

本研究は、モーターボート競走公益  
資金による（財）日本船舶振興会の  
補助金を受けて実施したものである。

研究資料 No. 406

## 第 218 研究部会

# 船用燃料油前処理の陸上化に 関する調査研究

## 成 果 報 告 書

平成 6 年 3 月

社 団 法 人  
日 本 造 船 研 究 協 会

# は し が き

本研究は、日本船舶振興会補助事業として、平成4年度から2ヶ年計画で実施した日本造船研究協会第218研究部会「船用燃料油前処理の陸上化に関する調査研究」の成果をまとめたものである。

## 第218 研究部会委員名簿

(敬称略, 順不同)

部会長	塚原 茂司 (船舶技術研究所) (H.4~5)	
代表幹事	山名 俊茂 (大阪商船三井船舶) (H.4~5)	
委員	塩出敬二郎 (船舶技術研究所) (H.4~5)	壇上 裕二 (日本協事海協会) (H.4~5)
	西田 裕至 (大阪商船三井船舶) (H.4~5)	岩田 昌男 (大阪商船三井船舶) (H.4)
	菊本 安紘 (大阪商船三井船舶) (H.5)	奥村 吉男 (日本郵船) (H.4~5)
	竹永健次郎 (川崎汽船) (H.4~5)	清水 謙一 (ナビックスマリン) (H.4~5)
	中岡 晋吾 (東京タンカー) (H.4~5)	谷垣 忠明 (昭和海運) (H.4~5)
	太野垣正美 (飯野海運) (H.4~5)	阿部 尋 (出光タンカー) (H.4~5)
	村澤 周平 (日本船主協会) (H.4)	山脇 眞 (日本船主協会) (H.5)
	矢吹 捷一 (三井造船) (H.4~5)	戸野本義直 (三菱重工業) (H.4)
	橋本 明 (三菱重工業) (H.5)	福地 順之 (N K K) (H.4~5)
	秋本 義紀 (住友重機械工業) (H.4)	新田 啓一 (住友重機械工業) (H.5)
	門脇洋治郎 (川崎重工業) (H.4~5)	林 雅俊 (日立造船) (H.4~5)
	吉田 修 (石川島播磨重工業) (H.4~5)	三井 俊毅 (尾道造船) (H.4~5)
	緒方 勇 (赤阪鉄工所) (H.4~5)	森本 隆 (ダイハツディーゼル) (H.4)
	片山 隆雄 (ダイハツディーゼル) (H.5)	石丸 昭洋 (阪神内燃機工業) (H.4~5)
	新堀 清正 (日本海事検定協会) (H.4~5)	
オブザーバ	米川 佳宏 (運輸省海上技術安全局) (H.4)	禮田 英一 (運輸省海上技術安全局) (H.5)
	近藤 敏和 (運輸省運輸政策局) (H.4~5)	

## 第218 研究部会幹事会委員名簿

(敬称略, 順不同)

主査	山名 俊茂 (大阪商船三井船舶) (H.4~5)	
委員	塚原 茂司 (船舶技術研究所) (H.4~5)	塩出敬二郎 (船舶技術研究所) (H.4~5)
	壇上 裕二 (日本海事協会) (H.4~5)	西田 裕至 (大阪商船三井船舶) (H.4~5)
	岩田 昌男 (大阪商船三井船舶) (H.4)	菊本 安紘 (大阪商船三井船舶) (H.5)
	奥村 吉男 (日本郵船) (H.4~5)	青木征二郎 (日本郵船) (H.4~5)
	竹永健次郎 (川崎汽船) (H.4~5)	清水 謙一 (ナビックスマリン) (H.4~5)
	中岡 晋吾 (東京タンカー) (H.4~5)	谷垣 忠明 (昭和海運) (H.4~5)
	太野垣正美 (飯野海運) (H.4~5)	阿部 尋 (出光タンカー) (H.4~5)
	佐々木 耕 (三井造船) (H.4~5)	渡辺 昌彦 (三菱重工業) (H.4~5)
	福地 順之 (N K K) (H.4~5)	秋本 義紀 (住友重機械工業) (H.4)
	新田 啓一 (住友重機械工業) (H.5)	門脇洋治郎 (川崎重工業) (H.4~5)
	林 雅俊 (日立造船) (H.4~5)	吉田 修 (石川島播磨重工業) (H.4~5)
	緒方 勇 (赤阪鉄工所) (H.4~5)	新堀 清正 (日本海事検定協会) (H.4~5)
オブザーバ	禮田 英一 (運輸省海上技術安全局) (H.4)	米川 佳宏 (運輸省海上技術安全局) (H.5)
	近藤 敏和 (運輸省運輸政策局) (H.4~5)	

# 目 次

緒 言	1
1. 船用燃料油の実情調査	2
1.1 製造・供給・積込過程調査	2
1.1.1 石油製品／船用燃料油の製造	2
1.1.2 供給・積込過程	3
1.1.3 原油の種類及び性状	3
1.2 燃料油の性状	5
1.2.1 燃料油試料と試験分析機関	5
1.2.2 性状分析	5
1.2.3 燃料油性状に関するデータ解析	5
1.2.4 熱重量分析及び解析結果	14
1.2.5 ま と め	20
1.3 経時変化調査	21
1.3.1 燃料油の貯蔵安定性に関する調査	21
1.3.2 船内前処理効果に関する調査	21
1.4 燃料油・補油実績	21
1.5 バンカー重油の価格、硫黄分、A重油基材構成の推移	21
1.6 まとめと今後の課題	22
2. 油性状と機関プラントの信頼性相関調査	26
2.1 各プラント要素の腐食、摩耗、汚損等と不純物の相関	26
2.1.1 文献調査	26
2.1.2 調査結果	27
2.1.3 機関プラントに障害を与える燃料油性状	28
2.1.4 機関プラント信頼性向上のための燃料油性状	30
2.1.5 実験による考察	33
2.1.6 あとがき	35
2.2 硫黄分と排エコ使用温度、腐食との相関	40
2.2.1 実験による考察	40
2.2.2 あとがき	41
3. オプティマム燃料油仕様とコスト評価	46
3.1 オプティマム燃料油仕様の策定	46
3.1.1 オプティマム燃料油仕様策定の目的	46
3.1.2 オプティマム燃料油性状各項目の解説	48
3.2 オプティマム燃料油使用時の改善及びコスト評価	58
3.2.1 オプティマム燃料油使用時の総合改善評価	58
3.2.2 オプティマム燃料油使用時イニシャルコスト及びランニングコスト評価	59
3.2.3 総合コスト評価	60
3.2.4 IMOによる大気汚染防止規制に関するコスト調査	62
3.3 ま と め	63
結 言	64

## 緒 言

現状船舶の運航障害の相当割合が、機関プラントにおける使用燃料の低質・不純性に起因し、またこれに対応する小単位、非効率、悪環境化での船内燃料処理方法が機関プラントの複雑化を招き、船舶の信頼性向上、事故防止、省力化推進のネックの一因となっている。

一方において、石油製品は蒸留、分解過程を経て軽質油を多く取り出す情勢にあり、船用燃料油はますます多品質で重質化の方向に向かっている。

また昨今、地球環境保全の立場から、船舶からの排気ガスによる大気汚染問題、特にSOx、NOxの排出規制も国際的に統一した形で決められようとしており、船用燃料油の前処理作業は脱硫過程も含めて船外（陸上）事前処理を検討すべき事態に立ち至っている。

かかる観点から、本研究では、①船舶に使用されている燃料油の製造・供給・積み込み過程の調査、その性状・組成の調査・分析、安定性等経時変化の調査、②これら燃料油の性状と機関プラントシステムにおける障害との相関を把握し、あるべき信頼度と環境基準を達成し得る船用燃料油制限値を求め、③オプティマム燃料油仕様の策定とそれを使用した場合の改善コストの評価を行い、陸上前処理の可能性について調査研究を行った。

①については、国内外の17港において燃料油試料93検体を集め、17の試験項目を選定し、補油港（地域）毎に、あるいは粘度グレード毎に燃料油性状を調査し、さらに貯蔵安定性、夾雑物の挙動をも調査した。

②では、過去14年間に亘って公表された190の文献を基に、機関プラント障害と燃料油仕様の関係を求めた。また機関プラント信頼性の改善という観点から、機関メーカーの推奨する燃料油仕様を聞き取り参考とした。燃料中の硫黄分が排エコの腐食に与える影響とCCAIの燃焼性、有害排気ガス排出量との関係などを実験から求め資料とした。これらから信頼性向上に関し燃料油性状の制限値を求め、オプティマム燃料油仕様策定の参考値とした。

③においては、主に②の調査結果と船舶運航者側から見てより好ましい燃料油性状とはどのようなものかという観点からオプティマム燃料油の仕様を求めた。性状各項目の解説も付記したが、これは仕様決定に当たったの根拠（あるいは条件）となることを示したもので、一読して欲しいところである。次いでこの燃料油を使用したときにどのようなコストメリットがあるかをイニシャルコスト、ランニングコスト、燃料油コストにより試算した。

以上の作業により初期の目的を達成することができたが、多くの新たな知見も得ることができた。この目的達成のためには委員会各位の大きな努力があったことをここに記しておきたい。

# 1. 船用燃料油の実情調査

## 1.1 製造・供給・積込過程調査

船用燃料油の種類、精油所の製造装置、石油留分の沸点範囲、製造工程、二次設備装備率(熱分解法、FCC)の動向、原油の種類、蒸留残油の性状、原油別間接脱硫時の得率・硫黄分、また精油所における重油調合装置、BUNKER BARGE積み出し設備、DELIVERY方法(BARGE/パイプライン/ミルクラン)、及び補油サンプル等について調査した。

### 1.1.1 石油製品/船用燃料油の製造

#### (1) 船用燃料油

重油は軽質軽油(LGO)、分解軽油(LCO)、分解残油(DCO)、脱硫減圧軽油、常圧残油(TOPBTM)、脱硫重油(VRDSを経由)、減圧残油(VACBTM)、潤滑油製造工程から発生するエキストラクト等を需要家(船社、トレーダー)の要求仕様(主に比重、VISCOSITY)により重油調合装置により調合する。石油火力発電用、陸上需要向けはサルファーの上限要求は地方自治体環境規制に適合するため需要家仕様により0.1%レベル毎に明記されている。

(2) C重油(Marine Heavy Fuel Oil)の原料は減圧ボトム(VACBTM)、直接脱硫ボトム・スラリーオイルに、軽質軽油(LGO)、分解軽油(LCO)などのカッター材を加えて調整したものである。

(3) 重油調合装置は需要家要求仕様によりVACBTM、直接脱硫ボトム用タンクとLGO、LCO用タンクの調合比率が算出され、各弁の弁開度制御によりパイプミキシングする方式が一般的である。

(4) また軽油タンク、減圧ボトムタンク(加熱用コイル有)を別々にもつバージにて輸送後本船へ補給時ブレンドする barge blend 方式もある。

(5) STATIC MIXER あるいは DYNAMIC MIXER を使用してボトムとカッター材を正確に BLEND する事は行われておらず、所謂混合物である。従って同一補油地、同一サプライヤー、同一要求仕様と云えども厳密には低位発熱量(LCV)、燃料油の性状は常に異なると考えるのが至当であろう。

(6) 混合安定性は原油輸入ソース別留分により事前にチェックされており、船社関係者によれば日本の大手精油所の場合問題ないとの事。

しかし日本の石油精製会社及びメジャーでない、トレーダー間で売買される業転物やベネズエラ B.C.F. 17 原油(高硫黄・超重質のナフテン基原油)、イラニアンヘビー原油の産品が調合されている場合は、時にディーゼル機関の燃焼障害等発生することがありうるし実際時々発生している。

(7) 各精油所では燃料油需要(LPG、ガソリン、ナフサ、ジェット燃料油、灯油、軽油、重油、その他)構成は経済変動により年々変化する。

C重油内需はH4年度44,702(千KL)、内電力向け23,829、その他20,863、一方S48年度55,359と比較し激減し、さらにH5(FY)は冷夏のためダウンした。

(8) 第1次オイルショック以降日本では中間留分(ジェット燃料油、灯油、軽油、A重油)はS48.59,668(千KL)よりH4の100,156と飛躍的に需要が伸び、一方重油の需要はバンカーオイルも含めて、大口需要が減少傾向にあるため、RFCC(残油流動分解装置)、FCC(流動接触分解装置)、RDS(残油脱硫装置)、CCR(接触改質装置)、ALKYLATION(異性化装置)等の設備投資が盛んにおこなわれている。

重油製造工程概略を図1.1.1-1に示す。

### 1.1.2 供給・積込過程

- (1) 定期傭船 (Time Charter : T/C) の場合、傭船者がバンカー手配する。タンカー (VLCC, SUEZ MAX, AFRA MAX 等)、製鉄原料 (鉄鋼石/原料炭) 等の長期輸送契約の場合、傭船者 (主として石油精製会社、産油国・石油会社、商社、高炉会社) がバンカーを手配し船社/本社は Voucher を傭船者へ送付する。
- (2) コンテナ船、PCC は船社が一般的に自社運航するのでバンカーは船社が手配する。大手オペレーター (船社) は自社船以外に多数の船舶を傭船し、そのかなりの船腹を自社運航するため自らバンカーを手配するが、再傭船へ出した船舶 (Charter out と云う) は相手方がバンカーを手配する。
- (3) 邦船大手オペレーターは主要補油港 (パナマ、ロスアンゼルス、東京港、香港、シンガポール、ロッテルダム等) では石油メジャー等と恒常的にダイレクト取引を行っており、主機の燃焼前・後の障害発生時等は retained sample oil を DNVP S・NKKK 等の公的分析機関に分析依頼し仕様外のバンカーの場合被害について求償する。バンカー供給は TANK TO CAR, TANK TO LORRY は殆どなく TANK TO SHIP (barge 出荷) が殆どである。

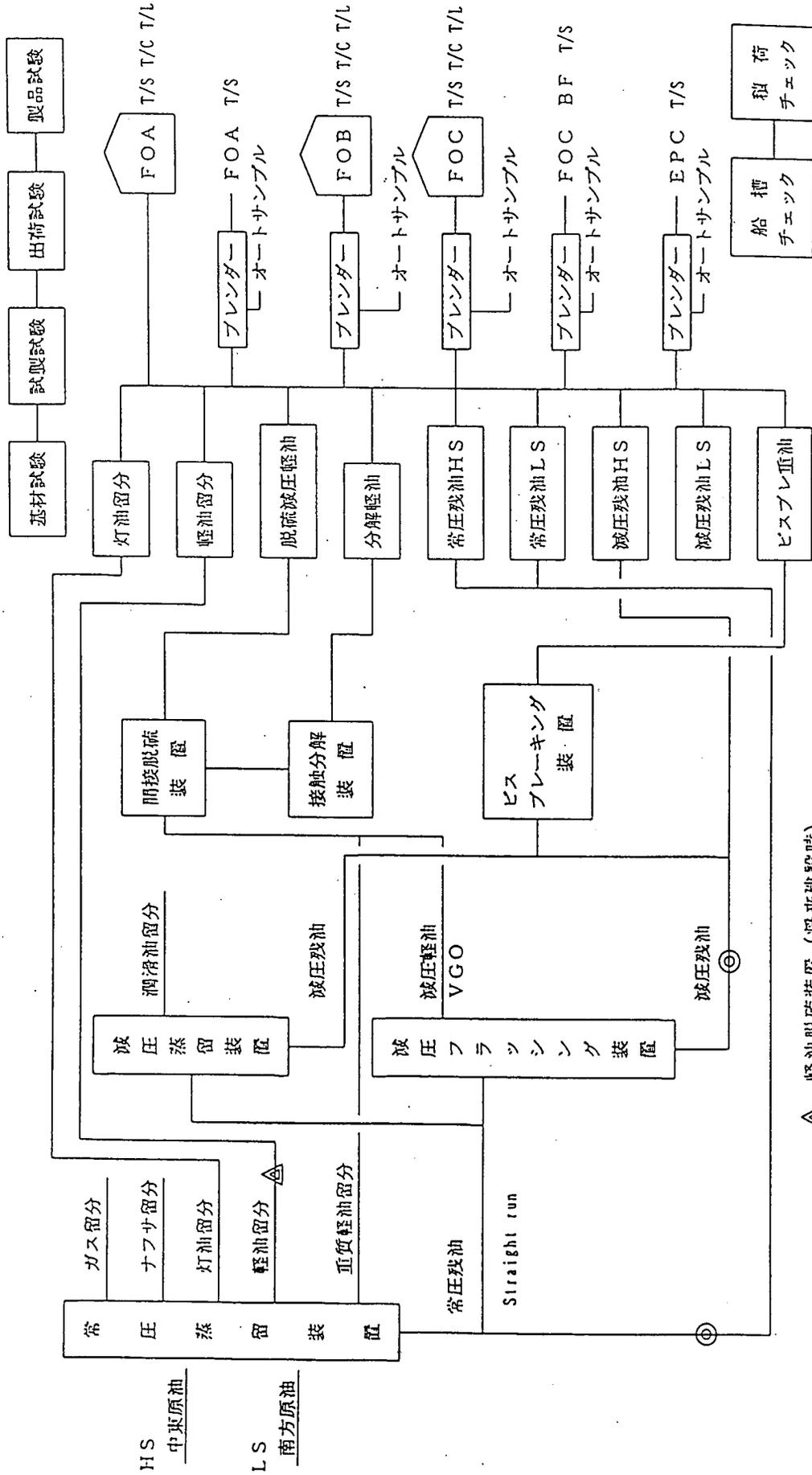
### 1.1.3 原油の種類及び性状

燃料潤滑油用語辞典 (日本船用機関学会燃料潤滑研究委員会編 成山堂書店、H6年1月) 15頁及び「世界の原油の種類及び性状」

(三菱石油技術資料 No 78 P29-40) によればパラフィン基 (アスファルト基) 原油、ナフテン基原油、中間基原油、及び特殊原油の4種類に分類される。

Residual Oil (残油) の Cut Range (℃) は、原油の性状によりマチマチである。

重油調合出荷



- △ 軽油脱硫装置 (将来建設時)
- ◎ 重油脱硫装置 (将来建設時)

図 1.1.1-1 重油製造工程概略図

## 1.2 燃料油の性状

現在流通している船用燃料油の性状を把握するため、本船への補油燃料油から採取した燃料油を用いて、以下に述べる調査を実施した。

### 1.2.1 燃料油試料と試験分析機関

燃料油性状調査のための供試試料は、表 1.2.1-1 の担当船社により各国補油地域で積み込まれた船用燃料油から採取され、表中の各試験分析機関で分析された。

表 1.2.1-1 燃料油試料と試験分析機関

試料採取 担当船社	燃料補油地域	試験分析機関	燃料油試料 検体数		
			油種 (粘度範囲)		
			100~250cSt	250cSt以上	計
1. 日本郵船(株)	オランダ	日本郵船 横浜研究所	4	13	17
2. 大阪商船三井船舶(株)	日本 シンガポール	商船三井 技術研究所	2	9	11
			2	9	11
3. 川崎汽船(株)	米国	海事検定 理化学研究所	2	8	10
4. ナビックスライン(株)	パナマ		2	5	7
5. 飯野海運(株)	韓国		3	5	8
6. 昭和海運(株)	香港		2	8	10
7. 東京タンカー(株)	中東 シンガポール	日本石油 中央研究所	-	8	8
			-	1	1
8. 出光タンカー(株)	中東	出光興産 研究所	1	9	10
合計	17港	5機関	18	75	93

【備考】 試料採取期間：平成4年7月～平成5年5月

### 1.2.2 性状分析

#### (1) 試験分析結果 (SRデータ)

燃料油性状調査のため実施した船用燃料油の試験分析の結果を表 1.2.2-1 "試験分析結果：SRデータ" に示す。  
〔180～380cSt グレード、93 件体、17 項目〕

#### (2) 燃料油性状比較データ (DNVPS データ)

燃料油性状に関する該調査では、母集団の大きなデータとの比較も併せて行なうため、DNVPS (Det Norske Veritas Petroleum Services) から入手した燃料油性状統計データを用い、当委員会調査データと同じ手法によって解析した。

表 1.2.2-2 に調査に適用した DNVPS データの補油港及び油種別データ数を示す。

### 1.2.3 燃料油性状に関するデータ解析

SR データ及び DNVPS データについて、以下の解析を行なった。

- ① 統計量と代表的燃料油性状 ..... 平均値から見た代表的燃料油性状
- ② 度数分布 ..... 粘度範囲別の燃料油性状
- ③ 動粘度及び密度との相関 (回帰分析) ..... 燃料油性状の分散状況
- ④ 統計解析 I (補油港毎の平均値及び範囲の推定) ..... 補油港毎の燃料油性状
- ⑤ 統計解析 II (小川法環分析と主成分分析) ..... 環分析による燃料油類別

表 1.2.2-1 試験分析結果 (SRデータ: 1992~1993年) ..... 93 データ

No.	DATE	PORT	GRADE	QUANT	DENS g/cm <sup>3</sup>	VIS cSt	WATER vol%	ASH wt%	Sulfur wt%	CCR wt%	ASPH wt%	V ppm	Na ppm	Si ppm	Al ppm	AP °C	DI -	Ca kJ/g	TSE wt%	XE -	CCAI -
A01	920829	ROTTERDAM	180	-	0.9806	190	0.02	0.11	3.01	13.0	6.9	63	59	-	10	82	23	40.33	0.14	70	849
A02	920905	ROTTERDAM	180	1,700	0.9853	203	0.03	0.03	2.67	12.2	6.8	118	49	-	1	66	18	40.40	0.01	30	853
A03	921010	ROTTERDAM	180	-	0.9866	202	0.16	0.04	2.67	10.6	5.2	86	6	-	5	73	19	40.32	0.03	50	855
A04	921029	ROTTERDAM	180	2,814	0.9859	164	0.3	0.04	3.06	11.8	5.0	74	46	-	10	68	19	40.15	0.03	55	856
A05	921003	ROTTERDAM (280)	-	-	1.0574	25	0.38	0.01	0.83	14.8	15.2	6	8	-	3	30	-	39.76	0.02	65	855
A06	920818	ROTTERDAM	380	-	0.9887	382	L 0.05	0.03	3.27	16.6	10.2	97	10	-	1	83	21	40.18	0.01	45	850
A07	920825	ROTTERDAM	380	-	0.9638	351	L 0.05	0.04	2.78	12.7	5.8	116	45	-	3	80	27	40.67	0.02	25	826
A08	920825	ROTTERDAM	380	-	0.9885	362	L 0.05	0.03	2.62	13.3	6.1	113	46	-	2	84	21	40.39	0.01	25	850
A09	920908	ROTTERDAM	380	1,395	0.9904	382	L 0.05	0.03	3.12	16.4	9.8	100	44	-	1	82	20	40.20	0.01	50	851
A10	920913	ROTTERDAM	380	-	0.9800	397	L 0.05	0.03	3.15	16.8	10.0	112	64	-	1	67	17	40.20	0.02	55	850
A11	920920	ROTTERDAM	380	1,683	0.9911	374	L 0.05	0.04	3.02	17.3	10.9	115	54	-	1	85	21	40.22	0.02	65	852
A12	920923	ROTTERDAM	380	1,599	0.9874	385	L 0.05	0.03	3.00	13.4	6.0	113	51	-	1	70	19	40.28	0.01	25	848
A13	920928	ROTTERDAM	380	-	0.9905	418	L 0.05	0.03	3.09	16.8	13.7	112	14	-	1	67	17	40.21	0.02	50	850
A14	921024	ROTTERDAM	380	-	0.9900	405	0.02	0.04	2.82	15.5	8.9	95	29	-	7	70	18	40.29	0.02	65	850
A15	921019	ROTTERDAM	380	2,890	0.9905	394	L 0.05	0.02	3.54	15.8	10.3	69	9	-	2	68	18	40.07	0.01	40	851
A16	921024	ROTTERDAM	380	1,315	0.9897	379	L 0.05	0.04	2.57	14.4	6.5	118	17	-	1	68	18	40.38	0.01	25	851
A17	921103	ROTTERDAM	380	-	0.9851	368	L 0.05	0.02	3.54	12.8	6.6	59	8	-	1	72	20	40.15	0.00	30	846
B01	921016	SINGAPORE	180	1,800	0.9700	168	0.36	0.03	3.04	12.2	2.4	38	8	9	5	73	23	40.35	0.02	40	840
B02	921016	SINGAPORE	180	700	0.9645	177	0.12	0.01	3.39	11.6	2.8	24	10	8	4	68	23	40.42	0.00	30	834
B03	920930	横浜	180	100	0.9601	164	0.08	0.01	2.79	10.3	1.7	9	5	4	4	72	26	40.69	0.00	35	830
B04	921015	横浜	180	1,300	0.9780	295	0	0.00	2.63	11.1	1.7	19	4	4	4	76	22	40.53	0.00	20	843
B05	921015	SINGAPORE	280	1,000	0.9750	254	0.33	0.02	3.13	11.4	2.6	50	7	10	8	73	22	40.27	0.00	40	840
B06	921016	SINGAPORE	280	720	0.9725	184	0.16	0.02	3.02	12.3	2.8	42	8	6	4	75	23	40.41	0.01	45	841
B07	921019	SINGAPORE	280	493	0.9879	223	0.06	0.01	3.41	12.5	2.9	16	6	4	4	68	18	40.13	0.01	55	855
B08	921011	SINGAPORE	280	800	0.9785	179	0.18	0.01	3.03	14.3	4.0	42	8	9	5	70	21	40.32	0.00	50	848
B09	921018	SINGAPORE	280	3,045	0.9914	262	0.06	0.01	3.47	12.9	2.8	17	9	4	3	69	17	40.06	0.00	50	856
B10	920929	横浜	280	150	0.9645	174	0	0.02	3.13	11.0	2.3	10	5	5	5	76	26	40.56	0.00	30	834
B11	921110	横浜	280	500	0.9531	268	0.06	0.01	2.58	12.4	1.4	14	5	6	4	76	29	40.86	0.00	25	819
B12	920921	横浜	280	1,370	0.9680	291	0	0.01	2.39	10.1	1.6	13	8	4	4	76	24	40.74	0.00	20	833
B13	920926	横浜	280	400	0.9655	264	0.13	0.02	2.79	12.6	2.1	14	7	6	5	71	24	40.58	0.00	40	831
B14	921028	横浜	280	470	0.9870	116	0.15	0.00	2.45	13.3	1.8	10	7	5	3	70	19	40.41	0.00	20	853
B15	921003	千葉	280	470	0.9486	191	0.19	0.00	2.07	7.8	1.0	12	7	4	5	76	30	41.03	0.00	15	817
B16	921104	千葉	280	530	0.9700	269	0.06	0.02	3.09	9.8	1.8	17	4	8	5	74	24	40.47	0.00	20	835
B17	920904	SINGAPORE	380	1,100	0.9814	328	0.05	0.02	3.34	13.3	3.4	12	8	6	5	71	18	40.10	0.01	50	854
B18	921016	SINGAPORE	380	600	0.9934	352	0.07	0.01	3.51	13.3	2.8	16	5	5	3	70	17	40.02	0.00	55	855
B19	921019	SINGAPORE	380	480	0.9814	363	0.12	0.03	3.51	13.6	3.7	54	7	5	5	69	20	40.15	0.00	45	843
B20	921018	SINGAPORE	380	930	0.9829	377	1.12	0.05	3.52	13.4	3.6	64	12	15	7	69	19	39.68	0.03	50	844
B21	921015	横浜	380	320	0.9634	409	0.07	0.01	2.69	13.9	1.5	16	3	4	4	76	21	40.41	0.00	20	844
B22	921108	横浜	380	400	0.9640	166	0.06	0.00	3.36	11.1	1.4	6	4	3	3	73	25	40.47	0.00	20	834
C01	921017	NEW ARK	280	1,700	0.9848	244	0.2	0.01	2.95	9.0	3.0	40	5	35	20	81	22	40.25	0.21	31~35	850
C02	921205	NEW ARK	280	1,500	0.9875	295	0.1	0.05	2.62	15.0	6.2	65	75	10	5	79	20	40.35	0.19	31~35	851
C03	920809	NEW ARK	380	1,000	0.9812	329	0.1	0.05	2.73	15.2	7.9	175	25	27	15	79	20	40.26	0.35	56~60	854
C04	921010	NEW ARK	380	1,440	0.9913	333	0.1	0.04	2.78	14.6	7.1	150	20	23	10	74	18	40.25	0.23	56~60	854
C05	921103	NEW ARK	380	1,750	0.9914	275	0.1	0.04	2.87	11.6	5.1	100	15	30	15	70	18	40.22	0.20	51~55	856
C06	921017	LONG BEACH	380	1,600	0.9891	236	0.1	0.06	1.25	10.6	5.2	125	25	15	5	61	16	40.76	0.09	21~25	855
C07	921031	LONG BEACH	380	920	0.9786	358	0.1	0.07	3.76	10.0	4.2	210	25	5	5	57	18	40.10	0.27	21~25	840
C08	921108	LONG BEACH	380	920	0.9887	332	0.2	0.07	2.42	12.0	6.8	145	30	15	5	54	15	40.35	0.14	16~20	851
C09	921110	LONG BEACH	380	3,300	0.9702	307	0.5	0.04	1.17	7.7	2.5	40	30	20	10	65	21	40.88	0.03	16~20	833
C10	921121	LONG BEACH	380	1,750	0.9873	334	0.2	0.05	2.54	8.5	5.8	115	25	5	5	59	16	40.33	0.13	31~35	850
C31	921028	CRISTOBAL	180	1,200	0.9698	151	0.7	0.06	2.34	11.0	5.4	220	60	10	5	69	22	40.41	0.10	46~50	841
C32	920708	CRISTOBAL	180	450	0.9829	168	0.6	0.04	2.68	10.8	5.9	120	20	15	10	74	20	40.18	0.20	46~50	853
C33	920703	BALBOA	280	510	0.9748	248	3.9	0.13	2.41	10.6	6.1	90	240	11	5	78	23	39.89	0.45	46~50	840
C34	920821	CRISTOBAL	380	1,000	0.9904	359	1.0	0.05	2.52	11.4	4.7	160	30	10	5	79	22	40.09	0.24	46~50	842
C35	920811	BALBOA	380	1,330	0.9917	356	2.4	0.09	2.19	12.4	7.8	130	130	8	5	79	22	39.54	0.47	56~60	843
C36	920125	BALBOA	380	1,750	0.9717	358	1.5	0.10	2.16	12.9	7.9	180	150	5	5	78	24	40.08	0.60	46~50	833
C37	930126	BALBOA	380	650	0.9885	394	0.8	0.09	2.21	14.0	6.9	275	90	20	10	70	18	40.10	0.30	31~35	849
C51	920828	INCHON	180	550	0.9510	151	0.1	0.02	3.10	9.8	3.6	70	15	15	5	78	30	40.70	L 0.05	11~15	822
C52	920829	ULSAN	180	1,000	0.9543	170	0.1	0.02	3.18	9.5	4.2	65	25	15	5	78	29	40.63	L 0.05	11~15	824
C53	930107	ULSAN	180	420	0.9614	191	0.2	0.02	3.21	10.1	4.6	80	25	15	5	75	26	40.48	L 0.10	16~20	830
C54	921012	INCHON	280	230	0.9580	261	L 0.05	0.02	3.18	8.8	2.8	50	15	15	5	68	25	40.63	L 0.05	11~15	823
C55	920816	ULSAN	380	440	0.9658	379	0.05	0.02	3.55	10.2	3.8	80	15	15	5	80	26	40.38	L 0.05	11~15	827
C56	920809	ULSAN	380	480	0.9647	340	L 0.05	0.02	3.37	9.9	3.8	80	10	15	5	79	27	40.48	L 0.05	11~15	827
C57	930404	ULSAN	380	450	0.9645	377	0.1	0.03	3.32	11.1	4.5	105	15	15	5	80	27	40.45	L 0.05	16~20	826
C58	930427	ULSAN	380	500	0.9629	373	0.1	0.03	3.06	10.8	3.9	105	25	15	5	81	27	40.55	L 0.05	16~20	824
C61	930512	HONG KONG	180	-	0.9513	145	0.3	0.02	3.13	9.0	3.7	75	20	15	5	81	30	40.60	L 0.05	16~20	8

(1) 統計量と代表的燃料油性状（平均値から見た代表的燃料油性状）

流通燃料油の代表的な性状を把握するため、SRデータ及びDNVPSデータについて、100 cSt未満、250 cSt未満及び250 cSt以上の3グループの動粘度範囲毎に統計量を算出した。表1.2.3-1に調査データの統計量を示す。ただし、SRデータでは100 cSt未満の油種は調査対象としていない。

表 1.2.2-2 燃料補油港と調査データ数 (DNVPSデータ)

補油港		油種(粘度グループ)			計
		～100cSt	～250cSt	250cSt～	
日本	Tokyo	2	26	42	70
韓国	Pusan	8	16	23	47
シンガポール	Singapore	37	72	73	182
香港	Hong Kong	3	10	4	17
米国	New York	5	14	19	38
	Los Angals	7	23	28	58
	Houston	7	22	31	60
パナマ	Panama	7	11	13	31
欧州	Rotterdam	20	42	61	123
アフリカ	Cape Town	4	7	—	11
中東	Dubai	2	7	6	15
	Bahrain	1	4	—	5
	Jeddah	2	11	2	15
合計	13港	105	265	302	672

〔備考〕 試料採取期間：1990年10月～1991年9月

SRデータ及びDNVPSデータから、粘度グレード毎に“平均値の区間推定”を行い、その結果を“代表的燃料油性状”として表1.2.3-2に示す。

更に、SRデータ及びDNVPSデータを比較するため、t検定による“平均値の差の検定”を行なった結果、多くの試験項目において有意差が認められ、DNVPSデータがより重質で夾雑物の多いことが示された。しかし、SRデータ及びDNVPSデータから推定された平均値は、燃料油補油港が必ずしも一致していないにもかかわらず、比較的近似したものであった。

また、ISOあるいはCIMACの規格値を越えた燃料油は比較的少なく、これら規格値が燃料油製造の基準としての役割を果たしていることが分る。しかし、これら規格値が本船燃焼機関の実態に即したものであるかどうかは別の問題であり、障害を起こした燃料油であってもこれら規格値を満足している例は多く、燃料油のユーザーの間では、規格値そのものを見直すべきではないかとの議論がある。

(2) 度数分布（粘度グループ毎の燃料油性状）

動粘度に基づいて分類された燃料油グループについて、試験項目毎の度数分布を求めた。（ヒストグラム：本文参照）

度数分布から得られた所見を以下に整理する。

- ① 100 cSt以上の燃料油の動粘度について、SRデータ(93件)は180 cSt、280 cSt及び380 cStの3グレードに大別される。DNVPSデータ(672件)は180 cSt及び380 cStの2グレードに大別され、280 cStグレードが欠損している。限定された範囲での調査結果であるが、大きな相違として認識された。
- ② 密度、残留炭素、硫黄、ディーゼル指数、発熱量など、燃料油の主要成分に関わる性状は、粘度の高低により比較的明確な相違が現れている。すなわち、高粘度な燃料油になるほど、密度、残留炭素及び硫黄分は高く、ディーゼル指数及び発熱量は低いものが多くなり、一般的な化学的・物理的概念と合致している。

表 1.2.3 - 1 統 計 量

S R データ

動粘度 グループ	統計量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	17	18
		VIS	DENS	WATER	ASH	S	CCR	V	Na	Si	Al	TSE	Cal	ASPH	AP	DI	XE	CCA1
全体	平均	296.48	0.97513	0.2497	0.0306	2.9876	12.108	75.195	26.967	5.1847	3.3913	0.0786	40.342	4.8764	75.530	22.938	38.206	839.22
	最低	115.5	0.9386	0	0	1.17	7.71	6	0	0	0	0	38.891	0.7	54	15	15	799.07
	最高	418	0.9934	3.9	0.13	4.11	17.3	275	240	35	20	0.6	41.312	13.7	102	41.3	70	856.3
	範囲	302.5	0.0548	3.9	0.13	2.94	9.59	269	240	35	20	0.6	2.421	13	48	26.3	55	57.23
	分散	7100.0	0.00020	0.3162	0.0005	0.3294	5.5163	2701.0	1163.2	51.759	14.259	0.0165	0.1137	7.0422	75.517	27.301	253.57	176.19
92 data	標準偏差	84.261	0.01414	0.5623	0.0236	0.5739	2.3486	51.971	34.106	7.1943	3.7762	0.1287	0.3372	2.6537	8.6901	5.2251	15.924	13.273
100~ 250cSt	平均	184.78	0.96962	0.3097	0.0282	2.9057	10.828	61.285	28.464	5.8928	4.5357	0.0551	40.417	3.8078	74.332	23.867	35	838.32
	最低	115.5	0.9486	0	0	1.25	7.71	6	4	0	0	0	38.891	1.01	61	16	15	817
	最高	248.2	0.9891	3.9	0.13	3.6	14.3	220	240	35	20	0.45	41.034	6.91	82.2	30	70	856
	範囲	132.7	0.0405	3.9	0.13	2.35	6.59	214	236	35	20	0.45	2.143	5.9	21.2	14	55	39
	分散	1132.9	0.00017	0.5051	0.0008	0.2188	2.7102	2124.0	1918.3	50.595	16.605	0.0092	0.1310	2.5674	27.513	17.629	223.21	153.93
28 data	標準偏差	33.659	0.01334	0.7107	0.0297	0.4677	1.6462	46.087	43.799	7.1130	4.0750	0.0962	0.3619	1.6023	5.2453	4.1987	14.940	12.407
250cSt 以上	平均	345.35	0.97753	0.2235	0.0317	3.0234	12.667	81.281	26.312	4.875	2.8906	0.0888	40.309	5.3439	76.054	22.531	39.609	839.61
	最低	253.7	0.9386	0	0	1.17	7.71	12	0	0	0	0	39.544	0.7	54	15	15	799.07
	最高	418	0.9934	2.4	0.1	4.11	17.3	275	150	30	15	0.6	41.312	13.7	102	41.3	70	856.3
	範囲	164.3	0.0548	2.4	0.1	2.94	9.59	263	150	30	15	0.6	1.768	13	48	26.3	55	57.23
	分散	1863.2	0.00019	0.2313	0.0004	0.3736	5.7145	2831.7	831.49	51.953	12.409	0.0194	0.1026	8.2818	95.616	30.989	260.39	185.42
64 data	標準偏差	43.165	0.01381	0.4809	0.0202	0.6112	2.3905	53.214	28.835	7.2078	3.5227	0.1393	0.3203	2.8778	9.7783	5.5668	16.136	13.617

DNVPSデータ

動粘度 グループ	統計量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		VIS	DENS	WATER	ASH	S	CCR	V	Na	Si	Al	TSE	Cal
全体	平均	236.43	0.97513	0.3851	0.0440	2.7841	12.149	102.19	30.481	12.691	7.5650	0.0223	40.342
	最低	17	0.915	0	0.01	1.35	5.8	14	3	0	0	0	37.34
	最高	605	1.010	7.1	0.22	6.06	18.5	434	364	65	58	0.66	41.43
	範囲	588	0.095	7.1	0.21	4.71	12.7	420	361	65	58	0.66	4.09
	分散	13837.	0.00023	0.2400	0.0006	0.2984	5.5477	4493.1	798.51	111.15	35.875	0.0015	0.1254
669 data	標準偏差	118.06	0.01510	0.4899	0.0253	0.5462	2.3553	67.030	28.257	10.543	5.9896	0.0393	0.3542
100cSt 以下	平均	59.542	0.95519	0.3752	0.0376	2.4328	9.4152	71.847	30.238	12.685	7.6190	0.0321	40.726
	最低	17	0.915	0	0.01	1.51	5.8	14	4	0	0	0	38.62
	最高	99	0.999	4.5	0.22	3.32	14.9	240	364	63	40	0.66	41.43
	範囲	82	0.084	4.5	0.21	1.81	9.1	226	360	63	40	0.66	2.81
	分散	442.05	0.00032	0.2399	0.0006	0.1638	3.6237	1523.2	1426.9	160.63	49.073	0.0063	0.1371
105 data	標準偏差	21.025	0.01790	0.4898	0.0261	0.4047	1.9036	39.028	37.775	12.674	7.0052	0.0798	0.3703
100~ 250cSt	平均	174.21	0.97527	0.4202	0.0445	2.7544	11.964	95.509	32.275	12.943	7.8679	0.0233	40.330
	最低	100	0.944	0	0.01	1.39	7.1	18	3	0	0	0	38.51
	最高	243	0.99	4.4	0.19	3.99	17.1	359	347	65	58	0.5	41.04
	範囲	143	0.046	4.4	0.18	2.6	10	341	344	65	58	0.5	2.53
	分散	421.64	0.00014	0.2412	0.0007	0.2189	3.8086	3961.7	1029.0	104.63	40.318	0.0011	0.0816
265 data	標準偏差	20.534	0.01193	0.4911	0.0268	0.4689	1.9515	62.942	32.078	10.229	6.3496	0.0336	0.2856
250cSt 以上	平均	353.69	0.98189	0.3575	0.0458	2.9338	13.273	118.78	28.976	12.468	7.2776	0.0179	40.217
	最低	252	0.958	0	0.01	1.35	8.2	21	4	0	0	0	37.34
	最高	605	1.010	7.1	0.16	6.06	18.5	434	180	55	28	0.08	41
	範囲	353	0.052	7.1	0.15	4.71	10.3	413	176	55	28	0.08	3.66
	分散	2486.0	0.00008	0.2370	0.0005	0.3487	3.8454	5368.7	368.36	99.459	27.137	0.0001	0.0926
289 data	標準偏差	49.860	0.00917	0.4869	0.0232	0.5905	1.8609	73.272	19.193	9.9729	5.2093	0.0126	0.3043

Analytical Item	
VIS	Viscosity@50°C, cSt
DENS	Density@15°C, g/cm3
WATER	Water, wt%
ASH	Ash, wt%
S	Sulfur, wt%
CCR	Carbon residue, wt%
V	Vanadium, ppm
Na	Sodium, ppm
Si	Silicon, ppm
Al	Aluminium, ppm
TSE	TSE, wt%
Cal	Calorie, kJ/g
ASPH	Asphaltenes, wt%
AP	Aniline Point, °C
DI	Diesel Index
XE	Xylene Equivalent
CCA1	Calculated Carbon Aromaticity Index

表1.2.3-2 代表的燃料油性状

(平均値の区間推定による)

100cSt未満	代表的燃料油性状		平均値の差の検定 (有意差)	ISO規格	
	DNVPSデータ	SRデータ		F-RM A10	F-RM D15
1 動粘度@50°C, cSt(*1)	59.5 ± 4.0	-	-	10@100°C	15@100°C
2 密度@15°C, g/cm <sup>3</sup>	0.9552 ± 0.0034	-	-	0.920	0.980
3 水分, wt%	0.37 ± 0.09	-	-	0.50	0.80
4 灰分, wt%	0.038 ± 0.005	-	-	0.10	0.10
5 硫黄, wt%	2.43 ± 0.08	-	-	3.5	4.0
6 残留炭素分, wt%	9.41 ± 0.37	-	-	12	14
7 バナジウム(V), ppm	71.8 ± 7.5	-	-	150	350
8 ナトリウム(Na), ppm	30.2 ± 7.3	-	-	-	-
9 けい素(Si), ppm	12.7 ± 2.4	-	-	80 (Al+Si)	-
10 T S E, wt%	0.032 ± 0.015	-	-	0.10	0.10
11 総発熱量, kJ/g	40.73 ± 0.07	-	-	-	-
12 アルミニウム(Al), ppm	7.6 ± 1.3	-	-	80 (Al+Si)	-

100~250cSt	代表的燃料油性状		平均値の差の検定 (有意差*2)	ISO規格	
	DNVPSデータ	SRデータ		F-RM E25	F-RM F25
1 動粘度@50°C, cSt	174.2 ± 2.5	184.8 ± 13.3	--	15@100°C	25@100°C
2 密度@15°C, g/cm <sup>3</sup>	0.9753 ± 0.0014	0.9696 ± 0.0053	* DNVPS>SR	0.991	0.991
3 水分, wt%	0.42 ± 0.06	0.31 ± 0.28	--	1.0	1.0
4 灰分, wt%	0.045 ± 0.003	0.028 ± 0.012	** DNVPS>SR	0.10	0.15
5 硫黄, wt%	2.75 ± 0.06	2.91 ± 0.18	--	5.0	5.0
6 残留炭素分, wt%	11.96 ± 0.23	10.83 ± 0.65	** DNVPS>SR	15	20
7 バナジウム(V), ppm	95.5 ± 7.6	61.3 ± 18.2	** DNVPS>SR	200	500
8 ナトリウム(Na), ppm	32.3 ± 3.9	28.5 ± 17.3	--	-	-
9 けい素(Si), ppm	12.9 ± 1.2	6.9 ± 3.1	** DNVPS>SR	80 (Al+Si)	-
10 T S E, wt%	0.023 ± 0.004	0.055 ± 0.038	--	0.10	0.10
11 総発熱量, kJ/g	40.33 ± 0.03	40.42 ± 0.14	--	-	-
12 アルミニウム(Al), ppm	7.9 ± 0.8	4.5 ± 1.6	** DNVPS>SR	80 (Al+Si)	-
13 アスファルテン, wt%	-	3.81 ± 0.63	-	-	-
14 C C A I	-	838.3 ± 4.9	-	-	-
15 アニリン点, °C	-	74.3 ± 2.1	-	-	-
16 キシレン当量	-	35.0 ± 5.9	-	-	-
17 ディーゼル指数	-	23.9 ± 1.7	-	-	-

250cSt以上	代表的燃料油性状		平均値の差の検定 (有意差*2)	ISO規格	
	DNVPSデータ	SRデータ		F-RM G35	F-RM H55
1 動粘度@50°C, cSt	353.8 ± 5.7	345.4 ± 10.9	--	35@100°C	55@100°C
2 密度@15°C, g/cm <sup>3</sup>	0.9820 ± 0.0010	0.9775 ± 0.0035	* DNVPS>SR	0.991	0.991
3 水分, wt%	0.35 ± 0.05	0.22 ± 0.12	--	1.0	1.0
4 灰分, wt%	0.046 ± 0.003	0.032 ± 0.005	** DNVPS>SR	0.15	0.15
5 硫黄, wt%	2.94 ± 0.07	3.02 ± 0.15	--	5.0	5.0
6 残留炭素分, wt%	13.3 ± 0.2	12.7 ± 0.6	--	18	22
7 バナジウム(V), ppm	118.3 ± 8.3	81.3 ± 13.4	** DNVPS>SR	300	600
8 ナトリウム(Na), ppm	28.8 ± 2.2	26.3 ± 7.3	--	-	-
9 けい素(Si), ppm	12.7 ± 1.1	6.0 ± 2.1	** DNVPS>SR	80 (Al+Si)	-
10 T S E, wt%	0.018 ± 0.002	0.09 ± 0.04	** DNVPS<SR	0.10	0.10
11 総発熱量, kJ/g	40.21 ± 0.03	40.31 ± 0.08	* DNVPS<SR	-	-
12 アルミニウム(Al), ppm	7.4 ± 0.6	2.9 ± 0.9	** DNVPS>SR	80 (Al+Si)	-
13 アスファルテン, wt%	-	5.3 ± 0.7	-	-	-
14 C C A I	-	839.6 ± 3.4	-	-	-
15 アニリン点, °C	-	76.1 ± 2.5	-	-	-
16 キシレン当量	-	39.6 ± 4.1	-	-	-
17 ディーゼル指数	-	22.5 ± 1.4	-	-	-

注(\*1) 動粘度温度換算, cSt

@100°C: 6 10 15 25 35 45 55  
 @ 50°C: 22 40 80 180 380 500 700

注(\*2) 有意差検定(両側検定による判定)

[--]: 有意差なし  
 [\*]: 5%で有意  
 [\*\*]: 1%で有意

各粘度グループ内のヒストグラムは概して正規分布を示すが、ブレンド製造における粘度或は密度調整による影響と推測される特定の性状値範囲において、正規分布の片側が欠損した項目が見られる。(密度、発熱量、CCAI等)

- ③ 水分、灰分、ナトリウム、シリコン、アルミニウム等の本来石油分でない夾雑物成分については、それらを多量に含んだ燃料油の占める割合は決して多くない。粘度グループ間での相違は、高粘度燃料油が必ずしも夾雑物を多く含んでいるものではない。ただし、夾雑物には触媒のように燃料油の原料基材に含まれているものもあれば、海水等の流通・移送過程で偶発的に混入するものもあり、両者は区別して扱う必要がある。
- ④ TSE (Total sediment) は、DNVPS データと SR データで大きな相違を示した項目である。DNVPS データでは、0.10 wt % 以上の燃料油が極端に少なく、スラッジ障害を引き起こす可能性のあるような燃料油は殆ど含まれていない。

DNVPS による測定値は Total sediment より、むしろトルエン不溶分の一般的な数値に近いものであり、両者データ間の値に妥当性があるとは言いがたい。該試験は、試験方法を厳守しないと正確な値を求めることが難しい試験の一つである。

(3) 燃料油性状及び動粘度、密度との相関(回帰分析)

燃料油性状について、試験項目毎の動粘度及び密度との関わりを調査するため、粘度グループ毎のプロット図を作成し、“回帰式(単回帰)”及び“相関係数”を求めた。また、相関係数については“無相関の検定”を行い相関の有無を判定した。

表 1.2.3-3 相 関 係 数

試験分析項目	SRデータ				DNVPSデータ					
	100~250cSt (28データ)		250cSt以上 (64データ)		100cSt未満 (105データ)		100~250cSt (265データ)		250cSt以上 (299データ)	
	密度	動粘度	密度	動粘度	密度	動粘度	密度	動粘度	密度	動粘度
1 動粘度@50°C	0.340	1	0.189	1	0.498	1	0.185	1	0.293	1
2 密度@15°C	1	0.340	1	0.189	1	0.498	1	0.185	1	0.293
3 水分	0.101	0.295	-0.139	0.133	-0.025	0.172	-0.029	-0.008	-0.033	0.026
4 灰分	0.326	0.320	0.344	0.154	0.317	0.174	0.407	0.088	0.373	0.086
5 硫黄	-0.285	-0.139	0.356	0.043	0.070	0.331	-0.237	0.048	0.115	0.164
6 残留炭素分	0.637	0.040	0.669	0.366	0.426	0.247	0.666	0.087	0.661	0.220
7 バナジウム	0.231	0.078	0.353	0.263	0.246	-0.022	0.460	0.178	0.362	0.154
8 ナトリウム	0.107	0.346	0.210	0.085	0.081	0.147	0.047	0.025	0.072	-0.062
9 シリコン	0.351	0.405	0.298	-0.301	0.658	0.179	0.567	0.036	0.535	0.043
10 TSE	0.317	0.516	0.231	-0.023	-0.057	0.016	0.072	0.167	0.401	0.007
11 発熱量	-0.477	-0.376	-0.717	-0.230	-0.659	-0.543	-0.426	-0.126	-0.481	-0.260
12 アルミニウム	0.521	0.300	0.334	-0.282	0.676	0.167	0.556	0.101	0.582	0.065
13 アニリン点	-0.567	-0.058	-0.556	0.004	-	-	-	-	-	-
14 ディーゼル指数	-0.964	-0.288	-0.924	-0.093	-	-	-	-	-	-
15 CCAI	0.991	0.246	0.995	0.090	-	-	-	-	-	-
16 キシレン当量	0.634	0.334	0.450	0.210	-	-	-	-	-	-
17 アスファルテン	0.449	0.300	0.665	0.428	-	-	-	-	-	-
無相関の検定基準 (有意水準5%)*	0.377		0.247		0.192		0.121		0.114	

(注\*) 統計数値“r表”から、 $P=1.960/\sqrt{|\phi+1|}$  : この値以下であれば、無相関と判定。(□ 囲い; 相関あり)  
(日科技連編集“数値表”から)

以下に、プロット図における分布状況が類似した試験項目毎にその特徴をまとめる。(プロット図は本文参照)

① 密度及び動粘度

密度と動粘度との関連は、DNVPS データでは相関係数からすると相関が認められるが、プロット図で見ると回帰線に対して個々のデータは大きく分散している。

② 水分及びナトリウム

夾雑物の水及びナトリウムは、密度及び動粘度に対する相関は殆ど認められない。

③ 灰分及びバナジウム

動粘度に対して殆ど相関が認められないが、密度に対しては相関が認められる。なお、X線マイクロ分析により、灰分の構成成分は主に硫黄、バナジウム、ナトリウム及び一部の試料においては鉄などであることを確認している。

④ 硫 黄

硫黄分に対する密度或は動粘度との相関の強さは、粘度グループ毎に異なる。しかし、100～250 cSt 範囲の燃料油では SR データ及び DNVPS データの両者において密度に対して負の相関が見られる。

⑤ 残留炭素、シリコン及びアルミニウム

全ての粘度グループにおいて、密度との強い相関が認められる。ただし、SR データのシリコンは動粘度に対しても相関している。

⑥ T S E

測定値は SR データで 0.5 wt% 程度までの測定値があるのに対し、DNVPS データは殆どが 0.1 wt% 以下であり、大きな相違として認識される。また、それらデータ間では密度あるいは動粘度との相関において、それぞれ異なる分布が示されており、SR データ及び DNVPS データでの測定値に妥当性があるものとは言い難い。

⑦ 発 熱 量

動粘度及び密度に対して負の相関が認められる。特に、密度に対しては非常に強い相関が示されている。

⑧ アニリン点、ディーゼル指数、CCAI、キシレン当量及びアスファルテン

動粘度との相関が弱いのにに対し、密度に対しては非常に強い相関が認められる。

以上、夾雑物成分を除くと、殆どの試験項目において動粘度より密度に対しての相関が強く現れている。これは補油燃料油の品質良否の推定においては、密度によって行う方がより精度の高い推定ができることを意味する。したがって、燃料油の購入において最も重視すべき規格項目に動粘度を偏重する考え方には疑問が投げかけられた。

(4) データ解析 I (統計解析) ……補油港毎の燃料油性状

補油港毎の燃料油性状を比較あるいは把握するため、試験項目毎に補油港毎の“平均値”及び“範囲”の推定を行なった。(推定値プロット図：本文参照)

補油港(地域)から見た燃料油性状の特徴について以下に示す。

100 cSt 未満 (DNVPS データのみ)

① 北米及び欧州は密度、残留炭素が高い。

② シリコン及びアルミニウムは北米での燃料油に若干多く、しかも、より高粘度な燃料油とほぼ同じレベルで含まれている。また、シンガポール、パナマ及び欧州でもシリコン、アルミニウムの多い燃料油が若干存在する。

シリコン及びアルミニウムの混入は FCC 触媒によるものであり、混入量が比較的多い北米は、分解ガソリン製造のための FCC 分解装置が最も普及している地域である。燃料油製造の原料基材が反映しているものと推測される。

- ③ シンガポールは水分，ナトリウム及びセジメントが概して多い。
- ④ パナジウムはパナマ及びニューヨークで若干多く，原油の性状が燃料油性状に反映しているものと思われる。
- ⑤ 米国の中でもロサンゼルスだけが硫黄分及び残留炭素が低くなっており，原油の性状によるものか，或は深度脱硫の結果と考えられる。

250 cSt 未満

- ⑥ 密度及び灰分はシンガポールを除くアジア以外の地区で概して高い。
- ⑦ ケーブタウンの燃料油は残留炭素が高い。
- ⑧ シンガポール及びジェダでは水分，ナトリウムの多い燃料油が見られ，海水の混入した燃料油を供給された可能性がある。
- ⑨ パナマ及びロサンゼルスで硫黄分が低く，殆どの試料で3wt%を上回らない。
- ⑩ シリコン，アルミニウム及びバナジウム等の金属分は，北米及びパナマで多い。
- ⑪ CCAIは北米及び欧州で高い。

250 cSt 以上

- ⑫ ヒューストンの燃料油には  $1.0 \text{ g/cm}^3$  を超える高密度のものがある。
- ⑬ 北米及びパナマの燃料油には，灰分の多いものがある。
- ⑭ ロサンゼルスの燃料油は概して硫黄分が低い。
- ⑮ シリコン，アルミニウム及びバナジウム等の金属分は，北米及びパナマで多い。

以上，補油港毎の燃料油性状に関する所見を下記に整理する。

- 1) 分解装置 (FCC, ビスプレーカー等) の普及している地域では，概して重質化された燃料油 (密度, CCAI) や触媒を多く含んだ燃料油が供給されている。
  - 2) 燃料油製造基地としてよりも補油ターミナルとしての性格が強い地域 (シンガポール, パナマ) では，流通・移送過程で混入する可能性の高い夾雑物 (海水等) 成分が多く含まれる傾向にある。
  - 3) 北米及びパナマ等の燃料油には，原油に由来する高バナジウム燃料油が存在する。
  - 4) ロサンゼルスの燃料油は全ての粘度グループで硫黄分が少ない。
- (5) データ解析 II (環分析及び主成分分析)

調査燃料油について石油成分の相違を調査するため，小川 (\*1) の手法による“環分析”を行い，更に，環分析データの  $C_P$ ,  $C_N$ ,  $C_A$ ,  $R_A$  及び  $R_N$  を因子とした“主成分分析 (多変量解析)” (\*2) により，補油港毎の石油成分の相違を調査した。

注 (\*1) 環分析 (小川手法)

環分析は通常“n-d-M法 (ASTM D3238)”により，試料の密度，動粘度，屈折率，硫黄及び分子量の値から求めるため，一般の燃料油性状項目だけでは算出できない。本調査では小川により提案された環分析法を適用することで，密度，動粘度及び硫黄分の3項目の値から，パラフィン，ナフテン，芳香族の炭素数割合及び平均環数等を算出した。(参考文献：日本船用機関学会誌，Vo 124, No 11 “ディーゼル燃料油の環分析”，小川勝)

主成分分析に適用した環分析データ：

- $C_P$  : パラフィン炭素数の全炭素数の重量割合 (%)
- $C_N$  : ナフテンの炭素数の全炭素数の重量割合 (%)
- $C_A$  : 芳香族分の炭素数の全炭素数の重量割合 (%)

$R_N$  : 平均分子中のナフテン環の環数

$R_A$  : 平均分子中の芳香族環の環数

注 (\*2) 主成分分析

主成分分析は多変量解析手法の一つで、幾つかの変量(分析項目等)が持っている情報を、損失なしにより少数個の総合的特性(主成分)に集約させる手法である。主成分分析における総合的特性は、各変量及び各変量のもつウェイトの積和で表される。

例えば、ある試料に対して幾つかの変量  $\chi_1, \chi_2, \chi_3 \dots \dots \chi_p$  が求められている時、その総合的特性を  $a_1 \chi_1 + a_2 \chi_2 + \dots + a_p \chi_p$  のような1次式で表現することであり、この式によって表されるものを“主成分”と言う。求められる主成分は必ずしも1つではなく、

$$Z_1 = a_{11} \chi_1 + a_{12} \chi_2 + \dots + a_{1p} \chi_p$$

$$Z_2 = a_{21} \chi_1 + a_{22} \chi_2 + \dots + a_{2p} \chi_p$$

.....

$$Z_m = a_{m1} \chi_1 + a_{m2} \chi_2 + \dots + a_{mp} \chi_p$$

のような複数個(m個)から成り立つ。このとき  $Z_1, Z_2 \dots$  をそれぞれ第1主成分, 第2主成分, .....という。

本調査では、DNVPSデータの環分析値に対して“主成分分析”を行ない、2つの主成分軸を得た。この2つの主成分軸を用いた座標上に各環分析データをプロットし直し、各燃料油の座標上に占める位置によってその特性を評価した。主成分分析を行うことで、環分析データ(5変量)の情報を殆ど損うことなく、2つの主成分に集約して各データを平面座標上にプロットすることが可能となった。

また、DNVPSデータから求められた関係式をSRデータにあてはめると、主成分座標上のポジションはDNVPSデータとSRデータ間で補油港毎に近似しており、該手法による類別法の有効性が示された。同時にそれら各データ系列間の値には妥当性のあることが確認された。

<地域による相違>

図1.2.3-1は補油港別燃料油について、動粘度に対する石油成分(パラフィン, ナフテン, 芳香族分)の相違(変化)を模式図として示したものである。

アジア及びアフリカ地域は、欧州及びアメリカに比べてパラフィンが多く、芳香族分が少ない。特に、韓国の燃料油はパラフィンが最も多く、次いで東京, ホンコン, 中東, シンガポールの順に減少し、芳香族含有量は逆に高くなる。ケープタウンはシンガポールとほぼ同じポジションを占める。

欧州及びアメリカ地域では、多少のバラツキはあるものの、ニューヨーク, ヒューストン及びロッテルダムはパラフィンが少ない。ただし、パナマの燃料油にはパラフィンが多い。また、ロサンゼルスはパラフィンが特に少なく、芳香族分及びナフテンが多い。

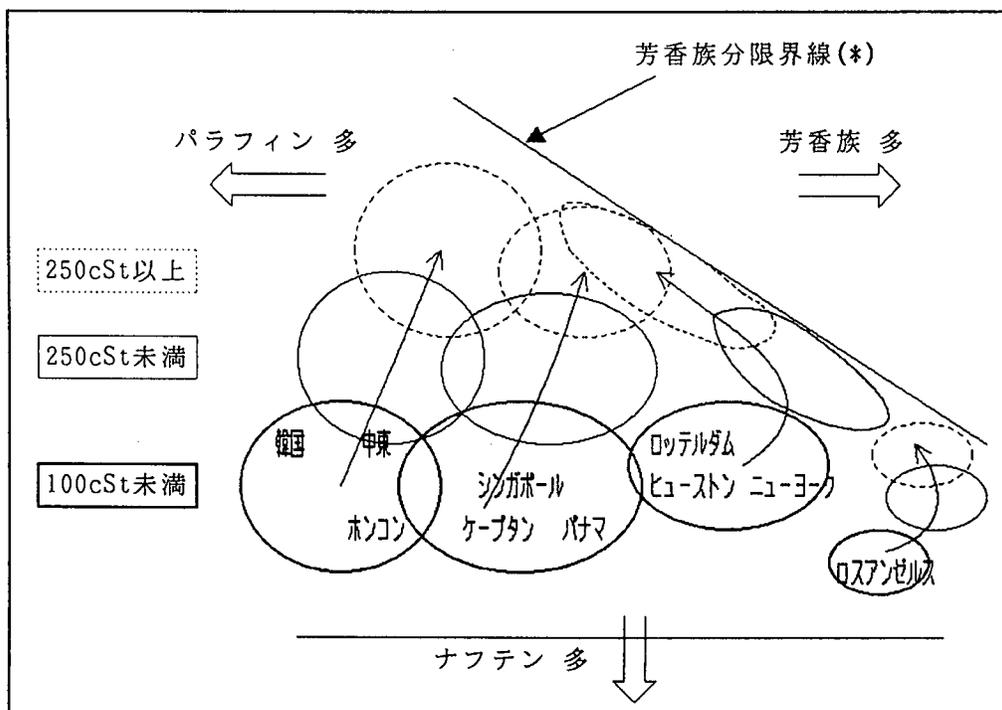
以上のように、燃料油は一般項目の密度, 動粘度及び硫黄分が既知であれば、小川手法による環分析と主成分分析とを組合わせた解析により、補油港毎及び粘度グループ毎に類別できることが示された。

石油成分による類別は次の様な化学的・物理的概念と考え合わせることで、燃料油性状の概要(位置付け)が示されるものと思われる。例えば、“パラフィンリッチな燃料油は分子構造的にも水素含量が高く、高カロリーではあるが、反面、直鎖型炭化水素であるためアスファルテンを分散しにくく析出させやすい性質を秘めている。”一方、“アロマリッチな燃料油は炭素含量が高く、概してアスファルテンが多く、燃焼性の面では不利である”など

は一般的概念と認識される。

本調査では確認にまで至っていないが、当該解析法は各種障害燃料油の類別あるいは燃料油良否の評価等の調査においても活用することが可能と思われる。更に、主成分分析の因子として、環分析の他に熱分析データ（揮散軽質分量等）を加えることで、燃焼特性の因子をも含めた燃料油の類別に利用できる可能性がある。

図 1.2.3-1 環分析データの主成分分析結果（模式図）



注(\*) 芳香族分限界線(仮称)：芳香族分の多い燃料油の多くがこの線に収束しており、これ以上に芳香族分の多い燃料油は極端に少なくなる。

#### 1.2.4 熱重量分析及び解析結果

熱重量分析とは、試料の温度を一定の速度で上昇させて、その間の質量変化を測定する技法であり、船用燃料油に適用すれば、燃焼を推定する重要なパラメータである蒸発特性を測定することができる。測定結果は、縦軸を質量変化、横軸を温度のグラフで表す。

##### 1) 熱重量分析データ

平成4年度に採取した燃料油、60サンプルについて熱重量分析した結果の内、典型的な例を図1.2.4-1～図1.2.4-3に示す。

昇温速度 (10 °C / 分)

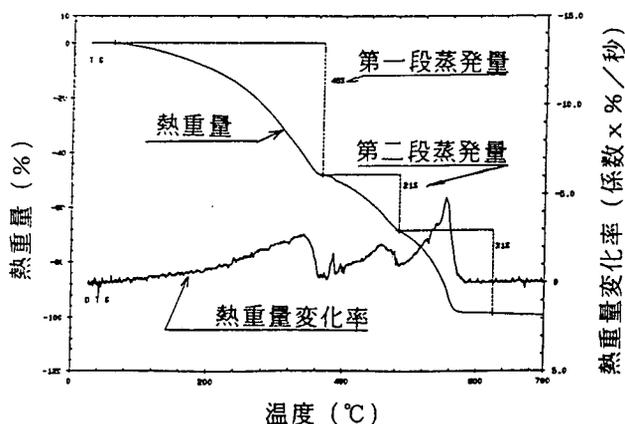


図 1.2.4-1 サンプルB07 (第一種)

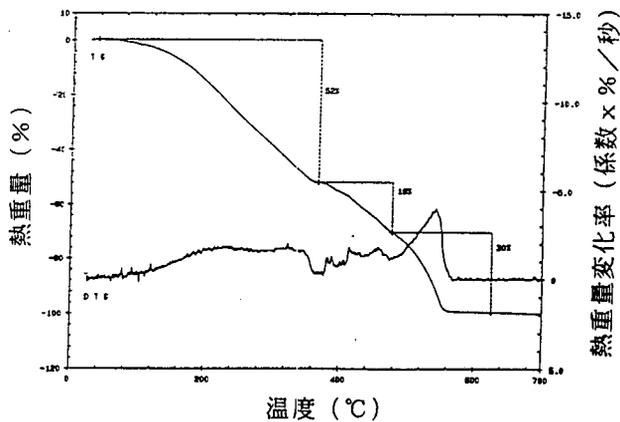


図 1.2.4-2 サンプルB02 (第二種)

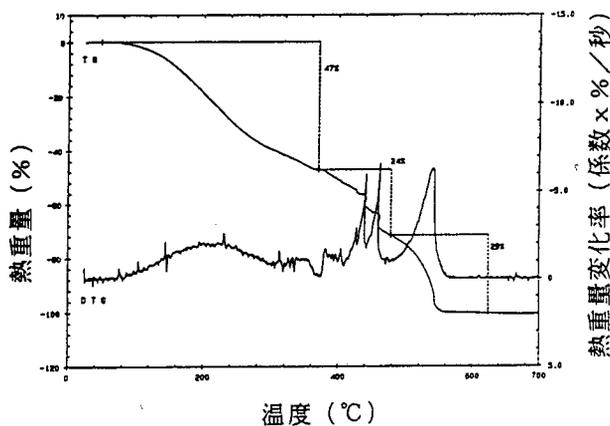


図 1.2.4-3 サンプルA02 (第三種)

## 2) 燃料油の素性

例示した図の質量変化率のグラフには、いずれも概ね3つの山が見られ、そのパターンは、大きく3種に分けられる。

第一種 …… (サンプルB07) 直留系の燃料油に見られるパターンで、第1の山が300°C~340°Cにあり、明確なピークを形どっている。即ち、直留系基材と Cutter 材との蒸発には、明確な境目がある。

第二種 …… (サンプルB02) 分解系のものに見られ、ピークはあまり明確でない。即ち、分解系基材は、比較的広い範囲の成分を持っており、Cutter 材の蒸発のピークと基材の蒸発開始が重なっているものと思われる。

第三種 …… (サンプルA02) 第二種に近く、分解系のパターンであると思われる。ピークは明確であるが、200°C前後の低い領域に存在する。即ち、これは低い温度で蒸発のピークを示すCutter 材を有していることが特徴であり、同時にCutter 材の混合量が少ないことも表している。

3) 密度と熱重量分析との相関

第一段での蒸発質量%, 平均質量変化率と密度との関係を図1.2.4-4, 図1.2.4-5に示す。

第一種, 二種は広く分布しているが, 三種は密度の高いところに集中しており, 分解系であることが伺える。一般に, 密度が高いほど蒸発量は少なく, 平均質量変化率も小さい。

4) 粘度と熱重量分析との相関

第一種~第三種とも広く分布している。直留系, 分解系に拘らず, 基材とカッター材を混合することで粘度を指定のものに合わせるためである。(図省略)

5) 残炭(CCR)と熱重量分析との相関

第一段での蒸発質量%, 平均質量変化率とCCRとの関係を図1.2.4-6, 図1.2.4-7に示す。第三種はCCRの値が高く, 二種が中間, 一種が低い値を持っている特徴がある。いずれも右下がりとなっており, かつ相関度が高い。

6) CCAIと熱重量分析との相関

第一段での蒸発質量%, 平均質量変化率とCCAIとの関係を図1.2.4-8, 図1.2.4-9に示す。CCRほど明確ではないが, 第二種, 三種はCCAIの値が高いところに多い。

以下の図では, 第一種~三種をそれぞれ下記の記号で表す。

第一種 …… □

第二種 …… +

第三種 …… △

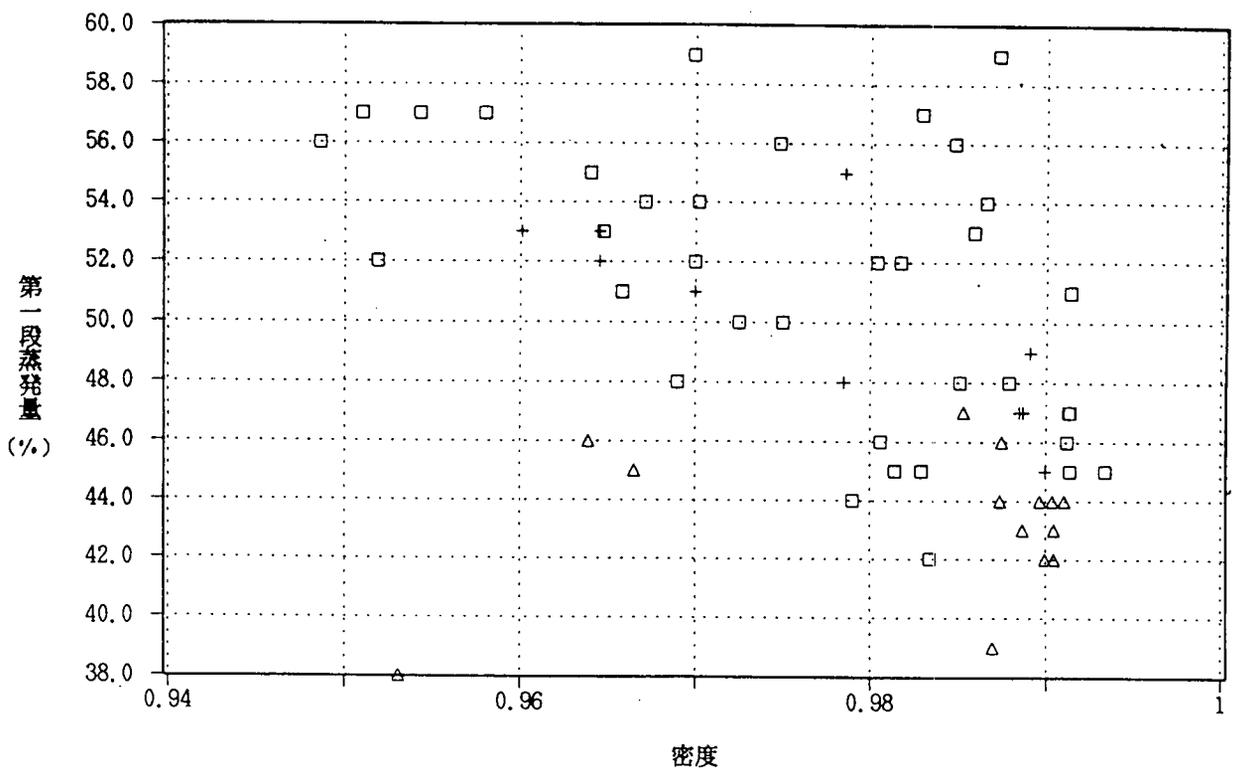


図 1.2.4-4 第一段蒸発量%と密度の関係

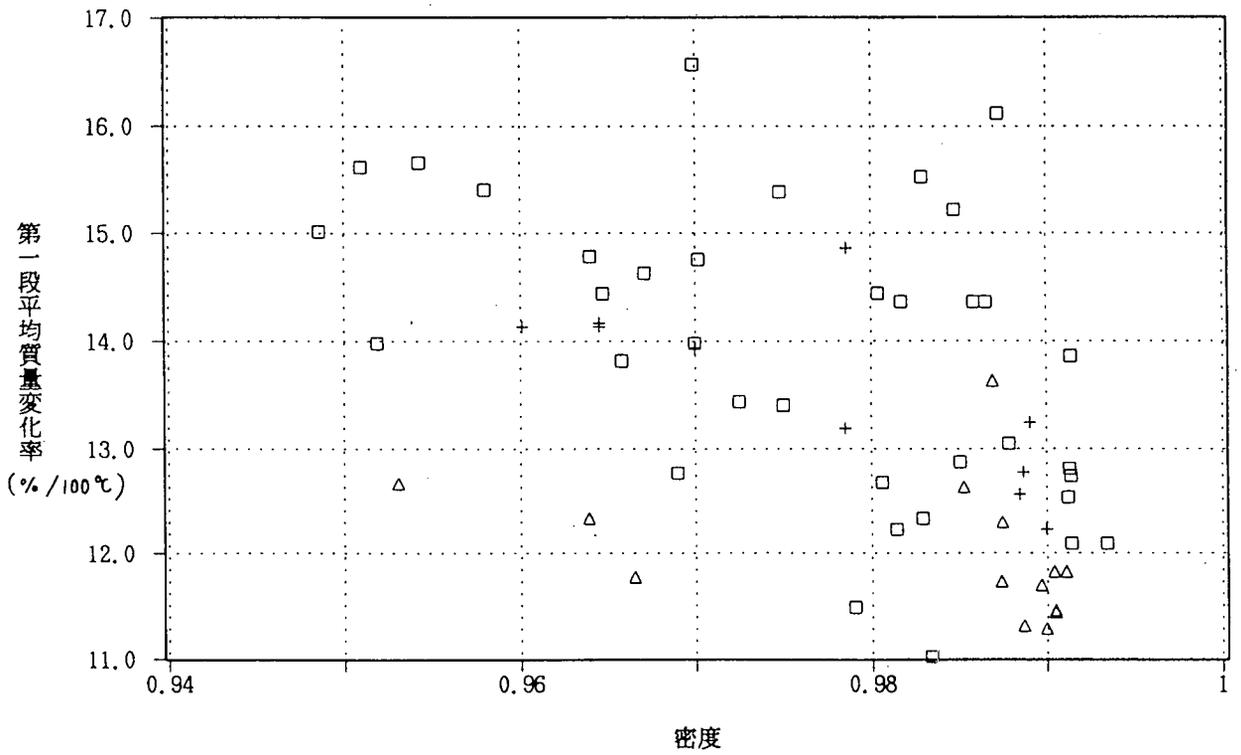


図 1.2.4-5 第一段平均質量変化率と密度の関係

- 第一種 ..... □
- 第二種 ..... +
- 第三種 ..... △

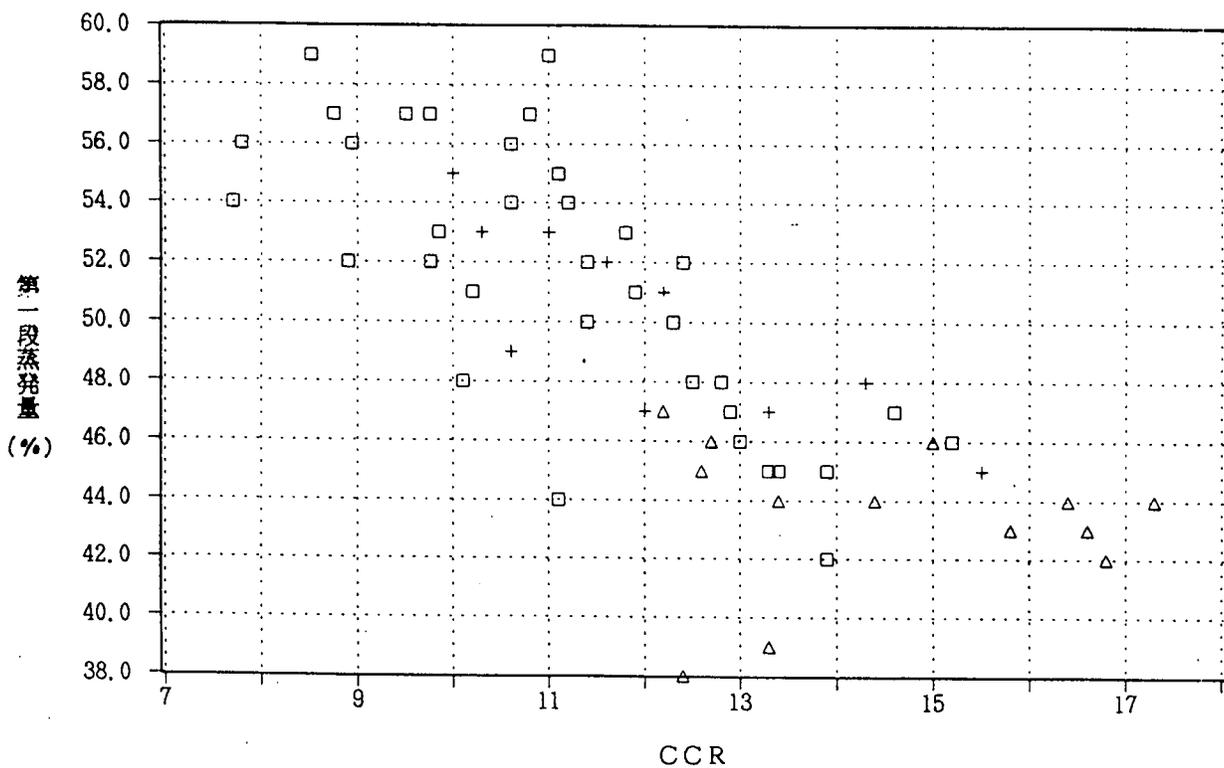


図 1.2.4-6 第一段蒸発量%と CCR の関係

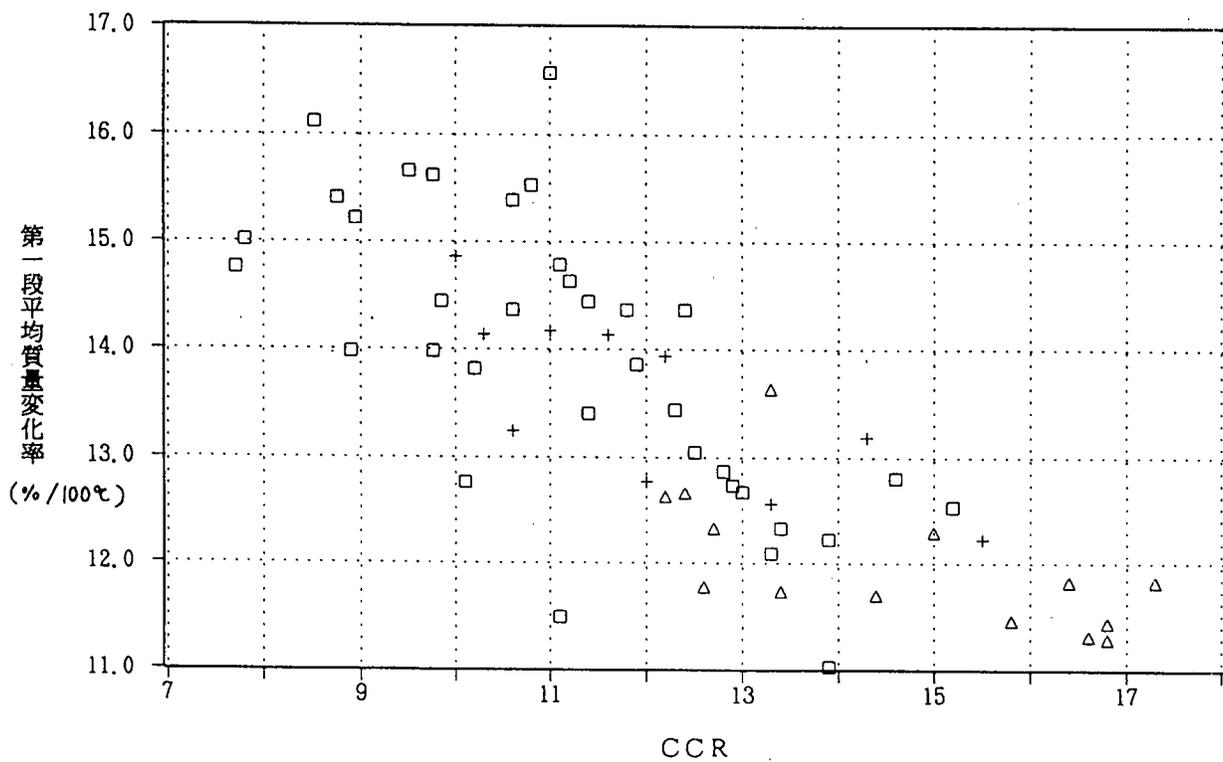


図 1.2.4-7 第一段平均質量変化率と CCR の関係

- 第一種 ..... □
- 第二種 ..... +
- 第三種 ..... △

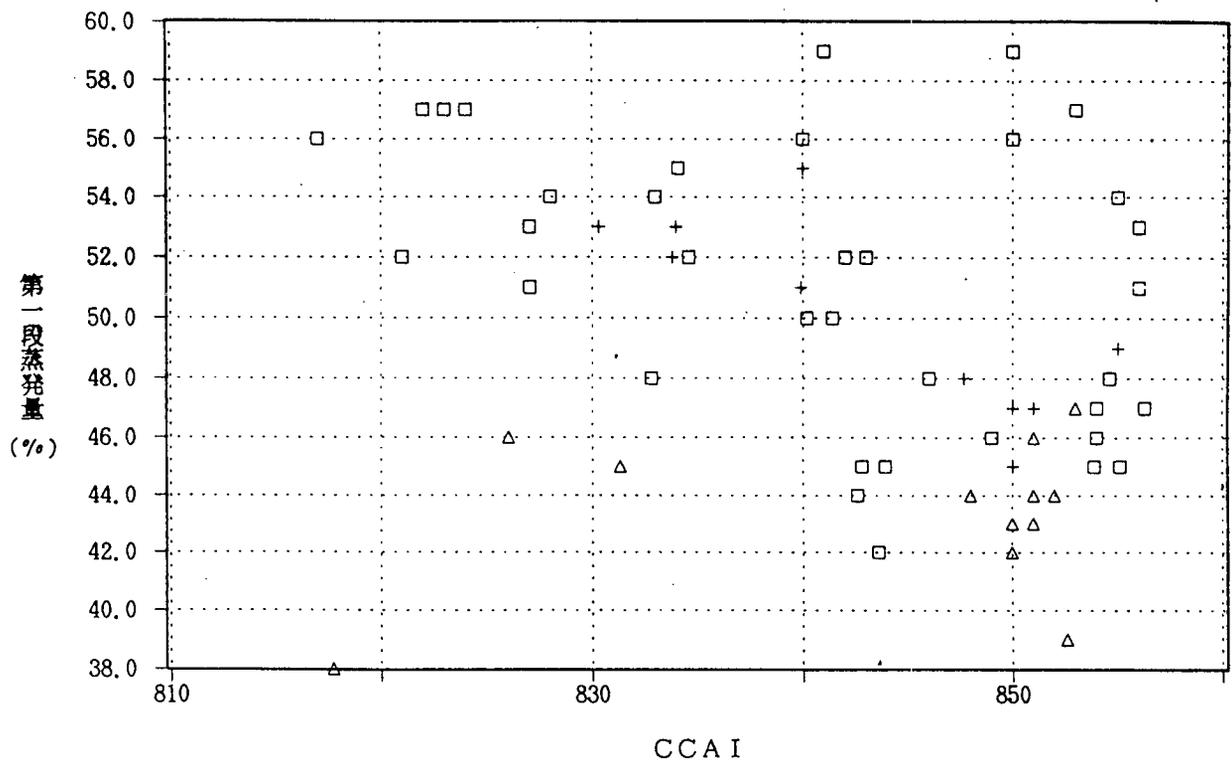


図1.2.4-8 第一段蒸発量%とCCAIの関係

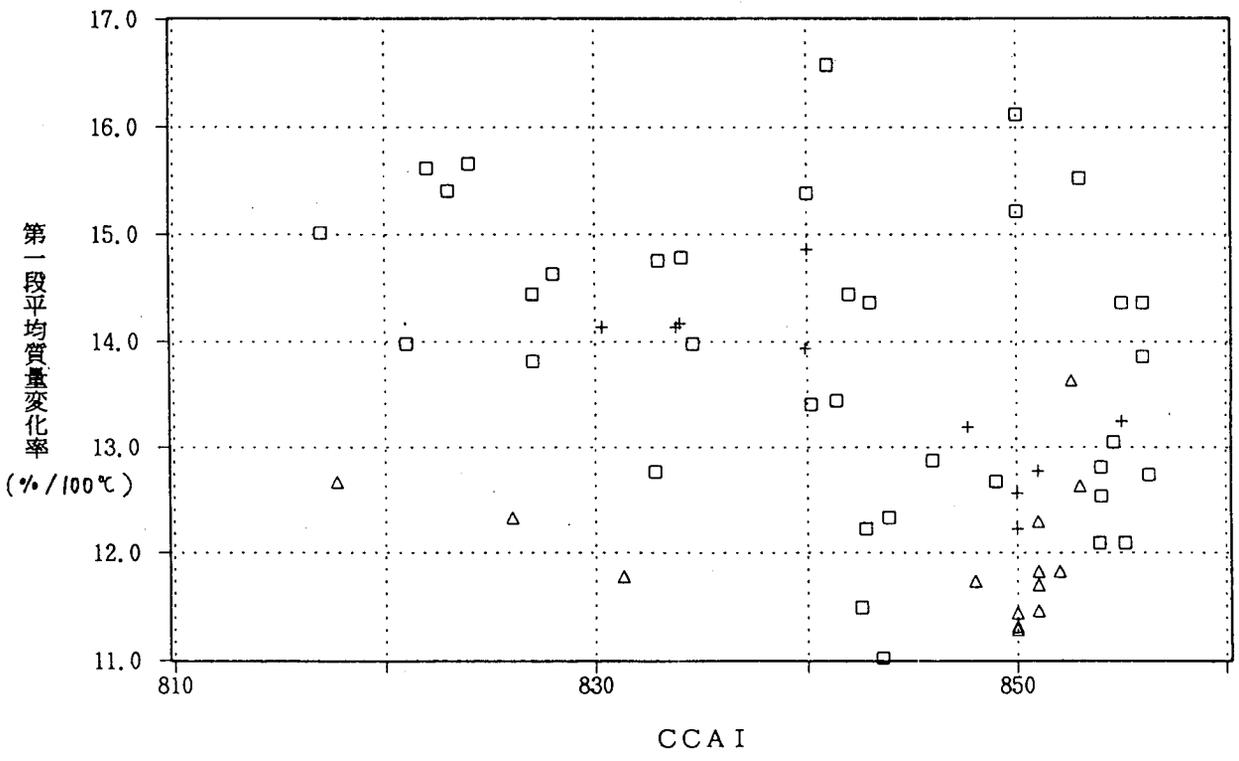


図1.2.4-9 第一段平均質量変化率とCCAIの関係

- 第一種 ..... □
- 第二種 ..... +
- 第三種 ..... △

## 1.2.5 ま と め

燃料油性状を把握するために実施した調査の結果について以下に整理する。

### (1) 性状分析

燃料油性状調査については、当委員会において93件、DNVPSデータで672件を対象として統計手法を用いて解析を行った。

#### ① 代表的燃料油性状（平均値）

平均値から見た代表的燃料油性状は表 1.2.3-2 “代表的燃料油性状” に示す通りであるが、個々の燃料油の性状は代表的性状値に対して広い範囲に分散している。しかし、ISOあるいはCIMACの規格値を越えた燃料油は比較的少なく、燃料油規格値の妥当性について疑問の声が聞かれた。

#### ② 粘度範囲別の燃料油性状（度数分布）

燃料油を粘度グループに大別しての比較では、燃料油本来の石油成分（主要成分）に関わる性状は、低粘度油と高粘度油との間で明確な相違が示され、その関係は一般的概念と合致したものである。すなわち、高粘度油ほど密度、残留炭素及び硫黄分の高い燃料油が多く、ディーゼル指数及び発熱量は高粘度油ほど低いものが多い。

一方、夾雑物（触媒、水分、ナトリウム等）含有量は、動粘度との間に相関はなく、高粘度燃料油に必ずしも多くない。

#### ③ 燃料油性状と動粘度、密度との相関（回帰分析）

燃料油性状は動粘度よりむしろ密度との相関が強く、性状を把握するための因子としては密度を用いる方が、より精度の高い推定ができるものと考えられる。したがって、燃料油の購入において最も重視すべき規格項目について、動粘度偏重の考え方に疑問が投げかけられた。

#### ④ 補油港毎の燃料油性状（範囲の推定）

補油港の周辺部で普及している燃料油製造プラントや原油の性状が、燃料油性状に反映していることが推測され（北米、欧州等）、また、供給のためのターミナル港（シンガポール、パナマ等）としての性格が強い補油港において、夾雑物の多い傾向が示された。

#### ⑤ 環分析による燃料油の類別（主成分分析）

通常の燃料油試験項目の密度、動粘度及び硫黄分のデータを用いた環分析（小川手法）と主成分分析とを組み合わせた解析を行うことにより、すなわち、石油成分（パラフィン、ナフテン及び芳香族分）の構成に基づき、燃料油を補油港グループ及び粘度グループに類別できることが示された。今後、燃焼特性に関するパラメータを因子として繰り入れたり、障害燃料油性状の類別などへの適用が期待される。

### (2) 熱重量分析

熱重量分析の質量変化率のグラフが示すパターンにより、燃料油を3つに分類し、燃料油の素性の推定を行なった。

また、密度・粘度・CCR・CCAIとの相関を求め、熱重量分析データの持つ意味を考察した。一般に密度・粘度の高い油は扱いにくいと乗組員は判断しているが、熱重量分析からは第一蒸発の量が少なく、かつ質量変化率が小さい（蒸発速度が小さい）燃料油は扱いにくいということと一致している。また、着火性・燃焼性に重要な関わりを持つCCAI及びCCRとも相関を持っており、特にCCRの高い燃料油は第一段の蒸発量・蒸発速度ともに一様に小さく、エンジン内での燃焼の悪さを容易に想像できる。

### 1.3 経時変化調査

本船タンク受入後の補油燃料油の貯蔵安定性(熱安定性)について、実験室での加熱エージング試験によって調査した。また、船内処理装置による燃料油中の夾雑物除去効果について、本船の各燃料油系統ライン等から採取した試料を用いて調査した。

#### 1.3.1 燃料油の貯蔵安定性に関する調査

調査対象7船から採取された燃料油について、スポットテスト及び高温貯蔵(100℃エージング)による試験を行なった。

今回の調査では、限定された検体数であったこともあり、対象の補油燃料油には顕在スラッジの多いものはなく、また、単独油種であれば比較的苛酷な高温貯蔵を行っても顕著にスラッジを析出する燃料油は見出されなかった。

しかし、該委員会における最新の船会社情報では、海外補油燃料油の中には加熱安定性が非常に悪く、加熱することと著しく高粘度に変質する燃料油を供給された実例が報告されている。

#### 1.3.2 船内前処理効果に関する調査

燃料油に関する各種船内装置による夾雑物除去効果を調査するため、船内装置の前後で採取された燃料油試料について夾雑物成分としての水分、塩分及びトルエン不溶分等の測定及びレーザー回折・散乱法によるトルエン不溶分の粒度分布測定を行なった。

比較的夾雑物含量の多い燃料油については、燃料タンクから主機に至るまでの間で、夾雑物成分(水分、塩分、トルエン不溶分)が漸次減少している傾向が示された。

また、夾雑物(トルエン不溶分)の粒度分布測定により、各種清浄装置を通過するに従って夾雑物粒度の変化していく状況が示され、船内装置による夾雑物除去効果を確認することができた。

しかし、調査燃料油には幾つかの試料において、主機の直前で粒径数10 $\mu$ m程度の夾雑物が新たに出現する現象が見られ、実船において頻度が高いといわれているサービスタンク汚損との関わりが議論され、今後の検討課題とされた。

### 1.4 燃料油・補油実績

92年の日本の主要外航船社の補油実績は日本船主協会機関管理研究会資料E-213によれば補油量(A, B, C重油合計)は約676万M/Tである。C重油のシェアは96%台、B重油Nil, 残り約4%がA重油である。

石油連盟油社団体の“保稅重油研究会”, 1992年3月調査の“主要補油地域現状一覽表”は表1.4-1の通り。①部会の調査と概ね合致している。

### 1.5 バンカー重油の価格硫黄分, A重油基材構成の推移

NYK石油グループ燃料チーム調査によるIF180 PLATTS MEAN PRICEの91年1月より93年11月にいたる5大補給地域における価格推移は表1.5-1の通り。91年3月以降価格は低位安定の傾向を示している。特に93年5月以降さらに下落の傾向にある。一方、D.O.はH.F.O.と価格差が約100~130ドルと広がる傾向にある。

③部会レポート3.2.4によれば180CSTでS3%とS1.5%の価格差は約1,760円である。

1991年度日本製油所出荷重油の硫黄分調査(表1.5-2)によればA, B, C重油及び合計の出荷量(KL)比率は4.63%, 0.02%, 95.345%, 7,135,393KL, 平均密度( $g/cm^3$ )は0.8549, 0.9127, 0.9658, また平均S%は0.68%, 2.18%, 2.51%である。'S'分が3%超のC重油は1,597,589KL(22.39%)と無視しがたい供給量であり、'S'分指定が必要である。

A重油の基材構成のうち近年分解軽油の混入率は25%~26%である。1991年の基材構成は灯油、軽油、間脱軽油、分解軽油それぞれ8.2%、54.5%、6.6%、25.4%、また平均密度は0.861、平均硫黄分0.52(WT%)である。1985年度に石油製品輸入が条件付きで自由化されて以来基材構成が安定している。

## 1.6. まとめと今後の課題

ISOの燃料規格はディーゼル機関の信頼性向上の阻害要因である事を認識している海運業界・エンジンメーカーは見直しを要求している。①部会の分析・考察が新たな規格作成のベース資料になればこれにまさる成果はない。

バンカー燃料に対する正しい共通認識を関係者(石油業界、エンジンメーカー、造船所、補機メーカー、海運会社燃料課・営業課・機関課)が持つ事があらためて要請される。

SRデータ(個別データ)分析項目17項目の相関分析、還元分析を応用した主成分分析(多変量解析)により従来研究よりかなり進んだ知見がえられた。この種の研究は多分世界で初めてである。

DNVデータ12項目(平均値)に対して考察を加えた。個別データが分析の出発点であり、解析のベースである。

1.3.1貯蔵安定性については日本石油による先駆的研究もあり、実在スラッジ存在の有無を調べる事の有効性が検証された。各海運会社・本船でのさらなる応用研究を期待したい。分析事例を積み重ねる事によりSR 218 ①部会の成果・知見を深める事が要望される。

船内前処理システムの改善のとりくみが各船社で試行されてきたが、最近の新造船では1.3.2系統図と相違してデカンター採用は少なくなっている(費用対効果評価による)。一方、従来型フィルターは容易に目塞りし、逆洗回数も多いというのが本船クレームであり、改善策として、ポータブルな超音波洗浄機を本船に支給するあるいは信頼性のあるフィルターの開発が待たれる。信頼性がありかつ精密なフィルター採用の動きが広く見られる。

清浄効果は総合報告書1.3.2(5) ③④考察の如く燃料性状に左右されている事、水分除去率と塩分除去率に有意差がみられ、FO移送・清浄・サービスライン(加圧・加温)過程で微細塩結晶が形成されている事が推測され、現行清浄システムによる塩分除去が良好でない事が判明した。世界のバンカーサブライサイドは潤滑油廃油、バージ補油時の海水混入を自制してほしい。前者はたびたび問題になっており、ロイドリスト、'BUNKER NEWS'等でも最近話題になっており、IMO BCHで審議されているF.O. QUALITYでも禁止する事が決議されている。

IHIがH5に開発したFUEL MATEのCOREをなす熱重量分析(1.2.4)の質量変化率を分析する事によりF.O.は3つに分類され、素性推定が可能である事が判明した。

着火性・燃焼性に重要な関わりをもつCCAI、CCRとの相関が検証された。業界として燃焼障害データの集積を行なう事を提案したい。また燃焼により発生するカーボンが過給機のタービンノズル・プレート及び排ガスエコノマイザーの伝熱管に推積し機関障害・性能劣化を招いているがいかにか除去するか、除媒の研究が重要である。

分析を始めて改めて実感した事はやはりデータありきであり、またSRデータは分析項目17項目と多いため分析コストが多額になる所、各分析機関の協力により実施できた。

今回の研究会の相関分析により分析項目は数項目にへらしてよい事がわかる。

粘度よりも比重でF.O. SPECを決める重要性が認識される。

今後は船上で容易に分析できる機器を搭載するか、DNVに常時分析を依頼するか、または1年に最低約2回は陸上ラボで分析する事が必須である。

(ディーゼル主機関)エンジンアナライザーの研究が海技大学校城戸助教授によりなされているが、その研究成果が広く活用されマリンエンジニアの関心が広がる事を望みたい。

今後、貯蔵安定性分析をさらに各研究機関で続けていただきたい。

①部会のメンバー、日本石油野村博士に重ねて御礼申し上げる。

表 1.4-1 主要補油地域現状一覽表

1992

需 要	L A	S P R	P			ROTTE	K O R E A	H O N G K O N G	B A N G K O K	T A I W A N	J A P A N
			RAS TANJURA	KHOR FAKKAN	KURAIT						
数 量 (千ト/月)	250	FO 800 910 MD 80 GO 30	50	450	10	825	300	100	50	140	600
生 産 玉 (千ト/月)	250	600	50	450	10	225	300	0	50	140	400
a. 輸入玉及び 輸入ソース 量 (千ト/月)	0	1,000 AG 75% TAIWAN/KOREA 8% MALAYSIA 2% USA 4% OTHERS 11%	0	0	0	600	0	100 SINGAPORE CHINA (P. R. of China)		0	200 SINGAPORE KOREA U.S.A.
合 計	250	1,600	50	450	10	825	300	100	50	140	600
b. 主要 SUPPLIER (ブローカー)	TEXACO, CHEVRON, BP, MOBIL, CHEMOIL PANOCO, PRC	BP, CALTEX, EXXON MOBIL, SPC, SEO, SHELL KUD, CHEMOIL, CONSORT HIN LEONG, AGIP, KMP	ARAMCO SABS PETROSTAR ASALIMI	KPC ADNOC TEXACO AVIN		SHELL BP TEXACO EXXON	KOREAN MARINE BUNKERING LUCKY GOLDSTAR GOLDEN BELL P. K. CORP.	CHINA-RESOURCES EXXON-SHELL CALTEX-MOBIL	GRAND ENERGY PETRO BUNKER BUKER TRADING	CPC のみ	本邦大手石油会社 及び大手商社 合計 約 60社
c. 価格制度 (P.P.の有無等)	SPOT	SPOT	P.P.	SPOT	P.P.	SPOT	SPOT	SPOT	SPOT	P.P.	邦船: MONTHLY (P.P.) 外船: SPOT
d. DELIVERY	CROWLEY 16隻 約50万 BBL PHOENIX 2隻 約5万 BBL PACTOW 5隻 約10.6万 BBL WILMINGTON 3隻 約4.6万 BBL	HIN LEONG X 40 SEO X 3 KUO X 3 BP X 4 MOBIL X 5 CALTEX X 5 SPC X 6 ESSO X 4 SHELL X 7 AGIP X 2 KMP X 6	2,000 ~5,000	500 ~20,000	2,000 ~5,000	多 数	多 数	多 数	MATHAPORN X 7 RATANA CHAI X 5 POR SITTHAI X 3	KAOSHUNG : 4隻 約2,000 KL KEELUNG : " " TAICHUNG : 1隻 約 500 KL SUAO : " " HUALIEN : PIPELINE のみ	国内輸送と併用の為 多種多様
※ 方法 (パイプ)	P/P BARGE	P/P BARGE	P/P BARGE	BARGE	P/P BARGE	BARGE	P/P BARGE	BARGE	BARGE	他港は BARGE のみ	P/P BARGE
※ 形 態 (ミッド、etc.)	ミルクラン可	ミルクラン可	ミルクラン	ミルクラン	ミルクラン	ミルクラン可	ミルクラン不可	ミルクラン不可	ミルクラン不可	ミルクラン可	ミルクラン不可
※ 通関業者	SHIPPING AGENT	なし	ブローカー	ブローカー	ブローカー	ブローカー	ブローカー	なし	SHIPPING AGENT	SHIPPING AGENT	サブライヤー
※ ONE SUPPLY あたりの 平均 LOT (MT)	1,500	300	2,000	2,000	2,000	1,000	500	400	300	400	500
e. 品質 (SPEC) 等 問題点	金成分・デマレージ等注意	ばらつきあり Sludge, Shortage 注意	IF180 SG 0.97 (-) 53.0~3.5	IF180, 380 SG 0.97 (-) 53.0~3.5	IF180, 380 SG 0.97 (-) 53.0~3.5	良 好	良 好	良 好	ミルクラン不可 政府の管理下にある	良 好	良 好

H. 4. 3.

A. 荷役がある場合は通関必要、CUSTOM CLEARANCE 入港の 48 HRS 以内に申告 (外国からの入港船)  
24 HRS 以内に申告 (米国内からの入港船)  
B. Bunker Only の場合、24 HRS 員合いの停泊なら (ANCHORAGE) 通関必要。  
但し前港が米国内であり輸出入 CARGO を積んでいる場合、通関必要、トン税は両方共不要。  
(Bunker Only でも ANCHORAGE でなく、バースにつける場合は通関必要、)

L.A.注記

表 1.5 - 1

I F 1 8 0 & D . O P L A T T S M E A N P R I C E ( 月 , 平 均 値 ) U S \$ P e r M / T

船社 : N Y K 燃料課調査 ( 9 3 . 1 0 )

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	1 0 月	1 1 月	1 2 月
TOKYO BAY (91)	207.4	176.5	106.25	102.6	106.88	104.88	107.3	109.88	101.63	86.4	97.5	101
(92)	86.25	80.13	87.8	100.63	106.13	111.8	108	110.63	112.6	123.88	118.5	100.3
(93)	87.50	93.25	98.00	104.44	109.38	103.89	89.37	85.00	84.17	86.06		
(93, DO)	229.00	233.50	236.39	240.83	243.25	241.67	238.61	237.50	236.00	235.00		
L.A. (91)	105.2	81.25	72	69.1	81.63	84.25	75.1	74.38	71.88	88.5	80	74.8
(92)	67.63	66	67.3	90.25	91.13	93.1	109.88	109.75	100.5	98.25	100.38	86.3
(93)	86.44	85.19	84.83	88.28	103.31	94.78	79.84	74.58	72.08	80.46		
(93, DO)	180.94	186.56	192.22	195.00	201.56	206.39	206.11	204.67	198.61	206.18		
S.P. (91)	189.6	118.38	75.75	81.8	86.13	86.75	88.6	84.38	78	89.7	90.13	77.4
(92)	71.88	70.25	77.4	87.38	91.25	93.8	93.38	97.13	106.7	107	94.5	80.1
(93)	82.06	87.88	87.06	94.39	92.25	80.44	70.78	76.83	79.00	76.81		
(93, DO)	167.81	170.44	169.72	171.44	175.63	162.44	153.11	154.22	153.38	153.25		
ROTTERDAM (91)	143.2	83.75	77.38	78.2	77.5	74.88	76.6	76.38	75.75	88.6	94.88	80.8
(92)	74.38	71.75	81.4	81.75	87.25	95.4	93.69	93.56	95.2	108.5	99.38	85.9
(93)	78.94	79.13	84.81	87.06	80.38	69.00	66.89	69.78	69.16	70.09		
(93, DO)	148.25	151.88	163.83	169.33	166.81	153.50	147.72	146.50	147.00	152.31		
HOUSTON (91)	124.1	75.88	65.63	71.1	71.38	70.75	77.1	71.75	71.5	77.15	83.38	68.75
(92)	58.38	59.13	63.7	78.25	84	89	98.5	94.25	95.5	100.75	93.38	79.3
(93)	83.19	78.44	80.22	84.89	80.50	71.50	70.11	75.17	74.77	75.12		
(93, DO)	164.81	162.50	162.50	162.11	161.25	161.00	159.94	159.00	159.00	159.81		

(注, 1) L.A, HOUSTONはEX WHARF渡し  
 従って本船渡しの場合 barge 代等 additional charge として  
 L.A 約10~12US\$/MT, HOUSTON 約3US\$ がプラスされる。

表1.5-2 1991年度製油所出荷重油の硫黄分調査

( ボンド・特需・一般輸出入用 )

	A 重油			B 重油			C 重油		
	出荷量 (KL)	密度 (15℃) (g/cm <sup>3</sup> )	S % (Wt %)	出荷量 (KL)	密度 (15℃) (g/cm <sup>3</sup> )	S % (Wt %)	出荷量 (KL)	密度 (15℃) (g/cm <sup>3</sup> )	S % (Wt %)
0.1 以下	13,232	0.8570	0.05						13,232
0.1 ~ 0.2									
0.2 ~ 0.3	4,400	0.8349	0.26						4,400
0.3 以下計	17,632	0.8515	0.10						17,632
0.3 ~ 0.4	6,352	0.8387	0.35						6,352
0.4 ~ 0.5	21,415	0.8476	0.46						21,415
0.3 ~ 0.5計	27,767	0.8456	0.44						27,767
0.5 ~ 0.7	104,710	0.8582	0.58						104,710
0.7 ~ 1.0	196,665	0.8548	0.81				203,329	0.9340	399,994
1.0 ~ 1.5							1,051,435	0.9359	1,051,435
1.5 ~ 2.0				373	0.9132	1.93	890,198	0.9685	890,571
2.0 ~ 2.5				1,159	0.9125	2.26	1,333,024	0.9673	1,334,183
2.5 ~ 3.0							2,059,818	0.9710	2,059,818
3.0 ~ 3.5							262,695	0.9771	262,695
3.5 をこえる							1,334,894	0.9804	1,334,894
合 計	346,774	0.8549	0.68	1,532	0.9127	2.18	7,135,393	0.9658	7,483,699

## 2. 油性状と機関プラントの信頼性相関調査

### 2.1 各プラント要素の腐食、摩耗、汚損等と不純物の相関

船舶の運航に支障を来す機関プラントの障害は、様々な原因で発生しているが使用燃料油の性状不良が原因で障害が発生したと報告される事例が多い。表 2.1-1 は燃料油に起因すると推定される障害として、(社)日本船主協会と(財)日本海事協会が 1985 年始から 1988 年末迄の 4 年間にわたり日本船主協会加盟各社の外航船舶を対象にアンケート調査、回答のあった延べ 179 隻についてデータを分析報告した事例であるが、これら障害を誘起する燃料中の障害因子は、未だ明確には解明されてはならず同様の障害報告は後を絶たない。

こうした実情に鑑み、本研究では改めて燃料油中の機関プラント障害因子を特定し、障害との相関を明らかにするため文献による調査と実験による考察を行った。

表 2.1-1 燃料油に起因すると推定される機関プラントの障害

分 類		障 害 の 内 容	件 数
前処理系の障害		清浄機からのスラッジ析出	103
		ストレーナ及び燃料油加熱器等の閉塞	96
		燃料油ポンプ及び配管等のベーパーロック	12
		腐食等	4
主機関 の障害	燃焼前の 障害	燃料噴射ポンプ、燃料弁等の固着	20
		燃料噴射ポンプ、燃料弁等の摩耗	16
	燃焼後の 障害	燃焼不良	19
		汚損、燃焼残渣物堆積	36
		摩耗、腐食、亀裂、スカッフリング、ブローバイ	35
合 計			341

#### 2.1.1 文献調査

文献にある「機関プラント障害と燃料油性状の相関」に関連するデータを

- (a) 一般的・定性的に評価しているデータ
- (b) 統計分析的に評価しているデータ
- (c) 運転・運航実績から評価しているデータ
- (d) 実験室・実験機により評価しているデータ
- (e) 機関メーカーが設計上・経験上から評価しているデータ

に区分し、更にこれらデータを粘度、密度、硫黄分など燃料油因子毎に整理した結果を表2.1.1-1に示す。表中、機関メーカー欄の「その他」は国産四サイクルディーゼル機関メーカーを指す。

表 2.1.1-1 燃料油因子に関するデータ

データ種類 (切口) 燃料油仕様		一 般	統 計	運 転	実 験	機 関 メ ー カ					
						UE	MAN	B & W	Sulzer	PC	その他
1	バナジウム	20	14	9	4	3	4	7	3	5	
2	ナトリウム	14	13	6	3	2	5	5	1	5	
3	残留炭素	21	17	9	8	2	7	7	3	4	
4	アスファルテン	20	17	10	8	2	5	5	4	4	
5	アルミニウム	14	18	9	17	1	1	3	2	2	
6	シリコン	9	12	8	12	1	1	3	2	2	
7	硫黄分	23	17	7	8	3	7	8	4	5	
8	水分	20	13	9	5	2	5	5	1	5	
9	C C A I	3	7	2	2	0	0	0	1	2	
10	セタン価	13	8	2	6	1	1	5	2	2	
11	粘度	24	15	10	3	1	5	6	4	3	
12	灰分	12	12	5	8	3	6	4	0	5	
13	密度	20	15	7	3	2	3	6	3	1	
14	その他	34	18	14	13	0	7	4	3	7	
合計		883	247	196	107	100	23	57	68	33	52

## 2.1.2 調査結果

### (1) 船社及びディーゼル機関メーカーの許容する燃料油仕様

既存データ調査により、実際に船舶を運航している船社並びにディーゼル機関メーカーが許容している燃料油仕様を明らかにした。機関メーカーの取扱説明書に記載されている燃料油仕様は ISO, CIMAC 等の国際規格の動向を参考とし過去の就航実績より判断した使用可能な限界仕様を記載していると考えて差し支えない。

限界仕様に近い燃料油は、存在するにしてもその供給地、量ともに極く限られていると考えられ、この種燃料油が継続的且長期的に使用された事例はこれまで殆どなく、実際に使用されている燃料油の多くは、より良質なものが判った。

一方、機関メーカーの取扱説明書に記載されている保守・開放間隔は、実際に使用されている燃料油をベースに、就航船における使用実績から徐々に延長され、現在の記載値に至った経緯がある。従って、使用可能な限界仕様に

近い燃料油を長時間使用し、取扱説明書どおりの保守・開放間隔が実現出来るとは実際には考え難い面があることも判った。

既存データの調査から現状船舶の運行障害の相当部分は、使用される燃料油の性状が使用可能な限界仕様程ではないにしても、やはり低質性・不純性に起因していることも明らかになった。

次章以降、既存データ並びに船社・機関メーカーデータを横断的に評価し機関プラントに障害を与える燃料油性状、次いで機関プラント信頼性向上のための燃料油性状について検証した結果を記す。

### 2.1.3 機関プラントに障害を与える燃料油性状

機関プラントに障害を与えると考えられる燃料油性状として、バナジウム・ナトリウム、残留炭素・アスファルテン、アルミ・シリカ、硫黄分、水分、CCAI、及び灰分を特定した。起こり得る障害について略述する。

#### (a) バナジウム・ナトリウム

燃焼生成物である酸化バナジウムの融点は約500℃～680℃で、温度の高い過給機のブレード、ノズルリング、排気弁表面等に溶融した状態で付着し、金属表面の酸化皮膜を破壊し所謂高温腐食による腐食摩耗を促進する。

バナジウムは重油の燃焼によって生じたSO<sub>2</sub>をSO<sub>3</sub>にする作用があり燃料油中のナトリウムと化合してNa<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>が生成される。Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>それ自体には腐食性はないが、酸化バナジウムの融点を低下させ高温腐食を更に促進させる。

融点は酸化バナジウムとNa<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>比率で変化しV/Naが2.3（文献によっては3.3）の状態の時、もっとも低い融点（330℃）を持つ灰分が形成され腐食性が強くなる。

#### (b) 残留炭素、アスファルテン

残留炭素は特に低負荷運転時の機関信頼性に大きな影響を与えるとされている。

- 燃焼不良による熱効率、燃料消費率の悪化
- 燃焼室、排気系統の汚損（過給機タービンへのデポジット付着、掃気孔閉塞、堆積物増加等）
- 燃焼残渣物の付着による機能阻害
- 過給機ケーシングのエロージョン
- シリンダライナ、ピストンリングの摩耗増加
- スモーク発生
- 低温起動性の悪化
- 燃料系統の汚損、フィルターの閉塞

アスファルテンが機関信頼性に与える影響は、下記のとおりである。

- 燃焼遅れによる燃焼効率、機関性能の低下を誘起する。
- 未燃焼炭化物が多量に生成されやすく、炭化物析出、黒煙発生、ライナ壁の熱負荷増大や筒内圧の異常上昇によるスカuffingや異常摩耗等を引き起こす。特に低負荷燃焼の場合に影響度が大きい。
- 微小夾雑物を核としてアスファルテン性スラッジとして凝集析出し、清浄機スラッジの排出異常や燃料ポンプ、燃料弁の固着、摩耗を引き起こす。
- 酸化、加熱、低C/H比油との混合等による安定性破壊によりスラッジ発生が促進される。

#### (c) アルミ・シリカ

アルミ・シリカは、その粒子径は大きくないが硬度が高いため、ピストンリング、シリンダライナ、燃料ポンプ、燃料弁異常摩耗の原因となる。

統計データ上からの機関プラントの障害との相関関係は、清浄不良、ストレーナ閉塞及びリング摩耗・折損に相関が認められ、またアルミが7 ppm以上の場合に、スラッジの発生、過給機タービンへのデポジット付着、シリンダライナー・燃料ポンプの摩耗等の増加傾向が見られる。

シリカは15 ppm以上の場合、アルミと同様な事が起こりシリカの多い燃料はアルミも多く、比重が大きい傾向にある。

粒子径が1～10ミクロン大の比較的小さな触媒残渣は燃料ポンプブランジャの摩耗に、また10～70ミクロン大の比較的大きなものはピストンリング、ライナの摩耗や過給機のエロージョンに影響するといわれている。大きな粒子は特に低速機関に影響大で、ピストンリングの摩耗率は通常の50倍との報告もあり、含有量とともに粒子径分布も大切な要因である。

#### (d) 硫黄分

硫黄分が機関に及ぼすトラブル形態としては、下記がある。

##### (ア) 低温腐食

硫黄分は燃焼により $\text{SO}_2$ となるが、そのうち約5%が $\text{SO}_3$ となり、燃焼過程で生じた水蒸気と結合し、硫酸蒸気となり低温域で凝縮してピストンリング、過給機ケーシング、燃焼弁のノズルチップ、排気弁システム等の金属面を腐食させる。

硫酸の露点温度は影響因子が多く、推定困難だがシリンダ内圧が高いほど、また硫黄分含有量が大きいほど高い。

低温腐食対策としては下記がある。

- シリンダライナの過冷却防止
- 適切なシリンダ油の選定
- 排気弁材料の改善，特殊コーティングの採用
- 燃焼ガス温度を160～180℃以上に保持

##### (イ) 腐食・黒煙化現象

燃焼油中に遊離イオン化し活性化した硫黄分は、燃料油系統で激しい腐食反応を誘起し、流量計、加熱器エレメント、燃料ポンプの銅パッキン等銅合金に対する腐食やブランジャ、バレルのラッカーリングとよばれる黒煙化現象を起こす。

##### (ウ) 燃料室の汚損

硫黄分が多い程燃焼室付着物が増加する傾向にあり、その原因として下記があげられる。

- 硫黄分が燃焼反応を阻害する
- 硫黄分が多いと付着物生成直後の単一カーボン粒子の集合成長が激しくなる
- 燃料室壁にカーボン塊が付着する際の接着力が硫黄分の多い程強くなる
- カーボン相互の結合が硫黄分によって強固になりカーボンが硬く剥がれにくくなる
- ピストン冠から跳ね返ってシリンダカバー壁に付着する未燃重油粒のゴム化／アスファルテン化が硫黄分によって促進されて付着物が増加する

#### (e) 水分

水分による障害事例としては、まず燃料の前処理系統で、

- セットリング，サービスタンクから大量のドレン抽出
- 清浄機スラッジ排出不良，異常流出

- 燃料ポンプ入口圧のハンチング，ベーパーロック
  - リタンチャンバー内の蒸発現象
  - また，燃焼室系統，排気系統では
  - 筒内最高圧の低下，筒内圧の脈動，排気温度の異常
  - 排気弁弁座にスケール付着，吹き抜け，弁箱の堆積物異常増加
  - 過給機ノズルおよびブレードにスケール付着，サージ現象
  - 排エコチューブにスケール付着
- 等があげられる。

(f) CCAI

CCAI (Calculated Carbon Aromaticity Index) は燃料油の性状のうち比較的容易に測定可能な密度，粘度をパラメータとする着火性，燃焼性の指標の一つであり，この値が増加するにつれて着火性，燃焼性が悪化する。これらについては後述の実験結果の項で報告する。

(g) 灰 分

灰分の増加は燃焼後のデポジット，部品の異常摩耗や高温腐食，汚れまたは過給機サージ等の原因となる。

#### 2.1.4 機関プラント信頼性向上のための燃料油性状

機関プラント信頼性向上という観点から，障害を与える燃料油性状に検討を加え，あるべき姿（制限値或いは目標値に相当するもの）を設定した。

(a) バナジウム

従来，機関メーカーの許容値はCIMAC規定値が600 ppm以下と規定されていたことから600 ppm以下の記載が多いが，これは前述の使用可能限界値と理解すべきである。しかしながら，今回の調査結果によると2サイクル低速機関メーカーの推奨値は300 ppm以下であり，4サイクル5,000 ps未満の機関メーカーの推奨値も考慮してバナジウム制限値を150 ppm以下とした。また船社標準は100 ppm以下となっているが，前述のとおりバナジウムは容易に除去できない含有物であること及び市場の重油の殆どは150 ppm以下であることを考えて150 ppm以下とした。

(b) ナトリウム

文献調査結果並びに機関メーカーの推奨値，船社標準値を考えるとナトリウムの制限値は概ね1/3バナジウム以下が適当と考える。

(c) 残留炭素

残留炭素についてはCIMAC規定値の22%がしばしば参照されてきたが，今回の調査結果では船社標準値，機関メーカー推奨値とも15%以下とする回答が大多数を占めた。

2サイクル機関に対する残留炭素分の影響度は4サイクル機関に比し小さいとされているが，シリンダライナ，ピストンリング，掃・排気系統，過給機等の保守上のメリットも考慮し，制限値を一括して15%とした。

(d) アスファルテン

アスファルテン分については，スラッジ析出を防止する観点から添加剤による分散化が計られる場合が多いが，結果としてアスファルテン分が除去されないため，燃焼性観点からは逆に危険性が增大することが指摘されている。含有量が6.5%を越えると，機関の燃焼障害が発生するとの最近の調査報告もあり，また船社の社内標準でもアスファルテン分について6.5~8.0%を上限値として定め，成果を挙げている。このような観点からアスファルテン制限値を6.5%とした。

(e) アルミ・シリカ

アルミ・シリカを規定する際は、含有量のみならず、粒子径も規定すべきと判断される。粒子径について、燃料ポンプ・ランジヤの摩耗に影響する10ミクロン以下の粒子径のものは、混入触媒残渣全体量の約60%であり、50ppmまでは摩耗率は殆ど増加しないが、100ppm以上になると20~30倍の摩耗率になった例が報告されている事より、粒子径はピストンリング、ライナの摩耗への影響低減の観点より、少なくとも10ミクロン以下の規定が要求される。

また、含有量については、粒子径を10ミクロン以下と規定した場合、燃料ポンプの摩耗が対象となる。種々の文献等で50ppm以下では摩耗率は殆ど増加しないとの結果が報告されている。一方機械メーカーでは、低速機関メーカーでCIMACやISO規制値と同じ80ppmが多く、中速機関メーカーで30ppmが多い。しかし低速機関メーカーも10~30ppmの改善値を望んでおり、船社標準値も30ppmが多いことにより、制限値として30ppmが妥当と考えた。

(f) 硫黄分

燃料油中の硫黄分の含有量が多ければ機関故障が多くなる一方、硫黄含有量を低くすると脱硫装置稼働のために燃料油の価格が高くなり運行採算性が悪化することもあり、硫黄分の制限値は3.0~3.5%以下とした。

(g) 水分

船社では水分量を0.5vol%以下のものを要求するところが多い。機関メーカーでは現在水分量の許容値を1.0vol%としているが、取扱説明書で可能としている保守・整備・開放間隔を維持するために、水分量は0.2%以下の燃料油を使用することを希望している。更に注文された燃料油に水分が混入しているということは商取引上も好ましくないことも配慮し、燃料油中の水分量は0.5vol%以下が望ましいと考えた。

(h) CCAI

CCAIとトラブル発生との相関関係を探る目的で行った文献調査では、概ねCCAIが850~860でのトラブルが最も多く、840未満での発生例は少なかった。またCCAIと燃焼障害の相関を調べた文献でも、特に中速機関において840以上で障害発生との間にかなりの相関関係が認められたものの、840未満では明確な相関は見られなかった。ただし、これらトラブルは必ずしも高CCAI値のみの影響という訳ではなく、粗悪化した船用重油の現状を考えれば、他の性状も含めた複合的な悪影響がトラブルとして表面化したという見方をすべきであろう。

船社から寄せられたトラブル事例には、CCAIが836.1の燃料油で過給機タービンノズル汚損によるサージング発生、同じく836.1でのスラッジ異常発生など、840以下のトラブルも散見されたが、概ね850近辺での事例が多かった。以上のことより判断してCCAI制限値を840とした。

(i) 灰分

船内燃料油処理のうち灰分除去率に関する定量的なデータは殆ど見当たらない。今回調査した結果、清浄機メーカー社から、かつての実験データとして「清浄機による灰分分離効果は10~20%と予想される。」との回答を得た。灰分の船内処理は一定の効果を期待出来るとしても限度があり、船社例を妥当と考え0.05wt%とした。

燃料油に関するISO及びCIMAC規格、船社規格例並びに機関メーカーの許容値及び推奨値そして当グループが本調査をもとに設定した(②グループ調査結果)「機関プラント信頼性向上のための燃料油性状(制限値/目標値)」を纏めて表2.1.4-1に示す。

表 2.1.4-1 SR218 ②グループ既存データ及びアソケート調査結果取りまとめ

	CIMAC ('90), ISO ('87) 規定値				船社データの例		国内機関メーカーが設計上、経路上許容及び推奨する値						② グループ	
	H55	K55	G35	H35	K35	UB 機関の例	B & W 機関の例	SULZER 機関の例	P C 機関の例	その他国内メーカーの例	② グループ			
	RMH55	-	RMG35	RMH35	RMK35	現許容値	推奨値	現許容値	推奨値	現許容値	推奨値	現許容値	推奨値	制限値 (目標値)
粘度 cSt (at 50 °C) at 100°C	(700) 55		(380) 35			700	180 ~ 380	700	700	380	380	380	380	
密度 max. at 15°C	991	1010	991	1010		991	950 ~ 991	991	991	980	991	991	991	
バナジウム max. ppm	600		300	600		600	50 ~ 100	600	600	250	150	150	150	
ナトリウム max. ppm						50 1/3V以下	—	1/3V以下	20以下 1/3V以下	0.3V 以下	1/3V以下	1/3V以下	1/3V以下	
残留炭素 max. wt%	22	18	22			22	10 ~ 15	22	22	15	15	15	15	
アスファルテン max. wt%						14	5 ~ 10	7	12	0.5 CR 以下	10 (6-10)	10	10	
アルミニウム max. ppm	TOTAL 80	TOTAL 80	TOTAL 80	TOTAL 80	TOTAL 30	TOTAL 30	5 ~ 10	30	TOTAL 30	0	TOTAL 30 (10-30)	TOTAL 10	TOTAL 30	粒子径 10µ以下
シリコン max. ppm								TOTAL 80	5	0				
硫黄分 max. wt%	5.0		5.0			5.0	2 ~ 3	5.0	2.4 ~ 3.5	3	3.5 (3.5 ~ 5.0)	3.5	3.0 ~ 3.5	
水分 max. vol%	1.0		1.0			1.0	0.1 ~ 0.2	1.0	0.2	0	1.0 (0.5 ~ 1.0)	0.2	0.5	
C C A I max.						—	—	—	—	870	850 (850 ~ 860)	850	840	
灰分 max. wt%	0.15		0.15			0.2	0.02 ~ 0.10	0.2	0.02	0.1	0.2 (0.05 ~ 0.2)	0.05	0.05	
引火点 min. °C	60		60			60	80 ~ 90	—	—	—	—	—	—	
流動点 min. °C	30		30			—	—	—	—	—	—	—	—	
Total Sediment after Ageing max. %	0.1		0.1			0.1	—	—	—	—	—	—	—	—
S H F max. %														

1) 機関メーカー許容値以下あるいは購入仕様の+10%未満

### 2.1.5 実験による考察

船用燃料の着火性は機関性能や機関故障に大きな影響力を持つと言われている。船用重油が低質化して従来の方法で着火性の指標であるセタン価を測定することが出来なくなったため、これに代わる船用重油の着火性指標として CCAI (Calculated Carbon Aromaticity Index) が提案された。

この CCAI と着火性との関係については、これまでも色々な実験が行われているが、まだ十分な検討はなされていない。また、燃焼特性との関連もほとんど解明されていない。2.2.1 項の文献調査では、CCAI と機関トラブル発生との間にはかなりの相関関係が認められ、概ね CCAI が 850~860 でのトラブルが最も多く、840 未満での発生例は少なかった。CCAI と燃焼障害の相関については、特に中速機関において 840 以上では障害発生との間にかなりの相関が認められ 840 未満では明確な相関が認められなかった。

本来密度と粘度は各々が独立した性質であるから、これらを代入した CCAI がディーゼル機関の運転指標になり得るかどうか疑問視するむきもあるので機関トラブル発生との間の相関関係を明らかにするため当グループでは、粗悪化した船用燃料について CCAI のみでなくその他の性状まで含めた検討が必要と考え実験によって調査する事にした。この研究では、燃料性状の異なる 13 種類の燃料油を用いて CCAI と着火性、燃焼性、排ガス特性等の関連について実験調査を実施した。

#### (1) 使用燃料油の CCAI

使用燃料の性状を表 2.1.5-1 に示す。CCAI の影響を調べるのがこの実験の目的であったので、可能な限り CCAI の範囲を拡げた。

表 2.1.5-1 実験に使用した燃料の性状

燃料名	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
密度 15℃ g/cm <sup>3</sup>	0.9629	0.9817	0.9716	0.9940	0.9783	1.0080	0.98	0.9677	0.9649	0.8565	0.9890	0.9235	0.9564
動粘度 cSt@50℃	266.60	305.00	258.80	430.40	245.30	28.30	345.30	397.20	169.24	2.55	36.36	6.77	13.84
動粘度 cSt@100℃	26.180	30.440	24.670	37.060	24.430	3.399	33.76	39.420	22.510	*	*	*	*
反応	中性	*	*	*	*								
引火点 ℃	130	90	112	95	112	180	94.00	106	*	76.00	204.00	86.00	101.00
流動点 ℃	10.0	-5.0	5.0	5.0	7.5	42.5	10.00	5.0	20.0	-27.50	-27.50	-27.50	-27.50
真発熱量 MJ/kg	43.06	42.12	42.58	41.55	42.55	43.83	42.26	42.50	43.00	*	*	*	*
残留炭素分 wt%	7.51	8.21	8.16	12.98	9.91	2.29	15.43	11.06	10.08	Tr	0.05	0.08	0.07
水分 vol%	0.05以下	0.20	0.20	0.20	0.30	0.05	0.05以下	0.05以下	1.50	Tr	Tr	Tr	Tr
灰分 wt%	0.03	0.04	0.04	0.04	0.02	0.05	0.03	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
硫黄分 wt%	1.48	1.68	1.57	3.64	1.61	0.38	3.29	3.87	2.42	0.50	4.24	2.68	3.51
窒素分 wt%	0.55	0.36	0.60	0.33	0.34	0.03	0.26	0.24	0.21	*	*	*	*
炭素分 wt%	85.8	86.2	85.8	84.7	86.4	87.3	85.10	84.2	86.8	*	*	*	*
水素分 wt%	11.4	10.5	11.0	10.3	10.8	11.7	10.80	11.2	11.0	*	*	*	*
CCAI	828	845	837	854	844	903	841	828	835	813	880	835	866
真発熱量 kcal/kg	10277	10053	10163	9917	10155	10461	10087	10142	10263				

\* 分析値なし

#### (2) 実験装置及び実験方法

この実験には、中速四サイクル過給機関を使用し、燃料噴射特性、着火遅れ、燃焼期間などを測定するために燃料弁リフト、燃料噴射圧力、筒内圧力などをクランク角度 0.5 度毎に測定出来るようにし、排ガス特性を調べる為に NO<sub>x</sub>, CO, O<sub>2</sub>, HC, スモーク, すず濃度等の測定器を用意した。

実験は 13 種の燃料により実験機関を船用特性に従って運転、定格出力の 25%, 50%, 75% 及び 100% 負荷時の燃料噴射特性、燃焼特性、排ガス特性等を測定した。実験機関の主要目及び運転条件を表 2.1.5-2 及び 2.1.5-3 に示す。

### (3) 実験結果

13種類の燃料についての実験結果のうち紙幅の関係で100%負荷時のデータのみを表2.1.5-4に示す。これらの実験結果を基に燃料のCCAIと着火遅れ、排ガス濃度、筒内最高圧力、ライナー温度、排ガス温度などの関係を75%及び100%負荷時について以下に述べる。

#### a) CCAIと着火遅れ

各負荷時の各燃料に対する着火遅れ（燃料噴射弁の開き始め時期及び熱発生が始まる時期を針弁リフト曲線及び熱発生率曲線から求めた）の関係を示したのが図2.1.5-1である。低負荷時には実験結果がばらついたが高負荷になるとCCAIの影響がみとめられ、燃料油のCCAIが大きくなると着火遅れは大きくなる傾向を示す。

#### b) CCAIと筒内最高圧力

CCAIと筒内最高圧力の関係を示したのが図2.1.5-2である。図から分かるようにCCAIが変化しても筒内最高圧力はそれほど大きく変化はしない。しかしマクロにみるとCCAIが大きくなると筒内最高圧力は増加する傾向にあると言えよう。

#### c) CCAIとライナー温度、シリンダヘッド温度

シリンダライナー及びシリンダヘッドの温度計測点の熱電対ホット・ジャンクションの位置は燃焼室表面から0.5mmの所である（図2.1.5-3）。

ライナー温度の計測点2は、燃料噴霧がそのまま進めば到達する点である。またヘッド温度の計測点Cは、噴射弁のすぐ近傍である。75%負荷時のCCAIとライナー及びヘッド温度との関係を図2.1.5-4に示す。ライナー温度は燃料油性状によってかなり大きく変化している。残留炭素分の少ない燃料と多い燃料では大きな差が出ている。CCAIとライナー温度の間にはマクロで見れば強い相関がありCCAIが大きくなればライナー温度が上昇する。ヘッド温度についてはCCAIはあまり大きく影響しない。

#### d) CCAIとNO<sub>x</sub>濃度

CCAIとNO<sub>x</sub>濃度（13%O<sub>2</sub>）との関係を図2.1.5-5に示す。NO<sub>x</sub>濃度は負荷が低い間は給気温度が安定しないために測定結果にばらつきが認められたが、負荷が高くなればばらつかなくなる。マクロにみればCCAIが増加すればNO<sub>x</sub>濃度は大きく増加する傾向を示すと言えよう。

#### e) CCAIとすす濃度

CCAIとすす濃度（13%O<sub>2</sub>）との関係を図2.1.5-6に示す。低負荷時にはCCAIに対するすす濃度の増加率が大きく、負荷が上昇すると増加率は小さくなる傾向を示す。マクロにみればCCAIが大きくなればすす濃度が増加する傾向を示すと言えよう。

#### f) 硫黄分とすす濃度

燃料中の硫黄分はすす発生にも強い影響力を持つと言われている。図2.1.5-7は各負荷における硫黄分とすす濃度の関係を示したものである。マクロにみれば硫黄分が増加するとすす濃度が増加する傾向を示す。しかし、CCAIほど顕著ではない。

### (4) 実験結果の考察

燃料CCAIがディーゼル機関の燃焼特性、排ガス特性に与える影響について実験によって調査した。CCAIと着火性の間にはかなり強い相関がありCCAIが大きくなれば着火遅れが大きくなる傾向を示す。着火遅れが大きくなれば、初期燃焼が増加し筒内最高圧力の増加、筒内ガス温度の上昇にもつながり、結果としてNO<sub>x</sub>濃度の増加をもたらす。燃焼期間はCCAIによってあまり大きな影響は受けないが、着火遅れが大きくなれば燃焼終わりが延びることになりそのため火炎が延びてライナー表面の温度を上昇させる結果になる。CCAIが大きくなるとすす濃度が

増加する傾向になり、機関障害の一因である排気管系へのすすの付着と関係するものと考えられる。

燃料の CCAI を調べることによって CCAI が燃焼特性、排ガス特性などに与える影響をある程度把握できることが判った。これらのことは燃料積み込み時に燃料の CCAI を調べることによってこれをディーゼル機関を運転するときの指標にする事が出来ることを示唆していると言えよう。

## 2.1.6 あとがき

燃料の芳香族性の指標である CCAI がディーゼル機関の燃焼特性、排ガス特性にどのような影響を与えるかを燃焼実験によって調査した。そのため CCAI の範囲を可能なかぎり拡大して実験を行った。その結果、CCAI がディーゼル機関の着火遅れ、筒内最高圧力、NOx 濃度、すす濃度、ライナー温度などかなりの相関性を持つことが判った。燃料を選択する際に CCAI を調べることによって、ディーゼル機関での燃焼状態をある程度推定できる事も分かった。本実験では燃料の種類が必ずしも充分ではなかったが、このような実験を追加してデータを蓄積してゆけば CCAI と船用ディーゼル機関の安全な運転或いは信頼性との相関関係が更に精度よく解明され、安全運転の指標として CCAI を利用する事も十分可能且つ意義あるものとなろう。

表 2.1.5-2 実験に使用したディーゼル機関の主要目

製 作 社	松井鉄工所
型 名	MU 323 DGSC
型 式	立型 4 サイクル単動過給機、空気冷却器付ディーゼル機関
シリンダ径	230 mm
行 程	380 mm
シリンダ数	3
連続最大出力	250 kW
回 転 数	420 rpm
平均ピストン速度	5.32 m/s
筒内最高圧力	9.31 Mpa (95 kg/cm <sup>2</sup> )
正味平均有効圧力	1.55 Mpa (15.84 kg/cm <sup>2</sup> )
圧 縮 比	13
燃料弁開弁圧力	25.5 Mpa (260 kg/cm <sup>2</sup> )

表 2.1.5-3 実験機関の主要運転条件

負 荷 (%)	25	50	75	100
機関回転数 rpm	262	333	382	420
軸 出 力 kW	64.3	128.6	192.9	257.3
給 気 温 度 °C	25	35	45	55
燃 料 温 度 °C	100	100	100	100
冷 却 水 温 度 °C	60	60	60	60

表 2.1.5-4 各種燃料油の実験結果(100%負荷時)

燃料名	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
最高圧力 kg/cm <sup>2</sup>	110.6	109.2	111.5	108.8	111.5	112.9	108.1	108.8	108.5	109.5	114.1	114.8	114.5
最高温度 °C	1495	1735	1720	1700	1797	1745	1744	1732	1725	1723	1755	1719	1722
最高熱発生率 kcal/deg	0.623	0.609	0.618	0.585	0.645	0.622	0.592	0.612	0.602	0.553	0.627	0.589	0.525
燃焼期間 deg	31.8	31.0	29.8	30.3	30.0	30.0	29.8	29.3	29.8	29.3	30.0	29.5	29.0
着火遅れ deg	3.25	3.75	3.50	3.50	3.50	3.50	3.00	3.00	3.00	1.89	3.00	2.44	2.92
ms	1.29	1.49	1.39	1.39	1.39	1.39	1.19	1.19	1.19	1.20	1.91	1.55	1.86
引け温度(2) °C	267	287	267	280	276	272	282	276	277	241	273	258	260
引火温度(C) °C	235	233	232	232	236	234	236	232	234	229	232	228	229
NOx ppm	1260	1250	1380	1260	1360	1480	1240	1220	1370	1230	1430	1410	1400
CO ppm													
O <sub>2</sub> %	9.0	9.1	9.5	9.3	9.3	9.1	8.9	9.3	9.5	8.2	8.5	8.4	8.6
HC ppm	25	25	25	15	25	20	25	25	40	25	15	20	15
スモーク %	0.0	3.5	0.0	3.5	1.5	5.0	1.0	0.0	0.0	5.0	2.0	2.0	3.0
すす g/Nm <sup>3</sup>	0.068	0.057	0.051	0.096	0.046	0.046	0.078	0.097	0.049	0.050	0.130	0.130	0.170
CCAI	828	845	837	854	844	903	841	828	835	813	880	835	866

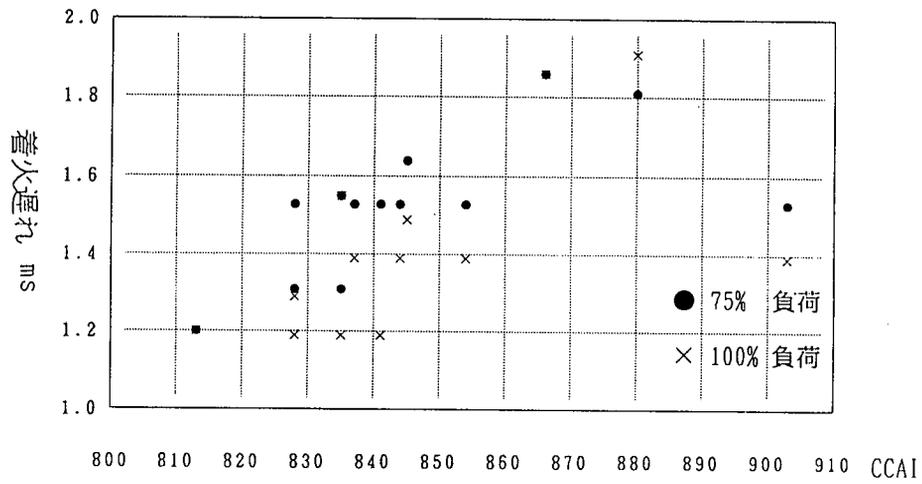


図 2.1.5-1 CCAI と着火遅れの関係

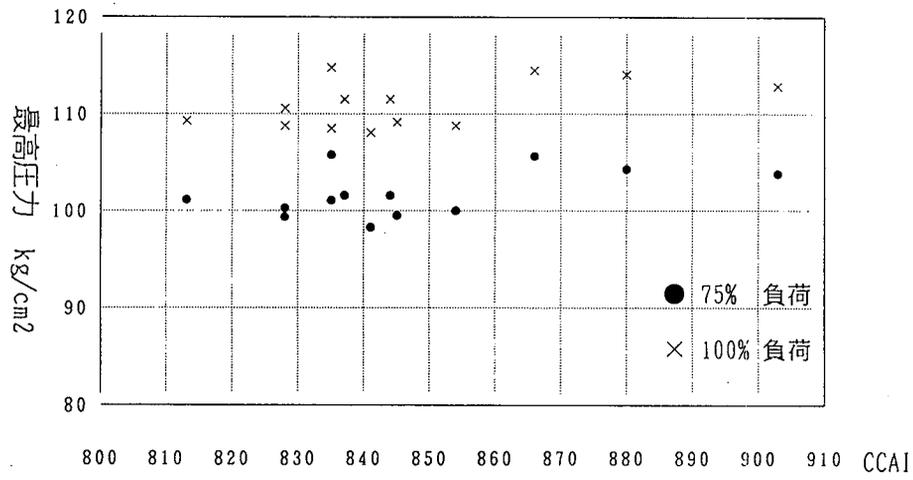


図 2.1.5-2 CCAI と筒内最高圧力の関係

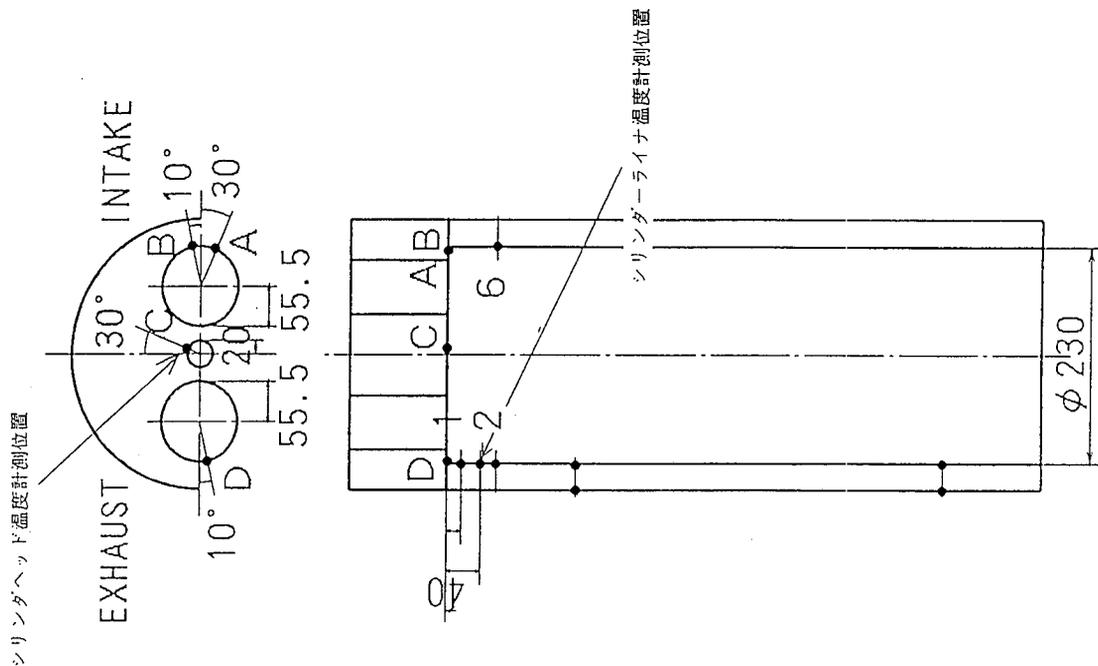


図 2.1.5-3 ライナヘッド温度計測位置

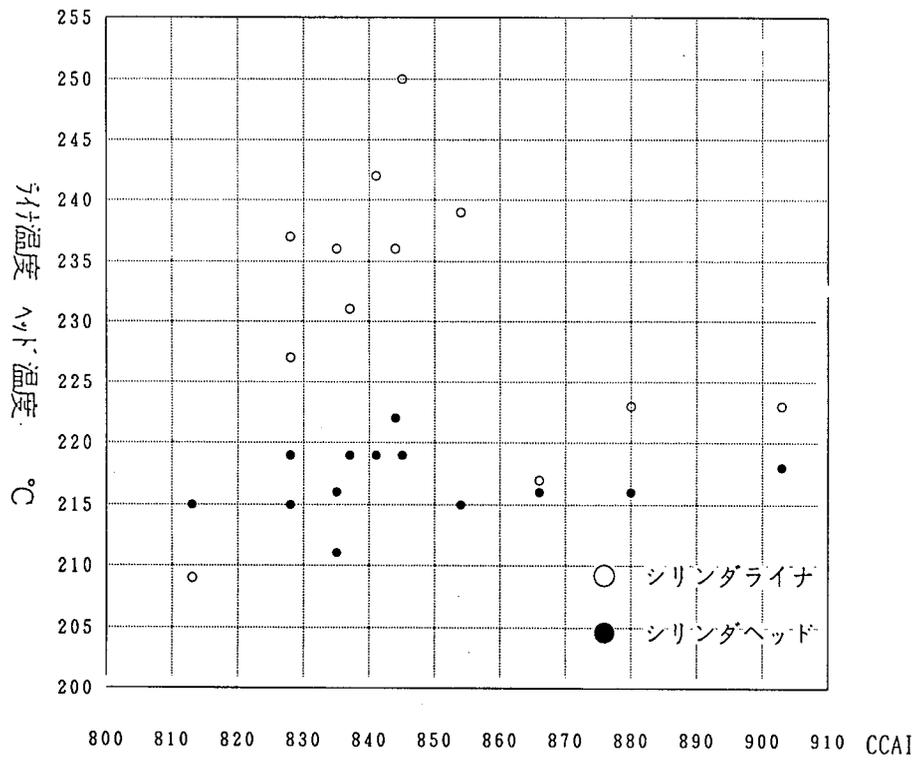


図 2.1.5-4 75%負荷時のCCAIと燃焼室部品温度の関係

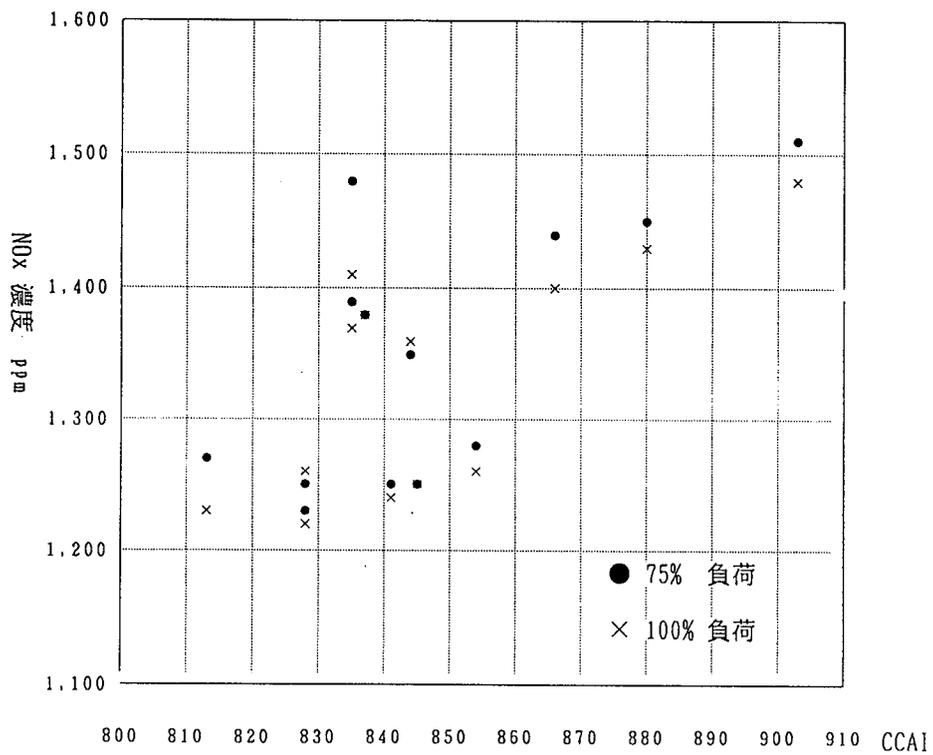


図 2.1.5-5 CCAIとNOx濃度の関係

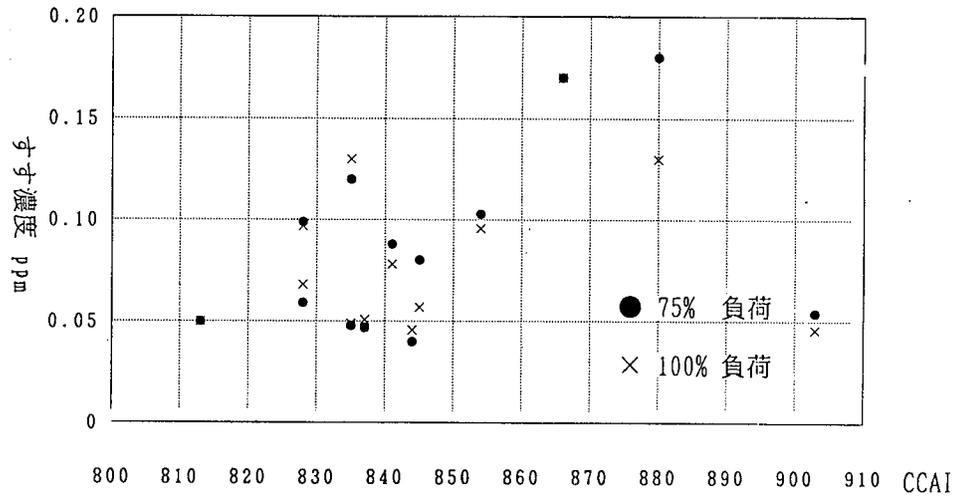


図 2.1.5-6 CCAIとすす濃度の関係

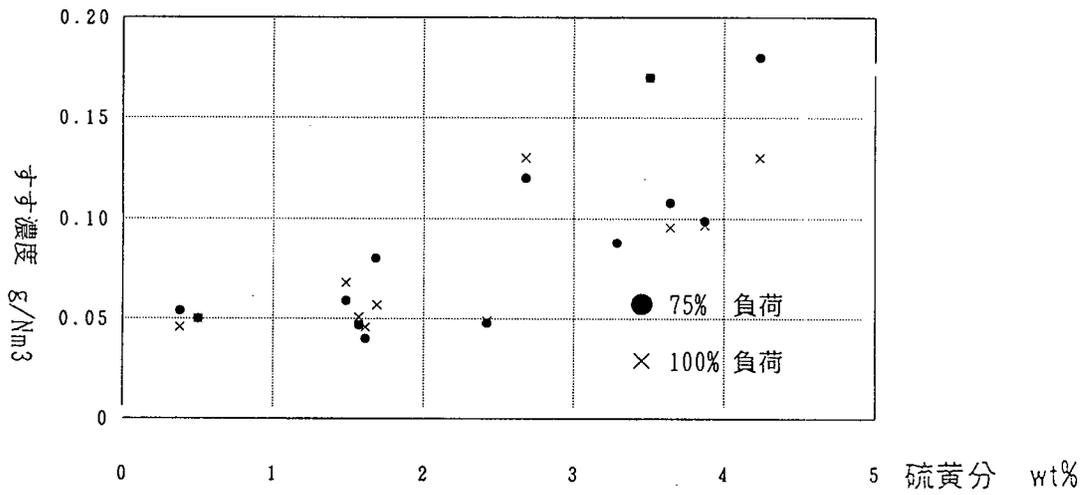


図 2.1.5-7 硫黄分とすす濃度の関係

## 2.2 硫黄分と排エコ使用温度，腐食との相関

船用燃料が低質化しているために、これが原因と考えられる機関故障が多く発生している。燃料の低質化は燃焼障害を発生させ、燃料中の硫黄分の増加は排ガス中の腐食性ガスであるSO<sub>3</sub>の濃度を高め、排気管系統の低温腐食の原因となっている。さらに硫黄分は排気管系においてすすの付着を促進する役割もするとされている。一方、排エコは熱回収のため比較的硫酸の露点に近い低い温度で使用されるケースが多く、従って硫酸による腐食の危険にさらされている。しかし、燃料中の硫黄分と排エコの腐食との関係はまだ充分には解明されていない。燃料中の硫黄分と排エコ伝熱管の腐食との関係、すす付着量との関係などを明確にするため、硫黄含有率の異なる燃料を用いた実験を行った。

### 2.2.1 実験による考察

#### (1) 実験に使用した燃料油，ディーゼル機関及び計測装置

燃料中の硫黄分だけを変化させた燃料を入手することが困難であったので、硫黄分は硫黄添加剤によって調整した。基になる燃料性状を表2.2.1-1に、硫黄添加剤として使用したDitertiary Butyl Disulfideの性状を表2.2.1-2に示す。この実験には小型高速無過給単気筒ディーゼル機関を使用し、排気管の外側を強制空冷出来るようにした。これは排エコの伝熱管を模擬したテストピースの暴露排気ガス温度を実験の目的にありよう約160℃に冷却するためである。機関主要目を表2.2.1-3に示す。テストピースは排エコ伝熱管と同じ材料(STB-35)で出来ており、排ガスの流れに対して直角に且つ地面に対しては平行に置いた。またテストピースは千鳥に配置し一度の実験で二本装着できるようにし、内側を水で冷却しテストピース温度をほぼ一定の温度になるようにした。

#### (2) 実験方法

硫黄含有率の異なる4種類のC重油を用いて、ディーゼル機関を一定条件で運転し、その排気ガス中にテストピースを置いて連続50時間の暴露実験を行い、テストピースに付着するすすの量、腐食量を調査排気ガス中のNO<sub>x</sub>、O<sub>2</sub>、すすの濃度も測定した。

-主要な実験条件を以下に示す。

機関回転数	: 1,800 rpm
機関出力	: 12.5 ps (pe = 5.07 kg f/cm <sup>2</sup> )
吸気温度(室温)	: 6~13℃
排気ガス温度(機関出口)	: 507~534℃
同上(テストセクション入口)	: 151~163℃
同上(テストセクション出口)	: 133~145℃
テストピース冷却水温度(入口)	: 20~28℃
同上(出口)	: 23~29℃
同上 流量	: 1 litre/min/本
テストセクション排ガス流速	: 10 m/s

#### (3) 実験結果

##### (a) 排ガス成分

上記実験条件での排ガス成分濃度を表2.2.1-4に示す。

##### (b) すす付着量

すす付着量の時間的変化を表2.2.1-5及び図2.2.1-1に示す。

表の中で乾燥前というのはテストピースを試験装置から取り外した状態で計量した値である。また乾燥後とあ

るのは、このテストピースを120℃で10分間乾燥した後に計量した値である。

#### (c) 腐食減量

50時間テストピースを排気ガス中に暴露している間にテストピース表面に付着したすすを鉄製のヘラで掻き落としそれを計量したものが〔すすと錆〕の量である。また、テストピースの試験前の重量とすすを掻き落とした後の重量の差を〔腐食減量〕と定義した。試験の結果を表2.2.1-6に示す。硫黄分が腐食減量や〔すすと錆〕の量に与える影響を図2.2.1-2に示す。すすと錆の量は硫黄分が多くなると増加する傾向を示し、硫黄分が3.5%を越えると急な増加傾向を示すようになる。腐食減量も硫黄分が3.5%を越えると急激に増加する傾向を示す。

#### (d) すすの分析

テストピースから掻き落とした〔すすと錆〕を成分分析した結果を表2.2.1-7に示す。試験項目Na1は硫黄分が約1.5%の燃料で試験したもので、Na4は約4.5%の燃料による試験結果である。トルエン可溶分は全体の10%以下である。トルエン不溶分の中では可燃物が約半分程度ある。元素分析では炭素、硫酸、鉄分が多いのが判る。〔すすと錆〕の重量が空気及び窒素雰囲気中で温度に対して変化の様子を熱重量分析によって調べた。すすの蒸発域は130～300℃、熱分解領域は300～450℃と考えられる。

#### (4) 実験結果の考察

硫黄の含有量が異なる4種類の燃料による腐食摩耗実験を行った。硫黄分がすすの排出量に与える影響については、ある程度の相関があることは、実験結果からも推測できる。すすの付着傾向を見ると最初の30時間ぐらいは多量に付着するが、その後は増加率が減少している。これはすすの付着によってすす表面の温度が上昇し付着し難くなる結果と考えられる。さらに時間が経つと付着と剝離を繰り返すものと推定される。テストピースの腐食減量について見ると硫黄分が3.5%以下の場合、腐食減量はあまり変わらないが3.5%を越えると急に増加する傾向を示す。このような結果から、硫黄分の濃度が2.5%以下の燃料を使用することによって排ガスエコマイザーの伝熱管の腐食を低いレベルに保つことが可能と思われる。

すすの熱重量分析の結果を見ると伝熱管が置かれている所の温度条件では未燃燃料の蒸発領域であり、そのため伝熱管表面には可燃物が多く付着したと思われる。これは元素分析の結果からも明らかである。

### 2.2.2 あとがき

燃料中の硫黄分による排ガスエコマイザーの伝熱管が腐食摩耗し事故につながるということが報告されている。硫黄分の許容される限界を明確にすることは非常に困難な仕事である。腐食摩耗の原因は硫酸によるものと言われているが、排ガス中のSO<sub>3</sub>と水分が反応してどれだけが硫酸に変化するかは、条件が複雑すぎて簡単には解明できない。また、出来た硫酸が伝熱管の表面にどういった経路で到達するのか、表面に付着したすすは腐食作用を促進するのか、それとも低減するのか等解明しなければならないことは非常に多い。今回の実験では非常に限られた条件下での現象しか見ることが出来なかった。今後色々な研究によって腐食摩耗のメカニズム、すすの働き、燃料中の成分の影響などを明らかにすることが望まれる。

表 2.2.1-1 実験に使用した燃料の性状

燃料油グレード		C 重油
密度	at 15°C	0.9642
引火点	°C	130
動粘度	cSt at 50°C	266.6
残留炭素分	wt %	7.51
灰分	wt %	0.03
水分	wt %	0.05
流動点	°C	+ 10
硫黄分	wt %	1.48
低位発熱量	Kcal/Kg	10277
炭素分	wt %	85.8
水素分	wt %	11.4
窒素分	wt %	0.55
CCAI		828

表 2.2.1-3 実験機関主要目

製作者	AVL(オーストリア)
名称	AVL502
サイクル	4
燃焼室型式	直接
給気方法	自然吸入
冷却方法	強制水冷却
シリンダ数	1
シリンダ径	115
ストローク	120
最高回転数	2800
排気量	12464 cc
圧縮比	18.0
最高燃発圧力	100 kg/cm <sup>2</sup>
燃料噴射ポンプ	ポッシュ式
開弁圧	250 kg/cm <sup>2</sup>
吸気弁開	20° BTDC
吸気弁閉	46° ABDC
排気弁開	51° BBDC
排気弁閉	15° ATDC

表 2.2.1-2 Ditertiary Butyl Disulfide の性状

Property	Typical Value	Specification	Test Method
Distillation, Range, Deg.C at 760mm Hg			ASTM D 1078
Initial Boiling Point	197	185.0 Min.	
50 %	199		
95 %	200		
Specific Gravity at 60/60°F	0.927	0.92-0.94	ASTM D 891
Density of Liquid at 60°F, lbs/gal	7.72		ASTM D 1250
Flash Point, Deg.F	153		ASTM D 56
Sulfur Content, wt %	35.8		PPC. 7602 CL
Composition, wt %			Chromatography
Ditertiary Butyl Disulfide	99	95 Min.	
Full Doctor Test	Sweet	Sweet	ASTM D 235
Color, Gardner	1	3 Max.	ASTM D 1544
Fischer Water, ppm	50	200 Max.	ASTM D 1744

表2.2.1-4 排ガス成分濃度

S %	NOx	O <sub>2</sub>	CO	HC	SO <sub>2</sub>	smoke	soot
1.5	1120	8.6	1200	250	-	-	1.070
2.5	1060	8.1	980	200	720	39	0.392
3.5	810	7.7	2100	230	1050	45	0.551
4.5	890	7.6	2100	190	1460	46	0.858

単位 NOx, CO, SO<sub>2</sub>:ppm  
 O<sub>2</sub>, smoke :%  
 soot :g/Nm<sup>3</sup>

表2.2.1-5 すず付着量 (g)

S %	10	20	30	40	50hrs
1.5	2.257	2.807	3.580	3.588	3.227
	-	-	2.684	2.474	2.167
2.5	2.485	3.107	3.442	3.148	3.672
	1.576	2.153	2.405	2.366	2.647
3.5	2.641	3.359	3.788	4.152	4.895
	1.991	2.487	2.806	3.260	3.817
4.5	2.865	3.323	3.391	3.735	3.974
	1.602	2.134	2.402	2.604	2.744

上段：乾燥前 下段：乾燥後

表2.2.1-6 腐食減量と搔落し量 (g)

S %	腐食減量	(すずと錆)
1.5	1.046	4.021
2.5	1.054	4.507
3.5	1.290	6.098
4.5	1.847	5.996

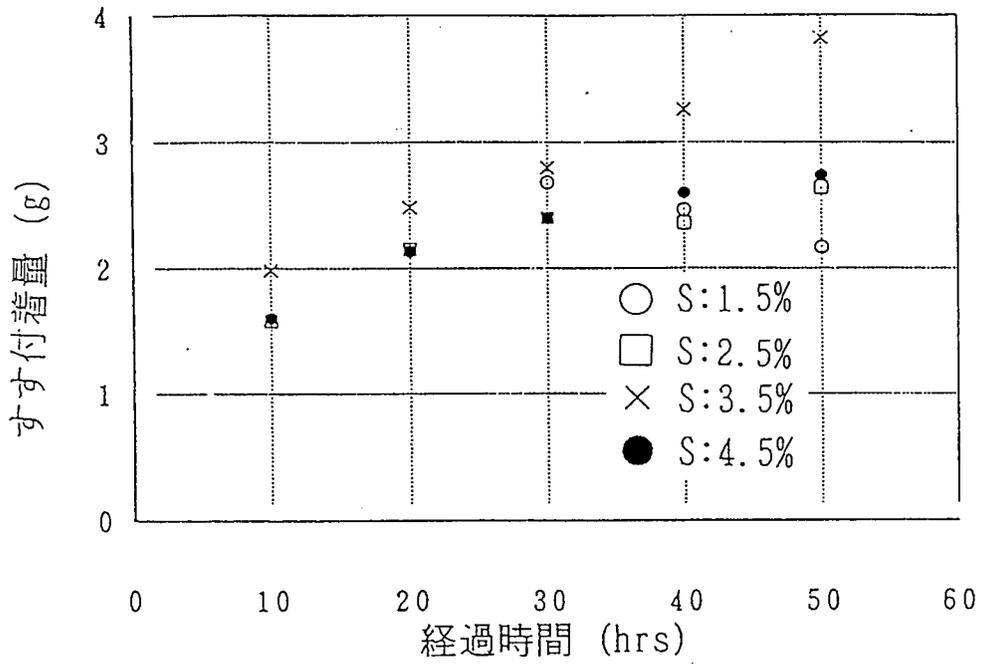


図 2.2.1-1 すす付着量の時間的変化

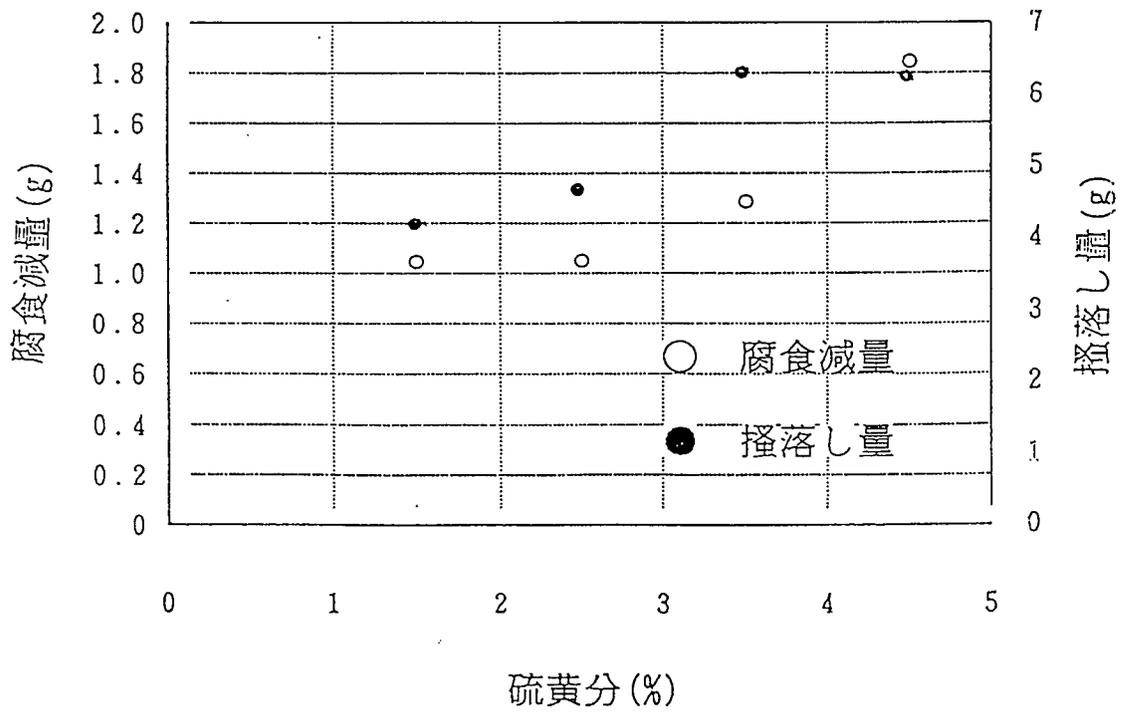


図 2.2.1-2 腐食減量と搔落し量

表2.2.1-7 すす分析結果

	試験内容	試験項目	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4
			S=1.5%	S=2.5%	S=3.5%	S=4.5%
全体 試料	組成分析 wt%	水分	7.2	10.6	13.4	9.1
		トルエン可溶分	8.8	9.9	6.4	4.5
		トルエン不溶分	84.2	79.5	80.2	86.4
		小計 (灰分)	100.0 43.7	100.0 39.9	100.0 41.1	100.0 55.3
	PH	1% 懸濁水溶液	--	--	--	--
	元素分析 wt%	炭素	27.1	29.7	21.4	14.9
		水素	2.2	2.7	1.8	1.7
		窒素	1.1	0.7	0.5	0.3
		硫黄	4.2	5.0	6.1	3.5
	熱分析	TG-DTA	--	--	--	--

トル エン 不 溶 分	組成分析 wt%	可溶分	48.1	49.8	48.8	36.0
		灰分	51.9	50.2	51.2	64.0
	元素分析 wt%	炭素	16.6	22.7	18.6	11.8
		水素	1.8	1.9	1.7	1.6
		窒素	0.7	0.3	0.3	0.2
		硫黄	4.2	5.9	6.9	4.0
		酸素	31.8	32.9	32.9	34.2
	金属 wt %	Na	0.06	0.11	0.08	0.00
		K	-	-	-	-
		Mg	-	0.02	0.02	-
Ca		0.05	0.25	0.11	0.04	
Al		0.02	0.02	0.02	0.02	
Si		0.10	0.09	0.09	0.07	
P		0.02	0.03	0.02	0.02	
Cl		-	-	-	-	
V		0.10	0.14	0.10	0.05	
Cr		0.03	0.03	0.00	0.03	
Mn		0.16	0.16	0.18	0.20	
Fe		35.24	33.38	34.41	43.90	
Ni		0.15	0.24	0.16	0.08	
Cu		0.02	0.03	0.03	0.00	
Zn		0.02	0.04	0.02	0.00	
Sr	-	-	-	-		
Zr	-	-	-	-		
Mo	-	-	-	-		
Sn	-	-	-	-		
Nb	-	-	-	-		
Zn	-	-	-	-		
	元素分+ 金属分	総合計 (%)	91.1	98.2	85.6	96.2
	X 線回折		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> FeO OH

## 3. オプティマム燃料油仕様とコスト評価

### 3.1 オプティマム燃料油仕様の策定

#### 3.1.1, オプティマム燃料油仕様策定の目的

ディーゼル主機関搭載の船舶に、高粘度燃料油（通称C重油）が使われ始めたのは第2次大戦後大型外航船の建造が急速に拡大して行った昭和20年代中頃からであり、船舶の経済性向上の目的でC重油の使用が外航船を中心に急速に広がって行き、現在では粘度グレードに差はあるが、内航船を含め中型船以上は殆んどがC重油と呼ばれる高粘度油を使用するようになっている。

この間船舶に使われるC重油は、当初直留系ボトムに軽質分を加えたブレンド油であったが、社会の進歩と共に陸上で軽質油の需要が増え、分解精製設備が導入されるようになり、C重油の基材となるボトム油がより高粘度化、低質化したため、必然的に船舶用C重油の高粘度化、低質化が進むと共に性状のばらつきも大きくなって来ているのが現状である。

一方、ディーゼル機関にとって燃料油は主成分である炭化水素分が燃焼し易いかどうか、また混入している不純分がどの程度悪影響を与えるかの2つの要素に大別されるが、C重油使用の歴史のなかでディーゼル機関も多く経験を積み進歩して来ているものの、現状この2要素とも必ずしも満足しているとは言えず、時には障害を発生させていることが報告されている。

更に、最近では船舶運航形態にも変化が生じており。人手不足と採算性向上の必要性から少人数船、混乗船が主流となって来っており、安全運航を確保しつつ省力、省人化を図ることは船舶にとって至上命題となっている。このような命題を達成しようとする時、船舶にとって燃料油の品質は一つの大きな要素であり、船舶運航者側から見てより好ましい燃料油性状とはどのようなものかとの考え方で、オプティマム燃料油仕様を策定するものとする。

対象機関は2サイクル低速、大型4サイクル中速とし、対象油種は外航船に主として使用されているC重油とし、以下の目的に従い検討した。

- (1) 燃料油に起因する障害の防止に寄与出来る燃料油の仕様。
- (2) 燃料油前処理の陸上化を可能とする燃料油の仕様。
- (3) リーズナブルの価格でワールドワイドに供給が受けられる燃料油の仕様。
- (4) 環境汚染への影響が少ない燃料油の仕様。

検討結果を表3.1.1に示す。

表 3.1.1 オプティマム燃料油仕様

	項目	仕様	検査方法
1	粘度	380 cSt at 50℃ 以下 ( 35 cst at 100℃)	JIS K2283 ガラス毛細管法
2	密度	991 kg/m <sup>3</sup> (at 15 °C) 以下	JIS K2249 浮きばかり法
3	引火点	61 °Cを越える	JIS K2265
4	流動点	15 °C以下	JIS K2269
5	水分	0.2 vol% 以下	JIS K2275 蒸留法
6	残留炭素	14 wt% 以下	JIS K2270
7	灰分	0.03 wt% 以下	JIS K2272
8	アスファルテン	6.5 wt%以下	IP 143
9	硫黄分	2.5 wt%以下	JIS K2541 放射線式励起法
10	CCAI	840以下	
11	バナジウム	70 mg/kg 以下	JPI-5S-11 硫酸灰化—原子吸光法
12	ナトリウム	1/3バナジウムmg/kg 以下	JPI-5S-3 灰化—原子吸光法
13	アルミニウム シリカ	16 mg/kg 以下 粒子径 10 μm 以下	JPI-5S-30 灰化—溶融—原子吸光法 顕微鏡視察
14	TOTAL SEDIMENT	0.03 wt% 以下	IP 375/93, IP 390/93
15	キシレン当量	25 以下	SMS 305

### 3.1.2 オプティマム燃料油性状各項目の解説

#### (1) 粘 度

粘度の把握は、良好な燃焼状態を管理する上、また、燃料油の移送、加熱温度を決定する上で重要な性状であるが、機関入口で要求される粘度まで加熱できれば粘度自体の上昇は機関に悪影響を与えず、また、現状の燃料油性状からすると、高粘度でも単一油のほうが、ブレンド油（残査油と軽質油の混合油）より障害発生件数が少ないという実績、見解もあるが、通常の船内使用蒸気圧（ $7\text{kg}/\text{cm}^2$ ）で加熱可能な温度（約 $150^\circ\text{C}$ ）、加熱器及びタンクでの加熱温度の上昇、ポンピングの吸い込み可能粘度（加熱温度の上昇）等を考慮し、粘度は $380\text{cSt}$ （at  $50^\circ\text{C}$ ）を上限値とした。

（参 考）

① 噴霧最適粘度を得る為の加熱温度〔燃料噴射ポンプ入口で $13\sim 17\text{cSt}$ の粘度を得るための〕

$700\text{cSt}$ （at  $50^\circ\text{C}$ ） $\Rightarrow 142\sim 153^\circ\text{C}$

$500\text{cSt}$ （at  $50^\circ\text{C}$ ） $\Rightarrow 133\sim 146^\circ\text{C}$

$380\text{cSt}$ （at  $50^\circ\text{C}$ ） $\Rightarrow 128\sim 140^\circ\text{C}$

② 某船社の1990年度補油実績

$380\text{cSt}$  以下                      87%

$381\sim 398\text{cSt}$                       8%

$399\sim 418\text{cSt}$                       4%

$419\text{cSt}\sim$                               1%

#### (2) 密 度

密度の大小は直接、燃料油の実用性能を左右するものではないが、高密度油は一般的に残炭や芳香族が多く燃焼性が劣ること、また、高密度油対応清浄機の装備コスト（高密度用清浄機本体、容量アップ等）、性能を考慮し、密度は $991\text{kg}/\text{m}^3$ （at  $15^\circ\text{C}$ ）を上限値とした。

〔 調査結果では、粘度を $380\text{cSt}$ （at  $50^\circ\text{C}$ ）Max と制限すれば、通常の燃料であれば、密度は $991\text{kg}/\text{m}^3$ （at  $15^\circ\text{C}$ ）以下の燃料油がほとんどである。 〕

尚、現状の船主要求仕様は、使用燃料の上限値は $700\text{cSt}$ 、 $1,010\text{kg}/\text{m}^3$ が一般的で、高密度（ $1,010\text{kg}/\text{m}^3$ ）対応清浄機が装備されるケースが多い。

（参 考）

某船社の1990年度補油実績（IBF-380）

$991\text{kg}/\text{m}^3$  以下                      71%                       $995.1\sim 999\text{kg}/\text{m}^3$                       2%

$991.1\sim 992\text{kg}/\text{m}^3$                       11%                       $1,000\text{kg}/\text{m}^3\sim$                       1%

$992.1\sim 995\text{kg}/\text{m}^3$                       15%

#### (3) 引 火 点

ISOでは、制限値がMIN  $60^\circ\text{C}$ となっているが、輸送中、貯蔵中、取扱時の安全確保上、又、船舶安全法（船舶機関規則33条）で $61^\circ\text{C}$ を基準に設備要件が異なっている為、引火点の制限値は $61^\circ\text{C}$ を越えるものとした。

#### (4) 流 動 点

寒冷時及びタンク加熱温度管理等のため、低ければ低い程ベターであるが、流動点低下の処理費用によるコストアップを考慮し、下記実績の通り $15^\circ\text{C}$ 以下であれば、供給される燃料油がほとんどがあてはまるので、流動点の制限値は $15^\circ\text{C}$ 以下とした。

(参考)

某船社の補油実績

平均流動点		
1986	.....	-6℃
1987	.....	-5℃
1988	.....	-2℃
1989	.....	-4℃
1990	.....	-7℃

⇒	1989年度の実績 流動点 9.9℃以下 ..... 85% ..... 10~15℃ ..... 10% ..... 15.1℃以上 ..... 5%
---	---

(5) 水分

エマルジョン燃焼が導入される可能性もあるが、燃焼前の金属腐食、油の酸化、スラッジの異常析出、ストレーナーの閉塞等のトラブル防止、経済性(水を購入することにならぬよう)の問題、また、燃料の陸上処理化に期待して、水分の制限値を0.2 vol%以下とした。

下図の如く、水分の含有量が多いほど、トラブル件数が多くなるデータがあり<sup>1)</sup>目標値としては、0.5 vol%以下としているが、機関メーカー等は現状の保守間隔、開放間隔を維持するには、水分含有量は0.2 vol%以下の燃料を使用することを希望している。又、水分量の多い重油は、相関してナトリウムが多く(海水混入の可能性もある)、海水を含むときは、下図の如くライナの摩耗量が増加することも報告されている。これは海水中のNaClと燃焼生成物であるH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>が反応して、HClが生成され、ライナ壁に付着して表面に軟質で水溶性の塩化鉄(FeCl<sub>2</sub>及びFeCl<sub>3</sub>)が出来るためとされている。

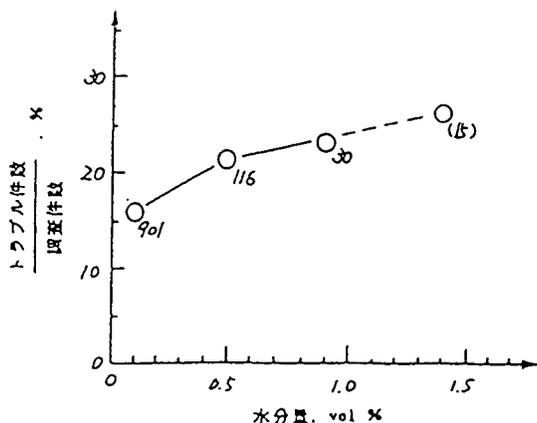
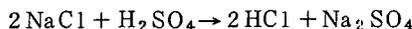


図 3.1.2-1 水分量とトラブル件数

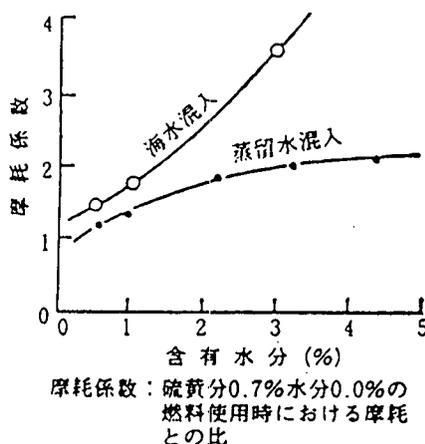


図 3.1.2-2 含有水分-ライナ摩耗量との関係

(6) 残留炭素

燃料油の性能判定には妥当でない場合もあるが、一般的には残留炭素分の増加はC/Hの増加を意味し、アスファルトの増加と同様、機関に悪影響を及ぼす可能性を秘めている。

将来的には高粘度化の進行とビスブローケン残渣油の混入量の増加に伴い増加する傾向にあり、機関に及ぼす影響が大きい本項目は、厳しい制限値を設ける必要がある。

障害調査結果<sup>2)</sup>と下記燃料油実績を参考にして、残留炭素の制限値を14%以下とした。

(参考)

① 某船社の1990年度の補油実績 (IBF-380) の残留炭素含有量の内訳は

10%以下	11%台	12%台	13%台	14%台	15%台	16%台	17%台	18%台	19%以下
(%) 24	15	14	19	12	9	4	2	1	0

② 障害調査結果

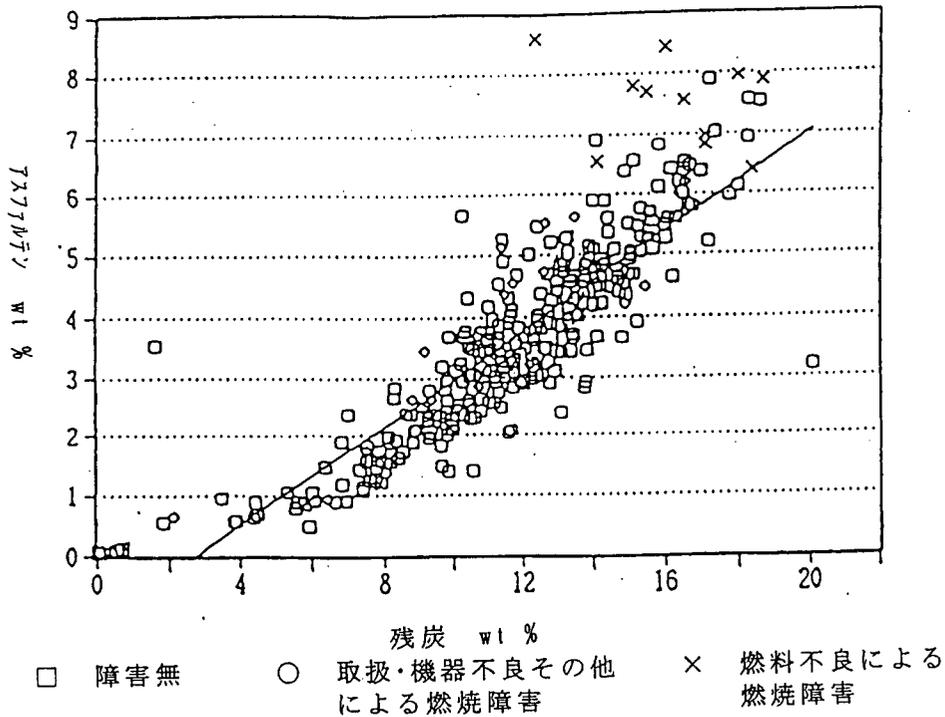


図 3.1.2-3 燃焼障害の分類 (原因別)

(7) 灰 分

摺動部の異常摩耗の原因となり、残留炭素分同様、燃料油性状の中でも要注意の項目である。

ISO (CIMAC), メーカー, 船社での制限値には 0.02~0.15wt% と開きがあるが一般的に 0.05wt% を基準としており、船内処理によりその 40% が除去出来ると推定される。オプティマム燃料は陸上前処理を行う前提の為、灰分の制限値を 0.03wt% 以下とした。

(参考)

某船社の1990年度補油実績 (IBF-380) によると

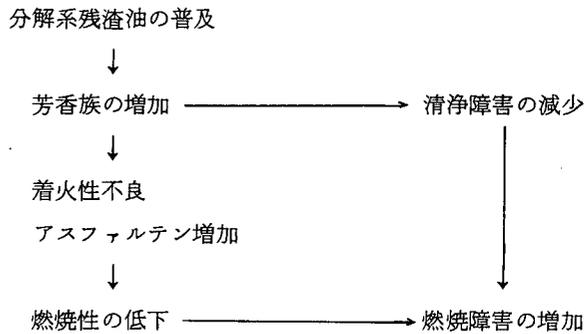
0.039%以下	0.04%	0.05%	0.06%以上
(%) 61	18	9	12

(8) アスファルテン

アスファルテンの存在は硫黄の存在を意味し、脱硫を行えばアスファルテンは減少するが、精製過程での熱履歴の影響によりアスファルテンの状態が変化し、脱硫後の燃料油中のアスファルテンは不安定な状態にあると考えられ、スラッジの異常流出が起こる可能性が高く、又、高アスファルテン油ほどバナジウム量も多くなる傾向がある。

難燃性のため、燃焼時間が遅延し、シリンダライナ表面の潤滑油膜の蒸発、焼損による異常摩耗、未燃カーボン堆積によるピストンリング、リング溝及び排気弁系統の汚損増大、潤滑油の汚れ増大等が予想される。

最近の燃料油は、以前に比べその製造法から、芳香族性は増加しており着火性の低下が考えられ、最近の燃焼障害増加につながっていると考えられる。最近の船用燃料油のもつ燃焼障害の原因を整理すると、以下の様になる。



某船社の低速2サイクルエンジンの燃焼障害調査結果<sup>3)</sup>によると、1989年度のうち燃焼障害の具体的現象は、次の通りである。

発煙過多	17件
排気温度上昇	17件
ブローバイ	5件
過給機サージング	7件
出力低下	7件
Pmax 異常	7件

上記燃焼障害の原因について個別に調査した結果、船体、主機及びその関連機器の状態、又、燃料の取扱いに問題はなく、その燃料に切替え直後から障害が発生したもので、つまり燃焼障害が直接燃料に起因したと判断出来るものは、次表に示す11件であった。この分析値で特徴的な点は、共通してCCAIが850以上でありアスファルテン含有量が異常に多いことである。

図3.1.2-3にそのサンプルの“残炭値-アスファルテン値”グラフを示し、さらに燃焼障害原因を“機器取扱い不良”と“燃料不良”に分類している。この図から、低速2サイクル機関にとって、アスファルテン値が6.5wt%を越える燃料油は、燃焼障害発生が高い事がわかる。

以上より、アスファルテンの制限値は6.5wt%以下とした。

表 3.1.2-1 燃焼障害発生油の性状

船 名	IF	補油地	密度	粘度	残炭	ASPH	灰分	V	Na	SHF	CCAI
A RND76H	280	NEVARK	0.9943	272.2	15.97	8.44	0.12	29	26	0.06	859
B UEC60LA	380	NEVARK	0.9936	331.7	15.45	7.69	0.13	301	44	0.18	856
C RND76H	280	NEVARK	0.9916	289.5	16.48	7.55	0.12	288	17	0.08	855
D UEC60LS	380	NEVARK	0.9936	295.4	15.07	7.80	0.13	259	33	0.07	857
E 80GFCA	280	NEVARK	0.9851	198.2	14.08	6.56	0.15	272	40	0.10	853
F MCE50L	380	SINGAPORE	0.9931	365	18.67	7.88	0.01	40	16	0.00	854
G RTA84	380	SINGAPORE	0.9893	403	17.09	6.83	0.01	46	9	0.00	850
H RTA84	380	SINGAPORE	0.9911	385	17.08	6.98	0.02	46	7	0.00	852
I RLB66	380	IJKUIDEN	0.9924	365	17.97	7.95	0.00	50	11	0.00	854
J UEC60L	380	EUROPORT	0.9921	347	18.38	6.41	0.02	71	12	0.04	854
K RTA58	280	NEVARK	0.9890	286.3	12.30	8.60	0.05	230	30	0.11	853

(9) 硫 黄

石油製品中の硫黄分はそのほとんどが原油の硫黄含有量に支配され、腐食、摩耗、大気汚染の原因等となる。また、アスファルテンの項で記述したが、脱硫後の燃料油は安定性が劣ると言われている。

本調査結果及び機関メーカーの推奨値は、3.0wt%であるが、硫黄分が多いと油の密度、粘度、残炭分等が増加し、燃焼後に硬質カーボンが生成され粉末摩擦 (Abrasive Wear) を起こしやすい。下図に燃料油中の硫黄分とライナ摩耗量との関係を示す<sup>4)</sup>が硫黄分が2%以下程度では腐食摩耗が主な為、それほど目立った摩耗増加は示さないが、これ以上では腐食摩耗に加えて、硬質カーボンによる粉末摩耗が、顕著に表れてくるという報告もある。

以上より硫黄分の制限値は2.5 wt%以下とした。

(参 考)

某船社の1990年度の補油実績

(IBF-180, 280, 380)

0 ~ 1.5%	9%
1.5 ~ 1.9%	20%
2.0 ~ 2.4%	11%
2.5 ~ 2.9%	20%
3.0 ~ 3.5%	29%
3.5%以上	10%

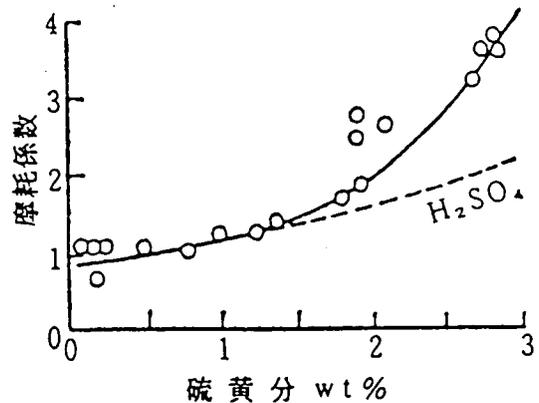


図 3.1.2-4 硫黄分-ライナ摩耗係数の関係

(10) CCAI

燃料油の着火性の指標で、中速機関では850以上では燃焼障害を起こすとも言われており、機関メーカーは840以下を推奨している。本調査の結果850~860での機関トラブルが多く、840未満の発生例は少なかった。又、下記の報告<sup>5)</sup>でも845以上は、何らかの障害を発生しており、制限値を840以下とした。

低質重油の環分析によるパラフィン炭素量(%Cp)及び炭化水素の1平均分子中の芳香族環数(R<sub>A</sub>)とCCAIとの相関性を調べたものであり、CCAIが845以上の低%Cpのもの、及び高R<sub>A</sub>のものに障害が発生している。R<sub>A</sub>が大きい油ほど多環芳香族分が多くアスファルテンそしてスラッジ分の多いことを意味している。

表 3.1.2-2 C重油使用による障害発生比率と内容

	受入移送	清浄系統	噴射系統	燃 焼	点検開放結果
	9.4	32.0	24.1	18.2	16.3
障害内容	腐食, ペーパーロック, スラッジ異常析出	スラッジ異常析出, ろ過器の閉塞	噴射ポンプ, 燃料弁の固着, 摩耗	燃焼不良, 残渣物堆積, 腐食, 摩耗, クラック, スカフティング, 吹抜け	腐食, 摩耗, クラック

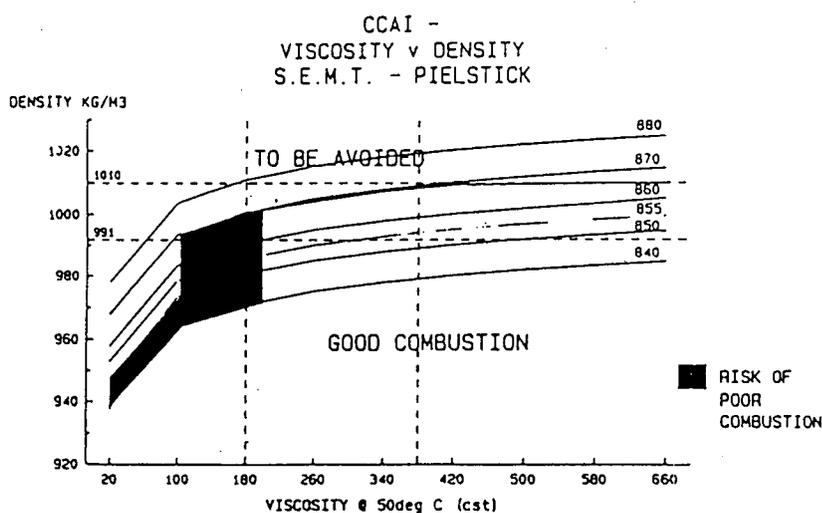


図 3.1.2-5

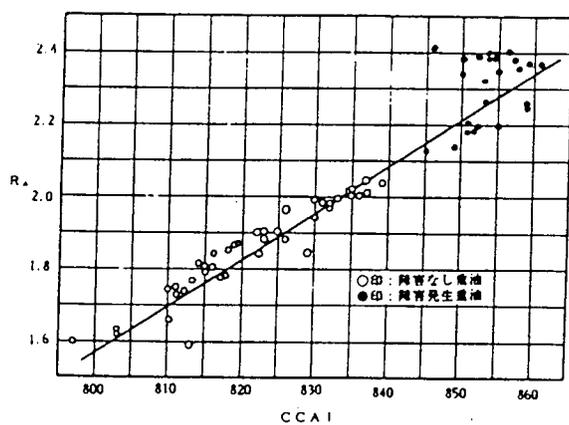


図 3.1.2-6 船用低質重油の CCAI と R<sub>A</sub> との関係

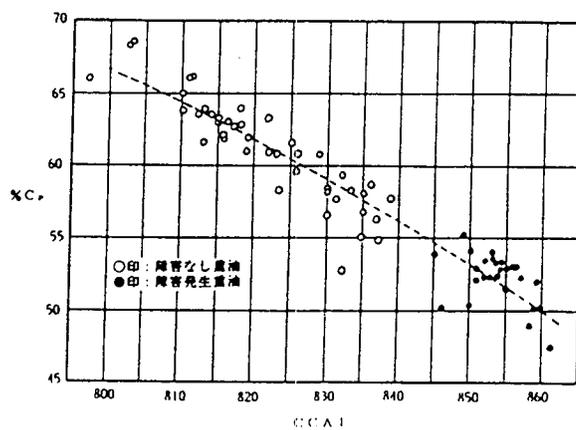


図 3.1.2-7 船用低質重油の CCAI と %C<sub>p</sub> との関係

(11) バナジウム

燃焼障害、高温腐食、汚損等の原因となり、燃料の前処理では処理出来ない不純物である。

バナジウムは硫黄分がSO<sub>3</sub>に転化する時の触媒としても作用するので、バナジウムの低減は低温腐食防止にも有効である。

トラブル例との関連を考慮してバナジウムの制限値を70mg/kg以下とした。

(参考)

- ① 船用燃料油の障害報告によると、70mg/kg以上に排気弁の吹き抜けが、発生している<sup>6)</sup>。

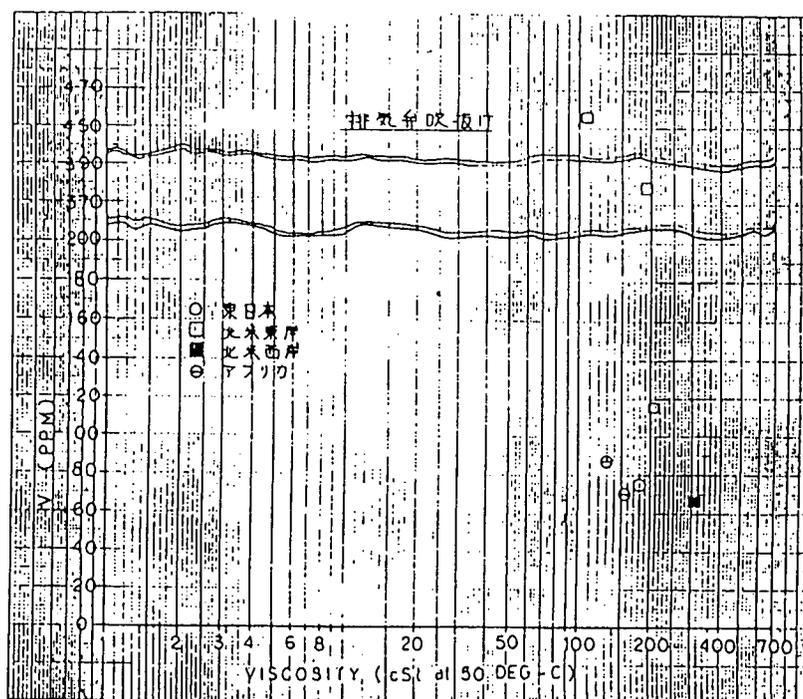


図 3.1.2 - 8

② 某船社の1990年度補油実績

	IBF-180	IBF-280	IBF-380
0 ~ 100mg/kg	98%	97%	94%
100 ~ 150mg/kg	1%	2%	4%
150 ~ 200mg/kg	1%	1%	1%
200mg/kg ~	0%	1%	1%

(12) ナトリウム

バナジウムと同様、燃焼障害、高温腐食、汚損等の原因となり、バナジウムの高温腐食を助長しバナジウムに対する割合が1/3を越えると、悪影響を及ぼすとの報告が多い為、ナトリウムの制限値を、1/3バナジウムmg/kg以下とした。

表 3.1.2-3 排気弁吹き抜けトラブルを起こした燃料性状<sup>7)</sup>

主機形式	給油年月日	給油地	比重 15/4℃	動粘度 cSt 50℃	水分 vol%	残留 炭素 wt%	硫黄分 wt%	灰分 wt%	金属分析 (ppm)				
									SiO <sub>2</sub>	Al	Na	V	Na/V
MAN 18V52/55	58- 5-18	Heuston	0.9921	194.0	0.20	14.7	2.76	0.09	126.8	7.7	207.8	501.3	0.69
MAN 16V52/55	58- 3- 6	Newark	0.9778	164.0	Tr	13.5	2.54	0.09	74.9	7.6	58.9	374.4	0.36
MAN 18V52/55	57- 9-14	Heuston	0.9885	208.9	Tr	15.7	2.82	0.07	77.3	5.4	27.9	229.5	0.12
MAN 16V52/55	54-11-19	Jackson	0.9604	107.8	0.22	12.9	2.22	0.07	-	-	15.1	455.0	0.03
SEMT10PC4V	57- 7-21	Algeccira	0.9096	107.1	0.16	10.6	3.01	0.07	231.2	3.4	94.0	111.9	0.84
SEMT18PC2 5V	57-10- 2	Tacoma	0.9876	196.9	0.20	9.1	2.06	0.06	130.2	4.8	80.7	36.9	2.19
SEMT18PC2-5V	56- 6- 4	Benecia	0.9810	172.5	0.18	17.1	1.35	0.10	167.1	20.4	82.1	97.7	0.84
GUCC 60/150H	57- 8- 8	Jeddah	0.9491	131.2	0.06	7.8	3.36	0.02	22.5	1.4	51.7	28.1	1.84
B&W 6K62FP	55- 9-29	Durban	0.9875	129.3	Tr	15.8	3.42	0.04	127.9	-	26.4	87.0	0.30
MAN 16V52/55	55-11-17	Rotterda	0.9824	175.9	0.08	13.8	3.08	0.03	95.9	-	49.9	56.9	0.88
MAN 16V52/55	56- 8- 2	Rotterda	0.9783	183.3	0.10	13.5	3.27	0.03	41.5	4.5	25.4	85.8	0.30
8UEC 65/135D	54-10-30	Jeddah	0.9608	161.4	0.18	10.7	3.23	0.03	-	-	28.3	58.7	0.48
8UEC 85/160C	54-11-23	Djibouti	0.9556	162.3	0.20	10.1	3.81	0.03	33.1	-	68.4	46.9	1.46
SEMT 12PC4V	56- 6-11	Das Is.	0.9502	165.8	0.38	8.2	2.73	0.02	89.4	3.3	38.9	31.1	1.25

(13) アルミニウム, シリカ

触媒粒子が燃料油に混入したもので、最近触媒の回収技術が向上し、減少の傾向があるが、多量で粒径が大きい場合、摺動部（特に燃料噴射ポンプ）の異常摩耗、固着を引き起こし船舶の運航に大きな影響を与え、又機関ブラントの障害として、清浄不良、ストレーナ閉塞及びリング摩耗、折損との相関が認められる。

アルミニウムが7mg/kg 以上の場合に、スラッジの発生、過給機タービンへのデポジットの付着、シリンダライナ、燃料ポンプの摩耗等の増加傾向がみられ、シリカは15mg/kg 以上の場合、アルミニウムと同様のことが起こり、シリカの多い燃料油はアルミニウムも多く、比重が大きい傾向にあると報告されている。

DNV は、右図に示すようにアルミニウム含有率とシリンダライナ過大摩耗発生度合の現状を報告している。含有率が10mg/kg の299件の油の内、約20%が何らかの障害が発生しており、その5%がシリンダライナの異常摩耗を、発生している<sup>8)</sup>。

又、SULZER 9RND90 搭載の M/V BILDERDIJK による実船実験の結果では、シリンダライナ/ピストンリング摩耗を許容レベル以下に保つには、機関入口に於けるアルミニウム含有率を10mg/kg 以下に保持する必要があると、報告している<sup>9)</sup>。

三菱化工機によると、油清浄機の清浄効果は、燃料油の性状、処理条件により一定でない為、一概に予想出来ないとしているが、実績から次のとおり報告がなされている。

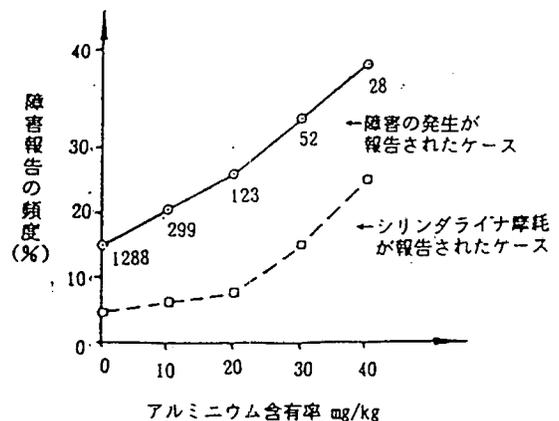


図 3.1.2-9

	予想分離効率	700 cSt 991 kg/m <sup>3</sup>	
		入口	出口
アルミニウム, シリカ	80%	80 mg/kg	16 mg/kg

CIMAC, ISO 制限値 : 80 mg/kg

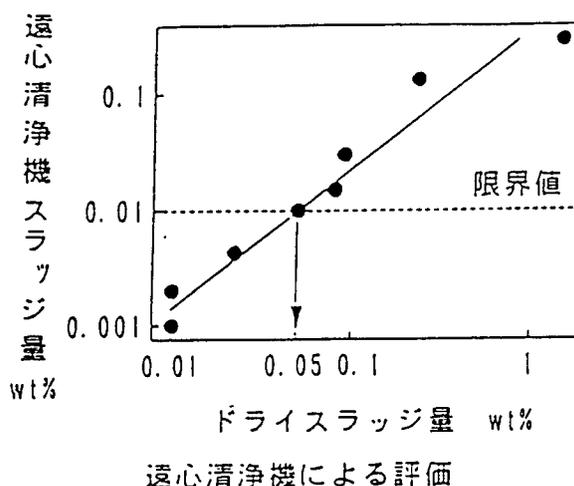
触媒の中でも一番問題となる金属粉のため、文献、実船実験結果及び清浄機メーカーの分離効果を考慮し、アルミニウム、シリカの制限値を 16 mg/kg 以下とした。

又、粒子径は 10 μm 以下でも燃料ポンプブランジャの摩耗に影響すると言われているが、含有率を 16 mg/kg 以下におさえたと為、制限値を 10 μm 以下とした。

#### (14) TOTAL SEDIMENT

燃料油の安定性及び清浄機の実験結果から規定される。清浄機のスラッジ捕集量限界値とドライスラッジ量との関係を示した下記の石油会社の実験結果<sup>10)</sup>及び各船社の制限値から 0.5 wt% 以下と規定されるが、船内処理により約 40% 分離除去できると判断して、TOTAL SEDIMENT の制限値を、0.03 wt% とした。

清浄機のスラッジ捕集量限界値 : 10 g/100L 油量



実用性能の限界値

ドライスラッジ量 : 遠心清浄機 0.05 wt%

図 3.1.2 - 10

#### (15) キンレン当量

キンレン当量は、残渣油と軽油を混合する際の適合性を示すもので、混合安定性を判断する目安となるものである。

油中の芳香族成分が多くなれば、キンレン当量値は小さくなり安定性は良くなるが、燃料として重要な燃焼性が悪くなる為、一概に言えない。

障害報告結果<sup>11)</sup>によると、キンレン当量が 30 以上ではスラッジが析出沈殿しやすいとの報告もある為、キンレン当量の制限値は 25 以下とした。

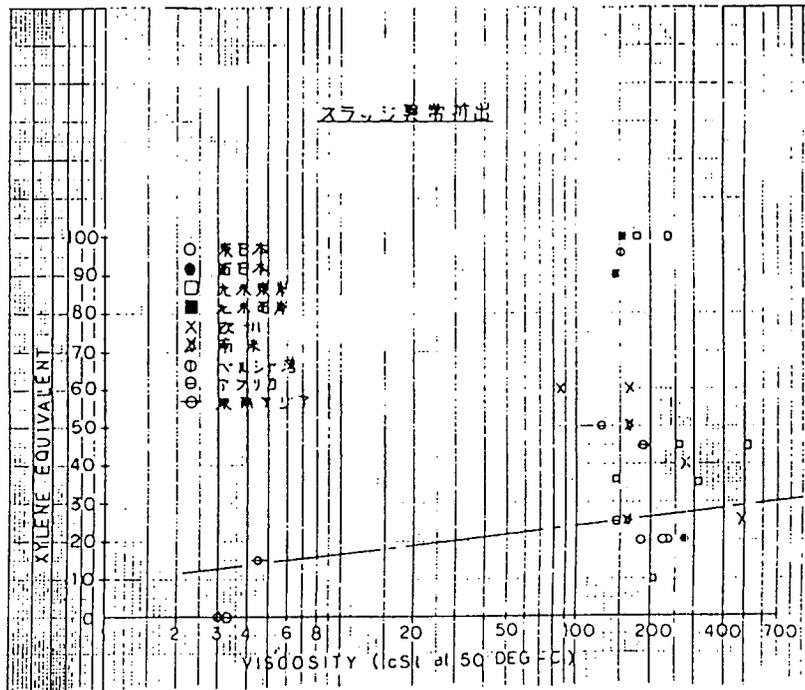


図 3.1.2 - 11

### 参 考 文 献

- 1), 4) 小川, 「ディーゼル燃料油の分析」神奈川機器工業(株)
- 2), 3) 黒沢, 他「最近の船用燃料油の地域別性状と燃焼障害調査」日本船用機関学会誌 第26巻1号
- 5) 小川, 「低質重油による船用機器の障害発生と油成分との関係」日本船用機関学会誌 第27巻12号
- 6), 11) 「船用燃料油の低質化に対する機関, 機器の調査研究報告書」第1報 昭56.3 (社)日本船用工業会
- 7) 「船用機関」郵船機関長会, 機関士会会誌 第50号
- 8) T. C. Wiborg, DNV "Fuel Oil Quality and Fuel Oil System" DNV Technical Report, August 1982
- 9) "Ship Board Experience with Fuel Cleaning System and Selected Fuel of Tomorrow" The Motor Ship, 1983
- 10) 日本石油(株) 中央技術研究所資料

### 3.2 オプティマム燃料油使用時の改善及びコスト評価

オプティマム燃料油は船舶の運航上技術的に価値あるものと考えるが、反面燃料油が良質化することで当然価格上昇が伴うものと予想される。経済活動を行なう船舶にとってはオプティマム燃料油が経済的に成立するかどうか重要な要素であるので、オプティマム燃料油に関する経済性評価を行なう。

#### 3.2.1 オプティマム燃料油使用時の総合改善評価

項目	改善内容	改善見込み機器及び部品
貯蔵・移送系統	<ul style="list-style-type: none"> <li>○混合安定性、貯蔵安定性の改善によりスラッジの異常析出、大量発生が避けられる。</li> <li>○水の混入によるエマルジョンが避けられる。</li> <li>○流動点、粘度の改善でタンク内での流動性が保持し易く、加熱蒸気量が減少出来る。</li> <li>○セッティングタンクへの移送が容易となり、ストレーナ閉塞等のトラブルが減少する。</li> <li>○触媒、スラッジ、水分等による移送ポンプ摩耗、トラブルが減少する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○スラッジ分散剤、エマルジョンブレイカー等の燃料添加剤の必要性が少なくなる。</li> <li>○蒸気発生装置の容量が低減出来る。</li> <li>○移送系統機器のヒートトレースが不要となる。</li> <li>○不測のトラブルによる部品及び労働コストが低減出来る。</li> </ul>
前処理・サービス系統	<ul style="list-style-type: none"> <li>○燃料油前処理の陸上化及び性状の安定により船内清浄の必要性が無くなる。</li> <li>○船内清浄により発生する多量の排出スラッジが無くなる。</li> <li>○FCC触媒のための精密こし器が不要となる。</li> <li>○触媒、スラッジによるこし器の閉塞が少なくなると共に移送ポンプの摩耗、トラブルが減少する。</li> <li>○加熱温度を低減出来る。</li> <li>○サービス系統のベーパーロックが減少する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○清浄機及び関連のタンク、加熱器等の廃止により、設備コスト、ランニングコストが大幅に低減出来る。</li> <li>○サービス系統の加熱器の容量が低減出来る。</li> <li>○系統機器の不測のトラブルによる部品及び労働コストが低減出来る。</li> </ul>
機関・排气系統	<ul style="list-style-type: none"> <li>○FCC触媒、スラッジ、水分、塩分による噴射ポンプの異状摩耗、腐食、固着及び燃料弁の摩耗、固着、噴口拡大等による噴霧不良が改善される。</li> <li>○密度、CCA Iの改善により炭化水素組成が良くなり良好な燃焼が持続出来る。そのため燃焼期間の延長、黒煙発生、排気温度上昇が抑止出来ると共に燃料室温度上昇と未燃カーボン等が原因となるピストンリング及びシリンダライナの異常摩耗が防止出来る。</li> <li>○FCC触媒によるピストンリング、シリンダライナの異常摩耗が防止出来る。</li> <li>○バナジウム、ナトリウムの低減によりピストンクラウン及び排気弁等の高温腐食が改善する。</li> <li>○硫黄の低減によりピストンリング、シリンダライナの低温腐食摩耗が減少する。</li> <li>○過給機によごれ、高低温腐食が低減する。</li> <li>○排気エコノマイザーによごれ、低温腐食が低減する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○噴射系統の整備間隔及び部品寿命が延びる。</li> <li>○燃料室関係部品の整備間隔及び部品寿命が延びる。</li> <li>○ピストンリング、シリンダライナの異常摩耗による運航停止を伴う重大事故が無くなる。</li> <li>○燃焼室内が安定することでシリンダ注油が減少出来る。</li> <li>○過給機の整備間隔及び部品寿命が延びる。</li> <li>○エコノマイザーの洗浄の低減及び酸腐食の関連部品の寿命が延びる。</li> <li>○全般的に不測のトラブルが減少し、関連の部品コスト、労働コストが低減する。</li> </ul>

### 3.2.2 オプティマム燃料油使用時のイニシャルコスト及びランニングコスト評価

#### 1) 計算条件

##### (1) 対象船

出力 30,000PS クラス主機関搭載のパナマックス型コンテナ船とする。

##### (2) 使用条件 (出力×台数×平均負荷率×年間使用時間)

主機関 30,000 PS × 1台 × 80% × 7,000時間

発電機関 1,500 PS × 4台 × 60% × 4,850時間

清浄機 4,400 ℓ/h × 2台 × 4,000時間

##### (3) 燃料油年間使用量

主機関 21,840MT, 発電機関 2,671MT, 合計 24,511MT

##### (4) コスト単価

部品コスト ディーゼルメーカー提供による。

船内労働コスト 混乗船 (1/Eまで日本人) とし, 2,000円/h とした。

ドック工事費 実勢価格とした。

金利 イニシャルコストについて金利 7%, 15年償却とした。

##### (5) 計算コスト

汎用性を考え, すべて主機関定格出力による円/PS・年とした。

##### (6) 関連機器計算条件

表 3.2.2-1 による。

表 3.2.2-1 関連機器改善コスト計算条件

項 目		在 来 燃 料 油 使 用 時	オプティマム燃料油使用時
イニシャルコスト	補助ボイラー	2,500kg/h×1台	2,200kg/h×1台
	エコノマイザー	2,200kg/h×1台	2,000kg/h×1台
	移送ポンプ、吸入こし	40m <sup>3</sup> /h×1台、ヒートトレース付	40m <sup>3</sup> /h×1台、保温のみ
	燃料清浄機、関連装置	4,400ℓ/h×2台	無装備とする
	各燃料加熱器 (6組)	700cSt仕様	380cSt仕様 (加熱温度減)
	ディーゼル発電機関	1,500PS×4台 700cSt仕様	1,500PS×4台 380cSt仕様
ランニングコスト	主機関	平均整備インターバル及び部品寿命実績による部品コスト、労働コストとする	整備インターバル及び部品寿命改善率を設定し、部品コスト及び労働コストを試算
	ニ関	障害防止 (重大) 船舶信頼性調査委員会報告等を参照し、故障発生頻度、保全工数等を推定し、コストを試算	障害発生無とする
ランニングコスト	発電機関	保守整備 主機関と同じ手法とする	主機関と同じ
	部品寿命		
ランニングコスト	清浄機	保守整備 主機関と同じ手法とする	無装備によりコスト無とする
	障害防止	故障発生頻度、保全工数の推定による	
	主機関シリンダオイル	注油実績をベースとする	注油率0.1g/psh (約10%)減少とする
燃料油添加剤	平均使用率 1/2とする	平均使用率 1/4へ減少とする	

2) オプティマム燃料油使用時の改善コスト

前項の計算条件によるオプティマム燃料油使用時の改善コスト計算結果を表3.2.2-2に示す。

但し、本改善コストは計算モデルによるものであり、採用機器の組合せ、使用条件等により差異が発生するので参考数値と考えるべきものである。

表3.2.2-2 オプティマム燃料油使用時の改善コスト

コスト単位：円/PS・年

項 目		改 善 コ ス ト			
		機器・部品コスト	諸経費・労働コスト	計	
イニシャルコスト	補助ボイラー、エコマイガー	9.5	—	9.5	
	移送ポンプ、吸入こし器	0.5	—	0.5	
	燃料油清浄機、関連装置	67.0	—	67.0	
	燃料加熱器（6組）	3.0	—	3.0	
	ディーゼル発電機関	60.0	—	60.0	
	イニシャルコスト合計	140.0	—	140.0	
ランニングコスト	主機関	保守整備	19.9	53.9	73.8
		部品寿命	58.5	—	58.5
		障害防止（重大）	11.4	26.0	37.4
		障害防止（一般）	40.0	7.9	47.9
	発電機関	保守整備	217.5	177.5	395.0
		部品寿命	191.0	—	191.0
	清浄機	保守整備	30.0	16.0	46.0
		障害防止	10.3	0.7	11.0
	主機関シリンダオイル	110.0	—	110.0	
	燃料油添加剤	31.0	—	31.0	
	ランニングコスト合計	719.6	282.0	1,001.6	
	改善コスト合計				1,141.6

3.2.3 総合コスト評価

オプティマム燃料油を使用することで発生する改善コストが、当然予測されるオプティマム燃料油の価格上昇に対してどの程度の吸収率になるものか、以下に検討する。

1) 燃料油コスト

(1) 船用燃料油の実勢取引価格

石油価格は主として原油価格、需給構造、取引量の大小等により変動しており、最近の取引価格は比較的低値水準となっている。

最近の各種燃料油の実勢取引価格を表3.2.3-1に示す。

表 3.2.3-1 燃料油取引価格 (単位: ボンド油 円/MT, 内貨油及び陸上向 円/ℓ)

燃料種類 供給種類	C 重 油				A 重 油
	380cStグレード		180cStグレード		
外地積 ボンド油	(66.0\$) 7,260		(71.5\$) 7,865		(174.0\$) 19,140
内地積 ボンド油	79.0\$ 8,690		83.0\$ 9,130		(234.0\$) 25,740
内貨油	—		15,500		28,000
陸上向 一般C重油 (180cSt)	S-3.0% 15,950	S-2.5% 16,250	S-2.0% 16,750	S-1.5% 17,710	—

注1. 外地積ボンド油価格は1993年11月の米国、欧州、アジア中近東地区各主要3港計9港の平均値とした。

2. 円, \$交換レートは110円とした。

3. 陸上向一般C重油はS-%による種類とした。

(2) オプティマム燃料油価格

石油連盟(重油分科会)殿にオプティマム燃料油の性状検討及びコスト試算をお願いしたが、現状の市販C重油(380cSt)に比べて性状が大幅に変わること、またこのオプティマム燃料油を大量に市販するためには原油ソース、精製設備、石油製品の需給バランス等の根幹にかかわる問題があり、簡単にはコスト試算が困難であるとのことであった。依って、現状オプティマム燃料油の価格は予測し得ない。

2) オプティマム燃料油の許容価格

オプティマム燃料油の価格が予測出来ないので、逆に改善コストより見たオプティマム燃料油の許容価格を試算すると以下ようになる。

なお、改善コストは30,000PSクラスモデル船にて試算したが、主機出力を20,000PS, 10,000PSの場合も併せ検討する。この場合小出力機関は燃料消費率は若干増加するが、部品価格及び労働コストが割高となり改善メリットが大きくなる。オプティマム燃料油使用時の総合コスト評価を表3.2.3-2に示す。

表 3.2.3-2 オプティマム燃料油使用時の総合コスト評価

主機関出力クラス	コスト単位円/ps・年		
	30,000PS	20,000PS	10,000PS
燃料消費率上昇率(%)	ベース	0.8	1.6
在来燃料油コスト	5,932	5,979	6,027
機器改善コスト増加率(%)	ベース	8.0	20.0
機器改善コスト	1,142	1,233	1,370
コスト改善率(%)	19.3	20.6	22.7

注1. 在来燃料油コストは燃料油価格を外地積ボンド価格の7,260円/MT及び燃料油消費量を24,511MT/年として計算した。

2. コスト改善率は在来燃料油コストに対する比率を示す。

〔結論〕

表3.2.3-2によれば、オブティマム燃料油使用時の在来燃料油コストに対するコスト改善率は30,000PSから10,000PSの範囲に於いて19.3%～22.7%になる。外航船がオブティマム燃料油を使用した場合平均的にコスト吸収率は約20%と考えられる。

依って、オブティマム燃料油の価格上昇は約20%までは許容されるものと考えられる。

### 3.2.4 IMOによる大気汚染防止規制に関するコスト調査

#### 1) IMOによるSOx規制の概要

船舶による大気汚染防止に関する規制がIMOに於いて審議されており、MARPOL 73/78 新付属書として1997年頃の発行が予定されている。

燃料油中に含まれている硫黄分が燃焼することで排出される硫黄酸化物(SOx)が規制の対象となっており、現在までの論議では燃料油の硫黄分の上限値(S. Cap)を決めようとする動きが主流であり、最近のBCH23(1993年9月)に於いて、グローバル S. Cap 3.5%, スペシャルエリア S. Cap 1.5%の案が有力となっている。今後この方向でまとまる可能性が強い。

#### 2) SOx規制に関するコスト調査

##### (1) グローバル S. Cap 3.5%, スペシャルエリア S. Cap 1.5%の場合

グローバル航海については、現状の平均S-%と殆ど変わりが無くコストの増加はないものと考えられる。

スペシャルエリア内に於いては、特殊用途の S. Cap 1.5%のC重油より入手性の良いA重油を使用するのが妥当と考えられる。スペシャルエリア内航走時間年間100時間、負荷率40%と仮定すると以下のコスト増となる。

年間A重油使用量：170MT/年

主機定格出力当りのコスト：67円/PS・年

年間燃料油コスト上昇率：1.1%

##### (2) 将来の仮定としてグローバル S. Cap 1.5%となった時

対策としては、燃料油中の硫黄分を制限する方法及び排ガスクリーニング装置を使用してSOxを規制値以内とする方法がある。両方式についての試算コストを表3.2.4-1及び表3.2.4-2に示す。

表3.2.4-1 S. Cap 1.5%のC重油試算価格

出所	試算条件	価格上昇額(\$/MT)	価格上昇率(%)
Tebodin C&E	S3.5→1.0%にて	20~83	(30~125)
INTER TANKO	S3.5→1.0%にて	-	70
CONCAWE	S3.5→1.5%にて	45	(68)

(注) 価格上昇額で公表されたものは表3.2.3-1による外地積平均ボンド油価格にて上昇率を求め( )内に示した。

表3.2.4-2 排ガスクリーニング装置によるSOx対策コスト

	排煙脱硫装置	海水スクラバー装置
試算条件	70%脱硫	90%脱硫
イニシャルコスト(円/PS)	10,000~12,000	3,800~5,000
同償却費(円/PS・年)	1,385~1,660(10年)	920~1,210(5年)
ランニングコスト(円/PS・年)	1,600~2,000	165~250
コスト合計(円/PS・年)	2,985~3,660	1,085~1,460
燃料コスト比(%)	50~62	18~25

(注)燃料油コストは5,932円/PS・年とした。

### 3.3 まとめ

- (1) 本事業の目的に従って策定されたオプティマム燃料油仕様は、燃料油にかかわる問題解決に技術的に価値あるもの  
と考える。

しかし、オプティマム燃料油を大量に供給するためには、石油メーカーとしては原油ソースの選択、精製設備及び製品の需給バランス等の根幹にかかわる問題があり、オプティマム燃料油性状を完全に且つ早期に実現することは困難な状況がある。

従って、オプティマム燃料油実現の可能性については今後の検討課題と考えるが、オプティマム燃料油は外航船にとってはワールドワイドに供給されなければ意味がないので、オプティマム燃料油を実現するためには今後時間をかけて広く関連組織に働きかけて行く必要がある。

- (2) オプティマム燃料油は当然価格上昇を招くが、反面オプティマム燃料油を使用することで機関室機器のイニシャルコスト及びランニングコストが改善される。

試算改善コストは現時点での燃料油取引価格(380 cSt)に対して約20%相当であり、オプティマム燃料油価格としては20%までの上昇はコスト的に許容される。

- (3) IMOによる大気汚染防止のSOx規制については、当面燃料油価格及び運航コストにそう大きな影響を与えないと予想される。

但し、将来グローバル規制として更に厳しい規制が行なわれるようになり、例えばグローバル S.Cap 1.5%となると大きな影響がある。

この場合、硫黄分のみならず、その他の性状についてもオプティマム燃料油仕様を満足する燃料油が広く供給され、燃料油価格上昇分を相当程度改善コストにより吸収出来ることが望ましい。

## 結 言

本研究では、現状船舶の運航傷害の相当割合が、機関プラントにおける使用燃料の低質・不純性に起因していること、石油製品が軽質油を多く取り出すため、船用燃料油がますます多品質で重質化の方向に向かっていること、そのため船内前処理が煩雑となっていること、そして船舶からの排気ガスによる大気汚染問題、特にSO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>の排出規制が国際的に統一した形で決められようとしていることなどから、脱硫過程も含めて船用燃料油の船外（陸上）前処理を検討すべき事態に立ち至っているとして、それについて技術的、経済的検討を実施した。

そのため、現状どこで、どのような船用燃料油が供給・積み込まれているのか、安定性等経時変化はどうか、それらが機関プラントにどのような影響を与えているのか、あるべき信頼度と環境基準を考慮したときオプティマム燃料油はどのような仕様になるのか、それを使用した場合の改善コストはどうか等について調査研究を行い、これまで各章で述べてきたような成果を得た。結果として、オプティマム燃料油のコストについては明確な結論が得られなかったが、本研究において設定した条件下においてはオプティマム燃料油価格としては20%迄の上昇はコスト的に許容されることが明らかとなり、船用燃料油の陸上前処理化の可能性について一定の結論が得られた。

なお、今後に残された主な問題点を列記すると以下のようになる。

燃料油の調査においては、主機直前で大型夾雑物粒子の出現が幾つか見られたが、その原因並びにサービスタンク汚損との関わり等について調査する必要がある。船用燃料油は低質油ではあるが、どんな性状のもでも許容し得るというものではない。近年、外国においてはバンカー内に潤滑油廃油を混入するところがあるやに聞くが、パージ補油時の海水混入防止と共に、バンカー供給側に強く自制を望むところである。

多くの文献、メーカー設計基準、運航実績調査から機関プラント障害に関わる燃料油因子が選出され、一部因子（CCAI、硫黄含有率）については実験的に調べられた。特にCCAIについては、燃焼性の他、有害排ガス特にNO<sub>x</sub>の生成が高CCAIほど高くなる傾向を把握したが、さらに詳細な調査が必要である。

オプティマム燃料油のコストについては、数度石油連盟と話し合いの場を持ったが、現状では石油精製、需給バランス、船用燃料の供給がワールドワイドであることなどから困難であるということになり、結論を得ることはできなかった。

オプティマム燃料油の性状はこれまでたびたび記したように機関プラントの障害の低減と部品要素の信頼性の向上、船内前処理装置及びそれに関わる人件費の削減、環境問題の軽減化という観点から作成されたものであり、広く供給されることが望ましい。

ISO、CIMAC等の燃料油規格の改正を含め、今後関連する組織間においてさらに検討されることが強く望まれるところである。