

T101 輻輳海域シミュレータと海のITS

大阪大学 (O)長谷川 和彦, 日立造船 立川 功二

Marine Traffic Simulator and Marine ITS

Kazuhiko Hasegawa^{*}, Koji Tachikawa^{**}

^{*}Graduate school, Osaka Univ., Osaka, Japan

^{**}Hitachi Zosen., Osaka, Japan

Abstract Marine ITS is a 5-year-project starting from 2000 in Japan. Combining GPS(Global Positioning System), AIS(Universal Automatic Identification System), satellite or mobile communication and Internet, a proposal of a future marine traffic system will be done. For this purpose, an intelligent marine traffic simulator was developed. This is a tool to evaluate marine traffic for any configuration of sea area, lanes and traffic conditions. It includes the modeling of human operator which will automatically navigate according to her original mission as well as collision avoidance manoeuvres, if necessary. It will be easily evaluated using this simulator how much degree the safety will change according to any change of traffic system, traffic quantity and quality, change of navigational area including addition of ports and cross-ocean bridges etc. The example was shown how traffic control will work in a specified sea area.

Keywords: Intelligent control, Automatic navigation system, Traffic simulation, Collision avoidance, Traffic control, Modelling of human operator, AIS, GPS, ITS

1. はじめに

1989年のアメリカ、アラスカ州において発生したタンカー—Exxon Valdezの座礁事故に代表されるように、輻輳海域や屈曲航路でのタンカーやLNG船の事故は単に人的および物的損害だけにとどまらず、環境汚染を始めとした社会問題に発展する危険を常にはらんでいて、世界的にその安全対策が急がれている。

我が国においても国土交通省の主導のもと、「海のITS」に関する研究が2000年度から5カ年計画で行われている。その内容は大きく分けて次の3つに分けられる。衝突・座礁回避システム、高度船舶交通管制システム、港内操船・離着岸支援システムに関する研究である。ITS (Intelligent Transportation System)とは情報技術に基づく輸送システムのことで、特に自動車のそれがよく知られている。ただし、陸上との大きな違いは、軌道(道路など)がなく、ごく沿岸

域をのぞき、携帯電話などによる通信が使えないことである。

そこで、使用する通信手段がAIS(Universal Automatic Identification System)である(Fig. 2)。AISはもともと航空

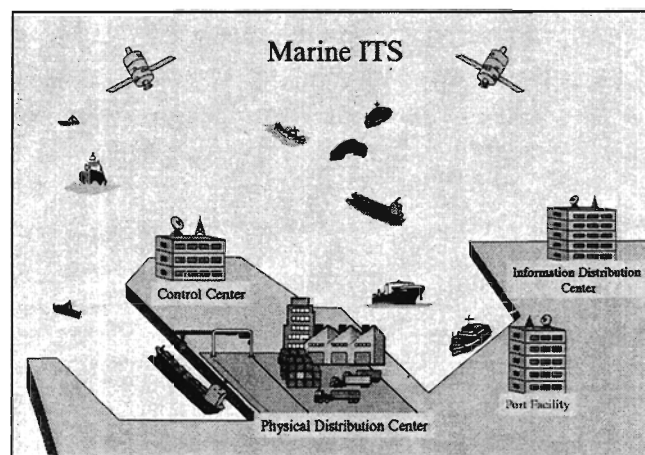


Fig. 1 Concept of Marine ITS

機で用いられていた自動識別信号発信装置であるが、船舶では VHF(Very High Frequency)を用いたパケット通信システムである。位置情報の計測には GPS(Global Positioning System)が用いられる。米軍による意図的誤差混入である SA(Selective Availability)が廃止されたいま、精度は向上したが、接岸などに利用するにはさらに高精度の GPS が必要である。これらにインターネットを加えることによりさまざまな情報を船舶どうしや管制センター間で共有することができ、高度でより安全な運航が期待できる。Fig. 3 はこうした高度管制システムの一概念図である。

こうしたシステムの提案を行う上でシステムの検証、あるいは、評価が必要であり、そのための輻輳海域シミュレータを開発した。その要となるのが自動航行シミュレーションシステム^{1)~3)}であり、その中で、あいまいな表現をとまなう法規や経験と言った知識ベースや推論エンジンが扱われている。さらに、それを利用した安全性評価例^{4)~5)}をふたつ紹介する。

2. 輻輳海域交通流シミュレータシステム

2.1 システムの概要と構成

システムの概要と構成を Fig. 4 に示す。

本システムは Fig. 4 に示すように船長の知識や法規など航行に必要な知識ベース、湾岸線データなど海域に関するデータベース、航路の設定や水深などに関する航路データベース、その海域を航行する船舶の交通容量に関する統計データベース、そして、船種ごとに参照する船舶の運動性能に関するデ

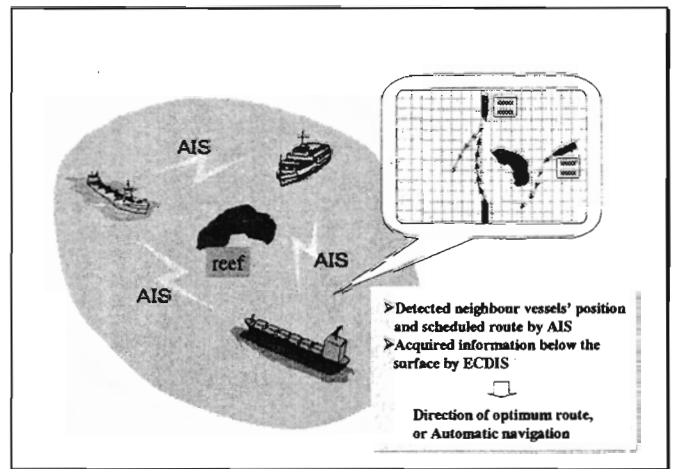


Fig.2 Concept of AIS

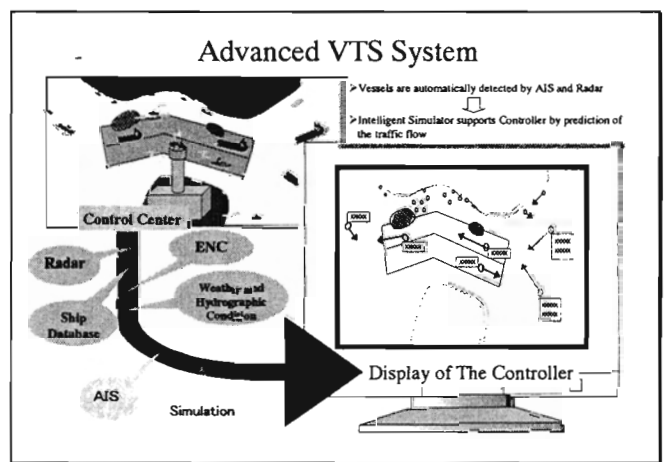


Fig. 3 Concept of Advanced VTS(Vessel Traffic Service) System

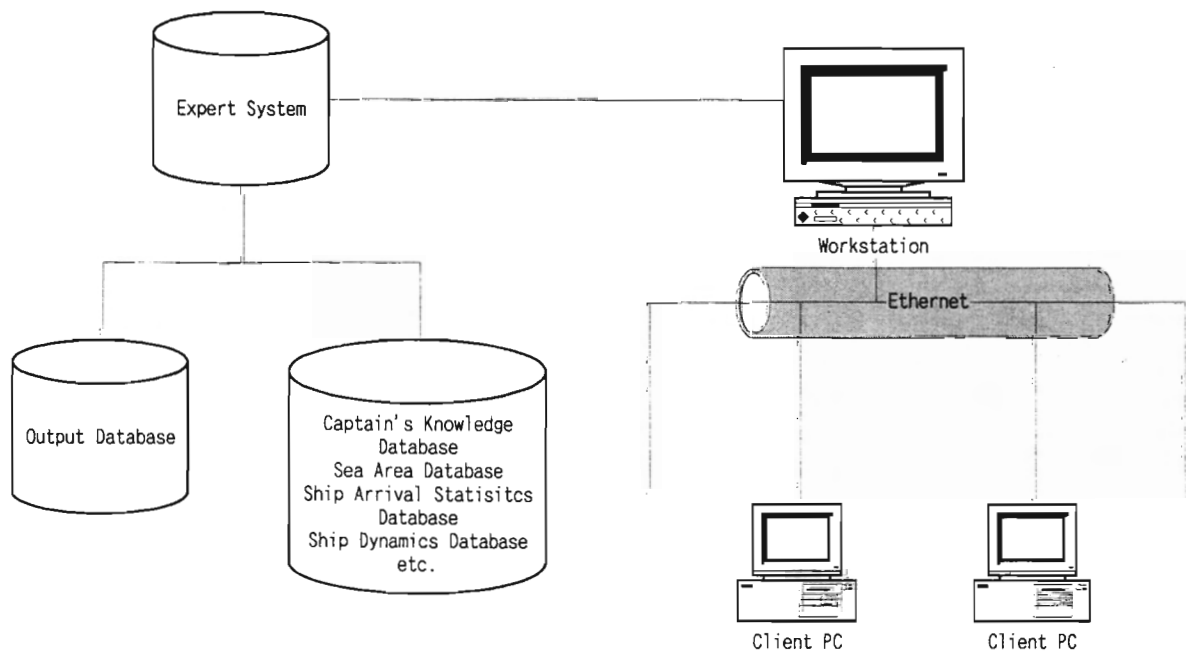


Fig. 4 System Structure of Marine Traffic Simulator

ータベースなどよりなるデータベース、個々の船舶において船長の行動を決定するエキスパートシステム、シミュレーション結果を保存する出力データベースよりなる。ワークステーションはこれらのデータベースよりエキスパートシステムを通してすべて統括する。クライアント PC はこのシステムに外部からやりとりできるもので、後述する AIS 搭載船舶の航行安全性評価に使用するものである。

2.2 システムの機能

1. 海域設定として海上保安庁水路部発行の海岸線データとデータ互換性を持つので基本的にはどの海域も容易に設定できる。しかも、設定した海域データをデータベースに記憶・保持し、シミュレーションに再利用できるし、それを参照、追加、変更、削除ができる。
2. 船舶としてはいくつかの母型船データを保持していて、その船速特性、旋回特性、操舵機特性等に関わる各種船舶性能諸元がデータベースに記憶されていて、任意に参照、追加、変更、削除ができる。さらに、船舶毎に、AIS 交信可否を設定できる。
3. 交通流/航行環境として、海域内の任意の場所に任意の数のゲートを設定し、ゲート毎に船舶発生頻度を船種別に設定できる。Table 1 はこうした OD(Origin - Desitination)表の一例である。さらに、発生させる船舶毎の変針点の位置と数を任意に設定できる。
4. 船長機能として、自船の設定変針点にしたがって目標点に自動航行しつつ、必要に応じて航行規則にしたがい航行する他船の動きや海域状況に応じて、衝突回避や座礁回避の動作を行う。

Fig. 5 はこのような条件のもと、大阪湾全体の海上交通流を再現したシミュレーション中の画面の一例であり、画面中●印がそれぞれの船舶、×印が大阪湾内に任意設定した変針点である。画面では表示されていないが、衝突や座礁の回避を行ったにもかかわらず、その危険が生じた場合、その程度に応じて near miss や danger そして、衝突または座礁としてマークがその発生箇所に表示され、後解析に用いることができる。

こうした危険は、一種、交通容量や航路上あるいは船舶の動特性上の限界による不可抗力と考えられ、それを分析することにより、航行の安全性アセスメントや航路港湾設計に役立つものと思われる。さらに、船長機能が任意に設定できる

Table 1 An Example of OD Table

An example of OD tables

OD		Ship (%)						
Origin	Distribution	Type A	Type B	Type C	Type D	Type E	Type F	Type G
West Kobe and Sumi	West Kobe and Sumi	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Lane No.1	0.4	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	Lane No.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Lane No.3	0.2	0.2	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
	East Lane of Mole No.7	0.2	0.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
	Aomogaki Lane	3.1	3.5	3.9	0.5	0.0	0.0	0.7
	North Lane	5.2	1.9	4.1	5.9	0.0	0.0	0.0
	Main Lane	12.5	9.3	6.5	12.9	6.9	5.6	2.9
	South Lane	5.3	1.6	1.1	2.7	0.0	0.0	0.7
	Sakui Lane	22.5	2.7	3.9	0.5	0.0	0.0	0.0
	Haramaki Lane	7.9	2.0	2.2	0.2	0.0	0.0	0.7
	Inumohata Lane	14.7	1.7	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0
		0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	

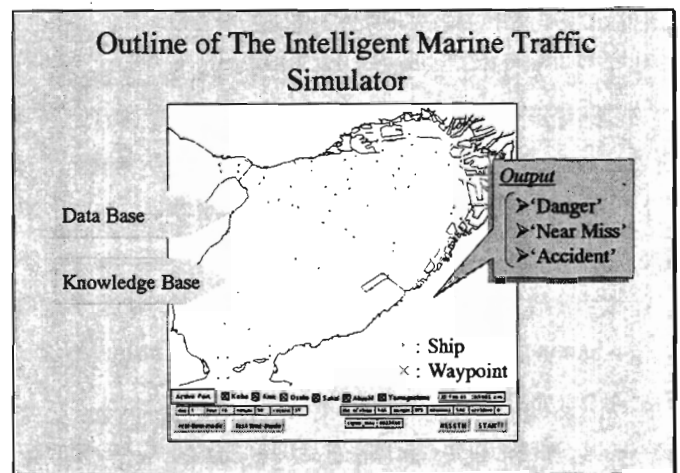


Fig.5 Overview of Intelligent Marine Traffic Simulator

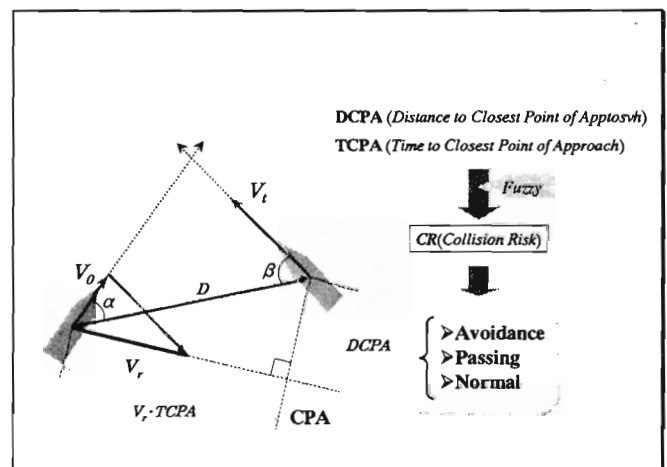


Fig. 6 Explanation of DCPA and TCPA

ことから、近い将来におこるであろう船員の技能低下による影響やそれをカバーすべく開発される航行援助システムの評価にも威力を発揮するものと思われる。

3. 自動航行システム(SAFES)

3.1 自動航行システムの概要

轉換海域シミュレータのもとになるのは1隻の船に対する自動航行システム(SAFES: Ship Auto-navigation Fuzzy Expert System)である。このシステムは次の4つから構成される。

- ・ 船舶の発生
- ・ 操船判断
- ・ 操船方法
- ・ 船舶の運動(航行)

3.2 船舶の発生

それぞれのゲートから、与えられた平均到着時間間隔をもとにポアソン分布にしたがい船舶を発生させる。

3.3 操船判断

自船の現在の状況により、「通常」「避航」「追越し」の操船判断を行う。優先度の高い順に「避航」「追越し」「通常」となる。以下、優先度の高い順に説明を行う。

- ・ 避航判定

「避航」の判定には、2船間の $DCPA$ (Distance of Closest Point Approach: 最接近距離)と $TCPA$ (Time of Closest Point of Approach: 最接近時間)を用いる。Fig. 6は2船間の衝突危険度判定のもととなる再接近距離 $DCPA$ と再接近時間 $TCPA$ を説明したものである。衝突危険度 CR は $DCPA$ と $TCPA$ から Fuzzy 推論される。ただし、船舶の大小を要素として取り入れるために、 $DCPA$ を自船の船長 $L[m]$ で無次元化を行っている。ただし、自船が避航義務船である場合は、自船と相手船の船長で大きいほうの船長を用いて無次元化を行う。

実際にはさらに、それぞれの船にとって衝突の危険のある船は複数存在するのでエキスパートシステムはすべての組み合わせについてそれぞれの衝突危険度 CR を判定し、どの船に対して避航しなければいけないかを判定している。

- ・ 追越し判定

前方を航行中の遅い船舶に対して、自船の周囲に立入禁止領域を定め、領域内にその船舶が入らないように追越しを行う。追越しの判定については、見合関係(追越し)と船速の比較から行う。また、自船周囲の立入禁止領域については十分航過距離をもとに長方形領域を設定した。

以上の「避航判定」、「追越し判定」で判定されないものが「通常」と判定される。それぞれの状態に対する操船方

法については、次で示す。

3.4 操船方法

操船は、指令針路と指令速力を与えることにより実現している。「通常操船」、「追越し操船」、「避航操船」の順に説明する。

- ・ 通常操船

通常の操船は、与えられた設定経路にしたがって航行する。設定経路とは変針点を直線で結んだものである。したがって、変針点を狙って航行していくが、変針点付近では Fuzzy 推論を用いて滑らかな変針をさせている。

- ・ 追越し操船

追越し判定がなされた船舶は自船より左側にいる船舶を越す場合には右側を、右側の場合には左側を越す。追越し時の指令針路として、通常操船の現在針路に対して 30° の針路変更命令を与える。

- ・ 避航操船

避航操船は衝突危険度 CR が 0.7 から 0.85 のとき相手船との見合関係をもとに操船方法を決定する。また衝突の危険度 CR が 0.85 以上のとき自船が権利船であっても、相手船との見合関係をもとに、操船方法および減速の有無を決定する。

3.5 船舶の運動(航行)

運動方程式は、旋回角速度、船速、操舵をそれぞれ一次遅れとして表現した。それぞれの運動方程式を以下に示す。

$$T \dot{r} + r = K \delta \quad (1)$$

$$T_v \dot{V} + V = V_{order} \quad (2)$$

$$T_E \dot{\delta} + \delta = \delta_{order} \quad (3)$$

ここで、 V : 船速 V_{order} : 指令船速

r : 旋回角速度

δ : 舵角 δ_{order} : 指令舵角

K, T : 操縦性指数 T_E : 操舵機の時定数

T_v : 船速の時定数

操舵については、針路誤差および旋回角速度より PD 制御を行う。

$$\delta_{order} = C_1 \psi_e - C_2 r \quad (4)$$

$$C_1 = K_p \quad (5)$$

$$C_2 = T_d = \left(2\sqrt{KK_p T \xi} - 1 \right) \frac{1}{KK_p} \quad (6)$$

ここで定数 K_p および ξ は経験的な数値としてそれぞれ 1.5 および 0.9 とした。

4. 輻輳海域シミュレータの応用例

4.1 航路体系代替案

航行の安全性を高める方法として、現在の航路体系を見直し、新しい航路体系を導入する方法が考えられる。新しい航路体系としてロータリー方式の交通流制御を取り入れた場合の航行安全評価を輻輳海域シミュレータを用いて行った。大阪湾海域中で特に輻輳している部分に、接合点を設定し、航行時の安全性を高めるように IMO (International Maritime Organization; 世界海事機構) の基準に従って経路を設定した。Fig. 7 の○で表された部分はロータリー方式を取り入れた部分、×で表された部分は変針点を示している。

現状の航路体系におけるシミュレーション画面新しい航路体系を取り入れたシミュレーション画面を並べて Fig. 8 に示す。

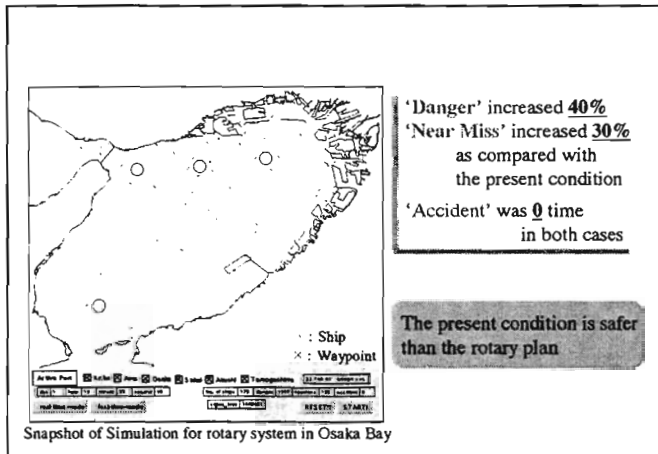


Fig. 7 Rotary-type New Navigation System in Osaka Bay

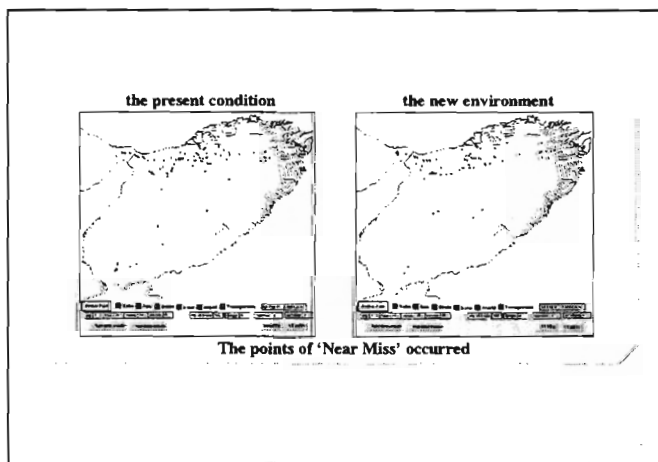


Fig. 8 Comparison of Rotary-type (left) and Present (right) Navigation

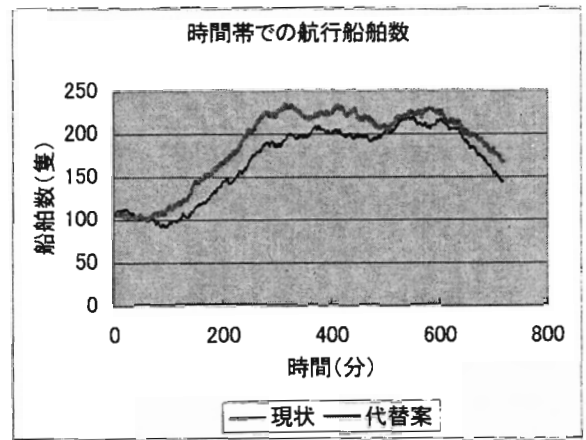


Fig. 9 Number of Ships in the Gaming Area

シミュレーションは 5GT 以上の貨物船、タンカーに対して午前 4 時からシミュレーションは開始し、海上交通が定常となるまでに 3 時間程度、かかるので、午前 8 時より 12 時間解析した。Fig. 9 は時間帯毎の航行船舶数である。

結果は、危険判定回数は現状が 973 回、代替案が 1597 回で、代替案の方が約 4 割多く、ニアミス判定回数は現状が 146 回、代替案が 195 回で、こちらも代替案の方が約 3 割多い結果となった。事故判定は双方とも 0 回であった。これは、新しい航路体系を取り入れたほうが、現状の交通環境よりもより危険な状態が多くなることを示している。このような結果となった理由としては、ロータリー部に船舶が集中することが原因と考えられる。

4.2 AIS 配備に伴う航行安全アセスメント

もう一例として、AIS が配備された後の航行の安全性を評価した例を紹介する。各船舶に搭載された AIS の発信する情報は船舶 ID、位置座標、速度、船首、計画航路とする。AIS を搭載した船舶は逆に他の AIS 搭載船の上記情報を入手することができる (Fig. 10)。これにより他船の計画航路を考慮した航行が可能になる。輻輳海域シミュレータに PC 端末からアクセスすることにより内部に架空の船舶を発生する機能を付加した。逆に PC から見ると、自船の周りに架空の船舶や航路などが出現したことになる。架空の船舶はプロペラ回転数と指令舵角を PC 端末から入力することにより、この仮想海域内を操船できる。この機能により、操船者がそういった海域でどういう操船を行うかの確認が行える。

インターフェースには TCP/IP を用いているので、インターネットにつながった PC であれば、世界中のどこからでも、手軽に複雑な海域の航行シミュレーションが行うことができ

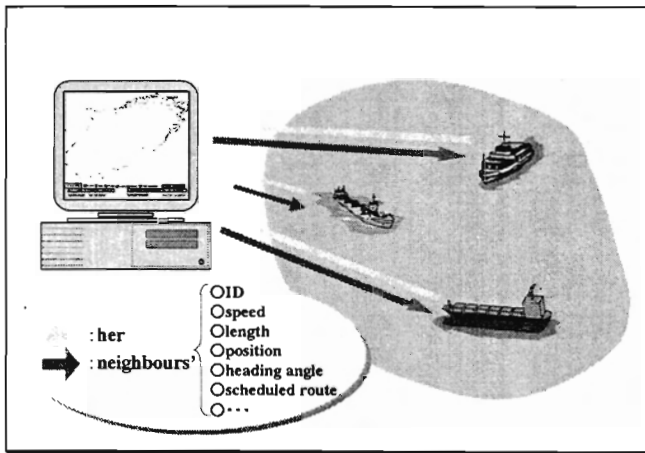


Fig. 10 Concept of AIS Communication

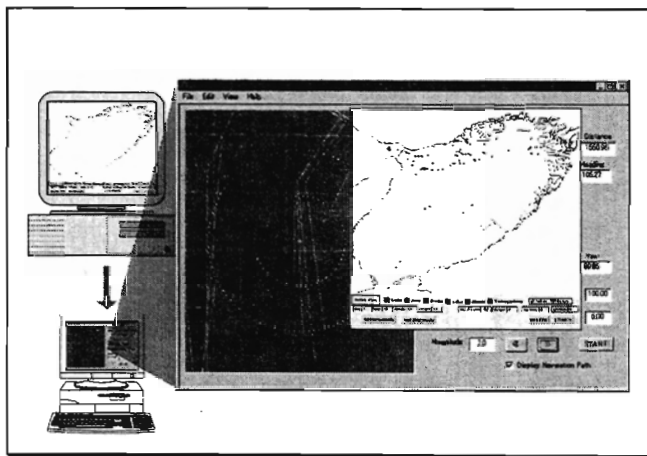


Fig. 11 PC-based Marine Traffic Simulator

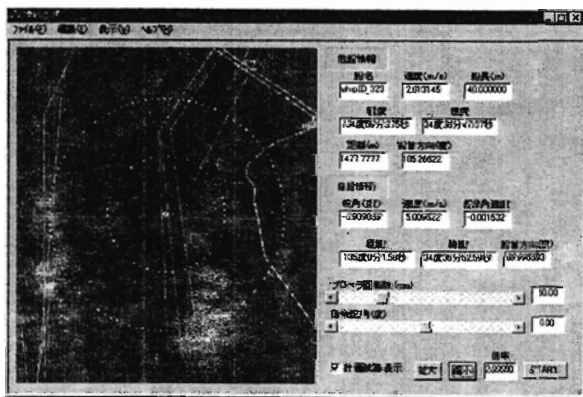


Fig. 12 Virtual Radar on PC

る。

このシステムにおいて、現状 (AIS なし) の場合と比較して、危険判定、ニアミス判定、事故判定の回数を調べた。危険判定回数、ニアミス判定回数ともに AIS を配備した方が約 1 割減少した。また、事故判定回数は双方とも 0 であった。

当然予想されたことではあるが、他船の計画航路を AIS などにより知ることにより、より安全な航行ができる可能性があった。

5. おわりに

本論文では、法規にもとつきながらも、臨機応変な人間の長年の勘と経験を必要とする船舶の航行をモデル化し、さらに、それをエキスパートシステム化することによって、任意の海域の設定ができる輻輳海域シミュレータを紹介した。

さらに、その使用例として航路管制を変更した場合、AIS 搭載の効果について評価を行い、その有効性と将来性を示した。

実際の船舶に AIS が搭載されるようになると、ここで開発した輻輳海域シミュレータはそっくりそのまま、管制センターとなるし、海上交通サービス (VTS) センターにそれを設置し、そこにあるレーダがとらえた漁船など AIS を搭載していない小型船の情報を AIS 化して周辺の船舶に提供できるなど付加効果も大きい。

なお、田代 剛君が修士論文として、桐谷誠司君が卒業研究としておこなったものであり、また、一部は、日本学術振興会の科学研究費補助金の交付を受けた。ここに、謝意を表す。

参考文献

- 1) 長谷川和彦, 上月明彦: Fuzzy 制御による自動避航システムに関する研究, 関西造船協会誌, 第 205 号, pp. 1-10, 1987 年 6 月.
- 2) 長谷川和彦, 上月明彦他: 船舶自動航行ファジィエキスパートシステム (SAFES), 日本造船学会論文集, 第 166 号, pp. 445-452, 1989 年 12 月.
- 3) 長谷川和彦, 藤田陽一: 船舶自動航行エキスパートシステムの狭水路航行アセスメントへの適用, 関西造船協会誌, 第 220 号, 1993 年 9 月.
- 4) 長谷川和彦, 桐谷誠司, 立川功二: 輻輳海域シミュレータによる代替航路評価, 関西造船協会講演論文集, pp. 71-74 2001 年
- 5) 長谷川和彦, 田代剛, 立川功二: 仮想海上交通センターによる航海支援システム, 関西造船協会講演論文集, pp. 75-79 2001 年