燃料油清浄機の選定と使用方法*

武 藤 幸 夫**

Fuel Oil Separators Selection and Actual Operation

By Yukio Muto

In connection with the standardization of marine-use fuel oil (International Standard ISO 8217) into JIS standard, inquiries on the selection of oil purifiers and also on the separating efficiency of FCC catalyst fines are increasing. From the viewpoint of purifier manufacturer, important points in selection and operation of purifiers for low grade heavy fuel oil are explained here. Also Westfalia Separator's treatment system for low grade heavy fuel oil etc. are introduced.

1. はじめに

軽質油の需要増加,あるいは環境規制への対応等から,船舶向け燃料油性状は今後も更に低質化の傾向を辿るものと考えます。また,海運業界は世界的な厳しい競争の渦中にあり,より安価な低質燃料油を使用し,より少ない乗員で,より効率的な運航を確保する必要に迫られています。

このような状況の中で,分離板型遠心式油清浄機,いわゆる油清浄機をはじめ各種燃料油処理装置も使用環境の変化,あるいは市場のニーズに対応して,信頼性の高い,高性能機種が数々開発され使用されています。

一方,予想を遙かに超えた性状を持つ燃料油の供給,あるいは油清浄機を含めた燃料油処理装置の機能を十分に発揮させることができなかったことに起因したトラブルの報告があることも事実です。

近年,ISO 8217のJIS化に関連してFCC触媒の除去,あるいは高密度油の処理等に関する問合せを受ける機会も多いので,本稿ではメーカの立場

から低質燃料油処理用の油清浄機を計画・使用する場合の留意点と,弊社の推奨する処理システム等について紹介させて戴きます。

2. 型番および機種選定

燃料油清浄機の計画に当たっては,処理油の性状(補油計画)や本船の自動化グレード等に応じて,油清浄機の型番,形式,排出方法,処理システム等を決定する。

1) 型番選定 主機関(場合によっては補機関を含む)の燃料消費量に若干のマージンを見込んで計画する。

一般的には,次式で計算する。

$$V_e = \{(P_e \cdot B_e \cdot 24) / (\rho \cdot t_s)\} \times \beta$$

ここで, V_e = 燃料油清浄機の通油量 (l/h)

P_e = 機関出力 (MCR, kW)

B_e = 機関の燃料消費率 (kg/kWh)

ρ = 処理温度に於ける燃料油の密度 (kg/l)

t_s = 1日の油清浄機の運転時間 (h)

パーシャル排出機およびトータル・パーシャルの併用機 = 23.5 (h)

トータル排出機 = 24 (h)

β = 余裕率 (1.05 - 1.10)

上式で3,500l/hと計算され,計画上の使用燃料

* 原稿受付 平成10年3月10日

** 正会員 ウェストファリアセパレーター株式会社 (港区芝2-17-11)

表1 処理容量表

GEA Westfalia Separator Mineraloil Systems GmbH		Optimalleistungen von Mineralöl- Separatoren in Schiffs- und Kraftwerkanlagen Optimum Capacities of Mineral Oil Separators in Marine and Power Plants														4210-1812-097		
		Dieselöl ① Diesel Oil		Schweröl ① Heavy Fuel Oil												Schmieröl ③ Lubricating Oil		Turbinenöl Turbine Oil
		G0/H00	M00	IF 40	IF 80	IF 180	IF 380	IF 420	IF 500	IF 600	IF 700	Schmieröl ③ Lubricating Oil		Turbinenöl Turbine Oil				
Kinematic Viscosity (mm²/s)		<7.5	<15	-	-	-	-	-	-	-	-							
Kinematic Viscosity at 40°C		-	-	40	80	180	380	420	500	600	700							
Kinematic Viscosity at 50°C		-	-	10	15	25	35	40	45	50	55							
Kinematic Viscosity at 100°C																		
ISO 8217:1996 150- F		DMX DMA	DMB DMC	RMA 10 RMA 10 RMA 10	RMD 15	RME 25 RME 25	RMF 35 RMF 35 RMF 35		RMI 45 RMI 45 RMI 45		RMS 55 RMS 55 RMS 55							
BSI (BS MA 100:1982) Class		M1	M2 M3	M4	M5	M6	M7 M10		M8 M11		M9 M12							
CIMAC (Recommendations)		Like ISO 8217		D 10 E 18	D 15	E 25 F 25	G 35 H 35		H 45 K 45		H 55 K 55							
Separierungstemperatur, empfohlene Separating Temperature, recommended		20°C	60*	75°C		80-98°C		98*		98°C		98°C		90*	95*	65-75°C		
Separator Type		Einstufen- Separierung Single-Stage Separation																
Trommel Type		Hohlleistung Rated Capacity																
		L/h	L/h	L/h	L/h	L/h	L/h	L/h	L/h	L/h	L/h	L/h	L/h	L/h	L/h	L/h		
OTB 3		2000	1570	1220	1220	1220	-	-	-	-	-	-	-	730	550	1300		
OTB 9		5700	4400	3400	3400	3400	-	-	-	-	-	-	-	2100	1550	3600		
OTA 18		9300	7100	5500	5500	4500-5500	4500	2750	-	-	-	-	-	3100	2300	6000		
OSC 5/ 4		2700	1800	1400	1400	1200-1400	1200	700	600	480	440	400	350	790	600	1450		
OSC 5/ 5		4000	2600	2000	2000	1680-2000	1680	1040	920	720	640	600	520	1200	920	2160		
OSC 15/ 10		8500	5500	4250	4250	3550-4250	3550	2200	1950	1530	1350	1270	1100	2550	1950	4600		
OSC 15/ 15		11500	7450	5750	5750	4830-5750	4830	3000	2650	2050	1840	1720	1500	3450	2650	6200		
OSC 30/ 25		21100	13700	10500	10500	8850-10500	8850	5500	4850	3800	3350	3150	2700	6300	4950	11400		
OSC 30/ 30		24000	15600	12000	12000	10000-12000	10000	6200	5500	4300	3850	3600	3100	7200	5500	13000		
OSC 50/ 40		35800	23700	18200	18200	15600-18200	15600	9300	8400	6500	5900	5300	4600	11100	8400	19700		
OSC 50/ 50		43100	27700	21400	21400	18200-21400	18200	11200	9800	7600	7200	6200	5400	13000	9800	23100		

① Für Separator Type OTA 18 gilt:
Bei stark schwämmigen Dieselloil sollte die Leistung um 20% reduziert werden.
The following applies to separator type OTA 18:
With heavily foaming diesel oils the capacity should be reduced by 20%.

② Die Leistungen erhöhen sich bei Einsatz des Stand-by Separators im zweistufigen Betrieb um 15%.
The capacities are increased by 15% if the stand-by separator is applied in two-stage operation.

③ Die Leistungen gelten für die kontinuierliche Reinigung im Nebenstrom.
The capacities apply for continuous cleaning of the product in the by-pass.

Änderungen in Konstruktion und Ausführung vorbehalten

図1 回転体断面図

油がISO 8217のRMK 55(最高粘度700cSt@50℃, 最高密度1010kg/m³)とした場合, メーカーの容量表から計算容量を満足する最小の型番を選定する。因みに, 当社機の場合, 表1から, OSC 30/30型を選定する。台数は, 1台常用, 1台予備の合計2台とする。

なお, 希に仕様書中に「油清浄機の容量は, 定格容量の1/4とする」等の表現があり, 「容量表に記載の流量の1/4で型番を選定しなければならないか?」との質問を受けることがあるが, メーカーの容量表どおりの選定でよい。つまり, メーカーの容量表では, 定格容量(Rated Capacity)に対し, それぞれの油種, 例えばRMK 35(380cSt/50℃)の場合は約1/4に, また, RMK 55(700cSt/50℃)の場合は約1/6に, 既に絞り込まれているからである。

2) 形式選定 油清浄機の形式には, 排出方法による形式, 分離法による形式, および処理油の密度に対応した形式等がある。なお, 図1に回転体の断面図を示す。

(1) 排出方法 排出方法には, スラッジ排出時に油の供給を一旦停止し, 回転体の中のスラッジ, 水, 油の全てを排出するトータル排出機。スラッジ排出時に通常油の供給を停止せずに回転体を短時間開き, 回転体内のスラッジと一部の水のみを排出するパーシャル排出機。また, トータル排出とパーシャル排出を組合わせた併用機がある。それぞれ長所・短所があるが, 当社ではトータル排出を推奨している。

その理由は, パーシャル排出の場合, スラッジ

排出時に油のロスがないという利点があるものの, トータル排出の方が次のように, より利点が多いからである。

- ・トータル排出のため回転体内が汚れにくい
- ・排出頻度が少ないので摺動部, 軸受部, クラッチ部の寿命の延長が可能
- ・一日当たりのスラッジ排出量が少ないので, スラッジ処理労力が軽減可能
- ・油のロス量は, 1回の排出当たり回転体の容量の5-10%と僅か, など。

(2) 分離方法 分離方法には, スラッジ・水・油(固・液・液)の3層分離を行うピュリファイア(清浄機)と, スラッジと油(固・液)を分離するクラリファイア(清澄機)がある。

ピュリファイアでは, 処理可能な油の上限密度は通常991kg/m³@15℃程度である。従って, これ(ISO 8217 RMHクラス)を超える密度の油を処理する場合は, 高密度燃料油処理用の油清浄機を選定する。

なお, 計画上, 高密度燃料油処理用機を選定する必要がなく, 調節板を使用する従来機種を選定した場合にも, 外航船の場合は991kg/m³@15℃を超える燃料油をバンカーする可能性が絶対ないとは言えないので, 必ずクラリファイア用の調節板を準備しておく。

(3) 高密度燃料油処理用油清浄機 高密度燃料油処理用油清浄機は, 調節板を持たないクラリファイアタイプの油清浄機で, 水分検知機を装備している。スラッジ排出はタイマにより行い,

図2. 高密度燃料油処理用油清浄機UNITROLシステム機能説明図

分離水の排出は、水を検知した場合に行う。従って、回転体の構造はクラリファイアだが、水を分離排出するというピュリファイアの機能も合わせ持っている。

なお、分離水の検出は、回転体内の油を循環し、回転体内に水が一定量溜ったことを検出する方法と、清浄油の出口側に流出した水を検出する方法がある。また、分離水の排出方法には、分離水出口側に設けた電磁弁から排出する方法と、回転体からスラッジ・油とともに排出する方法がある。

密度が $1010\text{kg/m}^3@15^\circ\text{C}$ (ISO 8217 RMKクラス)の燃料油を処理する場合には、必ずこのタイプの油清浄機を選定する。図2に、高密度用燃料油清浄機の機能説明図を示す。

3. 付属機器の選定

油清浄機の機能を十分に活用するためには、付属機器の選定にも留意する必要がある。次の2点については特に留意する。

1) 吸入ポンプ 吸入ポンプは、機付き、あるいは別置のギアポンプで良いと考える。ただし、ポンプ入口の最大粘度は、 1000cSt 迄とし、容量は、出来るだけ油清浄機の通油量に合わせる。容量の大きなポンプを選定しポンプの吸入側で流量を絞ると、油の中の水は微細化したりエマルジョン化するので、油清浄機で分離除去するのは難しくなる。ISO 8217 RMG 35($380\text{cSt}@50^\circ\text{C}$)以上の燃料油の場合、 $10\text{数}\mu\text{m}$ 程度まで微細化した水を分離することは難しい。

なお、当社では、ポンプ容量は油清浄機の通油量より30%以上大きくならないように選定している。また、吸入圧が大きくなりすぎないように、ポンプ(油清浄機)はセッティングタンクのなるべく近くに据付ける。

2) ヒータ 油清浄機にとって、通油温度の管理は非常に大切なので、温度調節弁は精度の良いPI制御型を使用することが望ましい。なお、参考までに、ISO 8217 RMG 35($380\text{cSt}@50^\circ\text{C}$)相当の燃料油の場合、処理温度が 98°C から 93°C に 5°C 低下すると、粘度は約 40cSt から約 48cSt に増加する。油清浄機の流量と粘度には次の関係があるので、 98°C での通油量の約83%まで通油量を絞らなければ 98°C で通油した時と同等の分離性能は得ら

れない。

$$Ve2 \approx Ve1 \cdot (\nu1/\nu2)$$

ここで、 $Ve1=98^\circ\text{C}$ に於ける通油量(l/h)

$Ve2=93^\circ\text{C}$ に於ける通油量(l/h)

$\nu1=98^\circ\text{C}$ に於ける粘度(cSt)

$\nu2=93^\circ\text{C}$ に於ける粘度(cSt)

4. 運 転

通常油清浄機の運転は1台で良い。なお、バンカーした油の性状が通常に比べて低質と判断された場合、予備機を使用し2台で運転する。何れの場合にも、通油温度には注意する。

また、調節板を使用する従来機を使用する場合には、処理油の密度が変わる度に正しい調節板が組込まれていることを必ず確認する。密度の高い燃料油では、分離境界面の位置は密度に大きく影響を受けるので、油清浄機の持つ性能を得るためには正しい調節板が組込まれていることが条件となる。

5. 分 離 性 能

油清浄機の分離性能は、スラッジ(分離対象物)の形、大きさ、密度、溶解性等、また、燃料油の密度、粘度、乳化特性および溶解性等多くの要因により一概に論じるのは難しい。

低質燃料油処理の場合、FCC触媒粉の分離効率が頻繁に話題になる。平成8年に日本海事協会が作成した「舶用燃料重油の低質化対策指針」¹⁾に依れば、「望ましい燃料前処理システム」の項で「遠心分離機は高密度用としFCC触媒粒子径 $10\mu\text{m}$ が80%以上分離はできる仕様とする。」している。

この要求は油清浄機1台による清浄で満足できると考える。一例として、表2に弊社油清浄機での分離結果を示す。この結果によれば、アルミ・シリカとも90%程度の分離効率を得ている。

なお、余談だが、 $10\mu\text{m}$ を超える触媒粉が機関のシリンダライナーから発見されることがあるとの報告を聞くが、触媒粉の場合、必ずしも大きな粒子が分離し易いとは限らないようである。ある報告^{2), 3)}では、真比重が 4g/ml の触媒の場合、 $40\text{--}100\mu\text{m}$ の粒径では、多孔質のため見かけ比重は $1.2\text{--}2.3\text{g/ml}$ 程度で、 $10\mu\text{m}$ 以下に粉碎された場合、

表2 高密度燃料油処理用UNITROLシステム付き油清浄機の分離性能

処理燃料油：
粘度：410 cSt at 50°C
密度：1.007 kg/l at 15°C

パラメータ	清浄前	UNITROL システム付 油清浄機 1段清浄後	分離効率 (%)
水分(%)	0.5	0.3	40
灰分(ppm)	0.085	0.042	51
シリコン(ppm)	94	7	93
アルミニウム(ppm)	69	6	91
ナトリウム(ppm)	82	61	26
鉄分(ppm)	25	12	52
カルシウム(ppm)	32	15	53

分析：FOBAS

図3 FCC触媒粉の一例

図4 FCC触媒粉分離の概念図

2.5-3.5g/ml程度となり、見かけの密度はより大きくなる。また、水と親和性があるので、細かく粉碎され見かけ比重がより重くなった微細な粒子の方がFCC触媒粉としての分離効率は高くなることであった。図3にFCC触媒粉の一例と、図4にFCC触媒分離の外念図を示す。

何れにしても、分離効率を上げるためには処理温度の管理を正確に行うとともに、分離境界面を常に正しい位置に保つことが必要である。このためには、調節板がなく、分離境界面を常に正しい位置に保つことのできる高密度型油清浄機を採用することが最も安全と言える。

6. 変動する燃料油の性状に対する対応

燃料油清浄機は、常用1台、予備機1台の最低2台搭載されている。通常、1台の油清浄機を運転し、1台を予備とするが、バンカーした油の性状が通常より低質と考えられる場合は、予備機を使用し2台で運転する。この場合、通油量100%でシリーズで運転するか、それぞれ50%で平行で運転するかが選択肢となる。

陸上の工業用定置プラントと異なり、船舶に於いて油清浄機で得られる分離効率(安全性)を考える場合は、長期的なスパンで考える必要がある。即ち、油清浄機に送られる油の性状は、バンカー、異種油の混合安定性、熱履歴、セトリングタンクの液面(底引き)、天候(荒天)等によって大幅に異なることがあるからである。

図5に、ある船舶に於いて油清浄機に送られた燃料油中の固形分の濃度変化の一例を示す。縦軸が固形物濃度、横軸が時間(日数)である。通常は、

図5 燃料油中の固形分濃度変化の一例

図6 油中の固形物濃度とスラッジ排出インターバルの関係

0.03～0.08%であるが、ピーク時には0.8%と大幅に増加している。

また、図6に、油中の固形物濃度とスラッジ排出インターバルの関係を示す。油中の固形物濃度が、0.03%程度の場合、スラッジ排出インターバルは5時間だが、固形物濃度が0.8%になると10分毎の排出が必要となる。長期間の連続した運転では、油中の固形物濃度は、このように変動することがあり、従来型のタイマーによるスラッジ排出では対応できないことも考えられる。このような場合の対応方法としての処理システムの一例を紹介する。

図7 UNITROLシステムに依るシリーズ運転の機能説明図

図8 UNITROLシステムを用いた低質燃料油処理の配管例

図9 長期的なスパンで評価した運転モードと分離効率（安全性）

図7に高密度燃料油処理用のUNITROLシステムに依るシリーズ運転の機能説明図、図8に配管例を示す。この場合、前段をウォータモニタリングシ(WMS)として用い、後段をスラッジスペースモニタリングシステム(SMS)として用いる。後段のスラッジスペースモニタリングシステムでは、回転体内の油を回転体上部のセンシングリキッドポンプ(上側の求心ポンプ)で常時僅かな量汲み上げ、回転体の中へ循環している。もし、油中のスラッジの量が変動して多くなり、前段の油清浄機で捕捉しきれずにオーバーフローした場合、スラッジは後段の油清浄機のスラッジスペースに溜る。そうするとセンシングリキッドは遮断されるので、センシングリキッドのラインに設けられた圧力スイッチがこれを検知し、スラッジ排出タイマーがタイムアップする前に2台の油清浄機ともスラッジ排出工程に入る。これにより、処理燃料油中のスラッジ濃度が変動して非常に多くなった場合にも、その都度運転条件を変えことなく自動運転が可能となりプラントの安全性を高めることが可能と

なる。

図9に、長期的なスパンで評価した運転モードと分離効率(安全性)の関係を示した概念図を示す。

左側の従来機に依るシングル運転、シリーズ運転、パラレル運転の各運転モードに比べ、後段にスラッジスペースモニタリングシステムを使用したシリーズ運転では、長期的なスパンで評価した場合、プラントのより高い安全性を得ることが可能となる。

7. おわりに

筆者は、燃料潤滑研究委員会に参加させて頂いている。ある委員の方から、表記のテーマを頂戴し、思いつくまま紹介させていただいた。

メーカーの立場として、ISO 8217に規定される船用燃料油も油清浄機が正しく選定・使用されていれば、船主や機関メーカーの要求するレベルまで清浄することが可能と考えている。

なお、油清浄機の評価性能を評価する場合、分離除去すべき対象物の物性あるいは分離条件があまり論議されず、単に「何 μ mの粒子を何パーセント除去云々」とのことだけ論議されている現状に疑問を持っている。一因として、現状に見合った油清浄機の評価基準・規格が無く、分離性能の評価方法が各メーカーに委ねられていることが挙げられる。規格化・基準化の動きがあれば、協力させていただきたい。

参考文献

- 1) 日本海事協会 平成8年 船用燃料油の低質化対策指針
- 2) F.J.Loddenkemper, New System for Centrifugal Treatment of Low-grade Fuels Efficiency・System Comparison (Oct. 1985)
- 3) F.J.Loddenkemper, Treatment of heavy fuel oils by 'self-thinking' separators (87)