

港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 686 Sept. 1990

操船シミュレーターの航路計画評価への適用

早 藤 能 伸
村 田 利 治
根 木 貴 史
中 島 大

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. ま え が き	3
2. 船舶の運動性能とシミュレーション実験の手順	4
2.1 船舶の運動性能	4
2.2 操船シミュレータの概要	5
2.3 シミュレーターによる実験の手順	7
3. 航路計画への適用例	8
3.1 呉 港	8
3.2 川 崎 港	13
3.3 コロンボ港	21
4. シミュレーションによる航路計画手法の検討	26
4.1 実験の目的	26
4.2 実験の方法	26
4.3 実験結果	28
5. ま と め	41
6. あ と が き	41
参 考 文 献	41

An Application of Ship Maneuvering Simulator to Port & Harbor Planning

Yoshinobu HAYAFUJI*
Toshiharu MURATA**
Takashi NEGI***
Futoshi NAKASHIMA***

Synopsis

In the case of port & harbor planning, the studies were not been enough progressed, from the view point of ship handling safety, to design or to layout the facilities such as water ways and break waters. Now a days, a ship maneuvering simulator that has high accuracy has developed and is available to apply for port planning.

In this paper, some case studies of practical application of ship handling simulator for port & harbor planning were introduced. And the experiments of elementary ship handling in a ideal port were also reported. Major results are as follows;

- 1) A ship amneuvering simulator is very useful to estimate or to evaluate a port & harbor planning.
- 2) The procedures for evaluation were cleared through carrying out the case studies of ship handling simulations under actual weather conditions.
- 3) The width of ship trajectory meander, lee way and average rudder angles were obtained by elementary ship handling simulations.
- 4) When the conditions were severe, the ship motion were unstable. Therefor the number of experiments should be sufficiently big to obtain the characteristics of ship motions or to evaluate the port planning for ship navigating safety.

Key Word: Port planning, Water Way Planning, Ship Maneuvering Simulator, Ship Handling Experiments

* Senior Research Engineer, Planning & Design Standard Division
** Former Chief of Systems Laboratory, Planning & Design Standard Division
*** Former Member of Syntems Laboratory, Planning & Design Standard Division

操船シミュレーターの航路計画評価への適用

早藤能伸*
村田利治**
根木貴史***
中島大****

要 旨

航路幅、水深、屈曲部曲率半径、航路形状といった水域施設の設計法については、従来から例えば構造物等の設計法などに比べて明確でないという批判があった。これらについて解明するためには操船シミュレーターの利用が期待されている。

本報告では、操船シミュレーターを利用して実際の計画等に適用してきた事例について報告するとともにこの過程において得られた、シミュレーターの水域施設計画への適用方法、そして、大型船のいくつかのタイプの船に関する基本的な操船の実験結果について報告する。

実際の計画への適用例と実験の結果から得られた主な結論は、以下の通りである。

- 1) 具体的な水域施設計画において、操船上の安全性からの検討を実施する方法として操船シミュレーターを利用する方法は、施設に対して適切な評価を与えることが出来る有用な方法である。
- 2) マン・マシンシステムである操船シミュレーターを利用する場合の実験・評価方法の手順について明らかにすることが出来た。
- 3) 外力の影響を大きく受けるため操船が難しいと言われるコンテナ船、バルクキャリアー、自動車専用船について、特定の航行条件のもとでの直針時及び変針時の蛇行幅、横流れ角、使用舵角等を求めることができた。
- 4) 設定された条件が極めて厳しい場合は、操舵・機関の使用発令の僅かな時間遅れが大きな相違結果として現れることが分かった。したがって、定量的な評価を得ようとするならば統計的に処理できるよう実験数を増やさなければならない。

キーワード：港湾計画、航路計画、操船シミュレーター、操船実験

1. ま え が き

港湾の施設の技術上の基準・同解説¹⁾によれば、航路、泊地、ターニングベースン等の水域施設の設計にあたっては、対象船舶の諸元、施設の利用の状況及び気象・海象の特性を考慮し、船舶の安全で円滑な航行が確保されるよう設計することとなっている。例えば、比較的長い往復航路で交通量が著しく多い場合、その航路幅は最大対象船舶の全長の2倍を標準とし、交通量が著しく少ない場合は、同1.5倍とする(図-1参照)、航路法線はできるだけ直線とし、屈曲部の航路法線の交角はできるだ

け30度以内とし、30度を超える場合は隅切りをとることが望ましい(図-2参照)、そして水深については最

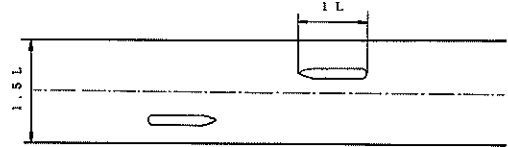


図-1 比較的長い往復航路で交通量が多くない場合の標準的航路幅

* 計画設計基準部 主任研究官
** 前計画設計基準部 システム研究室長 (現第一港湾建設局新海機械整備事務所長)
*** 前計画設計基準部 システム研究室 (現第三港湾建設局企画課)
**** 前計画設計基準部 システム研究室 (現第四港湾建設局熊本港工事事務所)

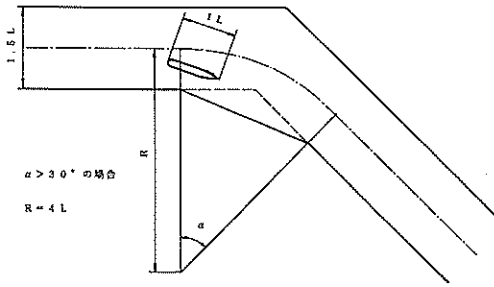


図-2 航路幅が 1.5 L の航路屈曲部の隅切り

大対象船舶の満載喫水の 1.1 倍以上で、船舶の動揺等の余裕を見込む深さとする、等である。

これらの算定方法は、具体的な数値により定められているものの、適用の条件として一部あいまいな表現が使われており、そのため適用の範囲が不明確になっている。例えば、“比較的距離が長い”航路、船舶どうしが“頻繁に”行き合う航路、通行量の“著しく多い”航路、通行量の“激しい”航路、“無理の生じない”操船等である。こうした表現が使われているのは、船舶の安全な航行が確保されるということに関して、工学的に十分解明されていないため算定方法としては抽象的で幅のある表現で規定せざるを得ないものと考えられる。実際上にも、省エネルギー船や、大型コンテナ船、PCC船等は従来の船に比べ風の影響を強く受けるものや操縦性能が悪く、画一的な水域施設の設計法では対応できない場合も少なくない。そして、このような事情からもあいまいになっている設計法を補うように、操船上問題が多い航路、港口部、ターニングベースン等の施設の計画にあたっては、運航者、パイロット等の船舶関係者の意見を聴取する必要がある、とされている。

水域施設の設計手法には、船舶交通という自然条件の影響を強く受け、また、人間の判断・操作が介在する操船上の安全性の評価が含まれる（且つその評価が非常に難しい）ため、これらの一連の技術はまだ確立されていない。しかし、近年になって大型船の入出港の安全性確保の要請とシミュレーション技術の向上により船舶の操船シミュレーターを利用する水域施設の計画への応用が試みられるようになってきた²⁾

本報告では、港湾技術研究所に設置されている操船シミュレーターを用いた、港湾計画への具体的な適用事例について述べるとともに、最近実施した基本的な操船に関するシミュレーション実験結果について報告する。

2. 船舶の運動性能とシミュレーション実験の手順

2.1 船舶の運動性能

大きな船の運動は、元々動作が極めて緩慢であると同時に一度動きだしたらなかなか動作が止まらないという特性があり、さらに操船の操作発令後、船が応答するまで時間の遅れがあるため、大型船の操船は非常に難しいといわれている。また、肥大船などでは、針路不安定性のあるものもみられ、舵角の領域によっては操舵応答のヒステリシス特性により、取っている舵の方向と反対方向の回頭を示すものがある。船の運動は、船種船型による違いはもとより、個々の船ごとの運動性能の違いのほか、載貨状況、航路水深により運動特性が著しく変わり、また、自然条件の影響を強く受ける。

従来から、船の運動性能を表す指標として、

- (1) 旋回半径、旋回縦距、旋回横距
- (2) 停止距離
- (3) 旋回性指数 K 、操縦性指数 T
- (4) 不安定ループ幅

がよく使われている³⁾。これらの指標のうち、旋回半径等は旋回 TEST から求められ（図-3）、 K 、 T 指数及び不安定ループ幅は⁴⁾ Z-テスト及びスバイラルテスト等の操船実験から計算される（図-4）。 K 、 T は、旋回運動をモデル化した野本の一次式 $T\ddot{\psi} + \dot{\psi} = K\delta$ におけるパラメータで、それぞれ定状態時の旋回性能と旋回を始めてから定状態になるまでの時間的特性を表

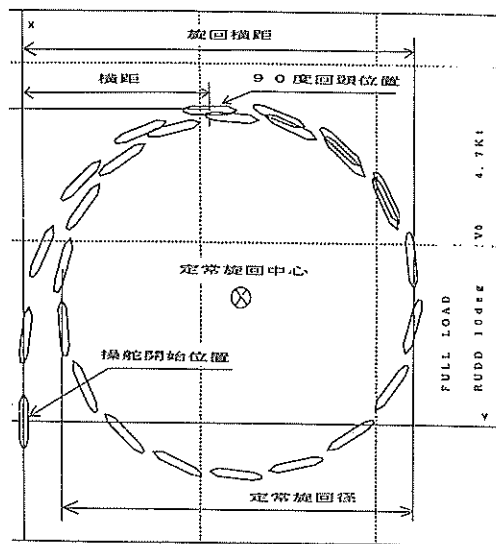


図-3 旋回テスト

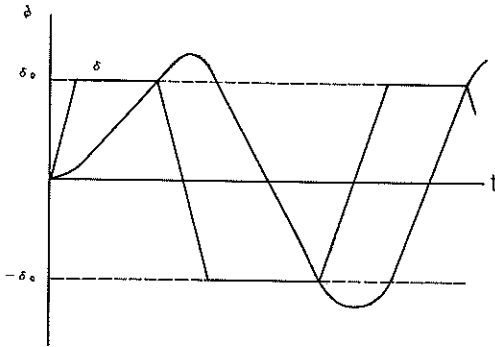


図-4 Z-テストの操舵

す。

通常、これらは深水時でのデータであるが、港湾内での実際の航行環境のもとでは、いわゆる浅水影響が現れ上記の船舶性能指標は、見かけの値が変わってくると予想される。どの程度の変化があるかを5タイプの大型船についてシミュレーターモデルにより実験した結果を表-1に示す。これによると旋回横距は比喫水水深が1.10の場合、深水時の1.8倍にもなり、港湾内では操船性能が著しく低下することが分かる。

船舶の運動は、気象・海象条件によっても大きな影響を受ける⁵⁾⁶⁾。図-5は、ファーストタイムシミュレーションにより求めた。定常風を受ける船が針路を保持するために必要な横流れ角及び保針舵角を風速をパラメータにとって図示したものである。この図から港内操船でよく使われている速力4ノット以下では、15 m/sの横風を受けるときには、針路を維持するための平均保針舵角が15度にもなり、本来の保針舵角を15度程度とすれば不測の事態に備えなければならない余裕舵角が殆ど残っていないことが分かる。

このように船舶の運動は、実際の航行環境により著しく異なった結果示すことになる。航行中は自然条件や水深等の場合は常に変化しており、加えて操船者による操船特性の違いが運動特性を一層複雑なものとしている。このような理由からこの複雑な現象を解析する手段として、船舶の動きについて実際の状況にきわめて近い条件を実験施設により再現し、実際の航行状況を予測する方法が考えられてきた。この道具が操船シミュレーターである。

2.2 操船シミュレーターの概要

特に港湾内での操船の安全性を研究することを主たる目的として開発された操船シミュレーターとしては、広島大学出入港操船シミュレーターの例がある⁷⁾。当所の操

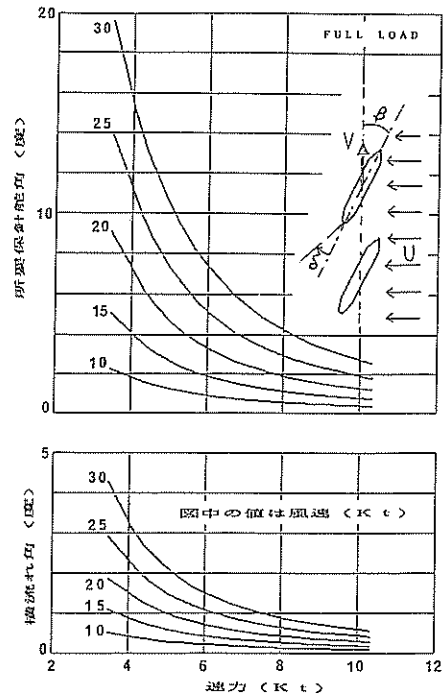


図-5 横風圧力を受ける場合の保針舵角および横流れ角

船シミュレーターもほぼ同様で港湾区域内での操船実験による港湾施設計画のための応用研究を目的としており、これが導入されたのは1984年で現在まで既に6年が経過している。その間、幾多の改良を行い、対応できる船舶モデルもバルクキャリアー、自動車専用船、コンテナ船等充実させると同時に、基礎的な実験を実施し、また実際の港湾計画あるいは海上交通の事前評価等に利用してきた。以下に当所のシミュレーターの概要を記す。

シミュレーターは1)制御・計算部、2)操作・計器表示部、3)画面表示部、4)記録部、5)解析部の5部より構成されている。

計算部のモデルについては、船舶運動モデルには応答モデルと流力モデルが知られているが、⁸⁾当所のシミュレーターでは外乱をとりいれやすい後者のモデルを用いている。考慮されている外力としては、

- 1) 風圧力
- 2) 波圧力
- 3) 潮流力
- 4) 浅水影響
- 5) バンク影響

RUDDER= 0-20(2) COURSE= 0-5(1) SOKUDO= 2-12(2) WIND= 10-30(5)

表-1 水深(h)による施回径(最大縦距(max advance)・横距(max transfer))の変化
20k-BLK(d=11m)

h (m)	h/d	R/R0	max advance	max transfer
11.55	1.05	3.64	5.06	8.9
12.1	1.1	3.41	4.82	8.35
13.2	1.2	2.99	4.43	7.34
14.3	1.3	2.74	4.21	6.75
15.4	1.4	2.57	4.07	6.35
16.5	1.5	2.46	4.0	6.12
22.0	2.0	2.26	4.0	5.66
35.0	3.0	2.20	4.0	5.57

46k-CHP(d=10m)

h (m)	h/d	R/R0	max advance	max transfer
10.5	1.05	4.31	5.19	8.95
11.0	1.1	3.93	4.83	8.18
12.0	1.2	3.44	4.38	7.19
13.0	1.3	3.04	4.04	6.39
14.0	1.4	2.79	3.85	5.89
15.0	1.5	2.62	3.71	5.55
20.0	2.0	2.30	3.56	4.96
30.0	3.0	2.20	3.56	4.78

50k-CNT(d=13m)

h (m)	h/d	R/R0	max advance	max transfer
13.65	1.05	4.98	5.12	7.85
15.6	1.2	3.76	4.12	6.14
16.9	1.3	3.30	3.77	5.48
19.5	1.5	2.76	3.38	4.69
26.0	2.0	2.34	3.17	4.08
39.0	3.0	2.19	3.19	3.89
65.0	5.0	2.17	3.19	3.89

50k-PCC(d=9.5m)

h (m)	h/d	R/R0	max advance	max transfer
9.97	1.05	4.87	6.09	10.11
10.45	1.1	4.34	5.55	9.06
11.4	1.2	3.69	4.91	7.98
12.35	1.3	3.27	4.52	6.96
3.0	1.4	2.95	4.24	6.32
14.25	1.5	2.73	4.06	5.90
19.0	2.0	2.33	3.81	5.12
28.5	3.0	2.20	3.81	4.88

60k-BLK(d=12.5m)

h (m)	h/d	R/R0	max advance	max transfer
13.125	1.05	3.01	3.2	5.4
13.75	1.1	2.85	3.11	5.12
15.0	1.2	2.63	2.97	4.73
16.25	1.3	2.48	2.89	4.49
17.5	1.4	2.41	2.87	4.37
18.75	1.5	2.35	2.84	4.28
25.0	2.0	2.21	2.84	4.07
37.5	3.0	2.20	2.84	4.07

6) タグバク(同時に最大5隻まで扱うことができる)等があり、これらは同時に考慮される。船舶運動の計算は、1秒毎に行っている。

船橋に相当する操作・計器表示部にはジャイロレピーター、主機関回転計、舵角計、速度計、風向風速計等航海計器をはじめ、エンジンテレグラフ、舵輪(回転ツマミ)等の装置及び実験制御用の計器と共に装備されており、実船に近い制御卓になっている。

シミュレーターの再現性を大きく左右する画面表示部は、コストの面から大幅に簡略したものになっている。すなわち、20インチのカラーディスプレイ1台で水平画面角約70度前後のブリッジ前方景観を表示している。画面表示部を当初の平面画像のみの表示から、船橋からの景観も表示されるようにし、且つ、視線の方向や平面及び景観の切り替えが可能であり、これらをダイナミックに変えられるように改良した。本シミュレーターでは、他船を航行させることも可能で、同時に複数の他船をそれぞれ所定のコースに沿って航行させることが出来る。画面の更新は、2秒毎に行っている。

実験に関する操船者の所感が正確で完全な操船の情報をもとにして行われるよう、実験後直ちに航跡図及び操船記録が図面に出力されるようになっている。

操船シミュレーターの外観を図-6に示す。

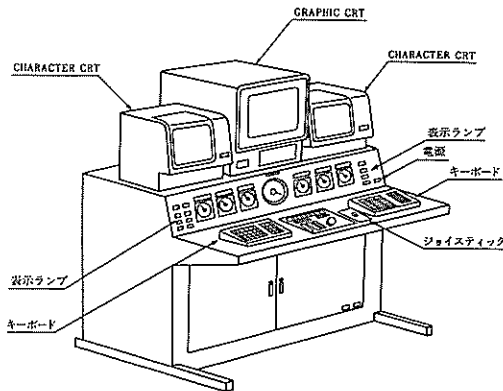


図-6 操船シミュレーターの外観

2.3 シミュレーターによる実験の手順

現在まで実施してきたシミュレーション実験としては、マブタプット港港湾計画(タイ国)、呉港港湾計画、東京湾横断道路建設計画、横浜港港湾計画、川崎港港湾計画、コロンボ港港湾計画(スリランカ国)等がある。こ

れらの実験の評価対象、評価方法は少しづつ異なる。例えば評価対象としては、計画された航行環境条件で、想定される自然条件のもとで対象船舶が安全に出入港可能であるかを検討するもの、港湾区域に隣接する海域を含めた航路等において6-12ノット程度で航行する場合の多数の船舶のふくそう状況における航行の安全性ならびにルートについて検討するもの、入出港時の操船安全性について外郭施設、水域施設の諸元、形状からだけでなく航行援助施設、交通管制を含めて検討対象とするもの等である。何れの場合でも、操船上の安全性の検討はマンマシンシステムとして評価する必要があり、上記の実験と評価方法の手順は、以下の過程により実施されてきた。

まず、港湾計画あるいは水域施設計画等の計画案に基づいて、幾つかの具体的な代替案が提示され、シミュレーターで検討する事項が明確にされる。この場合、代替案のなかには施設の計画案、自然条件だけでなく、標準操船・操船計画の検討、航行補助施設の使用条件あるいは航行管制といったソフト面に関する設定条件等が含まれることもある。

つぎに、上記の検討すべき項目を受けてシミュレーションの実施サイドから船舶の条件、操船の条件、航行の場の条件、視界の条件、自然条件その他の条件を整理すると共に実験ケースを決定し、必要なデータを収集した後所定のフォームにしたがって入力データを作成する。

これらの準備が全て整った段階で、大型船の船長あるいは職業パイロット等有資格者による操船実験を実施する。シミュレーションはリアルタイムで行われるので、一日当たり4ケースから6ケース見当で実施される。操船者は、1ケース毎あるいは数ケース毎に実験結果について、実験中のメモをもとに操船上の問題点あるいは航行安全面からの所感、施設や航行管理その他についての意見等を逐次整理し記録する。これとは別に実験中の全ての操船操作及び操船の結果としての船舶運動は、磁気テープに記録し、シミュレーター解析部を使用して航跡図及び操船・船舶運動記録図(タイムヒストリ図)を作成する。

最後に、施設の代替案毎の操船の安全性、問題となる場所と対応策の検討あるいは自然条件に関する限界条件に関する検討といった個別評価が行われる。さらに、必要によっては、全ての関係者からなる検討委員会等により計画の総合的な評価が実施される。

図-7は、以上の手順を図で表したものである。

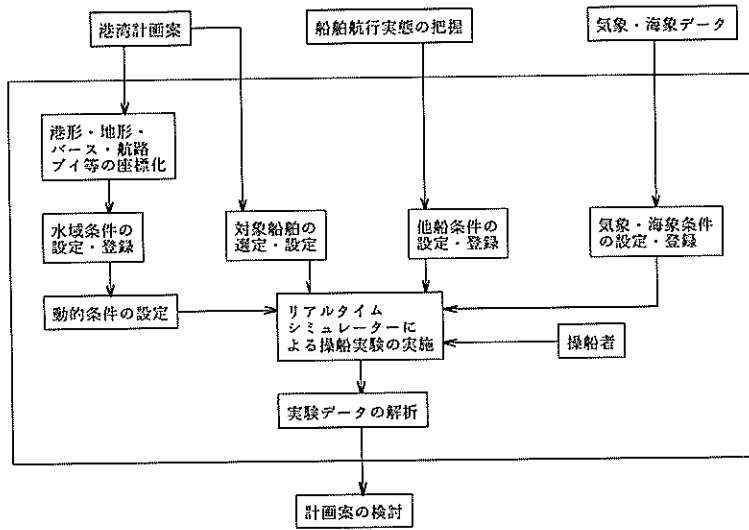


図-7 操船シミュレーターを利用する場合の実験・解析の手順

3. 航路計画への適用例

3.1 呉 港

呉港は、広島湾の東側入り口に位置する港で、主要品目として鉄鋼、造船、機械類を取り扱っている。この実験では、呉港広東大川地区専用埠頭計画において、計画対象船舶の入出港時における船舶挙動について操船シミュレーターによる予測調査を行い、入港船舶の操船の安全性の検討を行ったものである。

水域条件は、図-8に示す通りで、計画水域施設の主要要目は、航路幅150m、水深11m、航路長2.5kmの直線航路、水深12mの岸壁前面の回頭水域、及び水深13mの檢疫錨地となっている。

操船のコースは、入港の場合本船は檢疫錨地で針路をW方向に取り潮待ち停泊後、航行入口に向けて大回頭をしつつ航路に進入する。航路入り口付近での船速は6ノットとする。航路通過後は、船回し場で左舷付き入船着岸または右舷付きドルフィン係留となっている。着棧前面では、速力を1ノット以下に落とすものとする。出港の場合は、解らん後、船回し場まで後進し、そこで回頭して直線航路に入り出港することとした。

実験に当たっては、計画対象船舶と同一船舶モデル(46,000 DWT級チップキャリアー)を準備し、専門の関係者による本船の操船と同じ方法で実施した。対象船舶の主要諸元を表-2に、機関回転数と速力の設定を図-9及び表-3に示す。

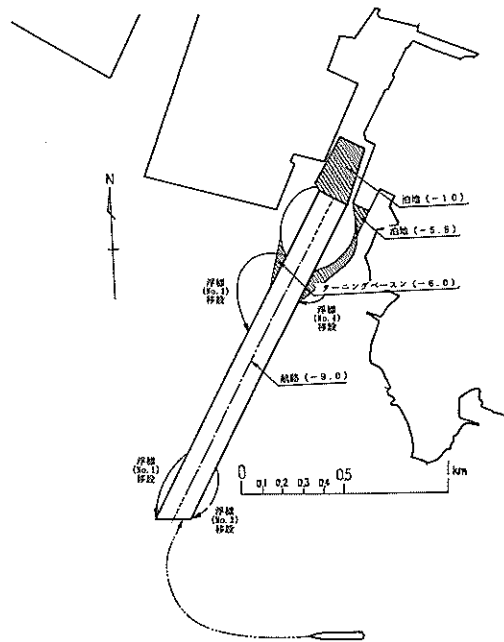


図-8 呉港(広区)入出港操船の水域条件

実験のケース選定は、以下の事項に留意した。すなわち、入港操船においては、航路直進時本船が針路不安定になり易い外乱を設定する。潮流は、場所により大きさと方向が変わり、また、水深は場所により変わるがそれ

表-2 対象船の主要諸元

船種：46,000 DWT 級チップ船
 載荷状態：入港状態

垂線間長	187.0 m
型幅	32.2 m
型深さ	m
喫水	10.0 m
方形係数	0.802
トリアム	0.0 m
排水量	49,500 ton
プロペラ翼数	4
プロペラ直径	6.6 m
舵面積積	28.0 m
舵面積比	1/66.8
風圧正面積	550 m ²
風圧側面積	2,660 m ²
主機形式	ディーゼル
主機馬力 (MCO)	8,150 HP
主機回転数 (MCO)	92 rpm

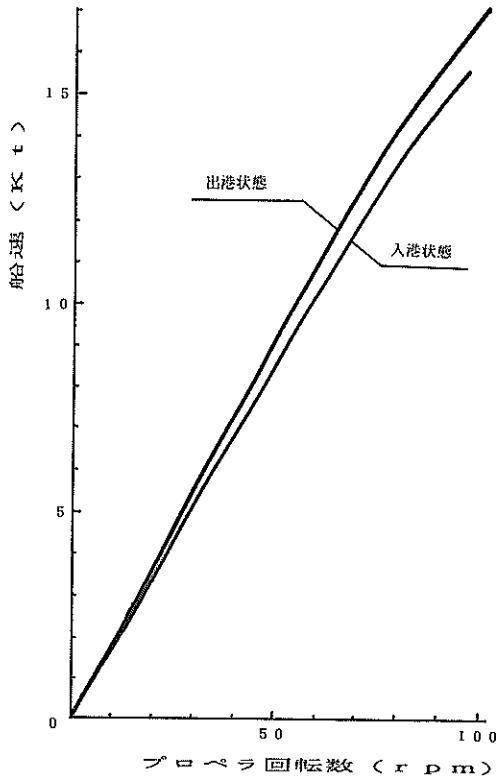


図-9 対象船のプロペラ回転数と船速の関係

表-3 自船速力と設定主機回転数

	入 港		出 港	
	knots	RPM	knots	RPM
N. FULL	14.3	= 86	15.1	= 86
FULL	9.6	= 56	10.4	= 56
HALF	8.1	= 47	8.7	= 47
SLOW	6.7	= 38	7.0	= 39
D. SLOW	5.2	= 30	5.4	= 30
STOP	0	= 0	0	= 0

それぞれ正確な値を設定する。本船の入港制限風速は 8 m/s である。出港操船においては、直線航路に入るときタグを切り離し、本船のみの操船で出港する。軽荷喫水のため、浅水影響は殆どないので、水深は一定値とする。波と潮流は無視できる。風は最も針路不安定となる向きを考慮する。以上のことを考え合わせ最終的に次の 4 ケースの実験を実施することとした。すなわち入港を 2 ケース出港を 2 ケースとし、それぞれドルフィン及び栈橋着岸、離岸とした。これらに対応して具体的に入力した設定データを表-4 に示す。なお、タグの綱取り位置等は、ケース毎に図-10 に示す位置とした。この場合、タグ推力はタグの機関設定に応じそれぞれ、FULL 25 トン、HALF 20 トン、SLOW 10 トン、D. SLOW 5 トンとした。ただし、船首に付けるときはこれらをそれぞれ 20、15、8、4 トンにした。

実験は 1988 年 3 月 24 日、5 名の実験チームにより約 5 時間半にわたり実施された。なお、本実験に入る前に、シミュレーターの操船感覚の実船との対応及び将来入港予定の大型船の運動特性を把握するため、予備実験を行った。実験結果の解析図面例を図-11、図-12、図-13 に示す。

実験及び解析結果は、以下の通りである。CASE-1 は入港操船結果で、初め船は北緯 34 度 12 分、東経 132 度 36 分の位置から東方に 1500 m の地点に停泊しており、ここから船首方向を W に向けてスタートした。4 分後、速力が 2.2 ノットになった段階で転舵を開始し直線航路に向けて 120 度の大変針を行うため、5 分後には 30 度の転舵をしている。12 分 30 秒後には、航路標識 NO.1 ブイと NO.2 ブイの間を通過し約 20 分後には速力を 0.6 ノットまで減速し船首方向を 14 度に保持して目標のドルフィンの前面に到着した。

CASE-2 も入港操船であるがこの場合は到着目標がドルフィンの西側 150 m に位置する栈橋であり、また、風速は CASE-1 の 8 m/s から 12 m/s に大きくなっている。このため、120 度の大変針は困難と予想され

表-4 (a) シミュレーション設定条件 (入港操船)

環境条件	
甲板	13 m
ドルフィン	3 * 80 * 10 m
栈橋	3 m
ブイ	4 コ
リーディングポイント	2 点
煙突煙突	105 * 10 m
気象海象条件	
風	225 度
潮流	240 度, 0.5 ノット
	295 度, 0.5 ノット
波	無し
水深	13 m (泊地)
	11 m (航路内)
	12 m (岸壁前)
初期条件	
出発位置	X = 0.0 m
	Y = 1,500 m, 900 m
針路	270 度, 30 度
初速	0.0 ノット, 7.5 ノット
目の高さ	24.5 m

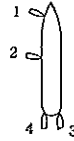
表-4 (b) シミュレーション設定条件 (出港操船)

環境条件	
甲板	17.5 m
ドルフィン	3 * 80 * 10 m
栈橋	5 m
ブイ	4 コ
リーディングポイント	2 点
煙突煙突	107 * 10 m
気象海象条件	
風	45 度
	8 m/s, 12 m/s
潮流	無し
波	無し
水深	10 m (岸壁前)
	09 m (航路内)
	11 m (沖)
初期条件	
出発位置	X = 2,210 m, 2,250 m
	Y = 1,580 m, 1,510 m
針路	21.0 度
初速	0.0 ノット
目の高さ	29.0 m

タグ推力 (t)

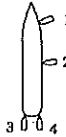
	全速	半速	微速	最微速
船首	20	15	8	4
船首以外	25	20	10	5

CASE-1



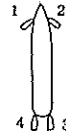
但し、タグ-1、タグ-2を使用しなかった。

CASE-2



CASE-2-1

CASE-3



但し、タグ-3を使用しなかった。

CASE-4



但し、タグ-2を使用しなかった。

図-10 タグ推力と実験ケース毎のタグポジション

直線航路へは無変針で進入し、このケースの検討項目は強風下に於ける航路での針路安定性と栈橋着岸の難易の程度の検討とした。初速 7.4 ノットで航路に入り保針操船を行いつつ漸次減速し、10 分後に速力を 3.1 ノットまで下げ栈橋前方数 L まで接近したが、潮流変化地点が遅れたため着岸体勢をとるに到らなかった。このケースからは初めの 10 分だけを読み取るものとする。CASE-2 の栈橋着岸操船の検討についてやり直しをするため CASE-2 の 7 分経過後をスタートとする CASE-2-1 を実施した。このケースではスタート 2 分後には航路標識 NO.3 ブイと NO.4 ブイの間を速力 3.6 ノットで通過し、強風化にもかかわらずタグを巧みに操ることにより 13 分後には速力 0.1 ノットで栈橋前面に到着することが出来た。

CASE-3 と CASE-4 の 2 ケースは出港操船でその操船パターンが入船繋ぎ出船回頭であるため、後進、

CASE-1 (ENTRANCE)

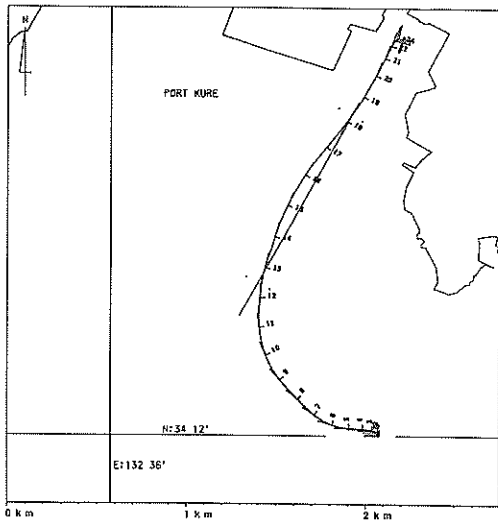


図-11(a) 呉港入港操船シミュレーション航跡図

CASE-2-1 (ENTRANCE)

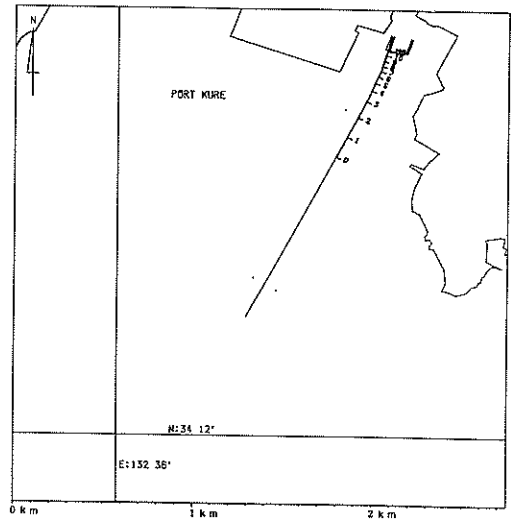


図-11(b) 呉港入港操船シミュレーション航跡図

CASE-3 (DEPARTURE)

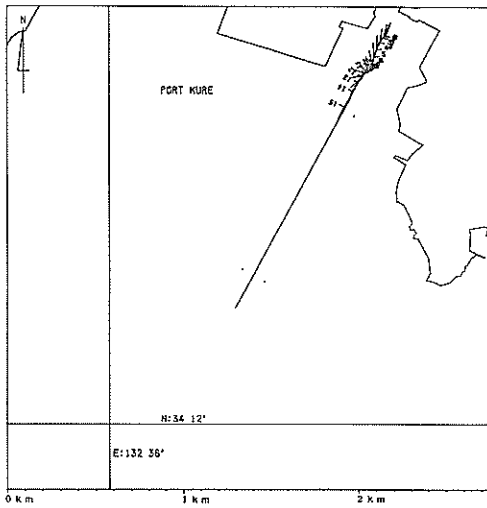


図-12(a) 呉港出港操船シミュレーション航跡図

CASE-4 (DEPARTURE)

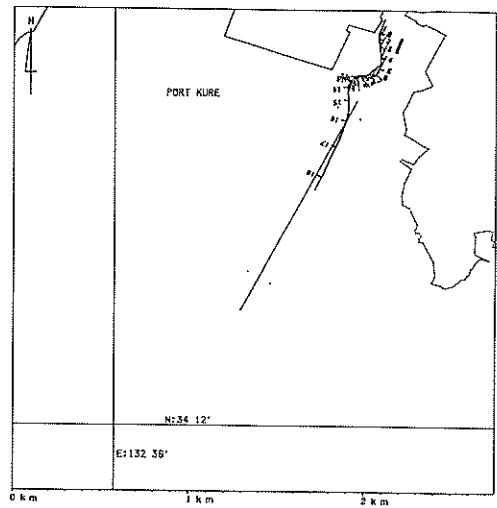


図-12(b) 呉港出港操船シミュレーション航跡図

CASE-1 (ENTRANCE)

SHIP TYPE 46000DWT CHIP CARRIER
 CONDITIONS
 **WIND 8m/s 225deg
 **CURRENT 0.5knot 240deg

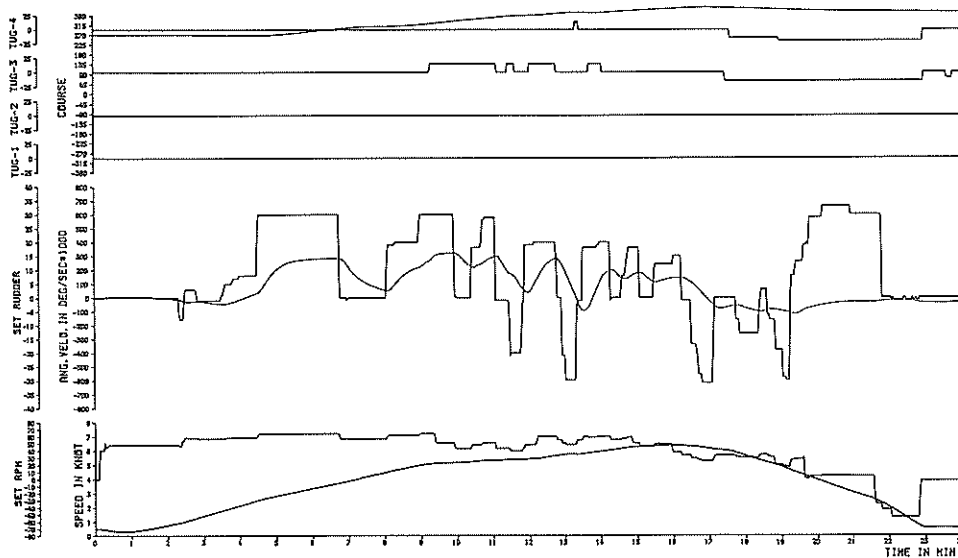


図-13(a) 入港操船記録および船舶運動タイムヒストリ

CASE-4 (DEPARTURE)

SHIP TYPE 46000DWT CHIP CARRIER
 CONDITIONS
 **WIND 12m/s 45deg

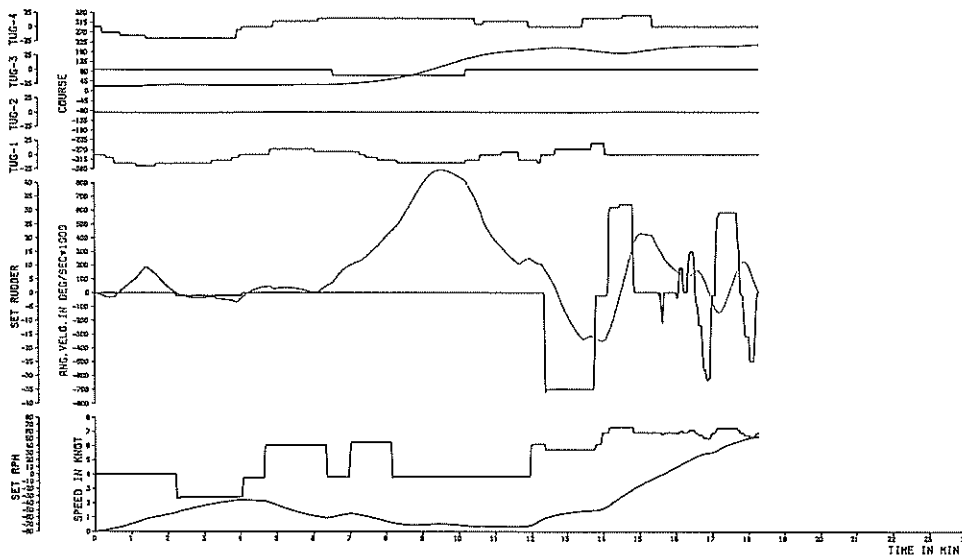


図-13(b) 出港操船記録および船舶運動タイムヒストリ

回頭、前進というプロセスが採られている。CASE-3は、ドルフィンからの離岸出港で海象条件としては潮流は無く風だけが8m/sあってNEの方向から吹いている。本船は解らん後、ドルフィンの前面約数10mに位置する地点からスタートし、タグによる後進と回頭力をつけ、約6分後には機関前進、左大転舵を行い、タグ2番、タグ4番を使いながら船首方向を航路標識NO.3, NO.4ブイ間に向け、最終的には約15分後にこれらの間を通過したところで操船を終了した。CASE-4は、栈橋からの出港で、風は、CASE-3の8m/sに対し12m/sと強くなっている。このため、回頭時に風によって大きく流されると予想され、これを打ち消すように初めの後進を斜め後方に向けている。離岸12分後に回頭を終え、そのあとは主機関により前進し15分30秒後には速力3.9ノットで航路標識NO.3ブイとNO.4ブイの間を通過した。

実験後の操船者及び実験立会い者による検討結果とこれらの解析結果から呉港の操船実験結果について概ね次のようにまとめることが出来る。

- 1) 自然条件は、各ケースとも入港制限以上の厳しい条件を設定して実験した。
- 2) 入港操船については、入出港の制限条件である風速8m/sのもとで潮流0.5ノットという設定条件であったが、タグを使用することにより入港が可能であった。
- 3) 出港操船については、特に問題となるところはなく、入港操船に比べると容易に出港出来た。
- 4) 入港が計画されている大型船の運動は、現状の船舶より動きが鈍く、また旋回半径も大きくなると予想される。したがって、操船操作もこれに対応した方法が必要であろう。
- 5) 安全航行の確保のために、操船者の意見が反映された航路標識等が完備されることが望ましい。

3.2 川崎港

川崎港の貨物取扱量は1987年現在年間9000万トンにもおよび、首都圏の経済活動に重要な役割を果たしている。東京湾の沿岸部の開発と相まって、今後も活発な経済活動が予測される中で、川崎港の効率的な物流拠点としての整備計画が検討されており、東扇島地区コンテナバース計画に係る船舶入出港の操船の安全性を検討するための実験がなされた。

東扇島コンテナバースへ入出港するための水域条件は、図-14に示す通りである。東扇島コンテナバースと扇島東防波堤との間の水域は幅600m、長さ4500mのバース前面泊地となっている。泊地西側は幅500m、

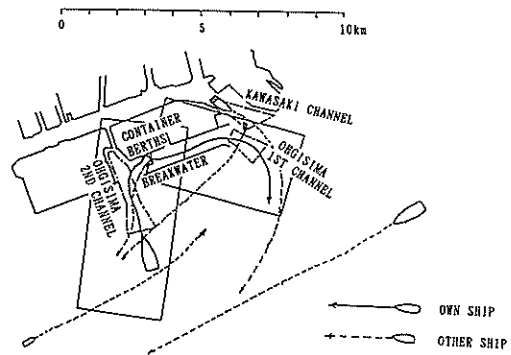


図-14 川崎港入出港操船の水域条件

長さ1800mの扇島第二航路と直角に接続され、途中から末広がりとなっている。一方、泊地東側は、幅500m、長さ1300mの扇島第一航路につながっている。扇島第一航路はバース前面の泊地と法線上で約45度の交角になっていると同時に川崎航路とは約1500m離れて平行な位置にある。これらの航行水域での水深は、第二航路が21m、防波堤より内側バース前面まで15m、バース前面より第一航路途中まで17m、以遠を21mに設定した。水深が上記のように設定されたのは、最大計画対象船型として50,000DWT級コンテナ船を想定しているからである。実験に用いた船舶モデルの主要諸元を表-5に示す。

コンテナ船の入出港パターンは、原則として第二航路を通過して入港し、第一航路から出港する時計回り方式とされた。その理由は、仮に、第一航路から入港しようとする、船舶交通が右側通行であるので平行に隣接する川崎航路の出港船の交通流と相互干渉が予測され、これは航行安全上問題となると考えられたからである。シミュレーションにおける本船のスタート位置は、入港時は扇島第二航路内の防波堤沖合い2000m付近、出港時はバース前面付近とした。本船が着岸するバースは、連続する3バースの中央で前後のバースは、他の本船が係留荷役しているものとした。この場合の着岸が最も操船が難しいとされているからである。

これらの操船で、予め困難であろうと予想された点は、減速しつつ90度の変針をとり、そのまま着岸体勢に入らなければならないことで、風が強い場合はそうとう難しい操船になるものと思われた。

実験のケースは、入港2ケース、出港2ケースとし、このうちそれぞれ1ケースは、航行他船を設定した。他船の航行ルートは、本船の操船に重大な影響を与えるの

表-5 50,000DWT級コンテナ船の主要諸元

		50,000重量トン級コンテナ船	
		満載喫水	軽荷喫水
全長	LOA (m)	280.0	
垂線間長	LPP (m)	266.5	
型幅	B (m)	35.0	
型深さ	D (m)	22.5	
喫水	d (m)	13.0	9.65
トリム	t (m)	0.0	1.0
方形係数	Cb	0.610	0.563
排水量	Δ (ton)	76,000	52,000
風圧側面積	AS (m ²)	6,500	7,400
風圧正面積	AF (m ²)	1,100	1,220
プロペラ翼数	Z	5	
プロペラ直径	D (m)	8.60	
舵面積	AR (m ²)	68.2	62.3
舵アスペクト比	A	1.59	1.45
舵高さ	HR (m)	11.3	10.0
馬力	BHP (HP)	55,400	
回転数	RPM (rpm)	104.0	
船速	VS (kts)	26.0	26.8

で、その決定は、海上衝突予防法、港則法等を考慮するとともに専門家の意見を聞き、かつ、本実験で評価が可能と思われる航行パターンを設定した。他船は複数隻航行させ、本船は、このうち1-2隻を意識して操船し、必要に応じ避航するものとした。なお、他船の航行パターンは入港2種類、出港2種類を準備し、また、操船者には、他船の動向については図面でどのような航行パターンがあるかの概略説明を行ったが、具体的な速力、遭遇関係あるいは時刻については、何等の情報を提示せずして操船を依頼した。

本船の回りに付ける4隻のタグの位置は、右舷に3隻、左舷に1隻とし、その位置及びタグ推力を図-15のように定めた。なお、タグ推力は横浜港の事例を参考にした。

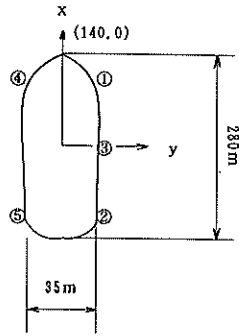
自然条件は、入港時、8m/sの南東よりの風及び防波堤より外側で0.5ノットENE方向への潮流を設定し、出港時には、8m/sの南よりの風及び0.5ノットWSW方向への潮流を設定した。これらの条件は操船者にと

っては、実際に入出港する場合には最も厳しい条件となっている。

操船者に対しては、実験が開始される前に50,000DWTコンテナモデルの船舶特性に関するデータを提示し、操船者が通常行うように船舶の性格を予め把握して実験に臨んだ。これらのデータを表す主機回転数と速力の関係を表-6及び図-16に、旋回性能と変速性能を表-7、表-8及び図-17、図-18に示す。

実験は、1989年1月23日から1月31日にかけて5名の操船者によって行われ、5名の操船者がそれぞれ4ケース、合計20ケースの実験を実施した。写真-1はシミュレータ実験装置の前にすわり操船中のパイロット、操舵手、機関士の、また、写真-2は同時に別室でパイロットと連絡をとりながら操船中のタグ船長とタグ操船補助者による実験状況を示している1コマである。

実験の結果は、直ちに操船者のメモ、所感、意見として記録されると同時に、操舵、機関操作等の操船及びその結果としての船舶の運動が、磁気テープに記録された。



(トン)

No	x, y	FULL	HALF	SLOW	D. SLOW
①	x = 100.0 y = 12.5	40	30	20	10
②	x = -100.0 y = 16.0	40	30	20	10
③	x = 0.0 y = 17.5	40	30	20	10
④	x = 100.0 y = -12.5	40	30	20	10
⑤	x = -100.0 y = -16.0	40	30	20	10

注： 推力の符号は操船時、引きが正、押しが負、
解析図面では、この逆となる。

図-15 タグの配置と推力

これらの記録から航跡図及び操船記録図を作成した。図-19～図-22 に操船実験結果の航跡図及びタイムヒストリ図の例を示す。图中、ケース番号の分類は、CASE-の次の数字が入港(1, 2)と出港(3, 4)を表わす。数字が偶数のケースは、航行他船が設定されている。各操船者の実験ケースの順序は原則として上記の番号順とした。ケース2では、スタート位置を左右に200 mの変位でランダムに振らせて設定した。操船者はスタート位置が変わることについては知っているが、何れが設定されたかについては知らされなかった。

これらの航跡図から、航行パターンがそれぞれ操船者により微妙に違うことが分かると同時に、同じ操船者によっても一回目と二回目では一回目の結果を考慮に入れた操船がなされていることが分かる。入港についての航跡図の一回目と二回目の全体としての違いは、前者では

表-6 自船速力と主機回転数の関係
(50000DWT級コンテナ船 full condition)

		knots	RPM
A	NAV. FULL	26.	104.
H	FULL	20.8	81.2
E	HALF	14.3	56.
A	SLOW	11.7	46.
D	DEAD SLOW	7.8	30.2
	STOP	0.0	0.0
A	DEAD SLOW	- 5.3	- 30.2
S	SLOW	- 7.9	- 46.
T	HALF	- 9.6	- 56.
E	FULL	- 14.	- 81.2
R	NAV. FULL	- 17.5	- 104.

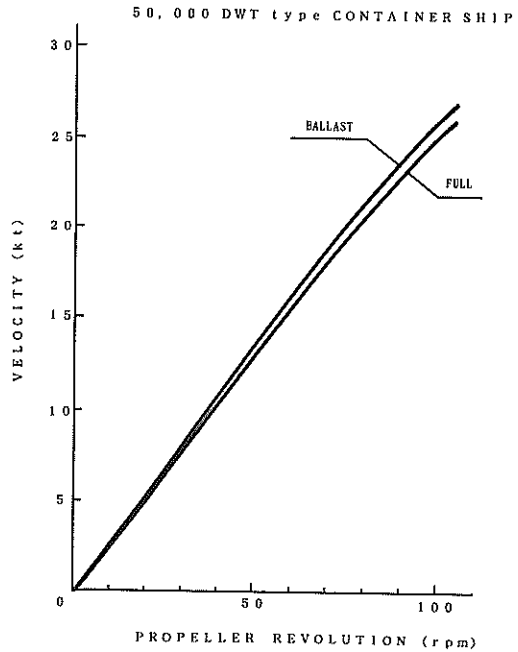


図-16 対象船の主機回転数と速力の関係

扇島第二航路右側をショートカットしたのが1ケースだけであるが、後者では4ケースがショートカットしている。これは、船長が当初予想した旋回半径より大きく、

表-7 施回性能

TURNING MOTION(S 35.0 (DEG.))				SHIP : 50,000 D/W			
* CONDITION							
APPROACH SPEED 26.10 (KTS.)		CURRENT VELOCITY 0.0 (KTS.)		DIRECTION 0.0 (DEG.)			
WATER DEPTH 0.0 (M)		(T/H= 0.833)		WIND VELOCITY 0.0 (KTS.)		DIRECTION 0.0 (DEG.)	
				WAVE LENGTH 0.0 (M)		HEIGHT 0.0 (M)	
				DIRECTION 0.0 (DEG.)			
* SUMMARY OF RESULT							
HEADING ANGLE	TIME	ADVANCE	AD/LPP	TRANSFER	TR/LPP	HEEL ANGLE	
(DEG)	(SEC)	(M)		(M)		(DEG)	
30.0	68.1	804.9	3.02	146.0	0.55	0.0	
60.0	126.0	1217.3	4.57	534.5	2.01	0.0	
90.0	188.2	1370.4	5.14	1042.9	3.91	0.0	
120.0	253.3	1255.4	4.71	1533.2	5.75	0.0	
150.0	320.4	924.1	3.47	1886.2	7.08	0.0	
180.0	388.9	473.6	1.78	2022.5	7.59	0.0	
210.0	458.3	24.3	0.09	1917.5	7.20	0.0	
240.0	528.2	-307.9	-1.16	1606.1	6.03	0.0	
270.0	598.6	-438.7	-1.65	1174.3	4.41	0.0	
300.0	669.2	-336.8	-1.26	737.6	2.77	0.0	
330.0	740.0	-31.3	-0.12	411.5	1.54	0.0	
360.0	810.9	395.1	1.48	282.2	1.06	0.0	

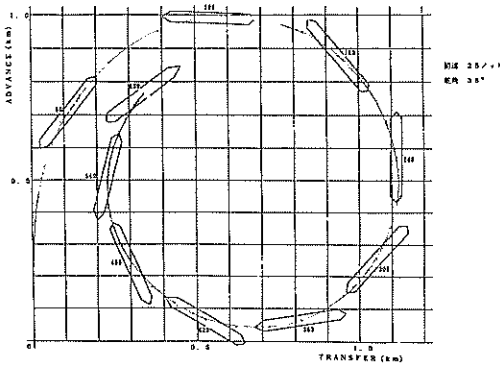


図-17 対象船の旋回性能テスト

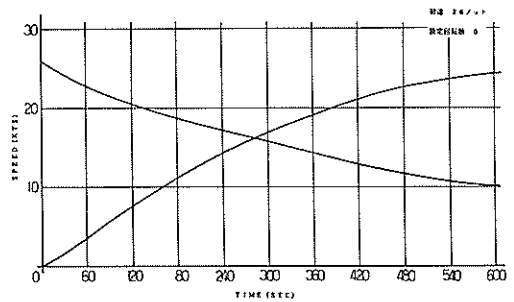


図-18 対象船の増減速性能

表-8 減速性能

* TIME HISTORY							
TIME	RUDDER ANGLE	ADVANCE	TRANSFER	SPEED	HEADING ANGLE	ANGULAR VELOCITY	RPM NO1
(SEC)	(DEG)	(M)	(M)	(KTS)	(DEG)	(DEG/SEC)	(RPM)
0.0	0.0	0.00	0.00	26.01	0.00	0.000	104.0
20.0	34.9	264.80	0.55	24.93	4.65	0.607	103.3
40.0	35.0	507.21	29.33	22.45	20.58	0.921	100.2
60.0	35.0	708.97	112.04	20.03	39.47	0.947	96.2
80.0	35.0	857.75	238.09	18.00	58.05	0.906	92.7
100.0	35.0	951.13	387.67	16.39	75.71	0.859	89.9
120.0	35.0	992.92	543.64	15.09	92.50	0.819	87.7
140.0	35.0	989.77	693.15	14.05	108.54	0.785	86.0
160.0	35.0	949.43	827.13	13.21	123.98	0.758	84.7
180.0	35.0	879.88	939.41	12.52	138.92	0.736	83.6
200.0	35.0	788.96	1026.12	11.95	153.46	0.717	82.7
220.0	35.0	684.15	1085.23	11.48	167.65	0.702	82.0
240.0	35.0	572.46	1116.17	11.09	181.57	0.690	81.4
260.0	35.0	460.32	1119.69	10.76	195.26	0.679	80.9
280.0	35.0	353.48	1097.58	10.49	208.76	0.670	80.5
300.0	35.0	256.97	1052.55	10.26	222.08	0.663	80.2
320.0	35.0	175.00	988.06	10.06	235.27	0.656	79.9
340.0	35.0	110.87	908.14	9.90	248.34	0.651	79.6
360.0	35.0	66.99	817.29	9.76	261.31	0.646	79.4
380.0	35.0	44.75	720.22	9.64	274.20	0.642	79.2
400.0	35.0	44.59	621.76	9.54	287.02	0.639	79.1
420.0	35.0	65.95	526.60	9.45	299.77	0.636	79.0
440.0	35.0	107.36	439.20	9.38	312.48	0.634	78.9
460.0	35.0	166.49	363.52	9.32	325.14	0.632	78.8
480.0	35.0	240.28	302.96	9.27	337.76	0.630	78.7
500.0	35.0	325.05	260.15	9.23	350.35	0.629	78.6
520.0	35.0	416.71	236.90	9.19	362.92	0.628	78.6
540.0	35.0	510.87	234.11	9.16	375.46	0.627	78.5
560.0	35.0	603.09	251.75	9.13	387.98	0.626	78.5
580.0	35.0	689.08	288.84	9.11	400.49	0.625	78.5
600.0	35.0	764.83	343.52	9.09	412.98	0.624	78.4



写真-1 シミュレーター室に於ける船長、操舵手、
機関士による操船実験状況

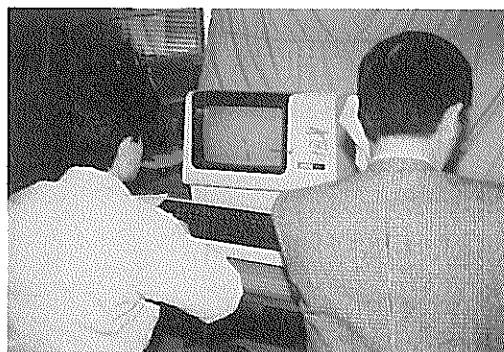


写真-2 別室の本船船長から指令を受けるタグ船長と
操船補助者

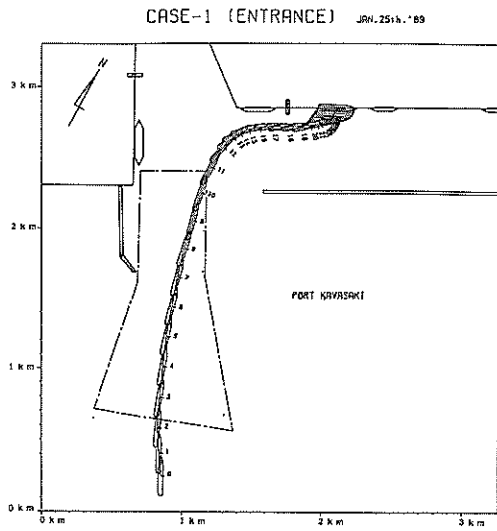


図-19(a) 川崎港入港操船シミュレーション航跡図

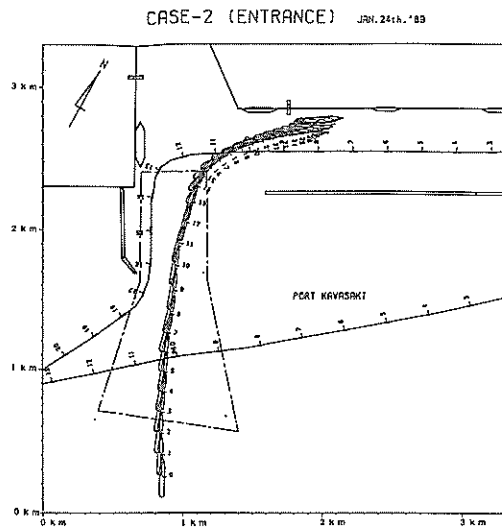


図-19(b) 川崎港入港操船シミュレーション航跡図

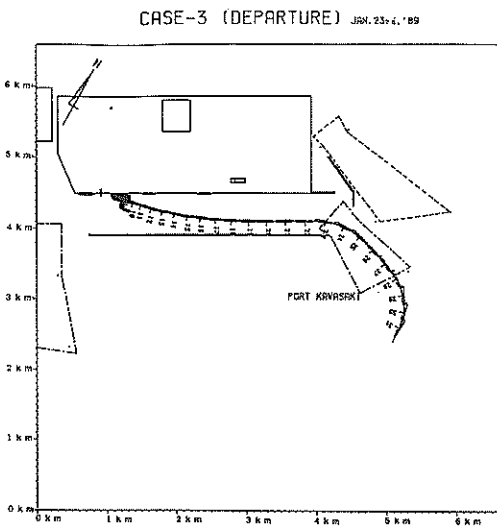


図-20(a) 川崎港出港操船シミュレーション航跡図

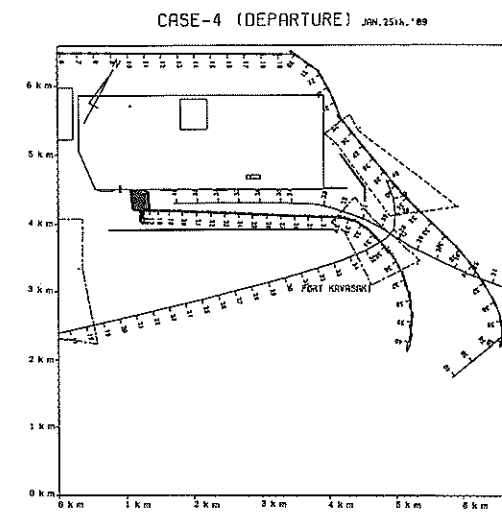


図-20(b) 川崎港出港操船シミュレーション航跡図

CASE-1 (ENTRANCE)

JAN. 25th. '89

ANGLE OF MAP ROTATION 30deg
 SHIP TYPE 50000-DWT CONTAINER SHIP
 CONDITIONS
 **WIND 8m/s 165deg
 **CURRENT 0.5knot 90deg

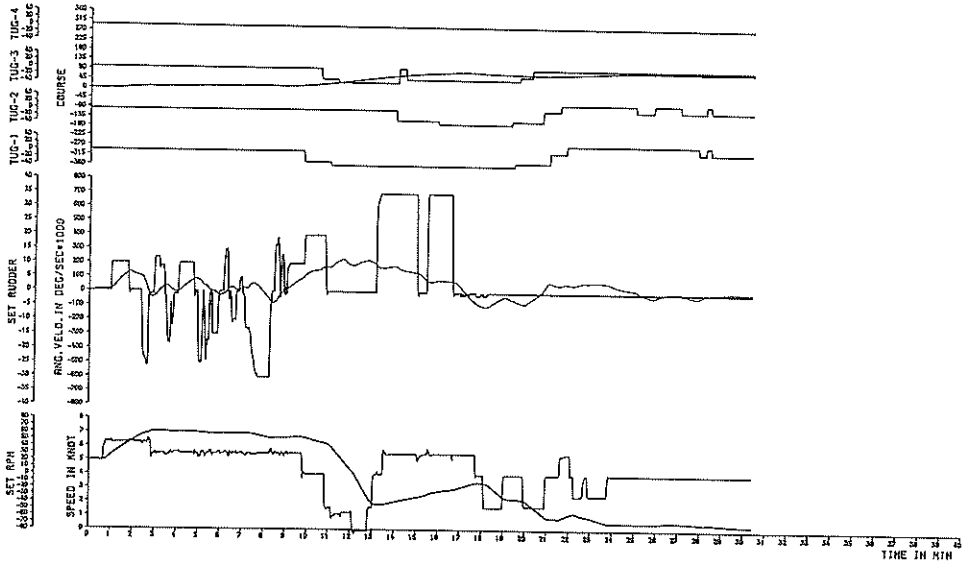


図-21(a) 入港操船記録および船舶運動タイムヒストリ

CASE-2 (ENTRANCE)

JAN. 24th. '89

ANGLE OF MAP ROTATION 30deg
 SHIP TYPE 50000-DWT CONTAINER SHIP
 CONDITIONS
 **WIND 8m/s 165deg
 **CURRENT 0.5knot 90deg

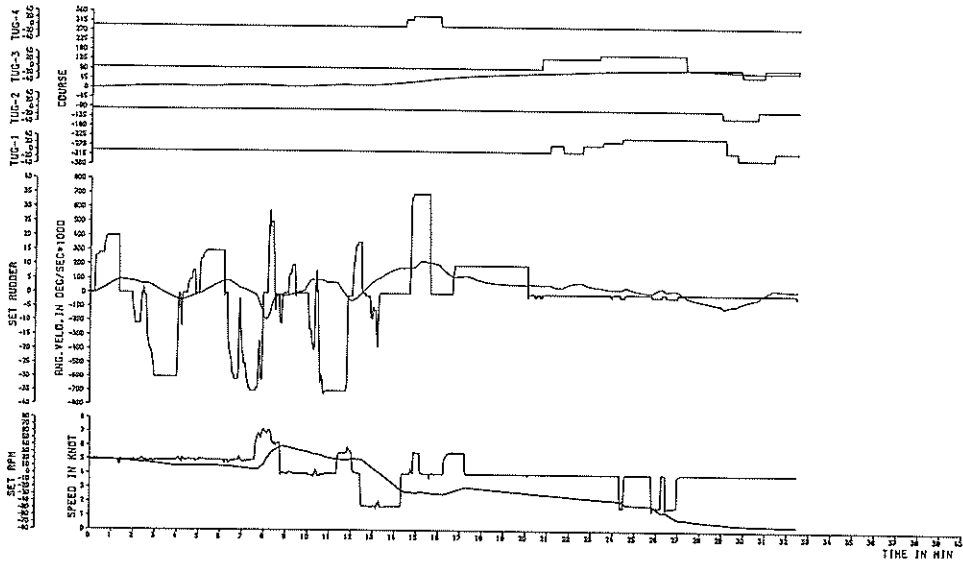


図-21(b) 入港操船記録および船舶運動タイムヒストリ

CASE-3 (DEPARTURE)

JAN. 23-d. '89

ANGLE OF MAP ROTATION 30deg
 SHIP TYPE 50000-DWT CONTAINER SHIP
 CONDITIONS
 **WIND 8m/s 210deg
 **CURRENT 0.5knot 270deg

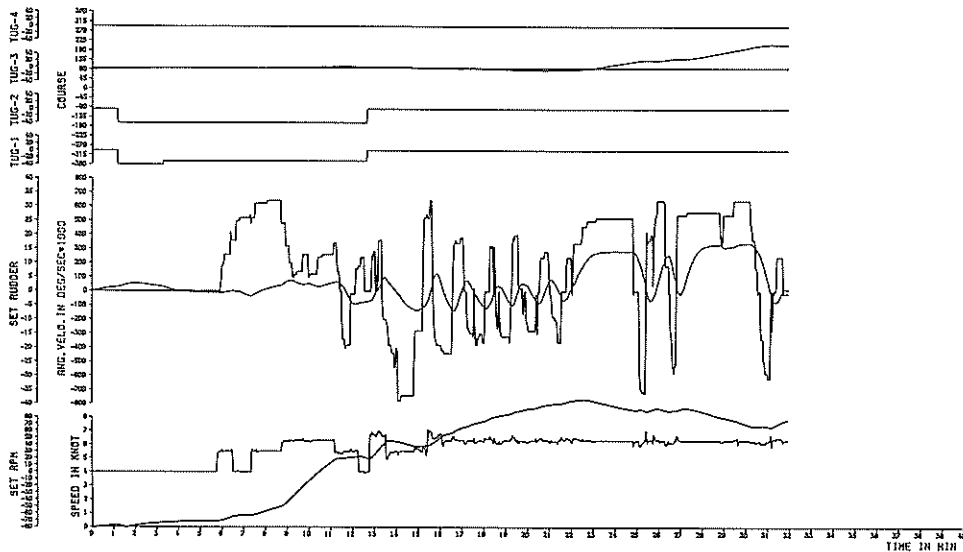


図-22(a) 出港操船記録および船舶運動タイムヒストリ

CASE-4 (DEPARTURE)

JAN. 25-d. '89

ANGLE OF MAP ROTATION 30deg
 SHIP TYPE 50000-DWT CONTAINER SHIP
 CONDITIONS
 **WIND 8m/s 210deg
 **CURRENT 0.5knot 270deg

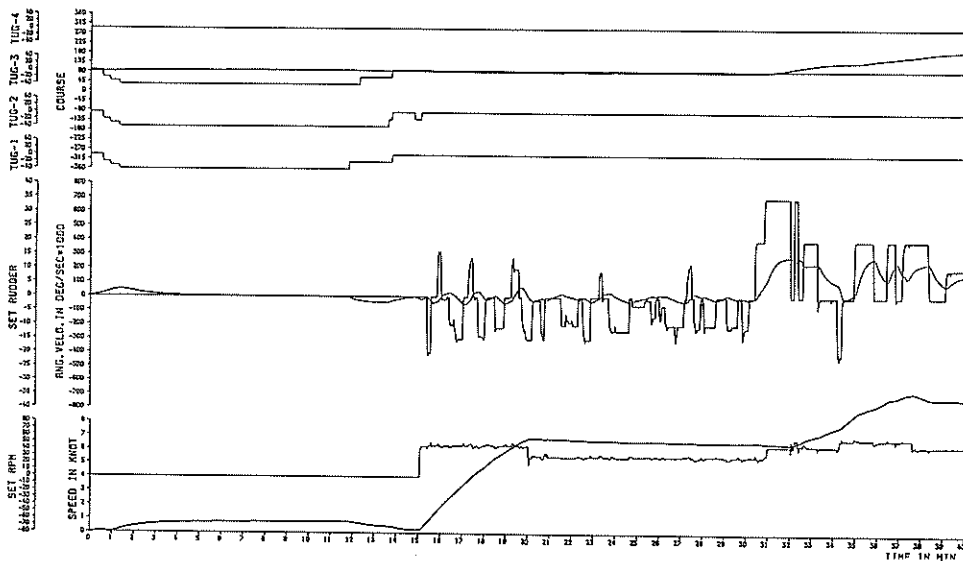


図-22(b) 出港操船記録および船舶運動タイムヒストリ

表一 9 川崎港コンテナバース操船
シミュレーションケース

ケース区分	入出港区分	自然条件等の環境条件	他船の動静
1	入 港	風速 8 m/s 風向 SE 潮流 0.5ノット	考慮しない
2	入 港	風速 8 m/s 風向 SE 潮流 0.5ノット	パターン1 より1, 2船を設定
3	出 港	風速 8 m/s 風向 S 潮流 0.5ノット	考慮しない
4	出 港	風速 8 m/s 風向 S 潮流 0.5ノット	パターン2 より1, 2船を設定

したがって2回目は早めに変針を開始したものであろう。一方出港についての5ケースの航跡図の違いをみると、一回目は扇島第一航路からはみ出したケース数が3であるのに対し、2回目は1である。ただし、1ケースは他船を避けるために航路手前で一時停止の状態では実験が中止されている。操船者には、表一10により実験後意見調査の作成をお願いした。

実験の結果をまとめると、次のようになる。

- a) 水域施設計画についての操船上の安全性からの検討結果は、基本的には現在の計画のままでもよい。ただし、外力条件が厳しいとき操船が難しいので、扇島第二航路は防波堤寄りに隅切りを付け、また、同第一航路はNO. 1, NO. 2, NO. 4 ブイを移設して水路の拡幅及び延長を検討する。
- b) 航行援助施設の整備については、川崎航路の標識と識別できるものとする事、また、扇島東防波堤両端に燈台を設置する。

表一 10 シミュレーター実験結果に関する意見調査

1. 実験をして頂いた各ケースについて、操船の感想を御記入下さい。

実験ケース	操船面で問題を感じられた箇所	問題の内容	考えられる対応
1 (入 港)	川崎東扇島防波堤西灯台をかわり、70~80度東に変針向首する場合、現在の航路形状では、ターニングベースンが、NKKバースの着岸船に近づきすぎる。	プロペラウェイキにより着岸船に損傷を生じる事が考えられる。又第二航路と西灯台の水域を小型船等が往来する事も予想され、大型船の航行の支障となる。	第二航路を西灯台の方に移設する。 (交通の流れを時計廻りとする)
2 (入 港)	第二航路内では、航路附近での行合い見合関係が生じる場合は問題となろう。		航路の入港、出港の管制が必要
3 (出 港)	特記事項なし		
4 (出 港)	他船一船との見合ではなんとかなると思うが、複数船との見合が生じた場合、避航が難しい。		港則法上の航路とする。

c) 船舶の交通管理については、現在、扇島第一航路、第二航路は、港湾法上の航路であるが、これらを港則法上の航路とした上、川崎航路との競合を考慮した交通管理を検討する。また、通航方式は扇島第二航路から入港し、同第一航路から出港する。ただし、自動車専用船については、右舷付きとなることから第一航路から入港するのが容易である。

3.3 コロンボ港

近年、コロンボ港は自国の貨物を取り扱うだけでなく、西洋と東洋の中継港としての役割も期待されており、今後の貨物需要に対応して大型タンカー、大型コンテナ船の入出港が予想されている。

コロンボ港の現状における大型船入出港の問題点として、

- 1) 主航路の幅が狭く、また、ストップングディスタンスの長さも不十分である。
- 2) 港内の水域が狭い上、ブイバースによる荷役、パンカーオイルの供給が行われている。
- 3) 水深が十分に取れていないため、大型船の対応には問題がある。

等が指摘されており、大型船の操船性を考慮した適切な水域施設の改良計画が望まれている。このような背景のもとで具体的な計画案についてのシミュレーターによる操船上の安全性に関してこれを明らかにするために操船実験を実施した。

コロンボ港の現況は、図一23に示す現況図によると、現在、物理的な開口幅は200m余であるが、航路法線からみた港口幅は、160m余である。また、操船上、この

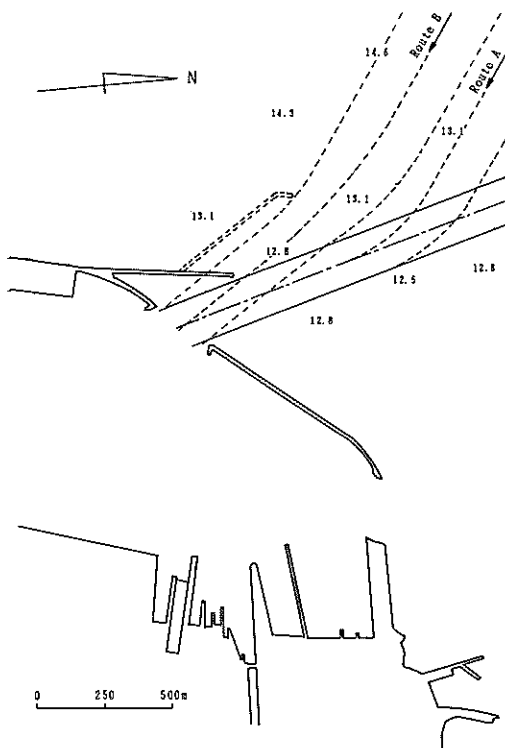


図-23 コロンボ港操船シミュレーション現況・計画水域条件

港の入港時初期の針路から港口部針路への変針角は、40度であり、30度を超える大変針となっている。一方、港内水域としては、内側の北西防波堤通過後のJAYEコンテナターミナルまでの直線距離が750m余であり、接岸のためには145度の大回頭を要する。また、航路水深は13mであるが、岸壁前面を含む港内の水深は10mから12mであり大型船の浅水影響による操縦性能の低下は非常に大きいと予想される。

実験ケース選定のための前提条件は次のとおりである。

- 1) 最大対象船舶は50,000 DWT級コンテナ船及び46,000 DWT級バルクキャリアーとする。
- 2) 水域施設条件としては現状及び計画案の2種類を定める。
- 3) 本船の入港のコースとして図-23に示す現在のルートAの外、計画案に対応してルートBを追加する。
- 4) 外乱として、風及び波を考慮する。風、波の方向及び強さは現地の気象データをもとに定める。
- 5) タグによる操船補助は行わない。

ここで、タグを使用しないこととした理由は、コロombo港ではタグの使用はコスト削減のため必要最小限にとどめられており、使用されるのは本船が港内の回頭水域に入ってから着岸までの接岸援助のみに使用されるのが殆んどであると言われているからである。したがって、本実験においても入港の操船範囲を港外から港内回頭水域までとし、タグを取らずに入港するものとした。

以上の条件を考慮して決定された実験ケースは表-12の通りである。これらの実験条件に基づいて最終的にシミュレーターに入力されたデータを表-11に示す。

操船実験は、1989年7月10日及び11日の両日に実施された。実験の結果は、図-24、25の例に示す22枚の船舶航跡図及び操船記録図として整理するとともに操船者による実験所感をまとめることにより、コロombo港の水域施設計画案に関して操船上から次の評価結果が得られた。

1) 計画案の操船上からの評価

A. 現状

NNE 7.5 m/s の風のみの場合には、風の影響は気にならなかった。しかし、WSWからの風(7.5 m/s)と波(H=2 m)とが同時に作用するときは、保針が困難であった。風と波の影響を考えると全長280mの船が自力で入港するのは危険と思われる。

B. 計画案

新防波堤の先端は邪魔になった。これをかわすと北東防波堤にかかる。また、新防波堤の手前1Lから2Lの所で早めに直線航路に乗る方法もうまく行かなかった。

C. その他

舵効きがわるく、操船が難しくなるのは、アンダーキールクリアランス(余裕水深)、風、波、速力の制約等が関係している。

また、コロombo港のパイロットが言うようにストップングディスタンスはコンテナ船の場合1Lから2L、チップ船で3Lから3.5Lであった。

2) 水域施設計画案に関するコメント

将来、50,000 DWT級コンテナ船が入港するものと想定するとき、操船上の安全確保の観点から以下の条件を満たす外郭・水域施設とすることが望ましい。

- A. スタート位置から港口部までを、長さ2km程度の直線航路とする。
- B. 北東防波堤をカットし、港口部を拡幅する。
(どの程度まで広げることが可能かは、静穏度の条件と別途調整する必要がある。)

表-11 コロンボ港操船シミュレーション実施条件

操船モデル		
52000DWT コンテナ船	(実船)	46000 DWT チップ船
全長 280 m	(275 m)
垂線間長 266 m		187 m
型幅 35 m	(39 m)	32.2 m
型深 22.5 m	
喫水 13.0 m	(12.5 m)	10.0 m
満載排水量 76000 ton		49500 ton
馬力 55400 Hp		8150 Hp
回転数 104 rpm		86 rpm
船速 26 knots		14.3 knots
水深の設定		
(52000 DWT コンテナ船) 当初の水深とドラフトは、 15・14mと12.5 mである から設定すべき水深は、それ ぞれ15.60 mおよび14.56 m となる。 なお、水深の切り替え地点 は、次のとおりである。 1. スタート地点 2. (上1750, 右1170 付近)		(46000 DWT チップ船) 10.0 m 15.00 m および 14.00 m 1. スタート地点 2. (上1750, 右1170 付近)
海象条件の設定		
(52000 DWT コンテナ船)		(46000 DWT チップ船)
a 風向 : WSW..... 247.5 度		247.5 度
風速 : 15 KNT 7.5 m/s		7.5 m/s
波向き : WSW..... 247.5 度		247.5 度
波高 : H = 2 m..... 0.038		0.038
波長 : L = 53 m 0.2		0.28
b 風向 : NEN..... 22.5 度		22.5 度
風速 : 15 KNT 7.5 m/s		7.5 m/s
本船と初速とスタート位置および初期針路		
(52000 DWT コンテナ船)		(46000 DWT チップ船)
初速 : 5.0 knots (20 rpm)		5.0 knots (30 rpm)
位置A : 原点より 上方へ 3000 m 右方へ 110 m 針路 118.7度⇨ALPHA		
位置B : 原点より 上方へ 2780 m 右方へ -20 m 針路 118.7度⇨ALPHA		

表-12 コロンボ港操船シミュレーション実験ケース

No	CAPT.	地形型	船種	風	波	本船進入角
1	A	1	コンテナ船	WSW, 7.5 m/s	NIL	118.7-141.5
2	B	1	コンテナ船	NNE, 7.5 m/s	NIL	118.7-141.5
3	C	1	コンテナ船	NIL	NIL	118.7-141.5
4	A	1	コンテナ船	WSW, 7.5 m/s	H1/3 = 2m	118.7-141.5
5	B	1	コンテナ船	WSW, 7.5 m/s	H1/3 = 2m	118.7-141.5
6	C	2	コンテナ船	NIL	NIL	118.7-158.9
7	D	2	コンテナ船	NNE, 7.5 m/s	NIL	118.7-158.9
8	A	2	コンテナ船	WSW, 7.5 m/s	NIL	118.7-158.9
9	D	2	チップ船	NIL	H1/3 = 2m	118.7-158.9
10	C	1	コンテナ船	WSW, 7.5 m/s	H1/3 = 2m	118.7-141.5
11	A	1	チップ船	WSW, 7.5 m/s	H1/3 = 2m	118.7-141.5

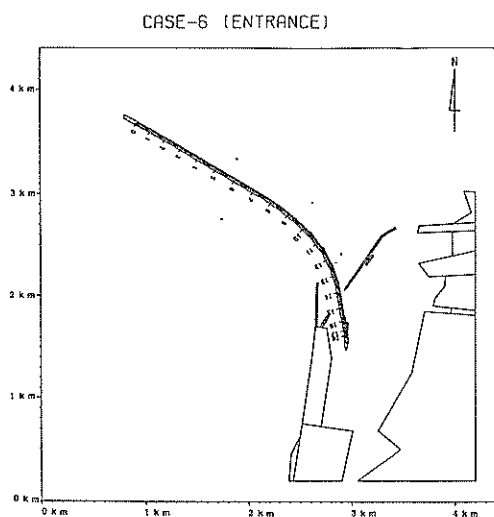


図-24(a) コロンボ港入港操船シミュレーション航跡図(現況)

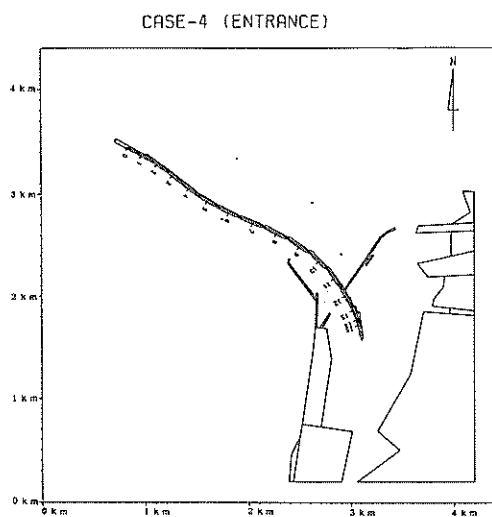


図-24(b) コロンボ港入港操船シミュレーション航跡図(計画)

CASE-6 (ENTRANCE)

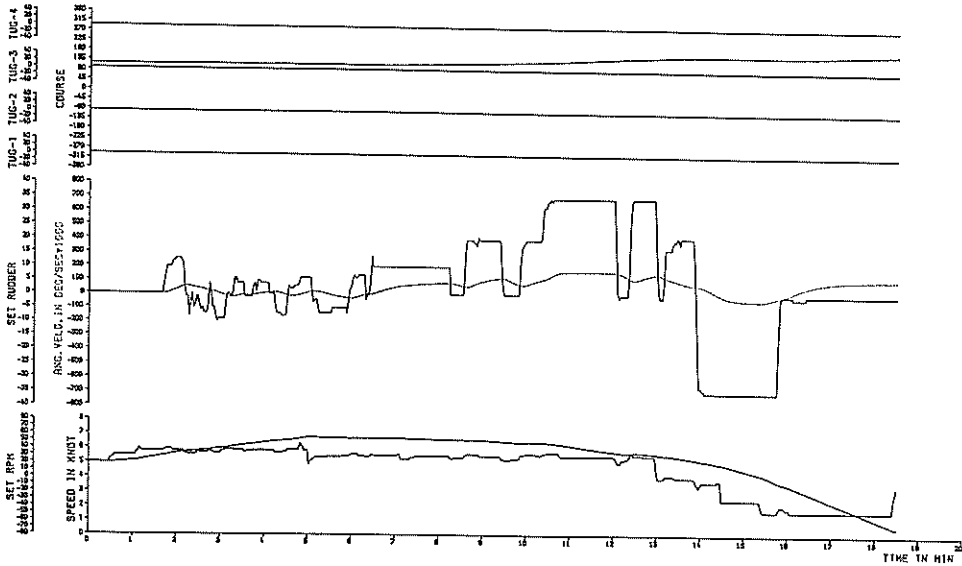


図-25(a) 入港操船記録および船舶運動タイムヒストリ (現況)

CASE-4 (ENTRANCE)

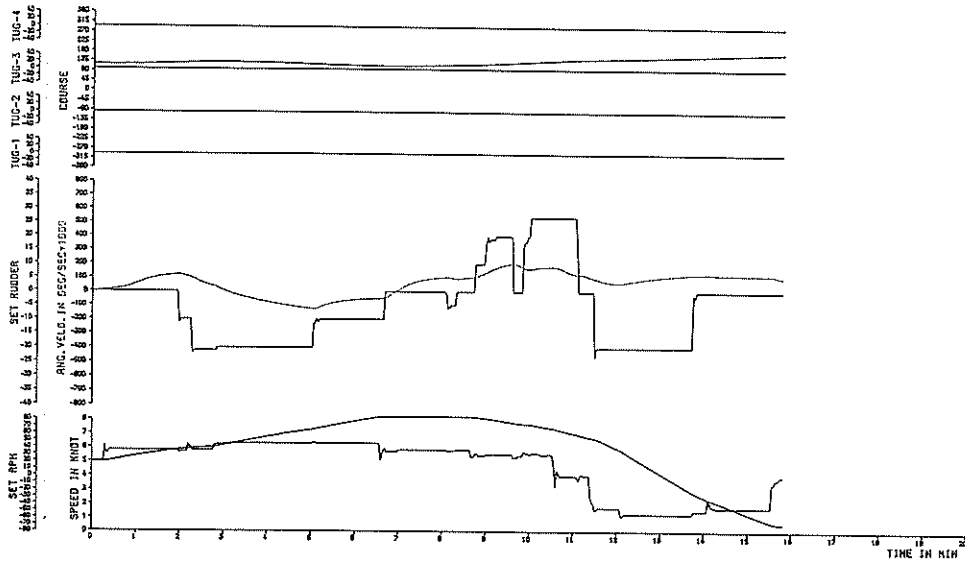


図-25(b) 入港操船記録および船舶運動タイムヒストリ (計画)

4. シミュレーションによる航路計画手法の検討

4.1. 実験の目的

3章までは、具体的な港湾の計画において実施してきた水域施設に対する操船上の安全性からの検討としての言わばケーススタディについて述べてきた。これらを通して操船シミュレーターを利用する実験の方法あるいは評価の手順といったものがある程度明らかになったが、シミュレーションによる実験がどちらかと言えば計画の妥当性を検証するという性格のものであった。

シミュレーターの利用の方法としては上記に挙げられるものの外、今後は水域施設計画の設計法に応用する実験も考えられよう。ここではその第一段階として入出港禁止となるよう厳しい気象条件下における船舶の挙動を解析し、計画への応用の可能性について検討した。即ち、港内における入出港に対応した基本的な操船を選び、現実の操船に極めて近い種々の条件を設定し、この条件のもとで船舶の運動の状況を再現し、その結果を解析することにより水域施設計画のための基礎データを得るとともに、このような目的の実験を実施する場合の問題点を明らかにしようとするものである。

4.2 実験の方法

実験の項目としては、

- 1) 船舶の種類による特性の違い
- 2) 基本的な操船毎の船舶の挙動
- 3) 操船者の特性

をとりあげた。

船舶の種類としては、外力の影響を強く受け、一般に操船が難しいといわれる自動車専用船、コンテナ船、バルクキャリアーを対象船とした。これらの船舶の諸元等を表-13に示す。

大型船の入出港操船の実例からみた操船の分類として、保針、変針、その場回頭、横移動の4グループの要素操船パターン⁹⁾があるといわれている。これを参考に操船の種類としては、次の5種類の操船を想定した。1) 直針、2) 変針、3) 減速、4) 減速変針、5) その場回頭、である。ちなみに、これらの操船を前述の分類にあてはめると1)と3)は保針、2)と4)は変針、5)は横移動とその場回頭の組合せとなる。一方、想定する入港操船と出港操船の局面としては、1)から4)までは入港を、5)は出港を想定している。なお、操船を行う場合の条件としては、安全を確保すると同時にできるだけ経済的に操船することとした。表-14に操船の具体的な内容を示す。

操船者による実験結果の偏りを少なくするため及び操船者によるバラツキをみるため4名の大型船の船長経験者により実験を実施することとした。

表-13 対象船舶の主要諸元

細目	P C C 船			コンテナ船		バルクキャリアー		
(船体)	20,000 GT (5,500 台積)			56,000 DWT		60,000 DWT		
船型								
船長	200 m			280 m		220 m		
船幅	32 m			35 m		32 m		
風受圧面積	側面 : 4870 m ² 正面 : 820 m ²			側横 : 6500m ² 正面 : 1100m ²		側横 : 1990 m ² 正面 : 590 m ²		
載荷状態	軽荷			満載		満載		
喫水	6.9 m			13.0 m		12.5 m		
(機関)	Diesel			Diesel		Diesel		
馬力	15,900 HP			55,400 HP		13,000 HP		
港内速度	RPM	ノット 満載 / 軽荷		RPM	ノット	RPM	ノット 満載 / 軽荷	
Full ahead	54	11.6	12	46	12.1	92	11.7	13.6
Half ahead	37	8.0	8.2	39	10.2	72	9.1	10.4
Slow ahead	32	6.8	6.4	31	8.2	54	6.7	7.4
D/S ahead	19	4.0	4.2	24	6.2	41	5.2	5.4
D/S astern	-19	-	-	-24	-	-41	-	-
Slow ast'n	-32	-	-	-31	-	-54	-	-
Half ast'n	-37	-	-	-39	-	-72	-	-
Full ast'n	-54	-	-	-46	-	-92	-	-

表-14 操船の種類と操船の方法

操船の種類	操 船 の 方 法
1. 直針操船	浮標で示された航路内の定められた針路を直針航行する。この場合の船速は約6ノットとし、航走距離は約3,500m（時間は約20分）とする。この場合、タグボードは使用しないこととする。
2. 変針操船	初速は6ノットとし、直針航路より浮標で示された屈曲航路にそって30度変針し、定められた新針路に向首する。この場合、タグボードは使用しないこととする。
3. 減速操船	直進中、主機を後進とし、船速を6ノットから2ノットに減速する。この場合、必要に応じタグボードを使用し極力原針路を航行する。（接岸する岸壁への接近を想定する。）
4. 減速変針操船	初速は直進時と同様に6ノットとし、浮標で示された屈曲航路にそって90度変針し、指定された位置（浮標No.9, 10）で2ノットに減速し、新針路に向首する。この場合、必要に応じ主機を後進とし、変針時の速力は任意とし、また必要に応じタグボードを使用する。
5. その場回頭	接岸中の船舶を、タグボード及び主機を適宜使用し、離岸、岸壁前面でその場回頭を行い出港航路に入航する。回頭方向の選択は操船者の判断に任せる。

次に、これらの操船を実施するための航行環境の場の設定を以下のように定めた。航路幅は各実験ごとに対象船舶の全長だけ確保されているものとし、航路を航路左右の浮標により設置した。浮標の設置間隔は原則として1,000mとした。また、減速変針（90度変針）の場合、航路中心線の曲率半径が船の長さの4倍となるよう浮標を設定し、その場回頭の水域は、船の長さの2倍を一辺とする正方形とした。なお、水深については、防波堤の外側で喫水の1.4倍、内側で1.2倍とした。操船の種類ごとの水域条件を表-15に示す。

風及び波などの外力条件としては、操船が最も難しくなるよう力が作用する風向、波向き等であつ操船が可能である範囲のものを設定した。この場合、針路が変化する操船実験では、変針後に影響が最も大きくなる条件を設定した。

風速は、大型船の入出港基準として一般に用いられている15m/sを設定した。ただし、その場回頭出港操船については対象船の風圧面積とタグの曳航力を考慮し10m/sとした。風の影響は、船舶の偏位移動と回頭作用を伴うが、操船上、より影響の大きい回頭力が最大となる方向を設定した。

波高については、風の場合と同様に出入港基準を参考とし港外で有義波高1.5m、港内で1.0mを想定した。また、波向きは最も影響の大きい横方向からとした。

潮流は干満による潮流または沿岸に沿って流れる海流を想定し、港外で航路法線と直角方向に0.5ノットあるものとした。設定した外乱条件を表-16に示す。

タグの使用条件は、バルクキャリアのみ3,000馬力を使い、より風圧面積の大きい自動車専用船とコンテナ船は4,000馬力を使うものとし、それぞれ4隻まで使用可

表-15 操船の種類別水域条件

操船の種類	航走距離(m)	航路幅L	浮標間隔(m)	水深H/d	屈曲部		画面表示			想定海域
					変針角	曲率半径	浮標	B.W	W.H	
1. 直針	3,500	1	1,000	1.4	-	-	浮標	B.W	W.H	港外
2. 変針	3,500	1	1,000	1.4	30	-	浮標	B.W		港外
3. 減速	3,000	1	1,000	1.2	-	-	浮標	B.W		港内
4. 減速変針	6,500	1	1,000	1.2	90	4L	浮標	B.W	W.H	港内
5. その場回頭	1,250	1	-	1.2	180	*2L	浮標	B.W	W.H	港内

*2L：その場回頭の回頭水域

B.W：防波堤

W.H：陸上倉庫

表-16 外乱条件

船種	操船の種類	風速	風向	波高	波向	流速	流向	水深
		m/s	度	m	度	ノット	度	
P	直針	15	120	1.5	270	0.5	270	1.4
	変針	15	270	1.5	120	0.5	120	1.4
	減速	15	120	1.0	270	-	-	1.2
	減速・変針	15	330	1.0	180	-	-	1.2
C	その場回頭	10	270	1.0	270	-	-	1.2
コンテナ	直針	15	120	1.5	270	0.5	270	1.4
	変針	15	270	1.5	120	0.5	120	1.4
	減速	15	120	1.0	270	-	-	1.2
	減速・変針	15	330	1.0	180	-	-	1.2
バルク船	その場回頭	10	270	1.0	270	-	-	1.2
バルク船	直針	15	120	1.5	270	0.5	270	1.4
	変針	15	270	1.5	120	0.5	120	1.4
	減速	15	120	1.0	270	-	-	1.2
	減速・変針	15	330	1.0	180	-	-	1.2
C	その場回頭	10	270	1.0	270	-	-	1.2

能とした。実際に使用する際の曳航力は表-17, 18のように定めた。本船につけるタグの位置は、最も多く使用されているといわれる船首尾端より全長の15%内側の両サイドの位置に定めた。

4.3 実験結果

実験は、原則として2名の有資格操船者と若干名の当所職員からなるチームより、1990年1月31日から3月2日にかけて、15種類60ケースについて実施された。以下、操船の種類ごとに操船者の所感と解析図面をもとに実験結果について若干の分析を実施した。

4.3.1 直針操船

直針操船の航行環境を、図-26(a)に示す。港湾区域

内における直線航路での航行を想定したこの操船では、6ノットの速力制限があり、外乱が厳しいため船種によっては、与えられた条件下では危険で操船が出来ないと評価されるものもあった。

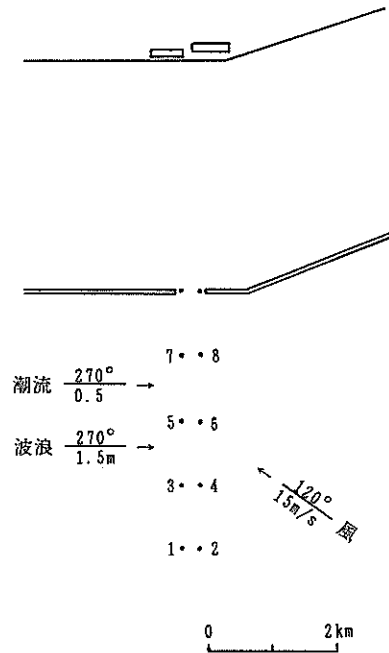


図-26(a) 直針操船水域条件

表-17 タグ推力

タグ出力 馬力 H.P	頭押し(T) = 100%		フック引き = T × 90%		船首引 = T × 90% × 80%	
	3000	4000	3000	4000	3000	4000
Full	30 Ton	40 Ton	27 Ton	36 Ton	21.6 Ton	28.8 Ton
Half	22.5	30	20.3	27	16.2	21.6
Slow	15	20	13.5	18	10.8	14.4
D/Slow	7.5	10	6.8	9	5.4	7.2

- 頭押し : タグボートの船首を本船に押しつけ、タグの機関前進で押す方法
- フック引き : タグボートの船尾フックに曳船索を取り、タグの機関前進で引く方法
- 船首引き : タグボートの船首に曳船索を取り、タグの機関後進で引く方法

表-18 タグ使用条件

タグ係止点	船首尾端より船長の15%内側の左右に係止するものとする。(4隻)		
タグ係止点番号のつけ方	船首左: 1, 船首右: 2, 船尾左: 3, 船尾右: 4		
タグ馬力隻数	PCC船	コンテナ船	バルクキャリア
	4,000 HP × 4隻	4,000 HP × 4隻	3,000 HP × 4隻

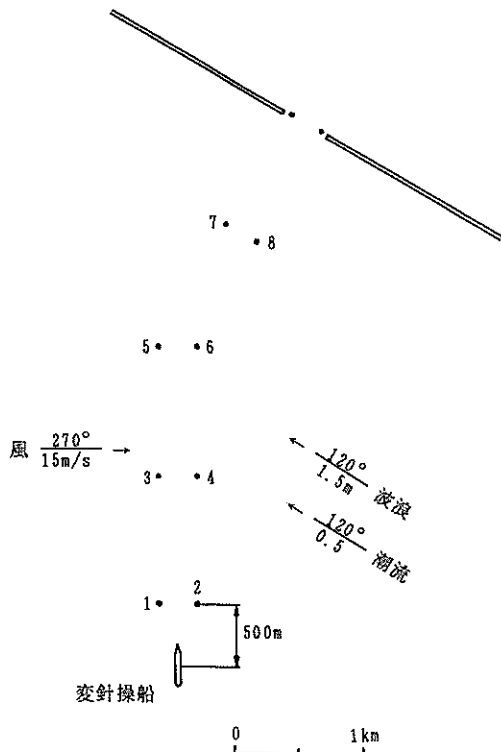


図-26(b) 変針操船水域条件

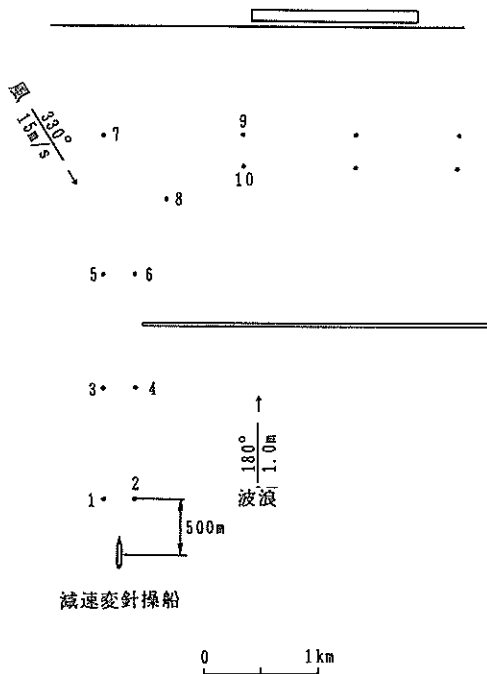


図-26(d) 減速変針操船水域条件

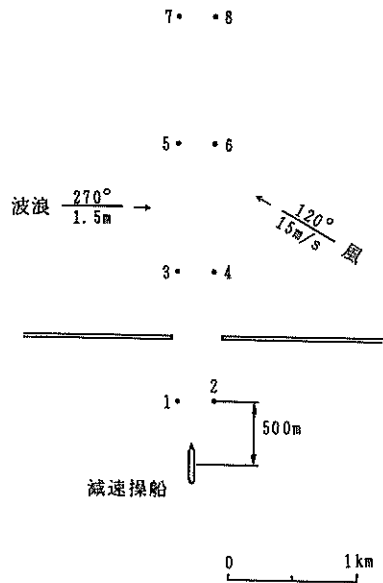


図-26(c) 減速操船水域条件

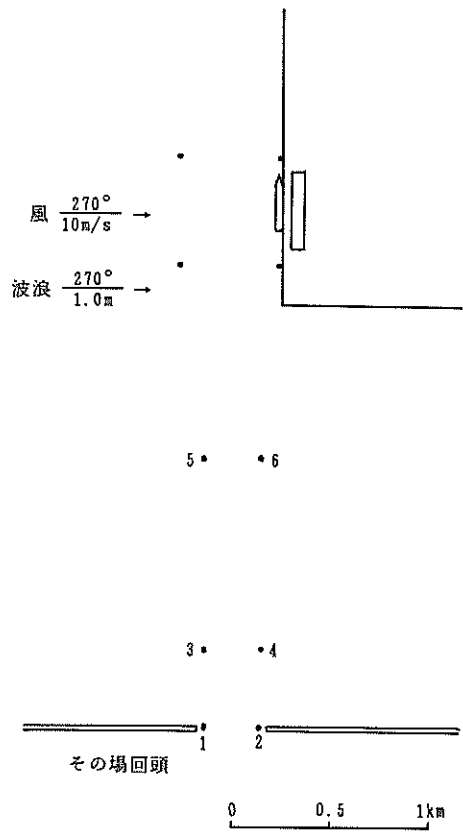
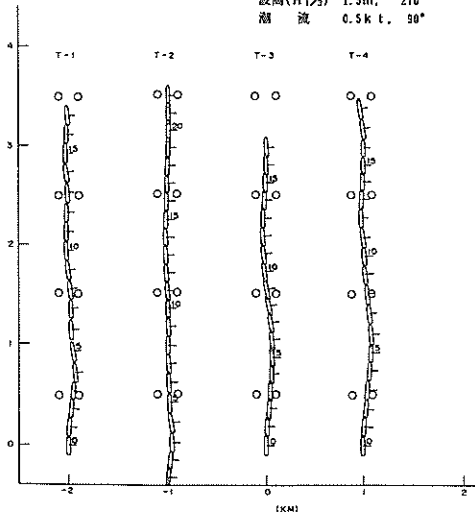


図-26(e) その場回頭操船水域条件

船舶条件	航行環境
船体 PCC	航路幅 1.0L
船型 20,000GT	水深(H/d) 1.4
載荷状態 軽荷	浮標間隔 1,000m
タグ使用条件	外乱条件
タグ無し	風速 15m/s, 120°
	波高(H _{1/2}) 1.5m, 270°
	潮流 0.5kt, 90°

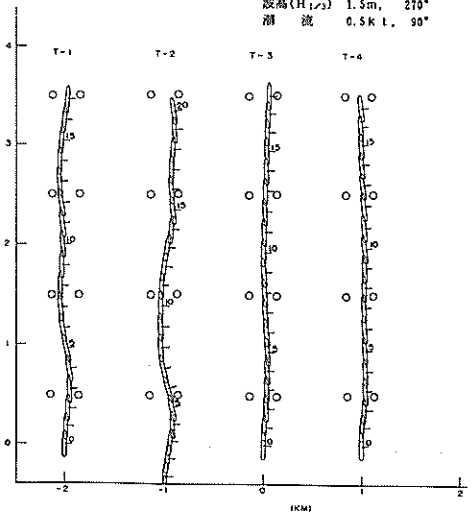


図一27(a) 直針操船シミュレーション航跡図 (PCC)

一般に、外力を受ける船がその針路を保持しようとする場合、操船者は横漂流力（針路と直角方向に圧流される横移動力）と回頭力の影響を予測し、これらの力に相当する逆方向の力を得るため、本船に必要なとする横流れ角をもたせ、また当て舵をとるといわれている。船の最大舵角は35度であるが、PCC船の場合、全操船時間における平均当て舵角度が20度（操舵中における平均当て舵角度は22.5度）を超えており、緊急時の任意方向の回頭力の確保と操船の誤差を吸収するための余裕舵角が少なく（航行中最大舵角を使用している時間的割合は、平均19.1%であった。）操船が困難であると評価された（図一27(a)直進操船シミュレーション航跡図（PCC）参照）。

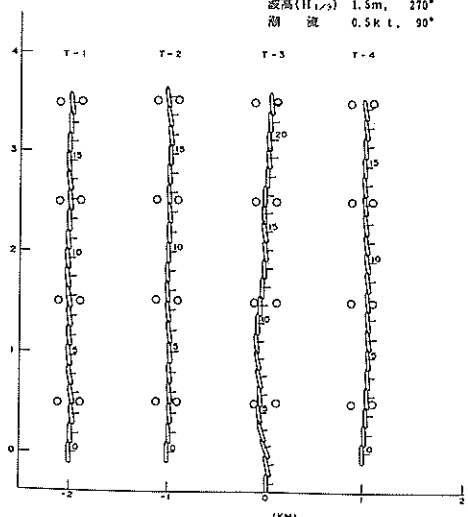
コンテナ船の場合、風圧面積がPCC船より大きいが、風による回頭力は操船感覚ではPCC船より小さく、当て舵量は少なかった。また、機関出力に余裕があるため一時点なブースティングによる舵効果の増強が容易な分だけ、PCC船よりは余裕があるとされた。航路幅1Lで安全な航行を確保するためには、制限速力を6.5-7ノットまで上げること、また、航行管制の必要性も指摘された。

船舶条件	航行環境
船体 コンテナ船	航路幅 1.0L
船型 56,000DWT	水深(H/d) 1.4
載荷状態 満載	浮標間隔 1,000m
タグ使用条件	外乱条件
タグ無し	風速 15m/s, 120°
	波高(H _{1/2}) 1.5m, 270°
	潮流 0.5kt, 90°



図一27(b) 直針操船シミュレーション航跡図 (コンテナ船)

船舶条件	航行環境
船体 バルクキャリアー	航路幅 1.0L
船型 50,000DWT	水深(H/d) 1.4
載荷状態 満載	浮標間隔 1,000m
タグ使用条件	外乱条件
タグ無し	風速 15m/s, 120°
	波高(H _{1/2}) 1.5m, 270°
	潮流 0.5kt, 90°



図一27(c) 直針操船シミュレーション航跡図 (バルクキャリアー)

バルクキャリアーの場合、他の2船に比べ風圧面積は小さく影響も少ないと予想された。しかし、機関出力及び舵面積が小さくそのため15 mの風速下では保針がかなり困難であったので蛇行は他の2船と同様に認められた。このように定針性は低いけれども操船上の安全性については4名中3名が与えられた条件下で航行可能と推定した。なお、使用舵角の平均角度は7.2度であった。

4.3.2 変針操船

変針操船は、防波堤の沖合での30度変針を想定している(図-26(b)参照)。変針操船の困難さは、

- 1) 6ノットの中低速時における変針オーダー開始地点の予測が難しい。
- 2) 船の変針により、外力の方向と大きさが変わり、潮流及び風による横圧流力の変化量の予測が困難。
- 3) 35度の大舵角を使用する必要性が高い。このとき、速力が低下すると、舵効きが悪くなり、また、大きく横に流される。
- 4) 当て舵と変針に必要な回頭力が操舵角35度で不足するとき、回頭力を得るために機関の一時ブースティングをすることもあるが、この場合船尾がキックにより航路をはみ出すおそれがある。

などを考慮しなければならないが、これらを予め正確に予測することは困難である。

PCC船は4ケース中、3ケースで航路を逸脱する結果となった。対応策として、1) 速力制限を6.5-8.0ノットにする、2) タグを1-2隻つける、3) 航路屈曲部に隅切りをつける等の意見が出された。

コンテナ船では3ケースが首尾良く変針が可能であった。レイアウトに関してつぎの意見がだされた。1) コンテナ船の入港を考えると、与えられた条件では操船が難しいので、港外航路の中間地点では屈曲部を設定しないほうがよい。2) 屈曲部での隅切りが望ましい。3) 変針点手前500 m、変針後1000 m間は航路幅 $L+2B$ (L :船の全長、 B :船幅)とする。そのほか、タグ1隻を補助、護衛につける、等の意見がだされた。

バルクキャリアーは4ケースとも略航路内を航行可能であった。

4.3.3 減速操船

減速操船のための航路標識ブイ、防波堤等のレイアウトは、図-26(c)の通りである。本船は防波堤を通過後徐々に減速し、NO.5-6ブイからNO.7-8ブイ付近で2ノット程度まで速力をおとす。通常、速力をおとすのは、操船上何等かの目的があるはずで、泊地停泊のための投錨、バース接岸、回頭などの操船が行われる。このような水域では、他の水域に比べ必要とされる水域の拡大がなされているのが普通である。この減速操船実験ケースでは、バースや泊地の付近までの操船を主な実験対象としている。

3船種とも、概ね良好な結果が得られた。ただし、全ての船種でタグの使用が前提条件という所感であり、実験でのPCC、コンテナ船、バルクキャリアーの4ケースのタグ使用最大隻数の平均は、それぞれ1.5、2.3、1.8隻であった。

4.3.4 減速変針操船

この操船の方法は、目標の速力に減速した後に、引き続いて変針するのではなく、減速しつつ変針を行うもので、変針後直ちに着岸体勢に入るようなときに使用される。操船は、非常に難しいとされており、例えば、川崎港東洋埠頭(扇町)、横浜港本牧埠頭D突堤に於ける入港操船ではしばしばみられる操船といわれる¹⁰⁾。減速変針操船の航行環境は、図-26(d)に示す通りであり、航路幅は、船の全長に等しい $1L$ とし、屈曲部の半径は航路中央部で $4L$ のレイアウトになっている。操船は防波堤通過後90度の大変針を行い、浮標9、10地点で2ノットまで減速するものと想定されている。

実験結果から操船の方法には、2種類の傾向がみられ

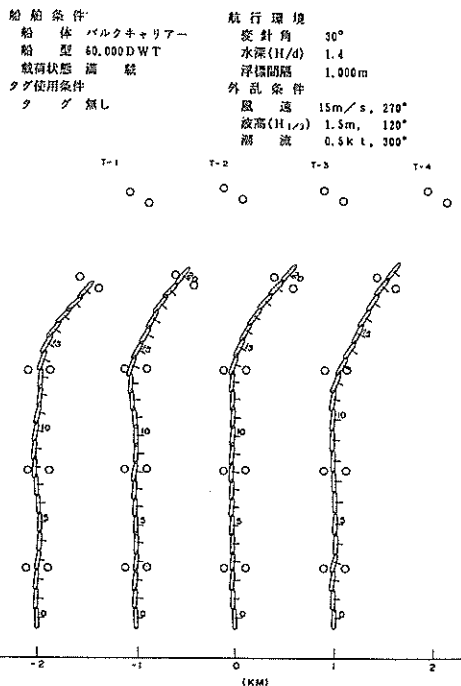
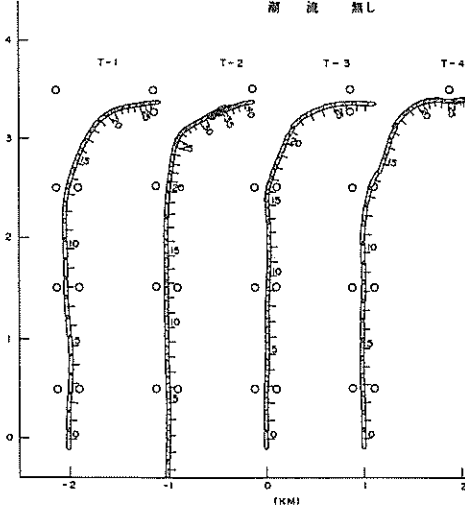


図-28 変針操船シミュレーション航跡図
(バルクキャリアー)

船舶条件	航行環境
船体 バルクキャリアー	航路半径 4.0L
船型 60,000DWT	水深(H/D) 1.2
載荷状態 満載	浮標間隔 1,000m
タグ使用条件	外乱条件
タグ 3,000HP, 4隻まで	風速 15m/s, 330°
	波高(H/L) 1.0m, 120°
	潮流 無し



図一 29 減速変針操船シミュレーション航跡図
(バルクキャリアー)

る。即ち、一方は、できるだけ減速しないで変針し、変針が終了した段階でタグで針路を保持しながら減速を行うタイプと、他方は、早めに減速し、変針を含めてタグを多用する操船方法である。外力の影響を受けながら制限速度下で大角度の変針をするためには、タグの使用は絶対条件としているが、その使用形態についてもいろいろな所感が述べられている。例えば、タグの使用を変針と保針のためだけでなく、タグポジションを船首と船尾にとり、本船の制動にも利用することや速力4-5ノット残っている状態でタグの無理な運用になってしまったこと等である。

変針し始める手前1L-2L付近から操船終了までの舵操作及びタグの使用状況は、各船種ごとにそれぞれ、23.0, 29.4, 22.4度(平均使用舵角), 31.3, 41.9, 36.1% (タグを使用した時間的割合), 2.5, 3.3, 2.3隻(タグ使用隻数)であった。また、最大舵角の使用率は、それぞれ36.4, 51.0, 27.4%であった。

所感についての船種による明確な差異は認められなかった。全体として、次のようにまとめることが出来る。

- 1) 減速変針となる水域施設のレイアウトは操船が困難であるので、できるだけ変針後減速となる配置に

する。この場合、変針後の減速のための航路長として、2.0L程度必要である。

- 2) やむを得ず減速変針のレイアウトとなる場合は、変針後の水域は、余裕のある広さが必要である。

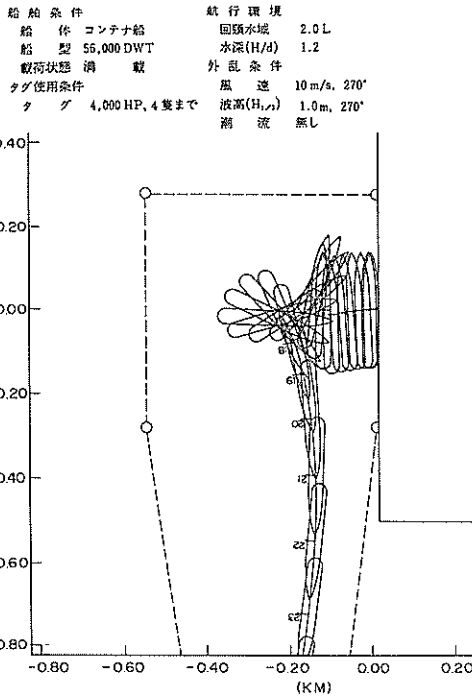
4.3.5 その場回頭

この操船は、入り船着岸船の離岸、回頭出港を想定しており、このとき作用する方向が岸壁側に押し付ける外力条件を設定している。回頭エリアは、船の長さの2倍を1辺とする正方形の水域をブイにより設定した(図-26(e))。操船は、岸壁前面で180度回頭した後、回頭水域に接続して取り付けられた幅1Lの航路を進み港口部に向かう。回頭の方向は、操船者に一任されている。風速の条件は、他の操船の場合と比べ少し緩く、10m/sに設定した。これは、接岸する本船に真横から受ける風圧力を求めると、コンテナ船の場合15m/sの風では、4隻のタグで離岸出来ないからである。したがって、PCC船、バルクキャリアーとも同じ10m/sの風とした。実験結果の航跡図の例を図-30に示す。

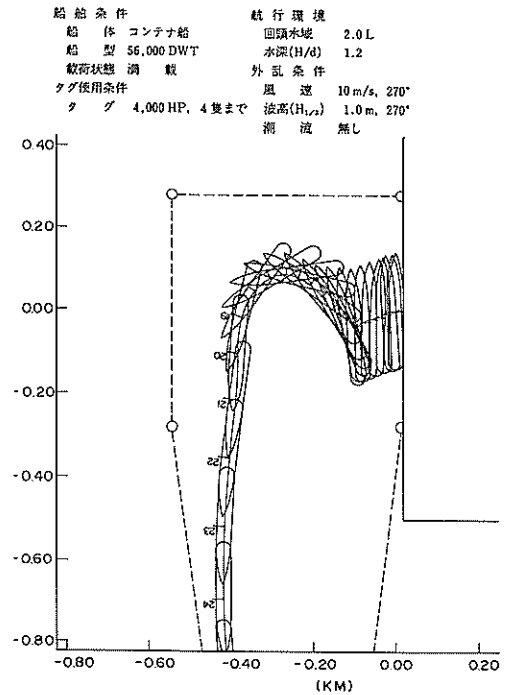
風速を10m/sと小さく設定したことによると推定されるが、危険である、狭すぎるというような所感は全船種とも1ケースも無く、回頭水域2Lは、タグが所要の隻数だけつけることが出来れば十分な広さであるという意見が大半であった。但し、回頭後の最初のブイ5, 6番までは、航路幅を約2L確保する要があるとする意見が出された。

4.3.6 実験結果の評価

船舶の種類による操船の難易の特性ひいては限界航行領域等については、実験ごとのバラツキが大きいため定量的に解析することは出来なかった。ただし、実験結果から全長200~280m, 50000トン級の3タイプの船に限定しての船舶間相互の定性的な評価としては、各ケース毎の操船者のコメントから次のような結果が得られた。即ち、余裕水深の余り無い港内において(比叡水深は同一)、風、波、潮流等の外乱を非常に強く受ける時(同一条件)、バルクキャリアー、コンテナ船、PCCの順に操船は困難となっていく。これはまた、操船の難易度に関連すると思われるいくつかの指標からも推定される。操船操作ならびに船舶の運動に関する解析図(図-31, 32参照)及び統計量として求めた表-20によると、保針操船における平均操舵角と最大舵角使用率は、船種によりそれぞれ23, 19, 7度ならびに19, 14, 0%であり、船種による指標値の差は歴然としている。このうちコンテナ船については、外乱条件が異なるものの川崎港の実験でも同様の操船を実施したので指標値の比較のためにK印をつけて同じ表に追加した。直



図一 30 (a) その場回頭操船シミュレーション航跡図
(コンテナ船・右回頭)



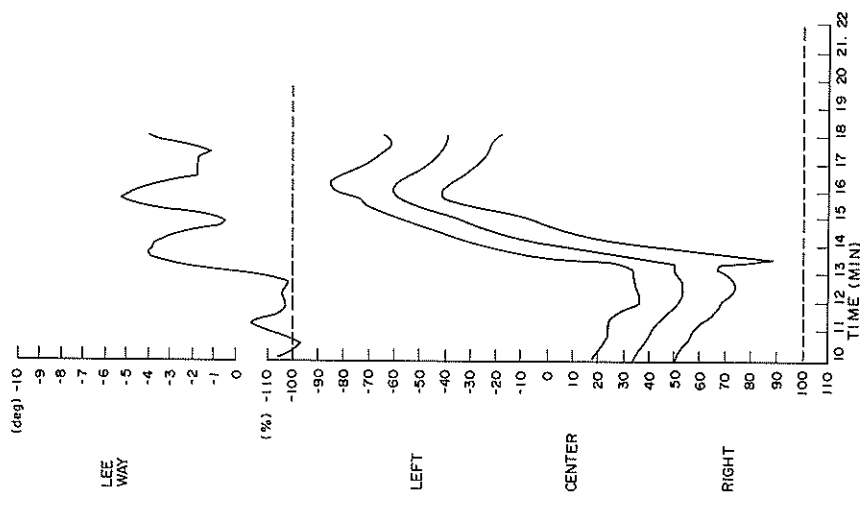
図一 30 (b) その場回頭操船シミュレーション航跡図
(コンテナ船・左回頭)

針のケースと比較すると、川崎港の場合、平均操舵角が13度、最大舵角使用率6%で、この場合の操船上の安全性に関しては、操船可能という評価であったことから、直針操船の安全性に関する指標値の限界は、13~19度及び6~14%付近の数値が予想される。

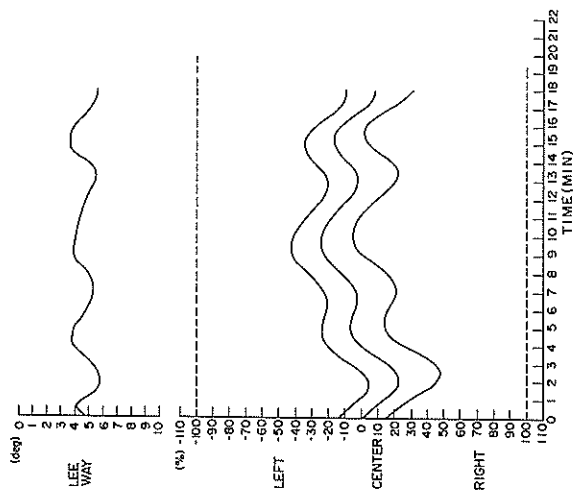
5種類の要素操船の種類による操船の難易については、操船者のコメントを分析することにより、より困難なものから順に、港外30度変針、港内90度減速変針、港外直針、防波堤通過後の減速、離岸・その場回頭出港であった。

操船者間のバラツキに関しては、操船者ごとの航跡図をならべた図一27, 28, 29からもわかるように、航路中央線からの横変位置あるいは蛇行幅は操船の種類、船種、操船者により実験ケース毎にあたかもランダムなパターンの変化を示している。これを裏付けるように操船者のコメントは同一条件の実験で著しく異なっている。表一19は操船者のコメントの一部で、(a), (b)はコンテナ船直進操船のケース、(c), (d)はバルクキャリアの減速変針操船のケースであり、(a), (c)と(b), (d)が同一の操船者である。

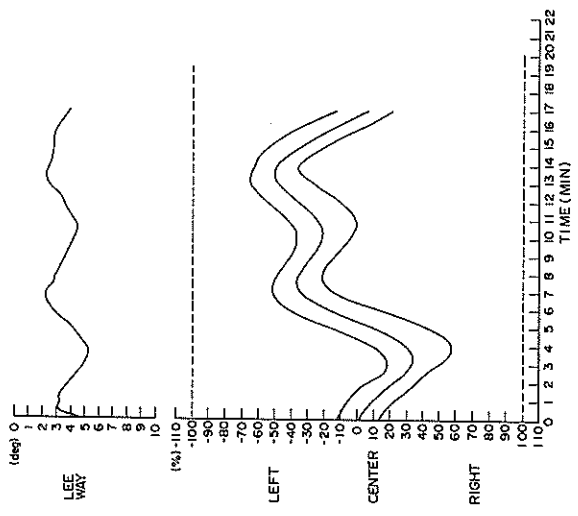
これらの結果を踏まえ、限界航行領域を推定するための必要シミュレーション実験数は、実船及び実験の両者に経験の豊富な3~4名の操船者の検討によると、同一条件のもとでミニマム10~20ケースであろうと予測された。



図一31(c) 横流れ角および機変位置
(PCC・変針操船)



図一31(b) 横流れ角および機変位置
(バルクキャリアー・直針操船)



図一31(a) 横流れ角および機変位置
(コンテナ船・直針操船)

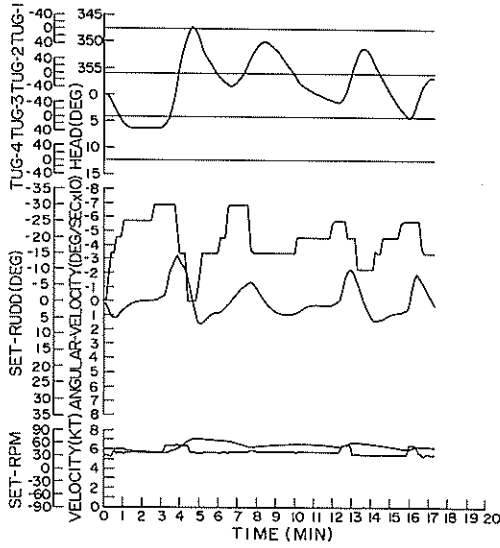


図-32(a) 直針操船記録および船舶運動
タイムヒストリ (PCC)

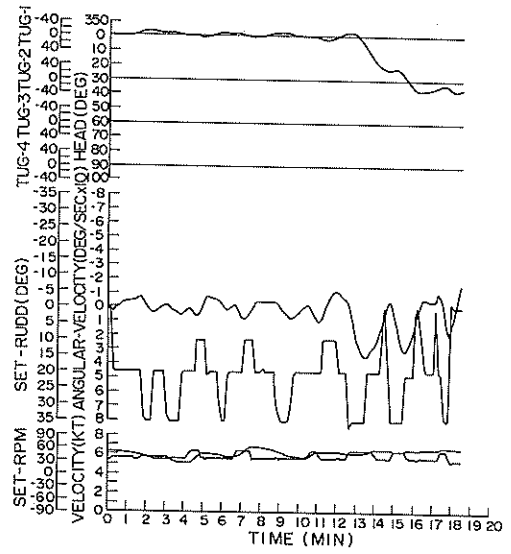


図-32(b) 変針操船記録および船舶運動
タイムヒストリ (PCC)

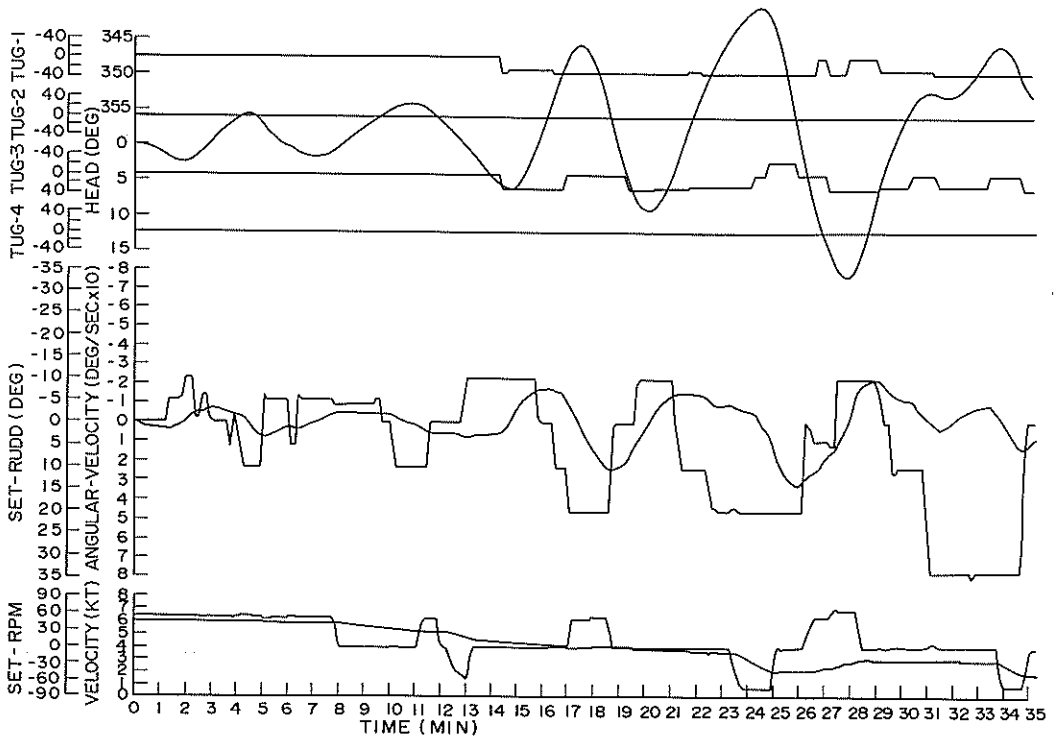


図-32(c) 減速操船記録および船舶運動タイムヒストリ (バルクキャリアー)

表一19(a) 実験前後の操船者によるコメント(操船者A)

CONTR1. 直針操船		CONT01A	
実験前の計画		実験後の自己評価	
1. 風、波浪等海・気象条件に対する注意	<p>◎実験船のうち風圧面積最大船で15m/sの時、風圧力は約110Ton。</p> <p>◎向風性により船首の右振れ、潮流による右偏位に対処することが第一の注意。PCC船とはほぼ同じ感覚でいく。</p>	海・気象航行援助施設関係	<p>◎潮流、波による右方への圧流、風による船首切り上りに対し常に舵左であった。</p> <p>◎風圧面積大きい、喫水も深いのでPCC船よりは安定していた。</p> <p>◎左側航行に努め潮流にそなえた。</p>
2. 操船上特に問題となると予想される事項	<p>◎船速6ノット以上とするため潮流への対処はPCC、BULKと同じでよいと思う。横流れ角は3-5°と予想。当舵も左15°必要と思う。外力の影響に対し、釣合う機関と舵角を把握することは難しく鋸歯形の航跡となるだろう。ある浮標を通過したら次の1,000m先の青ブイに向首するように心がける。</p> <p>◎総括的には航路の左側航行に努める。</p> <p>◎速力7-8ノット、当舵左20°と計画しておく方が精神的にゆとりがもてるだろう。</p>	問題であった位置内容それらについての余裕	<p>◎条件が厳しいので速力6-7ノット維持に努めた。開始と同時に舵右20°、Half aheadとし針路、速力維持。潮流に流され浮標1、2で船首方位は0°であったが右に40m寄っていた。その後Slow ahead舵中央で350°で進んだ。浮標3、4では速力6.9ノット、左に50m位置し、その後舵左20°速力6.7ノットで船首方位0°で進んだ。浮標5、6では舵左10°船首方位350°。その後左に最大70mまで寄り、浮標7、8で舵左15°、6.5ノット。</p> <p>◎以上を要約すると蛇行幅は右40m、左70mの110m、当舵は左15-20°横流れ角は約5°。</p> <p>◎問題となることは右偏位に対する当舵の量と速力の把握。航路幅1L内を安全に航行する場合速力は6.5-7ノット必要と思われる。この場合必要当舵は15-20°であり、操船に不安はなかった。</p>
3. 航路等水域施設に関する事項	<p>◎強風下の場合、船長280mもある巨大船を1Lの航路内を航走させることは容易なことではない。</p> <p>◎回頭角速度と方向に注視し、また横方向への偏位量を常に把握し、早目に修正しなければ幅1Lの航路を逸脱するだろう。</p>	航路計画、港湾のレイアウトに関する事項	◎保針が難しいので、他船と行き合った場合接触する危険があるので1Lの航路幅では航行管制が必要である。
4. その他	◎PCC、BULK船に比し、船長が一番長く、風圧面積も最大、しかし主機馬力が大きいため他船に比し舵効きは早いと思う。	その他	◎操船可能な横流れ角は10°以内といわれている。

表-19(b) 実験前後の操船者によるコメント(操船者B)

CNTR1. 直針操船		CNT01B	
実験前の計画		実験後の自己評価	
1. 風、波浪等 海・気象条件 に対する注意	<p>◎左当舵 20～30 で航路中央を航行する。</p> <p>◎左右の偏位を監視し、偏位を早期に修正すべく操舵する。</p> <p>◎主機を適宜使用し、6ノット以上を維持する。</p>	海・気象航行援助施設関係	<p>◎左当舵 10～20°で 350～360°に向首。中央よりの航行を意図したが、当初左寄り航行となってしまったため、航路中央を維持できず6番ブイ付近では、右寄り航行となってしまった。</p> <p>◎船速は、6.5ノットを維持しようとした。</p>
2. 操船上特に問題となると予想される事項	<p>◎一度姿勢を崩すと、制御できなくなる恐れがあるため、極力航路中央を航行する。</p>	問題であった位置内容それらについての余裕	<p>◎針路が非常に不安定で、回頭力が左右どちらについたのか、判定困難の時が度々あった。この為、左右にフラフラした航路となってしまった。</p> <p>◎20～30°の当舵が必要であった。</p> <p>◎航跡が蛇行してしまった為、風潮流による左右への偏位は摺みきれず、余裕のない操船となった。</p>
3. 航路等水域施設に関する事項	特になし	航路計画、港湾のレイアウトに関する事項	<p>◎航路幅1Lは狭すぎると思われる。</p> <p>理由 他の操船例では経験しなかったことであるが、針路が非常に不安定であった。(別の要因があったのではないかと思う。)</p>
4. その他		その他	<p>◎1, 2番ブイの1,000m手前より開始した。</p> <p>◎このような気象条件下での航行はやるべきでないと思われる。(タグを用意しても速力がある為、有効に使えないと思う。)</p> <p>自己評価：蛇行した事により、5段階評価ではC</p>

表一19(c) 実験前後の操船者によるコメント(操船者A)

BULK4. 減速変針操船		BLK04A	
実験前の計画		実験後の自己評価	
1. 風、波浪等海・気象条件に対する注意	<p>◎針路000°の時、向風性により船首の左振れがあるが、当舵は5°位右で対処できると思うが、風圧により自然と右方に寄せられる。</p> <p>◎変針時は速力の低下とともに左切りあがり、後方からの波圧力により左方へ圧流され航路逸脱するおそれもあるので、航路中央より右側を航行する。</p> <p>◎タグは船首左右、船尾左に用意しておくが、船首を適宜押すのみで充分だと思う。</p>	海・気象航行援助施設関係	<p>◎強い風ではあるが、潮流はなく、相対風向も30°の角度しかなく直針部は当舵5°ぐらいで航進できた。変針時風による船首のきりあがり、波圧力による左への偏位を強く感じた。</p> <p>◎タグは船首を安定させるため1隻は必ず、安全のため2隻は必要である。</p>
2. 操船上特に問題となると予想される事項	<p>◎向い風のため速力減少に留意し、浮標5,6近くまで6.0ノットで進む。航路中央航行、浮標5,6の2L手前で右舵、No6付近で主機停止、No8付近でHalf asternとし速力を減ずる。</p> <p>◎変針しながら機関後進とすることで低速時の風、波浪による左への偏位、船首の左振れに対しタグで制御することとなる。</p>	問題であった位置内容それらについての余裕	<p>◎開始と同時にHalf ahead, 浮標5,6までは平均的に船首方位353°~000°, Half ahead, 速力6.2~6.5ノット、航路中央よりやや左、予定通りの進行浮標5の1L手前より右舵、浮標8通過時Half astern, 右舵一杯、速力減少、浮標9,10の手前1Lで船速は2.0ノットとなったが、舵効効かず、風のため左に切りあがり、船首が浮標9,10に並んでタグ1隻で船首左を押しした。終了時、速力1.7ノット針路088°。</p> <p>◎問題は、変針のため船速4~5ノットは維持しておく必要がある。浮標9,10手前で減速した時左へ圧流、偏位するのでタグが必要である。</p>
3. 航路等水域施設に関する事項	<p>◎風潮流のない場合の4Lスミ切り90°変針は困難ではないと思う。</p> <p>◎変針終了と同時に船速2ノットという条件が厳しい。浮標5,6~7,8間が広いのでこの水域で60°は回頭しておきたい。</p>	航路計画、港湾のレイアウトに関する事項	<p>◎変針部においては航路幅全部を使用するので、この付近での他船との行合、追い越しは避けなければならない。また直進部でも2船が対面交通となることは危険と思われる。</p> <p>◎浮標9,10手前では速力も低く波圧による左偏位が予想外に大きい。変針終了と同時に減速するようなレイアウトではなく、減速するための直進距離を2L確保する必要があると思う。</p>
4. その他	タグの使用は、船速3ノット以下になってからとする。	その他	

表-19(d) 実験前後の操船者によるコメント(操船者B)

BULK4. 減速変針操船		BLK04B	
実験前の計画		実験後の自己評価	
1. 風、波浪等海・気象条件に対する注意	<p>◎右当舵5～10°とりつつ船首方位355°に向首し、航路左寄りを航行する。適宜主機を使用し防波堤を通過する迄は、6ノットを維持する。5番ブイ寄りに航行し、右への圧流に注意する。</p> <p>◎タグは、左舷前後に1隻づつとる。</p> <p>◎6番ブイ手前で主機停止し、徐々に変針する。</p> <p>◎10番ブイで2ノットに減速する。</p>	海・気象航行援助施設関係	<p>◎右当舵5°で略航路中央を航行した。</p> <p>◎向い風の為速力が出ず、5ノットになってしまった。6ノットを維持すべきであった。</p> <p>◎予定より早い所で(防波堤を通過した所で)主機停止としてしまった。</p> <p>◎6番ブイで速力3ノット、転舵の為後進半速、右舵20°発令した。船体は予定通り5番ブイ寄りに航行した。</p> <p>◎8番ブイで約2.5ノット、大まわりしたので右への圧流には余裕があった。8番ブイでタグに船首をおさせ、姿勢の制御に努めた。</p>
2. 操船上特に問題となると予想される事項	<p>◎右回頭する時機の判断及び回頭後定針するのが難しいと思われる。</p>	問題であった位賃内容それらについての余裕	<p>◎強風下での操船であり、早目の減速は失敗であった。</p> <p>◎8番ブイ付近迄5ノットを維持し舵効を保つ方法も考えられる。この場合はタグによる制動を考慮すべきと思われる。</p>
3. 航路等水域施設に関する事項 施設に関する事項	特になし	航路計画、港湾のレイアウトに関する事項	<p>◎強風下での減速は風下に流されるので、タグや本船主機をタイミングよく有効に使用してのみ可能なレイアウトと思う。</p> <p>もう少し余裕(旋回半径を大きくするとか、変針角度を小さくする)をもったレイアウトが望ましい。</p>
4. その他	<p>◎通常このクラスの船では、タグ2隻が普通と思われる。この為残り2隻は予備とした。</p>	その他	<p>◎本船主機のみでの制動には、限界があるので、タグの利用方法を考えるべきであった。この為、正船首尾にタグを取り、タグによる制動、変針を図るべきであった。</p> <p>◎1, 2番ブイ1,000手前より助走した。</p> <p>◎タグ4隻をフルに利用すべきであった。</p>

表一 20 操船の種類別・船種別操舵または運動の統計量（指標）

直進操船	PCC	CONT	BULK
平均舵角 (度)	-21.7	-16.3	-1.3
舵角標準偏差 (度)	22.6	18.8	7.2
ハード使用率 (%)	19.1	13.5	0.0
操舵間隔 (秒)	37.	42.	29.
回頭周期 (秒)	63.7	101.3	86.2
操作量 (度/分)	19.0	13.6	16.0
偏角 (度)	-1.8	-2.9	-4.6
最大横変位量 (m)	68.6	71.4	52.4
K舵角標準偏差		13.3	
Kハード使用率		6.4	
K操舵間隔		24.6	
K操作量		26.3	
変針操船	PCC	CONT	BULK
平均舵角 (度)	22.1	23.2	5.1
舵角標準偏差 (度)	24.8	26.4	17.0
ハード使用率 (%)	28.3	37.0	6.4
K舵角標準偏差		16.3	
Kハード使用率		21.4	
K操舵間隔		29.3	
K操作量		31.3	
減速変針操船	PCC	CONT	BULK
ハード使用率 (%)	36.4	51.0	27.4
タグ使用率 (%)	31.3	41.9	36.1
タグ最大隻数	2.5	3.3	2.3
タグ指令間隔 (秒)	72.6	122.5	109.4
使用平均推力 (トン)	48.0	63.4	29.1
Kハード使用率		32.1	
Kタグ使用率		62.0	
Kタグ最大隻数		2.2	
Kタグ指令間隔		98.7	
その場回頭操船	PCC	CONT	BULK
ハード舵角使用率 (%)	26.7	30.6	23.7
タグ使用率 (%)	53.9	66.3	52.1
タグ最大隻数	2.0	2.0	2.0
タグ指令間隔 (秒)	128.6	127.0	117.7
使用平均推力 (トン)	82.7	122.7	88.8

5. ま と め

現在の船型の大型化，専用船化，航行水域の制限と交通のふくそう化が進むなかで，安全な船舶航行を確保する水域施設，港湾施設を設計・計画することは従前にもまして強く要請されている。このような状況のもとで，本報告では，操船シミュレーターの港湾施設の計画，設計への適用についてケーススタディにより紹介するとともに，今後シミュレーターを港湾計画へ適用していくにあたっての問題点について検討した。

操船シミュレーターの実験により得られた結論は以下の通りである。

- 1) 具体的な水域施設計画において，操船上の安全性からの検討を実施する方法として操船シミュレーターを利用する方法は，施設にたいし適切な評価を与えることができる有用な方法である。
- 2) マンマシンシステムである操船シミュレーターを利用する場合の実験・評価方法の手順を明らかにすることが出来た。
- 3) 設定された条件が極めて厳しい場合は，操舵，機関の使用発令の僅かな時間の遅れが，船の運動の大きな相違結果となって現れることが分かった。したがって定量的な評価を行うためには統計的にデータを処理できるよう実験数を増やす必要がある。
- 4) 外力の影響を大きく受けるため操船が難しいといわれる50,000トン級の自動車専用船，コンテナ船，バルクキャリアーについて特定の航行条件のもとでの蛇行幅，横流れ角，使用舵角を求め操船の難易，航行の変動領域との関連について分析した結果，評価指標の一部として利用可能であることを示唆した。

6. あとがき

実験の結果，操船者によるシミュレーターそのものに関するコメントとして，視界部については一部実船の感覚と違うので，画面を高細精化し画角をワイドレンジにする必要があると指摘された。その理由として，自船の運動や他船の速力など計器以上に視界から得る情報は重要でこれを正確に捉えることにより，機関，操舵の発令のタイミングを合わせるためであるとされている。今後，これらの指摘を受け，実験精度を上げるためにも，随時

視界部を改良していく予定である。

最後に，操船実験は，多くの関係者の協力により実施できたものである。内海水先人会，東京湾・横須賀水先区水先人会，横浜船主会，(社)日本船長協会，日本海事コンサルタント協会，(社)日本海難防止協会，(財)国際臨海開発センターの関係者の方々にはシミュレーターの操作をして戴いた。(社)日本海難防止協会，(財)沿岸開発技術研究センター，(財)国際臨海開発センター呉市，川崎市等の担当者の方々には，実験に関する資料の提供，港湾計画等に関する情報提供その他でご協力戴いた。また，リアルタイム画像処理に関して当所機械技術部ロボティクス研究室に貴重なコメントを頂き，そして一部のデータの媒体変換には当所海洋水理部海象調査研究室のお世話になった。ご協力戴いた多くの方々に，深甚の意を表します。

(1990年6月30日受付)

参 考 文 献

- 1) (社)日本港湾協会(1989): 港湾の施設の技術上の基準・同解説，第6編 pp.1~11
- 2) 小瀬邦治，日當博喜，菅野賢治，本田啓之輔(1984): 出入港操船の安全性に関するシミュレタスタディの例，日本造船学会論文集，第156号，pp.193~200
- 3) 藤井 斉，野本謙作(1970): 操縦性試験法，日本造船学会第2回操縦性シンポジウム，pp.1~39
- 4) 小山健夫，小瀬邦治，長谷川和彦(1977): 保針操舵における針路不安定の許容限界に関する考察
- 5) 石橋賢諭(1975): 定常風下の進路安定性並びに操船可能な風速の範囲について，日本造船学会論文集，第138号，pp.165~177
- 6) 小林弘明，中谷正彦(1981): 定常風下における保針操舵限界に関する一考察，日本航海学会論文集，第66号，pp.117~125
- 7) 小瀬邦治，平田法隆，平尾三郎，大橋克海，浜田康弘(1988): 出入港操船シミュレータ，日本航海学会論文集，第79号，pp.101~107
- 8) 仲渡道夫(1981): 操縦性研究の流れ，日本造船学会，第3回操縦性シンポジウム，pp.1~8
- 9) 小瀬邦治，日當博喜(1985): 出入港時の要素操船性能について-I 出入港操船と要素操船性能，日本航海学会論文集，第74号，pp.29~34
- 10) 松倉廣吉，久々宮 久(1988) 平均スピードからみた港内操船の難易度，航海，第97号，pp.39~49

港湾技研資料 No.686

1990・9

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 ミッセイエプロ株式会社

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.