日本船舶振興会昭和54年度補助事業

研究資料No. 334

第 180 研究部会

石油備蓄タンカーの貨油、船体及び設備の保全に関する調査研究

報　告　書

昭和 55 年 3 月

社団法人
日本造船研究協会

はしがき

本報告書は、社団法人日本造船研究協会が財団法人日本船舶振興会の昭和５４年度補助事業として第１８０研究部会において実施した「石油備蓄タンカーの貨油、船体及び設備の保全に関する調査研究」の成果をとりまとめたものである。

第１８０研究部会委員名簿（敬称略、順不同）

(1) 委員会

部会長	平本文男（東海大学）		
副部会長	小山健夫（東京大学）		
委員	今村宏（石油公団）	牛島秀利（住友重機械工業）	
	斎藤隆一郎（石油公団）	翁長一彦（船舶技術研究所）	
	大島光義（日立造船）	川島正一郎（日本油脂）	
	柿原実（三井造船）	平野正治（日本油脂）	
	川田修（日本ペイント）	河村正昭（ジョンソンライン）	
	北川次郎（日本海事検定協会）	小林義久（大阪商船三井船舶）	
	小松陽（川崎重工業）	坂本昭弘（佐世保重工業）	
	佐野隆一（関西ペイント）	小林茂夫（佐世保重工業）	
	柴田清（石川島播磨重工業）	佐山昭彦（川崎汽船）	
	橋本武幸（三菱重工業）	堤弘（船舶艤装品研究所）	
	福山諭（日本郵船）	広田信義（中国塗料）	
	森川卓（日本船主協会）	藤本幸夫（日本鋼管）	
	山田慶蔵（石油備蓄タンカー管理機構）	山口勇男（日本海事協会）	

(2) 第１分科会

分科会長	福山諭（日本郵船）		
委員	明地重太郎（昭洋海運）	臼井勲（日本船主協会）	
	内山友義（日立造船）	翁長一彦（船舶技術研究所）	
	大迫勝久（三光汽船）	木村松雄（石油備蓄タンカー管理機構）	
	今泉仁（三光汽船）	荒木康男（石油備蓄タンカー管理機構）	
	坂本行夫（日本海事協会）	佐藤邦夫（日本郵船）	
	沢田堯芝（川崎重工業）	澤山恵一（石油公団）	
	山本正和（川崎重工業）	堀浩平（石油公団）	
	橋本武幸（三菱重工業）	余郷比呂志（山下新日本汽船）	

(3) 第２分科会

分科会長	河村正昭（ジョンソンライン）		
委員	荒牧幹雄（三菱重工業）	上田勝也（太平洋海運）	
	臼井勲（日本船主協会）	大島光義（日立造船）	
	木村松雄（石油備蓄タンカー管理機構）	熊田展郎（日本鋼管）	
	荒木康男（石油備蓄タンカー管理機構）		

	小池　強	（山下新日本汽船）	小屋誠二	（石油公団）
	澤山惠一 堀浩平	（石油公団）	高田視良	（石油連盟）
	堤　弘	（船舶艤装品研究所）	長田　修	（船舶技術研究所）
	畑中芳宣	（ジャパンライン）	原　明	（出光興産）
	松林英樹	（石油公団）	光山昌裕	（大洋商船）
	富瀬昭夫 角田稔	（ジャパンライン）	村山雄	（川崎重工業）
	山下三郎	（石川島播磨重工業）	山本卓司	（日本海事検定協会）
	吉田真哉	（三井造船）	渡辺恵嗣	（日本鉱業）

(4) 第3分科会

分科会長	小林義久	（大阪商船三井船舶）			
委員	荒牧幹雄	（三菱重工業）	伊東由人 松岡耕太郎	（飯野海運）
	臼井　勲	（日本船主協会）	大久保貞夫	（石川島播磨重工業）
	大谷安夫	（日本鋼管）	加藤正夫	（石油連盟）
	鐘ケ江官朗	（日立造船）	北村輝文	（日本石油）
	木村松雄 荒木康男	（石油備蓄タンカー管理機構）	小屋誠二	（石油公団）
	小山南昭 原淳	（三光汽船）	澤山惠一 堀浩平	（石油公団）
	鈴木臣和	（大阪商船三井船舶）	田中誠一	（川崎重工業）
	堤　弘	（船舶艤装品研究所）	長田　修	（船舶技術研究所）
	松林英樹	（石油公団）	松村幾敏	（日本石油）
	村上正美	（昭洋海運）	山崎　淳	（大阪商船三井船舶）
	山本卓司	（日本海事検定協会）		

(5) 第4分科会

分科会長	佐山昭彦	（川崎汽船）			
委員	阿部晃治 峰久節治	（日立造船）	池田　均	（日本海事協会）
	石田富之輔	（日本ペイント）	臼井　勲	（日本船主協会）
	木村松男 荒木康男	（石油備蓄タンカー管理機構）	坂本昭弘 松岡保晴	（佐世保重工業）
	澤山惠一 堀浩平	（石油公団）	嶋谷四郎	（三井造船）
	冨吉剋之	（川崎重工業）	中川敬三	（関西ペイント）
	橋本武幸	（三菱重工業）	浜田外治郎	（日本鋼管）
	日尾勇次	（太平洋海運）	平野正治	（日本油脂）
	広田信義	（中国塗料）	福永陽司	（飯野海運）
	松浦譲次郎	（川崎汽船）	松原寿治	（大洋商船）
	安見照久 神代和正	（住友重機械工業）		

（注）　途中交替委員は、前任者と後任者を併記した。

目　　次

まえがき …… 1

1. 荷役機器の不稼動期間中の保守整備に関する調査研究 …… 2
1.1 調　査 …… 2
1.1.1 備蓄タンカー等における荷役機器の保守整備の実状調査 …… 2
1.1.2 今後更に備蓄タンカーが増加する場合に備えフィードバック
すべき対策工事の調査 …… 2
1.2 対策の立案 …… 3
1.2.1 荷役機器保守整備基準の作成 …… 3
1.2.2 各種気体、液体中における機器の性能劣化及び腐食の調査研究
の必要性の検討 …… 8
1.3 あとがき …… 8
付属資料 1. 実船調査結果一覧表 …… 9
〃 2. 資料リスト …… 22

2. 備蓄に伴う原油スラッジの堆積と備蓄終了時の揚荷方法に関する調査研究 …… 23
2.1 調　査 …… 23
2.1.1 備蓄原油の一般性状 …… 23
2.1.2 原油スラッジと関連する用語の定義 …… 23
2.1.3 原油スラッジの発生・堆積の機構 …… 26
2.2 備蓄タンカーにおける原油スラッジの計測 …… 32
2.3 原油スラッジの堆積に関する模型実験 …… 72
2.4 原油スラッジ堆積の機構等についてのまとめ …… 108
2.4.1 備蓄タンカーにおけるスラッジ生成の機構 …… 108
2.4.2 スラッジ生成を防止する要因 …… 108
2.5 揚荷対策 …… 108
2.5.1 揚荷前の準備 …… 108
2.5.2 揚荷準備 …… 109
2.5.3 揚荷方法 …… 109
2.5.4 揚荷後のタンク洗浄により発生するスロップの回収 …… 110
2.5.5 揚荷対策のまとめ …… 110
参考資料 1. 陸上タンクの構造とスラッジ堆積の実績 …… 112
〃 2. 通常タンカーのスラッジ堆積の実績 …… 115

3. 備蓄タンカーからのベーパー発生の防止に関する調査研究 …… 116
3.1 ベーパー発生の理論 …… 116
3.1.1 ベーパー発生の原理 …… 117
3.1.2 ベーパー発生の要因 …… 119

3.2　一般タンカーのベーパー発生量及び大気拡散状況 …… 125
3.2.1　ベーパー発生量 …… 125
3.2.2　排出されたベーパーの拡散 …… 128
3.3　備蓄タンカーでのベーパー発生量 …… 137
3.4　ベーパー発生による貨油の性状変化 …… 183
3.5　ベーパー発生に関する基礎的データの調査 …… 203
3.6　備蓄タンカーにおける実験 …… 210
3.7　模型タンクによるベーパー発生実験 …… 241
3.8　ベーパーの処理方法の研究 …… 307
3.9　ベーパー発生防止対策 …… 314
3.9.1　タンカーで実施出来る対策 …… 314
3.9.2　その他の対策 …… 315

4.　錨泊又は漂泊中の船体の生物付着に伴う船舶機能低下の防止に関する調査研究 …… 316
4.1　調　査 …… 316
4.1.1　備蓄タンカーの塗装仕様、出渠後の経歴のアンケート調査 …… 316
4.1.2　備蓄タンカーの船底汚損状況の調査 …… 324
4.2　実験研究 …… 331
4.2.1　ブラッシ・フェンダーの作製 …… 331
4.2.2　水中清掃機の試作実験 …… 344
4.3　生物付着対策 …… 359
4.3.1　水中清掃の方法と時期及びシーチェスト、舵板、プロペラの防汚対策 …… 359
4.3.2　没水部塗装仕様 …… 360

ま　え　が　き

わが国の石油備蓄増強のため、昭和５３年度から石油公団による石油備蓄が実施されることになったが、恒久タンクによる備蓄体制が整うまでの暫定措置として、タンカーの活用による石油備蓄が行われることになった。これにより、昭和５３年秋から２０～２７万重量トンのタンカーそれぞれ１０隻により、長崎県橘湾において錨泊方式の、また本邦南方海域において漂泊方式のタンカー石油備蓄が開始された。

タンカー石油備蓄の実施に当っては、もとよりその安全適確な実施のための万全な措置がとられているものであるが、わが国では未経験のことでもあるので、石油備蓄タンカーの貨油、船体及び設備の保全について実態等を調査研究し、備蓄期間中あるいは備蓄終了時のための適切な対策を立案するなど、タンカー石油備蓄の円滑な実施に役立てることとした。

この調査研究は、

(1) 荷役機器の不稼動期間中の保守整備に関する調査研究

(2) 備蓄に伴う原油スラッジの堆積と備蓄終了時の揚荷方法に関する調査研究

(3) 備蓄タンカーからのベーパー発生の防止に関する調査研究

(4) 錨泊又は漂泊中の船体の生物付着に伴う船舶機能低下の防止に関する調査研究

の４項目について行うものであり、調査研究実施のため（社）日本造船研究協会に第１８０研究部会が設けられ、さらに調査研究を効果的に進めるため４項目ごとに分科会を設置した。すなわち、第１分科会は荷役機器関係を、第２分科会はスラッジ関係を、第３分科会はベーパー関係を、第４分科会は生物付着関係をそれぞれ分担した。

これらの調査研究の結果を以下第１章から第４章にわたって記述する。

1. 荷役機器の不稼動期間中の保守整備に関する調査研究

備蓄タンカーの不稼動期間中において荷役機器の機能を維持し、備蓄期間終了後の揚荷の際等に不都合を生じないためには、どのような保守整備を行えばよいか、次の方針で調査研究を行った。

まず、対象とする荷役機器として下記８項目を選定の上、備蓄タンカー船社各社の保守整備マニュアル等の指針類を調査検討して、対象機器についての備蓄タンカー荷役機器保守整備基準案をとりまとめた。

(イ) カーゴポンプ

(ロ) バラストポンプ及びライン

(ハ) 各バルブ類

(ニ) 油圧管系装置

(ホ) フロートゲージ油面測定装置

(ヘ) タンクリーニングマシン

(ト) イナートガス装置

(チ) カーゴコントロールルーム電気系統

ついで、橘湾錨泊の備蓄タンカーを訪船して保守整備状況の実状調査を行った。なお、今後さらに備蓄タンカーが増加する場合に備えフィードバックすべき事項についても検討を試みた。

以上の調査結果から、対策の立案として対象荷役機器について保守整備基準を作成した。なお、各種気体、液体中における機器の性能劣化及び腐食に関する調査研究の必要性の検討を試みた。以下各節にそれぞれの調査結果を述べることとする。

1.1 調　　査

1.1.1 備蓄タンカー等における荷役機器の保守整備の実状調査

(1) 資料の収集

まず、備蓄タンカー各船社がそれぞれ自社船に手渡している備蓄タンカー運航マニュアル等の指針類及び荷役機器類のメーカーリストの収集を行い、また参考資料として各船社で係船の経験がある社が出した保守整備基準、指針等及び各造船会社作成の係船マニュアル等を収集した。

これらの収集した資料のリストを本章末尾に付属資料２としてあげている。

(2) 資料の分析

調査対象とする荷役機器を抽出選定の上、機器別に上記諸資料について調査検討して備蓄タンカーにおける荷役機器保守整備基準の素案をとりまとめた。

(3) 実船調査

荷役機器の保守整備基準の素案がまとまった後、現在錨泊中の各船の実状調査の必要性が認められたので３班に分れ６隻について調査を行なった。

漂泊船についての調査については補給港に入るタイミングに合せることが困難なこともあり、また、漂泊船と錨泊船の荷役機器の稼動状況に関する差は主にＩＧＳの稼動の有無のみにつき漂泊船の調査は必要なしとして見合せた。

実船調査のデータは、本章末尾の付属資料 1. 実船調査結果一覧表の通りとりまとめた。

1.1.2 今後更に備蓄タンカーが増加する場合に備えフィードバックすべき対策工事の調査

今回の基準作成に当り今後の備蓄タンカーについてフィードバックすべき項目についてもその都度見直して来たが、機器の現状が調査不可能なものが多く、要すれば備蓄終了後の入渠工事の状況を調査した上

最終的な結論を出すべきと思われたので、この項目については特別なリコメンドは差しひかえたい。

1.2 対策の立案

1.2.1 荷役機器保守整備基準の作成

実船調査結果にもとづき荷役機器の保守整備基準案の見直しを行い、検討の結果、「備蓄タンカーにおける荷役機器保守整備基準」を次のとおり作成した。

備蓄タンカーにおける荷役機器保守整備基準

1. カーゴポンプ及びバラストポンプ

No.	保守点検内容	点検間隔
1	蒸気配管、蒸気調整弁ケーシング、タービンケーシング及び排気側配管のドレン弁を開け完全にドレン抜き後、ドレン弁復旧。	1回／2週
2	L.O通油しポンプシャフトを手動ターニングする。	1回／2週
3	潤滑油サンプタンクのドレンコック又はプラグから油を取出し、油中に異物及び水分混入の有無あるいは自然老化していないか調査する。	1回／3ケ月
4	ウッドワードガバナーの防錆のためガバナー油又はタービン油を上部まで充満させておく。 再運転する場合は、下部ドレンコックノーマルレベルに戻すこと。	
5	L.Oクーラーの冷却海水を抜いておく。	
6	ポンプケーシングのエアー抜き弁、ドレン抜き弁、吸入側ゲージ元弁及び吸入ストレーナー、エアー抜き弁、ドレン抜き弁を開放してドレンを完全に切り、自然乾燥させることが望ましいが実際上困難につき満水又は満油状態とする。	
7	シャフト及びシャフトシール部に防錆グリース塗布し腐食の有無点検	1回／月
8	ギヤーカップリングのL.O交換	1回／年
9	軸受グリースアップ	1回／6ケ月
10	手動ターニング時メカニカルシールのリーク点検	1回／2週

2. ストリッパーポンプ

No.	保守点検内容	点検間隔
1	スチームシリンダー、バルブチェスト及び蒸気排気ラインのドレン抜き施行	1回／月
2	スチームピストンロッド、バルブロッド及びロッキングレバー等に防錆グリース塗布	1回／月
3	ターニング程度の空運転による運転テストを行う。	1回／月

3. 各バルブ類

No.	保守点検内容	点検間隔
貨油バラスト弁（油圧、手動）		
1	油圧弁開閉作動確認 （下記項目3に掲げた弁は除く）	1回／月
2	手動弁開閉作動確認 （下記項目3に掲げた弁は除く）	1回／月
3	通常船外弁、隔壁弁等、海洋汚染防止及び貨油の混合の面で問題のある弁は閉とし、それらの弁の閉鎖を確認する。 （要すれば手動弁は閉で固縛、油圧弁はコンソールパネル上テープで封印し、これらの弁の開閉は行なわない。）	1回／月　確認
4	貨油の膨張による弁、フランジの損傷防止のため適切な弁を微開しておくか、もしくは定期的に漏洩点検を実施する。 （例：DIRECT FILL. VALVE 等短区間内に貨油が密閉されないよう、又、温度変化の激しい上甲板のPIPE LINEにはAIR SPACEを設けておく）	1回／月　確認
ブリザー弁		
1	整備点検、グリース塗布、開閉作動確認 ※注）各船のやむを得ぬ事情により、本間隔をkeepできない場合は1回／6ケ月まで延ばしてもよい。但し、この場合には、貨油タンク内の圧力を定期的に計測し、異常のないことを確認するものとする。	1回／月　※注）

4. 油圧管系装置

No	保守点検内容	点検内容
1	油圧ポンプ、ローカルコントロールスタンド等機械加工面、摺動部、回転部にグリース塗布しておく。	1回／月
2	モーター、スターター、電磁弁等電気機器のメガーテスト実施	1回／月
3	油圧ポンプ運転作動確認 （可能な限り全弁を開閉させる） ・運転前に油タンク内の水分を除去する。 ・運転時、配管、機器内の空気抜きをする。 ・運転終了時にはアキュムレーター内ＢＡＧ損傷防止のためアキュムレーターに蓄圧後ＳＴＯＰ弁を閉としておく。	1～2回／月 適宜 作動不良時に実施
4	油圧ポンプユニット油量の目視確認	1回／月
5	アキュムレーターN_2ガス圧力確認	1回／6ケ月

5. フロート式液面計

No	保守点検内容	点検間隔
1	長期間使用しない場合は、フロートを巻上げ固定ハンドルを上げてフロートをロックしておく。	備蓄係給時
2	操作盤より液面測定の総合動作確認を行なう。 機械各部への注油、動作部、摺動部のスティック防止、指示計の状況確認、防水カバーなど各部点検を行なう。	1回／1～3ケ月
3	絶縁抵抗の点検測定	1回／3ケ月

6. タンククリーニングマシン

No	保守点検内容	点検間隔
1	回転部分のスティック防止 ノズルユニットが原油に浸っていない場合は、ノズルユニットをトルクレンチで回転させトルクを計測してスティックしていないかCHECKする。また、回転回数は平均10回ぐらい行なう。 （但し、原油に浸っている場合は不要）	

No	保　守　点　検　内　容	点検間隔
	備考 ： 各メーカにより目安となるトルク値が異なるので要注意 新 倉 工 業：200kg-cmまでならば正常 タイホー工業：80kg-cmまでならば良い。 （但しSTART時は150kg-cmぐらいになる） 三鈴マシナリ：具体的数値はないが回転させることにより摺動部をなじませる。	
2	ギヤーケース内にグリース補給	
3	駆動機の保護 a）駆動機が取外せる場合には取外してマシン油に浸して倉庫に保管する。 b）駆動機が取外せない場合には駆動部をトルクレンチで回転させて回転をスムーズにする。	
4	移動式マシンは本体清掃して倉庫保管	
5	駆動部がDECK上に出ないTYPEのもの（例　巴工業） DECK吊下げTYPEのものについてはノズル部が原油に浸っている場合は放置しておいても良いが1回／4ケ年ぐらいにDOCK工事としてOVER HALLして通水部およびノズル部分を清掃する。	

7. イナートガス装置

No	保　守　点　検　内　容	点検間隔
	・錨泊中はIGSのMake-Upを一切行わない。 ・漂泊中は原油ベーパー発生を出来るだけ少くするため、タンク内圧を約700mmAq以上に確保するようIGのMake-Upを行う。 なお、この機会を利用して全体の性能把握を行う。	
1	スクラバー ・内部を清水にて十分水洗した後、自然乾燥を行う。 ・同時にゴムライニングのハクリや腐食などの点検を行う。 ・目視確認	 錨泊開始時 錨泊開始時 1ケ年
2	ブロワー ・内部を清水にて十分水洗した後、自然乾燥を行う。 ・同時にインペラおよびケーシングの腐食などの点検を行う。 ・目視確認 ・手動ターニング	 錨泊開始時 錨泊開始時 1ケ年 1ケ年

No	保守点検内容	点検間隔
3	バタ弁	
	• 目視確認	1ケ月
	• 開閉作動チェック	1ケ月
	• グリースアップ	適宜
4	リサーキュレーション弁	
	• 目視確認	1ケ月
	• 開閉作動チェック	適宜
	• グリースアップ	適宜
5	コントロール安全装置	
	• 目視確認	1ケ月
	• エヤーフィルター等ドレン抜き	1ケ月
6	スクラバーポンプ	
	• 目視確認	1ケ月
	• 手動ターニング	1ケ月
7	デッキシール	
	• シール水のレベル確認	1ケ月
8	ブリーザー弁	
	• 点検・整備および記録	1ケ月
9	圧力制御弁	
	• 目視確認	1ケ月
	• 作動確認	適宜
	• グリースアップ	適宜

8. カーゴコントロールルーム電気系統等

No	保守点検内容	点検間隔
1	危険場所の電気機器及び電路の点検、絶縁抵抗の測定	1回／2週～3ケ月
2	暴露部敷設電線の点検（目視）	1回／6ケ月
3	上甲板電線管及び電線管接続箱の点検及びドレン抜き	1回／6ケ月
4	コントロールコンソールの内部の清掃、点検及び配線端子の増締め	1回／1～6ケ月

1.2.2　各種気体・液体中における機器の性能劣化及び腐食の調査研究の必要性の検討

備蓄タンカーにおいて液体または気体中にある荷役関係機器は備蓄中には状況調査ができなかったので性能劣化、腐食の調査研究は事実上不可能であった。入渠時調査の上、劣化、腐食の大きいものが発見されれば改めて研究の必要性の要否を検討すべきであろう。

1.3　あとがき

荷役機器の保守整備というテーマについて与えられた少ない時間に調査をすゝめてきたが、タンカーを備蓄用に提供した各船社も十分にその対策を立案されており、多少のバラツキは散見されたが、ほとんど同じような整備がなされていると見て差支えないと思われる。備蓄タンカーというわが国では未経験なことであったが万全な体勢で備蓄が完了されるものと期待される。

最終的には備蓄終了後の入渠時において各機器の状況調査を行う機会があればより完全な基準が完成されるものと思う。

付属資料1　実船調査結果一覧表

(4)　カーゴポンプ及びストリッパーポンプ

基　準　案		A　丸		E　丸		F　丸		G　丸		H　丸		I　丸	
保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔
(カーゴポンプ) 1. 蒸気配管、蒸気調整弁ケーシング、タービンケーシング及び排気側配管のドレン弁を開けて完全にドレン抜き後ドレン弁復旧		蒸気管はドレントラップにより自動排出型となっている。 調整弁ケーシングはターニングの際ドレン切り行なう。	1回/週	案と同じ	1回/月	案と同じ	1回/15日	案と同じ		ドレン弁常時開弁状態としている。		ドレン弁は常時開放している。ターニングの際確認する。	1回/5日
2. ポンプケーシングのエヤー抜き弁、ドレン抜き弁、吸入側ゲージ元弁及び吸入ストレーナー、エヤー抜き弁、ドレン抜き弁を開放してドレンを完全に切り自然乾燥させる。しかる後各弁を復旧		ドレン切りは行っていない。 弁開閉テストの都度海水が流れ込みドレンは相当量でるのでスロップ増加を来たす。自然乾燥は期待できない。 ポンプは半水状態。		案と同じ	1回/月	施行せず		案と同じ		ポンプケーシング内荷油にて充満状態にしている。		ドレン切りは行っていない。 タンク壁付弁まで開閉テストしているのでポンプルームパイプ内に油が混っている。ドレンを抜けば、スロップ増加が問題、ポンプは満水状態	
3. シャフト及びシャフトシール部に防錆グリス塗布し腐食の有無点検	1回/月	中間シャフト軸受すみ、それ以外シール部などに防錆グリース塗布	1回/月	案と同じ	1回/月	海書に入るとき施行。その後施行しない。		案と同じ	1回/15日	案と同じ	点検後必要認められば 1回/月	中間シャフトは防錆グリース塗布、シール部はニップルより注油	1回/6カ月
4. LO両油し、ポンプシャフトを手動ターニングする。	1回/2週	案と同じ	1回/月	案と同じ	1回/15日	案と同じ	1回/週	案と同じ	1回/15日	案と同じ	1回/週	案と同じ	1回/5日
4' 通気供連連転を行う。	1回/2週	危険につき行っていない。						400r.p.m 上昇したらすぐ止める(3分程度)	1回/15日	行っていない		行っていない	
5. ギヤーカップリングのLO交換	1回/年	ギヤカップリングにはLOは入っていない。		案と同じ	1回/年	春の点検	1回/月	グリース塗布	1回/6カ月	案と同じ	1回/年	ギヤーカップリングにはLOは入ってない。	

基　準　案		A　丸		E　丸		F　丸		G　丸		H　丸		I　丸	
保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔
6. 軸受グリース交換	2000時間又は1回／年	年1回補給で充分と考える。		不　要		不　要		グリース・アップ	1回／6ヶ月	補油を行っている。	1回／年	1回／5日のターニング頻度であるからグリース交換は不要	
7. メカニカルシール ポンプの空運転はシール面の異常摩耗を起こすので行ってはならない。 手動ターニングは差支えない。		メーカーの取扱説明書による注意事項として行記する。		遮断弁の作動テスト	1回／15日	遮断弁の作動テスト	1回／週	油分がないので400r.p.mまで上昇させてすぐ止める。	1回／15日	ポンプケーシング内荷油にて充満状態にしている。		メーカーの取扱説明書による注意事項として行記する。	
(ストリッパーポンプ) 1. スチームシリンダー、バルブケースト及び蒸気、排気ラインのドレン抜き施行		案と同じ	1回／月	案と同じ	1回／月	案と同じ	1回／月	案と同じ	1回／15日	常時ドレン弁開放		ドレン弁は常時開放している。 運転テストのとき確認	1回／月
2. スチームシリンダーカバーを開放清掃後シリンダー内面及びスチームピストンにシリンダー油を塗布し復旧		注油不要の構造となっている。開放作業が大変なので開放清掃は行っていない。		当初施行したまま		施行せず		案と同じ	備書前に施行	カバー開放内部点検	1回／年	蒸気筒は無注油となっており、カバー開放シリンダー油塗布に行っていない。	
3. バルブチエストを開放し内部清掃後ピストンバルブ及びライナーにシリンダー油を塗布し復旧		実施していない 1回／6ヶ月位開放整備が必要と考える。		当初施行のまま		当初施行のまま		案と同じ	備書前に施行	実施していない 開放点検時状況み て判断		実施していない。	
4. スチームピストンロッド、バルブロッド及びロッキングレバー等に防錆グリースを塗布		案と同じ	1回／月	案と同じ	1回／月	案と同じ (シリンダオイル塗布)	1回／月	案と同じ	備書前に施行	案と同じ	適時	案と同じ	1回／月
5. ポンプ側も水を完全に抜き出し清掃		カーゴポンプの場合と同様自然乾燥が難しいので水切りは行ってない		案と同じ	1回／月	施行せず		案と同じ		実施していない。		満水のままとしている。	
6. ターニング程度の空運転による運転テストを行う。	1回／月	通気運転テストを施行今後の問題としてエヤーによる運転テストできるように配管の取付が良いと考える。	1回／月	案と同じ	1回／月	案と同じ	1回／月	運転すればラインを汚すし外へも出せない。前項通り錆止めもしているので運転テストはしない方が良い。揚地へ向う時にやれば充分		実施していない。		通気運転テスト施行	1回／月

(6) バラストポンプ及びライン

基準案		A丸		E丸		F丸		G丸		H丸		I丸	
保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔
1. 蒸気起首、蒸気加熱弁ケーシング、タービンケーシング及び排気側起首のドレン弁を開けドレンを完全に切る。ドレン抜き後は必ずドレン弁を締めること。		カーゴポンプと同じ。調整弁ケーシングはターニングの際ドレン切りを行う。	1回/週	案と同じ	1回/月	案と同じ	2回/月	案と同じ		ドレン排出後ドレン弁常時開弁状態		カーゴポンプと同じ。ドレン弁は常時開放している。ターニングの際確認している。	1回/5日
2. ポンプケーシングのドレンプラグ又は吸入側ゲージ元弁を取り外しドレンを完全に切る。又吸入、吐出ラインのドレンも抜く。ドレン抜き後は必ずドレンプラグ又はゲージ元弁を装備しておくこと。		ドレン切りは行っていない。ポンプは半水状態		案と同じ		施行せず		機側ドレンは開けている。		ポンプケーシング内満水保有している。		ドレン切りは行っていない。ポンプは満水状態	
3. 錆の発生を最も恐れるところは軸のジャーナル面及びスラストカラー面と各歯車（減速歯車等）の歯面である。防錆のためL.Oプライミングポンプを運転して減速歯車及びジャーナル面へ給油2～3回ターニングを行うこと。	1回/週	案と同じ	1回/週	案と同じ	2回/月	案と同じ	1回/週	案と同じ	1回/15日	案と同じ	1回/週	案と同じ	1回/5日
4. 潤滑油サンプタンクのドレンコック又はプラグから油を取出し、油中に異物及び水分が混入したりあるいは自然老化していないか確認すること。	1回/2～3ヶ月	案と同じ	1回/6ヶ月	施行せず		ドレン抜き施行	1回/2～3ヶ月	案と同じ	1回/15日	サンプリングにて判断している。	1回/6ヶ月	ターニングの都度ドレン切り点検を行っている。	1回/5日

基準案		A丸		E丸		F丸		G丸		H丸		I丸	
保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔
5　ウッドワードガバナーの防錆のためガバナー油又はタービン油を油面計上部レベルまで充満させておくこと。 4ケ月以上休止期間がある場合は4ケ月毎に1回油を一度ガバナーの最上部まで充満させ、上部側の各部品に油をつけた後、下部ドレンコックにて前記の油面まで油を抜くこと。 但し休止期間後再運転する場合はガバナーの空気抜きを行なうと共に各トリップ装置の作動を確認のこと。	1回／1ケ月	案と同じ	1回／4ケ月	現在のところ実施していないが今後実施する		現在のところ実施していないが今後実施する		１５日に１回テストする。 油面はノーマルとしている。	1回／15日	油面点検と運転前に安全装置の作動テスト施行	1回／4ケ月	案と同じ	1回／4ケ月

(ニ) 油圧管系装置

基準案		A丸		E丸		F丸		G丸		H丸		I丸	
保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔
1. 油圧ポンプ、ローカルコントロールスタンド等，機械加工面、摺動部、回転部にグリース塗布しておく。	1回/月	基準案通り	1回/月	基準案通り	1回/月	基準案通り	2～3回/年	基準案通り	2回/月	基準案通り	1回/月	基準案通り	1回/月
2. モーター、スターター、電磁弁等電気機器のメガーテスト実施	1回/月	メガーテストは不実施。并開閉テスト時グランドテストボタンで確認	1回/月	基準案通り	2回/月	基準案通り	1回/年 その他不定期で2～3回	○Eng. roomのメガー計で連続監視 ○異常あれば個別チェック	連続	基準案通り	1回/月	機関室のアースチェックにより全体的に確認	1回/月
3. 油圧ポンプ運転作動確認（可能な限り全弁を開閉させる）	1～2回/月	基準案通り	1回/週	基準案通り	1回/月	基準案通り	1回/月	基準案通り	2回/月	基準案通り	1回/月	基準案通り	1回/月
○運転前に油タンク内の水分を除去する。	適宜	定期的には行なわない。		水分なし		水分なし		－		基準案通り		基準案通り	
○運転時配管、機器内のAIR抜きをする。	作動不良時に実施			毎回は実施せず		毎回は実施せず		－		－		－	
○運転終了時にはアキュムレーター内BAG損傷防止のためアキュムレーターに蓄圧後STOP弁を閉としておく。		アキュムレーター圧を残しておきSTOP弁は開とする（異常圧力低下により不具合ケ所の点検に役立つ）		加圧維持		加圧維持		－		－		作動圧＝60kg/cm²を30～40kg/cm²位にし、STOP弁を閉	
4. 油圧ポンプロニット油量の目視確認	1回/月	基準案通り	1回/月	基準案通り	1回/月	基準案通り	1回/月	基準案通り	2回/月	基準案通り	1回/月	基準案通り	1回/月
5. アキュムレーターN_2ガス圧力確認	1回/6ケ月	基準案通り	定期的にはやらない	基準案通り	1回/週	基準案通り	1回/6ケ月	基準案通り	2回/月	基準案通り	1回/6ケ月	実施せず	－

(ハ) 各 バ ル ブ 類

基準案		A 丸		E 丸		F 丸		G 丸		H 丸		I 丸	
保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔
貨油、バラスト弁（油圧、手動） 1. 油圧弁開閉作動確認 （下記項目3に掲げた弁は除く）	1回／月	○隔壁弁及びタンク内バイパス弁は開閉のまま、他基準案通り	1回／月	基準案通り	1回／月	基準案通り	1回／月	基準案通り	1回／月	基準案通り	1回／月	基準案通り	1回／月
2. 手動弁開閉作動確認 （ 〃 〃 ）	1回／月	○ユニバーサルジョイント付弁 他基準案通り	2回／月 1回／月	基準案通り	1回／月	基準案通り	1回／月	基準案通り	1回／月	基準案通り	1回／月	基準案通り	1回／月
3. 通常、船外弁、隔壁弁等、海洋汚染防止及び貨油の混合の面で問題のある弁は閉とし、それらの弁の閉鎖を確認する。 （要すれば手動弁は閉で固縛、油圧弁はコンソールパネル上テープで封印し、これらの弁の開閉は行なわない。）	1回／月 確認	○シーチェストはキーロック方式にてC/Oがキー保管 ○船外弁は盲板施工 ○その他基準案通り	1回／月 確認	基準案通り	1回／月 確認	基準案通り	1回／月 確認	基準案通り	1回／月 確認	マーキング確認	－	○船外弁、中間弁の手動弁については固縛、他基準案通り	－
4. 貨油の膨張による弁、フランジの損傷防止の為適切な弁を微開しておくか、もしくは定期的に漏洩点検を実施する。 （例：DIRECT FILL. VALVE等、短区間内に貨油が密閉されない様又温度変化の激しい上甲板のPIPE LINEにはAIR SPACEを設けておく）	1回／月 確認	○微開はしていない。 開閉テストのみ実施 （1回／月）	－	基準案通り	1回／月 確認	基準案通り	1回／月 確認	基準案通り	1回／月 確認	○微開にしていない。	1回／月 確認	○微開はしていない。 ○弁開閉テスト後ボイドスペースより漏洩点検	1回／月
プリザー弁 1. 整備点検、グリース塗布、開閉作動確認 ＊各船のやむを得ぬ事情により点間隔をKeepできない場合は1回／6ケ月まで延ばしてもよい。但し、この場合には、貨油タンク内の圧力を定期的に計測し、異常のないことを確認することにする。	1回／月＊	基準案通り	1回／月	基準案通り	1回／6ケ月	基準案通り	1回／6ケ月	基準案通り	1回／6ケ月	○作動確認 ○他基準案による	1回／月 1回／6ケ月	基準案通り	1回／2～3ケ月 海事検定協会記録提出毎に確認

(4) フロート式液面計（中北製作所製フロート式液面計）

基準案		A丸		E丸		F丸		G丸		H丸		I丸	
保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔
1. 長期間使用しない場合はフロートを巻き上げ、固定ハンドルを上げてフロートをロックしておく。	保管保船時			基準案通り		基準案通り				基準案通り			
2. 本体および本体端子箱カバーを外し防水状態を確認する。	1回/年			基準案通り	1回/6ヶ月	施行せず				基準案通り	1回/6ヶ月		
3. 外部取付オジおよび結線端子オジのユルミ点検	1回/年			基準案通り	1回/6ヶ月	施行せず				基準案通り	1回/6ヶ月		
4. 本体外国塗装の確認	1回/3ヶ月			常時目視	常時	常時目視	常時			常時目視	常時		
5. 現場指示窓ガラスの点検	1回/3ヶ月			基準案通り	常時	基準案通り	1回/月			基準案通り	1回/月		
6. 電線の絶縁の測定（電線のみ）10 MΩ以上	1回/3ヶ月			基準案通り	2回/月	施行せず				基準案通り	1回/3ヶ月		
7. 充電器油面計レベルの点検	1回/3ヶ月			基準案通り	1回/月	基準案通り	1回/月			基準案通り	1回/3ヶ月		
8. 機械内部の注油および"O"リング等の硬化を防ぐため操作盤より巻上げ、測定を行ない総合動作の確認を行なう。	1回/3ヶ月			基準案通り	1回/月	基準案通り	1回/月			基準案通り	1回/月		

(4) フロート式液面計（東京計器製フロート式液面計）

基準案		A丸		E丸		F丸		G丸		H丸		I丸	
保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔
1. 長期間使用しない場合はフロートを巻き上げ、固定ハンドルを上げてフロートをロックしておく。	備蓄係船時	基準案通り						基準案通り				基準案通り	
2. オイルバスのオイル量、常にFULLにしておく。（清掃およびオイル交換）	同上	オイルの補充のみ	1回/月					点検時補充				点検時補充	
3. 機械室内の原油ベーパー付着状況の点検清掃	1回/3ヶ月	特に行なっていない（夏期をさけ1回/6ヶ月ぐらいが良い）						特に行なっていない				特に行なっていない	
4. 現場指示器窓ガラスの汚れおよびワイパーハンドルのスティック状態の点検	1回/月	基準案通り	1回/月					油量計測の都度行なっている。	1回/月			基準案通り	1回/月
5. フロート固定ハンドルのスティック状態の点検	1回/月	フロート作動確認時に行なっている	1回/月					同上	1回/月			フロート作動確認時に行なっている。	1回/月
6. 発信器貫通軸の汚れ点検および清掃	1回/月	実施していない（DOCK工事）						実施していない（DOCK工事）				実施していない（DOCK工事）	
7. 機械室・電気室等開口部のガスケット弾性点検	1回/1~1.5年	施行せず（DOCK工事）						施行せず（DOCK工事）				施行せず（DOCK工事）	
8. ガイドワイヤ保持器内部のグリス塗布	同上	同上						同上				同上	
9. フタ合せ面、ボルト類のグリス塗布	同上	点検の都度						点検の都度				点検の都度	
10. 電線端子ネジのユルミ点検	1回/1~1.5年	実施せず（必要なし）						点検の都度				実施せず（必要なし）	
11. 機械室、電気室間の貫通軸シール、"O"リングの交換	1回/3年	DOCK工事と考える。						DOCK工事と考える。				DOCK工事と考える。	

(ハ) タンククリーニングマシン（新倉工業製タンククリーニングマシン）

基準案		A丸		E丸		F丸		G丸		H丸		I丸	
保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔
1. 回転部分のスティック防止 ノズルユニットが原油に浸っていない場合は、ノズルユニットをトルクレンチで時計回りに10回転させる。 （但し、原油に浸っている場合は不要） ○回転トルクは200kg・cmぐらいが正常。 ○回転トルクが200kg・cm以上の時は、時計回りに回転させ摺動部をなじむ様にする。 ○トルクが920kg・cm以上の時は引き抜いて点検する。	1回／3ヶ月	基準案通り 最も重いもので160kg・cm。 軽いもので70～80kg・cmぐらいが普通	1回／月			基準案通り トルクは 50～120kg・cmぐらい	1回／10日			基準案通り	1回／月		
2. ドライブシャフトのグランド部に注油する。	1回／月	出来ない				注油せず				注油せず			
3. ギヤーケース内にクリース補給	1回／3ヶ月	基準案通り実施	点検の都度			点検のみ	1回／3ヶ月			点検のみ	1回／3ヶ月		
4. 駆動機の保護 長期間使用しない場合は取外してマシン油に浸して倉庫に保管しておく。	－	基準案通り				基準案通り 取外し保管中				基準案通り			
5. 移動式マシンは、本体を清掃して倉庫に保管しておく。	－	基準案通り クリース塗布して倉庫に保管				就上保管				基準案通り			

(ハ) タンククリーニングマシン（巴工業製タンククリーニングマシン）

基準案		A丸		E丸		F丸		G丸		H丸		I丸	
保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔
1. 備蓄船でノズル部が原油に浸っている場合は放置しておいても良い。				基準案通り放置している				基準案通り放置している				基準案通り放置している	
2. マシンを使用するしないに拘わらずOVERHAULして通水部およびノズル部を清掃する。	1回／4年			-				-				-	

(5) イサートガス装置 (1/2)

基準案		A丸		E丸		F丸		G丸		H丸		I丸	
保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔
・鋼泊中型IGSのMake-Upを一切行わない。 ・鋼泊中型原油ベーパー発生をできるだけ少くするため、タンク内圧を約700mmAq以上に確保するようIGのMake-Upを行う。 なお、この機会を利用して全体の計能補償を行う。	－ －	案と同じ	－	IGSの装備なし		案と同じ 運転テスト1回／月施行、IGはスロップタンクへ	－	案と同じ タンク内ガスサンプリング。タンク内温度計測 1回／月	－	案と同じ	－	案と同じ	－
1 スクラバー													
・内部を清水にて十分水洗した後、自然乾燥を行う。	鋼泊開始時	案と同じ	案と同じ			案と同じ	1回／月（運転テスト後）	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ
・同時にコムライニングのハクリや腐食などの点検を行う。	鋼泊開始時	案と同じ	案と同じ			案と同じ	1ヶ年毎	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ
・目視確認	1ヶ年	案と同じ	適宜実施コムライニングのハクリ散在がみられた			案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ
2 ブロワー													
・内部を清水にて十分水洗した後、自然乾燥を行う。	鋼泊開始時	案と同じ	案と同じ			案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ
・同時にインペラおよびケーシングの腐食などの点検を行う	鋼泊開始時	案と同じ	案と同じ			案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ
・目視確認	1ヶ年	案と同じ	適宜実施			案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	1回／3ヶ月	案と同じ	1回／6ヶ月
・手動ターニング	2週間	案と同じ	1回／週			運転テスト	1回／月	案と同じ	案と同じ	案と同じ	1回／3ヶ月	案と同じ	案と同じ
3 バラッチ													
・目視確認	3ヶ月	案と同じ	1回／月			案と同じ	1回／月	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	1回／月
・開閉作動チェック	3ヶ月	案と同じ	1回／月			案と同じ	1回／月	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	1回／月
・グリースアップ	3ヶ月	案と同じ	都度固いとき			案と同じ	1回／月	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	都度固いとき
4 ブリーバレーション弁													
・目視確認	3ヶ月	案と同じ	案と同じ			案と同じ	1回／月	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ
・開閉作動チェック	3ヶ月	不施行	不施行			案と同じ	1回／月	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	不施行
・グリースアップ	3ヶ月	不施行	不施行			案と同じ	1回／月	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	不施行

(h) イナートガス装置（2／2）

基準案		A丸		E丸		F丸		G丸		H丸		I丸	
保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔
5. コントロール安全装置				IGS(7)装備なし									
・目視確認	1ケ月	案と同じ	案と同じ			案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	1回／3ケ月	案と同じ	案と同じ
・エヤーフィルター等ドレン抜き	1ケ月	案と同じ	案と同じ			案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	1回／3ケ月	案と同じ	案と同じ
6. スクラバーポンプ													
・目視確認	3ケ月	案と同じ	1回／月			案と同じ	1回／月	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ
・手動ターニング	3ケ月	案と同じ	1回／月			案と同じ	1回／月	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ
7. デッキシール													
・シール水のレベル確認	1ケ月	案と同じ	案と同じ			案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	1回／3ケ月	案と同じ	案と同じ
8. ブリーザー弁													
・点検・整備および記録	6ケ月	作動確認	1回／月			不施行	不施行	案と同じ	案と同じ	案と同じ	1回／3ケ月	作動確認	1回／月
9. 圧力制御弁													
・目視確認	3ケ月	案と同じ	1回／月			案と同じ	1回／月	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	1回／月
・作動確認	3ケ月	不施行	不施行			案と同じ	1回／月	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	不施行	不施行
・クリーンアップ	3月	不施行	不施行			案と同じ	1回／月	案と同じ	案と同じ	案と同じ	案と同じ	不施行	不施行

(3) カーゴコントロールルーム電気系統等

基準案		A丸		E丸		F丸		G丸		H丸		I丸	
保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔	保守点検内容	点検間隔
1 危険場所の電気機器及び電路の点検、絶縁抵抗の測定並びに記録	1回/0.5~3ヶ月	グランドテストボタンにより確認し、特に記録せず	1回/月		1回/2週		1回/年	機関室で連続監視、異常があれば個別にチェック			1回/3ヶ月	随時機関室でチェック	
2 基礎部数設電線の点検整備	1回/6ヶ月	露出部が少ないので目視のみ		目視による	1回/6ヶ月	目視による	1回/6ヶ月				1回/3ヶ月	目視のみ	
3 上甲板電線管及び電線管接続箱の点検及びドレン抜き	1回/6ヶ月		1回/6ヶ月	目視による ドレン抜きは施行しない。	1回/6ヶ月	目視による ドレン抜きは施行しない。	1回/6ヶ月	ドレンが入れば自動的に抜けるようになっている。			1回/3ヶ月		1回/6ヶ月
4 コントロールコンソールの内部の清掃、点検及び配線端子の増締	1回/3~6ヶ月	乾燥目的でコンソール扉を開放のため掃除機により清掃。	1回/月		1回/6ヶ月	施行せず		作動テストの時に施行			1回/3ヶ月	施行せず コンソール扉締切り	
5 電動機のターニング	1回/月	1回/月のテスト時の運転で充分である。		定期的に運転	1回/月	定期的に運転	1回/月		2回/月		1回/3ヶ月	1回/月のテスト時の運転で充分である。	
注： (1) 貨物油コントロールルーム内のコントロールコンソール、コントロールパネル類は、ビニールシートで包装し、内部にシリカゲルを封入する。 (2) 防滴形の荷油弁油圧ポンプ駆動電動機は、ビニールシートで包装し、内部にシリカゲルを封入する。あるいはヒートランプを取付ける。		(1)及び(2)は係船時の仕様につき不要		(1)及び(2)は必要としない。		(1)及び(2)は必要としない。		カーゴコントロールルームは空調されているので(1)及び(2)は実施していない。		(1)及び(2)は必要性認めず。		(1)及び(2)は係船時の仕様につき不要	

付属資料２　資 料 リ ス ト

1. 「石油備蓄タンカー運航マニュアル」、「保守・点検基準」、「係船中の船体・機器類に関する保守整備基準」、「メーカーリスト」　（日本郵船）
2. 「備蓄船荷役機器保守整備並びに運転基準」、「備蓄船荷役機器メーカー一覧表」　（ジャパンライン）
3. 「メーカーリスト表」、「船体、機関等諸設備、機器類の運用等に関する留意事項」　（商船三井）
4. 「石油備蓄タンカーの荷役機器のメーカーリスト」、「備蓄対策（甲板部）」　（川崎汽船）
5. 「光珠丸荷役機器メーカーリスト」、「点検整備要領（タンカー荷役関連装置）」　（山下新日本）
6. 「備蓄船全船に手渡し済の"備蓄タンカー管理指針"」「Lay Up船へのMaintenance指示例」　（三光汽船）
7. 「船内各部保守整備ならびに機器運転基準より抜粋」、「備蓄期間中における荷役機器の保守整備記録」　（昭洋海運）
8. 「洋和丸荷役機器メーカー一覧表」、「保守整備マニュアル抜粋」「大形タービン船機関部点検マニュアル」　（太平洋海運）
9. 「慶洋丸メーカーリスト」、「備蓄中の保全整備要領」　（大洋商船）
10. 「備蓄タンカー東邦丸漂泊時機器諸注意点」、「荷役装置要目表」　（飯野海運）
11. 「係船マニュアル抜粋」　（三菱重工）
12. 「２６０型Turbine Tanker Instruction Manual for Lay-Up Procedure」　（日立造船）
13. 「Lay-Up時に於る荷役機器の保守要領（含メーカーリスト）」　（川崎重工）
14. 「耐圧防爆形灯具の損傷件数、耐圧防爆形電気機器の船内検査要領」　（ＮＫ）

2. 備蓄に伴う原油スラッジの堆積と備蓄終了時の揚荷方法に関する調査研究

原油を長期間貯蔵すると、底部に一般にスラッジといわれる粘稠な物質や固形物が堆積する。通常の輸送に従事している原油タンカーでは、出荷してから次の入荷までの１～２年間、特別のスラッジ除去作業を行わずに何等支障なく揚荷を行っているのが一般的である。

この実績からして、約2年間の長期備蓄の終了時の揚荷も支障なく行われるものと思われるが、何分にも日本で初めての試みであり、より万全を期するため、スラッジの堆積のメカニズムおよび堆積の実態に対応した揚荷方法を調査研究することとした。

調査研究にあたっては、文献・資料等を探索し、これを参考にしてスラッジ堆積のメカニズムを探る一方、実際の備蓄に従事しているタンカーのスラッジの堆積高さを定期的に計測して時間的な変化の傾向を知ることとした。また、原油を陸上の実験タンクに所定日時静置して堆積したスラッジの高さを計測するとともに、そのスラッジと備蓄タンカーから採取したスラッジの双方について分析試験を行い、垂直的な性状をも知ることとした。これらのことから、備蓄タンカーのスラッジ堆積のメカニズムを解明し、備蓄終了時のスラッジの堆積を予測し、それに応じた揚荷方法を考究することとした。

2.1 調　　査

2.1.1 備蓄原油の一般性状

今回の備蓄原油は、アラブ首長国連邦、イラク、イラン、オーマン、カタール、クウェート、サウジアラビア、中立地帯の中東８か国からの１３種であった。

ＡＰＩ度 27.7～40.0、流動点 −40℃以下～−10℃のいわゆる低流動点原油である。参考までに一般性状を表 2.1.1.1に掲げる。

2.1.2 原油スラッジと関連する用語の定義

(1) スラッジ（sludge）

学術的には「石油類（燃料および潤滑油）が貯蔵中あるいは使用中に変質し、油に不溶解となった物質[1]」というように「変質生成した不溶物」が石油類のスラッジと定義されている。

(2) ドライスラッジ（dry sludge）とウェットスラッジ（wet sludge）

スラッジとは「不溶物」であり、成分ではないから、もとの油や水、その他の不溶物をも含むのが一般である。これらのうちから、油分と水分を絞って取除いた残りの部分（実際には下記スラッジ試験法にて秤量される部分）をドライスラッジと呼び、これに対し、もとのままのスラッジの総体をウェットスラッジと呼んでいる。

また、生成過程から見て、

(a) 輸送中、貯蔵中に混入する外部混入物質

(b) 製造中、燃料油中に存在している懸垂物質、あるいは貯蔵中、加熱中に形成された物質

についてドライスラッジの語が使われている例[2]もある。

(3) 沈降スラッジ、浮遊スラッジ、全スラッジ

本報告において はタンク底部に堆積したスラッジ（2.2.1の計測法にて測定されたもの）を沈降スラッジ、上層に浮遊しているものを浮遊スラッジ、両者を合わせたものを全スラッジと定義する。

表 2.1.1.1　原油の一般性状（一例）

項目＼油種		バスラライト	アラビアンライト	アラビアンヘビー	ベリー	クウェート	カフジ	カタールマリーン	オーマン	マーバン	ウムシャイフ	ザクム	イラニアンライト	イラニアンヘビー
比重	15/4℃	0.854	0.857	0.888	0.8347	0.871	0.884	0.843	0.847	0.829	0.839	0.845	0.855	0.871
API度		34.1	33.5	27.7	37.9	30.9	28.5	36.3	35.5	39.2	37.1	40.0	33.9	31.5
蒸気圧	kg/cm² 37.8℃	0.4	0.35	−	0.315	−	0.535	−	0.4	0.306	0.4	0.5	0.52	−
動粘度	cst 30℃	4.9(50℃)	−	12.0	−	7.1(50℃)	−	4.6	48(50℃)	−	3.0(50℃)	2.8(50℃)	4.7(50℃)	6.5(50℃)
流動点	℃	−17.5	−40>	−30>	−30	−10	−35	−25	−30>	−15	−22.5	−22.5	−15.7	−12.5
ろう分	wt %	1.8	−	2.2	−	−	2.7	3.5	3.3	−	2.1	2.8	6	−
硫黄分	wt %	1.99	1.78	2.95	1.18	2.6	2.85	1.47	0.77	0.81	1.37	1.08	1.40	1.71
窒素分	wt %	0.1	0.09	−	0.04	0.16	0.15	−	−	0.04	0.05	0.04	−	0.22
残炭分	wt %	4.7	−	8.5	2.1	5.9	8.04	3.06	2.9	−	2.3	1.9	3.4	5.20
水泥分	Vol %	0.1	0.05	0.3	0.10	0.1	Trace	0.10	−	0.05	0.06	0.4	−	0.15
水分	Vol %	0.0	0.05	0.2	0.05	0.1>	Trace	0.0	−	Trace	0.01	0.3	−	0.1>
塩分	wt %	0.007	0.005	0.001	0.004	0.0009	0.0026	0.0005	−	0.004	0.003	0.003	−	0.0039
重金属	V ppm	21	12	−	0.4	−	55	−	−	−	2.8	2.0	−	63
	Ni ppm	6	4	−	0.1	−	16	−	−	−	0.9	1.8	−	16

資料出所　：　石油連盟編"わが国の輸入原油"

(4) アンポンパブルスラッジ

備蓄タンカーにおいては、通常の揚荷方法では揚荷できないスラッジをいい、実験用タンクにおいては、所定の方法で排出できないスラッジをいう。

(5) 沈降物（sediment）

無機沈降物 inorganic sediment、有機沈降物 organic sedimentの語がしばしば使われる。これは沈降するものの呼称であり、例えば、有機沈降物は、アスファルテンやドライスラッジと同義ではない。

(6) アスファルテン asphaltenとマルテンmaltene

アスファルトの石油エーテル不溶分のうち、ベンゼン、二硫化炭素に可溶の高分子物質で、硫黄、酸素の含有量の多いものをアスファルテン asphaltenとという。[1] 分子量は1,000～6,000程度である。アスファルトの成分で、芳香族を含まない石油スピリットに溶解するものをマルテンmaltene[1] またはペトローレン petroleneという。

マルテンのうち、活性アルミナなどの吸着剤に吸着される留分をレジンという。

従来このあたりの用語はあまり厳密に使われていなかった。例えば、オイルの留分をペトローレンと呼んだり、マルテンとレジンを区別していない表現[7]も見られる。

(7) アスファルト状物質 asphaltic substance

原油を減圧蒸留したかま残油として得られる黒色の固体または半固体の物質をアスファルトというが、生成過程や成分を問わず、大まかな呼称としてアスファルト状物質 asphaltic substanceないし asphaltic matterという言葉がしばしば使われる。

(8) ミセルmicelle

表面活性剤溶液中に、ある濃度以上で生成する表面活性剤分子またはイオンの集合体をいう。[3]
アスファルト（原油）の場合はアスファルテン分子が集合し、その周りをレジン分子がとりまいて大きな集合体（ミセル）を形成している。

(9) フロキュレーション flocculation

微粒子が主として物理的な力によって集合し、それより大きい形をなすこと。[1]炭素質スラッジの生成も一種のフロキュレーションである。逆に集合体が分れて粒子になることをデフロキュレーション deflocculationと呼ぶ。

(10) 析出 separating[4]と晶出 crystallization[5]

液相から固相を生じることを析出 separatingといい、液相から結晶相が析出する現象を普通、晶出 crystallizationという。

2.1.3 原油スラッジの発生・堆積の機構

(1) スラッジの成分

原油タンクの底に溜るスラッジ、すなわち泥状物質には軟硬あり、成分にも、油性のもの、炭素質のもの、油中水型のエマルジョン、ワックス質、あるいはこれらの中間的なものまで、種々の形態がある。以下には、これらを構成する成分とその性質について記述する。

(a) 油中水型エマルジョン

細かい水滴が油中に分散してエマルジョンを形成し、粘稠な液体ないし半固状のものとなる。

(b) パラフィンワックス （ワックス分、ろう分）

幾人かの研究者が調べたところによると、[6,7,8] 原油からの沈積物の主要成分は、原油中に含まれるパラフィンワックス分（以下ワックス分、ろう分とも記す）であるという。この著者らによると、それはC_{35}～C_{52} の炭化水素を含み、融点は74～91℃ であったという。融点としては54~104℃との報告もある。沈積物にはマクロ結晶性パラフィンワックスも、ミクロ結晶性パラフィンワックスも認められている。

質量分析によれば、直鎖状（nパラフィン）炭化水素が主成分ではあるが、それ以外のものもかなりの量あり、ミクロ結晶性ワックスの融点が高くなるにつれて直鎖以外のものの割合は増大するといわれる。[9,10]

(c) アスファルト状物質

原油には相当量の黒褐色成分（アスファルト状物質）を含んでいる。これは油に不溶の炭素質（アスファルテン分子の集合体）とこれをとりまく極性の強い高分子量の化合物（レジン）がミセルを形成し、[11] 大量の油の中で比較的安定な状態を保っているものである。

しかし、油中の環境条件から、このミセルが破壊されると、このアスファルテンを主とした成分が遊離し、不溶性物質を生成する。（不可逆フロキュレーション）。

アスファルテンは酸化（脱水素）が最も進んだもので、特殊の場合を除きC/H比（原子比）は0.75～0.91の範囲にある。一方マルテンおよびレジンのそれは0.62~0.89 程度である。[12]

(d) 油 分

油中に浮遊するスラッジが沈降・堆積したスラッジにはなお多くの油分が含まれている。堆積時の圧密の度合いによってその含有量は異なるが、比較的柔かいスラッジ中で約30%、かなり堅いもので10%前後という程度である。

(e) 無機不溶性物質（錆、砂、シルト等）

原油はもともと地中にあり、微細な鉱物質を含むことは避けられない。地上のタンクで大部分は沈降分離されるものの、小量が残留し、流通系統においてわずかずつは沈降・堆積する。さらに、取り扱う装置や配管から錆や腐食生成物の形で混入して来るものもある。

(f) 水 分

エマルジョン以外の水の存在もあるが、区別しにくいことも多い。

(2) スラッジの組成

実際の原油から生成するスラッジの組成は、おのおのの場合について上記6成分の割合も異り、また、構造・形態も種々である。したがって、一般論として述べることは難かしいので、典型的と思われる原油のスラッジ組成を表2.1.3.1および表2.1.3.2に示す。さらに理解を助けるため、原油スラッジのミクロ構造の模式図を画いた。

表2.1.3.1
タンカー底スラッジ組成の1例[13)]

項　　目	結　　果
外　　観	黒色ワックス状固形物
油　分　wt%	13
固形分　〃	77
水　分　〃	10
硫黄分　〃	9.18
塩素分　〃	1.32
灼熱減量　〃	16.0
Fe_2O_3　wt%	59.9
CaO　〃	5.6
MgO　〃	2.3
MnO　〃	0.47
SiO_2　〃	0.45
TiO_2　〃	0.15
Al_2O_3　〃	0.10
以下略	

表2.1.3.2
製油所原油タンク底スラッジ組成の1例[14)]

項　　目	結　　果
外　　観	ワックス状
流動点　℃	+50
油分（水分，ろう分以外）vol%	約67
トルエン不溶解分 wt%	0.38
水　分　vol%	14.0
水でい分　〃	14
硫黄分　wt%	2.0
ろう分　〃	18.4
（有機物のタイプ分析）	
アスファルテン wt%	11.0
パラフィン分 vol%	48.3
芳香族分　〃	21.2
レジン分　〃	13.0
灰　分　wt%	0.56

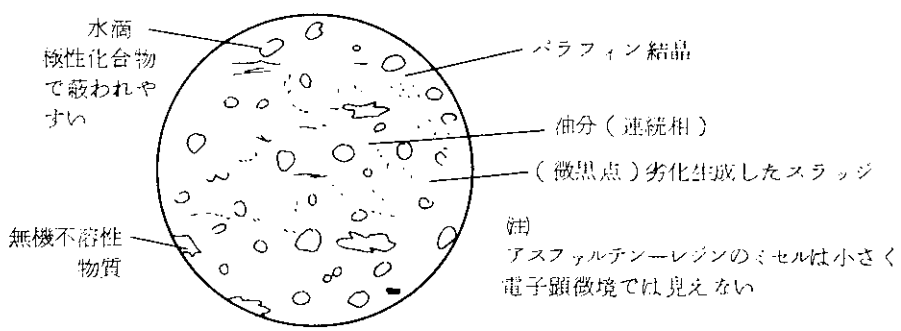


図2.1.3.1　原油スラッジのミクロ構造模式図

表2.1.3.1の例では、スラッジの無機成分は約7割であり、その約9割は鉄錆である。油分と水分はそれぞれ13wt%と10wt%であった。これに比べ、表2.1.3.2の例では、灰分はわずか0.56wt%であり、油分が約67wt%、ワックス分18.4wt%、水分14vol.%（≒15wt%）が大量成分であった。すなわち、表2.1.3.1は比較的硬質で無機成分の多いスラッジ、表2.1.3.2のものは比較的軟かなオイルスラッジといえよう。しかし、実際のタンカー底、原油タンク底のスラッジの個々の場合の組成は、もっと広範囲に変化するもの、と考えなければならない。

タンカー底スラッジの場合ろう分の値がないのでわからないが、表2.1.3.2を見てもわかるとおり、スラッジの有機成分中パラフィン分の組成が最大であり、全体組成から見たろう分も多い。このため、原油のスラッジ生成の問題を「ろう沈積」Wax deposition の問題として捕えることも多い。[7)]

(3) スラッジ生成の条件

無機物以外の固形物を含まない原油の液体に有機物を中心とした不溶性物質が生成する条件を挙げてみよう。

(a) 原油の冷却により溶解度が下り、原油中に含まれていたパラフィンワックスが析出する。

(b) 炭化水素の蒸発、異種原油混合などによって溶解度が減り、パラフィンワックスが析出する。

(c) 多孔質の砂・岩層を原油が流れると、流体の荷電を生じ、不溶性の粒子を生成することがある。[15)]

(d) 水が混合すると、水滴の周りに極性の化合物が会合し、安定な油中水型エマルジョンを形成し、粘稠となる。

(e) 水が混入するような場合には、とくにバクテリアが発生しやすく、これに伴うスラッジを生成する。

(f) 原油が酸化・高温の条件にさらされると、炭化水素の縮合、脱水素等の反応が起り、不溶性の粒子を生成する。

以上のうち、経験も数多く、屢々論じられているのが低温による、ワックスを中心としたスラッジの生成(a)である。陸上のタンクなどでは、異種原油混合の条件(b)も重要であるが、原油タンカーにおいては、この条件はあまり考えられない。ペースト状のスラッジはエマルジョンから成り、水混入は大きな要因である(d)。地中の原油が地上に出ると、酸化されたり、高温にさらされることは多くなる。ミセルを形成するマルテンなどが酸化されたり、縮合反応が起って分子量が大きくなると、ミセル破壊や不溶化が起ってアスファルト質のスラッジが発生することもあるようである(e)。

ある特殊な場合にどの条件が大きく働いているかをしらべるには、実際のスラッジを分析するわけであるが、試験操作で溶媒を使うと、新たな不溶分を発生させることがあるし、また、試験操作中スラッジが酸化されやすいこともあるので、分析操作や結果の解釈にも慎重な注意が必要である。

(4) スラッジ沈降の機構

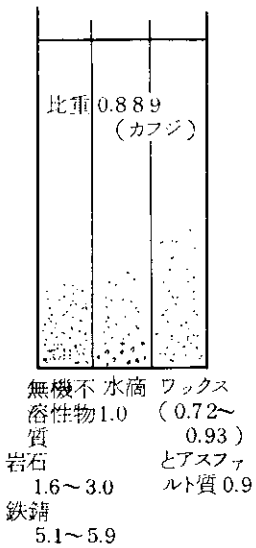


図 2.1.3.2 スラッジ沈降と成分

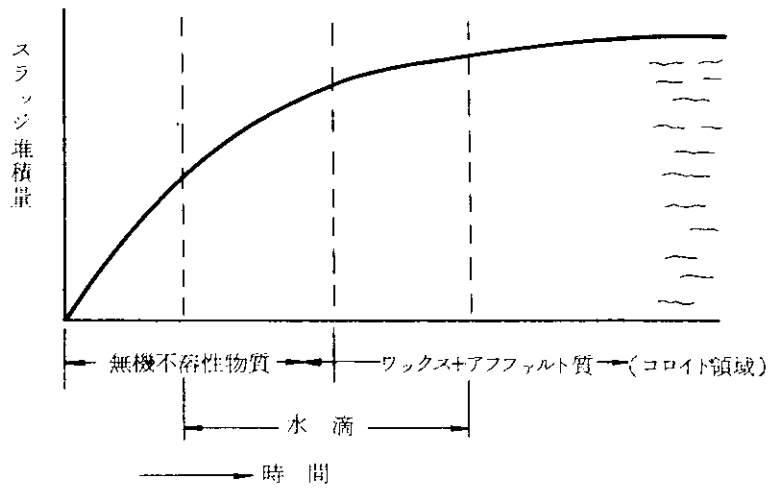


図 2.1.3.3 沈積の順序

既に原油中にスラッジを構成する各種成分が含まれているとして、これらが沈降・堆積する条件をまず考えてみよう。

大まかな概念としては、図 2.1.3.2および図 2.1.3.3に示すように、原油中の懸垂物質は、比重および粒径の大きな粒子から降下・堆積する傾向をもつと考えられる。これはタンクスラッジの組成分析で、下部に行くにつれ、水分・金属成分が高くなる傾向があることからある程度確められている。もちろん、各成分間の相互作用や粒子の形状、分子の会合等の問題があって確然たる区分が妨げられることは当然である。

原油に含まれていて、スラッジとはなっていないアスファルト質の粒子は、きわめて小さく、分子状か少数分子の会合したものであり、[16] それ自体はストークスの沈降則には従わないで、コロイド粒子としての性質を示し、沈降しないものである。

しかし、普通は、パラフィンワックスの析出に際し、アスファルト物質が混合し、一体の粒子となって浮遊・沈降してゆくものと考えられる。

(5) スラッジ生成・沈降に関する要因

(a) ワックスの溶解特性

炭化水素溶媒に対するパラフィンワックスの溶解性については多くの報文がある。[8,17等] Reistle[6] は比重を異にする石油留分(溶媒)へのパラフィン沈積物の溶解度と温度との関係を示した(図 2.1.3.4)。

図 2.1.3.4からワックスの溶解度が温度に大きく依存することはもちろんであるが、溶媒としての影響もかなり大きいことがわかる。

Schanen[8] はパラフィンの液体プロパンへの溶解度はデカンへのそれと略々同じであること、また、プロパン以下の低分子炭化水素の損失は、溶解度には影響しないことを述べている。また、Reistle[6] によると、水はパラフィンの溶解度を変えないという。エマルジョンを形成したとき、水の量は粘度を

変えるが、必ずしもパラフィン沈積の量を変えることはない。

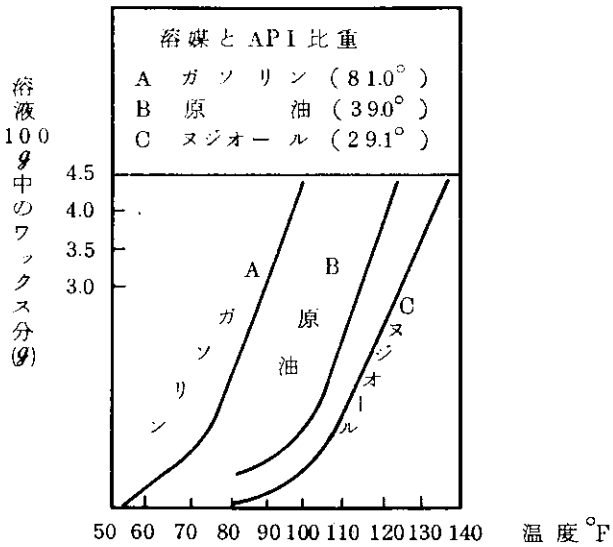


図 2.1.3.4　石油類へのワックスの溶解度

(b)　ワックス状スラッジ析出の条件

(i)　原液の表面においてガス成分が蒸発すると、その潜熱によって冷却された部分に析出が始まることがある。

(ii)　原液の過冷（過飽和）状態からの析出は、その速度が大きい。

(iii)　液の局部界面との温度差が大きいと、初期の沈降速度は速い。[18]

(iv)　熱伝導度の低い材料（プラスチック等）の器壁面への析出は小さい。

(v)　器壁の平滑度が大きいほど析出は減少する。

(vi)　器壁のぬれも沈積量に影響する。水との接触角が増大すると沈積ワックス分は減少する。[19]

器壁の表面を水が蔽うと、パラフィンは水と接することになるが、その界面張力はきわめて小さいので、パラフィンの沈積も少なくなる。

注)　腐食生成物、スケール、砂等の固形物があると、ワックスの析出（晶出）を起しやすいと思われるがBirdwell [20]は、石油ワックスは同伴する固形物や液滴上に造核する傾向はないと指摘している。

以上のように、固体の析出に関係する因子は複雑である。例えば、結晶核の生成速度は、温度と溶質分子の衝突頻度の効率、および界面エネルギーから推定できる[19]が、これを原油からのパラフィン析出へ適用するには、なお多くの問題があろう。

(c)　沈降速度

沈降に対する概念は図 2.1.3.2および図 2.1.3.3に示したようであるが、精度のよい推定方法は現在のところ発表されていないようである。ある大きさをもった水滴が油中を降下するときの沈降速度のみはstokesの法則を適用して大過ないと思われるが、無機不溶性物質は、形状や種類が多様であること、また有機沈降物も構造形態が種々であることもあって、理論確立のモデルを特定しにくい状況では、その沈降速度を推定計算することは難かしい。また、原油系のエマルジョンについてのフロキュレーションあるいは合体Coales-cence を取扱った報文もほとんど見当らない。

以上のように、原油系からのスラッジの析出と沈降に関する現象は複雑多様である。このため、広く適用できる手法を組織的に検討した研究は見当らず、個々のデータも欠如している。したがって、当面の問題に対しては、原油、スラッジの諸特性を実測し、スラッジ生成、堆積の機構を考察するよりほかにない。

文　　献

1. 石油学会編、石油用語集　46. 5. 1 版
2. W J. Von Keskvoort and A.J.J.Nieustad, J.Inst.Petrol. 37, 596 (1951)
3. 化学大辞典　9巻P26 (1962) 共立出版
4. 同上5巻P 296
5. 同上4巻P 794
6. C.E. Reistle, USBM Bulltin 348 (1932)
7. D.A. Shock, J.D.Sudbury and J.J. Crockett, "Studies of the mechanism of Paraffin Deposition and Its Control", J.Pet. Tech. 7, 23 (1955)
8. A.N. Schanen , "Chemical Constituents of Petroleum" , Reinhold Publishing Corp. 284 (1945)
9. R.T. Edwards, "A New Look at Paraffin Waxes", Petroleum Refiner, vol. 36 , No.1 pp 180-186, Jan. 1957
10. W.R.Turner, D.S.Brown,and D.V.Harrison, "Properties of Paraffin Waxes", Ind. Eng. Chem,47,1219 (1955)
11. J.Ph.pheiffer and R.H.Saal, "Asphaltic Bitumen as Colloid System", J.phys. Chem. 44, 139 (1940)
12. E.J.Barth, "Asphalt, Science and Technology" pp 97,98 Gordon and Breach Science Publishers (1962)
13. 日本鋼管㈱における検査資料
14. 出光社内報告D－22"原油タンク底のスラッジ処理実験報告"　(昭和43年3月10日)
15. G.W.Preckshot, N.G. Delisle, C.E. Cottrell and D.L.Katz , Trans. AIME 151, 188 (1943)
16. J.C. Shepard, Digest, Proc.of First Annual Paraffin Short Course, Univ. of Oklahoma (1958)
17. H.Bennett, "Chemical Waxes" , Chemical Publishing Co., 1944
18. R.J.Cole and F.W. Jessen,Oil and Gas J. [Sept. 19, 1960] 58,87
19. A.G.Walton, Science 148 (April 30) 601 (1965)
20. B.F.Birdwell, "Effects of Various Additives on Crystal Habit and Other Properties of Petroleum Wax Solutions". Ph.D. Lissertation, The University of Texas, Austin, Sept., 1963

2.2　備蓄タンカーにおける原油スラッジの計測

昭和５３年９月及び、１０月に夫々、１０隻のＶ.Ｌ.Ｃ.Ｃ. は、中東にて原油を満載し、順次日本に向い、大分、喜入、徳山の各港にて第１回目の補給を行ない、その後太平洋上にて漂泊方式による石油備蓄を開始したが、その内、１０月積船の１０隻は同年１２月２１日から２４日にかけて、長崎県橘湾内にて錨泊方式による石油備蓄に切り替えられた。

以後、錨泊船は、昭和５４年の１６号台風（9／28～10／3）及び２０号台風（10／18～10／21）来襲時に２回にわたり湾外避難をし、その際表2.2.1の通りの船体の動揺を受けた後、帰港して錨泊方式による備蓄を続行し現在に至っている。又、漂泊船は３ケ月毎の補給をくり返し現在に至っている。

タンカーの通常の運航状態と異り、長期間の石油備蓄を行なうので、その間に発生し堆積するスラッジ量を調査するために、下記により、沈降スラッジの堆積高さの計測を実施した。

表 2.2.1　台風避難出湾漂泊中の船体動揺

船名	台風１６号（9／28～10／3）			台風２０号（10／18～10／21）		
	最大	動揺の激しかった期間	平均	最大	動揺の激しかった期間	平均
A 丸	12°	9／29 0200～0900	7°	4°	10／18 1800～2000	3°
B 丸	10	9／29　9／30 0200～0800	5	12	10／18　10／19 2300～0800	6
C 丸	14	9／29 0600～2300	7～8	6	10／19 0200～0800	3～4
D 丸	13	9／29　9／30 0300～0500	7	6	10／19 0200～0700	4
E 丸	6	9／29　10／1 0600～0600	4～5	4	10／19 0330～1130	2
F 丸	10	9／29　9／30 0200～0600	5	10	10／18　10／19 2000～0800	6
G 丸	2	9／30 1200～1500	1	3	10／19 0100～0300	2
H 丸	13	9／29　9／30 0600～2200	8	8	10／18　10／19 1800～1400	6
I 丸	6	9／29　9／30 1000～1400	2～3	8	10／19 0600～2400	2～3
J 丸	10	9／29 0400～2000	4～5	8	10／19 0000～0400	4

2.2.1　スラッジ計測器具と計測方法

(1)　スラッジの計測器具

スラッジの計測器具については、日本規格にも、外国規格にも、定められたものがない。

故に文献、実船実験による予備調査に基いてスラッジ計測器具を、決定製作した。

(a) 文献による計測器具

日本石油学会で発表された、昭和５４年５月３１日付日本石油㈱建設部、日向氏報告「タンク底部スラッジの堆積高さの計測方法」による陸上タンクの計測器具について、検討した結果、当該器具のスラッジへの接触面積、重量及び、スラッジにかかる圧力は、表2.2.1.1の通りである。

表2.2.1.1

接触面積（cm²）	重量(g)	スラッジにかかる圧力（g/cm²）
129.90	829	5.67
75.08	898	10.63

尚、上記の文献によれば、原油貯蔵用陸上タンクは，スラッジ堆積防止、又は、減少をはかるため、攪拌機の設置、又はポンプによる原油の循環等を行っており、原油とスラッジとの境界はかなり明確である。

また、スラッジ自体５５℃以上７５℃位までの流動点を有する高粘度物質で、常温では半固形状、或いは、固形を呈するものが多い。

(b) 実船予備実験に使用した計測器具

現在、タンカーによる石油備蓄中の原油は、陸上タンクの場合と異なり、タンクの中で機械的攪拌を行なわないことになっている。

従って、液の流動は船体の動揺及び自然対流によるもので、特に錨泊船においては、事実上ほとんど静止状態であると言える。

しかし、タンク底部に沈積するスラッジは、原油との間に明確な境界を持たず、所謂ゆるやかな境界を形成することが想定された。

文献による計測器具は、接触面積に対する重量が過大でかつ取扱いが繁雑であることからして、これを一部改良して、実船実験に適すると考えられる次の６つの型式の予備調査用器具を製作し、実船において調査した。

表2.2.1.2　実験用計測器具

器具	材質	接触面積（cm²）	重量（g）	スラッジにかかる圧力（g/cm²）
A	鋼板（300φ） SS41（2.3t）	706.86	1,734	2.24
B	鋼板（200φ） SS41（2.3t）	314.16	786	2.29
C	鋼板（100φ） SS41（2.3t）	78.54	210	2.44
D	塩ビ板（300φ×2t） ＋鋼板（100φ×2.3t）	706.86	426	0.40
E	塩ビ板 （200φ×2t）	314.16	125	0.21
F	塩ビ板（200φ×2t） 鋼板（100φ×2.3t）	314.16	305	0.73

表 2.2.1.3　予備調査船並びに調査油種

調査船	対象油種	調査タンク	調査日
B 丸	カフジ原油	№4C／1S	S.54-6-11
	ウムシャイフ原油	№6S	
F 丸	カフジ原油	№5C	S.54-6-12
	バスライト原油	№6P	

(c) 実船予備実験結果

B丸、F丸両船に臨船し、表 2.2.1.2による実験用計測器具を使用して実験した結果は、下記の通りである。

表 2.2.1.4　各計測器具による測定結果

計測器具	計測場所	沈降スラッジ堆積高さ
B 丸		
4Cタンク（カフジ原油）艉から3番目のタンククリーニングホール		
D	艉側	63 cm
F	〃	62
E	〃	59
C	〃	61
B	〃	63
C	右側	63
B	〃	62
C	左側	62
B	〃	63
1Sタンク（カフジ原油）艉から3番目のタンククリーニングホール		
C	艉側	24 cm
C	右側	17
C	左側	20
C	艏側	30
6Sタンク（ウムシャイフ原油）艉から6番目のタンククリーニングホール		
C	艉側	1 cm
C	右側	0.5
C	左側	0.5
C	艏側	0.5

計測器具	計測場所	沈降スラッジ堆積高さ
F丸		
5Cタンク（カフジ原油）艉から4番目のタンククリーニングホール		
C	左　側	5 cm
D	〃	3
C	右　側	6
D	〃	4
6Pタンク（バスラライト原油）艇から3番目のタンククリーニングホール		
C	艇　側	5 3 cm
D	〃	5 8
C	右　側	5 5
D	〃	5 2
C	左　側	4 6
D	〃	4 3
C	艏　側	5 3
D	〃	5 0

(d) 計測器具の選定

表 2.2.1.2による計測器具で、実船実験した結果は、(c)に記載した通りであるが、各計測器具の取扱い及び操作上の優劣については次の通りである。

器　具　A …… 降下中、横揺れし、船底構造材との接触等により、計測誤差を招き易い。

器　具　B …… 降下中の横揺れが少く、スラッジと原油との境界面が検知し易く操作も容易である。

器　具　C …… スラッジと原油との境界面の検知が難しい。

器　具　D …… 降下速度が大きくなると著しく横揺れし、測定孔直下に沈下しない。

器　具　E …… 器具Dと同様の現象を生じる。

器　具　F …… 横揺れがありスラッジと原油の境界面の検知が難しい。

上記によりスラッジの計測器具として器具Bを選定し、実船での計測に使用することとした。

実船で使用した器具は黄銅製で直径 200㎜，総重量 710g であり、その明細は、図 2.2.1.1の通りである。

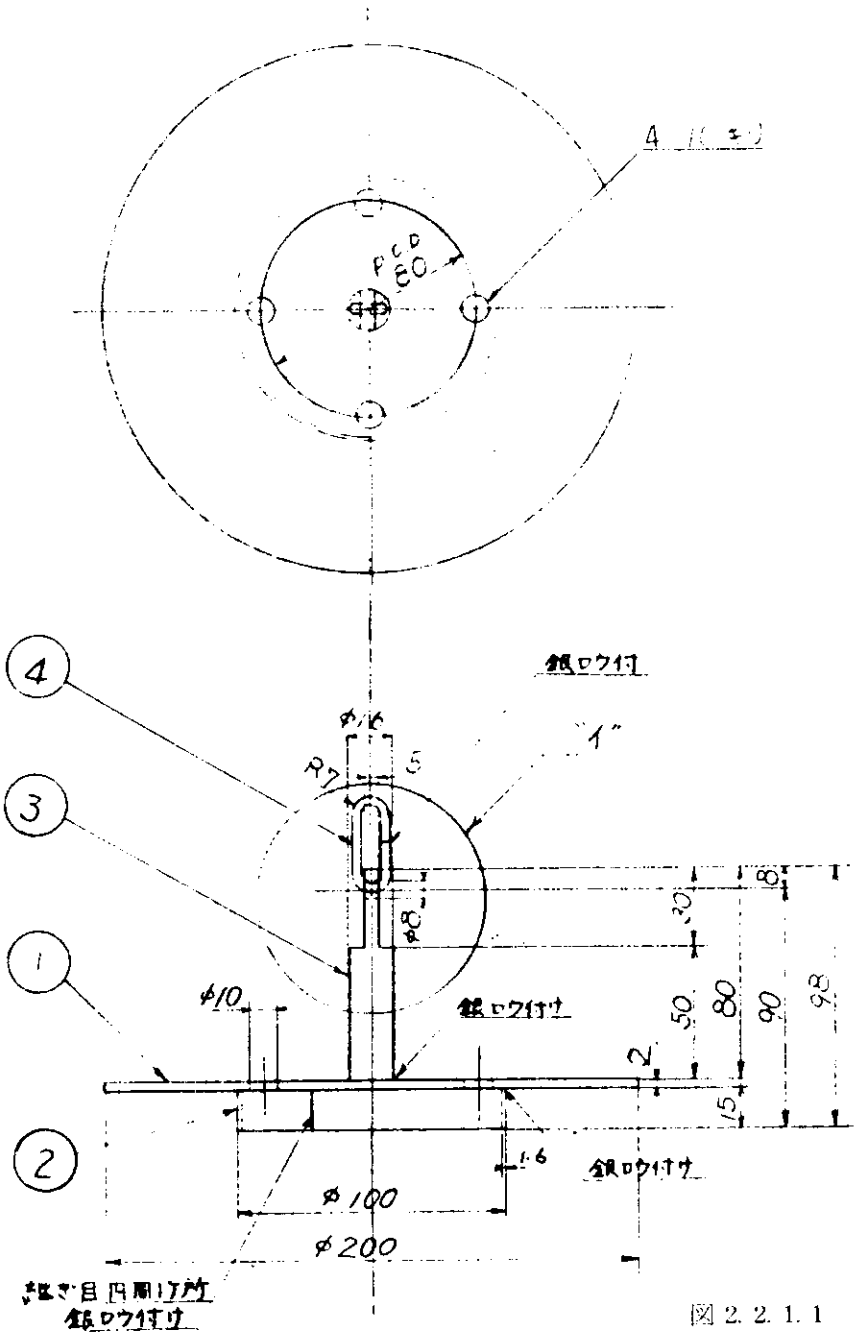
(2) スラッジの計測方法

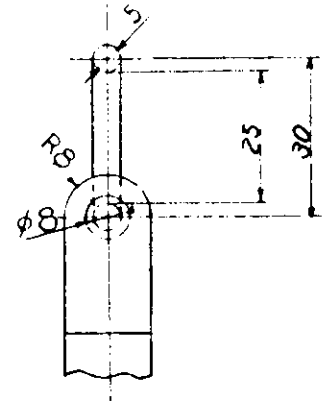
(a) 器具の降下速度は予想されるスラッジの境界面上約1米の位置まで25±5m／sec程度とする。

(b) 器具を予想されるスラッジ境界面上約1米の位置まで降下後、器具の横揺れ及び横すべりを防ぐため数分間降下を止める。

(c) 以後、器具の降下速度を1cm／sec程度にし、静かに降下させ、計測用テープに器具の重さによるテンションがなくなった時点をスラッジ境界面として計測する。

(d) テープにテンションがなくなった時点は、テープに若干のたるみ及び器具とテープのフックを結ん





"イ"部詳細 S=1/1

総重量約 710g

MARKS	DESCRIPTION	PART NO	MATERIALS	TEST MARK	WORK 1 UNIT	SPARE	TOTAL COUNT	1-OFF WEIGHT (kg/ℓ)	SYMBOL	NO. PURCHASE DESCRIPTION	REMARKS
4	吊輪		BsP1		1		1	10.5			
3	吊棒		BsP1		1		1	105			
2	ジャマ板		BsP1板		1		1	64			
1	円板		BsP1板		1		1	534			
A	スラッジ層高さ測定器具		BsP1		1組		1組				

図 2. 2. 1. 1　スラッジ層高さ測定器具

ている羽輪の動きで感知することが出来る。

(c) タンク底とタンククリーニングホール計測点間は、計測前又は計測後にその深さを計測し、それよりスラッジ境界面までのアレッジを引きスラッジ堆積高さとする。

ここで計測されるスラッジの高さは沈降スラッジの堆積高さである。

2.2.2 スラッジの計測結果

(1) 錨泊船の計測

積荷後約１１ケ月、また、錨泊開始後約９ケ月経過した昭和５４年９月１０日に第１回の計測を行ない、以後、同年１０月３１日、１２月２５日及び昭和５５年２月２０日の計４回にわたり、錨泊備蓄船の乗組員による計測を実施した。また、別途、Ｂ丸のNo４センタータンクのカフジ原油につき、昭和５４年９月５日、１１月２６日及び昭和５５年２月１日の計３回、日本海事検定協会による計測も併せて実施した。

計測値については、計測者の個人差を除けば同一条件のもとに計測されているので、沈降スラッジ高さの傾向を知るには十分と思える。

尚、各計測者よりの報告によれば、一部に揚荷後の残存スラッジ量が通常の運航時より増加するのではないかと懸念する向きもあるが、大勢として計測時の感触より、粘度の低い流動性のあるスラッジであるとのことであった。

また、昭和５５年２月実施の計測時に、念のため錨泊備蓄船全船に１油種、１タンク、２個所でのサウンディングロッドによるタンク底部のスラッジ感触テストを実施した。その際下層程粘度が高く感じられるが、容易にタンク底部に達するという船が大半を占めた。

但し、一部の船より、１０cm前後上部までしか達しなかった個所もあるとの報告もあった。

沈降スラッジ堆積高さの計測結果は資料Aの通りである。

(2) 漂泊船の計測

漂泊備蓄船については、３ケ月毎の補給地入港時以外は計測が困難であるため、昭和５４年９月より昭和５５年２月の間に１～２回の計測を実施したが、船体の動揺と油温の関係で錨泊備蓄船に比べその堆積高さは低かった。

計測結果は資料Bの通りである。

2.2.3 スラッジ計測のまとめ

通常運航中のタンカーにおいては、クリーンバラストタンクを除けば、年間１～２回のスラッジコントロールのためのタンククリーニングを実施し、入渠時に全タンクのスラッジ揚げを行なうのが一般的である。

従って、その間に数種の原油を連続して積揚荷することもあるので、積揚荷回数に応じてアンボンドスラッジが堆積し、スラッジの状態も砂、泥、錆等を多量に含んだものとなる。

一方、今回のタンカーによる石油備蓄は積載期間は約２年と長期間であるが、スラッジ揚げ後のタンクに、１油種、１回のみの積載であるので、スラッジの堆積量も比較的少量であろうと予想されていた。

計測結果は、資料A及びBの通り、油種によってはかなりの量となるが、これは、今回の計測方法での結果であり、計測値即アンボンドスラッジではなく今回の調査でいう沈降スラッジの堆積高さである。

今回の計測調査より大略次のことが確かめられた。

(1) 油種と沈降スラッジ量

傾向として、カフジ原油、バスラ・ライト原油、イラニアンライト原油及びイラニアンヘビー原油が多く、ウムシャイフ原油及びマーバン原油が少ない。

(2) タンク内での沈降スラッジの分布状態

同一油種であっても、船により又タンクにより差があり、同一タンク内でも計測場所により大きな差が認められ、タンク底部に均一に堆積するのではなく山谷状に堆積している。

(3) 備蓄期間とスラッジ堆積高さ

静置状態ではある程度までは、備蓄期間に比例してスラッジの堆積高さは増加するが、両ヶ月も何年間も増加が続くものかどうかは、今回の調査期間では確認出来なかった。

(4) 船体動揺とスラッジ堆積高さ

錨泊備蓄船と漂泊備蓄船の沈降スラッジの計測結果の比較より明らかなように、船体の動揺の少ない錨泊船で堆積高さが多く、又錨泊船の昭和５４年の台風１６号及び２０号の湾外避難前後の計測結果より、静置状態で一旦タンク底部に沈降したスラッジは船体の動揺により大半が浮遊し、以後錨泊状態となれば再び沈降堆積の傾向を示した。

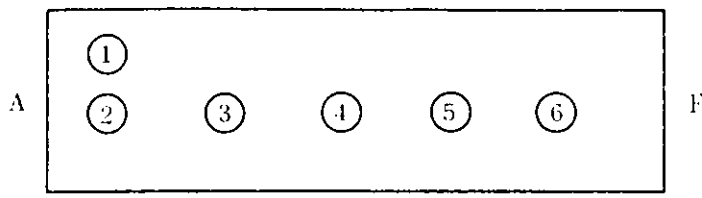
(5) 油温とスラッジ量

揚荷時には油温が高い程アンボンバブルスラッジの量は減少することは容易に理解出来るが、沈降スラッジと油温の因果関係は今回の調査では明確に出来なかった。しかし、漂泊船との比較において、船体の動揺による効果と年間を通じて油温が高かったことが漂泊船の沈降スラッジ堆積高さが少い要因と思われる。

資料A　　錨泊船のスラッジ堆積量計測結果

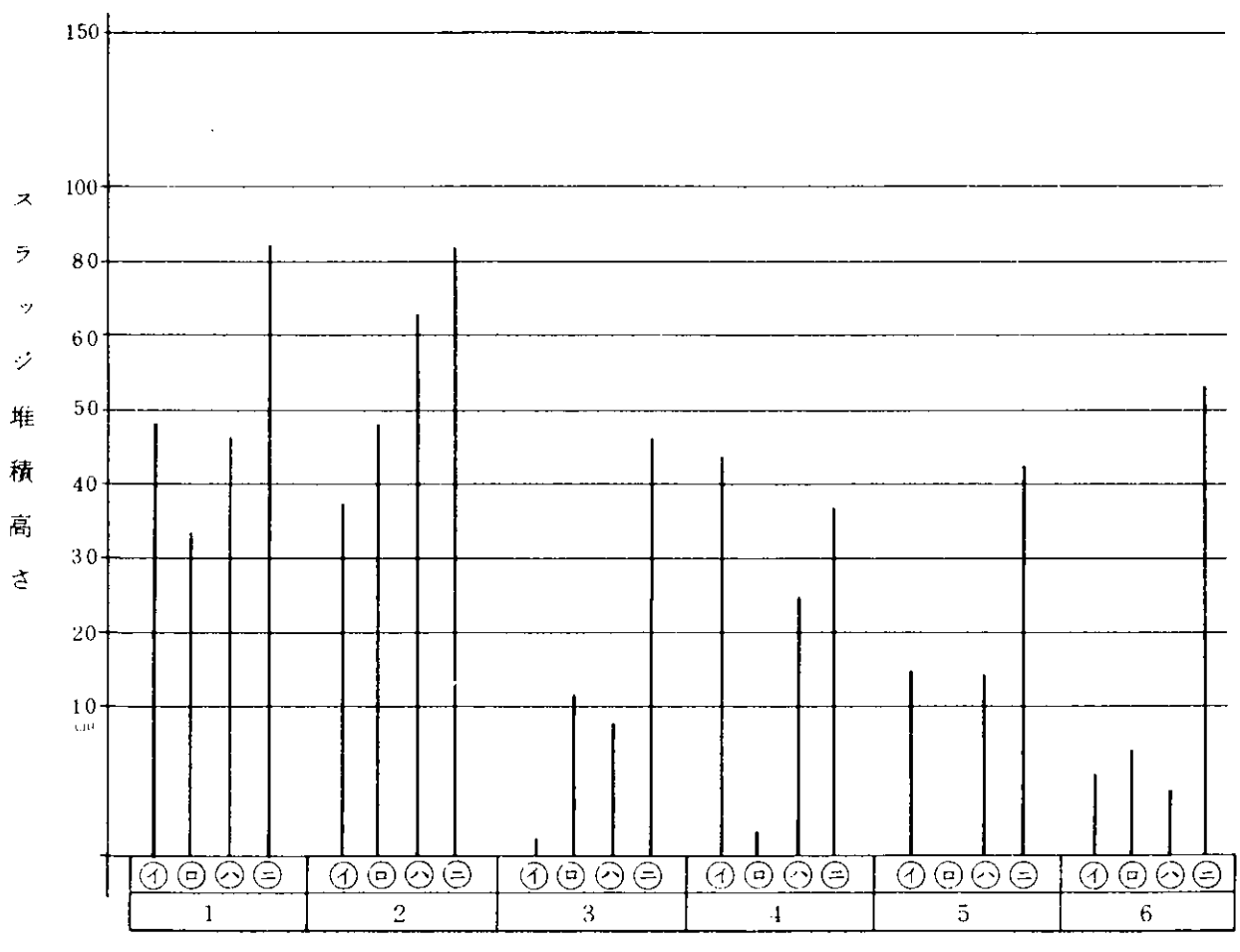
錨泊船　　A　丸　　油種　アラビアン　ライト，ベリー　　タンクNo.　4(S)

1.　計　測　点



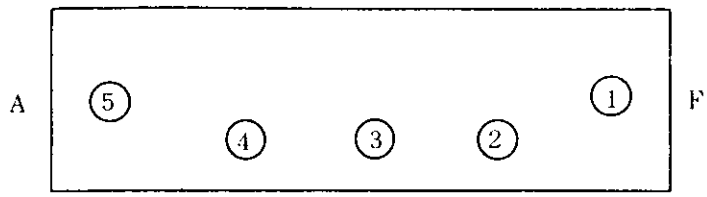
2.　計　測　値（Cm）

計測点	計測値（Cm）			
	㋑ 計測日 54. 9. 10 油　温 79(26.1)	㋺ 計測日 54. 10. 31 油　温 72(22.2)	㋩ 計測日 54. 12. 25 油　温 62(16.7)	㋥ 計測日 55. 2. 20 油　温 52(11.1)
1	49	34	47	83
2	38	49	63	84
3	1	11	9	46
4	43	2	25	37
5	16	—	15	42
6	6	7	5	53



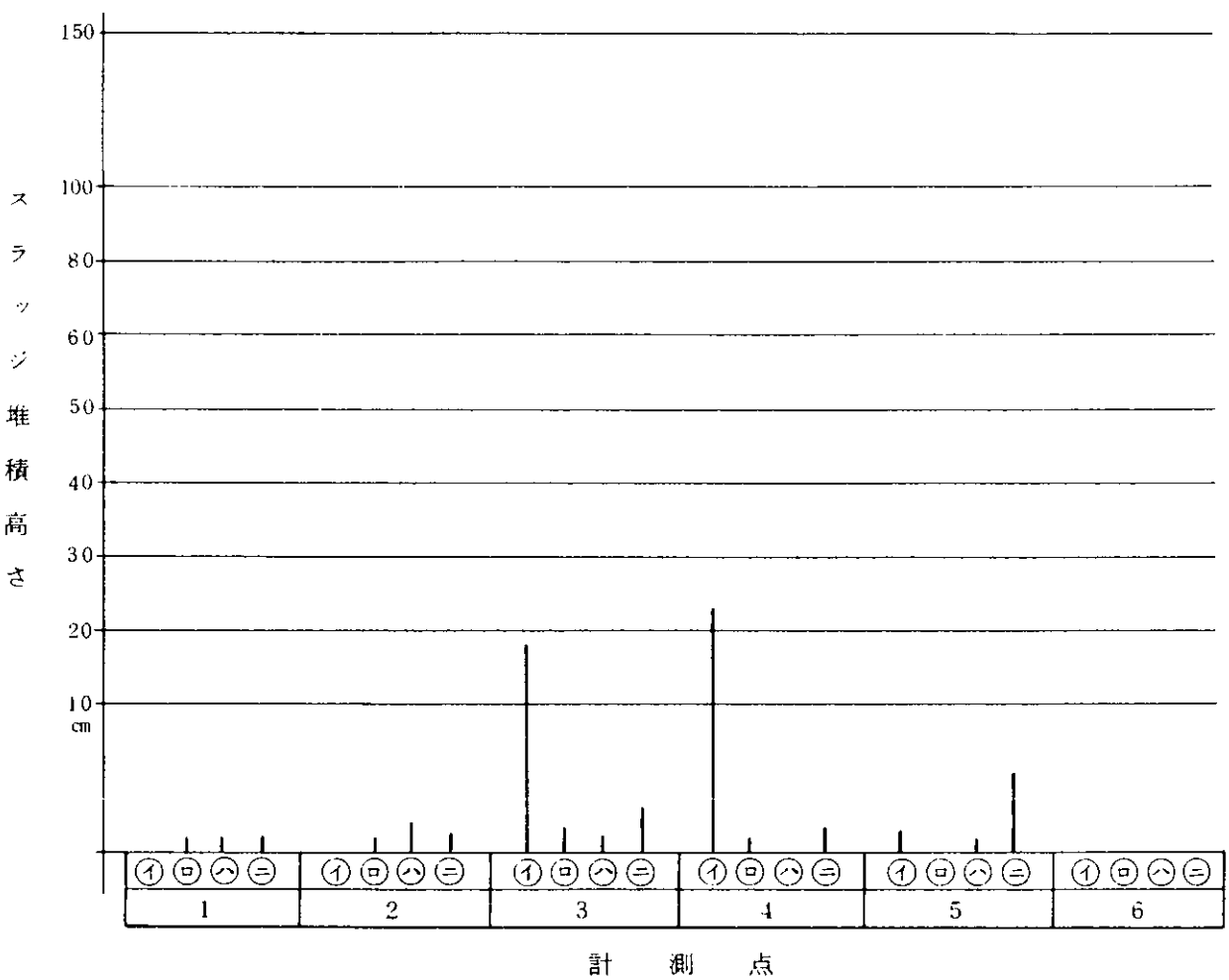
錨泊船	B　丸	油種　ウム シャイフ	タンクNo.　5(S)

1.　計　測　点



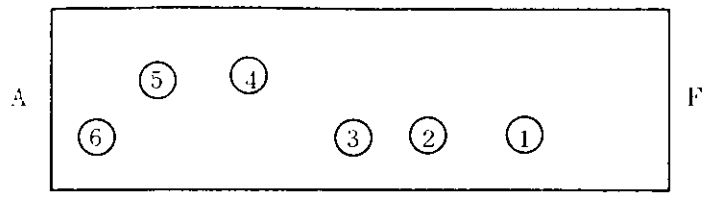
2.　計　測　値（Cm）

計測点	計　測　値　（Cm）			
	㋑ 計測日54. 9. 10 油　温80°（27）	㋺ 計測日54. 10. 31 油　温73°（23）	㋩ 計測日54. 12. 26 油　温62°（17）	㋥ 計測日55. 2. 17 油　温54°（12）
1	0	1	1	1
2	0	1	2	1
3	19	2	1	3
4	23	1	0	2
5	2	0	1	5
6				



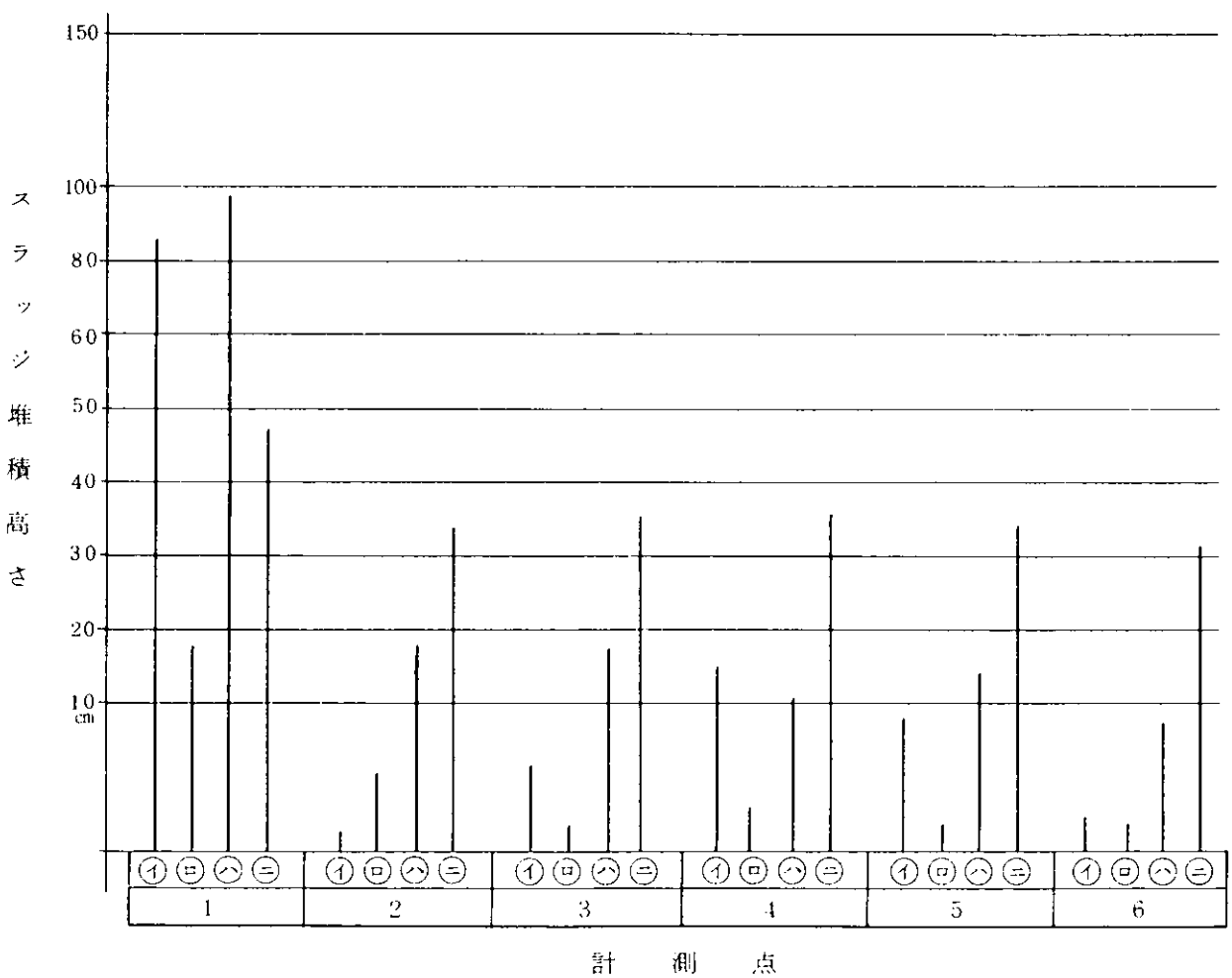
錨泊船　　B　丸　　油種　カフジ　　タンクNo.　1(P)

1. 計 測 点



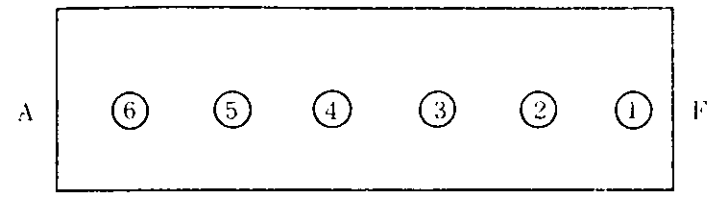
2. 計 測 値（Cm）

計測点	計測値（Cm）			
	㋑ 計測日 54. 9. 10 油 温 80°（27）	㋺ 計測日 54. 10. 31 油 温 74°（23.3）	㋩ 計測日 54. 12. 26 油 温 61°（16.1）	㋥ 計測日 55. 2. 17 油 温 53.0°（11.7）
1	85	19	98	47
2	1	5	19	34
3	6	2	17	35
4	15	3	11	36
5	9	2	15	34
6	3	2	9	31



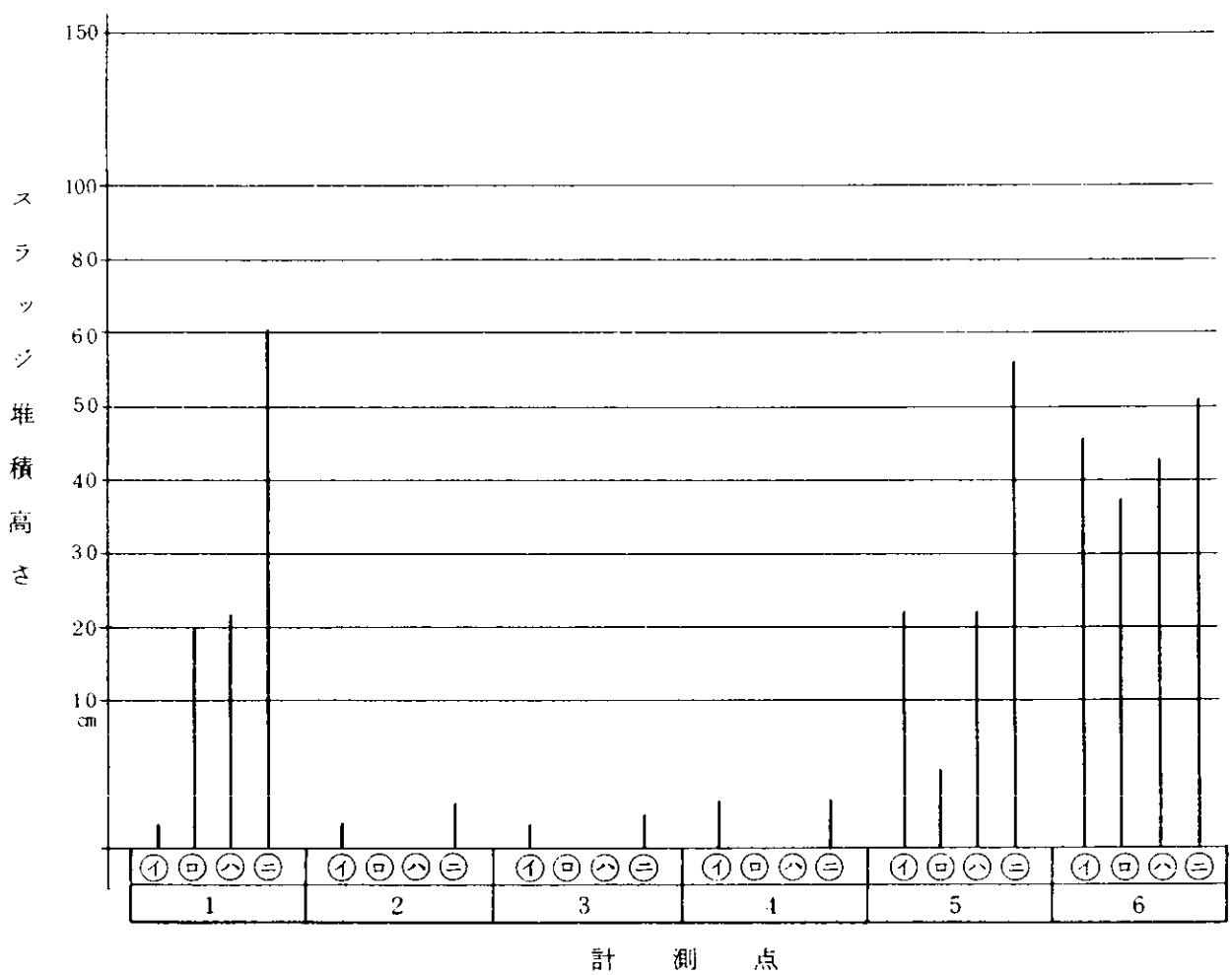
錨泊船	C　丸	油種　アラビアン　ベリー	タンクNo.　4(P)

1. 計　測　点



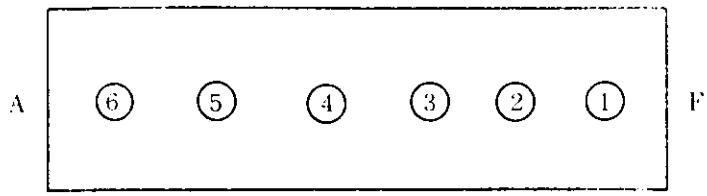
2. 計　測　値（Cm）

計測点	計測値（Cm）			
	㋑ 計測日 54. 9. 10 油　温 82.5°（28）	㋺ 計測日 54. 10. 31 油　温 73°（23）	㋩ 計測日 54. 12. 26 油　温 63°（17.5）	㋥ 計測日 55. 2. 19 油　温 54°（12.2）
1	2	20	22	60
2	2	0	0	3
3	2	0	0	2
4	3	0	0	3
5	22	6	22	55
6	44	37	42	51



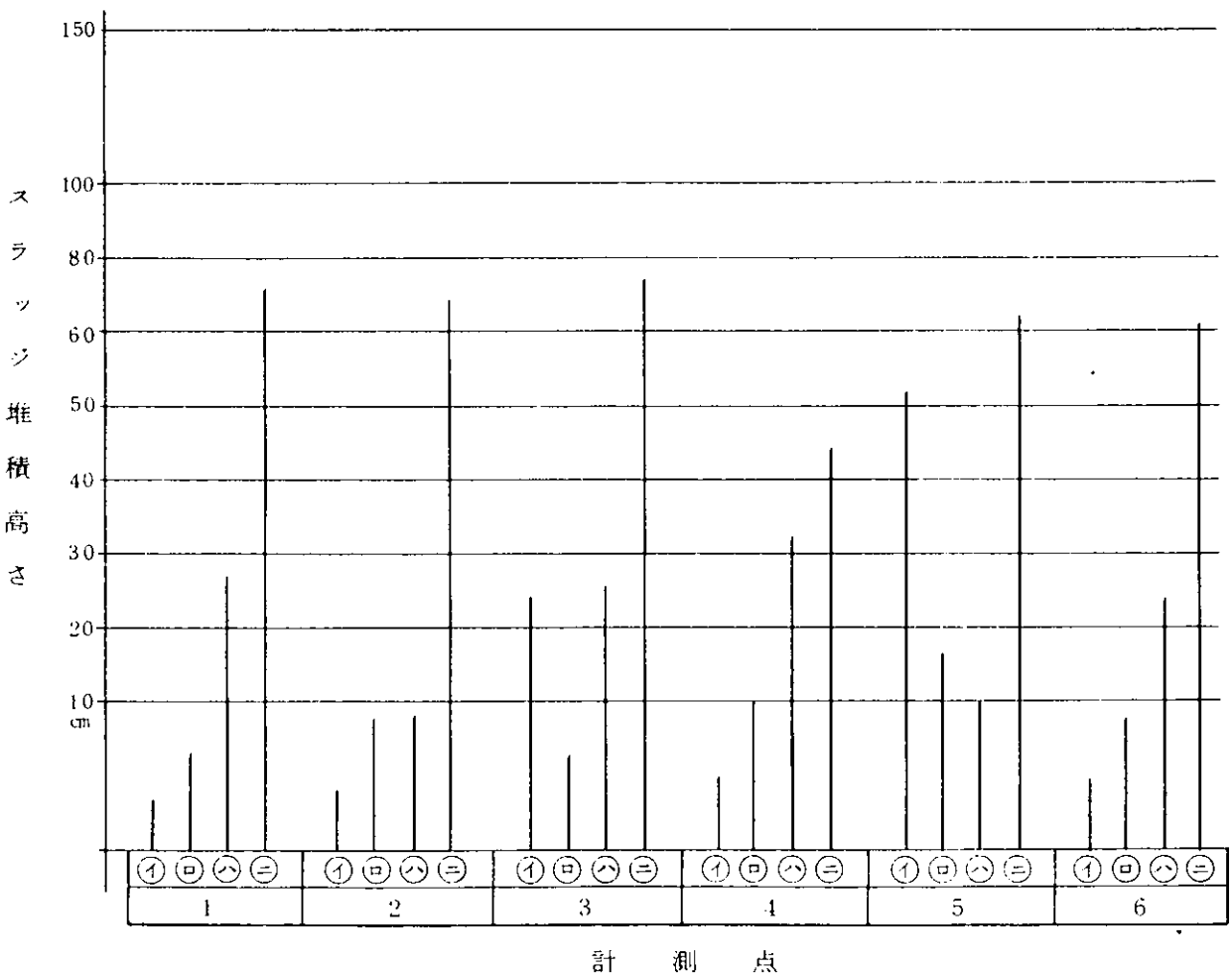
錨泊船	C　丸	油種　アラビアン　ヘビー	タンクNo.　2(P)

1. 計 測 点



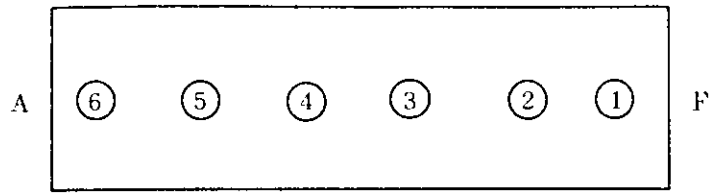
2. 計 測 値 (Cm)

計測点	計　測　値　(Cm)			
	㈠ 計測日 54. 9. 10 油　温 82.5° (28)	㈡ 計測日 54. 10. 31 油　温 74° (23.3)	㈥ 計測日 54. 12. 26 油　温 63° (17.5)	㈣ 計測日 55. 2. 19 油　温 53.5° (12)
1	3	7	28	72
2	4	8	9	69
3	25	7	26	75
4	5	10	32	44
5	51	16	10	64
6	4	8	24	62



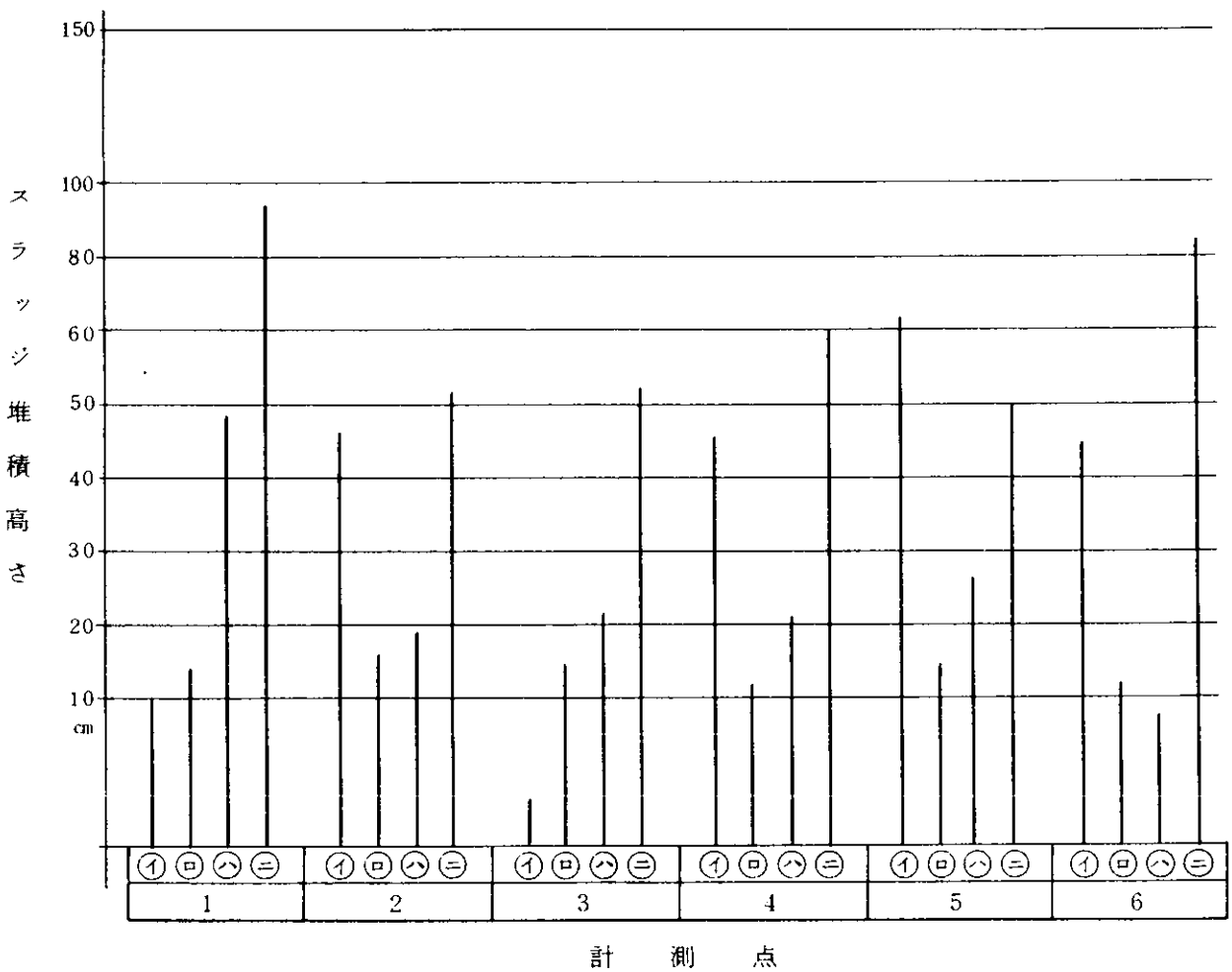
錨泊船	D　丸	油種　バスラ　ライト	タンクNo.　4 (S)

1.　計　測　点



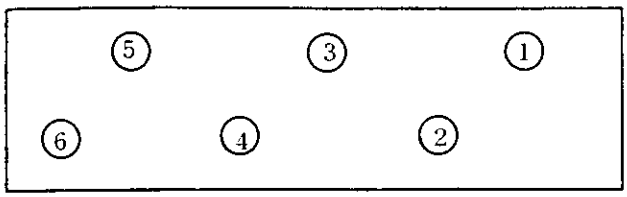
2.　計　測　値（Cm）

計測点	計測値（Cm）			
	㋑ 計測日 54. 9. 10 油　温 83°（28.3）	㋺ 計測日 54. 10. 31 油　温 74°（26.5）	㋩ 計測日 54. 12. 25 油　温 60°（15.6）	㋥ 計測日 55. 2. 17 油　温 53°（11.7）
1	10	14	49	95
2	46	16	19	51
3	3	15	22	51
4	45	12	21	60
5	63	15	26	50
6	44	12	9	84



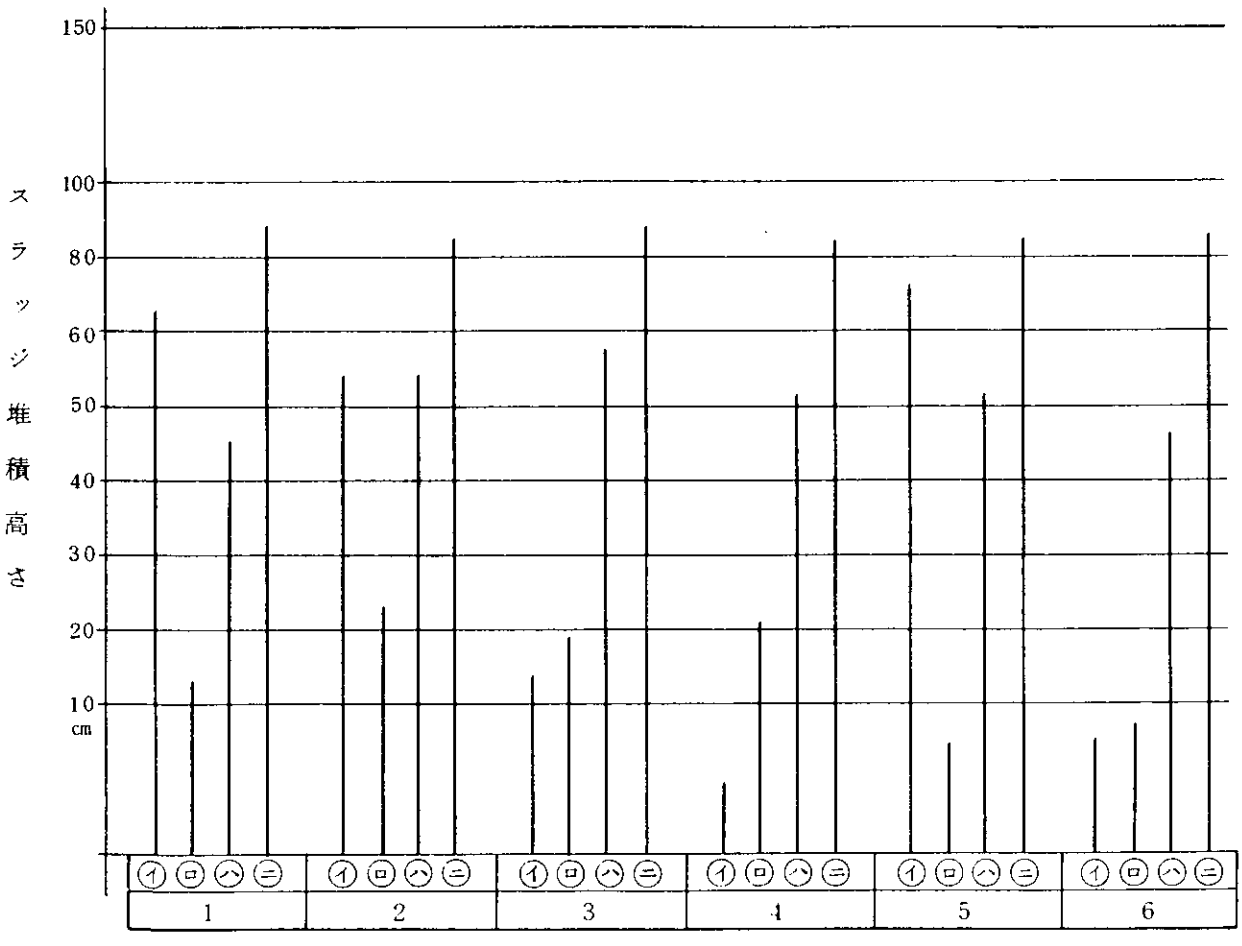
錨泊船　　E　丸　　油種　イラニアン　ヘビー　　タンクNo.　2(C)

1. 計 測 点



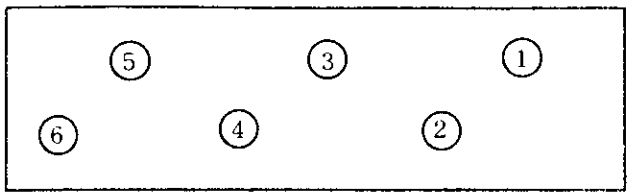
2. 計 測 値（Cm）

計測点	計測値（Cm）			
	㋑ 計測日 54. 9. 10 油 温 80°（26.5）	㋺ 計測日 54. 10. 31 油 温 76°（24.5）	㋩ 計測日 54. 12. 26 油 温 64.5°（18）	㋥ 計測日 55. 2. 18 油 温 53°（11.7）
1	63	13	46	87
2	55	23	54	84
3	14	20	58	89
4	5	21	51	85
5	73	7	51	85
6	8	9	46	87



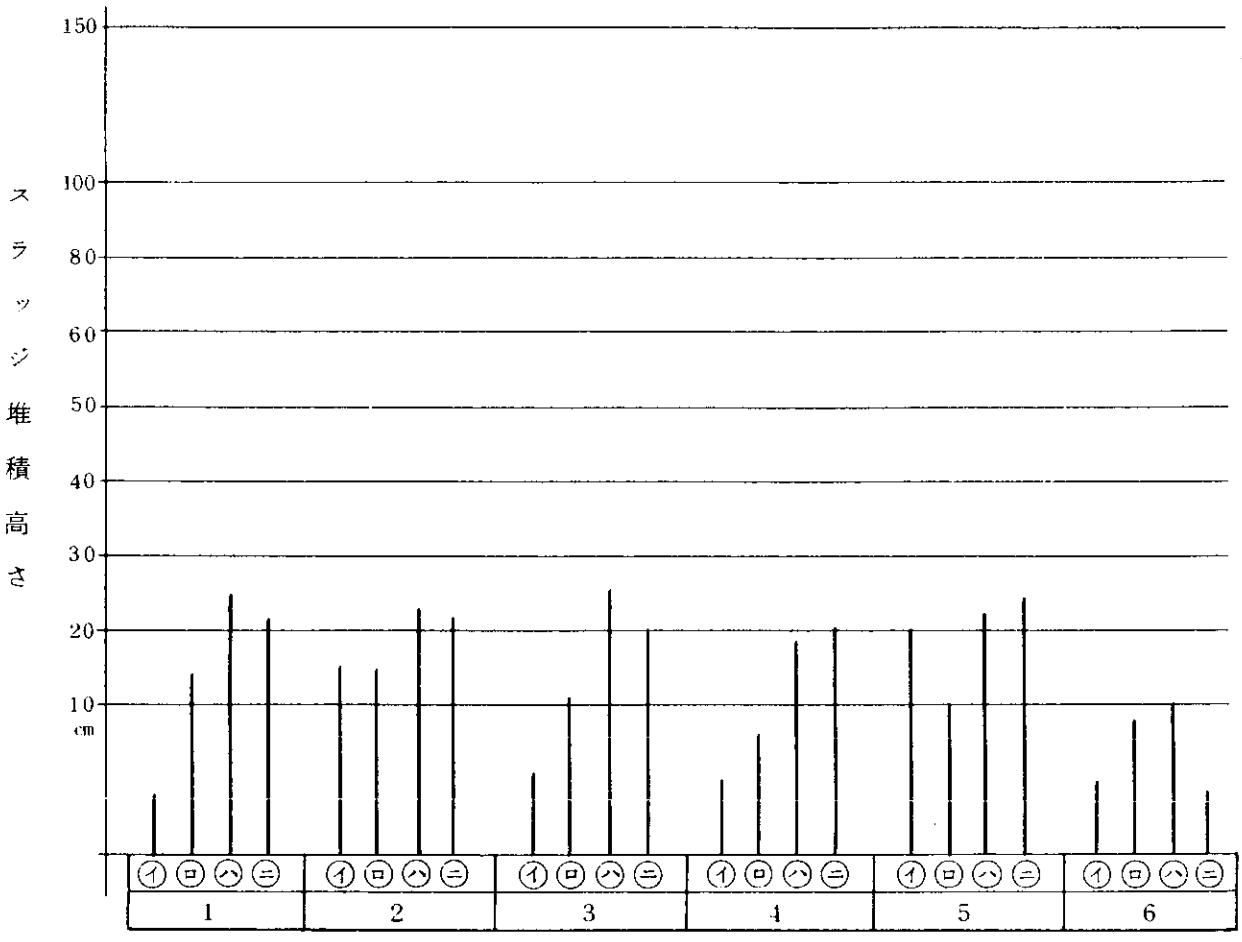
錨泊船	E　丸	油種　マーバン	タンクNo.　4(C)

1.　計　測　点



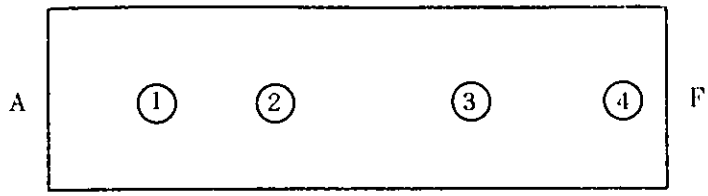
2.　計　測　値（Cm）

計測点	計　測　値　（Cm）			
	㋑ 計測日 54. 9. 10 油　温 80.6°（27.0）	㋺ 計測日 54. 10. 31 油　温 76°（24.5）	㋩ 計測日 54. 12. 26 油　温 63.5°（17.5）	㋥ 計測日 55. 2. 18 油　温 53°（11.7）
1	4	15	26	22
2	16	15	23	22
3	5	11	26	20
4	5	8	19	20
5	20	10	23	24
6	5	9	10	4



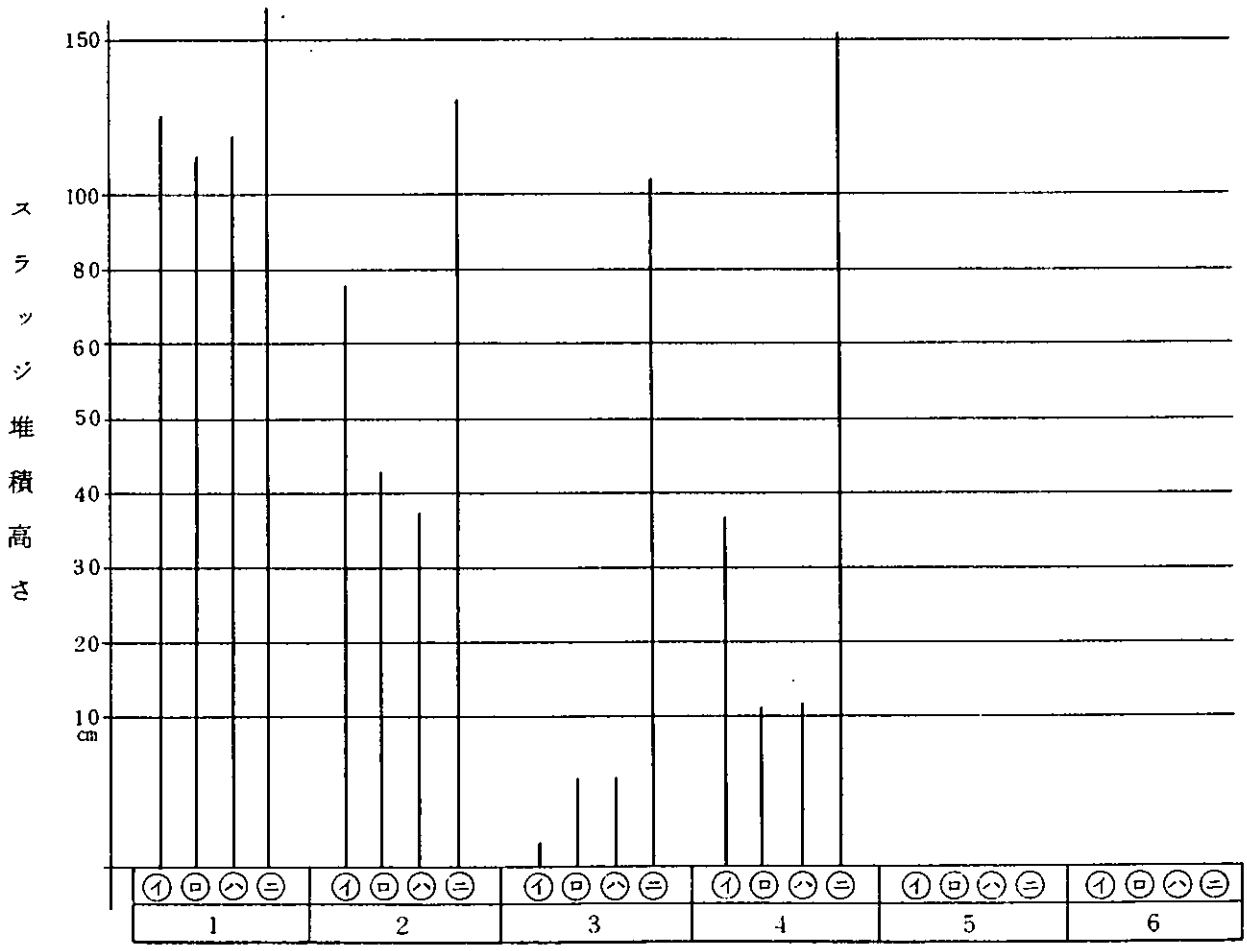
錨泊船	F 丸	油種 バラ	タンクNo. 6(S)

1. 計 測 点



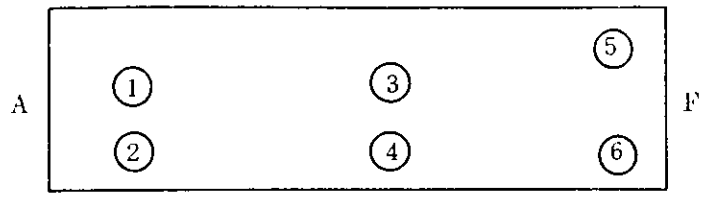
2. 計 測 値 (Cm)

計測点	計測値 (Cm)			
	㋑ 計測日 54. 9. 10 油 温 82° (27.7)	㋺ 計測日 54. 10. 31 油 温 73° (22.8)	㋩ 計測日 54. 12. 28 油 温 60° (15.6)	㋥ 計測日 55. 2. 18 油 温 52° (11.1)
1	126	115	120	174
2	75	43	37	138
3	2	6	6	106
4	37	12	12	151
5				
6				



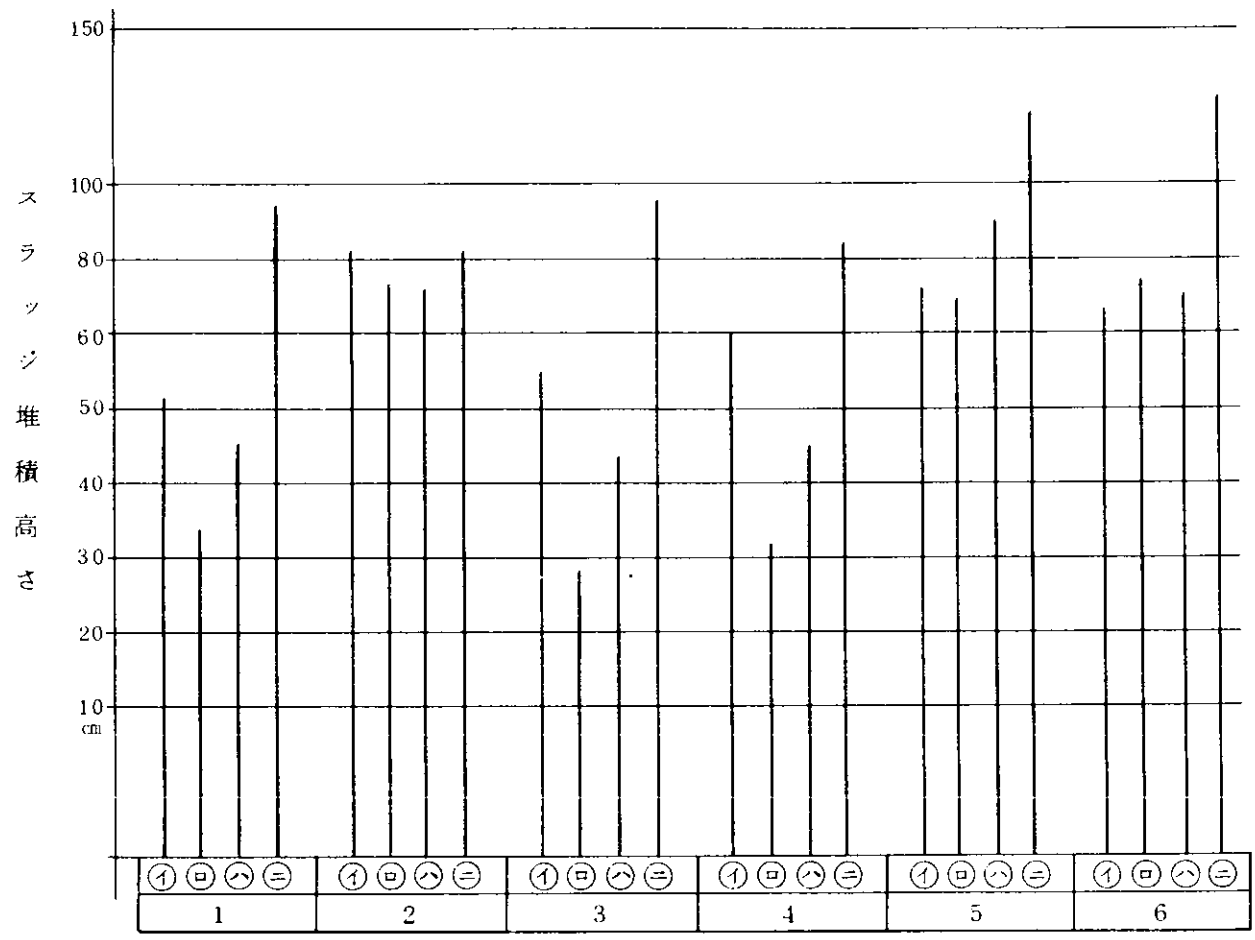
錨泊船　　F　丸　　油種　カフジ　　タンクNo.　3(C)

1. 計測点



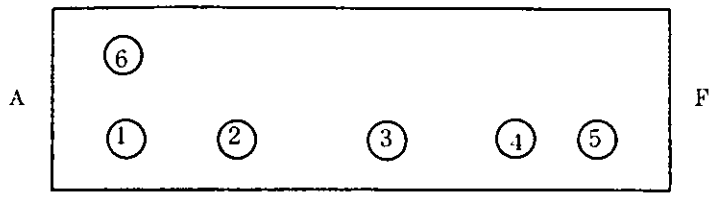
2. 計測値（Cm）

計測点	計測値（Cm）			
	㋑ 計測日 54. 9. 10 油温 82.4°（28）	㋺ 計測日 54. 10. 31 油温 74°（23.3）	㋩ 計測日 54. 12. 28 油温 63°（17.2）	㋥ 計測日 55. 2. 18 油温 53°（11.7）
1	51	35	46	95
2	82	73	72	81
3	54	28	43	94
4	60	31	44	83
5	72	67	89	121
6	66	73	70	125



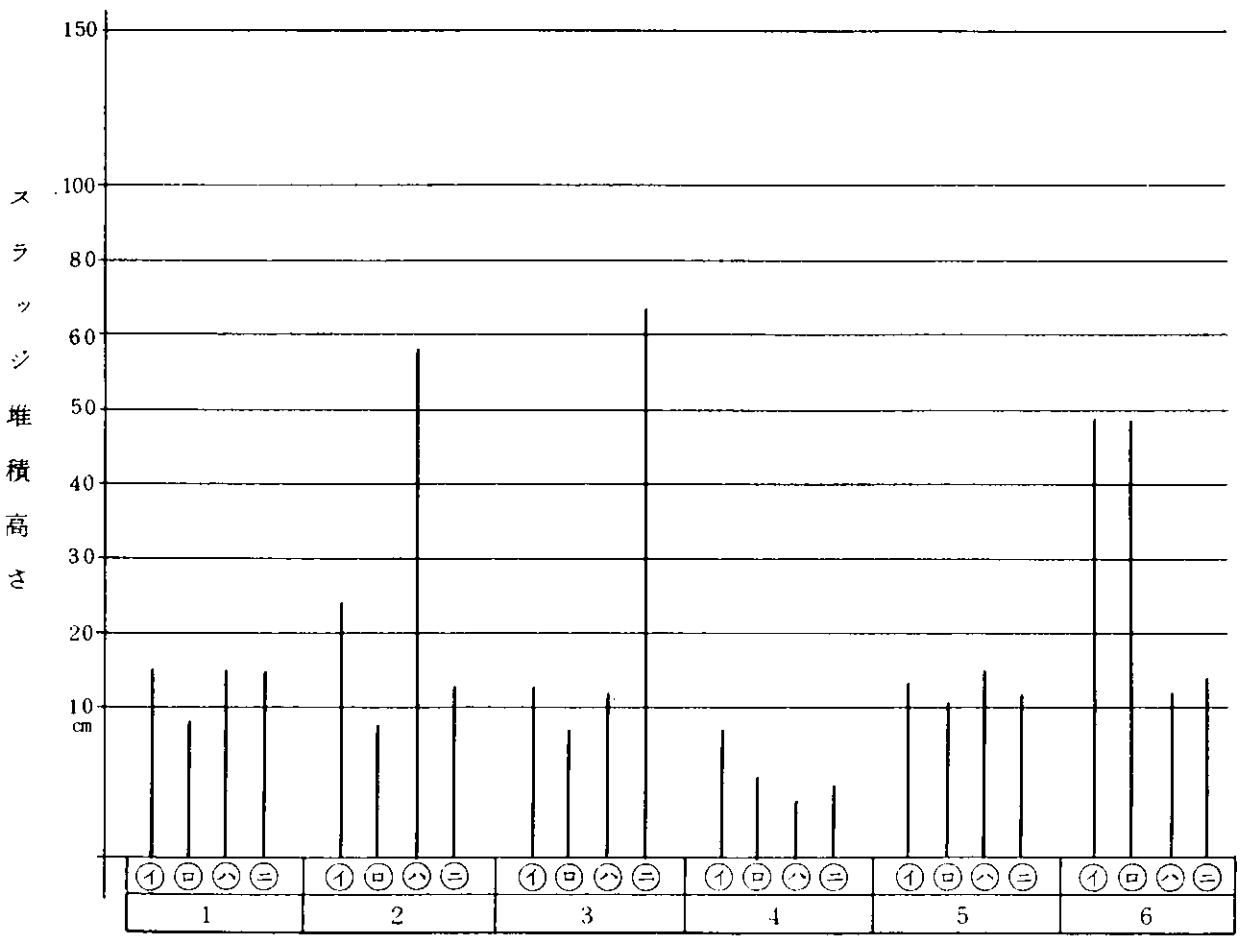
錨泊船	G 丸	油種 オーマン	タンクNo. 3(P)

1. 計 測 点



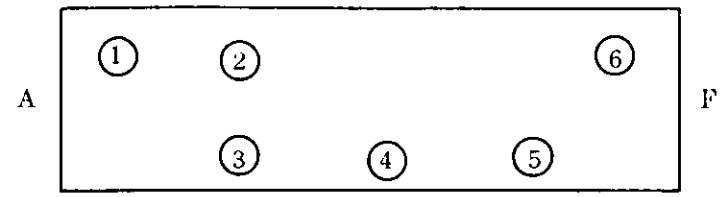
2. 計 測 値 (Cm)

計測点	計測値 (Cm)			
	㋑ 計測日 54. 9. 10 油 温 84°(29)	㋺ 計測日 54. 10. 30 油 温 75°(24)	㋩ 計測日 54. 12. 26 油 温 61°(16)	㋥ 計測日 55. 2. 17 油 温 53°(11.7)
1	16	9	15	15
2	24	9	59	13
3	13	9	12	69
4	9	6	4	5
5	14	11	15	12
6	49	49	12	14



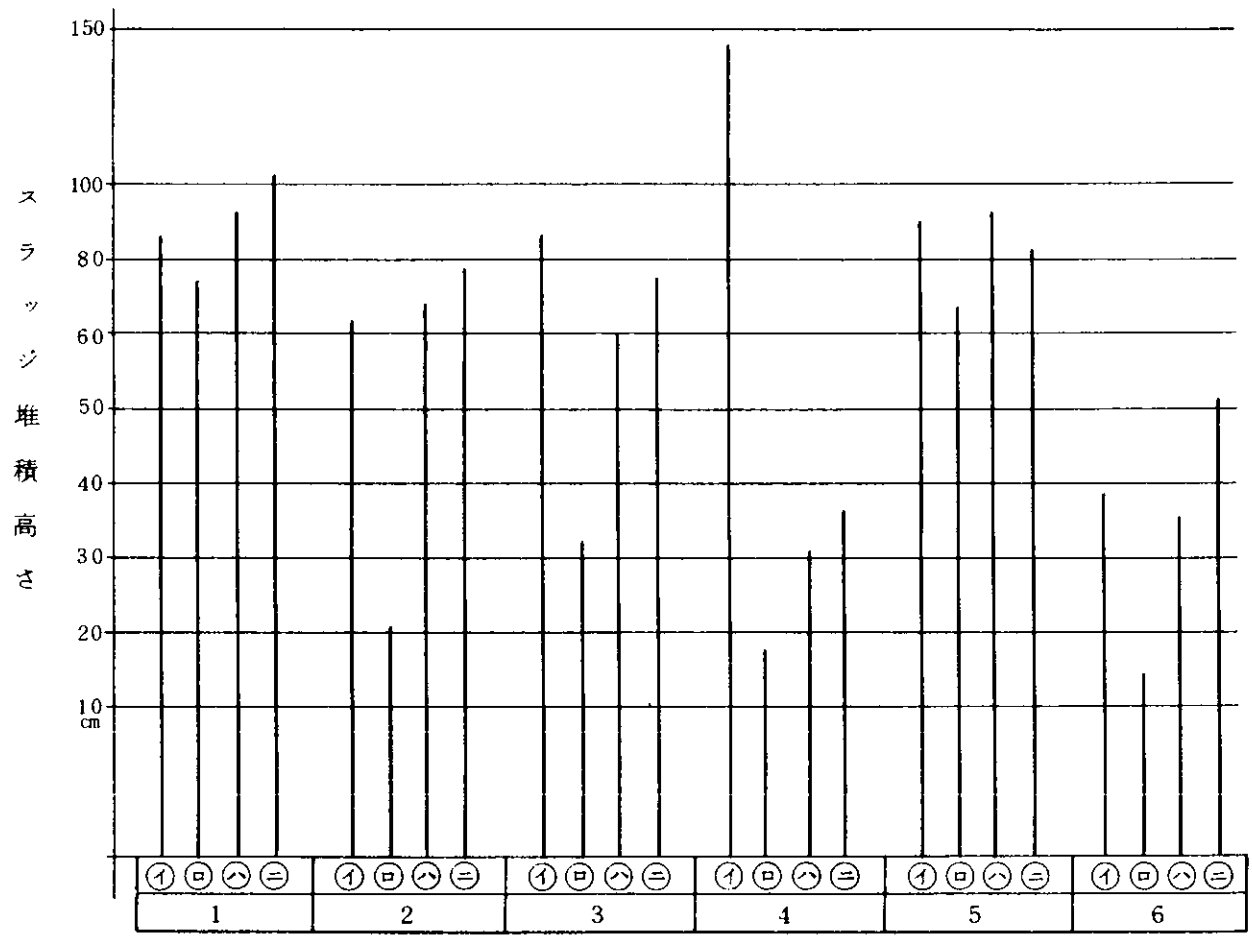
錨泊船　　G　丸　　油種　バスラ ライト　　タンクNo.　2(C)

1. 計 測 点



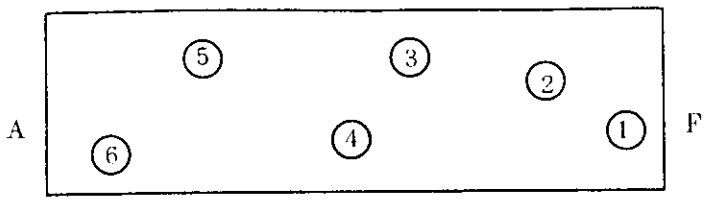
2. 計 測 値（Cm）

計測点	計測値（Cm）			
	㋑ 計測日54. 9. 10 油 温82°（27.8）	㋺ 計測日54. 10. 31 油 温75°（23.9）	㋩ 計測日54. 12. 26 油 温62°（16.7）	㋥ 計測日55. 2. 17 油 温53°（11.7）
1	86	78	96	102
2	64	21	70	78
3	88	33	60	77
4	149	18	31	37
5	91	64	93	83
6	39	15	36	51



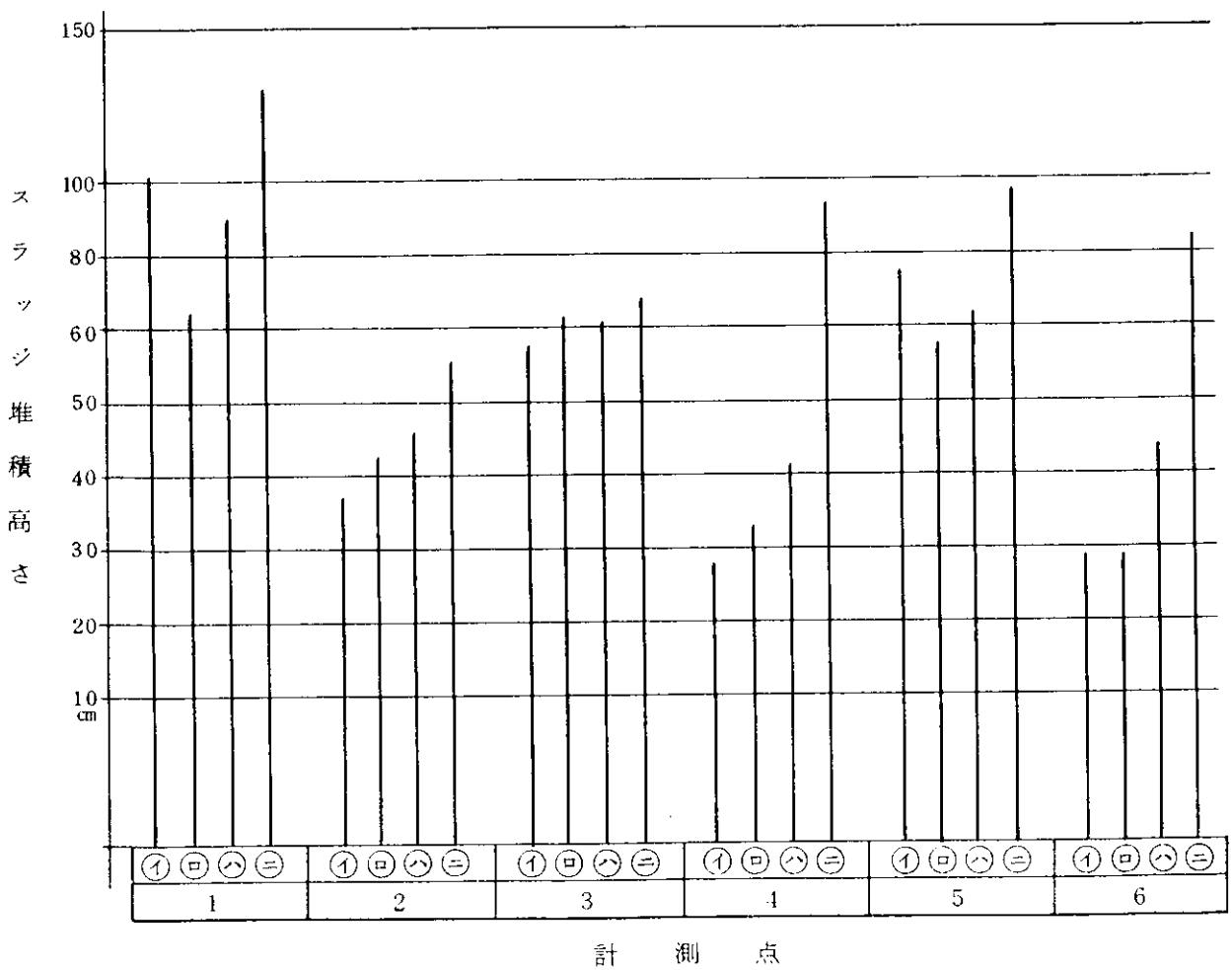
錨泊船	H 丸	油種 イラニアン ヘビー	タンクNo. 1(P)

1. 計 測 点



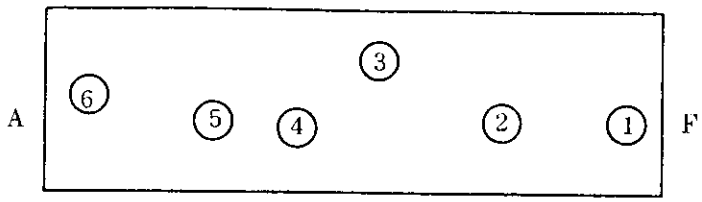
2. 計 測 値 (Cm)

計測点	計測値 (Cm)			
	㋑ 計測日 54. 9. 10 油 温 78°(25.6)	㋺ 計測日 54. 10. 31 油 温 76°(24.4)	㋩ 計測日 54. 12. 26 油 温 64°(17.8)	㋥ 計測日 55. 2. 15 油 温 53°(11.7)
1	101	65	91	131
2	38	43	47	57
3	58	63	61	70
4	29	34	41	96
5	78	59	63	99
6	29	29	43	84



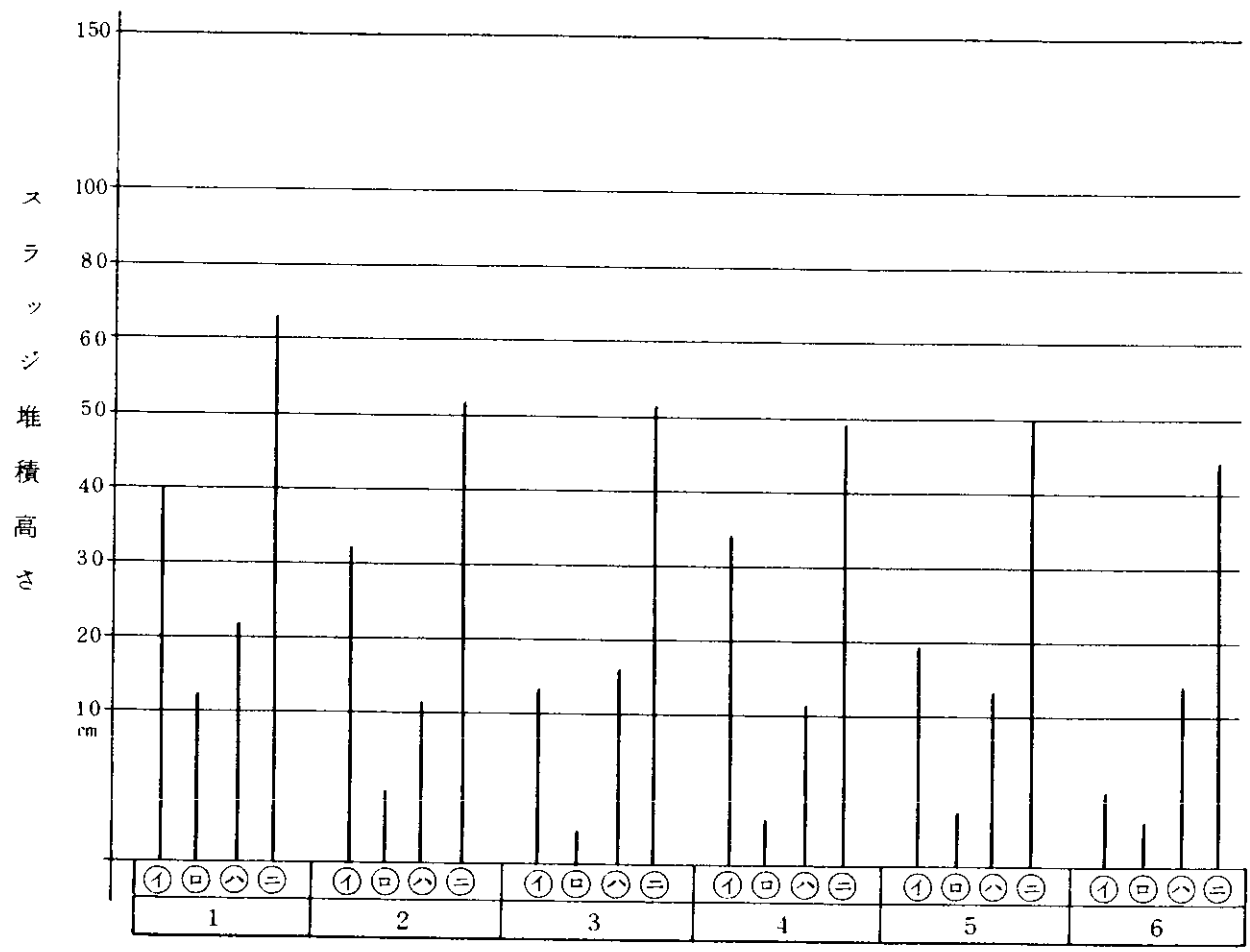
錨泊船　　I　丸　　油種　カフジ　　タンクNo.　4(P)

1. 計 測 点



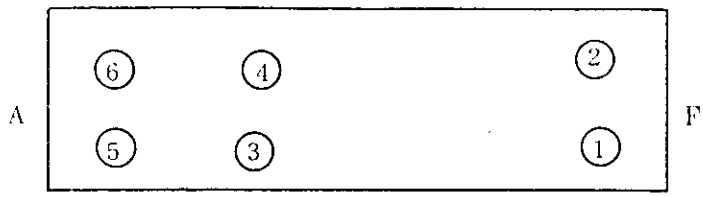
2. 計 測 値（Cm）

計測点	計測値（Cm）			
	㋑ 計測日54. 9. 10 油 温83°（28.5）	㋺ 計測日54. 10. 31 油 温75°（24）	㋩ 計測日54. 12. 28 油 温61°（16）	㋥ 計測日55. 2. 18 油 温54.5°（12.5）
1	40	12	22	66
2	32	4	11	51
3	12	2	17	51
4	34	3	12	49
5	20	3	13	50
6	5	3	24	44



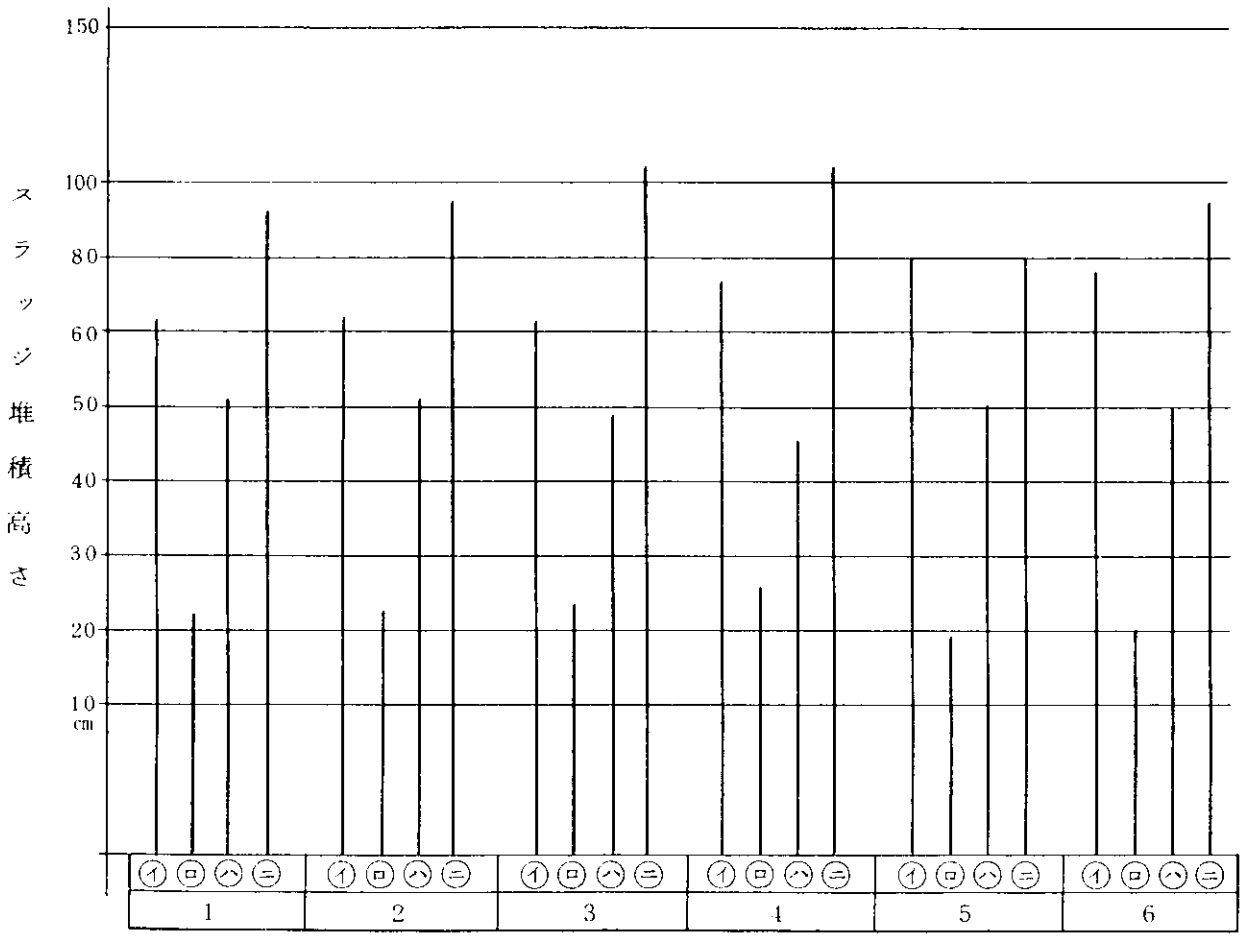
錨泊船	J　丸	油種　カフジ	タンクNo. 4(C)

1. 計測点



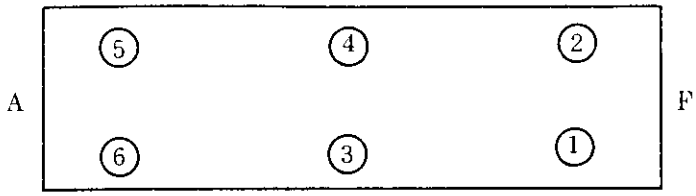
2. 計測値（Cm）

計測点	計測値（Cm）			
	㋑ 計測日54. 9. 10 油温82°（27.8）	㋺ 計測日54. 10. 31 油温74°（23.3）	㋩ 計測日54. 12. 25 油温63.5°（17.5）	㋥ 計測日55. 2. 16 油温55°（12.8）
1	62	23	52	95
2	63	23	51	96
3	63	23	49	107
4	75	25	45	106
5	80	19	50	100
6	77	20	50	96



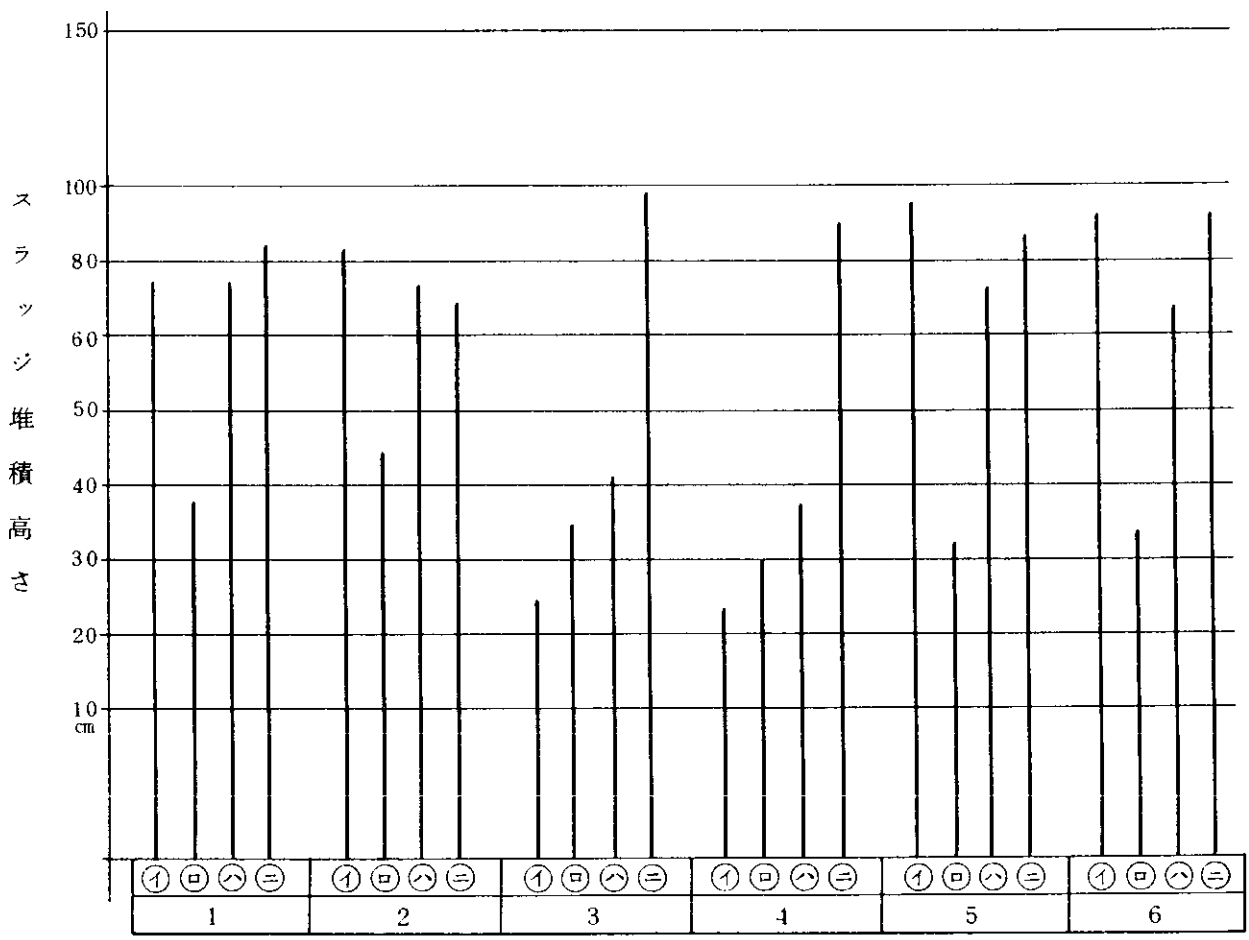
錨泊船	J　丸	油種　イラニアン　ライト	タンクNo.　2(C)

1.　計　測　点



2.　計　測　値（Cm）

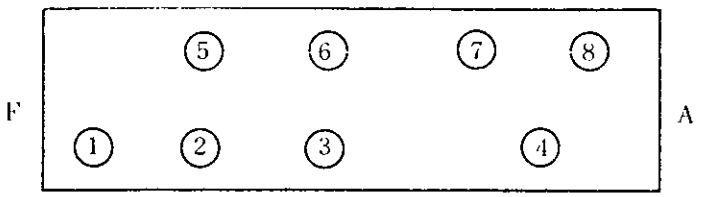
計測点	計測値（Cm）			
	㋑ 計測日54. 9. 10 油　温78°（25.6）	㋺ 計測日54. 10. 31 油　温74°（23.3）	㋩ 計測日54. 12. 25 油　温61°（16）	㋥ 計測日55. 2. 16 油　温54°（12.2）
1	77	37	73	86
2	83	44	75	69
3	24	35	41	99
4	23	30	38	89
5	95	32	74	86
6	89	33	70	93



日本海事検定協会による計測結果

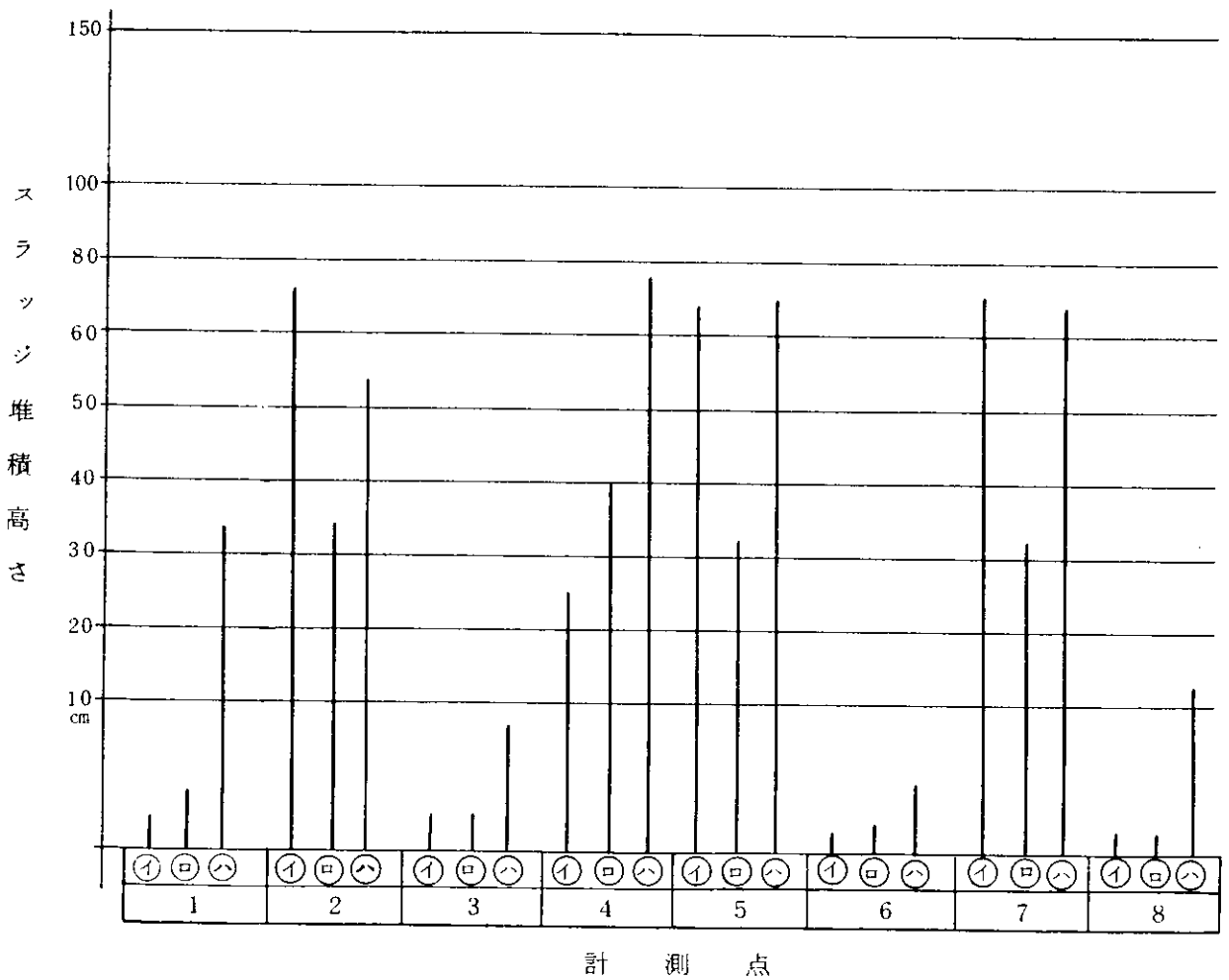
錨泊船	B 丸	油種 カフジ	タンクNo. 4(C)

1. 計 測 点



2. 計 測 値 (Cm)

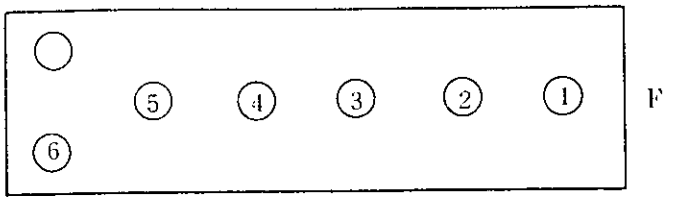
計測点	計測値 (Cm) ㋑ 計測日54. 9. 5 油 温77°(25)	㋺ 計測日54. 11. 26 油 温71°(21.7)	㋩ 計測日55. 2. 1 油 温56°(13.3)	㋥ 計測日 油 温
1	2	4	34	
2	74	35	55	
3	2	2	9	
4	27	40	78	
5	72	33	73	
6	1	2	5	
7	74	33	70	
8	2	2	13	



資料B　漂泊船のスラッジ堆積量計測結果

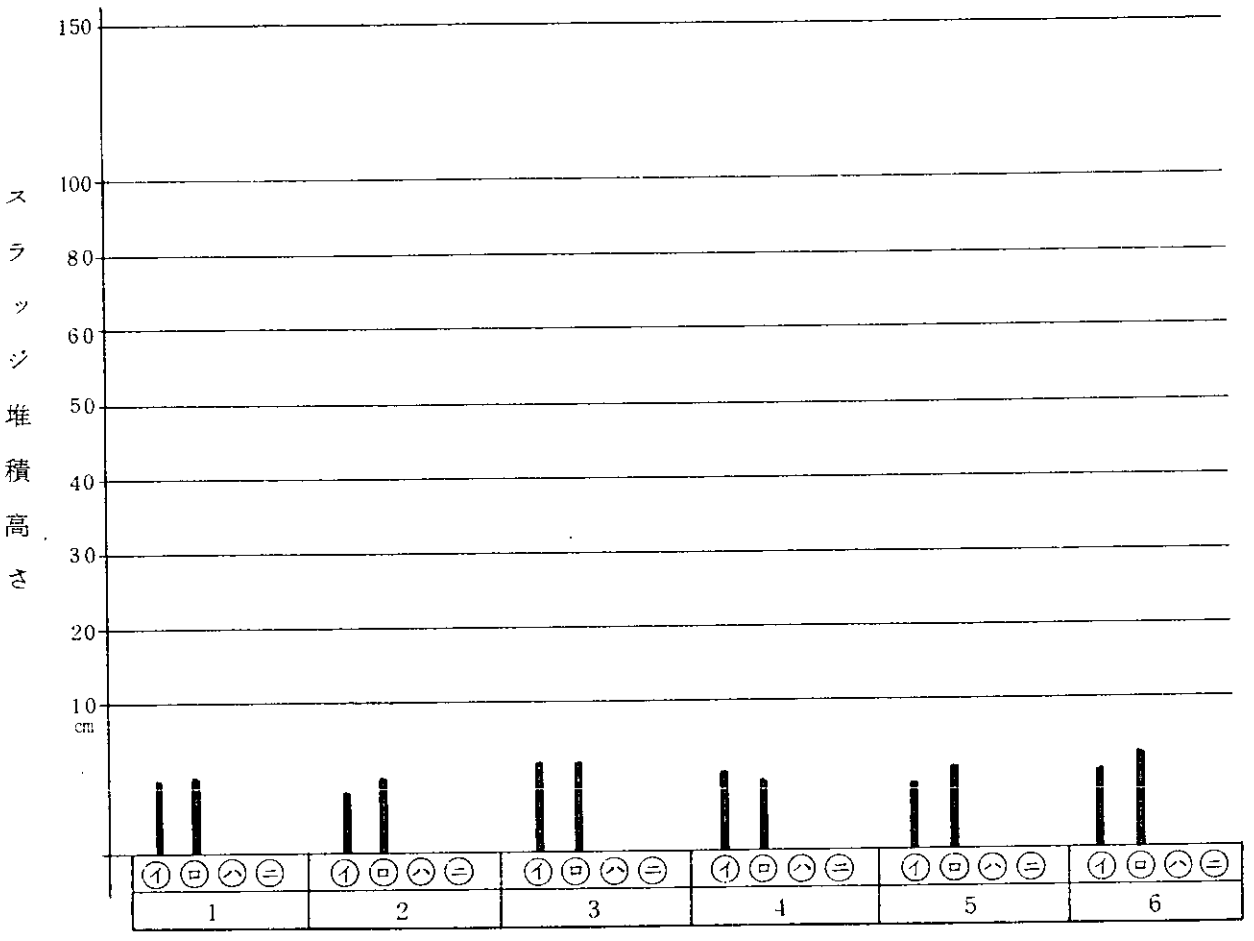
漂泊船　K　丸　　油種　クゥエート　　タンクNo. 1P

1. 計測点



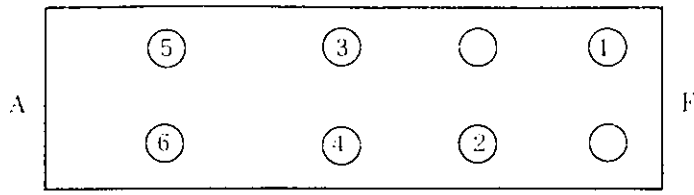
2. 計測値（Cm）

計測点	計測値（Cm）			
	㋑ 計測日 54. 11. 12 油温 77F（25℃）	㋺ 計測日 55. 2. 8 油温 69F（20.6℃）	㋩ 計測日 油温	㋥ 計測日 油温
1	5	5		
2	4	5		
3	6	6		
4	5	4		
5	4	5		
6	5	6		



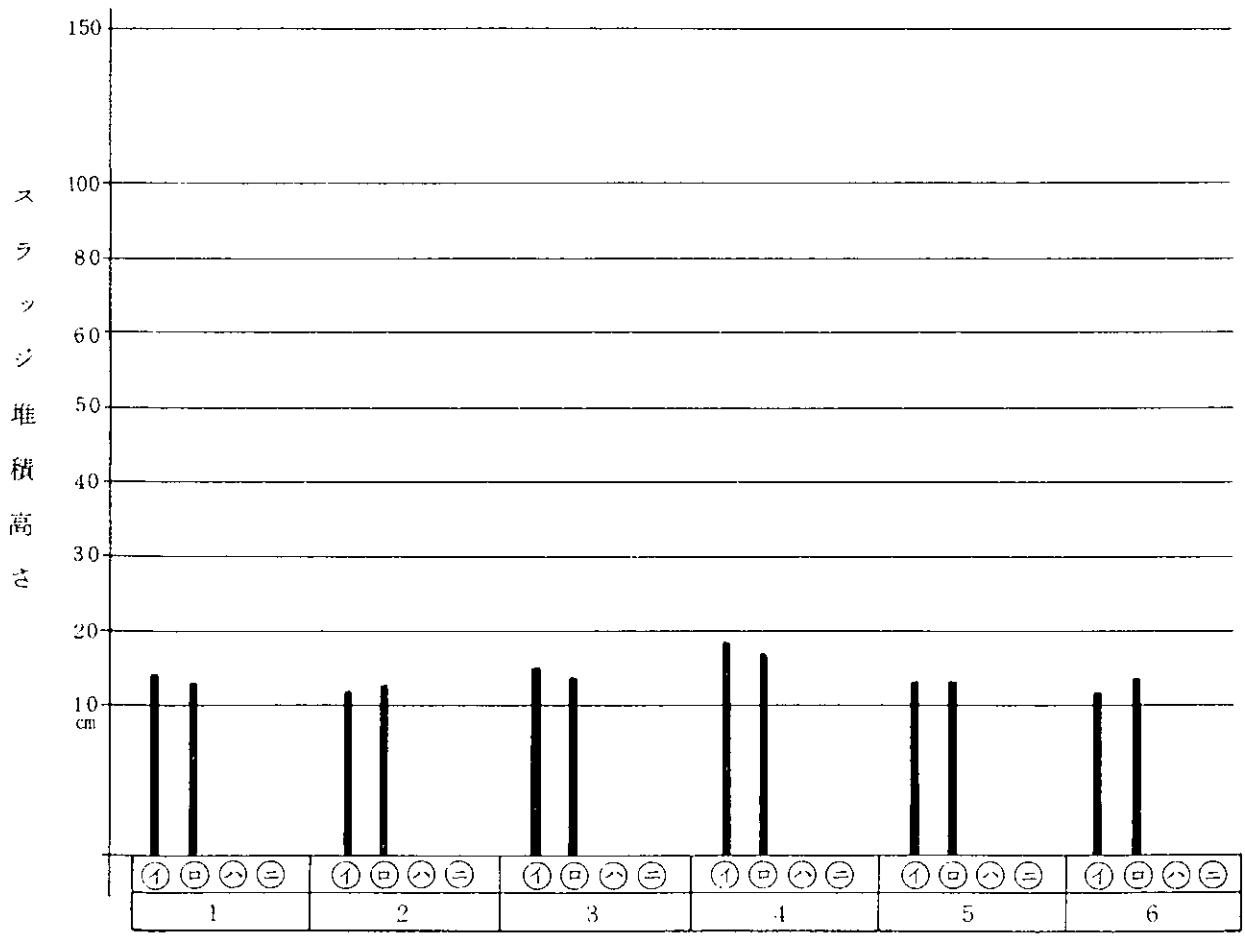
標泊船	K　丸	油種　カフジ	タンクNo.　5 C

1. 計 測 点



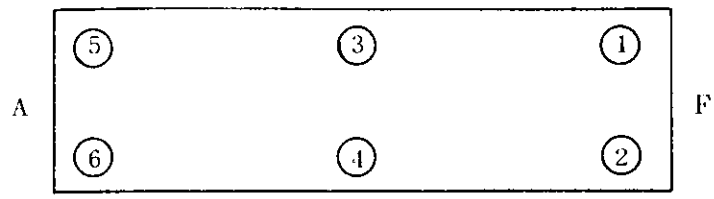
2. 計 測 値（Cm）

計測点	計測値（Cm）			
	㈠ 計測日 54. 11. 12 油　温 80F（26.7℃）	㈡ 計測日 55. 2. 8 油　温 72F（22.2℃）	㈢ 計測日 油　温	㈣ 計測日 油　温
1	14	13		
2	11	12		
3	15	14		
4	19	17		
5	13	14		
6	12	13		



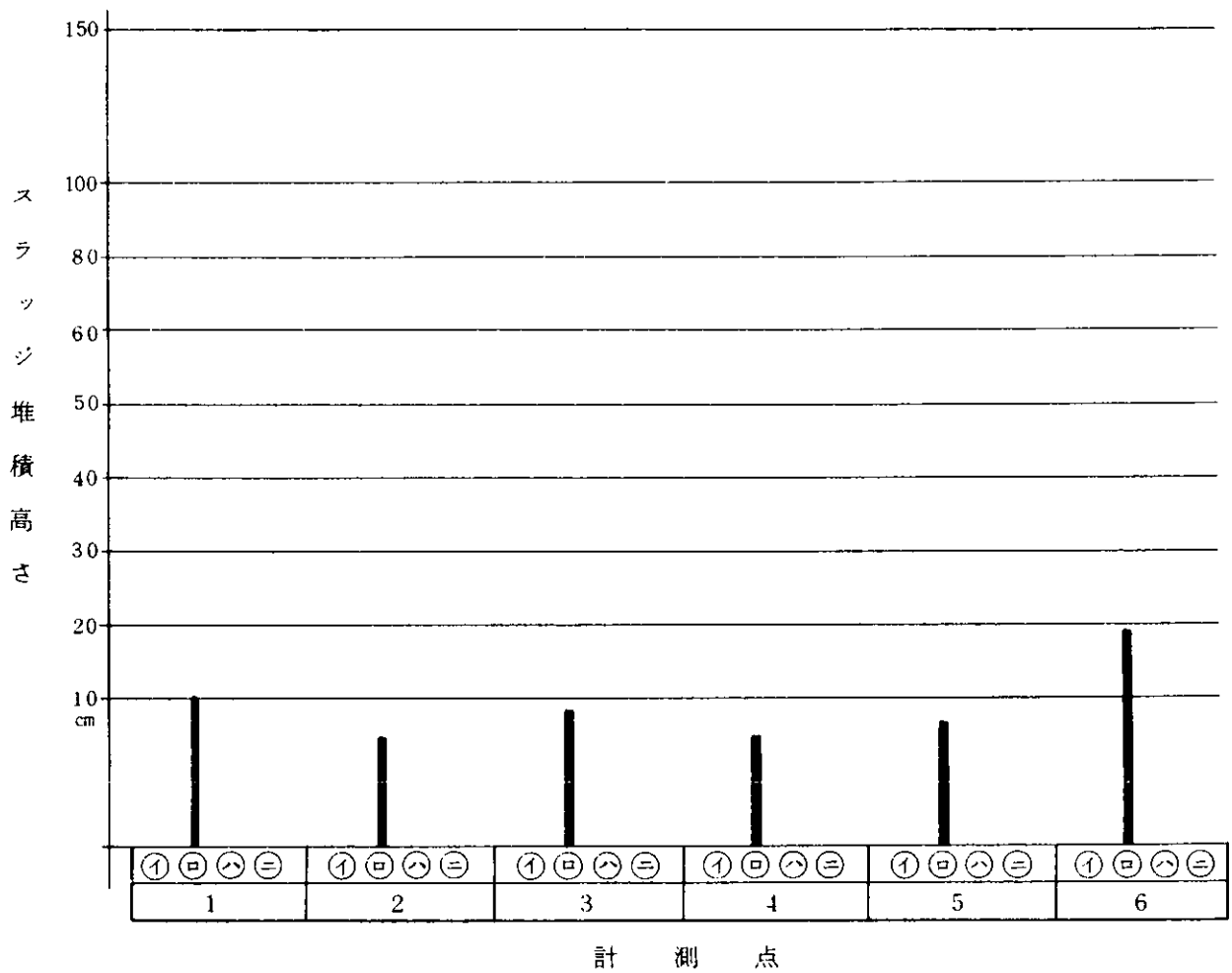
漂泊船	L　丸	油種　カフジ	タンクNo.　4C

1. 計測点



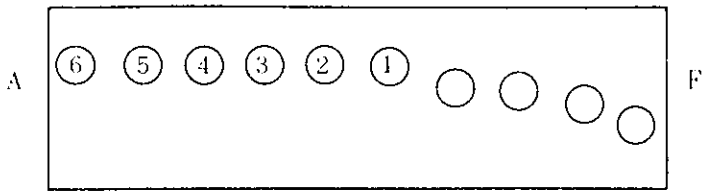
2. 計測値（Cm）

計測点	計測値（Cm）			
	㋑ 計測日 54. 10. 22 油温 −	㋺ 計測日 55. 1. 15 油温 69°F（20.8℃）	㋩ 計測日 油温	㋥ 計測日 油温
1		10		
2		7		
3	4Cのみの	9		
4	計測はなし	7		
5		8		
6		19		



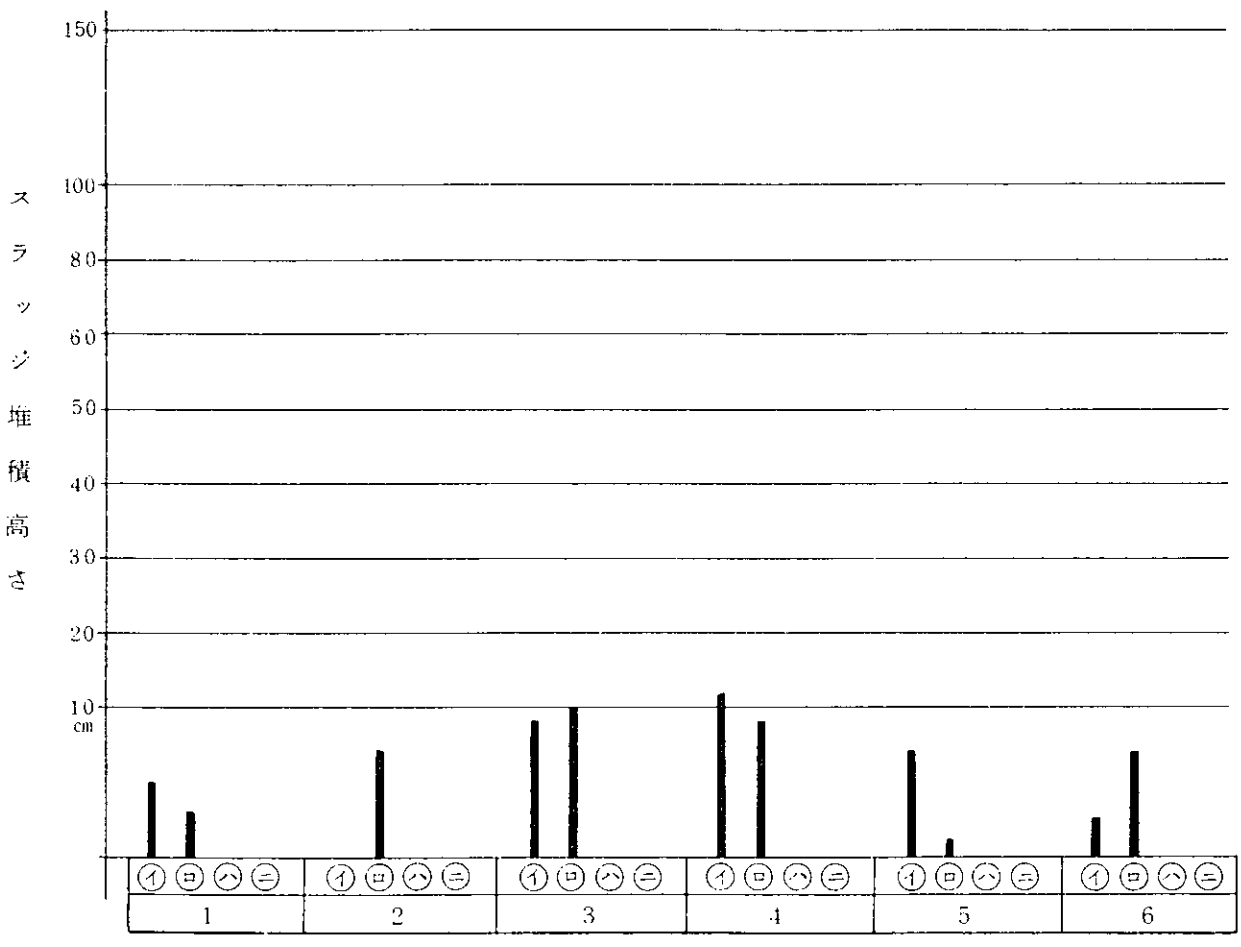
漂泊船	M 丸	油種 バスラライト	タンクNo. 1P

1. 計測点



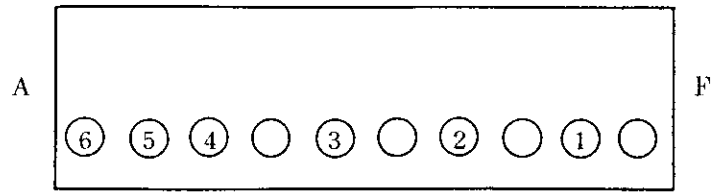
2. 計測値（Cm）

計測点	計測値（Cm）			
	㋑ 計測日 54. 9. 26 油温 84.2°F(29℃)	㋺ 計測日 54. 12. 19 油温 73.4°F(23℃)	㋩ 計測日 油温	㋥ 計測日 油温
1	5	3		
2	0	7		
3	9	10		
4	11	9		
5	7	1		
6	3	7		



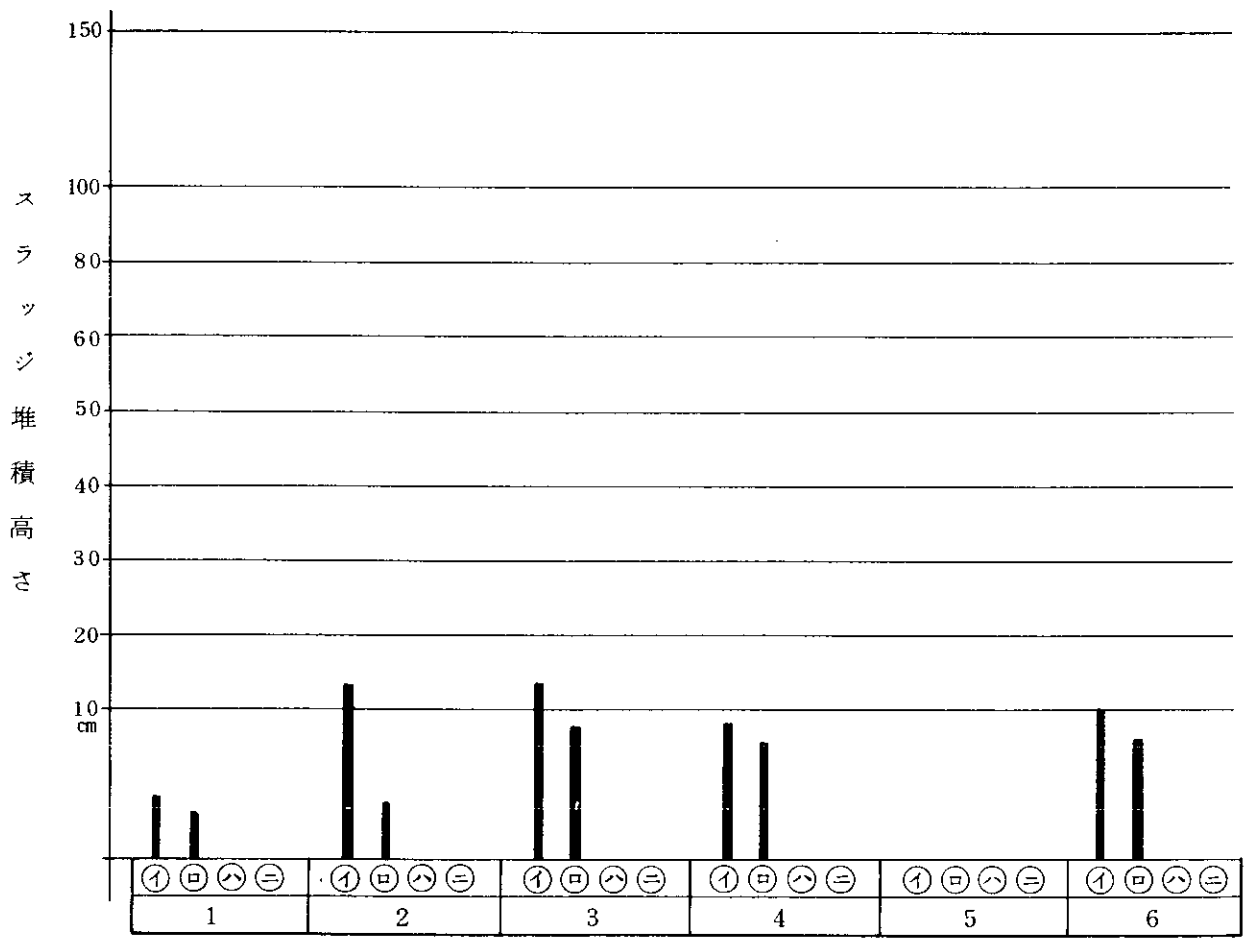
漂泊船　　M　丸　　油種　イラニアン　ヘビー　　タンクNo.　2 S

1. 計 測 点



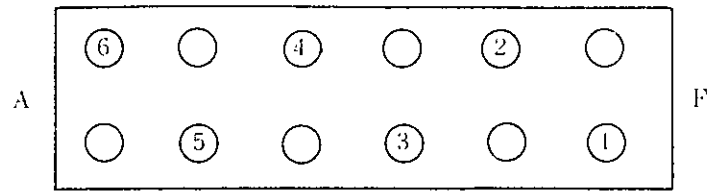
2. 計 測 値（Cm）

計測点	計測値（Cm）			
	㋑ 計測日 54. 9. 26 油 温 84.2°F(29°C)	㋺ 計測日 54. 12. 19 油 温 73.4°F(23°C)	㋩ 計測日 油 温	㋥ 計測日 油 温
1	4	3		
2	14	4		
3	14	9		
4	9	8		
5	0	0		
6	10	8		



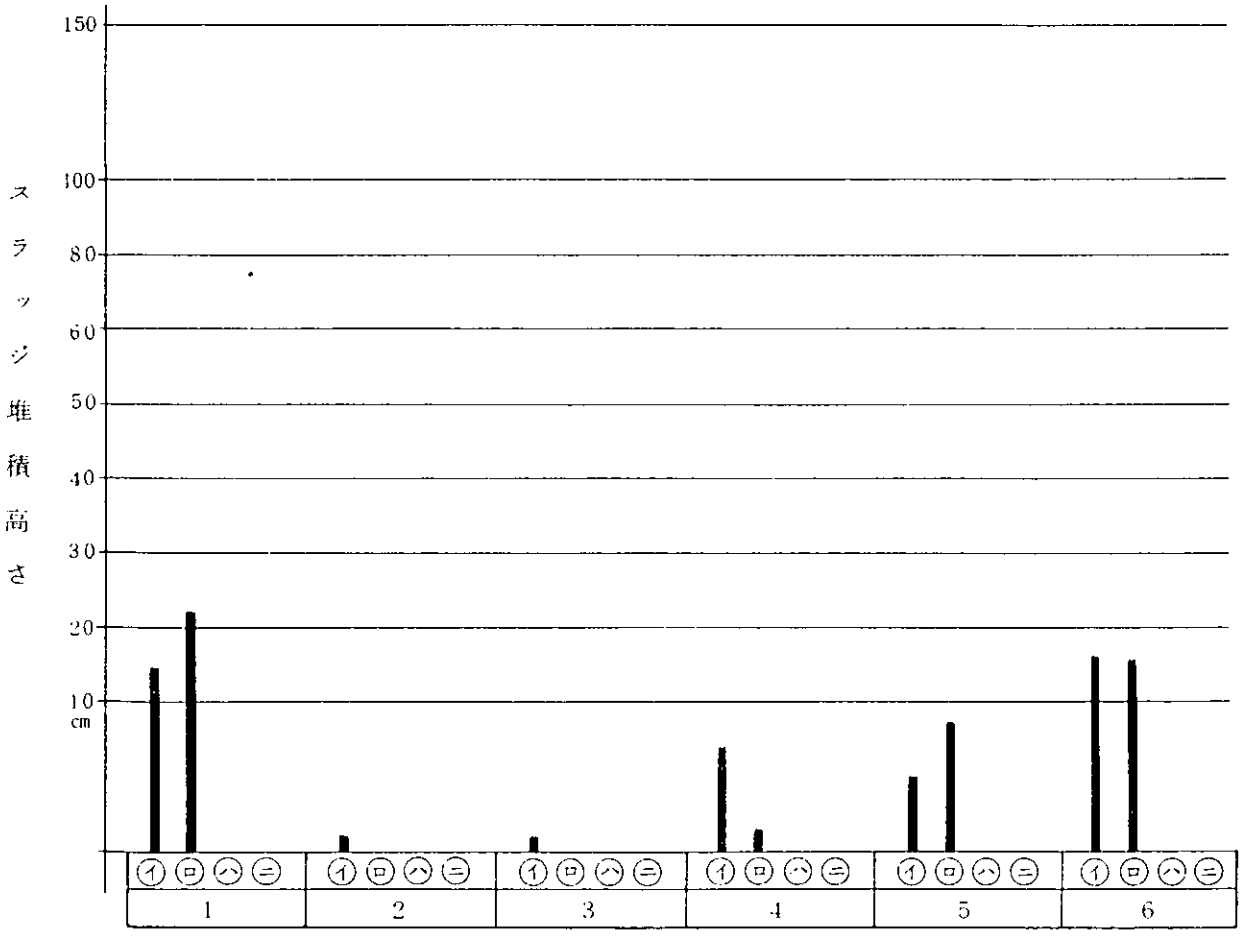
漂泊船	N 丸	油種 オーマン エクスポート ブレンド	タンクNo. 3C

1. 計測点



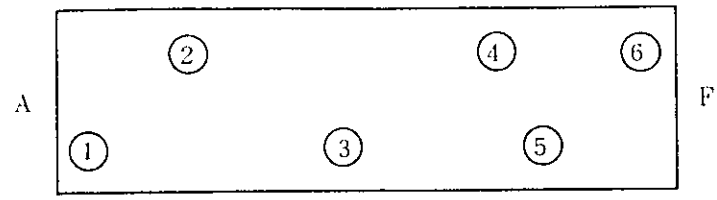
2. 計測値（Cm）

計測点	計測値（Cm）			
	㈠ 計測日 54. 10. 8 油温 82°F（27.8℃）	㈡ 計測日 54. 12. 18 油温 74°F（23.3℃）	㈥ 計測日 油温	㈢ 計測日 油温
1	15	23		
2	1	0		
3	1	0		
4	7	1		
5	5	9		
6	17	17		



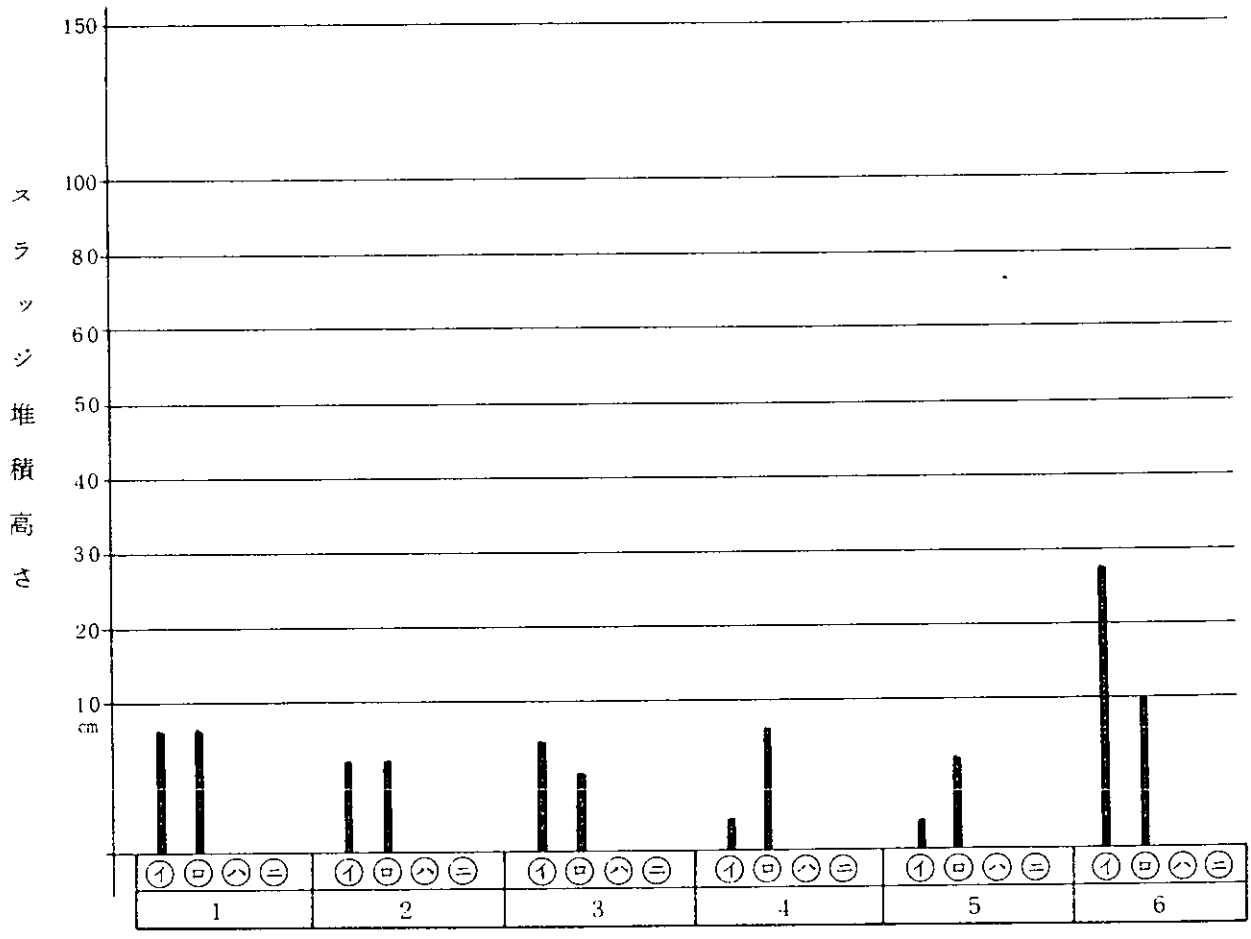
漂泊船	O 丸	油種 ザクム	タンクNo. 2C

1. 計 測 点



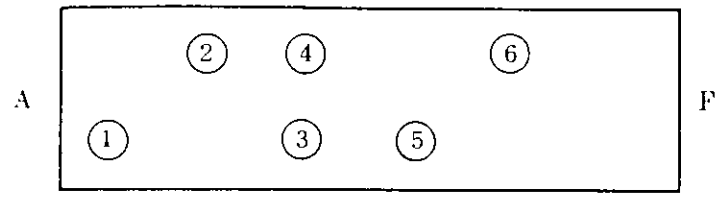
2. 計 測 値 (Cm)

計測点	計測値 (Cm)			
	㋑ 計測日 54. 10. 16 油 温 82°F (27.4℃)	㋺ 計測日 55. 1. 14 油 温 80°F (26.7℃)	㋩ 計測日 油 温	㋥ 計測日 油 温
1	8	8		
2	6	6		
3	7	5		
4	2	8		
5	2	6		
6	27	10		



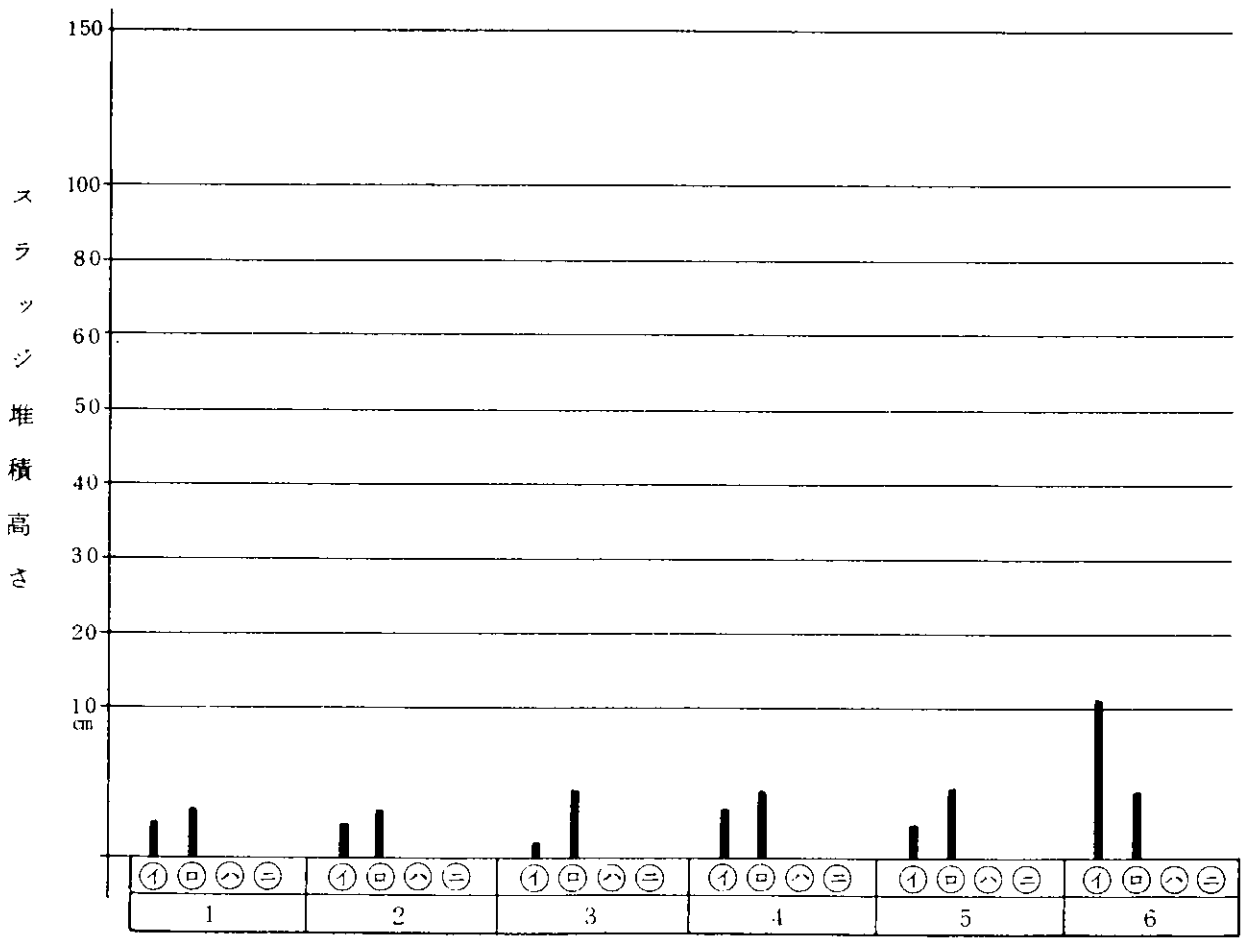
漂泊船	O 丸	油種 バラ	タンクNo. 3 P

1. 計 測 点



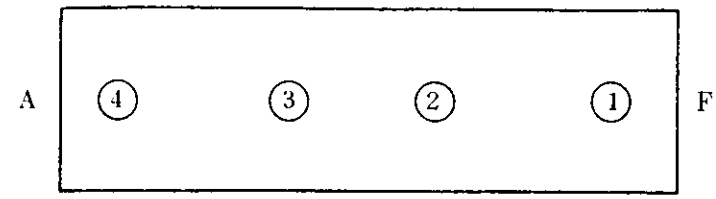
2. 計 測 値 (Cm)

計測点	計測値 (Cm)			
	㋑ 計測日 54. 10. 16 油 温 82°F (27.5℃)	㋺ 計測日 55. 1. 14 油 温 80°F (26.7℃)	㋩ 計測日 油 温	㋥ 計測日 油 温
1	2	3		
2	2	3		
3	1	4		
4	3	4		
5	2	4		
6	11	4		



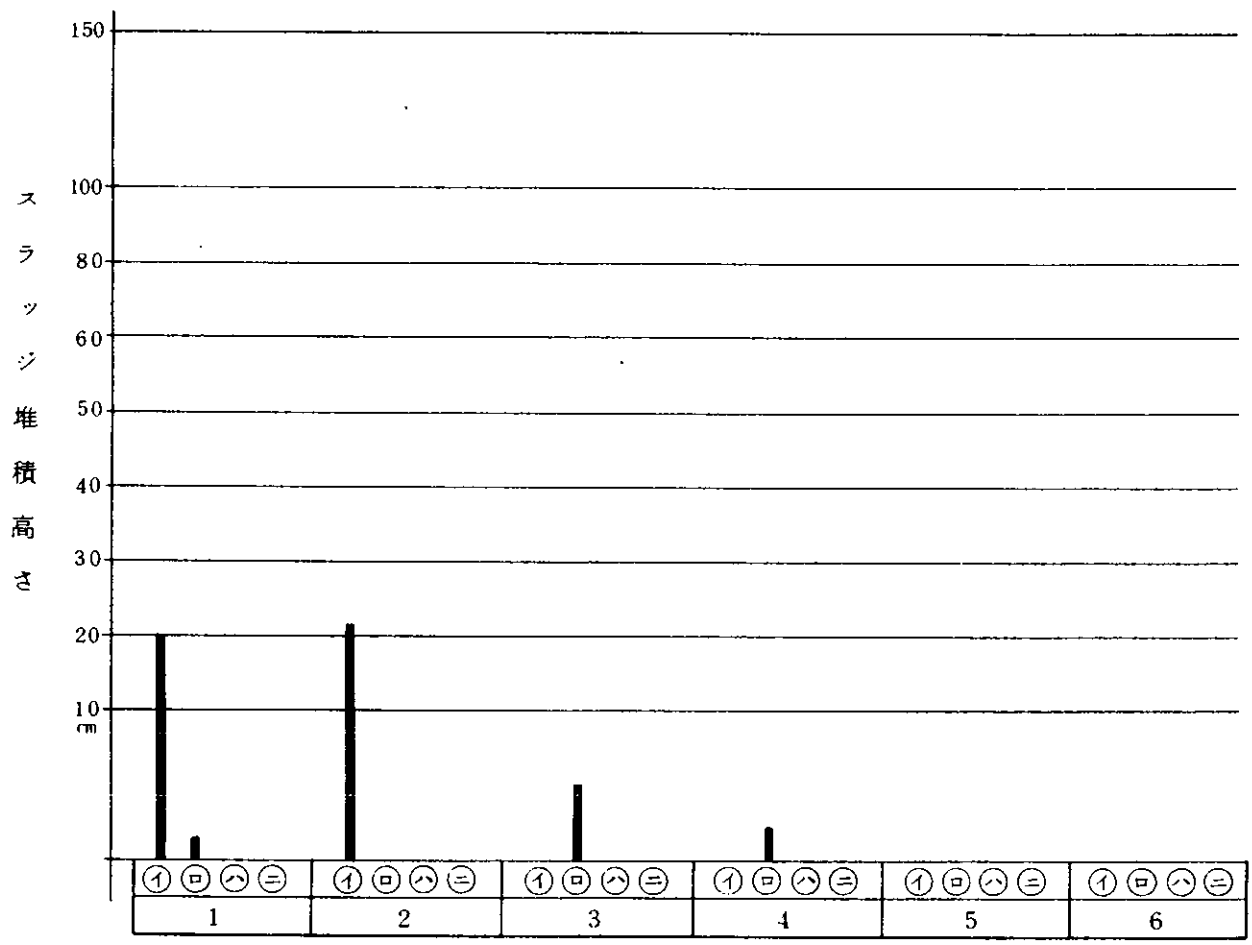
漂泊船	P　丸	油種　カフジ	タンクNo.　4 P

1. 計 測 点



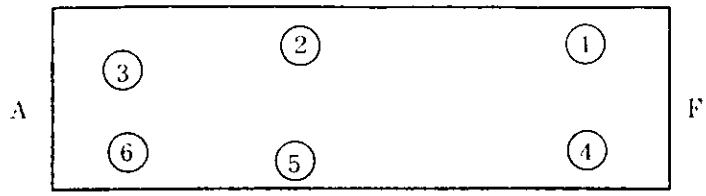
2. 計 測 値（Cm）

計測点	計測値（Cm）			
	㋑ 計測日 54. 10. 26 油　温 81.5°F(27.5℃)	㋺ 計測日 55. 1. 29 油　温 70°F(21℃)	㋩ 計測日 油　温	㋥ 計測日 油　温
1	20	1		
2	21	0		
3	—	5		
4	—	2		
5	—	—		
6	—	—		



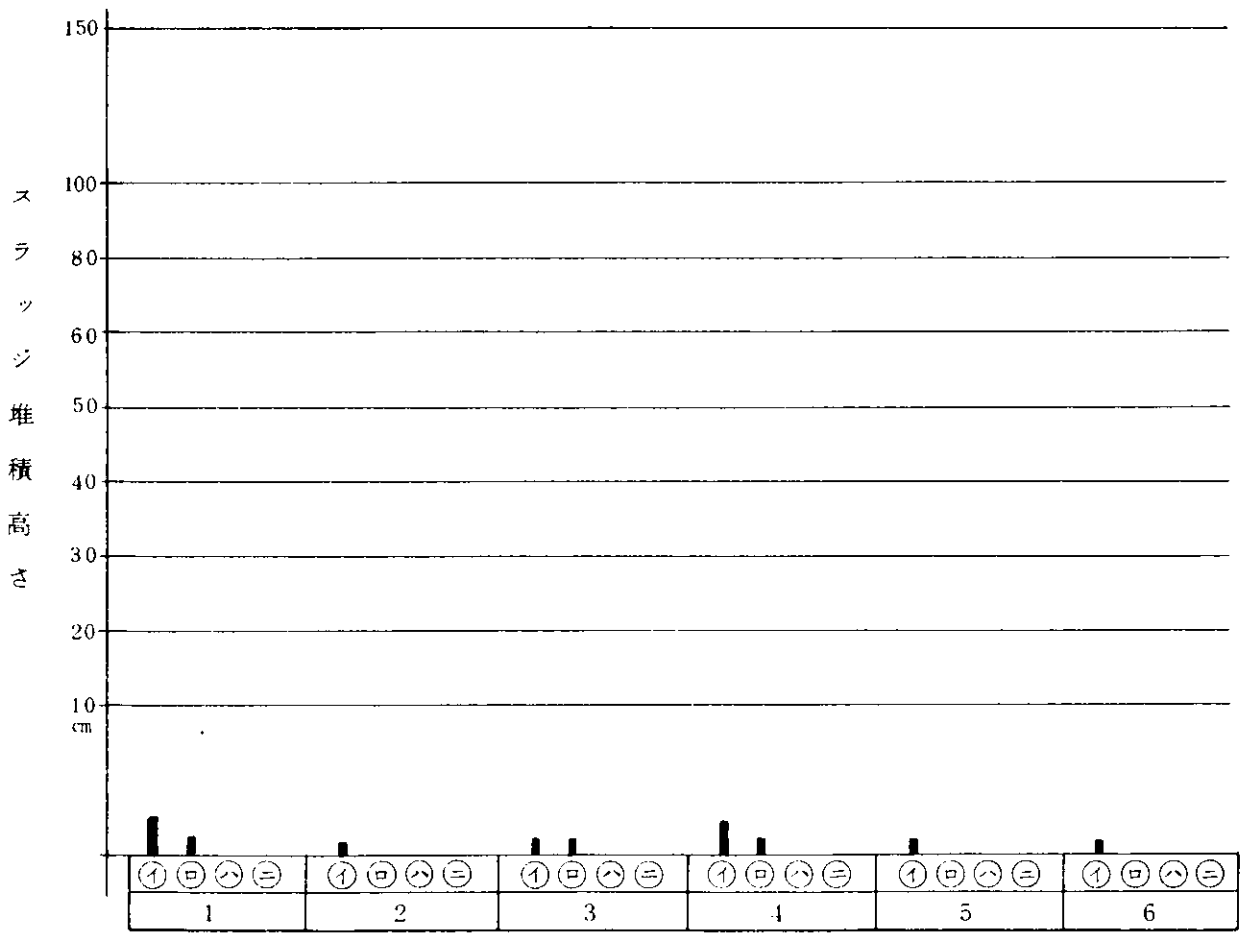
係泊船	P　丸	油種　カタール　マリン	タンクNo.　4 C

1. 計 測 点



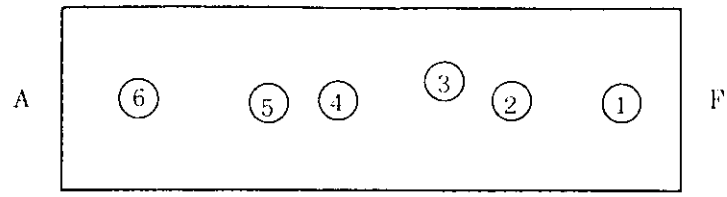
2. 計 測 値（Cm）

計測点	計測値（Cm）			
	㋑ 計測日 54. 10. 26 油　温 81°F（27℃）	㋺ 計測日 55. 1. 29 油　温 71.6F(22℃)	㋩ 計測日 油　温	㋥ 計測日 油　温
1	2	1		
2	1	0		
3	1	1		
4	2	1		
5	1	0		
6	1	0		



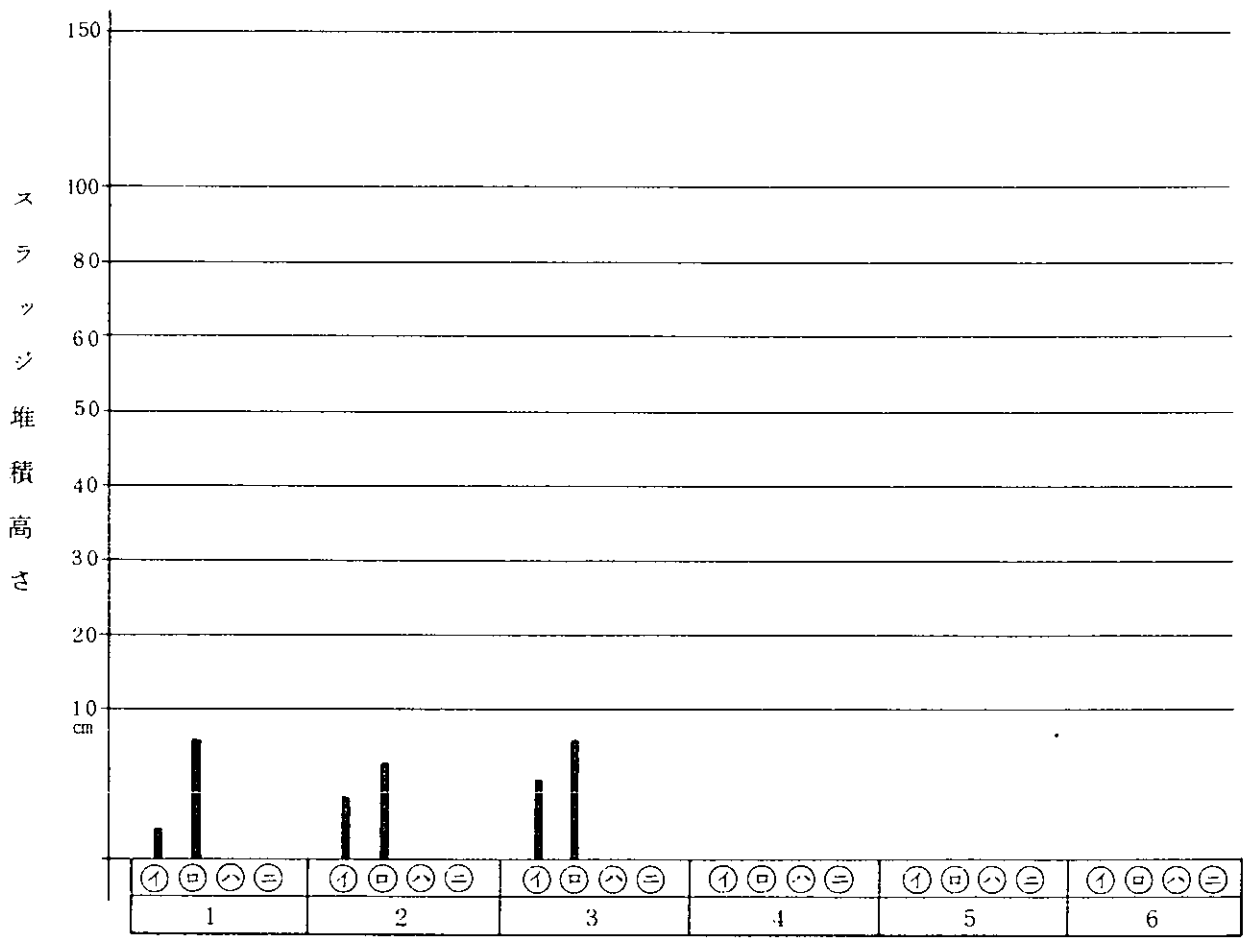
漂泊船	Q 丸	油種 アラビアン ライト	タンクNo. 4 S

1. 計 測 点



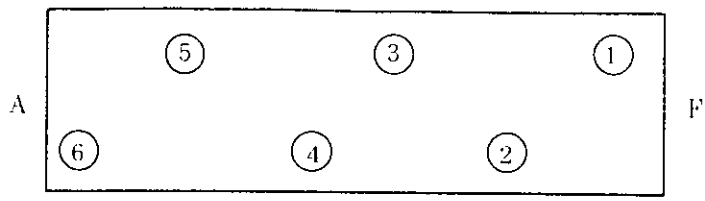
2. 計 測 値 (Cm)

計測点	計測値 (Cm)			
	㋑ 計測日 54. 10. 26 油 温 82℉ (27.8℃)	㋺ 計測日 54. 12. 15 油 温 73℉ (22.8℃)	㋩ 計測日 油 温	㋥ 計測日 油 温
1	2	8		
2	4	6		
3	5	8		
4	—	—		
5	—	—		
6	—	—		



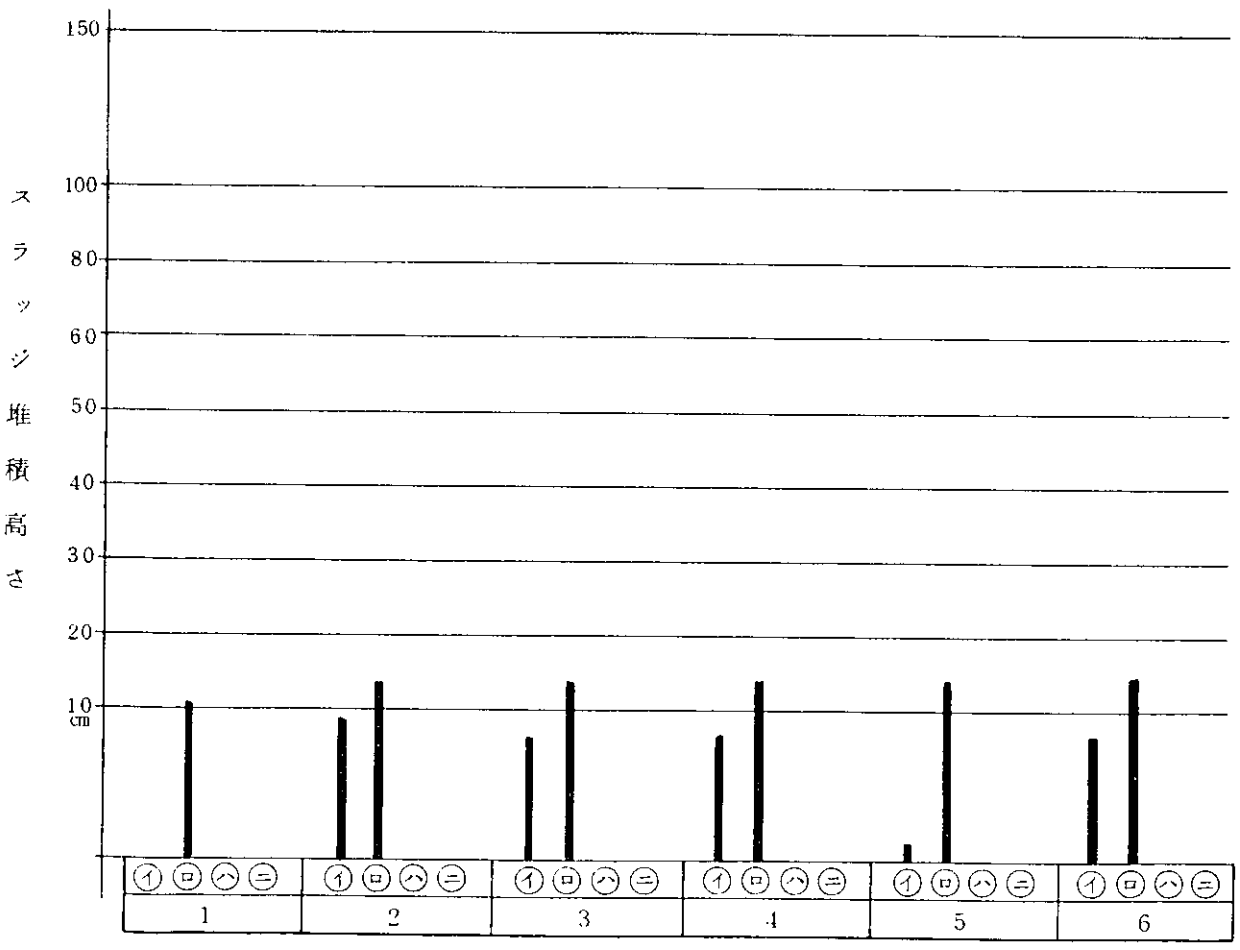
漂泊船	Q 丸	油種 クルート	タンクNo. 4C

1. 計測点



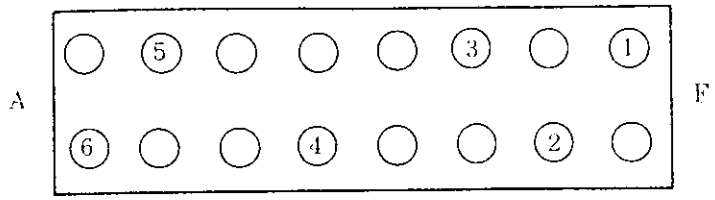
2. 計測値（Cm）

計測点	計測値（Cm）			
	㋑ 計測日 54. 10. 26 油 温 82°F（27.8℃）	㋺ 計測日 54. 12. 15 油 温 73°F（22.8℃）	㋩ 計測日 油 温	㋥ 計測日 油 温
1	0	11		
2	9	14		
3	8	14		
4	8	14		
5	1	14		
6	8	14		



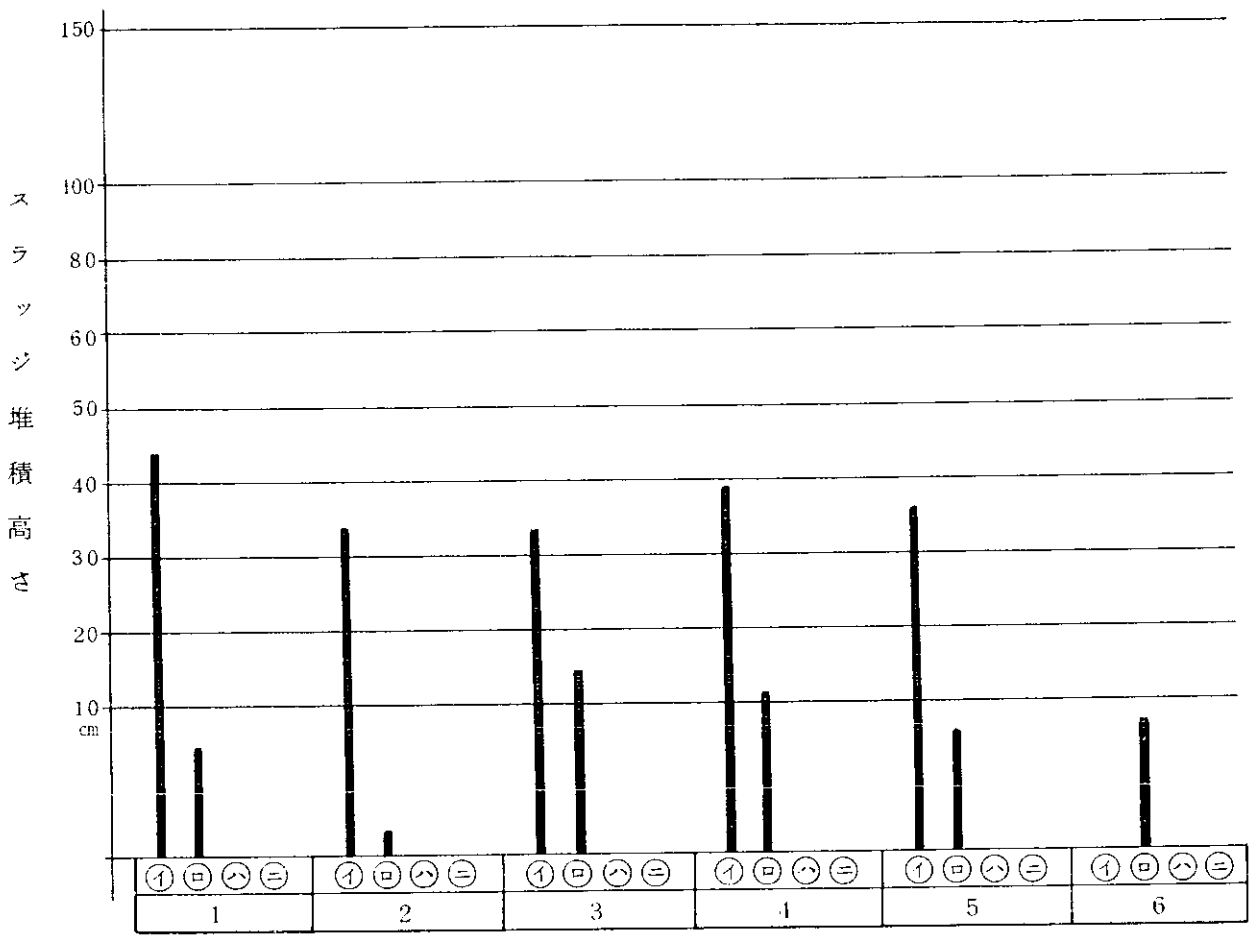
標油船	R 丸	油種 クルード	タンクNo. 5C

1. 計 測 点



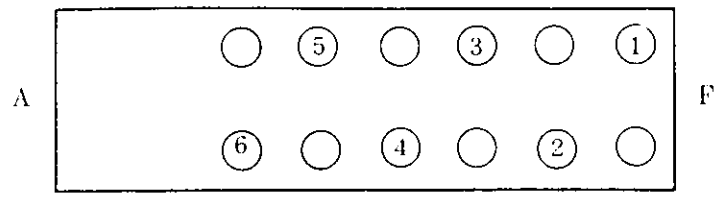
2. 計 測 値 (Cm)

計測点	計測値 (Cm)			
	㋑ 計測日 54. 10. 25 油 温 81.3°F(27.4℃)	㋺ 計測日 55. 1. 20 油 温 70°F(21.1℃)	㋩ 計測日 油 温	㋥ 計測日 油 温
1	44	7		
2	34	1		
3	34	15		
4	39	11		
5	36	8		
6	−	8		



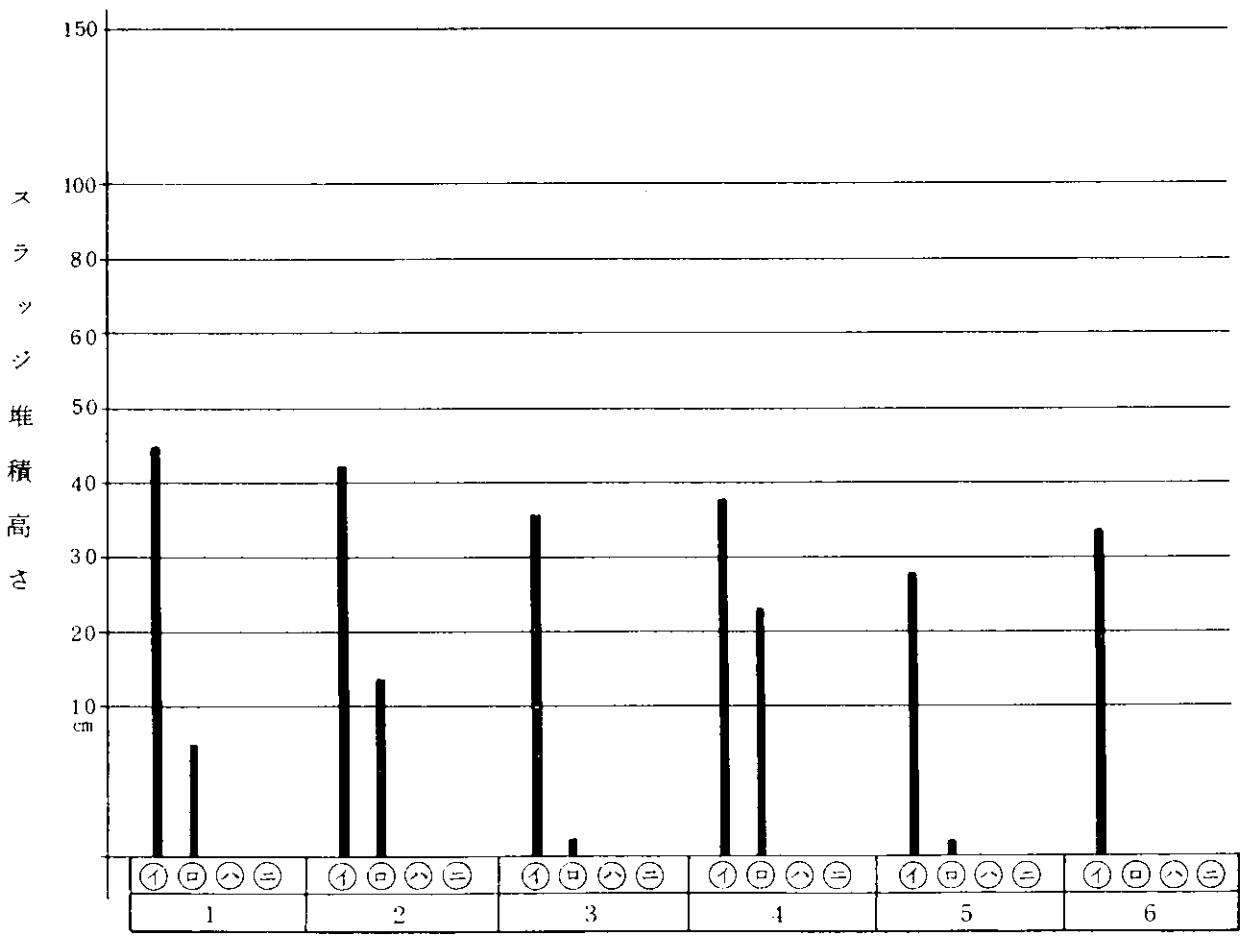
漂泊船	R 丸	油種 アラビアン ヘビー	タンクNo. 1C

1. 計 測 点



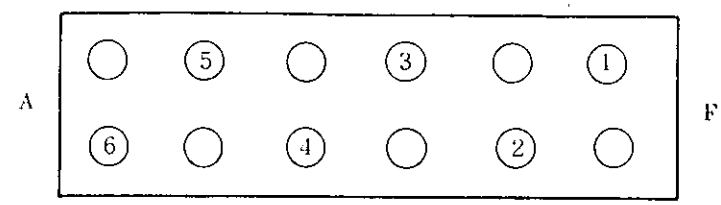
2. 計 測 値 (Cm)

計測点	計測値 (Cm)			
	㋑ 計測日 54. 10. 25 油 温 80.6°F(27℃)	㋺ 計測日 55. 1. 20 油 温 71°F(21.7℃)	㋩ 計測日 油 温	㋥ 計測日 油 温
1	45	7		
2	42	14		
3	36	1		
4	38	23		
5	28	1		
6	33	0		



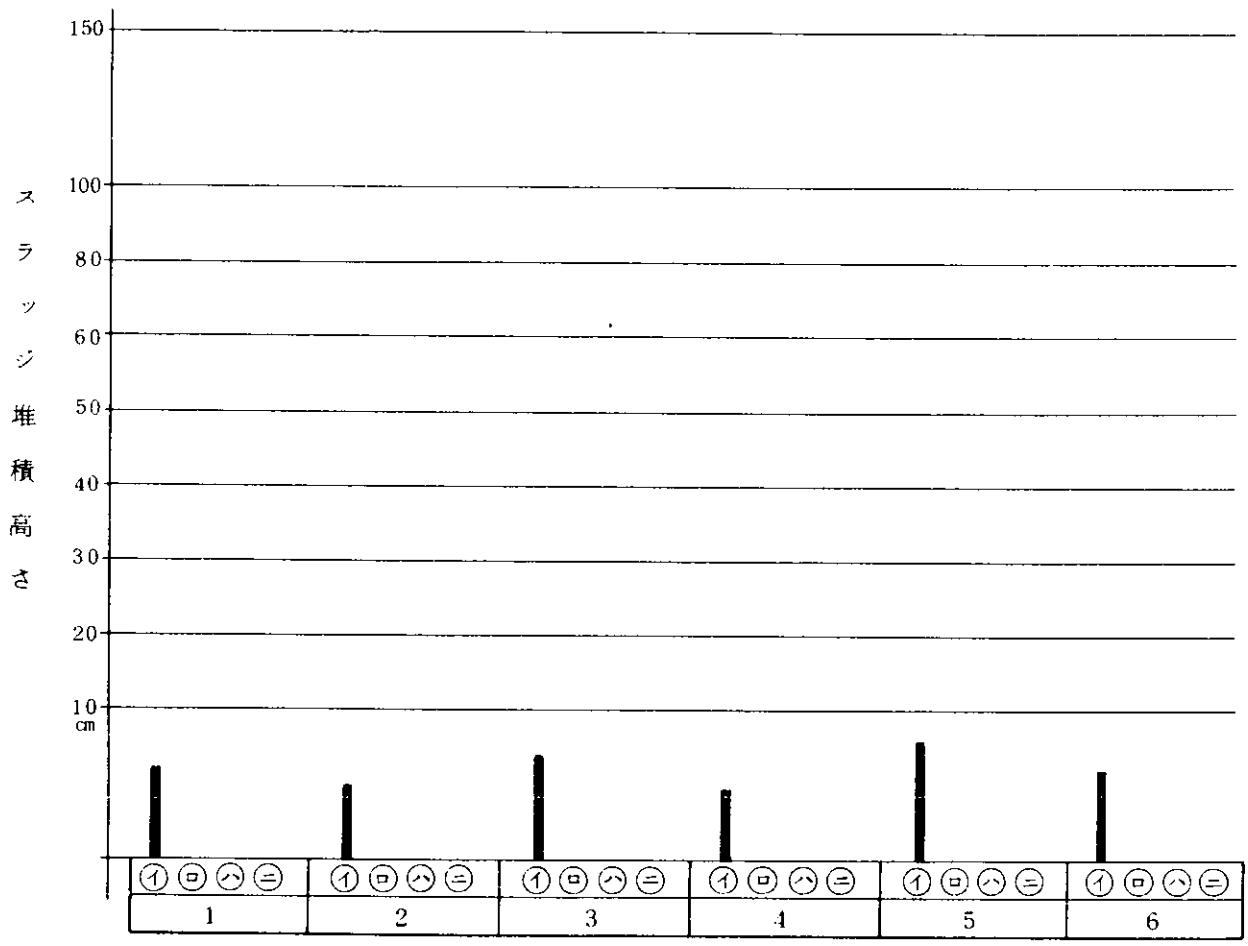
漂泊船　　S　丸　　油種　バスラ　ライト　　タンクNo.　1C

1. 計測点



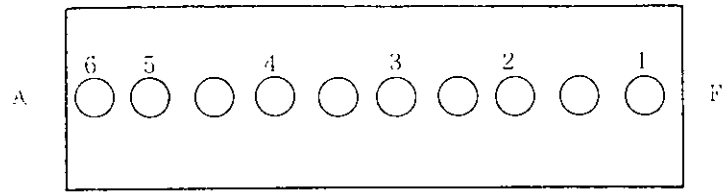
2. 計測値（Cm）

計測点	計測値（Cm）			
	㋑ 計測日 54. 9. 14 油温 85°F	㋺ 計測日 54. 12. 11 油温 76°F	㋩ 計測日 油量	㋥ 計測日 油温
1	6			
2	5			
3	7	計測中止		
4	5			
5	8			
6	6			



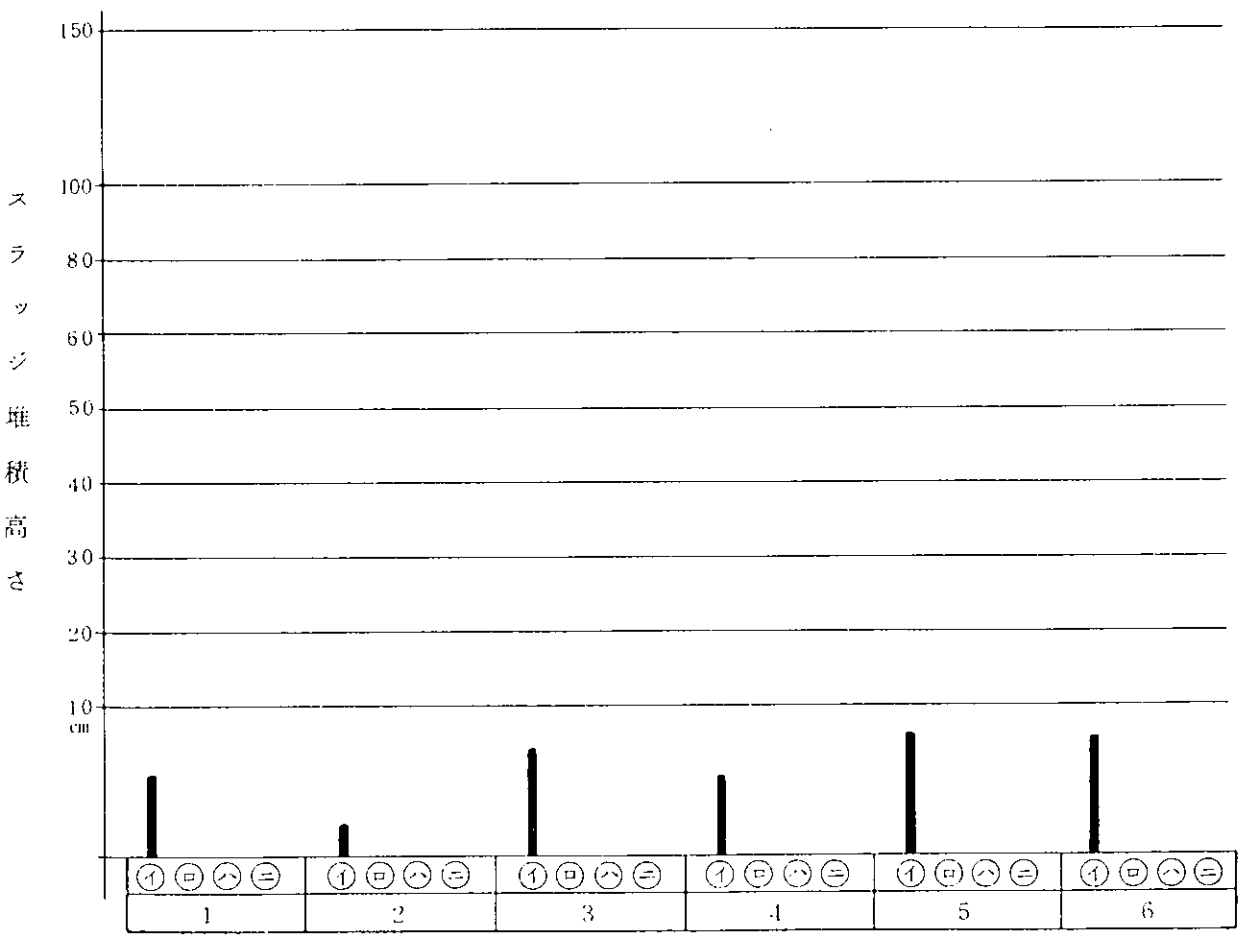
標油船	S 丸	油種 カフジ	タンクNo. 1S

1. 計測点



2. 計測値（Cm）

計測点	計測値（Cm）			
	㋑ 計測日 54. 9. 14 油温 84°F（28.9℃）	㋺ 計測日 54. 12. 11 油温 72°F（22.2℃）	㋩ 計測日 油温	㋥ 計測日 油温
1	5			
2	2			
3	7	計測中止		
4	5			
5	8			
6	8			



2.3 原油スラッジ堆積に関する模型実験

2.3.1 実験の目的

前述のように備蓄タンクにおいて、かなりの量の沈降スラッジが堆積していることが明らかになったが、その計測場所がパタワースホールの直下に限定されるところからタンク全体としての把握が難しいという問題がある。

スラッジ堆積高さにしても場所によってかなりの変動があり、又、界面の性状あるいは沈降スラッジ内の性状等が全く不明なため果してこの沈降スラッジ層が連続的なものなのか、あるいは界面において急激な性状変化がある不連続層なのか明らかではない。

当実験はこのように、実船（備蓄船）で収集しづらいデータを模型実験によって取得し、実船のデータと総合して揚荷方法の検討に供することを目的としたものである。

2.3.2 実験方法

(1) 供給タンク（模型）について

スラッジの発生、沈積に関して前述のように基本的な考えが紹介されているが熱反応、酸化反応、異種油の接触等によるスラッジ化反応等の急激なスラッジ生成条件の与えられない原油備蓄の場合に、スラッジ成分の分離、析出の条件はタンク内部において一応均質的と考えられ、それらの分離したスラッジ成分が低速度で沈降していくものと思われる。従って、沈降分離に係るファクタの主要素として沈降距離、即ち、タンク高さを3種類（1／10，1／20，1／50模型、実船高さに対する比）選定することとした。最小模型比は実船の高さの1／50であるが、これは、これ以上小さくすると沈降スラッジ量の計測に問題が生じることによるもので、又、最大模型比（1／10）は供試原油量を考慮し、この比であれば充分実船のスラッジ沈降特性を把握できる高さとして設定したものである。供試タンクの寸法及び個数は表2.3.2.1の通りである。

なお、同表中に示した保温水槽とは供試タンクが大気条件による急激な温度変化を避けるため、又、冬場において油温が15℃程度以下（橘湾冬期水温約15℃）に低下せぬよう配慮したものである。

表2.3.2.1 供試タンク（鋼製）

模型比	寸法	個数
1／10	265.0cm（高さ）×20cm×35cm	2
1／20	132.5cm（高さ）×20cm×35cm	2
1／50	53.0cm（高さ）×20cm×35cm	2
供試タンク保温水槽 3.1 m（高さ）×2 m（幅）×3.4 m（長さ）		

供試タンクの構造及び装備上の要点は次のようである。

(a) タンク底部より26.5cmの部分にフランジを取付け、スラッジ計測時に取外し可能とする。

(b) タンク内底部の縦方向に高さ10cmの仕切板（ロンジ相当）2枚、又、横方向には高さ15cmの仕切板（トランス相当）で仕切られているが、排出口取付区画には縦方向の仕切板は省略している。

1／20，1／50模型の場合ロンジ相当仕切板の高さは5cm、トランス相当の高さは7.5cmである。

(c) 仕切板下部には実船の1／10のオイルニース用の孔がある。

(d) 原油排出用サクションラインはメイン、ストリッピング用2系列とし、その高さはメインで6㎜、ストリッピングで3㎜である。

(e) 1／10模型には高さ方向に4ケ所のサンプリングコックを装備している。

(f) 各模型タンクの底部にスラッジ計測用の採取器((高さ) 26.5cm×6cm×9cm) 2ケを装填し、沈降スラッジの計測に供した。

(g) その他機器

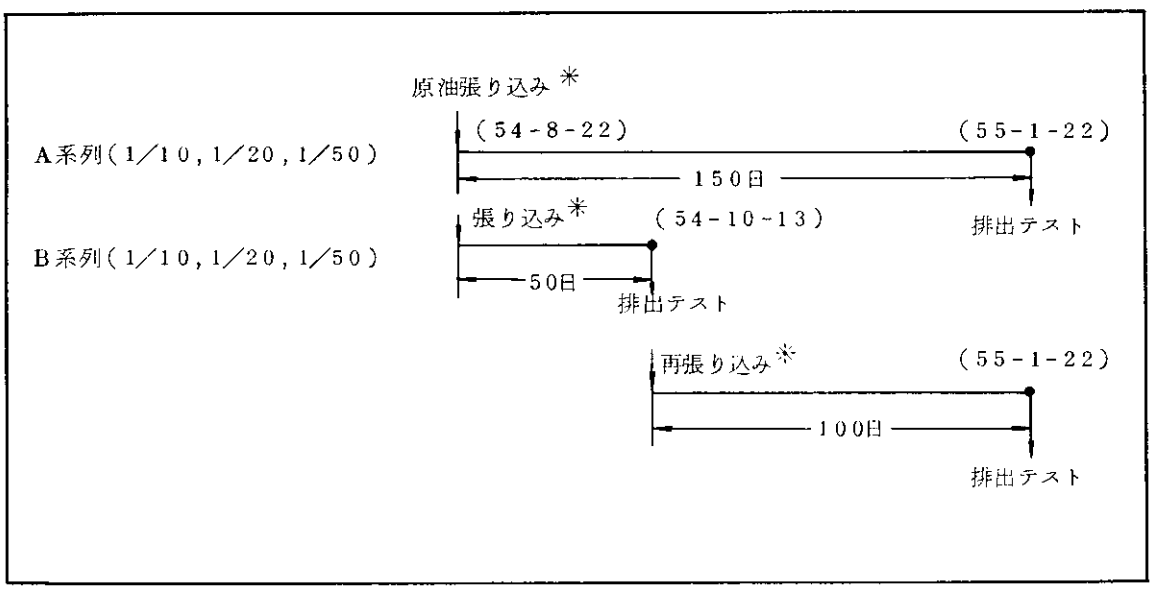
油温測定用温度計、圧力計(−700～1400mmaq) ブリザーバルブ

以上の試験装置の配置(模型タンク)概要を図2.3.2.1に示した。

(2) スラッジ堆積実験

堆積実験の開始時において、前述の3種類の供試模型の1系列には150日テストのための供試油を張り込み、又、他の1系列には50日テスト用の供試油を張り込んだ。そして50日テスト終了後(排出テスト終了後)排出した油を再び同タンク内に張り込み直して100日試験を実施した。(下表参照)

表2.3.2.2 スラッジ堆積試験スケジュール



供試油はスラッジの発生し易いと予想される重質油であること及び入手の便を考慮してカフジ原油が選定され、この供試油はアラビア石油㈱カフジ鉱業所でステンレス製ドラムに充填されたものであり、最初の張り込みの時に運搬容器のドラム鑵底に輸送途中において仮にスラッジ成分が分離していたとしても、その全てが模型タンクに装填されるよう充分な混合を行い、ドラム鑵底部に残留スラッジがないことを確認して初期張込みを終了した。

堆積試験の途中、供試タンク内の油のスラッジ性状を把握するために1／10模型タンク内の4ケ所から定期的にサンプリング油を抽出し水泥分又は遠心分離物を計測してみた。

又、各模型タンクにはスラッジの堆積状況を把握するため、図2.3.2.2に示すようにスラッジ採取器を底部に装填している。

そして各堆積試験が終了した時点でスラッジ採取器を外部に取り出し、図2.3.2.3に示すように高さ方向に(7～9分画)してその中からサンプリング油を取り出しスラッジ成分に関する分析を行った。

50日テストの際は各模型とも図2.3.2.3(1)に示すように同一分画を又、100日テスト、150日テストについては同図(2)に示すように各模型について分画の厚みを変えている。後者の分画厚みを変えた理由は各模型毎に沈降スラッジ量が後述のように著しく変化していることによる。50日テストの場

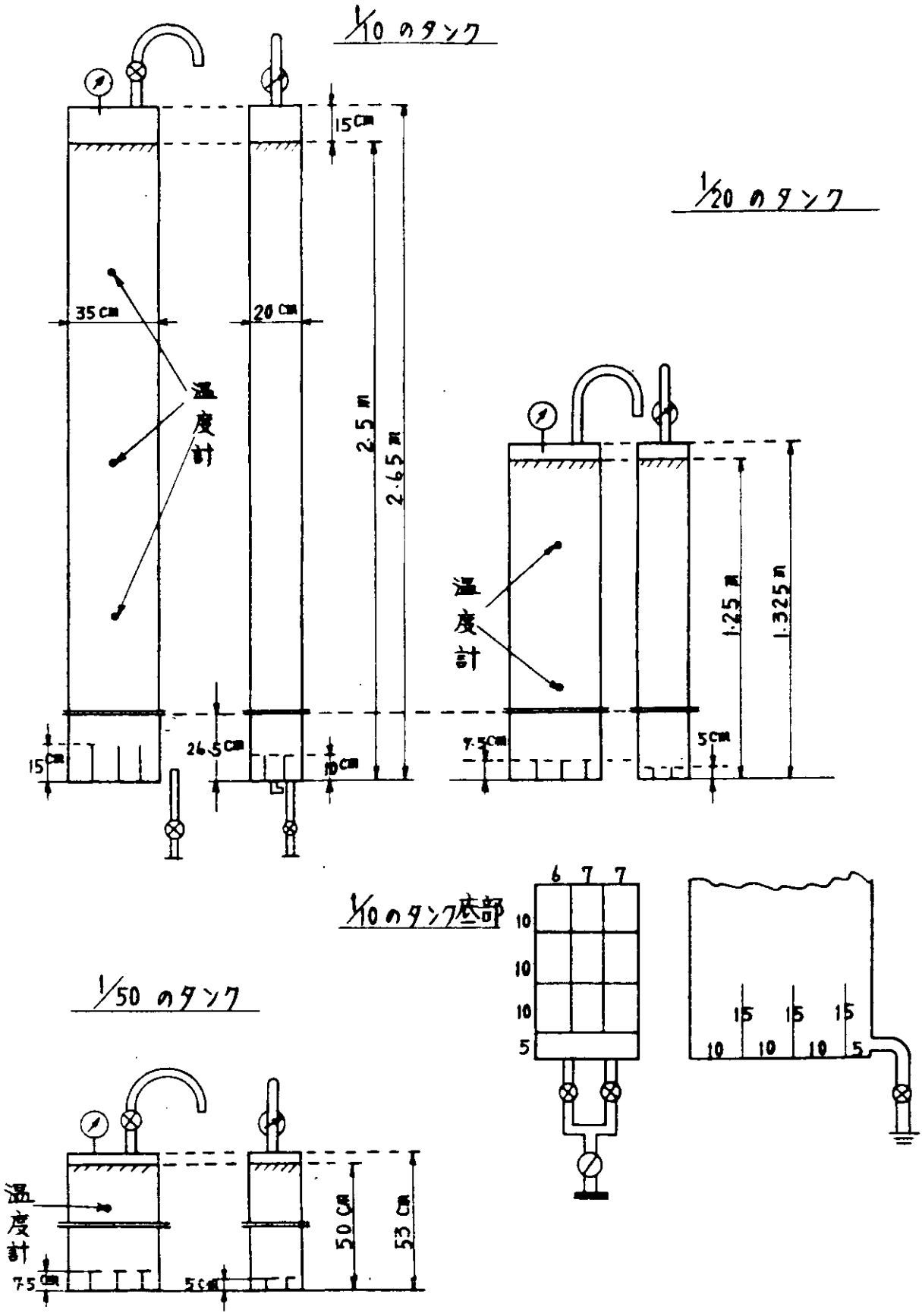


図 2. 3. 2. 1　実験用模型タンクの概要

合沈降スラッジ量は全模型ともほぼ同程度であり分画容量を模型毎に変える必要なしと判断したことによる。

以上のように各試験において分析用のサンプルを適宜採取しているが、それを一括して表2.3.2.3に示した。

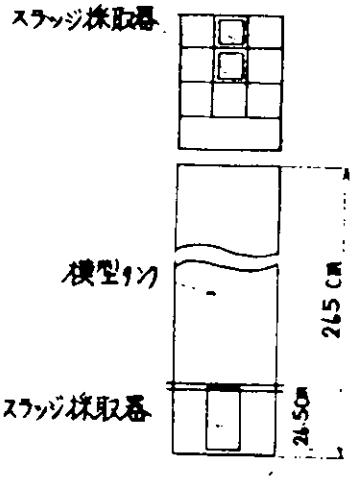


図2.3.2.2　スラッジ採取器の配設状況

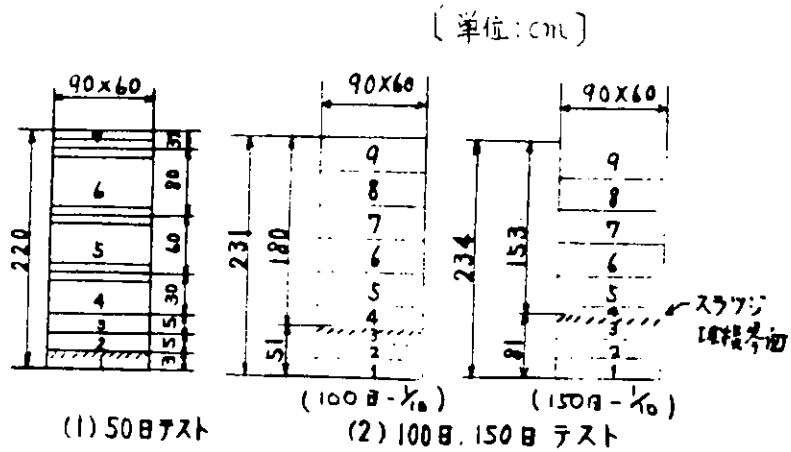


図2.3.2.3　スラッジ採取器内のサンプル分画状況

表2.3.2.3　分析用サンプル採取場所

サンプル記号		採取場所、採取時期等
A		堆積試験の開始時の原油性状を代表するものとして、模型タンクに原油を張り込んだ直後に模型表面油からサンプルしたもの。
B		堆積試験終了後Aと同様にタンク表面油からサンプルしたもの。
C	前	堆積試験が終了してタンク底部油の排出試験を実施する段階においてストリッピング開始直後にサンプリングされたもの。
	後	同様に、ストリッピング終了時点のもの。
D		1／10模型タンクの4点から採取。
E		スラッジ採取器内。

(3)　スラッジ堆積高さの計測

アンボンバブルスラッジはその定義通りストリッピングできずに残存するスラッジ量であるからその計測に問題はない。沈降スラッジの場合、実船計測では直径２００㎜、厚さ2.3㎜、重さ約７１０９の黄

銅板製円板が自重とバランスする位置の深さで定義したが、当実験では次の方法によることとした。

即ち、スポイドを用いて表面の数ケ所から小量づつ取り出し、全体油面を一様になるように、注意しながら上層油を取り除いていくと急激な流動性が不良になる界面が露呈されるので、この時の高さを沈降スラッジの堆積高さとした。当実験の主目的である揚荷性との関連から、又、アンボンバブルスラッジ量との対応性を検討するときにこのような計測法は妥当であろうと思われる。但し、５０日堆積テストの場合非常に堆積量が少く、かつ、界面も連続的な性状変化をしている可能性があることから採取器毎にドライアイスで急速冷凍して取り出したあと薄層に分割して分析を行い、その性状変化から検討することとした。

(4) 実験油の排出、ストリッピング試験

設定した静置期間終了後、実験油の排出前に1／10模型タンクのみ頂部を開き上部から静かに分析に必要なサンプル(B)を採取した。実験油の排出及びストリッピングの要領を次に示した。

各タンクの前部を７～８㎜持ち上げ、メインサクションラインからグラビティにより排出する。（トリムLの２～2.5％） 排出速度は1／10模型タンクでストリッピングを除き４～５時間で排出するようメインサクションラインのコックを調節する。底部から２６.５㎝の位置にあるフランジを取外し更に排出を行って、大部分の実験油の排出が終ったあと、ストリッピングサクションラインを開けてメインサクションラインを含む両サクションラインからストリッピングを行う。ストリッピングの目安として３０～６０分を設定する。このストリッピング開始直後及び終了直前に分析用サンプルを採取する。ストリッピングが終了した段階でタンク底部に残存するアンボン・バブルスラッジの量を堆積高さ、重量、容積によって評価する。なお、アンボンバブルスラッジの上部に原油部分を残する場合には原油を取り除いたあとの堆積高さ、重量、容積等も計測した。

５０日堆積試験の場合にはこのアンボンバブルスラッジはそれぞれの模型タンク毎にその全量を再びそれぞれの実験油に戻した状態で１００日堆積試験に供した。

１００日堆積試験及び１５０日堆積試験の場合のアンボンバブルスラッジは必要に応じ分析及び実船で使用したスラッジ高さ計測器の適用性の検討などに利用した。

(5) 分析方法

スラッジ成分の分析法はＪＩＳ等に規格化されていないものが多いのでそれぞれの分析法を次に示した。

(a) ドライスラッジ

ドライスラッジの測定法に各種のものがあるが、その中から精度がよいといわれるＳＨＦＴ（Shell Hot Filtration Test）法*による加熱加圧沪過方式を使用した。

① 測定装置は図 2.3.2.4に示すようなジャケット型の加圧加熱型沪過器を使用する。

② 試料約５０ｍℓを精秤し、予め恒温水槽からの循環水（４０℃，±２℃）で加温された沪過器の沪紙上部に充填し、５㎏／㎠gのN_2 ガスにより沪過を行う。

③ 加圧沪過終了後上部蓋を取外し軽油１０ｍℓを用いて沪過器内部及び沪紙を洗浄する。

④ １０mℓのｎ－ヘプタンで沪紙を洗浄したあと１０５℃で乾燥し重量を計り沪紙の増量分をドライスラッジとする。

---

* 参　考　文　献

1) W. J. Van Kerk vort & A.J.J. Nieuwstad J. Enst. Petrol., 37, 596-604 (1951)

2) 出光興産STS K-218-65

⑤ 以上が基本の測定法であるが、この測定法通りであれば備蓄船船底スラッジおよび模型試験等の硬質スラッジは測定不能ということになるので実際の分析では軽油希釈法（２倍）を採用した。

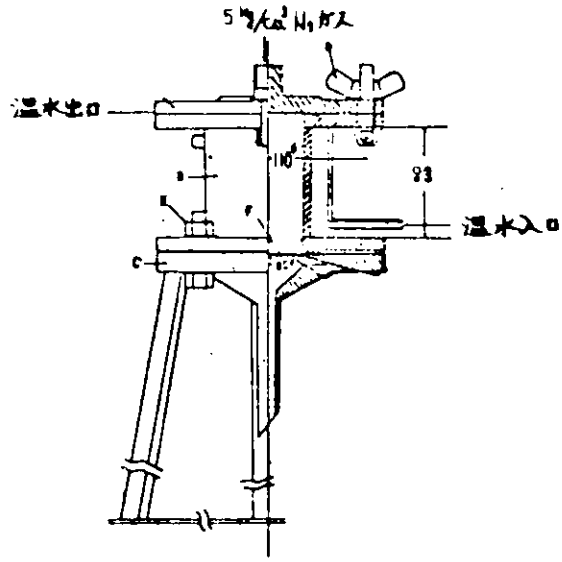


図 2.3.2.4　ドライスラッジ測定装置

(b) ワックス

現在石油公団の方で定期的に備蓄船の原油をサンプリングし分析を実施されているが、この場合のワックス分析法は石油資源開発㈱で実用されている酸性白土吸着法である。現在、原油中のワックス分の分析についてはＪＩＳ、ＡＳＴＭ法等に定義された方法がないのでデータの相関性を考慮して同じ方法を用いることにした。その手順は次の通りである。

① 試料２ｇを採取し、石油エーテル３００mℓ を加えて溶解した後、活性白土２０ｇを加えて混合放置する。

② ＧＦＰ（ガラスフィルタペーパ）で吸引沪過したあと石油エーテルで洗浄し、その沪液を蒸発する。

③ 石油エーテル５０mℓ を加えて残渣を溶解させたあとアセトン１５０mℓ を加え、−20℃±3℃で３０分間保持冷却しワックス分を析出させる。−２０℃の冷ＧＦＰを用いて吸引沪過したあと−２０℃で冷却したアセトンで洗浄冷却したグラスフィルタを用いて析出したワックスを沪別し、ベンゼンで溶解したあと最後にベンゼンを蒸発させ残留ワックスを秤量する。

(c) アスファルテン

石油各社において、いろんな測定法が用いられているようであるが、当実験では石油製品アスファルテン分試験方法として石油学会で確認推奨されているＩＰ法によることとした。その基本手順は次の通りである。

① ２ｇ程度のサンプルに３０mℓ/（１ｇサンプル）のｎ−ヘプタンを添加し還流煮沸してアスファルテン分を析出させ冷却後沪別する。

② 更に、新しいｎ−ヘプタンで還流洗浄したあと３０～６０mℓ のトルエンを加えて１ｈ以上還流溶解しそのトルエンを蒸発除去してアスファルテン分を秤量する。

(d) 遠心分離物

スラッジ計測法の一つとして加熱遠心分離法が一応あげられているので参考までに下記のような方法で遠心分離物を測定してみた。

① サンプル２０～５０mℓを遠心沈降管に採取し４９°±２℃の恒温水槽内に１０分間浸漬する。

② この遠心沈降管をすばやく５０℃に加熱保温された遠心分離機にセットし5000G、２０分間遠心分離したあと沈降管を傾斜して沈降界面上の油を除去する。管壁に付着した油分等を拭き去ったあと沈降管ごと秤量し重量差を遠心分離物とする。

(e) その他

その他の分析法はすべてＪＩＳ規格通りである。

2.3.3 実験結果

(1) スラッジ堆積量

図 2.3.3.1、図 2.3.3.2に１００日テストおよび１５０日テストにおける沈降スラッジの堆積量（高さ）を示した。また図 2.3.3.3 ～図 2.3.3.12にアンボンバブルスラッジの堆積量を示した。

これらの堆積量を沈降スラッジとアンボンバブルスラッジで比較してみると、図 2.3.3.13、図 2.3.3.14の如くで沈降スラッジ堆積量に比べて一応アンボンバブルスラッジの量は減少しているもののそれほど著しくはない。即ち、模型タンク底部に堆積した沈降スラッジはストリッピングによって殆んど移動せずに残留したことになる。この理由は後述のように堆積スラッジの流動点が高くて２０℃にも達する場合があり、全般的に非常に流動性の小さいスラッジであることによるものと思われる。

沈降スラッジの堆積量の時間による変化は図 2.3.3.15、図 2.3.3.16のようで１５０日後にもまだ多少堆積量が増加する傾向にはあるが、全般的に堆積速度は低減しており、これ以上急激に増加しないものと思われる。

模型比（模型タンク高さ）とスラッジ堆積量の関係を調べてみると図 2.3.3.17～図 2.3.3.18の如くで、堆積量は一応模型タンク高さに比例しているものの正比例の関係にはなく、模型比の小さい 1/20, 1/50 模型の方が 1/10 模型と比べて単位高さ当りのスラッジ量が小さい。

この理由について実験結果の考察の項で述べるが、原因は模型タンク内の粘度の不均一によるものと思われ、結論として 1/10模型の方がより実船の場合を推論するのに適当であろうと考える。以上を総合して錨泊備蓄船の場合のスラッジ堆積量（高さ）は一応 1/10模型のスラッジ高さの１０倍、即ち、８００～１０００㎜に落ち着くのではないかと推察する。

(2) 原油および堆積スラッジの一般的性状について

表 2.3.3.1～表 2.3.3.9に模型タンク内各場所から採取したサンプルの分析結果を示した。

これらの分析結果をもとに各項目毎に以下に概説する。

(a) 原油の性状

各試験の開始直後と終了時点で多少比重が変化し、終了時の方が大きくなっているケースがあるが、それほど大きな差ではない。各模型は水槽内にどぶ漬けにしており、その油温は夏場において最高２９℃程度の温度上昇であり、アレージスペース部の温度も油温とほぼ同一であるところからベーパの放散も非常に少なく油の性状にも変化が少なかったものと考える。

(b) 沈降スラッジ等の流動点

図 2.3.3.19～２１にスラッジ採取器内の油およびスラッジの高さ方向の流動点の変化例を示したが、図で明らかなようにスラッジの堆積界面を境として流動点はかなり急激に変化する。しかも堆積界面から上方の油の部分においても油本体の流動点より高い部分が存在し、沈降途中のスラッジ成分が含有されているのがわかる。

スラッジ部分の流動点は約２０℃であり、この流動点を考慮すると２０℃程度の油温でのストリッ

ピング試験の際に沈降スラッジの大部分がアンボンバブルスラッジとして残留したとしても不思議ではないと思われる。

(c) 粘　度

図2.3.3.22に粘度の変化例を示した。この図でみるとスラッジ堆積界面下の粘度は、界面から上の油主体のものに比べて確かに高粘度になっており、1/10模型・150回テストの底部付近のものは12,000cst(30℃)に達するものもある。

堆積層内の粘度は界面に向って漸減の傾向にはあるが、それでも数千cst(30℃)程度を維持しており、20℃の温度でストリッピング試験を実施した際に流動性不良のため殆んどがアンボンバブルスラッジとなったことを裏付けるものと言える。

(d) 各種スラッジ成分について

図2.3.3.23～図2.3.3.28にそれぞれスラッジ採取器内のドライスラッジ、ワックス、アスファルテン、水泥分、遠心分離物等の濃度変化を示した。これらの図からわかる通り、スラッジ堆積層内では何れのスラッジ成分も濃縮されており、層内の分布は底部からスラッジ堆積界面に向って減少していくのがわかる。

特に、ワックス分は最高13%に達するものがあり、本体油の値(約3%)と比べるとその沈降濃縮率は4倍強にもなっている。

一方、アスファルテンの変化をみてみると確かにスラッジ層内で大きくなっているものの最高5%程度であり、油本体のアスファルテン量が4%前後の大きさであるところからそれほど沈降濃縮されていないのがわかる。水泥分と遠心分離物を比較してみると、遠心分離物の方がかなり大きくなっているが、これは遠心力が異なっていること(水泥分850G，遠心分離5000G)と、水泥分の測定の場合ベンゼンを等量添加混合するためアスファルテンおよびワックス分の一部が溶解することによるものと思われる。また、水分は何れの場合にも0もしくは僅少量であり、水を基体とするウエットスラッジは殆んど含有されていないことがわかる。

以上を総合すると当カフジ原油の場合タンク底部に沈積するスラッジはワックスを主成分とした有機系のドライスラッジと少量のアスファルテンおよび無機系のドライスラッジから構成されており、水を組成基体とするウェットスラッジは殆んど含有されていないといえる。

なお、2.1.2において一応スラッジの区分の定義をしたわけであるが、ここでは便宜的に上記のように各スラッジを呼称することとした。

(3) ストリッピング試験結果

50，100，150回テスト終了後のストリッピング試験の結果例を表2.3.3.10に示した。ストリッピング試験の結果をまとめると次のようである。

(a) 供試模型は高さ方向にはそれぞれ実船の1/10，1/20，1/50の模型比がとられているが、横、縦方向は実船の1/1000程度の歪み模型のために必ずしも本テスト結果を以って定量的な評価をするわけには行かない。

(b) しかし恐らくこの歪み模型の問題とは関係なしに20℃程度の油温の場合殆んどの沈降スラッジはポンプアップされずに残留することになろう。その主たる理由は、対象とするスラッジの流動点が20℃にものぼる高流動点高粘度のものに起因する。

(c) この時のアンボンバブルスラッジの量として、100～150回程度以上を経た備蓄油の場合最低800㎥程度は考慮しておく必要があろう。

2.3.4 実験結果の考察

(1) 備蓄船スラッジとの比較

以上述べてきたものは飽くまでも実船の1／10以下の高さでの模型実験の結果で実際の場合との対応を検討しておく必要があろうかと考える。その一つとして橘湾備蓄船の一つであるB丸から採取した船底スラッジのスラッジ成分分析結果と当試験の結果とを対比してみる。

表2.3.4.1に4回にわたって備蓄船から採取した船底スラッジのスラッジ成分に関するものを当模型試験の結果と併記して示した。船底スラッジの場合、５４年９月５日と５５年１月１６日採取のものはスラッジの堆積層高が採取器の大きさに比べて充分大きく一応真の船底スラッジとして評価してよいと思われる。

一方それ以外のものは、採取器の改良段階に採取されたか、あるいは備蓄船のスラッジ層高が小さかったために周囲の油をもひきこんで採取された可能性が強い。

なお、９月５日のものが１０ケ月程度の長期備蓄後のものであるのに比べて、５５年１月１６日のものは台風避難のため船が二度ほど橘湾外に移動したため堆積したスラッジが一たん分散したあと再沈降したものであり、圧密等の影響が比較的少ない状態のものと理解すべきであろう。

ここで敢えて圧密という言葉を使ったが、この種のスラッジの場合にこの現象があるかどうか一応疑問ではある。

しかし、模型試験の１５０日テスト―1／10模型のスラッジ層内の粘度変化において最下部が11,340cst の高粘度であること、９月５日と１月１６日の備蓄船のスラッジ層高はそれぞれ７５cm、約１mと１月１６日の方がスラッジ層高が高いにもかかわらず（短時間の沈積のため）粘度、ワックス分ともに９月５日よりも低く出ていることなどを考慮するとスラッジ堆積内の圧縮濃度の作用があるのではないかと推察される。

これらのことから、９月５日の船底スラッジが最も沈降濃縮の進んだもの次いで１月１６日船底スラッジ、模型試験のスラッジという順になりそうである。以上を考慮して表2.3.4.1を眺めると（特に粘度、ワックス、流動点）船底スラッジと模型試験のスラッジの対応が比較的によくついているといえよう。

(2) 組成分析上からの検討

供試したカフジ原油、模型試験スラッジ、船底スラッジ、模型試験スラッジの抽出ワックス等について組成上の検討、相関性等を検討するためにNMR、薄層クロマトグラフ、赤外分析、ガスクロマトグラフ等による大まかな分析を行ってみた。

結果は図2.3.4.1～図2.3.4.5（NMR）、図2.3.4.6（薄層クロマト）、図2.3.4.7～図2.3.4.10（赤外分析）、図2.3.4.11（抽出ワックスーガスクロマト）の如くである。図より気付き事項を述べると次のようである。

(a) NMR関係

図2.3.4.1～図2.3.4.5のチャートからH_a, H_α, H_β, H_r の面積強度をまとめると表2.3.4.2のようになる。H_a は9.2～6.2 ppm の化学シフトに現われる芳香族系水素を、H_αは4.0～2.0 ppmのシフトに現われる芳香族側鎖のα位のCH_3, CH_2, CH系水素を、H_βは2.0～1.05ppm におけるものでパラフィン、ナフテン系炭化水素のCH_2, CHを、またH_rは1.05～0.5 ppmのシフトでパラフィン系のCH_3系水素の存在量をそれぞれ表示している。これらからH_a+H_α（芳香族成分の指標）、H_α/H_a（芳香族成分の中側鎖を持つものの割合の指標）、H_β/H_r（パラフィン系成分の分子の大きさ、長さ）の三つを取り上げてまとめると表2.3.4.3のようになる。

これから概略次のことがいえる。

① H_β/H_rの値についてカフジ原油とスラッジを比較してみるとかなりスラッジの方が大きくなっている。これは原油中のパラフィン分の中より高分子のものがスラッジ側に移動していることを示し、前述のスラッジ成分の分析結果とよく一致している。

当然のことながら、スラッジから抽出したワックス分は更にこの値が大きくなっている。

特に１５０日－1／10テストのスラッジは船底スラッジと殆んど同じ値を示している。

② Hα／Haの値についてもスラッジの方が原油そのものより大きくなっており、側鎖を含む芳香族分の割合がスラッジ中で大きくなっているのがわかる。

③ Ha＋Hα は全体の芳香族分の含有割合を示すものと考えられるが、スラッジの場合、原油に比べて同程度或いは多少低下の傾向にある。これはHβ あるいはHγ の増加の影響を受けて相対的に芳香族分の割合が原油中の比率より低減していることを示している。

(b) 薄層クロマトグラフによる分析

表2.3.4.4に同クロマトグラフによる分析結果を示した。

この表からみると、ワックス分を主体とする飽和炭化水素が全体的に増加しその分だけ他の成分が減少しているのがわかる。特に船底スラッジの場合著しく飽和分が増加しており、(2)(d)の分析結果とよく対応している。

アスファルテン分については比較的に変化量が少ないことも同様に対応している。

(c) 赤外分光分析

当分析は炭化水素のメチル、メチレン基のタイプ分析に着目してその赤外吸収特性を検討することにより、供試原油ー模型試験スラッジと船底スラッジの組成上の対応を脂肪族炭化水素の領域で検討しようとして実施したものである。

図2.3.4.7～図2.3.4.10において４つの吸収スペクトルがあるがこれはそれぞれの表2.3.4.5に示すようなＣＨ基の吸収を示している。

図2.3.4.7等の吸収スペクトルは全く類似のスペクトルを示しており、供試原油（カフジ原油）、船底スラッジ、模型試験スラッジの３者は赤外域の吸収特性上全く同じものと判定することができる。

(d) 抽出ワックスのガスクロマトグラフ

図2.3.4.11に模型試験で得られたスラッジからワックス分を抽出したもののガスクロマトグラフを参考のために示している。同図によると炭素数２０程度のものから４０付近の低級のパラフィンから構成されているのがわかる。

(3) スラッジ堆積量

2.3.3(1)で模型試験における堆積量について述べたが、この時の堆積量は１５０日においても多少増加の傾向にあり、備蓄備蓄船のスラッジ堆積高さは一応８００～１０００㎜に落ち着くのではないかと推定したものの、この結果からだけでは飽和の確認ができていないために多少この推定の根拠に欠けるところがある。

そこで他の実験データを参照する必要があるが、幸い石油地下備蓄のスラッジに関する報告書※がある。この報告書では直径４０㎝、高さ８５０㎜の小規模試験であり、沈降スラッジの堆積量としての把握はなされていないが、試験筒底部（全高の1／4）のスラッジ成分の分析が実施されており、これによると約３ケ月で各成分の変化量が飽和に達している。即ち、３ケ月程度でスラッジの堆積量が飽和となり、３ケ月以降２年間まで変化しないという結論となっている。今回の試験結果と多少の違いがあるが、これは筒径が小さく、自然対流の影響等を拾っている可能性もあり、多少の差がでるのも当然かもしれない。しかし、３ケ月以降２ケ年で殆んど変化がないことを参考にすると、当該試験の１５０日テストの結果はかなり飽和に近い状態にあると推定して差支えないものと考える。

※ 石油地下備蓄の技術調査研究報告書（日本立地センター，Ｓ５４年９月）
（第４編）石油地下備蓄のスラッジに関する実験研究報告書

また、カフジ原油を積んでいる錨泊備蓄船の計測結果によると船およびタンクによりかなり変化しているが、備蓄開始後９ヶ月で最高６００～８００㎜ のスラッジ高さであり、台風による湾外避難の影響もあるわけであるが、更に、５ヶ月経過した１４ヶ月後に約１０００㎜になっている。

以上直接の推論根拠にはなり得ないがこれらの事実と1／10模型試験の場合底部のスラッジ成分濃縮部の沈降におよぼす影響が小さいことを考慮すれば堆積高さに関する前述の推定値はかなり信頼性があるものと評価されよう。

経時的にスラッジ量の飽和の現象が現われるのは当該原油備蓄の場合酸化加熱反応等によって新しいスラッジ核種が生成するわけではないので、有限のスラッジ成分が沈積してしまえばそれ以上堆積は進行しないという仮定にたっている。

表2.3.3.3はこれらの実証になるかどうか甚だ疑問ではあるが、1／10模型タンク内各場所の水泥分の経時変化を示したものである。時間とともに水泥分が減少している傾向が認められ、水泥分ベースのスラッジに関する限り一応前述のスラッジ成分有限の考えは成立するものと思われる。

2.3.5 模型実験に関するまとめ

以上、述べたことの要点を簡単に下記にまとめた。

(1) 模型試験で得られた沈降スラッジは非常に流動性がわるく、ワックス分を多量に含むため、場合によっては流動点が２０℃にも達する高粘性質のものである。従って、２０℃程度におけるストリッピングでは殆んどが、アンボンバブルスラッジとして残留することになる。

(2) 沈降スラッジの成分はワックス分を主体としたものでそれに有機性のスラッジが混在するドライなスラッジである。他のもう一つのスラッジ形態である水を基体とするウエットスラッジは殆んど含まれていない。

(3) スラッジ性状に関する各方面からの検討結果、模型試験のスラッジと錨泊備蓄船のスラッジとはかなりよく類似しており、従って、前項および次項等の結論は即錨泊備蓄船のスラッジにも共通していえると思われる。

(4) 模型試験結果等を利用した錨泊備蓄船の沈降スラッジ堆積高さは、平均値で８００～１０００㎜の高さにおいて最終的に一定になるものと思われる。

(5) 実船のスラッジ高さの計測に直径２００㎜、厚み2.3㎜、重さ７１０gの黄銅製円板を使用することを取り決めたが、今回この計測器と同じ寸法の鋼板製円板（重量７６８g）を用いて模型試験スラッジでテストを行なったところ、界面から約８０㎜のめり込みが確認された。この程度の誤差なら実船での計測には殆んど差し支えないものと思われる。

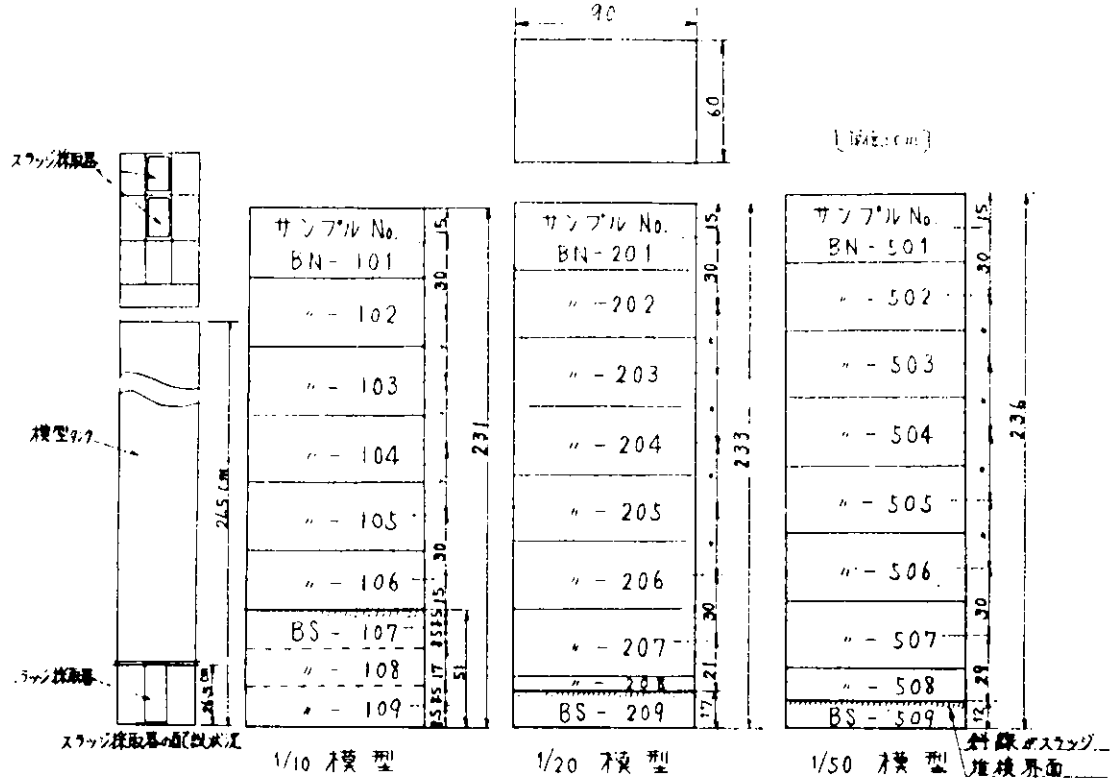


図 2.3.3.1　試料採取器内の沈降スラッジの堆積状況（100 回テスト）

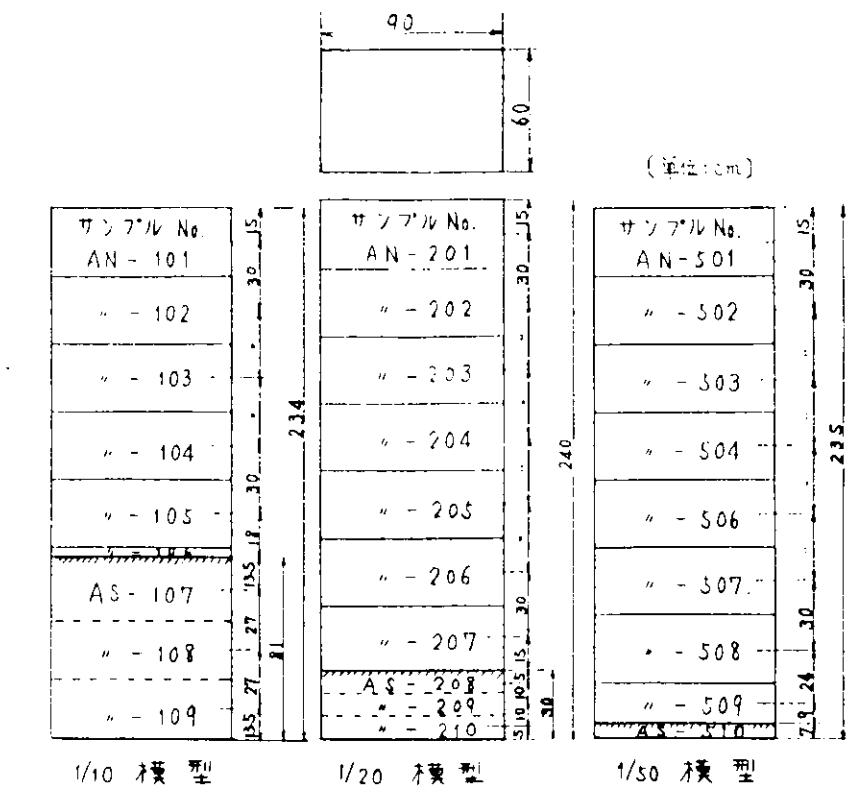


図 2.3.3.2　試料採取器内の沈降スラッジの堆積状況（150 回テスト）

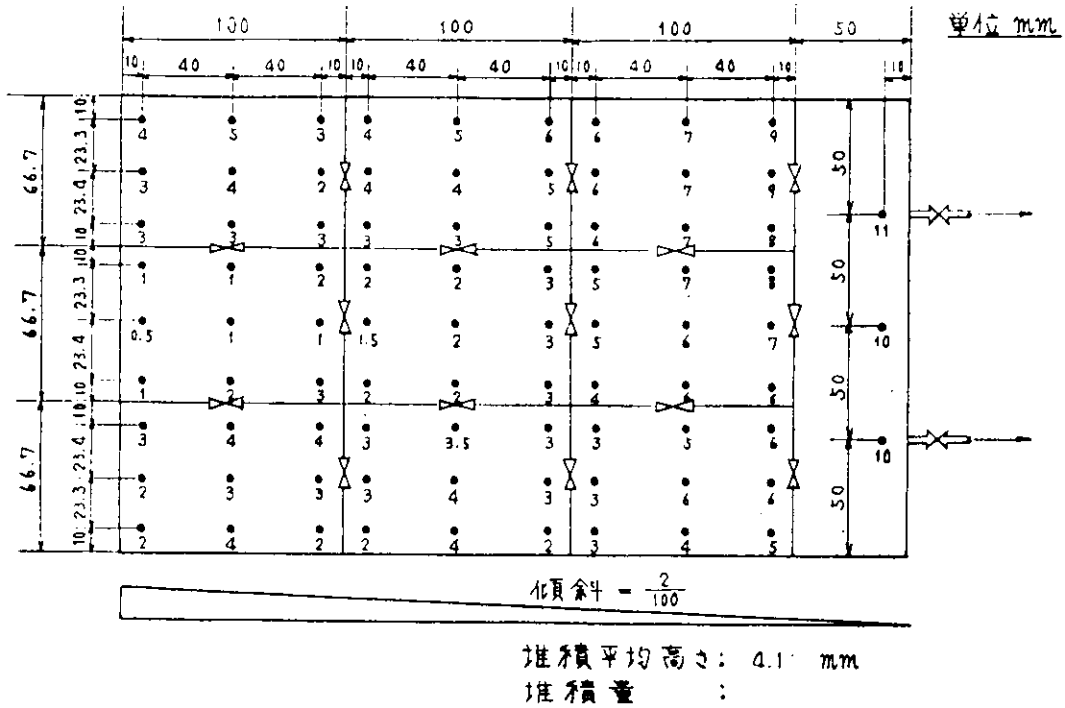


図 2. 3. 3. 3　アンボンバブルスラッジの残留状況（1／10 模型，50 日静置テスト後）

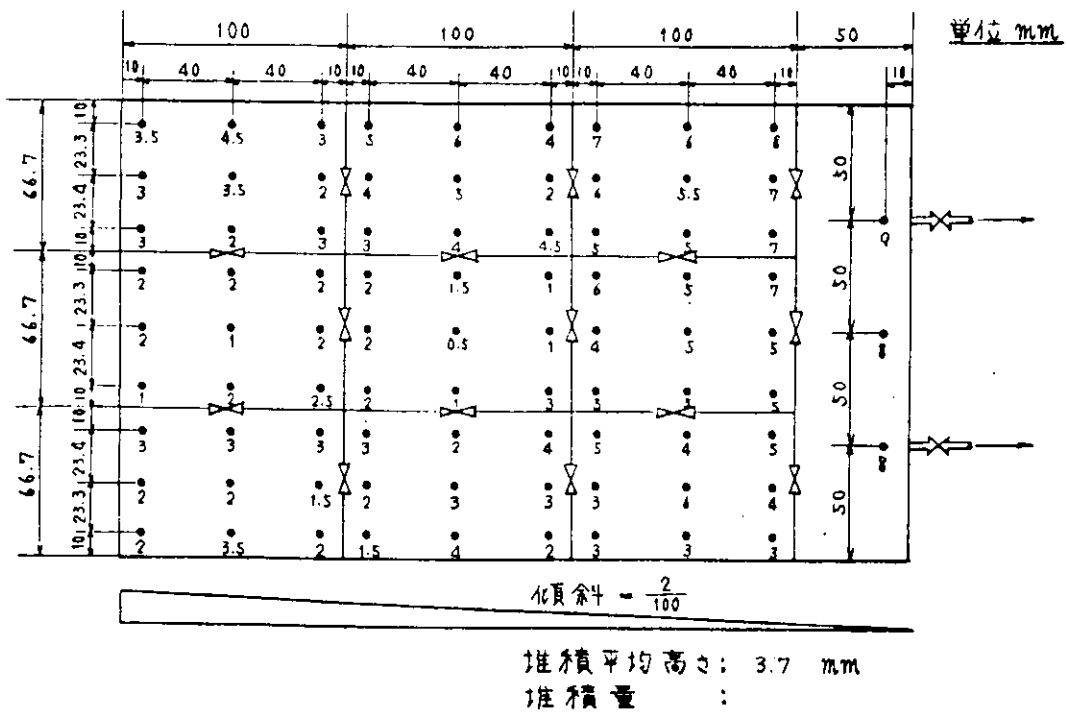


図 2. 3. 3. 4　アンボンバブルスラッジの残留状況（1／20 模型，50 日静置テスト後）

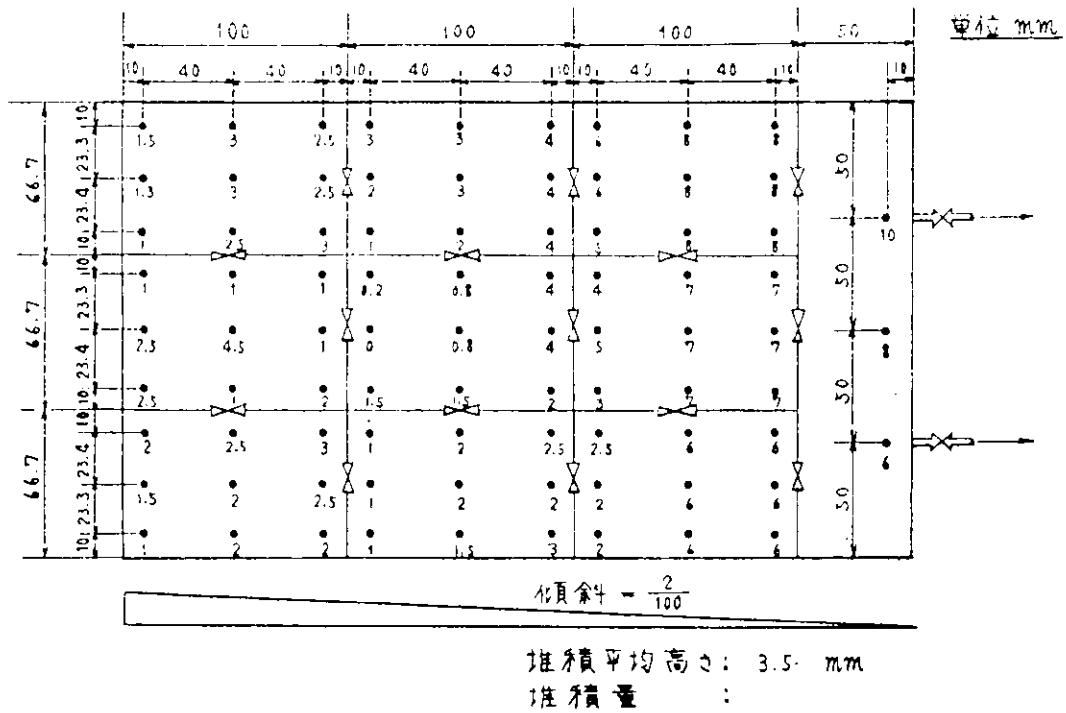


図 2.3.3.5　アンボンバブルスラッジの残留状況（1/50 模型，50 回静置テスト後）

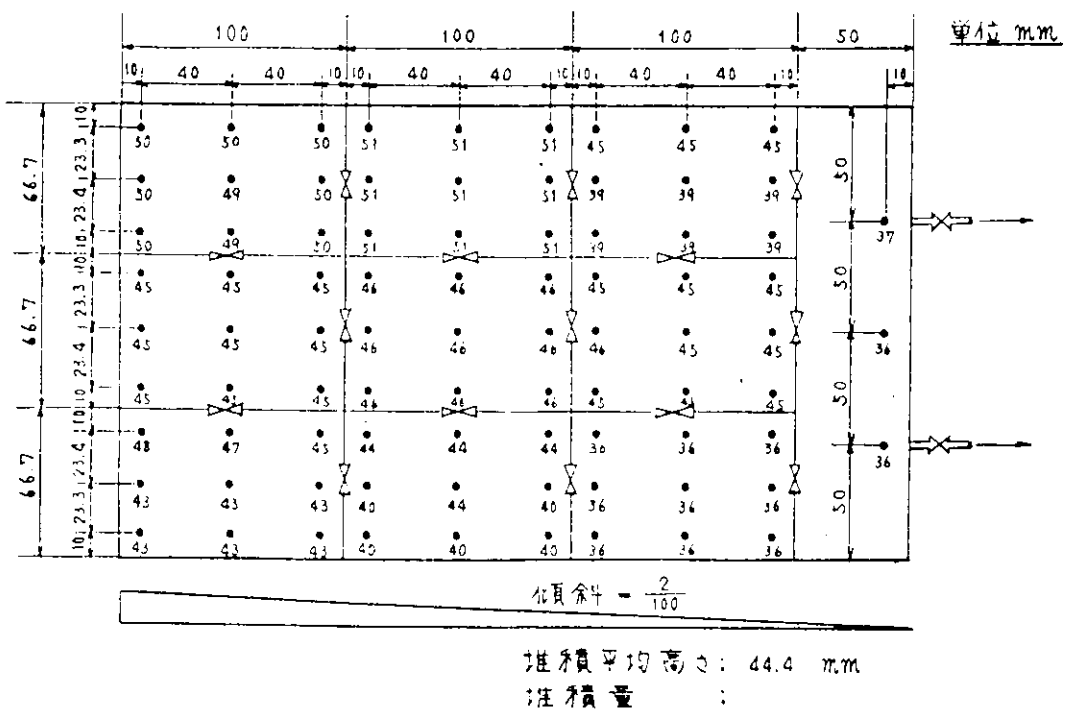


図 2.3.3.6　アンボンバブルスラッジの残留状況（1/10 模型，100 回静置テスト後）

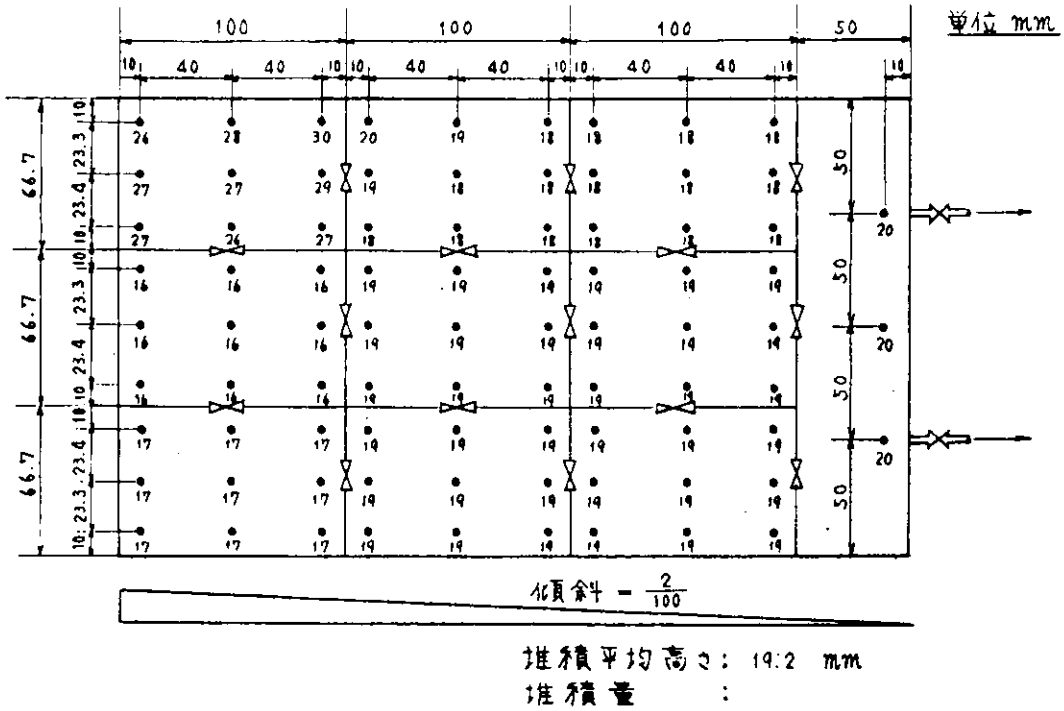


図 2. 3. 3. 7　アンボンバブルスラッジの残留状況（1／20 模型，100 日静置テスト後）

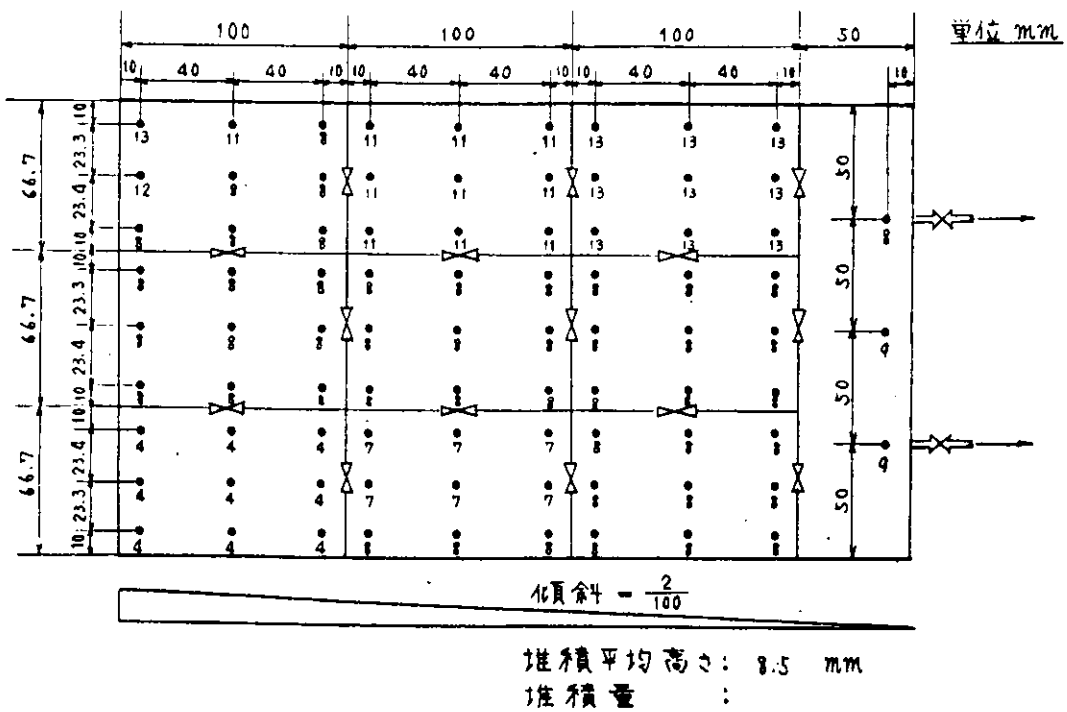


図 2. 3. 3. 8　アンボンバブルスラッジの残留状況（1／50 模型，100 日静置テスト後）

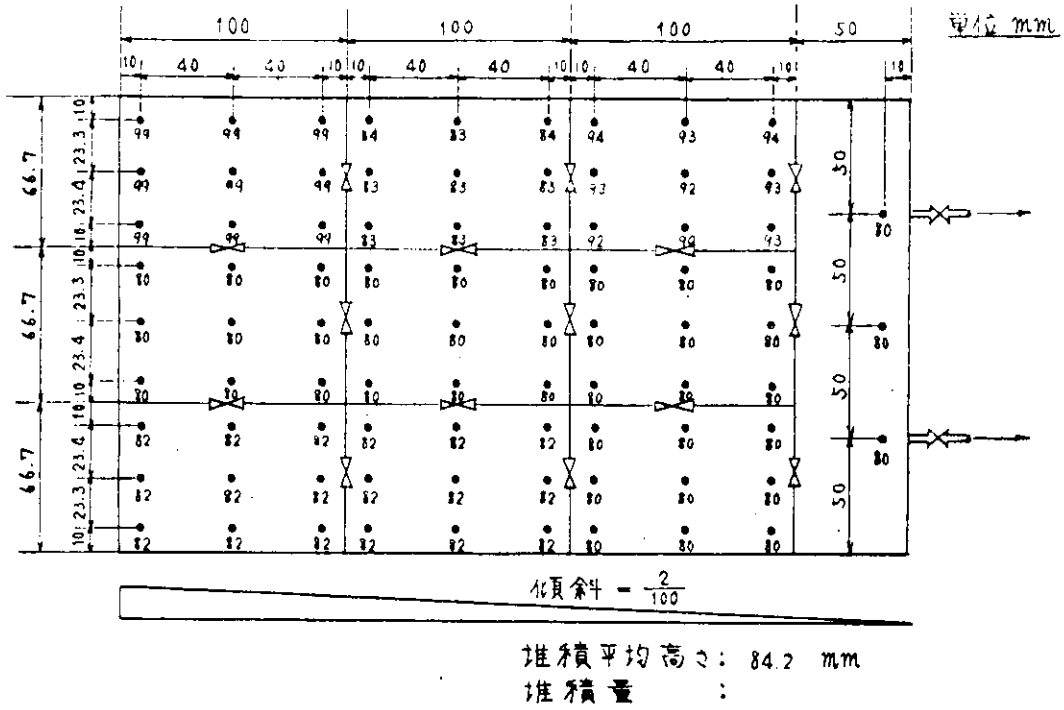


図 2.3.3.9　アンボンバブルスラッジの残留状況（1／10 模型，150 日静置テスト後）

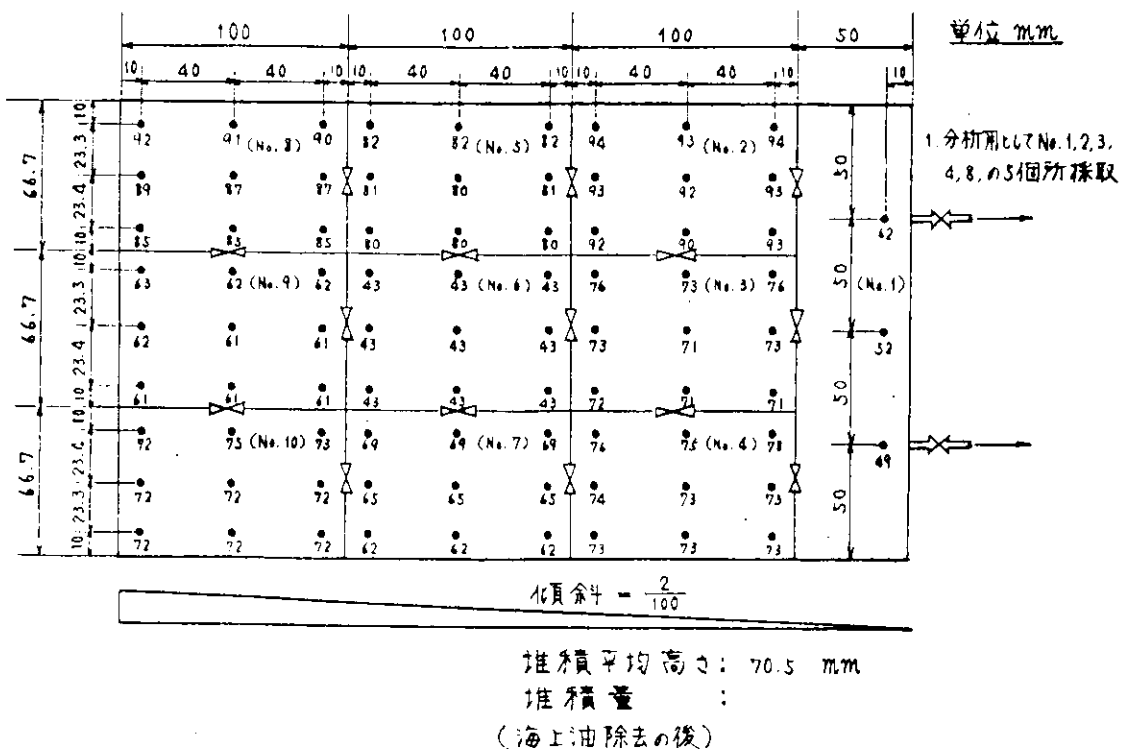


図 2.3.3.10　アンボンバブルスラッジの残留状況（1／10 模型，150 日静置テスト後）

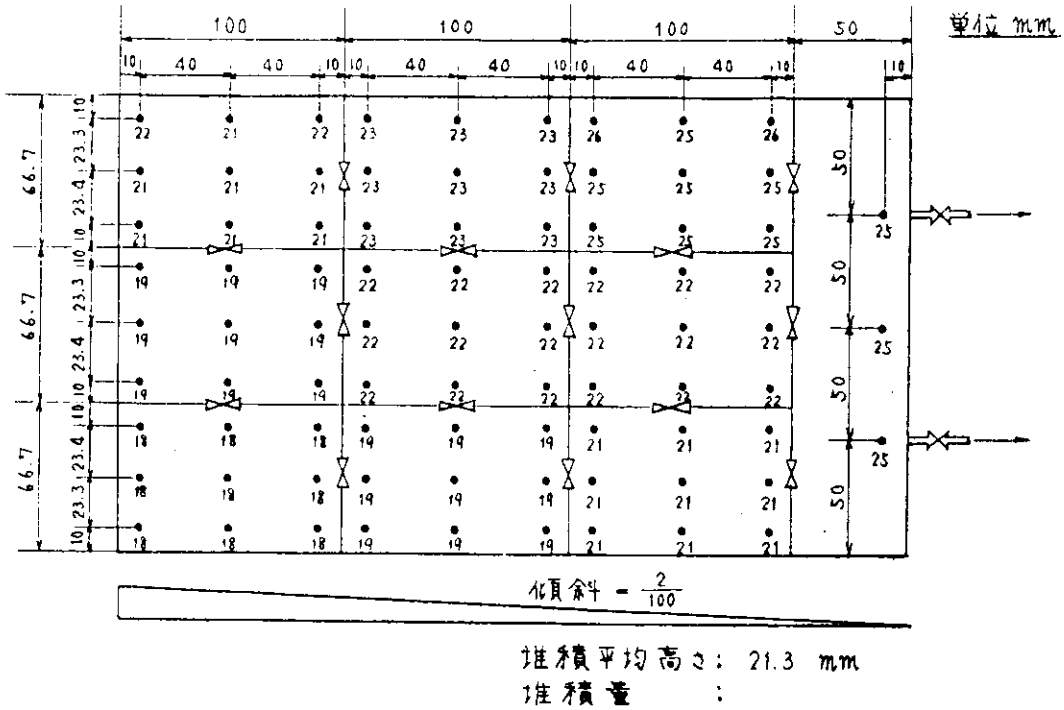


図 2.3.3.11　アンボンバブルスラッジの残留状況（1/20 模型，150 日静置テスト後）

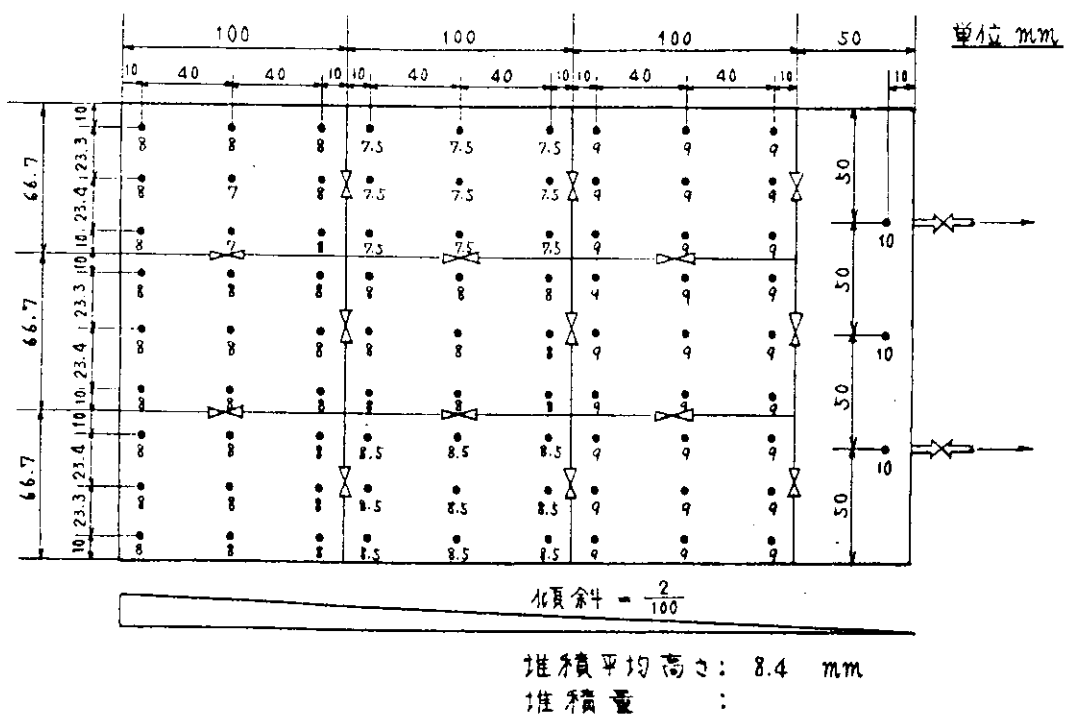


図 2.3.3.12　アンボンバブルスラッジの残留状況（1/50 模型，150 日静置テスト後）

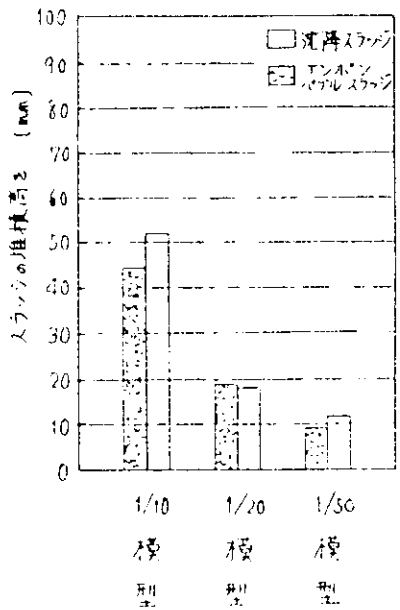


図 2.3.3.13　沈降スラッジ量とアンポンバブル
スラッジ量高さの比較（100日静置テスト）

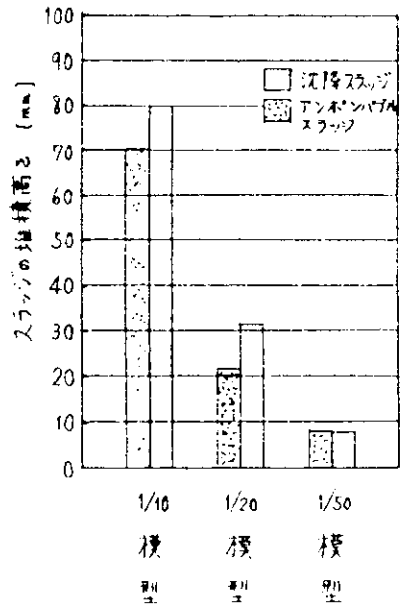


図 2.3.3.14　沈降スラッジ量とアンポンバブル
スラッジ量高さの比較（150日静置テスト）

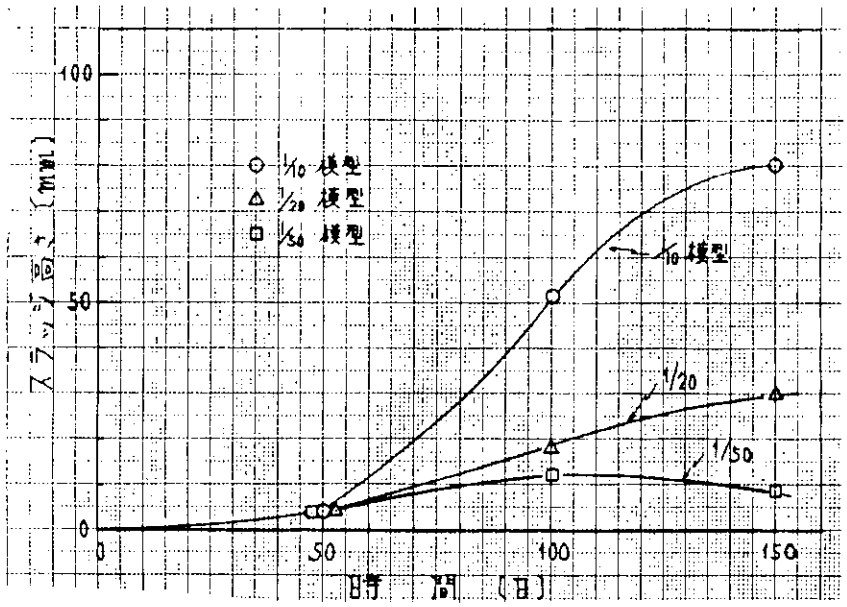


図 2. 3. 3. 15　沈降スラッジ量の経時変化

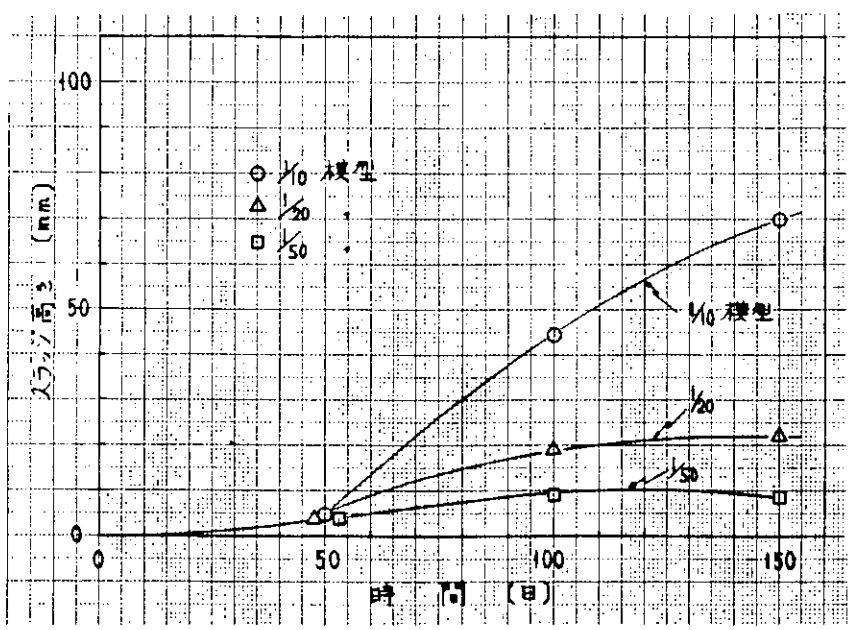


図 2. 3. 3. 16　アンボンバブルスラッジ量の経時変化

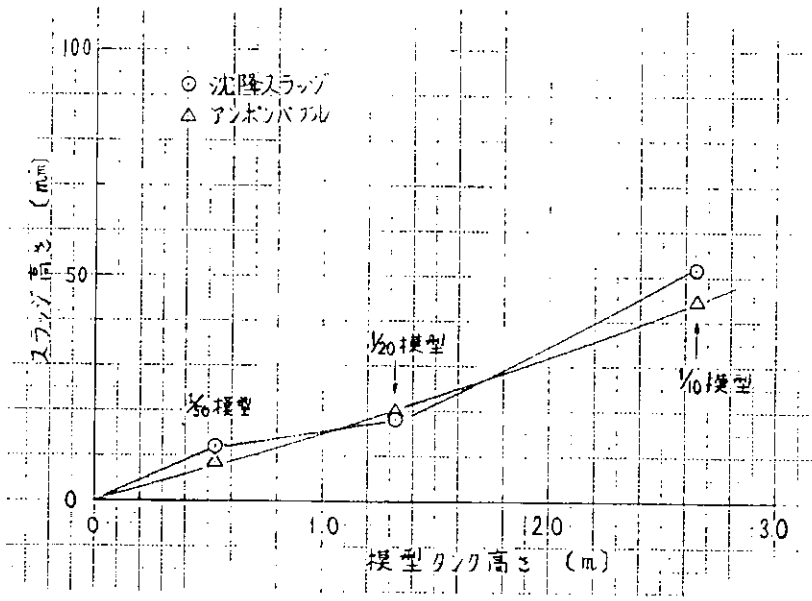


図 2.3.3.17　模型比によるスラッジ堆積量の変化（100日テスト）

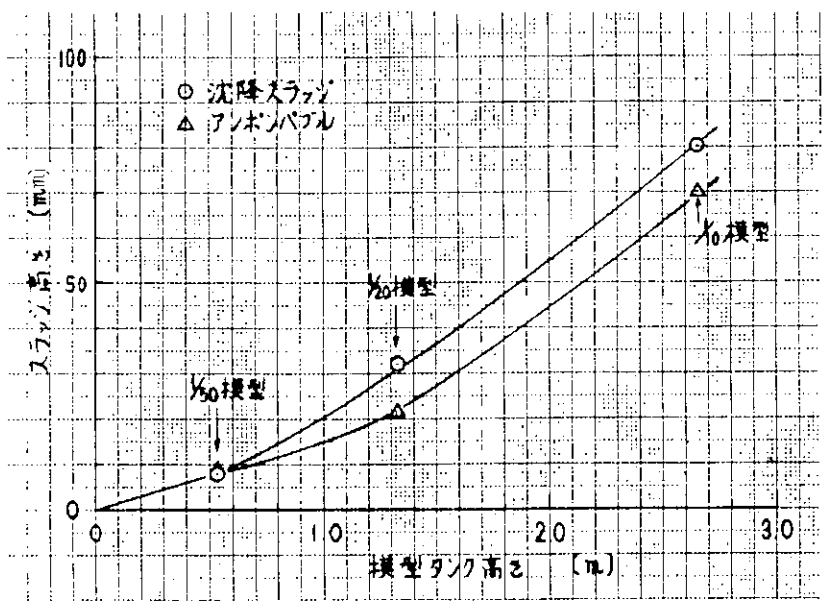


図 2.3.3.18　模型比によるスラッジ堆積量の変化（150日テスト）

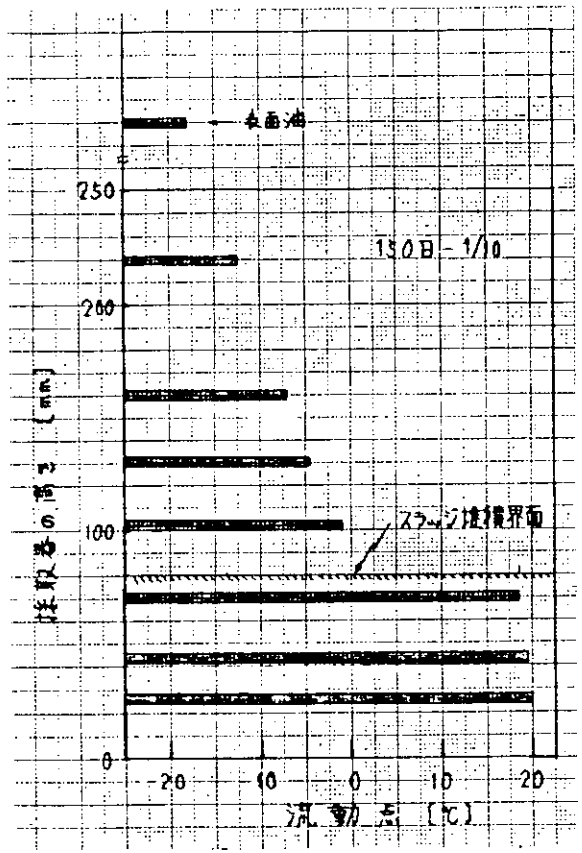


図 2. 3. 3. 19　スラッジ採取器内の流動点の変化

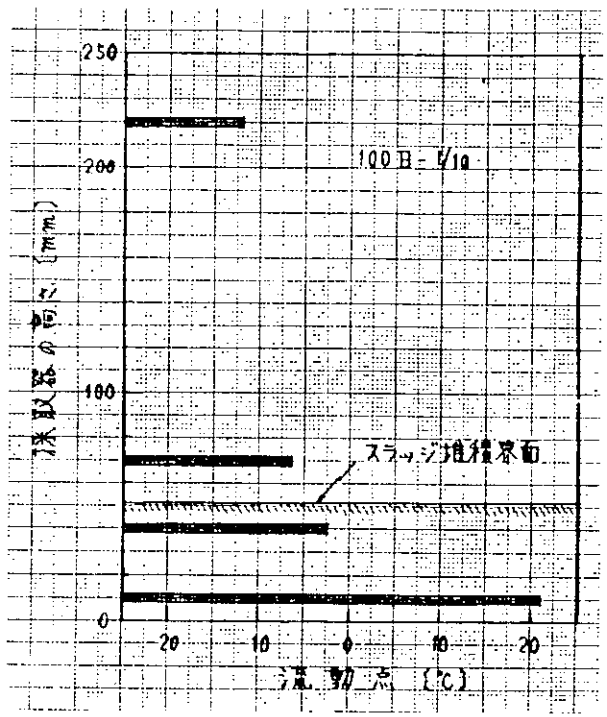


図 2. 3. 3. 20　スラッジ採取器内の流動点の変化

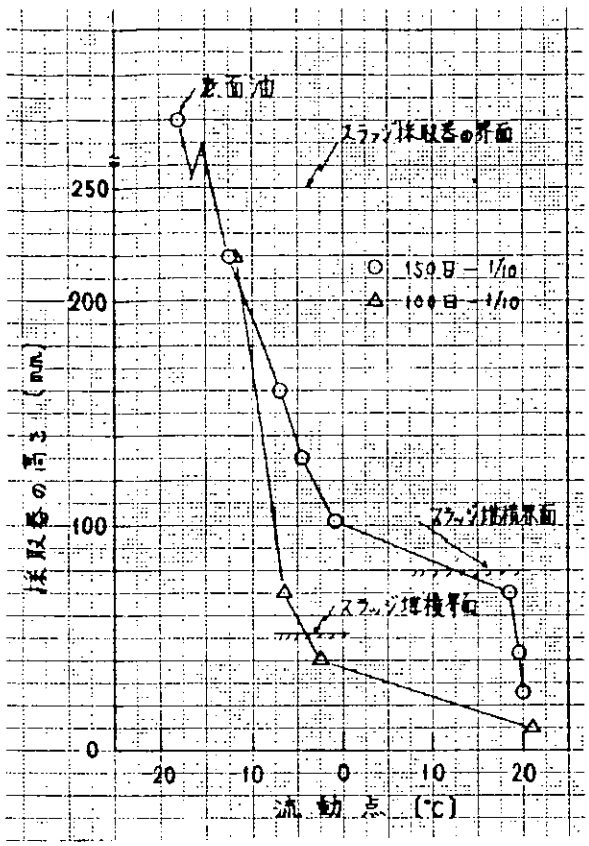


図 2. 3. 3. 21　流動点の変化

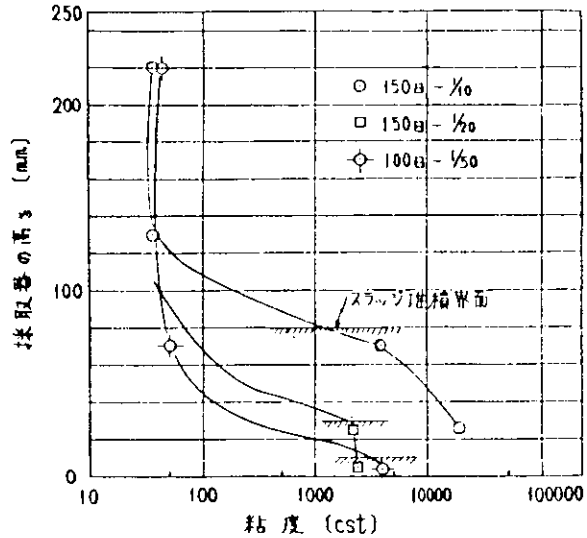


図 2. 3. 3. 22　スラッジ採取器内の粘度の変化
(30℃)

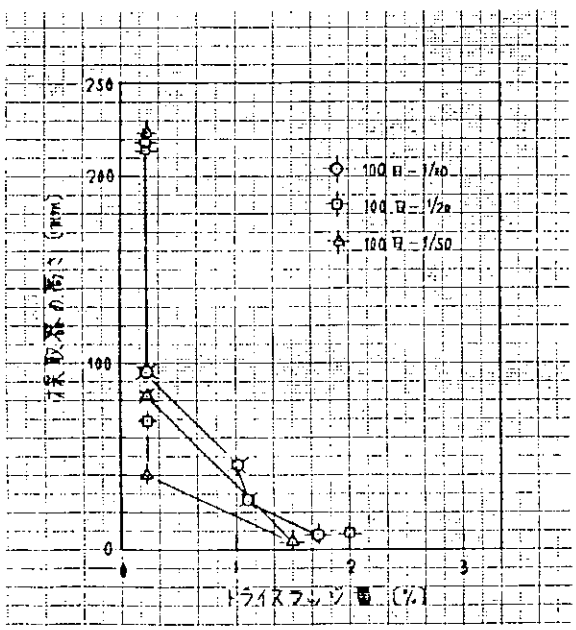


図 2. 3. 3. 23
スラッジ採取器内のドライスラッジの変化

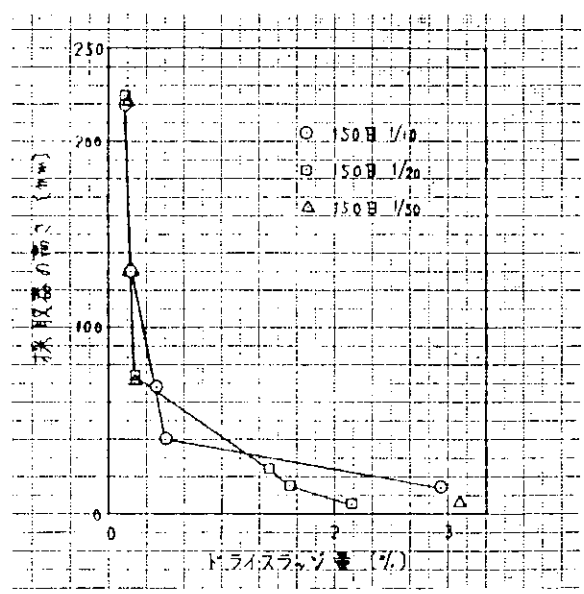


図 2. 3. 3. 24
スラッジ採取器内のドライスラッジの変化

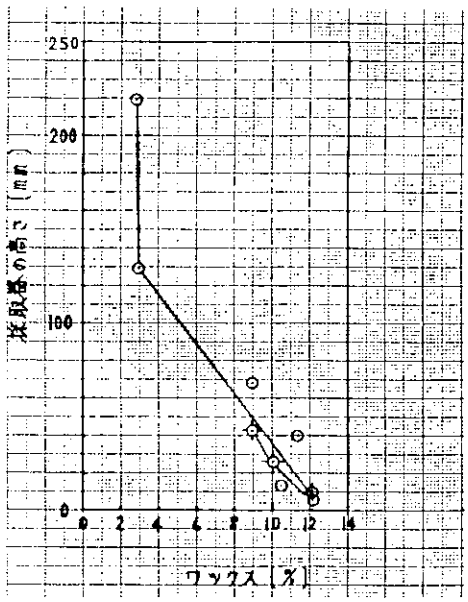


図 2. 3. 3. 25
スラッジ採取器内のワックスの変化

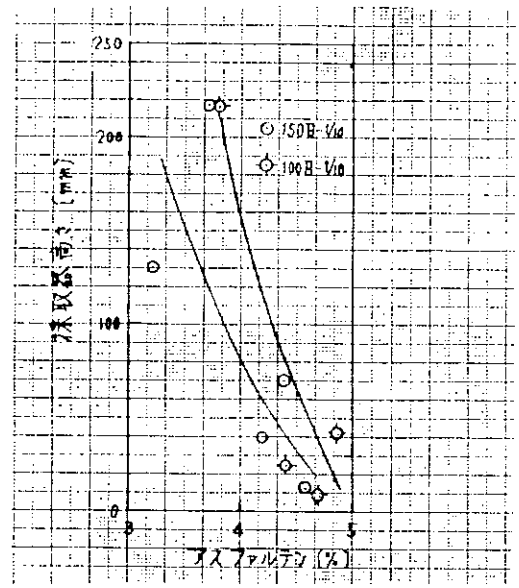


図 2. 3. 3. 26
スラッジ採取器内のアスファルテンの変化

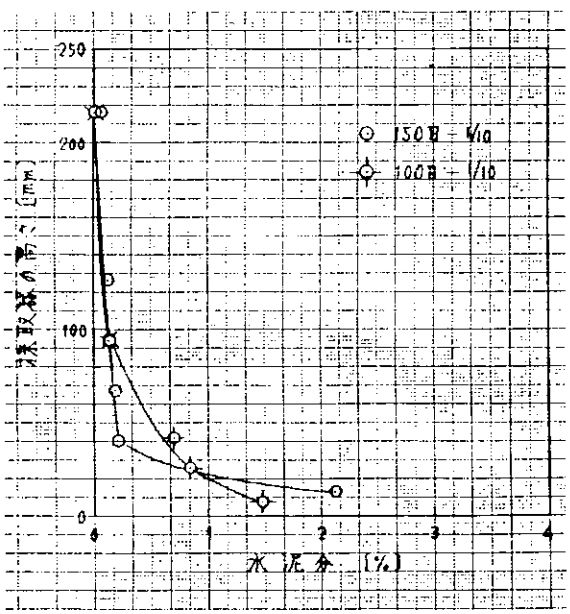


図 2. 3. 3. 27
スラッジ採取器内の水泥分の変化

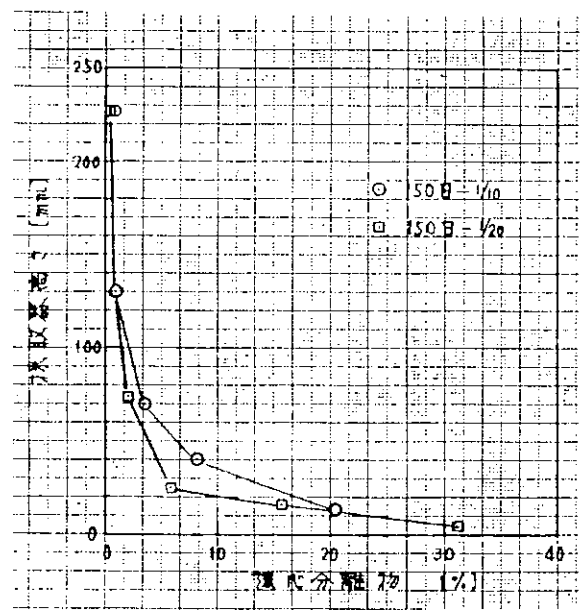


図 2. 3. 3. 28
スラッジ採取器内の遠心分離物の変化

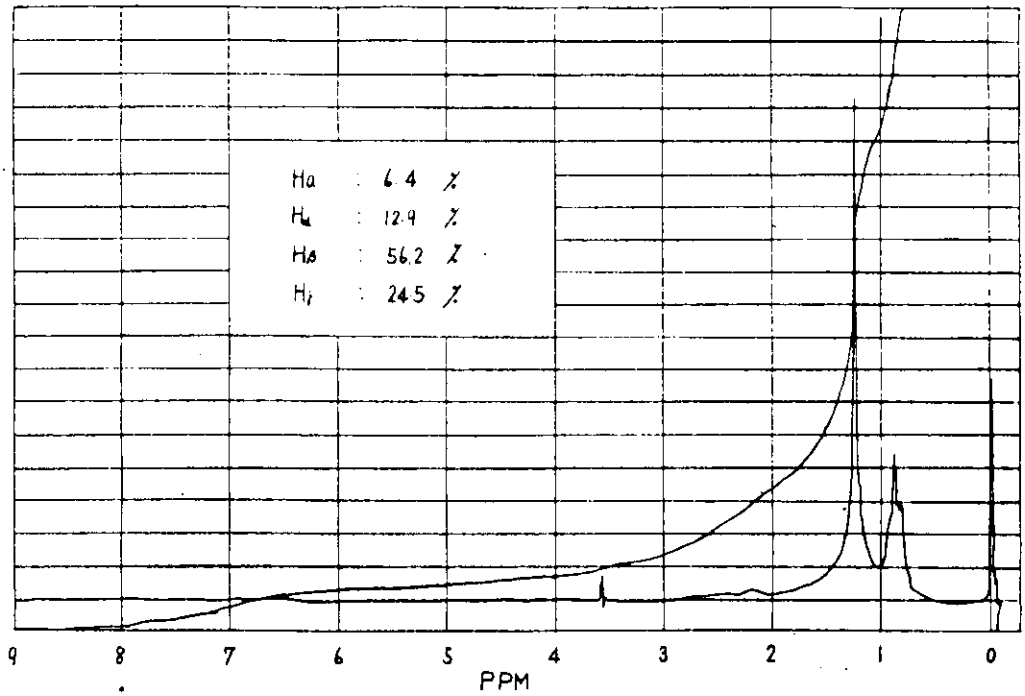


図 2.3.4.1　NMRチャート（カフジ原油）

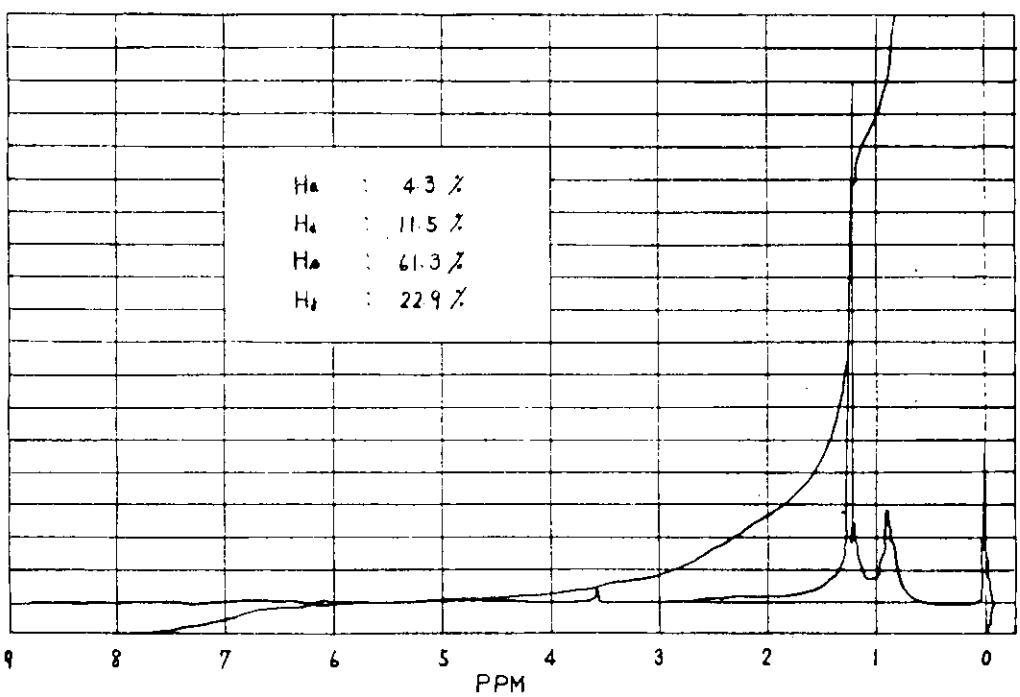


図 2.3.4.2　NMRチャート（54－9－5 採取鉱床スラッジ）

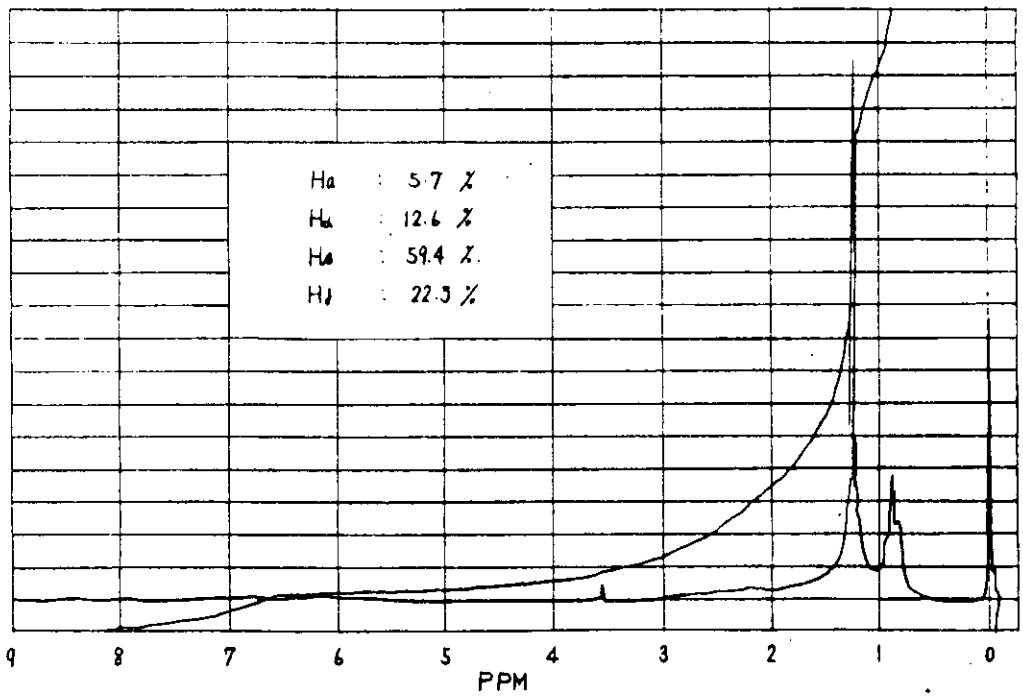


図 2. 3. 4. 3　NMRチャート（模型スラッジ 150 日 － 1／10）

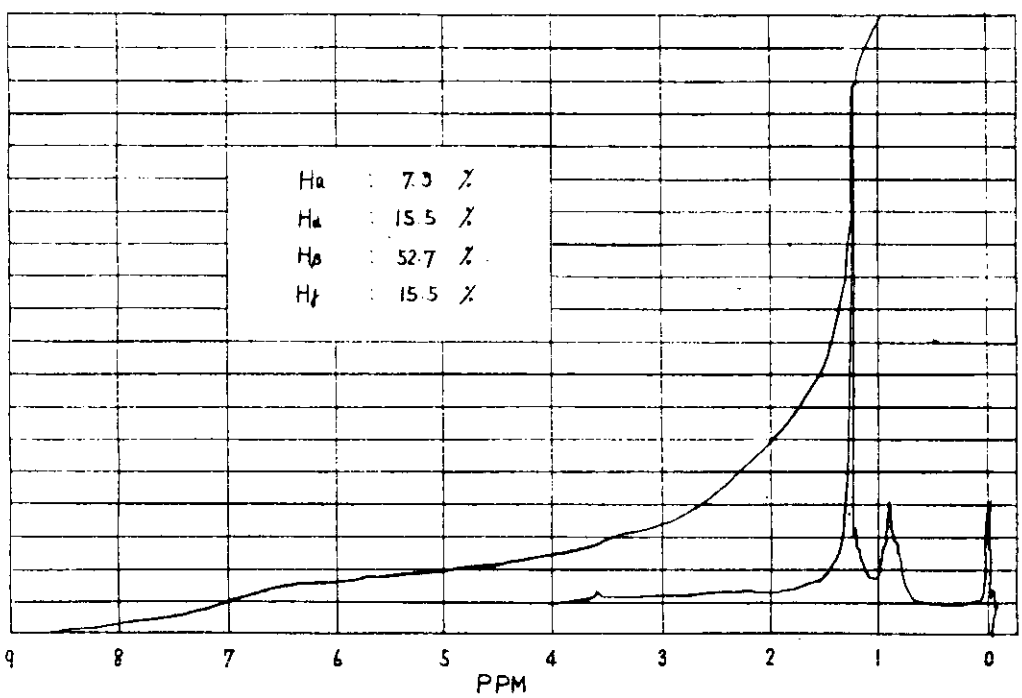


図 2. 3. 4. 4　NMRチャート（模型スラッジ 150 日 － 1／50）

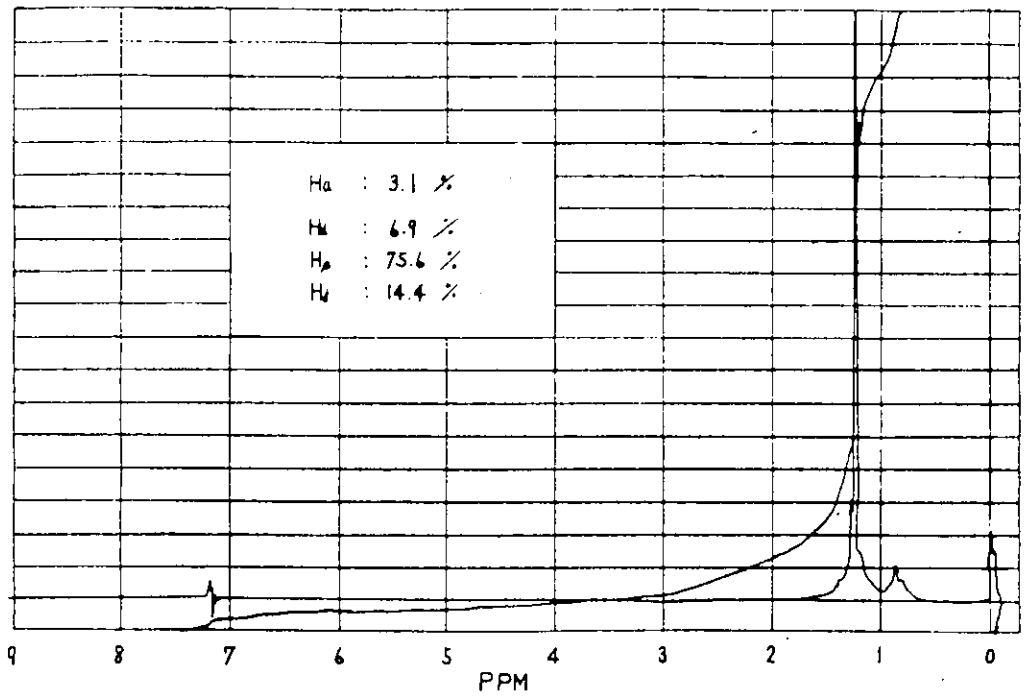


図 2. 3. 4. 5　ＮＭＲチャート（模型スラッジ抽出ワックス）

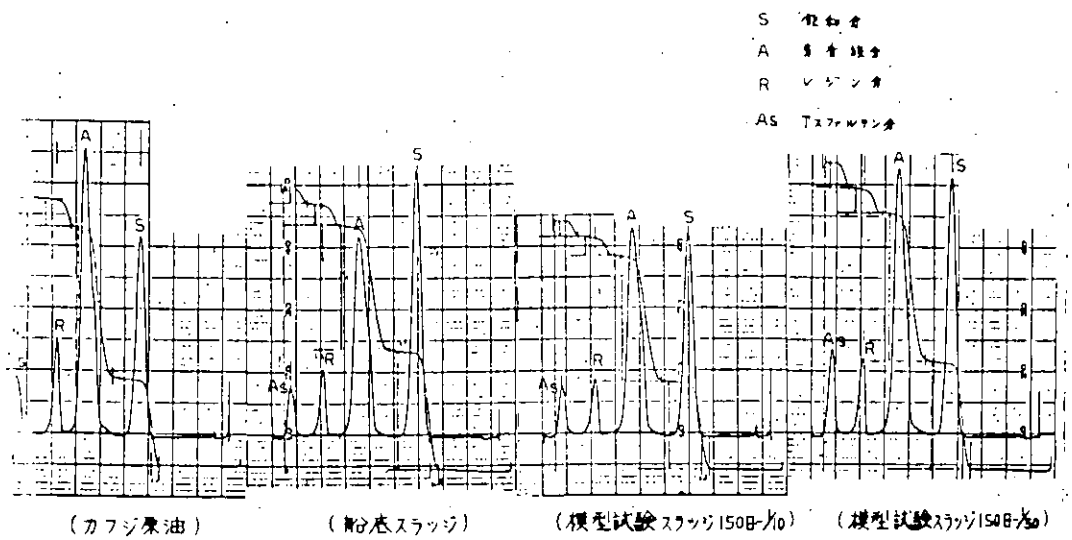


図 2. 3. 4. 6　薄層クロマトーＦＩＤ法による組成分析

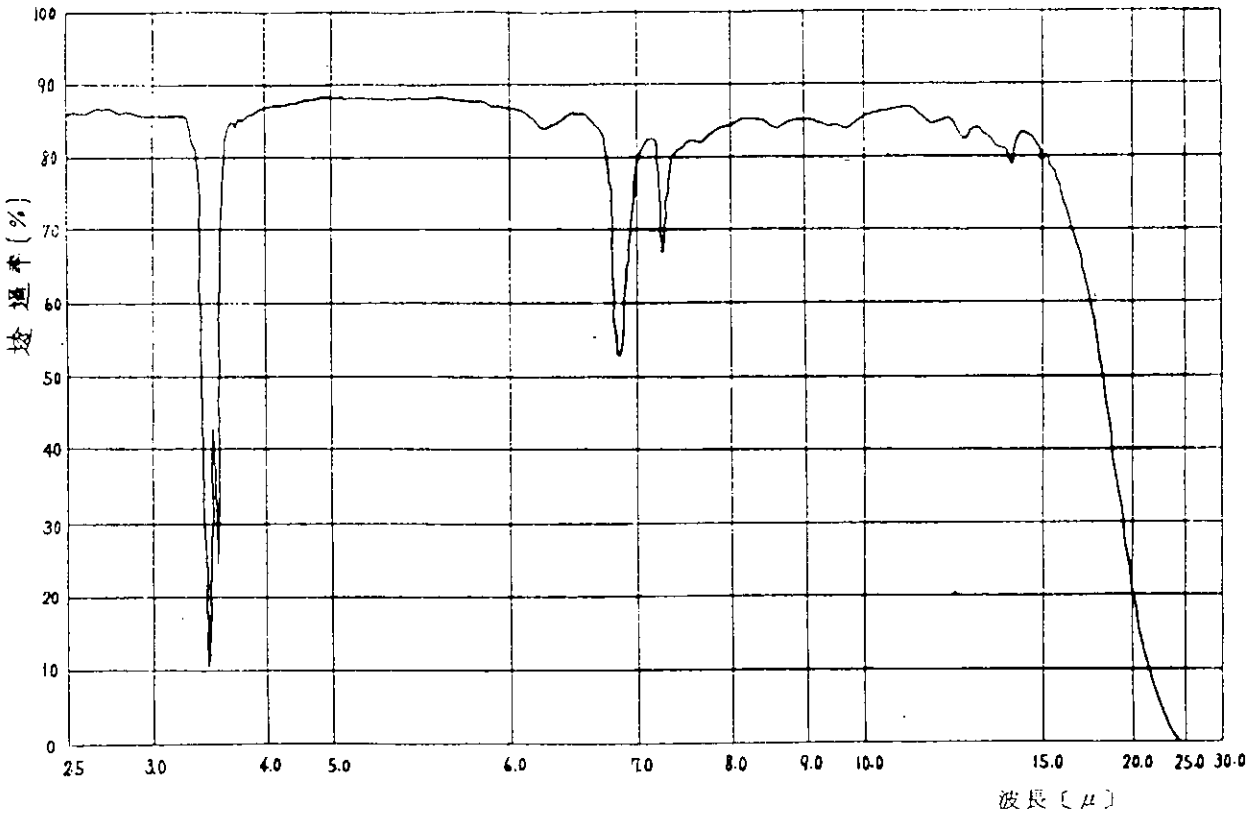


図 2. 3. 4. 7　IR分析（カフジ原油）

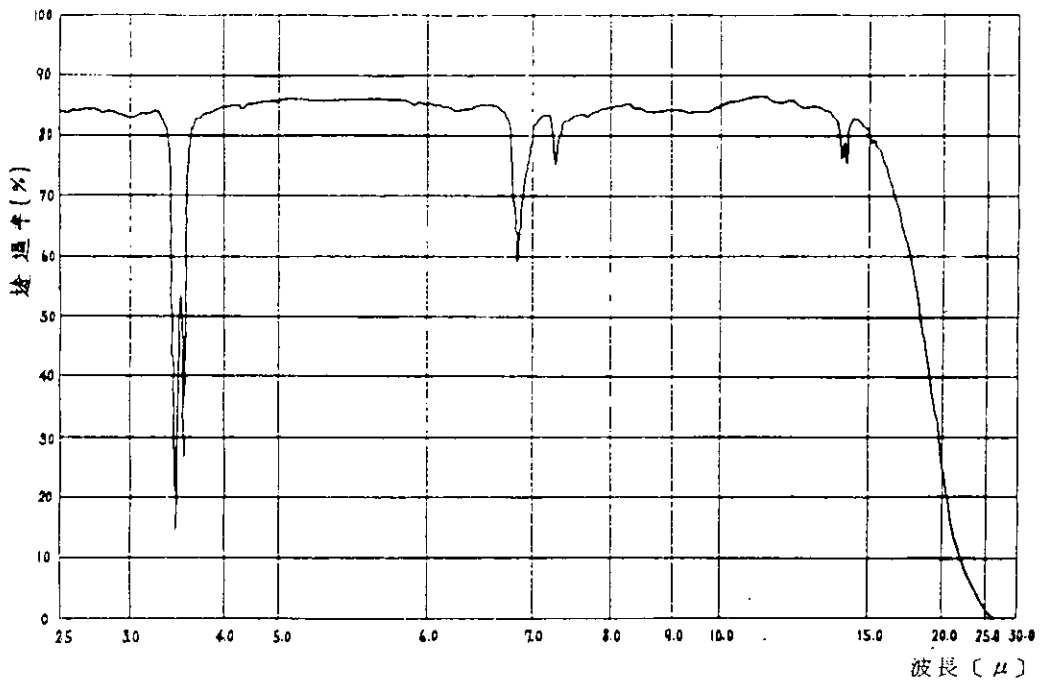


図 2. 3. 4. 8　IR分析（54－9－5採取の船底スラッジ）

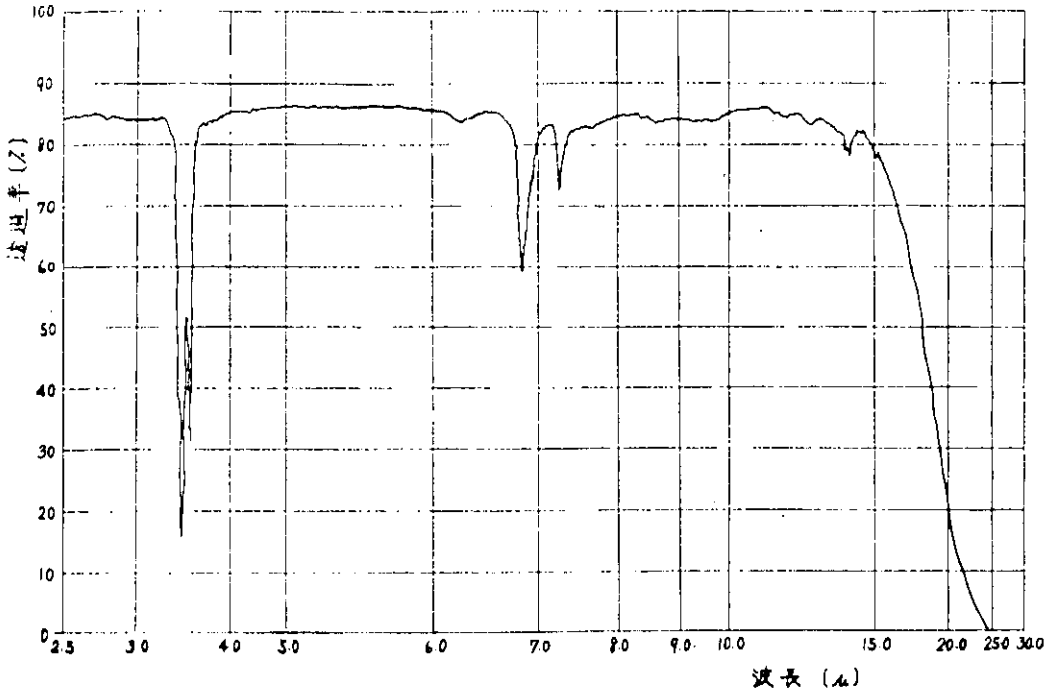


図 2.3.4.9　IR分析（模型スラッジ 150 日 － 1／10）

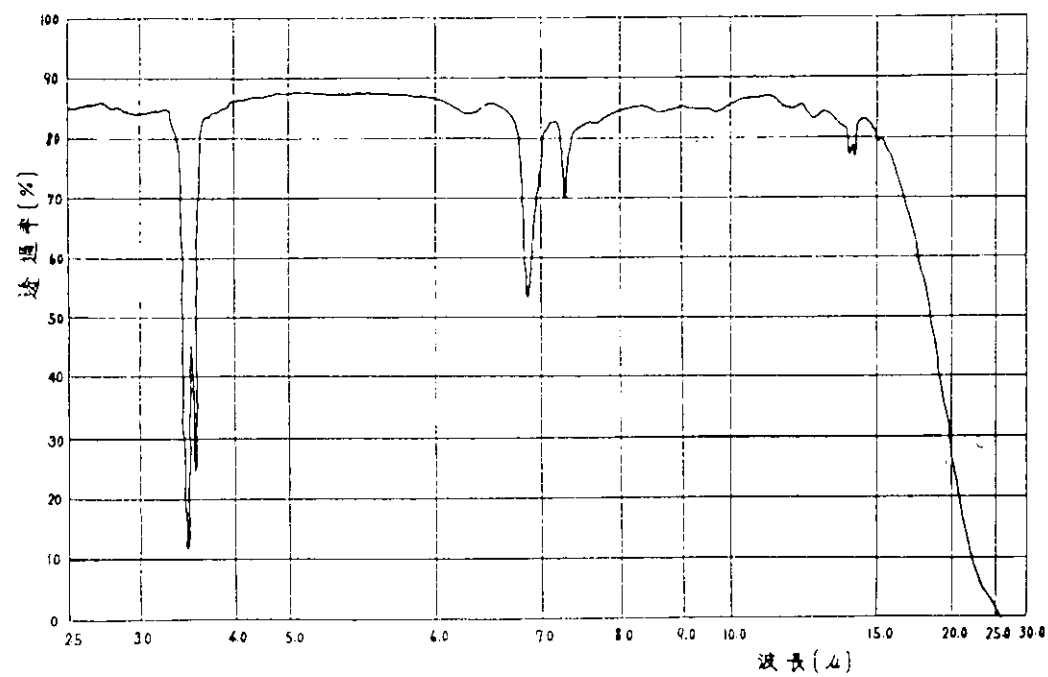


図 2.3.4.10　IR分析（模型スラッジ 150 日 － 1／50）

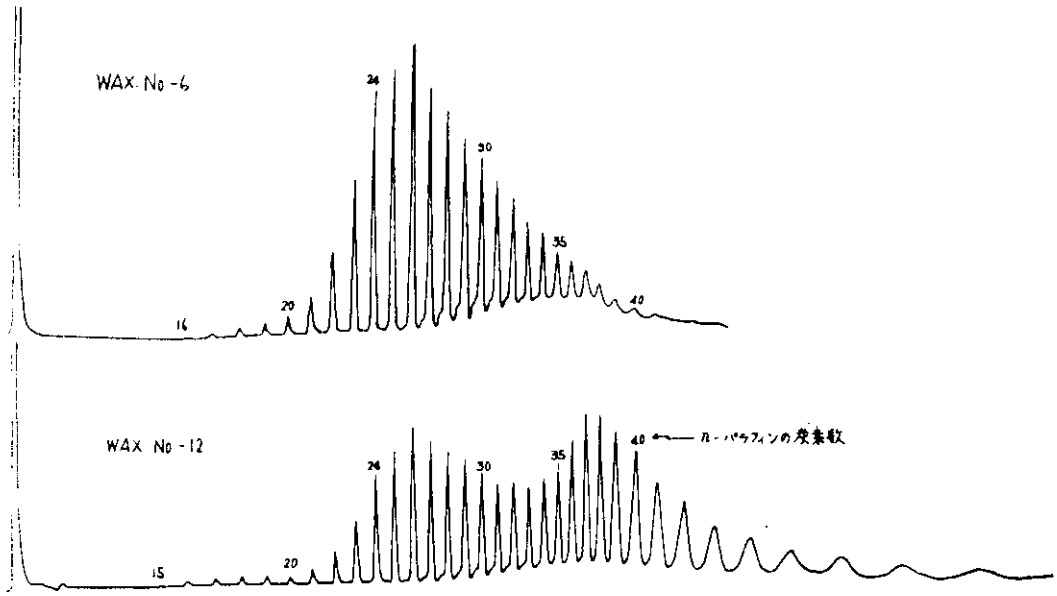


図 2.3.4.11　抽出ワックスのガスクロマトグラフ

表 2.3.3.1　供試カフジ原油の性状

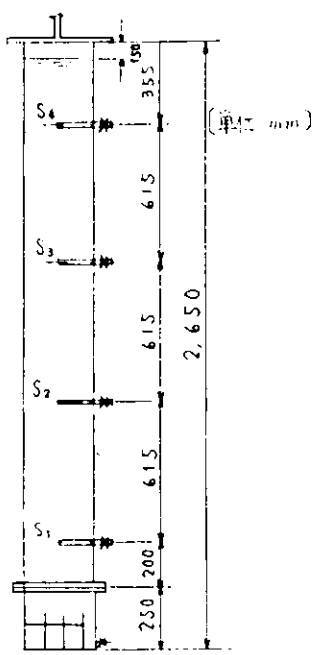
サンプル名	A		B	B
実験タンク	1/10-模型		1/10-模型	1/10-模型
テスト期間 (日)	50, (150)		50	150
比　重	0.890		0.892	0.892
流動点 (°C)	<-17.5		<-17.5	<-17.5
残　炭 (%)	8.0		6.8	7.8
硫黄分 (%)	2.93		2.80	2.89
灰　分 (%)	0.04		0.04	0.04
粘度 (30°C) cst	28.5		26.3	28.0
粘度 (50°C) cst	14.7		13.8	14.5
ワックス (%)	3.24		3.06	2.83
遠心分離物 (%)	0		0.25	0.18
トライスラッジ (%)	0.10		0.10	
水　分 (%)	0		0	0
アスファルテン (%)				

表 2.3.3.2　スラッジ成分等分析結果

試料名 C

模型比 / テスト期間 / 項目		1/10			1/20			1/50		
		50日	100日	150日	50日	100日	150日	50日	100日	150日
ワックス	前	3.25	3.21	2.95						
(%)	後	3.32	3.28	5.60						
流化分離物	前	0.76			0.62			0.55		
(%)	後	0.94			0.84			0.74		
ドライスラッジ	前	0.20	0.20	0.20	0.17	0.20	0.24	0.11	0.18	0.13
(%)	後	0.24	0.22	0.22	0.22	0.27	0.21	0.15	0.19	0.13
アスファルテン	前									
(%)	後									
水　分	前	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(%)	後	0	0	0	0	0.1	1.1	0.13	0.2	0
水泥分	前	0.1	0.12	0.12				0.16	0.14	0.14
(%)	後	0.18	0.18	0.19				0.20	0.17	0.18

表 2.3.3.3　模型タンク内の油の水泥分の変化（サンプル D）



月日	静置日数	S1	S2	S3	S4
8/22	0	0.13	0.13	0.14	0.13
9/17	26	0.13	0.14	0.12	0.12
10/11	50	0.11	0.16	0.13	0.10
11/5	75	0.12	0.13	0.10	0.10
11/30	100	0.11	0.12	0.10	0.11
12/25	125	0.10	0.11	0.10	0.08
1/19	150	0.05	0.08	0.08	0.07

表 2.3.3.4　スラッジ成分等分析結果

試料名 E

供試タンク及び試験期間		1/10 模型 — 150日テスト						
サンプル No.		AN-101	AN-103	AN-104	AN-105	AS-107	AS-108	AS-109
比重		0.892						0.898
流動点 (℃)		-12.5	-7.0	-4.5	-1.0	18.5	19.5	20.0
粘度	(30℃) CSt	36.6		36.7		3750		11,930
	(50℃) CSt							
ワックス (%)		2.84		2.94		9.00	11.29	10.50
遠心分離物 (%)		0.69		0.71		3.33	8.05	20.25
ドライスラッジ (%)		0.16		0.20		0.39	0.51	2.95
アスファルテン (%)		3.72		3.23		4.40	4.20	4.58
水分 (%)		0	0	0	0			
水泥分 (%)		0.08		0.14		0.17	0.18	2.14

(注) AN-101 ~ AN-105 はスラッジ界面上の油の部分
AS-107 ~ AS-109 はスラッジ部分

表 2.3.3.5　スラッジ成分等分析結果

試料名 E

供試タンク及び試験期間		1/20 模型 — 150日テスト						
サンプル No.		AN-201	AN-204	AN-206	AS-208	AS-209	AS-210	
比重				0.896			0.898	
流動点 (℃)		-13.0	-10.0	-5.0	16.0	17.1	17.0	
粘度	(30℃) CSt				2171		2365	
	(50℃) CSt							
ワックス (%)								
遠心分離物 (%)		0.67		0.71	5.36	15.51	31.07	
ドライスラッジ (%)		0.16		0.23	1.46	1.62	2.14	
アスファルテン (%)				3.30			4.25	
水分 (%)		0		0				
水泥分 (%)		0.07		0.24				

表 2.3.3.6　スラッジ成分等分析結果

試料名　E

供試タンク及び試験期間		1/50 模型 — 150日テスト						
サンプル No.		AN501	AN504	AN507	AS510			
比重								
流動点 (℃)								
粘度	(30℃) CSt							
	(50℃) CSt							
ワックス (%)		3.02			7.87			
遠心分離物 (%)		0.82	1.00					
ドライスラッジ (%)		0.19	0.23		3.10			
アスファルテン (%)								
水分 (%)		0		0				
水泥分 (%)								

表 2.3.3.7　スラッジ成分等分析結果

試料名　E

供試タンク及び試験期間		1/10 模型 — 100日テスト						
サンプル No.		BN101	BN105	BS107	BS108	BS109		
比重		0.894				0.896		
流動点 (℃)								
粘度	(30℃) CSt		49.7					
	(50℃) CSt							
ワックス (%)				8.95	10.68	13.10		
遠心分離物 (%)								
ドライスラッジ (%)		0.18	0.20	1.00	1.08	1.70		
アスファルテン (%)		3.80		4.87	4.41	4.67		
水分 (%)								
水泥分 (%)		0.08	0.15	0.70	0.82	1.44		

表 2.3.3.8　スラッジ成分等分析結果

試料名 E

供試タンク及び試験期間		1/20 模型 — 100日テスト						
サンプル No.		BN-201	BN-206	BN-207	BS-209			
比重								
流動点 (℃)		-12.0	-6.5	-2.5	21.0			
粘度	(30℃) CSt							
	(50℃) CSt							
ワックス (%)					10.30			
遠心分離物 (%)		0.44	0.84					
ドライスラッジ (%)		0.19	0.23		2.00			
アスファルテン (%)								
水分 (%)		0	0	0				
水泥分 (%)		0.06	0.11		3.37			

表 2.3.3.9　スラッジ成分等分析結果

試料名 E

供試タンク及び試験期間		1/50 模型 — 100日テスト						
サンプル No.		BN 501	BN 504	BN 507	BN 508	BS 509		
比重		0.894		0.898	0.904	0.891		
流動点 (℃)								
粘度	(30℃) CSt	44.2		51.3	57.5	3919		
	(50℃) CSt							
ワックス (%)						10.35		
遠心分離物 (%)		0.52		0.62				
ドライスラッジ (%)		0.17		0.21		1.50		
アスファルテン (%)								
水分 (%)								
水泥分 (%)		0.04		0.20		1.00		

表 2.3.3.16　50日堆積テスト後のストリッピング試験結果

供試タンク		1/10スケール模型
トリム		2 %
上部油排出時間		4 H
ストリッピング開始		底面より15cm高さ
油温		25 ～ 26 ℃
ストリッピング時間	目標	60 MIN
	実際	75 MIN
ストリッピング後の残存スラッジ（平均）	高さ	4.1 mm
	容積比	$\frac{4.1}{150} \times 100 = 2.7$ %

備考

① 底部残存スラッジには指触にて全く固形分を認めず、流動性不良にて粘調、軟質、グリース状、原油色

② 150日および100日堆積テスト後のストリッピング試験結果は油温が約20℃において残存スラッジ高さが1/10模型でそれぞれ10.5mm、44.5mmである。他は殆ど本表に同じ

表 2.3.4.1　船底スラッジと模型試験スラッジの性状比較

スラッジ ＼ 項目		流動点 (℃)	粘度(30℃) (cSt)	ワックス (%)	トライスラッジ (%)	遠心分離物 (%)	水分 (%)	備考
船底スラッジ	54年6月11日		26.6	3.65	0.14	5.2	0	油の混入の可能性あり
	9月5日	27.5	34.000	16.91	5.85	16.9	0.01	長期備蓄時の真の船底スラッジと評価される
	11月21日		296	3.45			0	油の混入ありと思われる
	1月16日		677	9.16	1.93		0	背圧室の船底スラッジ
模型試験	150日－1/10	20	3750～11930	9～11.29	0.39～2.95	3.3～20.3	0.01	
	150日－1/20	17	2170～2370	7.26～10.40	1.32～2.14	5.4～21.1	0	
	100日－1/50		3919		1.50			

表2.3.4.2　スラッジのNMR分析結果（配管水中の分布）

	Ha	Hα	Hβ	Hγ
カフジ原油	0.064	0.129	0.562	0.245
船底スラッジ	0.043	0.115	0.613	0.229
原油スラッジ 1/10	0.057	0.126	0.594	0.223
〃 1/50	0.073	0.155	0.587	0.185
ワックス No.6	0.031 (0.016)	0.069 (0.070)	0.756 (0.768)	0.144 (0.146)
ワックス No.12	0.033 (0.011)	0.071 (0.073)	0.773 (0.790)	0.123 (0.126)

Ha　9.2~6.2 PPM　芳香族水素
Hα　4.0~2.0 〃　芳香族側鎖のα位メチル、メチレン、メチン水素
Hβ　2.0~1.05 〃　パラフィン、ナフランのメチレン、メチン水素（β位以上）
Hγ　1.05~0.5 〃　パラフィンのメチル水素

（注）ワックスにおける（ ）内の値は、7.2 PPMに芳香族系溶媒のものと思われる鋭いシグナルがあるため これを削除して計算したもの。

表2.3.4.3　NMR分析結果

	① Ha + Hα (Σ)	② Hα/Ha	③ Hβ/Hγ
カフジ原油	0.193 (1)	2.01 (1)	2.29 (1)
船底スラッジ	0.158 (0.82)	2.67 (1.33)	2.68 (1.17)
原油スラッジ 1/10	0.183 (0.95)	2.21 (1.10)	2.66 (1.16)
〃 1/50	0.228 (1.18)	2.12 (1.05)	3.17 (1.38)
ワックス No.6	(0.45)		5.26 (2.30)
〃 No.12	(0.44)		6.27 (2.74)

（ ）内数値は原油をベースとしたもの

① Ha + Hα の値 ——— 芳香族成分の指標を考える
② Hα/Ha の値 ——— 芳香族の側鎖の割合
③ Hβ/Hγ ——— パラフィンの長さの指標（分子あたりの大きさ）

表 2.3.4.4　薄層クロマトーによるスラッジ分析

（単位 Wt%）

	飽和分	芳香族分	レジン分	アスファルテン分
カフジ原油	30.3	52.8	10.3	6.6
船底スラッジ	42.4	44.5	7.2	5.9
原油スラッジ 1/10	34.9	50.2	8.5	6.4
〃 1/50	33.8	49.5	8.1	8.6

薄層クロマト－FID法（イアトロスキャン）による組成

表 2.3.4.5　赤外分光分析の吸収スペクトル

波長 (μ)	特性基
3.0 ~ 3.5	パラフィン系の CH_3, CH_2, ナフテン系の CH_2
6.8	CH_2, CH_3, 一般
7.1 ~ 7.5	パラフィン, ナフテン系の CH_3 ナフテン系 CH_3, 芳香族系の CH_3
12.5 ~ 14.3	パラフィン系の CH_2 のみ

2.4　原油スラッジ堆積の機構等についてのまとめ

2.4.1　備蓄タンカーにおけるスラッジ生成の機構

原油はもともと微量の懸濁物質（ドライスラッジ等）を含むもので静置状態になると、これらの（コロイドより大きな）微粒子は沈降を始めるが、そのとき、原油が低温にさらされると、2.1.3(5)で述べたようにワックスも析出を始め、懸濁物質とともに沈降する。

こうして、タンク下層部では合体した懸濁物質が時間とともに濃縮されていく（表2.3.3.4～表2.3.3.9および図2.3.3.19～図2.3.3.22参照）。とくにワックスの析出はその部分全体の流動性を失なわせることになるが、それが、タンカーの沈降スラッジとして2.2のように計測されるものである。

このようにカフジ原油を備蓄した場合に生成するスラッジは、いわゆるワックス沈積Wax deposition の問題と考えることができる。

カフジ以外の原油をタンカー備蓄する場合も同じことが言えるかどうかは、生成スラッジを分析して確認する必要がある。スラッジに対する非ワックス成分の寄与の度合いは原油について種々であろうが、ワックス成分がスラッジ生成の主役をなすという意味では、他の中東系原油の場合もワックス沈積の問題と考えてよいのではなかろうか。

2.4.2　スラッジ生成を防止する要因

船底スラッジの流動性は、主にワックスの濃度に依存するが（表2.3.4.1参照）、ワックスは水泥分のような有害物ではないから、沈積を防止することは有益である。そのためには、油温がなるべく高温であることと、タンカーのタンクがなるべく激しくゆすられること（本質的に言えば、底部層1mが上下撹拌されること）の二つが大きな要因である。

2.2で示した錨泊および漂泊のタンカー等のスラッジ堆積のデータを比較すると、動揺および高い油温による沈降防止および再分散の効果を認めることができる。

2.5　揚荷対策

前述の錨泊備蓄タンカーに於ける原油スラッジの計測及び原油スラッジの堆積に関する模型実験の結果より、沈降スラッジ量については両者はほぼ一致して居り、また、アンボンバブルスラッジ量は模型実験における計測の結果図2.3.3.13、2.3.3.14に見られる様に沈降スラッジの７０%～９０%程度と思われる。

錨泊船での沈降スラッジの計測時に実施したサウンディングロッドによるスラッジの感触テストでは、ロッドが容易にタンク底部に達することより粘度の低い、流動性のあるスラッジと思われていたが、模型実験における分析の結果流動点が２０℃前後であることから揚荷困難なスラッジであると考えられる。模型実験に使用した原油は、カフジ原油一種であり、油種によってはスラッジ発生量も異なり、又沈降スラッジに占めるアンボンバブルスラッジ量も異なることが予想されるが、揚荷対策の検討に当っては沈降スラッジ堆積高さの７０%程度が揚荷困難又は通常の揚荷方法では、揚荷出来ないものとして検討した。

2.5.1　揚荷前の準備

(1)　スラッジ対策

今回の調査により沈降スラッジの堆積防止及び再分散には2.4のまとめのとおり船体に動揺を与えること、及び油温を上昇さすことが最も効果のあることが確認された。従って、貴重な備蓄原油のタンク内揚げ残しを最少限におさえるためには、錨泊方式のタンカーは揚荷前に１０日前後南方海域において漂泊することが望ましい。

この方法により、錨泊方式による備蓄中に発生堆積した沈降スラッジの大半が再分散し、漂泊方式による備蓄船の堆積高さと同程度となることが予想される。

(2) 安全対策

泊岸及び港湾内におけるタンカーの船外流出油事故の重大性に鑑み、通常運航中のタンカーでは積揚港入港前の大洋航海中に必ず荷役装置機器類の作動テスト及び安全チェックを実施している。

備蓄中のタンカーには通常運航中と同数の乗組員を配乗し、船体及び積荷の安全確保には万全の態勢で対処し、又船内の各装置及び機器類も常時整備、点検していることは周知の通りであるが、錨泊方式による備蓄船にあっては、船外漏油事故のおそれのある一切の作業が禁止されているので、泊岸より離れた海域での作動テスト及び安全チェックは揚荷前の不可欠な作業である。このため、錨泊方式の備蓄船にあっては(1)のスラッジ再分散のための漂泊期間中に、また漂泊方式の備蓄船は漂泊期間中に、この作業を行うことができる。

尚、錨泊方式の備蓄船のうちC. O. W. （原油洗浄）の装置を有し実施可能な船は、荷役装置及び機器類の作動テスト及び安全チェックのみで良いので、2～3日間の余裕をもって橘湾を出れば十分と考える。

2.5.2 揚荷準備

(1) スロップタンク内貯留ビルジの処理

ビルジの処理については、海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律に従って、船内に貯留したビルジは揚荷開始時までに処理するものとする。

(2) 荷役装置、機器類の作動テスト及び安全チェック

(a) 荷役関係機器の点検、作動テスト及びカーゴライン、バラストラインのプレッシャーテスト

長期に亘り錨泊備蓄に携わっている各船に於ては、遺漏なく点検整備を実施しているが荷役中の流出油事故防止に万全を期する為に、錨泊中に実施できなかった荷役諸機器、カーゴ及びバラストラインの作動テスト及び安全チェックを実施する。

(3) 揚荷計画

揚荷計画については事前に下記事項を十分考慮検討し揚荷計画を立てる。

(a) 備蓄各船に於けるスラッジ堆積量の把握。

(b) 堆積スラッジ中のアンボンバブル量の推定。

(c) 沈降スラッジの流動点（約20℃）。

(d) 適正トリムの確保と船体強度。

2.5.3 揚荷方法

(1) 通常の揚荷方法（原油洗浄によらない揚荷方法）

通常の揚荷方法としては揚荷準備完了後次の方法によるのが一般的である。

(a) メインポンプを起動し低速運転にて貨油管系統の異常のないことを確認する。

(b) 徐々に回転数を上げ定格運転にて揚荷を行う。

(c) タンク内油面が下ればエアーの吸入やキャビテーション現象をおこさない様、早めにポンプの回転をおとし、デリベリーバルブの開度調整を併用してポンプの吸入吐出が不能となる限度迄揚荷を続ける。

(d) 液油装置に切替える。

(e) 液油作業が終ると揚荷完了となる。

エアーの吸入やキャビテーション現象は、メインポンプの性能上通常油面がベルマウス上約2メー

トルになったときに発生するといわれているが、備蓄原油は沈降スラッジがタンク底に蓄積しており、通常の場合より貨油の流動性が悪いので、通常の揚荷作業におけるよりも早い時期に次の諸対策をとる必要があると思われる。

(i) メインポンプの回転数を下げる。

(ii) デリベリーバルブを絞る。

(iii) 出来るだけトリムを大きく保つ。

(iv) 沈降スラッジは攪拌により分散することが判明しているから揚荷タンクを均一に揚荷する方法をとらず、ヘッドのあるタンクを確保し、必要に応じて次え中のタンクに落ち込みスラッジを分散させる。また、ヘッドのあるタンクをメインポンプのプライミングに利用する。

(2) 原油洗浄方式による揚荷方法（原油を用いてタンク内を洗浄し乍ら揚荷する方法）

この方式による揚荷は高圧力で揚荷中の原油の一部によりタンク内を洗浄するので、その溶解作用によりタンク内の原油の回収率が高く、効果的な方法である。備蓄タンカーに原油洗浄の設備があり、それが使用可能な場合には原油洗浄を実施することが望ましい。

通常のタンカーに於ける原油洗浄の一般的な実績によれば、揚荷ロスは通常の揚荷方法に比較して半減すると言われている。特にスラッジ堆積量の多い場合にはその効果が期待出来る。

2.5.4 揚荷後のタンク洗浄により発生するスロップの回収

(1) スロップの回収

備蓄タンカーの揚荷後に於けるアンボンバブルスラッジ及びタンク内壁や内部材に付着した原油の残量は、上記の様に種々の方法により減少可能であっても相当量がタンク内に残留すると考えられる。

このタンク内残留物の殆んどは利用可能物質であり貴重なエネルギー資源である。

通常運航中のタンカーに於ては、揚荷後のタンク洗浄により発生するスロップはスロップタンクに集められ、水切りの上実務上貨油の一部として次航の場地にて揚荷されている。

従って、備蓄タンカーのタンク洗浄により発生するスロップも同様に回収の必要があると思われる。

(2) 予想油分回収量

備蓄タンカーの揚荷後のタンク内残留油量は、原油の種類、その他種々の条件により各船毎に異なるであろうが、通常運航中のタンカーの揚荷後のタンク内残留油量は一般的（経験的）にタンク底部に貨物容積の0.2～0.3％程度、又、タンク内壁、内部材に付着するものも同程度であろうと言われていることにより、備蓄タンカーの場合は長期間の備蓄であるので、今回の調査・研究の結果から判断して、タンク底部に貨物容積の0.5％程度、タンク内壁、内部材に付着するものは同様に0.5％程度と推定出来る。従って、合計、貨物容積の1％程度の油分がタンク内に残留することになり、備蓄タンカーが、揚荷後タンク洗浄を行うことにより発生するスロップに含まれる油分の量は、1隻に付き約2,500KLとなり、20隻で総量約50,000KL もの大量の油分が回収出来ることになる。尚、備蓄船の揚荷時に全タンクの原油洗浄を実施すれば、タンク内残留油量は通常運航中のタンカーの約半分と思われる。

2.5.5 揚荷対策のまとめ

(1) 錨泊備蓄タンカーの揚荷前の南方海域での漂泊

錨泊備蓄中に発生堆積した沈降スラッジの再分散を図るために船体に動揺を与え、積荷油の油温を上昇させることが必要であり、また錨泊中に実施出来なかった荷役関係装置、機器類の作動テスト及び安全チェックを行なうためにも南方海域で10日前後漂泊することが望ましい。

(2) 原油洗浄方式による揚荷

原油洗浄を行なうために必要な設備を有するタンカーであって、受入れバースの合意が得られれば、

揚荷ロスの軽減を図るために実施することが望ましい。

(3) スロップの回収

通常運航中のタンカーのスロップは揚荷され有効に利用されており、備蓄タンカーのスロップも回収の上、有効に利用することが望ましい。

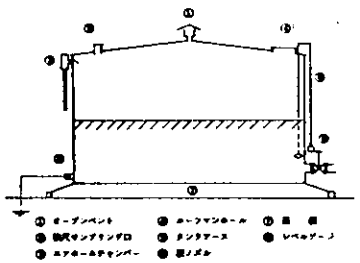
1. 陸上タンクの構造・装置

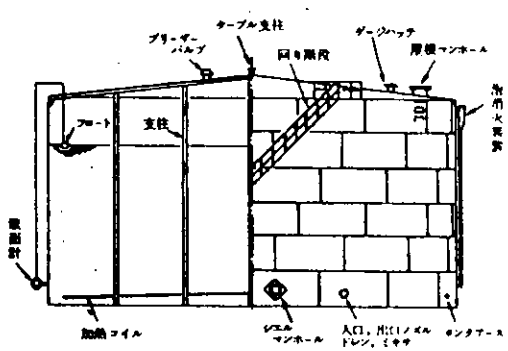
現在、原油及び石油製品の貯蔵に用いられている固定屋根型タンク及び浮屋根型タンクならびに固定屋根付き浮屋根型タンクの構造例は次の通りである。

1.1 固定屋根型

他の屋根形式に比べて構造的にも簡単で付属品も少なく、運転・保守等が容易であるが、蒸発損失が大きいため、軽油・灯油・重油等の引火点の比較的高い品種の貯蔵に使用される。

（固定屋根型のなかの円錐屋根形の構造例）

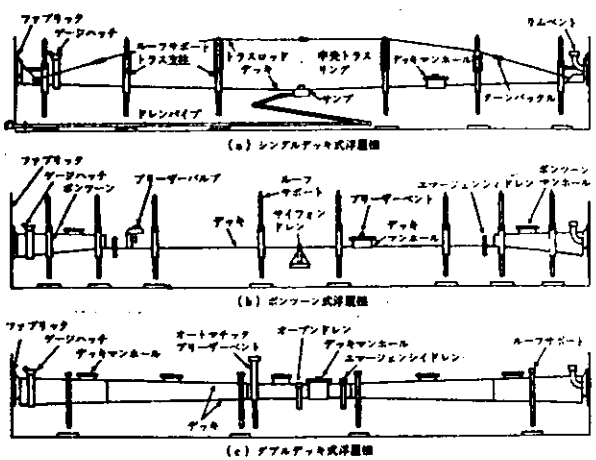


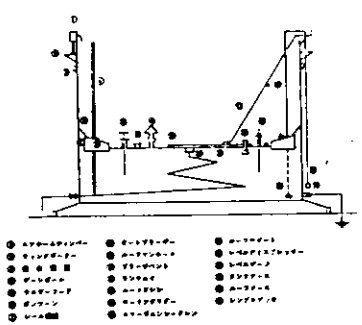


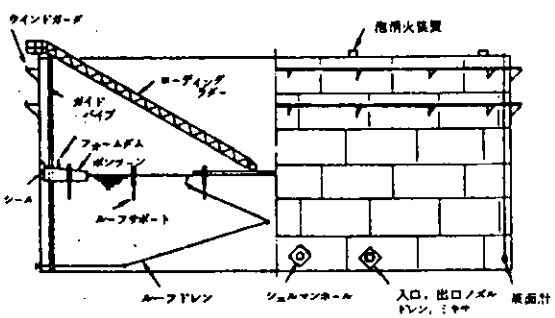
1.2 浮屋根型

液表面に浮屋根が密着する構造なので蒸発損失が少なく、原油の他、ガソリンの様な揮発性の高い製品の貯蔵に用いられる。

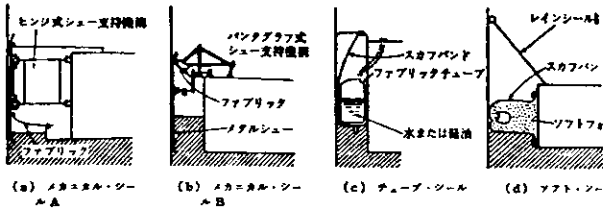
(1) 浮屋根については、シングル・デッキ式・ポンツーン式・ダブルデッキ式等の種類がある。

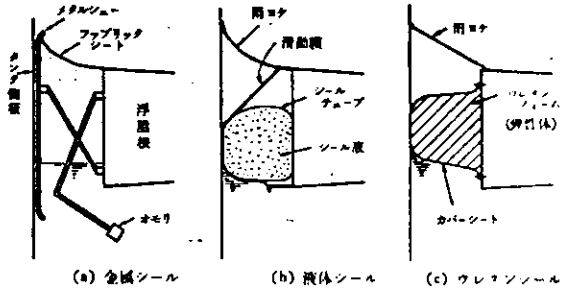






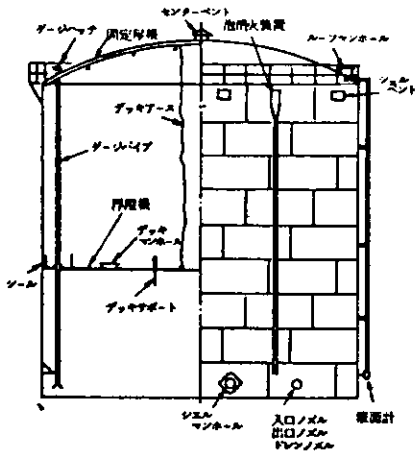
(2) 浮屋根とタンク内壁とのシール機構には次のようなものがある。





1.3 固定屋根付き浮屋根型

この形式は外見上固定屋根型と区別がつきにくいが側板上部に通気孔が等間隔に付いており、屋根頂部に通常のオープン式のセンターベントを有している。浮屋根型のようなウェザーフードやルーフドレーンが不要であり、気象変化に強くオールウェザー型とも称される。



1.4 タンクの附属品

主な附属品は次の通りである。

(1) 側板附属品：マンホール、張り込みパイプ、払い出しパイプ、サンプリングノズル、スイングパイプ、階段、ドレンパイプ。

(2) 屋根附属品：ゲージハッチ、マンホール、ベント類、浮屋根にはこの他にルーフドレン、ローリングラダー、シール機構、回転防止装置。

(3) その他附属品：液面計、温度計、消火装置、アース、タンクミキサー。

参考資料(1) 石油公団発行 "石油の開発" 1972~2月号 石油資源開発㈱生産部 島田 武筆 "講座"

(2) (社)日本産業機械工業会 "産業機械" 53年4月号

2. 陸上タンクの清掃実例（スラッジ堆積の実績）

		CASE－1※	CASE－2※	CASE－3※	CASE－4㊗	CASE－5◈	備考
タンクの仕様	容量	90,000kℓ	70,000kℓ	60,000kℓ	60,000kℓ	70,000kℓ	
	貯蔵油種	中東原油	中東原油	中東原油	中東原油	中東原油	
	型式	J・R・T	J・R・T	J・R・T	J・R・T	J・R・T	
	使用年数	9年	12年	4年	12年	9年	
	ミキサー有無	有(3台)	無	有(3台)	有(3台)	有(3台)	
	タンクヒーター有無	無	無	無	無	無	
スラッジについて	堆積量	1,800kℓ	4,800kℓ	1,400kℓ	1,253kℓ	3,925kℓ	
	最大堆積高さ	2.18m	3.53m	2.08m	1.45m	2.37m	
	スラッジの性状 比重	0.910	0.880	0.903	0.894	0.892	
	スラッジの性状 流動点	65℃	62.5℃	52.5℃	60.0℃	55.0℃	
	スラッジの性状 組成 油分	76 %	90.7 %	79.3 %	82.0 %	84.1 %	
	スラッジの性状 組成 水分	21 %	8.0 %	13.2 %	17.0 %	14.4 %	
	スラッジの性状 組成 残査分	3 %	1.3 %	7.5 %	1.0 %	1.5 %	
掃除内容	時期	52/5～52/7	53/2～53/4	53/7～53/8	52/8～52/9	51/6～51/8	
	原油在槽量	6,800kℓ	15,500kℓ	8,000kℓ	ほとんど0kℓ	11,800kℓ	○対スラッジ ○ハクトール561
	添加剤使用量	2,500ppm	2,000ppm	2,000ppm	使用しない	540ppm	
	水層温度	60～70℃	60～70℃	60～70℃	60～70℃	60～70℃	
	油層温度	50～60℃	50～60℃	50～60℃	50～60℃	50～60℃	
残査物について	堆積量	100m³	100m³	45m³	210m³	60m³	
	組成 油分	30 %	36 %	25 %	83 %	70 %	
	組成 水分	37 %	21 %	27 %	15 %	18 %	
	組成 残分	33 %	43 %	48 %	2 %	12 %	
	処理方法	自社焼却炉	自社焼却炉	自社焼却炉	油分回収後 自社焼却	油分回収後 自社焼却	
ユーティリティ使用量	スチーム	1,230TON	2,810TON	480TON	約1,000TON	約 800TON	5kg／cm²スチーム
	軽油	160kℓ	360kℓ	10kℓ	20kℓ	30kℓ	
	工業用水	1,480TON	1,030TON	1,640TON	1,500TON	1,500TON	
所要日数		57日	50日	35日	48日	50日	仮設工事含まず
所要工数		1,150工数	1,400工数	1,370工数	497工数	約1,000工数	仮設工事含む

※印　資料出所；(社)石油学会　54.3.15　"貯槽の保安保全に関する討論会"（温水循環法による清掃実績）

㊗印　出光興産㈱　　◈印　日本鉱業㈱　における実例

参考資料2. 通常タンカーのスラッジ堆積の実績

通常運航中のタンカーでは、スラッジ堆積量の計測は実施されていないので、その実績はつかめなかった。しかし、入渠時のタンク洗浄により発生し、処理されたスロップオイル量及びスラッジ量は、全国廃油処理事業組合で集計されており、本報告書で言うスラッジとは若干意味を異にするが、その数字は一応の目安となろう。

昭和53年度（1月～12月）船型別スロップオイル、スラッジ発生率表

（全国廃油処理事業組合作成）

重量トン数 D/W K/T	隻数	平均重量トン数	D/Wに対する比率(%)	
			スロップオイル	スラッジ
1万～5万トン未満	28(46)	29,000 (31,000)	2.911(1.951)	0.104(0.093)
5万～10万トン未満	56(64)	73,000 (75,000)	1.410(1.450)	0.080(0.066)
10万～15万トン未満	29(38)	124,000(125,000)	0.814(1.067)	0.073(0.066)
15万～20万トン未満	25(27)	168,000(167,000)	0.796(0.883)	0.063(0.056)
20万トン以上	57(55)	248,000(257,000)	0.940(0.789)	0.051(0.033)
総計	195(230)	137,000(133,000)	1.036(0.999)	0.062(0.048)

※( )内は52年（52.1～52.12）の数値

注－1　この表で言うスロップオイルとは入渠時のタンク洗浄により、各タンクより集められた洗浄汚水であり、アンボンバブルスラッジを含むものである。

注－2　この表で言うスラッジとは、タンク洗浄後の残渣であり、主として砂、スケール、泥、その他の異物である。本報告で言うスラッジとは意味を異にする。

3. 備蓄タンカーからのベーパー発生の防止に関する調査研究

タンカーによる石油備蓄期間中、ベーパーが船外に排出することも考えられるので、これを積力防止してタンカーの安全、貨油量の減少防止等に万全を期す目的で以下の調査研究を実施した。

調査研究は、調査、実験、対策の立案の三つに分けた。先ず調査としては、文献、資料等によって、ベーパー発生の理論即ち、ベーパー発生の原理およびその要因を調査するとともに、一般タンカーでのベーパー発生量、大気拡散状況、積荷役中のベーパー発生並びにその処理方法等についてとりまとめた。

また、備蓄タンカーでのベーパー発生量については、橘湾に錨泊中の備蓄タンカー4隻により、ベーパー発生量に影響すると思われる温度（大気、上甲板、アレージスペース、油面）、タンク内圧およびアレージスペースガス濃度の計測を行ない、これらの日周変化、季節変化を調査した。さらに現在錨・係泊中の備蓄タンカーから原油（13油種）をサンプリングし、性状分析およびリード蒸気圧の計測を実施した。

実験研究としては、備蓄タンカーでの実験が可能な上甲板への散水の効果、上甲板の塗色によるベーパー発生量の変化等ベーパー発生防止に関する効果確認実験を実施した。一方、実船では実験が不可能な事項について、模型タンクにより、油面の表面積、アレージスペース、タンク内圧、温度を変化させた場合ベーパー発生量、ガス分析等の実験を実施した。

以上の調査研究結果から、備蓄タンカにおけるベーパー発生の防止等についての対策の立案を行った。

3.1 ベーパー発生の理論

石油系の炭化水素ベーパーの発生に関しては、とくに石油産業において製品の損失、減耗の防止とか、可燃性ガスによる引火、爆発の防止などの立場から、かなりの研究が行なわれてきた。

しかしながら、昭和45年夏に東京都内杉並区内において発生した光化学スモッグ事件を契機にして、わが国においてはにわかに大気中における炭化水素が環境対策面から関心を招かれるにいたった。

その後、昭和48年に光化学オキシダントの環境基準が設定されたのに伴い、その原因物質の一つとして炭化水素に関して、通産省においてベーパーの防止対策を講ずるためその実態等について調査研究を目的とする委員会を設置し、昭和50年3月に報告書をとりまとめている。[1]

この報告は、主として石油工場をはじめとして、油槽所や給油所などを対象に、製油プラント、貯蔵および出荷設備などからの炭化水素ベーパーの排出の実態を調査し、主要排出源からの排出係数を算定するとともに、炭化水素ベーパーの防止技術、トータルシステムとしての防止対策などについて市広く研究されたものである。

とくにタンクからの炭化水素の蒸発による排出量等については、米国石油協会（API）の各種資料や、同じく米国の環境保護庁（EPA）の排出係数などと対比して、わが国で初めて総合的に実測されたデータなどを含んでいる。

なお、これらAPIやEPAの資料[2]〜[14]をもとに、各種タンクからの炭化水素の蒸発に関して、その排出に影響する因子や種類、排出量の測定方法および計算方法などについて総合的にとりまとめた資料[15]などもある。備蓄タンカーからのベーパー発生等に関しては、これら既存資料のうち、とくに固定屋根式のタンクからのベーパーの発生とか、その排出に関連する要因等の分析が参考になるものと思われる。

ここでは発生の原因としては蒸気圧、温度、アレージスペースなどをとくにとり上げることとした。

3.1.1　ベーパー発生の原因

一般にタンクなどからの炭化水素ベーパーの排出総量は単位時間あたりの蒸発による発生量と、貯蔵時間の積になるが、備蓄タンカーなどある一定の貯蔵タンクからのベーパーの発生量は、貯蔵されている油そのものの比重、組成、蒸気圧、温度などの物理、化学的性質とともに、タンク内の蒸気空間（アレージ、スペース）、内部の温度、圧力などの諸条件によるので、それらを総合的に検討する必要がある。

したがって実際のベーパーの排出に関しては、　油量やベントの型式、その設定圧、あるいは気温変化などが影響すると思われるが、基本的には気液の平衡関係がどうなるかにより左右される。

また、この平衡関係には油の蒸発速度が関連するが、これに関し静的な状態における原油の蒸発速度を理論的に求めている例[20]がある。これによると実験値と計算値とがよく一致した結果を与えており、ベーパー発生の原理を理解する一例として参考になると思われるので、以下その概要について紹介する。ただし、原油タンクの境界条件とこの理論での境界条件とは異なるため、その取扱いについては注意する必要がある。

(1)　移動速度論的原油蒸発量の推定

原油は沸点の異なる種々の成分からなる多成分系であるため、次のような手順で原油の蒸発量を推定する。まず、原油の一成分と空気とからなる二成分系を想定し、移動速度論に従って着目成分の蒸発速度を導く。次に、このようにして求めた各成分についての蒸発速度を重畳して原油としての蒸発速度を求める。

一般に、蒸発量に強く影響する成分は、常温付近で気液共存し、かつ蒸気圧が比較的高い数種の成分、具体的にはC_2～C_5（炭素数）の炭化水素と考えられる。これらの成分は化学的に良く似た性質を持ち、理想溶液的性格を示すものと推定される。そこで、各成分はそれぞれRaoultの法　、すなわち、溶液中の溶媒の蒸気圧は溶媒のモル分率に比例するに従った蒸気圧を示すという仮定を設けることにする。また、理想溶液の蒸気圧は各成分蒸気の分圧の和で表わされるので、先に述べた重畳則も近似的に成立するものと考えられる。

(2)　蒸発における非定常拡散と蒸発のモル流束

(a)　二成分系

原油の一成分Aと空気Bとからなる二成分系を考える。図3.1.1に示すように、上方に無限に長い拡散モルを想定し、その下部に液体Aが$y=0$まで入っているものとする。Aは蒸発し、y方向に無限に広がっている気体Bの中を拡散して行くものとする。ここで、液面は常に$y=0$に保たれるものとし、BはAに不溶、さらにAの蒸気とBとは理想気体を形成し、系は定温、定圧に保たれるものとする。

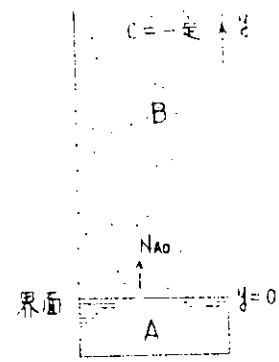


図3.1.1

このような仮定を設けると、最終的に$y \geq 0$の上部拡散領域での濃度分布の式として

$$\frac{C_A}{C_{AO}} = \frac{1}{1+\mathrm{erf}\,\varphi}\,\mathrm{erfC}\left(\frac{y}{2\sqrt{D_{AB}\cdot t}} \quad \varphi\right) \qquad \left[\begin{array}{lll} \text{初期条件：} & t=0,\ y \geq 0 \text{で} & C_A=0 \\ \text{境界条件：} & t>0,\ y=0 \text{で} & C_A=C_{AO} \\ & t>0,\ y= \quad \text{で} & C_A=0 \end{array}\right]$$

が得られ、蒸発モル流束の式として

$$N_{AO} = \frac{X_{AO}}{1-X_{AO}}\cdot\frac{P_A}{P_O}\cdot\frac{1}{22.4\times10^3}\cdot\frac{273}{T}\cdot\frac{\exp(-\varphi^2)}{1+\mathrm{erf}\,\varphi}\cdot\sqrt{\frac{D_{AB}}{\pi t}} \quad [\mathrm{mol}/cm^2\cdot s]$$

が得られる。

A成分の分子量をMAとすれば

蒸発重量速度：$W_A = M_A \cdot N_{AO}$

蒸発重量：$W_A = \int_0^t M_A \cdot N_{AO}\, dt$

蒸発ガス体積：$V_A = A \cdot \sqrt{t}$

$$A = \frac{X_{AO}}{1 - X_{AO}} \cdot \frac{P_A}{P_O} \cdot \frac{\exp(-\varphi^2)}{1 + erf\varphi} \cdot \sqrt{\frac{D_{AB}}{\pi}}$$

となる。

すなわち単位面積あたりの蒸発量は、モル分率、飽和蒸気圧、拡散係数を関数として上式にて与えられる。

(b) 多成分系

最初に述べた重量則が成立すると仮定すれば、A_1 、A_2 、A_3 ……よりなる多成分系の蒸発モル流束Na蒸発重量速度wなどは、それぞれ次のように表わせる。

$$N_O = \sum_i N_{Aio}$$

$$w = \sum_i W_{Ai}$$

$$W = \sum_i W_{Ai}$$

$$V = \sum_i V_{Ai}$$

A ： 蒸発速度係数（$cm^3/cm^2 \cdot S^{1/2}$）
C ： モル濃度（mol／cm^3）
D ： 拡散係数（cm^2／s）
N ： モル流束（mol／$cm^2 \cdot s$）
M ： 分子量 （g／g・mol）
PA ： 飽和蒸気圧（kg/cm^2）
PO ： 大気圧（kg/cm^2）
x ： モル分率
t ： 時間（S）
$\bar{V}g$ ： モル平均速度（cm／s）
φ ： $\bar{V}g\sqrt{t/D_{AB}}$
T ： 絶対温度（°K）

サフィックス

O ： 界 面
A ： 原油成分
B ： 空 気

(3) 原油の蒸発速度係数の計算方法

(a) ある温度における原油ガスの組成と蒸気圧を実験等により求め、ガス組成の比率より界面における各成分の分圧を求める。

(b) 各成分の分圧と飽和蒸気圧より原油のモル分率が求められる。（モル分率は一定） なお、各成分の各温度における飽和蒸気圧は Antoine 式 により求める。

(c) 各成分の各温度における空気中の拡散係数は 藤田の式 などから求める。

(d) γ についてはモル分率（X_{AO}）と γ の関係式

$$\frac{X_{AO}}{1-X_{AO}} = \sqrt{\pi}\gamma(1+\mathrm{erf}\gamma)\exp\gamma^2$$

または、上式の関係図より求める。

(e) (a)～(d)よりある温度における各成分の蒸発速度係数を求め、加え合せて全体の蒸発速度係数を得る。

注１） Autoine 式および藤田の式は「物性定数推算法」佐藤一雄著、丸善に与えられている。

注２） 少なくとも原油ガスの組成と蒸気圧は実測により求める必要がある。

3.1.2 ベーパー発生の要因

(1) 油種と蒸気圧

石油の物理的な性質のうち、ベーパーの発生に最も関連があるのは炭化水素の沸点と蒸気圧である。

石油は各種炭化水素の混合物なので、その沸点は平均的なもので表現せざるを得ない。このため、例えば各沸点を容積で平均したものを容積平均沸点（Volumetric Average Boiling Point：VABP）といい、次の式で表わされる。

$$VABP = (t_{10} + t_{30} + t_{50} + t_{70} + t_{90})/5$$

（ここに t_{10} はASTM蒸留曲線の10%点を指し、以下これに準ずる。）また、沸点をモル数で平均したモル平均沸点（Molal Average Boiling Point）なども用いられることがある。[16]

一般に蒸気圧というのは、ある密閉容器内で液（固）体が蒸発して、液（固）体と、蒸気との圧力が平衡になったときの蒸気の圧力をいい、飽和蒸気圧をあらわす。そのときの温度を、その圧力における沸点と定義されている。石油の蒸気圧は、米国のASTM規格で定められた試験器（リード氏の考案になる）を用いて測定したリード蒸気圧（Reid Vapor Pressure）が一般に用いられる。リード蒸気圧はJIS K 2258で規定されており、37.8℃（100°F）における絶対圧（kg/cm^2）で表示される。

蒸気圧は液体中の分子運動に関係するので、低沸点成分の比率が増加するに従って高い値を示し、また、温度が高いほど分子運動が活発になるため高い蒸気圧を示す。石油は多種類の炭化水素の混合物なので、リード蒸気圧を測定する場合には低沸点成分から先に蒸発するので、残った油はより低い蒸気圧成分が多くなる。リード蒸気圧は一般には同温度で測定された真の蒸気圧（True Vapor Pressure：TVP）より多少低い値になる。

真の蒸気圧はリード蒸気圧とASTMの蒸留特性との相関に関するAPIの資料をもとにした図3.1.2[17]などによって求めることができる。

また、気液平衡の計算や、各種炭化水素（純物質）の沸点、および蒸気圧などの定数については多くの文献がある。[18,19]

主な原油の蒸気圧（一例）は表3.1.1のとおりである。

表3.1.1　主要原油の蒸気圧（一例）

原　油　名	最高	最低	平均
アラビアン・ライト	0.36	0.23	0.29
アラビアン・ヘビー	0.58	0.38	0.49
ベリー	0.39	0.28	0.33
フェイト	0.54	0.16	0.48
カフジ	0.67	0.20	0.57
カタール	0.72	0.46	0.62
（カタール・マリン）	—	—	0.48
オーマン	0.21	0.23	0.28
マーバン	0.45	0.29	0.33
バスラ	0.52	0.41	0.48
イラニアン・ライト	0.57	0.30	0.45
イラニアン・ヘビー	0.53	0.24	0.44

注：蒸気圧はＪＩＳＫ２２５８石油製品蒸気圧試験方法（リード法）による。
　　単位は３７.８℃におけるkg/cm^2

出所：石油連盟調査、原油性状および石油製品出荷性状表

(2)　温　度

ＡＰＩによる呼吸排出量の式では温度に関連して影響を与える要素としては、蒸気圧、気温変化、外板表面のペイント色などがある。以上の各々の要素の影響は次のように説明される。

(a)　蒸気圧と温度

真蒸気圧は蒸発の基本的な要素であり、貯蔵油の組成と温度によって変化し、温度の高いほど高い蒸気圧を示す。

タンク内ガスの場合、平衡状態にあるタンク内ガス中に占める原油ガス分はタンク内圧にも関係するが、原油ガス量を大気圧換算すればタンク内圧の影響がなくなり、温度のみの関係となり、この換算後の原油ガス量は保持温度に比例する。なお、原油の真蒸気圧はリード蒸気圧と温度によりASTM蒸留特性との相関から求められる。（図3.1.2参照）

(b)　タンク内ガスの呼吸排出

日中は甲板や側壁を通じて油温およびガス温度が上昇するためアレージスペース内のガスの膨張と原油ガス蒸発とによりタンク内圧が上昇し、タンク内圧がタンク圧力逃し圧のセット圧を越えると、ガスは排出される。

夜間は温度が下降するためアレンジスペースは収縮と原油ガス凝縮とによりタンク内圧は下降し、ブリザー圧セット圧以下のタンク内圧になると外気を吸い込む。

すなわち気温変化によりタンク内圧は上昇、下降し、呼吸排出を繰り返えすわけである。

一日の温度変化はその日の平均気温に関係なく一般に季節を通じて大きな差はない。しかし晴天時と曇天、雨天の場合はふく射エネルギー、伝熱エネルギーが異なることにより、タンク内温度にはかなりの差がある。特に晴天時の突然の雨やその逆の場合など、急激な気象変化の場合タンクを急激に冷却、加熱することになりタンク内圧の変化は大きくなる。

圧力変化、吸排出、原油ガスの蒸発、凝縮を起こすエネルギーは次の日射エネルギーと伝熱エネルギーとに分けて考えられる。

(c) 日射エネルギー

タンクの受ける日射エネルギーは太陽ふく射と大気ふく射に分けられる。太陽ふく射は強さが日の出から日没まで正弦状に刻々と変る。大気ふく射は太陽ふく射に比べるとその強さも小さく大きな変化をしない。これらの他にタンクから大気へ発散するふく射エネルギーを考慮に入れる必要がある。

タンクが吸収する日射エネルギーは、太陽ふく射エネルギーと大気ふく射エネルギーにタンク外板の吸収率を乗じたものからタンク外板の大気発散エネルギーを差し引いたものからなり、各々ペイント色により差がある。

ＡＰＩの陸上用固定屋根タンクの吸排出量の式では、ペイント係数を屋根および側壁が白色の場合を1.00として表3.1.2で与えられており、ペイント色によりかなりの差があることがわかる。

表3.1.2　ペイント係数

タンクの色		ペイント係数Fp	
屋根	側板	良い状態	悪い状態
White	White	1.00	1.15
Aluminum(specular)	White	1.04	1.18
White	Aluminum(specular)	1.16	1.24
Aluminum(specular)	Aluminum(specular)	1.20	1.29
White	Aluminum(diffuse)	1.30	1.38
Aluminum(diffuse)	Aluminum(diffuse)	1.39	1.46
White	Gray	1.30	1.38
Light gray	Light gray	1.33	
Medium gray	Medium gray	1.46	

また、今回実船により実施された甲板塗色による効果の試験結果については後述の3.6章を参照されたい。

(d) 伝熱エネルギー

伝熱によりタンク内へもちこまれるエネルギーは周囲環境温度とタンク内温度との差と熱貫流率で与えられ原油への入出熱とタンク内ガス空間への入出熱とにわけて考えられる。

(3) アレージスペース

石油混合物の蒸気圧に影響を与える別の因子は蒸発が行なわれるアレージスペースの大きさである。アレージの高さおよびそのスペースが大きいほど液体中の低沸点の成分は平衡に達するまで多く蒸発し、液体中の低沸点成分は減少する。その結果、液体の容積に対するアレージスペースの容積の比が増加すれば蒸気圧は低下することになる。

固定屋根式タンクの呼吸排出量についてはＥＰＡなどから計算式が提示されている。

この式中、アレージに関係した要素はタンク直径Ｄとアレージスペース高さＨである。実際に本式によって計算する場合には係数Ｆ・Ｐ・Ｃなどを図表から拾う必要があるが、詳しくは引用文献に述べられているので、ここでは省略したい。

蒸発による排出量の計算方法（固定屋根式タンクの呼吸排出量）

$$B = \frac{8.38WK}{Vc}\left(\frac{P}{1.03-P}\right)^{0.68}D^{1.73}H^{0.51}\Delta T^{0.50}FpC$$

(1) 原油 蒸気圧-温度関係図　　(2) 石油製品 蒸気圧-温度関係図

図 3. 1. 2　蒸気圧 — 温度関係図

ここに　B＝呼吸にともなう排出量（kg／日－Kℓ容量）

W＝貯蔵温度における貯蔵油の密度（g／mℓ）

K＝貯蔵油による係数（原油0.014，軽油0.019，灯油0.020，重質ナフサ0.023，ガソリン0.024）

Vc＝タンク容量（kℓ）

P＝貯蔵温度における貯蔵油の真蒸気圧（kg／cm²）

D＝タンク直径（m）

H＝アレンジスペース高さ（m）

△T＝平均気温変化（℃）

Fp＝ペイント係数（別表）

C＝タンク直径の補正係数（別図）

即ち、固定屋根式タンクにおけるベーパー発生量はアレンジスペースの容積と油表面の面積に影響する。

なお、このほか、とくにタンカーやオイルターミナルにおける安全指針[21]〜[23]などの中で、ベーパーの濃度とアレージ・スペースの関連等について参考となる記述がある。

(4) 船体の動揺

ＶＬＣＣが風又は波浪の影響で動揺する場合に、荷油槽内の原油が動揺し、蒸気の発生量に変化を及ぼすか否かについて、言及した論文、文献は見当らない。

従って、ここではある程度の推定によって考察を行って見ることにしたい。

(a) 湿り排出

船体が動揺し、即ちタンクが傾斜すると、タンクの側壁に付着した原油が露出するため、空気と接する表面積が増大し蒸発による排出が起り、陸上タンクでの所謂「湿り排出」の現象が発生する。

船体のタンクは陸上のタンクと異り、内部が平板状とは限らず、内部材が相当多く配置されており、それだけ動揺で露出する表面積も多くなる。

ＶＬＣＣが横に1° 傾いた場合に露出する表面積を概算すると約７００m²となり、これは静止して浮いている時の自由表面積約１３,０００m²に対し5.4％の増加となる。従ってタンク傾斜に伴う原油表面積の変動量は蒸発量に何らかの影響を及ぼすであろうことは容易に推察される。

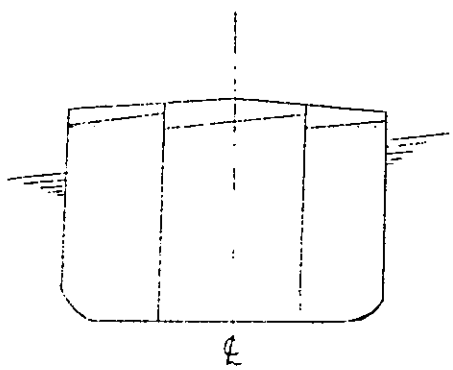


図　3.13

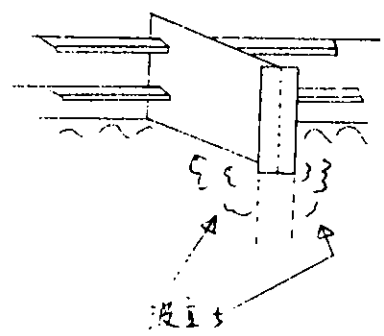


図　3.14

(b) 自由表面の波立ち

動揺角度が小さい範囲では自由表面の波立ちは無視出来ると考えられるが、動揺が大きくなるとタンク内部材の存在により、平板状のタンクに比較すればかなりの波立ちはあり得る筈であり、それに基因する蒸発の促進も考えられる。波立ちによる蒸発量の変化を定量的に測定するのは難しいが、仮に表面積の増大を因子ととり、表面積に蒸発量が比例すると仮定した場合、動揺角度が1°につき、波立ちによる表面積の増加はごく大ざっぱな推定で、0.1%位ではないかと考えられる。従って5°～10°動揺しても蒸発量の波立ちによる増加は微少と考えられる。

引用文献

(1) 資源エネルギー庁石油産業における炭化水素ベーパー防止トータルシステム研究調査報告書（50年3月）

(2) API Bulletin 2512:Tentative Methods of Measuring Evaporation Loss from Petroleum Tanks and Transportation Equipment(1957)

(3) API Bulletin 2513:Evaporation Loss in the Petroleum Industry—Causes and Control(1959)

(4) API Bulletin 2514:Evaporation Loss from Tank Cars,Tank Trucks, and Marine Vessele(1959)

(5) API Bulletin 2515:Use of Plastic Foam to Reduce Evaporation Loss(1961)

(6) API Bulletin 2516:Evaporation Loss from Low—Pressure Tanks (1962)

(7) API Bulletin 2517:Evaporation Loss from Floating—Roof Tanks (1962)

(8) API Bulletin 2518:Evaporation Loss from Fixed—Roof Tanks (1962)

(9) API Bulletin 2519:Use of Internal Floating Covers for Fixed—Roof Tanks To Reduce Evaporation Loss(1962)

(10) API Bulletin 2520:Use of Variable—Vapor—Space Systems to Reduce Evaporation Loss(1964)

(11) API Bulletin 2521:Use of Pressure—Vacuum Vent Valves for Atmospheric Pressure Tanks to Reduce Evaporation Loss(1966)

(12) API Bulletin 2522:Comparative Mothods for Evaluating Conservation Mechanisms for Evaporation Loss(1967)

(13) EPA,Compilation of Air Pollutant Emission Factors (Second Edition) Apr.1973

(14) EPA,Supplement №1. for Compilation of Air Pollutant Emission Factors (Second Edition) Jul. 1973

(15) 電力中央研究所技術第一研究所報告、燃料油タンクからの炭化水素の蒸発による排出（49年8月）

(16) 牧その他編　石油精製技術便覧　12（1967）産業図書

(17) 日本石油編　石油便覧　858～（1977年版）

(18) 石油学会編　石油事典　１３～（４１年１１月）
(19) 日本化学会編　化学便覧（基礎編）（４１年９月）（九善）
(20) 栗原亜道ほか、タンクベンチレーションを対象とした原油の蒸発速度に関する二、三の考察、西部造船会会報、第４４号、昭和４７年８月。
(21) ICS／OCIMF．International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals（Finaldraft）1978
（国際オイルタンカーとターミナル安全指針　日本タンカー協会訳　成山堂）
(22) 日本高圧力技術協会　ＳＴ－３Ｂ小委員会　固定屋根式タンクの通気装置に関する基準（１９７８）
(23) 日本海難防止協会　大型タンカーによる災害の防止に関する調査研究完了報告書　昭和４３年度

3.2　一般タンカーのベーパー発生量及び大気拡散状況

3.2.1　ベーパー発生量

(1) 積荷役中に於るベーパー発生

(a) ガスフリータンクに石油貨物を積載する場合のベーパー発生過程

簡単に説明するため、タンクは初め空でガスフリーの状態であり、通常と同じ様に油はタンクの底に入りガスは頂部に分離すると仮定する。

最初にタンクに入った油は全然炭化水素が無い状態だからタンクの底に注入されるにつれて激しい攪乱やしぶきの発生に促進され急速に蒸発が始る。その結果油の表面近くは積荷温度に於けるT.V.Pに相当するガス濃度に近ずき、一度船底部及び油入口が油で満されると油面が静かに上昇する間、比較的安定した過程となる。高蒸気圧油の場合T.V.Pは低いが油面のすぐ上の炭化水素ガス濃度が非常に高いので大気圧に近ずく事もある。ガス濃度容積比約７０％の値は測定されている。

又タンク内のより高い所で測定された濃度から外挿法で得た結果は更に大きく容積比１００%に近ずく、この場合混合気体は空気より遙かに重く油の表面に集中した層を形成する。この層はその上の空気と非常にゆっくりとしか混合せず積荷作業中常に存在する。層の厚さは積荷及び積荷条件すなわち温度積荷所要時間等に依るが一般に数フィートであり観測結果では１～１０フィートで平均４フィートである。

自然混合の過程では濃度に縦の変化を生じタンク内の最初ガスフリーであった空気に接した層の頂部が最も変化が大きい。

液体表面上の高濃度の存在は事実上液表面直上に平衡濃度がある事でそれ以上の蒸発を抑制する。従って高濃度層の形はタンクの積荷が進行するにつれて余り変化はしない。

以上の事実からタンクから排出されるベーパーの量と濃度は推論する事が出来る。排出ベーパーは独立ベント装置あるいは数タンク共通のベント方式から、又ベーパー排出可能な甲板上の他の開口部（例えばアレージパイプやアレージホール）から排出されるために大気中に排出される位置は大きく異り、かつ又　ルートにより排出される量も変って来るので法則化するのは困難である。そこで、最も簡単な単一タンクで大気に直接排出する場合について述べる。

(i) ベーパー排出率

空気又はガスと空気の混合気体のタンクからの排出量はタンクに入る液体の容量と液体からのベーパー発生量との和に等しい。一度高濃度層が出来ると蒸発は強く抑えられるのでベーパー発生率は小さくなり、従ってベントからのベーパー排出量は油流入量率よりわずかに大きいだけである。設計ではベーパー排出率と油流入量率との比率を1.1ないし1.２５としているが、等しいものと仮

定する。実際には高濃度層が形成される最初の段階に於て短期間この比率を越える事があるがこの間タンクへの積込みレートは最高時よりはるかに低いのではとんど問題にはならない。

例として、ベーパー発生率が無視出来る程小さくベーパー排出率と油流入量率との比率を1.0と仮定した場合の各積込レートに対する単一開口からのベーパー排出率及び流速を表にて示すと表3.2.1の通りでこの計算は比重0.85（35APＩ）の液体として計算した。

表3.2.1から解る様にいづれの積込レートの場合でもタンクから出るベーパーや空気の流速は非常に早い。

表3.2.1　ベーパー排出率

積荷レート	T/H	50	100	250	500	1,000	2,500	5,000	10,000
	BBL/H	375	750	1,875	3,750	7,500	18,750	37,500	75,000
ガス排出率	CFt/MIN	35	70	175	350	700	1,750	3,500	7,000
ガス排出流速									
6吋開口	Ft/SEC	3	6	15	30	60	150	300	600
10吋開口	Ft/SEC	1.1	2.2	5.4	10.8	21.6	54	108	216
12吋開口	〃	0.75	1.5	3.75	7.5	15	37.5	75	150
24吋開口	〃	0.2	0.4	1.0	2	4	10	20	40

(ii)　排出ベーパーの組成

タンクの頂部に分離した独立ベント或いはベント系統に入るガスはタンク頂部に存在する混合気体の組成を持ちガスフリータンクでは最初は空気である。流体が上昇するに従って初めは排出ベーパー組成はわずかしか変化しないが最後には液体表面直上の高濃度層がタンクの頂部に近づき、炭化水素含有量が増加を始める。この事からして炭化水素含有量が増加し始めるのはアレージが15フィート位になった時点からと予測出来る。層の厚さにも依るが、その後あるアレージで爆発範囲を十分に超える急激な濃度上昇が起る。積荷の終了直前の排出ガス濃度は容積比30%ないし50%の範囲となるのが一般的である。

(b)　ガスフリーで無いタンクに石油貨物を積載する場合のベーパー発生過程

ガスフリーで無いタンクへの積荷が始まる前、ガスの分布は通常均一になっている。前の積荷が原油であれば空気中のガス濃度は爆発（引火）範囲内かいくらか上であり、前貨物が高蒸気圧油例えば自動車用又は航空機用ガソリンであればもっと高い濃度となる。積荷が進むにつれて排出される混合気体は液体表面上の高濃度層が影響し始めるまでは変わらないがその後は高濃度層が排出ベーパーの組成を支配し、タンクが最初にガスフリーであった場合と少しも変ら無くなる。ガスフリーで無いタンクへの高蒸気圧油の積荷の初期段階で排出される混合気体は前貨物の性質にもよるが時として拡散の問題が生ずる事がある。しかし積荷終了段階の拡散が主な問題となる。タンク内大気が空気のかわりに不活性ガスを含んでいる場合には、混合気体は炭化水素ガス濃度のいかんに拘らず着火しないのでガス濃度は関係ないが混合気体が放出された時、炭化水素ガス濃度が高いと外気で薄められて引火性混合気体を形成する。積荷終了後も蒸発はアレージスペースが平衡濃度になる迄続き積荷の組成や温度にもよるが容積比50%を超える事もありうる。熱帯地域では容積比90～95%の高い値が観測され、ベーパーはタンクの呼吸作用により少量が断続的にしか排出されない。

以上要約すると、

当初ガスフリーのタンクに原油積荷中タンクから排出される気体中の炭化水素ガス濃度は積荷の最終段階となり容積比３０～５０%の高い値に達する時迄は極めて低い。

積荷前ガスフリーで無いタンクであって更に前貨物が高蒸気圧油の場合には積荷開始前のタンク内の炭化水素ガス濃度は爆発（引火）範囲内かあるいはいくらか上であり、これが積荷の初期段階に排出されるガスの濃度となる。その後積荷の最終段階で容積比の３０～５０%の範囲まで濃度が上昇する。

(c) 排出ベーパーの総量推定

原油の典型的な積荷中に排出されるガス総量の大きさを推定する事は可能である。これは排出される炭化水素／空気混合気体の組成についての仮定を合理的に単純化すれば十分な精度で推定出来る。例えば油の最後の５フィートが本船の各タンクに積込まれるまで排出ガスに炭化水素は無く更に最後の５フィート積込中の平均ガス濃度は容積比を２５%と仮定し油面１Ft^2から排出される炭化水素ガスの総量は大気圧下で1.２５Ft^2である。以上基準に基づき４つの船型（表3.2.2参照）から放出されるベーパーの総量は表3.2.2の通り推定される。

表3.2.2　原油の炭化水素ガス発生総量の推定

船　　型	DWT	40,000	100,000	200,000	300,000
タンクの深さ	Ft	50	70	80	45
積切時　油の深さ	Ft	49	68.6	78.4	43.1
満載時単位表面積（Ft^2）当り	Ton	1.17	1.62	1.82	2.22
油質量（S.G　0.85）					
単位表面積（Ft^2）のガス発生量	Ft^3	1.25	1.25	1.25	1.25
単位油量（ton）当りの炭化水素					
ガス発生量	Ft^3／Ton	1.07	0.772	0.667	0.563
発生炭化水素ガス総容量	Ft^3	42,800	77,200	133,400	168,900
発生炭化水素ガス質量	Ton	2.05	3.70	6.38	8.10
（プロパン換算４４，温度100°F）					

この概算はガスフリー船への積荷中に発生する炭化水素ガスの総量がトン単位でありかつ大型タンカー程タンク内の油の深さが深いので発生ベーパーの総量は大型船で輸送されるカーゴ量にはほとんど比例しない事を示すには十分である。全てのタンクがガスで充満している場合には発生する炭化水素ベーパーの総量は数倍に達する事もある。

(2) 積荷終了後のベーパー発生

積荷終了し通気装置を閉鎖した後もタンク全体にわたって平衡濃度となるまでは蒸発は継続する。

積地出港後、揚地への航海中毎日の温度変化あるいは途中の気候の変化によって、石油の温度が変化し又平衡濃度はそれによって変化するので更に蒸発が起る。その結果、タンクのブリザー、バルブ系統を通じて放出されるガスの濃度は非常に高くなるが、その量は比較的少量であり断続的にしか放出されないので、ベーパーの拡散について重大な問題を起す事はない。

3.2.2 排出されたベーパーの拡散

(1) 概　要

高揮発性原油又は石油の積荷終了直前或いは輸送後タンクの機械によるガスフリー作業中に最も高濃度のガスがタンクの通気装置の出口から放出され炭化水素ガス濃度が５０%にも達する。ガスが引火下限界以下の濃度に薄められるまでには長時間を要しベーパーの拡散を検討する上に考慮する必要のある主な場所は次の４個所である。

- 扉、窓、開口及び換気装置の空気取入口等のある船楼、甲板室の外面。これらの開口が開放されていると、発火原となる非防爆型電気機器、調理設備、ボイラー等があり危険である。
- マスト、煙突、手摺及び空気取入口等引火性ガスが存在していると危険となる恐れのある構造物上の場所。
- カーゴタンクのある甲板上の当該場所は作業場所兼通路であり発火源となる様な物は無いが引火性ガスは出来るだけ少ない方が望ましい。
- 通常、発火源は無いが作業場所兼通路の桟橋。

これら場所に於る大量の高濃度ガスの拡散に影響を及ぼすと思われる主要な要素は以下の通りである。

- 風速が１０ノットを超えると船楼又は甲板室の風下側にある通気孔から排出されるガスは大気の乱流によって急速に拡散され、通気孔至近場所を除いて引火性のガスは存在しない様である。風速１０ノット以下の時には通気孔からガスが垂直に何も妨害なく高速で放出される場合を除いて通気孔から相当離れた場所でも引火性ガスが存在する様である。風速2ノット以下の場合では複雑で拡散の方向も型も予想される様なパターンにはならない。
- 船の前後方向に風が吹いている場合、船楼や甲板室の風下側の甲板近くの通気孔から放出されるガスは高速で上方に放出し、渦流を避けなければ渦流による微速の反流によって船楼や甲板室の方向へ運ばれる。
- もし通気孔が甲板近くにありガスを甲板上へ向ける様な、あるいは垂直方向のガス放出を妨げる様な調整板とか風穴を備えている場合には甲板まわりの広い区域にわたって引火性ガスが滞留する。特に風速１０ノット以下の場合にはその恐れが強い。
- 高速度で妨げる事なく垂直にガスを放出する事はガスを急速に拡散させるのに最も有効な方法であるがガスや風の状態が悪い場合に於いても実際上有効にガスを拡散するためには少なくとも約２０m／sec（60Ft／sec）以上で放出する必要がある。
- 風が非常に弱い場合を除く全ての場合に於て船楼や甲板室より十分高いマストの上の妨害物の無い通気孔から放出された場合にはガスフリーが望ましい場所に引火性ガスを生ずる事は無い。

積荷の終了時及びガスフリー作業中に放出される高濃度の混合ガスの拡散を考える場合、次の基本的な問題が有る。

- ガス濃度が引火性下限界以下になるまで薄めるには長時間を必要とする事。
- 混合ガスが十分薄められる迄はガスの比重は空気より重く甲板近くに沈降し、付近に滞留するという事。

風が十分吹いていない時にはガスの層が甲板近くへ沈降するのを最小限度にくい止め、急速な稀薄作用を促がすように作られたタンクの通気装置としてはどんな型のものでも有用で船橋から十分離れた所に設置したマスト上部の通気孔はガスが自然に薄められる程安全な距離を置く事によって目的の大半を達成出来る。又、低い位置から垂直に高速でガスを噴出する型式のものは放出するガスが沈降しようとするのを打ち消すような方向に作用する勢をつけ、同時に噴出するガスの中や周囲に空気の流れを作り出して急速な稀薄作用を促進する。高速で垂直に噴出するガスは一定の大きさの通気孔からの拡散を比

較すると積荷速度が早ければ早い程、高速度でガスを噴出するので、大量の炭化水素ガスが放出されるにもかかわらず、引火性ガスの存在範囲を狭める事になる事が知られている。

機械通風によってガスフリー作業を行う時の拡散は通常排出ガスの速度が十分に早いので、どんな状態の時でもガスの急速な拡散が行なわれる。しかし風が弱い時にタンクハッチを開放し、ガスの通気孔として使用する場合には思いがけない程ガスが拡がることがあるので用心しなければならない。

高揮発性石油の積切時、低い所にある一定の大きさの通気孔からガスを排出している場合には、必要なガスの排出速度は実際に拡散の為に有効な高速度よりもはるかに低くなる様でありこの為風が弱い時には船楼の風下側の低い所にある通気孔からガスを排出する場合には居住区や他の発火源の存在する場合に通ずる開口はガスが侵入しないように十分に閉鎖されているか否かについては特に入念に注意する必要がある。

最近判明した事及び種々の状況下における積荷速度の変化が広範囲にわたる事を考慮した全ての積荷状態に応じて自動的に通気孔の大きさを変え排出ガスの排出を高速度に維持する様設計された通気孔が既に作製されている。

ガスの排出速度を仮に３０m／sec（100Ft／sec）にするために必要なタンク余積のガス圧は通常のタンクに比べれば設計及び検査圧力は非常に低いが、それでもまだかなり高いので積荷中はできればタンクを開放せずにアレージ測定を行なう方が望ましい。通気孔の大きさを変え、一定速度でガスを放出するためには各タンクのアレージ測定にあたってタンクを閉鎖して行なう事が必要である。

(2) 拡散に影響する諸要素

ガスベント開口と関連して引火性区域の形及び大きさは多くの要素によって、大略、大気の状態、排出の特性、ベント開口の周囲の３つに分けられる。

(a) 大気の状態

(i) 風　速

炭化水素ガス／空気混合気体の拡散を助けるために、風速が重要である事が十分理解されている。

無風状態におけるガスの存在に用心する様に、又この様な状況下では過度のガス集中を避けるため積込レートを落すか、必要ならば積荷を中止する。

中東のターミナルにおける高蒸気圧積荷作業中の計測では風の弱い時にはベントから最小５０フィートの距離で爆発（引火）下限以上のガス濃度が検知され得ることを確認しているが、報告された風速は下記のように大きなバラツキがある。

一連の実験では風速が毎時約２ノットを超える時はL.E.Lを超える濃度は検出されなかったが他方では毎時８ノットまでが限界風速であるといわれている。

排出されるガスの量（炭化水素濃度及び排出率）並びに排出方法による所が多いが、ターミナルに於ける経験上、風速が毎時約１０ノット以上ならば拡散は問題にならないと示唆している。

それ故、風洞実験で矛盾を生じない最低風速は毎時約2.5ノットであるので風速の弱い場合の拡散に重点がおかれた。それより低いスピードでは風洞及び実船実験の何れにおいても風向の安定性がないので拡散は明確には予言し得ないが実際の経験から非常に低い風速では甲板面にガスが溜りやすいという事がいえる。

(ii) 風　向

船楼、甲板室から離れたガス源から風下への拡散は風向とは無関係であるが、ガスが余積される前に船楼、甲板室の風上または風下何れかの区域に到達すると重大な影響がある。この影響は渦流によりガスを吸込んだり、通常の大気の拡散の過程を変えることとなる。船楼、甲板室に関係するベントの位置を考慮すればいくつかの例が得られる。

(b) 排出の特性

(i) ベーパー排出率

一定成分のガス、空気混合気体の排出率は所定の管口を通じて増加させた場合、いろいろな影響が出てくる。まず第一にガス中の炭化水素成分排出の比率は全ガス排出率に比例して増加し、従って噴出ガスがL.E.Lに希釈されるまでに、移動する距離はより大きいに違いない。

他方、流速が大きければ大きい程、最初噴出する炭化水素の豊富なガスが効果的に空気と混合し、最初の効果を打ち消す傾向となる。すなわちL.E.Lに達する前に噴出ガスが到達する距離を減少させる傾向を有する。

炭化水素の豊富なガス混合気体の場合、噴出が上向きの時、特に付加えるべき重要な過程が明らかになる。この事はガス排出率が低く流速が小さい場合には放出されるガスの運動量は勢いがなくなるまでに周囲の空気との完全混合を促すには不十分である。その結果、混合気体は空気より重く小さい風速では、下降が可能となりゆっくりした大気混合過程となり易い。

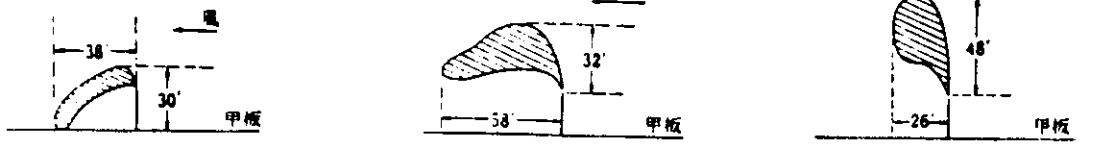
これ等異った過程における影響を図3.2.1に示す。

最も低い排出率（３２５ｆｔ^3／ｍｉｎ）では、ガス比重効果が優勢であり、比較的希釈されない炭化水素ガスが甲板に沈降する。

最も高い流出量（１６２５ｆｔ^3／ｍｉｎ）では噴出混合が沈降傾向を上廻るが 出現する混合気体中には実質的に炭化水素ガス量が多いので引火性区域が非常に大きくなる。

９７５ｆｔ^3／ｍｉｎの中間的な流出量の場合には、噴出混合ガス柱の沈降をさまたげるのに充分であるが大気攪乱による最終的希釈は比較的おそい経過を辿るので、引火性区域の大きさは相当大きくなる。

炭化水素排出率は3ないし5のガス柱の要素で変化するが、排出率が最低から最高まで変化する間、より大きい炭化水素ガス排出率の影響が流速の増加によって大部分相殺されるので引火性区域の大きさは全て同程度となるという事は興味深い事である。



(a)	(b)	(c)
ガス排出量 325ft^3/min	ガス排出量 975ft^3/min	ガス排出量 1625ft^3/min
排出流速 10ft/sec	排出流速 30ft/sec	排出流速 50ft/sec
概略積込レート 465T/H	概略積込レート 1400T/H	概略積込レート 2300T/H

管口径 １０インチ	甲板上管口高さ ２０フィート
風 速 ２５m.p.h	ガス混合容積比 プロパン５０％ 空気５０％

図3.2.1 ガス排出率が引火性区域に及ぼす影響

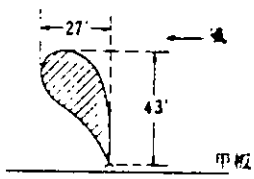
(ii) 排出ベーパー中の炭化水素濃度

濃度はこれまでに考察した二つの役割を果す。要約すれば他の事は等しいから、濃度は炭化水素ガス排出率を決定し、かつガス混合気体の比重を左右する。従って流速とともに引火性混合気体が

生じ得る所定のベットからの距離を決定し、またガス柱の比重に及ぼす影響からその沈降傾向に影響を与える。流速が大気との完全な混合を促進する程大きければ、沈降の効果は見られず、さらに引火性区域の形は炭化水素ガス濃度とはあまり関係がないが区域の大きさは濃度の増加につれて増大する。

もし、出口の流速が小さい場合は、炭化水素濃度の変化によりガス柱の沈降する範囲は変化する。非常に低い濃度では沈降効果は全くおこらず、引火性区域の形は図 3.2.2、又は図 3.2.1 の(c)と同様であるが、低いガス流出率と低濃度の為、その大きさは非常に小さい。

濃度の増加に伴い沈降はより明らかになり、ガス柱の形は図 3.2.1 の(a)および(b)と同様となるがこれまた引火性区域は比較的小さい。



管口径　6インチ	甲板上管口高さ　3フィート	風速　2.5 m.p.h.
ガス排出量 700 ft³/min)	排出流速 60 ft/sec	ガス混合容積比 プロパン 50 %　空気 50 %

概略積込レート　1000 T/H

図 3.2.2　上部構造物から離れたベント付近の引火性区域の一形態

(iii)　管口の面積

ガス、空気混合気体の出る開口の断面積は所定流量に対する流速を決定し、さらに大気との混合効率を決定するので重要な系数であるが、本船の開口部は実際には変化しないので、それ程注意は払われていない。しかしながら実際の排出率とは別に、拡散に及ぼす流速の影響についてより良い資料を得る事は必要であり、風洞実験の終り段階でこの事を考慮に入れた。

断面積の小さいものは流れの割合を一定とすれば予想通り有益な結果を得た。

(iv)　ベント開口の設計

タンカーのベント開口には各種の型がある。或る物は単なる開口なのでガス、空気混合気体は妨げられることなく、通常垂直方向に流出する。

他のものは流れの方向を横向きにあるいは下向きにそらすバッフルやルーバーが設けられている。

この種の物は風洞実験ではベント開口の直上に水平板を取付けることで考慮した。これは全く妨げのない開口と比較すると二つの極端な例を示している。

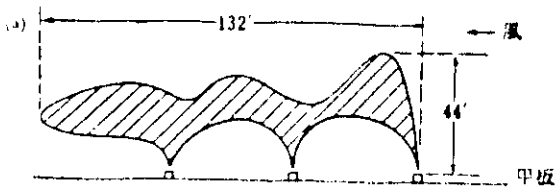
風洞実験の結果により次の事が示された。ベント開口が甲板付近にある場合、バッフルはガスを甲板上にそらし、風が弱ければかなりの距離まで水平に広げる。プロパンと空気の容積比 50/50 の混合気体の流出率が７００ft³/mim の場合、引火性混合気体は 2.5 m/h の風でベント開口から最小４０フィート離れた甲板上に生じた。

数個の低いベントの場合、非常に広範囲の甲板に引火性又はオーバーリッチガス混合気体が充満し得る。（図 3.2.3 の(b)参照）

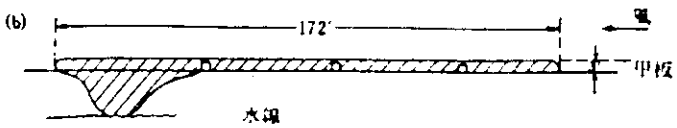
高い位置にあるベント開口のバッフル効果は図 3.2.4 に同一条件下でバッフルの有る場合とない

場合について図示している。

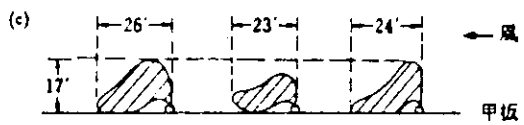
バッフルは明らかにガスの垂直噴出を妨げ必然的にベントの高さより下に大量の引火性ガスを生ずる。これは図示（５０フィート）のごとく高いベントは重要ではないだろうが、比較的低いベント、例えば甲板上１０フィートでは広い範囲の甲板が、引火性ガスの雲に覆れるであろう。



ガス排出量　700ft³/min（管口当り）
排出流速　60ft/sec
バッフルなし
概略積込レート　1000 T/H （管口当り）



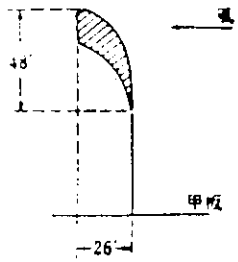
ガス排出量　700ft³/min（管口当り）
排出流速　60ft/sec
バッフル付き
概略積込レート　1000 T/H （管口当り）



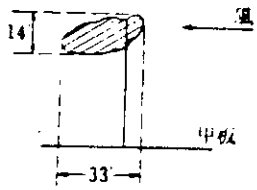
ガス排出量　233ft³/min（管口当り）
排出流速　20ft/sec
バッフルなし
概略積込レート　330 T/H （管口当り）

管口径　6インチ	甲板上管口高さ　3フィート
風　速　2.5 m.p.h	ガス混合容積比　プロパン 50％　空気 50％

図 3.2.3　複数ベンティングの引火性区域



(a)バッフル板なし



(b) バッフル板付き

管口径　１０インチ	甲板上管口高さ　５０フィート	風速　2.5 m.p.h
ガス排出量 2100 ft^3/min	排出流速 65 ft/sec	ガス混合容積比 プロパン 50％　空気 50％

図 3.2.4　バッフル付高いベントが引火性区域に及ぼす影響

(c) ベント開口の周囲

(i) 甲板及び船楼、甲板室からベント開口までの距離

船楼、甲板室から離れた区域に於て特定諸条件の下でベントから出るガス柱は、ガス比重又はバッフル使用による引火性ガスの下降がなければ甲板からベントまでの距離にはあまり関係しない。

バッフル付きの場合、引火性区域が甲板に突き当る様な位置にベントがある時には、ガスは甲板及びその付近を全方向に拡がる傾向がある。従って、いかなるベント形状及びガス排出に対しても問題のないベント（開口）の最低の高さがあり、それ以上であれば排出の結果生ずる引火性ガスの雲は、風速にもよるが、甲板に達しない。

船楼／甲板室付近の引火性ガスの動きは、空気の流れが構造物を越える時、空中に生ずる付随的な攪乱によって影響される。その種の渦流の図形を図 3.2.5 に示す。

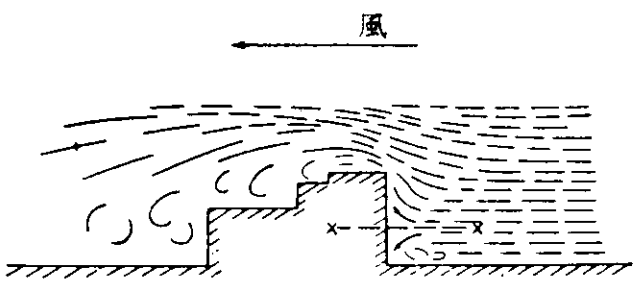


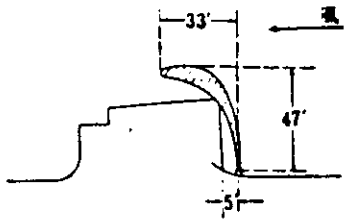
図 3.2.5　上部構造物を越える気流のパターン（分割面Ｘ－Ｘを示す）

風上側では、Ｘ－Ｘ線以下に下向きの渦が生じ、船楼／甲板室の上及び風下側では攪乱された空気が構造物に近ずく渦を生ずる傾向を示している。この動きは炭化水素ガス拡散に対し逆効果を及ぼし、濃度が高い場合ガスの比重はこの傾向を強める。

ベントからの流速が十分大きい場合には、この影響は無視出来る。例えば図3.2.6は図3.2.2と同一であって船楼／甲板室の風上側5フィートにあるベントからの引火性区域を示したもので図3.2.6の区域は幾分細長くなっているが、基本的な形状は図3.2.2と大差ない。

2個のベントから排出する例で炭化水素ガスの量を増加させた場合、図3.2.7に示す様に下向きの渦流がより明瞭になり、引火性区域は船楼／甲板室の頂部に密着している。

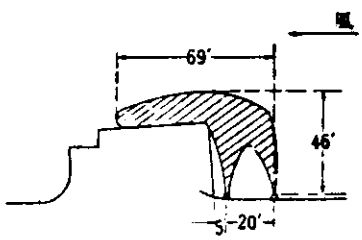
風下側の同一ベントからいくらか反方向の移動があり、図3.2.8では船楼／甲板室の前後のベントの組合せで、引火性ガスがいかに構造物の頂部全体をおおうかを示している。



管口径　6インチ	甲板上管口高さ　3フィート	風速　2.5 m.p.h
ガス排出量 700 ft^3／min	排出流速 60 ft／sec	ガス混合容積比 プロパン 50％　空気 50％

概略積込レート　1000 T／H

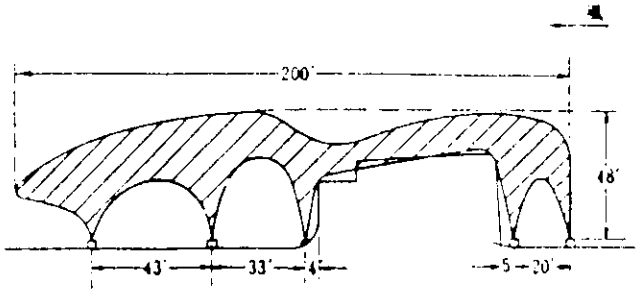
図 3.2.6　排出流速が比較的大なるとき上部構造物風上側至近の単一ベントからの引火性区域



管口径　6インチ	甲板上管口高さ　3フィート	風速　2.5 m.p.h
管口当りが排出量 700 ft^3／min	排出流速 60 ft／sec	ガス混合容積比 プロパン 50％　空気 50％

概略積込レート　1000 T／H （管口当り）

図 3.2.7　排出流速が比較的大なるとき上部構造物風上側の2個のベントからの引火性区域



管口径　6インチ	甲板上管口高さ　3フィート	風速　2.5 m.p.h
管口当りガス排出量 700ft³/min	排出流速 60ft/sec	ガス混合容積比 プロパン 50％　空気 50％

概略積込レート　1000 T/H （管口当り）

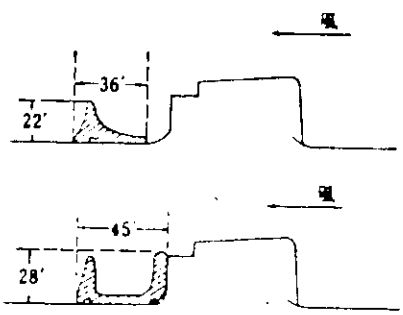
図 3.2.8　排出流速が比較的大なるときの上部構造物付近のベントからの合成引火性区域

ガス排出率が少ない場合には、船楼／甲板室の風下に目立った影響が現われる。すなわち図 3.2.9 に二つの例で示す様に、ガスが甲板の方に引かれる傾向を明瞭にみせる。構造物から離れた同じベントからの区域は図 3.2.3(c)に示す。ベントが風上にあり、流速が小さい場合の船楼／甲板室の影響は、図 3.2.10 で判る様に比較的小さく、比重の影響が優勢である。

船楼／甲板室が引火性ガスを浴びる傾向は、より高濃度の炭火水素が軽いガスを追い出して、比重が増大するに従い強くなってくる。

図 3.2.11 はガスの組成が純粋プロパンである。（活発に沸騰するカーゴに極めて稀に生ずる）極端な二例を示しており、両例とも単一のベントを使用する事以外、他の条件は図 3.2.6 ないし図 3.2.8 の場合と同じである。

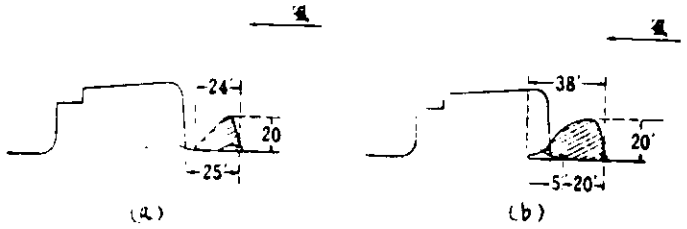
図 3.2.6 ないし図 3.2.8 と比較して、図 3.2.11 のベント開口から出る炭化水素ガスは約 2 倍である事を想起すべきである。



管口径　6インチ	甲板上管口高さ　3フィート	風速　2.5 m.p.h
管口当りガス排出量 233ft³/min	排出流速 20ft/sec	ガス混合容積比 プロパン 50％　空気 50％

概略積込レート　330 T/H （管口当り）

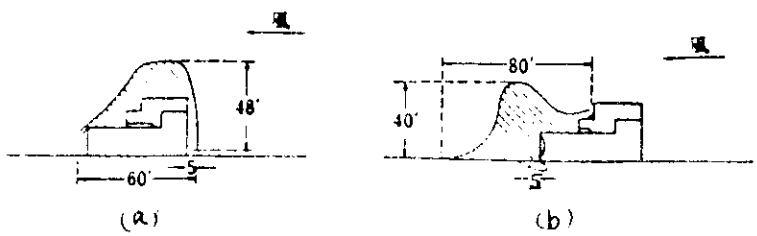
図 3.2.9　排出流速小なるとき上部構造物風下側の引火性区域



管口径　6インチ	甲板上管口高さ　3フィート	風速　2.5 m.p.h
管口当りガス排出量	排出流速	ガス混合容積比
233 ft^3 /min	20 ft/sec	プロパン 50％　空気 50％

概略積込レート　330 T/H （管口当り）

図 3.2.1 0　排出流速が小なるとき上部構造物風上側の引火性区域



管口径　6インチ	甲板上管口高さ　3フィート	風速　2.5 m.p.h
排出ガス　出量	排出流速	ガス混合容積比
580 ft^3 /min	50 ft/sec	プロパン　100 ％

このガス濃度は沸騰型油のみ発生するので相当する積込レートは与えられない。しかしながら８３０T/H未満であろう。

図 3.2.1 1　排出ガスが純粋プロパンの場合上部構造物付近の引火性区域

(ii)　複数ベントの影響

これまで独立ベント開口付近の引火性ガスの可能性についてのみ論じた。一般的に数個のベントからの同時排出は各個のベントの排出効果の合成に他ならない。図 3.2.3 は各々３開口の二種のグループ、一つはバッフルなし他はバッフル付きを図示したものである。

図 3.2.3(a)は図 3.2.2 と比較すべきであり、図 3.2.3(b)はベントからガスが自由上昇するのを阻止した結果を明瞭に示している。

図 3.2.3(b)では舷側をこえ甲板面以下の区域まで流れた濃いガス混合気体を示している。

図 3.2.3(b)は図 3.2.2 の単一開口からのガス排出７００ ft^3 /min と対比して、合計２１００ ft^3 /min を示している。３開口合計７００ ft^3 /min の広がりは図 3.2.3(c)に示す。これは同時に流速が低いと充分な混合が起らず、甲板上又は付近に引火性ガスが存在する事を示している。

(3)　拡散に影響する諸要素の要約

①　ベントの開口から排出する炭化水素ガス／空気の混合気体は屢々高速のジェット噴流を成形しており、この高い流速は混合を促進し、爆発下限未満に希釈する。

② ベント開口にバッフル又はルーバーが付いている場合、ガスは平向きに放出され、開口の高さが低いと甲板面付近に引火性混合気体を広い区域に滞留させる。

③ 風向がおおむね船首尾線の場合、船楼／甲板室の近くでは、付随的な空気撹乱が生じ、甲板近くの開口から出るガスを捕える。

この撹乱は船楼／甲板室から相当離れた開口からの拡散の考察では予期し得ない所の甲板上及び船楼／甲板室に引火性ガス混合気体の区域を生じる事がある。

④ 風速はタンカーのベントから出る炭化水素ガスの拡散に重要な役割を果たす。風速が１０m／h以上の場合には拡散は急速であり、引火性混合気体はベント開口のごく近く以外は、生じないという事が経験上いわれている。風速１０m／h以下の時は、ベント開口からかなり離れた所でも引火性混合ガスが存在する事がある。

又風速が約２m／h以下の場合、拡散は定った形を採らないという余計な問題があり、引火性混合気体の存在は予知出来ない。

※ 本章については、その大半を下記文献から引用した。

1. 国際オイルタンカーとターミナル安全指針（石油会社国際海事評議会）。
2. タンカー安全指針（国際海運会議所）。

3.3 備蓄タンカーでのベーパー発生量

備蓄タンカーでのベーパー発生量に影響すると思われるものに外気温度、アレージスペースの温度、上甲板の温度、タンク内圧及びアレージスペースガス濃度等がある。

これらの諸項目の日周変化、季節変化をとりまとめたものである。

調査対象船としてE丸、C丸、D丸、I丸の４隻を使用した。尚、調査期間、調査項目、計測方法、データ、調査の解析等は次の通りである。

3.3.1 調 査 期 間

(1) 日周変化の調査期間

昭和５４年中の８月、１０月、１２月のうち各々晴天日１日と曇天日１日とした。なお各船の調査期日は下記の通りである。

船　名	８　月	１０月	１２月
E　丸	２９日（晴天） ３１日（曇天）	１２日（晴天） ２８日（曇天）	１０日（晴） ２１日（曇）
C　丸	２１日（晴天） ２４日（曇天）	２２日（晴天） １７～１８日（曇天）	１０～１１日（晴） ４～　５日（曇）
D　丸	１１日（晴天） １９～２０日（曇天）	１０日（晴天） ２８日（曇天）	９日（晴） ２１日（曇）
I　丸	２２～２３日（晴天） １９～２０日（曇天）	８～　９日（晴天） １７～１８日（曇天）	１４日（晴） ２５～２６日（曇）

(2) 季節変化の調査期間

昭和５４年７月９日から昭和５４年１２月３１日まで台風避難で計測できなかった日を除いた毎日の15.00時現在値を調査した。

3.3.2 調 査 項 目

調査対象船に調査項目を記入したデータ記入用紙を配布してデータ収集したがその調査項目は計測タンクの容積、アレージスペース容積、天候、大気、海水、上甲板、アレージスペース、油面の各温度、大気圧、タンク内圧、アレージガススペースガス濃度である。

但し、解析に使用した調査項目はアレージスペース容積、大気温度、アレージスペースの温度、上甲板の温度、タンク内圧及びアレージスペースガス濃度である。しかし天候は判断の一助となった。

3.3.3 計 測 方 法

(1) 計測場所　長崎県橘湾において錨泊中の備蓄タンカーのうちの調査対象船船上で指定した油種を積載したセンタータンク及びウィングタンク夫々1タンクにおいて実測した。

(2) 油種及び計測タンクと調査対象船

油　　種	計測タンク	船　名
IRANIAN HEAVY C	#4(P)　#2(C)	E　丸
ARABIAN HEAVY C	#2(S)　#2(C)	C　丸
BASRAH LIGHT C	#2(S)　#2(C)	D　丸
KHAFJI C	#2(S)　#2(C)	I　丸

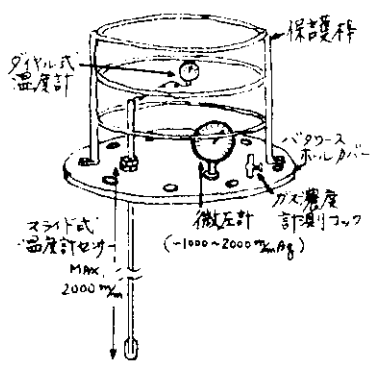
(P) …… 左舷側ウィングタンク

(C) …… センタータンク

(S) …… 右舷側ウィングタンク

(3) 計測装置及び計測要領

調査対象船各船のバタワースホールカバーの実状に合せて次図の如き装置を新たに作製し、各船に配布し、夫々の計測タンクのバタワースホールに取付け、データ収集に当った。



大気温度、海水温度、大気圧はそれぞれ調査対象船に既設の温度計及び気圧計を利用した。

その他の調査項目のうち計測を要する温度、タンク内圧、ガス濃度の計測要領は次の通りである。

上甲板の温度 ……各計測タンクの上甲板に直接、棒状温度計をパテで取付けた上、輻射熱の影響を防ぐために、温度計の受感部にカバーをかぶせて定時観測した。

アレージスペースの温度……前図に示す計測装置のスライド式温度計センサーにより、アレージスペースの中間位置と思われる位置の温度を油面温度より先に計測した。

油面温度 ……アレージスペースの温度計測に使用した後、そのセンサーをスライドさ

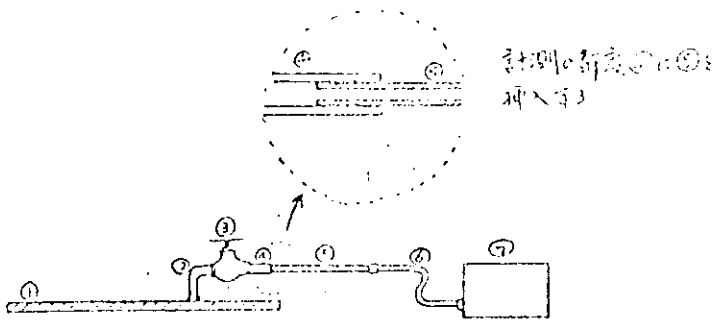
なて油表面から１０cm下のところにセンサー先端がくるようにして計測した。

タンク内圧……装置に取付けた微圧計により計測した。

アレージスペースガス濃度…装置にガス濃度計測のためのコックを設け、そのコックより吹き出すガスを可燃性ガス検知警報器により計測した。

但し、同警報器の性能はタンク内圧が負圧においては計測できなかった。

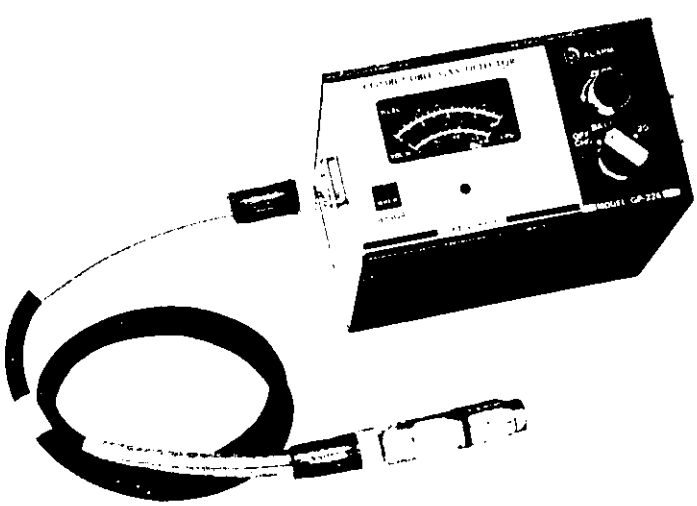
尚、計測要領下図の通り。



① パタワースホールカバー
② サンプル管
③ コック
④ サンプル出口
⑤ ガス採集棒
⑥ ガス採集チューブ
⑦ 計測器

計測機器の仕様及び明細

(A) 可燃性ガス検知警報器　ＮＰ－２３７　　レンジ校正…イソブタンガス



① メーター
② ガス採集チューブ
③ 警報ランプ
④ ゼロ調整ボリウム
⑤ モード切換スイッチ
⑥ ガス採集棒

＊ＧＰ－２２７型は上記③が無し、その他はＧＰ－２２６型に同じ

本器は、天然ガス、液化石油ガス、等の可燃性ガス、蒸気を測定対象とした可燃性ガス検知警報器で、０～１００％（ｖｏｌ）の範囲の濃度にあるガスを測定することが可能である。

ガスを検知する素子は、二種類の素子が組込まれ、爆発下限界値（ＬＥＬ）までの濃度は、接触燃焼式素子により、ＬＥＬ以上１００％（ｖｏｌ）までの濃度は、熱伝導式素子により、それぞれ検知される。

また、本器は小型・軽量で携帯に便利な上、構造は防爆構造になっているので、危険場所でのガス濃度測定が可能である。

特　長

(1) 防爆構造（ｉｄ３ａＧ４）であり、危険場所でのガス濃度測定が可能。

(2) 二種類の検知素子により、０～１００ｖｏｌ％の濃度の測定が可能。

(3) 自動吸引型であり、吸引ポンプの駆動は電子式であるため、モーターのようなメンテナンスは一切不要。

(4) 小型、軽量（1.9㎏）で、携帯に便利。

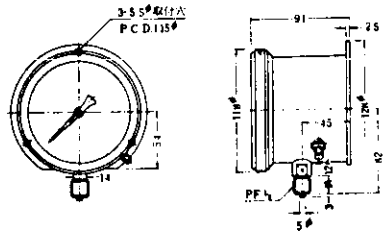
仕　様

(1)	型　　式	ＮＰ－２３７	
(2)	測定方式	０～１００％ＬＥＬ　接触燃焼式	
		０～１００％ｖｏｌ　熱伝導式	
(3)	測定ガス	液化石油ガス、天然ガス	
(4)	測定範囲	Ｌレンジ　０～1.8％　（ｖｏｌ）	イワブタンガスにて校正
		Ｈレンジ　０～１００％　（ｖｏｌ）	
(5)	防爆性	ｉｄ３ａＧ４	
		検知部は耐圧防爆構造	
		その他の部分は本質安全防爆構造	
(6)	指示精度	±１０％（フルスケール）	
(7)	応答時間	デッドタイム　５秒以内	
		９０％応答　１５秒以内	
(8)	使用可能温度	－１０～４０℃	
(9)	電　　池	Ｎｉ－Ｃｄ　充電式電池	
(10)	充電時間	１５時間（過充電防止回路付充電器付属）	
(11)	連続使用時間	3時間	
(12)	寸　　法	１５０(Ｗ)×８５(Ｄ)×１２５(Ｈ)㎜	
(13)	重　　量	1.9㎏　（本体のみ）	

(B) ベローズ式微圧計　ＧＬ２０－２３１

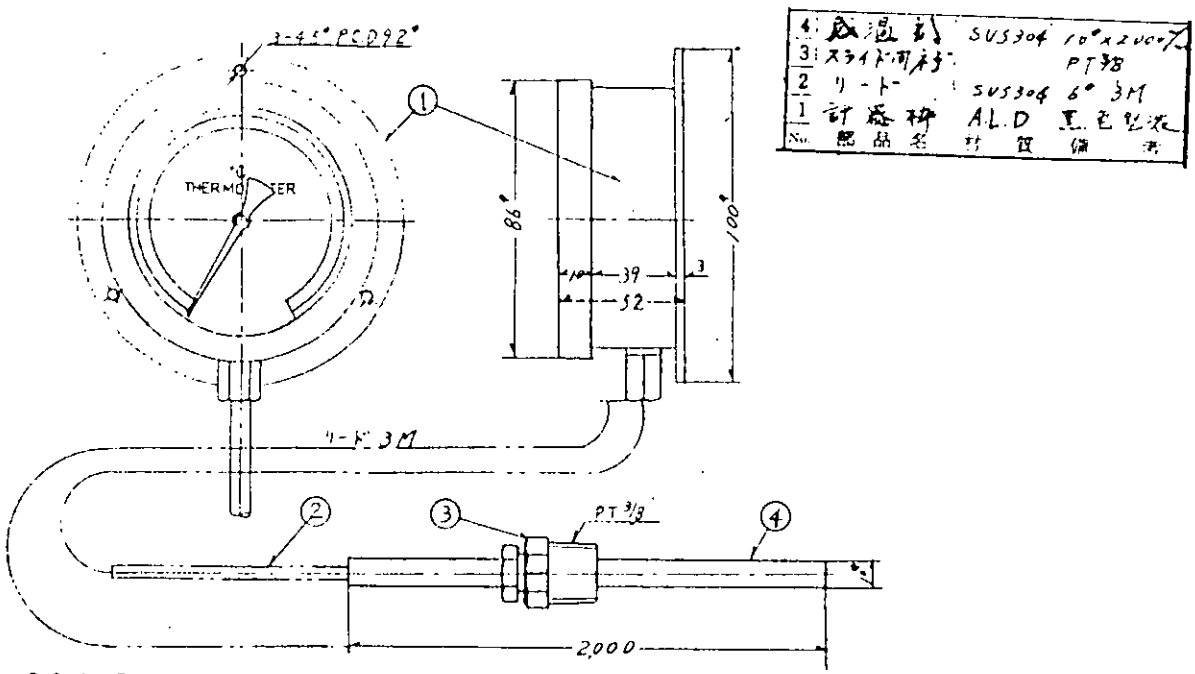
タンク内圧計測に使用したもので、その一般仕様は次の通りである。

エレメント材質	ベローズＰＢＰ２
圧力レンジmm Aq	－１０００～２０００（連成）
最小目盛	１００



(C) ダイヤル式温度計　DB－75

アレージスペースの温度及び油面温度計測の温度読取に使用した。



3.3.4　計測データ

調査項目のうち、大気温度、アレージスペースの温度、上甲板の温度、タンク内圧、アレージスペースガス濃度の日周変化、季節変化を折線グラフで表わした。

尚、折線グラフに記入した項目の区別は次の通りである。

	（日周変化）	（季節変化）
大気温度	…… ●	①
アレージスペースの温度	…… ○	②
上甲板温度	…… ×	③
タンク内圧	…… △	④
アレージスペースガス濃度	…… □	⑤

(1)　日周変化計測データの折線グラフ（図3.3.1～図3.3.24）

調査対象船別、計測タンク別に作製し、晴天日を実線で曇天日は破線で表示した。

(2)　季節変化計測データの折線グラフ（図3.3.25～図3.3.32）

調査対象船毎に計測タンクを区別して表示し、夫々、計測開始日より、計測終了日までの変化が判るように表わした。

但し、台風避難のため中断した間はデータ空白として、グラフに表示しなかった。

3.3.5　調査結果の解析

日周変化、季節変化とも下記の点について解析して見た。

a）油種別アレージスペースガス濃度とその変化

b）タンク内圧の変化

c）タンク内圧変化とアレージスペースガス濃度の変化

d）散水の影響

(1) 月周変化

(a) 油種別アレージスペースガス濃度状況

油種	船名	ベント方式	タンク別	ガス濃度		
				8月	10月	12月
IRANIAN HEAVY C	E丸	独立型	2C	MIN45%~MAX 95%	MIN15%~MAX45%	abt 30 %
			4P	MIN60%~MAX100%	abt 60 %	——
ARABIAN HEAVY C	C丸	集合型	2C	abt 60 %	abt 60 %	——
			2S	abt 60 %	abt 65 %	——
BASRAH LIGHT C	D丸	集合型	2C	abt 50 %	abt 50 %	abt 40 %
			2S	abt 50 %	abt 50 %	abt 40 %
KHAFJI C	I丸	集合型	2C	abt 90 %	abt 90 %	abt 70 %
			2S	abt 90 %	abt 95 %	abt 75 %

折線グラフに表わした結果をアレージスペースガス濃度についてのみの抽出結果が上表である。上表より次のことが判った。

(i) 油種によりアレージスペースガス濃度が異なることが確認できる。

(ii) 同じ油種では8月、10月の計測結果は略数値が同じであるが12月は一様に減じている。

(iii) ウィングタンクでアレージスペースガス濃度が多い傾向を示している。

E丸　8月　10月　(4(P)が大)

C丸　10月　(2(S)が大)

I丸　10月　12月　(2(S)が大)

(b) タンク内圧の変化状況

図3.3.1～図3.3.24からタンク内圧が1000㎜Aqに達した後は、更に上昇して、呼吸弁の制定圧に近づく傾向が観測され、この1000㎜Aqを判断の基準とし、次の通り解析した。

(i) タンク内圧1000㎜Aqに達した時の観測状況

観測日	天候	観測時間	油種	大気温度	アレージスペース温度
8月22～23日	晴天	12.00－20.00	KHAFJI C	30～36 ℃	(W) 34.5～46.5℃ (C) 36 ～51.5℃
8月 11日	晴天	14.00	BASRAH LIGHT C	30.5 ℃	(N) 41 ℃ (C) 43.5 ℃
8月 21日	晴天	13.00～17.00	ARABIAN HEAVY C	32～35.5℃	(N) 39 ～45 ℃ (C) 35.5～41.5℃
8月 29日	晴天	14.00～18.00	IRANIAN HEAVY C	27～28 ℃	(N) 42 ～46.5℃
8月 31日	曇天	16.00～18.00		27.5～28℃	(W) 43 ～45 ℃

略、晴天日に観測され、曇天日に観測されたケースは青空が見える時間が多かったと想像される天候を示していた。

大気温度が及ぼす影響は、30℃以上になっていること。但しIRANIAN HEAVY C（独立型ベント方式）の場合は27℃以上で観測されている。

アレージスペースの温度が及ぼす影響は34.5℃以上になっていること。但し独立型ベント方式の場合42℃以上で観測されており、1000㎜Aq以上に達するには大気温度との関係で余分な温度上昇が必要となると推測できる。

一日の時間帯では12.00時から20.00時までの間で観測されている。

(ii) 仮想温度に対して１０００㎜Aqに達しなかった観測回数

１０００㎜Aq以上に達した時の観測状況から判断して、大気温度とアレージスペースの温度に夫々仮想温度を定め、その状況の下で１０００㎜Aqに達しなかった回数と、その原因について解析したのが次表である。

尚、仮想温度は(i)の表を参考に次のように決めた。

大気温度　３０℃以上の場合　アレージスペースの温度　３５℃以上

大気温度　３０℃未満の場合　アレージスペースの温度　４０℃以上

油　種	観測日	天候	観測時刻	大気温度	アレージスペース温度	タンク内圧	備　考
KHAFJI C	8月22日	b	10.00	35.5℃	35.5 ℃	850㎜Aq	
〃	8月23日	b	10.00	36.5	36.5	700	
BASRAH LIGHT C	8月11日	bc	16.00	41.5	41.5	620	散水中
〃	〃	〃		44.0	44.0	〃	
ARABIAN HEAVY C	8月21日	c	11.00	41.0	41.0	665	
〃	〃	〃		38.0	38.0	〃	
〃	〃	bc	19.00	35.5	35.5	900	計測前迄散水
IRANIAN HEAVY C	8月29日	bc	14.00	45.0	45.0	750	
〃	〃	b	16.00	46.0	46.0	810	
〃	〃	b	18.00	42.0	42.0	560	
〃	8月31日	c	12.00	35.5	35.5	400	
〃	〃	bc	14.00	43.5	43.5	940	
〃	〃	c	12.00	36.0	36.0	60	
〃	〃	bc	14.00	44.0	44.0	330	
〃	〃	c	16.00	45.0	45.0	450	
〃	〃	c	18.00	42.5	42.5	340	

総観測回数１６回のうち

大気温度が３０℃以下の場合が　7回　（４４％）

１２.００時より以前に観測されているのが　4回　（２５％）

散水が影響したと思われるもの　3回　（１９％）

となっている。

従って、大気温度３０℃以上となる午後にタンク内圧が上昇すると考えられるので、それ以前に防止策を講じる必要を認める。

(iii) タンク内圧の変化に影響を及ぼす要素

温　度

大気温度 …… ○平均気温の減少に伴ってタンク内圧も減少する。

○８月、１０月、１２月と観測毎に顕著にタンク内圧の最大値が減少している。

○大気温度の日周変化はタンク内圧の日周変化に直接的に影響していない。

○各油種に共通した要素は見出せない。

上甲板の温度 … タンク内圧変化に直接影響を及ぼしているとは考え難い結果を示している。

アレージスペース … タンク内圧の変化はこの温度の変化傾向に類似している。

但し、ARABIAN HEAVY CRUDE の１２月における計測では終日－６００㎜Aqを示して変化していない。

天　候

晴天日と曇天日とに区別して計測した結果、次のような顕著な変化の相違が認められた。

晴天日 …… 最大値と最小値の差が大きく１０.０００時から２０.０００時までの範囲で急激な変化をしている。

曇天日 …… 最大値と最小値の差が割合小さく、急激な変化が見られない。

但し、例外として次の計測があった。青空が見える日であったと思われるもの。

IRANIAN HEAVY 及び BASRAH LIGHT CRUDEの１０月計測

雲の厚さ、雲量などの影響が考えられるもの。

IRANIAN HEAVY CRUDE の８月計測

時間帯

(i)及び(ii)に示す表の如く、顕著な変化は晴天日の１０時から２０時の間で大きな変化をしている。

(c) タンク内圧変化とアレージスペースガス濃度の変化

(a)に示した表の如く、油種別にアレージスペースガス濃度が異なる上使用したガス検知警報器の計測性能がタンク内圧が負圧で測定できなかったため、結論は出し難い。

一般的な傾向としてはタンク内圧が高い時にアレージスペースガス濃度も濃くなると推測できる。独立型ベント方式では一層はっきりとその傾向を示している。

但し、IRANIAN HEAVY CRUDE １０月計測においてタンク内圧は曇天日の方が高いのにアレージスペースガス濃度は反対に、曇天日の値がわずかに小さいといった例外がある。

(i) タンク内圧の日周変化にアレージスペースガス濃度は追従していない。

(ii) アレージスペースガス濃度の日周変化は殆んどない。

但し、独立型ベント方式にあってはタンク内圧変化に従ったアレージスペースガス濃度変化がある傾向を示した。

(iii) タンク内圧負圧の時のデータがないので決定的な変化状況はつかめないが、８月、１０月、１２月の各観測時期毎に幾分違ったアレージスペースガス濃度値を示し、季節的な相違傾向を示している。

㊟ 計測装置の計測コックの形状及びガス検知警報器のサンプリング性能に問題があり、タンク内圧が下降した場合のアレージスペースガス濃度指示値には、多少の疑問を含んで処理する必要を感じる。

(d) 散水の影響

(b)(ii)において表に示した散水によりタンク内圧の上昇を静めたのではないかと推測される事例がある。

更に折線グラフを比較すれば上甲板の温度とアレージスペース温度の温度差が小さい、或るいは上甲板の温度変化とアレージスペースの温度変化には時間的な遅れが観測されているのが散水した場合には、この遅れの傾向がなくなり同じ変化をする観測データがある等、散水が何かの影響を及ぼしていると推測できる。

(e) 温度の日周変化

大気温度、海水温度、及び油面温度には顕著な日周変化は見られなかったので、大気温度だけを添付データの折線グラフに記入し、海水温度は記入しなかった。

但し、これら温度の平均温度の高低によってタンク内圧やアレージスペースガス濃度に影響してい

ると推測される。

添付データの折線グラフに記入した大気温度アレージスペースの温度、上甲板の温度の変化には夫々、次のような関連がある。

(i) アレージスペースの温度はその上甲板の温度の影響を顕著にうけて日周変化をする。

この温度の変化傾向は類似しているが、降水、散水によって影響をうけるほかは夏期０８.００時頃（冬期は１０.００時頃）より温度上昇し１４.００時～１５.００時に最大値を示し、その後下降を始め、２２.００時頃には、大気温度によって決まる一定の温度まで下って、その温度を保つようである。

又、アレージスペースの温度の時間的な変化状況は、上甲板の温度の変化状況より１～２時間遅れで推移している。

(ii) 上甲板の温度の高低は日照時間で決まり、アレージスペースの温度は上甲板の温度の影響を受けていることを示している。

又、上甲板の温度とアレージスペースの温度との間の温度差の大小は、アレージスペースの大小によって決まる傾向が観測された。

但し、計測機器にも問題があり、上甲板の輻射熱を計測したとの疑問も残る。

船名	E　丸		C　丸		D　丸		I　丸	
油種 / 月	IRANIAN HEAVY C		ARABIAN HEAVY C		BASRAH LIGHT C		KHAFGI C	
	4 (p)	2 (c)	2 (s)	2 (c)	2 (s)	2 (c)	2 (s)	2 (c)
８月	480.5m^3 506.2	1059.8m^3 1090.5	443 m^3	577 m^3	598 m^3	1262m^3	427 m^3	675 m^3
１０月	479.6	1054.1	425.7	567.5	604	1222	424	612.2
１２月	556.8	1171.9	518	658.1	735	1331	524.8	756.5

上表は、調査対象船の夫々のアレージスペースの比較である。

但し、アレージスペースの容積は、時々刻々変化したと思われるが、各対象船で算出した値をそのままその時のアレージスペースとして決定した。

しかし上表の通り、ウイングタンクとセンタータンクは容積が夫々異なりセンタータンクが概して大きい。

(iii) アレージスペースとアレージスペースの温度の比較

油種別に又、観測月毎に晴天日と曇天日に分けて比較した結果が次表である。

観測月	油　　種	晴　天　日	曇　天　日	備　　考
8月	KHAFGI C	WING TANK が高い	変らない	
	BASRAH LIGHT C	WING TANK が高い	変らない	晴天日の日没後はWING TANKが高い。但し、上甲板温度も高い。
	ARABIAN HEAVY C	WING TANK が高い	変らない	晴天日上甲板温度も高い。
	IRANIAN HEAVY C	顕著にWING TANK が高い	顕著にWING TANK が高い	曇天日，青空の多い日？
10月	KHAFGI C	WING TANK が高い	変らない	
	BASRAH LIGHT C	変らない	WING TANK が少し高い	曇天日、上甲板温度はCENTER がやゝ高い。
	ARABIAN HEAVY C	変らない	変らない	㊟ GAS濃度は幾分WING TANKが高い。
	IRANIAN HEAVY C	変らない	変らない	㊟ GAS濃度はWING TANKが高い。
12月	KHAFGI C	WING TANK が高い。	WING TANK が高い	㊟ GAS濃度もWING TANKが高い。
	BASRAH LIGHT C	概してCENTER TANK が高い	変らない	晴天日、上甲板温度も高い
	ARABIAN HEAVY C	変らない	変らない	
	IRANIAN HEAVY C	MAX はWING TANK が高い	午前中のみCENTER が高い	平均値はCENTER が高い

㊟ 変らない…　顕著なWING TANK とCENTER TANK の温度差が見られないことを意味する。

アレージスペースの大きい方が概してアレージスペースの温度が低いが、平均温度が下がれば、その傾向はなくなり微妙な余積変化によって影響を受けていると考えられた。

又、最大日においてはアレージスペースの大小によるアレージスペースの温度の差の明確な違いは見出せなくなる。これは即ち、アレージスペースの温度の変化に最も影響を及ぼすのは日照であることを示している。

(2) 季節変化

(a) 油種別アレージスペースガス濃度状況

油種	船名	ベント方式	ガス濃度	
			夏期（7～9月）	冬期（10～12月）
IRANIAN HEAVY C	E丸	独立型	2C 80%	41%
			4P 79%	57%
ARABIAN HEAVY C	C丸	集合型	2C 67%	59%
			2S 69%	62%
BASRAH LIGHT C	D丸	集合型	2C 49%	42%
			2S 51%	43%
KHAFGI C	I丸	集合型	2C 92%	80%
			2S 93%	84%

アレージスペースガス濃度の値は単純な平均値で示した。

上表より次のことが判った。

(i) 油種によりアレージスペースガス濃度に違いがあることが確認できる。

(ii) ウィングタンク（比してアレージスペース容積が小さい）がアレージスペースガス濃度大である。但し、E丸の夏期平均は逆である。

(iii) 夏期平均が冬期平均をいずれも上廻っており、季節変化を示している。

(注) 集合型ベント方式であるC丸は2種類の原油を積載しておりアレージスペースガスは混合している。

E丸も2種類の原油を積載しているが独立型ベント方式であるためガスの混合はない。

(b) タンク内圧の変化状況

(i) 大気温度の変化との顕著な相対関係は見られない。但し、平均気温が下降すればタンク内圧も低くなり日照時間或るいは一日の平均気温に関係すると推測される。即ち季節変化の方が顕著である。

(ii) 概して大気温度と上甲板の温度（アレージスペースの温度に影響を及ぼしている）との温度差が大である程、タンク内圧は高くなる。

(c) タンク内圧変化とアレージスペースガス濃度の変化

(i) 調査対象船E丸における状況

夏期タンク内圧の変化が大きい場合には、概してアレージスペースガス濃度の変化も大きく相似した変化傾向を示している。

しかし、平均気温が下降してくる冬期になればタンク内圧変化が小さくなり、併せてアレージスペースガス濃度の変化も小さくなる。

即ち季節的な要素が大きいことを意味している。

又、アレージスペースガス濃度の変化はタンク内圧変化の傾向と同じような傾向であるといえる。

アレージスペースは日周変化についての解析で示したように概してウイングタンクの方が小さく、センタータンクが大きいといえる。そのアレージスペースの大小はタンク内圧及びアレージスペー

スガス濃度の変化の大小に影響している。

即ち、アレージスペースが大きい程タンク内圧及びアレージスペースガス濃度の変化が小さく、逆にアレージスペースが小さければそれらの変化は大きくなっている。

(ii) (i)以外の調査対象船における状況

タンク内圧変化とアレージスペースガス濃度の変化の間には殆んど相対関係が見られない。但し平均気温が下がる冬期においては夫々の変化状況が小幅となり減少していく傾向は平均気温の減少傾向に従っている。

アレージスペースガス濃度の変化は上下幅は小さいが傾向としてはアレージスペースの小さいタンクの方がガス濃度は高いといえる。

(d) 散水の状況

(i) タンク内圧が１３００㎜Aq 以上となった日の月別回数及びその時の散水の有無並びに大気温度とアレージスペースの温度の最小値を抽出したのが下表である。尚、温度欄は左に大気温度右はアレージスペースの温度である。

油種		IRANIAN HEAVY C		ARABIAN HEAVY C		BASRAH LIGHT C		KHAFJI C	
月		2 C	4 P	散水中	散水なし	散水中	散水なし	散水中	散水なし
7月	回数	1	2	0	0	2	0	6	1
	温度	32 ℃ 52 ℃	28 ℃ 44 ℃			27 ℃ 40 ℃		31 ℃ 39 ℃	28 ℃ 39.5℃
8月	回数	0	7	1	0	3	0	1	0
	温度		27.5℃ 46 ℃	33 ℃ 42 ℃		31 ℃ 40.5 ℃		33.5℃ 45 ℃	
9月	回数	0	4	1	1	0	0	2	0
	温度		29 ℃ 45 ℃	28 ℃ 47.5℃	28 ℃ 445℃			31.5℃ 42 ℃	
		44%		9%		16%		31%	

IRANIAN HEAVY CRUDE については散水に関する備考が附されていないので明確な判断は出来ないが独立型ベント方式においてタンク内圧の上昇する頻度が全体の４４％と高いことが示されている。

表に示す油種別アレージスペースガス濃度より見て、ガス濃度の高い油種において全体の３１％と高い比率でタンク内圧の上昇が観測されている。

備蓄業務を行なう上、各船に対して予めタンク内圧が１４００㎜Aq になる前に散水するように連絡されていることもありIRANIAN HEAVY CRUDE を除いた対象油について見ると８９％が散水を実施している。

(ii) 次表は前記と同様にタンク内圧が１０００㎜Aq 以上となった回数を示したものである。

油種		IRANIAN HEAVY C		ARABIAN HEAVY C		BASRAH LIGHT C		KHAFJI C	
月		2 C	4 P	散水中	散水なし	散水中	散水なし	散水中	散水なし
7月	回数	4	10	8	6	9	2	8	8
	温度	28 ℃ 45 ℃	29.5℃ 35.5℃	28. ℃ 35.5℃	26 ℃ 32 ℃	(27℃ 41℃) 31 ℃ 34.5℃	32 ℃ 39.5℃	31 ℃ 39 ℃	28 ℃ 36 ℃
8月	回数	3	12	15	4	8	5	14	4
	温度	30 ℃ 50 ℃	28.5℃ 41 ℃	29. ℃ 35 ℃	29 ℃ 42 ℃	31 ℃ 34.5℃	28 ℃ 38.5℃	30 ℃ 40.5℃	30 ℃ 38 ℃
9月	回数	0	19	15	6	0	7	3	10
	温度		27 ℃ 40 ℃	28. ℃ 38 ℃	28 ℃ 41.5℃		30.5℃ 37. ℃	31 ℃ 42 ℃	27 ℃ 40 ℃
10月	回数	0	2	0	0	0	0	0	0
	温度		24 ℃ 39 ℃						
		27%		30%		17%		26%	

最もアレージスペースガス濃度の低い油種については１０００㎜Aq 以上にタンク内圧が上昇する頻度は他の油種より少ない。但し、他の油種相互の間には明確な違いは認められない。

(iii) 仮想温度として大気温度３０℃以上、アレージスペースの温度３５℃以上において１０００㎜Aq 以上のタンク内圧に達しなかった回数を散水の有無の別に分けて示した表が下表である。

油種	IRANIAN HEAVY C		ARABIAN HEAVY C		BASRAH LIGHT C		KHAFJI C	
月＼	4 P	2 C	散水中	散水なし	散水中	散水なし	散水中	散水なし
7月	0	0	2	2	—	1	2	1
8月	5	4	1	3	3	4	2	2
9月	0	4	—	0	—	6	—	8

以上、3表では散水の影響がタンク内圧に対してあるか否かの判断は下せない。又１０００㎜Aq 以上にタンク内圧が上昇した回数に対して１３００㎜Aq 以上まで上昇した回数を散水の有無に分けてパーセンテージで表わしても散水の効果を認める材料は出て来ない。

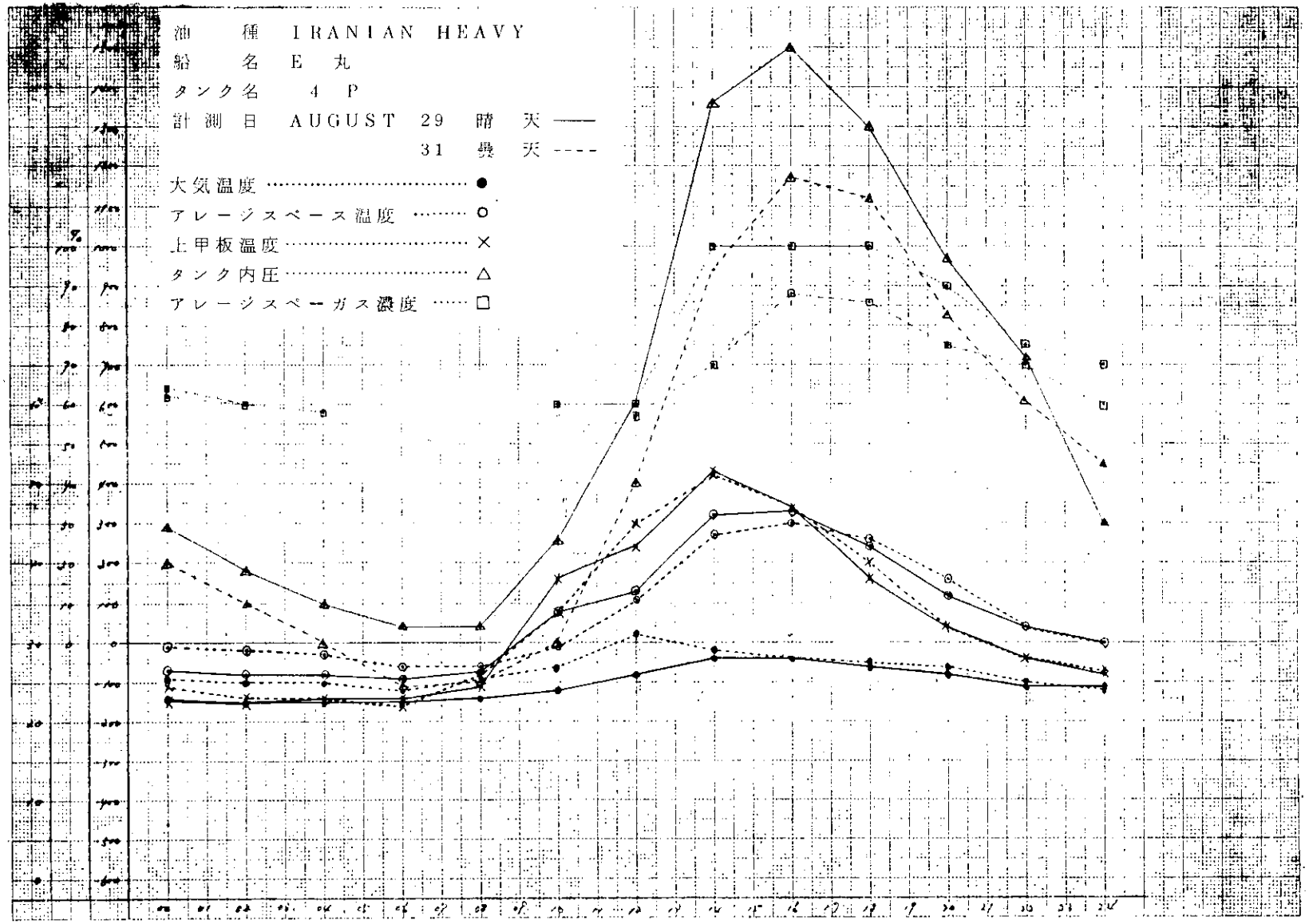

油　種　IRANIAN HEAVY
船　名　E 丸
タンク名　4 P
計測日　AUGUST 29 晴天 ——
31 曇天 ----
大気温度 ……●
アレージスペース温度 ……○
上甲板温度 ……×
タンク内圧 ……△
アレージスペーガス濃度 ……□

図 3. 3. 1

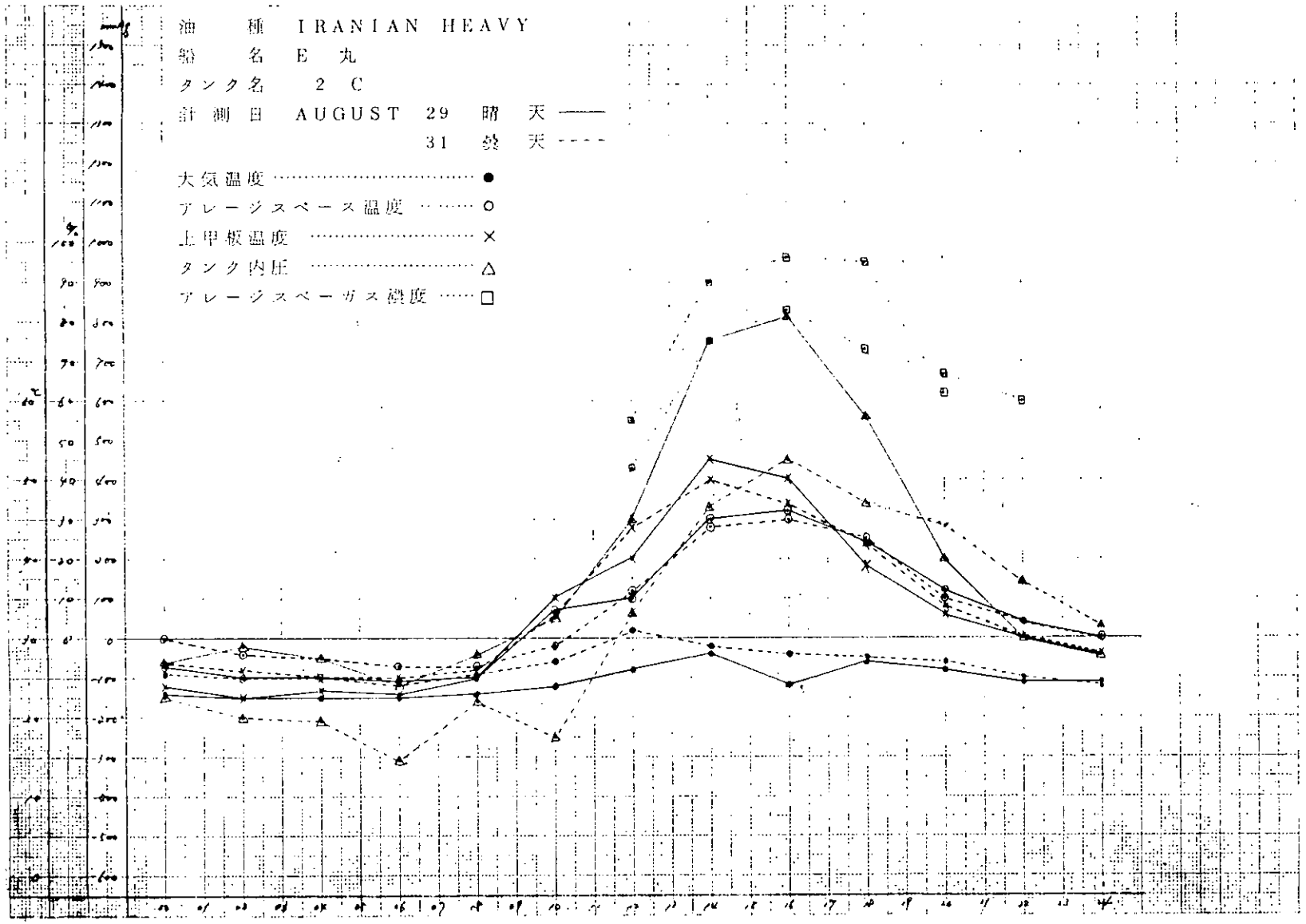

油　種　IRANIAN HEAVY
船　名　E　丸
タンク名　2　C
計測日　AUGUST　29　晴　天 ——
31　曇　天 - - - -
大気温度 ……●
アレージスペース温度 ……○
上甲板温度 ……×
タンク内圧 ……△
アレージスペーガス濃度 ……□

図 3. 3. 2

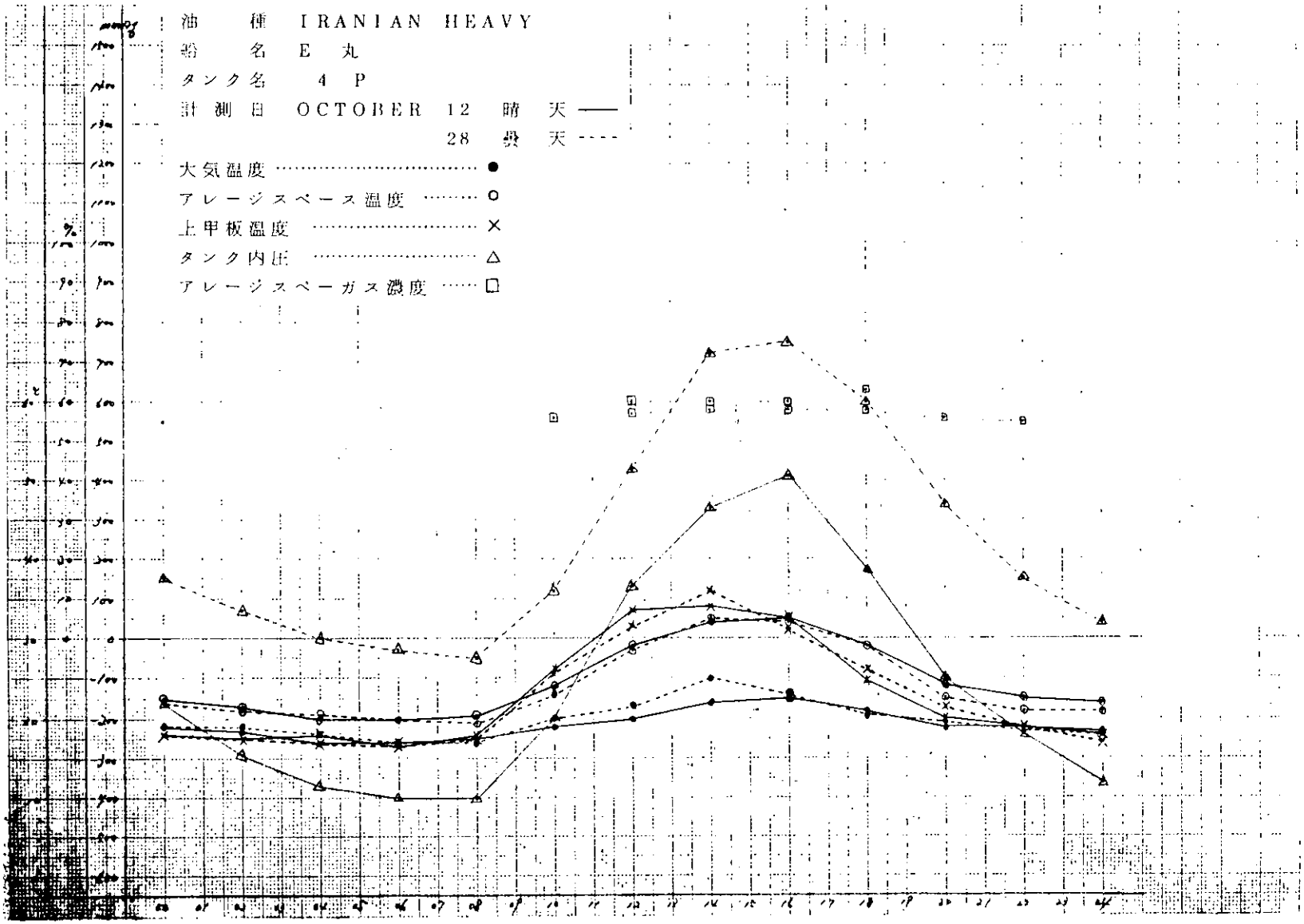

油　種　IRANIAN HEAVY
船　名　E 丸
タンク名　4 P
計測日　OCTOBER 12 晴天
28 曇天
大気温度
アレージスペース温度
上甲板温度
タンク内圧
アレージスペーガス濃度

図 3. 3. 3

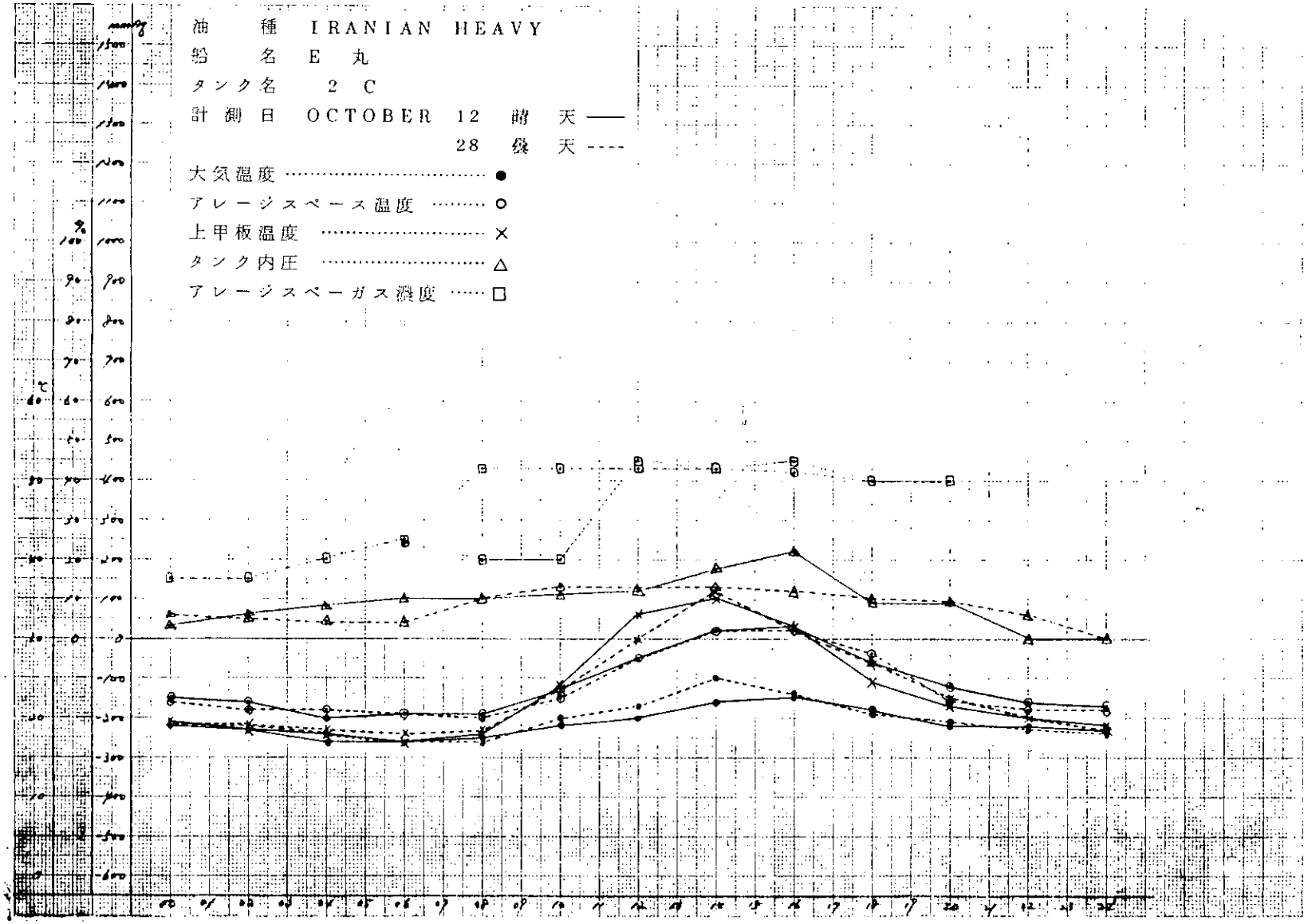

油　種　IRANIAN HEAVY
船　名　E 丸
タンク名　2 C
計測日　OCTOBER 12　晴　天
28　曇　天
大気温度
アレージスペース温度
上甲板温度
タンク内圧
アレージスペーガス濃度

図 3. 3. 4

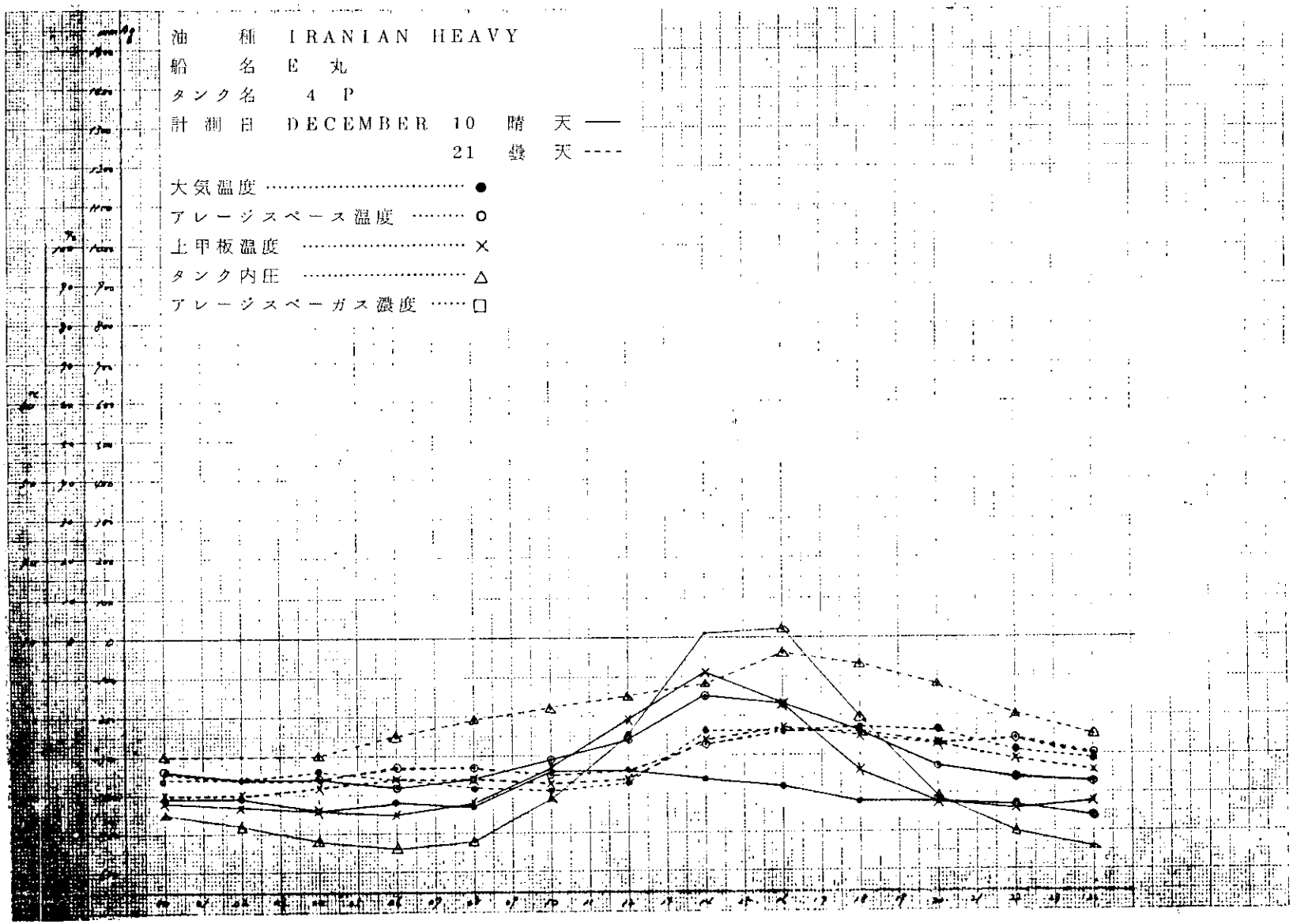

油　種　IRANIAN HEAVY
船　名　E 丸
タンク名　4 P
計測日　DECEMBER 10　晴　天
21　曇　天
大気温度
アレージスペース温度
上甲板温度
タンク内圧
アレージスペーガス濃度

図 3. 3. 5

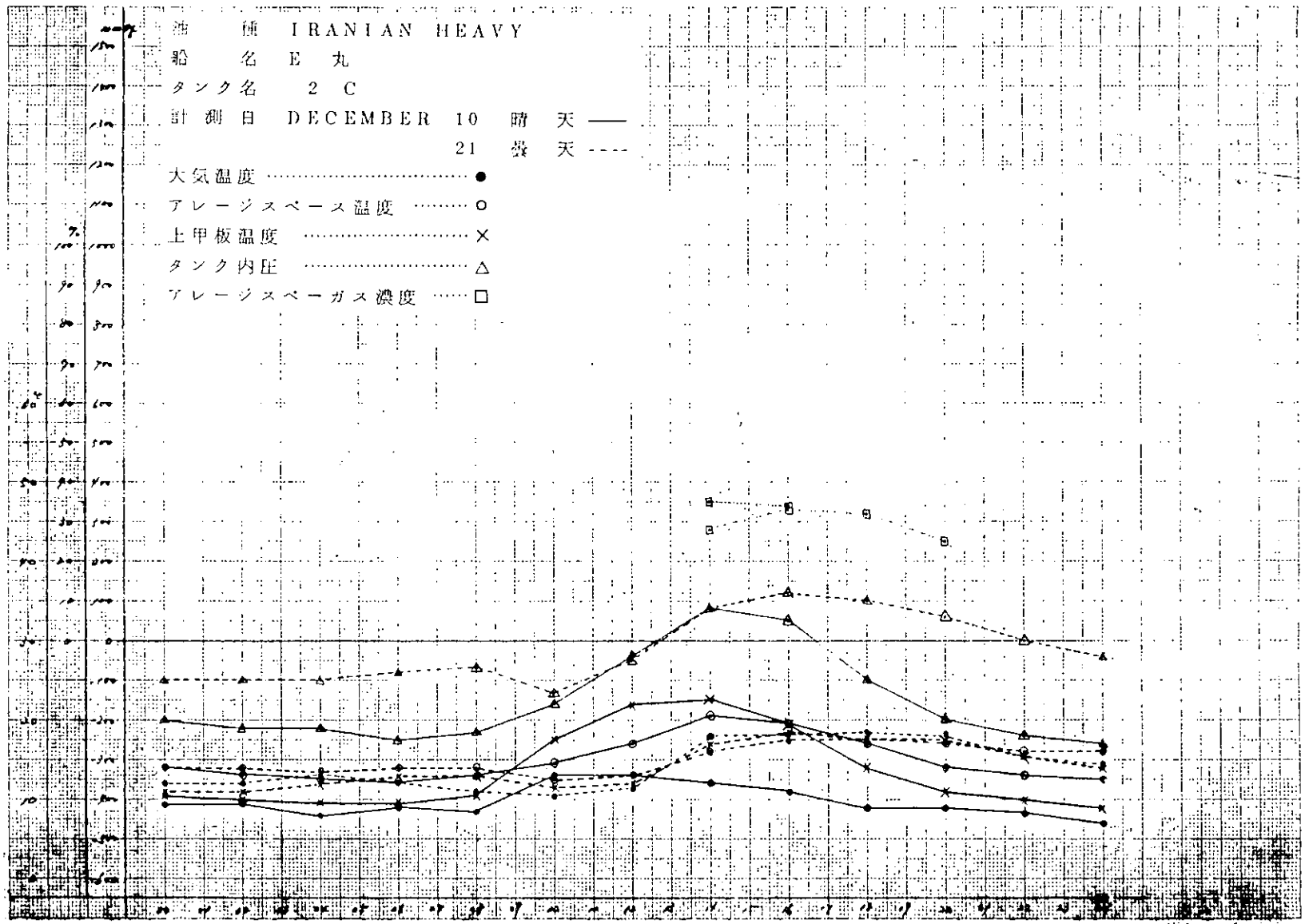

油　　種　IRANIAN HEAVY
船　　名　E　丸
タンク名　　2　C
計 測 日　DECEMBER　10　晴　天 ——
21　曇　天 ----
大気温度 ……●
アレージスペース温度 ……○
上甲板温度 ……×
タンク内圧 ……△
アレージスペーガス濃度 ……□

図 3. 3. 6

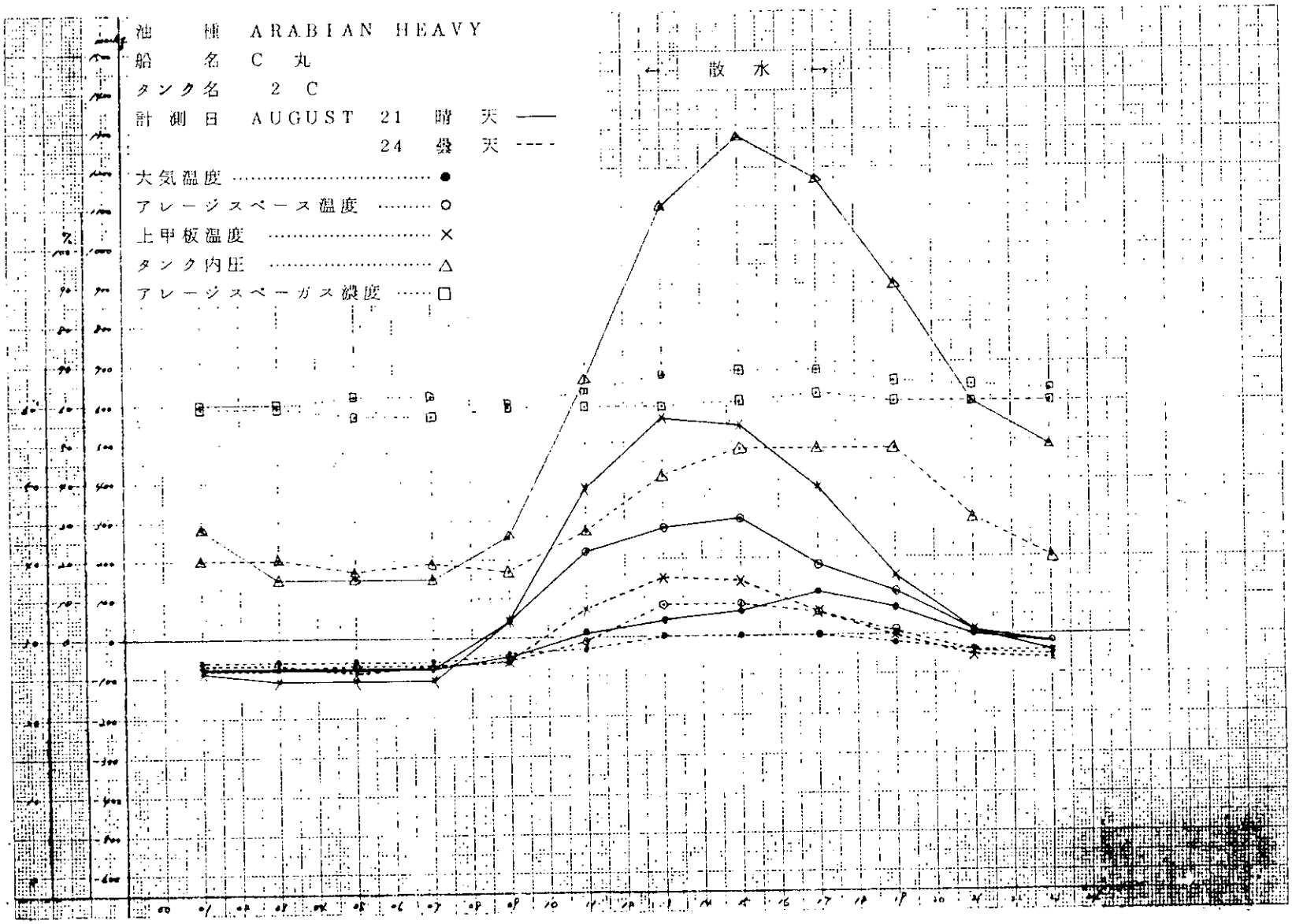

池　　種　ARABIAN HEAVY
船　　名　C　丸
タンク名　2　C
計 測 日　AUGUST　21　晴　天
24　曇　天
大気温度
アレージスペース温度
上甲板温度
タンク内圧
アレージスペーガス濃度
← 散 水 →

図 3. 3. 7

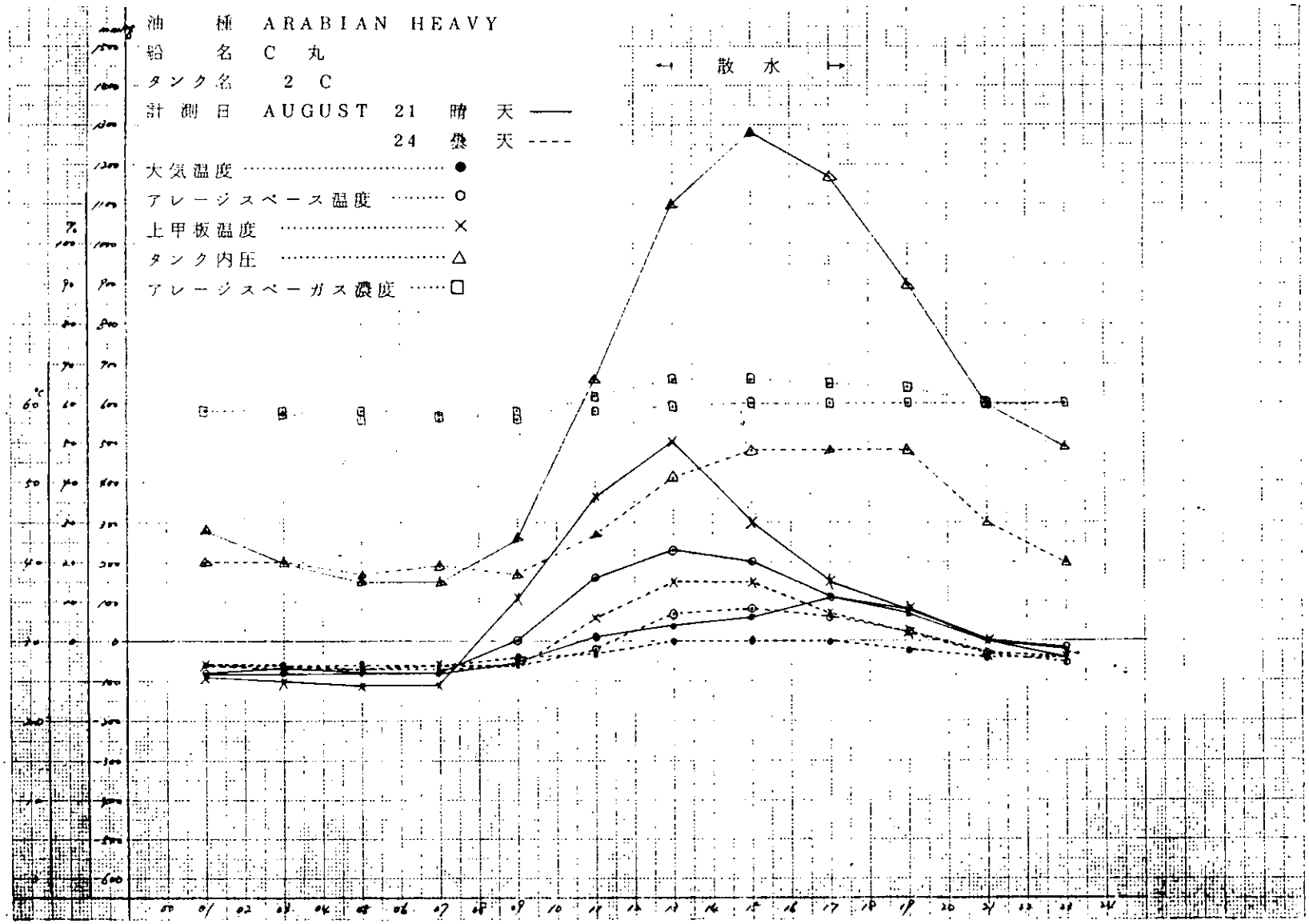

油　種　ARABIAN HEAVY
船　名　C 丸
タンク名　2 C
計測日　AUGUST 21　晴　天 ——
24　曇　天 ----
大気温度 ……●
アレージスペース温度 ……○
上甲板温度 ……×
タンク内圧 ……△
アレージスペーガス濃度 ……□
← 散　水 →

図 3. 3. 8

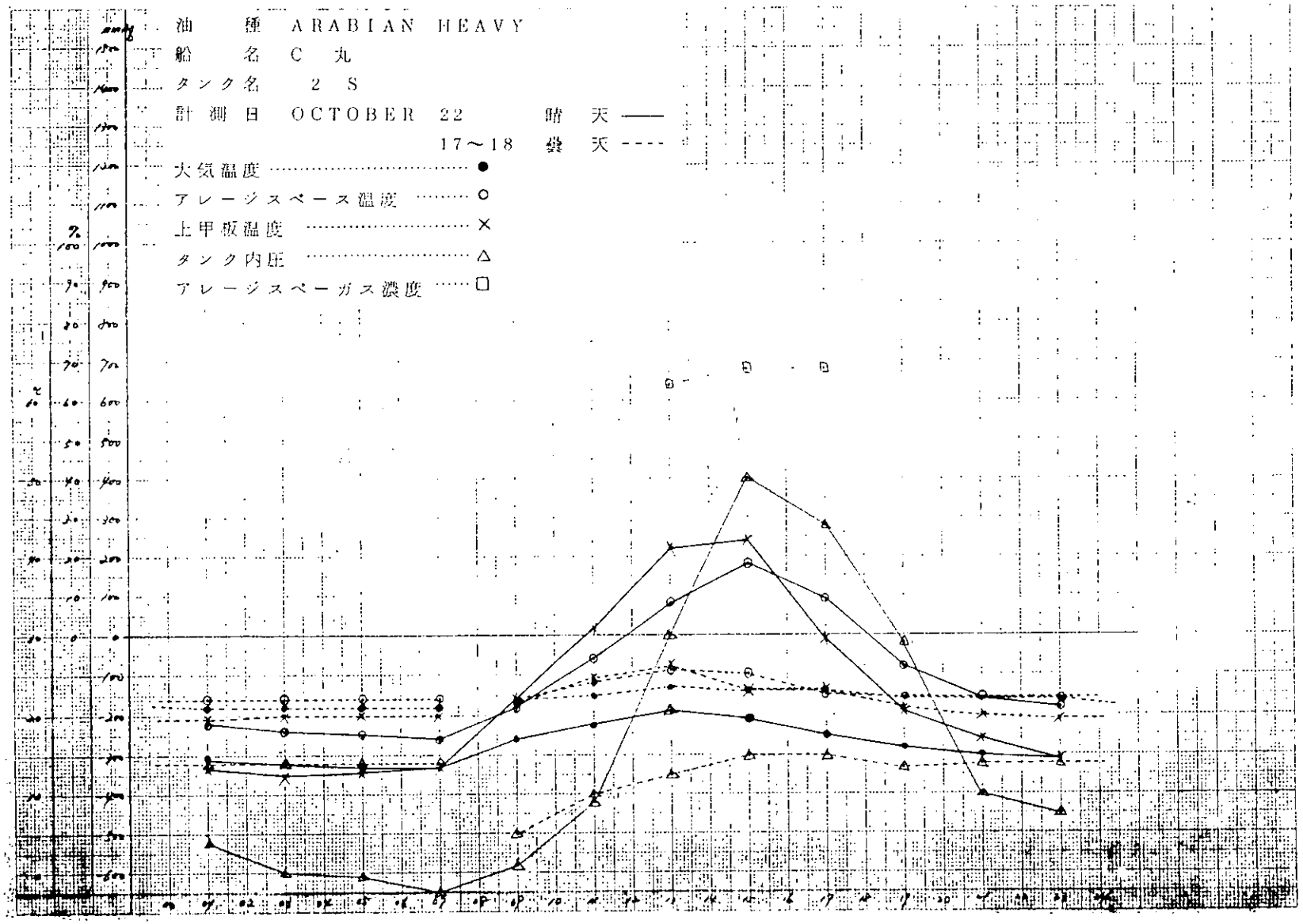

油　種　ARABIAN HEAVY
船　名　C 丸
タンク名　2 S
計測日　OCTOBER 22　17～18
晴　天 ——
曇　天 ----
大気温度 ……●
アレージスペース温度 ……○
上甲板温度 ……×
タンク内圧 ……△
アレージスペーガス濃度 ……□

図 3. 3. 9

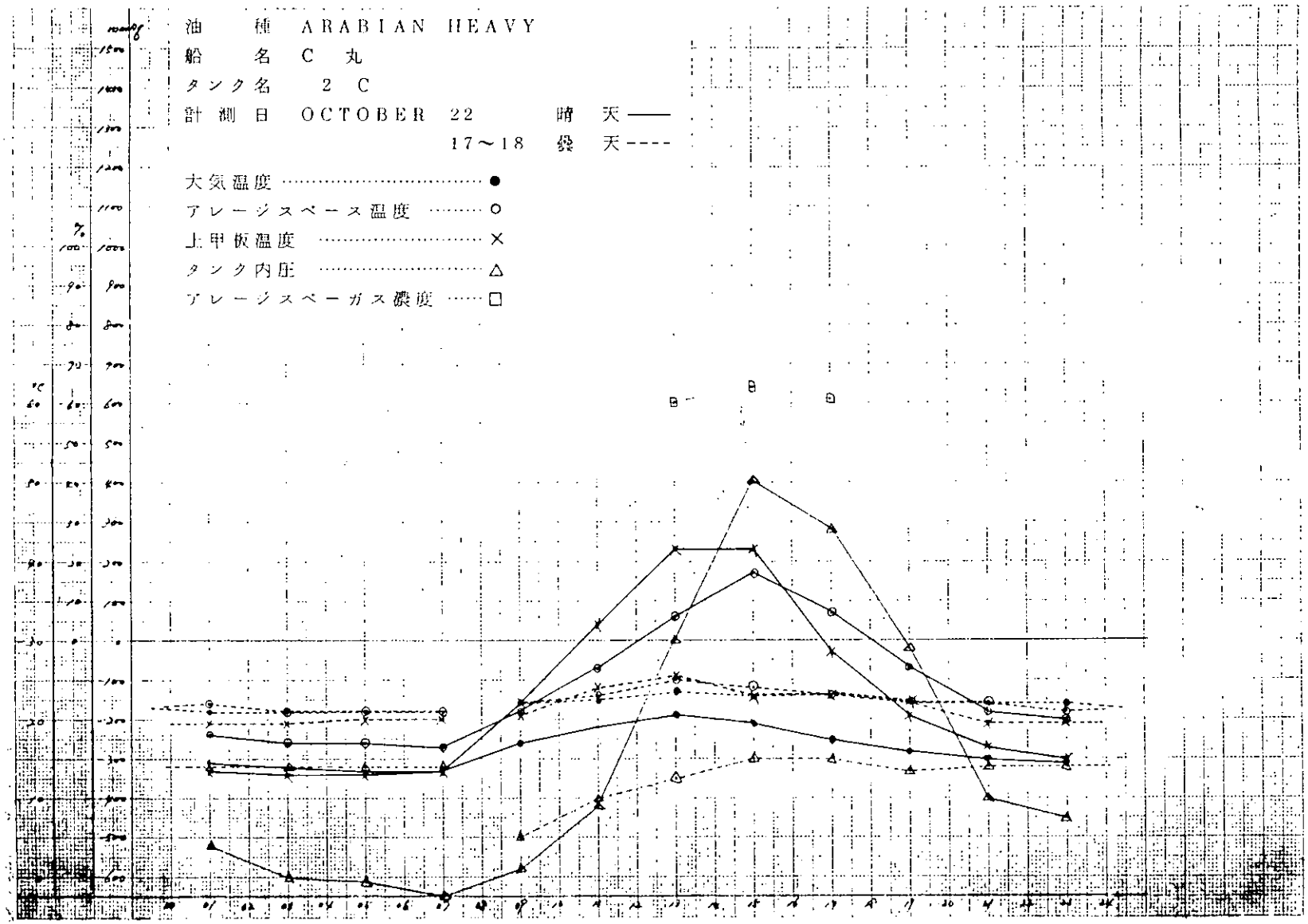

油　種　ARABIAN HEAVY
船　名　C 丸
タンク名　2 C
計測日　OCTOBER 22　17～18
晴天 ——
曇天 ----
大気温度 ……●
アレージスペース温度 ……○
上甲板温度 ……×
タンク内圧 ……△
アレージスペーガス濃度 ……□

図 3. 3. 10

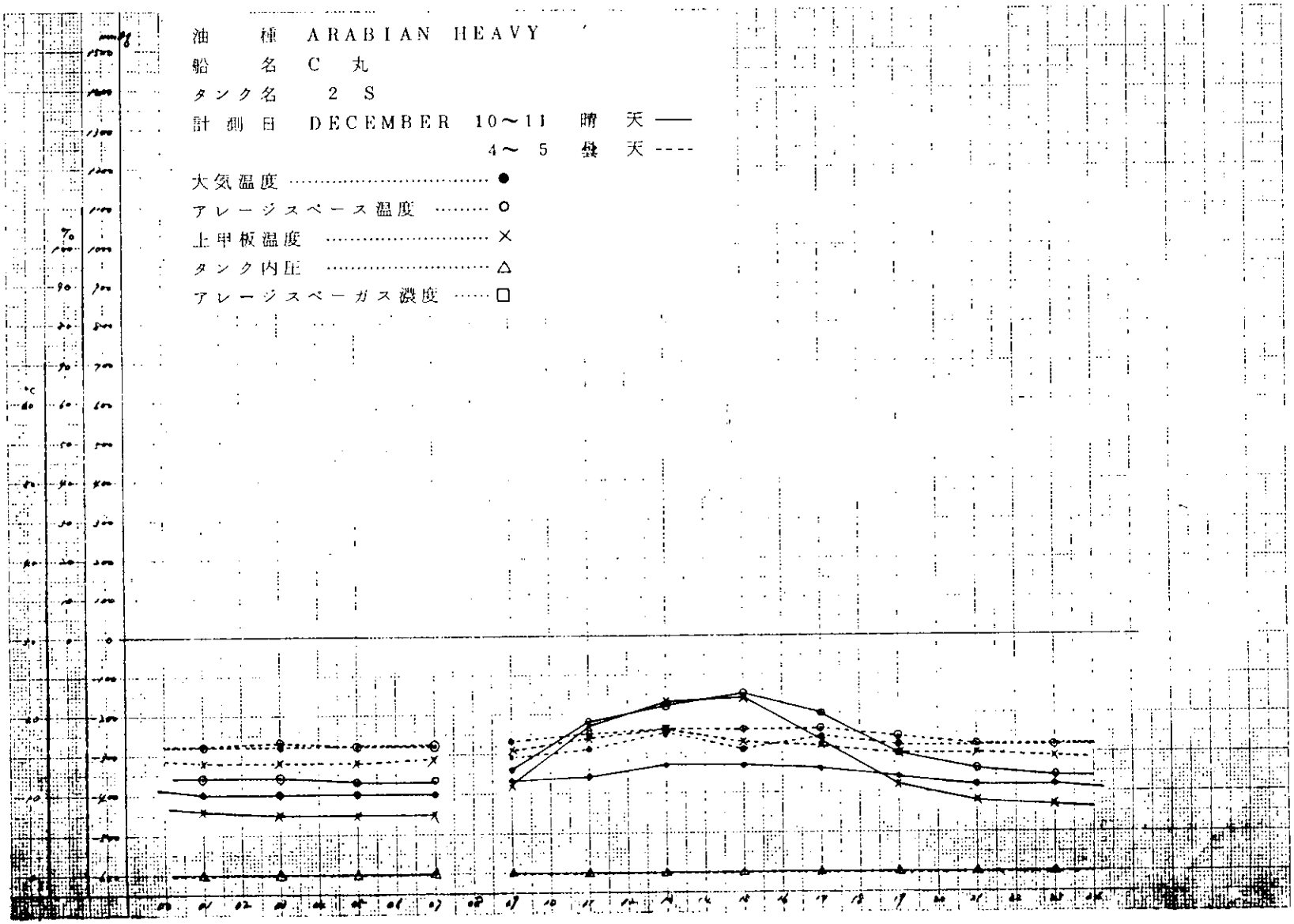

油　種　ARABIAN HEAVY
船　名　C 丸
タンク名　2 S
計測日　DECEMBER 10～11　晴　天 ——
4～ 5　曇　天 ----
大気温度 ……●
アレージスペース温度 ……○
上甲板温度 ……×
タンク内圧 ……△
アレージスペーガス濃度 ……□

図 3. 3. 11

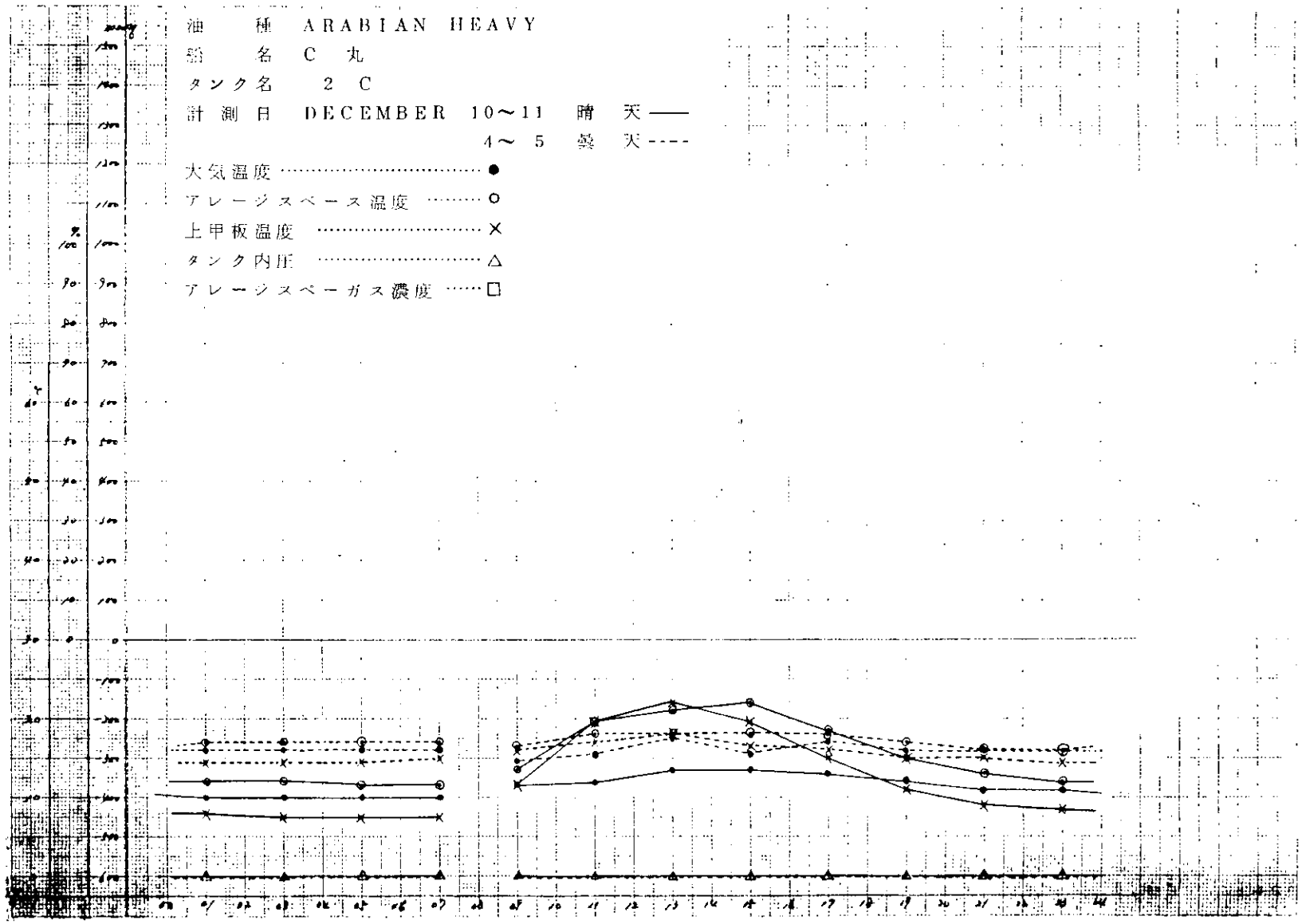

油　種　ARABIAN HEAVY
船　名　C 丸
タンク名　2 C
計測日　DECEMBER 10～11　晴　天 ——
4～ 5　曇　天 - - - -
大気温度 ……●
アレージスベース温度 ……○
上甲板温度 ……×
タンク内圧 ……△
アレージスベーガス濃度 ……□

図 3. 3. 12

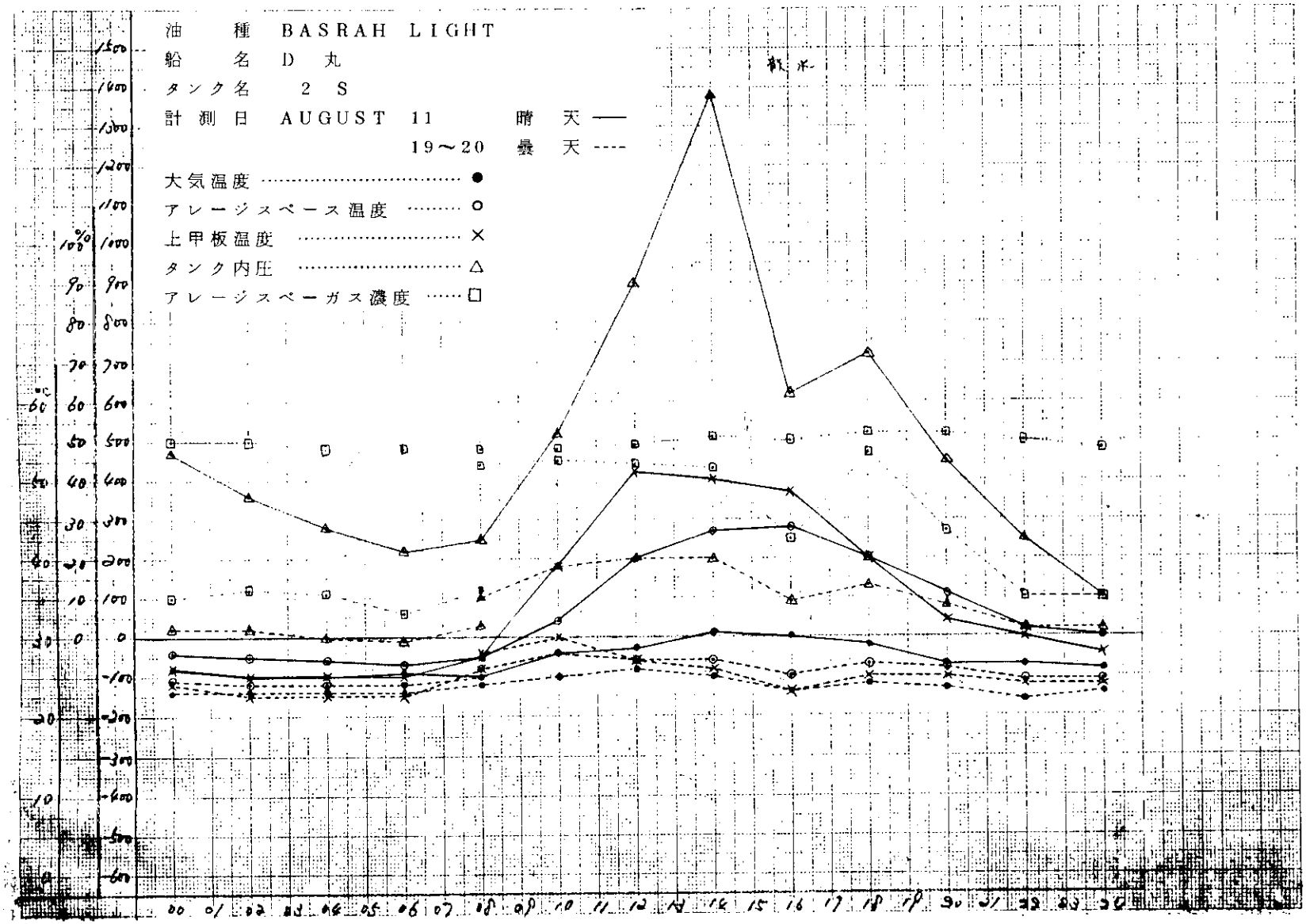

油　種　BASRAH LIGHT
船　名　D 丸
タンク名　2 S
計測日　AUGUST 11
19～20
晴　天
曇　天
大気温度
アレージスペース温度
上甲板温度
タンク内圧
アレージスペーガス濃度

図 3. 3. 13

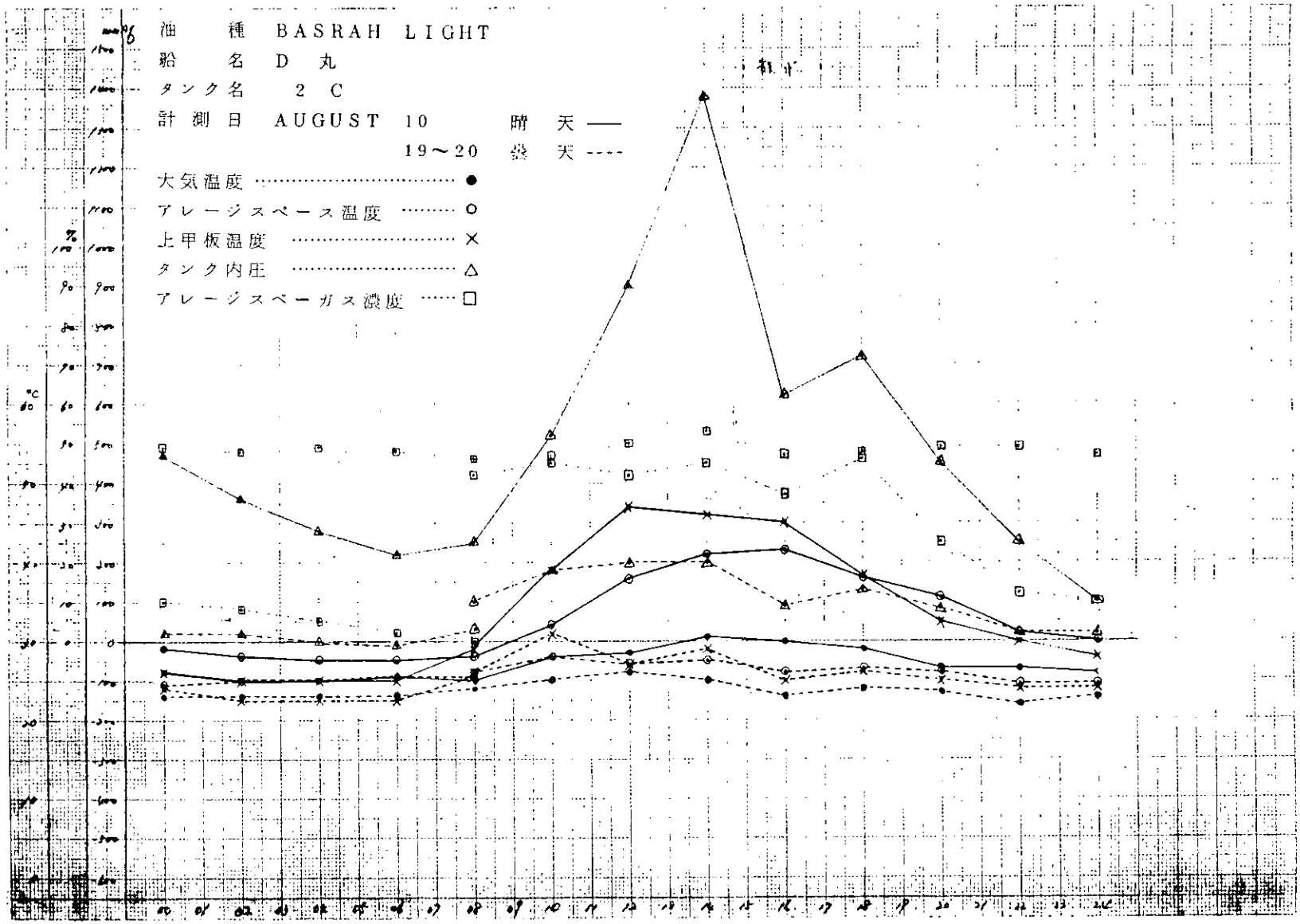

油　種　BASRAH LIGHT
船　名　D 丸
タンク名　2 C
計測日　AUGUST 10
19～20
晴　天 ——
曇　天 ----
大気温度 ……●
アレージスペース温度 ……○
上甲板温度 ……×
タンク内圧 ……△
アレージスペーガス濃度 ……□

図 3. 3. 14

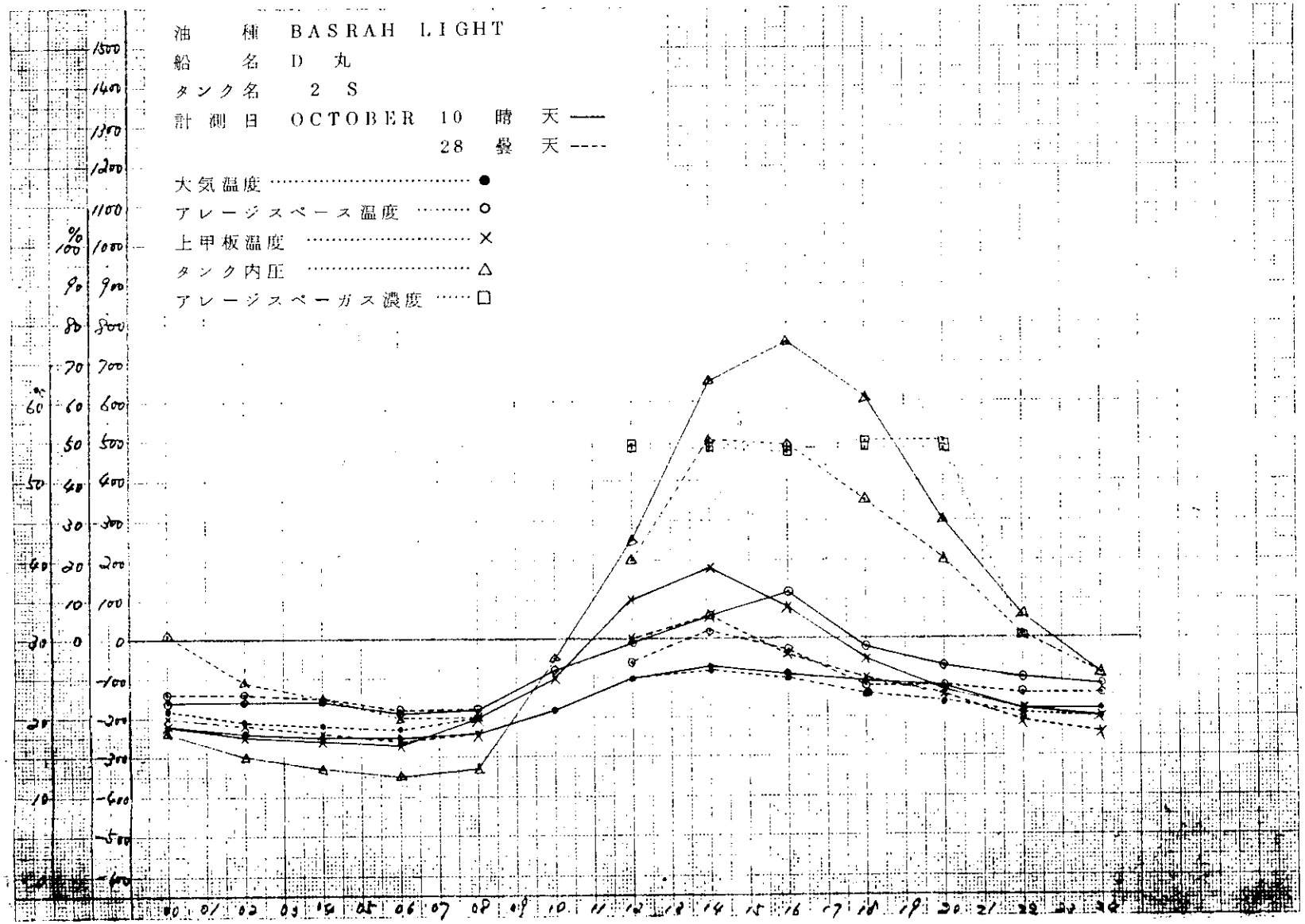

油　種　BASRAH LIGHT
船　名　D 丸
タンク名　2 S
計測日　OCTOBER 10　晴　天 ——
28　曇　天 ----
大気温度 ……●
アレージスペース温度 ……○
上甲板温度 ……×
タンク内圧 ……△
アレージスペーガス濃度 ……□

図 3. 3. 15

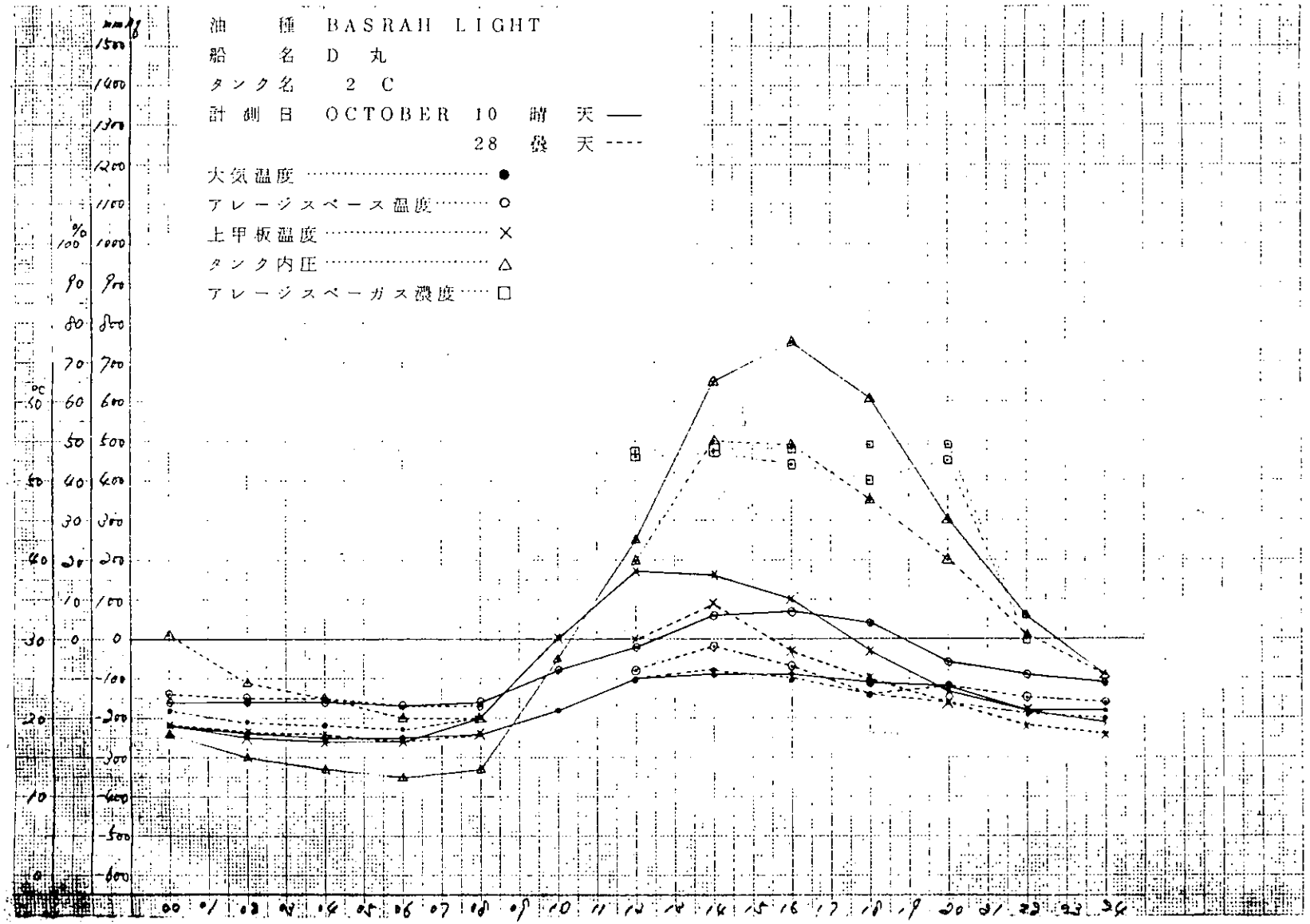

油　種　BASRAH LIGHT
船　名　D 丸
タンク名　2 C
計測日　OCTOBER 10　晴天 ——
28　曇天 ----
大気温度 ●
アレージスペース温度 ○
上甲板温度 ×
タンク内圧 △
アレージスペーガス濃度 □
mmAq
%
°C

図 3. 3. 16

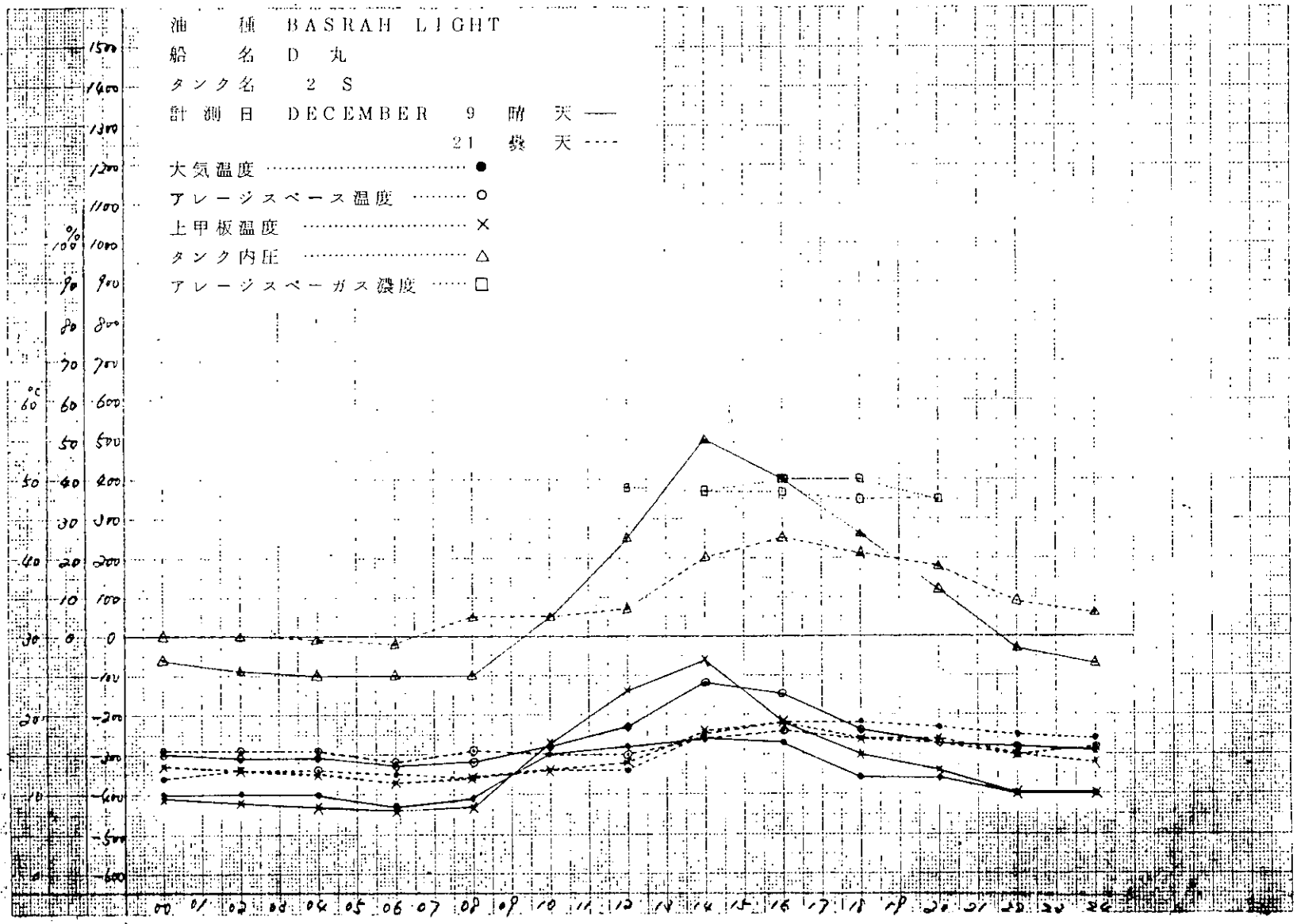

油　種　BASRAH LIGHT
船　名　D 丸
タンク名　2 S
計測日　DECEMBER 9　晴　天 ——
21　曇　天 ----
大気温度 ……●
アレージスペース温度 ……○
上甲板温度 ……×
タンク内圧 ……△
アレージスペーガス濃度 ……□
°C
%

図 3. 3. 17

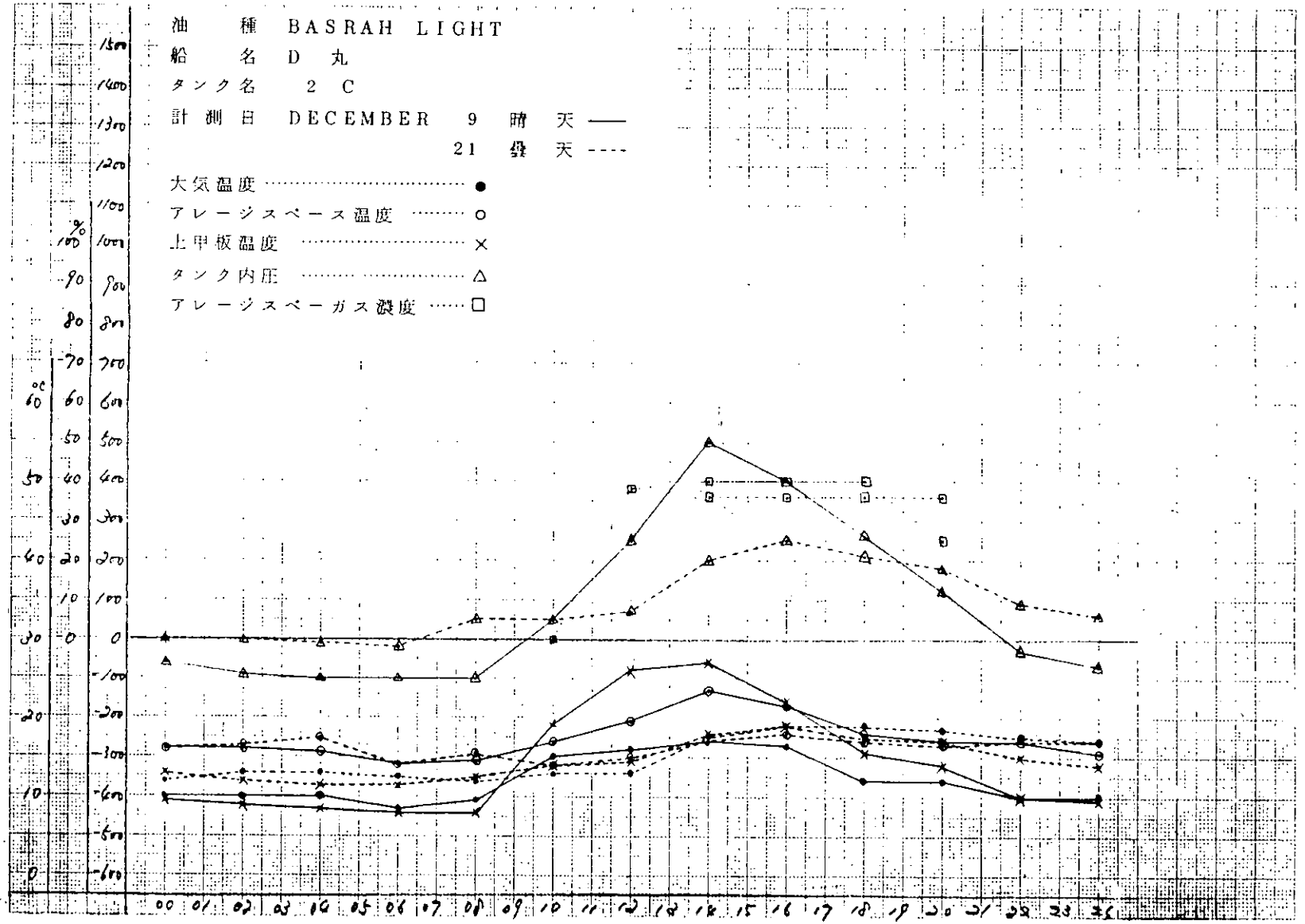

油　種　BASRAH LIGHT
船　名　D 丸
タンク名　2 C
計測日　DECEMBER　9　晴　天 ——
21　曇　天 ----
大気温度 ●
アレージスペース温度 ○
上甲板温度 ×
タンク内圧 △
アレージスペーガス濃度 □
%
°C

図 3. 3. 18

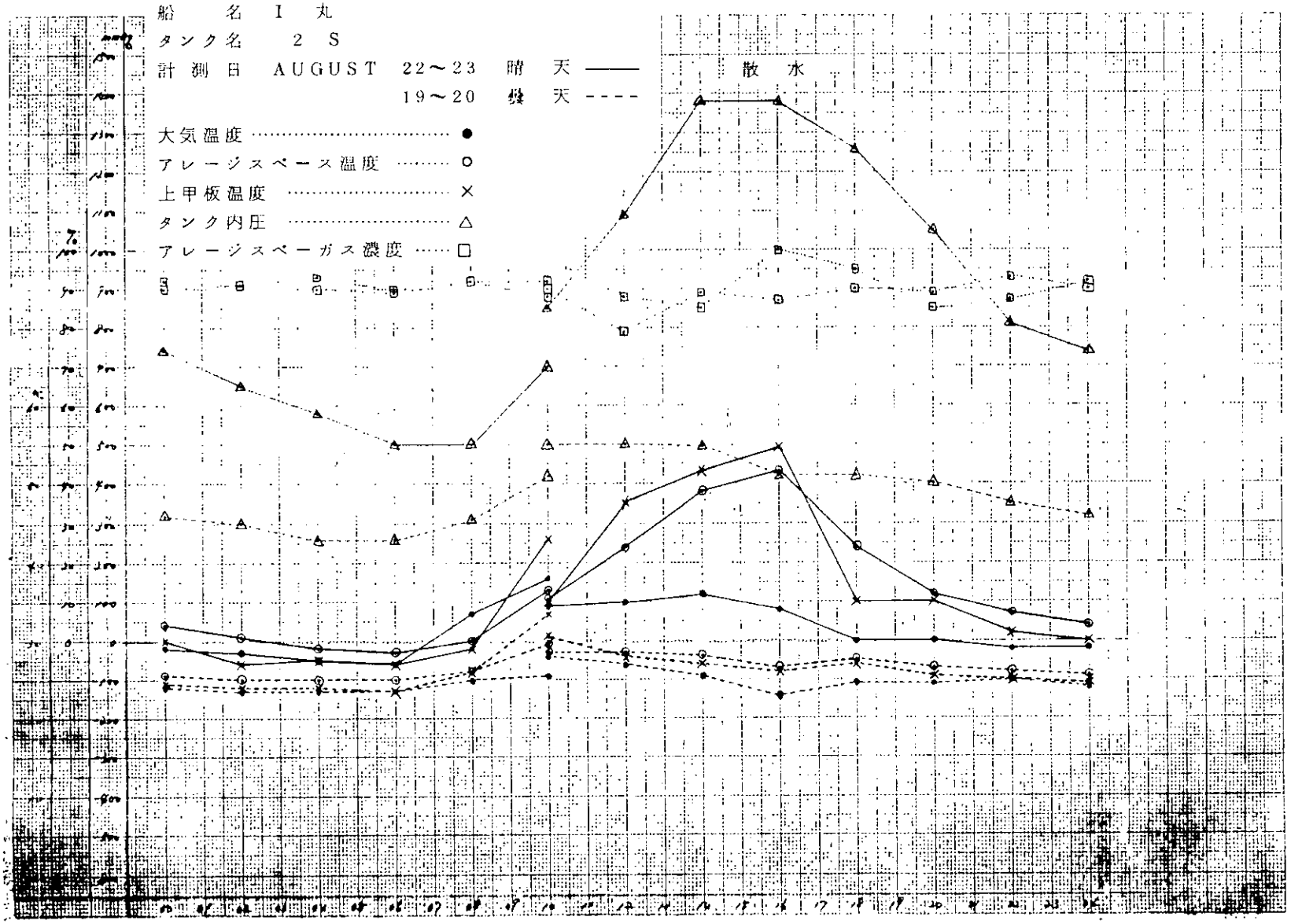

油　種　KHAFJI
船　名　I　丸
タンク名　2　S
計測日　AUGUST　22～23　晴　天 ——　散　水
19～20　曇　天 - - - -
大気温度 ……●
アレージスペース温度 ……○
上甲板温度 ……×
タンク内圧 ……△
アレージスペーガス濃度 ……□

図 3.3.19

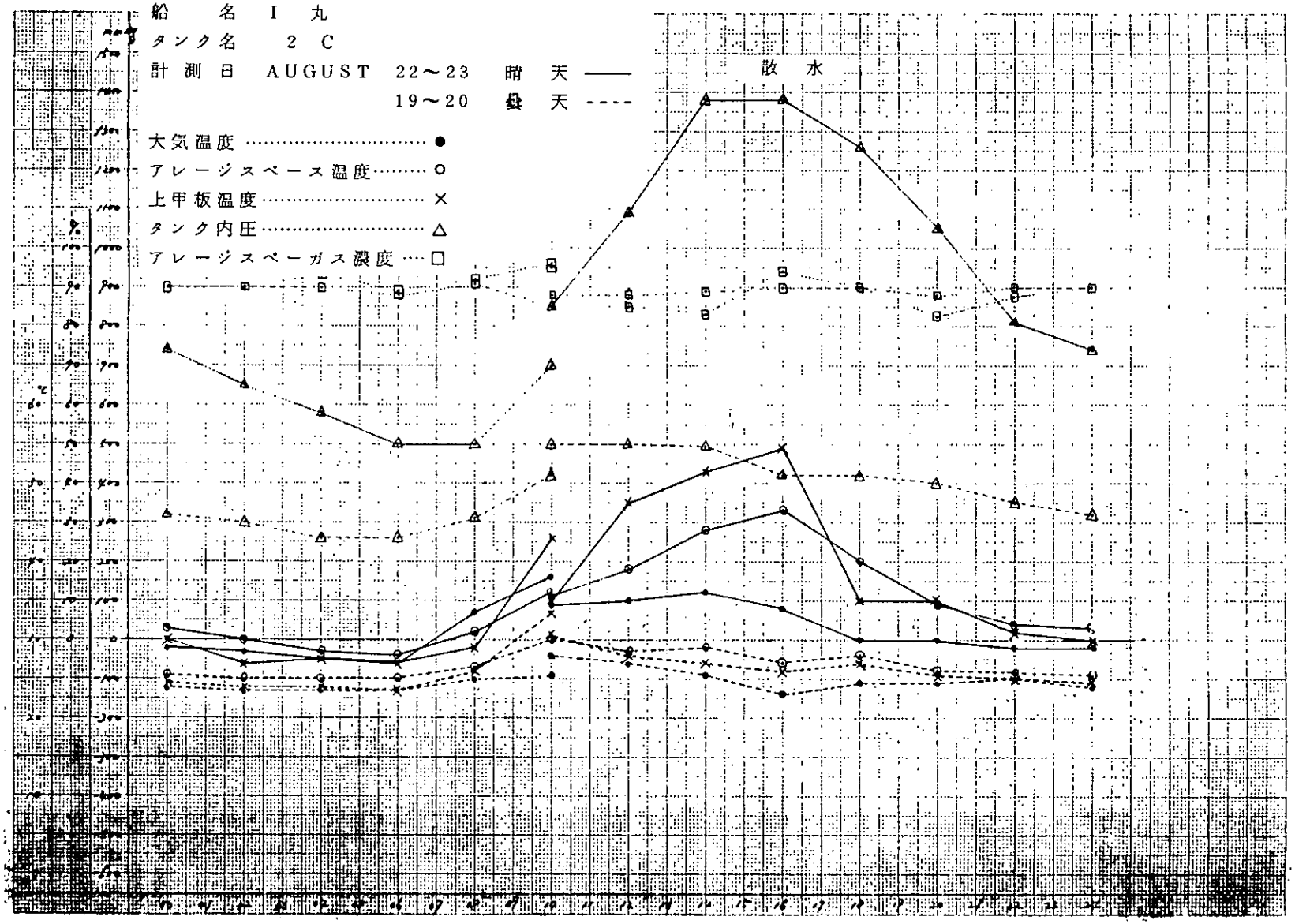

油　種　KHAFJI
船　名　I　丸
タンク名　2　C
計測日　AUGUST　22～23　晴　天
19～20　曇　天
散　水
大気温度
アレージスペース温度
上甲板温度
タンク内圧
アレージスペーガス濃度

図 3. 3. 20

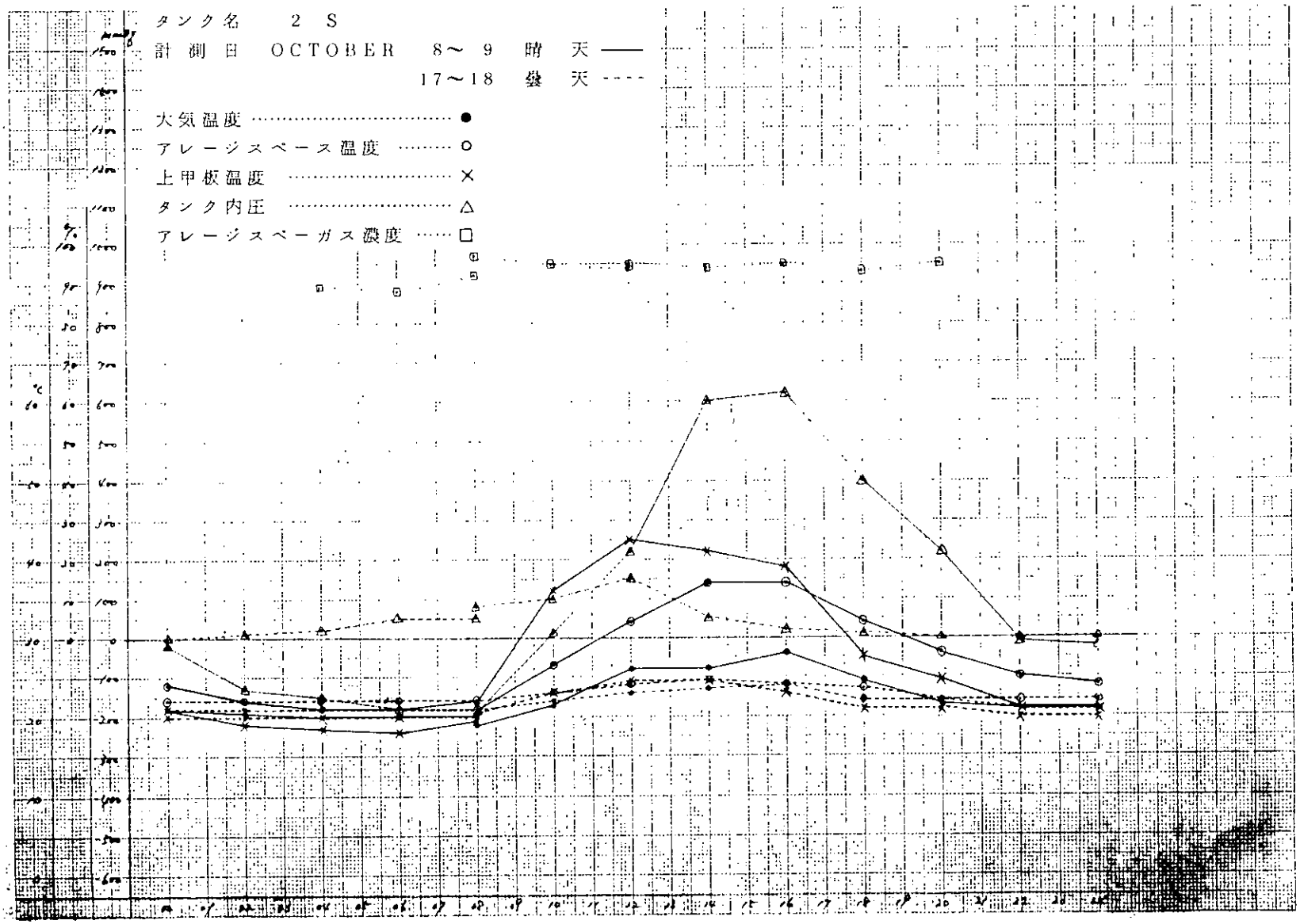

油　種　KHAFJI
船　名　I　丸
タンク名　2　S
計測日　OCTOBER　8～9　晴　天
17～18　曇　天
大気温度
アレージスペース温度
上甲板温度
タンク内圧
アレージスペーガス濃度

図 3. 3. 21

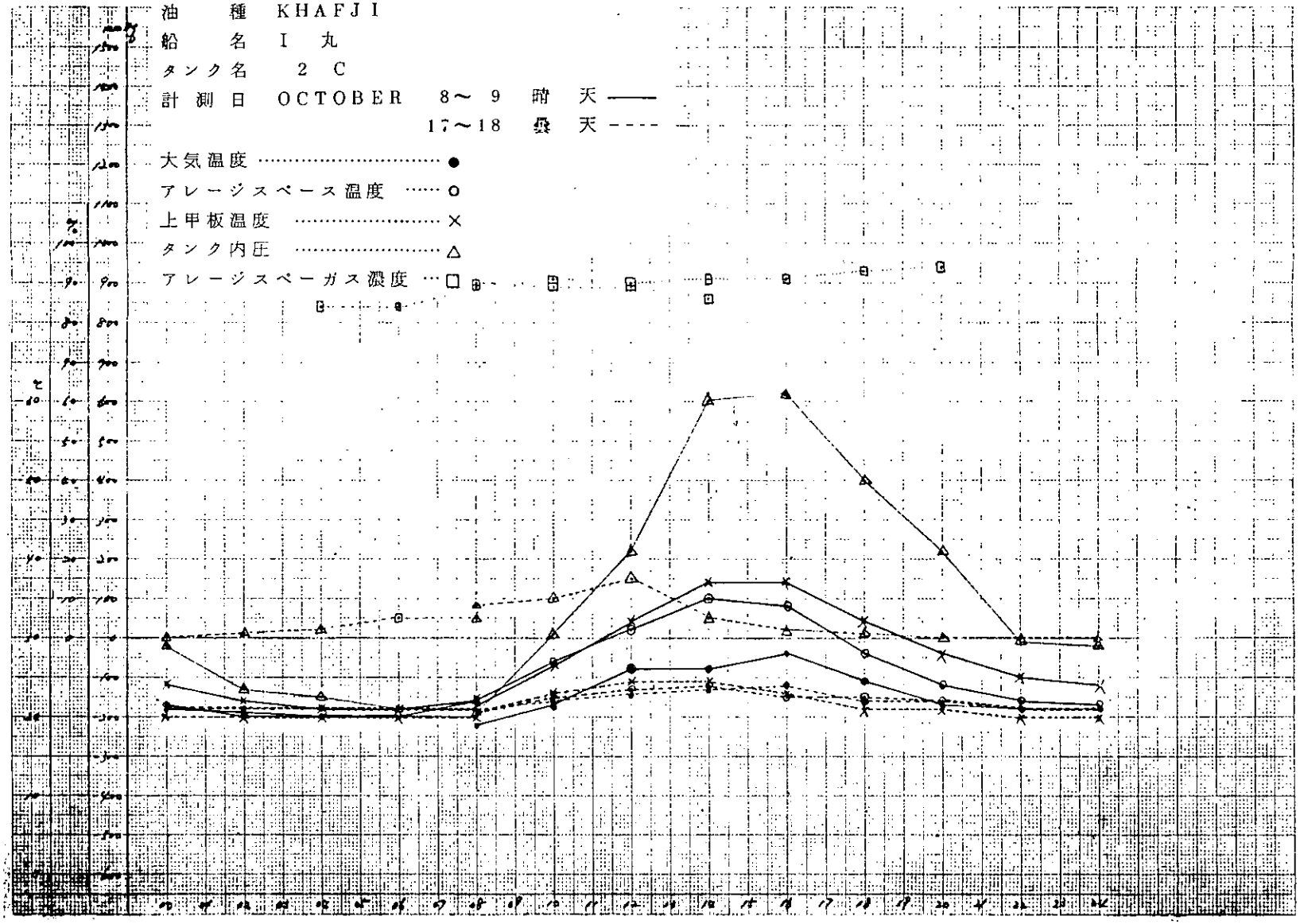

油　種　KHAFJI
船　名　I　丸
タンク名　2　C
計測日　OCTOBER　8～9　晴　天
17～18　曇　天
大気温度
アレージスペース温度
上甲板温度
タンク内圧
アレージスペーガス濃度

図 3. 3. 22

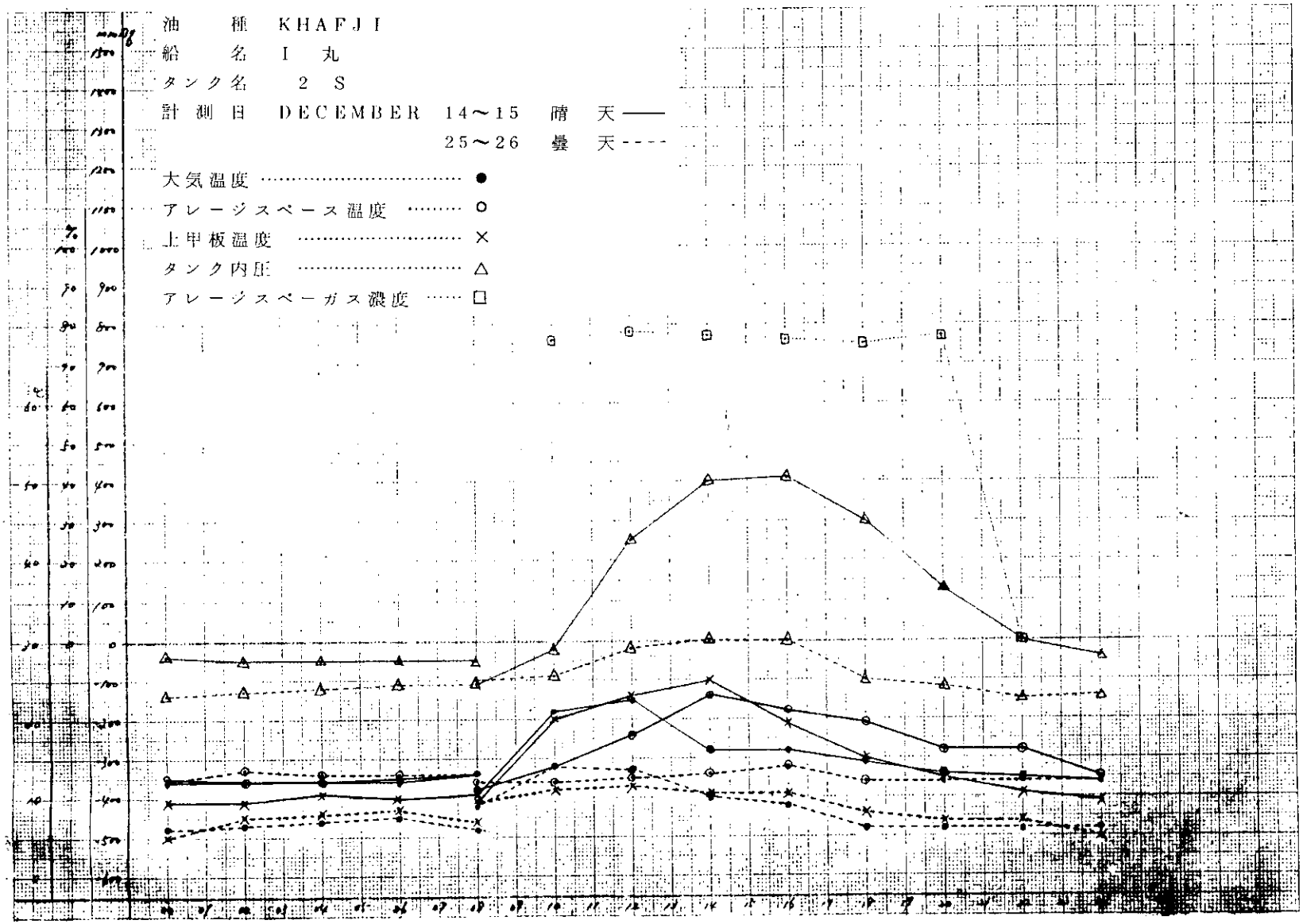

油　種　KHAFJI
船　名　I　丸
タンク名　2　S
計測日　DECEMBER　14～15　晴　天
25～26　曇　天
大気温度
アレージスペース温度
上甲板温度
タンク内圧
アレージスペーガス濃度

図 3. 3. 23

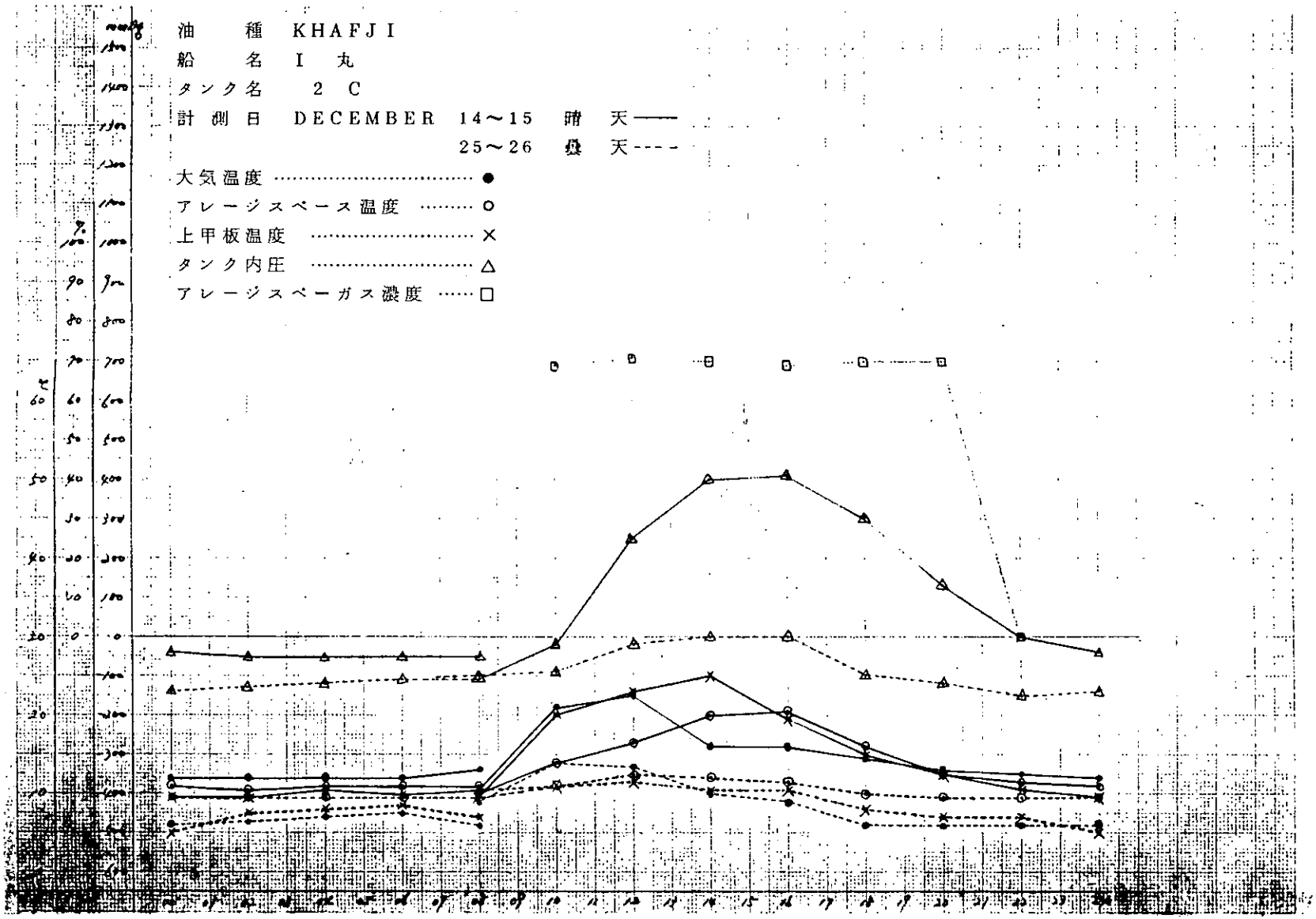

油　種　KHAFJI
船　名　I　丸
タンク名　2　C
計測日　DECEMBER　14～15　晴　天——
25～26　曇　天----
大気温度 ……●
アレージスペース温度 ……○
上甲板温度 ……×
タンク内圧 ……△
アレージスペーガス濃度 ……□

図 3. 3. 24

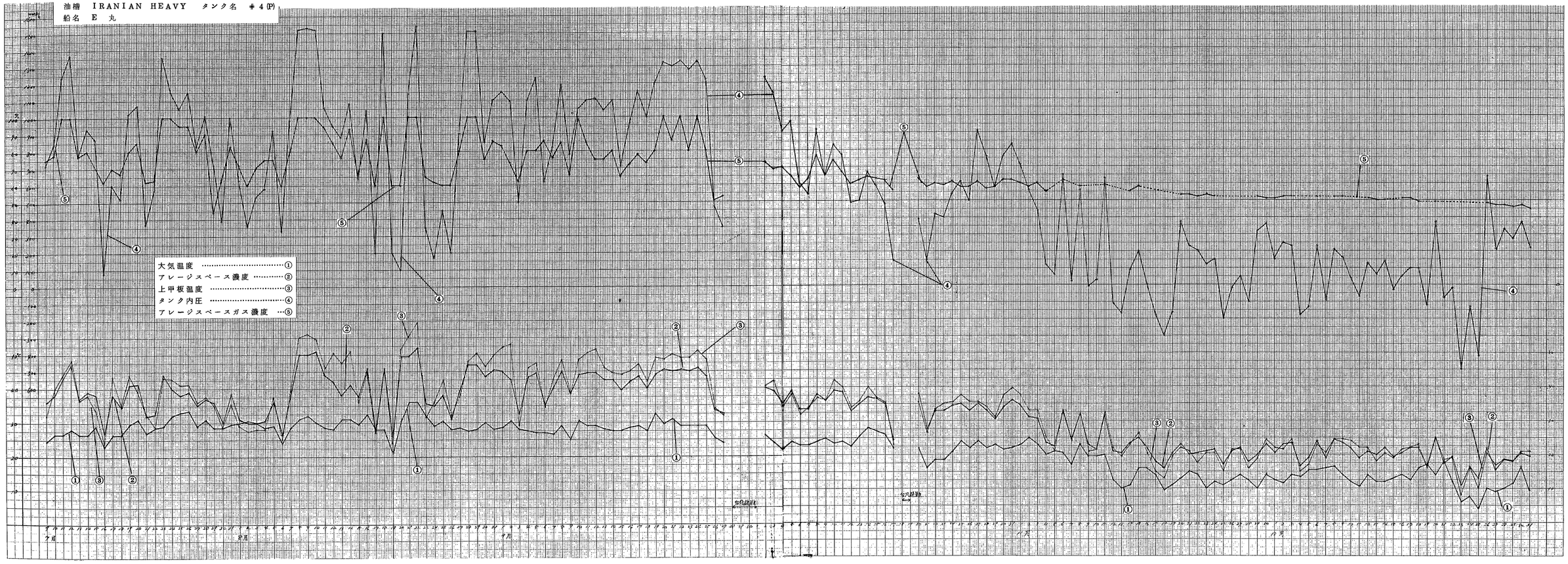

油槽 IRANIAN HEAVY タンク名 #4(P)
船名 E 丸
大気温度 ①
アレージスペース濃度 ②
上甲板温度 ③
タンク内圧 ④
アレージスペースガス濃度 ⑤

図 3.3.25

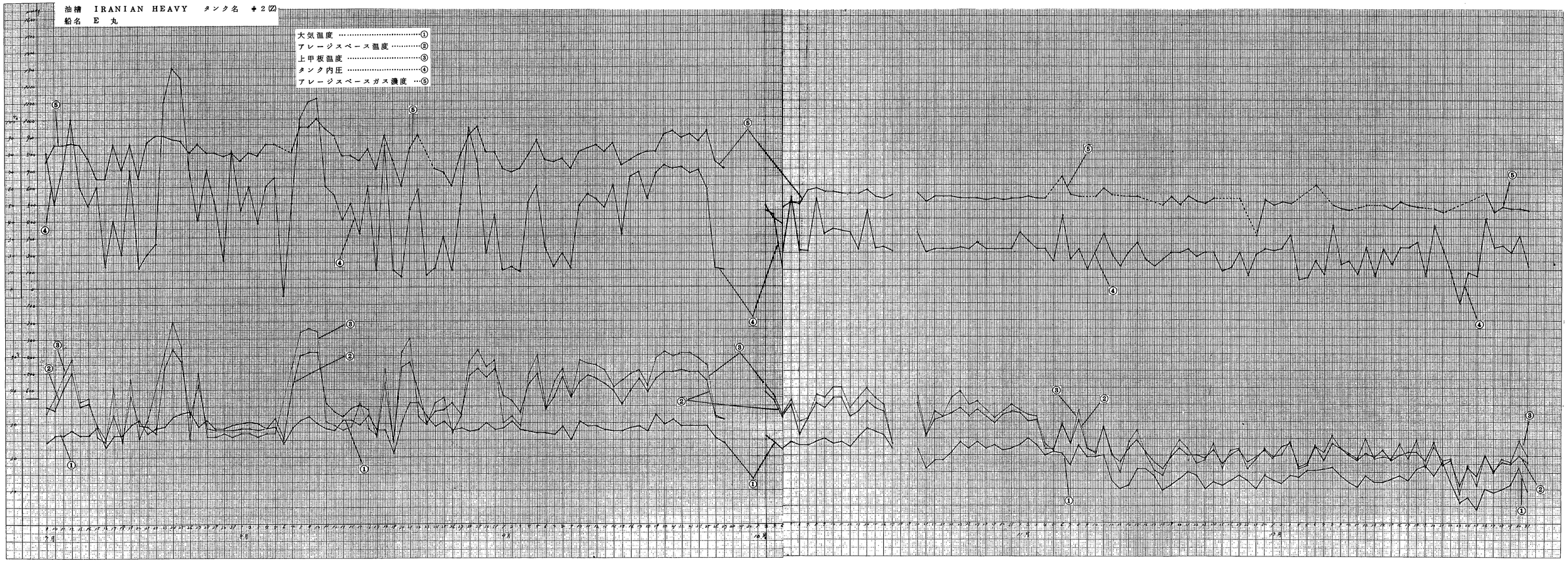

油槽　IRANIAN HEAVY　タンク名　＃2(2)
船名　E　丸
大気温度 ……①
アレージスペース温度 ……②
上甲板温度 ……③
タンク内圧 ……④
アレージスペースガス濃度 …⑤

図 3.3.2 6

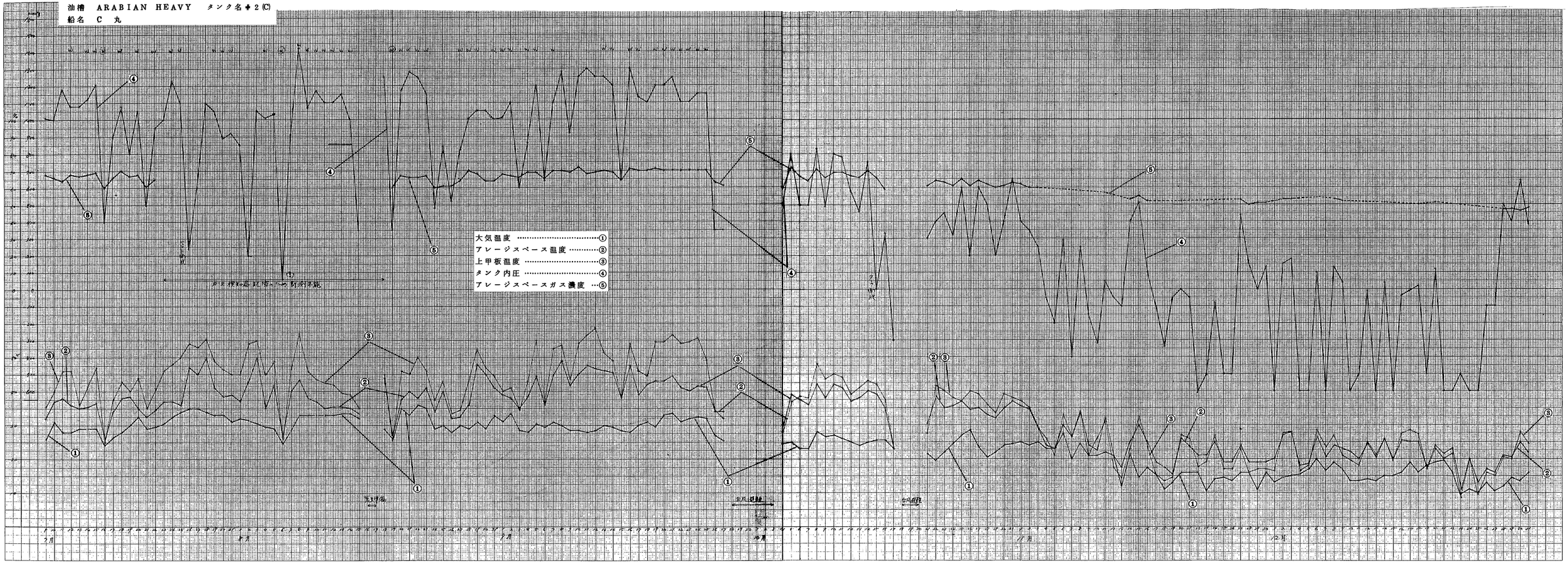

油槽 ARABIAN HEAVY タンク名＊2(C)
船名 C 丸
大気温度 ……①
アレージスペース温度 ……②
上甲板温度 ……③
タンク内圧 ……④
アレージスペースガス濃度 ……⑤

図 3.3.27

油槽　ARABIAN HEAVY　タンク名　＃2(S)　図 3.3.3 2
船名　C 丸

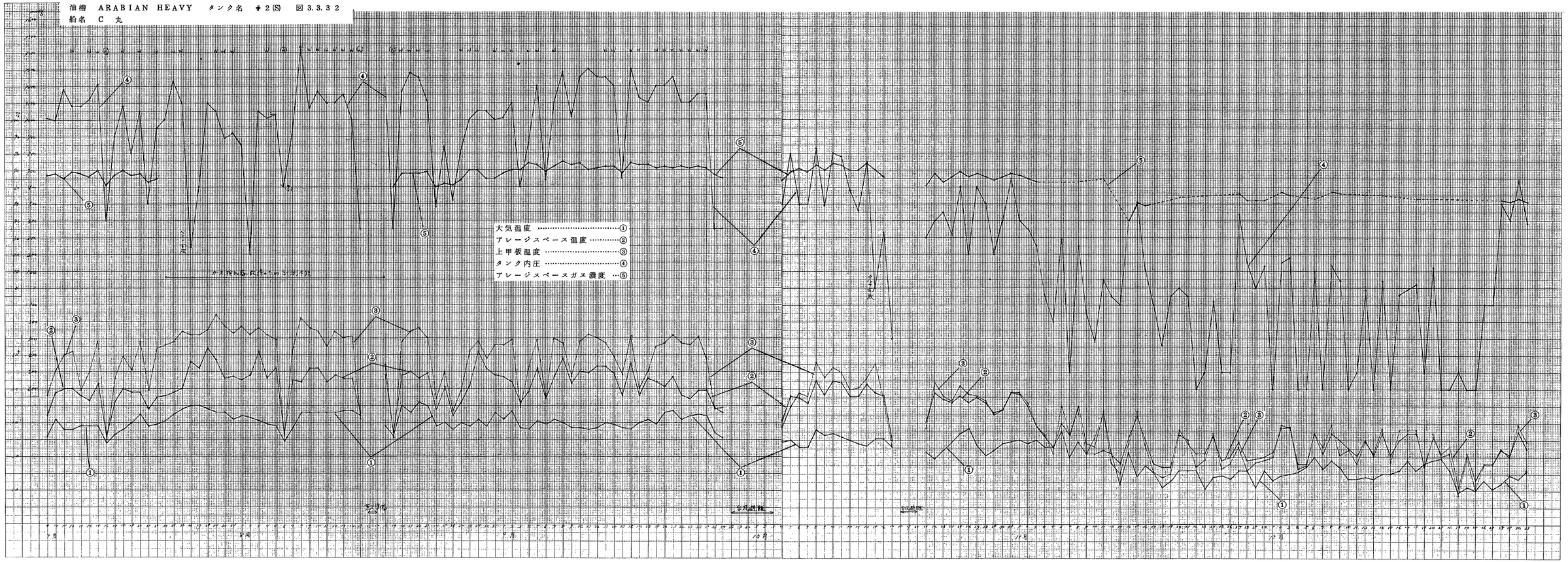


図 3.3.2 8

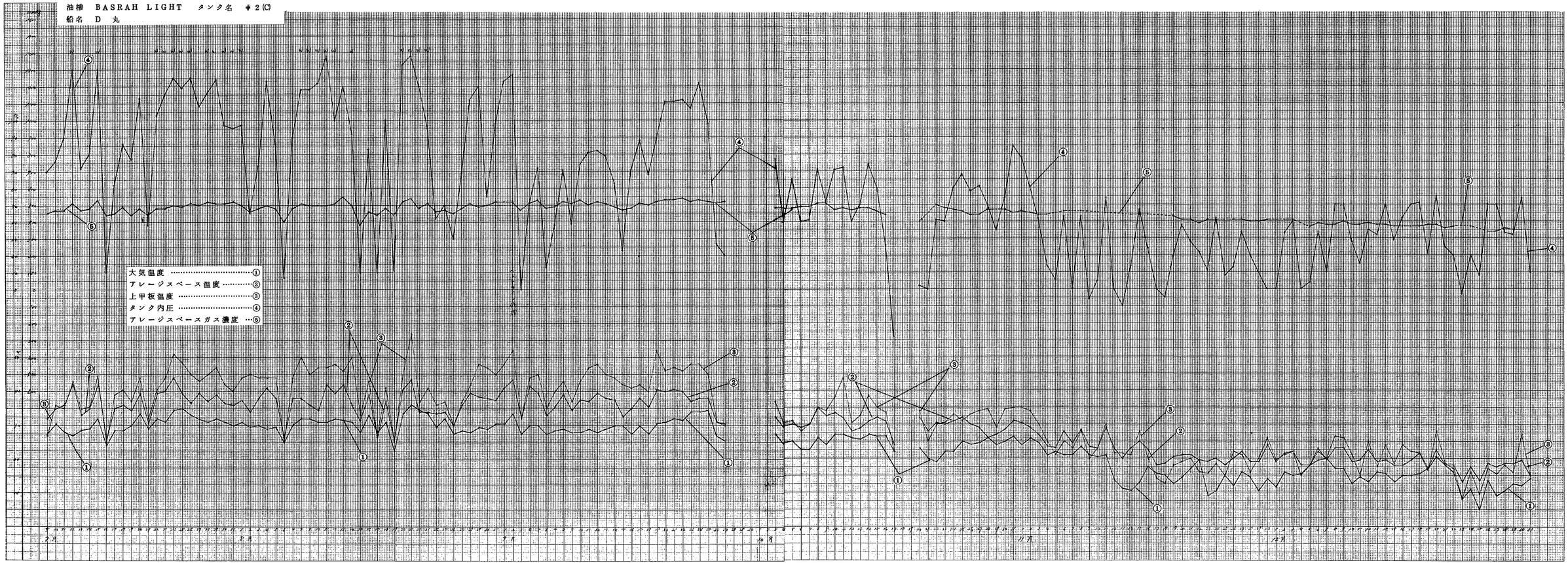

油槽 BASRAH LIGHT タンク名 #2(C)
船名 D 丸
大気温度 ……①
アレージスペース温度 ……②
上甲板温度 ……③
タンク内圧 ……④
アレージスペースガス濃度 …⑥
2月
3月
4月
5月
6月

図 3.3.29

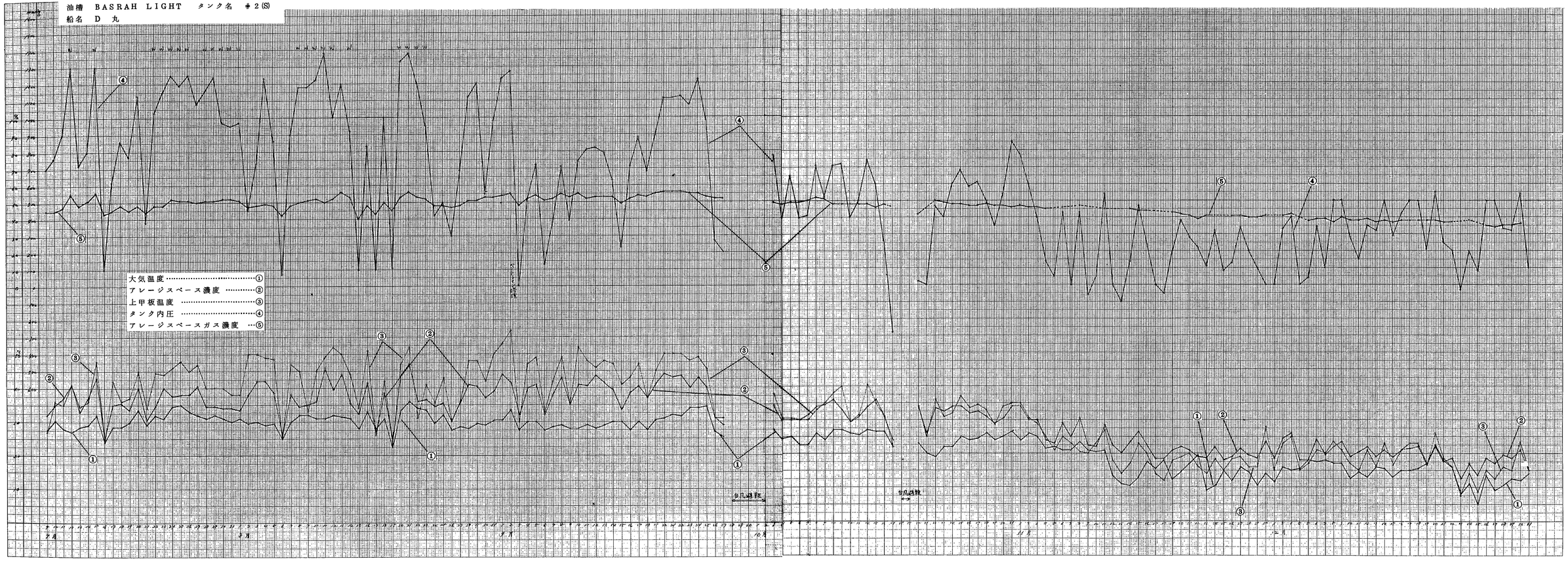

油槽　BASRAH LIGHT　タンク名　#2(S)
船名　D　丸
大気温度 ……①
アレージスペース濃度 ……②
上甲板温度 ……③
タンク内圧 ……④
アレージスペースガス濃度 …⑤
7月
8月
9月
10月
11月
12月

図 3.3.30

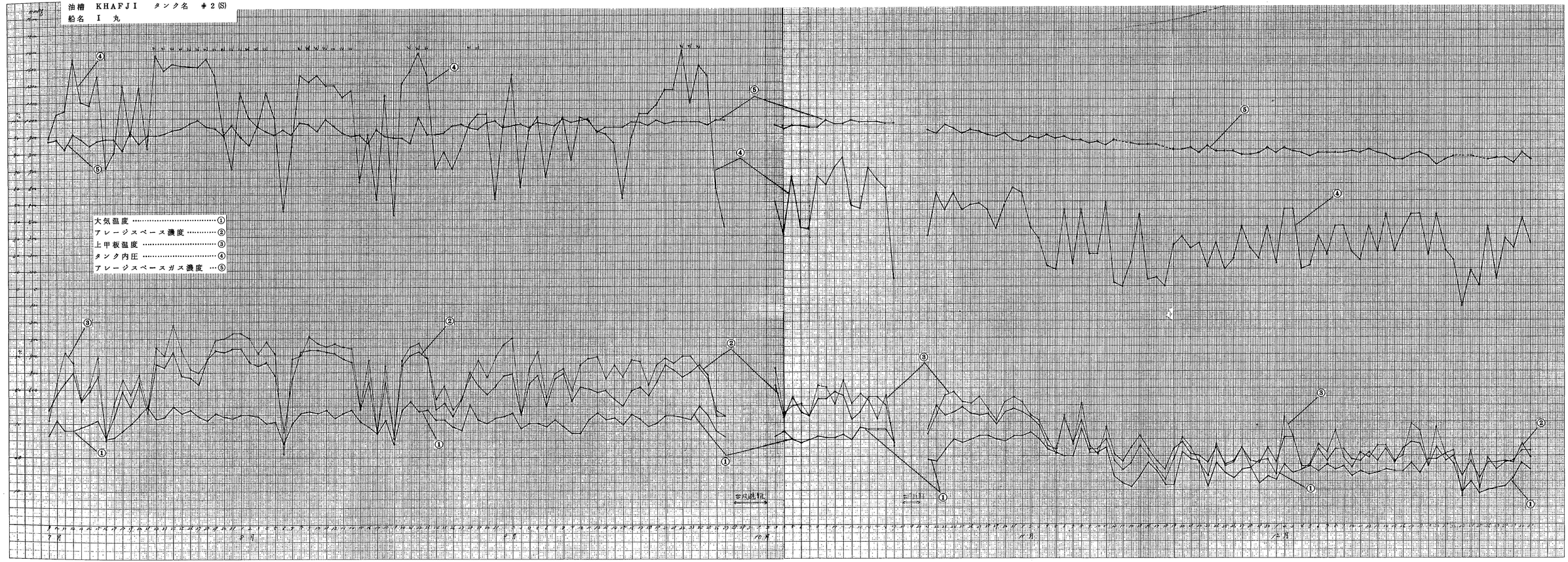

油槽　KHAFJI　タンク名　＃2(S)
船名　I　丸
大気温度 ……①
アレージスペース濃度 ……②
上甲板温度 ……③
タンク内圧 ……④
アレージスペースガス濃度 …⑤
7月
8月
9月
10月
11月
12月

図 3.3.3 1

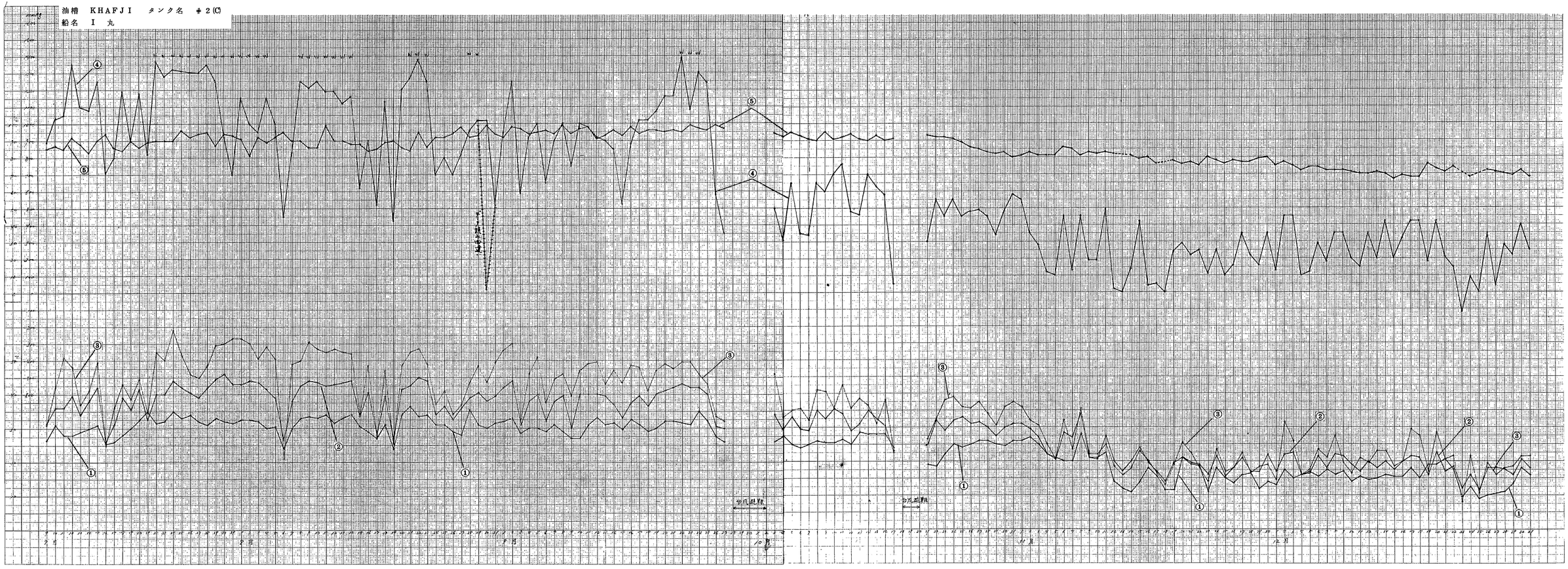


図 3.3.3 2

3.4　ベーパー発生による貨油の性状変化

3.4.1　調査の目的

備蓄中の原油がもし無制限にベーパーを発生し、かつそのベーパーが大気中に拡散したとすれば、当然残った原油の性状に変化を与えることが考えられる。

しかし、備蓄用タンカーにはブリザーバルブが設置されているので必ずしも発生したベーパーの全てが油槽外に出ることはない。

備蓄タンカーのこのような状況下における原油のベーパーの発生による性状変化を追跡するのが調査の目的である。

3.4.2　調査の方法

ここでは各備蓄船が本邦に到着した月より３ケ月毎にあらかじめ指定された油槽より採取された見本の分析結果を比較検討することとした。

ベーパー発生が原油の性状に大きな影響を与え、その変化を知ることが出来ると考えられる分析項目として次の４項目を選択し経時変化を調べた。

分析項目

(1)　比重（１５／４℃）（Specific Gravity）及びＡＰＩ度（１５.６℃）

(2)　リード蒸気圧（kg/cm^2 at３７.８℃）（Reid Vapor Pressure）

(3)　蒸留試験（℃）（Distillation Test）

(4)　動粘度（cst. at ３７.８℃）（Kinematic Viscosity）

調査を行った油種名、船名、積油・揚油の別、指定油槽番号等の明細は表３.４.１のとおりである。

これらの原油の(1)比重（Ｓ.Ｇ.）及びＡＰＩ度、(2)リード蒸気圧（Ｒ.Ｖ.Ｐ.）、(3)蒸留試験（ＤＩＳＴ.）(4)動粘度（Ｋ.Ｖｉｓ）の分析値は表３.４.１～３.４.１９及び図３.４.１～３.４.１８にまとめられている。

3.4.4 考　　察

(1) 油槽よりの見本採取方法

各船指定油槽のマンホールにおいて、油槽の上、中、下の各層より各々等量の見本を抜き栓式見本採取器を用いて採取する。次にこれらの見本をポリエチレン製密閉容器に集め、混合し、直ちに必要な個数の密閉容器に分取して代表見本となす。

この中より分析用試料は速やかに分析所（大阪）へ空輸される。

(2) 蒸留試験

原油中には高沸点物がかなり含まれるので蒸留試験は２７０℃までに留出した量を測定する。

図3.4.1～3.4.18にはこの内２５%留出点までの留出温度を表示した。

(3) 動粘度の変化はほとんどの原油において比重の変化動向と一致していることがわかる。

(4) 分析結果のバラツキの要因としては、油槽内における原油品質の不均一性、見本送付時の取り扱いによる影響及び見本採取季節の影響等が考えられる。

(5) 備蓄船の本邦到着以来見本の分析結果からみる限り、ベーパー発生による備蓄原油の著るしい性状変化は見受けられない。

表3.4.1　調査対象原油の明細

番号	原　油　名	船名	漂／錨泊	指定油槽番号	本邦到着年月日
1	アラビアンヘビー	C 丸	錨 泊	№4 Centre	53－11－22
2	アラビアンヘビー	R 丸	漂 泊	№5 Starb'd	53－10－ 7
3	アラビアンライト	Q 丸	漂 泊	№2 Centre	53－ 9－30
4	アラビアンライトベリー	C 丸	錨 泊	№3 Starb'd	53－11－22
5	イラニアンヘビー	M 丸	漂 泊	№2 Starb'd	53－ 9－30
6	イラニアンヘビー	E 丸	錨 泊	№2 Centre	53－11－25
7	イラニアンライト	J 丸	錨 泊	№2 Centre	53－11－ 6
8	ウムシャイフ	B 丸	錨 泊	№6 Starb'd	53－11－ 1
9	オーマンエキスポートブレンド	G 丸	錨 泊	№3 Starb'd	53－11－14
10	オーマンエキスポートブレンド	N 丸	漂 泊	№2 Centre	53－ 9－24
11	カタールマリン	P 丸	漂 泊	№3 Centre	53－10－12
12	カフジ	B 丸	錨 泊	№4 Centre	53－11－ 1
13	カフジ	P 丸	漂 泊	№2 Starb'd	53－10－12
14	クウェート	Q 丸	漂 泊	№4 Centre	53－ 9－30
15	ザクム	O 丸	漂 泊	№4 Centre	53－10－11
16	バスラライト	G 丸	錨 泊	№4 Centre	53－11－14
17	バスラライト	O 丸	漂 泊	№6 Port	53－10－11
18	マーバン	E 丸	錨 泊	№1 Centre	53－11－25

表3.4.2

原油名：アラビアン　ヘビー	船名：C丸				
見本採取年月日	53-11-22	54- 2-16	54- 5-15	54- 8-20	54-11-20
見本採取場所	喜　入	橘　湾	橘　湾	橘　湾	橘　湾
試験項目					
(1) 比重（15／4℃）	0.8880	0.8883	0.8882	0.8891	0.8893
ＡＰＩ度（15.6℃）	27.8	27.7	27.7	27.6	27.5
(2) リード蒸気圧（37.8℃）	0.450	0.385	0.415	0.385	0.375
(3) 蒸留試験（℃）					
初留点	21.0	21.5	28.0	30.0	24.0
5 %	78.0	78.0	77.0	78.5	77.0
10 %	114.0	116.5	115.0	117.5	116.0
15 %	148.5	148.0	148.5	150.0	148.5
20 %	180.5	179.0	181.0	179.0	179.0
25 %	212.5	216.0	213.0	213.5	213.5
30 %	244.5	243.5	244.5	243.0	243.0
35 %	(270/34.5)	265.0	(270/34.5)	(270/34.5)	(270/34.5)
40 %	−	(270/36.0)	−	−	−
45 %	−	−	−	−	−
50 %	−	−	−	−	−
(4) 動粘度（37.8℃，CST）	17.64	17.55	18.27	18.74	18.11

表3.4.3

原油名：アラビアン　ヘビー	船名：R丸					
見本採取年月日	53-10- 7	54- 1-11	54- 4-23	54- 7-25	54-10-26	55- 1-22
見本採取場所	徳　山	徳　山	徳　山	徳　山	徳　山	徳　山
試験項目						
(1) 比重（15／4℃）	0.8890	0.8893	0.8906	0.8901	0.8885	0.8912
ＡＰＩ度（15.6℃）	27.6	27.5	27.3	27.4	27.7	27.2
(2) リード蒸気圧（37.8℃）	0.545	0.515	0.470	0.485	0.490	0.450
(3) 蒸留試験（℃）						
初留点	25.0	25.0	24.5	31.0	25.0	22.5
5 %	77.5	81.0	84.0	83.5	78.5	80.0
10 %	117.5	118.5	123.5	124.0	120.0	121.0
15 %	152.0	151.0	155.0	155.5	151.0	153.5
20 %	183.5	184.0	187.5	188.5	183.0	185.0
25 %	216.0	216.0	221.5	222.5	213.0	217.0
30 %	248.5	251.5	251.5	252.0	245.0	247.5
35 %	(270/34.0)	(270/34.0)	(270/34.0)	(270/34.0)	(270/34.0)	(270/34.0)
40 %	−	−	−	−	−	−
45 %	−	−	−	−	−	−
50 %	−	−	−	−	−	−
(4) 動粘度（37.8℃，CST）	18.97	18.95	19.70	19.24	18.94	19.62

表 3.4.4

原油名：アラビアン　ライト	船名：Q丸					
見本採取年月日	53- 9-30	53-12-21	54- 3-21	54- 6-19	54-10- 1	54-12-17
見本採取場所	徳　山	徳　山	徳　山	徳　山	徳　山	徳　山
試験項目						
(1) 比重（15／4℃）	0.8608	0.8594	0.8610	0.8597	0.8607	0.8589
ＡＰＩ度（15.6℃）	32.8	33.1	32.8	33.0	32.8	33.2
(2) リード蒸気圧（37.8℃）	0.230	0.315	0.315	0.340	0.315	0.340
(3) 蒸留試験（℃）						
初留点	29.0	22.0	24.0	28.5	26.0	25.0
5 %	89.0	74.0	74.5	82.0	73.5	75.5
10 %	118.0	106.0	107.0	114.5	109.0	109.0
15 %	145.0	134.0	135.5	141.5	138.0	135.5
20 %	169.0	159.0	161.0	165.0	163.0	160.5
25 %	195.0	184.0	185.5	189.0	186.0	184.0
30 %	222.0	206.0	208.5	216.0	211.5	210.0
35 %	246.5	234.5	235.5	237.0	235.5	234.0
40 %	270.0	260.5	262.5	261.0	261.5	250.0
45 %	－	(270／41.5)	(270／42.0)	(270／42.0)	(270／42.0)	(270／42.0)
50 %	－	－	－	－	－	－
(4) 動粘度（37.8℃, CST）	6.783	6.475	6.475	6.260	6.452	6.204

表 3.4.5

原油名：アラビアン　ライト　ベリー	船名：C丸				
見本採取年月日	53-11-22	54- 2-16	54- 5-15	54- 8-20	54-11-20
見本採取場所	喜　入	橘　湾	橘　湾	橘　湾	橘　湾
試験項目					
(1) 比重（15／4℃）	0.8356	0.8356	0.8375	0.8352	0.8362
ＡＰＩ度（15.6℃）	37.8	37.8	37.4	37.8	37.6
(2) リード蒸気圧（37.8℃）	0.345	0.350	0.260	0.360	0.305
(3) 蒸留試験（℃）					
初留点	23.0	23.5	28.0	28.5	22.5
5 %	64.5	65.0	72.5	67.0	71.5
10 %	96.5	97.0	105.0	99.0	101.0
15 %	123.5	123.0	128.5	123.5	126.0
20 %	145.0	145.0	150.5	145.0	148.5
25 %	166.5	166.0	172.0	168.0	169.0
30 %	190.5	189.0	195.0	191.0	191.5
35 %	215.0	209.5	217.0	214.5	216.0
40 %	237.0	233.0	239.5	237.0	238.0
45 %	261.5	256.0	262.0	260.0	262.0
50 %	(270／47.5)	(270／48.5)	(270／47.0)	(270／47.0)	(270／47.0)
(4) 動粘度（37.8℃, CST）	3.625	3.721	3.830	3.707	3.678

表3.4.6

原油名：イラニアン　ヘビー	船名：M丸					
見本採取年月日	53- 9-30	53-12-22	54- 3-23	54- 6-21	54- 9-26	54-12-20
見本採取場所	大　分	大　分	大　分	大　分	大　分	大　分
試験項目						
(1) 比重（15／4℃）	0.8729	0.8728	0.8726	0.8718	0.8735	0.8711
ＡＰＩ度（15.6℃）	30.5	30.5	30.6	30.7	30.4	30.8
(2) リード蒸気圧（37.8℃）	0.410	0.370	0.370	0.395	0.350	0.405
(3) 蒸留試験（℃）						
初留点	27.0	24.0	25.0	29.0	26.0	23.5
5 %	81.0	79.5	76.0	75.0	83.0	78.0
10 %	114.5	111.5	104.5	105.5	114.5	111.0
15 %	139.5	136.5	130.0	133.5	142.0	138.5
20 %	165.5	162.5	156.5	158.0	168.0	167.0
25 %	195.5	192.0	183.0	189.0	196.0	194.0
30 %	229.5	227.5	214.0	215.0	225.5	222.0
35 %	255.0	248.5	243.5	244.0	253.0	251.5
40 %	(270/38.0)	(270/39.0)	265.5	270.0	(270/38.5)	(270/38.5)
45 %	－	－	(270/41.0)	－	－	－
50 %	－	－	－	－	－	－
(4) 動粘度（37.8℃，CST）	9.862	9.467	9.293	8.817	9.314	8.777

表3.4.7

原油名：イラニアン　ヘビー	船名：E丸				
見本採取年月日	53-11-25	54- 2-15	54- 5-16	54- 8-20	54-11-20
見本採取場所	大　分	橘　湾	橘　湾	橘　湾	橘　湾
試験項目					
(1) 比重（15／4℃）	0.8716	0.8727	0.8725	0.8726	0.8747
ＡＰＩ度（15.6℃）	30.8	30.5	30.5	30.6	30.2
(2) リード蒸気圧（37.8℃）	0.425	0.430	0.395	0.370	0.305
(3) 蒸留試験（℃）					
初留点	25.0	18.5	27.0	28.5	23.5
5 %	80.0	76.5	82.0	79.0	85.0
10 %	114.0	108.5	114.5	112.0	114.5
15 %	139.0	137.0	140.0	138.5	143.0
20 %	164.5	162.0	166.0	164.5	171.0
25 %	195.5	190.5	191.0	193.0	198.5
30 %	226.5	222.5	220.0	223.5	227.0
35 %	252.0	250.5	245.0	248.5	254.0
40 %	(270/39.0)	(270/38.5)	(270/380)	(270/38.5)	(270/38.5)
45 %	－	－	－	－	－
50 %	－	－	－	－	－
(4) 動粘度（37.8℃，CST）	8.737	9.471	8.894	9.013	9.310

表 3.4.8

原油名：イラニアン　ライト	船名：J丸				
見本採取年月日	53-11- 6	54- 2-16	54- 5-18	54- 8-21	54-11-16
見本採取場所	大　分	橘　湾	橘　湾	橘　湾	橘　湾
試験項目					
(1) 比重（15／4℃）	0.8570	0.8572	0.8580	0.8569	0.8589
ＡＰＩ度（15.6℃）	33.5	33.5	33.3	33.5	33.2
(2) リード蒸気圧（37.8℃）	0.470	0.505	0.440	0.500	0.420
(3) 蒸留試験（℃）					
初留点	28.5	22.5	28.5	27.0	24.0
5 %	78.0	75.0	74.0	75.0	76.5
10 %	109.0	104.5	109.5	108.5	107.5
15 %	133.0	128.5	134.0	134.0	132.5
20 %	155.5	151.5	158.0	157.5	156.0
25 %	181.0	177.5	184.0	184.0	181.0
30 %	210.5	206.0	210.0	210.5	207.5
35 %	238.0	234.5	236.0	235.0	232.0
40 %	262.5	257.5	261.0	260.0	258.5
45 %	(270/42.0)	(270/43.5)	(270/42.0)	(270/42.0)	(270/42.5)
50 %	－	－	－	－	－
(4) 動粘度（37.8℃,CST）	6.120	6.158	6.019	6.255	6.147

表 3.4.9

原油名：ウム　シャイフ	船名：B丸				
見本採取年月日	53-11- 1	54- 2-16	54- 5-14	54- 8-21	54-11-21
見本採取場所	大　分	橘　湾	橘　湾	橘　湾	橘　湾
試験項目					
(1) 比重（15／4℃）	0.8420	0.8402	0.8421	0.8382	0.8400
ＡＰＩ度（15.6℃）	36.5	36.8	36.5	37.2	36.9
(2) リード蒸気圧（37.8℃）	0.365	0.425	0.370	0.430	0.420
(3) 蒸留試験（℃）					
初留点	23.5	24.5	29.5	28.0	22.5
5 %	67.5	56.0	67.0	59.0	61.5
10 %	100.5	88.0	98.0	92.5	94.0
15 %	123.5	114.0	120.0	118.0	118.0
20 %	144.0	138.0	144.5	141.0	140.5
25 %	165.0	161.5	163.5	163.5	162.5
30 %	188.5	183.5	186.0	186.5	185.0
35 %	214.5	204.0	209.5	209.5	207.5
40 %	238.0	235.0	233.5	234.0	233.0
45 %	261.5	253.5	257.0	257.5	255.0
50 %	(270/47.5)	(270/49.0)	(270/48.5)	(270/48.5)	(270/48.5)
(4) 動粘度（37.8℃,CST）	3.876	3.723	3.866	3.536	3.626

表3.4.10

原油名：オーマンエキスポート　ブレンド	船名：G丸				
見本採取年月日	53-11-14	54- 2-15	54- 5-18	54- 8-20	54-11-19
見本採取場所	喜　入	橘　湾	橘　湾	橘　湾	橘　湾
試験項目					
(1) 比重（15／4℃）	0.8424	0.8449	0.8440	0.8426	0.8440
ＡＰＩ度（15.6℃）	36.4	35.9	36.1	36.4	36.1
(2) リード蒸気圧（37.8℃）	0.325	0.310	0.310	0.300	0.275
(3) 蒸留試験（℃）					
初留点	25.5	19.5	29.0	30.0	23.5
5 %	84.0	80.5	85.0	81.0	90.0
10 %	115.0	111.5	115.0	113.5	119.0
15 %	140.0	137.5	138.0	140.0	143.0
20 %	165.0	160.0	161.5	163.0	167.5
25 %	192.0	184.0	187.0	187.0	192.5
30 %	218.0	210.0	211.0	213.5	219.0
35 %	239.5	236.0	236.0	236.5	242.5
40 %	262.0	257.5	258.0	260.0	265.0
45 %	(270／42.0)	(270／43.0)	(270／42.5)	(270／42.5)	(270／42.0)
50 %	－	－	－	－	－
(4) 動粘度（37.8℃，CST）	5.801	6.158	5.829	5.711	5.842

表3.4.11

原油名：オーマンエキスポート　ブレンド	船名：N丸					
見本採取年月日	53- 9-24	54-12-21	54- 3-25	54- 7- 2	54-10- 8	54-12-18
見本採取場所	大　分	喜　入	喜　入	大　分	喜　入	喜　入
試験項目						
(1) 比重（15／4℃）	0.8444	0.8437	0.8451	0.8449	0.8448	0.8429
ＡＰＩ度（15.6℃）	36.0	36.1	35.9	35.9	35.9	36.3
(2) リード蒸気圧（37.8℃）	0.310	0.310	0.240	0.255	0.290	0.290
(3) 蒸留試験（℃）						
初留点	24.5	22.0	25.5	30.0	26.0	22.0
5 %	91.5	84.5	83.0	87.0	87.0	87.0
10 %	120.0	117.0	115.5	116.0	115.0	115.5
15 %	142.5	140.5	140.0	141.0	140.5	142.0
20 %	167.5	163.5	164.0	165.0	165.0	165.0
25 %	193.5	188.5	188.5	190.0	190.0	189.5
30 %	219.5	216.5	214.5	215.5	216.0	214.5
35 %	245.0	243.5	237.0	240.0	240.0	238.5
40 %	267.0	262.5	263.0	264.0	263.5	263.5
45 %	(270／40.5)	(270／41.5)	(270／43.0)	(270／41.5)	(270／41.5)	(270／41.5)
50 %	－	－	－	－	－	－
(4) 動粘度（37.8℃，CST）	6.147	6.027	6.121	6.094	5.842	5.788

表3.4.12

原油名：カタールマリン	船名：P丸					
見本採取年月日	53-10-12	54- 1-15	54- 4-23	54- 7-25	54-10-26	55- 1-28
見本採取場所	大 分	大 分	大 分	大 分	大 分	大 分
試験項目						
(1) 比重（15／4℃）	0.8452	0.8462	0.8467	0.8448	0.8456	0.8437
ＡＰＩ度（15.6℃）	35.8	35.6	35.6	35.9	35.8	36.1
(2) リード蒸気圧（37.8℃）	0.360	0.325	0.330	0.340	0.360	0.355
(3) 蒸留試験（℃）						
初留点	29.5	22.5	25.0	32.0	22.5	24.0
5 %	72.0	72.0	70.0	67.0	67.5	72.0
10 %	103.5	105.0	102.0	103.5	102.5	101.0
15 %	128.5	127.0	127.0	126.5	125.0	124.5
20 %	148.5	148.0	147.5	146.5	147.5	147.0
25 %	169.0	167.0	168.0	168.0	170.0	170.0
30 %	192.0	190.5	191.5	192.0	191.5	192.5
35 %	216.0	215.0	214.0	213.5	214.0	215.0
40 %	239.5	239.5	238.5	238.0	238.0	239.5
45 %	265.0	261.5	262.0	260.0	260.0	261.5
50 %	(270／47.0)	(270／47.0)	(270／47.0)	(270／47.0)	(270／47.0)	(270／47.0)
(4) 動粘度（37.8℃, CST）	4.019	4.082	4.039	4.088	3.966	3.935

表3.4.13

原油名：カフジ	船名：B丸				
見本採取年月日	53-11- 1	54- 2-16	54- 5-14	54- 8-21	54-11-21
見本採取場所	大 分	橘 湾	橘 湾	橘 湾	橘 湾
試験項目					
(1) 比重（15／4℃）	0.8877	0.8880	0.8871	0.8872	0.8881
ＡＰＩ度（15.6%）	27.8	27.8	27.9	27.9	27.7
(2) リード蒸気圧（37.8℃）	0.570	0.570	0.570	0.540	0.515
(3) 蒸留試験（℃）					
初留点	25.5	17.5	27.0	27.0	26.0
5 %	86.0	74.5	78.0	78.0	74.5
10 %	124.5	112.5	115.5	119.5	115.5
15 %	157.5	144.5	148.5	151.0	147.0
20 %	190.0	176.0	179.0	180.0	180.0
25 %	221.5	210.0	213.5	211.5	212.0
30 %	251.0	243.5	245.0	243.0	243.5
35 %	(270／34.0)	270.0	(270／34.5)	270.0	(270／34.5)
40 %	–	–	–	–	–
45 %	–	–	–	–	–
50 %	–	–	–	–	–
(4) 動粘度（37.8℃, CST）	19.02	17.87	17.63	18.15	17.61

表3.4.14

原油名：カフジ	船名：P丸					
見本採取年月日	53-10-12	54- 1-15	54- 4-23	54- 7-25	54-10-26	55- 1-28
見本採取場所	大 分	大 分	大 分	大 分	大 分	大 分
試験項目						
(1) 比重（15／4℃）	0.8870	0.8872	0.8879	0.8867	0.8872	0.8858
ＡＰＩ度（15.6℃）	27.9	27.9	27.8	28.0	27.9	28.2
(2) リード蒸気圧（37.8℃）	0.610	0.580	0.545	0.550	0.560	0.600
(3) 蒸留試験（℃）						
初留点	28.5	19.5	25.5	31.0	26.5	19.0
5 %	79.5	79.0	73.0	80.0	76.0	78.5
10 %	119.5	116.5	115.5	118.0	115.5	117.0
15 %	154.0	151.5	148.0	150.0	150.5	150.0
20 %	184.5	181.5	178.0	183.5	180.0	181.5
25 %	219.0	214.5	210.0	214.0	212.0	213.5
30 %	250.0	243.5	242.5	246.5	245.0	246.5
35 %	(270/33.5)	(270/34.5)	270.0	(270/34.5)	(270/34.5)	(270/34.5)
40 %	−	−	−	−	−	−
45 %	−	−	−	−	−	−
50 %	−	−	−	−	−	−
(4) 動粘度（37.8℃，CST）	18.09	17.41	18.17	17.94	17.49	17.12

表3.4.15

原油名：クウェート	船名：Q丸					
見本採取年月日	53- 9-30	53-12-21	54- 3-21	54- 6-19	54-10-11	54-12-17
見本採取場所	徳 山	徳 山	徳 山	徳 山	徳 山	徳 山
試験項目						
(1) 比重（15／4℃）	0.8715	0.8717	0.8726	0.8728	0.8726	0.8721
ＡＰＩ度（15.6℃）	30.8	30.7	30.6	30.5	30.6	30.7
(2) リード蒸気圧（37.8℃）	0.420	0.385	0.370	0.360	0.325	0.350
(3) 蒸留試験（℃）						
初留点	29.0	23.5	23.0	28.0	28.0	24.5
5 %	85.5	70.0	71.0	75.0	76.0	74.0
10 %	116.5	103.0	106.0	105.5	110.0	107.5
15 %	145.0	133.5	135.5	135.0	137.0	135.0
20 %	177.0	160.5	163.0	164.5	166.0	163.0
25 %	202.5	192.0	190.0	192.5	192.0	190.0
30 %	232.0	219.0	220.0	220.0	222.5	221.0
35 %	264.0	246.5	250.0	250.0	250.0	248.5
40 %	(270/36.5)	(270/38.5)	(270/39.0)	(270/39.0)	(270/39.0)	(270/39.0)
45 %	−	−	−	−	−	−
50 %	−	−	−	−	−	−
(4) 動粘度（37.8℃，CST）	10.74	10.30	10.30	10.31	10.27	10.07

表3.4.16

原油名：ザクム	船名：O丸					
見本採取年月日	53-10-11	54- 1- 7	54- 4-11	54- 7-13	54-10-13	55- 1-15
見本採取場所	大 分	大 分	大 分	大 分	大 分	大 分
試験項目						
(1) 比重(15／4℃)	0.8281	0.8277	0.8275	0.8275	0.8289	0.8298
ＡＰＩ度(15.6℃)	39.3	39.4	39.4	39.4	39.1	38.9
(2) リード蒸気圧(37.8℃)	0.500	0.470	0.525	0.480	0.470	0.460
(3) 蒸留試験(℃)						
初留点	27.0	21.0	22.0	30.5	24.5	22.0
5 %	57.5	55.0	57.0	58.0	53.0	58.5
10 %	88.0	87.5	87.5	88.0	84.5	88.5
15 %	114.0	111.5	110.5	110.0	111.5	111.0
20 %	134.5	134.0	135.0	134.0	132.0	133.0
25 %	156.0	155.0	153.5	153.0	151.5	156.5
30 %	176.0	176.0	177.0	174.5	173.0	180.0
35 %	199.0	198.0	198.5	197.5	198.0	201.0
40 %	224.0	223.5	222.5	221.0	222.0	225.5
45 %	248.0	246.0	245.5	247.5	244.5	248.5
50 %	270.0	270.0	270.0	270.0	267.0 (270／51.0)	270.0
(4) 動粘度(37.8℃, CST)	3.056	3.095	3.031	3.059	3.130	3.150

表3.4.17

原油名：バスラライト	船名：G丸				
見本採取年月日	53-11-14	54- 2-15	54- 5-18	54- 8-20	54-11-19
見本採取場所	喜 入	橘 湾	橘 湾	橘 湾	橘 湾
試験項目					
(1) 比重(15／4℃)	0.8562	0.8576	0.8578	0.8563	0.8575
ＡＰＩ度(15.6℃)	33.7	33.4	33.4	33.7	33.4
(2) リード蒸気圧(37.8℃)	0.420	0.395	0.350	0.365	0.320
(3) 蒸留試験(℃)					
初留点	25.0	18.0	29.5	27.0	24.5
5 %	70.5	71.5	75.0	69.0	78.0
10 %	103.5	106.0	101.5	100.0	110.0
15 %	130.5	132.5	128.0	127.0	135.0
20 %	154.0	156.0	152.5	152.5	161.0
25 %	180.5	182.0	177.5	178.0	186.0
30 %	207.0	207.0	204.0	203.0	210.5
35 %	237.0	236.5	231.5	231.0	236.0
40 %	262.0	261.5	258.0	257.0	260.0
45 %	(270／42.0)	(270／42.0)	(270／42.5)	(270／42.5)	(270／42.0)
50 %	−	−	−	−	−
(4) 動粘度(37.8℃, CST)	6.545	6.729	6.646	6.549	6.531

表3.4.18

原油名：バスラライト	船名：O丸					
見本採取年月日	53-10-11	54- 1- 7	54- 4-11	54- 7-13	54-10-13	55- 1-15
見本採取場所	大 分	大 分	大 分	大 分	大 分	大 分
試験項目						
(1) 比重（15／4℃）	0.8563	0.8557	0.8550	0.8548	0.8542	0.8545
ＡＰＩ度（15.6℃）	33.7	33.8	33.9	34.0	34.1	34.0
(2) リード蒸気圧（37.8℃）	0.385	0.425	0.430	0.415	0.410	0.440
(3) 蒸留試験（℃）						
初留点	26.0	21.5	19.5	30.5	29.0	24.0
5 %	74.0	71.5	70.5	72.0	72.5	71.0
10 %	107.5	104.0	103.5	106.0	108.5	107.0
15 %	133.5	130.5	129.5	132.5	136.0	135.0
20 %	156.5	155.0	153.0	156.0	159.0	158.5
25 %	181.0	179.0	180.0	181.0	184.5	182.5
30 %	207.5	207.0	205.5	205.5	209.5	209.0
35 %	237.5	234.0	235.0	236.0	239.5	235.5
40 %	262.5	261.5	260.0	260.0	264.0	260.0
45 %	(270／42.0)	(270／42.0)	(270／42.5)	(270／42.5)	(270／42.0)	(270／42.0)
50 %	－	－	－	－	－	－
(4) 動粘度（37.8℃，CST）	6.465	6.282	6.243	6.421	6.322	6.196

表3.4.19

原油名：マーバン	船名：E丸				
見本採取年月日	53-11-25	54- 2-15	54- 5-16	54- 8-20	54-11-20
見本採取場所	大 分	橘 湾	橘 湾	橘 湾	橘 湾
試験項目					
(1) 比重（15／4℃）	0.8269	0.8280	0.8284	0.8274	0.8290
ＡＰＩ度（15.6℃）	39.5	39.3	39.2	39.4	39.1
(2) リード蒸気圧（37.8℃）	0.260	0.270	0.240	0.260	0.185
(3) 蒸留試験（℃）					
初留点	25.5	20.0	27.0	30.0	23.5
5 %	71.0	72.0	74.5	69.5	77.5
10 %	101.5	99.0	101.0	99.0	103.5
15 %	123.0	121.0	122.5	119.0	124.0
20 %	141.0	140.0	142.5	140.5	143.5
25 %	162.0	158.0	162.5	159.0	164.0
30 %	183.5	176.5	183.5	180.0	183.5
35 %	201.0	199.0	204.0	201.0	204.0
40 %	223.0	223.0	224.0	221.5	226.0
45 %	246.0	243.5	245.0	243.5	246.5
50 %	267.0 (270／51.0)	265.5 (270／51.0)	266.0 (270／51.0)	263.0 (270／51.5)	266.0 (270／51.0)
(4) 動粘度（37.8℃，CST）	3.056	3.118	3.125	3.100	3.109

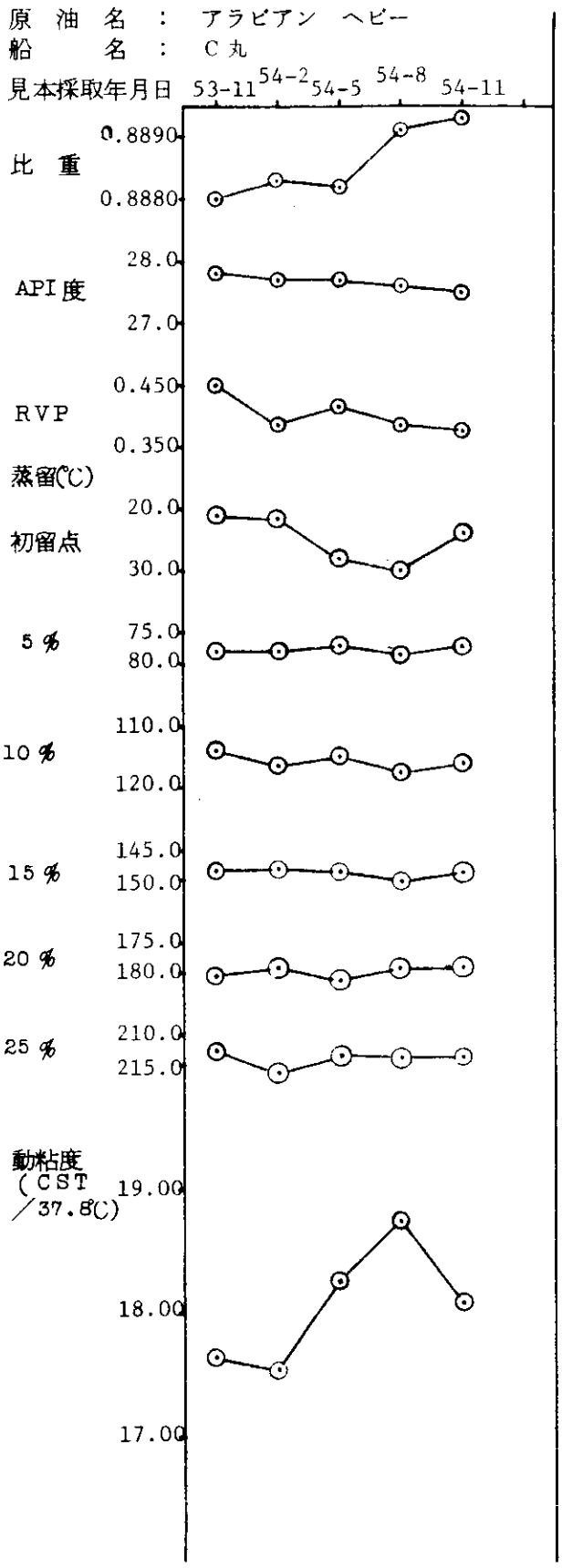

原 油 名 ： アラビアン ヘビー
船 名 ： C 丸
見本採取年月日 53-11 54-2 54-5 54-8 54-11
比 重
0.8890
0.8880
API度
28.0
27.0
RVP
0.450
0.350
蒸留(℃)
初留点
20.0
30.0
5 %
75.0
80.0
10 %
110.0
120.0
15 %
145.0
150.0
20 %
175.0
180.0
25 %
210.0
215.0
動粘度
(CST
/37.8℃)
19.00
18.00
17.00

図 — 3. 4. 1

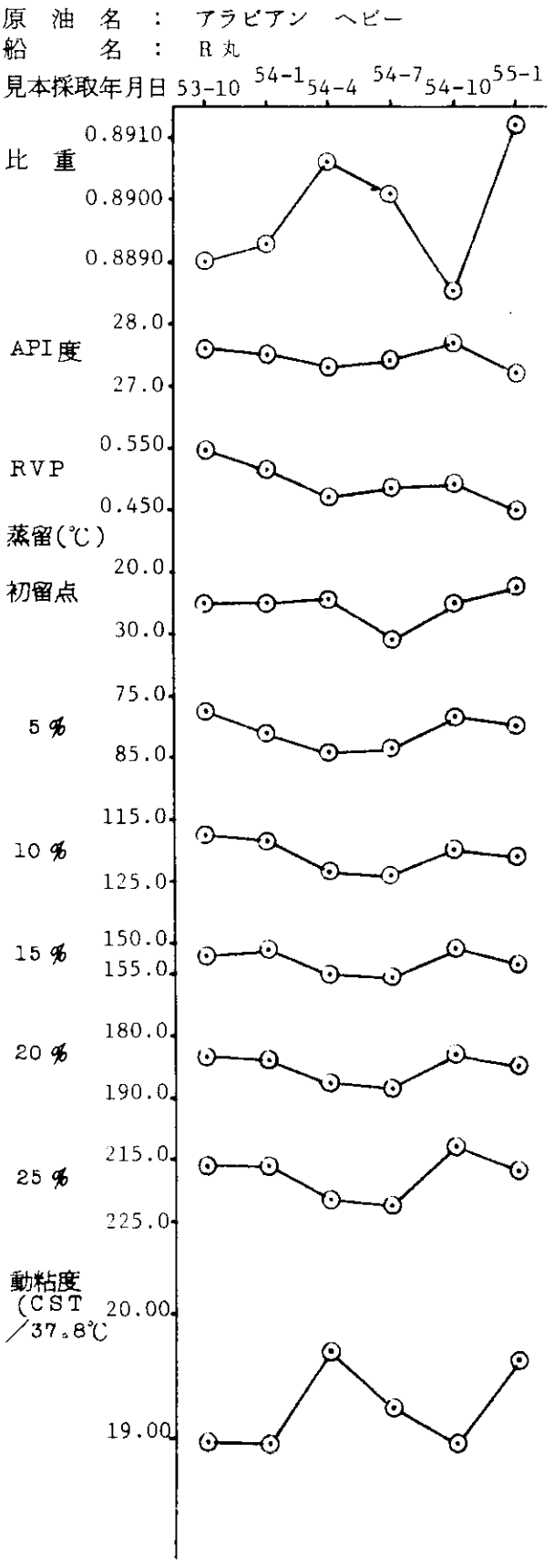

原 油 名 ： アラビアン ヘビー
船 名 ： R 丸
見本採取年月日 53-10 54-1 54-4 54-7 54-10 55-1
比 重
0.8910
0.8900
0.8890
API度
28.0
27.0
RVP
0.550
0.450
蒸留(℃)
初留点
20.0
30.0
5 %
75.0
85.0
10 %
115.0
125.0
15 %
150.0
155.0
20 %
180.0
190.0
25 %
215.0
225.0
動粘度
(CST
/37.8℃)
20.00
19.00

図 — 3. 4. 2

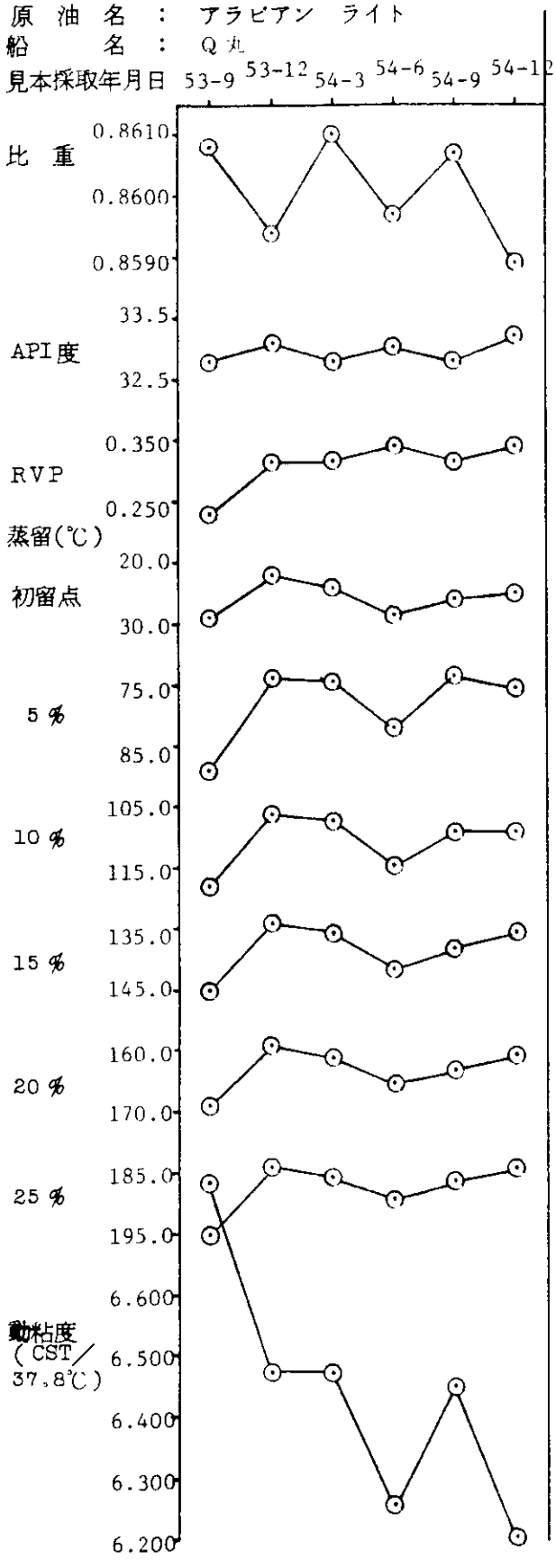

原 油 名 ： アラビアン ライト
船 名 ： Q 丸
見本採取年月日 53-9 53-12 54-3 54-6 54-9 54-12
比 重
0.8610
0.8600
0.8590
API度
33.5
32.5
RVP
0.350
0.250
蒸留(℃)
初留点
20.0
30.0
5 %
75.0
85.0
10 %
105.0
115.0
15 %
135.0
145.0
20 %
160.0
170.0
25 %
185.0
195.0
動粘度
(CST／
37.8℃)
6.600
6.500
6.400
6.300
6.200

図 — 3. 4. 3

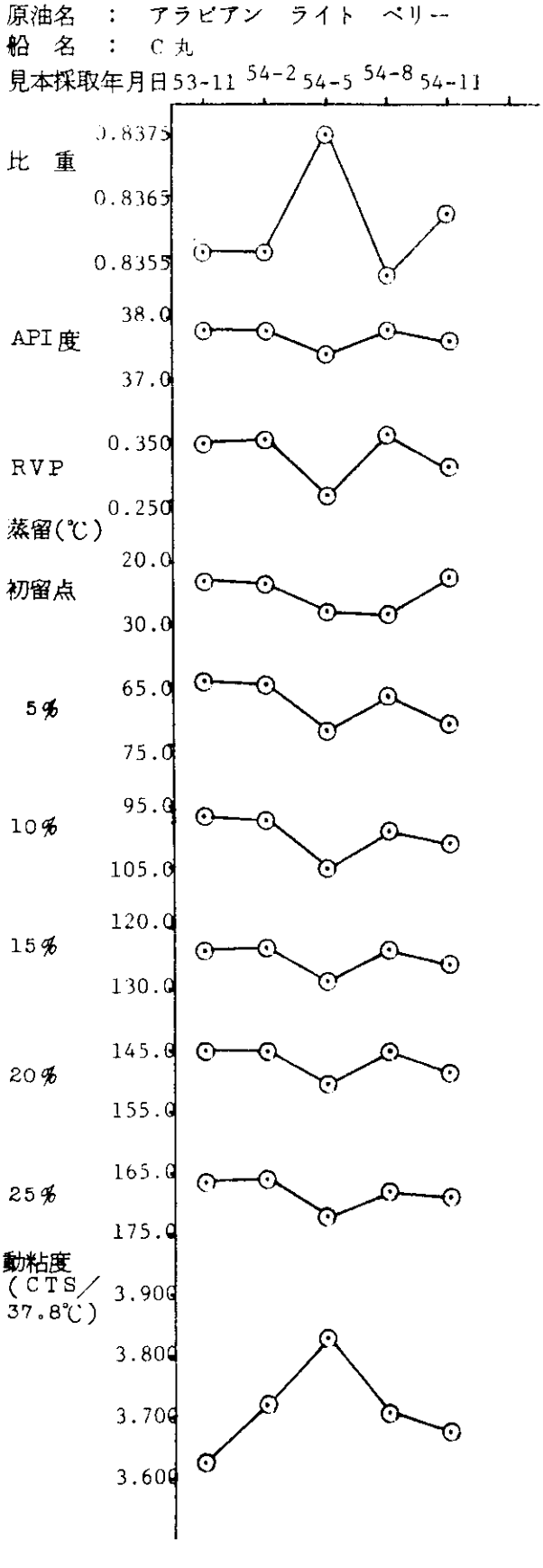

原油名 ： アラビアン ライト ベリー
船 名 ： C 丸
見本採取年月日 53-11 54-2 54-5 54-8 54-11
比 重
0.8375
0.8365
0.8355
API度
38.0
37.0
RVP
0.350
0.250
蒸留(℃)
初留点
20.0
30.0
5 %
65.0
75.0
10 %
95.0
105.0
15 %
120.0
130.0
20 %
145.0
155.0
25 %
165.0
175.0
動粘度
(CTS／
37.8℃)
3.900
3.800
3.700
3.600

図 — 3. 4. 4

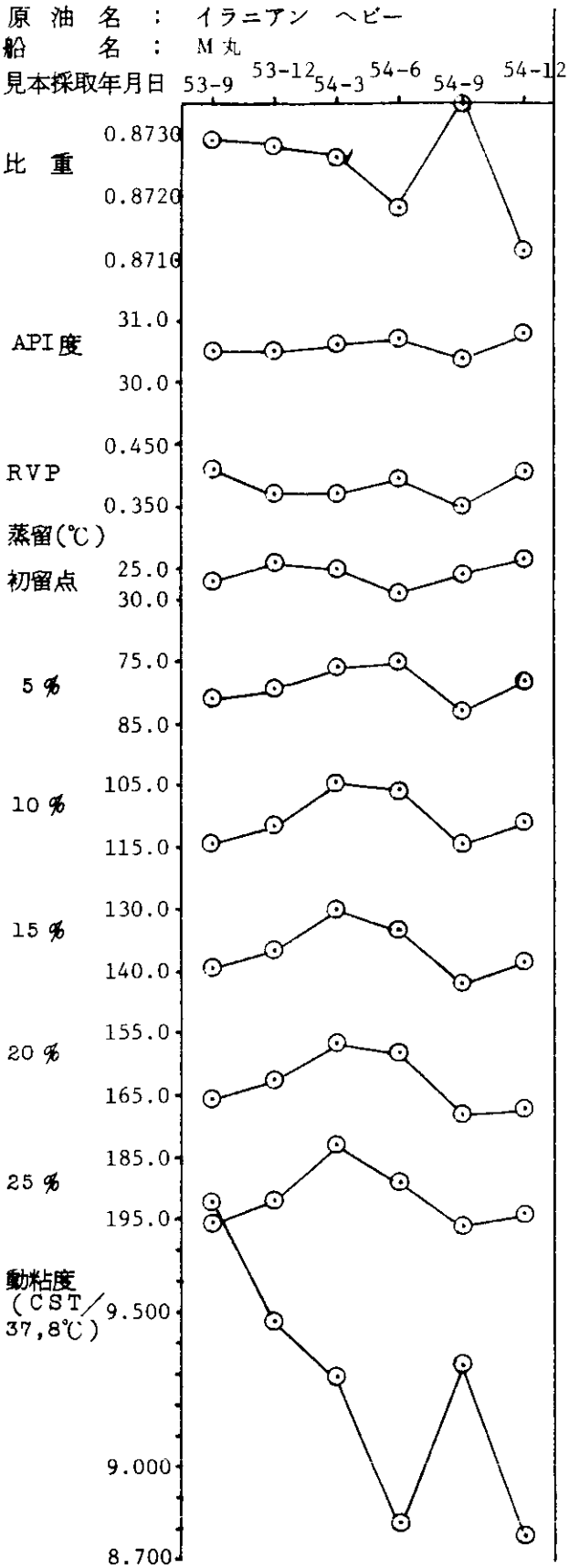

原 油 名 ： イラニアン ヘビー
船 名 ： M 丸
見本採取年月日
53-9
53-12
54-3
54-6
54-9
54-12
比 重
0.8730
0.8720
0.8710
API度
31.0
30.0
RVP
0.450
0.350
蒸留(℃)
初留点
25.0
30.0
5 %
75.0
85.0
10 %
105.0
115.0
15 %
130.0
140.0
20 %
155.0
165.0
25 %
185.0
195.0
動粘度
(CST/
37.8℃)
9.500
9.000
8.700

図 — 3. 4. 5

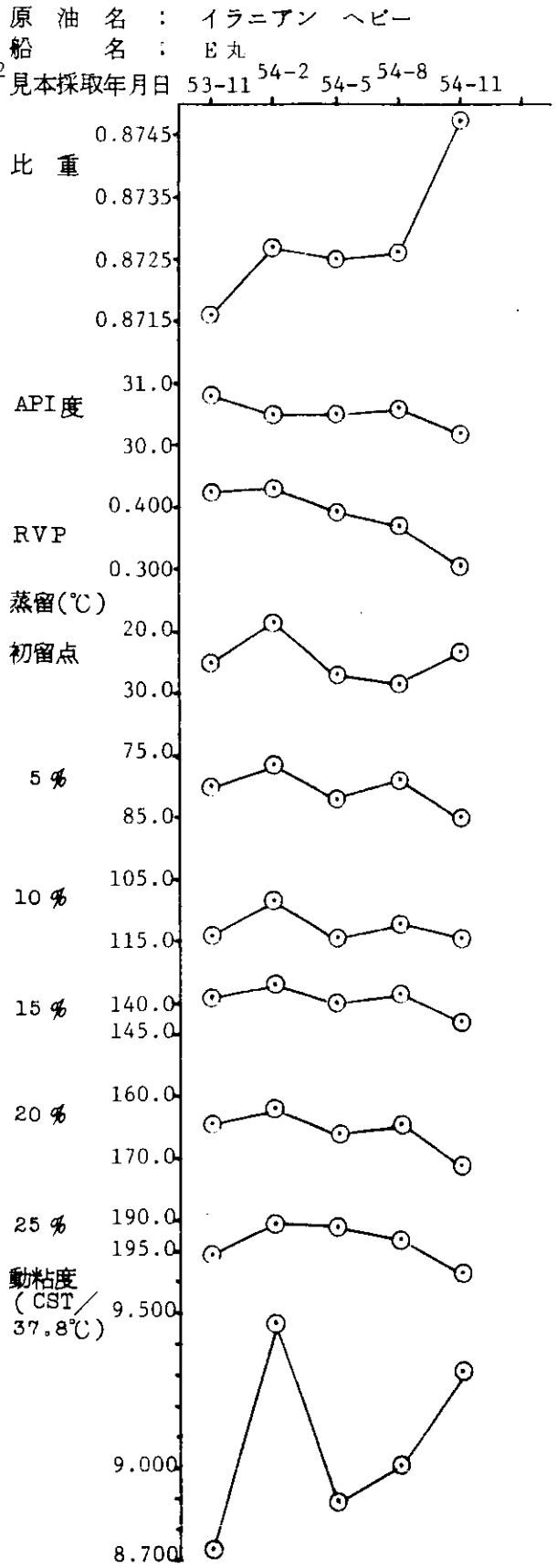

原 油 名 ： イラニアン ヘビー
船 名 ： E 丸
見本採取年月日
53-11
54-2
54-5
54-8
54-11
比 重
0.8745
0.8735
0.8725
0.8715
API度
31.0
30.0
RVP
0.400
0.300
蒸留(℃)
初留点
20.0
30.0
5 %
75.0
85.0
10 %
105.0
115.0
15 %
140.0
145.0
20 %
160.0
170.0
25 %
190.0
195.0
動粘度
(CST/
37.8℃)
9.500
9.000
8.700

図 — 3. 4. 6

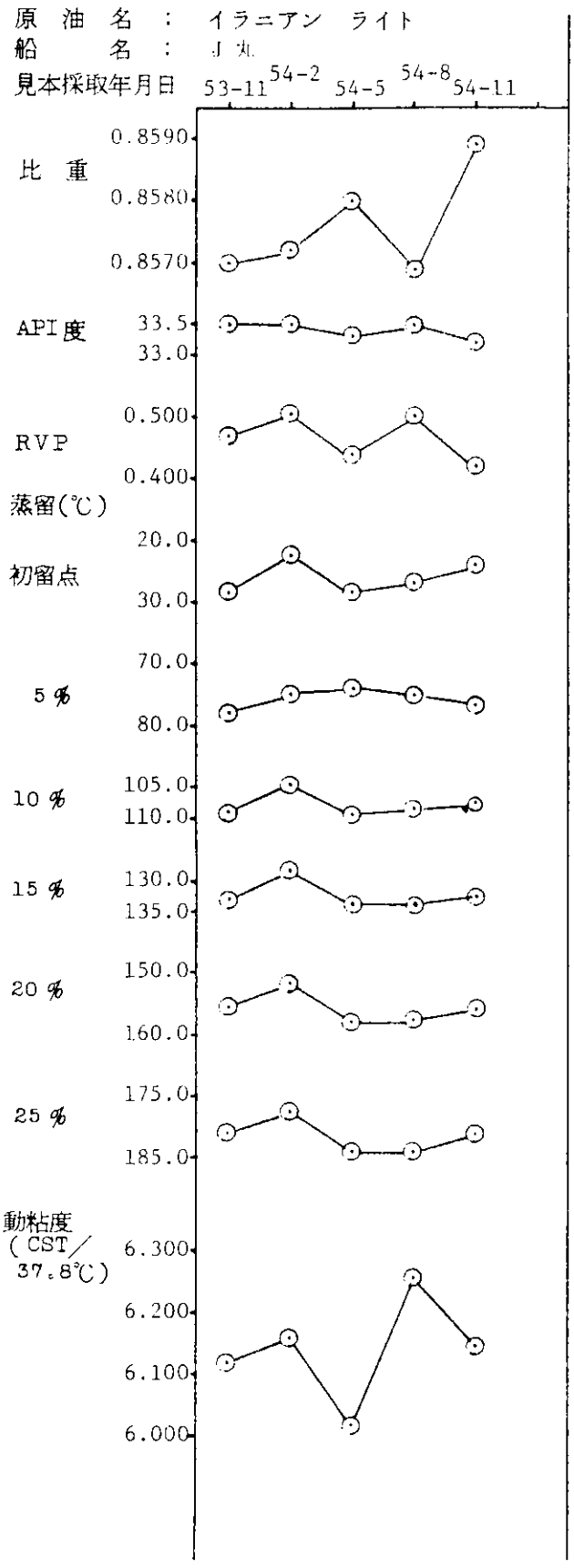

原 油 名 ： イラニアン ライト
船 名 ： J 丸
見本採取年月日 53-11 54-2 54-5 54-8 54-11
比 重
0.8590
0.8580
0.8570
API度
33.5
33.0
RVP
0.500
0.400
蒸留(℃)
初留点
20.0
30.0
5 %
70.0
80.0
10 %
105.0
110.0
15 %
130.0
135.0
20 %
150.0
160.0
25 %
175.0
185.0
動粘度
(CST／
37.8℃)
6.300
6.200
6.100
6.000

図 — 3. 4. 7

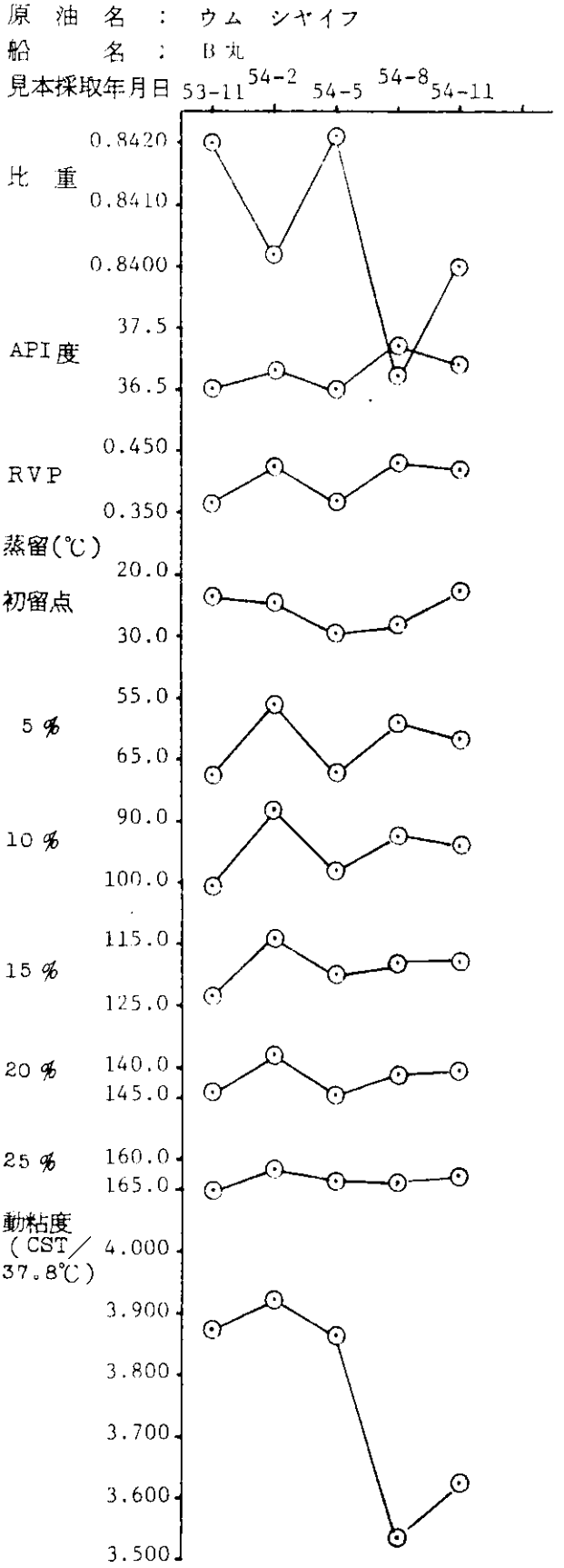

原 油 名 ： ウム シヤイフ
船 名 ： B 丸
見本採取年月日 53-11 54-2 54-5 54-8 54-11
比 重
0.8420
0.8410
0.8400
API度
37.5
36.5
RVP
0.450
0.350
蒸留(℃)
初留点
20.0
30.0
5 %
55.0
65.0
10 %
90.0
100.0
15 %
115.0
125.0
20 %
140.0
145.0
25 %
160.0
165.0
動粘度
(CST／
37.8℃)
4.000
3.900
3.800
3.700
3.600
3.500

図 — 3. 4. 8

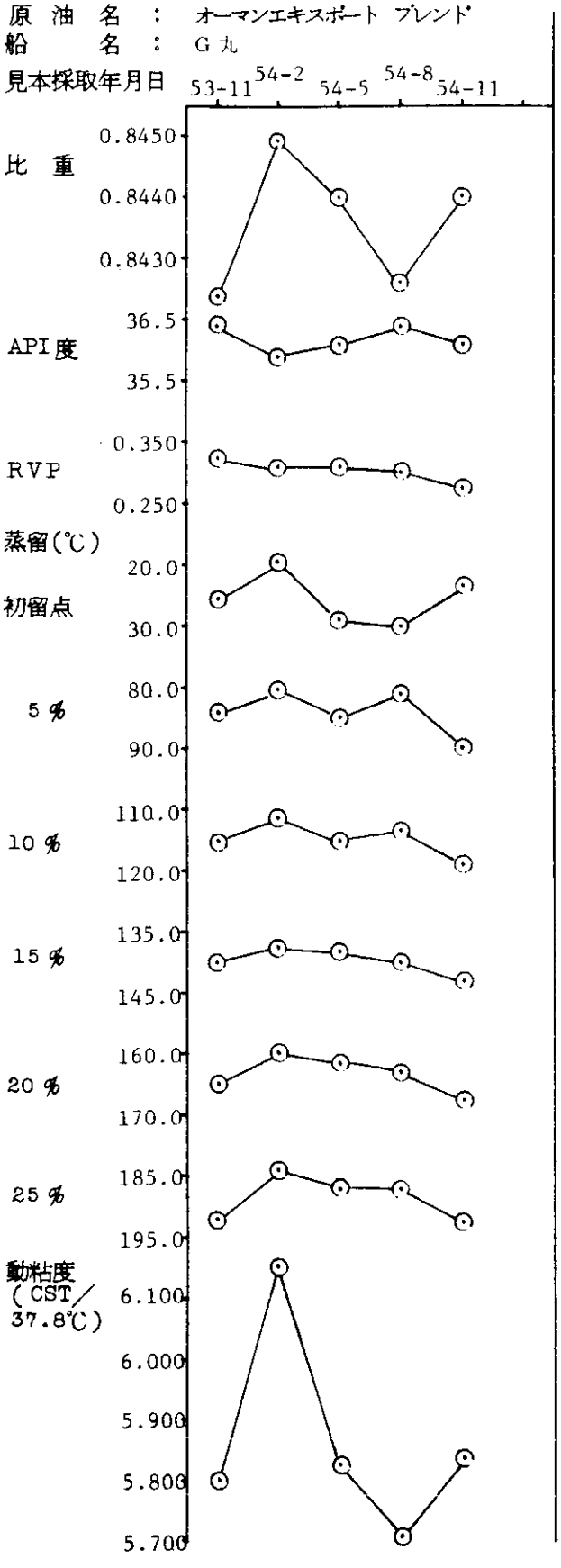

原 油 名 ： オーマンエキスポート ブレンド
船 名 ： G 丸
見本採取年月日
53-11
54-2
54-5
54-8
54-11
比 重
0.8450
0.8440
0.8430
API度
36.5
35.5
RVP
0.350
0.250
蒸留(℃)
初留点
20.0
30.0
5 %
80.0
90.0
10 %
110.0
120.0
15 %
135.0
145.0
20 %
160.0
170.0
25 %
185.0
195.0
動粘度
(CST/
37.8℃)
6.100
6.000
5.900
5.800
5.700

図 － 3. 4. 9

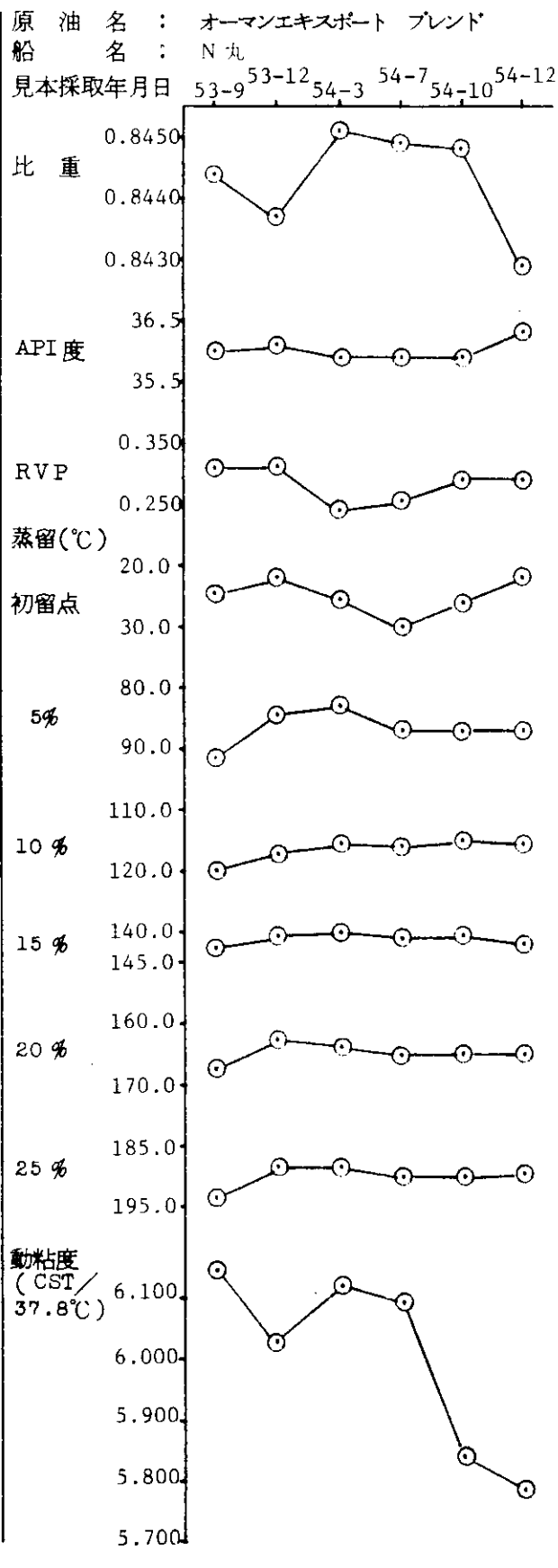

原 油 名 ： オーマンエキスポート ブレンド
船 名 ： N 丸
見本採取年月日
53-9
53-12
54-3
54-7
54-10
54-12
比 重
0.8450
0.8440
0.8430
API度
36.5
35.5
RVP
0.350
0.250
蒸留(℃)
初留点
20.0
30.0
5%
80.0
90.0
10 %
110.0
120.0
15 %
140.0
145.0
20 %
160.0
170.0
25 %
185.0
195.0
動粘度
(CST/
37.8℃)
6.100
6.000
5.900
5.800
5.700

図 － 3. 4. 10

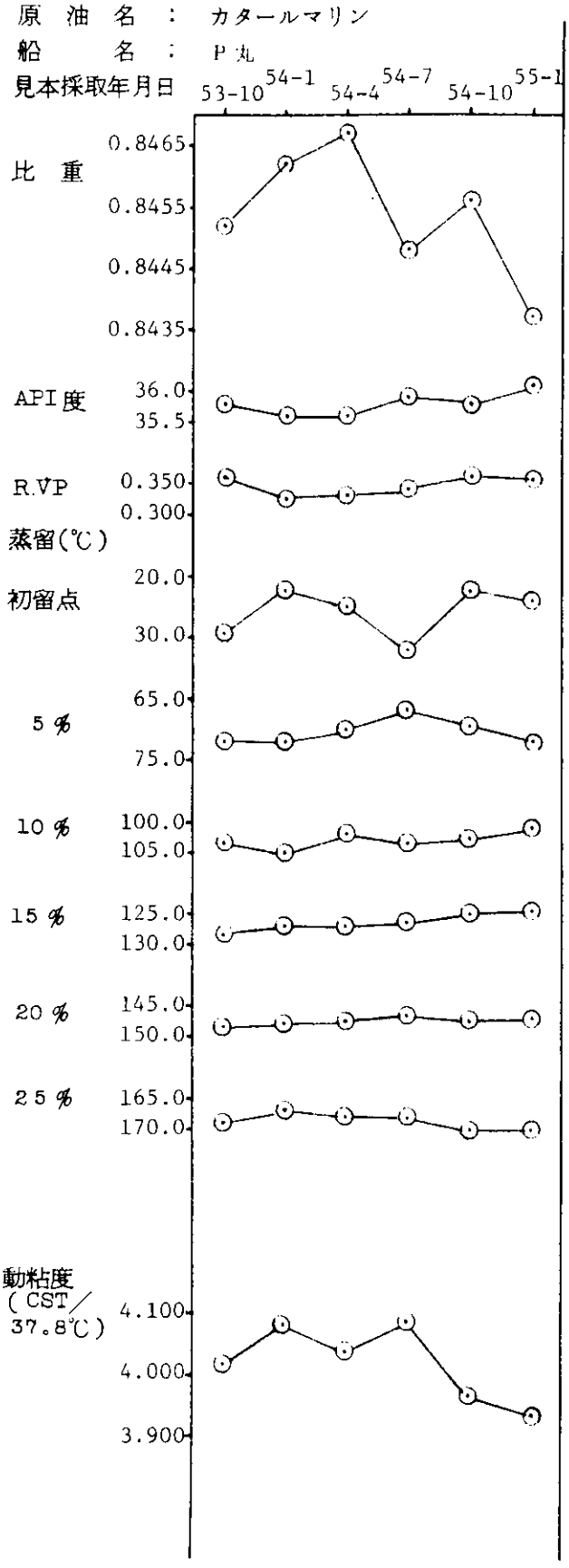

原 油 名 ： カタールマリン
船 名 ： P 丸
見本採取年月日
53-10
54-1
54-4
54-7
54-10
55-1
比 重
0.8465
0.8455
0.8445
0.8435
API度
36.0
35.5
R.VP
0.350
0.300
蒸留(℃)
初留点
20.0
30.0
5 %
65.0
75.0
10 %
100.0
105.0
15 %
125.0
130.0
20 %
145.0
150.0
25 %
165.0
170.0
動粘度
(CST／
37.8℃)
4.100
4.000
3.900

図 － 3. 4. 11

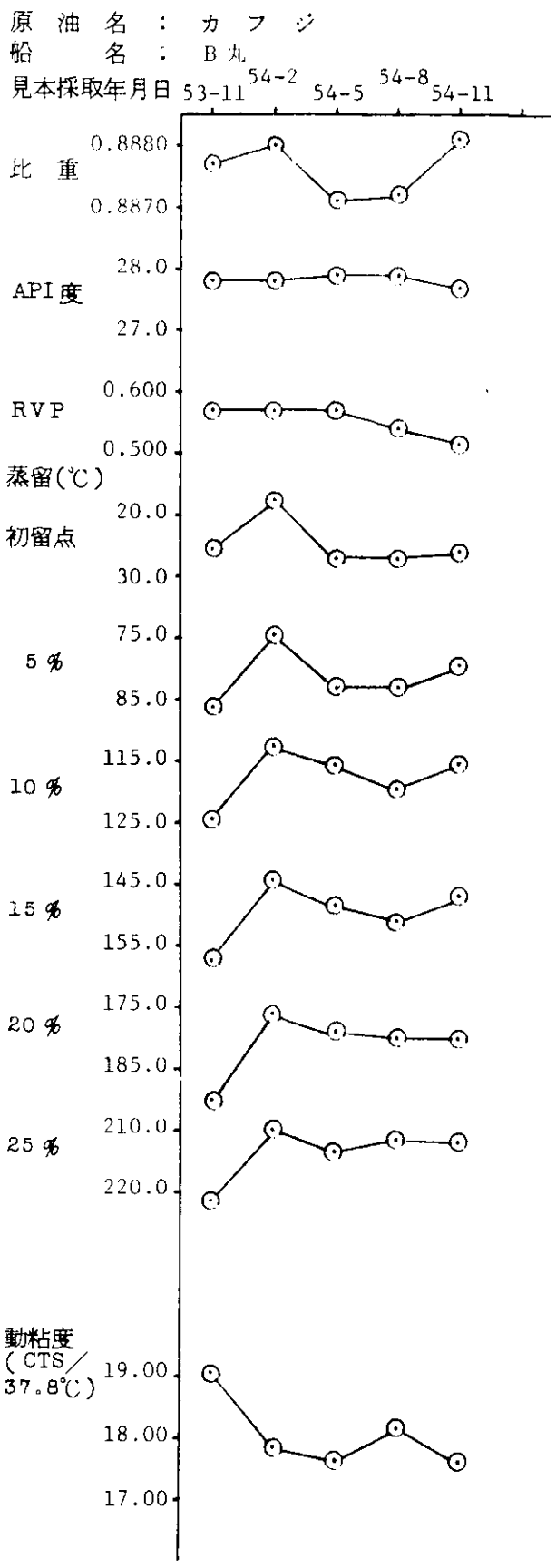
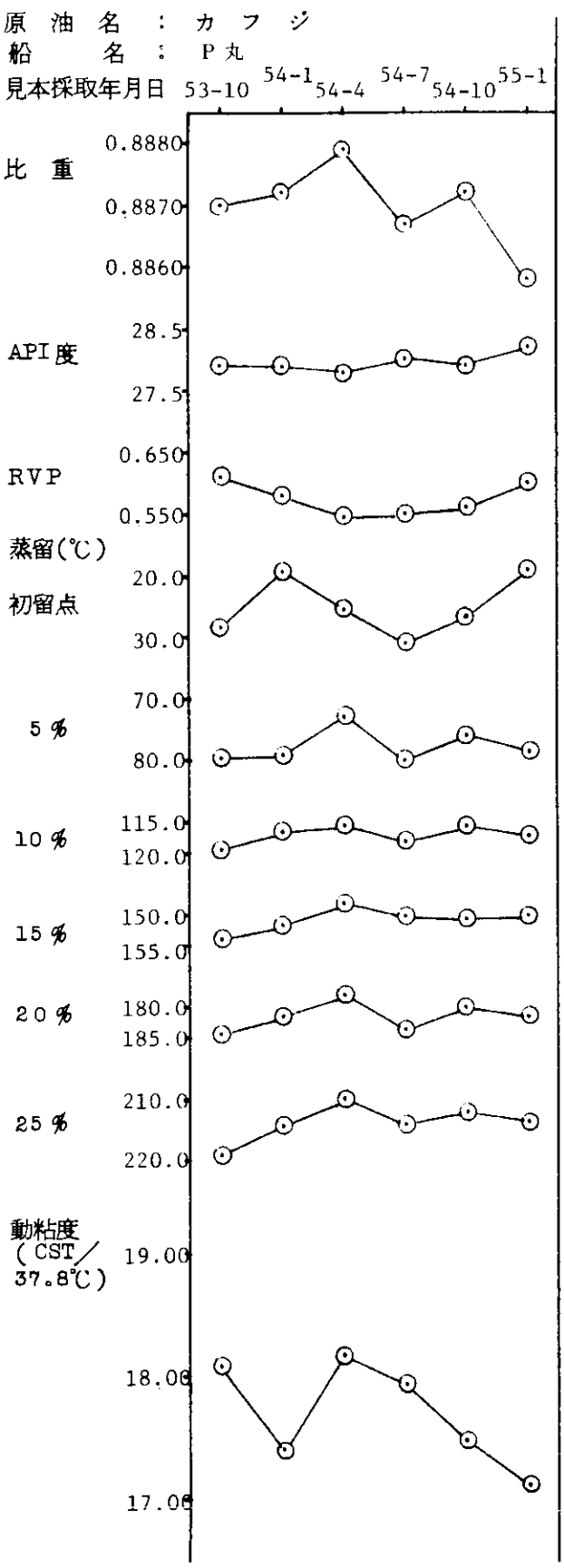
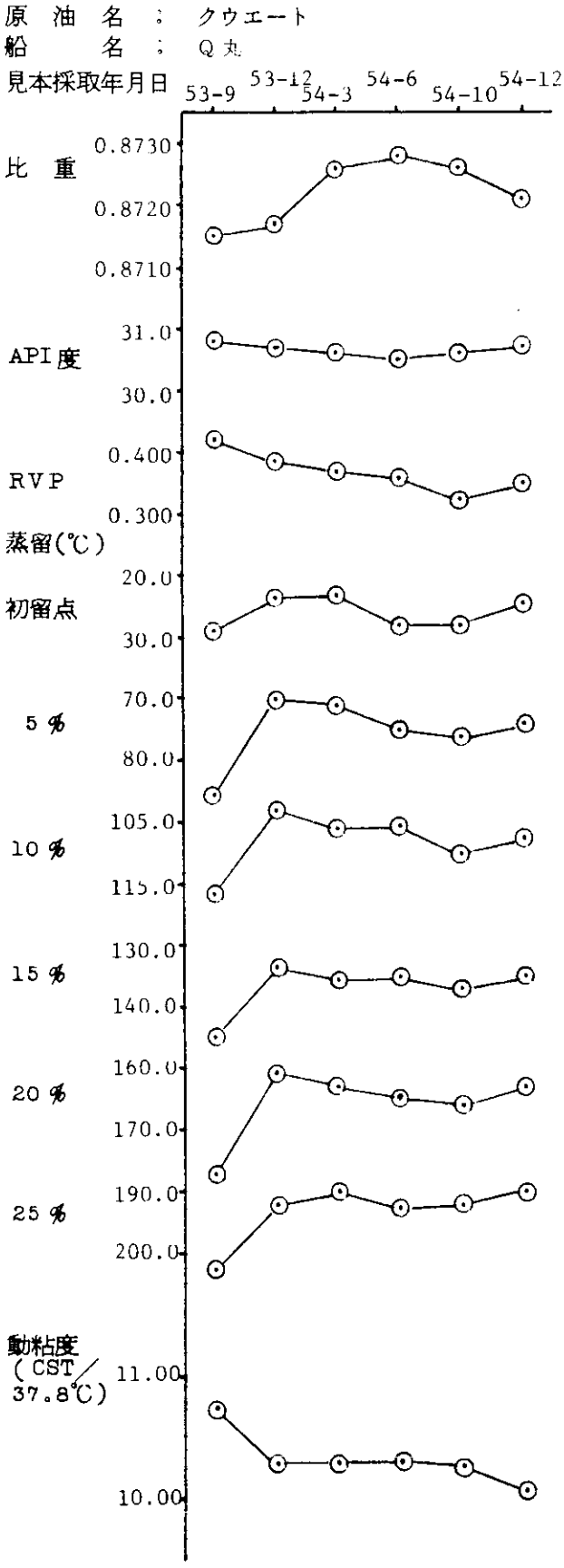

原 油 名 ： カ フ ジ
船 名 ： B 丸
見本採取年月日
53-11
54-2
54-5
54-8
54-11
比 重
0.8880
0.8870
API度
28.0
27.0
RVP
0.600
0.500
蒸留(℃)
初留点
20.0
30.0
5 %
75.0
85.0
10 %
115.0
125.0
15 %
145.0
155.0
20 %
175.0
185.0
25 %
210.0
220.0
動粘度
(CTS／
37.8℃)
19.00
18.00
17.00

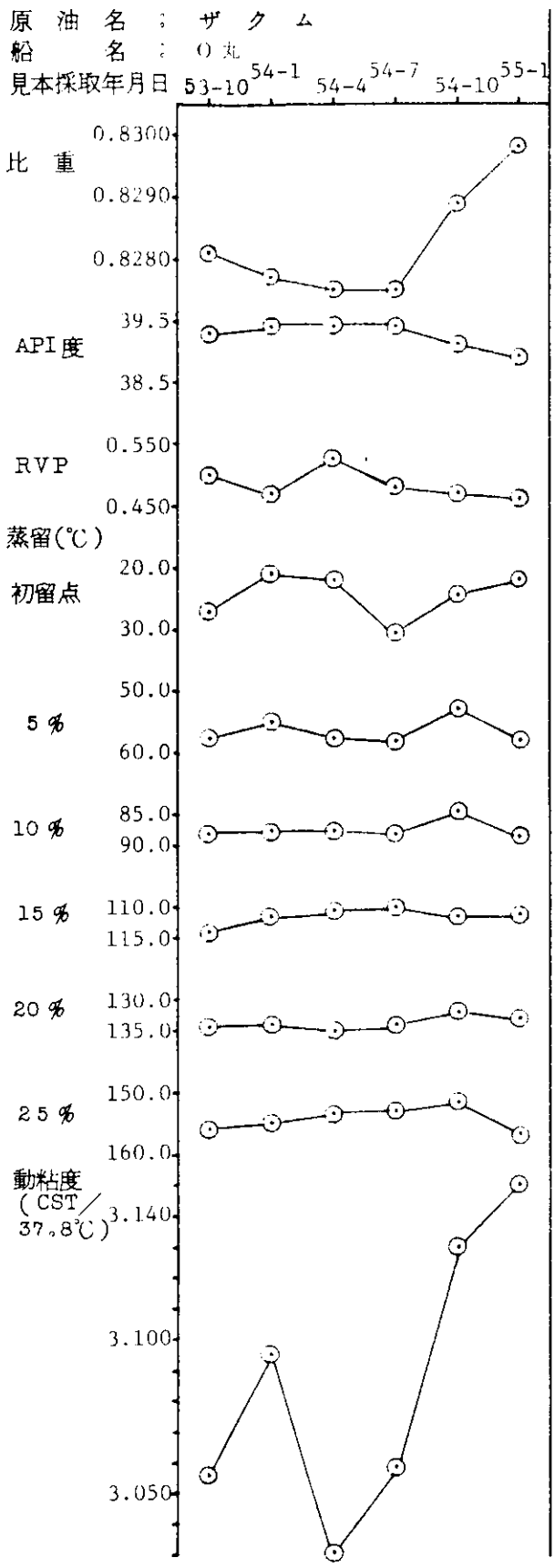
図 － 3. 4. 12


原油名：カフジ
船名：P丸
見本採取年月日
53-10
54-1
54-4
54-7
54-10
55-1
比重
0.8880
0.8870
0.8860
API度
28.5
27.5
RVP
0.650
0.550
蒸留(℃)
初留点
20.0
30.0
5%
70.0
80.0
10%
115.0
120.0
15%
150.0
155.0
20%
180.0
185.0
25%
210.0
220.0
動粘度
(CST/37.8℃)
19.00
18.00
17.00

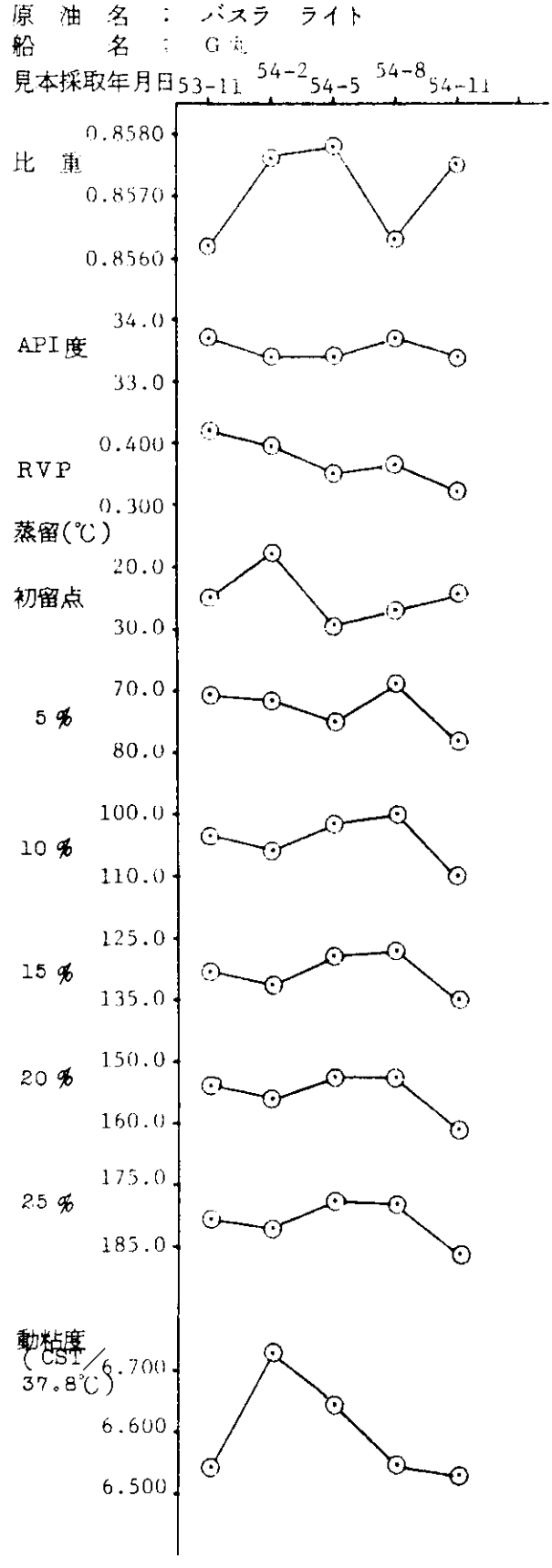
図－3.4.13


原油名：クウエート
船名：Q丸
見本採取年月日
53-9
53-12
54-3
54-6
54-10
54-12
比重
0.8730
0.8720
0.8710
API度
31.0
30.0
RVP
0.400
0.300
蒸留(℃)
初留点
20.0
30.0
5%
70.0
80.0
10%
105.0
115.0
15%
130.0
140.0
20%
160.0
170.0
25%
190.0
200.0
動粘度
(CST/37.8℃)
11.00
10.00

図－3.4.14


原油名：ザクム
船名：O丸
見本採取年月日
53-10
54-1
54-4
54-7
54-10
55-1
比重
0.8300
0.8290
0.8280
API度
39.5
38.5
RVP
0.550
0.450
蒸留(℃)
初留点
20.0
30.0
5%
50.0
60.0
10%
85.0
90.0
15%
110.0
115.0
20%
130.0
135.0
25%
150.0
160.0
動粘度
(CST/37.8℃)
3.140
3.100
3.050

図－3.4.15


原油名：バスラ ライト
船名：G丸
見本採取年月日
53-11
54-2
54-5
54-8
54-11
比重
0.8580
0.8570
0.8560
API度
34.0
33.0
RVP
0.400
0.300
蒸留(℃)
初留点
20.0
30.0
5%
70.0
80.0
10%
100.0
110.0
15%
125.0
135.0
20%
150.0
160.0
25%
175.0
185.0
動粘度
(CST/37.8℃)
6.700
6.600
6.500

図－3.4.16

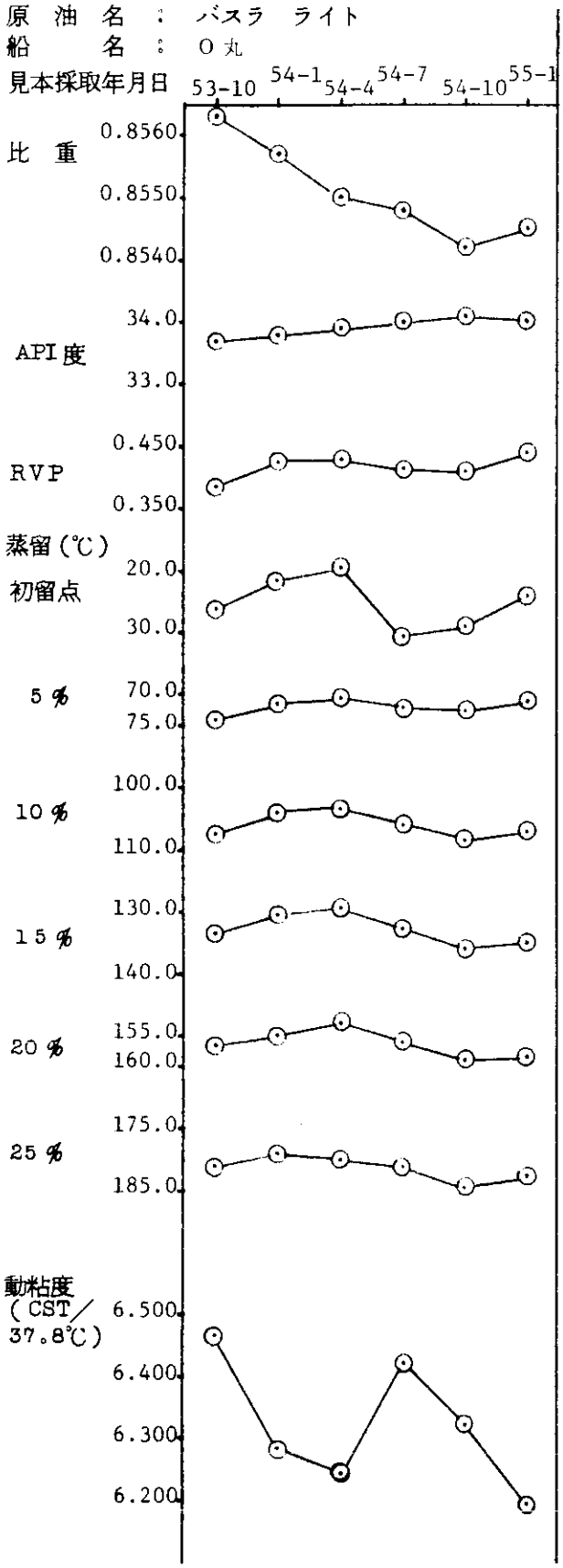

原 油 名 ： バスラ ライト
船 名 ： O 丸
見本採取年月日
53-10
54-1
54-4
54-7
54-10
55-1
比 重
0.8560
0.8550
0.8540
API度
34.0
33.0
RVP
0.450
0.350
蒸留(℃)
初留点
20.0
30.0
5 %
70.0
75.0
10 %
100.0
110.0
15 %
130.0
140.0
20 %
155.0
160.0
25 %
175.0
185.0
動粘度
(CST／
37.8℃)
6.500
6.400
6.300
6.200

図 — 3. 4. 17

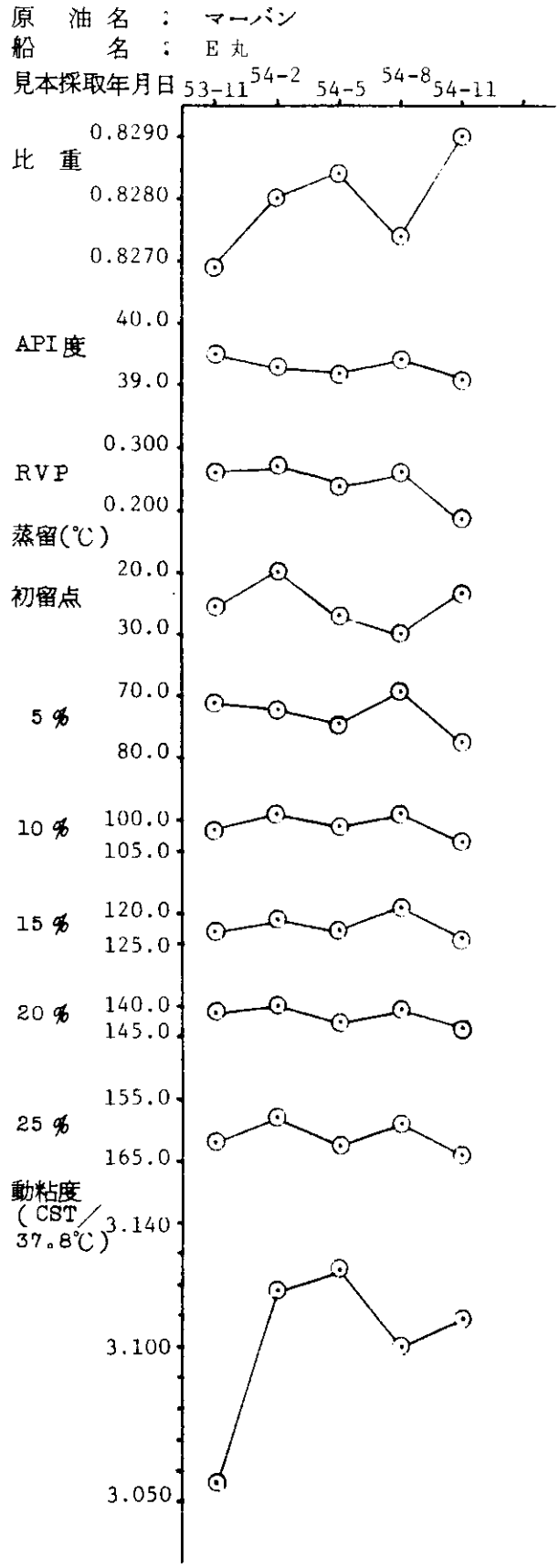

原 油 名 ： マーバン
船 名 ： E 丸
見本採取年月日
53-11
54-2
54-5
54-8
54-11
比 重
0.8290
0.8280
0.8270
API度
40.0
39.0
RVP
0.300
0.200
蒸留(℃)
初留点
20.0
30.0
5 %
70.0
80.0
10 %
100.0
105.0
15 %
120.0
125.0
20 %
140.0
145.0
25 %
155.0
165.0
動粘度
(CST／
37.8℃)
3.140
3.100
3.050

図 — 3. 4. 18

3.5 ベーパー発生に関する基礎的データの調査

3.5.1 実験の目的

ベーパー発生に関する基礎的資料の一つとして各原油の真蒸気圧（True Vapor Pressure）と温度の連続的変化を知ることは備蓄船からの原油ベーパー発生機構を知る上で重要な要因の一つであろう。

炭化水素それぞれ固有の真蒸気圧はいうまでもなく文献等に相当詳細に収録されているが、各炭化水素の混合体である原油ベーパーの真蒸気圧の測定は余り行なわれた形跡がない。

ここでは、各油種別にリード法による蒸気圧と温度の関係及びRVPに基つく真蒸気圧値を調べた。

3.5.2 実験の方法

各原油のリード蒸気圧（RVP，37.8℃）及びリード法による20℃、50℃の蒸気圧をJIS K 2258「石油製品蒸気圧試験方法」で規定されている方法で測定した。また原油の真蒸気圧を直接測定することは非常に困難なので API Technical Data Book 所載の“原油・蒸気圧－温度関係図”を利用して各原油の真蒸気圧を推定した。

3.5.3 実験の結果

各油種、各温度の蒸気圧測定値及びTVP換算値は表3.5.1及び図3.5.1～図3.5.5のとおりである。

表 3. 5. 1

原油名	船名	20℃		37.8℃		50℃	
		リード法による蒸気圧	TVP換算値	RVP	TVP換算値	リード法による蒸気圧	TVP換算値
アラビアン ヘビー	C 丸	0.260	0.245	0.375	0.430	0.455	0.615
アラビアン ライト	Q 丸	0.200	0.185	0.300	0.335	0.360	0.485
アラビアン ライト ベリー	C 丸	0.200	0.190	0.305	0.340	0.395	0.490
イラニアン ヘビー	E 丸	0.225	0.190	0.305	0.340	0.350	0.490
イラニアン ライト	J 丸	0.305	0.285	0.420	0.490	0.480	0.705
ウム シャイフ	B 丸	0.285	0.285	0.420	0.490	0.500	0.705
オーマンエキスポートブレンド	G 丸	0.180	0.165	0.275	0.300	0.350	0.445
カタール マリン	P 丸	0.225	0.205	0.325	0.370	0.485	0.525
カフジ	B 丸	0.360	0.370	0.515	0.635	0.620	0.880
クウェート	Q 丸	0.230	0.220	0.345	0.395	0.430	0.565
ザクム	O 丸	0.315	0.300	0.440	0.520	0.525	0.730
バヌラライト	G 丸	0.210	0.205	0.320	0.365	0.410	0.525
マーバン	E 丸	0.130	0.105	0.185	0.195	0.215	0.295

注） 圧力単位 ： Kg／cm²

TVP ： 真蒸気圧（Kg／cm²）、API Technical Data Book 5－27、1966 原油 蒸気圧－温度関係図を用いて換算したもの。

見本採取場所及び年月日 ：

J 丸 ： 橘湾、54-11-16

G 丸 ： 橘湾、54-11-19

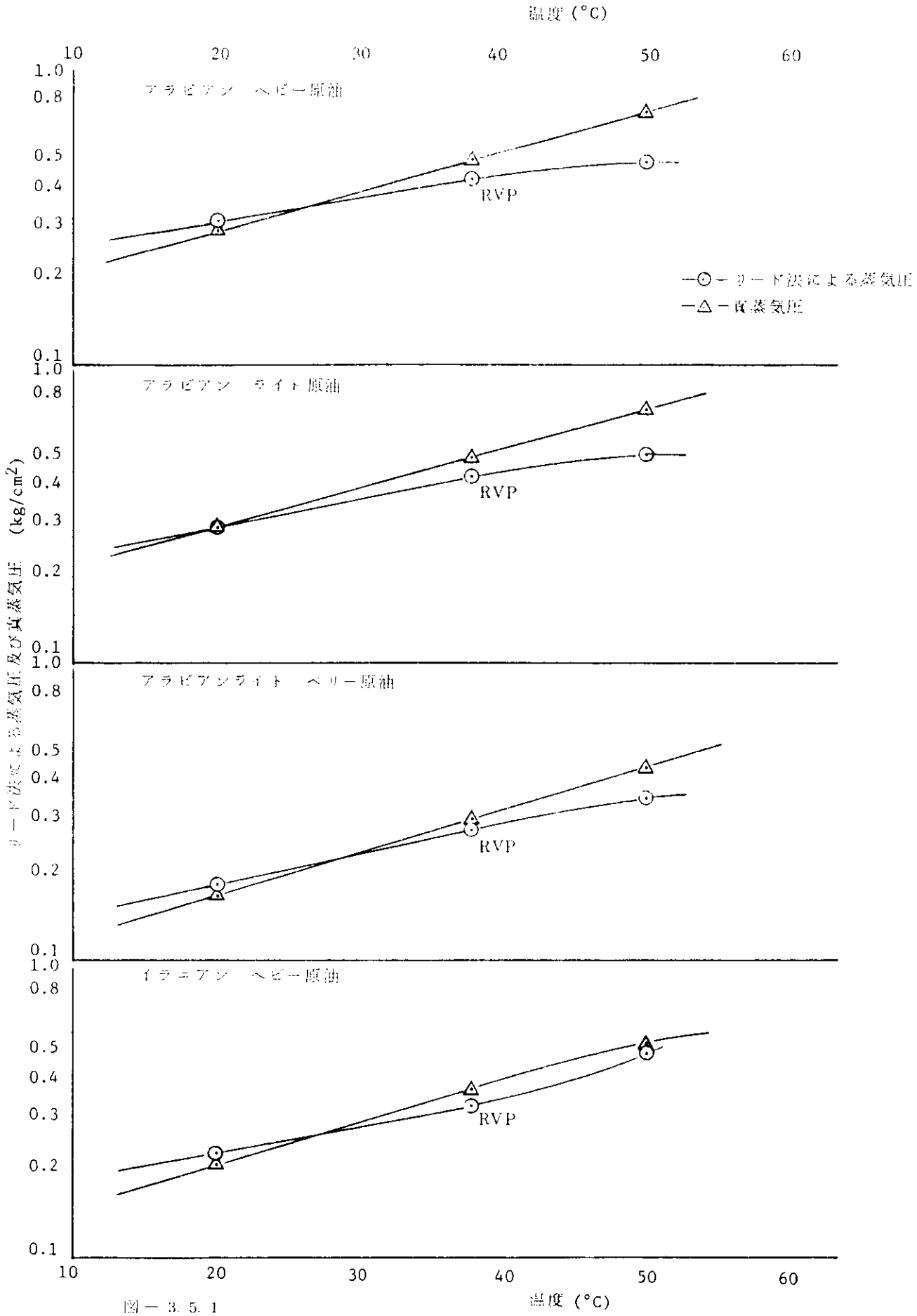
C 丸、E 丸 ： 橘湾、54-11-20
B 丸 ： 橘湾、54-11-21
Q 丸 ： 徳山、54-10- 1
O 丸 ： 大分、54-10-13
P 丸 ： 大分、54-10-26

3.5.4 考 察

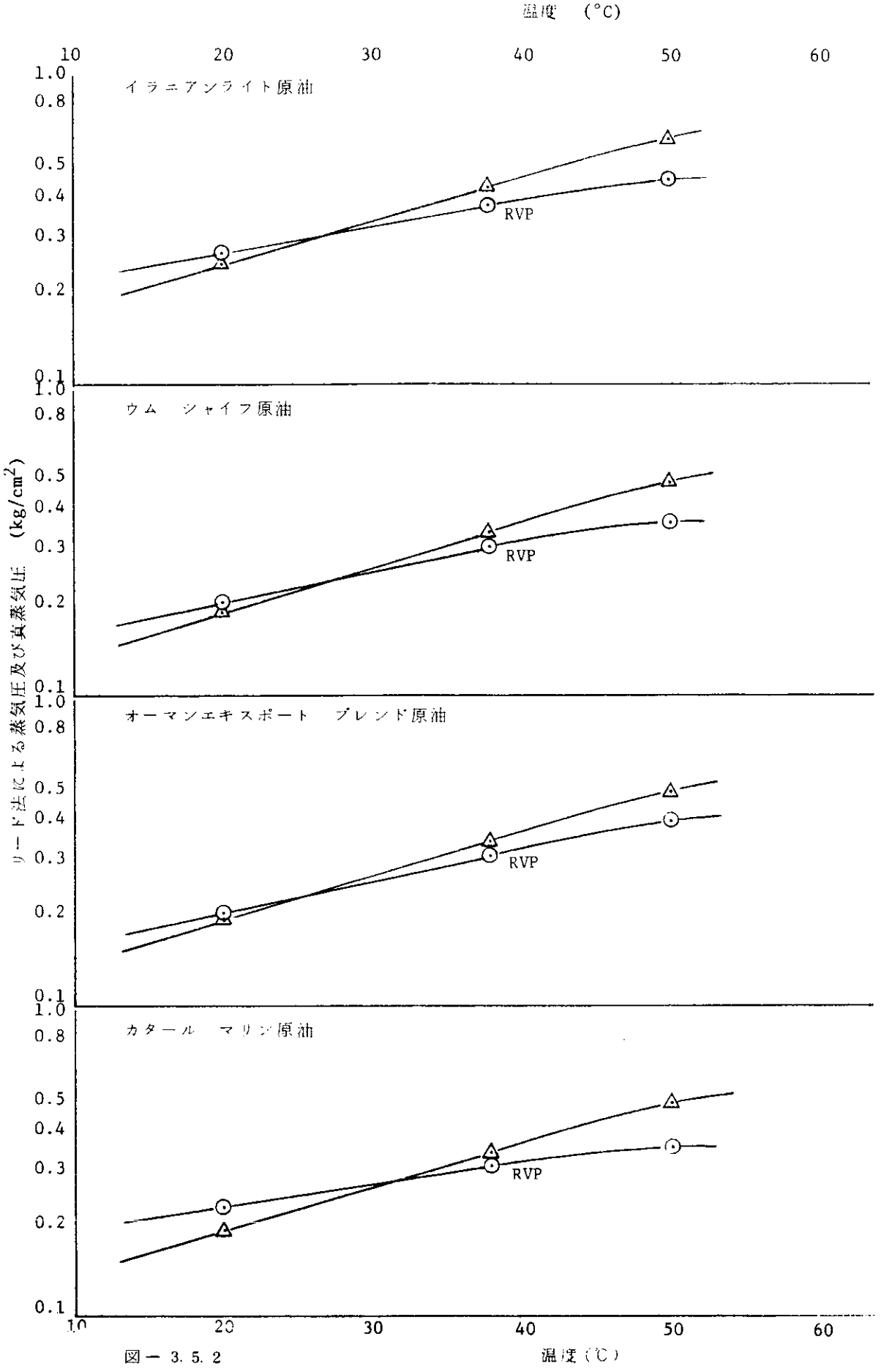
(1) 各原油においてリード法による蒸気圧が真蒸気圧よりも大きくなる部分が図にみられる。
これは発生したベーパーの組成、ひいては原油の特質、性状に因るところが大であると考えられる。
（例 マーバン原油とカフジ原油の蒸気圧曲線）

(2) マーバン原油を除く各原油は約１５℃以上の温度においてリード法による蒸気圧及び真蒸気圧共約0.15Kg／cm²以上の圧力を示しているが実船においては当然温度（油温、油表面温度、アレージスペース温度）が１５℃以下であることは稀である。しかるにベーパーの恒常的連続的排出が見られない。

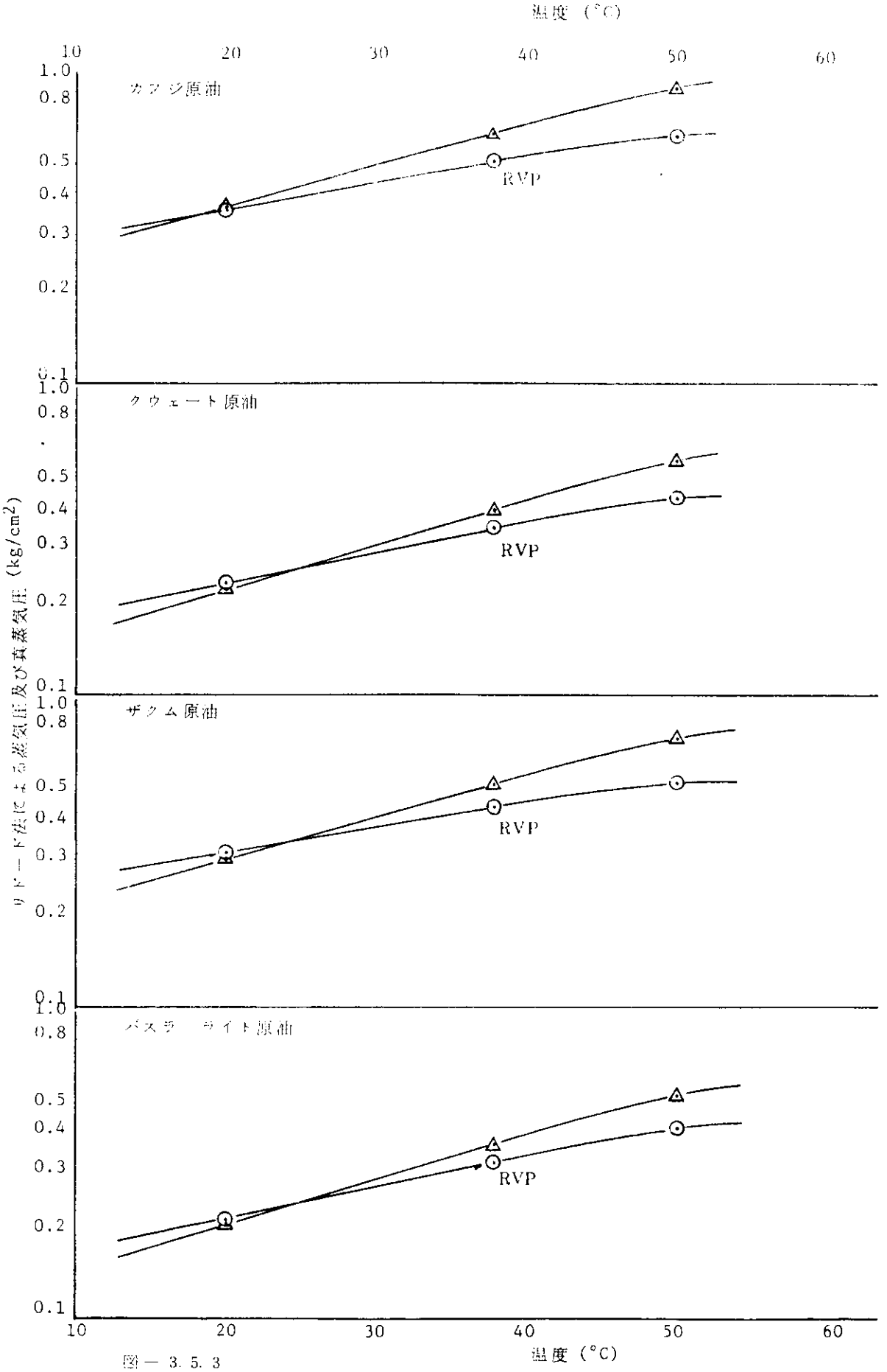
(3) これはタンク内の空気の分圧が既に1.0Kg／cm²よりも少なく、また原油ベーパーもアレージスペース内において飽和もしくは過飽和状態にあって両者の分圧の和が現状のタンク圧（大気圧に近い圧力）であると理解される。


温度（°C）
10
20
30
40
50
60
1.0
0.8
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
アラビアン　ヘビー原油
アラビアン　ライト原油
アラビアンライト　ヘリー原油
イラニアン　ヘビー原油
RVP
—⊙—リード法による蒸気圧
—△—真蒸気圧
リード法による蒸気圧及び真蒸気圧　(kg/cm²)

図－3.5.1


温度 (°C)
10
20
30
40
50
60
イラニアンライト原油
ウム シャイフ原油
オーマンエキスポート ブレンド原油
カタール マリン原油
RVP
1.0
0.8
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
リード法による蒸気圧及び真蒸気圧 (kg/cm²)

図－ 3. 5. 2


温度（°C）
10
20
30
40
50
60
1.0
0.8
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
カフジ原油
RVP
クウェート原油
RVP
ザクム原油
RVP
バスラ ライト原油
RVP
リード法による蒸気圧及び真蒸気圧（kg/cm²）
温度（°C）

図－3.5.3

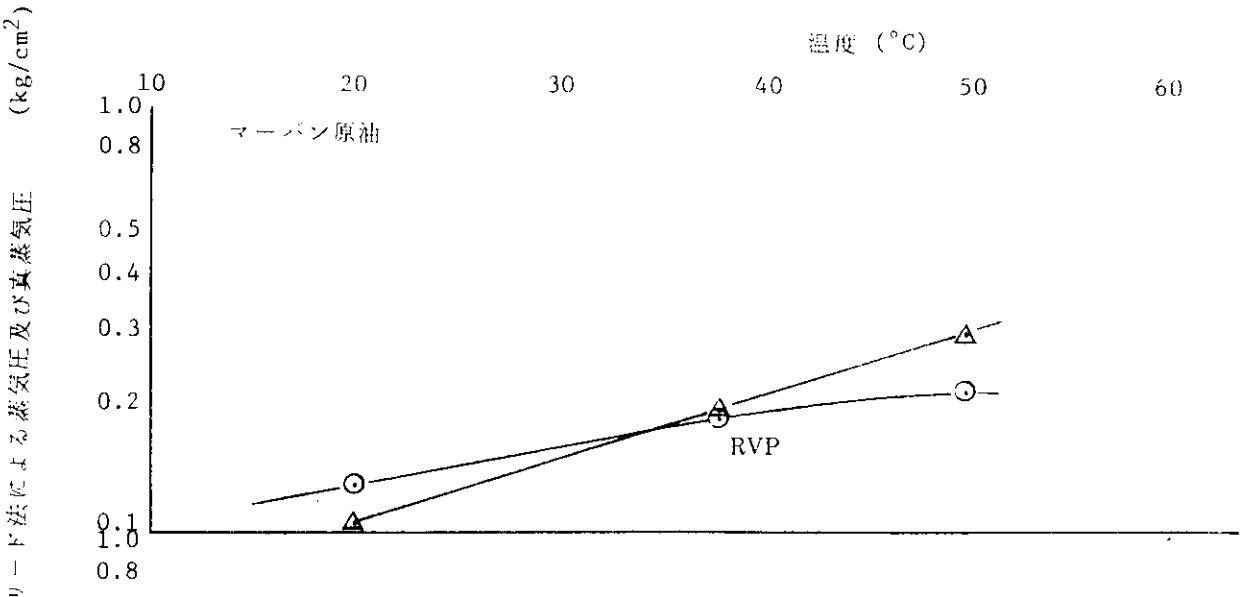
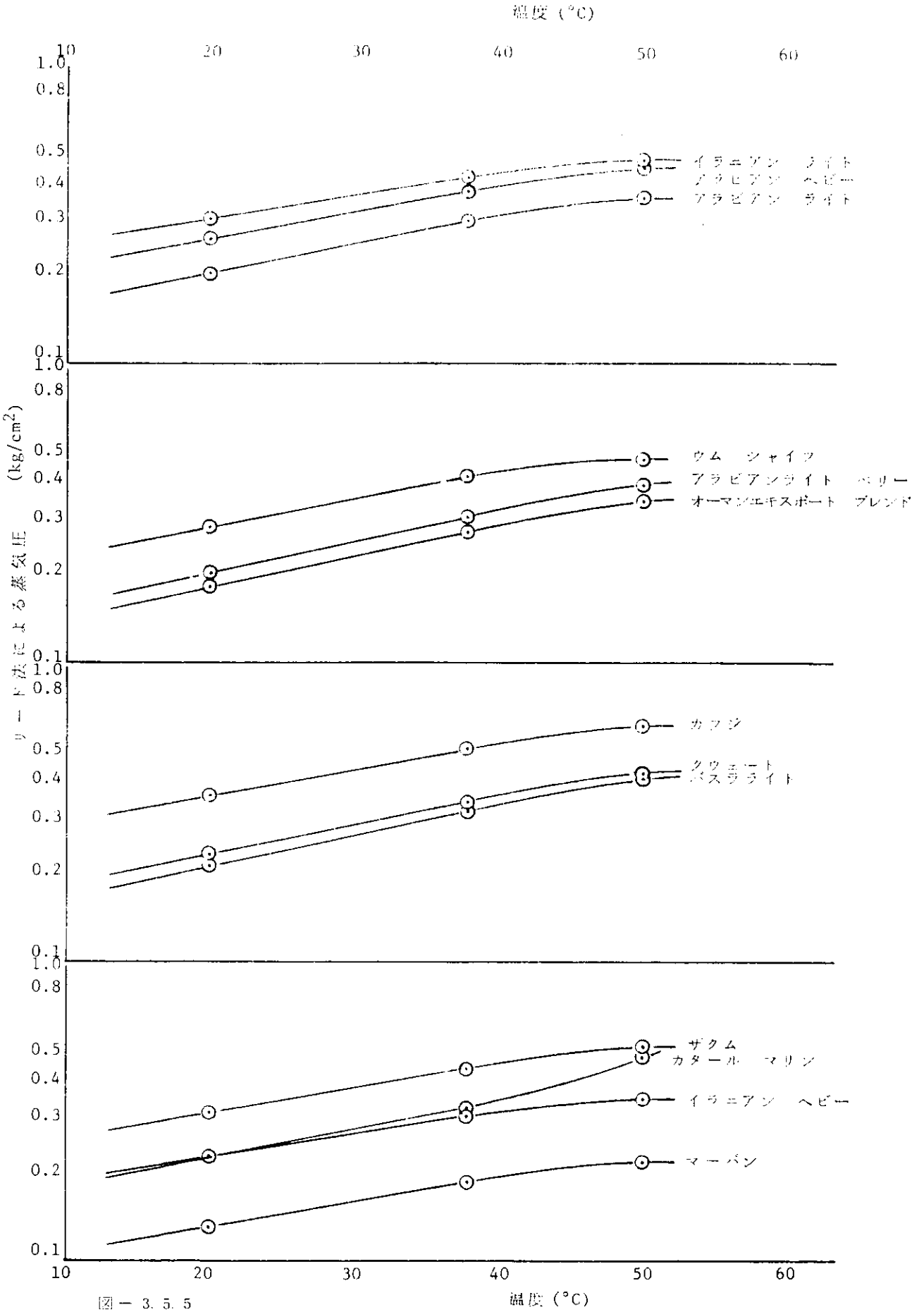

リード法による蒸気圧及び真蒸気圧 (kg/cm²)
温度 (°C)
10
20
30
40
50
60
1.0
0.8
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
1.0
0.8
マーバン原油
RVP

図 — 3. 5. 4


温度（°C）
10
20
30
40
50
60
1.0
0.8
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
イラニアン　ライト
アラビアン　ヘビー
アラビアン　ライト
ウム　シャイフ
アラビアンライト　ヘリー
オーマンエキスポート　ブレンド
カフジ
クウェート
バスラライト
ザクム
カタール　マリン
イラニアン　ヘビー
マーバン
リード法による蒸気圧（kg/cm²）

図－3.5.5

3.6 備蓄タンカーにおける実験

3.6.1 実験の目的

タンカーからのベーパー発生防止のために通常行なわれている上甲板への散水の効果及び上甲板の塗装色の影響を確認するため実験を行った。

3.6.2 実験の方法

橘湾の錨泊備蓄タンカーのうちから、独立ベント方式のE丸とF丸を選定のうえ各船の2タンクを使用しベーパー発生量の多い夏季期間中次の比較実験を行った。

尚、実験に際し計測した事項及び計測方法については、3.3章「石油備蓄タンカーでのベーパー発先量の調査」の場合と同様である。

㊟ 油面温度の測定

ベーパー発生の主要因である油面温度の測定は重要な計測であった。しかし、実際には油面上の温度が油温からガス温へと急激に変化していること、及び、センサーの測定範囲が広域であったことから2隻の測温結果にはある程度の誤差が入っていると推測された。

(1) 実験タンク、タンクコンディションの同一性判定

今回の実験は各船の2タンクを使用しての比較実験であるため、同一条件下において2タンクの計測値がほぼ同一であることが必要である。

そこで特定日の0600～1800間 各船の2タンクで計測し各タンクコンディションがほぼ同一であるかを実験した。

(2) 上甲板散水の効果

次の2方法により散水の効果を実験した。

(a) ブリザーバルブ作動直前からの散水の効果の実験

天候の良好な日、0600より2タンク計測を開始し、タンク内圧が1200㎜Aqを超えてから一方のタンクの甲板上に散水しその効果を観察した。

(b) 終日散水の効果の実験

天候の良効な日、0600～1800間

1方のタンクは散水せず、1方のタンクは終日散水し、その効果を観察した。

(3) 上甲板塗色の変化による影響の実験

上甲板を白、灰、黒、赤(錆色)、緑に塗装し塗色による影響を比較した。

各色の比較をすべて行うためには、10回の比較実験が必要であり、塗装作業を軽減するため、便宜的に白を基準とし、夫々白－黒、白－灰、白－赤、白－緑の比較を行い、この結果から各色の比較を行うこととした。

又、実験は各比較ごとに晴天の日と、曇天の日の2日間実施した。

3.6.3 実験実施概要

(1) E 丸

(a) 実験油種　イラニアンヘビー原油(RVP 0.50 Kg/cm²)

(b) 実験タンク

№4	Sタンク	タンク容積	17,140.4 m³
		アレージスペース	544.6 m³
№4	Pタンク	タンク容積	17,140.4 m³
		アレージスペース	515.9 m³

(c) 実験日程

7月19日　実験タンクの同一性の判定実験

7月20日　上甲板散水の効果の実験

1タンク途中から散水

7月22日　上甲板散水の効果の実験

1タンク終日散水

7月24日　上甲板塗色変化の実験（白－灰　晴天日）

7月26日・27日　〃　（白－灰　曇天日）

7月31日　〃　（白－黒　晴天日）

8月　5日　〃　（白－黒　曇天日）

(2) F　丸

(a) 実験油種　バスラ原油（RVP　0.59 Kg／cm²）

(b) 実験タンク

No.2　Sタンク　タンク容積　18,047 m³

アレージスペース　595 m³

No.6　Sタンク　タンク容積　17,221 m³

アレージスペース　581 m³

(c) 実験日程

7月23日　実験タンク同一性の判定実験

7月24日　上甲板散水の効果の実験

1タンク終日散水

7月25日　上甲板散水の効果の実験

1タンク途中より散水

7月27日　上甲板塗色変化の実験（白－緑　曇天日）

7月28日　〃　（白－緑　晴天日）

7月31日　〃　（白－赤　晴天日）

8月　7日　〃　（白－赤　曇天日）

3.6.4 実験結果の解析

(1) 全般的所見

(a) 各原油は次のような条件下で原油ガスの大気放出現象が発生している。

ただし、これら原油はPG積載後10月経過したものであることに留意する必要がある。

		イラニアンヘビー原油	バスラ原油
アレージスペース温度		47 ～ 52 ℃	45 ～ 50 ℃
油面温度		27 ～ 32 ℃	35 ～ 40 ℃
大気温度	晴天日	30 ～ 31 ℃	30 ～ 32 ℃
	曇天日	29 ℃	32 ～ 33 ℃
上甲板温度	晴天日	57 ℃	54 ～ 57 ℃
	曇天日	53 ℃	46 ～ 51 ℃

(b) 各原油に共通していることは

i) 晴天、曇天に拘らず大気温度が30℃程度

ii) 上甲板の温度が

晴天の場合　55℃以上

曇天の場合　50℃以上

iii) アレージスペース温度が　45～50℃以上

vi) 油面温度が35℃以上

となった場合、ブリザーバルブからガス放出がなされたといえる。

このような条件下になるのはこの季節においては午後1時から午後5時ぐらいの間である。

(c) 油面温度は、バスラ原油の方が8℃程度高くなっているが、これは油面（油とガス相の接触面）の温度計測はかなり難かしく誤差が表われていることによると推測される。

(d) 上甲板の温度は、晴天日の方が高い。

晴天の場合、輻射熱により上甲板の温度は急激に高くなるが、タンク内のアレージスペースの温度上昇は追随が遅れ、位相を正じている。

(2) 実験タンクの同一性判定実験

(a) F　丸

上甲板温度、アレージスペース温度、油面温度、タンク内圧の変化をグラフで表わしたものが図3.6.1である。

№2S、№6Sタンクを比較した場合

上甲板温度差	概ね3℃以内
アレージスペース温度差	〃
油面温度差	〃
タンク内圧	概ね50㎜Aq以内

となっており、ほぼ同一のタンクコンディションにあると判定出来た。

(b) E　丸

上甲板温度、アレージスペース温度、油面温度、タンク内圧の変化をグラフで表わしたものが図3.6.2である。

№4S、№4Pタンクを比較した場合

上甲板温度差	1℃以内
アレージスペース温度差	〃
油面温度差	〃
タンク内圧	概ね90㎜Aq以内

となっており、ほぼ同一のコンディションにあると判定出来た。

(3) 上甲板散水の効果の実験

上甲板散水の効果を容易に比較するため、各実験につき、タンク内圧、上甲板温度、アレージスペース温度、油面温度をグラフで表わした。

(a) ブリザーバルブ作動直前からの散水の効果の実験

i) F　丸　（図3.6.3）

天候は晴ときどき曇りの状況下で実験を行った。№6Sタンクが1250㎜Aqを記録した時点で同タンクの甲板上を散水したが、その効果は非常に顕著に表われた。

散水開始後、特に、上甲板温度が急速に下降し、それに伴いアレージスペース温度、タンク内圧も下降した。

ii) E　丸　（図3.6.4）

天候は晴ときどき曇りの状況下で実験を行った。

№4Pタンクが1320㎜Aqを記録した時点で、同タンクの甲板上を散水した。

散水開始後15分間程度はそれまで上昇してきた上甲板、アレージスペース温度、タンク内圧が一定となり、その後急速に下降した。

F丸の場合、散水後測定値は急速に下降したが、E丸の場合15分間程度の遅れが観測された。

(b) 終日散水の効果の実験

i) F　丸　（図3.6.5）

天候は晴ときどき曇りの状況下で実験を行った。

終日散水を行った№6Sタンクは

上甲板温度	最高	28.5℃
アレージスペース温度	〃	35℃

までしか上昇せず、又、タンク内圧は終日負圧状態であり0600～1800間の変化量はわずか300㎜Aqであった。

一方、散水しなかった№2Sタンクは

上甲板温度	最高	65℃
アレージスペース温度	〃	53℃

まで上昇し、又タンク内圧は1300以降1400㎜Aqを超え、ブリザーバルブより石油ガスが放出された。

ii) E　丸　（図3.6.6）

天候は晴ときどき曇りの状況下で実験を行った。

終日散水を行った№4Pタンクは

上甲板温度	最高	31℃
アレージスペース温度	〃	32.5℃

までしか上昇せず、又タンク内圧は最高で780㎜Aqであり、0600～1800間の変化量は780㎜Aqであった。

一方散水しなかった№4Sタンクは

上甲板温度	最高	52.5℃
アレージスペース温度	〃	47℃

まで上昇し、又タンク内圧は1500以降1400㎜Aqを超え、ブリザーバルブより石油ガスが放出された。

iii) 考　察

イ) いずれの実験結果からも散水の効果が顕著に認められた。

ロ) ベーパー発生防止上の散水という点から考えれば、タンク内圧を測定して、ブリザーバルブの設定圧（1400㎜Aq）に近づいた時点で散水を開始すれば、その効果を十分活用出来る。

ハ) 実験した2隻の石油備蓄タンカーでは日本の夏季期間中は午後の間だけ散水を行なえばベーパーが放出されることはない。

(4) 上甲板塗色による影響

(a) 晴天時における計測結果の取纏め

表 3. 6. 1

	F 丸		E 丸	
大気温度	27.5～33℃	26.5～34.0	25.0～31.5	25.0～32.0
比較色	白／赤	白／緑	白／黒	白／灰
上甲板温度（℃）	24.0-40.0 / 25.0-58.4	24.0-43.0 / 25.0-55.8	24.0-43.0 / 26.0-62.5	25.0-43.0 / 26.0-58.2
アレージスペース温度（℃）	25.5-37.3 / 27.5-53.0	25.5-36.0 / 27.2-50.6	26.0-40.0 / 30.0-59.5	27.0-40.0 / 28.5-53.0
油面温度（℃）	22.0-31.3 / 29.3-37.4	27.5-31.2 / 28.5-37.5	28.0-30.0 / 32.0-35.0	28.0-30.0 / 30.5-32.0
タンク内圧（mmAQ）	120-950 以上 / 330-1400	370-980 以上 / 360-1400	0-1070 以上 / -260-1400	220-1210 以上 / 100-1400

(b) 曇天時における計測結果の取纏め

表 3. 6. 2

	F 丸		E 丸	
大気温度	27.0～33.0℃	28.5～34.0	26.5～29.5	25.5～32.5
比較色	白／赤	白／緑	白／黒	白／灰
上甲板温度（℃）	25.0-32.0 / 24.5-51.0	25.5-42.0 / 25.5-48.0	26.0-37.5 / 27.0-53.5	26.0-38.0 / 27.0-45.0
アレージスペース温度（℃）	25.5-34.4 / 26.5-45.7	26.8-33.6 / 26.8-44.5	26.0-36.0 / 28.0-51.5	28.0-36.0 / 30.0-43.8
油面温度（℃）	26.8-29.5 / 27.8-33.5	27.7-30.2 / 27.8-35.3	28.0-29.5 / 30.0-31.0	29.2-31.0 / 31.5-33.0
タンク内圧（mmAQ）	240-880 以上 / 190-1400	170-500 以上 / 310-1400	300-1000 以上 / -100-1450	415-940 以上 / 90-820

(c) 各比較実験における計測値の変化をみるためにグラフで表わした結果は次の通りである。

	比較色	各タンク変化	図番号
晴天の場合	白と赤	白	図 3. 6. 7
		赤	図 3. 6. 8
	白と緑	白	図 3. 6. 9
		緑	図 3. 6. 10
	白と黒	白	図 3. 6. 11
		黒	図 3. 6. 12
	白と灰	白	図 3. 6. 13
		灰	図 3. 6. 14

	比較色	各タンク変化	図番号
晴天の場合	白と赤	白	図 3.6.15
		赤	図 3.6.16
	白と緑	白	図 3.6.17
		緑	図 3.6.18
	白と黒	白	図 3.6.19
		黒	図 3.6.20
	白と灰	白	図 3.6.21
		灰	図 3.6.22

又、グラフで図示した計測値は大気温度、上甲板温度、アレージスペース温度のみとした。（タンク内圧については原油の性状により変化することから、比較する場合に適当でなく除外した。）

(d) (a)、(b)、(c)よりの考察

上甲板塗色によるベーパー発生への影響がかなり顕著に表われている。

特に白色塗装した場合、ベーパー発生防止上有効であり、晴天、曇天に拘らず、外気が35℃程度まで上昇してもタンク内圧は概ね1000㎜Aq以下におさえられており、ブリザーバルブからのガス放出がない。

晴天日と曇天日を比較した場合明らかに晴天日の方がベーパー発生が促進されるが、曇天日といえども各温度はかなり上昇し、白色、灰色塗装をしている場合を除きブリザーバルブが作動し、ガスが放出されている。

これは逆にいえば、曇天であっても夏季においては、白色（灰色）塗装をしている場合を除き散水をする必要があるということである。

(e) 各塗色の影響の比較

図3.6.7～図3.6.22により各塗色の白色塗装との比較は明瞭であるが、各塗色（赤、緑、灰、黒）の比較実験は行っていないので、これの比較は難かしい。

今ここで、両船の原油に関係なく、各塗色の影響が比較出来ると考えられる上甲板温度とアレージスペース温度につき、白色塗装した場合との差を算出してみた。（表3.6.3　表3.6.4）

（タンク内圧での比較はE丸とF丸の積載原油が異なるため、又、油面温度での比較は、両船での測定点が多少異なっていると推測されたため利用しなかった。）

表3.6.3　各塗色による温度差（晴天の場合）

時間	白と赤の比較			白と緑の比較			白と黒の比較			白と灰の比較		
	白色塗装の上甲板温度	上甲板温度差	アレージスペースの温度差	白色塗装の上甲板温度	上甲板温度差	アレージスペースの温度差	白色塗装の上甲板温度	上甲板温度差	アレージスペースの温度差	白色塗装の上甲板温度	上甲板温度差	アレージスペースの温度差
	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃
0600	24.0	1.0	2.0	24.0	1.0	2.0	24.0	2.0	4.0	25.0	1.0	1.5
0700	24.5	1.5	2.0	24.5	1.5	2.0	26.0	2.0	3.2	27.0	0.5	2.0
0800	25.2	3.8	2.8	25.5	4.0	2.8	28.0	4.0	3.0	29.0	1.5	2.0
0900	27.5	5.6	5.1	31.0	4.0	4.7	32.0	6.0	6.5	33.0	3.5	1.0
1000	31.0	8.6	7.8	33.5	8.5	7.5	36.2	9.3	9.5	36.0	6.0	4.5
1100	33.8	12.6	10.7	37.5	11.5	9.1	39.0	12.5	12.2	37.0	9.5	8.5
1200	37.2	14.6	12.7	42.7	11.3	12.8	41.8	16.7	14.8	41.0	11.0	10.5
1300	39.5	15.9	14.5	43.0	12.8	13.5	43.0	18.0	16.5	43.0	13.2	10.0
1400	40.0	17.1	14.9	39.8	11.2	15.3	43.0	19.5	19.0	43.0	14.2	11.5
1500	40.6	17.8	15.7	39.7	11.5	14.8	41.5	20.5	19.5	42.8	15.4	12.0
1600	40.0	16.2	15.7	40.5	11.7	14.7	39.5	19.5	19.5	40.5	13.5	13.0
1700	37.1	14.4	14.9	38.5	12.1	14.7	37.5	17.0	19.0	37.2	11.6	12.0
1800	35.0	12.0	13.5	34.0	11.5	13.5	35.5	15.0	18.5	35.0	11.0	10.5

表3.6.4　各塗色による温度差（炎天の場合）

時間	白と赤の比較			白と緑の比較			白と黒の比較			白と灰の比較		
	白色塗装の上甲板温度	上甲板温度差	アレージスペースの温度差	白色塗装の上甲板温度	上甲板温度差	アレージスペースの温度差	白色塗装の上甲板温度	上甲板温度差	アレージスペースの温度差	白色塗装の上甲板温度	上甲板温度差	アレージスペースの温度差
	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃
0600	25.9	−0.5	1.0	25.5	0	0	26.0	1.0	2.0	26.0	1.0	2.0
0700	25.0	0	1.0	27.0	−0.5	0.5	26.0	1.0	2.0	27.0	2.0	2.5
0800	25.0	0	0.9	28.5	0.5	1.3	28.0	3.0	3.0	27.5	1.8	2.0
0900	25.6	0.8	1.5	31.0	1.5	2.8	31.0	5.0	4.0	29.0	2.0	3.0
1000	26.2	1.1	2.0	32.3	4.1	4.5	30.5	4.5	4.0	32.0	3.5	3.0
1100	27.8	4.1	3.5	35.7	6.5	6.6	34.0	8.0	6.5	35.0	6.0	4.5
1200	32.4	9.3	6.4	42.0	6.0	8.7	36.5	9.5	6.5	36.5	8.5	6.5
1300	33.7	11.5	8.1	37.0	10.0	9.7	35.5	12.5	10.0	36.0	7.0	6.5
1400	35.0	13.5	10.5	37.8	9.0	9.9	37.0	15.0	12.0	36.0	6.8	6.7
1500	37.0	14.0	11.3	36.2	9.3	10.3	37.5	15.5	14.0	36.0	7.2	7.0
1600	35.9	13.0	11.2	37.5	8.1	10.3	37.0	16.5	15.5	38.0	7.0	7.8
1700	35.7	12.1	11.4	39.5	8.5	11.1	35.0	16.0	15.0	36.0	8.5	7.0
1800	34.0	10.5	11.0	35.0	10.0	11.5	32.5	14.5	14.5	35.0	5.0	6.5

注：㊀は白色塗装をした方が温度が高いことを示す。

i）時間を基準とした単純比較

表3.6.3、表3.6.4の上甲板、アレージスベース、温度差の各時間ごとの変化を図示したものが

晴天の場合（上甲板温度差）　　図3.6.23

〃　（アレージスベース温度差）　　図3.6.24

曇天の場合（上甲板温度差）　　図3.6.25

〃　（アレージス･ベース温度差）　　図3.6.26

である。

〔考察〕

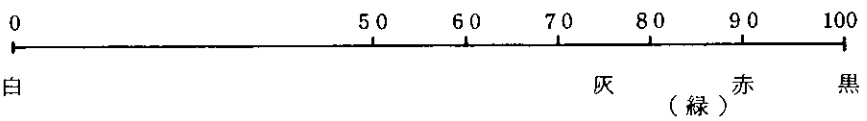
イ）晴天と曇天を比較した場合、晴天の方が塗色の影響がはっきり表われている。

ロ）晴天の場合

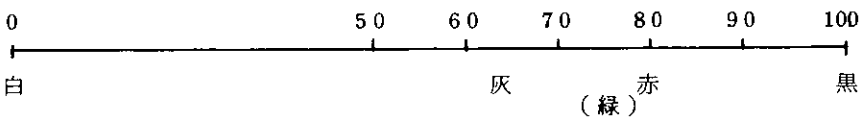
① 黒、赤、灰、白については、かなり明瞭に判定できる。

つまり、白　0　黒　100　としてその影響を配列すると

上甲板温度差では



アレージスベース温度差では



② 緑については、アレージスベース温度差ではほぼ赤と同程度もしくはやや低い。

上甲板温度差では1200～1600の間灰より低くなっており、判定は明確に出来ない。

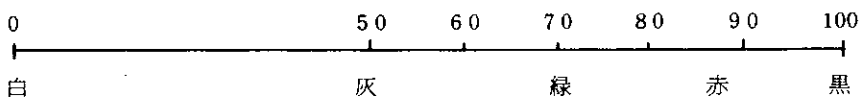
しかし、略、赤と灰の間で赤よりであると考えられる。

③ 塗色の影響は午後大きく表われている。

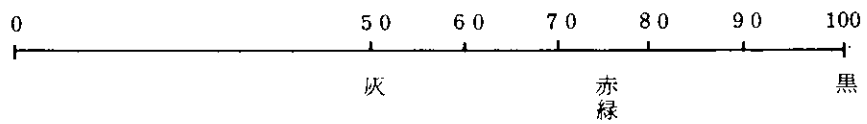
ハ）曇天の場合

やや判定しにくいが、概略その影響を配列すると

上甲板温度差では



アレージスベース温度差では



となっている。

ii）白色塗装の上甲板温度を基準とした比較

i)の比較では同じ夏季の条件下とはいいながら雲の状況等により日射量がかなり相異していたはずである。

又、日射量が同じであれば、各比較実験で白色塗装の上甲板温度は同じになるはずである。

そこで白色塗装の上甲板温度を基準に各比較実験の上甲板温度差とアレージスベース温度差を図示してみた。

晴天の場合（上甲板温度差）　　図3.6.27
〃　（アレージスペース温度差）　図3.6.28
曇天の場合（上甲板温度差）　　図3.6.29
〃　（アレージスペース温度差）　図3.6.30

〔考察〕

イ）晴天と曇天を比較した場合、晴天の場合、ある程度特徴を把握出来るが、曇天の場合はかなりとらえにくいものとなっている。

ロ）晴天のアレージスペース温度差をみた場合1400～1500時以降の温度下降時赤はするどい、又黒はゆるやかなカーブで変化しているが、これは、

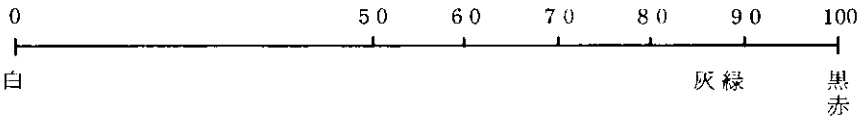
赤は日射量の増大に即応していること。

一方黒は日射量の増大に対する反応は鈍いが、保温力があること。

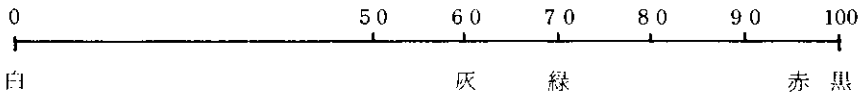
を表わしている。

ハ）各比較実験での各温度差から、夫々塗色の影響を白0、黒100として概略次の様になる。

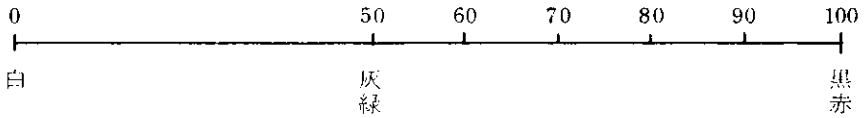
① 晴天の場合（上甲板温度差）



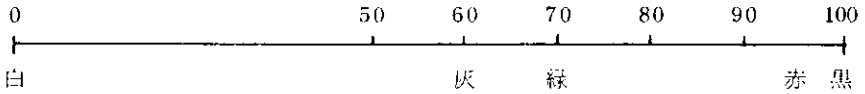
② 〃（アレージスペース温度差）



③ 曇天の場合（上甲板温度）



④ 〃（アレージスペース温度差）



ⅲ）同一条件下における比較

晴天日の各比較実験のうちから一実験の外的条件を基準とし、その他の実験についてはアレージスペース温度を基準外的条件下でのアレージスペース温度に修正のうえ比較してみた。

ここで晴天日に限ったのは、曇天日のデータは纏まりがなく基準外的条件下への修正が難かしかったためであり、又、塗色の影響の比較にアレージスペース温度だけを採用したのは、アレージスペース温度が、ペーパー発生の最も重要な要因であるためである。

（油面温度が正確に測定出来ていれば、これが最も重要な要因であるが前述の通り正確に測定出来たとは考えられなかったため除外した。）

イ）方　法

① 白、灰の比較実験の外的条件を基準とした。

② 図3.6.28のカーブをなめらかなカーブに近似させ（図3.6.31）そのカーブで白、灰の比較実験の白色塗装タンク甲板上の温度に対応する各塗色のアレージスペース温度差を求める。

③ 白色塗装のアレージスペース温度を基準に各比較実験のアレージスペース温度差を図示する。（図3.6.32）

④ 図3.6.32のカーブをなめらかなカーブに近似させ（図3.6.33）白、灰の比較実験の白色塗装アレージスペース温度に対応するアレージスペース温度差を求める。

⑤ ②と④を平均し、アレージスペース温度差を求める。（表3.6.5）

ここで白色塗装甲板上温度を基準として求めたアレージスペース温度差と白色塗装アレージスペース温度を基準として求めたアレージスペース温度差を平均しているのは基準外的条件下への修正時の誤差を出来るだけ減少させるためである。

⑥ 白のアレージスペース温度と⑤のアレージスペース温度差を加えその変化を図示する。（図3.6.34）

ロ）考　察

① アレージスペース温度が48℃でブリザーバルブからのガス放出が始まるとすると、赤、黒緑、灰の順番にガス放出が始まり、又、ガス放出が停止されるのは赤が一番早く黒、緑、灰はほぼ同時に停止される。

② ブリザーバルブからの放出ガス量はアレージスペース温度が高くなるほど多くなる。

各塗色ごとにアレージスペース温度が、48℃をどの程度超えているかを見ると

黒	11℃
赤	9.75℃
緑	9℃
灰	4.75℃

となり、ガス放出量もこの順序に従っているはずである。

③ 今ここで、塗色の影響を数値的に把えるために、0600～1800までのアレージスペース温度を各塗色ごとに積分すると

黒	1114
赤	1110
緑	1082
灰	1000
白	819

となり、白を1.000とすると各塗色の影響は

黒	1.360
赤	1.355
緑	1.321
灰	1.221
白	1.000

と表わせる。

(5) 最終考察

甲板塗色変化による影響を定量的にとらえることは出来なかった。

これは備蓄タンカーからのガス放出量を測定することが実務上困難であったことと、同一条件下において各塗色の比較実験を実施することが作業量との関係で困難であったことによるものである。

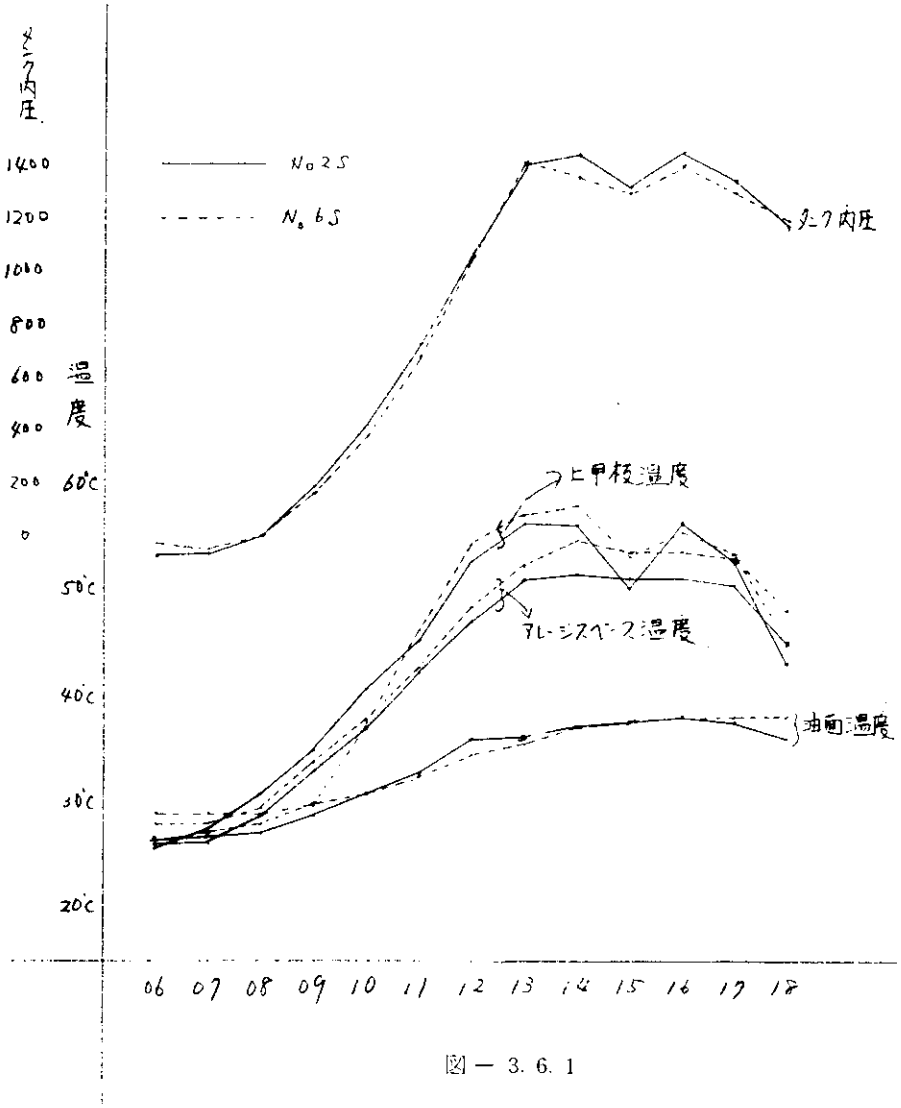
しかし限られたデータを色々な方法で比較し、その傾向が、ほぼ同一傾向を示していることから、甲板塗色変化による影響を定性的にはとらえることが出来た。

つまり、白色塗装の効果は抜群で、備蓄タンカーでの実験では夏季晴天日でもブリザーバルブからガスが放出されることはなく、その次に灰色が効果的である。

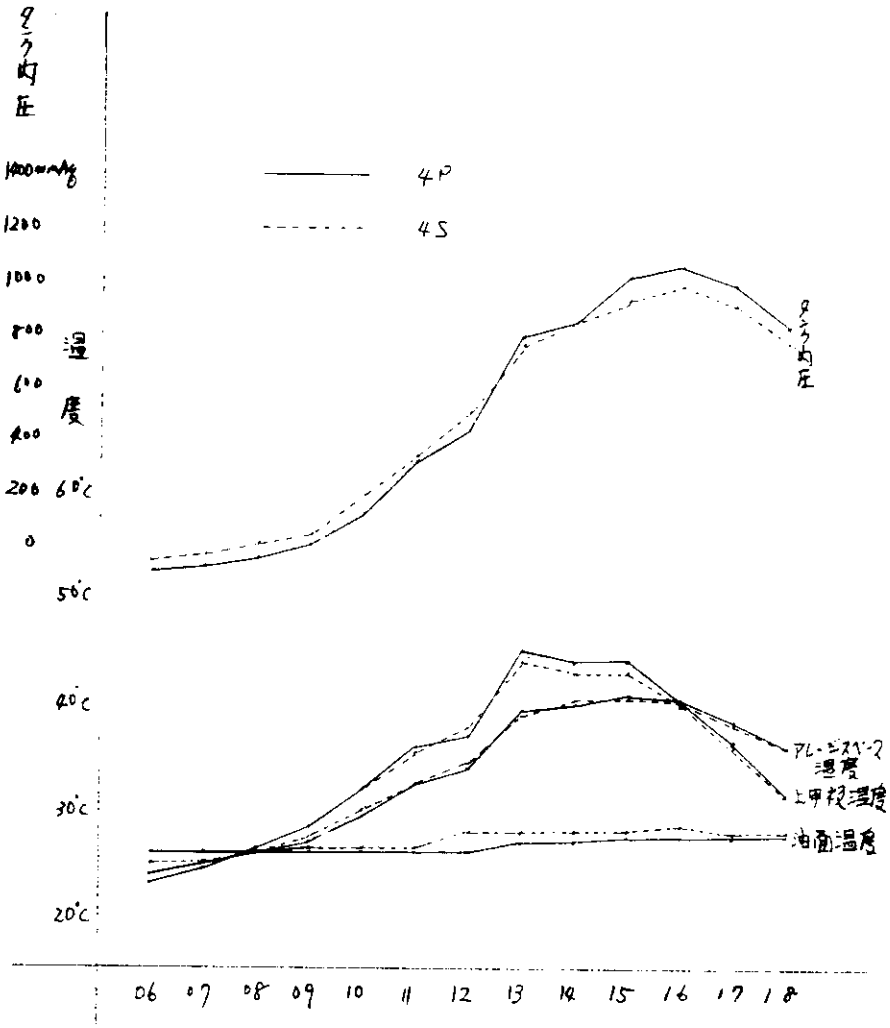
灰色の次には、緑、赤、黒と配列され、又赤と黒との影響度に大きな差異はなく、保温力の差がやや目につく程度である。

表3.6.5　修正アレージスペース温度差

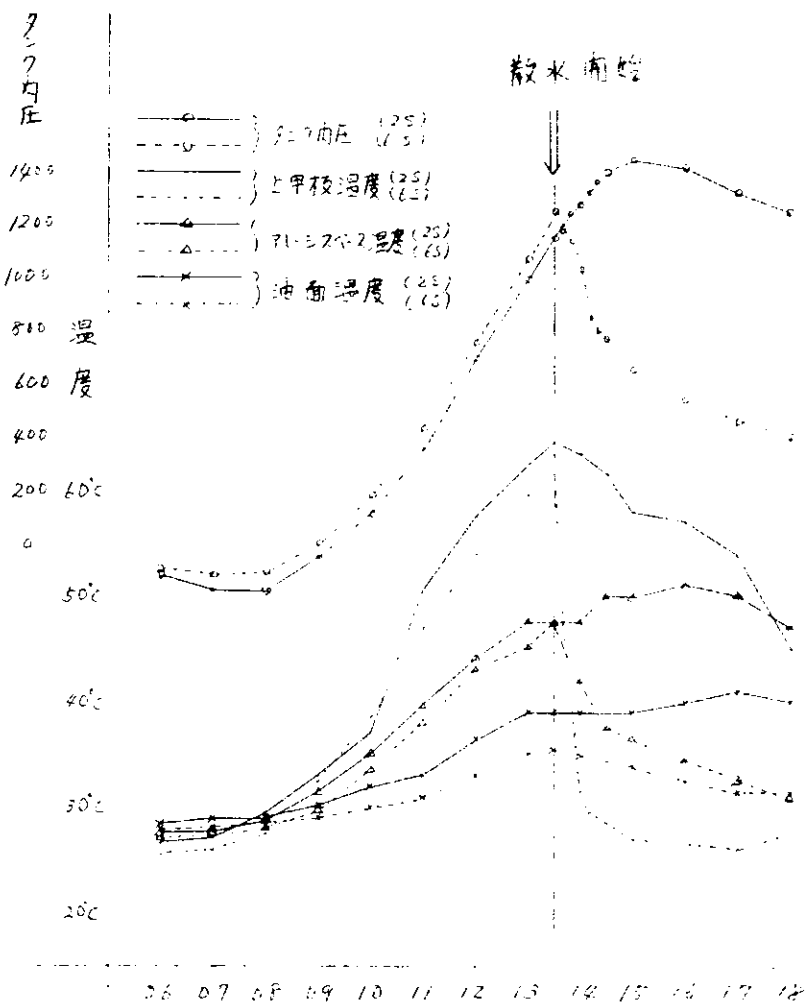
時　間	白のアレージスペース温度（白・灰実験の温度）	白と赤の比較			白と緑の比較			白と黒の比較			白と灰の比較		
		白色甲板上温度より求めたもの	白色アレージスペース温度より求めたもの	平　均	白色甲板上温度より求めたもの	白色アレージスペース温度より求めたもの	平　均	白色甲板上温度より求めたもの	白色アレージスペース温度より求めたもの	平　均	白色甲板上温度より求めたもの	白色アレージスペース温度より求めたもの	平　均
0600	27.0	2.5	4.5	3.5	1.5	4.5	3.0	2.0	3.5	2.75	1.5	1.5	1.5
0700	27.0	4.5	4.5	4.5	2.5	4.5	3.5	3.5	3.5	3.5	2.0	1.5	1.75
0800	28.0	6.0	5.5	5.75	4.0	5.5	4.75	5.0	4.5	4.75	2.0	2.5	2.25
0900	30.0	9.5	7.5	8.5	6.5	7.5	7.0	7.5	7.0	7.25	1.0	4.0	2.50
1000	31.5	11.5	9.0	10.25	8.5	9.0	8.75	10.5	9.0	9.75	4.5	5.0	4.75
1100	32.0	14.0	9.5	11.75	10.0	9.5	9.75	12.0	9.5	10.75	8.5	5.5	7.0
1200	33.0	15.5	10.5	13.0	11.5	10.5	11.0	14.0	10.5	12.25	10.5	6.0	8.25
1300	37.5	16.5	15.5	16.0	13.0	15.5	14.25	16.5	15.5	16.0	10.0	10.0	10.0
1400	39.0	16.0	17.0	16.5	13.0	17.0	15.0	16.0	17.0	16.5	11.5	11.5	11.50
1500	40.0	17.0	18.5	17.75	14.0	18.5	16.25	18.5	18.5	18.5	12.0	12.5	12.25
1600	40.0	16.0	18.5	17.25	15.5	18.5	17.0	19.5	18.5	19.0	13.0	12.5	12.75
1700	39.0	14.5	18.0	16.25	14.0	18.5	16.25	19.0	19.0	19.0	12.0	12.0	12.0
1800	37.5	13.5	16.5	15.0	13.5	17.0	15.25	18.0	18.0	18.0	10.5	10.5	10.5


タンク内圧
No 2 S
No 6 S
タンク内圧
上甲板温度
アレージスベンス温度
油面温度
温度
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
60°C
50°C
40°C
30°C
20°C
06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18

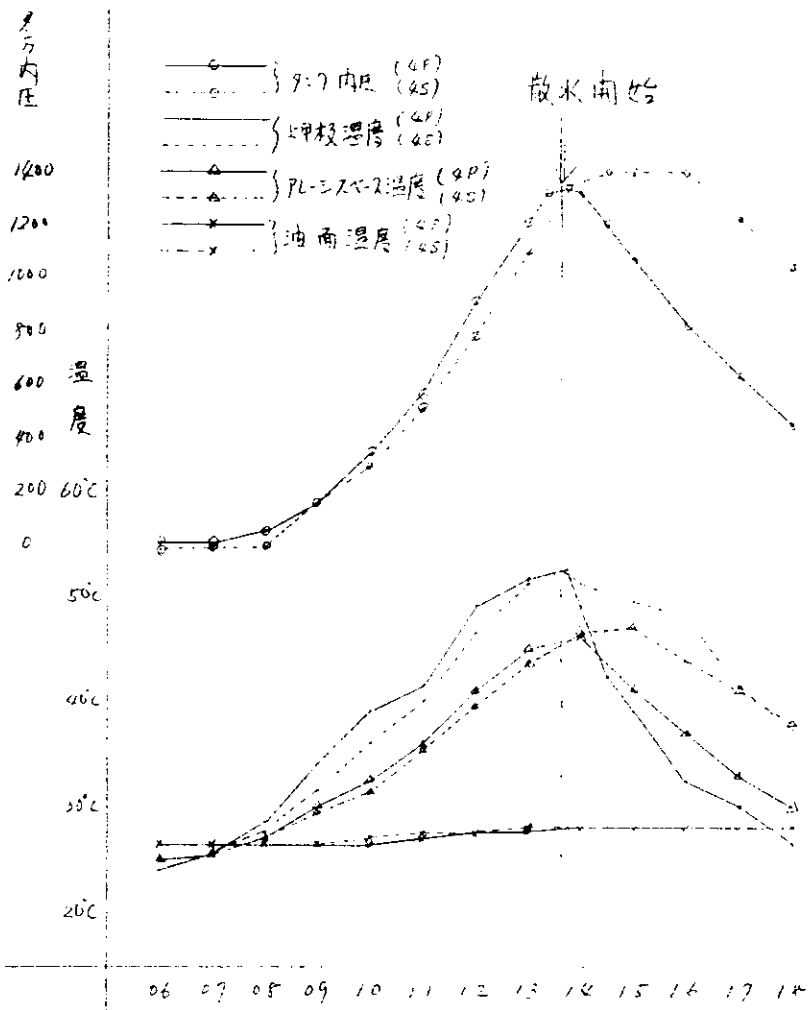
図－ 3. 6. 1


タンク内圧
4P
4S
タンク内圧
アレージスベンス温度
上甲板温度
油面温度
温度
1000mmAq
1200
1000
800
600
400
200
0
60°C
50°C
40°C
30°C
20°C
06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18

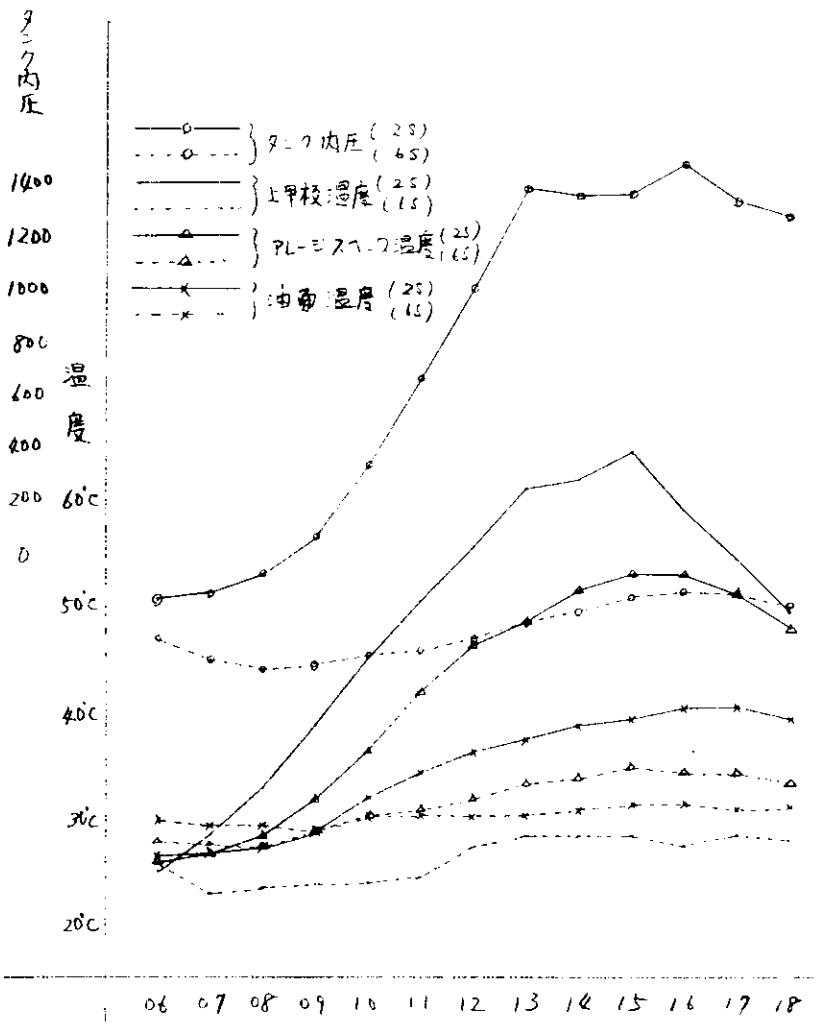
図－ 3. 6. 2


タンク内圧
散水開始
タンク内圧 (2S) (4S)
上甲板温度 (2S) (4S)
アレーンスペース温度 (2S) (4S)
油面温度 (2S) (4S)
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
湿度
60℃
50℃
40℃
30℃
20℃
06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18

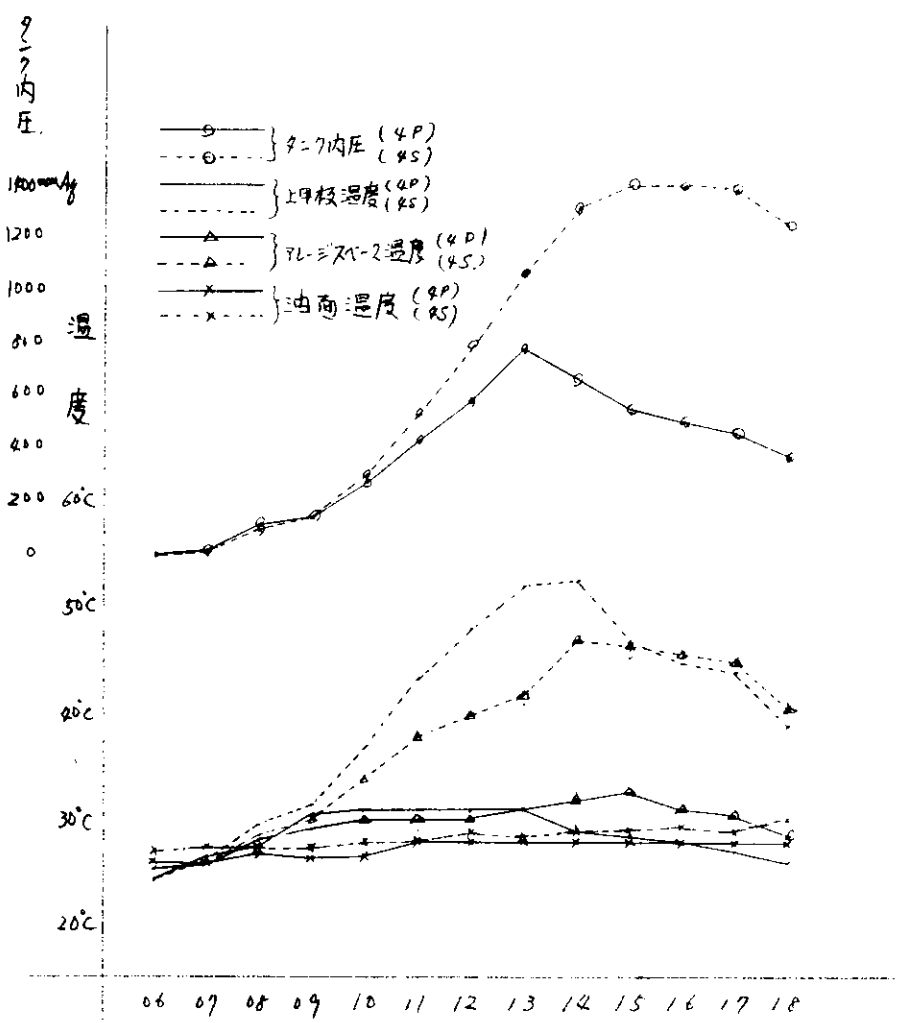
図－3.6.3


タンク内圧
散水開始
タンク内圧 (4P) (4S)
上甲板温度 (4P) (4S)
アレーンスペース温度 (4P) (4S)
油面温度 (4P) (4S)
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
湿度
60℃
50℃
40℃
30℃
20℃
06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18

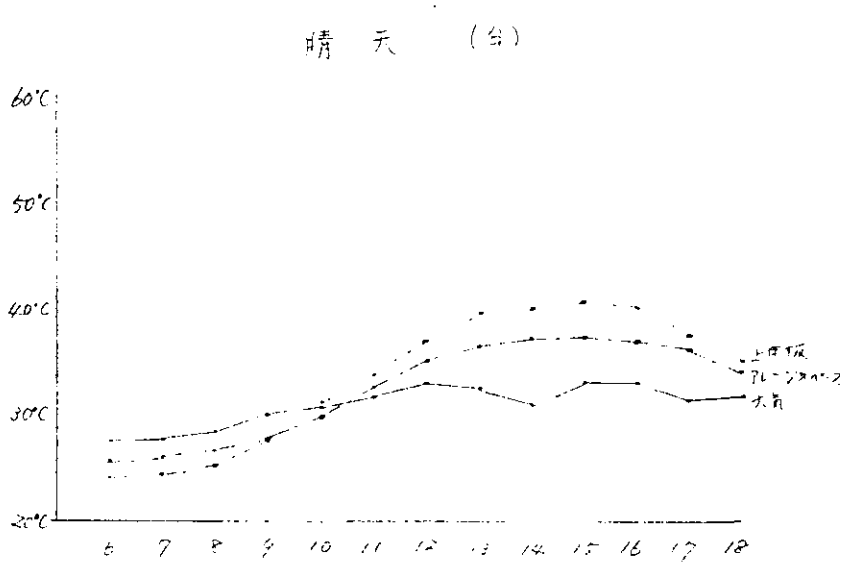
図－3.6.4


タンク内圧
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
温度
60°C
50°C
40°C
30°C
20°C
タンク内圧 (2S) (4S)
上甲板温度 (2S) (1S)
アレージスベース温度 (2S) (1S)
油面温度 (2S) (1S)
06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18

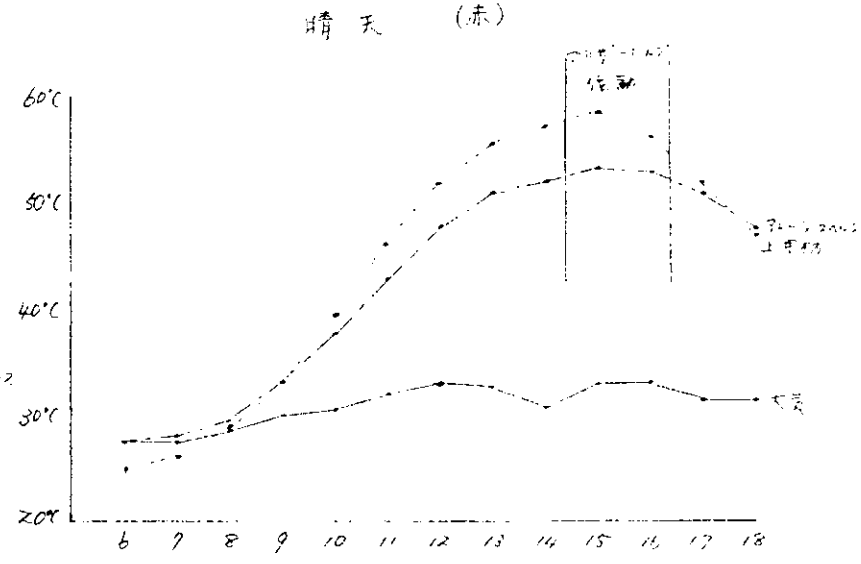
図－ 3. 6. 5


タンク内圧
1400mmAq
1200
1000
800
600
400
200
0
温度
60°C
50°C
40°C
30°C
20°C
タンク内圧 (4P) (4S)
上甲板温度 (4P) (4S)
アレージスベース温度 (4P) (4S)
油面温度 (4P) (4S)
06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18

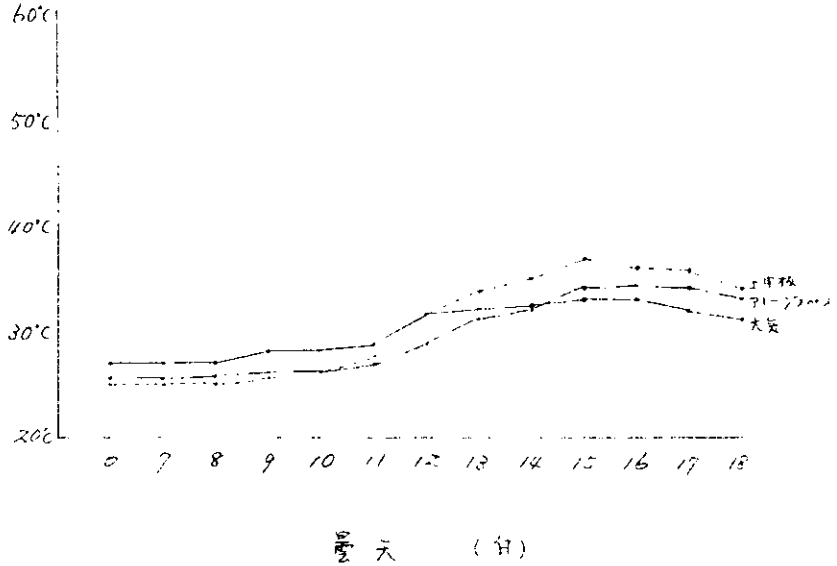
図－ 3. 6. 6



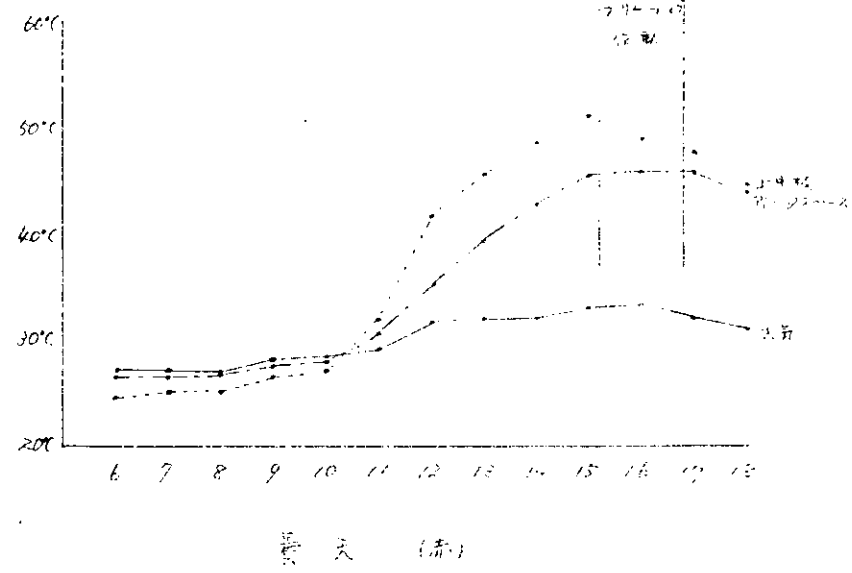
図－3.6.7



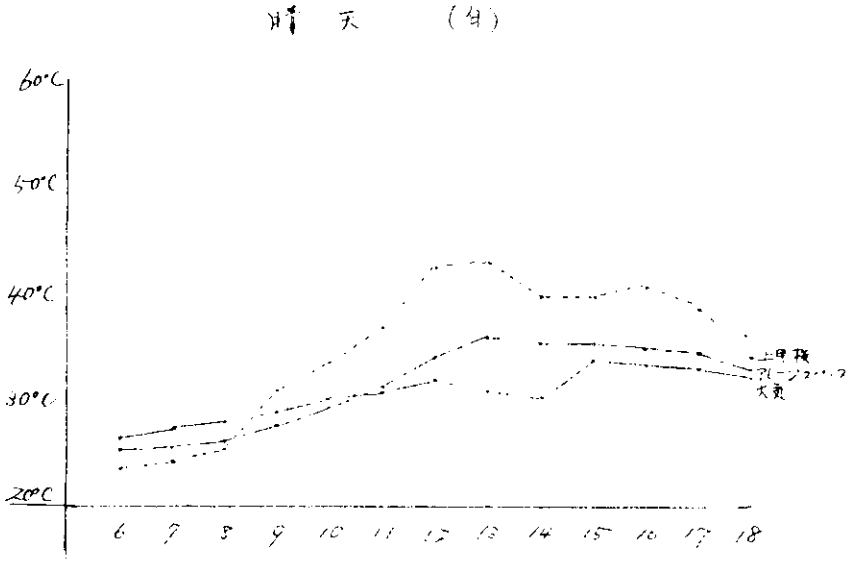
図－3.6.8



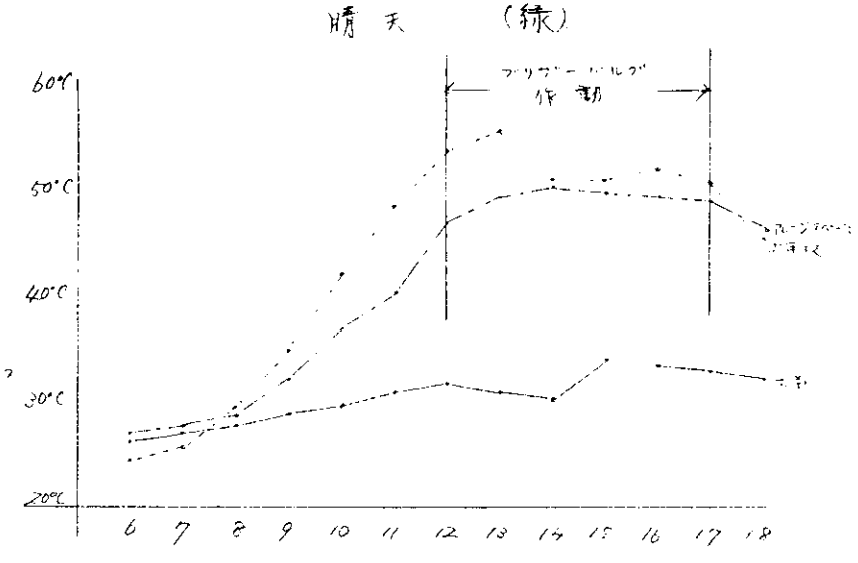
図－3.6.15



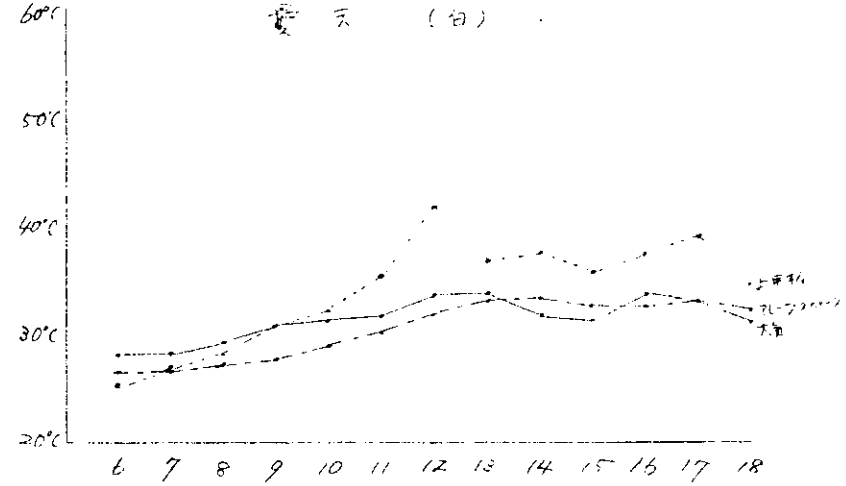
図－3.6.16



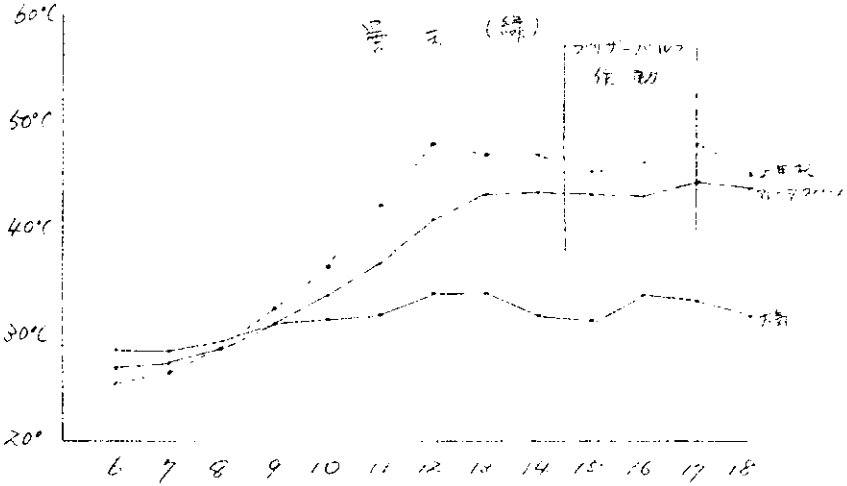
図－3. 6. 9



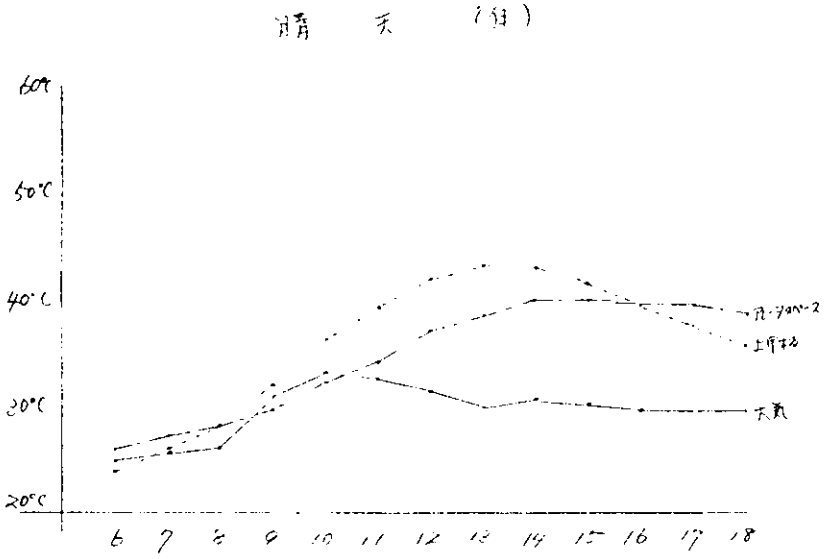
図－3. 6. 10



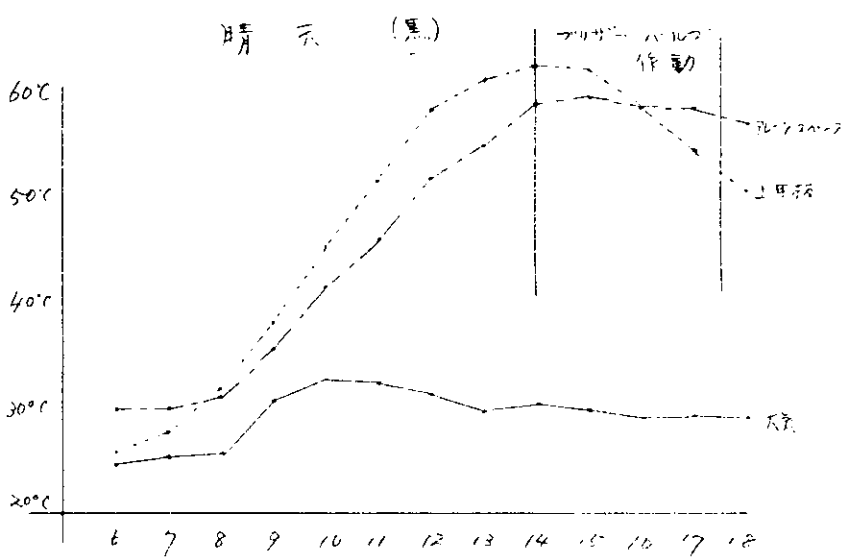
図－3. 6. 17



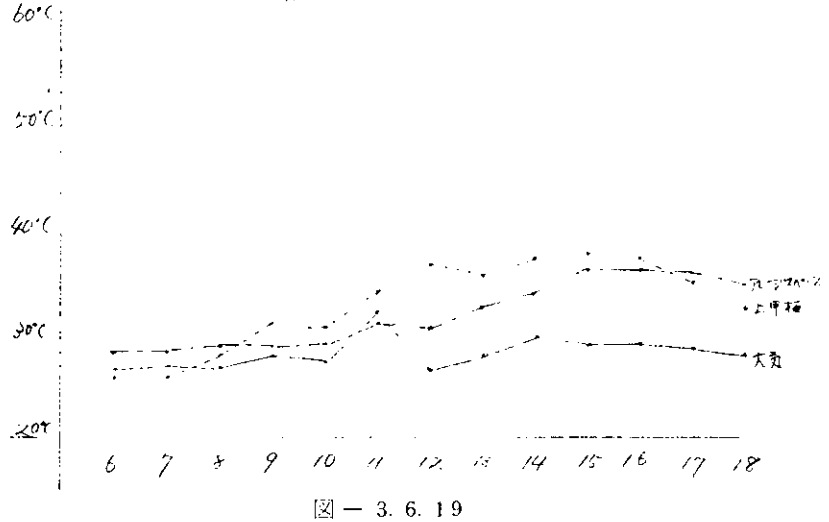
図－3. 6. 18



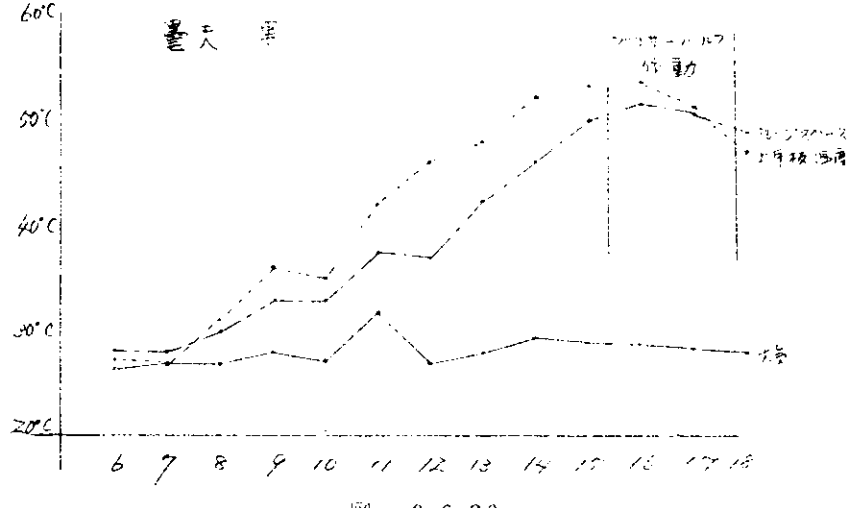
図－3.6.11



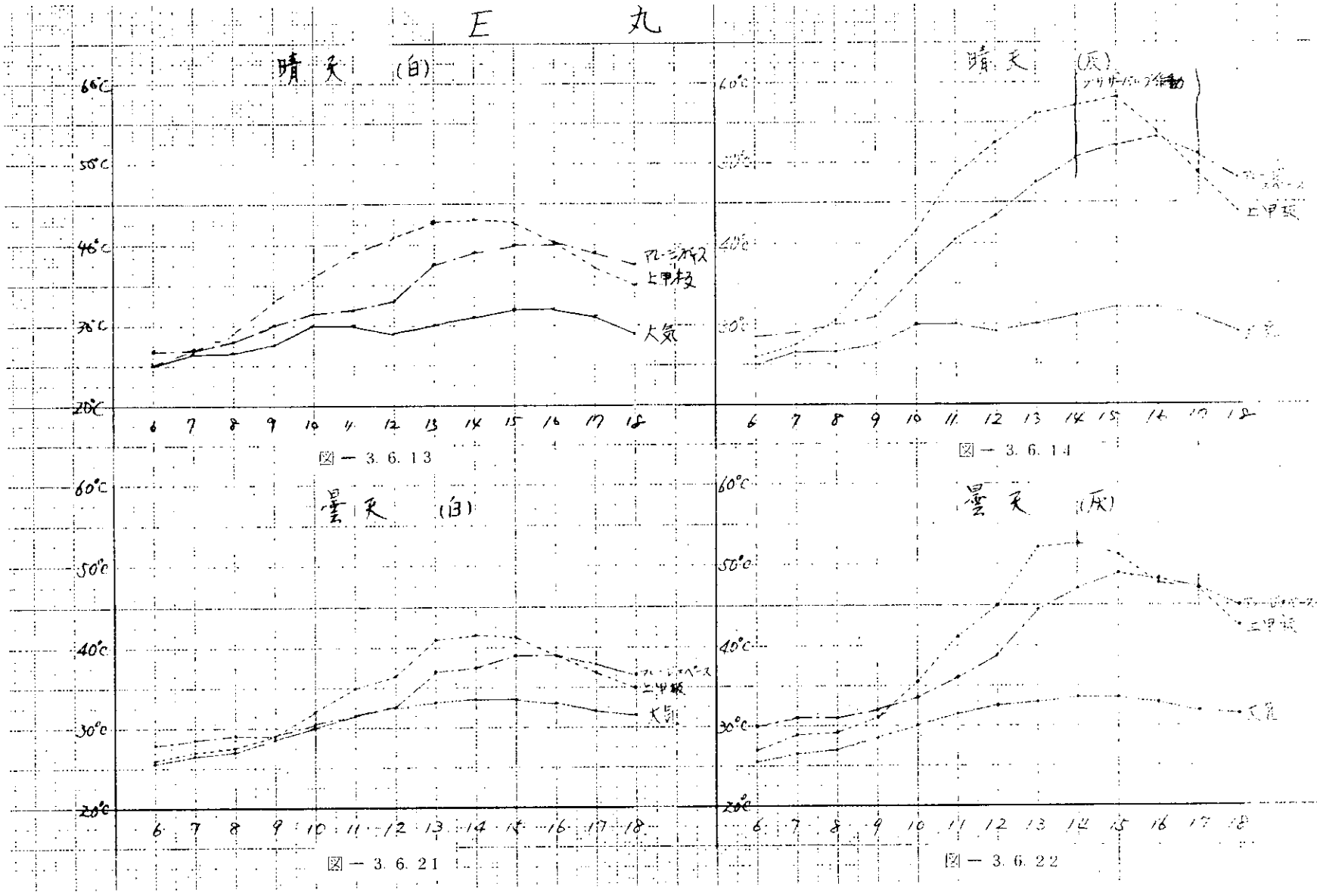
図－3.6.12



図－3.6.19

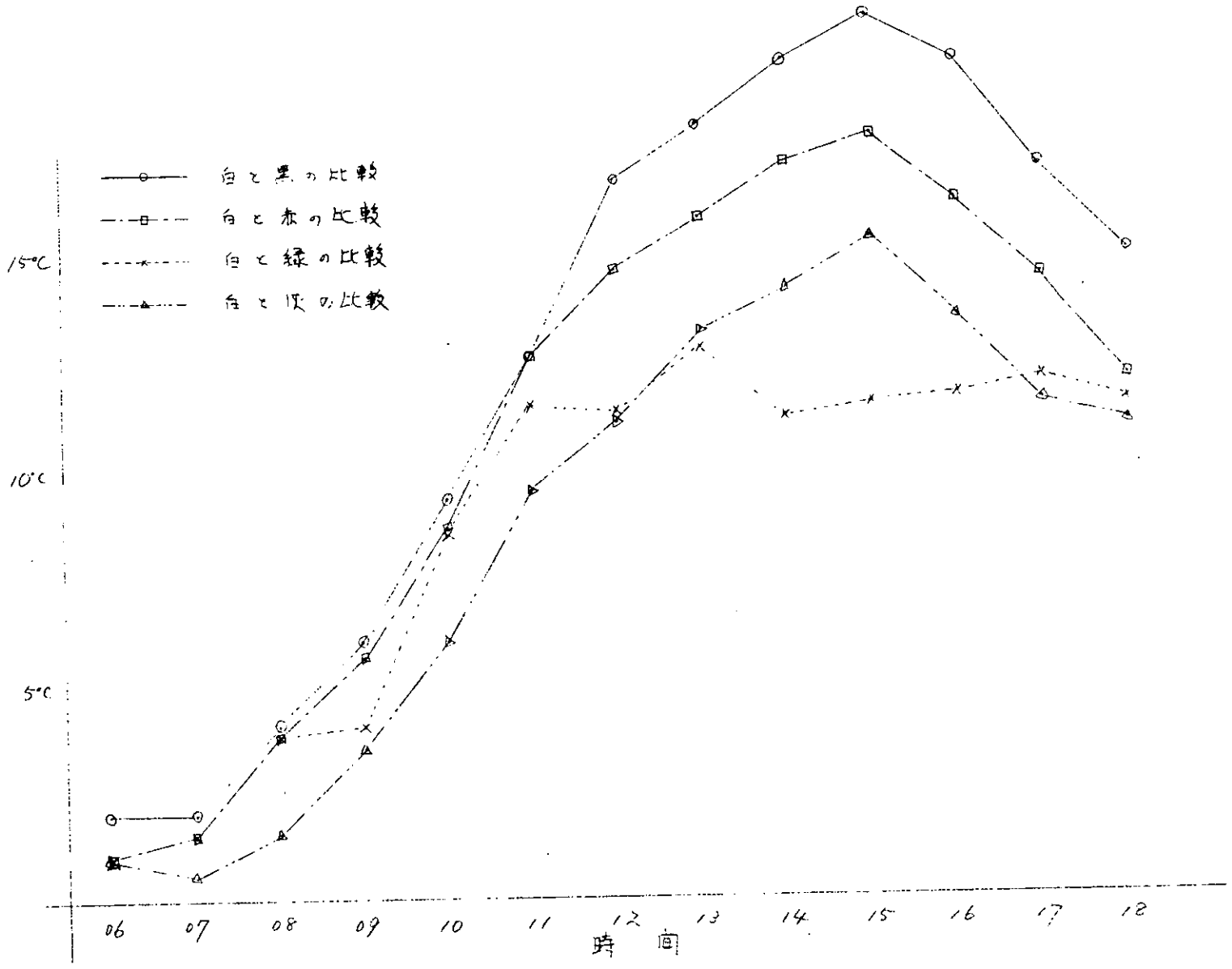


図－3.6.20

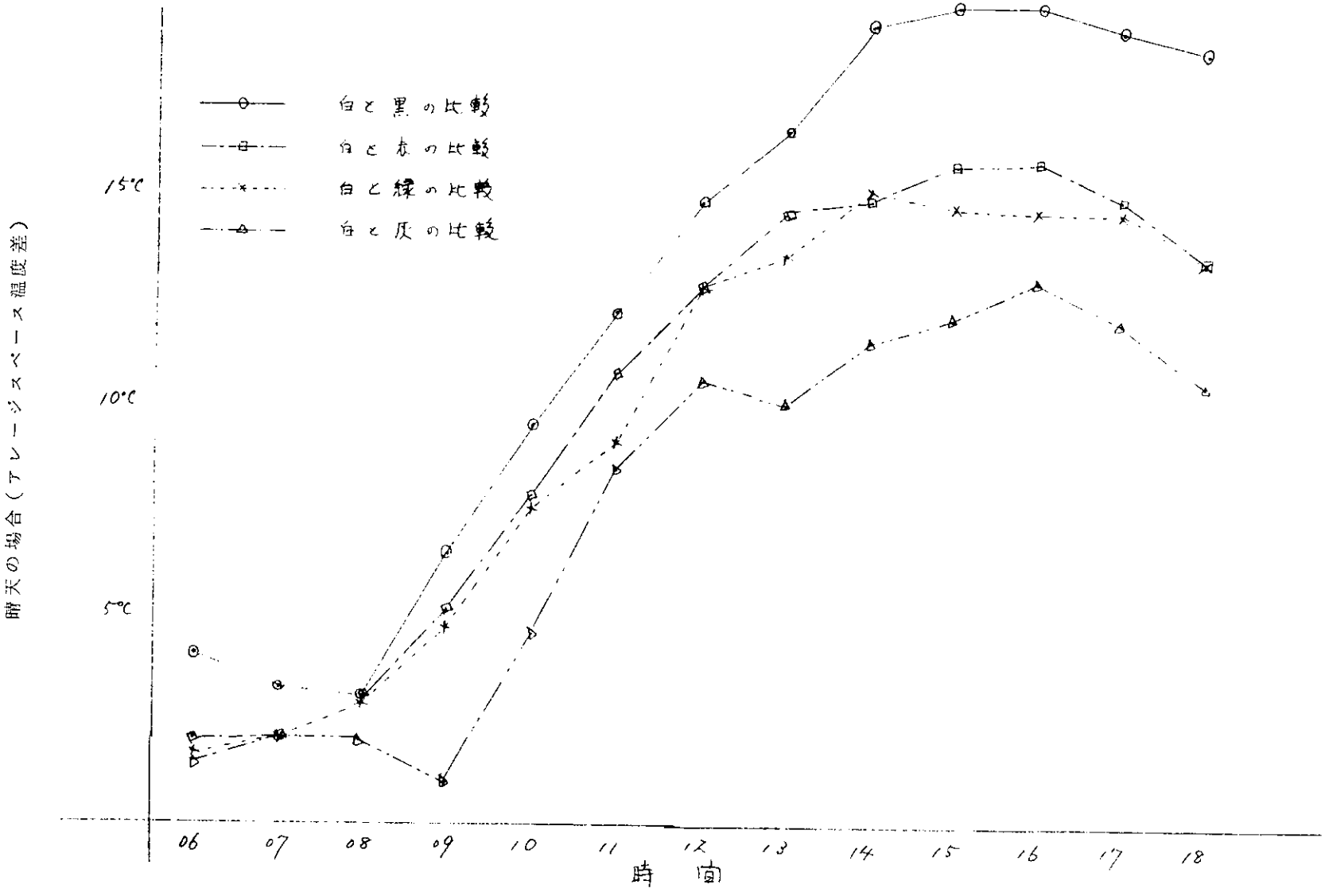


図－3.6.13　図－3.6.14

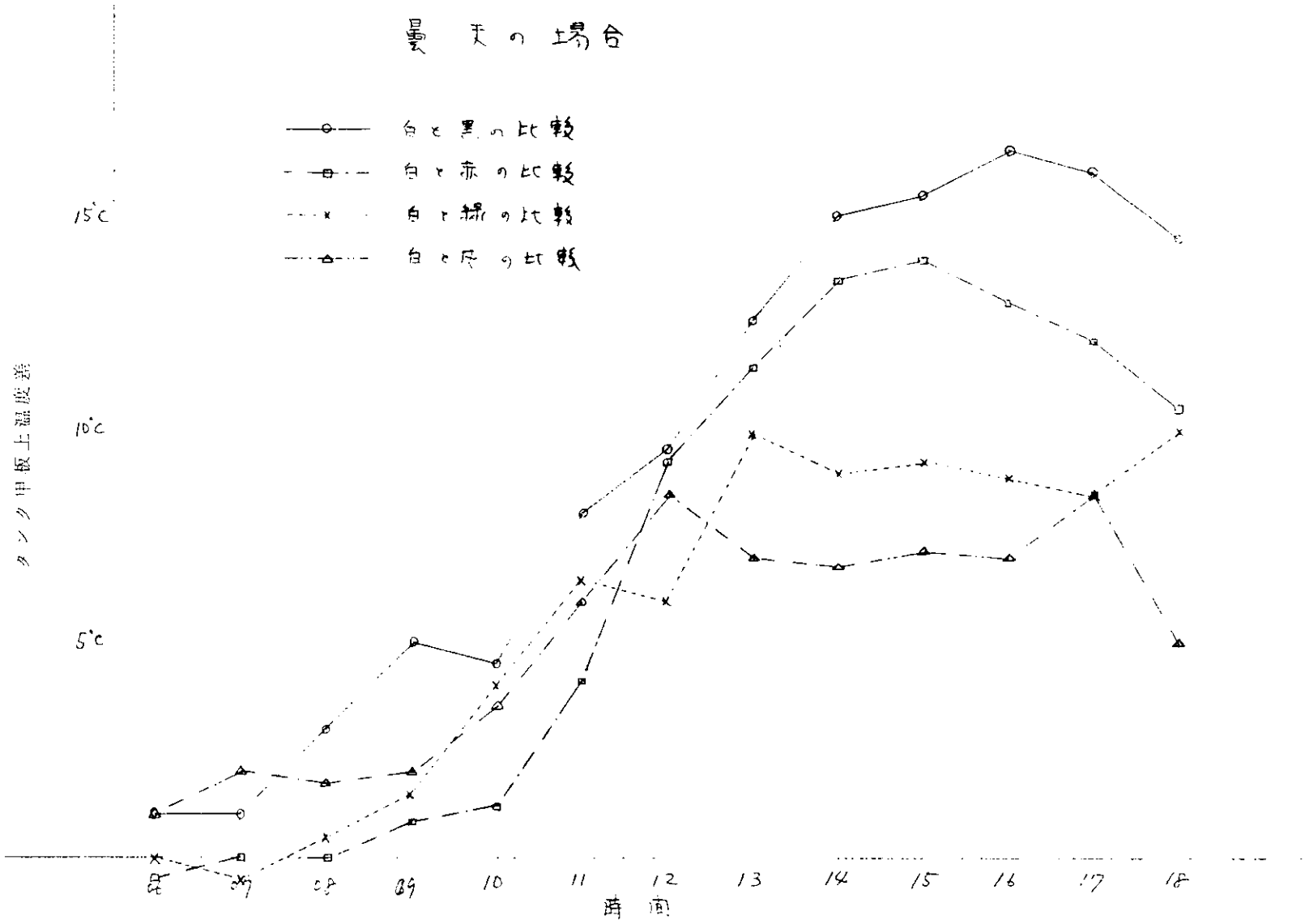
図－3.6.21　図－3.6.22


白と黒の比較
白と赤の比較
白と緑の比較
白と黄の比較
15°C
10°C
5°C
06
07
08
09
10
11
12
13
14
15
16
17
18
時間
晴天の場合（タンク甲板上温度差）

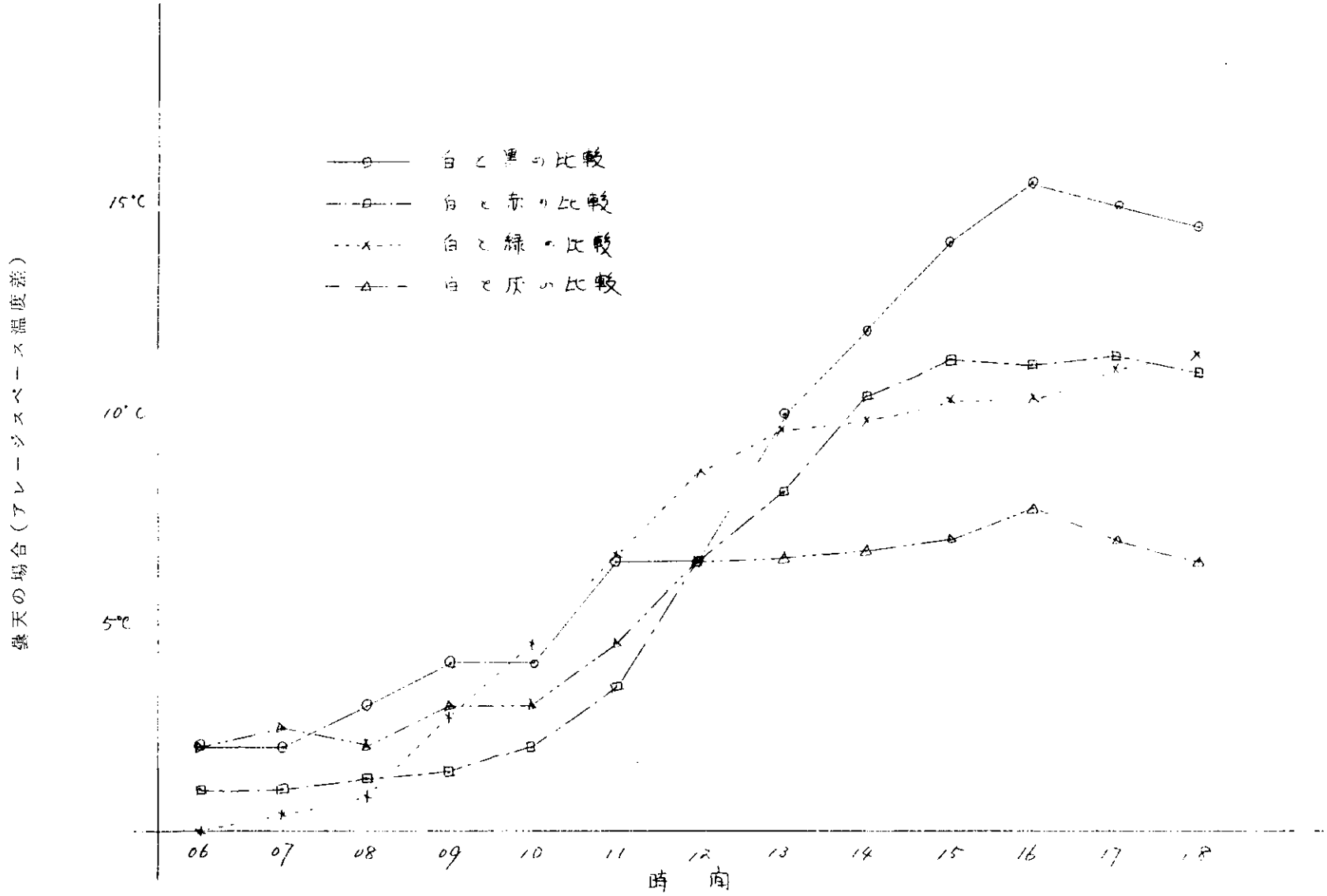
図－3.6.23


白と黒の比較
白と赤の比較
白と緑の比較
白と灰の比較
15℃
10℃
5℃
06
07
08
09
10
11
12
13
14
15
16
17
18
時間
晴天の場合（アレージスベース温度差）

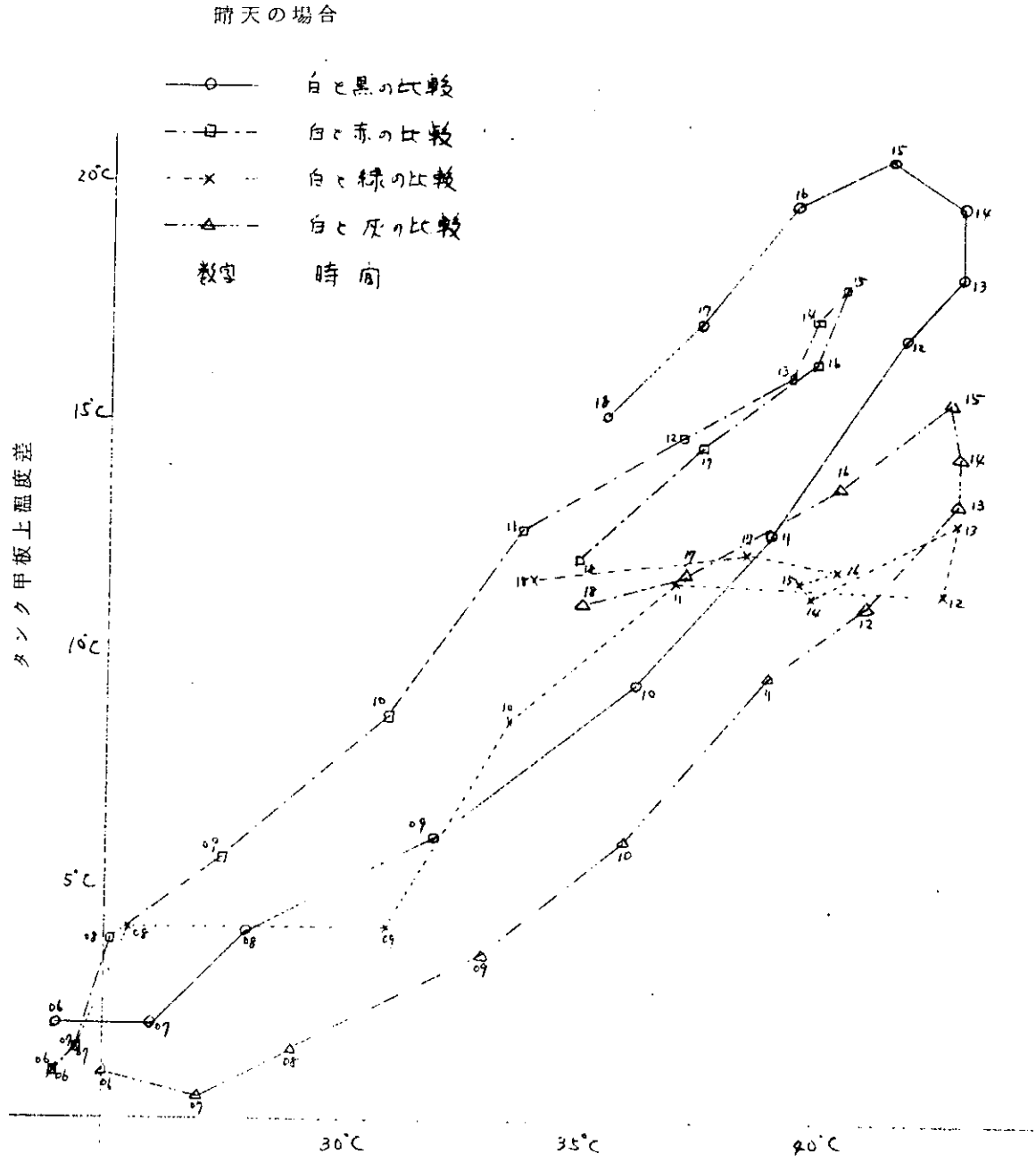
図－3.6.24


曇天の場合
白と黒の比較
白と赤の比較
白と緑の比較
白と灰の比較
15°C
10°C
5°C
タンク甲板上温度差
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
時間

図－3.6.25

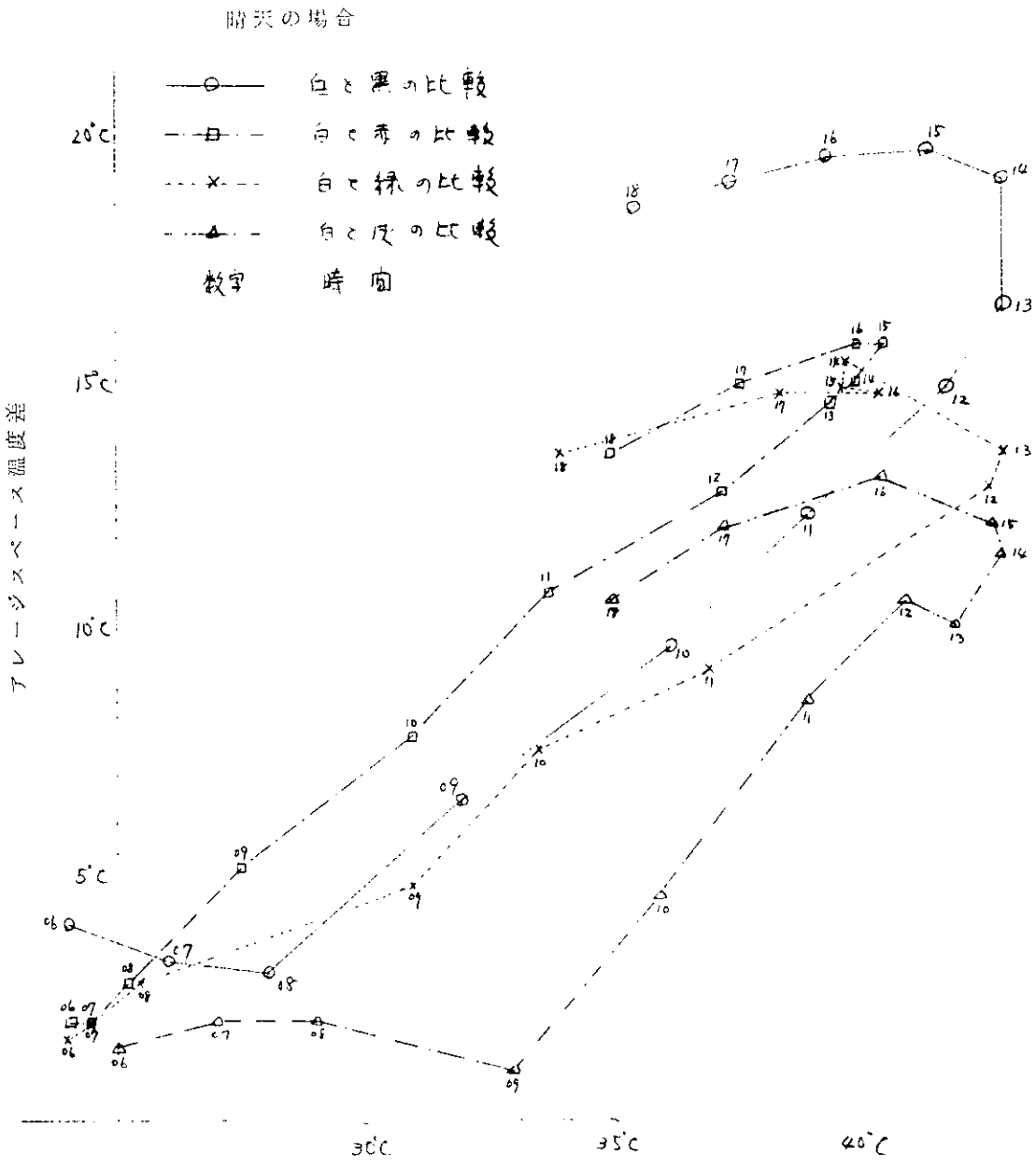

晴天の場合（アレージスベース温度差）
白と黒の比較
白と赤の比較
白と緑の比較
白と灰の比較
15°C
10°C
5°C
06
07
08
09
10
11
12
13
14
15
16
17
18
時間

図－3.6.26



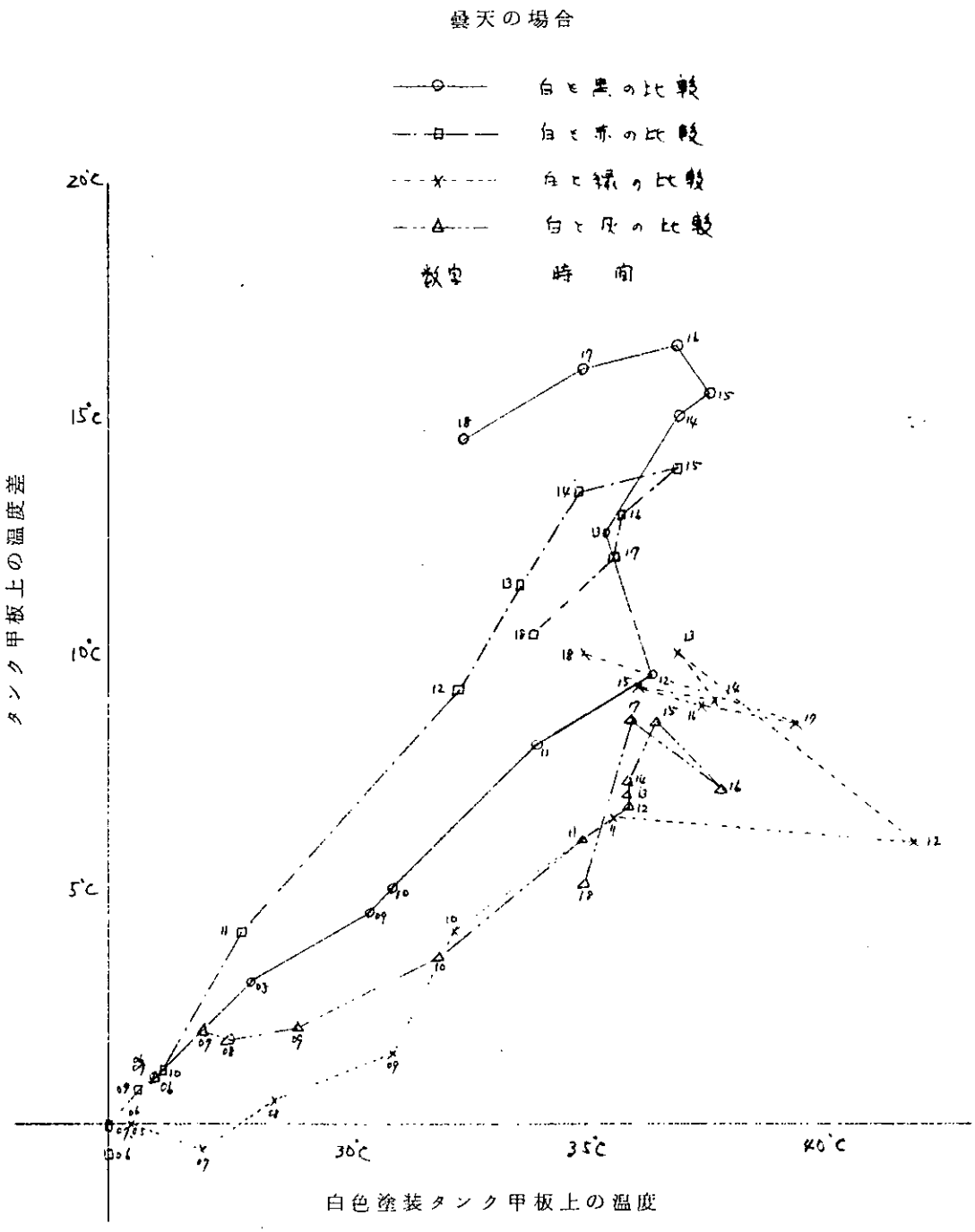
白色塗装タンク甲板上の温度

図－3.6.27



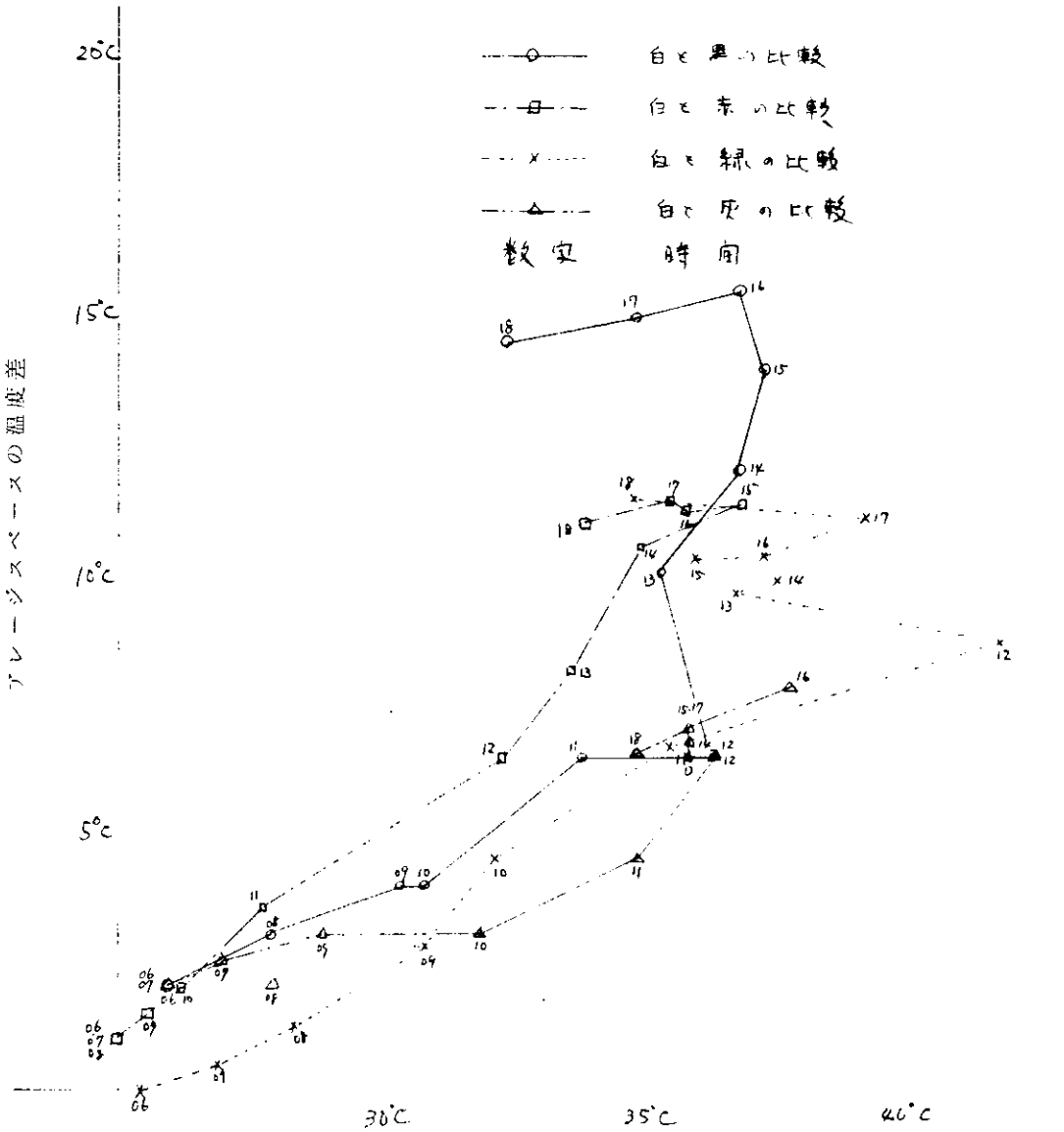
白色塗装タンク甲板上の温度

図－3.6.28


晴天の場合
白と黒の比較
白と赤の比較
白と緑の比較
白と灰の比較
数字　時間
20℃
15℃
10℃
5℃
タンク甲板上の温度差
30℃
35℃
40℃
白色塗装タンク甲板上の温度

図－3.6.29

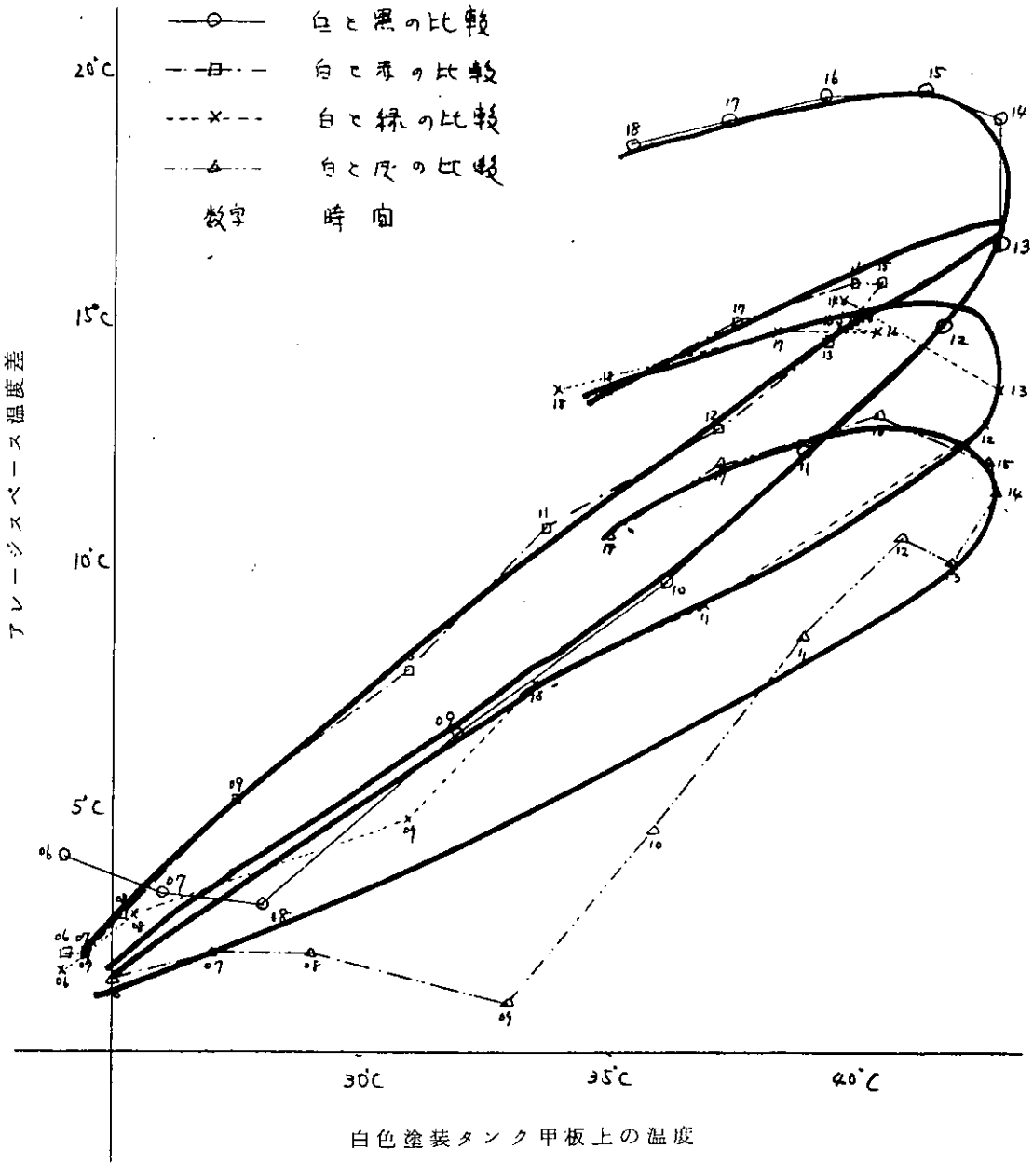
曇天の場合



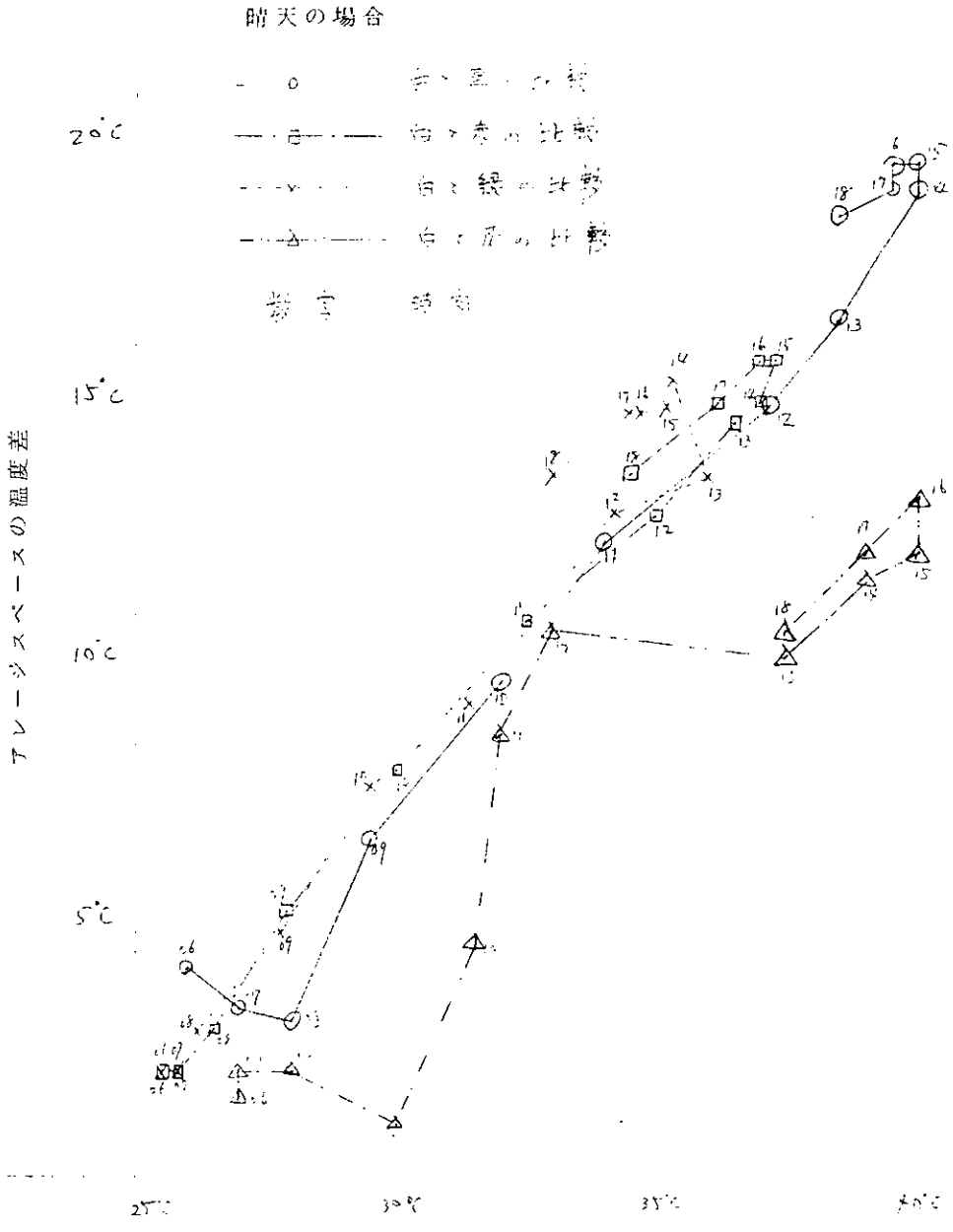
白色塗装タンク甲板上の温度

図－3.6.30

晴天の場合


白と黒の比較
白と赤の比較
白と緑の比較
白と灰の比較
数字　時間
20°C
15°C
10°C
5°C
アレージスベース温度差
30°C
35°C
40°C
白色塗装タンク甲板上の温度

図－ 3. 3. 31



図－3. 6. 32

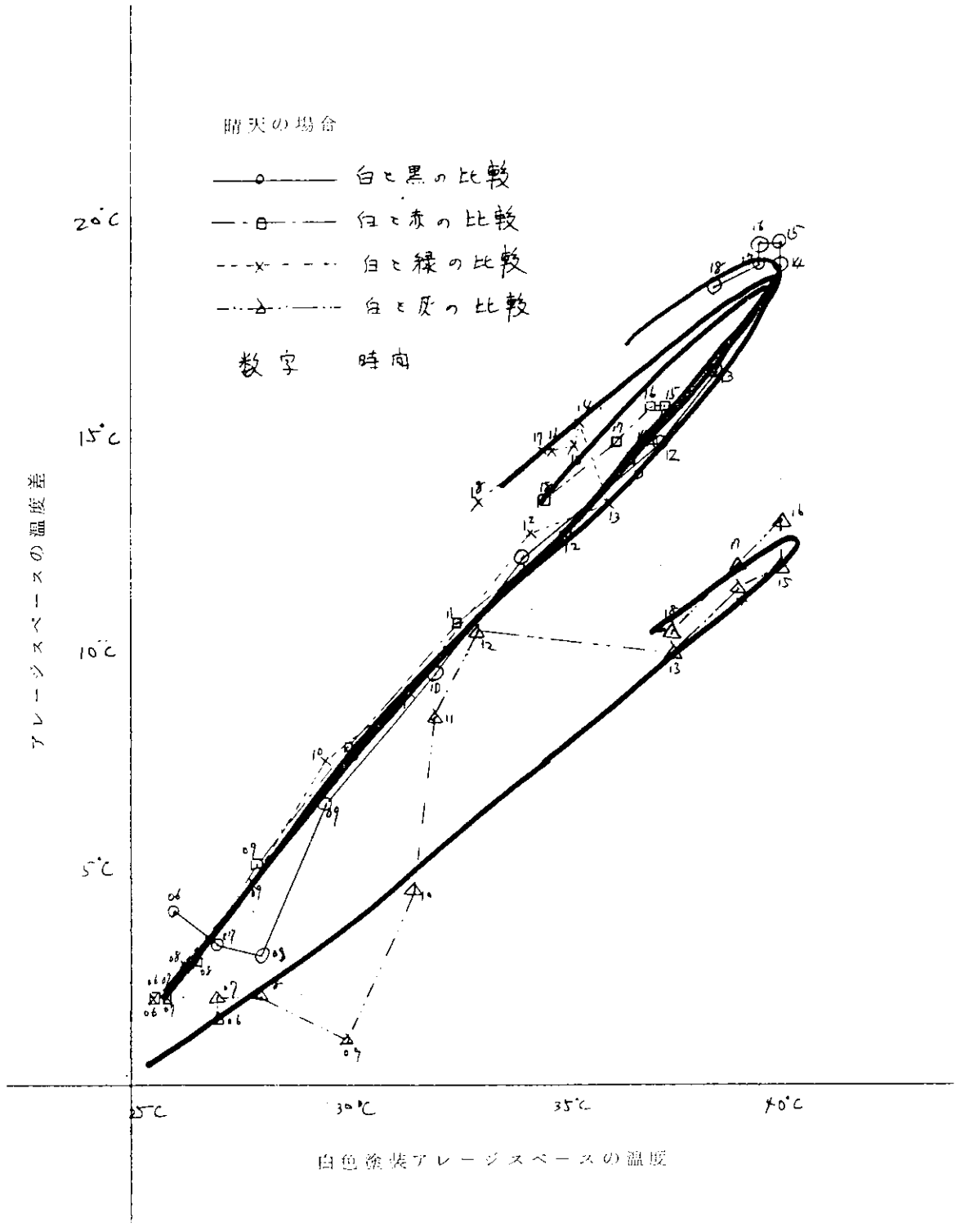
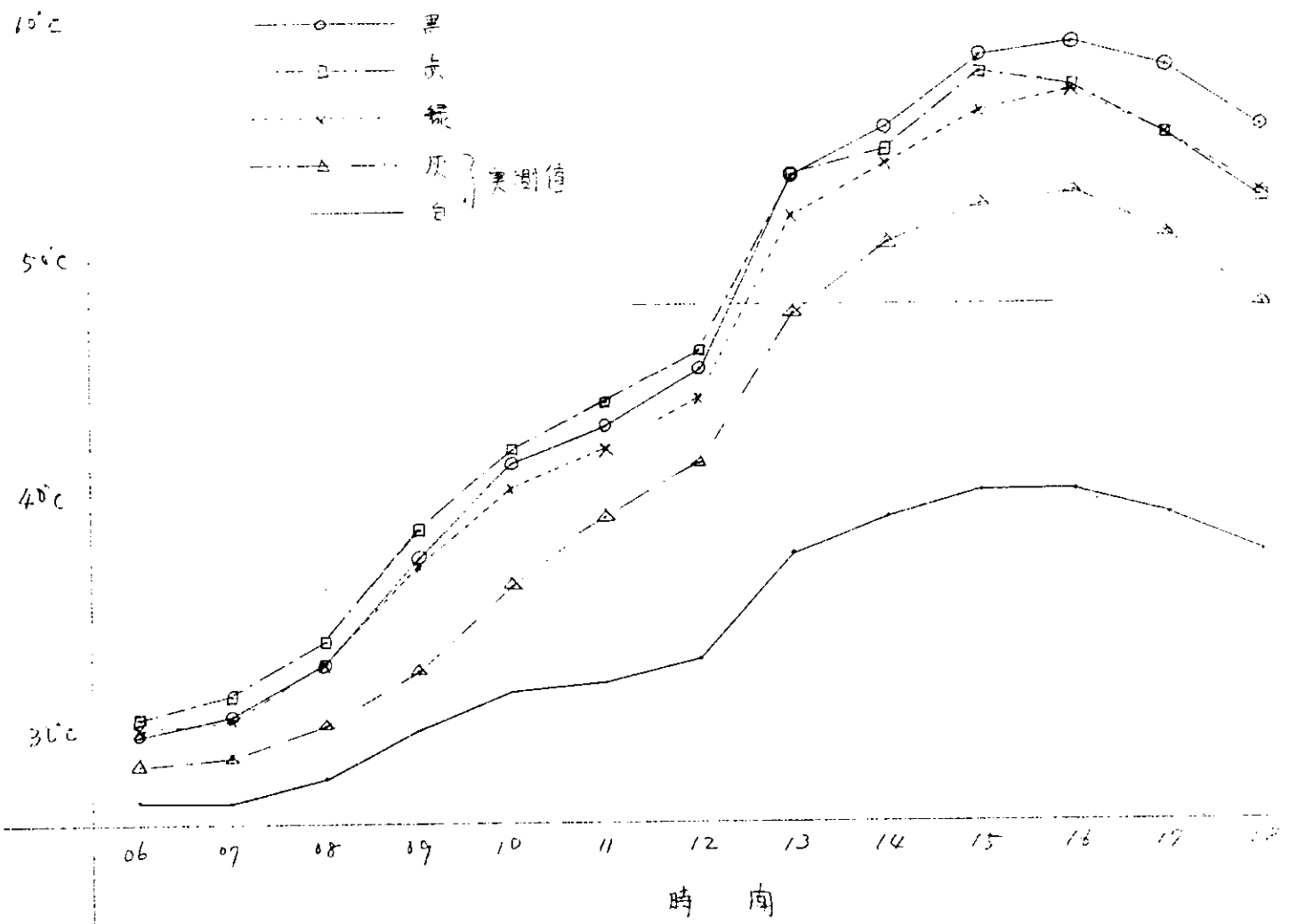

晴天の場合
白と黒の比較
白と赤の比較
白と緑の比較
白と灰の比較
数字　時向
20°C
15°C
10°C
5°C
アレージスペースの温度差
25°C
30°C
35°C
40°C
白色塗装アレージスペースの温度

図3.3.33

想定アレージスペース温度による比較（晴天の場合）



図－3.6.34

3.7 模型タンクによるベーパー発生実験

3.7.1 実験の目的

前述のように備蓄船でのベーパー発生等に関する計測によればアレージスペース内温度が高温になる夏場の一部の期間において何の対策も施さない場合ブリザーバルブが作動して外部に原油ベーパーを放散する可能性のあることが示唆された。

しかし、実船計測の場合分析等が困難でブリザーバルブが作動することが確認されたとしてもそれ以上の検討にはかなりの制約が伴う。

当実験では模型タンクを利用した実験によって、ある程度自由な条件設定を行い、タンク等の密閉空間系における蒸発性を検討し、実船での計測結果、調査事項等を総合してベーパー放散防止対策の提案につなぐことを目的として模型実験を行ったものである。

3.7.2 実験の方法

(1) 試験装置

(a) 蒸気圧測定装置

JIS K2258－1965 に示されたリード法蒸気圧測定用試験装置を用いた。

(b) ベーパー発生試験装置

試験装置の概要を図3.7.2.1に示す。

タンクは寸法2m（長さ）×1m（幅）×0.5m（高さ）の鋼製であり、表面積調整板を入れての表面積変化試験のためにタンク頂板は一部取りはずし可能とし、又、油面の変化量が観測できるよう油面計を取り付けた。

又、強制冷却試験用にタンクの頂部のまわりにふち取りをつけてタンク上面だけの加熱、冷却ができるようにした。

(i) 温度計測

タンク内部の温度の均一性を観察するために、油温4点、ガス温2点の測定を行った。一例として、アレージスペース30mmの場合の測定点は油温底から125mm、250mm、375mm、460mmの4点、ガス温油面上10mm、25mmの2点。

(ii) 圧力計測

タンク内の圧力変化を調べるために、水柱マノメータ、連続記録圧力計を取り付け試験中における圧力変化を測定した。

(iii) ベーパー発生速度計測

ベーパー発生速度計測の系統図を図3.7.2.2に示したが、試験開始後、ブリザーバルブから放出されたガスを水上置換法で捕集して計量し、時間変化とベーパー発生量の関係を検討した。

（炭化水素の水中への溶解は微量であり、無視できる。）

(iv) ガス分析

ガスは図3.7.2.1装置図のサンプリング口から注射器で油面上1cm位置からサンプリングし、すばやくFIDガスクロマトグラフィーで分析した。FIDガスクロマトグラフィーは島津製であり、キャリャーガスとしてHe（ヘリウム）を用い充填剤として担体Shimalite上にApiezone－Lを25wt％担持させ、3φ6mのカラムを用いて定性定量分析を行った。

(2) 試験方法

(a) 蒸気圧の測定

JIS K2258－1965に示されたリード法に従い、ベーパー発生試験に先立ち17℃、25℃、34℃及び100℉（37.8℃）の蒸気圧の測定を行った。

(b) ベーパー発生試験

本試験法を下記に示す。

① 油温を試験条件に調整し、試験タンク全体を恒温槽につけ油温、気相温度が一定になるようにする。（試験中の温度変化が小さくなるように、タンク全体を恒温槽につけて試験を行う。）

② ベーパー発生速度を大きくするために、アレージスペース部の約10倍量のN_2ガスを約20分間でブロー置換し、気相部のベーパー濃度を減少させる。

③ N_2ブロー後内圧が試験条件になるまでN_2ガスを送入し、ブリザーバルブが開となる直前にN_2ガス送入をストップするが、ベーパーの発生により、まもなくブリザーバルブが開となり、捕集器に発生ベーパーが入る時を測定開始点とする。

④ ガス発生量、油面から1㎝上部のガス濃度の経時変化計測する。原油の試験条件を表3.7.2.1、ガソリンの条件を表3.7.2.2に示し、その概要を説明する。

(i) 表面積

物質移動量（ベーパー蒸発量）は一般に表面積に比例するといわれているがベーパー発生量と気液界面積の相関性を検討する目的で、油面に厚さ3㎝の表面積調整板を浮かせて表面積と同時にアレージスペース部体積を変化させて、ベーパー発生速度とアレージスペース部のガス濃度、組成の経時変化を測定した。

表面積を2㎡、1.25㎡、0.75㎡の3ケースに変化させ、温度は夏場を予想して34℃、アレージスペース高さ3㎝、ブリザーバルブ操作圧0.14㎏/㎠Gの条件で行い、タンクは全体を34℃恒温水槽の中に入れ温度変化を最小限にした。

(ii) アレージスペース

空間部の高さによりベーパー発生量が変化するかどうかを検討する目的で油量を変化させてアレージスペースの高さを各々3㎝、4.5㎝、6㎝にかえてベーパー発生速度、アレージスペース部のガス濃度の経時変化を計測した。

試験は表面積2㎡、温度34℃、操作圧0.14㎏/㎠Gの条件で行い、タンクは全体を34℃恒温水槽の中に入れ、温度変化を最小限にした。

(iii) 操作圧

操作圧がベーパー発生量に与える影響を調べる目的でブリザーバルブの設定圧を変えることにより大気圧、0.07㎏/㎠G、0.14㎏/㎠Gの3ケースの操作圧のもとでベーパー発生速度とアレージスペースのガス濃度の経時変化を計測した。（大気圧での試験はブリザーバルブなし）

表面積は2㎡、温度34℃、アレージスペース3㎝の条件で試験を行いタンク全体を恒温水槽の中につけた。

(iv) 温　度

温度の変化により油の蒸気圧が変化するのでベーパー発生速度が大きく変化すると考えられるが、実船の1年間の温度変化を考慮して油温17℃（冬）、25℃（春、秋）、34℃（夏）の条件でベーパー発生速度とガス濃度の経時変化を測定した。そのとき、表面積は2㎡、アレージスペース高さ3㎝、操作圧0.14㎏/㎠Gとして、タンク全体を恒温水槽につけた。

(v) 強制冷却

実船におけるタンク内圧、加圧時の海水散水効果を検討するために、強制冷却試験を行った。

実船ではアレージスペース部のベーパー濃度が、ほぼ平衡状態にあると考えられるので、試験は温度34℃、表面積2㎡、アレージスペース高さ3㎝、操作圧0.14㎏/㎠Gの条件で、前述したベーパー発生試験をし、試験開始後、約150分たった時（気相部のガスが飽和状態になったと仮定して）に気相部のガス抜きを行い常圧まで圧力を降下させてから閉鎖系にすると同時に恒温水槽の水

をタンクの上面が空気中3㎝出るまで減らし、試験タンクの上面を50℃の温水であたためる。（タンクの油温は34℃となるよう恒温水槽につけた状態で維持する。）

気相部の温度が定常になった後、約1.5時間維持してから25℃の水でタンク上面を冷却する。

ガス濃度と圧力の経時変化を測定した。

3.7.3 実験結果

(1) 予備試験

(a) 原油の蒸気圧変化

原油のR.V.P.は試験の回数により、初期0.260Kg／㎠G $\xrightarrow[\text{1回テスト}]{34℃}$ 0.253Kg／㎠G $\xrightarrow[\text{5回}]{34℃}$ 0.222Kg／㎠Gに変化したが、その時のガス組成とガス濃度、0～150分間に発生したベーパー発生量の関係及び25℃、17℃の結果を表3.7.3.1に示し、図3.7.3.1、図3.7.3.2には、温度とガス組成の関係、100℉におけるR.V.P.とガス組成変化の関係を示したが、温度変化によるガス組成変化はないと考えてよく、又、R.V.P.が大きい方が軽質ガス組成が大きいようである。図3.7.3.3には原油、図3.7.3.4にガソリンのリード法による温度と蒸気圧の関係を示した。

又、図3.7.3.5には蒸気圧と試験開始後150分間に発生したベーパー量の関係を示したが、ベーパー発生量は蒸気圧が高い方が大きいことを示しており、試験を行う時には、できるだけ同じ蒸気圧のもので行った方がよいと考えられるが原油量（5m^3）と試験回数（10回）を考慮して同一原油で2～3回の試験を行った。又、ガソリンについては、試験タンクの底あげを行い、1m^3のガソリンを3回に分けて使用し、2回／0.33m^3で試験を行った。

(b) ガス分析

ガス発生量を物質移動論的に表わすと(1)式のようになる。

$$V = k \cdot A \cdot (y^* - y) \quad \cdots\cdots (1)$$

V： ベーパー発生量

k： 物質移動係数

y^*, y： 気液界面、気相部のベーパー分率（ベーパー濃度）

A： 表面積

そこでy^*の値はリード蒸気圧から推算したガス分率とし、yの値の変化をガス分析値から検討し、ベーパー発生量とガス濃度の関係を検討した。

ガス分析上の注意事項

① ガス分析はサンプリング後すぐに分析しないとベーパー中の重質分の凝縮等の影響のためか、バラツキがでる。

② 1回の分析に約40分間必要である。

③ 気相部では高さ方向に濃度分布あり。

（一例）

温　度	34℃	の条件で
操作圧	0.14Kg／㎠G	油面上 5㎜、15.4 Vol%
アレージスペース高さ	30㎜	〃 15㎜、15.1 〃
表面積	2m^2	〃 25㎜、14.8 〃

①～③を考慮すると、気相各部の濃度の経時変化を追求するのが困難であるため、ある定点（油面上1㎝）での濃度、組成分析を代表値としてそれの経時変化を調べ、(1)式によりとりまとめた。

アラビアンライト原油の分析結果の一例として、温度34℃、操作圧0.14Kg／cm²G、表面積2m²、アレージスペース高さ3cm、の気相部の分析結果の経時変化を図3.7.3.6～図3.7.3.10に示し、図3.7.3.11にその結果をとりまとめた。又、図3.7.3.12にガソリンベーパーの分析結果の一例を図3.7.3.13、図3.7.3.14にその経時変化を示した。

(2) 試　験

(a) 表面積

試料油としてアラビアンライト原油を用いて表面積を変化させたときのベーパー発生速度とベーパー濃度の経時変化の結果を図3.7.3.15～図3.7.3.17に示し、図3.7.3.18は表面積と0～150分までのトータル発生量との関係を検討した。

又、図3.7.3.19に物質移動係数（k）の経時変化を示したがkの値はよく一致していた。

又、図3.7.3.18をみれば明らかなように0～150分までのベーパー発生量と表面積とが比例していることが確認された。

(b) アレージスペース

表3.7.2.1の原油のアレージスペース3cm、4.5cm、6cmの各々の条件下での結果を図3.7.3.20～図3.7.3.22に示した。

又、0～150分までのトータル発生量とアレージスペース高さの関係を図3.7.3.23に、又、物質移動係数と時間との関係を図3.7.3.24に示した。図3.7.3.23をみれば明らかなようにアレージスペース高さが大きいほどベーパー発生量が多く、又、図3.7.3.24はkの値もアレージスペース高さが大きいほど大きい値となった。

表3.7.2.2のガソリンのアレージスペース変化試験の結果を図3.7.3.25～図3.7.3.27に示し、ベーパー発生量とアレージスペース高さの関係を図3.7.3.28に示したが原油と同様にアレージスペース高さが高い方がベーパー発生量が多かった。

(c) 操作圧

原油について操作圧0、0.07、0.14Kg／cm²Gの条件下での試験結果を図2.7.3.29～図3.7.3.31に示し、0～150分までのトータルベーパー発生量と操作圧の関係を図3.7.3.32に示したが、操作圧が変わっても発生量には顕著な変化がみられなかった。

又、それぞれの試験について物質移動係数kの経時変化を示したのが図3.7.3.33であるが、操作圧が小さい方が、kが大きいようでもあるが、はっきりとした傾向が得られなかった。

(d) 温　度

原油について表3.7.2の温度変化試験の17℃、25℃、34℃の場合についての結果を図3.7.3.34～図3.7.3.36に示し、ベーパー発生量と温度の関係を図3.7.3.37に示したが、高温ほどベーパー発生量が大きかった。

又、図3.7.3.38～図3.7.3.40に18.5℃、25℃、31.5℃におけるガソリンの試験結果を示し、図3.7.3.41に温度とベーパー発生量の関係を示したが、原油の場合と同様に高温ほどベーパー発生量は大きかった。

(e) 強制冷却

実船では気相部のベーパー濃度は平衡（飽和状態）に達していると予想されるが、本試験でもそのことを考慮して、気相部の濃度が飽和状態に近づいた時点から加熱冷却試験を行い、圧力、ガス濃度、温度変化の測定結果を図3.7.3.42に示した。

タンク上面50℃加熱によりアレージスペース部油面上10㎜の温度は46℃で一定になり、圧力は0㎜Aqから630㎜Aqまで、ガス濃度は16Vol%から22Vol%まで上昇したが、その後に25℃の水で冷却すると気相部温度は28℃、ガス温度17Vol%、圧力230㎜Aqまで減少した。

図3.7.3.42のガス濃度変化をみると、加熱開始時には31℃平衡濃度18.3 Vol%まで達しておらず、その後の加熱によりベーパーが蒸発してベーパー濃度が上昇する。気相部の温度が46℃になっても、①気液界面の温度は46℃より低い。②平衡濃度に達するまでには長時間が必要である等を考えると、気相温度46℃1.5時間で未だ平衡には達しておらずベーパーが蒸発しているため圧力は上昇傾向にあるが、その後の冷却により気相部温度は28℃になり、28℃のR.V.P.の値から換算した28℃での平衡濃度16.5 Vol%より若干大きな値17.0 Vol%までガス濃度を下げることができた。

（気液界面温度は28℃より若干大きいと予想される）

3.7.4 考察及び解析

(1) 蒸発速度

森下等[1]によると、原油における開放系でのベーパー発生量は、ベーパーの物性から求めた蒸発速度係数からの計算値と実験値がオーダ的によく合うということであるので本試験にも適応して検討した。

表3.7.4.1～表3.7.4.3は温度17℃、25℃、34℃の各々の蒸発速度係数の計算結果をとりまとめたものである。表中の蒸発速度係数の算出は文献1を参考にしてP_AはAntoineの式、各成分の拡散係数D_{AB}は藤田の式を用いて推算し、φについてはモル分率とφの関係式を利用した。

又、図3.7.4.1で34℃における蒸発速度の実測値と蒸発速度係数を用いた計算値の経時変化を比較した結果、試験の初期では両者はオーダ的に大きな差はないが、時間の経過とともに差が大きくなり、アレージスペース内のガス濃度が高くなり平衡に近づくと本実験値は計算値の $\frac{1}{100}$ 以下となっていた。従って、文献1のような開放系では蒸発速度係数を用いてベーパー蒸発量の推算は可能であるが、本試験のような閉鎖系、半閉鎖系内で、なお、かつ、ベーパー濃度が平衡付近にあるガス相へのベーパーの蒸発量を推算するのに蒸発速度係数を用いるのは好ましくないと考えた。

(2) 実験式の検討

文献1の拡散モデルを利用したベーパー発生量の推算法を引用すると下記の(2)式のようになる。

$$V = \Sigma \frac{1}{1-Xio} \frac{\exp(-\varphi^2)}{1+erf\varphi} \sqrt{\frac{DiB}{\pi t}} \quad Ci^{*} \qquad \cdots\cdots (2)$$

t	：	時　間
DiB	：	拡散係数
Ci^{*}	：	界面濃度
Xio	：	モル分率
φ	：	$\overline{V}_y \sqrt{t/DiB}$
$\overline{V}_y$	：	モル平均速度

又、単位表面積あたりのベーパー発生量を前述した(1)式と(2)式で比較検討してみた。

(1)式を各組成ガスごとに表わすと

$$V = \Sigma ki\,(yi^{sat} - yi) = \Sigma k'i\,(Ci^{*} - Ci) \qquad \cdots\cdots (1)'$$

(2)式と(1)'式　$Ci = 0$ としたとき

$$\Sigma k'i = \Sigma \frac{1}{1-Xio} \frac{\exp(-\varphi^2)}{1+erf\varphi} \sqrt{\frac{DiB}{\pi t}}$$

となり、$k'i$は時間の逆数の $\frac{1}{2}$ 乗に比例しており、時間と共に物質移動係数が小さくなることを示唆しており、図2.7.3.24の時間の経過とともに物質移動係数が減少することと対応していた。

次に本試験結果を無次元数で整理し、実験式としてとりまとめた。無次元数として、物質移動係数を

無次元化したシャーウッド数Sh、流体境膜内の物質移動係数と密接な関係のあるシュミット数Sc、アレージスペース空間高さの頂を含むフーリエ数F_0間の関係を検討した。

$$Sh = \frac{k\,h}{C\,D}$$

$$Sc = \frac{\mu}{\rho\,D}$$

$$F_0 = \frac{D\,t}{h^2}$$

C ： ベーパー濃度
D ： 拡散係数
k ： 物質移動係数
h ： 代表長さ（アレージスペース高さ）
ρ ： 密　度
μ ： 粘　度
t ： 時　間

図3.7.4.2に原油のアレージスペース変化試験の50分後、100分後、150分後の結果のShとF_0の関係を両対数グラフに整理すると、時間ごとに平行な3直線が得られたが、ShはF_0の−1.3次で整理されることがわかった。

又、図3.7.4.3に温度変化試験の結果をShとScで整理すると、上記のShとF_0の場合と同様に経過時間により平行な3直線となったがShはScの5.9次でまとめることができた。

以上の結果をまとめると、原油については

$$Sh = K\,Sc^{5.9}\,Fr^{-1.3} \quad \cdots\cdots (3)$$

となり、Kの値が時間と共に変化していることを示すので、図3.7.4.4で$K = Sh / Sc^{5.9}\,F_0^{-1.3}$の経時変化を検討した。

Kの中には時間の項の1.3次分が含まれているのでKが時間と共に増大するのは当然の結果である。

そこで、時間の項を消去して係数$K' = K / t^{1.3}$の変化を図3.7.4.5で検討した結果K′は試験経過時間とともに減少しており、ベーパー濃度が平衡に近づくほどK′の値が小さいことを示していた。そこで平衡濃度からのずれ（$\triangle y = y^{*} - y$）とK′の関係を図3.7.4.6に示したが、$\triangle y$とK′はほぼ直線上にのっており、ある状態における物質移動係数（蒸発量）は、

$$Sh = K'\,Sc^{5.9}\left(\frac{D}{h^2}\right)^{-1.3} \quad \cdots\cdots (4)$$

（ただし、 $K' = 3.0 \times 10^{-3} \triangle y$）

と表わすことができた。

一方、ガソリンについても無次元数での整理を試みたが、

① ガソリンの蒸発速度が大きく試験開始後約50分でほぼ平衡濃度に達する。

② ガス分析1回行うのに40分程度かかるために、気相部ベーパー濃度変化が大きい約50分までの濃度変化を追跡することができない。

③ 50分以降のベーパー平衡濃度付近では、ガス濃度分析の測定誤差が与える物質移動係数への影響が大きい。

①〜③項の影響が大きすぎて原油の場合のような実験式として整理することができなかった。しかし、ガソリンの場合は原油に比べ平衡に達するまでの時間が短かいことが確められたので、気相部のベーパー濃度は温度変化と共に平衡濃度で変化すると考えてもよいのではないかと考えた。

(3) 強制冷却試験の解析

実験式の評価を行う目的で加熱時における圧力の変化から推定したベーパー発生量と、実験式(4)を利用して推算したベーパー発生量の比較を下記のような仮定のもとに行った。

(a) 圧力変化から推定したベーパー発生量

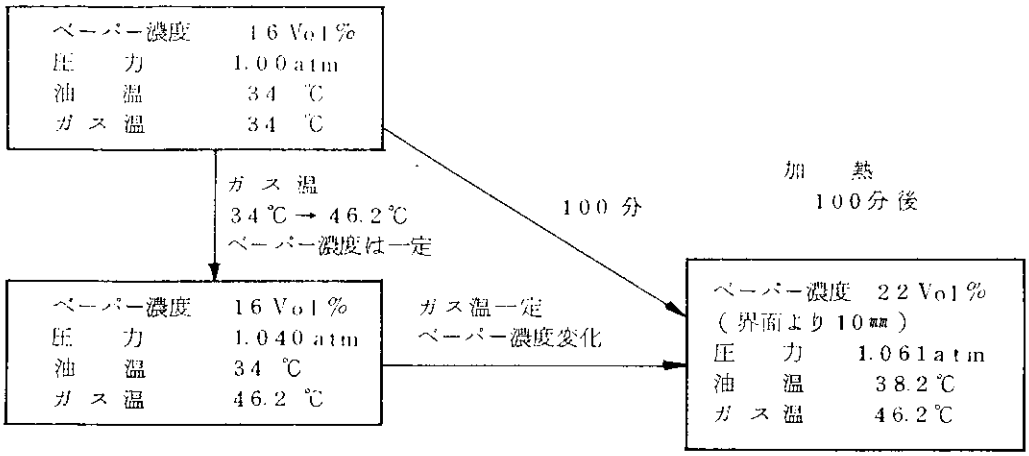
仮　定

① （気液界面温度）$= \dfrac{（気相温度）+（界面下15㎜ 油温）}{2}$

② アレージスペース内温度は均一とする。

③ アレージスペース内の初期の平均ベーパー濃度は16 Vol%とする。

④ アレージスペースの体積変化なし。

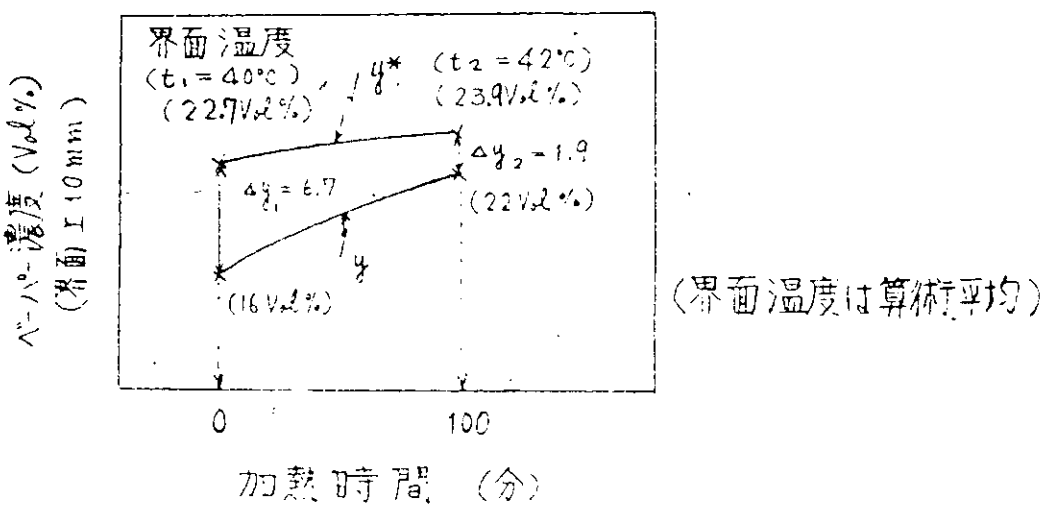


アレージスペース体積の実測値は90 ℓであるので、

圧力変化より求めたベーパー発生量Vは

$$V = 90 \times (1.061 - 1.040) = 1.9 \ (\ell / 100分)$$

(b) 実験式から求めたベーパー発生量推算値



トータルベーパー発生量は

$$\int_0^{100} V dt = \int_0^{100} kA(y^* - y)\,dt = \overline{k}A(y^* - y)\ t = \overline{k}A\overline{\Delta y}\ t \quad \cdots\cdots (5)$$

ここで、初期濃度16 Vol%、Δyとして Δy_1 と Δy_2 の平均値$\overline{\Delta y} = 4.3$ Vol%として図3.7.4.6と実験式(4)を利用してS_hを求めると

$$\overline{S_h} = 0.127$$

これから$\overline{k}$として7.82×10^{-4} CC/cm sec（7.82CC/m²sec）が与えられる。

そこで、$\overline{k}$ を(5)式に代入すると

$$V = \overline{k} \cdot A (y^{*} - y) \times t = 7.82 \times 2 \times 0.043 \times 60 \times 100$$

$$= 4040 \ (CC/100分)$$

界面温度の値として算術平均をとった場合は、実験式からの推算値が圧力変化から算出した実験値の約2倍になったが、それは界面温度の設け方がよくなかったと考えられるので、界面温度を設定しなおして実験式の検討を行った。

タンク内の気相、液相での熱伝達の関係式は界面温度を t とする。

液　側　　ガス側

$$\lambda \ell (t - t\ell) = \lambda g (tg - t) \quad \cdots\cdots (6)$$

$\lambda \ell$ 、λg ： 液相、気相の熱伝導率

t 、$t\ell$ 、tg ： 界面、液、気相温度

ある文献[2]によると40℃における石油の熱伝導率は、

$\lambda \ell = 0.125$ K*cal*/m・h・℃

と与えられており、又、N_2（40℃）のそれは、

$\lambda g \fallingdotseq 0.24$ K*cal*/m・h・℃

である。ここで気相中に原油ベーパーが0～30％程度含まれても λg の値の変化は小さいと考えられるので $\lambda g = 0.24$ を用いて(6)式により界面温度を算出し、それから得られた $\triangle y_1$ と $\triangle y_2$ から $\overline{\triangle y} = 2.5$ Vol％として図3.7.4.6と実験式(4)を利用して $\overline{Sh}$ を求めると、

$\overline{Sh} = 0.0814$

これから、

$\overline{k} = 5.01 \times 10^{-4}$ CC/*cm* sec

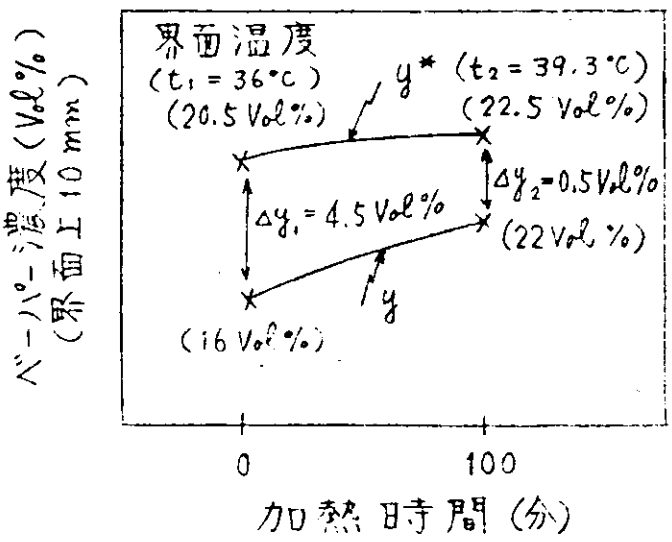
が与えられる。

そこで(5)式より

Vを求めると、

$V = 1500$（CC/100分）

1500CC/100分と(a)で求めた値1900CC/100分を比較すると約20％の誤差で一致しており、界面温度の設定がうまくできればアレージスペース内の状態と本実験式(4)の活用によりベーパー発生量を推算できる見通しを得た。



(4)　実船への応用

実船では日中は日射により気相部が加熱されて高温、高圧となり、ベーパーが発生し、夜間は冷えこみ低温、低圧になり空気を吸込むというサイクルを続けており、そのサイクルは一定でなく一年中変化する。

そこで、最もベーパー発生量が多いと考えられる夏場を想定して実船の圧力温度変化をモデル化して1日の変化を図3.7.4.7に示し、その各状況における圧力、温度、ガス濃度変化を表3.7.4.4に示し、1日あたりのベーパー発生量推算法を検討した。

図3.7.4.7の実船モデルでは①の状態で最低温度を記録し、その後温度が上昇昇圧し、②でブリザーバルブが開となり、その後③の位置で最高温度を示し、ここで、ブリザーバルブが閉となり、以後、降

温して圧力が低下し、④で下限設定圧になると共に空気を吸込みはじめ、⑤で最低温度となり、ここで、ブリザーバルブが閉となり①に戻るサイクルである。

また、ベーパー排出量を推算するために図3.7.4.7の①から③までの変化を次図のようなモデルを作り、排出量の推算を行った。

ここで、$\triangle P_1$は温度が$T_1 \rightarrow T_2$に上昇した時に気体が膨張するために生ずる圧力変化であり、$\triangle P_2$はベーパー発生量$\triangle n$による昇圧項である。

図3.7.4.7の番号と同

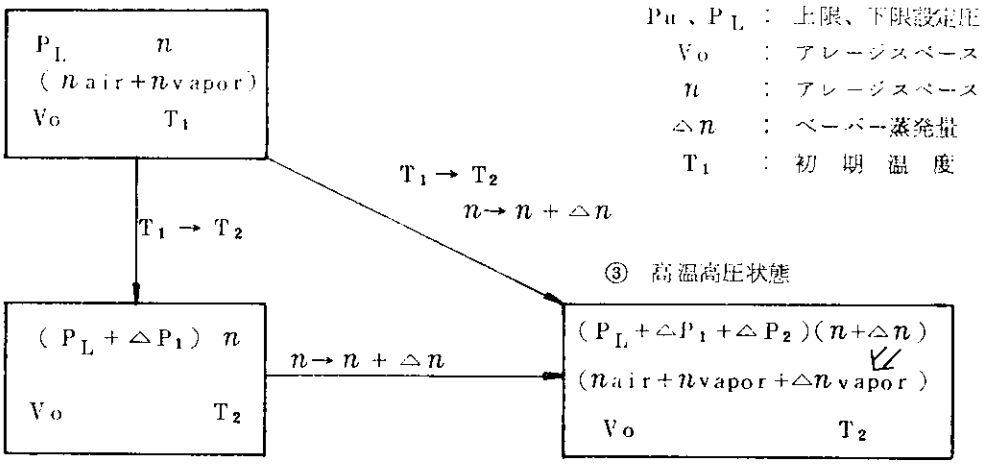
P_u、P_L ： 上限、下限設定圧

V_o ： アレージスペース体積

n ： アレージスペースガス量

$\triangle n$ ： ベーパー蒸発量

T_1 ： 初期温度



アレージスペース内部のガスを理想気体とすると、$\triangle P_1$、$\triangle P_2$は各々

$$\triangle P_1 = \frac{nR}{V_o}(T_2 - T_1) \qquad (R：気体定数)$$

$$\triangle P_2 = \frac{\triangle nR}{V_o} T_2$$

と表わすことができる。

これらの昇圧項（$\triangle P_1 + \triangle P_2$）とベーパー排出との関係は（$\triangle P_1 + \triangle P_2$）と（$P_u - P_L$）との比較をすればよく

(イ) $\triangle P_1 + \triangle P_2 > P_u - P_L$ のときベーパー排出

ガス排出量 $V_{out} = V_o(\triangle P_1 + \triangle P_2) - (P_u - P_L)$

（ベーパー排出量 $V_{out} = \dfrac{n_{vapor} + \triangle n_{vapor}}{n_{air} + n_{vapor} + \triangle n_{vapor}} V_{out}$）

(ロ) $\triangle P_1 + \triangle P_2 < P_u - P_L$ のときベーパー排出なし という結果となる。

ここで、$\triangle P_1$はアレージスペース内の温度変化で決まるが、$\triangle P_2$はベーパー発生量$\triangle n$による圧力変化項であり、正確に推定するのは難しいが、概略の推算は以下に記すような2方法で可能である。

① アレージスペース内部のベーパー濃度は、気油界面温度と平衡組成で変化すると仮定→界面温度により平衡濃度は推定できるので、それらの差からベーパー発生量$\triangle n$は推算できる。

（蒸気圧のあまり高くない原油では、気油平衡状態付近でのベーパー発生速度は小さいので温度変化とともに平衡組成で変化することはなく、①のような推算法では$\triangle P_2$を過大評価すると予想される。）

② 本試験の実験式(4)の活用

強制冷却試験で検討したように、初期の状態のベーパー物性から蒸発速度係数kを(4)式より推定し、

$$\triangle n = \int V\,dt = \int k A (y^{*} - y)\,dt$$

としてベーパー発生量$\triangle n$を求め、$\triangle P_2$の推算を行う手法である。

以上、述べたように温度上昇によるアレージスペース内圧力の昇圧項として気体膨張による$\triangle P_1$とベーパー発生によるガス濃度の上昇に伴う$\triangle P_2$の２項であり、$\triangle P_1$は温度変化計測により推算可能であり、又、アラビアンライト原油では実験式(4)を活用して$\triangle P_2$の推算が可能であることが確認された。

（アラビアンライト原油と蒸気圧の大差ないものについては実験式(4)の活用は可能であると推定）

3.7.5 実験のまとめ

(1) アラビアンライト原油及びガソリンで行った模型試験の結果、各因子の及ぼす影響については次表のように整理できる。

表3.7.5.1 ベーパー発生に影響を与える因子

	因子	結果
(1)	表面積	ベーパー発生量は表面積に比例する。
(2)	操作圧	試験条件下（0～0.14 Kg／cm² G）では影響なし。
(3)	温度（蒸気圧）	温度（蒸気圧）が高いほどベーパー発生量が大きい。
(4)	アレージスペース	アレージスペースが大きいほどベーパー発生量が大きい。

(2) アラビアンライト原油の蒸発試験結果を実験式で整理すると、次式のようになる。

本式は強制加熱試験結果にもよく適応しており、実船のタンク加熱時の蒸発推算に利用できる。

$$Sh = K' Sc^{5.9} \left(\frac{h^2}{D}\right)^{1.3}$$

$$K' = 3.0 \times 10^{-3} \triangle y$$

Sh ： シャーウッド数 $\left(\frac{k h}{C D}\right)$　　k ： 物質移動係数

Sc ： シュミット数 $\left(\frac{\mu}{\rho D}\right)$　　C ： ベーパー濃度

h ： アレージスペース高さ　　ρ ： 密度

D ： 拡散係数　　μ ： 粘度

$\triangle y$ ： 平衡濃度からのずれ

(3) 実船での加熱時におけるベーパー発生量の推算の詳細手順は本文によることとするが、その基本は次の通りである。

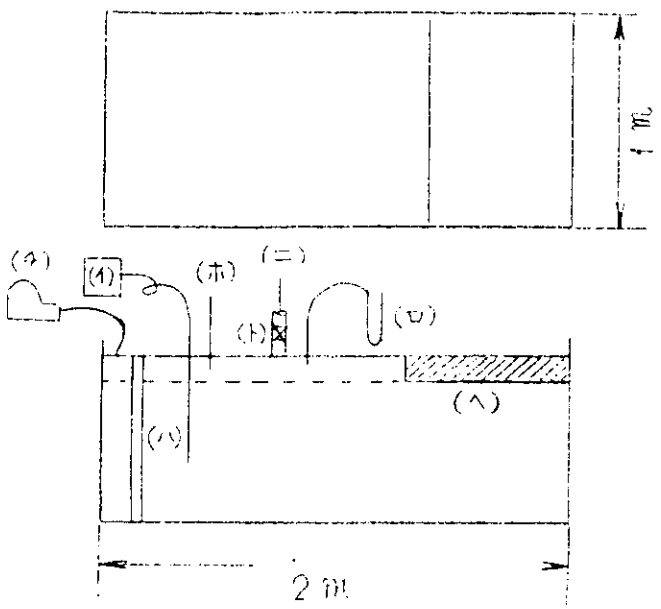
即ち、前式及び図3.7.4.6を利用してSh数を求め、これより物質移動係数kを求めることにより、蒸発量を計算できる。一方、タンクの加熱により膨張を別途計算し、当該蒸発量による圧力上昇を加算すればタンク内圧力が推算できる。この結果、タンク内圧がブリサーバルブの設定圧を越えれば、ガスの放散となり、その際の放散ガス量は、これらの圧力変化から推算することができる。

参考文献

1） 栗原、福地、森下 ： 「西部造船会会報」44号、P201～219

2） 燃料協会 ： 「燃料便覧」 丸善、昭28

(イ)　遠隔表示温度計（６点計測）
(ロ)　マノメーター及び連続記録圧力計
(ハ)　油位計
(ニ)　ベーパー排出量計測用排出口
(ホ)　ガス分析用サンプリング口
(ヘ)　表面積調整板
(ト)　ブリザーバルブ
(チ)　内圧調整，N2 パージ用エアポンプ



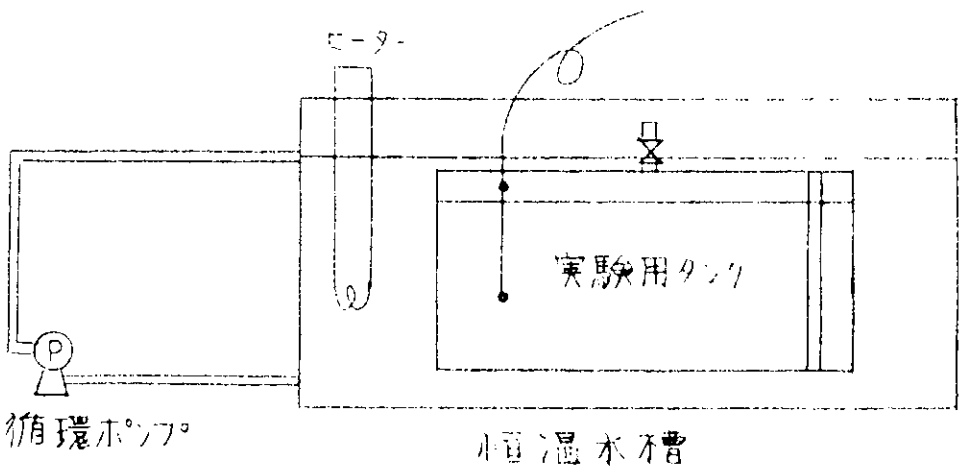


図 3. 7. 2. 1　ベーパー発生試験装置

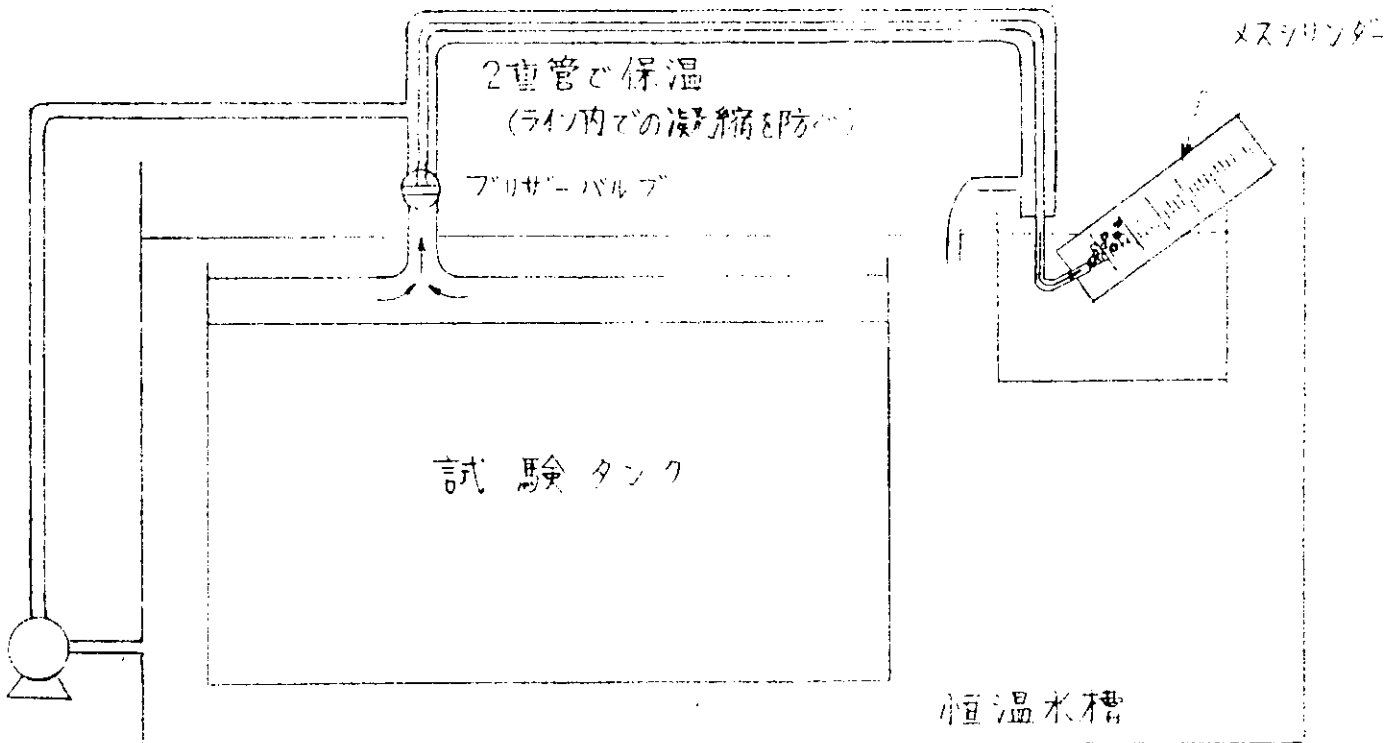


図 3. 7. 2. 2　ベーパー発生量測定法概路図

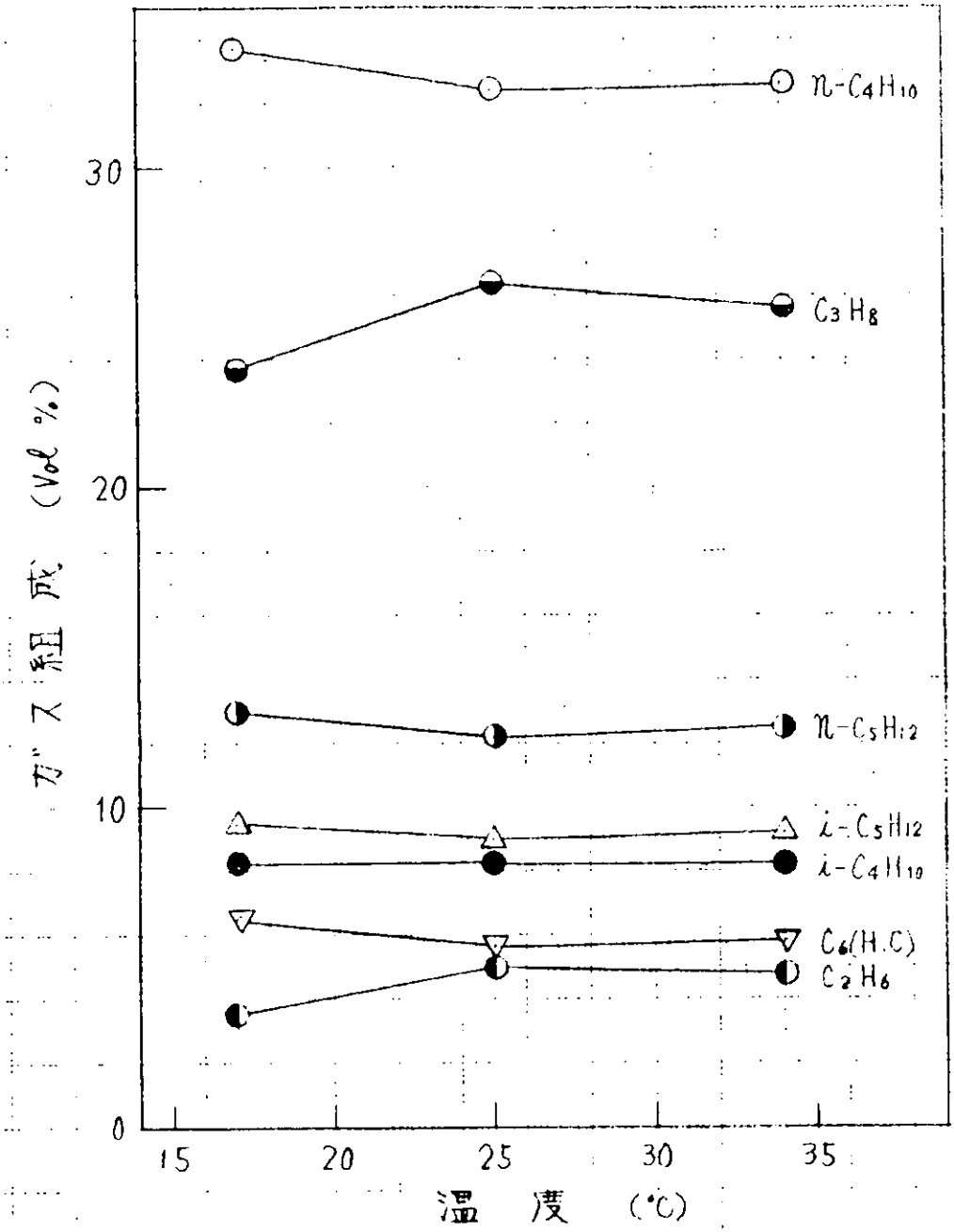


図 3. 7. 3. 1　温度とガス組成の関係

34°C　RVP (100°F) 0.253 (kg/cm²G)
25°C　〃　(〃) 0.258 (〃)
17°C　〃　(〃) 0.240 (〃)

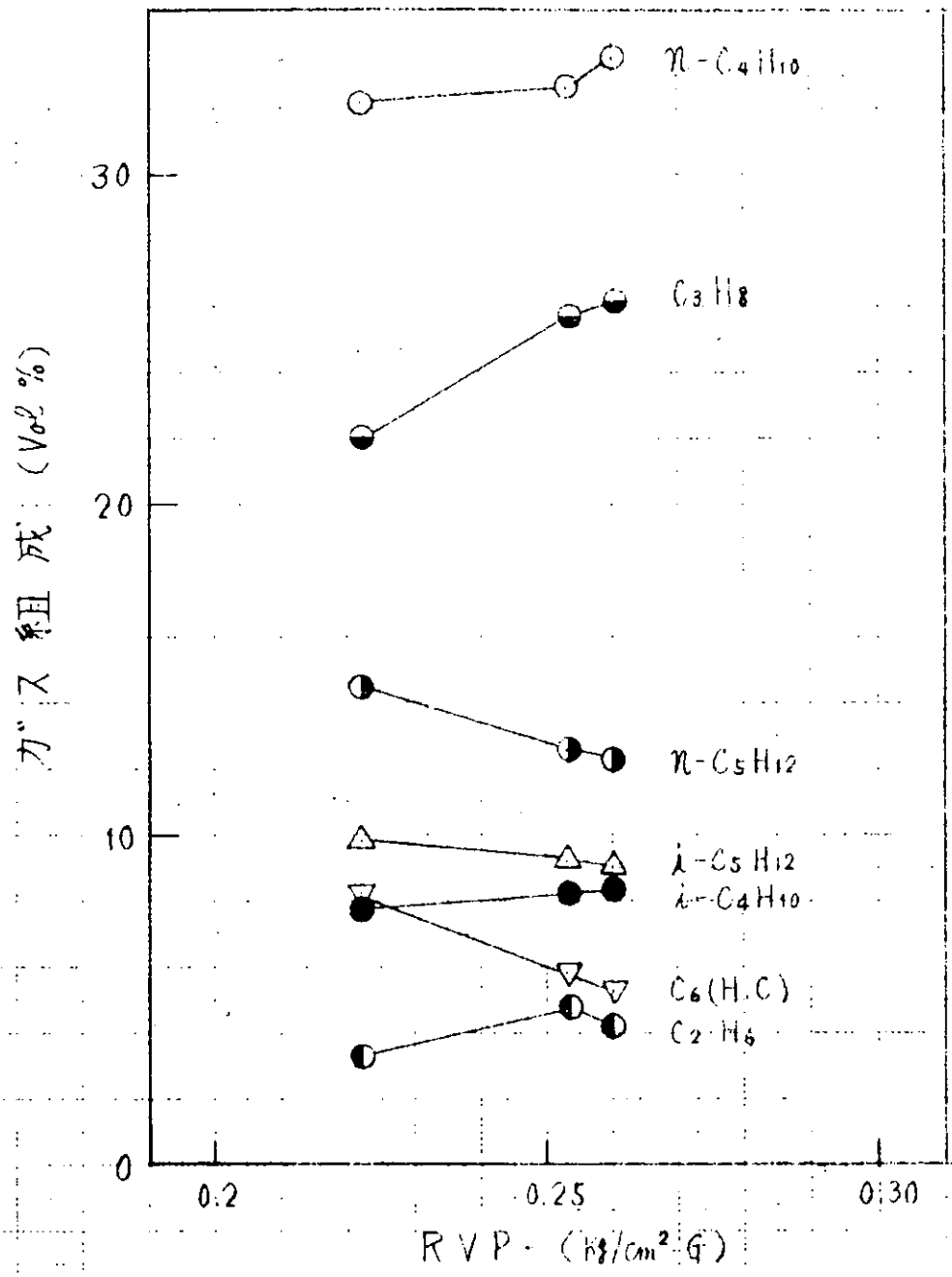


図 3. 7. 3. 2　RVPと組成変化

温　度　　34°C
操作圧　　0.14 kg/cm² G
アレージスペース高さ　30 mm
表面積　　2 m²

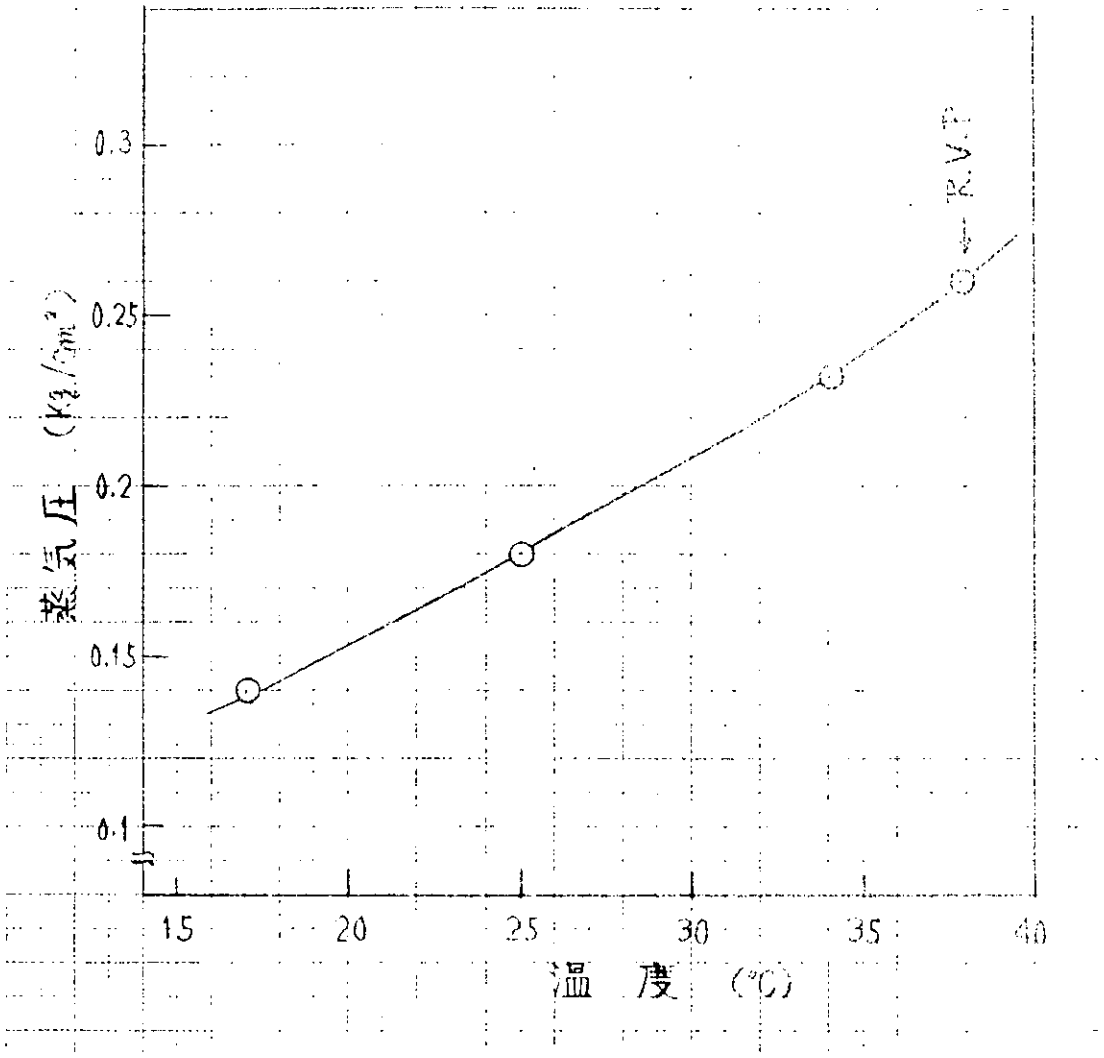


図 3. 7. 3. 3　リード法による温度と蒸気圧の関係

（アラビアンライト原油）

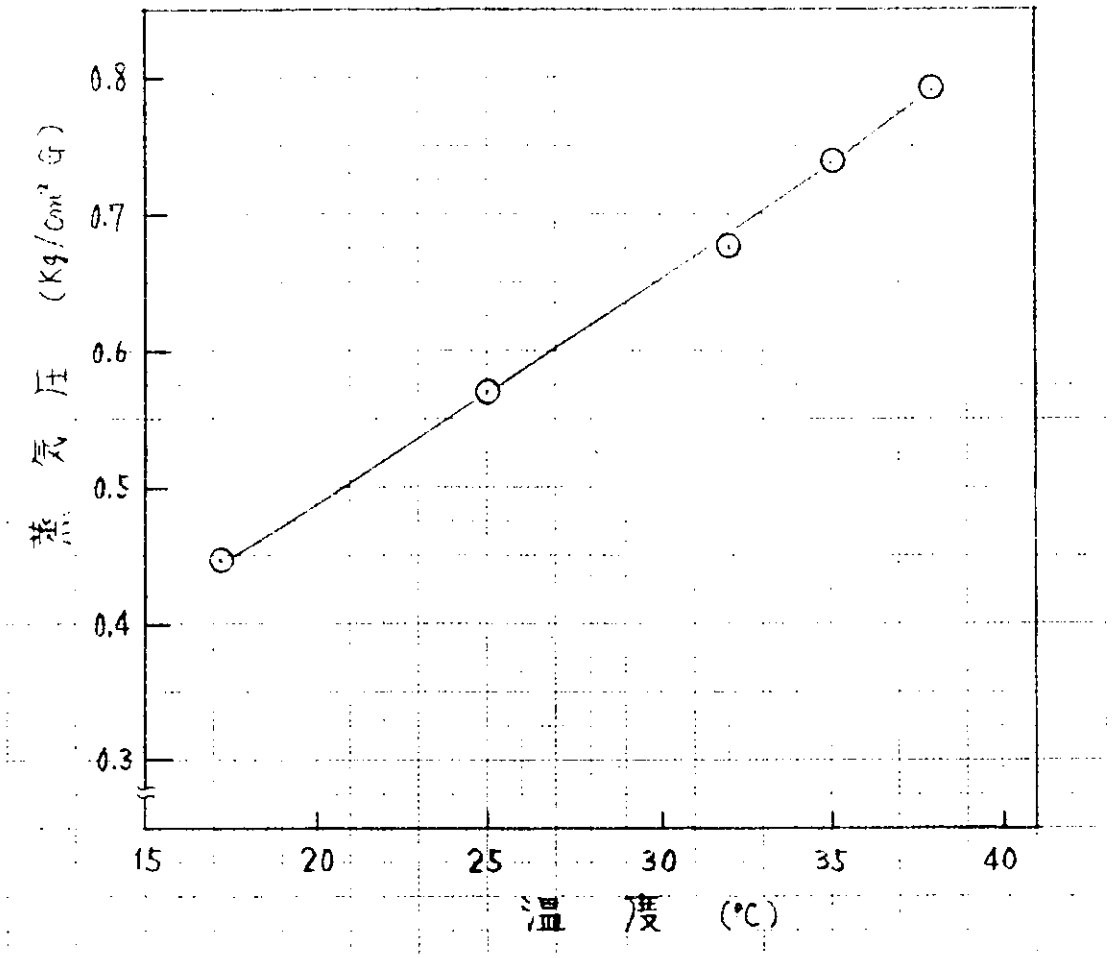


図 3. 7. 3. 4　リード法による温度と蒸気圧の関係

（ガソリン）

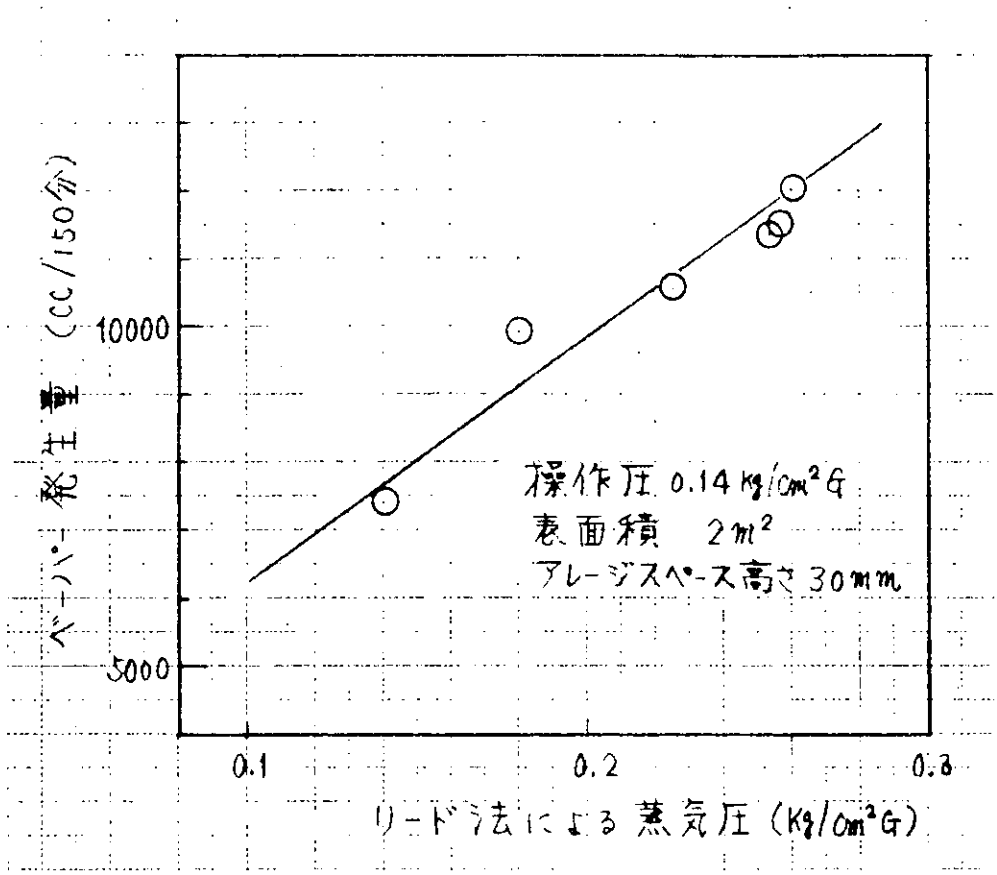
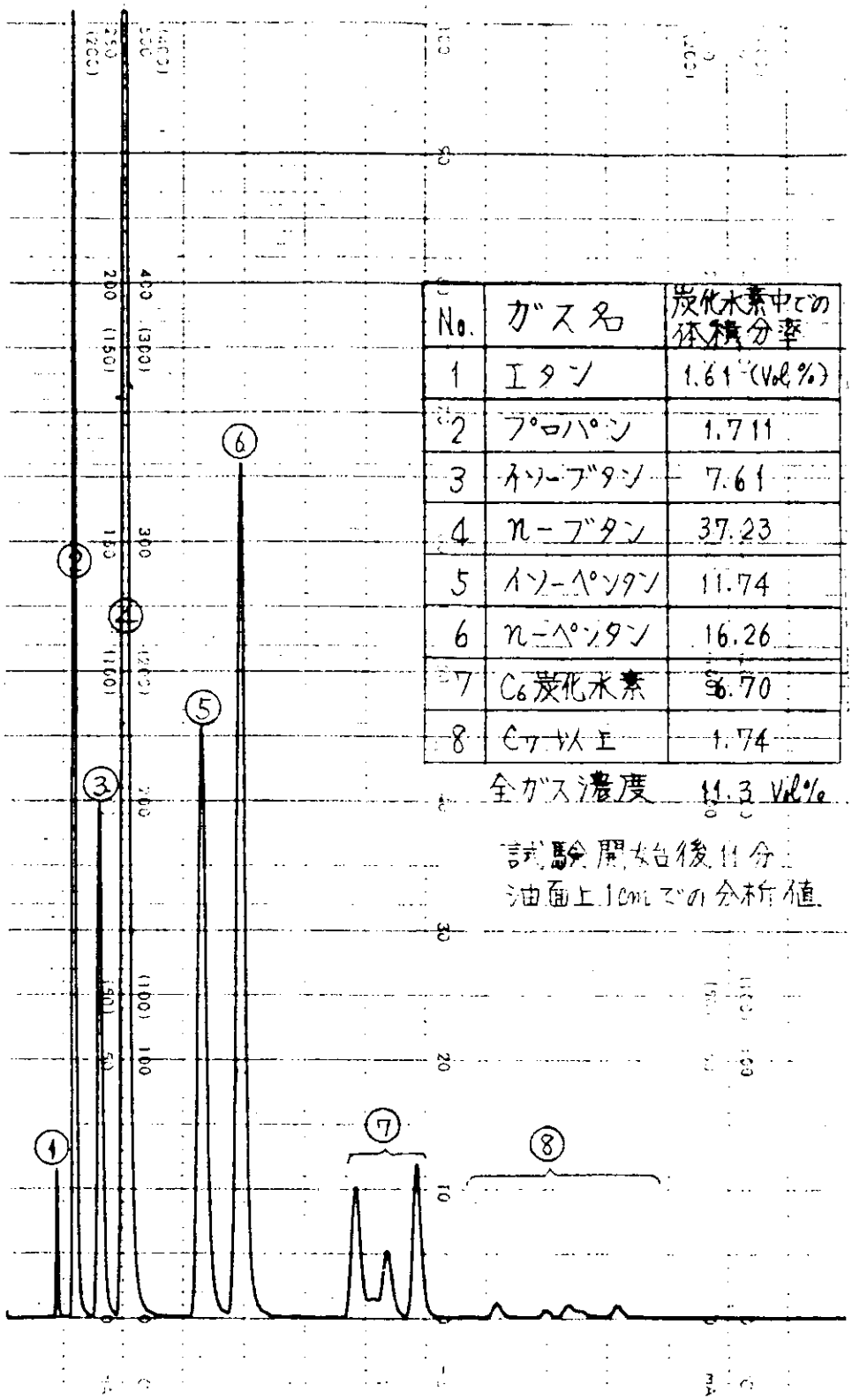


図 3. 7. 3. 5　蒸気圧とベーパー発生量の関係

（ベーパー発生量は 0 ～ 150 分間のトータル量）

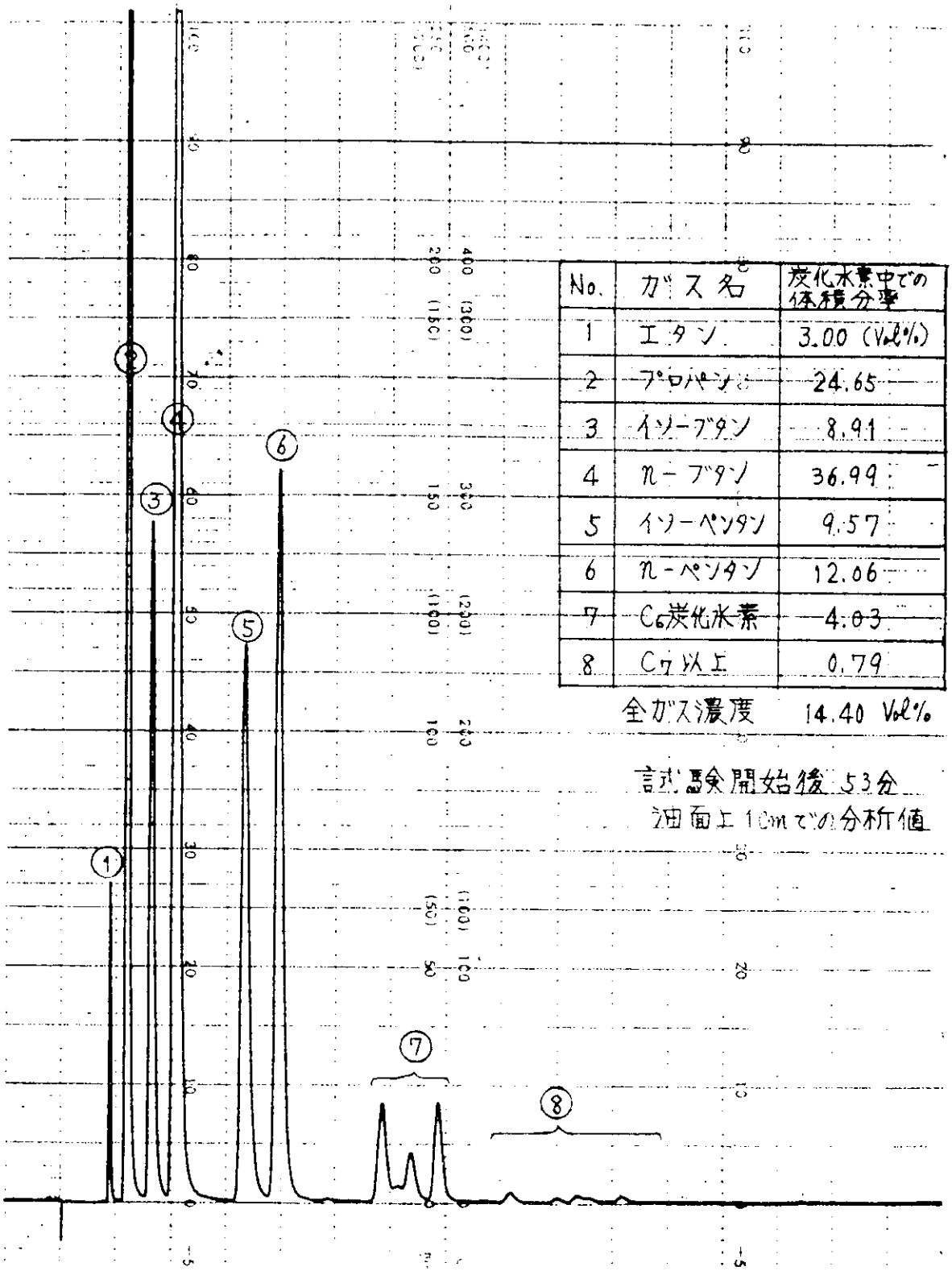


No.	ガス名	炭化水素中での体積分率
1	エタン	1.61 (Vol%)
2	プロパン	1.71
3	イソーブタン	7.61
4	n-ブタン	37.23
5	イソーペンタン	11.74
6	n-ペンタン	16.26
7	C_6炭化水素	16.70
8	C_7以上	1.74
	全ガス濃度	11.3 Vol%

試験開始後11分
油面上1cmでの分析値

図 3. 7. 3. 6　ガス分析結果(i)

温　度　34°C
操作圧　0.14 Kg/cm² G
アレージスペース高さ　30 mm
液面積　2 m²

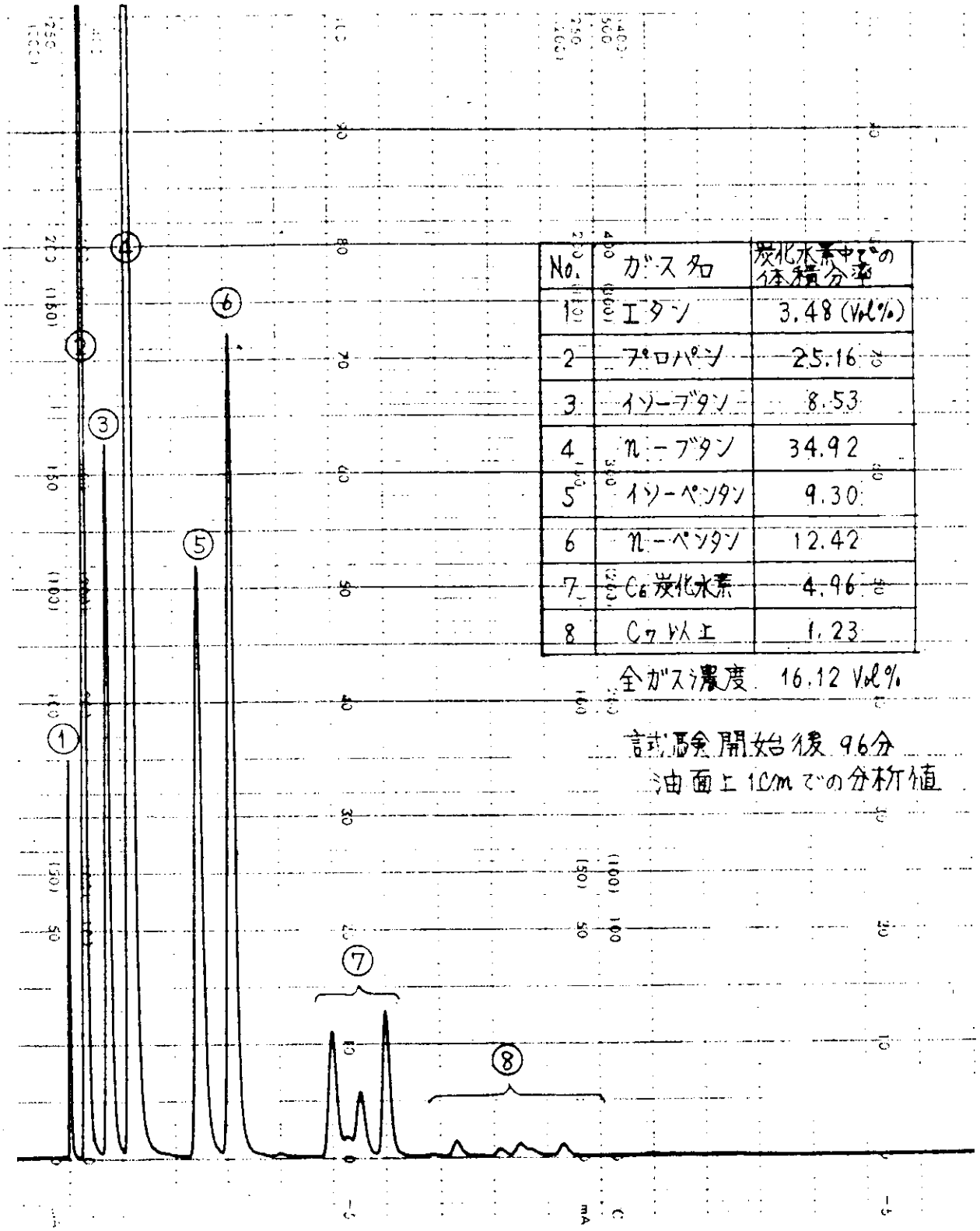


No.	ガス名	炭化水素中での体積分率
1	エタン	3.00 (Vol%)
2	プロパン	24.65
3	イソーブタン	8.91
4	n－ブタン	36.99
5	イソーペンタン	9.57
6	n－ペンタン	12.06
7	C_6炭化水素	4.03
8	C7以上	0.79
	全ガス濃度	14.40 Vol%

試験開始後 53分
油面上 10cmでの分析値

図 3. 7. 3. 7　ガス分析結果(2)

温　度　34°C
操作圧　0.14 Kg/cm²·G
アレージスペース高さ　30 mm
表面積　2 m²



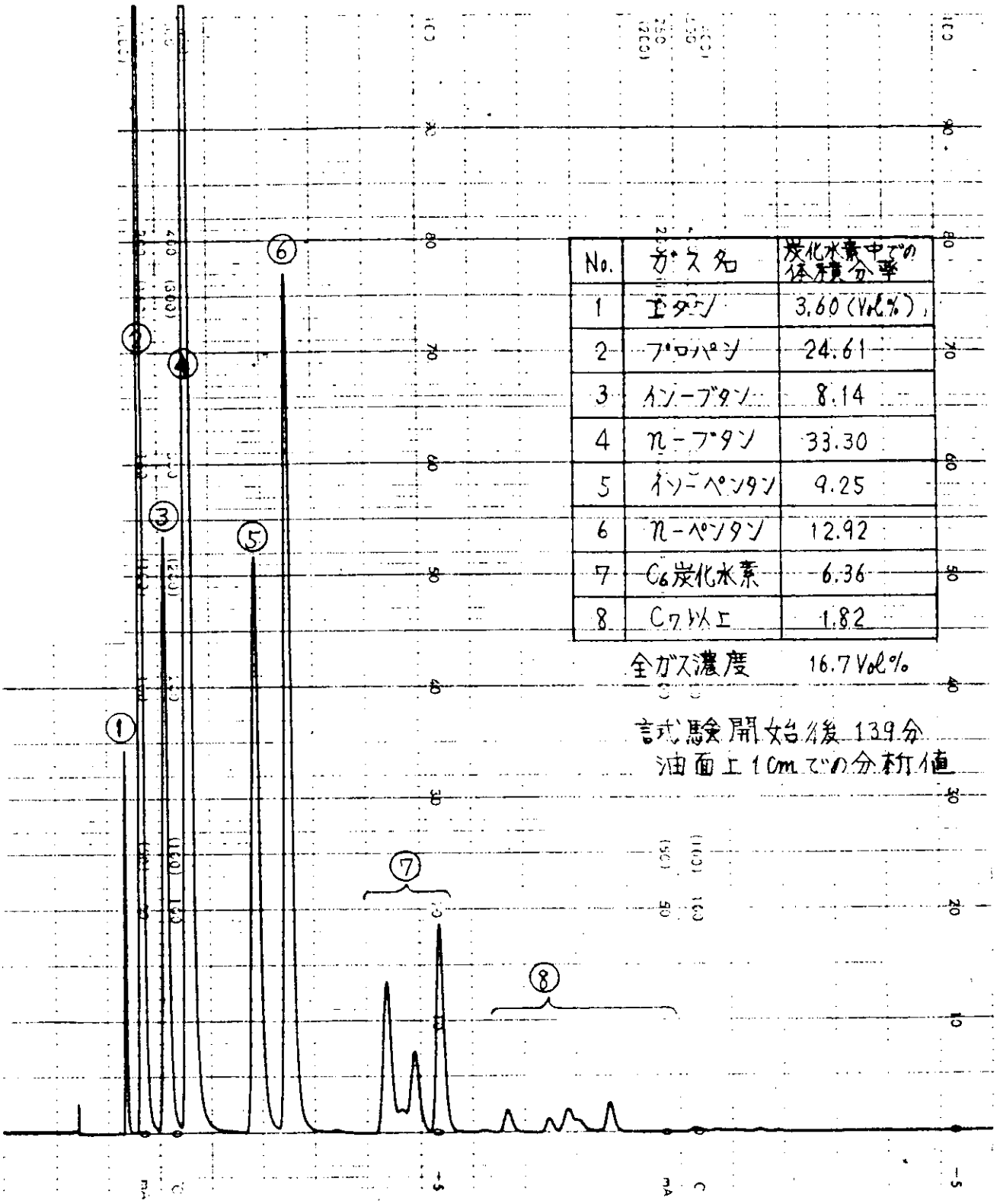
No.	ガス名	炭化水素中での体積分率
1	エタン	3.48 (Vol%)
2	プロパン	25.16 〃
3	イソーブタン	8.53
4	n-ブタン	34.92
5	イソーペンタン	9.30
6	n-ペンタン	12.42
7	C6 炭化水素	4.96 〃
8	C7 以上	1.23

全ガス濃度 16.12 Vol%

試験開始後 96分
油面上 10cm での分析値

図 3. 7. 3. 8　ガス分析結果(3)

温　度　34°C
操作圧　0.14 kg/cm²·G
アレージスペース高さ　30 mm
表面積　2 m²

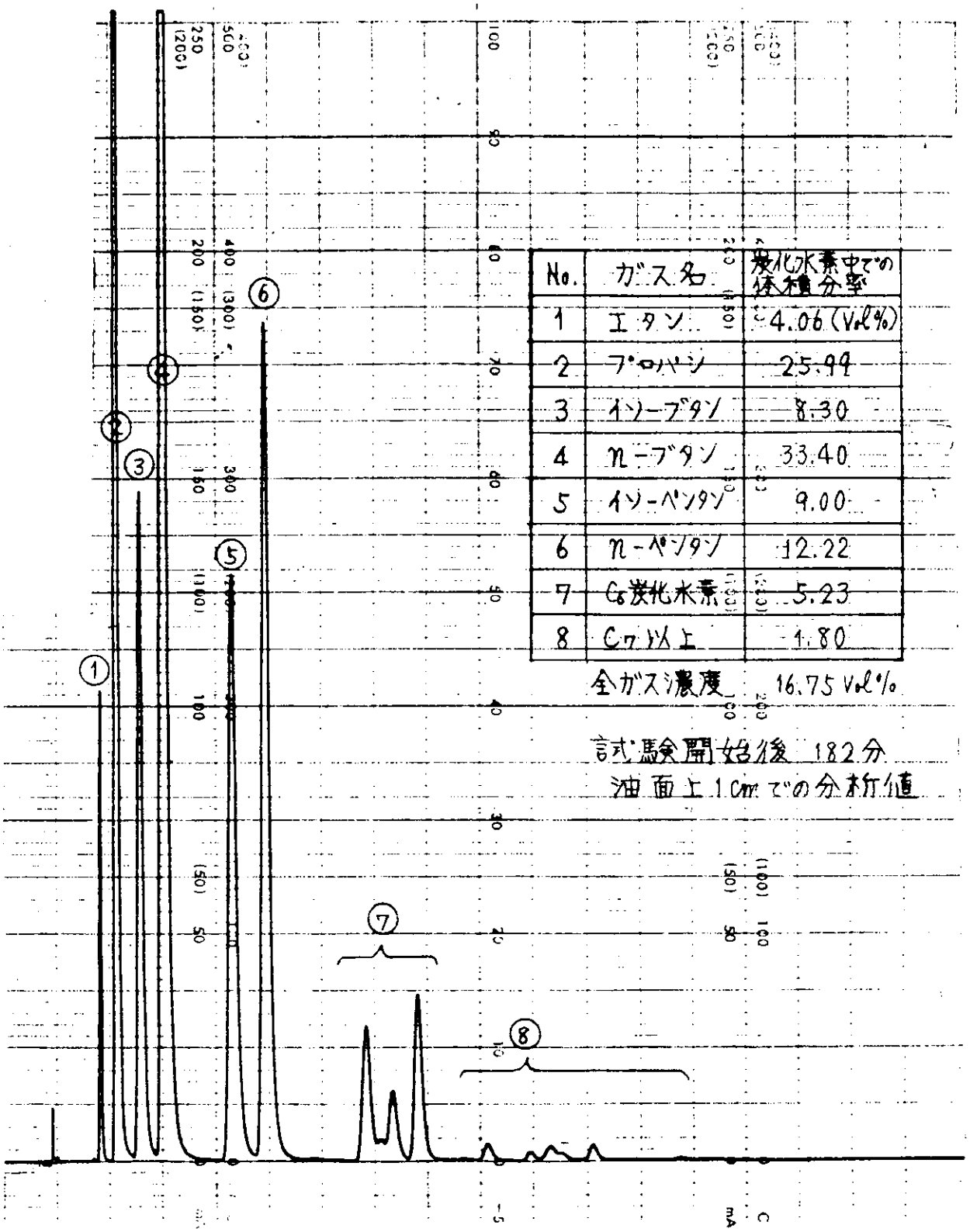


No.	ガス名	炭化水素中での体積分率
1	エタン	3.60 (Vol%)
2	プロパン	24.61
3	イソブタン	8.14
4	n-ブタン	33.30
5	イソペンタン	9.25
6	n-ペンタン	12.92
7	C_6炭化水素	6.36
8	C7以上	1.82
	全ガス濃度	16.7 Vol%

試験開始4後 139分
油面上 10cmでの分析値

図 3.7.3.9　ガス分析結果(4)

温　度　34°C
操作圧　0.14 Kg/cm²·G
アレージスペース高さ　30mm
表面積　2m²



No.	ガス名	炭化水素中での体積分率
1	エタン	4.06 (Vol%)
2	プロパン	25.99
3	イソーブタン	8.30
4	n-ブタン	33.40
5	イソーペンタン	9.00
6	n-ペンタン	12.22
7	C_6炭化水素	5.23
8	C_7以上	1.80

全ガス濃度 16.75 Vol%

試験開始後 182分
油面上 1cm での分析値

図 3. 7. 3. 10　ガス分析結果(5)

温　度　34°C
操作圧　0.14 kg/cm²·G
アレージスペース高さ　30 mm
表面積　2 m²

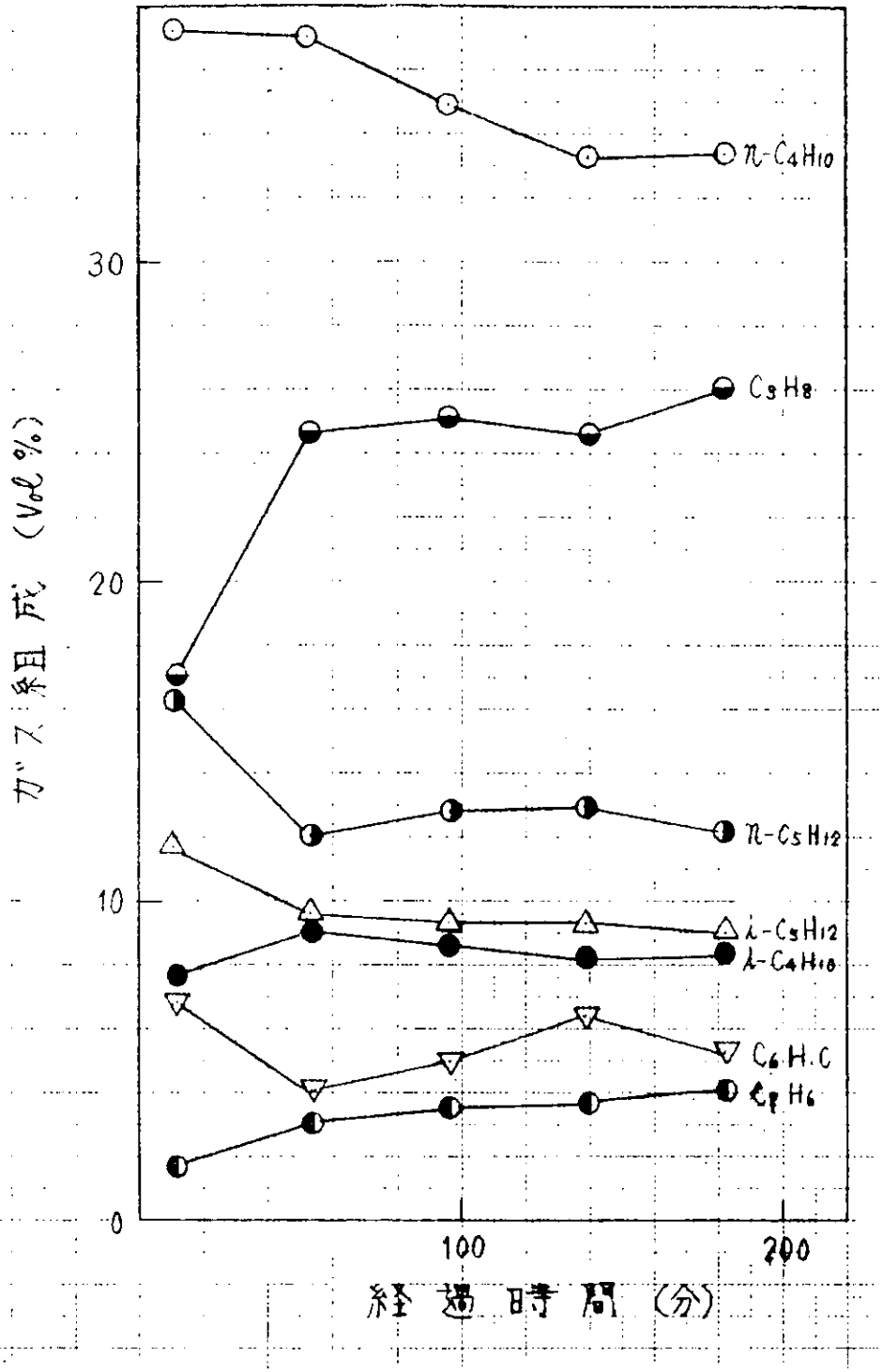


図 3. 7. 3. 11　ガス組成の経時変化

温　度　34°C
操作圧　0.14 kg/cm²·G
アレージスペース高さ　30 mm
表面積　2 m²
R.V.P.　0.26 kg/cm²·G

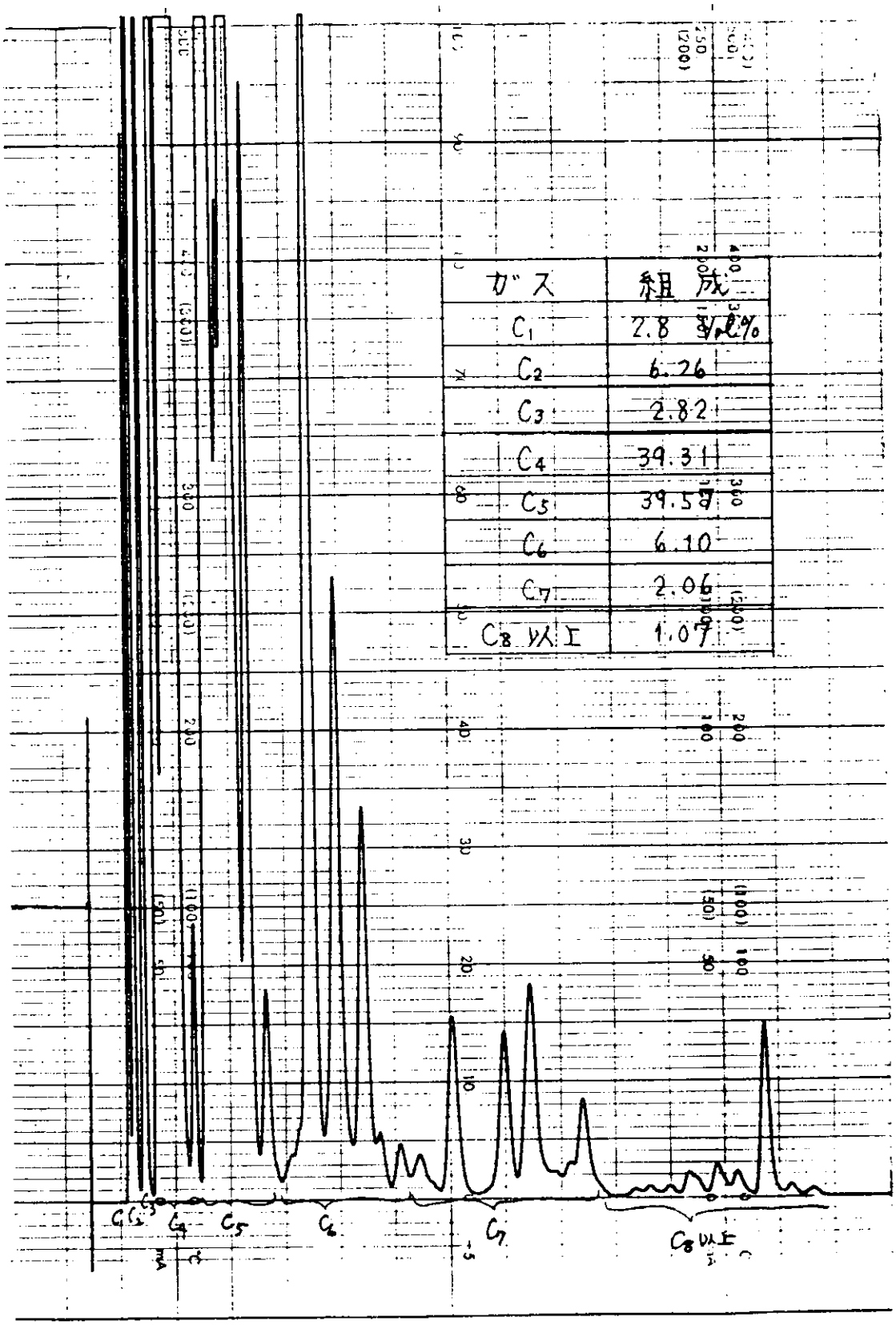


図 3. 7. 3. 12　　ガソリンベーパー分析結果の一例

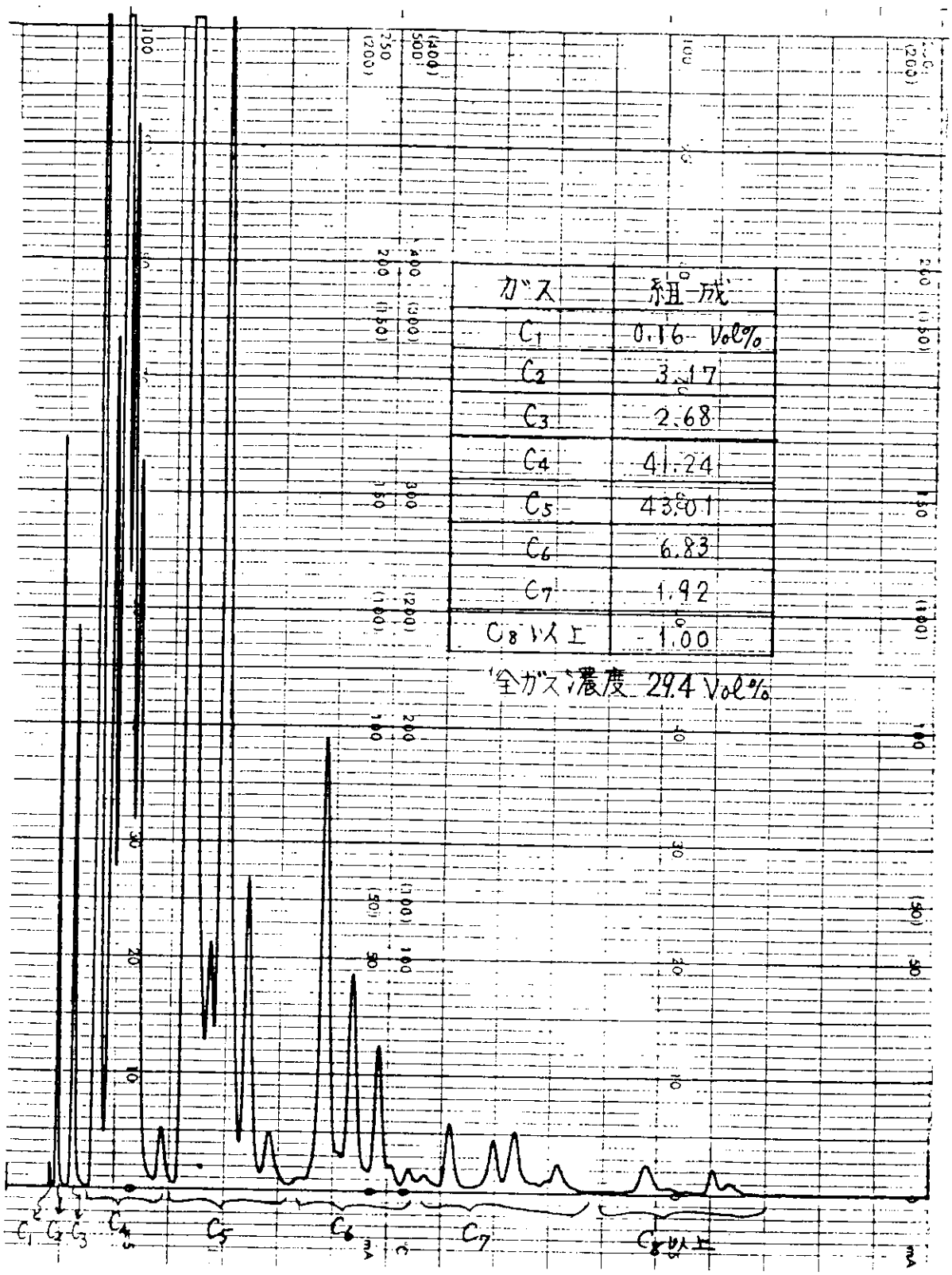
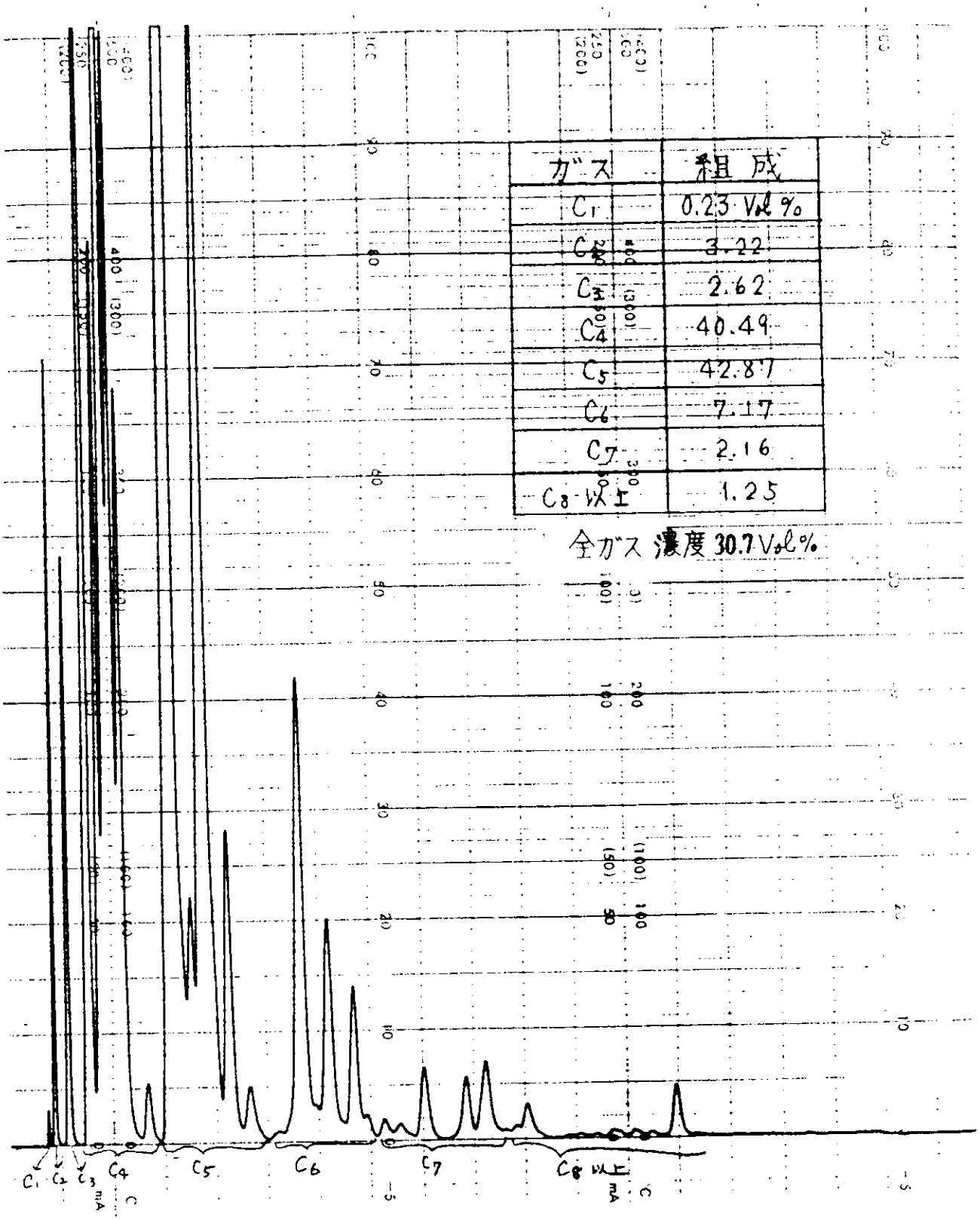


図 3. 7. 3. 13　ガソリンベーパー発生試験ベーパー分析結果(1)

温度	18.5°C	
投入圧	0.14 kg/cm²G	試験開始後 18分
表面積	2 m²	
アレージスベース高さ	30 mm	



ガス	組成
C_1	0.23 Vol %
C_2	3.22
C_3	2.62
C_4	40.49
C_5	42.87
C_6	7.17
C_7	2.16
C_8 以上	1.25

全ガス濃度 30.7 Vol %

図 3.7.3.14　ガソリンベーパー発生試験ベーパー分析結果(2)

温度　18.5 °C
操作圧　0.14 kg/cm²G
表面積　2 m²
アレージスペース高さ　30 mm

試験開始後 107分

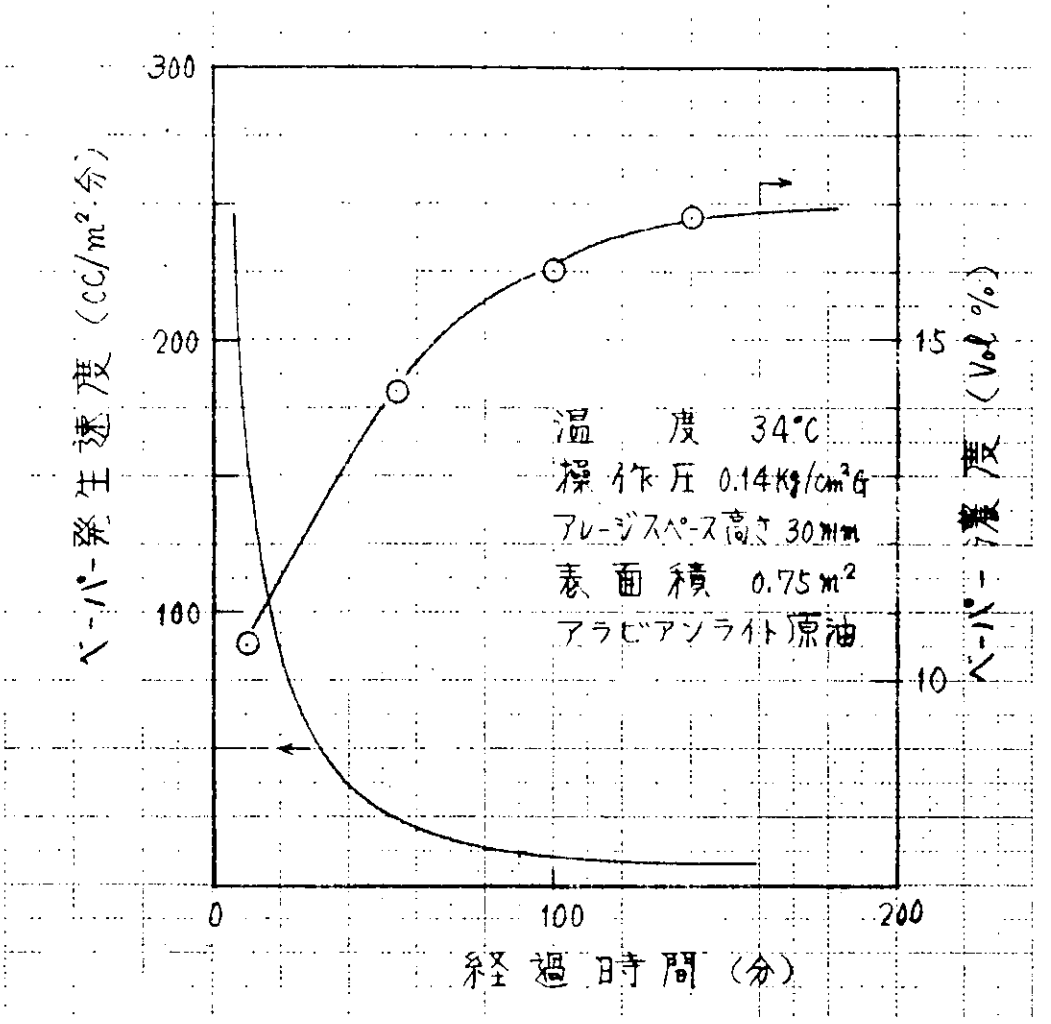


図 3. 7. 3. 15　ベーパー発生試験（表面積）

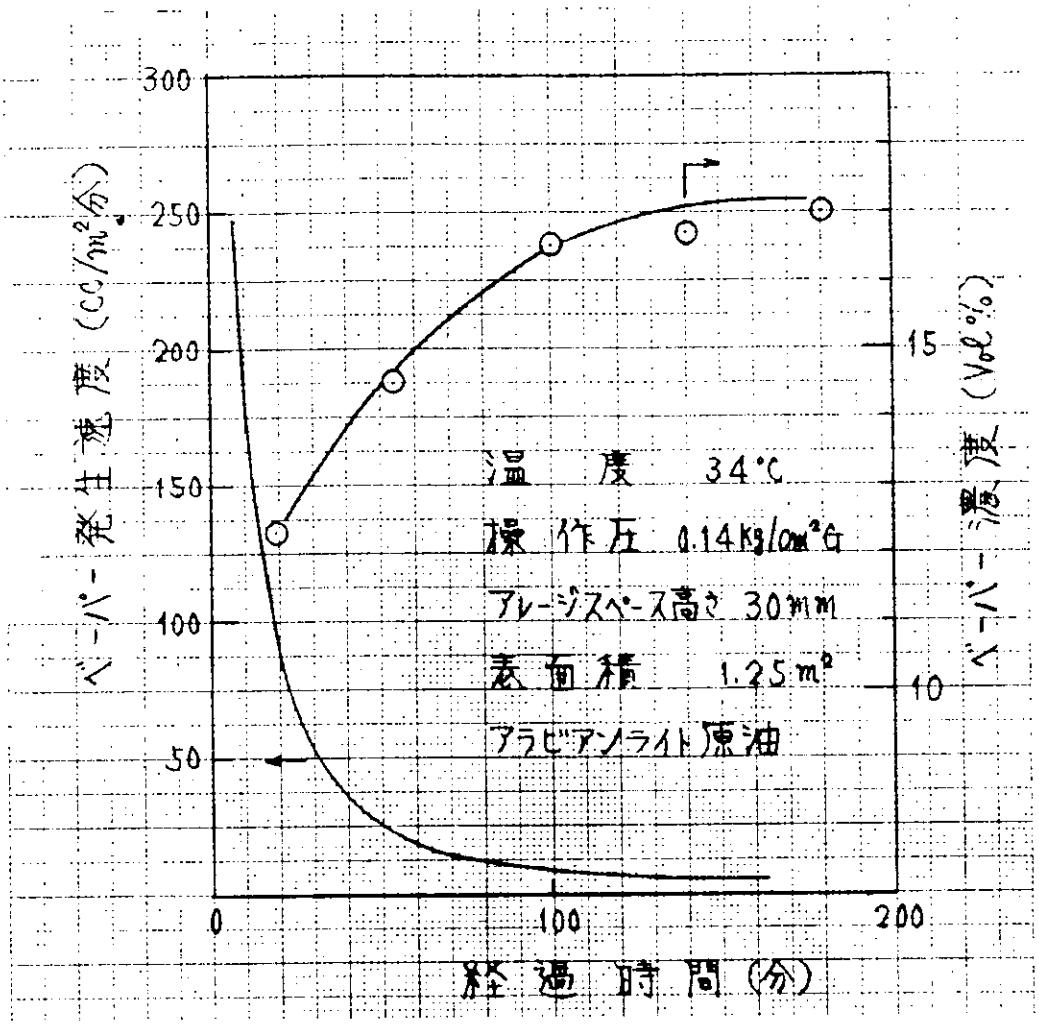


図 3. 7. 3. 16　ベーパー発生試験（表面積）

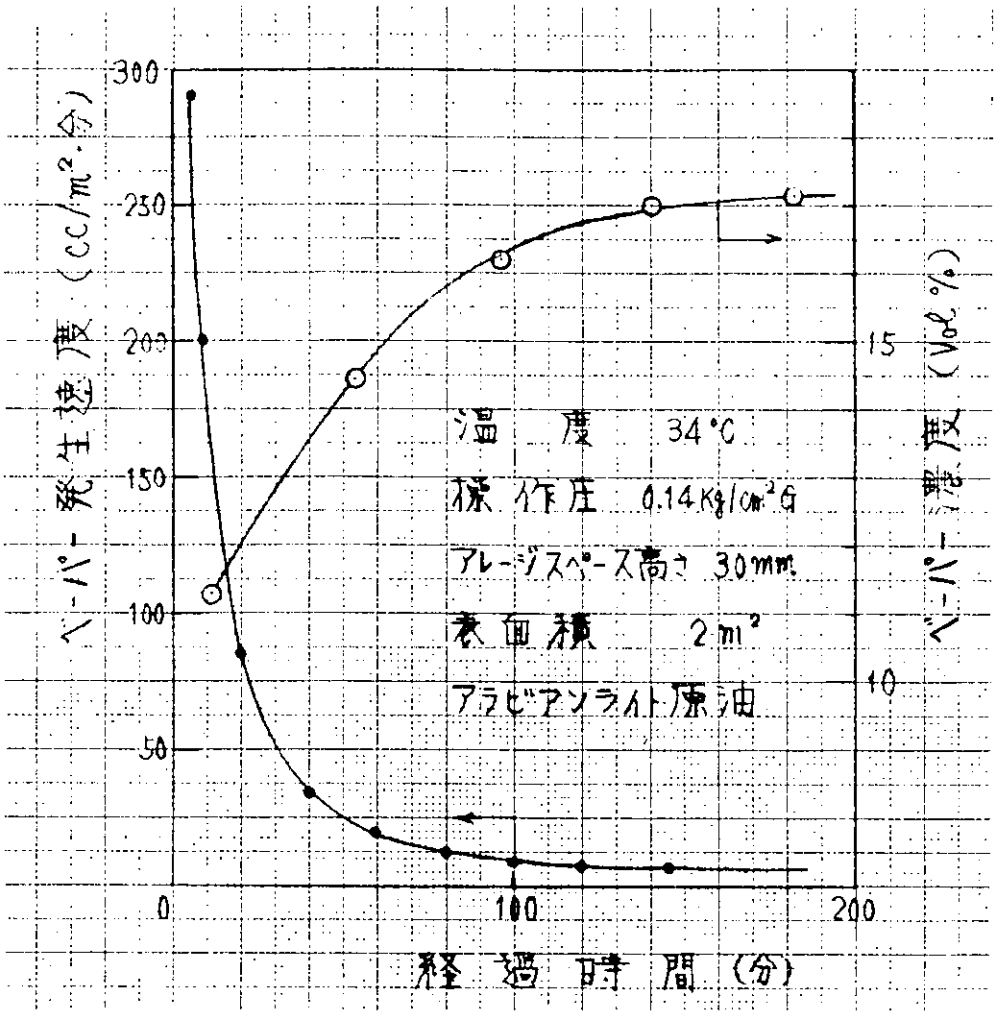


図 3. 7. 3. 17　ベーパー発生試験（表面積）

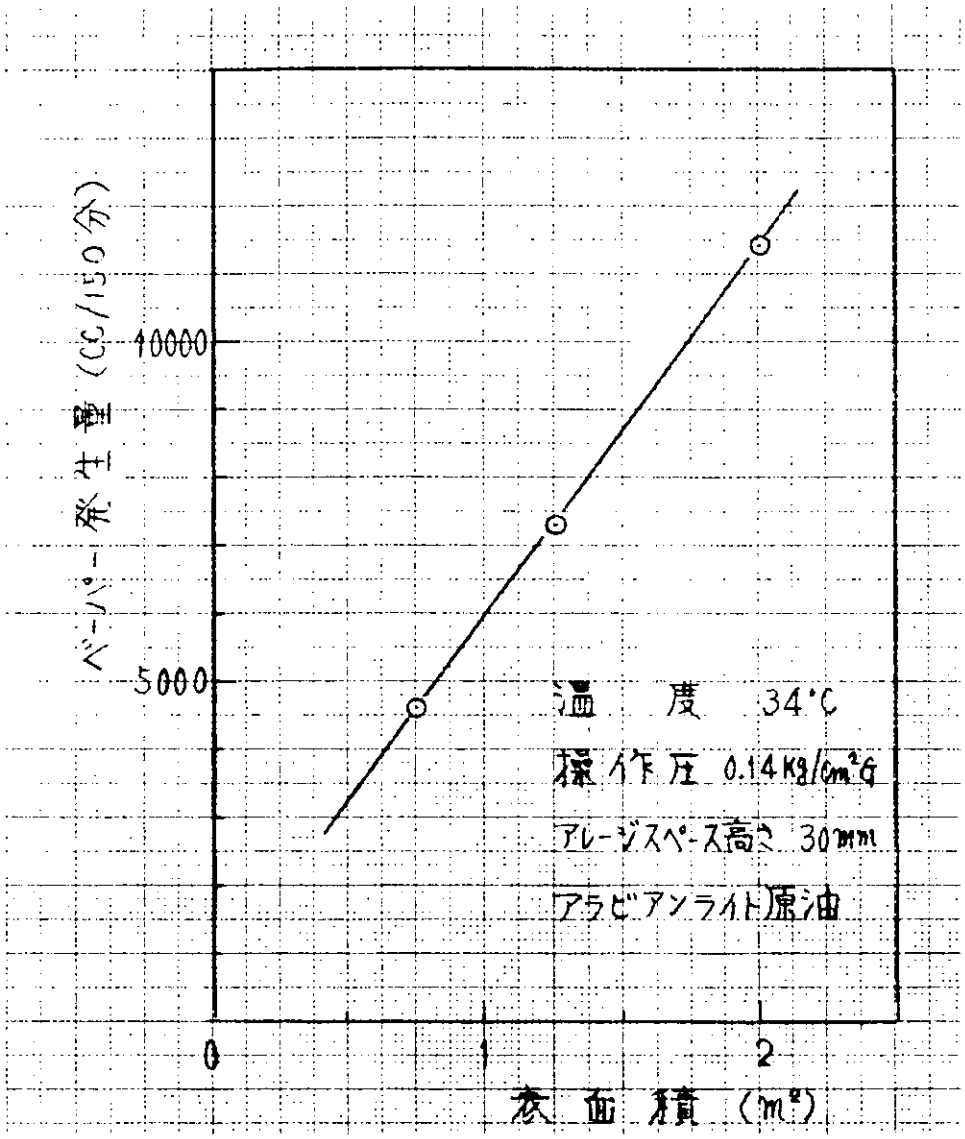


図 3. 7. 3. 18　表面積とベーパー発生量の関係

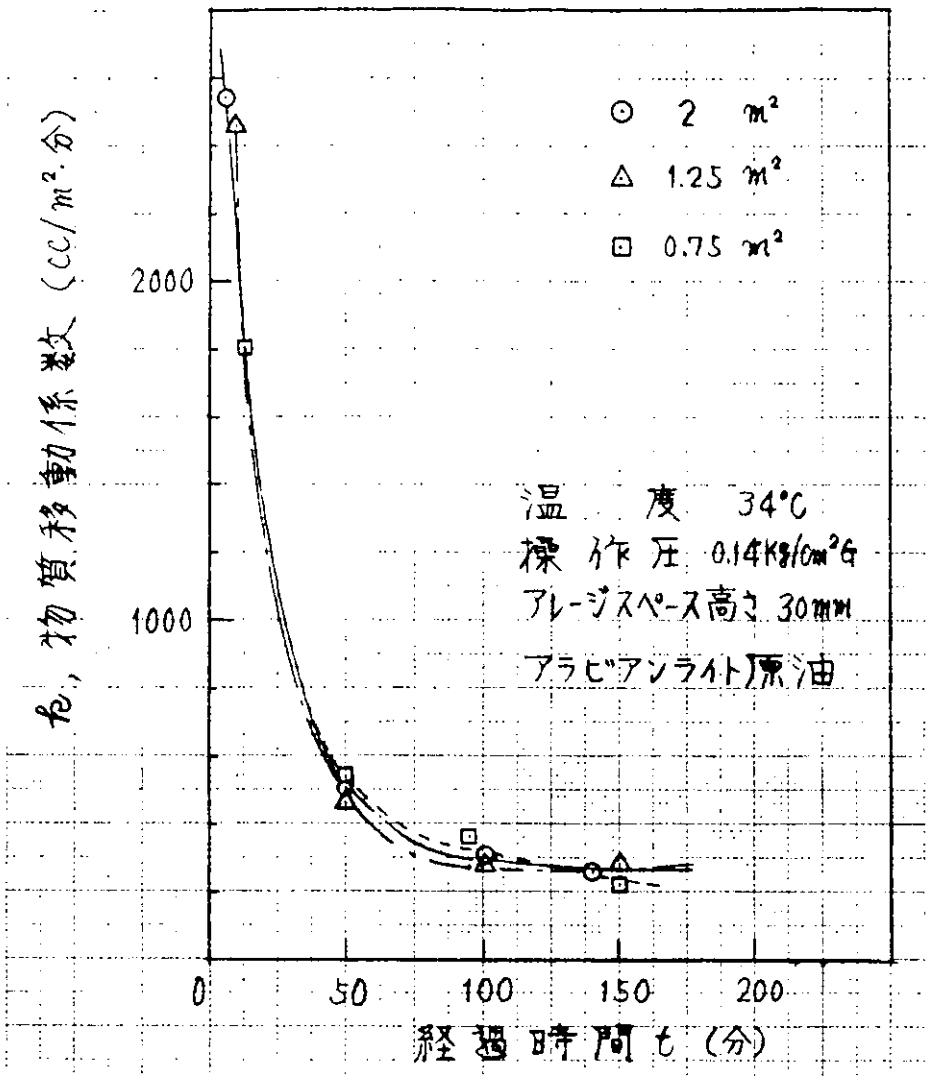


図 3. 7. 3. 19　表面積の影響

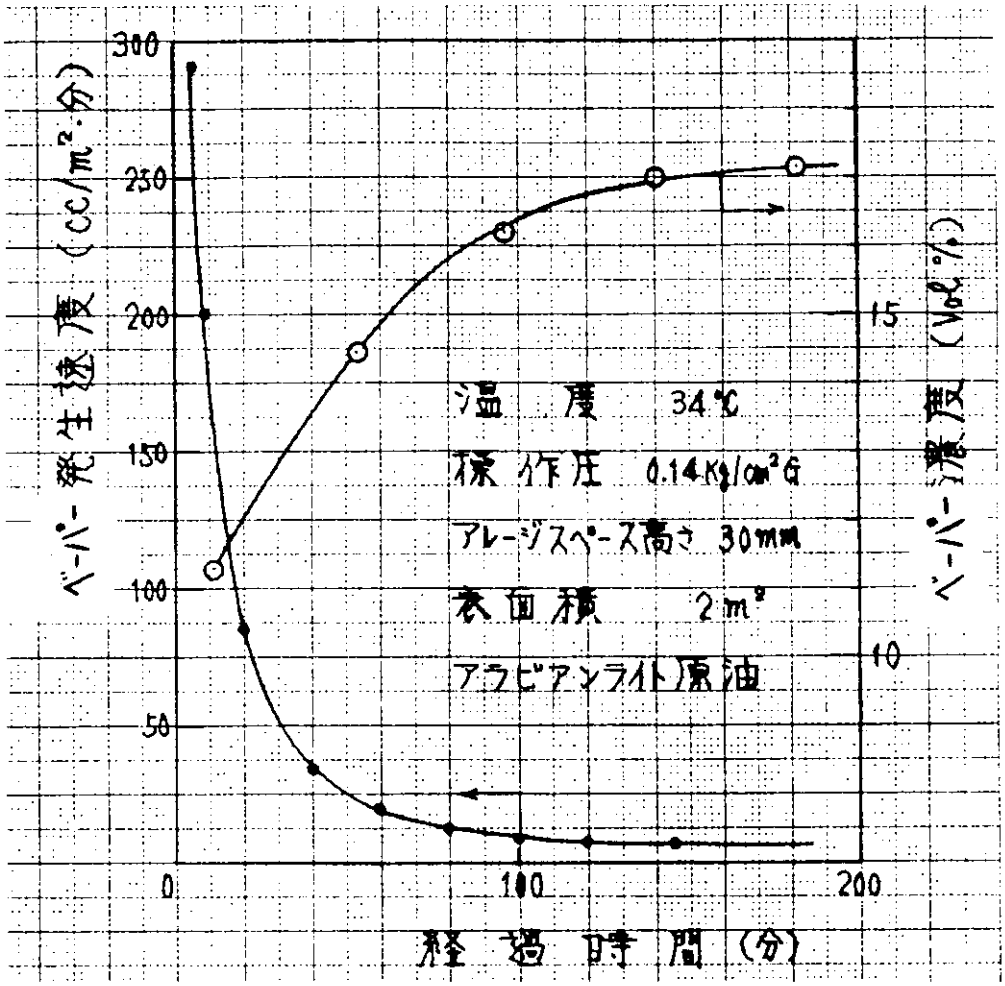


図 3. 7. 3. 20　ベーパー発生試験（アレージスペース）

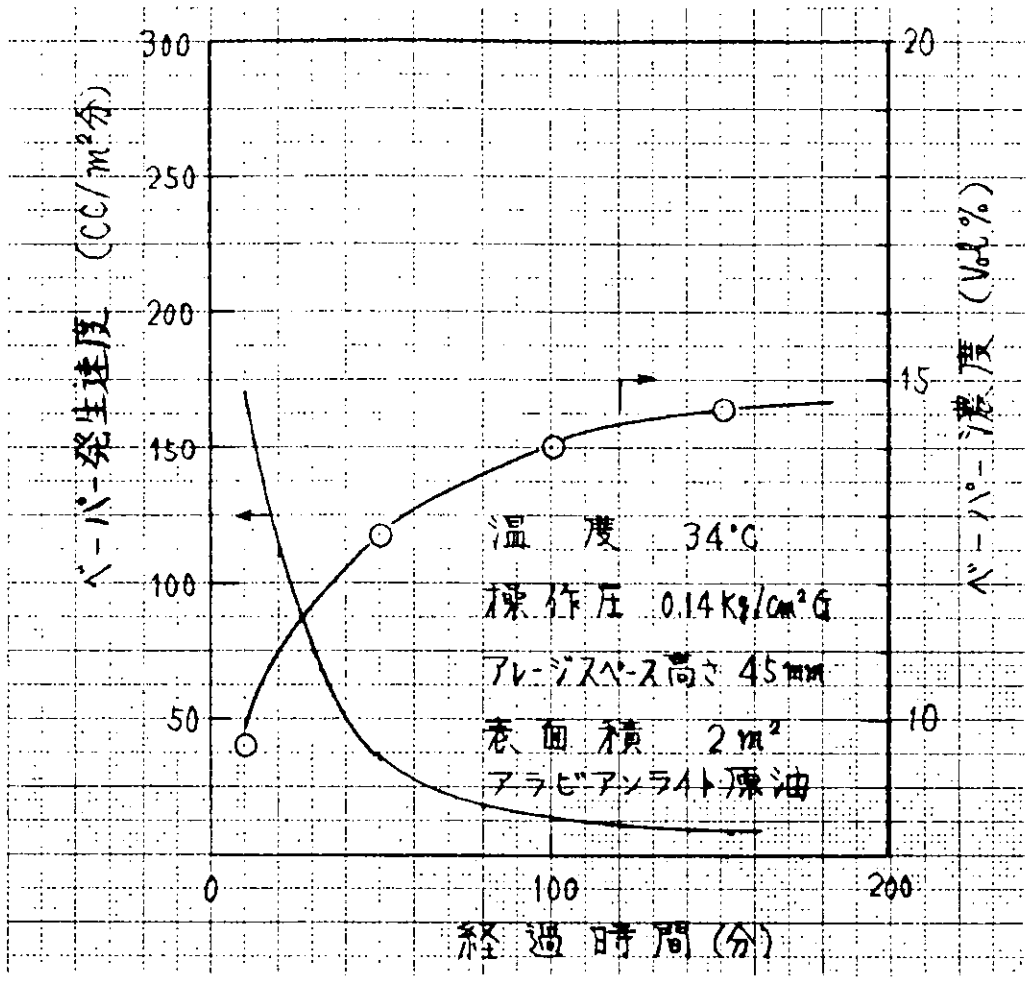


図 3. 7. 3. 21　ベーパー発生試験（アレージスベース）

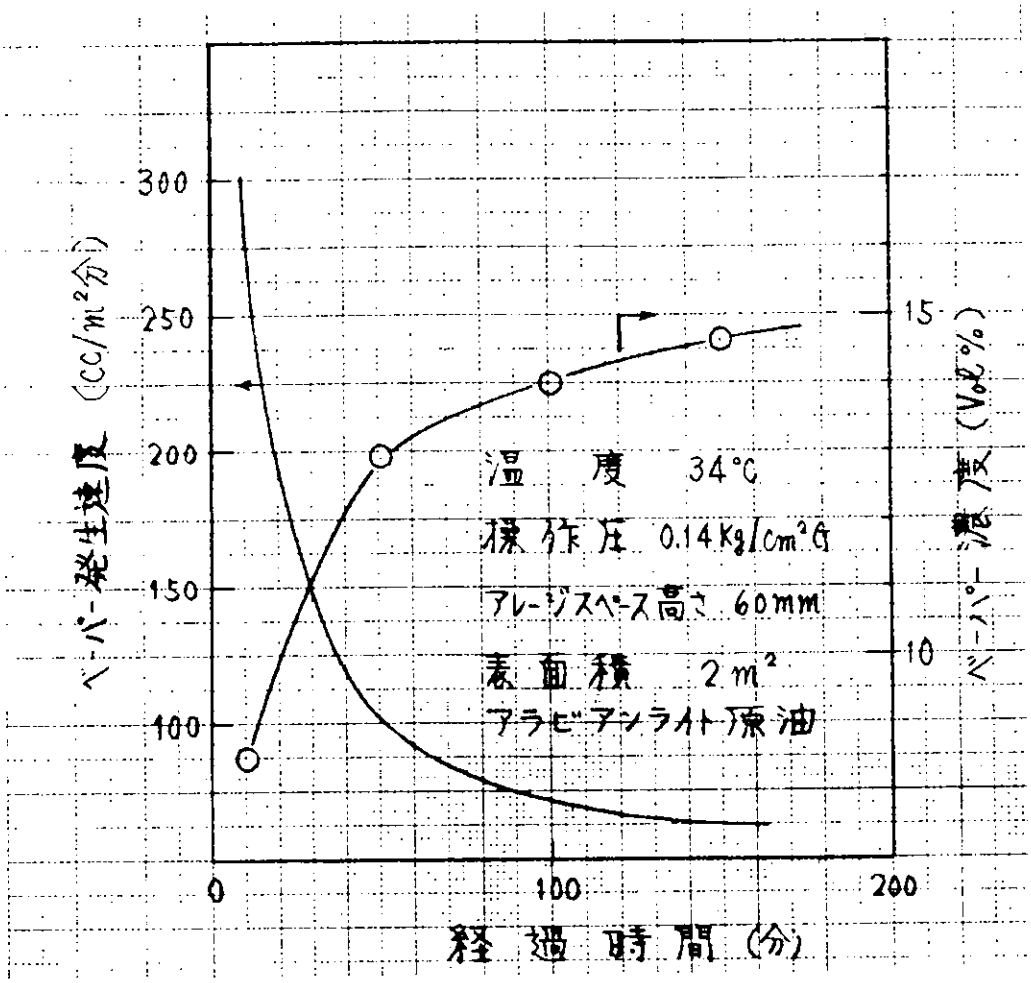


図 3. 7. 3. 22　ペーパー発生試験（アレージスベース）

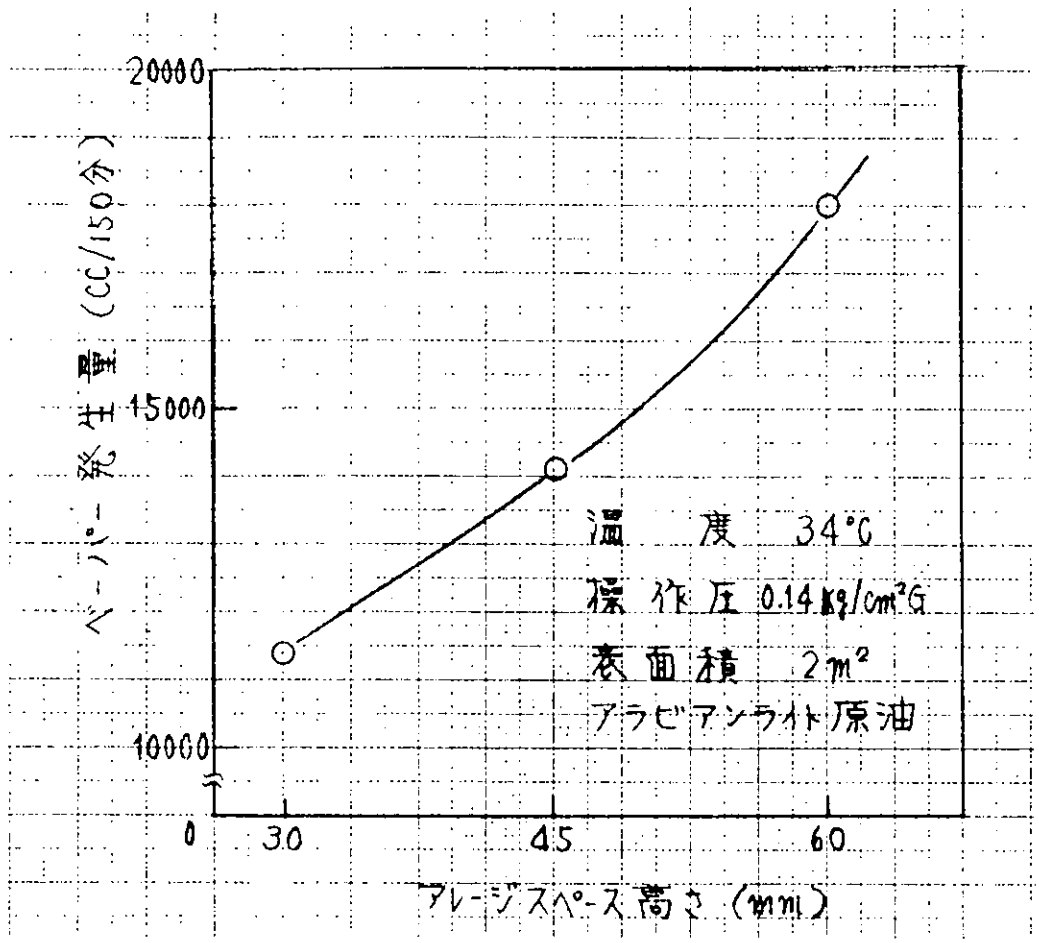


図 3. 7. 3. 23　アレージスペース高さとベーパー発生量の関係

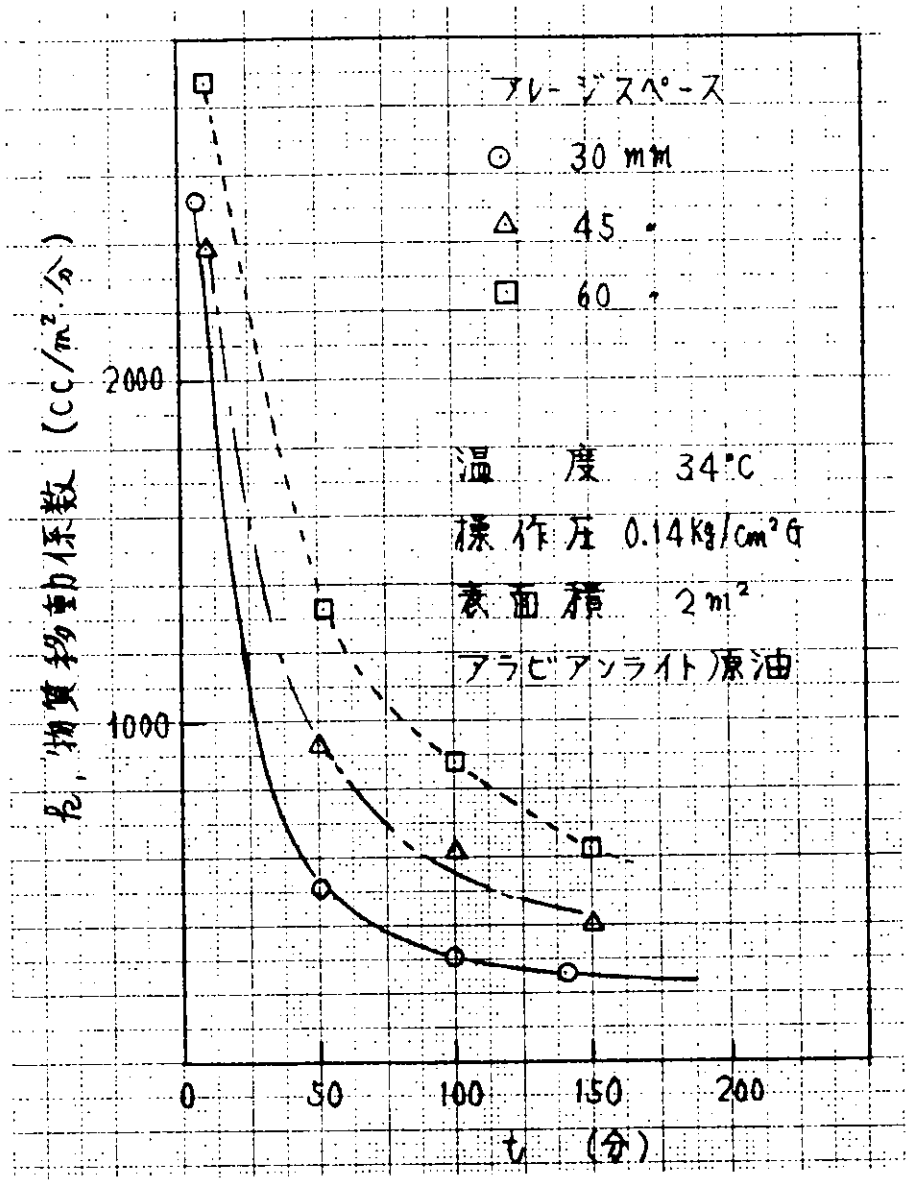


図 3. 7. 3. 24　アレージスペースの影響

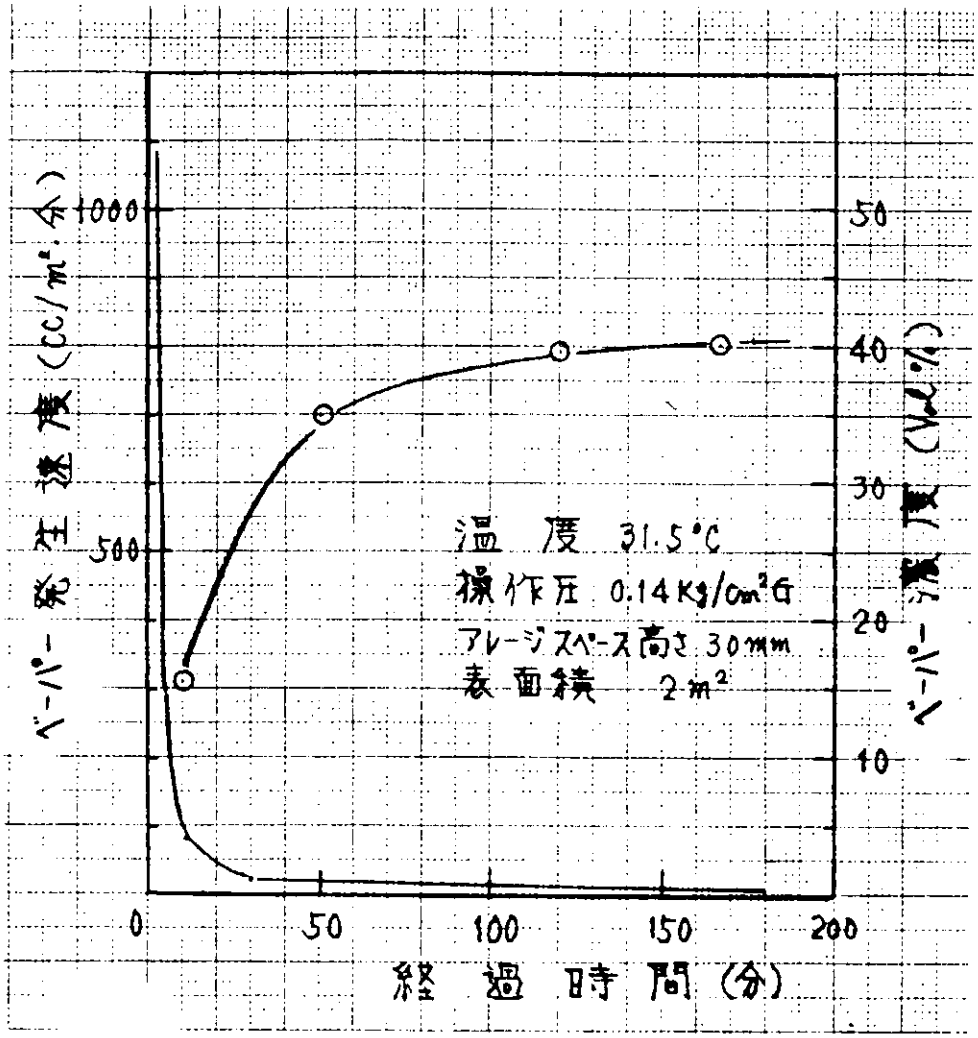


図 3. 7. 3. 25　ガソリンベーパー発生試験（アレージスペース）

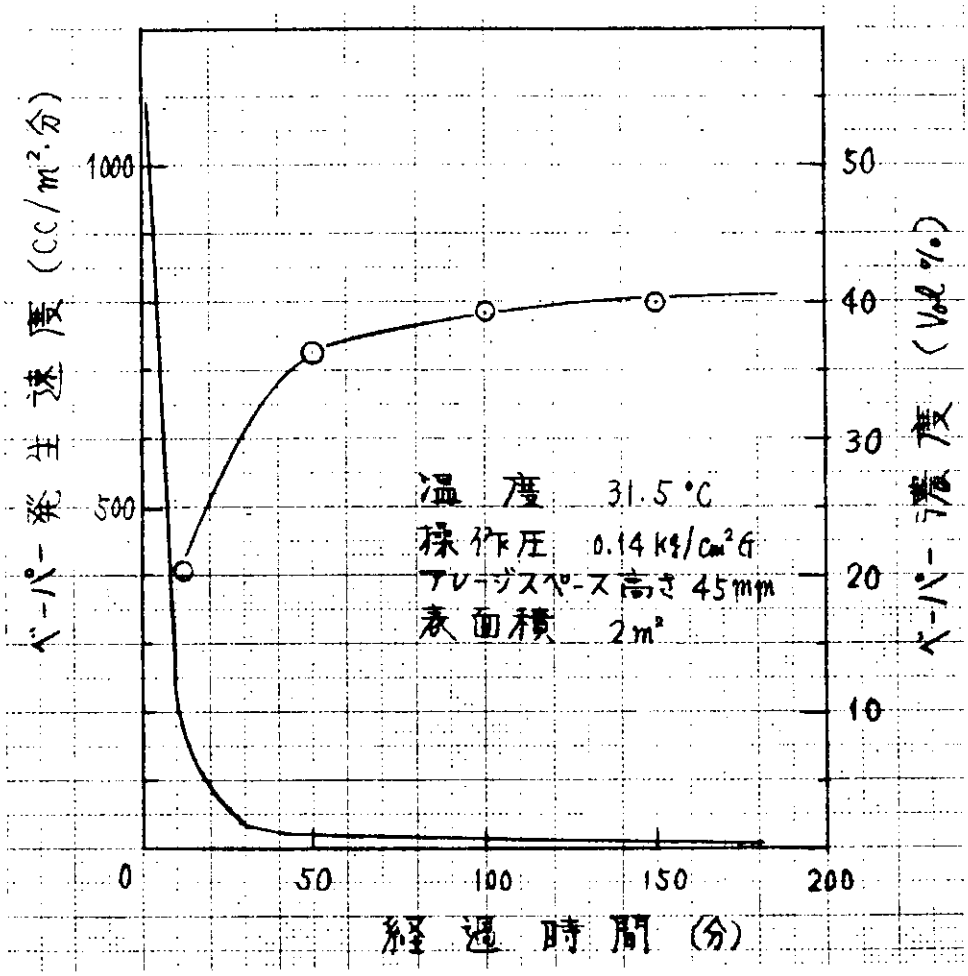


図 3. 7. 3. 26　ガソリンベーパー発生試験（アレージスペース）

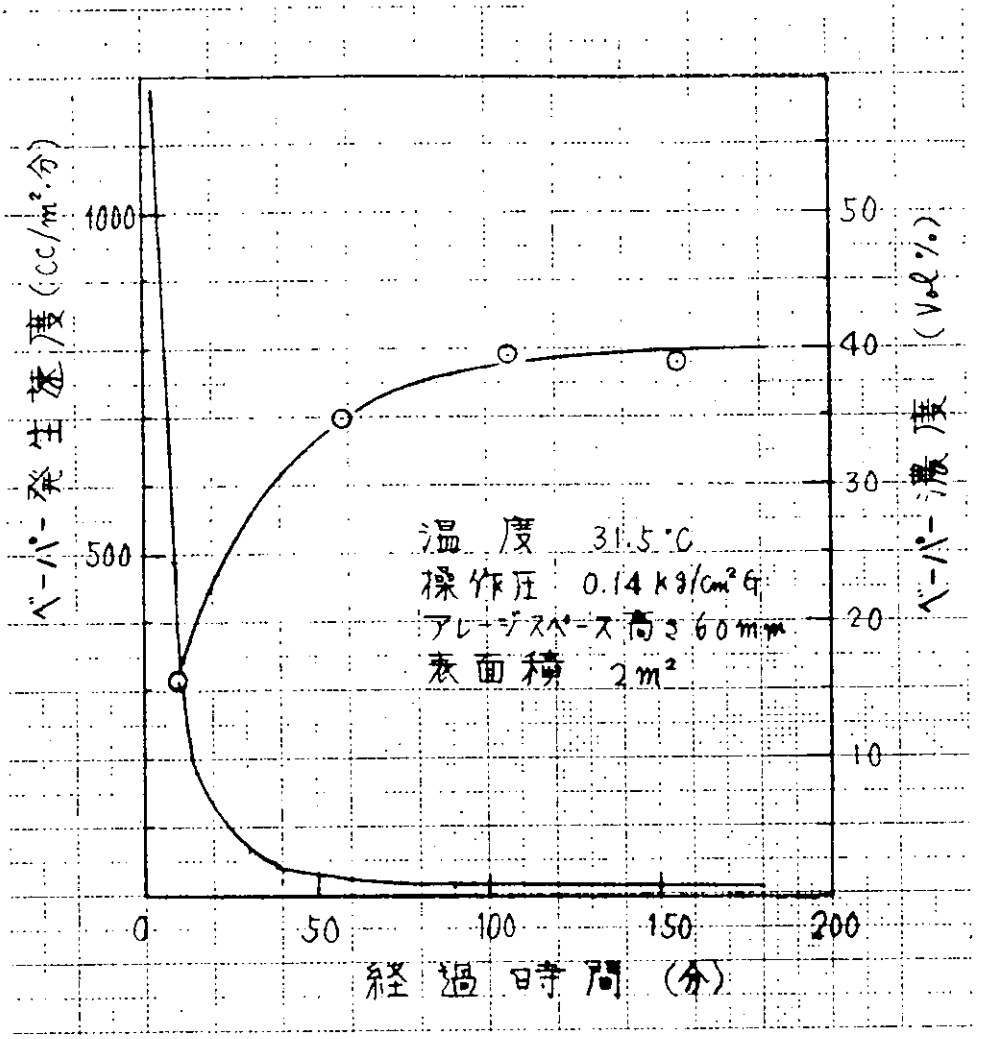


図 3. 7. 3. 27　ガソリンベーパー発生試験（アレージスペース）

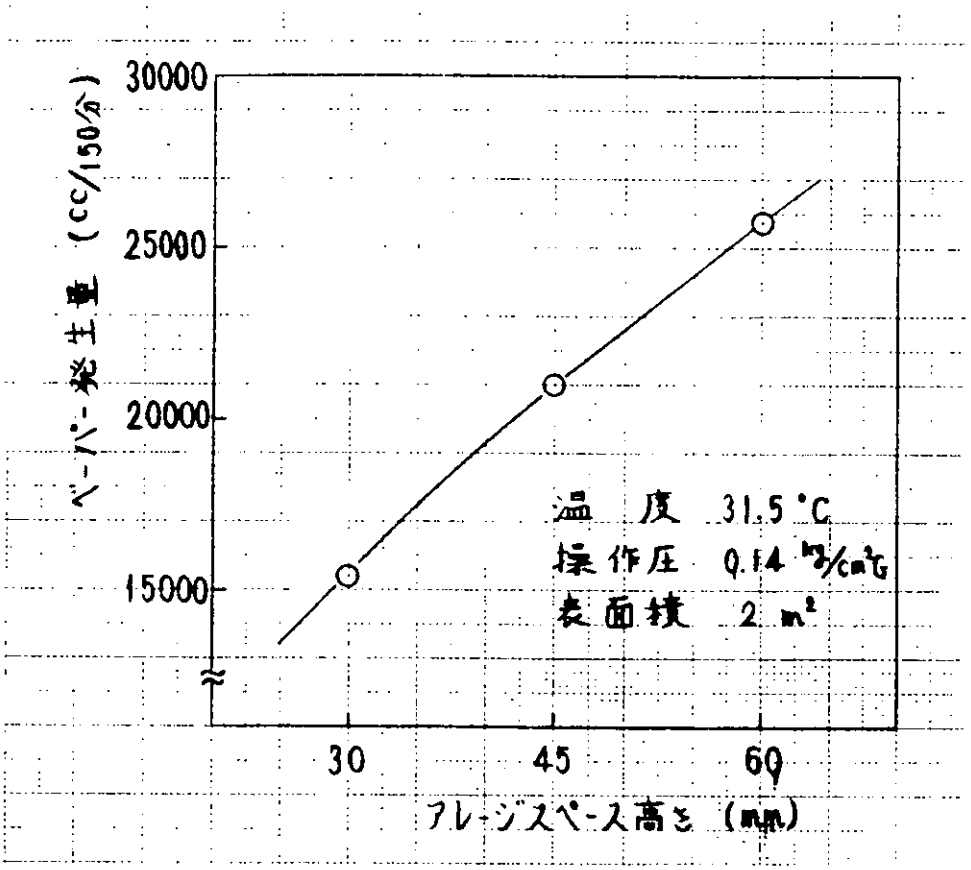


図 3. 7. 3. 28　ガソリンアレージスペース高さとベーパー発生量の関係

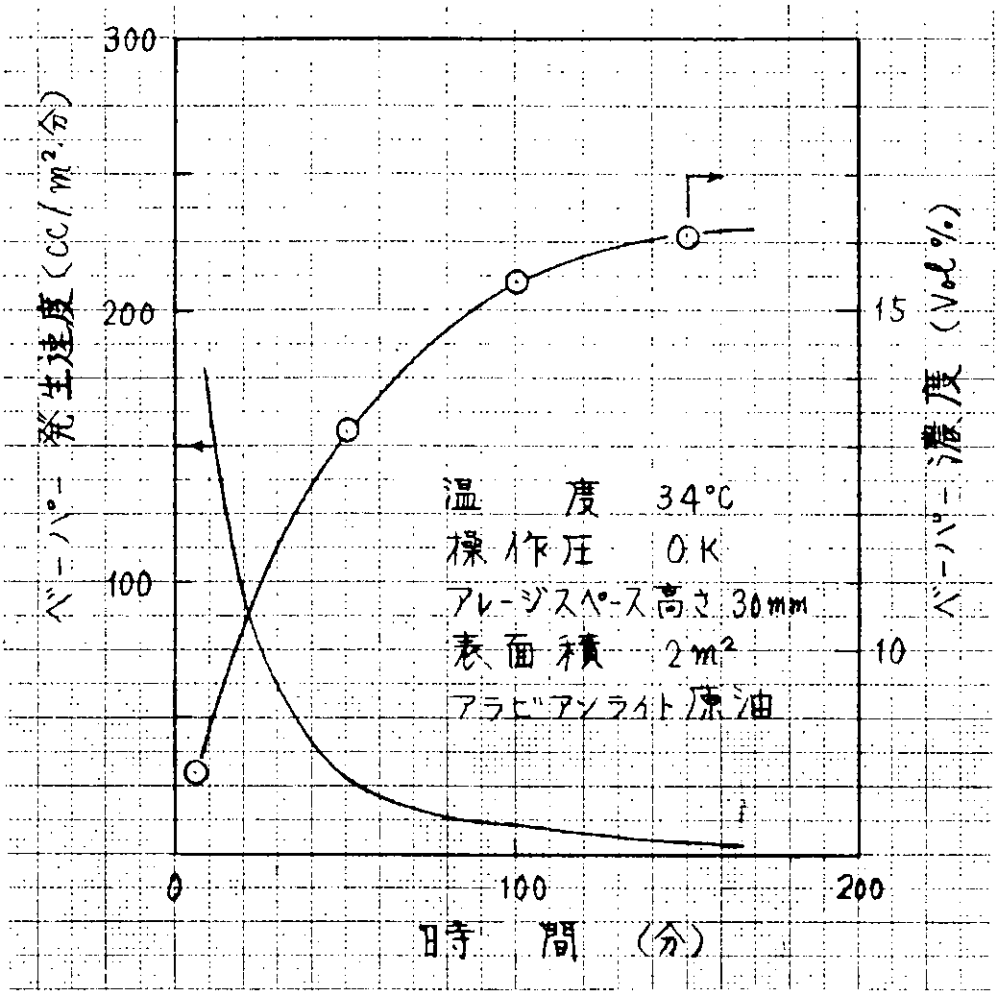


図 3. 7. 3. 29　ベーパー発生試験（操作圧）

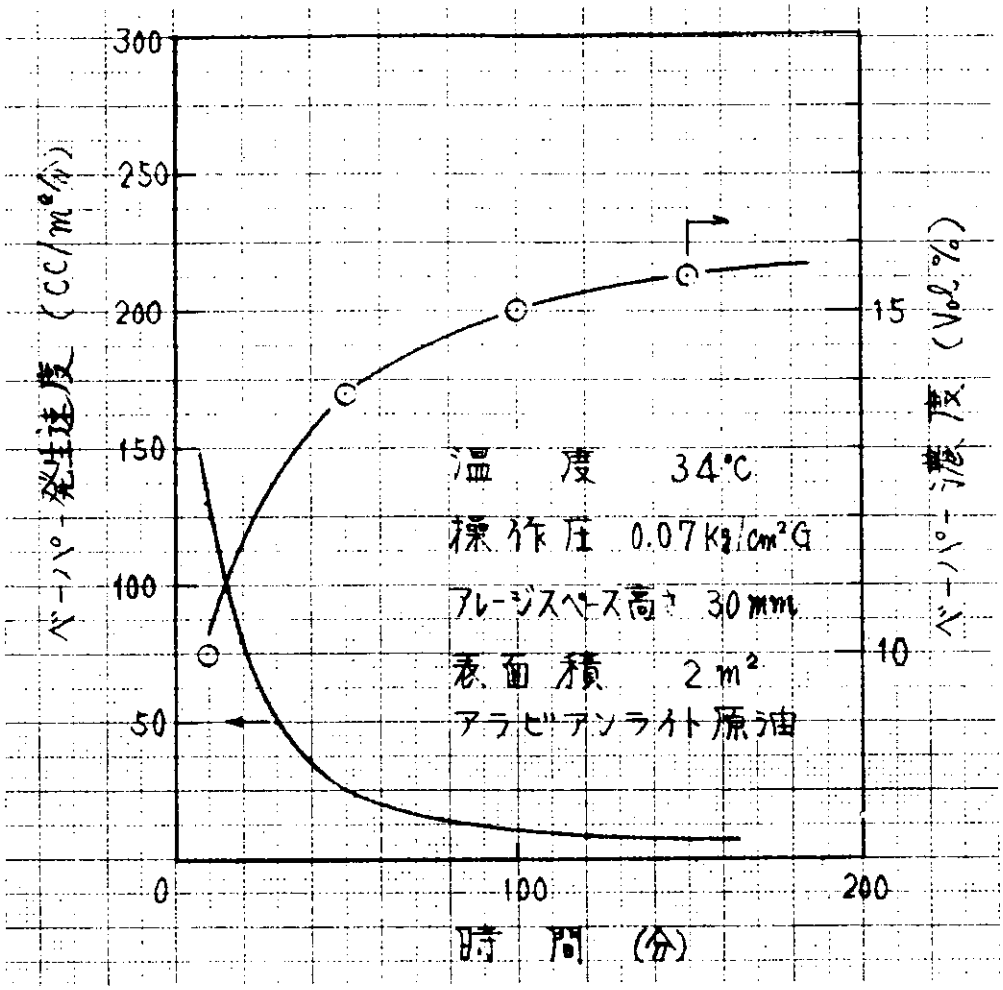


図 3. 7. 3. 30　ベーパー発生試験（操作圧）

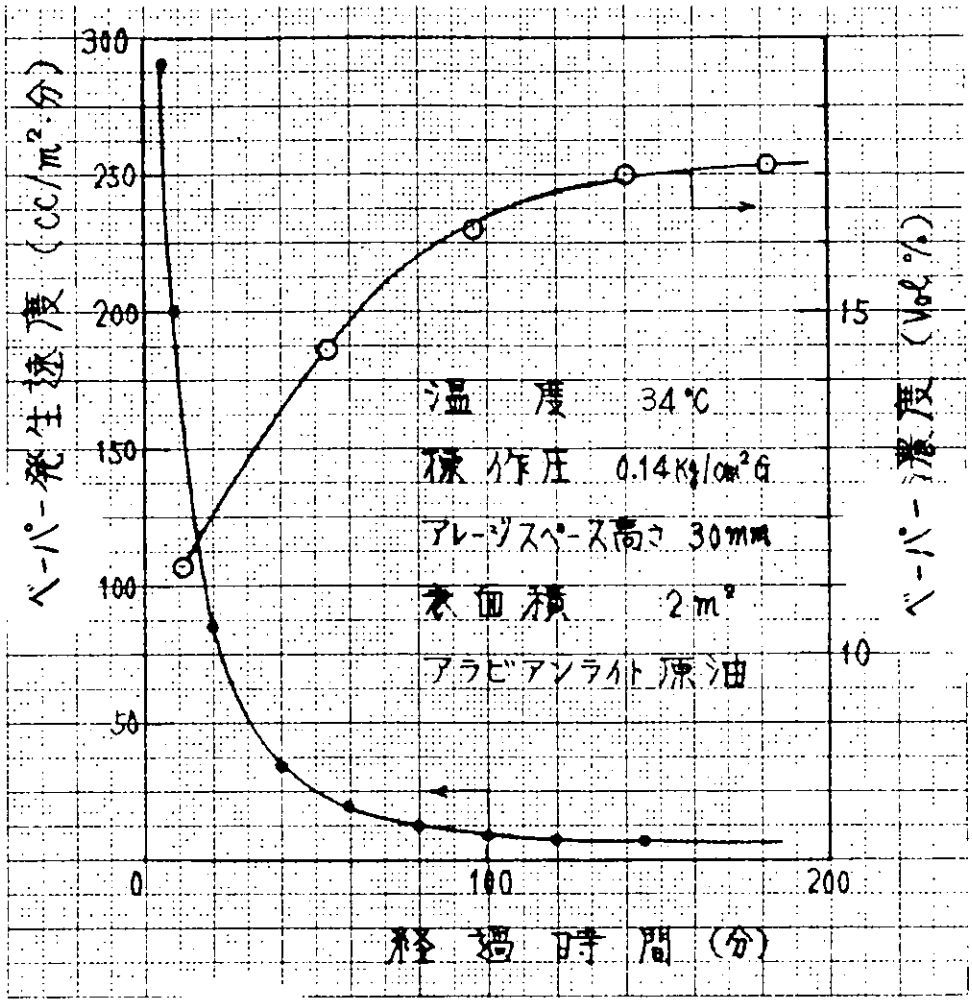


図 3. 7. 3. 31　ベーパー発生試験（操作圧）

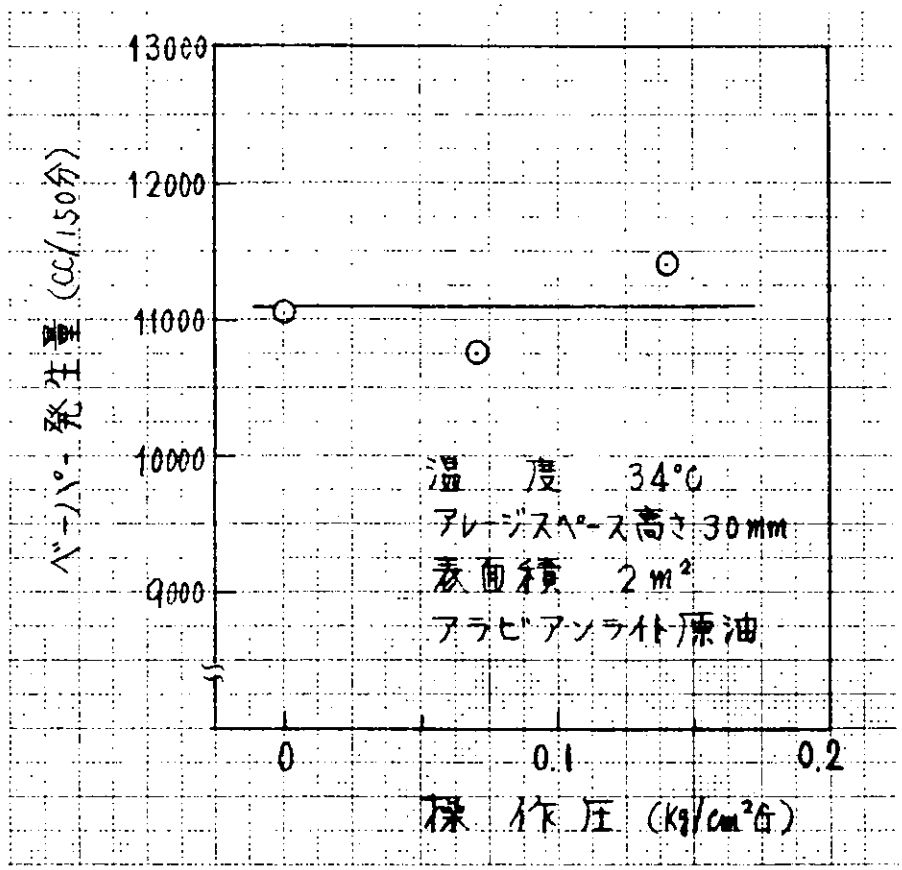


図 3. 7. 3. 32　操作圧とベーパー発生量の関係

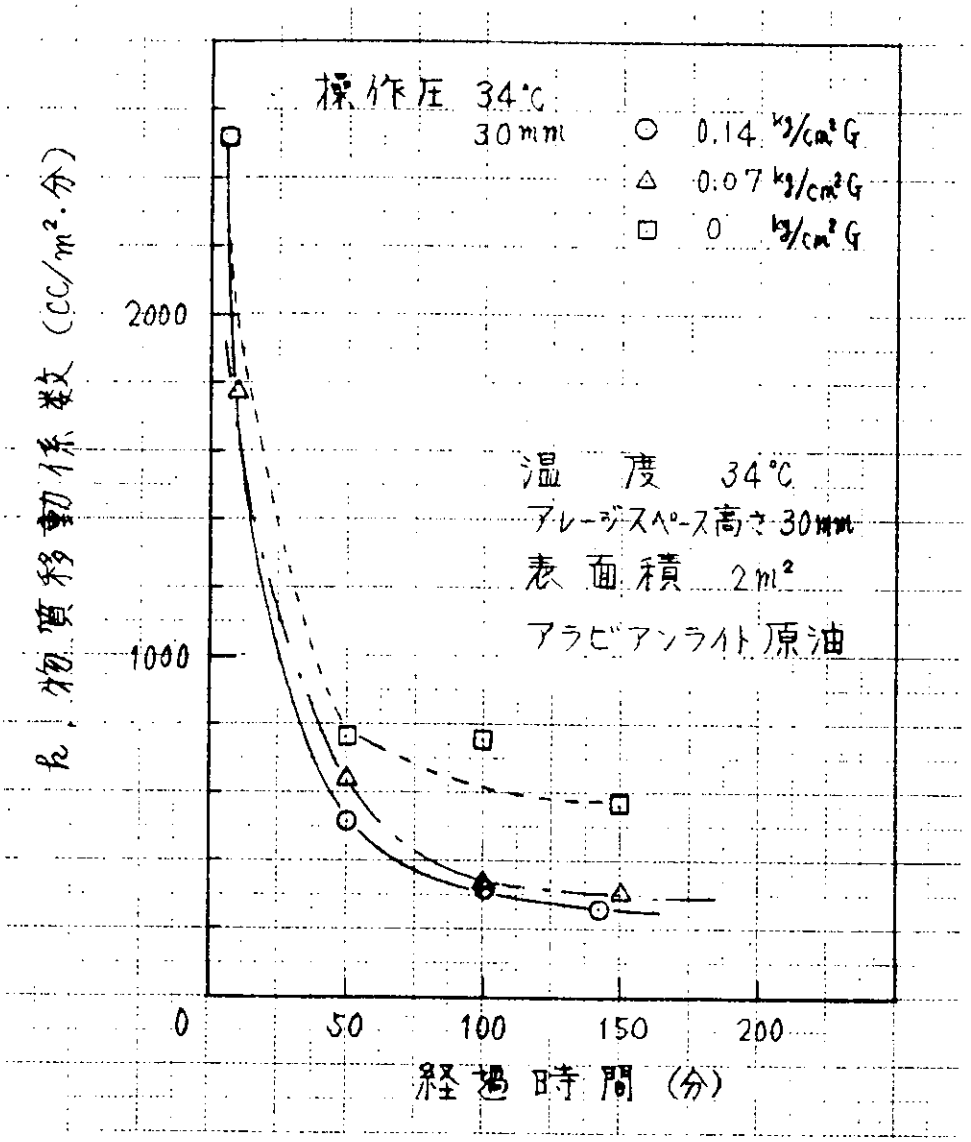


図 3. 7. 3. 33　操作圧の影響

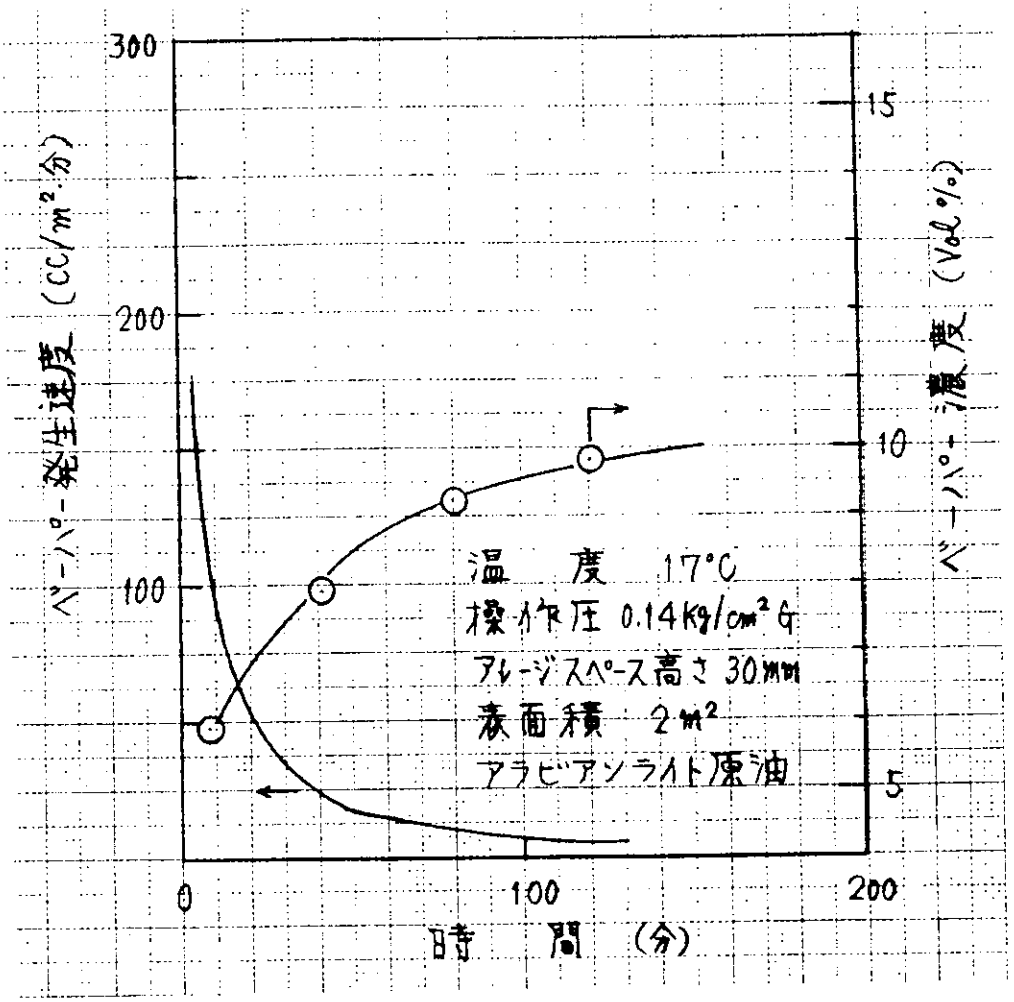


図 3. 7. 3. 34　ベーパー発生試験（温度）

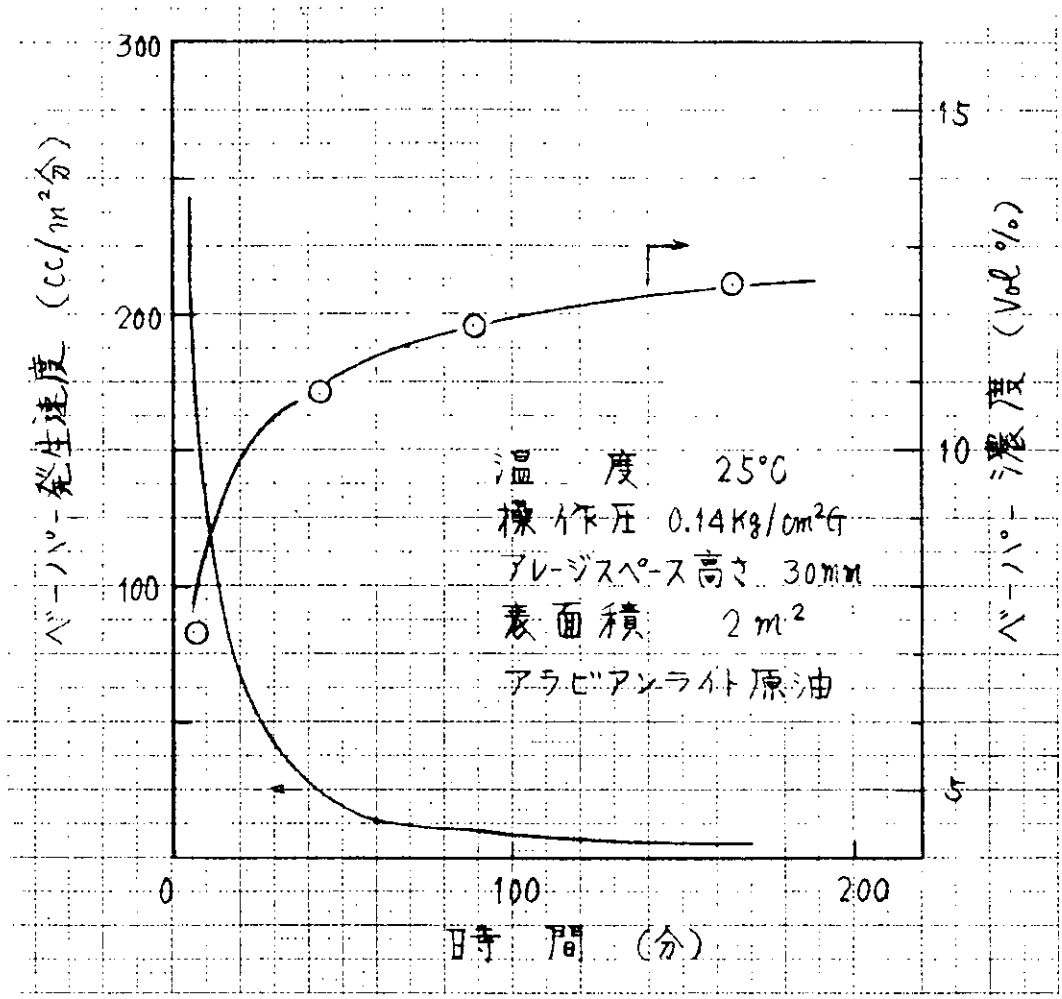


図 3. 7. 3. 35　ベーパー発生試験（温度）

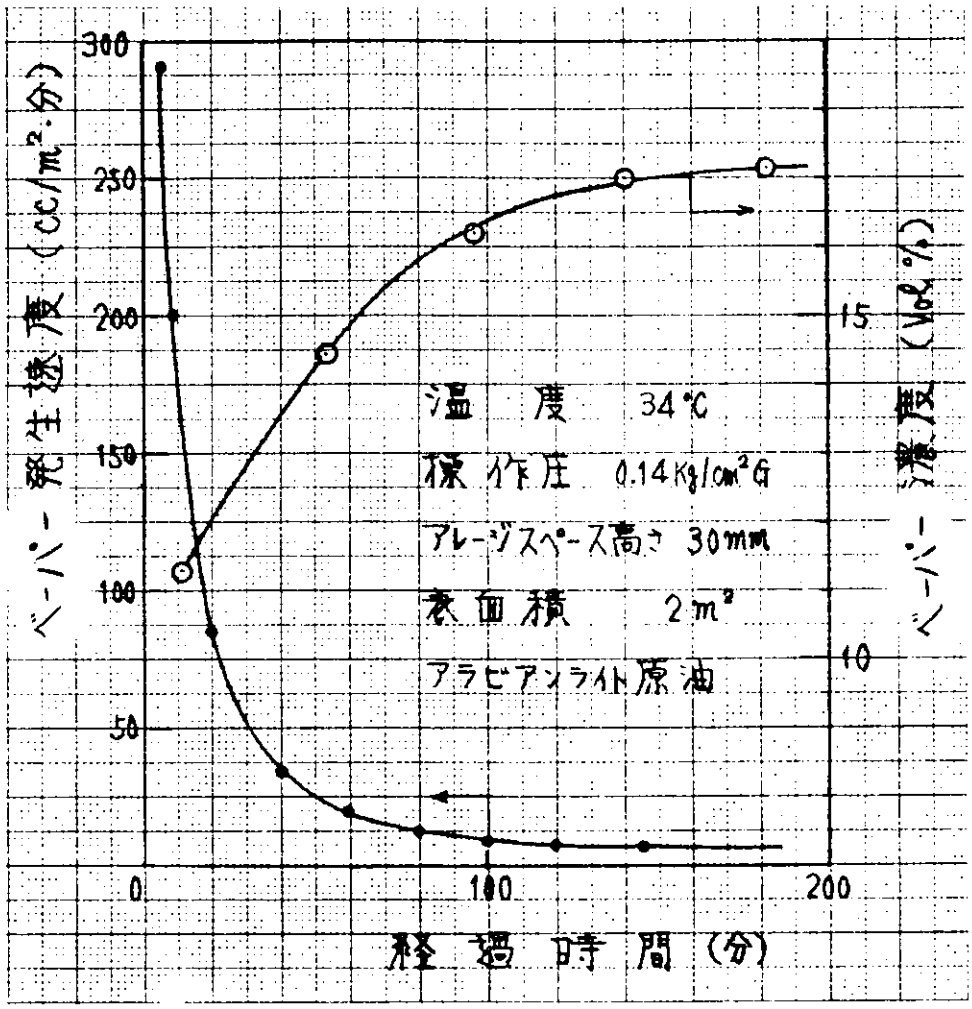


図 3. 7. 3. 36　ベーパー発生試験（温度）

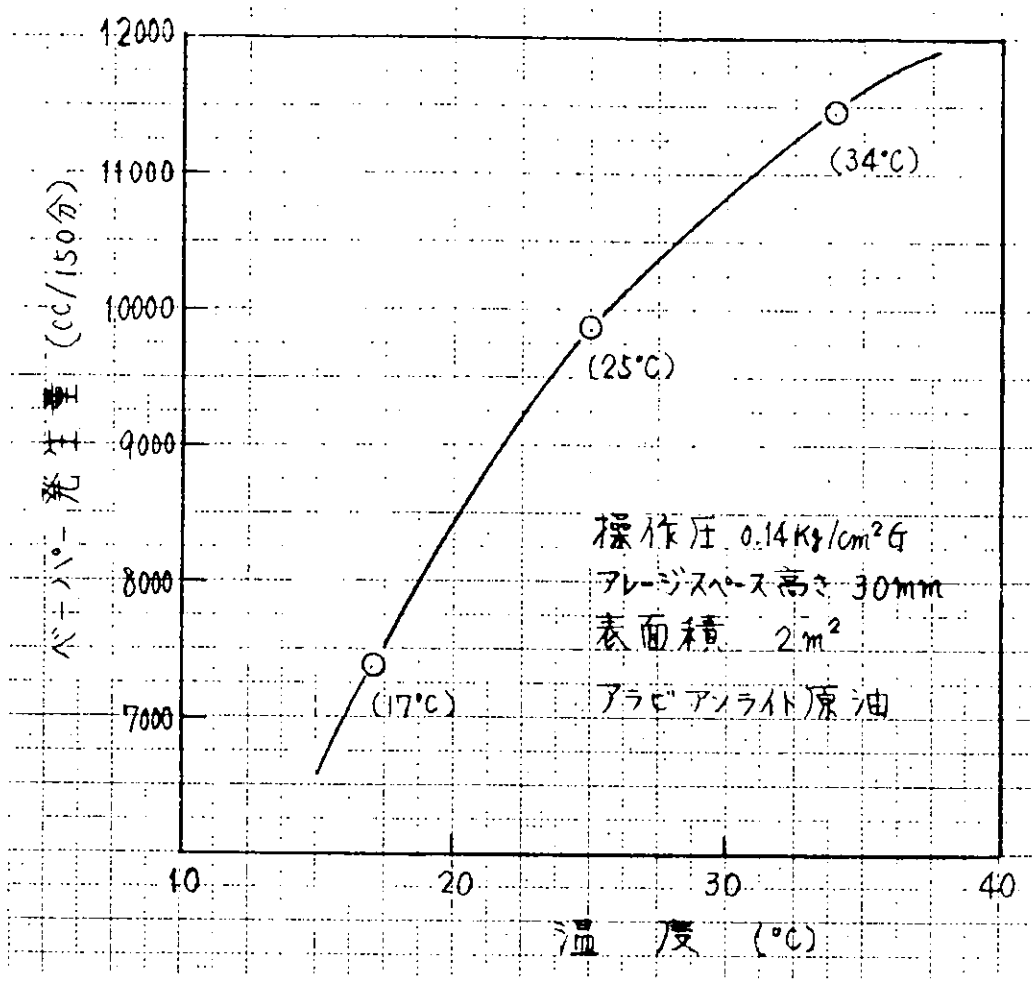


図 3. 7. 3. 37　温度とベーパー発生量の関係

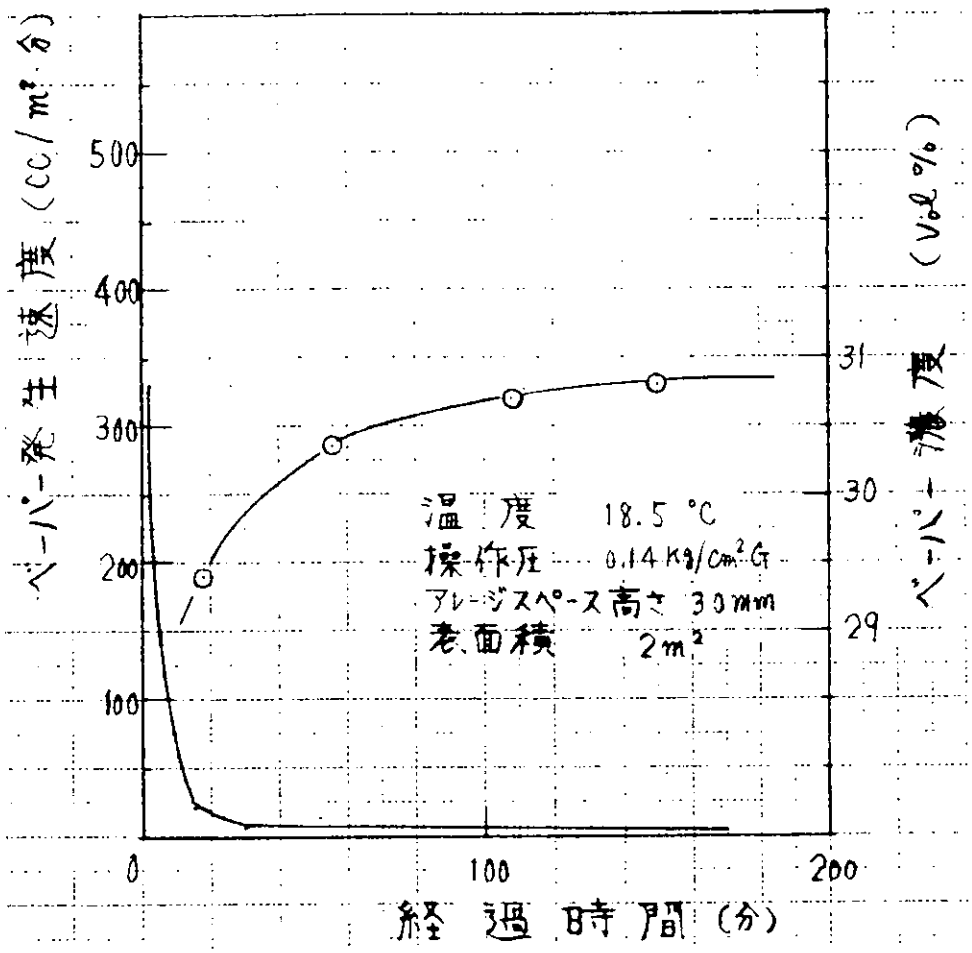


図 3. 7. 3. 38　ガソリンベーパー発生試験（温度）

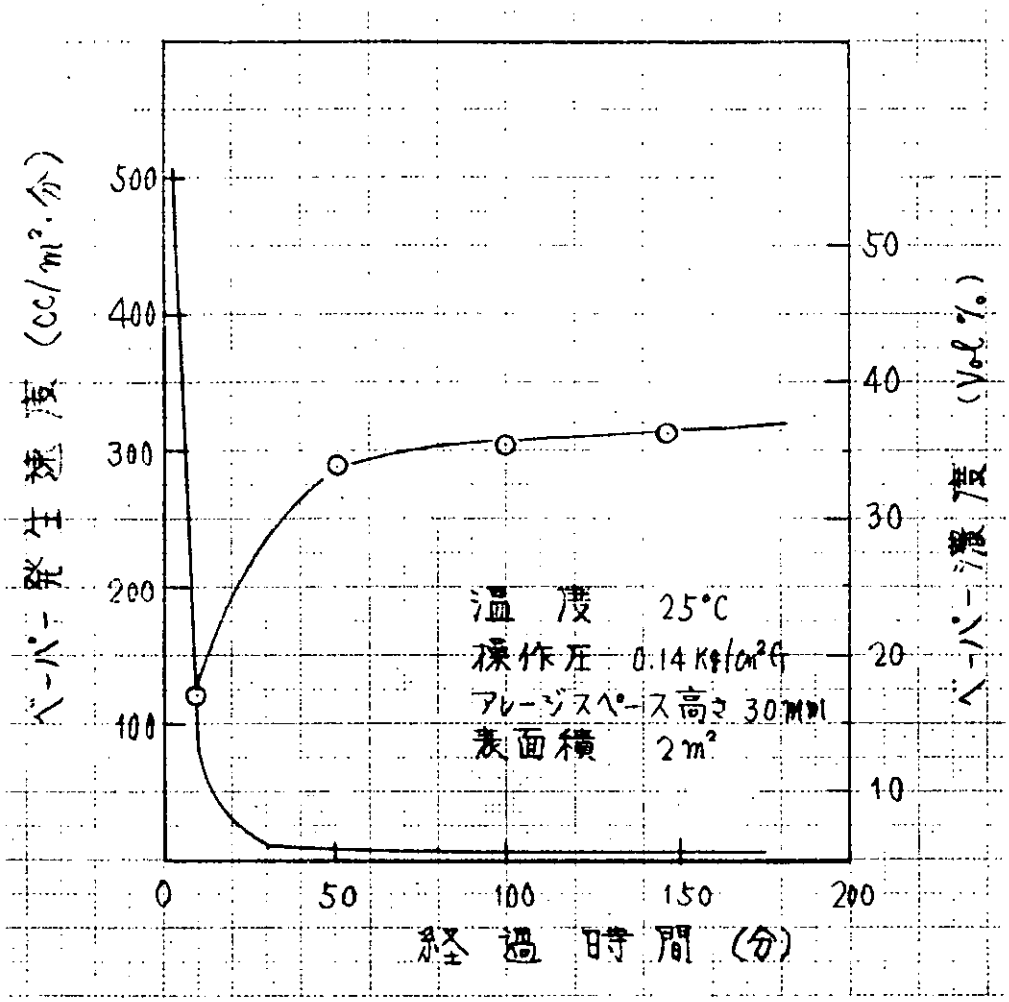


図 3. 7. 3. 39　ガソリンベーパー発生試験（温度）

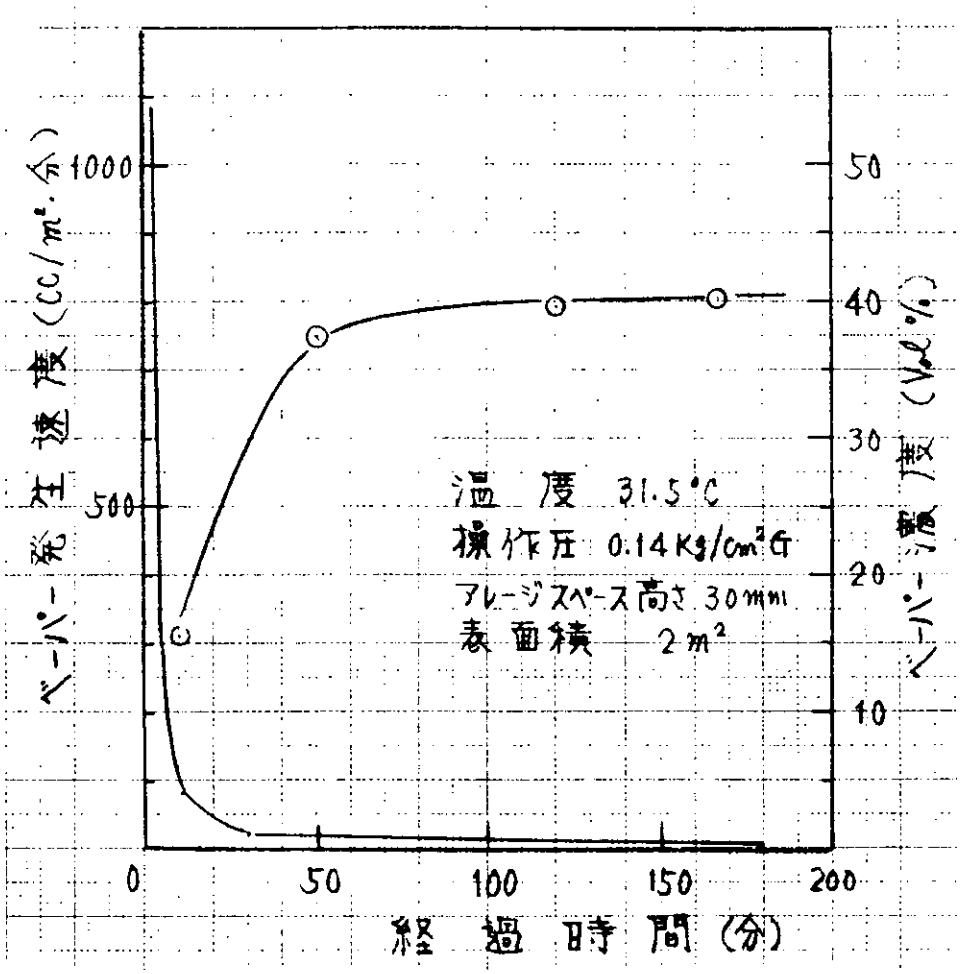


図 3. 7. 3. 40　ガソリンベーパー発生試験（温度）

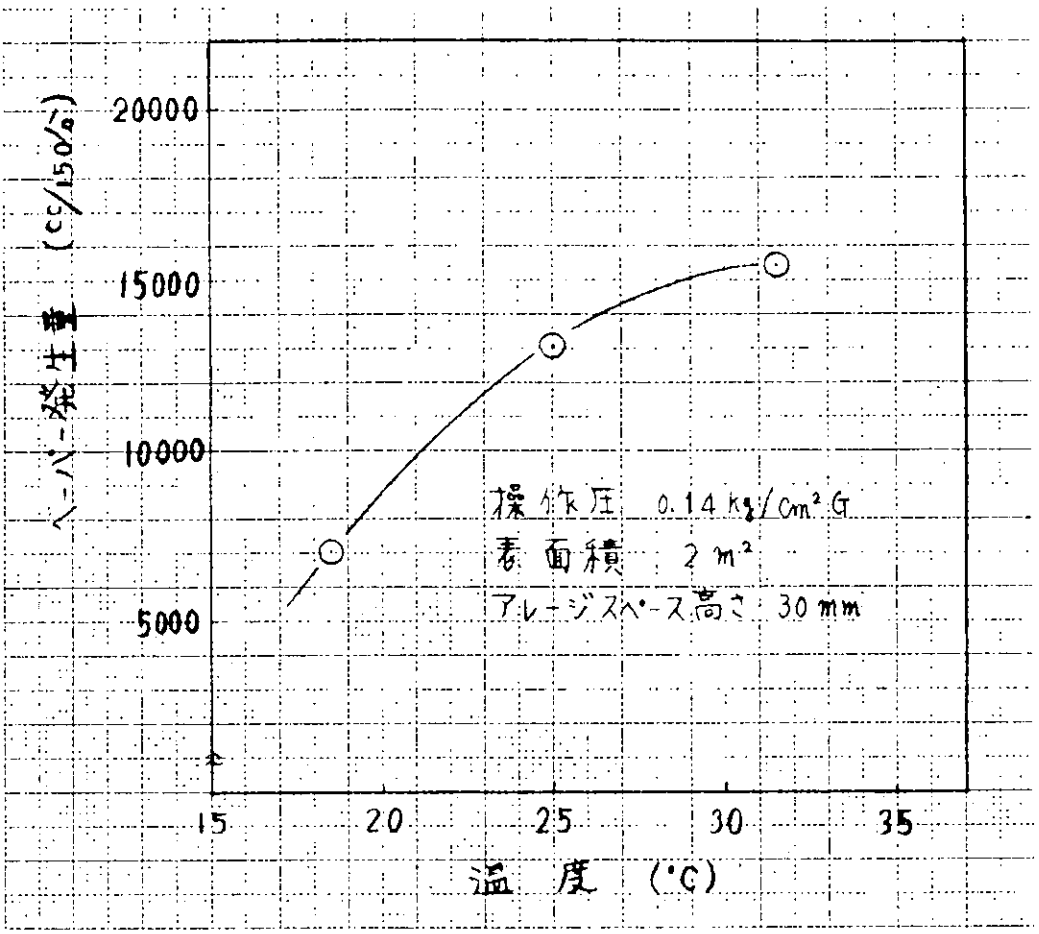


図 3. 7. 3. 41　ガソリン温度とベーパー発生量の関係

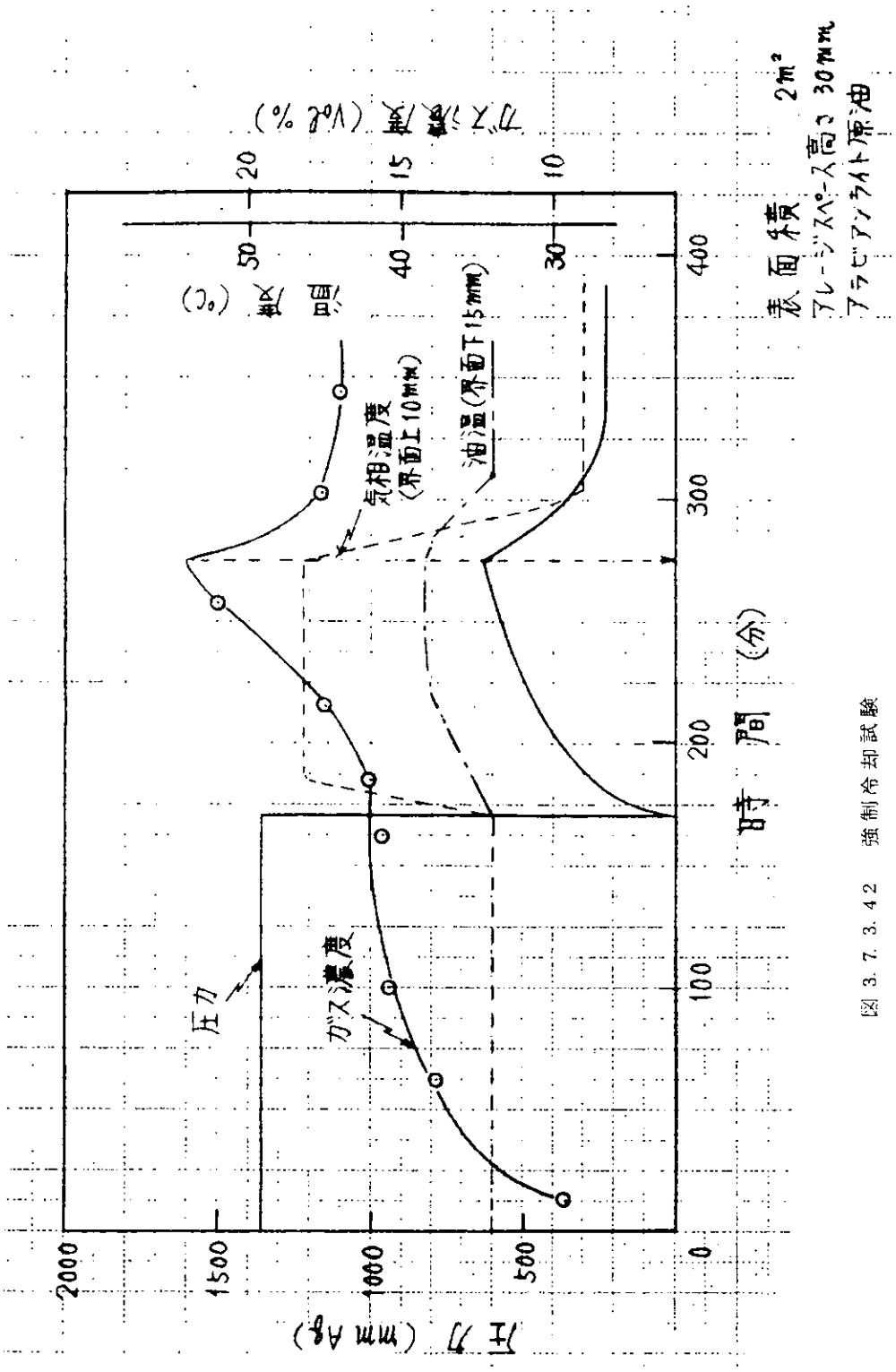


図 3.7.3.42 強制冷却試験

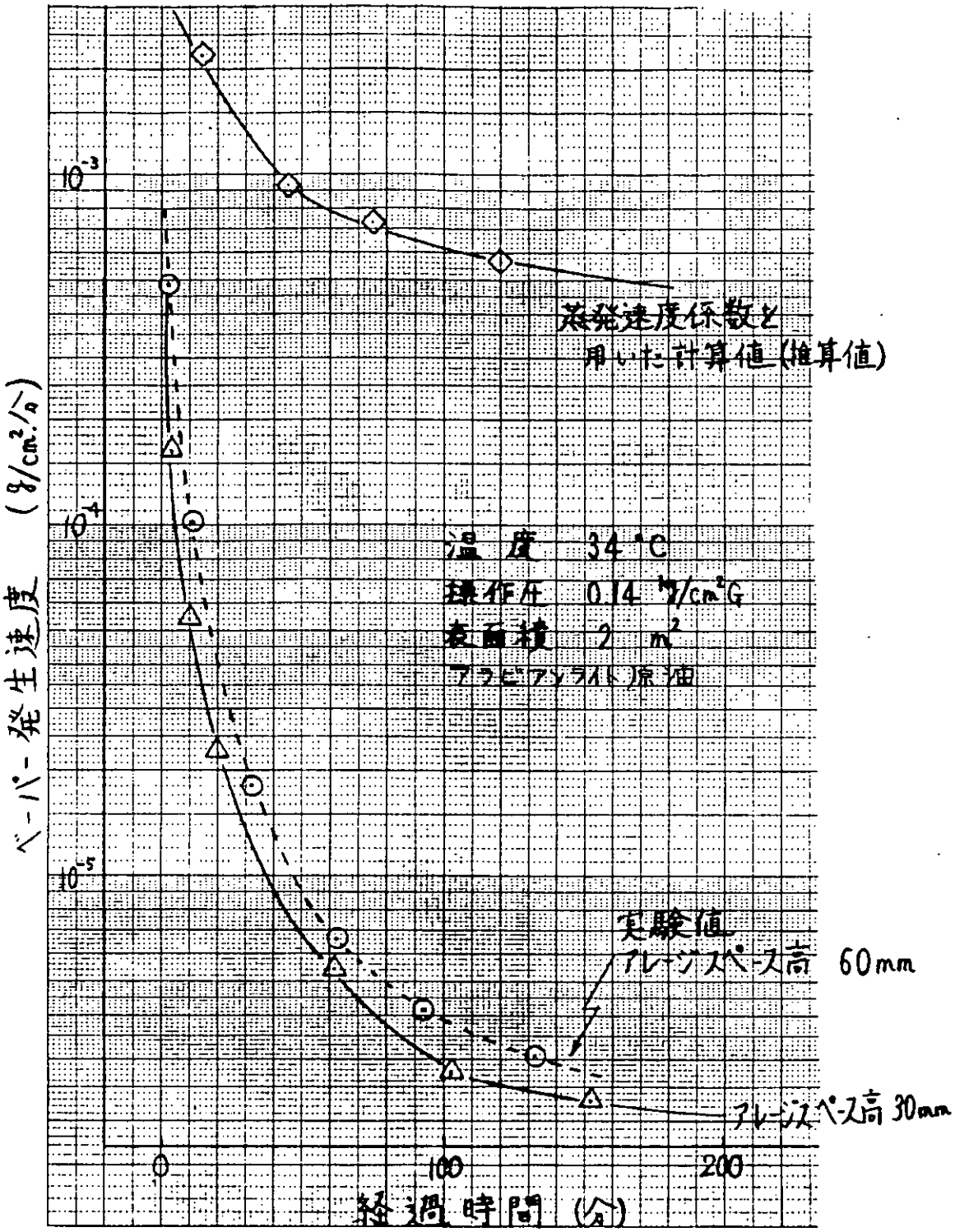


図 3. 7. 4. 1　ベーパー発生速度の経時変化

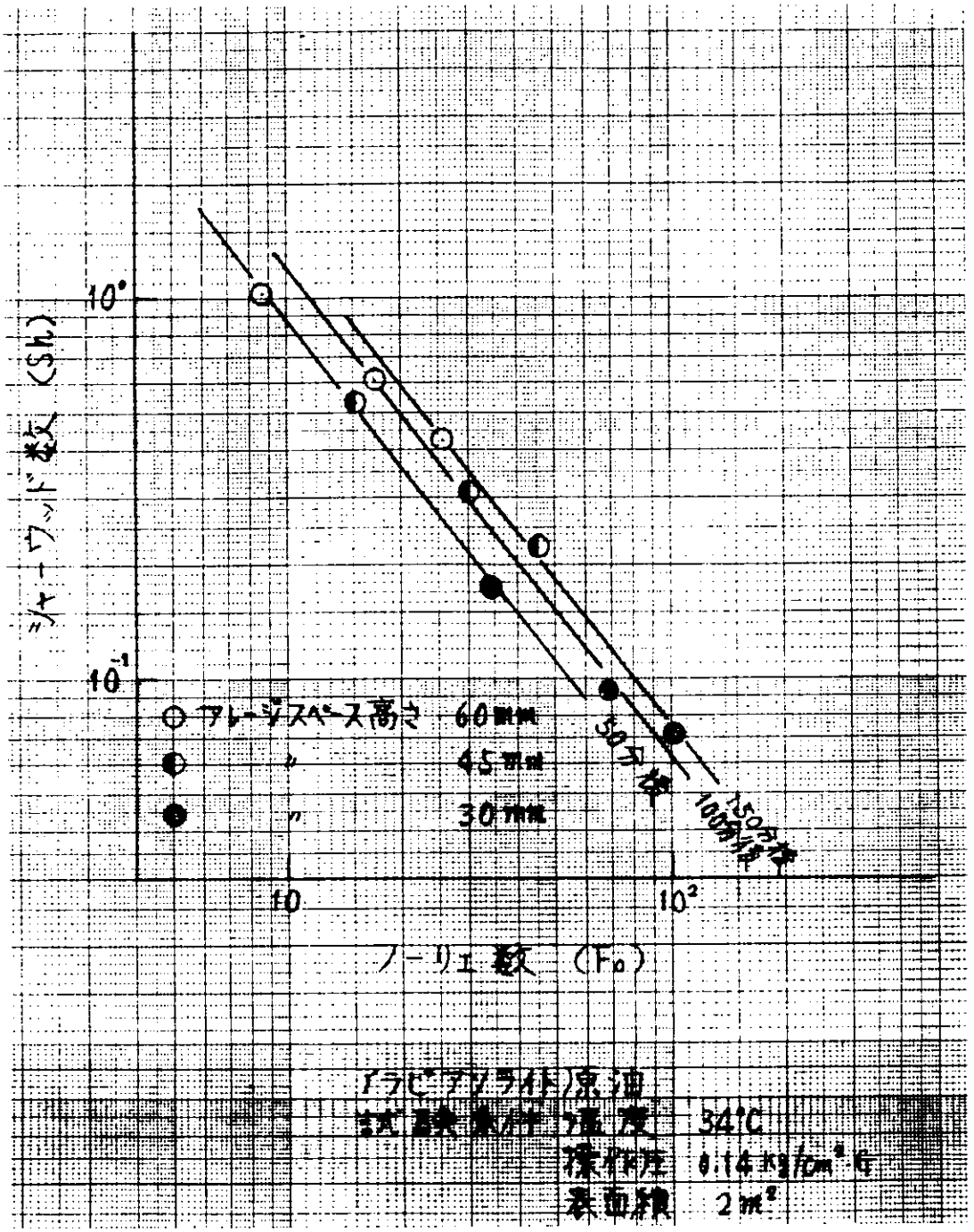


図 3. 7. 4. 2　ベーパー発生試験　Sh ～ Fo の関係

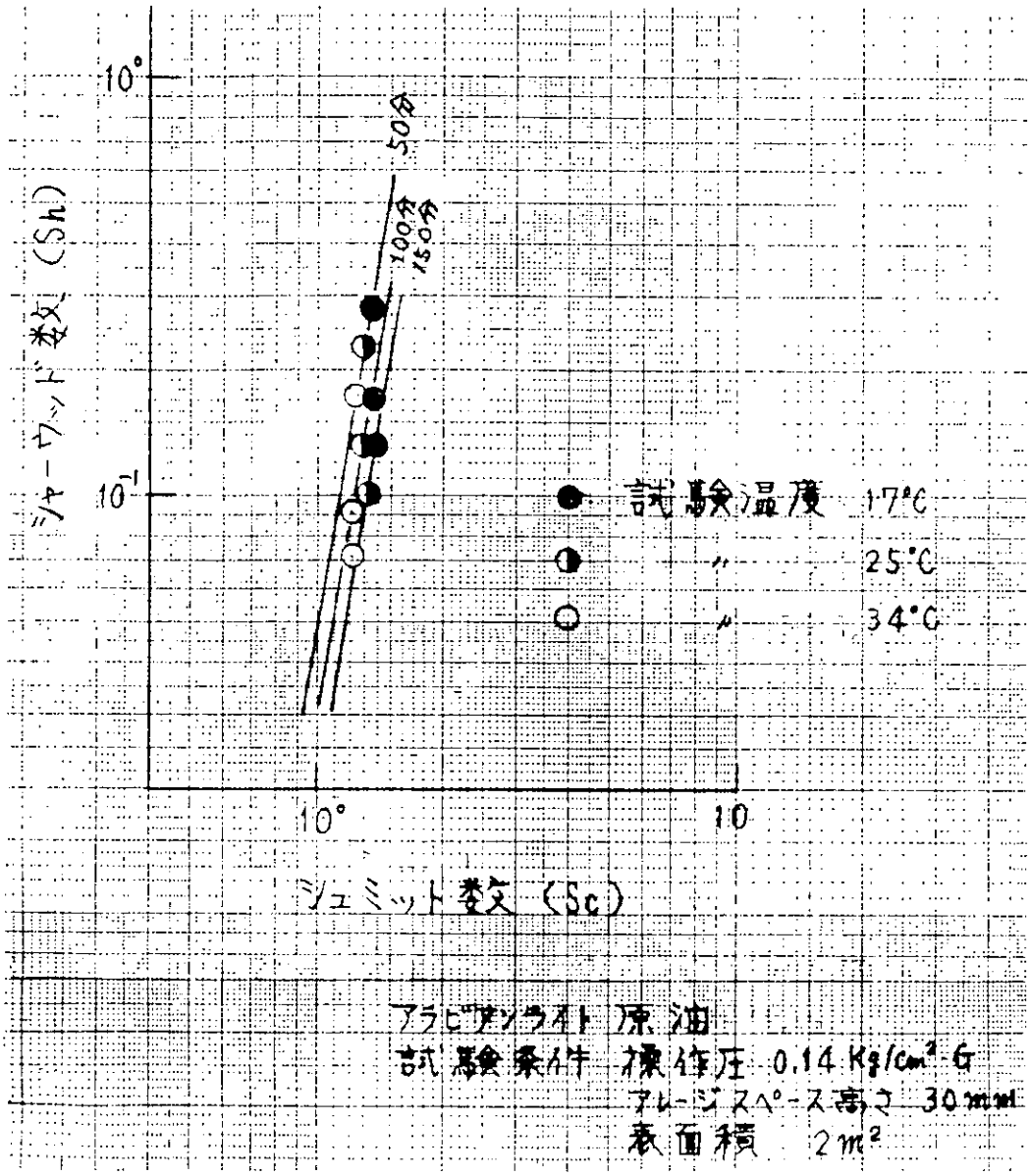


図 3. 7. 4. 3　ベーパー発生試験　Sh ～ Sc の関係

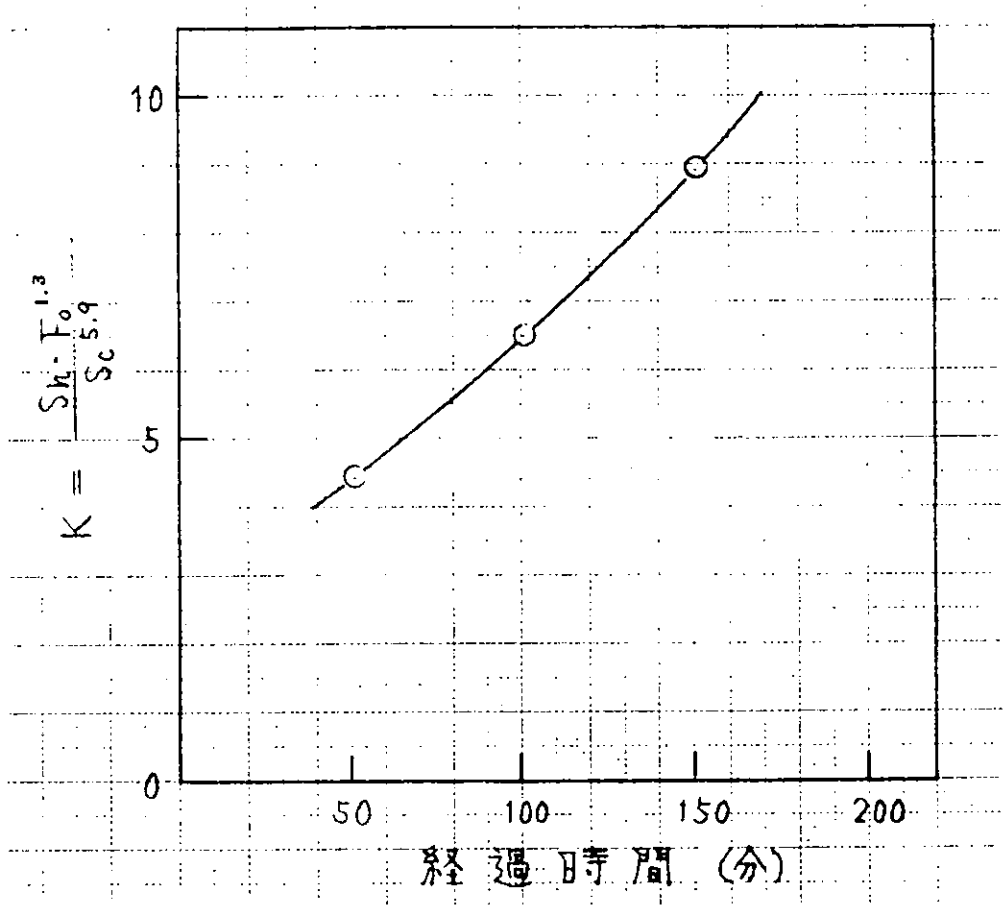


図 3. 7. 4. 4　実験式中の係数Kの検討時間とK（$Sh \cdot Fo^{1.3}/Sc^{5.9}$）の関係

（アラビアンライト原油）

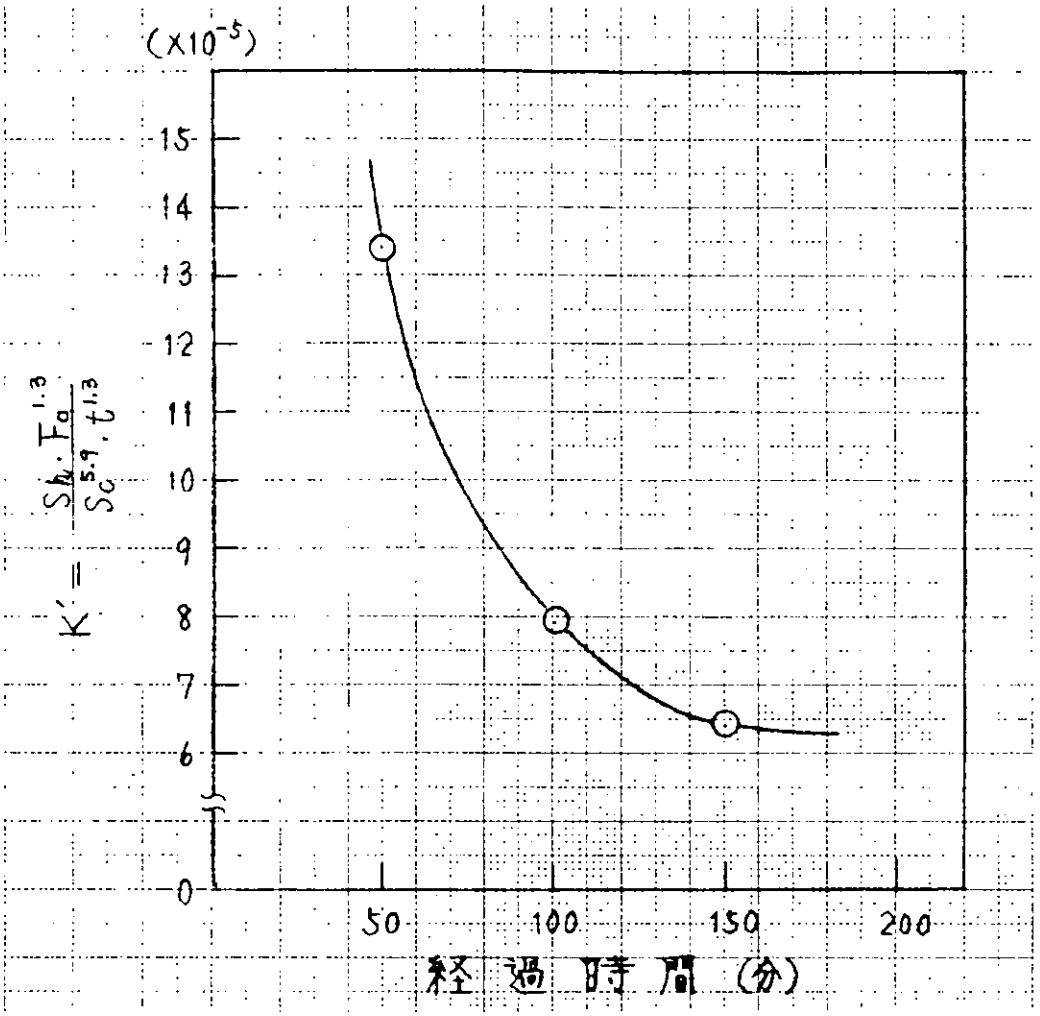


図 3. 7. 4. 5　実験式の係数の経過時間と K（$Sh \cdot Fo^{1.3} / Sc^{5.9} \cdot t^{1.3}$）の関係

（アラビアンライト原油）

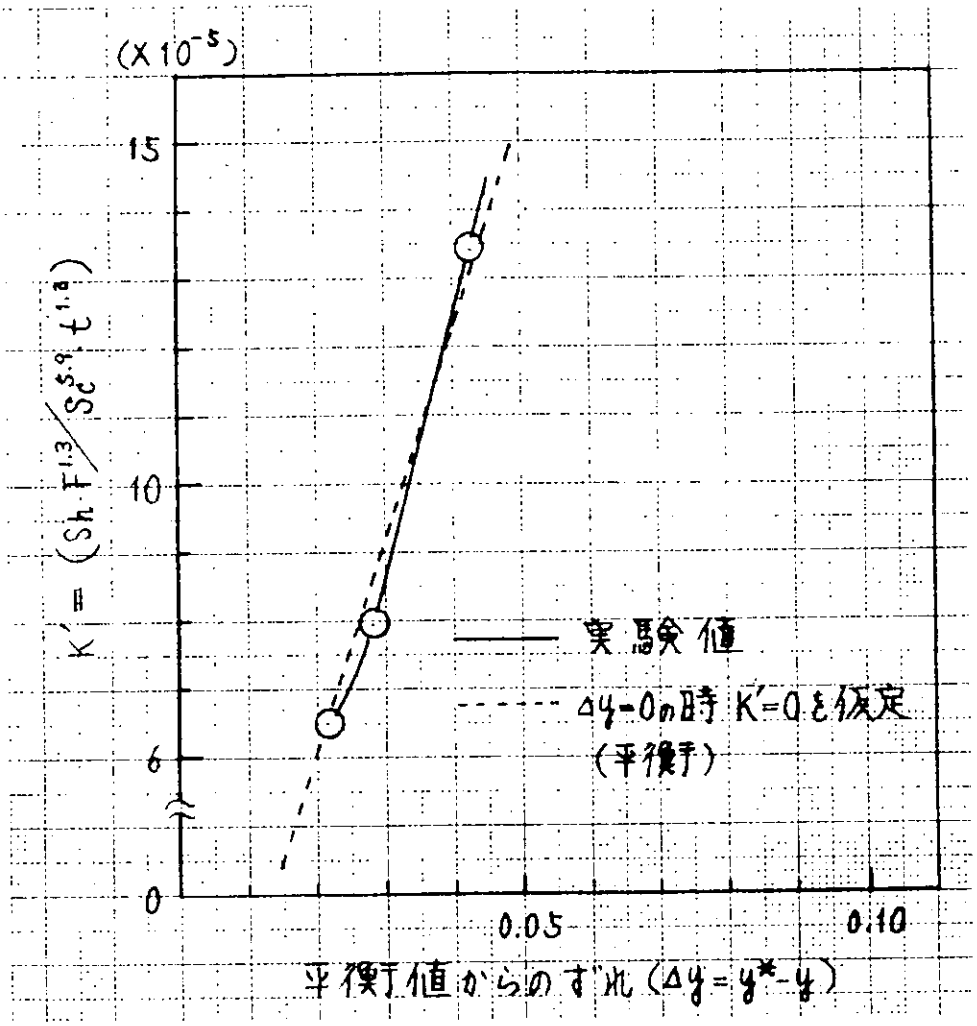


図 3. 7. 4. 6　アレージスペース濃度が平衡組成からずれた時のKの変化

（アラビアンライト原油）

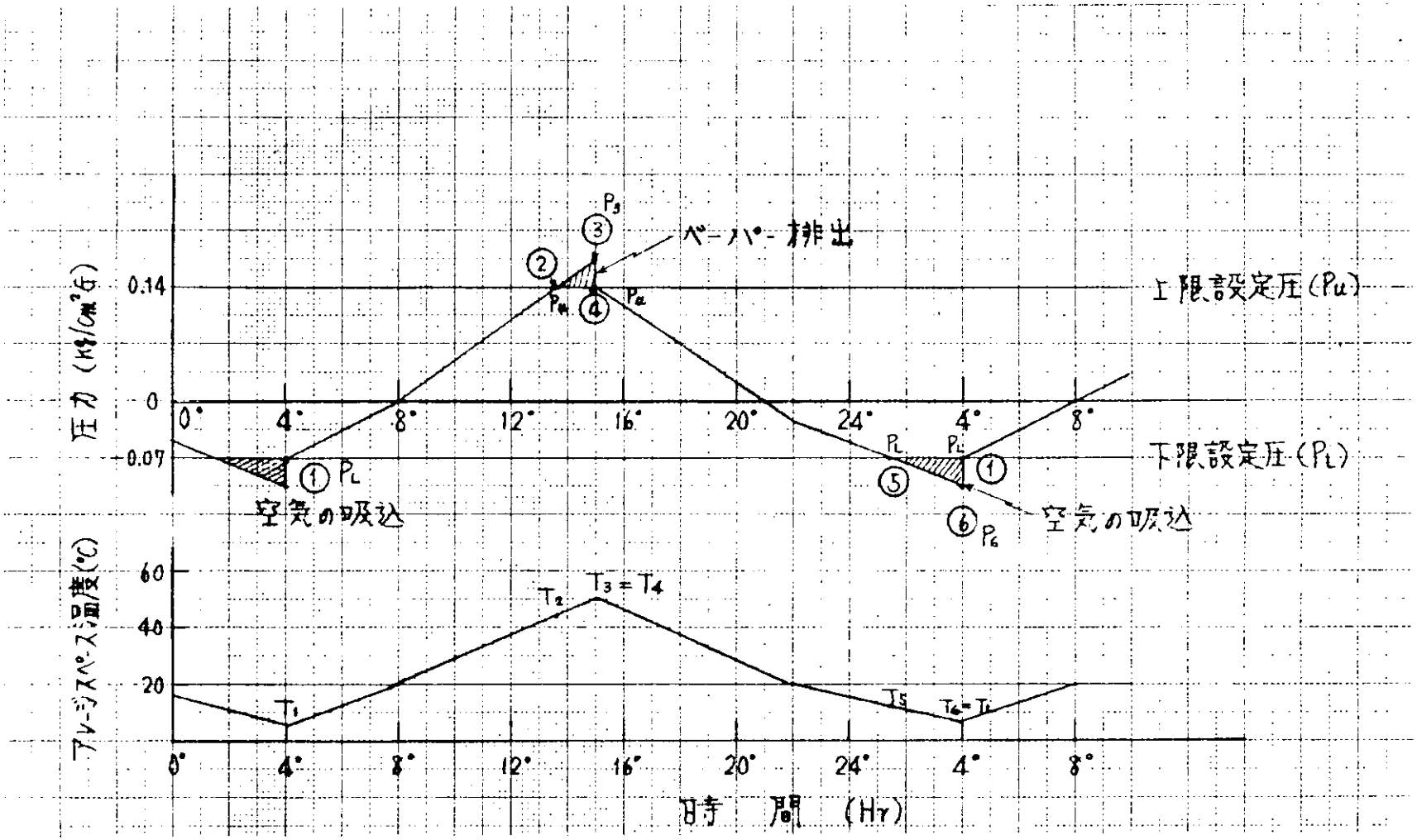


図 3.7.4.7　夏場におけるタンク内アレージスペース部１日の状態変化モデル

表 3. 7. 2. 1　ベーパー発生試験条件　(1)

条件 / 試験項目	表面積	油量 (アレージスペース高さ)	圧力	油温度	試験油
表面積	2 m^2 1.25 m^2 0.75 m^2	0.94 m^3 (3 cm)	0.14 Kg／cm²G	34 ℃	アラビアンライト 原油
アレージスペース	2 m^2	0.94 m^3 (3 cm) 0.91 m^3 (4.5cm) 0.88 m^3 (6 cm)	0.14 Kg／cm²G	34 ℃	〃
操作圧	2 m^2	0.94 m^3 (3 cm)	0 Kg／cm²G 0.07 〃 0.14 〃	34 ℃	〃
温度変化	2 m^2	0.94 m^3 (3 cm)	0.14 Kg／cm²G	17 ℃ 25 〃 34 〃	〃
強制冷却	2 m^2	0.94 m^3 (3 cm)	閉鎖系	34 ℃	〃

表 3. 7. 2. 2　ベーパー発生試験条件　(2)

条件 / 試験項目	表面積	油量 (アレージスペース高さ)	圧力	油温度	試験油
アレージスペース	2 m^2	0.94 m^3 (3 cm) 0.91 m^3 (4.5cm) 0.88 m^3 (6 cm)	0.14 Kg／cm²G	31.5 ℃	ガソリン
温度変化	2 m^2	0.94 m^3 (3 cm)	0.14 Kg／cm²G	18.5 ℃ 25 ℃ 31.5 ℃	ガソリン

表 3. 7. 3. 1　タンク気相部ガス組成の一例

（分析結果は試験開始約１６０分後の値）

試験条件		34（℃） 0.14(Kg/cm G)	34 0.14	34 0.14	25 0.14	17. 0.14
R．V．P （１００℉）		0.26(Kg/cm G)	0.253	0.222	0.258	0.240
ガス組成（Vol%）	C_2H_6	4.08（Vol%）	4.72	3.24	5.00	3.49
	C_3H_8	26.11	25.65	21.97	26.38	23.73
	$i-C_4H_{10}$	8.33	8.19	7.72	8.25	8.27
	$n-C_4H_{10}$	33.54	32.63	32.15	32.42	33.75
	$i-C_4H_{12}$	9.04	9.22	9.85	8.98	9.49
	$n-C_5H_{12}$	12.27	12.53	14.20	12.20	12.97
	C_6H_{14}	5.25	5.81	8.16	5.65	6.51
	その他のペーパー	1.38	1.25	2.71	1.12	1.79
アレージスペース部	トータルペーパー濃度	16.75(Vol%)	15.0	14.6	12.4	9.3
０～１５０分までトータルペーパー発生量		11800（mℓ）	11500(mℓ)	10500(mℓ)	9850(mℓ)	7400(mℓ)

表3.7.4.1　原油の蒸発速度係数　（その１）　（１７℃）

		XAo	PA ＊ (Kg／cm²)	DAB ＊＊ (cm²／S)	φ	A (cm³/cm² S$^{1/2}$)
C_2H_6	17℃	7.03×10^{-3}	32.92	0.1455	0.0041	9.125×10^{-2}
C_3H_8	〃	4.06×10^{-2}	7.50	0.1111	0.023	1.019×10^{-1}
$i-C_4H_{10}$	〃	1.20×10^{-2}	2.71	0.0912	0.0069	1.00×10^{-2}
$n-C_4H_{10}$	〃	4.63×10^{-2}	1.86	0.0915	0.026	2.59×10^{-3}
$i-C_5H_{12}$	〃	1.15×10^{-2}	0.68	0.0784	0.0066	2.23×10^{-3}
$n-C_5H_{12}$	〃	1.50×10^{-2}	0.50	0.0774	0.0086	2.12×10^{-3}
$n-C_6H_{14}$	〃	6.09×10^{-3}	0.14	0.0665	0.0035	2.24×10^{-4}
合　計						0.210

＊　Antoineの式より推算

＊＊　藤田の式より推算

表3.7.4.2　原油の蒸発速度係数　（その２）　（２５℃）

		XAo	PA ＊ (Kg／cm²)	DAB ＊＊ (cm²／S)	φ	A (cm³/cm² S$^{1/2}$)
C_2H_6	25℃	8.44×10^{-3}	38.54	0.153	0.0049	13.09×10^{-2}
C_2H_8	〃	5.00×10^{-2}	9.34	0.117	0.0284	1.608×10^{-1}
$i-C_4H_{10}$	〃	1.52×10^{-2}	3.44	0.096	0.0087	1.644×10^{-2}
$n-C_4H_{10}$	〃	5.98×10^{-2}	2.40	0.096	0.034	4.48×10^{-3}
$i-C_5H_{12}$	〃	1.54×10^{-2}	0.91	0.0824	0.0088	4.07×10^{-3}
$n-C_5H_{12}$	〃	2.02×10^{-2}	0.67	0.0813	0.0114	3.86×10^{-3}
$n-C_6H_{14}$	〃	8.70×10^{-3}	0.199	0.0699	0.0050	4.66×10^{-4}
合　計						0.361

＊　Antoineの式より推算

＊＊　藤田の式より推算

表3.7.4.3　原油の蒸発速度係数　（その３）　（３４℃）

		XAo	PA ＊ (Kg/cm)	DAB ＊＊ (cm/S)	φ	A ($cm^3/cm^2\ S^{1/2}$)
C_2H_6	34℃	10.47×10^{-3}	49.04	0.162	0.006	20.96×10^{-2}
C_2H_8	〃	6.22×10^{-2}	11.62	0.123	0.0351	2.538×10^{-1}
$i-C_4H_{10}$	〃	1.96×10^{-2}	4.42	0.101	0.0112	2.791×10^{-2}
$n-C_4H_{10}$	〃	7.82×10^{-2}	3.14	0.102	0.044	7.806×10^{-3}
$i-C_5H_{12}$	〃	2.08×10^{-2}	1.23	0.087	0.0114	7.33×10^{-3}
$n-C_5H_{12}$	〃	2.80×10^{-2}	0.93	0.0859	0.016	7.73×10^{-3}
$n-C_6H_{14}$	〃	12.6×10^{-3}	0.29	0.0738	0.0072	10.05×10^{-4}
合　計						0.585

＊　Antone式より推算

＊＊　藤田の式より推算

表3.7.4.4　実船モデルにおける状態変化（図3.7.4.7の状態）

状態	圧力 *	アレージスペース温度	ガス体積 **	全ガスモル数		状態変化	備考
				空気	ベーパー		
①	P_L	T_1	V_0	n_{A1} $(n_{A4}+\triangle n_{AIN})$	n_{V1} $(\approx n_{V6})$	・気体膨張 ・ベーパー発生	$\triangle n_{AIN}=\frac{P_L(V_0-V_6)}{RT_6}$
②	P_u	T_2	V_0	n_{A1}	n_{V2}	・気体膨張 ・ベーパー発生	―――
③ （仮想状態）	$P_3(=P_u)$	T_3	V_3	n_{A1}	n_{V3}	・ガス排出量　Vout ・$Vout=Pu(V_3-V_0)$	k：物質移動係数 ベーパー発生量　A：表面積 $n_{V3}-n_{V1}=kA(y^*-y)$　y^*,y：気液界面、アレージスペース部ガス分率
④	P_u	T_4	V_0	n_{A4} $(n_{A1}-\triangle n_{Aout})$	n_{V4} $(n_{V3}-\triangle n_{Vout})$	・気体収縮 ・ベーパー凝縮	$\triangle n_{Aout}=\frac{Pu(V_3-V_0)}{RT_3}\frac{n_{A1}}{n_{A1}+n_{V3}}$ $\triangle n_{Vout}=\frac{Pu(V_3-V_0)}{RT_3}\frac{n_{V3}}{n_{A1}+n_{V3}}$
⑤	P_L	T_5	V_0	n_{A4}	n_{V5}	・気体収縮 ・ベーパー凝縮	―――
⑥ （仮想状態）	$P_6(=P_L)$	$T_6(=T_3)$	V_6	n_{A4}	n_{V6}	・空気吸込　VAIN ・$VAIN=P_L(V_0-V_L)$	―――

＊ P_L：下限設定圧　　＊＊ V_0：アレージスペース体積
　 Pu：上限設定圧

3.8 ベーパーの処理方法の研究

石油類から発生する炭化水素ベーパーの処理方法については、ベーパー発生による石油の減失またガスの滞留による爆発の防止、そして近年では特に環境対策の面からすでに十分なる検討が行われており、種々報告書が出版されている。それら報告書には処理方法、処理装置が細かに記述されているが、特に処理装置については、主としてガソリンベーパーの回収を目的として陸上固定発生源への設置を対象としたものであり、この研究の目的である「備蓄タンカー」からのベーパー防止対策という面から見れば、装置が大き過ぎたり、また設置する場合、タンカーそのものの構造を改造する必要があったり、あるいは処理するベーパーの種類が限定され、原油ベーパーの処理には不適当である。

したがって本題から離れるのを避ける為、この章では各処理方法の技術の概要と処理装置の1例のみを記述する。

本報告書を記述するために主として文献[1)、2)、3)]を参考としたが、特に「炭化水素類発生源対策検討会報告書」[1)]から多くの引用をなした。また、現在開発されている処理装置の具体的内容については「石油産業に於ける炭化水素ベーパー防止トータルシステム研究報告書」[2)]を参照されたい。

炭化水素ベーパーの処理方法としては、① 吸着法 ② 吸収法 ③ 凝縮法 ④ 酸化法 がある。これらの方法の中で最も一般的、効果的であり、また備蓄タンカーにも使用が可能であると思われるものは、活性炭を使用した吸着法である。他方法は特殊な装置を必要とし、備蓄タンカーには不向きだと思われるが、次のような場合に使用されている。

凝縮法は回収蒸気が高濃度の場合に使用され、これにより凝縮した後吸収法あるいは吸着法によりさらに回収するという方法がとられる。

酸化法は排ガス中に各種炭化水素化合物、不純物が含まれ、回収してもメリットの少ないものに用いられる。直接燃焼させる方法と触媒層を通して酸化する方法がある。

前者は高濃度で排出される炭化水素類を処理する場合に用いられ、後者は低濃度で排出される場合の処理に使用されている。

次に各方法の技術の概要を述べ、また陸上で使用されているそれぞれの方法による処理装置の1例を示す。

(1) 吸着法

ガス体は固体に接触すると表面に集合しやすいという性質を利用したものである。この性質は固体とガス体の種類によって異なるが、一般に吸着能力の高い活性炭が使用されている。

活性炭吸着装置は炭化水素類を含むガスを活性炭層に通じ炭化水素ガスを吸着させた後、大気放出させるものである。

活性炭のガソリンベーパー中に含まれる軽質炭化水素吸着能力はおよそ0℃において0.25Kg／Kgとされている。同温度の飽和ベーパー濃度を30％とすれば、ベーパー1m^3の処理に必要な活性炭量は約5Kg、容量で約10ℓである。活性炭の処理能力には限界があり、飽和状態に達した場合には炭化水素類を吸着しなくなるので、活性炭の再生あるいは交換を行なう必要がある。

活性炭の再生は一般に水蒸気を活性炭層に通して、炭化水素類を脱着し、その後蒸気を冷却凝縮して水と炭化水素類に分離して、炭化水素の回収を行なう。また交換を行った場合でも他の場所で上記再生を行うか、適当な廃棄措置を講ずる必要がある。

再生を行なう場合であっても、長時間使用する場合は、目詰まりを起したり、砕けたりするので、一定期間ごとに補充・新替の必要がある。

現在陸上施設に使用されている活性炭吸着装置には、吸着及び脱着を連続的に行う流動床方式（図3.8.1）と活性炭を移動させることなく、吸着脱着を一定時間ごとに行なう固定方式（図3.8.2）がある。

①	吸着装置	⑫	再生装置
②	整流管	⑬	循環パイプ
③	堅粒板	⑭	隔　壁
④	多孔板	⑮	多孔板
⑤	フィルター	⑯	熱交換器
⑥	有機物を含んだ排ガスの入口	⑰	ロータリーバルブ
⑦	排気口	⑱	凝縮器
⑧	定容量式フィーダー	⑲	クーラー
⑨	バッファタンク	⑳	デカンター
⑩	空気輸送機	㉑	回収貯槽
⑪	ファン	㉒	燃焼炉

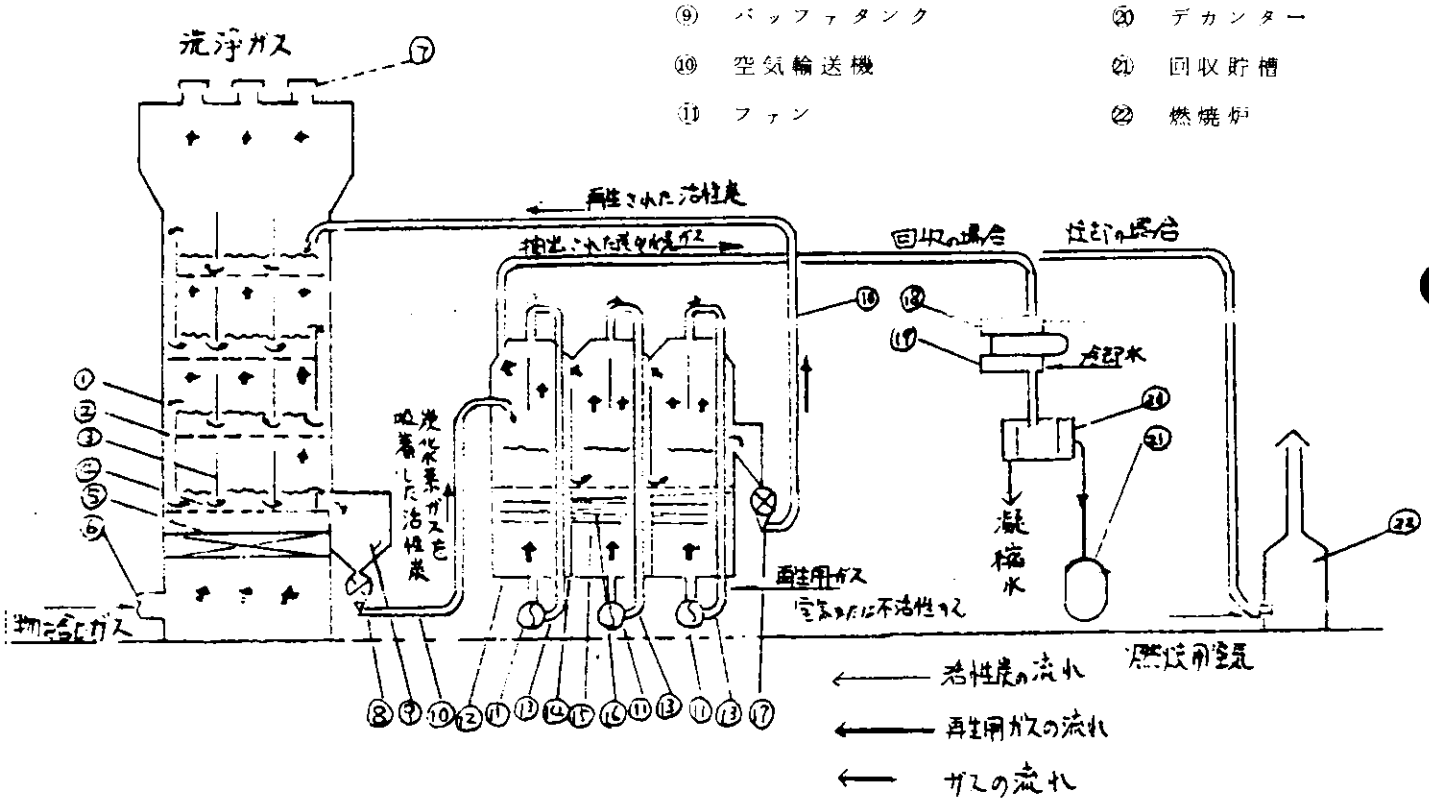


図 3. 8. 1　活性炭吸着装置－流動床方式の一例

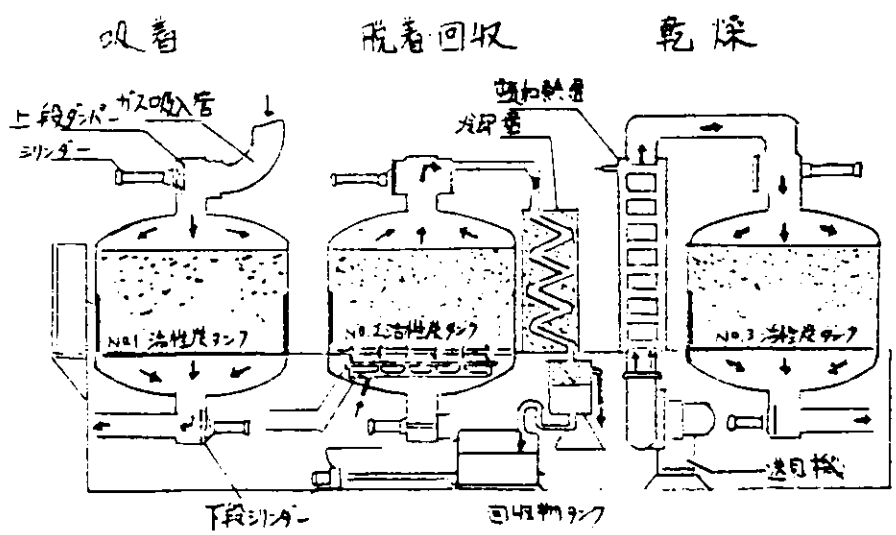


図 3. 8. 2　活性炭吸着装置－固定床（三槽式）方式の一例

(2) 吸収法

吸収法は炭化水素類のベーパーを液状の炭化水素類等に接触させることにより、吸収させる方法である。吸収効果を上げるために、低温加圧操作がなされるが、その操作の方法により、次の4つに分類される。

① 常温、常圧吸収　　減圧再生方式

② 常温、加圧吸収　　減圧再生方式

③ 冷凍、常圧吸収方式

④ 冷凍、加圧吸収方式

吸収液としては、一般的にガソリン、灯油、軽油の他特殊の用剤が使用される。上記方法及び吸収液はそれぞれの特徴を持っており、処理するベーパーの種類また処理目的により選定されることが必要である。

吸収法は排出ガス中の炭化水素類が高濃度であり、ガス量の少ない場合に適した方法である。またその除去効果は夏期には80～95%の高い効率であるが、冬期にはベーパー濃度が低いこと及びベーパーと吸収液の温度差が少ないという理由から吸収率は低下するが、大気中に排出されるガス中のベーパー濃度は低くなる。

原油ガスの場合のように、吸収液がベーパーと別の種類の炭化水素である場合には、吸収液の吸収能力に限界があるので、一定の時間で、吸収液とベーパー成分の分離を行なう必要がある。

分離の方法としては、蒸留による方法が一般的であり、この場合にはベーパーの吸収工程と再生工程とが間けつ的に行なわれる。吸収装置に付随して回収装置が付いていない場合には吸収済みの液は新しい吸収液と交換し、別の場所で分離回収を行なう必要がある。

吸収装置使用の一例を図3.8.3に示す。

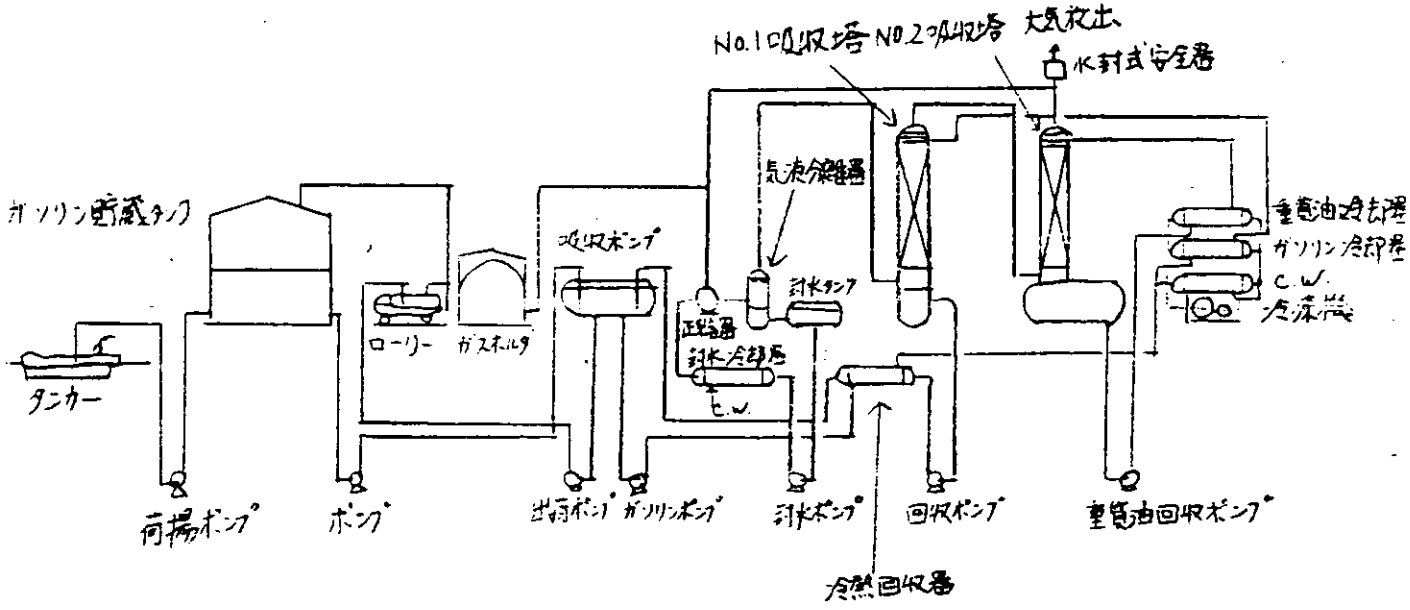


図 3.8.3　油槽所における吸収装置使用の一例

(3) 凝縮法

凝縮法は炭化水素類含有ガスを露点以下まで冷却し、凝縮して回収する方法である。高濃度低ガス量処理に適している。

凝縮装置は冷媒とガスを管壁等を介して冷却する間接冷却方式と冷媒中に直接ガスを導く直接冷却方式が一般的である。また直接冷却方式は単独で使用される事より吸着装置あるいは吸収装置との組合せで使用される事もある。

直接冷却方式の場合は冷媒と回収炭化水素類の分離工程が必要となる。凝縮装置の一例を図3.8.4に示す。

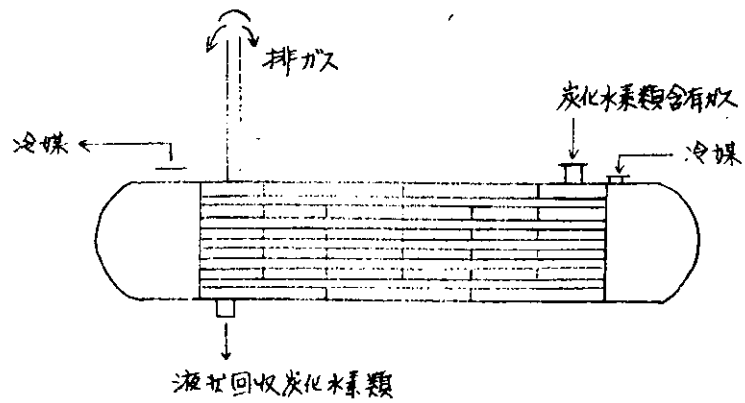


図 3.8.4 凝縮装置の一例

(4) 酸化法

酸化法は直接燃焼法及び接触酸化法に分類される。

(a) 直接燃焼法

炭化水素類含有ガスを燃焼炉に導き、直接燃焼させるもので、燃焼排ガスは二酸化炭素及び水蒸気である。

燃焼させる場合、一般に助熱剤を必要とする。

この方法はガス中の炭化水素類濃度が高い場合助燃剤が不要なので特に有利であり、また回収に向かない樹脂や粉じんを含む場合の処理に適している。処理効果が高く、炭化水素類の処理の面からは良い方法であると考えられるが、助燃剤を得られない場合は燃料費がかさむという一面もある。

直接燃焼装置の一例を図3.8.5に示す。

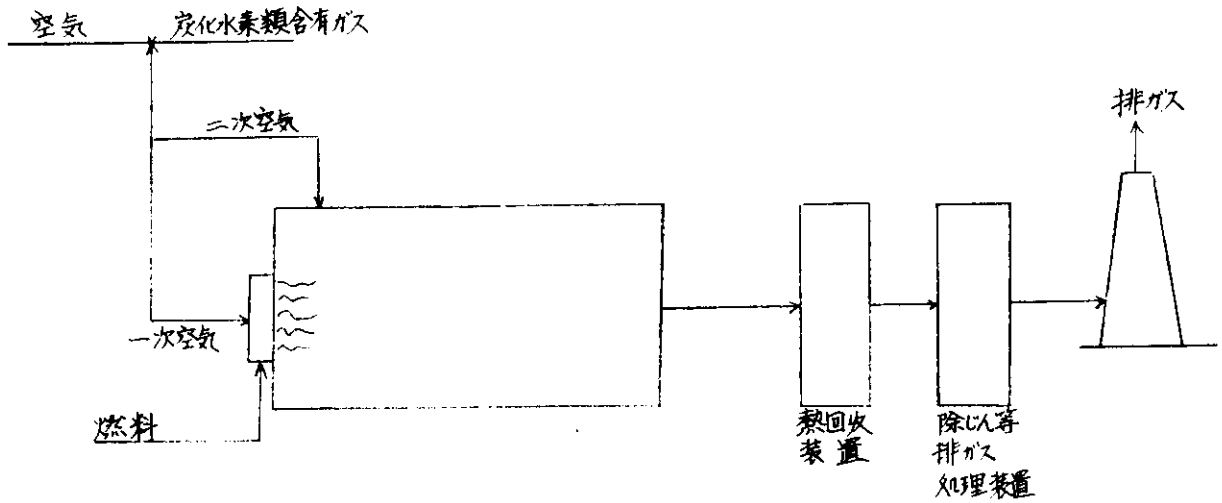


図 3. 8. 5　直接燃焼装置の一例

(b) 接触酸化法

炭化水素類は一般に３００℃前後において、触媒を用いて燃焼させることができ、水蒸気と炭酸ガスになる。この原理を応用したものが接触酸化法である。

具体的には炭化水素類含有ガスを熱交換器に導き、触媒層を通過してきた排ガスとの熱交換により加熱する。この温度上昇だけでは不十分な場合には、更に加熱器を通し加熱した後、炭化水素類を燃焼させる。排ガスは熱交換器で熱を回収した後大気放出する。

炭化水素類が一定濃度含有されている場合には、燃焼により発生する熱量も多いので加熱器を使用しなくてよい。炭化水素類濃度が少ない場合は、触媒層の加熱をするか、またはガス中に他の炭化水素を加えるかいずれかの方法をとる。

また逆に炭化水素類の濃度が高過ぎる場合は空気を加えて希釈し、爆発下限界の数分の１の濃度まで下げて処理を行う必要がある。

触媒には、白金族－活性アルミナ系を使用するものが多い。

接触酸化法が使用されるのはベーパー中の炭化水素類が一種類ものではなく、数種類の場合であり、回収しても再利用に適さない場合に使用されることが多い。

図 3.8.6 に接触酸化装置の一例を示す。

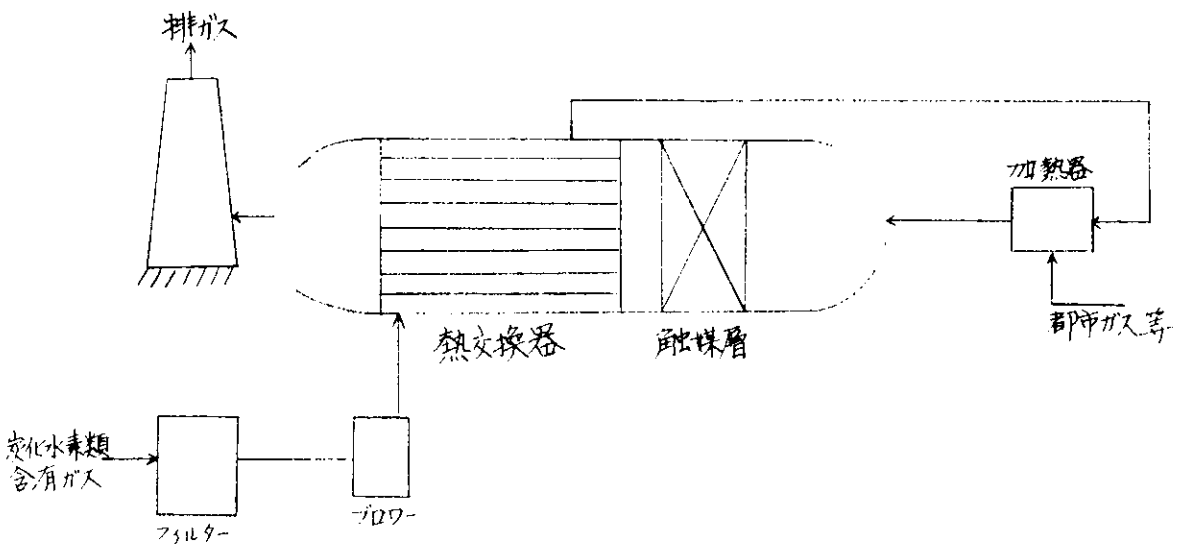


図 3.8.6　接触酸化装置の一例

参　考　文　献

1）　炭化水素類発生源対策検討会報告書（昭和５４年１０月）
炭化水素類発生源対策検討会編

2）　石油産業に於ける炭化水素ベーパー防止トータルシステム研究調査報告書（昭和５０年３月）
資源エネルギー庁編

3）　石油連盟炭化水素漏出防止調査団報告書（昭和４８年１１月）
石油連盟環境委員会編

3.9 ベーパー発生防止対策

3.9.1 タンカーで実施出来る対策

以上の調査 実験結果から、当面、タンカーで実施可能で有効なベーパー発生防止対策は次の通りである。

(1) 上甲板への散水

甲板上の散水は直接上甲板及び船側を水で冷却することによりアレージスペースの温度を低下せしめて、ブリザー弁の噴気を防止する最も効果的でかつ簡便な従来から実施されている方法である。

但し、長期実施する場合は、船体の発錆、汚損を招来させる等の問題がある。散水時期は次のいずれかの方法により設定できる。

(a) 実船調査、実験結果による設定

a. 大気温度 30℃

b. 上甲板温度 50℃

c. アレージスペース温度 45℃

d. 油面温度 35℃

に達する前に散水を開始し、終了時期は日没を目途とする。

(b) 計算による散水時期の設定

特定日のアレージスペース温度、油面温度の日周変化を策定し、特定原油積載中のタンク内圧変化を計算により求め、タンク内圧が 0.14 Kg/cm² を超える時間散水する。

〔計 算 例〕

1. 条件の設定

イ 特 定 日 夏期・晴天日

ロ 特定原油 イラニアンライト

ハ アレージスペース 540 m³

ニ タンク内圧は 0600時 0とする。

ホ 温度変化を次の通り策定する。(実船実験結果より抽出)

時間	0600	1000	1500	1800
アレージスペース温度	27℃	38℃	53℃	48℃
油面温度	29℃	32℃	38℃	37℃

2. 計算方法

イ 「3.5章 ベーパー発生に関する基礎的データの調査」結果から各時間のTVPを求める。

ロ 各時間のガス分圧 $C = \frac{TVP}{1.0332+TVP}$ を求める。

ハ 各時間のTVP変化による圧力増加(△Pc)を求める。

$$\triangle Pc = 1.0332 \times (C_{Time} - C_{0600})$$

ニ 各時間の膨張による圧力増加(△Pt)を求める。

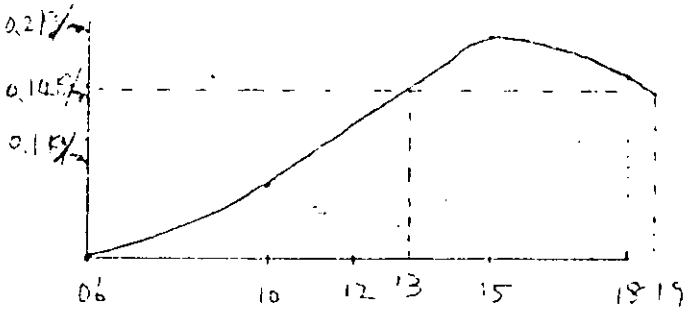
$$\triangle Pt = 1.0332 \times \left(\frac{273 + Temp(Time)}{273 + Temp(0600)} - 1 \right)$$

ホ 各時間のタンク内圧増加(△P)を求める。

$$\triangle P = \triangle Pc + \triangle Pt$$

	TVP	C	△Pc	△Pt	△P
0600	0.30	0.225	—	—	—
1000	0.34	0.248	0.0238	0.0379	0.0617
1500	0.47	0.313	0.0909	0.0895	0.1804
1800	0.44	0.299	0.0765	0.0723	0.1488

ヘ　グラフに図示する。



従って１３００～１９００間散水が必要である。

(2)　甲板塗色の選定

甲板塗色を選定することにより、太陽熱の吸収量を抑え、アレージスペース温度の上昇を抑制する方法である。

ベーパー発生対策上からは、黒色、赤色、緑色に比し、白色もしくは白色に近い灰色に塗装することが有効である。既述の通り白色塗装（散水なし）のみで、ベーパー排出防止可能な場合があることが判明している。

但し、白色塗装した場合　汚れが目立ち易い等の問題がある。

(3)　積付方法

アレージスペースを最小にする積付けが望ましい。

(4)　ブリザーバルブ設定圧の変更

現在　殆どんどのタンカーのブリザーバルブは0.14 Kg／cm² ～ ⊖0.07 Kg／cm² に設定されている。

一方、ＮＫ鋼船規則では、ブリザーバルブの設定圧力は0.21 Kg／cm² ～ ⊖0.07 Kg／cm² と規定しておりこの範囲内での設定であれば、船体強度上も何ら問題はない。

ブリザーバルブ設定圧の変更は、さほど困難な工事ではなく設定圧の変更によりベーパー放出の機会を大巾に減少させ得るので大いに考慮されるべきである。

(5)　ブリザーバルブの定期的整備

ブリザーバルブはベーパー発生防止上重要な装置である。従って、その機能が阻害されることのないよう適切な整備が必要である。

3.9.2　その他の対策

(1)　Expansion Device

温度変化に伴うベーパー発生及びアレージスペース容積の膨張収縮に対応しベーパーの大気放出を防止出来る装置

(2)　「3.8章ベーパー処理方法の研究」に報告されている方法

4. 錨泊又は漂泊中の船体の生物付着に伴う船舶機能低下の防止に関する調査研究

船体外板、プロペラ、舵板、シーチェストに生物等が付着すると、備蓄船としての機能が低下するので、海洋生物の付着防止、除去について調査研究を実施した。

基礎調査として船体外板の塗装仕様と、出渠後の動静をアンケート調査した。又漂泊船4隻、錨泊船6隻を選定して、水線下汚れの状態を調査した。通常就航中のタンカーと異り、錨泊、漂泊が長期にわたる場合　生物等の付着は避けられないので、生物付着防止のため波力を利用してブラッシング動作をするブラシフェンダの作製実験と、ある程度付着した生物を除去するため、プロペラ、舵板等船尾附近の彎曲、狭隘部を水中清掃する小型水中清掃機の開発実験を行った。又　備蓄船として、最適の塗装仕様は如何にすべきか　ガイドラインを策定した。

今後の備蓄船は主に錨泊が対象になると考えられるが、錨地に於ける水中清掃は実施困難なので、上記ガイドラインに沿った具体的な防汚塗装の追跡研究が必要である。

4.1 調　査

4.1.1 備蓄タンカーの塗装仕様　出渠後の経歴のアンケート調査

錨泊船、漂泊船各10隻について、船体外板没水部の塗装仕様および出渠後の経歴をアンケートにより調査した結果を以下に説明する。

(1) 塗装仕様調査結果　（表1～2参照）

(a) 水線部のA／F 塗装

(i) 錨泊船

(イ) A／F 塗装範囲

- 無塗装　3隻
- 中間まで塗装　1〃
- 全面塗装　6〃

(ロ) A／F 塗装のタイプ

- 塩化ゴム系亜酸化銅・フェニル錫併用形　3隻
- 特殊樹脂系亜酸化銅・フェニル錫併用形　1〃
- 塩化ゴム系亜酸化銅形　1〃
- ブチル錫共重合体形　2〃

(ハ) 塗装回数

- 1回　4隻
- 2回　3〃

(ニ) 膜　厚

- 40 μm　1隻
- 60 μm　1〃
- 70 μm　2〃
- 120 μm　2〃
- 160 μm　1〃

(ii) 漂泊船

(イ) A／F 塗装範囲

- 無塗装　0隻

- 中間まで塗装　3隻
- 全面塗装　7〃

(ロ) A/F 塗料のタイプ

- 塩化ゴム系亜酸化銅・フェニル錫併用形　4隻
- 塩化ゴム系亜酸化銅・ブチル錫併用形　2〃
- 亜酸化銅・ブチル錫共重合体併用形　1〃
- 亜酸化銅・フェニル錫共重合体併用形　1〃
- ブチル錫共重合体形　2〃

(b) 船底立上り部のA/F塗装

(i) 錨泊船

(イ) A/F 塗料のタイプ

- 塩化ゴム系亜酸化銅形　3隻
- ビニル系亜酸化銅形　2〃
- 塩化ゴム系亜酸化銅・フェニル錫併用形　3〃
- 特殊樹脂系亜酸化銅・フェニル錫併用形　1〃
- ブチル錫共重体形　1〃

(ロ) 塗装回数

- 1回　6隻
- 2回　4〃

(ハ) 膜　厚

- 40 μm　2隻
- 50 μm　1〃
- 60 μm　1〃
- 70 μm　2〃
- 80～100 μm　2〃
- 120 μm　2〃

(ii) 漂泊船

(イ) A/F 塗料のタイプ

- 塩化ゴム系亜酸化銅形　1隻
- 塩化ゴム系亜酸化銅・フェニル錫併用形　4〃
- 塩化ゴム系亜酸化銅・ブチル錫併用形　1〃
- 亜酸化銅・ブチル錫共重合体併用形　1〃
- 亜酸化銅・フェニル錫共重合体併用形　1〃
- ブチル錫共重合体形　2〃

(ロ) 塗装回数

- 1回　5隻
- 2回　5〃

(ハ) 膜　厚

- 40～45 μm　2隻
- 60 μm　2〃
- 120 μm　4〃
- 150～160 μm　2〃

(c) 平底部のA／F 塗装

(i) 錨泊船

(イ) A／F 塗料のタイプ

- 塩化ゴム系亜酸化銅形　6隻
- ビニル系亜酸化銅形　2〃
- 特殊樹脂系亜酸化銅・フェニル錫併用形　1〃
- ブチル錫共重合体形　1〃

(ロ) 塗装回数

- 1回　10隻
- 2回　0〃

(ハ) 膜　厚

- 40～50 μm　8隻
- 70 μm　2〃

(ii) 漂泊船

(イ) A／F 塗料のタイプ

- 塩化ゴム系亜酸化銅形　5隻
- 塩化ゴム系亜酸化銅・フェニル錫併用形　3〃
- 塩化ゴム系ブチル錫形　1〃
- ブチル錫共重合体形　1〃

(ロ) 塗装回数

- 1回　10隻
- 2回　0〃

(ハ) 膜　厚

- 40～45 μm　6隻
- 60～70 μm　3〃
- 80 μm　1〃

(d) 各部位のA／C 塗装

(i) タッチアップ

錨泊、漂泊船いずれも水線部、立上り部に対しては2回塗が多く、平底部では錨泊船は1回塗と2回塗が半数ずつを占め、漂泊船は1回塗が多い。

(ii) オールオーバー

錨泊、漂泊船とも1回塗が大部分を占めている。

(iii) 塗料のタイプ

ビニル、エポキシ系を塗装した2隻を除き、他の船はいずれも塩化ゴム系である。

(e) 電気防食法の種類

(i) 流電陽極方式適用船

錨泊船、漂泊船ともに各8隻である。

(ii) 外部電源方式適用船

錨泊船、漂泊船ともに各2隻である。

(f) MGPS設備

錨泊船8隻、漂泊船7隻が装備している。

(2) 出渠後の経歴調査結果 （表3～4参照）

備蓄行動に入る前の最終入渠造船所出発後の各船の動静および備蓄期間中における水中検査、水中クリーニングの実施状況等を調査した。

各船の出渠後の動静は上表に記載のとおりである。

昭和54年6月25日現在、外板没水部の水中検査を実施した船は、錨泊船6隻、漂泊船4隻であった。

水中クリーニングを実施した船は同時点では錨泊船、漂泊船とも皆無であった。

表 1. 船体外板没水部塗装仕様調査結果 （錨泊船）

調査対象船	入渠年月日	錨泊開始年月日	塗装仕様									電気防食法の種類	MGPS装備の有無	備考
			水線部	防汚剤	A/F膜厚（μm）	船底部								
						立上り部	防汚剤	A/F膜厚（μm）	平底部	防汚剤	A/F膜厚（μm）			
E 丸	53. 8. 29	53. 12. 22	CR. A/C TU. ×3 CR. B/T AO. ×1	—	—	CR. A/C TU. ×2 CR. A/C AO. ×1 CR. A/F AO. ×1	Cu	40	CR. A/C TU. ×2 CR. A/F AO. ×1	Cu	40	I	有	水線部A/F塗装なし
F 丸	53. 7. 28	53. 12. 21	CR. A/C TU. ×2 CR. A/C AO. ×1 CR. A/F AO. ×1	Cu + P. Sn	60	CR. A/C TU. ×2 CR. A/F AO. ×2	Cu	88	CR. A/C TU. ×2 CR. A/F AO. ×1	Cu	44	G	有	
I 丸	53. 9. 5	53. 12. 23	CR. A/C TU. ×1 CR. A/C AO. ×1 CR. A/F AO. ×2	Cu + P. Sn	120	CR. A/C TU. ×1 CR. A/C AO. ×1 CR. A/F AO. ×1	Cu + P. Sn	60	CR. A/C TU. ×1 CR. A/C AO. ×1 CR. A/F AO. ×1	Cu	45	G	無	
A 丸	53. 5. 7	53. 12. 24	CR. A/C TU. ×2 CR. A/C AO. ×1 CR. B/T AO. ×1 OM. A/F AO. ×1	B. Sn	70	CR. A/C TU. ×2 CR. A/C AO. ×1 OM. A/F AO. ×2	B. Sn	120	CR. A/C TU. ×1 CR. A/C AO. ×1 CR. A/F AO. ×1	B. Sn	70	G	有	A/F水線部5 m塗上げ
H 丸	53. 9. 24	53. 12. 25	CR. A/C TU. ×2 CR. A/C AO. ×1 SR. A/F AO. ×1	Cu + P. Sn	70	CR. A/C TU. ×2 CR. A/C AO. ×1 SR. A/F AO. ×1	Cu + P. Sn	70	CR. A/C TU. ×2 CR. A/C AO. ×1 CR. A/F AO. ×1	Cu + P. Sn	70	G	無	
C 丸	53. 9. 16	53. 12. 23	CR. A/C TU. ×2 CR. A/C AO. ×1 CR. A/F AO. ×1	Cu	40	V. A/C TU. ×2 V. A/C AO. ×1 V. A/F AO. ×1	Cu	40	V. A/C TU. ×2 V. A/C AO. ×1 V. A/F AO. ×1	Cu	40	G	有	
G 丸	53. 3. 26	53. 12. 21	PE. A/C TU. ×2 PE. A/C AO. ×1 CR. A/F AO. ×2	Cu + P. Sn	160	PE. A/C TU. ×2 V. A/F AO. ×1	Cu	50	PE. A/C TU. ×2 V. A/F AO. ×1	Cu	50	I	有	
D 丸	53. 2. 25	53. 12. 22	CR. A/C TU. ×2 CR. A/C AO. ×2 CR. B/T AO. ×1	—	—	CR. A/C TU. ×2 CR. A/C AO. ×1 CR. A/F AO. ×2	Cu	80～100	CR. A/C TU. ×1 CR. A/F AO. ×1	Cu	40	G	有	水線部A/F塗装なし
J 丸	53. 2. 21	53. 12. 24	CR. A/C TU. ×2 CR. A/C AO. ×1 CR. B/T AO. ×1	—	—	CR. A/C TU. ×2 CR. A/C AO. ×1 CR. A/F AO. ×2	Cu + P. Sn	120	CR. A/C TU. ×1 CR. A/C AO. ×1 CR. A/F AO. ×1	Cu	50	G	有	水線部A/F塗装なし
B 丸	53. 9. 7	53. 12. 24	CR. A/C TU. ×2 CR. A/C AO. ×1 OM. A/F AO. ×2	B. Sn	120	CR. A/C TU. ×1 CR. A/C TU. ×1 CR. A/F AO. ×1	Cu + P. Sn	70	CR. A/C TU. ×1 CR. A/C AO. ×1 CR. A/F AO. ×1	Cu	40	G	有	

記号説明：

1. 塗装仕様関係

CR …… 塩化ゴム系　　TU … 補修塗装
SR …… 特殊合成樹脂系　　AO … 全面塗装
V …… ビニル系　　× … 塗装回数
PE …… エポキシ系
OM …… 有機錫共重合体

Cu …… 亜酸化銅　　A/C … 防食塗料
P. Sn … フェニル系有機錫　　B/T … 水線塗料
B. Sn … ブチル系有機錫　　A/F … 防汚塗料

2. 電気防食関係

G ： 流電陽極方式
I ： 外部電源方式

表 2. 船体外板及水部塗装仕様調査結果　（漂泊船）

調査対象船	入渠年月日	漂泊開始年月日	塗装仕様									電気防食法の種類	MGPS装置の有無	備考
			水線部	防汚剤	B/T又はA/F膜厚(μm)	船底部								
						立上り部	防汚剤	A/F膜厚(μm)	平底部	防汚剤	A/F膜厚(μm)			
P 丸	53. 7. 15	53. 10. 17	CR. A/C TU.×2 CR. A/C AO.×1 CR. A/F AO.×1	Cu + P. Sn	60	CR. A/C TU.×2 CR. A/C AO.×1 CR. A/F AO.×1	Cu + P. Sn	40	CR. A/C TU.×2 CR. A/C AO.×1 CR. A/F AO.×1	Cu + P. Sn	40	G	有	
R 丸	53. 7. 31	53. 10. 10	CR. A/C TU.×2 OM. A/F AO.×2	B. Sn	120	CR. A/C TU.×2 CR. A/C AO.×1 OM. A/F AO.×2	B. Sn	120	CR. A/C TU.×2 CR. A/C AO.×1 OM. A/F AO.×1	B. Sn	70	G	有	
L 丸	53. 8. 12	53. 10. 9	CR. A/C TU.×2 CR. A/C AO.×1 OM. A/F AO.×2	Cu + P. Sn	120	CR. A/C. TU.×1 CR. A/C AO.×1 CR. A/F AO.×1	Cu + P. Sn	60	CR. A/C TU.×1 CR. A/F AO.×1	Cu	40	I	有	
T 丸	53. 8. 5	53. 10. 18	CR. A/C TU.×2 CR. B/T AO.×1 CR. A/C TU.×1 CR. A/C AO.×1 CR. A/F AO.×2	Cu + P. Sn	120	CR. A/C TU.×1 CR. A/C AO.×1 CR. A/F AO.×2	Cu + P. Sn	120	CR. A/C TU.×1 CR. A/C AO.×1 CR. A/F AO.×1	Cu + P. Sn	70	G	有	A/F水線部5m塗上げ
N 丸	53. 5. 13	53. 9. 25	CR. A/C TU.×2 CR. A/C AO.×1 CR. A/F AO.×2	Cu + B. Sn	120	CR. A/C AO.×1 CR. A/F AO.×1	Cu	45	CR. A/C AO.×1 CR. A/F AO.×1	Cu	45	G	無	
K 丸	53. 8. 19	53. 10. 23	CR. A/C TU.×2 CR. A/C AO.×1 OM. A/F AO.×2	Cu + B. Sn	120	CR. A/C TU.×3 OM. A/F TU.×1 OM. A/F AO.×1	Cu + B. Sn	120	CR. A/C TU.×2 CR. A/F AO.×1	Cu	80	I	有	
S 丸	53. 6. 2	53. 9. 29	CR. A/C TU.×1 CR. A/C AO.×1 CR. B/T AO.×1 CR. A/F AO.×1	Cu + B. Sn	75	CR. A/C TU.×2 CR. A/C AO.×1 CR. A/F AO.×2	Cu + B. Sn	150	CR. A/C TU.×2 CR. A/C AO.×1 CR. A/F AO.×1	Cu	40	G	無	A/F水線部1/2塗上げ
Q 丸	53. 6. 6	53. 10. 3	CR. A/C TU.×1 CR. A/C AO.×1 CR. B/T AO.×1 CR. A/F AO.×1	Cu + P. Sn	60	CR. A/C TU.×1 CR. A/C AO.×1 CR. A/F AO.×1	Cu + P. Sn	60	CR. A/C TU.×1 CR. A/C AO.×1 CR. A/F AO.×1	Cu	45	G	無	A/F水線部2m塗上げ
M 丸	53. 6. 1	53. 10. 3	CR. A/C TU.×2 CR. A/C AO.×1 CR. A/F AO.×2	Cu + P. Sn	120	CR. A/C TU.×2 CR. A/C AO.×1 CR. A/F AO.×2	Cu + P. Sn	120	CR. A/C TU.×2 CR. A/C AO.×2 CR. A/F AO.×1	Cu + P. Sn	60	G	有	
O 丸	53. 8. 15	53. 10. 12	CR. A/C TU.×2 CR. A/C AO.×1 CR. A/F AO.×2	B. Sn	160	CR. A/C TU.×2 CR. A/C AO.×1 OM. A/F AO.×2	B. Sn	160	CR. A/C TU.×2 CR. A/C AO.×1 CR. A/F AO.×1	B. Sn	40	G	有	

表 3　出渠後の経歴調査結果　　（錨泊船）

調査対象船	造船所竣年月日（出渠年月日）	動静	船底汚損状況								備考
			水中検査				水中クリーニング				
			実施年月日	場所	汚損状態	次回検査予定年月日	実施年月日	場所	方式	次回施工予定年月日	
E　丸	53. 9. 12 （53. 9. 2）	53/10/3~4　10/29~30　11/24~27 JEBEL DHANNA → KHARG → 大分 → ㉙ 12/22~ → 橘商	54. 5.16	橘商	—	—	—	—	—	—	
F　丸	53. 8. 13 （53. 8. 11）	53/8/27~28　9/10~23　10/1 AL BAKR TERMINAL → AIN SUKHNA → BAHR- 10/2~6　10/7~9 AIN → KHORAL AMAYA → RAS AL KHAFJI → 11/4~7　11/11~13　11/15~17　11/19~12/18　12/21~ 台船沖 → 大分沖 → 大分 → ㉚ → 橘商	—	—	—	—	—	—	—	—	
I　丸	53. 9. 14 （53. 9. 12）	53/10/3~8　11/11~14　12/23~ KHAFJI → 徳山 → ㉛ → 橘商	—	—	—	—	—	—	—	—	
A　丸	53. 7. 6 （53. 5. 12）	53/7/29~30　7/31~8/4　8/29~31 HALUL ISLAND → RAS AL KHAFJI → 鹿島 → 9/1~3　9/27~10/2　11/2~5　12/24 苫小牧 → RAS TANURA → 徳山 → ㉜ → 橘商	54. 3.16	橘商	BT：③ VB：② FB：①	54. 9	—	—	—	—	
H　丸	53. 9. 30 （53. 9. 28）	53/10/15~23　11/20~22　12/25~ KHARG I'D → 大分 → ㉝ → 橘商	—	—	—	—	—	—	—	—	
C　丸	53. 10. 3 （53. 10. 3）	53/10/17　11/21~23　12/23~ RAS TANURA → 喜入 → ㉞ → 橘商	—	—	—	—	—	—	—	—	
G　丸	53. 4. 5 （53. 3. 31）	53/10/1~2　10/5~9　11/12~15　12/21~ FAHL → AMAYA → 喜入 → ㉟ → 橘商	54. 5.15	橘商	—	—	—	—	—	—	
D　丸	53. 3. 7 （53. 3. 1）	53/10/2~7　11/9~13　12/22~ AMAYA → 大分 → ㊱ → 橘商	54. 5.16	〃	—	—	—	—	—	—	
J　丸	53. 3. 6 （53. 2. 2）	53/10/1~5　10/5~7　11/5~7　12/24 KHAFJI → KHARG → 大分 → ㊲ → 橘商	54. 5.15	〃	—	—	—	—	—	—	
B　丸	53. 9. 18 （53. 9. 15）	53/10/1~3　10/5~6　11/1~3 KHAFJI → DAS ISLAND → 大分 → ㊳ 12/23~ → 橘商	54. 5.16	〃	—	—	—	—	—	—	

注］　1. 動静　53/10/1~5 …… 期間
KHAFJI …… 停泊港　㉙：錨泊

2. 汚損状態
BT：水線部　①：生物付着なし
VB：立上り部　②：わずかに生物付着
FB：平底部　③：面積の 1/4 以上生物付着

表 4. 出渠後の経歴調査結果 （漂泊船）

調査対象船	建造所竣年月日（出渠年月日）	動静	船底汚損状況								備考
			水中検査				水中クリーニング				
			実施年月日	場所	汚損状態	次回検査予定年月日	実施年月日	場所	方式	次回実工予定年月日	
P 丸	53. 8. 11 （53. 7 18）	53/9/1~13 9/14~15 10/12~17 KHAFJI → HALUL → 大分 → ㉑ 54/1/14~17 4/23~27 → 大分 → ㉒ → 大分 → ㉓	—	—	—	—	—	—	—	—	
R 丸	53. 8. 13 （53. 8. 4）	53/8/31~9/1 9/2~11 10/7~10 RAS TANURA → MINA AL AHMADI → 徳山 → 54/1/10~13 1/21~24 ㉔ → 徳山 → ㉕ → 徳山 → ㉖	—	—	—	—	—	—	—	—	
L 丸	53. 8. 21 （53. 8. 15）	53/9/7 9/8~10 10/6~9 DAMMAN → RAS AL KHAFJI → 大分 → ㉗ → 54/1/10~17 1/8~11 喜入 → ㉘ → 喜入 → ㉙	—	—	—	—	—	—	—	—	
T 丸	53. 8 17 （53. 8. 8）	53/9/7~9 9/9~10 10/15~18 KHOR AL AMAYA → MINA AL AHMADI → 大分 54/1/20~23 4/29~5/3 → ㉚ → 大分 → ㉛ → 大分 → ㉜	54. 5. 2	大分	BT： ③ VB： ② FB： ②	54. 4	—	—	—	—	
N 丸	53. 5. 22 （53. 5. 19）	53/6/4~7 7/17~21 8/1~9/1 KHARG I'D → ST CROIX → M.A.FAHAL → 9/24~25 12/20~23 54/3/24~28 大分 → ㉝ → 喜入 → ㉞ → 喜入 → ㉟	—	—	—	—	—	—	—	—	
K 丸	53. 8. 29 （53. 8. 24）	53/9/11~12 9/12~17 10/20~23 RAS AL KHAFJI → MINA AL AHMADI → 大分 54/2/25~28 5/5~8 → ㊱ → 喜入 → ㊲ → 大分 → ㊳	—	—	—	—	—	—	—	—	
S 丸	53. 6. 13 （53. 6. 9）	53/8/27~28 8/29~30 9/27~29 12/16~19 AMAYA → KHAFJI → 大分 → ㊴ → 大分 54/3/11~15 → ㊵ → 大分 → ㊶	53.12.16 54. 3.13 54. 6.12	大分	12/16 3/13 BT：B/T ④ BT：B/T ③ A/F ② A/F ② VB： ② VB： ② FB： ② FB： ②	—	—	—	—	—	
Q 丸	53. 6. 18 （53. 6. 8）	53/6/29 7/28~8/16 9/5~8 RAS TANURA → 川崎・千葉 → MINA AL AHMADI 9/30~10/3 12/20~23 RAS TANURA → 徳山 → ㊷ → 徳山 → ㊸ → 54/3/20~23 徳山 → ㊹	54. 6.19	徳山	—	—	—	—	—	—	
M 丸	53. 6 16 （53. 6. 9）	53/9/1~3 9/4~6 9/30~10/3 KHOR AL AMAYA → KHARG I'D → 大分 → ㊺ 12/21~24 54/3/23~27 → 大分 → ㊻ → 大分 → ㊼	54. 6.21	大分	—	—	—	—	—	—	
O 丸	53. 8 22 （53. 8 19）	53/9/3~6 9/8~9 10/9~12 KHOR AL AMAYA → DAS ISLAND → 大分 → 54/1/6~9 1/10~14 ㊽ → 大分 → ㊾ → 大分 → ㊿	—	—	—	—	—	—	—	—	

4.1.2 備蓄タンカーの船底汚損状況の調査

下記水中調査実施方案に従って船体没水部の調査を実施した。

水中調査記録のまとめを第一表、第二表に示す。

1. 調査目的

硫黄島海域及び橘湾にて漂泊、錨泊中の石油備蓄タンカーについて、船体の生物付着状況を調査し、石油備蓄タンカーとしての機能を維持するための対策を検討する資料とする。

2. 調査方法．間隔．対象船

(1) 調査方法

船体没水部の写真撮影及び目視検査を実施する。

(2) 調査対象船及び調査時期

	調査対象船	実施場所	実施期日	
漂泊船	S 丸	大分	54. 6. 12	54. 9. 14
	M 丸	大分	54. 6. 21	54. 9. 26
	Q 丸	徳山	54. 6. 19	54. 12. 15
	R 丸	徳山	54. 7. 24	54. 10. 24
錨泊船	G 丸	橘湾	54. 5. 16	54. 11. 7
	E 丸	〃	54. 5. 16	54. 11. 7
	C 丸	〃	54. 6. 30	54. 11. 6
	F 丸	〃	54. 6. 30	54. 11. 6
	I 丸	〃	54. 7. 30	54. 11. 15
	A 丸	〃	54. 7. 2	54. 11. 16

3. 水中調査要領

船側外板の写真は、1 m × 1 mの面積をCoverするのを標準としドラフト表示を含め撮影する。又，撮影部以外に著しく生物付着が多い所は目視検査により汚れ程度を記録する。

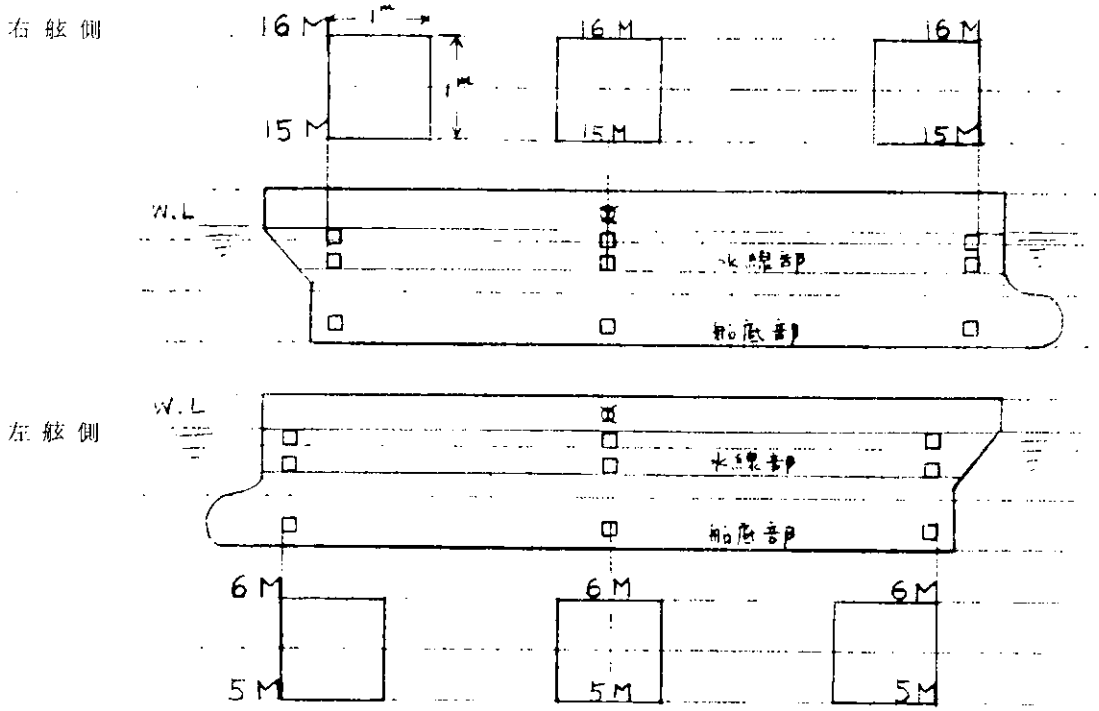
シーチェストの検査は、右舷と左舷に分け、写真撮影、目視検査を交互に行う。

(1) 写真撮影箇所

(イ) 船側外板両舷、船首、中央、船尾各々水線直下、ドラフト15M、5Mの位置。

合計18箇所

図1. 写真撮影箇所



(ロ) プロペラ翼後進面及びプロペラボス部

(ハ) 舵板両舷中央部

(ニ) シーチェスト　右舷又は左舷側

スクープ開口部

(2) 目視検査箇所

検査箇所は図2に示す×印部付近とし、1 m × 1 mの面積当りの生物付着程度を調査記録する。

(イ) 船側外板部

船首、中央、船尾の写真撮影箇所の中間点附付、合計12箇所

(ロ) 船底平底部

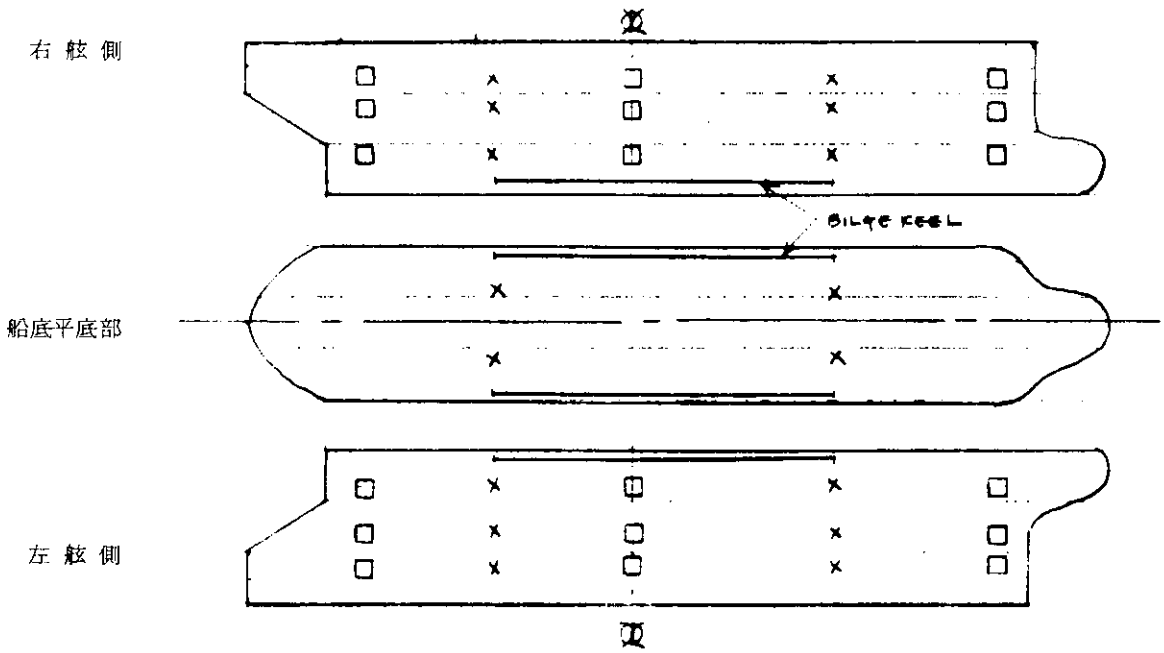
ビルジキール前後部と船体中心線との中間点付近、合計4箇所

(ハ) シーチェスト

写真撮影したシーチェストを除く。

(ニ) 検査箇所以外で著しい生物付着が認められる箇所。

図 2. 目視検査箇所（×印部）



4. 調査記録

(1) 写真及び目視記録には、表1に示す生物付着程度の階級を付記し、調査記録としてまとめ、1部をSR－180部会に提出する。

(2) 記録には、下記項目を記載する。

- ○ 船　　名
- ○ 検査場所
- ○ 検査日時
- ○ 吃　　水
- ○ 天　　候
- ○ 海　　象
- ○ 透 明 度

表1. 生 物 付 着 の 階 級

	I 類（動物類）	II 類（藻類）	III 類（スライム）
0	付着無し	付着無し	付着無し
1	わずかに付着	わずかに付着	わずかに付着
2	約1/4面を覆う	約1/4面を覆う	全面に薄く付着
3	約1/2面を覆う	約1/2面を覆う	部分的に厚く付着
4	約3/4面を覆う	約3/4面を覆う	全面に厚く付着（下地見えず）
5	ほぼ全面に付着	ほぼ全面に付着	全面に厚く付着（生物不成長）
6	全面に密生	全面に密生	層の厚さ3㎜以上

(注) 階級は、1 m×1 m面積当りの生物付着状態を示す。

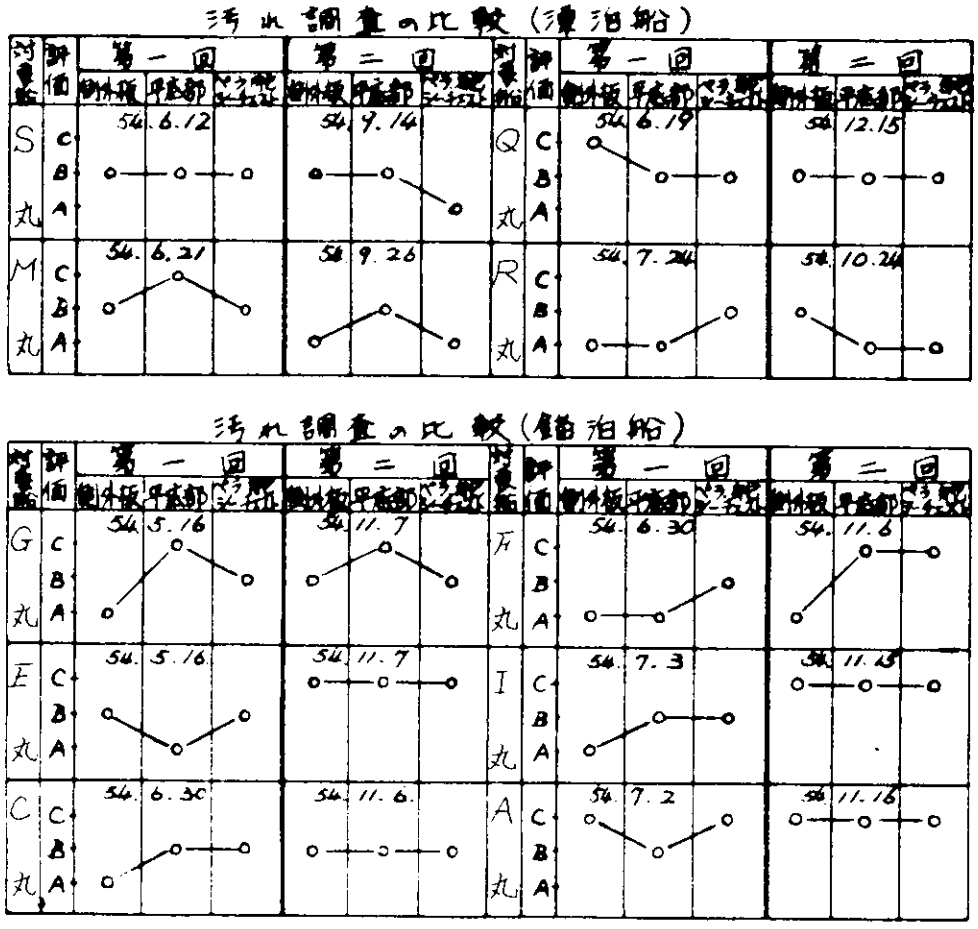
5. 評　価

生物付着の階級に従って評価をA.B.Cの3段階とした。

生物付着の階級

評価	動物類	藻類	スライム
A	0～1	0～1	0～2
B	2～3	2～3	3
C	4～6	4～6	4～6

第一回と第二回の水中調査記録のまとめから総合評価を比較し次表に示す。



（日付は調査年月日）

まとめ

(1) 漂泊、錨泊船共、側外板にふじつぼ、海藻のほか、主として水線付近にえぼしがいの付着があり、備蓄開始前硫黄島海域に待期中に付着したものと考えられる。平底部にはゆうれいぼやの付着が観察された。

(2) 第2回目の調査で、漂泊船は現状維持久はえぼしがいの脱落がみられ、各部汚れ減少の傾向にある。錨泊船平底部ではゆうれいぼやの生長が著しく、ほぼ全面を覆っている。

(3) 錨泊船ではシーチェストグレイチングに生物以外にビニール等の吸着が観察された。

(4) プロペラは漂泊船では評価Bであるが、錨泊船では第一回目の調査で評価Cが5隻あり、主にふじつぼが付着している。

(5) 錨泊船で錨地による汚れの差は特に認められなかった。

(6) 通常　就航船の塗装仕様では錨泊船の場合1年以上経過すると、汚れが進行し、ほとんど各部Cの状態になることがわかった。

○ 数字は生物付着階級を示す。

○○○ — スライム / 藻類 / 動物類（左から動物類、藻類、スライム）

○ 評価

評価	動物類	藻類	スライム
A	0〜1	0〜1	0〜2
B	2〜3	2〜3	3
C	4〜6	4〜6	4〜6

（生物付着の階級）

○ 総合評価

○-○-○ — プロペラ、舵、シーチェスト / 船底平坦部 / 舷外板部（左から舷外板部、船底平坦部、プロペラ・舵・シーチェスト）

第一表　船体没水部水中調査記録まとめ　（第一回）

調査形態	船名	調査場所 検査年月日 水中透明度	検査箇所	舷外板部 P F	P 0.25L	P X	P 0.25L	P A	S F	S 0.25L	S X	S 0.25L	S A	評価	船底平坦部 P F	P A	S F	S A	評価	プロペラ 翼	ボス	評価	舵 P	舵 S	評価	シーチェスト P1 (上段P / 下段S)	2	3	4	5	6	スクープ開口部	異物の着否の有無	評価	総合評価
繋留船	S丸	大分	水線部	211	521	442	543	500	442	531	321	211	501	C												210	210	210	210	110					
		54. 6. 12	ドラフト 1.5m	221	311	321	132	211	442	321	112	111	211	B					B			B			A									B	B-B-B
		2m	〃 5m	101	100	101	100	101	101	210	101	100	101	A	201	321	210	300		212	312		110	110		220	220	220	220			110	有		
	M丸	大分	水線部	210	142	220	321	110	410	321	420	221	120	B												110	110	110	110	020	220				
		54. 6. 21	ドラフト 1.5m	210	231	220	431	210	210	320	430	231	320	B					C			B			B									B	B-C-B
		2m	〃 5m	100	210	100	110	110	100	210	110	110	110	A	431	422	432	132		312	312		110	210		220	220	210	210				無		
	Q丸	徳山	水線部	122	122	322	122	122	422	422	322	122	422	C																					
		54. 6. 19	ドラフト 1.5m	122	122	322	122	122	422	422	222	122	122	C					B			B			B									B	C-B-B
		2m	〃 5m	312	312	112	312	112	312	312	212	312	112	B	201	201	201	201		100	300		220	220		200	200						無		
	R丸	徳山	水線部	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	A												110									
		54. 7. 21	ドラフト 1.5m	121	121	122	122	122	122	122	122	122	122	B					A			B			A									B	A-A-B
		2m	〃 5m	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	A	100	100	100	100		100	200		110	110		210	210	210					有		
錨泊船	G丸	[illegible]	水線部	100		002	002	002	101		002	022	002	A												050	050	010	010						
		54. 5. 16	ドラフト 1.5m																C			B			A									B	A-C-B
		3m	〃 5m	101		101	211	220	101		202	202	002	B	402	402	402	402		212	212		111	111		220	220						有		
	E丸	[illegible]	水線部	402		202	102	402	432		302	402	502	C												010	010								
		54. 5. 16	ドラフト 1.5m																A			C			B									A	B-A-B
		5m	〃 5m	101		101	211	220	101		202	202	002	B	100	100	100	100		422	422		200	320		010	010	020					有		
	C丸	[illegible]	水線部	212	212	212	212	213	212	112	112	112	112	B												020	020								
		54. 6. 30	ドラフト 1.5m	112	112	112	112	113	112	112	112	112	112	A					B			C			B									B	A-B-B
		3.5m	〃 5m	101	101	101	101	101	101	101	101	101	111	A	201	201	201	201		422	422		210	210									有		
	P丸	[illegible]	水線部	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	A																					
		54. 6. 30	ドラフト 1.5m	012	012	012	012	012	112	012	012	012	012	A					A			C			B									A	A-A-B
		3.5m	〃 5m	101	101	012	101	012	101	101	012	101	101	A	100	100	100	100		422	422		220	220		010	010						有		
	I丸	[illegible]	水線部	100	100	111	101	120	100	102	111	110	110	A												030	030	001							
		54. 7. 3	ドラフト 1.6m	112	102	102	101	121	112	102	102	101	110	A					B			C			B									B	A-B-B
		3m	〃 8m	102	102	103	102	119	102	002	102	102	110	A	330	330	330	330																	
			〃 6m	002	002	003	003	110	002	002	002	002	120	A	330	330	330	420		500	540		020	020		010	120	120	050	050			有		
	A丸	[illegible]	水線部	610	640	640	640	600	640	640	640	640	640	C												042	012	023	034	060					
		54. 7. 2	ドラフト 1.6m	650	650	650	550	650	650	650	510	014	600	C					B			C			C									C	C-B-C
		3m	〃 8m	230	203	025	001	013	203	204	025	004	013	B	210	230	010	230																	
			〃 6m	001	004	004	004	003	001	004	004	004	003	C	230	020	230	020		600	600		043			022							無		

第二表　船体没水部水中調査記録まとめ　（第二回）

係留形態	船名	検査場所 検査年月日 水中透明度	検査箇所	外板部											船底平底部					プロペラ			舵			シーチェスト									総合評価
				P					S					評価	P		S		評価	翼	ボス	評価	P	S	評価	P1 S	2	3	4	5	6	スクープ開口部	異物の吸着ノ有無	評価	
				F	0.25L	X	0.25L	A	F	0.25L	X	0.25L	A		F	A	F	A																	
繋泊船	S丸	大分	水線部	242	544	443	544	411	411	311	233	432	232	C														101	101						
		54. 9. 14	ドラフト15m	242	455	442	354	202	202	210	233	254	332	B					B			B			A									A	B−B−A
		2m	〃 5m	111	111	101	111	100	100	544	002	110	101	A	310	111	213	253		101	312		101	101		200	200	101	101	112	112	300	無		
	M丸	大分	水線部	111	321	110	311	311	111	321	111	221	211	B																					
		54. 9. 26	ドラフト15m	111	211	110	211	110	111	222	110	111	110	A					B			B			A									A	A−B−A
		3m	〃 5m	110	110	110	110	110	110	211	010	110	010	A	311	321	210	311		302	002		110	110					101	102			無		
	Q丸	徳山	水線部	322	322	322	322	422	322	222	222	322	322	B												300	300								
		54. 12. 15	ドラフト15m	422	422	322	322	422	322	322	322	422	422	C					B						B									B	B−B−B
		1.2m	〃 5m	112	122	112	122	112	212	222	222	122	112	B	301	301	301	301					122	122									無		
	R丸	徳山	水線部	122	132	132	122	122	122	132	132	122	122	B												101									
		54. 10. 24	ドラフト15m	132	122	142	132	132	112	122	122	122	122	B					A			B			A									A	B−A−A
		2m	〃 5m	111	122	121	112	111	112	111	112	112	111	A	100	100	100	100		202	302		101	101		101	101						有		
錨泊船	O丸	橘湾	水線部	113	113	112	113	113	213	113	113	112	113	B																					
		54. 11. 7	ドラフト15m	113	113	112	112	113	313	113	112	113	113	B					C			C			A									C	B−C−B
		4m	〃 5m	513	513	512	112	513	413	513	513	513	513	C	401	401	401	401		404	404		111	111		244	244						有		
	E丸	橘湾	水線部	522	523	523	523	523	522	523	523	513	512	C												221									
		54. 11. 7	ドラフト15m	512	512	513	512	512	512	512	512	513	512	C					C			C			C									B	C−C−C
		4m	〃 5m	412	512	413	412	312	212	412	412	412	512	C	501	401	501	501		522	522		423	423		331							無		
	C丸	橘湾	水線部	212	212	212	212	212	212	322	112	212	212	B																					
		54. 11. 6	ドラフト15m	112	212	212	212	512	212	112	112	112	111	B					B			C			B									B	B−B−B
		3m	〃 5m	112	112	212	112	212	112	112	111	112	111	A	301	301	301	301		522	522		422	322		122	122	121					無		
	F丸	橘湾	水線部	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	A												233									
		54. 11. 6	ドラフト15m	113	012	113	112	112	113	112	012	112	112	A					C			C			C									B	A−C−C
		4.5m	〃 5m	512	412	212	312	312	512	312	212	412	212	B	400	400	400	400		514	514		141	151		123							有		
	I丸		水線部	424	233	313	213	324	313	213	223	323	222	B																					
		橘湾	ドラフト16m	424	224	324	313	214	324	015	214	115	112	C																					
		54. 11. 15	〃 8m	424	324	214	314	214	324	213	214	314	114	C					C			C			A									C	C−C−C
		10m	〃 6m	324	324	214	214	114	324	114	112	114	113	C	342	342	343	254		523	523		112			050	050	050					無		
	A丸		水線部	66−	66−	66−	66−	554	66−	66−	66−	66−	55−	C																					
		橘湾	ドラフト16m	66−	66−	66−	66−	554	66−	66−	66−	66−	55−	C												554	334	444	144						
		54. 11. 16	〃 8m	442	553	423	333	223	333	435	323	333	223	B	552	342	243	443	C	454		C			C									C	C−C−C
		10m	〃 6m	442	443	423	223	223	443	325	213	213	113	C	56×	442	122	333		454	454		554			444	444	233	121	233	222		有		

4.2 実験研究

4.2.1 ブラッシ・フェンダの作製

一般に、船体には生物汚損防止を目的として、防汚塗料が塗装されている。しかし、石油備蓄船の場合には、停船あるいは係船が長期にわたるため、防汚塗料の防汚機能のみでは十分でなく、これに合せて、船体への何らかの生物付着防止対策を行なう必要がある。

この目的で長期の停船期間中、船体に対し特別な動力は使わず、人力、あるいは自然の力を利用する効果的な生物付着防止装置としてのブラッシ・フェンダーの実用化を計るため、下記の如き実験研究を行なった。

1) ブラッシの選定のための実験室における検討

2) ブラッシ・フェンダの生物付着防止効果の海上役による検討

3) 試作ブラッシ・フェンダによる実船試験

(1) ブラッシが塗膜に与える影響

ブラッシの種類により 塗膜にどのような影響を及ぼすかを調査し、塗膜に与える損傷の少ないブラッシを選定するための実験を行った。

(a) 試験条件

試験条件を表4.2.1.1に示し、直交表L_{12}による試験を行った。１２の条件で試験を行なうことにより、各要因の水準間の差を見いだすことができる。

表4.2.1.1 試 験 条 件

要　　因	水　　準
塗膜の状態	乾燥状態　湿潤状態
塗膜にかかる荷重	1 Kg　　2 Kg
回 転 数	１１２ r.p.m　２３０ r.p.m
回転時間	１０分　　３０分
ブラッシの種類	ナイロン（タワシ）、ヤシノ実の繊維（タワシ） 動物の毛（洗い刷毛）、ウレタンゴム

(b) 試 験 片

試験片（乾燥状態）は１４０φ×3.2tサンドブラスト処理鋼板に船底１号塗料（A/C）および２号塗料（A/F）を塗装し、２週間室内乾燥したもの、又 塗膜の状態が湿潤状態の試験片は２週間室内乾燥後４０℃水中に１週間浸漬したものである。

(c) 試験方法

試験方法の概要を図4.2.1.1に示す。定速回転モータに試験片を取りつけた後、試験片にブラッシおよびおもりをのせ、モーターを回転させ、塗膜の摩耗程度を調べる。なお湿潤状態の塗膜の場合は上記(b)の湿潤状態を維持するために実験中は常に塗膜面に注水する。

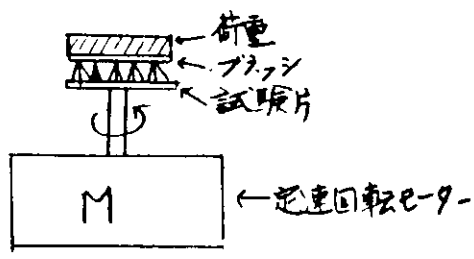


図4.2.1.1 塗膜摩耗試験

(d) 試験項目

(i) 表面あらさの測定

触針式表面あらさ計（小坂研究所製 SE4A型）によりJIS B0601に準処して、て表面あらさを測定し、最大高さ（Rmax）

を求める。

(ii) 摩耗減量の測定

試験前と試験後の試験片を化学天秤で計り摩耗減量を求める。

(c) 試験結果

試験結果を表4.2.1.2に示す。表4.2.1.2より解析した結果を図4.2.1.2～図4.2.1.6に示す。これらの結果をまとめると次のようになる。

(i) 図4.2.1.2は、試験後の塗膜の表面あらさの大きいものは、摩耗減量が多く、又 ブラッシは柔かいものの方が当然ながら塗膜損傷度が少ないとの結果を示しているが、ブラッシの種類としては，ヤシノ実の繊維（タワシ）程度の固さであれば塗膜の損傷度は少なく充分実用的であると考えられる。

(ii) 図4.2.1.3によると、湿潤状態で塗膜の摩耗が激しくなるようなことはなく、水中でのブラッシングは，問題がないであろうと考えられる。

(iii) 図4.2.1.4は、塗膜の摩耗減量がブラッシングの速度にほぼ比例して多くなることを示している。

(iv) 図4.2.1.5によるとブラシにのせたおもりが2Kgの場合は、1Kgの場合に比べ 約5倍の摩耗減量となっており、ブラシを塗膜面に押つける力は、塗膜摩耗量を、大きく左右することを示している。

(v) 図4.2.1.6は、ブラシの回転時間が塗膜の損傷度に与える影響が少ないことを示している。

表4.2.1.2 直交表と試験結果

	ブラッシ	塗膜の状態	回転数 (r.p.m)	荷重 (Kg)	回転時間 (分)	表面あらさ Rmax(μm)	摩耗減量 (mg)
1	ナイロン繊維（タワシ）	乾燥	112	1	10	46	40
2	ヤシノ実の繊維（タワシ）	乾燥	112	1	10	48	10
3	ナイロン繊維（タワシ）	乾燥	230	2	30	86	200
4	ヤシノ実の繊維（タワシ）	湿潤	112	2	30	22	43
5	ヤシノ実の繊維（タワシ）	湿潤	230	1	30	28	23
6	ナイロン繊維（タワシ）	湿潤	230	2	10	76	147
7	ウレタンゴム	乾燥	230	2	10	52	180
8	洗い刷毛	乾燥	230	1	30	40	10
9	ウレタンゴム	乾燥	112	2	30	48	140
10	ウレタンゴム	湿潤	230	1	10	18	33
11	洗い刷毛	湿潤	112	2	10	32	43
12	洗い刷毛	湿潤	112	1	30	38	23

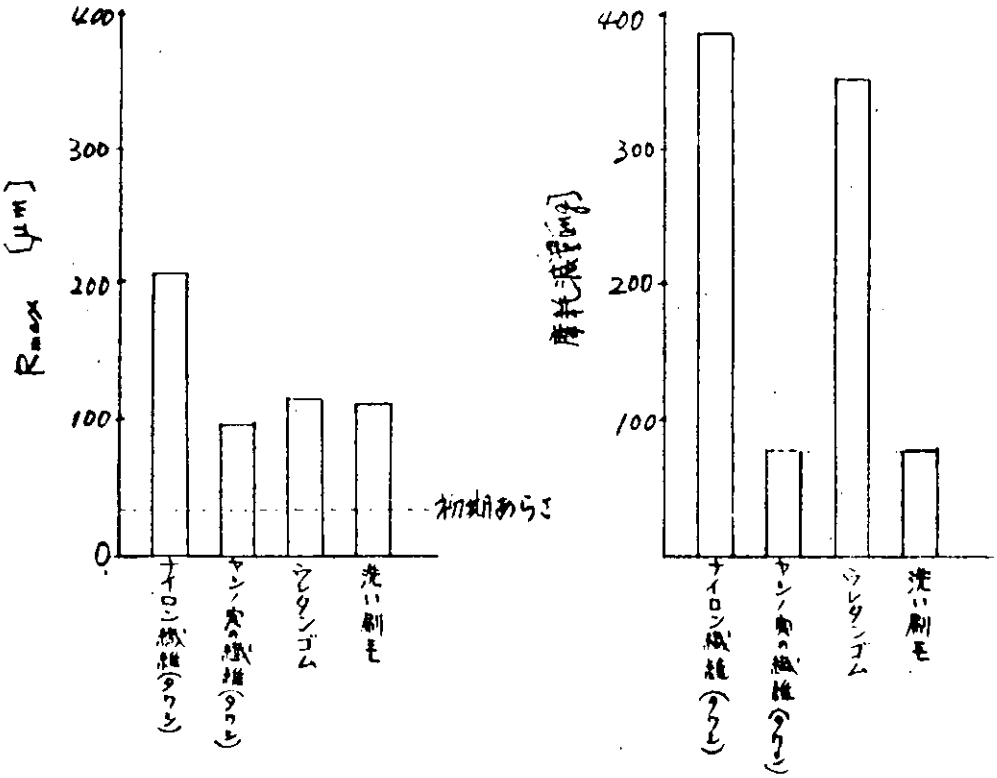


図 4. 2. 1. 2　ブラッシの種類と表面あらさ Rmax，摩耗減量の関係

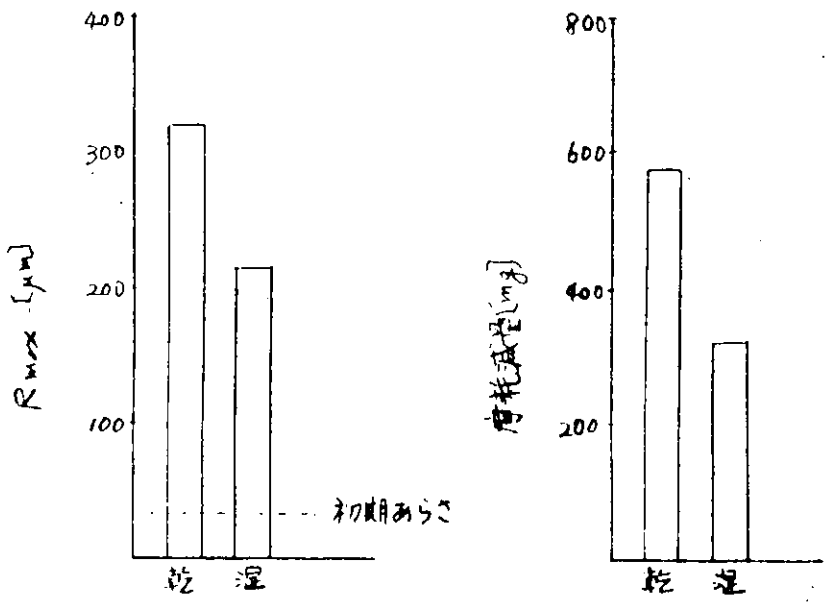


図 4. 2. 1. 3　塗膜の状態と表面あらさ Rmax，摩耗減量の関係

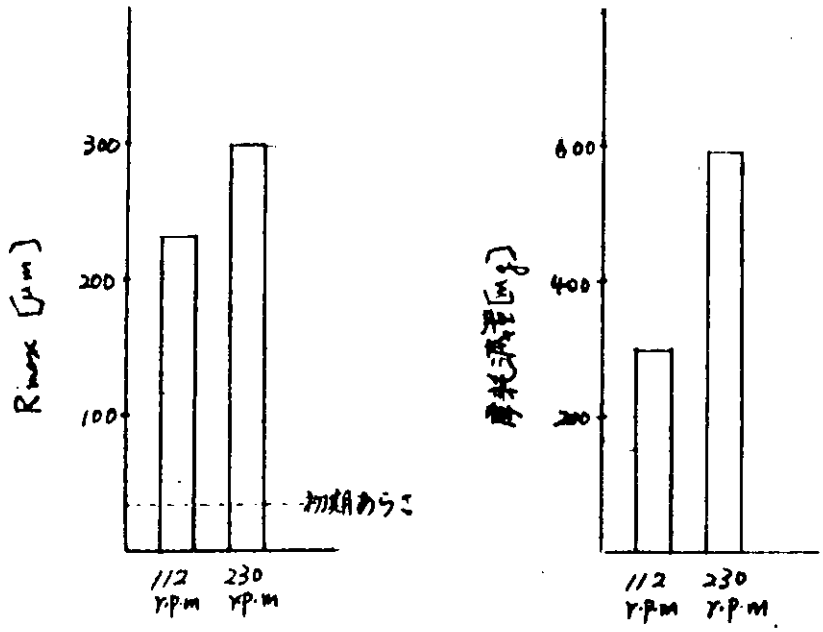


図 4. 2. 1. 4　回転数と表面あらさ Rmax，摩耗減量の関係

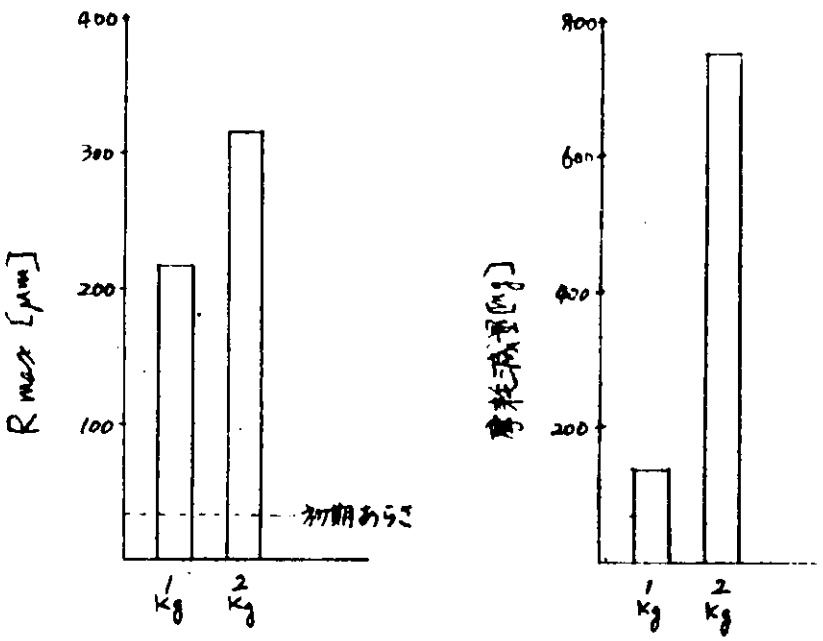


図 4. 2. 1. 5　荷重と表面あらさ Rmax，摩耗減量の関係

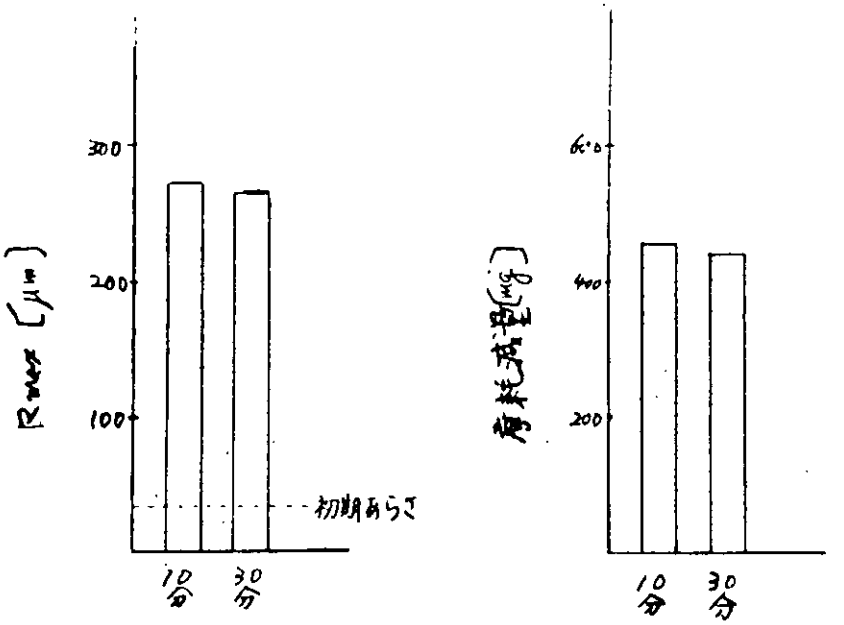


図 4. 2. 1. 6　回転時間と表面あらさ Rmax，摩耗減量の関係

(2) ブラッシ・フェンダの検討

(a) 海上筏による試験

(i) 供試ブラッシ・フェンダ

供試ブラッシ・フェンダ4種を図4.2.2.1に示す。

(ii) 試 験 片

1200×1200×3.2㎜ サイド・ブラスト処理鋼板にショップ・プライマ15μmと塩化ゴムA/C塗料を140μmエアスプレー塗装し、2週間室内乾燥したもの。

(iii) 試験場所

川崎重工業㈱神戸工場 岸壁付近。

(iv) 試験方法

試験片を筏に垂直に設置し、次に試験片にロープにより4種のブラッシ・フェンダを設置する。

1ケ月間放置後 試験片を引き上げ生物付着状況を観察し、ブラッシ・フェンダの生物付着防止効果を調べた。

(v) 試験結果

1ケ月間の浸漬により試験片にはスライム、フサコケムシ、青サが付着した。ブラッシ・フェンダ設置による生物付着防止効果は、ブラッシが塗膜をこすった部分には生物付着が認められず、ブラッシ・フェンダによる生物付着防止効果が認められた。図4.2.2.1に生物付着状況とブラッシ・フェンダによる生物付着防止状況を示す。

(vi) 考 察

4種のブラシ・フェンダにはいずれも生物付着防止効果が認められた。しかしながら、ブラッシ・フェンダ自身の波浪による動きは少なく、塗膜をこする面積は限られている。従って、生物付着防止をより効果的に行なう為には、ブラシ・フェンダそのものの塗膜との接触する面積を、極力大きくする必要がある。

(b) 実船試験

石油備蓄船のうち漂泊船2隻を選びブラッシ・フェンダの実環境試験を行った。

(i) 試験対象船

(イ) 試験対象船の状況

試験対象船は原油満載状態で硫黄島周辺にて3ケ月間洋上漂泊 数日間の補給帰港を繰り返している。

従って海水面は常に満載吃水線附近にある。

(ロ) 試験対象船の塗装仕様

船底部より水線部下部まで船底2号塗料(A/F)が塗り上げられており、その上部は防汚剤を含まない水線塗料が上塗り塗料に使われている。

(ハ) 生物の付着状況

ブラッシ・フェンダ試験前の生物付着状況を図4.2.2.2に示す。試験対象船2隻とも同じように吃水線付近にはエボシ貝が多く付着している。(水中調査の生物付着の評価基準2～4相当)

(ii) 試験期間

試験は第1回目は 昭和54年6月より9月迄、第2回目は 昭和54年9月より12月迄行った。

(iii) 試験対象船の自然環境条件

試験期間中の気象条件は次の通りであった。

(イ) 風 速 最大 15m/秒 (通常 2～5m/秒)

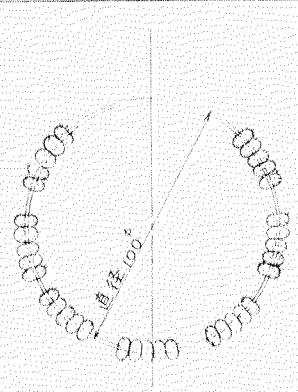
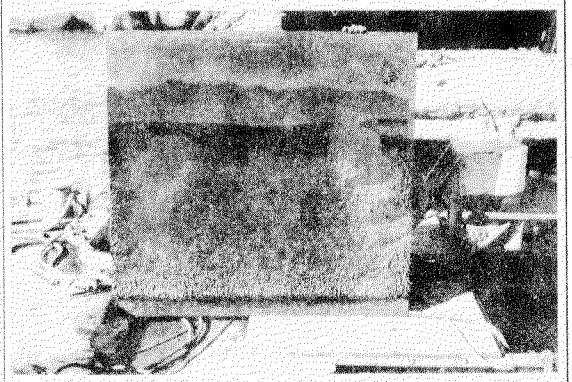
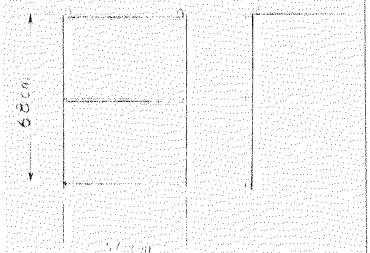
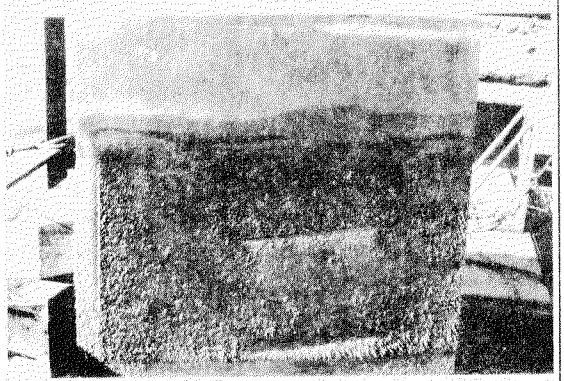
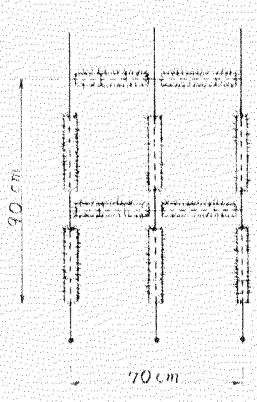
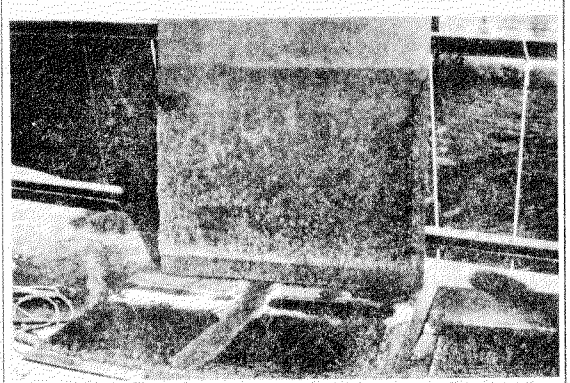
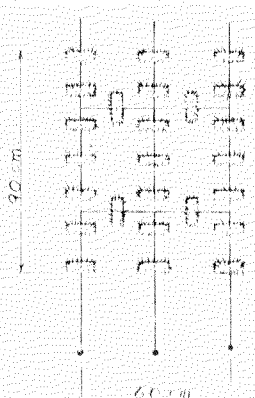
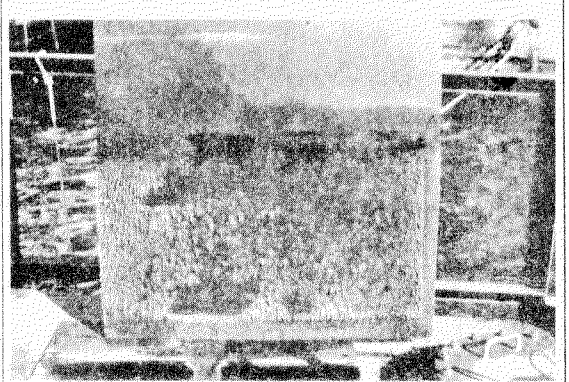
ブラッシの種類	ブラッシの概要説明	ブラッシの概略図	ブラッシ効果の状況
A	（実船試験ブラッシ・フェンダ（ト）相当） 塩ビのパイプにタワシを通し，右図のように取りつけたもの。		
B	（実船試験ブラッシ・フェンダ（イ）相当） 右図のような鉄わくにゴム板を取りつけたもの。		
C	（実船試験ブラッシ・フェンダ（ヘ）相当） 綿ロープに3個1組にしたタワシを右図のように取りつけたもの。		
D	（実船試験ブラッシ・フェンダ（ホ）相当） 綿ロープにタワシを通し，右図のように取りつけたもの。		

図4.2.21　ブラッシ・フェンダの種類とその効果について

(ロ) 波　　浪　　最大　6 m　　（平均　2～3 m）

(ハ) 潮　　流　　最大　0.7 m／秒　（通常　0.2～0.4 m／秒）

(V) 実船試験

第1回目の実船試験（昭和54年6月～昭和54年9月）では、生物付着防止に寄与するブラッシ材料の選択とブラッシ・フェンダの挙動をつかむための試験を行った。

第2回目の実船試験（昭和54年9月～昭和54年12月）では、第1回目の試験結果および海上いかだの試験結果をもとに本研究目的である生物付着防止に沿ったブラッシ・フェンダを作製し、その効果を調査した。

(イ) 第1回目　実船試験

ブラッシ・フェンダの構成は　(a)船側外板のブラッシ・フェンダ昇降用手動ウインチ付移動台車と(b)ブラッシ・フェンダの組合せである。(b)のブラッシ・フェンダは表4.2.1.2に示す4種類で行った。

表4.2.1.2　(b)のブラッシ・フェンダ

項目／種類	ブ　ラ　シ	ブ　ラ　ッ　シ　方　式
1	ナイロン（刷毛長）	上甲板より吊しウインチにより船側を上下動させる
2	ナイロン（〃短）	〃
3	ウレタンゴム板	〃
4	ウレタンゴム板	浮体付として波浪により上下動させる

以上4種類のブラッシ・フェンダの実船試験結果、ブラッシ・フェンダを上下させる方式は長期間にわたる作業になるため、人力でやるにはやはり無理があり波浪等の自然の力を利用する方がよいと考えられる。

又、海上いかだ試験に比し実験対象船のおかれる環境が外洋であるため波浪の力が大きく、ブラッシ・フェンダが船側より離れやすいので船側にブラッシ部分が常に密着させる工夫が必要であることが判った。

(ロ) 第2回目の実船試験の検討および結果

第1回目の実船試験結果を参考にして、第2回目は、波浪の力を利用することを主眼に以下に示す3種類について実船試験を行なった。従って　ブラッシ・フェンダは全て甲板ハンドレールよりロープでつり下げ、波浪の上下動を利用してブラッシで船側外板をこするようにした。

① ブラッシ・フェンダ(イ)の方式

ブラッシ・フェンダ(イ)を図4.2.2.3および図4.2.2.4に示す。本方式は、木綿製ロープに家庭用に使われているヤシノ実の繊維で出来たタワシをドーナッツ状に等間隔に取付けたもので、これを数本のれん状に船側外板にたらし生物付着防止を行う。なお、船側外板へのブラッシの密着度を上げるためブラッシ部下端より5 m下にゴム製重りを取りつけた。本方式の実船試験の結果、生物付着防止のブラッシング効果は、波浪、潮流、船体の揺れ等により常時つり下げ

ておくだけで十分であり、本研究目的に合致した方法であることが判明した。

さらに改良を加える点としては重りの位置を船底下におき、ブラッシが常に船側外板をこするようにすること、および、ロープ径を大にして波浪外力によるロープの破断によるフェンダーの流失を防止することがあげられる。

② ブラッシ・フェンダ(ロ)の方式

ブラッシ・フェンダ(ロ)を図4.2.2.3および図4.2.2.4に示す。

本方式は、ブラッシフェンダ(イ)の方式のタワシの取り付け方法をかえ、ロープまわりに3個の棒状タワシを取り付けたもので、他は全く同じである。なお、タワシの材質もブラッシ・フェンダ(イ)と同じである。

本方式の実船試験結果は、ブラッシ・フェンダ(イ)の方式とほとんど同じであるが、上記ブラッシ・フェンダ(イ)の方がこの(ロ)の方より船側外板をこする効果がわずかに良いようである。

③ ブラッシ・フェンダ(ハ)の方式

ブラッシ・フェンダ(ハ)を図4.2.2.5および図4.2.2.6に示す。

本方式は大型硬質塩化ビニル製浮環のまわりに、ブラッシ・フェンダ(イ)および(ロ)と同様のタワシを等間隔で取り付けたものである。海水面へのつり下げはロープで行なう。ブラッシ・フェンダが着水すれば浮環下部に設けた穴より海水がはいり、ブラッシ・フェンダが直立状態になり、浮力と装置重量がバランスし、海水面上にただよわせることが出来る。この状態で波浪により、ブラッシ・フェンダを船側外板に沿って上下させる方式である。

本方式の実船試験結果は、ブラッシ・フェンダ(イ)および(ロ)と同様　単につり下げておくだけでブラッシング効果を得ることが出来、生物付着防止効果が期待出来る。

さらに改良を加える点は、ブラッシ部を船体に密着させるために、本装置より下、船底部より深く重りをつるすことと、ブラッシ・フェンダの硬質塩化ビニールの強度を上げることである。

(3) ま と め

ブラッシ・フェンダ作製のために行なった海上いかだ試験、および実船試験結果をもとに装置作製時の留意点を列記すると次の通りである。

(a) 動力を使うことなく自然の力を利用する。

(b) 船体に常にブラッシ部分が密着するようにする。

(c) ブラッシの種類は家庭用にて使われているヤシの実の繊維程度の硬さが良い。

(d) ブラッシングにより生物の付着を防止するにはタワシが軽く接触する程度でよい。

本装置を生物の胞子が付着する前に船側外板に取りつけておけば、ある程度生物付着を防止出来、入渠時の生物除去作業を軽減出来ると考える。

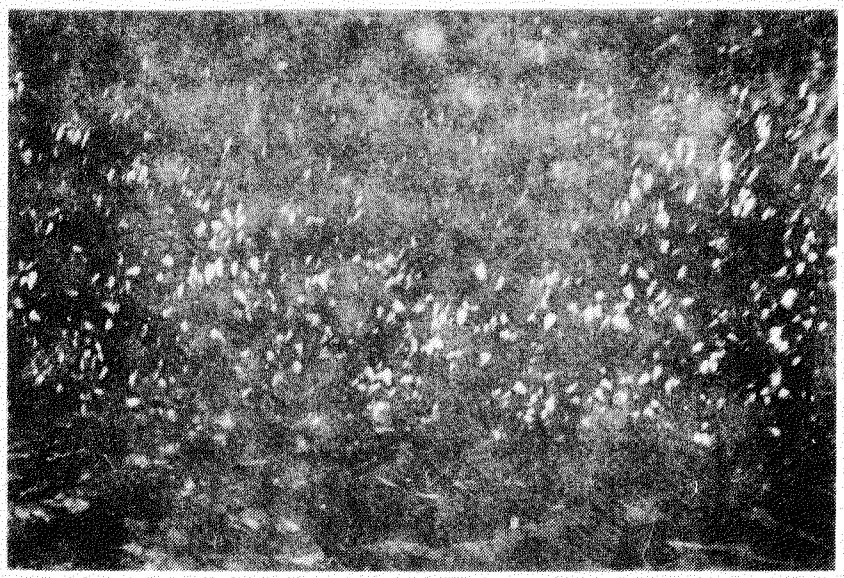


図 4. 2. 2. 2　水線部生物付着状況（S 丸）

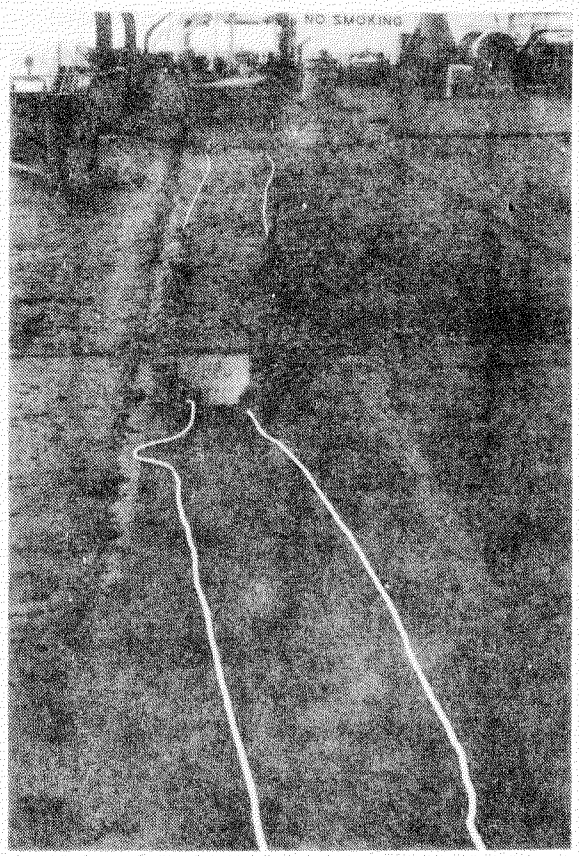


図 4. 2. 2. 3　ブラッシュ・フェンダ(イ)（左側）および
ブラッシュ・フェンダ(ロ)（右側）

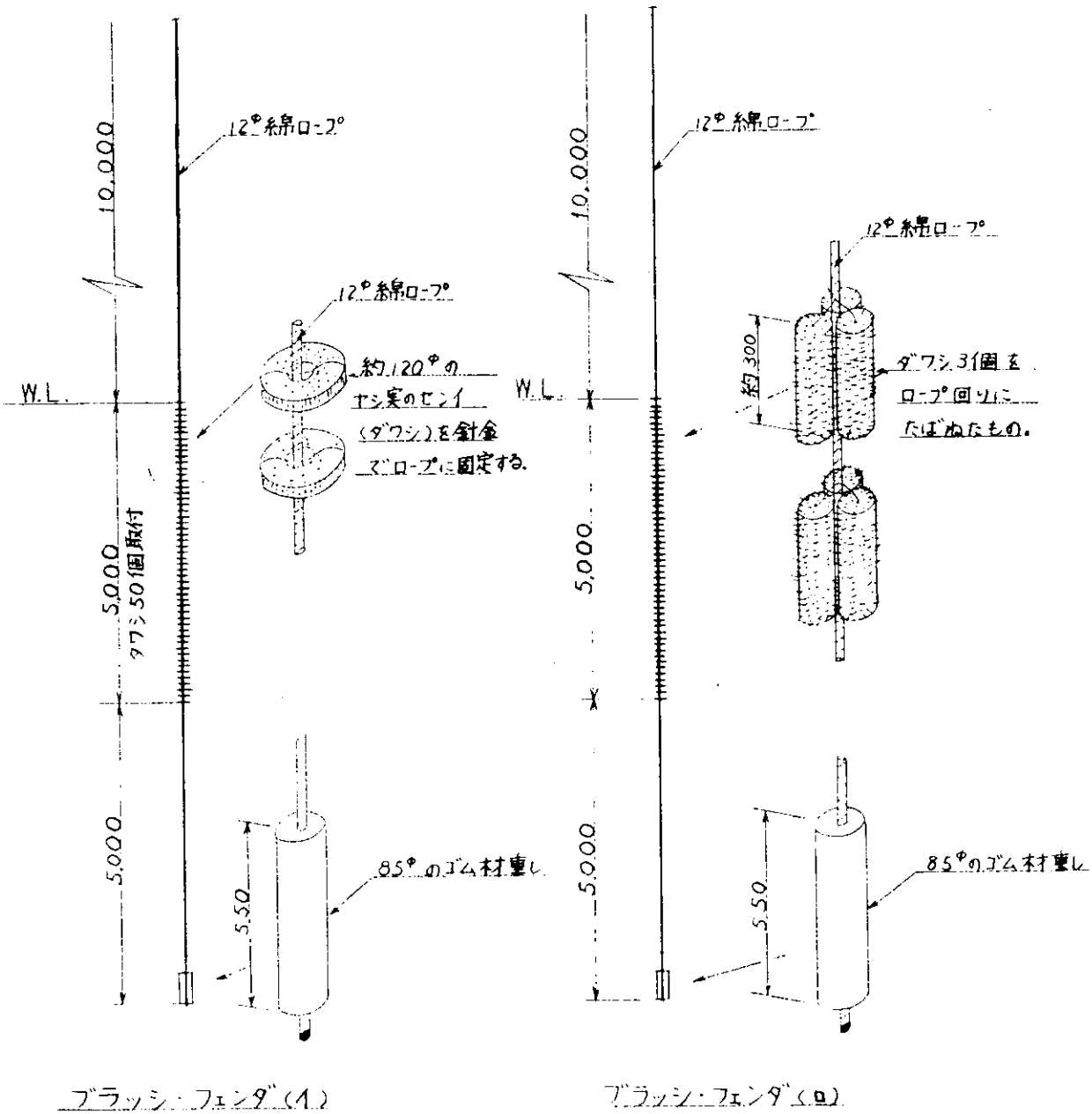


図 4.2.2.4　ブラッシ・フェンダ(イ)およびブラッシ・フェンダ(ロ)



図 4.2.2.5　ブラッシ・フェンダ(ハ)

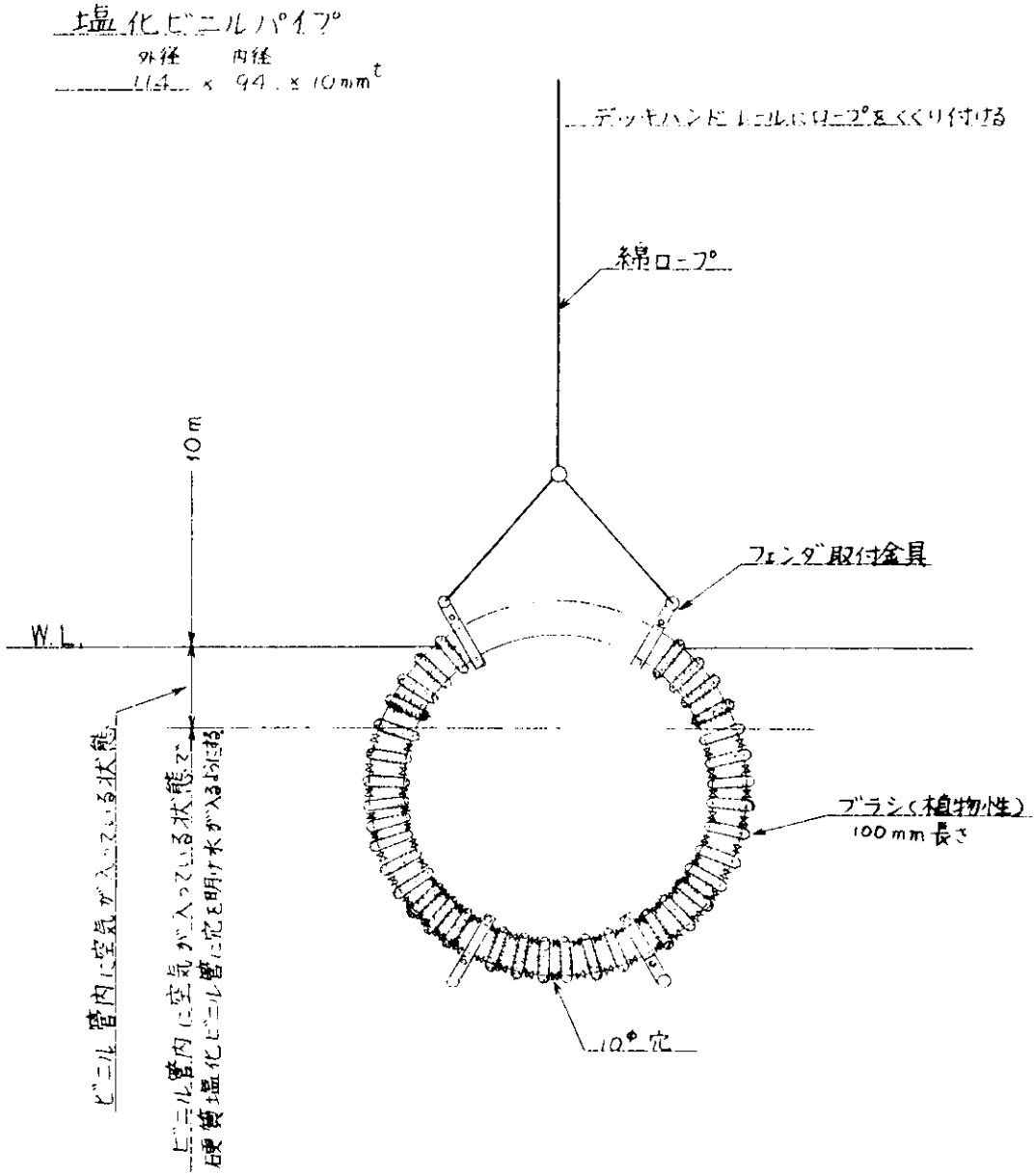


図 4.2.2.6　ブラシ・フェンダ(小)

4.2.2　水中清掃機の試作実験

錨泊又は漂泊中の船泊の生物付着に併なう、船体機能低下防止に関する対策の一環として、小型水中清掃機の試作開発を実施した。

(1)　水中清掃機の概要

水中清掃機について現在実用化されているものの大部分は回転ブラシを使った方式であり、その操作方法を大別すると、

- ダイバーが操作するもの
- 水面から直接機器を操作できるもの
- 遠隔操作できるもの

に分けられる。

これらはいずれも船体に付着した海中生物を除去し船の速力を取りもどすことが目的で、それなりに有効である。しかし、これらの装置はいずれも油圧ユニットと回転ブラシを利用したもので、スライムや藻類などが薄く付着した場合の生物除去には適したものであるが、甲殻類や、触手、原索動物など、堅固に又厚く付着した生物の除去には不適当である。

これらのことから石油備蓄タンカーなど長期に海洋環境に錨泊、漂泊し厚く層状に付着した生物を除去し船体機能の回復を計ったり、水中検査、塗装など水中におけるメイテナンス技術を実用化する場合の下地処理法として有効と考えられるコーン型カッター方式の清掃機を試作し、小型タンク内における作動性実験、フローティング桑外板没水部での水中清掃実験をくり返し実施後、石油備蓄船M丸による実船実験を経て実用化の可能性を探索した。

(2)　予備実験に使用した汎用エアモーター並びに試作機

清掃機の開発は清掃対象個所によって、多少型状を異にするが本部会では、ダイバーが操作するもので油圧又はエアモーターを駆動力としたものを中心に考えることにした。汎用の水中清掃機にコーン型カッターをセットしたものを写真4.2.2(1),(2)に示し、試作した清掃機を図4.2.2(1)~(3)および、写真4.2.2(3)~(5)に示す。本方式の特徴は、小型軽量で強力エアモーターと軽量で強い切削力を保持するカッターの開発で決定づけられるが、水中重量の軽減による機能性の改良やカッターの吸引力による移動性に考慮を払った。

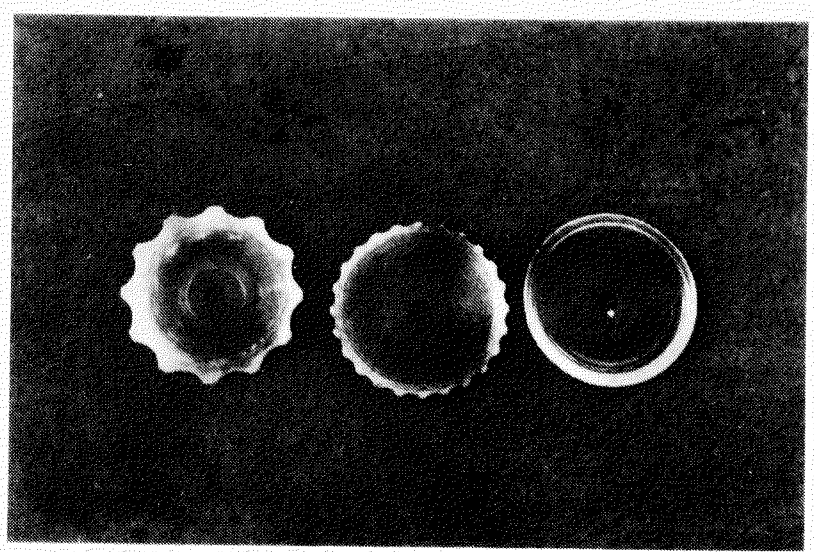


写真4.2.2(1)

水中清掃用
カッター

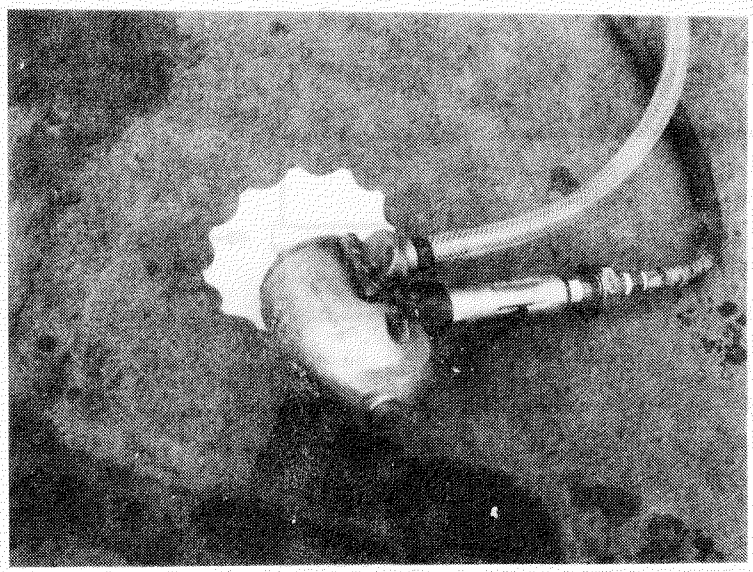


写真 4.2.2(2)

汎用の水中エアモーターとコーン型カッター

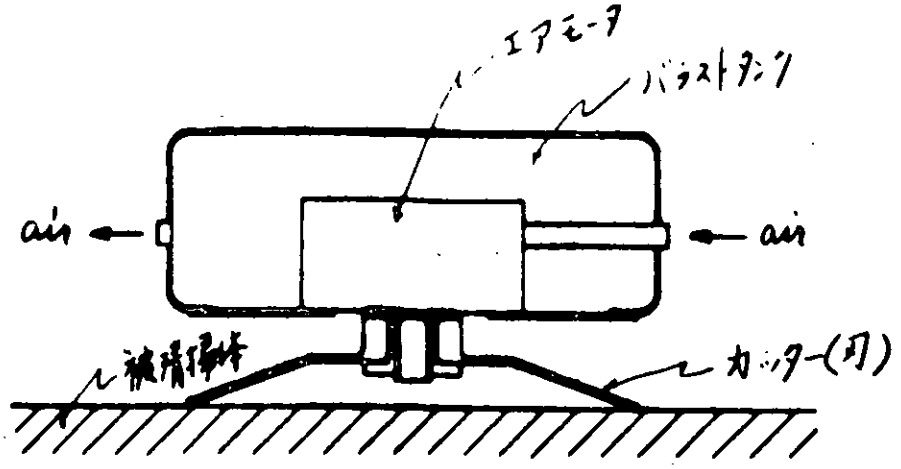


図 4. 2. 2.(1)　バラストタンク付清掃機の１例

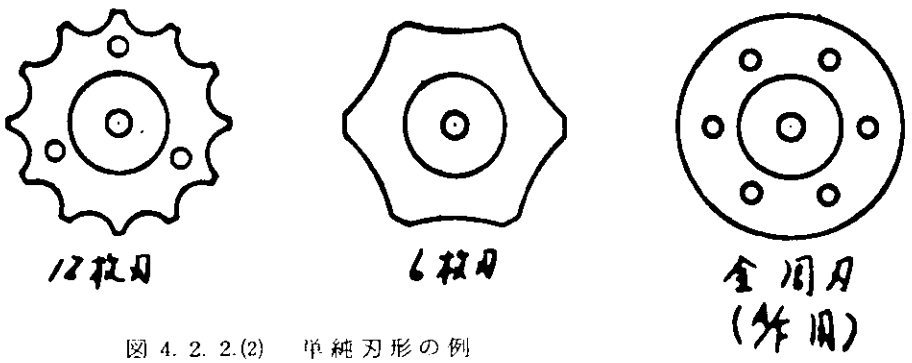


図 4. 2. 2.(2)　単純刃形の例

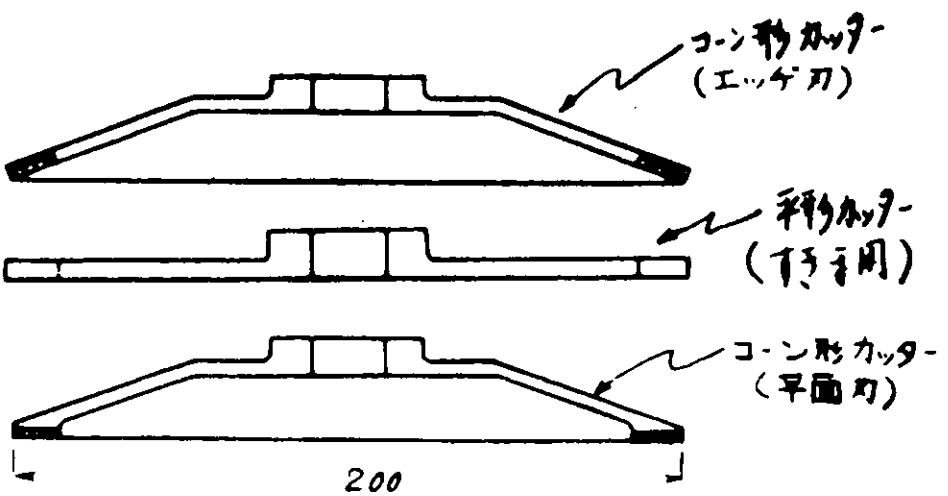
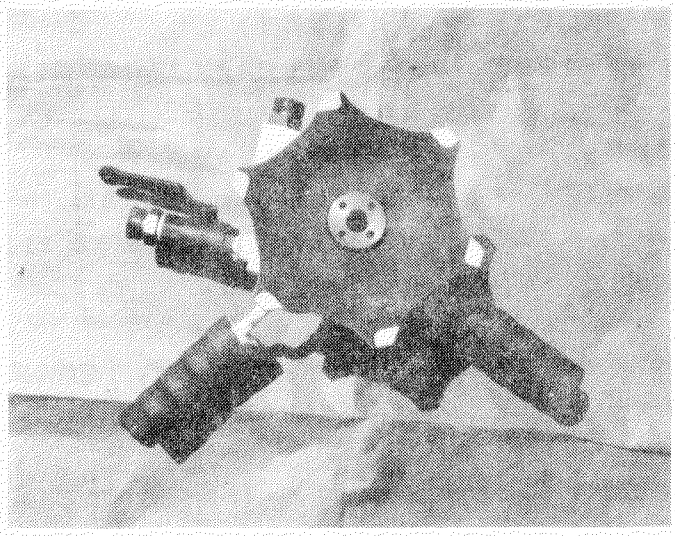


図 4. 2. 2.(3)　カッター断面

1　エアモータ型　水中清掃機



清掃機外観

写真 4. 2. 2.(3)

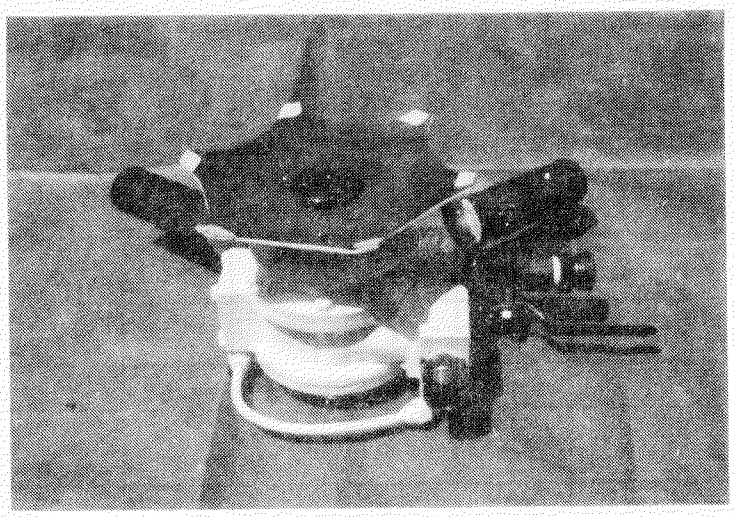


写真 4. 2. 2.(4)

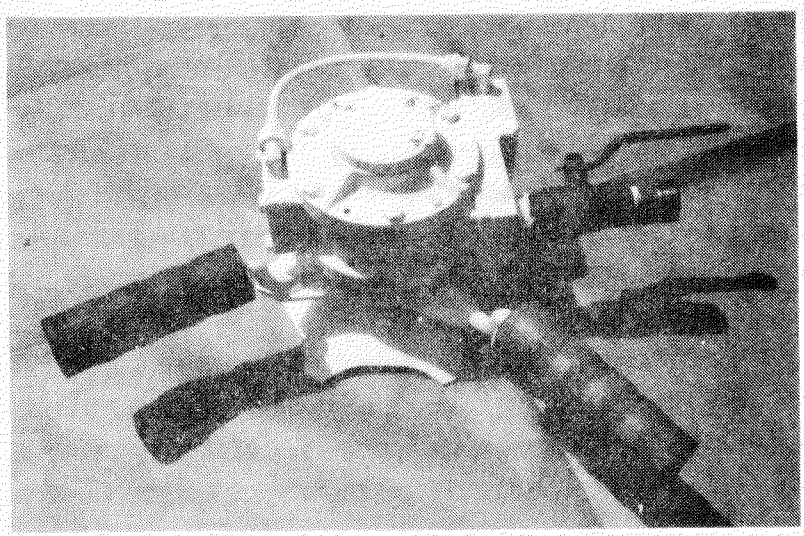


写真 4. 2. 2.(5)

(3) 汎用エアモーターを用いた予備実験（フローティングドック外面）

予備実験として汎用エアモーターを駆動源とした種々の清掃用デスクによる社内実験を実施した。

(a) 実験の条件

清掃対象個所：　三井玉野構内フローティングドック外面および5岸ポンツーン

エアモーター：　汎用型水中エアモーター　0.5HP　4500 rpm　重量　9 Kg

カッター：　コーン型ディスク方式　200㎜φ　（先端刃　0. 4. 6. 12. 24）

エア元圧：　6 Kg／cm²

(b) 実験結果

フローティングドック外面の水線部から水深3 mまでを清掃対象部として、上記清掃機を用い実験を実施した、結果は次の様であった。

(i) 水中エアモーターについて

上記能力のエアモータでは水中における水の抵抗によるデスクの回転数の減少と、進水後6～7年を経過しているため厚く固着しているドック外面の生物付着の影響により、その除去には現用の2～3倍程度の馬力UPが必要と考えられた。但し水線部は水の抵抗が減少するため、水中部分に比べLossが少なく 現在の汎用機でも実用は可能と見られる。

(ii) 清掃用ディスクについて

試作したコーンタイプ清掃用カッターは、円周部に山形状の刃をもつタイプ4種（刃数4. 6. 12. 24）と全周円タイプ1種であり、これらの水中清掃能力は表4.2.2(1)の様であった。

表4.2.2(1)　カッター刃数、差による清掃能力

項目＼刃数	0	4	6	12	24	備考
清掃機能	×	○～△	◎	○	△	◎ 良好 × 不良
吸引力	7～8 Kg	1.5 Kg	3 Kg	4 Kg	5～6 Kg	平面部に対して (ダイバー推定値)
処理能力	—	—	1.5㎡／5分	1㎡／5分	—	
その他	—	エアモーター Power不足	—	—	—	

上記の結果から

(イ) 刃数0のディスクは付着生物が強固に厚く付着している場合の清掃能力に乏しいが、平面部への吸引力は相当なものがあり、清掃面に沿ってのダイバーの移動性は卓越している。接触面積が多いため面圧は低くなるので、最終的な仕上又はA／F清掃用に有効と考えられる。

(ロ) 刃数4のディスクは、ディスク回転時の衝撃剪断力が大きいためバランスは稍悪く、細かな清掃には不向であるが、荒落し用に適している。このタイプでは刃先が付着物に食込んだ場合、エアモーターの馬力が少ないと回転がSTOPするので、エアモーターの馬力は他の刃数に比べ大きいものを必要とする。

(ハ) 刃数6及び12のディスクは、(ロ)と同様にディスク回転時の衝撃剪断力によって付着物を清掃するのであるが、刃数が多くなることの利点、即ち、吸引力が適度となり、且つ刃先の逃げ角が適当であったためか、その処理能力は表4.2.2(1)に示す如く良好な清掃値が得られた。

(ニ) 刃数6及び24のディスクは、刃数0のディスク形式に近似した処理面が得られるが、清掃能力は稍良好である。

従って、平面部の水中清掃には刃数6又は12が適当と判断できる。

(iii) その他

(イ) 水中清掃機の重量について

水中作業を行なうダイバーに水中清掃機の重量はどの程度が適当か意見聴取した結果では「水中重量は0Kgより稍重い程度が最も作業し易い」と報告されている。

(ロ) 水中清掃機用エア配管について

実験は工場エア（元圧6㎏）を利用しているが、エアラインが長くなれば管内抵抗によるLoosが大きくなり、エアモーターは正規の馬力を発生しない。従って、①エアラインは可能な限り短くする。②エア供給のない場所では専用のコンプレッサを適用する等の考慮が必要である。

(ハ) 清掃対象面への適応性

今回実験のコーンタイプ水中清掃用ディスク200φは、平面部への適応性は良好であったが、複雑面にはその形状にみあったディスクの開発が必要と考えられる。

(4) 試作清掃機による清掃テスト

水中での操作性の改良と厚く層状に付着している生物を能率良く除去するために、写真4.2.2(3)～(5)に示した如き新型機を試作し清掃実験を行った。実験の条件清掃機の作業能率および付着性物除去の状態を表4.2.2(2)および4.2.2(6)～(10)に示す。

(a) 清掃の条件

実験日時： S. 54. 9. 3

処理対象面： No2フローティングドック右舷没水部（三井玉野）

生物付着状況： フジツボ、イガイを中心に10～15cmの厚さで積層している。

水温： 26℃

水流： 2～3Kℓ

(b) 清掃機の作動性

表4.2.2(2)に使用した清掃機の清掃能率を示す。

表4.2.2(2)

水中作業能率	処理程度	ダイバーの操作性	振動	水中重量	吸引力
40～50㎡／hr	フジツボ台座を殆んど完全に除去している	操作性良好	過去のタイプに比べ非常に振動が少なく30～60／㎜の作業にも支障なし	水中（1～2Kg）作業能率に影響しない	ディスク／60φを使用したか適度の吸引力が得られた

(c) 水中清掃の対象としたフローティングドック外面および生物除去の状態

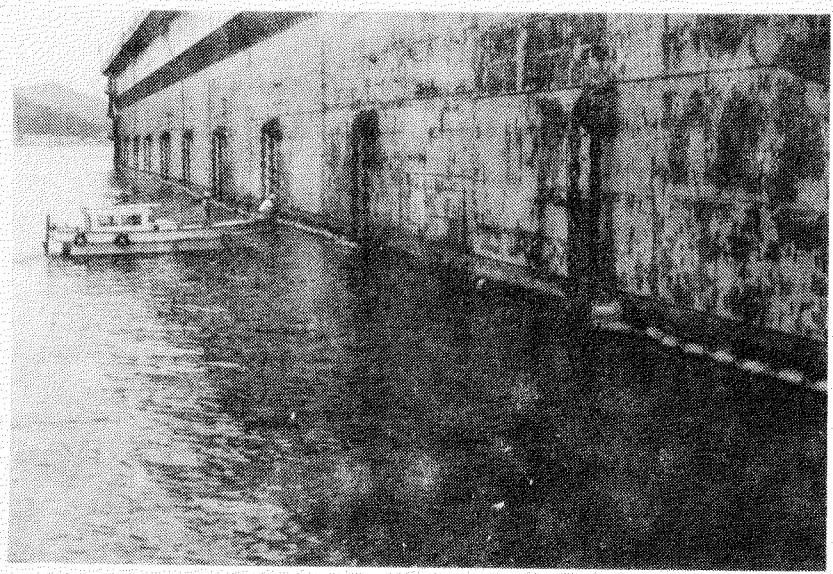


写真4.2.2(6)

対象面： オイルフェンスのない部分

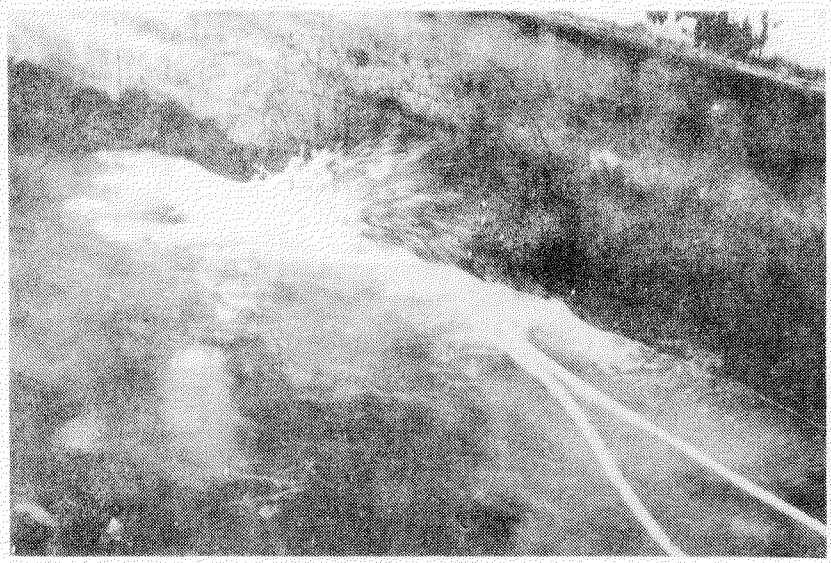


写真 4. 2. 2.(7)

水中清掃作業　水線付近における清掃状況

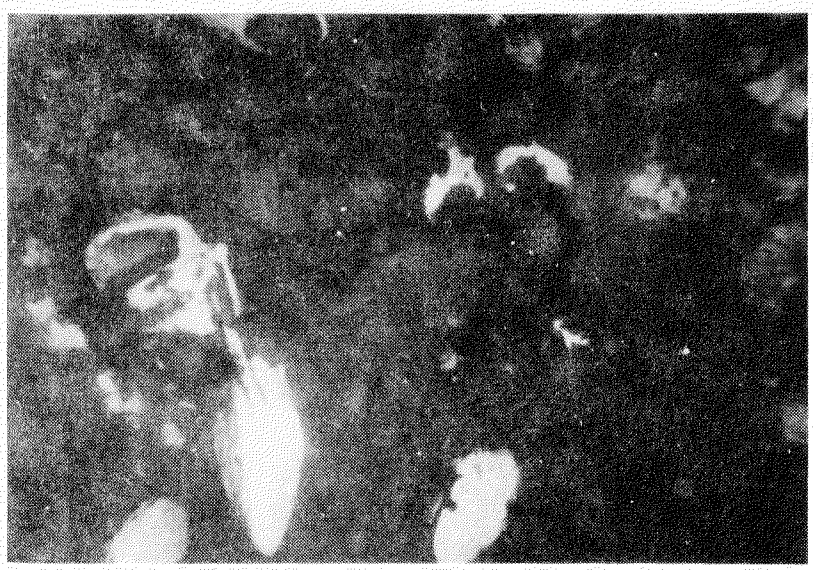


写真 4. 2. 2.(8)

生物が付着した状態（イガイを主体に 10 ～ 15 cm）



写真 4. 2. 2.(9)

黒丸跡　フジツボ台座が除去された状態T／E膜が露出　茶色　A／F残存部

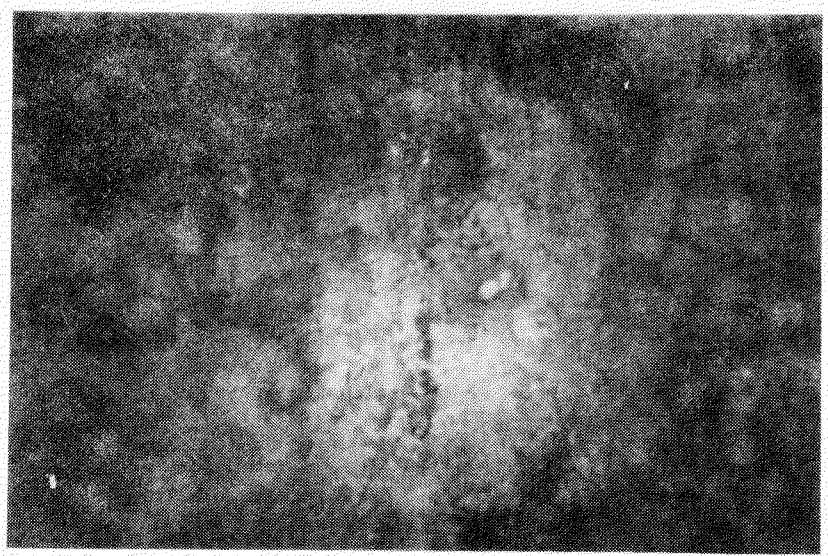


写真 4.2.2(10)

黒丸跡：　フジツボ台座が除去された状態
　　T／E膜が露出
茶色：　A／F残存部

(5) 石油備蓄船M丸　水中清掃実験

試作した水中清掃機の実船適応性を確かめるために硫黄島漂泊より大分港へ物資補給に帰港したM丸外舷部の水中清掃を実施した。

(a) M丸の生物付着状態

実験船として提供を受けたM丸は、原油を満載吃水線迄積載し硫黄島沖を漂泊、期間は約１０ケ月を経過、今回は２回目の大分港補給である。

船体には写真4.2.2(1)に示す如く、中程度のスライムの付着と堅固に付着したエボシ貝、少量ではあるが２～３cmに成長したフジツボが認められる。

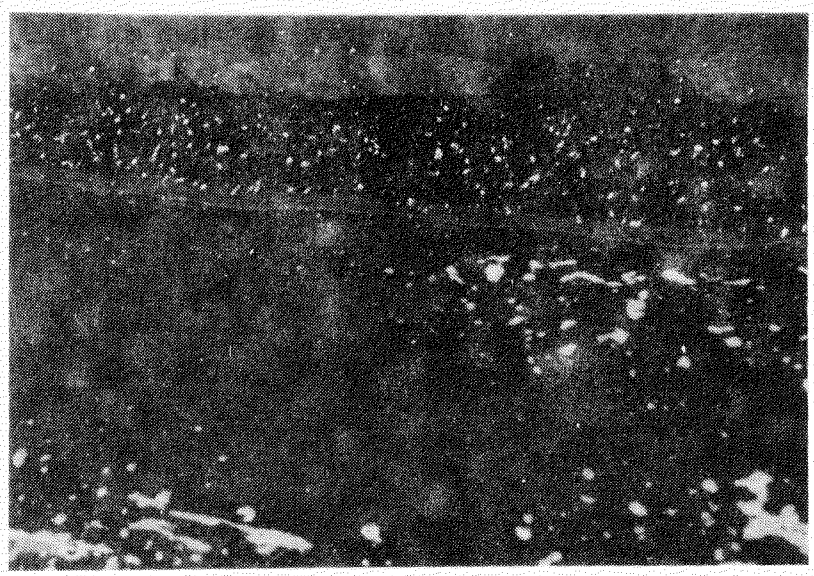


写真4.2.2(1)　M丸右舷水線部の生物付着状態

(b) 水中清掃の範囲

当初水中清掃の範囲は、生物付着の多いことの予想と清掃の施行日数を１日としていたため、図4.2.2(4)（A部）に示したプロペラボス近傍およびラダー全面（約１５０m^2）を計画した。しかし６ケ月後の水中検査の結果では、生物付着量が少なく外舷没水部に計画を変更実施した。（但し、清掃面積は１５０m^2と変更はなかった。）

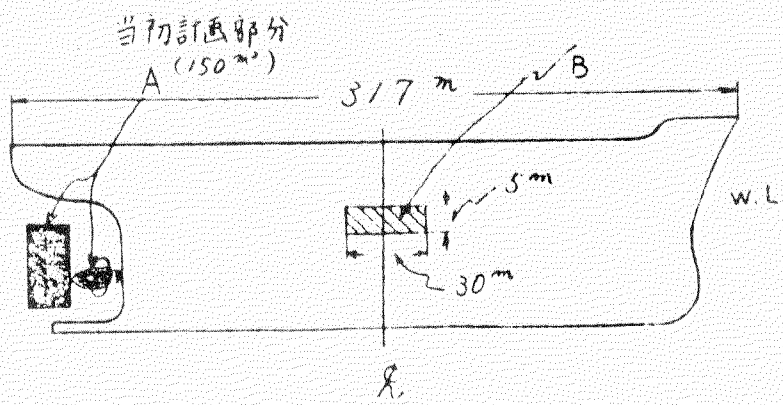


図4.2.2(4)　水中清掃の範囲

(c) 実験に要した人員

水中清掃に直接従事する人員はダイバー３名であり、作業に不慣れな事もあるため１人のダイバーにつき２０分作業、４０分休憩のローテーションで、連続作業を計画した。支援人員は作業船の船長１名、コンプレッサーおよび清掃機の操作および保守要員２名、実験担当員２名である。

上記、計８名は実験のための要員であり、通常はダイバー２名、船長１名、保守要員１名が適当と

思われる。

表4.2.2(3) 水中清掃作業の人員数

作業員	今回の水中清掃実験	通常の水中清掃
ダイバー	3 名	2 名
船長	1 名	1 名
保守要員	2 名	1 名
実験担当員	2 名	—
計	8 名	4 名

(d) 実験項目

(i) 水深と水中清掃効率

(ii) 長時間潜水と水中清掃効率

(iii) 大面積水中清掃と除去率の変化

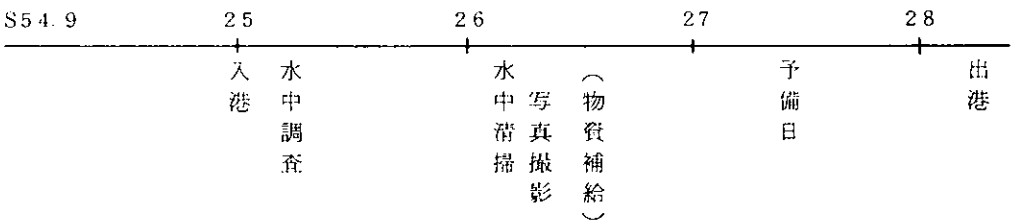
(iv) 平均清掃効率

(v) 機器取扱いの難易度

(vi) 生物回収法の検討

(vii) 水中清掃の前後における写真撮影

(e) M丸の入港日程および作業日程



(f) 実験結果

計画変更後の外舷没水部150m^2に対する清掃所要時間は、SR180第4分科会主催のS54. 9. 6の三井造船(玉野)のフローティングドック水中清掃実験における実績(10m^2/10分)から推定して、4～6時間の予定であった。しかしM丸での生物付着は三井玉野のフローティングドックの付着量に比べ写真4.2.20に示す如く、厚さ密度共に1/10程度と少なかった為にカッターの剪断抵抗が小さくなり、計画の150m^2をはるかに越えた能率で生物除去が可能となり780m^2/2hの清掃能力を示した。

(i) 水深と水中清掃効率

今回の実験では水面下9mまで水中清掃を実施したが、ダイバーの意見では20m位迄は水深による効率低下は殆んどなく、逆に波の影響がある水際付近で効率が落ちるとのことであった。又、当方式は水中における吸引力は発生するが、水面上では吸引力を発生しないため写真4.2.20でも判断される様に、外舷水線部での付着生物の除去にはやや問題がある。

(ii) 潜水時間と清掃効率

約2時間の今回の実験で交代を要求したダイバーはいなかった。逆に作業継続を申し出たため、1サイクルの作業をするのに必要な時間はとの質問に対し、1時間作業、1時間休憩か、又は、2

時間作業、2時間休憩と解答している。従って1乃至2時間の作業では効率に変化はないと思われる。

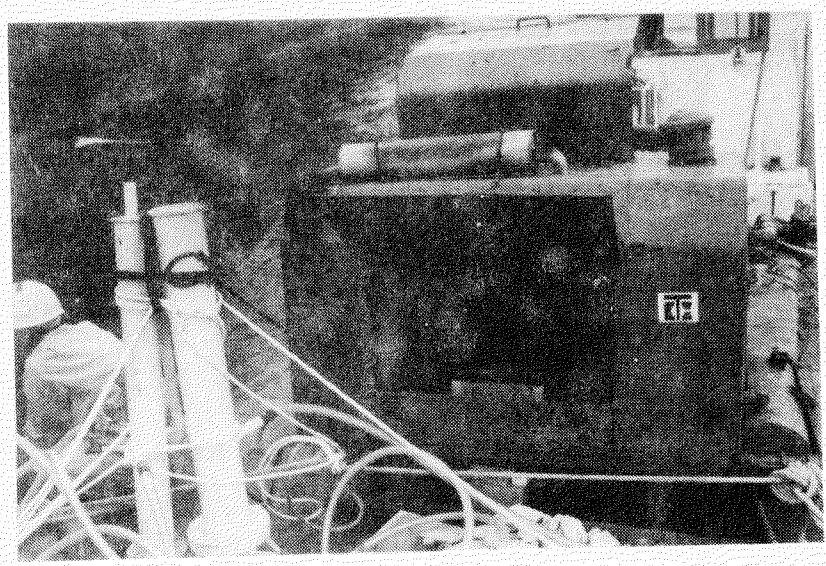
(iii) 機器取扱いの難易

使用した清掃機は水中で自己吸引力を持つため、作業が楽であると同時に、取扱いも非常にやさしいという意見であった。又エアーマンからのテトロンブレードのホースは浮力があるため、作業に支障を来たすこともなかった。但し、ホースの巻き取り器と油水分離器の固定方法を考案する必要はある。

(iv) 除去した生物の回収法の検討

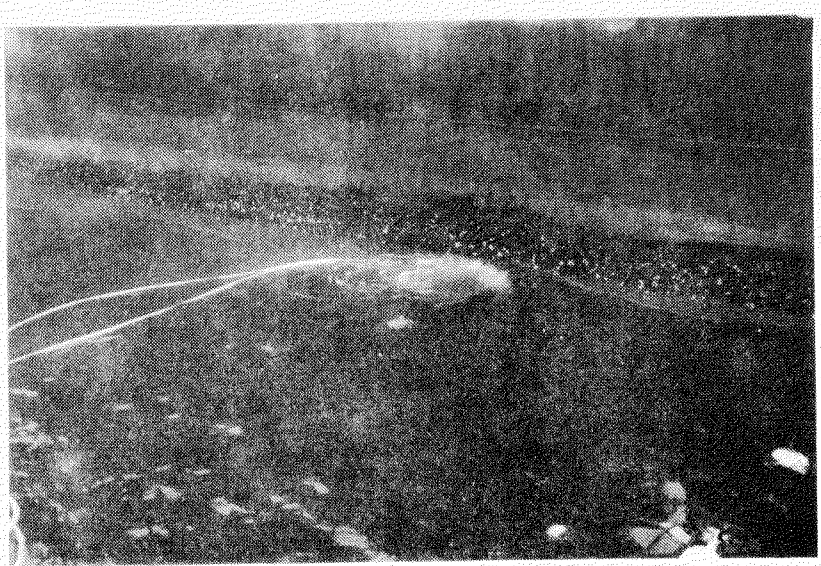
今回の実験における検討課題である。船会社側からも指適されているが、網袋法は目詰り等が作業能率を低下させるため100%の回収を必要とする場合には海水ポンプによる吸い上げ法などを考案設計し、試作実験する必要があると考えられる。

(v) 水中清掃の前後における写真撮影



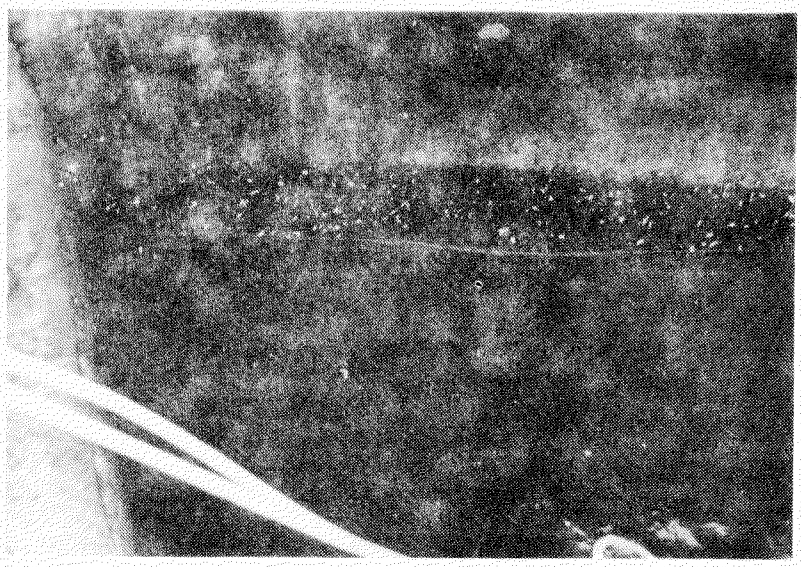
35HP型エアコンプレッサー6.8㎏/㎠のエアを120ℓ/minで供給出来る。
左側の白色筒は油水の分離器である。

写真4.2.2(12)



コーン型カッター水中清掃機(エアモータ式)で生物除去作業中
(200φ/6000rpm)

写真4.2.2(13)



清浄後の状態

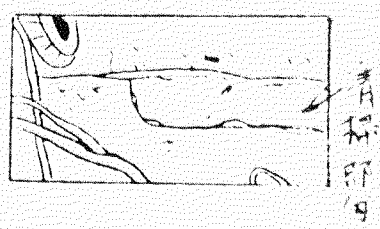
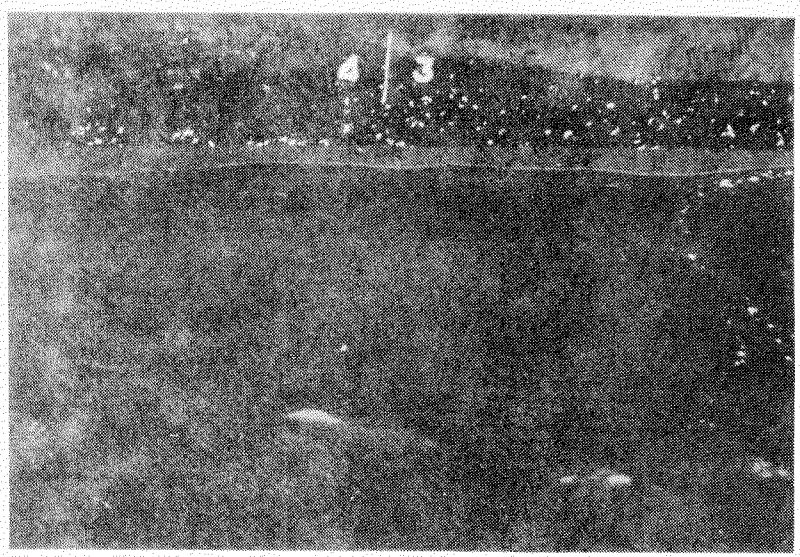


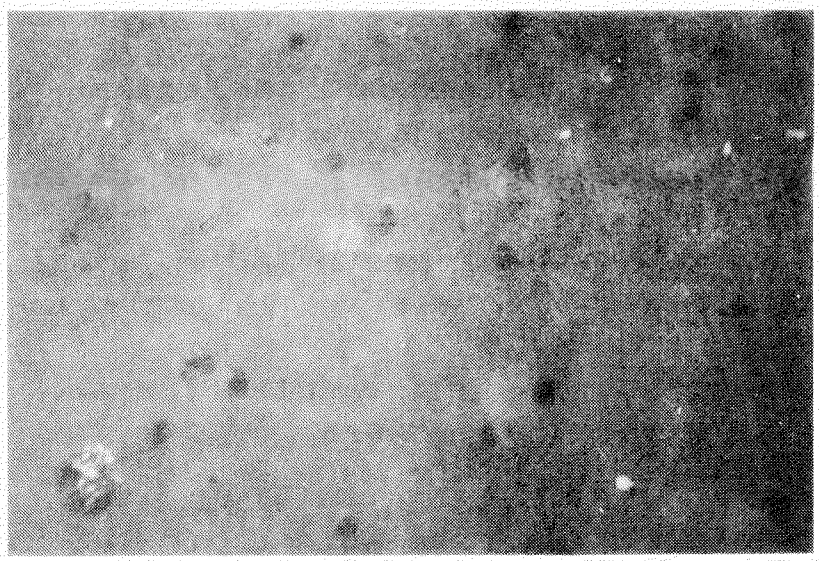
写真 4. 2. 2.(14)



全面清掃

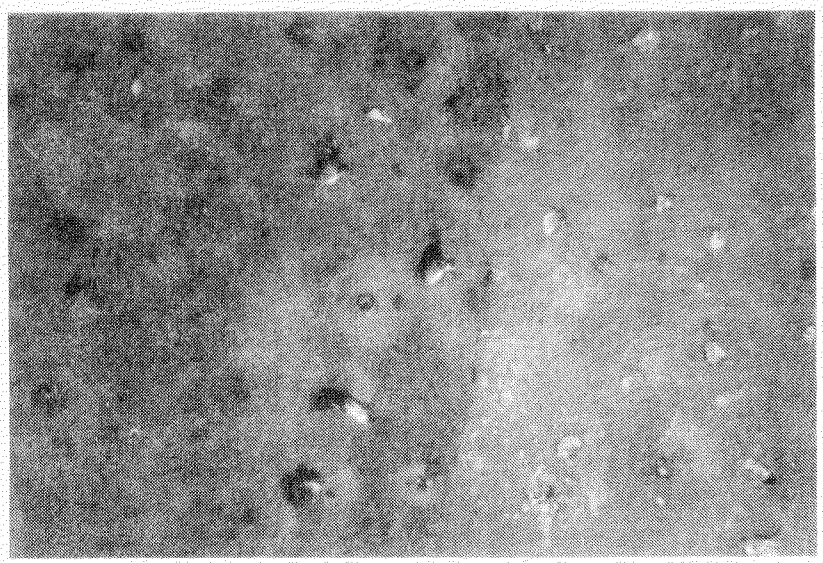
写真 4. 2. 2.(15)

（水面上はカッターの吸着力が無いため清掃力は低下）



清掃前　（水中写真）

写真 4. 2. 2.(16)



左部分　清掃前

右部分　清掃後

（水中写真）

写真 4. 2. 2.(17)



清掃後　（水中写真）

写真 4. 2. 2.(18)

(6) ま と め

備蓄船没水部に付着した生物を能率よく除去するために、従来の清掃機を参考に工夫改良を加えコーン型カッター方式の清掃機を開発し、海中実験を繰返し其の実用性を確めた結果

(a) 塗膜(A/F)を剝離させることなく生物の除去が可能である。但し、フジツボ、エボシ貝など基盤(台座)が塗膜内に侵入しているものについてはA/Fも剝がれる。

(b) 水中での操作は簡単でダイバーであれば数10分の指導で作業が可能である。

(c) 作業能率は生物付着の多少によって大きく差があるが、付着量10～100㎜の範囲内では約400 m^2/h ～50 m^2/h の除去率を示した。

(d) 海洋汚染(一時的)を考慮する場合、外海で清掃作業を実施するか回収法を考える必要がある。

(e) 大面積の清掃では本清掃機を一度に数台使用するか大型化が必要である。

4.3 生物付着対策

4.3.1 水中清掃の方法と時期及びシーチェスト、舵板、プロペラの防汚対策

1. 水中清掃の方法

(1) 水中清掃の種類

(a) 人力によるもの …… スケラを使って落す。

(b) 機械（動力）によるもの　BRUSH KART 方式
SCAMP 方式
BRUSH BOAT 方式
その他

(a) 人力によるもの

スケラを使って清掃する方法は極めて狭い範囲しかできないので、シーチェスト、プロペラ、舵板等、清掃機によるブラシ清掃で落ちない箇所の手直しに利用される程度である。

(b) 機械（動力）によるもの

いずれの機械もブラシを取付けた回転体を、人力又はインペラの吸引力等で、船体に圧着させて動かし、附着物を落す。取付けられるブラシの数により、また自走式か人力によるかで清掃能力が決まる。ブラシはワイヤーブラシ、ナイロンブラシ、或はこれを組合せたものがあり、生物附着の状況により使いわける。最近各種の大型水中清掃機が開発されている。

(2) 水中清掃が可能な港

施行に当って保安部の許可と場合によっては漁業関係者の同意を得る必要がある。清掃中に落下する生物附着物を集めるためにネットの使用を義務ずけられる。対象船の水中清掃可能な港湾は東京湾、喜入、大分等である。

(3) 水中清掃の時期

(a) 回航及び揚荷のための水中清掃

各船毎に備蓄終了后は揚荷港に回航、揚荷を行ったのちにタンク掃除を実施して入渠し船底掃除を行う必要がある。従って水中清掃は漂泊、錨泊地より揚荷港までの航行と揚荷に支障が予想される場合に実施される。即ちポンプ室、機関室のシーチェスト、プロペラ、舵板等が対象となる。

清掃時期

漂 泊 船 …… 最后の補給港寄港時、又は揚荷港到着時

錨 泊 船 …… 湾内で施行出来る場合を除いて、揚荷港に回航途中の適当な錨地又は揚荷港

(b) 入渠中船底掃除作業簡略化のための水中清掃

揚荷終了后、揚荷港又は入渠地にて主に船底平底部が実施の対象となる。タンク掃除（ガスフリー）航海にてかなりの附着物が脱落すると予想されるので入渠地にて水中清掃の要否を決めるのが特策である。

2. シーチェスト、舵板、プロペラ等の防汚対策（備蓄開始時）

(a) シーチェスト

(イ) シーチェスト内は格子を含め、充分な下地処理を行った後に防錆塗料、長期防汚塗料を塗布する。

(ロ) 必要な防食電流密度を確保するため流電陽極の取付け位置及び数を考慮する。長期係留船の実績によると平均電流密度は１８～１９ mA/m^2 である。

(ハ) 格子の取付け方法及び形状に注意し、開閉が容易に出来るヒンジ式にして内部検査や掃除が出来るようにするのが望ましい。

(ニ) 海洋生物附着防止装置は機関室内の海水管及び熱交換器の生物附着を防止するものであるが、

シーチェスト内の生物附着防止に有効であると考える。

(b) 舵　板

船底外板の防汚対策と同じ。

(c) プロペラ

プロペラは材質と機能上船底外板や舵板のような防汚対策をとれないが、ふじつぼが密生している例が多いので備蓄終了後は、水中清掃を実施することが望ましい。

4.3.2. 没水部塗装仕様

本研究部会発足後、数次にわたり就役中の石油備蓄タンカーについて汚損状況の調査を実施した。その結果、垂直部、特に吃水付近に著しい生物付着が認められ、また従来通常運航船にはほとんど見られない平底部にも汚損が拡がっていることが判明した。

この調査結果から、石油備蓄タンカーに対しては従来の塗装区分をこえて外舷部まで及ぶ満載吃水線まで特別の防汚塗装が必要であることが確認され、本部会でその塗装仕様について検討した。

(1) 塗装対象区画

船 底 部 ： シーチェスト　ラダー外面を含む全区画

水 線 部 ： 全 区 画

外 舷 部 ： 満載吃水線より約１ｍ上部までの区画

(2) 塗装仕様

(a) 下地処理

長期間にわたる防食および防汚効果を発揮させるため、入念な下地処理が必要である。

入渠時、高圧水洗とスクレーパーにより付着生物、塩分、その他の異物を入念に除去する。また、さびやブリスターの発生個所、塗膜の劣化個所はサンドブラスト等により処理する。

シーチェストおよびスクリーンには特に注意し、塗膜状態が不良の場合はサンドブラスト処理を行なう。サンドブラスト処理個所はエポキシジンクプライアーのタッチアップがより効果的である。

(b) 防食塗装

各区画とも既存塗膜に適応する船底１号塗料を塗装する。

塩化ゴム系およびビニルタール系の場合はタッチアップ２回、オールオーバー１回、膜厚は４０～７５μ／回を標準とする。

エポキシ樹脂系およびタールエポキシ樹脂系の場合はタッチアップのみ２回塗、膜厚は１００～１２５μ／回を標準とする。

ただし、塗回数および膜厚は旧塗膜の状態、下地の状態などにより決定されなければならない。

尚、船体保護を完全にするため電気防食の併用が望ましい。

(c) 防汚塗装

漂泊または錨泊期間を２か年とした場合、通常　長期防汚形船底２号塗料をオールオーバー２回塗、膜厚５０～１００μ／回を標準とする。ただし、平底部については一般形防汚塗料を採用することも考えられるが、これについては船主および塗料メーカー間で協議されなければならない。

２号塗料の塗装は所定の膜厚をできるだけ均一になるよう入念に行なう。シーチェストは特に塗装しにくいので十分注意して施工しなければならない。

また、外舷部の没水部（吃水線より約１ｍ上まで）および水線部は特に生物付着が著しいので長期防汚形２号塗料を塗装しなければならない。しかし、その品種、塗回数、膜厚等について船主および塗料メーカー間で協議の上決定されるのが望ましい。