オフスペック燃料の ディーゼルエンジンへの適用*

坂 根 篤**

Utilization of Off-Spec Fuels for Diesel Engines

By Atsushi Sakane

Mitsui Engineering & Shipping Co., Ltd. has been carrying out research and development for utilizing various kind of off spec. fuels as fuel for diesel engines with the objective of diversifying fuel and sources, and putting inexpensive fuels to practical use. As the fuels deviate from the specifications of marine fuels, they are called off spec. fuel.

This paper deals with straight vacuum residue, visbreaker residue, and Orimulsion® of the off spec. fuels investigated by Mitsui until now. The characteristics of the fuels, and performance, exhaust emissions and durability of a diesel engine in the case of using the fuels are described in this paper. All of the three off spec. fuels can be used in 2-stroke cross-head diesel engines, although the same grade of clarification as that for marine fuel oils, using a fuel which has lower viscosity and compatibility with the fuels for changeover at starting and stopping engines, heating up the fuels for controlling their viscosity below 20 mm²/s (20 cSt), etc., are indispensable.

1. ま え が き

三井造船では、燃料多様化と安価な燃料の実用化を目的に、第1次石油危機以来20年以上にわたり、種々のオフスペック燃料（船用燃料規格から逸脱する燃料）をディーゼルエンジンの燃料として利用するための技術開発を行ってきた。対象としたオフスペック燃料は、ガス燃料^{1)~3)}と安価な低質燃料油^{4)~6)}に大別される。

技術開発の対象となったオフスペック燃料の内、ここでは、減圧蒸留残油、ビスブレーカ残油及びオリマルジョンについて、それらの性状、それらを使用した場合のエンジンの性能及び耐久性等を調査・検討した結果を紹介する。これらは、広範な流通性と他の燃料との混合安定性が要求される船用燃料としては問題があるが、陸用であればそ

の必要はなく、その燃料に適した前処理が可能であり、エンジンの起動及び停止時に使用する燃料も相性の良いものを入手可能であるので、発電用ディーゼルエンジンの燃料としては使用可能という結論に至った燃料である。

2. 減圧蒸留残油

図1に石油精製工程の一例を示す。減圧蒸留残油は減圧蒸留装置で減圧軽油を製造した後に残る油である。減圧蒸留残油の主な用途は、道路舗装用アスファルトの原料、ビスブレーカ等熱分解の原料及びC重油の原料である。

1950年以降、C重油はディーゼルエンジンの燃料として使用されている。1980年以降、ビスブレーカ残油等の熱分解残油の混合割合が徐々に増加してはいるが、それまでのC重油は約60%の減圧蒸留残油と約40%の軽油の混合物であった。従って、C重油を燃料とする中速・低速ディーゼルエ

* 原稿受付 平成12年6月23日

** 正会員 三井造船株式会社（玉野市玉3-1-1）

図1 石油精製工程の一例

表1 オンスペック燃料及びオフスペック燃料の性状

項 目	単 位	オンスペック燃料			オフスペック燃料		
		A重油	C重油	RMH55	減圧蒸留残油	Orimulsion®	ビスブレーカ 残油
比重 (15°C/4°C)		0.87	0.958	< 0.991	1.031	1.013	1.056
動粘度 (50°C)	mm ² /s	2	157	< (700)	550000	181	—
(100°C)	mm ² /s	—	—	< 55	3800	—	900
引火点 (PM)	°C	65	71	> 60	—	—	—
(COC)	°C	—	—	—	334	—	—
残留炭素 (CCR)	%(m/m)	0.6	13.9	< 22	22.6	12.1	26.7
アスファルテン	%(m/m)	—	—	—	5~15	8~9	16.0
硫黄	%(m/m)	0.45	2.43	< 4.5	4.88	2.79	4.25
窒素	%(m/m)	0.01	0.28	—	0.40	0.39	0.4
灰分	%(m/m)	0.00	0.02	< 0.2	0.03	0.28	0.12
V	mg/kg	—	—	< 600	110	340	156
Na	mg/kg	—	—	—	19	11	26
Mg	mg/kg	—	—	—	—	410	—
低位発熱量	MJ/kg	42.7	40.9	—	39.1	28.3	39.6
クロロホルム不溶解分	%(m/m)	—	—	—	< 0.01	—	0.06
*A重油との混合安定性	ASTM	1	1	—	2	—	2
C重油との混合安定性	D 2781	1	1	—	2	—	2
潤滑油との混合安定性	Spot No.	1	1	—	2	—	4

注

混合安定性は、No.1~No.5の5段階で評価するASTM D 2781のスポットテストで評価した。No.2以下は許容できる。

ンジンでは、ある意味では、既に減圧蒸留残油を使用した実績がある。

2.1 減圧蒸留残油の性状 表1に、減圧蒸留残油性状の一例としてストレートアスファルトの性状を示す。減圧蒸留残油と他種燃料との混合安定性は良好である。また、熱安定性も優れているので安心して加熱できる。残炭(CCR)は多いが、

霧化を適切に行えば燃焼の障害にはならない。高アスファルテンは潜在的にスラッジ生成の可能性を秘めているが、混合安定性の悪い燃料との併用を避ける等スラッジの生成に気を付ければ、燃焼に支障を来す心配はない。減圧蒸留残油は超高粘度であるので、エンジンの起動時及び停止時は低粘度燃料油を使用する必要があるが、減圧蒸留残

表2 試験用エンジン主要目(100%負荷)

型式	2サイクルクロスヘッド
シリンダ数	1
シリンダ径	400 mm
ピストンストローク	1360 mm
エンジン速度	177 rpm
平均ピストン速度	8.0 m/s
図示平均有効圧	1.85 MPa
シリンダ内最高圧力	15.8 MPa-a
有効圧縮比	13.0

図2 試験用エンジン

油と混合安定性の良い低粘度燃料油を入手することは、さほど難しいことではない。

2.2 減圧蒸留残油燃焼試験 単気筒2サイクルクロスヘッド型ディーゼルエンジンを用いて、表1に性状を示す減圧蒸留残油(ストレートアスファルト)の燃焼試験を行い、エンジン性能及びエンジン燃焼室部品の耐久性を評価した。表2にエンジンの主要目、図2にその外観を示す。評価基準となるデータを得るために、表1に性状を示すC重油についてもエンジン燃焼試験を行った。エンジン運転時間は、減圧蒸留残油で約200時間、C重油で約100時間である。

図3 燃料系統図

図4 減圧蒸留残油燃焼時のエンジン性能及び排気エミッション

図3に示す設備を用いて、減圧蒸留残油を清浄及び加熱し、エンジンに供給した。減圧蒸留残油の燃料清浄機入口温度は120℃とし、燃料清浄機への通油量を調節して、通常C重油に対して行うのと同程度の遠心清浄を行った。また、エンジン入口での減圧蒸留残油温度は、粘度が20mm²/s (20cSt) 以下となる240℃に制御した。エンジンはA重油で起動し、起動後負荷を上昇させながら徐々に減圧蒸留残油に切り替えた。エンジン停止時はその逆である。

減圧蒸留残油燃焼時のエンジン性能及び排気エミッションの測定結果を、C重油燃焼時の測定値で無次元化し図4に示す。NOx濃度は酸素濃度13%のドライ排気ガス中のNOx濃度、排気煙濃度はボッシュスモーク濃度(吸引排気ガス量0.003m³)であり、煤塵濃度はJIS Z 8808の方法で測定した。燃費及び過給機前・後の排気ガス温度から、減圧蒸

図5 減圧蒸留残油燃焼時のシリンダ内圧力

図6 減圧蒸留残油燃焼時における
ピストンリング摩耗率

留残油でのエンジン性能はC重油燃焼時のエンジン性能と同等と判断される。排気エミッションについては、NO_x濃度はC重油燃焼時と同レベルであるが、排気煙濃度は40%、煤塵濃度は20% C重油燃焼時よりも高い。減圧蒸留残油中にはアスファルテン分が多く含まれており、これが排気煙濃度及び煤塵濃度を高めた原因と考えられる。

減圧蒸留残油燃焼時のシリンダ内圧力をC重油燃焼時のそれと比較し図5に示す。シリンダ内圧力に殆ど差がないことから、減圧蒸留残油の燃焼はC重油の燃焼と同等と言える。

図6にピストンリングの摩耗率を示す。いずれのリングの摩耗率も、C重油燃焼試験のNo.1ピストンリングの摩耗率(mm/1000時間)で無次元化してある。減圧蒸留残油燃焼試験のピストンリング摩耗率は、いずれも、C重油燃焼試験のNo.1ピストンリング摩耗率の2倍前後と高いが、許容できるレベルである。

燃焼室部品の温度計測も行ったが、減圧蒸留残

油燃焼時とC重油燃焼時の各部の温度には大差がなかった。また、減圧蒸留残油燃焼試験後の部品解放検査の結果、ピストン、シリンダライナ及び排気弁のいずれも問題はなかった。また、240℃という高温に曝されていた燃料噴射ポンプ及び燃料噴射弁は、プランジャ及びニードル弁の表面が黒ずんではいたが、異常は認められなかった。

3. ビスブレーカ残油

ビスブレーカは熱分解装置の一種で、常圧蒸留残油、減圧蒸留残油等の重質油の低粘度化及び軽油製造を目的とする。図1に示す例では、減圧蒸留残油を原料としている。ビスブレーカ残油は軽油留出後ビスブレーカに残った油である。

3.1 ビスブレーカ残油の性状 表1に示すビスブレーカ残油は、バキューム・ビスブローケン残油である。炭素分が多く、アスファルテン分もかなり多い。ビスブレーカ残油は、減圧蒸留残油に比べ、アスファルテンを安定な状態で分散させる働きをもつ高分子量芳香族分に乏しいので、アスファルテンが凝集してスラッジが発生し易い。従って、ビスブレーカ残油と他の燃料を混合する場合は注意を要する。また、ビスブレーカ残油は熱安定性に不安があり、スラッジの生成を避けるために加熱温度が制限される可能性がある。通常、C重油等の高粘度燃料油をディーゼルエンジンに使用する場合は、良好な燃焼を確保するために、粘度が20mm²/s以下になる温度に加熱してシリンダ内に噴霧する。しかし、ビスブレーカ残油の場合は熱安定性の制限のために、粘度が20mm²/s以下になるまで温度を上げられない可能性がある。その時は、混合安定性の良いカッター材を使って、加熱制限温度より少し低温度で粘度が20mm²/s以下になるように、ビスブレーカ残油をカットバックする必要がある。通常カッター材はビスブレーカ残油より高価であるので、カッター材の使用量は最小限にしたい。そのためには、対象となるビスブレーカ残油の加熱制限温度を見極めることが重要である。

3.2 ビスブレーカ残油熱安定性評価試験 表1に示すビスブレーカ残油（実際はバキュームビスブローケン残油）の熱安定性評価のため、燃料噴射試験を実施した。

図7 燃料噴射試験装置概念図

図7に試験装置概念図を示す。燃料タンクには0.16m³のビスブレーカ残油が貯えられ、変質防止のためにタンクに窒素ガスが充填されると共に温水で冷却されて温度は150℃に保持されている。ビスブレーカ残油は、燃料タンクより燃料供給ポンプで電気ヒータに送られ215℃に加熱されて燃料噴射ポンプに送られる。燃料噴射ポンプで圧縮された高压(最高圧力60MPa)のビスブレーカ残油は、噴射容器内でビスブレーカ残油中に浸っている燃料噴射弁アトマイザより噴射される。噴射されたビスブレーカ残油は噴射容器から燃料タンクに戻り150℃に冷却される。アトマイザからの燃料噴射量は約0.055m³/hである。試験に使用したビスブレーカ残油を20mm²/sの粘度にするには185℃に加熱すれば良いが、それより30℃高い215℃に加熱した。また、電気ヒータ伝熱面の温度は250℃に制御した。

試験開始前と500時間の試験終了後に採取したビスブレーカ残油の粘度、アスファルテン分及びクロロホルム不溶解分の分析結果を表3に示す。粘度に有意な変化はなく、アスファルテン分もほとんど変化がない。クロロホルム不溶解分は、ビスブレーカ残油を清浄せずに試験に使用したので、試験中にフィルターで除去されて試験前より試験

表3 噴射試験前・後の燃料性状

項 目	単位	試験前	試験後
動粘度 (120℃)	mm ² /s	256	226
(170℃)	mm ² /s	32	36
アスファルテン	%(m/m)	16.0	16.5
クロロホルム不溶分	%(m/m)	0.06	0.03

後の方が少なくなっている。以上の分析結果並びに噴射ポンプ、ヒータなどの解放点検結果より、試験に使用したビスブレーカ残油は変質や炭化などを起こしておらず、20mm²/sになる温度185℃まで加熱しても問題ないことが判明した。

燃焼に関しては、ビスブレーカ残油をカットバックした燃料(カッター材はFCCライトサイクルオイルと推測される)の燃焼試験を行った経験がある。耐久性の評価ができるほど長時間の運転は行わなかったが、燃焼性については特に問題がないという結果が得られている。

ビスブレーカ残油の性状は精油所によりまちまちと考えられるが、熱安定性及び他の燃料との混合安定性に配慮して使えば、基本的には2サイクルクロスヘッド型ディーゼルエンジンの燃料として使用可能と考えられる。

4. オリマルジョン

オリマルジョン (Orimulsionは登録商標) は、南米のベネズエラで産出されるオリノコータル約70%に水約30%と界面活性剤微量を加え、エマルジョン化したスラリー燃料で、水中に微粒化したオリノコータルが懸濁している。オリノコータルは常温の粘度が100～800Pa・s (100,000～800,000cP)と非常に高いが、エマルジョン化することにより常温の粘度が0.9Pa・s以下に低下し、液体燃料として輸送、貯蔵、燃焼が可能になったものである。現状では、オリマルジョンはボイラ用燃料としてのみ使われている。

4.1 オリマルジョンの性状 当初試験に使用したオリマルジョンは、表1に示すように他の燃料と比較して相当多量の灰分を含んでおり、それがピストンリングの異常摩耗を引き起こす原因となった。後で述べるが、その後入手したオリマルジョンは低灰分(灰分以外は表1のオリマルジョンとほぼ同性状)であり、異常摩耗の問題は解決した。また、中南米産の原油によく見うけられることであるが、オリマルジョン(オリノコータル)もバナジウム含有量が多い。

4.2 オリマルジョン燃焼試験 減圧蒸留残油の場合と同様に、表2に示す単気筒2サイクルクロスヘッド型ディーゼルエンジンを用いて約200時間のオリマルジョン燃焼試験を行った。使用した燃

図8 オリマルジョン燃焼時のエンジン性能及び排気エミッション

図10 低灰分オリマルジョン燃焼時の排気煙濃度及び煤塵濃度

図9 オリマルジョン燃焼時におけるピストンリング摩耗率

料設備は図2に示すものとはほぼ同じであり、エンジンの起動及び停止手順も減圧蒸留残油の場合と同じである。

図8に示す燃費及び過給機前・後の排気温度より、オリマルジョン燃焼時のエンジン性能は、C重油燃焼時のエンジン性能と同等と判断される。また、NOx濃度もほぼ同じである。しかし、排気煙濃度及び煤塵濃度はC重油燃焼時よりもかなり高い。

図9にピストンリングの摩耗率を示す。オリマル

ジョン燃焼試験のピストンリング摩耗率は異常に高い。この異常摩耗の主原因は、オリマルジョンに多量に含まれる灰分と考えられ、異常摩耗対策として灰分の低減が有効という結論に至った。そこで、灰分の量を約1/3に減らした低灰分オリマルジョンを入手し、灰分低減の効果を確認するため燃焼試験を実施した。その結果、図9に示すように低灰分オリマルジョンでのピストンリング摩耗率は、大幅に減少し許容できるレベルに達した。

また、灰分低減により、図10に示すように排気煙濃度及び煤塵濃度も減少し、許容レベルに達した。

シリンダライナ温度を計測したところ、オリマルジョン燃焼時とC重油燃焼時の温度差は殆どないという結果が得られた。

1999年より新たに市場に供給されるようになったオリマルジョン(商品名Orimulsion 400)はさらに低灰分であり、エンジンでの燃焼試験の結果、期待通りピストンリング摩耗率、排気煙濃度及び煤塵濃度が低減した。

5. あとがき

減圧蒸留残油、ビスブレーカ残油及びオリマルジョンというオフスペック燃料について、その性状並びにそれを使用した場合のエンジンの性能、排気エミッション及び耐久性などの調査・検討結果を紹介した。

参 考 文 献

これらは、船用燃料と同程度の清浄化を行い、エンジンの起動及び停止時には混合親和性の良い低粘度燃料油に切り替え、船用燃料と同程度の粘度となるように加熱してエンジンに供給すれば、2サイクルクロスヘッド型ディーゼルエンジンの燃料として充分使える燃料である。

以上述べたオフスペック燃料に関する筆者らの経験が、船用燃料の燃焼に関する問題解決に多少なりともお役に立てば幸いである。

- 1) M. Miyake, et al., 15th CIMAC Conference Paper D11.2, (1983), 1193.
- 2) T. Fukuda, et al., Proceedings of JSME-ASME International Conference on Power Engineering-93, (1993), 1.
- 3) T. Fukuda, et al., Proceedings of ISME Yokohama '95, (1995), 114.
- 4) K. Saeki, et al., ASME Paper 80-DGP-21, (1980).
- 5) K. Saeki, et al., ASME Paper 82-DGP-6, (1982).
- 6) T. Fukuda, et al., Proceedings of 22nd CIMAC Congress, (1998), 347.