

機関室ビルジ水処理技術の調査・研究

渡辺 和夫*・山之内 博*・植田 靖夫**

Survey and Study on Oily Water Separating Techniques from Engine Room Bilge Spaces

By

**Kazuo WATANABE, Hiroshi YAMANOUCI
and Yasuo UETA**

Abstract

Merchant ships are required to be provided with oily-water separating equipment that meets the requirements of the International Performance Testing Standard A.393(X) prescribed by the International Maritime Organization (IMO), where the discharged oil contents of the effluent measured at the outlet of the equipment are controlled less than 15 ppm or 100 ppm according to the classification of ships by gross tonnage.

However, investigations are being undertaken to find international solutions centring on the Marine Environment Protection Committee (MEPC) of IMO to improve the not-necessarily-satisfactory-service-performance of oily-water separating equipment as is evident in cases reported overseas. In this study, the actual service performance test of the existing oily-water separating equipment in Japan was investigated and study on new oily-water separating techniques was conducted with expertise acquired as outlined below.

1) In view of the fact that the engine room bilge in an actual ship contains suspended solids(SS), detergents and other materials in addition to fuel oil and lubricating oil, it is difficult to clear the discharged oil control requirement of 15 ppm at all times, inasmuch as the existing oily-water separating system relies only on a gravitational separation system comprising multiple parallel plates and a filter-type coalescer.

2) The newly developed oily-water separating mechanism relying on oil flocculation and froth flotation has displayed its usefulness for oily water containing oil particles and suspended solids with a particle size smaller than 10 μm , and thus is promising for application to oily-water separating equipment to be designed for clearing the 15 ppm discharge requirements.

* 装備部

** (社) 日本海難防止協会

原稿受付：平成2年3月5日

1. まえがき

海洋汚染防止対策は国際的な協力体制のもとに推進すべき問題として、早くからIMO（国際海事機関、昭和57年5月まではIMCO（政府間海事協議機関）と称された）を中心としてその取組みがなされ、「1954年の油による海水の汚濁の防止のための国際条約」（一般に海水油濁防止条約と呼ばれ、1958年（昭和33年）7月に発効した）をはじめとして1971年（昭和46年）に至る間に、3回に及ぶこの改正条約が逐次採択されてきた。「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」（一般に、MARPOL 73/78条約と称される）は、近年におけるタンカーの大型化、油以外の有害な物質の海上輸送量の増大、大型タンカーによる大量油流出事故を契機として、海洋汚染防止の見地から新たな、かつ包括的な規制を必要とする国際的認識の高まりに応じて昭和53年2月に採択された国際条約であり、昭和58年10月に発効した。

海洋環境の保全に関するこのような国際的動向に対して我が国においては「MARPOL 73/78条約」への加入のための国内法として「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律」（以下、「海防法」と呼ぶ）を大幅に改正し（昭和58年5月、改正法公布）、海洋汚染防止のための、より充実した施策を実施することとなった。

「海防法」の多くの改正要綱の中で、船舶から油の排出の規制に関しては、現行の原油、重油等の重質油のほか、新たに軽油、灯油等の軽質油が規制対象に加えられるとともに、船舶からのビルジ等の排出基準が一段と強化された。すなわち、船舶及びビルジその他の油の区分毎に、それぞれ油分濃度、排出海域及び排出方法に関する基準が政令により定められた。少数乗員態勢の進む最近の船舶にあって、機関室ビルジの安定処理対策の確立は重要な懸案課題と言えよう。

以上の背景のもと、我が国における現行船用油水分離技術の実態及びその在り方についての調査研究の状況及び船用油水分離器の性能向上の見地から試みた新しい油水分離技術に関する研究の概要を報告する。

2. 法定船用油水分離装置

「海防法」第5条に基づく「ビルジ等排出防止設備」に関しては、従来の「油水分離器性能試験基準」（運輸省通達 船工第96号、昭和47年7月）に代わって

MARPOL 73/78条約に基づいた「海洋汚染防止機器の性能試験基準」¹⁾（日本舶用品検定協会、昭和55年11月）が定められ、これに適合した油水分離装置が「100 ppm用油水分離装置」または「15 ppm用油水分離装置」として実船に搭載されることとなり、既存分離装置の運用策の実施とともにビルジ等処理の実効の向上が期待されることとなった。

表・1は海水油濁防止装置に関する国際条約と、これらに対応した我が国関係法令を示す。

注)：

「100 ppm用（15 ppm用）油水分離装置」とは船外に排出されるビルジ等の油分濃度を100 ppm（15 ppm）以下に処理するように設計された油水分離装置をいう。

3. ビルジ処理技術の実状

3.1 機関室ビルジ処理用油水分離装置に関する実船調査

油水分離装置に関する調査を目的として選んだ数隻の実船にそれぞれ筆者らが乗船し、各船に搭載中の船用油水分離器の航海中の実働性能調査を中心に、実働性能に影響を及ぼす機関室ビルジの性状及びビルジ処理のための配管系（ポンプ、タンク等を含む）の実態とその特徴等に関する実船上での調査を行った。その概要を表・2に示す。

ここでA、B及びC船の実船上での調査は昭和51年度から昭和53年度にかけて行い、またD、E及びF船の実船上での調査は昭和62年度に行った。これを以下、前期調査、後期調査という。

3.1.1 前期調査

前期調査で対象とした油水分離装置は、油水分離装置及び油分濃度計の国際的性能仕様に関するIMCO勧告（A・233（VII））に準拠した油水分離器性能試験基準（運輸省通達、船工第96号、昭和47年7月）に適合して我が国の型式承認を取得した機種であり、当該基準の要求する分離器排水中の油分濃度は100 ppm以下とされている。

この種油水分離装置を搭載した各船及び分離装置の概要は、表・2に示す通りである。

このうち、C船の分離器については同船竣工後1箇月、4箇月及び2年2箇月の各時期にそれぞれ調査を行い、同一分離器の実働性能データを蓄積した。

A、B両船の油水分離器調査は船側の都合上、停泊時に実施したため、分離器処理排水の船外排出は行わず、

表. 1 海水油濁防止に関する国際条約と我が国関係法令との対照

国際条約の動向	西暦	昭和	
54 油による海水の油濁防止に関する国際条約 (海水油濁防止条約) (発効 1958. 7. 26)	1954	29	
54 海水油濁防止条約の改正条約 (発効 1967. 5. 18)	1962	42	
		43	船舶の油による海水の汚濁に関する法律 (油濁防止法)
54 海水油濁防止条約の改正条約 (1962) の改正 (発効 1987. 1. 20)	1969	45	油水分離器性能試験基準 船工23号 昭和43. 3
54 海水油濁防止条約の改正条約 (1969) の改正 油水分離装置および油分濃度計の国際仕様に関する勧告 (A・233Ⅶ)	1971	46	海洋汚染防止法 昭和45. 12. 25 54 海水油濁防止条約の'69改正条約に加盟
73 船舶からの汚染の防止のための国際条約 (発効) 油水分離装置および油分濃度計の国際的性能および試験仕様に関する勧告 (A・393X)	1971	47	油水分離器性能試験基準 船工96号 昭和47. 7. 3
73 船舶からの汚染の防止のための国際条約 (発効) 油水分離装置および油分濃度計の国際的性能および試験仕様に関する勧告 (A・393X)	1973	51	海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律
73 海洋汚染防止条約に関する1978年議定書 MARPOL73/78 条約本文 および附属書I (発効 1983. 10. 2)	1977	55	[73/78 海洋汚染防止条約に関する海洋汚染防止機器の 性能試験基準 (H. K)] 昭和55. 11
73 海洋汚染防止条約及び'78年議定書による現存船への油水分離装置 の設計に関する勧告 (A・444Ⅺ)	1978	56	[油水分離器用附属処理装置性能試験基準 (H. K)]
	1979	58	MARPOL73/78条約の国内法化 昭和58. 5 海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律一部改正 改正法第一条 (船舶からの油の排出の規制等) 施行
	1979	62	MARPOL73/78条約附属書Ⅱ実施 昭和62. 4 改正法第二条 (船舶からの有害液体物質等の排出の規制) 施行

表. 2 船用油水分離装置に関する実船調査

船名 船種	竣工日 総トン (GT)	主機関 使用燃料油	油水分離器			試験実施日	ビルジ管系の 特徴
			種別及び 定格能力 (M ³ /hr)	分離機構等	専用ビルジポンプ		
A 貨物船	昭52.4 4,106	Diesel, 12,800PS 軽油	100ppm用 2.0	(ロート) + (フィルタ) 1筒構成	往復動	昭52.9	機関室全体が7区画分割, 分離器はビルジ集合タンク(8M ³)とともに 第1機関室(最前部)に設置
B コンテナ船	昭49.9 30,992	Diesel, 36,000PS C重油	100ppm用 2.0	傾斜多層平行板 1筒構成	一軸ねじ	昭53.1	ビルジ集合タンク(4M ³)を設置
C 練習船	昭51.6 5,856	Turbine, 7,000PS C重油	100ppm用 5.0	水平多層平行板 + SUS製コアレッサ 2筒構成	往復動	昭51.7 51.10 53.8	ビルジ集合タンク(10M ³)および ビルジセトリングタンク(3M ³)設置
D カーフェリ	昭49.7 11,097	Diesel, 28,000PS C重油(1,500sec)	15ppm用 5.0	水平多層平行板 + SUS製コアレッサ 2筒構成	一軸ねじ	昭62.7	ビルジ前処理装置および ビルジ集合タンク(11M ³)設置 ビルジ集合タンクより吸引
E カーフェリ	昭47.3 9,312	Diesel, 20,900PS C重油(1,500sec)	15ppm用 2.0	傾斜多層平行板100ppm用 + プロセスユニット15ppm用 2筒構成	往復動	昭62.7	ビルジ前処理装置および ビルジ集合タンク(9.8M ³)設置 ビルジ集合タンクより吸引
F カーフェリ	昭49.2 9,551	Diesel, 36,000PS C重油(1,500sec)	15ppm用 2.0	傾斜多層平行板100ppm用 + プロセスユニット15ppm用 2筒構成	往復動	昭62.7	機関室各部ビルジウエルより 直接吸引

注) : F船については昭53.10においても機関室ビルジ試料を採取した。

機関室内にとどめた。すなわち、A船の場合は第1機関室ビルジウエルへ放水し、またB船の場合は再びビルジ集合タンクへ戻す循環方式とした。

各船ビルジ配管系の特徴

C船： 図・1はC船機関室ビルジ配管系統図であって、その特徴は次の如くである。

イ. 機関室ビルジを一旦貯蔵するビルジタンク (10 m³) 及びセトリングタンク (3 m³) を備える。後者には加熱装置、各レベルの採液装置、及び油面制御用フロートスイッチが設けられている。

ロ. 機関の運転に伴って生じる廃油やスラッジは、ビルジ系統とは別の独立配管系及び専用のスラッジポンプにより機関室内焼却炉用セトリングタンクへ送られる。(焼却炉は機関室最上段に設置) 同セトリングタンクのドレンは、船底へ落ちないよう配慮されている。

ハ. ビルジウエルからのビルジ吸引箇所として、機関室内に計4箇所 (右舷側、左舷側とも前・後部に2箇所)、ボイラ室に計2箇所 (右舷側、左舷側)、軸室1箇所、空調室等、計4箇所が設けられている。

ニ. これらの吸引部からは、ビルジを分離器へ直接送り込んだり、または、イ. のいずれかのタンクへ集め、適当な静置時間を経た後、再び分離器専用ビルジポンプで吸引して分離器へ送る等、多様な処理システムを採ることができる。

A船： 図・2はA船機関室ビルジ系統図であり、主な特徴は次のとおりである。

イ. 機関室全体が7区画に分割されており、油水分離器はビルジ集合タンクとともに最前部の第1機関室に設置されている。

ロ. 第1機関室につづいて船尾方向へ順次第7機関室に至るが、各室にはビルジウエルのビルジ液面

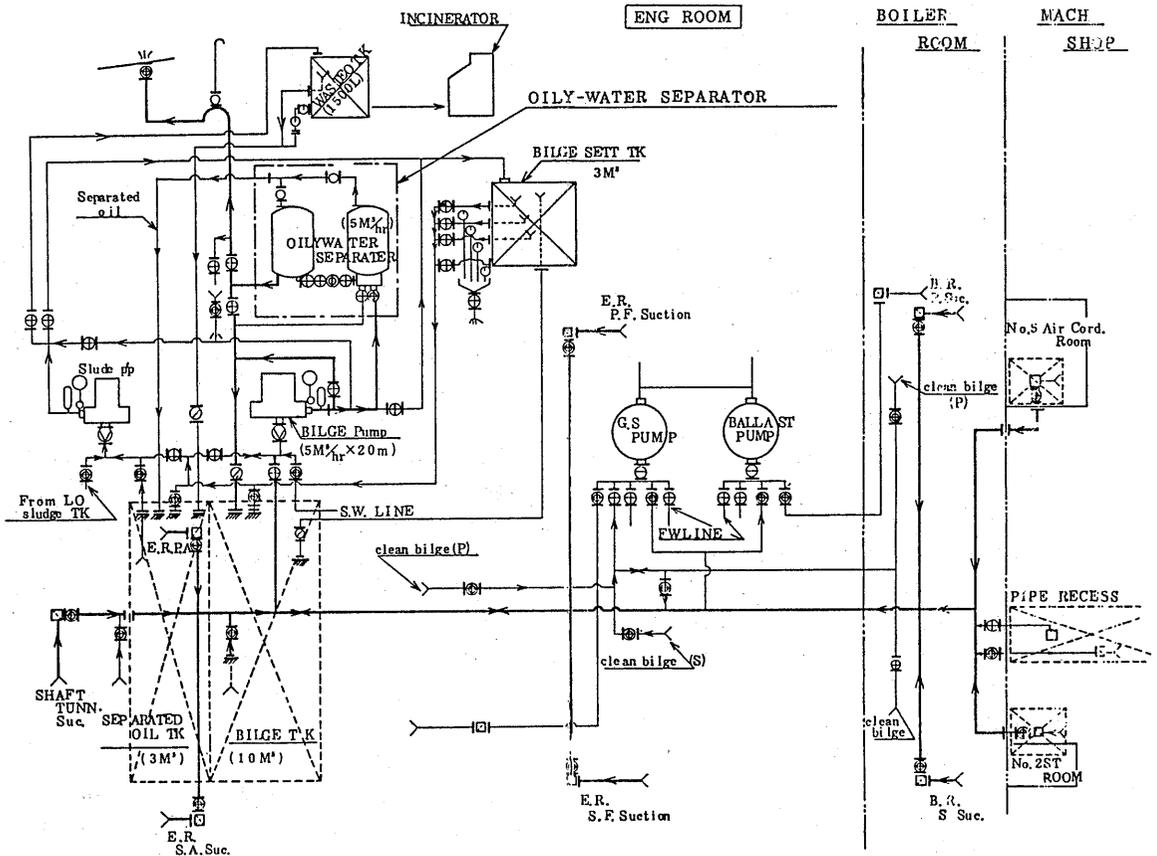


図. 1 C船油水分離器配管系統図

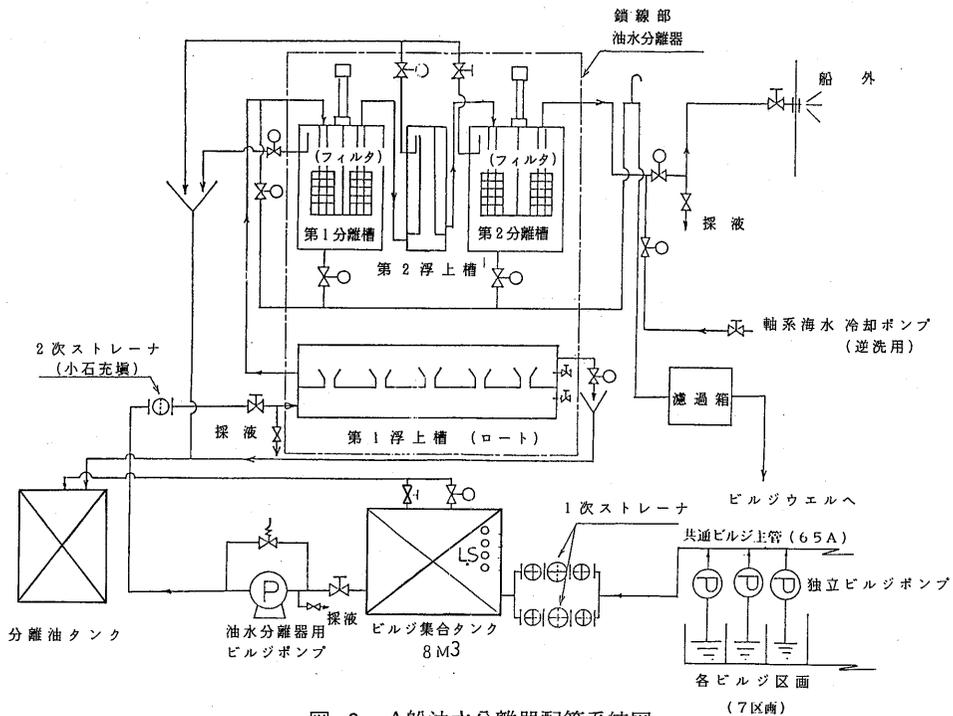


図. 2 A船油水分離器配管系統図

検知によって自動発停する独立ビルジポンプ(渦巻型)があって、これらポンプの吐出管はそれぞれ共通ビルジ主管(65 A)に通じ、ここから各室ビルジは間欠的にビルジ集合タンクへ送りこまれる。

ハ. ビルジ集合タンクは容量 8 m³の箱型構造で、油水分離器と同一床面に設置され、自動運転のための高液面警報用、分離器専用ビルジポンプ発停用、油面検知用その他一連のレベル・スイッチを備えている。

ニ. 油水分離器は自動運転され、タンク底から 600 mmの高さの液面で分離器の運転は停止し、以後約 4 m³強のビルジがタンク内に送られるまでの間、タンク内ビルジの静置分離を行う。タンク全面には覗き窓があり、液面及び浮上分離した油層を視認することができる。

ホ. 必要に応じ、分離器は手動運転への切替が可能であり、今回はすべて手動操作のもとで調査を実施した。

実船機関室ビルジの性状

実船機関室ビルジの性状を把握することは油水分離

器の設計や実働性能考察に関連して重要なことである。機関区域に生じるビルジは燃料油粗悪化等の影響もあって近年は一層複雑な性状となっている。このため筆者らは油水分離器の実働性能調査直前の停泊状態における機関室各区域のビルジ試料を採取し、その性状分析を試みた。

停泊中、ビルジはビルジウエル(またはビルジウエイ)に静置状態になっており、その表面層は通常薄い油膜を形成し、油の流入や蓄積等で油層が厚くなることもある。中間層は大部分がビルジ水で、少量の油分(油粒の状態)及び懸濁性固形物(Suspended Solids, 以下、SSという)が存在する。沈澱層はビルジ水及び沈澱したスラッジ、SS等が船底に層状となり、ポンプ吸引時にビルジ管系に混入することがある。航海中は動揺によって、これら3つの層は混合状態を呈することもある。

試料の採取は各船から行ったが、表面層の油はすくいと、中間層のビルジ水は手動ポンプの吸引口を上向き状態として施栓し、所定の深さまで吸引口をビルジウエルに沈めた後、栓を外して静かに吸引した。

試料の採取量は、表層油は 500 ml, ビルジウエル水

表. 3 機関室ビルジの性状例 (A船)

採取区画 項目	No. 1 ER	No. 2 ER	No. 3 ER	No. 4 ER	No. 5 ER	No. 6 ER	No. 7 ER	ビルジ 集合タンク
表層油比重 (15/4°C)	/	/	/	/	0.842	/	/	0.855
同 粘度 R.W.NO.1 ^{90°C} /37.8°C	/	/	/	/	42.5	/	/	47.3
中間水比重 (22°C)	1.008	1.020	1.027	1.008	/	1.009	1.015	/
中間水 油含有量, ppm	/	22.1	7.6	613	/	298	129	/
中間水 SS, mg/1	440.7	34.2	6.3	172	/	13.9	323	/
中間水採取深さ 表面から mm	130	330	260	200	100	250	130	/
中間水 外 観	薄茶色	清澄	清澄	薄褐色	(軽質油)	ヤゝ白濁	乳濁 薄茶色	/

は2,000 mlを目標とした。

表・3、表・4及び表・5は実船機関室ビルジの性状の一例として求めた今回の各船試料の分析結果を示す。これ等から実船機関室ビルジの表層油、中間層ビルジ水の一般性状の一端を知ることができるが、各船ごとに性状差のあることが明らかである。C船表層油についてはボイラ室試料はC重油、機関室各部試料は左舷前部を除いて引火点の値から、潤滑油と推定される。これについては試料油のガスクロマトグラムによっても同様に推定された。

表. 4 機関室ビルジの性状例 (B船)

採取区画 項目	機関室 左舷, 前	機関室 右舷, 前	ビルジタンク	軸 室
表層油比重 (15/4°C)	乳 化 状 態	0.982	0.955	0.933
同 粘度 R.W.NO.1 ^{90°C} /37.8°C		測定困難		503
中間水比重 (11°C)		1.011	1.011	/

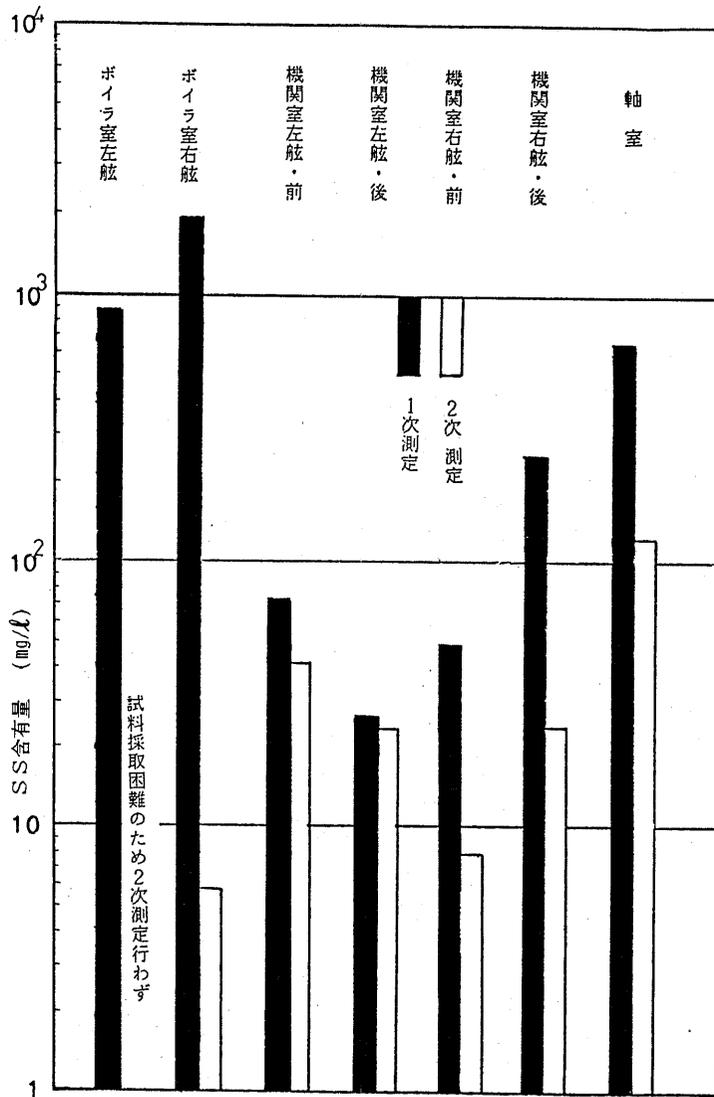
表. 5 機関室ビルジの性状例 (C船第1次)

採取場所 項目	ボイラ室(右)	ボイラ室(左)	機室(右前)	機室(右後)	機室(左前)	機室(左後)	軸 室
表層油比重 (15/4°C)	0.931	/	0.879	0.866	0.930	0.866	/
同 粘度 R.W.NO.1 ^{90°C} /37.8°C	/	/	230	185	/	245	/
中間水比重 (19°C)	/	1.002	1.004	1.005	1.005	1.005	1.021
中間水SS (mg/1)	1953	871	49	253	71	26	661

図・3はC船第1次と第2次調査における停泊時機関室ビルジ中のSS総量を比較したもので、調査船竣工直後の第1次調査のSS量は全箇所において第2次調査のSS量に比べて多く、最もその差の著しいのがボイラ室左舷で300倍強、続いては機関室右舷後部の10倍強、機関室前部及び軸室の5倍強となり、その他の箇所では大差はなかった。竣工直後にSSの多いことは、ぎ装工事関係の影響と推察される。

図・4及び図・5はA船及びB船の油水分離器実働性

能調査中に採取した試料中の油分とSS分を示した。図・4はビルジ集合タンク出口、分離器入口及び分離器出口について整理した結果であり、油分は斜線で、SS分は白抜きで示した。これ等から、実船機関室ビルジにはSS分の混入が多く、しかも分離器のフィルターエレメントをも素通りする微細なSSも相当量存在していることがわかる。図・5によれば、B船のSSはA船に比べて多く、分離器出口において100 mg/l強の場合もあった。



図・3 停泊中の機関室ビルジ中のSS総量 (C船第1次, 第2次)

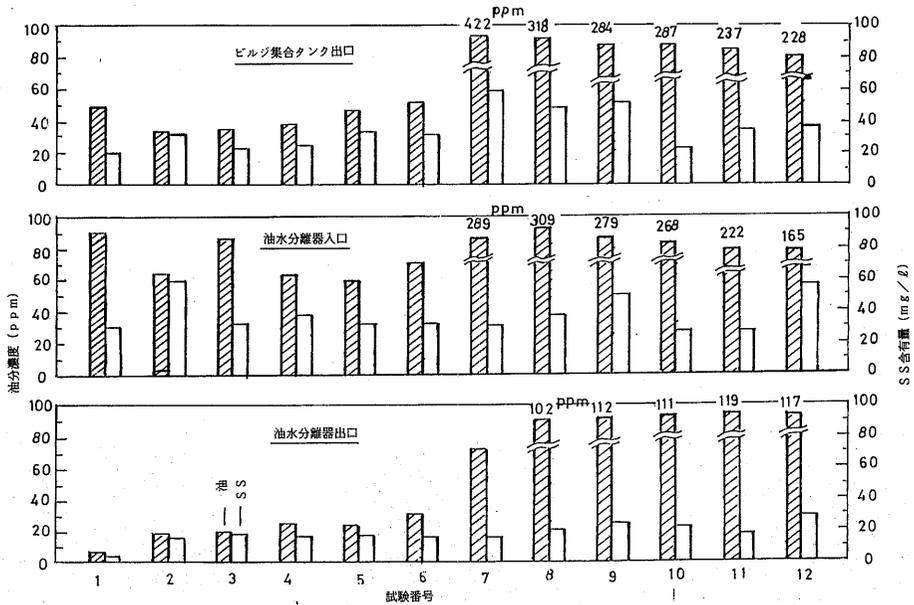


図. 4 A船油水分離器試験中の油分濃度とSS含有量

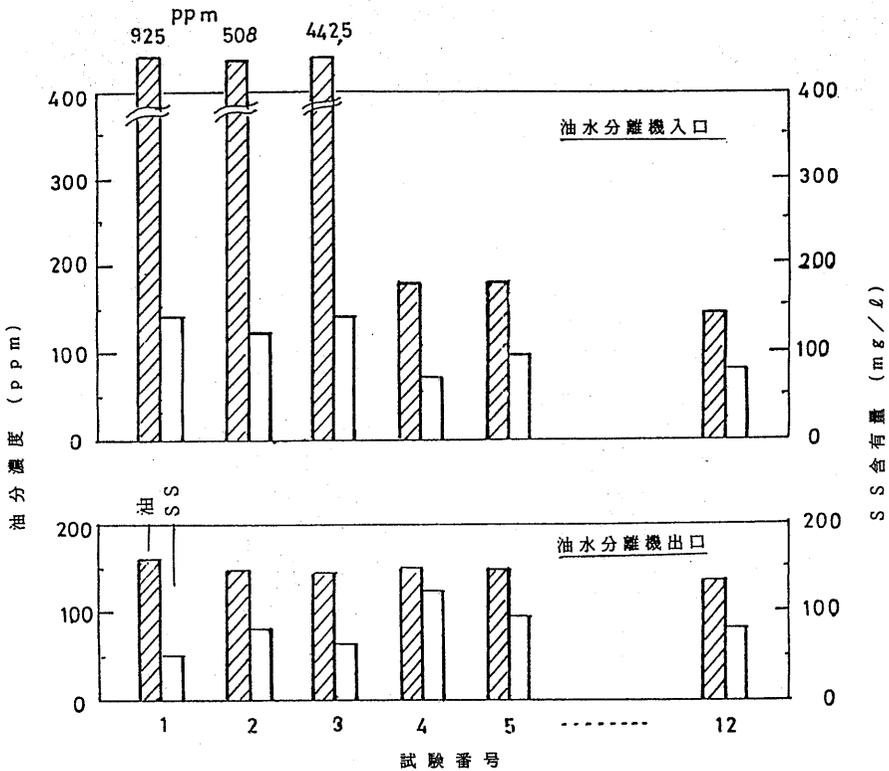


図. 5 B船油水分離器試験中の油分濃度とSS含有量

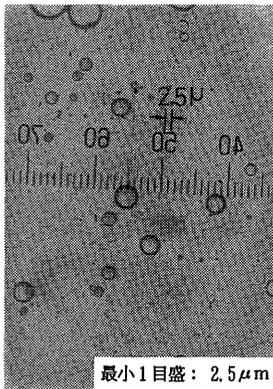
写真・1 (a)～(e) はビルジウエル中間層水及びディーゼル主機関冷却水系バッファータンクに混入している油粒の顕微鏡観察例である。

(a) は空気圧縮機ドレンが混入したC船機関室左舷前部のもので、ビルジ試料は白濁しており、乳化現象のあることがうかがわれた。(b) は主機関燃料に軽油を使用しているA船機関室ビルジウエル、(c) はB船機関室左舷前部ビルジウエル、(d) はB船主機ピストン冷却水(清水)の油分離タンク内のもので、この清水は使用時間によって適宜ビルジウエルに落とされるが、いずれの試料にも1～5 μm の微細油滴の存在が認め

られた。

(e) はB船右舷前部ビルジウエルのもので、60～100 μm 程度の油滴が多く、油の微細化傾向は認められない。

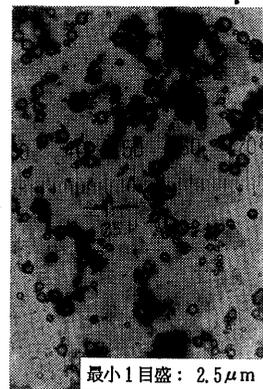
以上の調査例から同じ機関室内においても、配管系の状況、各種補機の設置状況及び各種の水タンク、油タンク類の配置や取扱い等の実態によって、ビルジ表層油の油種、中間層水に含まれるSS及び油滴状態に差を生じていることが実証された。機関室ビルジへの汚濁油水、化学薬品類の混入経路として次のようなラインを挙げることができる。



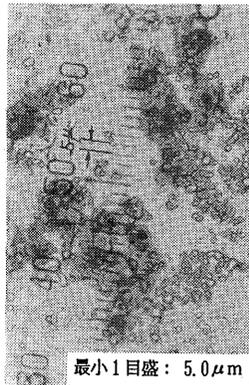
(a)
C船機関室左舷前
ビルジウエル中間水



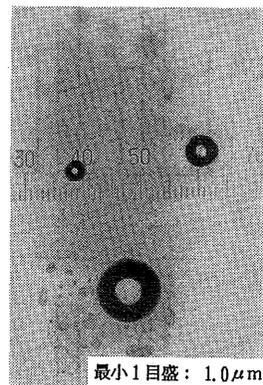
(b)
A船第6機関室
ビルジウエル中間水



(c)
B船機関室左舷前
ビルジウエル中間水



(d)
B船主機ピストン冷却清水



(e)
B船機関室右舷前
ビルジウエル中間水

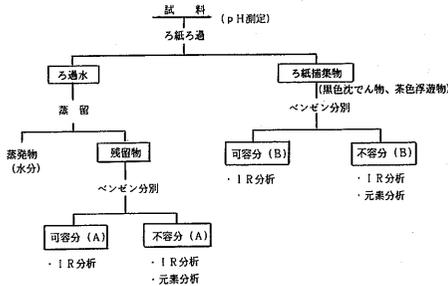
写真・1 実船機関室ビルジ中間水中の油粒状況例

- * 燃料油，潤滑油サービスタンクのドレン
- * 機関室内焼却炉用セトリングタンクのドレン
- * 機関室内における機関保守作業等で生じた洗浄油水
- * 潤滑油冷却器，清水冷却器類の洗浄水
- * 洗濯機等の排水
- * 燃料油清浄機及び潤滑油清浄機から排出されるスラッジ及びドレン

これ等の影響を受けたビルジは、現行の重力分離方式（油水間の比重差に基づく分離方式）のみでは油水分離の困難な性状となる場合が多い。

機関室ビルジ中のSS成分及びその他混入物について図・6に示す手順に従ってC船及びF船ビルジ試料の分析を行った。（F船については、昭和53年10月に採取した試料による）

詳細の結果は省略するが、本分析により実船機関室



図・6 ビルジ試料の前処理および分析方法

ビルジの水質の一例として大要次の結果を得た。

蒸留残留物：ベンゼン可溶分からは主として鉱油、鉱油の劣化酸等が検出され、ノニオン系界面活性剤、金属カルボン酸塩及びエステル化合物も別に存在している。また、ベンゼン不溶分からは塩化ナトリウムと金属硫酸塩の水和物が例外なく検出された。

黒色沈澱物：ベンゼン可溶分からは鉱油、鉱油の劣化酸のほか、エステル化合物、金属カルボン酸塩及びノニオン系界面活性剤が検出された。また、ベンゼン不溶分からは塩化ナトリウムと金属硫酸塩の水和物、アミド化合物及び防錆剤がそれぞれ検出された。

次に、C船第3次調査の10 m³ビルジ集合タンクの静置ビルジ処理中の油水分離器処理フロー中におけるプランクトンに関する調査結果を表・6に示した。ビルジ処理配管系におけるプランクトンの動静は、季節、航路海域、また調査試料採取場所によりそれぞれ異なると思われる。今回の調査によって、ビルジ処理配管系におけるプランクトンの動静の一端を知ることができた。すなわち、分離器入口側には珪藻類(Coscinodiscus)と原生動物、有鐘類(Titinnidae)が出現していること、分離器出口側には生物は確認できず、有機性の懸濁物の中に甲殻類の遺骸が含まれていることが確かめられた。このような機関室ビルジ処理中の油水分離器の入口側と出口側におけるプランクトンの存在状況の差から、分離器フィルターエレメント内に若干のプランクトンが残留していることがわかるが、プランクトンの存在状況によっては、フィルターエレメントの目詰まりの要因をなすことも考えられる。

表・6 プランクトン調査例 (C船第3次)

試料	プランクトン	大きさ	個体数	備考
No. 1 (100ml) 熊本沖南下中 航路海水	Cyanophyta	230~1300 μ	12,196	検鏡 ×100倍 1/1分割
	Chaetoceros	巾 10 μ	20	
	Tintinnus	110~280 μ	5	
	Gymnodinium	15 μ	20	
	Loptocylindrus	70 μ 巾 10 μ	7	
	Copepoda Crustacea remains	径 70 μ 100~600 μ	5 272	
No. 2 (100ml) 海水通水時の 分離器入口	Cyanophyta	250~890 μ	375	×100倍 1/1分割
	Chaetoceros	巾 10 μ	25	
	Biddulphia	70 μ 巾 30 μ	3	
No. 3 (100ml) 海水通水時の 分離器入口	Crustacea remains	10~50 μ	20,800	×100倍 1/25分割
		50~500 μ	3,200	
No. 4 (200ml) *ビルジ処理時の 分離器入口	Coscinodiscus	径 10 μ	700	同上
	Tintinnidae	10~50 μ	38,400	
	Crustacea remains			
No. 5 (200ml) *ビルジ処理時の 分離器入口	Crustacea remains	10 μ ~ 70 μ	768	×100倍 1/2分割

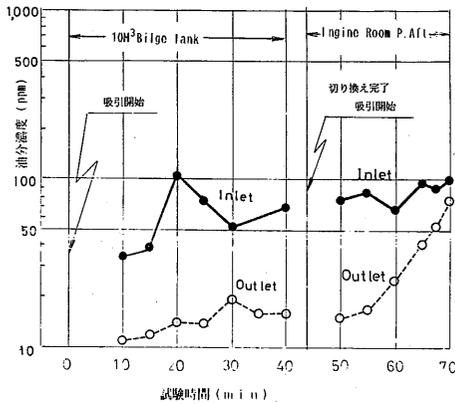
*C船第3次、10M³ビルジタンクから吸引

船用油水分離装置の実働性能

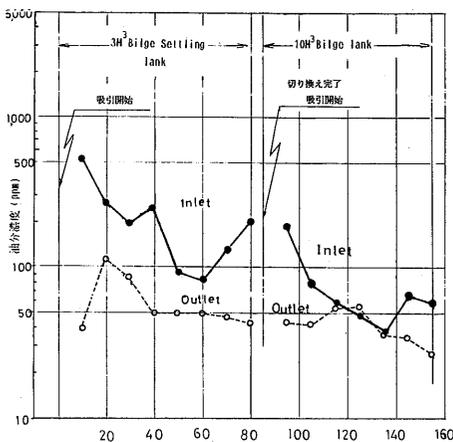
C船第1次調査

図・7及び図・8はC船油水分離器第1次調査における航海中の実働性能であって、縦軸は油分濃度(ppm)を、横軸は調査の試験時間(分)を示す。(以下の場合も同様である)

図・7(第1次その1):調査の前半は10m³ビルジタンクで静置した後のビルジを、また後半は機関室左舷後部ビルジウェルから分離器専用ビルジポンプで直接吸引したビルジをそれぞれ分離器へ送入した場合、いずれの場合も分離器入口側油分濃度は100ppmを下回る低い値であった。これに対して分離器出口側油分



図・7 C船油水分離器実働性能例(第1次その1)



図・8 C船油水分離器実働性能例(第1次その2)

濃度は前半の平均で15ppm、後半の平均で40ppmが得られた。ただし、後半の場合は20分の試験中に分離器出口側の油分濃度値は15ppmから連続的に増加し、最終的に70ppm強を示した。

図・8(第1次その2):3m³セットリングタンク及び10m³ビルジ集合タンクから吸引したビルジを、それぞれ前・後半にわけて油水分離器へ供給した場合の分離性能を示す。

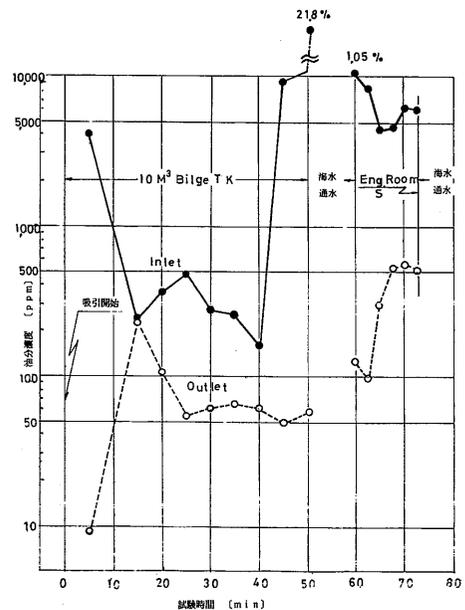
分離器入口側油分濃度は前半では540~80ppm(平均220ppm)、後半では190~40ppm(平均80ppm弱)に対して、分離器出口側油分濃度は平均80ppm及び40ppmと良好であった。

C船第2次調査

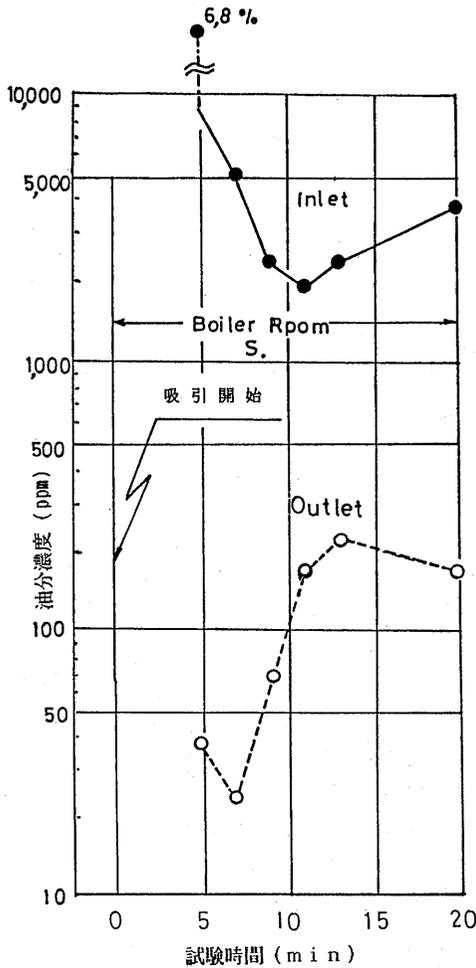
図・9及び図・10は竣工4箇月目のC船搭載油水分離器第2次調査で得られた実働性能である。

図・9(第2次その1):調査の前半は10m³ビルジ集合タンクで静置した機関室右舷ビルジを分離器専用ビルジポンプで油水分離器へ送入した場合の分離性能を、また調査の後半は同じ機関室右舷ビルジを専用ビルジポンプで直接吸引して分離器へ送入した場合の分離性能を示した。

ただし、前半調査の終了時において、分離器入口側



図・9 C船油水分離器実働性能例(第2次その1)



図・10 C船油水分離器実働性能例 (第2次その2)

油分濃度が過大に上昇したため、後半の調査を開始する前にビルジ吸入管系及び分離器本体の洗浄のため10分弱、海水を通水した。

調査前半の分離器入口側油分濃度は、吸引開始5分後を除いて500 ppmを下回る低い値であった。ただし、ビルジタンク内での油の浮上効果を予測し、これを確認するため敢えて吸引を続行したため、ビルジポンプ停止5分前頃から分離器入口側油分濃度は急速に上昇し、停止直前には 20×10^4 ppm強までに達した。これはビルジタンク内での油分浮上効果を実証するものである。また調査試験開始5分後の分離器入口油分濃度約

4,000 ppmは、ビルジ吸引管内の汚れと推定される。

調査の後半における機関室右舷ビルジの直接吸引の場合の分離器入口側油分濃度は、ビルジ集合タンクからの吸引時に比べて顕著に高く、ほぼ5,000 ppmを上回っている。これに対し、分離器出口側油分濃度は10分程の間に100 ppm付近から500 ppmを上回る値まで上昇した。

図・10 (第2次その2) : ボイラ室右舷ビルジを専用ビルジポンプで直接吸引し、これを分離器へ送入した場合の実働性能調査結果を示す。ビルジ吸引開始5分後までの分離器入口側油分濃度は 5×10^4 ppmを上回る値であったが、その後調査終了までの約15分間は平均3,000 ppm程度であった。これに対し分離器出口側油分濃度は20 ppmから200 ppm付近まで上昇する結果が得られた。

C船第3次調査

竣工2年2箇月後のC船搭載油水分離器の第3次調査を述べる。

図・11 (第3次) : 機関室右舷後部、機関室左舷後部ビルジの分離器専用ビルジポンプによる直接吸引に続き、 10 m^3 ビルジ集合タンクのビルジの順に吸引し、油水分離器へこれを送入した場合の分離器実働性能を調査した。ビルジ管内の油による汚れを考慮して調査試験開始前及びビルジ吸引区画の切替時においては適宜海水を通水し、分離器入口管、分離器本体を海水洗浄した。また、機関室左舷後部ビルジの吸引終了後、ビルジポンプ吸入側ストレーナ及び分離器附属の中間ストレーナの開放掃除を実施した。

分離器入口側の油分濃度は機関室右舷後部ビルジの場合約400 ppm、機関室左舷後部ビルジの場合約3,000 ppmを示し、 10 m^3 ビルジ集合タンクへ切替直後、約 10^4 ppmに達したが、その後減少して 10^4 ppmを下回り、総じて比較的低濃度であった。これに対し分離器出口側油分濃度は、ビルジ集合タンクのビルジ吸引の半ばまでは100 ppm以下を保ったが、半ば過ぎからは200~300 ppmまで上昇した。なお、 10 m^3 ビルジタンクからのビルジ吸引中に、プランクトンの動静を調べる試料を採取するとともに、分離器入口側と出口側におけるビルジ中の油粒径分布を求める試料を油粒浮上筒へ送入した。

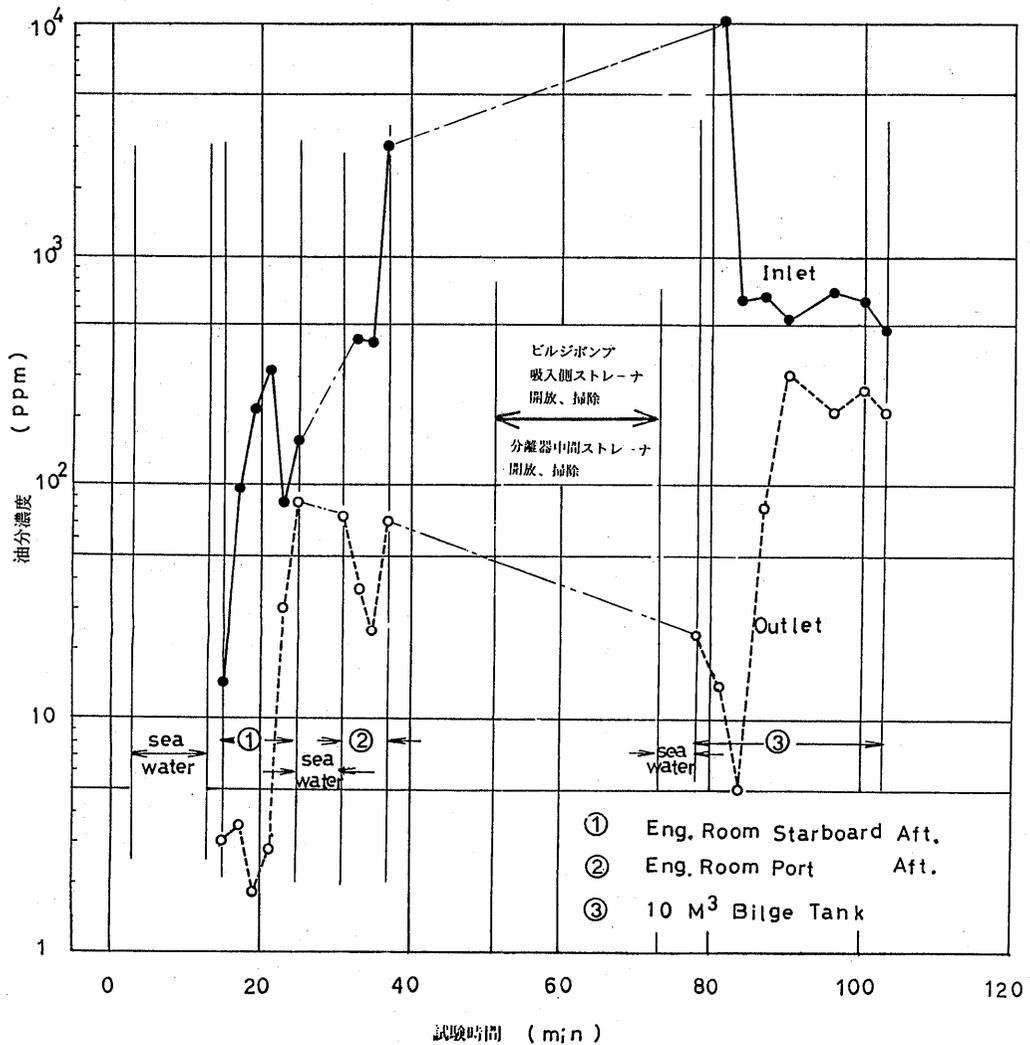
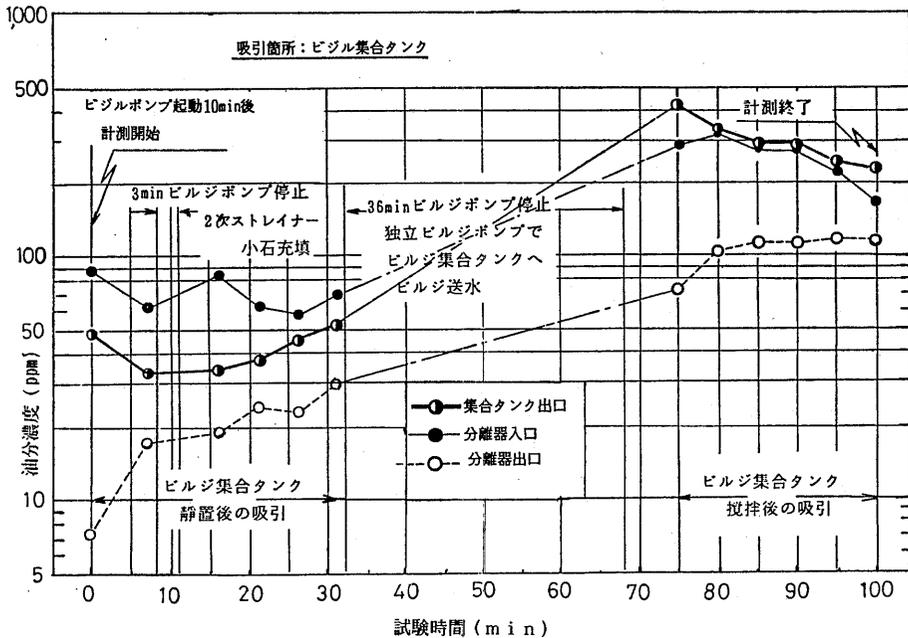


図.11 C船油水分離器実働性能例 (第3次)

A船調査

図・12はA船搭載油水分離器の実働性能調査結果である。調査試験の前半はビルジ集合タンク出口(ビルジポンプ吸引側)で30~50ppm、分離器入口で60~90ppmと油分濃度は低い値であったが、分離器出口側は10ppm弱から漸増して30ppmに達した。なお、ビルジ集合タンク出口に比べて分離器入口側の油分値が高い理由は、途中配管の油による汚れの影響と推定される。計測開始後約30分で前半の調査試験を終了し、その

後は分離器専用ビルジポンプを停止してこの間に7区画にわかれた各機関室ごとの独立ビルジポンプを適宜手動運転してビルジをビルジ集合タンクへ送り、タンク内を攪拌した。この状態を約40分継続した後(この間に2.8m³のビルジを送入)、後半の調査試験を続行したが、その結果は図に示すごとく分離器入口側の油分濃度300ppm強~170ppmに対し分離器出口側は70ppmから漸増して100ppmを上回る油分濃度を示した。



図・12 A船油水分離器実働性能例

B船調査

図・13はB船搭載油水分離器の実働性能調査結果である。調査試験は分離器専用ビュルポンプで供試分離器へビュル送水開始後25分で計測を開始し、以後5分ごとに計測しながら連続1時間分離器を作動させた。分離器入口側の油分濃度は計測開始直後は900ppm強であったが、その後は経時的に減少して15分後にはほぼ180ppmとなり、以後は計測終了まで大きな変動はなかった。一方、分離器出口側油分濃度は調査期間を通じて150ppm前後の値が得られた。

実船機関室ビュル水の油粒径分布調査

現行油水分離器の分離機構は平行板または細管の集合体、フィルター等を用い、基本的にはビュル水中の油粒の合体を促進して油水の比重差に基づく油の浮上速度の増大を図る重力機構にほかならない。それゆえ、実船機関室ビュルの油粒分布に関するデータを得ることは、分離装置の設計上、重要である。

図・14、図・15及び図・16はA、B及びC船における油水分離器入口側と出口側における油粒分布の実測例である。

これ等はそれぞれの試料を油粒浮上筒に封入し、封

入された試料中の油粒はすべてストークス則に従って浮上することを前提として求めたものであって、横軸に表した油粒径(ストークス粒径)を下回る油粒が全体の油分に対する割合(vol.%)を示している。例えば、図・14について分離器入口側ビュル試料中に存在する $50\mu\text{m}$ 以下の油粒は試料中の油分全体の65vol.%を、また $30\mu\text{m}$ 以下の油粒は40vol.%を占めることを表している。これに対し、分離器出口側では入口側に比べ、より細かい油粒が主体をなしていることがわかる。

機関室ビュル処理用油水分離装置に関する 実船調査のまとめ

以上、現行船用油水分離器数機種(いずれも比重差分離機構)の実船上における実働性能、機関室ビュルの性状等に関する調査の一例から、大要次の知見が得られた。

① 実船に搭載された機関室用油水分離器に関する今回の調査結果から推定して、分離器排水中の油分濃度を常時100ppm以下に保持することは困難のように思われる。

② 機関室ビュル中には微細なSSが存在し、これら

は現行分離器の分離エレメントをすべて素通りしている傾向がある。

③ 潤滑油添加剤や洗剤、防錆剤等の影響を受けたビルジは乳化現象を示し、重力分離方式による現行油水分離器の機能低下の要因の一つをなしていると推定されるので、これらがビルジウエルへ混入することを

極力防止する必要がある。

④ 機関室ビルジが油水分離器へ送入される以前に、SS除去対策を積極的に講じる必要がある。これはフィルターエレメントが分離機能を左右する分離装置に対する重大な懸案事項である。

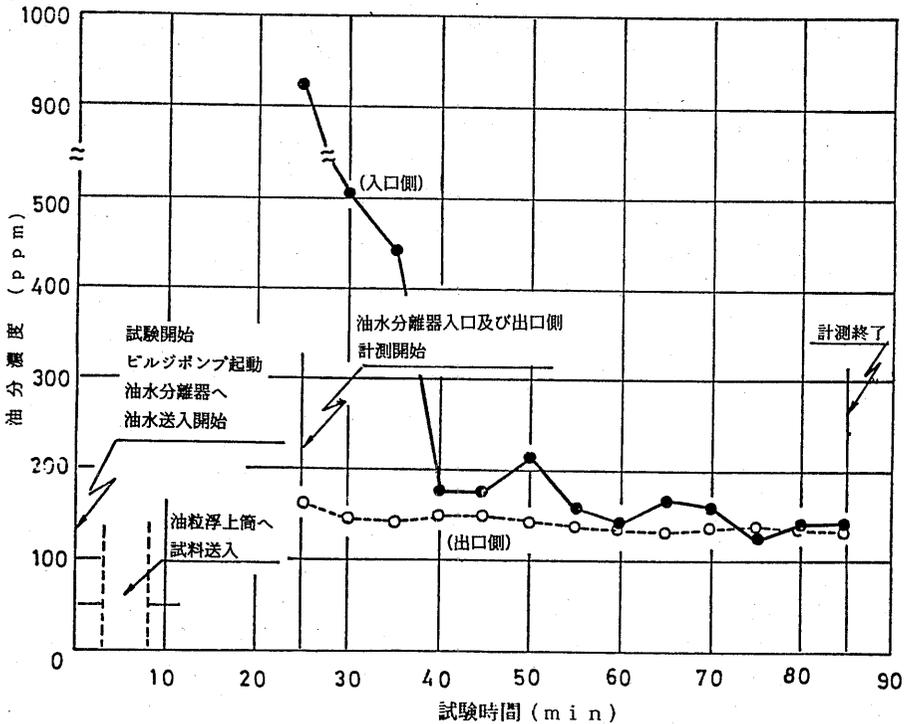


図.13 B船油水分離器実働性能例

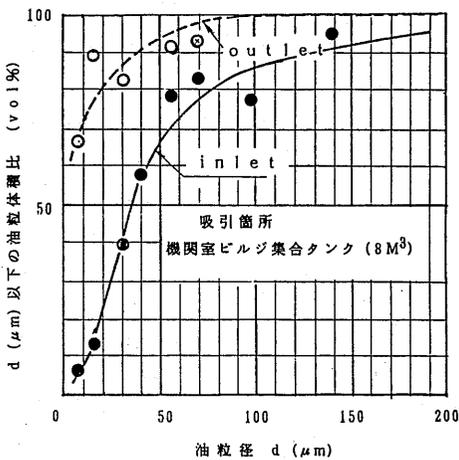


図.14 A船油水分離器の入口および出口における油粒径分布

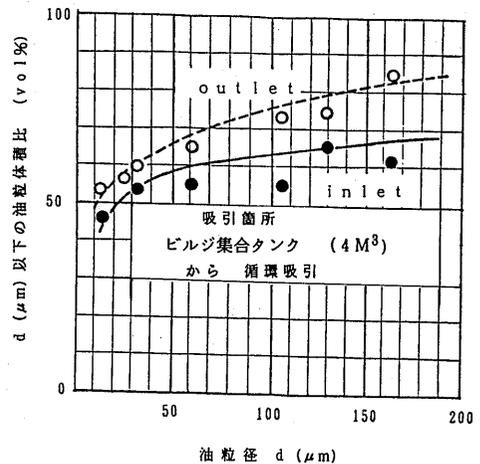


図.15 B船油水分離器の入口および出口における油粒径分布

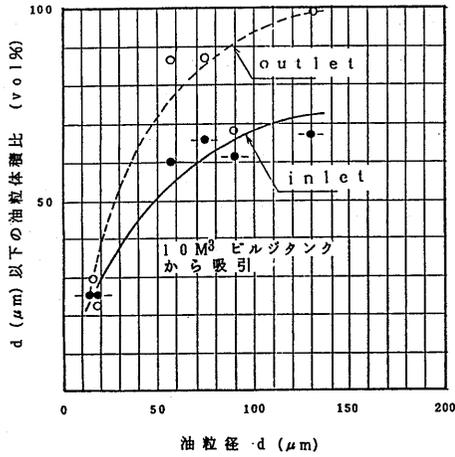


図.16 C船油水分離器の入口および出口における油粒径分布

3.1.2 後期検査

実船調査の要領

対象とした船舶は我が国の沿海を航路とする総トン数 10,000 トン前後の大型フェリーD船, E船, 及びF船の 3 隻である。これに筆者らが乗船して、航海中に機関室ビルジ用油水分離器を作動させ分離器入口油水分離器排水を逐次採取した。これを分析してそれぞれの油分濃度, 油粒径分布, SS量等を定量するとともに、採取した機関室ビルジの分析を実施した。各船の仕様、油水分離器構成等は、表・2 の通りである。また、各船ビルジ処理フローを図・17 に示す。これから明らかなように、D船, E船は機関室ビルジを油水分離器へ送り込む前に、一旦ビルジ集合タンクに集結して、ここで事前に油水分離器を静置させるビルジ供給システムを備えている。

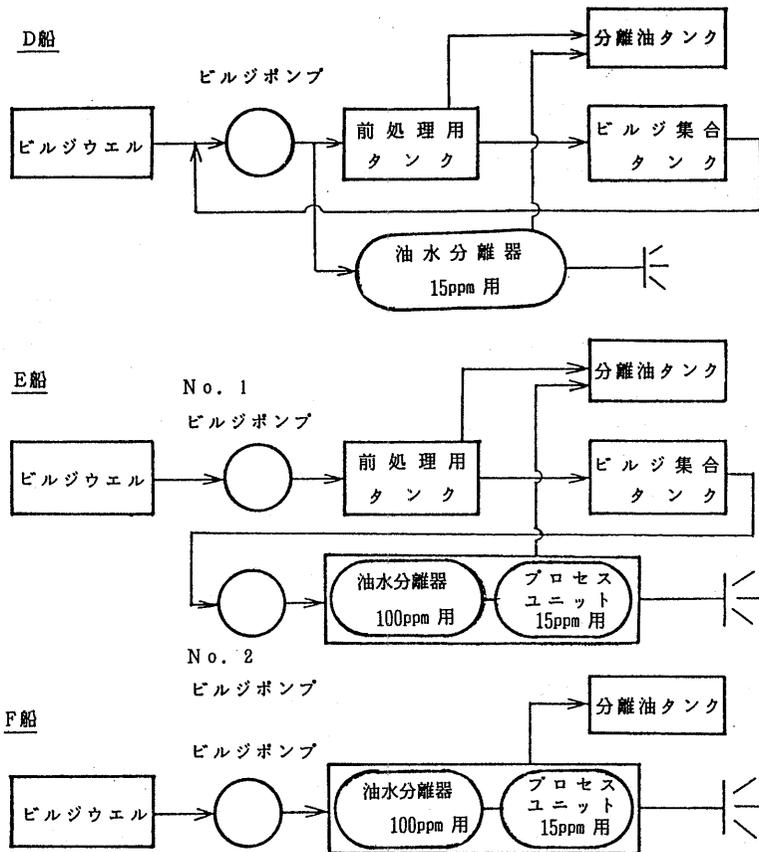


図.17 各船のビルジ処理系システム

実船調査の結果

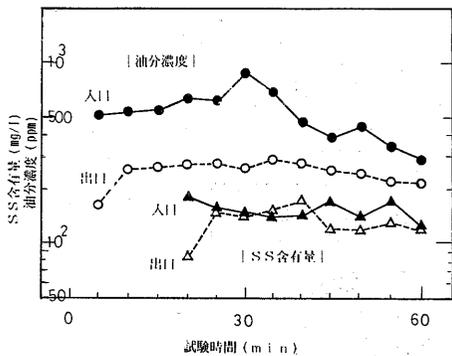
実船試験によって得られた各船の油水分離器の作動性能を整理すると、その概況は以下のようになる。

D 船： 油水分離器へ送入される含油水及び分離器処理排水のそれぞれに含まれる油分濃度及びSS割合の実測結果を図・18に示す。これによると、本船にはビルジウエルと油水分離器の間にビルジセットリング用の前処理タンクが設置され、高濃度油分が事前に除去されるので、分離器入口側は300 ppmから700 ppmが保たれている。これに対する排水中の油分濃度は平均して250 ppm前後であった。またSSに関しては入口側と出口側で殆ど差がなく、それぞれ150 mg/l前後であった。

E 船： D船と同様に、前処理タンクを備えているが、これが有効に働いて油分が事前に効果的に除去されている。調査時は分離器入口側の油分濃度は40 ppmと相当低い値が保たれていた。これに対し出口側では25 ppm前後が記録された。

一方SSの割合は、D船の場合と同様に入口側と出口側では殆ど差異が認められず、両者とも100 ppm前後であった。これ等の傾向を図・19に示す。

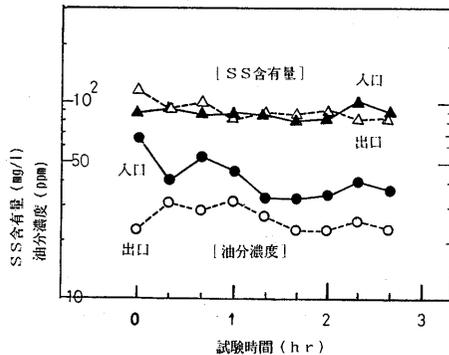
F 船： 本船は、機関室ビルジウエルのビルジを直接油水分離器へ移送するという、最もシンプルな管系であり、分離器入口側油分濃度は1,000 ppmから10,000 ppmと高い値を示した。濃度に大きな変化を生じているのはビルジウエルの吸引箇所が、試験途中で切り替えられたためである。SSの割合は概ね油分濃度



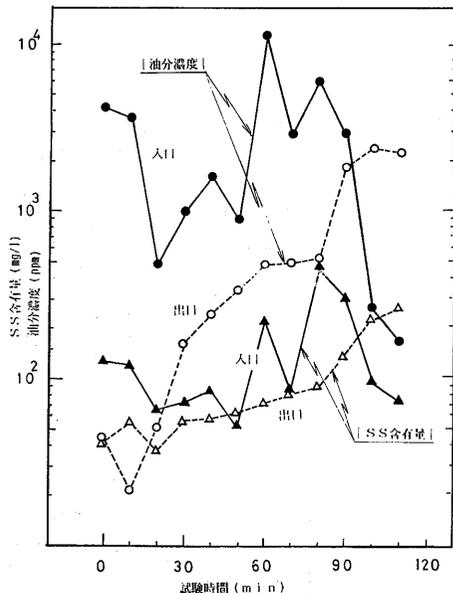
図・18 油水分離器運転中の油分濃度とSS含有量 (D船)

に比例しているが、300 ppmと高い値を示す場合があった。これらの傾向を図・20に示す。

次にビルジの分析結果を述べる。D船、E船、F船から採集した表層油の性状を求めるため、遠心分離機(3,000 rpm×10分)で水分及びきょう雑物を分離した油の一般性状として、比重(15/4℃)及び粘度(R.W. No.1 sec / 37.8℃)を計測した結果を表・7に示す。これから3船を総合して、比重は0.88~0.95、粘度は62~1,230 sec (10~160 cSt/50℃相当)であった。重油の粘度-温度曲線から推定すると、図・21に示すよ



図・19 油水分離器運転中の油分濃度とSS含有量 (E船)



図・20 油水分離器運転中の油分濃度とSS含有量 (F船)

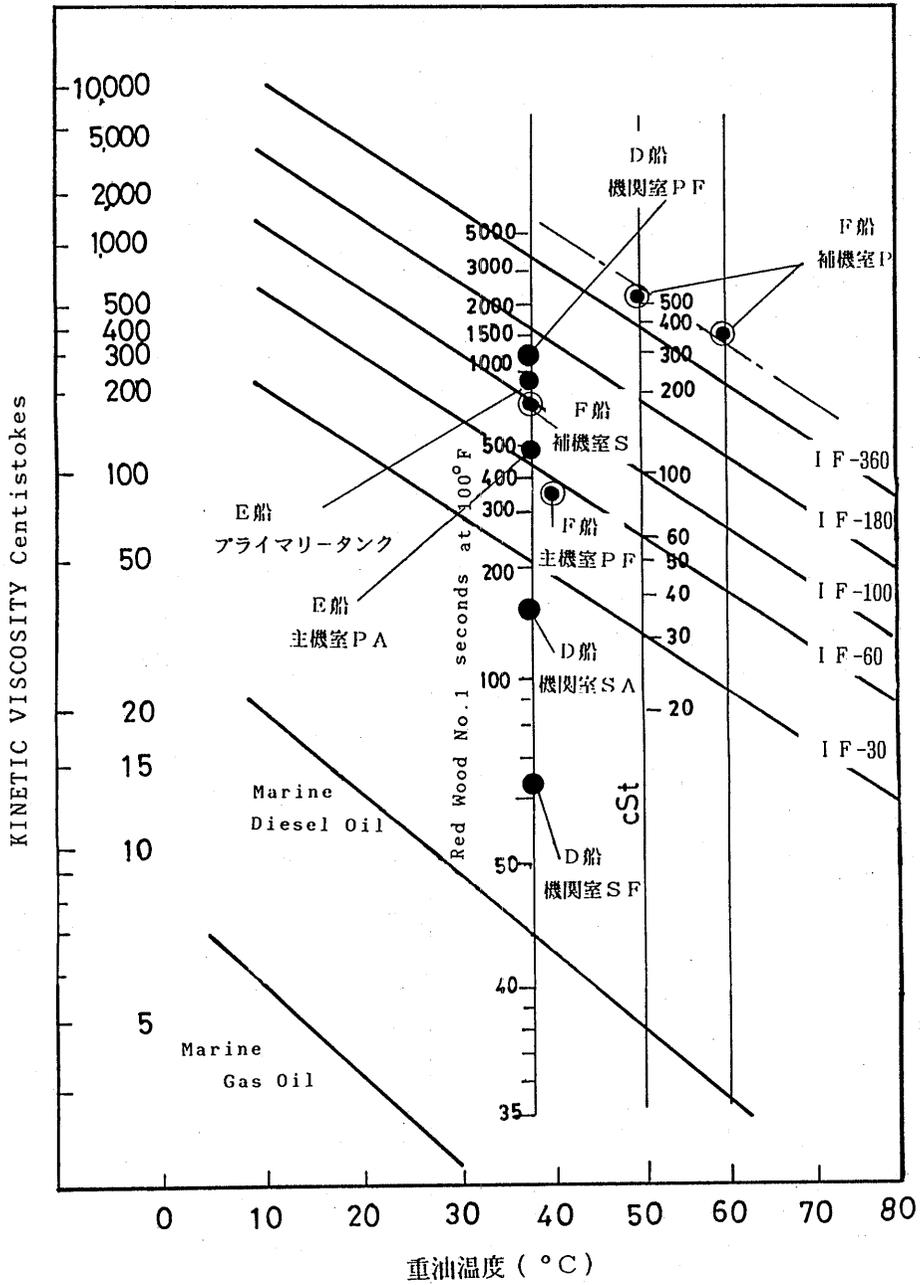


図.21 重油の粘度-温度線図

うに概ねIF 60~IF 180の粘度のものが多いことが分った。プライマリータンクは機関室各所ビルジの混合した平均的な性状値を示すものと考え、今回得られた表層油の比重及び粘度の値は現行性能試験基準で示される比重0.94 (15/4℃)、粘度約900 sec (R.W. No.1 sec / 37.8℃) とほぼ類似したものであった。

表・8はビルジ中に混入していると考えられる界面活性物質及びSSの調査を目的とした分析結果である。ノニオン系界面活性剤は最も油を微細化させるもので、機関室で使用される洗剤に含まれることが多いが、今回の試料中には特記する含有量は認められず、明らかに検出されたのは7検体中2例にとどまり、その値も10~15mg/ℓであった。SS濃度はビルジウエルの状態により数百~数千mg/ℓに達しているが、この中でプライマリータンクの2,700mg/ℓが最高であった。表・9はF船機関室(補機室左舷)ビルジウエル底部から採取した試料中のSS成分の分析結果である。蛍光X線による元素の定性分析によれば、ケイ素、鉄、リン等、計8種の元素が検出され、また定量的には有機分が約6割を占め、残りの無機質のうち鉄分(Fe₂O₃)が最高で約10%、次いでケイ素(SiO₂)及びリン(PO)が殆ど等量で6%弱となっている。これより、今回ビルジウエル底部から採取したSSは鉄分、砂分が主体をなしていることが分る。

表・7 ビルジ表層油性状例

船名	試料採取場所	比重(15℃)	粘度 $\left[\frac{RW \times 1}{37.8} \right]$
D船	機関室右前	0.879	62
	右後	0.892	153
	左前	0.931	1230
E船	主機室左後	0.900	497
	プライマリータンク	0.948	922
F船	主機室左前	0.893	359 (40℃)
	補機室右	0.940	795
	補機室左*	0.98/41℃ 0.996	2178/50℃ 1527/60℃

注) *は油中水滴型エマルジョンと推定される。

また、以上の調査とは別に、昭和59年度から昭和60年度にかけて外航及び内航大型船(船種はコンテナ船、長距離フェリー等)について筆者らが実施した機関室ビルジに関する調査例を表・10及び表・11に示した。

ここで表・10は界面活性剤を、表・11は界面活性剤とSSを分析の対象としたものであるが、計5船から収集した21試料の分析結果から概ね次のような知見を得た。

① 界面活性剤の混入量は総じて20mg/ℓ以下(20ppm以下)のもので一般的であり、今回の最高値は200mg/ℓであった。なお、検出された界面活性剤は全て非イオン系(ノニオン系)であった。

② SSの混入量は試料採取場所により差があり、10~400mg/ℓ程度であった。

表・8 ビルジ分析結果例

船名	採取場所	全有機物 (mg/ℓ)	非イオン界面活性剤 (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)
D船	主機室右前	860	5以下	120
	左前	1,700	9	500
E船	機関室右後	540	5以下	150
	左後	600	5以下	280
	プライマリータンク	6,600	5以下	2,700
F船	補機室右	1,400	15	2,200
	左	7,800	5以下	1,700

表・9 F船機関室(補機室左舷)SSの化学組成例

項目	%
有機分	59.0
ケイ素	SiO ₂ 5.7
鉄	Fe ₂ O ₃ 9.6
硫黄	S 3.3
カルシウム	CaO 3.2
リン	PO 5.5
マグネシウム	MgO 1.5
ナトリウム	Na ₂ O 0.51
塩素	Cl ₂ 0.42

表.10 実船機関室ビルジ性状例（後期調査，界面活性剤）

試料番号	採取船	試料採取場所	界面活性物質分析結果	界面活性剤タイプ
1	外航コンテナ船	機関室前部 左舷側ビルジウエル	ポリエチレングリコール ポリプロピレン グリコールブロック 非重合型 約60mg/l	ノニオン系
2		機関室後部 左舷側ビルジウエル	検出せず	
3	外航セミ コンテナ船	機関室前部 右舷側ビルジウエル	検出せず	
4		機関室後部 右舷側ビルジウエル	ポリエチレングリコール型 約10mg/l	ノニオン系
5		機関室 ビルジ集合タンク	検出せず	
6	外航コンテナ船	機関室後部 左舷側ビルジウエル	ポリエチレングリコール アルキル ブエニル エーテル 約1mg/l 高級脂肪酸エステル 約1mg/l	ノニオン系
7		機関室 洗浄コーナー ビルジウエル	ポリエチレングリコール アルキル エーテル 約1mg/l 高級脂肪酸エステル 約3mg/l	ノニオン系
8		同上	ポリエチレングリコール アルキル エーテル 約2mg/l 高級脂肪酸エステル 約4mg/l	ノニオン系

表.11 実船機関室ビルジ性状例（後期調査）

試料番号	採取船	試料採取場所	試料分析結果		
			油分 (ppm)	界面活性剤 (mg/l)	懸濁物質 (mg/l)
9	大型 フェリー	機関室前部 右舷側 ビルジウエル	70	10以下	64
10		機関室前部 左舷側 ビルジウエル	70	10以下	13
11		機関室後部 右舷側 ビルジウエル	90	10以下	270
12		機関室後部 左舷側 ビルジウエル	40	10 (非イオン系)	48
13		機関室 ビルジタンク	370	20以下	35
14	外航 コンテナ船	機関室前部 右舷側 ビルジウエル	30	10以下	47
15		機関室前部 左舷側 ビルジウエル	40	10以下	28
16		機関室中央部 右舷側 ビルジウエル	130	20以下	21
17		機関室中央部 左舷側 ビルジウエル	90	10以下	265
18		機関室後部 右舷側 ビルジウエル	160	20以下	51
19		機関室後部 左舷側 ビルジウエル	190	20以下	368
20		カスケート タンク最終段	510	200 (非イオン系)	303
21		軸室	100	10以下	369

注) 界面活性剤はポリエチレングリコールアルキルフェニルエーテル