舶用粗悪燃料油に関する実験研究

(第1報 燃焼特性について)*

中野英明** 東 忠則** 園田憲一**
徳永佳郎** 石山拓二**

Experimental Studies on Low Grade Future Fuels
(1st Report Combustion Characteristics)

By Hideaki Nakano, Tadanori Azuma, Kenichi Sonoda,
Yoshiro Tokunaga, Takuji Ishiyama

An experimental study was carried out in order to clarify combustion characteristics of low grade future fuels. The tested fuels were some conventional fuels and those produced by the thermal and the catalytic cracking. The experiment was made on a high, a medium and a low speed marine diesel engine.

The main results obtained are (1) ignition lag increases with content of aromatics in the range over about 30%, (2) the exhaust gas temperature increases with content of aromatics while temperature of combustion chamber components increases with asphaltenes, (3) wear of piston rings increases with aromatics and (4) the Alumina Gel Chromatography is a recommendable method to determine content of aromatics in the case of heavy fuel oils.

1. ま え が き

最近における石油の供給と需要面の関係は、軽質留分の増加を促し石油精製法における新たな転換をもたらしつつある。すなわち従来の常圧蒸留や真空蒸留の他に熱分解や接触分解など、軽質分取得率の高い精製法を積極的に採用する方向へと転換していきつつある。その結果舶用燃料油はますます低質化し、具体的には芳香族、アスファルテン、硫黄、残炭等が増加する一方、FCC油においては未回収の触媒の混入が問題となり、既にこうした粗悪燃料による多くのトラブルが発生している。

粗悪燃料に起因する障害は機関の主要部品や燃料前処理機器の広範囲に及ぶため、その問題解決と要素開発にはいろいろな角度からの研究が必要である。筆者らも燃料油の分析や前処理及び機関性能との相関について陸上の実験機関と実験船による試験から総合的に研究しているが、本報告ではそのうち実験機による試験結果について燃焼試験を中心に報告し、その他の結果については別の機会にゆずることとする。

2. 実験機関

2.1 R6V22/30 テスト機関 実験に使用したテスト機関は比較的高速のR6V22/30機関と中速の2V52/55Aテスト機関であり、表1にその主な要目を示す。供試燃料油の入手量の関係上、燃料消費量の少ない比較的小形のR6V22/30のテスト機関を主として使用した。

R6V22/30は本来A重油だきのものであるが、C重油以下の粗悪重油使用のため、燃料噴射ポンプをC重油用とした他は、特に改造した点はない。R6V22/30での試験時の燃料系統を図1に示すが、供試燃料油は遠心清浄等の前処理を施さず、60, 250, 320メッシュのこし器を通したのみで実験機関に供給した。燃料油の温度は燃料噴射ポンプ入口で管理し、粘度が10~15 cStになるようにした。

これら噴射適正粘度を得るための加熱温度は燃料油により異なるが、今回テストしたような5000~6000秒RW.1 100°F程度の燃料油では130~150°C程度の高温であるため、50°Cでの粘度測定値のみで噴射温度を決めるのは妥当でない。図2は粘度-温度(ASTM)線図上に本試験に使用した燃料油のうちの数種について、温度を変えて粘度の変化を測定した例をプロットしたものである。この測定結果によると、ASTM線図上での粘度-温度関係は厳密には直線にならない。しかし大略直線とみなし

* 原稿受付 昭和57年8月2日

第12回創立十周年記念事業講演(昭和57年2月26日)

** 正会員 川崎重工業(株)(神戸市中央区東川崎町3-1-1)

表1 実験機関主要目

	R6V 22/30	2V 52/55A
Type	4-stroke, single acting, trunk piston	4-stroke, single acting, trunk piston
Cylinder bore mm	220	520
Piston stroke mm	300	550
Number of cylinder	6 (In-line type)	2 (45° Vee-type)
Output ps	850	2110
Engine speed rpm	900	450
B. M. E. P. Kg/cm ²	12.42	18.06
Max. pressure Kg/cm ²	85	125
Mean piston speed m/s	9.0	8.25

図1 R6V 22/30 テスト機関燃料系統

図2 燃料油粘度の温度特性

50℃及び100℃における粘度測定値を結び、外挿法で加熱温度を決定しても実用上ほとんどの場合差支えないものと思われる。

試験は船用特性に従って行い、A重油で起動、50%負荷でA/C切替えを行った。A重油供給ラインにも、A/C切替時の温度差を小さくするためにラインヒータを設けて加熱した。また潤滑油は市販の中アルカリSAE40相当油を使用した。

2.2 2V52/55Aテスト機関 中形の船用主機

として実機により近い2V52/55Aテスト機関で試験を行い、中速ディーゼルエンジンでの性能変化を調べた。本機はC重油だき用のもので、今回の試験のために特に改造した点はない。図3は2V52/55A試験時の燃料系統を示す。

2V52/55Aでの試験では供試燃料油を遠心清浄し、通油量を実験船上で行われている条件よりやや多くし、一般C重油は100%の、粗悪燃料油は50%の通油量で処理した。また比重が0.99以上のものについてはクラリファイアとして前処理した。本試験では図3に示す装置のうち、ホモジナイザ系統は使用していない。燃料噴射粘度はR6V22/30の場合と同様、燃料噴射ポンプ入口で10~15 cStになるように加熱温度を決めた。

試験は船用特性に従って行い、A重油で起動、50%負荷でA/C切替えを行った。この場合もA/C切替時の温度差を小さくするためA重油の加熱も行った。また2V52/55Aの場合も潤滑油は中アルカリSAE40相当油を使用した。

2.3 実船実験 筆者らはこれらテスト機関での試験とは別に、実際に船に搭載した機関及び燃料処理機器にて各種燃料油の試験を実施している。本船は低速機関である川崎-M.A.N K9SZ70/125機関を搭載した既就航船に油清浄機や加熱器を増設して6000秒油使用を

図3 2V52/55Aテスト機関燃料処理系統

可能なように改造するとともに、機関監視記録装置や各種計測器を搭載して追跡調査をした。本船搭載機関の主要目を表2に示す。

実験は1980年10月より1982年6月まで実施され、その間直留系高粘度油(最高5000秒RW.1 100°F)、ビスブレーキング油、FCC油を経験し、さらに筆者ら所有の表3の供試燃料油の6000秒ビスブレーキング油(F2)を積込んで運航試験を実施した。これら実船実験の詳細はまた別の機会に報告するとして、本報告ではそれらの結果から燃焼データを引用して高速、中速機関と比べてみた。

表2 実験船搭載機関要目

Main engine	
Designation	KAWASAKI-MAN K9SZ ⁷⁰ / ₁₂₅
Cylinder bore mm	700
Piston stroke mm	1250
Number of cylinder	9
Output ps	17100
Engine speed rpm	145
B.M.E.P. kg/cm ²	13.93
Max.pressure kg/cm ²	90
Mean piston speed m/s	6.04

表3 供試燃料油性状

Code	A	F101	F102	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Spec.Gravity(¹⁵ / ₄ °C)	0.8533	0.9413	0.9580	0.9883	1.001	1.028	0.9333	0.9782	1.020	0.9856	0.9816
Viscosity cSt(50°C)	3.02	65.1	148	636	623	649	431	414	510	525	570
Con. Carbon %wt	0.12	8.58	10.8	18.6	17.1	17.3	12.1	11.2	10.0	11.3	11.5
Ash %wt	<0.01	0.01	0.02	0.04	0.04	0.08	0.02	0.02	0.01	0.03	0.09
Water %vol	<0.01	0.05	0.10	<0.05	0.06	0.07	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Flash Point °C	87	87	106	89	73	74	148	89	192	100	148
Pour Point °C	-20	-7.5	2.5	2.5	-2.5	0	25	15	0	7.5	-10
*Calorific Value kcal/kg	10,884	10,386	10,251	10,116	9,967	9,949	10,254	9,990	9,806	10,103	10,123
Diesel Index	53.7	32.0	27.1	18.4	15.3	9.1	33.5	21.2	8.1	19.2	18.5
SiO ₂ ppm	<1	20	<1	13	9	580	22	27	14	182	6
Aluminum ppm	<1	!	<1	<1	<1	20	2	<1	<1	24	<1
Composition analysis *	Saturates %wt	61.5	38.8	43.0	28.0	25.8	23.3	38.3	33.7	31.0	34.6
	Aromatics %wt	5.6	33.1	29.7	31.0	35.9	43.1	22.5	28.8	47.5	40.1
	Resins %wt	0.3	11.3	12.1	16.9	17.2	17.1	9.3	15.3	14.1	10.5
	Asphaltenes %wt	0.3	3.5	5.4	11.4	8.9	9.1	13.9	6.4	3.5	9.3

* Higher Calorific Value

* Alumina Gel Chromatography

3. 供試燃料油

図4は実際にバンカリングされた燃料油を比重と50℃における粘度で整理したものである。粘度が10 cSt以下のところでプロットされているのはA重油(MDO)で、

30~40 cSt以上のところがC重油(MFO)に属し、現在は120~350 cSt程度のものが最も多く使用されている。中大形機関用の船用燃料油は、歴史的にみて1950年代から1960年代にかけてバンカーC重油への転換が行われ、この時期を仮に第1期転換期とすると第2期に当る

図4 船用燃料油のバンカリング例

表4 実験船使用燃料油例

Code	MF-1	MF-2	MF-3	MF-4	MF-5
Spec. Gravity (15/4°C)	0.972	0.985	1.005	0.979	0.958
Viscosity cSt (50°C)	297.2	422.1	293.3	348.1	184.8
Con. Carbon %wt	11.01	14.17	8.88	12.33	11.16
Ash %wt	0.04	0.05	0.08	0.06	0.03
Water % vol	—	0.10	0.11	Nil	Nil
Flash Point °C	—	109	101	127	90
Pour Point °C	—	-2.5	+2.5	5	15
*Calorific Value kcal/kg	—	10,190	10,010	10,270	10,360
Diesel Index	—	21.0	15.2	—	—
SiO ₂ ppm	<10	<10	188	14	<10
Aluminum ppm	2	1	89	3	1
Composition analysis *	Saturates %wt	35.2	41.3	30.4	31.5
	Aromatics %wt	28.0	31.1	36.2	38.3
	Resins %wt	22.7	14.3	23.5	17.9
	Asphaltenes %wt	5.9	8.5	6.3	4.6

+ Higher Calorific Value

* Alumina Gel Chromatography

現在は 3500 秒 RW. 1 100°F 以上の高粘度・重質油の領域に至ろうとしている。第 1 期の解決は潤滑油に負うところが大きかったが、第 2 期のそれに相当するものを見出すことが現在の課題である。

こうした中での供試燃料油の位置付けを図 4 に示し、黒丸でプロットし記号を付したものが今回試験した燃料油である。将来燃料と考えられている 400 cSt (50°C) 以上のいわゆる粗悪燃料油を 8 種類と、その比較のために A 重油 1 種類と一般 C 重油 2 種類を試験した。その性状を表 3 に一覧表として示す。A は一般に市販されている A 重油で、F101 と F102 も国内で市販されている一般 C 重油を購入したものであり、常圧あるいは減圧蒸留残渣油を基材としたものである。F1 と F2 はビスブレーキング残渣油を基材として調合されたものであり、F3 は FCC スラリを調合して製作された粗悪燃料油である。F4~F8 は比較的重質で高粘度の燃料油として特別に調合されたもので、芳香族成分の量が広範囲に変わっている。F6 は最も芳香族成分の量が多いもので、F4 はアスファルテンが極端に多い燃料油である。また F7 も FCC スラリを調合したものである。

これらの供試燃料のうち R6V22/30 テスト機関では F102 を除くすべてを試験し、2V52/55 A テスト機関では A, F102, F1, F2, F3 の燃料油を試験した。なお実船実験では意図的に燃料を選定することはできないが、送られて来たサンプルのうち採取データに相当する燃料油が明確なものの中から選定して分析した。その結果を表 4 に示す。

4. 燃料油性状における着目点と分析

従来から燃焼特性には燃料油の性状のうち残留炭素やアスファルテンが関係するとされ^{1,2)}、特に着火性の指標としてはセタン価やディーゼル指数が用いられてきた。しかし、これらの性状や指標を燃料の粗悪度と関係付けて定量的に把握した例は重質油ではほとんど見当らなく、且つまた、将来燃料と呼ばれる重質高粘度化した燃料油ではセタン価のような従来の着火性の指標は厳密には適用できなくなる。

これら残留炭素や着火性の指標はいわば従属因子で、燃料の粗悪度を大局的にとらえるにはやはりその素である油の各成分に立返る必要がある。そこで筆者らは燃料油の化学的組成に着目して、後述のアルミナゲルクロマト法により³⁾燃料油を飽和成分、芳香族成分、レジン成分、アスファルテン成分の四つに分析し、これらの諸成分と燃焼性あるいは熱負荷等の機関性能との相関について実験的に調べた。

図 5 はアルミナゲルクロマト法の概要を示している。まず試料油に *n*-ヘプタンを加えて、ろ紙でろ過する。このときろ紙の上に残る不溶解分に、さらにトルエンを加えて溶け出てくるものをアスファルテンとして秤量する。ろ紙を通過したものはアスファルテンよりも炭素数

図 5 燃料油の組成分析法

の少ない低分子量のもので、これをさらに分離するためにクロマト管というガラス管の中に活性アルミナ (Al_2O_3) 微粒子をつめたものに通す。クロマト管の中に入れられた試料油は、まず *n*-ヘプタンによって洗い流し、このときに溶け出てくるものを飽和成分 (Saturates)、さらにトルエンを加えて溶け出てくるものを芳香族成分 (Aromatics)、最後にメタノールとトルエンを加えて溶け出てくるものをレジン成分 (Resins) としてそれぞれ秤量し、もとの試料油に対する重量割合 (%wt) で表示する。

図 6 はアルミナゲルクロマト法により分析した結果を A 重油、C 重油 (標準的なもの)、ビスブレーキング油、FCC 油の代表的な 4 種の燃料油について比較したものである。各々の燃料油の飽和成分と芳香族成分との割合が、各燃料によって相当顕著な差を示し、アルミナゲルクロマト法が燃料の特質を表す上でかなり有効であることが分る。

図 6 燃料油の組成分析例

5. 燃 焼 特 性

燃焼性の評価は筒内圧力データより燃焼解析装置 (小野測器 CB-366) を用いて、クランク角 1° CA の精度で 100 サイクル平均波形に対して圧力上昇率 $dP/d\theta$ 、熱発生率 $dQ/d\theta$ を計算して行った。

R6V22/30 テスト機関で燃料噴射時期を固定して各種供試燃料油を試験したときの結果のうち、図7には着火遅れについて燃料油の芳香族成分の量が整理して示している。芳香族成分の量が約30%以下では、着火性にほとんど差異はないようであるが、それ以上になると着火遅れがほぼ芳香族成分の量に比例して増大する。

図8は筒内の圧力上昇率と燃料油の芳香族成分の量との相関を示しているが、圧力上昇率もやはり着火遅れの影響を受けて芳香族成分の量が約30%を超えると増大する傾向を示している。これは着火遅れが増大するとその間に用意された予混合気量が多くなり、ひとたび着火すると爆発的に燃えて筒内に急激な圧力上昇をもたらすためと考えられる。さらに図9は同じく芳香族成分の量と筒内最高圧力の関係をみたものであるが、R6V22/30 テスト機関では高芳香族成分の燃料油で筒内の急激な圧力上昇の結果最高圧力も高くなっている。

次に中速及び低速機関における試験結果を着火遅れについて、先に述べた高速機関の結果と比較して示したのが図10である。中速機関のデータは表1に記載した2V52/55A テスト機関で燃料噴射時期を固定して試験したときの全負荷時の値である。低速機関のデータは表2に示した実験船で使用された燃料油のうち、できるだけ芳香族成分の量が互いに異なるものを選定して示したも

図7 着火遅れと芳香族成分の量との関係

図8 筒内圧力上昇率と芳香族成分の量との関係

図9 筒内最高圧力と芳香族成分の量との関係

図10 着火遅れと芳香族成分の量との関係
(高速、中速、低速機関の比較)

のである。また運転条件もいろいろ変わるので、その中からなるべく同じような条件と思われるときのデータを選んでプロットしたが、正確には図10に付記したように負荷に違いがある。

着火遅れは燃焼室の温度、圧力及び燃料噴霧条件の影響を受けるため、図10において高速、中速、低速機関の着火遅れの絶対値を厳密に対比することはできない。また、低速機関のデータには負荷の違いがあることを考慮してみなければならないが、大略芳香族成分の量が30%程度以上になると高速、中速、低速を問わず着火遅れが増大する傾向が類似してみとめられる。

図7～10において典型的な燃料別にその燃焼性を比較してみると、ビスブレーキング油(F1, F2)はA重油(A)や一般C重油(F101, F102)と同程度かやや悪い程度であるが、FCC油(F3, F7)は芳香族成分の量が多く、燃焼性の点でもかなり粗悪な部類に入る燃料油と思われる。

図11は2V52/55A テスト機関でのA重油(A)とFCC油(F3)の全負荷における燃焼特性を比較したものである。図は上から筒内圧力 P 、熱発生率 $dQ/d\theta$ 、圧力上昇率 $dP/d\theta$ を示しており、(a)はA重油、(b)はFCC油の計測結果を示す。中速機関でもA重油に比べてFCC油では、着火遅れの影響を受けて圧力上昇率 $dP/d\theta$ は大きくなるが、筒内最高圧力 P_{max} はあまり増大し

図11 A重油とFCC油における燃焼特性の比較

ない。さらに低速2サイクル機関では、高芳香族燃料を使っても、 $dP/d\theta$ 、 P_{max} ともにA重油とほとんど変わらないという計測結果が得られた。但し圧力、温度及び燃料噴霧条件の悪い低負荷運転では、中速及び低速機関でも圧力上昇率 $dP/d\theta$ が全力よりも増加し、ノッキング騒音が増加する。また最近の機関では燃費低減のため、常用出力で圧縮圧力が低いにもかかわらず最高圧力を上昇させる傾向にあり、高芳香族油による圧力上昇率 $dP/d\theta$ の増大に注意を払う必要がある。

以上燃料油の燃焼特性は機関の種類を問わずアルミナゲルクロマト法による芳香族成分の量ではほぼその粗悪度を判断できることが分った。アルミナゲルクロマト法により分離された四つの成分は飽和成分、芳香族成分、レジン成分、アスファルテン成分の順に炭素が水素に比べて多くなり、かつ化学的に安定なものになる。先に述べた図6でも分るように、実際の燃料油を分析してみると4成分のうち、飽和成分と芳香族成分の二つが大部分を占めており、この二つの割合が燃料の化学的性質を大略

決定することになると思われる。すなわち芳香族成分の量が増加すれば、化学的に不活性なものとなり、着火や燃焼性が劣り、燃焼後に多くの堆積物を残すことになるものと考えられる。

6. 熱負荷特性

図12にR6V22/30テスト機関のシリンダ出口における排気温度と芳香族成分の量との関係を示す。排気温度は燃焼性の影響を反映してほぼ芳香族成分の量に比例して上昇する傾向を示している。供試燃料油F4は一般C重油の性状に比べてアスファルテンのみが3~4倍多くなっているものであるが、図7、図8でも分るように着火遅れ、圧力上昇率等の燃焼特性が良好であり、その結果排気温度が低くなったものと考えられる。これはアスファルテンが燃焼特性を支配するという従来の考え方と異なった結果を示しているが、次のように説明できる。すなわちアスファルテン単独では燃え難いものであるが、その周囲に燃焼性の良いものが多くありさえすれば、

その助けをかりて燃焼できる。したがってアスファルテンの量が極端に多くならない限り、その周囲に多くある成分の燃焼性により燃料油全体の燃焼特性が支配される。言い換えれば、燃焼特性は燃料油中に比較的多く含まれている芳香族成分の量に支配される。

図13は同じくR6V22/30テスト機関での全力負荷におけるライナ温度の計測結果を示す。図13では、ライナ上端部(シリンダカバー面とほぼ同一)より下に12mm、

図12 排気温度と芳香族成分の量との関係

図13 ライナ温度とアスファルテン成分の量との関係

図14 ピストン温度とアスファルテン成分の量との関係

ライナ表面(バルブリセスあり)より深さ5mmのところ
に熱電対を埋め込み、円周上4点で計測した平均値を例
にとって示し、燃料中のアスファルテンで整理した。また
図14はピストンの温度を計測した例を同じくアスファ
ルテンで整理して示す。計測はピストンのトップと2
ndリング間のランド部にテンプラグを埋め込んで行っ
た。

図13、図14で分るように熱負荷つまり部材温度は芳
香族成分よりもアスファルテンの量に比例する傾向があ
ることが分った。これは燃料噴霧中のアスファルテンが、
その難燃性のゆえに炎の先端部まで飛散してから燃えて
触火面を焼くためであろう。事実、図15に示すように
アスファルテンの多い燃料では、ピストン頂面の噴射マ
ークが外周へ伸びているのが見られ、火炎が伸びている
ことを示していた。

このように部材温度に関しては、排気温度にみられる
ような芳香族成分の影響をうけるトータルな燃焼性より

Standard bunker fuel

Visbreaking oil

図15 標準C重油とビスブレーキング油
における燃料噴射マークの比較

も、アスファルテンが原因となる長炎化や火炎輝度の増
加といった局所的な特性による性格が強いものと考えら
れる。換言すれば、供試油F4のように、排気温度が低
くても部材温度が高い場合もあるので、排気温度のみか
ら熱負荷を推定するのは間違いを生じやすい。

7. 摩耗と汚れ

摩耗や汚れについてみるには長時間の運転が必要であ
り、今回のような短時間の試験をもって評価するには無
理があるが、燃料油との相関がよく現れている興味深い
結果が得られたので報告する。

図16はR6V22/30テスト機関での1st, 2nd, 3rd
のピストンリングの合計摩耗減量を機関の1回転当りに
ついてみたものである。まだ初期摩耗の段階であるが、
芳香族成分との間にはっきりした相関が認められ、
ピストンリングの摩耗が燃焼性の影響を受けることがう
かがえる。

図17は同じくR6V22/30テスト機関でトップリング
溝に堆積したカーボン量をリング溝の容量に対する割合
として求め、芳香族成分の量との相関をみたものである
が、燃焼性の影響をうけて芳香族成分の量にほぼ比例し
て堆積物は増加することが分った。

図 16 ピストンリング摩耗量と芳香族成分の量との関係

図 17 リング溝堆積物と芳香族成分の量との関係

8. む す び

将来、船用市場に供給されてくると思われる試作燃料油について船用の高速、中速のテスト機関により実験する一方、低速機関搭載の実験船にて試験してきた結果、粗悪燃料油の実態をかなり明確なものにすることができた。ここに現段階の結論としてその概要をまとめて述べる。

1) 粗悪燃料油の判断指標として、化学的組成に着目したアルミナゲルクロマト法による芳香族成分の量が最も有効である。これは実際の燃料油を分析してみると飽和成分と芳香族成分が大部分を占めており、化学的に不活性な芳香族成分が着火性や燃焼性に関する燃料油の化学的性質を大略決定するためである。

2) 高速、中速、低速のいずれのエンジンでも高芳香族成分の粗悪燃料油では着火遅れが増大する。そのため高速、中速機関では筒内の圧力上昇率 $dP/d\theta$ が大きくなる。筒内最高圧力 P_{max} は高速では著しく大きくなる

が中速、低速ではあまり変化しない。どの機関にとっても、まず問題となるのは $dP/d\theta$ の増大であり、特に低負荷運転では全力時よりも増大し、ノッキングの増加による二次的問題もあり、燃料の選択に注意を要する。

3) 粗悪燃料を使用すると排気温度が上昇し、部材温度も上がる。排気温度はトータルな燃焼性を反映して芳香族成分の量に比例し、部材温度はアスファルテンの難燃性による長炭化や火炎輝度の増加といった局所的な特性による影響を受けるものと考えられる。したがって排気温度のみで部材温度を推定することは間違いを生じやすい。

4) 粗悪燃料油の摩耗と汚れに対する弊害についても、比較的短時間の実験ではあるが、ピストンリングの摩耗量及びリング溝の堆積物は燃料油の燃焼性の影響のためか芳香族成分の量とかなり明確な相関をもっていることが分った。

5) 筆者らの試験に関する限り、FCC油はビスブレーキング油より芳香族成分が多く、触媒粒子によるアブレイシブな摩耗はもちろんのこと、燃焼面でも最も粗悪な部類に属する燃料と言うことができる。

粗悪燃料油に起因する障害はエンジン性能の広範囲にわたって潜在するものであるが、燃焼特性及びその影響をうける摩耗や汚れについては燃料油中の芳香族成分の量が支配的であり、熱負荷についてはアスファルテンの量が重要である。この他にエンジン障害としてアブレイシブな摩耗と腐食がある。アブレイシブな摩耗としてはFCC触媒粒子の問題があり、シリカあるいはアルミナの量が判断基準となる。また腐食では高温腐食としてバナジウム、低温腐食としては硫黄が問題となる。したがって、筆者らは粗悪燃料油の性質を研究してきた現段階では、燃料油の性状のうち粗悪度を判断するには、芳香族、アスファルテン、シリカ・アルミナ、硫黄及びバナジウムの五つの因子に絞ることができると考えている。このうちシリカ・アルミナ、バナジウム、硫黄すなわち摩耗と腐食については試験に非常に長い時間を要する問題であり、実験法に一工夫を要するものであるが、やがては定量的に解明しなければならない問題であると考えている。

終りに、本研究における実船実験に関して多大のご協力を戴きました東興海運株式会社の工務部及び乗員の方々に、また供試燃料油の調査にあたって熱心なご協力を戴きました昭和石油株式会社の潤滑油部及び技術研究所の方々に厚く感謝の意を表します。さらに日本船用機関学会中小形ディーゼル機関研究委員会の低質油研究小委員会でも熱心なご指導、ご討論を賜った岡山大学・浜本嘉輔教授、同志社大学・竹内貴一郎教授、大阪府立大学・太田幹郎助教授を始め各委員の方々に心から謝意を表します。

文 献

- 1) Eberle, M. K., Marine Propulsion and Future Fuels Conference, MOTOR SHIP, 1979
- 2) Gallois, J., Marine Propulsion and Future Fuels Conference, MOTOR SHIP, 1979
- 3) 藤田, 昭石技報, 1-2(昭32), 71
- 4) 湯原, 昭石技報, 4-2(昭35), 63

〔質 疑 応 答〕

質問者 富士ディーゼル(株) 浅見与一

〔質問〕 噴射系のトラブルはなかったか(噴射管内の高圧によるキャビテーション等)。

〔回答〕 今回の試験では粗悪燃料油の場合の噴射圧は標準C重油に比べて約50 kg/cm²高くなった程度で, キャビテーションのような噴射系のトラブルは特になかった。

〔質問〕 噴射系のモードを変えて最も良い性能を得るようなテストは実施しているか(例えば噴射時期, 期間, あるいはパイロット噴射, 噴射率の変更等)。

〔回答〕 燃料噴射率を変えて燃焼改善をみる実験は今回の粗悪燃料油の実験としては実施していない。しかし燃費低減という観点から, 電子制御式燃料噴射装置を含めて噴射率を変える試験を種々のエンジンで実施している。この実験内容は多岐にわたることと, まだ十分まとまっていないので別の機会に報告したいと考えている。

質問者 丸善石油(株) 嶺 之晴

〔質問〕 燃料油の組成分析データについて 各成分をプラスしても100%にならない(AFO 67.7, CFO 84.0~96.1%までばらついている)。このばらつきの原因と残りの成分についてはどのように推定しているか。

〔回答〕 一般にまだC重油の組成分析法に確立されたものはなく, 今回採用したアルミナゲルクロマト法はもととアスファルトを分析する方法であるが, 今回の供試燃料油のほとんどが重質油であるためこの方法を適用した。回収率が100%にならないのは, クロマト管から溶出してきたものを湯浴にて溶剤を蒸発させ除去するときに, どうしても軽質分の飽和成分も揮散してしまうためと考えられる。したがって未回収分のほとんどを飽和成分と考える。

なお現在, 軽質留分の組成分析法として高速液クロマトグラフィというものが研究されているが, この方法が確立するとあらかじめ燃料油を軽質留分と重質留分に区分けしておいて, 軽質分には高速液クロマトグラフィを, 重質分には今回適用したアルミナゲルクロマト法を適用して分析するとより精度が上げられるものと考えている。

〔質問〕 F4燃料について きわめて異常な性状を示している(低比重, 高アスファルテン, 残留炭素分がアスファルテン分より多い)。High Asphalteneの例と

して試作したものと思うがどのような基材で作ったのか。

〔回答〕 この燃料はご指摘のとおりアスファルテンの高いものとして試作してもらったものであるが, 基材についての詳細は残念ながら分かっていない。

付図1は実際にバンカリングされている燃料油の残炭とアスファルテンの関係をみたものであるが, 残炭が普通言われているような量よりも多く, アスファルテンとはほぼ同量程度のものも実際に存在している。また残炭は燃料中のアスファルテンのみでなく芳香族, レジンが多く含有されることによって増加する。このような観点から付図1の実際のバンカリング油のアスファルテンの最も多い燃料油よりさらに deviate したものととしてF4を試作した。

付図1 アスファルテンと残留炭素との関係

質問者 三井造船(株) 田中正紀

〔質問〕 着火遅れの大きい燃料による中低速機関の性能の変化は大きくないようですが, 低質燃料で起動する場合は低温で着火せねばならず, 着火遅れと起動性能は大きな相関があると思う。試験された燃料油の中に起動性能の悪いものがあったか。

〔回答〕 今回の試験では実験の都合上ほとんどの場合A重油で起動し, その後供試燃料油に切換えてテストした。ただ供試燃料中最も着火性の悪い部類に入るFCC油(F3)で切換えなしに起動することを2V52/55Aテスト機関で試みた。付図2はA重油で起動した場合の起動から120サイクルまでの最高筒内圧と最高噴射圧を示したものである。この図からA重油起動の場合は燃料の噴射にともなって着火しスムーズに起動していることが分る。一方付図3はFCC油の起動特性を示したものであるが, 燃料が多量に噴射されているにもかかわらず, ほとんど燃えておらずときどき単発的に着火しているのがよく分る。FCC油の場合このような状態を繰返しながら, A重油の2倍以上の時間がかかって起動した。もっともこのデータは2気筒でのもので実際の多気筒機関で

付図2 機関の始動性－A重油

付図3 機関の始動性－FCC油

は今回のテストに比べるとかなり容易になるものと考えられる。しかしいずれにしろ実際の操船性の問題を考えると、このように起動性が悪いことはご指摘のとおり重要な問題であり、慎重な態度が必要と考える。

〔質問〕 起動を容易にするために、A重油で起動しC重油に切替える方法があるが、その場合には切替時の燃料の親和性が問題になると思われる。試験された燃料油の中に親和性の悪いものがあつたらご教示下さい。

〔回答〕 今回の試験ではA重油混合による供試燃料油の粘度低下を避けるため、混合油の戻りを別のタンクに導いて廃油した。そのため切替えに要した時間は10～20分程度で済み、比較的短時間のため切替中の挙動を正確に判断することができないかも知れないが、今回の試験に関する限り特に親和性が問題となるようなことはなかった。切替中の機関性能についていえば完全に切替った後の粗悪燃料油の場合とほぼ同じであった。また燃料処理系統についてみればこし器が1回目詰まりを起こした程度であった。しかし親和性と直接関係ないが、運転後のこし器の汚れが、FCC油ではA重油や標準C重油とほとんど同じかわずかに多い程度であったのに比べ、ビスブレーキング油では目立って多く長時間の使用にあたっては注意する必要があると思われる。