

航行環境情報の表示方式に関する研究

— 音声を用いたARPAの警報指示方式について —

有村 信夫*, 山田 一成*, 菅澤 忍*, 多賀謙治*

池上 二郎**, 八田 一郎**

A Study on the Navigation Decision Support Display System

— A Study on a Voice Alarm Indication of ARPA —

By

Nobuo ARIMURA*, Kazunari YAMADA*,

Sinobu SUGASAWA*, Kenji TAGA*,

Jirou IKEGAMI**, Ichirou HATTA**

Abstract

In the conventional ARPA system, several kinds of alarm are generated, which are identified by different buzzer tones or symbols and characters displayed on a CRT.

The situation can be observed, where there is not enough time for navigators on the bridge to confirm the meaning of alarms especially in the congested navigable waters. This fact means that the effective use of information is difficult in the conventional ARPA system and its difficulty leads to delay in the action of avoiding collision.

The usage of ARPA has been investigated under actual ship operation.

The results are;

- 1) The frequency of alarm generation is high, especially in mistaking targets.
- 2) Seeing the fact that conversations concerned about lookout are patterned, the information concerned about other ships' movement is suitable for language processing by computer.

On the basis of those results, we propose a new system of Voice Alarm Indication of ARPA.

In this system, data from ARPA is processed and the aural information about the movement of other ships including targets mistaken is indicated in accordance with certain decisions.

* システム技術部

** 運輸省 航海訓練所

目次

1. 緒言
 2. 研究の方法
 - 2.1 航行環境情報の表示方式に関する問題
 - 2.1.1 衝突事故船の相手船情報の欠落状況
 - 2.1.2 操船支援情報の伝達状況
 - 2.2 新しい航行環境情報の表示方式の在り方
 - 2.3 実船調査の概要
 3. ARPAの活用状況の調査
 - 3.1 調査海域の航行状況
 - 3.2 ロスト警報の発生頻度
 - 3.3 ロスト目標の危険性
 - 3.4 表示ベクトルの誤差
 - 3.4.1 ARPAの捕捉状態
 - 3.4.2 安定した捕捉時の表示誤差
 - 3.4.3 ロスト目標の誤差
 - 3.5 まとめ
 4. 音声表示用言語の調査
 - 4.1 船橋における会話の特徴
 - 4.2 見張り報告
 - 4.3 まとめ
 5. 衝突予防用音声支援装置の試作とその効果
 - 5.1 衝突予防用音声支援装置の構成
 - 5.2 音声情報の概要
 - 5.3 実船における適用例
 - 5.3.1 音声警報の指示例
 - 5.3.2 閉塞海域情報の表示例
 - 5.4 音声支援情報の伝達効果
 - 5.5 適用上の問題と対策
 - 5.6 まとめ
 6. 結言
- 謝辞
参考文献

1. 緒言

近年、船舶では、各種自動化機器の導入に伴う運航要員の省人化が実施される中で、運航船舶は高速化する傾向にあるため、運航関係者によって操船支援システムの近代化が望まれている。

一方、海難事故統計¹⁾を分析すると、見張り不十分による他船の発見の遅れや操船者の判断の錯誤が船舶の衝突事故の主たる原因になっている。また、操船作業時における操船者の精神的負担は、見張り作業の認

識と避航操船の判断時に増加する傾向にあることが先の実船調査²⁾で判っている。

したがって、操船者の情報処理負担を軽減して、航行の安全性向上を図るためには、避航操船の原点となる周囲の航行環境状態の的確な把握と避航動作の最適化が図られる様に、操船者に情報を提供して支援することが重要な課題となる。

既存の船舶用自動衝突予防援助装置（ARPA；Automatic Radar Plotting Aids）では、様々な警報の発生を警報音やCRT上にシンボル表示やアラームランプの点灯又は点滅を併用することにより、操船者に知らせている。しかし、操船者は見張り作業の合間にも海図による航路の確認や船位確認等の煩雑な業務に従事しているため、ARPAによる警報の発生頻度が高い輻輳海域においては、操船者が警報音自体を煩雑に感じる場合もあり、また、そのような状況下においては警報内容の確認を行う余裕がない場合もある。

特に、輻輳海域や狭視界域を航行時では、操船者の視覚情報処理の負担が過負荷になる傾向にあり、この問題点の改善対策が操船者等によって指摘されているが、まだ改善されていない。

本報告は、この様な現況を解決してARPAの支援目的を円滑に達成するために、操船者とARPA間の情報伝達手段に音声を用いてマン・マシン・インタフェースの機能の向上を図り、聴覚情報と視覚情報の両面から効果的に操船者を支援する方式について検討を行って、船舶衝突予防用音声支援装置を提案したものである。

即ち、新しい航行環境情報の表示システムは、文字や図画像の情報の他に音声情報を多重化して用いて、視覚と聴覚の両面から操船者の思考パターンに同調し易い様に支援情報を加工して、操船者の情報処理負担の軽減と情報伝達の効率化を図るべきであると考えた。

始めに、ここでは既存のARPAの活用状況と、音声表示用言語の調査を実船で実施した。

次に、その分析結果から、人間による見張り報告と同様な会話様式の合成音声によるARPAの警報と見張りに関する支援情報を提供する船舶衝突予防用音声支援装置を試作した。

そして、本装置の適応性を実船で調査検討して、音声警報指示装置の有効性を確認したので報告する。

2. 研究の方法

本研究は、前報で提案した航行環境の危険海域表示方式に関する考察の結果を踏まえて、図1に示す手順で実施した。

この章では、航行環境情報の伝達系に関する問題点と、その対策を明らかにすると共に、新しい航行環境情報の表示システム概念を述べる。次に新しく提案するシステムの考察に拘る実船調査概要を述べる。

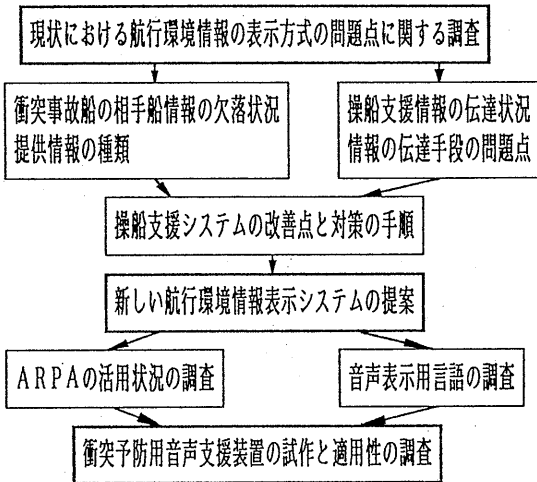


図1 研究の手順

2.1 航行環境情報の表示方式に関する問題

航行環境情報の表示方式の研究を遂行するにあたり、現状における航行環境情報伝達系の問題点の検討を行った。

2.1.1 衝突事故船の相手船情報の欠落状況

海難事故統計を基に衝突事故原因を調べると、衝突事故発生時における相手船に関する情報の欠落状況は図2の様に示すことができる。

図2によると、衝突事故船の中には、見張り不十分により他船の発見が遅れた船舶が約40%、相手船を視認した後、相手船が安全であると判断して注意を逸した船舶が約56%、その他、狭視界や操船判断の誤りによる船舶が4%ある。また、衝突船事故船の多くは相手船に接近してから衝突の危険性を認識して、避航を開始しているが衝突に至っている。

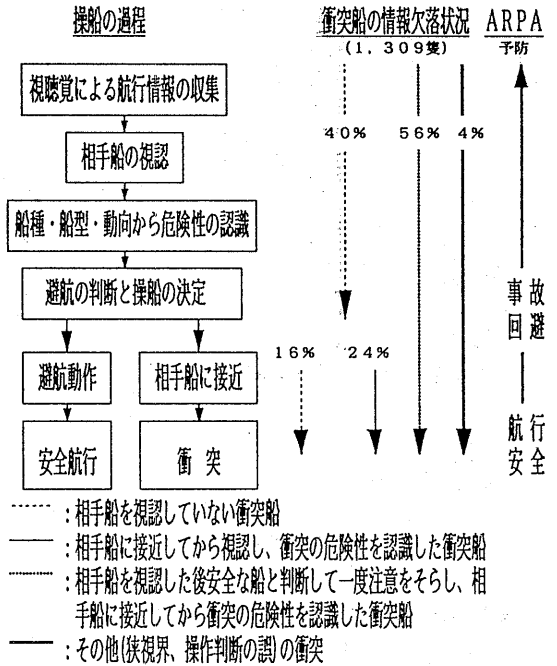


図2 衝突事故船の相手情報の欠落状況

したがって、これらの衝突事故を予防するためには、危険な相手船の視認や衝突の危険性の認識に関する情報を操船者に迅速、括確実に提供して、操船者の航行環境情報の入手と情報処理を支援し、時間的・距離的に十分余裕がある時点で避航回避する必要があることが判る。

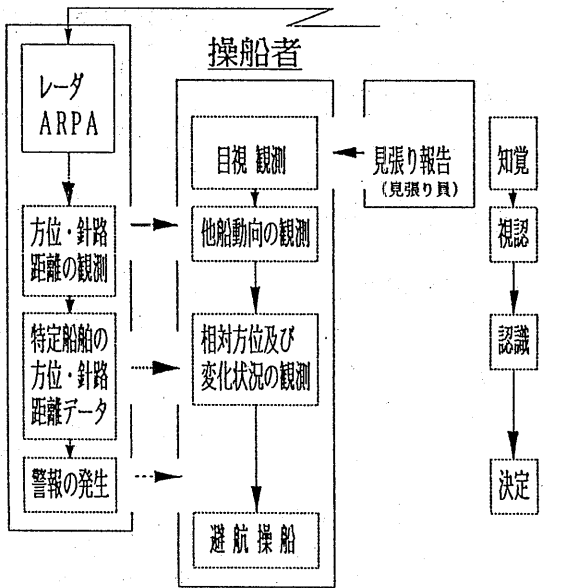
2.1.2 操船支援情報の伝達状況

ARPA情報の表示方式を考察するため、操船支援情報の伝達上の問題点を実船で調査した。

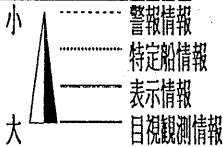
調査によると、操船者の航行環境情報の入手経路は図3のようになる。

現状において、輻輳海域や狭視界域を航行中の操船者はレーダやARPAから離れた場所で目視により情報の収集や他の作業を行うことが多いために、操船支援情報の表示機器の近傍に居ない操船者には視覚系の重要な支援情報が確実に伝達していないことが判った。また、ARPA警報は発生頻度が高く信頼性が低いと言う特殊性もあるため、あまり利用されない状況にあることも判った。

したがって、支援情報の伝達効果を向上させるため



操船者の環境情報の入手状況



改善対策の手順

- ①警報システムの改善
- ②支援情報の入手方式の改善
- ③視覚情報の表示方式の改善
- ④支援情報の提供方式の改善

図3 航行環境情報の入手経路

には、各伝達系について、

- ①警報システムの改善
- ②見張り情報の入手方式の改善
- ③視覚情報の表示方式の改善
- ④見張り情報の提供方式の改善

の対策を講じる必要がある。

2.2 新しい航行環境情報の表示方式の在り方

上述の課題に対して、新しい航行環境情報の表示方式の概念は次の様に考えた。

即ち、新しい衝突予防システムは文字や画像の情報の他に音声情報を多重化して用いる方式で、視覚と聴覚の両面から操船者の思考パターンに同調し易い様に警報や航行環境情報を提供して、操船者の航行環境情報の入手と情報処理を支援し、時間的・距離的に十分余裕がある時点で避航回避を促すべきである。

2.3 実船調査の概要

以上の様な観点から、ARPAの活用状況と音声表示用言語の実船調査を実施して、衝突予防用音声支援装置の考察を行った。

実船調査は、航海訓練所の練習船銀河丸（主要な諸元：L×B×D=105m×16m×10m，GT=4888t，航海速度=17.5kt）において、館山港から神戸港までの航海中で、3航海実施した。

調査の対象は、1航海目は運用時のARPAの活用状況と見張り支援情報に限定して、また、後の2航海は試作した衝突予防用音声支援装置の適応性について、図4のシステム構成で実施した。

1) 調査方法

調査方法を次に示す。

a) ARPAの活用状況の調査では、調査船に搭載してあるXバンド・レーダ（JMA-850-7CA：JRC製）とARPA（JAS-800C：JRC製）³⁾を使用した。

ARPAデータの収集は、ARPAの信号処理部にデータ出力回路を付加する改造を行うことにより、2スキャン（約6秒周期）毎のデータをパーソナル・コンピュータのハードディスクに収集した。なお、ARPAデータの送信フォーマットとデータの項目は表1と表2に例示する。

b) 音声表示用言語の調査では、船橋内での操船者と見張り員等との間の会話をARPA画面と同時にVTRに収録して、音声会話様式の資料とした。

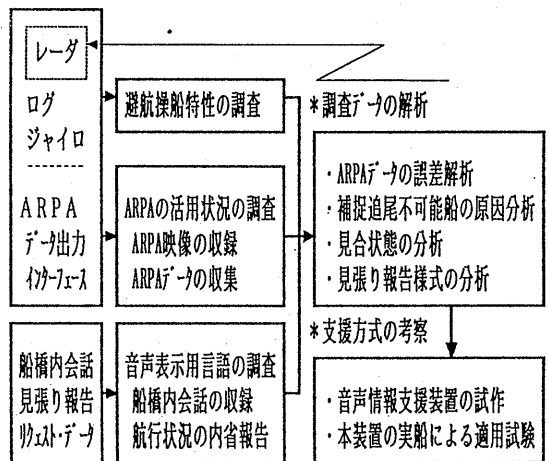


図4 実船調査のシステム構成

表1 ARPAのデータフォーマット

情報ブロック										
ヘッダ	デバイスNO.		バイトカウンタ			フラグ	データ			
STX						F0	1scanの船舶データ			ETX
1Byt	2Byt		5Byt			1Byt	246Byt			
BIT	7	6	5	4	3	2	1	0		
(MSB)										(LSB)
01	1	0	0	0	0	0	1	0	(ASCII) "STX"	
02	0	0	1	1	0	0	0	0	H "0"	
03	0	0	1	1	0	0	0	0	L "0" DEVICE NO.	
04	0	1	0	0	0	0	1	0	"B"	
05	0	0	1	1	0	0	0	0	"0"	
06	0	0	1	1	0	0	1	0	"2" DATA NO.	
07	0	0	1	1	0	1	0	0	"4"	
08	0	0	1	1	0	1	1	0	"6"	
09						F0		(BCD) TEST ON/OFF		
10						100°		H COURSE (OWN DATA)		
11	10°				1°		L (deg)			
12						10		H SPEED		
13	1				0.1		L (kt)			
14	F1					100		H BEARING (TARGET #1 DATA)		
15	10°				1°		L (deg)			
16	F2	F3					10		H DISTANCE	
17	1				0.1		L (nm)			
18						100°		H COURSE		
19	10°				1°		L (deg)			
20						10		H SPEED		
21	1				0.1		L (kt)			
22						10		H CPA		
23	1				0.1		L (nm)			
24			S				10		H TCPA	
25	1				0.1		L (min)			
26	F1					100°		H BEARING (TARGET #2 DATA)		
27	10°				1°		L (deg)			
...	...									
252						10		H TCPA (TARGET #20 DATA)		
253	1				0.1		L (min)			
254						F4	F5	F6	F7	F8
255	1	0	0	0	0	0	0	1	1	"EXT (ASCII)"

表2 ARPAデータの出力例

[OWN DATA]-----
 Speed: 17.5 (kt)
 Course: 270 (deg)

[TARGET DATA]-----

No.	Distance (nm)	Bearing (deg)	Speed (kt)	Course (deg)	DCPA (nm)	TCPA (min)	ターゲットフラッグ	F1	F2	F3
1	5.1	333	16.5	50	5.1	0.9	3	1	0	
2	3.8	230	11.9	151	3.7	3.2	3	1	0	
3	5.2	278	9.9	19	3.4	13.2	3	1	0	
4	5.2	269	4.3	31	1.1	19.3	3	1	0	
5	3.7	202	11.6	147	3.7	-0.9	3	1	0	
6	8.8	264	18.1	46	3.1	17.2	3	1	0	
7	5.7	259	12.0	0	3.1	16.4	3	1	0	

[ALARM DATA]-----
 F4=0, F5=0, F6=0, F7=0, F8=0

[目標の状態 フラッグ]

F1:補足状態	F2:シンボル	F3:ロスト
0:ノットラッキング 1:初期補足 2:ペグ表示	0:ノットラッキング 1:安全目標 2:危険目標 3:重危険目標	0:ロスト目標でない 1:ロスト目標 S:符号

[警報フラッグ]

警報の発生状態 (0:該当外目標、1:該当目標)	
F4:OVER目標警報 F5:LOST警報 F6:GUARD RING警報	F7:重危険目標警報 F8:危険目標警報

- c) 試作装置の適応性の調査は、実海域で音声情報と画像情報の操船者による主観的評価を行い考察の資料とした。
 - d) 航海中における航行環境の主観的評価と避航操船時の航行状態については、操船者による内省報告も併せ作成して以後の分析の参考資料とした。また、ARPAによる他船の捕捉は手動捕捉で行った。
- 以下、調査結果について考察を行った。

3. ARPAの活用状況の調査

レーダ航法に拘る避航操船の研究^(4,5,6)はレーダ性能の観点から広く行われているが、操船支援システムに音声や画像を用いて見張りや警報の情報を確実に伝達する方式の考察は他に見当たらない。

ここでは、ARPAの支援情報を有効に活用する観点から警報の発生状況について考察を行った。

通常、海上の稼働ではレーダ電波の背景雑音や反射強度の変化が著しいため、レーダが捕捉した船舶(以下、これを「目標」と言う。)を全て完全に捕捉し続けることには限界がある。また、ARPAが表示する

他船のデータ値は自船と他船が直進して航行している時でも変動(以下、これを「表示誤差」と言う。)することがある。

今回使用したARPAでは、5種類の警報(危険目標、ロスト目標、入力目標数のオーバ、ガードリング侵入、システム故障)の検出機能が具備されている。また、警報の発生は、CRT上のシンボル、パネル上のランプ、ブザーを併用して行っており、警報の表示内容は表3に示す通りである。

表3 ARPA警報の表示内容

警報の種類	状態	CRT上のシンボル	パネル上のランプ	ブザーのパターン
危険目標警報	安全目標 危険目標 重危険目標	○ △ ◇	OFF 点灯 点滅	OFF OFF ビープービープー 1kと5kHz、周期1秒
ロスト目標警報	ロスト目標	○---- △---- ◇----	点灯	ビー 1kHz、周期1秒、 5scanの間1scanに1回
ガードリング侵入目標警報	ガードリング侵入の目標	☆	点灯	ビビビビ 1kHz、周期1秒
入力目標数オーバ警報	入力目標数のオーバ		点灯	
システム機能劣化警報	システム機能の劣化		点灯	ビビビビ 2kHz、周期1/8秒

3.1 調査海域の航行状況

調査中の捕捉隻数は館山港から紀伊水道間の沿岸域で104隻、友が島から神戸港間の狭水域で121隻あり、その内12隻に対して避航操船を行った。また、自船の近傍海域を航過したことにより、特に操船者が注意を払った船舶は31隻であった。

3.2 ロスト警報の発生頻度

ARPA警報の中では、ロスト目標警報(以下、これを「ロスト警報」と言う。)の発生頻度が高く、図5に示す通り、狭水域では62隻、沿岸域では76隻の船舶に対して発生している。

ロスト警報は、捕捉、追尾されている目標の追尾状態が何らかの原因で約5スキャンの間不安定になって、追尾続行が不可能となった時、約5スキャンの間、1スキャンに一回の割合で発生するブザーと、CRT上の破線ベクトルによるシンボル表示及びアラームランプの点灯を併用して注意を喚起している。

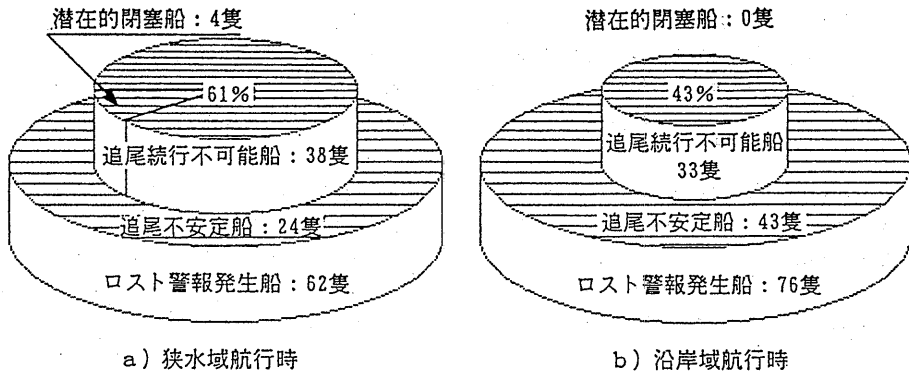


図5 ロスト警報の発生状況

ロスト警報発生時のロスト目標は、以下の二つに分類される。即ち、

- ①警報が鳴っているも、5スキャンの間に追尾を再開して、正常に復帰する目標（以下、これを「追尾不安定船」と言う。）の場合
- ②捕捉、追尾目標が完全に消失して追尾続行が永久に不可能になる目標（以下、これを「追尾続行不可能船」と言う。）の場合

である。

①の場合、追尾不安定船は狭水域で24隻、沿岸域で43隻あって、②の場合、追尾続行不可能船は狭水域で38隻、沿岸域で33隻発生している。また、追尾続行不可能船はロスト警報発生船全体に対して、狭水域では約61%、沿岸域では約43%を示している。

したがって、全てのロスト警報に対して、ロスト目標を確認することが困難な場合も生じる。

3.3 ロスト目標の危険性

ロスト警報の対象となった船舶の内、追尾不安定船の衝突の危険性は、正常な捕捉状態に復帰すれば、以後ARPA情報から知ることができる。しかし、追尾続行不可能船の場合にはARPAの捕捉情報も停止してしまうため、危険な見合い関係にあるロスト目標の確認を操船者が怠ると、衝突事故を発生する可能性が高くなるのが考えられる。

次に、図5の中の追尾続行不可能船の衝突の危険性について述べる。

追尾続行不可能船の衝突の危険性の解析では、ロス

ト警報発生以前の安定な状態で捕捉、追尾されている時に予測される針路上の閉塞度指数^(*)（以下、これを「潜在的閉塞度指数」と言う。）の最大値を求めて調べた。

解析によると、追尾続行不可能船の中には潜在的閉塞度指数が1%以上の海域（以下「これを「潜在的閉塞海域」と言う。）に針路を採って航行する4隻の船舶が存在していることが判る。したがって、図5における潜在的閉塞船とはこの4隻の船舶を指すことになる。そして、潜在的閉塞船の閉塞度指数分布は図6に示す。

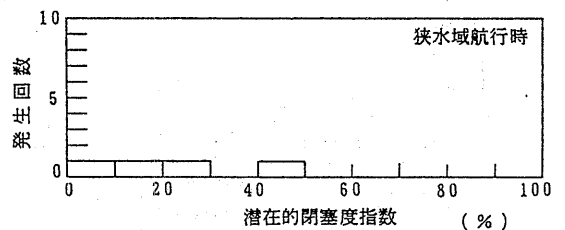


図6 追尾続行不可能船の潜在的閉塞度指数分布

* 他船との航行状態の危険性を示す操船者の主観的評価量は、航過までの時間的余裕度を示す最接近時間に関する閉塞度指数と航過時の距離的余裕度を示す最接近距離に関する閉塞度指数の積で表わされるものと仮定して、これを「閉塞度指数⁽⁷⁾」と定義する。

図7は図5に示した追尾続行不可能船について、最接近距離(DCPA; Distance of CPA, CPA; Closest Point of Approach) 最接近時間(TCPA; Time of CPA)及び自船からの距離毎に発生分布を示したものである。

図7から、追尾続行不可能船はTCPAが正から負に変化する時に多く発生しており、自船の近傍海域にも存在していることが判る。

以上の結果より、ロスト警報には衝突の恐れのある船舶、あるいは衝突の危険性の高い船舶(以下、これ

を「危険な船舶」と言う。)と、将来において危険な船舶となりうる船舶(以下、これを「危険性のある船舶」と言う。)に対するものと、安全な状況のもとで航過していく船舶に対するものとが混在していることが判る。

したがって、操船者の情報処理能力には限界があるから、他船に拘る警報全体の危険性の評価と重要度についての判断処理は支援システムで行う必要性が表われ、操船者には重用度の高い警報の情報を選択して、確実に伝達することが重要と考える。

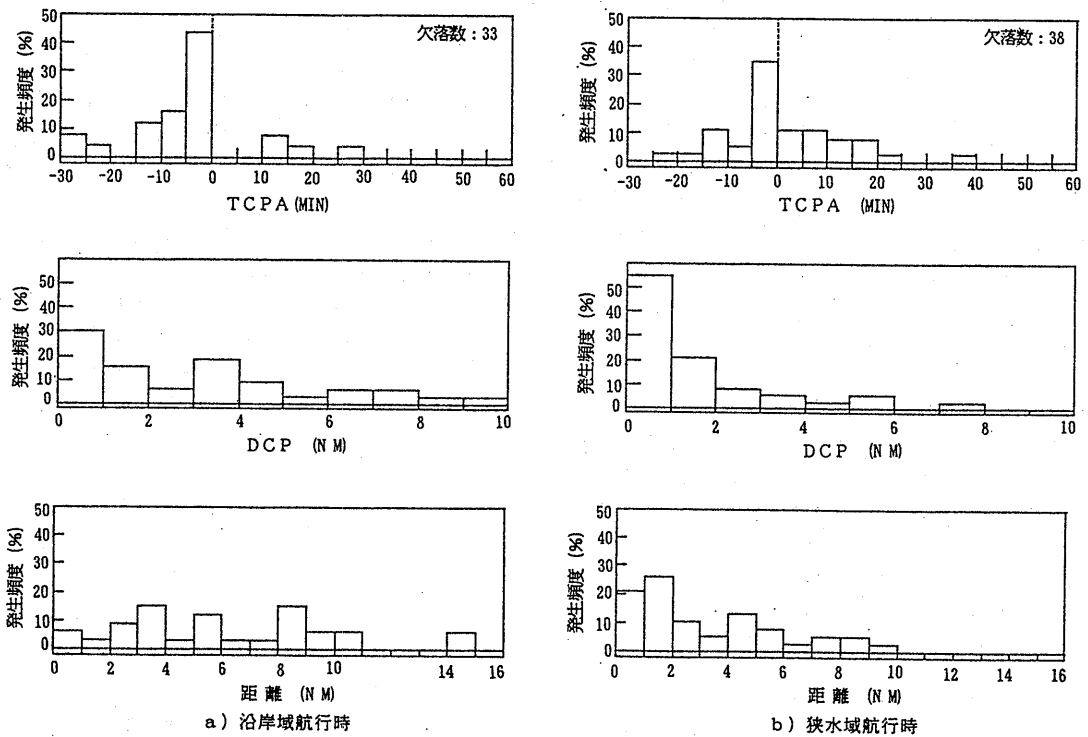


図7 追尾続行不可能船の発生分布

3.4 表示ベクトルの誤差

ここでは、ロスト目標の危険性の評価資料を得るため、ARPAが算出・表示する針路、速度、DCPA及びTCPAに関する誤差について考察する。

図8は安定な状態で捕捉、追尾された目標の相対航跡と表示データの時刻歴を示したもので、この図の自船は針路；002deg.、速度；15.8ktで、他船は針路；180deg.、速度；10ktで航行している。

ARPAの表示データの時刻歴は捕捉初期の段階と、TCPAが正から負に変化する領域で変動が大きくなることが判る。

3.4.1 ARPAの捕捉状態

ARPAのベクトル表示は、捕捉後約32秒から58秒経過して現われる。

捕捉初期には誤差が大きいが、約3分経過すると安定な表示データが得られる。さらに、自船が変針中に捕捉を開始した場合は、安定な状態になるまでに約5分以上かかる場合もある。

そこで、次の解析では、表示データが安定するまでの所要時間を約5分と仮定した上で、捕捉開始時のTCPAが約25分以上あって、捕捉後約35分間はDCPAが3NM.以下で直進する船舶を対象とした。

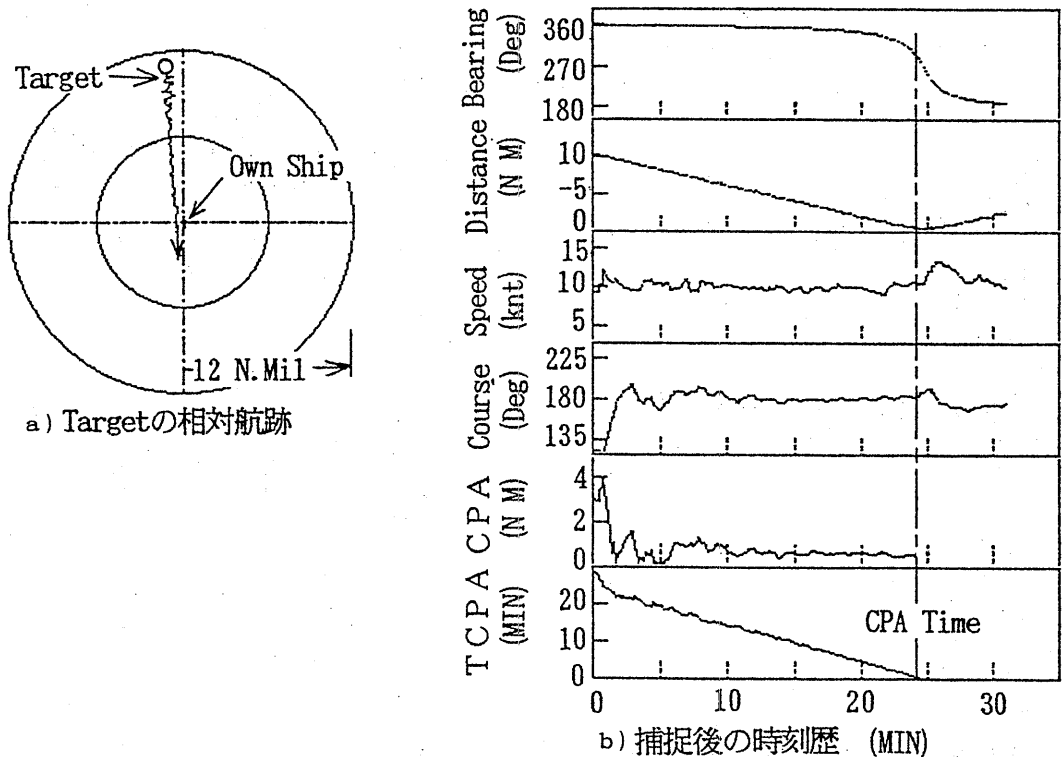


図8 捕捉状況とデータの時刻歴

3.4.2 安定した捕捉時の表示誤差

安定した捕捉時における表示データの誤差の時刻歴を図9に示している。なお、それらの捕捉データの解析範囲はTCPAを20分から航過後の-10分までの区間とした。

表4は、図9の表示データの針路と速度に関する標準偏差値(S.D.)を求めて示したものである。表4によると、他船の標準偏差値(針路; 5.31deg、速度; 0.82kt)は、自船の標準偏差値(針路; 1.72deg、速度; 0.27kt)に比較して、約3倍大きいことが判る。

さらに、他船の位置関係によって誤差がどのように変化するかを詳細に調べるため、表示データの解析範囲を10分間隔に3分割して、速度、針路、DCPA、TCPAの誤差頻度分布と標準偏差値を図10の上段からそれぞれ示している。そして、図10の下段には、同区間において他船との位置関係を相対距離分布で示している。

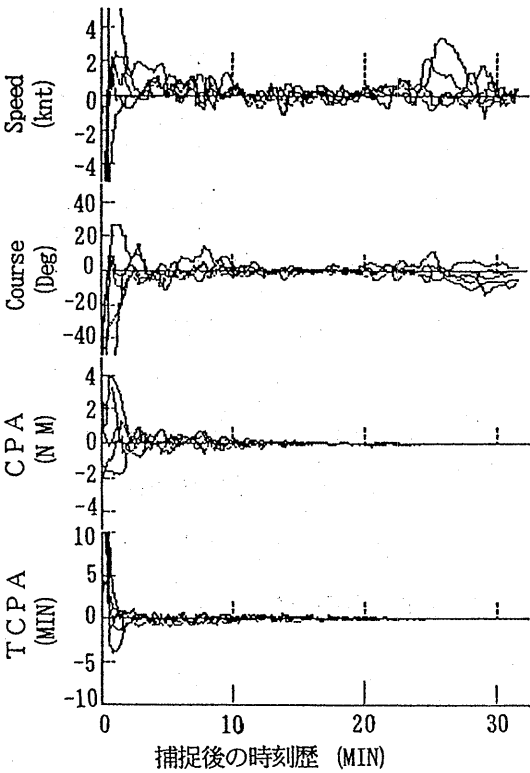


図9 捕捉時の表示データ誤差例

表4 表示データの解析範囲における標準偏差値

	速度	針路	DCP	TCPA
自船 S.D	0.27 Knt	1.72 Deg		
他船 S.D	0.82 Knt	5.31 Deg	0.28 N M	0.41 MIN

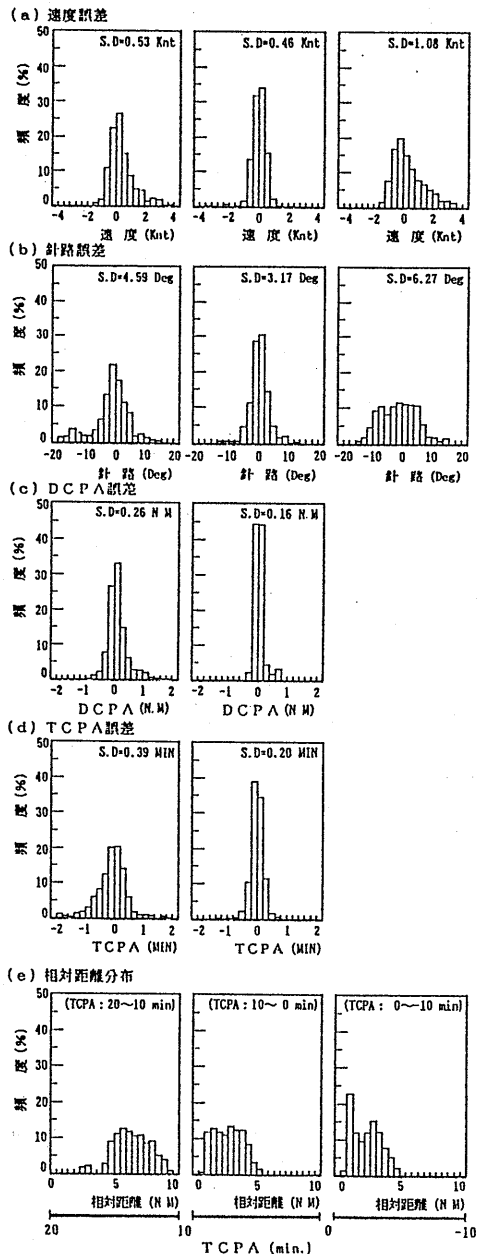


図10 他船の位置関係による誤差分布

他船の位置関係を次の3分割にした理由は、左側の図から見張り海域（他船視認して、動向を観測しているTCPAが20分から10分の海域）、避航判断海域（船種・船型・動向から衝突の危険性を認識して、避航の判断と操船行動を行う事の多いTCPAが10分から0分の海域）、航路復帰海域（避航効果を確認した後、航路復帰を行っているTCPAが0分から-10分の海域）を通過している状況に相当していると考えたためである。

表示誤差は避航判断海域で特に小さく、速度、針路、DCPA及びTCPAのそれぞれの標準偏差値は0.46kt、3.17deg.、0.16NM.、0.20min.である。最接近点を通過した後の誤差変化は大きく、速度誤差は非対称に分布して、増速する傾向が認められる。

この様に、ARPAの表示誤差は捕捉後の位置関係で変化しているため、将来の針路上の衝突の危険性を判定する場合には、図10の様な誤差変化の影響も考慮する必要がある。

なお、ARPAの表示誤差に拘る針路等の諸データの偏差値を求めるための標準値は、図9で捕捉状態が安定するTCPAが5分から15分までの間の回帰直線から求めた。

3.4.3 ロスト目標の誤差

ロスト目標の衝突の危険性を評価するには、その表示誤差を考慮する必要がある。

目標の追尾続行が不可能となるまでの誤差を考察するにあたり、ここでは、ARPAデータの出力が2スキャン毎に行われているので、以下、2スキャンを1ステップと表現することにする。

図11は目標の追尾続行が不可能となる直前の5ステップ間で針路と速度の誤差を各ステップ毎に示したものである。尚、ARPAの表示誤差に拘る諸データの標準偏差値を求めるための標準値は目標の追尾続行が不可能となる以前のデータの回帰直線から求める。

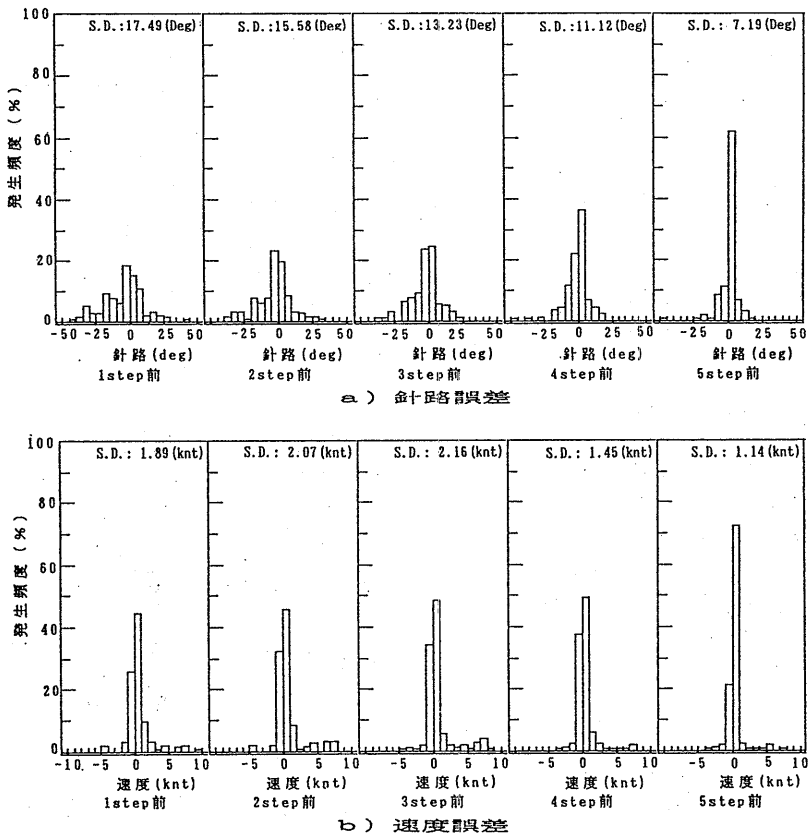


図11 追尾続行が不可能となる直前5ステップ間の誤差変化

ロスト目標の誤差は、目標の追尾続行が不可能となる5ステップ前の標準偏差値と比較すると、目標の追尾続行が不可能となる1ステップ前では、針路で約2.4倍、速度で1.7倍大きくなっている。また、図10で示した中で最も安定した捕捉状態の避航判断海域における標準偏差値と比較すると、目標の追尾続行が不可能となる1ステップ前は、針路で5.5倍、速度で4.1倍大きくなっている。このことから次の様な事を言うことができる。

したがって、ロスト目標との衝突の危険性に関する判定は、目標の追尾続行が不可能となった時点の航行状態で評価するのではなく、ロスト警報発生以前の安定した捕捉状態のデータで評価する必要がある。

3.5 まとめ

衝突予防上、見張りを継続して行く必要がある船に関する警報と見張りの情報を操船者に確実に伝達するためには、次の点を改善することが重要と考えた。

- 1) ロスト警報を発生する場合、ロスト目標の危険性の評価は、ロスト目標との相対位置関係及び過去の見合関係を支援システムで解析・評価した上で、その危険性に応じて情報提供の伝達手段を選択する。
- 2) 危険目標警報は、相手船との見合関係を操船者がより把握し易い方式で確実に伝達する。
- 3) 操船判断上重用度の高い目標の警報は、音声とCRT上にシンボル表示及びアラームランプを併用して指示し、他のロスト目標に対してはCRT上にシンボル表示とアラームランプだけで指示する。

4. 音声表示用語の調査

以下の考察では、輻輳海域や狭視界域を航行中の操船者に対して、航行の安全性向上と情報処理負担の軽減の目的を実現するため、危険な船舶及び危険性のある船舶又はロスト目標の発生状況に関する警報を自然言語の合成音声で確実に伝達する方策について実船調査と検討を行った。

4.1 船橋における会話の特徴

実船調査結果の分析により、船橋の会話の使用目的は、主に次の3種に分類されることが判った。

- ① 命令とその命令に対する復唱及び命令実行後の報告とそれに対する応答
 - ② 見張りに関する報告とそれに対する応答
 - ③ 周囲の航行状況等に関する会話
- 上記のうち、③は一般的な会話であるが、①及び②については、曖昧な情報の伝達を避けるために、パターン化されている情報になっている。

4.2 見張り報告

ここでは、今回の航行の安全性向上と環境情報処理負担の軽減の目的から見張りに関する報告に注目する。

見張り報告における曖昧さは、安全な運航を阻害することになるから、限定された用語が一定の順序に基づいて報告される。

報告とそれに対する応答の一例を次に示す。

① 見張り員の報告

「右舷・3ポイント・5マイル・ニ・横切り船・ガ・2杯・アリマス」

② 操船者の応答

「ハイ」

見張り報告において他船の方位に関する用語は図12のように、また、他船との見合関係は海上衝突予防法に基づいて図13のようなモデル化ができる。

上記例の報告には他船の方位の変化に拘る用語が加わる場合も多い。また、操船者は、特に注意を要すると思われる見合関係の場合、方位の変化状況やDCPAやTCPAに関する情報も求めるために、それが見張り報告に含まれることもある。

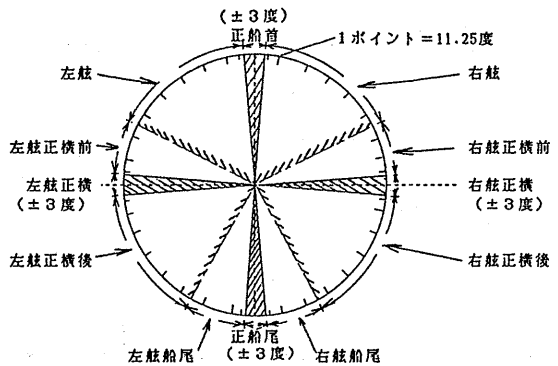


図12 見張り時の位置表現

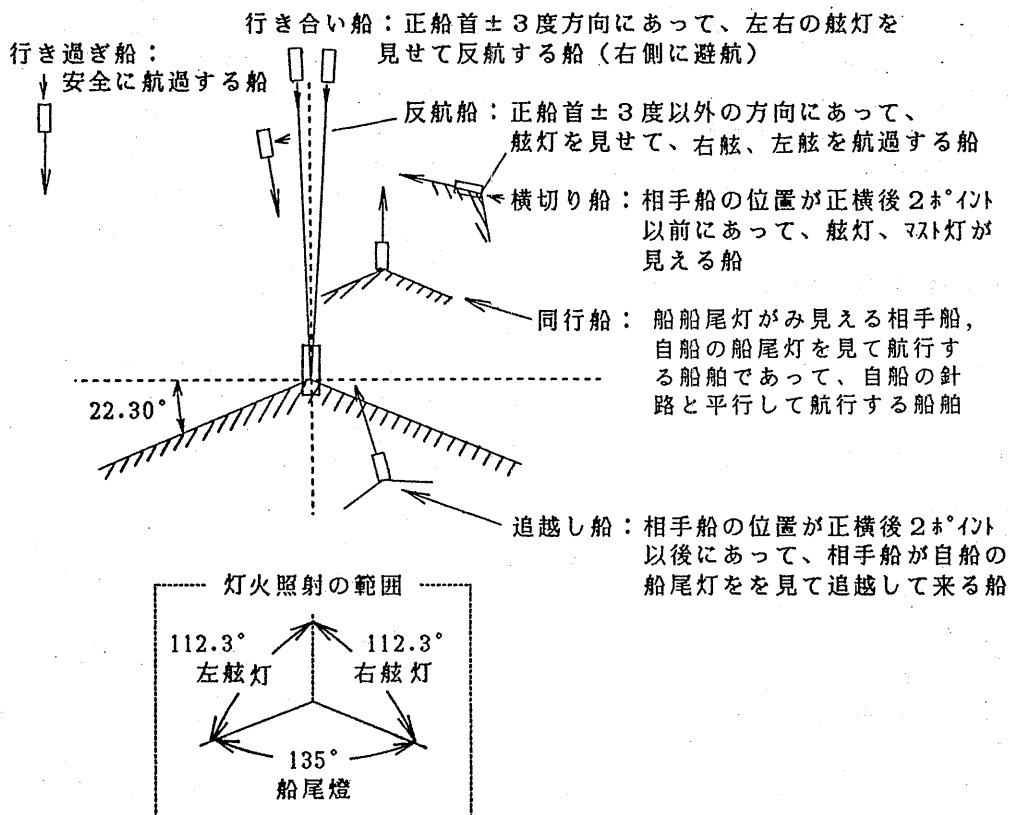


図13 見合状況の区分け表現

さらに、必要に応じて操船者自身で、距離や方位の数値データをARPA上のリクエスト・キーを通じて収集して見合状況の正確な確認を行うと共に、方位変化の観測を継続している。

そして、例えば、避航操船判断時においては、方位や距離に関する数値データの情報を必要としているが、目視による見張りを継続しているため、ARPAのリクエストデータを入手する余裕がないこともある。

このため、操船者等の内省報告によると、見張りを継続しながらリクエストデータを入手できるシステムが望まれている。

4.3 まとめ

これらの調査結果から、見張り報告に用いられる一連の用語は計算機による自然言語処理が現在の技術で可能であると考えられる。

即ち、

1) 警報と見張り情報の表現

ARPAからのデータを計算機で処理し、ある判断基準のもとに、自然言語処理した合成音声によって、見張りの支援を行うとすれば、次の様な警報指示例の如く実現することができる。

- ①「右舷 3ポイント 4マイル / 横切り船 ニ 注意」
- ②「右舷 4ポイント 3マイル / 横切り船
ベアリング オモテ 1ケーブル」
- ③「ロストターゲット発生 右舷 1ポイント 2
マイル / 反航船」

2) 特定船舶のデータの入力表現と提供情報の表現

操船者が目視観測を継続しながら同時に、危険船の有無や特定船舶の正確な数値データを入手できるシステムを実現するには、入手情報の選択をキーボードや音声入力で行うことにより、必要な見張り情報

を合成音声で次の例の如く入手することができる。

- ①危険船は？→危険船は2隻あります。
- ②1番船？→右舷2ポイント・3マイルの横切り船方位25度、距離3マイル、CPA1ケブル、TCPA3分
- ③方位？→方位25度、方位変化1度

5. 衝突予防用音声支援装置の試作とその効果

既存のARPA情報の表示は、警報音、CRT上のシンボル及びアラームランプの併用によって成っており、その情報が有効に活用されない状況があることはすでに述べた通りである。

そこで、以上の点を考慮して、操船者がARPAの情報をより有効に活用できるよう、図14のシステム構成からなる音声を用いた衝突予防用支援装置⁹⁾の試作を行った。

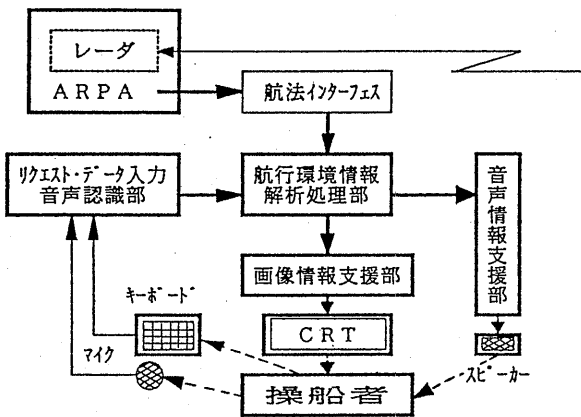


図14 音声を用いた衝突予防用支援システムの構成

5.1 衝突予防用音声支援装置の構成

システム構成の内容は次に示す通りである。

- ①ARPAデータの読み込み部では、航法インターフェースを介して2スキャン毎にARPAデータを受信する。
- ②航行環境情報処理部では、他船との位置関係や見合関係及び自船の航行状態から衝突の危険性を分析して、危険な船舶及び危険性のある船舶又はロスト目標を検出した上で、警報対象船を判定すると共に、指示方式を決定する。

- ③音声情報支援部では、音声情報の内容の語彙リストを警報の種類、他船との相対位置関係、見合関係等のデータを基に、計算機上に構成した語彙分類アルゴリズムで編集する。また、合成音声による情報は、語彙リストと音声単語辞書の索引から音声単語データを取り出し合成音声でスピーカから発生する。
- ④音声入力情報認識部では、操船者が特定船舶についての正確な数値情報を入手したい場合や、危険な船舶の有無を知りたい場合に限定して、リクエスト船に関する入手したい情報の種類をキー・コードや音声入力で選択し、支援情報は音声で提供した。

音声入力の場合、使用する人があらかじめ自分の声を登録して、初期値設定を行い、リクエスト・データの入手手段として使用する。

音声支援のための作業内容は図15に示す。

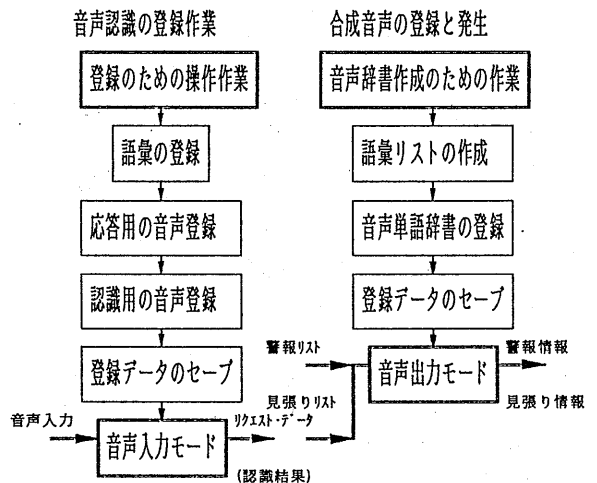


図15 音声支援のための作業内容

- ⑤画像情報支援部では、音声情報と平行して、閉塞度指数の等高線図と警報対象船のシンボル、数値・文字・図表情報をCRT上に表示する方式とした。

5.2 音声支援情報の概要

音声警報発生アルゴリズムは図16に示している。

音声で警報を発生する対象船舶は次の5種類とした。

- ①見張り船：潜在的閉塞度指数が1%以上の危険性のある船舶

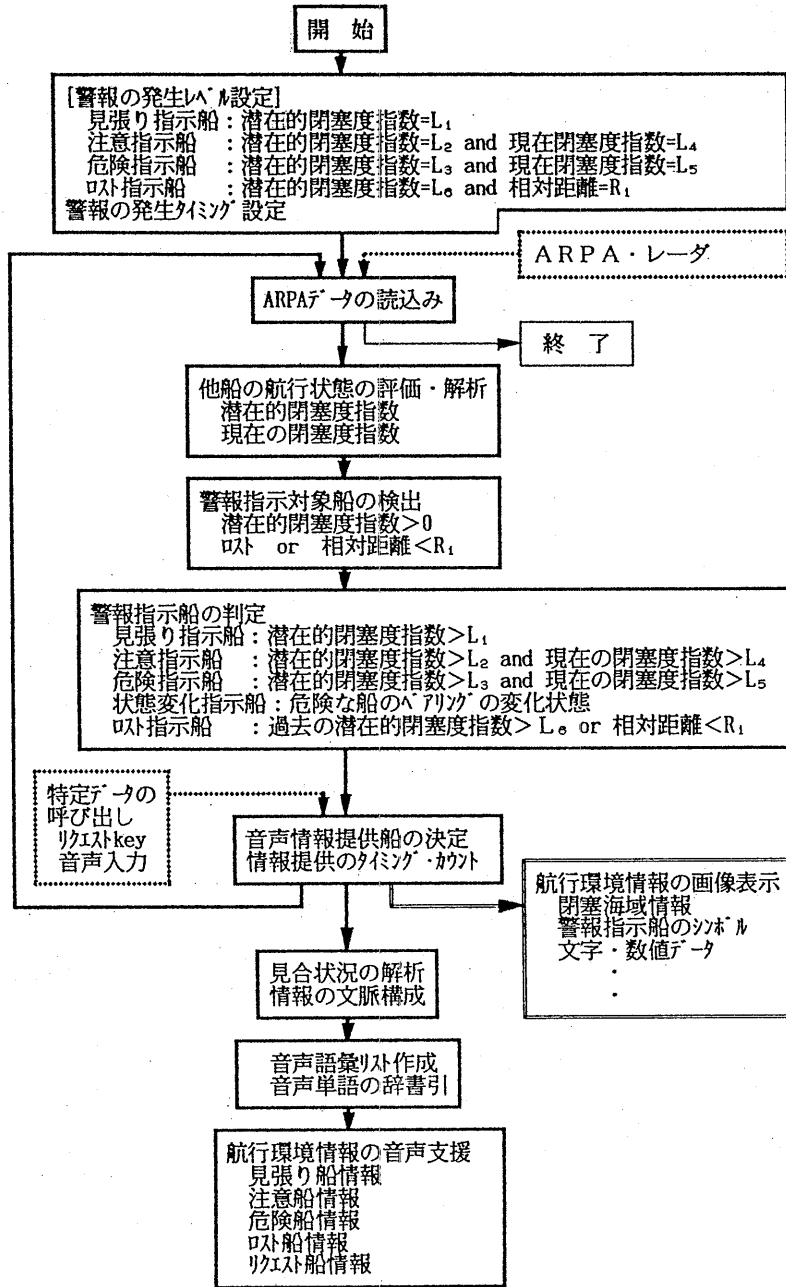


図16 音声警報指示部のアルゴリズム

- ②注意船：潜在的閉塞度指数が50%以上で、現在の閉塞度指数も1%以上の危険な船舶
 - ③危険船：潜在的閉塞度指数が70%以上で、現在の閉塞度指数も50%以上の危険な船舶
 - ④ロスト船：過去に危険性を有した船舶、及び自船から一定の距離内にある船舶でロスト目標となった船舶
 - ⑤方位変化船：危険な船舶であって、自船との相対方位が変化した船舶
 - ⑥リクエスト船：操船者が危険性のある船の正確な位置などの数値情報の入手を要求した船舶
- なお、閉塞度指数値は、これまでの調査で得られた統計値を用いた。

5.3 実船における適用例

実船による本装置の適用例を次に示すが、これは、操船上における本装置の問題点を調査するために行ったものである。

5.3.1 音声警報の指示例

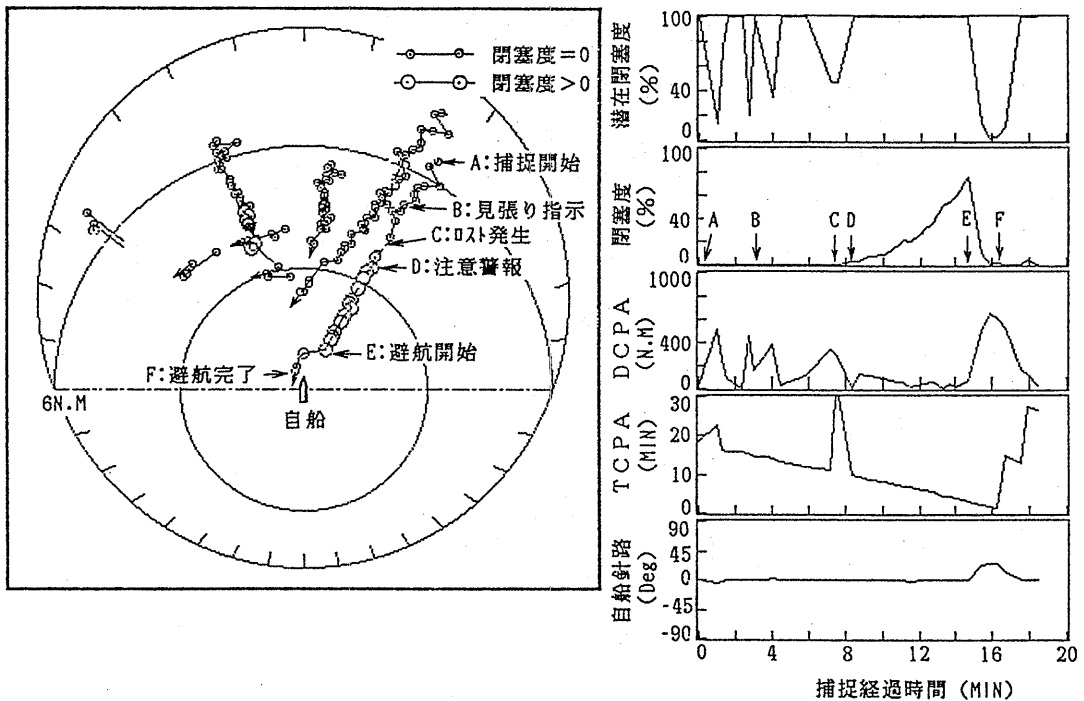
音声警報の指示の適用例は、図17.a)、b)に示す。

但し、図17.a)の相対航跡上のA~G地点は、図17.b)の捕捉時刻のA~Gに対応している。即ち、これらの図を詳細に説明すると、以下の様になる。

図17.a)は、警報対象船の捕捉開始地点(A)から避航完了地点(G)までの相対航跡と警報開始位置を示している。

図17.b)には上段から複数船舶の潜在的閉塞度指数の最大値、閉塞度指数、DCPA及びTCPA、自船針路の時刻歴を夫々示している。

図17.b)の潜在的閉塞度指数とDCPAには、捕捉初期の図10の見張り海域(TCPA; 20min. から10min.の間)に対応した海域で表示データの誤差の影響が現われているし、更に、図10の避航判断海域(TCPA; 10min. から0min.の間)に対応した海域では誤差が小さいことが示されている。



(a) 相対航跡図

(b) 捕捉時の時刻歴(閉塞度、DCPA、TCPA、自船針路)

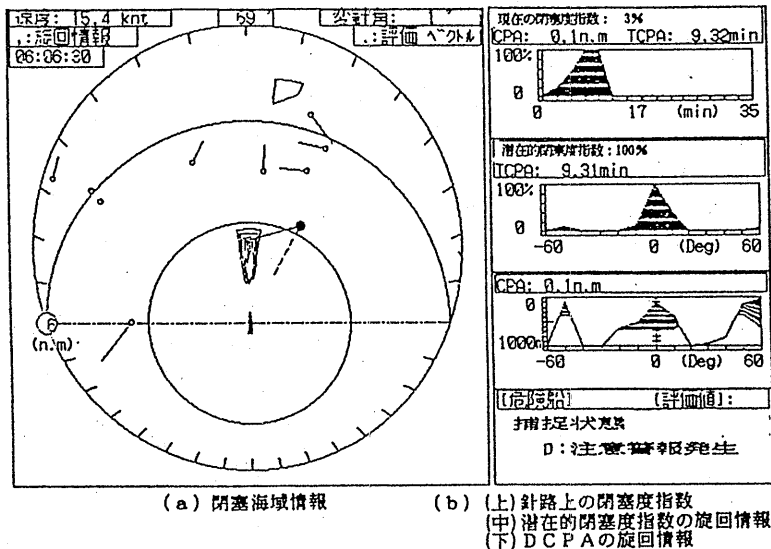
図17 警報の発生位置と航行状況

この見合い関係のもとでの注意指示船に対する警報は、D地点で発生後しばらくして危険指示船に対する警報に変わってくる。

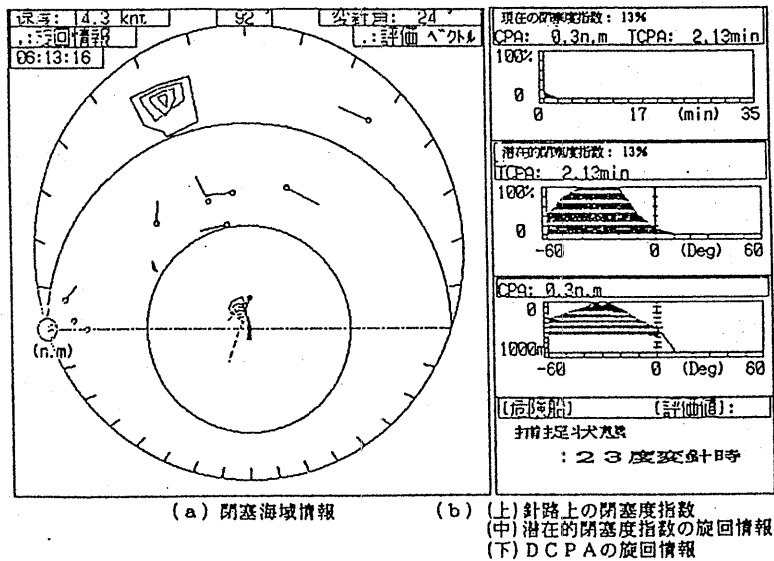
また、自船は、閉塞度指数が78%になった時点で、右舷に23度変針して、避航動作を行っている事が判る。

5.3.2 閉塞海域情報の表示例

図17の注意指示船に対する警報の発生開始時（D地点）と避航変針後に対応した閉塞海域情報は、それぞれ図18.イ）と図18.ロ）に例示している。



イ) 注意警報発生時



ロ) 23度避航変針後

図18 閉塞海域の画像表示情報

図18.イ)、ロ)のa)の等高線図は、危険な船舶と遭遇する海域の潜在的閉塞度指数を示したもので、外側から潜在的閉塞度指数の25%、50%、75%、95%値を表示している。

図18.イ)、ロ)のb)の上段は現在の針路上の潜在的閉塞度指数の予測値、中段は自船が針路を変更して避航した場合に生じる旋回方向の潜在的閉塞度指数の最大値の予測値、下段は旋回方向の潜在的閉塞度指数の最大値に対応した最接近距離の情報を表示している。

この図18.イ)、ロ)の閉塞海域情報からは、避航前に予測した変針による潜在的閉塞度指数の変化の予測値と変針避航後の閉塞度指数値がよく合っていることが判るので、この様な潜在的閉塞海域による情報は、避航動作の効果を予測する判断情報になりうる。

5.4 音声支援情報の伝達効果

本装置の音声と画像による警報の参照度合いの調査結果を次に述べる。

避航対象船の主観的危険度の判断項目は、大藤氏等の評価量⁹⁾に準じて、表5. a)の4段階に分けた。また、警報の参照度合いは、表5. b)の3段階に分けて調べた。

ここでは、21件の見合関係について操船者の主観的評価結果例を表6に示す。

表5 航行状況の主観的評価指標

a) 航行状態の主観的評価

1	衝突のおそれは無いが余裕を見て避航する
2	衝突のおそれを生ずる可能性がある
3	衝突のおそれがある
4	衝突の危険性がある

b) 警報の参照度合い

1	全く参考にしない
2	少し参考にした
3	大変参考にした

表6によれば、音声と画像による警報は反航船の場合よりも、横切り船や追越し船、停留船の場合に参照されている。

特に、次の航行環境情報を把握する場合に有効性が認められた。即ち、

①視界制限状態において、視認できていない他船の動静を知ることができる。

②自船が針路保持船であって、他船の避航動作が遅れている様な見合い状況下で、自船の避航海域を判断することができる。

さらに、音声をを用いた警報指示方式は、従来の警報音を用いた方式と比較すると、次の様な点で改善が認められる。

①見張り以外の作業に従事している時でも指示内容を聴覚により把握することが可能である。

②ブザーによる警報確認作業の煩雑さが軽減するので、情報の伝達時間の高速化が図られる。

③音声による警報を基に画像による警報への注意喚起ができるため、画像や文字の情報をより効果的に活用することが可能である。又、視覚情報処理負担が軽減される。

④操船者は、警報の種類、注意すべき船舶の所在位置、見合状況、予測航過状況等の警報内容を正確に把握できる。

表6 警報の参照度合い

航行状態	操船者の主観的評価				
	見合状況	着目船隻数	危険評価	画像警報	音声警報
反航船	2	1	1	1	
	1	2	1	1	
	1	2	1	1	
	1	2	1	1	
	2	2	1	1	
	1	2	2	1	
	3	3	2	1	
	2	3	2	2	
横切り船	1	1	1	2	
	1	2	2	2	
	3	2	2	2	
	2	2	1	1	
	1	3	1	1	
	1	3	1	1	
	1	3	1	1	
	*イ	1	3	2	2
	*ロ	1	3	3	2
	2	3	2	2	
3	3	2	2		
漁船 追越し船 停留船	1	2	1	1	
	1	2	2	2	
	2	3	2	2	

(*イ、*ロ：については、文中で説明)

5.5 適用上の問題と対策

音声による情報提供は、操船者に情報の内容を伝達する上では有効であるが、まだいくつかの解決しなければならない技術的な問題があることが判った。

- 1) 危険性のある船舶に対する場合や危険な船舶に対する場合では、必要な情報量と情報提供のタイミングの採り方に問題がある。
- 2) 提供される情報の用語については個人差がある。
また、外部からの既存のトランシーバ等による混信等も考えるので、聞き取りやすい明瞭な用語の標準化が必要である。
- 3) 船橋では見張り報告やトランシーバ等の音声情報が多いので聞き取りや音声入力に誤りが生じる可能性がある。
- 4) 自船近傍のシークラッタとの乗り移り現象により発生する誤った捕捉追尾による誤警報に関する対策が必要である。

上述の問題に対しては、今後さらに検討を行う予定であるが、情報量とタイミングの採り方や使用する音声表示用語等については、音声情報として標準化するのが良いと考える。

5.6 まとめ

見張り情報や警報の意味・内容を自然言語処理による音声で、文字や図画像の情報と多重化して用いて、支援する音声情報支援方式は、操船支援システムに活用でき、かつ有効であることが判った。

6. 結言

音声情報を用いてARPAの支援情報を操船者に効率良く伝達するため、1)ARPAの活用状況の調査、2)音声表示用語の調査、3)試作装置とその効果について考察を行った。

考察の結果は、次の通りである。

- 1) ARPAの活用状況の調査；ARPAの警報と支援情報を効果的に活用するためには、見張りを継続する必要のある船舶との見合い関係についての情報を支援システムで処理して、文字・図画像・音声を多重化して用い、視覚と聴覚の両面から操船者の思考パターンに同調し易い様に情報を提供して、確実に伝達することが重要であることが判った。

2) 音声表示用語の調査；上記の課題に対しては、船橋内の定型化された会話様式が、音声の自然言語処理に適することに着目した。そして、見張りの報告における他船の位置と見合関係は見張りの報告様式と衝突予防法に基づいてモデル化を行った。

3) 装置の試作と支援効果；上で述べた考察の結果から衝突予防用音声支援装置を試作して、本装置の適応性は実船で調査した。

調査の結果、次の点で改善が認められた。

- ① 警報内容を聴覚により正確に把握できる。
- ② 警報内容の確認作業の高速化が図られる。
- ③ 音声情報を基に画像による警報への注意喚起ができる。

結論；見張り情報や警報の意味・内容を自然言語処理による音声で、文字や図画像の情報と多重化して用いて、支援する音声情報支援方式は、衝突予防支援システムに活用でき、かつ有効であることが判った。

今後の課題；音声による提供情報は、情報量が大きいため、提供する音声情報の量、情報提供のタイミング、使用する音声用語等の点で問題解決と標準化の必要性が認められたので、この課題と本衝突予防支援システムの安全性評価については今後考察を行いたい。

なお、本研究は、航海訓練所との共同研究により平成元年度から平成4年度に亘り実施したものである。

謝 辞

本実船調査に御指導・御協力を頂いた航海訓練所研究第2課長南雲洋一氏他、銀丸丸乗組員ならびに日本無線株式会社・技術第2部船舶レーダ課の関係者各位に感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 海難審判協会：海難審判の現状（昭和58、60、62年）
- (2) 有村信夫、山田一成、塩田重須、大谷浩二：実船調査による避航時のレーダ写真解析、船舶技術研究所報告、Vol.25、('88)、No.3、pp.55~71
- (3) 日本無線株式会社：ARPA JAS-800取扱説明書
- (4) 今津隼馬著：避航と衝突予防装置、成山堂、昭59
- (5) 笠原包道：レーダ避航法の論理的考察、日本航海学会論文集51号、pp.69~76、昭49-7。
- (6) 辻啓介、岩崎寛希：衝突予防装置の運用実験一、日本航海学会論文集71号、pp.31~40、昭60-1。
- (7) 有村信夫、山田一成他：航行環境情報の表示方式

に関する一考察、日本航海学会論文集82号、pp. 93~101、平2-3

- (8) 大藤高広、原潔、小川征克：決定木最適化法による避航操船に関する知識構造、日本航海学会論文集84号、pp.29~36、平2-10.
- (9) 有村信夫、他5名：航行環境情報の表示方式に関する一考察、一実船調査によるARPA情報の解析一、船舶技術研究所講演発表集、第56回、平2-11、日本航海学会論文集86号、pp.325~335、平4-3