単一液滴を用いた燃料油試験法

環境·エネルギー研究領域 大気環境保全研究グループ 羽鳥和夫

1.緒 言

舶用機関では燃料油に起因すると考えられるシリンダのスカッフィングや熱交換機(排ガスエコノマイザー)への灰付着等のトラブルが発生している。これら機関では低質な燃料油が使用されるため燃焼中に多量の煤が発生する。特に、燃焼後期に発生した煤は燃焼終了後も未燃のまま残り、これがシリンダ内面に付着したり、シリンダ内から排出された後で熱交換器に付着することにより障害が発生すると考えられる。この要因として、燃焼時間と煤の発生とに注目した。

ここでは機関の故障を未然に防ぐ手法として、噴 霧燃焼の基礎となる単一液滴を用いた簡易的な燃 料油試験法を提案する。この試験法は懸垂棒の先 端に懸垂させた単一液滴を大気圧下の高温静止空 気中で着火・燃焼させ、燃焼時間および懸垂棒へ の煤の付着状態について調べる。

また、これらを測定するに当たり、光学系と電気 回路から構成した微少火炎測定装置および燃料油 の定量装置を試作し、装置を簡略化した。

2. 実験装置、方法

2.1.燃焼装置

実験に用いた燃焼装置関係の概略を図1に示 す。この装置の特徴は電気炉の内部に炉心管を納



めた構造である。燃焼室は内径80mm、長さ200mm である。燃焼室内の温度は中心位置から20mm離れ た位置で測定して一定値に制御した。温度測定位 置と中心位置との温度差は無視できる。懸垂棒は 直径0.5mmの石英棒を用いた。

懸垂液滴を燃焼させる場合、液滴量と空気温 度が燃焼時間に影響を及ぼす^{1,2,3)}。ここでは、 初期液滴量を一定にするために定量装置を用い た。また、着火時までに液適量を減少させない ため、燃焼室内の空気温度は1100Kとした。

2.2.火炎検出装置

火炎検出装置は液滴表面の火炎から発する光を 集光する光学系、およびこの光のみを検出して燃 焼時間を測定する電気回路から構成される。

火炎検出用の光学系はハーフミラー、二枚のレ ンズL1 L2 および火炎検出用のフォトトランジスタか ら構成される。

液滴周囲に発生する火炎からの光はハーフミラ ーにより液滴撮影用と火炎検出用とに二分割され る。ここで、レンズLiを液滴位置がほぼ焦点となる位 置に置くと、Li~L2間はほぼ平行光線となる。フォト トランジスタはレンズL2のほぼ焦点付近で、火炎の 検出感度が最大となる位置に調節する。これによ り、微小火炎の高感度な検出が可能となる。これら の構成ではハーフミラーの角度およびレンズL1 L2 間の距離を変えることで、火炎は任意の場所で検 出できる。

図1で示したように、本実験装置は燃焼室の左側 に液滴撮影用の光源が設けられている。このため、 フォトトランジスタは火炎からの光以外に、この光源 からの光も受光する。ここでは、火炎のみを検出す るためオペアンプによる比較回路を用いた。

火炎検出用の電気回路の概略を図2に示す。こ の回路において、オペアンプの入力端子2に基準 電圧を、入力端子3にフォトトランジスタのアース側



図3 液滴定量装置

の電圧をそれぞれ入力する。フォトトランジスタが火 炎光を受光すると端子3の電圧が上昇する。この電 圧が基準電圧を超えている時間に対応して出力端 子6からパスル信号が出る。このパスル信号の幅を 測定することで、液滴の燃焼時間が求められる。

測定では基準電圧を火炎がない場合の端子3の 電圧より僅かに高い値に設定する。このため、燃焼 時間は僅かに小さい値となる。

2.3.燃料油の定量装置

舶用燃料油は粘度が高いため室温での流動性が悪く、既製品のマイクロシリンジは使用できない。 このためマイクロシリンジ本体(バレル)と針との接続部の内径を0.5mmに拡大した。このマイクロシリンジを液滴定量装置に取り付けて液滴の定量を行う。

液滴定量装置の構造を図3に示す。本装置はマ イクロシリンジのバレルを固定しておき、ネジ式送り 機構のハンドルを回すことでプランジャを押す構造 である。ハンドルは可動式のストッパーにより一回転 で停止する。マイクロシリンジの容量が100µl、プラ ンジャの行程が60mm、ハンドルー回転の送り量が1 mmであり、一回の液滴量は約1.7µlとなる。

2.4.実験方法

実験は次のように行う。最初に、恒温水槽で313K ~325Kで保温した燃料油をマイクロシリンジに採 る。次にマイクロシリンジを定量器に取付た後、所定 量を懸垂棒の先端に付ける。液滴の初期温度を一 定にするため、懸垂液滴の温度がほぼ室温となっ た後で炉を移動する。懸垂棒の先端に懸垂された 液滴は燃焼室の中央に保持され、周囲の高温空気 と炉壁からの輻射により加熱されて着火・燃焼する。

ここでは燃焼時間の測定と平行して、液滴の挙動をVTRで録画すると同時に、モニターで観察した。VTR画像からは懸垂棒に付着した煤の挙動、

Sample		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
Density *1	kg/m3	983	989	984	986	971	987	985	989	988	983	988	989	984	971	977	959	992	971	949	986	986	990
Viscosity *2	mm2/s	355	397	343	402	351	392	373	365	379	369	368	339	261	373	314	507	397	171	107	310	320	414
Water	%v/v	0.08	0.04	0.1	<0.1	<0.1	<1	0.1	0.06	0.06	0.08	<0.1	0.9	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.6	0.2	0.3	0.08	Trace
M. C. R. *3	%m/m	11.4	15	12.5	11.7	12.6	12.4	12.5	15.4	10.8	11.5	16.3	15.7	14.6	13.0	7.0	8.1	13.0	11.0	8.0	13.0	12	16.3
Sulfur	%m/m	3.62	2.7	3.75	2.74	3.07	2.5	2.35	3.64	3.99	3.76	3.57	1.83	3.43	3.21	1.16	0.77	2.62	2.5	2.88	2.20	1.3	2.01
T. S. P. *4	%m/m	-	-	0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	-	-	1	0.02	0.02	0.04	0.02	0.01	0.01	0.03	< 0.01	0.01	0.02		
Ash	%m/m	<0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.06	0.17	0.04	0.05	0.04	0.06	0.04	0.02	0.04	0.05	0.03
Vanadium	mg/kg	36.9	66	41	41	96	50	58	8.3	36.3	37.3	89	86	70	146	43	20	253	202	64	77	80	84
Sodium	mg/kg	22.5	13.2	18	16	16	11	14	15.9	22.8	24.2	24	52	252	16	59	45	16	14	9	44		18
Aluminum	mg/kg	0	0.28	<1	4	<1	2	1	0	0	0	2	4	18	<1	2	11	2	4	3	10	<20*5	5
Silicon	mg/kg	0.1	0.21	<1	4	<1	1	1	0	0.04	0	<1	8	29	<1	5	15	< 1	5	3	13		10
Iron	mg/kg	5.09	9.22	8	20	5	13	10	6.17	6.78	5.38	10	24	43	8	46	57	4	10	12	13		34
Nickel	mg/kg	11	25.1	15	17	29	19	23	24.4	11.9	13.6	27	36	19	41	42	24	72	42	23	28		37
Calcium	mg/kg	0	0	1	2	2	1	<1	3.08	4.77	1.05	7	29	110	2	9	23	10	8	5.0	12		5
Magnesium	mg/kg	0	0	<1	<1	<1	<1	<1	0	0	0	<1	9	36	1	1	6	< 1	1	1	3		1
Lead	mg/kg	0.05	0.15	<1	<1	<1	<1	<1	0.11	0.01	0	<1	1	2	<1	< 1	< 1	< 1	1	2	< 1		1
Zinc	mg/kg	0	0.16	<1	<1	<1	<1	2	0.31	0.34	0.05	1	23	18	<1	< 1	2	1	6	7	3		2
Pour Point		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48	-	-	-	-		-
Flash Point		88	105	>70	>70	>70	>70	>70	91	107	95	>70	> 70	> 70	> 70	> 70	> 70	> 70	> 70	> 70	66		119
Asphaltene	%m/m	3.62	6.25	4.8	3	5	3.7	3.6	7.51	4.09	4.37	8.2	7.6	7.5	7.2	2.6	4.8	9.5	6.9	3.4	1.6	4.6	7

表1 燃料油の一般性状

燃料油	do	/ 平 均 値			
B1	1.574	1.000			
B 2	1.554	0.987			
B 3	1.572	0.999			
B 4	1.583	1.006			
B 5	1.576	1.001			
B 6	1.575	1.001			
Β7	1.579	1.003			
B 8	1.576	1.001			
B 9	1.575	1.001			
B10	1.575	1.001			
B11	1.570	0.997			
B12	1.579	1.003			
平均 値	1.574				

表2 各燃料油の液滴直径

表3 燃焼時間の比較(軽油)

回数	燃焼時間 sec							
	Pho. Tr.	Video	差					
1	1.783	1.80	-0.017					
2	1.813	1.83	-0.017					
3	1.904	1.92	-0.016					
4	1.868	1.87	-0.002					
5	2.005	2.02	-0.015					
6	1.923	1.93	-0.007					
7	1.939	1.95	-0.011					
8	1.847	1.87	-0.023					
9	1.865	1.88	-0.015					
10	1.889	1.90	-0.011					

および火炎検出装置の動作確認のために燃焼時 間を求めた。燃焼時間は液滴の周囲に輝炎が発生 してからそれが消滅するまでとした。

3.実験結果および考察

3.1.使用燃料油

今回使用した燃料油の一般性状を表1に示す。 実験ではこれらの燃料油を二つのグループに分け て扱った。Aグループは国内で供給されたもので機 関に障害が生じなかった燃料油であり、これらを標 準燃料とした。Bグループは明確に障害が発生した 燃料油B9、B10およびB11と、それらに類似すると される燃料油である。なお、燃料油B8はB9との比 較用で障害は生じていない。

3.2.液滴定量装置の精度

液滴定量装置を用いて燃料油を懸垂棒の先端 に付け、その大きさを測定した結果を表2に示す。



図4 煤の挙動

ここでは粘土が幅広く分布しているBグループを対 象とした。液滴直径do値は液滴の短径の二乗値に 長径を乗じたものの三乗根として求めた。表の値は 12回の平均値を示す。各燃料油のdo値が平均値 に対して僅かの違いであることから、本装置は高粘 度の燃料油でも十分に定量が行えることを確認し た。

3.3.燃焼時間の測定精度

火炎検出装置で測定した燃焼時間の値を検証 するため、ビデオ画像から測定した値と比較した結 果の一部を表3に示す。この表から、火炎検出装置 の値がビデオ画像からの値に比べて僅かに小さい ことがわかる。この原因として以下の二点を確認し た。最初に、全ての場合において火炎検出装置の 値が小さくなる原因は図4で示した比較回路の基準 電圧の設定による。次に、両者の差が0.02秒以上 となるケースについてビデオ画像を検討した結果、 この差はタイマの表示が1/100秒であることとビデ オ画像が毎秒60コマで撮影されることで生じる。以 上のことから、火炎検出装置は単一液滴の燃焼時 間の測定に使用可能であることが確認できた。

3.4.煤の挙動

懸垂棒に付着した煤の挙動の一例として、燃料 油A1の場合を図4に示す。この写真で、液滴は燃 焼室に入った後0.89秒で着火し、2.63秒で燃焼が 終了する。燃焼中に懸垂棒に付着した煤は燃焼終 了後に減少し、約8秒で消滅する。

燃焼終了時から煤が消滅するまでの時間は空気 温度に依存すると考える。ここで、煤が消滅するま での時間と空気温度との関係を図5に示す。燃焼終



図7 煤の付着状態(Bグループ)

燃料油	燃盘時間	燃料油	燃盘時間	
7уш4 ^т 17Ш	(Sec)	//////////////////////////////////////	(Sec)	
A 1	1.681	B 1	1.928	
A 2	1.847	B 2	1.923	
A 3	1.746	B 3	1.754	
A 4	1.828	B 4	1.814	煤なし
A 5	1.842	B 5	1.681	
A 6	1.840	B 6	1.880	
Α7	1.825	B 7	1.864	
A 8	1.804	B 8	1.952	煤なし
A 9	1.720	B 9	1.916	
A 1 0	1.730	B 1 0	2.025	
A 1 1	1.614	B 1 1	1.971	
	1.90 <bt< td=""><td></td><td>1.95 <bt< td=""><td></td></bt<></td></bt<>		1.95 <bt< td=""><td></td></bt<>	

表4 燃料油の燃焼時間

了時における煤の付着量は空気温度により多少異 なるが、この図から、煤が消滅するに要する時間は 空気温度が低くなるにつれて増加する。そして、空 気温度1000K以下では煤の酸化はほとんど進まな いことが分かる。この結果は、シリンダ内において も、燃焼後期に発生した煤が酸化されにくいことを 示唆する。

3.5.煤の付着状態と燃焼時間

各燃料油について、燃焼終了時における懸垂棒 への煤の付着状態を図6と7に示す。図6のAグル ープでは、煤の付着量は全ての燃料油で多い。図 7のBグループでは、燃料油B4とB8は煤の付着量 が少ない。

次に、各燃料油の燃焼時間を表4に示す。表中 の値は10回の平均値を用いた。標準としたAグル ープの燃焼時間は1.85秒以下である。

Bグループにおいて、障害の発生要因を多量の 煤の付着および燃焼時間の長さとすると、煤の付着 量が少ない燃料油B4とB8は除かれる。他の燃料 油についてAグループの値と比較すると、燃焼時間 が1.9秒以上1.95秒未満の燃料油はB1、B2、B9とな り、1.95秒以上の燃料油はB10、B12となる。ここで、 燃料油B9、B10およびB11はスカッフィングを発生さ せた燃料油である。

上述の結果は本装置により障害発生燃料油の予 測が可能であることを示す。

4.まとめ

燃料油による舶用機関の障害発生は多量の煤の 発生と燃焼時間が長いことが要因となるとの考えか ら、単一液滴を用いて両者を測定し、スカッフイング 等の障害を発生させる燃料油の予測ができることを 示した。また、火炎検出装置と液滴定量装置によ り、測定の簡易化が実現できた。

参考文献

- 1)羽鳥,船研報告, 35-1(1998),1.
- 2)羽鳥, 舶用機関学会誌, 35-4(2000),245.
- 3)羽鳥、マリンエンジニア誌、36-4(2001),211.