

## 電気ハイブリッドバスの汚染物質排出実態

横田 久司 福岡 三郎 竹永 裕二  
梅原 秀夫 清宮 隆治  
(現環境管理部)

### 要 旨

東京都環境科学研究所では、大気汚染を改善するため各種の低公害車に関する調査研究を実施してきた。今回、その一環として、電気ハイブリッドバス（減速時のエネルギーを電力としてバッテリーに回生し、これを発進、加速時にエンジン動力の補助に用いるディーゼル・電気ハイブリッドシステムのバス）について、低公害性を確認するための調査を行った。

その結果、電気ハイブリッドバスは、同型のディーゼルバスに比較して、粒子状物質は50%以上、黒煙は80%以上と大幅に低減すること、NO<sub>x</sub>は、渋滞時の東京都実走行パターンでは18%の低減効果があること等が確認された。

### 1 はじめに

ディーゼルエンジンの排出規制については、平成元年中央公害対策審議会により、大型車を中心とした厳しい目標値が答申<sup>1)</sup>され、高圧噴射等の燃焼改善、EGRのトラック、バスへの適用、ディーゼルパーティキュレートフィルター等の後処理装置の装着等を中心に、排出ガス対策についての研究開発が進められている。

その一方で、渋滞の多い大都市のような限定された地域や近距離走行用等の限定された用途を対象とした、いわゆる低公害車（例えば、メタノール車、天然ガス車、電気自動車等）の開発が行われており、東京都環境科学研究所においても、一部の低公害車については、排出ガス性状に関する調査研究を行ってきた<sup>2)</sup>。

低公害車の一つに、制動時に従来はブレーキの摩擦熱として捨てられていたエネルギーを回収し、発進、加速時にエンジン動力の補助エネルギーとして再利用する制動エネルギー回生型ハイブリッド車がある。このハイブリッド車には、エネルギーの変換・蓄積方法により電気式、蓄圧式等があり、いずれの方式も、他の低公害車と異なり、燃料供給設備等の新たなインフラの整備の必要がなく、比較的実用化に近いレベルに到達していることから、近年注目を浴びている。

今回、ハイブリッド車の中から、東京都交通局が平成3年度から試験導入を開始したディーゼル電気ハイブリッド方式の路線バス（以下、「電気ハイブリッドバス」

と記す。）について、PM、NO<sub>x</sub>等の排出ガス性状把握のための調査を行った。なお、電気ハイブリッドバスの概要を参考に示した。

電気ハイブリッドバスについては、シャシーダイナモメータ（以下、「C/D」と記す。）における排出ガス測定は、今回の調査が我が国で最初であり、そのため、平成4年2月に交通局及び当該自動車メーカー等が参加した検討会（注参照）を設置し、調査の円滑な実施を図るとともに、測定手法、調査結果等の検討を行ってきた。

その結果、電気ハイブリッドシステムは、停留所での発進、停止のある路線バスの走行や、渋滞の多い都市における走行に適した機能を有すること、また、排出ガス排出特性として、PM、黒煙等は大幅に低減すること、渋滞時にはNO<sub>x</sub>の低減効果が高くなること等を確認することができた。

また、本調査の結果から、電気ハイブリッドバスが路線バスとして使用される上で更に低公害性を高めるための具体的な提案も行っている。

注) HIMR路線バス排出ガス性状調査等実施検討会（平成4年2月設置）

### 2 調 査

東京都環境科学研究所大型自動車排出ガス測定システム<sup>3)</sup>により、大型シャシーダイナモメータ上で、車両を法定の測定モード及び東京都実走行パターン等に従い運

転し、PM、NO<sub>x</sub>等を測定した。

(1) 対象車両

ア 電気ハイブリッドバス

都交通局の路線バスとして、平成3年度導入の1台(以下、「A車」と記す。)、平成4年度導入の11台のうち1台(以下、「B車」と記す。))の計2台の電気ハイブリッドバスを調査対象とした。

主要諸元を表1に示した。これらは、同型式の平成元年規制適合の総排気量9,880ccの直接噴射式ディーゼルエンジンを搭載している。B車は、試験走行の結果から改良が加えられた車両である。A車との主な変更点は回生時のバッテリー電圧の増加、終減速比、変速比の変更等である。

イ 比較対照ディーゼルバス

比較対照として元年規制適合の同エンジン型式のディーゼルバス1台について調査した(以下、「C車」と記す。))。表1に主要諸元を示した。

表1 電気ハイブリッドバスと対照ディーゼルバス諸元

車名	A車	B車	C車
用途	乗合	←	←
バス仕様	一般1)	都市2)	一般1)
型式	U-HT2MLA改	U-HU2MLA改	U-HT2MLAA改
エンジン型式	M10U	←	←
燃焼室形式	直接噴射式	←	←
最高出力	235PS/2,500rpm	←	230PS/2,500rpm
最大トルク	73kgm/1,500rpm	←	70kgm/1,500rpm
車両重量	10,470kg	10,750kg	9,370kg
車両総重量	14,485kg	15,545kg	13,440kg
総排気量	9,800cc	9,880cc	9,880cc
走行距離	7,038km	2,839km	30,665km
燃料	軽油・電気	←	←
規制年次	元 年	←	←
初度登録	3年12月	5年2月	3年10月

注1)一般乗合仕様の路線バス  
2)都市新バス仕様の路線バス

(2) 調査内容

ア 測定モード等

測定は、以下の測定モード等について行った。

- ① デイゼル6モード  
(以下、「D-6」と記す。)
- ② デイゼル13モード  
(以下、「D-13」と記す。)
- ③ M-15モード
- ④ 東京都実走行パターン (No.2、5、8、10)
- ⑤ 排気煙濃度試験法(黒煙)

⑥ 無負荷急加速試験(黒煙)

イ バッテリー充電条件(東京都実走行パターン)

A車については、次の二つの充電条件で測定を行った。

- (ア) バッテリーに充電を十分にした状態(以下、「満充電」と記す。)

アイドリング時の開放電圧330Vを目安とした。

(B車については、満充電で測定を行った。)

(イ) 放電状態

一般道路を走行する場合において発生し得る最大の放電状態として、同開放電圧300Vを放電状態として設定した。

ウ 積載条件(東京都実走行パターン)

B車については、次の二つの積載条件で測定を行った。

(A車については、1/2積載で測定を行った。)

- (ア) 1/2積載

- (イ) 定積載

エ 測定項目

- (ア) 排出ガス等

NO<sub>x</sub>、CO、THC、PM、CO<sub>2</sub>、黒煙

- (イ) 燃費

- (ウ) システム制御系データ

バッテリー電圧、バッテリー電流

アクセル開度、抵抗器電流

3 結果及び考察

(1) 電気ハイブリッドシステムの基本機能

ア システムの作動状況

各エンジン回転数における最大駆動力を測定し、そのときのバッテリー電流、電圧から求めたバッテリーによるエンジン動力の補助分(以下、「アシスト」と記す。))の駆動力を図1に斜線で示した。車両の必要動力のうち、アシスト比率は、1,000rpm付近の低回転領域で最大となり、1,000rpm付近では60%を超えている。そのため、特に発進、加速時の排出ガス、黒煙の低減が効果的である。

走行時のシステムの作動状況の例として、M-15モードの場合を図2に示した。図に示すように、発進、加速時にアクセル開度が一定値を超えるとアシストが行われる。減速時には、従来はブレーキの摩擦熱として捨てられていたエネルギーの一部を回収し、電力としてバッテリーに回生する。また、現在のシステムでは、減速時だ

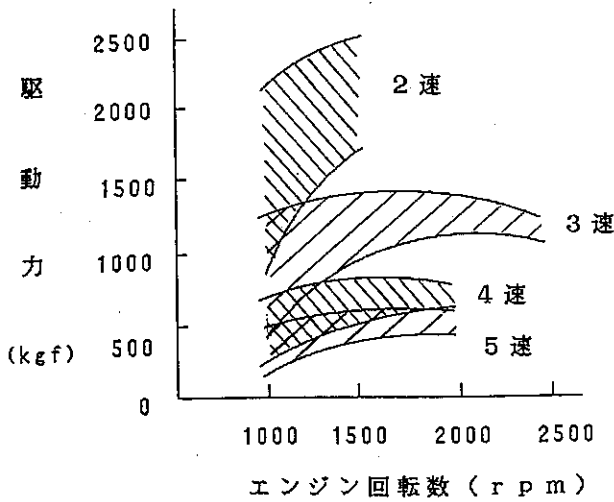


図1 エンジン動力とアシスト動力

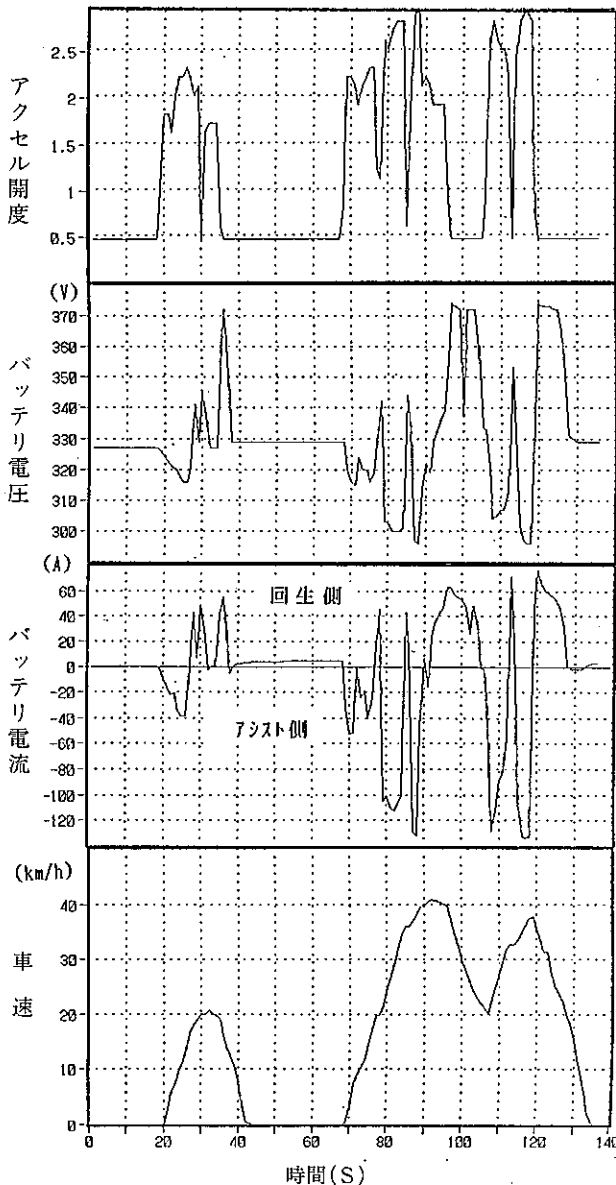


図2 電気ハイブリッドシステムの作動状況

けでなく、定速走行時にも発電しバッテリーに充電している。

イ 走行前後のバッテリー充放電状況

東京都実走行パターン走行時のアシスト及び発電・回生エネルギー量を次式により計算し、表2に示した。

$$Q_a = -0.85 \cdot \sum_i (V_i \cdot E_i) / (3.6 \cdot 10^6) \dots\dots ①$$

$$Q_b = 0.85 \cdot \sum_i (V_i \cdot E_i) / (3.6 \cdot 10^6) \dots\dots ②$$

ただし、0.85は変換効率であり、記号は以下のとおりである。また、①式は、図2の例において電流値が負側の場合のみの積算を示し、②式はその逆である。

Q<sub>a</sub>: アシストエネルギーの1走行当りの合計  
(単位: kWh)

Q<sub>b</sub>: 発電・回生エネルギーの1走行当りの合計  
(単位: kWh)

V<sub>i</sub>: 1秒毎のバッテリー電圧 (単位: V)

E<sub>i</sub>: 1秒毎のバッテリー電流 (単位: A)

Q<sub>b</sub>/Q<sub>a</sub>を充放電比とした。充放電バランスの目標を1.05としている例<sup>5)</sup>があり、A、B車ともに実走行パターンでは、若干放電側にあるといえる。また、A車の60%充電状態には充放電比が1.16~1.35と大きく、走行エネルギーを充電していることがわかる。一方、B車の2/2積載の場合には、その比は0.80~0.90と小さく車両の駆動力の不足分をバッテリーがアシストしている。

(2) 排出ガス性状

表3~4に電気ハイブリッドバス及び比較対照ディーゼルバスのPM、NO<sub>x</sub>等の測定結果を示した。ただし、電気ハイブリッドバスについては2台の測定値の平均を示した。

ア 排出ガス規制値ならびに目標値との比較

法定の測定モード (PM、NO<sub>x</sub>: ディーゼル13モード、黒煙: 排気煙濃度試験法) による電気ハイブリッドバスの測定結果をみると、それぞれ、PMは0.48g/kWh、黒煙は6%、NO<sub>x</sub>は6.2g/kWhであった。

これらの結果を規制値等と比較すると、平成6年規制 (短期目標値) については、PM (許容限度値: 0.96g/kWh、平均値: 0.70g/kWh)、黒煙 (許容限度値: 40%) 及びNO<sub>x</sub> (許容限度値: 7.8g/kWh) ともに達成している。一方、長期目標値については、黒煙 (平均値: 25%) はそのレベルに到達しているが、PM (平均値: 0.25g/kWh) 及びNO<sub>x</sub> (平均値: 4.5g/kWh) は到達していない。

表2 バッテリ充放電比較

(1) A車(満充電状態)

走行モード	7.5ストイック	発電・回生エネルギー	充放電比
	(A)	(B)	(B/A)
	kWh	kWh	
NO.2	0.71	0.75	1.06
NO.5	1.52	1.40	0.92
NO.8	2.07	1.75	0.85
平均	1.43	1.30	0.94

(2) A車(放電状態)

走行モード	7.5ストイック	発電・回生エネルギー	充放電比
	(A)	(B)	(B/A)
	kWh	kWh	
NO.2	0.65	0.88	1.35
NO.5	1.34	1.60	1.19
NO.8	1.74	2.01	1.16
平均	1.24	1.50	1.23

(3) B車(1/2積載)

走行モード	7.5ストイック	発電・回生エネルギー	充放電比
	(A)	(B)	(B/A)
	kWh	kWh	
NO.2	0.66	0.59	0.90
NO.5	1.29	1.53	1.18
NO.8	2.11	1.99	0.94
NO.10	2.69	2.68	1.00
平均	1.69	1.70	1.01

(4) B車(2/2積載)

走行モード	7.5ストイック	発電・回生エネルギー	充放電比
	(A)	(B)	(B/A)
	kWh	kWh	
NO.2	0.71	0.57	0.80
NO.5	1.46	1.40	0.96
NO.8	2.30	1.84	0.80
NO.10	3.09	2.50	0.81
平均	1.89	1.58	0.84

表3 排出ガス等測定結果

試験条件	車両種類	項目										
		NO <sub>x</sub> (単位)		PM (単位)		CO (単位)		HC (単位)		燃費 (単位)		
法定モード	D-6	電気ハイブリッド	317	ppm	—	ppm	144	ppm	177		ppm	/
		ディーゼル	424	ppm	—	ppm	415	ppm	230	ppm		
		低減率(%)	25%		—		65%		23%			
	D-13	電気ハイブリッド	6.2	g/kwh	0.48	g/kwh	1.88	g/kwh	1.25	g/kwh		
		ディーゼル	7.9	g/kwh	0.69	g/kwh	2.06	g/kwh	0.99	g/kwh		
		低減率(%)	21%		30%		9%		-26%			
実走行パターン	NO. 2	電気ハイブリッド	9.1	g/km	0.52	g/km	3.53	g/km	1.64	g/km	2.25	km/ℓ
		ディーゼル	11.1	g/km	1.26	g/km	6.24	g/km	1.28	g/km	2.31	km/ℓ
		低減率(%)	18%		58%		44%		-28%		-3%	
	NO. 5	電気ハイブリッド	5.9	g/km	0.38	g/km	2.21	g/km	1.27	g/km	3.24	km/ℓ
		ディーゼル	6.6	g/km	0.76	g/km	2.98	g/km	0.74	g/km	3.57	km/ℓ
		低減率(%)	12%		50%		26%		-72%		-9%	
	NO. 8	電気ハイブリッド	5.3	g/km	0.32	g/km	1.68	g/km	0.91	g/km	3.75	km/ℓ
		ディーゼル	5.7	g/km	0.78	g/km	3.03	g/km	0.58	g/km	4.00	km/ℓ
		低減率(%)	7%		58%		45%		-57%		-6%	
	NO. 10	電気ハイブリッド	5.0	g/km	0.35	g/km	1.58	g/km	0.88	g/km	3.89	km/ℓ
		ディーゼル	5.2	g/km	0.83	g/km	3.51	g/km	0.44	g/km	4.14	km/ℓ
		低減率(%)	3%		58%		55%		-100%		-6%	

表4 黒煙濃度測定結果

試験条件	車両種類	黒煙濃度 (%)	
		1000rpm	0%
排気煙濃度試験法	電気ハイブリッド	1500rpm	1%
		2500rpm	17%
		平均	6%
		1000rpm	33%
	ディーゼル	1500rpm	42%
		2500rpm	55%
		平均	43%
平均低減率		86%	
無負荷急加速試験法	電気ハイブリッド	7%	
	ディーゼル	40%	
	低減率 (%)		83%

イ 対照ディーゼルバスとの比較 (1/2積載)

(ア) 実走行パターンでの比較では、PMは車速依存性はなく、平均的に50%以上、黒煙は同じく80%以上低減している。

(イ) NO<sub>x</sub>は、実走行パターンの平均車速が低くなるほど低減率が増加し、渋滞時の実走行パターン (No.2) では18%低減している。

(ウ) CO

PMと同様に、平均的に約40%前後低減している。

(エ) HC

低い排出レベルであるが、平均車速の増加と共に、20~100%増加している。燃料噴射時期遅延の影響と考えられる。

(オ) 燃費率

平均的には、燃費には大幅な変化はみられていない。今後、メーカー側では、ブレーキ時の回生電力の増加や新型バッテリーの開発により燃費の改善を図りたい<sup>6)</sup>としている。

ウ 充電状態による排出ガスの変化 (A車)

実走行パターン (No.2、5、8) のNO<sub>x</sub>の平均排出量をみると、満充電に対し、放電状態の場合は2.8%増加している。前述したようにバッテリーの充放電比が大きくなっていることが影響していると考えられる。実際には、運行における充電状態を調べて評価する必要がある。

エ 積載条件による排出ガスの変化 (B車)

実走行パターン (No.2、5、8、10) の平均排出量でみると、NO<sub>x</sub>は4.6%、COは3.8%増加し、燃費は4.0%悪化しているが、逆に、PMは4.5%低減している。

別報<sup>7)</sup>で報告している積載量の増加と排出量等の変化

の比率より、電気ハイブリッドの場合は変化幅が小さくなっている。これは、アシストの効果と考えられる。

4 まとめ

(1) 低公害性

電気ハイブリッドバスは、同型のディーゼルバスに比較して、粒子状物質は50%以上、黒煙は80%以上と大幅に低減すること、NO<sub>x</sub>は、渋滞時の東京都実走行パターンでは18%の低減効果があること等が確認された。電気ハイブリッドバスは、普及に当たって新たなインフラ整備の必要はなく、現段階では最も実用レベルに近い低公害車の一つと評価できる。

なお、長期目標を達成するなど更に低公害性を高めるためには、

ア 回生電力の一層の向上

イ エンジン自動発進停止制御装置の導入

ウ 帰庫後充電を行うシステムの導入

エ ギヤ比の最適化

オ 最適運転方法

カ 新型バッテリーの開発

キ エンジンの改良

等について改良、研究を進めることが必要である。

特に、アイドリング時の排出寄与率が高いこと、路線バスや都市渋滞時の走行では低速での走行が多いことから、イ、エ、オが早急に解決すべき課題であると考えられる。

(2) バス以外の車種への適用

本システムは、発進、停止の多い走行の場合ほど、システムとして効率的であり、排出ガスの低減効果が高いことから、都市内の中型集配トラックやごみ収集車への適用が有効と考えられる。

今回の研究は日野自動車工業株式会社及び東京都交通局の協力を得て行われた。ここに、感謝の意を表すものである。

また、本研究の結果の一部については、平成5年8月3日プレス発表<sup>8)</sup>を行っている。

参 考

電気ハイブリッドバスの概要

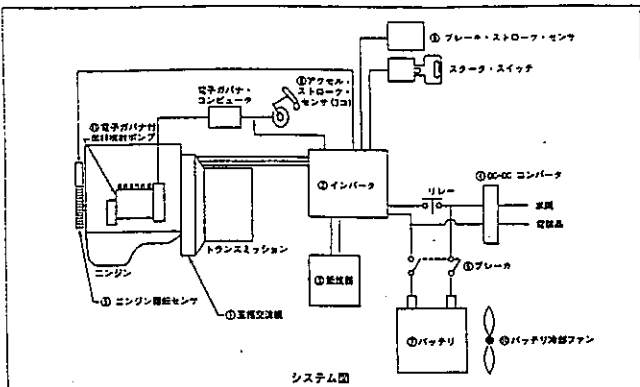
1 基本構成

電気ハイブリッドシステムの基本構成を参考図に示した。電気ハイブリッドバスは、ディーゼルエンジンに発電兼用モータを組み込み、鉛バッテリーを25個搭載している。本システム搭載によって、車両重量は同型ディーゼル車に比べて約760kg(約7%)増加している。

このシステムでは、バッテリーによってディーゼルエンジンの出力を補助し、減速時には、従来はブレーキの摩擦熱として捨てられていたエネルギーの一部を回収し、電力としてバッテリーに充電する。したがって、発進停止の頻度が高いほどシステムとして効率的であるといえる。

なお、現在のシステムでは充放電バランスを維持するため、減速時以外の走行エネルギーの一部も充電(以下、発電と記す。)に回している。

参考図 システムの構成



主要構成部品

- ①三相交流機
- ②インバータ
- ③抵抗器
- ④DC-DCコンバータ
- ⑤エンジン回転センサ
- ⑥ブレーカ
- ⑦バッテリー
- ⑧アクセル・ストローク・センサ(電子ガバナ用2コ、インバータ用1コ)
- ⑨ブレーキ・ストローク・センサ
- ⑩バッテリー冷却ファン
- ⑪電子ガバナ付燃料噴射ポンプ

2 車両性能

- (1) 東京都交通局の調査では、メンテナンス性は従来車と同等で、故障頻度の増加はない。
- (2) 電気ハイブリッドシステムは黒煙の発生が少ないた

め、エンジンオイルの劣化、燃料噴射ノズルのすすの付着が少なくなる等のメリットが得られる。

(3) バッテリーの寿命は、現在評価中である。また、廃棄後の処理については、ハイブリッドシステムに限りバッテリーメーカーが引き取るが、リサイクルシステムについては検討中である。

3 普及状況等

電気ハイブリッドバスのフリーテストは、全国の公営及び民間路線バスによって行われており、平成4年度までに合計38台が稼働している。

参考文献

- 1) 中央公害対策審議会大気部会自動車排出ガス専門委員会：今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について(報告)(1989)
- 2) 東京都環境保全局：メタノール自動車(ガソリン車対応)排出ガス特性等の調査報告書、昭和61年7月(1986)。
- 3) 東京都環境保全局：メタノール自動車(ディーゼル車対応)排出ガス特性等の調査報告書、昭和62年9月(1987)。
- 4) 横田久司ら：大型自動車排出ガス実験システムについて、東京都環境科学研究所年報1991-2(1991)。
- 5) (財)日本輸送技術協会：ごみ収集車の低公害化の促進に関する調査報告書、1992。
- 6) 鈴木孝幸ら：HIMR採用ディーゼル-電気ハイブリッドエンジン搭載の大型路線バスについて、自動車技術、44、8(1990)。
- 7) 横田久司ら：大型ディーゼル車汚染物質排出実態について(1)排出ガス、東京都環境科学研究所年報1993(1993)。
- 8) 環境保全局：電気ハイブリッドバスの排出ガスの低公害性の調査結果について、平成5年8月3日。

Emission characteristics of diesel electric hybridsystem bus

APPLIED RESEARCH DIVISION

Hisashi Yokota, Saburo Fukuoka, Yuji Takenaga

Hideo Umehara, Takaharu Kiyomaya

In this paper ,we describe the emission characteristics of diesel electric hybrid system bus.

This system is able to convert braking energy to electric energy which is charged in a battery and add the torque to the diesel engine .Therefore the exhaust smoke and NOx produced in start-up and acceleration of this vehicle must be improved in comparison with the conventional diesel engine.

The test was conducted on 2 hybrid buses and a diesel bus.

As a result of exhaust gas measurement, it was found that following, in comparison with the conventional diesel bus,

- ① PM emissions were reduced by 50%
- ② Smoke concentration were reduced by 80%
- ③ In the case of NOx ,when those bus ran by Tokyo test pattern No.2 which is road traffic congestion condition and is at an average speed of 8.1 km/hr ,NOx emissions were reduced by 18%.