廃プラスチック燃料油 (WPD) のディーゼル 機関への適用*

西 田 修 身** 藤 田 浩 嗣**
原 野 亘** 江 頭 俊 彦**
大 川 誠 也** 大 杉 洋**
川 端 真 弘** 中 務 隆 史**
Vu Phong Hai** 豊 島 紀 彦***

Application of Waste Plastic Disposals to Marine Fuel

By Osami Nishida, Hirofugu Fujita, Wataru Harano, Toshihiko Egashira, Seiya Ohkawa, Hiroshi Ohsugi,
Masahiro Kawabata, Takashi Nakatsukasa, Vu Phong Hai (VMU), Norihiko Toyoshima.

Key words: WPD, Recycle, Diesel engine, Particulate Matter, NO_x, CO_x.

In recent years, we must make an effort to develop an advanced technique for recycling of waste plastics in order to utilize scrapped plastics as fuel source for diesel engines. It is necessary for us to cope with the increasing calorific value and the growing needs of environment protection. At Kobe University of Mercantile Marine and Nippo Sangyo K.K, we experiment on the dynamic and exhaust gas characteristics from the standpoint of usage for marine diesel engines.

The experimental fuel oil was obtained by mixing of diesel oil, WPD and water. Although the experiment is difficult, we experiment on NO_x reduction by addition of water.

There is great hope of the future development in this experiment about the application of WPD.

1. ま え が き

現在プラスチックは世界で年間(1996年)1億2千9百万トン生産され、その内の約60%の7千7百万トンが石油を原料にしており、これを全てもとの油に還元すれば6千9百万kLの燃料油にリサイクルされ、それは20万トンタンカー350隻分に匹敵するとされている。⁽¹⁾

1997年4月から「容器包装リサイクル法」が施行され、資源の再利用の意識を高揚させることが重要である。そこで、スーパーマーケット等から回収された容器(ポリエチレン)を400～500度の反応槽にて、再生成(油化)した。本報告は熱分解油を、ディーゼル機関への適用について研究することを目的とした。

基礎的及び応用的立場(実機テスト)から、機関性能の安定性や排ガス(NO_x, CO_x, ばいじん等)などの点について、種々検討したものである。

2. 廃プラスチック油の成分特性

成分分析の結果を表1に示した。なお主成分はスチレン等であり、その構造式も併記した。実験には、軽油と種々の割合で混合させて使用した。軽油のみの引火点は80～100℃であるが、廃プラ油の混合量を増すほど低下し、50%混合油では40℃になる。微粒化に影響を及ぼす比重と表面張力の関係を図1に示した。図より混合率を増すほど両値とも大きく増加する。

3. 実験装置と方法

ディーゼル機関への適用を目指すため、まず大

*原稿受付 平成10年9月11日

秋季学術講演会(平成10年11月25日)

**正会員 神戸商船大学(神戸市東灘区深江南町5-1-1)

***日邦産業

表1 (a) 廃プラ燃料の成分分析の結果

試料名 発泡ポリスチレン熱分解油			
項目	単位	発泡ポリスチレン熱分解油	測定方法
密度(15°C)	g/cm ³	0.939	JIS K 2249
動粘度(30°C)	mm ² /s(cSt)	1.189	JIS K 2283
引火点	°C	30.5	JIS K 2265(97°密閉式)
蒸留性状	初留点 (°C)	141.0	JIS K 2254に準ずる
	5% 留出温度	144.0	蒸留曲線別添付
	10	144.5	
	20	145.5	
	30	146.5	
	40	148.0	
	50	155.5	
	60	167.0	
	70	231.0	
	80	304.0	
	90	334.0	
	95		
	終 点	345.0	
	全留出量 (%)	96.0	
成分	残油量 (km/m)	3.0	
	減失量 (km/m)	1.2	
	スチレンモノマー (%)	63.9	ガスクロマト分析
	スチレンジマー (%)	11.5	
	スチレントリマー (%)	5.7	
	トルエン (%)	2.2	
備考	エチルベンゼン (%)	1.4	
	α-メチルスチレン (%)	2.2	
	その他 (%)	13.1	
	試料NO. 620-1. RUN38-1		

表1 (b)

スチレンモノマー

スチレンジマー

スチレントリマー

着火遅れおよび燃焼時間を示した。図より、両線図とも廃プラ油添加率の増加にともなって減少している。廃プラ油の燃焼性の良さが推察できる。図3、4は燃焼室出口での排ガス分析結果である。廃プラ油添加率の増加にともなって燃焼時間が短くなるため、NO濃度は減少傾向を示す。

4.2 実機試験 機関負荷75%一定として、

表2 常圧間欠噴霧燃焼での種々混合油の割合条件

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
W.P.D	0	10	30	50	70	100
D.O	100	90	70	50	30	0
W.P.D添加 Vol%	0	10	30	50	70	100

図1 廃プラ燃料添加時の性質の変化 (表面張力, 比重)

気開放中で間欠噴霧燃焼試験を行った。⁽²⁾ そして実機試験は単気筒横型水冷式4ストロークサイクルディーゼル機関(YANMAR NF19E)で、定格出力は2200rpm, 11.8kWで行った。⁽³⁾

4. 実験結果および考察

4.1 基礎的噴霧燃焼実験(大気圧下) 混合液(表2)の性状を燃焼・排ガス特性を大略的に把握するため、大気開放燃焼装置で燃焼ポンプ回転数(100rpm)、開弁圧11.27Mpaの燃料噴射ノズルを用いて実験を行った。図2には種々混合油に対する

図2 廃プラ燃料添加に対する燃焼時間, 着火遅れの変化

図3 廃プラ燃料添加に対するNO, O₂の変化

図5 廃プラ燃料添加に対する燃焼室内圧力の変化

図4 廃プラ燃料添加に対するCO, CO₂の変化

図6 廃プラ燃料添加に対する着火遅れ, 排気温度の変化

種々混合油(表3)で実験を行った。図5は燃焼圧力線図を示す。廃プラの添加率増加にともなう、着火遅れは長くなり、最高圧力が高くなる。しかし燃焼終了はほぼ同時期であった。図6には着火遅れと排ガス温度を示した。廃プラ添加率の増加にともなう、着火遅れは長くなっている。排ガス温度は廃プラ10%添加で若干低下しているが、大きな変化は見られなかった。図7, 8にはNO_x, O₂及びCO_xの濃度分布を廃プラ添加率に対して示した。図

表3 実機運転試験での種々混合油の割合条件

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
W.P.D	0	10	20	30	40
D.O	100	100	100	100	100
添加率 vol. %	0	10	20	30	40

$$\text{添加率 Vol. \%} = \frac{\text{WPD}}{\text{D.O}} \times 100$$

よりNO_x濃度は、廃プラ添加率増加にともなう、燃焼最高圧力が上がるため、漸増する。とくにNO₂はNO_x値の約10%ほどであるが、廃プラ添加率増加にともなう、顕著な増大を示す。O₂濃度(約9~10%一定)、CO₂濃度(約8~9%)およびCO濃度(約数

図7 廃プラ添加に対するNO, NO₂の変化

図8 廃プラ燃料添加によるCO, CO₂, O₂の変化

百ppm)は廃プラ添加率に関係なく、ほぼ一定であった。図9には廃プラ燃料添加率に対するすす質量濃度分布を示した。図より、添加率の増大に伴ってすす濃度は低減され、40%添加で約半減する。

4.3 実機によるNO_xおよびすす排出低減への試験 NO_x生成抑制を目的としたために前述の混合燃料油中に水を添加した3種の乳化燃料を作成した。乳化剤は、軽油と水のエマルジョン化には十分効果を示したが、廃プラ油のエマルジョン化には効果を示さなかった。ゆえに3種混合油作成時から実験終了するまで、強制攪拌により、3種液の均一混合燃料油を表5のように作成し、実験を行った。

図9 廃プラ燃料添加による排気ガス中のすすの変化

表4 実機で水添加の影響

	No.1	No.2	No.3	No.4
W.P.D	20	20	20	20
D.O	100	100	100	100
WATER	0	12	24	36
水添加率.vol.%	0	10	20	30

図10に圧力線図を示した。水添加率が増すほど、着火遅れは長くなり最高圧力値は低下する。図11, 12には水添加率に対する排気ガス温度, NO_xおよびO₂濃度分布を示した。30%の水添加率では水無添加に比べ、排ガス温度が50℃低下し、NO及びNO_x排出量が約20～30%低減することができた。図13, 14にはCO_x及びすすの排出量分布を示した。水添加によってCO₂の排出濃度に変化は見られなかつ

図10 水添加に対する燃焼室内圧力の変化

図11 水添加によるNO_x, NO_{x13}, 排気温度の変化

図12 水添加によるNO, NO₂の変化

たが、COについては30vol.%水添加によって約2倍に増加している。

図14のすす濃度については、DS(ドライスト)とSOF(可溶性有機物質)の合計量で示したが、水添加率の増加によって減少を示した。廃プラスチック油(WPD)と軽油は均一的に混合することがで

図13 水添加によるCO₂, CO, O₂の変化

図14 水添加による排気ガス中のすすの変化

図15 反応度と着火遅れ

き、船用ディーゼルエンジンへの実用化を考え、基礎、応用的立場から実験を行った。その結果、燃焼・排ガス特性に若干の差異を示したので考察する。図15には噴霧の拡散と空気との混合によって律せられる着火遅れ(物理的特性)と、反応度(化学的特性)を示した。図より燃料噴霧から燃焼終了まで①、②の経路をたどるものとする。

常圧大気中での基礎実験では、廃プラ燃料添加率を増すと、①の傾向を示す。図のように着火遅れが短くなり、拡散型の燃焼が進みNO_xは低減される。しかしながら実機試験では、②の経路をたどる。廃プラ燃料添加にともなって着火遅れが増加し、混合油と空気の予混合化が促進され、予混合型の燃焼を呈し、NO_xの生成が増加する傾向が見られる。

5. ま と め

廃プラスチック油と軽油の混合燃料油の実用化に向けて、基礎的、応用的立場から実験した結果、大略的に次のようなことがいえた。

- (1)、常圧大気中での基礎実験においては廃プラ油添加率増加にともなって着火性が良くなり、NO_xの排出も減少傾向を呈した。
- (2)、実機試験においては廃プラ油の添加率増加にともなって着火遅れは若干長くなり、NO_x排出量も漸増するが、機関性能には何ら影響無く連続運転ができた。
- (3)、実機でのNO_x低減のために水添加した結果、大幅に効果を上げることができ、更にすす排出量も低減することができた。

最後に本研究遂行に当たり、試料油(廃プラスチック油)を提供し、実験の機会を与えてくれた日邦産業(株)に深くより謝意を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 岡屋裕造(日邦産業株式会社)、「産廃処理(廃プラスチック類)の為の新技术の発表」資料、(1997年12月)、P.3.
- 2) 西田ら、ほか7名、船用機関学会第60回(平成10年春季)學術講演会講演論文集、(1998年5月)、P. 156~163
- 3) 西田ら、ほか5名、日本機械学会講演論文集NO.984-1 (1998年3月)、P.39~40