船用重油の着火性評価*

永 井 義 和** 羽 根 田 誠**
森 脇 利 統** 清 水 和 夫***
古 瀬 孝 志*** 上 原 淳****

Estimation for Ignition Quality of Marine Fuel Oils

By Yoshikazu Nagai, Makoto Haneda, Toshinori Moriwaki

Kazuo Shimizu, Takashi Furuse, Jun Uehara

In accordance with advanced refinery facilities, marine fuel quality tend to heavier and some engine troubles arising from inferior quality of fuel have been reported continuously.

Therefore, estimation for the Ignition quality or combustibility of marine fuel in the laboratory is important factor in view of safety operation of vessels or protection of environment.

However, the ignition quality regarding with combustibility of fuel oil on low speed marine diesel engines have not been made clear yet in spite of investigation by the thermogravimetry-differential thermal analysis (TG-DTA), the fuel droplet combustion method, the Fourier Transform Infrared Spectrometry (FT-IR) and others.

Under such situation, cooperated with Nippon Mitsubishi Oil Corporation and Mitsui O.S.K. Lines Investigated the Ignition quality of marine fuel based on Fuel Ignition Analyser (FIA-100), and we herewith report the investigated results.

1. ま え が き

石油精製装置の高度化に伴い、船用燃料油の性状は重質化が進んで久しく、船用機関においても燃料油に起因する燃焼障害例が多く報告されている。

従って燃料油の着火性や燃焼性を実験室で予測し、運航船舶に情報を提供することは船舶の安全運航の確保や環境保護の見地から非常に重要な要素となっている。

低速ディーゼル機関において燃料油の燃焼性に波及する着火性は示差熱重量分析 (TG-DTA)、液滴燃焼装置、赤外分光分析装置などにより調査されており^{(1)~(4)}、着火性指標である CCAI、セタン価などと比較検証されているが、機関障害との因果関係を解明する迄には至っていない。

今回、日石三菱(株)と(株)商船三井とが共同で、燃料油の着火性能(着火遅れ)を評価する着火性試験機 FIA-100(ノルウェー・フュエルテック社製)等を使用し、低速ディーゼル機関において使用結果が報告されている重油サンプルについて着火性評価を行ったので、一つの実験結果としてここに紹介する。

2. 調査方法

運航船舶から送付される燃料補油時のサンプルについて下記の分析を実施した。

- ① 一般性状分析
- ② 着火性試験機 (FIA-100) による分析
- ③ 示差熱重量分析 (TG-DTA)

上記試験データと本船から燃料油使用後に報告される燃料油使用結果報告書における障害発生の有無について相関関係を検証した。

着火性を評価する方法として、セタン価、セタン指数、ディーゼル指数、CCAIなどが挙げられるが、船用

*原稿受付 平成11年4月28日

**正会員 株式会社商船三井 (大田区西糀谷2-22-5)

***正会員 日石三菱株式会社 (横浜市中区千鳥町8)

****正会員 日石三菱株式会社 (港区西新橋1-3-12)

2.1 一般分析 一般分析項目の分析結果及び

一般分析項目の分析結果及び

2.2 着火性試験機 (FIA-100) による測定

2.2.1 使用機器

定が可能な燃料着火性試験機 (Fuel Ignition

表1 試料油性状

[illegible][illegible]

表1 試料油性状 (つづき)

試料N.O.	37	38	39	40	41	42	43	44	45
正常値	2730	2730	2740	2770	1302	1223	1364	1388	1406
測定値	976207	976207	976210	976207	976223	976207	976218	976213	976219
密度	0.976	0.976	0.976	0.976	0.976	0.976	0.976	0.976	0.976
粘度	286.4	277.1	282.7	284.4	284.4	284.9	241.8	241.8	277.7
引火点	34.5	36.7	37.3	36.7	36.4	31.4	32.3	32.3	34.8
閃火点	106	106	112	112	102	113	89	89	99
水分	0	0	0	0	0	0	0	0	0
灰分	0	0	0	0	0	0	0	0	0
227/272分	0.12	0.1	0.1	0.08	0.2	0.4	0.1	0.11	0.28
灰分	3.8	2.07	2.99	2.47	4.72	3.47	5.41	3.02	5.29
272/272分	0.16	0.07	0.02	0.01	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02
272/272分	136	97	107	107	11	14	46	37	35
272/272分	10	14	19	10	23	18	9	12	15
272/272分	14	1	8	1	7	6	1	2	10
272/272分	52	2	28	3	10	15	1	2	25
API	13.9	12.1	11.6	14.2	12.6	11.7	11.1	17.8	14.4
密度	1.87	2.4	2.71	2.49	2.6	1.99	4.21	3.08	3.15
SV									
272/272分									
CCA1	102.9	145.9	148.5	132	142.9	148.3	152.4	124.4	138
11 (計算値)	11.7	64.5	65.9	61.8					
1c (計算値)	66.5	66.5	66.4	66.9					
272/272分	41.12	40.12	40.27	40.26	40.04	40.01	30.91	40.77	40.42
FIA-100 着火遅れ (MD) ms	7.16	8.00	7.89	6.23	6.36	5.36	6.76	4.78	5.26
FIA-100 着火遅れ (MD) ms	7.16	8.00	7.89	6.23	6.36	5.36	6.76	4.78	5.26
着火遅れ (MD) ms	213	215	224	212	219	221	325	302	315
着火遅れ (MD) ms	766	801	794	781	796	784	783	783	814
着火遅れ (MD) ms	17.7	14.5	14.4	9.46	11.29	10.4	6.54	21.5	12.6
着火遅れ (MD) ms	22.8	20.2	21.7	18.4	21.7	18.4	24.6	17.7	24.1
272/272分									
272/272分	6								

試料N.O.	39	40	41	42	43	44	45	46
正常値	2010	2054	2080	2341	2282	2346	2701	2703
測定値	961123	961283	961205	970112	970117	970107	970221	970203
密度	0.97	0.980	0.979	0.985	0.983	0.9904	0.985	0.9904
粘度	261.1	277.7	282.7	288.3	288.2	283.2	276.1	288.2
引火点	33.4	36	36.7	37.4	37.5	34	28.4	28.5
閃火点	137	127	126	127	127	109	92	103
水分	0	0	0	0	0	0	0	0
灰分	0.06	0.1	0.22	0.1	0.1	0.1	0.15	0.1
227/272分	2.57	3.62	4.52	4.78	5.97	6.15	4.83	4.22
灰分	6	6.07	6.07	6.07	6.07	6.07	6.07	6.07
272/272分	50	63	64	48	54	82	74	101
272/272分	8	8	16	22	14	19	21	20
272/272分	5	7	8	1	15	3	4	12
272/272分	10	18	10	2	25	13	3	11
API	14.3	12.7	12.8	11.9	10.8	11.3	11.3	10.9
密度	2.28	3.18	3.69	4.23	3.32	3.54	3.48	3.16
SV								
272/272分								
CCA1	101.5	141.9	144.8	147.2	155.2	151.1	148.6	154.7
11 (計算値)	61.4	62.7	64.4	64.8	64.5	65.6	64.7	64.9
1c (計算値)	66.0	66.0	66.5	66.0	65.4	65.3	66.1	66.0
272/272分	40.44	40.33	40.11	39.19	40.06	40.04	40.05	40.11
FIA-100 着火遅れ (MD) ms	2.80	3.63	4.22	3.96	4.18	4.01	4.15	5.86
FIA-100 着火遅れ (MD) ms	4.51	4.50	5.42	5.00	6.68	5.08	5.28	8.78
着火遅れ (MD) ms	308	308	312	325	321	325	319	303
着火遅れ (MD) ms	772	798	808	804	807	810	810	714
着火遅れ (MD) ms	6.8	12.28	13.19	7.96	15.4	11.3	11.1	19.8
着火遅れ (MD) ms	17.5	19.1	11.2	23.4	24.8	24.1	23.7	21.1
272/272分								
272/272分	6							

表2 一般性状分析項目と分析手法など

ITEM	単位	規格	分析手法等
DENSITY	Kg/m ³	JIS K2249	(振動式密度計)
VISCOSITY(50℃)	cSt 50℃	JIS K2283	(キャノン自動粘度計)
" (100℃)	"	"	"
FLASH POINT	℃	JIS K2265	(PM法 (密閉式))
POUR POINT	℃	JIS K2269	(自動測定装置)
WATER	wt%	JIS K2275	(ターフウィッシャー 法)
BS & WATER	vol%	JIS K2601	(遠心分離)
CARBON RESIDUE	wt%	ASTM D4530	(MCRT)
ASPHALTENE	wt%	JPI 法	(二波長吸光度法)
ASH	wt%	JIS K2272 準拠	
VANADIUM	mg/Kg	JPI 法 準拠 (石油学会)	
SODIUM	"		
ALUMINIUM	"		
SILICON	"		
SULPHUR	wt%	JIS K2541	(蛍光 X 線式)
S. H. F	wt%	SHELL METHOD	
CCAI		SHELL METHOD	(算出)
CALORIFIC VALUE	MJ/Kg	JIS K2279	(算出)

Analysar) で、装置の概要は以下の通りである。

電 源：AC 220V, 1.7kw

冷却水：水道水

寸法H×W×D：570×270×430mm/重量約50kg

燃料着火器：スプリング付きアクチュエータ

空気源：高圧ボトルからの圧縮空気

(必要最小圧力約55bar)

制御機器：従来型PC

燃料着火システム：BOSCH式燃料噴射ポンプ並びに一穴ノズル

プリンター：従来型PC用プリンタ

2.2.2 測定方法 各試料油を FIA-100着火性試験機に充填し、一般に行われている様に着火遅れ (MD), ならびに主燃焼開始時間 (MD') を計測し、本船から報告される燃焼障害発生の有無との相関関係について評価を実施した。

即ち、装置で燃料を噴射した直後に燃焼チャンバ

一内圧力が噴射前圧力から0.1bar上昇するのに要する時間を着火遅れ(MDms)とし、それよりさらに0.5bar上昇するのに要する時間を主燃焼開始(MD' ms)として測定を行った。

2.3 示差熱重量分析 昇温速度を100℃/minとして測定したTG-DTA測定結果線図から得られる試料の着火温度(℃), 燃え切り温度(℃)並びに熱天秤により測定した300℃以下の蒸発成分量(wt%)及び熱天秤により測定された500℃以上の残分量(wt%)を求め、着火性指標 I_i 並びに燃焼性指標 I_c を算出して評価を行った。

2.3.1 船用重油の着火性指標⁽³⁾: I_i

$$I_i = 131.5 - A_m - 0.166 \cdot W300 -$$

A_m : 薄膜法で測定した混合アニリン点℃

$W300$ —: 熱天秤により測定した300℃以下の蒸発成分量 wt%

(近似相関式)

$$I_i = 216.2D - 7.341\log V - 129.5$$

D : 密度 kg/m³

V : 動粘度 mm²/s@50℃

2.3.2 船用重油の燃焼性指標⁽³⁾: I_c

$$I_c = 77.3 + 0.08I_i - W500 +$$

I_i : 船用重油の着火性指標

$W500$ +: 熱天秤により測定された500℃以上の残分量 wt%

(近似相関式)

$$I_c = 82.19 + 0.424D - 6.159\log V - 0.0936C$$

D : 密度 kg/m³

V : 動粘度 mm²/s @50℃

C : 残留炭素分 wt%

3. 解 析

3.1 CCAIとの関係 本船からの障害報告内容分類を、表.1に示す通り障害油と無障害油に大別し、主にCCAIと I_i , I_c 及びFIA-100による各種着火遅れ測定値との相関を調査した。

3.1.1 残留炭素/アスファルテン分の分布状況 一般に残留炭素は炭素数の多いアスファルテン分を含んでいるために完全燃焼しにくいと言われており⁽⁵⁾, 障害油には残留炭素やアスファルテン分が多く含まれるものもあるが、図-1に示す通り、障害油と正常油において一般分析による残炭測定値とアスファルテン分測定値との関係においては、ばらつきが多く、明確な相関関係は認められない。

図1 残炭—アスファルテン

3.1.2 CCAI/ I_i の分布状況 障害油・無障害油における着火性指標のCCAIと I_i の分布状況を図-2に示す。試料油はCCAIが825～860の範囲に分布しており、 I_i においては61～68の範囲にあり、それぞれの着火性指標には相関関係があることが判る。

しかしながら、今回の例からは障害発生の有無についての識別は困難である。

図2 CCAIと I_i (着火性指標)比較

3.1.3 CCAIと着火遅れ(MD)の試験結果 着火遅れ時間(MD)とCCAIとの関係を表したのが図-3である。

CCAIが845以上に障害油が多く認められるものの正常油も多く混在しており、着火遅れ(MD)とCCAIの間に相関は見られない。

3.1.4 CCAIと着火遅れ(MD')の試験結果 3.1.3の方法では、試料によって着火後に主燃焼に移行せず、主燃焼開始までに時間遅れをもつものがある。このような試料においては、主燃焼の開始までを着火遅れとする方が合理的であると考えられてお

図3 CCAIと着火遅れ(MD)

り⁽⁶⁾、試料噴射から主燃焼開始までを着火遅れ(MD')として計測し、CCAIとの関係を表したものが図-4である。

図からCCAIと着火遅れ(MD')の間には明確な相関は見られないが、CCAIが密度と動粘度のみから算出される指標であるのに対し、FIA-100による着火遅れ(MD')の測定は実験室レベルではあるものの、加圧条件下での燃焼における燃料の特性を反映しているとも考えられる。

図4 CCAIと着火遅れ(MD')

3.1.5 CCAIとTG燃え切り温度 示差熱熱重量測定線図におけるTG燃え切り温度と、CCAIとの関係を示したものが、図-5である。TG燃え切り温度計測では800℃以下の領域に正常油が多く認められる。

3.1.6 CCAIと初期燃焼(MD)から主燃焼(MD')に至る移行時間 FIA-100における着火遅れ時間(MD)と主燃焼開始までの時間(MD')の差を算出

図5 CCAIとTG燃え切り温度

図6 CCAIと初期燃焼から主燃焼までの移行時間

し、CCAIとの関係を表したのが図-6である。

MD-MD'の大小に関わらず正常油および障害油が混在しており、MD-MD'と着火性指標の相関は求めることができない。

3.1.7 障害油における障害別調査 排気温度障害(過高)、発煙障害、黒煙発生障害別に限定したサンプルのCCAIと着火遅れ(MD)の関係を調査したが、排気温度障害においては明確な仕分けはできなかった。発煙障害、黒煙発生障害に関しては、事例が少ないもののCCAIが845以上に障害が発生している。

3.2 多変量解析における判別分析と着火性の関係 障害内容で燃料油の着火性の良否に左右されられると思われる障害の中で、排気温度高、発煙多、黒煙発生のいずれかの障害を含む障害油17件と正常油18件について、一般分析値、FIA-100計測結果、示差熱熱重量測定結果を用いて多変量解析に基づく判別分析を実施し、目的変数のうちF-値が最も大き

×排気温度高 15件
○排気温度正常18件

図7 排気温度障害との関係

×黒煙発生 3件
○障害無し 18件

図9 黒煙との関係

×発煙量過多 6件
○発煙量正常 18件

図8 発煙過多との関係

い因子はTG-DTAにおける燃え切り温度であり、着火性指標とされるCCAI, I_i 及びFIA-100で測定したMD, MD'が要素としてF-値が1以上ながら、大きな因子では無いことが判った。

低速ディーゼル機関において、最近では燃料油に起因する起動失敗事例が無いことや、今回の障害データ解析から見る限り、低速ディーゼル機関における

燃焼障害については着火性が高い要因となって障害を引き起こしたものではないことを物語っているものとも思われる。また、今回注目したFIA-100によるMD, MD'は各説明変数の相関マトリクスからも、CCAI, I_i との相関が少なかった。

4. ま と め

着火性が同レベルにある試料について比較する限りでは、CCAIが大きい(845以上)方が、またTG-DTA測定においては燃え切り温度が高くなるにつれ、障害が多くなる傾向にあることが伺える結果となった。しかしながら、FIA-100による計測にもとづく着火遅れとの関連については明確な関連が見いだせなかった。

また、多変量解析における判別分析においては、排気温度高、発煙多、黒煙発生があった障害油と正常油を判別する要因としてCCAI, I_i などの着火性指標やFIA-100により求めた着火遅れが大きな影響を及ぼしているのでは無く、示差熱重量分析から求まる燃え切り温度が深く関与しているとの結果となった。

これは低速ディーゼル機関における船用重油の使用により発生する燃焼障害は、着火性の良否による影響よりも着火後の燃焼性に左右されることが多いことを示しているものと思われる。

今回実施の測定データから判断する限り、船用C重油の着火性と障害発生との関連は低く、「現状レベルの重油に於いては、低速機関における着火性と機関障害の関係は低い」との考えを支持する結果となった。

しかしながら、動粘度、密度のみから燃料の着火性を表す指標には限界があり、着火遅れを評価するFIA-100が燃料の持つ着火性を正確に反映しているとすれば、燃焼性など各種特性に係わる情報を得るためのFIA-100による調査が今後、注目できると言えよう。

今回の日石三菱株式会社と株式会社商船三井との共同研究において低速ディーゼル機関に使用の船用燃料油における着火性と燃焼障害の因果関係を見極めることができず、新たな着火性指標を確立することもできなかったが、本調査・研究から得られた知見をステップとして、船舶の運航障害を防止する観点から、更なる重油の特性調査が必要と考えている。

参 考 文 献

- (1) 荒木, 森脇, 寺田, 高瀬
日本舶用機関学会誌 第31巻 第6号 P358 「示差熱・熱重量分析による船用重油評価（燃焼性）の一考察」
- (2) 木村, 森脇, 寺田, 寺井, 高瀬
日本舶用機関学会誌 第33巻 第6号 P367 「赤外線分光分析による船用重油評価（安定性, 着火性）の一考察」
- (3) 野村 宏次 著
成山堂書店「舶用燃料の科学」P146～P151
- (4) 林, 清水, 上原 日本舶用機関学会誌 第33巻第6号 P431～434 「舶用燃料油の燃焼特性に及ぼす組成成分の影響」
- (5) Amatsu, Kurosawa, Honda, Tanaka and Yano ; “An investigation about regional difference of current ship's fuel oil quality and combustion trouble” CIMAC Florence 1991.1.
- (6) 塩出 敬二郎 日本舶用機関学会誌 第31巻第11号 P824 「燃料着火性試験機」