廃プラスチック燃料油 (WPD) のディーゼル機関への適用—残さ油の場合—*

西 田 修 身** 藤 田 浩 嗣**
原 野 亘** Vu Phong Hai***
福 井 烈** 斉 藤 仁 巳***
豊 島 紀 彦****

Application of Waste Plastic Disposals to Marine Residual Fuel

by Osami Nishida, Hirotsugu Fujita, Wataru Harano, Vu Phong Hai, Tsuyoshi Fukui, Hitomi Saito,
Norihiko Toyoshima

Abstract: Sufficient attention to fuel oil systems, which is one of primary factors to revitalize marine transportation, is a great importance. Today's fuel oil used aboard sea-going vessels is low-grade heavy fuel oil (density $\approx 1.0\text{g/cm}^3$ @ 15°C , kinematic viscosity $\approx 500\text{cSt}$ @ 50°C) which requires complicated heating systems and excessive heating energy. This causes hard-working environment to engineer crew due to high temperature in engine room (approximately $45 \sim 50^\circ\text{C}$). Still more, because of high heating temperature (approximately $80 \sim 100^\circ\text{C}$) some fine components of fuel likely degenerate, coke or is wasted.

This study proposes a new usage of heavy fuel oil without heating, by mixing heavy fuel oil with oil thermally processed from waste plastics (hereafter called Waste Plastic Disposal or WPD). In previous papers, authors have presented the achievement of application of WPD-mixed DO and WPD-mixed A.Oil to diesel engines.

This paper reports the result of application of non-heated WPD-mixed HFO to diesel engines including the inspection of engine functions and exhaust gas characteristics.

Key Words: Marine F.O, WPD, Recycle, Non-Heating Plant, Particulate Matter

1. まえがき

海運界活性化の要因の一つとして、燃料油システムに着目することは、重要な事である。現在、外航商船で使用されている燃料油は超重質油(密度 $\approx 1.0\text{g/cm}^3$, 動粘度 $\rho \approx 500\text{cSt}$ 以上 @ 50°C , 硫黄分: $\text{S} \approx \text{数}\%$)であり、使用に際して複雑な加熱システムが装備されており、必要以上のエネルギーが使用されている。更に、加熱過程において、燃料油中の上質部分を無駄にしている可能性がある。

本研究では、現在船用の重質油(C-Oil)を加熱することなく使用可能にするための、燃料設計を提言するものである。筆者らは既に廃プラスチック油(WPD)を、軽油及びA重油に添加し、機関性能並びに排ガス特性を明らかにし、実績を示してきた^{(1)~(7)}。本報告はC重油に廃プラスチック分解油を添加し、燃料性状を改善し、非加熱の状態で機関の種々の性能及び排ガス特性試験を行った。特に排ガス中の微粒子(DS, SOF)、液状硫黄化合物並びに種々金属類も測定し評価したので、報告する⁽⁸⁾。

*原稿受付 平成11年10月22日

**正会員 神戸商船大学(神戸市東灘区深江南町5-1-1)

***神戸商船大学(神戸市東灘区深江南町5-1-1)

****日邦産業株式会社(岩倉市大地町五反田26)

表1 C重油成分分析表

JOMO C.Oil No. 30E		
Item	Unit	Value
Density (15°C)	g/cm ³	0.982
Reaction degree		Neutral
Flash point	°C	74.0
Kinematic viscosity (50°C)	m m ² /s (cSt)	177.0
Pour point	°C	- 10.0
Carbon residue	Wt. %	12.3
Sulfur	Wt. %	2.56
Water	Wt. %	0.00
Ash	Wt. %	0.020
Nitrogen	Wt. %	0.25
Gross Calorific Value	MJ/kg(kcal/kg)	42.780 (10,220)
Vanadium	m g/kg	58
Aluminum	m g/kg	4
Magnesium	m g/kg	2
Silica	m g/kg	13

表2 廃プラスチック熱分解油（WPD）成分分析表

Item	Unit	Value
Density(15°C)	g /cm ³	0.939
Kinematic viscosity (30°C)	m m ² /s (cSt)	1.189
Ignition point	°C	30.5
Components	Styrene monomer	% 63.9
	Styrene dimer	% 11.5
	Styrene trimer	% 5.7
	Toluene	% 2.2
	Ethyl benzen	% 1.4
	α - methyl styrene	% 2.2
	Others	% 13.1

表3 実験条件

#	1	2	3
Mixing Rate	10	20	30

2. 供試燃料油の性状値測定結果

本実験に使用のC重油の性状値及び廃プラスチック油（廃プラ油，WPD）の性状分析値をそれぞれ表1，2に示した。C重油の粘度は50℃で177cSt，密度は0.982g/cm³，硫黄含有率は2.56Wt.%である。廃プラスチック油の密度はC重油並みの0.939g/cm³であるが，動粘度は約1.2cSt(30℃)で極めて低い。また成分のほとんどはスチレン系で構成されている。表3には廃プラ油添加（混合）率を種々変えた場合の実験条件と定義を示した。実験は全て常温のもとで行った。C重油に廃プラ油を10，20，30Vol.%添加した場合の密度，粘度，CCAI値（着火性指標）及び硫黄分変化を図1に示した。図より，廃プラ油の添加率増加に伴って，密度，動粘度及び硫黄分が小さくなる。特に動粘度は添加率20Vol.%で急激に低下し，約1/9になる。しかしCCAI値以外の性状は機関使用燃料油には良い傾向である。図2は供試油の炭化水素含有量を相対的に把握するために，同一量，同一感度のもとで，吸収波長に対する紫外線吸収度を示したものである（測定器はUV-3100PCを使用した）。参考までにベンゼンのデータも付記した。廃プラ油の添加率が増加するに従って，280nm以上の吸収度が減少した。さらに

Mixing rate $\equiv$ WPD / (WPD + C.Oil) Vol.%
 Engine Speed: 2200 rpm
 Load: 75% of Rated Continuous Power

図1 混合油の動粘度，比重，CCAI，硫黄分の変化

図2 供試燃料油の紫外線吸収度

蒸留特性を把握するために、示差熱分析計（DTG-50/50H）にて、種々供試油の蒸留曲線を示したのが図3である。図より全試料とも500℃付近で90%近く蒸発している。特に廃プラ油のみでは300℃でほぼ蒸発が完了する。図4には廃プラ油、C重油及び20%廃プラ油添加油の3種類について、ガスクロ質量分析計（GCM8-QP5000）にて、分子量を測定した結果である。測定は同一量、同一感度のもとで行った。100%廃プラ油及びC重油は105並びに142のピークが現れて

図3 加水率の違いによる筒内圧変化の比較

図4 供試燃料油の分子量分析結果

図5 実験装置概略

いるが、20%廃プラ油混合油では120の新種油のピークが出現している。

3. 実験試験結果及び考察

実験に使用した機関及び測定系の全体図は表4及び図5に示すとおりであり、従来⁽⁶⁾とは大きく変わっていない。機関回転数2200rpm、定格出力の75% (12PS) 一定のもとで、燃料油を加熱することなしに、表3に示した条件のもとで全て常温(約25℃)の下で行った。図6は燃焼圧力線図を示す。廃プラ油添加率増加に伴って、最高圧力値は若干下がり、廃プラ油30%添加で着火遅れが若干長くなる。さらに、A重油の結果と比べ⁽⁶⁾、最高圧力値に大きな差異はなかった。図7、8には廃プラ油添加率に対する着火遅れ(Ig)、排気ガス温度(Tg)及びCO_x、O₂の測定結果を示した。大略的な値はIg≈1.7~1.9msec、Tg≈360~370℃、CO₂≈8%、CO≈700ppm、及びO₂≈10~11%である。全ての分布において廃プラ油添加率が増す程、CCAI値が増すため着火遅れが若干長くなり、混合液噴霧群と燃焼用空気との混合が促進されるため、又排気ガス温度が若干高くなる。図9、10はNO_x、SO₂及び微粒子濃度分布を廃プラ油添加率に対して示した[微粒子(PM:Particulate Matter≡SOF+DS)、ドライスート(DS:Dry Soot)、並びに可溶性有機物質(SOF:Soluble Organic Fraction)]。C重油のみよりは廃プラ油添加率が増す程、排気ガス温度が上がるため、NO、NO₂とも漸増しているが、NO₂は極めて低濃度である。SO₂は廃プラ油添加率増加に伴って、硫黄分が減少するため、低減している。図10にPM、SOF、DSの濃度分布を示した。図10よりSOF量が

表4 実験機関要目

Engine type	Horizontal single cylinder 4 stroke diesel engine (YANMAR NF19-SK)
Cylinder bore x stroke	Φ 110 x 106 mm
Maximum volume	1007cm ³
Clearance volume	61.78 cm ³
Maximum power	19.0 PS/2400 rpm
Rated continuous power	16.0 PS/2200 rpm
Compression ratio	16.3
Effective compression ratio	14.5
Swirl ratio	2.20±0.1
Nozzle	Φ 0.33mm, 4 direction injection
Nozzle injection angle	150°
Injection timing	19° ±1 B.TDC
Injection-valve opening pressure	19.6~20.1 Mpa (200~205kgf/cm ²)
Cooling type	Radiator
Weight	192 kg

図6 燃焼圧力線図

示した。大略的な値はIg≈1.7~1.9msec、Tg≈360~370℃、CO₂≈8%、CO≈700ppm、及びO₂≈10~11%である。全ての分布において廃プラ油添加率が増す程、CCAI値が増すため着火遅れが若干長くなり、混合液噴霧群と燃焼用空気との混合が促進されるため、又排気ガス温度が若干高くなる。図9、10はNO_x、SO₂及び微粒子濃度分布を廃プラ油添加率に対して示した[微粒子(PM:Particulate Matter≡SOF+DS)、ドライスート(DS:Dry Soot)、並びに可溶性有機物質(SOF:Soluble Organic Fraction)]。C重油のみよりは廃プラ油添加率が増す程、排気ガス温度が上がるため、NO、NO₂とも漸増しているが、NO₂は極めて低濃度である。SO₂は廃プラ油添加率増加に伴って、硫黄分が減少するため、低減している。図10にPM、SOF、DSの濃度分布を示した。図10よりSOF量が

図7 着火遅れと排気温度の変化

図8 CO₂、CO、O₂、濃度変化

図9 NOx, NOx13, NO₂, NO, SO₂濃度変化

図11 SOFによる紫外線吸収度の変化

図10 PM, SOF, DS濃度変化

図12 排気ガス中の換算した硫酸質量

全般にDSより高濃度に排出されているが、廃プラ油添加率が増すほど低下する。特にSOFの低減は著しいため、PMの低減も著しかった。図11は3条件の運転より排出されたSOFをジクロロメタンで抽出し、紫外線で吸収した相対値（同一スケールの吸収度）で示した。測定では同一抽出条件で感度で行った。図10より廃プラ油添加率が増す程SOFが低減するため、全波長域に渡って、吸収度が低くなる。排出されるPMとSO₃やNO₂が水分に溶解して、硫化液状物質として排出される。これら硫化物や硝化物を硝酸(H₂SO₄)量に換算して求めた。400mlの蒸留水に硝酸1～4mg滴下した水溶液のpH値分布を求め(検定曲線)、実機試験において、それぞれの条件のもと

図13 排気ガス中の硫酸の相当量の変化

図14 微粒子中の金属分析結果

図15 排気ガス中の金属

で、100リットルの排ガスをサンプリングし、400mlの蒸留水にバブリングした場合のpH値(□)を示したのが図12である。その値を検定曲線(図12)上に合致させ、得た値を図13にを表す。廃プラ油10%添加で、2.79mg (27.9mg/m³N)、20%添加の場合で、2.35mg (23.5mg/m³N)、30%の添加条件で、1.18mg (11.8mg/m³N)相当のH₂SO₄がそれぞれ排出され、硫化物の相当量の割合は図10より得たPM全体の13～20Wt.%である。廃プラ油添加率増加に伴って硫黄分が低下するため、排出される硫酸量も低下した。さらに、微粒子とともに排出される燃料油中に含有している種々金属原子をX線分析系(JXA8600)で測定した結果を図14、15に示した。図より、運転条件による差異は明らかに言えないが、C重油中のSi、Al、Mg、Vが多量に排出されている。さらに、V及び未燃のSも排出されている。

4. まとめ

本研究の目的は産業及び一般家庭廃棄物である廃プラ油を船用重油質油に生かすことである。これらの推進のために、機関の性能、並びに環境面の評価を行った結果、次のようなことが言えた。

- ① 重質油(動粘度 $\approx 177\text{cSt}$, @50℃)に廃プラ油を10～30Vol.%添加するだけで、動粘度が10～20cSt(@50℃)に低下し、非加熱の状態で、小型高速ディーゼル機関に直接使用することができた。
- ② 廃プラ油添加割合を増すことによって、若干着火遅れは長くなり、排ガス温度が上昇する。しかし、

機関性能には大きな変化はなかった。

- ③ 排出NO_x濃度は若干増加するが、PM, Dry Soot, SOFは大幅に低減できた。特にSOF, PMの低減は著しかった。
- ④ 硫化物の相当量の割合はPM全体の13～20Wt.%であり、廃プラ油の添加率増加によって、SO_xや液状硫化物で低減される。
- ⑤ 排出微粒子中の種々金属の定量をすることが出来た(0.01～1.3mg/m³排気ガス)。

文 献

- 1) 岡屋裕造(日邦産業株式会社)、「廃棄処理(廃プラスチック類)の為の新技術の発表」資料、(1997年12月)、P.3.
- 2) 西田ら、他7名、日本舶用機関学会第60回(平成10年度春季)学術講演会講演論文集、(1998年5月)、P.156～163.
- 3) 西田ら、他5名、日本機械学会講演論文集No.984-1(1998年3月)、P.39～40.
- 4) 西田ら、他9名、日本舶用機関学会第61回(テクノオーシャン)(平成10年11月25～27日秋季)学術講演会講演論文集、P.13～16.
- 5) 西田ら、他9名、日本機械学会講演論文集No.984-2(1998年10月関西支部第256回講演会;滋賀県立大)、P.11-5-6.
- 6) 西田ら、他9名、日本舶用機関学会誌 第34巻第2号(1999-2)、P.101～105.
- 7) O.Nishida, et al. 9, "Application of Waste Plastic Disposals to Diesel Engines", 5th Asia-Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization, (1999-Oct.), Shanghai, China.
- 8) 西田ら、他6名、日本舶用機関学会第63回(平成11年10月13～14日秋季)学術講演会講演論文集、P.27～30.