

## 1. 調査の目的

平成 29 年 5 月 31 日に発表された環境省中央環境審議会「今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について（第十三次答申）」では、ストイキを含むガソリンを燃料とする筒内直接噴射式エンジンを搭載している車両（ガソリン直噴車）について、粒子状物質（PM）の規制導入が示され、2020 年末までに適用を開始することが適当であるとされた。さらに、今後の課題として、欧州で導入されている固体粒子数（PN）規制の導入について検討する必要があるとされた。一方で、PM 及び PN 排出量については、使用するガソリンの性状によって変化することが学会等で報告されている。

以上のことから、本調査においては、燃料性状が PM 及び PN の排出量に与える影響を調査し、PN 規制導入の検討に必要な知見を収集することを目的とする。

## 2. 調査内容

PM 及び PN 排出量への燃料影響を調査するため、国内認証試験用燃料及び一般に販売されているガソリンとガソリン直噴車 2 台を用いて排出ガスの測定試験を行った。

### 2.1 供試車両

国内で販売されている乗用車からガソリン直噴車 2 台を選定し、レンタカーにより調達した。選定には 2018 年 1 月から 2019 年 6 月までの新車販売台数および車種、エンジン型式、排気量等を参考とし、環境省担当官との協議の上決定した。試験車両の車両諸元を表 2.1 に、試験車両の写真を図 2.1 に示す。

表 2.1 試験車両諸元

供試車両	車名略称	A車	B車
	排出ガス規制の識別記号 適合規制 規制対応サイクル	DBA H17年規制 75%低減レベル JC08	5BA H30年規制 50%低減レベル WLTC
寸法・重量	全長 (mm)	4,265	4,625
	全幅 (mm)	1,695	1,815
	全高 (mm)	1,710	1,730
	乗車定員 (人)	7	5
	車両重量 (kg)	1,360	1,540
	車両総重量 (kg)	1,745	1,815
	試験時車両重量 (kg)	1,553	1,753
	等価慣性重量 (kg)	1,553	1,753
原動機	シリンダー, バルブ	水冷直列4気筒横置, DOHC	水平対向4気筒, DOHC 16バルブ デュアルAVCS
	圧縮比	11.5	11.5
	総排気量 (cc)	1,496	2,498
	最高出力 (kW /rpm)	96/6600	136/5800
	最大トルク (N・m /rpm)	155/4600	239/4400
	燃料供給装置	電子制御, 燃料直接噴射式 (DI), 三元触媒	電子制御, 燃料直接噴射式 (DI) 三元触媒
	排出ガス低減装置 主要燃費向上対策	アイドリングストップ, DI, 可変バルブタイミング, 自動無段変速機, パワーステアリング	アイドリングストップ, 可変バルブタイミング, 自動無段変速機, 電動パワーステアリング, 充電制御, ロックアップ機構付トルクコンバーター
その他	既走行距離 (km)	9,520	15,405

【 A 車 】

【 B 車 】



図 2.1 試験車両

## 2.2 供試燃料の性状および保管

本調査では性状の異なる 3 種類のレギュラーガソリンを供試燃料とした。供試燃料の調達にはガソリン車の PM 及び PN 排出に対して指標となる PM-Index を目安とした。性状分析用の試料を採取する時とドラム缶開封後の車両試験中は蒸発等による燃料性状の変化を避けるために冷蔵して保管した。

供試燃料の性状を表 2.2 に示す。3 種の燃料の内、① 認証試験用は、PM-Index 値が比較的低くて軽質な国内認証試験用燃料である。② 認証重質化は、① 認証試験用に 1-メチルナフタレン (1-MN)、n-ヘキサン、イソオクタンを添加して重質化し、PM-Index 値が 1.5~1.9 程度になるよう調製した燃料である。1-MN 等の 3 物質はいずれもレギュラーガソリンに含まれている一般的な成分である。1-MN は炭素数 (C : Carbons) 11 の芳香族化合物で、PM-Index 値を上げる成分として用いた。ガソリン中の成分として、C12 以上の炭化水素類の含有量は極微量であるため、C11 で PM 排出が増加しやすい芳香族化合物である 1-MN を選択した。n-ヘキサンは固体である 1-MN の試薬を溶かす溶媒として用いた。イソオクタンは、揮発しにくい 1-MN を添加したことによって変化するオクタン価を調整するために添加した。③ 市井重質は、市井の小売店で販売されている燃料の中で PM-Index 値が比較的高い重質な燃料である。

① 認証試験用は国内認証試験用レギュラーガソリンの規格 (試験用規格) を満たしていた。② 認証重質化は、① 認証試験用を基材として調製した結果、試験用規格の内、蒸留性状の 10%値が 55.8℃となり、上限値 (55℃) を 0.8℃超過した。蒸留性状の 10%値に関わる成分は揮発性が高く燃焼しやすいため、PM の生成には大きく関与しないと考えられる。しかし、他の項目は全て試験用規格の範囲内となり、国内で認証試験に用いられる燃料規格をほぼ満足する性状になった。また、水素炎イオン化検出器付きガスクロマトグラフで分析し、1-MN が添加されていることを確認した (図 2.2)。③ 市井重質は自動車ガソリンの日本産業規格 (JIS : Japanese Industrial Standards) を満たしていた。

供試燃料の重質さを、3つの性状項目で確認した。即ち、PM排出量の指標になるとされているPM-Index、PM-Indexに近い値を簡易的に得ることを目的に考案されたSPMI、PMを生成しやすい炭素数(C: Carbons) 10以上の芳香族分の体積割合である。

PM-IndexとSPMIの算出方法を表2.3に示す。PM-Indexは、ガソリン車においてPM排出量と相関が高いことが知られている。しかし、ガソリン中に含まれる個々の成分から算出されるため、解析に時間を要する。そこで、PM-Indexと同等の値を簡易的に算出するために提唱された指標がSPMIである。供試燃料のPM-Indexは、② 認証重質化(1.9) > ③ 市井重質(1.5) > ① 認証試験用(0.82)の順に大きく、② 認証重質化は目標通りの値に調製できた。一方、SPMIは、③ 市井重質(1.5) > ② 認証重質化(1.2) > ① 認証試験用(1.1)の順であり、PM-Indexでは③ 市井重質よりも② 認証重質化の方が高いが、SPMIでは③ 市場重質の方が高かった。① 認証試験用と② 認証重質化のPM-Indexはそれぞれ0.82と1.9であったが、SPMIはほぼ同じ値で1.1と1.2であり、本試験の供試燃料において、PM-IndexとSPMIは同等の値ではなかった。この理由は、添加した1-MNは沸点が241°Cであるため、SPMIの算出に用いる130°Cと170°Cの流出量に大きく影響しないことにあると考えられた。そこで、図2.3の蒸留曲線で供試燃料の重質さを蒸留性状からも確認した。① 認証試験用と② 認証重質化を比較すると、留出量90%以上では② 認証重質化の方が留出温度が高かった。② 認証重質化の終点の留出温度は209°Cで、3燃料の中で最も高くなっており、沸点241°Cの1-MNを添加した影響により重質化していたと推測される。③ 市井重質は、終点の留出温度は204°Cで② 認証重質化よりもわずかに低いものの、留出量70~97%は他の燃料の留出温度よりも高温であった。従って、蒸留性状の観点からは③ 市井重質が最も重質であった。

燃料成分の内、C10以上の芳香族分は、ナフタレン(C10)の様に半揮発性で蒸気圧が低く、他の成分よりも燃焼しにくいいため、PM排出量を増加させる。本調査の供試燃料にはC13までの芳香族分が含まれていたため、C10からC13までの芳香族分について体積割合の合計(C10-13芳香族分)を比較して確認した(図2.4)。C11の1-NMを添加したことにより、② 認証重質化のC11割合が1.4 Vol%と供試燃料中で最も高くなっていた。しかし、③ 市井重質はC10とC12が供試燃料中で最も高く、C10~C13の合計でも最も高かった。従って、燃料成分の観点からは③ 市井重質が最も重質であった。

表 2.2 供試燃料性状

燃料性状項目	単位	① 認証試験用	② 認証重質化	③ 市井重質	国内認証試験用 レギュラーガソリン規格	JIS規格 (2号, レギュラー)
PM-Index		0.82	1.9	1.5	N.A.※1	N.A.
SPMI		1.1	1.2	1.5	N.A.	N.A.
密度 (15℃)	g/cm <sup>3</sup>	0.731	0.734	0.729	0.720~0.734	0.783 以下
オクタン価 RON		90.4	90.4	90	90~92	89.0 以上
MON		81.0	81.4	81.3	80~82	N.A.
蒸気圧 37.8℃	kPa	59.2	56.6	61.4	56~60	44~78
実在ガム 未洗	mg/100ml	1	1	1	N.A.	5 以下
実在ガム 洗淨	mg/100ml	< 1	< 1	< 1	5 以下	N.A.
蒸留性状 初留点	℃	34.5	34.3	35.5	N.A.	N.A.
5%	℃	48.5	50.0	47.0	N.A.	N.A.
10%	℃	54.5	55.8 ※2	52.0	45~55	70 以下
20%	℃	63.0	64.3	58.5	N.A.	N.A.
30%	℃	71.5	73.3	66.0	N.A.	N.A.
40%	℃	82.0	83.8	74.5	N.A.	N.A.
50%	℃	94.0	95.0	86.0	90~100	75~110
60%	℃	104	105	101	N.A.	N.A.
70%	℃	113	113	118	N.A.	N.A.
80%	℃	125	126	138	N.A.	N.A.
90%	℃	152	156	164	140~170	180 以下
97%	℃	178	189	194	N.A.	N.A.
終点	℃	184	209	204	215 以下	220 以下
全留出量	%	98.0	98.0	97.5	N.A.	N.A.
残油量	%	1	1	1.5	N.A.	N.A.
減失量	%	1	1	1	N.A.	N.A.
留出量 70℃	%	28.0	26.3	34.5	N.A.	N.A.
130℃	%	83.0	82.3	76.0	N.A.	N.A.
170℃	%	95.0	93.5	92.0	N.A.	N.A.
硫黄分	mass ppm	8	8	5	10 以下	10 以下
鉛	g/L	0.001(-)	0.001(-)	0.001(-)	検出されない	検出されない
炭化水素組成						
総芳香族	vol%	23.3	23.8	20.8	20~45	N.A.
オレフィン	vol%	17.7	16.7	15.7	15~25	N.A.
パラフィン	vol%	52.9	53.7	52.1	N.A.	N.A.
ナフテン	vol%	6.13	5.79	6.40	N.A.	N.A.
炭素量	wt%	86.2	86.3	85.1	N.A.	N.A.
水素量	wt%	13.8	13.7	14.1	N.A.	N.A.
酸素量	wt%	0	0	0.82	検出されない	1.3 以下
ベンゼン	vol%	0.6	0.6	0.4	1.0 以下	1.0 以下
灯油分	vol%	1(-)	1(-)	1(-)	検出されない	4 以下
MTBE	vol%	0.1(-)	0.1(-)	1(-)	検出されない	7 以下
ETBE	vol%	0.1(-)	0.1(-)	5.09	N.A.	N.A.
メタノール	vol%	0.1(-)	0.1(-)	1(-)	検出されない	検出されない
エタノール	vol%	0.1(-)	0.1(-)	1(-)	検出されない	3 以下
炭素数別芳香族類の割合						
C10	vol%	1.1	1.1	2.9	N.A.	N.A.
C11	vol%	0.18	1.4	1.1	N.A.	N.A.
C12	vol%	0.047	0.076	0.498	N.A.	N.A.
C13	vol%	0.000	0.000	0.008	N.A.	N.A.
C10-13 合計	vol%	1.3	2.5	4.5	N.A.	N.A.

※1 N.A. : Not Available

※2 国内認証試験用レギュラーガソリンの規格からは外れている。

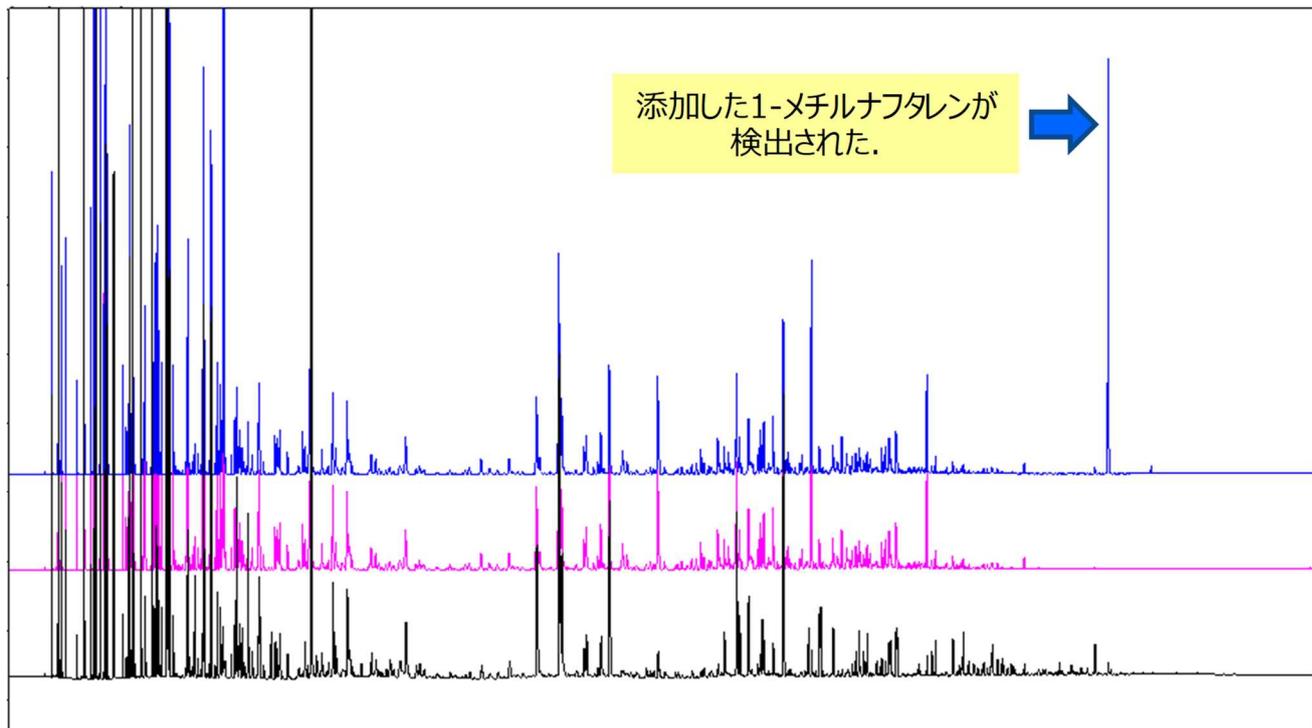


図 2.2 供試燃料の分析クロマトグラム

表 2.3 ガソリン車における PM 排出の指標とされる PM-Index および SPMI の算出方法

指標	分析方法の通称	分析方法のJIS規格	指標の計算式	備考
PM-Index	PONA分析	JIS K 2536-2 石油製品-成分試験方法 第 2 部：ガスクロマトグラフ による全成分の求め方	$\text{PM Index} = \sum_{i=1}^n I_{[443\text{K}]}$ $= \sum_{i=1}^n \left[ \frac{\text{DBE}_i + 1}{\text{蒸気圧 (443 K)}_i} \times \text{重量分率}_i \right]$ DBE=二重結合の数	<p>燃料中の炭化水素類をPONA分析し、各炭化水素類の蒸気圧と二重結合の数、重量分率を用いて算出する。</p> <p>ただし、PM-Indexを算出するためにJIS (PONA分析)があるのではなく、燃料中の炭化水素類を定性・定量分析するためにPONA分析を利用している。従って、PONA分析でリストアップされていない炭化水素類が混入していた場合、個別に定性・定量分析を行う必要がある。</p>
SPMI	蒸留性状	JIS K 2254 石油製品-蒸留性状の求め方	$\text{sPMI} = \alpha_1 E_{170} + \beta_1 E_{130} + \gamma_1$ $\alpha_1 = -0.0647, \beta_1 = -0.0324, \gamma_1 = +9.9241$	<p>SPMIにおける<math>E_{130}</math>、<math>E_{150}</math>とは、130℃あるいは150℃の時に燃料が蒸留された割合(%)を言う。</p> <p><math>\alpha</math>、<math>\beta</math>、<math>\gamma</math>の係数は、市場燃料のPM-Indexと蒸留性状から求められた。</p> <p>従って、市場燃料の性状が変化する、あるいは販売している国が変わると係数も変化するのはないか、との懸念がある。</p> <p>尚、通常の蒸留性状では、例えば、全量の80%が蒸留されたときの温度は何℃かを測定している。</p>

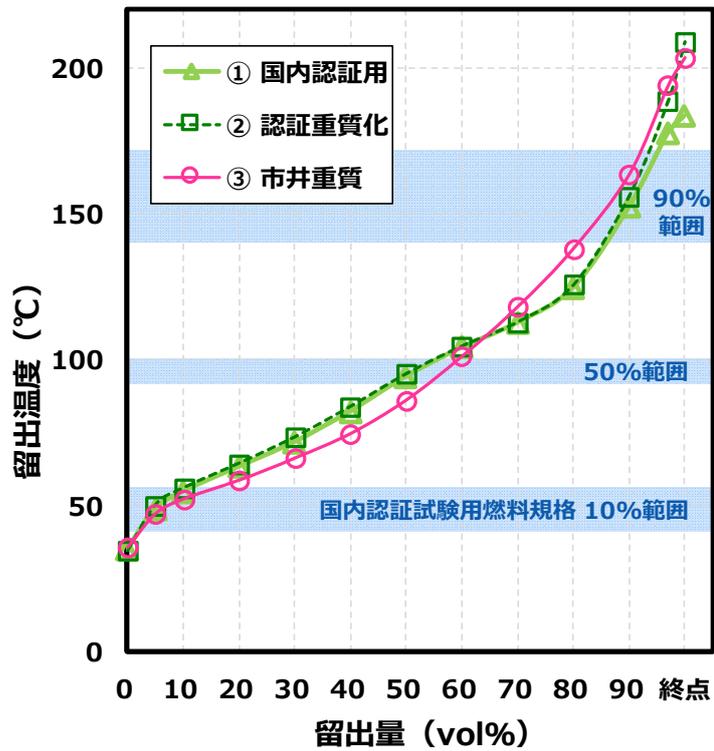


図 2.3 供試燃料の蒸留性状

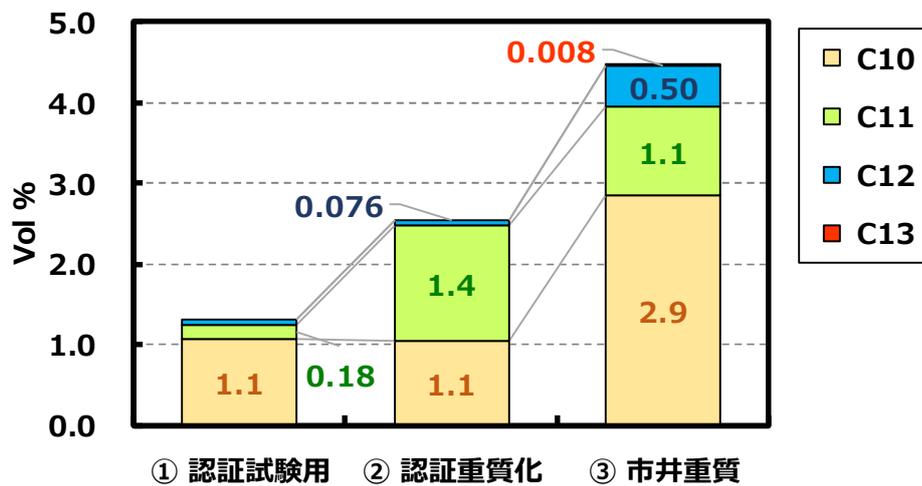


図 2.4 C10 以上の芳香族分の体積割合比較

## 2.3 調査項目

排出量の調査対象は、PM、PN の他、規制物質 (CO、NMHC、NO<sub>x</sub>)、全炭化水素 (THC)、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>)、一酸化窒素 (NO)、二酸化窒素 (NO<sub>2</sub>)、PM 中の炭素成分とした。また、車両の運転状態を確認するため、空気過剰率 ( $\lambda$ ) も調査対象とした。PN、CO、CO<sub>2</sub>、THC、NO<sub>x</sub>、 $\lambda$ については試験サイクル中の挙動を時系列的に計測した。

## 2.4 試験サイクル

排出ガス測定は、道路運送車両の保安基準の細目を定める告示の別添 42「軽・中量車排出ガスの測定方法 (II WLTC モード法)」に準拠して実施した。WLTC については、Low、Medium、High の 3 phase (WLTC LMH) に続けて Extra High (WLTC ExH) を走行させ、4 Phase の試験サイクル (WLTC LMH+ExH) で実施した。繰返し試験数は各燃料ごとに 3 回とした。ただし、環境省担当官との協議の結果、日本自動車研究所 (JARI) が独自調査を行った同じ条件のデータがある場合はこれも含めて本報告書に記載し、考察した。

試験に必要な走行抵抗値は、供試車両とコーストダウン法を用いた実測により取得した。

## 2.5 試験方法

### (1) 希釈トンネルの準備

PM 及び PN の測定に際して、燃料性状以外の要素による測定結果への影響を抑えるため、各車両の試験前に希釈トンネルを洗浄し、乾燥させてから実験室に設置した。次に、希釈トンネルが清浄であることを確認するため、希釈トンネル内に希釈空気のみを導入して、WLTC LMH と同じ時間のトンネルブランク試験を行った。

PM については、希釈空気の導入部と希釈トンネル後部の 2 カ所から同時に空気を採取し、それぞれポリテトラフルオロエチレン (PTFE) フィルターに通気して捕集し、捕集前後のフィルター秤量差がトラベルブランク値 (事前に計測したフィルター秤量値と、試験室と秤量室の間を持ち運んだ未捕集のフィルター秤量値の差分) と同程度であることを確認した。PN については、希釈トンネルの後部から希釈トンネル内の空気を採取して計測し、極低濃度で排出ガス試料の計測に問題が無いことを確認した。また、ガス状の調査対象物質についても希釈空気導入部と希釈トンネル後部で空気を同時に採取し、ほぼ同じ測定値から希釈トンネルが清浄であることを確認した。

尚、トンネルブランク試験は各試験日の初めにも実施し、希釈トンネルが清浄に保たれていることを証明するデータとした。希釈トンネル洗浄・設置後、及び各試験日のトンネルブランク試験の結果は巻末の付録 2 に纏めて記載した。

### (2) 試験設備の準備と設定

試験設備はシャシダイナモメータ (C/D、表 2.4) 及び希釈空気導入装置、希釈トンネル、定流量希釈装置 (CVS)、排ガス分析計、各種捕集装置から構成される。試験期間中は試験室内温度を 23±5°C、湿度 55% に保持した。供試車両は四輪駆動車試験用の C/D 上に設置した。供試車両のテールパイプから希釈トンネルまでは排気導入管で繋ぎ、113°C に加熱して排気導入管や希釈トンネル内壁で

の結露や調査物質の吸着等を防止した。また、希釈トンネルと排気導入管は内壁を洗浄し、乾燥させてから試験に用いた。

表 2.4 シャシ・ダイナモメーターの諸元

ダイナモメータ	型式	FC-DY
	車速 (km/h)	200
	最大軸荷重 (kN)	25
	吸収馬力 (kW)	220
ローラ	駆動馬力 (kW)	200
	材質	Fe
	直径 (mm)	1219.2
	ローラ幅 (mm)	800
	ローラ内間隔 (mm)	800
	ローラ表面仕上	平滑 タングステンカーバイト溶射
	軸数	前輪 (固定軸), 後輪 (移動軸) 各 1
慣性補償	軸距離 (mm)	2100~4100
	方式	全電気慣性補償
	機械固定慣性 (kg)	1000
	電気慣性 (kg)	-545~2500
	慣性設定間隔 (kg)	1
エンジン冷却ファン	合計慣性範囲 (kg)	455~3500 800~3500 (4WD)
	形式	ターボファン (最低地上高: 100mm)
	風速 (km/h)	4~160
	風速制御	車速追従式
室内空調	吐出口寸法 (mm)	W1000×H700
	温度 (°C)	25±3
	湿度 (%RH)	50±10
	製造元	明電舎

### (3) 調査対象物質の捕集及び測定方法

供試車両の排出ガスは全量を希釈トンネルに導入し、CVS と希釈空気希釈した。希釈空気は温度 23±5°C、湿度 55% に調整した試験室内の空気の中性能フィルターとチャコールフィルターおよび HEPA (High Efficiency Particulate Air) フィルターでろ過して用いた。

PN は、希釈トンネルの後部から希釈排出ガスを採取し、Euro 5/6 の要求に適合する粒子個数計測システム (MEXA-2300\_SPCS、堀場製作所) で時系列的に測定した。

### (4) 調査対象物質の試料捕集及び排出量の算出区分

供試車両の排出ガスは測定する試料の採取と排出量の算出区分を、表 2.5 に纏めて示す。調査対象物質の内、ガス状物質 (CO、NMHC、NO<sub>x</sub>、THC、CO<sub>2</sub>) 及び PN の測定試料はフェーズ毎に捕集した。PM 及び PM 中の炭素成分は WLTC LMH と WLTC ExH とに分けて捕集した。排出量は、ガス状物質は 4 つのフェーズ毎と WLTC LMH 及び WLTC LMH+ExH の値を算出した。

表 2.5 試料の捕集と排出量の算出区分

実施の 順番	試験		試験時間 (秒)	試料の捕集		排出量の算出				
				ガス状物質 PN ※1	PM (質量, 炭素成分)	ガス状物質, PN			PM (質量, 炭素成分)	
①	希釈トンネルブランク		1477 ※2	○	○	無し ※3				
②	WLTC LMH	Low	589	○	○	●				
		Medium	433	○		●	●		●	
		High	455	○		●		●		●
	WLTC ExH		323	○	○	●	●		●	

※1 ガス状物質 : CO, NO<sub>x</sub>, NMHC, CO<sub>2</sub>, THC, NO, NO<sub>2</sub>

※2 1477秒 = WLTC LMH

※3 導入する希釈空気と希釈トンネル後部で採取した試料の分析値あるいはフィルター秤量値によって希釈トンネルの清浄さを判断する。

### 3. 調査結果

#### 3.1 PM 及び PN

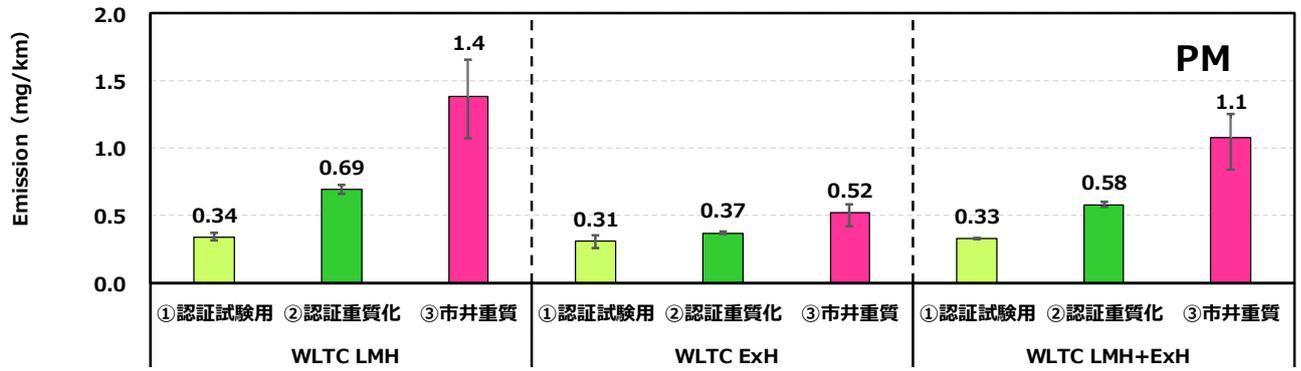
##### (1) PM の排出量

図 3.1 に性状が異なる 3 種の供試燃料を用いて測定した PM 排出量の結果を比較して示す。2 台の車両で若干の違いがあるものの、排出量は概ね③ 市井重質 > ② 認証重質化 > ① 認証試験用の順に高く、PM-Index による重質評価ではなく蒸留性状や C10~C13 芳香族分の割合による重質評価と同じ順になった。WLTC LMH の平均の排出量について、① 認証試験用を基準にした場合、A 車は② 認証重質が 2.0 倍、③ 市井重質が 4.1 倍であった。同様に、B 車は② 認証重質が 4.1 倍、③ 市井重質が 7.3 倍となった。従って、WLTC LMH の PM 排出量は燃料性状によって排出量が大きく異なることが明らかになった。また、次項で述べる PN 排出量よりも PM 排出量の方が排出量の差が大きいことも分かった。

A 車の PM 排出量は WLTC LMH において③ 市井重質 > ② 認証重質化 > ① 認証試験用の順に高く、WLTC ExH は③ 市井重質 > ② 認証重質化 ≒ ① 認証試験用の順であった。2 つを合わせた WLTC LMH+ExH は排出量の高い WLTC LMH の影響が大きいため WLTC LMH と同じ傾向になった。一方、B 車は WLTC LMH の排出量は③ 市井重質 > ② 認証重質化 > ① 認証試験用の順に高くなったものの、WLTC ExH の排出量は大きな差が無く、燃料による影響は見られなかった。この原因は、PN 排出挙動を示した次項の図 3.4 において、WLTC Low の排出が最も高く、Medium から High へと暖機されていく過程で低くなり、且つ、燃料による明らかな排出差が見られなくなっていることから、本試験の性状範囲では燃料の気化や燃焼制御に対して影響が無いほど十分に暖機されたためではないかと推測した。また、PM 排出量と事項に述べる PN 排出量のどちらでも、① 認証試験用の WLTC ExH の値は WLTC LMH よりも高くなっているが、この原因としては次の 2 つが推測される。一つ目は、WLTC LMH で PM および PN が排出されるのは主にエンジン始動後で、暖機されるに従って排出が低くなるため、エンジン始動後の排出が高くても試験サイクル全体としては平均化されていること。二つ目は、排出ガス規制の公定試験サイクルではない WLTC ExH は高車速且つエンジン高回転のオフサイクル領域で運転されていることである。

WLTC LMH において、A 車と B 車のどちらでも③ 市井重質のエラーバーが他の燃料よりも大きくなり、重質燃料では PM 排出量の測定結果がバラツキ易くなる可能性が示唆された。

【 A車 】



【 B車 】

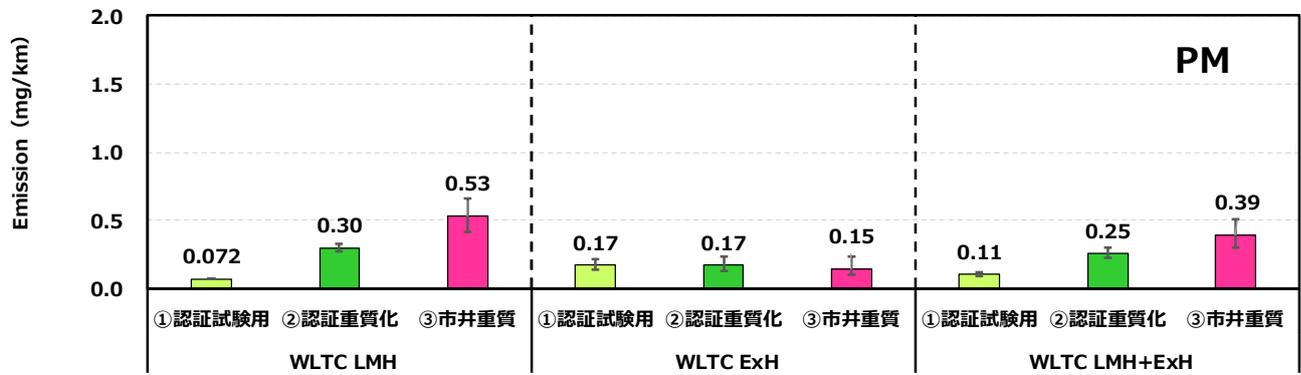


図 3.1 性状が異なる燃料による PM 排出量の比較  
(エラーバーは最大・最小を表す)

## (2) PNの排出量と排出挙動

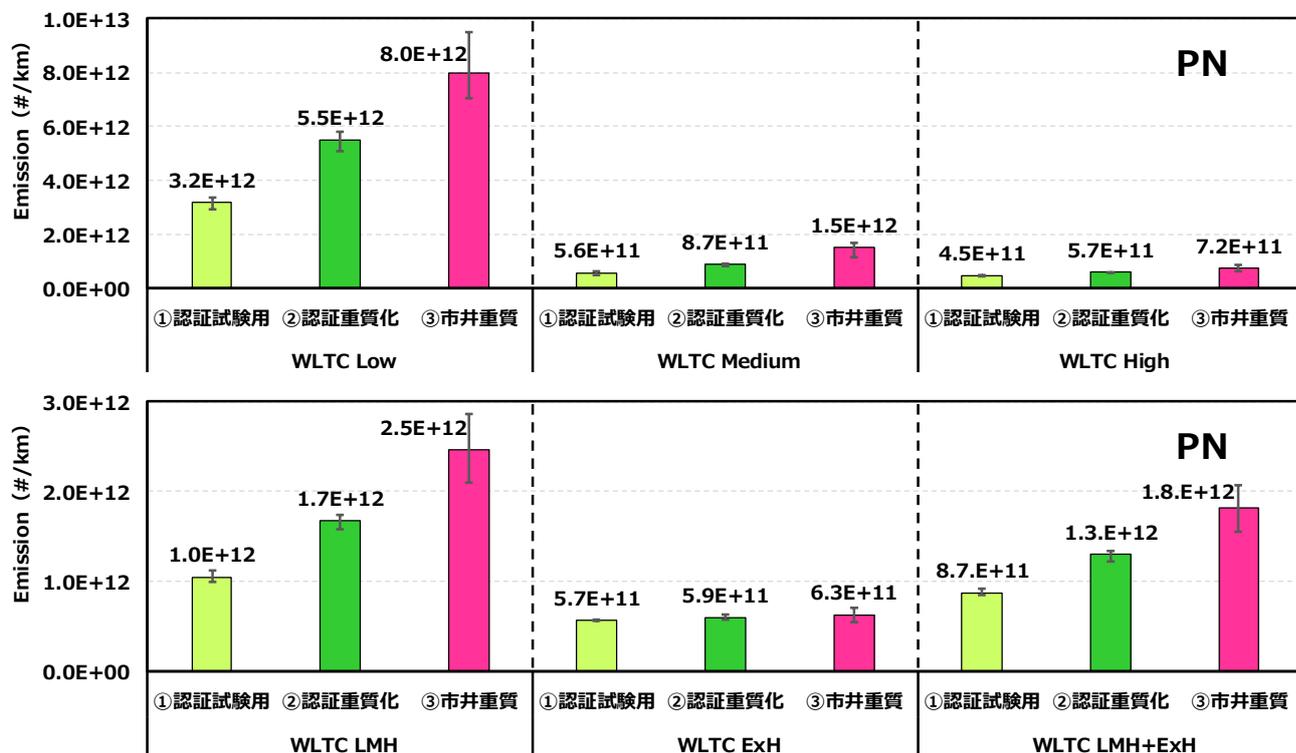
性状が異なる供試燃料を用いて得られたPN排出量を図3.2に比較して示す。PM排出量と同様に、PN排出量は概ね③市井重質 > ②認証重質化 > ①認証試験用の順に高く、PM-Indexによる重質評価ではなく蒸留性状やC10～C13芳香族分の割合による重質評価と同じ順になった。WLTC LMHの平均の排出量について、①認証試験用を基準にした場合、A車は②認証重質が1.6倍、③市井重質が2.4倍であった。同様に、B車は②認証重質が2.6倍、③市井重質が3.6倍となり、燃料性状によってPN排出量が大きく異なることが明らかになった。

A車のPN排出量はWLTCの各3フェーズ(Low、Medium、High)とこれらを合わせたWLTC LMHにおいて、③市井重質 > ②認証重質化 > ①認証試験用の順に高かった。WLTC ExHの排出量は③市井重質 > ②認証重質化 ≒ ①認証試験用の順であったが、③市井重質の排出量のバラツキを考慮すると他の燃料と差が無く、燃料による排出量への影響は無いと判断した。4つのフェーズを合わせたWLTC LMH+ExHは排出量の高いWLTC Lowの影響が大きいためWLTC ExH以外のフェーズと同じ傾向になった。一方、B車はWLTC Lowの排出量が③市井重質 > ②認証重質化 > ①認証試験用の順に高く、その他のフェーズは③市井重質 ≒ ②認証重質化 > ①認証試験用の順であった。WLTC LMHとWLTC LMH+ExHの排出量はWLTC Lowの影響を大きく受けて、WLTC Lowと同じ順に高くなった。

PNの排出挙動を確認するため、時系列的に採取した希釈トンネル内のPN濃度変化をA車は図3.3に、B車は図3.4に示す。どちらの供試車両においてもPNが排出されるのは主に冷機始動後と加速時であった。また、燃料によるPN排出の違いも冷機始動後と加速時に確認された。ただし、高温で十分に暖機された状態であるWLTC ExHでは加速時にPNが排出されても燃料による明らかな違いは見られなかった。

PM排出量と同様に、WLTC LMHにおいて、A車とB車のどちらでも③市井重質のエラーバーが他の燃料よりも大きくなり、重質燃料ではPN排出量の測定結果がバラツキ易くなる可能性が示唆された。

【 A 車 】



【 B 車 】

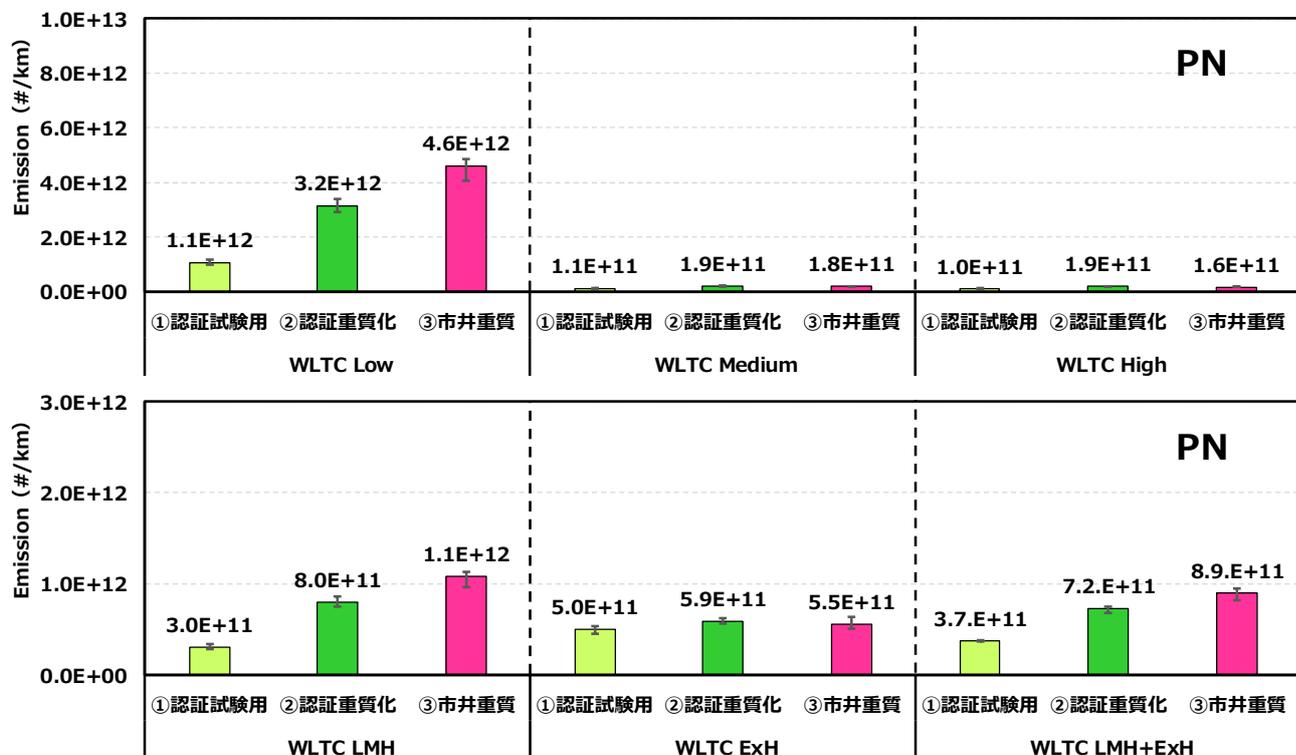


図 3.2 性状が異なる燃料による PN 排出量の比較  
(エラーバーは最大・最小を表す)

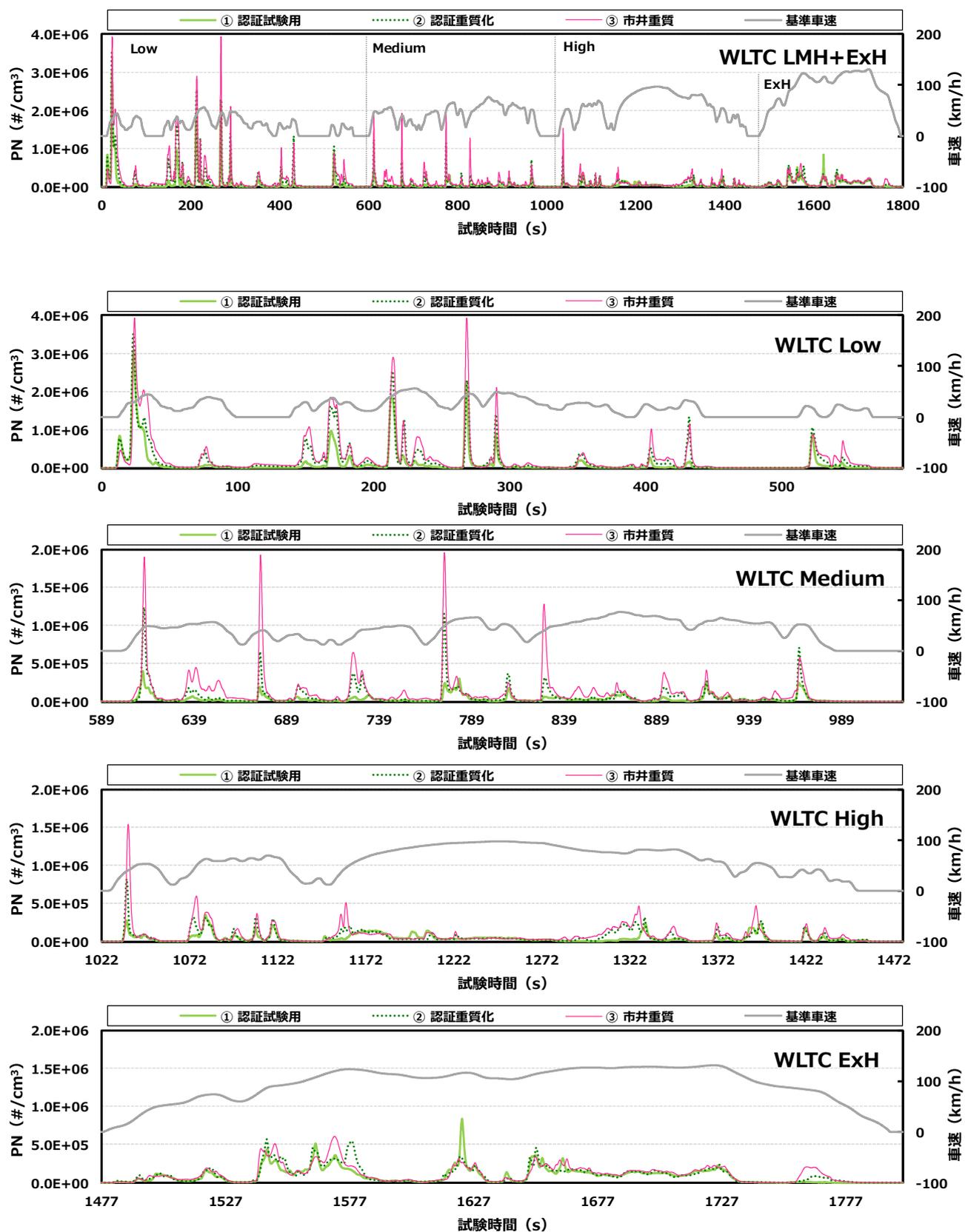


図 3.3 A 車の PN 排出挙動 (希釈トンネル内濃度)

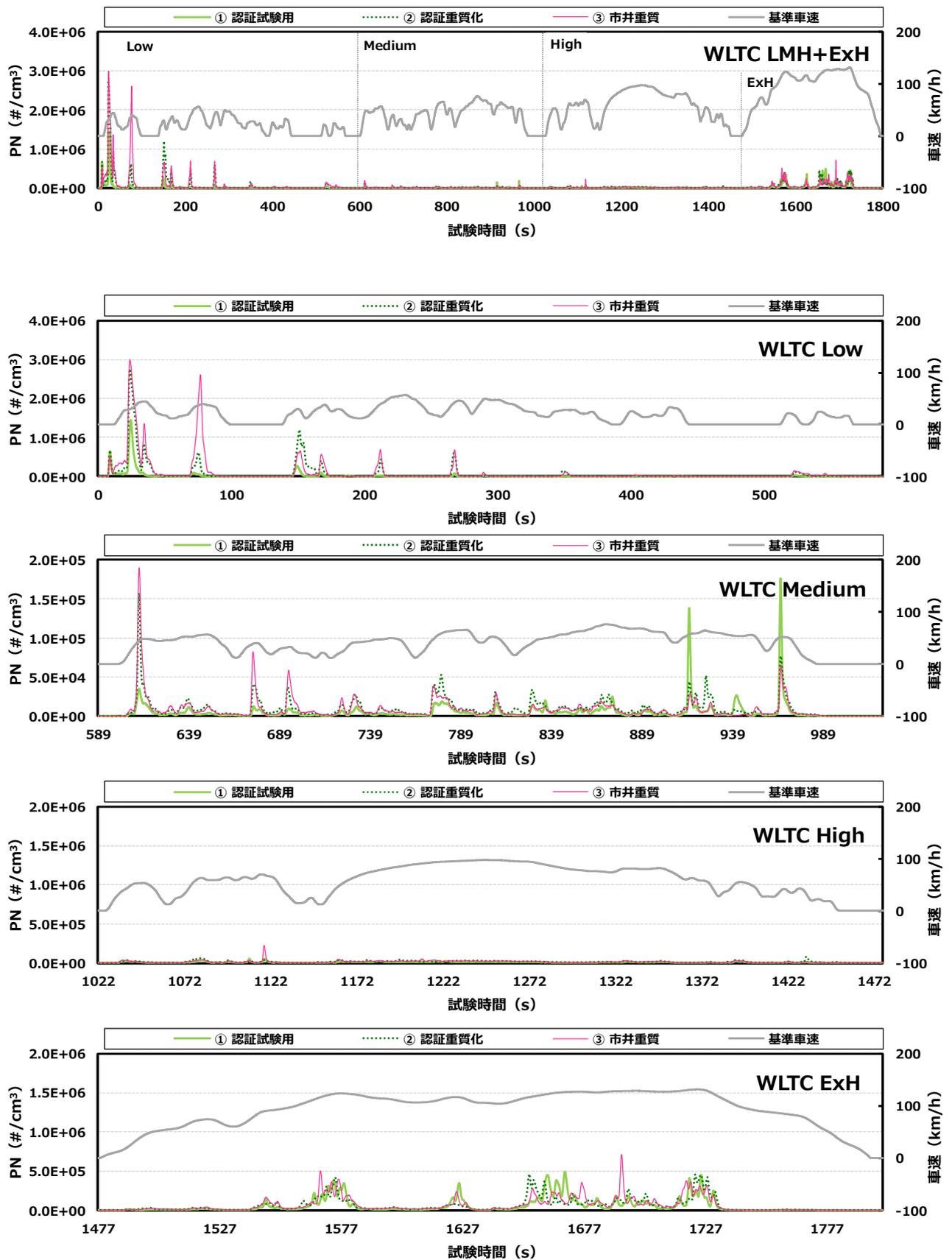


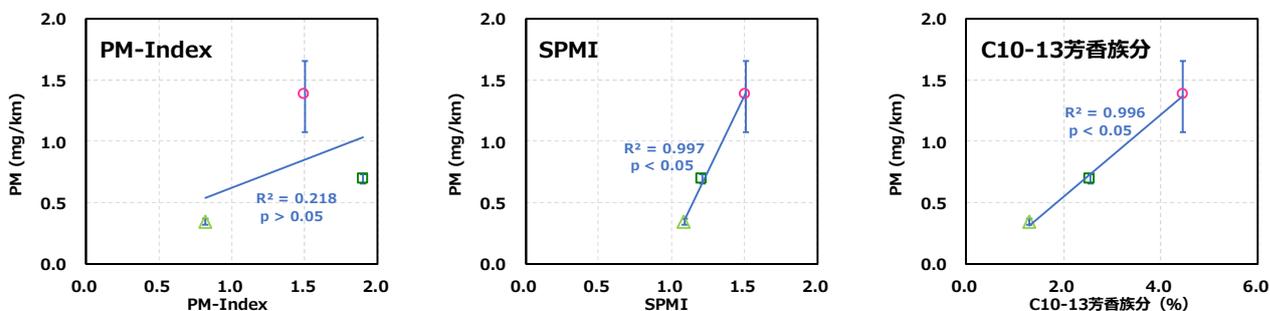
図 3.4 B 車の PN 排出挙動 (希釈トンネル内濃度)

### (3) 燃料性状とPMおよびPN排出量の相関

燃料の性状項目のうち、PM排出量と相関が高いとされているPM-IndexおよびPM-Indexに近い値を簡易的に得ることを目的に算出したSPMI、PMを生成しやすいC10-13の芳香族分合計の3つについて、PM排出量とPN排出量の相関を確認した。WLTC LMHとWLTC ExHについて、PM排出量との相関を図3.5から図3.7まで、PN排出量との相関を図3.8から図3.10までに示す。

決定係数が0.9以上、且つ $p < 0.05$ の有意な相関があるかを確認したところ、PM-IndexとPM排出量についてはA車とB車のどちらでも有意な相関がなかった。PM-Indexの簡易版であるSPMIとC10-13芳香族分については、A車はWLTC LMHとWLTC ExHのどちらにおいても有意な相関が得られた。しかし、A車よりも排出量が少ないB車においては、有意な相関が得られたのはWLTC LMHのみであった。次に、PN排出量との相関を確認すると、A車は有意な相関が無く、B車はWLTC ExHでのみ有意な相関が得られた。SPMIとC10-13芳香族分については、A車はWLTC LMHとWLTC ExHのどちらでも有意な相関が得られた。しかし、B車で有意な相関が得られたのはC10-13芳香族分におけるWLTC LMHのみであった。B車において、SPMIおよびC10-13芳香族分に対するPMおよびPN排出量の有意な相関がA車に比べて得にくい原因は、B車のPMおよびPN排出量が低いためであると考えられた。

#### 【 A車 】



#### 【 B車 】

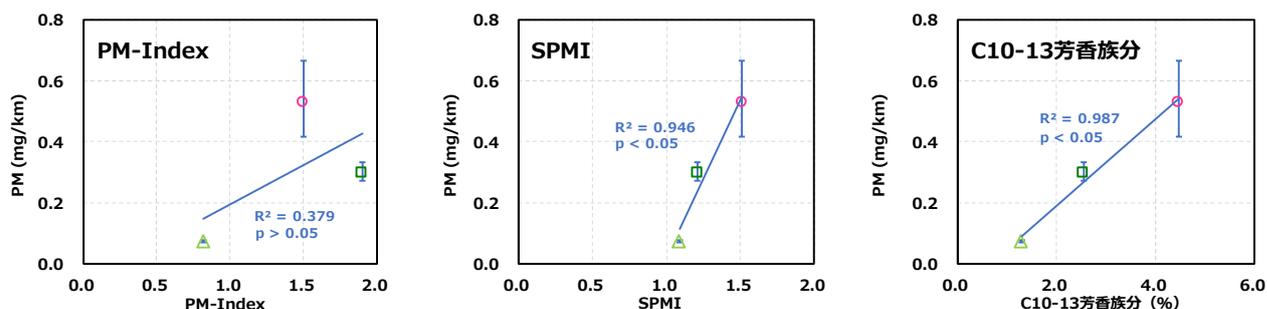
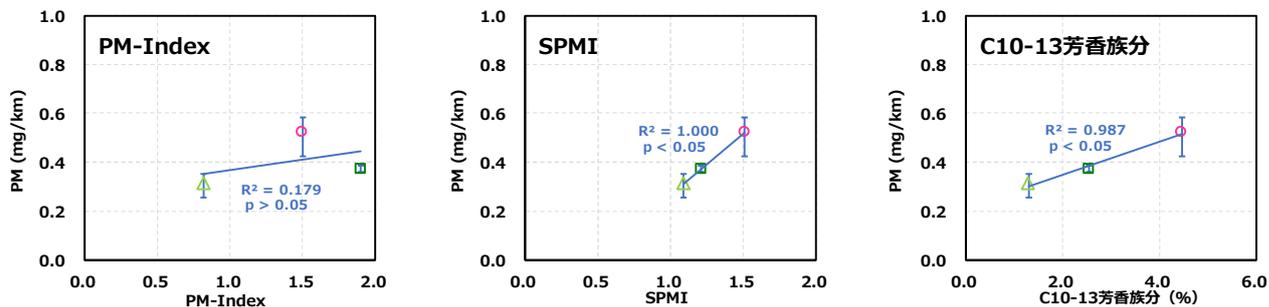


図 3.5 WLTC LMH における燃料性状とPM排出量の関係

【 A 車 】



【 B 車 】

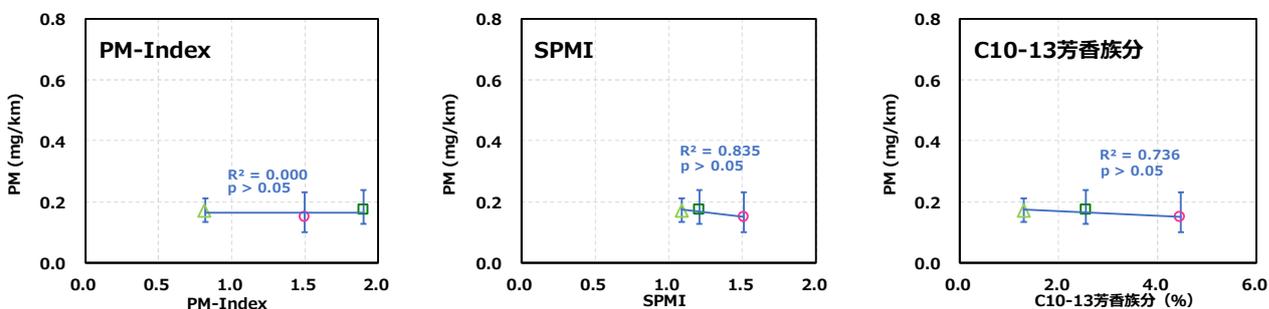
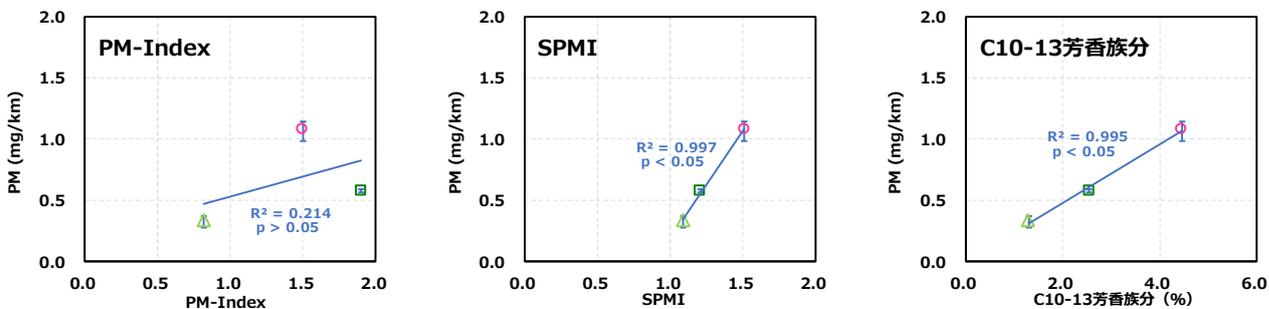


図 3.6 WLTC ExH における燃料性状と PM 排出量の関係

【 A 車 】



【 B 車 】

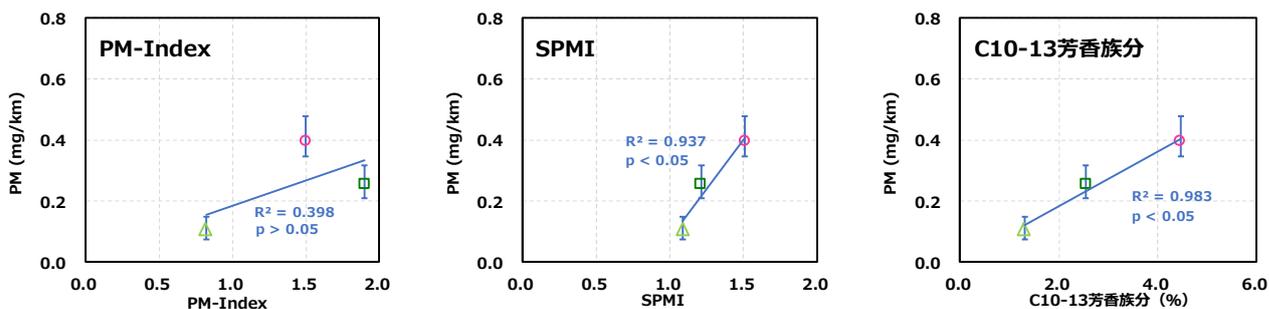
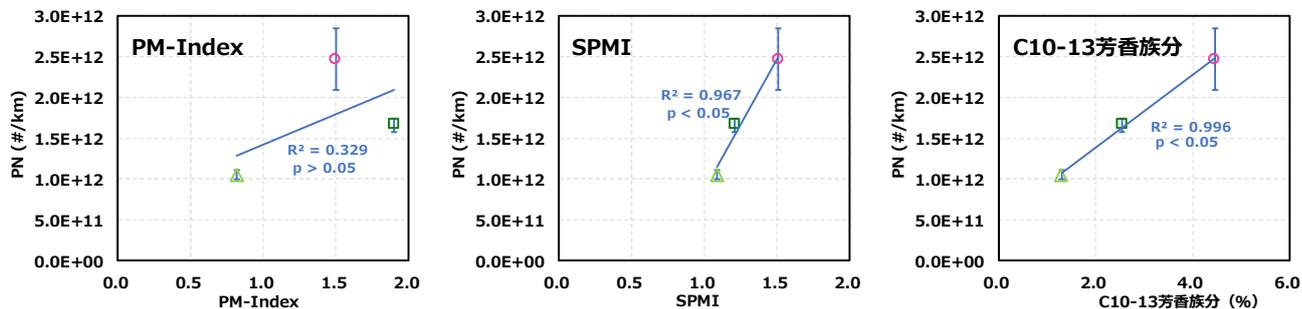


図 3.7 WLTC LMH+ExH における燃料性状と PM 排出量の関係

【 A 車 】



【 B 車 】

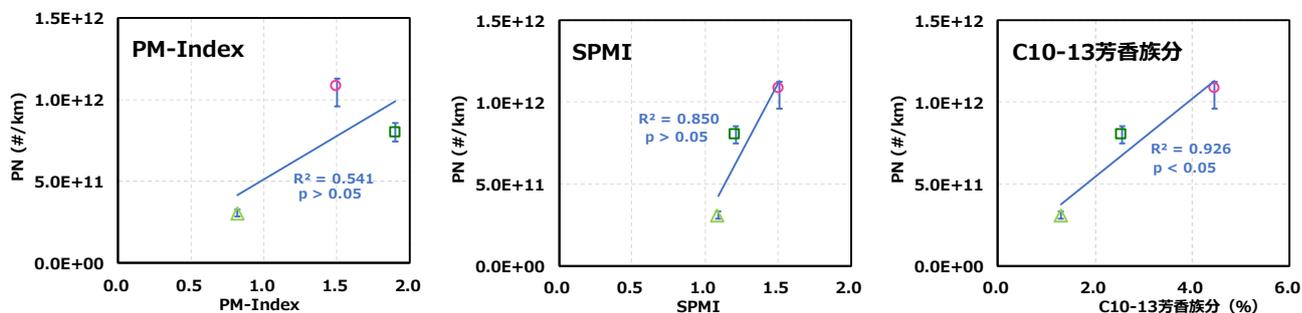
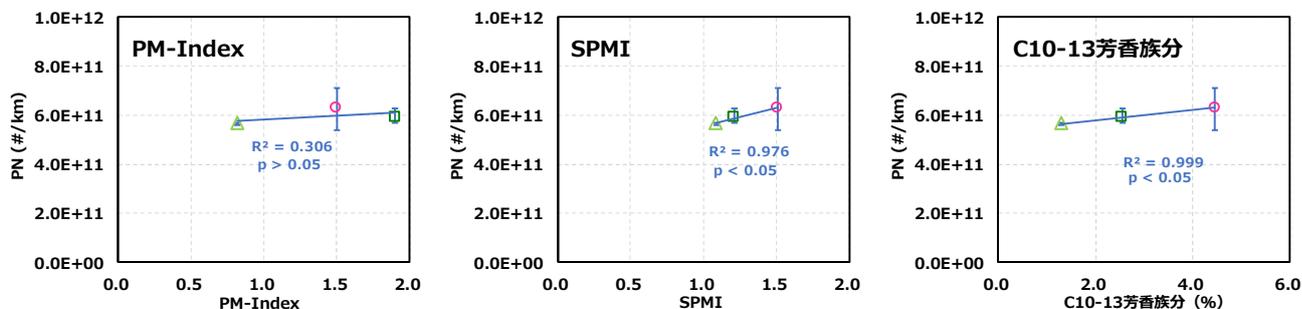


図 3.8 WLTC LMH における燃料性状と PN 排出量の関係

【 A 車 】



【 B 車 】

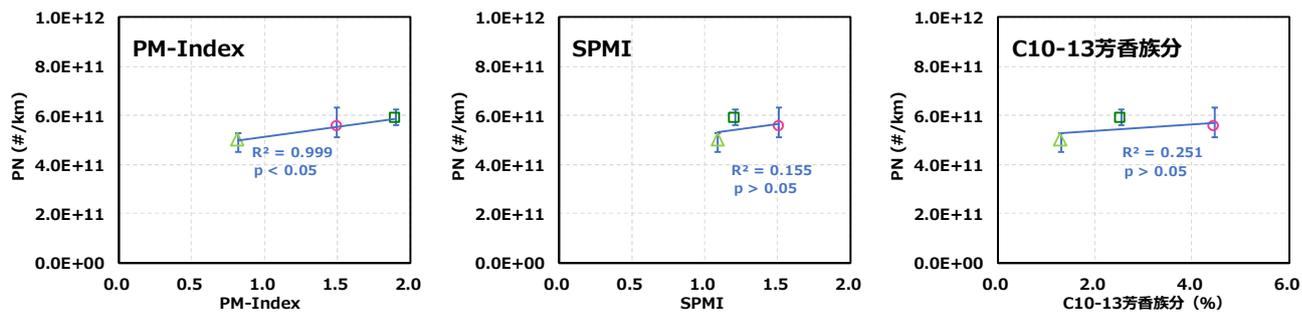
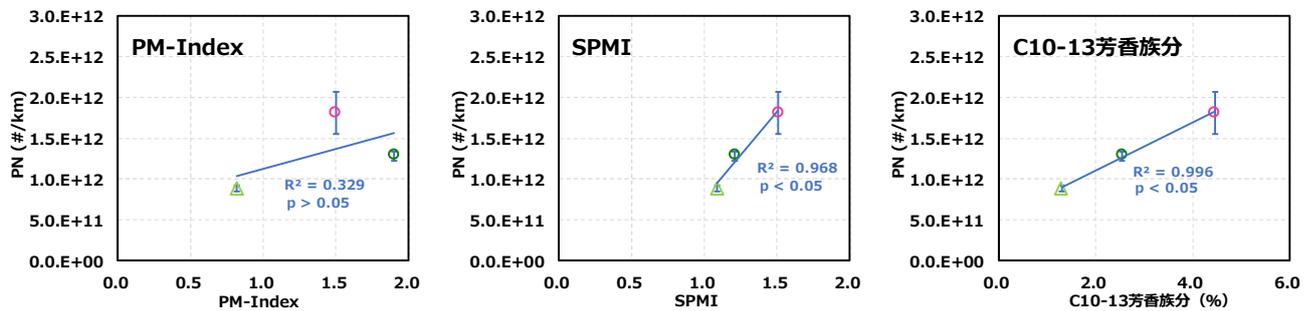


図 3.9 WLTC ExH における燃料性状と PN 排出量の関係

【 A 車 】



【 B 車 】

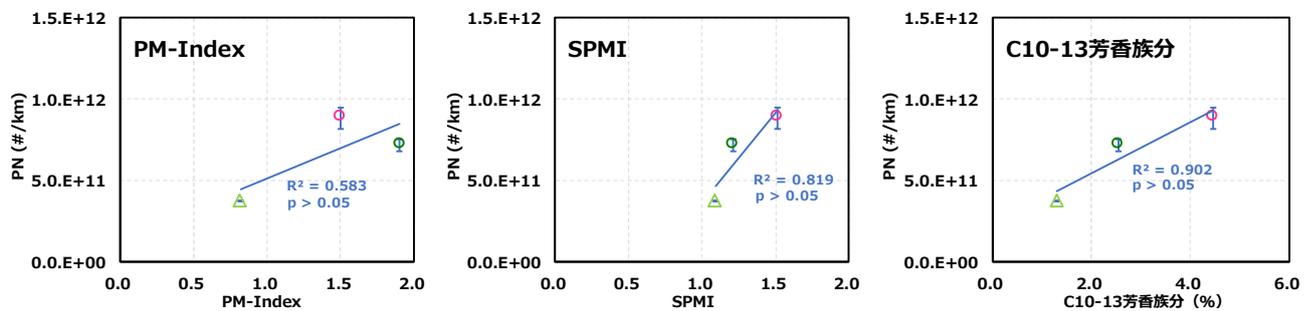


図 3.10 WLTC LMH+ExH における燃料性状と PN 排出量の関係

#### (4) PM 排出量とPN 排出量の関係

WLTC LMH、WLTC ExH、WLTC LMH+ExH の PM 排出量と PN 排出量の関係を図 3.11 に示す。決定係数が 0.9 以上、且つ  $p < 0.05$  の有意な相関があるものは、A 車は WLTC LMH の① 認証試験用と③ 市井重質、WLTC ExH の② 認証重質化と③ 市井重質、WLTC LMH+ExH の③ 市井重質であった。また、B 車では WLTC ExH の① 認証試験用でのみあった。

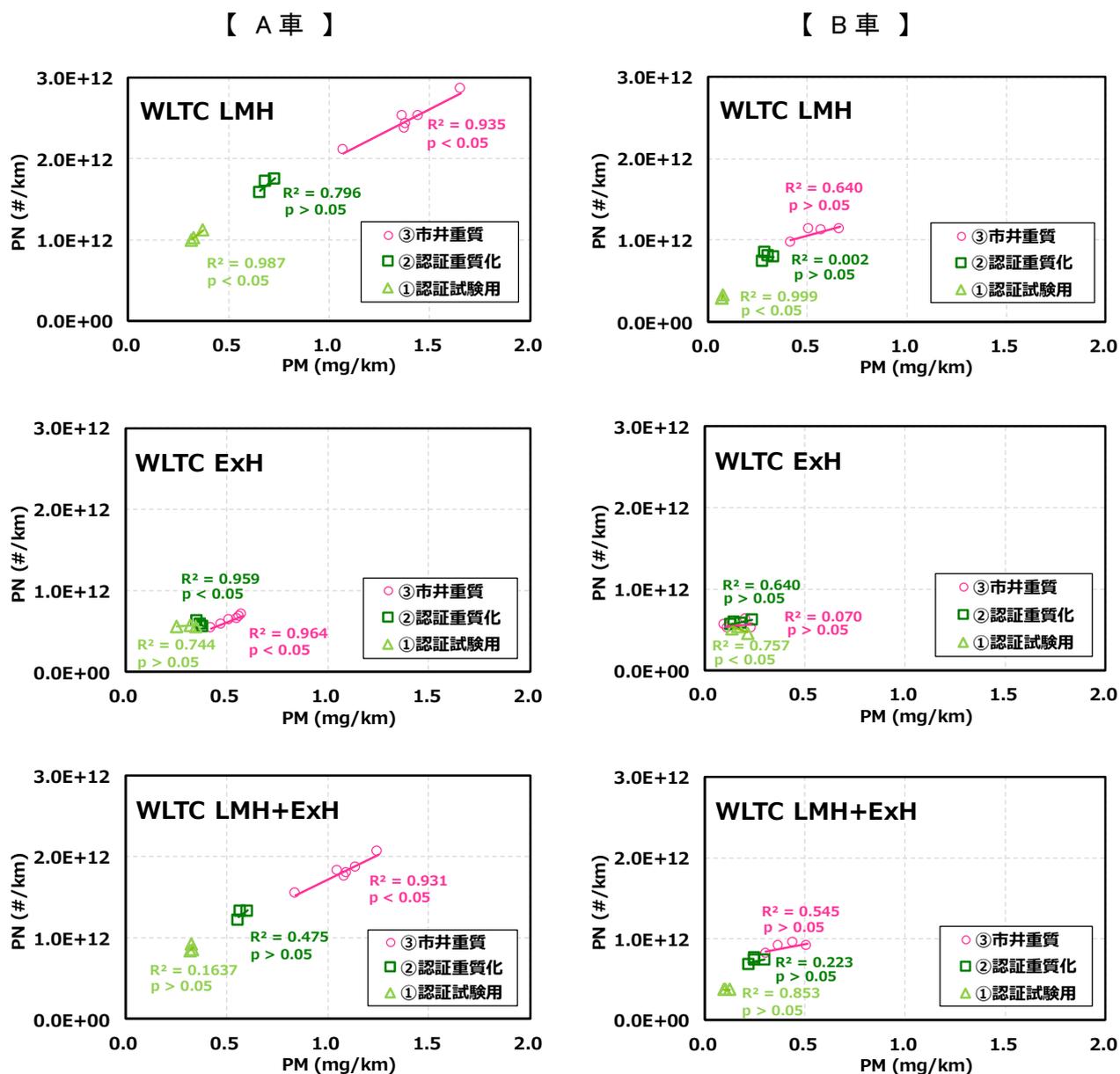


図 3.11 PM 排出量に対する PN 排出量の相関

#### (5)PM 中の炭素成分排出量と組成率

自動車から排出される PM に含まれる炭素成分は、主に有機性炭素 (OC) と、元素状炭素 (EC) に分けられる。また、EC は比較的低い燃焼温度で生成する Char-EC と高い燃焼温度で生成する Soot-EC に分けられる。このため、炭素成分は大気中の微小粒子状物質についても測定され、組成率等から発生源を推定するための情報として用いられている。本調査では、WLTC LMH、WLTC ExH、WLTC LMH+ExH で捕集した PM 中の炭素成分を測定し、OC、EC、Char-EC、Soot-EC と、OC と EC を合算した全炭素 (TC) について、排出量と組成率を算出した。炭素成分の測定方法と排出量の算出方法については、付録・3 に詳細を記した。

性状が異なる 3 種の供試燃料を用いて測定した各炭素成分の排出量を A 車は図 3.12 に、B 車は図 3.13 にそれぞれ比較して示す。炭素成分の中でも比較的排出が多い EC と EC 中の Soot-EC、TC の排出量は、③ 市井重質 > ② 認証重質化 > ① 認証試験用の順に高かった。また、TC 排出量の平均値と PM 排出量の平均値はほぼ同程度であった。

各炭素成分の組成率を確認するため、A 車については図 3.14 に、B 車については図 3.15 にそれぞれ排出量と組成率を示す。TC 中、最も多く占める成分は Soot-EC で、A 車においては 74.0%~93.7%、B 車においては 58.6%~100%を占めた。従って、本調査の PM はほぼ炭素成分で構成されており、且つ、高温で生成する Soot-EC の占める割合が大きいことが分かった。

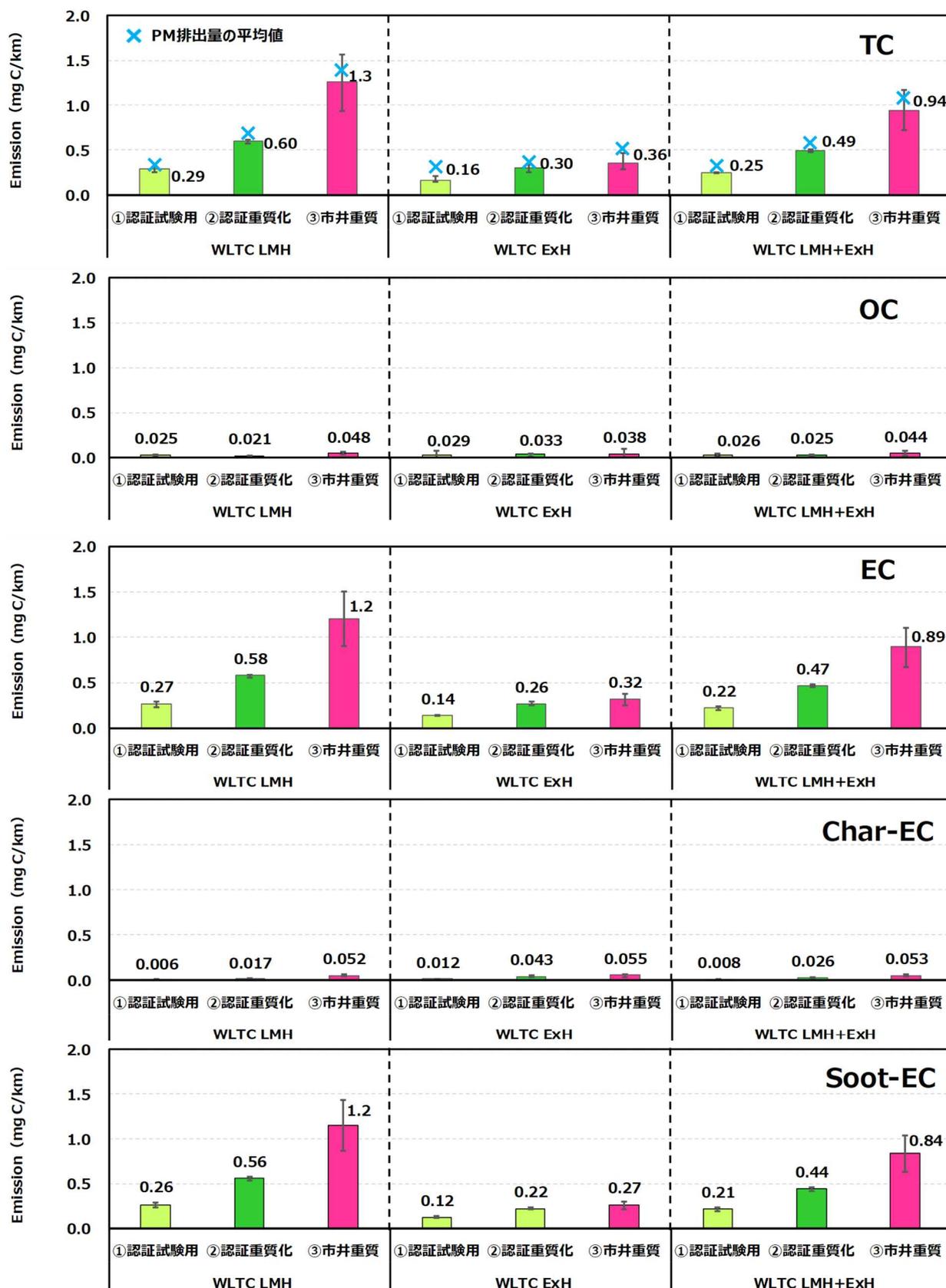


図 3.12 性状が異なる燃料による炭素成分排出量の比較 (A 車)  
(エラーバーは最大・最小を表す)

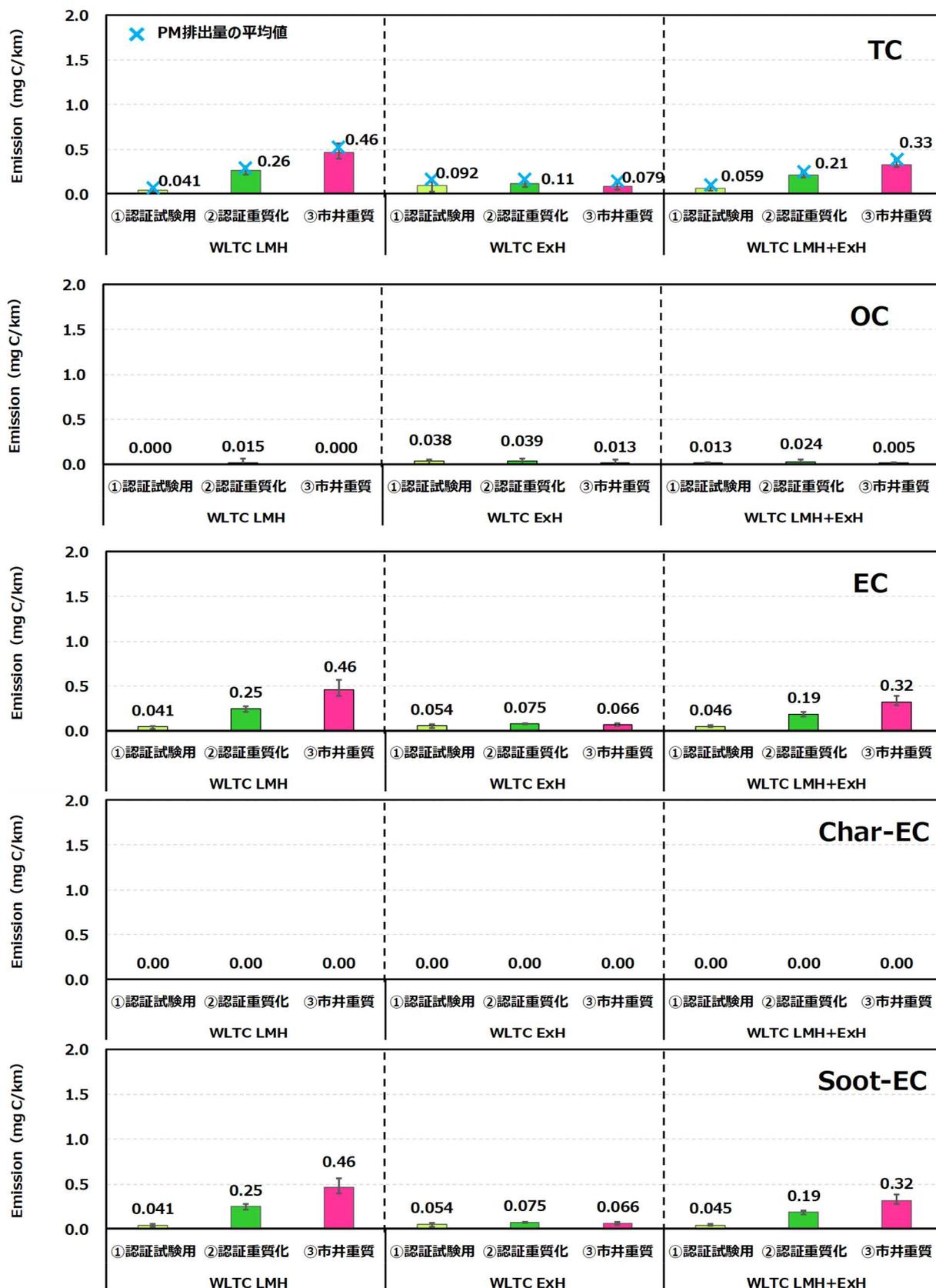


図 3.13 性状が異なる燃料による炭素成分排出量の比較 (B 車)  
(エラーバーは最大・最小を表す)

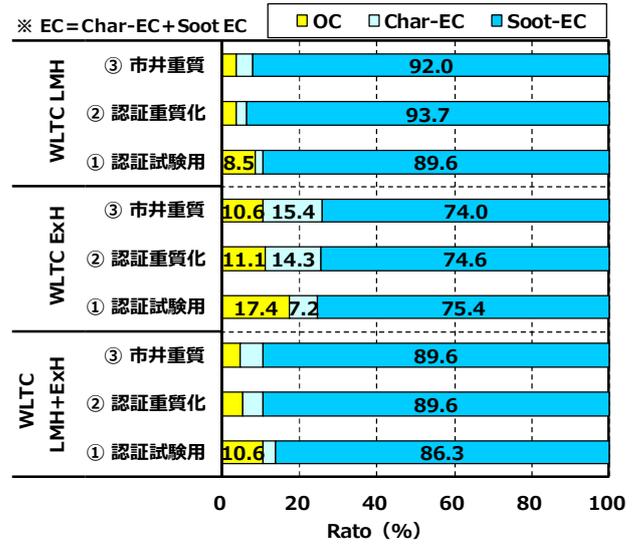
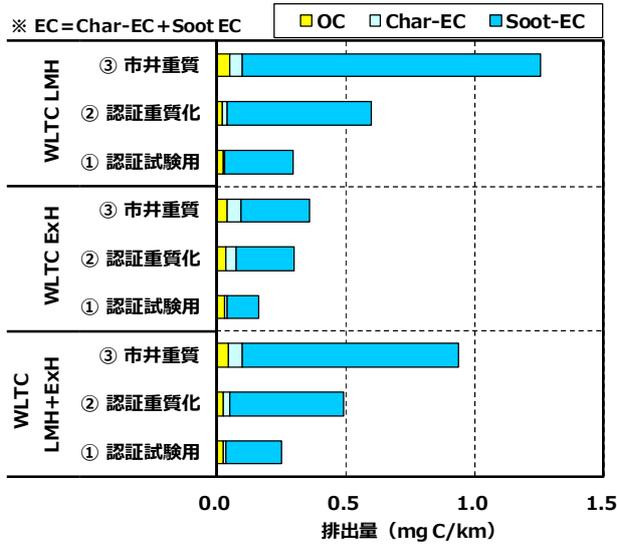


図 3.14 A 車の炭素成分の排出量と組成率  
(左:排出量, 右:組成率)

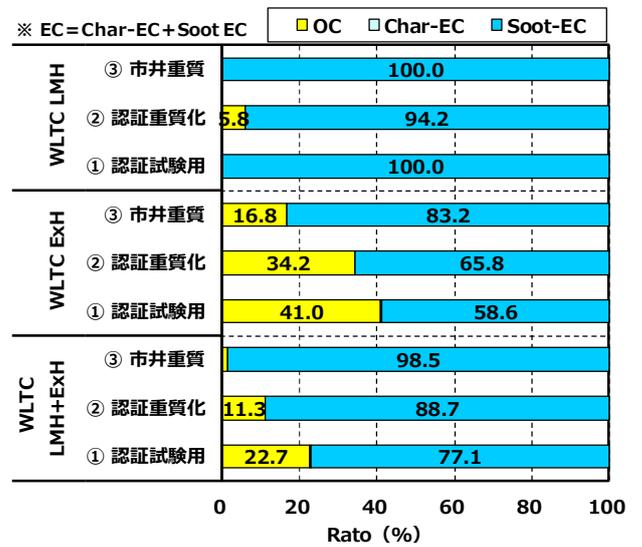
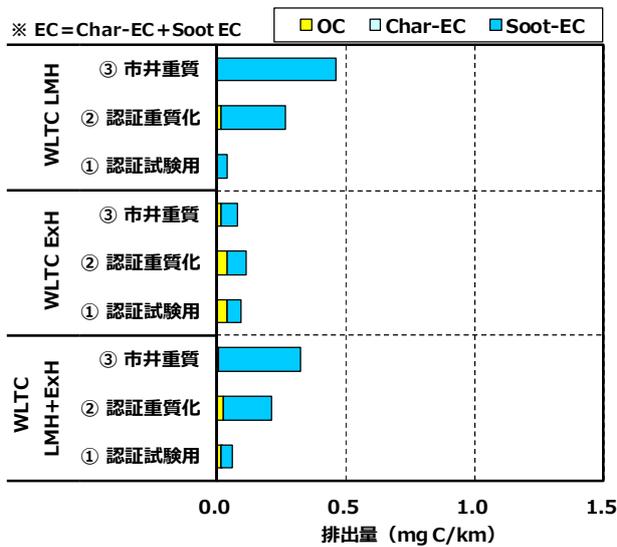


図 3.15 B 車の炭素成分の排出量と組成率  
(左:排出量, 右:組成率)