

4. 開発システムの評価

NEDO 開発新技术を搭載した大型エンジン 1 台（以下、NEDO 開発エンジンと称す）と小型車両 1 台（NEDO 開発車両）を選定した。また、革新的システムの性能を既存システムと比較するために、対照用の大型エンジン 2 台（長期規制対応、新長期規制対応）および小型車両 1 台（対照車両）を選定した。

NEDO 開発エンジンは、NO_x と PM を同時に低減する DPF と SCR を組み合わせたシステムである。対照エンジンのうち長期規制対応は、後処理システムを用いていない。新長期規制対応は、尿素 SCR システムを用いている。これらベースとなるエンジンの基本的な仕様はほぼ同一である。

NEDO 開発車両は、新燃焼技術、触媒、DPF 技術を組み合わせ、排ガス低減、燃費向上を図るシステムである。対照車両は、評価試験時に市場より調達可能な最新のディーゼル乗用車とし、コモンレール式燃料噴射システムと NO_x 触媒、DPF によって排ガス低減を図る車両が選定された。

これらの試験エンジンおよび車両について市販 JIS2 号軽油を用いて、JE05 モード（エンジン）と JC08 モード（車両）試験を実施した。粒子や NO_x などの規制物質の排出量とともに、粒子個数や微量成分を計測した。試験は原則として繰り返し 3 回実施し、平均値と標準偏差を求めた。また、モード運転時に排出される芳香族成分についても計測した。試験燃料の性状を表 4.0.1 に示す。また、試験モード走行パターンを Fig.4.0.1 と Fig.4.0.2 に示す。評価試験装置全体の概要を Fig.4.0.3 に、試験装置の主要な諸元を表 4.0.2 から表 4.0.7 示す。評価試験は、表 4.0.8 に示す項目について計測を行った。各チームが実施する未規制物質の評価試験に JARI はサンプリング・分析の協力を実施した。

表 4.0.1 燃料性状

		NEDO	NEDO	試験方法
		エンジン試験用	車両試験用	
密度 (15°C)	g/cm ³	0.8281	0.8277	JIS K2249
動粘度 @30°C	mm ² /s	4.214	4.215	JIS K2283
引火点	°C	77.0	78.0	JIS K2265
曇り点	°C	-3	-3	JIS K2269
目詰まり点	°C	-8	-14	JIS K2288
流動点	°C	-25	-25	JIS K2269
硫黄分	wtppm	4	4	JIS K2541-6
セタン指数		61.6	61.8	JIS K2280
蒸留性状	初留点 °C	185.5	188.5	JIS K2254
	5% °C	216.5	216.0	
	10% °C	232.0	232.0	
	20% °C	252.5	252.5	
	30% °C	268.0	267.0	
	40% °C	278.5	278.5	
	50% °C	288.5	288.0	
	60% °C	298.0	297.5	
	70% °C	308.0	307.5	
	80% °C	320.5	320.5	
	90% °C	337.5	338.0	
	97% °C	356.5	359.0	
	終点 °C	356.5	359.0	
全留出量	%	98.0	98.5	
残油量	%	2.0	1.5	
減失量	%	0.0	0.0	
窒素分	wtppm	<1	<1	JIS K2609
潤滑性(HFRR摩耗痕径)	μm	298	237	JPI-5S-50-98
炭化水素組成 vol%	Mono-Arom.	15.7	15.1	JPI-5S-49-97
	Di-Arom.	1.1	1.0	
	Tri-Arom.	0.4	0.5	
	Olef.	0.4	0.5	
	Sat.	82.4	82.9	

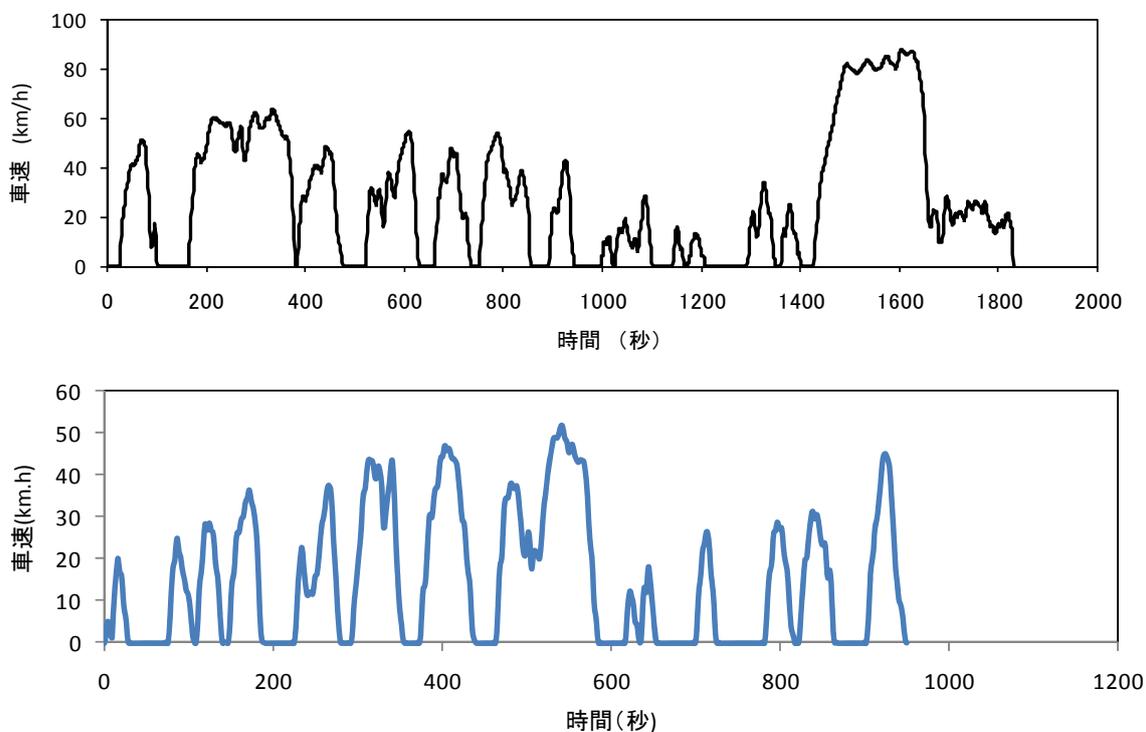


Fig. 4.0.1 試験走行モードパターン (上図 : JE05、下図 : HDV15)

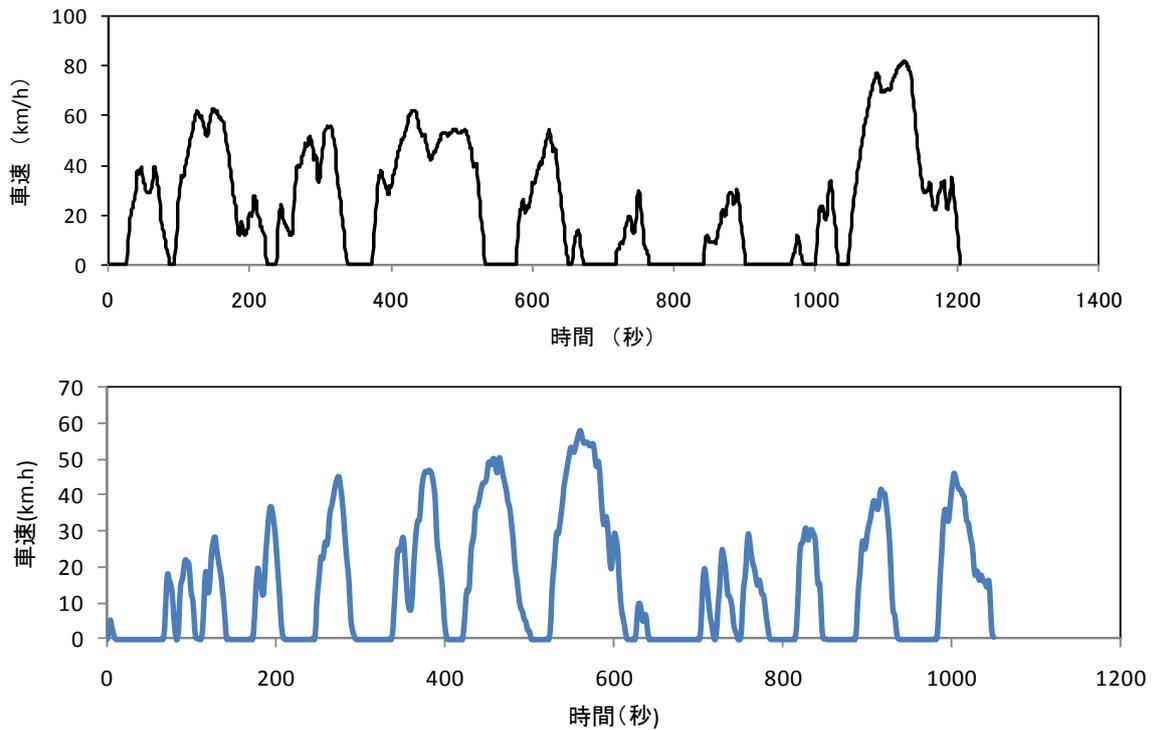


Fig. 4.0.2 試験走行モードパターン（上図：JC08、下図：LDV15）

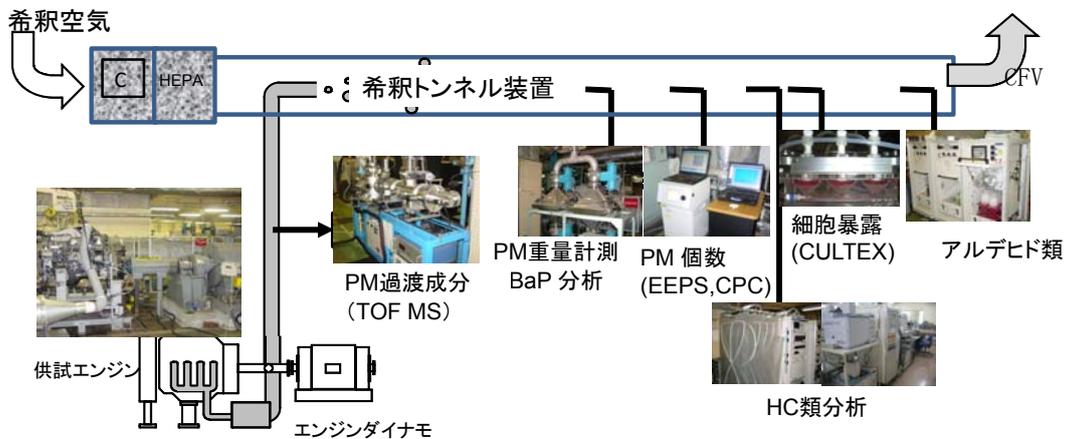


Fig. 4.0.3 評価試験装置の概要

表 4.0.2 エンジンダイナモメーター主要諸元

ダイナモメータ	型式	DC-DY
	容量	吸収/駆動 : 370/300kW
	回転速度	最大 : 4000rpm
	回転方向	可逆
	センターハイト	950mm
軸トルクメータ	トルク	1961N・m(200kgf・m)
操作制御盤	運転方法	自動運転
		手動運転

表 4.0.3 エンジン試験用希釈トンネル装置主要諸元

型式	CVS-9300T	
CVS流量	CFV : 20,40,60,70m ³ /min	
希釈トンネル直径	1段	60.56cm
	2段	8.31cm
粒子サンプル流量	50～ 200 L/min	
二次希釈空気流量	15～ 200 L/min	
希釈空気	温度	25±2℃
	湿度	50 ± 8 %RH

表 4.0.4 エンジン試験用排出ガス連続分析計諸元

型式		MEXA-9100DEGR
成分	測定原理	レンジ範囲
CO	NDIR	500, 1000, 3000(ppm), 1, 3, 10 (%)
CO ₂	NDIR	4, 8, 16 (%)
NO _x	CLD	10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000 (ppm)
THC	FID	10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000 (ppmC)

表 4.0.5 シャンダイナモメーター主要諸元

ローラ直径(mm)	1591
ローラ幅(mm)	600
最高速度(km/h)	150
ローラ材質	アルミ合金
等価慣性質量(kg)	650～2525
動力吸収方式	直流電気動力計
吸収容量(kW)	110
エンジン冷却ブロー	車速追従式
実験室温度(℃)	25±5
実験室湿度(%)	50±5

表 4.0.6 車両試験用希釈トンネル装置主要諸元

希釈トンネル	型式	DLT-24
	全長(mm)	6200
	有効長(mm)	3048
	内径(mm)	304.8
	呼び径	12B
	材質	SUS304 鏡面バフ研磨仕上げ
	希釈空気温度(°C)	実験室と同様
	希釈空気湿度(%)	実験室と同様
CVS装置	型式	CVS-56T
	吸引流量(m ³ /min)	3, 4, 5, 6, 9, 1215, 18, 24
	流量制御方式	CFV式

表 4.0.7 車両試験用排出ガス連続分析計諸元

	型式	MEXA-9400F
	用途	希釈分析計
分析方法	THC	FID
	CO	NDIR
	CO ₂	NDIR
	NO _x	CLD
測定レンジ	THC (ppmC)	10~5000
	CO (ppm)	100~3000
	CO ₂ (%)	1.0~6.0
	NO _x (ppm)	10~5000

表 4.0.8 総合評価の試験項目

物質等	エンジン NEDO	対照エンジン (長期)	(新長期)	車両 NEDO	対照	各チームへの 計測協力
1,3-Butadiene	○	○	○	○	○	○
Benzene	○	○	○	○	○	○
Toluene	○	○	○	○	○	○
Ethylbenzene	○	○	○	○	○	○
1,3,5-Trimethylbenzene	○	○	○	○	○	○
o-Xylene	○	○	○	○	○	○
m-Xylene	○	○	○	○	○	○
p-Xylene	○	○	○	○	○	○
Styrene	○	○	○	○	○	○
Formaldehyde	○	○	○	○	○	○
Acetaldehyde	○	○	○	○	○	○
Acrolein	○	○	○	○	○	○
Benzaldehyde	○	○	○	○	○	○
B[a]P	○	○	○	○	○	○
1-Nitropyrene	○	○	○	○	○	○
Di-Nitropyrene	○	○	○	○	○	○
N ₂ O, CH ₄	○	○	○	○	○	△
PM個数濃度	○	○	○	○	○	○
PM過渡排出成分	○	○	○	○	○	○
尿素由来成分	○	○	○	○	○	○
培養細胞暴露	○	○	○	○	○	○
エームス試験	○	○	○	○	○	○

4.1 未規制物質

4.1.1 未規制物質の計測

評価対象未規制物質としては、環境省の PRTR 制度対象物質と優先取組み 22 物質のうち自動車排出関連 5 物質、および米国の MSAT (Mobile Source Air Toxics) 21 物質、米国 ACES 研究などを参考に選定した。有害微量成分は多々あるが、今回の評価対象物質は内外の動向と照らし合わせても妥当なものとする。具体的には環境省の PRTR 対象物質のうち、自動車排出ガスが関連する物質 11 物質と多環芳香族炭化水素 (PAH) を代表してベンズ[a]ピレン (B[a]P)、ニトロ PAH を代表して 1-ニトロピレン(1-NP)とジニトロピレン (DNP) を選定した。B[a]P を代表とした理由は、PAH 類全体の健康への影響を評価する上で PAH 成分ごとの毒性換算係数を用いて全体の毒性値を算出することが試みられており、B[a]P は他の数多い PAH のなかで最も毒性換算係数が大きいことによる。ニトロ PAH は、ディーゼル排気の後処理システムには酸化触媒の利用が当面不可欠と考えられ、この酸化触媒によって排気中の NO₂ の増加が予想され、しいてはニトロ化の促進が懸念されることによる。その他、温暖化ガスとして N₂O と CH₄ を、各種の金属化合物や炭素などのナノ粒子(超微小粒子)の健康への影響が懸念されていることから後処理装置によるナノ粒子排出有無を PM 個数濃度で、過渡運転時の高沸点の有害成分の排出動向を PM 過渡排出成分でそれぞれ評価した。また、NO_x 低減に尿素を用いる場合には尿素由来成分排出の有無を調べた。

これらの計測方法を表 4.1.1.1～表 4.1.1.10 に示す。また、各成分の検出下限値を表 4.1.1.11 に示す。

表 4.1.1.1 アルデヒド類分析方法

Equipment	High-performance liquid chromatograph (Shimadzu LC-10AD)
Detector	UV/VIS (Shimadzu SPD-M10A VP)
	Wavelength for detection : 365 nm
Column	Zorbax ODS 4.6 mm i.d. × (15 cm + 25 cm)
Oven temperature	50°C
Mobile phase	CH ₃ CN%/H ₂ O%
	50/50 → (30 min, linear gradient) → 80/20 (5 min) → 50/50 (10 min)
Mobile phase flow rate	1 ml/min
Injection volume	10 μl

表 4.1.1.2 ベンゼン等分析方法

Equipment	Gas chromatograph (Shimadzu GC-14B, GC-17A)	
Column	CH-1	PLOT($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{KCl}$); 0.32 mm i.d. \times 30 m
	CH-2	HP-INNOWax 19091N-133; 0.25 mm i.d. \times 30 m (0.25 μm film thickness) DB-1; 0.32 mm i.d. \times 0.5 m (5.0 μm film thickness)
Detector	Flame ionization detector	
Detector temperature	250°C	
Injection temperature	150°C	
Oven temperature	GC-1; 150°C GC-2; 50°C (0 min) \rightarrow (12°C/min) \rightarrow 120°C (25 min) GC-3; 50°C (7.5 min) \rightarrow (10°C/min) \rightarrow 75°C (0 min) \rightarrow (20°C/min) \rightarrow 130°C (0 min) \rightarrow (40°C/min) \rightarrow 200°C (2 min)	
Gas	P-He:Carrier H ₂ :FID N ₂ :For liq.N ₂ injection C-Air:Valve drive	

表 4.1.1.3 1,3,5-TriMeB 分析方法

	Pre-separation	Main-separation
Equipment	Gas chromatograph (GL Sciences GC-353B)	Gas chromatograph (HP6890)
Detector	Flame ionization detector	Flame ionization detector
Detector temperature	250°C	250°C
Column	CHROMPAK CP-Sil 5CB; 0.32 mm i.d. \times 30 m (1 μm film thickness)	SUPELCO WAX-10
Oven temperature	80°C (1 min) \rightarrow (20°C/min) \rightarrow 180°C (3 min)	40°C (1.2 min) \rightarrow (20°C/min) \rightarrow 200°C (2 min)
Injection temperature	50 °C	100 °C
First pressure	240 kPa (100°C)	300 kPa (100°C)
Carrier gas	He	He

表 4.1.1.4 1,3-ブタジエン分析方法

Equipment	Gas chromatograph (GL Sciences GC-353B)
Column	BX-10 2.2 mm i.d. \times 30 cm 60/80 mesh PLOT ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{KCl}$); 0.32 mm i.d. \times 4 m (5 mm film thickness) PLOT ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{KCl}$); 0.32 mm i.d. \times 10 m (5 mm film thickness)
Detector	Flame ionization detector
Temperature	Oven; 80°C (1 min) \rightarrow (20°C/min) \rightarrow 135°C Detector; 200°C injection; 80°C
Gas	Carrier; P-He FID; H ₂ , Air For liquid N ₂ injection; P-N ₂

表 4.1.1.5 BaP 分析方法

Equipment	High-performance liquid chromatograph (Waters)
Detector	Fluorescence detector (Waters)
	Wavelength for detection;
	PAHs Ex (nm) Em (nm)
	Naphthalene 283 330
	Acenaphthene 296 337
	Fluorene 268 304
	Phenanthrene 296 367
	Fluoranthene 352 452
	Anthracene 381 403
	Pyrene 340 393
	Benz[<i>a</i>]anthracene 293 415
	Chrysene 274 360
	Benzo[<i>b</i>]fluoranthene 306 455
	Benzo[<i>k</i>]fluoranthene 382 407
	Benzo[<i>a</i>]pyrene 382 407
	Benzo[<i>ghi</i>]perylene 382 407
	Dibenz[<i>a,h</i>]anthracene 302 400
	Indeno[1,2,3- <i>cd</i>]Pyrene 388 508
Column	Guard column; Inertsil ODS-P (3 mm i.d. × 10 mm) Separation column; Inertsil ODS-P 3.0 mm i.d. × (25 cm) Separation column; Waters PAH C ₁₈ 2.0mm i.d. × (25 cm)
Oven temperature	40°C
Sample temperature	4°C
Mobile phase	CH ₃ OH 50% in H ₂ O%/H ₂ O%/CH ₃ CN% 50/50/0 (1min) → (29 min, linear gradient) → 0/100/0 → (30 min, exponential gradient) → 0/0/100 (15 min) → 50/50/0 (?? min)
Mobile phase flow rate	0.2 ml/min
Injection volume	2 μl

表 4.1.1.6 1-NP 分析方法

Equipment	High-performance liquid chromatograph (Shimadzu LC-10A VP)
Detector	Fluorescence detector (HITACHI L-7485)
	Wavelength for detection; Ex 360nm, Em 430nm
Column	Concentration column; Cosmosil 5C18MS, (4.6 mm i.d. × 250 mm) Separation column; Cosmosil 5PBB, (4.6 mm i.d. × 250mm) Concentration column; Cosmosil 5C18MS, (4 mm i.d. × 10 mm) Reduction column; Platinum black, 4 mm i.d. × 10 mm
Oven temperature	Guard column, Separation column; 30°C Reduction column; 150°C
Mobile phase	CH ₃ CN/H ₂ O 97%/3%, CH ₃ CN 100%
Mobile phase flow rate	0.5 ~ 3 ml/min
Injection volume	30 μl

表 4.1.1.7 N₂O 分析方法

Equipment	Gas chromatograph (Shimadzu GC-14A)
Precut column	Pora pack N; 3 mm i.d. × 1 m
Main column	Pora pack Q; 3 mm i.d. × 2 m
Detector	Electron capture detector ⁶³ Ni 10 mCi
Temperature	Detector; 300°C Precut column; 80°C Main column; 60°C
Carrier gas	Ar/CH ₄ (95/5 vol%)

表 4.1.1.8 CH₄ 分析方法

Equipment	Gas chromatograph (Shimadzu GC-14A)
Precut column	Pora pack N; 3 mm i.d. × 1 m
Column	Shin pack Q; 3 mm i.d. × 1 m Molecular sieve 13 X; 3 mm i.d. × 0.5 m Pora pack N; 3 mm i.d. × 0.2 m
Detector	Flame ionization detector
Temperature	Detector; 60°C Precut column; 80°C Main column; 60°C
Carrier gas	He

表 4.1.1.9 NH₃ 分析方法

Equipment	Ion chromatograph (DIONEX IC20)
Detector	Electrical conduction detector
Column	Guard column; CG16A (5 mm i.d. × 50 mm) Separation column; IonPac CS16A (4 mm i.d. × 250 cm) Trap column; CTC-1 (9 mm i.d. × 24 cm)
Oven temperature	35°C
Suppressor	ASRS
Mobile phase	30 mM methanesulfonic acid in H ₂ O
Mobile phase flow rate	1.25 ml/min
Injection volume	25 µL

表 4.1.1.10 ジニトロピレン分析方法

Equipment	GC-MS (Agilent 6890/5973)
Column	DB-5MS 0.25mm i.d. × 30m
Detector	NCI
Temperature	Detector; 280°C 90°C (2 min) → (8°C/min) → 120°C (3 min) → (30°C/min) → 210°C → (10°C/min) → 310°C (10min)
Carrier gas	He
Injection volume	3 µl

表 4.1.1.11 各成分の検出下限値

	ppb		(ng/ml)		ng/ml
1, 3-Butadiene	0.41	Formaldehyde	0.90	尿素	
Benzene	0.18	Acetaldehyde	0.89	シアヌル酸	3
Toluene	0.23	Acrolein	1.03	アンメリド	2
Ethylbenzene	0.17	Benzaldehyde	1.59	アンメリン	2
p-Xylene	0.17	Benzo[a]pyrene	6	メラミン	9
m-Xylene	0.10	1-NP	3	HCN	50
o-Xylene	0.22	1, 3-DNP	60		
1, 3, 5-TMB	0.15	1, 6-DNP	100		
Styrene	0.33	1, 8-DNP	120		
CH4	50	SO2	2.8		
N2O	39	NH3	7.8		

未規制物質等のサンプリング方法は、炭化水素類はバッグ、アルデヒド類は DNPH カートリッジ、BaP はフィルタを用いて捕集した。BaP、1-NP、DNP 分析、エームス試験は粒子を捕集したフィルタをジクロロメタンを抽出溶媒として湯浴温度 60°C のソックスレー抽出を 24 時間行い、得られた抽出液を窒素気流下 KD 濃縮し、減溶後に DMSO 添加濃縮した。エームス試験にはこの抽出物を所定の濃度に希釈して用いた。PAH 類の分析にはメタノールを加えて定容として分析試料とした。ジニトロピレンの分析は、抽出液をカラム分画で精製し、ベンゼン層を回収濃縮し、トルエンに転溶して GC-MS にて行った。

尿素由来成分として、尿素、シアヌル酸、アンメリド、アンメリン、メラミンをろ紙とメタノール捕集液に捕集した。また、シアンをアルカリ捕集液に捕集した。

尿素由来成分の分析のために、ろ紙についてはメタノールソックスレー抽出（約 24 時間）を行いメタノール捕集液と合わせた。この試料液をフラスコに移し、エバポレータで溶媒除去した。BSTFA10%アセトニトリル溶液 2ml で再溶解し、加熱処理して、GC/MS(SIM)測定を行った。尿素を誘導体化するとシアナミド(カルボジイミド)誘導体化も生成することから、シアナミド誘導体化物と尿素誘導体化物を各々定量、両者の合計値を尿素的定量値とした。また、尿素標準から検出されるシアナミドを定量してシアナミド変成尿素定量値を算出した。シアン化水素の定量は、JIS K 0102 ピリジン-ピラゾロン吸光光度法によった。

PM 個数濃度は、前述した EEPS を用いて粒径 6nm から 523nm の範囲を 0.1 秒毎に計測し、過渡走行時の個数排出傾向を把握するとともに、この瞬時値を積分してモード走行あたりの排出個数を算出した。また、固体のナノ粒子の健康への影響が懸念されている状況から、サーモデニューダーを用いて 320°C 加熱処理によって揮発性粒子を除いた後の個数を計測した。さらに、自動車排ガス中の PM 規制に関する欧州における動向を鑑みて、加熱処理時の個数排出傾向をも調べた。すなわち、加熱処理をサーモコントローラー

(DEKATI 社製) で 320°C にて行った後に核凝縮カウンター-CPC を用いて PM 個数を計測した。これらの計測値は試験時の応答遅れを補正して PM 排出量を算出した。なお、対照エンジンの場合には、EEPS の計測上限を超えるため希釈装置を用いた。また、PM 個数濃度が低値であっても、低希釈倍率時にはナノ PM の生成が起こり得ることから、全ての試

験で同一の計測条件に設定した。EEPS の計測値が装置のノイズレベル以下の場合は、計測値をゼロとした。

4.1.2 未規制物質等の計測結果

4.1.2.1 NEDO エンジンと対照エンジン

1) 規制物質等

PM、NO_x、CO、THC 排出量を **Fig.4.1.2.1** に示す。NEDO 開発エンジンからの PM、NO_x 排出量は、それぞれ 0.001g/kWh、0.19 g/kWh と対照エンジンよりも非常に低値であり、いずれも NEDO 開発目標値 (PM : 0.01 g/kWh、NO_x : 0.2 g/kWh) を下回っている。その他、CO、THC についても NEDO 開発エンジンは対照エンジンに比較して極めて低値である。CO₂ 排出量が対照エンジンに比較して僅かであるが増加、燃費が僅かに低下の方向にあるが、これは排出ガス低減を最優先にしたためと思われる。

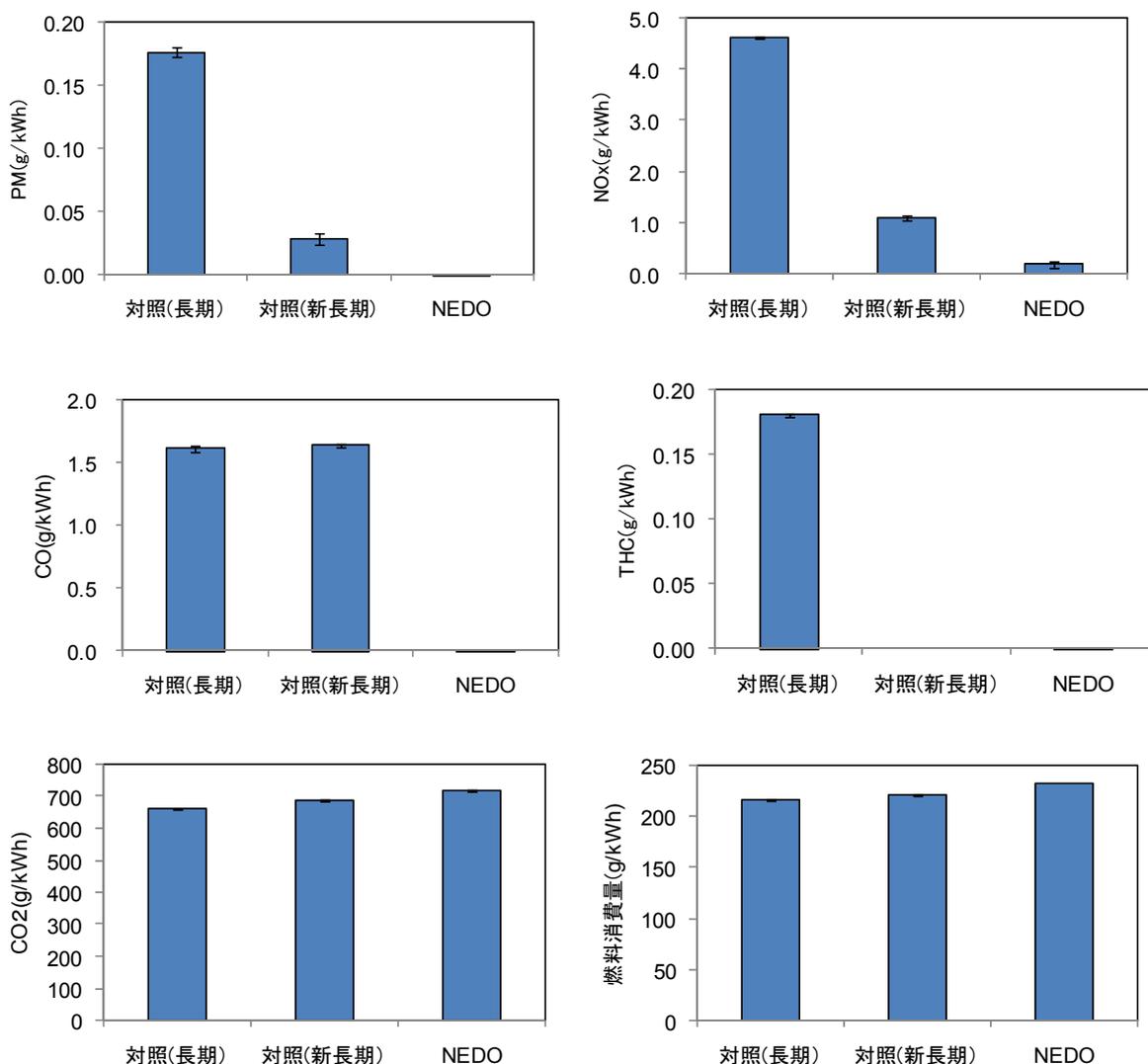


Fig.4.1.2.1 NEDO 開発エンジンと対照エンジンからの規制物質等の排出量

2) 未規制物質等

未規制物質等の計測結果を Fig.4.1.2.2 に示す。NEDO エンジンからのアルデヒドはホルムアルデヒドとアセトアルデヒドのみが検出され、対照エンジン（新長期）とともに対照エンジン（長期）に比して大きく低減している。HC 類も同様に概ね大きく低減している。1-NP とジニトロピレンは定量下限値以下であり NEDO エンジンが特にニトロ化促進の排気特性を示すことはなかった。CH₄ と N₂O および NH₃ と尿素由来成分が尿素添加しない対照エンジンに比して若干増加している。

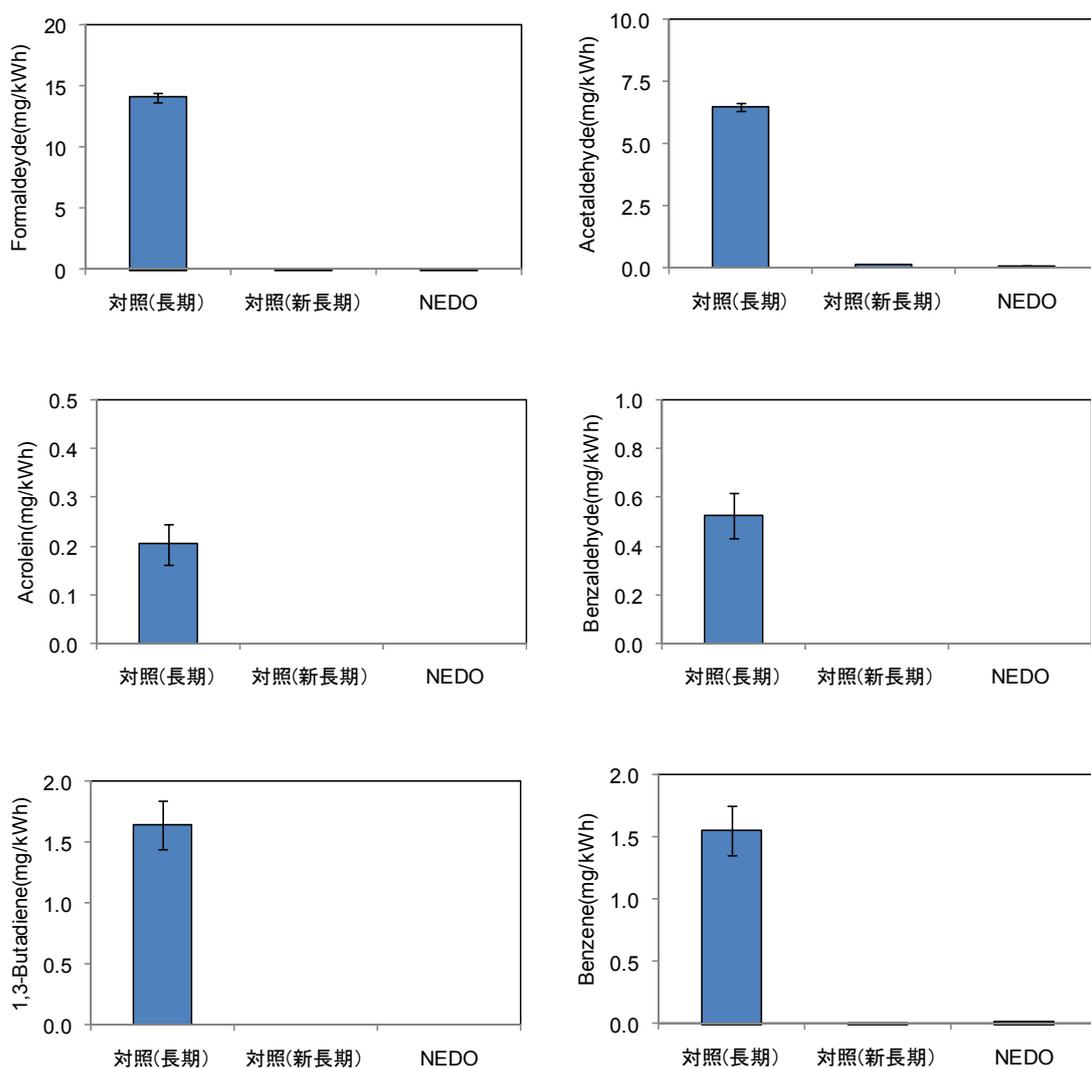


Fig.4.1.2.2 NEDO 開発エンジンと対照エンジンからの未規制物質等の排出量
 (図中、排出量表示がない成分は検出下限値以下である)

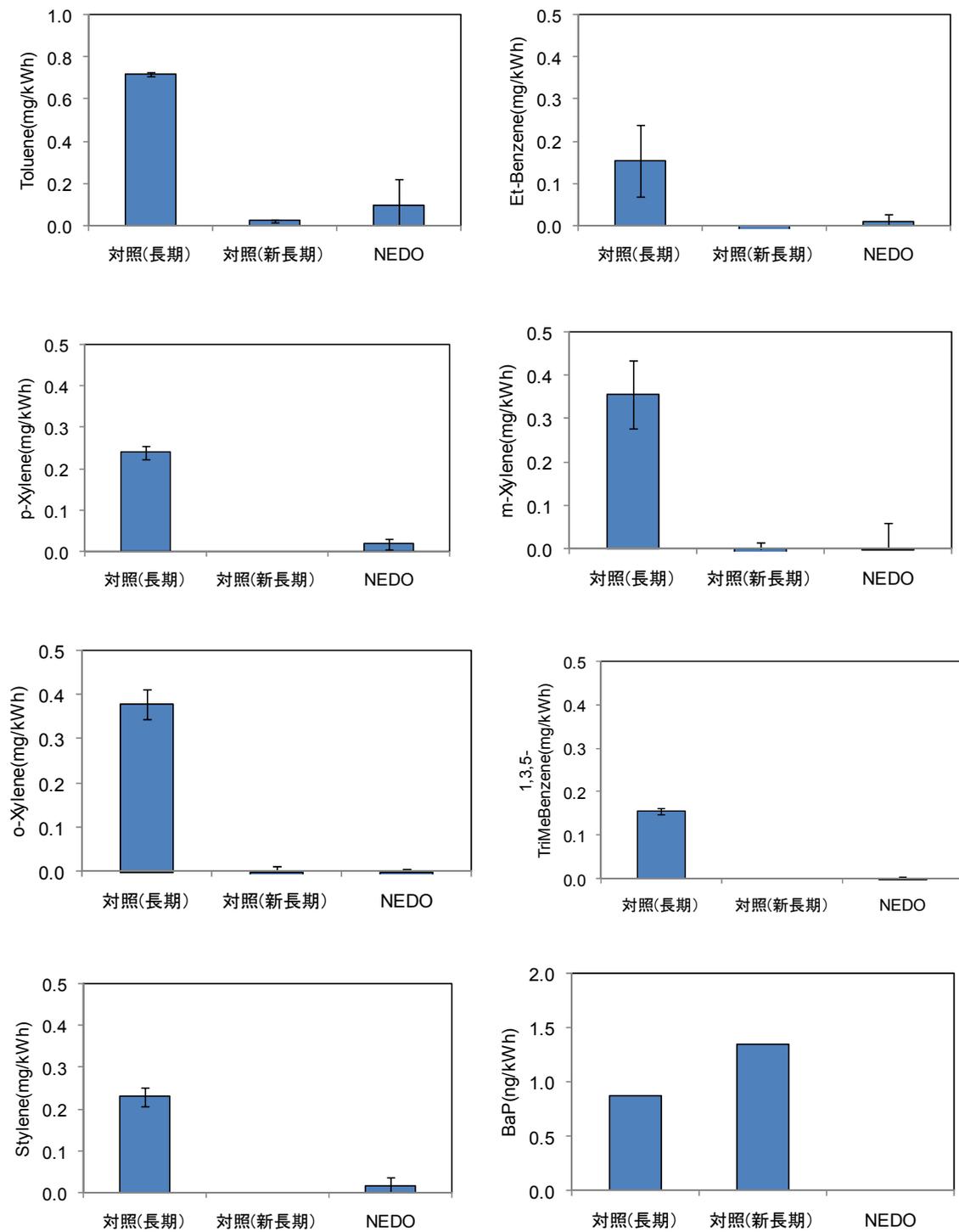


Fig.4.1.2.2 (続き) NEDO 開発エンジンと対照エンジンからの未規制物質等の排出量
 (図中、排出量表示がない成分は検出下限値以下である)

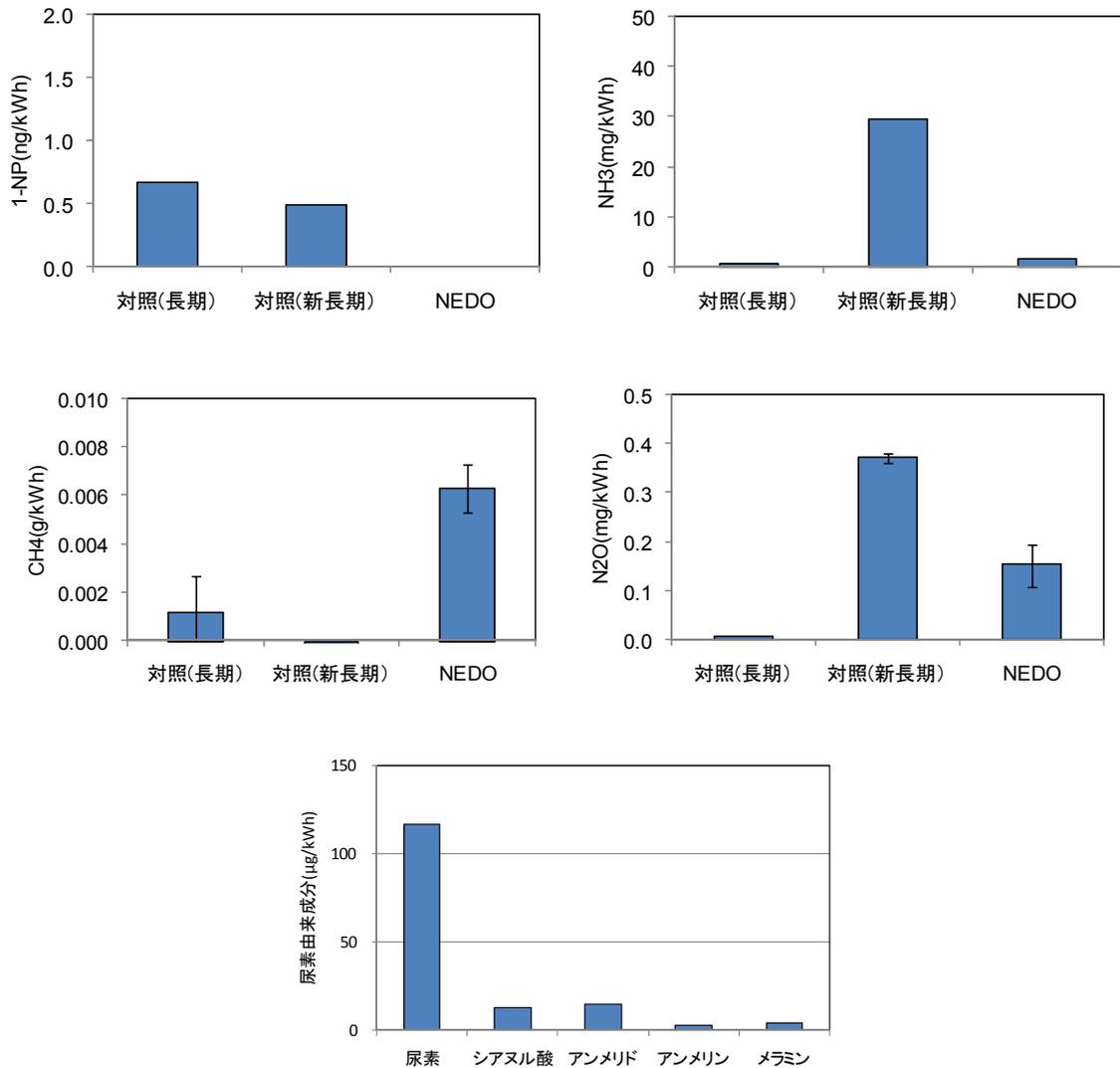


Fig.4.1.2.2 (続き) NEDO 開発エンジンと対照エンジンからの未規制物質等の排出量 (図中、排出量表示がない成分は検出下限値以下である)

3) PM 個数

PM 個数の連続測定時の濃度レベルを色表示で **Fig.4.1.2.3** に、測定結果を **Fig.4.1.2.4** から **Fig.4.1.2.6** に、CPC 連続測定結果を **Fig.4.1.2.7** から **Fig.4.1.2.9** に示す。測定した走行モードは JE05 と HDV15 であり、それぞれ常温条件と 320℃加熱条件を設定した。図中エンジン回転数を白線で示す。

(1) 対照エンジン (長期)

エンジンが高回転時に PM 個数濃度は粒径 100 nm 付近で高値を示し、一部加減速時にも高値を示した。低回転時にはより小さく粒径 10 nm 付近が比較的高濃度を示した。320℃加熱条件では、粒径 100 nm 付近の個数濃度の減少が僅かに対して、粒径 10 nm 付近は大きく減少した。このことから、エンジン回転数が低い条件で排出される PM の粒径は小さく揮発性を示すことが分かる。

(2) 対照エンジン（新長期）

PM 個数濃度の測定条件は上記の対照エンジン（長期）と同一である。長期エンジンに比して PM 個数濃度は大きく減少しており、加熱条件下での揮発減少割合は長期エンジンほど大きくはなく、常温条件と加熱条件との同レベルの個数濃度であった。このことから、対照エンジン（新長期）から排出される PM は、PM 中の有機物などが除去された揮発性を有しないこと PM であるといえる。この有機物の除去は酸化触媒によるものであろう。

(3) NEDO エンジン

PM 個数濃度の測定条件は上記の対照エンジンと同一である。対照エンジンに比して PM 個数濃度は極めて大きく減少しており計測装置の測定下限値に近い場合が多い。従って加熱条件下での揮発減少も明確ではない。

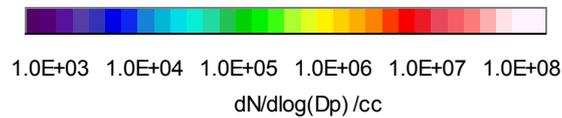
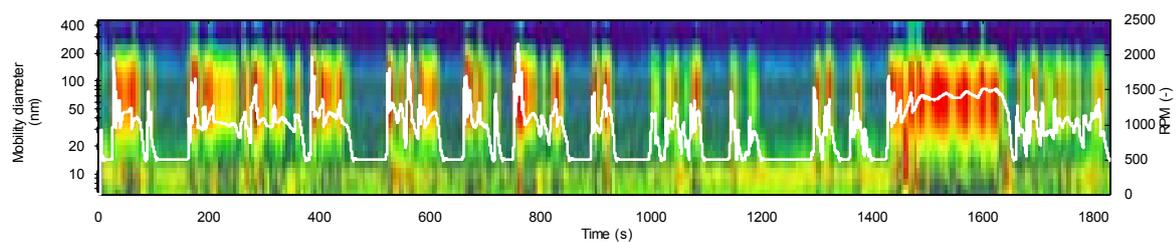
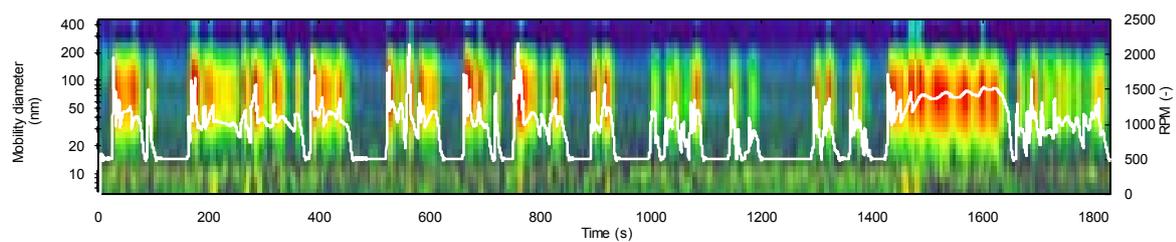


Fig.4.1.2.3 PM 個数濃度の色表示

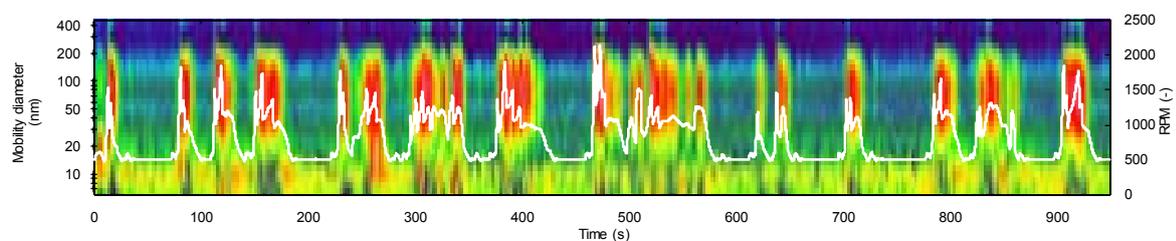
JE05 モード (JE05-1)



JE05 モード 320°C加熱条件 (JE05-4TD)



HDV15 モード (HDV15-1)



HDV15 モード 320°C加熱条件 (HDV15-4TD)

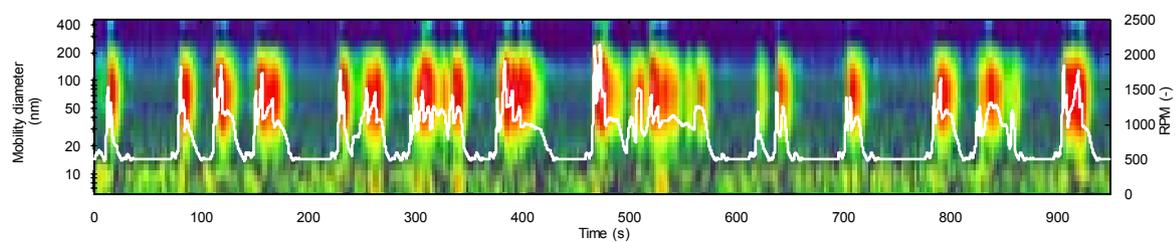
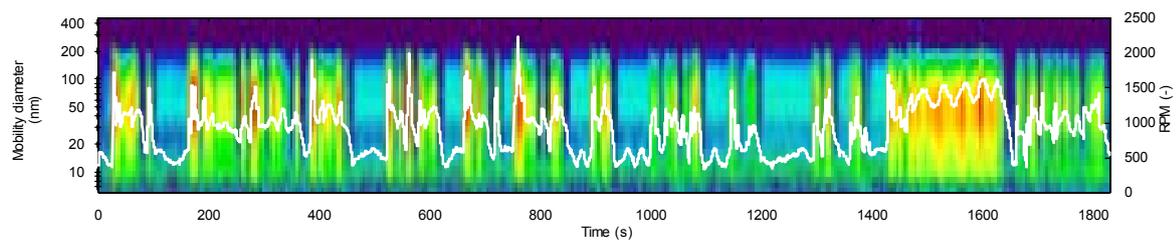
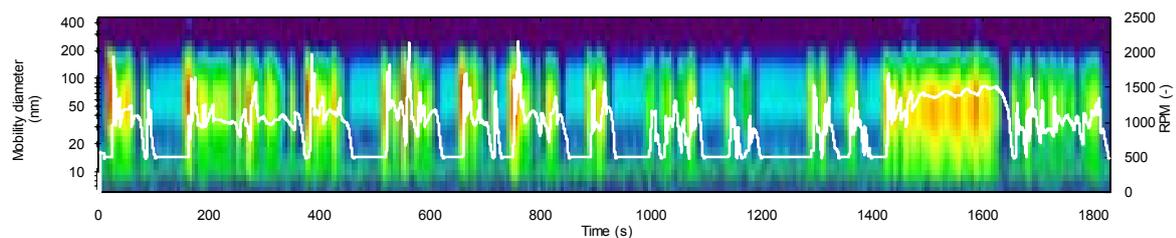


Fig.4.1.2.4 対照エンジン (長期) から排出される PM 個数濃度連続測定結果

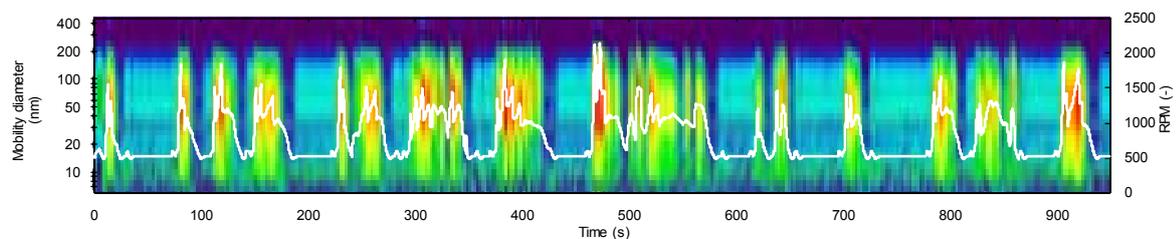
JE05 モード (JE05-1)



JE05 モード 320°C加熱条件 (JE05-4TD)



HDV15 モード (HDV15-1)



HDV15 モード 320°C加熱条件 (HDV15-4TD)

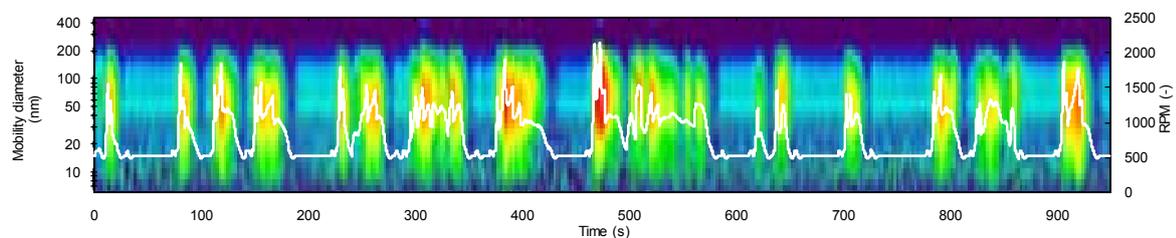
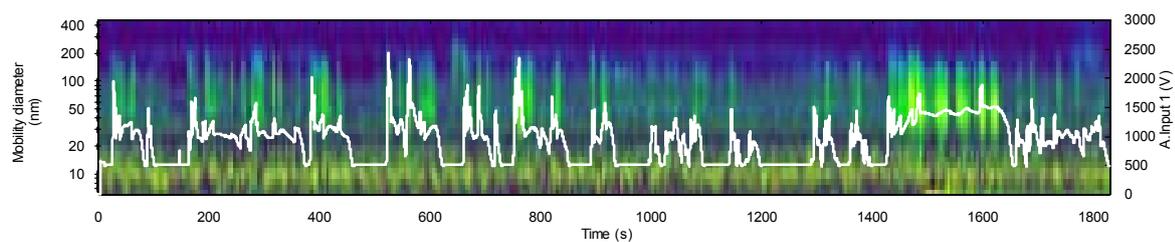
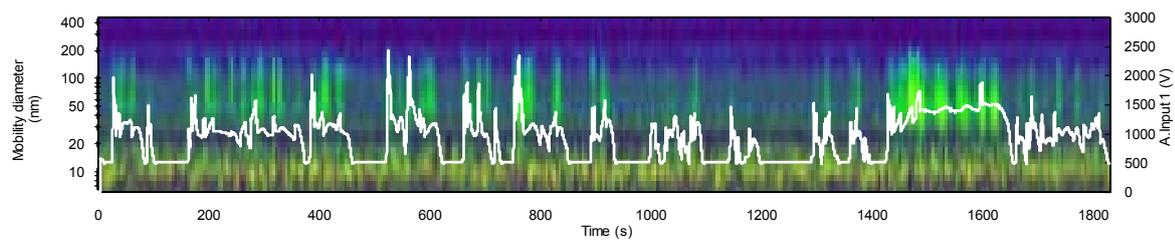


Fig.4.1.2.5 対照エンジン（新長期）から排出されるPM 個数濃度連続測定結果

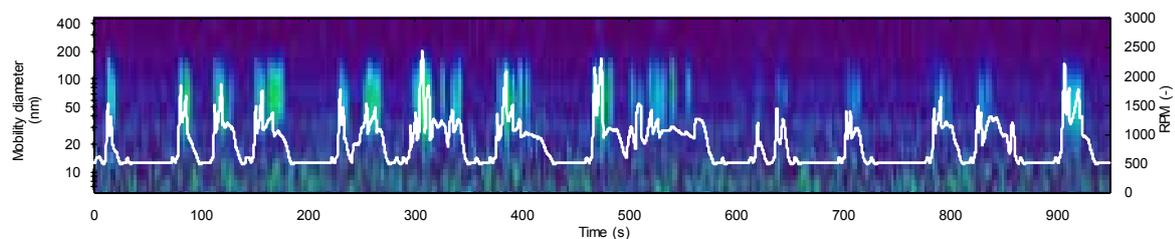
JE05 モード (JE05-1)



JE05 モード 320°C加熱条件 (JE05-4TD)



HDV15 モード (HDV15-1)



HDV15 モード 320°C加熱条件 (HDV15-4 TD)

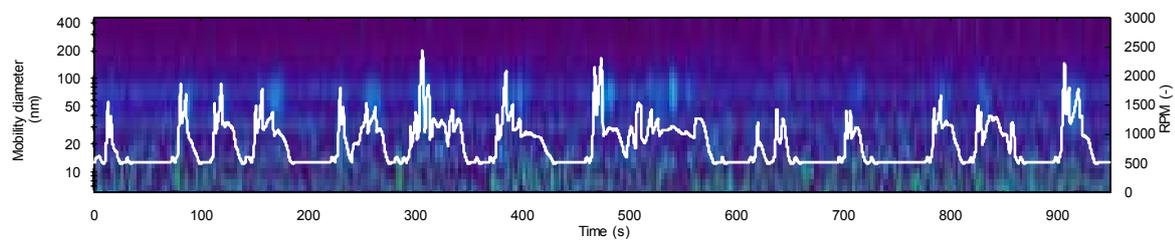


Fig.4.1.2.6 NEDO エンジンから排出される PM 個数濃度連続測定結果

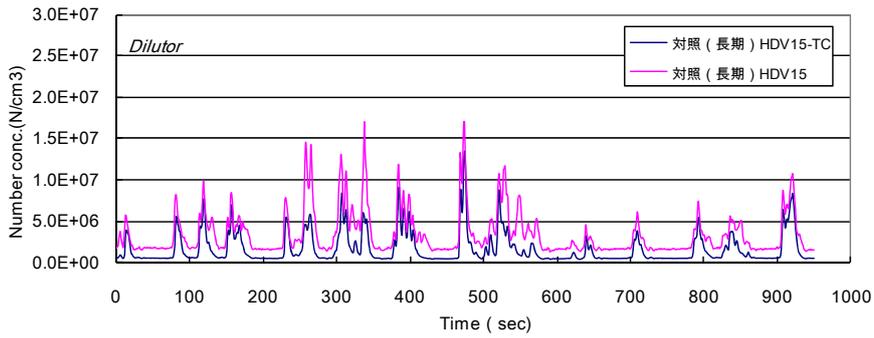
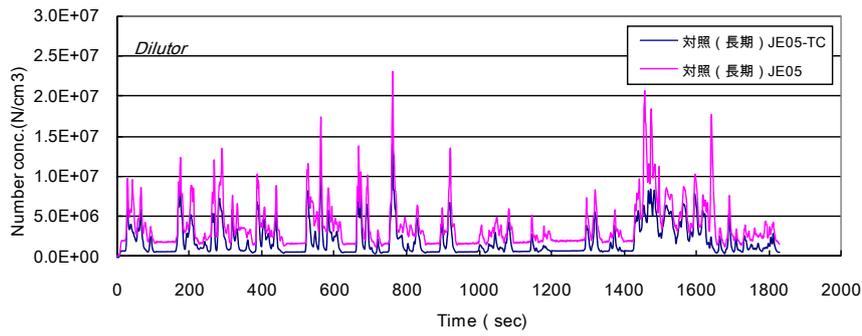


Fig.4.1.2.7 対照エンジン（長期）から排出される全 PM 個数濃度

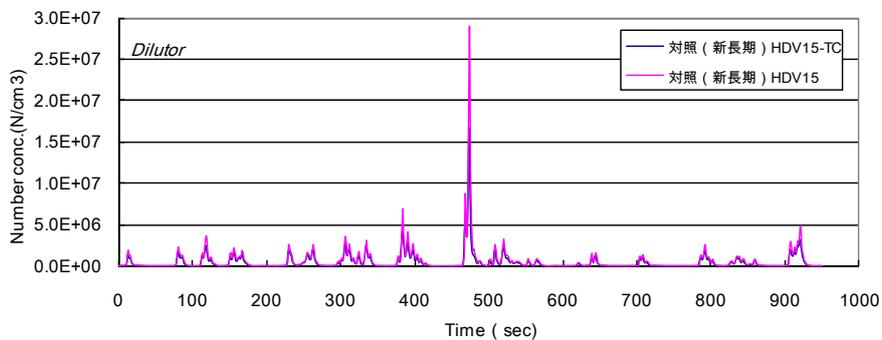
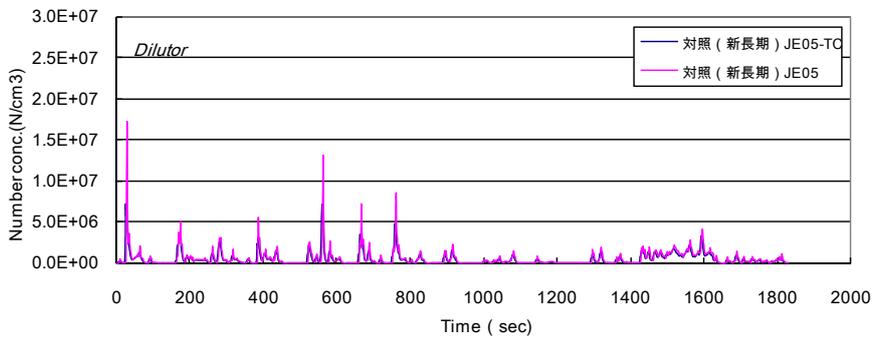


Fig.4.1.2.8 対照エンジン（新長期）から排出される全 PM 個数濃度

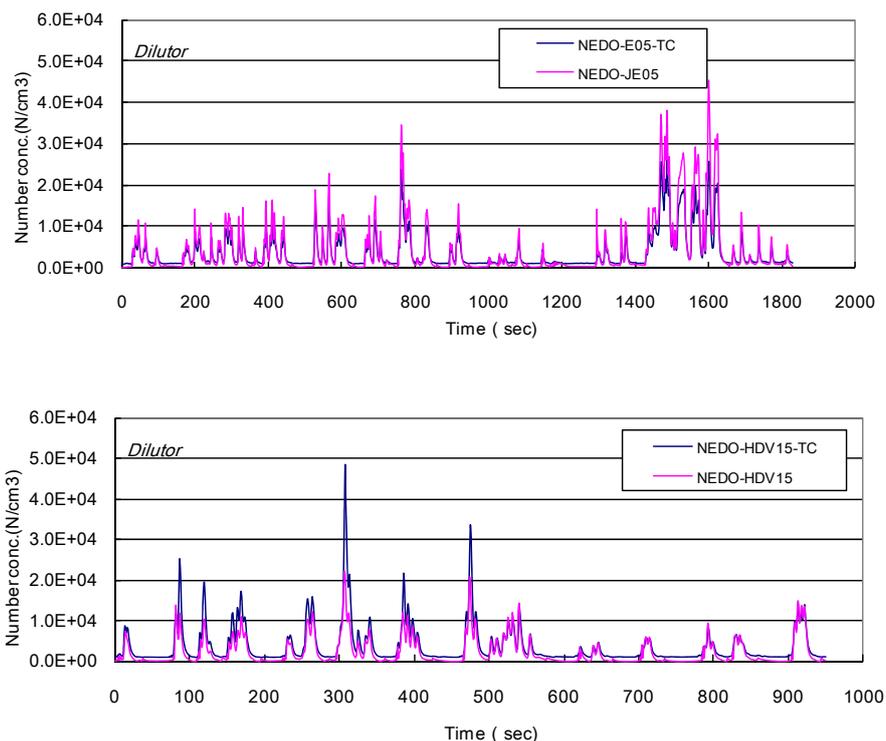


Fig.4.1.2.9 NEDO エンジンから排出される全 PM 個数濃度

4) PM 個数濃度分布

上記連続測定結果からモード平均の PM 個数分布を算出した。算出に際して計測器の測定下限値以下 (**Fig. 4.1.2.10** のノイズレベル) の個数濃度はゼロとした。常温条件下の計測は原則 3 回繰り返す、図中に標準偏差を示した。

各エンジンから排出される PM 個数分布を **Fig.4.1.2.11** から **Fig.4.1.2.13** に示す。対照エンジン (長期) では、10 nm と 80 nm に極大値を示すバイモーダルな分布を示し、JE05 モードでは 3×10^{14} 個/kWh、HDV15 モードではその 2 倍の排出量を示した。加熱条件下での PM 個数は約 30% 程度減少した。対照エンジン (新長期) では、60 から 70 nm に極大値を示す分布であり 10 nm 付近の値は低い。加熱条件では凡そ 30% 程度減少した。NEDO エンジンでは測定粒径に対する個数濃度の多くが測定下限値以下であり、排出量に換算した結果は対照エンジンの 1/1000 程度の値であり、加熱条件下でも個数排出量に大きな変化はない。

これらの PM 個数排出量を比較して **Fig.4.1.2.14** に示す。NEDO エンジンからの PM 個数排出量は対照エンジンに比して大きく低減していることがわかる。

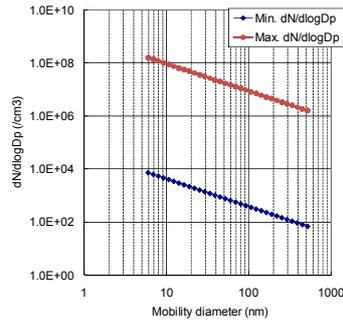


Fig.4.1.2.10 PM 個数濃度計測器の測定上下限值

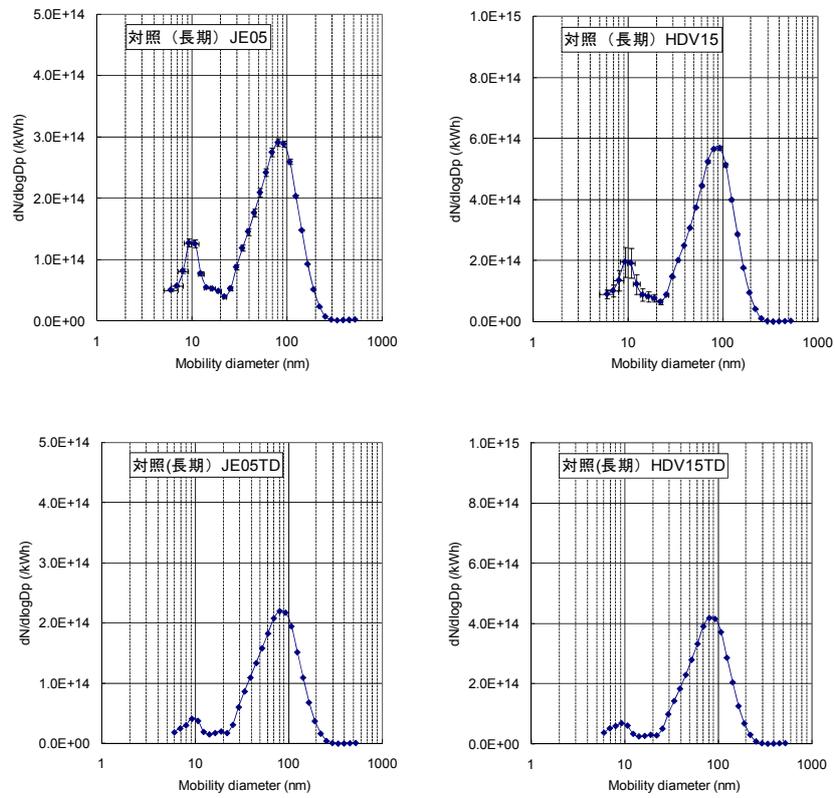


Fig.4.1.2.11 対照エンジン（長期）のPM 個数濃度分布
 (左図：JE05モード、右図：HDV15モード、上段：常温、下段：加熱)

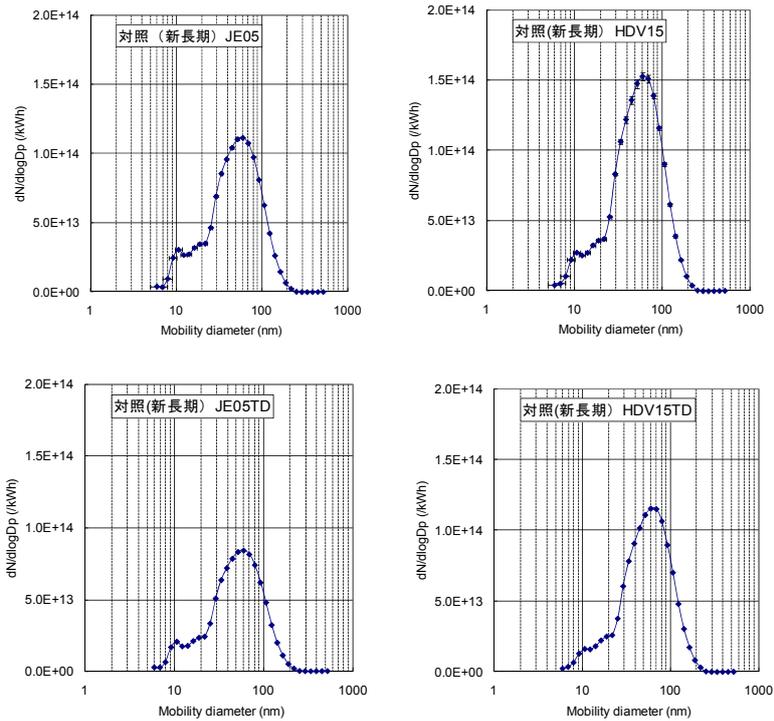


Fig.4.1.2.12 対照エンジン（新長期）のPM 個数濃度分布
 (左図：JE05 モード、右図：HDV15 モード、上段：常温、下段：加熱)

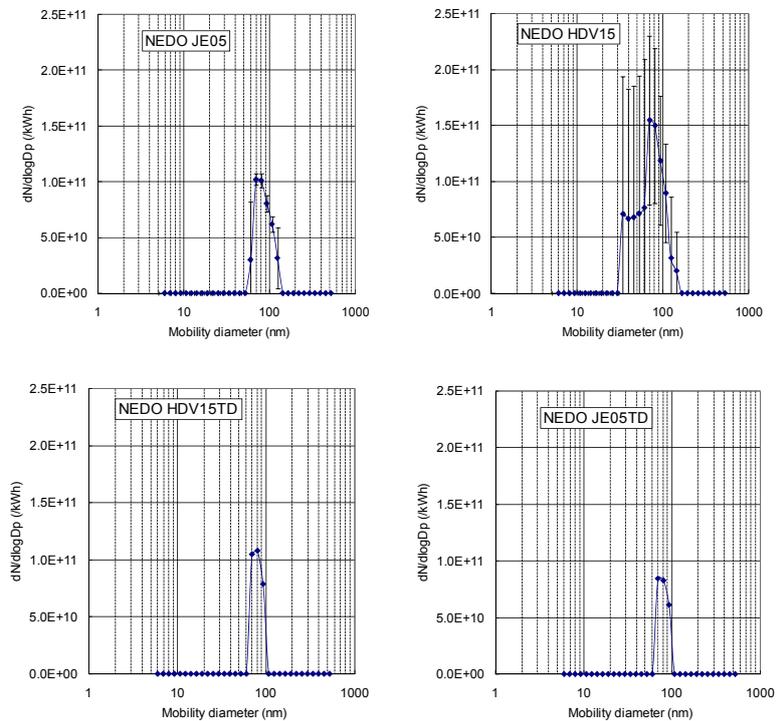
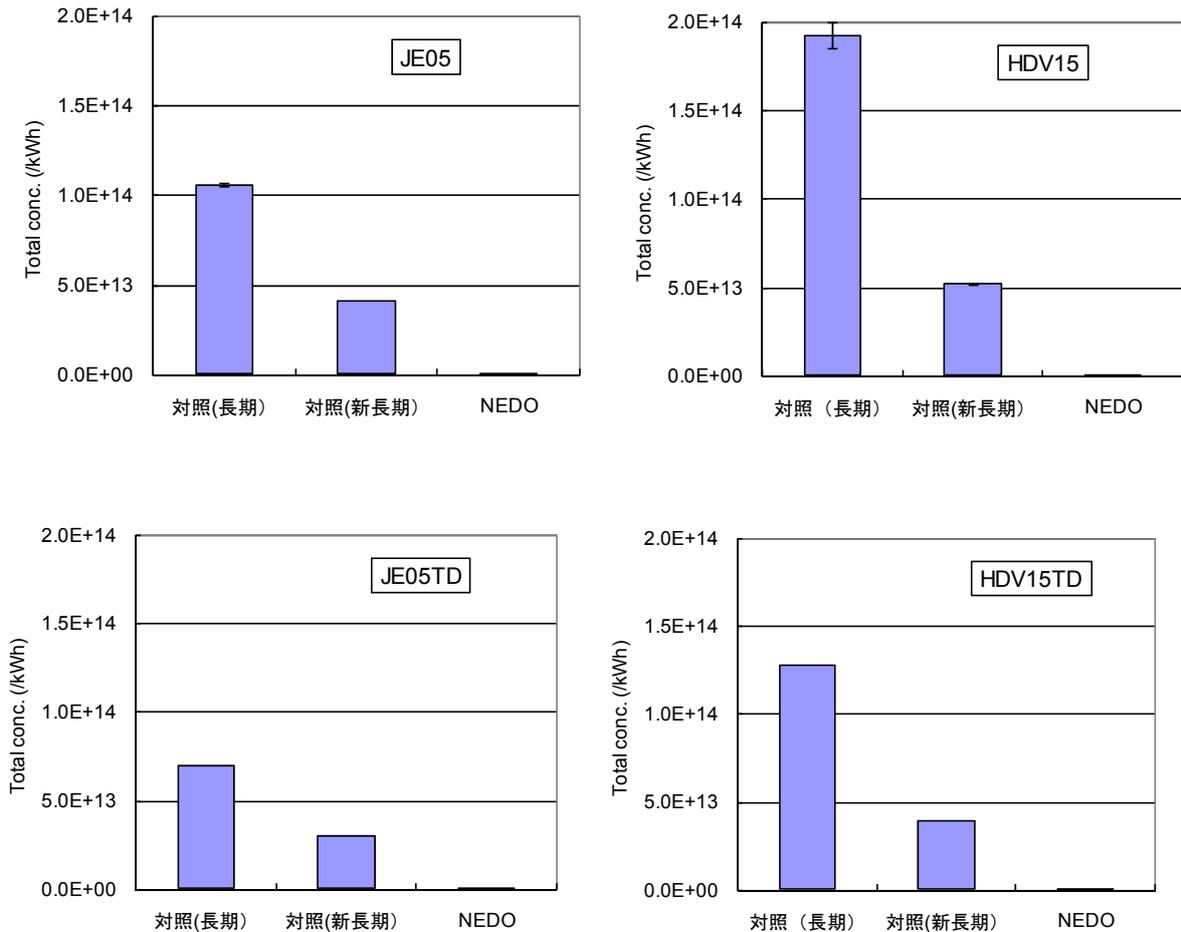


Fig.4.1.2.13 NEDO エンジンのPM 個数濃度分布
 (左図：JE05 モード、右図：HDV15 モード、上段：常温、下段：加熱)



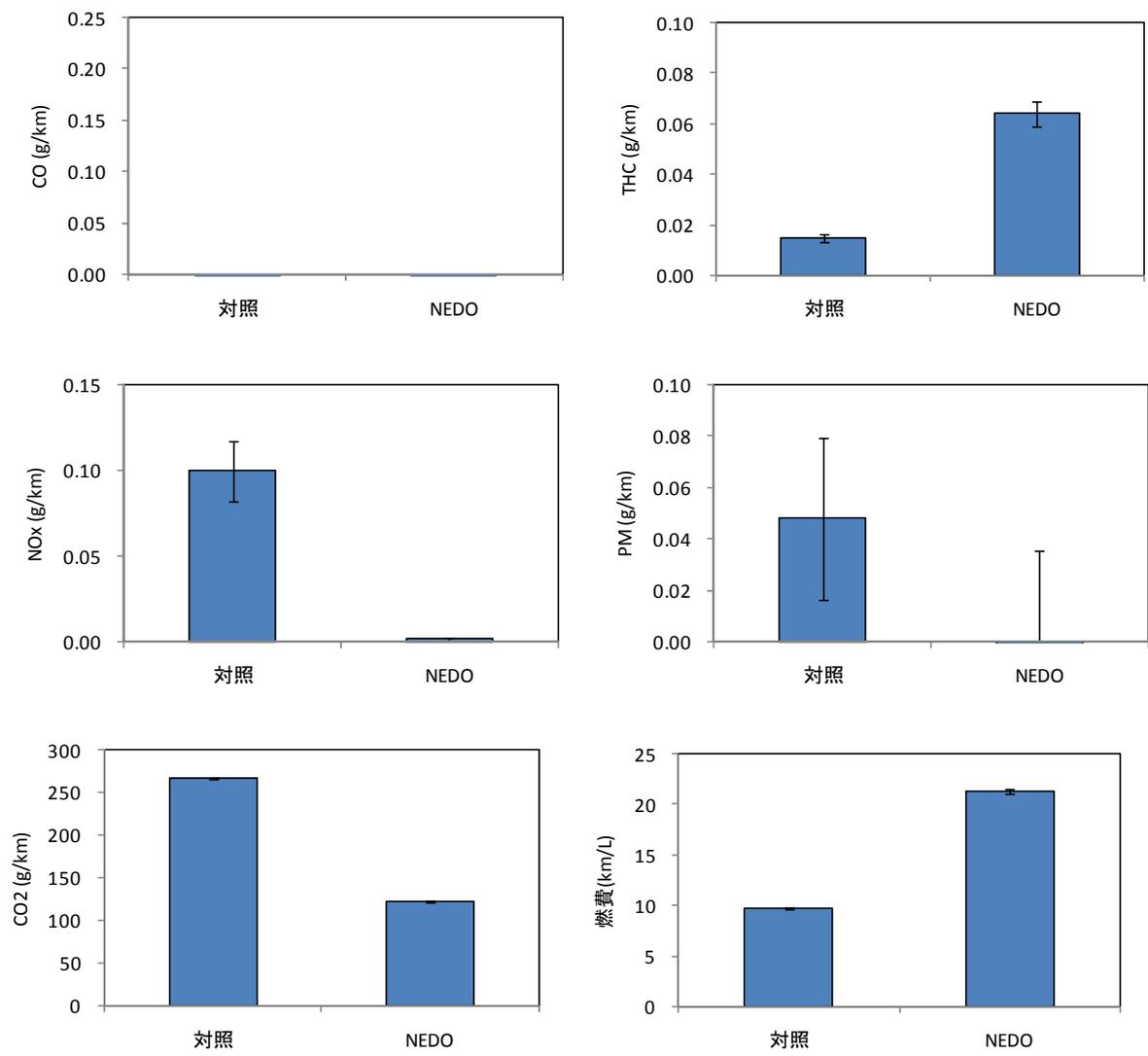
Fig

4.1.2.14 試験エンジンからの PM 個数排出量の比較
 (図中、排出量表示がない成分は検出下限値以下である)

4.1.2.2 NEDO 車両と対照車両

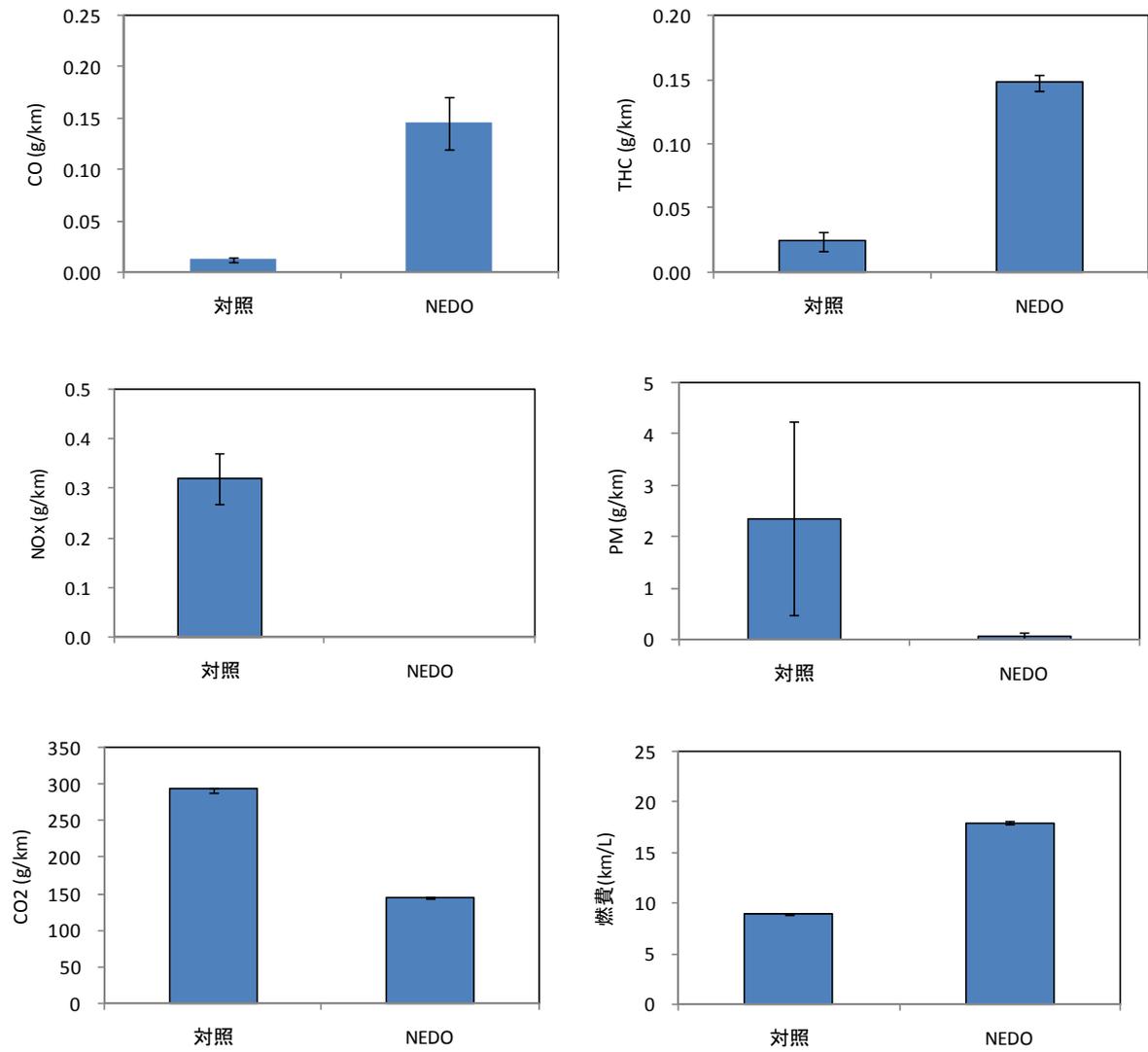
1) 規制物質等

JC08 ホットモード、コールドモードおよび LDV15 モードの PM、NO_x、CO、THC 排出量を **Fig.4.1.2.15**～**Fig.4.1.2.17** に示す。NEDO 開発車両からの PM 排出量は、それぞれのモードに対して 0.00 g/km、0.065 g/km、0.00 g/km であり、対照車両の PM 排出量 0.048 g/km、2.36 g/km、0.02 g/km よりも低減されている。同様に NO_x 排出量は、NEDO 開発車両がそれぞれのモードで 0.005 g/km 以下であり、対照車両 0.05～0.32 g/km に比して大きく低減されている。JC08 ホットモードの PM、NO_x 排出量達成目標値 (PM : 0.005g/km、NO_x : 0.05 g/km) を大きく下回っている。その他、CO は両車両とも極めて低値であり、THC は NEDO 車両が対照車両よりも増加しているがその値は小さい。CO₂ 排出量は対照車両に比較しておおきく低減されており、燃費は大きく向上している。JC08 コールドモード、LDV15 モードとも排出傾向は同様であり、PM、NO_x 排出量は大きく低減している。



Fig

.4.1.2.15 対照車両と NEDO 開発車両からの規制物質等の排出量 (JC08 ホットモード)



Fig

.4.1.2.16 対照車両と NEDO 開発車両からの規制物質等の排出量
(JC08 コールドモード)

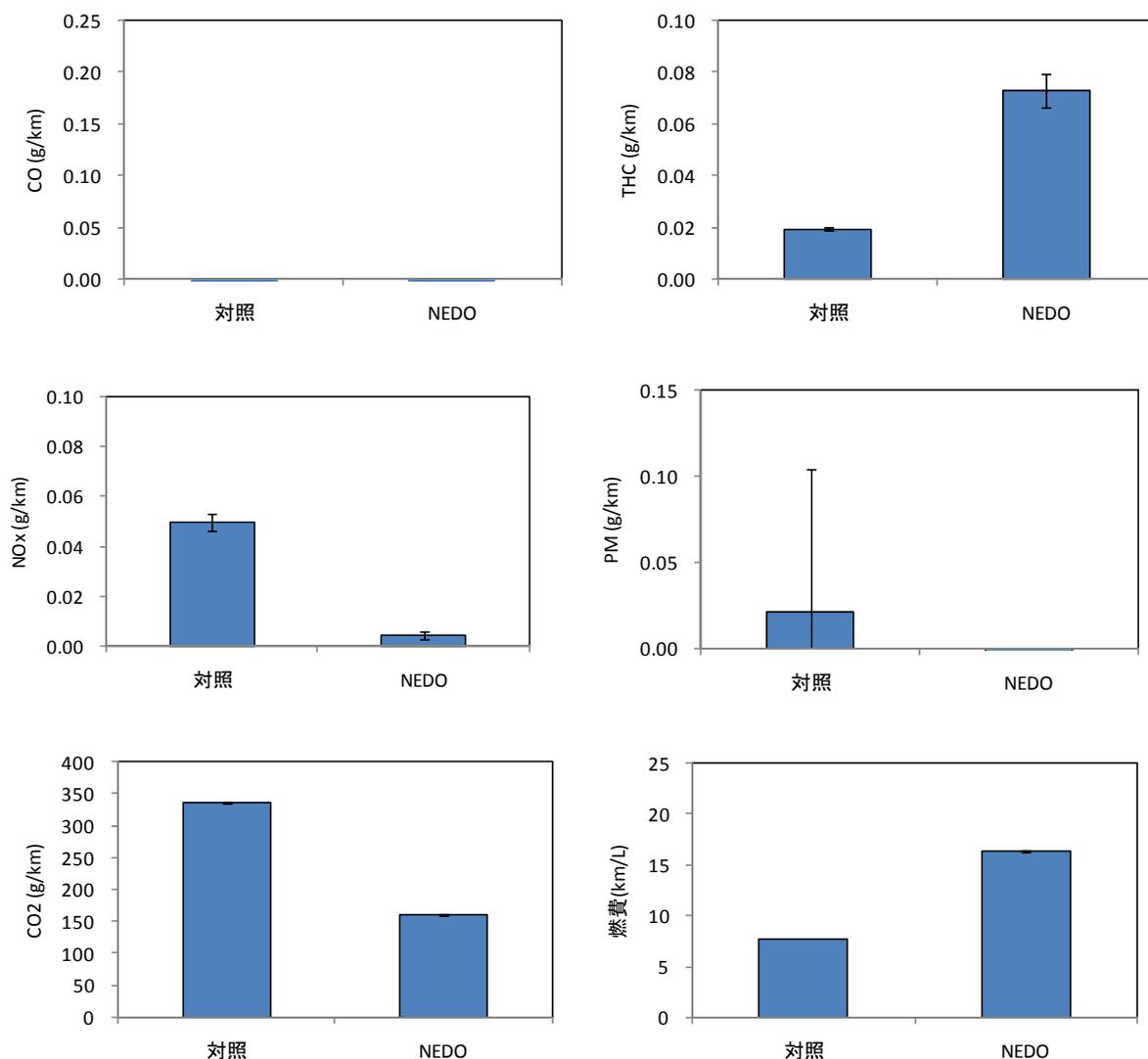


Fig.4.1.2.17 対照車両と NEDO 開発車両からの規制物質等の排出量 (LDV15 モード)

2) 未規制物質等

未規制物質等の計測結果を **Fig.4.1.2.18** と **Fig.4.1.2.19** に示す。NEDO 車両、対照車両ともアルデヒドはホルムアルデヒドとアセトアルデヒドのみが検出された。対照車両に比して、ホルムアルデヒドは NEDO 車両が僅かに増加、アセトアルデヒドは同レベルであった。HC 類は概ね低減しており、増加が見られた場合もその量は極く低値である。BaP が若干増加したが、これは対照車両との後処理装置の仕様の差によるものと思われる。1-NP は減少、ジニトロピレンは定量下限値以下であり NEDO 車両が特にニトロ化促進の排気特性を示すことはなかった。CH₄ が対照車両に比して増加している。

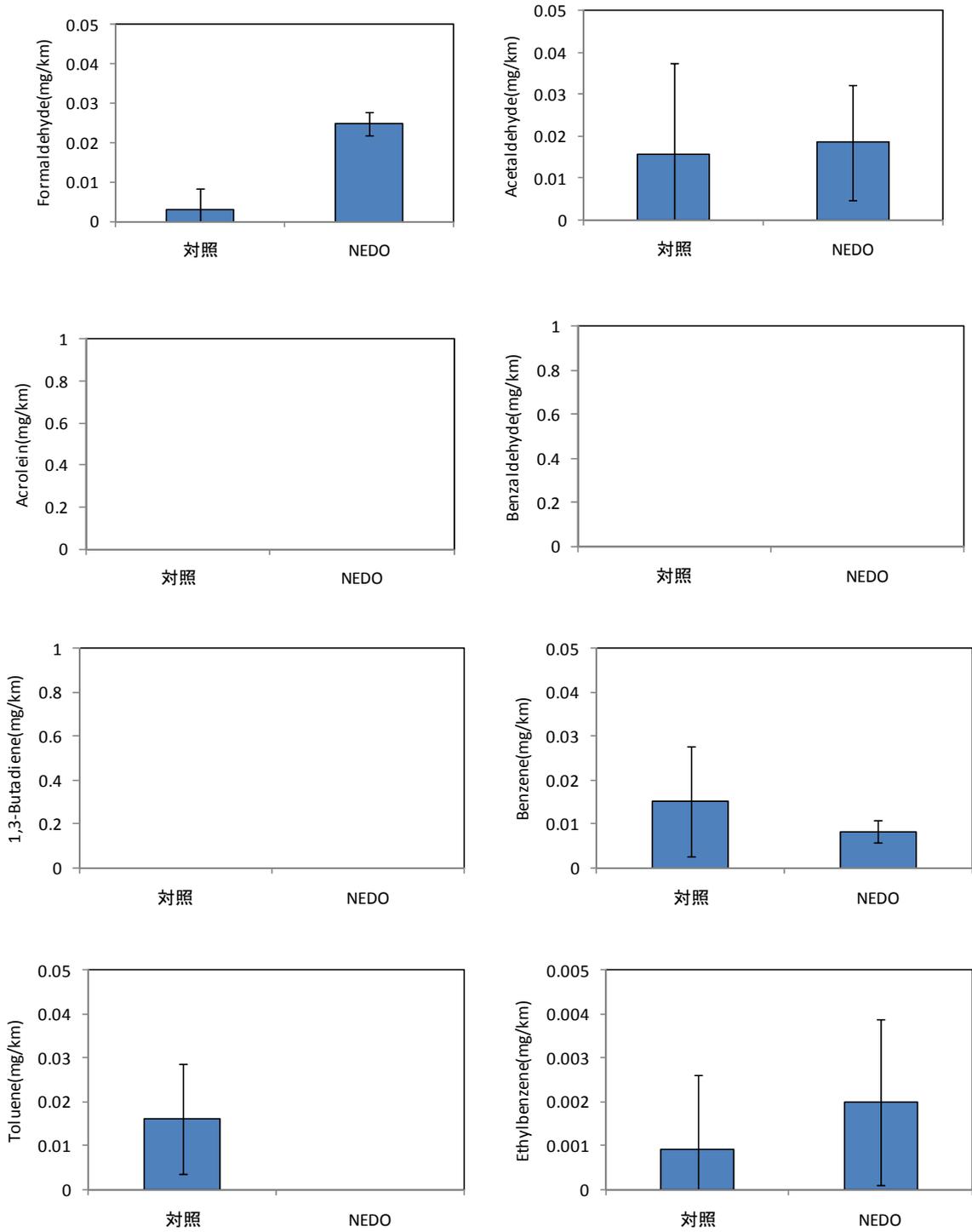


Fig.4.1.2.18 NEDO 車両および対照車両からの未規制物質等の排出量 (JC08 ホットモード) (図中、排出量表示がない成分は検出下限値以下である)

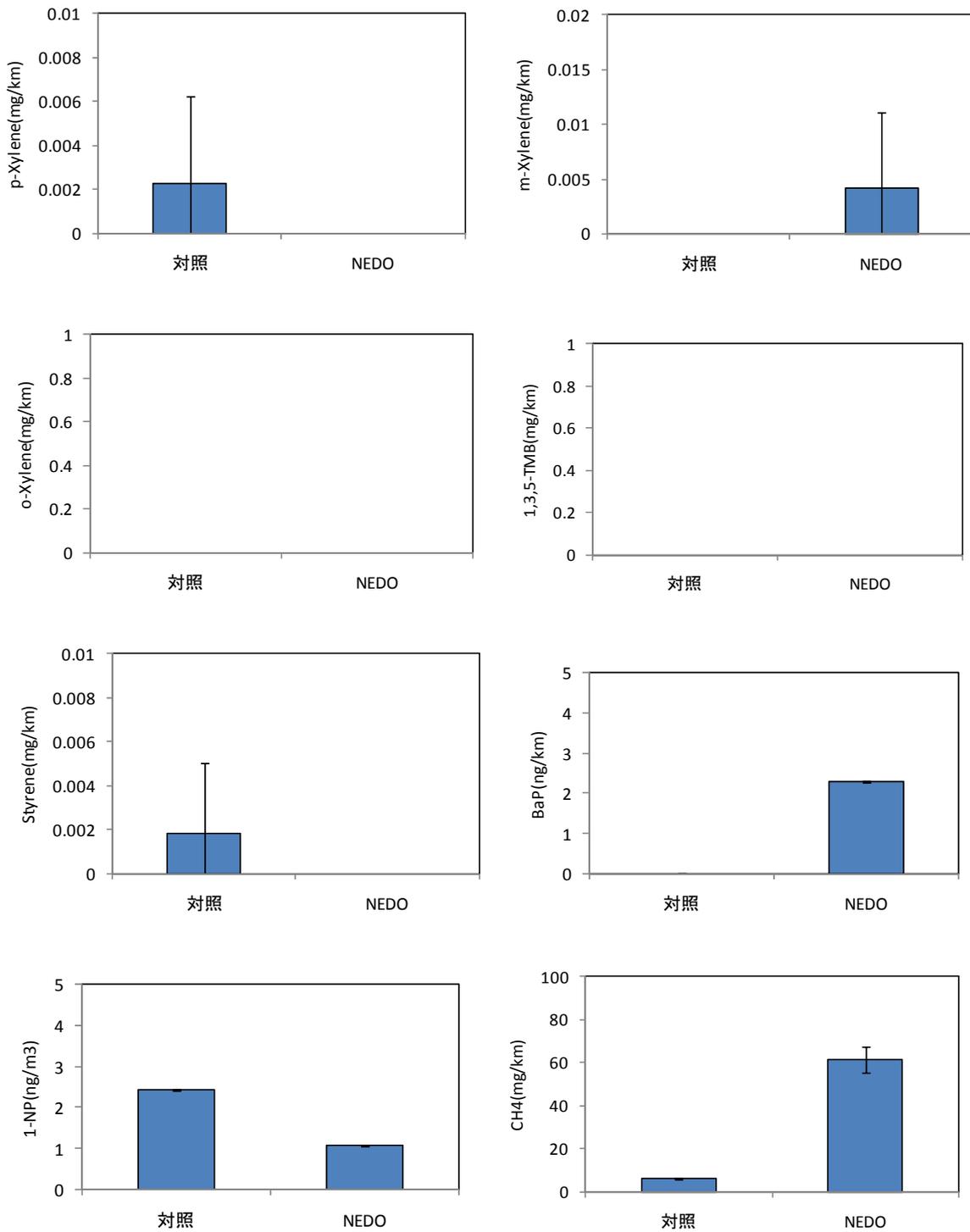


Fig.4.1.2.18 (続き) NEDO 車両および対照車両からの未規制物質等の排出量 (JC08 ホットモード) (図中、排出量表示がない成分は検出下限値以下である)

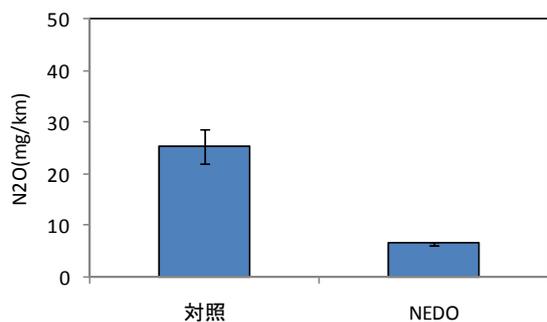


Fig.4.1.2.18 (続き) NEDO 車両および対照車両からの未規制物質等の排出量 (JC08 ホットモード) (図中、排出量表示がない成分は検出下限値以下である)

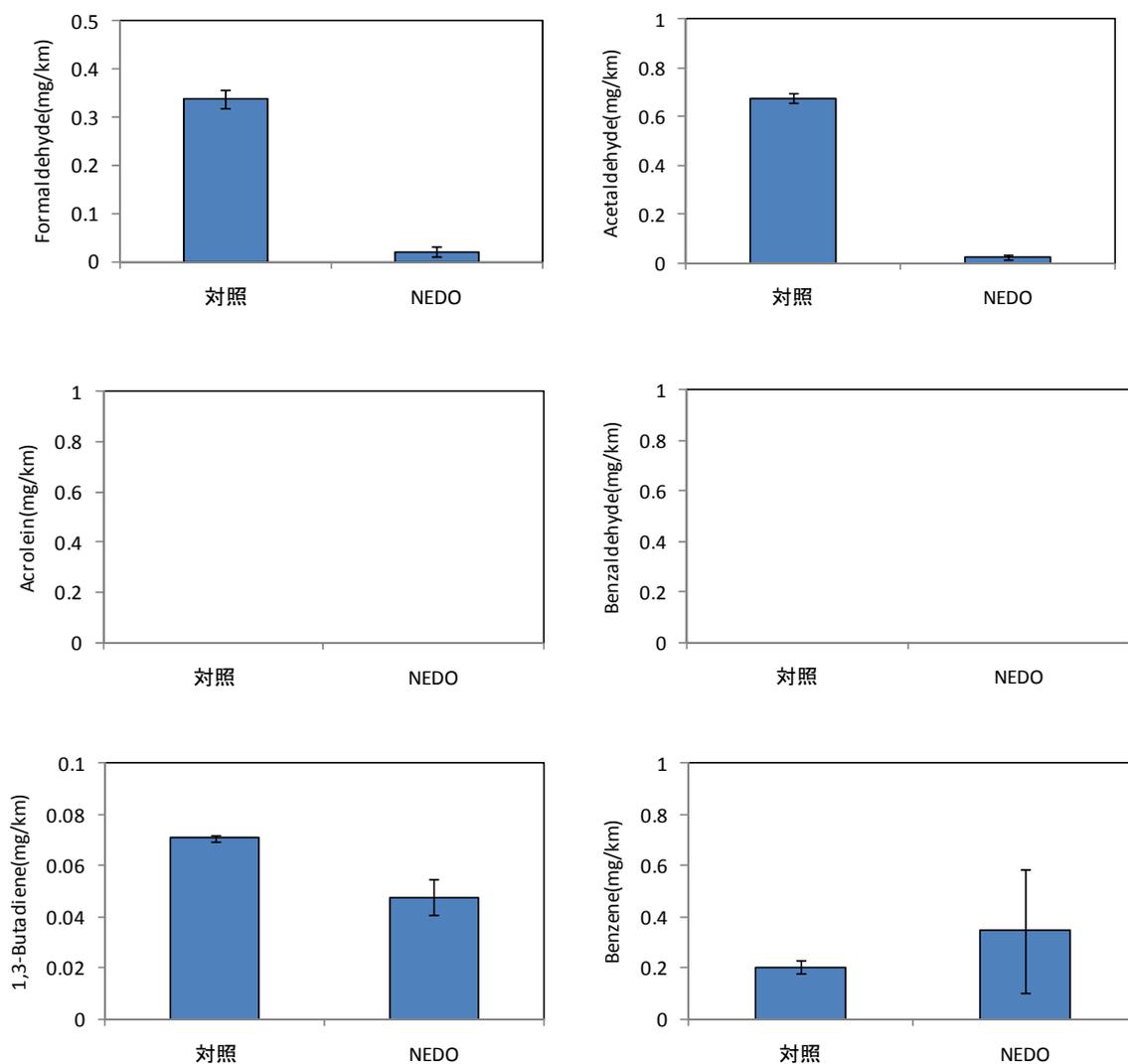


Fig.4.1.2.19 NEDO 開発車両と対照車両からの未規制物質等の排出量 (JC08 コールドモード) (図中、排出量表示がない成分は検出下限値以下である)

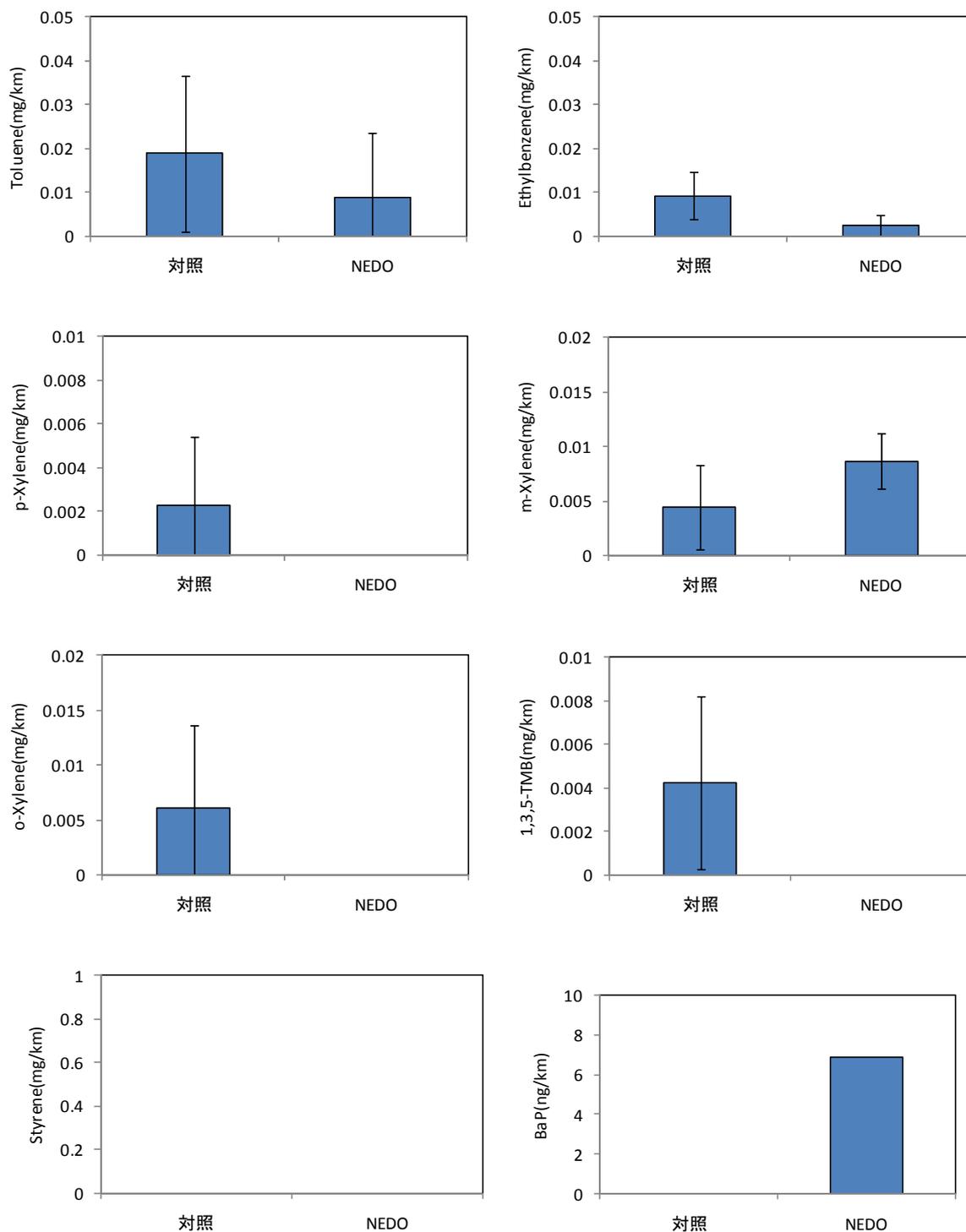


Fig.4.1.2.19 (続き) NEDO 開発車両と対照車両からの未規制物質等の排出量 (JC08 コールドモード) (図中、排出量表示がない成分は検出下限値以下である)

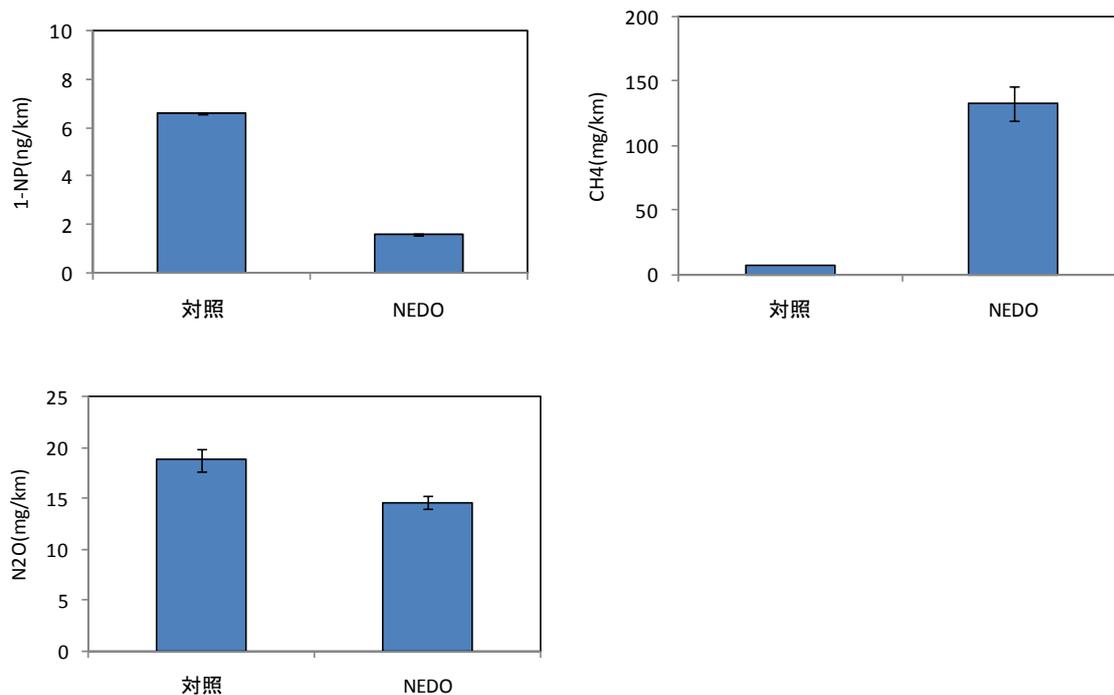


Fig.4.1.2.19 (続き) NEDO 開発車両と対照車両からの未規制物質等の排出量 (JC08 コールドモード) (図中、排出量表示がない成分は検出下限値以下である)

3) PM 個数

EEPS を用いて PM 個数濃度と粒径を連続測定した。個数濃度レベルのスケールを色表示で **Fig.4.1.2.20** に示す。

(1) 対照車両

対照車両からの PM 個数の連続測定結果を **Fig.4.1.2.21** に、CPC 連続測定結果を **Fig.4.1.2.22** に示す。測定した走行モードは JC08H、JC08C と LDV15 であり、それぞれ常温条件と 320℃加熱条件を設定した。図中に車速を白線で示す。

ホット時に比してコールド時の個数濃度が高値である。両モードとも加速時の排出が目立つ。ホット時には 50 nm 以下の個数が、コールド時には 100 nm 付近の個数が高値である。320℃加熱条件での PM 個数濃度の減少は大きくは無く、排出される PM の多くは不揮発性であることを示している。

(2) NEDO 車両

対照車両からの PM 個数の連続測定結果を **Fig.4.1.2.23** に、CPC 連続測定結果を **Fig.4.1.2.24** に示す。M 個数濃度の測定条件は上記の対照車両と同一である。対照車両に比して PM 個数濃度は極めて大きく減少している。加熱条件下での個数濃度減少は大きくは無く、対照車両と同様に排出される PM の多くは不揮発性であることを示している。

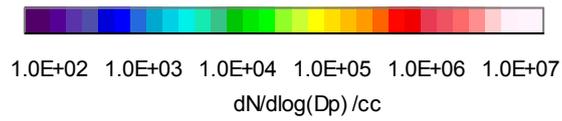
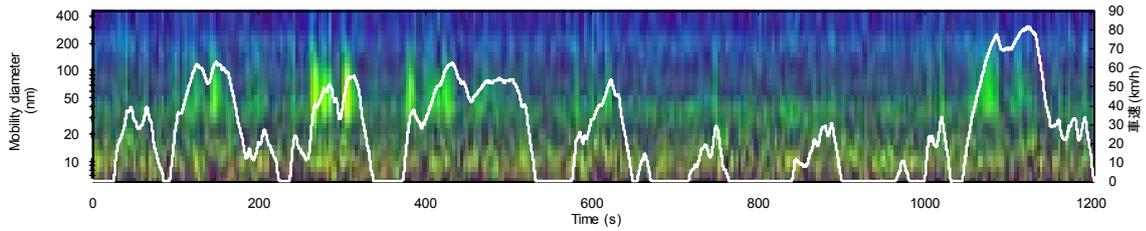
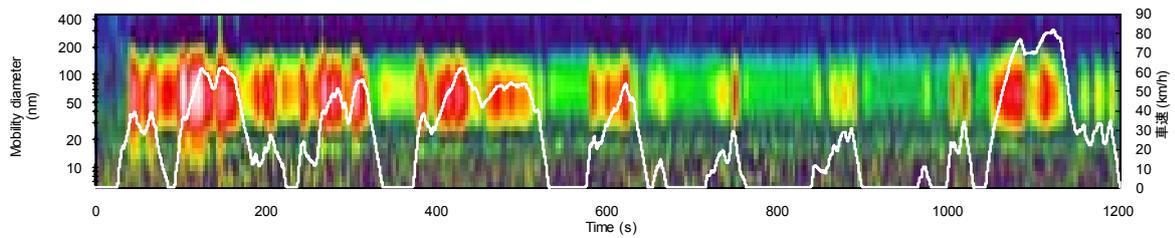


Fig.4.1.2.20 PM 個数濃度の色表示

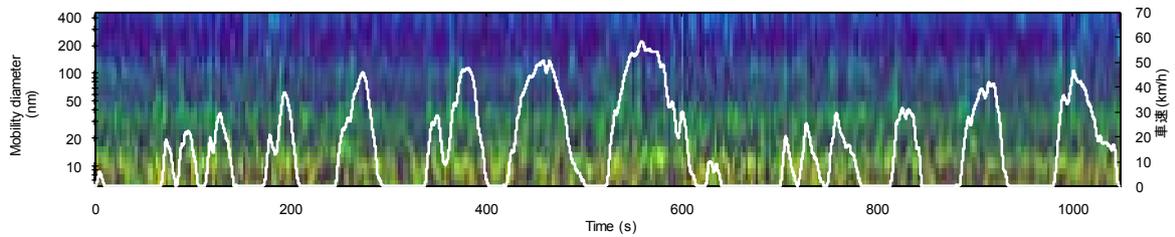
JC08 ホットモード (JC08H)



JC08 コールドモード (JC08C)



LDV15 モード



JC08 ホットモード 320°C加熱条件 (JC08H-4TD)

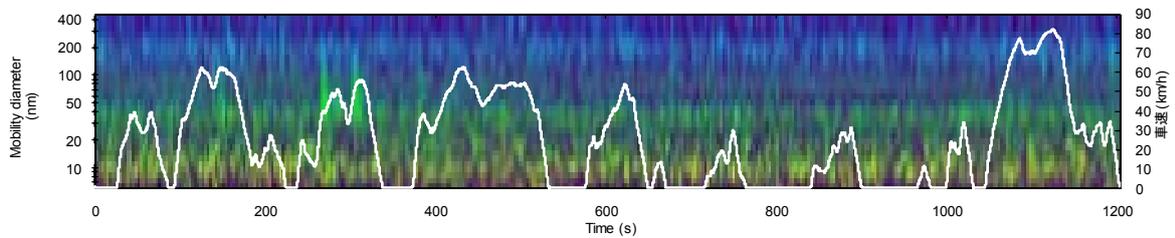
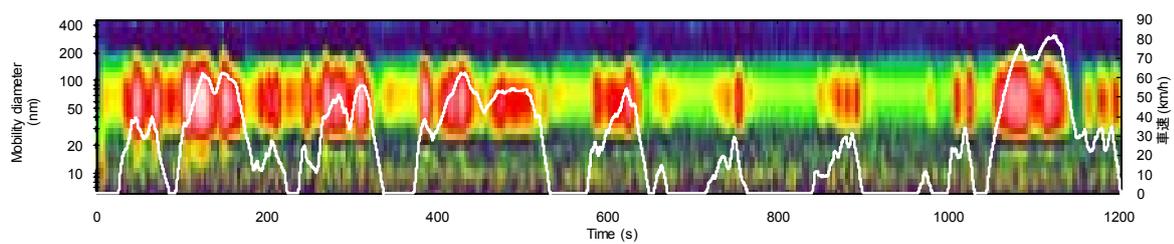
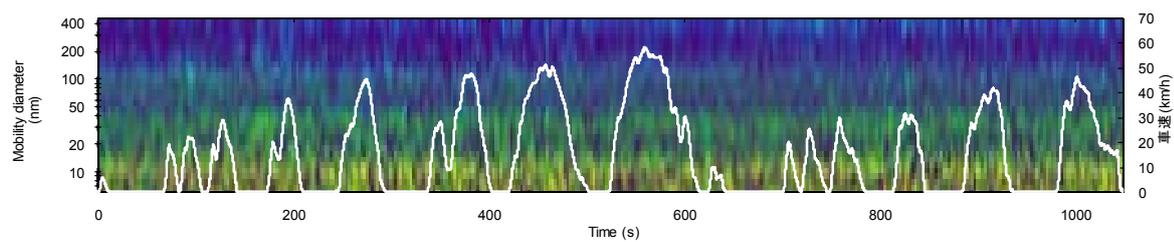


Fig.4.1.2.21 対照車両から排出される PM 個数濃度連続測定結果

JC08 コールドモード 320℃加熱条件 (JC08C-4TD)



LDV15 モード 320℃加熱条件 (LDV15-4TD)



Fi

g.4.1.2.21 (続き) 対照車両から排出される PM 個数濃度連続測定結果

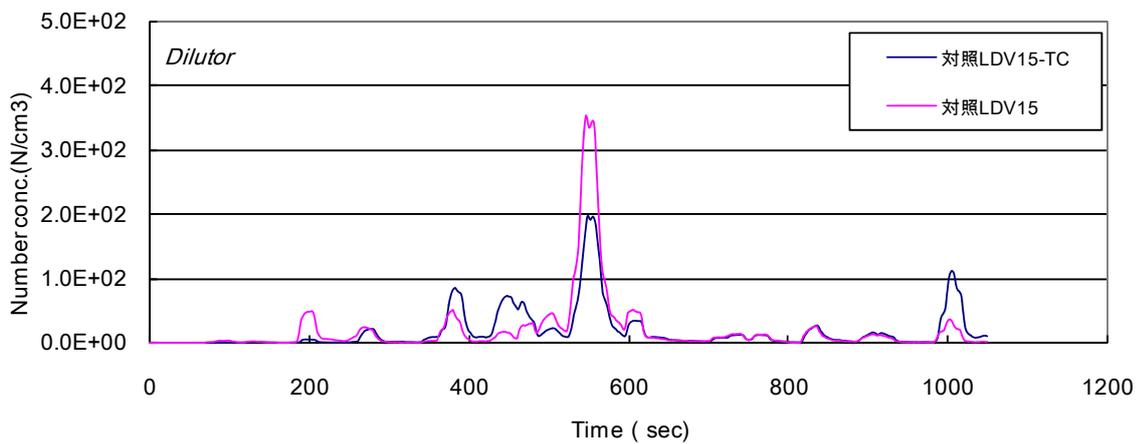
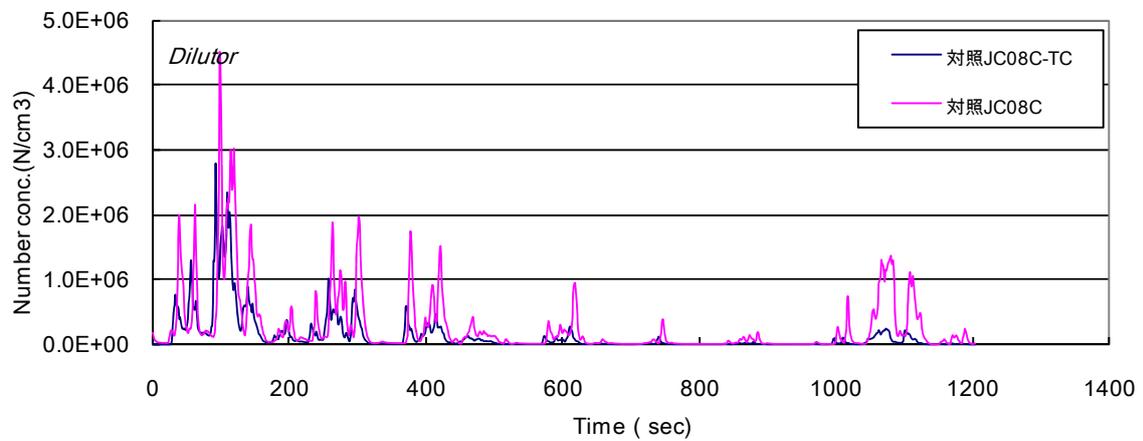
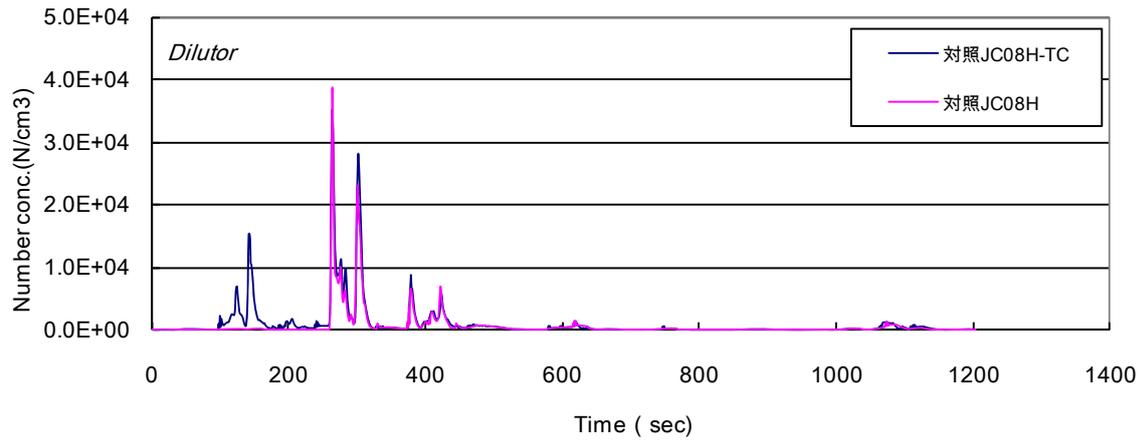
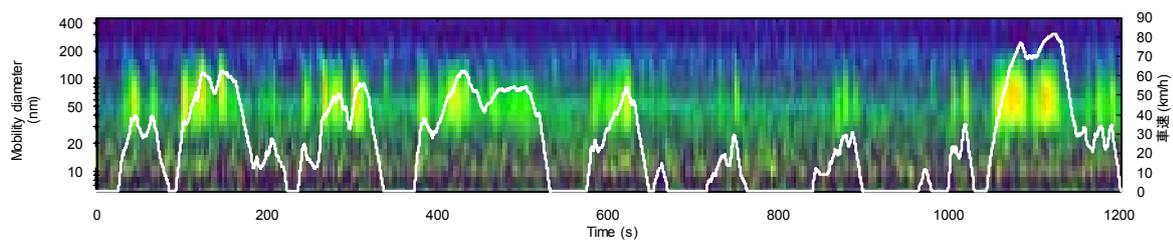
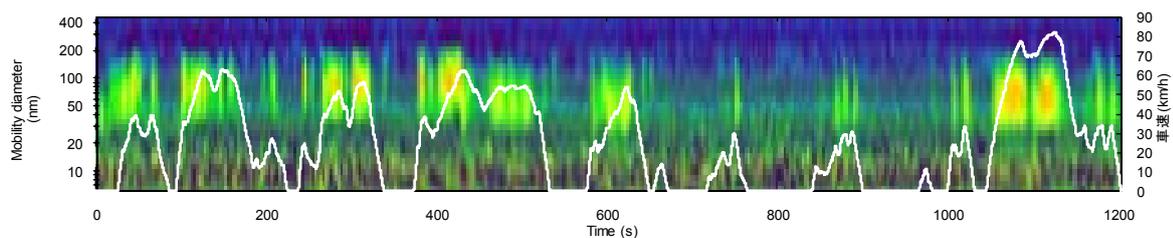


Fig.4.1.2.22 对照車両から排出される全 PM 個数濃度

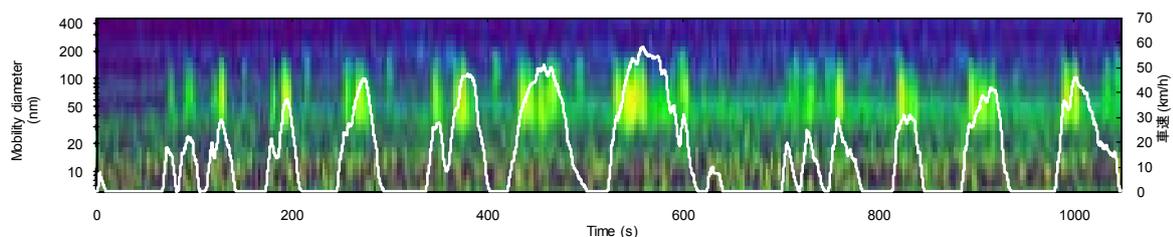
JC08 ホットモード (JC08H)



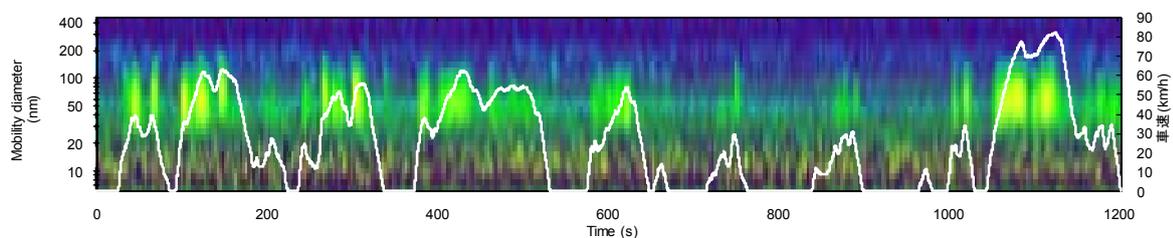
JC08 コールドモード (JC08C)



LDV15 モード



JC08 ホットモード 320°C加熱条件 (JC08H-4TD)



JC08 コールドモード 320°C加熱条件 (JC08C-3TD)

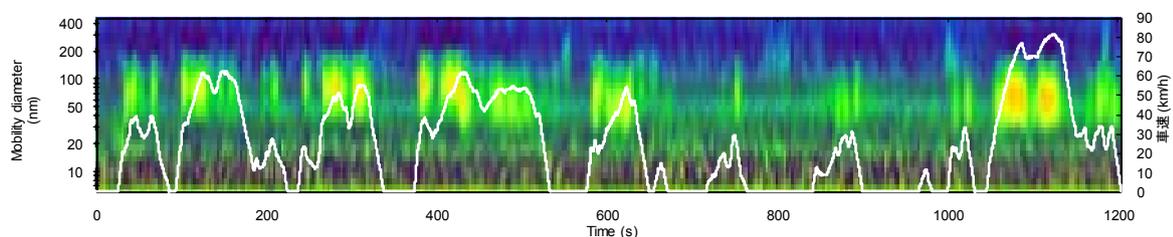


Fig.4.1.2.23 NEDO 車両から排出される PM 個数濃度連続測定結果

LDV15 モード 320°C加熱条件 (LDV15-4TD)

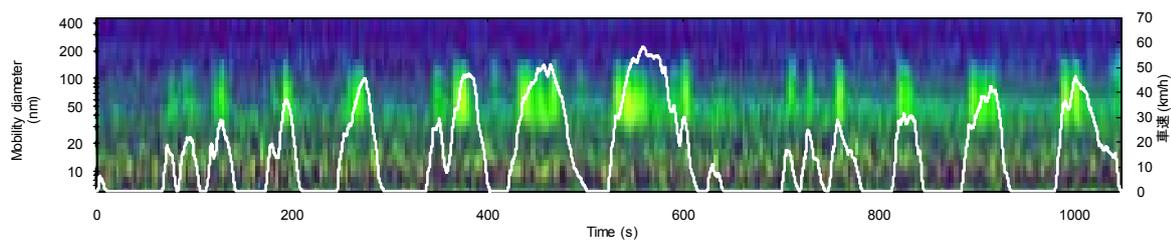


Fig.4.1.2.23 (続き) NEDO 車両から排出される PM 個数濃度連続測定結果

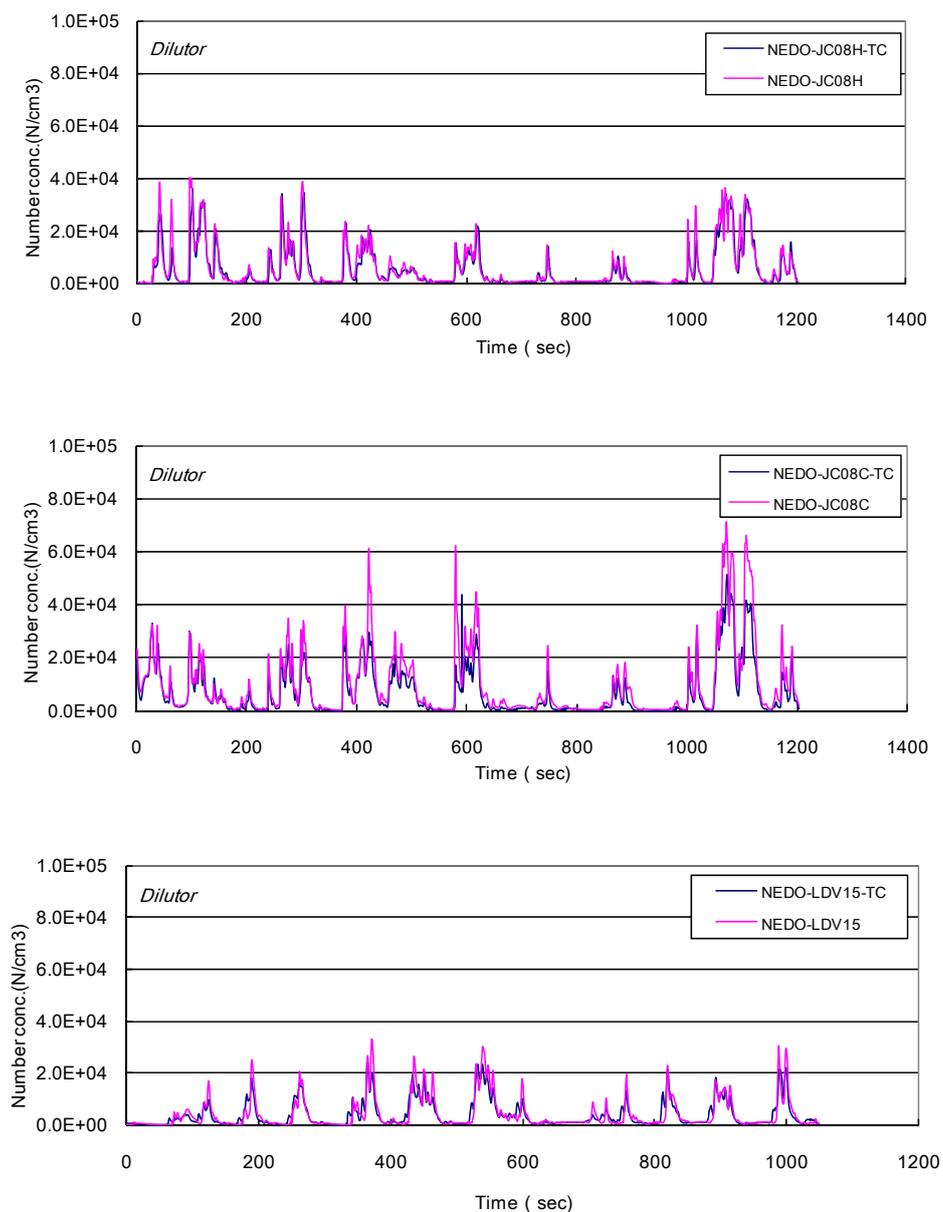


Fig.4.1.2.24 NEDO 車両から排出される全 PM 個数濃度

4) PM 個数分布

上記連続測定結果からモード平均の PM 個数分布を算出した。算出に際して計測器の測定下限値以下（図のノイズレベル）の個数濃度はゼロとした。常温条件下の計測は原則 3 回繰り返し、図中に標準偏差を示した。

各車両から排出される PM 個数分布を **Fig.4.1.2.25** と **Fig.4.1.2.26** に示す。対照車両では、ホット時とコールド時で PM 個数分布は異なり、ホット時には 10 nm、コールド時には 80 nm 付近に極大を示す分布を示した。加熱によっても分布は殆ど変化しない。NEDO 車両では 10 nm と 40~80 nm に極大を示すバイモーダルな分布を示した。加熱によっても分布は殆ど変化しない。

PM 個数排出量を **Fig.4.1.2.27** に示す。対照車両の個数排出量は、JC08 ホットモードでは 4×10^{11} 個/km、JC08 コールドモードでは 5×10^{12} 個/km、LDV15 モードでは 7×10^{11} 個/km であった。これに対して NEDO 車両からの個数排出量はそれぞれ 5×10^{11} 個/km、 6×10^{11} 個/km、 7.5×10^{11} 個/km であり、ホットモードでは対照車両に比して NEDO 車両が若干ではあるが個数排出量が増加している。コールドモードでは NEDO 車両が大きく低減している。加熱条件下でも個数排出量に大きな変化はない。

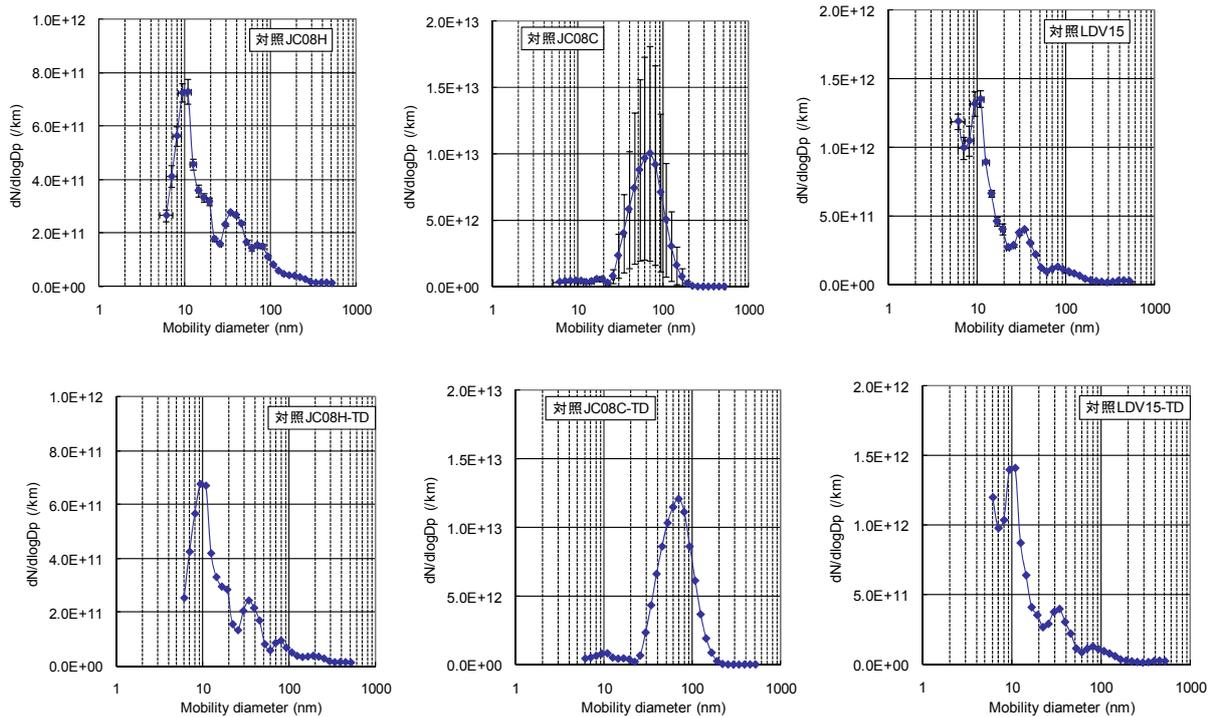
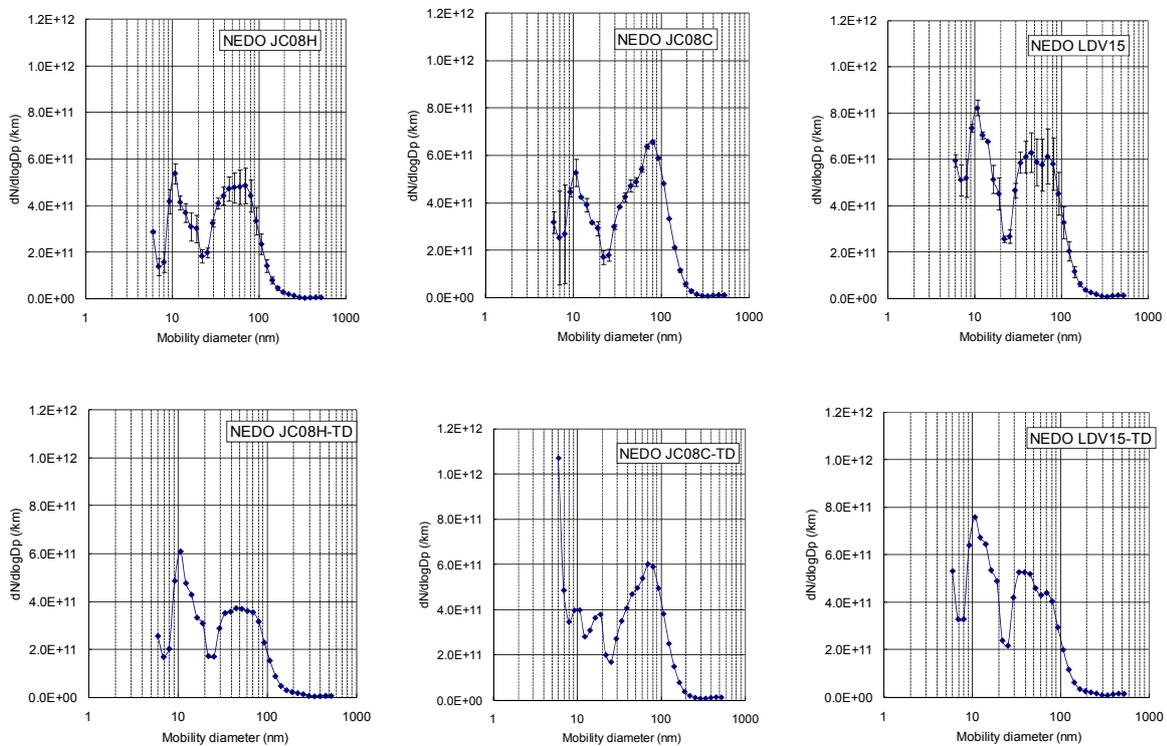


Fig.4.1.2.25 対照車両のPM 個数濃度分布

(左図：JC08H、中図：JC09C、右図：LDV15 モード、上段：常温、下段：加熱)



Fig

.4.1.2.26 NEDO 車両のPM 個数濃度分布

(左図：JC08H、中図：JC09C、右図：LDV15 モード、上段：常温、下段：加熱)

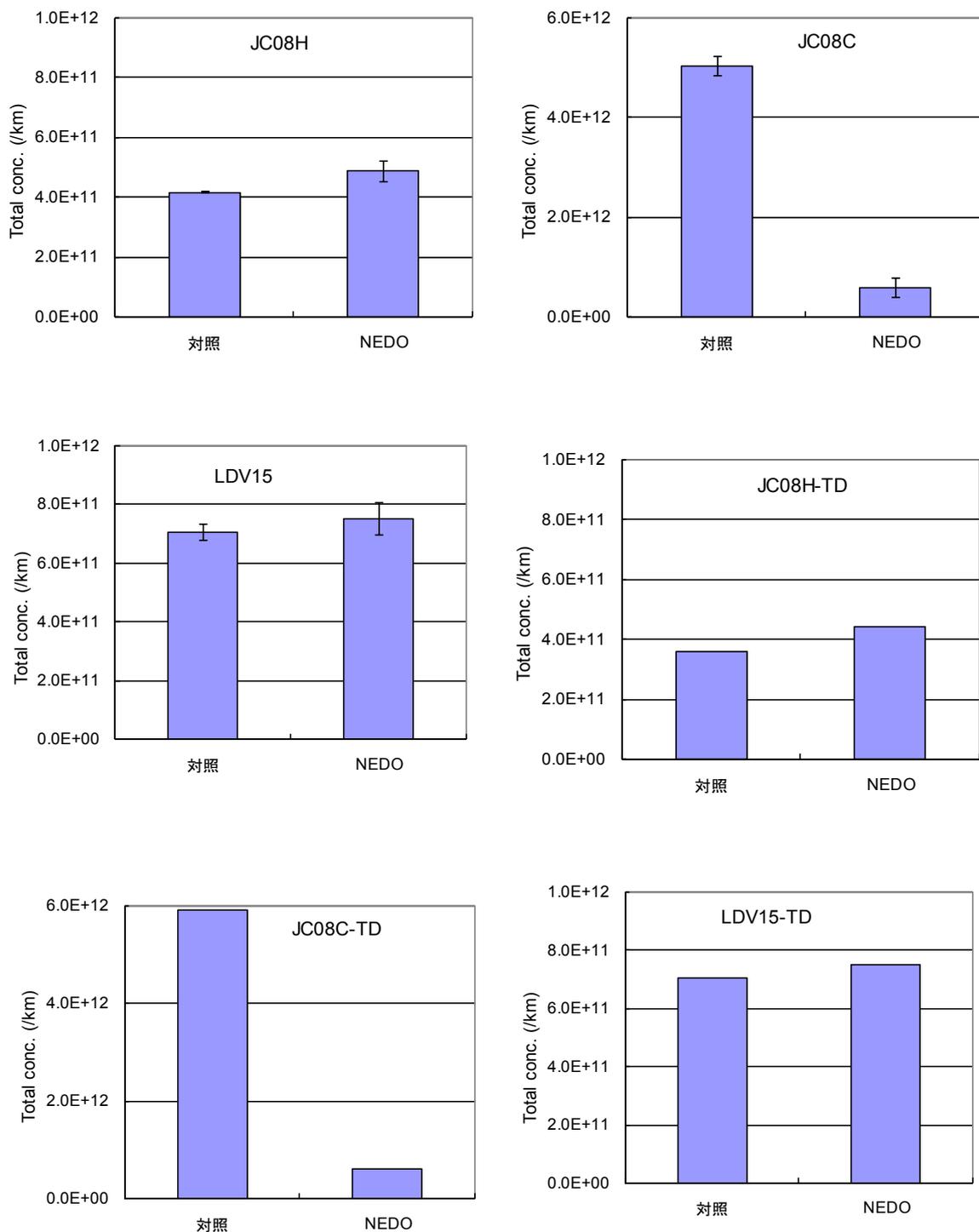


Fig.4.1.2.27 対照車両、NEDO 車両からの PM 個数排出量の比較

1.1.2.3 小括

NEDO 開発エンジン、車両の総合評価に適用可能な技術を検討確立し、開発システムの

評価試験を実施した。微量有害物質等の排出量に関しては、規制値のような比較にし得る値がないため、NEDO 開発エンジン、車両に対して、それぞれ対照エンジン（長期規制対応と新長期規制対応）と対照車両（新長期規制対応）を設定した。対照車両は、国内でディーゼル乗用車は殆ど生産されていないため、試験実施時に市場から調達可能な最新規制に対応した車両を選択した。さらに、エンジンに関しては文献等の公表データとの比較を行ったが、大型車両試験の結果が殆どであり排出量は g/km の単位で表記されており、エンジンベースの排出量 g/kWh と直接的に比較できる例は少なかった。

エンジン試験の結果、対照エンジン（長期規制対応）では、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、ベンゼン等が数 mg～数 10 mg/kWh 排出され、対照エンジン（新長期規制対応）では 0.1mg/kWh 以下程度排出されていたが、この値は文献値と同程度であった。これに対して、開発エンジンでは成分により多少の差はあるが、微量有害物質の排出量は対照エンジンに比較して増加は見られなかった。NEDO 開発エンジンから排出される PM 個数濃度は極めて低値であった。

NEDO 開発車両に関しても同様に対照車両に比して微量有害物質等の排出が大きく増加することはなく、概ね低減されていた。PM 個数濃度も同様に対照車両と同等レベルか低減されていた。この対照車両は DPF を装着しており、PM 排出量は相当低値であるため、試験条件によっては NEDO 開発車両が高値となる場合もあったが、低濃度レベルでの比較であり、特に問題となるとは思えない。

以上、NEDO 開発エンジンと車両では、微量有害物質やナノ PM の排出量が概ね低減されることを確認した。

4.1.3 PM 過渡排出成分

4.1.3.1 エンジン排出ガスの評価

Fig.4.1.3.1 に実験装置図を示す。NEDO 開発エンジンおよび対照エンジン 2 台（長期規制対応、新長期規制対応）をエンジンダイナモ上で JE05 モード運転し、その直接排出ガスの一部を質量分析装置に導入し、質量スペクトルを求めた。イオン化のためのレーザは YAG レーザの第四高調波 266 nm で、エネルギーは 90 mJ とした。

Fig. 4.1.3.2 および **Fig. 4.1.3.3** に対照エンジン（長期規制対応）から排出される芳香族成分の過渡計測結果を示す。単環および 2 環芳香族に関しては、減速時に信号が大きくなる傾向が観測された。3 環および 4 環芳香族ではモード開始 1647 秒の最も大きな減速時のみピークが観測された。ただし、これらのピークは非常に小さく、ほぼ検出限界に近い。予備検討の結果から、1647 秒時の 3 環、4 環芳香族の直接排出ガス濃度は数 ppb 程度と推察される。

Fig. 4.1.3.4 に対照エンジン（長期規制対応）直接排出ガスの質量スペクトルの代表例として、1485 秒時と 1647 秒時の場合を示す。1485 秒のときは 2 環以下の芳香族やそのフラグメントピークが観測されているが、1647 秒時では 4 環までピークが明確に観測され、単環成分に関しても信号が大きいがわかる。ベンゼンやトルエンに関しては信号の大きさから数十 ppb 程度の濃度であると推察される。

また、**Fig. 4.1.3.5** に示すように、モードの加速や減速、アイドリング等の 16 のポイントで質量スペクトルの測定を行った。その結果を **Fig. 4.1.3.6** と **Fig. 4.1.3.7** に示す。これらからも減速時に信号が（特に単環、フラグメントで）大きくなっていることがわかる。

Fig. 4.1.3.8 は同様の計測を対照エンジン（新長期規制対応）でおこなった場合の過渡計測結果である。また、**Fig. 4.1.3.9** と **Fig. 4.1.3.10** に **Fig. 4.1.3.5** で示したポイントで測定した質量スペクトルを示す。これらからわかるように、ピークは一切観測されず、検出限界（数 ppb～数十 ppb）以下であることがわかった。

Fig. 4.1.3.11 は同様の計測を NEDO 開発エンジンでおこなった場合の過渡計測結果である。また、**Fig. 4.1.3.12** と **Fig. 4.1.3.13** に **Fig. 4.1.3.5** で示したポイントで測定した質量スペクトルを示す。これらからわかるように、ピークは一切観測されず、検出限界（数 ppb～数十 ppb）以下であることがわかった。

以上の結果から、NEDO 開発エンジンでは過渡的にも特異な排出がなく、その濃度レベルは新長期規制対応のエンジンと同等以下であることがわかった。

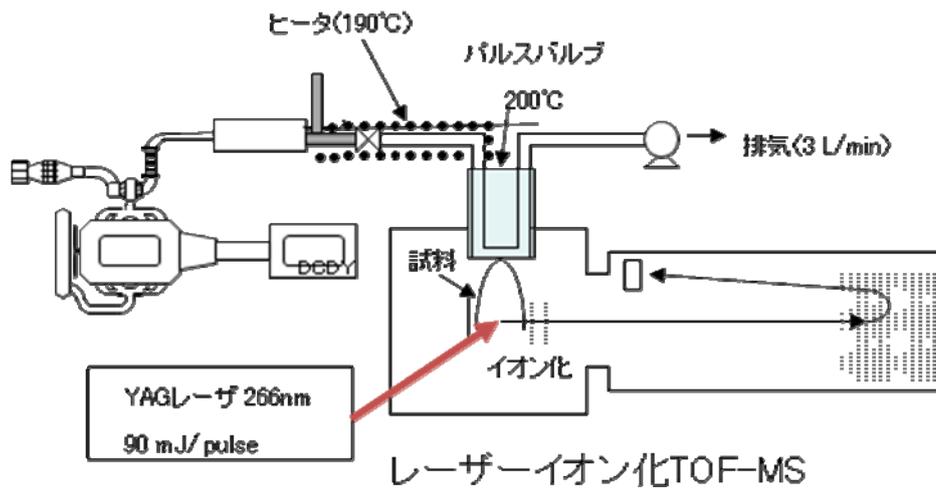
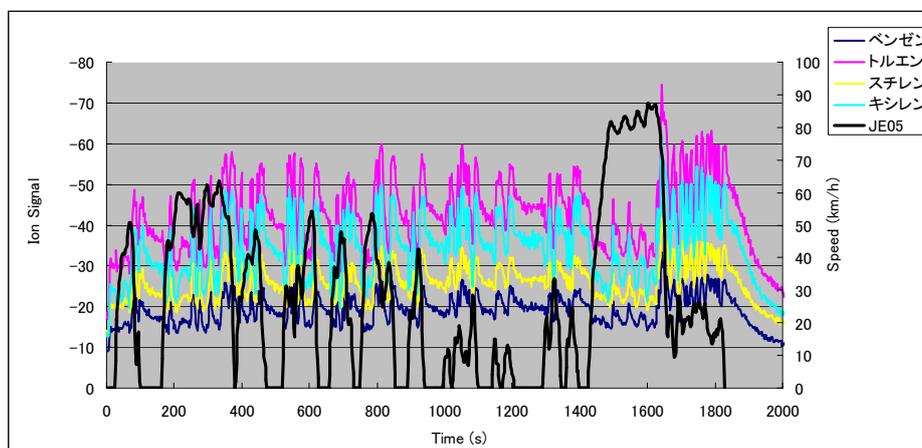
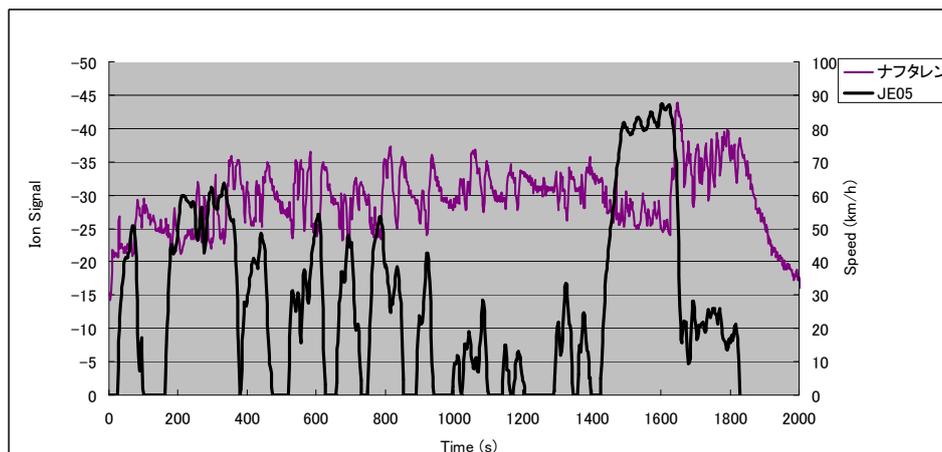


Fig. 4.1.3.1 実験装置図

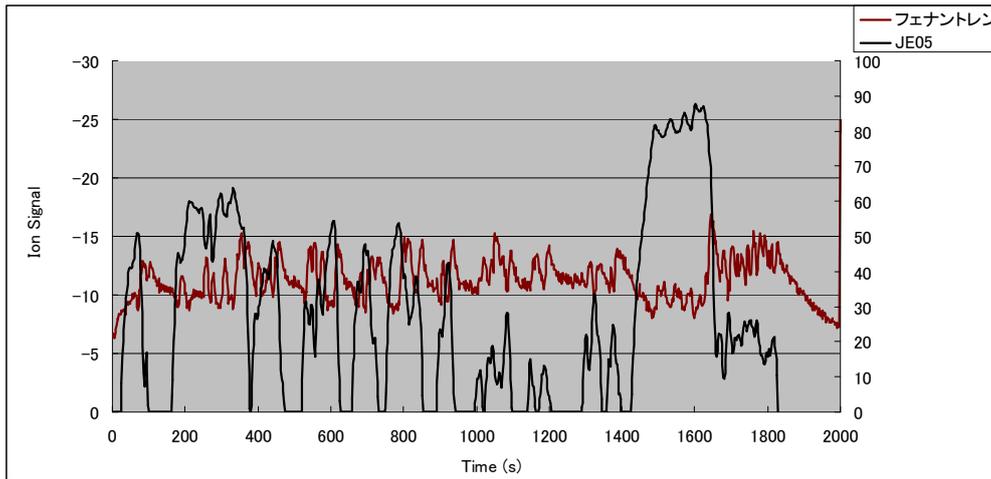


単環芳香族

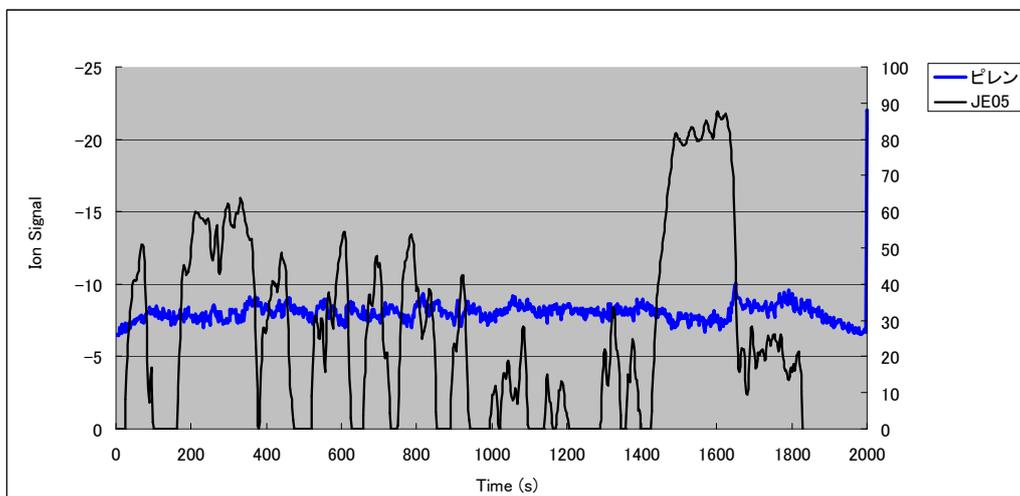


2環芳香族 (ナフタレン)

Fig. 4.1.3.2 対照エンジン (長期規制対応) から排出される芳香族成分の過渡排出特性 (JE05 モード)

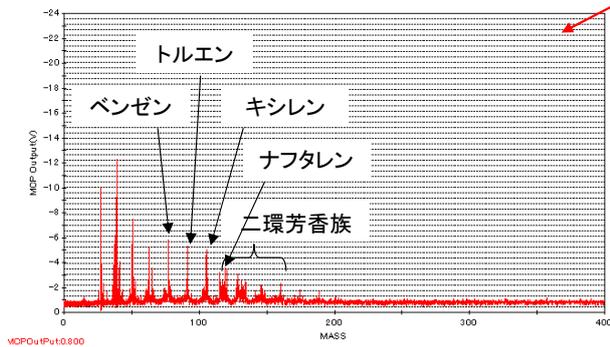
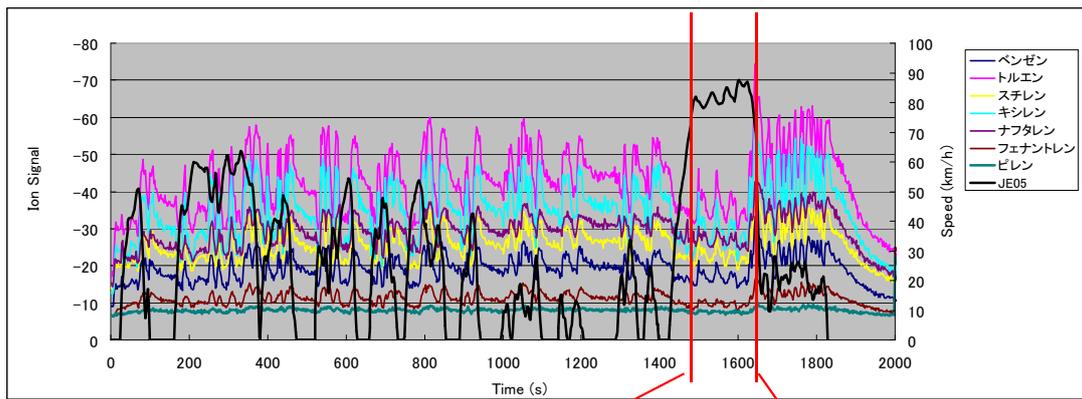


3 環芳香族 (フェナントレン)

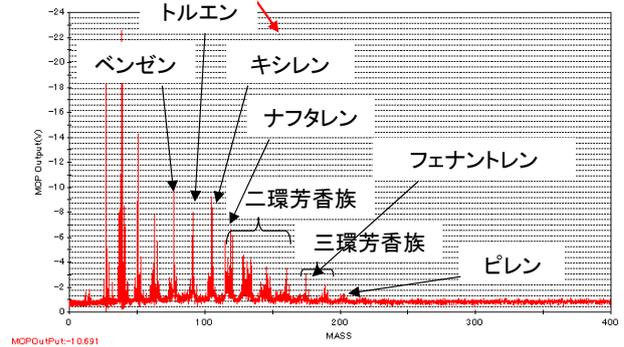


4 環芳香族 (ピレン)

Fig. 4.1.3.3 対照エンジン (長期規制対応) から排出される芳香族成分の過渡排出特性 (JE05 モード)



1485秒時の質量スペクトル



1647秒時の質量スペクトル

Fig. 4.1.3.4 対照エンジン（長期規制対応）直接排出ガスの質量スペクトル

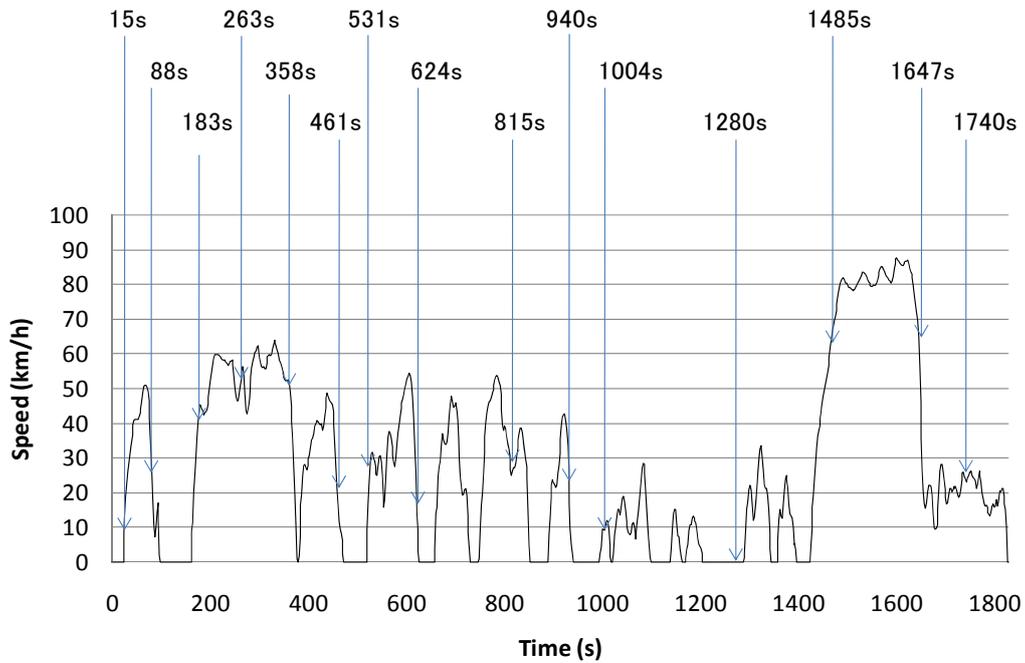


Fig. 4.1.3.5 JE05 モードでの質量スペクトルの測定ポイント

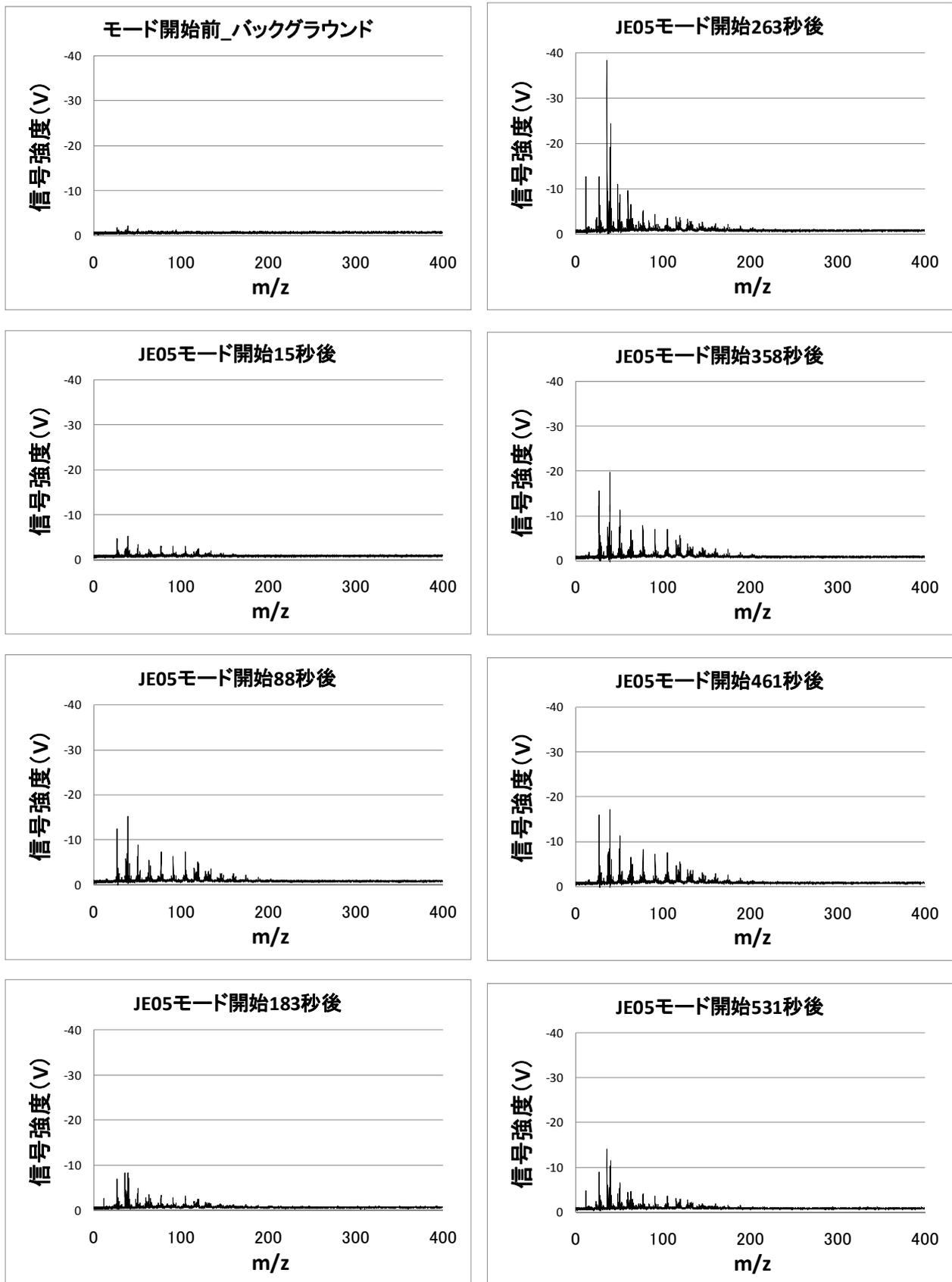


Fig. 4.1.3.6 対照エンジン（長期規制対応）の直接排出ガスの質量スペクトル

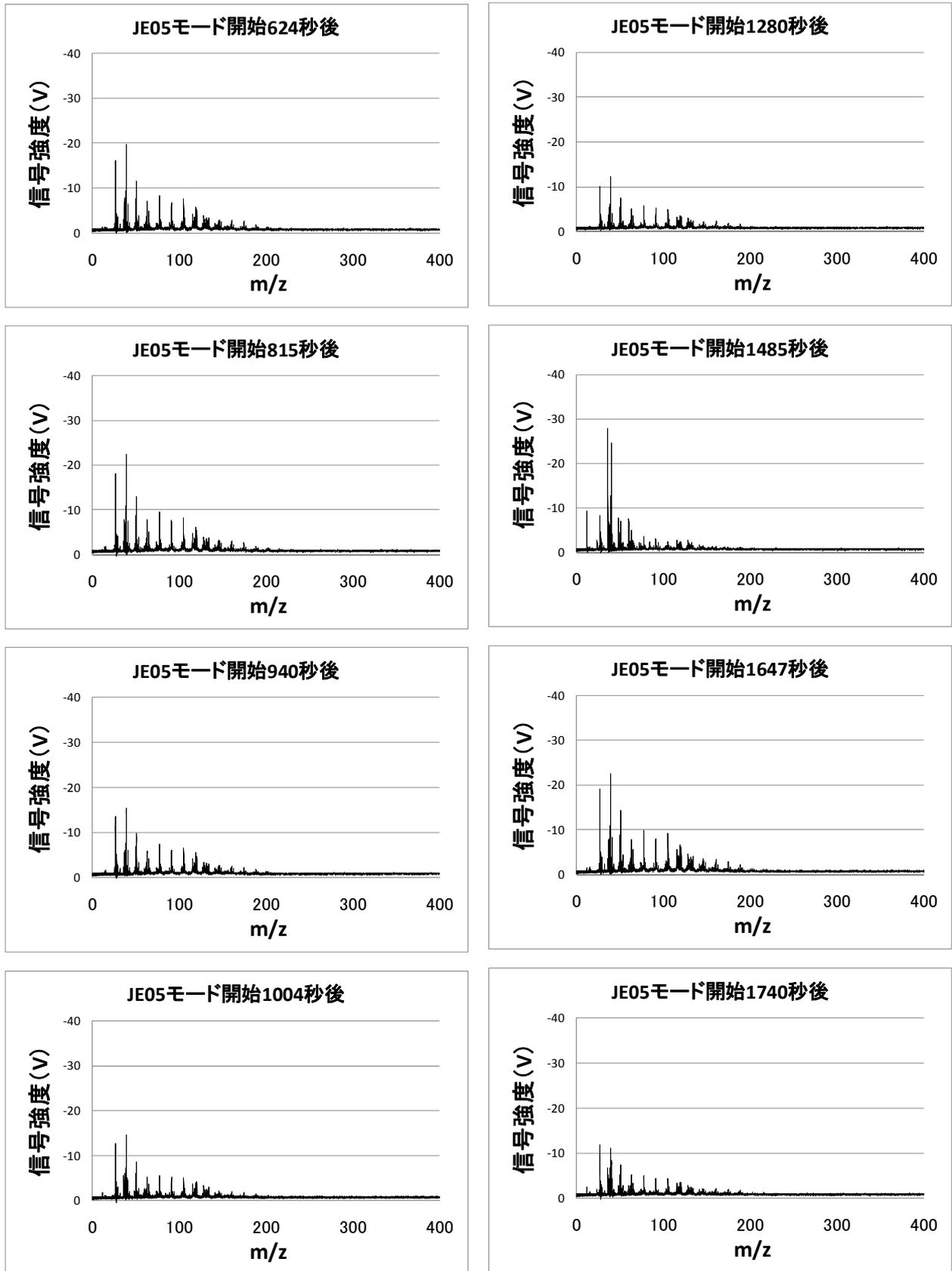


Fig. 4.1.3.7 対照エンジン（長期規制対応）の直接排出ガスの質量スペクトル

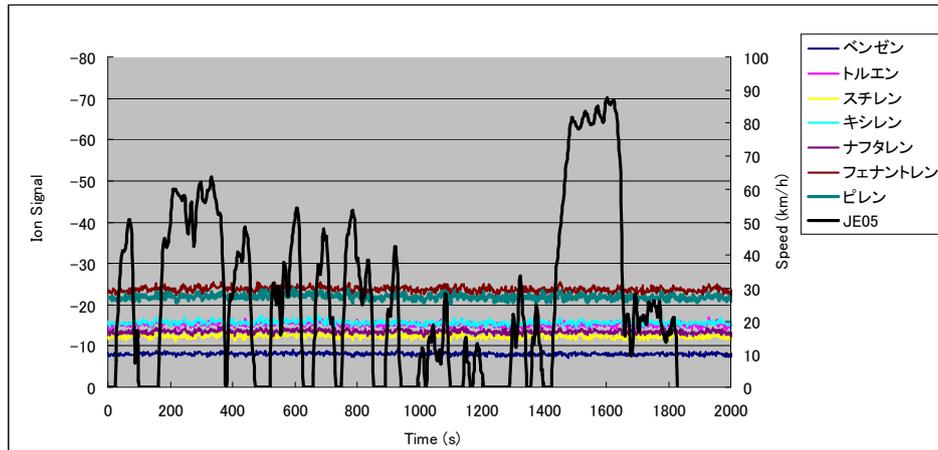


Fig. 4.1.3.8 対照エンジン（新長期規制対応）から排出される芳香族成分の過渡排出特性（JE05モード）

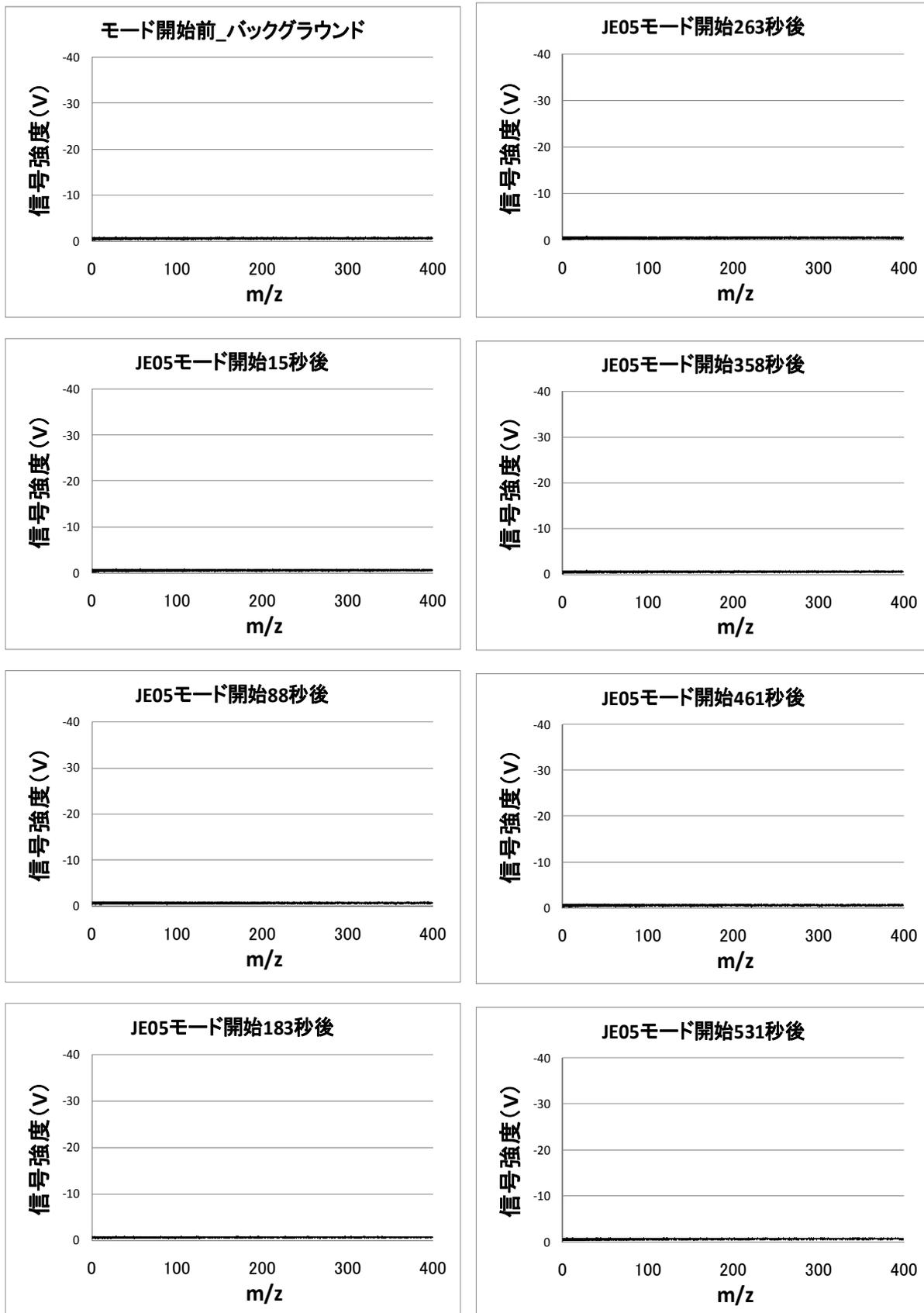


Fig. 4.1.3.9 対照エンジン（新長期規制対応）の直接排出ガスの質量スペクトル

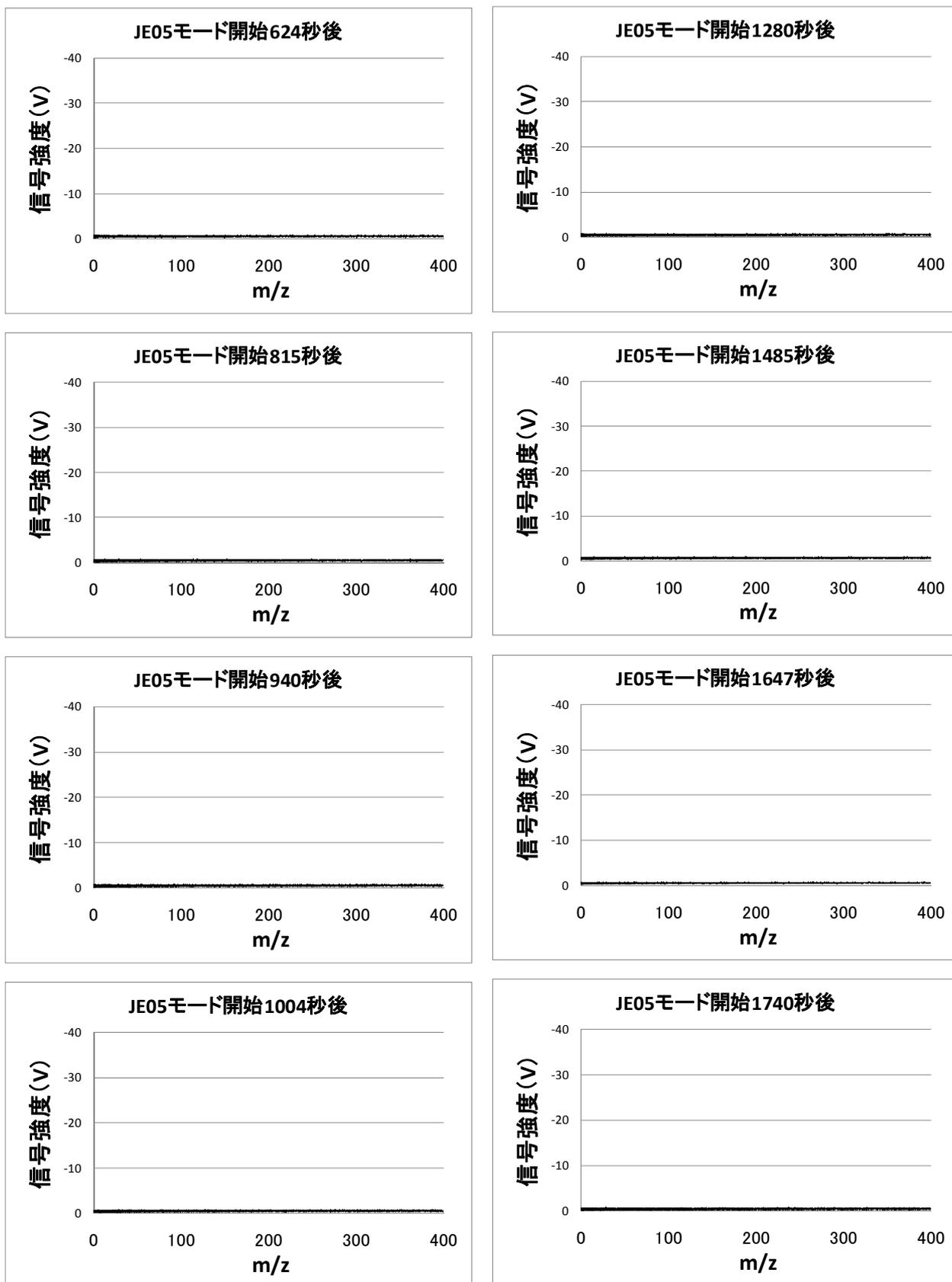


Fig. 4.1.3.10 対照エンジン（新長期規制対応）の直接排出ガスの質量スペクトル

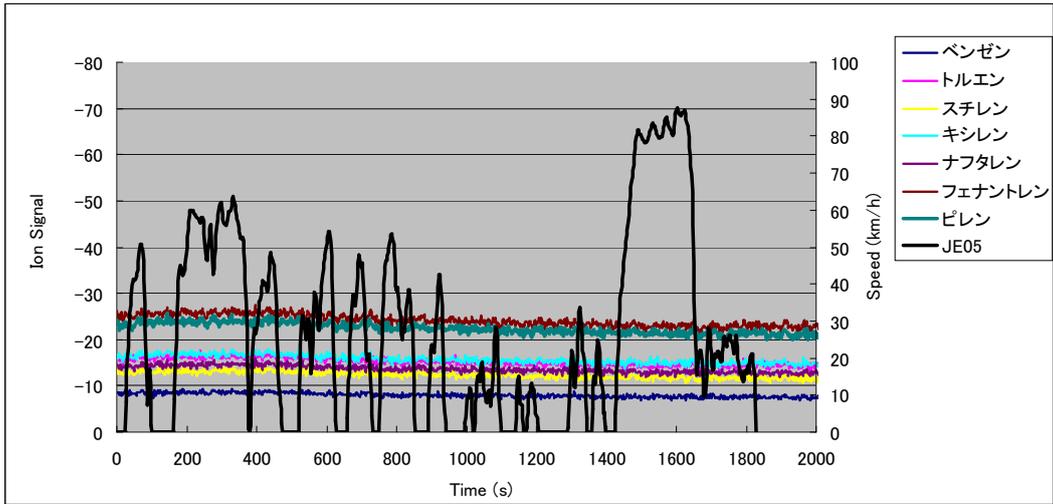


Fig. 4.1.3.11 NEDO 開発エンジンから排出される芳香族成分の過渡排出特性 (JE05 モード)

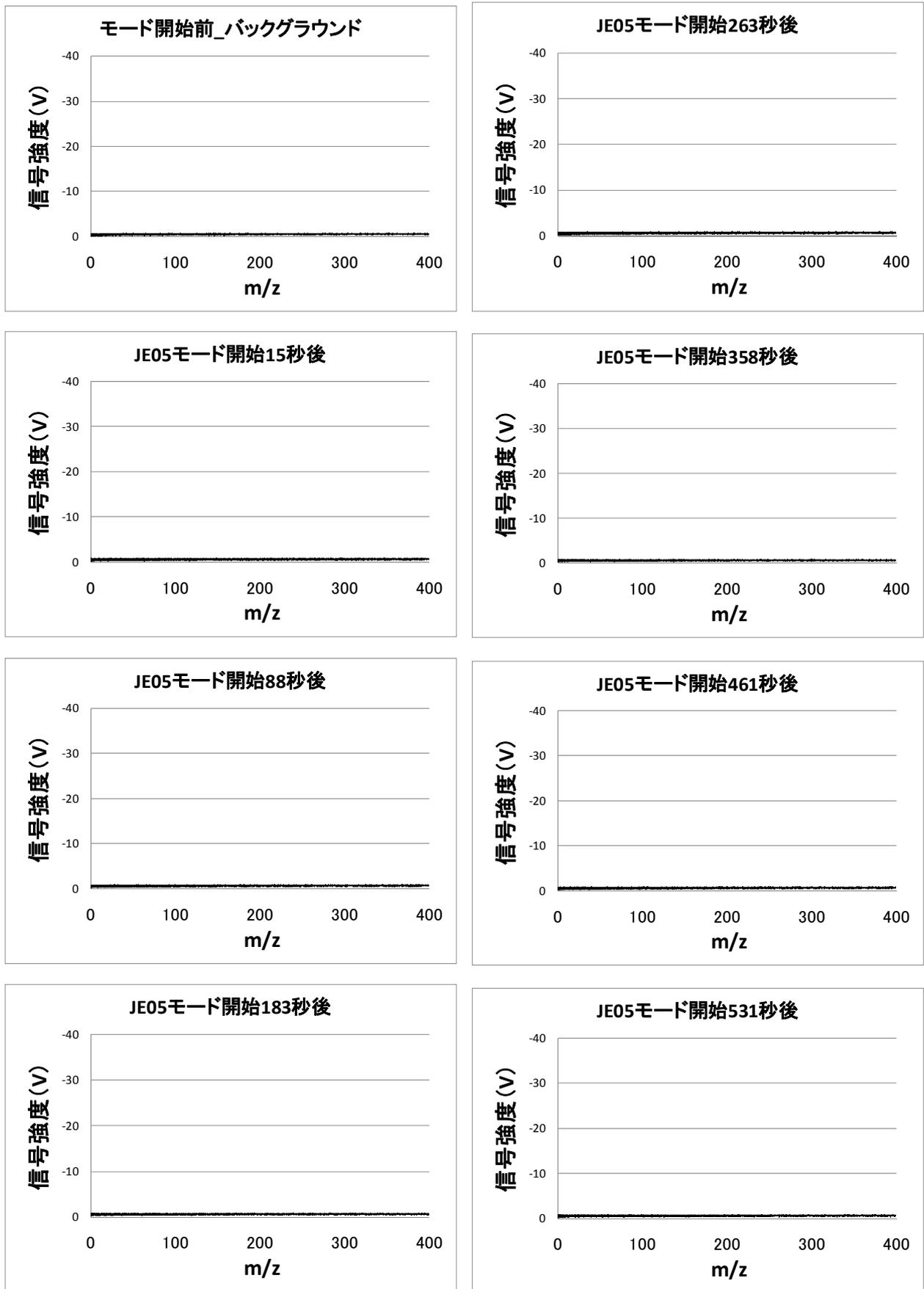


Fig. 4.1.3.12 NEDO 開発エンジンの直接排出ガスの質量スペクトル

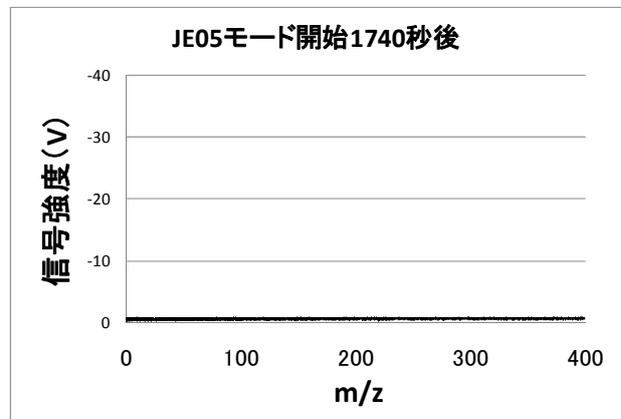
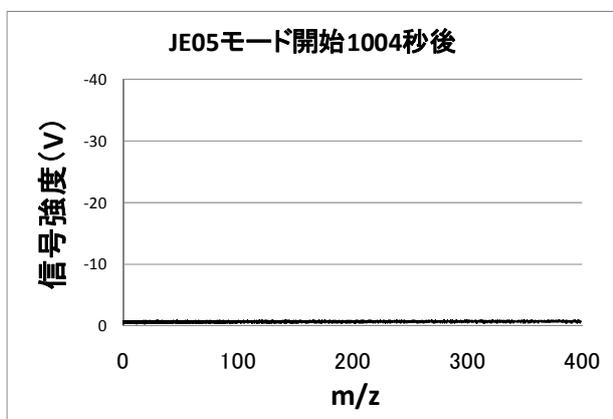
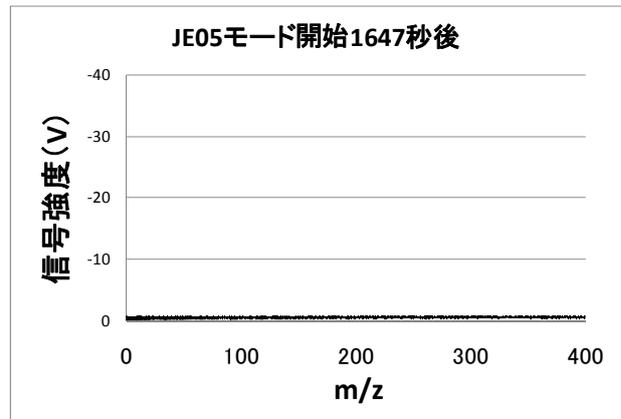
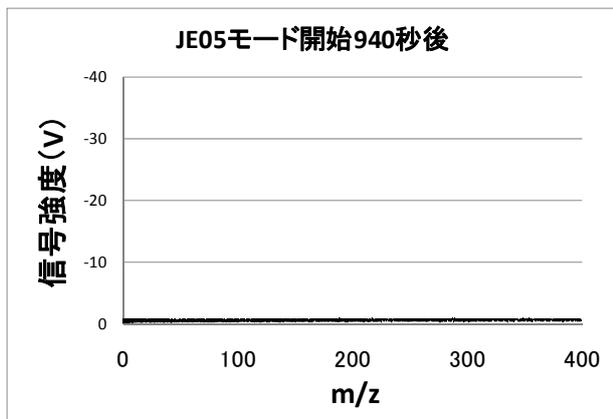
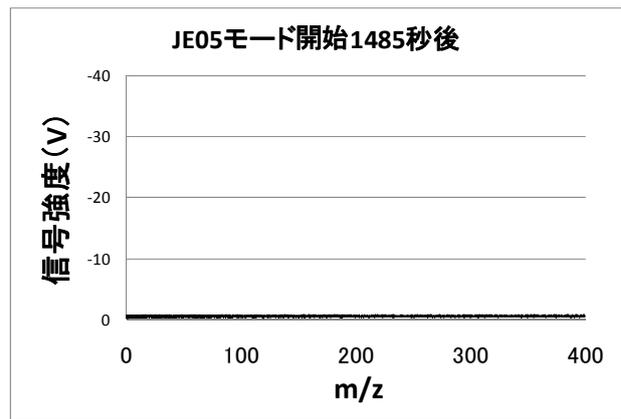
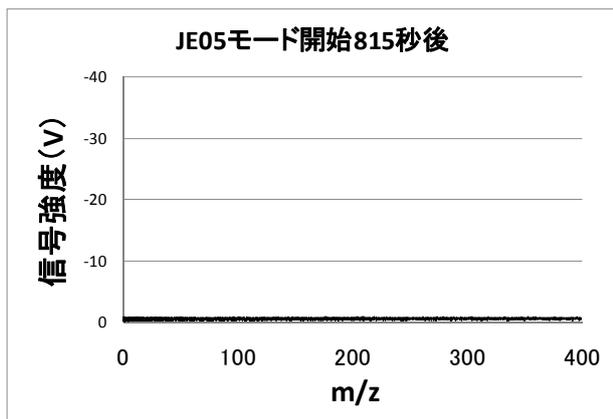
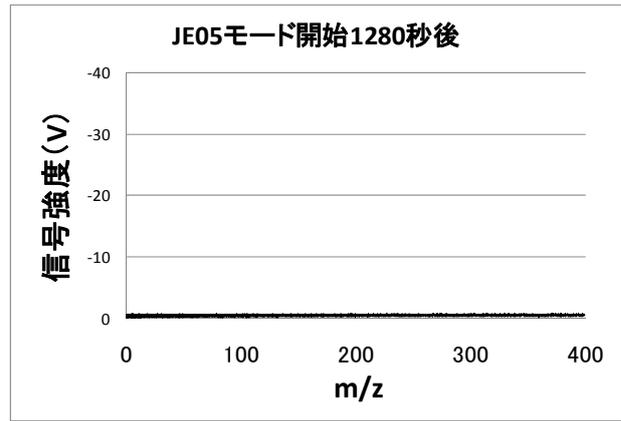
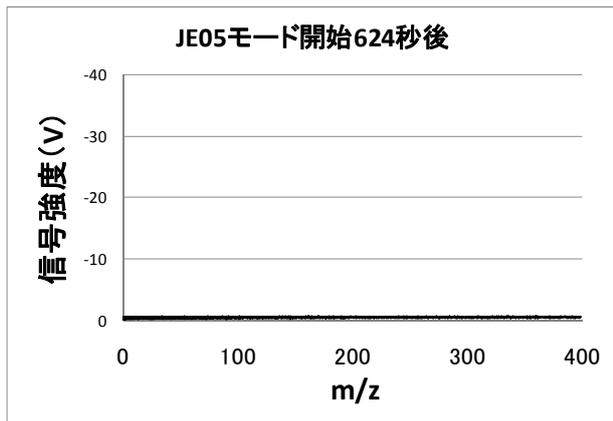


Fig. 4.1.3.13 NEDO 開発エンジンの直接排出ガスの質量スペクトル