知識ベース・システムを用いた自動避航操船実験

飯島 幸人*・萩原 秀樹*・葛西 宏直**

On a Result of Collision Avoidance Manoeuvre Using
a Knowledge-based Autonomous Piloting System

Yukito IIJIMA, Hideki HAGIWARA and Hironao KASAI

Abstract

A collision avoidance system has been developed using a knowledge-based (expert) system originally built for experimental study on integrated autonomous ship control for piloting, navigation and on-board management under substantially no assistance by the crew.

For confirmation of its effectiveness, full-scale performance trial was carried out using an experimental prototype of the above system and an ARPA as the target ship sensor on board a 425 GT-training ship 'Shioji-Maru' of The Tokyo University of Mercantile Marine, off the Bay of Tokyo near the Uraga Suido Traffic Route.

Tests were run repeatedly over a period of a month and its autonomous collision avoiding performance was demonstrated successfully for real encounters, including fairly complex multiple meetings. On-board evaluations were made regarding the use of the system's graphic terminal display as a bridge collision-avoidance/navigation-aid, and its apparent adequacy has been verified.

The system's potential multi-lateral use is pointed out as a navigation-aid and autonomous fail-safe system for existing ships, though an ARPA is still in some ways limited in automatic target acquisition reliability.

From the viewpoint of an intelligent ship concept, future prospect of the above-mentioned system is discussed.

1. ま え が き

避航操船の確実を期すことは、輻輳海域における海上交通の安全にとって第一に重要な前提であることは論をまたない。このための対策としては各種が考えられるが、この一つとして衝突予防装置 ARPA の装備は既に国際的にも推進され、これの有効な機能が期待されている。しかしながら、昨今の大型船の事故統計からも明らかに、ARPA の装備は必ずしも衝突事故防止の十分条件となっていない。また、仮にこれが完璧に機能するとしても、これだけでは海上における衝突事故の絶無を保証することができないことも事実である。

このような問題点に対する対策としては、他船舶位速度情報センサーとして重要な現在の ARPA の機能に加え、本来 ARPA ではカバーされない今一つの重要な機能要素、すなわち、避航判断と意志決定、および避航操船制御までを自律的に遂行する機能を補完することが得策と考えられる。この対策を効果的に達成するには、昨今の電算機利用技術の発達を背景としてこの目的に沿う船上システムを開発することが有望と考えられ、その機運も漸次高まりつつあるように思われる^{(1)~(10)}。著者らは、以上のような将来型システムの可能性を実証的に調査するため、他船舶位・速度の情報は現状の ARPA の処理情報データ出力を用い、これを基に、先の高信頼度

* 正会員 東京商船大学 (〒135 東京都江東区越中島 2-1-6)

** 正会員 三菱重工業(株)長崎研究所 (〒850-91 長崎県長崎市飽の浦町 1-1)

知能化船研究において「高度自動運航システム」⁽¹⁾の一要素として試作された「船内統合（エキスパート）システム」⁽³⁾に、幅員域での避航操船機能を拡充加味した知識ベースシステムを用い、東京商船大学練習船汐路丸を使用して海上における自動避航操船実験を行った。この結果、この種システムが将来の高度な自動操船運航を始め、自動避航操船あるいは避航支援システムとしても有効に機能し得ることが、ある程度実証出来たと考えられるので、ここにその概要を報告し、ご参考にする次第である。

2. 避航操船システムの構成

実験に用いた汐路丸船上システムの全体構成を図1に、避航操船システムとしての構成を図2に示す。図1、2において、光ファイバーによる船内LANならびにラインコンピュータ、ラインコントローラ、各種センサー類ならびにアクチュエータとしての操舵制御装置およびCPP翼角制御装置は汐路丸装備のもの、破線で囲まれた「船内統合システム」は今回の実験に当たって新たに搭載したシステムである。「船内統合システム」は上述の先行研究において高信頼度知能化船の船内システムの自律型統括管理を目的として開発されたもので⁽³⁾、図1

中にシステム構成を示すように運航統括管理ならびに操船用の知識ベースと、これらを用いて推論・判断を行い制御指令を発する推論エンジンとから成るエキスパートシステムである。

このシステムに付随する航路計画システムならびに船内データ通信システムは、航海に必要な当初の航路計画ならびに船内LANを経由したオンラインによる船内データ通信入出力を整合するシステムである。各種センサー情報は、ラインコントローラ、ラインコンピュータを介し、LANを介して船内統合システムへ入力される。また、船内統合（エキスパート）システムの内部で行われた推論・判断、結論導出の結果に従って発せられる操船制御信号は、同じくLANを介し、ラインコンピュータおよびラインコントローラを介

図1 実験に用いたシステムの構成

図2 避航操船システム制御系統図

して操舵制御装置ならびに船速制御装置（本船の場合は可変ピッチプロペラ翼角制御装置）へオンラインで入力され、自動操船制御が実行できるようになっている。避航操船に必要な他船情報としては、本船装備の ARPA による処理情報、すなわち捕捉他船の船位ならびに船速ベクトルの情報を用いた。船橋用の航海支援情報表示としては、後述のように操船用エキスパートシステムによる操船鳥瞰図（海図）画面、および推奨針路、推奨舵角、推奨主機設定状態と航海計器指示値の一覧に便利なグラフィック表示を準備した。

図 2 に示す避航操船制御システム構成において、白抜き矢印線は操舵士あるいはオートパイロットによる在来の操船制御システムを示し、黒矢印線が今回実験を行った自動操船の制御システムを示す。すなわち後者では、他船情報の収集、避航判断、避航意志の決定、避航動作の発令、操舵等を含む一連の避航行動が乗組員の助けを借りないで実行できることになる。なお、図 2 において、船内統合システムの枠内に含まれたオートパイロットとは、本船常備オートパイロットと目的機能が同一ではなく、オンラインによる自動操船制御のために準備した操舵機への指令信号発生システムであり、船内統合エキスパートシステムからの指令針路、指令主機発令値と本船の運動状態量を基に PD 制御により、指令舵角、指令主機回転数（本船の場合は可変ピッチプロペラ翼角）を出力する機能を持っている。同様に、他船模擬システムとは、海上における他船避航の模擬試行ないし訓練支援等を目的とした模擬他船発生装置である。

3. 避航航路選定・情報表示機能の概要

3.1 目標機能項目

避航航路を自動的に選定するに当たり、自船の船位・速度は、本船装備のロラン C、Decca、GPS 等、およびドプラーログ、電磁ログ等のオンライン情報出力を有効に活用するとともに、他船船位・速度に関しては前述の通り、ARPA のオンライン出力として最大 20 隻までの他船データの利用を前提とした。

避航操船システム機能に関する先行研究例⁽⁴⁾を参考にして、今回の実験にあたり「船内統合システム」に次のような機能を付加した。

(1) 避航経路探索・計画機能

港内における他船避航に際し、現時点から特定の港内目標点までの自船避航経路の探索ならびに選択・計画・設定を行い得る機能。

(2) 計画避航経路画面表示機能

前項の経路探索・計画機能によって得られた計画最適避航経路を、船用仕様のグラフィックディスプレイ装置を用いて操船支援を目的とした情報として表示する機能。

3.2 避航経路探索・計画機能の概要

避航経路探索計画に当たっては、自船が採り得る経路水域（平面実空間）を木表現し、予測時間の経過に沿って異なったレベルの階層（子ノード、孫ノード、・・・）に分け、それぞれのレベル毎に衝突危険度最小の条件を始めとする避航経路長（最）小あるいは操舵頻度（最）小、予防法遵守等の条件検討を行い、コスト評価と知識による推論判断の立場から、近似的にほぼ最適な経路を逐次追跡して計画経路を求める。避航の経路計画は、現時点から数分ないし数十分間の他船との遭遇関係を予測して経路探索を行い、計画経路を選定し、この結果に基づいて避航を行うものとする。この予測において、ある推論サイクルの間、他船は現在の操船動作を当面保持し、新たな避航動作を開始しないものと仮定する。推論サイクルは短時間毎（今回の実験では 10 秒毎）に順次繰り返され、更新されてゆくの、この仮定が現実性を欠く可能性は非常に少ないものと考えられる。さらに、この予想において、他船の行動の性質を、一様な重要度に理解すると、経路探索の組み合わせは爆発的に多くなり、推論に要する時間の面から大きな問題が生じる可能性がある。そこで、本システムでは、避航動作に関してほぼ自明と考えられる大局的ないし経験的判断を基に優先順位のメタ知識を導入し、これに従って自船の採り得る候補経路の順位を選択することとし、これによって経路探索空間を大幅に削減する。本システムにおける避航航路探索の基本的な考え方を図 3 に示す。本図中、 n は避航経路探索の深さ、 m はその拡がりの幅で、探索に当たり、上述のように海上衝突予防法その他の法規や経験則に基づいて拡がり幅に優先順位を設けることにより、知識ベースによる深さ方向探索の効率化を図っている。なお、現状では、ARPA による他船の船種、大小等の識別が不可能であるため、実験では DCPA を本船の立場から見て平均的にほぼ妥当と思われる値に固定して実

験を行った。

衝突判定基準としては、本船周りに円形の閉塞領域をとり、これが時間の経過に沿って一定時間後まで移動するとき、これによって掃かれる領域内に他船の侵入が予測される場合、本船とその他船との衝突の危険があると判断する。ただし、他船との見合いにおいて、本船が義務船か保持船かにより衝突判定を行う時間を変更する。この他、避航判断に関係する特性値を幾つか設定したが、人間操船者の判断の様式に出来るだけ似た形を指向したものの、実際上の制約もあり、ある程度簡単化されている。これの解説図を図4に掲げる。

図3 避航経路の探索

図4 衝突危険度の判定法

3.3 計画避航経路等画面表示機能

(1) 避航計画経路面面表示

避航計画経路の画面表示としては操船海面の鳥瞰図を示した。ここに、現時点で計画された避航経路を目標地点との相対関係において今回は North-up で画面表示した。画面中本船の船首方位を船形の輪郭で表示するとともに、接近、同航、行会い、横切り行動中の他船で、現在本船と衝突危険範囲の認識関係にあるものを危険度の高い順に最大20隻まで表示する。本船ならびに他船の船速ならびに船首方位は各船の代表点から引いたベクトルで表示する。これらのベクトルは、全船一律に t 分 (1~10分: 例えば6分というように設定) 間の航程で示されるものとし、避航進路の各折れ点 (局所変針点) には、予想通過時刻表示を添える。この画面の実例を図5に掲げる。

この画面表示は、船橋に仮設した14インチ型カラー CRT 装置により表示するとともに、今回の実験では、ある時点の避航操船状況画面をカラーハードコピーにより記録として収録した。

(2) その他の操船支援情報表示

避航経路の画面表示の他に操船支援情報の表示として次のような表示を行った。

1) 本船運航状態表示

現在暦日・時刻、本船情報 (船位 (座礁予防システムからの船位と本船総合電波航法装置による船位の両方を表示)、舵角 (指令値および状態量)、回頭角速度、針路 (指令値および状態量)、針路偏差、エンジンテレグラフ・ポジション、可変ピッチプロペラ翼角、他船情報 (本システムが衝突危険有りと判断する他船を危険度の順に2隻取上げ、その他船番号、DCPA、危険度レベルを表示)、海象気象情報、その他 (ナ

図5 避航操船支援情報画面例 (1)

図 6 避航操船支援情報画面例 (2)

ENGANモードにおいて船速11.20 ノット、風速13.80m/s、波高0.40mの時の操船状態を述べます。

... 衝突のおそれがないか判断します。...

... 衝突の可能性がないので、選航計画通り運転します。...

本船の位置と変針点の位置の関係を考慮して操船します。

変針点への針路と距離および設定航路からの偏差を求めます。

変針点に向かって目標針路を191 度に設定します。

変針点までの距離が0.50マイル以下、次の変針点の位置を考慮して操船します。

変針点をどの角度にみるかを計算します。

変針点における変針角を求めます。

変針角が10度以上

変針点までの距離が0.27 マイル以下なので、

目標針路をその次の変針点に向けて211 度に設定します。

目標針路211 度をオートパイロットに指令します。

主機回転数をFULLで指令します。

図 7 推論表示画面例

===== 本船の運航状態表示 =====

現在時刻 89/12/20 12:22:31

ハイブリッド船位 (緯度) ==> 35.0604 (度)

ハイブリッド船位 (経度) ==> 139.7750 (度)

座磁予防システム船位 (緯度) ==> 35.0603 (度)

座磁予防システム船位 (経度) ==> 139.7749 (度)

回頭角 (船首方位) ==> 40.031 (度)

回頭角速度 (旋回角速度) ==> -32.895 (度/分)

船速 (対地) ==> 10.845 (ノット)

主軸回転数 ==> 300.000 (RPM)

現在の針路 ==> 41.1364 (度)

目標針路 ==> 13.9944 (度)

目標針路からの偏差 ==> 0.0000 (n-m)

次の目標針路 ==> 13.9944 (度)

.....

C p p 翼角・舵角 ==> 19.00 (度) -0.05 (度)

指令[[C p p 翼角・舵角]] ==> 19.00 (度) -2.00 (度)

図 8 I/Oデータ表示画面例 (本船運航状態)

ビゲーション・モード、船内放送内容等)。表示画面の一例を図6に示す。

2) 推論表示機能

本システムによる避航経路計画時の推論・判断状況をはじめ、船内統括管理上必要となる推論の過程と結果を逐次表示する。これは、コンピューター内部で高速で進行中の知識ベースによる推論・競合解消の動作を準オンラインで参照するもので、このため、知識ルール一個を一行の簡単な和文で表わし、推論に際して条件マッチングや競合解消のため条件照合中の知識群すなわち、現在エキスパートシステムの内部で実際に推論判断に関与しつつある知識を和文のセットの形で表示している。したがって、この表示は推論の進展に伴って速い速度でスクロールされてゆくので画面を落ち着いて読むには適していないが、現在本システムが何を考えているかをフォローすることができる。この推論表示画面の一例を図7に示す。

3) 本船 I/O データ表示機能

本船の船内 LAN を経由して送られてくる各種のデータを本システム機能のモニターを目的として時々刻々端末画面に表示するもので、表示内容は次の項目から成っている。

本船の運航状態表示、他船データ表示 (最大20隻までの他船の船位、船速、針路、DCPA、TCPA、本船との距離・方位)、海象気象データ、なお、他船データ表示に際しては、図5画面に表示された他船番号を入力するという対話形式を採った。これらの表示画面の例を図8、9に示す。

===== 本船データ表示 =====

他船の番号 ==> 1

他船の船位 (緯度) ==> 35.06 (度)

他船の船位 (経度) ==> 139.77 (度)

他船の船速 ==> 13.84 (ノット)

他船の針路 ==> 44.92 (度)

他船のDCPA ==> 0.27 (n-m)

他船のTCPA ==> -3.94 (分)

他船との距離 ==> 0.33 (n-m)

他船との方位 ==> -48.63 (度)

図 9 I/Oデータ表示画面例 (他船情報)

4. シミュレーションによる事前検証

実船実験に先立ち、供試船の船内 LAN を経由する各種センサー／ラインコントローラ／コンピュータ／アクチュエータ相互間の信号伝送に関わるソフトウェア上のマッチングを行い、これを陸上でオンライン・実時間により模擬するシミュレーションを実施して海上実験の確実を期した。このシミュレーションでは、典型的な避航問題を試行し、避航操船用知識の有効性の確認を行うとともに、必要に応じて避航操船知識の補完を行った。この試行に用いる他船遭遇パターンは、参考文献(11)に示されている避航判定基準評価遭遇モデルを参考にして選定した。このうちの1例を実船実験用と同一の表示画面を用いて示すと図10の通りである。このようにして本システムの避航機能が基本的に妥当であることを海上実験に先だて確認した。

なお、船内通信に関するソフトウェアのマッチングについては、船内データの伝送速度がオンライン・実時間で行う実船実験のデータの流に十分見合ったレベルにあるように配慮し、実船実験に備えた。

図 10 避航問題シミュレーション例

図 11 供試船汐路丸一般配置図

5. 海上実験

5.1 供試船および実験海域

海上実験に用いる供試船としては、本システムの搭載環境としての各種の状態センサー、船内データ通信機能としての LAN 機能、外部制御信号による操舵機、主機の駆動機能等の必要性を考慮し、これらを完備している東京商船大学練習船汐路丸を用いた。本船の外形を図11に、主要目を表1に示す。実験に際して本船に搭載したシステムのハードウェアの構成ならびに写真を図12～14に示す。

実験は、安全ならびに実験の自由度を考慮し、法定航路海域外で出入港船舶の輻輳する東京湾USライン←→富浦・館山湾沖海域で行った。実験海域の概略図を図16に掲げる。

表 1 供試船主要目

全 長	49.93m
垂線間長	46.00m
型 幅	10.00m
型深さ	3.80m
喫水 (満載)	3.01m
排水量 (満載)	717.52 t
総屯数	425トン
主機関	4 サイクル中速ディーゼル機関 連続最大1,400 PS×700 rpm×1基
推進器	4 翼 CPP : 2,200 mmφ×300 rpm×1式
航海速力 (85%出力)	14.12 kt
操船装置	バウスラスタ (定格 2.4 t), スタンスラスタ (定格 1.8 t) 各一式
最大搭載人員	62名

図 12 搭載コンピューター
(μ VAX II)

図 13 搭載端末装置

図 14 支援情報グラフィック
ディスプレイ

5.2 実験要領

図16に示す海域において実験を行うに当たり、あらかじめ予定の実験コースを設定したが、あくまで実他船との自然な遭遇における避航の実施を重視し、実験支援船等は一切用いず、避航開始の前提となる初期計画航路を他船との遭遇に応じて適宜変更して実験を行った。実験に適した遭遇点に到達するまでは原則として手動操船により、遭遇点付近に到達後初期計画航路を設定し直し、操船制御を手動から自動（本システムの出力信号による自動操舵）に切り替えて実験を開始した。

5.3 支援システムとしての予備調査

本システムは、オンライン・実時間の自動避航操船制御を可能とするものであるが、安全のため、自動操船制御に切り替えるに先立ち、先ず操船支援情報画面に表示された推奨避航針路・舵角（指令）値に基づいて手動操舵を行い、この操船制御結果を見て本システム機能の妥当性を評価するという手順を踏んだ。これは本システム

図 15 実験海域

図 16 避航操船状況記録例（避航開始時）

による支援情報画面が支援システムとして有効か否か評価することにつながる。予備的実験の結果、この手動操船は妥当なものであり、今回の画面表示情報は支援情報として基本的に妥当なものであることが確認された。これにより、自動操船実験を安全に展開し得ることを確認した。

5.4 自動避航航行実験

実他船を本システムの自動判断により自動的に避航する実験を行った。この記録の数例を図16～19に掲げる。

(1) 図16：浦賀水道航路南方から館山沖へ南下するコースにおいて、本船は自動操船により船速 12 kt で計画航路上を南下中、右舷前方より船速 24 kt の横切り船（他船番号10番）に遭遇、相対距離 5.4 nm の時点で避航航路を自律的に計画し、本船はそれに沿って自律的に避航を開始している。

(2) 図17：館山沖からU Sライン方向へ向かって北上するコースにおいて、本船は自動操船により船速 10 kt で計画航路上を北上中、船速11 kt の行き合い船（他船番号2番）に遭遇、相対距離2.5 nm で避航航路を自律的に計画し、本船はそれに沿って自律的に避航を開始している。

(3) 図18～19：浦賀水道航路南方から館山沖へ南下するコースにおいて、本船は自動操船により船速 11 kt で計画航路上を南下中、船速 9 kt の行き合い船（他船番号20番）に遭遇、相対距離3.6 nm で避航航路を自律的に

計画し、本船はそれに沿って自律的に避航を開始している。図19は図18にはほぼ対応する時点における本エキスパートシステムが行った避航経路計画の際の推論、判断のフォローアップである。これは、推論経過表示画面を基に作図、再現したものである。図中太線が経路探索の結果、採用された避航計画経（航）路であり、幅方向の経路探索において自律的に

図 17 避航操船状況記録例（避航操船中）

図 18 避航操船状況記録例（避航開始時）

図 19 避航経路探索状況例

破棄された候補経路を数例細線で示しているが、これらの候補が破棄された根拠、理由は二段避航の回避、避航行動未完了による原針路復帰方向のプロテクト、本来の衝突危険の回避等となっている。

以上自動避航操船の数例を示したが、いずれの場合も、本システムによる避航判断、避航動作指令は、人間操船者の技量と細かく対比すればまだ指摘すべき点が残るものではあるが、基本的にはほぼ妥当なものであると判断される。少なくとも当面の衝突危険は完全に回避されており、海上交通を不必要に攪乱する事態も生じておらず、いずれのケースも自律的に問題解決が実行されたものと結論できる。

なお、本システムでの推論に要する時間は、他船1～2隻を対象とした避航では3～4秒程度であるが、対象他船群が、15,6隻にも上る極端な場合で15秒程度であり、通常の幅狭度では、約10秒毎に繰り返される推論サイクルにとって特に大きな問題は生じていない。

5.5 関連機能の確認

以上のような避航操船実験の機会を利用し、操船運航に関わる機能として、計画航路を設定し、表示し、活用する機能、与えられた計画航路に沿って本船の航行を誘導・保持する機能、システム異常に対処する機能、船内データベース管理機能等の知識ベース・システムによる管理、制御の機能が達成されていることを船上で確認した。これらの機能は、先行研究において航海シミュレーションにより実験システムとしては確認されていたものであるが、今回の海上実験により実証的な確認を行うことができた。

6. 実験結果の考察と、今後の課題

操船運航管理用エキスパートシステムを用いて避航実船実験を行ったが、知識駆動によるオンラインの自動操船を予想以上に円滑に実行することができた。避航経路探索のメニューとしては、変針の他に減速停止操船機能も準備した。しかしながら、本船の主機側の都合により、航行中のオンライン船速変更実験は実施の機会に恵まれなかった。このため、停船時に本システムから変速指令信号(本船の場合は可変ピッチプロペラ翼角制御信号)出力を同翼角制御装置へオンラインで入力し、これに基づいて本船の可変ピッチプロペラの翼角が所定量実際に円滑に変化することを確認した。幅狭海域における避航操船中、複数隻他船の見合い関係次第で時折変速指令信号が出るに至ることがあり、幅狭度の高いところでは、停船信号となることもあった。このような場合には、本システムの操船支援情報出力ならびに表示には、それに応じた情報が出力された。このように船速変更を必要とする事態は、幅狭水路域の操船上十分考えられるところでもあり、変速判断、変速指令情報の動きを含め、本システムは正當に機能したものと判断された。

他船情報として ARPA の処理情報出力信号を実験に用いたが、ARPA の他船自動捕捉機能には周知のとおりまだ限界があり、特に小型漁船クラスのターゲットは自動捕捉はもとより、手動によっても捕捉困難な場合がある。今回の避航操船実験は、現在入手し得るセンサーの技術レベルを前提として、将来完全なセンサーが得られた状況の下で本システムが発揮すべき機能を検証するという立場を採った。したがって、実験に際して、ARPA の他船自動捕捉機能に問題が見出される場合は、他船捕捉に限り、人手による補完を行った。したがって、現時点で自律的と述べ得るのは、センサー部分を除いた本システムの基本機能に限ったものである。

実験用エキスパートシステムとしての内蔵知識ベースは、実用システムとしてはまだ不完全なものである。その事実、避航操船動作における木目の細かさの不足等にも現れているといえる。また、知識が統括する末端のアルゴリズムに問題を残している場合もあると考えられる。これらは、今後の実用化開発作業の中で解決を図るべきものであるが、そのための方向、指針は今回の実験によって、ほぼ十分に得られた。本システムでは、構築用ツールとしては、代表的な高速前向き推論型として知られた OPS5 を用いたが、これも選定後すでに数年を経過し、現在ではさらに強力な AI 用言語も発表されており、知識容量、推論速度ともに飛躍的に改善された知識システムを容易に実用化し得る開発環境も整備されつつある。これは本システムの実用化に対する極めて好ましい状況であり、冒頭に触れた自律型避航操船装置の実用化はもとより、さらに広く将来の知能化船を実現するために必要なあらゆる種類の船用システムのイノベーションの可能性を拓けるものであり、海上交通・輸送の安全、信頼性と共に、経済効率の確保にとっても、好ましいものと考えられる。

7. 結 論

先行研究において開発された操船運航管理用エキスパートシステムに避航操船制御知識と制御機能を付加増強したシステムを用い、実海域における避航操船実験を行った。同時に、本システムを用いた操船運航管理関係の実証実験も行った。この結果から得られた結論をまとめると、次の通りである。

- (1) 本システムを用いた自動避航操船実験の結果、本システムにより、他船に対する衝突危険の推論・判断、避航計画・意志決定、避航操船制御を、自律的に行うことができることを確認した。
- (2) 本システムの避航計画表示画面を中心とした操船支援情報画面表示の推奨値を用いて手動操船を行った結果、妥当な避航操船が達成できることを確認した。これにより、今回用いた操船支援情報表示画面は、操船支援システムとしての機能を発揮し得ることが確認された。
- (3) 本システムの操船・航路保持制御機能により、あらかじめ与えられた計画航路(計画変針点を結ぶ折れ線)に沿って本船を自動的に誘導して航路を保持し、自動操船を実行できることを確認した。また、この自動操船中に(1)に挙げた避航操船制御も随時機能を発揮することができることを確認した。
- (4) 自動操船で航行中、模擬的に船尾火災を発生させ、本システムにより自律的に火元を風下へ回しながら減速し、同時に船内外に対する必要な情報発信、消火作業指令等を発し得ることを確認した。
- (5) 船内データの一元管理を目的とした本システムのデータベース管理機能により、本船の航行中、自船の運航データ、海象気象データ、他船情報データ等をオンラインにより、本システムのデータベースに収録でき、また任意に参照できることを確認した。
- (6) 本システムを構成する知識ベースの補完拡充により、本システムが更に高度な機能を発揮すること、他船情報をはじめとした各種センサーの改善により、文字通り人手の助けを要しない自律型システムとして比較的容易に完成し得る見通しが得られた。

8. あ と が き

オンラインの計画型AIシステムである「船内統合システム」の実船搭載版を開発し、実船実験によってその機能を確認した。他船情報としては本船の自動レーダープロットング装置(ARPA)の出力だけに頼ったため、他船の捕捉に際しては人手による確認を必要とする一面はあったが、これら他船に対する本船の見合い関係のチェック、衝突危険度の判定、避航経路の探索・計画、避航の意志決定、推奨経路の操船支援情報表示、オンラインの操船制御までを基本的には乗組員の助けを借りずに本システムが自律的に実行し得ることを確認することができた。あわせて本システムにより、計画航路を保持する自動操船制御をはじめ、操船運航管理用船内データの一元管理ならびに航海中の異常状態対処に関しても知識ベースに基づき、臨機応変に自律的な対応が可能であることを船上で確認することができた。実験は、前述のとおり、実他船との最も自然な遭遇を重視したが、実験海域は世界有数の輻輳海域であり、この環境下で本システムの基本機能が検証できたことの意義は小さくないと考えられる。今後他船情報の検知技術を現在よりも一段と進歩させれば、本システムは一層信頼性の高いものとなり、海上交通の安全確保に極めて有効なものとなることが期待される。

謝 辞

今回の避航操船実験は、平成元年度の東京商船大学/造船業界(代表三菱重工業㈱)共同研究・造船七社共同事業として企画された実船実験三項目の内の一つとして実施された。本実験の計画、準備、実施、評価にわたり、運輸省をはじめ各方面から御指導ならびに御協力、御支援を頂いた。特に、本実験の評価委員会では、座長大阪大学名誉教授高知高等工業専門学校長中村彰一博士、東京大学小山健夫教授、運輸省船舶技術研究所村山システム技術部長をはじめ、国内船社首脳各位から詳細なご指導を頂いた。汐路丸船内データ通信に関し東京商船大学大津皓平教授に格別のご指導を頂いた。本実験の計画段階から林助教授(前汐路丸船長)に全面的に御指導頂いた。これらの関係各位に対し深甚なる感謝の意を表する。あわせて、海上実験では長期間にわたり、汐路丸乗組員全員の格別の協力を受けた。さらに、通信ソフトウェアの整備を担当された石川島播磨重工業㈱を含め、実験担当チーム各位に対し厚く御礼申し上げたい。

なお、供試システムは、(財)日本船舶振興会の補助事業として先年(社)日本造船研究協会で行われた先行研究「高度自動運航システムの研究」で開発された船内統合システムをベースとして開発したものである。ここに記して厚く御礼申し上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) (社)日本造船研究協会：高度自動運航システムの研究開発総合報告書，平成元年 3 月
- (2) 飯島幸人，林 尚吾：高度知能化船の無人航行の研究，航海第97号，昭和63年 9 月；pp. 9～19
- (3) 葛西宏直：高信頼度知能化船（高度自動運航システム）—（その 9）船内統合 シ ス テ ム，日本造船学会誌 第726号，平成元年12月；pp. 787～792
- (4) 永田至孝：高信頼度知能化船（高度自動運航システム）—（その 2）港内航行誘導システム，日本造船学会誌 第721号，平成元年 7 月；pp. 424～429
- (5) 山上順雄，外岡幸吉：高信頼度知能化船（高度自動運航システム）—（その 7）衝突予防，座礁予防システム，日本造船学会誌 第 725 号，平成元年11月；pp. 736～740
- (6) Koyama, T. and Jin, Y. : On the Design of Marine Control System (1st Report), Journal of Naval Architects of Japan, Vol. 162, 1987 ; pp. 193～202
- (7) Koyama, T. and Jin, Y. : An Expert System Approach to Collision Avoidance, 8th Ship Control System Symposium, 1987, the Hague
- (8) 鶴田三郎，松村尚志，稲石正明，今津隼馬，杉崎昭生：船舶航行エキスパートシステムの基礎研究—衝突回避エキスパートシステム，日本航海学会論文集77号，昭和62年 9 月；pp. 133～139
- (9) Jin, Y. and Koyama, T. : On the Design of Marine Control System (2nd Report), Journal of Naval Architects of Japan, Vol. 164, 1988 ; pp. 249～261
- (10) 長谷川和彦，上月明彦，村松徹，小峰博文，渡部勇治：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166号，平成元年11月；pp. 445～452
- (11) 今津隼馬：避航法に関する研究，東京大学学位論文，昭和61年

質 疑 応 答

今津隼馬(東京商船大学)：実船実験時，運航者は視覚情報も利用しているのに対して本システムではARPAのみに頼った情報を利用している。このようなことから，実験結果に対して，運航者から種々意見があったと思われるが，この点をもう少し詳しく教えて頂きたい。また，情報収集機能等の本システムの改善計画についても，あれば教えて頂きたい。

葛西宏直：御討論ありがとうございます。

御指摘のとおり，今回の実験では他船情報はARPAのみに頼りましたので，小型漁船等が捕捉され難いこと，他船の船種・大小の識別が不可能なこと等が問題点として挙げられ，ARPAだけに頼らない適切な他船情報補完手段の準備が必要であるとの御意見を多くの方々から頂きました。

今回の実験研究では，先行研究（造研）に倣い，センサーとしては，完全なものが別途準備されとし，また，現在不完全ながらもARPAというセンサーが使えるという事実を前提に，本システム側を中心に研究開発を進めました。言い換えますと，今回はセンサー技術に関する研究は行っておりません。また，今後この方面の技術開発に着手する計画も，造船業界の共同事業としては，当面ありません。

広い目で眺めますと，センサーも避航操船システムに含まれるものであり，余裕があれば本来考える必要はあったと思いますが，今回の一ヶ年弱の実験研究では，そこまで手が回らなかったというのが実情です。

今後この種の問題の解決に関し，有識者サイドから，レーダ技術とは異なった発想もあり得るのではないか，との示唆も頂いております。基本的には今後のセンサー技術開発にまつとしても，近い将来に向けては，現状に倣ってARPAに依存し，必要に応じた人手による捕捉確認を励行することとして，この補完の確実を期すための支援システムを開発するのが有効ではないかと考えます。