

ファーストトラック・シーレーン（湾内高速航行） に関する技術要件の調査研究

－輻輳海域高速航行のシミュレータ実験結果等の評価手法－

沼野 正義*、丹羽 康之*、伊藤 博子*、福戸 淳司**
田中 邦彦**、岡崎 忠胤**、宮崎 恵子*、伊藤 泰義**

Investigation on Technical Requirements for Fast Track Sea Lane
-Assessment Procedure for High-Speed Navigation in Congested Sea Surface
Using Simulator Experiments, etc.-

by

Masayoshi NUMANO, Yasuyuki NIWA, Hiroko ITOH, Junji FUKUTO
Kunihiko TANAKA, Tadatsugi OKAZAKI, Keiko MIYAZAKI
and Yasuyoshi ITOH

Abstract

Aiming at realization of safer and more effective marine transportation, a national project of a highway network on sea surface has been progressed in Japan. A high-speed transportation in congested sea area is one of the key items to be realized in the project.

As each high-speed craft has its peculiar configuration and mission, safety assessment of its navigation should be evaluated taking traffic condition, craft performance, navigation aids and human operators corresponding to each craft into account. A procedure of the safety assessment based on ship handling simulator experiments is proposed.

The effectiveness of the procedure has been confirmed by applying to a large hi-speed craft navigating in Tokyo Bay as one of the most severe congested conditions.

The procedure comprises suitable modeling and installation to the simulator, adoption of the typical and most difficult scenarios and combination of expert mariners' subjective evaluation and objective evaluation with appropriate indices.

A safety margin based on OZT(Obstacle Zone by Targets) is also proposed as an appropriate index for objective evaluation of high speed navigation in congested sea area.

A comprehensive safety assessment procedure is proposed based on the research results.

* 海上安全研究領域、** 輸送高度化領域

原稿受付 平成17年4月27日

審査済 平成17年10月14日

目 次

1. はじめに	2
1.1 概要	2
1.2 調査研究体制	3
2. シミュレータ実験	3
2.1 高速船用シミュレータ	3
2.2 実験方法	4
3. シミュレータ実験結果	5
3.1 実験シナリオ	5
3.2 被験者の主観的評価解析結果	5
3.3 客観的評価解析結果	6
3.4 実験結果のまとめ	8
4. 航走波に関する調査	12
4.1 船型の最適化	12
4.2 運航パターンの最適化	12
5. 他船への周知に関する調査	12
5.1 高速船が当該海域を航行することをあらかじめ他船へ周知する手法	12
5.2 本船側から他船への高速航行を認識させる手法	12
6. まとめ	13
6.1 本調査研究のまとめ	13
6.2 輻輳海域高速航行のシミュレータ実験結果等の評価手法	13
謝辞	14
参考文献	14
付録 1 関連するこれまでの調査研究	17
付録 2 実態調査	19
付録 3 高速船用シミュレータ整備	26
付録 4 操縦性能	31
付録 5 危険判定半径について	32

1. はじめに

1.1 概要

現在、海事 3 局庁では「海上ハイウェイネットワークの構築」¹⁾を推進しており、ハードとソフトの施策を有機的に組み合わせることにより、安全性と効率性の両立した海上輸送網の構築を目指している。

本調査研究は、その一環として、国土交通省海事局の委託に基づき、シミュレータ実験を通じ、輻輳海域を高速航行する船舶に要求される技術要件を明らかにするための手法を確立するとともに、技術要件を設定するものである。図 1.1 に本調査研究のフローを示す。本調査研究は、平成 14 年度、15 年度の 2 ヶ年にわたるものである。

平成 14 年度は、高速船による東京湾内の実際の運航状況、航海支援、さらに当直体制等についての実態調査、及び高速船の操船インタフェースに関する実態調査を実施し、その結果を基に、海上技術安全研究所のシミュレータを高速船対応に改良、整備するとともに、画像データ、操船インタフェースを作成し、シミュレータの検証のための予備実験を行った。

平成 15 年度は、平成 14 年度に整備した高速船用シミュレータをもとに、以下の手順で、輻輳海域を高速航行する船舶に要求される技術要件について調査研究を実施した。

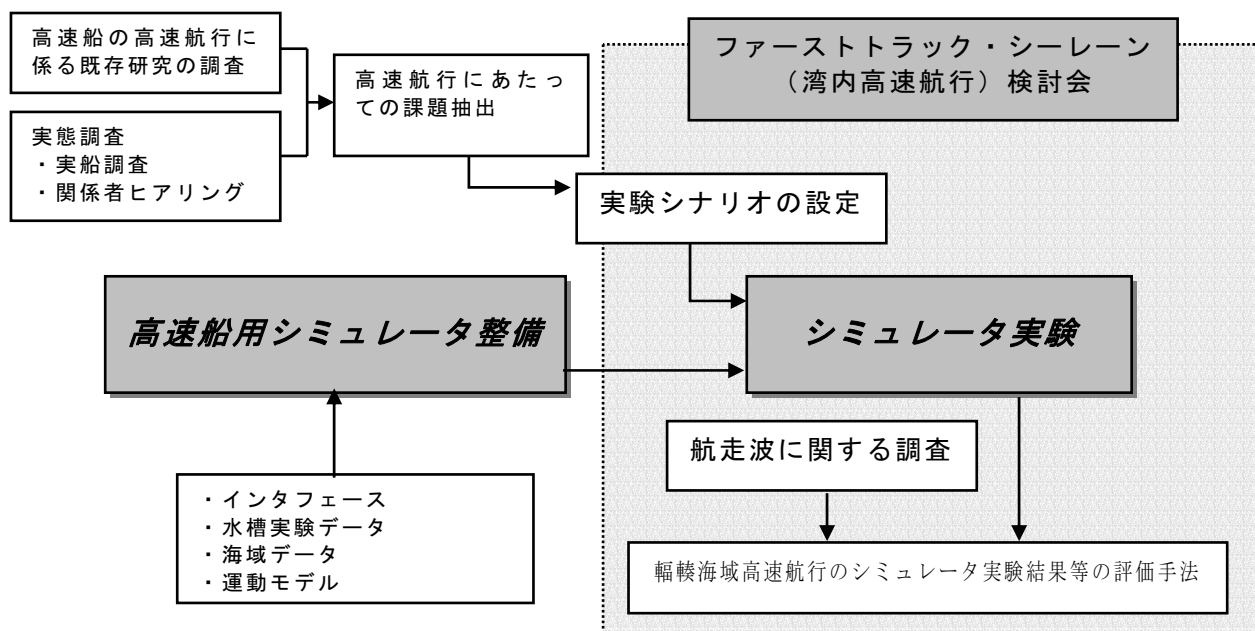


図 1.1 ファーストトラック・シーレーン（湾内高速航行）の調査研究フロー

- ・操縦運動に関わる性能要件をパラメータとして設定するために、高速船の操縦運動モデルをシミュレータへ組み込むとともに、高速航行への有効な航海支援機能の評価を行うために、操船インタフェース、景観画像等のシミュレータの機能を拡張する。
- ・運航時間帯、船舶性能、風影響を変化させたシナリオを設定し、熟練操船者等により、幅輦海域における高速航行を模擬したシミュレータ実験（以下、シミュレータ実験）を行う。
- ・シミュレータ実験の記録データ、実験後のヒアリング結果を分析する。
- ・航走波の影響を最小化する手法、他船への周知の方法について調査する。
- ・以上の結果をもとに、幅輦海域を高速航行する船舶に要求される技術要件を設定する。

技術要件の設定にあたり、シミュレータ実験では操縦性能等ハードの要件については被験者の操船操作への習熟により評価の違いが見られなくなること、さらに、高速船は在来船と異なり、投入される海域、用途等により様々な形態をとるため、操縦性能等、個別の要素について一律の性能要件を設定することが極めて困難であることから、技術要件の評価においては、高速船を操縦性能、航海支援機器、操船者等、ハード及びソフトを含めた全体システムとしてとらえ、全体システムの出力としての航行結果と在来船の結果から余裕度を評価し、その余裕度を比較評価することを技術要件として取りまとめた。

本報告書は、幅輦海域における高速航行を模擬したシミュレータ実験結果から所要の技術要件を検討するとともに、航走波の評価手法や他船への周知についての検討を併せて、「幅輦海域高速航行のシミュレータ実験結果等の評価手法」としてとりまとめたものである。

なお、付録 1 に本研究の背景を明らかにするために実施した関連調査研究をレビューする。

1.2 調査研究体制

平成 14 年度には、これまでの関連する調査研究をレビューするとともに、高速船の運航実態調査（付録 2 参照）を行い、シミュレータ実験による評価のためのシミュレータの整備、ならびに実験シナリオの検討を行った。平成 15 年度においては、評価手法に係る調査研究を適切かつ効率的に実施するために、外部有識者から成るファーストトラック・シーレーン（湾内高速航行）検討会

を設置して、有識者の意見等を踏まえつつ検討を行った。

2. シミュレータ実験

2.1 高速船用シミュレータ

シミュレータ実験に用いた高速船用シミュレータは、平成 14 年度の高速船の実態調査等に基づき開発したものである。その概観を写真 2.1 に示す。以下、実際の実験に用いた交通環境、操縦運動モデル等について述べる。（付録 3 参照）



写真 2.1 高速船用シミュレータ概観

① 交通環境

シミュレータ実験で用いた交通環境は、わが国有数の幅輦海域である東京湾のデータより生成したものであり、極めて厳しい船舶交通条件設定になっている。

実際には、1990 年の実態調査に基づく東京湾交通流データにおける早朝入港ラッシュ時のデータ²⁾から生成しており、現在の船舶交通量が当時よりほぼ 7 割程度³⁾に減少していることから、現在よりも厳しい条件設定となっていることが分かる。なお、1990 年当時と現在との交通状況の違いを考慮して、アクアラインならびに中ノ瀬西方ブイによる分離航行、中ノ瀬西方等の操業漁船群、風の塔付近、および扇島・本牧沖の停泊船等、適宜修正を加えている。

また、夜間航行の実験では、上記の早朝ラッシュ時の交通流をそのまま用い、シーンを暗くして実施した。このため、実際の夜間の交通流より幅輦度が 3 倍程度⁴⁾高くなっている。

② 操縦運動モデル

シミュレータ実験に用いた操縦運動モデルは、平面運動を規定する 3 自由度とローリングを考慮した操縦運動モデルで、風の影響も表現できる。実際には、操縦性能が被験者に与える影響を調べるために、以下のような設定を行った。

操縦性能についてバリエーションを持たせるため、2 種類の高速船のデータ（表 3.1 のモデル①及びモデル②）をベースとして、舵の効果や、速

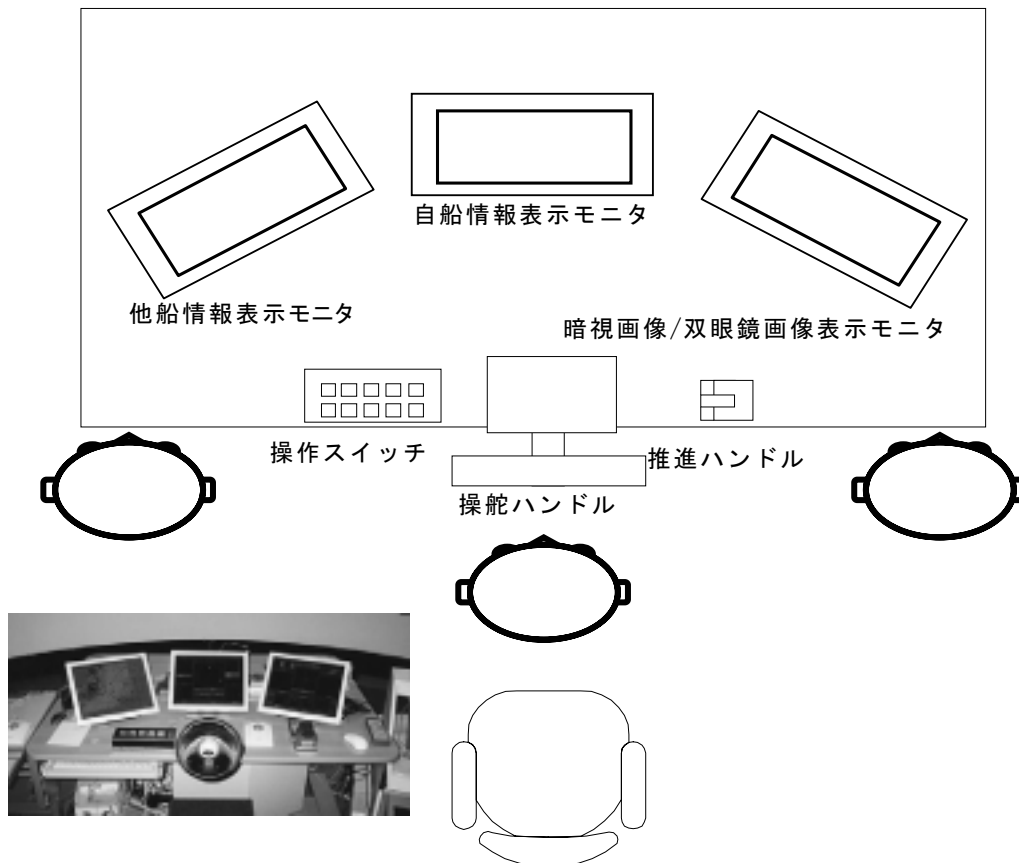


図 2.1 操船インタフェース

力指示に対する実速力の応答等を変化させ、操船者から見て 4 通りの異なる旋回性能及び加減速性能を模擬した。

③ 操船インタフェース

高速船用シミュレータの操船インタフェースは、平成 14 年度の高速船の実態調査をもとに、作成したものである。図 2.1 に示すように、操船卓正面に自船情報表示モニター、左に他船情報表示モニター、右に暗視画像表示モニター（双眼鏡画像表示兼用）を設置してあり、航海支援機器として、電子海図、RADAR/ARPA（Automatic Radar Plotting Aids）、双眼鏡、暗視装置（夜間）を模擬している。

実験においては、2.2 ②で述べる 3 名の被験者が、本操船インタフェースを通じ操船、情報収集、機器監視等の作業を行い、情報支援や当直者間のコミュニケーション等が操船に与える影響を調べた。

④ 景観画像

シミュレータ実験の景観画像データは、国土地理院発行の数値地図⁵⁾を基に作成した東京湾を取り巻く地形（陸地）の 3 次元画像データに、東京湾の海面、船舶（自船、他船）、海上の著目標（灯

浮標、島等）、陸上の著目標（ビル、倉庫、橋、煙突等）等を配置し、さらに、夜間の状況を模擬するために、灯浮標灯火、航行船舶の灯火、停泊船の灯火のデータを追加して作成した。

2.2 実験方法

① 実験シナリオ

- シミュレータ実験では、ある特定の状態ではなく任意の状態に適用できる評価手法とするために、最も厳しい海域条件である、速力制限等、制限の無い海域を航行する場合について実験を実施した。

当該実験においては、運航時間帯（昼間、夜間）、最大速力を設定し、旋回性能、加減速性能を船舶性能のパラメータとしてシナリオを設定した。なお、別途緊急停止、急旋回等の緊急操船が円滑かつ安全に行えるかどうかを実験するシナリオを用意し、緊急操船について操船インタフェースを含めた総合的な評価を行った。

② 被験者

- 実際の操船は、航海支援機器をインタフェースとして、操船、情報収集、機器監視等の作業項目を複数人の当直者が分担して実施することになる。シミュレータ実験では、実海域

での操船経験に基づく主観的評価を得る目的から、3名の熟練操船者を被験者としてお願いした。

熟練操船者による実験回数が限られる場合は、必要に応じて他の被験者による実験を追加実施し、データを補足した。

③ データの記録

実験に際しては、被験者の主観的評価解析、客観的評価解析を行うために、次の項目を記録した。

- ・ 被験者の主観的評価解析 : 実験終了後のインタビュー、操船状況を表すビデオ画像、音声会話
- ・ 客観的評価解析 : 自船操船量、航跡、他船航跡

実際の解析では、被験者がシミュレータに習熟した時点（評価結果が落ち着いた時点）より後のデータを用いた。

3. シミュレータ実験結果

3.1 実験シナリオ

表 3.1 に実験シナリオを示す。表中のパラメータ S、G は、舵効きの遅れと旋回速度の低下を設定するもので、S は舵の指令値に実舵角が一時遅れで追従する際の時定数（秒）、G は実舵角に対する舵効きの割合で、G=0.5 の場合、実際には 35 度の舵角を指していても運動モデルには 17.5 度の舵角による横力しか作用していないことに相当する。付録 4 に操縦性能 A～D に対する旋回性能及び旋回時の各種状態量の変化を示す。

また、当直は昼間 2 人（操船者、情報支援者）、夜間 3 人（操船者、情報支援者、暗視装置監視者）とした。また、緊急操船について操船インタフェースを含めた総合的な評価を実施するために、前方に障害物（クジラ）を出現させ、出現確認後、減速を行い障害物手前までに停止する緊急操船を行った。

3.2 被験者の主観的評価解析結果

実験終了後のインタビュー、操船状況を表すビデオ画像、音声会話のデータをまとめた結果は、以下の通りである。

- ・ シナリオについて : 実験海域は、操船する立場として、横浜沖の合流点、すなわち、中ノ瀬を出て横浜へ向かう船舶、南航する船舶、横浜と木更津を横断する船舶に注意が必要な海域であり、横切り、追い越し等に注意する輻輳海域シナリオとして適当である。
- ・ 避航操船等、意思決定のタイミングについて : 操船の意思決定は 2～3 マイル前で行う必要がある。
- ・ 操縦性能の主観的評価について : 操縦性能を 4 種類変化させたが、習熟により変針時の操作とこれに対する応答で感覚を掴むので、旋回半径、舵利きの遅れは自船の誘導には影響しない。
- ・ 風の影響について : 斜航角や当て舵の必要性など、風の影響は、15 ノット程度の低速時には、やや大きかったが、高速航行時にはほとんどなかった。
- ・ 緊急操船について : 通常、2～3 マイルで意思決定することを基本としており、緊急停

表 3.1 実験シナリオ

ミッション	被験者がシミュレータに習熟した後、以下の環境で他船と衝突しないように、また輻輳海域で詰まらないように、適宜、加減速または旋回による避航を行う		
操縦性能	モデル①	モデル②	
	操縦性能 A ： S=0.5、G=1.0 操縦性能 B ： S=1.0、G=0.5	操縦性能 C ： S=0.5、G=1.0 操縦性能 D ： S=2.0、G=0.5	
海域モデル	東京湾南航	東京湾南航	
運航時間帯	昼間	昼間	夜間
当直体制	2 人	2 人	3 人
最大速力	40.0 ノット	37.6 ノット・15.0 ノット	37.6 ノット
風影響	無風	無風	無風・西風 15m/s
緊急操船	実施	実施（37.6 ノット時）	
解析方法	被験者の主観的評価解析、評価指標による客観的評価解析		

（最大速力 15.0 ノットの実験は、海上技術安全研究所職員により実施）

止距離は、余裕を見て 1 マイル半以下であれば十分である。緊急停止の場合、後ろから追突される危険を考慮して、すぐに発進ができることが必要である。緊急時の操船シーケンスは単純化する必要がある。

- ・ 航海支援について (1)： 他船情報は必須である。船舶自動識別装置 (AIS: Automatic Identification System) など、精度の高いベクトル表示、衝突危険領域の表示が利用できれば有効である。
- ・ 航海支援について (2)： 自船情報は、船首方位、舵角、速力等、指示値、応答値が見やすく表示される必要がある。
- ・ 運航体制について： 昼間は、2 人体制で、夜間は 3 人体制で運航可能である。ただし操船者と支援者の間の円滑な情報伝達が必要である。
- ・ 高速航行の利点について： 高速航行時には、一般他船との速度差が大きいために、他船情報が適切に得られれば、避航操船時の余裕が大きくなる。

3.3 客観的評価解析結果

幅員海域の航行における安全性評価の主対象として、他船の避航に注目し、目標による妨害ゾーン (OZT: Obstacle Zone by Targets)⁶⁾を用いて、操船判断のための余裕の客観的評価を行うこととした。この他にも潜在的危険や余裕に着目した評価手法が提案されており⁷⁾、評価する項目に応じて適宜これらを用いることが有効である。

① 目標による妨害ゾーン (OZT: Obstacle Zone by Targets) を用いた操船余裕の評価

OZT は、自船及び他船の速力誤差等を考慮して、自船と他船の相対位置及び運動状況から、自船の針路を変更して直進した場合に、設定した危険判定半径以内になる対象他船との衝突危険領域をプロットしたもので、この領域を回避する操船を行えば、衝突無く安全に航行できる。このため、現実的な操船方法の範囲を設定し、その範囲の中で取り得る操船方法があることが操船余裕につながる。逆に、操船方法がない場合、当初の速力を維持したままでは安全に航行できる余地が無く、操船余裕が無い状態 (以下、閉塞状態) を示している。ここでは、操船余裕の指標として、閉塞状態の継続時間に着目し、操船余裕を評価した。

② 解析手法

本調査における OZT を用いた定量的評価法を以下に示す。

<解析にあたっての条件設定>

- ・ 自船速力は当初の速度を維持
- ・ 変針角は自船前方 ± 30 度
- ・ 評価範囲は距離 0.5 マイル以遠、2 マイル以内
今回の評価では、危険判定半径を一律 (0.07 マイル) に扱っており、評価指標作成に

おいては、この影響を取り除くため、直近の領域をのぞいた 0.5 マイル以遠を設定した。また、被験者へのインタビュー結果から、3.2 で述べたように操船の意思決定は 2 ~ 3 マイル前で行うとの結果が得られていることから、幅員海域での実際の操船を考慮して設定した。

- ・ 危険判定半径は 0.07 マイル (130 m) (付録 5 参照。)
- ・ 他船及び自船の前後方向の速度誤差は ± 1 ノット

<解析の手順>

- ・ 自船前方 ± 30 度の探索空間を 5 度ずつ 12 の領域に分け、各領域に角度 2 度以上連続する OZT の間隙が存在するかどうかを実験結果から求める。
- ・ OZT の間隙の有無は、0.5 マイル以上、2 マイル以内に OZT があるかどうかを求め、OZT が無い場合を取り得る操船方法があると判断し、12 の領域の内、操船方法があると判断出来た領域の個数 (以下、見通し数) を算出する。
- ・ 見通し数 = 0 (閉塞状態) の場合、最も見通しの利く方位の OZT の手前 0.5 マイルにおいて再度変針することによって、最終的に見通し数を算出する。
- ・ 見通し数 = 0 の継続時間、発生回数を求め、在来船との比較により、対象高速船の操船余裕を定量的に評価する。

③ 解析結果

見通し数の経時変化を図 3.1 に示す。図にはあわせて変針回数も示しており、図 3.2 には対応する航跡図、図 3.3(1)、(2)には上部に楕円列からなる OZT (左右: ± 30 度、上下: 5 マイル)、下部に他船の航行状況を示している。表 3.2 は、図 3.1 に示す見通し数の経時変化より、閉塞状態 (見通し数 = 0) の最大継続時間及び発生回数を求めたものであり、これらの結果より、以下のことがわかる。

- ・ 図中の☆~★の区間は、他船が中ノ瀬北口から川崎・横浜入港のため自船の航路を横切っており注意が必要との主観的評価がされている箇所である。図より分かるように、低速航行時には変針を行ったとしても閉塞状態がなかなか改善されないのに対して、高速航行時には適切な変針を行うことで、閉塞状態が容易に改善されることがわかる。
- ・ 閉塞状態は、高速航行時に発生せず低速航行時のみに発生していることがわかる。これは、高速航行時には、一般他船との速度差が大きいため、低速時に比べ他船の推定誤差が小さくなり、OZT の間隙が大きくなることを表しており、3.2 で得られた被験者の主観的評価解析結果、「高速航行時には、避航操船時の余裕が大きくなる」を客観的に裏付ける結果となっている。

- 図 3.4 は、夜間航行時と昼間航行時の見通し数の経時変化の比較を示したものであるが、昼間と同じ幅輻度を持つ極めて厳しい交通環境状態であるにもかかわらず、閉塞状態は全

く現れていない。これは、暗視装置により夜間航行時における航路環境の状況を適切に把握できていることによると考えられる。

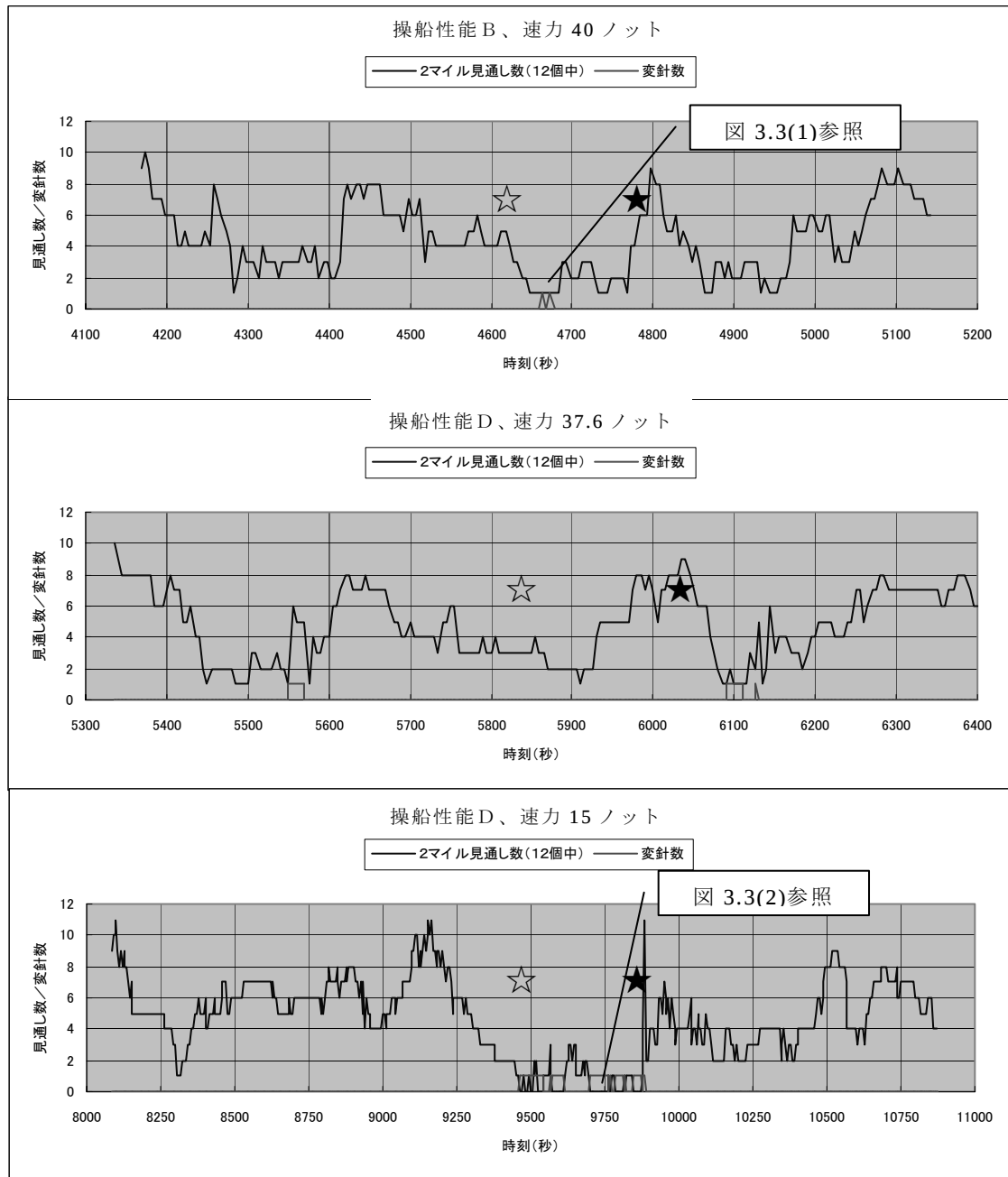


図 3.1 見通し数の経時変化（昼間航行時）

表 3.2 閉塞状態（見通し数 = 0）の最大継続時間及び発生回数の解析結果（昼間航行時）

速力	閉塞状態の最大継続時間	閉塞状態の発生回数
40 ノット	0	0 回
37.6 ノット	0	0 回
15 ノット	6 5 秒	1 0 回

3.4 実験結果のまとめ

以上の結果をまとめれば、以下の通りとなる。

- ・ 高速船用シミュレータを構築し、最も厳しい条件として東京湾のデータをもとに交通環境を模擬し、実験シナリオに基づき、熟練操船者等によるシミュレータ実験を行った。
- ・ 実験終了後のインタビュー等により、被験者の主観的評価解析を行い、実験シナリオ等、本調査研究で実施したシミュレータ実験が妥当であるとの評価を得た。
- ・ 操縦性能の相違については、習熟により変針時の操作とこれに対する応答で感覚を掴むので、避航動作に影響しないとの評価を得た。
- ・ さらに、湾内高速航行時においては、熟練操

船者による経験から、在来船との相対的な速度差が大きいため避航操船判断時の余裕が大きく、安全な航行が可能であるとの評価を得た。

- ・ 被験者の主観的評価結果を客観的に評価するために、OZTの考え方をベースとして、見通し数、見通し数=0（閉塞状態）の継続時間、発生回数を求め、これらを低速航行時と比較することで、主観的評価解析結果を定量的に裏付けられることを確認した。
- ・ 夜間航行時においては、暗視装置等、適切な航路環境の状況把握の機能を具備していれば、昼間航行と同程度の操船が可能であることを確認した。

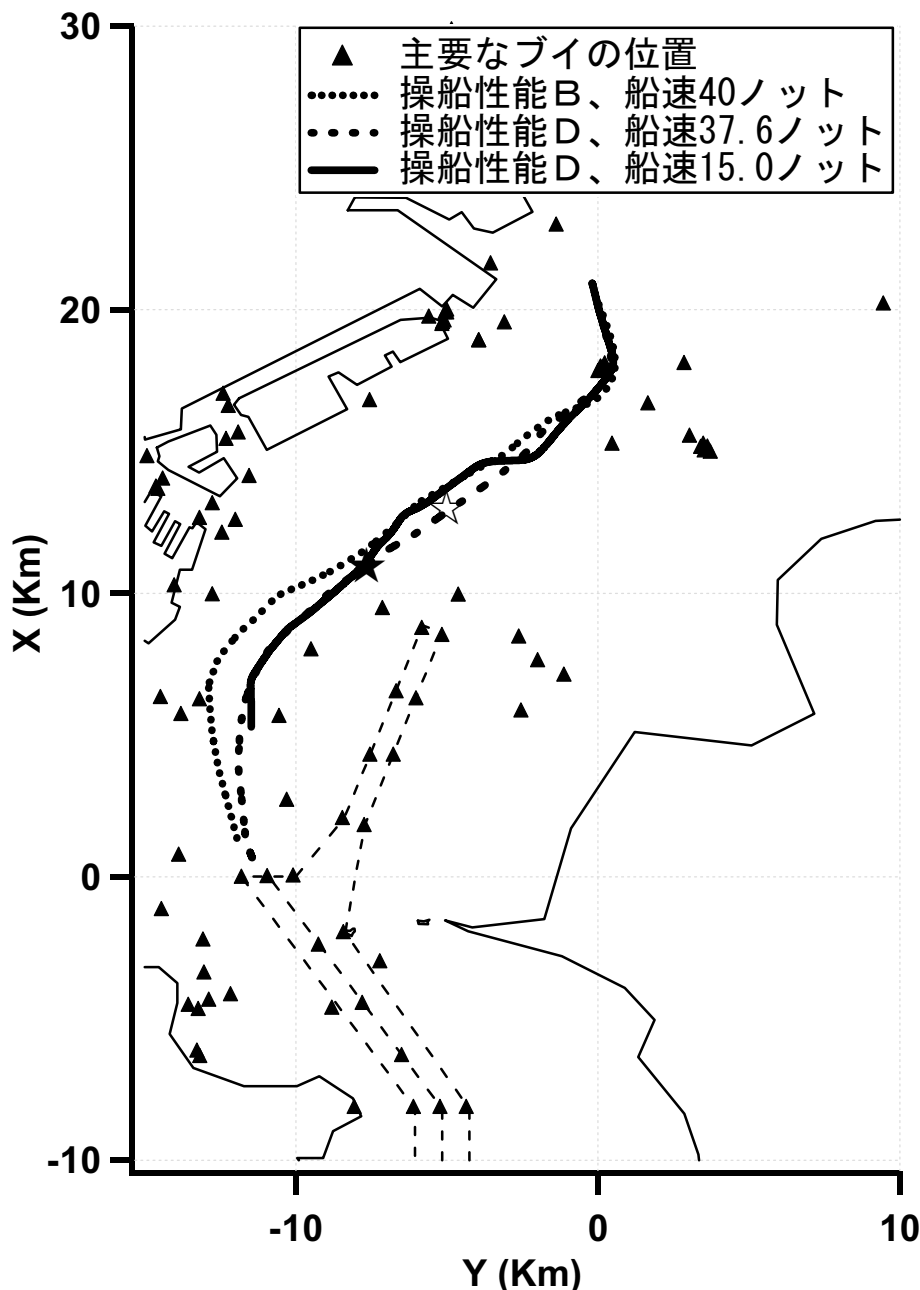


図 3.2 シミュレータ実験航跡

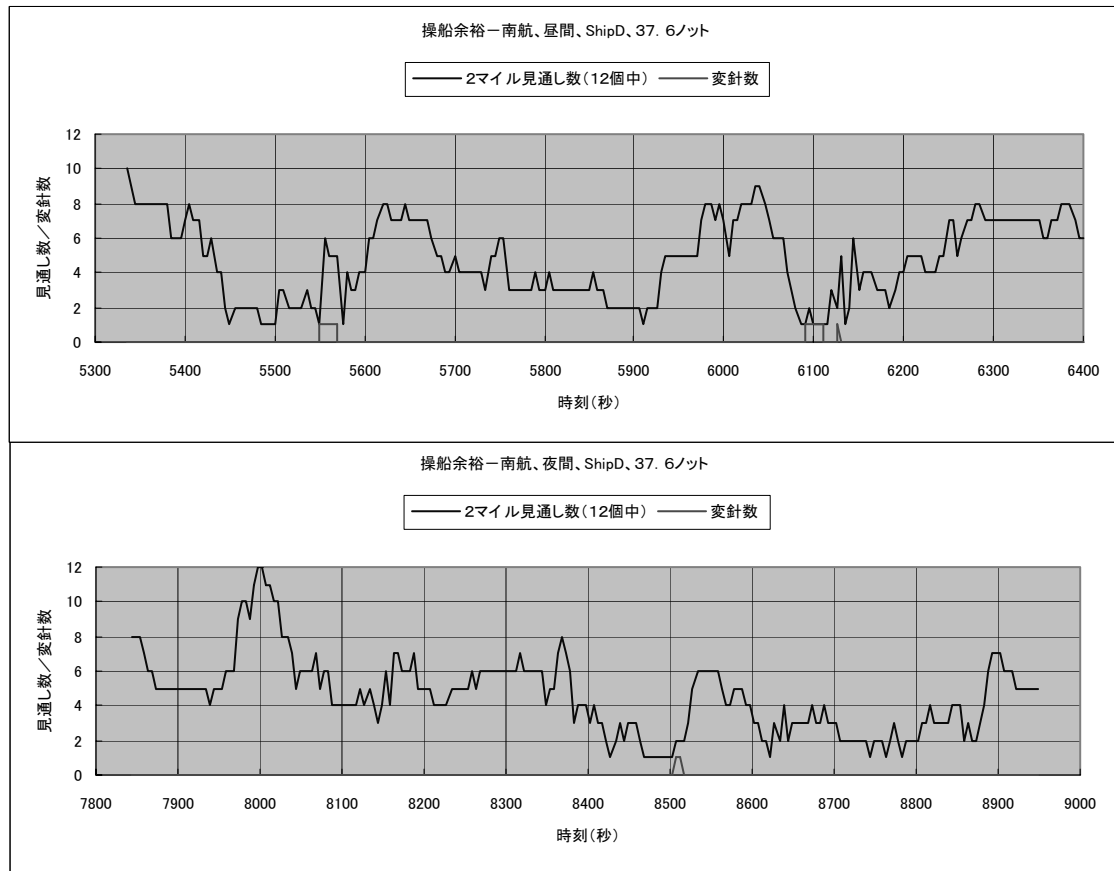


図 3.4 昼間（上段）と夜間（下段）の見通し数の経時変化の比較
（操船性能D、37.6ノット）

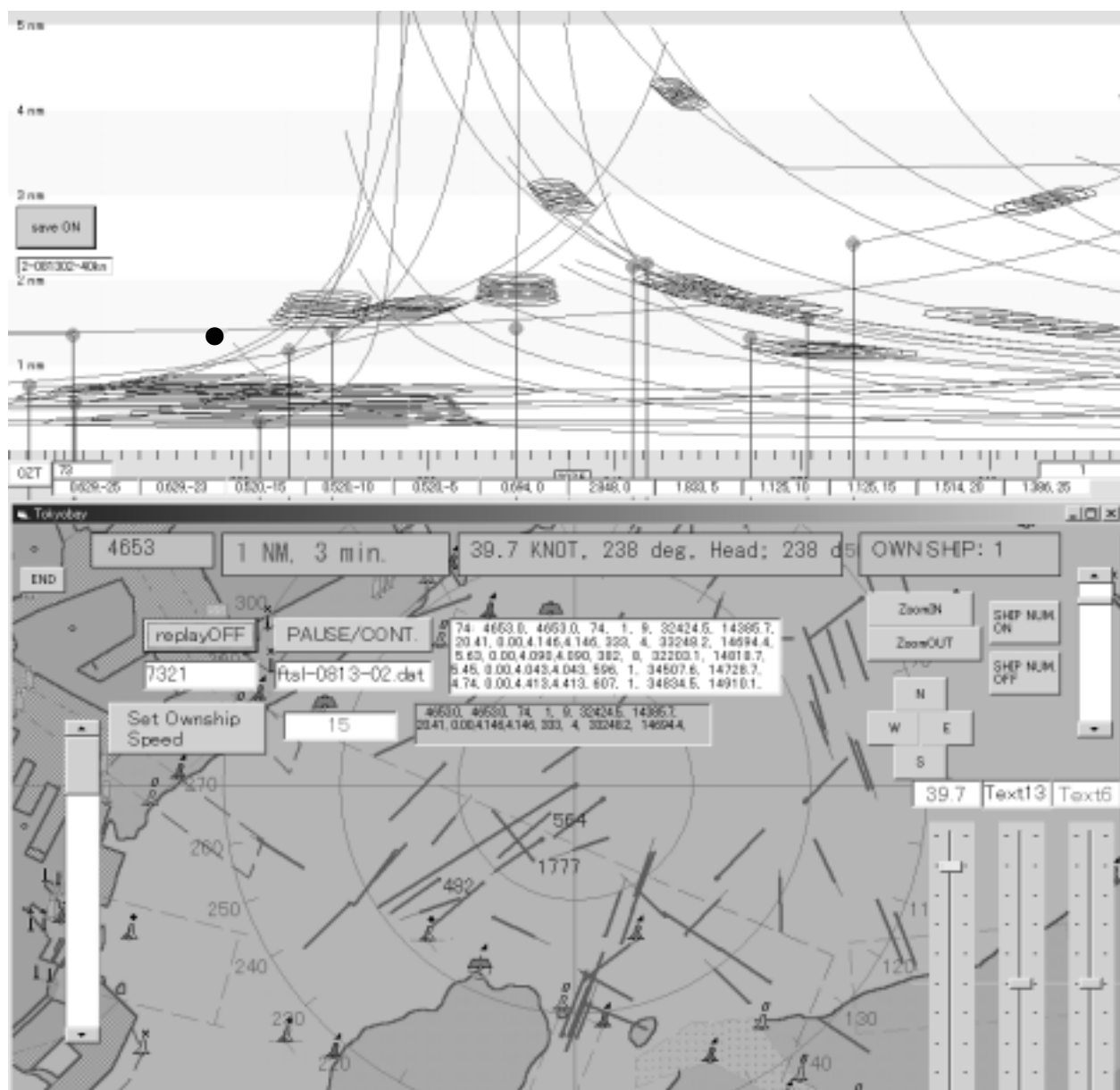


図 3.3(1) OZT 表示（操船性能 D、速力 40 ノット）
前方 1 マイルで左方 20 度方向（●）に十分な余裕が存在

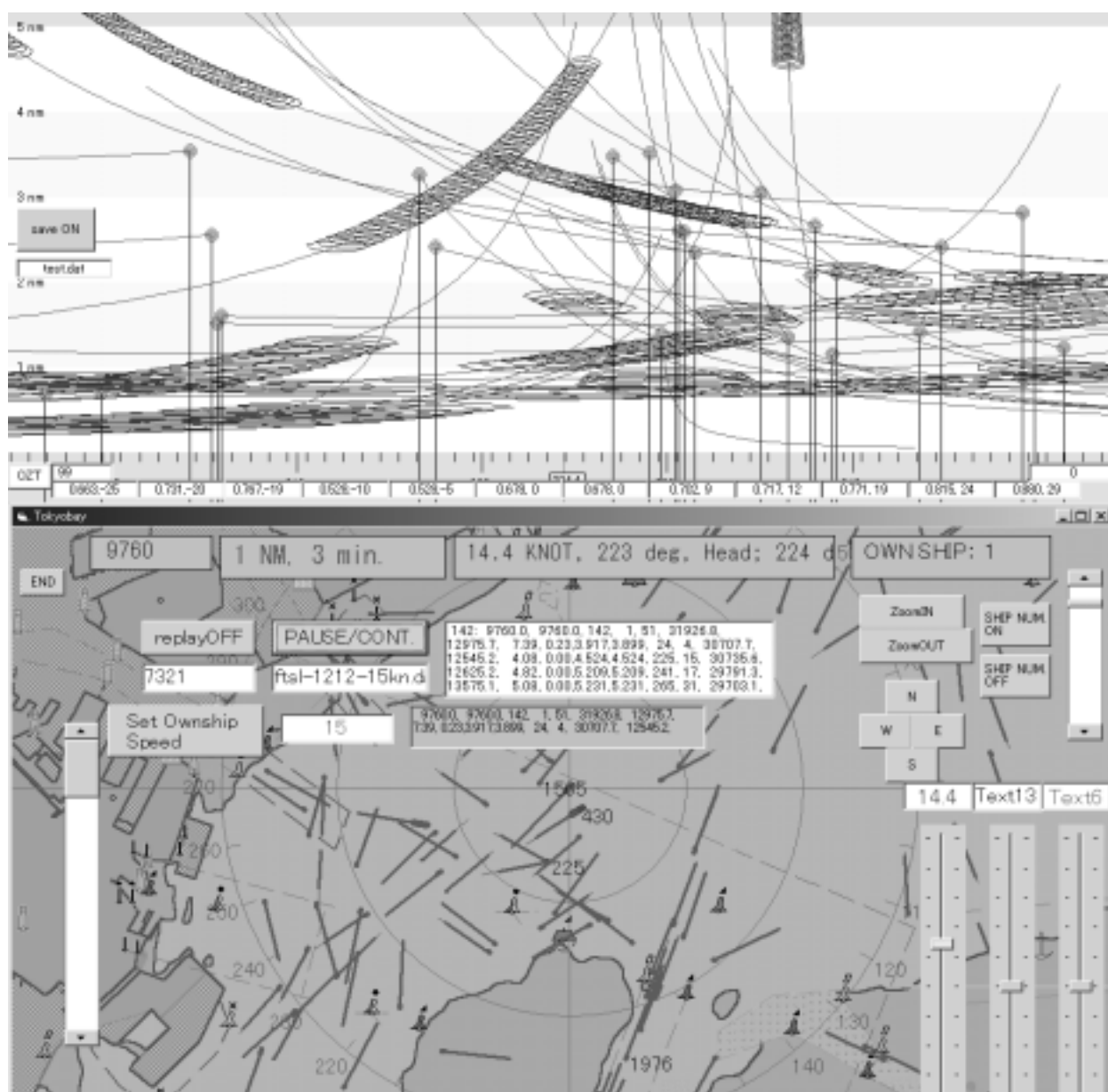


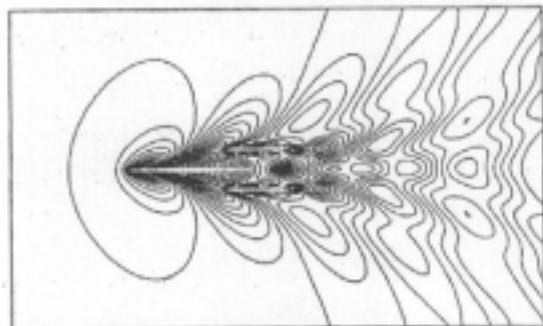
図 3.3(2) OZT 表示（操船性能D、（操船性能D、速力 15 ノット）
横切り船による OZT が重なっており、前方の広い範囲が閉塞

4. 航走波に関する調査

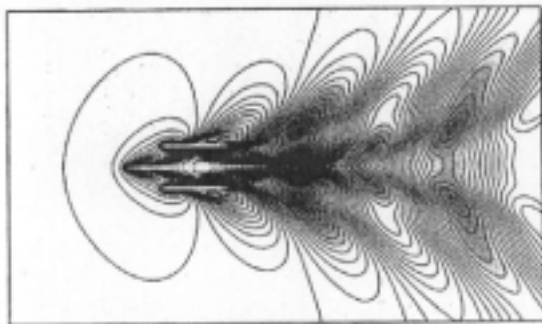
4.1 船型の最適化

船が水面を進む時、水面下での圧力変動が船首部および船尾部で大きいため、主として船首部および船尾部から航走波が発生する。

航走波を発生させるために必要なエネルギーは、船の抵抗に打ち勝つためになされる仕事から主に供給されることから、航走波低減のためは、速力の低減や抵抗が小さくなるよう船体の前後方向の投影面積や浸水表面積を小さくする必要がある。さらに、航走波低減の方策としては、主要な航走波は船首部および船尾部で発生することから、船体形状の調整やアウトリガーの設置等により船体から発生する波と逆位相の波を生成して重畳させること等が考えられる。この具体的な手段の1つとして、多胴船化が挙げられる。研究成果の例として、Yang 等⁹⁾が三胴体船型について検討した例を示す。図 4.1 は、主船体に左右対称にアウトリガーを設置した場合の波パターンである。上図は主船体後方にアウトリガーを設置し、最も航走波が低減された例で、下図はアウトリガーを側方に配置し、航走波が最も大きくなった例である。このように、アウトリガーを最適に配置する事により、航走波が低減できていることが示されてい



Best arrangement (a=-0.425, b=0.14, Cw=0.610e-3)



Worst arrangement (a=0., b=0.15, Cw=2.015e-3)

図 4.1 三胴体船型の航走波計算例

る。

4.2 運航パターンの最適化

航走波は、水深に影響を受けることが知られて

おり⁹⁾、(4.1)式で定義される水深フルード数 F_{nh} が 0.8 と 1.1 の間で、航走波の波高が大きくなる (Critical Speed Range ; 危険速度領域、図 4.2 参照) ことが知られている。

$$F_{nh} = \frac{U}{\sqrt{gh}} \quad (4.1)$$

ここに、 U は速力、 g は重力加速度、 h は水深である。Critical Speed Range (危険速度領域) を避けるような、航行海面の水深に対応した速力を採用した運航パターンを策定することにより、航走波を低減することができる。

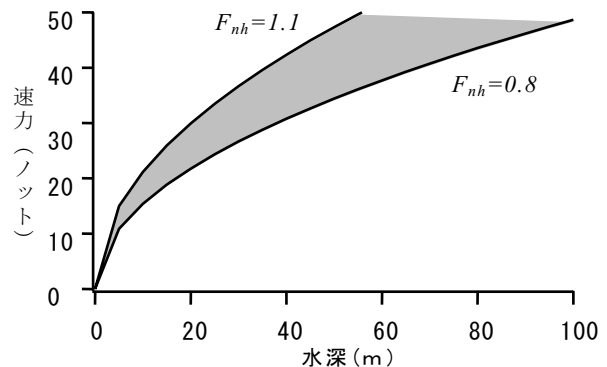


図 4.2 Critical Speed Range (危険速度領域)

5. 他船への周知に関する調査

他船への周知の方法は、以下の 2 つの手法に大別される。

- ・高速船が当該海域を航行することをあらかじめ他船へ周知する手法
- ・本船側から他船への高速航行を認識させる手法

5.1 高速船が当該海域を航行することをあらかじめ他船へ周知する手法

5.1.1 文書による広報

客船等定時航行が予想される高速船については、輻輳海域等の通過時刻はある程度限定されることから、通過が予想される海域と時間及びその際の速力等の航行情報を海事関係各所に提供することにより、他船へ周知が可能である。

5.1.2 海上交通センターからの情報提供

現在、海上交通センターから指定海域に通報されている、巨大船の通航情報と同様に、大型高速船の通航状況も通過時間や速力も含めて通報することで、他船への周知に資するものと思われる。

5.2 本船側から他船への高速航行を認識させる手法

高速航行を行う船舶が高速航行を行っていることを周囲の船舶に周知、認識させる方法として、白色・黄色の毎分 60/90 回転の閃光灯を搭載する。または、LED の表示板を設置し、LED の光の点滅、光の流れ、または文字により高速船の存在と高速航行を行っていることを周知させることが考えられる。

当所で整備した高速船用シミュレータは、他船からの視点で本船の船体色、灯火標識等を含めた形で本船の識別具合を確認することができ、被験者の主観的評価により、他船側からの視認性を確認できる機能を持っている。

6. まとめ

6.1 本調査研究のまとめ

本調査研究をまとめれば、以下のようになる。

- ① 湾内高速航行の安全性を評価するために必要な交通環境、操船インタフェース、操縦運動モデル、景観画像を適切に取り入れた高速船用シミュレータを整備した。
- ② 東京湾をベースとした実験シナリオに基づき、熟練操船者等による実験を行った。実験終了後のインタビュー等により、被験者の主観的評価解析を行い、実験シナリオ等、本調査研究で実施したシミュレータ実験が妥当であるとの評価を得た。
- ③ また、操縦性能の相違については、習熟により変針時の操作とこれに対する応答で感覚を掴むので、避航動作に影響を与えないこと、湾内高速航行時においては、熟練操船者による経験から、在来船との相対的な速度差が大きいために避航操船判断時の余裕が大きく、安全な航行が可能であるとの評価を得た。
- ④ これらの被験者の主観的評価結果を客観的に評価するために、OZT の考え方をベースとして、見通し数、見通し数=0（閉塞状態）の継続時間、発生回数を求め、これらを低速航行時の結果と比較することで、主観的評価解析結果を定量的に裏付けられることを確認した。
- ⑤ 航走波については、高速船計画時には船型の最適化、運航においては、航走波の波高が大きくなる Critical Speed Range（危険速度領域；水深フルード数 0.8 と 1.1 の間）を避ける運航パターンの最適化を行うことによって、航走波を低減させることができる。
- ⑥ 他船への周知については、文書による広報を活用することが考えられるほか、高速船用シミュレータにより、他船からの視点で本船の視認性が確認できる。

以上、シミュレータ上に交通環境、船舶モデル等を適切に再現し、シミュレータ実験結果について OZT をベースとした評価を行うことにより、高速船の操船余裕を定量的に評価できることを示した。また、船型、運航パターンの最適化を行うことで航走波を低減させることができることを示した。

なお、本評価手法を実際に活用するにあたっては、実際の海域では多様な海域利用がなされている場合が多く、本評価手法の有効性について、これらの関係者の合意を得ることが必要であると考えられる。そのためには、本調査研究で提示する評価手法によるパイロット的事例を構築し、パイロット的事例を通じ、実海域においてその有用性を実証することが効率的である考えられる。

6.2 幅狭海域高速航行のシミュレータ実験結果等の評価手法

本調査研究の成果をもとに、「幅狭海域高速航行のシミュレータ実験結果等の評価手法」を提案する。本調査研究で用いたシミュレータ実験結果に対する OZT をベースとした操船余裕の評価は、高速船の操縦性能、情報支援機器、操船者等、ハード及びソフトを含めた全体システムの性能を、被験者の操船結果を通じて定量的に評価する一つの指標であり、従来では困難であった操船シミュレータ実験における高速船の操船余裕を客観的かつ定量的に評価することができるようになった。さらに、高速船の在来船に対する操船余裕並びに被験者の主観的評価解析結果を評価することで、操船性の観点からの幅狭海域における高速航行の可否判断に資するシミュレータ実験結果等の定量的評価が期待できると考えられる。

一方、航走波については、評価対象とする高速船（以下、対象高速船）の航走波の特性を水槽実験等で求め評価を行い、航走波の影響が懸念される場合には Critical Speed Range（危険速度領域）を避ける等の運航パターンを設定する必要がある。最終的にシミュレータ実験結果及び航走波の評価結果に基づいて、幅狭海域における高速航行が技術的に可能か否かを判断する手順となる。

以上の評価の流れは、高速船用シミュレータが交通環境、操縦運動モデルのデータ、操船インタフェース、景観画像を適宜入れ替えることで、任意の幅狭海域を高速航行する高速船の状況が模擬可能であることと、OZT をベースとした操船余裕の評価が任意のケースに適用できることから、これを「幅狭海域高速航行のシミュレータ実験結果等の評価手法」としてとりまとめ、表 6.1 に提示する。さらに、図 6.1 にその評価フローを示す。

謝辞

当調査研究は、国土交通省の技術研究開発委託費（海事局）により実施されました。

当調査研究の実施に当たって、ご指導いただいた東京海洋大学 今津 隼馬教授をはじめ、シミュレータ実験の被験者としてもご協力いただいた澤山恵一氏（日本船長協会、現；（株）エム・オー・マリンコンサルティング）、小林武人氏（東京水先区水先人会）、小関隆夫氏（横須賀水先区水先人会）、他「ファーストトラック・シーレーン（湾内高速航行）検討会」の検討メンバーの方々、高速船の操縦運動性能パラメータをご提供いただいた三井造船（株）、（株）テクノ・シーウェイズ、および実海域の調査を実施するに当たってご協力をいただいた、（株）三井造船昭島研究所、佐渡汽船（株）、東海汽船（株）、他高速船運航各社の関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1)平成 14 年度 国土交通白書、pp.223-227
- 2)東京湾口航路航行船舶実態調査報告書、運輸省

第二港湾建設局京浜事務所（1990）

- 3)港湾統計年報、平成 4 年及び平成 13 年度版
- 4)新しい交通体系の構築に関する調査研究報告書、日本海難防止協会（2002）
- 5)国土地理院、数値地図 250m メッシュ（標高）、数値地図 50m メッシュ（標高）
- 6) 今津隼馬、他：相手船による妨害ゾーンとその表示について、日本航海学会論文集 107 号（2002）、pp.191-197
- 7) 井上欣三、他：不安全操船状態を指標とする操船の安全性評価モデル、関西造船協会論文集 第 241 号（2004）、pp.205-210
- 8) Yang,C., Soto, O. and Löhner, R.: Hydrodynamic Optimization of a Trimaran, Ship Technology Research Vol. 48 (2001), pp. 999-1021
- 9)安川宏紀：高速船の曳波について、第 2 回高速船フォーラム（2001）、pp.34-44
- 10) 平野雅祥、他：船舶の操縦運動計算システムの開発、三井造船技報 第 122 号（1985）、pp.1-13

表 6.1 輻輳海域高速航行のシミュレータ実験結果等の評価手法

① 評価対象の高速船（以下、対象高速船）が就航する予定海域の交通環境^{a)}、対象高速船の操縦性能^{b)}、操船インタフェース^{c)}、景観画像^{d)}を適切にモデル化してシミュレータ上に取り入れ、策定した実験シナリオ^{e)}に基づいて熟練操船者等を被験者としたシミュレータ実験を行い、以下の解析を行うこと。 (ア) 被験者の主観的評価解析により、シミュレータ実験の妥当性を評価^{f)}するとともに、安全な操船^{g)}ができることを示すこと。また、他船から見た高速船の視認性を確認^{h)}すること。 (イ) 目標による妨害ゾーン（OZT：Obstacle Zone by Target）を元にした客観的評価解析ⁱ⁾により、閉塞状態の継続時間及びその発生回数が在来船の結果に比べ同等以下であることを示すこと。 ② 対象高速船が引き起こす航走波の特性を水槽実験等で確認し、その結果をもとに、航走波が増幅されるCritical Speed Range（危険速度領域；水深フルード数0.8と1.1の間）を避ける等、航走波低減・影響最小化の観点から最適な運航パターンを策定すること。	備考 a) 交通環境 就航予定海域の交通流データを基に対象海域の船舶交通をシミュレータ上に再現する。 b) 対象高速船の操縦性能 水槽実験等から推定された旋回性能、加減速性能、風の影響を基に、操縦運動モデルを作成し、シミュレータ上に再現する。 c) 操船インタフェース 操船に必要な自船・他船情報表示や航海支援機器等、対象高速船に搭載する機能を模擬したインタフェースをシミュレータに再現する。 d) 景観画像 操船判断に必要な他船の航行状況ならびに地形および灯浮標、建物等、著目標が被験者から違和感なく視認できるような景観を表示する。
---	--

e) 実験シナリオ

就航予定海域において、遭遇することが予想される交通パターン、時間帯、運航体制を想定し、これらを含む最も厳しい条件のシナリオを設定する。

f) シミュレータ実験の妥当性評価

上記 1.～5.の要件が満たされていることの確認を行う。

g) 安全な操船

避航操船のタイミング、風の影響、航海支援、運航体制等の観点から、操船結果の安全性の評価を得る。

h) 他船からの見た高速船の視認性確認

シミュレータ実験結果を再生して遭遇他船に視点を移し、他船の立場で対象高速船の視認性を確認する。

i) OZT を元にした客観的評価解析

＜解析にあたっての条件設定＞

- ・ 自船速力は当初の速度を維持
- ・ 変針角は自船前方±30度
- ・ 評価範囲は距離 0.5 マイル以遠、2 マイル以内
- ・ 危険判定半径は 0.07 マイル（130 m）
- ・ 他船及び自船の前後方向の速度誤差は±1ノット

（注）条件設定については、今回の実験においては、上記により行った。条件設定については、海域の状況、船型、性能等に応じて、個別に行う必要がある。

＜解析の手順＞

- ・ 自船速力は当初の速度を維持
- ・ 自船前方±30度の探索空間を5度ずつ12の領域に分け、各領域に角度2度以上連続するOZTの間隙が存在するかどうかを実験結果から求める。
- ・ OZTの間隙の有無は、0.5マイル以上、2マイル以内にOZTがあるかどうかを求め、OZTが無い場合を取り得る操船方法があると判断し、12の領域の内、操船方法があると判断出来た領域の個数（以下、見通し数）を算出する。
- ・ 見通し数＝0の場合、最も見通しの利く方位のOZTの手前0.5マイルにおいて再度変針することによって、最終的に見通し数を算出する。
- ・ 見通し数＝0（閉塞状態）の継続時間、発生回数を求め、在来船との比較により、対象高速船の操船余裕を定量的に評価する。

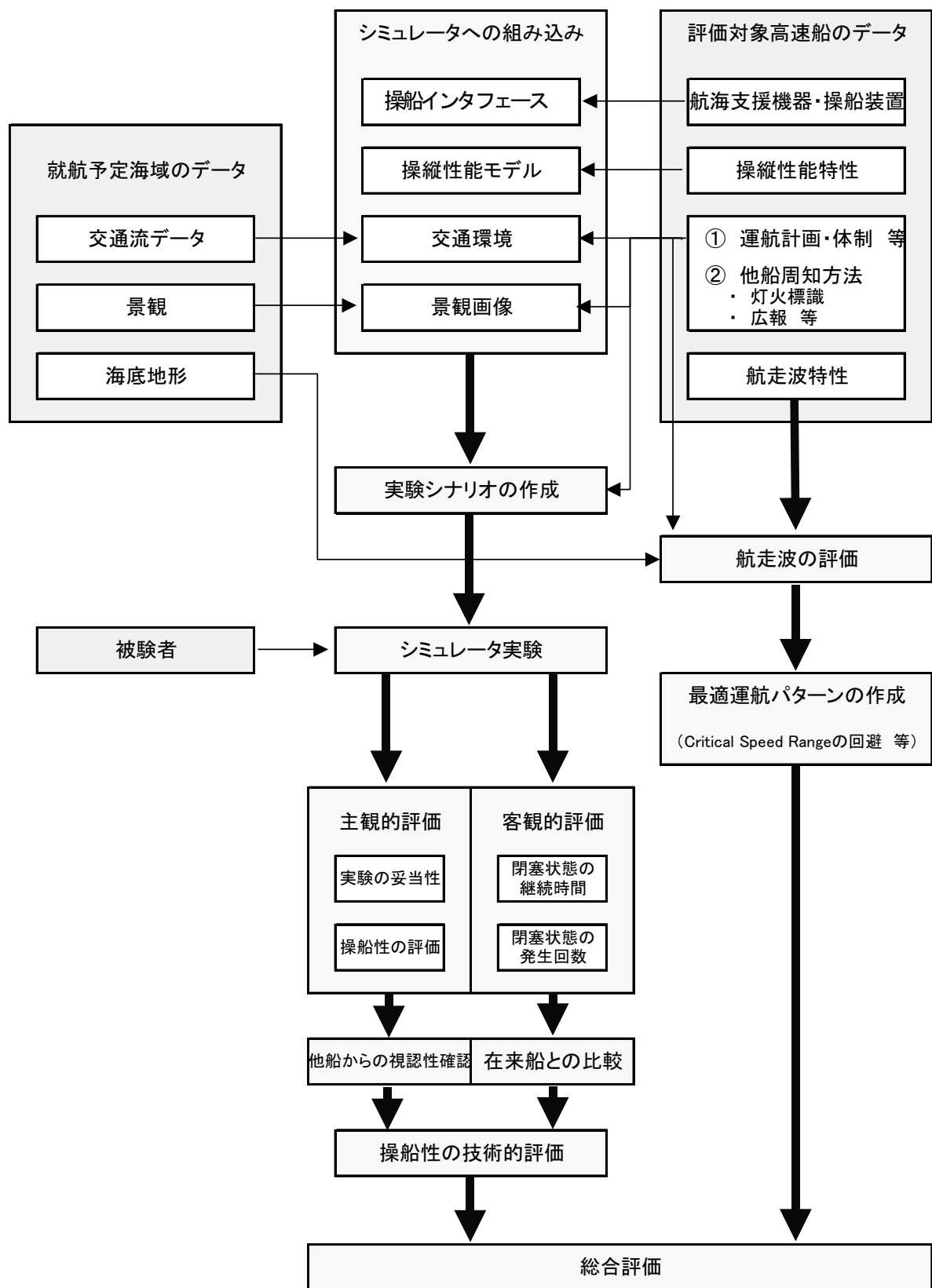


図 6.1 「輻輳海域高速航行のシミュレータ実験結果等の評価手法」評価のフロー

付録1 関連するこれまでの調査研究

これまでに実施された高速船運航の安全性に関連する調査研究の概要を述べる。

①関西空港海上アクセス用船舶の要求性能及び安全性に関する調査（昭和62年～63年）

（財）日本造船振興財団

〔目的〕 関西空港は、その地理的位置から神戸、大阪、四国地区からの旅客並びに航空貨物や、海上ルートによるアクセスの利便性、必要性が広く認識されている。この海上アクセス用の船舶としては、同空港が24時間空港であることから昼夜を問わず運航される必要があり、また旅客の利便性のための運航サービスが求められ、さらに海上交通の輻輳する海域を高頻度に往復しなければならないこと等、種々の新しい機能、性能が要請されている。このために、海上アクセス用船舶の要求性能と安全性について調査研究が実施された。

〔結論〕 海上アクセス用船舶に求められる要件として安全性、迅速性、信頼性、快適性、利便性、経済性の6項目を取り上げ、様々な視点から検討が加えられた。安全性については、公共交通機関の最も基盤となるものであり、他の5項目に先立って達成される必要があり、安全性の確保、基準等の法規制の検討、高速船に関する概念の3つの観点から提言がなされ、他の5項目については、その望ましいあり方について、検討が行われた。

②東京湾臨海部海上交通路用船舶の要求性能及び安全性に関する調査（平成元年～2年）

（財）シップアンドオーシャン財団

〔目的〕 東京臨海部は多心型都市構造への転換を図るべく副都心の一つとして位置づけられ、業務、住居、文化等の複合的な都市機能を有し、かつ、ウォーターフロントを生かした未来型の情報都市として海上ネットワークを整備する計画が示されている。この場合、東京湾はわが国でも有数の船舶が輻輳する海域であり、その運航にあたっては安全運航が可能ながことが前提となる。このために、東京臨海部の海上交通ネットワークの整備方策について検討を行うとともに、その海上交通用船舶の要求性及び安全性について調査研究が実施された。

〔結論〕 ①と同じく安全性、迅速性、信頼性、快適性、利便性、経済性の6項目について、

検討が行われ、海上ネットワーク整備への提言、適合船舶に関する提言、航行安全性確保に関する提言がなされた。

③超高速旅客船の夜間航行の安全性に関する調査（平成元年～2年）

（財）日本旅客船協会

〔目的〕 高速旅客船の一つとしてジェットfoilが挙げられる。ジェットfoilは全没型水中翼船であるので、浮力による揺れが少なく、自動姿勢制御装置が、航行中の船体の動きを検知し、自動的に船体をコントロールし、つねに最適な船体姿勢を保持する。しかし、その運航は、現在、日没までの運航となっている。操縦性能に優れ、高速であり、快適な乗り心地から、夜間航行のニーズが高まってきた。このために、ジェットfoilの夜間航行に関して、安全上の問題、及びその解決策について調査研究が実施された。

〔結論〕 実船試験、シミュレータ実験を通して、ジェットfoilの夜間航行に関して、その安全対策として、設備要件、運航要領、乗組員の教育・訓練等について提言がなされた。

④輻輳海域における超高速船の安全航行に関する調査研究（平成3年～平成4年）

（社）日本海難防止協会

〔目的〕 エアークッション船、ハイドロfoil船等のいわゆる超高速船は、一般船に比べて著しく高速であるために、超高速船及び一般船が従来に比し、それぞれ衝突のおそれの判断を極めて早期に行い、かつ適切な避航等の動作をとることが要求される。一方、船舶交通の輻輳する海域においては、付近を航行する他の船舶に対しても十分な注意を払う必要があり、現行の海上法規に規定されている一般的な航法によった場合、常に広範囲にわたる種々の見合い関係が同時に発生し、避航等の動作に混乱を生じることが予測される。このために、超高速船同士及び超高速船と一般船との種々の見合い関係における適切な航法を検討するとともに、輻輳海域において超高速船が交通流に及ぼす影響とその対策について調査研究が実施された。

〔結論〕 航行安全対策のあり方として、高速航行状況の安全性評価方法、運航体制の強化、航行環境の整備、高速航行に伴う海上交通法規の見直し、操船者の勤務形態、資格の見直し、及び高速航行に対する海事関係者間の相

互理解の 6 つの提言がなされた。

⑤新しい交通体系の構築に関する調査研究（平成 13 年～15 年）

（社）日本海難防止協会

[目的] 我が国を代表する広域物流拠点であり、船舶が輻輳する東京湾では、船舶航行の安全性と海上輸送の効率性を両立させた海上交通環境の構築が求められている。海上交通環境を構築するためには、交通体系を含めた海上交通環境全体の見直しが必要であり、船舶航行実態及び海域利用の現状、航行環境の変化及び海事関係者のニーズ等を踏まえ、更に行政指導を含めた海上交通法体系を精緻に分析して問題点を抽出し改善策を検討することが必要不可欠である。このために、東京湾をモデルケースとして、船舶航行の安全性と効率性を両立した新しい交通体系の構築について調査が実施されつつある。

[結論] 現在までに、東京湾の自然環境、交通環境の調査が実施された。既往調査での東京湾航路体系のレビュー、高速航行に関するレビューおよび海上交通流シミュレーションが実施された。特に、平成 13 年度には高速航行に係る検討がなされており、以下の検討がなされた。

まず、超高速船・テクノスーパーライナー（TSL）の高速航行に関しては、既往の調査報告結果から、高速航行に必要とされる主要要件（必要とされる航海計器、装備、運航体制、教育訓練、運航要領等）をとりまとめ、今後の課題として、1)超高速船・TSL が先行避航を行うにあたっての他船への認識・周知法と高速航行を示す灯火標識の形状、性能及び運用等、2)新たな交通体系が提案された場合には、先行避航の有効性について交通流シミュレーション、操船シミュレータ等を用いて改めて検証すること、3)実用化される高速船の船型等が明らかになった時点で、航行ルート、運航体制、装備機器等から安全性を確

認すること、が挙げられた。

海上交通流シミュレーションについては、湾口航路整備事業後に実現可能な航路のうち、中ノ瀬西側海域、南航船との交差海域の航行環境の向上に寄与するものとして準環流型航路が望ましいことおよび現状の Y 字型航路において、速力制限・追い越し制限を 15 ノット/3000 総トンまで緩和しても、航行環境は著しく損なわれることはないとしている。

さらに上記のほか、

- ・高速海上交通システムの確立に関する研究（平成 3 年～平成 7 年）運輸省運輸政策局
- ・高速船舶の航行に対応する東京湾湾口航路整備基礎調査（平成 7 年）運輸省第二港湾建設局企画課
- ・狭水道・輻輳海域における超高速船の安全航行に関する研究（平成 7 年）運輸省海上技術安全局技術課

等々、多くの研究がこれまで実施されている。

東京湾、大阪湾という日本における代表的な輻輳海域における高速船の性能要件、安全運航に関して様々な調査が行われてきた。そこでは、主な基本要件として、安全性、迅速性、信頼性、快適性、利便性、経済性が掲げられ、安全性評価が実施された。その手法としては、航行密度による評価、出会い頻度による評価、バンパーモデルによる評価等のコンピュータシミュレーションによる評価、ならびに、上記評価結果に基づいて抽出したケースについて、操船シミュレータによる操船者の安全性に対する判断を得るための実験、基本的な見合い関係の避航実験、灯浮標視認実験等が行われている。

また、実船実験に関しては、東京湾において、ジェットフォイル相当の 45 ノットで航行する大型船での運航実績はないが、30 ノットでの運航は、TSL 実海域実験船である「飛翔」（現「希望」）を用いた実船試験に基づく各種調査報告に示されている。

付録2 実態調査

幅轆海域の高速航行の安全性を評価するために、現在、運航されている高速船について、緊急回避動作、運航実態ならびに操船コンソールの調査を実施した。

A2.1 高速船の緊急回避操作についての実態調査

A2.1.1 調査概要

高速船の緊急時の回避行動について、現在運航されているジェットフォイルの状況を例として、実態調査を行った。

幅轆海域を高速航行する船舶は、緊急事態に当たり緊急停止や急旋回による回避操船に備える必要がある。佐渡汽船株式会社ならびに三井造船船島研究所の協力を得て、実船を用いて緊急回避操船実験を行った。

本調査では、ジェットフォイルの緊急停止や急旋回による危険回避動作を実際に行い、その運動や加速度を計測すると共に、回避操作時の操船行動を撮影、解析した。また、乗船終了後、高速船の運航について、運航管理者から聞き取り調査を行った。

A2.1.2 乗船調査

本調査では通常のドック後試運転時に、緊急回避時に用いられると思われる緊急停止及び急旋回による危険回避操船を行った。これらの操作に対する船体の応答や操船の状況を DGPS による船位、船速の計測、3 軸の加速度計による上下左右前後の加速度の計測、ならびに船橋内での操船作業のビデオ撮影により記録した。

危険発見から回避完了までの操船の状況や停止距離や旋回半径回避時の加速度等は次の通りである。図 A2.1.1 に乗船時の航跡、図 A2.1.2、図 A2.1.3 に船速や加速度等の時系列を示す。左舷への急旋回 1 回、右舷への急旋回 1 回及び緊急停止を 2 回実施している。図 A2.1.2 に示される時系列は、下から DGPS による船速、DGPS の船速を微分して得られた前後方向の加速度、加速度計から得られた加速度、DGPS から得られた針路及びそれを微分して得られた旋回角速度である。DGPS ではほぼ 5 秒毎、加速度計では 0.05 秒毎にデータの記録を行った。

(1)緊急停止について

緊急停止時の操作は、スロットルレバーによるワンアクションでできるようになっており、障害物を発見後遅くとも 1 秒以内には動作が完了することが観察から確認できた。

図 A2.1.3 に、緊急停止時の船速の時系列を示す。操作は、ほぼ時刻 0 において開始しており、図から停止までに時間 29 秒と読みとれ、このデータを基に停止距離を計算すると、1 回目は 207m、2 回目は 218m であった。さらに、発見から停止操作終了まで 1 秒とす

ると、空走距離を含めても、時間にして 30 秒、距離にしてほぼ 230m で停止することがわかった。

2 回の実験での緊急停止時の 3 方向の加速度を、図 A2.1.4 と図 A2.1.5 にそれぞれ示す。緊急停止時、前後方向には最大 0.4G の加速度が観測された。一方、左右加速度の最大は 0.1G 未満、上下加速度も 0.2G 未満であった。

(2)急旋回による危険回避

操船時の状況観察から、急旋回の操作はハンドルを回すだけのワンアクションで、実質 1 秒以下の操作で可能であることが確認できた。

図 A2.1.6 は、Hard Port 及び Hard Starboard を取った時の航跡を示す。この図より、旋回半径はほぼ 200m であることがわかる。また、図 A2.1.2 より、旋回時の最大角速度は 6 度/秒であることがわかった。さらに、図 A2.1.4 の旋回時の時系列データより、旋回による加速度の変化はほとんど無く、急旋回による乗客への影響は小さいものと思われる。

A2.1.3 聞き取り調査に基づく課題の抽出

乗船調査の終了後、運航管理者の聞き取り調査を行った。以下にその概要を示す。

(1)高速航行

佐渡航路においては、ジェットフォイル自体の操縦性能の良さと、佐渡航路自体も幅轆していないことから、他船に関しては先行避航の励行で対応しており、現状のこの航路の対応としては、高速船側からも一般船側からも安全であると認識されている。

(2)緊急操船

実船試験から、緊急操船時における性能が明らかになったが、日頃から自船性能を体感することが重要であり、この感覚の育成が必要である。

緊急時の最終的な判断と操船作業は 1 名で行うのが良く、緊急回避操作も舵輪あるいはスロットルレバーによるワンアクションで実施できることが望まれる。特に、高速船の場合は、操作の遅れの影響が大きいのでスロットル等は他人に任せず、船長自身が操作することが望ましい。

佐渡汽船のジェットフォイルは、緊急停止時に必要なエンジンの出力低減とリバーサの装着シーケンスをスロットルレバーのワンアクションでできるようにその制御系に改造が加えられており、緊急回避行動の迅速な対応に寄与している。

(3)海洋生物、障害物

鯨等の海中生物については、特殊な音波を水中に出す等、海中生物が高速船に近づかないような対応がなされている。

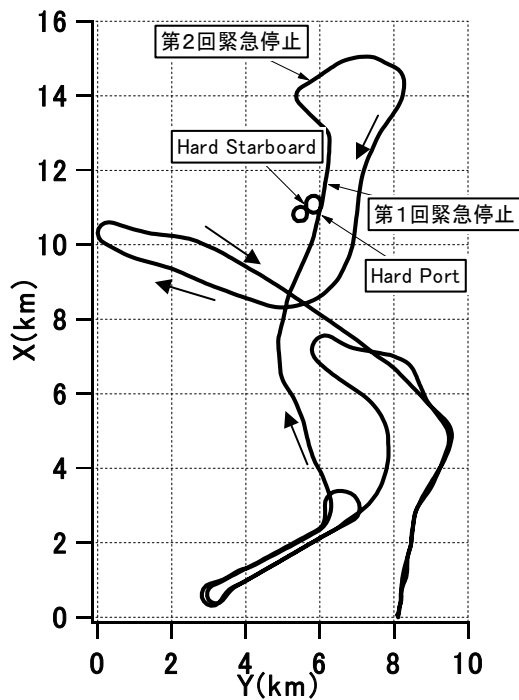


図 A2.1.1 航跡図

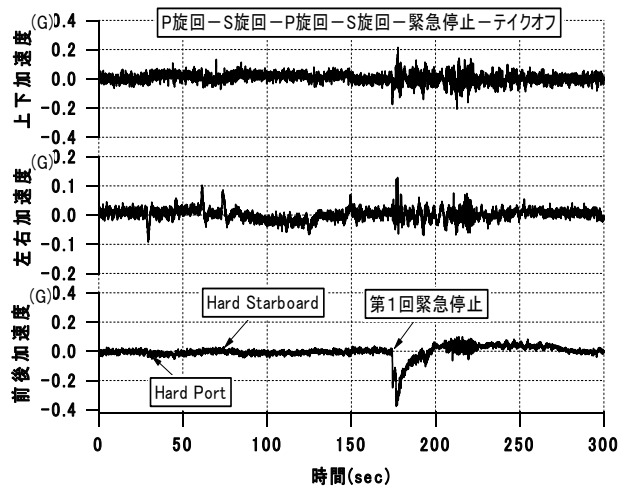


図 A2.1.4 第1回緊急停止時の加速度

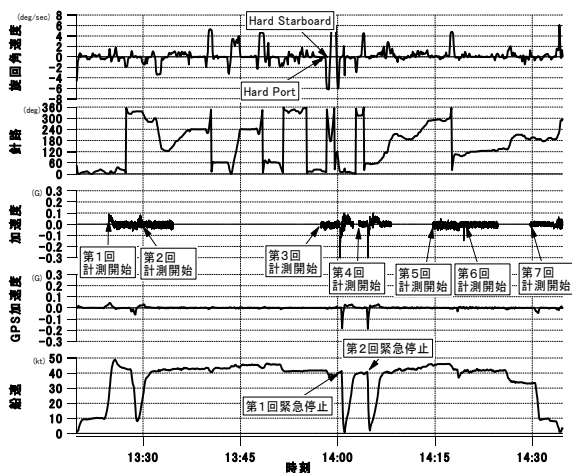


図 A2.1.2 船速、加速度、船首方位及び旋回角速度の時系列

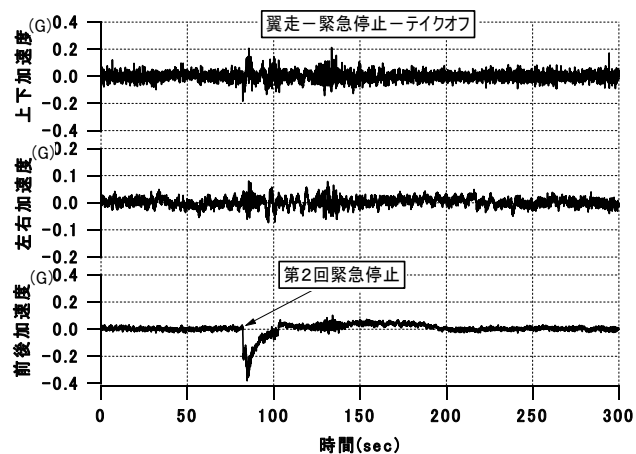


図 A2.1.5 第2回緊急停止時の加速度

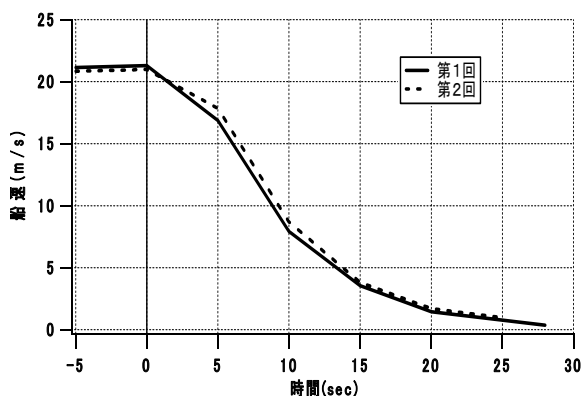


図 A2.1.3 緊急停止時の船速の時系列

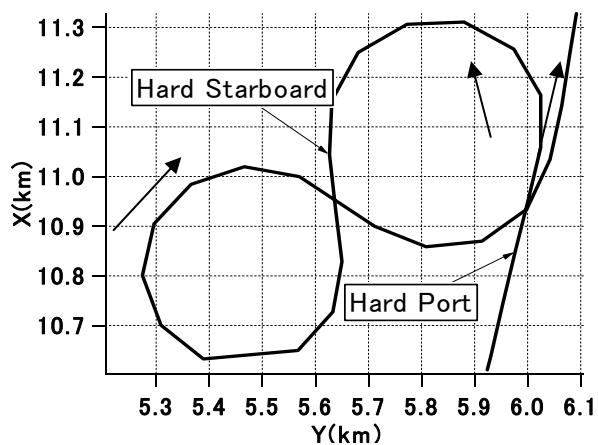


図 A2.1.6 旋回時の航跡

(4)航路航行

幅輦海域を高速で航行する場合には、付近を航行する他の船舶に高速船の存在を確実に知らせる必要がある。

これらのことから、高速船の緊急回避操船において、意思決定から操作完了までの一連の操作を円滑かつ短時間に実施することが不可欠であり、これを実現する手順の確立、制御系ならびにマン・マシンインタフェース機能の設定が重要であり、シミュレータ実験による評価項目として採用することとした。

A2.2 東京湾における幅輦状況についての実態調査

A2.2.1 調査概要

シミュレータ実験を行うための基礎資料を得るために、東京湾における船舶の幅輦状況の観察を行うとともに、東京湾で就航している高速船の操船者の方々に聞き取り調査を実施した。

当該船舶は、平成14年4月から、東京湾で初めて就航し、45ノットで航走する船舶であり、この調査において運航体制、交通環境、操船、支援体制、当直体制等、様々な問題に関して新たな情報の入手が期待できる。

本調査は、まず始めに、実態調査に先立ち、運航管理者の聞き取り調査を実施し、続いて、高速船に乗船して、東京湾における船舶交通の幅輦状況を観察するとともに、実際の操船の現場で操船者の聞き取り調査を実施した。運航航路を図A2.2.1の通りである。

A2.2.2 乗船調査

①実施日と実施者

- ・6月3日(月):3名;天候 曇り時々晴れ
- ・6月5日(水):2名;天候 曇り時々晴れ
- ・6月15日(土):2名;天候 雨時々曇り

②乗船便

乗船した船種はジェットフォイルである。

- ・6月3日(月)、5日(水)

東京竹芝桟橋、8:00 発、大島元町港、9:45 着
大島元町港、16:15 発、東京竹芝桟橋、18:00 着

- ・6月15日(土)

東京竹芝桟橋、8:20 発、大島岡田港、10:05 着
大島岡田港、16:25 発、東京竹芝桟橋、18:10 着

③幅輦状況の観察

天候は曇りと雨となり、視界が十分でなかった。就航便数に限りがあり、その中での乗船調査であったが、観察を通じ、東京湾の幅輦状況の実態を知ることができた。

A2.2.3 運航者及び操船者への聞き取り調査結果

運航者及び操船者に、湾内等の幅輦海域を高速航行する場合の問題点について聞き取り調査を行った。以下に、調査結果の概要を示す。

下に、調査結果の概要を示す。

(1)運航体制

現在、ジェットフォイルは航行コース、速度が規定されており、日没までの運航である。便数が増えた場合や、また将来夜間航行が始まった場合に、高速船と他船、高速船と高速船、また高速船と陸上施設との十分な情報収集、交換が必要である。

(2)他船

東京湾は幅輦海域であり、十分な情報収集と的確、かつ迅速な判断が必要である。

(3)漁船・遊漁船

東京湾においては、漁船は、航路上で操業しており、航行上、非常に危険である。漁船は積極的に避航しないので、高速船側で避航している。

(4)海中生物の回避

海面上を遊泳している場合は、見張り等で発見が可能であるが、海面下から急に浮上してくる場合は発見が遅れるため、音声発信器や水中ソナーの装備を検討する必要がある。

(5)高速航行

高速船は行き足があり、判断の遅れの影響が大きいため、十分な情報収集と、的確かつ迅速な判断が必要である。また、目的地までの時間短縮、定時性を確保するためには、航路の設定、速度の設定、航法の検討は重要な課題である。

(6)操船

高速船の種類によって、独特の操作があり、また、性能が異なるが、教育と訓練を積むことによって習熟、体感することが必要である。

(7)当直体制

ジェットフォイルは操縦性能、特に旋回性能はすぐれているが、幅輦海域を高速航行するということで、操船者は緊張と疲労をかかえている。湾内と外洋、長時間、長距離運航等に備えて、操船者の交代要員の確保、役割分担が重要な課題である。

(8)夜間航行

この航路では、現在は夜間航行を行っていない。東京湾という幅輦度の高い海域での夜間航行においては、陸上施設との緊密な情報交換等が必要となる。

(9)ブリッジ

ブリッジは操船の重要な空間であるため、余裕のある、疲労の少ない座席、複数の人間の十分な視野の確保等人間工学的な視点での設計が必要である。

(10)航海計器

ブリッジにおいては、操舵装置を始めとしてレーダ、暗視装置、電子海図、集中配置されている。それぞれの機器は、表示項目、使用頻度、使い勝手が異なる。基本的には、情報として何を表示するか、頻繁に使うものを近くに配置、表示・操作部の角度は船長に見やすく、操船関連と主機関連が隣り合う配置が望ましい

(12)航行支援

航行支援には、ブリッジに搭載されている航海機器から情報を取得することも必要であるが、広範囲の、大量の情報を得るためには、陸上施設から支援を受けることが有効である。AIS を始めとする情報技術を積極的に利用することが必要である。

A2.1、A2.2 の調査結果をあわせて、シミュレータ実験のシナリオ、実験結果の評価等に反映させることとした。

A2.3 既存高速船の操縦装置についての実態調査**A2.3.1 概要**

大型の高速船が定時運航を実現するためには、避航・緊急操船時の対処、長時間かつ長距離航行における当直体制を考慮した航海・操船システムの設計等が重要な検討課題である。このような観点から、現状の

高速船における運航状況や機器配置、操船コンソールに関する調査、操船装置・機器配置等に関する実態調査を行った。

現在、旅客用に運航されている高速船の運航状況、船橋における役割分担、機器配置等に関する聴き取り調査を実施した。調査した対象船舶は、それぞれ異なった船体形状で操船方法も異なる船舶である。以下に、調査を行った対象船舶の概要を示す。

対象船舶

- ・ジェットフォイルは、ウォータージェット推進で機関の出力と水中翼の深度を調整しながら操舵ハンドル進路を変更して操船する方式である。水中翼深度の自動制御システム (Auto Control System) があるが、波高により手動で行う必要がある。



写真 A2.3.1 ジェットフォイル



写真 A2.3.2 SSC



写真 A2.3.3 双胴船



写真 A2.3.4 双胴型エアークッション船



写真 A2.3.5 ホバークラフト

表 A2.3.1 調査船主要目

船種	ジェット foil	SSC	双胴船	双胴型 エアークッション船	ホバークラフト
船名	セブニアイト	シーガル2	アルバトロス	希望	ドリームファイア
総トン数	280 トン	567 トン	296 トン	2,785 トン	約 40 トン
乗務員数	4～5 人	4～5 人	4 人	8 人	2～3 人
旅客定員	268 人	410 人	300 人	260 人＋ 乗用車 30 台	105 人
航海速力	43 ノット	27.5 ノット	36.8 ノット	45.23 ノット	約 90km/hr
航路 運航時間	東京－大島 1 時間 45 分 新潟－佐渡 1 時間	熱海－大島 1 時間	熱海－大島 1 時間	清水－下田 1 時間 40 分	大分空港 －大分 25 分

- ・双胴船は、ウォータージェット推進で左右別々にあるレバーにより機関の出力とウォータージェットの方向を各々制御して操船する方式である。切り替えスイッチにより操舵ハンドルにて進路を変更しながら操船することも可能である。また、船尾にあるタブを制御して船体姿勢を調整する。
- ・双胴型エアークッション船も、ウォータージェット推進で左右別々にあるレバーにより機関の出力とウォータージェットの方向を各々制御して操船する方式である。切り替えスイッチにより操舵ハンドルにて進路を変更しながら操船することも可能である。また、船速に合わせてクッション圧を変更させる。
- ・SSC (Semi Submersible Catamaran) は、プロペラ推進で左右の機関の出力レバーと操舵ハンドルによる制御方式である。

ジェットfoil、双胴船及び双胴型エアークッション船はウォータージェット推進で、SSC はプロペラ推進である。聴き取り調査を行った対象船舶を写真 2.3.1 から写真 A2.3.5 に、これらの主要目等をまとめたものを表 A2.3.1 に示す。双胴型エアークッション船とホバークラフトに関しては停船時に聴き取り調査を行った。

聴き取り調査にあたっては、事前に運航者に確認する項目と船上で船長に確認する項目を決定した。聴き取り調査では大別して、運航全般、当直体制、航行支援、通常運航、幅狭海域及び緊急操船をキーワードにした観点からの操船コンソール、機器配置等について図 A2.3.2 の方針に従って調査した。

A2.3.2 聴き取り調査の結果

調査を基に、高速航行に対応した操作性能を持つ、従来以上の安全性を考慮した航海・操船コンソールの基本設計に対する課題の抽出、及び高速船用模擬操縦装置の設計方針について述べる。聴き取り調査結果の概要は次の通りである。

(1)航行上注意する点

(航路特有の注意点)

- ・幅狭海域の航行における、見張り、先行避航。
- ・入港、接岸時の狭い場所での離着岸操船。
- ・海域特性に応じた速度調整。
- ・大波高中の航行における乗り心地の確保。
- ・プレジャーボートや漁船、ジェットスキー。
- ・レーダに映らないブイや浮遊物の存在。
- ・海生生物の出現。
- (緊急操船)
- ・緊急操船の原因は、海生生物と浮遊物、機器トラブル、他船。
- ・幅狭時、緊急時、及び通常時で機器の操作方法は変えない。

(2)航行装置と操作機器配置

(ブリッジスペース)

- ・ブリッジスペースは広い方が良い。
- ・交代時の休憩仮眠室が必要。
- (コンソールの色調)
- ・色調は各人の好みによるが、落ち着いた色が良い。
- ・窓の外の船体からの反射も考慮する必要がある。
- (操縦席)
- ・横並びに操船と主機関係の機器がある従来船舶型のコンソール配置が良い。
- ・各操作部はコクピット型も良い。
- ・高速船では、迅速かつ的確な判断が要求されるので、前方が良く見え、視線を離さずに機器操作ができるとともに、異常時の警報もわかりやすいシステムが必要。

(3)大型／高速／長時間／長距離

- ・大型高速船でも、小型高速船と同様に即時停止ができ、旋回性能が良い必要がある。
- ・長距離航路では、機器トラブルが発生した場合、船内で対応する必要がある。知識と信頼のある乗員とともに、陸上からサポートする体制が必要である。
- ・レーダは海生生物を捉えることができないので、常時目視が必要。

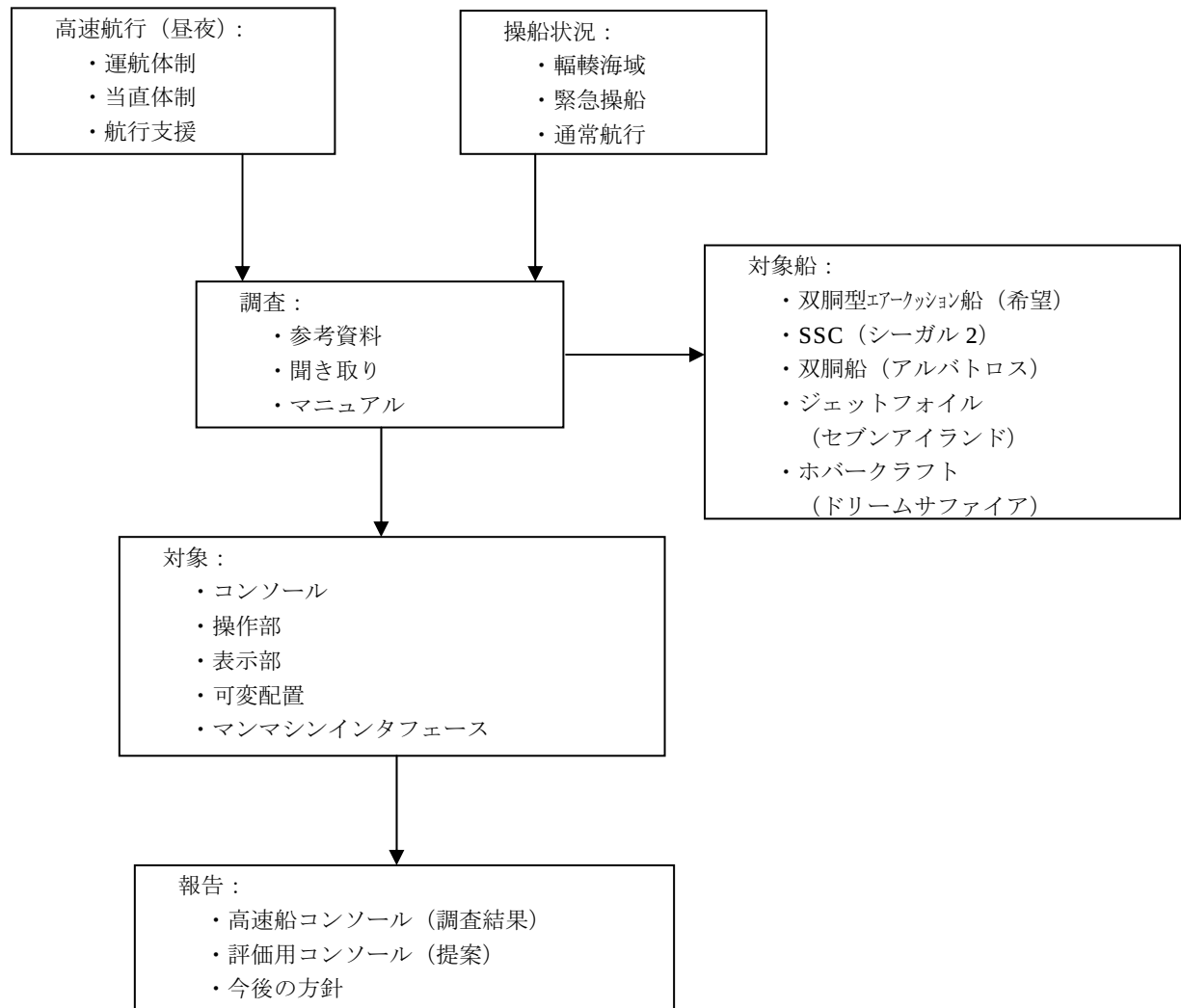


図 A2.3.2 調査方針

- ・オートパイロットは一部海域では良いが見張りが必要である。

A2.3.3 まとめ

乗船による聞き取り調査、資料調査を通して得られた検討結果をもとに、輻輳海域を航行する高速船用に操船シミュレータの模擬操縦装置を整備するための改良点を整理する。

(1)操船コンソール&機器配置

高速船は運動性能や緊急操船に対応して乗員は着座して操船する場合が大半で、船長による操船、機関長による機関監視及び航海士による操船・監視補助が並行して行われている。レーダ ARPA や目視による情報をもとに避航・緊急操船する場合を想定して、一部の操船機能は複数乗員が的確に操作可能なように配置されている。船橋でこのような役割分担を的確に行うた

めに、操船・機関・監視に関する機器類は同一フロアに集中配置されることが多い。大型高速船による長距離・長時間・夜間航行及び輻輳海域での操船に関しては、目視による監視に集中できるような操作機器の新設や機器配置が望まれる。また、操船コンソールや機器配置については、「Guidelines on ergonomic criteria for bridge equipment and layout (船橋機器・配置の人間工学的基準)」に従った考え方で、操船者の意見・意向を確認しながら整備する。

(2)操船シミュレータ用コンソール

大型高速船対応操船シミュレータ向けコンソールは、視野・視角の確保、航行および機関情報のモニタリング、緊急対応時における複数乗員によるバックアップ、着座／立席操船時の作業性の確保等が必要である。更に、作業エリアも考慮し、操船コンソールや機器類は効率よく配置することも必要である。

付録 3 高速船用シミュレータの整備

A3.1 高速船用模擬操縦装置

海上技術安全研究所既存の一般船用のシミュレータを高速船の安全性評価に用いるために、評価対象とする高速船用の操縦性能を模擬するとともに、操船のための支援機器等のインタフェースを整備した。以下これらを総称して高速船用模擬操縦装置と呼ぶ。

A3.1.1 高速船用模擬操縦装置の構成

本装置の構成は、以下のとおりである。

- ・操船用コンソール
- ・監視用コンソール
- ・高速船シミュレータソフトウェア
- ・操船用スイッチ類

高速船用模擬操縦装置の機器構成を図 A3.1.1 に示す。機器配置の平面図を図 A3.1.2、側面図を図 A3.1.3 に示す。機器類のフレキシブルな配置が可能のようにモニター、操作スイッチ、操舵

ハンドルは移動可能とした。立位及び座位での前方視界およびモニター確認の視線を考慮しながら、人間工学的に操船しやすいテーブル高さ、椅子高さを決定し計算機類は足元のラック内に設置した。

①操船用コンソール

操船用コンソールは、操船用コンソール筐体、パソコン、モニター、操船用スイッチ類、操船座席で構成する。

②監視用コンソール

監視用コンソールは、監視用コンソール筐体、監視用パソコン、監視用モニター、監視座席で構成する。

③高速船シミュレータソフトウェア

高速船シミュレータソフトウェアは、パソコン間通信プログラム、船体情報表示プログラム、機関情報表示プログラム、船位情報表示プログラム、操作装置監視プログラム、高速船操縦運動模擬プログラムで構成する。

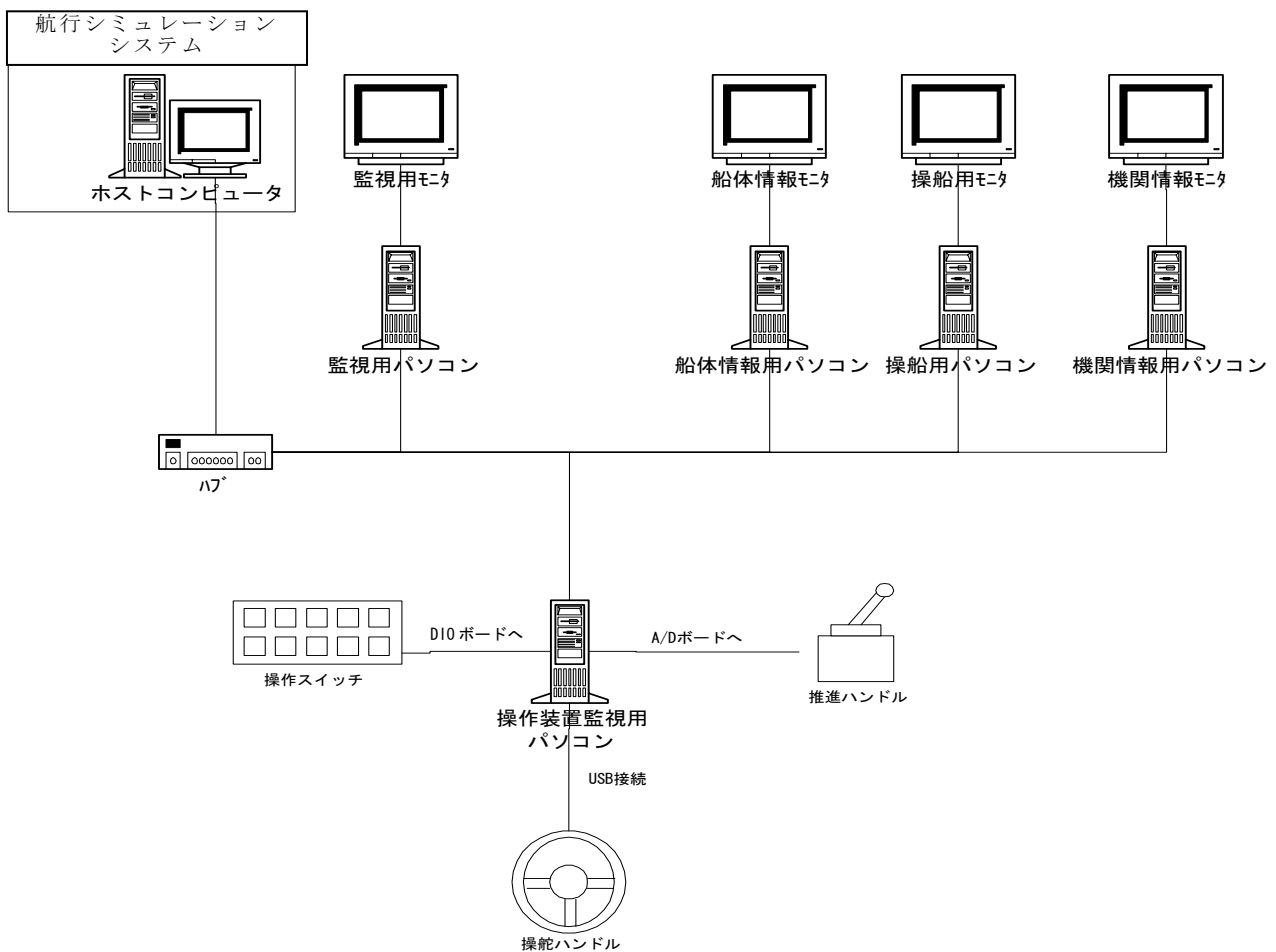


図 A3.1.1 高速船用模擬操縦装置の機器構成

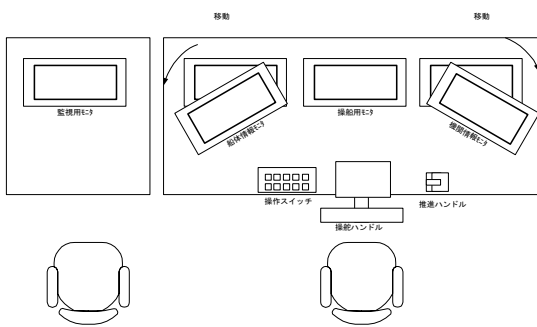


図 A3.1.2 機器配置(平面)

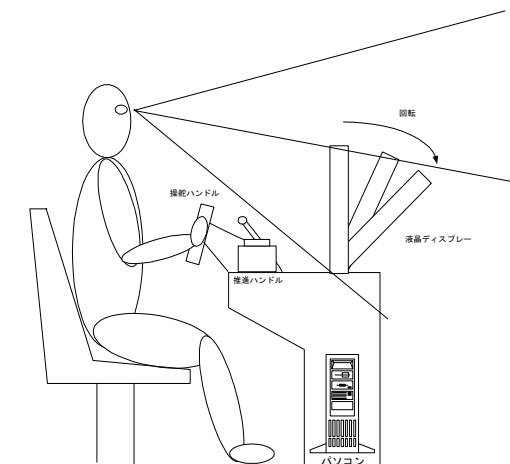


図 A3.1.3 機器配置(側面)

④操船用スイッチ類

- ・操舵ハンドル(写真 A3.1.1)背面の 2 個の手元スイッチ（船位情報画面拡大縮小）
前面の 6 個の手元スイッチ（予備ボタン）
- ・推進ハンドル(写真 A3.1.2)
推進レバーの角度により、出力を変化させる。

A3.1.2 高速船用模擬操縦装置の仕様

本装置は、操船者と監視者の 2 名によって使用できるよう、操船用コンソールと監視用コンソールで構成し、操作・表示装置は、ユーザビリティと安全性の観点から検討を行えるようフレキシブルな配置が可能なものとした。また、スペース的にはさらに 2 名が加わった 4 名当直が可能なものとしている。演算・表示を行う計算機は全てローカルエリアネットワークにより接続し操作機器情報や航行データを共有する。

本装置のプログラム構成は以下の通りである。

- ・高速船操縦運動模擬プログラム
操舵装置・推進装置の指令に応じた簡易的な



写真 A3.1.1 操舵ハンドル



写真 A3.1.2 推進ハンドル

船体運動モデルにより、船体運動を算出する。

- ・船体情報表示プログラム

通信で送られてくる針路、船速、舵角等船体運動の状況認識に必要な情報の画面を作成しモニタに表示する。

- ・機関情報表示プログラム

通信で送られてくる機関情報から表示用の画面を作成し、モニタに表示する。

- ・船位情報表示プログラム

船位情報からその位置や航跡を電子海図上に表示する画面を作成し、モニタに表示する。また、操舵ハンドルの手元スイッチにより、表示

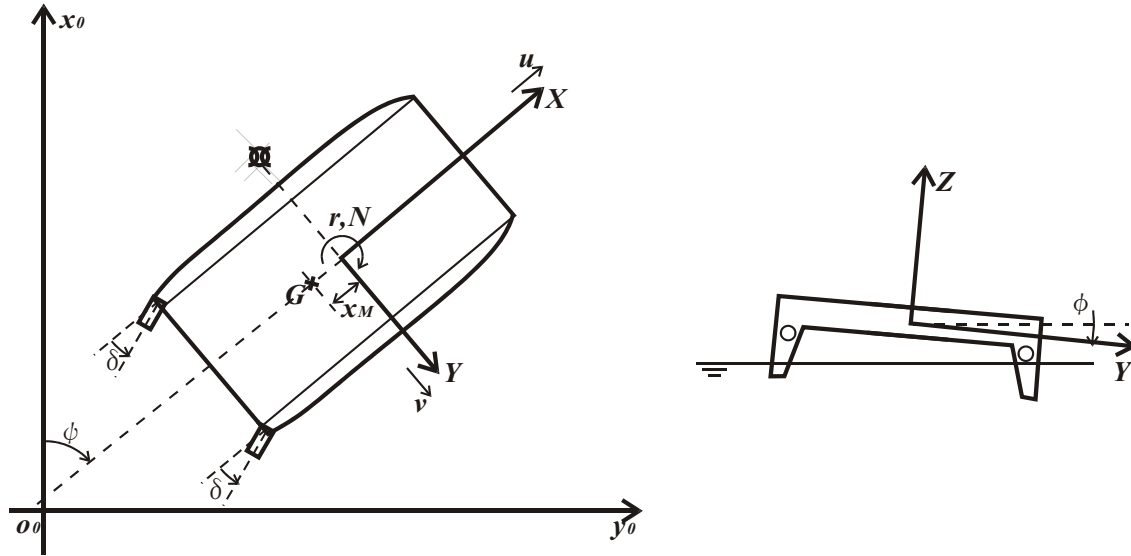


図 A3.1.4 座標系

範囲（レンジ）の変更が可能である。

・操作装置監視プログラム

操船用スイッチ類を接続する操作装置用パソコンでスイッチ類の信号を監視し、必要な信号を他の演算表示プログラムへパソコン間通信プログラムを通じて転送する。

以下、各プログラムの概要を示す。

①高速船操縦運動模擬プログラム¹⁰⁾

本運動計算プログラムは、船舶の操縦運動シミュレーション計算を、実際の運航に即した条件のもとで行うものであり、DLL の関数コールにより Visual Basic で計算を行うことができる。運動計算は 127m の双胴型エアークッション船型を対象としている。

・船体の運動モデル

運動方程式は船体中央部を原点とし図 A3.1.4 のような座標系を用いる。

$$\begin{aligned} m(\dot{u} - vr) &= X_H + X_{WJ} + X_W \\ m(\dot{v} + ur) &= Y_H + Y_{WJ} + Y_W \\ I_{zz}\dot{r} &= N_H + N_{WJ} + N_W \end{aligned}$$

添字 H 、 WJ 、 W はそれぞれ、船体に作用する流体力、ウォータージェットおよび風圧力に関する項を表している。また、船体の運動に伴う横傾斜を考慮するために、浮面心まわりの横揺れ運動として次式のような運動方程式を用いて表現を行う。

$$\begin{aligned} &\dots \\ I_{xx}\phi &= M_0 + M_1 + M_2 + M_3 + M_4 \end{aligned}$$

ただし、 I_{zz} は Z 軸回りの慣性モーメント、 I_{xx} は X 軸回りの慣性モーメント、 M_0 は船体の浮力と重力から構成される復原力、 M_1 は運動に伴って船体に作用する横力によって発生する傾斜モーメント、 M_2 は船体の旋回運動によって生じる遠心力による傾斜モーメントを示しており、 M_3 は船体動揺による動水圧、摩擦力に基づく抵抗モーメント、 M_4 は加速度抵抗を表している。

・船体に作用する流体力

船体に作用する平面流体力は midship まわりの流体力微係数を用いて計算する。

$$\begin{aligned} X_H &= X'_H \times 1/2 \rho L_{WL} d V^2 \\ Y_H &= Y'_H \times 1/2 \rho L_{WL} d V^2 \\ N_H &= N'_H \times 1/2 \rho L_{WL}^2 d V^2 \end{aligned}$$

ただし、 ρ 、 L_{WL} 、 d 、 V はそれぞれ、水密度、垂線間長、喫水、船速であり、

$$\begin{aligned} X'_H &= -m'_x \dot{u}' + (m'_y + X'_{vr}) v' r' + X'(F_n) \\ Y'_H &= -m'_y \dot{v}' - m'_x u' r' + Y'_v v' + Y'_r u' r' \\ &\quad + Y'_{v|v|} |v'| |v'| + Y'_{r|r|} |r'| |r'| + Y'_{vrr} v' r' r' \\ N'_H &= -J'_{zz} \dot{r}' + N'_v u' v' + N'_r r' r' \\ &\quad + N'_{v|v|} |v'| |v'| + N'_{r|r|} |r'| |r'| \\ &\quad + N'_{vvr} v' v' r' + N'_{vrr} v' r' r' + Y'_{HX'M} \end{aligned}$$

x'_M : 船体中央部から重心位置までの距離（船首側を正）

$v' = v'_G + x'_M r'$; v'_G は重心の無次元化横移動速度

$X'(F_n)$; フルード数 F_n の関数

その他の記号の説明は、付録末尾にまとめた。

②船体情報表示プログラム

本プログラムは、船体情報データを受信し船首方位、船速、舵角等の情報を図 A3.1.5 のように表示する。



図 A3.1.5 船体情報表示画面



図 A3.1.6 機関情報表示画面

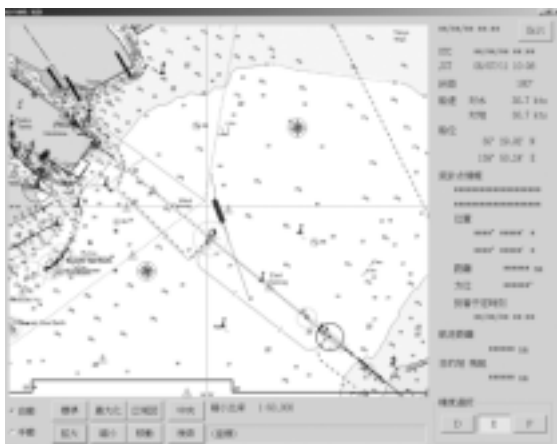


図 A3.1.7 電子海図表示画面

③機関情報表示プログラム

本プログラムは、機関情報データを受信し主機回転数等の情報を図 A3.1.6 のように表示する。2 軸のガスタービンとウォータージェット推進の稼働状況を表示している。

④船位情報表示プログラム

本プログラムは、自船データおよび他船データを受信し図 A3.1.7 のように電子海図上に船位を描画する。自船表示は位置、進行方向及び航跡を表示し、海図表示は拡大縮小が可能である。他船は、ARPA (Automatic Radar Plotting Aids) 捕捉模擬情報を受信して、他船船位と速度ベクトルを表示するものである。

⑤操作装置監視プログラム

舵角の操作と手元スイッチによる表示画面の操作を行う操舵ハンドル、主機の回転数を操作する推進ハンドル及び操作ボタンの操作情報を各計算機及びホストコンピュータに送信する。

A3.2 シミュレーションソフトの改良

高速船用のシミュレーションソフトの改良点について述べる。

① 操船シミュレータの画像表示プログラムの改造

画像表示プログラムに、本船のローリングを画像に反映する改造を行った。また、本船が高速であるため、従来の位置外挿計算では、動作が不自然になる可能性があるため、加速度情報を基にした位置外挿計算アルゴリズムへの改造も行った。なお、この2点の改造を行うためには、ホストプログラムより、本船のローリング、及び加速度情報を受け取る必要がある。そこで従来の船舶情報通信に、運動情報を拡張した本船のデータを追加して、送受信を行うようにプログラムの修正を行った。

② 船体の横傾斜

本船の横傾斜を投影画面に反映させるには、正船首を中心に水平線を横傾斜と逆方向へ傾ければよい。正船首から ψ_B だけ中心の方位がずれたスクリーンでは、本船が ϕ だけ横傾斜した場合、これに応じて、球面三角法を用いて決定した角度だけ、視野角のピッチ角、ロール角、ヨウ角を変化させる必要がある。各スクリーンの視野角のヨウ ψ_v 、ピッチ θ_v 、ロール ϕ_v は、 ϕ と ψ_B を用いて、

$$\begin{aligned}\Psi_v &= \tan^{-1}(\cos \Phi \tan \Psi_B) \\ \Theta_v &= \sin^{-1}(\sin \Psi_B \sin(-\Phi)) \\ \Phi_v &= -\cos^{-1}(\sin \Psi_v / \sin \Psi_B) \quad \Phi \neq 0\end{aligned}$$

となる。今回は以上の関係をプログラムに盛り込んだ。

③ 位置外挿法の改良

従来の計算では、事前の速度情報を基に位置の外挿計算を行ってきた。しかし、高速船での急停止等を考慮すると、この外挿方法では、不十分である。そこで、今回は事前の加速度情報を基に速度を外挿しながら位置の外挿を行う計算アルゴリズムを採用することとした。

④ 船舶情報通信

上述の2つの改善に必要な本船の運動データを付加して情報の送受信を行うために、新たに運動情報を拡張した本船データを、船舶情報データの最後に付加することとした。なお、従来の本船データは、従来通りデータの最後尾に付加して送られるので、従来プログラムでの動作も保証される。新たに付加した本船の情報は、以下の通りである。

位置 x 、位置 y 、高さ z 、船首方位、ピッチ角、ロール角、前後速度、横速度、上下速度、ヨーイング角速度、ピッチング角速度、ローリング角速度、前後加速度、横加速度、上下加速度、ヨーイング角加速度、ピッチング角加速度、ローリング角加速度。

A3.3 景観画像等データベース

高速船の航行シミュレーションのための景観画像データとして、東京湾の3次元画像データベースを作成した。まず始めに基礎となる東京湾の地形（陸地）の3次元画像データを作成した。この地形は国土地理院発行の数値地図を基に作成した。次に、東京の地形以外に海面、船舶、海上の著目標（灯浮標、島等）、陸上の著目標（ビル、倉庫、橋等）等の3次元画像データを作成した。これらのデータは、図面、写真、ビデオ等を基に作成した。3次元画像データを作成するツールとして米国 **Multigen-Paradigm** 社の **MultiGenCreator** を用いた。

< 操縦運動方程式の主要記号説明 >

J_{zz} 、 J_{zz}' : 付加質量によるZ軸周りの慣性モーメント、同無次元化 ($J_{zz}/(1/2 \rho L_{WL} dV^2)$)

m : 船体質量

m_x 、 m_x' : 前後方向、付加質量、同無次元化 (m_x/m)

m_y 、 m_y' : 左右方向、付加質量、同無次元化 (m_y/m)

u 、 u' : 前後速度、同無次元化 (u/V)

v 、 v' : 左右速度、同無次元化 (v/V)

; $V = (u^2 + v^2)^{1/2}$

r 、 r' : 旋回速度、同無次元化 (rL/V)

付録4 操縦性能

図 A4.1 および図 A4.2 に操縦性能A～Dに対する舵

35 度旋回時の航跡とその時の各種の状態量の時系列変化を 360 度旋回するまで示す。

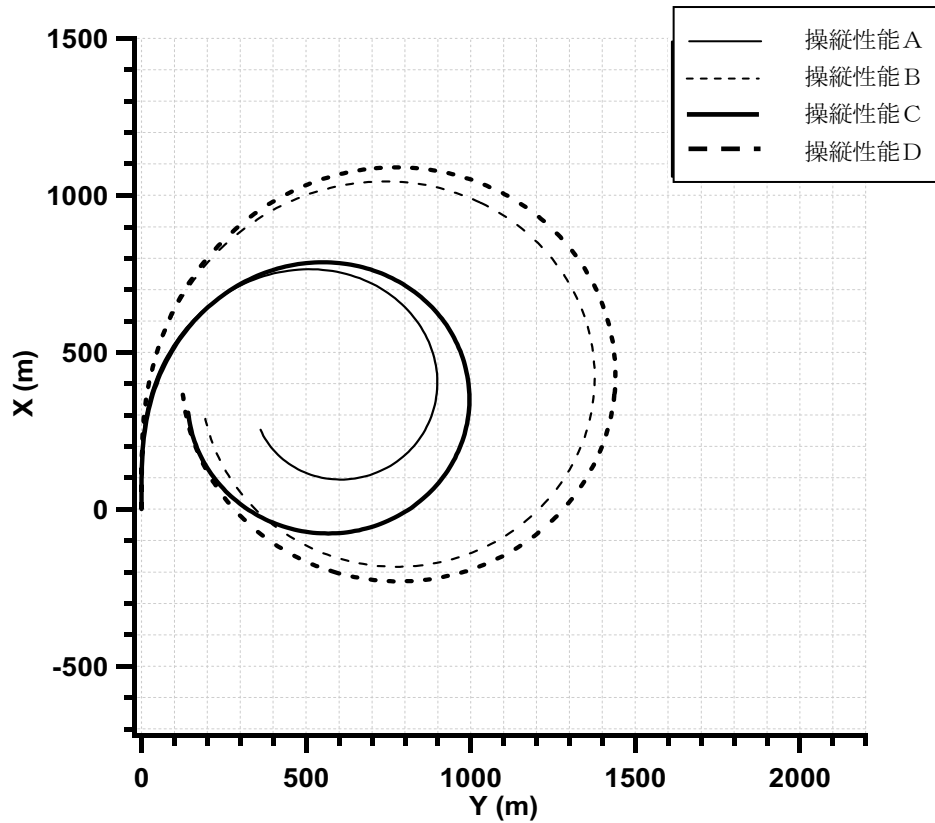


図 A4.1 操縦性能A～Dに対する旋回性能

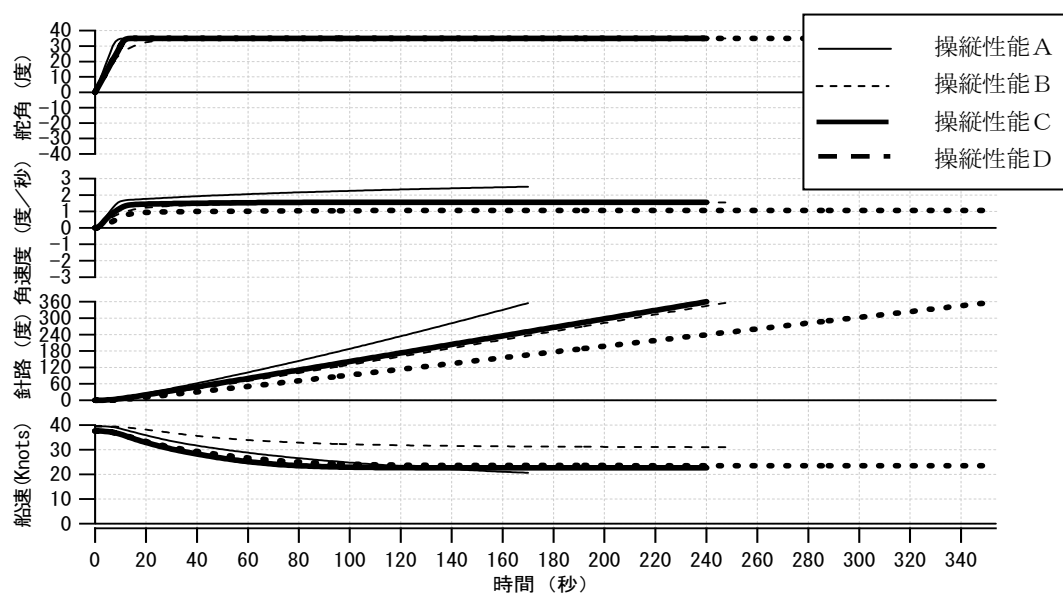


図 A4.2 旋回時の状態量の時系列

付録 5 危険判定半径について

OZT 表示では、相手船の存在範囲をある大きさの円として扱い、自船がこの円の内側に進入する可能性があることをもって、衝突の可能性があると判定する。この円の半径を本調査研究では OZT 表示における危険判定半径と呼ぶ。危険判定半径は、幅員海域における過度の衝突危険度表示を避けるため、一般的な最小離隔距離ではなく、幅員海域で船尾を航過する際の離隔距離を基に設定されているものであるとともに、船舶の大きさを考慮せずに一律に定められてあるものであることから、避航操船における最近距離を代表する距離ではない。

本調査研究で用いた危険判定半径 0.07 マイルは、下記の「RR-S6 航海情報表示に関する実験」((社)日本造船研究協会)(参考 1)において採用された値である。

(参考 1)「RR-S6 航海情報表示に関するシミュレータ実験」実験概要 (OZT 関連)

1. 日時

2003 年 11 月 5 日 午後

2. 場所

海上技術安全研究所 航行シミュレーション室

3. 実験概要

現在、IMO (International Maritime Organization)、IEC (International Electrotechnical Commission)で提案されている、レーダ/ARPA (Automatic Radar Plotting Aids) 上及び ECDIS (Electronic Chart Display and Information System) 上に表示されようとしている ARPA 情報及び AIS 情報が実際に表示された場合の影響について、操船作業をする上での有効性の主観的評価と問題点の抽出を行う。このため、操船シミュレータ上で東京湾航行時の操船作業を模擬し、提供情報として、レーダ画面上(他船エコーを含む。)に、ARPA 情報と AIS (Automatic Identification System) 情報を単独及び重畳して表示すると共に、捕捉作業等を実施する。これに併せて、OZT (目標による妨害ゾーン) 表示等の表示の効果についても評価を実施する。実験結果を、海事実務者、航海機器メーカー等、海事関係者へのイン

タビューならびにアンケートにより評価する。

4. 実験条件

- ・ 実験シナリオ：幅員海域として東京湾の交通流を用い、川崎、横浜沖を南航する。
- ・ 自船：全長 100m の貨物船
- ・ 航海支援情報：レーダ/ARPA、AIS の重畳表示を適宜切り替えて、その情報を用いて避航操船を行う。
- ・ 被験者：熟練操船実務者

5. 実験結果

シミュレータ実験の被験者は、レーダ/ARPA、AIS、重畳表示を航海支援情報として、避航操船を行い、それぞれの表示の有効性、問題点、ならびに避航操船時の航法、航過距離等の操船結果の適切性を評価した。実験時に、別室にて、被験者を除く海事関係者に OZT 表示を提示し、その有効性を評価した。

実験に先立って、実験に参加した熟練操船者からの聞き取り調査から、船尾航過における最小離隔距離は、0.07 マイルであるとの主観的評価が得られた。これを基に、OZT 表示ならびに OZT 解析の危険判定半径として 0.07 マイルを設定して実験を行った。

OZT 表示例を図 A5.1 に示す。図 A5.1 において、左前方、約 0.9 マイルの横切り船による OZT は、OZT 表示画面最下方の画面中央から右方にかけて示されている。この横切り船に対し、自船は OZT 船尾側ぎりぎりへ向かって航行している。この時、DCPA (Distance for Closest Point of Approach) は 301m であり、OZT 評価における危険判定半径より十分大きい離隔距離を担保していた。図 A5.2 は、航過時の状態である。航過時の離隔距離は、390m 以上であった。

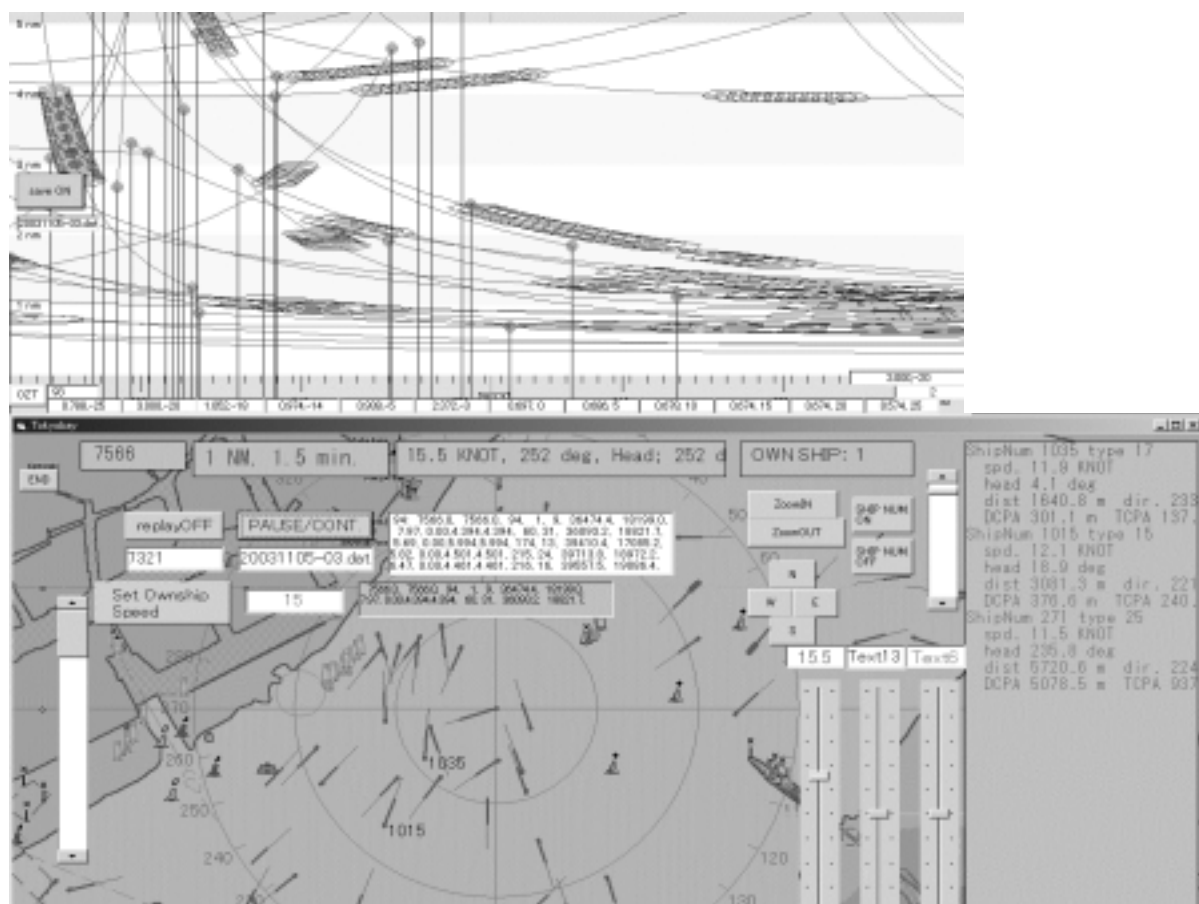


図 A5.1 左前方からの横切り船（船舶番号 1035）に対する航行

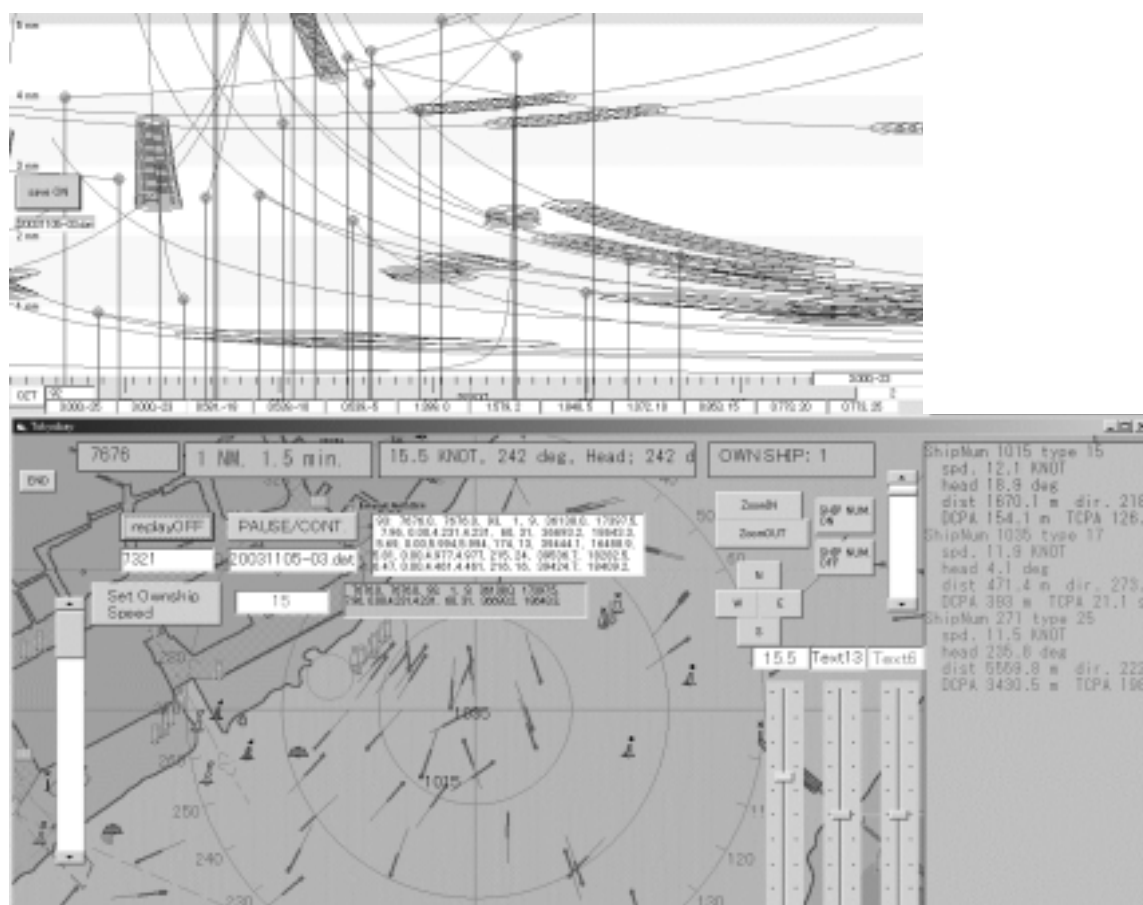


図 A5.2 横切り船（船舶番号 1035）の航過時