舶用重油燃料の遠心分離効果の実験的評価法

技術研究所　　黒澤 忠彦、橋本 高明

１．　序

本年 5 月のIMO MARPOL 73/78 AnnexⅥの発効[1)]により舶用重油燃料の障害件数の減少が期待される[2)] が、実情として陸上廃油の混入、改善されてきているとはいえFCC触媒粒子の混入等が散見される。

また、水分や夾雑物混入等も多いため、舶用重油燃料は通常、船上で浄化された後にディーゼルエンジンに供給される。

船上での清浄・浄化方法は沈降法、フィルタリング、と遠心分離法である。
言うまでも無いが遠心分離機の効果は、船主や機器現場管理者から最大に期待されている。
遠心分離機の効果は補油油種に合ったグラビティデスク、油流量、油加熱温度等に左右される。
粗悪化する舶用重油燃料は移動する外航船の性質上、船上での清浄がベストな方法であり、その中でも効果の期待される遠心分離機は、清浄機メーカにとっても、次々と新規に研究開発される発展的機関に対して効果的に性能を発揮できるか否かは、とても大事なこととなっている。

清浄効果の確認は実験室的にはミリポアフィルター・HIAC 粒子計測器や、本稿でも示す通常分析（１５℃密度、５０℃動粘度、残留炭素％m、アスファルテン％m等）に金属成分分析等の、目的に沿った分析法も加えて確認されるが、煩雑性や処理件数がかなり限定されるのが実態である。

今回、かねてから、舶用重油燃料の清浄前と清浄後サンプルを船主や機器製造会社から提供を受けて、遠心分離効果を a)通常の簡単な油分析と b)フェログラフィー解析や c)燃焼試験で確認することができないか行ってみた。

結果として、遠心分離効果をフェログラフィー解析で確認できることと、いくらかの浄化効果の著しいサンプルでは燃焼試験（FIA100：概観　**図 1**）結果も改善されることの知見を得た。

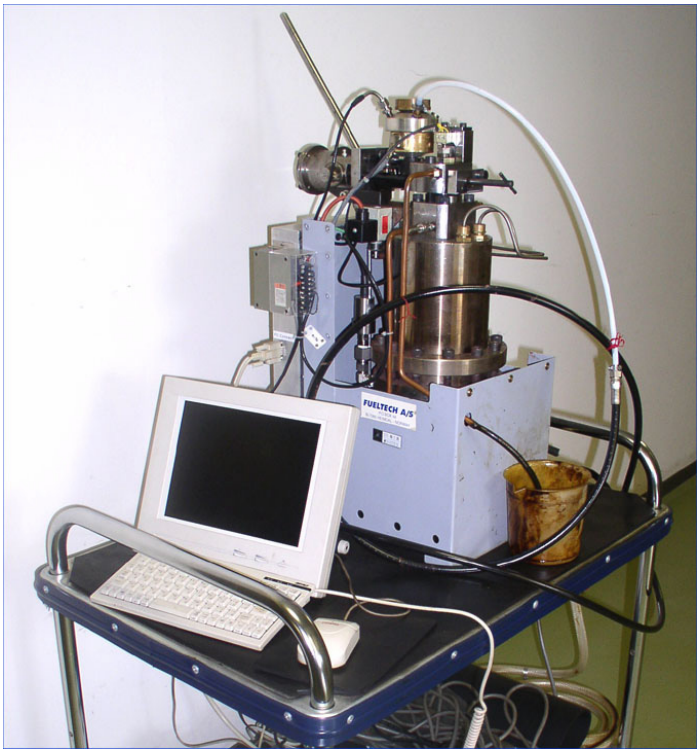


図１　FIA 燃焼解析装置

２．　試験項目及び試験条件

舶用重油の遠心分離効果を識別するために、燃焼テスト結果と油サンプルの解析結果を対比してみた。試験項目と試験条件は以下の通り

１）油解析項目

対比のために以下の項目が選ばれた

a)密度　15℃　kg/m^3
b)動粘度　50℃、mm^2/s
c)残留炭素　％m
d)アスファルテン　％m
e)フェログラフィー直接読取量　WPC/ml　(Wear Particle Concentration/ml)

２）燃焼試験項目

遠心分離前後で以下の性質が比べられた

a)着火遅れ　ms　着火遅れの判定＝噴射から燃焼室圧力が 20kPa:0.2bar 上昇迄の時間)
b)燃焼最高圧力 Pmax. bar (Pmax の判定＝燃焼室の最高圧力)
c)燃焼期間　ms　(燃焼期間の判定＝Pmax 到達時間から着火遅れを引いた時間)
d)熱放射率最高時間　ms　ROHRmax (ROHRmax 時間の判定＝噴射から ROHRmax までの時間)

３）燃焼試験条件

a)燃焼室内初期空気圧＝4.5MPa（45bar）
b)燃焼室内初期温度＝723K（450℃）
c)冷却水温度＝353K（80℃）
d)燃料加熱温度＝393K　（120℃）　ISO-F-RM25 相当燃料
　　＝401K　（128℃）　ISO-F-RM35 相当燃料
　　＝403K　（130℃）　ISO-F-RM45 相当燃料
　　（噴射ノズルで 17mm^2/sの粘度を維持することを意図とする）
e)燃料噴射圧力＝20MPa（200bar）
f)燃料噴射量＝0.09ml/injection

３．　燃焼試験と分析試験の結果

今回遠心分離前後の舶用重油燃料を 11 例入手することができた。
11 例のサンプルのうち 6 例は、エンジン運行上に問題の疑いを経験したものである。
残りは正常に運行されたものである。

燃焼試験と通常の油分析の結果を　**表１**に示す。

清浄機前後試料で（密度・減、動粘度・増、残留炭素・減、アスファルテン・減）の傾向が、多少覗えるがサンプリング誤差範囲ともみなされ、通常分析項目では遠心分離前後の性状を評価・判定することは難しい。

しかし、フェログラフィー解析試験法は遠心分離の効果を顕著に表すことができている。

フェログラフィ直読法ではそれを数値として示すことができ、また、顕微鏡観察のためのフェログラム（**図 2** 参照）では可視化してこれを表現することができる。

運行上の問題の疑いを掛けられている舶用重油（表 1 の備考欄に注記）や、丁寧な清浄化に努めている船（”No.3,4.5.11 船”等）では、遠心分離前後に燃焼性の改善とみなせるものが現れている。

また、問題の生じた油の場合、浄化除去率が悪い傾向も読み取ることができる。
着火性指標[3)]（増えれば悪化）や、芳香族成分（増えれば燃焼悪化）[4)]の値とFIA100 燃焼解析器のデータの変化と、どのように関係するか、併記してみた。
これらの指標と着火遅れの関係を**図３**、**図４**及び**図５**に示す。

表１　試験結果

#	試料油清浄機	着火遅れ ms（偏差）	最高圧力 bar（偏差）	燃焼時間 ms（偏差）	熱開放率 max ms	着火性指標 % Cp/%Ca	フェログラフィ DL/DS WPC/ml	DR 後/前（%）	密度 @15℃	動粘度 @50℃	残留炭素 %m	アスファルテン %m	備考
1	前	6.9(0.4)	58.0(0.3)	18.4(2.8)	10.7	59.3	26.9/16.1	22.6	945.9	135.7	7.69	3.70	
	後	6.8(0.7)	58.9(0.4)	19.8(2.6)	7.9	1.63	4.8/4.9		946.7	145.3	7.76	3.91	
2	前	6.8(0.7)	59.0(0.7)	19.2(3.2)	9.1	59.3	12.9/8.1	36.7	946.6	144.1	7.99	3.40	
	後	6.9(0.7)	57.9(0.5)	17.6(3.5)	10.3	1.63	2.4/5.3		946.4	142.7	7.74	3.43	
3	前	7.5(0.8)	58.0(0.8)	28.0(4.6)	15.2	68.8	12.1/16.1	68.1	991.4	151.7	18.8	12.1	ライナー
	後	7.1(0.5)	58.1(0.7)	23.7(2.3)	10.8	1.06	9.9/9.3		986.4	160.1	17.9	10.5	亀裂
4	前	9.0(1.3)	58.3(0.6)	27.7(3.8)	16.6	69.0	13.2/11.5	35.6	994.2	172.3	8.95	7.14	排ガス
	後	8.9(0.9)	58.1(0.3)	25.7(3.6)	14.5	1.00	4.5/4.3		992.1	171.8	10.13	3.60	高温
5	前	10.2(0.9)	57.6(0.3)	28.3(3.9)	15.2	65.7	60.3/47.1	27.2	979.3	178.3	11.56	4.45	
	後	9.7(0.4)	57.3(0.5)	22.8(3.2)	14.2	1.21	16.0/13.2		979.8	183.0	11.50	4.20	
6	前	7.0(0.3)	58.2(0.4)	20.3(3.2)	12.0	63.4	33.5/19.4	17.0	969.9	192.6	12.1	5.45	
	後	7.1(0.5)	58.2(0.4)	20.4(3.8)	12.6	1.21	4.5/4.5		969.9	190.2	11.8	5.15	
7	前	6.4(0.4)	57.9(0.3)	22.4(2.7)	9.2	66.18	16.3/15.6	41.1	988.9	299.0	16.17	7.14	排ガス
	後	6.6(0.4)	57.9(0.5)	23.4(4.2)	10.5	1.11	8.0/5.1		988.1	299.0	16.15	6.94	高温
8	前	6.2(0.7)	58.1(0.6)	19.0(3.6)	10.3	61.0	69.8/39.9	18.9	967.3	348.0	9.58	4.40	
	後	6.1(0.3)	58.2(0.3)	21.9(3.7)	8.8	1.51	11.3/9.4		963.4	361.0	9.53	4.46	
9	前	6.9(0.5)	57.4(0.4)	24.9(2.7)	11.3	65.5	19.7/13.0	41.3	989.5	371.3	16.38	5.99	ライナー
	後	7.0(0.4)	57.4(0.5)	25.6(3.0)	12.0	1.17	7.8/5.7		989.5	375.0	16.44	5.89	障害
10	前	11.2(0.7)	56.6(0.3)	36.4(3.7)	21.2	65.3	41.9/28.0	40.2	988.9	389.5	15.37	6.95	ライナー
	後	11.6(1.0)	56.4(0.4)	35.5(2.1)	22.3	1.11	18.0/10.1		988.9	389.3	15.30	6.87	障害
11	前	11.6(0.7)	57.4(0.5)	37.8(5.6)	20.3	68.76	69.8/39.9	18.9	1008.2	487.9	15.2	7.31	排ガス
	後	11.3(0.9)	57.9(0.4)	32.6(5.0)	18.8	0.92	11.3/9.4		1011.7	513.5	15.1	7.15	高温

着火性指標 ： $Ic = 216.2D - 7.341\log V - 129.5$　D:密度kg/m^3 V:動粘度mm^2/s C:残留炭素分wt%
%Ca ： 芳香族環炭素含有率%m　　%Cp ： パラフィン鎖炭素含有率%m [4)]

注記：サンプル油は一回の試験で10度以上の噴射が行われ、、噴射遅れは ANSI/ASME OTC19.1-1985にて異常値を除去し、平均値と標準偏差を求めている。

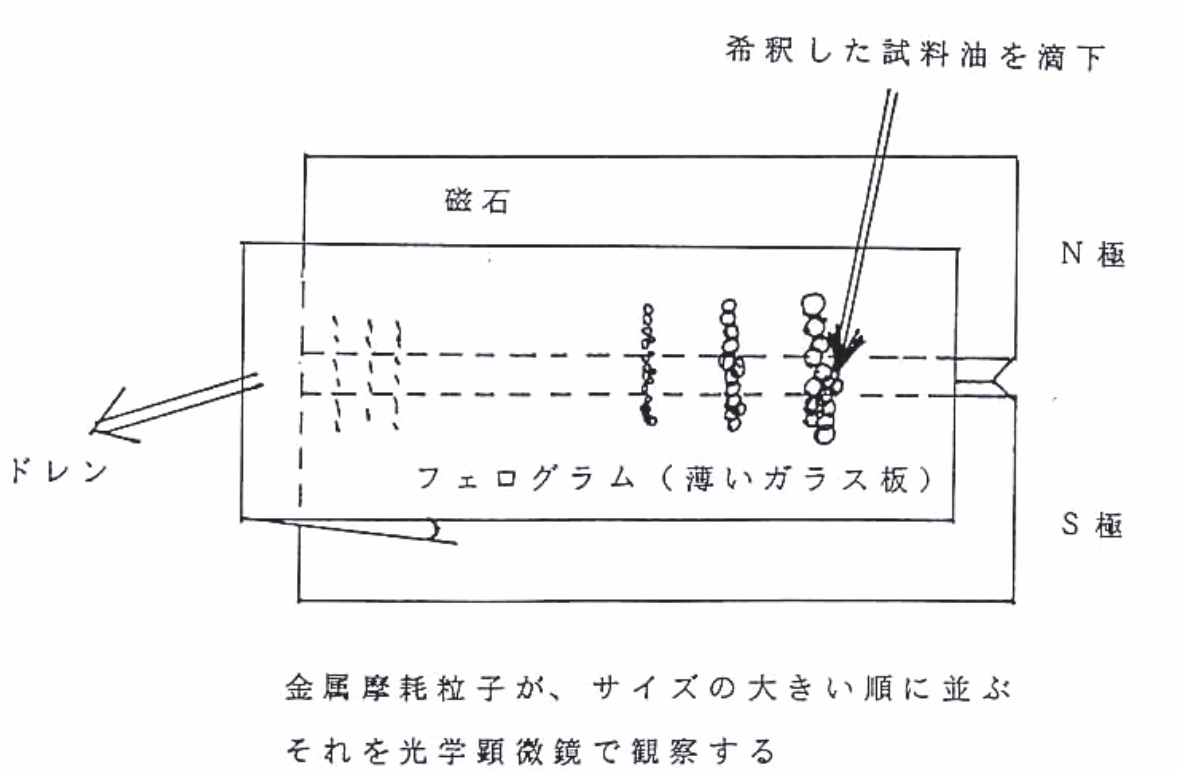


図２　フェログラフィ定性分析の概念図

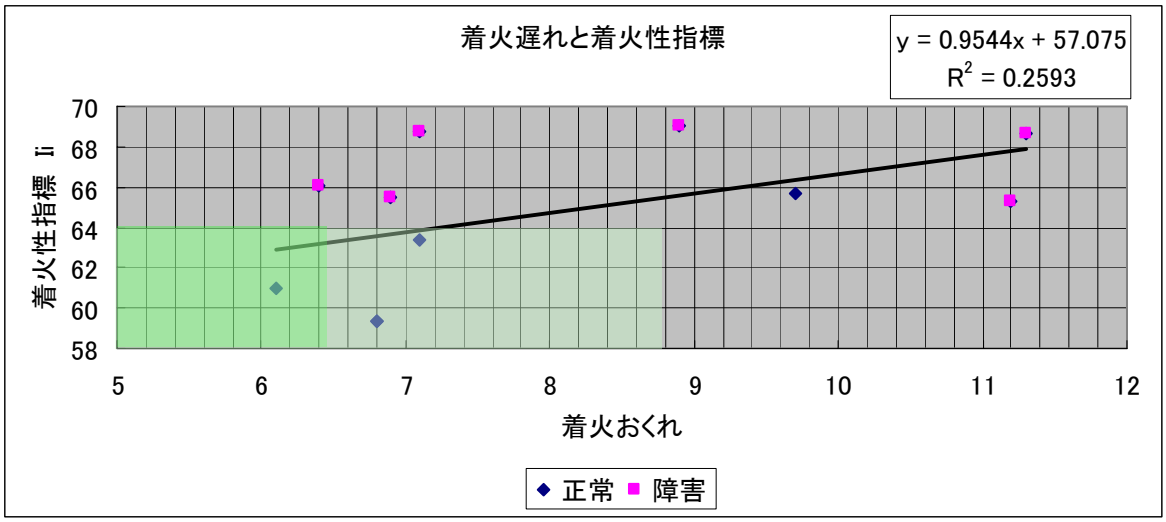


図３　着火遅れと着火性指標

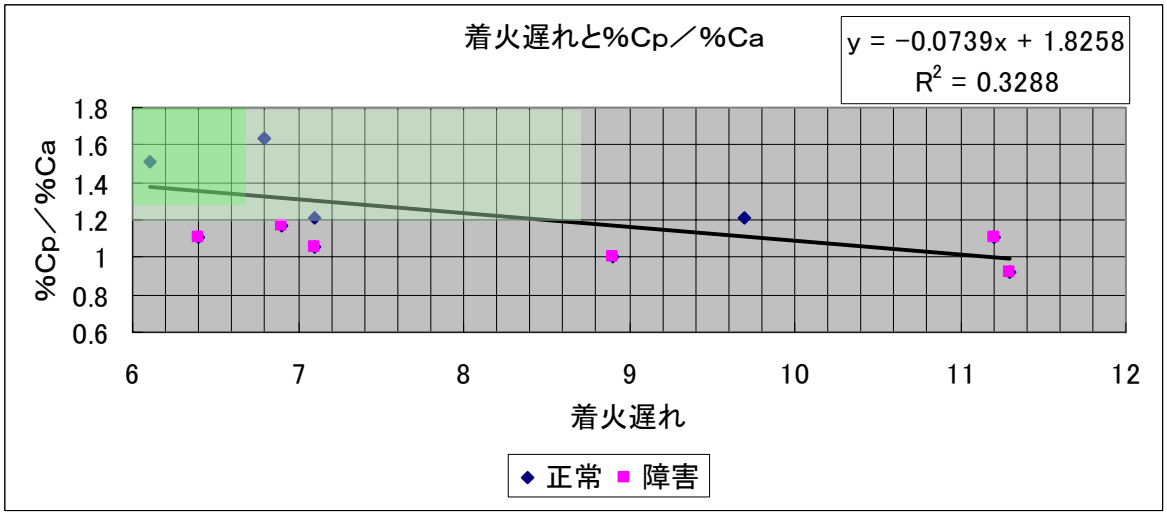


図４　着火遅れとパラフィン鎖/芳香族環炭素含有比

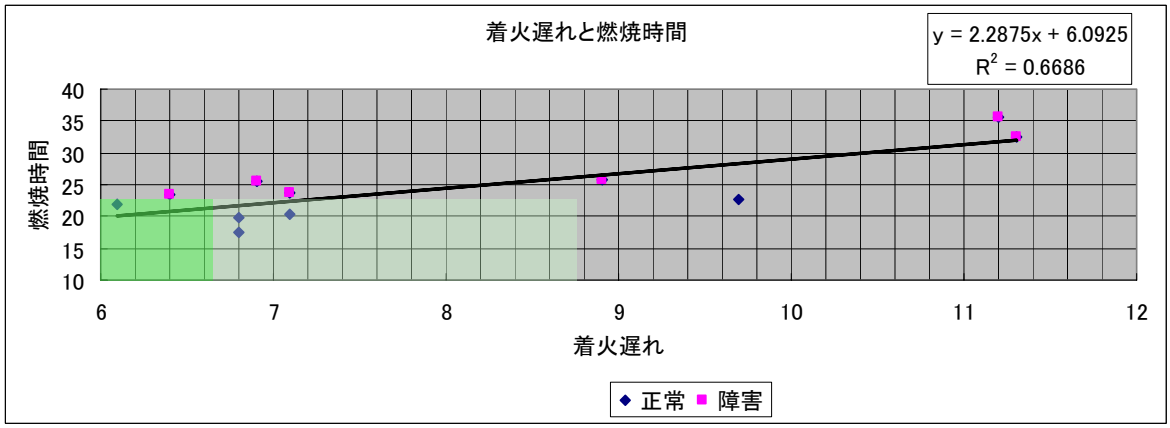


図５　着火遅れと燃焼時間

前述の通り清浄前後で密度・動粘度・残留炭素に数値的な変化が認められるが、それ等の数値変化が着火性指標や％Ｃｐ／％Ｃａに及ぼす影響は、燃焼性試験で得られた結果（燃焼性改善）と逆行する結果となっている。

図３・４・５から、障害に繋がる燃料油は一様に、同じ着火遅れに対し、着火性指標が高く、％Cp/％Ca が小さく、燃焼時間が長くなっていることが解る。

ここで閾値を明言することは論旨と外れるが、当会の試験機は現状の大型ディーゼルの燃焼室着火温度に近いものであり、数々の試験結果はグリーンベルトで示した領域が安全領域と交錯したデータの現れるのが薄緑領域と思われ、この辺が現状機関の実力範囲と考えられる。

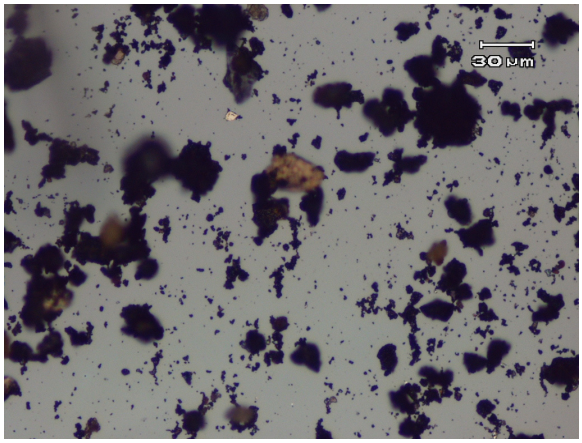
これ等の定性的なものとしての証明は今後の課題としている。

一方、”No2.6.7.9.10 船”の例のように、浄化効果は出ているにも拘わらず、いかなる燃焼性の改善も示さない燃料油もある。

４．　考察

１）通常の油分析結果（例えば密度、動粘度、残留炭素分、アスファルテン等）は遠心分離の効果を問題の無い油でも異常を示す油でも、示すことができない。

２）フェログラフィーDR（直読）法のみが、どの場合に関しても、前後の改善の結果を示す事ができている。この明確な改善の状況はフェログラムサンプルの顕微鏡写真**図６/図７**（”No.10 船”共に 53mm 付近）と**図８/図９**（”No.5 船”滴下起点）で観察することができる。



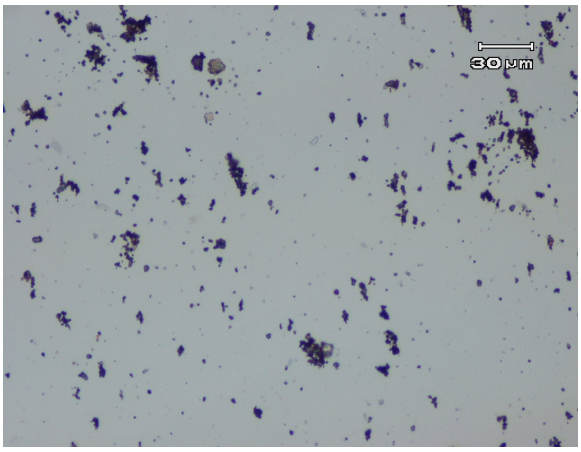
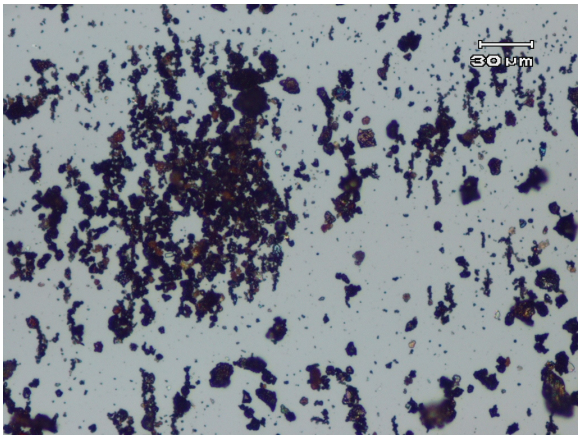


図６　　**図７**

No.10 清浄機前後　フェログラフィ上流域付近



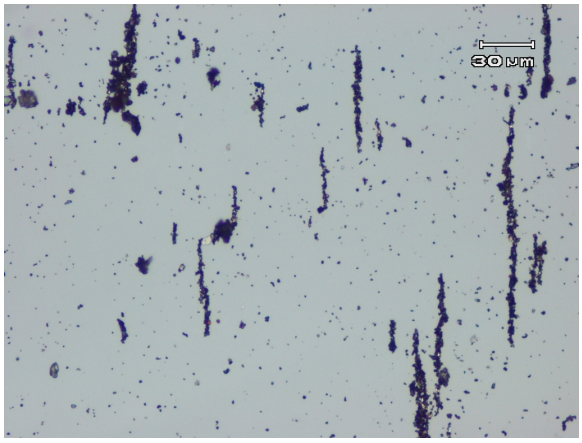


図８　　**図９**

No.5 清浄機前後　フェログラフィ上流域付近

３）燃焼試験の結果（例えば着火遅れ、最高圧力、燃焼時間、最高燃焼率点、等）は遠心分離の効果を適切には示すことができないが、６例ほど明らかな燃焼の改善が観測から診られた。

４）燃焼性の改善の診られた例はエンジンに問題が生じた疑いの油が多いが、この改善の状況を最大燃焼率点の早期化として、また一様な燃焼状況として捉える事ができる。
図１０、図１１ ”No.5 船”例

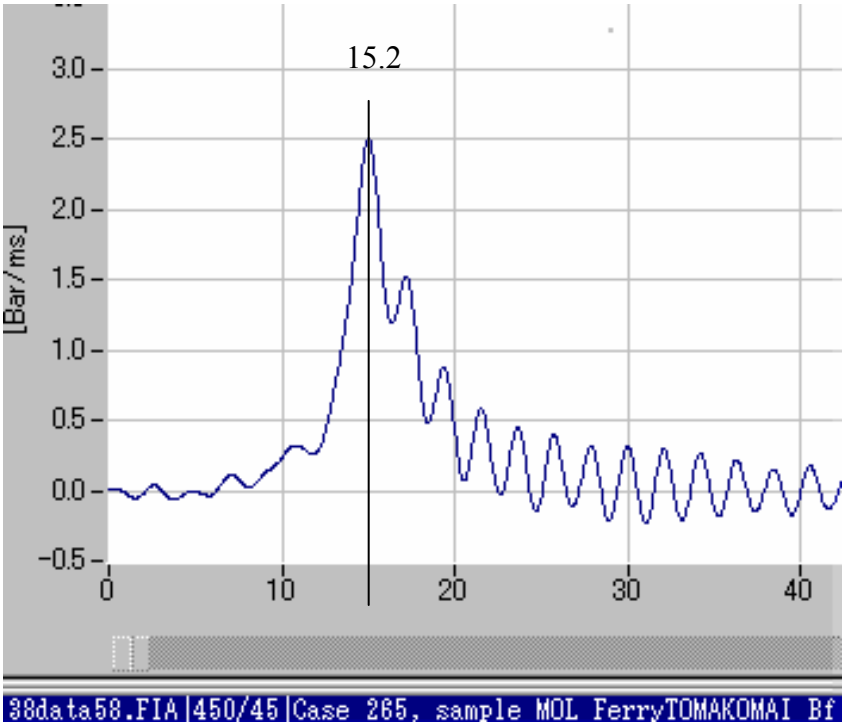


図１０　清浄機前

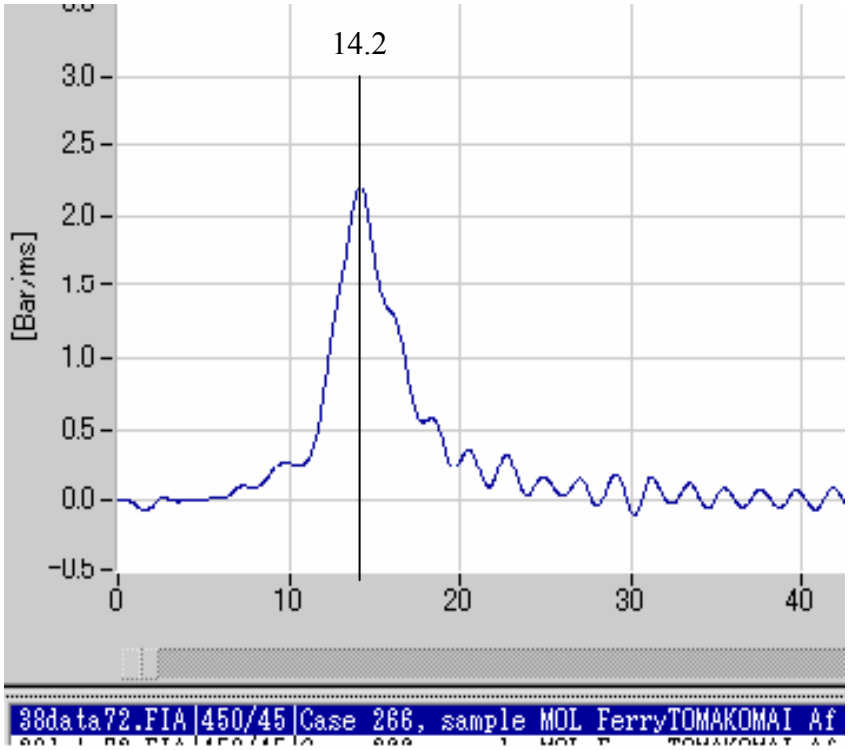


図１１　清浄機後

５．　結論

遠心分離機の効果はフェログラフィー解析法で明確に確認できる。
機関運航上問題を生じないレベルの舶用重油では、遠心分離の前後で燃焼性に影響を与えないが、問題を生じた燃料の場合、遠心分離の後で燃焼性が改善される場合がある。
しかし、その程度は運航障害を解決するほどの燃焼性の改善とはなっていない。

６．　謝辞

油サンプルを提供して頂いた、船社や機器メーカーのご好意に感謝します。

1) 鍵渡徳彦、花島脩、IMO 排ガス規制に関わる燃料油品質の確認方法、日マリ学誌 Vol.39No.7.8
2)　同上　最近の燃料事情と課題ー燃料油からの視点、日マリ学誌 Vol.40No.3
3) 野村宏次　舶用燃料の科学　成山堂
4) 橋本高明、佐々木千一、舶用 A 重油の燃焼性と重油中の炭素成分との関連性についての実験的研究、日マリ学誌 Vol39No.1