

日本船舶振興会昭和55年度補助事業
“外航大型船による超粗悪燃料油使用に関する調査研究”

研究資料 No. 344

第185研究部会

外航大型船における超粗悪燃料油使用 に関する調査研究

報告書

昭和56年3月

社団法人

日本造船研究協会

舶用燃料油は今後急速に高粘度化、粗悪化するものと予想されるが、燃料補給を国内のみならず海外でも行うことの多い外航大型船の場合、特に劣悪な性状の燃料を使用することが考えられる。このような超粗悪燃料油はディーゼル機関、関連機器、配管、タンクシステムなどに重大な影響を及ぼすものと考えられるので、本研究は技術的・経済的にもっとも効果的な超粗悪燃料油使用対策を確立することを目的として、その第1年度である本年度は超粗悪燃料油対策の現状調査及び超粗悪燃料油使用のための実験研究として試験油の実験室的製造及び各種燃料油についての熱力学的基礎実験室実験、タンク内・配管内加熱方法に関する模型実験を行った。

はしがき

本報告書は、日本船舶振興会昭和55年度補助事業として日本造船研究協会第185研究部会において実施した「外航大型船における超粗悪燃料油使用に関する調査研究」の成果をとりまとめたものである。

第185研究部会委員名簿

(敬称略、五十音順)

部 会 長	赤 堀 升(東京商船大学)	
委 員	泉 泰智(三菱重工業)	横田 靖夫(船舶技術研究所)
	田居 豊(日本船主協会)	遠藤 嶽(日本海事協会)
	遠藤裕久(三井造船)	遠藤光男(日本钢管)
	柿原 実(三井造船)	越川篤志(石油連盟)
	清水 澄(川崎重工業)	清水 実(川崎重工業)
	高崎 潔(三菱重工業)	橋宗昭(シェル石油)
	出口 一彦(住友重機械工業)	土手亮二郎(石川島播磨重工業)
	轟 淳(日本钢管)	長島孝一(日本船用工業会)
	夏目 修(山下新日本汽船)	原田英雄(日立造船)
	三谷 孝一(日立造船)	宮下尚明(住友重機械工業)
	望月峻右(石川島播磨重工業)	

ワーキンググループ委員名簿

(敬称略、五十音順)

幹 事	宮下尚明(住友重機械工業)	
委 員	泉 泰智(三菱重工業)	榎本 司(住友重機械工業)
	佐々木 耕(三井造船)	杉村浩正(日立造船)
	高崎 潔(三菱重工業)	土手亮二郎(石川島播磨重工業)
	轟 淳(日本钢管)	眞子琢磨(川崎重工業)
	渡利 隆(日本钢管)	

第 185 研究部会昭和55年度報告書（研究資料No. 344）

正 誤 表

頁	行	誤	正
P. 1	上から 5 行目	油（ビスブレーカー ボトム）……	油（FCCタール）及び熱分 解残渣油（ビスブレーカーボ トム）……
P. 9	上から 1 行目	「 <u>自由化</u> 」へ……	「 <u>白油化</u> 」へ……

目 次

まえがき	1
第1編 超粗悪燃料油対策の調査	1
第1章 外航大型船における燃料油性状と燃料油に起因すると思われる障害発生との因果関係の資料調査	1
1. 日本船主協会加盟各社外航大型船に関する調査	1
2. 輸出外航大型船に関する調査	3
第2章 超粗悪燃料油とその使用に関する資料・文献の調査	5
まえがき	5
1. 石油精製法及びその動向	5
1.1 主要国における需要動向	5
1.2 原油の供給動向	7
1.3 石油精製設備の動向	8
2. 重油の性状	10
2.1 精製法の変化に伴う性状の変化	10
2.1.1 中間留分を増産した時の重油性状	10
2.1.2 分解残油を使用した時の重油性状	10
2.1.3 重油規格の見直しによる性状変化	12
2.2 重油の持つ化学的性質	13
2.2.1 アスファルテンによるスラッジ生成	13
2.2.2 ワックスによるスラッジ生成	14
2.2.3 各種燃料添加剤	14
3. 物理的燃料前処理装置	15
3.1 遠心清浄機による物理的前処理	15
3.1.1 高粘度対策	15
3.1.2 高比重対策	16
3.1.3 遠心清浄機による清浄実験	16
3.1.4 FCC触媒粒子対策	16
3.2 遠心清浄機以外の物理的前処理	16
4. ディーゼル主機関と超粗悪燃料油	17
4.1 使用可能な燃料の限界	17
4.2 高比重化による問題点と対策	18
4.3 高粘度化による問題点と対策	18
4.4 残留炭素分の増加による問題点と対策	18
4.5 硫黄分の増加、バナジウム分の増加等による問題点と対策	19
4.6 FCC触媒の混入による問題点と対策	20
5. 燃料油による障害	20
5.1 高比重化により発生する障害	21
5.2 高粘度・高流動点により発生する障害	21

5.3 不純物增加により発生する障害	21
5.4 親和性の悪さにより発生する障害	22
5.5 燃焼性不良により発生する障害	22
6. 粗悪燃料油と潤滑油性能	23
6.1 中和性	23
6.2 耐荷重性	24
6.3 熱安定性	24
6.4 清浄分散性	24
7. 超粗悪燃料油とその使用に関する資料・文献の一覧表	26
 第2編 超粗悪燃料油使用のための実験研究	34
第1章 基礎データ把握のための実験室実験	34
1. まえがき	34
2. 供試油の来歴及び一般性状	34
3. 供試油の熱安定性	34
3.1 n-ヘキサン不溶解分の増大	35
3.2 光学顕微鏡による粒子の増加の観察	35
4. 清浄機で除去されたスラッジの性状	35
4.1 清浄方法	35
4.2 スラッジ量	35
4.3 スラッジの性状	35
4.4 スラッジの比重	36
4.5 スラッジの針入度	36
4.6 スラッジの粘度	36
5. まとめ	36
第2章 各種清浄度の試験油の実験室的製造（燃料油清浄に関する実験）	47
1. 概要	47
1.1 目的	47
1.2 試験の概要	47
2. 試料油	47
2.1 供試燃料油	47
2.2 清浄条件	47
3. 試験装置と方法	48
3.1 フィルター試験	48
3.2 遠心分離試験	48
3.2.1 試験装置	48
3.2.2 解析法	48
3.2.3 最小二乗法	49
3.2.4 密度分布の定義	49
3.2.5 T1型遠心分離機の分離率	50

4. 試験結果	53
4.1 フィルター法の結果	53
4.2 遠心分離法の結果	53
4.3 測定可能な範囲	53
4.4 遠心清浄機の分離率	53
5. まとめ	64
第3章 タンク内・配管内加熱方法に関する模型実験	60
1. 模型実験概要	60
1.1 はじめに	60
1.2 模型実験概要	60
2. 実験装置及び実験方法	61
2.1 実験装置	61
2.1.1 実験装置概要	61
2.1.2 機器要目	62
2.2 実験方法	67
2.2.1 タンク内加熱方法に関する模型実験の方法	67
2.2.2 配管内加熱方法に関する模型実験の方法	67
3. 供試油の性状	67
4. 実験結果とその考察	70
4.1 実験条件	70
4.2 タンク内加熱方法に関する実験結果と考察	70
4.3 配管内加熱方法に関する実験結果と考察	74
5. 結論	76

ま　え　が　き

船用燃料油は、石油需給の逼迫に加え、原油の重質化、石油製品需要の軽質化、石油精製法の変化等に伴い急速に高粘度化、粗悪化するものと予想される。今後の船用燃料油性状の動向を探るとき、国内産の燃料油についても高粘度化の傾向は免れないが、特に燃料補給を国内のみならず海外でも行うことの多い外航大型船においては接触流動分解残渣油（ビスブレーカーボトム）を基材とした劣悪な性状の燃料油の使用を余儀なくさせられることが考えられる。

このような超粗悪燃料油はディーゼル機関、関連機器、配管、タンク等を含む燃料システムに重大な影響を及ぼすものと考えられるので、技術的及び経済的な観点から最も効果的な超粗悪燃料油使用対策を確立するため本調査研究を実施するものである。本調査研究は運輸省船舶局の低質舶用燃料油対策に関する指導調整のもとに日本造船研究協会が第185研究部会を設置し日本船舶振興会補助事業として3カ年計画で実施するものであり、全体計画の概要は次のとおりである。

1. 超粗悪燃料油対策の調査

- (1) 外航大型船（日本船）における燃料油性状と燃料油に起因すると思われる障害に関しアンケート調査を行い、調査結果を解析検討する。
- (2) 超粗悪燃料油とその対策に関する資料文献調査や輸出大型船における燃料油に起因する障害事例とこれの対策に関する調査を行い、これらの調査結果及び前記(1)項の成果ならびに後記の実験研究の成果を検討の上、超粗悪燃料油に対する船内燃料関連機器及びディーゼル機関の要求仕様を作成とりまとめる。

2. 超粗悪燃料油使用のための実験研究

(1) 燃料油の清浄に関する実験研究

実験用小型遠心清浄機を用いて燃料油中の触媒粒子の除去に関する実験及び分離スラッジが清浄性能に及ぼす影響に関する実験を行い、遠心清浄機の清浄性能を明らかにする。

(2) タンク内・配管内の加熱特性及び流動特性に関する実験研究

模型タンク・模型配管実験装置を用いてタンク内・配管内の加熱特性及び流動特性に関する実験を行い、超粗悪燃料油用タンク・配管系設計のための資料を得る。

(3) 燃料油の親和性・安定性に関する基礎実験

燃料油の親和性・安定性を解明するための基礎実験を行う。実験の実施は石油連盟に依頼する。

3. 実船試験方案の作成

外航大型船の低質燃料油使用に関する実船試験方案を作成する。

本報告書は、以上のうち第1年度である昭和55年度調査研究の成果をとりまとめたものである。

第1編 超粗悪燃料油対策の調査

第1章 外航大型船における燃料油性状と燃料に起因するとと思われる障害発生との因果関係の資料調査

1. 日本船主協会加盟各社外航大型船に関する調査

舶用燃料油はますます低質化、粗悪化の傾向にあり、現場における管理者は燃料油管理について多大の労力を費している。

このような状況から昭和51～53年の3年間について日本船主協会機関管理研究会により障害例調査が行われたが、55年度事業としてその後2年間について外航大型船における燃料油性状と燃料に起因するとと思われる障害に関し調査を実施した。

調査は船主協会加盟210社を対象に54年1月1日より55年12月31日までの間ににおいて表1.1.1記載の機器で発生した燃料油に起因すると推定される障害及び使用燃料油等について調査表記入による報告を依頼した。参考までに調査表の様式を表1.1.2に示す。

表1.1.1 調査対象機器

ディーゼル機関(主機、発電機原動機)	
主 ボ イ ラ ー	
貯蔵タンク(二重底、セッティング、サービスタンク)	
移 送 ポ ン プ	
清 淨 機	
加 热 器	
補助ボイラ、排気缶	
ス ト レ ー ナ ー	
その他影響が出た機器	

表1.1.2 燃料油に起因すると推定される障害及び分析調査表

会社名 _____
担当者職・氏名 _____
TEL _____

項目	回答者	分析項目	分析結果
船種		A 業者提出 状況	
主たる航路		A 分析結果	
主機型式			JIS K2249
主機用潤滑油			
障害発生時の平均負荷			JIS K2283
障害発生機器・型式・容積			
障害発生・発見年月日			JIS K2270
助燃剤投入の有無・投入率・銘柄			JIS K2541
補油港	A B	水 分 %	JIS K2275
補油年月日		水 泥 分 %	JIS K2603
供給業者		灰 分 %	JIS K2272
銘柄		総発熱量 Kcal/kg	
精油所		キシレン当量	
原油原产地		アニリン点 °C	
混合した場合の比率		アスファルテン %	
燃料油の管理状況		バナジウム ppm	
タンク管理	1.セッティングタンク掃除 年 月 / サービストンク掃除 年 月 Nヘブタン不溶分 %		
使用油温	セッティングタンク °C / サービストンク °C / ピッター出口 °C / FO井戸口 °C	シリカ ppm	
ストレーナー	最終段のメッシュ Mesh	アルミニウム ppm	
清淨機	型式 / 容量 l/h / 台数	FCC触媒の有無	
清淨諸元	Clarifier 清浄 2.使用調節板 φ 3.通油量 l/h/台		
"	4.通油速度 C 5.ブローアンターバル br		
障害の内容(次の該当する項目を○で囲む)	障害の状況詳細及び対策		
スラシジ異常折出、清浄不能、ストレーナー閉塞、移送困難 固着(F.O.PP等)、異常摩耗(F.O.PP等)、ベーベロック、 燃焼不良、燃焼装置堆積、スカッフイング、加熱器閉塞、 サージング、腐食(),異常摩耗(ライナーリング等)、 ブローバイ、その他			

調査表を集計した結果、22社、152件の回答があり、これら資料を障害発生機器別、障害内容別、障害発生時の燃料油種別及び助燃剤使用有無別に分類した結果はそれぞれ表1.1.3、1.1.4、1.1.5、1.1.6のとおりである。

表1.1.3 障害発生機器別件数(計158件)

主 機	80件(51.3%)	ボイラー	2件(1.3%)
発電機	10件(6.4%)	F O 管系	3件(1.9%)
清浄機	24件(15.4%)	F O ブースターポンプ	1件(0.6%)
A/Cブレンダー	3件(1.9%)	F O 移送ポンプ	1件(0.6%)
ストレーナー	16件(10.3%)	F O タンク	1件(0.6%)
F Oヒーター	7件(4.5%)	その他の	8件(5.2%)

注) 報告件数と機器別件数に差があるのは複数の機器について報告された事例があるためである。

表1.1.4 障害内容別件数(計215件)

スラッジ異常析出	40件(18.6%)	燃焼残渣堆積	9件(4.2%)
清浄不能	16件(7.4%)	サージング	7件(3.3%)
ストレーナー閉塞	39件(18.1%)	スカッフィング	1件(0.5%)
移送困難	5件(2.3%)	ライナー異常摩耗	3件(1.4%)
F Oポンプ固着	19件(8.8%)	リング異常摩耗	9件(4.2%)
F O弁固着	4件(1.9%)	ブローバイ	5件(2.3%)
F Oポンプ異常摩耗	7件(3.3%)	F Oヒーター閉塞	7件(3.3%)
ベーパーロック	8件(3.7%)	腐食	2件(0.9%)
燃焼不良	34件(15.8%)		

表1.1.5 障害発生時の燃料油分析結果報告件数(計178件)

A重油	22件(12.4%)
C重油	156件
150 cSt未満	33件(18.5%)
150～200 cSt未満	64件(36.0%)
200～300 cSt未満	39件(21.9%)
300 cSt以上	20件(11.2%)
	(87.6%)

表1.1.6 助燃剤使用有無別件数(計152件)

有	62件(40.8%)
無	90件(59.2%)

2. 輸出外航大型船に関する調査

過去3年間に発生した燃料油に起因する障害事例の調査を各造船会社において行い64隻、78件のデータを収集した。調査は外國船主向け輸出外航船を対象とし航路、塔載燃料の性状、障害の内容・原因及びその対策について行ったが、造船会社での調査には自ら限界があり、運航側の協力が必要である。56年度はさらに障害事例の調査・解析を進め、統一された書式に従って記述しとりまとめを行う予定である。

ワーキンググループメンバーの造船7社が55年度に収集した粗悪燃料油による障害事例を分類すると表1.1.7のとお

りである。

表 1.1.7 障害事例の分類（計78件）

主機FOポンプスティックまたはプランジャー及びバレルの異常摩耗	28件(35.9 %)
ピストンリング摩耗または切損、リング溝の異常摩耗	19件(24.3 %)
シリンドライナーの異常摩耗	11件(14.1 %)
主機入口燃料こし器の目詰り	8件(10.2 %)
過給機ノズル・ブレードの異常汚損のためサージングに至ったもの	4件(5.1 %)
主機ピストン頂部の焼食	2件(2.6 %)
主機ノッキング発生	2件(2.6 %)
主機FOブースターポンプベアリング損傷	1件(1.3 %)
主機Pmax上昇	1件(1.3 %)
主機FO高圧管亀裂	1件(1.3 %)
清浄機ボウル異常汚損	1件(1.3 %)

第2章 超粗悪燃料油とその使用に関する資料・文献の調査

まえがき

本報告書の頭書に述べた主旨に沿いSR-185委員会の下に作業グループを編成し、超粗悪燃料油とその使用に関する調査研究を進めることになったが、本編ではディーゼル主機関及び船内燃料油機器に対する要求仕様の調査とその確立を目的とした昭和55年度分の調査結果の中間報告を行なう。

本研究は3ヶ年を目途に行なうことになっており初年度（昭和55年度）は先ず本研究の主旨に沿って既存の資料・文献をあらゆる分野に亘って収集することから始めた。

その資料および文献の数は重複もあったが約100件、頁数にして1300頁にのぼった。即ち粗悪油の動向から始まり石油精製法、重油の性状等油そのものに関するもの、燃料油の処理、粗悪燃料油のディーゼル機関への影響、潤滑油性能、燃料油による障害等と多岐に亘っている。

収集量が厖大な量にのぼったため、委員の分担により本研究の目的に關係するもののみ選別した。選別の基準をディーゼル主機関及びその関連機器を含む燃料油システムが、将来燃料油として出て来るであろうと思われる超粗悪燃料油に対してどうあるべきかという点においていた。即ちディーゼル主機プラントに主眼を置きボイラープラント等は対象外とした。これ等の資料・文献を選別したあと下記の分担にてその内容の要約を行ない内容別に次の如く分類しSR-185部会の55年度報告としてまとめた。

1. 石油精製法及びその動向（三井造船）
2. 重油の性状（日本鋼管）
3. 物理的燃料前処理装置（三菱重工）
4. ディーゼル主機関と超粗悪燃料油（住友重機）
5. 燃料油による障害（川崎重工）
6. 粗悪燃料油と潤滑油性能（日立造船）

昭和56年度の主要な作業は本年度に収集した資料・文献をもとに燃料油に起因すると考えられる障害をあらゆる角度から調査し、その因果関係を追求することである。

1. 石油精製法及びその動向

1.1 主要国における需要動向

『世界はあと2、3年で石油不足となる』 これは国際エネルギー機関（IEA）の予想である。これまで公表された国際機関のどの予測よりも衝撃的なものであった。この予想によると需給見通しは表1.2.1に示され

表1.2.1 IEAによる自由世界の石油需給見通し

年		1976	1985	1990	2000
需 要		45.9	64.2	74.5	93.0
供 給	OPEC地域	12.0	16.5	15.5	14.0
	非OPEC地域	5.5	8.9	11.5	13.0
	OPEC生産期待量	28.4	38.8	47.5	66.0
	OPEC生産可能量	28.4	35.5	38.0	38.0
	小計	45.9	60.9	65.0	65.0
需給ギャップ			▲3.3	▲9.5	▲28.0

単位：100万バレル/日、▲印はマイナス

る如く1985年までの短期見通しと、1985～2000年までの中・長期見通しに分れている。短期見通しでは、1985年には需要6,420万バーレル／1日に対して供給6,090万バーレル／1日となり1日当たり330万バーレルの供給不足となる。又、長期見通しでは2,000年には1日当たり2,800万バーレルの需給ギャップが生じるということになる。

現在の我が国を含む主要国の石油製品別需要構成は表1.2.2の様になっている。

表1.2.2 主要国の石油製品の需要構成

(単位 Wt.% / 1976年)

油種構成 Wt.%	日本	米国	英國	西ドイツ	フランス	
LPG	6.1	1.9	1.6	2.5	2.6	1)
ガソリン	11.4	41.5	21.1	16.6	16.1	
ナフサ	12.4	3.7	6.7	3.9	4.5	
灯油およびジェット	9.3	6.9	8.3	1.8	-	
軽油	7.0	12.1	7.0	8.7	7.3	
留出燃料油	2.8		17.6			
中質重油	41.8	19.0	5.3	39.0	30.8	2)
重質重油			27.9	19.3	31.5	
その他	4.2	5.9	4.5	8.2	7.4	

・欧米では一次エネルギーへ天然ガスや石炭が比較的多く使用され、石油製品ではガソリンなど軽質留分の需要比率が高い。これらの国では重質留分を処理して付加価値の高い軽質留分の収率を増加させる「白油化」の傾向がみられる。

・アメリカと共に世界で重油と留出油の需給バランス予想をみると、現在の精製方法を維持する限り、1980年代に入ると軽留出油不足が生じる。この理由は以下の点にあると考えられる。

- ① 生活内容の向上等による航空機・自動車・暖房用などの軽質油需要が大巾に伸びる。
- ② NOx規制強化によるB・C重油から軽油・A重油への転換。
- ③ 陸上分野における代替エネルギー(C重油からLNG、原子力、石炭等へ代替)への転換。

重油の需要減少・軽質油の需要増加および輸入原油の重質化という現状の傾向が続けば、近い将来重油が過剰となり、軽質石油製品とりわけ中間三品が不足すると予想される。

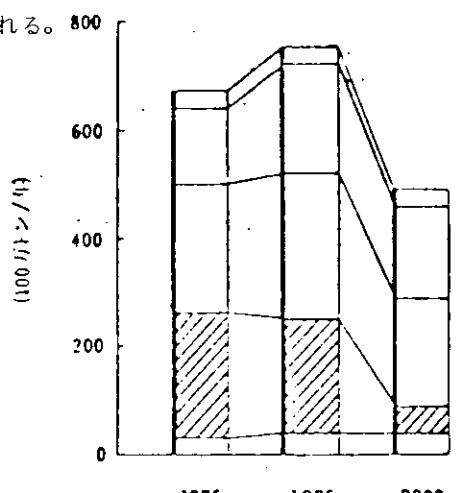


図1.2.1 ヨーロッパ(OECD)の石油需要量予測

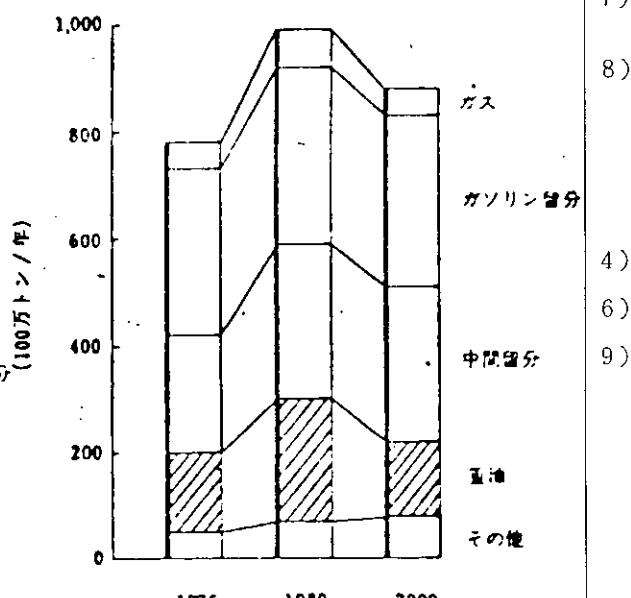


図1.2.2 アメリカの石油需要量予測

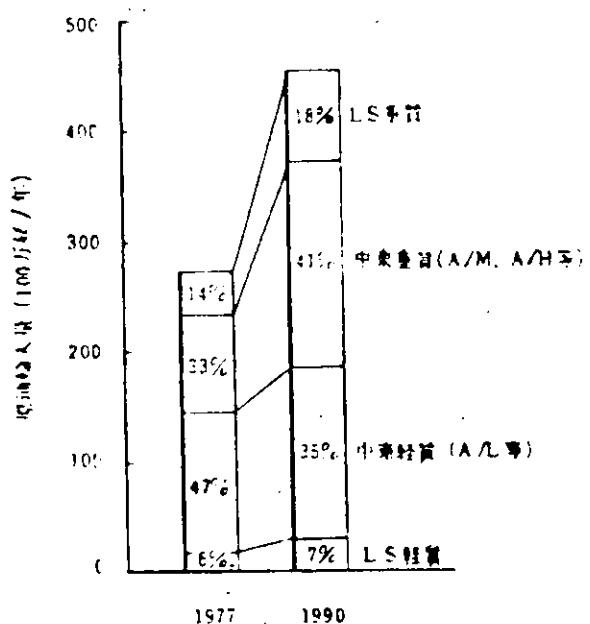


図 1.2.3 わが国の原油長期輸入動向
(日本エネルギー経済研究所推算)

表 1.2.3 および表 1.2.4 は欧州 (OECD諸国) 及び我国の石油製品別需要予測である。

表 1.2.3 欧州における需要予測
(製品別百分率)

	1975	1985	2000
石油ガス	2	3	3
ガソリン	20	26	39
軽質蒸留油	36	38	45
重質燃料油	37	28	8
その他	5	5	5

表 1.2.4 石油製品内需構成比見通し
(単位 %)

油種	昭和48年度	昭和53年度	昭和58年度
揮発油	11.6	14.3	13.8
ナフサ	15.5	14.8	15.5
灯油※	10.1	12.0	12.6
軽油	7.2	8.5	9.0
A重油	8.2	9.6	9.6
B重油	5.5	3.0	2.1
C重油	41.9	37.8	37.4
重油計	55.6	50.4	49.1

* ジェット燃料を含む

1.2 原油の供給動向

- 地中に埋蔵されている原油は、回収が進むにつれて一般に重質化していく傾向にあり、世界的に新たに軽質原油の大油田が発見されない限り、重質原油の生産比率が高くなる。
- 即ち、今後供給原油は一層重質化していくことが予想され、それに伴って重油の性状は重質化傾向をたどる。
- 生産される原油が重質化傾向にあり、軽質原油を購入する場合に、重質原油も買い取らねばならない抱き合せ販売の可能性が強くなり、また輸入ソース多角化のため中国原油の輸入量増加も考えられる。

図 1.2.4 から原油別の各油種の得率及び需要を比較すれば、現在の平均的な需要は、イラニアンライト等の中質原油である。予測期間の後期には、常圧蒸留ではブレント(北海)等の軽質原油でも十分な軽質油を供給できないことが知れる。アラビアンヘビー等の重質原油では、需要と供給における差が一層大きなものとなる。

需要は軽質化していくのに、供給される原油は重質化していくことから、このアンバランスが一層拡大して行くことが予想されている。

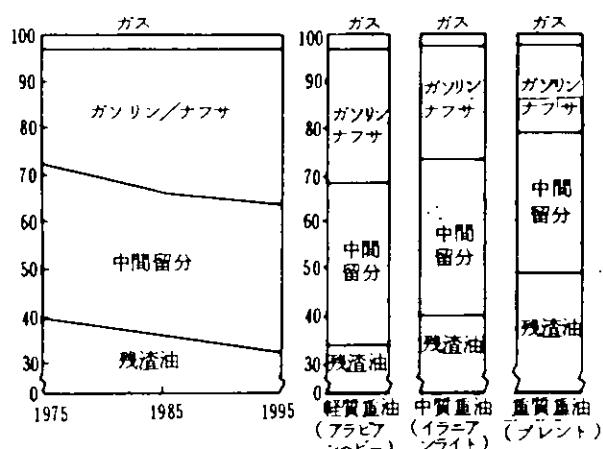


図 1.2.4 油種別需要予測と油種別得率

1.3 石油精製設備の動向

- やがて来る世界的原油不足は石油精製業者に対して原油から得られる製品をできるだけ付加価値の高いものへ転換することと、それらの得率を上げる努力を要求する。
- 重油における需要と供給の差が大きくなり、需要は軽質化していくのに供給される原油は重質化していく。
- 需要パターンの軟質化に対応するためには直留品だけでは足りず、ガソリン留分を増やすには減圧軽油の接触分解が必要になるし、中間留分の増産には残渣油の接触分解および熱分解（コーラ・ビスブレーカ等）が必要になる。
- ガソリン留分の需要は、主に減圧蒸留残油の接触分解により対処され、中間留分の需要はビスブレーキングを含む接触分解や熱分解により対処されるため、将来の需要はこれらの精製方式の組み合せにより対処される。
- 欧州では最近ガソリン需要の伸びが大きく重油需要の伸びが鈍化のためFCC建設の意欲が強く、今後かなりの能力の熱分解・接触分解および水素化分解装置の新設ないし増設の計画が検討されている。

表 1.2.5 に我が国及び欧米主要国の石油精製設備構成の現状を示す。

表 1.2.5 主要国の石油精製設備構成

精製設備構成 MB/D	日本(%)	米国(%)	英国(%)	西ドイツ(%)	フランス(%)
常圧蒸留装置	5.940 (100)	17.619 (100)	2.911 (100)	3.081 (100)	3.436 (100)
接触分解※1 (FCC)	3.43 (3.8)	1.957 (2.82)	1.85 (6.3)	1.05 (1.31)	1.72 (5.0)
水素化分解※2 (Hydrocracking)	1.2 (0.2)	9.13 (5.2)	4.4 (1.5)	1.0 (0.3)	1.4 (0.4)
熱分解装置 ビスブレーカー (Visbreaker)	0 (0)	1.86 (1.1)	4.3 (1.5)	1.50 (4.9)	2.9 (0.8)
熱分解装置 デイリードコーカー (Delayed Coker)	5.6 (0.9)	9.45 (5.4)	-	1.5 (1.5)	-
熱分解装置 フルイドコーカー (Fluid Coker)	2.1 (0.3)	1.25 (0.7)	-	-	-

比率(%)は常圧蒸留装置に対する比率をあらわす。

※1 ※2 接触分解及び水素化分解装置は、減圧軽油を分解する装置であり、
残油の分解は接触分解装置が米国で基盤的であるのみである。

出所：重質油処理技術欧米調査団報告書（昭和53年12月）

- 「自由化」への需要構造の変化と輸入原油の重質化という相反する傾向に対処するため、1980年代には各種分解装置の設備能力が大幅に増強すると推定される。
- 歐州における精製装置別精油能力の推移予測を表1.2.6、表1.2.7に示す。

表1.2.6 ヨーロッパにおける分解装置能力 表1.2.7 西ヨーロッパの精油能力の推移
(百万トン/年) (万バーレル/日)

	1977	新設・増設の計画	1985
接触分解	53	25	78
熱分解	35	14	19
水素化分解	6	3	9

	1977年	1982年
原油蒸留	1687	1590
接触分解	86	127
ビスブレーキング	20	39
熱分解	22	31

- メキシコでも最近ビスブレーカーと組み合せたFCCの新設計画が多くみられる。
- 1979年10月時点の自由世界(アメリカを除く)の精油能力増加計画を表1.2.8に示す。

表1.2.8 RESID UPGRADING EXPANSIONS

FREE FOREIGN REFINING

OCTOBER 1979

Capacity TBD

	Catalytic Cracker	Thermal Cracker	Visbreaker
West of Suez			
Europe	366	8	400
Africa	21	-	4
South America	188	-	152
Sub. Total WOS	575	8	556
East of Suez			
Asia	121	5	63
Pacific	27	-	-
Middle East	-	-	125
Sub. Total EOS	148	5	188
Total WOS/EOS	723	13	744
MEMO Estimated Percentage Increase over 1978 Capacity	26 %	2 %	61 %

- 我国でも通商産業大臣の諮問機関である重質油対策懇談会において、昭和54年3月29日「重質油対策に関する最終とりまとめ」で、以下が述べられている。

長期的対策……石油製品の需要構造に見合った中間留分、増産型の重質油分解設備をバランスよく配置するため、昭和60年頃を目途に重質油分解技術の確立、コークス・アスファルト等分解設備からの副生品の利用技術の確立を計る。

補完的短中期的対策……・重油の灯・軽油の混合比を減らす。

・電力の生焚き原油を重質原油や重油に転換する。

2)

2)

7)

7)

8)

- ・過剰重質残渣留分を輸出用バンカーオイルに使用する。

2. 重油の性状

2.1 精製法の変化に伴う性状の変化

産地別に原油の性状は異なるが(資料No.8, 14参照)今後生産される重油の性状は以下の如く変化すると予測される。

2.1.1 中間留分を増産した時の重油性状

- ・ 軽留出油不足に伴い重油に配合する軽質油に量的制限が加えられること、および直留方式の残渣油(重油)中の軽質留分を蒸留し重質化する(残渣油の収率を下げる)ことにより、高粘度化する。 1)
8)
12)
4)
10)
- ・ 原油から軽質油分が蒸留されればされる程、あとに残る残渣油中には、不純物の濃度が増すことになる。 8)
- ・ 軽質留分の配合を少なくした分だけ、残炭分・窒素分・灰分等が増加するとともに流動点も上昇する。 8)

2.1.2 分解残油を使用した時の重油性状

(1) 一般的な特徴

- ・ 一般に比重・粘度・残留炭素分・アスファルテン分が高い。 2)
3)
- ・ 炭素分が多くC/H比が高くなるため、残渣油の混合割合が増大すると比重がより大となる。 2)
- ・ 常圧残渣油に比べ濃縮度が高くなるため灰分が増える。 2)
4)
6)
- ・ 貯蔵安定性・熱安定性の点で劣るため、スラッジ生成の傾向が強まり、軽油やA重油で希釈した場合ある混合比の範囲でスラッジが増加することがある。 2)
4)
6)
- ・ 分解残油をブレンドして燃料油を製造する場合、粘性の低い方が安定性の悪い場合がある。 10)
- ・ 分解残油を重油基材として使用する場合、希釈剤としてかなり強い留分が使われ、製品引火点は低くなる。 6)

(2) 热分解(ビスブレーキング・コーティング)残油を含む重油の特徴

- ・ C/H比の高い組成物が生成され、その結果残炭分が多くなる。 10)
- ・ ビスブレーカ残油は一見サラサラしているが重質のものが多く含まれる。 7)
- ・ 热分解残渣中ではアスファルテンや残炭が増加するが、それ自身ではアスファルテンの沈殿にはつながらない。 10)
- ・ 热分解軽油や残油を混合基材とする重油は、不飽和成分を多く含み热安定性に劣る。 6)
- ・ 热分解残渣油をベースとした燃料油は比重大・残炭分アスファルテン分・硫黄分含有量が大となる。 1)

(3) 接触分解残油を含む重油の特徴

- ・ 接触分解に使用される触媒(一般に数十~数百ミクロンの粒子サイズのアルミニウムシリカ系のもの)が残渣中に数十~数ミクロンのものが数百~数千PPMの範囲で含まれてくる。 4)
11)
- ・ 触媒としてシリコン酸化物も用いられ、これが多量に含まれてくる。 10)
- ・ 表1.2.9に実船より採取されたFCC油の不純物含有率および表1.2.10にフランスのFCC装置から採取された船用重油のサンプルを示す。 13)
14)

表 1.2.9

Impurities (ppm)	Iron	Nickel	Sili- cium	Alum- inium	Sodium	Vana- dium
Fuel No. 1 (Hamburg)	13	15	8	20	37	60
Fuel No. 2 (Houston)			69	<1	33	50

15)

表 1.2.10 Samples of marine fuels coming from French FCC refineries

Impurities (ppm)	Iron	Nickel	Sili- cium	Alum- inium	Sodium	Vana- dium
Refinery No. 1 (FCC)	3	19	5	1	13	55
Refinery No. 2 (FCC)	12	19	2	1	8	70
Refinery No. 1 (classic)	7	19	2	1	15	65
Refinery No. 2 (classic)	52	34	2	1	60	120

15)

次に、各精製プロセスの違いによる残渣油の主要性状の対比を表 1.2.11～表 1.2.13に示す。

表 1.2.11 Characteristics of residuals from refinery processes

Process:	Straight Run Residual Present	Future	F.C.C.	Vla-Breaker
Characteristics				
Density	0.96-0.98	0.96-0.98	0.98-1.1	0.98-1.1
Viscosity cSt at 50°C	230-370	250-400	1 000	3 000
Pour Point °C	10-24	1-40	20-30	-
Carbon Residue % wt.	8	10	-	12-17
Asphaltenes % wt.	4	6	-	10-20

16)

17)

表 1.2.12 CHARACTERISTICS OF FUELS USED ON A TEST ENGINE

CHARACTERISTICS FUELS	STANDARD BUNKER FUEL	DEGRADED BUNKER FUELS			COAL TAR
		FCC	不溶 油 (化油精)		
SPECIFIC GRAVITY 15/4°C	0.9602	0.9700	10049	10366	0.9681
VISCOOSITY (Cst)	at 50°C	142.26	566.7	775.5	124.0
	at 98.9°C	18.89	52.15	52.7	14.1
POUR POINT (°C)	-7.5	-10	-2.5	-5	-10
RESIDUAL CARBON (wt%)	9.94	13.78	18.19	17.65	10.02
SULPHUR (wt%)	3.04	2.43	3.45	3.00	2.14
ASH (wt%)	0.01	0.07	0.06	0.0491	0.05
ASPHALTENES (wt%)	4.54	8.2	9.57	7.91	2.66
ELEMENTARY ANALYSIS C/H (wt% ratio)	7.63	7.85	8.34	9.52	7.83
	N (wt%)	0.45	0.71	0.69	0.48
HEXANE INSOLUBLES(wt%)	6.35	11.01	11.89	11.50	3.32
VANADIUM (ppm)	63	380	135	87	26
CALORIFIC VALUE (NET) (Kcal/kg)	9680	9660	9550	9450	9660
COMPATIBILITY TEST(ASTM) WITH CETANE (D-278)	1	1	5	5	1
FLASH POINT °C (PM)	116	79	75	73	97
					102

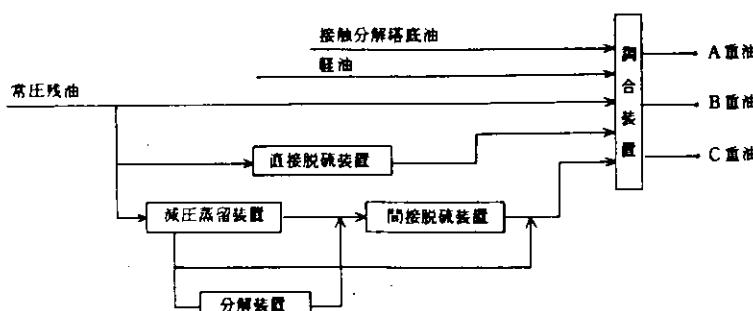
18)

表 1.2.13 アラビアンメディアム残さ油の性状例

	常圧残さ油	減圧残さ油	ビスブレーカー残さ油
比重 (60°F)	0.9719	0.9782	0.9973
粘度 cSt (50°C)*	(330)	(590)	(490)
(180°F)	64.6	98.8	86
(240°F)	21.7	29.8	26.9
(280°F)	12.9	17.6	14.8
残留炭素 %wt	10.7	13.7	20.0
アスファルテン %wt	4.0	4.9	10.7
ヘプタン不溶分 %wt	4.1	5.2	12.1
ペンタン不溶分 %wt	8.5	9.5	15.8
HFT スラッジ %wt	0.05	0.05	0.15
灰 分 %wt	0.01	0.02	0.02

2)

又、図1.2.5、表1.2.14に重油製造の系統図と重油の調合基材そのものの性状を示す。又、表1.2.15に精製残渣そのものの性状を示す。これ等から重油の極限性状が推察出来る。



14)

図 1.2.5 重油製造の系統図

表 1.2.14 重油の調合基材とその性状

	比重	硫黄分 wt%	粘度 cSt	残炭分 wt%
スイート原油の軽油留分	0.82	0.02	3	0
サワー原油の軽油留分	0.84	1.00	3	0
スイート原油の常圧残油	0.89	0.18	110	4.3
サワー原油の常圧残油	0.95	3.00	145	7.3
間接脱硫油	0.93	1.51	91	7.3
直接脱硫油	0.91	0.50	60	4.0
接触分解塔底油	0.98	0.60	20	0.8

7)

13)

表 1.2.15 精製残渣の主要性状

	減圧蒸留残渣		ビスブレーカー残渣			
	アラブ ライト	アラブ ヘビー	中度精製		高度精製	
			アラブ ライト	アラブ ヘビー	アラブ ライト	アラブ ヘビー
比重 15/40°C	1.014	1.038	1.012	1.032	1.015	1.031
粘度 cSt @ 210°F	73.5	3.875	181	473	122	38.2
残留炭素 Wt%	17.5	21.5	18.4	20.0	20.7	21.5
アスファルト分 Wt%	5.7	11.4	10.1	15.3	11.3	18.4
硫黄分 Wt%	4.5	5.2	4.6	5.4	4.4	5.6

2.1.3 重油規格の見直しによる性状変化

舶用燃料油が将来重質化する事が不可避であるという背景から、英國規格標準協会（BSI）は燃料規格の変更案をISOの総会に提案する予定である（表1.2.17）。一方国際燃焼会議（CIMAC）でも主に使用者側の立場から燃料規格制定の作業を急いでいる。我国においてもJISの改正作業が進められている。

表 1.2.16 CIMAC-W.G. (Future Fuels)

船用ディーゼル機関用燃料規格案

粘 度	cSt/50°C	40 (min 15)	80	180	380	500
比 重	15°C max	0.970	0.980	0.980	0.990	0.990
引 火 点	C min	60	60	60	60	60
流 動 点	C max	0	30	30	40	40
残 炭	wt % max	8	8	15	18	22
(コンラドソン)						
アスファルテン	~	4	6	6	10	12
硫 黄	~	3.5	4.0	5.0	5.0	5.0
灰 分	~	0.07	0.1	0.1	0.1	0.1
SHF	~	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
水 分	~	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0
V	ppm max	100	150	300	400	600
Na	~	25	50	50	50	50
Si	~	50	50	50	50	50
Al	~	30	30	30	30	30
ディーゼル指数		35	30	30	25	25

注: (1979年11月5日開催のCIMAC-W.G.で修正した分も含む)

表 1.2.17 BSI-W.G. (PTC 2)

船用ディーゼル機関用燃料規格案(4 th Draft)

粘 度	cSt/50°C	30	80	120	180	380	420	460	600	700
比 重	15°C max	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
引 火 点	C min	60	60	60	60	60	60	60	60	60
流 動 点	C max	30	30	40	40	40	40	40	40	40
残 炭	wt % max	16	18	18	22	22	22	22	22	22
アスファルテン	~									
硫 黄	~	3.5	4	4	5	5	5	5	5	5
灰 分	~	0.1	0.15	0.15	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
全 ス ラ ッ ジ	~	0.1	0.15	0.15	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
水 分	~	0.5	0.8	0.8	1	1	1	1	1	1
V	ppm max	300	400	500	600	600	600	600	600	600
Na	~									
混 合 安 定 性										

2.2 重油の持つ化学的性質

燃料油は、モールテンとよばれる油状媒体にアスファルテンが分散したものと見なしうる。燃料油のうち、n-ヘブタン(パラフィン系溶剤)に可溶なものをモールテンといい、n-ヘブタンには溶けないがベンゼンに溶解するものをアスファルテンという。また、n-ヘブタンおよびベンゼンのどちらにも溶けないものを非炭素性物質といい、これは砂塵、鉛、その他である。

アスファルテンはC/H比が非常に高い複雑な高分子化合物で、少量の硫黄、酸素、チッ素などを含有している。アスファルテンは、燃料油中でミセル構造をとっていると考えられる。ミセルは、アスファルテンの核をわずかにC/H比の低い芳香族炭化水素が帯状にとり囲んだものと考えられ、帯の外に向うにつれC/H比が減少し、最外帯でモールテンのC/H比とはほとんど等しくなって平衡状態になっている。

2.2.1 アスファルテンによるスラッジ生成

この平衡が破れると、一部のアスファルテンは凝集して沈殿スラッジとなる。混合などによりモールテン

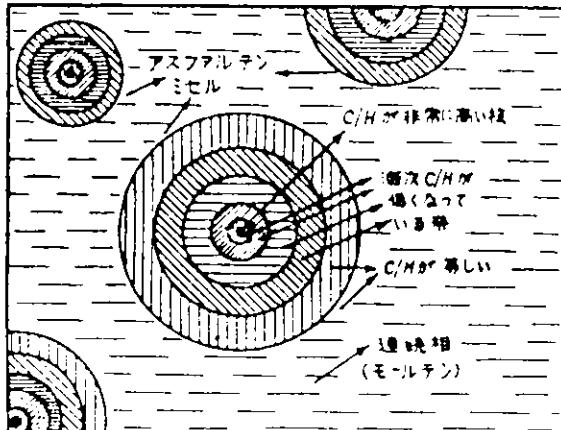


图 1.2.6 アスファルテンミセルの仮想図

のC/H比が減少すると、モールテンとアスファルテンミセルのC/H比が異なったものとなり、平衡は破られる。また、熱を加えると、アスファルテンミセルとモールテン間の吸着力が変化し、アスファルテンが凝集してスラッジとなる。アスファルテンミセル・モールテン系による安定性の余裕が無い燃料油の場合は平衡が微妙に保たれているため、外的条件がわずかに変化しても安定が崩れ、貯蔵中にスラッジを沈殿するようになる。

貯蔵安定性と熱安定性とはほとんど差異が無く、熱は単にスラッジの沈殿過程を加速する働きをする。分解温度(約300°C ~ 350°C)に達すると、より解膠しにくいアスファルテンが生成して平衡が破れる。これを防ぐには、加熱器の負荷を1.5 W/cm²以下とする必要がある。

直留残渣油は十分に解膠したアスファルテンを含有しており、かなりの希釀力を持っている。熱分解残渣油の場合は、分解度が進むにつれアスファルテンのC/H比が大きくなり解膠しにくくなるが、同時に、油状媒体は芳香族分が多くなり、より強い解膠力を持つようになる。

希釀用原料油としての価値はアスファルテンに対する解膠力の大小により定まり、芳香族軽油が最大で、パラフィン系のものは最小である。分解軽油は一般にC/H比が高いため比較的アスファルテンに対する解膠力が強く、希釀用原料として好ましいものである。

留出油と残渣油を混合して燃料油を製造する場合は、留出油を残渣油に加えるようにする。混合安定性をテストする方法としてASTM D.2781-72がある。また、残渣油のキシレン当量と軽質希釀油のアニリン点を測定することにより、目安とすることができます。個々については安定な2種類の燃料油を混合するとスラッジを発生するがあるので、タンクを別にして、混合しないようにすることが望ましい。

2.2.2 ワックスによるスラッジ生成

ワックスは、モールテン中に存在する重鎖あるいは側鎖パラフィン系炭化水素の系列のうちで、室温で固体のものであり、燃料油にはこの系列の全領域にわたる炭化水素が含まれていると考えられる。

燃料油中に溶解されているワックスは、油温が下がるにつれ固体となって析出しあはじめる。この時の温度は、燃料油の分子量、ワックスの含有量およびその融点により異なるが、温度が低い程、ワックスの析出量は多くなる。

ワックス析出によるトラブルは、燃料油に含まれる全ワックス量によるよりも、むしろ貯蔵中に析出するワックス分の量と結晶形による。低融点ワックスは大きな結晶を形成し、粗いスラッジを生成するようになる。

一方、高融点ワックスは小さな結晶で、油中に細かい粒状のスラッジ、または編目構造ができる。更に、高融点ワックス結晶の存在下で低融点ワックスが析出する場合、その結晶は細かい編目構造をなしており、細かい粒状スラッジを生成する。この様な細かいワックス結晶の生成機構は、スラッジの発生のみならず、燃料油の流動性を阻害し流動点を高くする。

燃料油を適当な温度に加熱すればワックスは溶解されるが、細粒状スラッジの生成を抑制するには、温度変化のくり返しを避ける。

2.2.3 各種燃料添加剤

貯蔵の問題には腐食、スラッジの沈殿、ワックス、不整合、水分などがある。燃焼中および燃焼後の問題には、硫黄による低温腐食およびナトリウムやヴァナジウムによる高温腐食、ならびにススの付着などがある。これらの問題に対して種々の添加剤が用意されている。

• 油水分離剤

エマルジョンとして存在する油中の水分子を拡大・分離する目的で添加する。界面活性剤を溶剤で希釀したもののが用いられる。

19)

20)

21)

22)

- スラッジ分散剤
油中のスラッジを微細に分散し油の性状を改善したり、ワックスの生成、アスファルテンの沈殿を防止する。種々の界面活性剤を石油系溶剤で溶解したものやバリウムの硫化物などが用いられる。
- 乳化剤
油中に不均一に存在する水を分散・乳化し、安定した燃焼を得るために添加する。非イオン界面活性剤を混合したもの等が用いられる。
- ピスブレーカ
油の粘度を下げるために、少量添加する。オレフィン炭化水素の塩化物などがベース。
20)
- 腐食防止剤
タンク、ポンプ、配管の腐食防止のために添加する。
21)
- 燃焼促進剤
触媒により燃焼率を増加させるものである。ナフテン酸、脂肪酸の有機金属塩が使用される。金属としてはバナジウム、マンガン、コバルト、ナトリウム、亜鉛、アルミ、鉄、銅、カルシウム、マグネシウムなどが用いられる。これら金属塩の不安定な過酸化物が原子状酸素を放出し、未燃カーボンと反応し、燃焼を促進させる。
22)
- 防食剤
低温腐食および高温腐食を防止するため用いる。マグネシウム、カルシウム、マンガン、カリウムなどの金属を配合した各種の添加剤がある。
低温腐食防止剤は、 V_2O_5 、 Fe_2O_3 などの触媒作用を阻止し、 SO_3 の生成を抑える。また、発生した SO_3 と反応して完全無害な物質に変化させる。
高温腐食防止剤は、 $Na_2SO_4 + V_2O_5$ の反応を阻止し SO_3O_2 、原子状酸素の発生を抑え、また、 $Na_2SO_4 - V_2O_5$ の灰分の溶融点を上げて、バナジウム・アタックによる高温腐食を防止する。
- その他の添加剤
燃焼堆積物改質剤、公害防止に役立つ添加剤などがある。
添加剤の効果を十分に發揮させる為に溶剤との組合せによる濃縮タイプも研究されており今後も注目すべき分野である。

3. 物理的燃料前処理装置

3.1 遠心清浄機による物理的前処理

3.1.1 高粘度対策

遠心清浄機の処理量は処理時の粘度に逆比例するので同一性能を得るには高粘度油を処理する場合、絞り込む必要がある。

23)

粘度 (RW / 100°F)	処理温度	処理時の粘度	処理量
1500 秒	90 °C	24 cSt	100 %
2500	95	26	80
3500	95	32	65
4500	95	39	60
6000	95	44	50

3.1.2 高比重対策

高比重油について各機種とも種々の実験が行なわれているが清水の分離は比重0.990まで可能であると報告されている。

24)

25)

比重0.990を越える高比重油の場合は封水を入れずにクラリファイヤーとして使用（但し水分離は不可）するか封水にMgSO₄・7H₂O水溶液を使用することになる。たゞし、MgSO₄・7H₂Oを使用するシステムは種々の実験は行なわれているが船用として実用に供されているとの報告は未だない。この実験の一例として次のような報告がある。

26)

3.1.3 遠心清浄機による清浄実験

SJ 700（オーバーフロー式）処理温度95°Cで比重0.98まで正常運転が出来た。次に、比重1.006(3,600秒相当)では油に海水混入したものを封水にMgSO₄・7H₂Oの10%水溶液を使用して90%の海水を分離できた。

スラッジの排出については一般に処理量の1/1000前後で計画されているがスラッジの性状によってはその1/2～1/3で排出間隔を決めている。例えば3,500秒以下では3～4hに1回、6,000秒(FCC)では1hに1回、6,000秒(ビスブレーク油)では2hに1回を自安とし、状況により対処する。

24)

26)

3.1.4 FCC触媒粒子対策

FCC油対策として100%通油1段で50～70%触媒が除去される。粒径分布としてキシレン不溶解分でみると5～10μmの粒子は50～60%，15μm以上は90%の分離効果が得られた。

27)

同容量の2台の清浄機を使用する場合は直列2段より並列1段の方が費用対効果が優る。

24)

3.2 遠心清浄機以外の物理的前処理

遠心式油清浄機以外の物理的燃料前処理装置としてフィルター(Coalescent type, fine mesh element type etc.)、遠心分離機械式スラッジ排出の清澄機、ホモジナイザ(Share/Orifice type, Grinder type etc.)及び超音波式燃料処理装置に関する文献があり、以下これらについて整理する。先ず機能的にみれば、

(a) 遠心式油清浄機と同じく燃料油中の不純物を除去するもの。

(b) 燃料油中の不純物は除去せず何等かのエネルギーを与えて均質化しようとするもの。

以上の2つに分類される。

3)

この内(a)の範疇に属するものにフィルターと清澄機があるがいずれも清浄機能をもたないため、超粗悪燃料油対策として、遠心式油清浄機との組合による採用が考えられているが、フィルター自体で(重力による)水分離機能を有するものも製品化されて居り、遠心式油清浄機の代替として提供しようという動きもある。(b)については、ホモジナイザと超音波式燃料処理装置に関する記事が多い。ホモジナイザについてはスラッジ除去による燃料の損失がなくなり、結果的に効率が改善されると説明されて居り、実際にホモジナイザによる均質燃料によるテストの結果、混入海水中のナトリウムによる腐食性物質の形成や粉碎された粒子(砂)による燃料噴射装置やシリンドラへの有害性などの問題点があるものの、遠心式分離法がかかるスラッジの処理や高粘度油による水とスラッジの分離不能などを考えればより将来性のある処理法であるという報告がある。反面ホモジナイザ単独では不純分の除去能力がないため灰分や接触分解触媒の硬微粒子がエンジンに持ち込まれアブレシブとしてFOポンプやシリンドライナ等に異常摩耗を来たした事例がいくつか報告されて居り、エンジンメーカーのトラブルに対する関心も強い。

23)

28)

15)

29)

30)

31)

32)

28)

4)

6)

33)

9)

29)

25)

超音波式処理装置は古くから燃料油均質化装置として採用されているが、超粗悪油対策としての事例の報告はなく、運航費節減対策として発電機関でのC重油専焼時の燃料油改質装置として実船に搭載され実績をフォロー中の記事がある。なお、省燃費という観点からホモジナイザを発電機関の水一油エマルジョン燃焼用の

ミキシング装置としてテストしており、それによると 1200 秒重油に 20 vol % の水を添加し ホモジナイザにて処理し（添加剤等は使用していない）運転した結果、未処理の 1200 秒重油に比べて全負荷域で 排気温度が低下し 排氣色、正味燃費率が改善されたという事で特に 4/4 負荷での燃費率は約 8 g/ps, h 改善されたと報告されている。但し開放の結果ピストンリング・グランドの汚れが著しく燃焼室に付着したカーボンは硬質であり、燃料ポンプのプランジャー、燃料弁など噴射系の摺動部は油不足の兆候が出ておりプランジャーは 2 回の焼付事故を起したとの事であり、今后この系統の調査・研究が必要と思われる。

34)

以上収集した資料の中から遠心式油清浄機以外の物理的前処理装置の現状と概要を纏めたが、この分野で本格的に取り組まれたのは、まだほんの初期段階であり、従って全体の評価も固まっていないものがほとんどである。上記の概要に含まれていない新しい装置の登場も含めて開発、改良研究の余地が大きい分野であると思われる。

15)

4. ディーゼル主機関と超粗悪燃料油

本章では、既に舶用燃料市場に登場し種々の問題を投げかけてきている将来燃料油とも呼ばれる超粗悪燃料油をディーゼル主機関に使用するための対策について述べている文献を中心に紹介する。

4.1 使用可能な燃料の限界

各主機メーカーは将来の燃料性状変化を予測し（表 1.2.18），使用可能な燃料の限界値を公表している。その一例を表 1.2.19 に示すが、この表は '78 年の PETROTECH 1-12 に掲載されたものであり、各社とも最近はこの限界値を緩和しつつある。

表 1.2.18 機関別燃料油の動向

機 関 性 状	クロスヘッド形		中速タンク形	
	現 在	将 来 max	現 在	将 来 max
比 重 $15/4^{\circ}\text{C}$	0.90~0.98	1.0	0.90~0.97	0.99
粘 度 cSt @ 50°C	9.6~38.0	60.5	9.6~18.0	42.0
RW / @ 100°F	75.0~350.0	600.0	75.0~150.0	400.0
硫 黄 分 %	2.5~4.5	5.0	2.0~3.0	4.0
残 留 炭 素 %	8~1.2	1.8	6~8	1.3
バナジウム PPM	300 Max	500	200 Max	400

7)

11)

35)

出典：モービル社資料

表 1.2.19 大型ディーゼルエンジンの使用燃料限界

メー カー	MAN		SULZER		B & W	PIEL-STICK
	40/ 54A	RND	Z	(0.99)		
比 重 $15/4^{\circ}\text{C}$	0.98	0.98	0.97	0.97	0.98	
粘 度 レッドウッド @ 100°F	3,500	3,500	1,500	3,500	3,500	
cSt @ 50°C	375	375 (580)	180 (375)	375	375	
残 留 炭 素 wt %	10 (15)	12 (15)	8 (10)	10	12	
硫 黄 分 wt %	4.0	5.0 (5.0)	2.5 (4.0)	3.5	3.5	
バナジウム ppm	200	200 (300)	150 (200)	150	—	

() 内は品質限界。

4.2 高比重化による問題点と対策

C/H比が高くなるにつれ比重も大きくなる傾向を示す。

同分子量の比重 (\rightarrow C/H大)

パラフィン < ナフテン < アロマテック

比重が大きくなると噴霧油滴の到達距離が長くなり、他の原因による燃焼性の悪化に影響を及ぼす。 36)

特に前処理によって水分の分離が困難になるため、水一油エマルジョン燃料の燃焼がその対策として研究されている。

4.3 高粘度化による問題点と対策

粘度は、重油霧化時の油滴の大きさを支配するので燃焼特性を左右する。油滴の大きさが $300\text{ }\mu$ 以下では完全燃焼するが、 $400\text{ }\mu$ 以上では火炎内通過するものもある。高粘度油は、図 1.2.7 の如く油滴粒径が広範囲に分布するので燃焼が困難になる傾向を示す。

図 1.2.8 は粘度変化による燃費の変動を示す。特に低速機関の場合燃費との関連が大となる。

大型ディーゼル機関の燃料噴射ノズルでの粘度は $10\sim 18\text{ cSt}$ のデザインが多く、加熱温度を 150°C 以上とする必要がある。

この様な高温ではベーパーロックや燃料自身の潤滑性能低下によるFOポンプのスティックが発生する危険性があり、その解決策としては次の様な対策が紹介されている。

(1) 給油ポンプ圧力を高める。

B&W の目安

粘度 (RW1 100°F)	3,500	4,500	6,000
圧力 (kg/cm ² G)	5.5	6 ~ 6.5	8

(2) FOシステムの加圧・加熱、蓄圧器システムを採用する。

(3) Fuel Scavenging Flow の増大およびFO温度を下げることによりFOポンプスティックを防ぐ。

一方、テスト用のエンジンを使った実験で、機関入口の燃料温度を押さえ、粘度を上げてゆくと、最高噴射圧力は上昇し、燃料消費率がごくわずか改善されたという報告もある。

4.4 残留炭素分の増加による問題点と対策

残炭とは一定条件下で蒸し焼きにすることにより生成したカーボンを意味し、油中に存在する次の様な成分が増加することにより、結果として増加するものである。

$\left\{ \begin{array}{l} \text{アスファルテン} \\ \text{高沸点縮合芳香族} \\ \text{イオウ・窒素} \end{array} \right.$

ビスブレーキング油・FCC油は2節の表 1.2.16、表 1.2.17に示した如く残炭量が増加し、それと同時に図 1.2.9 に示す様にセタン価も低下する。

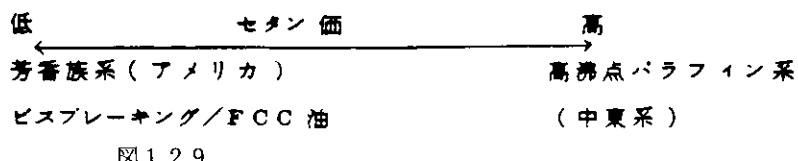


図 1.2.9

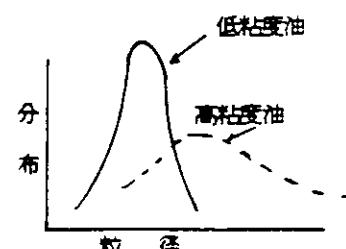


図 1.2.7

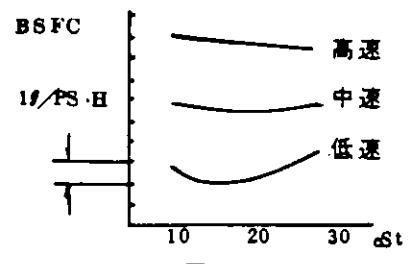


図 1.2.8

11)

37)

15)

6)

28)

36)

4)

6)

28)

15)

18)

残炭量の増加、セタン価の低下により次の様な影響がある。

- (1) 着火遅れ期間の延長に伴うシリンダライナ／ピストンリング間や軸受部分へのショック荷重の増大
- (2) 火炎が長くなり、潤滑油を蒸発させたり粘度低下をおこさせる。
- (3) あと燃え期間が長くなる。
- (4) 炭素固体物の生成が増加しリングのスティックやライナーの摩耗・ブローバイなどの発生を助長する。

この対策としては次の様なものが紹介されている。

- (1) 噴霧状態・燃料弁の表面温度を適正に保つなどの燃料噴射システムの改善
- (2) 給気（掃気）の加熱
- (3) 十分な新気の供給
- (4) 掃気孔の向きと数の改善
- (5) 潤滑油性能の向上
 - ・耐荷重性の向上
 - ・熱安定性の強化
 - ・清浄分散性の一層の向上
 - ・アッシュレス（Caのない）タイプの潤滑油の開発

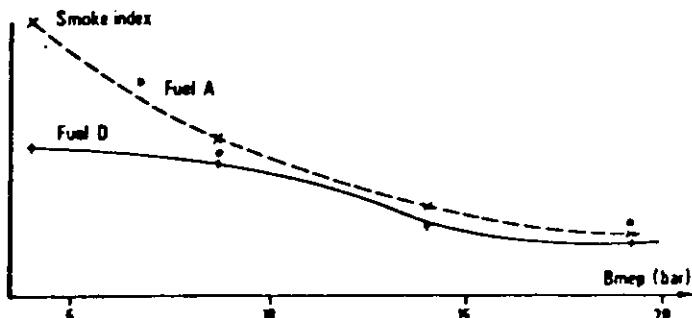


図 1.2.10 Cycles at low load for several types of fuel, low speed.

SEMT-PA6 エンジンによる燃焼実験報告によれば、アスファルテンの含有量が 8 %以上の場合に低負荷、低回転でアスファルテンの不完全燃焼が問題となる。

4.5 硫黄分の増加、バナジウム分の増加等による問題点と対策

硫黄分が増加し、TBN=100 というシリンダ油も使われた例もあるが、将来とも含有量が 5 %を越えることはないので適正なシリンダ油の選定で中和が可能である。

又、低温腐食は酸の露点より 20~50°C 低い温度のとき最も激しくなるので 120°C 以上に保持すれば著しく効果がある。

バナジウム、ナトリウムの含有量が増加し、高温下で腐食性を持つ灰分が生成される。このとき最も腐食質な灰分は Na_2SO_4 と V_2O_5 で $\text{V}/\text{Na} = 2.3$ の構成比で 330°C 以下の融点を持つ Sodium vanadyl-vanadate が生成され高温腐食が発生する。

各機関メーカーでは、これに対処するため、次の様な対策をたてており、一部はすでに実施している。

- (1) アルカリ価の高いシリンダ油を選定する。
- (2) ライナー表面を硫酸の露点以上に保つ。
- (3) 耐食性の高い材料を使用する。
- (4) 排気温度を下げるために空燃比を上げる。
- (5) Nimonic 80 A を排気弁に使用する。
- (6) 材料コーティング法の開発
- (7) T/C ターピンディスク冷却によりメタル温度を下げる。
- (8) 弁棒から弁筒への熱伝導法を工夫し弁座をバナジウム塩の溶融点以下に維持する。
- (9) 弁座の当り巾を広げ熱伝導効果を高めることによって弁フェースの温度を下げる一方、Niベースの盛金によってゴミ噛みによる傷を防止する。
- (10) Mg や Ca の入った燃料添加剤を使用する。

(11) 過給機の水洗間隔を縮める。

4.6 FCC触媒の混入による問題点と対策

FCCスラリー油を含む燃料油にはアルミ・シリカ触媒の破碎片の微粉末が混入してくる。この触媒の粒径分布は、60%以上が10 μ 以下であり、遠心式清浄機では除去が困難である。

このアルミ・シリカ触媒による燃料ポンププランジャバレル、ピストンリング溝、シリンダライナなどエンジン摺動部の異常摩耗に関する報告が数多く見られる。

しかしながらSULZER ENGINE (15000 PS)を搭載した船で現在の商船の遠心分離機の3倍の容量を持つ遠心分離機を使用し、通油量を $\frac{1}{3}$ に絞って処理した後、エンジンに供給したところ異常な摩耗は起きたという報告もある。

右に示す表1.2.20は石油の製造過程で使用される触媒の分布であり、この触媒がスラリー油の中からどれだけ、どの様な分布となって燃料油に混入してくるかが問題となる。

表1.2.20 石油学会編「プロセスハンドブック」記載の触媒の分析結果例

37)

触媒タイプ	合成シリカ アルミナ触媒		合成ゼオライ ト触媒		
	低アル ミニナ	高アル ミニナ	低アル ミニナ	高アル ミニナ	
組成 (重量 %)	Al ₂ O ₃ wt %	13.75	28.61	14.80	29.0
Na ₂ O	~	0.012	0.013	0.020	0.025
Fe	~	0.020	0.020	0.023	0.02
SO ₄	~	0.33	0.30	0.40	0.40
物理的 性質	表面積(㎟/g)	560	511	540	502
	孔容積(㎤/g)	0.73	0.93	0.80	0.88
	かさ比重(g/ml)	0.47	0.41	0.49	0.43
粒度分布(wt%)					
149 μ	100	100	100	100	100
105 μ	94	94	95	95	95
80 μ	79	79	80	80	80
40 μ	17	18	18	18	18
30 μ	7	8	8	8	8
20 μ	2	2	2	2	2
平均サイズ	61	61	60	60	60

41)

1)

36)

5. 燃料油による障害

超粗悪燃料油に起因する種々の障害事例については7節に紹介する資料(No.27, 48)に詳細に報告されている。又、将来型重油の性状変化とその影響及びそれに対処するための課題として、次のものがあげられる。

表1.2.21 将来重油の影響

性状変化	影響	課題
比重増大	浮油困難	機関関係 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 噴射条件の確立 ◦ 噴射時期の調整 ◦ 掃気スワールの利用 ◦ 耐腐食材料の採用 ◦ 潤滑油の改良
粘度増大	噴霧・加熱上の問題 船内移送の問題	機器関係 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 净化法の改良 ◦ ポンプ種類の選定 ◦ 燃料パイプ圧力構造 ◦ 燃料パイプ断熱法
高流动点	船内移送の問題 積荷への熱伝導	船体関係 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 2重底タンク内加熱法 ◦ タンク構造の選択 ◦ 積荷の断熱法
低引火点	船内貯蔵の安全性 ベーパーロックの発生	その他 <ul style="list-style-type: none"> ◦ F/O受け入れ時のチューク法
不純物の増大	高温腐食 機械的摩耗	
燃料性低下	起動困難 長火炎による摩耗 排気温上昇	
親和性低下	堆積物増大 浮油困難	

41)

超粗悪燃料油がディーゼル機関、及びその関連機器・タンク・配管等を含む燃料システムに及ぼす障害については次の如き報告がある。

5.1 高比重化により発生する障害

燃料の比重増大により水分離が困難となるが、Free water が多量にシリンダ内へ供給されると、アスファルテンの燃焼遅れを助長し、シリンダ温度を上昇させてdeposit formation を増大させる。 42)

NV(ノルウェー船級協会)の報告によれば燃料中に7%の水が含有されている場合、ピストン頂部の温度が約50°C上昇する。

5.2 高粘度・高流動点により発生する障害

直接障害とは関係がないが、将来油の温度一粘度カーブは従来のものから外れることがあり、適正な加熱温度を把握出来ない場合がある。 3)
10)

FOポンプの固着は米西岸積の燃料でよく発生し、特に混合安定性の悪い燃料で起きる。又、燃料中の軽質分の蒸発温度の低いものは、加熱による燃料の潤滑性能の低下が固着につながると言える。 15)

流動点はワックスの含有率を示すが補給時には見分けがつかない。補給時の温度が一般に云われているより高めの場合は流動点が高いとみてよい。 10)

燃料タンクの隣接区画壁面に水分が凝縮し、船体腐食および貨物に損傷発生との報告があった。 8)

船の積荷に対する熱伝導の影響も無視できないものとなる。 11)

5.3 不純物増加により発生する障害

ビスブレーク油、FCC油使用により、銅を使用したヒータに障害が目立ちはじめ、次の様な報告が多数発表されている。 4)
6)

(1) ヒータに銅を使用すると触媒作用でスラッジ発生が助長される。 27)

(2) 銅ピンを使用したヒータの場合、軟質の油泥スラッジが1~2mmの厚さで覆っている。このスラッジには硫化銅が存在しており、燃料油中の活性な硫黄分が銅ピンと反応して硫化銅となり腐食していくものと思われる。 48)

アルミピンに変えた船ではスラッジによる汚れ、ピンの腐食がみられなかった。 3)

(3) 100°C程度の加熱で銅板を異常に変色させる油があり、これは燃料中の活性な硫化物の存在によるものと考えられるが油中の硫黄分の多少との関連性は見出せなかった。 3)

(4) 150°C×120時間油中に銅、鉄、アルミを半浸漬したところ油面と金属の接触面上に、特に銅だけ異常な炭化物の析出があった。この炭化物中には硫黄分が50% (wt) 以上含まれており、硫化銅、硫酸塩、銅の形で炭化物とともに析出したものと考えられる。このことは硫化物による腐食とみなされ、C/H比も高く分子量も大きいアスファルテンの中に含まれる硫黄化合物が高温下でスラッジとして析出し、ヒータエレメントを腐食させたことは容易に想像できる。しかし最近では、アルミエレメントの腐食も報告されている。 3)

(5) FOヒータの閉塞発生油には多数の炭化物の含有が観察されている。 3)
又、FCC触媒による障害も次の様に多数報告されている。

(1) FCC触媒入り燃料を使用したところ米西岸→日本間で燃料ポンプの全プランジャーをダメにした例がある。 15)

(2) 北米積1500秒油にてtop ring 全損、second ring、ライナ摩耗が著しく大なる障害をおこした。 13)

かながらこの燃料中の触媒量の1/3～1/4の触媒を含有する燃料を使用し遠心清浄機で2/3～4/5を除去してディーゼルエンジンに使用を試み、その実験開始後数ヶ月経過しているが順調であるとの報告がある。	4) 6)
(3) ホモジナイザやフィルタのみ使用しているエンジンのライナ摩耗率は遠心分離処理した場合の3～4倍に及ぶ例がある。	16) 33) 28) 32)

5.4 親和性の低下により発生する障害

それ自身親和性のよい2種の燃料油でも、原産地や精製プロセスの異なるものを混合すると不親和になることが多い。

メジャー原油からの燃料油では混合時の親和性は問題はない。炭化水素構造が大巾に異なるものを混合するとアスファルテン分が析出するため産地の異なる燃料の混合は極力さけることが望ましい。

安定性低下によるスラッジ発生防止のため、異種油の混合、熱履歴の反復、長期貯蔵、水分混入防止は留意が必要である。

粗悪油とディーゼル油のブレンド時に不適合性によるアスファルトとスラッジ発生の報告があった。

・残渣油を混合した場合、高アスファルテン堆積物が特殊ケースで6%容積以上も堆積することがあった。

親和性低下は通常最初に油清浄機の過負荷を引き起こす。

— 清浄機の異常に関しては次の様な報告がある —

- ・北米PORT ANGELSで補油したB重油で清浄不能となった。ボル内はグリース状でその状態は外側の水層と中心部の原液層の間にグリース層が出来、不純物が遠心力下にあってもグリース層を貫通できず清浄不能となったものと推定される。
- ・清浄中重液側にクリーム状スラッジが出た。
- ・FCCボトム油の遠心清浄機による分離スラッジ量は処理量200ℓ当たり燃料規格IF180で20～30g, IF280で8～9g, 西欧で補給された3500秒油で10～15gであった。スラッジ量は粘度、比重に関係なく熱分解残渣物の混合により多くなるものと云える。
- ・低質パンカーのスラッジは最もスラッジの多いビスピレーカ油で0.068%であった。コールタールの場合現在船内で行われていると同程度の清浄を行った場合のスラッジ量は1～2%に達した。
- ・ビスピレーカ残渣油及びFCC残渣油は標準C重油に比べて遠心清浄機で採取されるスラッジ量が約2倍である。又、スラッジはやゝ固着質である。
- ・清浄機スラッジ多量の発生油は黒色炭化物、黒色や褐色の丸味のある粒子が多数含有されている。

5.5 燃焼性不良により発生する障害

ケーブ積燃料(400cSt)で200～300時間で過給機のつまりと排気弁のスティックが生じた。この燃料の分析は行なわれていないがアスファルテンが多く、低負荷での燃焼が悪かったためと考えられる。

高残炭燃料油の燃焼はピストン周りや排気系統へのカーボンの付着量を増大させ、過給機サージング発生の原因となる。

ジェダ積燃料で過給機にサージングが発生した例がある。

米国西岸積燃料で低セタン価(25～30)のものがあり、Pmax上昇や始動困難を起こすことがある。アメリカ積低セタン価燃料でノッキングが発生した。

6. 粗悪燃料油と潤滑油性能

燃料油の低質化、粗悪化とともに比重、粘度が高くなり硫黄、バナジウム、ナトリウム、残炭、アスファルテン、灰分などの含有率が増しアルミーシリカの混入、安定性親和性が低下する傾向にあるが、これらの燃料油の性状の悪化はディーゼル機関の潤滑油の性能にも影響を与える。

一般的には粗悪燃料油を使用することによる潤滑油への影響としてはピストン周りや排気系統の汚れの増大、ピストン周りの温度の上昇、ピストンリング、シリンダーライナの摩耗増大、ライナ・リング・軸受けへのショック荷重の増大、硫黄による低温腐食などの問題がある。これらの問題については未だ不明な点も多いが、粗悪燃料油燃焼によるディーゼル機関への影響の潤滑油性能の関連性とその対策および問題点は次のとおりである。

6.1 中和性

船用燃料油に含まれる硫黄分は現在3~4%であるが、将来5%位まで上昇すると考えられている。硫黄分の増加はシリンダ壁において低温腐食を添加させることになるので、より中和能力のある潤滑油を使用する必要がある。

B & W社が推奨する使用重油中の硫黄分とシリンダ油塩基価の関係を、図1.2.11に示す。一方、潤滑油の消費率 $0.1 \text{ g}/\text{ps}/\text{h}$ の節約は経済上から重油 $1 \text{ g}/\text{ps}/\text{h}$ の節約と同等である。今後潤滑油消費量がより少ない機関が要望される。現在でも中速4サイクル機関で $0.5 \text{ g}/\text{ps}/\text{h}$ を切る機関もある。図1.2.12はシリンダ注油を持たない中速4サイクル機関における塩基価保持と潤滑油の消費量の関係を示したものである。

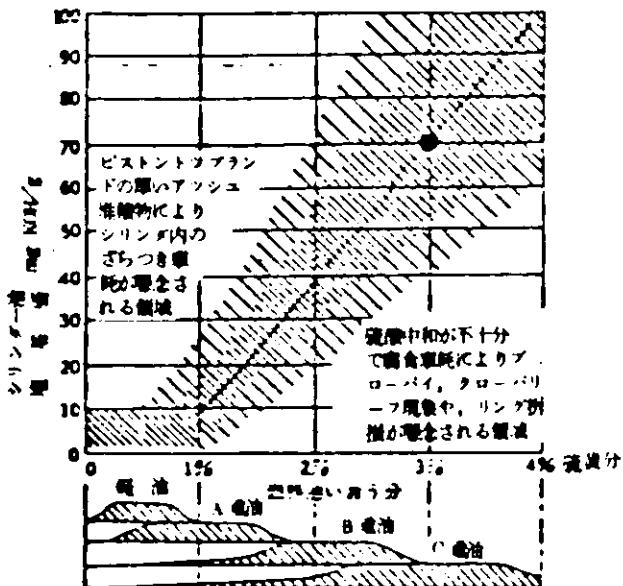


図1.2.11 B & W社によるシリンダ油適正塩基価

8)

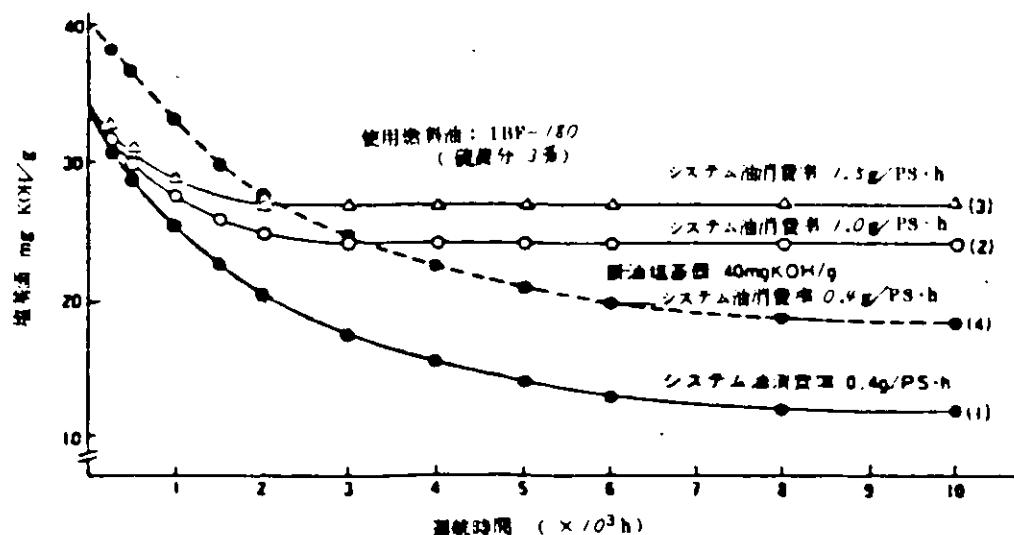


図1.2.12 システム油消費率と塩基価保持性

4)

42)

6)

潤滑油消費量が余りにも低いと塩基価の管理レベルを保持することは困難である。クロスヘッドエンジンでは、燃料油中の硫黄分によるシリンダ冷却水温度が低い場合現状のTBN(=70)を超えるものを使用する必要があるが、シリンダ冷却水温度を現状より高くすることによって、TBNは70またはさらに小さいものでも十分である。トランクピストンエンジンでは、硫黄分の多い場合でも現状の25~30TBNで問題ないと考えられる。しかし、前述のように潤滑油消費量が少ない場合はその寿命を長くするため、より高いTBNの潤滑油を使用する必要があろう。

6.2 耐荷重性

燃料油中の芳香族系成分の増加により、セタン価が低下することによって、燃料の着火遅れが生じシリンダ内の急激な圧力上昇を起す。この結果、ピストンリング、ライナ、軸受への衝撃荷重が増大する。一般に舶用重油のセタン価は現在の30~40から将来25~30位になると予測される。この対策として一般に粘度を増すことによって耐荷重性能を増す方法が考えられる。又、潤滑油そのものの耐荷重性能の向上も望まれる。

6.3 熱安定性

燃料油のアスファルテン分が多くなるとその燃焼速度が遅くなり、火炎がピストン側面やシリンダ壁に達しその表面温度を上昇させる。又、比重の大きい燃料油では清浄機で十分な水分離ができず、多量の水がシリンダ内に供給されるとアスファルテンの燃焼遅れをさらに助長し、シリンダなどの温度上昇が生じる。NVの報告によれば燃料油中に7%の水を含む場合、ピストン頂部温度は約50°C上昇する。ピストンやシリンダーの温度上昇は潤滑油の劣化を早めカーボンの生成や大きなデポジットを生じさせることになる。40)

とくに、ピストン溝につまつた生成カーボンやデポジットはリングの動きを制限したり、リングの破損事故につながることがある。又、安定性の悪い燃料油はスラッジ生成を促進させ燃焼室内にカーボンを堆積させるとともに燃料弁のつまりにより噴射特性が悪化し燃焼性能を低下させて燃焼室の温度を上昇させる。46)

潤滑油はこれに対処するため、高温において劣化しない熱安定性の良いものを使用する必要がある。METALLIC SOAPSの添加は高温での油の酸化、熱破壊を防止する効果があるが一方では灰分の生成の問題がある。

6.4 清浄分散性

燃料油の粗悪化によるスラッジ、アスファルテン、残炭その他金属分などの増加により燃焼性が悪くなり燃焼室のカーボンやデポジット、灰などの生成が増加する。

この結果、潤滑油の汚れが早くなり潤滑性能が低下しやすくなる。ピストンやシリンダ内のデポジットの生成を抑制し、又トランクピストン機関においてはスラッジの生成とクランクケース内の汚れ、ピストン周りや排気系統へのデポジットの堆積を最少限にするため、清浄性能の良い潤滑油が要求される。清浄分散性の向上には、現在一般に使用されている金属系添加剤の組合せだけではなく、優秀な無灰系添加剤の開発が必要であろう。熱安定性、耐荷重性能向上のために現在使用されている添加剤も金属を含むものもあるが、デポジット、灰などの堆積を防止するため清浄分散剤との適正な組合せが必要である。

三井造船における粗悪燃料油およびコールタール燃焼実験のピストンリング摩耗結果を図1.2.13に示す。供試機関として単シリンダ三井42M機関を使用し、25~30時間の燃焼実験を行った後、ピストンリングの摩耗量を計測した結果、同じシステム油WによるB、C、Dの燃料油の差の他に同粘度、同塩基価で添加剤の違うXとYのシステム油を使ったコールタール実験ではX油はY油に比べてピストン周りが清浄であり、ピストンリングの摩耗量も数分の一に減少していると報告されている。この結果は、粗悪燃料油に対する潤滑

油の清浄性の性能改良の余地があることを示唆している。

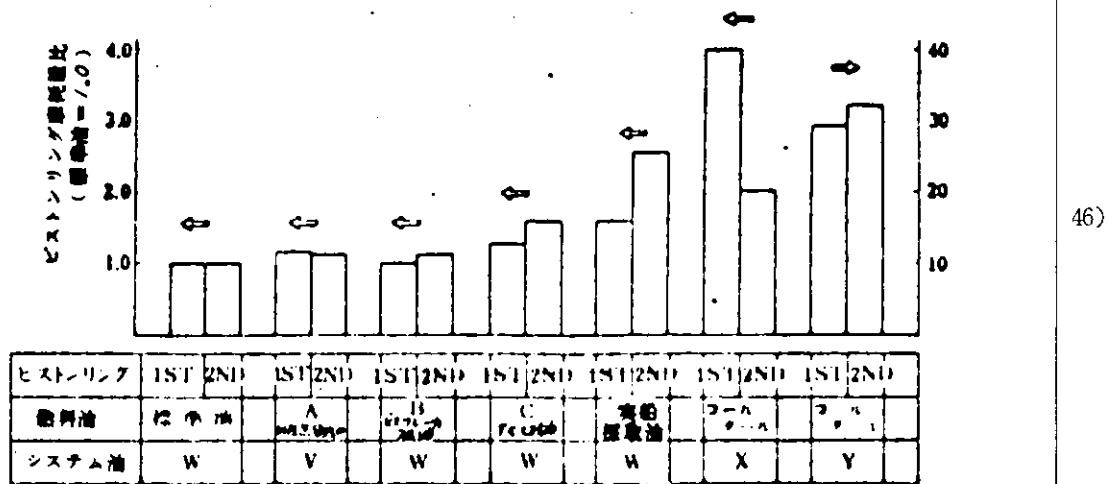


図 1.2.13 ピストンリング摩耗量に対する各種重油の影響

7. 超粗悪燃料油とその使用に関する資料・文献の一覧表

No	名 称	発 行 時 期	著 者	内 容 の 概 要
1	船用燃料油の動向と現状	高 松 邦 夫（日本郵船） マリンエンジニア No.385 '79・4		熱分解残渣及び接觸分解残渣を含む燃料についての特徴・事故例・積地別の燃料性状（業者提出）とクレーム内容
2	将来予測される船用燃料油について	横 築 才 二 日本船用機関学会誌14-9 '79・9		各国の持つ精油装置能力・石油製品の需給と製油パバーンの変化などについて述べている。
3	船用燃料油の動向と一考察	井 筒 敏 夫（N.K） 日本海事協会		分解装置の最近の動向、分解残渣油の安定性、銅板腐食性その他について述べ、船内での廃置方法について、又将来油への対応などに触れている。
4	船用重油重質化の問題点	原田信弥、前園勝二（日石） 日石レビュー 第21巻第4号 '79・8		船用重油重質化の背景、BPの警告、主要地域の分解装置能力、船舶への影響、ディーゼルエンジンにおける対応策
5	船用重油の重質化	石 橋 義 郎（出光） マリンエンジニア No.388 '79・7		石油資源の有限性、代替燃料需要の軽質化と需給アンバランス
6	船用燃料油の重質化による技術的問題点	前 園 勝 二（日石） マリンエンジニア No.389 '79・8		・わが国の重質油対策 ・重質油の船舶への影響
7	船用燃料油の動向	橋 本 高 明（モービル） マリンエンジニア No.396 '80・3		・最新の精製法とその能力の推移 ・精製残渣の主要性状、FCCタールの性状 ・実船テスト、将来重油の性状変化による問題点
8	船用燃料油の現状と見通し “造船関連工業への道しるべ第67号”	運輸省船舶局関連工業課 '80・3		船用燃料油の低質化動向、外航船・内航船の使用燃料油調査（中間料油とはどの様な性状を持つものか紹介している。）
9	Future Fuels “Marine Propulsion and Future Fuels Conference”	D.M. Tree (BP) The Motor Ship '79・3		BPのパンカー油性状を過去と現在のものの対比で説明し、将来燃料油と船用機関学会'79・10開催のConferenceの6論文のうち5論文の和訳。本SRに関連あるものは次の2編 ・将来的船用燃料に関する諸問題についての船主の対応 (Y.M. LAKE E.L. THOMAS) ・船舶用燃料—その現状と将来 (T.I. Berryman)
10	燃料消費の節減と船用燃料の現状及び将来	運輸省船舶局技術課 '80・3		

11	船舶用燃料油の動向	今 村 弘 人（モービル） 内燃機関臨時増刊号 '78・11	船舶用燃料の個々の性状の変化動向とそれぞれの船舶への影響について
12	Future Fuels and The Diesel	B.P. The Motor Ship '78・3	B.P. Marine International が船用重油の性質の変化を示唆し、今後燃料が粗悪化することを警告、問題提起している。
13	これから船舶燃料について	橋 本 高 明（モービル） マリエンジニア No 387 '79・6	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 热分解法、接触分解法による燃料油の問題点 ◦ ビスブレーカー油の性状例 ◦ FCC油による障害例
14	石油精製と製品 その1（燃料油）	竹 内 敬 三（日石） 日本軽用機関学会誌'78・10	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 燃料油について（製品の性状とその精製工程） ◦ 重油の調合基材の性状について
15	Medium Speed Engines "Marine Propulsion and Future Fuel Conference"	J. Callois (SEMT) The Motor Ship '79・3	SEMT PA-6 エンジンによる将来燃料油燃焼試験報告（低負荷での燃焼不良）、エンジンメーカーの考える将來燃料油性状、[Bulletin Technique du Bureau Veritas]にも詳説している。
16	Trends in Marine Fuels and Lubricants Today and in the 1990S	B.J. Shultz, etc. (モービル) Trans IMar E Vol 91 '79	<ul style="list-style-type: none"> ◦ ビスブレーカー油、FCC油と直溜油の対比 ◦ ホモジナイザ、フィルター、清掃機のそれぞれで前処理した場合の各種エンジンのシリンドライナ摩耗量実験例多数
17	Marine Propulsion and Future Fuels (Pre-View)	D.M. Tree, etc. The Motor Ship '79・2	モーターシップ誌主催のConference の Pre-View
18	Future Fuel の Diesel Engine への適用について	三井造船玉野研究所 '78・12	コールタール、その他の粗悪油を中速4サイクル単筒実験機で燃焼実験し、それら燃料油の燃焼特性、起動性及び摩耗状況等について述べている。
19	燃料油のスラッジ生成について	シェル石油（パンフレット）'70 頁	◦ 残渣油に混合する留出油として十分に芳香族を含むC/H比の高い原料油を選定しているので、不安定性の問題はないとの説明 ◦ 重油の化学的組成やアスファルテン、ワックスによるスラッジ生成のメカニズムの詳細説明
20	重油添加剂の手引き	日本軽用機関士協会 '80・3	各種重油添加剂の個別解説と共にスラッジの生成過程、重油の化学的性質・腐食について詳しく説明している。
21	Fuel Additives and Treatment "Marine Propulsion and Future Fuels Conference"	Dr. E. Levi (DREW Chemical) The Motor Ship '79・3	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 燃料前処理について（機械式と添加剂）の説明 ◦ 燃焼後の灰分に作用する添加剂の効果を調べるための実験（MAN 6V6 排気弁寿命、SOx 量を調べるテストバーナー）

No	名 称	発 行 時 期	内 容 の 概 要
22	重油燃焼機関における燃焼生成物と添加剤について GAMLEN CHEMICAL Sybron Corporation		<ul style="list-style-type: none"> ○高温融解害はNa, V, Sの亜酸化物や酸化物により、又、低温部障害はSO₃, H₂SO₄, Fe₂O₃, C特に遊離 H₂SO₄によると述べている。 ○ボイラによる添加剤テスト報告
23	シャープレス遠心分離機による粗悪燃料油の清浄について 巴工業 マリンエンジニア No 395, 80 - 2		<ul style="list-style-type: none"> ○付水・処理油の比重比 1.02 が実際の清浄限界との説明 ○粘度 317.6 Cst @ 50°C, 比重 1.010 @ 15/4 °C の燃料の清浄実験報告
24	遠心式清浄機による高粘度燃料油の清浄 三菱重工機 '79 - 12		高比重・高粘度油の清浄実験のデータを表およびグラフにまとめたもの。
25	超音波照射で燃料を改質 NIKEI MECHANICAL '79 - 4 - 2		三光汽船と昭和エフジの共同により発電機にC重油を使用するための前処理に超音波によるF.O. スラッジの粉碎システムを採用したという報告。
26	遠心式清浄機による高粘度重油清浄 三菱重工機 '79 - 4		<ul style="list-style-type: none"> ○SJ2000以下は0.98, SJ3000以上は1.01が比重の上限である。 ○既就航船で6000秒油を使用するには2台並列運転を可能にする事、又、スラッジ排出インターバルを1~2時間にすることにより対処できる。
27	シンポジウム “船用機関学会55年春季講演会”	日本船舶機関学会誌 15-11 '80 - 11	ビスピレイク油, FCC油の清浄実験、燃焼実験報告、中・高速機関の低質油使用アンケート報告、低質燃料による機関の障害例、CIMACの将来燃料の規格化動向
28	Future Fuels and the Diesel The Motor Ship誌連載 '78 - 5 ~ 12		資料No.12の同名のBPの問題提起に対する機関メーカーの見解: Doxford, Sulzer, Mitsubishi, SEMT, SWD, MAN, Hanshin, Deutz, B&W, Mirrlees, Mak
29	K-7式 燃料油処理方法について 栗林船舶 日本船舶機関学会誌 5 - 4 '75 - 4		遠心式清浄機を使用しない燃料油前処理システムの紹介
30	Homogenizers in Fuel Treatment “Marine Propulsion and Future Fuels Conference”	K McCracken (Vickers) The Motor Ship '79 - 3	<ul style="list-style-type: none"> ○燃料中のスラッジは、ホモジナイザーにより 5 ミクロン以下に粉碎される。 ○水添加による均質エマルジョン燃料の燃焼試験
31	TECHNICAL - Fuel Pre-treatment “Fuel degradation may favour homogenisation” Doxford Marine Week '78 - 4 - 14		S 分 2 %, 1000 S RW 1 @ 100°F の燃料をホモジナイザにより均質化し(清浄機不使用) 18ヶ月運転し良好という報告。更に低質の燃

			料で試験する予定である。
32	Quality Changes Expected in Marine Diesel Fuel Oils : Diesel and Gas Turbine Progress	Dr. Ing. M. K. Eberle (Sulzer) WORLD WIDE '78・5	○機関メーカーの予測する将来燃料の性状 ○機関メーカーは潤滑システム、弁類の冷却、新しいビストンシリングやライナの材質・コーティングの開発、石油会社は潤滑油の開発が重要であると述べている。
33	粗悪燃料油使用に対するディーゼル機関の問題点	山下（住友重機） マリエンジニア No. 390 '79・9	中速機関における粗悪燃料油使用上の問題点と現時点での対応策について Sulzer Z 40/48を例に解説
34	粗悪燃料油使用に対するディーゼル機関の問題点	野村・飯野（日立造船） マリエンジニア No. 398 '80・5	大型低速機関における粗悪燃料油使用上の技術的問題点と対策及び研究状況をB & W機関を例に解説
35	中・小形中速機関と低質油について	岡本（ダイハツ） 日本船用機関学会誌 15-2 '80・2	ダイハツ DS-32形機関の 1000 秒重油による 2 年間の実船テスト結果及び DS-28 の 1200 秒重油エンジン燃焼試験結果の報告
36	わが国の石油製品の動き (12) 細用燃料	伊勢一（三菱石油） PETROTHCH 1-12 '78	常圧重油を主体とする重油は動粘度で性状を代表できる。熱分解軽油を混合材とする重油は安定性に劣り、セタン価も低いこれらは燃料では燃焼技術・浄化システムの開発不可欠と述べている。
37	燃料油粗悪化とディーゼル機関の信頼性	高須 他 住友重機械工業 '79・12	燃料油の性状についての解説および夫々の性状が原因となって発生する可能性のあるトラブルと解決策、燃料の前処理・添加剤・ポンプの計画条件など幅広く解説している。
38	舶用中速機関の燃料油低・重質化動向と潤滑油に対する諸問題	磯部・川口 日石レビュー 第22巻 4 号 '80・8	燃料油の持つ各性状とその影響について述べ、又潤滑油の持つ性状についても個々に詳しく触れている。
39	世界各国の海運・造船の新技術とこれから	日本船用機器開発協会 '78・9	将来燃料油に対するディーゼル機関の対応についてエンジンメーカーに回答を求めたもの (Sulzer, Doxford, Pielstick, 三菱, MAN)
40	Turbo Charging of Diesel Engine "Marine Propulsion and Future Fuels Conference"	N. D. Anderson, M. Naguib (BBC) The Motor Ship '79・3	V, Na の含有比の異なる各種燃料を使用して様々な温度下でのターピンの汚れを解析。Na ₂ O/V ₂ O ₅ の比が小さい程汚れ少なく、ターピンメタル温度低い程汚れ少ないとの報告
41	Problems Associated with the Diesel Engine Operating on Fuel Oil of Poor Quality	T. C. Wiborg (N. V.) Norske Veritus	○炭化水素の組成と燃焼性の関連、燃焼性・着火性の判定法等の解説 ○V/Na 比 = 2.3 のとき最も腐食質な 330°C 以下融点の灰分が生成されると述べている。

No	名 称	発 行 時 期	内 容 の 概 要
42	将来における船用ディーゼル機関の燃料油について	今 村 弘 人(モービル) 船用工業 '80・1	FCC発達中の触媒粒子は30μ以下で、粒径分布は5~10μが多い。 将来燃料の着火遅れ・燃費をパラフィン系燃料と比較した(ボルネスエンジンで実験)もの。
43	Marine Lubricating Oils for Future Propulsion Machinery "Marine Propulsion and Future Fuels Conference"	D.Gorothom(シェル) The Motor Ship '79・3	将来燃料のエンジン潤滑性能に及ぼす悪影響及び将来燃料に対する要求される性能について述べたもの。
44	最近のパンカー事情	福 島 周 一(機関長) マリシンエジニア №389 '79・8	北米西岸Port Angels精B重油がグリース状の層を形成し清浄不能、 こし器目詰まり発電機ブレーカウト、同C重油は、主機には使用 できだが、ボイラではしばしば不着火。
45	FCC ボトムを含む高比重燃料油清浄試験	三菱化工機 '79・3	FCC タールを含む燃料油2種(LBF 180, 280)の清浄実験報告、 FCC除去率は2段清浄が効率的である。
46	中速ディーゼル機関における低質油の燃焼試験	遠 藤 裕 久 他(三井造船) 日本船用機関学会誌15-2 '80・2	三井1L42X(単筒試験機)を使用し、標準C重油、減圧蒸留残渣油、 ビスピレーカ残渣油、FCC残渣油、コールタール、リソグ摩耗事故 を起こした燃料での燃焼試験報告
47	舶用燃料油の性状と今後の動向	井 简 敏 夫(大阪商船三井機関長) マリシンエジニア №386 '79・5	船舶用燃料低質化の動向を述べ、日本、米国、欧洲の2500秒油と 分解残渣油の性状の比較を行なっている。
48	燃料油に起因すると推定される障害について	日本船主協会機関管理研究会 船舶通報 '79・7	日本船主協会社会の船舶を対象に昭和51年1月より昭和53年12 月までの3年間に「燃料油に起因すると推定される障害について」 のアンケートを行ないその結果をまとめたもの。
49	燃料問題の座談会	マリシンエジニア №398 '80・5	○各補油地での燃料による障害例報告 ○触媒粒子25ppmと推定されるFCC油を中速エンジンに使用した がトラブルがなかった例もあるとの報告
50	Fuel Oil Qualities and Additives	Geil Offeson (Hexol Marine Chem.) Stig Falster (Unitor Ships Service) The Motor Ship '80・2	原油产地別の燃料油のタイプの違いを紹介 好燃・燃燒特性、不純物の影響 重油添加剤処理に対する指針
51	世界の石油事情と日本 (図説・経済教育資料 №40)	日本経済教育センター 石油連盟 '80・3	日本、アメリカ、西独、英國、仏、伊など主要な消費国での石油製 品別需要構造を含め、需要供給動向を統計数字を織り混ぜて解説

52	A Perspective on Oil and Other Future Fuels	North-East Coast Institution of Engineering '79・8・8	Shell-U.K. Oil の Mr. Lindsayによる17頁に及ぶ資料：エネルギー形態全般よりみた石油製品の動向と予測
53	燃料性能と機関性能の感覚	伊藤 安壽（三光汽船 機関長） マリンエンジニア №387 '79・6	ピストンスカート部のスカッティングと、負荷変動との関連を述べ 又、ペナ横燃料にスカッティング事故が多いことに注目調査している。
54	Lubrication and Fuels in Ships	Shell Lubricants Development Division	舶用L.O., F.O. の全般的な記述
55	Shipboard Systems for Residual Fuels and Their Operation	P.J. Newberry (Shell) Trans I Mar E Vol 92 '79・10	資料№10に和訳文あり。 世界各地で供給しているShellの油性状の変遷 Alfa-Laval社との共同研究結果などに触れている。
56	F.O. 管理の件について	松井 武夫 (川崎鉄工所)	○燃料弁の寿命と高性能滤器の関連実験報告 ○タンク底板傾斜30°以下ではセッティング効果なしと。 小さな製油所から供給されるバシンカーオilに問題があり、メジャーの 油には将来とも 6000 SRW 1@100°F 以上のものは登場しないとい う内容
57	VIEW POINT — Problems Bunkers — Real or Not ?	The Motor Ship '76・9	低質将来油の特性と、それに合わせた燃焼対策および実船で使用す るための必要な処置について述べている。
58	燃料油低質化と舶用ディーゼル機関の動向	内燃機関（臨時増刊号） '78・11	
59	"Marine Propulsion and Future Fuel Conference" に参加して	福葉（三菱石油） 三菱石油技術資料№54 '79・7	'79年3月開催のモーターシップ誌主催の舶用油に関する国際会議へ 出席した報告及び油会社としての対応
60	Impact of Degraded Marine Fuel on Marine Propulsion Equipment and Systems Final Report and Appendices	A United States Department of Commerce Maritime Administration '77・10	米国Department of Commerceがまとめた194頁に及ぶ報告書であ り、ボイラ、ディーゼルなどあらゆる船を対象したFOシステムと 経済的な評価
61	Future Fuels for Diesel Propulsion	The Society of Marine Port Engineers	舶用油の性状、コストとディーゼル機関の保守費用等
62	The Marine Diesel Engine in View of Present and Future Low Grade Fuels	M.K. Eberle (Sulzer) 13th CIMAC '79・5	既存および将來油に対する機関メーカーとしてのスルザー社の対応
63	潤滑油管理面より見た舶用ディーゼル機関の問題点	奥田（日本郵船） 内燃機関 '76・7	システム油の管理面から運用者の立場で機関設計上の問題点を解説

No	名 称	発 行 時 期	内 容 の 概 要
64	ディーゼル船用燃料油粘度の3500秒対策について	日本船用機関学会誌 2-10 '67・2	機関研究委員会第1部会より関係各社にアンケート調査した結果をまとめたもの。
65	Marine Fuel Oil Combustion Studies	モービル石油 '78・11	モービルで実施したボルネスエンジン(2サイクルクロスヘッドラ形750 rpm, 107 ps)による船用燃料の燃焼試験結果の報告。
66	三井L&V 42M機関のコールタル燃焼試験	三宅他(三井造船) 船舶用ディーゼル機関 '78・11	三井1L42X(単筒試験機)を使用したコールタルの燃焼試験結果の報告
67	粗悪重油に対するシャープレス燃料油清浄機の使用法および対策	巴工業 長瀬アルファ '79・6	RW №1 @ 100 ℥ 3000~6000 Sec. の燃料油をシャープレス油清浄機で処理する場合のリコメンデーション等について述べている。
68	船用主機の将来の燃料油	Alfa Laval The Motor Ship '78・4	高比重、高粘度、スラッシュ多量含有の燃料の処理方法について Alfa-Laval社の実験による高比重油の遠心式清浄実験報告 (MgSO ₄ 使用)
69	Water Removal from High Density Fuels	シェル石油 Murex '80冬/№13	石油の可採年数は1955年から1978年までの24年間に34, 38, 41, 41, 41, 39, 35, 35, 33, 32, 32, 31, 33, 37, 35, 37, 31, 35, 33, 29, 30, 29と殆ど安定している。
70	特集・エネルギ資源地図 '80	阿部(三菱化工機) マリソンエンジニア №393 '79・12	粒子除去効率からみれば直列2段清浄方式が最も良いが、経済的な面からみれば大容量清浄機1段の方式が優る。
71	低質燃料油と遠心清浄機の技術的諸問題	西(長瀬アルファ) マリソンエンジニア №392 '79・11	アルファラバル社の実験例紹介
72	粗悪重油の清浄について	Alfa Laval (長瀬アルファ) '80・7	低質重油の有効な前処理方法の推奨
73	重油の前処理とクリーニングに対するリコメンデーション(技術資料)	Alfa Laval (長瀬アルファ) '80・7	最近の低質重油と従来の重油とを対比し、前処理システムの変更を推奨している。
74	モダン低質重油の前処理とクリーニング	Alfa Laval (長瀬アルファ) '80・7	重油の製造法とJIS規格試験の意義、重油の組成、化学的性質から説明できる重油の安定性とスラッジの生成について
75	重油の製造法、試験法及びその意義	昭和石油	

76	重質原油の処理技術について	石井義人(三菱石油) 三菱石油技術資料 No.53	重質原油として対照的な大慶・ミナスのグループとカフジのグループの性状例をあげ重質原油処理技術について全般的に解説
77	VIEW POINT "Fuel for the future"	The Motor Ship '77・8	省略
78	POWER TALK "Fuel's Paradise"	Marine Week '78・4・28	省略
79	<資料> 重質原油の処理について	石油と石油化学 Vol.22 No.4 '78・3	省略
80	石油精製と製品 その2(潤滑油)	竹内敬三 日本航用機器開発会誌 13-10 '78・10	省略
81	分解プロセスの歩みと最近の FCC プロセス	三菱石油技術資料 No.53	省略
82	将来の燃料とディーゼル機関	日本航用機器開発協会	省略
83	Heavy Fuel Oil Characterization and Treatment	Norwegian Maritime Research '78・No.2	省略
84	パンカー重油の動向	金子雅男(三菱石油) 三菱石油 社内資料 '80・1	省略
85	重質油の利用とその技術的課題	富永博夫(三菱石油) 三菱石油 社内資料 '80・8	省略
86	Experience from Burning Heavy Fuel Oils of Varying Quality in Diesel Engines	T.C. Wiborg (N.V.) Trans IMar E '80・10	省略
87	燃料油の粗悪化傾向とその対策	関岡信明, 原慎一(三菱重工) マリソエンジニア No.405 '80・12	省略
88	Centrifugal Separator "Marine Propulsion and Future Fuels Conference"	L.Norling (Alfa Laval) The Motor Ship '79・3	省略

第2編 超粗悪燃料油使用のための実験研究

第1章 基礎データ把握のための実験室実験

1. まえがき

FCCタールやビスブレーカーボトムを基材として作られた燃料の粘度は100°F RW#1で6000秒にも達しており熱的にも不安定な物質も含まれている。

従って、これらの燃料の貯蔵、移送、加熱に関しては特別な配慮が必要と思われる。また遠心清浄機で分離されるスラッジも従来の燃料に較べ多いかもしれないし、その性状も異っているかもしれない。従って燃料清浄機の汚れ、スラッジの処理にも特別の配慮が必要となるかもしれない。本調査ではこれ等の問題を検討するための基礎的データを調べることを目的とする実験である。

2. 供試油の来歴及び一般性状（表2.1.1参照）

本研究所で使用した燃料の性状を表2.1.1に示す。これらの燃料の基材とか、それらの性状や混合割合等についての正確な情報は得られていないが、概略の性状は次のとおりである。

A1, A2は直留軽油分を常圧蒸留残渣油に加えて作っている。VB1はFCCライトサイクルガスオイルをビスブレーカーボトムに加えて作ったものである。

VB2はビスブレーカーボトムから作られている以外は何も判っていない。そして、VB1とVB2は異った製油所で作られている。またこの2つはビスブレーカーボトムから作られているが性状はかなり異っている。VB1はカーボンの様な球状の粒子を含んでいる事や高C/H比から判断するとかなり苛酷な熱分解をして作られているものと思われる。

F1, F2は、ビスブレーカーボトムにFCCタールやFCCのライトサイクルガスオイルを加えて作ったものと言われている。

比熱及び熱伝導率については測定がむずかしいため、未だ求まっていない。このうち比熱については国内に測定可能な部所が見つかり、現在計測を準備しているが、今年度中に計測を完了することはむずかしい。熱伝導率については測定可能な部所が見つからないので特殊な計測装置を作らざるを得ない。これ等のデータは、タンク内、配管内加熱をする時に必要な基礎データであるため、次年度タンク内、配管内加熱方法に関する模型実験を行う過程で測りたい。

3. 供試油の熱安定性

実船からの報告によると最近燃料加熱器でのスラッジが堆積が生じると言われている。これは燃料の熱安定性の低下が一因であると推定できる。

燃料の熱安定性の評価にはASTM-D-1661があるが今回の供試油の場合、熱安定性を調査する簡便な方法としてそれぞれの供試油を140°Cで12Hr及び48Hr加熱して加熱前後のn-ヘキサン不溶解分の増減及び光学顕微鏡による粒子の増加の有無の調査を行った。

表2.1.1及び表2.1.2のn-ヘキサン不溶解分分析値からも判る如く、燃料のn-ヘキサン不溶解分の分析はかなりその都度ばらつきを生じやすい。そこで今回の熱安定性評価のためのn-ヘキサン不溶解分の分析においては特に、溶解温度、振とう、乾燥等の分析条件を可能な限り一定として操作を行った。

また、再現性を確認するためA2は2回分析している。

3.1 n-ヘキサン不溶解分の増大（表2.1.2参照）

加熱減少量は、ビスブレーカーボトムを基材としたVB 2で大となったがその他はほぼ常圧蒸留残渣油と同等である。

FCCタール及びビスブレーカーボトムを基材としたF 1, F 2, VB 1におけるn-ヘキサン不溶解分の増加は140°C×12Hrではさほど大ではないが140°C×48Hrでは数%の増加を示しており、これらの供試油が熱的に不安定な物質を多く含むことを示している。しかし、VB 2はビスブレーカーボトムを基材とした燃料でありながらもn-ヘキサン不溶解分の増加は小である。

なお加熱減少量を考慮した修正n-ヘキサン不溶解分及びn-ヘキサン不溶解分増加量の計算式は表2.1.2に示すが、加熱減少量のなかにはn-ヘキサン不溶解分はないものとして計算している。

また表2.1.2中VB 2は乾燥が通常の105°C×0.5Hrでは不十分でタール状物質であったため105°C×1.5Hrに延長乾燥した分析値である。

3.2 光学顕微鏡による粒子の増加の観察（写真2.1.1～2.1.6参照）

供試油の加熱前後の粒子の増減の観察は、加熱前及び加熱後（140°C×12Hr, 140°C×48Hr）の供試油をスライドグラス上に一滴採取しそれを、常温、30°C、60°Cの恒温槽に約2Hr保った後に光学顕微鏡で観察した。

その結果、粒子の増加は観察温度が低い場合（15, 30°C）はいずれの供試油ともに見られるが、60°Cで観察した場合は殆んど変化がなく、粒子の増加量で見る限り常圧蒸留残渣油の間に大きな差は認められない。

4. 清浄機で除去されたスラッジの性状（表2.1.3参照）

4.1 清浄方法

A 1, A 2, VB 1, VB 2及びF 1は巴工業AE-15V円筒型遠心清浄機で、F 2は三菱化工機SJ 3000分離板型遠心清浄機で清浄したもので清浄条件は、表2.1.4に示す通りである。

SJ 3000はシール水を使用しているため実用上の加熱限界を95°Cとした。

AE-15Vは加熱上限はもっと高いが、一般に使用されている清浄機と条件を合せるために95°Cを加熱限界として運転した。

流量は日本船用油清浄機標準要求仕様に定める呼び容量を100%としている。即ち、処理液粘度24cSt, 処理液比重0.9とした時、比重1.8、直徑2μの粒子を除去できる通油量を100%とした。

A 1, A 2, VB 1, VB 2, F 1の遠心清浄能力は、現在実船で行なわれている清浄とはば同程度の能力である。この条件をP 1と称する。F 2は3種類の異なる清浄条件P 2, P 3, P 4で清浄を行なった。これらの詳細は表2.1.4に示す。

4.2 スラッジ量

スラッジ量は常圧蒸留残渣油（A 1, A 2）で0.004～0.04w%であるが、ビスブレーカーボトム油（VB 1, VB 2）では0.02～0.07w%と若干多くなり、FCCタール油（F 1, F 2）では0.06～0.15w%と大量に生じる。これらスラッジ量の増大は、スラッジの船内処理が問題となるかも知れない。

4.3 スラッジの性格

これらのスラッジの性状においては、炭化水素としてはスラッジ間において大きな相違はない。常圧蒸留残渣油でもA 2の如くスラッジ中の灰分割合の多いもの（主成分酸化鉄）もあるか、この場合でも原液に対する灰分割合は小さい。一方、原液に対する灰分割合が多いのは、FCCタール油を用いた燃料である。

FCCタール油(F1, F2)では、 SiO_2 , Al_2O_3 等の触媒粒子を含む灰分が多いため、スラッジの船内焼却に困難が生ずるかも知れない。

4.4 スラッジの比重(表2.1.5参照)

スラッジの比重は、既知容積の容器にスラッジを詰め、その重量を測定する方法によって求めた。

ここでは灰分の多いものは比重が大きいと言える。

4.5 スラッジの針入度(図2.1.1参照)

スラッジの流動性の評価として、JIS K-2207 石油アスファルトの針入度試験装置を右の略図の如く差動トランスを用いて改造し、針入度を測定した。

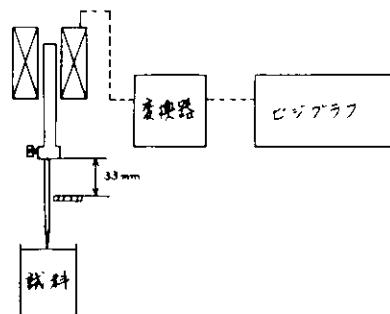
図2.1.1はこれらのスラッジの針入度測定結果であるが、ここで針入度は針が33mm進入するに要する時間で表わしている。即ち、時間が短い程、流動性は劣る。

供試スラッジの針入度は、温度が低いほど小で、数秒～30秒に達するものがあるが、温度が高くなるに従って大となり、50°Cでは1秒以下である。

また実船では、潤滑油スラッジの清浄機分離板への固着が多いということから、参考のため潤滑油スラッジも測定したが、潤滑油スラッジは燃料油スラッジよりも針入度は小であった。

針入度で見る限り、分解残渣基材燃料の清浄機スラッジは潤滑油スラッジよりも常圧蒸留残渣基材燃料のスラッジに近い。

また、図2.1.2は針入度の37.5°Cにおける時間経過による変化であるが、これはスラッジが時間を経過するにつれて徐々に性質が変化する事を示している。尚、潤滑油スラッジは、中速トランク型ディーゼル機関を常圧蒸留残渣を基材とする燃料で運転したとき、潤滑油遠心清浄機で分離されたものである。使用潤滑油はSAE40, TBN25である。



4.6 スラッジの粘度(図2.1.3参照)

スラッジの粘度はJIS K 2283のBS/IP逆流U字管粘度計(井5)を用い測定を試みたが、供試スラッジの試料量の少ないものもあり、また粘度が高く測定できないという制約もあり、図2.1.3の如く1試料のみの測定にとどまった。

5.まとめ

一般性状

1) 一般性状については表2.1.1の通りである。

供試油の熱安定性

1) VB2の様に変わるものもあるが、FCCタール及びビスプレーカーボトムを基材とした分解残渣油は一般に加熱することにより、n-ヘキサン不溶解分は増加し熱的に不安定な物質を含む事を示している。

2) 加熱による粒子の増加は、光学顕微鏡による観察温度が低い場合(15, 30°C)には増加しているが、60°Cの観察では増加は認められず、粒子量の増加で見る限り常圧残渣油と分解残渣油の間に大きな差は認められなかった。

3) 加熱による不溶解分増大とヒーターのスラッジ堆積の相関が不明であるが、燃料加熱はできるだけセーブした方が無難ではなかろうか。

燃料清浄機スラッジ

- 1) 供試油の清浄機スラッジ量は、常圧蒸留残渣油、ビスブレーカーボトム油、FCCタール油の順に多くなり、 FCCタール油はスラッジ量が多すぎてスラッジの船内処理が困難かも知れない。
- 2) スラッジの性質においては、炭化水素としてはこれらスラッジ間において大きな相違はないが、 FCCタール油では SiO_2 、 Al_2O_3 等の触媒粒子を含む灰分が多いため、スラッジの船内処理に問題を生じるかも知れない。
- 3) スラッジの比重は、1.1～1.4で灰分の多いものは比重も大きい事が判った。
- 4) スラッジの流動性を示す特性として、針入度を測った。常圧蒸留残渣基材燃料を使用した経験によれば、燃料清浄機に較べ潤滑油清浄機で分離板の汚れが甚々しい。このためビスブレーカーボトム、 FCCタール等を基材とした燃料のスラッジ及び潤滑油清浄機スラッジと比較した。その結果ビスブレーカーボトム及び FCCタールを基材とした燃料スラッジの流動性は常圧蒸留残渣油を基材とした燃料スラッジより劣っているが潤滑油清浄機スラッジの流動性はどではない事が判った。

表2.1.1 CHARACTERISTICS OF FUELS

Characteristics Symbol	Fuels		Atmospheric residue		Visbreaker bottom		Visbreaker bottom + FCC Tar	
	A1	A2	VB1	VB2	F1	F2		
Specific gravity	15/4 °C	0.9602	0.9540	1.0049	0.9891	1.0366	1.0226	
Viscosity (Cst)	at 50 °C	142.26	176.4	775.5	440.85	761.3	681.5	
	at 98.9 °C	18.89	23.1	52.7	38.02	46.68	44.35	
Viscosity index		90	85	75	75	73	75	
Pour point	(°C)	-7.5	-7.5	-2.5	-7.5	-5	-2.5	
Flash point	°C (PM)	116	94	75	75	73	75	
Sulphur	(Wt %)	3.04	2.52	3.45	3.60	3.00	3.46	
Ash	(Wt %)	0.01	0.02	0.06	0.02	0.05	0.06	
Vanadium	(ppm)	63	85	135	183	87	95	
Residual carbon	(Wt %)	9.94	11.12	18.19	17.97	17.65	17.67	
Asphaltenes	(Wt %)	4.54	4.31	9.57	11.0	7.91	8.05	
Hexane insolubles	(Wt %)	6.35	7.44	11.89	15.41	11.50	10.71	
Elementary analysis	C/H (ratio)	7.63	7.45	8.34	7.89	9.52	8.9	
	N (Wt %)	0.45	0.40	0.69	0.47	0.48	0.2	
Calorific value (Net)	(KJ/kg)	40,520	40,730	39,980	39,850	39,560	39,600	
Compatibility with M.D.O (ASTM-D-2781)		1	1	1	5	1	1	

表2.1.2 燃料熱安定性 (n-ヘキサン不溶解分の増加)

試料油名前	加熱前 ヘキサン不溶分 (w%)	140°C × 12 Hr 后				140°C × 48 Hr 后			
		加熱減少量 (w%)	実測ヘキサン 不溶分(w%)	修正ヘキサン 不溶分(w%)	ヘキサン不溶分 増加量	加熱減少量 (w%)	実測ヘキサン 不溶分(w%)	修正ヘキサン 不溶分(w%)	ヘキサン不溶 增加量(w%)
A 1	8.53	1.82	9.29	9.12	0.59	11.12	12.91	11.47	2.94
A 2	11.95 12.21	5.89	12.15 12.42	11.43 11.69	-0.52 -0.52	11.31	15.00 15.06	13.30 13.36	1.35 1.15
V B1	15.28	5.68	18.31	17.27	1.99	10.29	24.84	22.28	7.00
V B2 *	24.74 19.44 *	11.17	24.52 22.38 *	21.78 19.88	-2.96 0.44	17.29	34.77 26.34 *	28.76 21.79	4.02 2.35
F 1	12.65	4.46	16.01	15.30	2.65	9.00	19.42	17.67	5.02
F 2	13.23	3.98	15.72	15.09	1.86	6.65	19.99	18.66	5.43

* ヘキサン不溶解分の乾燥時間 105°C × 1.5 Hr

Wc : 修正後の n-ヘキサン不溶解分

Δw : n-ヘキサン不溶解分増加量

w₀ : 加熱前実測 n-ヘキサン不溶解分

w₁ : 加熱後実測 n-ヘキサン不溶解分

ΔW : 加熱減少量 試料全体

$$w_c = w_1 \times \frac{(100 - \Delta w)}{100}$$

$$\Delta w = w_c - w_0$$

写真2.1.1 燃料の熱安定性 OM 写真

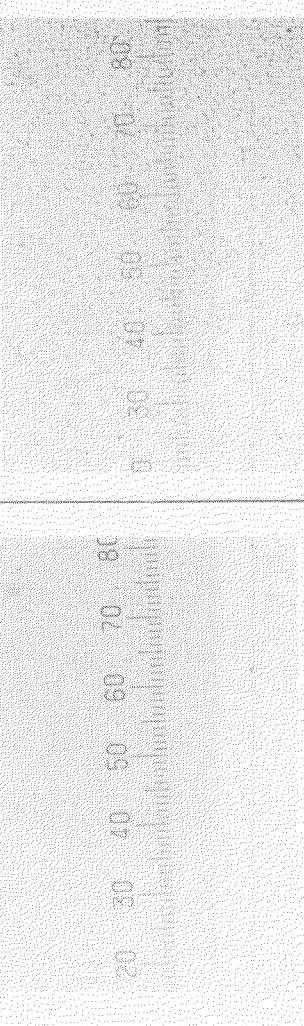
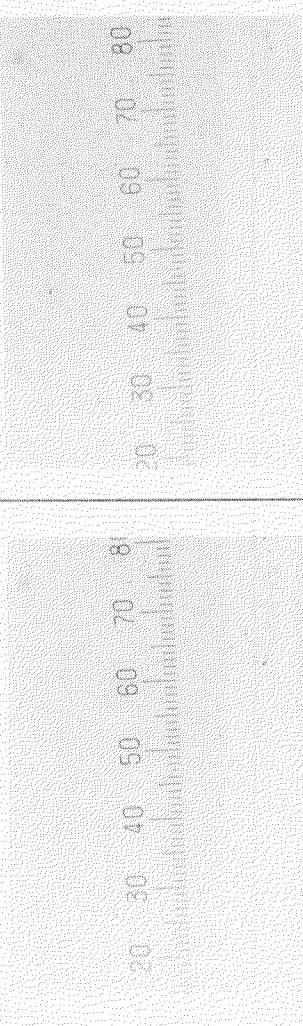
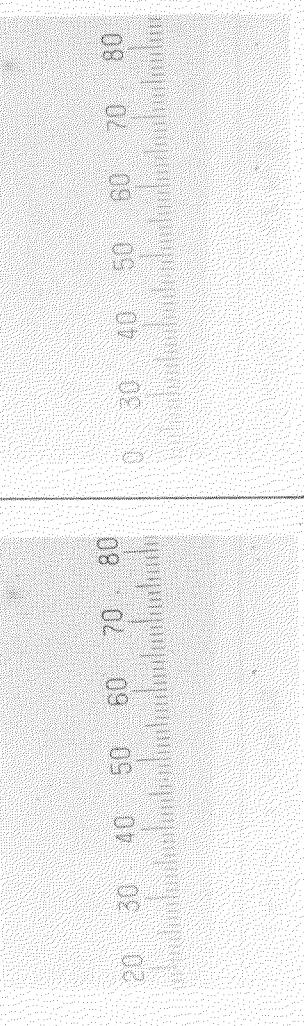
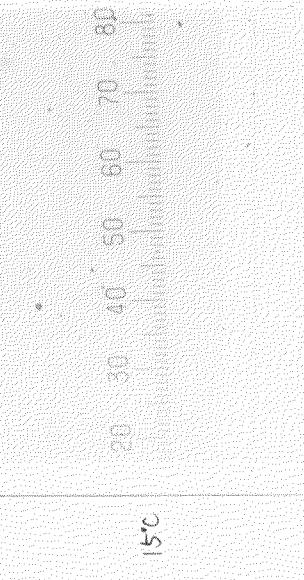
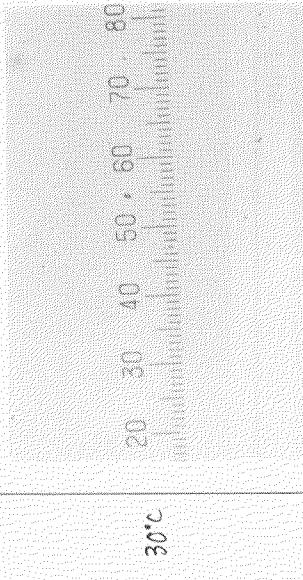
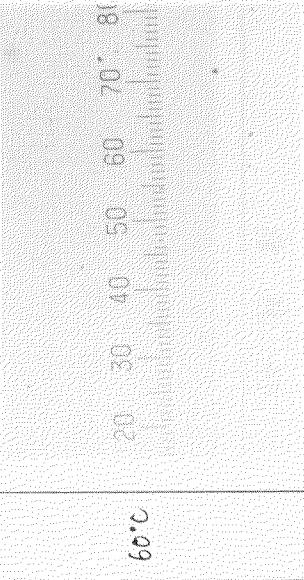
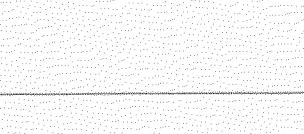
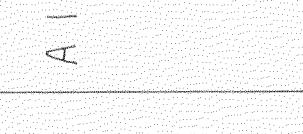
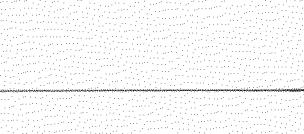
温度 °C	加熱前	140°C × 12 Hr 后	140°C × 48 Hr 后
15°C			
30°C			
60°C			

写真2.1.2 燃料の熱安定性 OM 写真

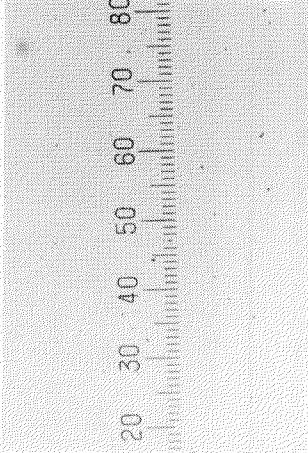
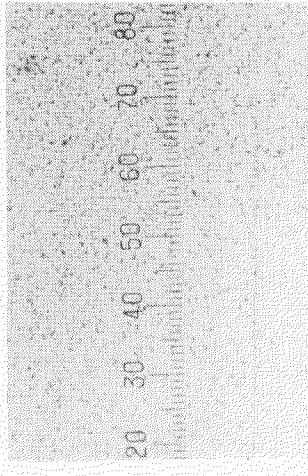
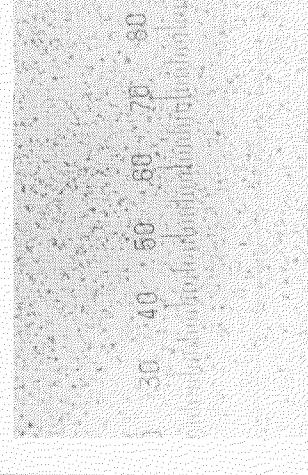
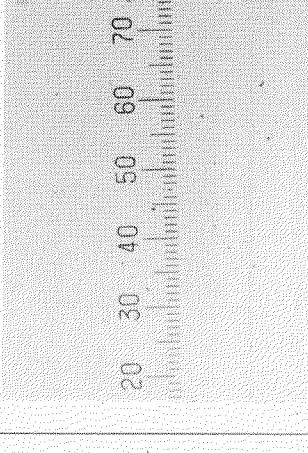
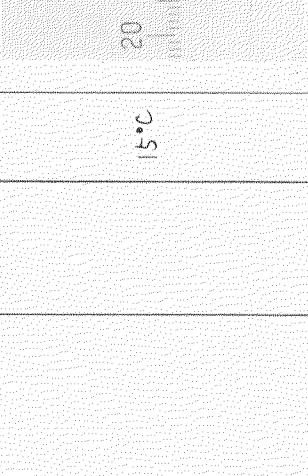
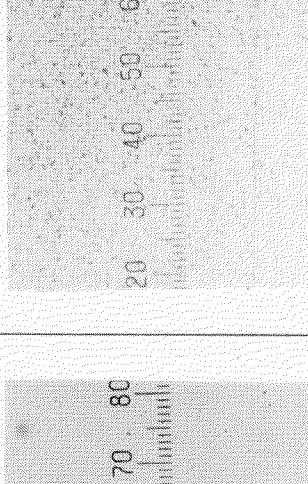
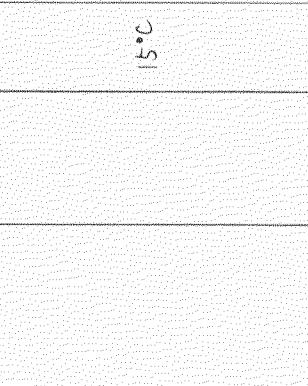
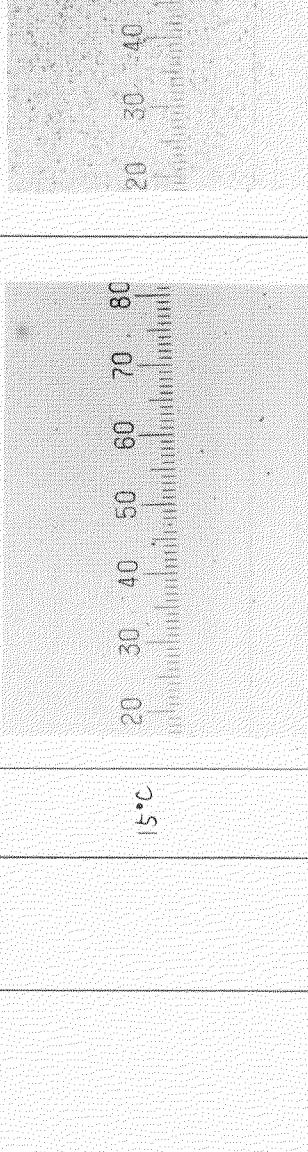
温度 °C	加熱前	140°C × 12 Hr/往						140°C × 48 Hr/后						1月 = 13.3M
		20	30	40	50	60	70	80	20	30	40	50	60	70
15°C				F13-1	F14-1A	F15-1A								
30°C				F13-2	F14-2A	F15-2A								
60°C				F13-3	F14-3A	F15-3A								

写真2.1.3 燃料の熱安定性OM写真

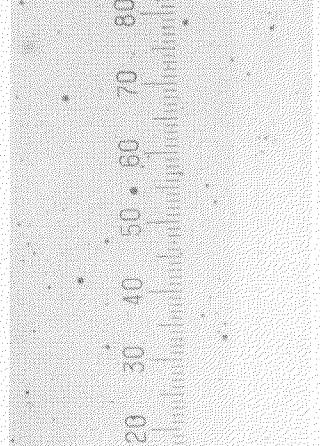
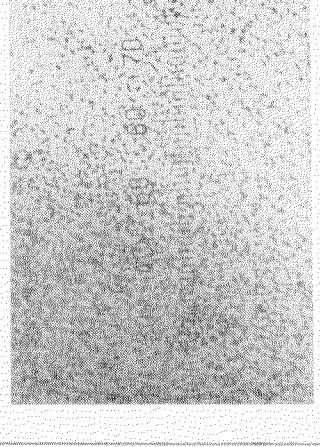
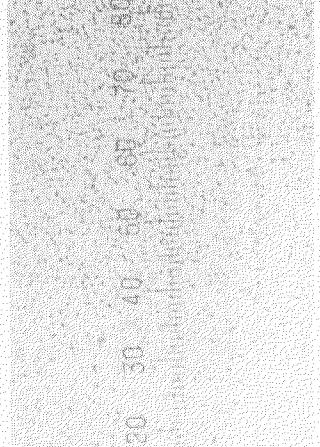
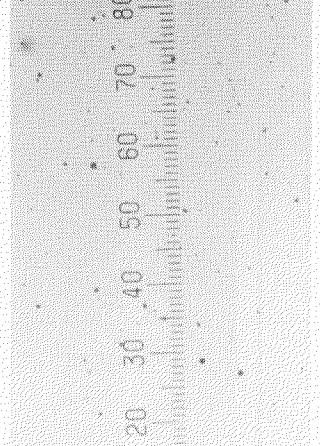
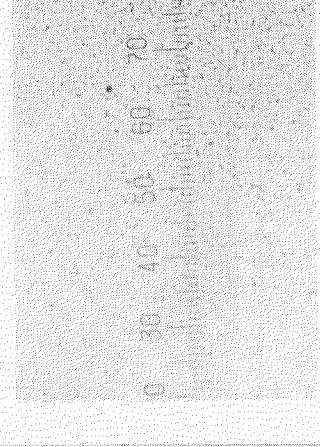
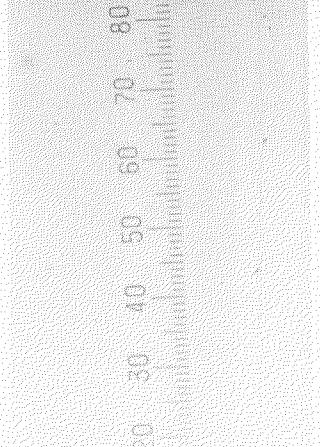
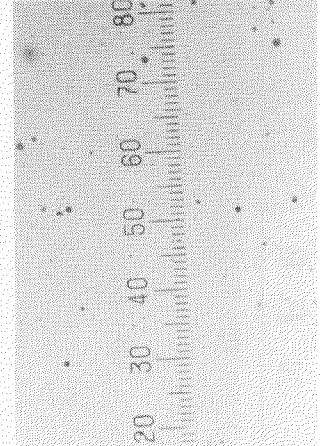
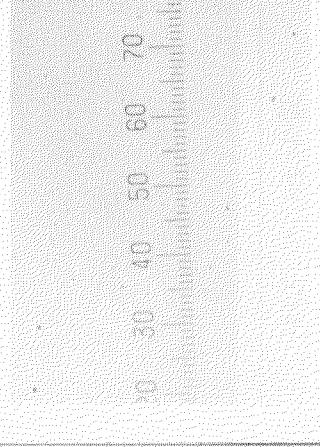
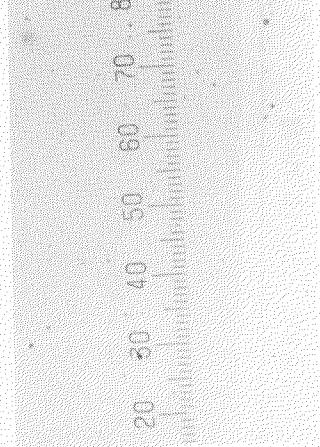
温度 °C	加熱前	140°C x 12 hr 后	140°C x 48 hr 后
15°C			
30°C			
60°C			
	F3-2	F4-2A	F5-2A
		F4-4A	F5-4A
		F4-8	F5-8A
			F4-14

写真2 1.4 燃料の熱安定性試験

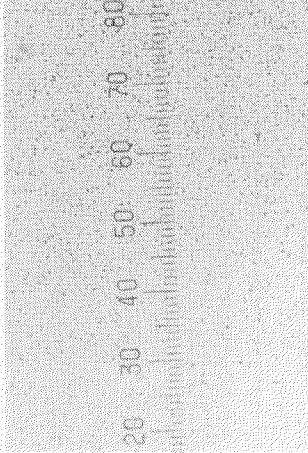
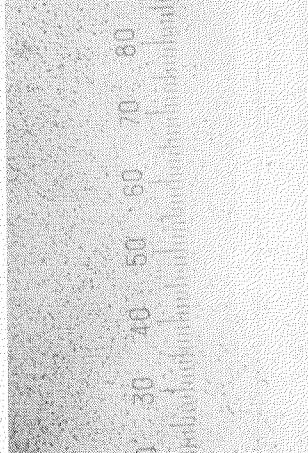
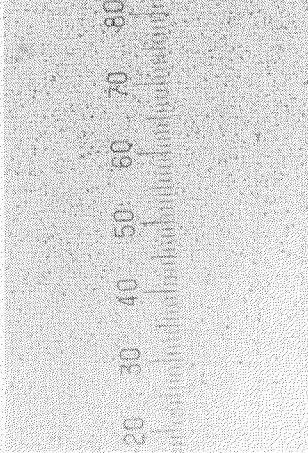
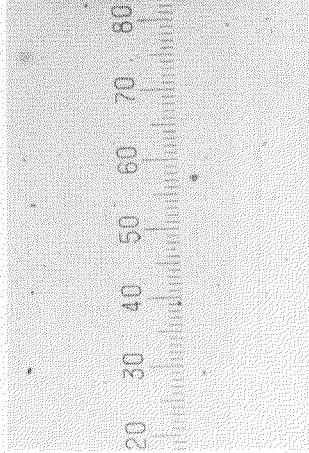
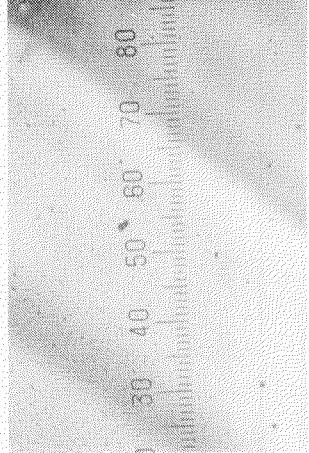
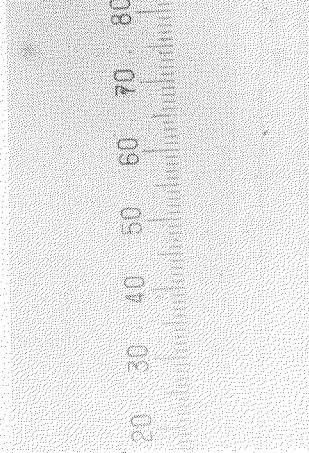
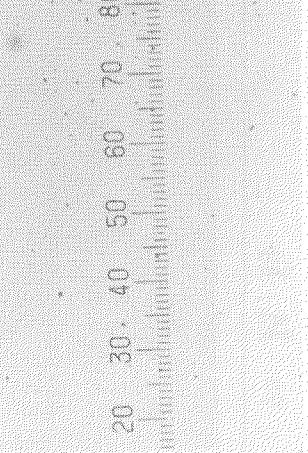
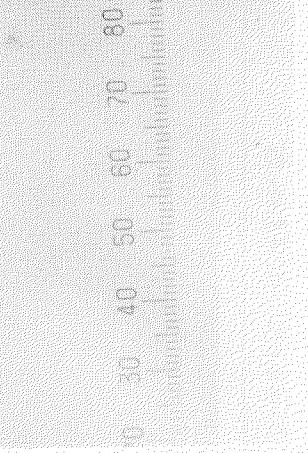
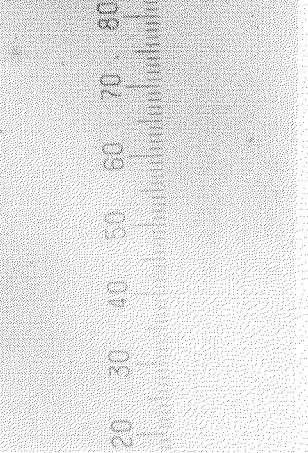
温度 °C	加熱前	140°C × 12 Hr 後						140°C × 48 Hr 後						日 = 1, 2, 3, 4
		20	30	40	50	60	70	80	20	30	40	50	60	70
15°C				F3-3	F4-3A	F5-3A								
30°C				F3-9	F4-9A	F5-9A								
60°C				F3-15	F4-15A	F5-15A								

写真2.1.5 燃料の熱安定性〇M字真

		温度		刀口熱前		140°C x 12 Hr后		140°C x 48 Hr后							
		15°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C	15°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C
F1															
F13-4															
F14-4A															
F14-16A															
F15-16A															
F13-6															
F14-16A															
F15-16A															

写真2.1.6 燃料の熱安定性OM写真

温度 °C	加熱前	140°C × 12 Hr 後								140°C × 48 Hr 後										
		20	30	40	50	60	70	80	20	30	40	50	60	70	80	20	30	40	50	60
15°C																				
30°C																				
60°C																				
	F20-2	F14-5A	F15-5A																	
		F20-5	F14-17A																	
			F15-17A																	
			F20-8																	
			F14-14A																	
			F15-14A																	

表 2.1.3 QUANTITY AND CHARACTERISTICS OF REMOVED SLUDGE FROM FUELS BY PURIFIER

Fuel oils	Condition of purification			Quantity of sludge (Wt %) *1	Composition of sludges (Wt %) *2						Elementary analysis of sludge (Wt %) *2			
					Toluene insolubles			Ashes						
	Cond' name	Flow rate %	Viscosity cst		H.S. *3	H.I.-T.S. *4	Combustibles	Total	SiO ₂	Al ₂ O ₃	C	H	N	C/H
A1	P 1	80	23	0.0380	62.2	11.6	20.7	5.5	-	-	79.40	8.82	0.83	9.00
A2	P 1	74	26	0.0040	37.4	8.8	25.9	27.9	0	0.7	58.51	6.24	0.72	9.38
VB1	P 1	31	62	0.0680	59.9	10.4	23.7	6.0	-	-	78.44	8.51	0.97	9.22
VB2	P 1	45	44	0.0190	54.3	14.8	18.5	12.4	0	0.2	73.72	8.17	0.78	9.02
F1	P 1	30	56	0.0614	49.1	8.8	17.3	24.8	15.0	2.8	56.19	6.12	0.45	9.18
F2	P 2	80	48	0.1010	37.5	5.7	10.4	46.4	35.0	3.4	-	-	-	-
F2	P 3	14	48	0.1180	37.6	5.7	10.3	46.4	36.1	3.5	-	-	-	-
F2	P 4	3	48	0.1480	37.9	6.4	8.9	46.8	36.0	3.6	46.95	4.87	0.49	9.64

*1---Percentage by weight of fuel oil

*2---Percentage by weight of sludge

*3---HS. ; Hexane soluble

*4---H.I.-T.S. ; Hexane insoluble - Toluene soluble

表 2.1.4 燃料の清浄条件

試料油	条件 呼記号	使 用 遠心漏斗機	量 定格流量 %	通 済 条 件			臨界粒度	
				温 度	密 度	粘 度	$\rho_{p,1}$	$\rho_{p,23}$
A 1	P 1	AE15V	80	9.2	0.9086	23	1.8	-
A 2	"	"	74	9.5	0.9004	26	"	-
VB1	"	"	31	9.5	0.9513	6.2	"	-
VB2	"	"	45	9.5	0.9355	4.4	"	-
F 1	"	"	30	9.5	0.9830	5.6	"	-
F 2	P 2	SJ3000	80	9.5	0.9690	4.8	2.7	2.2
F 2	P 3	"	14	9.5	0.9690	4.8	1.1	0.9
F 2	P 4	"	3	9.5	0.9690	4.8	0.5	0.4

定格流量 AE15V 1500 l/H SJ3000 3000 l/H

ρ_p : 粒子密度 (g/cm^3)

表 2.1.5 燃料油スラッジの比重

試料油	清浄条件	比 重
A 1	P 1	1.089
A 2	P 1	1.336
VB1	P 1	1.111
VB2	P 1	1.090
F 1	P 1	1.195
F 2	P 2	1.424

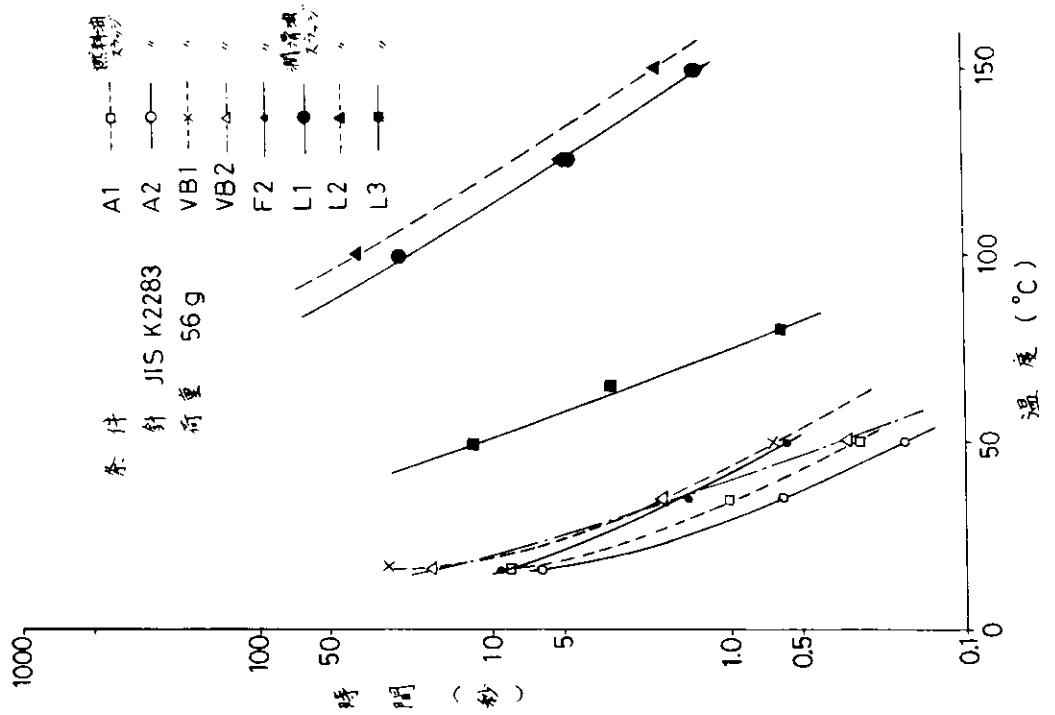


図 2.1.1 燃料油及び潤滑油の清浄機スラッジの針入度
(針入度33%になるまでの時間)

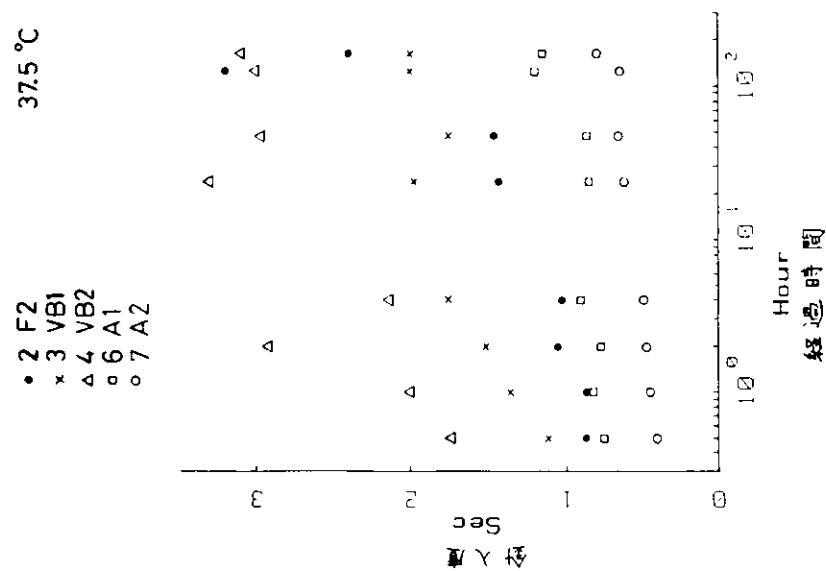


図 2.1.2 針入度の時間変化

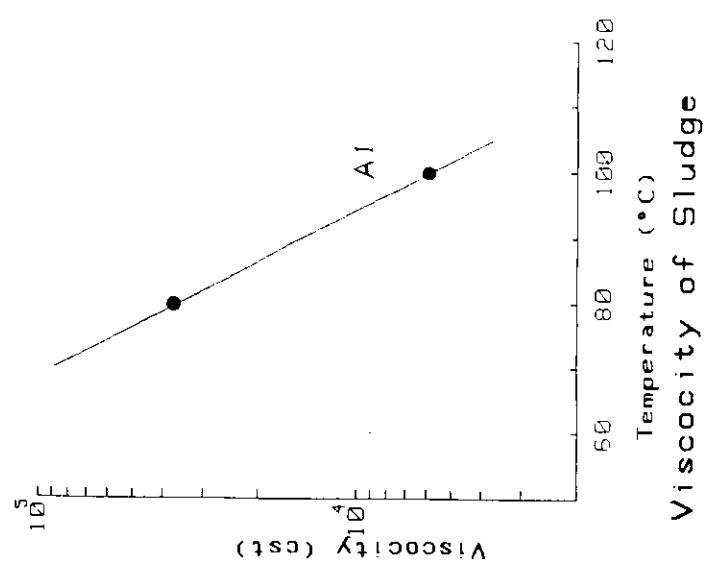


図 2.1.3 スラッジの粘度

第2章 各種清浄度の試験油の実験室的製造 (燃料油清浄に関する実験)

1. 概 要

1.1 目 的

原油から多くの軽質留分を得るために、ビスブレーキング、F.C.C.が採用され、これらのプロセスから出る残渣油が船用燃料の基材となると予測されている。

F.C.C. タールには微細な触媒片が、ビスブレーカーボトムには比較的固い炭化水素粒子が含まれていることがある。現在でもF.C.C. タールの混入した燃料が供給され、リング、シリンドライナ、燃料ポンププランジャー、燃料ポンプライナ等に著しい摩耗が発生することが時々報告されている。

トラブルの原因は、残存する触媒粒子によるものと考えられる。この触媒粒子を、船内で分離するかどうかを検討するために、F.C.C. タールが混入した燃料を入手して、その触媒粒子の粒径分布を調査し、又実船で用いられている型の遠心清浄機にこの燃料を通液して、分離能力を調べた。

1.2 試験の概要

供試燃料油を3種類の条件で実船型の遠心清浄機に通し、得られた清浄液とスラッジ、それに原液(清浄前の燃料)を加えて7種類の試料を得た。

これらの一剖を、フィルター法、遠心分離法の2つの方法によって粒径分布を求めた。

フィルター法は、ミリポアフィルターに捕捉した粒子を光学顕微鏡で観察する方法で、過程が単純で信頼性は高い。しかし、フィルター表面には凹凸が多く、 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下の粒子を識別する事はむづかしい。

遠心分離法は少くとも粒子が分離できる範囲のものは解析が可能で、顕微鏡では識別できない小粒子でも測定できる。反面、解析は複雑で、結果はばらつきの多いものとなった。ばらつきの原因のひとつは通液条件の変化であるらしく、通液条件の変更時のデータに変動が見られる。

フィルター法と遠心分離法の結果を組み合わせて見た結果から、使用した清浄機の分離率を求めた。この結果、通液量を定格の80% (定格通液量: 处理液粘度24 cSt, 处理液比重0.9としたとき、比重1.8 直径 $2\text{ }\mu$ の粒子を除去出来る通油量) 入口粘度48 cSt (加熱温度95°C) で遠心清浄した場合でも数μ以上以上の触媒粒子はほぼ除去出来ることが判った。

しかし通液量が定格の3%程度では、理論上計算される分離率に対し、測定された分離率は低かった。このことから見て、流量を絞って分離能力を上げる方法には限界があるといえる。

清浄機の分離率を議論するには、 $3\text{ }\mu\text{m}$ 以下の粒子について粒径分布を求める必要がありこの範囲では遠心分離法に頼らざるを得ない。今後の課題としては、遠心分離法の精度の向上が考えられ、この方法でお努力していただきたい。

2. 試 料 油

2.1 供試燃料油

使用した燃料油は、F.C.C. タールとビスブレーカーボトムを基材としたもので、第2編第1章でF2と称するものである。この燃料油の性状等については、第1章の表2.1.1を参照されたい。

2.2 清浄条件

供試燃料油をSJ 3000型清浄機を用いて3種類の条件で清浄し、その結果清浄液3種類と、スラッジ3種類を得て

いる。清浄条件は第1章の表2.1.4に、スラッジの性状は同じ第1章の表2.1.3に示す。

3. 試験装置と方法

3.1 フィルター試験

図2.2.1に試験装置を、図2.2.2に試験の手順を示す。

試験に用いた試料の量は、清浄前の燃料（F2原液）については20g、清浄液については100gとした。加圧には純窒素を用いた。

3.2 遠心分離試験

3.2.1 試験装置

遠心分離法は、試料を小型の遠心分離機に通液して採取したスラッジ量から試料の粒径分布を算出する方法である。

使用した遠心分離機は、シャープレスペンドルT1型で、ボウル内保有液量197cm³、最大回転数50000rpmである。ボウルの寸法は分離率の計算に必要となるので、下に示しておく。

$$\text{ボウルの有効長さ} : \ell = 20.1 \text{ cm}$$

$$\text{ボウル内径} : R_0 = 4.45 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{ボウル内油内径と} \\ \text{ボウル内径の比} &: \psi_1 = 0.719 \end{aligned}$$

T1型遠心分離機の分離率は、3.2.5項に示す。内部の構造を図2.2.3に、接続、配管を図2.2.4に示す。試験の流れは図2.2.5に示す。

試験中のボウル回転数はコントローラ①（図2.2.4）で自動制御する。通液温度は、ボウル内部を直接計測できないので、遠心分離機のフレーム内温度②と、油の入口温度③と同じになるよう制御し、これを通液温度とした。フレーム内部は電気ヒーター④又は冷却パイプ⑤に空気を通すことによって制御し、油入口は湯槽温度⑥を制御して調整した。通液量は定量ポンプ⑦により一定と見做して、全通液量を通液時間で割ったものを通液量とした。

3.2.2 解析法

解析に際しては次の仮定をおく。

① 使用するT1型遠心分離機の分離率は計算値が正しいものとする。（3.2.5項）

② 取扱う粒子の密度は、2.3g/cm³で球型とする。

燃料油中の粒子の密度分布が w_0 であったとする。密度分布の定義は3.2.4項に示す。この燃料油を条件1（図2.2.5参照）でT1型遠心分離機に通す。この時のT1型遠心分離機の分離率が λ_1 であったとすると、分離された粒子の密度分布 w_1 及び分離されなかった粒子の密度分布 w_1^* はそれぞれ、

$$w_1 = w_0 \lambda_1$$

$$w_1^* = w_0 (1 - \lambda_1)$$

となる。次に、通過した液を条件2で通液する。このときの分離率を λ_2 とすると、分離された粒子の密度分布 w_2 は、

$$w_2 = w_1 * \lambda_2$$

$$= w_0 (1 - \lambda_1) \lambda_2$$

K回通液した場合、各回に分離された総質量 W_1 、 W_2 ……… W_k は、分離された粒子の密度分布を粒径で積分した形となり、それぞれ

$$W_1 = \int_0^{DL} w_0 \lambda_1 dD$$

$$W_2 = \int_0^{DL} w_0 (1 - \lambda_1) \lambda_2 dD$$

$$W_3 = \int_0^{DL} w_0 (1 - \lambda_1)(1 - \lambda_2) \lambda_3 dD$$

$$W_k = \int_0^{D_L} w_0 (1 - \lambda_1)(1 - \lambda_2) \dots (1 - \lambda_{k-1}) \lambda_k dD$$

ここで D は粒子径, D_L は測定される最大の粒子径である。今回の実験では、 D_L を $64 \mu\text{m}$ にとれば十分であった。 W_1, W_2, \dots, W_k は実測質量で既知, $\lambda_1, \dots, \lambda_k$ も 3.2.5 項により既知数, 上記 K 個の連立方程式から、 K 個の未知数を含む粒子密度分布を求めることができる。

実験結果は必ずしも正確なものとはいえないものので、データを均す必要がある。また、有限回の実験から全く未知の密度分布を求めるためには、なにかしかの仮定をおかなければならぬ。これらの方針について次に述べる。

3.2.3 最小二乗法

実験誤差を均すために、最小二乗法を用いる。その +

前に、密度分布を仮定する。

先入観のない形として、図 2.2.6 に示すような分布が考えられる。なお、 D_L より大きい粒子は無いとする。

ここで、それぞれの粒径範囲内（例えば D_{i-1} から D_i ）では、密度分布 w_{0i} は定数とする。従って、3.2.2 項に示した K 個の式は次のようになる。

$$W_1 = w_{01} \int_0^{D_1} \lambda_1 dD + \\ + w_{02} \int_{D_1}^{D_2} \lambda_1 dD + \dots \\ \dots + w_{0L} \int_{D_{L-1}}^{D_L} \lambda_1 dD + \varepsilon_1$$

$$W_2 = w_{01} \int_0^{D_1} (1 - \lambda_1) \lambda_2 dD + \\ + w_{02} \int_{D_1}^{D_2} (1 - \lambda_1) \lambda_2 dD + \dots \\ \dots + w_{0L} \int_{D_{L-1}}^{D_L} (1 - \lambda_1) \lambda_2 dD + \varepsilon_2$$

$$W_k = w_{01} \int_0^{D_1} (1 - \lambda_1)(1 - \lambda_2) \dots (1 - \lambda_{k-1}) \lambda_k dD + \\ + w_{02} \int_{D_1}^{D_2} (1 - \lambda_1)(1 - \lambda_2) \dots (1 - \lambda_{k-1}) \lambda_k dD + \dots \\ \dots + w_{0L} \int_{D_{L-1}}^{D_L} (1 - \lambda_1)(1 - \lambda_2) \dots (1 - \lambda_{k-1}) \lambda_k dD + \varepsilon_k$$

但し $K \leq L$

ここで $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_k$ は誤差項である。これらの二乗和を最小にするように $w_{01}, w_{02}, \dots, w_{0L}$ を求める。

二乗和を S とすると

$$S = \sum_{i=1}^k \varepsilon_i^2$$

これより、 $w_{01}, w_{02}, \dots, w_{0L}$ は S の極値を得る点として求められる。

$$\frac{\partial S}{\partial w_{01}} = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial w_{02}} = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial w_{0k}} = 0$$

ここで用いた密度分布 w の定義は 3.2.4 項に、分離率 λ の詳細は 3.2.5 項に示す。

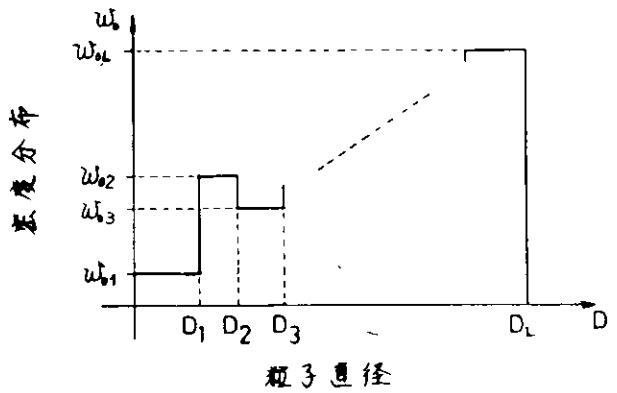


図 2.2.6 粒子直径

3.2.4 密度分布の定義

始めに個数分布を考える。個数分布 n は、単位粒径範囲当たり、単位試料量当たり個数として定義する。

例えば、単位量の試料中に、直徑 D_a より小さい粒子が N_a あったとする。 N を直徑 D より小さい粒子の総数と定義すると、この時の D に対する N のグラフは図 2.2.7 のようになる。

もともと、個数分布は離散的な標本をもとにしたものであるが、そのままで取扱いに不便なので、図 2.2.7 のグラフを連続な形に近似し、図 2.2.8 のようなグラフを考える。この曲線を N として定義し直す。これより、個数分布 n は、 N の D に対する微係数で表わされ、

$$n = \frac{\partial N}{\partial D}$$

である。 n は例えば、個数/ $\mu\text{m}/\text{mg}$ といった単位である。

解析は密度分布で行なうので、密度分布 w を定義する。 w は粒子密度を ρ_p とおいて、

$$w = n \frac{\pi}{6} \rho_p D^3$$

である。 w の単位は、(質量割合/単位粒径)となり、例えば (ppm/ μm) といった形である。

3.2.5 T I 型遠心分離機の分離率^(注)

(1) 設定条件

粒子に働く力は、遠心力、重力、粘性力であるが、粒子が非常に小さく、遠心力が大きいとし、ボウル内での半径方向の流れがないとすれば、次のように単純化できる。

- ① 粒子の慣性力はゼロとする。
- ② 軸方向の粒子速度は、軸方向の油の流速に等しい。
- ③ 半径方向の粒子速度は、遠心力と粘性力とのつり合いによって求められる。

粒子が分離されたか否かは次のように決める。ある粒子が流入する時に位置 ψ_x にあったとする(図 2.2.9)。この粒子が出口の手前までに外壁に到達すれば、これは分離されたものとする。出口側に到着した時、未だ外壁に到達し得ない場合は分離されなかったものとする。

注) 3.2.5 項で用いる記号の説明は、本項の末尾(7)に示す。

(2) 流速

軸方向に Z 、半径方向に R の円筒座標をとる。 Z 軸は入口で $Z = 0$ 、出口で $Z = \ell$ とする。この時、半径比 ψ を考え、次のようにおく。

$$\psi = \frac{R}{R_0}$$

ここで R_0 はボウル内径である。

分離率 α は、図 2.2.9 中で全体の流量 Q_0 に対する分離領域の流量 Q_x の比で表わされる。

油の流速 v は、表面での速度勾配を 0、壁面での速度を 0 として求められ、 ψ の関数となる。半径方向速度は 0 なので、 v は軸方向成分だけである。

$$v = \frac{Q_0}{2 \pi R_0^2 \psi f(\psi_1)} \frac{df(\psi)}{d\psi} \quad (1)$$

ここで $f(\psi)$ は

$$f(\psi) = \frac{1}{6} \{ 3(1 - \psi^4) - 8\psi_1(1 - \psi^3) \\ - 6(1 - 2\psi_1)(1 - \psi^2) \}$$

である。 $f(1) = 0$ となる。

ψ_x より外側の流動 Q_x と、全流量 Q_0 の比は(1)式より

$$\frac{Q_x}{Q_0} = \frac{\int_{\psi_x}^1 2 \pi R_0^2 \psi v d\psi}{\int_{\psi_1}^1 2 \pi R_0^2 \psi v d\psi} = \frac{f(\psi_x)}{f(\psi_1)} \quad \text{[2]}$$

(3) 粒子の運動と分離率

ある粒子の重力中の沈降速度を u とすると、ボウル中で R の位置にあるこの粒子の半径方向速度 u_R は、

とおける。軸方向速度は流速に等しい。これから粒子の軌跡が求められる。図 2.2.9 のように、この粒子が $\psi = 1$ ($R = R_0$) , $Z = \ell$ の点に到達したとする。この時の入口側の位置 ψ_x より外側の流量を Q_x とすると、分離率 α は(2)式から

$$\lambda = \frac{Q_x}{Q_0} = \frac{f(\psi_x)}{f(\psi_i)} \quad \dots \quad (4)$$

また、粒子の軌跡の式より、次の式を満足しなければならない。

この式で、右辺は定数である。場合によっては、 ψ_x が ψ_1 から1（油の流入範囲）までの間に実根を持たないこともある。この場合には $\lambda = 1$ とおく。

ここで $h(\psi)$, 及び σ は,

$$h(\psi) = -\frac{1}{2}(1-\psi^2) + 2\psi_1(1-\psi) + (1-2\psi_1)l_n\psi \dots \quad (6)$$

$$\sigma = \frac{2\pi\ell\omega^2 R_a^2}{g} \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

ボウル寸法と回転数が決まれば、 σ と $f(\psi_1)$ が決定される。あるボウルをある回転数で運転し、油の流量を Q_0 とした時に、ある粒子の分離率 λ が丁度 1.0 だったとする。この粒子の重力中沈降速度を u_c とおけば(5)式の特別な場合として、

$$h(\psi_1) = \frac{\sigma f(\psi_1)}{Q_0} u_c \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

である。

なお、ここで用いた α の値は、分離面積の意味を持っているが、一般に用いられている値とは、必ずしも一致しない。

(4) 粒子直径

粒子が球形で、ストークス沈降を行うとすれば、重力中沈降速度 v は、

$$u = \frac{(\rho_p / \rho_0 - 1) D^2 g}{18 \mu} \dots \quad (9)$$

で表わされる。粒子密度 ρ_p 、油の密度 ρ_0 、油の動粘度 μ が同じである場合には、沈降速度の比は粒子直径の2乗の比に等しい。ここで臨界粒径 D_c を、分離率 1.0 を与える粒子直径と考えれば、

となる。

(5) 近似

D/D_c に対する分離率 λ は、(4), (5), (8), (10)式から

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{f(\psi_x)}{f(\psi_t)} \\ &= \frac{1}{f(\psi_t)} f\left[h^{-1}\left\{\left(\frac{D}{D_c}\right)^2 h(\psi_t)\right\}\right] \quad (11)\end{aligned}$$

となる。 λ と D/D_c の関係は、解析的には解けないので、グラフから読みとるか、又は、近似値を求めなければならない。T1型遠心分離機の場合 $\psi_t = 0.7191$ で、

$$\lambda = (D/D_c)^{1.66} \quad (12)$$

が良い近似を与える。図 2.2.10に(11)式による分離率と、(12)式によるこの近似線を示す。

今までの式を統括すると、T1型遠心分離機の、粒径 D に対する 近似的 分離率は、次のようになる。

$$\lambda = \left\{ \frac{\pi \ell \omega^2 R_0^2 (\rho_p / \rho_0 - 1)}{9 Q_0 \mu} \cdot \frac{f(\psi_t)^{0.83}}{h(\psi_t)} \right\}^{0.83} D^{1.66} \quad (13)$$

(6) まとめ

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{2 \pi \ell \omega^2 R_0^2}{g} \\ u_c &= \frac{Q_0}{\sigma} \frac{h(\psi_t)}{f(\psi_t)} \\ u &= \frac{(\rho_p / \rho_0 - 1) g}{18 \mu} D^2 \\ f(\psi) &= \frac{1}{6} \{ 3(1 - \psi^4) - 8\psi_1(1 - \psi^3) - 6(1 - 2\psi_1)(1 - \psi_1^2) \} \\ h(\psi) &= -\frac{1}{2}(1 - \psi^2) + 2\psi_1(1 - \psi) + (1 - 2\psi_1) \ln \psi\end{aligned}$$

以上から、分離率を求めるには、厳密には、

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{f(\psi)}{f(\psi_t)} \\ \frac{D}{D_c} &= \sqrt{\frac{h(\psi)}{h(\psi_t)}}\end{aligned}$$

また、近似的には、T1型の場合、

$$\begin{aligned}\lambda &\doteq \left(\frac{D}{D_c}\right)^{1.66} \\ &= \left\{ \frac{\pi \ell \omega^2 R_0^2 (\rho_p / \rho_0 - 1)}{9 Q_0 \mu} \cdot \frac{f(\psi_t)^{0.83}}{h(\psi_t)} \right\}^{0.83} D^{1.66}\end{aligned}$$

(7) 使用した記号のリスト

D : 粒子直径
 D_c : 臨界粒子径
 g : 重力加速度

$f(\psi)$: 流量に関係する関数

$h(\psi)$: 粒子軌跡に関係する関数

ℓ : ボウル有効長さ

Q_x : 分離領域の流量

Q_0 : 全流量 (通液量)

R	: 半径
R_t	: ポウル内油内径
R_o	: ポウル内径
u	: 粒子の重力中沈降速度
u_c	: 臨界粒子の重力場における沈降速度
u_R	: ポウル中の粒子の半径方向速度
v	: 油の流速
Z	: 軸方向長さ
λ	: 分離率
μ	: 油の動粘度
ρ_o	: 油の密度
ρ_p	: 粒子の密度
σ	: $2\pi\ell\omega^2 R_o^2/g$
ψ	: 半径比: R/R_o
ψ_t	: R_t/R_o
ψ_x	: 粒子入口での半径比
ω	: 回転角速度

4. 試験結果

4.1 フィルター法の結果

沪過後のフィルターの写真を図 2.2.11, 2.2.12に示す。F 2 原液以外は、粒子の数は少ない。写真中の細かい模様はフィルターの凹凸である。

写真から測定した結果を表 2.2.1 と図 2.2.13に示す。

フィルター法では、粒子が触媒片であるか、炭化水素粒子（少くともトルエンに不溶）であるかの区別はつかない。しかし、写真で黒色に見える粒子の大半は、灰化すると淡褐色の粒子となるので触媒片と推定している。

4.2 遠心分離法の結果

T 1 型遠心分離機によって得たスラッジ中の灰分量の通液量に対する割合を、各実験毎の臨界粒径（密度 2.39 g/cm^3 の球型粒子が、100% 分離される粒子径）に対してプロットしたグラフを図 2.2.14に示す。

実験は各試料について11回行なっている。従って 3.2.2 項の方法に従えば、最大11区間の粒子の密度分布を求めることができると、測定値のばらつきが多いために 3.2.3 項に示した最小二乗法によって未知数を減らしている。

色々試してみた所、未知数はせいぜい 5 個までしかとれず、それより多い未知数を設定すると結果が発散した。5 個の未知数による結果を図 2.2.15に示す。

4.3 測定可能な範囲

フィルター法では、 $10 \mu\text{m}$ より小さい粒子は、フィルターの凹凸にまぎれて正確な測定が期待できない。特に SJ3000 型清浄機で清浄した F 2 - P 2, P 3, P 4 の清浄液では、粒子数が少なく、多量の試料をフィルターに通している。このため、フィルター全体がむらのある褐色に染まり、測定の障害となつた。

遠心分離法では、図 2.2.14に示すように、F 2 - P 2, F 2 - P 4 清浄液の灰分は、臨界粒径 $3 \mu\text{m}$ 以上の実験では余り多くないため、正確な測定がむづかしい。

以上のことから、信頼できる結果は、フィルター法の $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上と、遠心分離法の $3\text{ }\mu\text{m}$ 以下と推定し、この範囲でSJ 3000型遠心清浄機の分離率を求めた。

4.4 遠心清浄機の分離率

4.3節で述べた、信頼できる範囲で、F2-P2及びF2-P4の分離率を求めるとき、図2.2.16のようになる。この結果、P2の分離では、測定値と計算値の一一致が見られた。これから、P2程度の遠心清浄でも、数 μm 程度の粒子が除去されていると期待できる。P4の分離では、測定値の分離率は、 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下で計算値より小さかった。このことは、流量を絞って清浄能力を上げる方法には限界がある事を示すものと思われる。

5. まとめ

以上の結果をまとめると、次のようになる。

- ① フィルター法による粒子の分布の測定は、沪材表面の粒子の識別に限界がある。信頼できる範囲は直徑 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上である。
- ② 遠心分離法は、11回の実験からせいぜい5区間の密度分布を算出するのがせいいっぱいであった。また、清浄液に対する実験で、臨界粒径 $3\text{ }\mu\text{m}$ 以上の実験では、スラッジの採取量が少く誤差が多いと考えられる。
- ③ 信頼できる測定値として、フィルター法の直徑 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上、遠心分離法の直徑 $3\text{ }\mu\text{m}$ 以下のデータをとり、使用したSJ 3000型遠心清浄機の分離率を求めるとき図2.2.16のようになる。P2の清浄では、計算値と測定値の一一致が見られ、P4の清浄では、測定値の分離率は計算値より低い。

したがって、通常の遠心清浄でも数 μm 程度の粒子が除去できると期待されるが、流量を絞って分離能力を上げる方法には限界があると思われる。

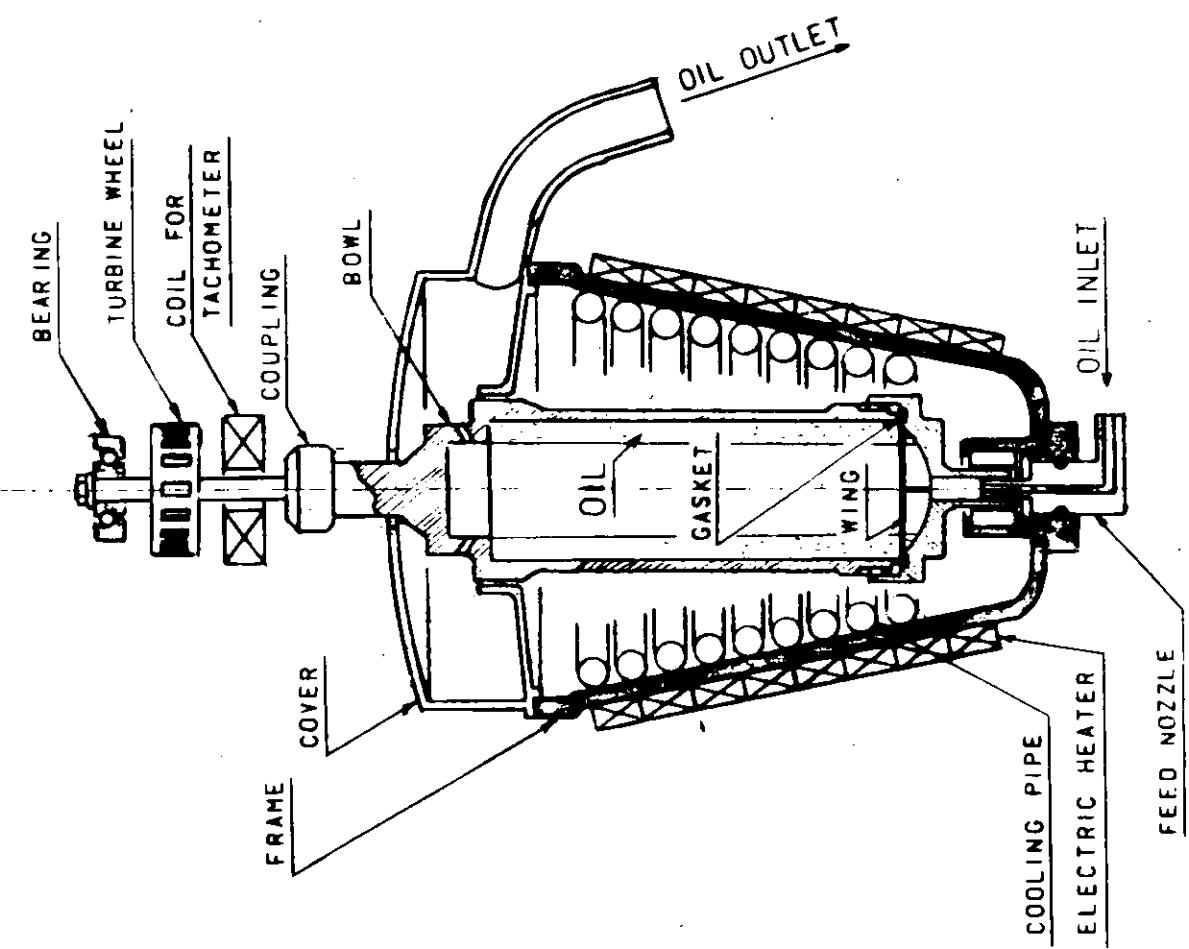


図2.2.3 T1型遠心分離機

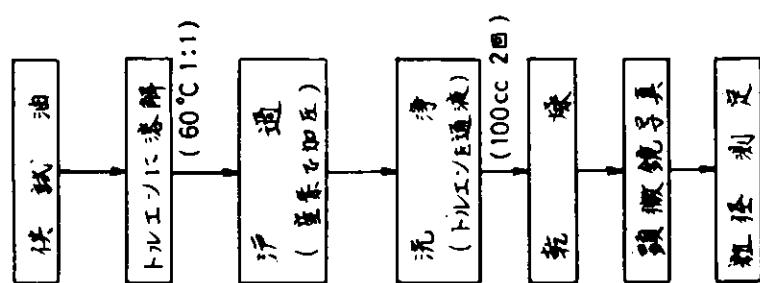


図2.2.2

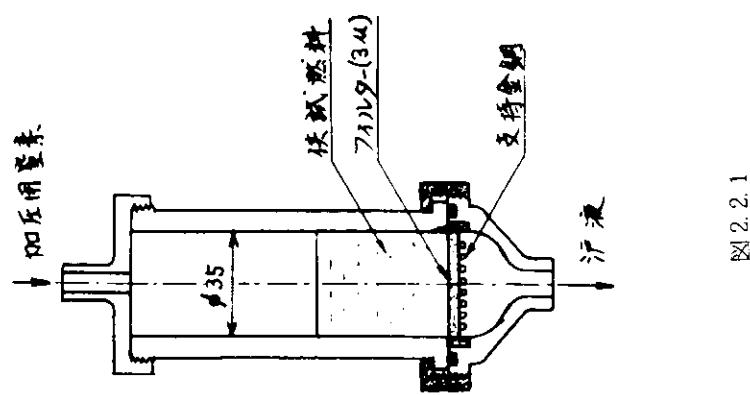


図2.2.1

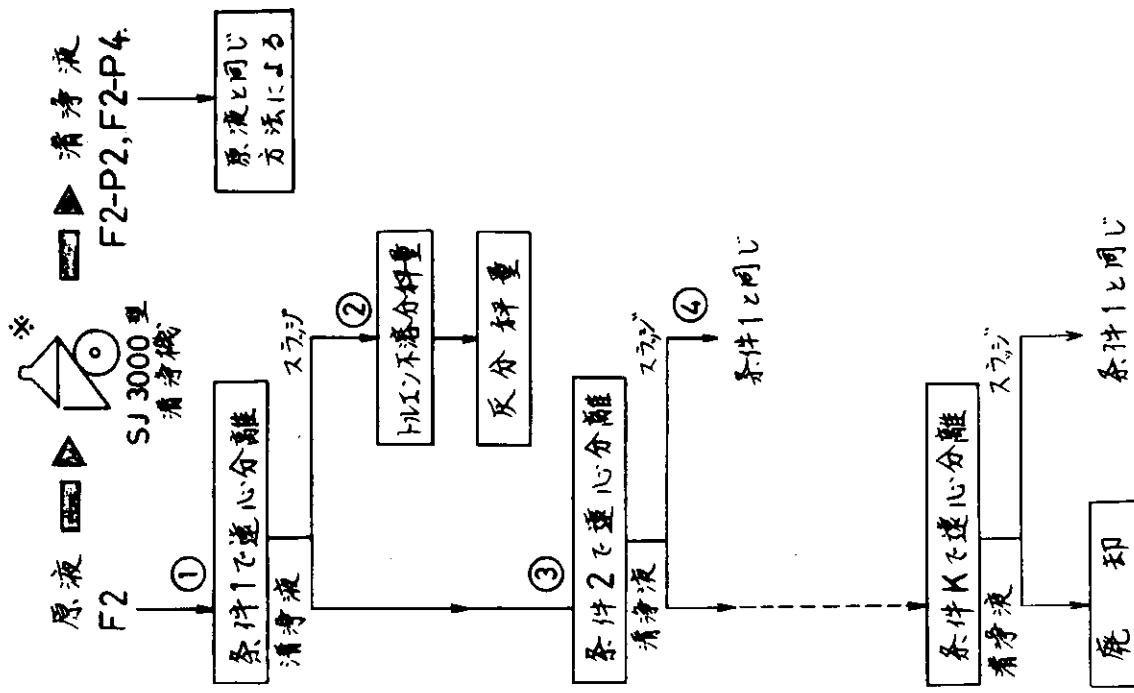


図2.2.5 遠心分離試験又キム

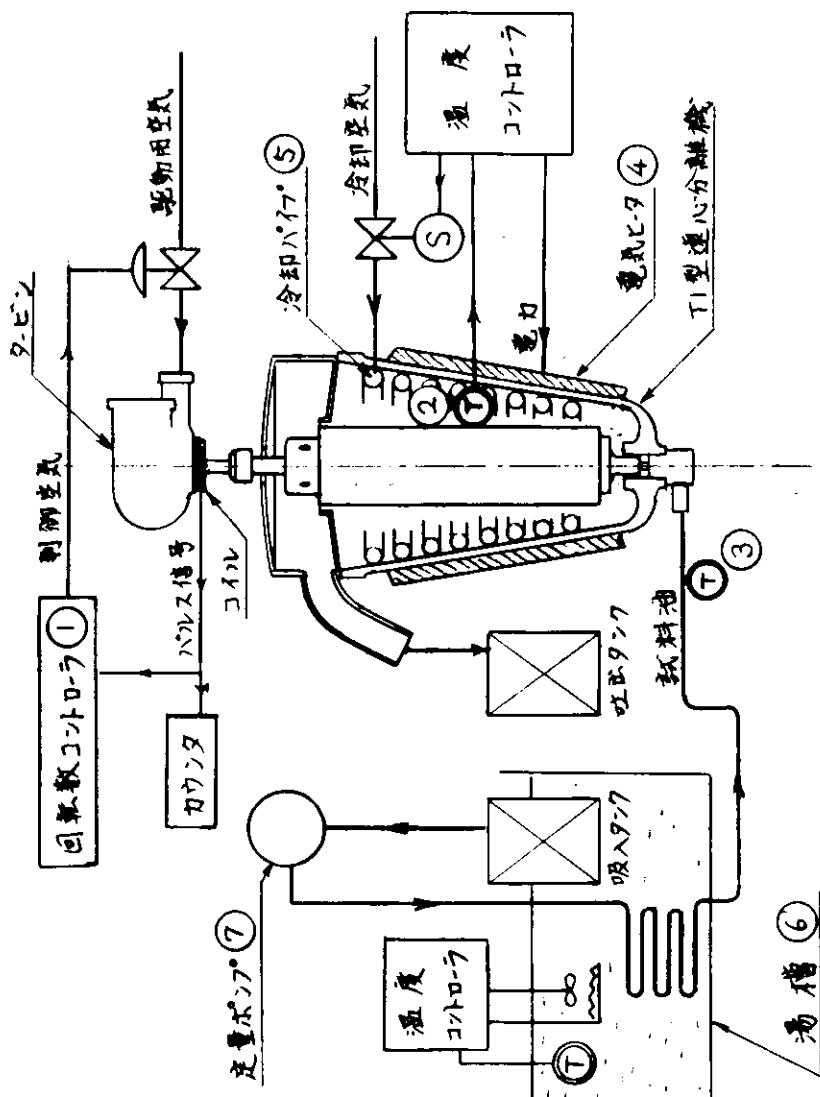


図 2.2.4 遠心分離試験 説明図

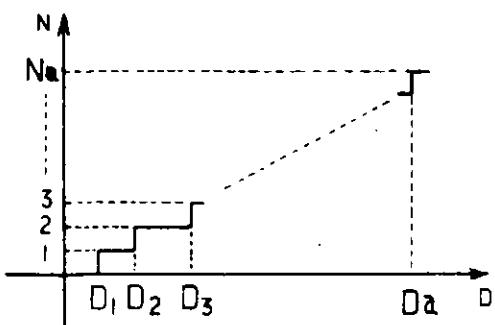


図 2.2.7 離散的データのグラフ

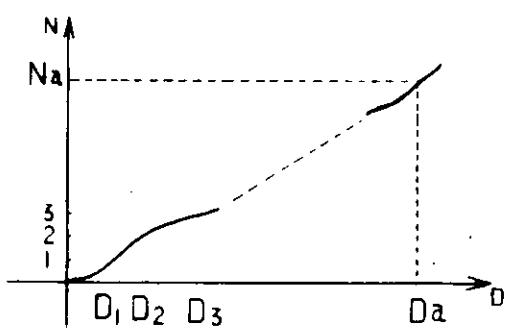
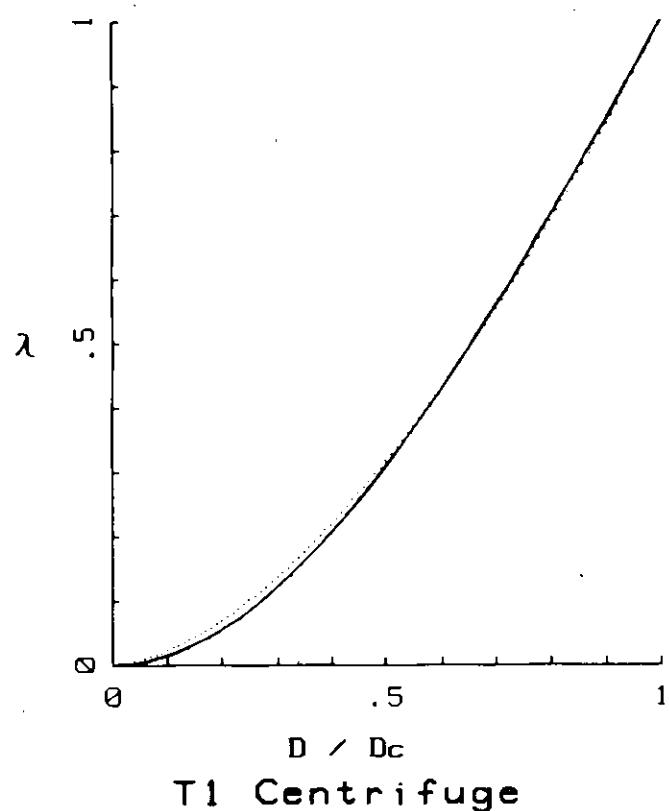


図 2.2.8 近似した連続的なグラフ



(点線は $\lambda = (D/D_c)^{1.66}$ の近似線を示す)

図 2.2.10 T 1 型遠心分離機の分離率

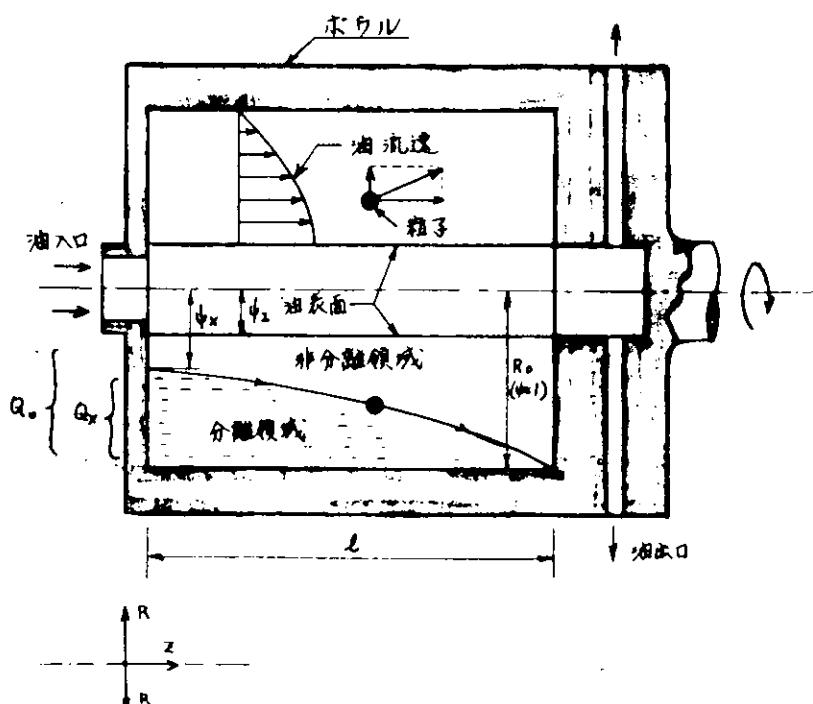
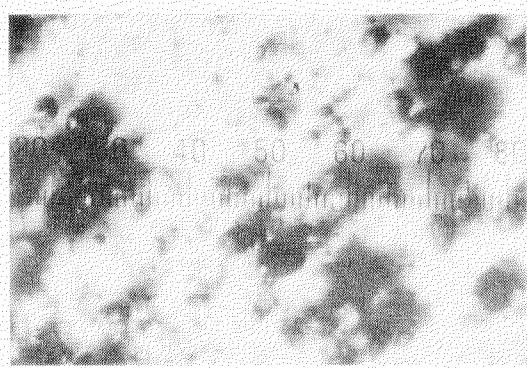
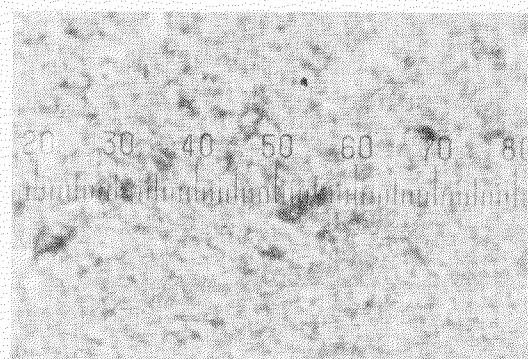


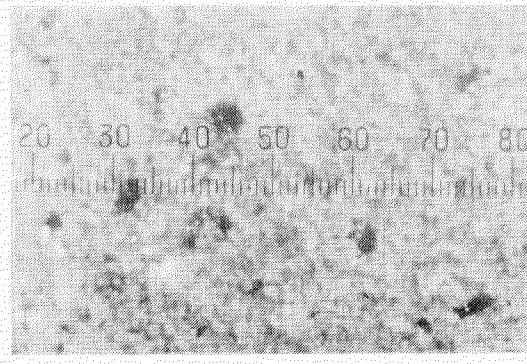
図 2.2.9 ボウル内の粒子の動き



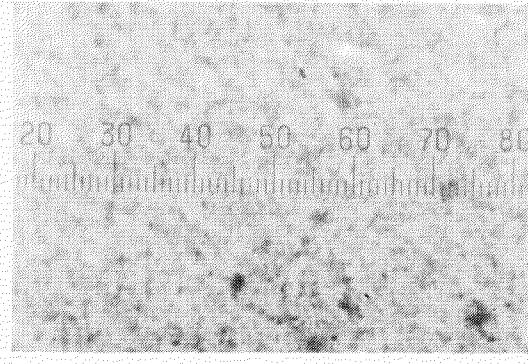
F 2 原 液



F 2 - P 3 清 净 液



F 2 - P 2 清 净 液 50 μm



F 2 - P 4 清 净 液 50 μm

図 2.2.11 試料を沪過したフィルター (1/2)

図 2.2.12 試料を沪過したフィルター (2/2)

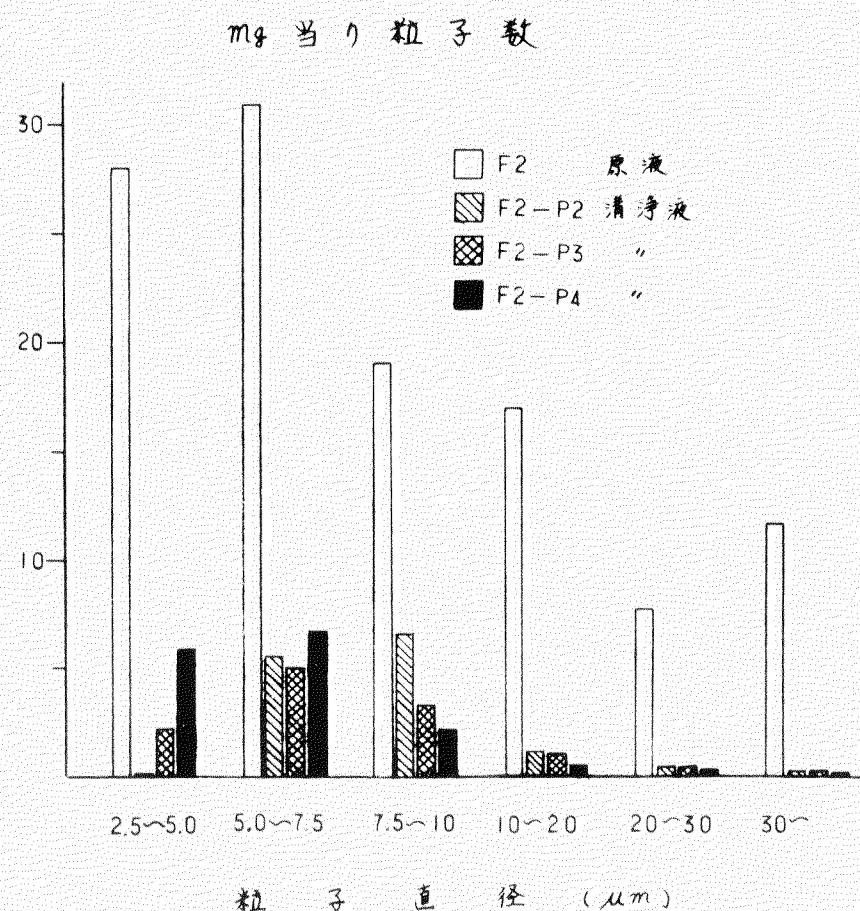


図 2.2.13 フィルター法の測定結果

表2.2.1 フィルター法の測定結果

粒径範囲 (μm)		F2原液	F2-P2 清浄液	F2-P3 清浄液	F2-P4 清浄液
2.5 ~ 5.0	28.0	0.14	2.23	5.93	
5.0 ~ 7.5	30.9	5.50	5.00	6.65	
7.5 ~ 10	19.0	6.55	3.28	2.21	
10 ~ 20	16.9	1.14	1.10	0.56	
20 ~ 30	7.63	0.46	0.40	0.32	
30 ~ 40	11.6	0.22	0.25	0.15	

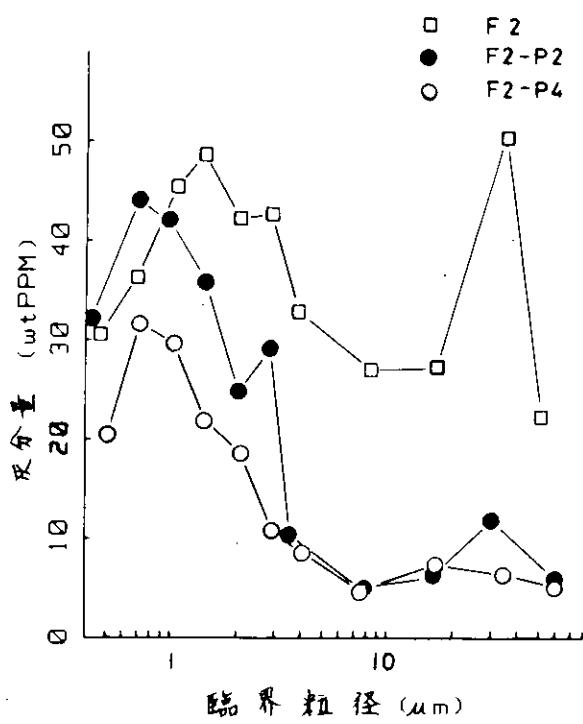


図2.2.14 臨界粒径に対する灰分量

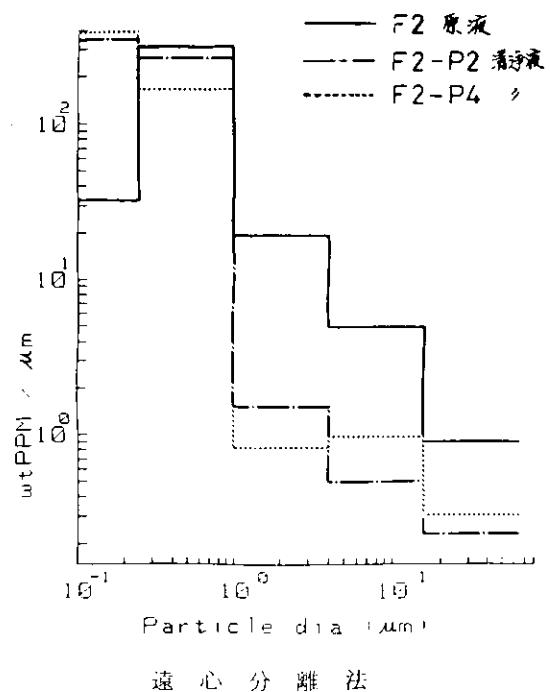


図2.2.15 遠心分離試験結果

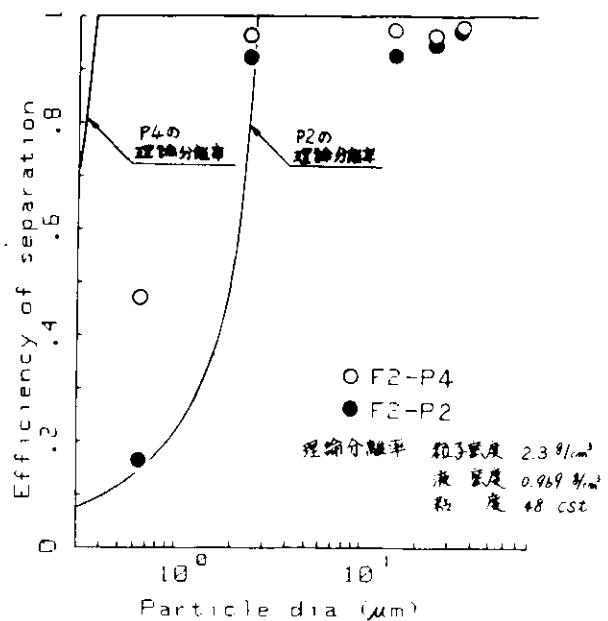


図2.2.16 SJ 3000型清浄機による清浄効果

第3章 タンク内・配管内加熱方法に関する模型実験

1. 模型実験概要

1.1 はじめに

本模型実験は、基本的には従来から設計製作されている燃料タンク及び燃料移送用配管等のシステムが超粗悪燃料油に対して、そのまま適用できるか、あるいは適用するために必要な条件は何かについて明らかにすることを目的としている。

そのため超粗悪燃料油のタンク内・配管内流動特性を明らかにする必要があるが、流動特性も加熱方法と密接な関係にあり、両者の相関において、超粗悪燃料油タンク内、配管内挙動を究明する必要があるが、その究明は容易ではない。

そこで、昭和55年度は流動特性については考慮せず、単に加熱方法に関する模型実験を行い、伝熱に関する基本的な情報を得て、次年度実施予定の流動特性究明の資料とすることにした。

もちろん本研究で得られた結果の一部はそのまま設計に使用できる。

1.2 模型実験概要

モデルタンクは特定船のタンクのモデル化により構成されてはいない。燃料タンクは船により、それぞれ適切に設計されており、標準型はないと考えられる。しかしながら共通の条件として、タンク底部又は側部は海水あるいは空気流にさらされており、内部には壁近くまでヒーティングコイルが張られている。ヒーティングコイルの多くは水平に配置されており、蒸気加熱が普通であるなどから後述のように2次元流れを期待し、タンク側壁及び底面に、冷却水あるいは冷風が送られ、複数個の加熱管が水平に配置されているモデルを製作した。このタンク前面はガラス張であって内部の油の挙動観察ならびに、赤外線カメラによる油の温度分布が把握できるようになっている。

供試油として「C」を採用し、油の挙動観察を行い、同時に温度分布を計測した結果、タンク加熱時の油流動状況が把握され、また2次元性もあることなどが確かめられた。

層流自由対流熱伝達としての従来の相関式に対して比較検討する試みは現在実施中である。

配管内加熱モデルは、従来の油加熱実験等を参考にして、設計製作した。

管内流動の場合速度場が十分発達したのち加熱を開始する実験が多く行われている。従って、本モデルも速度助走区間を、従来の経験式をもとに十分とり、その後加熱実験が行えるよう工夫した。

供試油「C」について配管内加熱実験を実施した結果、従来の相関式とよく一致する結果を得た。この結果、本モデルは他の供試油に対しても使用できる見通しを得たので、つぎに供試油「B」、さらに「A」について実験実施中である。但し Graetz 数の小さい範囲で、管内流に自由対流の効果が相乗され、前述の相関式とは、必ずしも一致しないようになるがこの範囲での従来の経験式も存在するので物性値さえ判明すれば、解析は容易である。

以上のような模型実験概要説明から、昭和55年度において設計製作された、タンク内加熱実験モデルに関しては、タンク内油の流動が2次元的であること、温度分布が赤外線カメラによって把握できるようになったこと、配管内加熱モデルについては装置特性が明らかになり、比較的熱移送物性値のそろった供試油「C」を用いた実験結果から、従来の経験式の妥当であることが明らかになった。

今後は前記熱移送に関係する物性値の計測を進める一方、計画時の実験条件に従い実験研究を進めることになる。

2. 実験装置及び実験方法

2.1 実験装置

2.1.1 実験装置概要

図2.3.1に実験装置フローシートを示す。また図2.3.2、写真2.3.1にタンク内加熱実験用モデルタンクの構造概要及び裏面より見た写真を示す。さらに図2.3.3、写真2.3.2にそれぞれモデルタンク加熱管詳細及び取付時の状況を示す。

油原料タンクは200ℓの容量があり、底部に加熱コイル(11本、 $25.4\varnothing\ell = 981\text{mm}^2$: 0.86m^2)、その上部に冷却用コイル(15本、 $25.4\varnothing\ell = 981\text{mm}^2$, 1.17m^2)が設けられ、加热用には水蒸気、冷却用には図2.3.1には記載していないが冷却水ラインが接続されており、原料油の温度を調節できる。

また油温度の均一化とコイルに対する熱伝達向上のため、本タンク上部から、搅拌軸が油中に入っており、軸端にはプロペラ型搅拌機が設置されている。このタンクはタンク内加熱実験及び配管内加熱実験の両者に使用される。モデルタンクは約100ℓの容量があり、奥行が他の寸法に比し $1/5 \sim 1/3$ と小さくなっている、2次元的な流動となり易くしている。加熱管は7本あり、これに写真2.3.1に示すような独立した蒸気供給管が接続されているので単管での加熱実験や管群としての加熱実験ができる。

図2.3.3に示すようにタンク加熱管は2重管で構成されており、内管の端部から入る蒸気がその先端から出て、供試加熱管(外管)の内側に流入し、ここで凝縮して、ドレン孔から外部へ流出する構造となっている。

供試管の一端、ガラス板側には断熱材が張りつけられ、他端すなわちタンク裏面の壁側には図2.3.3に示すように熱伝導率の小さいステンレス材をとりつけ、グランドパッキンにより、壁面に固定することによって、加熱管の端部放熱量を少なくするようにした。蒸気を供給する電気ボイラには $2.5\text{kw} \times 2$ 本のシーズヒータが設けられており蒸気圧力を一定にするようシーズヒータへの電力が調節される。

図2.3.4、写真2.3.3に配管加熱用モデルをそれぞれ示す。図2.3.5に供試伝熱部の前に設置する助走部を、図2.3.6に入口側混合槽をそれぞれ示す。

入口側混合槽は供試油の通路断面を急激に拡大し、縮少させ、混合することによって、平均温度を計測するために設けている。

図2.3.6の油出口が図2.3.5の助走部に接続しており、その長さは実験範囲において速度境界層が十分発達できるように選定されている。

加熱モデルとの接続部には圧力測定用スリットがあり、油を必要に応じて加熱融解するための蒸気通路が設けられている。

加熱モデルは大部分3重管となっており内側を供試油が、中間が供試油加熱のための蒸気が、外側を防熱加温のための蒸気が、それぞれ流れれる。

加熱モデルの出口には図2.3.7に示す出口側混合槽が接続されており、供試油を十分搅拌して、平均温度を求めるよう搅拌機を設けた。なおこの搅拌機の駆動に要する電力は20watt以下であり、最小供試油流量のときさえ搅拌による温度上界は 0.4°C 以下であった。このとき供試油の温度上界は 14°C 以上あるので交換熱量に与える影響は3%以下と見積られる。

外面加熱の管内層流熱伝達に関する実験に於いては、管内側出口平均温度を正しく計測することが最も困難であり、従来の研究を参照して混合槽の試作を行い、温度計の位置を変更して分布を求めたが、最終的には図2.3.7に示す混合槽となった。

その他図2.3.1中には示していないが、冷却水系統、補助用蒸気系統が含まれており、必要に応じて、実験に用いられる。

2.1.2 機器要目

実験装置概要のところで説明した機器も含め、実験装置を構成している機器及び装置の要目を表2.3.1に示す。

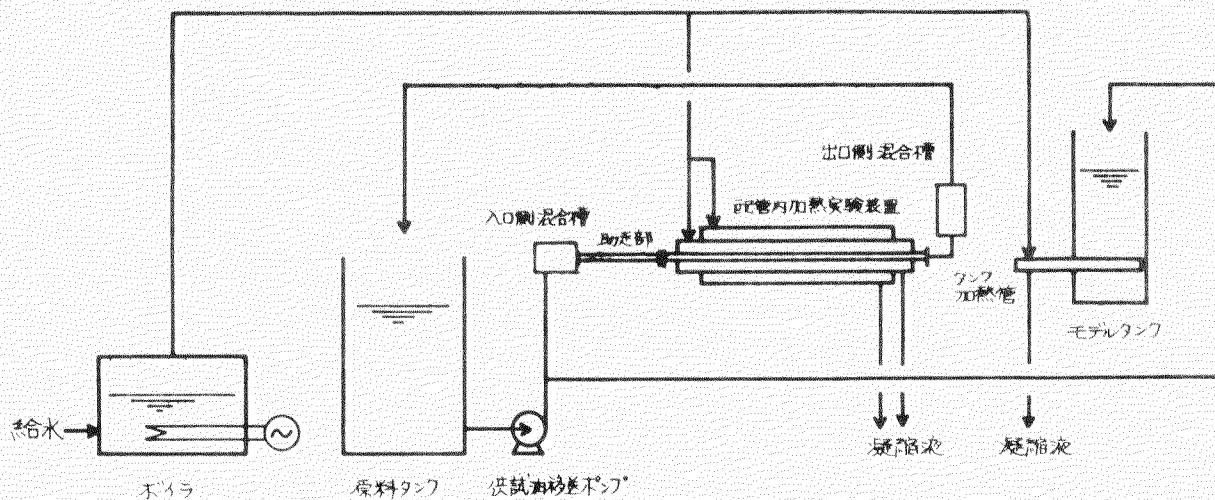


図2.3.1 実験装置フローシート

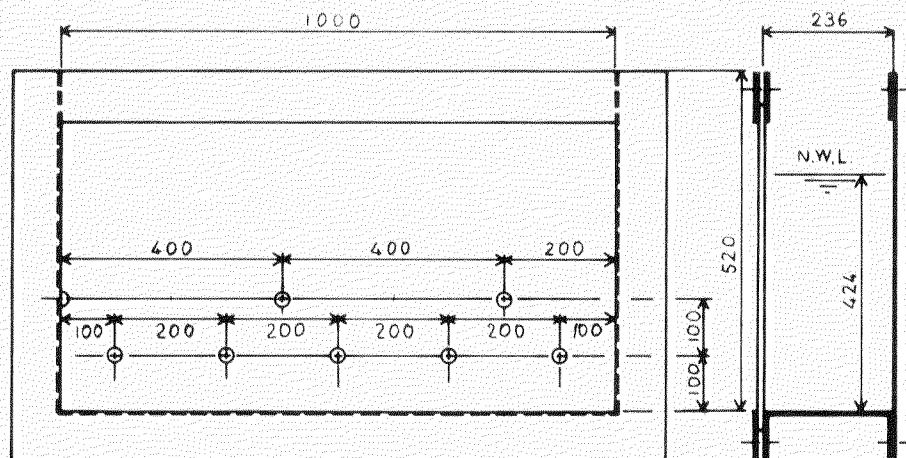


図2.3.2 タンク内加熱実験用モデルタンク

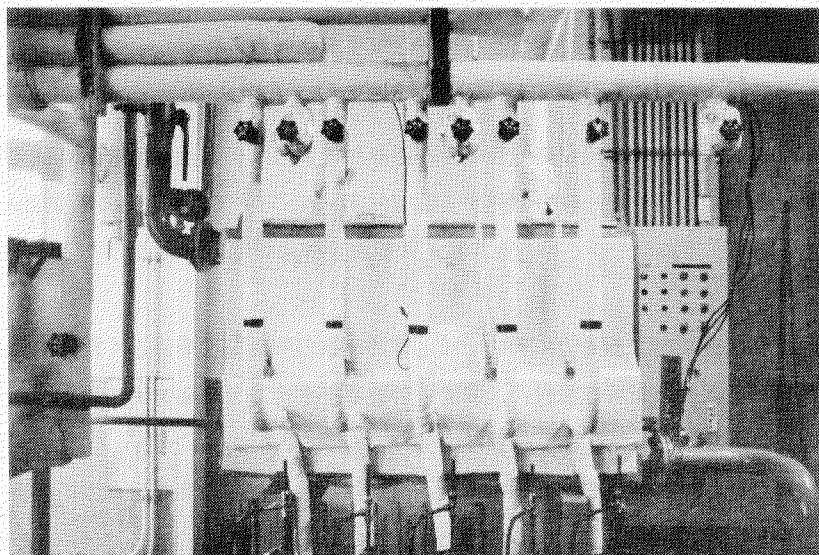


写真2.3.1 モデルタンク（加熱管取付側より）

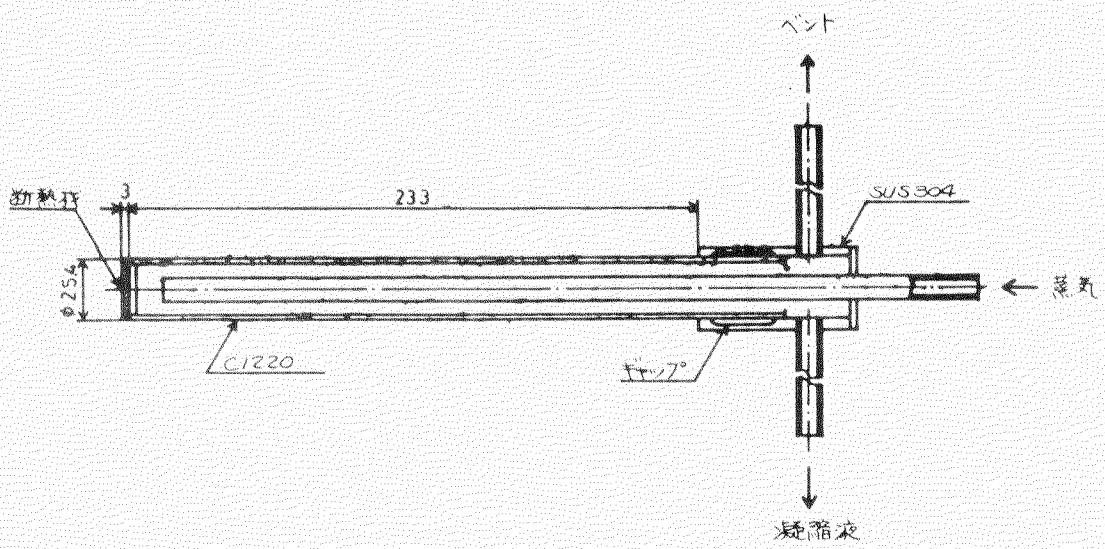


図2.3.3 タンク 加熱管

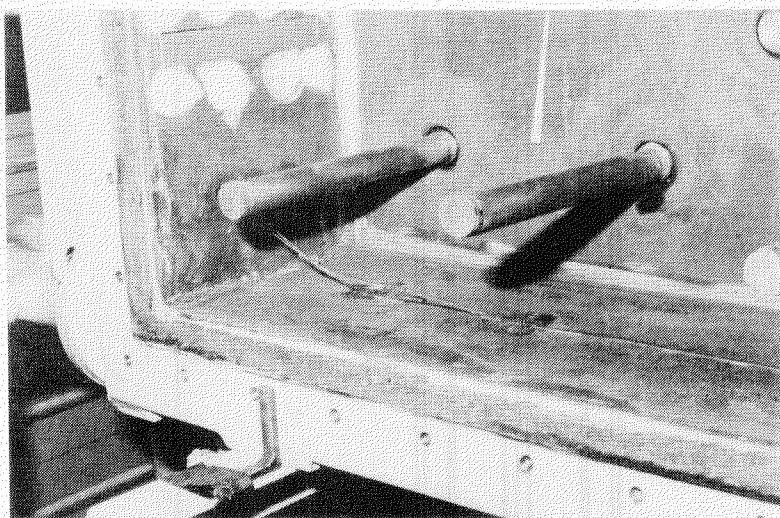


写真2.3.2 タンク 加熱管

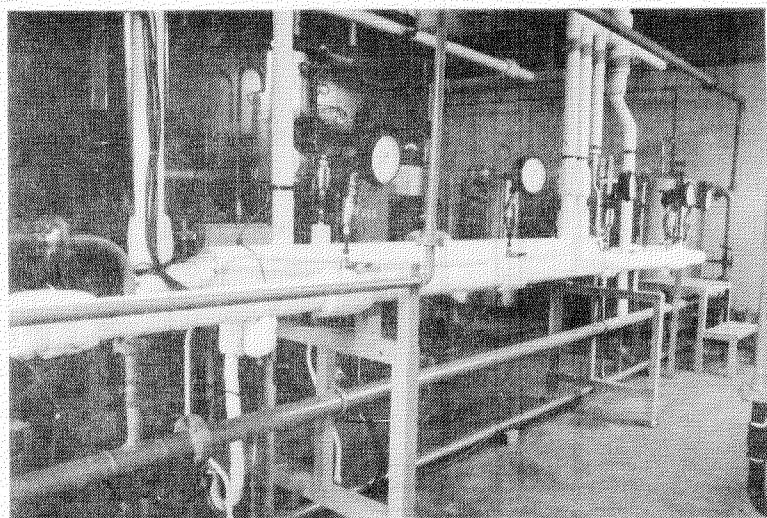


写真2.3.3 配管内加熱実験装置

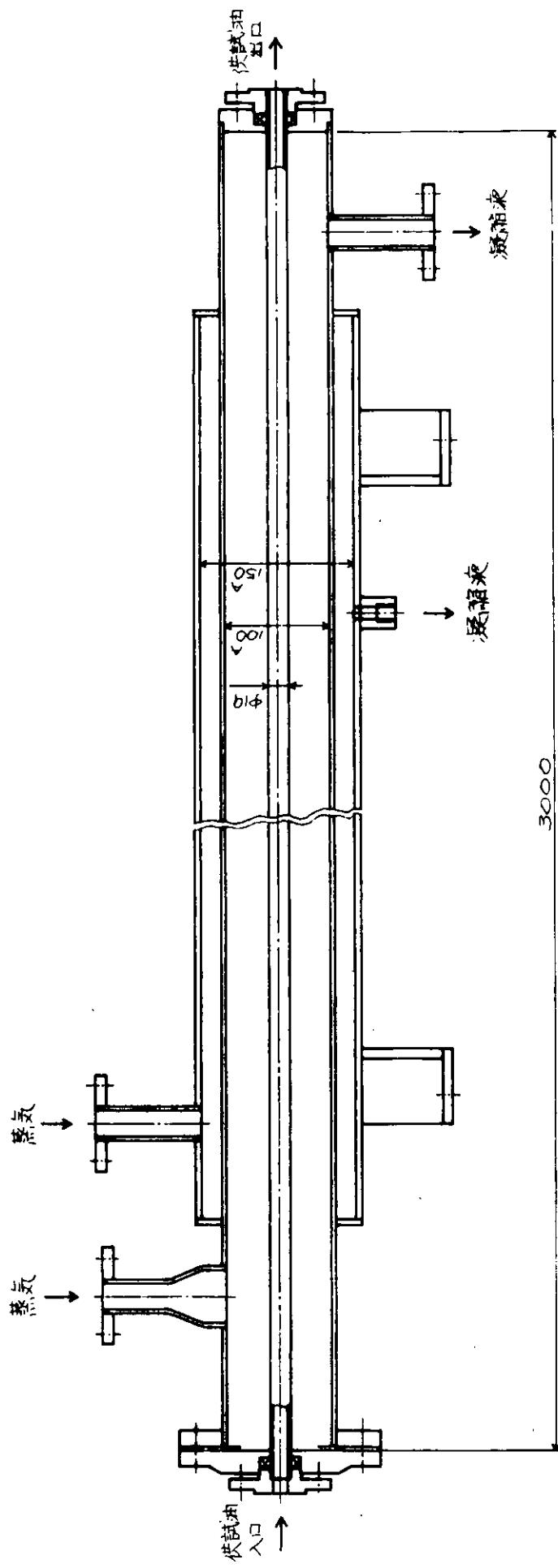


图 2.3.4 配管内加熱実験装置

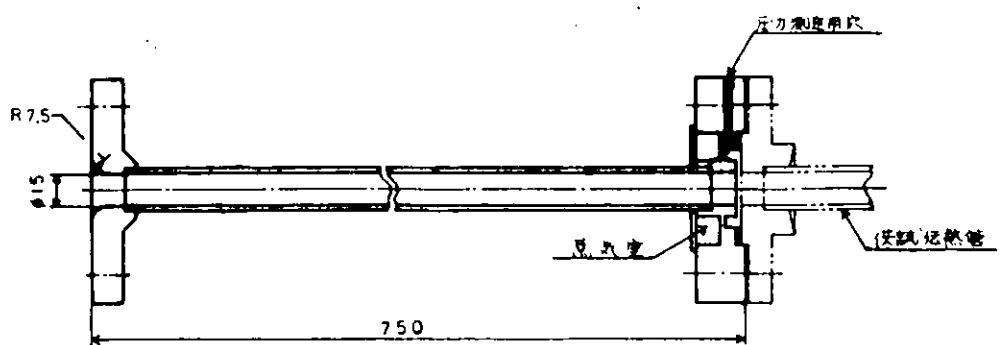


図 2.3.5 助走部

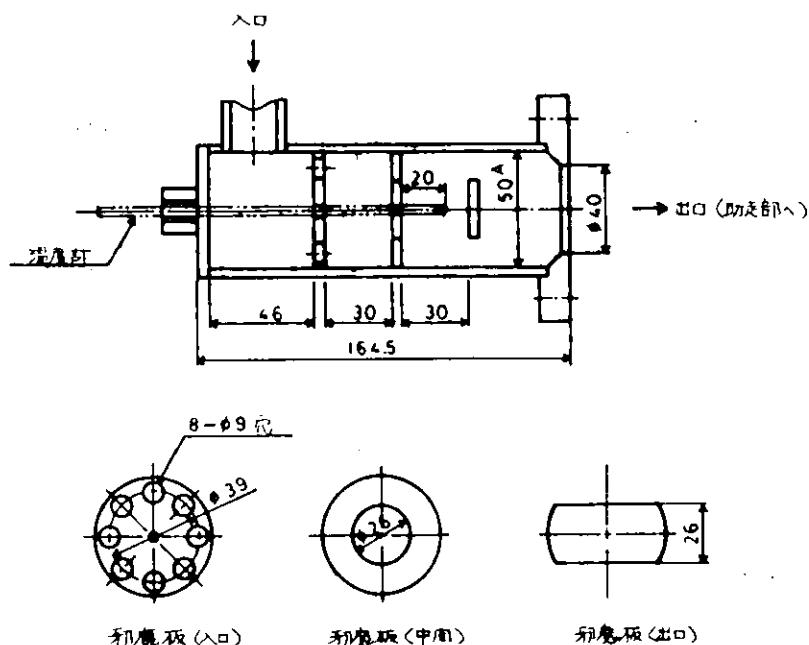


図 2.3.6 入口側混合槽

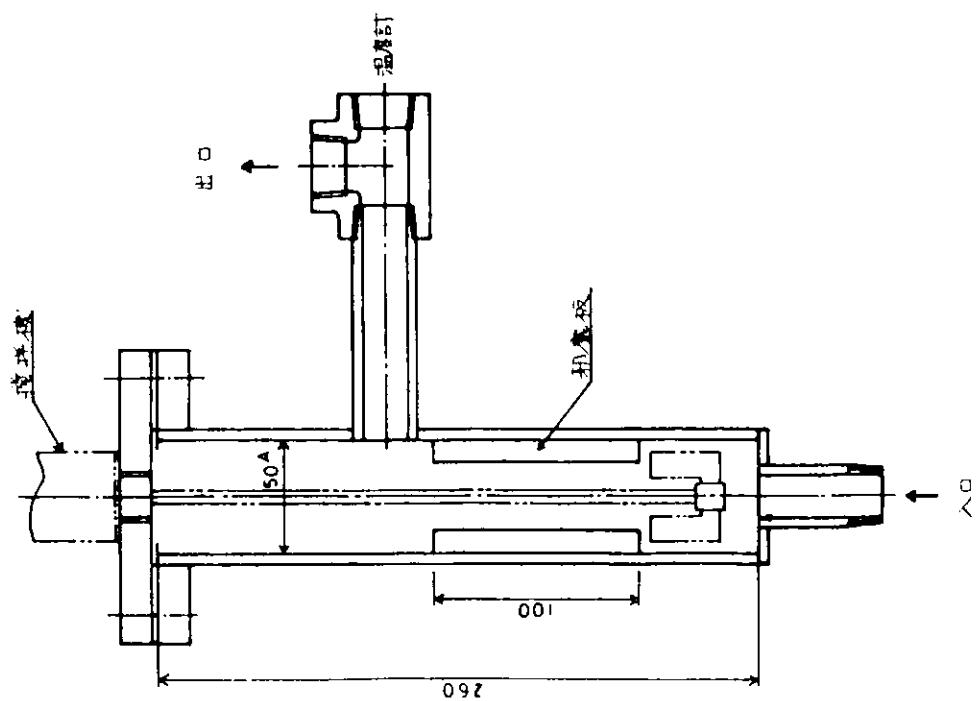


図 2.3.7 出口側混合槽

表 2.3.1 機 器 要 目 表

名 称	個数	型 式	仕 样	主要部材質	備 考
原 料 タンク	1基	角型	容量 200ℓ 加熱用伝熱面積 0.86m ² 冷却用伝熱面積 1.17m ²	SS41 STB35 ・	攪拌機付
モ デ ル タンク	1基	角型	寸法 236×1000×600 有効容積 100~150ℓ 可視部 1000×520	SS41	ガラス窓付
タンク加熱管	7本		使用本数 5本 2.5本 OD 伝熱管 25.4, 1.2本 伝熱面積 0.016m ² /本	C1220	
配管内加熱 実験装置	1基	二重管型	伝熱管 寸法 19.0, 2本 伝熱有効管長 3m 伝熱面積 0.179m ² シェル 寸法 114.3, 4.5本 ジャケット 寸法 165.2, 5.0本 長さ 2600mm	C1220 SGP SGP	ジャケット付
助走部			ベルマウス r/d = 0.5 直管部 約 750mm	SUS304	
入口側 混合槽	1基		内容積 約 300ml 初魔板 3枚	SGP	
出口側 混合槽	1基	機械搅拌	内容積 約 580ml 初魔板 4枚	SGP	攪拌機付
不イラ	1基	電気式	最大蒸発量 約 9kg/h 保有水量 50ℓ	SGP	
供試油移送ポンプ	1台	齒車式	送油量 最大 3m ³ /h 口径 25mm		

2.2 実験方法

2.2.1 タンク内加熱方法に関する模型実験の方法

原料タンクから、モデルタンク内に約100 ℥の供試油を移送し、一夜以上放置して装置及び油が常温になっていることを、油温計測、加熱管側温度計測により確認し、実験に着手する。

別途所定圧力に調節された電気ボイラからの蒸気をモデルタンク内の加熱管に導入する。最初は加熱管にかぎらず、蒸気ラインの空気抜きを行い、ついでこの空気抜き操作を止める。

モデルタンクには、あらかじめ決められた境界条件（タンク外壁での熱的条件）による操作と、加熱管による加熱が同時に開始される。（但し昭和55年度の境界条件は常温に放置）

この場合、非定常、自由対流熱伝達という伝熱現象であり、タンク内の油温度分布が時間経過とともに変化しなくなるまで実験を継続することになる。蒸気供給と同時に、油温と、加熱管壁面温度とを連続的に計測記録するとともに、ガラス板の外部から赤外線カメラによる油の温度分布を計測記録し、肉眼による油流动の状況観察を行う。

蒸気凝縮量は加熱管毎に、ビーカーに採取し秤量したのち、採取に要した時間から求めた。この凝縮水はU字管で液封されたのち水により冷却されているため、ビーカーで採取する場合、フラッシュすることはない。

2.2.2 配管内加熱方法に関する模型実験の方法

補助用灯油焚きボイラ（500 kg/hr × 7 kg/cm²g）からスタートアップのための蒸気を配管内加熱実験装置及び原料タンクに導き、空気抜きを行うとともに、原料油の温度を所定の値まで上昇させ、高粘度油移送ポンプを駆動させ、油を原料タンクに帰すことによるタンク内攪拌を行う。

同時に攪拌機をスタートさせ、原料タンク内を等温でしかも所定の温度に保持し、ついで電気ボイラからの蒸気と、補助用蒸気との切り替えを行ったのち、供試モデルの管内へ油を導く。

補助用蒸気は実験のための立ち上がり時間の短縮用として用いられるが、実験用には圧力調節が詳細にできる電気ボイラからの蒸気を使用した。

供試油が実験装置から帰って来ると、次第に原料タンクの油温が上昇するので冷却水をタンク内に流して、温度調節した。

実験装置入口、出口部の油温は常時記録され、両者が不变であることを確認しさらに加熱用蒸気が一定圧力で供給され、かつその飽和温度と実測した蒸気温度とがはゞ一致していることを確認したのちデータ採取にかかった。蒸気圧力の計測には水マノメーターと、差圧変換器による電気信号が使用され油流量の計測には検定された積算式流量計が使用された。

なお温度計測にはセンサーとしてサーモカップルが検定後採用されているが、特別に、加熱蒸気、油出入口、各温度計測には一層の精密測定のために抵抗温度計が採用されている。

加熱用蒸気の凝縮液量は、これがU字管で液封ののち、水で冷却されて、大気中に出てくるところをビーカーにて採取し、秤量ののち、採取に要した時間から求められる。

定常状態に達したと判断したのち、15分間隔で計測を行い、データの再現性の確認をしている。

3. 供試油の性状

供試油として「A」、「B」、「C」3種類を選定した。「C」は装置特性を明らかにするために、比較的熱移送物性値の判っているターピン油である。

「B」は通常では凝固しない超粗悪燃料油（Visbreaker bottom + FCC Tar）F1、「A」（大協石油製品CHF-HP-03）は常温で凝固している。超粗悪燃料油ではないが流动点の高い燃料として供試油に採用した。

「A」、「B」に関する熱移送に関する物性値はほとんど無く、また計測も容易でないが、推算値も含め表2.3.2に供試油の性状を示した。

図2.3.8にはJIS K 2283(1969)にもとづく粘度を、実験温度範囲について計測した結果を、図2.3.9にはJIS K 2249(1971)にもとづく比重測定結果を同様の温度範囲について示す。

熱移送に関する物性値のうち、比熱は計測検討中であり、熱伝導率にいたっては今から計測装置を検討するところでるので、表2.3.2に示したような推算値を用いることも止むを得ない。

体積膨張係数は比重の温度変化から容易に求められる。

なお流動点近傍で固相から、液相へ部分的にでも変化するとして、みかけの潜熱を示差熱分析装置を利用して求めたのでその値も表2.3.2に示した。

表 2.3.2 供試油の性状

項目	供試油符号	A	B	C
油名		粗寒油	粗寒油	タービンオイル
運動粘度	℃	45	-7.5	-
比重(15/4℃)		0.9042	1.0203	0.8628
粘度(50℃)	cSt	137.6	248.9	20.42
比熱(“)	Kcal/kg·℃	-	-	0.46
熱伝導率(“)	Kcal/m·h·℃	0.108	0.096	0.117
膨脹率	1/℃	0.74×10^{-3}	0.65×10^{-3}	0.77×10^{-3}
見掛けの潜熱	Kcal/kg	8.3	-	-

* 熱伝導率については下式を用いて推定した値である

$$\lambda = \frac{0.28}{S_{15.5^{\circ}C}} \cdot (1 - 5.4 \times 10^{-4} t) \cdot 10^{-3} \quad (\text{cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C})$$

TECHNICAL DATA ON FUEL (6th Ed.) 1961 P224

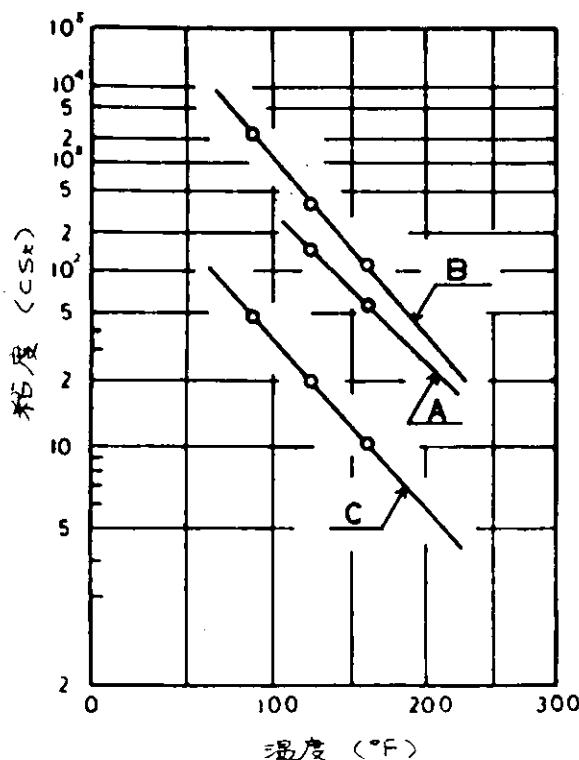


図 2.3.8 供試油の粘度

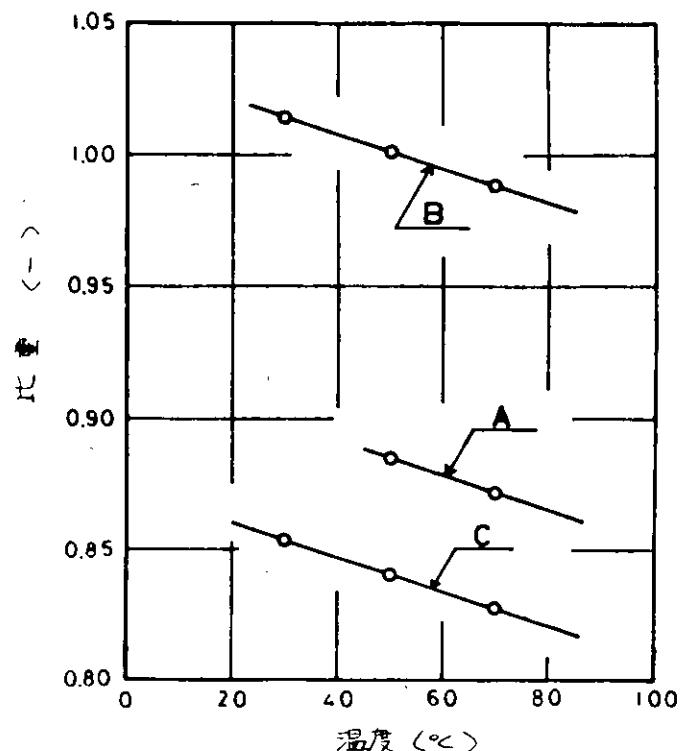


図 2.3.9 供試油の比重

4. 実験結果とその考察

4.1 実験条件

タンク内加熱方法に関する模型実験の実験条件を表2.3.3に、配管内加熱方法に関する実験条件を表2.3.4に示す。両実験とも蒸気圧力はほゞ大気圧である。これは真空中で操作すると凝縮液の排出が困難となる他侵入空気の排除等に別の装置が必要となること、高圧力にすると、装置が耐圧容器となり、操作が簡単でなくなるとの理由から決められた。タンク内加熱実験は非定常実験であり、その開始点は常温、静止状態である。配管内加熱実験は定常操作であり層流範囲である。

4.2 タンク内加熱方法に関する模型実験の結果と考察

図2.3.10に「C」によるタンク内加熱方法に関する模型実験結果の1例を、図2.3.11には図2.3.10に示す温度計測記号の取付位置を示した。この図2.3.10は実験開始と同時に始まった各点の温度変化を示す。

加熱管の壁温は蒸気導入とともに昇温し、はゞ一定となっており、この加熱管の近傍温度がつぎに変化し始める。上部温度TE-10とTE-11、及び側辺温度TE-12とTE-13とで大きい変化がみられない。

ただ上辺温度TE-11は他の3点の温度群よりもバラツキが大きく流れが左右にふれていることを示唆しているが実際に上昇流のふらつきが観察された。TE-15のように加熱管より上部にある点は、TE-14よりもはるかに離れていても油の対流によって昇温するが直下にあるTE-14は昇温するために長時間を要することが示され、この場合静止油内を熱伝導で加熱するためと考えられる。

図2.3.10は1例のみ示したが他の結果も同様の傾向を示している。

この実験結果に対応する赤外線カメラによる温度分布を写真2.3.4に示す。油の放射率やガラスの吸収率が関係するため絶対値は必ずしも正確ではないが、傾向等を知るために示す。

なおこの赤外線カメラによる温度分布は輝度変調表示と等温線表示とを重ね合わせて示しており、横へ、経過時間30, 60, 90, 120分における結果を示す。

統3種類の画像は等高線の中心温度をずらして、上：30°C、中：40°C、下：50°Cとした場合を示している。

上段にのみ着目すると、時間の経過につれて加熱管上部は白くなっている、加熱管下部には等温線の本数が増加していることが判る。

白くなってしまうのは中心温度を30°C、分布巾20°Cとして表示したので、油の温度が40°C ($30^{\circ}\text{C} + \frac{1}{2} \times 20^{\circ}\text{C}$) 以上であることを示す。また加熱管下方に等温線が現われたのは、下方も次第に加熱昇温していることを示す。なおこの等温線が水平であることは熱が加熱管から熱伝導で伝わるのではなく、一度昇温した対流している油から1次元的に下方へ熱伝導により伝わることを示している。

なお中段は平均温度を40°C、巾20°Cとしたとき、下段は平均温度50°C、巾20°Cとしたときの温度場を示す。

加熱管の周囲の温度分布が円形で比較的シャープであることから、加熱管周辺での奥行き方向の温度はほゞ同じであること、すなわち2次元的流動に近いと判断される。図2.3.10及び図2.3.12から加熱管によるタンク加熱に関して総括すると、以下のようになる。

- ① 加熱管の表面温度は実験開始とほゞ同時に蒸気温度と等しくなることから、伝熱抵抗の大部分は油側にあることが判る。
- ② 加熱管の周辺には割合シャープな等温線がみられるので、この辺りでは奥行き方向に温度変化はあまりなく、2次元的温度分布、従って速度分布が得られている。
- ③ 加熱管より上部で、管近傍以外のところでは対流運動が生じ温度はほゞ均一化している。
- ④ 加熱管の下方には水平の等温線がみえることから対流している油からの上下方向1次元熱伝導が行われているものと考えられる。

以上のような結果を得たが、実船での加熱に際しては前述のように、タンク側底部からの放熱が条件として加わるため、現象は一層複雑になると推定されるが、一方、定常温度分布に到達するのに時間があまりかからないとも考えられる。

これらの結果の解析は今後の課題である。

表 2.3.3 タンク内加熱実験 実験条件

項 目		実験条件
加熱管	加熱管本数	5又は2.5本
	加熱管ピッチ	200 又は 400 mm
	加熱管位置	タンク底面より 100 又は 200 mm
	蒸気圧力	100 ~ 500 mmH ₂ O
タンク	供試油液込量	100 ~ 150 L
	供試油初期温度	常温

表 2.3.4 配管内加熱実験 実験条件

項 目		実験条件
管内	供試油	3種類
	流速	0.05 ~ 4 m/s
	入口温度	30 ~ 60 °C
	レイノルズ数	50 ~ 2000
	グラスコフ数	10 ~ 2500
管外	蒸気圧力	100 ~ 500 mmH ₂ O

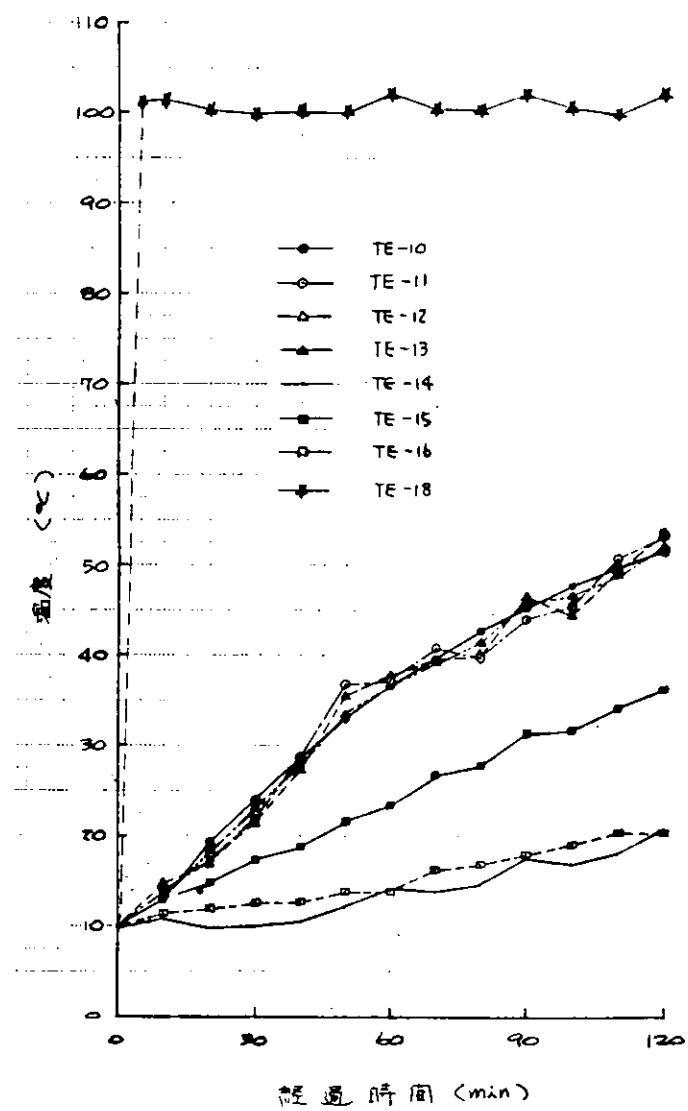


図 2.3.10 タンク内油温度上昇の時間経過の一例

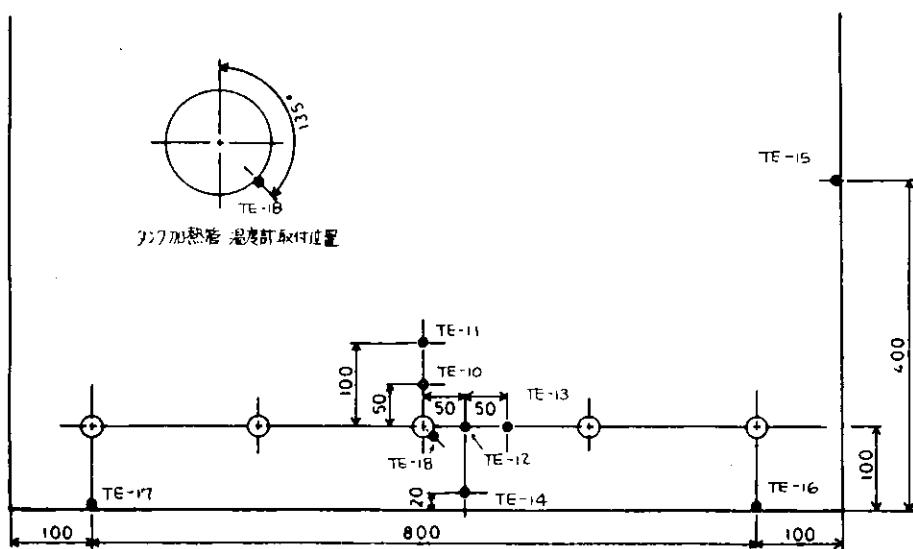
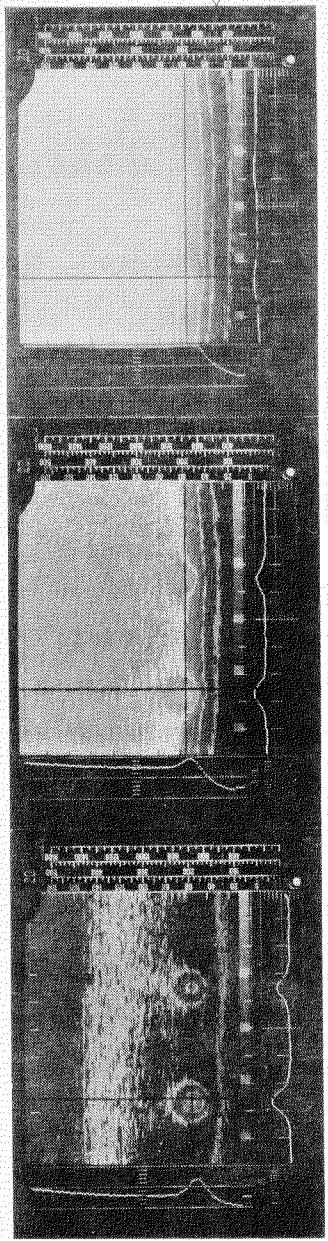


図 2.3.11 タンク内加熱実験 温度計取付位置

経過時間(分)

60

120



△印は中心温度を示す

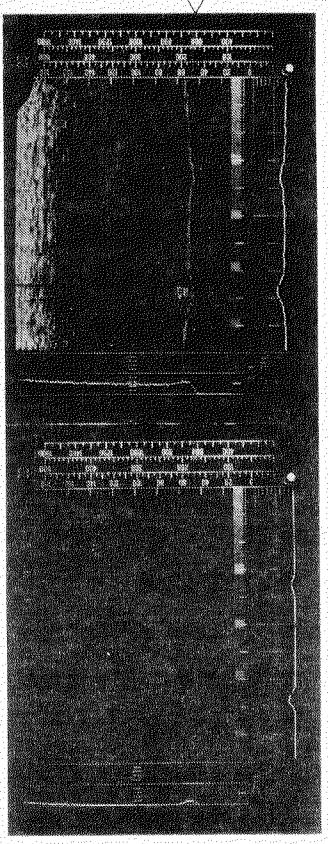
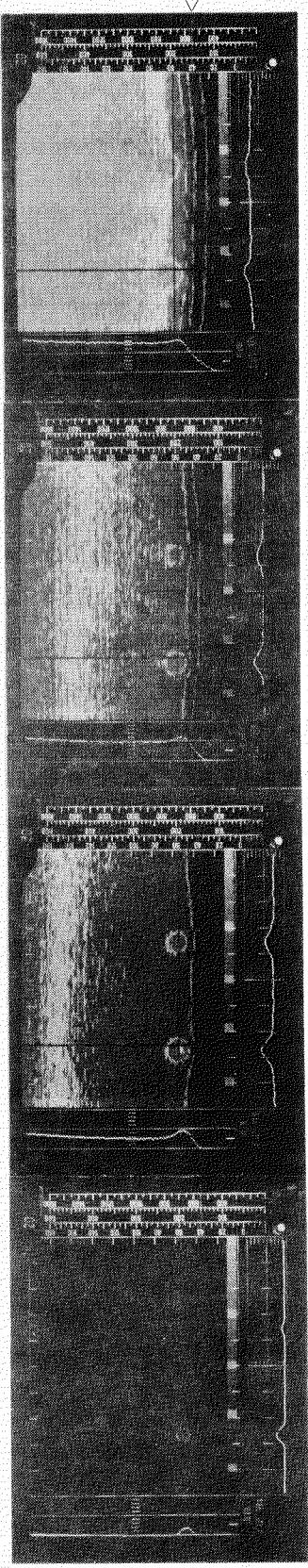


写真2.3.4 温度分布の時間経過

4.3 配管内加熱方法に関する模型実験の結果と考察

図2.3.12、図2.3.13にそれぞれ供試油「C」及び「B」を使用した場合の実験装置内温度分布を示す。加熱用蒸気条件は両者同じであり、油温、管壁温度の変化傾向も同じであると推定される。但し油の管長方向温度変化は推定して引いており、蒸気温度は圧力に変化が無いので一定であるとして求めた。

図2.3.14に供試油「C」による結果をSieder & Tateの相関式、Hausenの相関式との対比によって示す。

Sieder & Tate 及び Hausen の相関式はそれぞれ下式のように表わされる。

$$\text{Sieder \& Tate} \quad Nu = 1.86 \left(\frac{di}{L} \cdot Re \cdot Pr \right)^{0.3} \cdot \left(\frac{\mu_w}{\mu} \right)^{0.14}$$

$$\text{Hausen} \quad Nu = 3.65 + \frac{0.0668 \left(\frac{di}{L} \cdot Re \cdot Pr \right)}{1 + 0.04 \left(\frac{di}{L} \cdot Re \cdot Pr \right)^{0.2}}$$

ここに $Nu = \frac{Ridi}{\lambda}$, hi : 管内平均熱伝達率 ($\text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C})$), di : 管内径 (m), λ : 油の熱伝導率 ($\text{kcal}/(\text{m} \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C})$), $Re = \frac{v \cdot di}{\nu}$, v : 油の平均流速 (m/s), ν : 油の動粘度 (m^2/s), Pr : プラントル数 (-), L : 伝熱管長 (m) μ , μ_w : 油の平均温度、管壁温度における油の粘度である。

実験結果から、図2.3.14に示す無次元数を得るには以下の手順によった。

まず油の受熱量を油流量と表2.3.3に示す比熱ならびに温度上昇などから求め、この値を蒸気凝縮量からの加熱量で確認したのち、伝熱管出入口における蒸気、油間の温度差の対数平均温度を求める。

受熱量、対数平均温度差、伝熱面積から総括熱伝達係数を計算しこの逆数すなわち、総括熱抵抗から、管壁や蒸気凝縮伝熱における熱抵抗を差し引いて、管内側熱抵抗を求め、逆数をもって熱伝達率とした。

なお、凝縮熱伝達率は従来の水平円管外面、層流凝縮熱伝達に関するヌッセルト理論によるものとしたが図2.3.12、13でも明らかなように管壁抵抗も凝縮伝熱抵抗も油側のそれに比較すると小さいために、ヌッセルトの式の妥当性について深く追求する必要はないと考える。

図2.3.14において $\frac{L}{di} \cdot \frac{1}{Re \cdot Pr} = 1.5 \times 10^{-3}$ 以下の横軸範囲で Sieder & Tate の相関式がよく合っていること、
 $\frac{L}{di} \cdot \frac{1}{Re \cdot Pr} = 1.5 \times 10^{-3}$ 以上では相関式にのらず $Nu \left(\frac{\mu_w}{\mu} \right)^{0.14}$ は低下していないことなどが知られる。

管内自由対流の効果が、層流対流熱伝達に相乗されて、このような結果となったものと考えられる。

従来の式と合わなくなる横軸の位置は、レイレー数 $R_a = G_r \cdot Pr$ によって変化するものといわれている。

この辺の検討を今後進める必要があるが、Sieder & Tate 式で設計計算しておけば自由対流の効果が実際上安全側に出るものと考えるので実用的には問題ない。

以上、配管内加熱方法に関する模型実験の結果を総括すると以下のようになる。

- (1) 供試油「C」に関して実験した結果、本模型は装置固有の特性はみられず従来の相関式のうち Sieder & Tate のそれによく合った。
- (2) 供試油「B」の温度変化と「C」のそれを比較したところ、両者同じような傾向を示すので、Sieder & Tate 式を用いることはできるがこの証明は物性値が全て明らかになってはいないので後の課題である。
- (3) 流速を小さくするなどにより、自由対流の効果がみられ、これの解析が残されたが Sieder & Tate で設計しておけば、実用上、安全側になる筈である。

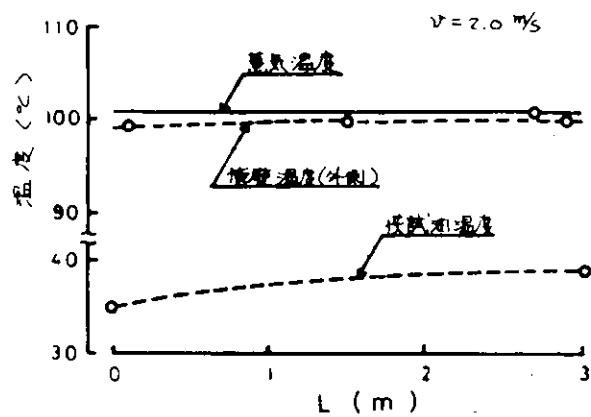


図 2.3.12 配管内加熱実験装置 温度分布の一例 (°C)

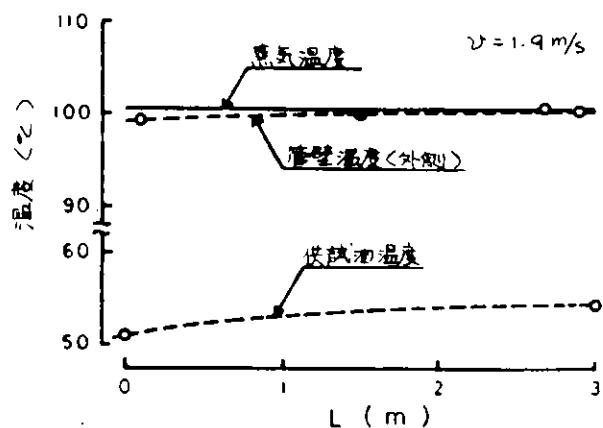


図 2.3.13 配管内加熱実験装置 温度分布の一例 (°B)

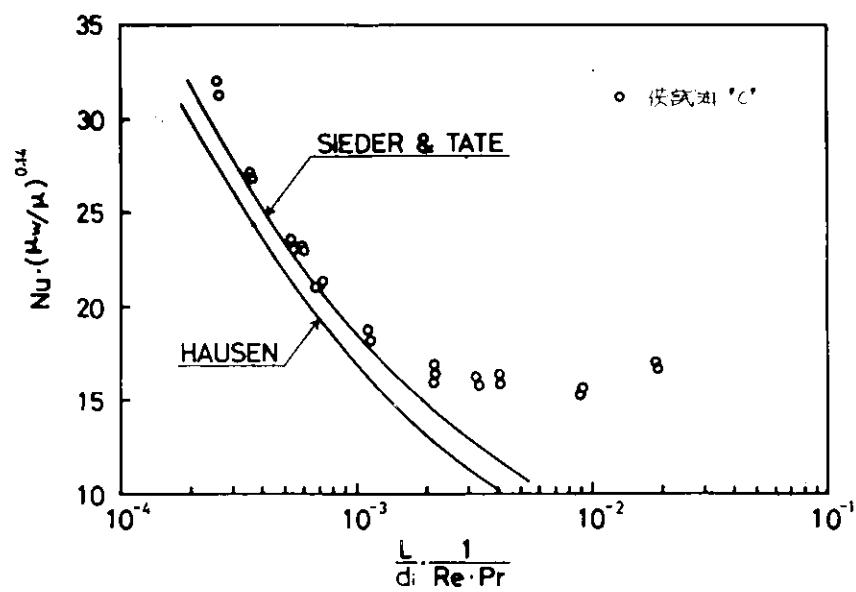


図 2.3.14 管内熱伝達率

5. 結 論

タンク内・配管加熱方法に関する模型実験を実施した結果以下の結論を得た。

- (1) タンク内加熱に関する実験により、加熱管より上部の油は比較的加熱され易く、温度の横方向伝達も早いが、下部に対しては上下方向への1次元非定常熱伝導のような温度変化を示した。
底部に海水等の冷熱源があると一層加熱に時間がかかることになると思われる。
非定常自由対流温度場の解析は今後の課題である。
- (2) 配管内加熱に関する模型実験により、Sieder & Tate の従来の相関式が使用出来る見通しを得た。但し小 Graetz 数の範囲では自由対流の影響を考慮しなければならないが、考慮に入れないでも安全設計側である場合が多いものと考える。