

特集 クリーン自動車をめざして

ガソリン車のエミッション低減技術の現状と将来

Current and Future Emission Control Technology for the Gasoline Engine

小西正己*

Masami Konishi

表1 最近の規制の特徴

車両全体からの排出規制	排気エミッション エバポエミッション 給油エミッション (ORVR)
実使用状態での排出抑制	排気評価モードの改訂 冷間時のCO規制 車検制度 (IM) 故障診断 (OBD) 長期間保証 (10万マイル)
燃料性状規制	クリーン燃料規制

1. はじめに

近年、環境への関心が高まり、その改善活動が世界中で展開されている。環境問題は、温暖化・オゾン層破壊等の地球規模の問題、酸性雨等の広域の問題、大気汚染・騒音等の大都市環境問題に概ね分類される。

大気汚染に関しては、1960年代からの自動車の急激な増加に起因する大都市の自動車公害問題が発生して以来、日米で非常に厳しい排出ガス規制が実施されてきた。しかし、米国カリフォルニア州ではオゾン汚染問題がまだ十分には解決されず、自動車排気ガス中のHCを現規制の約1/6 (未規制時の約1/150) まで低減する法律が決定されている。東京に代表される日本の大都市では、NOxが環境基準を未達であり、一因であるディーゼル車のNOx規制強化が決定されている。またヨーロッパでも2000年にかけて段階的に規制強化が予定されている。このように自動車は今また世界的な規模で一層のクリーン化を求められている。

ここでは一段と厳しい、米国カリフォルニア州の排気規制を中心に、規制の概要とエミッション低減技術について解説すると共に、将来のガソリン車のクリーンレベルの見通しについて述べる。

2. 排出ガス規制の動向

最近の規制の特徴は、表1に示すように、従来の走行モード主体の排気エミッション規制に加えて (1)車両全体からの排出規制 (2)実使用状態での排出抑制 (3)燃料性状規制と言うように対象範囲が広がり、総合的な規制になりつつある。これらの中で特に重要と考えられる項目についてその概要を述べる。

2.1 LEV規制

カリフォルニア州では、オゾンによる光化学スモッグが深刻な問題であり、現在でも世界で最も厳しい排気ガス規制が実施されているが、さらに図-1に示すような強化が決定されている。この規制はLEV (Low Emission Vehicle, Ultra-Low Emission Vehicle, Zero Emission Vehicle) 規制と呼ばれ、オゾン生成の原因であるHCを段階的に低減し、NOx, COも半減することを要求している。さらに、最終的には電気自動車 (ZEV) の導入まで義務づけている。

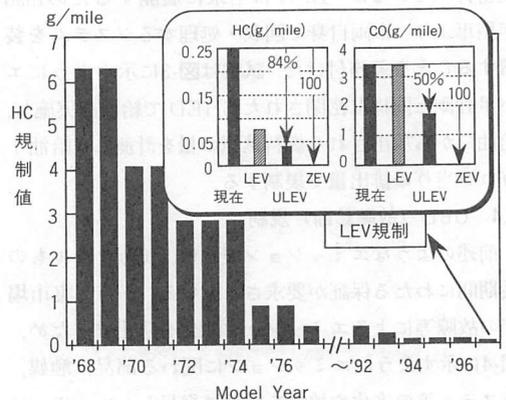


図-1 カリフォルニア州エミッション規制の推移

*トヨタ自動車㈱第4開発センター取締役
〒471 豊田市トヨタ町1

2.2 エバポエミッション（蒸発燃料）規制

長時間の駐車中や走行中に燃料タンクの温度が上昇し、その結果蒸発した燃料が大气中に放出されるのを防止する規制である。1978年に定められた従来の規制が1995年型車から大幅に強化された。従来の常温、1日を想定した標準的テスト条件は、図-2に示すような市場での最悪条件（夏の炎天下に3日間連続駐車）を模擬したテスト方法に変更された。このため従来問題にならなかったゴム配管や樹脂タンクからのガソリンの透過も無視できなくなり、システムの大きな変更や総合的な対応が必要になってきた。試験は図-2に示すような密閉されたSHED（Sealed Housing for Evaporative Determination）で実施される。

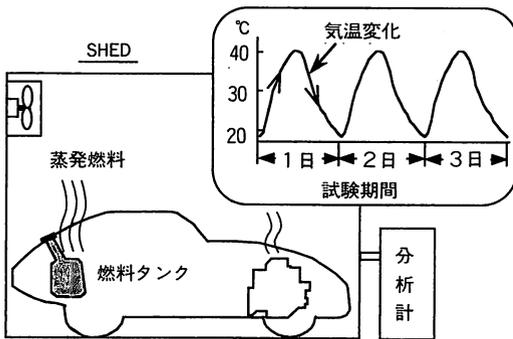


図-2 エバポエミッション規制

2.3 ORVR（給油燃料蒸気）規制

この規制はORVR(Onboard Refueling Vapor Recovery) 規制とよばれ、給油時に燃料タンクの給油口から大气中に放出される燃料蒸気の量を規制するものである。カリフォルニア州を始めとする一部の州では、すでにガソリンスタンド側に回収装置の設置を義務付けているが、EPAは全米に展開するため1998年型車より、車両自身で回収・処理するシステムを装着することを義務付けた。試験は図-3に示すようにエバポ計測と同様な密閉されたSHEDで給油を実施し、給油口から放出される燃料蒸気の量を計測し、給油1ガロン当りの排出量で規制する。

2.4 OBD（故障診断）規制

前述のようなエミッション規制は、10万マイルもの長期間にわたる保証が要求されている。一方、実市場での故障等によるエミッション悪化を防止するため、図-4に示すようにエミッションに関わる部品、触媒、システム等の劣化や故障を早期に発見し、ユーザーに修理を促すOBD（On-Board Diagnosis）規制も

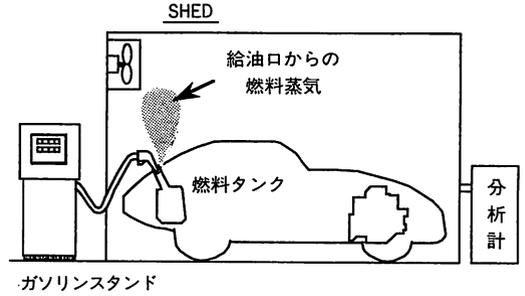


図-3 ORVR規制

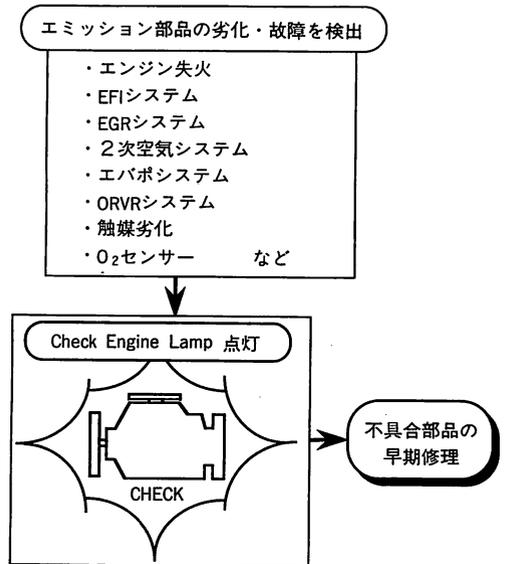


図-4 OBD規制

1996年型車より対象部品の範囲が拡大され、強化される。

2.5 燃料性状規制

燃料性状は排気エミッションだけでなくエバポや給油エミッションにも大きな影響を及ぼす。カリフォルニア州では効果的なオゾン低減のために、燃料性状とエミッション、個別HC成分とオゾン生成能の関係についての研究が行われ¹⁾²⁾、1996年より表2に示すようなクリーン燃料（Phase II 燃料）の導入が決定されている。この燃料の特徴は触媒被毒防止のため硫黄含有量の低減、高オゾン生成HC成分の低減、エバポエミッション低減のための蒸気圧（RVP）の低減、エンジンの運転性を良好にするための蒸留性状の改善が盛り込まれている。クリーン燃料は使用過程の車のエミッション低減にも有効であり導入が期待される。

表2 カリフォルニア州の燃料性状規制

	項目	規制値	加州市場平均('90)
Phase I 1992/1/1~	蒸気圧 (psi)	max. 7.8 (夏期) 清浄剤使用	
	蒸気圧 (psi)	7	8.5
Phase II 1996/4/1~	硫黄 (Wt%)	0.004	0.015
	アロマ (vol%)	25	32
	ベンゼン (vol%)	1.0	9.9
	オレフィン (vol%)	6.0	0
	含酸素 (Wt%)	1.8~2.2	—
	T50 (°F)	210	220
T90 (°F)	300	330	

3. クリーン化技術

自動車は、クリーン化の一方で、出力、ドライバビリティ、安全性、信頼性、燃費、価格等とのバランスが要求されるため、効果/コストの高い技術を開発していく必要がある。

現在、エンジン本体や燃料噴射装置の改良、EGR、排気ガスセンサーによる精密な空燃比制御、三元触媒等が開発され、排気処理技術として広く普及している。しかし、これらの技術も前述したような新しい規制に対しては十分ではなく、図-5に示すような新しい規制技術アイテムについて、個々の部品の改良から新排気システムにいたるまで、幅広い技術開発が自動車メー

カー、部品メーカーで行われている。

3.1 排気エミッション低減のポイント

図-6に LA # 4 モード (米国の排気テスト走行モード) 走行中の触媒後の HC 排出割合を示す。エンジン冷間始動直後 (暖機過程) の排出が非常に大きな割合を占めている。始動直後は触媒が活性温度に達していないために未浄化のまま排出されること、過渡状態での燃料供給遅れを防ぐためにやや過剰な燃料を供給していることによる。エンジンが暖機され触媒が活性化された後では排出は僅かとなる。従って暖機過程での排気エミッション低減には、触媒の早期暖機と燃料噴射装置の改良が非常に重要である。

また、暖機後のエミッションをさらに低減するには、三元触媒をより効果的に働かせる必要があり、運転状態にかかわらず空燃比を理論混合比に保つ正確な制御

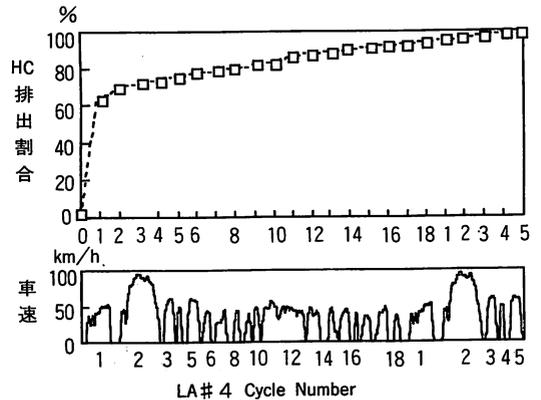


図-6 LA # 4 モード走行中のエミッション排出割合

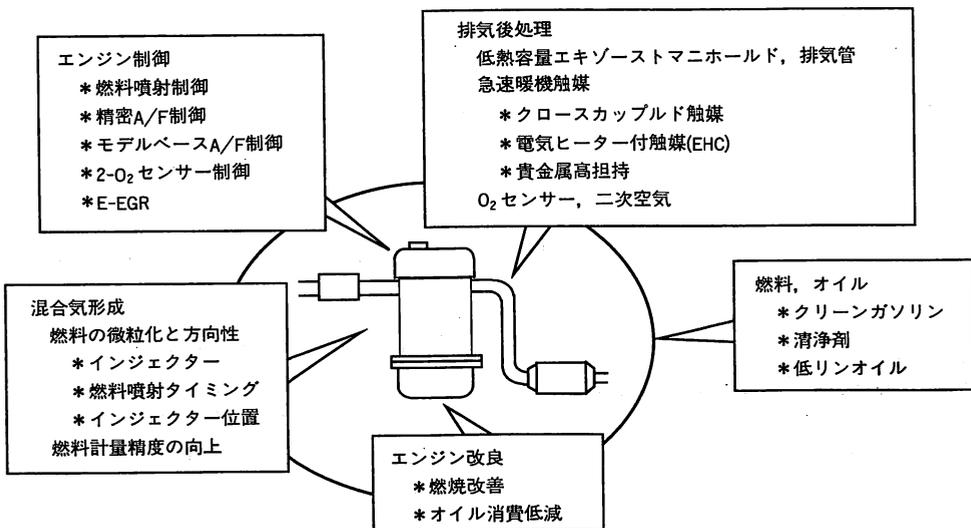


図-5 クリーンエミッション技術アイテム

が必要である。

3.1.1 排気処理技術

暖機過程中のエミッション低減に対し、触媒コンバーターが活性化するための時間は極めて重要な要素であり、加州 LEV 規制のような厳しい規制に対応するには、触媒の暖機を早める技術が必要である。図-7に示すように触媒をエンジンに近づけたクロスカップルドタイプの触媒コンバーター、エキゾーストマニホールドや排気管の低熱容量化、外部エネルギーにより触媒を暖機する技術等の開発が進められている³⁾。図-7の電気ヒーター付触媒 (EHC) は、電気エネルギーにより触媒を加熱する方式であり、急速暖機するには、確実に効果的な方法である。しかし消費電力が大きく、車両の電源系の大幅変更や耐久性に課題があり、実用化までにはさらなる開発が必要である。図-8にエンジン始動と同時に EHC を通電した場合の浄化の様子を示す。従来システムに対し、EHC システムでは始動直後から大幅に HC を低減できる。

3.1.2 燃料噴射装置 (インジェクター) の改良

現在のガソリンエンジン車の大部分には、吸気ポートに燃料を噴射する燃料噴射システムが採用されている。

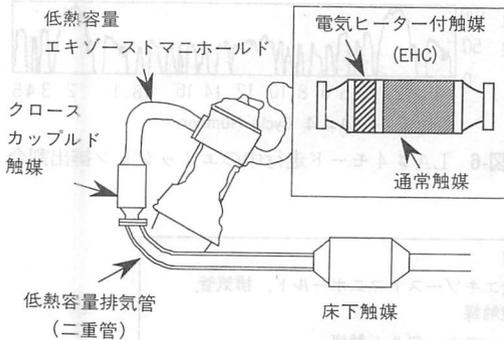


図-7 触媒の早期暖機システム

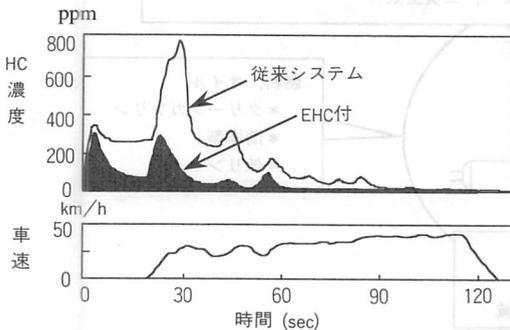


図-8 始動時のHC排出 (LA # 4, 1st cycle)

図-9に燃料の微粒化を狙って開発され、既に一部のトヨタ車に採用されているエアアシストインジェクターを示す⁴⁾。計量口から噴射された燃料は直後に空気とミキシングされ、図-10の写真に示すような微粒化の良い噴霧となる。噴霧はエンジン吸入空気と混合しやすく、過渡応答性が改善され、エミッションは従来型インジェクターに比べ大幅に減少している。

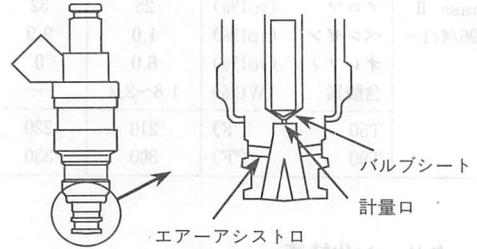


図-9 エアアシストインジェクター

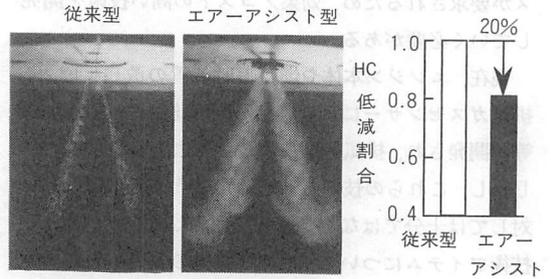


図-10 エアアシストインジェクターの噴霧と効果

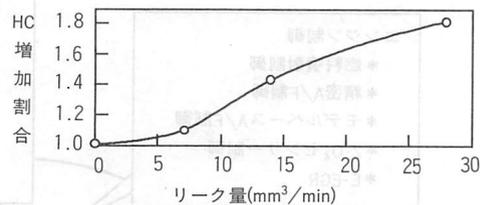


図-11 インジェクターリーク量のHC影響

図-11はインジェクターからの燃料リーク量のエミッションへの影響を調べた結果である。エンジン停止中にインジェクターのバルブシートから漏れた僅かな燃料が吸気ポートにたまり、始動時に未燃ガスとして排出される。エミッションのさらなるクリーン化には、このように部品の細かな製造公差にまでも改善の手を加える必要がある。

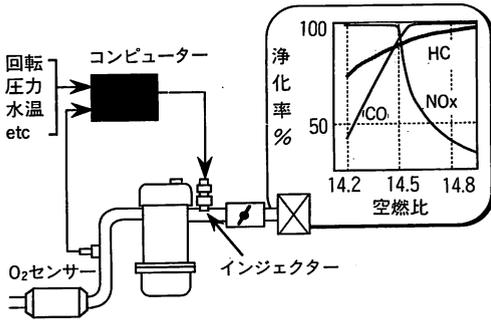


図-12 三元触媒特性と空燃比制御システム

3.1.3 空燃比制御性の改善

三元触媒は図-12に示すように理論空燃比付近で高い浄化率を示すが、非常に狭い範囲に空燃比を制御する必要があり、高度な制御技術が要求される。排気対策においては、マイコンを駆使した空燃比制御技術が広く採用されているが、現状の制御では、過渡状態は必ずしも理論空燃比に制御されていない。このため、エンジンやO₂センサーの経時変化も含めて空燃比の制御精度を向上させる新しい制御法の開発が進められ実用の域に達しつつある⁶⁾。

3.2 エバポシステム/ORVRシステム

両者の燃料蒸気の発生形態は異なるが、処理方法は図-13に示すように、燃料蒸気を一時的に活性炭キャニスターに吸着させ、それを車両走行中にエンジンに吸入してキャニスターを再生し、使用するシステムである。

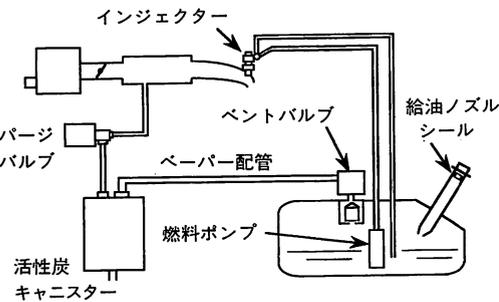


図-13 エバポ/ORVRシステム

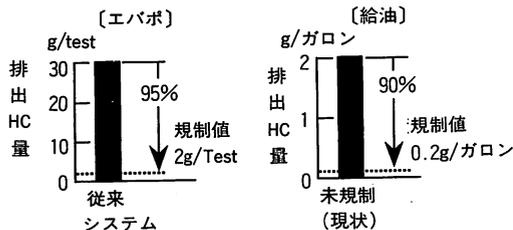


図-14 エバポ/給油エミッション

ある。図-13のシステムは燃料蒸気の発生形態の違いを利用して両方の蒸気を1個のキャニスターで、処理する方法で、インテグレイティッドシステムと呼ばれる。図-14に示すように、燃料蒸気はエバポエミッションの規制強化と、給油エミッション規制により大幅な低減効果が期待できる。

3.3 クリーン燃料の効果

図-15は表2に示したクリーン燃料と一般に使用されている燃料での排気エミッションを比較した結果である。両燃料では、硫黄含有量が大きく異なる。硫黄は触媒を一時的に被毒しエミッションを悪化させる。

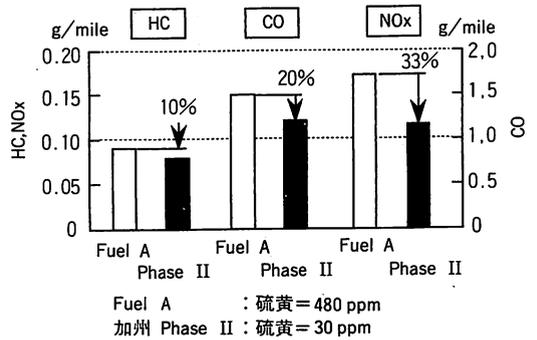


図-15 クリーン燃料（加州Phase II）の効果

従って、エミッションクリーン化には、加州Phase II 燃料のようなクリーン燃料の幅広い普及が必要である。

4. エミッションクリーン化の可能性

電気自動車は、究極の低エミッション技術として期待されており、そのクリーン度についての研究結果がCARBやEPAから報告されているが⁶⁾⁷⁾、バッテリー

表3 電気自動車のミッション見積（CARB, EPA）

	単位 g/mile		
	CARBによる 計算 (A)	EPAによる 計算 (B)	ガソリン車 (ULEV)
HC	0.001	0.012	0.04
CO	0.01	0.069	1.7
NOx	0.007-0.01	1.49	0.2
CO ₂	---	393	354

A: SCAB (加州南部) 内の発電所で、SCAB内で必要な電力の1/3を賄う場合のエミッション見積。

B: 全米発電所をミックスしたエミッション見積。(鉛バッテリー搭載電気自動車のケースで見積)

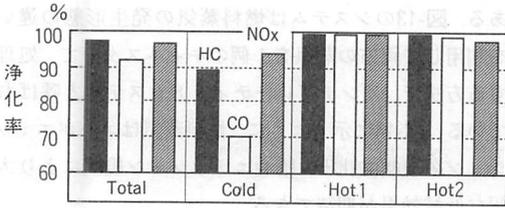


図-16 LA # 4 モード中のエミッション浄化率

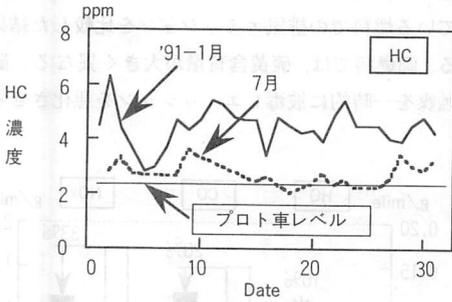


図-17 プロト車の排気とロスアンゼルスの大気

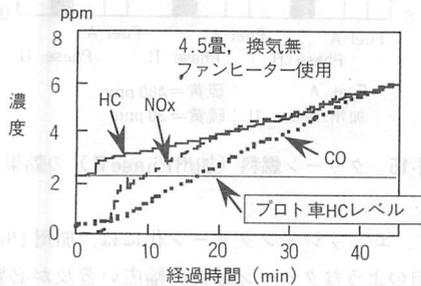


図-18 プロト車の排気と室内空気

の充電に必要な電力を火力発電所でまかなう場合、電気自動車は、表3に示すように、ガソリン車よりも多くのエミッションを排出するとの試算もある。

図-16に最新の技術を盛り込んだガソリンプロトタイプ車両のLA # 4モードテストでのエミッション浄化率を示す。触媒や、エンジンが暖機された後では浄化率は99%以上にも達しており、残されたほんの僅かなエミッションが低減の対象となる。

現在、残されたコールド部分を中心に低減技術の開発が精力的に進められており、将来的には殆どゼロに近いレベルまでエミッションの低減が可能になると考

えられる。ちなみに図-17はロスアンゼルスと比較的大気汚染の高い地区の大気⁸⁾、図-18は一般家庭の室内でファンヒーターを燃やした場合の空気とプロト車両走行中の排気レベルを比較した結果であるが、ある限定された条件とはいえ、排気エミッションは空気よりクリーンなレベルにまで到達している。

5. あとがき

自動車のエミッション低減技術は、規制と技術開発がうまくリンクし、社会の要求に応じて大きく進展してきた。加州ULEV規制に対しても実験段階では見通しがついてきており、これから21世紀にかけて、よりクリーンな車が登場してくるものと確信している。

しかしながら、市場での多彩な運転条件に対応できるクリーン化技術の開発やCO₂削減のための低燃費とクリーン化を両立させる技術の開発、効果/コストの高い低減技術の開発など今後取り組むべき課題はまだ多い。究極のクリーンガソリン車を目指してこれらの課題に挑戦していきたい。

参考文献

- 1) W. P. L. Carter, et al. ; An Experimental Study of Incremental Hydrocarbon Reactivity, Environ Sci. Tech. Vol. 21, p 670-679 (1981)
- 2) W. J. Koehl, et al. ; Effects of Gasoline Composition and Properties on Vehicle Emissions, SAE paper 912321
- 3) W. A. Whittenberger, et al. ; Recent Developments in Electrically Heated Metal Monoliths, SAE paper 900503
- 4) Takeda, et al. ; Toyota Air-mix type 2-hole Injector for 4-valve engines, SAE paper 912351
- 5) A. J. Beaumont, et al. ; Air Fuel Ratio Control Technology for Ultra Low Emissions Vehicles, 26th ISAT A 93EN032
- 6) California Air Resources Board ; Technical Support Document, Zero-Emission Vehicle Update, Mail-Out 94-17
- 7) EPA ; Preliminary Electric Emissions Assessment(1993-11)
- 8) California Air Resources Board ; California Air Quality Data, 1991 Vol. XXV NO1, NO2