素にこの排出特性がみられている。

ディーゼル車のニトロ多環芳香族炭化水素は、低速域

一酸化炭素とアルデヒドとの関係



炭化水素とアルデヒドとの関係



窒素酸化物とアルデヒドとの関係

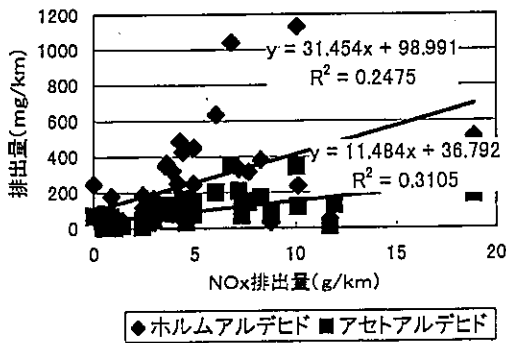


図13 CO等とアルデヒドとの関係 (ディーゼル車)

表3 車種別走行量 (平成7年度)
単位: 100万台km/年

車種	走行量
軽乗用車	1661
乗用車	28480
バス	363
軽貨物車	3562
小型貨物車	3320
貨客車	4733
普通貨物車	3902
特殊車	617

表4 平均車速分布

平均車速 (km/h)	割合
5	0.041
10	0.103
15	0.165
20	0.209
25	0.184
30	0.117
35	0.082
40	0.052
45	0.027

と高速域で差がほとんどない排出特性を示している。

②ベンゼンの排出量は、車両間の差がガソリン車では大きく、走行パターンの平均値で0.06~35mg/kmの範囲にあった。ディーゼル車は、車両間の差がガソリン車に比べ小さく、1.4~8.3mg/kmの範囲にあった。

アルデヒドの排出量は、ホルムアルデヒド及びアセトアルデヒドともにディーゼル車がガソリン車に比べ多く、約100~250倍の差がある。

③有害物質の仕事当たりの排出量は、一般に等価慣性重量の小さい車種で多く、等価慣性重量の大きい車種で小さい値となる。

この傾向は、ディーゼル車ではみられるがガソリン車

表5 ベンゼン及びアルデヒドの年間排出量

単位 t/年

車種	試算排出量					
	ベンゼン		ホルムアルデヒド		アセトアルデヒド	
	ガソリン車	ディーゼル車	ガソリン車	ディーゼル車	ガソリン車	ディーゼル車
軽乗用車	190	6	5	77	15	75
乗用車	120	2	25	210	73	65
バス						
軽貨物車		11		340		121
小型貨物車		6	5	77	10	21
貨客車	36	60	2	1470	3	550
普通貨物車	3					
小計	349	85	37	2174	101	832
合計	434		2211		933	

では、芳香族炭化水素やアルデヒドともに車両の排出ガス対策の差の影響が大きいことからみられない。

④都内全域におけるHAPsの年間の排出量を推計した結果によるとベンゼンが430 tで、この80%はガソリン自動車から排出されている結果となっている。

また、アルデヒドの排出量は、ホルムアルデヒドが2200 t、アセトアルデヒドが930 tであった。

ディーゼル車からホルムアルデヒドの排出量の98%、アセトアルデヒドの89%が排出されている結果となっている。

引用文献

- 1) 泉川 碩雄ら：ディーゼル車からの多環芳香族炭化水素の排出量調査—東京都環境科学研究所年報 1995、p.27