

4.6 小型船の衝突・座礁防止機能の向上に関する研究

プレジャーボート、漁船及び 500 総トン未満の商船をカテゴライズした小型船という枠組みでの衝突防止機能の検討を行う、「小型船の衝突防止機能等の向上検討ワーキング・グループ (WG1)」では、衝突事故防止に有効と思われる Class B AIS について、その基本機能及びこれに求められる要望についての検討を行った。

具体的には、Class B AIS を使用した場合の輻輳海域での通信状況とバイナリーメッセージ利用の可能性、Class B AIS の情報表示の現状と問題点の抽出、及び、Class B AIS を含む、衝突事故防止支援機能に関するニーズ調査を行った。

4.6.1 輻輳海域における Class B AIS の影響調査

4.6.1.1 調査の概要

本調査は、Class B AIS (船舶自動識別装置) 等、昨今利用可能となった航海機器を中心に、航行安全性の向上の観点から、その有効性の評価、利用拡大の方策の検討の一環として、輻輳海域で AIS の設置条件を変更した場合の影響評価を行うもので、輻輳海域として、東京湾を設定し、AIS の各種機能の利用可能性の検討も含めて、シミュレーションにより評価する。

調査にあたっては、設定海域である東京湾を対象として、海上交通流の実態調査等から得られた交通流データに基づく交通流シミュレーションと、これに基づいて、特定の AIS の搭載設置条件下での船舶の AIS 通信をシミュレーションし、東京湾を航行する船舶での AIS 情報の欠報、情報の遅れ時間等の指標値を算出する。

4.6.1.2 解析方法

(1) 解析内容

東京湾の交通流の実態調査等の結果に基づき、漁船及びプレジャーボートの動き、船舶同士の簡易避航機能を含めた交通流シミュレーションと、複数の AIS 搭載設定条件下での AIS 通信シミュレーションを実施する。これにより、AIS の通信容量と搭載を仮定する Class A AIS、Class B AIS (CSTDMA、SOTDMA) の特性を考慮して、AIS 情報の利用の観点から見た問題点の抽出を行う。具体的には、Class A AIS と Class B AIS の搭載設置条件を変更してシミュレーションを実施し、通信状況の確認を行う。

解析手順としては「輻輳海域交通流シミュレータ」⁽¹⁾⁽²⁾により東京湾の観測データから作成した OD 表を使って船舶航行シミュレーションを実施し、航行記録を保存する。次に、この航行記録に基づいて「AIS シミュレータ」⁽³⁾を使った AIS 通信シミュレーションを行う。通信状況の確認は、東京湾を北上する Class A、Class B それぞれの AIS を搭載した全体の通信状況を検討すると共に、船舶 1 隻に着目し、その通信結果を基に AIS の動的情報あるいは安全関係メッセージの欠報や遅延の度合いに関する指標値と、通信上不具合が生じる条件等問題点を指摘する。

(2) 輻輳海域交通流シミュレータ

a) シミュレータの概要

輻輳海域交通流シミュレータは、多種多様な航行性能をもつ多数の船舶を同時に仮想海域に配置し、それらの航行状況を予測する交通流シミュレータで、航行経路の計画および各船舶固有の運動特性を設定して、適切な回避措置と操船方法を決定することができる自動航行機能が備わっている。すなわち、このシミュレータは船舶の様々な挙動を現実的に予測できることから、操船負荷が大きい海域の特定等、種々の検討に幅広く応用できる。

本シミュレータは、解析対象となる個々の船舶に対して、人工知能技術を適用して通常船長が行う操船を計算機上で実現する自動航行システムを備えており、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ータベース、などのデータベース群を総合的に用いて船舶の航行シミュレーションを行う。シミュレーション結果は出力データベースに蓄積され、アニメーション表示などを用いて多様な分析・評価に活用される。

b) シミュレータの機能

本シミュレータは以下に示す機能を有している。

- ・ 海域設定として海上保安庁海洋情報部発行の海岸線データとデータ互換性をもつデータを使用しているの基本的にはどの海域も容易に設定できる。さらに、設定した海域データをデータベースに記憶・保存し、シミュレーションに再利用でき、それらを参照・追加・変更・削除できる。
- ・ 船舶の特性を表す母型船データをデータベースに保持しており、設定する船舶の諸元に合わせて、船速特性、旋回特性、操舵特性等に関わる各種船舶性能諸元を、必要に応じて、任意に参照・追加・変更・削除できる。さらに、船舶毎に、AIS 交信可否を設定できる。
- ・ 交通流／航行環境としては、解析対象海域内の任意の場所にゲートを設置し、船舶発生頻度を船種別に設定できる。表 4.6.1 と表 4.6.2 はこうした OD(Origin-Destination)表の一例である。表 4.6.1 は船型別の船舶配分率を、表 4.6.2 は時間帯別に出向する船舶数を示したものである。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。
- ・ 自船の設定経路にしたがって目標点に自動航行しつつ、必要に応じて周辺海域を航行する他船の動きや海域状況に対応した衝突回避や座礁回避を行う自動航行システムを持つ。但し、設定経路とは変針点を直線で結んだものである。

表 4.6.1 船型別船舶配分率 (%)

OD		船型別船舶配分率 (%)						
出発地	目的地	船型A	船型B	船型C	船型D	船型E	船型F	合計
木更津航路	船橋航路	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	市川航路	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	浦安航路	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	荒川河口	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	第三航路	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	第一航路	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	羽田北地区	0.00	75.00	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	多摩川地区	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	浮島Ⅱ期	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	風の塔地区	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	海ほたる地区	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	川崎航路	0.00	85.71	14.29	0.00	0.00	0.00	100.00
	青島・青森港	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 4.6.2 一日あたりの時間帯別出港(通航)船舶数

時間帯	富洲地区	勝山地区	笹毛地区	小久保地区	富津航路	君津航路	木更津航路	南袖航路	北袖航路
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0.56	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0.56	0	0	0	0.56	1.67	0	1.67
5	0	0	0	0	0	1.11	7.23	1.11	2.78
6	0	0.56	0	0	0	0	6.68	0.56	0
7	0	0	0	0	0.56	0	6.12	0	1.67
8	0.56	1.11	0	0	0	0	8.35	1.67	2.78
9	0	1.11	0	0	0.56	0	4.45	2.23	1.11
10	0	1.67	0	0	0	0.56	7.23	2.78	2.23
11	0	1.11	0	0	0	1.11	2.78	1.67	2.23
12	0	0	0	0	0	0	3.34	0	2.78
13	0	0	0	0	0	0.56	1.11	0	1.11

c) 自動航行システム

この幅狭海域船舶航行シミュレータの中核は、1 隻の船に対する自動航行システム(SAFES : Ship Auto-navigation Fuzzy Expert System)で、「船舶の発生」、「操船判断」、「操船方法」、「船舶の運動(航行)」の4つの要素から構成される。

① 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。

② 操船判断

自船と他船の関係を認識し、その状況により「通常」、「避航」、「追い越し」の操船判断を行う。優先度の高い順に並べると「避航」、「追い越し」、「通常」となる。

i) 避航判定

避航判定には、二船間の (Distance of Closest Point Approach : 最接近距離) と (Time of Closest Point Approach : 最接近時間) を用いる。図 4.6.1 は二船間の衝突危険度判定のもととなる最接近距離 と最接近時間 を説明したものである。ここに、 D : 二船間の距離、 V : 自船の速力、 V_t : 相手船の速力、 α : 自船から見た相手船の相対角、 β : 相手船から見た自船の相対角、 ϕ : 出会い角である。

衝突危険度 CR は $DCPA$ と $TCPA$ から Fuzzy 推論される。任意の大きさの船舶を扱えるように、 $DCPA$ は自船の船長 L で無次元化されている。ただし、自船が避航義務船である場合は、自船と相手船で大きい方の L を用いて無次元化を行う。

周辺海域には多数の船舶が存在するので、それぞれの船舶に対して衝突の危険がある船舶は複数存在すると考えられる。したがって、自動航行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 を判定し、避航対象となる船舶を選択する。

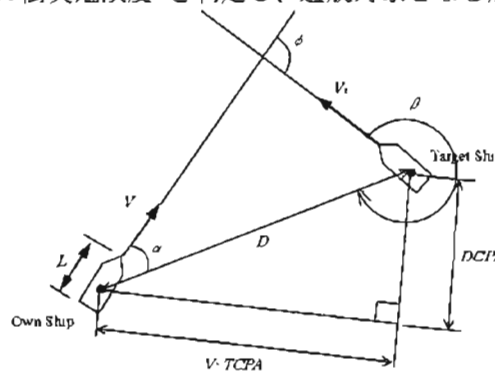


図 4.6.1 自船と対象船の関係

ii) 追い越し判定

前方を航行中の遅い船舶に対して、自船の周囲に閉塞領域を定め、この領域内にその船舶が入らないように追い越しを行う。追い越しについては、見合関係(追い越し)と船速を比較して判定する。また、図 4.6.2 に示すように自船周囲の閉塞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。領域設定の重要なパラメータである十分航過前後距離 FA と十分航過左右距離 SP は次式により計算する。 FA は前後 3 : 2 に、 SP は左右 1 : 1 に配分されるものとする。

$$FA = (0.025 \cdot L_1 + 3.125) \cdot L_0 \quad (4.6.1)$$

$$SP = (0.012 \cdot L_1 + 1.096) \cdot L_0 \quad (4.6.2)$$

ここに、 L_1 : 相手船の船長、 L_0 : 自船の船長である。

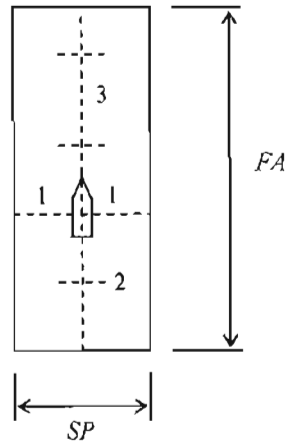


図 4.6.2 自船周辺の閉鎖領域

iii) 通常航行

以上の「避航判定」と「追い越し判定」に該当しないものを「通常」と判定する。それぞれの状態に対応する操船方法を次に示す。

③ 操船方法

すべての船舶に対して指令針路と指令速力を与え、以下の操船を行う。

i) 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。具体的には、設定経路を構成する変針点の内、現在航行中の経路の次の変針点を目指して航行していくが、次の変針点付近では Fuzzy 推論を用いて、次の経路に滑らかに変針させている。

ii) 追い越し操船

追い越し判定がなされた船舶は自船より左側にいる船舶を追い越す場合は右側を、逆の場合には左側を追い越す。追い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。

iii) 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危険回避操船方法が決定される。さらに、0.85 以上のときは、自船が権利船であっても、相手船との見合関係をもとに減速も含めた危険回避操船方法を決定する。

④ 船舶の運動

船舶の運動は、指令針路と指令速力で決定され、指令針路に基づく指令舵角の決定、指令舵角と指令船速に基づく運動の計算の 2 段階で表現する。

指令舵角は、目標針路からの針路誤差および旋回角速度より以下の式に基づく PD 制御則により決定する。

$$\delta_{order} = C_1 \psi_e - C_2 r \quad (4.6.3)$$

$$C_1 = K_p \quad (4.6.4)$$

$$C_2 = T_d = \left(2\sqrt{KK_p T} \xi - 1 \right) \frac{1}{KK_p} \quad (4.6.5)$$

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。
船舶の運動は、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、以下の運動方程式に基づいて計算した。

$$T \dot{r} + r = K \delta \quad (4.6.6)$$

$$T_v \dot{V} + V = V_{order} \quad (4.6.7)$$

$$T_E \dot{\delta} + \delta = \delta_{order} \quad (4.6.8)$$

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 と T : 操縦性指数、 T_E : 操舵機の時定数、 T_v : 船速の時定数である。

d) シミュレータの適用事例

本シミュレータを使って実施した船舶の交通流シミュレーションの事例を、図 4.6.3～図 4.6.8 に示す。
図はある時点での航行状況で、図中の緑の点が各船舶の位置と進行方向を示している。



図 4.6.3 大阪湾における船舶航行状況

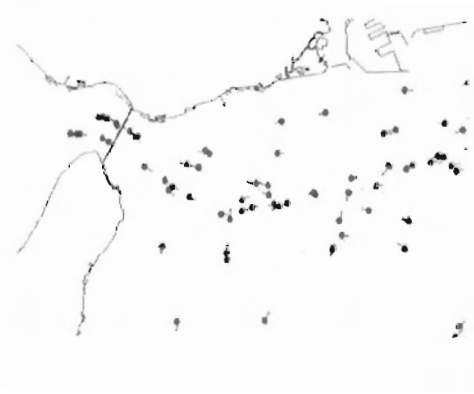


図 4.6.4 明石海峡付近の船舶航行状況

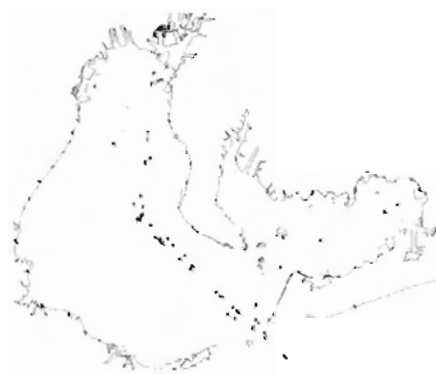


図 4.6.5 伊勢湾における船舶航行状況



図 4.6.6 伊良湖水道付近の船舶航行状況



図 4.6.7 東京湾における船舶航行状況



図 4.6.8 浦賀水道付近の船舶航行状況

(3) AIS シミュレータ

a) シミュレータの概要

AIS シミュレータは、輻輳海域交通流シミュレータによるシミュレーションで得られた航行記録から、船舶の位置・針路・速度等を把握し、AIS の通信シミュレーションを行う。Class A AIS および Class B AIS の通信プロトコルの適用、同スロットに複数の船舶から通報があった場合の処理、等の機能を有していて、輻輳海域における AIS の通信状況を推定できる。

b) プロトコル

メッセージの送受信には RATDMA、ITDMA、SOTDMA、FATDMA、CSTDMA を使用する。陸上局は RATDMA、ITDMA、FATDMA を、Class A AIS 搭載船舶は RATDMA、ITDMA、SOTDMA を、状況に応じて使い分ける。Class B AIS 搭載船舶についてはシミュレーション実行前に SOTDMA 方式もしくは CSTDMA 方式のいずれかを選択するものとし、SOTDMA 方式と CSTDMA 方式の混在は行わない。

c) メッセージ

メッセージの送受信には RATDMA、ITDMA、SOTDMA、FATDMA、CSTDMA を使用する。陸上局は RATDMA、ITDMA、FATDMA を、Class A AIS 搭載船舶は RATDMA、ITDMA、SOTDMA を、状況に応じて使い分ける。Class B AIS 搭載船舶についてはシミュレーション実行前に SOTDMA 方式もしくは CSTDMA 方式のいずれかを選択するものとし、SOTDMA 方式と CSTDMA 方式を混在させない。

① メッセージの送信

船舶および陸上局が送信するメッセージは以下のとおりである。

- ・ Class A AIS 搭載船舶が送信するメッセージ
 - ・ Message1 Position report(Dynamic information)
 - ・ Message5 Static and voyage related data(Static information)
 - ・ Message5 Static and voyage related data(Voyage related information)
 - ・ Message12 Addressed safety related message(Binary Message)
- ・ Class B AIS(SOTDMA)搭載船舶が送信するメッセージ
 - ・ Message18 Standard Class B equipment position report(Dynamic information)
 - ・ Message19 Extended Class B equipment position report(Static information)

- ・ Class B AIS(CSTDMA)搭載船舶が送信するメッセージ
 - ・ Message18 Standard Class B equipment position report(Dynamic information)
 - ・ Message24 Class B"CS" Static data(Static information)

- ・ 陸上局が送信するメッセージの種類
 - ・ Message4 Base station report

② メッセージの受信

船舶および陸上局が受信するメッセージは以下のとおりである。

- ・ すべての船舶および陸上局はすべての種類のメッセージを受信できるものとする

③ 送信間隔

各メッセージの送信間隔は以下のとおりである。

- ・ 陸上局からのメッセージ
 - ・ Message 4 は 10 秒
- ・ 静的情報
 - ・ Message 5、Message19、 Message24 は 6 分
 - ・ Message 12 は 15 分 : バイナリーメッセージの利用を想定
 - ・ Message 1、Message 18(SOTDMA)、Message 18(CSTDMA)は表 4.6.3～4.6.5 に示す

表 4.6.3 Class A AIS 用の動的情報の送信間隔

船舶の状態	送信間隔(送信回数/分)
速度 0-14kn	10 秒(6)
速度 0-14kn で針路変更中の船舶	3-1/3 秒(18)
速度 14-23kn にある船舶	6 秒(10)
速度 14-23kn で針路変更中の船舶	2 秒(30)
速度 23kn を越えている船舶	2 秒(30)
速度 23kn を越えていて針路変更中の船舶	2 秒(30)

ここに、本シミュレーションでは、停泊船を考慮していないため、停泊船に対応した送信間隔は用いていない。

表 4.6.4 Class B AIS(SOTDMA)用の動的情報の送信間隔

船舶の動的な状態	送信間隔(送信回数/分)
速度 2kn 未満にある船舶	3 分(1/3)
速度 2kn を越えている船舶	30 秒(2)

なお、本シミュレーションでは、Class B AIS(SOTDMA)用の動的情報の送信間隔として、上記通報間隔を使用した。SOTDMA の規格では、これとは異なる送信間隔で規格化されつつある。

表 4.6.5 Class B AIS(CSTDMA)用の動的情報の送信間隔

船舶の動的な状態	送信間隔(送信回数/分)
速度 2kn 未満にある船舶	3 分(1/3)
速度 2kn を越えている船舶	30 秒(2)

d) 動作モード

本シミュレータでは以下の AIS 動作モードとする。

- ・ Class A AIS 搭載船舶は、常時 Autonomous and continuous モードで動作する。
- ・ Class B AIS 搭載船舶は、常時 Autonomous モードで動作する。

e) チャンネル管理

本シミュレータでは以下のチャンネル管理を行う。

- ・ メッセージの受信処理は 2 チャンネルが独立して同時に行えるものとする。
- ・ 片方のチャンネルで送信処理を行っているときは、他方のチャンネルでは送受信処理できないものとする。

f) 受信判定処理

① 送信電力

本研究では、各 AIS 装置の送信電力を下記のように仮定する。

- ・ 陸上局：30W
- ・ Class A AIS 装置：12W
- ・ Class B AIS(SOTDMA)装置：2W
- ・ Class B AIS(CSTDMA)装置：2W

② 電波到達エリア

電波到達エリアとは自船が発信した電波が届く領域で、他船は自船を認識できる。本 AIS シミュレータでは、任意の半径を有する円領域を設定できるものとし、次に示す半径をデフォルト値とする。

- ・ 陸上局：半径 44nm
- ・ Class A AIS 搭載船舶：半径 42nm
- ・ Class B AIS(SOTDMA)搭載船舶：半径 15nm
- ・ Class B AIS(CSTDMA)搭載船舶：半径 15nm

ここに、上記電波到達距離は文献⁽⁴⁾から次のように求めた。文献⁽⁴⁾では、受信電力が-107dBm 以下になった場合は電波を受信できないとしており、本研究でも同じ条件を設定する。

まず、Class B AIS の電波到達距離を算出する。ここで、1mW を 0dBm とすると、Class B AIS の送信電力 2W は電力比であるので、 $10 \cdot \log(2000) = 33\text{dBm}$ となる。

文献⁽⁴⁾の Fig.3 の図において、Class B AIS に対応する"20To20"のグラフから、電力量が -107dBm になる距離を求めればよいので、受信電力を-107dBm 以下にするためには、 $33 - (-107) = 140\text{dB}$ のロスが必要となり、その距離は約 15 nm とみなすことができる。したがって、Class B AIS の到達距離は、15nm とする。

Class A AIS についても同様に算出する。電力量が Class A AIS の 12W の場合、電力[dBm] は、 $10 \cdot \log(12000) = 41\text{dBm}$ となる。ここで、参考文献[1]の Fig3 の図において、Class A AIS に対応する"100To100"のグラフから、-107dBm になる電力ロス、 $41 - (-107) = 148\text{dBm}$ になり、この場合の距離は約 42 nm となる。

一方、地上局の電力は 30W なので、送信出力は $10 \cdot \log(30000) = 45\text{dBm}$ となる。ここで、文献⁽⁴⁾の Fig.3 の図において、Class A AIS に対応する"100To100"のグラフから、-107dBm になる電力ロス、 $45 - (-107) = 152\text{dBm}$ になり、この時の距離は約 44nm とみなすことができる。

③ AIS 通信の衝突と混信

評価対象船 i に対して、2 船以上から同時に AIS 情報を通報されたとき、各船 j からの受信電力_{ij}を次式(4.6.9)により算出し、各船の受信電力を比較する。

$$\text{受信電力}_{ij} = (\text{送信電力}_j) / (\text{評価対象船 i と船舶 j の距離})^2 \quad (4.6.9)$$

評価対象船はそれぞれの受信電力を比較し、最大値と 2 番目に大きな値が 10 倍以上の差があった場合は最大値を送信した船舶のメッセージを受信し、受信状態を「衝突して受信」

とする。10 倍以上の差がなかった場合は、いずれのメッセージも受信せず「混信」とする。すなわち、「衝突」は同時に 2 船以上の船舶から通報されたとき最も受信感度のよいメッセージを受信したことになり、「混信」はいずれのメッセージも受信できなかったことになる。ただし、電波の減衰は考慮せず、海上は常に見通しがよく、反射波および途中遮へいはないものとする。

また、受信に関しては、受信対象船が自船の情報を発信している場合も、受信不能となる。このため、AIS の受信ができない通信欠損の条件として、以下のとおりとなる

送信側から見ると：

- i) 受信対象船が、送信のタイミングに、受信信号が来た場合
- ii) 衝突して、他の信号強度に劣った場合

受信側から見ると：

- i) 受信対象船が、送信のタイミングに、受信信号が来た場合、
- ii) 混信の場合

「混信」と「衝突」に対して、それぞれ「平均衝突率」と「平均混信率」を用いて評価する。船舶 i の AIS 装置 1 フレーム(4,500 スロット)は、送信に用いたスロット数 $M_{i,s}$ 、受信に用いたスロット数 $M_{i,r}$ 、混信により受信できなかったスロット数 $M_{i,m}$ 、未使用のスロット数 $M_{i,u}$ から構成される。ただし、受信に用いたスロット数 $M_{i,r}$ は、衝突が生じていなかったスロット数 $M_{i,r1}$ と生じていたスロット数 $M_{i,r2}$ を加えたものである。ここで、船舶数を n として、同一 Case に対する AIS 通信シミュレーション j を 3 回繰り返した場合の平均混信率と平均衝突率はそれぞれ次式(4.6.10)と(4.6.11)から計算できる。

$$\text{平均混信率} : \frac{\sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^n M_{i,m}}{\sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^n (M_{i,r} + M_{i,m})} \quad (4.6.10)$$

$$\text{平均衝突率} : \frac{\sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^n M_{i,r2}}{\sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^n (M_{i,r} + M_{i,m})} \quad (4.6.11)$$

g) シミュレーションの前提

本 AIS シミュレータでは以下の前提を適用する。

- ・ 現在の方位角と 1 分前の方位角を比較して 5 度以上の差がある場合は「針路変更中」として扱う。
- ・ 航行情報の更新ならびに報告率の算出は 1 分間隔に行う。
- ・ アンテナの高さ、送信電力、受信電力は AIS クラスタイプごとに共通で一定とする。
- ・ 電波障害などは考慮せず、同期、受信感度は全船舶共通で良好とする。
- ・ 候補スロットが 4 スロット未満の場合は、故意によるスロットの再利用を行う。
- ・ 陸上局の設置場所と局数は AIS シミュレータにて任意に指定できるものし、下記の 3 拠点をデフォルト値とする。

浦安	緯度 35°38'	経度 139°54'
本牧	緯度 35°24'	経度 139°40'
観音崎	緯度 35°15'	経度 139°44'

h) 参考資料

Message 送信仕様を以下に示す。

① Message 18(CSTDMA 方式)

図 4.6.9 に CSTDMA 方式のスロット確保モデルを示す。ここに、RI(Reporting Interval)は送信間隔[速度が 3kn 以上 : 30 秒、3kn 未満 : 3 分]、NTT(Nominal Transmission Time)は RI から算出される基準スロット、TI(Transmission Interval)(=RI/3)はスロット選択範囲(最大 10 秒[375 スロット])である。

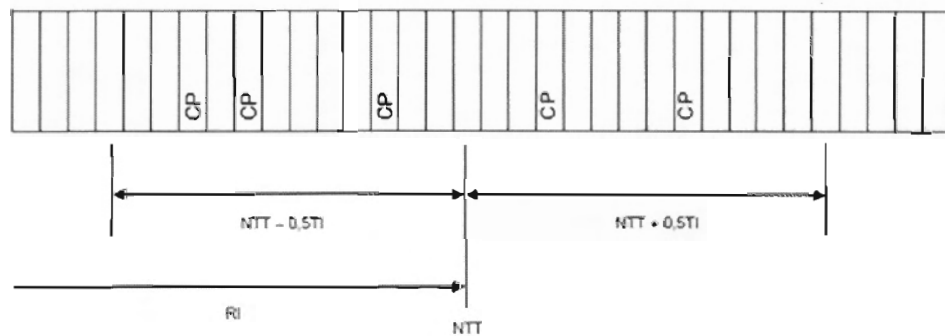


図 4.6.9 CSTDMA 方式のスロット確保モデル

この方式では、まず、計算上の基準スロット NTT を中心とするスロット選択範囲 TI の中から 10 回分の送信試行スロット CP(Candidate Period)が任意に選択される。ただし、既に予約済みのスロットは除かれる。次に、最初の CP において電波到達エリア内の船舶が送信処理を行っていないければ、このスロットを使って送信する。他船が送信処理を行っている場合には次の CP まで待機する。候補として選択した 10 回分の CP すべてにおいて送信できなかった場合には送信処理を破棄する。

② Message 24

- Message 24A、Message 24B の 2 回に分けて送信を行う。
- Message 24B は Message 24A 送信後、1 分以内に送信を試みる。
- Message 24A、Message 24B の送信処理は別々のチャンネルで行う。
- 送信処理は CSTDMA を採用する。

③ Message 12

安全関連のメッセージである。

- 送信処理は RATDMA を採用する。
- 1 回の送信試行において 150 スロット以内に送信ができなかった場合は、その時点から 150 スロット後に再度、送信処理を試みる。送信処理の試行回数は 1 分間で 3 回までとする。3 回の試行でいずれも送信できなかった場合は次のフレームで引き続き試みる。

※フレーム：TDMA 方式により分割されたタイムスロットを 0-2249 のインデックスによって識別したものがスロットであり、2250 スロット分を 1 フレームとする。1 フレームの長さは 1 分間である。

④ Message 19(SOTDMA 方式)

- 送信処理は RATDMA を採用する。

⑤ その他

- ・ スロットタイムアウトは ITDMA および SOTDMA で確保されたスロットのみが値を持ち、その他のプロトコルで確保されたスロットはタイムアウト値を保持しない。
- ・ CSTDMA のキャリアセンスを行う際、CSTDMA 同士は確認しあわない。

4.6.1.3 交通流シミュレーション

(1) シミュレーションに用いる航行データ

本シミュレーションに用いる船舶の航行データは、平成 12 年度に観測された東京湾の実航行記録を元に作成した O-D 表から生成する。このデータでは、24 時間で合計 3,227 隻の船舶が出現することになる。なお、漁船の出現数は 2,185 隻、プレジャーボートは 119 隻である。これらの出現数を表 4.6.6 に示す。

表 4.6.6 漁船とプレジャーボートの数

時間帯	漁船の数	プレジャーボートの数
0 時～ 1 時	13	0
1 時～ 2 時	11	0
2 時～ 3 時	12	0
3 時～ 4 時	33	0
4 時～ 5 時	103	1
5 時～ 6 時	217	2
6 時～ 7 時	164	2
7 時～ 8 時	232	10
8 時～ 9 時	184	11
9 時～10 時	120	6
10 時～11 時	126	10
11 時～12 時	136	20
12 時～13 時	150	9
13 時～14 時	169	9
14 時～15 時	178	12
15 時～16 時	175	11
16 時～17 時	67	11
17 時～18 時	45	3
18 時～19 時	7	0
19 時～20 時	9	1
20 時～21 時	6	0
21 時～22 時	6	0
22 時～23 時	8	0
23 時～24 時	14	1
計	2,185	119

(2) 交通流シミュレーション

20 時間の前処理により対象海域上に船舶配置を再現した後、24 時間の交通流シミュレーションを実施した。このシミュレーションにおいて最も混み合っている 15:20 頃の東京湾の様子を図 4.6.10(a)～(c)に示す。このシミュレーションには、通常の商船の他、漁船およびプレジャーボートも含まれている。このため、4.6.10(a)左の図で全船舶の船舶位置、4.6.10(a)右に漁船のみの船舶位置、4.6.10(b)左にプレジャーボートの船舶位置、4.6.10(b)右に 300 総トン未満の商船の船舶位置、4.6.10(c)左に 300 総トン以上 500 総トン未満の商船の船舶位置、4.6.10(c)右に 500 総トン以上の商船の船舶位置をそれぞれ表している。

また、現実の航行状況と比較するため、東京海洋大学が東京湾に設置している 2 つのレーダー局(東扇島レーダー局、防衛大レーダー局)および 1 つの AIS 受信局(東扇島レーダー局に付属)で観測した東京湾の交通状況を図 4.6.10 (d)に示す。本図には、レーダー画像より得られた船舶の位置を○で、AIS から得られた船舶の位置を□で示している。レーダーにより得られた船舶は、連続したレーダー画像から移動している船舶のエコーを分離し、その位置を示したものである。また、AIS の船舶位置データは、AIS から得られた緯度、経度データを基に、通報間隔の差を補正して表示した図である。観測日は、2006 年 3 月 31 日 17 時頃で、レーダーから得られた船舶は 74 隻、AIS から得られた船舶数も 74 隻で、比較的交通量の多い時間帯と考えられる。但し、AIS からの船舶数については、図からもわかるとおり、停泊船も含まれており、航行していると判断できる船舶は 28 隻であった。

レーダー画像から得られる船舶は比較的大きい船舶と考えられ、図 4.6.10 (c)左、及び図 4.6.10 (c)右の図をあわせた数が図 4.6.10 (d)で示した船舶数と対応すると考えられ、本 AIS シミュレーションで用いた交通流は、妥当であったと考えられる。

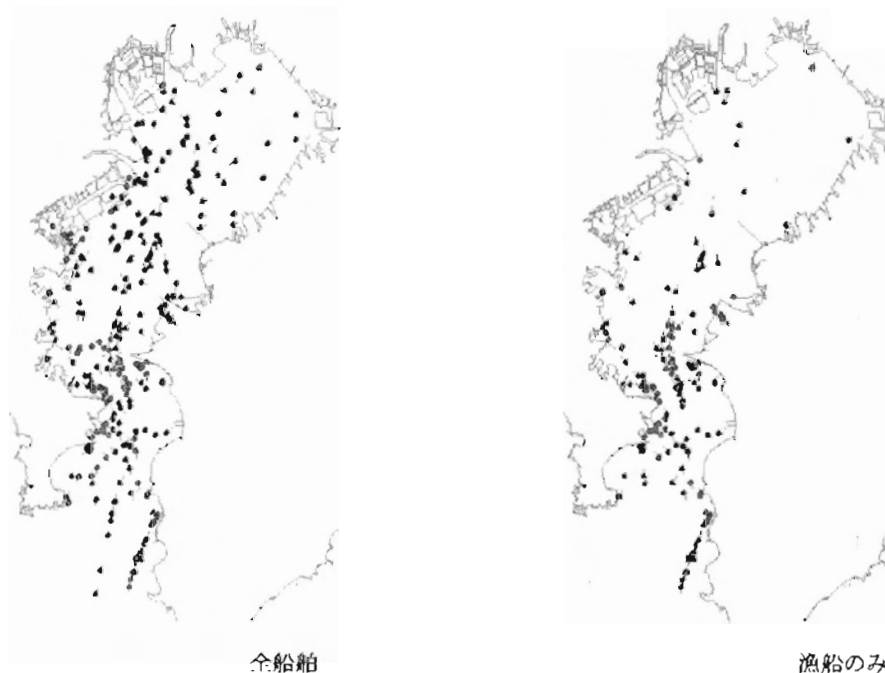


図 4.6.10 (a) 東京湾の様子(15:20 頃)



プレジャーボートのみ



300(t)未満の船舶(漁船・プレジャー除く)

図 4.6.10 (b) 東京湾の様子(15:20 頃)



300(t)～500(t)の船舶(漁船・プレジャー除く)



500(t)以上の船舶(漁船・プレジャー除く)

図 4.6.10 (c) 東京湾の様子(15:20 頃)

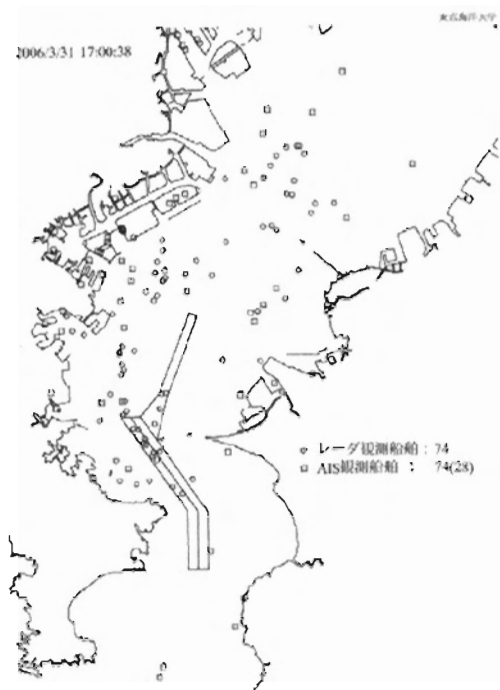


図 4.6.10 (d) 東京湾の交通流観測例

出典：東京海洋大学 萩原研究室

4.6.1.4 AIS 通信シミュレーション

輻輳海域交通流シミュレータを用いて東京湾の交通流シミュレーションを実施し、得られた航行記録を用いて AIS シミュレータによる AIS 通信シミュレーションを行う。さらに、1 隻の船舶の Message 12(船舶によるバイナリ情報通報)の通信内容を同時に評価する。なお、AIS 通信シミュレーションは通算 3 回実施し、以下本報告では、この 3 回の内、最も通信欠損が多かったものの結果を掲載した。

(1) AIS 通信シミュレーションの条件設定

a) AIS クラスの設定

船舶の総トン数により、次の表 4.6.7 に示すような 5 つの AIS クラスの搭載条件を設定した。なお、本 AIS シミュレータでは通報タイミングは無作為に選択される利点を生かし、各 Case に対して 3 回シミュレーションを実施する。最終的な評価にはそれらの平均値を用いる。

表 4.6.7 AIS クラスの設定条件

船型分類	総トン数	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
A	5～300	なし	なし	Class B AIS (CSTDMA)	Class B AIS (CSTDMA)	Class B AIS (SOTDMA)
B	300～500		Class A AIS		Class A AIS	Class A AIS
C	500～1,000					
D	1,000～3,000					
E	3,000～6,000					
F	6,000～10,000					
G	10,000～					

b) 船舶による安全関連メッセージ通報の試行

今後、船舶間においても、安全関連メッセージ(Message 12)を利用したサービスの実用化が考えられるので、これを検討項目に加えた。以下、船舶による安全関連メッセージ通信(Message 12)の仕様について解説する。

- ・ まず、1回目の送信を試みるスロットを選択し、そのスロットに到達すると「くじ引き」の考え方を適用して1回目のバイナリ送信を試みる。
- ・ 送信が許可されない場合は次のスロットを選択する。
- ・ RATDMA の仕様では1回目の試行スロットから数えて150スロット内で必ず送信できるようになっているが、他船舶がスロットを予約していた場合は送信できないので、必ず150スロット内で送信できるとは限らない。
- ・ バイナリ送信の場合は150スロット分の試行で送信できなかった場合は、150スロット(4秒間)の合間をあけて、さらに150スロットを要して送信を試みる。
- ・ 送信できるまで試行処理を繰り返す(1フレームで最大3回(150スロット*3回)の試行チャンスがある)が、それでも送信できない場合は次フレームで試行する。すなわち、次のフレームに移った時点で遅延が1分起こったことになる。
- ・ 一方、静的情報の場合は150スロットまでに送信できなければ、強制的に150スロット目に送信する。したがって、この場合は衝突覚悟で送信していることになり、遅延は発生しない。

ここで、特定船舶に着目したバイナリ情報送信については、1フレームを超えても送信に至らなかった場合を「遅延」と定義する。

c) 注目船舶

注目船舶として、航行データの中から東京湾を北上する2隻を無作為に選択した。Class A AISを搭載するShipID2170とClass B AISを搭載するShipID1245である。図4.6.11はこれら2隻の船舶の航行ルートを示しており、赤色の矢印がShipID2170を黄色の矢印がShipID1245の位置(7:00, 8:00, 8:40, 9:40, 10:30, 12:00, 12:30, 13:20, 13:50)である。

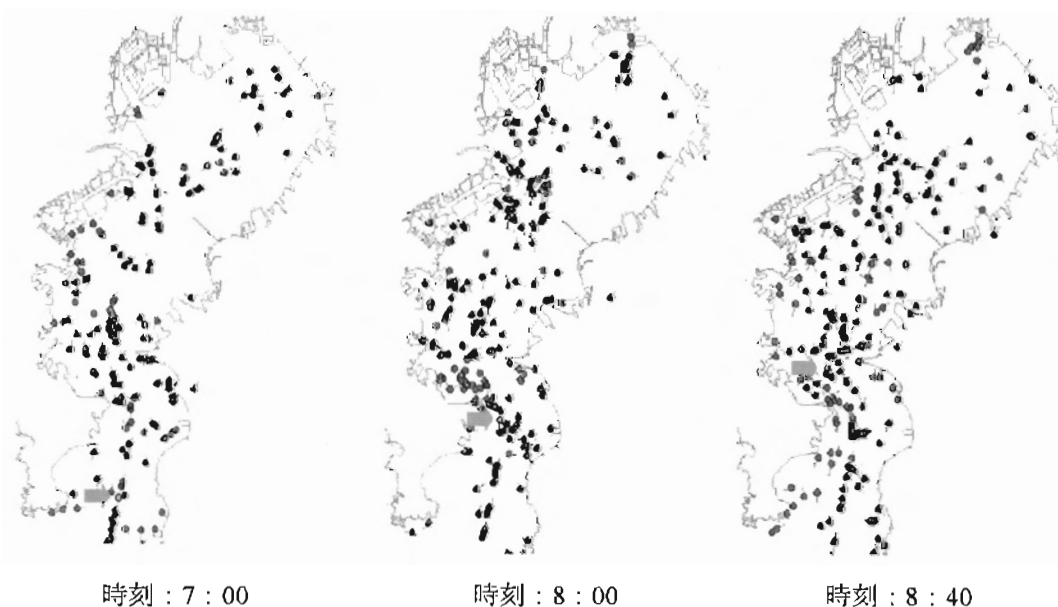




図 4.6.11 注目船舶(ShipID2170 と ShipID1245)の位置

(2) AIS 通信シミュレーション結果

表 4.6.7 に設定した 5 つの Case の AIS 通信シミュレーションを行う。

a) Case 1

500 総トン以上の船舶に Class A AIS を搭載

500 総トン未満の船舶は未搭載

① 海域全体の状況

0 時～24 時に出現した船舶 3,227 隻を対象とした。Class A AIS 搭載船が 309 隻、Class B AIS 搭載船が 0 隻である。シミュレーション経過時間別に Class A AIS および Class B AIS の平均スロット衝突率と平均スロット混信率をそれぞれ表 4.6.8 と表 4.6.9 に示す。ただし、Class B AIS 搭載船は、本シミュレーションでは発生していないので、表 4.6.9 の値は、すべて 0 となる。

表 4.6.8 経過時間別の通信状況(Class A AIS 搭載船)

経過時間	Class A AIS 搭載船出現隻数	エリア内最大隻数	エリア内最大隻数(注目船舶)	瞬間最大隻数	平均衝突率	平均混信率	最大スロット占有数
1	19	37	-	17	0.00%	0.00%	184
2	11	36	-	11	0.00%	0.00%	111
3	3	29	-	3	0.00%	0.00%	60
4	1	47	-	1	0.00%	0.00%	39
5	2	121	-	1	0.00%	0.00%	37
6	2	236	-	1	0.00%	0.00%	38
7	14	260	-	13	0.00%	0.00%	127
8	21	265	-	20	0.00%	0.00%	181
9	30	277	224	21	0.00%	0.00%	188
10	41	225	196	29	0.01%	0.01%	278
11	48	196	241	29	0.00%	0.01%	300
12	62	241	236	45	0.00%	0.01%	386
13	66	236	241	47	0.00%	0.01%	451
14	65	241	-	44	0.00%	0.00%	411
15	61	243	-	39	0.00%	0.01%	366
16	55	285	-	40	0.00%	0.00%	373
17	63	211	-	41	0.00%	0.01%	364
18	46	136	-	36	0.00%	0.00%	348
19	42	116	-	31	0.00%	0.03%	271
20	35	82	-	27	0.01%	0.08%	237
21	25	64	-	19	0.00%	0.01%	174
22	20	49	-	15	0.00%	0.00%	155
23	21	40	-	17	0.00%	0.00%	156
24	14	38	-	12	0.00%	0.00%	122

※ 出現隻数：1 時間の間に海上に現れた隻数

※ エリア内最大隻数：各 AIS の電波到達エリア内に存在する隻数(AIS 非搭載船含む)の最大

※ 瞬間最大隻数：海上に存在した AIS 搭載船の隻数対象時間帯の最大

※ 平均スロット占有数：チャンネル A と B の計 4,500 スロットのうち、送受信に使われたスロット数の平均

表 4.6.9 経過時間別の通信状況(Class B AIS)

経過時間	Class B AIS 搭載船 出現隻数	エリア内 最大隻数	エリア内最大 隻数(注目船舶)	瞬間 最大隻数	平均 衝突率	平均 混信率	平均スロッ ト占有数
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0

海域全体を対象として1分毎に平均衝突率と平均混信率を調べた。存在する AIS 搭載隻数別にそれらをプロットしたものをそれぞれ図 4.6.12 と図 4.6.13 に示す。本シミュレーションでは、AIS 信号受信圏内の最大 AIS 搭載船舶数は、約 50 隻であったが、1 分間の平均の衝突、混信率は、ともに 0.5%以下であった。

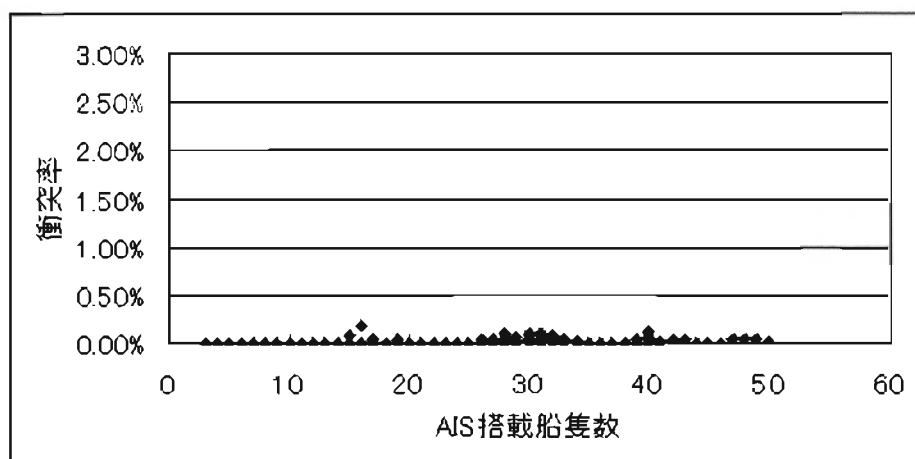


図 4.6.12 海上に存在する AIS 搭載隻数別の欠損状況(平均衝突率)

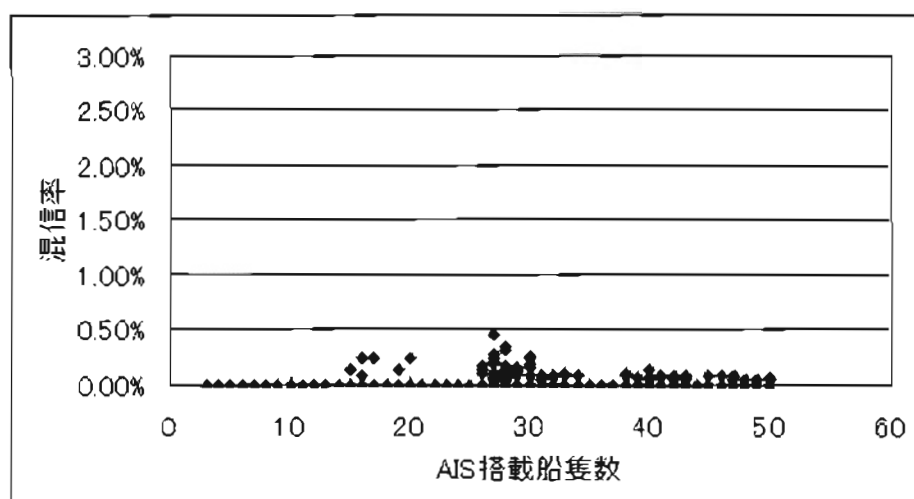


図 4.6.13 海上に存在する AIS 搭載隻数別の欠損状況(Class A AIS の平均混信率)

② 注目船舶 ShipID2170 の通信状況

i) 注目船舶 ShipID2170

- ・ Message12 を送信した船舶数 1 隻
- ・ 送信された Message12 の総数 21 通
- ・ 送信までの試行回数の平均 51 回
- ・ 送信までの試行回数の最大値 76 回
- ・ 送信までの試行回数の最小値 33 回
- ・ 1 フレーム内で送信できなかった回数 0 回

ii) ①と同じ船舶を対象

- ・ Message 12 を送信した船舶数 302 隻
- ・ 送信された Message 12 の総数 2,042 通
- ・ 送信までの試行回数の平均 52.7 回
- ・ 送信までの試行回数の最大値 83 回
- ・ 送信までの試行回数の最小値 27 回
- ・ 1 フレーム内で送信できなかった回数 0 回

ShipID2170 が送信した Message12 通報の距離別受信状況を表 4.6.10 に、ShipID2170 が送信した全 Message 通報の距離別受信状況を表 4.6.11 に示す。

表 4.6.10 ShipID2170 が送信した Message 12 通報の距離別受信状況

	0-3nm	3-5nm	5-10nm	10-15nm	15-20nm	20-25nm	25-30nm	30-35nm	35-40nm
受信	91	89	199	182	100	60	37	13	3
衝突して受信	0	0	0	0	0	0	0	0	0
衝突して欠損	0	0	0	0	0	0	0	0	0
送信中の為、欠損	0	0	1	0	0	1	1	0	0
欠損	0	0	1	0	0	1	1	0	0

表 4.6.11 ShipID2170 が送信した全 Message の距離別受信状況

	0-3nm	3-5nm	5-10nm	10-15nm	15-20nm	20-25nm	25-30nm	30-35nm	35-40nm
受信	11450	9802	25546	22440	11452	6786	4070	1148	218
衝突して受信	0	0	0	0	0	0	0	0	0
衝突して欠損	0	0	0	0	0	0	0	0	0
送信中の為、欠損	11	4	28	57	7	6	13	1	0
欠損	11	4	28	57	7	6	13	1	0

表 4.6.10 の内、注目船舶 ShipID2170 が送信した Message 12 の通信欠損割合と送信距離の関係をグラフ表示したものを図 4.6.14 に示す、また、同様に表 4.6.11 の内、注目船舶 ShipID2170 が送信した全 Message の通信欠損割合と送信距離の関係をグラフ表示したものを、図 4.6.15 に示す。これより、Case 1 の AIS 搭載条件では、Message 12 も含めて、20nm 以内であれば、0.5%以内の通信欠損率で通信できることがわかった。

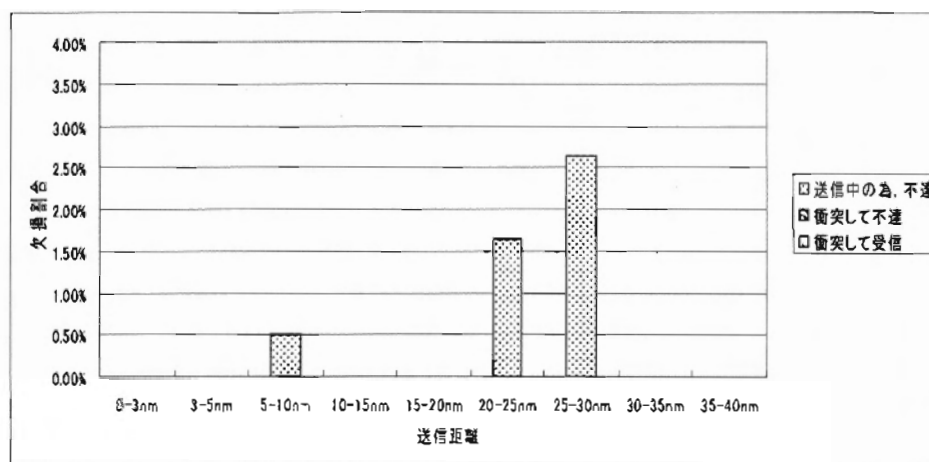


図 4.6.14 ShipID2170 が送信した Message 12 通報の距離別受信状況

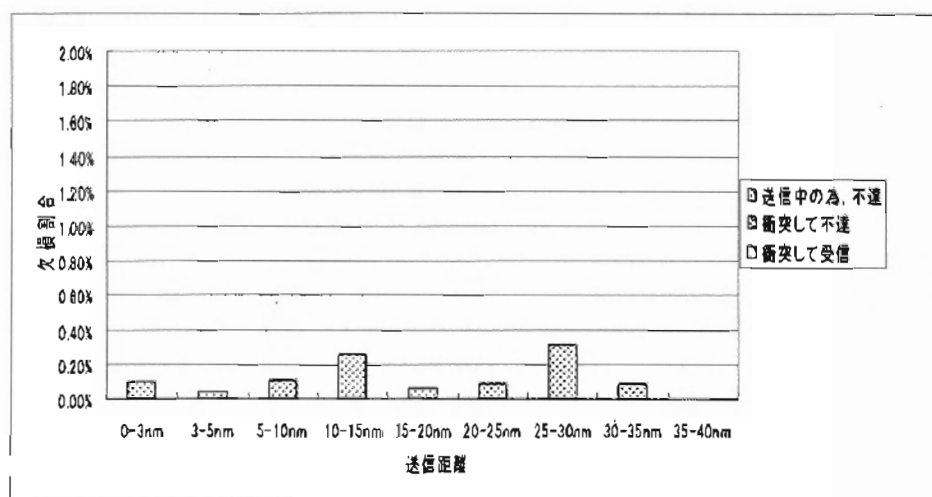


図 4.6.15 ShipID2170 が送信した全 Message の距離別受信状況

b) Case 2

300 総トン以上の船舶に Class A AIS を搭載

300 総トン未満の船舶は未搭載

① 海域全体の状況

0 時～24 時に出現した船舶 3,227 隻を対象とした。Class A AIS 搭載船が 740 隻、Class B AIS 搭載船が 0 隻である。シミュレーション経過時間別に Class A AIS および Class B AIS の平均スロット衝突率と平均スロット混信率をそれぞれ表 4.6.12 と表 4.6.13 に示す。ただし、Class B AIS 搭載船は、本シミュレーションでは発生していないので、表 4.6.13 の値は、すべて 0 となる。

表 4.6.12 経過時間別の通信状況(Class A AIS)

経過時間	Class A AIS 搭載船出現隻数	エリア内最大隻数	エリア内最大隻数(注目船舶)	瞬間最大隻数	平均衝突率	平均混信率	最大スロット占有数
1	28	37	-	24	0.00%	0.02%	248
2	18	36	-	18	0.00%	0.00%	175
3	7	30	-	7	0.00%	0.00%	97
4	5	58	-	5	0.00%	0.00%	91
5	15	121	-	11	0.00%	0.00%	106
6	26	236	-	21	0.00%	0.00%	182
7	62	260	-	53	0.00%	0.02%	427
8	86	265	-	69	0.00%	0.02%	562
9	101	277	224	70	0.00%	0.02%	592
10	123	225	196	86	0.01%	0.02%	727
11	155	196	241	98	0.01%	0.02%	759
12	169	241	236	118	0.01%	0.04%	1,051
13	166	236	241	124	0.01%	0.04%	1,043
14	166	241	-	107	0.01%	0.02%	917
15	147	243	-	106	0.00%	0.02%	889
16	135	285	-	99	0.01%	0.02%	808
17	132	211	-	85	0.01%	0.04%	720
18	94	136	-	70	0.00%	0.03%	652
19	77	116	-	55	0.01%	0.03%	466
20	67	82	-	52	0.03%	0.07%	427
21	54	64	-	37	0.00%	0.00%	329
22	39	49	-	32	0.01%	0.02%	285
23	37	40	-	30	0.00%	0.00%	249
24	23	38	-	20	0.00%	0.00%	185

表 4.6.13 経過時間別の通信状況(Class B AIS)

経過時間	Class B AIS 搭載船 出現隻数	エリア内 最大隻数	エリア内最大 隻数(注目船舶)	瞬間 最大隻数	平均 衝突率	平均 混信率	平均スロッ ト占有数
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0

海域全体を対象として1分毎に平均衝突率と平均混信率を調べた。存在する AIS 搭載隻数別にそれらをプロットしたものをそれぞれ図 4.6.16 と図 4.6.17 に示す。

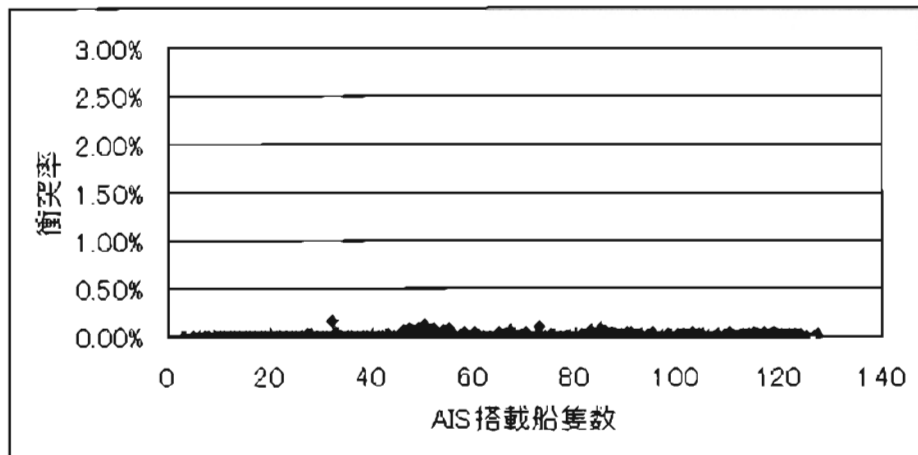


図 4.6.16 海上に存在する AIS 搭載隻数別の欠損状況(平均衝突率)

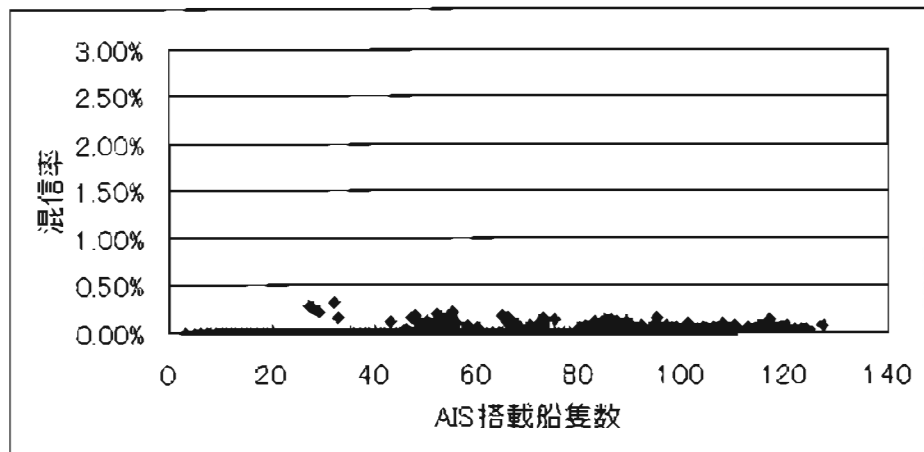


図 4.6.17 海上に存在する AIS 搭載隻数別の欠損状況(平均混信率)

② 注口船 ShipID2170 の通信状況

- i) 注口船舶 ShipID2170
 - ・ Message12 を送信した船舶数 1 隻
 - ・ 送信された Message12 の総数 20 通
 - ・ 送信までの試行回数の平均 29.5 回
 - ・ 送信までの試行回数の最大値 52 回
 - ・ 送信までの試行回数の最小値 6 回
 - ・ 1 フレーム内で送信できなかった回数 0 回
- ii) ①と同じ船舶を対象
 - ・ Message 12 を送信した船舶数 722 隻
 - ・ 送信された Message 12 の総数 5,286 通
 - ・ 送信までの試行回数の平均 42.7 回
 - ・ 送信までの試行回数の最大値 76 回
 - ・ 送信までの試行回数の最小値 2 回
 - ・ 1 フレーム内で送信できなかった回数 0 回

ShipID2170 が送信した Message12 通報の距離別受信状況を表 4.6.14 に、ShipID2170 が送信した全 Message 通報の距離別受信状況を表 4.6.15 に示す。

表 4.6.14 ShipID2170 が送信した Message 12 の距離別受信状況

	0-3nm	3-5nm	5-10nm	10-15nm	15-20nm	20-25nm	25-30nm	30-35nm	35-40nm
受信	190	193	569	500	294	173	95	31	4
衝突して受信	0	0	0	0	0	0	0	0	0
衝突して欠損	0	0	0	0	0	0	0	0	0
送信中の為、欠損	1	1	1	1	2	1	1	1	0
欠損	1	1	1	1	2	1	1	1	0

表 4.6.15 ShipID2170 が送信した全 Message の距離別受信状況

	0-3nm	3-5nm	5-10nm	10-15nm	15-20nm	20-25nm	25-30nm	30-35nm	35-40nm
受信	24,678	25,154	73,619	64,590	34,671	19,182	9,789	2,422	312
衝突して受信	3	0	0	0	0	0	0	0	0
衝突して欠損	0	1	14	22	16	36	45	17	6
送信中の為、欠損	27	18	67	95	11	23	15	12	0
欠損	27	19	81	117	27	59	60	29	6

表 4.6.14 の内、注目船舶 ShipID2170 が送信した Message 12 の通信欠損割合と送信距離の関係をグラフ表示したものを図 4.6.18 に示す。また、同様に表 4.6.15 の内、注目船舶 ShipID2170 が送信した全 Message の通信欠損割合と送信距離の関係をグラフ表示したものを、図 4.6.19 に示す。これより、Case 2 の AIS 搭載条件では、Message 12 も含めて、20nm 以内であれば、0.5%以内の通信欠損率で通信できることがわかった。

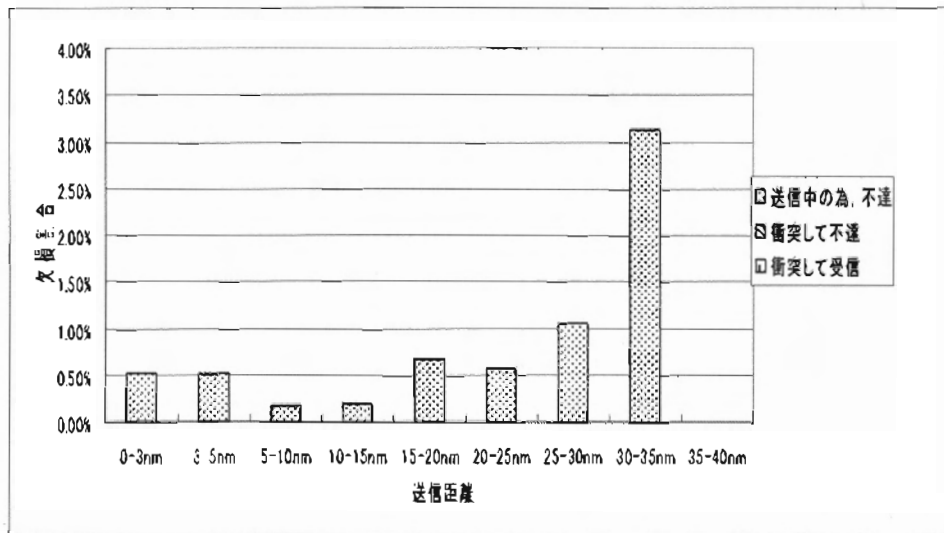


図 4.6.18 ShipID2170 が送信した Message 12 通報の距離別受信状況

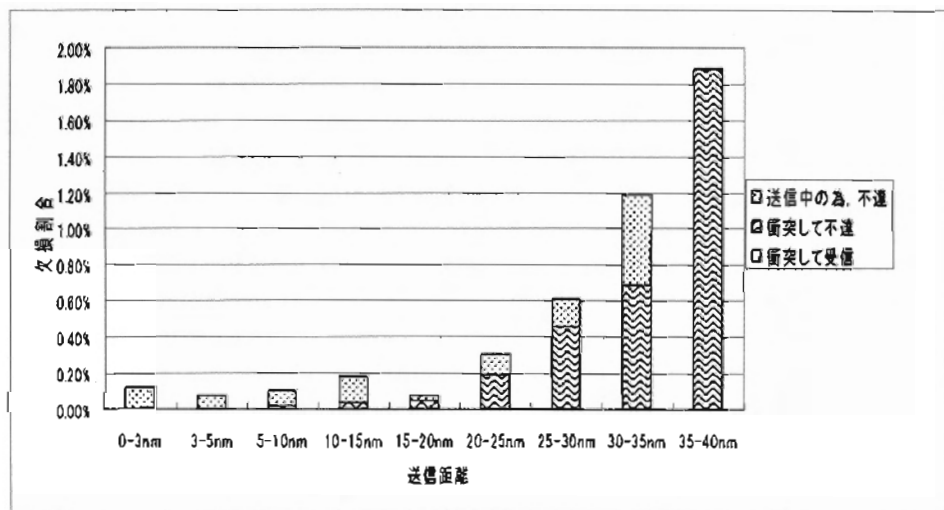


図 4.6.19 ShipID2170 が送信した全 Message の距離別受信状況

c) Case 3

500 総トン以上の船舶に Class A AIS を搭載

500 総トン未満の船舶に Class B AIS(CSTDMA)を搭載

① 海域全体の状況

0 時～24 時に出現した船舶 3,227 隻を対象とした。Class A AIS 搭載船が 309 隻、Class B AIS 搭載船が 2,918 隻である。シミュレーション経過時間別に Class A AIS および Class B AIS の平均スロット衝突率と平均スロット混信率をそれぞれ表 4.6.16 と表 4.6.17 に示す。

表 4.6.16 経過時間別の通信状況(Class A AIS)

経過 時間	Class A AIS 搭載船 出現隻数	エリア内 最大隻数	エリア内最大交 渉(注目船舶)	瞬間 最大隻数	平均 衝突率	平均 混信率	最大スロッ ト占有数
1	19	37	-	17	0.01%	0.05%	212
2	11	36	-	11	0.01%	0.10%	149
3	3	29	-	3	0.01%	0.09%	87
4	1	47	-	1	0.00%	0.02%	55
5	2	121	-	1	0.60%	1.14%	179
6	2	236	-	1	0.79%	2.55%	376
7	14	260	-	13	0.29%	2.34%	447
8	21	265	-	20	0.51%	2.27%	549
9	30	277	224	21	0.63%	2.80%	592
10	41	225	196	29	0.33%	1.54%	574
11	48	196	241	29	0.33%	1.52%	558
12	62	241	236	45	0.35%	1.59%	722
13	66	236	241	47	0.32%	1.34%	758
14	65	241	-	44	0.36%	1.48%	729
15	61	243	-	39	0.31%	1.38%	671
16	55	285	-	40	0.45%	2.02%	743
17	63	211	-	41	0.29%	1.14%	625
18	46	136	-	36	0.12%	0.59%	531
19	42	116	-	31	0.07%	0.31%	393
20	35	82	-	27	0.07%	0.30%	328
21	25	64	-	19	0.06%	0.22%	246
22	20	49	-	15	0.05%	0.16%	222
23	21	40	-	17	0.01%	0.04%	197
24	14	38	-	12	0.04%	0.17%	165

表 4.6.17 経過時間別の通信状況(Class B AIS)

経過時間	Class B AIS 搭載船 出現隻数	エリア内 最大隻数	エリア内最大 隻数(注目船舶)	瞬間 最大隻数	平均 衝突率	平均 混信率	平均スロッ ト占有数
1	23	34	-	19	0.01%	0.04%	212
2	34	32	-	26	0.03%	0.10%	149
3	39	23	-	27	0.03%	0.10%	103
4	69	50	-	56	0.10%	0.34%	125
5	188	111	141	118	0.40%	1.39%	249
6	364	221	181	233	0.84%	2.48%	436
7	437	248	193	256	1.04%	3.53%	539
8	464	236	226	249	0.58%	2.32%	557
9	466	246	197	258	0.68%	2.77%	604
10	378	201	172	202	0.41%	1.75%	579
11	349	177	159	167	0.32%	1.54%	568
12	362	216	121	201	0.36%	1.47%	721
13	359	214	84	188	0.29%	1.25%	766
14	405	222	-	199	0.37%	1.51%	738
15	394	212	-	204	0.33%	1.38%	682
16	419	258	-	247	0.50%	2.03%	748
17	276	194	-	176	0.30%	1.27%	631
18	167	122	-	101	0.17%	0.51%	536
19	105	105	-	86	0.10%	0.35%	392
20	73	72	-	55	0.08%	0.32%	332
21	61	54	-	43	0.05%	0.20%	246
22	42	46	-	34	0.05%	0.16%	223
23	33	34	-	22	0.01%	0.04%	198
24	38	36	-	28	0.04%	0.16%	166

海域全体を対象として1分毎に平均衝突率と平均混信率を調べた。存在する AIS 搭載隻数別にそれらをプロットしたものをそれぞれ図 4.6.20 と図 4.6.21 に示す。

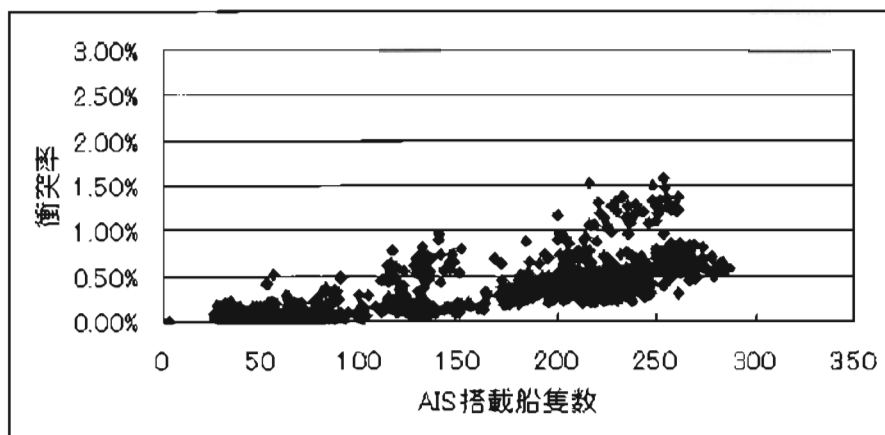


図 4.6.20 海上に存在する AIS 搭載隻数別の欠損状況(平均衝突率)

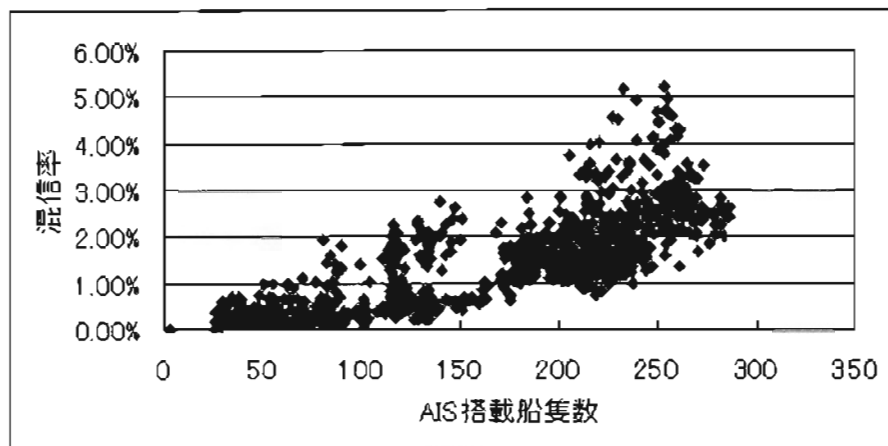


図 4.6.21 海上に存在する AIS 搭載隻数別の欠損状況(平均混信率)

② 注目船 ShipID2170 の通信状況

i) 注目船舶 ShipID2170

- ・ Message12 を送信した船舶数 1 隻
- ・ 送信された Message12 の総数 20 通
- ・ 送信までの試行回数の平均 55.2 回
- ・ 送信までの試行回数の最大値 70 回
- ・ 送信までの試行回数の最小値 41 回
- ・ 1 フレーム内で送信できなかった回数 0 回

ii) ①と同じ船舶を対象

- ・ Message 12 を送信した船舶数 302 隻
- ・ 送信された Message 12 の総数 2,040 通
- ・ 送信までの試行回数の平均 53.1 回
- ・ 送信までの試行回数の最大値 82 回
- ・ 送信までの試行回数の最小値 27 回
- ・ 1 フレーム内で送信できなかった回数 0 回

ShipID2170 が送信した Message12 通報の距離別受信状況を表 4.6.18 に、ShipID2170 が送信した全 Message 通報の距離別受信状況を表 4.6.19 に示す。

表 4.6.18 ShipID2170 が送信した Message 12 の距離別受信状況

	0-3nm	3-5nm	5-10nm	10-15nm	15-20nm	20-25nm	25-30nm	30-35nm	35-40nm
受信	337	425	1128	1000	668	359	177	58	15
衝突して受信	0	0	0	0	0	0	0	0	0
衝突して欠損	0	0	0	0	0	0	0	0	0
送信中の為、欠損	0	0	0	2	0	1	0	0	0
欠損	0	0	0	2	0	1	0	0	0

表 4.6.19 ShipID2170 が送信した全 Message の距離別受信状況

	0-3nm	3-5nm	5-10nm	10-15nm	15-20nm	20-25nm	25-30nm	30-35nm	35-40nm
受信	45,215	52,161	144,997	128,970	80,696	44,499	19,341	5,486	1,138
衝突して受信	0	0	0	0	0	0	0	0	0
衝突して欠損	0	0	0	0	0	0	0	0	0
送信中の為、欠損	23	4	54	41	3	13	13	2	1
欠損	23	4	54	41	3	13	13	2	1

表 4.6.18 の内、注目船舶 ShipID2170 が送信した Message 12 の通信欠損割合と送信距離の関係をグラフ表示したものを図 4.6.22 に示す。また、同様に表 4.6.19 の内、注目船舶 ShipID2170 が送信した全 Message の通信欠損割合と送信距離の関係をグラフ表示したものを、図 4.6.23 に示す。これより、Case 5 の AIS 搭載条件では、Message 12 も含めて、20nm 以内であれば、0.5%以内の通信欠損率で通信できることがわかった。

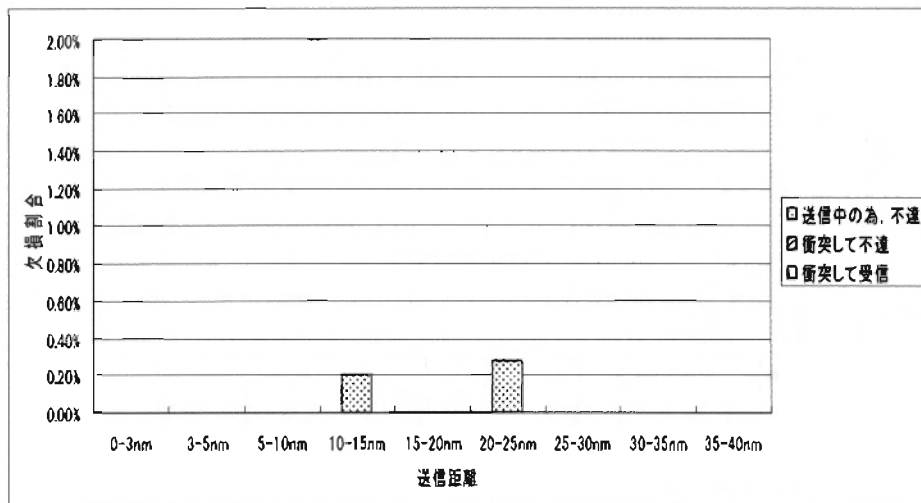


図 4.6.22 ShipID2170 が送信した Message 12 の距離別受信状況

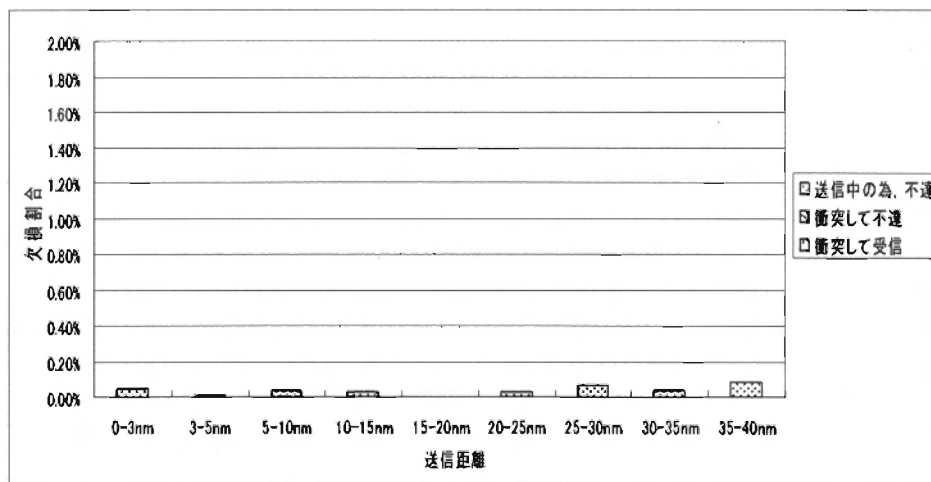


図 4.6.23 ShipID2170 が送信した全 Message の距離別受信状況

③ 注目船 ShipID1425 の通信状況

Class B AIS を搭載する注目船舶 ShipID1425 が送信した全 Message 通報の距離別受信状況を表 4.6.20 に示す。

表 4.6.20 ShipID1425 が送信した全 Message の距離別受信状況

	0-3nm	3-5nm	5-10nm	10-15nm
受信	18925	28982	62562	46347
衝突して受信	166	32	0	0
衝突して欠損	53	230	820	896
送信中の為、欠損	6	8	27	15
欠損	59	238	847	911

表 4.6.20 の内、ShipID1425 が送信した全 Message の通信欠損割合と送信距離の関係をグラフ表示したものを、図 4.6.24 に示す。これより、Class B AIS の場合でも、Case 3 の AIS 搭載条件では、15nm 以内であれば、1%以内の通信欠損率で通信することがわかった。

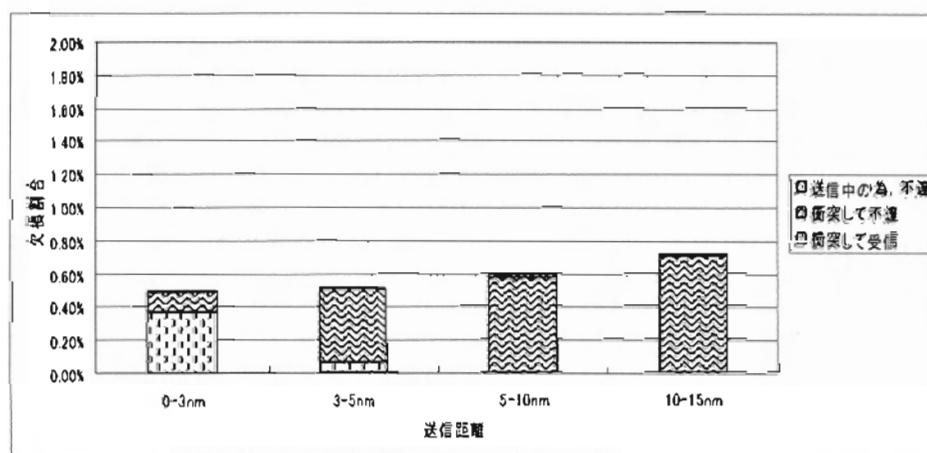


図 4.6.24 ShipID1425 が送信した全 Message 距離別受信状況

d) Case 4

300 総トン以上の船舶に Class A AIS を搭載

300 総トン未満の船舶に Class B AIS(CSTDMA)を搭載

① 海域全体の状況

0 時～24 時に出現した船舶 3,227 隻を対象とした。Class A AIS 搭載船が 740 隻、Class B AIS 搭載船が 2,487 隻である。シミュレーション経過時間別に Class A AIS および Class B AIS の平均スロット衝突率と平均スロット混信率をそれぞれ表 4.6.21 と表 4.6.22 に示す。

表 4.6.21 経過時間別の通信状況(Class A AIS)

経過時間	Class A AIS 搭載船 出現隻数	エリア内 最大隻数	エリア内最大隻 数(注目船舶)	瞬間 最大隻数	平均 衝突率	平均 混信率	最大スロッ ト占有数
1	28	37	-	24	0.01%	0.02%	264
2	18	36	-	18	0.01%	0.06%	203
3	7	30	-	7	0.01%	0.06%	129
4	5	58	-	5	0.05%	0.18%	144
5	15	121	-	11	0.22%	0.68%	303
6	26	236	-	21	0.34%	1.31%	531
7	62	260	-	53	0.23%	1.58%	720
8	86	265	-	69	0.21%	1.02%	865
9	101	277	224	70	0.28%	1.36%	914
10	123	225	196	86	0.11%	0.51%	924
11	155	196	241	98	0.08%	0.36%	924
12	169	241	236	118	0.08%	0.37%	1,244
13	166	236	241	124	0.06%	0.32%	1,211
14	166	241	-	107	0.08%	0.48%	1,139
15	147	243	-	106	0.08%	0.41%	1,079
16	135	285	-	99	0.15%	0.79%	1,112
17	132	211	-	85	0.10%	0.43%	945
18	94	136	-	70	0.04%	0.21%	780
19	77	116	-	55	0.03%	0.13%	541
20	67	82	-	52	0.04%	0.10%	478
21	54	64	-	37	0.01%	0.04%	357
22	39	49	-	32	0.01%	0.04%	334
23	37	40	-	30	0.00%	0.02%	261
24	23	38	-	20	0.01%	0.05%	218

表 4.6.22 経過時間別の通信状況(Class B AIS)

経過時間	Class B AIS 搭載船出現隻数	エリア内最大隻数	エリア内最大隻数(注目船舶)	瞬間最大隻数	平均衝突率	平均混信率	平均スロット占有数
1	14	34	-	13	0.01%	0.01%	264
2	27	32	-	21	0.02%	0.05%	203
3	35	23	-	25	0.02%	0.04%	129
4	65	50	-	54	0.07%	0.26%	173
5	175	111	141	111	0.30%	0.98%	309
6	340	221	181	213	0.55%	1.61%	538
7	389	248	193	232	0.62%	2.12%	725
8	399	236	226	203	0.28%	1.00%	864
9	395	246	197	210	0.35%	1.35%	921
10	296	201	172	153	0.14%	0.57%	925
11	242	176	159	99	0.08%	0.36%	922
12	255	216	121	125	0.09%	0.38%	1,249
13	259	214	84	123	0.09%	0.37%	1,211
14	304	222	-	138	0.15%	0.56%	1,144
15	308	212	-	148	0.12%	0.48%	1,080
16	339	258	-	190	0.24%	0.93%	1,115
17	207	193	-	128	0.11%	0.43%	944
18	119	121	-	74	0.06%	0.16%	781
19	70	104	-	61	0.04%	0.11%	540
20	41	71	-	33	0.03%	0.10%	475
21	32	53	-	25	0.01%	0.03%	356
22	23	46	-	16	0.01%	0.03%	334
23	17	34	-	13	0.01%	0.01%	261
24	29	36	-	20	0.01%	0.04%	218

海域全体を対象として1分毎に平均衝突率と平均混信率を調べた。存在する AIS 搭載隻数別にそれらをプロットしたものをそれぞれ図 4.6.25 と図 4.6.26 に示す。

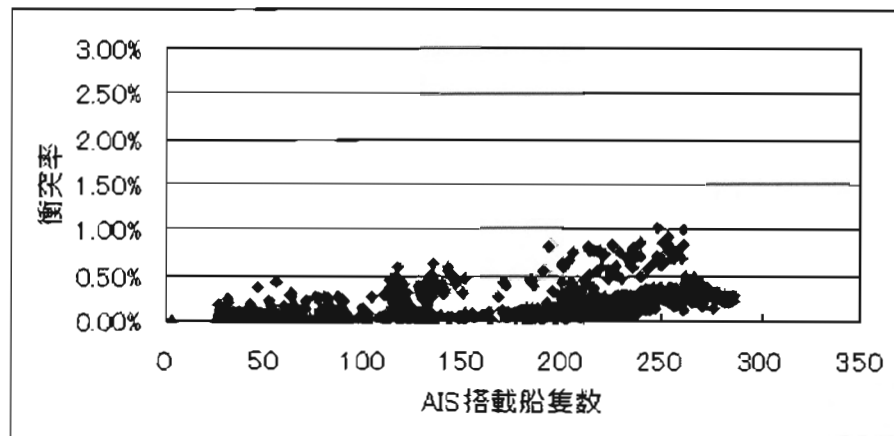


図 4.6.25 海上に存在する AIS 搭載隻数別の欠損状況(平均衝突率)

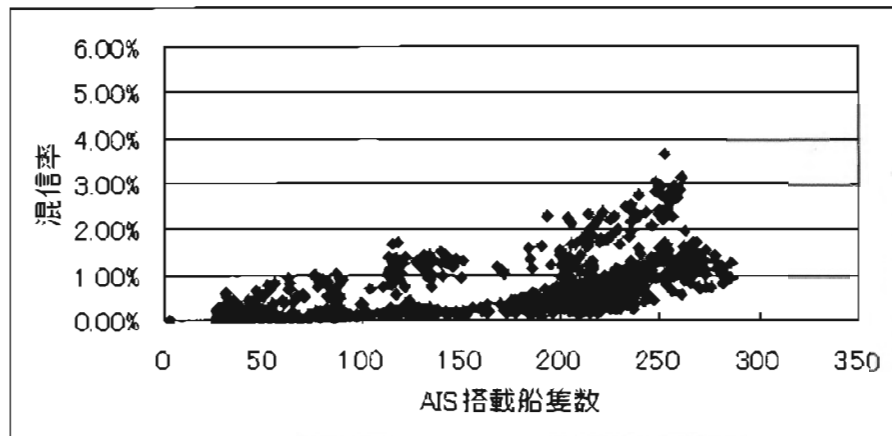


図 4.6.26 海上に存在する AIS 搭載隻数別の欠損状況(平均混信率)

② 注目船 ShipID2170 の通信状況

i) 注目船舶 ShipID2170

- ・ Message12 を送信した船舶数 1 隻
- ・ 送信された Message12 の総数 20 通
- ・ 送信までの試行回数の平均 33.3 回
- ・ 送信までの試行回数の最大値 57 回
- ・ 送信までの試行回数の最小値 2 回
- ・ 1 フレーム内で送信できなかった回数 0 回

ii) ①と同じ船舶を対象

- ・ Message 12 を送信した船舶数 720 隻
- ・ 送信された Message 12 の総数 5,279 通
- ・ 送信までの試行回数の平均 42.5 回
- ・ 送信までの試行回数の最大値 77 回
- ・ 送信までの試行回数の最小値 1 回
- ・ 1 フレーム内で送信できなかった回数 0 回

ShipID2170 が送信した Message12 通報の距離別受信状況を表 4.6.23 に、ShipID2170 が送信した全 Message 通報の距離別受信状況を表 4.6.24 に示す。

表 4.6.23 ShipID2170 が送信した Message 12 の距離別受信状況

	0-3nm	3-5nm	5-10nm	10-15nm	15-20nm	20-25nm	25-30nm	30-35nm	35-40nm
受信	355	435	1179	1048	703	395	184	61	14
衝突して受信	0	0	0	0	0	0	0	0	0
衝突して欠損	0	0	0	0	0	0	0	0	0
送信中の為、欠損	0	0	1	2	1	0	0	0	0
欠損	0	0	1	2	1	0	0	0	0

表 4.6.24 ShipID2170 が送信した全 Message の距離別受信状況

	0-3nm	3-5nm	5-10nm	10-15nm	15-20nm	20-25nm	25-30nm	30-35nm	35-40nm
受信	45,133	52,039	144,600	128,540	80,396	44,230	19,181	5,426	1,113
衝突して受信	6	1	0	0	0	0	0	0	0
衝突して欠損	0	4	23	49	29	37	36	18	7
送信中の為、欠損	39	26	72	77	63	26	19	6	0
欠損	39	30	95	126	92	63	55	24	7

表 4.6.23 の内、注目船舶 ShipID2170 が送信した Message 12 の通信欠損割合と送信距離の関係をグラフ表示したものを図 4.6.27 に示す。また、同様に表 4.6.24 の内、注目船舶 ShipID2170 が送信した全 Message の通信欠損割合と送信距離の関係をグラフ表示したものを、図 4.6.28 に示す。これより、Case 4 の AIS 搭載条件では、Message 12 も含めて、30nm 以内であれば、0.5%以内の通信欠損率で通信できることがわかった。

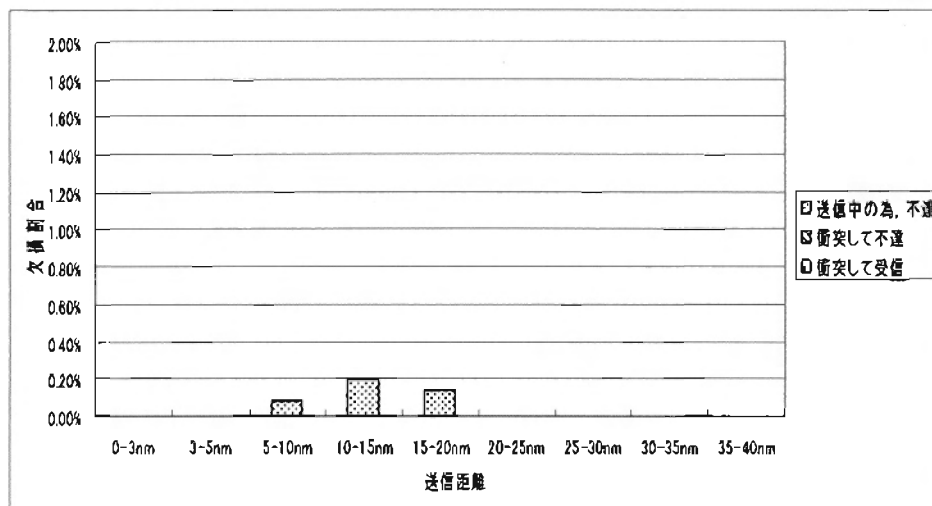


図 4.6.27 ShipID2170 が送信した Message 12 の距離別受信状況

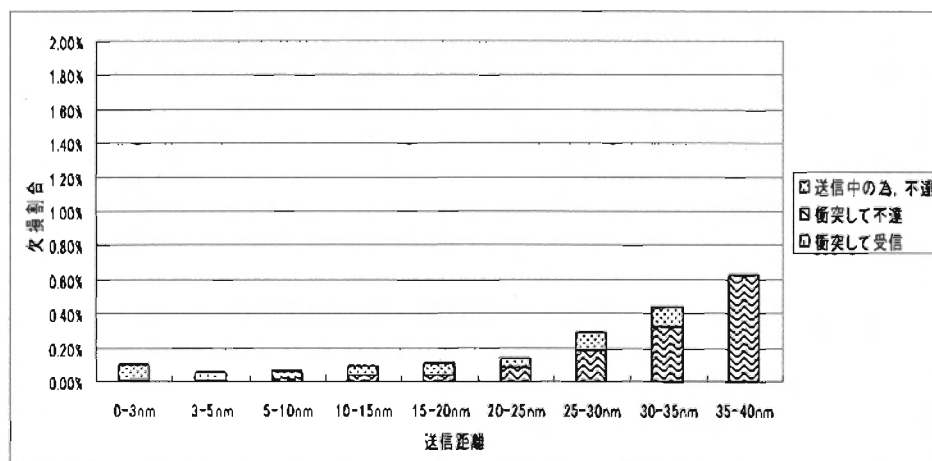


図 4.6.28 ShipID2170 が送信した全 Message の距離別受信状況

③ 注目船 ShipID1425 の通信状況

Class B AIS を搭載する注目船舶 ShipID1425 が送信した全 Message 通報の距離別受信状況を表 4.6.25 に示す。

表 4.6.25 ShipID1425 が送信した全 Message の距離別受信状況

	0-3nm	3-5nm	5-10nm	10-15nm
受信	18738	28857	62343	46316
衝突して受信	151	15	0	0
衝突して欠損	170	305	849	743
送信中の為、欠損	7	31	50	40
欠損	177	336	899	783

表 4.6.25 の内、ShipID1425 が送信した全 Message の通信欠損割合と送信距離の関係をグラフ表示したものを、図 4.6.29 に示す。これより、Class B AIS の場合でも、Case 3 の AIS 搭載条件では、15nm 以内であれば、2%以内の通信欠損率で通信できることがわかった。

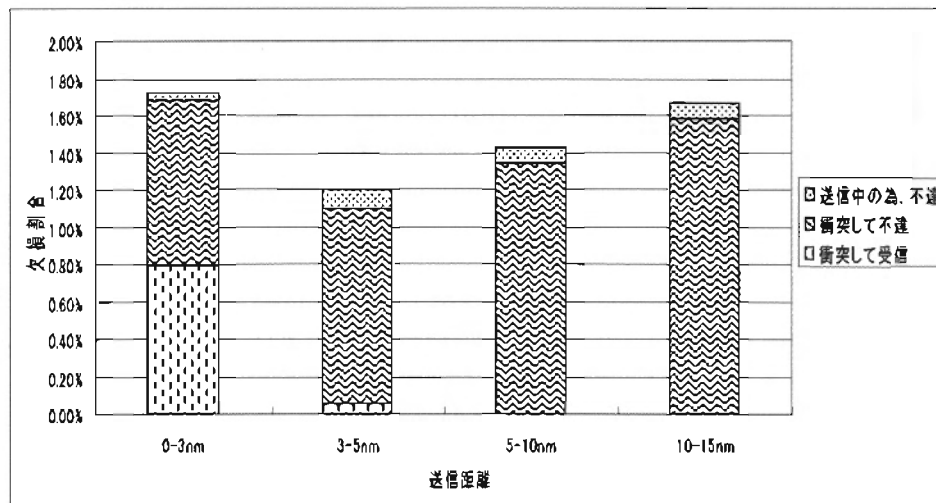


図 4.6.29 ShipID1425 が送信した全 Message の距離別受信状況

e) Case 5

300 総トン以上の船舶に Class A AIS を搭載

300 総トン未満の船舶に Class B AIS(SOTDMA)を搭載

① 海域全体の状況

0 時～24 時に出現した船舶 3,227 隻を対象とした、Class A AIS 搭載船が 740 隻、Class B AIS 搭載船が 2,487 隻である。シミュレーション経過時間別に Class A AIS および Class B AIS の平均スロット衝突率と平均スロット混信率をそれぞれ表 4.6.26 と表 4.6.27 に示す

表 4.6.26 経過時間別の通信状況(Class A AIS)

経過 時間	Class A AIS 搭載船 出現隻数	エリア内 最大隻数	エリア内最大隻 数(注目船舶)	瞬間 最大隻数	平均 衝突率	平均 混信率	最大スロッ ト占有数
1	28	37	-	24	0.01%	0.06%	261
2	18	36	-	18	0.01%	0.02%	200
3	7	30	-	7	0.01%	0.05%	125
4	5	58	-	5	0.03%	0.02%	140
5	15	121	-	11	0.04%	0.18%	284
6	26	236	-	21	0.09%	0.31%	533
7	62	260	-	53	0.14%	0.44%	710
8	86	265	-	69	0.18%	0.58%	854
9	101	277	224	70	0.16%	0.57%	923
10	123	225	196	86	0.11%	0.34%	913
11	155	196	241	98	0.11%	0.27%	915
12	169	241	236	118	0.15%	0.36%	1,230
13	166	236	241	124	0.17%	0.37%	1,192
14	166	241	-	107	0.19%	0.42%	1,108
15	147	243	-	106	0.14%	0.38%	1,046
16	135	285	-	99	0.18%	0.48%	1,096
17	132	211	-	85	0.12%	0.36%	933
18	94	136	-	70	0.06%	0.21%	768
19	77	116	-	55	0.05%	0.14%	532
20	67	82	-	52	0.06%	0.15%	472
21	54	64	-	37	0.02%	0.06%	354
22	39	49	-	32	0.02%	0.04%	317
23	37	40	-	30	0.01%	0.03%	258
24	23	38	-	20	0.02%	0.03%	217

表 4.6.27 経過時間別の通信状況(Class B AIS)

経過時間	Class B AIS 搭載船 出現隻数	エリア内 最大隻数	エリア内最大 隻数(注目船舶)	瞬間 最大隻数	平均 衝突率	平均 混信率	平均スロッ ト占有数
1	14	34	-	13	0.02%	0.03%	261
2	27	32	-	21	0.02%	0.02%	200
3	35	23	-	25	0.03%	0.04%	126
4	65	50	-	54	0.02%	0.07%	164
5	175	111	141	111	0.08%	0.27%	290
6	340	221	181	213	0.10%	0.34%	538
7	389	248	193	232	0.16%	0.57%	712
8	399	236	226	203	0.18%	0.64%	852
9	395	246	197	210	0.18%	0.58%	928
10	296	201	172	153	0.11%	0.38%	914
11	242	176	159	99	0.10%	0.31%	914
12	255	216	121	125	0.14%	0.47%	1,233
13	259	214	84	123	0.15%	0.57%	1,191
14	304	222	-	138	0.18%	0.66%	1,111
15	308	212	-	148	0.16%	0.54%	1,047
16	339	258	-	190	0.20%	0.66%	1,100
17	207	193	-	128	0.12%	0.36%	931
18	119	121	-	74	0.08%	0.17%	768
19	70	104	-	61	0.05%	0.13%	531
20	41	71	-	33	0.04%	0.15%	467
21	32	53	-	25	0.03%	0.06%	352
22	23	46	-	16	0.01%	0.06%	317
23	17	34	-	13	0.01%	0.03%	258
24	29	36	-	20	0.02%	0.03%	217

海域全体を対象として1分毎に平均衝突率と平均混信率を調べた。存在する AIS 搭載隻数別にそれらをプロットしたものをそれぞれ図 4.6.30 と図 4.6.31 に示す。

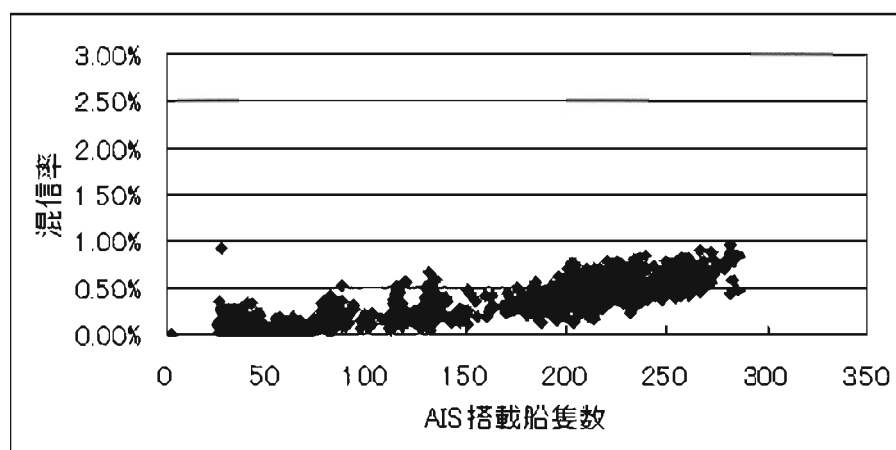


図 4.6.30 海上に存在する AIS 搭載隻数別の欠損状況(平均衝突率)

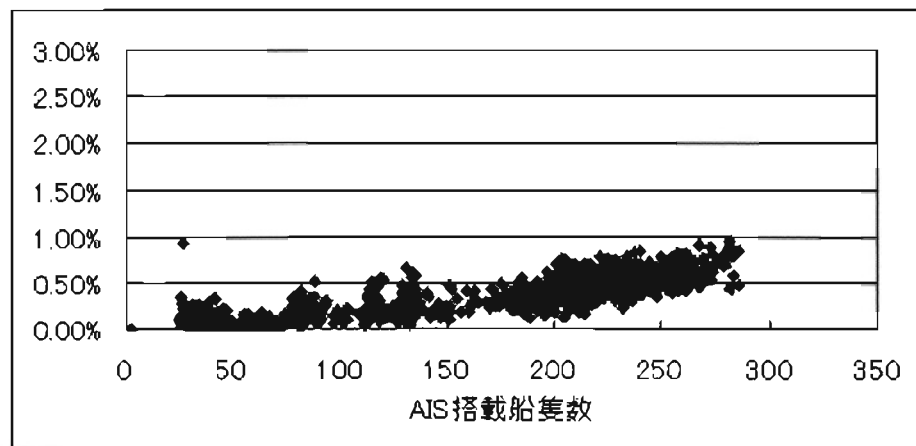


図 4.6.31 海上に存在する AIS 搭載隻数別の欠損状況(平均混信率)

② 注目船 ShipID2170 の通信状況

i) 注目船舶 ShipID2170

- ・ Message12 を送信した船舶数 1 隻
- ・ 送信された Message12 の総数 21 通
- ・ 送信までの試行回数の平均 38.8 回
- ・ 送信までの試行回数の最大値 49 回
- ・ 送信までの試行回数の最小値 4 回
- ・ 1 フレーム内で送信できなかった回数 0 回

ii) ①と同じ船舶を対象

- ・ Message 12 を送信した船舶数 721 隻
- ・ 送信された Message 12 の総数 5,270 通
- ・ 送信までの試行回数の平均 38.1 回
- ・ 送信までの試行回数の最大値 77 回
- ・ 送信までの試行回数の最小値 1 回
- ・ 1 フレーム内で送信できなかった回数 0 回

ShipID2170 が送信した Message12 通報の距離別受信状況を表 4.6.28 に、ShipID2170 が送信した全 Message 通報の距離別受信状況を表 4.6.29 に示す。

表 4.6.28 ShipID2170 が送信した Message 12 の距離別受信状況

	0-3nm	3-5nm	5-10nm	10-15nm	15-20nm	20-25nm	25-30nm	30-35nm	35-40nm
受信	363	432	1176	1055	690	390	182	63	16
衝突して受信	0	0	0	0	0	0	0	0	0
衝突して欠損	0	0	0	0	0	0	0	0	0
送信中の為、欠損	0	2	2	0	0	1	0	1	0
欠損	0	2	2	0	0	1	0	1	0

表 4.6.29 ShipID2170 が送信した全 Message の距離別受信状況

	0-3nm	3-5nm	5-10nm	10-15nm	15-20nm	20-25nm	25-30nm	30-35nm	35-40nm
受信	44,957	51,856	143,970	127,962	79,958	43,930	18,986	5,384	1,089
衝突して受信	12	15	10	0	0	0	0	0	0
衝突して欠損	0	3	63	115	102	106	103	27	6
送信中の為、欠損	54	32	105	101	59	50	19	6	4
欠損	54	35	168	216	161	156	122	33	10

表 4.6.28 の内、注目船舶 ShipID2170 が送信した Message 12 の通信欠損割合と送信距離の関係をグラフ表示したものを図 4.6.32 に示す。また、同様に表 4.6.29 の内、注目船舶 ShipID2170 が送信した全 Message の通信欠損割合と送信距離の関係をグラフ表示したものを、図 4.6.33 に示す。これより、Case 3 の AIS 搭載条件では、Message 12 も含めて、20nm 以内であれば、0.5%以内の通信欠損率で通信できることがわかった。

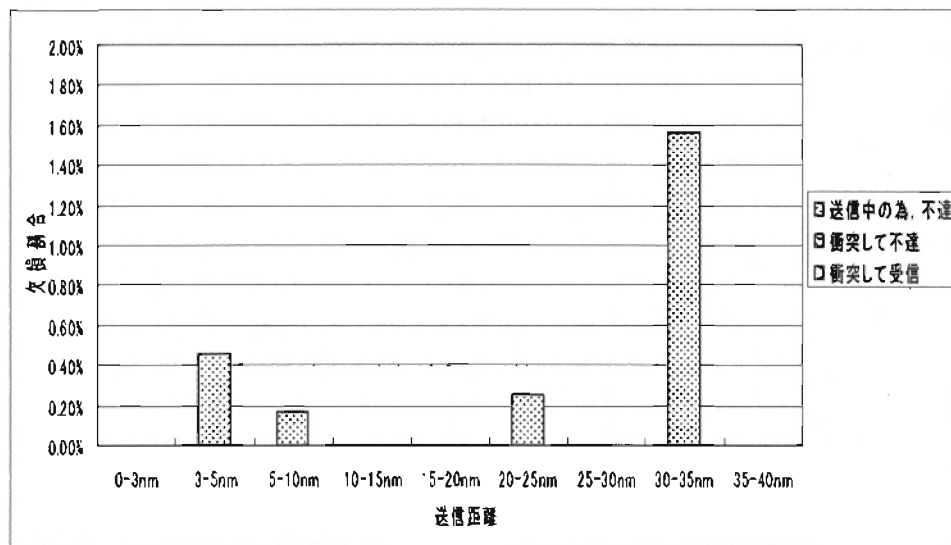


図 4.6.32 ShipID2170 が送信した Message 12 の距離別受信状況

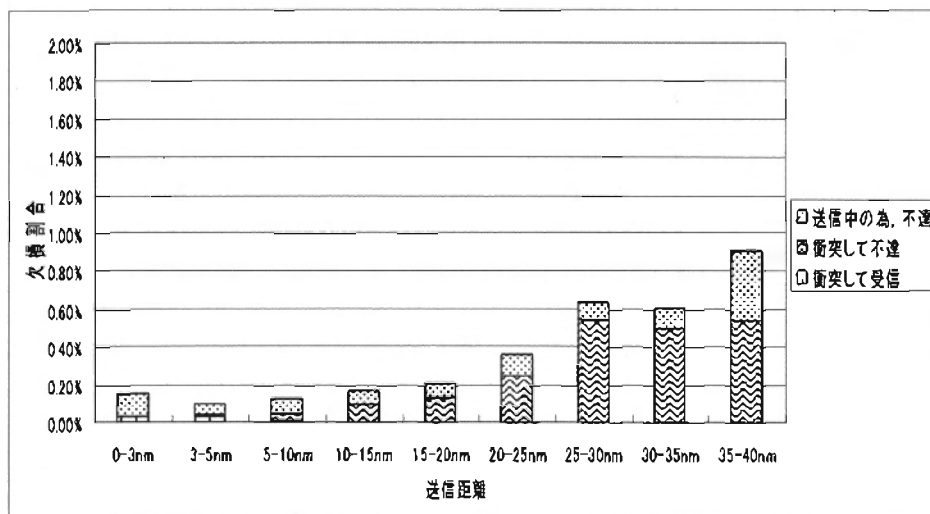


図 4.6.33 ShipID2170 が送信した全 Message の距離別受信状況

③ 注目船 ShipID1425 の通信状況

Class B AIS を搭載する注目船舶 ShipID1425 が送信した全 Message 通報の距離別受信状況を表 4.6.30 に示す。

表 4.6.30 ShipID1425 が送信した全 Message の距離別受信状況

	0-3nm	3-5nm	5-10nm	10-15nm
受信	17769	27126	58544	43476
衝突して受信	0	11	0	0
衝突して欠損	0	19	295	396
送信中の為、欠損	15	24	42	27
欠損	15	43	337	423

表 4.6.30 の内、ShipID1425 が送信した全 Message の通信欠損割合と送信距離の関係をグラフ表示したものを、図 4.6.34 に示す。これより、Class B AIS の場合でも、Case 5 の AIS 搭載条件では、15nm 以内であれば、1%以内の通信欠損率で通信できることがわかった。

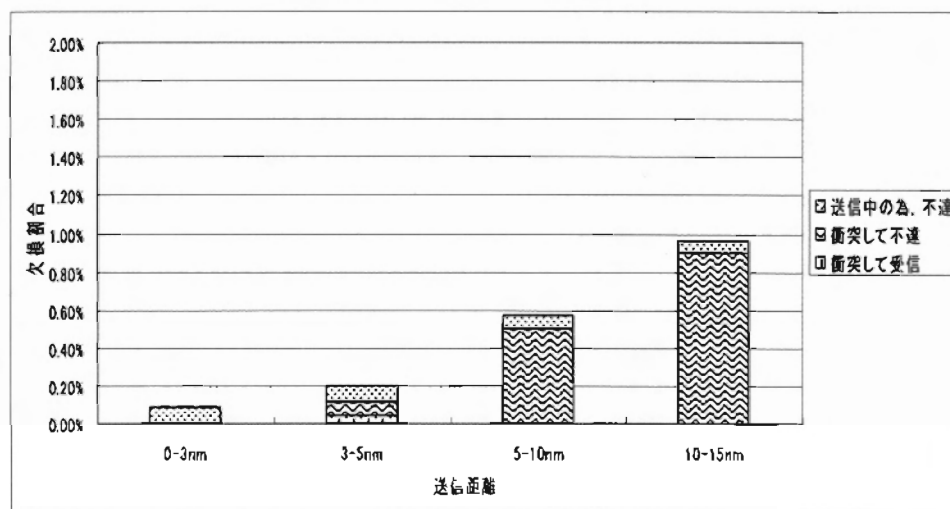


図 4.6.34 ShipID1425 が送信した全 Message の距離別受信状況

(3) AIS 通信シミュレーションについての考察

a) シミュレーションの状況と通信状況およびスロットの利用状況について

今回検討した5つのCaseに対するシミュレーション結果について、時間別に整理した平均スロット衝突率を Class A AIS 搭載船と Class B AIS 搭載船に分類してそれぞれ図 4.6.35 と図 4.6.36 に示す。同様に平均スロット混信率をそれぞれ図 4.6.37 と図 4.6.38 に、通信欠損率を図 4.6.39 と表 4.6.31 および図 4.6.40 と表 4.6.32 に示す。

通信時の衝突や混信は、スケジュールされていない通信である CSTDMA 方式の通信を多く行う Case3 において、最も多くなっている。このため、CSTDMA の使用者密度が高い場合、通信環境によっては、メッセージが届かない場合があることを考慮する必要がある。また、衝突及び混信の発生率については、Class A AIS 搭載船と Class B AIS 搭載船に大きな違いはなかった。通信欠損率については、ship2170(Class A AIS)と ship1245(Class B AIS)ともに発現後の1時間が最も通信欠損率が高くなっている。これは ship2170 と ship1245 はともに東京湾外で発現するため、その場所から送信したメッセージは、湾内に存在する船舶群からは最も遠い位置から送られてきたメッセージとして扱われ、衝突もしくは混信により通信欠損となるからである。Class A AIS 搭載船はいずれの Case においても 1%未満であったが Class B AIS 搭載船では CSTDMA を使用する Case3、Case4 で6%を超える値が見られた。

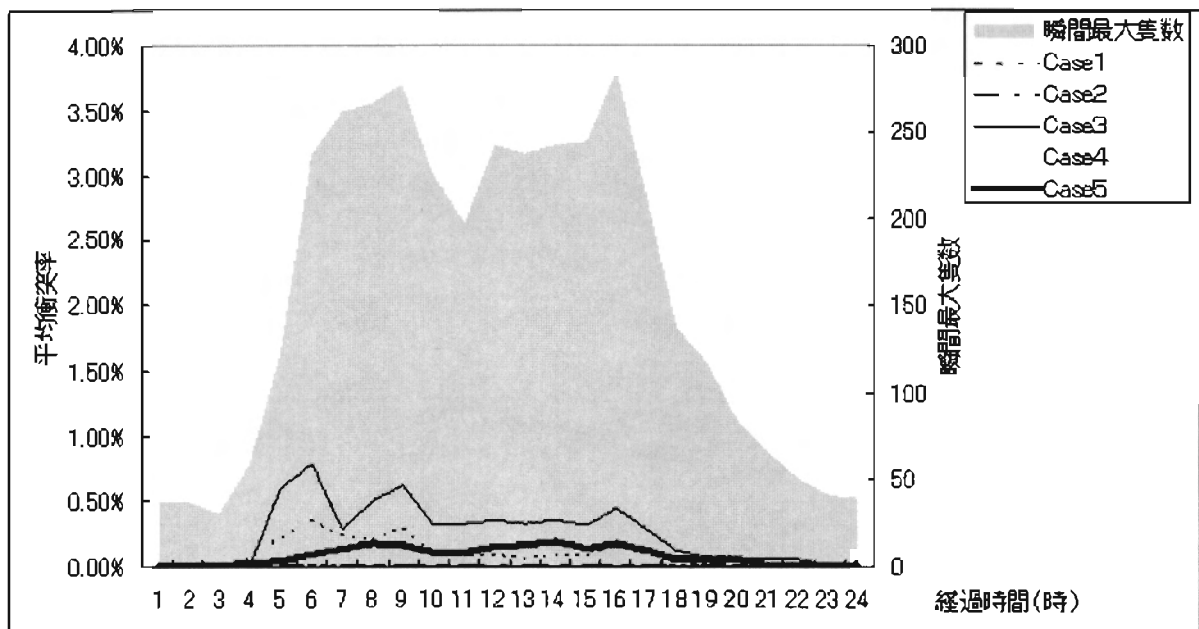


図 4.6.35 シミュレーション時刻別の平均スロット衝突率 (Class A AIS 搭載船)

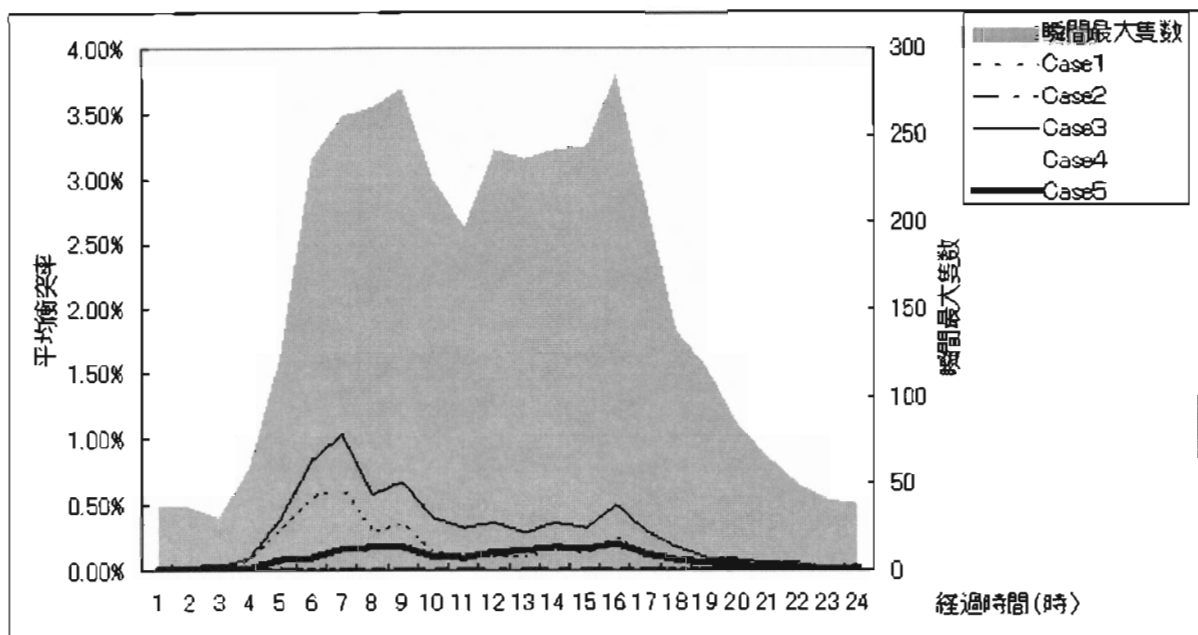


図 4.6.36 シミュレーション時刻別の平均スロット衝突率 (Class B AIS 搭載船)

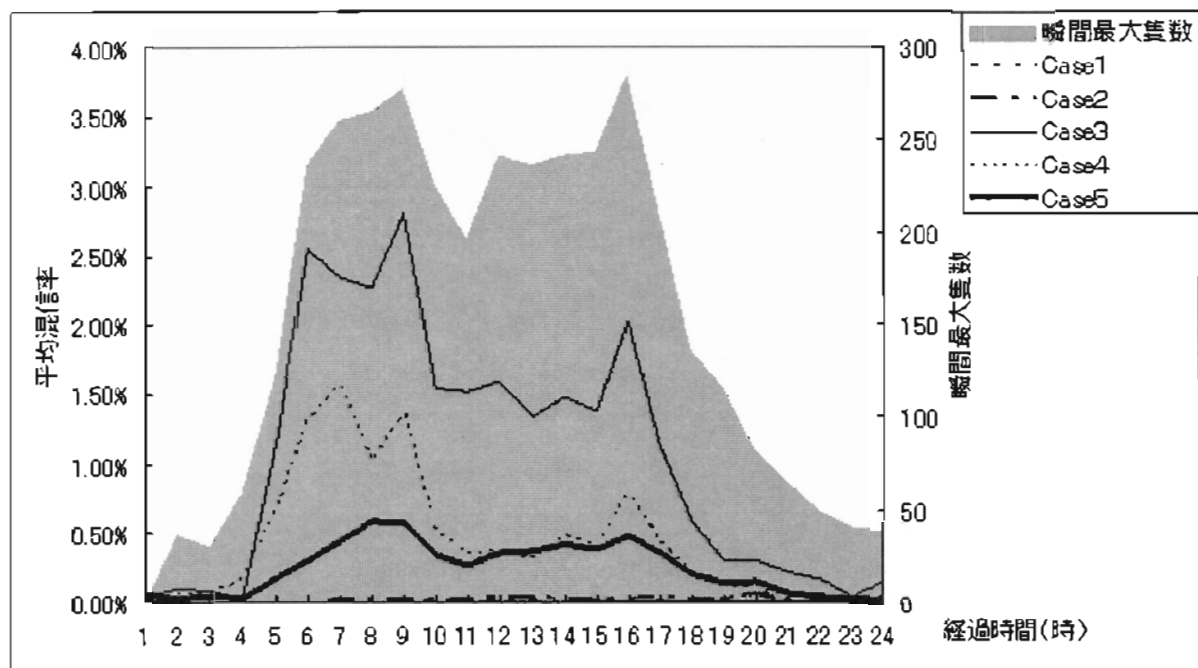


図 4.6.37 シミュレーション時刻別の平均スロット混信率 (Class A AIS 搭載船)

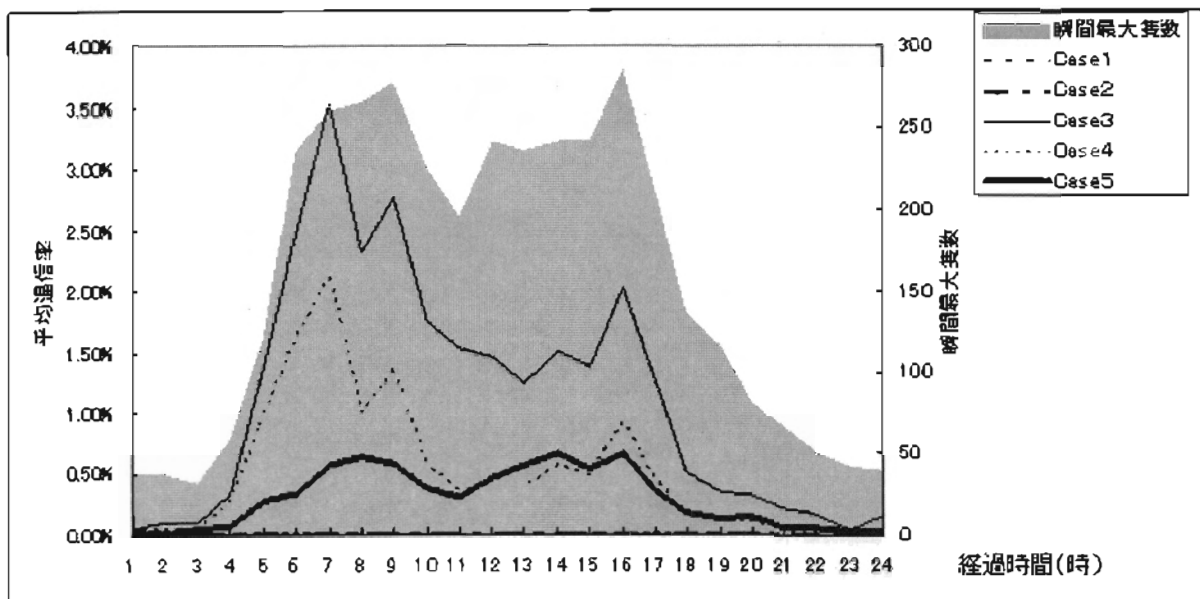


図 4.6.38 シミュレーション時刻別の平均スロット混信率 (Class B AIS 搭載船)

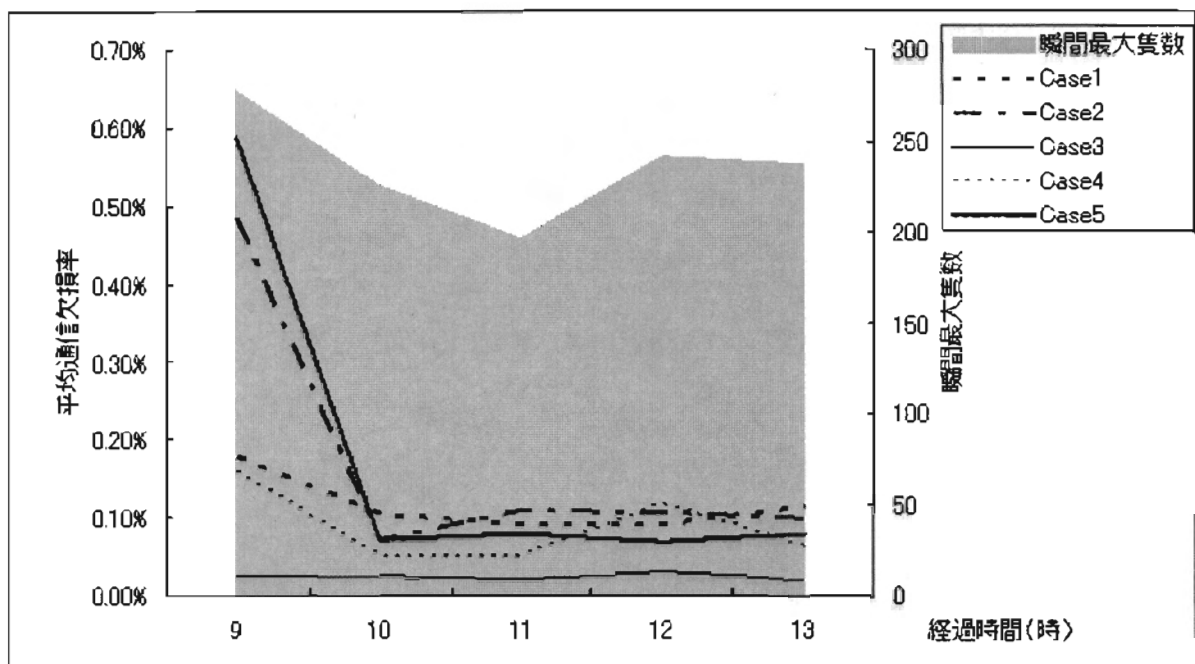


図 4.6.39 シミュレーション時刻別の通信欠損率
(ship2170Class A AIS 搭載船が送信したすべてのメッセージを対象)
瞬間最大隻数は Class A AIS 搭載船+Class B AIS 搭載船

表 4.6.31 シミュレーション時刻別の通信欠損率
(ship2170Class A AIS 搭載船が送信したすべてのメッセージを対象)

	経過時間(時)	9	10	11	12	13
Case1	平均値	0.18%	0.10%	0.09%	0.09%	0.11%
	最大値	0.19%	0.15%	0.10%	0.12%	0.20%
	最小値	0.17%	0.08%	0.07%	0.05%	0.06%
Case2	平均値	0.49%	0.07%	0.11%	0.11%	0.10%
	最大値	0.64%	0.09%	0.11%	0.11%	0.11%
	最小値	0.34%	0.06%	0.10%	0.11%	0.09%
Case3	平均値	0.03%	0.03%	0.02%	0.03%	0.02%
	最大値	0.04%	0.03%	0.03%	0.04%	0.03%
	最小値	0.02%	0.02%	0.01%	0.02%	0.01%
Case4	平均値	0.16%	0.05%	0.05%	0.12%	0.06%
	最大値	0.35%	0.07%	0.05%	0.23%	0.08%
	最小値	0.04%	0.03%	0.04%	0.06%	0.05%
Case5	平均値	0.59%	0.07%	0.08%	0.07%	0.08%
	最大値	0.83%	0.08%	0.08%	0.08%	0.09%
	最小値	0.30%	0.07%	0.07%	0.06%	0.07%

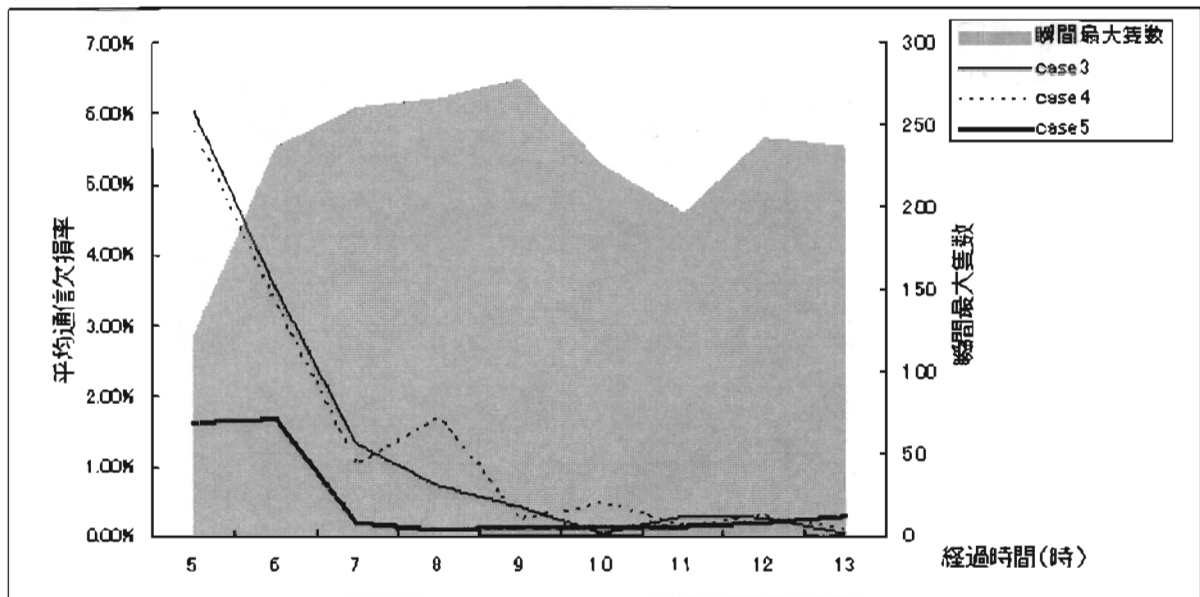


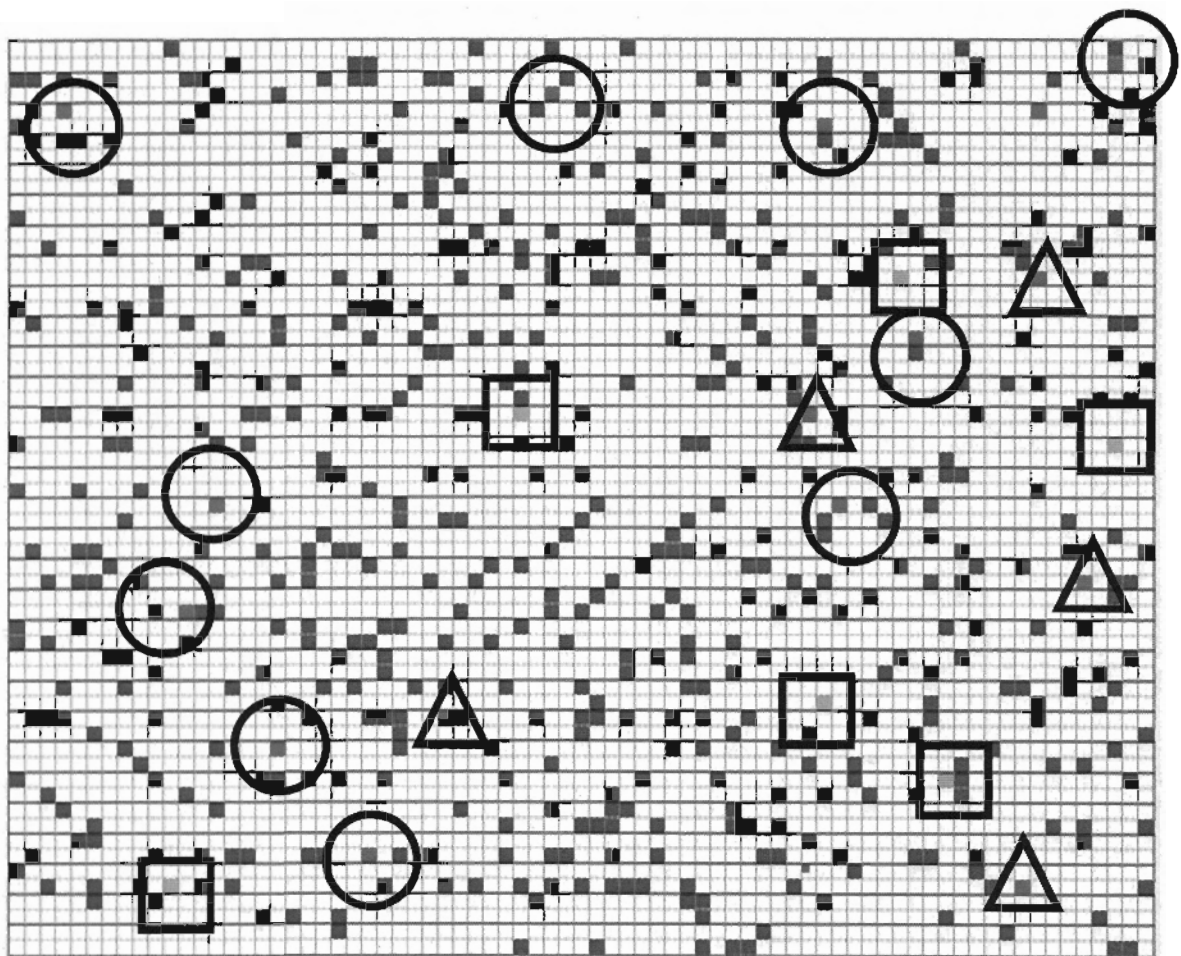
図 4.6.40 シミュレーション時刻別の通信欠損率
(ship1245Class B AIS 搭載船が送信したすべてのメッセージを対象)
瞬間最大隻数は Class A AIS 搭載船+Class B AIS 搭載船

表 4.6.32 シミュレーション時刻別の通信欠損率
(ship1245Class B AIS 搭載船が送信したすべてのメッセージを対象)

	経過時間(時)	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Case3	平均値	6.27%	3.52%	1.31%	0.70%	0.40%	0.02%	0.29%	0.27%	0.02%
	最大値	7.93%	5.46%	3.64%	1.58%	1.15%	0.04%	0.80%	0.66%	0.06%
	最小値	4.49%	1.86%	0.01%	0.01%	0.02%	0.01%	0.03%	0.06%	0.00%
Case4	平均値	5.79%	3.29%	1.03%	1.69%	0.24%	0.46%	0.13%	0.29%	0.08%
	最大値	9.31%	3.75%	1.45%	1.90%	0.50%	0.82%	0.19%	0.65%	0.13%
	最小値	2.07%	2.92%	0.07%	0.07%	0.07%	0.08%	0.09%	0.04%	0.06%
Case5	平均値	1.63%	1.66%	0.18%	0.07%	0.13%	0.12%	0.12%	0.17%	0.28%
	最大値	5.13%	3.56%	0.45%	0.12%	0.14%	0.19%	0.17%	0.20%	0.44%
	最小値	0.00%	0.03%	0.05%	0.03%	0.12%	0.05%	0.04%	0.14%	0.00%

比較的混んだ時刻 12:00 に着目し、Case3 における 2 隻の船舶、Class A AIS を搭載する ShipID2170 と Class B AIS を搭載する ShipID1245 のスロット使用状況をそれぞれ図 4.6.41 と図 4.6.42 に示す。

これらの図はスロット 1 つを矩形枠一つに割り当てて、1 フレーム、すなわち、1 チャンネルあたり 2,250 スロットを 2 チャンネル分の計 4,500 スロットを並べて表示したものである。最上段は A チャンネルの最初の 75 スロット分で左端が 1 スロット目(スロット番号:0)に対応する。その一つ下段は B チャンネルの最初の 75 スロットを示す。順次、A チャンネルと B チャンネルを対として下方向に進む。図中、青色(三角マーク): 自船が送信に使用、赤色(丸マーク): 混信、黄色(四角マーク): 衝突して受信、緑色: 他船が使用を表している。スロットの使用状況から、混信や衝突は集中して起きてはおらず、規格どおり通信スロットが偏りなく使用されている状況が分かる。

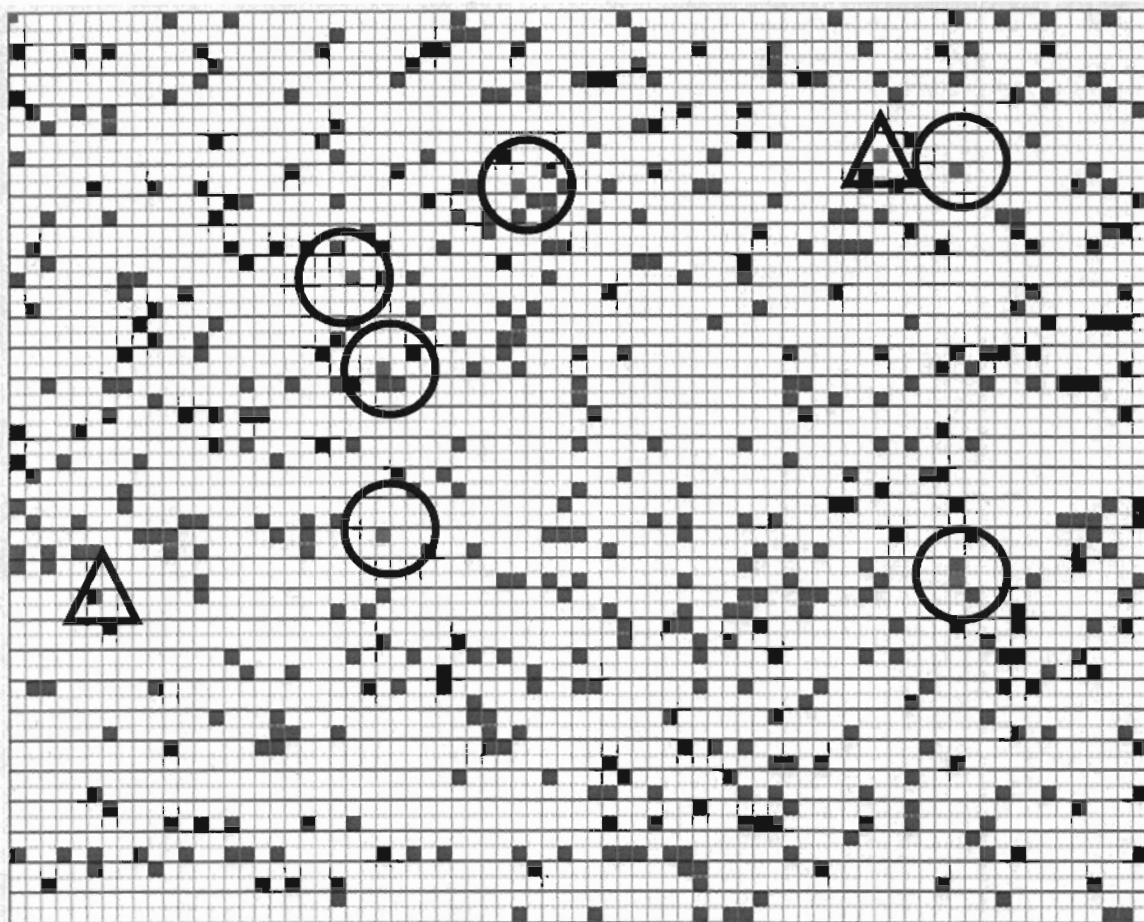


- 青色(三角マーク)：自船が送信に使用したスロット
- 赤色(丸マーク)：混信したスロット
- 黄色(四角マーク)：衝突して受信したスロット
- 緑色：受信したスロット

本図の見方

スロット番号	0	1	2	3	4	・	・	・	・	・	72	73	74
チャンネル A													
チャンネル B													
	75	76	77	78	79	・	・	・	・	・	・	・	149
チャンネル A													
チャンネル B													
	150	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・

図 4.6.41 ShipID2170 のスロットマップ(Case 3 の時刻 12:00)



- 青色(三角マーク)：自船が送信に使用したスロット
- 赤色(丸マーク)：混信したスロット
- 黄色(四角マーク)：衝突して受信したスロット
- 緑色：受信したスロット

図 4.6.42 ShipID1245 のスロットマップ(Casa 3 の時刻 12:00)

b) 受信状況に対する距離の影響について

衝突や混信の影響で起こる通信内容が伝わらない状態(通信欠損)の割合の平均値を、送受信船舶間距離別に整理したものを図 4.6.43 に示す。この結果も、先の衝突及び混信の時と同様スケジュールされていない通信が多くなる Case3 及び Case4 で多く発生している。また、Class B AIS の場合でも SOTDMA に比べて、CSTDMA の方が、通信欠損の割合が大きくなっている。受信距離については、15nm 以内であれば、Class A の AIS への影響はほとんど無いことがわかる。一方、25nm を超えると、Class A AIS においても衝突等の影響を受け通信欠損率が高まる。

同様に最大値を図 4.6.44 に示す。Class B AIS については、シミュレーションを通した平均通信欠損率では、最も厳しいシナリオであっても、3nm 以内で 0.5%以下、5nm 以内で 1%以下の通信欠損率となっていることがわかる。

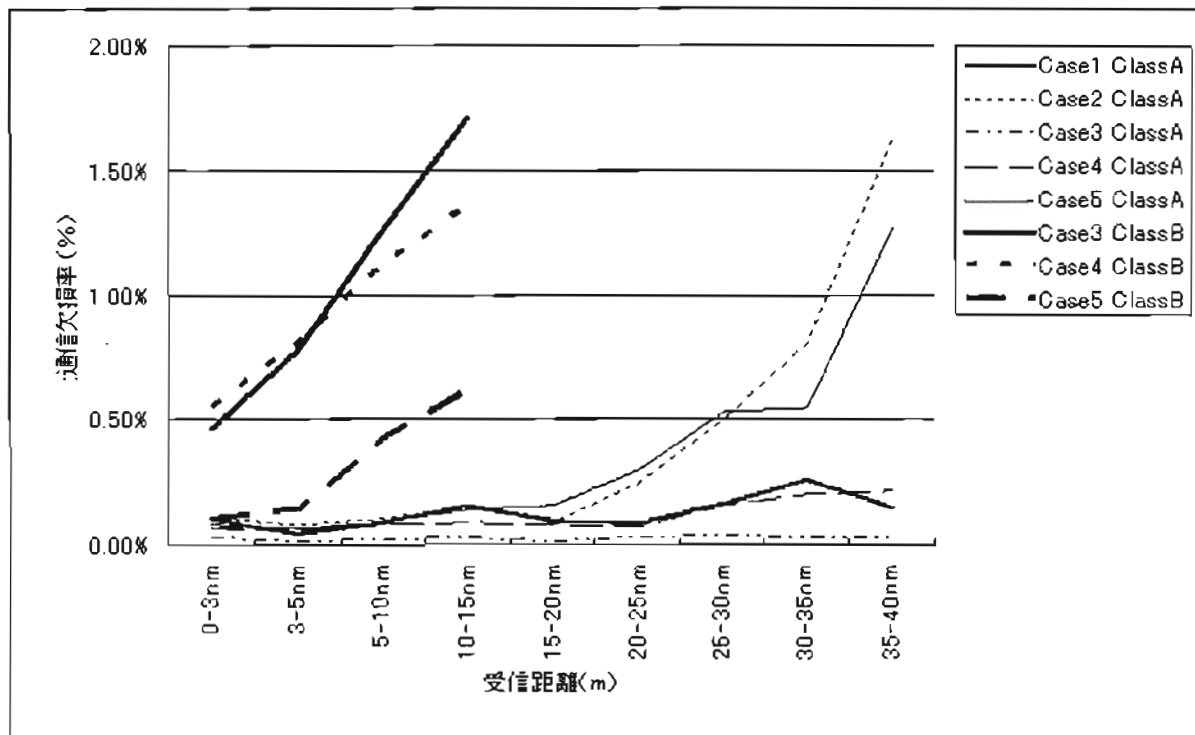


図 4.6.43 受信距離別の平均通信欠損率
(ship2170 と ship1245 の全メッセージが対象)

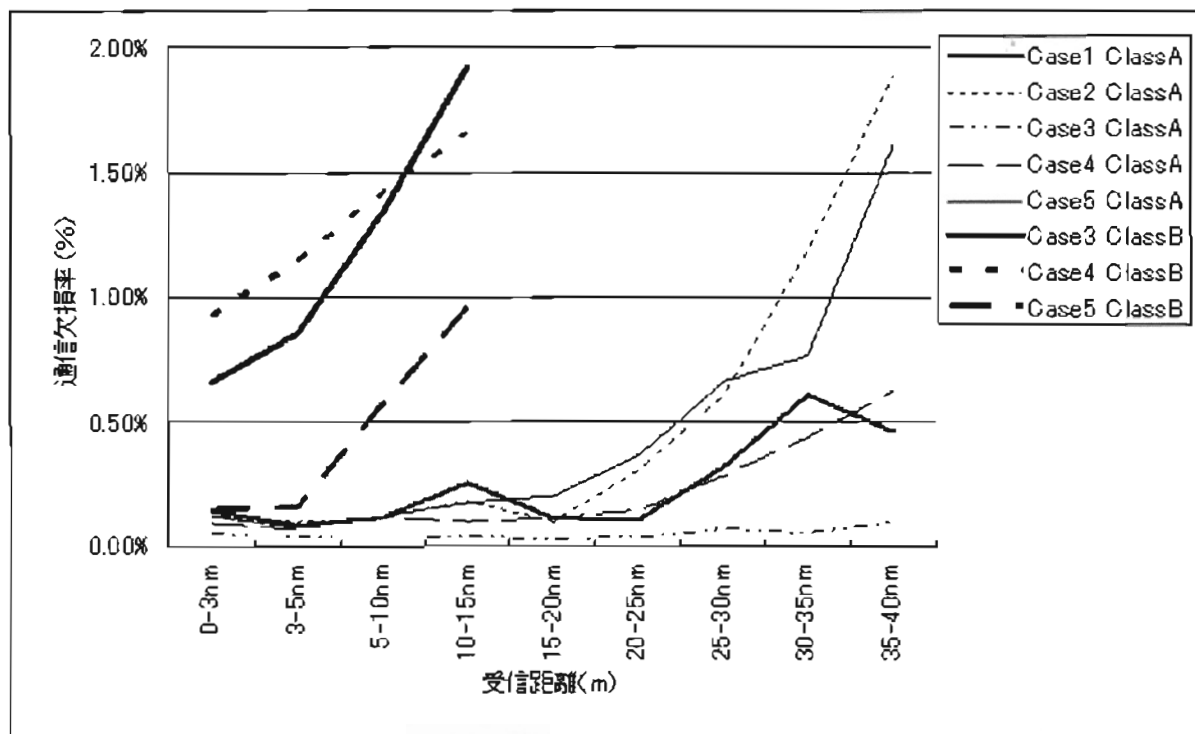


図 4.6.44 受信距離別の通信欠損率
(ship2170 と ship1245 の全メッセージが対象)
(3 回の試行の最大値)

さらに、各 Case でのスロットの占有状況を、図 4.6.45 に示す。最上部の線が、AIS で使用できる 2 チャンネルで、1 分当たり最大で利用できる 4,500 スロットを示す。また、シルエットで見える値は、右側の軸で示されているシミュレーション時の総船舶数、各種線分で表しているのが、各 Case におけるスロットの最大使用数である。この結果からわかるとおり、もっとも厳しい Case4 或いは Case5 においても、スロットの使用率は半分程度であることがわかった。

これにより、AIS を本研究で設定した条件で運用した場合、現状の交通量では、通信容量からの制約による欠報は、Class A AIS では 25nm 以内であれば 0.5%以下、Class B AIS では、5nm 以内であれば、1%以下であることが分かった。

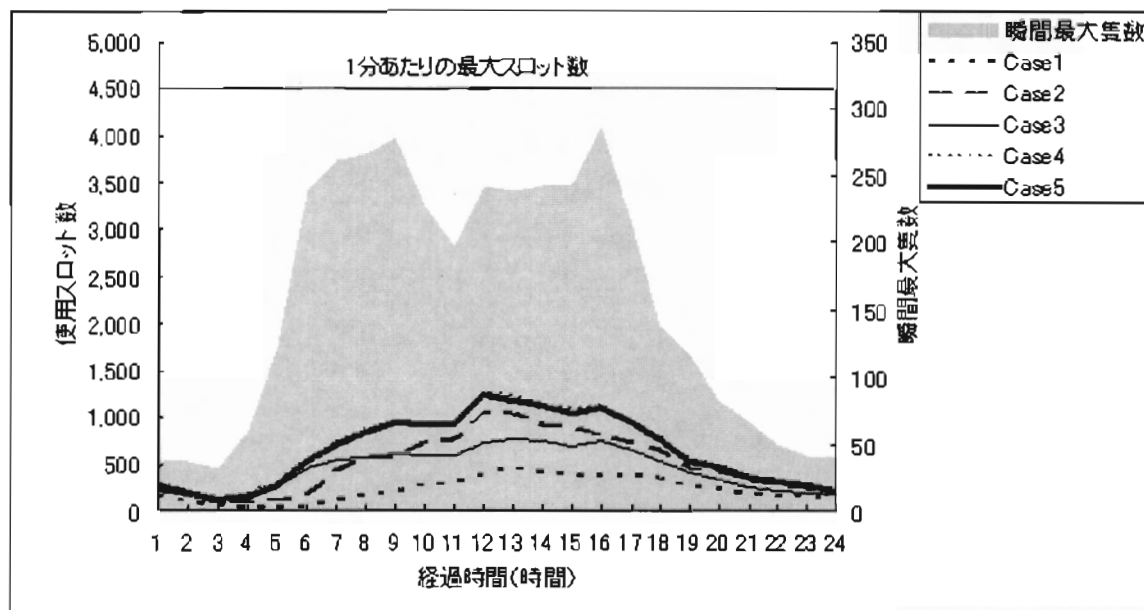


図 4.6.45 スロットの使用状況.

(使用スロット数は Class A AIS 搭載船、Class B AIS 搭載船、陸上局を含め、毎時の最大スロット使用数をデータとして使用)

c) 受信状況に対する AIS 存在隻数の影響について

本研究で実施した 5 つの Case に対するシミュレーション結果から、AIS 搭載隻数と衝突率、混信率及び通信欠損率の関係は次の図 4.6.46～4.6.57 のように整理できる。

図 4.6.46～4.6.52 が、Class A AIS の受信状況である。図 4.6.45～4.6.47 より、Class A AIS の通信状況については、衝突及び混信共、Class A AIS 搭載船の増加による影響は少なかった。但し、Class B AIS 搭載船の増加に伴い衝突及び混信の割合は、それぞれ、0.5 から 1.5%まで増えている。図 4.6.48～4.6.52 に示す通信欠損率については、Class A AIS 搭載船の場合、いずれの Case においても AIS 通信エリア内に Class A AIS 搭載船 及び Class B AIS 搭載船あわせて 230 隻以内の場合、通信欠損率は、0.7%以下に抑えられている。

また、図 4.6.48～4.6.50 に Class B AIS の受信状況を示す。これらの図から、Class B AIS 搭載船数が増えるに従い、衝突・混信の割合が増えており、最も CSTDMA 通信の多くなる Case3 で、通信エリア内 120 隻を越えるあたりで、衝突・混信の割合が急激に伸び、3%を超える状況になっている。図 4.6.55～4.6.57 に示す通信欠損率については、Class B AIS 搭載船の場合、全送信数に対して約 2~3%の確率で通信欠損率が 30%を超える場合が見られるが、AIS 通信エリア内に Class A AIS 搭載船 及び Class B AIS 搭載船あわせて 230 隻以内の場合、通信欠損率は、ほとんどが 0.4%以下に抑えられている。

図 4.6.58～4.6.59 より、衝突率、混信率ともに船舶数が増えるに従い、衝突・混信の割合が増える傾向が見られる。特に Case3、Case4 では通信エリア内 200 隻を超えたあたりから混信率が急激に伸び、3%を超える状況になっている。

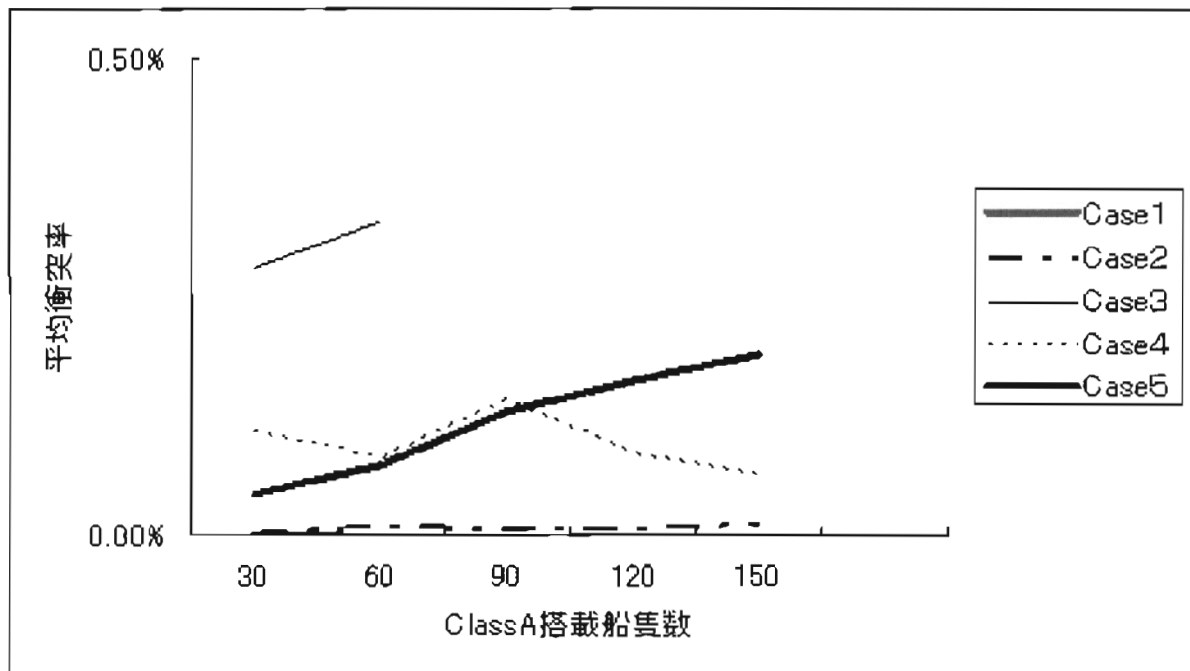


図 4.6.46 Class A AIS 搭載船の隻数と Class A AIS 搭載船の平均スロット衝突率の関係

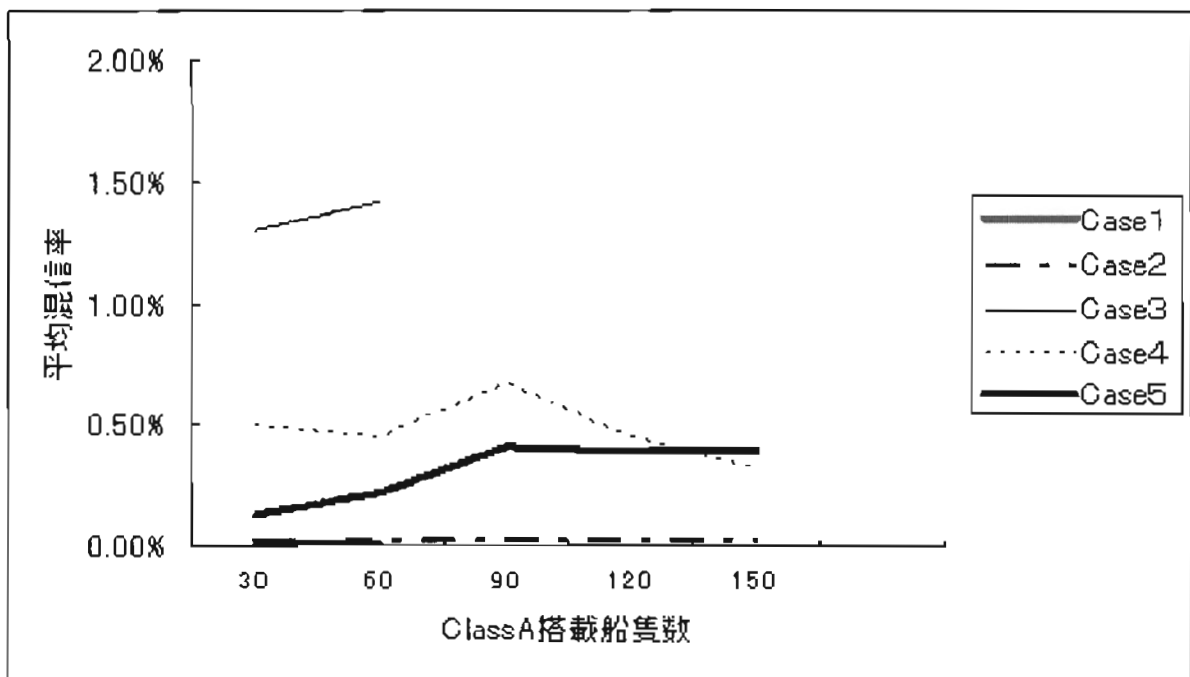


図 4.6.47 Class A AIS 搭載船の隻数と Class A AIS 搭載船の平均スロット混信率の関係

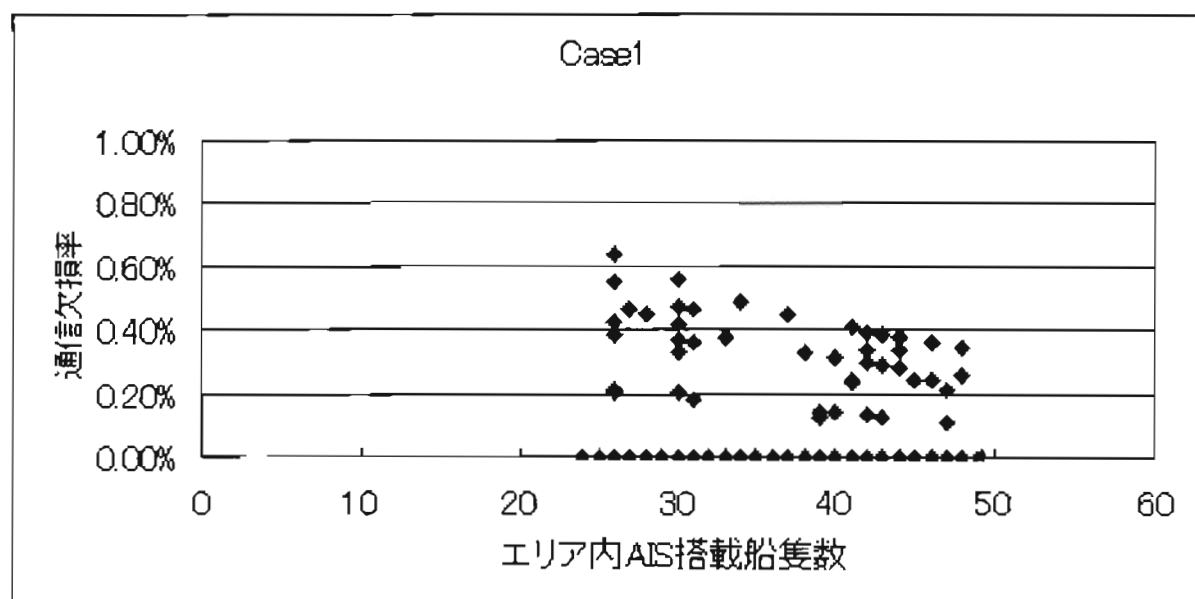


図 4.6.48 注目船舶 2170 のエリア内 AIS 搭載船隻数と通信欠損率の関係
(Class A AIS 搭載船)(Case1)

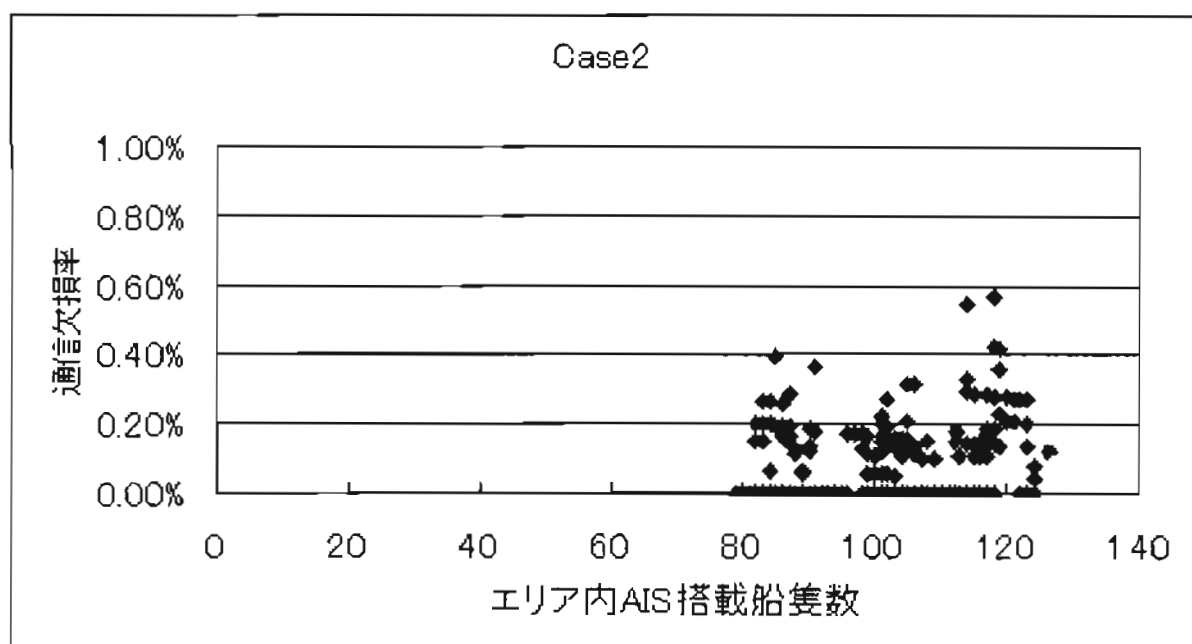


図 4.6.49 注目船舶 2170 のエリア内 AIS 搭載船隻数と通信欠損率の関係
(Class A AIS 搭載船)(Case2)

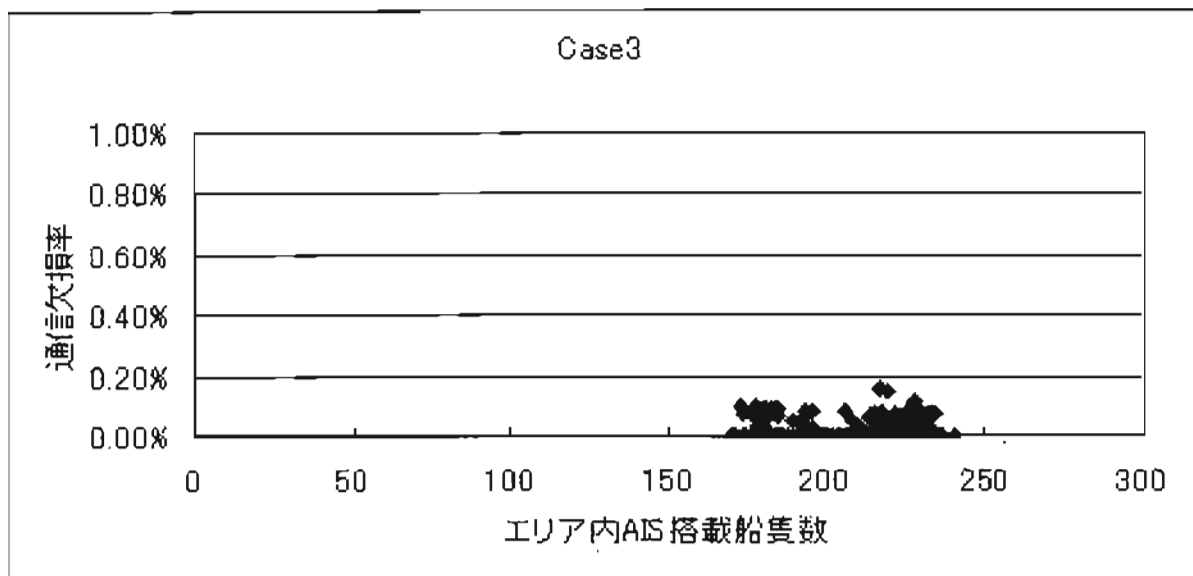


図 4.6.50 注目船舶 2170 のエリア内 AIS 搭載船隻数と通信欠損率の関係
(Class A AIS 搭載船)(Case3)

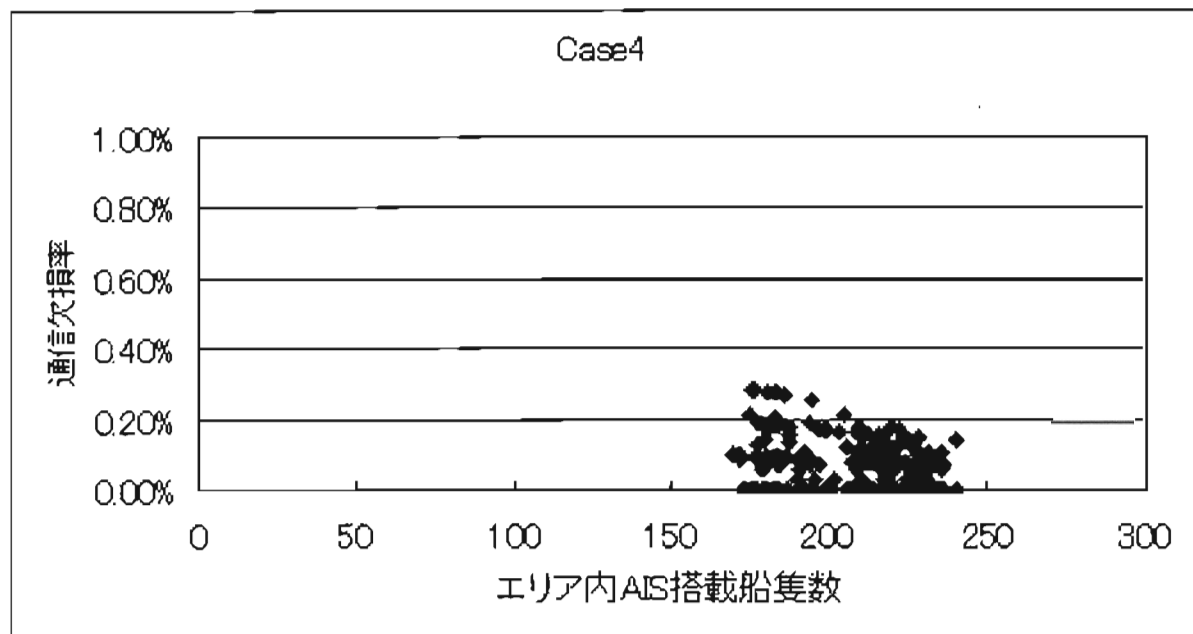


図 4.6.51 注目船舶 2170 のエリア内 AIS 搭載船隻数と通信欠損率の関係
(Class A AIS 搭載船)(Case4)

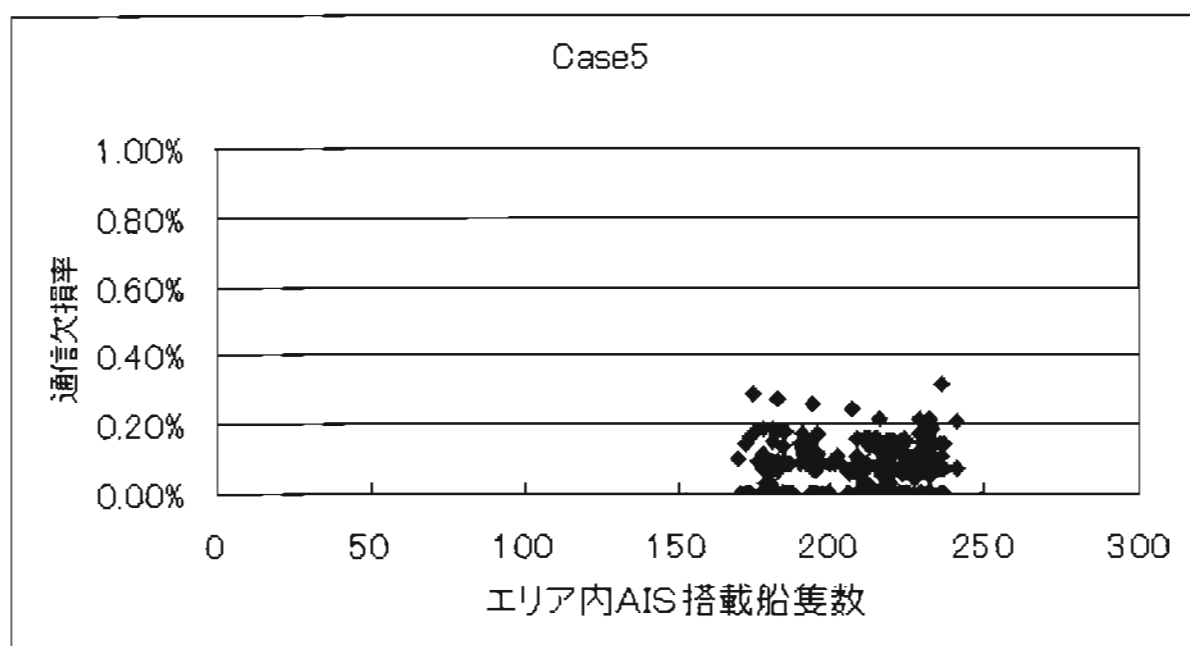


図 4.6.52 注目船舶 2170 のエリア内 AIS 搭載船隻数と通信欠損率の関係
(Class A AIS 搭載船)(Case5)

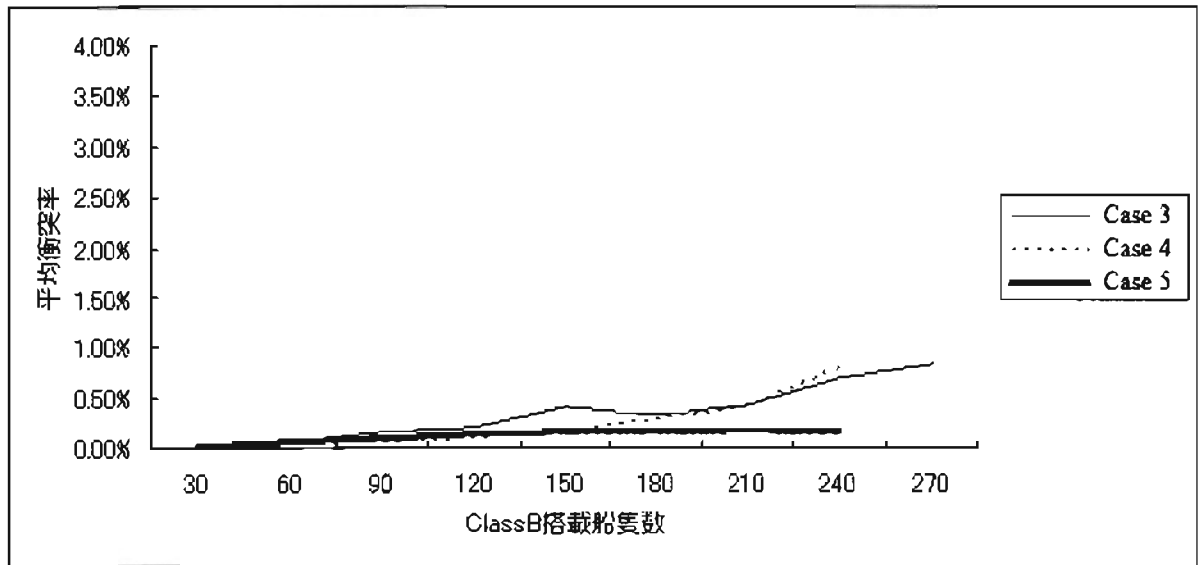


図 4.6.53 Class B AIS 搭載船の隻数と Class B AIS 船の平均スロット衝突率の関係

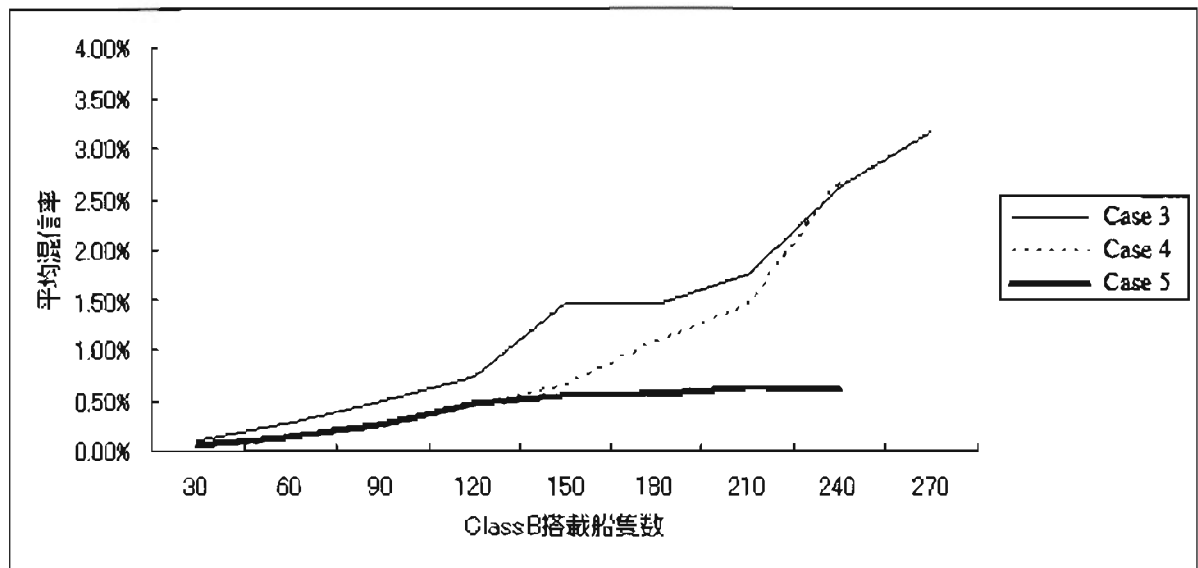


図 4.6.54 Class B AIS 搭載船の隻数と Class B AIS 船の平均スロット混信率の関係

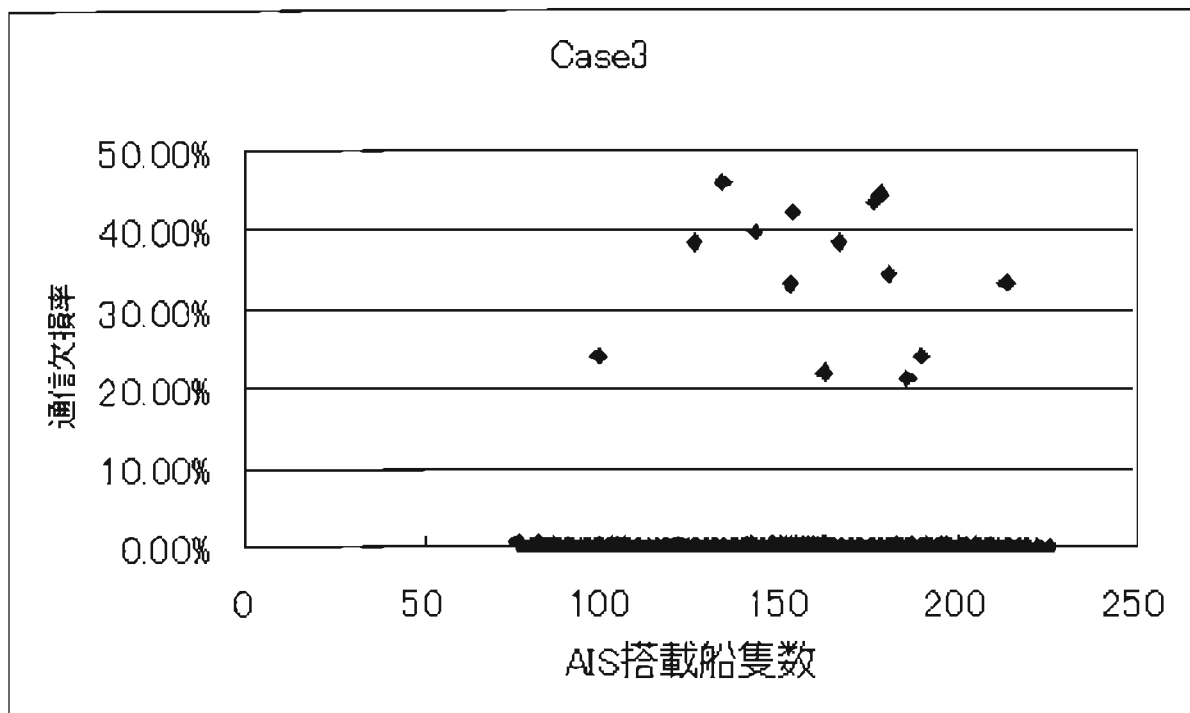


図 4.6.55 注目船舶 1245 のエリア内 AIS 搭載船隻数と通信欠損率の関係
(Class B AIS 搭載船)(Case3)

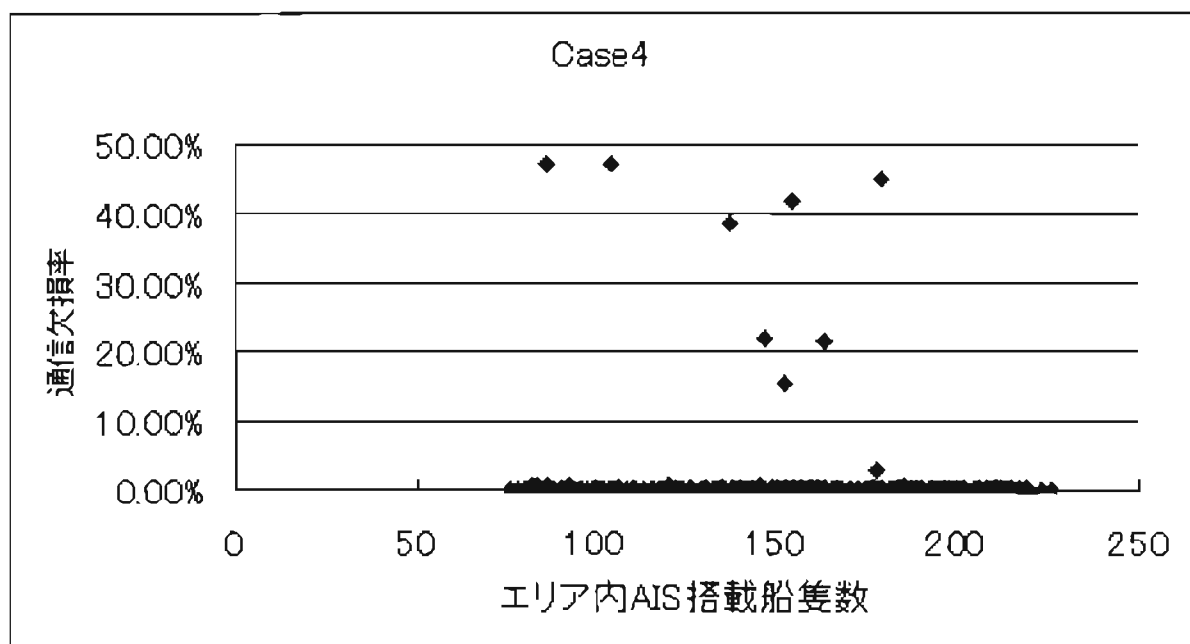


図 4.6.56 注目船舶 1245 のエリア内 AIS 搭載船隻数と通信欠損率の関係
(Class B AIS 搭載船)(Case4)

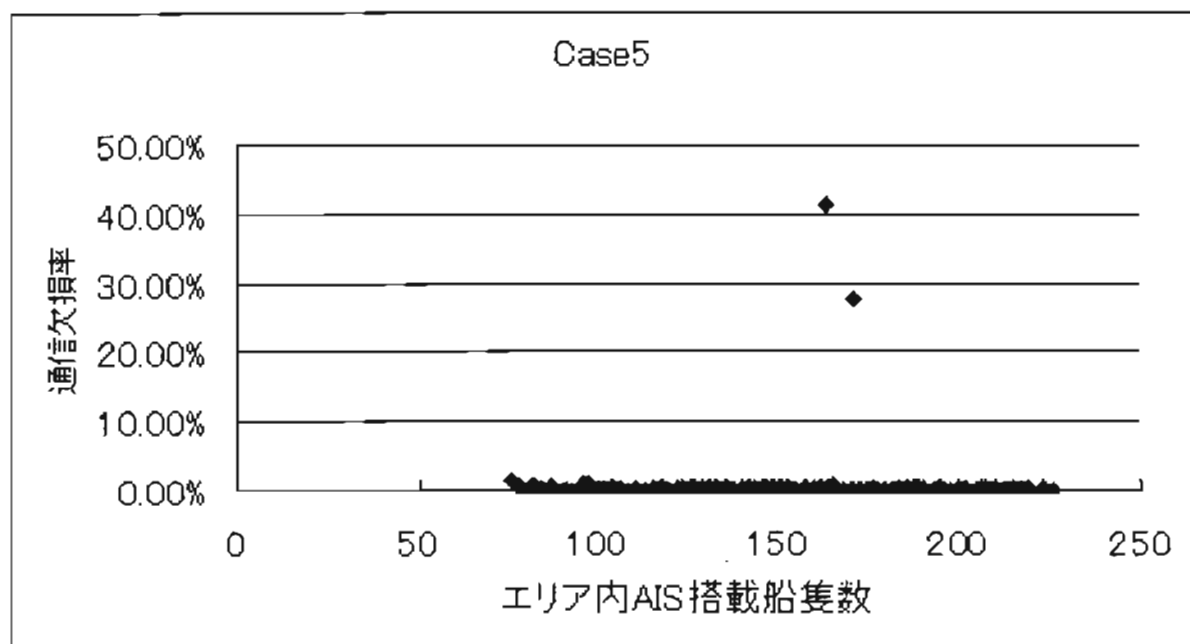


図 4.6.57 注目船舶 1245 のエリア内 AIS 搭載船隻数と通信欠損率の関係
(Class B AIS 搭載船)(Case5)

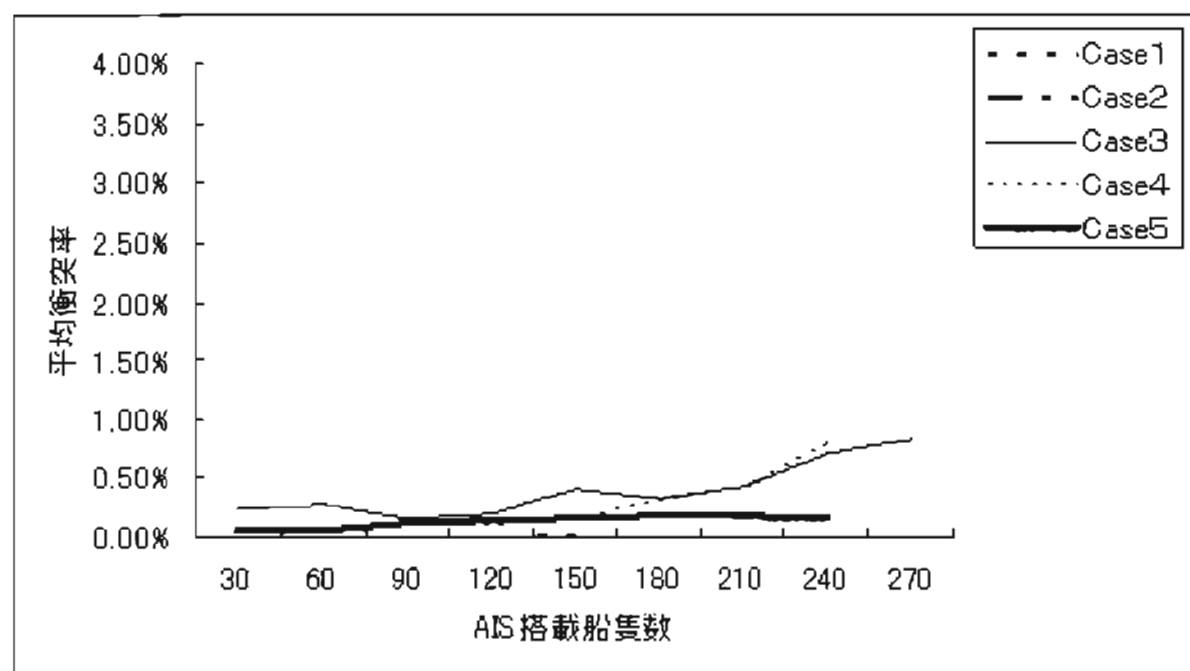


図 4.6.58 AIS 搭載船の隻数と平均スロット衝突率の関係
(Class A AIS 搭載船+Class B AIS 搭載船+陸上局)

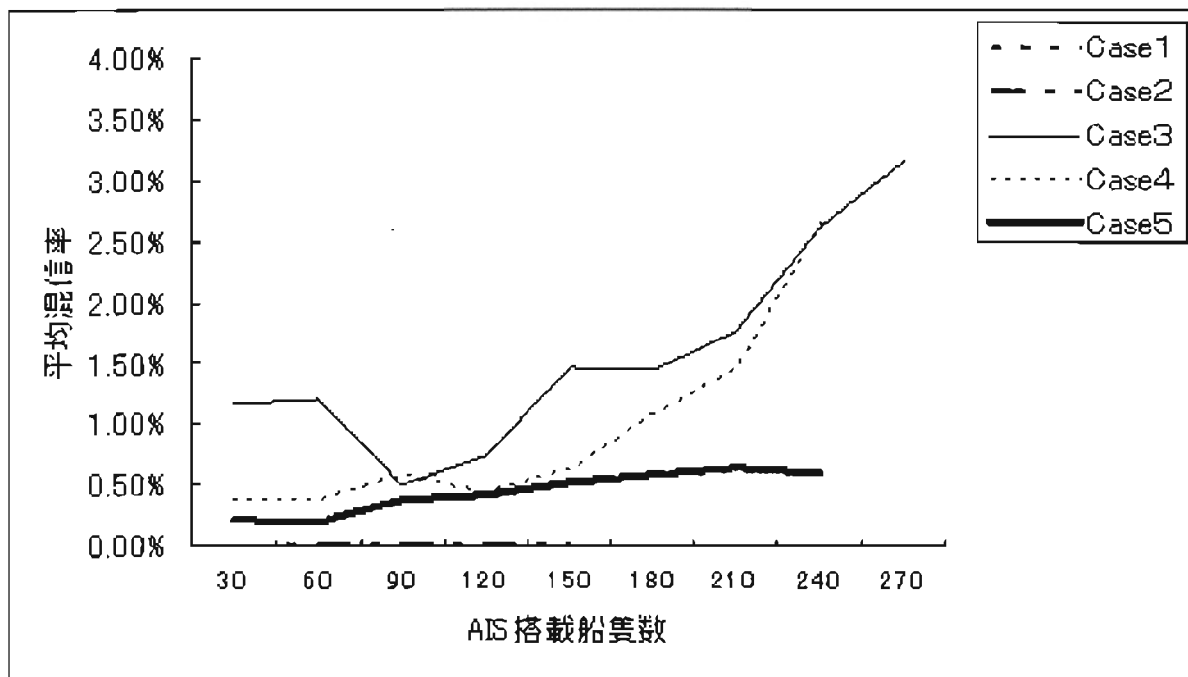


図 4.6.59 AIS 搭載船の隻数と平均スロット混信率の関係
(Class A AIS 搭載船+Class B AIS 搭載船+陸上局)

d) 安全関連メッセージの送信状況について

今後使用されるであろう、安全関連のメッセージ通信の影響を調べるため、Class A AIS 搭載船について、15 分に 1 回の安全関連のメッセージ送信を仮定して、シミュレーションを実施し、その有効性を検討した。

表 4.6.33 に各 Case での安全関連のメッセージの送信船舶数、総メッセージ数、送信までの試行数の統計及び 1 分以内に送信できなかった回数を示す。この表から、今回想定した交通流では、安全関連メッセージは要求に応じて 1 分以内には到達できることが分かった。

表 4.6.33 ShipID2170 が送信した Message12 の距離別受信状況

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
送信船舶数	302 隻	722 隻	302 隻	720 隻	721 隻
送信メッセージ総数	2,042 通	5,286 通	2,040 通	5,279 通	5,270 通
送信までの平均試行スロット数	52.7	42.7	53.1	42.5	38.1
送信までの最大試行スロット数	83	76	82	77	77
送信までの最小試行スロット数	27	2	27	1	1
1 フレーム内で送信できなかった回数	0	0	0	0	0

(4)まとめ

本検討では、現在の東京湾の航行状況を対象として、AIS の搭載条件を考慮して、AIS の通信状況の変化による AIS 通信の有効性の評価を行った。

この結果、以下の結論を得た。

- (1)通信時の衝突や混信は、スケジュールされていない通信である CSTDMA 方式の通信を多く行う Case3 において、最も多くなっている。このため、CSTDMA の使用者密度の多い場合、通信環境により、届かない場合があることを考慮する必要がある。
- (2)現状の交通量では、通信容量からの制約によるメッセージの通信欠損は、今回の最もシビアな AIS の設置条件であっても、Class A AIS では 25nm 以内であれば 0.5%以下、Class B AIS では、5nm 以内であれば、1%以下であることが分かった。
- (3)Class A AIS 搭載船の場合、AIS 通信エリア内に Class A AIS 搭載船及び Class B AIS 搭載船あわせて 230 隻以内(今回のシミュレーションの最もエリア内船舶の大きかった状況)の船舶が存在しても、通信欠損率は、0.7%以下、Class B AIS 搭載船の場合、全送信に対して 2~3%の確率で通信欠損率が 30%を超える場合が見られるが、同じ条件で、通信欠損率は、ほとんどが 0.4%以下に抑えられることが分かった。
- (4)今回想定した交通流の場合、安全関連メッセージは、要求に応じて 1 分以内に十分送れることが分かった。

【参考文献】

- (1) 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，関西造船協会講演概要集，第 16 号，pp.75-79, 2001.5.
- (2) Hasegawa,K., Hata,K., Shioji,M., Niwa,K., Mori,S., and Fukuda,H. : Maritime Traffic Simulation in Congested Waterways and its Applications, Proc. of the 4th Conference for New Ship and Marine Technology, pp.195-199, 2004.^{10送信距離}
- (3) 畑 耕治郎・長谷川和彦・丹羽量久・福田博之：船舶の AIS シミュレータ，第 50 回システム制御情報学会研究発表講演会，8F2-5, 2006.5.
- (4) International Maritime Organization, "ITU MATTERS, INCLUDING RADIOCOMMUNICATION ITU-R STUDY GROUP 8 MATTERS," 52nd session Agenda item 9, Sub-Committee on Safety of Navigation, 24/Feb/2006.