

⑤合成軽油（FTD）自動車の開発試作・実用化

－実用性と水素化バイオ燃料(HVO)との混合燃料のポテンシャル－

環境研究領域 ※石井 素、川野 大輔、鈴木 央一

トヨタ自動車 北野 康司、日野自動車 内田 登、昭和シェル石油 岡部 伸宏
国土交通省自動車交通局 高木 恒輝、東京都環境局 末藤 祐二

1. はじめに

平成 22 年 7 月には環境省より答申が出され、自動車からの排出ガスレベルを現行規制よりさらに一段と厳しくする方針が示された⁽¹⁾。一方、より一層の CO₂ 排出低減、石油依存度低減等への取り組みは、今後はさらに重要度を増すことになるであろう。自動車用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 (FT Diesel) 燃料については、供給体制さえ整えば現状のインフラ等をそのまま利用できるため、実用性が高い燃料として研究、開発等が行われてきた。この燃料は、ゼロ硫黄分、低アロマ分、高セタン価であることからディーゼルエンジン用の軽油代替燃料として排出ガス対策の面から優れた利点を有する⁽²⁾⁽³⁾。また、石油代替燃料導入においては WTW (Well To Wheel) の観点での CO₂ 排出低減も必要な条件なので、FAME (Fatty Acid Methyl Ester、脂肪酸メチルエステル) に代表されるバイオディーゼル燃料のようなバイオマス由来の燃料も、特に欧米等を中心に導入が推進されている。近年では、バイオマス由来の代替燃料で FT 合成技術を用いた BTL (Biomass to Liquid) 燃料と同様の燃料性状を有し、FAME と同様の植物油等を原料とする HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) 燃料(水素化バイオ燃料) が注目されている。

国土交通省では、交通安全環境研究所を中心として平成 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を推進してきたが、その一環として、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、軽油仕様そのままの既存車両で FTD 燃料を使用した場合の影響調査を進めてきた⁽²⁾⁽³⁾。本プロジェクトを通じて、将来の FTD 燃料利用の方向性を示すことで、今後の普及促進がより確実になるものとする。本報においては、プロジェクトで行った実証試験の概要について報告する。さらに、低公害性

と WTW での CO₂ 排出低減を両立させる観点から、平成 22 年度においては HVO 燃料を混合した FTD 燃料についても試験を開始したのでそれらの実証試験の概要について述べる。

2. 概要

本プロジェクトにおいては、FTD 専用の試作車両の開発試作と、軽油仕様そのままの既存車両に FTD 燃料を適用した実証試験を実施することにより、FTD 燃料の実用化に向けた技術的知見を蓄積してきた。FTD 燃料専用の試作車両の排出ガス性能等は昨年報告した⁽³⁾。試作した専用車両での達成値を表 1 に、排出ガス試験結果を図 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に搭載されたシステムで、後処理装置として DPF (Diesel Particulate Filter) が採用されていた。試作した専用車では、この他に NSR(NO_x 吸蔵還元)触媒を採用し、FTD 燃料のノット(100%)での使用を前提として NO_x 還元時の燃料添加量及び時期等の最適化を行った。エンジンについては、圧縮比、燃料噴射系、過給機等の

Table 1 試作車両達成値

項目	達成値(JE05 シャンベース試験)
NO _x	0.47 g/kWh
PM	0.01 g/kWh 以下
CO ₂	ベース車両比約 5%減

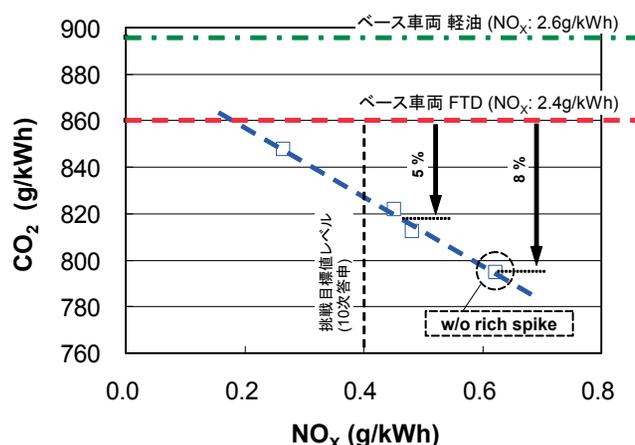


Fig.1 試作車両排出ガス試験結果

仕様を最適化することにより、表1のように排出ガスの達成値は現行規制を十分にクリアしつつ、CO₂も約5%低減することができた。

以上のようなFTD自動車の低公害、燃費向上の環境性能向上のための技術的方向性を示す一方で、燃料の実用性の課題を検証するために、公道での実証走行についても実施した。

表2は、試験に使用したFTD燃料、FTD燃料(80%)とHVO燃料(20%)の混合の供試燃料(以下「FTD-HVO混合燃料」という。)性状を軽油との比較で示したものである。供試燃料の性状については、密度、セタン価などはJIS2号軽油と異なる。しかしながら、表3に示した基準に掲げられている現行の軽油の規格と比較すると、硫黄の質量比、セタン指数、90%留出温度ともに満たしているため、両供試燃料と

Table2 燃料性状の比較

		FTD(GTL)100%	FTD80%+HVO20%	JIS2号
密度(@15°C)	g/cm ³	0.776	0.776	0.830
動粘度(@30°C)	mm ² /s	3.049	3.084	3.561
引火点	°C	91.5	88.5	65.0
流動点	°C	-20	-25	-25
CFPP	°C	-19	-19	-8
蒸留				
	IBP: °C	206.5	203.5	169.5
	10%: °C	229.5	229.5	212.5
	50%: °C	264.0	267.5	279.5
	90%: °C	305.0	300.0	330.5
	EP: °C	315.0	311.5	356.0
セタン価		73.7	77.9	-
セタン指数		85.3	86.9	57.0
硫黄分	ppm	<1	<1	7
芳香族分	vol%	<1	<1	19.2

Table 3 軽油の規格

基準
硫黄が質量比 0.001%以下
セタン指数が 45 以上
90%留出温度が 360°C以下
(以下バイオディーゼル燃料関連の項目は省略)

Table 4 実証運行車両の諸元

車型	BJG-HU8J	
乗車人員 ;	70	名
車両総重量 ;	15230	kg
全高 ;	3.28	m
全幅 ;	2.49	m
全長	10.525	m
ギア	5	速
アイドリング	550	rpm
最高出力	177/2500	kW/rpm
最大トルク	834/1200	Nm/rpm

も公道走行の際に、軽油の代替燃料として使用することには燃料規格上の問題はないことになる。

3. 実験概要及び結果と考察

3. 1. 排出ガス試験

FTD燃料を使用した走行試験については、これまでも本プロジェクトにおいては、平成19年度に約4ヶ月の長期規制対応トラック2台による走行試験を行った。この走行試験を通して、燃料供給系の部品材料へのFTD燃料影響の解析をしたが、影響はなかった。しかしながら、実際に路上を走行している車両は、春夏秋冬様々な気温等の条件下に曝される。これらの影響について検証するために、東京都の協力を得て、都バスの営業運行に供されているハイブリッドバス車両による実証運行を行った。運行期間は、平成21年2月から平成22年1月までの1年間、都バス品川自動車営業所管内の路線バスとして2台のハイブリッドバスにFTD燃料を供給し営業運行を行った。燃料の影響比較用に軽油燃料による営業走行車両も2台用意し、両者を比較することにより、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を行った。さらに、これらの解析結果と実験室での単体試験を比較することにより、両者の正確な相関を得るための、単体試験の条件に関する情報が得られる。

表4に実証運行に供したハイブリッドバス車両の主要諸元を示す。車両は、新長期規制対応で2015年度重量車燃費基準達成の車両である。

図2は、実証運行を通して軽油及び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。試験モードは、東京都のNo.2, 5, 8, 10モードで、これらは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。東京都のモードは、都内の実際の走行状況に即した形で排出

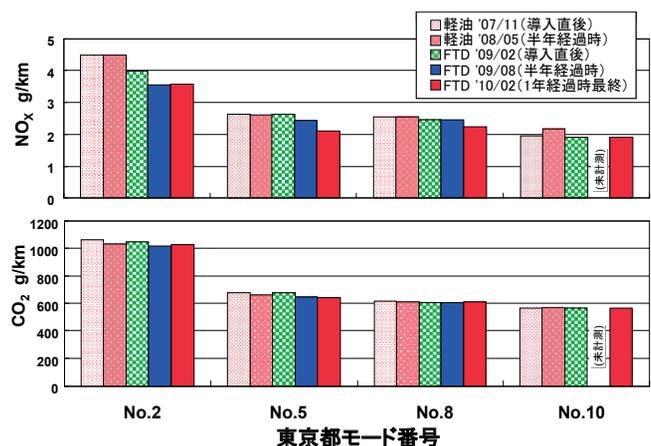


Fig.2 実証運行車両の排出ガス特性

ガス測定を行うため、都内における走行状態調査に基づき作成されたので、渋滞からスムーズな流れまで、平均車速別に 12 種類の走行パターンが存在する。モード番号が小さいほどモードの平均車速が低くなっている。試験車両は、アイドリングストップ機能が装備されているが、排出ガス試験はアイドリングストップ機能を停止して行った。試験においては、試験開始前の SOC (State of Charge、バッテリー充電状態)を同一条件として、試験終了後にも SOC を比較したが、両者の SOC はほとんど違いがなく 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を確認した。NO_xについては平均車速の低いモードで FTD 燃料の方が低くなる傾向となった。これは、着火遅れが短縮される影響等からと推測される。過去に報告した既存車両（新長期規制対応トラック）の JE05 モードシャシベース試験、エンジンベース定常条件の低負荷における排出ガス試験の傾向と同様である⁽²⁾⁽³⁾。これらの試験においては、CO₂については、FTD 燃料でもほぼ同等と見なすことができる。CO₂については、H/C が FTD 燃料(2.15)と軽油(1.9)と異なることから 4%程度の改善が予測されたが、軽油より悪化はしていないものの燃料の違いは小さく、詳細な要因は不明だが、1 年間の実証運行を通してこの傾向は変わらなかった。また、FTD 燃料を使用した車両の排出ガスが軽油を使用したものより悪化することはなかった。

3. 2. 材料適合性試験

本プロジェクトにおいては、燃料の違いによる材料適合性試験も行ってきたが、これらにおいて NBR (Nitrile butadiene rubber、ニトリルゴム) 製のホースの内表面固さについては、軽油が軟化するのに対して FTD 燃料では硬化する僅かな傾向差が観察された。今回の供試車両の燃料ホースは、燃料に曝される燃料ホースの内側が NBR 製である。この傾向差について、1 年間の実証運行における影響を調査した。図 3 に実車と単体試験における燃料ホースの切断時伸び変化率試験結果について示した。

この単体試験は、燃料噴射圧力の高圧化で上昇するリターン燃料温度を考慮した加速試験を実施する目的で、100℃まで加熱した燃料を循環して行った。循環時間は合計 50～250 時間で変化させた。切断時伸び変化率は、実車 6 ヶ月（約 17000km）と単体試験 75～100 時間程度、実車 12 ヶ月（約 33000km）と単

体試験 150 時間程度とが同程度のレベルであることがわかる。しかしながら、今回の実車及び単体試験では FTD 燃料と軽油ともに伸び率の低下傾向が続いている状況である。燃料の影響差異を見極めるためには、さらに長時間燃料循環試験が必要と考えられる。

3. 3. 実証運行 (FTD-HVO 混合燃料)

前述の通り FTD 燃料の低公害性は優れているが、WTW の CO₂ 排出を考えると、必ずしも現状の軽油より優れているとはいえない⁽⁴⁾。HVO 燃料は、FAME と同様に植物油等を原料とするが、これに水素化処理を施した燃料で、FTD 燃料と類似の性状、特徴を有するものであり、表 2 の FTD 燃料と FTD-HVO 混合燃料の性状の比較からも明らかである。しかしながら、化学的な組成等が異なるため、長期間車両で使用した場合の、信頼性確認のため燃料供給系材料への影響解析が必要である。そこで、平成 22 年度は、東京都の協力により FTD-HVO 混合燃料を使用した実証運行を行うこととした。FTD-HVO 混合燃料で走行するハイブリッドバス車両は 1 台とし、燃料系材料等を比較する車両として軽油で走行する同一仕様の車両を 2 台用意した。実証運行車両の外観を図 4 に示す。車両の諸元は表 4 に示したとおりであり、平成 21 度に行った実証運行車両と同一である。平成 22 年 7 月～12 月の間、都バス小滝橋自動車営業所管内の営業

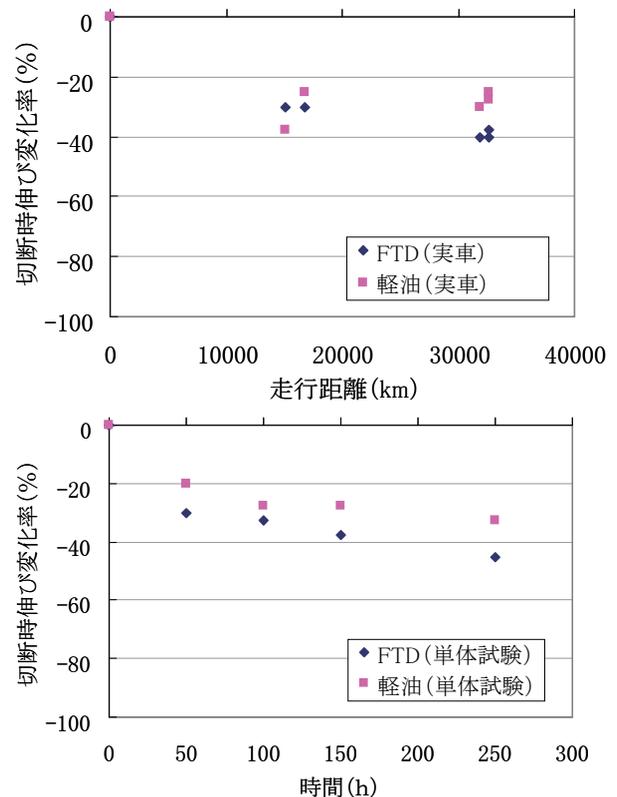


Fig.3 燃料ホース部品の切断時伸び変化率



Fig.4 実証運行車両外観

路線を運行中である。

さらに、FTD-HVO 混合燃料の実用性検証を確実なものにするため、平成 22 年 7 月より約 2 ヶ月間、都バス品川自動車営業所港南支所の 36 台の車両による実証運行を実施した。車両の排出ガスは、長期規制、新短期規制、新長期規制の様々な排出ガス規制に対応している。図 5 に実証運行に先立ち行った排出ガス試験結果を示す。試験車両は港南支所で車両数の最も多い長期規制対応車両で、JE05 モードシャシベース試験を行い、軽油使用時の各規制成分の排出率(g/kWh)との相対値により FTD-HVO 混合燃料使用時の NO_x 及び PM の排出率を示した。長期規制対応車両においても、FTD-HVO 混合燃料使用時の排出ガスの傾向は新長期規制対応車両と同様であるが、後処理システムに DPF は装着されてなく、FTD 燃料のすすの排出が軽油に比べて低いという長所がそのまま排出ガスに低減に影響し、PM 排出率がこの混合燃料を使用することにより約 4 割減少した。

図 6 にはシャシベース試験による CO₂ 計測値を用いた WTW の GHG(Green House Gas)試算結果を示す。試算の際の条件は下記の通りである。

- (i) 車両は長期規制車両 (バス)
- (ii) 試験方法はシャシベースでの JE05 モード試験
- (iii) TTW(Tank to Wheel)の CO₂ 排出量は(i)、(ii)による測定値
- (iv) 軽油使用時の WTW の CO₂ 排出量を 1.0 とした相対比較

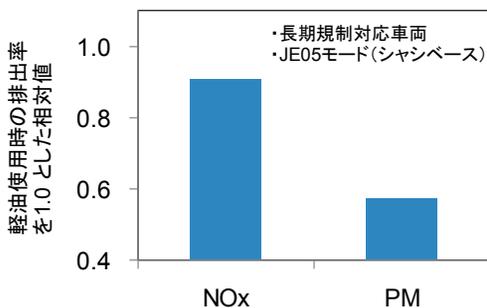


Fig.5 FTD-HVO 混合燃料使用時の排出ガス試験結果

(v) HVO の WTT(Wheel to Tank) CO₂ 排出は FAME と同一と仮定

(vi) WTT の CO₂ については、文献(4)で算出された原料を天然ガスとする FTD 燃料のデータを引用

(vii) HVO 燃料(100%)及び FTD 燃料(100%)使用時の TTW の CO₂ 排出量は未計測のため、FTD-HVO 混合燃料の場合と同一と仮定

FTD の WTT CO₂ 排出量は軽油よりも多いことから、FTD 燃料(100%)では、WTW の GHG 排出は軽油に比較して増加するが、HVO 燃料 20%を混合することにより軽油より抑制できることがわかる。

4. まとめ

FTD 燃料の低公害性を積極的に利用した専用車両を試作し、その優位性を明らかにするとともに、燃料の実用性を検証するために 1 年間の実証運行を行った。実証運行では特に大きな問題は生じず、燃料の実用性は検証されつつあるとあってよい。FTD 燃料の WTT の CO₂ 排出が軽油に比較して大きいというデメリットは、HVO 燃料と併用することにより、軽油以下に抑制するポテンシャルを有する。今後は FTD-HVO 混合燃料を使用した実証試験を継続し、低公害性と CO₂ 排出抑制を両立した軽油代替燃料の実用性を検証し、信頼性を高めるデータを蓄積する予定であり、結果については今後報告する予定である。

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 (第十次答申)」,2010 年 7 月.
- (2) 阪田他、自動車技術会論文集, Vol.40 No.1, p21-26, 2009 年 1 月.
- (3) 石井他、交通研フォーラム 2009 講演概要, p67-70.
- (4) トヨタ自動車(株)、みずほ情報総研(株)「輸送用燃料の Well-to-Wheel 評価」, 2004 年 11 月.

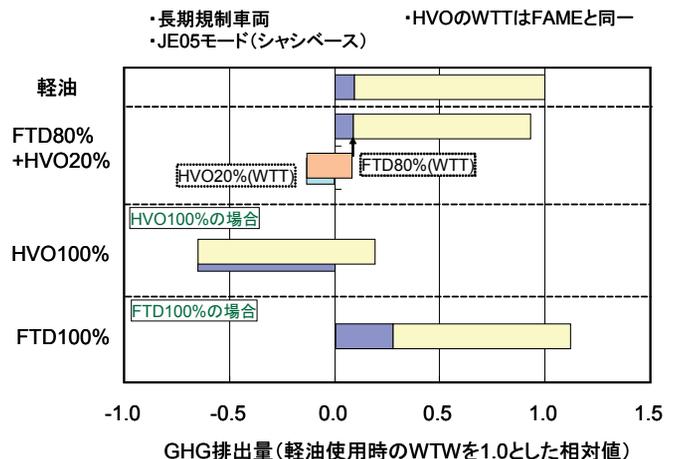


Fig.6 GHG 排出評価