

11. 合成軽油 (FTD) 自動車の開発試作・実用化

— FTD 専用車両の優位性及び実証試験概要 —

環境研究領域 ※石井 素、鈴木 央一、川野 大輔、後藤 雄一

トヨタ自動車 阪田 一郎、日野自動車 内田 登、昭和シェル石油 岡部 伸宏

東京都環境局 折原 岳朗

1. はじめに

平成 21 年度からはポスト新長期規制も導入され、自動車からの排出ガスは非常に低いレベルとなっている⁽¹⁾。一方、今後は CO₂ 排出低減、石油への依存度低減等の問題への取り組みがこれまで以上に望まれる。自動車用の代替燃料の一つとして、FT (Fischer-Tropsch) 合成技術により合成ガスから液体燃料を生成する FTD (Fischer-Tropsch Diesel) 燃料が注目を集めている。この燃料は、硫黄分を含まない、アロマ分が非常に低い、セタン価が高いことからディーゼルエンジン用燃料として排出ガス対策の面から優れた特性を有する⁽²⁾⁽⁴⁾。また、FTD 燃料の特性を活用したエンジン最適化による燃費改善や、バイオ由来の合成軽油の利用等により地球温暖化対策の有効な手段にもなり得る。さらに、FTD 燃料は軽油の強制規格に適合しており、供給体制さえ整えば現状のインフラ等を使用できるため実用性も高い。国土交通省では、平成 17 年度より次世代低公害車開発・実用化促進プロジェクトの一環として、交通安全環境研究所を中心として、大型の FTD 自動車の研究開発及び実証を進め、FTD 燃料の特徴を最大限に引き出すことのできるエンジンシステムの構築、既存車両への影響調査を進めてきた⁽²⁾⁽³⁾。本研究開発等を通じて、将来の新燃料 FTD に対して要求されるエンジン要素技術の方向性を示すことで、有用な成果が期待できる。本報においては、試作車両の排出ガス等評価と、実証試験の概要と今後の予定について報告する。

2. 概要

本プロジェクトにおいては、FTD 専用の試作車両 (以下、「専用車両」という。) の開発試作と、専用車両ではないハイブリッドバス等による実証試験の 2 本立ての事項を実施することにより、専用車両の実用化に向けた技術的知見を得ることとした。専用車両の排出ガス性能等の開発目標を表 1 に、エンジンシステムの概要を図 1 に示す。ベースとなるエンジンシステ

ムは、新長期排出ガス規制対応車両 (以下、「ベース車両」という。) に搭載されており、後処理装置として連続再生式 DPF (Diesel Particulate Filter) を採用している。FTD 燃料の特徴を考慮して、下記の (i) ~ (iii) の方針に沿って専用車両を試作した。

- (i) FTD 燃料の特徴を最大限に活用するために、ニュート (FTD 燃料 100%) での使用を前提としたエンジン燃焼系の最適化を行う。
- (ii) 後処理装置としては DPF の他に NSR(NO_x 吸蔵還元) 触媒を採用した。FTD 燃料を前提として NO_x 還元時の燃料添加量及び時期等の最適化を行う。
- (iii) 対象は、排気量 7.7L、4L および 2L のエンジンとし、サイズの異なるエンジンの排出ガス試験結果等を比較して開発技術の汎用性を確保し、最終的な成果を排気量 7.7L のエンジン開発試作に集約した。

以上の方針に基づいて試作した専用車両の評価結果をから明らかとなった、下記の課題を解決するべくプロジェクトを推進した。

- (a) NSR 触媒への燃料添加システムについて、適切な

Table 1 開発目標

項目	目標
NO _x	2009 年規制値 (0.7g/kWh) 以下。さらに挑戦目標値 (0.23g/kWh) を目指す。
PM	2009 年規制値 (0.01g/kWh) 以下。
燃費	現行のディーゼル車以上。

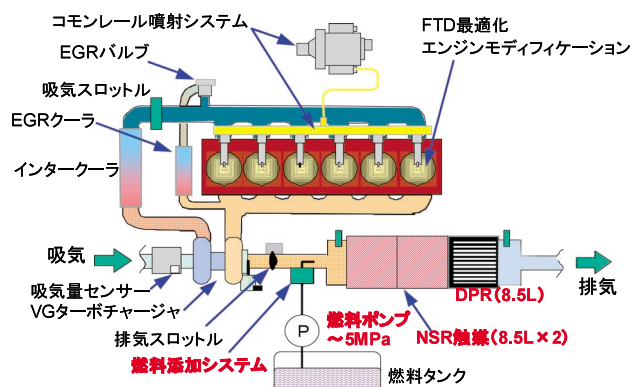


Fig.1 エンジンシステム概要

噴射量及び噴射圧力の燃料ポンプを入手することができず、外部駆動のシステムを使用したため、試作した専用車両はシャシダイナモメータ上のみで走行可能なレベルであった。

(b) 試作した専用エンジンのベースエンジンを搭載した車両の排出ガス等試験データが不足していたこと等により、専用車両の排出ガス性能の優位性を示すことができなかった。

一方、実証試験については、平成 19 年度に、約 4 ヶ月の従来型（長期規制対応）トラック 2 台による実証走行試験で、燃料供給系の部品材料への FTD 影響の解析をしたが影響はなかった⁽²⁾。しかしながら、走行距離が長い大型車には、より長期間にわたる試験が要求される。これについては、東京都の協力を得て、都バスの営業運転に供されているハイブリッドバス車両による走行試験を開始した。試験車両は、平成 21 年 2 月からの 1 年間、都バス品川営業所管内の路線バスとして営業走行している。これにより、車両の環境性能の推移、燃料供給系の部品材料への影響の解析及びこの解析の際の基礎データとなるこれら材料の実験室での加速試験と、実際の現象のより正確な相関が得られる。

3. 実験結果および考察

3. 1. ベース車両による評価試験

本報で使用した FTD 燃料と軽油の性状を表 2 に示す。FTD 燃料の特徴は、前述のように低アロマであるため PM (粒子状物質)の排出が軽油に比べて低く、また、高セタン価であることから、燃料の着火遅れを短縮する効果がある。表 3 にはこれらの燃料の利点、エンジン改良項目及びその改善効果を示す。既報⁽²⁾⁽³⁾の報告のとおり、これらの FTD 燃料の利点を利用し

Table 2 燃料性状

		FTD燃料	JIS2号軽油
密度(@15°C)	g/cm ³	0.776	0.835
動粘度(@30°C)	mm ² /s	2.949	3.926
引火点	°C	89.5	68.5
流動点	°C	-22.5	-12.5
CFPP	°C	-21	-8
蒸留			
IBP	°C	205.0	168.5
10%	°C	224.5	217.0
50%	°C	260.0	286.5
90%	°C	299.0	341.0
EP	°C	310.5	368.5
セタン指数		83.7	56.4
硫黄分	ppm	<1	6
芳香族分	vol%	<1	19.7

たエンジン改良を行うことで、燃費を悪化することなく排出ガスの改善が可能である。

専用車両の排出ガスを評価する際に、まず、燃料性状のみの影響を把握する必要があることから、ベース車両において、軽油と FTD 燃料を使用した場合について排出ガス試験を行い、次に専用車両の試験を行いこれらと比較した。試験したベース車両及び専用車両の諸元を表 4 に示す。なお、車両の排出ガス評価は車両総重量 25t まで対応した大型車用のシャシダイナモメータを使用した。JE05 モードをシャシダイナモメータで試験する際には、国土交通省の告示「シャシダイナモメータによる JE05 モード排出ガス測定方法(国自環第 280 号、平成 19 年 3 月 16 日付)」に準拠することとした。80km/h で走行する都市間燃費評価モードについては、定められている勾配をシャシダイナモメータに設定して試験を行った。D13 モードでは、ベース車両で軽油を使用した場合と同一負荷条件として試験を行った。なお、全ての排出ガス試験において、後処理の再生運転時の排出ガスは考慮されていない。

図 2 に、軽油と FTD 燃料をベース車両に使用した場合の各モードにおける NO_x、PM 及び CO₂ の排出率と燃費の比較を示す。この比較を行う際にはベース車両の設定のまま試験を実施し、全く変更をしていない。NO_x については、JE05 モードにおいては FTD 燃料の方が少し減少している。これは、FTD 燃料に

Table 3 エンジン最適化の方向性

特徴	利点	エンジン改良項目	効果
低アロマ	EGR限界拡大	高EGR化	NO _x 低減
	低入でのSoot排出抑制	低空燃率率化(高EGRに合わせた高通給は不要)	NO _x 後処理能力改善 -排気温度維持 -リッチ領域拡大
高セタン価	失火限界拡大	低圧縮比化(着火遅れ期間適正化)	Soot, NO _x の同時低減
	低燃焼騒音	噴射特性の最適化(噴射時期, 多段噴射制御)	燃費改善

Table 4 試験車両諸元

型式	FD8JLF	
E/G型式	J08E-TR	
排気量	7684	cc
最大積載量	4275	kg
車両重量	3880	kg
総重量	5880	kg
馬力/回転	270/2700	ps/rpm
トルク/回転	81/1600	Nm/rpm
定格回転	2700	rpm
アイドル回転数	550	rpm

において着火遅れが短縮した効果が多少はあったものと推測されるが、影響は非常に小さい。エンジンベース試験では両者で熱発生率等は変わらないとの結果が報告されている⁽³⁾⁽⁴⁾。D13モードでは、軽油とFTD燃料使用時のNO_x排出の傾向がJE05モードと異なる。これは、FTD燃料の方が単位体積当たりの低発熱量が5%程度小さいため、エンジン制御が軽油の設定のままであれば、FTD燃料の際には相対的に軽油より高負荷側の設定となり、D13モードの高負荷モードでのEGR率が低下する影響を多少受け、NO_xが少し増加したものと推測される。また、EGRガスの還流量が同一の場合、軽油のH/C比が1.89に対して、FTD燃料は2.1程度であることから、相対的にEGR率が低下する可能性もある⁽⁴⁾。80km/h都市間燃費評価モード試験においては、燃料の影響はないとよい。一方、PMについては、この車両が連続再生式のDPFを有していることから、燃料を変えたどの条件でも十分に低い結果となった。CO₂に関しては、前述の両燃料のH/C比の違いによりその分FTD燃料の方が少なくなった。燃費については、前述のように単位体積当たりの低発熱量が5%程度小さくなることから、FTD燃料の方が悪化した数値となる。

3. 2. 専用車両による評価試験

専用車両に搭載したNSR触媒への燃料添加用ポンプは、全長250mm程度であり、アキュムレータ等の周辺装置を含めても十分車載が可能である。駆動電圧はDC 24V、消費電流は最大5.0A、最大圧は1MPa

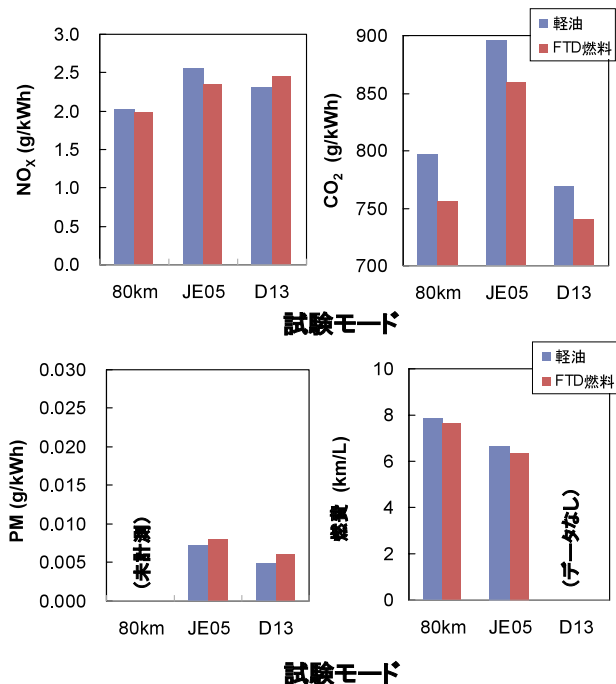


Fig.2 各モードにおける排出ガス等の比較

である。

図3に、エンジンをFTD燃料に最適化した専用車両のJE05モードにおけるNO_x及びCO₂の排出率を、NO_x浄化のための燃料添加の条件を変えた場合について、前述のベース車両のデータとともに示す。なお、PMに関しては、いずれの条件においても当初の目標(0.01g/kWh以下)を達成しており十分に低いためここでは示していない。NO_x排出率については、NSR触媒への燃料添加をしない場合でも、0.6~0.7g/kWh程度とベース車両の1/4~1/3程度のレベルである。このとき、ベース車両にFTD燃料を使用した場合に比べてCO₂排出率は8%程度低く、エンジンの最適化によりCO₂改善ができたことになる。この条件から、燃料添加量を増やすとNO_x排出率はベース車両の1/5程度の0.5g/kWhとなり、このときCO₂排出率はベース車両の5%減レベルまで悪化する。さらに、ベース車両にFTD燃料を使用したレベルまでCO₂排出率を許容すると、NO_x排出率は「挑戦目標値」(0.23g/kWh)レベル以下となることがわかる。

3. 3. 実証試験車両

図4に実証試験車両外観を示す。車両は乗車定員70名のハイブリッドバス車両であり、車両総重量は約15t、ベース車両と同一排気量の7.7Lのエンジンを搭載している。最高出力は、177/2500kW/rpm、最大トルクは834/1200Nm/rpmである。また、バッテリーはニッケル水素電池、パラレルハイブリッドシステムが採用されている。実証試験においては、FTD燃料による走行車両を2台、これらとの比較用として軽油で走行する車両を2台用意した。これらの車両は新長期規制対応車両である。低排出ガス車認定制度における「低排出ガス重量車」に適合しており、さらに「平成27年度燃費基準」も達成している。

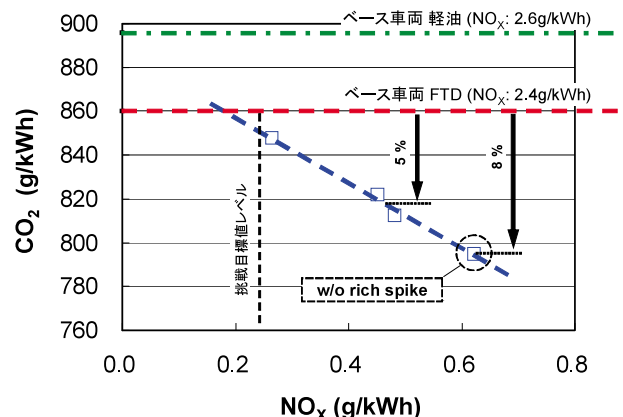


Fig.3 NO_x と CO₂ 排出率の関係

3. 4. 実証試験車両による評価試験

図 5 に実証試験車両のエンジン単体の排出ガス試験結果を示す。図は、負荷に対する NO_x 排出率、正味エネルギー消費率を示している。エンジン単体の試験結果としては、これまでの試験と同様の傾向である。低負荷での多少の NO_x 改善、正味エネルギー消費率悪化が観察されるがほぼ変わらないレベルである。これまでの試験結果同様に FTD 燃料を使用した場合には最高トルクが低下するが、FTD 燃料の密度低下分を補正して設定すれば問題なく、その時の排出ガス及び正味エネルギー消費率も軽油と同等となり、悪化することはない。

図 6 は、実証試験車両で軽油及び FTD 燃料を使用したときのシャシダイナモメータによる NO_x 及び CO₂ の測定結果である。供試車両の走行距離は試験時において 2500 km 程度で同等であった。試験モードは、東京都の No.2, 5, 8, 10 モードで平均車速がそれぞれ 8.4, 18.0, 28.5, 44.4 km/h の実走行モードである。試験においては、燃料を変えても試験開始前の SOC (State of Charge, 充電深度) を揃え、試験終了後にも SOC を比較した。両者の SOC はほとんど違い



Fig.4 実証試験車両外観

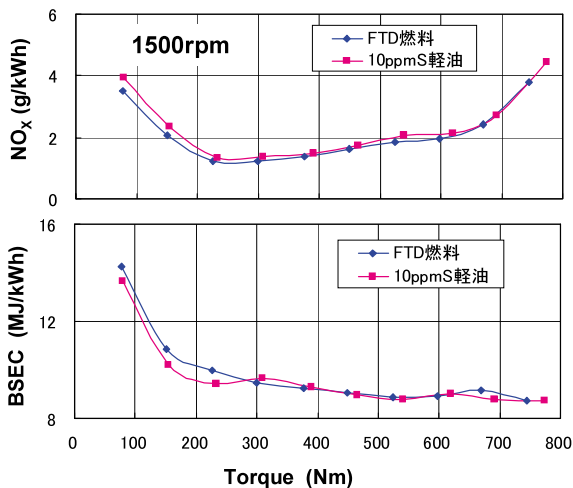


Fig.5 負荷に対する NO_x 排出率と燃費の変化

がなく FTD 燃料においてもハイブリッドシステムの運転領域が変化しないことが確認された。NO_x 及び CO₂ ともに概ね FTD 燃料の方が低いか同等である。今後走行距離を重ねるに従いさらに詳細な解析を継続する予定である。

4. まとめ

新長期規制対応車両をベース車両として、FTD 燃料の専用車両を試作し、シャシベース試験により燃料及び専用車両の優位性を明確にした。特に、専用車両の性能については、PM、HC が減少する燃料のメリットを利用したエンジン設計と NSR 触媒装着により大幅な NO_x の改善が可能であり、NO_x が 1/4 程度となり CO₂ は 8% 程度改善し、軽油使用時と比較した場合には CO₂ の改善幅はさらに大きくなる。専用車両では、CO₂ を悪化させることなく NO_x を挑戦目標レベル以下まで低減するポテンシャルを有することがわかった。

今後は、都バスのハイブリッド車両による実証試験を継続し、長期間における燃料配管系材料への影響、車両の環境性能の推移について調査する予定である。また、合成燃料はバイオ由来のものを使用することにより地球温暖化対策として有効であることから、バイオ由来の合成燃料を使用した実証試験についても実施計画中である。

参考文献

- (1) 環境省、「今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について (第八次答申)」, 2005 年 4 月.
- (2) 石井他、交通研フォーラム 2008 講演概要, p97-98.
- (3) 阪田他、自動車技術会論文集, Vol.40 No.1, p21-26, 2009 年 1 月.
- (4) 内田他、自動車技術会論文集, Vol.39 No.3, p151-156, 2008 年 5 月.
- (5) 石井他、自動車技術会論文集, Vol.39 No.3, p151-156, 2008 年 5 月.

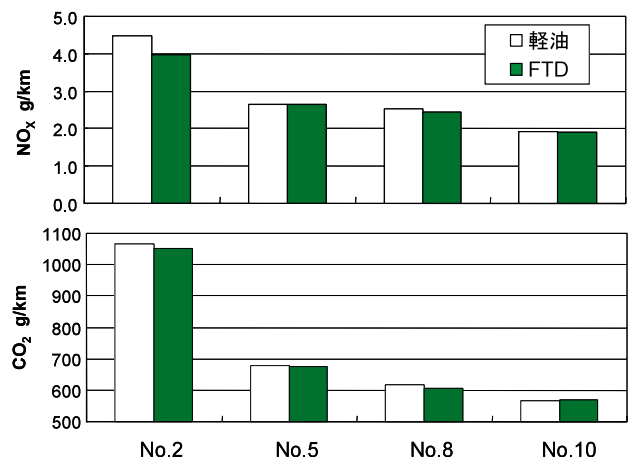


Fig.6 ハイブリッド車両の排出ガス特性