

ケミカルタンカーの荷揚げ後における配管内残留貨物液量  
の低減に関する研究  
(その1 : 荷揚げポンプ操作における低減効果)

波江貞弘\*・植田靖夫\*\*・山口勝治\*\*  
沼野正義\*・山之内 博\*\*

Reduction of the Residual Amount of Noxious Liquid  
Substances in the Piping System of Chemical Tankers  
after Unloading Procedure of Cargo  
(Part 1 : Reduction Effect in the Discharging Operation  
with the Cargo Pumps)

By

Sadahiro NAMIE, Yasuo UETA, Katsuji YAMAGUCHI  
Masayoshi NUMANO and Hiroshi YAMANOUCHI

Abstract

The discharges of ballast water, tank cleaning water and other mixtures containing noxious liquid substances from chemical tankers into the sea are regulated by the new international convention for the prevention of marine pollution. For the practical enforcement of regulation, the accurate estimation of actual amount of residual liquid substances and the investigation on measures for minimizing the amount have been required.

The liquid cargo in the tanks of chemical tankers is usually unloaded with a cargo pump through an inlet port equipped in a suction-well of the tanks, pipes at both suction and discharge sides of the pump and also those on upper deck, and then discharged from a manifold valve into tank systems on land. Hence, the liquid substances remain in the piping system including suction-well, cargo pump and so on.

In the paper, therefore, the effects of piping structure, pipe size, trimming angle, type of cargo pump, conditions of pump rotation and valve opening rate, and viscosity of the liquid substances on the amount of residues are investigated experimentally. The residual amount in the piping system of actual chemical tankers is also measured and compared with the experimental results. The trend of liquid amount in the actual case coincides

---

\* 機関動力部 \*\* 装備部

原稿受付：昭和61年11月4日

qualitatively with that by experimental estimation. Finally, tentative measures for reducing the residues in the piping system are proposed.

## 1. ま え が き

ばら積液体化学物質を大量に輸送するケミカルタンカーでは、荷揚げ港で液体貨物を揚げた後、次の航海の貨物受け入れのためタンク内洗浄を行うほか、空船で航行する際の喫水確保のためタンク内にバラスト水を満たす。これらの洗浄汚水あるいはバラスト水は航海中に船外に排出されるが、その際、荷揚げしきれずに船内に残留する化学物質が排水とともに海中に投棄されることになる。これらの物質の船外投棄に関しては新海洋汚染防止国際条約(MARPOL73/78条約)によって規制が取り決められており、国際海事機関(IMO)が定める「排出のための方法と設備の基準」に沿って実施されなければならない。これを効果的に実施するためには、船内に残留する液体貨物量を正確に評価するとともに、残留液量を大幅に低減させる技術を確認することが必要になる。

ところで、ケミカルタンカーの荷揚げは、通常貨物タンク底に設けられた配管端より貨物液を吸引し、荷揚げポンプで揚液して甲板上の水平配管を通して船体中央部のマニホールド弁より陸上施設に輸送する方式がとられる。したがって、貨物液の船内残留形態としては、タンク内壁面への付着ならびに荷揚げポンプ配管系内での残留とに大別される。前者の貨物液の壁面付着およびその洗浄、回収などについては別の機会に検討を委ねることとして、本研究では、後者の配管系内における残留貨物量の低減について次の2項目を中心に検討を行うものである。

(1) 荷揚げポンプ操作による排液

(2) エアパーズ操作による排液

このうち、本報告(その1)では主として(1)及び(2)に関する全般的事項ならびに荷揚げポンプによる排液特性を対象とし、(2)の事項に関する詳細な検討結果については別報にて報告する予定である。

荷揚げポンプの操作に関する検討内容は以下のとおりである。すなわち、上記のように貨物液をタンク底より吸引する際、荷揚げ終了時において吸引管端より空気を吸い込むため、ポンプの吸引力は通常急激に低下する。その際、タンク内のサクシオンウェルと称される窪みならびにポンプ配管系内に貨物液が残留す

る。この間のポンプ内の液挙動は本質的に過渡的な現象であり、その解明が本報告の主たる目的である。そこで残留貨物の状況を把握するため、まず実際の内航(中小型)および大型ケミカルタンカーにおける作業手順ならびに残留液量の現状に関してこれまでに実施された調査結果をもとにしてその傾向を検討した。次に、これらの傾向とポンプの過渡現象との関連を明らかにするため、ポンプ配管系の模擬実験装置を作製し、配管型式、寸法および配置構造、荷揚げポンプの型式とその運転操作方法ならびに液粘度などが残留液量に及ぼす影響について考察をおこなった。

## 2. ケミカルタンカーの荷揚げ作業分析

### 2.1 荷揚げ装置及び操作の現状と検討課題

中小内航ケミカルタンカー(499-699総トン型)の場合を例にとり、表-1に荷揚げ装置の主要目を、また配管系統の構造型式を図1-1に示す。

図中、太い実線で示すように、配管型式はタンク内サクシオンウェルSWからの水平吸引管、ストレーナ

表-1 荷揚げ装置の主要目(中小内航ケミカルタンカーの場合)

配管系型式 管径	A, A'型, B型, C型
	主ライン 125~200 mm
	ストリップング・ライン 50~125 mm
	最終浚えライン 25 mm 以下
管長	垂直管 3~4 m
	水平吐出管 10~20 m
トリム傾斜	1/20~1/45
カーゴポンプ型式	抽気ターボポンプ, 容積ポンプ (ギヤ, ネジ)
容量	120~350 m <sup>3</sup> /h
エアパーズ	主ポンプ空転, 圧縮機, N <sub>2</sub> ポンプ 2~8 kg/cm <sup>2</sup> , 3回程度
最終浚え方式 (A'型)	浚え専用ポンプ, エジェクタ 浚え配管エアパーズ

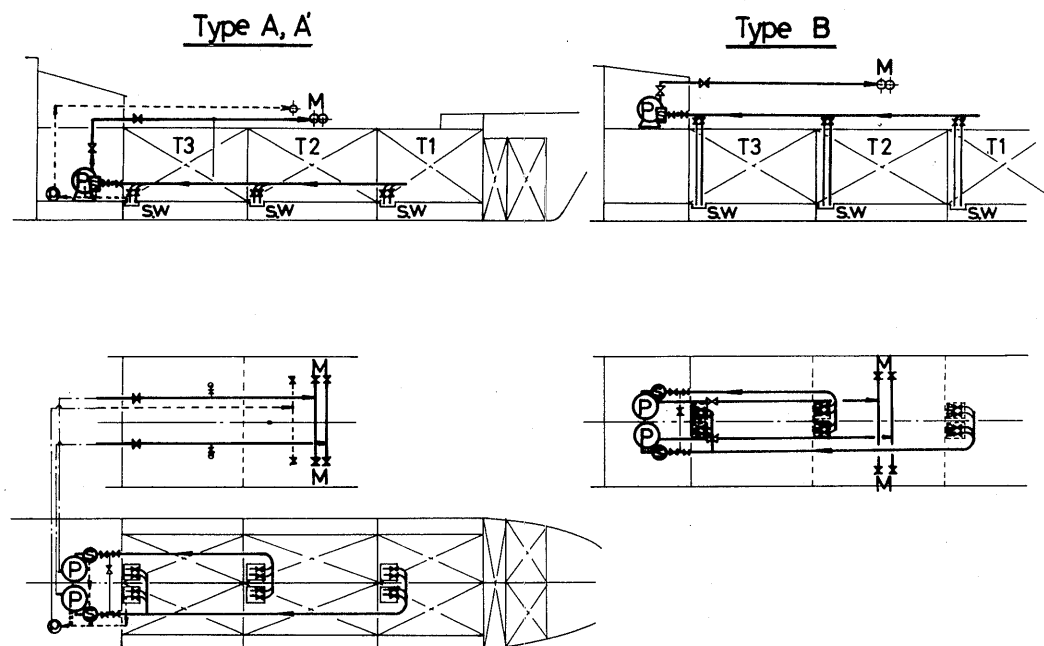


図1-1 荷揚げポンプ配管系統の構造形式

S及び荷揚げポンプPを二重底上に設置したA型と、甲板上に設置したB型に大別される。中小タンカーにおける水平の吐出管は両型式とも10～20m程度の長さである。垂直管部は3～4m程度の高さで、A型ではポンプ吐出側、B型では吸引側となる。また、吸引側の垂直管は主配管のほかに通常液回収（ストリップング）を目的とする配管が並列配置され2本構成となっている。さらに、図中破線で示すように、主配管内の残留液を最終的に浚えるための専用配管を備えたA'型も最近は見受けられる。主配管の管径は通常125～200mmである。一方、垂直の回収（ストリップング）用配管の管径は50～125mm程度であり、特にA'型の場合の浚え専用配管系は25mmの小径管が用いられるようになっている。

荷揚げポンプの型式はターボ型（遠心ポンプ）及び容積型（歯車ポンプ、ネジポンプ）が多く採用されており、ターボ型の場合には呼び水あるいは空気吸引時の吸引能力維持のため、補助の抽気ポンプによって主吸引管内の真空度を確保する方法が取られている。ポンプ容量は貨物タンク容積にもよるが120～350m<sup>3</sup>/h程度である。

また、主荷揚げポンプによる揚液終了後、さらに残留

液量を減少させる方法として、上記の最終配管系による残留液の浚え操作ならびにエアパージ操作を実施する場合が多い。前者の最終浚え配管系は先に述べたようにサクシオンウェル、ストレーナ、主ポンプ及び吐出管内の残留液を各箇所底部のドレン取出口に接続した小径の専用配管で回収して陸揚げするものであり、揚液方法としては小型専用ポンプ、エジェクターなどが用いられる。後者のエアパージとは、主ポンプによる吸引終了後に一旦荷揚げ配管の出口マニホールド弁Mを閉じ、配管内に空気、窒素などの気体を2～8kg/cm<sup>2</sup>程度に圧入した後に弁Mを断続的に三～四回程度開閉させて、急激に膨脹する気体の流れによって吐出配管内の残留液を放出させる操作のことである。気体の圧入方法としては、容積型主ポンプの空転、空気圧縮機あるいは窒素ボンベからの高圧気体の注入などがある。このエアパージ操作は先の最終浚え配管系の揚液方法としても用いられる。

一方、大型ケミカルタンカーの場合の荷揚げ装置及び操作も基本的には中小内航タンカーと同様であるが、サクシオンウェル内に液中型のポンプを設置する配管型式 図1-2、C型が一般に用いられる。また、配管寸法も全体的に増大する。さらに、エアパージ用

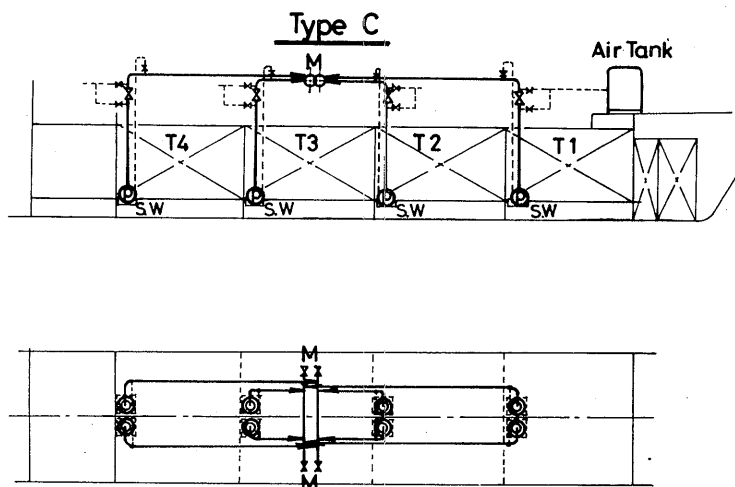


図1-2 荷揚げポンプ配管系統の構造形式

の専用空気タンクを設置して残留液の最終浚え操作をする場合が多い。

なお、上記の荷揚げ操作中、タンク内の液の回収を容易にする目的で、通常船体は舟尾トリム及びヒールが付けられるが、そのトリムの値は中小内航タンカーで1.3-2.8度程度、大型タンカーで0.3-0.9度程度である。これによって、甲板上のポンプ吐出側水平管内の液は通常管内を上昇した後マニホールド弁から排出される順勾配状態となるが、上記C型の舟首に近いタンクからの配管では液が下降した後排出される逆勾配状態となる。後者の場合は一般に甲板上の水平管内には液が残留しない。

以下に述べたポンプ配管装置の構造と操作方法の現状を残留液量低減の面から見た場合、検討すべき課題としては次のような事項が考えられる。すなわち、

- (1) サクションウェル内、ポンプ吸引側及び吐出側の各配管内の残留液量に及ぼすポンプ型式の影響。
- (2) ポンプ回転数、弁開度など運転操作方式の影響。
- (3) 配管型式、管寸法ならびにトリムの影響。
- (4) 液物性、特に粘性の影響。
- (5) エアバージ効果の実験的確認。
- (6) 効果的な最終浚え方法の検討などである。

これらに関しては、別報で報告予定の(5)の事項を除き本報告の3～5章において実験的な検討結果を詳細に記載する。

## 2.2 荷揚げ後残留液量の実船調査結果と考察

表2-1, 2は、著者らも参加して実施した内航

ケミカルタンカー及び大型ケミカルタンカーにおける荷揚げ後残留貨物液量の実船調査結果<sup>1),2)</sup>を基にして、作業条件、ポンプ配管1系統当たりの残留液量ならびに計算により求めた配管容量に対する残留率を示したものである。

表2-1, 2の結果をまとめると次の事項が全般的に指摘できよう。

- (1) 主ポンプによる荷揚げ操作終了時においては、一般にサクシオンウェル内、ストレーナ及びポンプ部、垂直吐出管ならびに甲板上の水平吐出管などの内部に相当量の液が残留する。垂直吸引管内にも若干の液が残留する場合がある。なお、液中型ポンプではサクシオンウェルの容積が大きいこともあり、ウェル内の残留液量は多くなる傾向がみられる。
- (2) 配管が順勾配状態で液が管内を上昇した後に管出口端から自然流下する場合(表2-1中( )内に※1印を付して示した値で、逆勾配状態やエアバージ操作後の値を除いたもの)における水平吐出管内の残留量の同管内容積に対する割合(残留率) $\alpha$ は、液が清水で、ポンプ型式が遠心型の場合に80%前後、容積型では44%程度となっている。後に述べる縮尺を考慮した模擬実験の結果では $\alpha$ の値が遠心ポンプで75%、容積ポンプで42%であり、実船における測定値はこれらの値と傾向がほぼ一致している。

一方、大型ケミカルタンカーにおける液中型ポンプの場合は、表2-2中( )内の $\alpha$ の値が順勾配状態において20%程度となっていて、同ポンプの揚液機構

表 2-1 残留貨物液量の実船調査結果 (内航ケミカルタンカー)

船名	I	II	III	IV	V
配管系型式, 管径 [mm]	A型×125 <sup>φ</sup> (50 <sup>φ</sup> )	B型×150 <sup>φ</sup> (50 <sup>φ</sup> )	A'型×125 <sup>φ</sup> (75 <sup>φ</sup> )	A'型×200 <sup>φ</sup> (100 <sup>φ</sup> )	A型×150 <sup>φ</sup> (100 <sup>φ</sup> )
ポンプ型式	抽気・遠心型	抽気・遠心型	容積型	容積型	容積型
トリム [°]	1.5	2.8		2.5	1.3
最終液え手段					
エアパージ圧 [kg/cm <sup>2</sup> ]	3~4	8	2	4	5.5
補助手段	—	—	25φ液え管, エアパージ	~25φ液え管, 液えポンプ, エジェクター使用	—
残液量 [×10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> ]					
タンクウェル内	25.2	3.8		21(0.3) <sup>*2</sup> (1.3) <sup>*2</sup>	
ストレーナ, ポンプ部	58.5	17.5		<sup>*3</sup> (1) <sup>*2</sup>	
吸引側 水平管	0.3	5.3	} ~0 <sup>*2</sup>	2	} 77(98) <sup>*1</sup>
垂直管	—	3.1		—	
吐出側 水平管	51.7(~102) <sup>*1</sup>	51.5(129) <sup>*1</sup>		126(186) <sup>*1</sup> (3.1) <sup>*2</sup>	
垂直管	101.5	—		102 <sup>*3</sup> (163) <sup>*1</sup>	0 <sup>*4</sup>
合計(1系統当)	237.2(~287) <sup>*1</sup>	81.2(158) <sup>*1</sup>	~0 <sup>*2</sup>	251(372) <sup>*1</sup> (5.4) <sup>*2</sup>	77(98) <sup>*1</sup>
残液率 [%]					
吸引側 水平管	0	0.9		1.2	~0
垂直管	—	35.9		—	—
吐出側 水平管 α	38.9(~76.5) <sup>*1</sup>	32.7(81.5) <sup>*1</sup>		29.9(44.1) <sup>*1</sup>	~0 <sup>*4</sup>
垂直管 β	100	—		34.5 <sup>*3</sup>	

※1 主管エアパージ前 ※2 最終液えポンプ, 液え管エアパージなどの操作後

※3 ストレーナポンプ部含む ※4 逆勾配状態

が基本的には遠心型であることを考慮すると, 表 2-1 の値に比べてかなり小さい。この原因は主に大型タンカーでは舟尾トリムが比較的小さく, 舟尾側からマニホールド弁方向への上昇勾配がゆるいため水平管内に液が残留しにくいことによると考えられる。図-2 はこの影響を調べるため, 水平吐出管出口が大気に開放され, 図中矢印で示されるように液が上昇した後自然流下する時に, 幾何学的に計算される残留率  $\alpha$  の値 (すなわち, 斜線を施した部分の体積割合) を無次元数 ( $\tau L/D$ ) に対して示したものである。ここで,  $\tau$  はトリム,  $L$  及び  $D$  はそれぞれ配管の長さ及び直径である。実船における代表的な値として  $L=15\text{m}$ ,  $D=150\text{mm}$  を用い,  $\tau$  を 0.5 度と 2 度とした場合を図中に矢印で示しているが, トリムの減少につれて幾何学的に

定まる残留率が 1/2.5 程度まで低下していることがわかる。

(3) 表 2-1 中, 船名 II の B 型配管の場合は, 主ポンプ吸引側に管径 50mm の長い垂直管が配置されている。この部分の残留液量は管径が細いため, その絶対量は少ないが, 管内に対する残留率は 36% 程度であり, また残留液の高さ  $H$  に換算すると 1.6m 程度になる。これらの結果も後の実験結果と極端な矛盾はない。

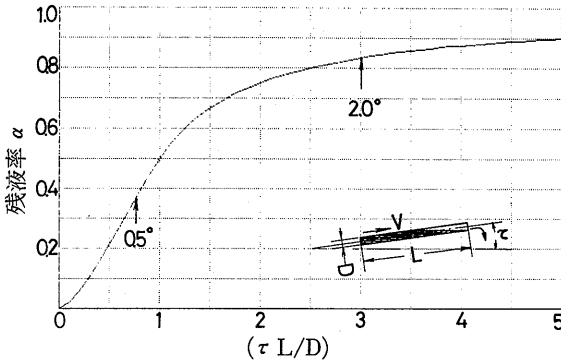
(4) 主ポンプによる荷揚げ操作の後, 通常エアパージ操作を併用する。表 2-1 の内航タンカーの場合には上記(2)の水平吐出管内の残留率  $\alpha$  はポンプ型式によらずエアパージ後は 30~40% 程度まで減少している。

一方, 表 2-2 の液中型ポンプを使用した大型タンカーでは, 揚荷終了時点で垂直吐出管内の液面に空気

表2-2 残留貨物液量の実船調査結果 (大型ケミカルタンカー)

船名	VI				VII			VIII				IX					
配管型式 管径 (mm)	B'型×150, 125 <sup>φ</sup> (25 <sup>φ</sup> )				A型×200 <sup>φ</sup> (25 <sup>φ</sup> )			B'型×100, 125 <sup>φ</sup> (25 <sup>φ</sup> )				B'型×100, 125 <sup>φ</sup> (25 <sup>φ</sup> )					
ポンプ型式	液中型				容積型(スクリュー型)			液中型				液中型					
トリム (°)	0.53	0.88	0.53	0.53	0.7	"	"	0.6	"	"	0.4	"	"	0.3	"	"	"
最終浚え手段																	
エア・パージ圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	7.9	7.8	8.0	7.7	5.5→1.8	6.3	6.2	6.3	6.3	6.3	4.0	"	"	"	"	"	"
	→2.2	→1.5	→0.7	→2.6	6.4→1.1	→1.2	→1.1	→1.4	→3.2	→3.2							
使用空気量 (Nm <sup>3</sup> )	8.55	9.45	10.95	7.65	27	15.3	15.3	11.4	9.3	13.2	配管内加圧 (5回) 分						
空気タンク容量 (%)	1.5				3.0						3.0						
残液量 (×10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )																	
サクシオンウェル内	29.2	17.8	33.2	28.2	51	39.5	34.5	62	76.3	75	79	"	"	"	"	"	"
ストレーナ・ポンプ部	—				160/3 210/3 210/3			—				—					
吸引側 水平管	—				—			—				—					
垂直管	—				—			—				—					
吐出側 水平管	9.1	16.4	46.5	14.1	118.8/2	72.6/3	78/3	4	35.3	21.1	110	83	60	73	85	44	45
	(30.7) <sup>※1,2</sup>			(84.2) <sup>※1</sup>							※4 (10m)	※5 (5m)				(1m)	
垂直管	0	0	0	0	(ストレーナ・ポンプ部に含む)			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ストリップング系 <sup>※1</sup>	3.9	1.9	5.4	4.3	—			0.6	1.0	1.1	/	/	/	/	/	/	/
合計 (1系統当)	42.2	36.1	85.1	46.6	190.4	133.7	130.6	66.6	113.6	97.2	189	162	139	152	164	123	124
	(63.8) <sup>※1,2</sup>			(116.7) <sup>※1</sup>													
残液率 (%)																	
吸引側 水平管	—				/			—				—					
垂直管	—				—			—				—					
吐出側 水平管 α	1.6	2.1	7.5	3.3	4.7	1.9	2.1	0.9	6.3	3.8	24.4	18.4	13.3	16.2	18.9	9.8	10.0
	(5.5) <sup>※1,2</sup>			(19.8) <sup>※1</sup>				※2			※4 (10m)	(5m)		(1m)			
垂直管 β	0	0	0	0	/			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

※1 主管エア・パージ前 ※2 逆勾配状態 ※3 自然流下 ※4 背圧(水柱 m) ※5 背圧(定圧弁)



図一 2 水平管の自然流下時における残留率

静圧を掛けて水平吐出管まで揚液する。(操作手順の詳細は3.2節, 図一6に示す。)このため垂直管内の残留液はほぼ零となる。この点は模擬実験においても確認されている。さらに, 水平吐出管内についてエアパーージ操作を実施すると, 残留率  $\alpha$  はポンプ型式によらず1-24%程度の値になっている。表2-2中に※4及び※5を付して示すように, この値は出口背圧の増加とともに若干増加する傾向にあるが, 全体的に内航タンカーでの値より少ない。この理由は, 大型タンカーでは先に述べたようにトリム角が小さいこと, 設備的にパーージ用空気を多量に使用できること, 配管系に曲がり部などがあり空気溜りが生じやすい構造となっていることなどによると考えられる。

別報に記載を予定しているエアパーージ模擬実験の結果では, パーージ圧が3 kg/cm<sup>2</sup>以上で空気溜りの容積がほぼ配管容積に等しい場合, 残留率が25%程度以下になっており, 上記の結果はほぼこれに対応していると考えられる。

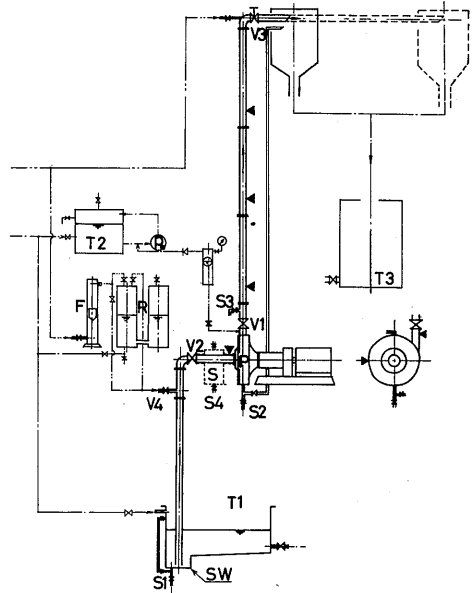
(5) ストレーナ, ポンプ部及び水平吐出管の各ドレン出口に残留液を回収するための小径配管(例えば25mm以下)を設け, 専用ポンプで回収するか, あるいはエアパーージ操作によって排液すれば, 表2-1中, ※2を付した数値が示すようになりにかなり効果的に残留液量を低減できる。また, サクションウェル内についても小径吸引管の使用によって残留量を低減できる。

### 3. 実験装置及び要領

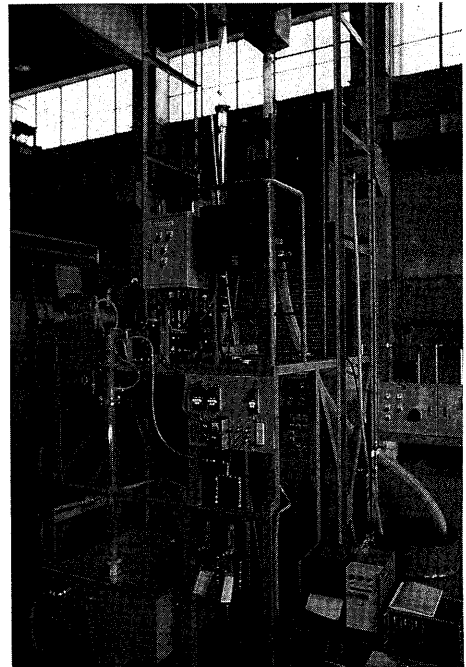
#### 3.1 実験装置の概要

図一3及び写真一1は実験に用いたポンプ配管系模擬実験装置の概要を示したものである。

供試液はサクションウェルSWに相当する開口寸法



図一 3 ポンプ配管系模擬実験装置



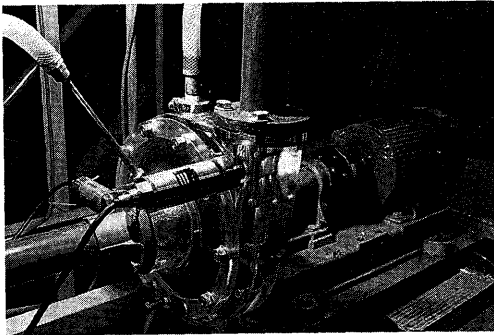
写真一 1 模擬実験装置の外観

が200×200mm, 深さ100mmの窪みを持った液タンクT1から, 垂直吸引管と水平吸引管, またはストレーナS

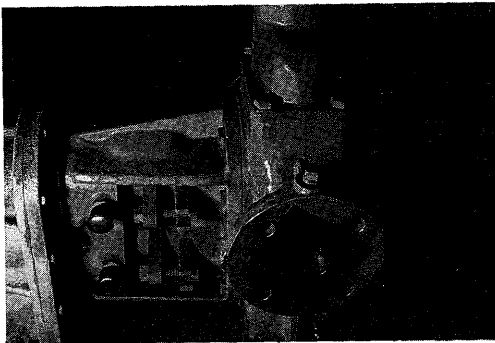
に相当する約4000mlの容器を経て供試ポンプPで吸引される。吸引管の途中には、空気溜りR及び空気流量系Fからの空気を注入するノズルV4が設けられており、吸引終了時に管下端から吸い込まれる空気とは別に、空気吸い込み条件を任意に設定した実験も可能な構造となっている。また、遠心ポンプを供試ポンプとする際は、抽気ポンプP<sub>0</sub>及び水タンクT2を用いて吸引側の真空度を維持する。

吐出管は垂直部と水平部を有する内径50mmの配管で、図中破線で表示するように各部の長さを調節できる構造になっている。また、タンカー荷揚げ時のトリムを想定した勾配をつけられるようになっている。なお、主配管とは別にポンプの底部より内径13mmの最終液専用配管が設けられている。

一方、ポンプ出口及び入口には弁V1、V2が、配管出口には弁V3がそれぞれ設けられている。また、サクシオンウェル底、弁V1直上、ストレーナ及びポンプ各底部には残留液を採取し、その容積を計測するためのサンプルゴックS1-S4が設けられている。さらに、図-3中▼印で示した位置に圧力タップが設けら



(a) 遠心型ポンプ



(b) 容積型(歯車)ポンプ



(c) 液中型ポンプ

写真-2 供試ポンプ類の外観

れており、各部の過渡的な圧力変化を変換器を介して計測し、記録処理装置に入力する。

供試ポンプとしては、遠心型、容積型、液中型の各ポンプを用意した。写真-2はこれらのポンプ類の外観を、また、表-3は主な諸元を示したものである。

表-3 供試ポンプの諸元

形 式	遠 心 型	容 積 型	液 中 型
口 径	50 mm	50 mm	50 mm
定 格 容 量	20m <sup>3</sup> /h×15m	8 m <sup>3</sup> /h×15m	10.8m <sup>3</sup> /h×12m
定 格 回 転 数	1500 rpm	1000 rpm	1500 rpm
同 可 変 範 圍	0~1800rpm	0~1800rpm	0~1800rpm

### 3.2 実験要領

図-4及び表-4中に配管装置の各部寸法記号ならびにその実験範囲を示す。また、供試液としては主に清水を用いたが、このほかにエチレングリコールおよびエチレングリコールと清水の等容混合液を使用し、液の粘性が残留量に及ぼす影響を調べた。図-5<sup>3)</sup>はこれらの供試液の動粘性係数を示したものである。

実験は、まず100~200リットル程度の供試液をタンクT1に入れ、供試ポンプPを始動させて液を吸引し、配管出口の廃液タンクT3に排出させる。吸引管の端から空気を吸い込んで吸引能力が低下し始めてから60~90秒後に吐出弁V1を急閉し、ポンプを停止させる。



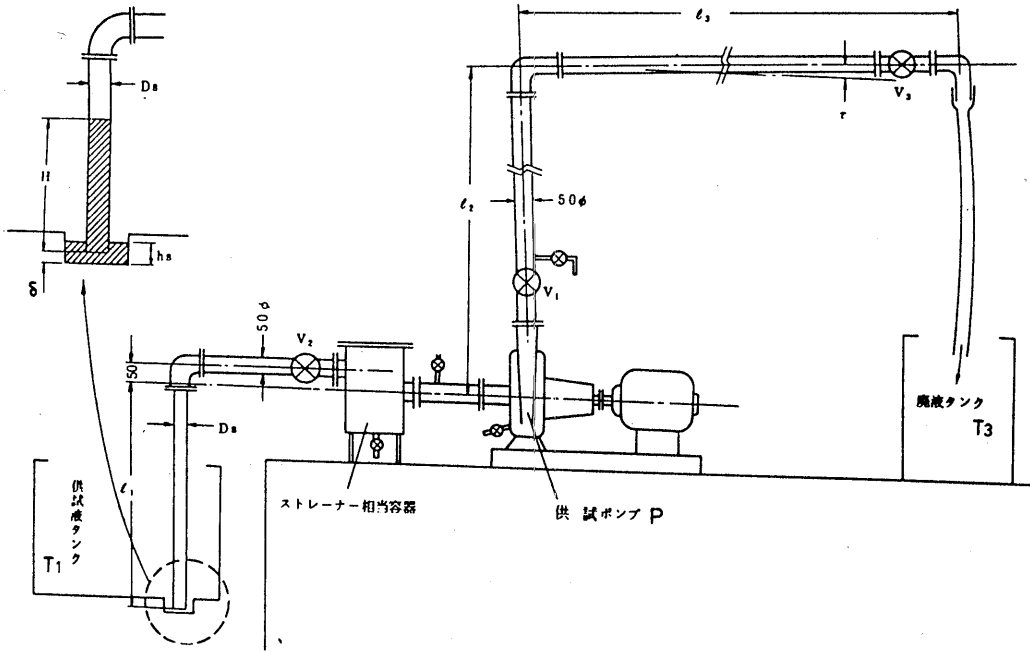


図-4 配管装置各部寸法記号

表-4 実験条件の範囲

サクシオン ウェル	開口寸法 200×200, 深さ 100mm 管端間隙 $\delta$ : 10, 36mm
ポンプ吸引側	管径 $D_s$ : 13.2, 24.8, 51.3mm 垂直部高さ $l_1$ : 0.5, 1.0, 1.5, 1.9m
ポンプ吐出側	管径 $D_a$ : 50mm 垂直部高さ $l_2$ : 1, 2, 3m 水平部長さ $l_3$ : 0.71, 2.55, 4.89, 8.96m トリム勾配 $\tau$ : 0, 2/52, 4/52,

このままの状態ですくシオンウェル内の残留液高さ  $h_s$ , 吸引管内液面高さ  $H$  (または管内負圧), 及び吐出管内の残留液量を計測する。また、これと並行して管端より空気を吸引し始めてからポンプを停止するまでの各部の過渡的な圧力変動を計測記録する。

本実験はポンプの過渡的な現象を対象とするため、測定値は必ずしも一定にはならない。特に、遠心型ポンプの場合、吸引側の残留状況は極めて不安定な傾向を示すため、同一条件下の実験を繰り返して実施した。また、一部透明アクリル管を用いて液の挙動を観

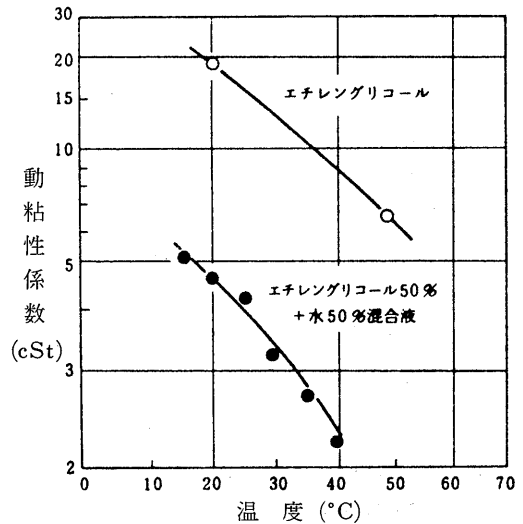


図-5 供試液の動粘性係数

察した。

一方、液中型ポンプでは図-6に示す操作手順に従って実験をおこなった。すなわち、①まず液中ポンプを駆動し、サクシオンウェルから垂直吐出管、垂直

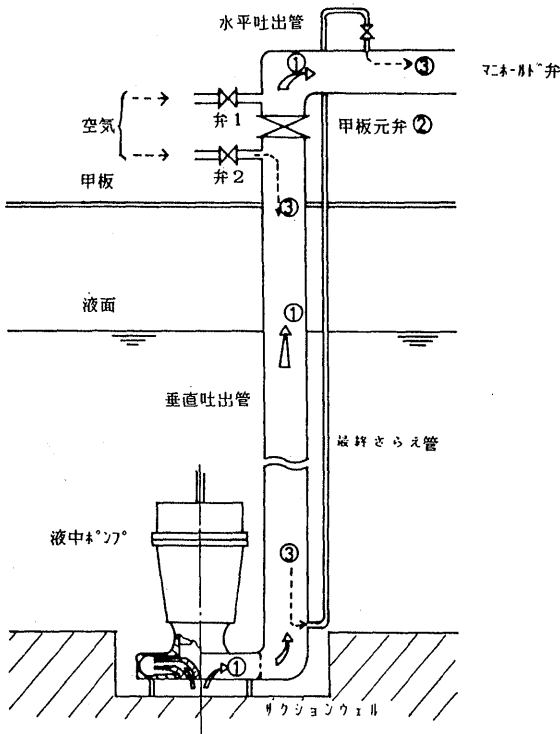


図-6 液中ポンプ系の操作手順

吐出管上部の甲板元弁に相当する弁及び水平吐出管を通して排液する。②次にポンプを駆動したまま上記の甲板元弁を閉じた後、③空気供給弁2から空気静圧をかけ、垂直管内の液をポンプ直上に取り付けた最終液え専用配管を通して水平吐出管に揚液する。その後、ポンプを停止する。その際、垂直主管と液え管内に若干残留する液がサクションウェルに戻る。このポンプ停止前後におけるウェル内の残留液水位を計測した。

なお、水平吐出管内の残留液は基本的には遠心ポンプの場合と同様と考えられるため、計測を割愛した。

#### 4. 配管内残留液量の傾向

##### 4.1 吸引終了前後の液体の挙動

###### 4.1.1 流動観察結果

タンク内の液面が低下するにつれて管吸引端部付近の液表面に吸引による窪みが生じ、吸引端が大気中に露出すると同時に多量の空気が液とともに吸引され管内を上昇する。

遠心ポンプの場合は、ポンプ内に空気が到達すると吸引能力は急激に低下する。その際、ポンプの回転数

に応じて、一度で完全に吸引能力を喪失する場合と、その後僅かながら揚液能力を保持して低速度で液を吸引するとともに気泡が垂直管内を連続的に上昇する場合(二段階低下現象)とがある。後者の場合には吸引管内及び吐出管内の液は全体として、管出口方向ならびにそれと逆方向に交互に脈動する。そして、出口方向への移動の際にはその都度若干の液が管出口から排出される。このような状態が10~30秒程度続いた後、ポンプ内に蓄積される空気量が限界になったと思われる時点で吸引能力を完全に喪失してポンプは空転する。いずれにしても、空気吸引後に引き続いて押し出される液量は概して少ない。これは、遠心ポンプなどのターボ型ではそれ自体で空気を吐出される能力がほとんどないためであり、したがって、抽気ポンプを併用することが不可欠である。

一方、歯車ポンプの場合は吸引終了後も間欠的な気泡の通過毎に少量づつ液が排出される。その際、遠心型で見られた脈動現象は生じない。さらに時間が経過すると、垂直管内を細かな気泡だけが上昇する整定状態になる場合もある。

さらに、写真-3は液中ポンプによる排液状況を示したものである。写真の(a)は液中ポンプによって垂直吐出管内を上向きに揚液している状態を示す。(b)はポンプ底より空気を吸いはじめた状態である。(c)はポンプ内に空気が充満し、吸引力を喪失した状態で、垂直管内の液は上下に脈動している。この過程は遠心ポンプの場合とほぼ同じものと考えられるが、液中ポンプでは吸引側が直接液面と接するため、遠心ポンプで観察された吸引力の二段階低下現象はみられず一度に吸引力を喪失する。(d)は液中ポンプを駆動したまま垂直管上部弁を閉じ、空気静圧をかけて最終液え管から排液している状態である。気液界面はポンプの攪乱作用で激しく振動している。(e)は主管及び液え管内の排液が完了した状態である。ポンプはまだ駆動しており、そこから液滴が激しく跳ね上がっているのが観察されるが残留液量は全体的に極わずかである。

###### 4.1.2 ストレーナ及びポンプ部の残留液量

遠心ポンプの場合を例にとり、ポンプ空転中に吐出弁を閉じポンプを停止させた際に、ストレーナ及びポンプ前後の配管系内に残留する液の状況を説明すると次のようになる。まず、ポンプに直結された水平吸引管内は完全に空になることが確認された。一方、ポンプ吸入口の下縁より下に位置するケーシング内には液が残り、また実験装置にストレーナの容積に相当する

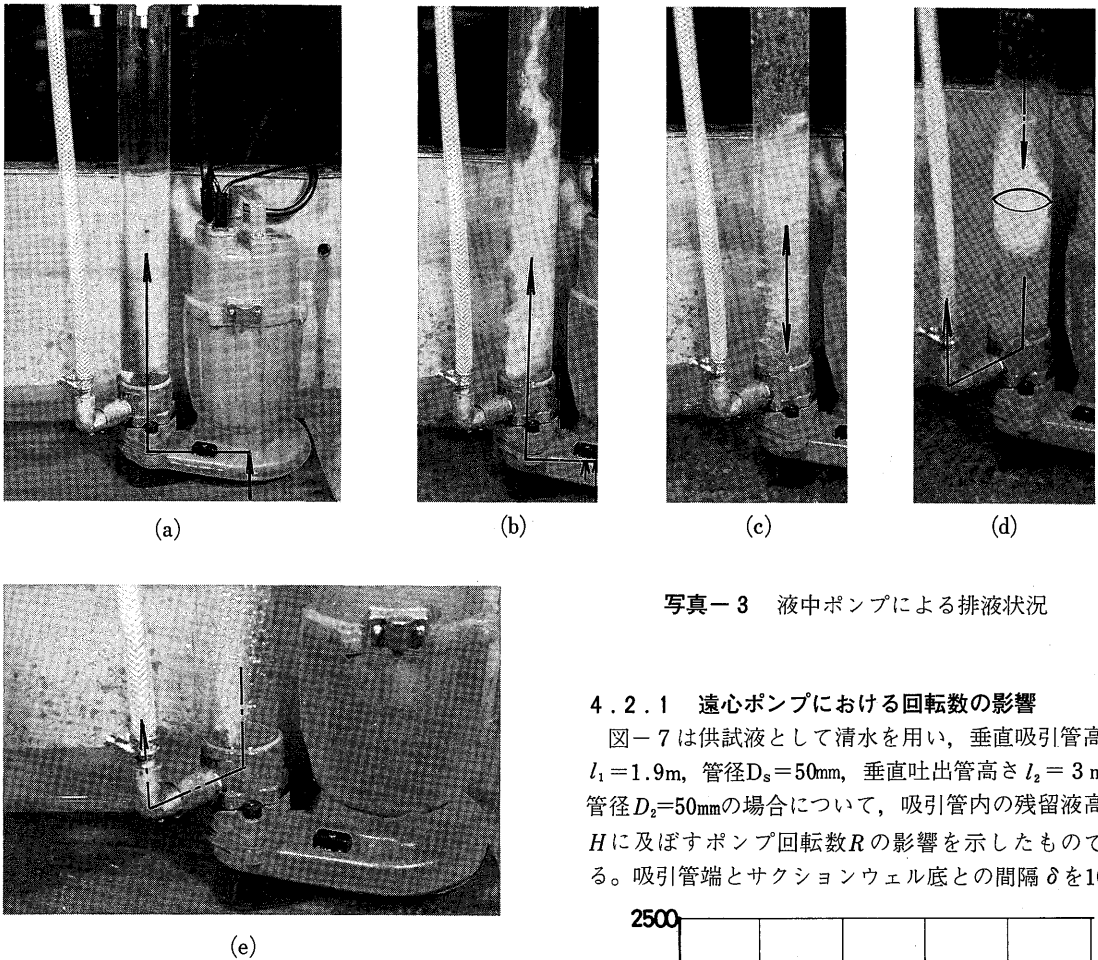


写真-3 液中ポンプによる排液状況

4.2.1 遠心ポンプにおける回転数の影響

図-7は供試液として清水を用い、垂直吸引管高さ  $l_1=1.9\text{m}$ 、管径  $D_s=50\text{mm}$ 、垂直吐出管高さ  $l_2=3\text{m}$ 、管径  $D_2=50\text{mm}$ の場合について、吸引管内の残留液高さ  $H$ に及ぼすポンプ回転数  $R$ の影響を示したものである。吸引管端とサクシオンウェル底との間隔  $\delta$ を10mm

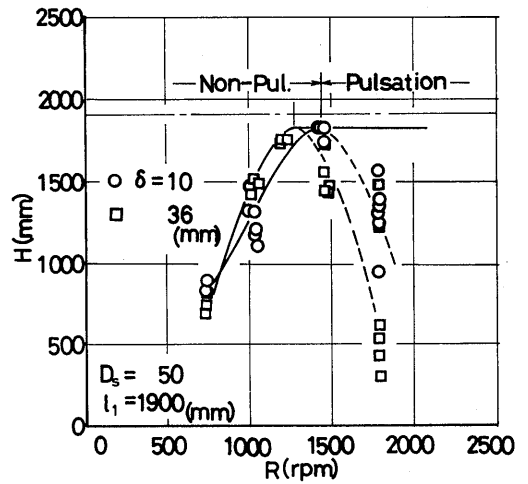


図-7 吸引管内残留液高さに及ぼすポンプ回転数の影響 (遠心ポンプの場合)

容器を組み込む場合にはその容積の約1/3に当たる液が残留する。清水で実験した際の残留液量の実測値は表-5<sup>5)</sup>に示すとおりである。

表-5 ポンプ前後の残留液量

	全空間容積 ml	残液量 ml
ストレーナ	3,970	1,340
ポンプケーシング	—	910

4.2 ポンプ吸引側の残留液の状況

ポンプ吸引側の残留液量に及ぼす各因子の影響はポンプ型式によって状況が異なるがその概要は以下に述べるとおりである。

及び36mmとしている。遠心ポンプの場合、回転数が低い範囲では最初の空気吸引と同時に能力が失われ脈動は生じない。この範囲ではRの増加とともに残留液高さHが増加し、ポンプの定格回転数である1500rpm付近で最大となる。Rがこれ以上の範囲では空気を吸い込み、吸引力が一旦急激に低下する現象(第1段階)、及びその後脈動が発生し、この脈動とともに液を低速度で吸引して数十秒後に完全に吸引力を喪失する現象(第2段階)が観察される。脈動が生じる範囲の第1段階でのHは、図中実直線で示すようにほぼ吸引管高さ $l_1$ に近い値であり、第2段階でのHの値は回転数の増加につれ減少する傾向を示すとともに測定値のばらつき範囲が極めて大きくなっている。また、間隔 $\delta$ が小さい場合に、上記のH-R曲線が全体として回転数の大きい領域に移動する傾向がみられた。

以上の結果から、遠心ポンプではポンプの定格回転数付近、すなわちポンプ効率が高い条件の時に、Hも高くなり(あるいはポンプ吸引側負圧が大きくなり)、それ以外の回転数では減少すること、Hが最大となる回転数は間隔 $\delta$ の減少(流路抵抗の増大)につれ増加すること、回転数が過大な領域では脈動が生じることなどが指摘できる。

4.2.2 遠心ポンプでの吐出弁及び吸引弁の開度の影響

遠心ポンプを使用するタンカーでは、吸引効果を増大させる目的で、吸引終了間近に吐出弁を絞ることが実務上実施されている。この効果を確認するため吐出

弁の開度を変化させて影響を調べた。図-8は、 $l_1 = 1.9\text{m}$ ,  $D_s = 50\text{mm}$ ,  $l_2 = 3\text{m}$ ,  $D_a = 50\text{mm}$ ,  $\delta = 36\text{mm}$ の場合について、ポンプ吐出弁EVの開度を全開-1/4開とした場合の残留液面高さHの変化を示したものである。ポンプ回転数を一定にして吐出弁を絞ると、Hは一旦増加した後減少している。また、Hが最大となる弁開度は、ポンプ回転数Rの増加につれ減少している。換言すれば、Hが最大となる回転数は弁開度の減少(管路抵抗の増加)につれ増大している。この傾向は4.2.1節の間隔 $\delta$ を減少させる場合と一致する。

図中△印で示した測定値は、ポンプ吸引弁IVの開度を減少させた場合に対応するものである。吐出弁を絞った場合とほぼ同様の傾向を示しているが、Hの値が全体的に低くなっている。吸引側を絞る場合は、ポンプケーシング内の負圧の増加で気泡体積が増し、キャビテーションが生じやすくなってポンプ性能が低下するためと考えられる。

4.2.3 遠心ポンプでの吸引側管径Ds及び管長の影響

図-9は $l_1 = 1.9\text{m}$ ,  $l_2 = 3\text{m}$ ,  $D_a = 50\text{mm}$ ,  $\delta = 36\text{mm}$ の条件下で、吸引管径 $D_s$ のみを13mm, 25mm及び50mmの三種類に変化させた場合について残留液高さHを示したものであり、 $D_s = 50\text{mm}$ の場合は前図-7と同一の測定値である。この結果によると $D_s$ の減少とともにHは全体的に値が減少している。これは、吸引弁を絞る場合と同様に、気泡体積が増大することによる影響と考えられる。一方、Hが最大になるポンプ回転数R

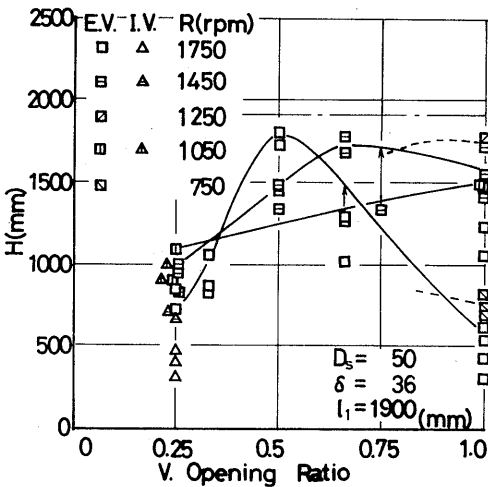


図-8 吸引管内残留液高さに及ぼす弁開度の影響 (遠心ポンプの場合)

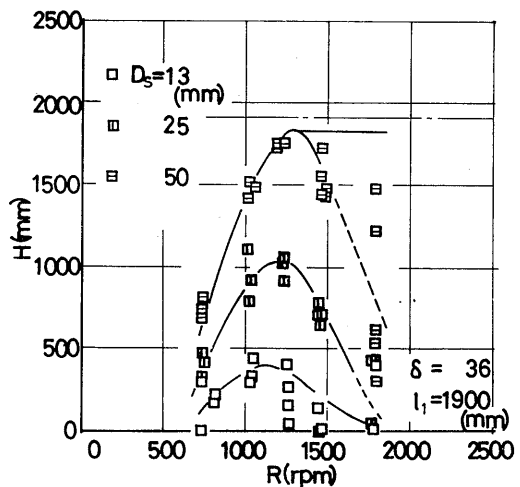


図-9 吸引管内残留液高さに及ぼす管径の影響 (遠心ポンプの場合)

の値は $D_s$ の減少につれ小さくなっている。このため、回転数を固定して管径のみを減少させると、相対的に、回転数を増加させることと同様な効果をもたらす、脈動減少が顕著な領域に移行する。4.2.1及び4.2.2節の結果から考えると、 $H$ 最大となるポンプ回転数 $R$ は管径減少（抵抗の増加）により増大すると予測されるが、上記の傾向はこれと逆になっている。負圧の増加、管径の減少が直接的に影響していると思われるがその理由は明確でない。

一方、サクシオンウェル内の残留液の水位 $h_s$ については、間隙 $\delta$ と同じ程度の値になる場合もあるが、一般には吸引端より高い水位を保つ。これらの測定値を整理して、ストレーナ及びポンプケーシング内を除く吸引側配管ならびにサクシオンウェル内の残留液量の合計 $Q_s$ を吸引管径 $D_s$ 、高さ $l_1$ に対して示したのが図-10<sup>5)</sup>である。管径が小さくなると管内容積の絶対値が減少するため、液面高さ $H$ がさほど低下しなくても残留液の総量 $Q_s$ は少なくなることがわかる。

以上の結果から、比較的残留液面位置が高い遠心ポンプの場合でも貨物タンクに最終吸引用の小径管を設けることは、残留液の絶対量を低減させるためには有効と考えられる。

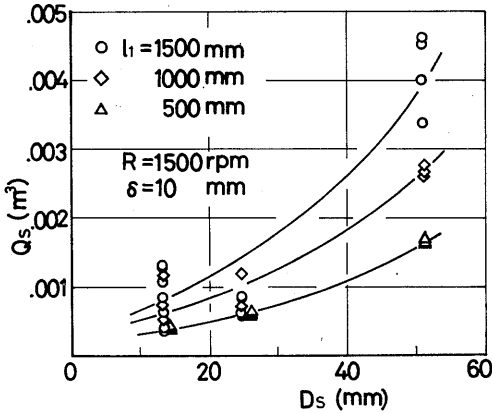


図-10 吸引側全残留液量に及ぼす管径、管長の影響（遠心ポンプの場合）

4.2.4 歯車ポンプでの吸引管径 $D_s$ 及び管長 $l_1$ の影響

図-11<sup>3),4)</sup>は歯車ポンプの場合について、残留液面高さ $H$ に及ぼす管径 $D_s$ 及び管長 $l_1$ の影響を示したものである。管径を小さくするに従って、 $H$ は単純に減少し、25mm以下では極めて小さな値になっている。前節の遠心ポンプの場合のような、脈動に伴う測定値の

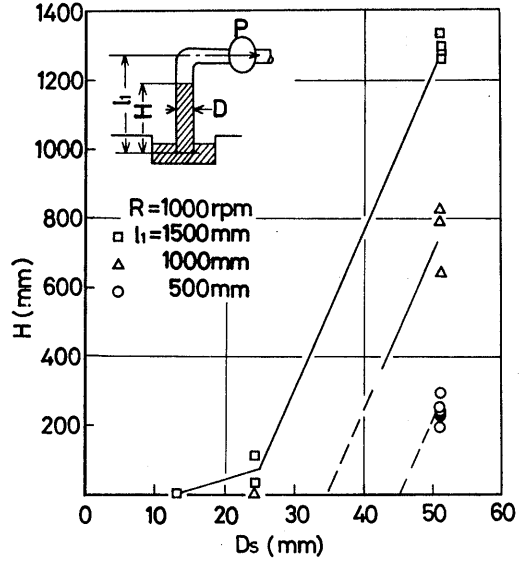


図-11 吸引管内残留液高さに及ぼす管径、管長の影響（歯車ポンプの場合）

ばらつきはみられない。管長 $l_1$ に対して、 $H$ はほぼ比例して変化している。

4.2.5 液中ポンプでのサクシオンウェル内の残留液の状況

図-12の破線および実線は、液中ポンプの場合について揚液終了直後ならびにポンプ停止後のサクシオンウェル内の水位 $h_s$ をそれぞれ示したものである。 $h_s$ の値はポンプ底面の間隙 $\delta$ によってほぼ定まっており、極低回転の場合を除いて回転数の影響はあまりない。また、ポンプ停止後にケーシング内と配管内に僅かに残留する液が戻ることによって若干増加している。

4.3 吐出管内の残留液の状況

ポンプ吐出側の残留液量に及ぼす配管構造の影響に

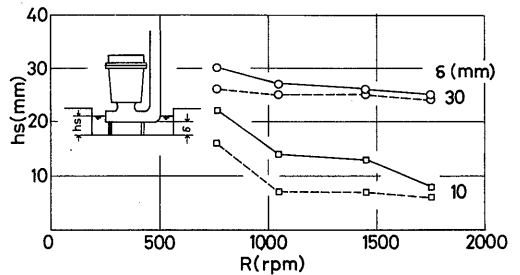


図-12 サクシオンウェル内の残留液位（液中ポンプの場合）

関してもポンプ型式によって傾向が異なり以下に述べるとおりになる。

4.3.1 遠心ポンプの場合の残留率

遠心ポンプの場合について、吸引管径  $D_s$  を 50mm, 管長  $l_1$  を 0.5m, 吐出管径  $D_a$  を 50mm とそれぞれ一定にして、吐出管垂直部の高さ  $l_2$ , 水平部の長さ  $l_3$  及び勾配  $\tau$  をそれぞれ変化させ、残留液量の計測をおこなった。吐出管内に残留する液量はその都度絶対量を測定したが、これらの値を管内容積に対する割合（残留率）として整理した。図-13<sup>5)</sup> は  $l_2$  を 1m, 3m とした場合の残留率を縦軸に、 $l_3$  を横軸にとって示したものであり、 $\tau$  の値を三種類に変化させている。図中に示すように水平管のみに注目して定義した残留率を  $\alpha$ , 垂直に限られる場合の残留率を  $\beta$  と定義して表示している。また、一点鎖線は、図-2 と同様にして求めた自然流下時の最大残留率を勾配に応じて示したものである。当然のことながら、 $\tau = 0$  の場合の最大残留率は  $\alpha = 0$  に相当する直線である。

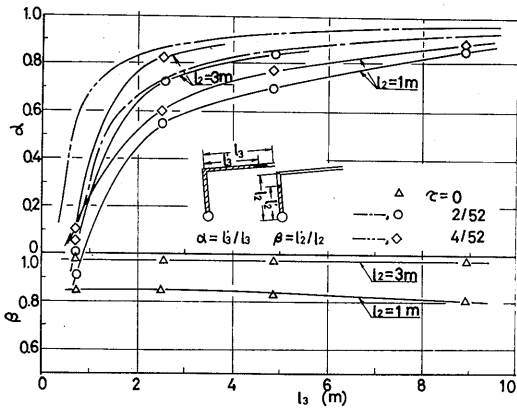


図-13 吐出管内の残留率  $\alpha, \beta$  (遠心ポンプの場合)

一方、吐出管の全容積に対する全残留量の割合を  $\gamma$  と定義し、整理し直したのが図-14<sup>5)</sup> である。水平管に傾斜がなく  $\tau = 0$  の場合には、自然流下によって  $\gamma$  が相当小さくなっているのは当然の結果である。

これらの結果から明らかなように、実際の残留率はいずれも計算による最大残留率よりも少なくなっており、遠心ポンプにおいても吸引終了時の過渡的なポンプ作用によって若干の排液効果のあることがわかる。しかし、図中の  $l_2$  が 3m の場合のように、ポンプ吐出側の水頭負荷が大きい時には、排出効果はほとんど期待できない。

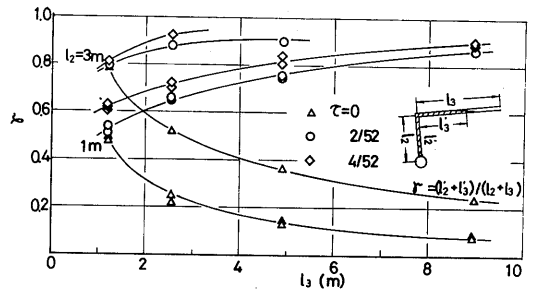


図-14 吐出管内の残留率  $\gamma$  (遠心ポンプの場合)

上記の実験条件で  $l_2 = 1m, l_3 = 6m, \tau = 2/52$  の場合が表 2-1 に示した実船例（内航ケミカルタンカー）で A 型配管の場合の約 1/3 の縮尺モデルになっている。したがって、液が清水の場合、この条件での吐出管内の残留率  $\gamma$  は 0.8 程度、 $\alpha$  は 0.75 程度と推定される。いずれにしても、遠心ポンプを荷揚げポンプとする場合には、空気吸引後にポンプを空転させても液を過渡的に排出し得る効果は限られた範囲にとどまるものと考えられる。

4.3.2 歯車ポンプの場合の残留率

図-15<sup>3),4)</sup> は歯車ポンプの場合について、吸引管径  $D_s$  を 50mm（一部 25mm）、管長  $l_1$  を 0.5m, 吐出管径  $D_a$  を 50mm とし、 $l_2, l_3, \tau$  を変化させて残留率を求めたものである。残留率  $\alpha$  及び  $\beta$  の定義、最大残留率などは前節のとおりである。また、図-16<sup>3),4)</sup> は全管内容積に対する残留率  $\gamma$  に整理し直したものである。

これらの結果から明らかなように、歯車ポンプの場合の残留率は、先の遠心ポンプの場合に比べて全体的

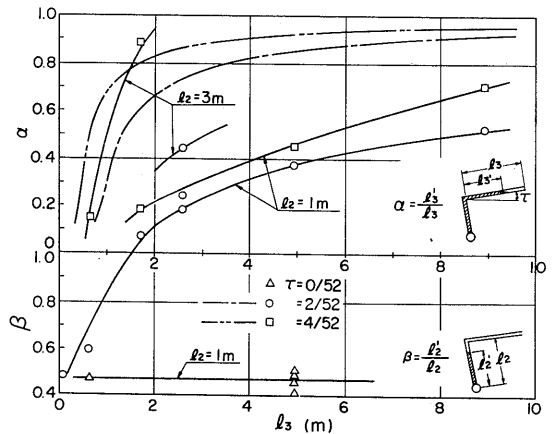


図-15 吐出管内の残留率  $\alpha, \beta$  (歯車ポンプの場合)

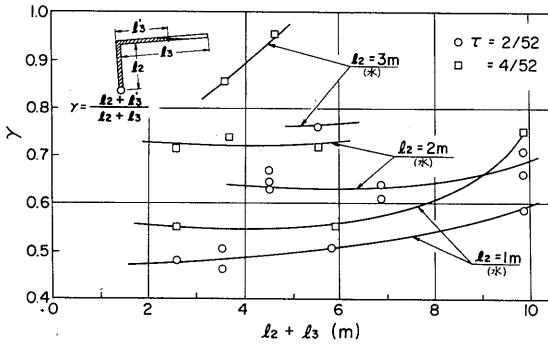


図-16 吐出管内の残留率 $\gamma$  (歯車ポンプの場合)

に値が低くなっている。遠心ポンプの場合と同様、実船 (内航ケミカルタンカー) の1/3縮尺モデルとして、 $l_2 = 1\text{ m}$ 、 $l_3 = 6\text{ m}$ 、 $\tau = 2/52$ を選ぶと、残留率 $\gamma$ は清水について0.52程度、 $\alpha$ は0.42程度となり、遠心ポンプの場合の0.8よりかなり小さくなる。したがって、この場合は空気吸引後の過渡的なポンプ作用によって管内の残留液を排出する効果がある程度保持しているものと考えられる。

4.4 液の粘性の影響

図-17<sup>3),4)</sup>は、歯車ポンプを使用し、 $l_2 = 1\text{ m}$ 及び $2\text{ m}$ 、 $D_a = 50\text{ mm}$ 、 $\tau = 2/52$ とした場合について、供試液として動粘性係数が約 $15\text{ cSt}$ のエチレングリコール及び約 $3\text{ cSt}$ のエチレングリコールと清水の等容混合液をそれぞれ用い、吐出管内の残留率 $\gamma$ を求めたものである。図中には比較のため、図-16に示した清水の場合の測定値も記入している。動粘性係数の増加につれ残留率は低下し、純エチレングリコールでは清水の場合の60~65%程度まで小さくなっており、前記の

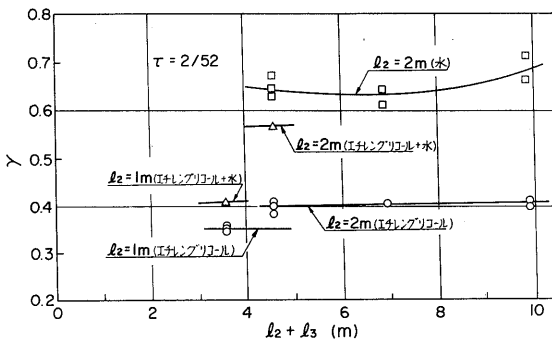


図-17 残留率に及ぼす液粘性の影響 (歯車ポンプの場合)

$l_2 = 1\text{ m}$ 、 $l_3 = 6\text{ m}$ 、 $\tau = 2/52$ の条件下では外挿値が $\gamma = 0.36$ 程度になっている。

図-18<sup>3),4)</sup>は、遠心ポンプを使用し、 $l_2 = 1\text{ m}$ 、 $D_a = 50\text{ mm}$ 、 $\tau = 2/52$ の場合について、供試液としてエチレングリコールを用いて残留率を求めたものであり、やはり比較のため図-14の清水での実測値を実線で示している。遠心ポンプの場合、液の動粘性係数の影響は歯車ポンプの場合に比べて小さい。 $l_2 = 1\text{ m}$ 、 $l_3 = 6\text{ m}$ 、 $\tau = 2/52$ の条件では $\gamma$ の値は0.86程度で、清水の場合の0.8よりむしろ若干大きな値となっている。これは、歯車ポンプでは粘性の増加がポンプ効率の向上に寄与しているのに対して、遠心ポンプではその効果が小さいためと思われるが、広い範囲の液粘性の影響については今後の検討課題と考えられる。

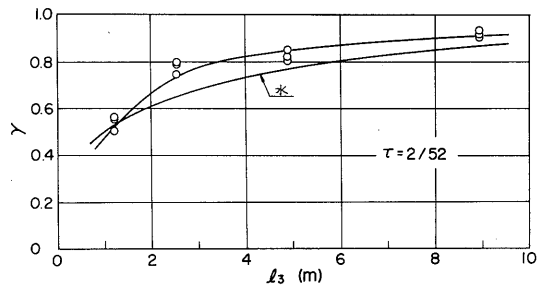


図-18 残留率に及ぼす液粘性の影響 (遠心ポンプの場合)

5. 配管系内の残留量の低減策に関する総合評価

5.1 貨物液の残留特性のまとめ

2章で述べた配管系内の残留量に関する実船調査結果ならびに4章の模擬実験結果から、ケミカルタンカー荷揚げ終了時の残留状況を整理すると次のようになる。

- (1) [残留箇所] 荷揚げ終了時においては通常、サクシオンウェル内、ストレーナ及びポンプ部、吐出管の垂直部ならびに甲板上の水平部内にそれぞれ液が残留する。また、長い垂直吸引管を有する配管型式では、この部分にも若干残留する。大型ケミカルタンカーのように液中ポンプを使用する場合には吸引管やストレーナ部は存在しないが、サクシオンウェル内の残留液が若干増加する。
- (2) [荷揚げポンプの型式による相違] 歯車ポンプなどの容積型ポンプは空気吸引後もある程度の揚液力を保持し、管出口で自然流下する場合の吐出管内残留率の他の型式のポンプより小さくなる。

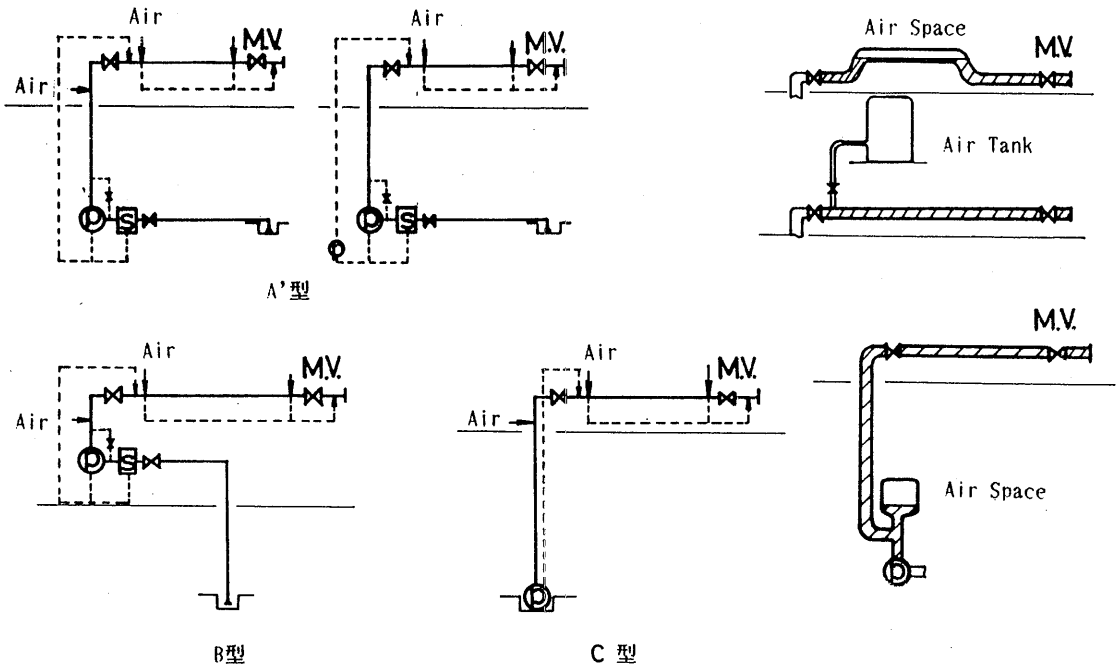


図-19 配管系内残留液量の低減策試案

遠心ポンプでは運転条件によって、空気吸引後そのままポンプ揚液力を喪失する場合と、脈動を伴いつつ若干揚液力を保持し、10～30秒間低速度で液を吸引した後喪失する場合とがあるが、いずれにしても吐出管内の残留率は大きい。また、垂直吸引管内の残留液高さは、一般的に遠心ポンプを定格以外の条件下（定格以外の回転数、吐出弁を大幅に絞る場合、吸引管を細くする場合など）で駆動すると減少する。

一方、液中ポンプは基本的には遠心型に属し、その特性もほぼ遠心ポンプに準じているが脈動減少は見られない。

(3) [配管構造の影響] 吐出管水平部内の残留率は勾配の減少につれ低下する。垂直吸引管内の残留率はポンプ型式によらず小径吸引管を用いることによって低下する。

(4) [液粘性の影響] 容積型ポンプでは液粘性が増加するにつれポンプの揚液効果が向上し、残留率は低下するが、遠心型ではこの効果はほとんどみられない。

(5) [エアパーージ操作の効果] エアパーージ操作後の吐出管水平部内の残留率は、操作条件によっては10～20

%程度以下になり得る。

(6) [実船調査と模擬実験結果との比較] 配管の出口端が自然流下状態における吐出管水平部内の残留率、垂直吸引管内の残留液面高さ、小径吸引管使用の効果ならびにトリムの影響などに関する実船調査結果は模擬実験結果と傾向がほぼ一致する。なお、エアパーージ操作の模擬実験結果<sup>6)</sup>に関しては別報で詳細に記載するが、結論的には(5)の結果と相矛盾しない。

## 5.2 配管系内残留液量の低減策（試案）の提示

配管内残留液量の低減策は配管構造や使用ポンプの型式などによってそれぞれ異なるが、図-19に概要を示すように一般的には次の事項が指摘できよう。

(1) 遠心型及び容積型ポンプの場合のサクションウェル内ならびに図中のB型配管における垂直吸引管内については、最終吸引用に25mm以下の小径管を設けること、ウェル容積を可能な限り小さくすることによって残留液量を低減することができる。

(2) 図中破線で示すように、遠心型と容積型のストレーナ、ポンプ部及びすべてのポンプ型式の吐出管垂直部と水平部の各ドレン出口に主配管とは別に25mm以下



の小径管を設け、残留液を最終浚え専用ポンプで回収するか、または空気静圧で押し出すことによってかなり効果的に残留率を低減できる。その際、容積型ではポンプ部の気密性がかなり高いため、この部分に気流用バイパスを用意する必要がある。また、水平管では勾配の状態に合わせて上記の空気供給口とドレン口的位置関係を適宜選択する必要がある。

(3) 甲板上の水平管に曲がり部が多く残留箇所の予測がつきにくい場合や、マニホールド弁の出口背圧が高くこれに抗して排液する必要がある場合などでは、一般に空気によるエアパーズ操作が不可欠である。通常、容積型ポンプではその空転による吐出力を用い、また大型ケミカルタンカーのように空気供給タンクを有する場合にはその圧力でパーズ操作を実施する。

この場合、別報で取り扱う予定の検討結果から、配管内の空気溜まりの容積が大きいほど排液効果が大きいことが指摘できるため、図中に示すように、ポンプの出口や甲板元弁付近に空気溜りが生じやすい構造を積極的に採用すると残留液量を低減できる。また、専用の空気タンクからの連続的なブローによっても当然のことながら大きな排液効果が期待できる。なお、最終浚え管内をパーズする場合をふくめ、上記の気流による吐出効果を高めるためには、管内の気流速度を例えば10~20m/sec以上に保持する必要がある。

## 6. 結 言

ケミカルタンカーの荷揚げポンプ操作に関して、配管系内の残留液量の特性を、実船調査を含めて実験的に把握し、また、その低減策について試案を提示した。

このうち、5.2節の項目(3)に示した事項に関しては、既にIMOのMEPC委員会における公式資料<sup>7)</sup>にその内容が反映されているが、さらに、大小ケミカルタンカーの実情を考慮しつつ、海洋環境保全のための諸施策に有効に活用されることが望まれる。

なお、本報告は昭和58~60年の環境庁公害防止等試験研究、総合特別研究プロジェクトの一環として実施

されたものであり、その内容は文献<sup>8),9),10)</sup>(環境保全成果集)に詳細に記載されていることを付記する。

## 7. 引 用 文 献

- (1) 海洋汚染防止の調査研究事業報告書—ばら積み有害液体物質の調査研究—, 日本海難防止協会, (1984), PP.66~83.
- (2) 有害液体物質の排出方法及び設備に関する調査研究報告書, 日本造船研究協会, 研究資料 No.146R (1985), PP.143~162.
- (3) 海洋汚染防止の調査研究事業報告書—ばら積み有害液体物質の調査研究—, 日本海難防止協会, (1982), PP.37~50.
- (4) 植田靖夫, 山口勝治, 山之内博, “ケミカルタンカーの荷揚げ後の船内貨物残量について”, 日本船舶機関学会第32回学術講演論文集, (1982.10), PP.103~106.
- (5) 海洋汚染防止の調査研究事業報告書—ばら積み有害液体物質の調査研究—, 日本海難防止協会, (1983), PP.22~33.
- (6) 山口勝治, 山根健次, 綾威雄, 植田靖夫, 波江貞弘, “ケミカルタンカーの荷揚げ後の管内残留貨物量の低減について”, 日本船舶期間学会第38回学術講演論文集, (1986.5), PP.43~46, 船舶技術研究所発表会講演集, (1986.11), PP.165~168, 169~172.
- (7) IMO, MEPC 委員会資料, (1985.12).
- (8) 沿岸海域の汚染防止に関する総合研究, 環境保全成果集, (1984), 環境庁企画調整局研究調整課編, PP.99・1~9.
- (9) 海洋の汚染防止に関する総合研究, 環境保全成果集 (1985), 環境庁企画調整局研究調整課編, PP.96・1~15.
- (10) 海洋の汚染防止に関する総合研究, 環境保全成果集 (1986), 環境庁企画調整局研究調整課編, PP.87・1~18.