

73 舶用燃料油の単一液滴の燃焼特性

機関動力部 羽鳥和夫

1. 結 言

舶用機関において燃料油に起因すると考えられる障害の防止や、問題を解決するためには、その燃焼過程を解明することが重要である。

筆者は、舶用燃料油が基本的に残査油と軽質油との二成分混合燃料であるとの観点に立ち、これまでに高温空气中で懸垂した単一液滴を燃焼させる手法を用いて燃料油の着火・燃焼過程を調べてきた^{1)~3)}。この結果として、燃焼時間は空気温度が950 K~1000 Kで最大値を示し、さらに空気温度が高くなると減少することを示した。このような燃焼時間の変化は燃焼中に見かけの液滴直径が増加することで説明できた。

今回、(社)日本舶用工業会と共同研究を行い、機関に障害が発生した燃料も含めた燃料油サンプルが入手できた。本報告は、これらの燃料油の単一液滴を大気圧下の高温静止空气中で燃焼させ、主に燃焼時間について測定した結果について述べるとともに、燃焼中における見かけの液滴直径の挙動から燃焼過程の考察を行った。

2. 実験装置及び実験方法

実験装置の概略を図1に示す。実験用の燃焼室は内径80mm、長さ200mmであり、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。中心位置と制御用の測定位置との温度差は実験範囲内で0~-2Kである。懸垂棒は直径0.5mmの石英棒を用いた。液滴は懸垂棒の先端に懸垂し、炉を移動することにより燃焼室の中央に保持される。炉内に入った液滴は周囲の高温空気と炉壁からの輻射により加熱されるため、着火遅れは液滴が燃焼室の側壁内面を通過してから着火するまでの時間とした。液滴が側壁内面を通過する瞬間はフォトインタラプタにより検出した。この検出信号によりタイマーが動作し、時刻表示は液滴と同一画面に録画される。着火の瞬間は録画した画像上

に輝炎が発生した時刻を用いた。燃焼時間は液滴が着火してから火炎が消滅するまでとした。

実験は次のように行った。最初に、恒温水槽で313 K~325 K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から所定量だけ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、炉を移動して液滴を加熱し燃焼させる。実験中の液滴の挙動はVTRで録画すると同時に、モニターで観察した。

液滴直径はVTRの画像から液滴の短径(d_h)と長径(d_v)を読みとり、 $d = (d_h^2 \times d_v)^{1/3}$ として求めた。また、液滴の初期直径は液滴が燃焼室に入る直前の値を用いた。

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。表中で、S1からS7、S9、BFOA、及びNYK1は機関に障害が発生した燃料油及びそれらに類する燃料油である。実験ではこれらの燃料油についてNA、NB、NCをNACグループ、S1~S9をS19グループ、BFO

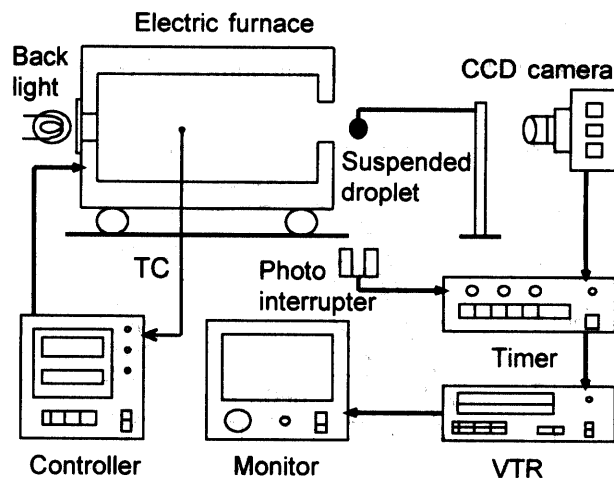


図1 実験装置の概略

表1 燃料の一般性状

Sample name		NA1	NA2	NB1	NB2	NC1	NC2	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	BFOA	BFOS	NYK1
Density*1	kg/m3	984	990	986	971	990	989	989.0	984.0	971	978	959	992	971.8	949	986.2	986.0	990.0	990.7
Viscosity*2	mm2/s	355	397	402	351	365	379	339	261	373	314	507	397	171	107	310	320	357	414
Water	%v/v	0.08	0.04	<0.1	<0.1	0.06	0.06	0.9	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.6	0.2	0.3	0.08	0.02	Trace
M. C. R*3	%m/m	11.4	15	11.7	12.6	15.4	10.8	15.7	14.6	13.0	7.0	8.1	13.0	11.0	8.0	13.0	12	17	16.3
Sulfur	%m/m	3.62	2.7	2.74	3.07	3.64	3.99	1.83	3.43	3.21	1.16	0.77	2.62	2.5	2.88	2.20	1.3	3.5	2.01
T. S. P.*4	%m/m	-	-	<0.01	0.01	-	-	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	0.02	0.02	0.01	0.01	0.06	0.17	0.04	0.05	0.04	0.06	0.04	0.02	0.04	0.05	0.03	0.03
Vanadium	mg/kg	36.9	66	41	96	8.3	36.3	86	70	146	43	20	253	202	64	77	80	105	84
Sodium	mg/kg	22.5	13.2	16	16	15.9	22.8	52	252	16	59	45	16	14	9	44			18
Aluminum	mg/kg	0	0.28	4	<1	0	0	4	18	<1	2	11	2	4	3	10	<20*5	<20*5	5
Silicon	mg/kg	0.1	0.21	4	<1	0	0.04	8	29	<1	5	15	<1	5	3	13			10
Iron	mg/kg	5.09	9.22	20	5	6.17	6.78	24	43	8	46	57	4	10	12	13			34
Nickel	mg/kg	11	25.1	17	29	24.4	11.9	36	19	41	42	24	72	42	23	28			37
Calcium	mg/kg	0	0	2	2	3.08	4.77	29	110	2	9	23	10	8	5.0	12			5
Magnesium	mg/kg	0	0	<1	<1	0	0	9	36	1	1	6	<1	1	1	3			1
Lead	mg/kg	0.05	0.15	<1	<1	0.11	0.01	1	2	<1	<1	<1	<1	1	2	<1			1
Zinc	mg/kg	0	0.16	<1	<1	0.31	0.34	23	18	<1	<1	2	1	6	7	3			2
Pour Point	°C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48	-	-	-	-			-
Flash Point	°C	88	105	>70	>70	91	107	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	66			119
Asphaltene	%m/m	3.62	6.25	3	5	7.51	4.09	7.6	7.5	7.2	2.6	4.8	9.5	6.9	3.4	1.6	4.6	9.5	7

*1: 15°C. *2: 50°C. *3: Micro Carbon Residue. *4: Total Sediment Potent. *5: A+Si. 注記) [Sample 8]は正常原油。

*1: 15°C, *2: 50°C, *3: Micro Carbon Residue, *4: Total Sediment Potent, *5: Al+Si, 注記) Sample 8は正常な油。

A、BFOS、NYK1をBFYグループとして扱った。

3.2 燃焼時間の求め方

燃焼時間の求め方として、図2に初期直径に対する着火遅れと燃焼時間の測定例を示す。懸垂液滴の場合、液滴中の懸垂棒の容積が燃焼時間に影響を及ぼす。この影響を少なくするにはより大きな液滴を使用する必要があるため、燃焼時間はこれらの測定値から初期直径が1.6mmの値を求めた。同様の実験を空気温度を変えて行い、各燃料油の燃焼時間を求めた。ただし、空気温度1100Kで初期直径1.6mmの液滴が所定の位置に保持できない燃料油については、燃焼時間は外挿により求めた。

3.3 単一液滴の燃焼時間

空気温度と燃焼時間との関係について、NACグループとBFYグループを図3に、S19グループを図4にそれぞれ示す。

図3の特徴として、空気温度900K以上で、燃料油

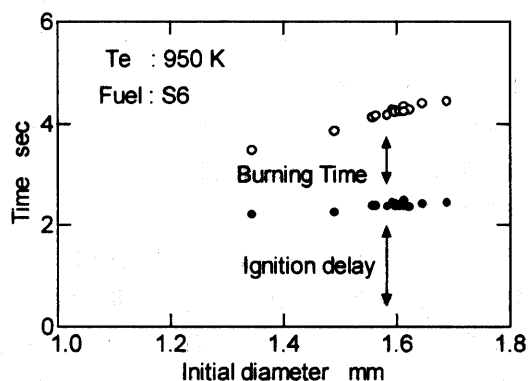


図3 初期直径と燃焼時間

BFOAとNYK1の燃焼時間がBFOSやNACグループに比べて大きいことがわかる。

図4では、空気温度1100Kで燃料油S2の燃焼時間が他の燃料油と比べて大きな値を示す。

船用機関のような噴射期間の長い噴霧燃焼では、ここで示した空気温度900Kまたは950Kにおける燃焼時間は着火時の液滴に対応し、空気温度1100

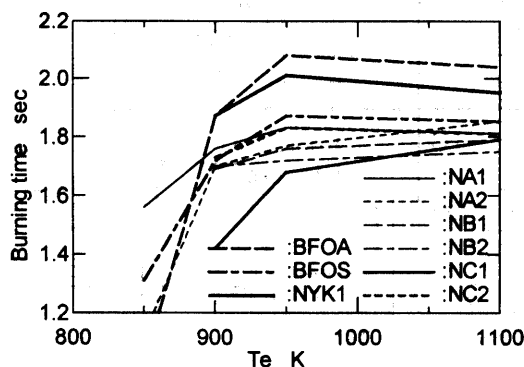


図3 燃焼時間

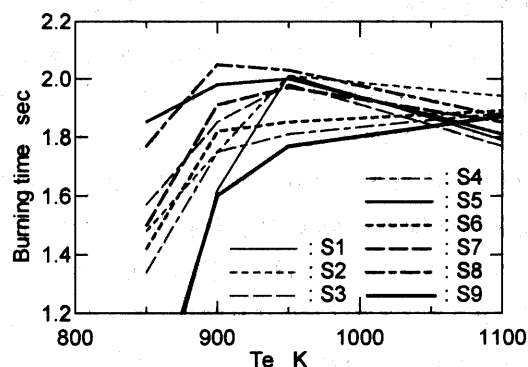


図4 燃焼時間

Kの燃焼時間は噴射後期の液滴に対応すると考える。このため空気温度1100Kでの燃焼時間を表2に示す。

表から、NACグループの燃焼時間は1.75～1.85秒を示す。このグループは国内で供給された燃料油であり、この値を標準的な燃焼時間と考える。これに比べて比較的長い燃焼時間を示す燃料油は順に示すとBFOA、NYK1および、S2となる。ここで、BFOAとNYK1はシリンダライナーの異常摩耗とスカuffイングを発生させた燃料油である。

これらの結果は燃焼時間が長くなるとシリンダライナーの潤滑油膜が破壊されると考える、スカuffイングの発生要因と一致する。

また、これらの燃料油の燃焼時間は高温高圧下の噴霧燃焼でも同様の傾向を示すことから、単一液滴の燃焼時間から噴霧燃焼の燃焼時間の概略が予測できると考える。

3.4 燃焼中の液滴

各燃料油が空気温度1100Kで着火・燃焼する様子を写真を図5に示す。この空気温度では、液滴が着火するまでの燃料の蒸発量は無視できる³⁾。

左端の写真は各液滴の着火時を示す。燃料油S1とS7を除くと、他の燃料油は着火後も穏やかに燃焼を続けるが、1.2秒付近になると懸垂棒に煤が付着する。着火後1.6秒では、液滴内部から燃料蒸気の噴き出しも見られ、燃焼状態は激しく変動する。右

表2 各燃料の燃焼時間 (Te:1000K)

燃 料	燃 焼 時 間	燃 料	燃 焼 時 間
S1	1.79	BFO-A	2.04
S2	1.92	BFO-S	1.85
S3	1.77	NYK1	1.95
S4	1.88	NA1	1.81
S5	1.80	NA2	1.85
S6	1.89	NB1	1.80
S7	1.85	NB2	1.75
S8	1.87	NC1	1.75
S9	1.87	NC2	1.81

端の写真は燃料油BFOAを除いて燃料終了時を示す。写真の下に示した値はこの液滴の燃焼終了時であるため表2で示した値とは異なる。ここで、燃料油S8は懸垂棒に付着した煤の量が極めて少ない。

燃料油S1は他の燃料油と異なり着火後0.2で液滴の輪郭が不明瞭となる。この原因は燃料油が水分を約1%含んでおり、これが着火後に沸騰することによる。

同様の現象は、空気温度1100Kでエマルジョン燃料油を着火させた時にも観察される。この場合、着火直後に見かけの液滴直径が増加する。

また、水分が0.6%含まれる燃料油S7では、火後0.2秒で微小粒子が液滴から飛散する現象が見られる。

3.5 液滴直径の変化

図5で示した写真について、液滴直径の時間的

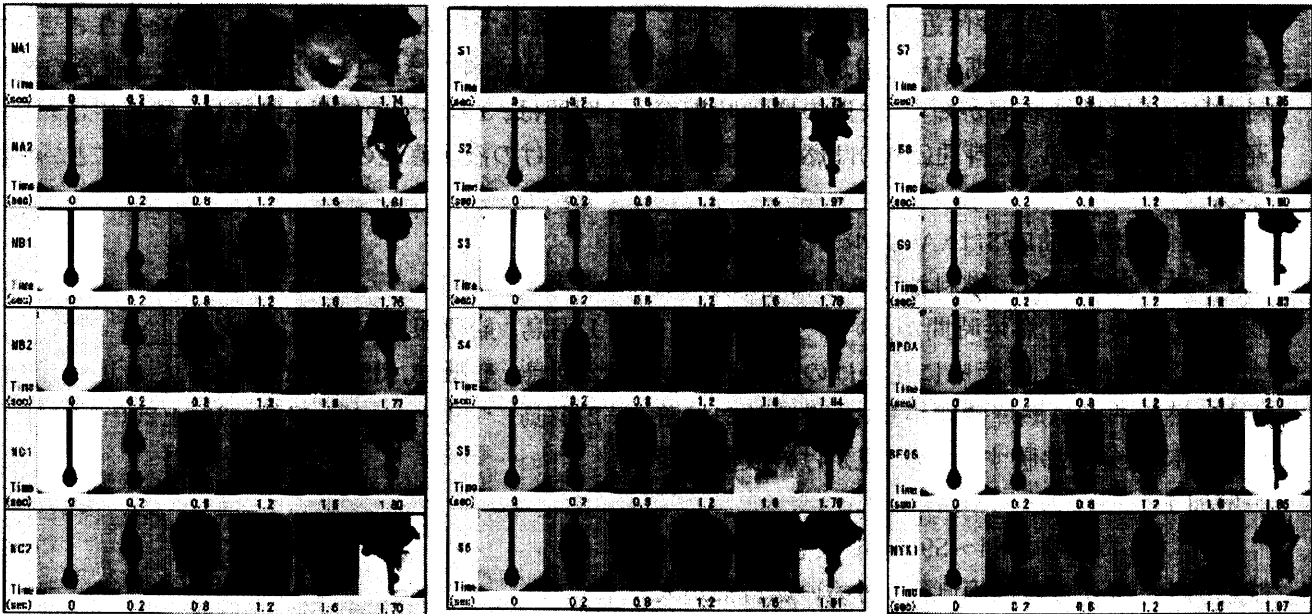


図5 燃焼中の液滴の写真

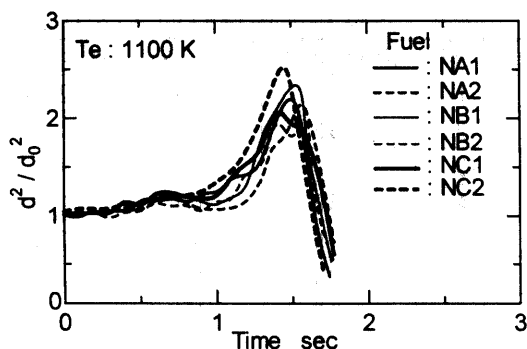


図6 液滴直径の変化(NACグループ)

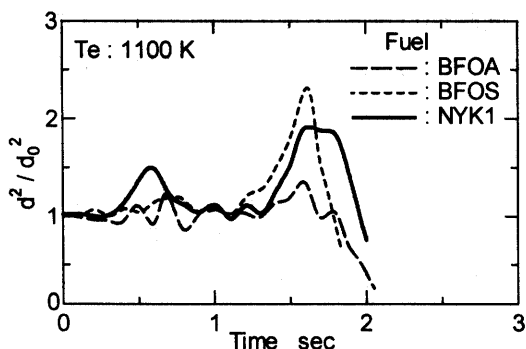


図7 液滴直径の変化(BFYグループ)

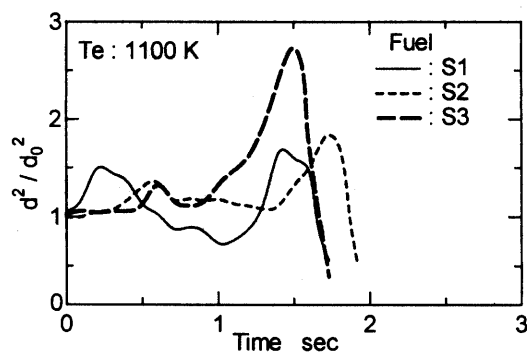


図8 液滴直径の変化(S1~3)

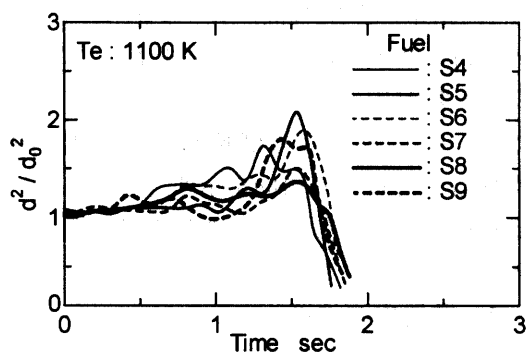


図9 液滴直径の変化(S4~9)

変化を0.1秒間隔で読みとった。これらをNACグループは図6に、NYKグループは図7に、S19グループは分割して図8、9に示す。今回使用した燃料油は d 二乗則が成立しないため、ここで示した液滴直径は見かけの液滴直径である。

図6では、液滴直径は0.7秒付近で僅かに増加した後、燃焼末期の1.5秒付近で大きく増加する。そして、末期の増加時期が早く増加量が多い燃料油(NC2)は燃焼時間が短く、末期の増加時期が遅く増加量が少ない燃料油(NA2)は燃焼時間が長くなる。

図7では、燃料油BFSはNACグループと同様の变化を示す。これに対し、燃料油BFAは燃焼末期でも液滴直径が小さく、燃焼時間が長い。

図8でも同様に、燃焼中に見かけの液滴直径が小さい燃料油S2は燃焼時間が長い。燃料油S1は着火直後に水分が沸騰するため、見かけの液滴直径が増加する。

図9に示した燃料油S4~S9についても、燃焼時間は燃焼中に見かけの液滴直径が小さい燃料油が大

きくなる傾向を示す。

4. まとめ

高温静止空气中で単一液滴の燃焼時間を調べ、今回使用した燃料油について以下の結論を得た。

空気温度1100Kで求めた単一液滴の燃焼時間から、概略ではあるが、スカッフイングを発生させる燃料油が予測できることを示した。また、液滴の燃焼時間は、これまでの結果と同様に、燃焼中における見かけの液滴直径の挙動から説明できることが確認できた。

参考文献

- 1)羽鳥, 船研報告, 35-1(1998),1.
- 2)羽鳥, 舶機誌, 35-4(2000),245.
- 2)羽鳥, マリンエンジニア誌, 36-4(2001),211.