

2023年6月19日一部修正再提出

自動避航システムの認証
(安全性評価)に向けた検証実験

報告書

2023年3月

一般社団法人 日本船長協会

目次

1	要約	2
1.1	目的及び実験方法	2
1.2	作成された評価領域図および評価(認証)のためのシナリオ	2
2	検証実験実施の背景及び目的	4
2.1	検証実験実施の背景	4
2.2	検証実験実施の目的	4
3	実験概要	5
3.1	実験方法	5
3.2	実験日と被験者(海技者)の構成	7
3.3	海技者が行う評価	7
3.3.1	定義	7
3.3.2	主観評価の集計方法	8
3.4	実験シナリオ	8
3.4.1	実験シナリオの要件	8
3.4.2	シナリオ作成結果	15
3.5	解析方法	19
3.5.1	解析対象シナリオの分類	19
3.5.2	領域境界線の作成方法	19
4	実験結果と解析	25
4.1	2船間の相対距離と主観評価の関係	25
4.2	解析結果から作成した評価領域図	29
4.3	新評価領域図	31
5	自動避航システム認証用シナリオ	34
6	認証対象船舶(自動運航船)の船型が評価領域図に与える影響	43
7	視界状態が評価領域図に与える影響	44
8	総括	45
8.1	まとめ	45
8.2	今後の課題	45

1 要約

1.1 目的及び実験方法

「自動避航システムで航行する船舶は、遭遇する船舶に不安を与えない」と云う考え方を認証（安全性評価）の視点とし、「自動避航システム」に対して認証を行う基準となる評価領域図の作成を目的とし検証実験を実施した。また、併せて認証用のシナリオ例を提案した。

検証実験は、操船シミュレータを所有する海運会社、日本郵船:NYK(日本海洋科学:JMS)、商船三井:MOL(MOL マリン&エンジニアリング:MOLMEC)、川崎汽船:K Line の協力を得て実施した。同実験では、認証の対象となる船舶の行動（航行）を、遭遇する他船の視点から日本船長協会所属の船長・航海士らが評価を行う方法で実施した。

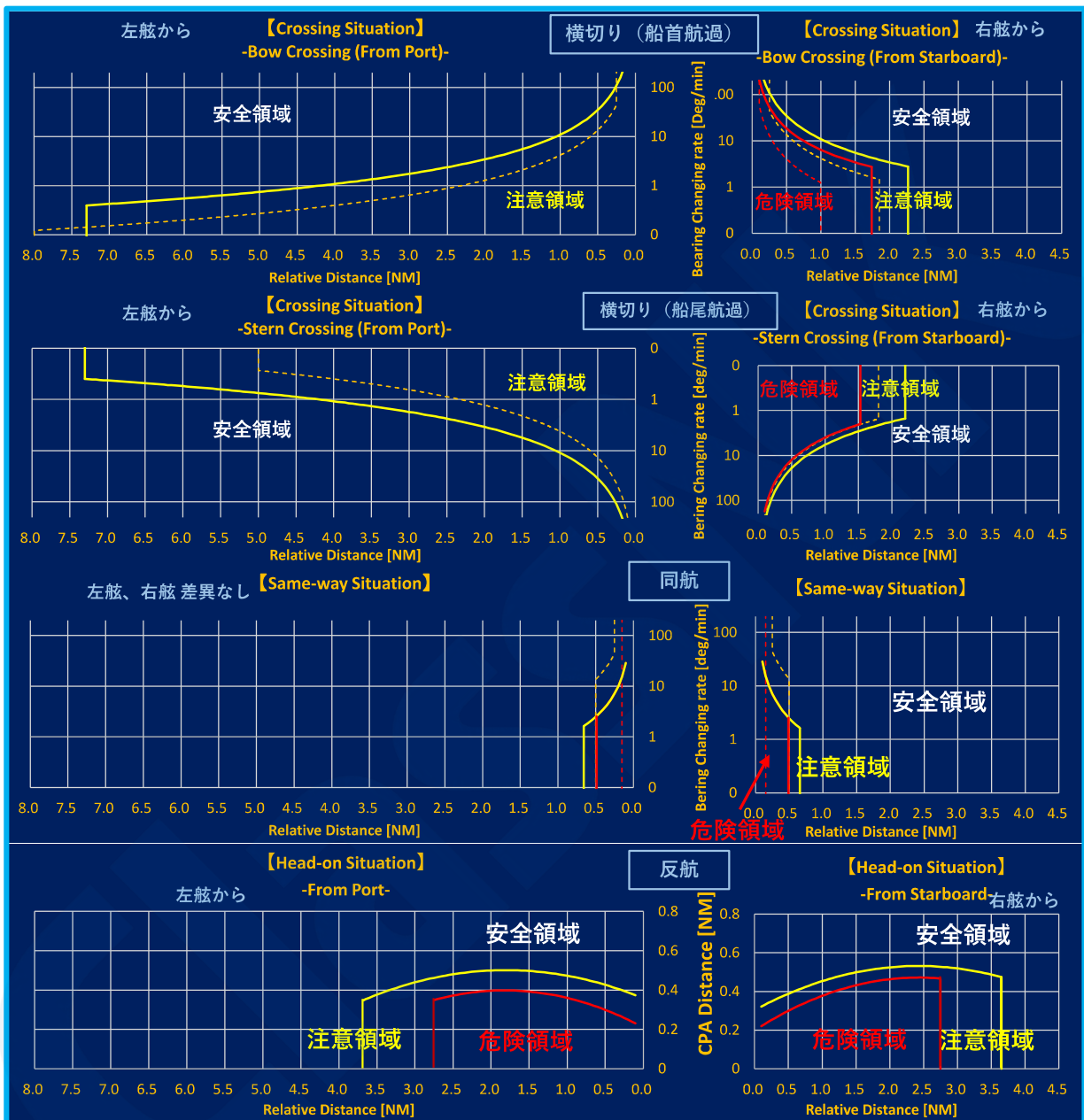
1.2 作成された評価領域図および評価（認証）のためのシナリオ

検証実験（延べ被験者数：1,631名、実験シナリオ数：181ケース）の結果から評価領域図を作成することができた（領域図作成に関与した被験者数は延べ1,399名）。作成した評価領域図を図1.1に示す。図の見方の詳細は4章で記すが、「相対距離」「方位変化率」等から「安全領域」「注意領域」「危険領域」を表示するものである。自動避航システムで航行する船舶が「安全領域」を航行する限り、「遭遇する他の船舶に不安を与えない」、換言すると「安全性に関する認証を与えることができる」と評価されるものである。

認証を行うにあたっては、操船シミュレータでの自動避航システムを用いた航行結果に評価領域図を適用する手法を提案しているが、この操船シミュレータを用いた航行におけるシナリオ例を作成した。作成したシナリオは、基本シナリオ6ケース、複数船舶遭遇シナリオ1ケースである。

6ケースの基本シナリオにて自動避航システムの基本性能を確認する。この6ケースの基本シナリオにおいて、評価領域図の「注意領域」への侵入がないのであれば、COLERGs(海上衝突予防法)を考慮した避航操船方法として、遭遇する船舶に不安を与えることはないと評価することができる。

複数船舶遭遇シナリオは輻輳海域での避航操船を想定したシナリオである。評価のポイントは、自動避航システムが複数船舶との衝突リスクを計算した上で、合理的な避航操船を実施できるかである。合理的な避航操船であっても、輻輳の程度や自動避航システムを搭載する船舶の操縦性によっては、評価領域図の「注意領域」へ入り込むことをある程度許容せざるを得ない場合もある。この許容の程度を設定する一つの目安として人間による操船結果と減点点数の相対比較（偏差値）で認証の基準を設定する方法を提案した。



領域図内の点線は次頁 P4 文献 1 に記載されている従来の領域境界

図 1.1 作成された評価領域図

2 検証実験実施の背景及び目的

2.1 検証実験実施の背景

近年、自動避航システムの開発に関する取り組みが国内外で活発に進められている。各社が開発する自動避航システムのアルゴリズム詳細はブラックボックスとなる可能性が高く、今後これらのシステムが実装される時には、船級等による安全性の認証が強く求められることになる。しかし、世界的に見ても自動避航システムの安全性を定量的に評価する方法についてはまだ研究段階であり、実用化に至った例は報告されていない。研究段階のものとして、自動避航システムの認証（安全性評価）を目的とした手法が学会等にて提案されている¹。同論文にて提案されている自動避航システム認証の流れを図 2.1 に示す。ただ、同論文にて提案されている評価領域図（図 2.1 左の下段に相当）は自動避航システムによる航行を想定したのではなく、一般海域における航行の安全性評価を目的として 30 年程前に提案されたものに若干の追加実験結果等を加えて策定されたものである。自動避航システムの認証に使用できないものではないが、国際的な基準とするには信頼性を高めることが望まれる。

そこで、この評価領域図を、自動避航システムの安全性評価を目的とした信頼性の高いものに置き換えるため、新たに大掛かりな検証実験を実施した。新たに作成された評価領域図は、「自動避航システムで航海する船舶は、遭遇する船舶に不安を与えない」という視点で多くの海技者が評価した結果に基づくものである。

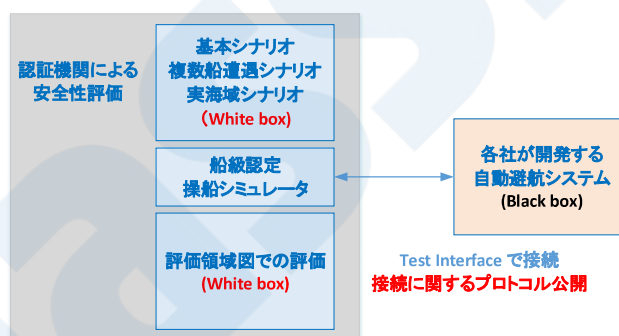


図 2.1 自動避航システム認証の流れ

2.2 検証実験実施の目的

今回実施した大規模検証実験は、自動避航システムの認証（安全性評価）のため、信頼性が高く、実用的な評価領域図を新たに作成すること（再構築）を目的とした実験である。また、評価領域図の作成とともに、「図 2.1 自動避航システム認証の流れ」の左上段に記した基本シナリオ、複数船遭遇シナリオについても具体的に提案した。

¹ 中村、岡田：自動避航システムの安全性評価、日本航海学会論文集、第 142 巻 2020.10

3 実験概要

3.1 実験方法

本実験では、日本の民間海運会社/グループ会社が所有するフルミッションタイプの操船シミュレータを用いて実施した。自動避航システムを搭載した船舶（以下、「自動運航船」と）、その船舶に遭遇する船舶（以下、「被験者船」）の2隻を配置したシナリオを用いて実験を実施した。被験者船は、人間が操船している既存の船舶を想定し、被験者である海技者（船長や航海士）は同船の船橋からの視点で評価を行うこととした。[※]

実験には日本船長協会の会員である海運会社3社（NYK, MOL, K Line）の海技者（船長・航海士）が被験者として参加した。被験者数は延べ1,631名（領域図作成に関与した被験者数は1,399名）であった。内訳や構成などは3.2節に示す。

実験風景の写真を図3.1～図3.3に示す。



図 3.1 NYK(JMS)に於ける実験風景

[※] 評価領域図を用いた操船評価では、評価対象となる船舶（ここでは自動運航船）が他の船舶（ここでは被験者船）に不安を与えるか否かという観点から評価を行うため、今回の実験では被験者船からの視点で主観評価を取得したと云う点に留意。



図 3.2 K-Line に於ける実験風景

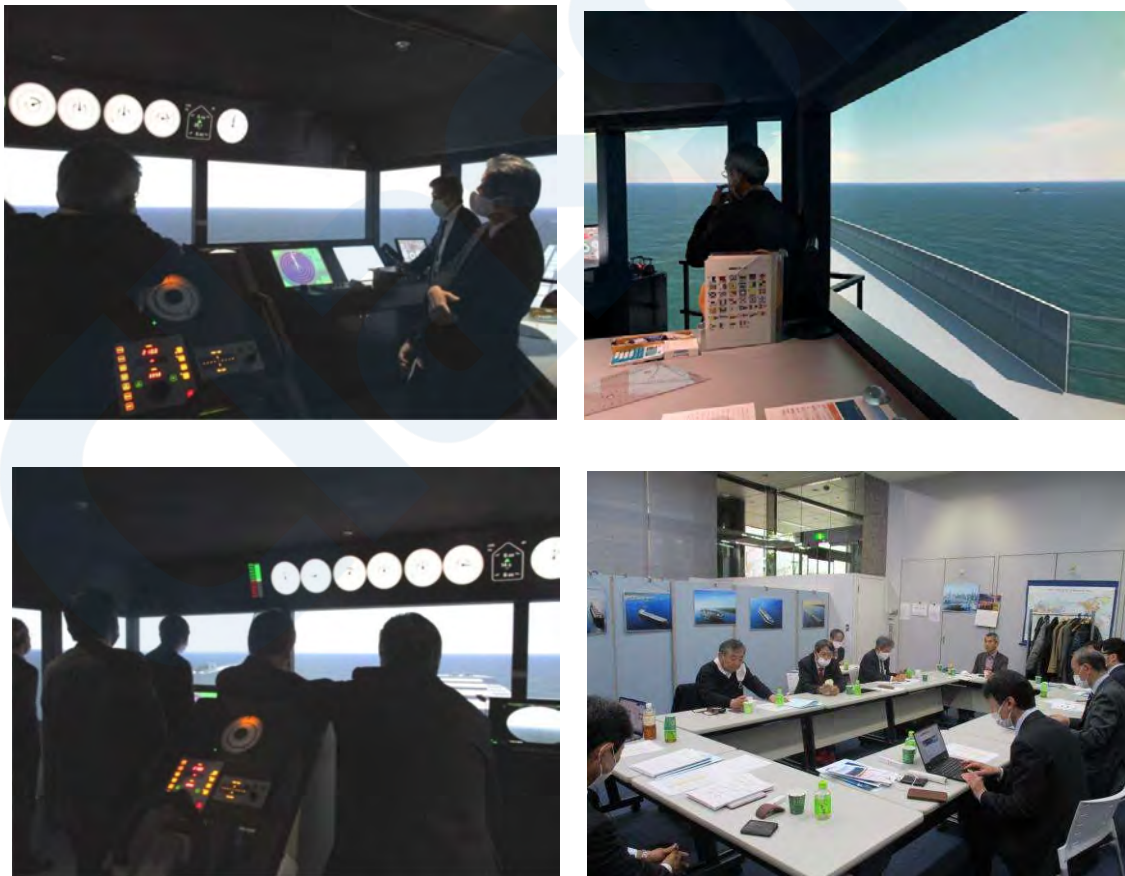


図 3.3 MOL(MOLMEC)に於ける実験風景

3.2 実験日と被験者(海技者)の構成

実験日と被験者（海技者）の構成を以下に記す。

✓ NYK (JMS)

- 1日目：2022年10月31日(月)，船長 8名，航海士 3名
- 2日目：2022年11月01日(火)，船長 7名，航海士 3名
- 3日目：2022年11月28日(月)，船長 10名，航海士 2名
- 4日目：2022年11月29日(火)，船長 6名，航海士 2名

✓ K-Line

- 1日目：2022年11月21日(月)，船長 5名
- 2日目：2022年11月22日(火)，船長 5名

✓ MOL (MOLMEC)

- 1日目：2022年12月13日(火)，船長 7名
- 2日目：2022年12月14日(水)，船長 6名

3.3 海技者が行う評価

3.3.1 定義

評価領域図の再構築には海技者が行った主観評価から抽出したデータを用いて解析を行うこととした。この主観評価は、自動運航船に対する危険意識を「安全」「注意」「危険」と云う3段階で表現し記録することとし、これは評価領域図にて定義された表3.1に示す。3つのカテゴリに準じることとした。実験では自動運航船に対する危険意識が「安全」→「注意」、 「注意」→「危険」のように遷移したタイミングを記録し、その時点での自動運航船との相対距離や方位変化率を作図のための解析に用いた。なお、実験シナリオはいずれも一定距離離れた位置にいた2船が接近する想定のものであるため、原則として遷移の方向は「安全」→「注意」→「危険」の一方向となる。

表 3.1 主観評価における各段階の定義

カテゴリ	定義
安全	許容できる状況
注意	自船が避航を開始する，或いは他船に避航を期待する状況
危険	許容できない状況。衝突の危険が迫っており，大舵角等を用いて，即座に自船が避航する。あるいは他船が避航すべき状況

3.3.2 主観評価の集計方法

実験を円滑に行うため、新たに開発した Web アプリケーションを用いて主観評価のデータ収集を行った。当 Web アプリケーションは、Web ブラウザから実行することが可能で、主観評価が遷移するタイミングでボタンを押下する。ボタンを押下すると自動的に、時刻、人物名・階級(海技職位)、及び判定内容が記録される。Web アプリケーションの画面は図 3.4、出力ファイルの例は図 3.5 に示す通りである。



図 3.4 Web アプリケーションの画面例

	A	B	C	D	E	F
1	受信時間	記号	階級	氏名	状態	
2	170433	1	船長	有山	注意	
3	170440	1	船長	有山	危険	
4	170445	1	船長	有山	キャンセル	
5	170452	1	船長	有山	キャンセル	
6	170533				実験開始	
7	170534				終了	
8						

図 3.5 Web アプリケーションの出力例

3.4 実験シナリオ

3.4.1 実験シナリオの要件

評価領域図策定を目的とした実験シナリオを作成するにあたり、考慮した事項は下記の通り。

- ✓ 「自動運航船」は日本で実用化の対象となっている内航船を想定し、全長（LOA）100m程度の船舶
（一部 LOA：333mの VLCC でも実施）

- ✓ 「自動運航船」と遭遇する「被験者船」は各社 2 種類以上の船型の組み合わせ
 (「被験者船」の LOA に幅を持たせることにより, 成果として得られる評価領域図の適応
 範囲を船型によらない普遍的なものとするため)
 3 社で用意した「被験者船」は LOA : 145m~400m の 6 船型
- ✓ 実験シナリオは横切り, 反航, 同航 (追越し) のいずれかの見合い関係に分類
- ✓ 従来の評価領域図上でそれぞれ安全領域・注意領域・危険領域にプロットされることを想定
 した方位変化率となる位置関係を再現
- ✓ 横切りの見合い関係シナリオでは相対交差角を 30 度, 90 度, 120 度とし, それぞれ船尾
 航過・船首航過と云う違いをつけた合計 18 通りのシナリオを作成
 反航, 同航 (追越し) のシナリオを加えると 27 シナリオを用意
- ✓ 各実験シナリオに目安となる方位変化率を設定し, ある相対距離においてその方位変化率を
 満たす位置関係を再現する (例: 相対距離 1.5NM 地点で方位変化率 5.0deg/min)

上記の要件を満たすためには指定した相対距離において特定の方位変化率を再現し, かつ
 2 船間の交差角度や船首航過・船尾航過の位置関係も考慮したシナリオを作成する必要がある。
 しかしながらこう云った要望を基にシナリオ作りを手作業で生成するのは容易ではなく,
 精度的にも問題があるため, 本実験のために専用のソフトウェアを開発し, 評価対象となる
 自動運航船の開始位置, 及び両船の速度を自動的に算出することとした。

また, 基本的に実験参加各社 2 組ずつの組み合わせでシナリオを作成したが, NYK (JMS)
 実施の試験ではより方位変化率が小さく, 評価領域図の危険領域にプロットされるシナリオ
 の必要性が生じたため, 後日シナリオを追加して実施した。更に, 自動運航船の船型・LOA
 の違いによる評価領域図への影響を確認するため, 自動運航船を大型船 (VLCC, LOA:333m)
 とした場合の組み合わせも作成し, こちらも NYK (JMS) のみで実施した。

各社使用船の組み合わせを表 3.2~表 3.4, 作成したシナリオの概要を表 3.5~表 3.13 に
 示す。以降の記述では船型の組み合わせを簡易的に表すため, NYK (JMS) 実施シナリオを
 NYK-A, B, 後日追加したシナリオを NYK-A', B', 自動運航船を大型船としたシナリオ
 を NYK-C とする。同様に K-Line にて実施したシナリオを KL-A, B, MOL にて実施したシ
 ナリオを MOL-A, B とする。

表 3.2 使用船の組み合わせ (NYK/JMS)







	被験者が乗船する船舶 (被験者船)	自動運航船
NYK-A NYK-A'	 <p>VLCC 300, 000 DWT LOA: 333.00m</p>	 <p>Cargo 7, 000 DWT LOA: 107.36m</p>
NYK-B NYK-B'	 <p>Container 1, 000 TEU LOA: 147.87m</p>	 <p>Cargo 7, 000 DWT LOA: 107.36m</p>
NYK-C	 <p>Container 1, 000 TEU LOA: 147.87m</p>	 <p>VLCC 300, 000 DWT LOA: 333.00m</p>

表 3.3 使用船の組み合わせ (K-Line)

	被験者が乗船する船舶 (被験者船)	自動運航船
KL-A	 <p>LNG 147, 000m³ LOA: 289.50m</p>	 <p>Tanker 5, 000 DWT LOA: 104.52m</p>
KL-B	 <p>PCC 7, 000 unit LOA: 199.96m</p>	 <p>Tanker 5, 000 DWT LOA: 104.52m</p>

表 3.4 使用船の組み合わせ (MOL/MOLMEC)

	被験者が乗船する船舶 (被験者船)	自動運航船
MOL-A	 <p>Bulk carrier 58, 100 GT(91, 573 DWT) LOA: 234.90 m</p>	 <p>Cargo 749 GT(2, 219 DWT) LOA: 81.50 m</p>
MOL-B	 <p>Container 210, 678 GT(196, 878 DWT) LOA: 400.00 m</p>	 <p>Cargo 749 GT(2, 219 DWT) LOA: 81.50 m</p>

表 3.5 NYK (JMS) 実験シナリオ (横切り)

シナリオ	見合い関係	航過位置	交差角度	想定危険度	方位変化率の目安[deg/min]				
					@1.5NM			@1.0NM	
					NYK-A	NYK-B	NYK-C	NYK-A'	NYK-B'
1	横切り	船尾	90	安全	5.00	6.00	6.00	—	—
2				注意	2.00	2.50	2.50	—	—
3				危険	0.80	1.10	1.10	0.80	0.80
4			30	安全	0.60	7.00	7.00	—	—
5				注意	3.10	3.70	3.70	—	—
6				危険	1.40	1.70	1.70	1.00	1.00
7			120	安全	8.10	9.00	9.00	—	—
8				注意	4.10	4.70	4.70	—	—
9				危険	1.80	2.10	2.10	1.20	1.20
10		船首	90	安全	5.00	6.00	6.00	—	—
11				注意	2.00	2.50	2.50	—	—
12				危険	0.80	1.10	1.10	1.40	1.40
13			30	安全	6.60	7.00	7.00	—	—
14				注意	3.10	3.70	3.70	—	—
15				危険	1.40	1.70	1.70	1.40	1.40
16			120	安全	8.10	9.00	9.00	—	—
17				注意	4.10	4.70	4.70	—	—
18				危険	1.80	2.10	2.10	1.20	1.20

表 3.6 NYK (JMS) 実験シナリオ (反航)

シナリオ	見合い関係	航過位置	想定危険度	最接近距離[NM]				
				NYK-A	NYK-B	NYK-C	NYK-A'	NYK-B'
19	反航	左舷正横	安全	0.60	0.75	0.75	0.10	0.10
20			注意	0.40	0.50	0.50	0.15	0.15
21			危険	0.20	0.35	0.35	—	—
22		右舷正横	安全	0.60	0.75	0.75	0.10	0.10
23			注意	0.40	0.50	0.50	0.15	0.15
24			危険	0.20	0.35	0.35	—	—

表 3.7 NYK (JMS) 実験シナリオ (同航)

シナリオ	見合い関係	航過位置	想定危険度	最接近距離[NM]				
				NYK-A	NYK-B	NYK-C	NYK-A'	NYK-B'
25	同航 (追越し)	左舷正横	安全	0.60	0.75	0.75	0.10	0.10
26			注意	0.40	0.50	0.50	0.15	0.15
27			危険	0.20	0.35	0.35	—	—

表 3.8 K-Line 実験シナリオ（横切り）

シナリオ	見合い関係	航過位置	交差角度	想定危険度	方位変化率の目安[deg/min]	
					@1.5NM	
					KL-A	KL-B
1	横切り	船尾	90	安全	5.20	6.20
2				注意	2.20	2.70
3				危険	0.90	1.20
4			30	安全	7.20	7.50
5				注意	3.20	3.80
6				危険	1.50	1.60
7			120	安全	8.30	9.20
8				注意	4.20	4.80
9				危険	1.90	2.00
10		船首	90	安全	5.20	6.20
11				注意	2.20	2.70
12				危険	0.90	1.20
13			30	安全	7.20	7.50
14				注意	3.20	3.80
15				危険	1.50	1.60
16			120	安全	8.30	9.20
17				注意	4.20	4.80
18				危険	1.90	2.00

表 3.9 K-Line 実験シナリオ（反航）

シナリオ	見合い関係	航過位置	想定危険度	最接近距離[NM]	
				KL-A	KL-B
19	反航	左舷正横	安全	0.65	0.80
20			注意	0.45	0.52
21			危険	0.30	0.38
22		右舷正横	安全	0.65	0.80
23			注意	0.45	0.52
24			危険	0.30	0.38

表 3.10 K-Line 実験シナリオ（同航）

シナリオ	見合い関係	航過位置	想定危険度	最接近距離[NM]	
				KL-A	KL-B
25	同航 (追越し)	左舷正横	安全	0.65	0.80
26			注意	0.45	0.52
27			危険	0.30	0.38

表 3.11 MOL(MOLMEC)実験シナリオ (横切り)

シナリオ	見合い関係	航過位置	交差角度	想定危険度	方位変化率の目安[deg/min]	
					@1.5NM	
					MOL-A	MOL-B
1	横切り	船尾	90	安全	5.50	6.50
2				注意	2.40	3.00
3				危険	1.00	1.30
4			30	安全	7.40	8.00
5				注意	3.50	4.00
6				危険	1.60	1.70
7			120	安全	8.70	10.00
8				注意	4.50	5.00
9				危険	1.80	2.10
10		船首	90	安全	5.50	6.50
11				注意	2.40	3.00
12				危険	1.00	1.30
13			30	安全	7.40	8.00
14				注意	3.50	4.00
15				危険	1.60	1.70
16			120	安全	8.70	10.00
17				注意	4.50	5.00
18				危険	1.80	2.10

表 3.12 MOL(MOLMEC)実験シナリオ (反航)

シナリオ	見合い関係	航過位置	想定危険度	最接近距離[NM]	
				MOL-A	MOL-B
19	反航	左舷正横	安全	0.70	0.85
20			注意	0.48	0.58
21			危険	0.25	0.40
22		右舷正横	安全	0.65	0.85
23			注意	0.48	0.58
24			危険	0.25	0.40

表 3.13 MOL(MOLMEC)実験シナリオ (同航船)

シナリオ	見合い関係	航過位置	想定危険度	最接近距離[NM]	
				MOL-A	MOL-B
25	同航 (追越し)	左舷正横	安全	0.70	0.85
26			注意	0.48	0.58
27			危険	0.25	0.40

3.4.2 シナリオ作成結果

シナリオの作成結果について航跡図（図 3.6 参照）及び相対航跡図（図 3.7 参照）を用いて説明する。青色のプロットが評価対象である自動運航船の航跡であり，赤色のプロットが被験者船の航跡を表している。ここで，相対航跡図については被験者船ではなく自動運航船を中心に置いた相対航跡図であることを留意されたい。

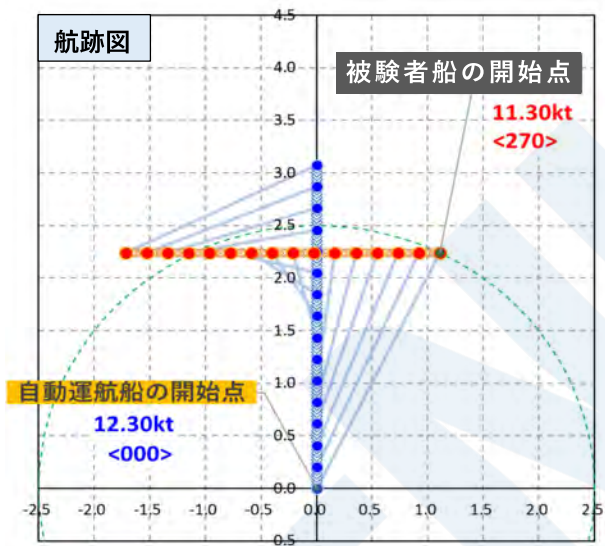


図 3.6 航跡図の例

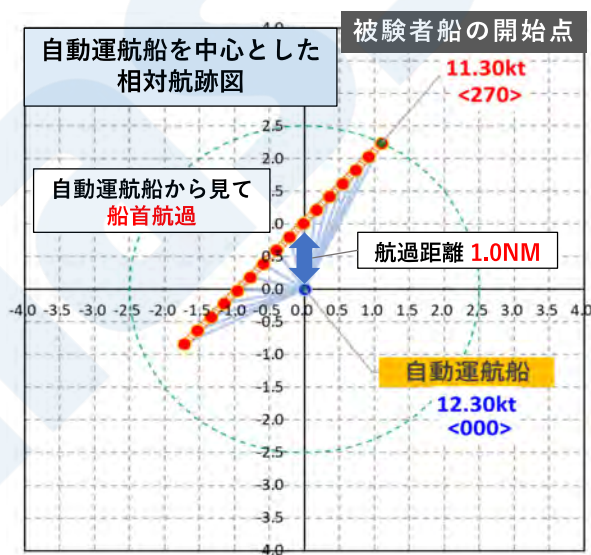


図 3.7 相対航跡図の例

以下、実験シナリオの作成結果を、それぞれ横切り（船首航過・船尾航過）、反航、同航（追い越し）の見合い関係のシナリオを例として図 3.8～図 3.10 に記す。*

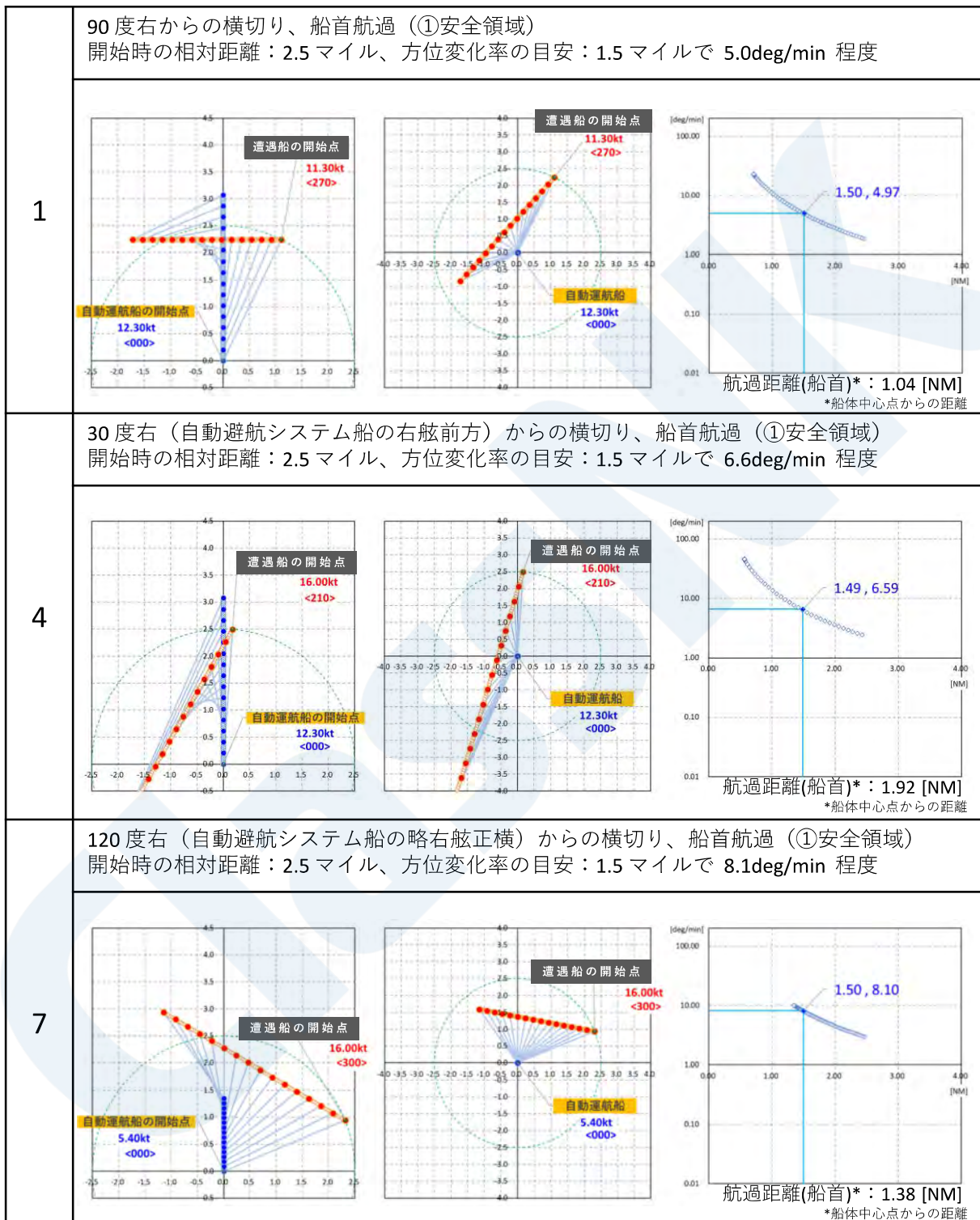


図 3.8 作成したシナリオ その1

* 3 社で使用した全シナリオ作成結果（プロット図）は資料編に掲載

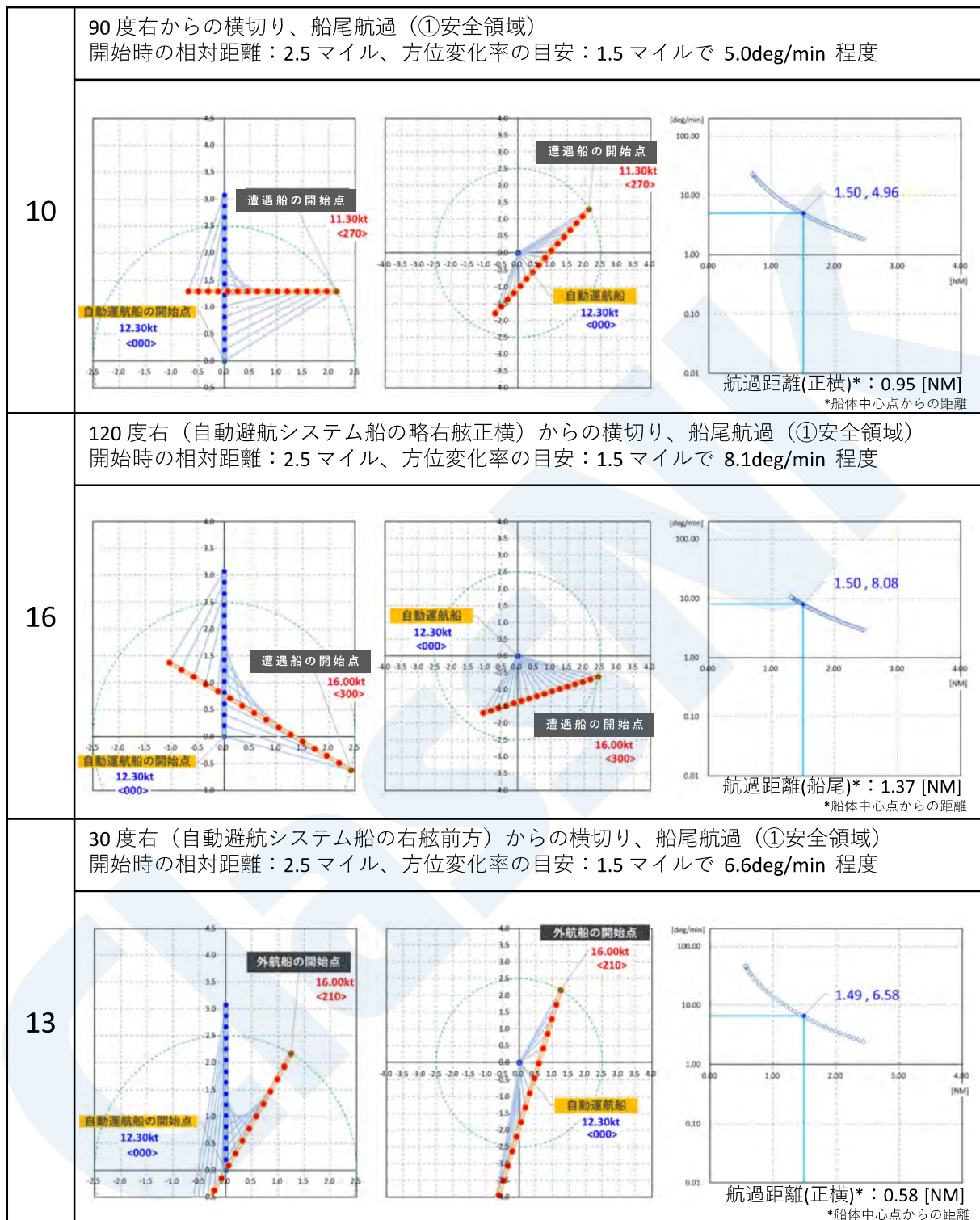


図 3.9 作成したシナリオ その 2

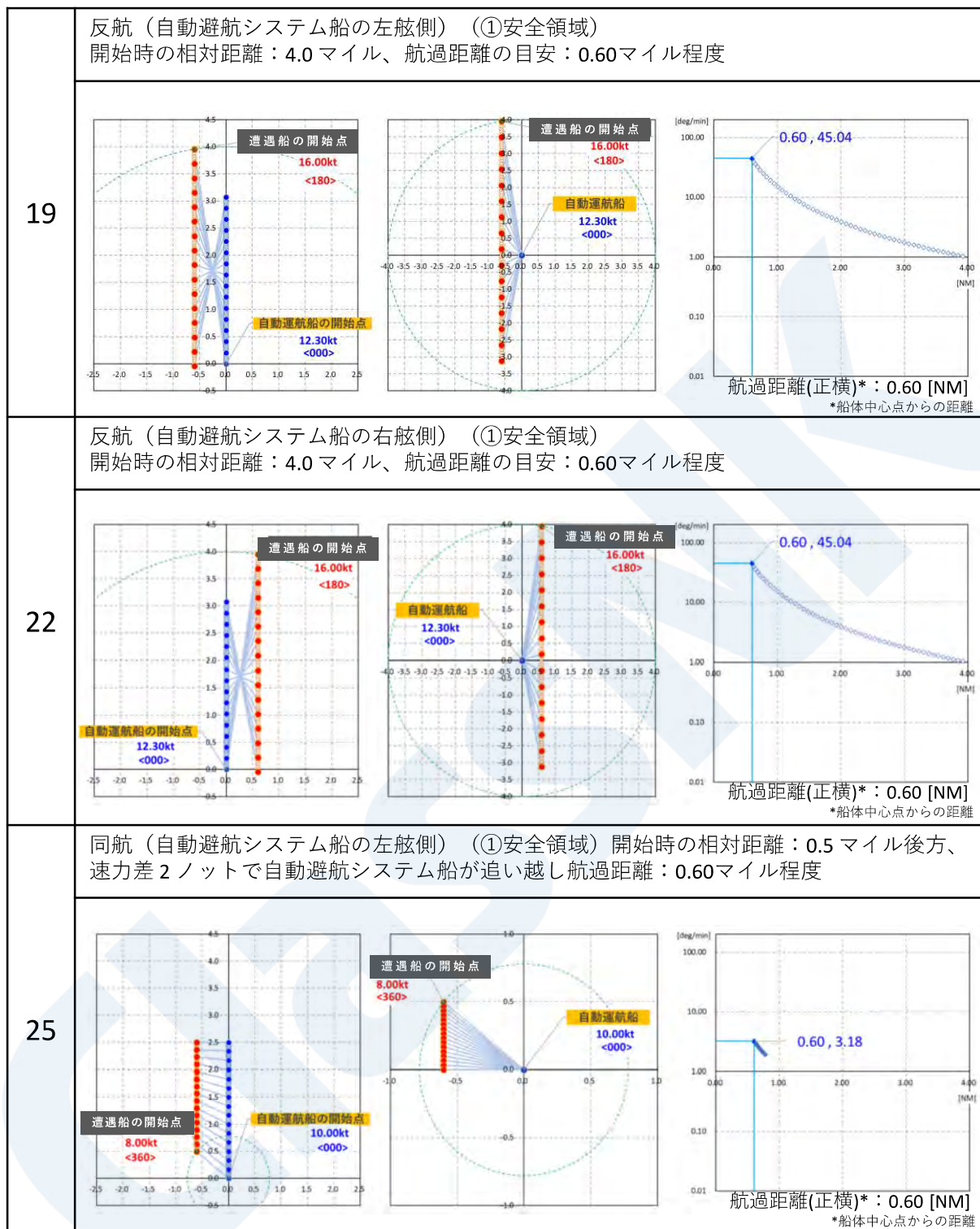


図 3.10 作成したシナリオ その 3

3.5 解析方法

3.5.1 解析対象シナリオの分類

従来の評価領域図は見合い関係の違いにより右からの横切り（船首航過・船尾航過）、左からの横切り（船首航過・船尾航過）、同航の計5つの図から成り立っており、反航船については横切りの見合い関係と同一の図を用いて評価していた。しかしながら、より適切に評価するには反航と横切りの見合いを区別することが望ましいとの判断から分けて作図することとした。

尚、左からの横切りについては、COLREGs（海上衝突予防法）の保持船に関する規定の適用開始時期を考慮して作成することとしており、船首航過・船尾航過の区別は必要無しとの判断から同一の図で評価することとした。また、同左からの横切りに関しては、本実験結果からではなく、「自動避航システム認証に向けたアンケート調査」令和4年3月日本船長協会から策定した。

以上の経緯により、自動運航船から見た被験者船の見合い関係毎に解析グループを分類し、表3.14に示すようにシナリオをグループ分けし解析することとした。

表 3.14 各解析グループの内訳

解析グループ	領域図番号	見合い関係	シナリオ番号	シナリオ数 ^{※2} (延べ実施数)
1	領域図①	右方からの横切り (船首航過)	10 ~ 18	9 Case (58 Case)
2	領域図②	右方からの横切り (船尾航過)	01 ~ 09	9 Case (62 Case)
3	領域図③ ^{※1}	左方からの横切り (船首尾航過)	—	—
4	領域図④	反航 (右舷正横航過)	25 ~ 27	3 Case (20 Case)
5	領域図⑤	反航 (左舷正横航過)	22 ~ 24	3 Case (21 Case)
6	領域図⑥	同航(追越し)	19 ~ 21	3 Case (20 Case)
合計				27 Case (181 Case)

※1 「自動避航システム認証に向けたアンケート調査」令和4年3月 日本船長協会から作成

※2 シナリオの延べ実施数と被験者延べ人数に NYK-C の結果は含まれない

3.5.2 領域境界線の作成方法

前節で述べた解析グループ毎に下記の通りに解析を実施、評価領域図の境界線を作成した。

1. 相対距離ごとの代表点の決定
2. 代表点を相対距離ごとにプロットした散布図を作成
3. 散布図から近似曲線を作成
4. 作成した近似曲線を基に要素点(主観評価の生値)のばらつきをシナリオ毎に評価
5. ばらつき大きいシナリオは再試験し、1~4を繰り返す。なお再試験した場合は実

験データを差し替えず，追加の実験データとして扱う

6. 主観評価が変化した(「安全」→「注意」，「注意」→危険)ときの相対距離を読み取り，代表点を決定した時と同じ累積率となる値を立ち上がり部分の相対距離とする

(1) 相対距離ごとの代表点の決定方法

相対距離ごとの代表点の決定方法について，整理した解析グループⅠを例に述べる。同グループは安全・注意・危険を含め計 30 シナリオあり，これらの被験者が仮に全て 5 人ずつだと仮定する。この場合，ある特定の相対距離における延べデータ数は 30 シナリオ×5 人で 150 データとなる。図 3.11，図 3.12，図 3.13 は 0.6NM における断面データをプロットしたイメージ図である。表 3.14 は相対距離 0.6NM における想定シナリオ群におけるデータ数(図 3.11 に示すシナリオ群ごとの○の数)を表にしたものである。

図 3.12，図 3.13 は横軸が方位変化率であり，0.1[deg/min]刻みで，縦軸左/頻度(データ数):棒グラフ，縦軸右/累積率:折れ線グラフを表すものである。

この図から任意の累積率における方位変化率を読み取る。この点を該当の相対距離における代表点とする。(今回は後述の通り累積率 75%で代表点を定めた。)

なお，累積率計算時の母数は，シナリオ数や被験者の人数ではないという点に注意が必要である。図示した例では，解析グループⅠ(右方からの横切り・船首航過)のうち相対距離 0.6NM 時点での注意判定・危険判定データ数を母数としている。この例では，注意判定の母数は 44 データ，危険判定の母数は 49 データとなる。

● 危険判定 ● 注意判定 ● 安全判定

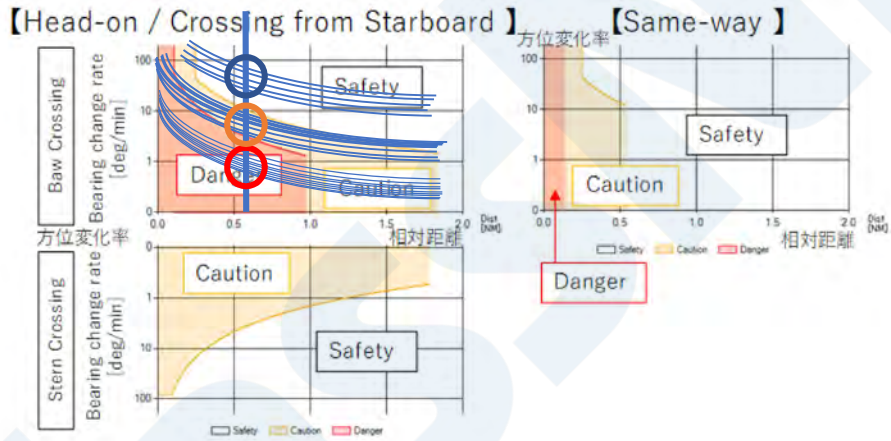
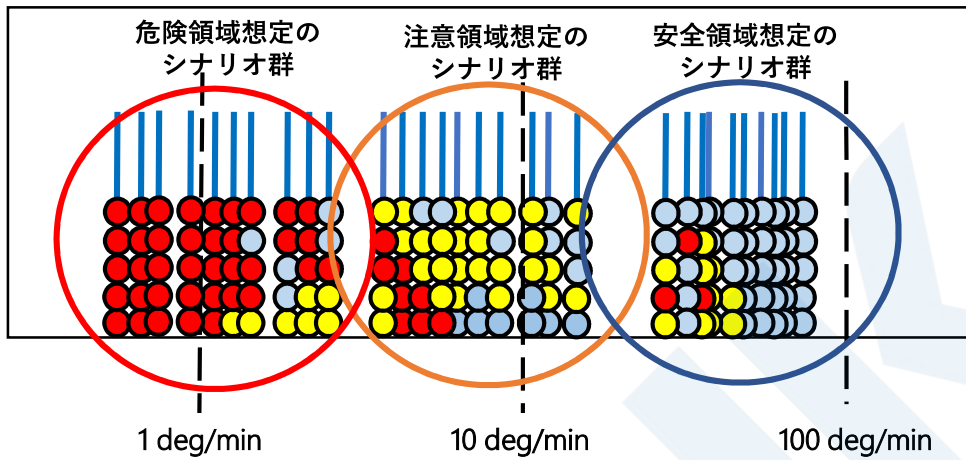


図 3.11 0.6NM における評価プロットデータのイメージ

表 3.15 横切りの見合い関係・相対距離 0.6NM におけるデータ点数の内訳例

シナリオ群 カテゴリ	安全判定	注意判定	危険判定	計
安全領域想定 (図中の大きい青色丸内)	42	5	3	50
注意領域想定 (図中の大きい橙色丸内)	10	32	8	50
危険領域想定 (図中の大きい赤色丸内)	5	7	38	50
計	57	44	49	150

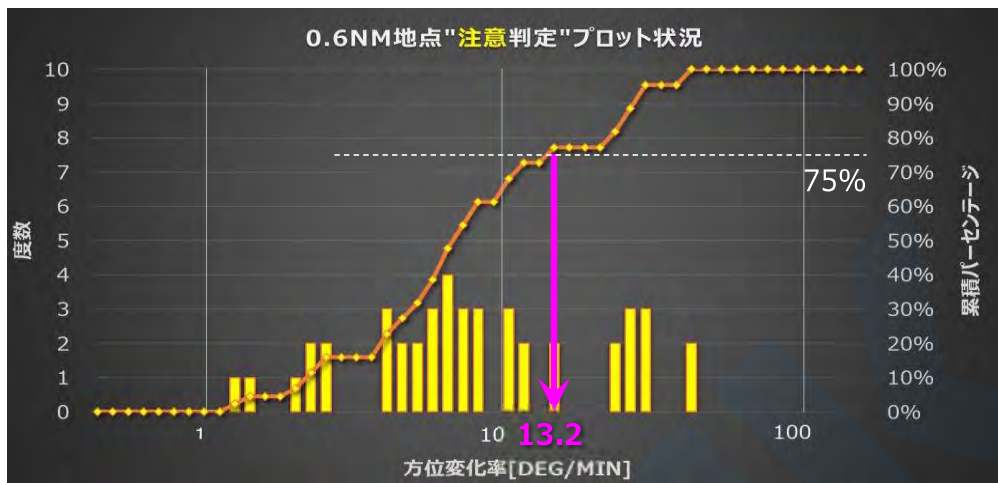


図 3.12 0.6NM 地点における注意判定プロット状況例（データ総数 44）

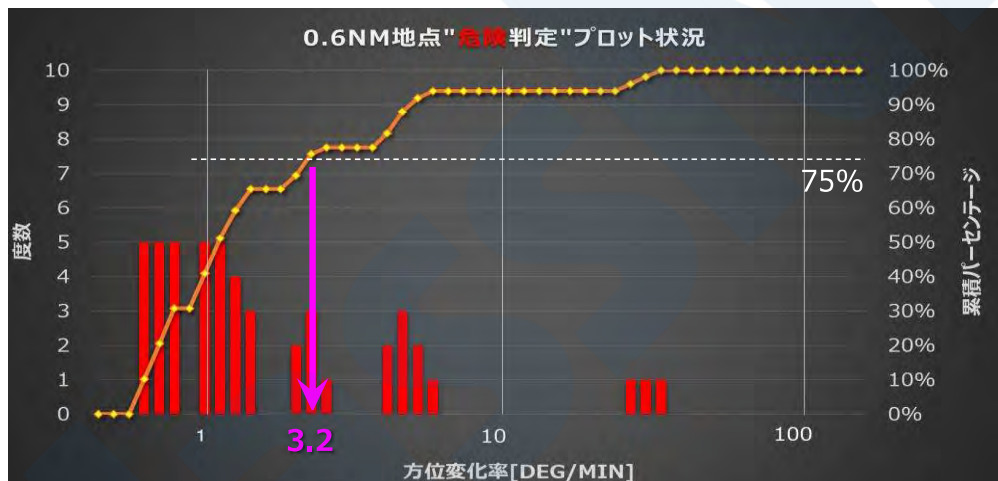


図 3.13 0.6NM 地点における危険判定プロット状況例（データ総数 49）

本実験では、新しい評価領域図を策定するに当たり、代表点及び立ち上がり部決定時の任意の累積率を 75%，つまり第三四分位（3rd quartile）とした^{*}。これはデータのばらつきを考慮した有意なデータの中から、「自動運航船は遭遇する他船に不安を与えない航行をすべき」という考え方を適切に反映する基準値の一つとして第三四分位を採用したものである。以下の章では、各方位変化率に於ける代表値，並びに立ち上がり部算出時に積算率 75%を基準として解析した結果をもとに論じる。

図 3.12 及び図 3.13 では累積率 75%を用いた代表点の決定を例示している。注意領域は 13.2 [deg / min]，危険領域では 3.2 [deg / min]で累積率 75%を初めて超えるため，0.6 マイル地点における代表点はそれぞれ 13.2 [deg / min]，3.2 [deg / min]となる。

^{*} 累積率を変化させた結果は資料編に掲載

(2) 近似曲線の作成方法

次に散布図から近似曲線を作成する方法について述べる。反航シナリオの解析については、一般的な2次多項式近似曲線(以下の(1)式)をベースとした。一方、横切り・同航シナリオの解析において、近似曲線は従来の評価領域図の境界線の表現でも用いられていた対数近似曲線(2)式をベースとした。これらの関数をもとに係数(C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , C_5)を導出することとした。

$$\bar{Y}_i = C_1 \times X_i^2 + C_2 \times X_i + C_3 \quad (1)$$

$$\bar{Y}_i = C_4 \times 10^5 \times X_i^{C_5} \quad (2)$$

X_i	: 相対距離[m]
\bar{Y}_i	: 近似曲線(領域図の境界)[deg/min]
C_1, C_2, C_3, C_4, C_5	: 係数

係数の導出方法について、反航の見合い関係に対する(1)式については一般的な指標である最小二乗法を用いて係数の導出を行った。

一方、横切り・同航の見合い関係に対する(2)式では、縦軸が方位変化率であるため、相対距離が小さいほど方位変化率が指数関数的に大きくなることを加味する必要がある。また、2船が接近する過程で避航操船を行うタイミングや変針量を検討するには、相対距離が近い範囲よりも遠い範囲の方がより重要と云う事情も考量する必要がある。以上の理由から、相対距離 0.5NM 以上の代表点のみを利用し、標準偏差が最小となる係数(C_4 , C_5)を求める最小二乗法による近似式導出を行った[※]。

[※] 近似曲線設計方法の詳細は資料編に掲載

(3) 立ち上がり部の作成方法

被験者の75%が「注意」あるいは「危険」と感じ始める2船間の相対距離を評価領域図における立ち上がり部と定義する。同立ち上がり部の作成方法についても、解析グループ1を例に説明する。主観評価が変化した(「安全」→「注意」, 「注意」→「危険」)ときの相対距離を読み取り、図3.14のように「注意」と「危険」でそれぞれ相対距離が小さい順にプロット点を並べ替える。解析グループ内において「注意」と「危険」のそれぞれで累積率を算定し、任意(今回の場合は第三四分位:75%)の累積率における相対距離を読み取り、立ち上がり部の値とする。

図3.14の例では、「注意領域」の立ち上がり距離は2.3マイル、「危険領域」の立ち上がりは1.3マイルである。

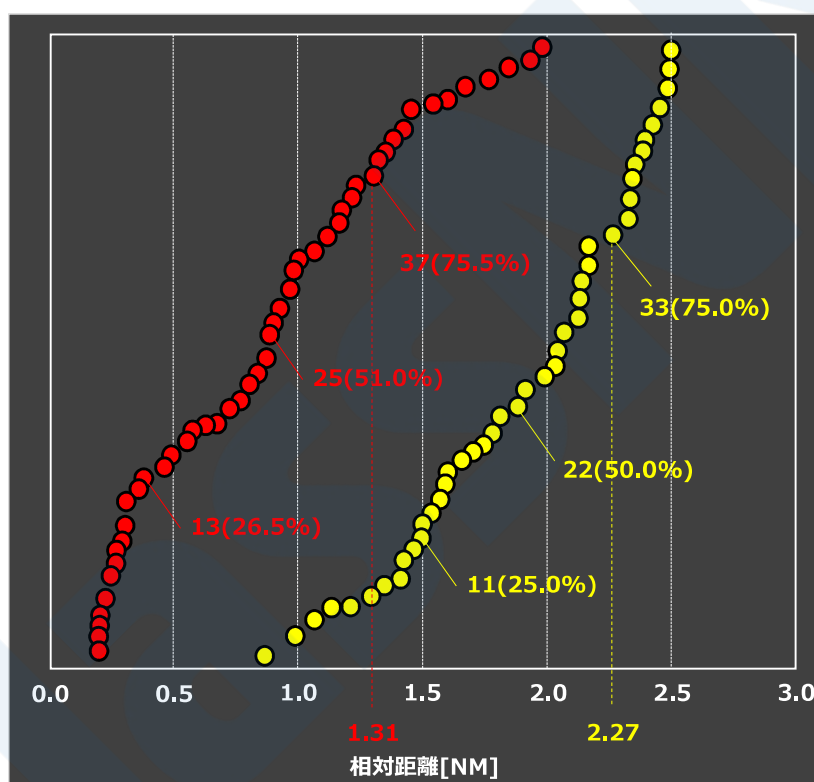


図 3.14 立ち上がり部の累積率の例

4 実験結果と解析

4.1 2 船間の相対距離と主観評価の関係

本節では実験で取得した主観評価結果のうち、例として船首航過の横切りシナリオの結果を抜粋し、図 4.2～図 4.7 に示す*。なお、本節の図を参照する際に留意すべき点は下記の通り。(図 4.1 参照)

- ✓ 縦軸はシナリオ番号・横軸は 2 船間の相対距離を表している。
- ✓ グラフ上の点は参加した各被験者の評価タイミングを表現している。
- ✓ 黄点は「安全」から「注意」に切替わった時点、赤点は「注意」から「危険」に切替わった時点の 2 船間の相対距離を表している。
- ✓ 参加人数が多いシナリオは線の密度が高く、人数が少ないと密度が低くなる。

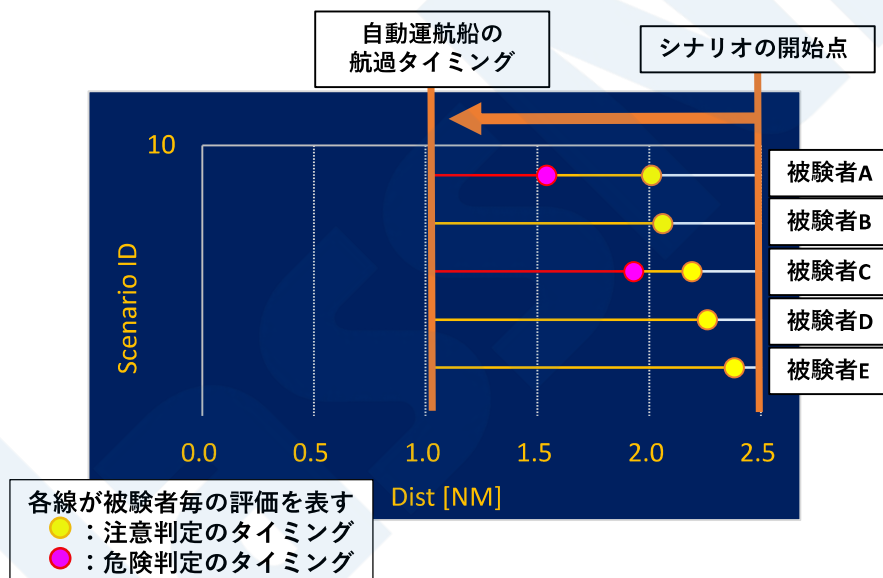


図 4.1 実験結果表の例

* 全実験結果は資料編に掲載

(1) NYK-A

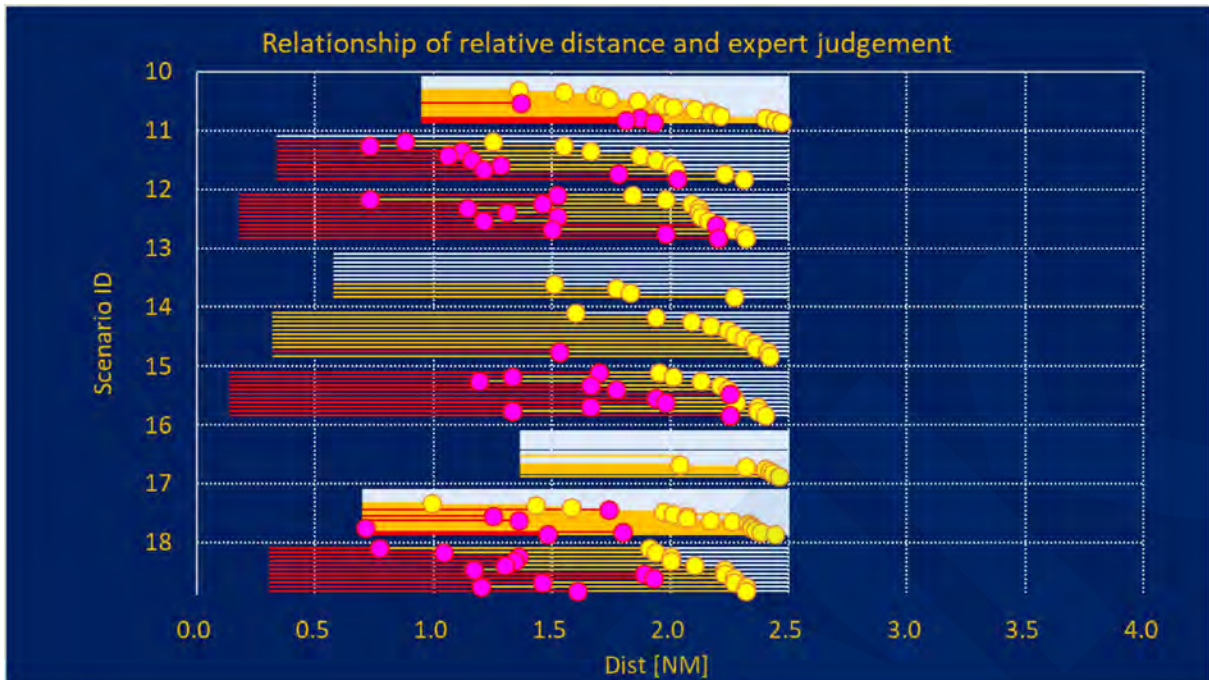


図 4.2 船型組み合わせ NYK-A における横切り(船首航過)シナリオの結果

(2) NYK-B

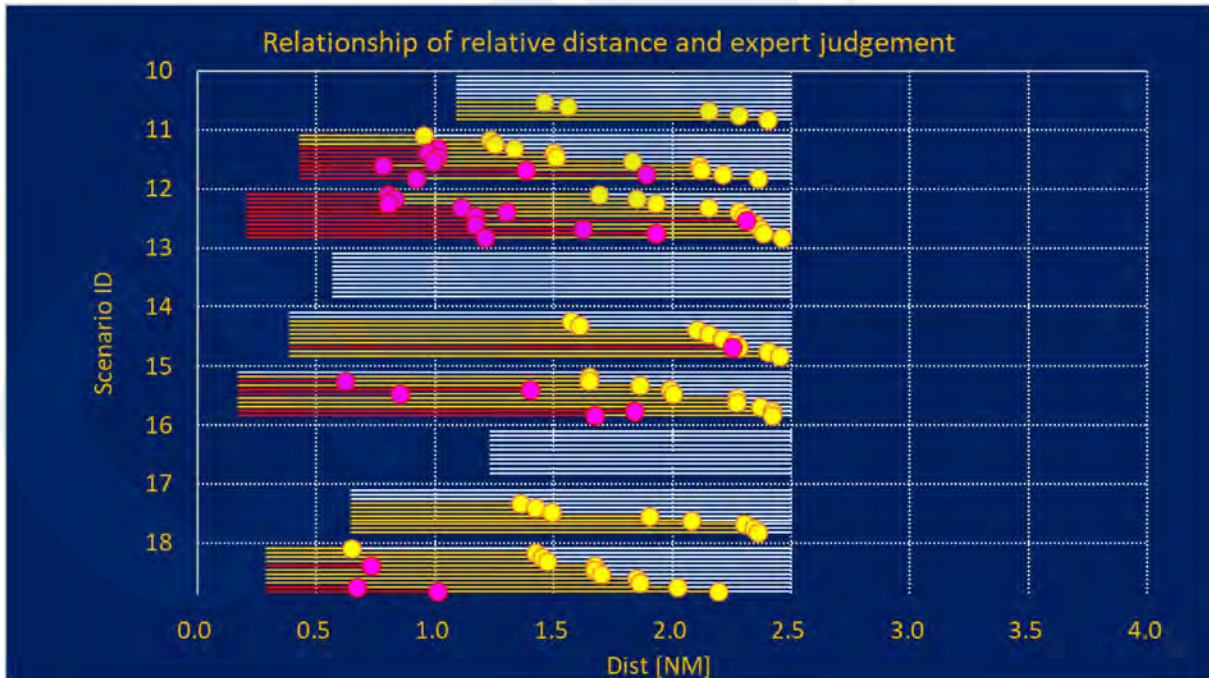


図 4.3 船型組み合わせ NYK-B における横切り(船首航過)シナリオの結果

(3) KL-A

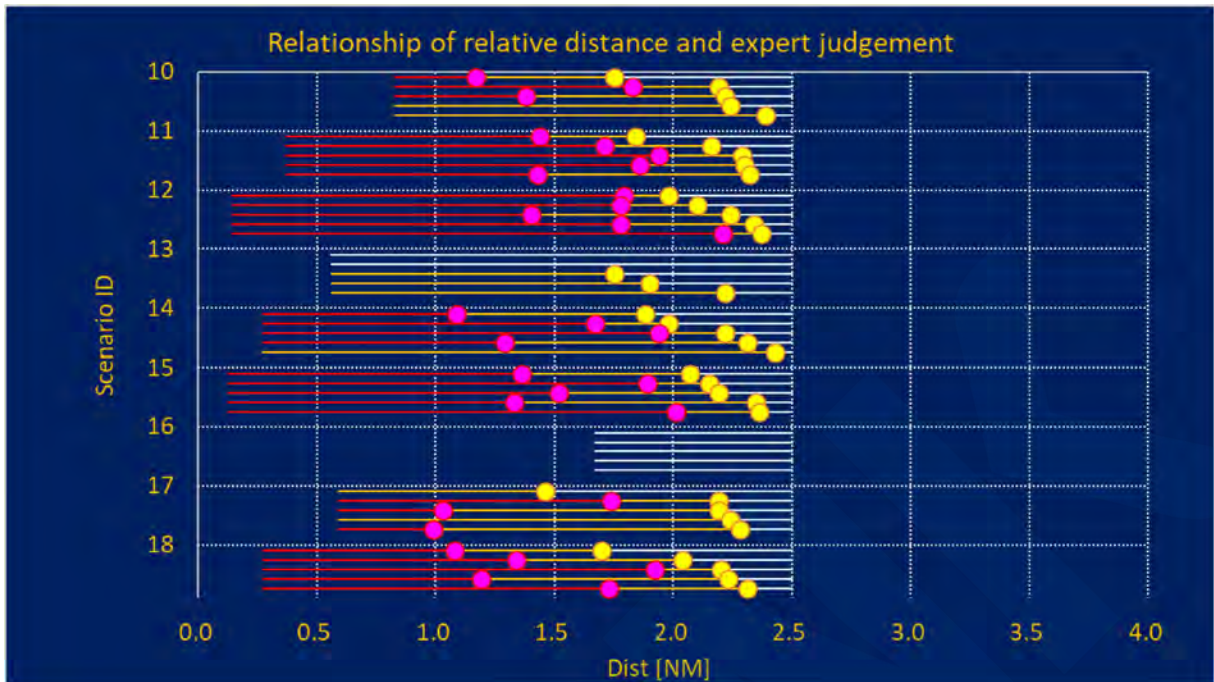


図 4.4 船型組み合わせ KL-A における横切り(船首航過)シナリオの結果

(4) KL-B

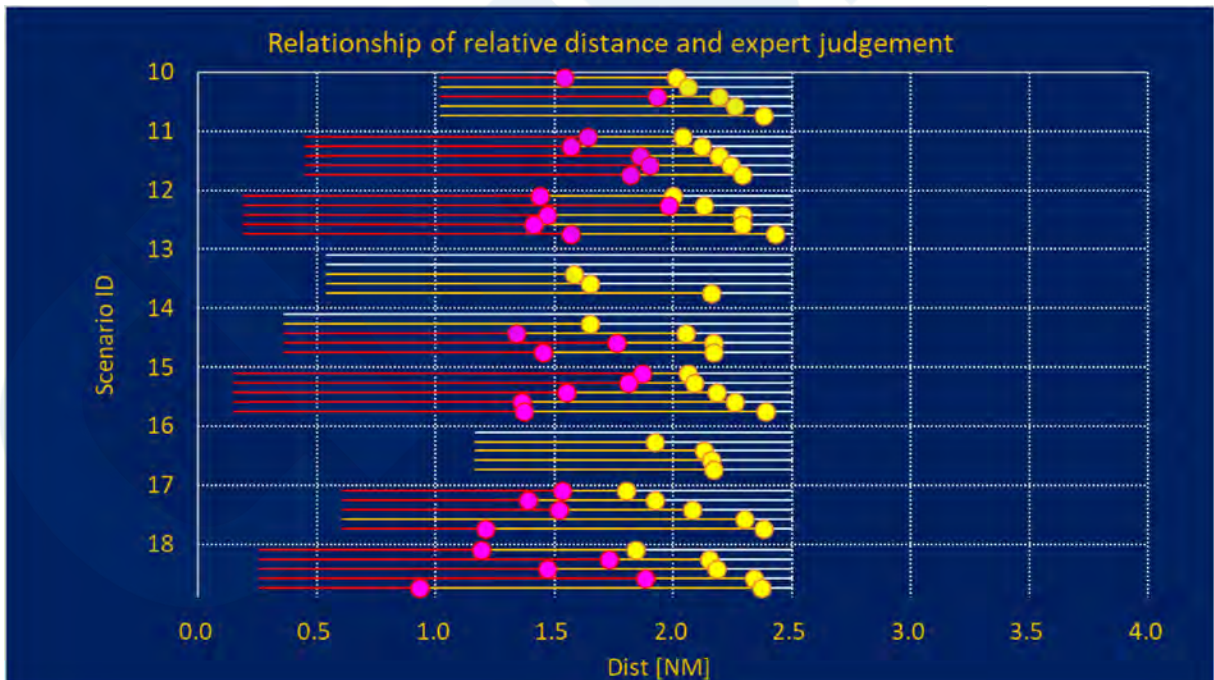


図 4.5 船型組み合わせ KL-B における横切り(船首航過)シナリオの結果

(5) MOL-A

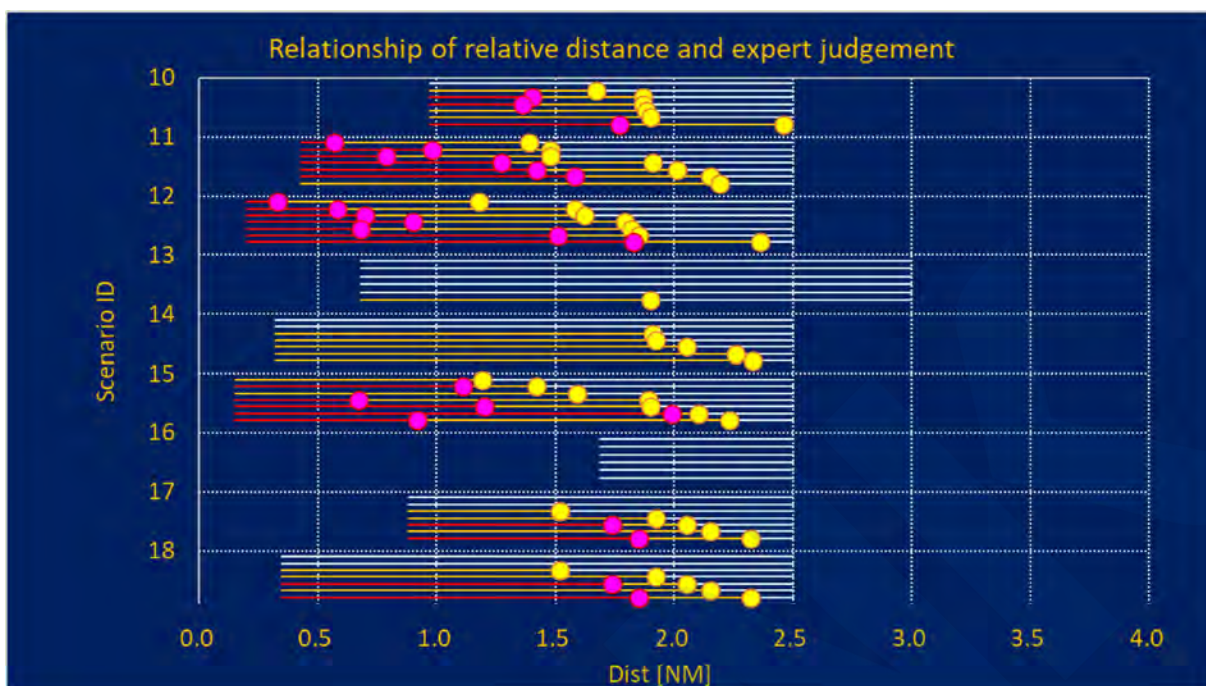


図 4.6 船型組み合わせ MOL-A における横切り(船首航過)シナリオの結果

(6) MOL-B

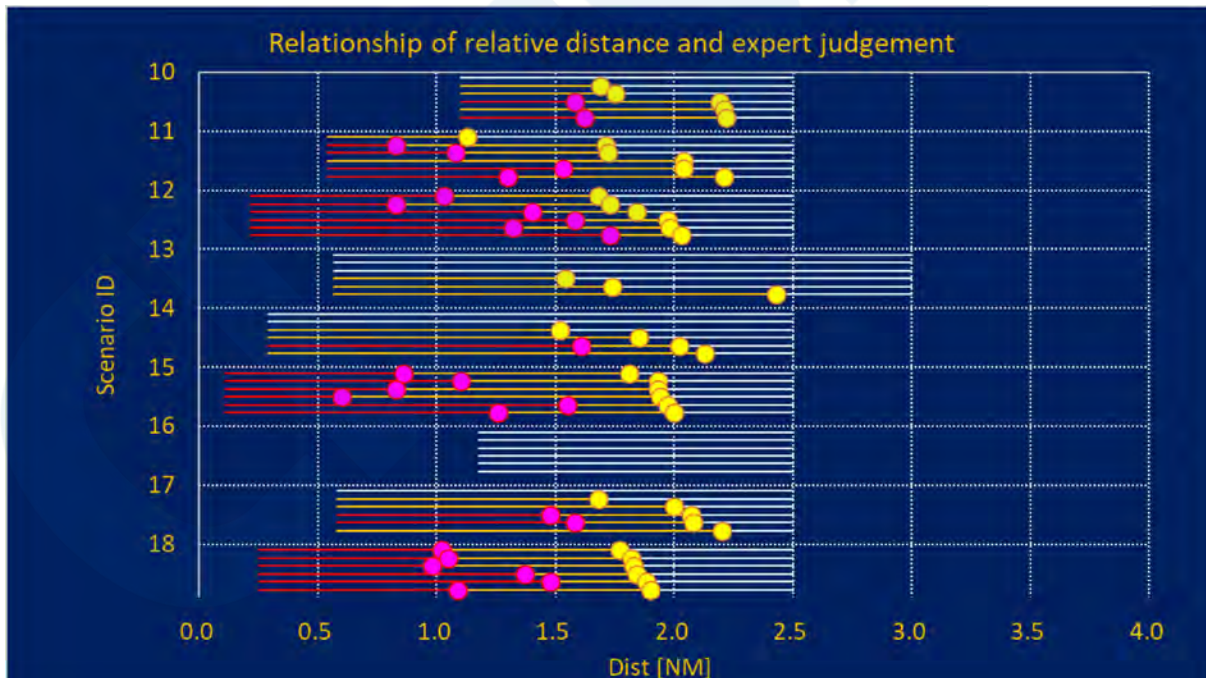


図 4.7 船型組み合わせ MOL-B における横切り(船首航過)シナリオの結果

4.2 解析結果から作成した評価領域図

3.5.2 節にて述べた手法に従い算出した各評価領域図の立ち上がり部の相対距離を表 4.1 に示す。近似式作成のために使用した代表点を各評価領域図上にプロットした図を図 4.8～図 4.12 に示す※。

従来の評価領域図からの主な変更点は下記の通りである。

- ✓ 全体的な注意領域・危険領域の範囲拡大
- ✓ 反航の見合い関係に対する評価領域図の新規追加
 - ・右舷航過・左舷航過の 2 種類の図を追加
 - ・縦軸を正横航過距離として作成
- ✓ 右方からの横切り船（船尾航過）に対する評価領域図に危険領域を追加
- ✓ 左方からの横切り船に対する評価領域図を船首航過・船尾航過で統一

なお、反航の見合い関係についての評価領域図では、横軸を相対距離、縦軸を最接近距離（航過時の正横距離）として作成した。

表 4.1 各領域図と立ち上がり部の相対距離

領域図番号	該当シナリオ番号	累積率 75%における相対距離 [NM]※ ¹	
		注意	危険
領域図① -右方からの横切り(船首航過)-	10～18	2.3	1.7
領域図② -右方からの横切り(船尾航過)-	01～09	2.2	1.5
領域図③ -左方からの横切り(航過)-	—	7.3※ ²	—
領域図④ -同航(左舷正横航過：追越し)-	25～27	0.7	0.5
領域図⑤ -反航(右舷正横航過)-	22～24	3.7	2.8
領域図⑥ -反航(左舷正横航過)-	19～21	3.7	2.8

※¹ NYK-C は自動運航船の船型が内航船想定ではないため計算には含めない

※² 「自動避航システム認証に向けたアンケート調査」令和 4 年 3 月 日本船長協会から引用

※ 近似曲線作成の詳細は資料編に掲載

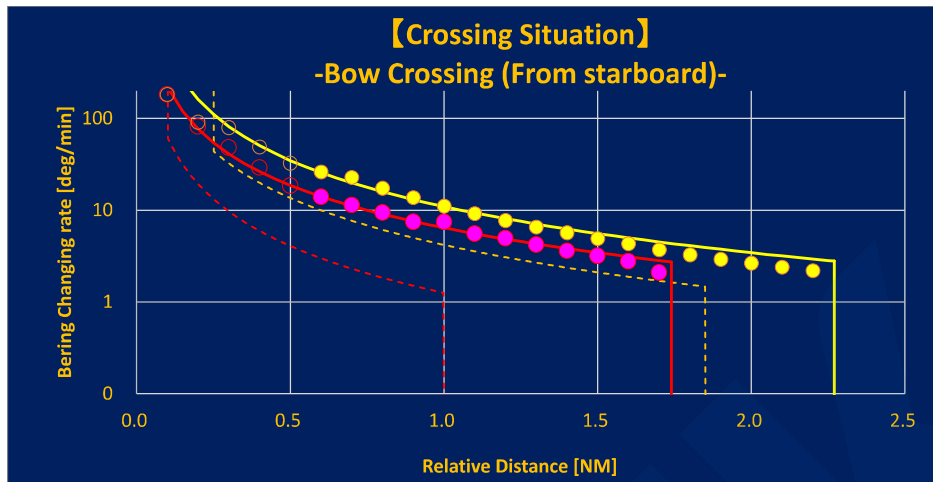


図 4.8 右方からの横切りの見合い関係に対する評価領域図, 代表点プロット図 (船首航過)

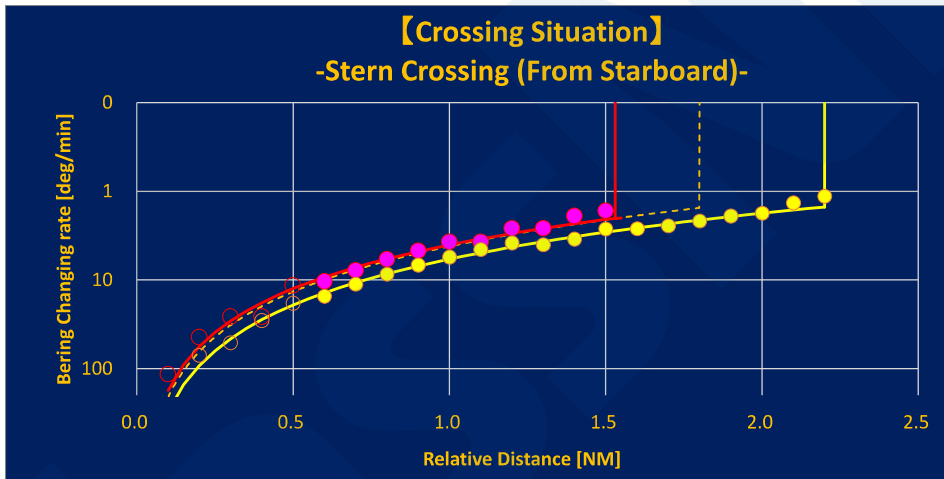


図 4.9 右方からの横切りの見合い関係に対する評価領域図, 代表点プロット図 (船尾航過)

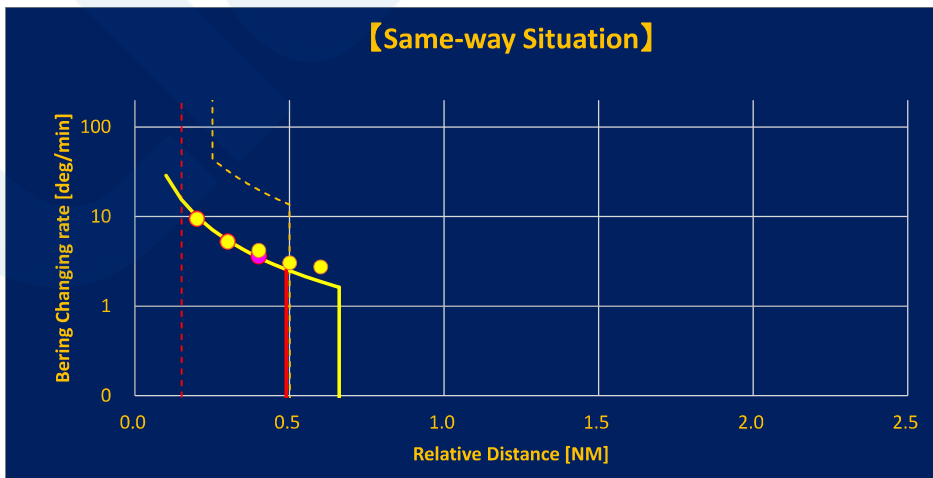


図 4.10 同航の見合い関係に対する評価領域図, 代表点プロット図

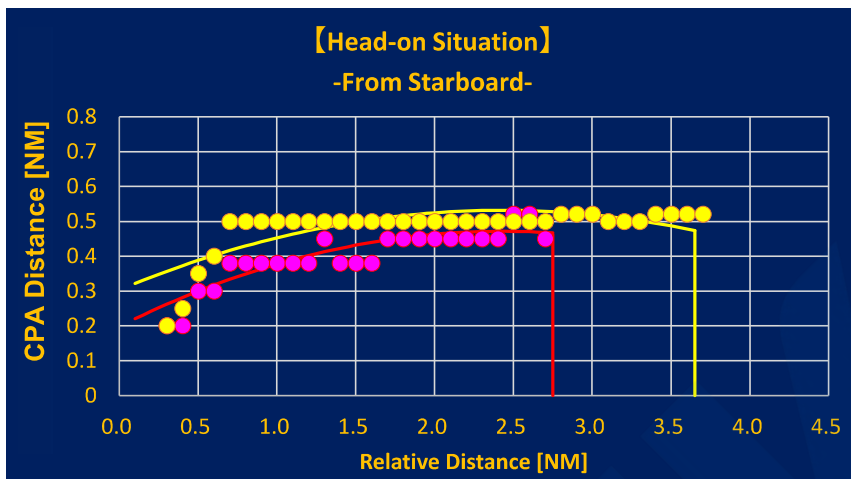


図 4.11 反航の見合い関係に対する評価領域図, 代表点プロット図 (右舷航過)

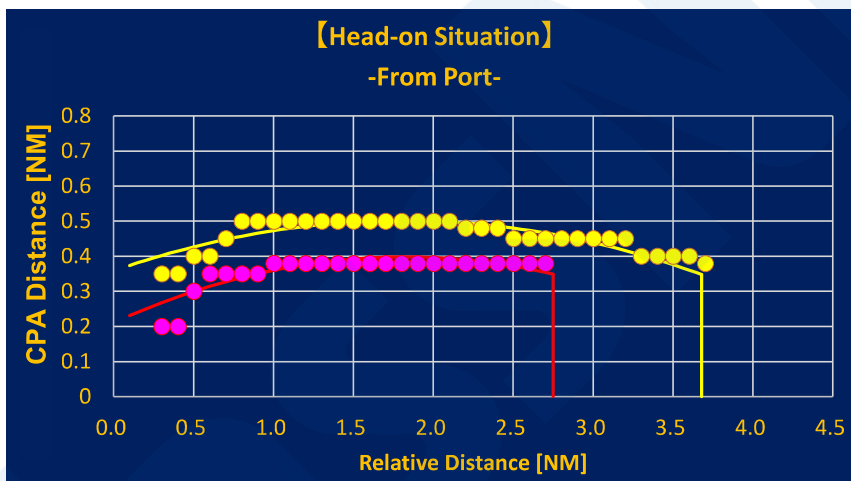


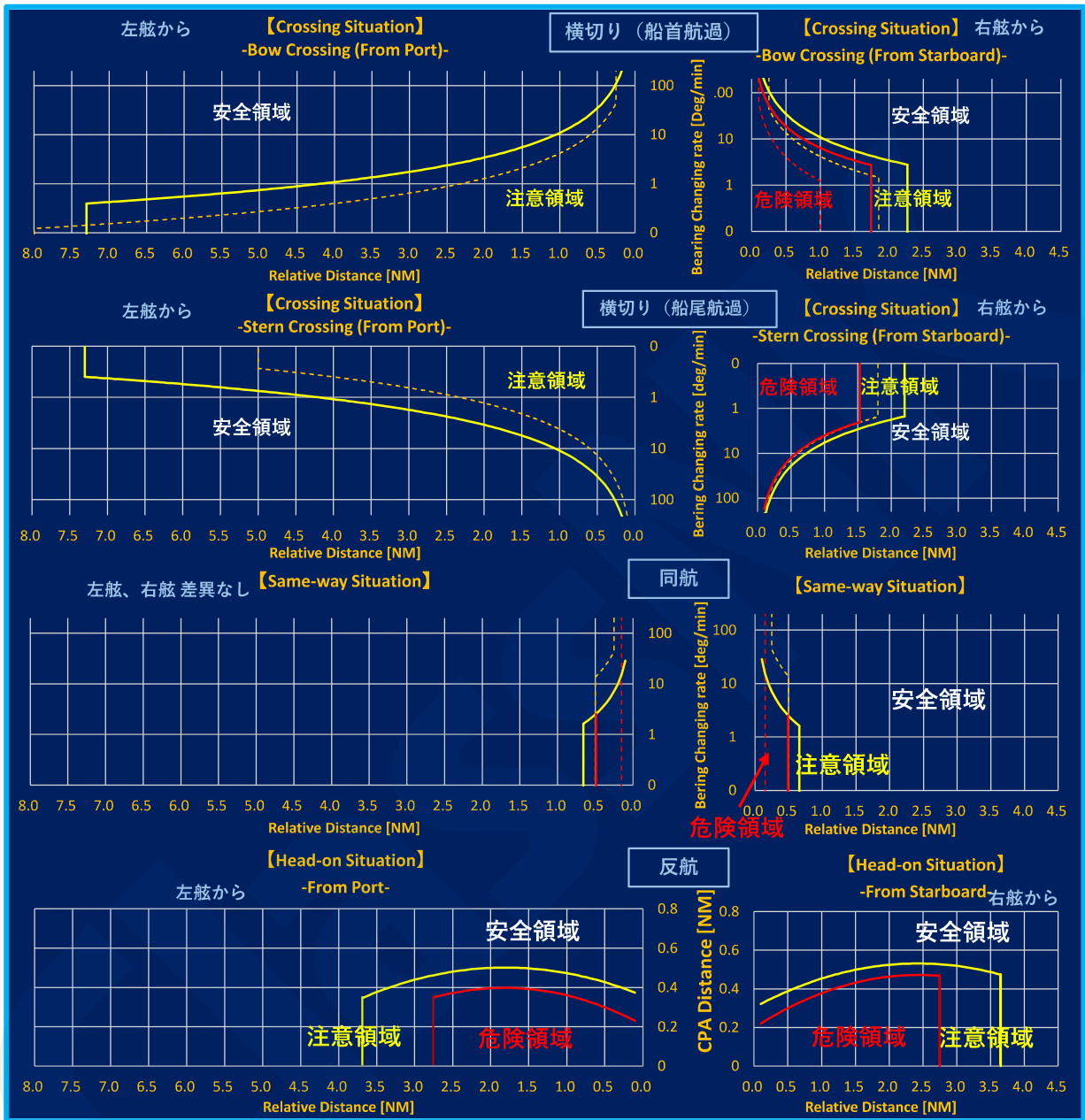
図 4.12 反航の見合い関係に対する評価領域図, 代表点プロット図 (左舷航過)

4.3 新評価領域図

検証実験 (延べ被験者数: 1,399 名, 実験シナリオ数: 181 ケース) の結果から再構築した新しい評価領域図を図 4.13 に示す。各図, 実線が新たな評価領域図, 点線が従来の評価領域図を表している。また, 各評価領域図の評価式 (領域の境界線を表す近似式) を表 4.2 に示す。

横切り, 同航の遭遇関係においては, 「相対距離」「方位変化率」から「安全領域」「注意領域」「危険領域」を表示するものである。また反航の遭遇関係においては「相対距離」「正横航過距離」から「安全領域」「注意領域」「危険領域」を表示している。自動避航システムで航行する船舶が「安全領域」を航行する限り, 「遭遇する他の船舶に不安を与えない」と判断できる評価領域図である。

従来の評価領域図と比較すると, 「注意領域」, 「危険領域」ともに広がりが見られる。



領域図内の点線は P4 文献 1 に記載されている従来の領域境界

図 4.13 新たに作成した評価領域図

表 4.2 新たに作成した評価領域図の境界線

Encounter situation	Evaluation boundary formula	Evaluation
Crossing from Starboard	$\theta \leq 6.90 \times 10^5 \times (1852 \times R)^{-1.54}$	R < 1.7 [NM] Danger
	$\theta \leq 31.30 \times 10^5 \times (1852 \times R)^{-1.67}$	R < 2.3 [NM] Caution
	Range excluding danger area and caution area	Safety
Stern Crossing	$\theta \leq 9.20 \times 10^5 \times (1852 \times R)^{-1.64}$	R < 1.5 [NM] Danger
	$\theta \leq 24.30 \times 10^5 \times (1852 \times R)^{-1.72}$	R < 2.2 [NM] Caution
	Range excluding caution area	Safety
Crossing from Port	—	— Danger
	$\theta \leq 92.70 \times 10^5 \times (1852 \times R)^{-1.82}$	R < 7.3 [NM] Caution
	Range excluding danger area and caution area	Safety
Same-way	$\theta \leq 0.8 \times 10^5 \times (1852 \times R)^{-1.52}$	R < 0.5 [NM] Danger
	$\theta \leq 0.8 \times 10^5 \times (1852 \times R)^{-1.52}$	R < 0.7 [NM] Caution
	Range excluding caution area	Safety
Head-on	$D \leq -0.0463 \times R^2 + 0.2249 \times R + 0.1984$	R < 2.8 [NM] Danger
	$D \leq -0.0387 \times R^2 + 0.1878 \times R + 0.3035$	R < 3.7 [NM] Caution
	Range excluding danger area and caution area	Safety
From Port	$D \leq -0.0566 \times R^2 + 0.2060 \times R + 0.2106$	R < 2.8 [NM] Danger
	$D \leq -0.0437 \times R^2 + 0.1580 \times R + 0.3585$	R < 3.7 [NM] Caution
	Range excluding caution area	Safety
θ : Rate of change in bearing [deg./min] D: CPA Distance [NM: Nautical Mile] R: Relative distance [NM]		
Danger	: Unacceptable area	
Caution	: The area where own ship commence to avoid or expect another ship to avoid	
Safety	: Acceptable area	

5 自動避航システム認証用シナリオ

認証を行うにあたっては、操船シミュレータでの自動避航システムを用いた航行結果に評価領域図を適用する手法を提案している。この操船シミュレータを用いた航行における認証用シナリオ例を作成した。作成したシナリオは、基本シナリオ 6 ケース、複数船舶遭遇シナリオ 1 ケースである。

6 ケースの基本シナリオは自動避航システムの基本性能を確認するものである。この 6 ケースの基本シナリオにおいて、評価領域図の「注意領域」への侵入がないのであれば、COLREGs(海上衝突予防法)を考慮した避航操船方法として、遭遇する船舶に不安を与えることはない判断することができる。

6 ケースの基本シナリオを図 5.1～図 5.6 に示す。ここで提案している認証用基本シナリオは、1 船対 1 船のシナリオである。自動避航システムが避航動作を行わなかった場合、敢えて衝突するシナリオとはせず、策定した評価領域図の「注意領域」、「危険領域」に侵入することになるシナリオとしている。敢えて衝突するシナリオとしていないのは、自動避航システムの避航動作開始時期、操船方法選択の判断に難しさを持たせるためである。人間が操船したとしても、判断に迷いが生じる可能性があり、行動を起こす判断時期や操船方法を誤ると遭遇する船舶に不安を与えたり、危険な状況に陥り易いシナリオとしているものである。

シナリオの特徴をチェックポイントとして図中に記した。また考慮すべき航法法規(COLREGs/海上衝突予防法)との関係を合わせて図の下段に記した。

このようなシナリオとすることで、基本の 6 ケースのみでも自動避航システムの基本性能を略確認することが可能となる。

複数船舶遭遇シナリオは輻輳海域での避航操船を想定したシナリオである。提案するシナリオ例を図 5.7 に示す。評価のポイントは、自動避航システムが複数船舶との衝突リスクを計算した上で、合理的な避航操船を適切な時期に実施できるかである。経験豊富な海技者から見て合理的と判断される避航操船方法であっても、輻輳の程度や自動避航システムを搭載する船舶の操縦性能によっては、今回策定した評価領域図の「注意領域」へ入り込むことをある程度許容せざるを得ない場合もある。

自動避航システムの認証を目的とした場合、1 船対 1 船の基本シナリオにおいて「注意領域」への侵入が発生基本的に認証は不可である。一方複数船舶との遭遇では、どの程度の輻輳海域を想定するかで使用するシナリオを調整する必要があるが出てくる。図 5.7 に例示したシナリオは、日本の沿岸輻輳海域を想定したシナリオである(適用法令は海上衝突予防法のみ)。輻輳度を上げるには左右及び前方から近づく船舶の航行間隔(距離)を短くし、逆に輻輳度を下げるには航行間隔(距離)を長くすることになる。

例示した複数船舶遭遇シナリオでは、人間が操船したとしても「注意領域」への侵入が生じる可能性があるシナリオとなっている。自動避航システムの機能を認証する場合、「注意領域」への侵入をどの程度許容するかを定める必要がある。この許容の程度を設定する一つの目安として人間による操船結果と減点点数*の相対比較(偏差値)で認証の基準を設定する方法を提案する。

* 減点の手法については、P4 の脚注にある文献の方法を踏襲

但し、偏差値で相対比較する場合、分布を求めるため、予めある程度の検証実験を事前に行っておく必要がある。また、認証対象となる船舶の操縦性能が大きく異なる場合、別途分布状況の変化を把握しておく必要が出てくる。従って、実務的には、認証対象船型をある程度分類しておき、対象となる船型、及び対象とする輻輳度をある程度絞って減点点数分布の把握をしておくことが望まれる。また、人間であれば減点がない（「注意領域」への侵入がない）程度の輻輳度として、偏差値を求めるための分布作成の必要のないレベルで認証を行うのも一つの方法であると考えられる。

尚、今回提案の7シナリオ(基本6ケース、複数船舶遭遇1ケース)では、外力状況、waypoint(計画変針地点)の考慮は無いが、当面の認証業務では考慮の必要なしと史料する。

No.1 (反航船に対する避航機能評価シナリオ)

- ✓ 開始時の相対距離 12 マイル
- ✓ 航過時 正横距離：右 0.3 マイル

チェックポイント

- ✓ 避航開始距離: 4 マイル程前でないと評価領域図の「注意領域」に入る
- ✓ 避航方法は 右転が原則 但し、この状況を行過ぎと判断し、他船に不安を与えないと云う判断で 左転し、より正横距離を確保する操船方法も可、相対距離 3.7 マイル程のところで 正横航過距離 0.5 マイル以上確保できる状況でないと評価領域図の「注意領域」に入る
- ✓ 左転で正横距離を確保する場合には、14 条が適用される前 (7~8 マイル以上以遠) に左への針路変更を行うことが望ましい。

予防法との関係

8 条: 十分に余裕のある時期に、船舶運用上の適切な慣行に従ってためらわずにその動作を取らなければならない (あらゆる視界の状態における航法)

14 条: お互い視野の内にある 2 隻の動力船が真向い又は殆ど真向いに行き会う場合において(定量的な定義はなし)衝突するおそれがある時は、各動力船はお互いに他の動力船の左舷側を通過することができるようそれぞれ針路を右に転じなければならない

図 5.1 基本シナリオ その1 反航船に対する避航機能評価シナリオ

No.2 (横り関係における避航機能評価シナリオ/避航船)

- ✓ 開始時の相対距離右 12 マイル
(方位は右 30 度~50 度程)
- ✓ 航過距離 0.2 マイル程の船首航過

チェックポイント

- ✓ 避航開始距離: 2.5 マイル程でないと評価領域図の「注意領域」に入る
- ✓ 避航方法は右転, もしくは/及び減速 (左転するならば, 15 条が適用される前の段階, 7~8 マイル以遠)
- ✓ 避航開始距離が評価のポイント
(2.5 マイルより近づいてから大きく右転する操船方法は, 自動航行船の避航方法としては好ましくない。他船に不安を与えるため)

予防法との関係

15 条: **お互いに視野の内にある** 2 隻の動力船がお互いに進路を横切る場合において衝突するおそれある時は, 他の動力船を右に見る船は, 他の動力船を避航しなければならない

やむを得ない場合を除き他の動力船の船首方向を横切ってはならない

図 5.2 基本シナリオ その 2 横切り関係における避航機能評価シナリオ/避航船

No. 3 (横切り関係における避航機能評価シナリオ/避航船 大角度の右転, 減速が求められるシナリオ)

- ✓ 開始時の相対距離右 6 マイル
(方位は 70 度~80 度程右)
- ✓ DCPA 0.2~0.5 マイル程の 船首航過

チェックポイント

- ✓ 避航開始距離: 2.5 マイル程でないと評価領域図の「注意領域」に入る
- ✓ 避航方法は 右転, もしくは/及び 減速 (左転は不可, 右転の場合, 大角度変針となるため, 左変針を選択する避航システムも出てくる可能性大なるも, 不可 減速と右転の組み合わせは望ましい避航操船方法の一つ)
- ✓ 避航開始距離, 避航操船方法が評価のポイント
(2.5 マイルより近づいてから大きく右転する操船方法は, 自動航行船の避航方法としては, 好ましくない。他船に不安を与えるため)

予防法との関係

15 条: **お互いに視野の内にある** 2 隻の動力船がお互いに進路を横切る場合において衝突するおそれがある時は, 他の動力船を右に見る船は, 他の動力船を避航しなければならない

やむを得ない場合を除き他の動力船の船首方向を横切ってはならない

図 5.3 基本シナリオ その3 横切り関係における避航機能評価シナリオ/避航船
(大角度の右転, 減速が求められるシナリオ)

No.4 (横切り関係における避航機能評価シナリオ/ 避航船船首航過許容シナリオ)



- ✓ 開始時の相対距離右 12 マイル
(方位は 30 度~50 度程右)
- ✓ DCPA 0.5 ~0.8 マイル程の船首航過

チェックポイント

- ✓ 避航開始距離: 2.5 マイル程でないと評価領域図の「注意領域」に入る
- ✓ 予防法の規定では船首方向の横切りを禁止しているのので、右転あるいは減速が基本、但し、0.8 マイル程の船首航過距離のある状況であれば、更に航過距を確保すると云う考え方(8 条:適切な慣行にしたがって)から十分余裕のある時期にリスク軽減操船方法としては左転でも可
- ✓ 評価領域図の「横切り(船首航過)」を適用



予防法との関係

8 条:十分に余裕のある時期に、船舶運用上の適切な慣行に従ってためらわずにその動作を取らなければならない(あらゆる視界の状態における航法)

15 条:お互いに視野の内にある 2 隻の動力船がお互いに進路を横切る場合において衝突するおそれがある時は、他の動力船を右に見る船は、他の動力船を避航しなければならない
やむを得ない場合を除き他の動力船の船首方向を横切ってはならない

39 条:船員の常務として注意することを怠ることによって生じた結果について責任を免除するものではない

図 5.4 基本シナリオ その 4 横切り関係における避航機能評価シナリオ/避航船
(船首航過許容シナリオ)

No.5 (追越し時における避航機能評価シナリオ)

- ✓ 開始時の相対距離約 6 マイル
(方位は 180 度後方)
- ✓ 速力差 3kts 程度

チェックポイント

- ✓ 正横距離 (最接近距離) が評価のポイント



予防法との関係

13 条：追越される船舶を確実に追越し、かつその船舶から十分に遠ざかるまでその船舶の進路を避けなければならない
船舶の正横 22 度 30 分を超える後方の位置から追越す船舶は追越し船とする

図 5.5 基本シナリオ その 5 追越し時における避航機能評価シナリオ

No.6 (横切り関係における避航機能評価シナリオ/保持船)



- ✓ 開始時の相対距離左 12 マイル
(方位は 30 度～50 度程左)
- ✓ DCPA 0.2～0.5 マイル程の 船尾航過

チェックポイント

- ✓ 保持船となる事を避けるため、8 マイル程でリスク軽減操船を行うことが求められる
- ✓ リスク軽減操船方法は左転，右転，および減速
- ✓ 保持船となることを避ける機能を有しているかがチェックポイント



予防法との関係

8 条：十分に余裕のある時期に，船舶運用上の適切な慣行に従ってためらわずにその動作を取らなければならない（**あらゆる視界の状態における航法**）

17 条：お互いに視野の内にある 2 隻の船舶の内，1 隻が避航船である場合は，他の船舶（**保持船**）は針路及び速力を保たなければならない
保持船は避航船の動作のみでは衝突を避けることができないと認める場合は**最善の協力動作**をとらなければならない

39 条：船員の常務として注意することを怠ることによって生じた結果について責任を免除するものではない

図 5.6 基本シナリオ その 6 横切り関係における避航機能評価シナリオ/保持船

略2マイル間隔で反航船(左舷側)が連続して航行する(一直線ではなく航行位置にバラツキあり)

No. 7 複数船遭遇シナリオ

目標地点は原進路上15マイル先

約1マイル

略2マイル間隔で反航船(右舷側)が連続して航行する(一直線ではなく航行位置にバラツキあり)

略2~2.5マイル間隔で左からの横切り船が連続して航行する(一直線ではなく航行位置にバラツキあり)

約2~2.5マイル

約1マイル

略1~2マイル間隔で右からの横切り船が連続して航行する(一直線ではなく航行位置にバラツキあり)

避航操船を実施しなかった場合の衝突リスク発生地点は、操船開始時から約10マイル程の地点

- ✓ 複数船との遭遇リスクを計算した上で、針路・速力計算をしていることの確認
- ✓ このシナリオでは右舷側からの反航船、左舷からの横切り船との衝突リスクを配慮しながら、連続する右からの横切り船のどこを航行するかがポイント
- ✓ 評価(認証)の終了は、右からの横切り船を避航した後、目標地点(開始時の原進路上15マイルの地点)に向かうため、針路を制定した時点(ただし、連続する反航船との衝突リスクを回避してから)
- ✓ 人間が行う操船での減点分布「注意領域」「危険領域」への侵入による減点との相対比較にて認証

チェックポイント

認証対象 自動航行船

図 5.7 複数船遭遇シナリオ (輻辳海域)

6 認証対象船舶（自動運航船）の船型が評価領域図に与える影響

今回の検証実験では、認証対象とする自動運航船を全長 100m 程度の船舶として実施した。これは、近々実現するであろう自動運航船を想定し設定した船型である。しかしながら、この認証対象となる自動運航船の船型が大型化した場合の評価領域図に与える影響の程度を把握しておくため、一部追加実験の形で自動運航船を大型化した場合の検証実験を実施した。

図 6.1 の右側は自動運航船のみを大型化させた場合の評価領域図である。同領域図は NYK(JMS)のみで実施した追加検証実験 (NYK-C) から策定したものである。今回新たに作成した 3 社での実験結果 (自動運航船は 100m 想定) から策定した評価領域図 (図 6.1 の左側) と比較してみると、自動運航船の大型化により「注意領域」, 「危険領域」の立ち上がりは 5% から 10%程度広がっている。NYK-C での実験は必ずしも十分なデータを取得しているとはいえないが、自動運航船の大型化により領域図の拡大傾向が窺える。今後自動運航船の船型が大型化した場合には、領域図の拡大の程度について再度検証することが望ましいと思料される。

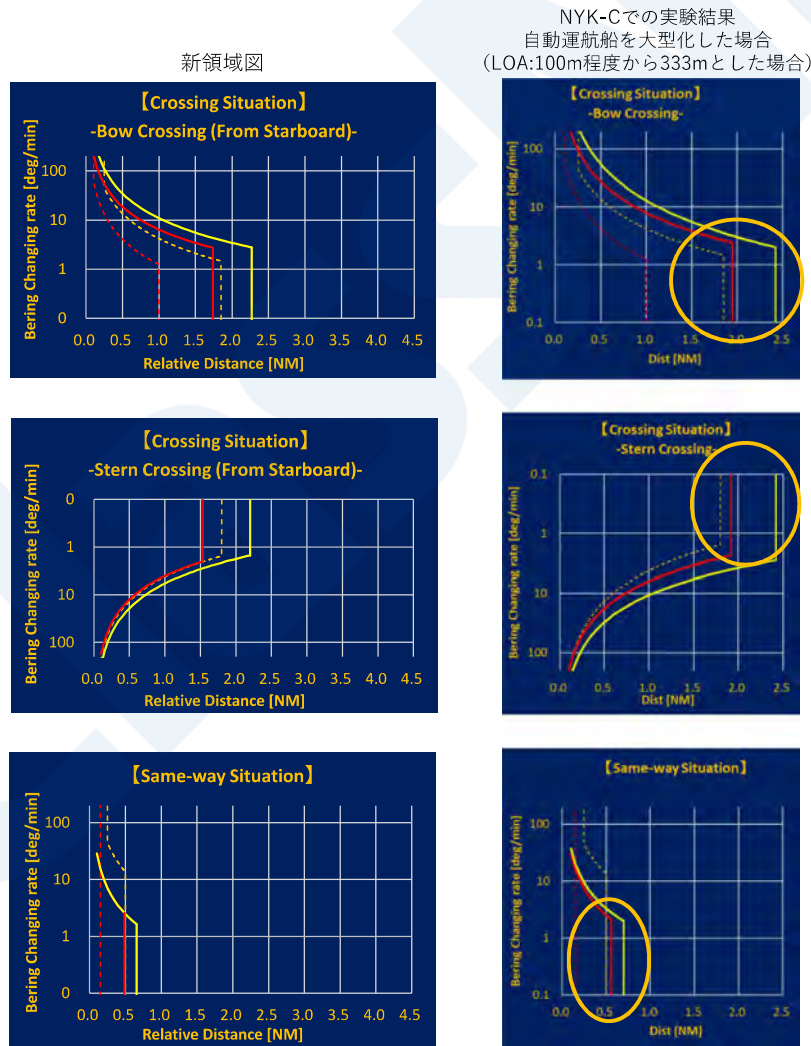


図 6.1 自動運航船船型の違いによる評価領域図の変化

7 視界状態が評価領域図に与える影響

今回策定した評価領域図は、あらゆる視界の状況に適用できると言う想定で検討したものであるが、視界制限下における主観評価の変化を確認するため、視程 1.0NM に制限したシナリオを用いて一部追加検証実施した。図 7.1 はシナリオ 1 及び 2 について、視界制限のあるシナリオと無いシナリオの実験結果を比較した図である。右上図を見ると、視界制限状態では注意・危険判定をした被験者の人数は明確に増加している。また評価領域図上にプロットされた結果を見ると、視界制限の無い場合は主観評価と「注意領域」の境界線が概ねマッチしているが、視界制限状態では「注意領域」・「危険領域」共に境界線からの乖離が見られる。視界制限下では、領域の拡大を考慮する必要があると思料される。

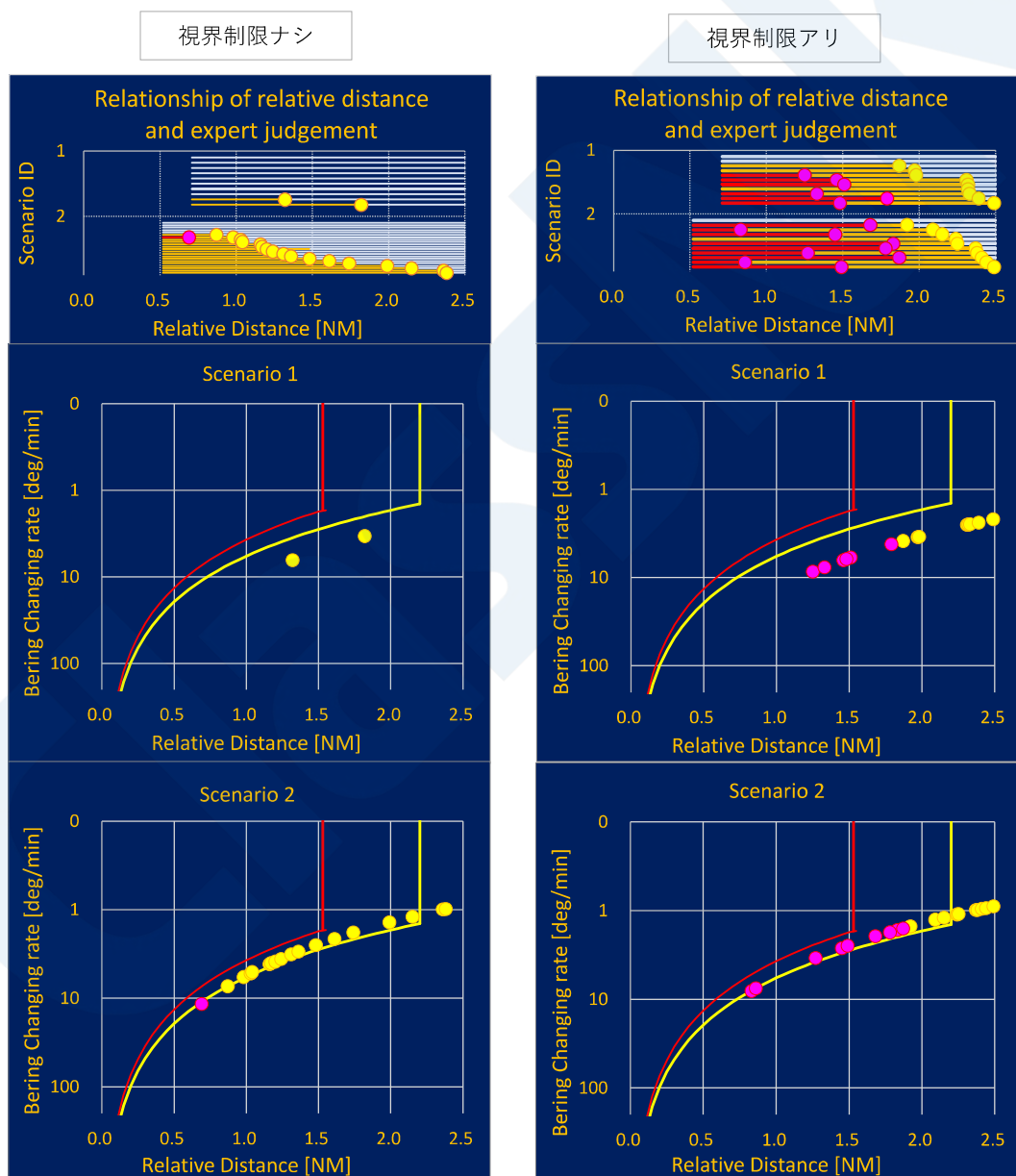


図 7.1 視界制限状態における評価領域図の変化

8 総括

8.1 まとめ

今回実施した検証実験から得られた知見等を以下に記す。

- ✓ 大手海運会社/関係会社 3機関の操船シミュレータを用いて検証実験を実施した。
検証実験（延べ被験者 1,399, 実験シナリオ 181 ケース）結果から新しい評価領域図を作成することができた。
- ✓ 評価領域図の考え方は、「自動避航システムにて航行する船舶は、遭遇する他の船舶に不安を与えない」と云う視点である。
- ✓ 認証（評価）のための基本シナリオ 6 ケース（避航操船実施時期、方法の判断に難しさを付加したシナリオ）、複数船舶遭遇シナリオ 1 ケースを作成した。
6 ケースの基本シナリオにて、自動避航システムの基本性能を確認する。
この 6 ケースの基本シナリオにおいて、新評価領域図の「注意領域」への侵入がない（減点無し）であれば、COLREG（予防法）を考慮した避航方法として、遭遇する船舶に不安を与えることはないと評価できる。
- ✓ 制約のない海域における 1 他船との遭遇における避航操船はこの 6 シナリオのみで略認証（評価）可。（多くのシナリオで検証する事を否定するものではない。多くのシナリオとこの 6 ケースのシナリオと組み合わせるのも一つの手法と思料。）
- ✓ 複数船遭遇シナリオは、輻輳海域での避航操船を想定したシナリオである。
自動避航システムが複数船舶との衝突リスクを計算した上で合理的な避航操船を実施できるかを評価するものである。
輻輳海域においては、評価領域図の「注意領域」等に入り込むこともある程度許容せざるを得ない場合もある。認証は、予め人間が操船した結果における減点点数との比較(偏差値)で評価する。
- ✓ 今回提案の 7 シナリオでは、外力状況、waypoint(計画変針地点)の考慮は無いが、当面の認証業務では考慮の必要なしと思料。

尚、併せて、実験を円滑に遂行するために、シナリオ生成の半自動化ソフトウェアの開発や、被験者の主観評価を取得するための Web アプリケーションの開発を行った。

8.2 今後の課題

おそらく世界で初めてとなる大規模な検証実験から、遭遇する他船に不安を与えないと云う視点からの実用的な自動避航システム認証（評価）用「評価領域図」、及び「検証シナリオ」を策定することができた。実用レベルに至っていると判断されるが、今後の課題を以下に記す。

- ✓ この検証シナリオ、及び評価領域図を用いた認証（評価）を実施する体制作り
- ✓ 業界/関連機関への紹介（周知）方法（領域図、シナリオ、認証手法）

- ✓ 複数船遭遇シナリオでは、人間が操船した結果との減点点数の比較にて認証（評価）することを提案している。事前に人間による操船にて偏差値を算出するための実験が必要
- ✓ 自動避航システムによって航行する自動航行船の船型が大きく変化（大型化）すれば、評価領域図が広がることが確認されている。自動航行船の大きさによる評価領域図の広がりについては、必ずしも十分なデータ数を得ているものではなく、今後の課題
- ✓ 狭視界時においては、「危険領域」の拡大傾向が窺えた。拡大の程度の定量的把握は今後の課題

