

油分濃度計性能試験装置の開発

吉田紘二郎*・波江 貞弘**・山根 健次*
津島 聡*・伊飼 通明*・原 正一****・林 慎也***
多賀 謙治*****・山口 勝治*****・綾 威雄*

Development of Apparatus for Testing the Oil Content Meters

By

Koujiro YOSHIDA, Sadahiro NAMIE, Kenji YAMANE,
Satoshi TSUSHIMA, Michiaki IKAI, Shouichi HARA, Shinya HAYASHI,
Kenji TAGA, Katsuji YAMAGUCHI and IZUO AYA.

Abstract

With the advance of marine transportation, serious marine pollution due to drainage containing oil from freighters and passenger boats became an important and urgent international problem. Coping with this problem, the International Maritime Organization (IMO) proposed the OILPOL Treaty in 1954, and through several revisions the MARPOL 73/78 Treaty, in which oil drainage is severely regulated, was adapted at Marine Environment Protection Committee of the IMO. In order to observe the Treaty, Japan was required to conduct official tests for check of the performance of an oil content meter which is demanded by the treaty to fix in every ship concerned.

This report deals with the research and development of the facility to supply standard mixture made of oil and water for use in official tests to such oil content meters. General performance of each type of oil content meter to have been examined by using the facility developed at Ship Research Institute is presented. And some unsolved problems concerning oil content meter are also discussed briefly.

目次

1. 緒言.....	2	3.1 基礎実験装置および実験方法	3
2. 海洋汚染規制について.....	2	3.2 油分濃度の分析方法	4
3. 油分濃度計性能試験装置の開発.....	3	3.3 油分濃度の変動特性に及ぼす要因ならびにその軽減対策	4
		3.3.1 長時間実験における流路内面の汚れの影響	5
		3.3.2 循環流ならびに流路容量の効果	6
		3.3.3 ダンパ装置の効果	6
		3.3.4 液流量の影響	8
		3.3.5 攪はん条件(油粒径分布)の影響	8

*大阪支所・ **機関動力部

材料加工部・ *海洋開発工学部

*****装 備 部・ *****システム技術部

原稿受付：昭和63年5月16日

3.3.6	油定量ポンプの影響(定量ポンプの短時間給油特性)	9
3.3.7	変動軽減対策のまとめ及び長時間供給時の濃度特性	10
3.4	油分濃度計性能試験装置の製作	12
3.4.1	装置の設計	12
3.4.2	基準試料液の濃度特性	13
3.5	まとめ	15
4.	油分濃度計性能試験の実施	15
4.1	油分濃度計について	15
4.1.1	一般原理	15
4.1.2	船用油分濃度計	16
4.1.3	供試濃度計の基本特性	16
1)	供試濃度計の検討課題	16
2)	試料水温の影響	16
3)	油粒径の影響	16
4)	油粘性の影響	17
4.2	船内の試料水配管系の問題	17
4.2.1	実船における配管系の調査結果	17
4.2.2	計測精度に及ぼす試料水配管系の影響	19
1)	配管系模擬実験装置	19
2)	配管系出口油分濃度のばらつき	20
4.3	油分濃度計性能試験の実施	23
4.3.1	試験油の物理的性質	24
4.3.2	分析	24
4.4	まとめ	26
5.	規則改正に伴う試験装置の改造	26
5.1	油分濃度計性能試験装置の改造	27
5.2	供試濃度計における空気混入試験	27
6.	結言	28
	参考文献	29
	付録	29

1. 緒 言

近年、海上輸送が活発化するに伴い、船舶から排出される含油水による海洋汚染が国際的に大きな問題となり、船舶からの油の排出を防止する為、タンカーのタンク洗浄水および機関室ビルジ水などを排出する際の排出油分濃度規制あるいは総量規制が提起された¹⁾。これに伴い、油の排出規制の実効を高めるために排出監視装置の船内設置が必要となり、1973年、IMCO(政府間海事協議機構、1982年からIMO:国際海事機関と改称)総会で油分濃度計の開発促進について論議がなされ、その後実用計器の開発が内外で多く行われて来た²⁾³⁾⁴⁾。

(580)

1976年、第6回海洋環境保護委員会において「油分濃度計の国際的性能と試験仕様」が採択され、次いで国際的な性能試験要領が勧告⁵⁾された。これを実施するための技術的問題の検討が各国で始まったが、油分濃度計をタンカーなどの実船上に設置する場合には、その使用条件が計測精度に及ぼす影響が大きいと考えられ、試験条件や試験方法に多くの問題を残していた。

当大阪支所では環境庁からの公害防止等試験研究費による研究プロジェクトの一環として昭和54、55年度に油分濃度計の性能試験装置の開発を行い、この試験装置を用いて昭和56年以後油分濃度計の型式承認を前提とした性能試験を実施している。その後、昭和61(1986)年、IMO総会決議(A.586(14))⁶⁾による試験要件の変更に伴い、試験方法の再検討および試験装置の改造を行っている。

本報告は、油分濃度計測の基準となる一定濃度の油水混合物(以下、基準試料液と称する)を長時間安定に供給するための方法について検討し、供給装置の各構成要素が基準試料液の濃度特性に及ぼす影響を調べて、一定濃度の試料を作るために必要な条件を実験的に求め、それらの結果を踏まえて開発した油分濃度計性能試験装置について述べる。又、付随して行ったタンカー等の実船配管系の調査結果と、それにもとずいて作製した模擬配管実験装置により行った配管条件の計測精度へ及ぼす影響の検討、供試濃度計において計測精度へ影響する試料水の諸条件等の調査結果について述べ、最後に形式承認を前提とした油分濃度計の性能試験について紹介するものである。

2. 海洋汚染規制について

国際的に、海洋環境の保全を目的とした海洋汚染防止規則の制定に向けて具体的な動きが始まったのは、1954年ロンドンで採択された「1954年の油による海水の汚濁の防止のための国際条約」(OILPOL条約)からである。その後、タンカーの大型化や、石油類の海上輸送量の増大に伴い、条約の内容の強化と対象船舶の拡大など、数度の改正が行われた。しかしながら、相次ぐ大型タンカーの海難事故に因る油流出に加え、石油類以外の有害物質の輸送量の増加にともない、海洋汚染防止規則を徹底すべきであるとの国際世論が高まり、1969年よりIMCOにおいて、規制対象物質を拡大した新たな国際条約の作成作業が開始された。それが1973年に採択された、「1973年の船舶による汚染の防止のための国際条約」(MARPOL 73条約)である。さらに1978年、「タンカーの安全および汚染の防止のための

国際会議」において、MARPOL 73条約の内容の一部改正を行い、「1973年の船舶による汚染の防止のための国際条約に関する1978年の議定書」(MARPOL 73/78条約)として採択され、1983年10月2日より発効するに至った。

同条約は、規制対象物質の区分により、付属書ⅠからⅤに分かれている。油分濃度計に関しては、その要件、試験方法等は付属書Ⅱ「油による汚染の防止に関する規則」に含まれており、原油並びにすべての石油類の排出規制に伴う船舶の構造、設備について規定するものである。

我が国においても、73年条約が採択されると同時にこれを受けた国内法の検討が始められ、油分濃度計に関する要件並びに型式承認を行うための試験基準案が1977年に作成された。その後、外乱物質(空気、鉄錆、砂等)の混入の影響に対する油分濃度計の精度の向上が強く求められ、1986年、IMOにおいて第2世代の油分濃度計としてその要目、試験方法等について決議が行われた⁶⁾。それに対応して国内基準の見直し、追加試験の方法と試験装置の改造についての検討⁷⁾が昭和61、62年に行われ、第2世代の油分濃度計性能試験実施に対する態勢が整った。

国内法としては、昭和42(1967)年に「海水油濁防止法」が「OILPOL条約」を受ける形で制定され、次いで昭和45(1970)年に「海洋汚染防止法」として内容の強化と整備が行われた。その後名称が「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律」と改められ、昭和58(1983)年に「MARPOL 73/78条約」が批准されると共に、当条約の国内法制化のための一部改正と整備がなされて現在に至っている。

「MARPOL 73/78条約」の付属書Ⅱ、「ばら積みの有害液体物質による汚染の防止に関する規則」について、昭和62(1987)年4月、国際的な発効要件が満たされたため、この中に含まれた油類似物質の濃度測定に対応する濃度計の要件等についての検討が始まる予定である。

3. 油分濃度計性能試験装置の開発

油分濃度計性能試験装置には、均一な濃度の基準試料液を一定時間安定に供給できる事が求められる。そこで使用機器の最適条件を求めめるため、構成機器を種々組み合わせる基礎実験装置を作成し、油の供給系、攪はん部の容量や攪はん条件、油種による影響等について検討した。

本章では、それら基礎実験の概略と、その結果明ら

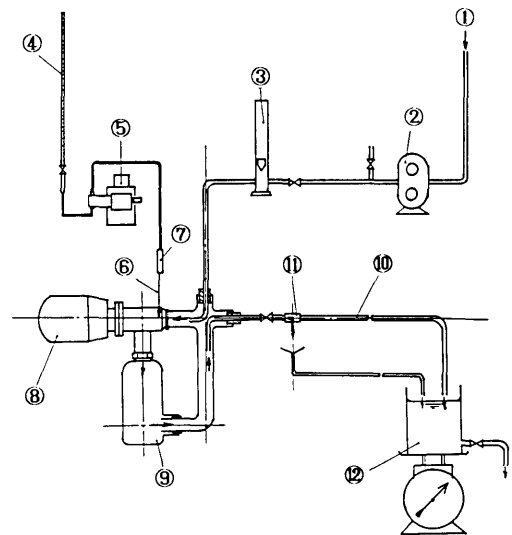
かとなった各種の濃度変動軽減策をもとに油分濃度計性能試験装置を設計製作し、それにより供給される基準試料液の濃度特性について調べたものについて述べる。

3.1 基礎実験装置および実験方法

装置の基本構成は図-1に示すとおりであり、各構成機器の仕様ならびに実験条件は表-1に示す。

なお、基礎実験装置で対象とする油種は軽油、C重油およびアラビアン・ライト原油(以下、A.L.原油)の3種類とし、設定濃度は15ppm、100ppmおよび1000ppm(原油の場合のみ)の三通りとした。使用した油の物性値は表-2に示す通りである。

図-1において清水は高さ約2mのヘッドタンク①からギアポンプ②、ロータ・メータ③を経由して一定流量で供給される。油はマイクロビュレット④とストップウォッチとで流量計測しつつ、微量定量ポンプ⑤によって供給され、給油細管先端の油注入口⑥から攪はん混合部に注入される。使用した微量定量ポンプは三種類であり、それぞれ、ローラ・ポンプはローラで合成ゴムチューブをしごく事により、プランジャ・ポンプはピストンの往復運動により、また、シリンジ・ポン



- | | |
|--------------------|---------------------|
| ① Fresh Water | ⑦ Damper |
| ② Gear Pump | ⑧ Mixer |
| ③ Flow Meter | ⑨ Mixing Tank |
| ④ Micro Burette | ⑩ Oil-Water Mixture |
| ⑤ Plunger Pump | ⑪ Sample Point |
| ⑥ Injection Needle | ⑫ Measurement Tank |

図-1 基礎実験装置

表-1 構成機器および実験条件

機器名, 実験条件	仕 様
微量定量ポンプ ⑤	ローラポンプ: 0.17~6.7ml/min, シリンジポンプ: 0.09~2.3ml/min プランジャポンプ: 0.2~2.2ml/min
ダンパ装置 ⑦	空気溜り: 容量 1~10ml, 合成ゴムチューブ: 内径3mm 油注入針: 内径0.15~0.4mm (軽油, 原油), 0.5~1.0mm (C重油)
攪拌機 ⑧	タービン型ミキサ: 出力0.55Kw, 翼径50mm, 回転数3000~8500rpm
循環流路 ⑨ (図-2 参照)	ステンレス製流路: 内径25mm, バイパス付 ガラス製流路: 内径25mm, 3ℓタンク付
試料液流量	2ℓ/min, 5ℓ/min, 10ℓ/min

備考 ○内の番号は図-1に対応

表-2 使用油の物性値

物性値 \ 油種	軽油	C重油	A. L. 原油
粘性係数 R. W. No.1(38°C)	36秒	1295秒	44秒
比重(15°C)	0.830	0.958	0.855

ンプは注射器の内筒を一定速度で押し込む事により0.1~0.2ml/min程度の微小流量の液供給が可能なるものである。

給油管の途中には空気だまりあるいは合成ゴムチューブのいずれか⑦を設けると共に、油注入口には油の粘性、流量に応じて表-1に示す各種内径の油注入針を取り付け、絞り膨張容量によるダンパ効果を持たせている。

攪はん混合部は攪はん機⑧と循環流路配管⑨とで構成され、攪はん機には回転数可変のタービン型オンライン・ミキサーを使用した。循環流路は図-2に示すステンレス製およびガラス製の二種類の配管を用いた。流路内径はともに25mmであるがステンレス流路にはバイパス弁を設け、ガラス流路には容積3ℓ程度のタンクを内蔵させている。なお、上記の油注入口は攪はん機タービン吸い込み口直前に配置して、注入直後に油が微細化されるように留意した。

攪はん混合部で均一分散させた試料液を循環流路出口から内径10mm, 長さ約1.5mの試料液供給管⑩に流す。同管内では油分分離・付着を防ぐため液流速を1m/sec (Re数: 1×10^4 相当)以上に保った。配管途中には採液用分岐管⑪を設けて分析用試料液を採取し、また、配管出口⑫において一定時間内の流出量の

計測から全流出量を求め、先に述べたマイクロピュレットによる油添加量の測定値とから流量基準による油分濃度を求めた。液流量は市販の微量定量ポンプの流量下限値と設定油分濃度とを考慮して10ℓ/minを定格とし、一部2ℓ/min, 5ℓ/minとして液流量の影響を調べた。

3.2 油分濃度の分析方法

基準試料液中の油分濃度の決定には前節で述べた流量基準による濃度計測(以下、流量基準濃度)とともに採取試料液を下記要領で分析した濃度(以下、分析濃度)を用い両者を比較検討した。

分析用試料液は図-1の採液管⑬から25mlの容量の栓付メスフラスコに採取し、これを分液漏斗に移した後pH調整などを行う。次に前記のメスフラスコに同容量の四塩化炭素を入れ、振とうして内部に付着残存する油分を溶解させた後再び上記分液漏斗に移す。分液漏斗を振とう機に掛け一定時間振とうし、ついで静置した後、ろ紙を通じて分液し油分の抽出を完了する。抽出した溶液を赤外線分光光度計にかけて吸光度を計測し、あらかじめ用意した各油種ごとの検量線から濃度を求める。検量線を求める場合、一定量の四塩化炭素中にマイクロ・シリンジで必要量の油を注入して基準濃度の検量液を作製し吸光度を計測するが、本実験では特に低濃度を対象とするため検量液を同量の清浄水とよく振とうした後使用した。また、マイクロ・シリンジの操作、分析用ガラス器具の洗浄などによっても誤差が生じないように充分留意した。

3.3 油分濃度の変動特性に及ぼす要因並びにその軽減策

油水を攪はん混合して得られる混合物の濃度特性に対しては、油水の供給ポンプを含む各構成機器や配管系の形式ならびに油の種類、液流量、攪はん力などが

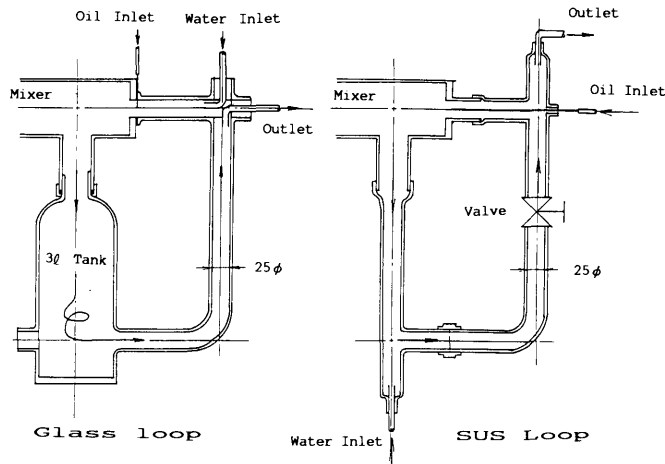


図-2 循環流路

影響すると思われる。このうち、清水の供給については図-1に示したヘッド・タンクとギャボンプの組み合わせ方式によって流量をほぼ1～2%程度の精度で長時間供給が可能である。一方、他の要因については実際には複合的に影響を及ぼすものと考えられるが、まず、給油ポンプとして主にローラ・ポンプを使用した場合について各要因の影響を調べ、次いでポンプの形式による特性の相違を述べる。

3.3.1 長時間実験における流路内面の汚れの影響

図-3は設定濃度100ppmの試料液について、基礎実験装置により合計35時間程度の長時間実験を行った結果を示したもので、油としては軽油を用いている。攪はん機の回転数は本章では特にことわらない限り3000

rpmとしている。図中、●印は流量基準濃度を示し、○, △, ×印は試料液供給管断面のそれぞれの指定位置から採取した試料液の分析濃度である。また、図中には流量基準濃度の時間平均値を実線で、分析濃度の時間平均値を一点鎖線で示す。また流量基準濃度と分析濃度の平均値間の偏り、ならびに分析濃度の平均値に対する変動幅を%表示している。

本結果は次節以下に述べる装置改良を行う前のデータであり、分析濃度の変動幅および両平均濃度間の偏りが全体的にかなり大きいことが分かる。一方、時間経過につれ変動幅が若干大きくなる傾向があるものの、途中清水による流路洗浄の影響も顕著でなく、後に述べる高粘性油の場合を除けば、管内面への油分の付着

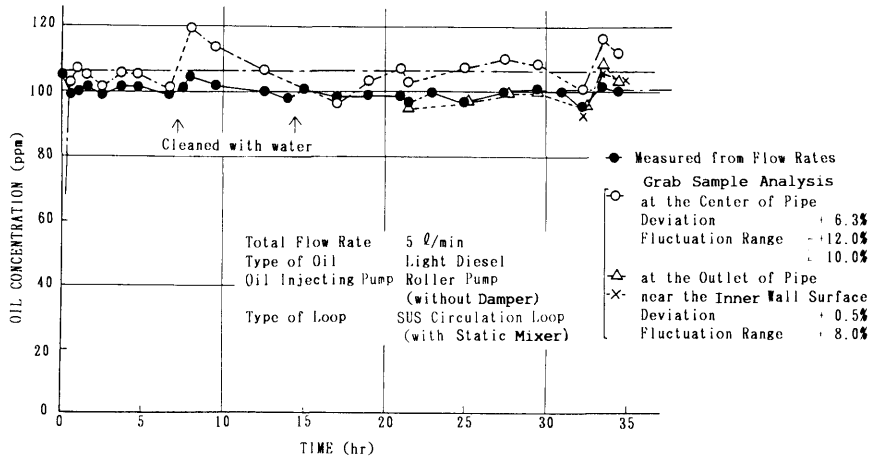


図-3 長時間実験における濃度特性

による汚れの影響はさほど大きくないと思われる。

なお、図はいわゆる管内混合器を挿入した場合の影響も示している。管内混合器とは流路エレメントの組み合わせにより流体の混合を行う静止型混合器であり、補助的な攪はんを目的として流路内に設けたものである。図中に示されるように、管断面の中央で採取した試料液中の濃度が流量基準濃度に比べ5～10%高い値になっている。これは流路エレメントを液が通過する際の巡回運動に起因する強い遠心力によって水に比べて軽い油分が断面中央に集まりやすいためと考えられる。したがって、この種の混合器を使用する際はその後流で再度液体を全体的に混合する空間を設けるなどの配慮が必要と考えられ、本項以後の実験は管内混合器を用いないで行っている。

3.3.2 循環流ならびに流路容量の効果

ローラ・ポンプを給油ポンプとして使用する場合、ローラの回転に起因する脈動のため油分濃度に大きな変動が現れる。図-4は循環流の有無による影響を示したもので、曲線(1)は循環流路(図-1.⑨)として図-2のステンレス配管を使用し、配管途中のバイパス弁を閉じ、循環流をなくした場合の濃度特性を調べたもので、図中に示すとおり変動周期は約25～26秒である。これに対して図中の曲線(2)はバイパス弁を開いて循環流の効果を求めたもので、循環流が生じることにより

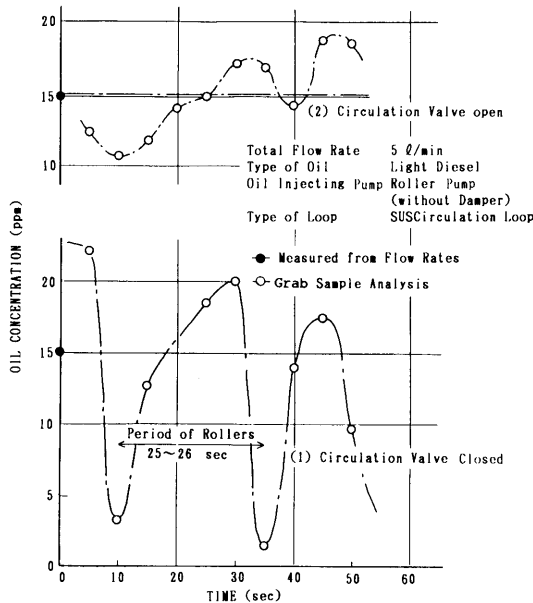


図-4 循環流の効果

(584)

攪はんによる分散効果が促進され変動幅がある程度減少することがわかる。また、それと同時に流路容量の増加による混合効果も加わるものと考えられる。すなわち、給油ポンプなどに起因する比較的短い周期の変動は試料を時間的あるいは空間的に混合することによってある程度抑制することができる。

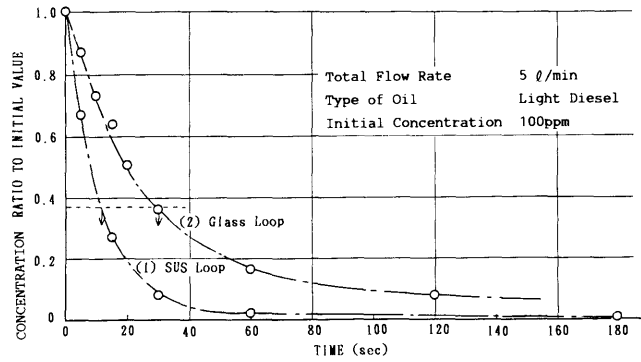
試みに試料液採取の際の採液流量を変化させ、25mlの採液に要する時間を1秒および35秒の二通りにかえてそれぞれ複数本の試料を取り、油分濃度のばらつきを求めて時間平均の効果を調べると、後者の場合変動幅が前者の1/6程度に減少した。

同様な効果は装置流路内に適当な容量を持たせてその内部で試料液を空間的に混合することによっても期待できる。図-5は図-2の二種類の循環流路の容量特性を調べたもので、実験装置に各配管を組み込んだ状態で、ある瞬間に油の供給を停止し、清水だけを流し続けた場合の試料液濃度の時間的変化を示している。この結果によると濃度変動に対する各流路の時定数(初期油分濃度に対し37%まで値が低下するまでの時間で、液の滞留時間とほぼ同程度の値)はステンレス流路で12秒、ガラス流路では30秒であり、後者の場合上記の採液時間操作とほぼ同様の変動幅の減衰効果が期待できるものと思われる。ただし、過度に流路容量を大きくすると、容量内部で油の分離が生じやすくなるためこれを防ぐ対策が必要になる。

3.3.3 ダンパ装置の効果

一方、給油系にダンパを設けることによっても給油ポンプの脈動を吸収することができる。図-6は軽油を用いた場合について給油細管途中に1～10mlの空気だまりを設け、細管先端の油注入口に軽油用の内径0.15mmの注射針による流動抵抗を取り付けた際のダンパ効果を調べたものである。なお、空気だまりの代替として合成ゴムチューブの内圧による弾性変形を利用してもよく、本実験でも一部使用している。図中の曲線(1)は図-4の曲線(2)と同一でダンパを設けていない状態であり、曲線(2)は空気体積が1～2ml、曲線(3)は10mlの場合の濃度の特性を示している。空気だまりの体積増加につれて濃度変動幅が60%から13%あるいは11%に減少しており、減少した変動幅の比(以下、ダンパ係数)は約0.2程度になっている。

上記のダンパによる効果は、油注入針の寸法と油の粘性、流量などで定まる流動抵抗ならびに給油管内圧による空気だまり中の空気体積変化の二つの条件でほぼ次のような考えかたから求めることができる。すなわち、図-7に示すように給油ポンプと油注入針を結ぶ



* 図-5 流路容量特性

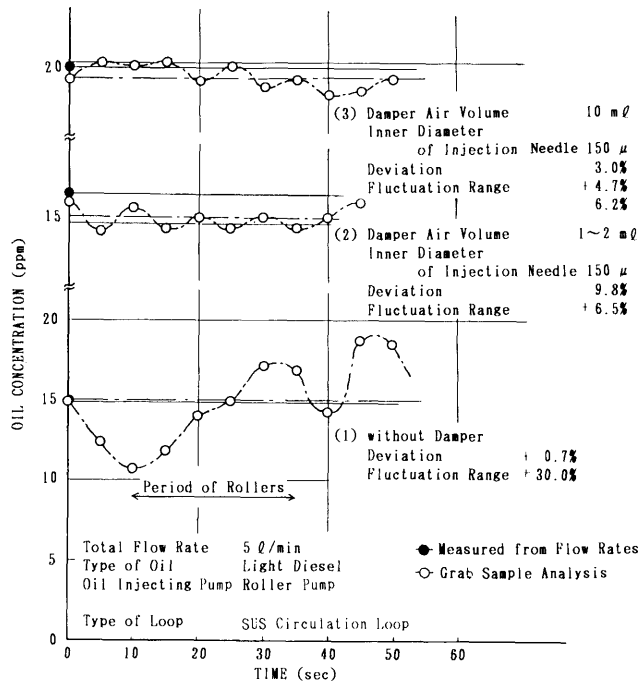


図-6 ダンパ効果

給油管の途中に大気圧下の体積が V_0 の空気だまりを設ける場合を考える。給油管内圧力 $P = \bar{P} + \Delta P$ とその圧力での空気体積 $V = \bar{V} + \Delta V$ との関係は理想気体を仮定すると、

$$V_0 \cdot 1 = (\bar{V} + \Delta V) (\bar{P} + \Delta P) \quad (1)$$

ここで、 \bar{V} 、 \bar{P} は時間的平均値、 ΔV 、 ΔP は変動値を表す。上式に定常状態での関係 $V_0 \cdot 1 = \bar{V} \cdot \bar{P}$ を代入し、また微少項を無視すると次式が成立する。

$$\Delta V = -\frac{\bar{V}}{\bar{P}} \cdot \Delta P \quad (2)$$

一方、油について一次元流を考え、空気だまりの上流および下流での流量をそれぞれ $Q_1 = \bar{Q}_1 + \Delta Q_1$ 、 $Q_2 = \bar{Q}_2 + \Delta Q_2$ とすると、連続の関係から次式が成立する。ここで、 \bar{Q}_1 、 \bar{Q}_2 は定常値、 ΔQ_1 、 ΔQ_2 は変動成分を表す。

$$Q_1 - Q_2 = -\frac{dV}{dt} \quad (3)$$

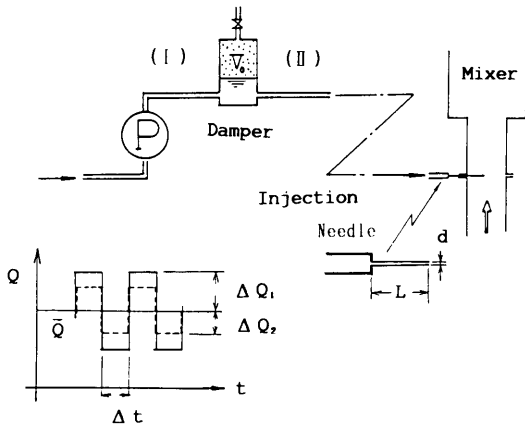


図-7 ダンパ装置

変動現象が比較的ゆっくりしており上流，下流での変動の位相差がなく，また，簡単のため矩形波の変動を考え変動周期を Δt とする(すなわち，もっとも単純な準静的釣合を考える)。定常状態での関係， $\bar{Q}_1 = \bar{Q}_2 = \bar{Q}$ を用いると，

$$\Delta Q_1 - \Delta Q_2 = -\frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (4)$$

給油管系の内圧 P は注入針が油が通過する際の粘性抵抗でほぼ定まり，外気圧との差の定常成分 $\bar{P} - 1$ と変動成分 ΔP に分けて考えるとそれぞれ次式で表される。

$$\begin{aligned} \bar{P} - 1 &= K \cdot \bar{Q}_2, & \Delta P &= K \cdot \Delta Q_2 \\ K &= \frac{128\mu L}{\pi d^4} \end{aligned} \quad (5)$$

ここで μ は油の粘性係数， L および d は注入針の長さおよび内径である。

式(2)，(4)，(5)および $V_0 = \bar{V} \cdot \bar{P}$ の関係から空気だまり前後の流量変動幅の比 $\frac{\Delta Q_1}{\Delta Q_2}$ (ダンパ係数の逆数)は次式で与えられる。

$$\frac{\Delta Q_1}{\Delta Q_2} = \frac{K \cdot V_0}{\{(1 + K\bar{Q})^2 \cdot \Delta t\}} + 1 \quad (6)$$

例として図6(2)の条件を代入すると，注入針の長さ $L = 50\text{mm}$ ，内径 $d = 0.15\text{mm}$ ，空気体積 $V_0 = 1 \sim 2\text{ml}$ ，平均油流量 $\bar{Q} = 0.00167\text{ml/sec}$ ，変動周期 $\Delta t = 25 \sim 26\text{sec}$ ，軽油の粘性係数 $\mu = 2.5 \times 10^{-7}\text{g} \cdot \text{sec/mm}^2$ であるからダンパ係数 $\frac{\Delta Q_2}{\Delta Q_1}$ は $0.17 \sim 0.28$ となり，図-6の値 0.2 とほぼ同程度の値が得られる。

なお，空気だまりの体積を大きくするとダンパ効果はより向上するが，空気だまりによる弾性が低下しすぎるため外気温による油の粘性変化や装置主流路内の

圧力変動などの外乱に対して不安定になり，比較的長い周期の変動原因となるため，軽油では図-6中曲線(2)の $1 \sim 2\text{ml}$ 程度が適当と考えられる。

3.3.4 液流量の影響

本実験で対象とする油分濃度は最低 15ppm と非常に低く，全液流量を少なくすると必要とする油の供給流量が 0.1ml/min 以下と極めて微量になる。このため，市販の定量ポンプを使用する場合その定格流量の下限値前後で運転することになり，流量精度は一般に悪くなる。

図-8は給油ポンプとして前節で述べたダンパ付きのローラ・ポンプを使用し，またガラス循環回路を用いた場合について液流量を，(1) 2l/min および(2) 10l/min の二通りに変化させ，試料液中の濃度特性を示したもので，前者(油流量： 0.03ml/min)の変動幅が 15% 程度であるのに対し後者(油流量： 0.15ml/min)では 9.6% になっている。すなわち，液流量の増加に伴って同一濃度に対する油流量が増加し，上に述べたような市販の定量ポンプの流量範囲との関係で給油の精度が向上するものと考えられる。

3.3.5 攪はん条件(油粒径分布)の影響

前節までに使用した軽油は攪はん機による微細化が比較的容易であり，回転数を 3000rpm 以上で変化させても濃度変動幅に顕著な差は見られなかった。図-9はC重油の場合について攪はん機回転数を変化させて変動幅に対する影響を調べたもので，油の粘度が高く，ローラ・ポンプが使用できないため，ブランジャ・ポンプを使用し，ダンパには合成ゴムチューブと内径 $0.5 \sim 1.0\text{mm}$ の注射針の組み合わせを用いた。図中，曲線(1)は回転数 5000rpm ，曲線(2)は 8500rpm の場合であり，前者では変動幅が 37% とかなり大きい，後者

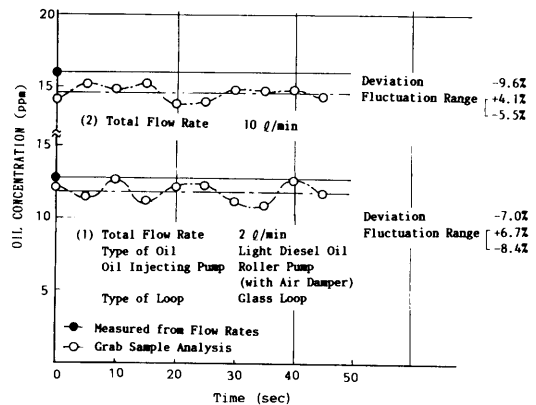


図-8 液流量の影響

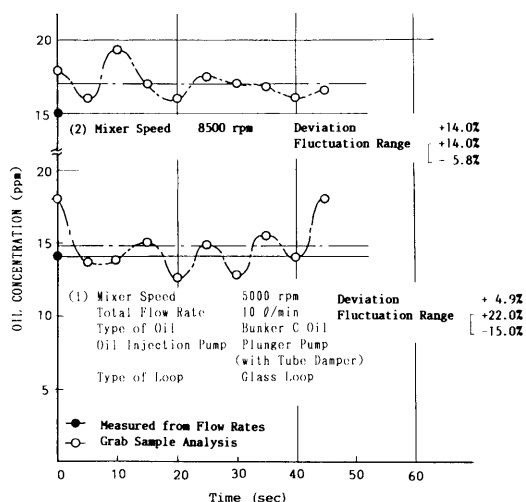


図-9 攪はん条件の影響

では20%程度とやや変動幅が減少している。これは、C重油が高粘性であるため低攪はん回転数では油が充分微細化されず、油粒子の粒径分布の偏りに起因する変動が無視できなくなるためと考えられる。すなわち、15ppmの濃度の場合に25mlの採取試料中に平均として含まれる油の量は $0.37\mu\text{l}$ であり、一方粒径が 200μ 、 400μ 、 600μ ……の油粒1個の体積は $0.004\mu\text{l}$ 、 $0.034\mu\text{l}$ 、 $0.113\mu\text{l}$ ……であるから、これら1個の体積が上記油量に占める割合はそれぞれ、1.1%、9.1%、30.1%……の大きさになる。観察によるとC重油の場合8500rpmの攪はん回転数でも 500μ 程度の油粒が存在していてこの粒子が採取試料液中にたまたま混入することによって油分量は平均値からかなりずれることになり、これが濃度変動の一つの原因になっているものと考えられる。軽油の場合は回転数が3000rpmでも微細化が比較的容易で最大粒径も 100μ 以下であるため上記の影響がC重油ほど顕著に現れないものと思われる。また、採取試料液の量を増加させればこの影響をある程度小さくすることも可能である。

なお、C重油の場合は軽油と異なり、攪はん機回転数が3000rpmでは大きな油粒の管内壁への付着が著しく、5000rpm、8500rpmの場合にも長時間使用後にガラス流路内の死水部などに油分付着による汚れが観察された。

3.3.6 油定量ポンプの影響(定量ポンプの短時間給油特性)

濃度変化に大きな影響を及ぼす要因として油定量ポンプの給油特性が考えられる。本実験ではローラ・ポ

ンプ、シリンジ・ポンプおよびプランジャ・ポンプについて検討した。ローラ・ポンプについてはすでに図-4中の曲線(1)でポンプに起因する濃度変動の基本特性を示した。図-10は軽油の場合について攪はん回転数を3000rpmとし、ガラス循環流路および空気ダンパによって変動軽減した際の設定濃度15ppmおよび100ppmに対する濃度特性を示したものである。これらの結果からローラ・ポンプを使用した場合各種変動対策をとることによって15ppmで9.6%、100ppmで5.5%程度の変動幅になることがわかる。ただし、ローラ・ポンプは合成ゴムチューブを使用する構造であるためC重油などの高粘性油および原油などの溶剤成分を多く含む油に対する使用は適当でないと考えられる。

図-11はシリンジ・ポンプの給油特性を示したもので変動幅が大きく、変動時間が1~2分程度に渡る長い脈動が見られる。これは、歯車駆動により注射筒を微速度で押し込む際歯車のばらつきや注射筒しゅう動面における摩擦振動に起因して生じるものと考えられるが、長周期の脈動は一般に前に述べた種々の対策でもその抑制が困難であるため本実験の目的に使用する定量ポンプとしては適当でないと思われる。

一方、プランジャ・ポンプはピストンの往復運動によって給油するため本来流量の脈動が大きいはずであるが、周期が1秒程度とかなり短く、適当な対策によって比較的容易に均一な給油特性が得られる。また、機種によっては相当高い給油圧が得られるため高粘性油に対しても使用できる。図-12は軽油について設定濃度

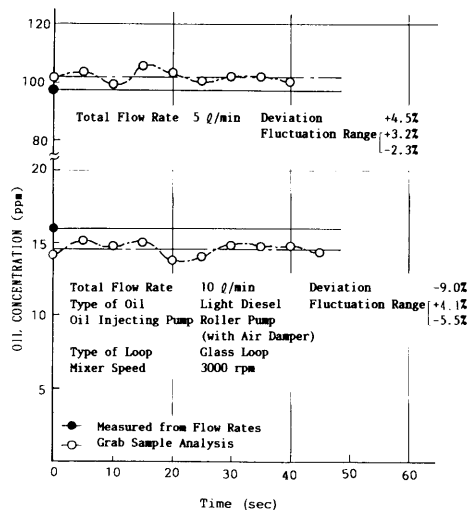


図-10 ローラポンプによる濃度特性

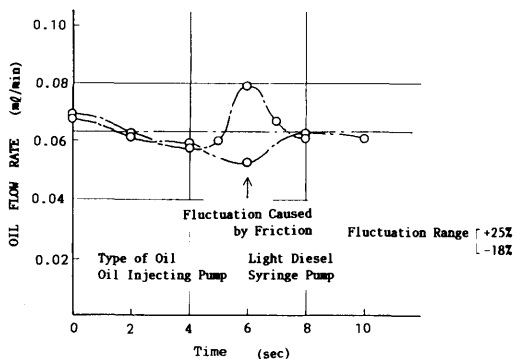


図-11 シリンジポンプの給油特性

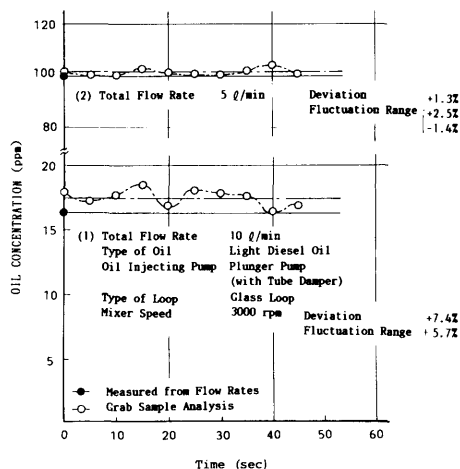


図-12 プランジャポンプの濃度特性 (軽油)

15ppm および100ppm に対するプランジャ・ポンプの濃度特性を示したものであり、油注入針に内径0.15 mm のものを用い、合成ゴムチューブをダンパとして使用している。図中に示されるように15ppm の設定濃度に対して11.4%、100ppm で3.9%程度の変動幅が得られた。軽油に対してはローラ・ポンプと同程度の性能が得られることが分かったが、C 重油並びに原油に対する使用を考慮するとプランジャ・ポンプが最も適していると考えられる。

図-13、14はプランジャ・ポンプを使用した場合のC 重油ならびに A. L. 原油における変動特性を調べたもので C 重油の場合は攪はん回転数を8500rpm、A. L. 原油の場合は3000rpm としている。C 重油ならびに A. L. 原油の場合は軽油に比べて変動幅が大きく、それぞれ15ppm で19.2%および31%、100ppm で4.7%および

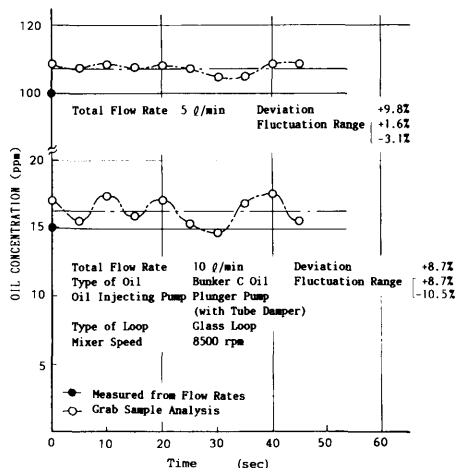


図-13 プランジャポンプの濃度特性 (C 重油)

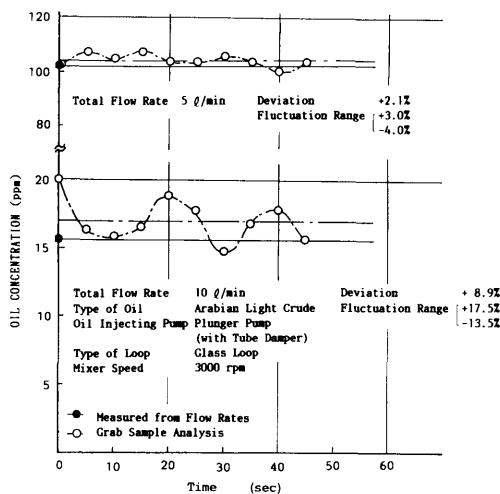


図-14 プランジャポンプの濃度特性 (A. L. 原油)

び7%となっている。これは、C 重油の場合、内径の大きな注入針を使用しているため針先端における離脱径が大きくなること、また、前節で述べたように攪はんによる微細化が困難であることなどのためと考えられる。一方、A. L. 原油の場合については精製油でないためピッチ成分や不純物を含んでおり成分のむらがあることが原因とも考えられるが明らかでない。

3.3.7 変動軽減対策のまとめ及び長時間供給時の濃度特性

前節までに述べた各要因の影響並びに濃度変動の軽減対策を整理すると次のようになる。

- 1) まず、流路内面の付着汚れの影響は軽油の場合の

攪はん回転数が3000rpm 以上ではほとんど問題とならない。C 重油などでは高速攪はんを行った場合でも若干汚れが生じる。

2) 管内混合器は管断面内の濃度の偏りの原因になるため使用方法に注意を要する。

一方、変動軽減対策としては、

3) 攪はん混合部における循環流により攪はん効果を促進すると同時に流路内の容量によって空間的な混合均一化をはかる。ただし、容量を大きくしすぎる事による油分の分離に注意する必要がある。

4) 給油管の途中にダンパ装置を設ける事により給油ポンプの脈動を吸収する。その際、外乱による影響を考慮する必要がある。

5) 液流量は市販の給油ポンプの定格下限値を考慮し適当な値に保つ。

6) 攪はん力は他の条件が許す限り大きくし、特に C 重油では油粒径が大きくなるよう注意する。

7) 給油ポンプとしては軽油に対してローラ・ポンプとプランジャ・ポンプが同程度の性能を有するが、高粘性油、原油に対する使用を考えるとプランジャ・ポンプが最適と考えられる。

これらの条件をすべて考慮した最適と考えられる状態で基礎実験装置により長時間試料液を供給する実験を行い、濃度の変動特性を調べた結果を図-15、図-16、図-17に示す。図-15は軽油について設定濃度15ppm、100ppm に対する特性を示したもので15ppm で11%、

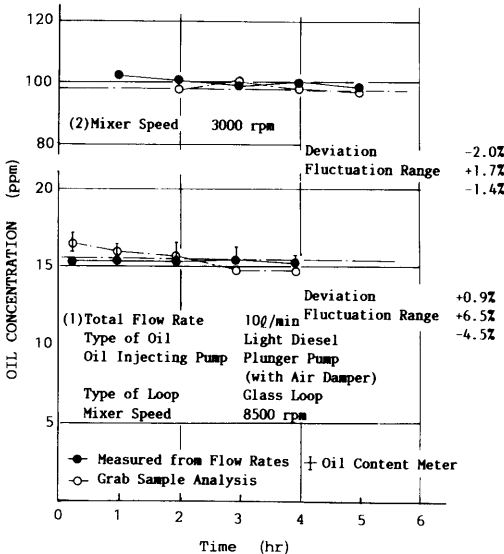


図-15 長時間供給時の濃度特性 (軽油)

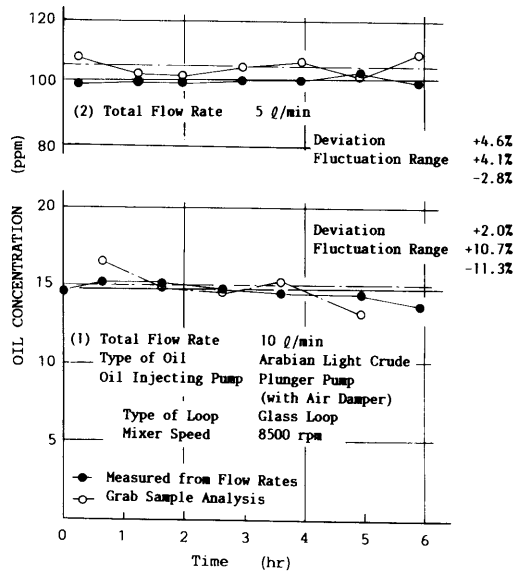


図-16 長時間供給時の濃度特性 (A.L. 原油)

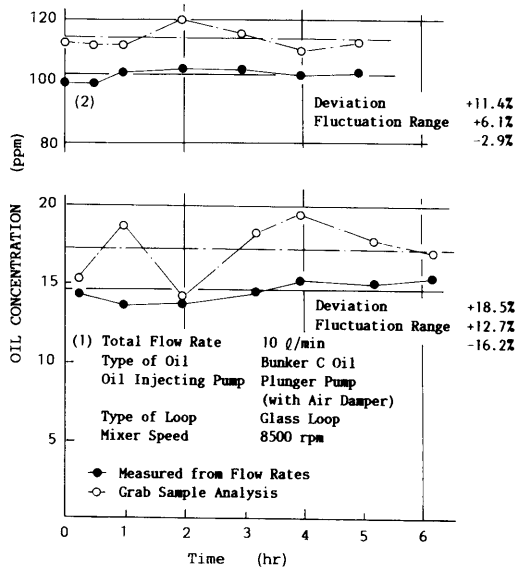


図-17 長時間供給時の濃度特性 (C 重油)

100ppm で3.1%の変動幅が得られた。これは図-12に示した短時間内の変動幅とほぼ同程度の値である。A.L. 原油および重油に対しては図-16、図-17に示すように15ppm の場合、それぞれ22%および29%、100ppm の場合7%および9%程度の変動幅が得られ、短時間特性を示す図-13、図-14とほぼ同程度の値を示し、全体的に軽油より変動幅が大きくなっている。

表-3は各油種に対する変動幅の値を一覧表にまとめたものである。

なお、特にC重油の場合、図-17に見られるように、流量基準濃度と分析濃度のそれぞれの平均値間に10%以上の偏りが見られるが、本報告の範囲では原因を明確にすることができなかった。

3.4 油分濃度計性能試験装置の製作

3.4.1 装置の設計

基礎実験装置による実験結果をもとにして基準試料濃度の精度を高めるために必要な改良点を検討し、試料液供給装置の設計ならびに作成を行った。図-18はその概略の系統線図を示したものである。油および液流量の自動計測系を除けば基本となる機器の種類・構成は図-1の基礎実験装置とほぼ同一であるが、主な改良点を要約すると次のとおりである。

- 1) 給油ポンプならびにダンパ装置に耐圧用を使用し、ニードル弁の調整によって給油系の圧力を高めることにより外乱の影響を抑制すると同時にダンパ効果を実験条件に応じて調節可能とした。
- 2) 油注入口に内径の細い注射針を用い、上記高圧給油を行うことによって高粘性油の場合にも注射針先端

表-3 濃度変動幅一覧表

設定濃度 \ 油種	軽油	C重油	A. L. 原油
15ppm	11%	29%	22%
100ppm	3.1%	9%	7%

における離脱径が小さくなるように考慮した。

3) 液流量の定格値を10~20 l/min, 最大供給可能値を40 l/minとし、また、液温度は10~65°Cの任意の値に設定可能とした。

4) 攪はん混合部における攪はん回転数は他の条件が許す限り、最高8500rpmまで高め攪はん力を増大させた。また、混合タンクを内蔵するガラス製循環管路を使用し攪はん混合効果を促進させた。

図-18において、清水は流量および温度を調整した後給水口①から供給される。また、油は、設定濃度が15 ppmおよび100ppmの場合は、給油ポット②から高圧微量プランジャ・ポンプ③(流量範囲0.2~2.2ml/min, 最大吐出圧200kg/cm²)およびステンレス細管によって供給され、圧力計、高圧空気ダンパ④(圧力範

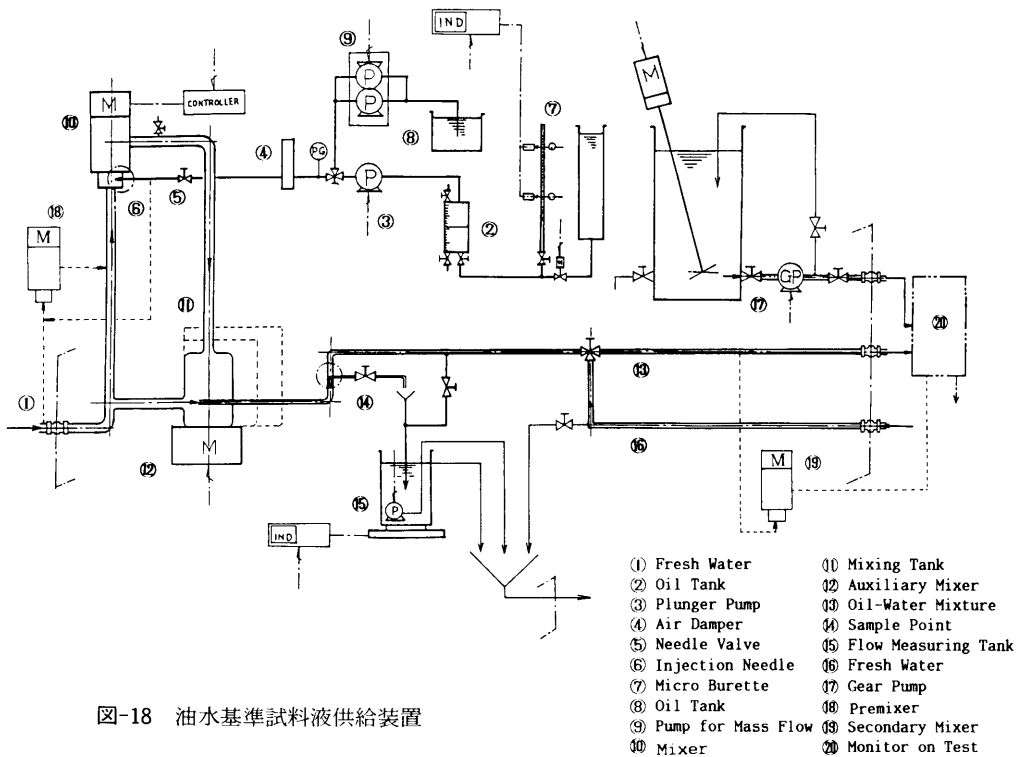


図-18 油水基準試料液供給装置

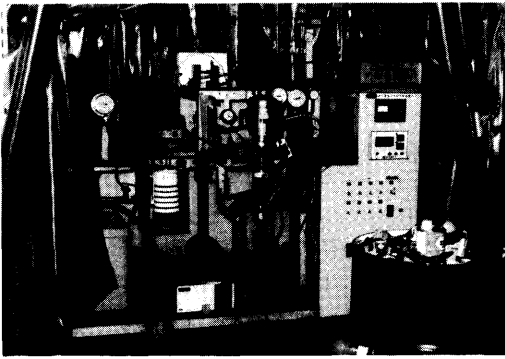


写真-1 油水基準資料液供給装置

図3～30kg/cm²、内容積約10ml)を經由して、ニードル弁⑤で給油系圧力を調整した後注入針⑥(軽油用0.15mmφ、原油用0.15～0.4mmφ、C重油用0.6mmφ)から攪はん混合部に注入される。油流量はマイクロピュレット⑦の液面降下速度を光学的に検出して計測するが、その際、黒色油でも検出可能なように給油ポット②内において油の減少量を水の体積変化に置換してピュレット内の水面の降下として測定している。一方、設定濃度が1000ppm程度の試料液の供給も可能なように油タンク⑧および中圧プランジャ・ポンプ⑨(流量範囲2～34ml/min、吐出圧力20kg/cm²、二連型)も備えている。

攪はん混合部は攪はん機⑩と循環混合流路⑪より構成される。攪はん機は基礎実験に用いたものと同じのタービン型ミキサ(翼径50mm、回転数3000～8500rpm、出力0.75KW)であり、循環混合流路は内径25mmのガラス製で途中に混合タンク(容積3ℓ、10ℓ、20ℓ)および補助攪はん機⑫(マグネット型)を備えている。

均一混合した油水試料液を循環流路出口から内径15mmのテフロン製試料液供給管⑬に流して連続濃度監視計あるいは試験すべき供試濃度計に供給する。途中、採液分岐管⑭を設けて分析用試料液を採取するとともにコックの切り換えによって試料液を計量タンク⑮に流しロードセルによって液流量の計測を行う。なお、本装置にはコック切り換えにより供試濃度計に清水を供給するための清浄水配管⑯ならびに高濃度油水を供給し汚損試験を行うためのタンクおよびギャポン⑰を設けている。

3.4.2 基準試料液の濃度特性

前節の供給装置により軽油、A.L.原油およびC重油を用い設定濃度15ppm、100ppmについて長時間試

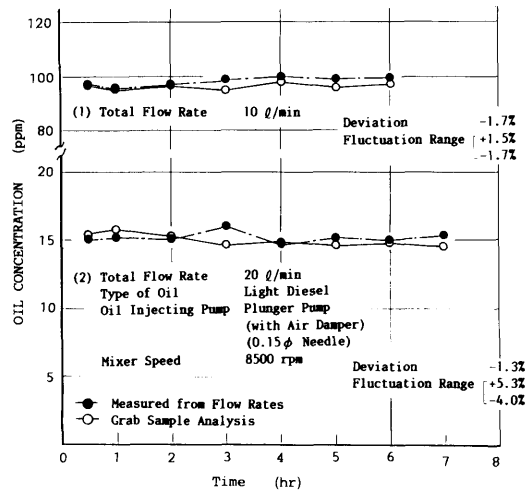


図-19 軽油の濃度変動特性

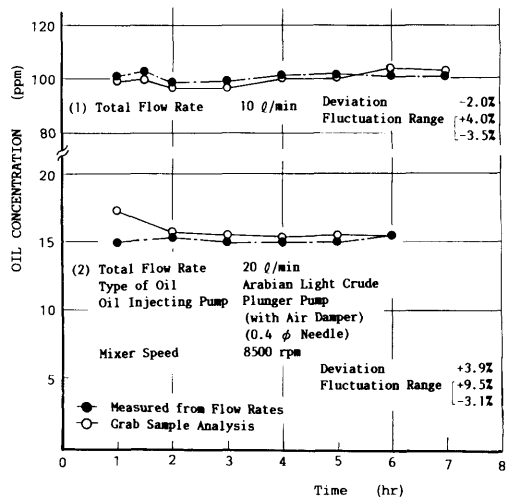


図-20 A.L.原油の濃度変動特性

料液を供給する実験を行い油分濃度の変動特性を調べた結果を図-19～図-21に示す。図中、横軸は試験時間を示しており最長7時間程度の実験を行っている。縦軸はそれぞれの設定濃度に対して流量測定値より求めた流量基準濃度と分析濃度を示しており、両者の平均時間の偏りおよび分析平均濃度に対する各分析値の変動幅を各図中ならびに表-4に表示している。A.L.原油およびC重油は軽油に比べて変動幅が大きく図-13、図-14の短時間特性と同様な傾向を示しているが、変動幅の値自体は特に15ppmに対して13～14%とある程度減少し、性能が向上している。

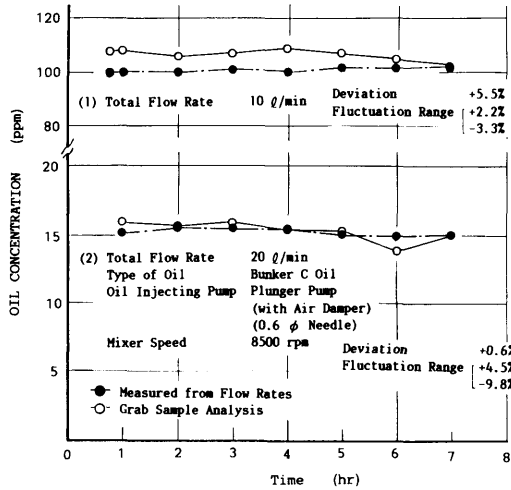


図-21 C重油の濃度変動特性

表-4 基準試料液の濃度変動幅

設定濃度	油種		
	軽油	A. L. 原油	C重油
15ppm	9.3% (-1.3%)	12.6% (3.9%)	14.3% (0.6%)
100ppm	3.2% (-1.7%)	7.5% (-2.0%)	5.5% (5.5%)
1000ppm	—	10.8% (-9.2%)	—

()内は、流量基準濃度に対する分析濃度の時間平均値の偏りを示す。

図-20, 21において一部の分析濃度が流量基準濃度より高くなっている。これは長時間試験を行う際の気温変化の影響と思われる、気温上昇にともなう給油ポット内の液体の体積膨張に相当する分だけ実際に供給される油流量がマイクロビュレットによる計測値より大きくなるためと考えられる。この影響は粘性の高いC重油の場合に特に長時間にわたって現れている。この対策としては給油ポットに断熱性の高いものを使用し急激な温度変化を与えないよう装置の改良を行った。

なお、上記気温変化の影響以外に特に高粘性油の場合、分析濃度が流量基準濃度より平均値で10%以上大きな値になることが基礎実験装置による長時間試験で経験された。これは給油ポット(図-18②)内が油および水で完全に充填されず気泡が残留している場合に、給油ポンプで油を吸引する際ポット内が負圧になり残

留気泡が膨張してその分だけ実際の供給流量よりマイクロビュレットの計測値が小さくなるためと考えられ、実験ではこの点を考慮した。

原油タンカーのタンク洗浄水を対象とする油分濃度計では、1000ppm程度の濃度をフルスケールとする場合が多い。そこでA. L. 原油については中庄プランジャ・ポンプ(図-18⑨)を使用し、この範囲の濃度に対する変動特性を調べた。変動幅および二つの濃度平均値の偏りは表-4に示す通りである。変動幅は他の設定濃度と同程度であるが偏りが若干大きくなっている。

図-22は軽油およびC重油について、性能試験装置の攪はん条件を種々変化させた場合の油粒径分布を整理したもので、横軸に示した各粒径以下の油粒が占める割合を対数確率紙上に表示している。粒径分布の測定方法としては主に静置浮上法を用いている。なお、図中の細線は顕微鏡撮影によるものであり、測定方法による差異が若干見られるが極端なずれはない。粒径

OIL	TEM. OF WATER	FLOW RATE	MIXING COND. PRIMARY	MIXING COND. SECONDARY
(1) LIGHT DIESEL	20℃	20 l/min	0 W	750 W
(2) "	"	10	"	"
(3) "	"	5	"	"
(4) BUNKER C	"	10	150	150
(5) "	"	"	0	750
(6) "	"	"	150	750
(7) "	"	"	750	750
(8) "	30	"	0	750
(9) "	40	"	"	"

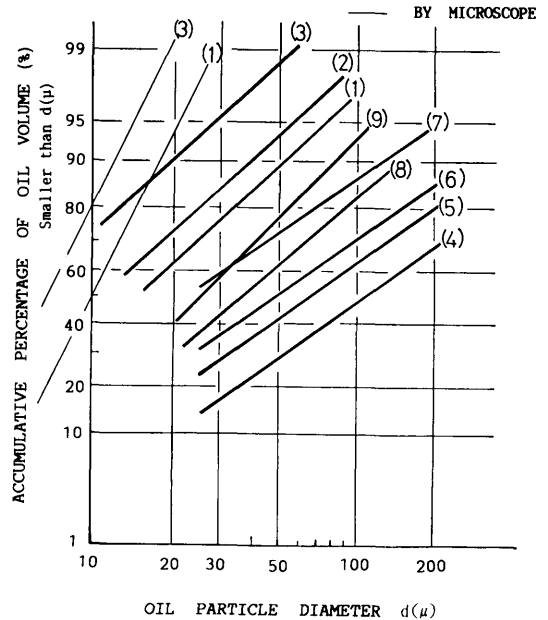


図-22 油粒径分布

は一般に攪はん機の動力の増加および油の粘性の低下とともに小さくなっている。

3.5 まとめ

三種類の油ならびに設定濃度に対し、油水基準試料液を長時間安定に供給する方法について基礎実験装置(図-1)による検討を行い、各種の濃度変動軽減策を検討した結果3.4.1で述べたような装置の改良点が明らかとなり、その結果から油分濃度計性能試験装置(図-18)を設計・製作した。

製作した性能試験装置における供給試料液の濃度特性として最終的に表-4に示した結果が得られた。

4. 油分濃度計性能試験の実施

実船に搭載する油分濃度計の性能試験を実施するに当たり、油分濃度計の一般的性能や、船内環境下で濃度計に与えられる測定用サンプル水供給配管系の実態を知り、計測濃度に与える各因子の影響を調べる必要がある。

4.1では、まず濃度計の一般原理や種類について簡単に紹介すると共に、代表的機種を用いて行った濃度計の基本特性と問題点の検討について述べる。

4.2では、実船における配管系の調査結果と、それをもとに、当所にて作成した配管系模擬実験装置を用いて濃度計測精度に与える影響について検討したものについて述べる。

最後の4.3では、型式承認前提試験として実施した油分濃度計性能試験のあらましについて紹介する。

4.1 油分濃度計について

4.1.1 一般原理

油分濃度計測を行う方法として多くの機器並びに分析方法がある。水中に分散された微量の油分を計測対象とする場合は、溶剤によって油分を抽出し物理的に定量する方法、および光学的分析法が中心となっている。以下に、現在主に使用されている濃度計の原理についての概要を述べる。

(1) 溶剤抽出法 (JIS 法)

水中に混在する油分を主に手分析によって計測する方法として、日本工業規格 (JIS) に規定されているものである。油分を含む試料水を溶剤と共に攪はん混合し、油分のみを溶剤に溶出させて分離した後加熱して溶剤を蒸発させ、残った油分の重量を計測する方法で、溶剤として n-ヘキサンが用いられている。この方法は従来から広く用いられてきたが、対象とする試料に軽質油分が含まれる場合は加熱によって蒸発する事、また逆に重質油分で n-ヘキサンに溶解しにくいものの

測定が困難である事などの欠点がある。より低い温度で蒸発し、溶解力の強い溶剤を使用する方法などの改良が考えられているが、いずれにしても低濃度油分を測定する場合には多量の試料水の抽出処理が必要である。

(2) 光分析法

光分析法は種々の光源を用い、油分による光の透過、吸収、散乱といった光学的な性質を利用して濃度を計測するものであり、用いる光源及び光の種類によって次のように分類される。

① 濁度法

油分や固体の微粒子を多数含んだ液体は通常いわゆる「濁り」を生ずる。これは液体と粒子の界面で光が散乱されるために生じる現象であり、身近な例として牛乳や塗料などをあげることができる。一般に懸濁液と呼ばれるこれらの液体に光を入射させると、周囲に散乱光を反射するとともに透過する光の強さは減衰する。この場合、入射光の強さに対する一定距離通過後の透過光の強さの比が粒子量によって定まるが、このことを利用して分散粒子の濃度を定量する方法を「濁度法」と呼んでいる。

濁度法では油分を水中から分離することなく直接に濃度の定量が出来るが、その検出感度は分散粒子の寸法、油や水自体の色調、あるいは水中に共存する気泡や固体粒子などによって影響を受ける。従って、実際の計測に当たってはこれらの要因に対する対策が必要である。

② 赤外線及び紫外線吸収法

物質はその化学的構造に応じてそれぞれ特定の波長の光を吸収し、固有の吸収スペクトルを示す。光の波長及び透過距離をある値に定めた場合、入射光に対する透過光の強さの割合が溶液の濃度によって定まることを利用して物質を定量する方法を「吸収法」と呼んでいる。光源としては一般に波長が3.4~3.5ミクロンの範囲の赤外線が多く用いられ、紫外線、可視光線も用いられる。

赤外線吸収法は油の種類の変化による影響を比較的受けにくく、また、感度も高いため低濃度の油分計測に適すと考えられる。しかしながら、水中油分の場合は溶剤による抽出処理が必要であること、さらに油分と類似の化学的構造を持つ一部の界面活性剤 (油乳化剤) のように、同一波長域に吸収特性を持つ物質が共存する場合は、それが計測誤差になることなどに対する対策が必要である。

③ 蛍光光度法

油分には適当な波長の光を照射するといわゆる「蛍光」を発する性質の物質が一般に含まれていることを利用し、この蛍光の強さが物質質量によって定まることから濃度を定量するものである。照射光線としては通常紫外線が用いられる。

蛍光光度法も感度が高く、また抽出操作を必要としないが、油の種類によって発生する蛍光の波長や強度が変化するため、対象とする油の種類ごとに較正が必要である。また、蛍光を発する物質や気泡が共存すると計測誤差になる。

④ その他の方法

油分を化学的に定量する COD 法、油、水の導電率、誘電率など電気的特性の差を利用する方法などがあり、後者は主に高濃度油の検出に用いられている。それ以外の特殊な方法として油分をろ材に吸着させた時の色の濃淡を測定するとともに、軽質分を蒸発させてガス濃度を分析する方法がある。

4.1.2 船用油分濃度計

船舶用としての油分濃度計は一般に船の機関室ビルジ水及び油タンカーのバラスト水などの排水に対して使用される。このため、計測対象としては、燃料油、原油、軽質精製油などの多くの油種、並びに水中に浮遊する極めて低濃度から1000ppmを超える広い濃度範囲の油分を想定しなければならない。

また、これらの排水中には通常微細な浮遊固形物が多量に含まれており、また油乳化剤の混入によっていわゆる乳化油分が形成されている場合もある。このような条件に対しては種々の対策が講じられているが、計測方式によっては原理的に計測誤差となる場合もあり、それぞれの機器の使用限界については十分注意を払う必要がある。

一方、「MARPOL 73/78条約」及びそれに基づく国際統一試験基準「A.393(X)」においては、油分濃度計を用途別に、①ビルジ水に対する15ppm用「油分監視警報装置」、②同じくビルジ水を対象とした100ppm用の「油排出監視制御装置」に含まれる油分濃度計、および、③バラスト水用の1000～2000ppmの測定範囲を有する「油排出監視制御装置」に含まれる油分濃度計(以下①を「ビルジ警報器」、②を「ビルジモニタ」、③を「バラストモニタ」と略称する)に分類しているが、それらはいずれも連続自動計測が前提になっており、しかも計器の応答時間を20秒未満と規定している。

これらの機種に採用されている計測方式は濁度型、溶剤抽出・赤外吸収型、紫外線蛍光光度型およびろ材吸着・蒸発分析型などである。

(594)

濁度型、蛍光型では超音波による油分の微細化(乳化)操作を前処理として行っているものが多く、機種台数としては濁度型が最も多い。

付録に、当所において受検した主な機種について、計測原理・特徴等の概要を紹介する。

4.1.3 供試濃度計の基本特性

1) 供試濃度計の検討課題

表-5は今回対象とした供試濃度計の種類および台数を示したものであり、これらの濃度計に基準試料液を供給した場合の計器指示値の記録例を図-23に示す。計器はビルジ警報器であり、油は設定濃度15ppmの軽油を使用している。同一の試料液にもかかわらずそれぞれの計器特有の指示様相を示している。

油の種類をはじめ試験条件を種々変化させて同様な試験を実施した結果、表-6に整理して示すような実用上の検討課題が得られた。これらのうち、各型式・種類に比較的共通する項目は(1)～(3)の試料水温、油粒径並びに高粘性油による感度ずれの問題であり、これらの要因が及ぼす影響を定性的に検討した結果を次に示す。

2) 試料水温の影響

図-24にC重油を97ppm含む試料液を供給した場合のビルジ濃度計の指示値例を、水温を横軸にとり示す。この例では水温が低い場合及び油加熱を行わない場合感度が低下する傾向を示している。これは、計器が乳化濁度計測型のため、低水温区域ではC重油の粘度が高く油水が十分に乳化されない結果起こる現象と推定される。これとは逆に水温を上昇させた場合、ある温度で急激な感度低下を起こす場合もあったが、これは発生乳化動力が温度の影響を受けるためと推定される。

3) 油粒径の影響

図-25は、図-18の性能実験装置における主攪はん機⑩、予備攪はん機⑮あるいは二次攪はん機⑯の調節によって試料水中の油粒径を図-22中の各攪はん条件に

表-5 供試油分濃度計

		乳化・濁度法型	その他の型式
ビルジ水	警報機	7	1 ※1
	濃度計	2	1 ※1
バラスト水	濃度計	0	0 ※2

※1 溶媒抽出・赤外線吸光型

※2 油吸着・蒸発分析型

および乳化・紫外線蛍光型

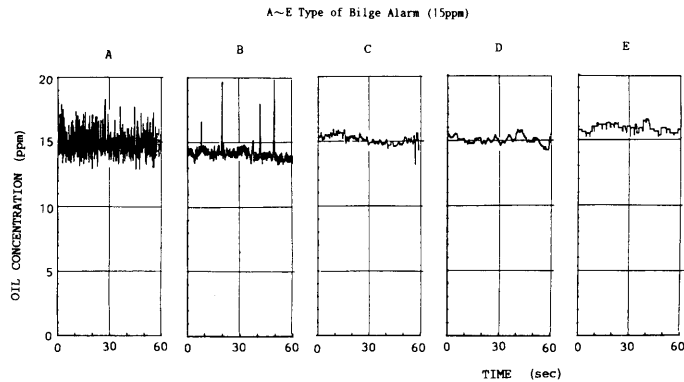


図-23 ビルジ警報器の指示値記録例

表-6 油分濃度計の実用上の検討課題

項 目	推 定 原 因 等
(1) 試料水温度による感度ずれ	乳化動力の変動
	粘性変化による乳化効率の相違
(2) 異種油, 高粘性油による感度ずれ	粘性変化による乳化効率の相違
	感度の原理的相違
	抽出効率の相違
(3) 油粒径による感度ずれ	乳化効率, 抽出効率の相違
	入口乳化油分による見掛の濃度低下
	大粒径油分による指示値変動
(4) 乳化, 溶解油分, 界面活性剤の検知	原理的
(5) 乳化動力の不安定性	電源変動, 周辺機器との干渉
(6) 固体懸濁物に対する感度	原理的
(7) 濃度指示値変動幅が大	
(8) 長時間使用時の0点変動	検出部等の汚れ, その他
(9) 計器応答時間が長い	

対応するそれぞれの分布のように変化させた場合に対して、得られる二種類の型式の計器出力例を示したものである。横軸は予攪はん並びに二次攪はん動力をとっている。いずれも主攪はんのみの指示値と極端な差はないが、粒子径の変化に対して計器の型式によっては感度変化に逆の傾向があることがわかる。なお同図(B)の場合供給水温が若干変化しており、この影響も含まれている。

4) 油粘性の影響

図-26は油の粘度をパラメータにして、横軸の流量基準濃度に対する供試計器の指示値を示したものである。試料油のうち粘度がレッドウッド No. 1 で100秒と240秒の油は C 重油に軽油を適量混合して調製したもの

である。この計器ではレッドウッド No. 1 で約200秒以上の粘度の油に対して急に感度が低下しているが、これは粘度の増大につれ、乳化の効率が低下することによるものと考えられる。

4.2 船内の試料水配管系の問題

4.2.1 実船における配管系の調査結果

船舶から船外に排出する排水中の油分を監視するため、その濃度を油分濃度計で計測する場合、船外排出管途中から採取した試料水を配管系によって計器まで送水しなければならない。その際、配管および付属機器内部における油分の滞留、汚水等の原因によって油分濃度計による計測値が排水中の油分濃度の代表値とならない可能性が考えられる。

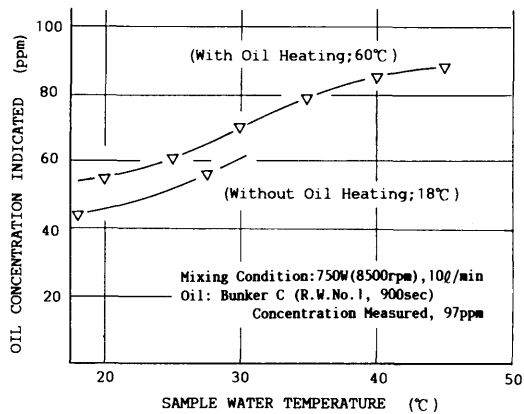


図-24 試料液水温の影響

図-27及び図-28に今回実船調査を行った9万トンタンカー（新造船）の場合について、船外排出配管系及び濃度計測用試料水配管系を例示する。また、表-7に実船における油分濃度計測用配管系の調査結果を示す。

実船調査時における試料採取場所は、ポンプ室のSea Chest 連結管、船外排出管及び機関室油水分離器出口の三ヶ所である。このうち船外排出管については新造船 a) の場合、排出管途中にスロップタンクへの分岐管が設けられていて、この分岐点のすぐ上流部で試料採取が行われている。一方、改造船 b) では海面より上の位置に設けられている排出管出口弁付近で試料採取が行われている。排出管部での試料採取は、排出管の水平部において、サンプリング管を排出管直径の1/4～1/2の深さまで、管の横方向から水平に、または管の上部から鉛直下向きに挿入して行く。サンプリング管の形状は直管である。以上の状況は外国文献⁸⁾⁹⁾の例でもほぼ同様であるが、IMCOにおけるスウェーデン提案⁹⁾では、ワックス状の油分の採取口への付着を防止するため、採取口を下流に向けた曲がり管を、また試料採取場所としては、水切れ防止のため、排出管出口弁への鉛直立上がり部での採取を推奨している。

試料液を送る管材質は耐海水腐食性を要することからアルミブラス、銅管等を使用しており、管内径は1.25～25mmφ程度である。一方、配管長さは水平部が約15m、鉛直部が約8～20m程度で、採液場所から濃度計までの輸送時間がIMCOの規定による20秒（濃度計自体の応答時間を含めて40秒）以下になるように輸送ポンプ容量を定めている。したがって、管内流速の推定値は2～4m/s（Re数：2.5～6×10⁴）程度と考えられる。特殊な例としては文献(8)のタンカーがあり、

(596)

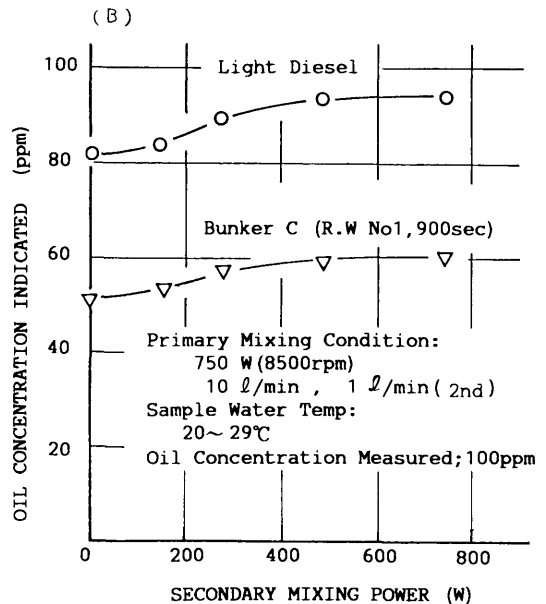
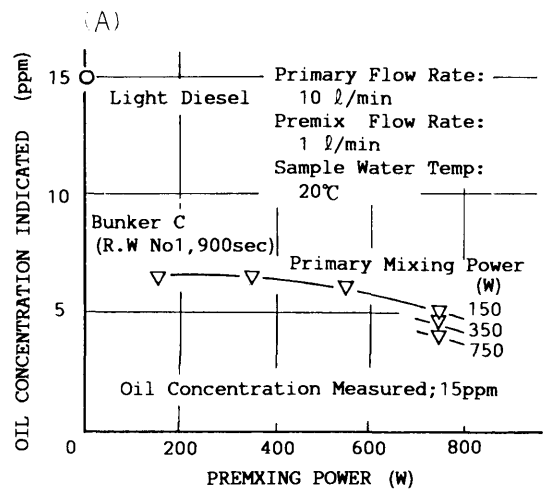


図-25 攪はん力の影響

この場合は採液点より濃度計までの輸送時間を短くするため、濃度計検出端子をポンプルーム内に設置し、光ファイバーを使って機関室で測定する方法を使っている。なお、これらの配管途中にはストレーナおよび複数個の玉形弁が付属しており、また管内面や付属機器内の汚れの問題に対しては清水による洗浄が可能なように専用配管を備えている。

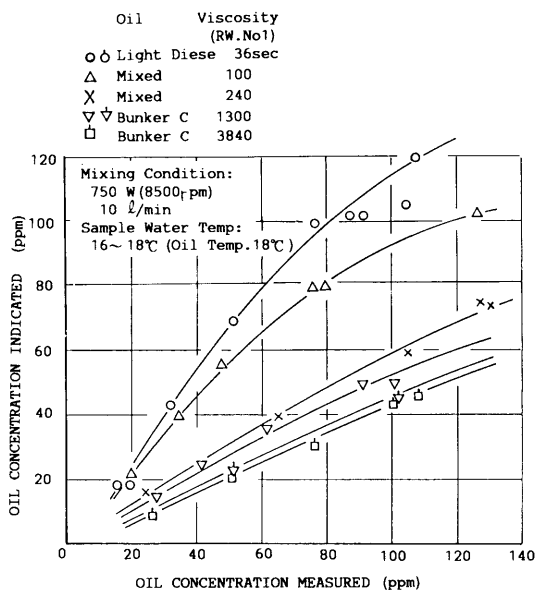


図-26 油粘度の影響

4.2.2 計測精度に及ぼす試料水配管系の影響

1) 配管系模擬実験装置

実船調査結果をもとに作製した配管系模擬実験装置を図-29に示す。水および油はそれぞれギヤポンプ①およびプランジャポンプ②で供給された後、攪はん機③、または遠心ポンプ④で攪はん混合される。攪はん機は図-18⑩に使用したものと同一であり、遠心ポンプは回転数1780rpm、最大流量および揚程 $2.5\text{m}^3/\text{h} \times 10\text{m}$ である。

混合された試料液は、水平部合計長さ約12m、鉛直部約13mの供試配管系⑤に導かれ、この配管の入口および出口における試料液中の油分濃度の比較から計測精度に及ぼす配管系の影響を求めた。また、途中に管内静止型混合器⑥、ストレーナ⑦、弁・継手類等を入挿することによりこれら付属機器の影響についても調べた。配管は実船調査結果を参考にして内径12.8mmφの銅管を使用しているが、別途基礎資料として塩化ビニル管、テフロン管の二種類の材質についても実験を行った。管長8m、管径4, 7, 11mmφ(テフロン管)

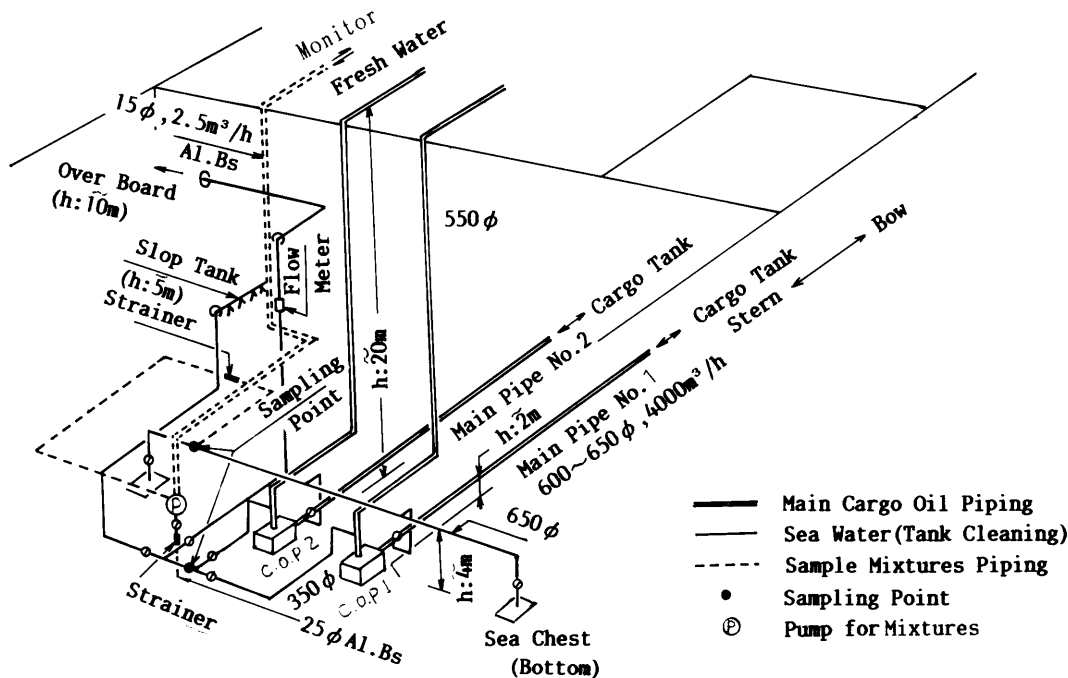


図-27 船外排出および濃度計測用配管系統図 (9万トンタンカー)

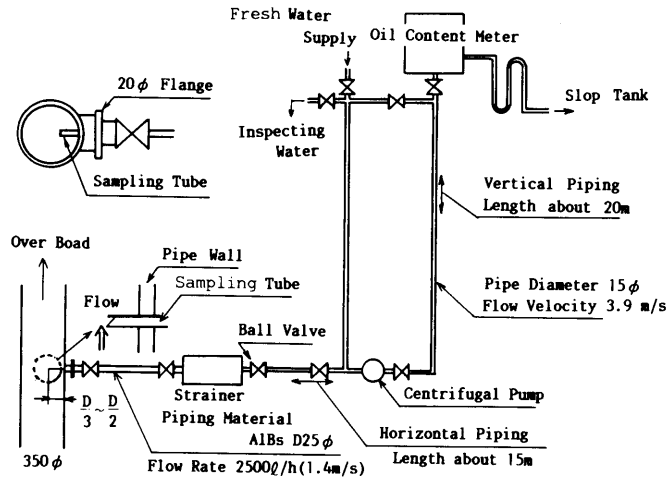


図-28 濃度計測用配管系統図

および10mmφ(塩ビ管)として、水平並びに鉛直の二通りの配管方向について影響を調べた。

試料液流量は浮子型流量計⑧および配管出口で計測を行った。配管内の流れが層流域から乱流に至る範囲まで流速を選び、最大流速は実船の条件に合わせて約3 m/sec まで実験を行った。

実験に用いた油は軽油並びにC重油であり、設定濃度は100ppm 前後とした。試料液濃度の分析方法としては配管入口直前および配管出口において25mlのメスフラスコを用い、それぞれ1分間隔で5本ずつの試料液を採取し、赤外分光光度計で濃度測定を行った。

2) 配管系出口油分濃度のばらつき

図-30に軽油を用いた場合について、攪はん機③の回転数を3000および8500rpmにした際の配管入口および出口における試料液の濃度値測定例を示す。均質に混合された試料液は供試配管系を流れる間に油粒が浮上して管壁に付着、蓄積したり、逆に付着油分が剝離したりして不均質化してくる。このため、ほぼ一定値をもつ入口油分濃度に対して出口濃度は一般に偏り、あるいはばらつきを生じる。そして配管が油分でそれほど汚されていない状況では、管内の付着、蓄積が支配的になると考えられ、試料液の出口油分濃度は一般的に入口側濃度より低くなっている。

また、図中(b)の場合の油粒径は図-22に示した直線(1)の分布に対応しているが、(a)のように攪はん機回転数が小さくなると図-22に示したように一般に油粒径が大きくなるため油分濃度の不均質化が生じやすく、出口濃度の低下傾向は増大するものと思われる。した

がって以下の実験では、攪はん力、管内流速、管径および配管方向を変化させ、図-30と同様な計測を行って濃度のばらつきに対する影響を調べた。

図-31は、攪はん機回転数を変化させた場合の油粒径分布を対数確率紙上に示したものであり、回転数8500 rpm では油分体積の50%が約10μm以下の粒径であるのに対して、3000rpmでは約40μm以下となっている。

図-32はこれらの結果をまとめて示したものである。図中横軸に管内平均流速、縦軸に管径をとっており、双曲線はRe数一定の線を示している。また、種々の大きさの半径を持つ円はそれぞれの条件に対する出口濃度のばらつき(S)の大きさを示しており、

$$S = \frac{(\text{入口と出口の濃度差の自乗平均値})}{(\text{入口平均濃度})}$$

で定義した値の100%に相当する基準寸法(半径)を図中に表示している。これらの結果から全体として言えることは、管内平均流速が大きい範囲では上記出口濃度のばらつきが小さいが平均流速が減少すると急激に増大する。また、図中に出口濃度のばらつきが大きくなる限界を大雑把に破線で示しているが、試料水中の油粒径が大きい場合(すなわち、攪はん力が小さい場合)程比較的大きな流速の範囲まで濃度のばらつきが大きくなっている。図中(a)からわかるように鉛直配管(●印)の場合は水平配管に比較してばらつきはある程度小さくなっている。なお、○印で示す点は塩ビ管に対する値であり、テフロン管を使用した場合に比べて若干ばらつきが小さい傾向にあるが、それほど明確な差違はみられなかった。

表-7 油分濃度計測用配管系の調査結果

	9万トン新造船 a)	28万トン改造船 b)	BP Tanker c)		IMCO Sweden 提案 d)	
			VLCC	ULCC	新 造 船	既 存 船
試料採取場所 (船底からの高さ)	Sea Chest 連結管 (4m, 1点) Over Board 排出管 (2m, スロップタンク分岐前1点) 油水分離器出口	Sea Chest 用ポンプ出口 (2.5m, 2点) Over Board 排出管 (8m, 排出弁付近2点) 油水分離器出口	Sea Chest Over Board 排出管出口 (計測点より出口まで2秒) 油水分離器	Sea Chestのみ	Sea Chest Over Board 排出管 (排出弁前)	Sea Chest Over Board 排出管 (スロップタンク分岐前)
サンプル管 取付方向 形 状 管内 固 定 位 置	水平管に水平方向挿入 ストレート管 (後方じゃま板) 1/3D挿入	水平管に上部より鉛直方向挿入 ストレート管 1/2D挿入	鉛直方向挿入		できれば鉛直管に水平方向挿入, 水平管の場合は上方より鉛直に1/4D挿入 下流向ベント管	鉛直管に水平方向挿入 下流向ベント管
試料水配管材質(内径)	アルミプラス管 (15mmφ および25mmφ)	銅 管 (15mmφ)	耐海水腐食管 (12.5mmφ)		a) 図面および実船調査 (55年新造) b) 図面調査 (48年改造実施) c) 文 献 d) 文 献	
水平および鉛直配管長さ	水 平 (約 15m) 鉛 直 (約 20m)	水 平 (約 15m) 鉛 直 (約 8m)				
試料水輸送ポンプ 定格流量 推定管内流速 (輸送時間)	うず巻ポンプ 2.5m ³ /h 3.9m/s (15φ) (Re数 5.9×10 ⁴) 1.4m/s (25φ) (Re数 3.5×10 ⁴)	うず巻ポンプ 2m ³ /h 3m/s (Re数 4.5×10 ⁴)	うず巻ポンプ約 0.75m ³ /h 約 2m/s (約 35秒) (Re数 2.5×10 ⁴)			
配管付属機器類	ストレーナ 清水洗浄配管 玉形弁	ストレーナ 清水洗浄配管 玉形弁	粗フィルター 清水洗浄配管			
主油送管 Over Board 排出管	径 650mmφ 4000cm ³ /h×2本 径 350mmφ	径 700mmφ, 3000m ³ /h×4本	200~1500m ³ /h			
汚 れ 等 の 問 題	清水による配管系の洗浄	清水による配管系の洗浄	1) 空気混入の影響あり 2) 配管系内残存油分による汚れの影響あり		1) 空気混入のない位置 2) 清水洗浄	

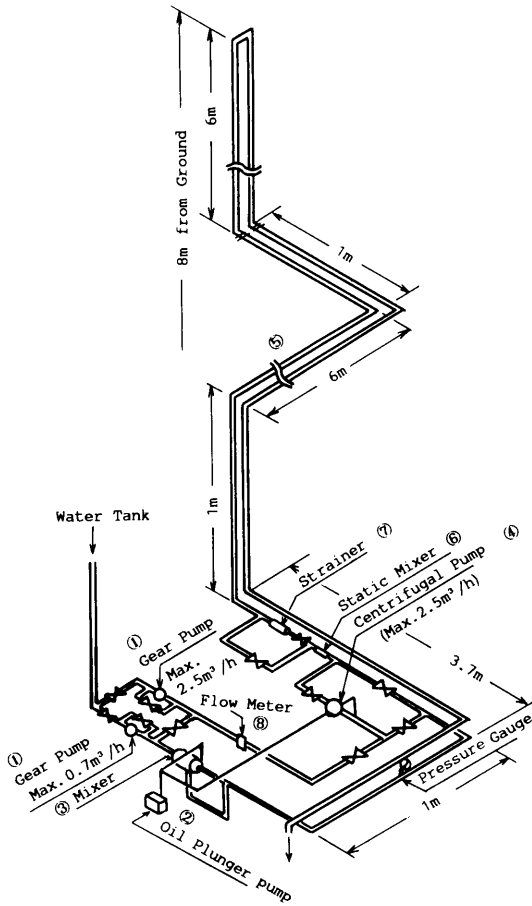


図-29 配管系模擬実験装置

図-32中の破線は管内流れが層流から乱流に移行する $Re=2000\sim4000$ の双曲線とほぼ同じ位置にあり、流れの状態に影響していると考えられる。ただ、破線は Re 数一定の曲線より立った曲線となっており、むしろ管内平均流速への依存度が強いことを示している。この点を考慮して両対数グラフ上で横軸に管内平均流速、縦軸に S 値をとって管径にかかわらず整理したのが図-33である。図中には、図-32の攪はん機、テフロン管に対する値と共に、同様に求めて銅管および遠心ポンプに対する値も記している。テフロン管による値（図中○印および□印）については、データの一部を除けばほぼ攪はん条件の違いによるグループ毎に直線上にまとまっている。前述のように流速の増加とともに S 値は減少しており、流速が $0.25\sim0.3\text{m/s}$ 付近で直線の勾配が変化している。

一方、銅管による実験値についても流速の増加とともに S 値が減少する傾向は同じであり、攪はん機を使用した場合（図中○・および□印）はほぼテフロン管による値の延長線上にある。遠心ポンプを使用した場合（△印）の S 値は、攪はん機による二つの回転数の場合の中間の値となっている。また、配管途中にストレーナを取り付けた場合（▲印）は、ばらつきの値が増大している。油の種類を変え粘性の高い C 重油（レッドウッド No.1, 900秒程度）を使用した場合（▽印、および▼印（ストレーナ付））はばらつきが $10\sim30\%$ と極端に大きくなっていることがわかる。これらの傾向は、図-22で攪はん力の小さい場合、および油の粘性が高い場合に油粒径が大きくなることと対応して、特に水平管部での油分の分離が大きくなるためと考えら

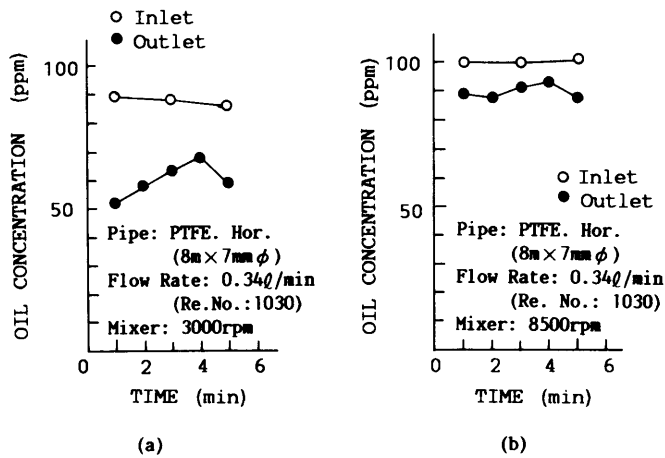


図-30 入り口および出口における油分濃度

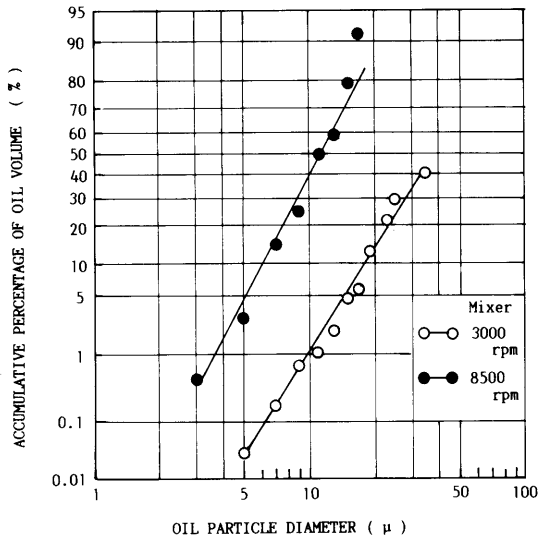


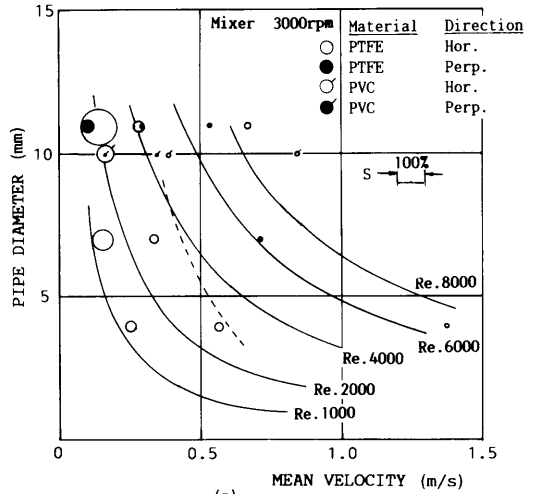
図-31 攪はん機回転数と油粒径分布

れる。また、ストレーナ等の低流速部があるとの傾向が増長されるものと思われる。なお、図中の斜線範囲は実船における試料液配管内の平均流速を示したものである。

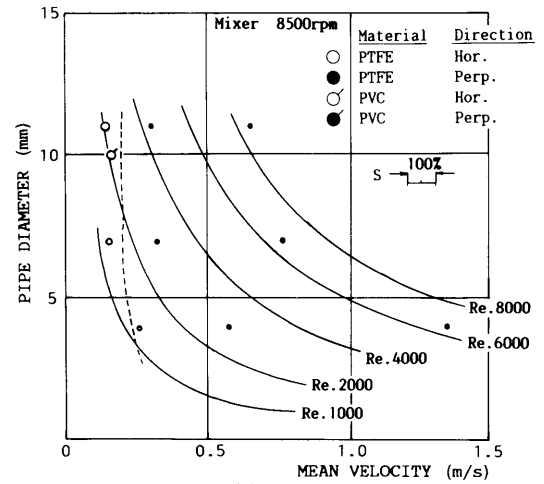
図-34は出口濃度のばらつきが特に大きくなる高粘性油について、試料水中の油粒の微細化を目的として、配管途中に静止型混合器を挿入した場合および水温を上昇させた場合の効果を示したものである。C重油に対して静止型混合器を挿入した場合(▽印)の値は図-33の値と大差はなく、ここで使用した静止型混合器のばらつき低減効果は顕著ではなかった。なお、図中、流速の減少につれてS値が低下し図-33と逆の傾向が見られるが、これは水温が図-33の場合に比べて若干高いため高粘性油の場合、低流速域での相対的な攪はん力増大による効果が顕著になるためと考えられる。

一方、試料水温を50°C程度に上昇させた場合、同一攪はん力に対して油粒の微細化が促進されると思われる、C重油ではばらつきが3%程度となり、低減効果はかなり顕著である。ミナス原油の場合についてもC重油と同様に水温上昇によるばらつき低減効果は大きい。ただ、ミナス原油では図中◇印および◇印で示すように常温でのS値が200%以上と極端に大きくなるため、50°Cの水温に対しても10~20%前後の値となった。

なお、本文中の油分濃度計指示値のデータは、任意の計器種類並びに感度に対する定性的傾向のみを示したものであり、定量値を代表するものでないことを付



(a)



(b)

図-32 配管出口濃度のバラつき

記する。

4.3 油分濃度計性能試験の実施

油分濃度計の性能試験を適正に実施するための試験装置および試験方法の検討が終了し、第I世代の油分濃度計に対して型式承認の為の性能試験を開始した。昭和61(1986)年には、油分濃度計に対して、より高度の性能を要求する内容の条約改正が行われ、これにともない試験装置および試験方法の一部見直しを行った上で、昭和62年より引き続きこれら第2世代の油分濃度計の性能試験を実施している。

試験には各種の試料油が用いられるが、本項ではそれらの簡単な物性、並びに性能試験時に採取したサン

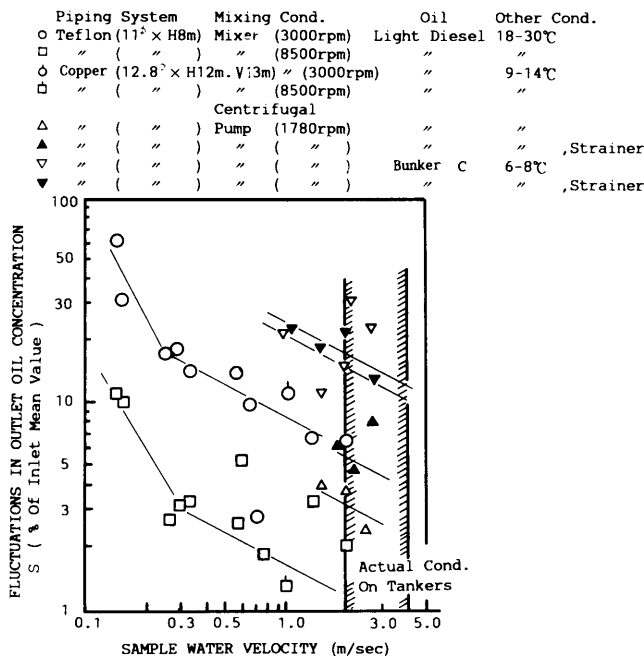


図-33 配管出口濃度のバラつき

PIPING SYSTEM	MIXING COND.	OIL	OTHER COND.
▽ COPPER (12.8 ^φ)	CENTRIFUGAL PUMP (1780rpm)	BUNKER C	STATIC MIXER 23~24℃
▽ " "	" "	"	STATIC MIXER 50℃
◇ " "	" "	MINAS CRUDE	26℃
◇ " "	" "	"	50℃

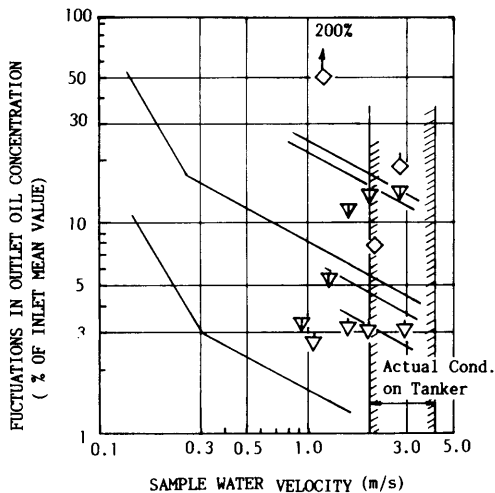


図-34 配管出口濃度のバラつき

プル水の油分濃度の分析作業について紹介する。

4.3.1 試験油の物理的性質

原油はその産出国によりその成分、物理的性質が異なるので、原油及び石油製品の主なものについて比重、粘度の測定を行った。

比重については、比重計を投入したまま約1日放置した後測定したが、粘度の高い油については油の温度を50℃に加熱して行った。粘度測定には粘度計としてレッドウッド No.1を用い、粘度が低い場合には温度37.8℃±2℃、粘度の高い場合には50℃に加熱して測定を行った。表-8に試験油の物理的性質を示す。

4.3.2 分析

分析はIMO A.393基準に準じて採取試料中の油分を四塩化炭素により抽出し、赤外線吸光度を比較する方法で行った。

(1) 検量線の作成

油分濃度を測定する前に、各油種に対する検量線を求めた。検量線は15~150ppmの範囲で3~5点の基準試料で作成した。得た検量線の例を図-35に示す。

(2) 検量線の問題点

油の微量重量測定は困難であるため、本研究では油分濃度を体積百分率により求めた。メスシリンジにより容積を計量し、検量線を求めた。しかし、油種(例

表-8 試験油の物理的性質

(計測したもの)

油種	産出国	比重	粘性(秒)	流動点(°C)
アラビアンライト	サウジアラビア	0.860(15.7°C)	54.1 (38.0°C)	-15
バチャクエロ	ベネズエラ	0.967(25.0°C)	3760.0 (38.7°C)	-30
ミナス	インドネシア	0.832(50.0°C)	68.1 (50.0°C)	+37.5
軽油	—	—	35.91(38.0°C)	—
C重油	—	0.958(25.0°C)	3841.7 (39.3°C)	—

(石油事典より)

油種	産出国	比重15/4°C	粘性(cst)	流動点(°C)
エスクラバス	ナイジェリア	0.845	4.6(30.0°C)	-2.5
ナイジェリアミディアム	ナイジェリア	0.898	10.5(37.8°C)	-20
ベネズエラトップ	ベネズエラ	0.972	310 (50.0°C)	-12.5
サハラブレンド (スエチノミディアム)	リビア	0.850	12.6(50.0°C)	+30
クウェート	クウェート	0.868	7.0(50.0°C)	-35
ウムシャイフ	アラブ首長国連邦	0.838	2.9(50.0°C)	-15

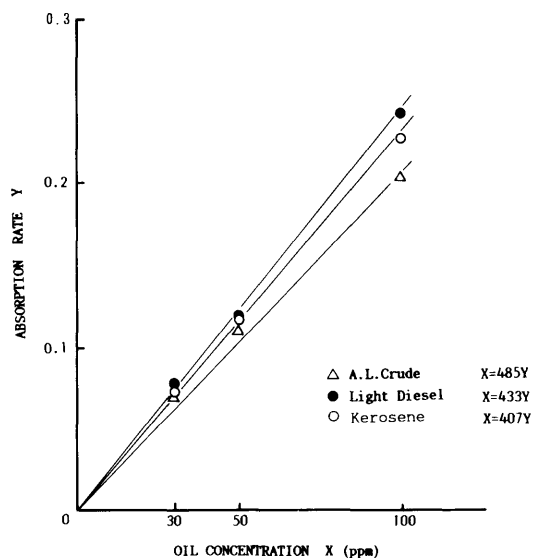


図-35 検量線の例

えばC重油、ミナス原油など)によっては室温で高粘性を有するものもあり、特に冬場などではそのままではメスシリンジに採ることが出来ないため、油とメスシリンジの両方を暖める必要があった。この場合、暖めることにより体積の変化が生じる。例えばC重油を15°C(室温)から30°Cに暖めると、15°Cに於いて0.958

の比重が30°Cでは0.950となる。この結果体積は約1.008倍となり約1%の誤差が生じる。

(3) 試料

試料は0.1 lの密閉栓付き細首ガラス容器に採取した。試料採取当日に試料を分析しない場合は0.1 lの試料に0.5 mlの塩酸を加えて保管する。また、分析は試料採取日から7日以内に行った。

(4) 試料の問題点

油種が揮発分を多く含んでいるガソリン等の場合は試料を保管しておくことができないため、採取した後すぐに分析を行ったが、採取後保管したその他の油についても揮発分について考慮する必要があると思われる。

(5) 抽出方法

抽出は以下の手順で行った。

i) 試料(100 ml)に塩酸0.5 mlを加え酸性化処理する。

この場合 pHの確認を行い、pH 2 以下になるようにする。

ii) 試料を分液漏斗に注ぎ、塩化ナトリウム0.5 gを加える。

iii) 試料容器に同量の四塩化炭素を入れ、栓をして振盪した後、分液漏斗に移す。そして分液漏斗を約10分間激しく振盪する。

iv) 予め、四塩化炭素でぬらしたろ紙を置いた漏斗を

通じて抽出液をメスフラスコに移す。ろ紙は品質が中級で直径約12.5cmのものを使用している。

(6) 赤外分光分析

分析はダブルビームの赤外分光光度計(島津 IR-400型)を用いて行った。測光方式は複光束、光学的零位法であり、波数範囲は4000~650 cm^{-1} である。試料セルは2930 cm^{-1} で透過度80%以上の赤外線級石英を使用している。

試料セルを被測定液と同じ抽出液を用いて2回洗浄した後、このセルに抽出液を満たして行った。一方の対象セルには四塩化炭素を満たしておく。試料セルと対象セルを波数3200 cm^{-1} から2700 cm^{-1} までのビームで走査する。1試料につき3回の走査を行い、その平均値から透過率を求めた。得られた波形の例を図-36に示す。なお、採取試料中の油分濃度は次の式により求めた。

$$\text{吸光度}(Y) = 2 - \log_{10}(\text{最大値 } T)$$

但し T : 透過率(%)

$$\text{油分濃度}(X) = \text{吸光度}(Y) \times \text{検量線の傾き}$$

4.4 まとめ

油分濃度計性能実験装置(図-18)を、IMOの要件に基づき、設計並びに製作した。この装置による油水基準試料液を用いて、表-5に示す代表的型式および種類の油分濃度計について、その基本特性を調べ、船舶用計器として改良を要すると思われる点を表-6のように求めた。

一方、油分濃度計測用試料液配管系についての実船調査結果(表-7)をもとに、配管模擬装置を製作して濃度計測精度に及ぼす影響を調べた。実船上では配管内平均流速は通常2~4 m/s程度と考えられるが、この範囲の流速において、特に高粘性油の場合は今回の比較的短い試験(1時間前後)に対してC重油で10~30%程度、ミナス原油で200%以上の誤差を生じ

た。実船での長時間使用の場合には、低流速部での管内付着油分によって更にばらつきが増大するものと考えられる。この計測誤差を抑制する方法としては、(1)エロージョンの発生等の他の条件がゆるす限り管内流速を高める。(2)高粘性油に対しては水温上昇、管内混合機の挿入等によって油粒の微細化をはかる。(3)ストレーナ等の低流速部はできる限り少なくし、また配管系の洗浄回数を増すなどが考えられる。

5. 規則改正に伴う試験装置の改造

前章までは、IMO決議 A.393(10)及び A.496(2)にもとづいた油排出監視制御装置の油分濃度計に関する型式承認前提の性能試験について、試験装置の開発から試験実施に至るまでの研究経過を述べた。その後、油分濃度分析用サンプル水中に存在する気泡あるいは土砂、鉄錆等の異物が検出値に影響を及ぼさない事など、より高い性能水準を油分濃度計に要求する総会決議 A.586(14)が採択され、1986年10月2日以後の新造タンカーに適用される事となった。その為、国内においても、昭和61年から62年にかけて(財)日本舶用品検定協会を事務局として油排出監視制御装置委員会が設置され、IMO総会決議 A.586(14)の規定に適合する油排出監視制御装置に係る技術基準、型式承認試験基準及び検定基準についての原案⁷⁾が作成された。

本章では、新たな要求基準に適合した油分濃度計(従来のものを第1世代とするのに対し、第2世代の油分濃度計と称す)に対応して加わった試験項目の内、性能試験装置の改造が必要となる空気を混入した場合の試験について、油分濃度計性能試験装置の改造と供試濃度計による若干の試行試験結果について述べる。

この他に、新基準により大きく変化した試験項目として異物混入試験がある。第1世代の油分濃度計の場合はけい砂系の異物(JIS試験用ダスト3種または8

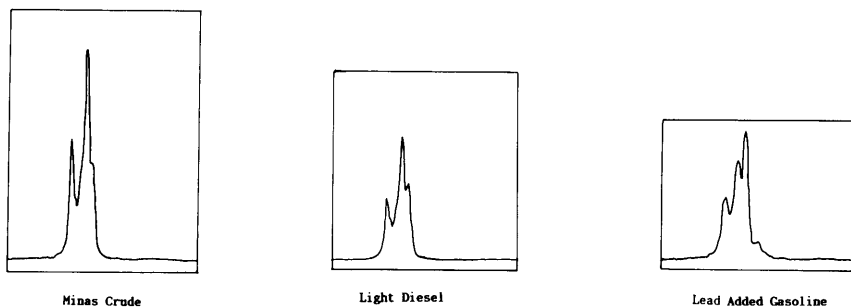


図-36 分光分析による透過率の例

種)を一種類のみ使用したが、第2世代のそれに対しては、粘土系の Attapulgite と四三酸化鉄の混合物を用いる事となった。供給液に対する混入割合も前者の100ppm に対し、後者は300ppm と増加したが、性能試験装置としての基本的な取り扱いは同等であるため、特に異物混入に関しては装置改造についての検討は行わなかった。ただ、従来の試験の場合は、100倍濃度の異物混入溶液を、ポンプで図-18の①清水供給口に至るまでの配管途中から所定濃度になる割合で供給していたが、改正後の試験に対しては、全量を300ppm に調製した混合液を既設の大型タンクに準備し、沈澱しないよう攪はんしつつ①清水供給口から供給する事とした。

5.1 油分濃度計性能試験装置の改造

A.586(14)より、新しく加わった試験要件(供給液量の1%の空気[系内圧下における容積比]を15分間にわたり変動率±10%以内で供給する)にもとづき、混合攪はん部直前において内径0.5mm の注入針を用いて基準試料液中に空気を混入する事とした。概略を図

-37に、また試験装置空気注入部の詳細を写真-2に示す。

空気供給系は高压空気源、定圧弁、ニードル弁、空気流量計および注入針からなり、基準試料液供給系の圧力(系内圧)が変化しない限り空気流量の変動は認められなかった。系内圧変化については、長時間、運転状態で放置したところ、15分当たり最大で0.1kg/cm²の変動が認められ、この場合空気供給量にして最大9%の変動となった。この系内圧変動は供給水量の変化に対応するもので、実際の試験にあたって供給水量は常時監視調整されているため、系内圧変化は0.05kg/cm²以下となっている。

5.2 供試濃度計における空気混入試験

図-38に供試濃度計 A (空気影響除去対策の無いもの)、図-39に供試濃度計 B (空気影響除去対策を施したものの)の試行試験結果を示す。

図-38は、混入空気量0.5% (△印)の場合、および1.0% (◇印)場合の濃度指示値への影響を調べた結果を示す。この機種の場合、空気混入の無い場合に比べ

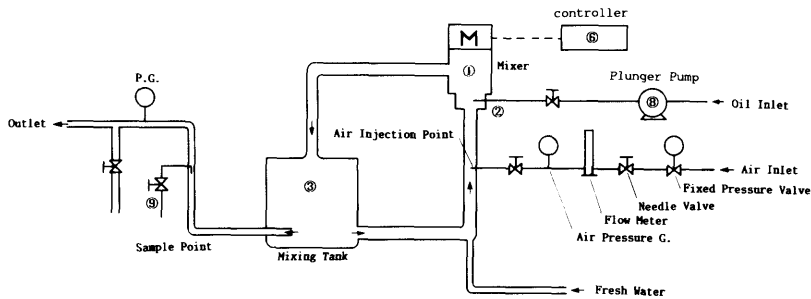


図-37 空気系を付加した試験装置

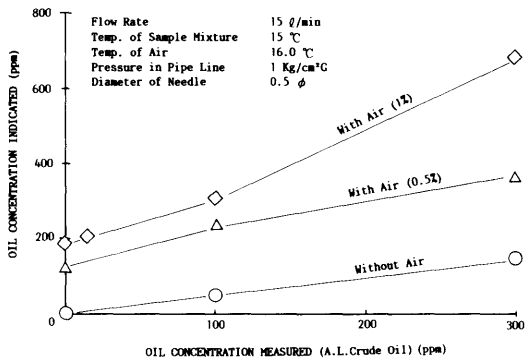


図-38 空気影響除去対策のない供試濃度計(A)の試験結果

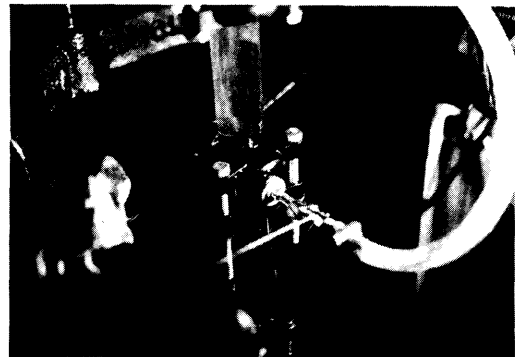


写真-2 空気混入部

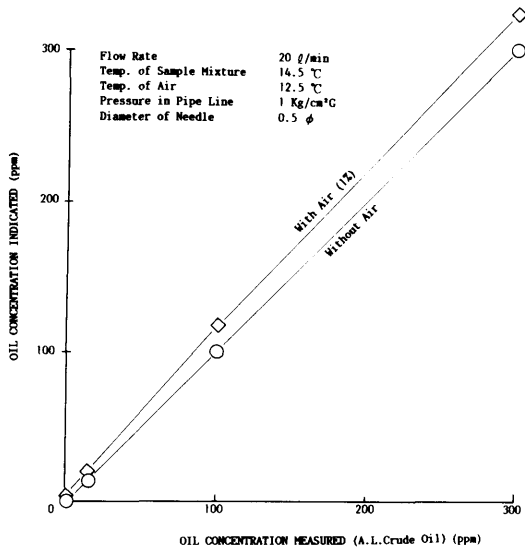


図-39 空気影響除去対策付供試濃度計(B)の試験結果

て、混入空気量に応じて数倍以上の濃度値を示す事が分かる。油の濃度変化に対する指示値の追随性は良好であるので、本試行試験の目的には支障はないものの、提供者による供試濃度計 A の感度設定 (○印) が実際の場合に比べ約 1/2 程度であった。

図-39に示す供試濃度計 B においては、空気影響除去機能の作動により、いずれの油の濃度においても、油分濃度計に要求される精度内におさまっている事が分かる。

6. 結 言

油による海洋汚染を防止するためには海難事故による流出油対策とともに、船舶の航行中に排出される油分の規制が必要であり、排出量の定量計器としての油分濃度計の性能を確保することが重要である。本研究は、海洋汚染防止を目的とした国際条約にもとづいて、タンカー等に搭載される油排出監視制御装置に組み込まれる油分濃度計の性能試験を適性に行うための条件と方法を実験的に明らかにしたものである。始めに、油分濃度計を検定する基準となる一定濃度の油水混合液を、安定に長時間供給するための条件について、基礎実験装置を用いて調べた。その結果、油定量ポンプとしてプランジャーポンプを採用すると共に、油流路に空気ダンパーを設けて油の脈動を吸収する事、さらに、攪はん混合部に循環流路を用いて攪はん効果を促

進し、その攪はん力についても条件の許す限り大きくする (本装置の場合 750 W, 8500rpm) などが有効である事が明らかとなった。

これら基礎研究の結果を基に、油分濃度計性能試験装置の設計と製作を行い、基準となる油水混合液の濃度変動幅としては軽油 15ppm において 10% 以内、C 重油 15ppm においても 15% 以内の精度と安定性が得られた。

次に、実船に搭載される油分濃度計の性能の有効性を知るには、濃度計の一般的性状や、実船のサンプル水供給配管系などの因子が、計測濃度に与える影響を調べる必要がある。そのため、開発した性能試験装置を用いて供試濃度計の性状等の資料を得ると共に、実船の配管を調査し、それに基づいて製作した実船模擬配管系を用いて各因子が濃度計測精度に与える影響について実験的に検討した。

多くの供試濃度計の試験を通じて、試料水温度、油種、油粒径の変化が油の乳化度に大きく影響し、濃度計感度に誤差が生じる事が明らかとなった。特に、検出原理が光の透過率に頼る機種では、界面活性剤や固体懸濁物 (鉄錆、砂等) の存在による影響が大きい。

一方、サンプル水用配管系の条件として、流速が小さい場合と油粒径が大きい場合は、油の管内付着が起こり易く、入り口油分濃度に対して、出口濃度の低下や濃度のばらつきが増大する事が分かった。さらに試料水温が高い場合、攪はん力が同一であっても、油の微細化が促進されるため濃度のばらつきが減少し、特に高粘性油ではこの温度の効果が非常に大きい事が分かった。

本研究により開発された油分濃度計性能試験装置は、国内唯一の運輸省形式承認のための試験装置であり、MARPOL73/78条約に対応して開発された油分濃度計の性能試験に活用されて来た。

その後、本研究でも述べたように、従来の油分濃度計の弱点に対する対策が強く望まれ、昭和61年に濃度計の性能を向上させるため、試験法の追加変更などを含む条約の改正が行われた。特に、異物および空気混入時の影響を調査する試験項目が加わった為、当所で開発した試験装置の一部改造を行い、昭和62年からは、改造後の試験装置を用いて、油分濃度計に対する新たな性能試験を引き続き実施している。

今後、油分濃度計が対象とする油種は、ますます多岐にわたるものと予想され、同時に油類の中の添加剤 (例えば界面活性剤) の存在や、サンプル水中へ固形懸濁物質等の異物が大量に混入した場合、あるいはまた

特に粘度・比重の高い重質油の濃度測定など、濃度計に求められる性能水準はさらに高度なものとなり、現段階の油分濃度計では対応仕切れない場合も考えられる。

現在 MARPOL73/78条約にもとずき、油以外の汚染物質の排出規制も逐次実施されつつある。とりわけ同条約付属書IIに含まれる、排出水中の油類似物質の濃度測定に関しては本報告で扱った油分濃度計の延長線上にあると考えられ、それらに対する試験要件、方法等今後も継続して検討して行く必要がある。しかし、基本的には本報告で扱った油類の濃度測定に関する研究成果の応用範囲内にあり、若干の実験と試験装置の改造により対応可能と考える。

参 考 文 献

- 1) IMCO, "Final Act of The International Conference on Marine Pollution. 1973", (1973. 11).
- 2) 戸田, "船舶による海洋汚染防止のための法的処置", 海洋汚染防止技術に関するシンポジウム, 日本造船学会・日本舶用機関学会共催(1978. 10), p. 57.
- 3) 瀬尾, "油分濃度計の現況", 船の科学, vol. 31, No. 7 (1978), p. 78.
- 4) Thompson, R. V., Constantine, A. B., "Oil Water Separators and Oil Content Monitors-Review of Current Equipment", Trans. of I. Mr. E., Vol. 89 (1977), p. 1.
- 5) IMCO, MEPC, A393(X), "Recommendation on International Performance and Test Specification for Oil-Water Separating Equipment and Oil Content Meters", (1977. 11).
- 6) IMO, MEPC, A.586(14) "Revised Guidelines and Specification for Oil Discharge Monitoring and Control Systems for Oil Tankers" (1986. 10).
- 7) 財日本舶用品検定協会, "油排出監視制御装置に関する調査研究報告書", (1987. 3).
- 8) Fleming, K., Dick, J. P. P., "Experience in Monitoring the Oil Content of Ballast Water being Discharged by Tankers", Oil Spill Conference (1976).. p. 165.
- 9) IMCO, MEPC VII/10/1 (1977), および MEPC XIV/5 (1980. 7).
- 10) 波江他, "油分濃度計のための油水基準試料の研究", 日本舶用機関学会第26回講演会前刷集 (1979. 10), p. 107.
- 11) 波江他, "油分濃度計のための油水基準試料の研究", 日本舶用機関学会誌, 第15巻, 第10号, (1980. 10), p. 812.
- 12) 津島他, "油分濃度計測のための試料水配管系について", 日本舶用機関学会誌, 第17巻, 第6号, (1982. 6), p. 459.
- 13) 船舶技術研究所受託試験成績書, "油分濃度計の性能試験", 昭55年度受託第16, 20, 21, 35, 36, 49, 52, 65号, 昭56年度受託第3, 4, 7, 34, 37, 40, 44, 46号, 昭57年度受託第1, 8, 29号, 昭59年度受託第6, 20号, 昭60年度受託第20, 22, 32号.
- 14) 財日本舶用品検定協会の依頼による受託試験成績書, "空気混入が付加された油分濃度計性能試験", 昭61年度受託第30号, (1987. 1).

付録 油分濃度計の概要

現在までに性能試験を実施した油分濃度計の中から、代表的な機種について計測原理・特徴等の概要を紹介する。

1. ビルジ警報器

本機器は、機関室に設置することを想定しているため耐圧防爆、本質安全に対しての配慮の必要性はない。このため、油分の微細化操作がコンパクトにできる超音波乳化による濁度型が多い。

① A社機種

試料水に超音波を当てて油分を乳化し、濁度法によって濃度を計測する。その際、連続的に流れる試料水に一定周期で超音波を照射しており、また、二段階の透過光量の比を用いることによって、浮遊固形物、セルの汚れ、着色等の影響を除いている(付図-1)。

② B社機種

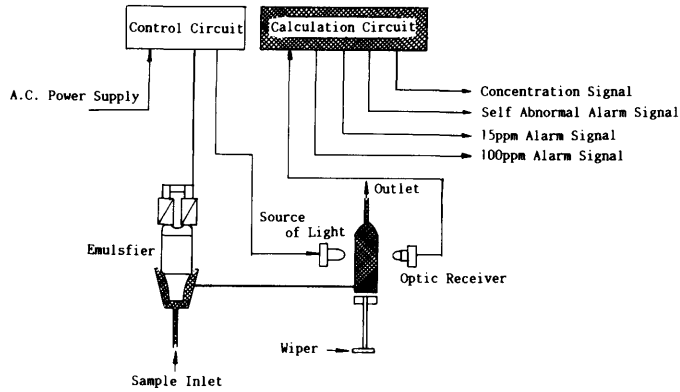
超音波乳化による濁度型である。試料水は三方切替弁によりバッチ式にセルに導かれ、強弱二段階の超音波照射によって、気泡あるいは浮遊固形物の影響を除いている。また、濁度は透過光および一定方向の散乱光の強度比を用いて求めている(付図-2)。

③ C社機種

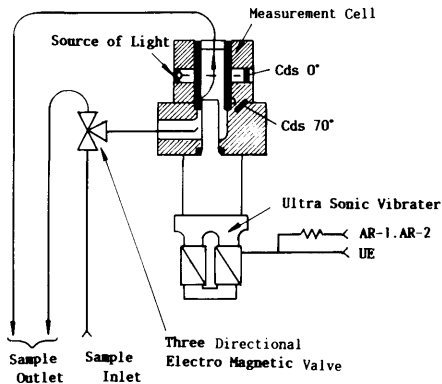
超音波乳化による濁度型である。浮遊固形物の影響は二段階の超音波照射で、また、気泡の影響は定圧器によって除いている(付図-3)。

④ D社機種

同一流量の試料水と溶剤を混合して、油分を水中より連続的に抽出し、赤外線吸収法によって溶剤中の油分濃度を計測する。計測後の溶剤は油分を除去して循



付図-1 ビルジ警報器 (A社)



付図-2 ビルジ警報器 (B社)

通常の濁度型であるが、油分の乳化は特殊回転羽根によるものと超音波乳化によるものとの二機種がある。特殊回転羽根によるものは、モーターの制御によって羽根回転数を高低二様に変化させ、両者に対する濃度の差を用いて浮遊固形物等の影響を除いている (付図-6)。

2. バラストモニタ

バラスト水の試料をサンプルする場所は、ポンプルームのような防火上危険区域とされる所であり、ここに油分濃度計の本体を持ち込む事は安全確保上できない。一方、揮発油分を含む試料水を機関室側に持ち込む事は、耐圧防爆、強制換気といった厳しい制約が伴う事から、ごく一部の機種を除いては行われていない。この為、大きなエネルギーを必要とする油水の乳化操作のための動力はバルクヘッドを貫通するモーター・シャフトを通じて供給し、サンプル水の切り替え等の操作は空気圧を利用する形式が大部分を占める。検出された油分濃度情報は光ファイバーで機関室側に取り込む方式とした濁度型の機種が多い。

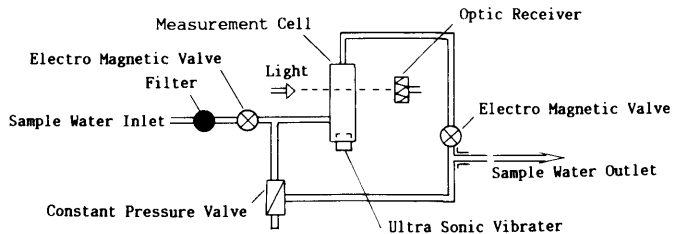
環使用するとともに濃度計測の際の比較基準溶剤としても用いる (付図-4)。

⑤ E社機種

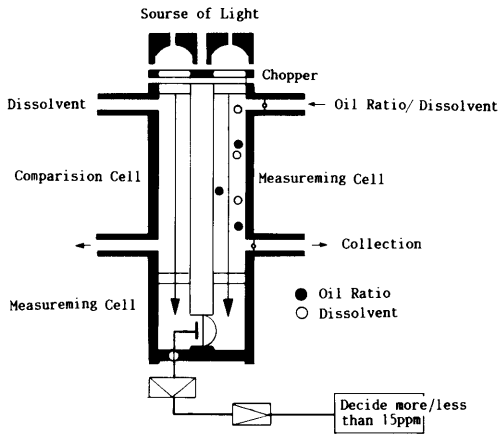
特に乳化操作は行わないのが特徴である。光源と直角方向の散乱光の強度を計測するチンダル方式による濁度型である (付図-5)。

⑥ F社機種

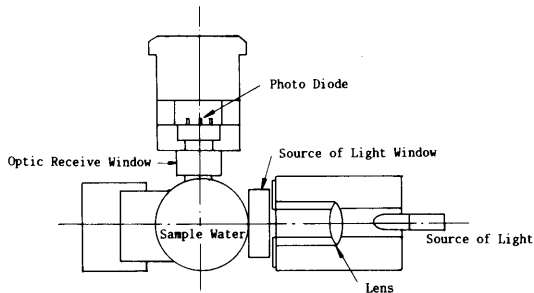
⑦ G社機種



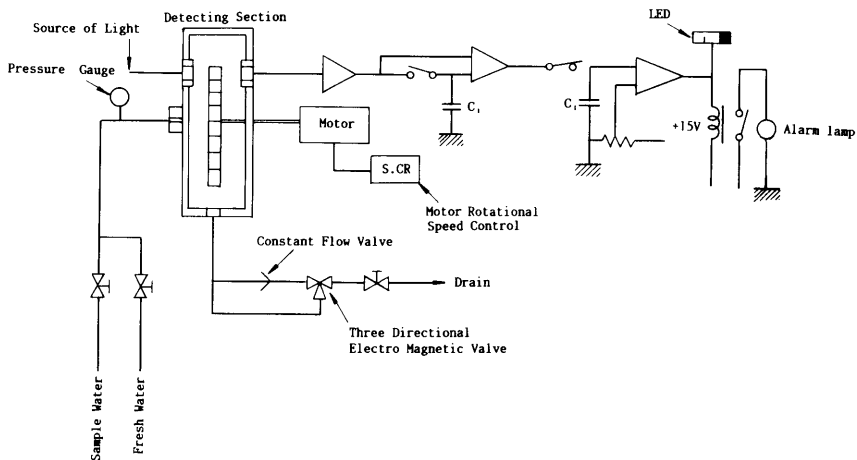
付図-3 ビルジ警報器 (C社)



付図-4 ビルジ警報器 (D社)



付図-5 ビルジ警報器 (E社)



付図-6 ビルジ警報器 (F社)

一定流量の試料水中の油分を、一定速度で移動する特殊帯状布フィルタに吸着させ、フィルタ面に可視光を当てた時の反射光の強さを計測する。さらに、加熱ドラムで軽質油分を蒸発させてガス濃度分析を行い、両者の測定信号を結合させて濃度を決定する (付図-7)。

⑧ H機種

ポンプによって高圧にした試料水を特殊なブレードを持つノズルをとおしてジェット流をつくり、その際に発生する超音波によって乳化油水を得る濁度型である。濃度情報は、光ファイバーで導かれて来たレーザー光 (波長 $0.85\mu\text{m}$) を乳化油水に照射し、その際、透過する光と散乱する光の両者を再度受光側ファイバーに導き、それぞれの光量変化を演算することにより得る。また、レーザー光を照射する光学窓は特に汚れを防ぐ必要上、清水によるジェット流を間欠的に噴射してクリーニングを行っている (付図-8)。

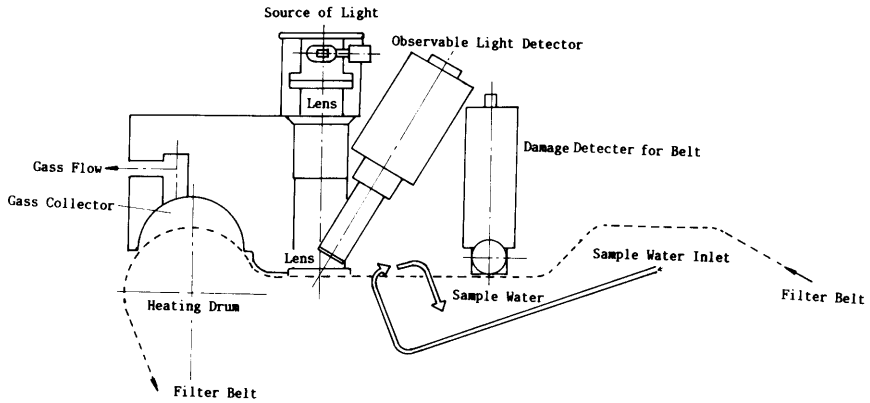
また特に固形懸濁物質の混入に対して、それにより散乱される光を受光する回路を設け、その測定値を用いて演算によって油分濃度を修正する機能を持ったものもある (付図-9)。

⑨ I社機種

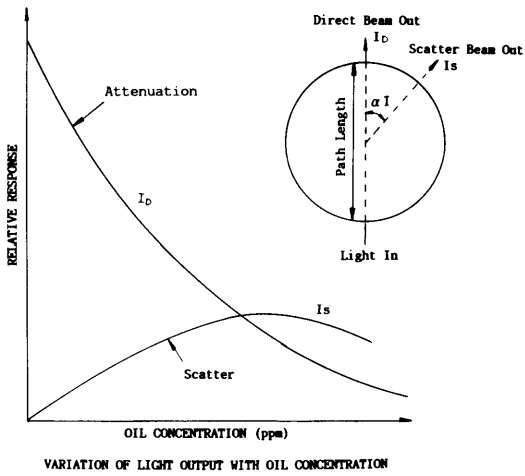
紫外線蛍光型と濁度型の二種類がある。両者共落下サンプルジェット流が光学セルに触れないので、光学窓の汚れがない特徴がある (付図-10)。

⑩ J社機種

ポンプによって油滴を粉碎微細化する濁度型である。



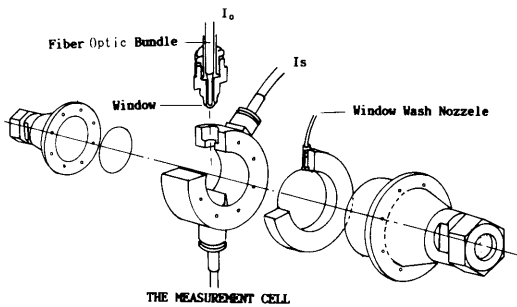
付図-7 バラストモニター (G社)



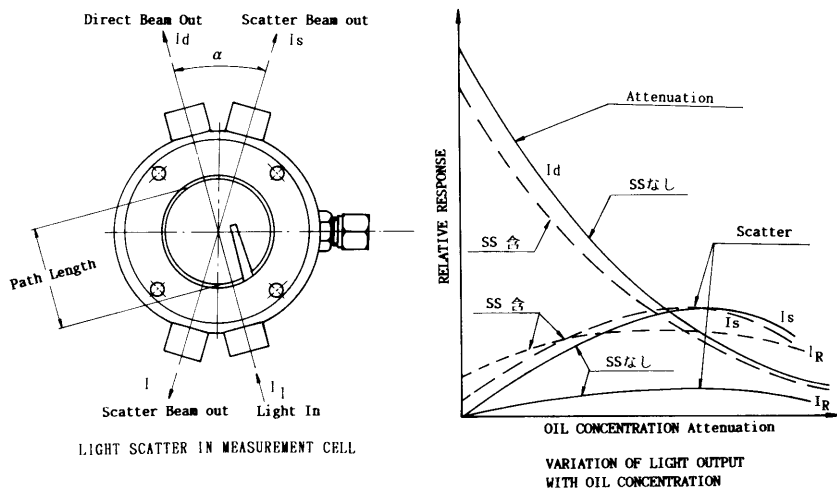
光学ベンチに導かれた乳化油水を光ファイバーより照射された近赤外光の透過光による光量変化から濃度値を演算している (付図-11)。

① K社機種

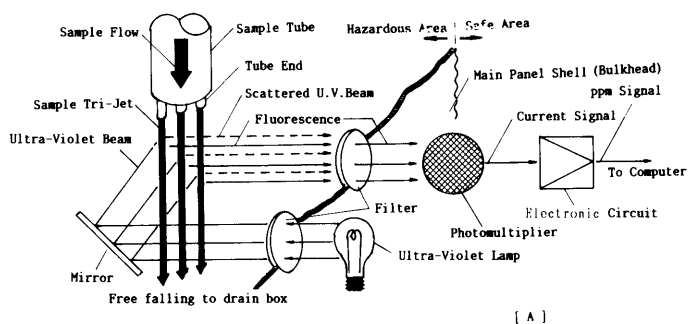
ポンプによって乳化された油水をガラス管内に導き光ファイバーより照射された近赤外光の散乱光強度を演算し濃度値とする。透過光受光器は、油分濃度やガラス管の汚れなどによって透過光が光源の強度を制御するために使われる。ガラス管内の汚れは、物理的なワイパー (検出器上部に設けられたピストン駆動式) により拭い取っている (付図-12)。



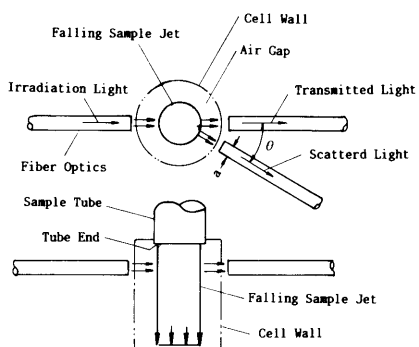
付図-8 バラストモニター(1) (H社)



付図-9 バラストモニター(2) (H社)

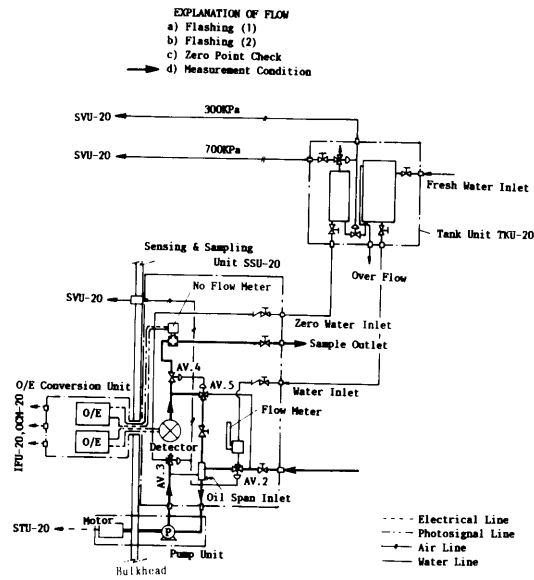


[A]

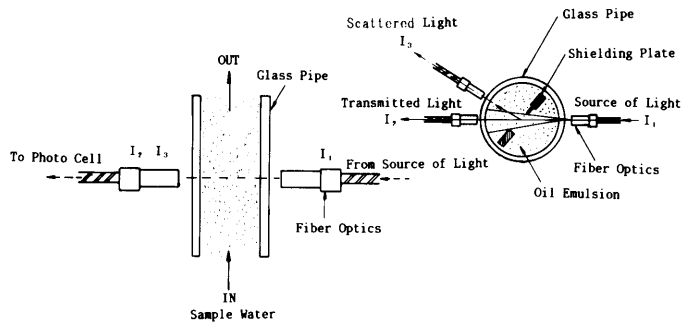


[B]

付図-10 バラストモニター (I社)



付図-11 バラストモニター (J社)



付図-12 バラストモニター (K社)