

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19510172
 研究課題名（和文） 海上交通の安全性向上のためのインテリジェント型衝突警報システムの開発
 研究課題名（英文） Development of the intelligent warning system of collision for the safety of congested waterways
 研究代表者
 丹羽 量久（NIWA KAZUHISA）
 長崎大学・大学教育機能開発センター・教授
 研究者番号：90448499

研究成果の概要：

世界有数の過密海域である東京湾の実航行記録の分析から得られた避航等の実態を、ガイドシステムの中核となる『輻輳海域交通流シミュレータ』の改良に結びつけている。本研究成果として、管制官が海域全域を把握し、かつ着目船舶の状態を確認できる可視化方法を提案し、実装した。また、衝突危険度の算出手法に関する検討結果の一部は海上保安庁の衝突危険度判定に取り入れられており、本研究は海上交通の安全性向上に大いに貢献している。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム工学／社会システム工学・安全システム

キーワード：安全情報・環境整備

1. 研究開始当初の背景

(1) 国内外との物資流通の主たる経路である海上交通は今後ますます需要が拡大していくと予想されるが、その安全な航行環境を確保することは、港湾管理者(海上保安庁)にとって最も重要な課題である。国土交通省は海上交通の安全性向上への取り組みとして、運輸技術研究開発事業「ITを活用した船舶の運航支援のための技術開発（平成12年度から16年度）」を推し進めてきたが、同研究開発事業で開発された高度船舶交通管制システムは基礎的研究段階の位置づけであり、実用化システムとして完成の域に達しているとは言えない。

(2) 前述の研究開発事業において、研究分担者(長谷川和彦)が立案・開発した『輻輳海域交通流シミュレータ』があらゆる海域に対して制限なく適用できるように拡張され、これまでに交通流制御技術の高度化を目的とした数々の海上交通のシミュレーションに使用されてきた。このシミュレータが扱うすべての船舶は、人工知能によりモデル化された船長が操船制御する自動化船舶であり、周辺海域の障害物や他船舶の動向に対応して、安全に航行しながら目的地に到達することができる。このシミュレータに関わる研究成果は国内外にて発表されており、その応用性に関して数多くの注目を浴びている。

(3) 海上交通における安全性確保のための周辺海域の状況把握については、自動衝突予防援助装置 ARPA(Automatic Radar Plotting Aid)と目視に頼っているのが現状である。この ARPA は周辺船舶の将来位置を予測して、衝突の可能性があるときに操船者に警報するシステムであるが、あくまでも現在速度と針路を維持することを前提としており、周辺海域の動向に影響されて変針や加速・減速がなされる現実をまったく想定していない。また、事故防止のために通常は船員による監視が併用されるが、夜間・霧中・荒天時では周辺状況の認識精度が著しく低下してしまうのが現実である。そこで、『輻輳海域交通流シミュレータ』を活用した IT 化により、対象海域の将来状況を高精度で予測し、衝突事故の危険性が高い船舶を未然に察知できれば、その海域の航行環境の安全性が格段に向上すると考えた。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、輻輳海域における航行環境の安全性向上のために、船舶の将来動向を予測し、衝突の危険性が高い船舶を特定し、回避措置をガイダンスするシステムを開発する。

3. 研究の方法

(1) 衝突危険度の判定基準の決定方法の開発
最近発生した我が国の船舶衝突事故についての調査を実施し、事故の傾向や特徴を分析する。得られた分析結果から、状況に応じて適切な危険度低減策となる安全な回避操船方法を検討する。

『輻輳海域交通流シミュレータ』による多数の解析的検討を行い、それらの解析的検討結果を精査し、適切に衝突危険度を判定できる指標とその警報通知基準の決定方法を検討する。

これらの検討結果より、船舶が衝突を安全回避できる操船方法を提案する。

(2) 対象海域の現況の認識方法の開発

AIS の交信状況についての調査により実状を把握するとともに、AIS データの書式を分析し、解読方法を一般化する。

(3) 対象海域の将来状況の認識方法の開発

衝突事故の原因となる可能性が高い船舶を容易に特定できる可視化手法を検討し、実装を行う。また、警報通知方法を検討し、実装する。

4. 研究成果

(1) 衝突危険度判定の検討

最近発生した船舶の衝突事故に関する調査からは本研究に活用できる十分なデータを得ることができなかった。たとえば、東京湾外における大型船舶の衝突事故では、その

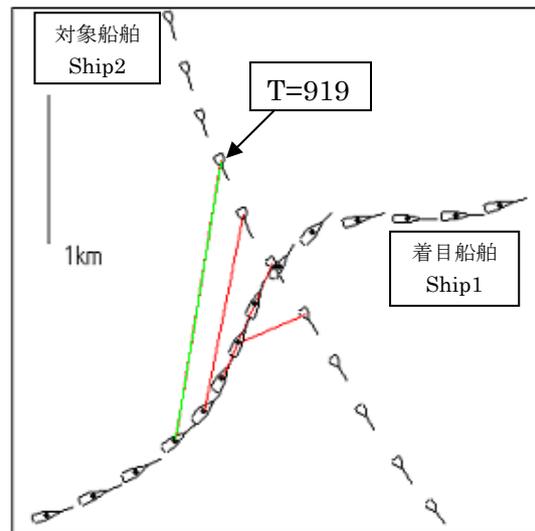


図1 避航操船がなされた船舶の航跡

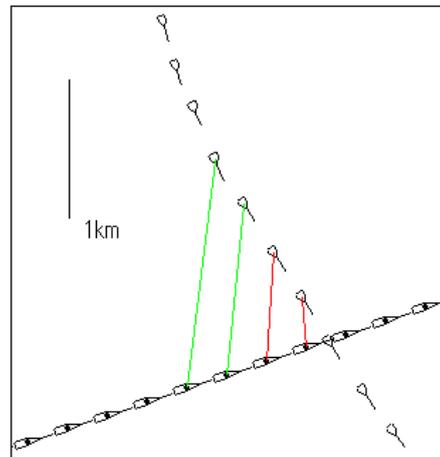


図2 避航しなかった場合の航跡

発生位置がレーダーの探知範囲外であった等、船舶の航跡等の詳細データはほとんど蓄積されていないことがわかった。そこで、世界有数の過密海域である東京湾における船舶の実航行記録を分析対象として利用することとした。航行記録を精査することにより避航操船がなされたと推測されるさまざまなケースを抽出し、それらを多角的に分析することにより、安全な衝突回避の操船方法について検討を行うこととした。

ここでは、横切りのケースに対する分析の一例を示す。図1は避航操船がなされたと推測できる「着目船舶(ship1)」とその相手「対象船舶(ship2)」の航跡である。図1では、針路・速度を表すベクトルとともに両船舶の位置を等時間間隔でプロットし、位置関係がわかるように同時刻において線分で結んである。

このケースにおいて、両船舶が針路・速度を変更せずにそのまま航行した場合を想定して『輻輳海域交通流シミュレータ』を用い

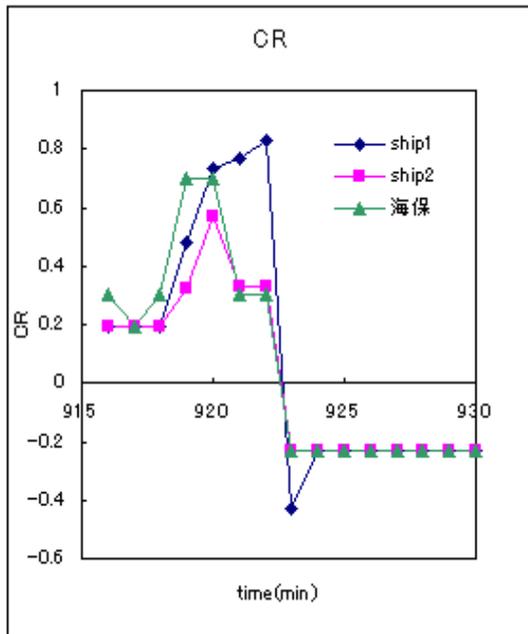


図3 衝突危険度の推移

て将来位置予測を行ったところ、両船舶の航跡は図2のようになった。この「着目船舶(ship1)」は権利船であり、避航義務は「対象船舶(ship2)」にあるが、図2からわかるように、「着目船舶」が避航を行わなかった場合は、両船舶は過度に接近し衝突の危険性が非常に高くなったことがわかる。

『輻輳海域交通流シミュレータ』に装備している大阪大学方式による衝突危険度(CR)の推移を図3に示す。合わせて、両船舶の針路と速度の推移、絶対・相対航跡と衝突危険度との関連性について詳細に分析し、両船舶の状況を踏まえた避航方法と開始時期の実態を把握することができた。さらに、実際の海上保安庁による海上交通管制で用いられている危険度判定との比較も行いながら、衝突危険度の評価方法の検討を行った。

実航行記録から抽出したさまざまなケースに対してこのような検討を行い、輻輳海域の実状を詳しく把握することができた。一方で、いくつかの解決すべき課題が明らかになった。

たとえば、ある程度余裕のある間隔があつて、避航する必要がない行き合いのケースでは、大阪大学方式では衝突危険度が大きくなってしまふ傾向が見受けられる。また、特殊な見合い関係ではあるが、停泊船の横を航行するケースにおいては両方式ともに衝突危険度が大きくなりすぎる傾向があることが明らかとなった。すなわち、実際の操船感覚と合致しない判断が下されることになってしまう。

そこで、本研究の重要課題として『輻輳海域交通流シミュレータ』の避航判定基準の検

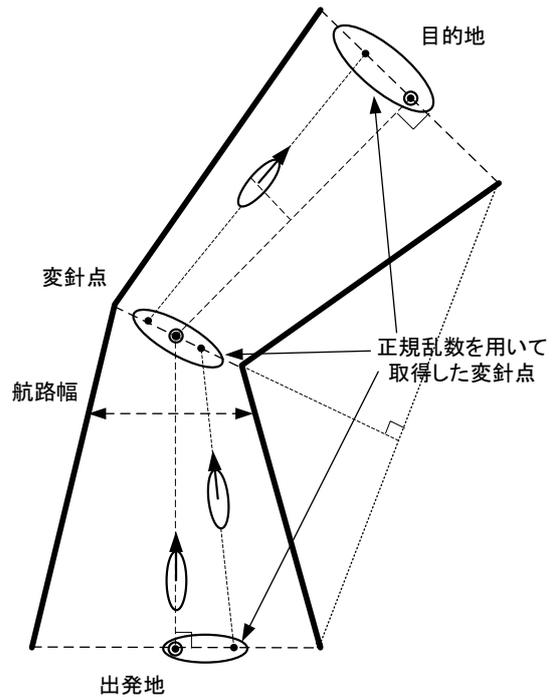


図4 航行分散機能による変針点の設定

討を取り上げることにして、実装に優先して、シミュレータの改良に取り組むこととした。

なお、大阪大学方式では着目船舶の衝突危険度(CR)が急激に増大しているにもかかわらず、現行海上保安庁方式では危険と感じないケースがあつた。これを機として海上保安庁では検討がなされ、本研究成果の一部が海上保安庁の危険度判定法に取り込まれることになった。既に実務利用が開始されていることから、本研究は我が国の海上交通の安全性向上に大いに貢献していることがわかる。

(2) 輻輳海域交通流シミュレータの改良

上述の検討結果より、航行実態を的確に反映させたシミュレーションを行うため、『輻輳海域交通流シミュレータ』を改良した主なもの以下に示す。

① 新たな避航アルゴリズムの開発と実装

屈曲した峽水路において、合理的な操船が行えるアルゴリズムを開発し、シミュレータに実装した。特に、鋭角に変針する必要がある航路においては、周辺他船の位置と動向をより綿密に考慮した操船ができるように改良し、実装した。

② 航行分散機能の開発と実装

国内の直線水路における実態調査から得られた文献[1]の航跡分布モデルを用いて、航路内における船舶の航跡が航路幅方向に正規分布となるように自動操船する機能の開発と実装を行った。

③速度制限機能の開発と実装

速度制限が設けられた区域に対応するため、当該区域への進入前にあらかじめ減速する機能を開発し、シミュレータに実装した。

④自動化船舶発生機能の改良と実装

高速船等、多種多様な船舶に対応できるように、自動化船舶の発生機能における船舶の長さ・速度等の設定手法を改良し、実装した。ここで、船速 V については、次の Alexander の式[2]を用いている。

$$C_b = 1.00 - 1.44 \frac{V}{\sqrt{Lg}}$$

ここに、 C_b は方形係数、 L は船舶の長さ、 g は重力加速度である。

⑤船型データの追加

多様な船舶を扱えるように船型データベースに表1に示す船型を追加した。なお、同じ船種であっても異なる操縦性能の違いを反映できるように各係数を考慮してある。方形係数については文献[2]の統計データをもとに決定した。

表1 船型の要目

船型	相当する船種	L	C_b	K'	T'	T_V	T_E	K_P	T_D
船型A	その他船舶	100	0.6	2.07	2.06	50	2	1.5	0.9
船型B	フェリー1	20	0.54	1.69	2.77	20	2	1.5	0.9
船型C	フェリー2	40	0.54	1.25	1.55	40	2	1.5	0.9
船型D	RORO船	150	0.54	2.3	3	100	2	1.5	0.9
船型E	貨物船1	150	0.66	1	1.22	100	2	1.5	0.9
船型F	貨物船2	150	0.66	1.29	1.48	100	2	1.5	0.9
船型G	バルクキャリア1	190	0.78	2.25	2.53	180	2	1.5	0.9
船型H	バルクキャリア2	190	0.78	0.92	0.72	180	2	1.2	1.5
船型I	コンテナ船1	220	0.58	1.7	3	200	2	1.5	0.9
船型J	コンテナ船2	220	0.58	3	6.1	200	2	1.5	0.9
船型K	タンカー1	250	0.8	3.2	6	230	2	1.5	0.9
船型L	タンカー2	250	0.8	2.3	3.6	230	2	1.0	1.8
船型M	VLCC	280	0.83	3.2	6.2	300	2	1.0	1.8
船型N	タグ・バージ	80	0.6	2.07	2.06	50	2	1.5	0.9

(3) マラッカ・シンガポール海峡における航行シミュレーション

(2)において改良を行ったシミュレータの妥当性を評価するために、マラッカ・シンガポール海峡を対象とした交通流シミュレ

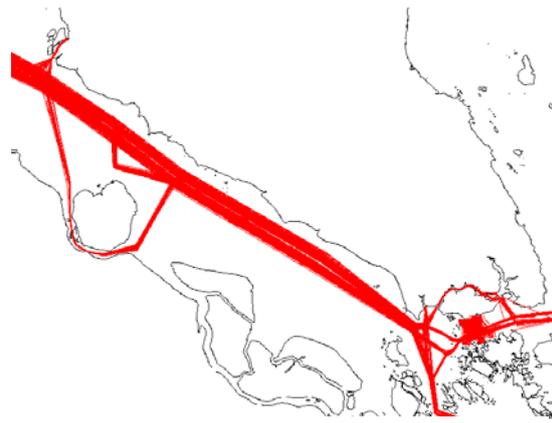


図5 シミュレーション結果の航跡

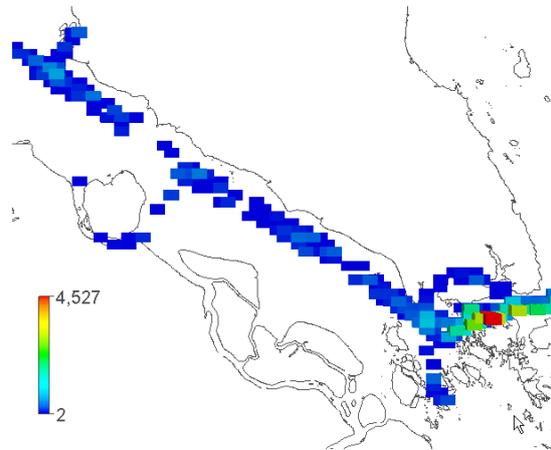


図6 ニヤミス発生状況

ーションを実施した。

分離通航帯を航行する船舶用の出発地としてマラッカ・シンガポール海峡内の主要港5つ、マラッカ海峡の西端に1つ、シンガポール海峡東端に1つ、シンガポール海峡南部に1つ定めた。さらに深喫水船舶用の出発地をそれぞれに追加し合計16つ出発地を設けた。また、シンガポール港南側の分離通航帯を南北に横断するフェリー、タグ・バージ用の出発地としてシンガポール港付近に6つの出発地を設けた。以上22の出発地を設定した後、航路および航路幅を設定した。各出発地の船種別船舶出航数は過去の統計データをもとにして決定した。

マラッカ・シンガポール海峡には深水深航路の一部だけに速度制限区域(12knot)が設けられているが、この海峡特有の航行環境(ヘイズ、輻輳した海域、スコール、漁船のような小型船の存在、多数の浅瀬の存在等)によりVLCCのような大型船は常に10~14knotで航行しているのが実態である。そのため深水深航路(船型J~Mが航行する航路)全域を速度制限区域とした。

時間帯別出航船舶数および目的地別船舶配分率を設定し、十分な準備時間を取った上

で、24時間のシミュレーションを実施した。この24時間内に発生した船舶の総数は867隻で、同一時刻に存在する船舶数は240~270隻であった。その航跡を図5に示す。

次に海域全域を5kmメッシュに分割し、各メッシュにおけるニアミス発生量を色分けしたものを図6に示す。最も高い頻度でニアミスを起こしているのは、文献[3]に報告されている衝突事故発生海域と一致していることから、シミュレーション結果はほぼ妥当であるといえる。

(4) AIS 交信データの認識手法の一般化

AISの更新状況の実態調査より、搭載が義務化されている船舶においても誤った設定のまま利用している船舶が多数存在することが明らかになった。

表2 メッセージ5の内容

	データの内容
1	通報識別符号（「5」である）
2	反復表示記号
3	ユーザーID（MMSI番号）
4	AISのバージョン表示記号
5	IMO番号
6	呼出し符号
7	名称
8	船舶の種別及び積荷の種類
9	船舶の寸法/位置の基準
10	電子測位装置の種別
11	到着予定時刻
12	現在の静的な最大喫水
13	行先
14	データ端末の準備状況
15	予備

表3 メッセージ1の内容

	データの内容
1	通報識別符号（「1」である）
2	反復表示記号
3	ユーザー識別符号（MMSI番号）
4	航行状態
5	旋回率
6	対地速度
7	位置の精度
8	経度
9	緯度
10	対地針路
11	真の船首方向
12	時間刻印
13	特別な操船行動についての表示記号
14	予備
15	電子測位装置の自立的監視動作フラグ
16	通信状態

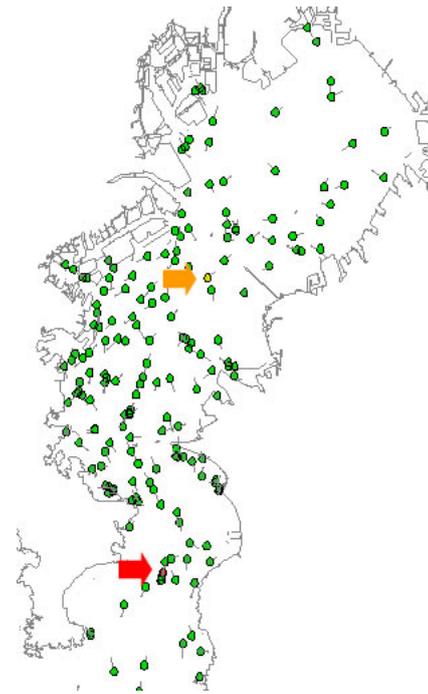


図7 東京湾内の船舶とその状況

また、通報内容については、規定されたメッセージの内容について調査を行った。本研究において必要となる情報のうち、船舶を特定するためのデータおよび航行状況を把握するためのデータをそれぞれ表2と表3に示しておく。

なお、メッセージの種類により通信方式としてRATDMA (Random Access Time Division Multiple Access), ITDMA (Incremental Time Division Multiple Access), SOTDMA (Self Organizing Time Division Multiple Access), FATDMA (Fixed Access Time Division Multiple Access) などが使い分けられているが、本研究では受信後のデータを扱うものとしている。

(5) 衝突の危険性の高い船舶の特定

監視対象海域において、管制官が衝突の危険性が高い船舶を的確に把握するためには、その位置、状態等を素早く理解できるように可視化を行う必要がある。本研究における検討結果を以下に示す。

図7は東京湾のある時刻の状態を示している。東京湾内の各船舶は、すべて半径500mの円でプロットし、その針路と速度をベクトルで付加してある。当該船舶の状態を色分けしており、危険性が高い船舶を赤色で表示している。まずは、このように対象海域の全体を見渡せる表示方法が必要となる。なお、管制官に注意を喚起する最適な色彩については、管制室等現場の環境を考慮した検討を行う必要がある。

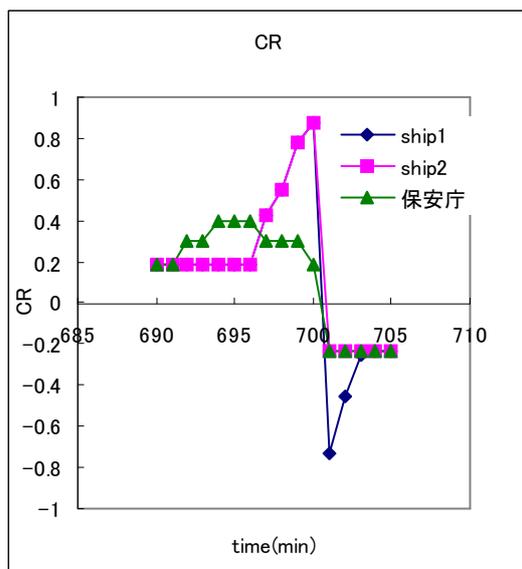


図8 衝突危険度の推移

次に、図8は、図7において赤色の大きな矢印で特定した着目船舶について、避航対象となった対象船舶の衝突危険度(CR)の推移を別途表示させたものである。この図では、衝突危険度(CR)が低下するまでプロットしている。なお、図7においては、このように大きな矢印を用いる方法以外に、危険度が高まった船舶が集中する海域を円等で示す方法も考えられる。

図9は、衝突の危険性が高くなったと予想される船舶を線分で結んだものである。この図においては、危険と考えられる状態では緑色、非常に危険と考えられる状態では赤色にて表示することになっている。管制官にとって、どの船舶に注目すべきかが一目でわかるように工夫した。

なお、目標のひとつであるガイダンスシステムの開発において、適切な回避行動を示す予定であったが、輻輳海域交通シミュレータの機能向上後に開発すべきと判断し、その信頼性向上を中心にシステムの改良を行い、より広域で詳細な海域への適用を試みた。

【参考文献】

- [1] 井上欣三：直線航路における航跡分布のモデル化と航路分離に関する一考察, 日本航海学会論文集, 56号, pp.103-115, 1977年12月.
- [2] 関西造船協会/編：造船設計便覧, 第4版, 海文堂出版, 1983年8月.
- [3] 社団法人 日本海難防止協会：マラッカ・シンガポール海峡白書 2007, 日本財団, 2007年6月.

5. 主な発表論文等

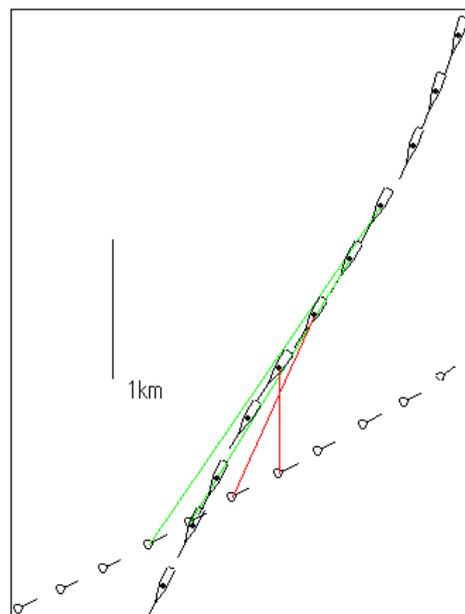


図9 着目船舶と対象船舶の関係

〔雑誌論文〕(計2件)

- ① K. Hasegawa : Advanced marine traffic automation and management system for congested waterways and coastal areas, Proceedings of International Conference in Ocean Engineering, ICOE 2009, pp.A-1-A10, 2009.(招待論文)
- ② K. Hasegawa, K. Hata, K. Niwa, and J. Fukuto : Transmission Evaluation of Ship-borne Automatic Identification System (AIS) in Congested Waterways, Proceedings of The 8th International Conference on ITS Telecommunications, pp.18-23, 2008.(査読有)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

丹羽 量久 (KAZUHISA NIWA)
長崎大学・大学教育機能開発センター・教授
研究者番号：90448499

(2) 研究分担者

長谷川 和彦 (KAZUHIKO HASEGAWA)
大阪大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：60106804
古賀 掲維 (AOI KOGA)
長崎大学・大学教育機能開発センター・准教授
研究者番号：60284709
畑 耕治郎 (KOJIRO HATA)
大手前大学・現代社会学部・准教授
研究者番号：50460986

(3) 連携研究者

なし