

## 海中転落者のための救助支援システムの開発と評価

和田雅昭

公立ほこだて未来大学

本報では、海中転落者の生存救出を目的として開発を行った衛星通信、携帯電話、特定小電力無線機を用いた3種類の救助支援システムについて報告する。海難及び船舶からの海中転落による死亡・行方不明者数は年間250人を越え、救助体制の強化が大きな課題となっている。生存救出のためには、ITを活用した事故情報の早期入手と正確な位置の把握に基づく迅速な救助活動が必要である。本研究では、海中転落者の視点から双方向の通信による救助支援システムを考案し、実験によりシステムの評価を行った。その結果、利用海域や利用形態に合わせた救助支援システムを選択することにより、的確な救助要請が行えることを確認した。

キーワード：レスキュー、マリン、海中転落、GPS、通信

## Development and Evaluation of Rescue Systems for Man-Overboard

Masaaki WADA

FUTURE UNIVERSITY-HAKODATE

In this paper, the author reports on three kinds of rescue systems that use the satellite communication, the cellular phone, and the low-power transmitter developed to save the life from man-overboard accidents. Over 250 people are dead to the man-overboard accidents and sea disasters every year. To decrease the number of dead, the rescue system that uses information technology is very useful. Therefore, the author proposes the rescue systems that use the two-way communication equipment and GPS. The experiments have been carried out in the sea, each system was able to transmit the rescue signal that contained the position information.

Keywords: Rescue, Marine, Man-Overboard, GPS, Communication

### 1. はじめに

平成13年3月6日に閣議報告され、平成13年度からの5ヵ年計画で実施された第7次交通安全基本計画では、“年間海難及び海中転落による死亡・行方不明者数を平成17年までに200人以下とすることを旨とする”とした目標が掲げられた。しかしながら、平成17年の海難及び海中転落による死亡・行方不明者数は252人であり(図1)、目標を達することはできなかった。

第7次交通安全基本計画では、“ITを活用した遭難者の正確な位置の把握等情報の早期入手、救助対象への救助努力の早期投入、救助対象の早期発見に努めるなどの救助体制の強化を図る”とした海上交通安全対策が掲げられていたことから、ITの活用が十分に行われていないことが、

死亡・行方不明者数を削減することのできなかつた大きな要因であると考えられる。

平成18年3月14日に作成された第8次交通安全基本計画では“平成22年までに年間海難及び船舶からの海中転落による死者・行方不明者数を220人以下とすることを旨とする”とした目標が掲げられており、下方修正されている。また、“平成22年までに海難及び船舶からの海中転落発生から2時間以内に海上保安庁が情報を入手する割合を80%以上にすることを旨とする”とした新たな数値目標が加えられている。

そこで、本報では海中転落者を生存救出することを目的として開発を行った救助支援システム<sup>[1][2]</sup>について紹介を行い、実験の結果からITを活用した海中転落者の救助体制の強化について考察する。

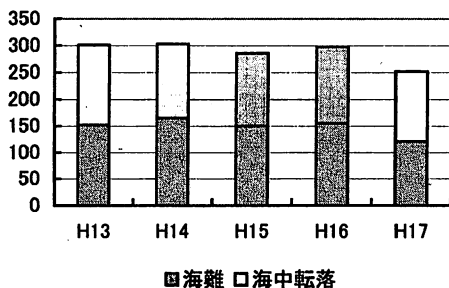


図1 死亡・行方不明者数の推移

## 2. 海中転落事故の現状

平成 11 年 2 月 1 日、モールス信号による救助信号である SOS は廃止され、GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System) が完全実施された。しかしながら、GMDSS の搭載義務は、国内では基本的に総トン数 20 トン以上の船舶となっており、総隻数の 90% 以上を占める 20 トン未満の小型船舶は対象となっていない。さらに、GMDSS をはじめとする既存の救助支援システムは船舶を対象としたものであり、個人が対象となる海中転落事故には適していない。

海中転落事故における生存救出率は極めて低く、4 人に 1 人が救出されている程度に過ぎない。IMO 船舶搜索救助便覧によると 10℃ 未満の海水温度における生存可能時間は 180 分以下、4℃ 未満では 90 分以下とされており、生存救出のためには、第 8 次交通安全基本計画の数値目標以上に、迅速な情報の入手が不可欠である。

海難事故における救助要請のためには、注意喚起 (Alert) と位置表示 (Locate) の、二つの機能が必要であるとされている<sup>[3]</sup>。位置表示を伴わない救助要請では、搜索活動が必要となる。搜索活動は気象と海況に大きく左右され、特に事故の発生しやすい視界の利かない荒天時や夜間、および、荒海では発見までに費やす時間が生死を左右する。すなわち、位置表示を伴った救助要請を行うことにより、迅速な救助活動が行われ、生存救出率が飛躍的に高まることが期待できる。

## 3. 衛星通信を用いた救助支援システム

### 3.1 衛星通信の選定

個人を対象とする救助支援システムを構築す

るためには、注意喚起のための通信機能と位置表示のための位置検出機能を備えた常時携帯型の携帯端末を開発する必要がある。そこで、沿岸から大洋まで地球規模で利用可能な救助支援システムの構築を目的として衛星通信を用いた救助支援システムの開発を行った。

衛星通信は、双方向通信が可能で、免許不要で利用可能なことを条件として選定した。双方向の通信により海中転落者から救助要請を送信するだけでなく、海中転落者に対し救助要請が受信され、救助活動を開始したことをレスポンスとして返信することが可能となる。これにより、海中転落者は精神的に落ち着いて救助を待つことができる。また、救助支援システムの普及のためには、誰でも、何時でも利用可能なシステムである必要があることから、その利用にあたり免許などの制限がないものである必要がある。その結果、データ通信専用の低軌道衛星通信である ORBCOMM<sup>[4]</sup>を選定し、ORBCOMM による通信機能と GPS による位置検出機能を備えた携帯端末の開発を行った。ORBCOMM 端末の仕様を表 1 に示す。

表 1 ORBCOMM 端末の仕様

周波数	上り : 148-150MHz
	下り : 137-138MHz
通信速度	上り : 2,400bps
	下り : 4,800bps
送信出力	5W

### 3.2 アンテナの開発

ORBCOMM は軌道高度 730km の低軌道周回衛星であり、ORBCOMM 衛星、衛星地球局、ゲートウェイコントロールセンターを経由して、電子メール形式でメッセージを送受信することができる。ORBCOMM 端末は、車載を前提としていることから、純正のアンテナは長さ約 1m のホイップアンテナであり、携帯に適していないことから、最初にアンテナの開発を行った。アンテナは救命胴衣等に埋め込むことを想定し、フレキシブルな素材で構成することにした。そこで、1/8 波長ヘリカルアンテナ (図 1 左)、および、1/16 波長ヘリカルアンテナ (図 1 右) を試作し、陸上において通信試験を行ったところ、純正のホイップアンテナに比較して仰角 20° 未満では若干の差

異が見受けられるものの、仰角 20° 以上の実用域では同等の結果を示したことから、1/8 波長ヘリカルアンテナを用いて洋上試験を行った。

洋上試験では、左肩部にアンテナを取り付けたマネキンを海中に投入し（図 2）、救助要請メッセージの送信を行った。90 分間に 6 回の送信を行い、いずれも衛星とのコネクションを確立することができなかった。そこで、SWR（Stand Wave Ratio）計により周波数特性を確認したところ、ピーク周波数が設計値の 150MHz よりも高い約 160MHz となっており、さらに、不安定な状態であることが確認された。その原因としては、ヘリカルアンテナのラジアルが海水に触れることにより、見かけのラジアル形状が変化していることが考えられる。そのため、アンテナを救命胴衣等に埋め込んだ場合には、海水がアンテナ特性に影響を与えてしまうことから、必要時にアンテナを取り出し、海面上に保持することを想定して、新たにアンテナの開発を行った。ここでは、フレキシブルな素材に限定する必要がないため、衛星通信用のアンテナとして利得の高いダイポールアンテナ（図 3 左）を作成し、これを収縮式とすることで携帯可能とした（図 3 右）。

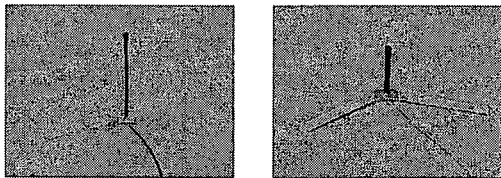


図 1 ヘリカルアンテナ  $\lambda/8$  (左) と  $\lambda/16$  (右)

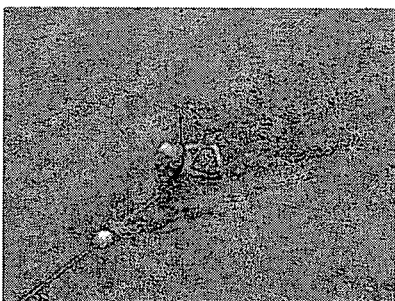


図 2 アンテナの洋上試験

### 3.3 救助支援システムの概要

衛星通信を用いた救助支援システムは、携帯端末と携帯端末を監視する陸上のホストコンピュータから構成される。図 4 にシステムの構成を示

す。海中転落が発生すると、海中転落者はアンテナを取り出し、携帯端末を起動する。携帯端末は起動と同時に注意喚起のメッセージを送信し、GPS による測位を開始する。測位が行われると位置表示のメッセージを送信し、一定時間間隔でこれを繰り返す。ホストコンピュータでは、メッセージを受信すると、メッセージに含まれる ID から海中転落者を特定し、地図上に海中転落者の位置を表示する。合わせて、救助活動が開始されたことをレスポンスとして返信する。携帯端末では LED の点滅回数により、注意喚起の送信、位置表示の送信、レスポンスの受信の状態遷移を確認することができる。

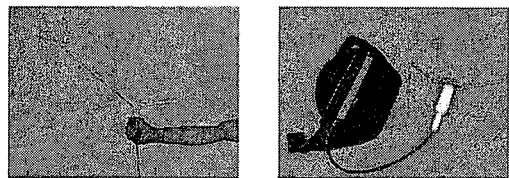


図 3 ダイポールアンテナ(左)と携帯端末(右)

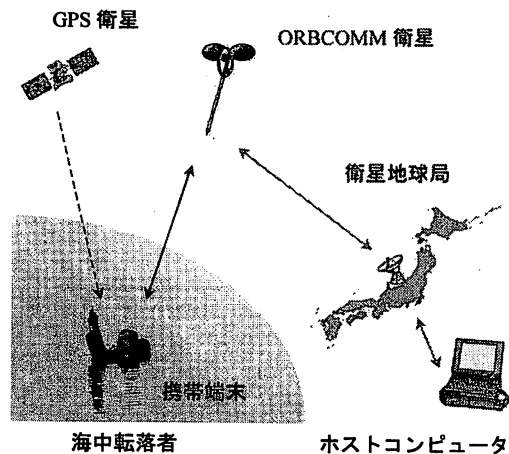


図 4 システムの構成図

### 3.4 実験

提案する衛星通信を用いた救助支援システムが、実際の海中転落事故において有効に機能することを検証するための実験を行った。実験はプレジャーボートを用いて、那覇港の西約 11 マイルにある座間味諸島沖で実施した。ホストコンピュータはプレジャーボート上に仮設している。

携帯端末をウエストバックに収納した被験者がプレジャーボートから海中転落し、アンテナを

ウエストバックから取り出すことにより端末を起動した(図5)。端末は起動と同時に注意喚起のメッセージを、約1分後に位置表示のメッセージを送信している。ホストコンピュータでは海中転落から約4分後に注意喚起のメッセージを受信し、画面上に被験者の氏名等の情報を表示した。続けて約5分後に位置表示のメッセージを受信すると地図上に海中転落者の位置を表示し(図6)、レスポンスを返信した。そして、海中転落から約10分後に、被験者はレスポンスを受信することができ、約15分後に被験者を船上に救助し、実験を終了した。

なお、予め陸上において行った予備実験においても携帯端末の起動から、レスポンスの受信までに10数分を要しており、特別な遅延はなかったと考えられる。この実験により、衛星通信を用いた救助支援システムの有効性を示すことができた。

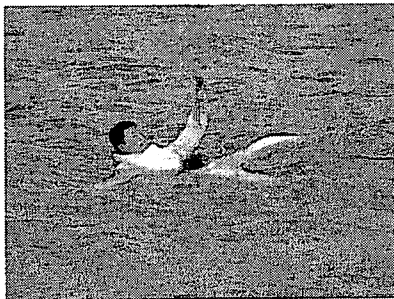


図5 洋上実験

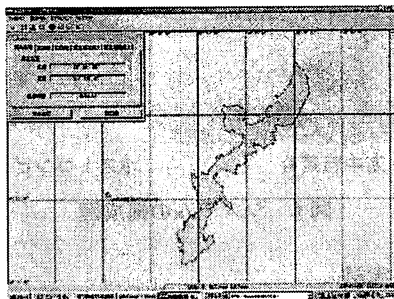


図6 ホストコンピュータの画面

## 4. 携帯電話を用いた救助支援システム

### 4.1 携帯電話の選定

海上保安庁発行の海上保安統計年報第55巻によると、海中転落事故の80%以上は12海里以内

の沿岸で発生している。また、海の118番通報のうち、半数以上が通信手段として携帯電話を利用していることから、携帯電話は洋上における救助支援システムの通信手段として大変有効であると考えられる。そこで、GPSによる位置検出機能を備えた携帯電話を利用した位置情報提供プラットフォームであるDLP<sup>[5]</sup>を活用した救助支援システムの開発を行った。DLP端末の仕様を表2に示す。

表2 DLP端末の仕様

周波数	800MHz
通信速度	9,600bps
送信出力	0.8W

### 4.2 自動起動装置の開発

衛星通信を用いた救助支援システムでは、携帯端末の小型化と自動起動が課題であった。携帯電話を用いることにより、携帯端末の小型化が図れることから、2つ目の課題である海中転落を検知し、自動的に携帯端末を起動する自動起動装置の開発を行った。

海水を検出する自動起動装置は、膨張式の救命胴衣や救命筏などで実用化されている。これらの用途ではガスボンベを打ち抜く大きな力が必要となることから、化学反応と強力なバネ材を組み合わせた物理的な機構が採用されている。一方、携帯端末は接点信号のみで起動させることができることから、電極を用いた電子式の海水検出装置(図7右)の開発を行った。電子式とすることにより、小型化が可能であり、再利用も可能である。

携帯端末にはDLPに対応したセイコーエプソン株式会社のHGU7000(図7左)を選定した。HGU7000は、起動用の接点を1秒間以上短絡させることにより起動する仕様となっていることから、確実に起動させるため、自動起動装置には低消費のマイクロコントローラを採用した。最初に、実験予定海域である函館港から採集してきた海水の抵抗値を計測し、電気伝導度を算出したところ、 $\kappa=3.931$  (S/m)であった。そこで、電極の径を0.6mm、電極間の距離を5.0mm、電極の深さを0.0mmとする電極を設計した。この電極間の抵抗値は、空気中では絶縁値、海水中では4,501 ( $\Omega$ )である。

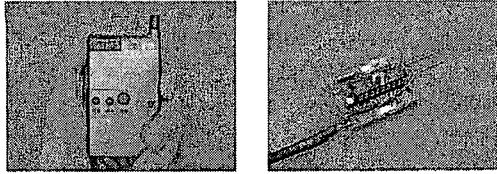


図7 携帯端末 (左) と自動起動装置 (右)

### 4.3 救助支援システムの概要

DLP は位置情報提供プラットフォームであり、インターネットを経由して DLP サーバにアクセスすることにより、目的とする携帯端末の位置情報を間接的に取得することができる。DLP では携帯端末へのアクセスは DLP サーバのみが行うことができ、外部から直接アクセスすることはできない。また、携帯端末の位置情報の更新はトラフィックを制限する目的から、同一の携帯端末に対して、5分間に1度までと制限されている。そのため、ホストコンピュータでは、正時を基準に5分毎に DLP サーバにポーリングを行い、事故発生の有無を確認している。図8にシステムの構成を示す。

事故の発生を確認すると、ホストコンピュータでは地図上に海中転落者の位置を表示する。なお、携帯端末である HGU7000 は起動後 GPS による測位を開始し、測位後に注意喚起と位置表示のメッセージを同時に送信する仕様となっており、起動後は DLP サーバからのポーリングにより位置表示のメッセージを送信する。また、LED の点滅により、起動中、測位中、待機中といった状態を確認することができる。

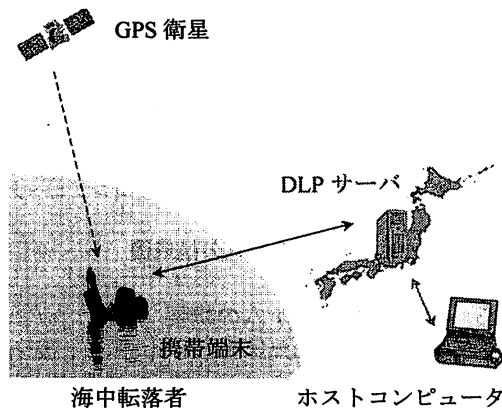


図8 システムの構成図

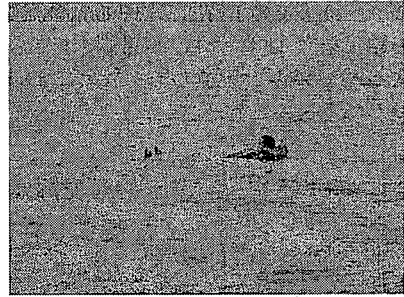


図9 洋上実験

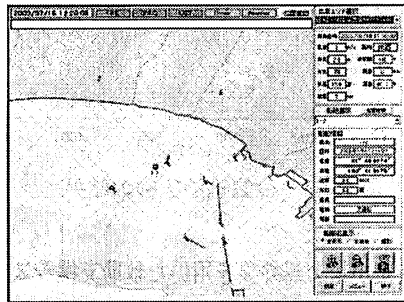


図10 ホストコンピュータの画面

### 4.4 実験

携帯電話を用いた救助支援システムの有用性を評価するため、2項目の洋上実験を行った。一方は海中転落実験であり、他方は位置追跡実験である。実験は船外機船を用いて、函館港七重浜沖において実施した。ホストコンピュータは船外機船上に仮設している。

海中転落実験では、携帯端末を身に着けた被験者が海中転落し (図9)、自動起動装置により注意喚起と位置表示のメッセージ送信し、ホストコンピュータで受信することを確認した (図10)。被験者は 12:18 に海中転落し、12:20 のポーリングでホストコンピュータは事故の発生を確認している。そして、12:31 に被験者を救助するまでの間、12:25、12:30 と5分毎に位置表示メッセージを受信することができた。なお、DLP サーバに残されたログを確認したところ、海中転落から31秒後に最初のメッセージを受信していた。

次に、海中転落者が救助を待つ間に潮流により漂流することを想定して、携帯端末を装着した救命胴衣を海中に投入し、その位置を追跡する実験を行った。この時、携帯端末の位置精度を評価するため、1秒毎に位置を記録する記録式GPSを合わせて装着した。10:40 に救命胴衣を海中に投入

した後、11:40 までの 1 時間に約 300m 漂流した。実験の結果を図 11 に示す。携帯端末の位置は、記録式 GPS の航跡と比較して、最大で 50m 程度の誤差があることが確認された。

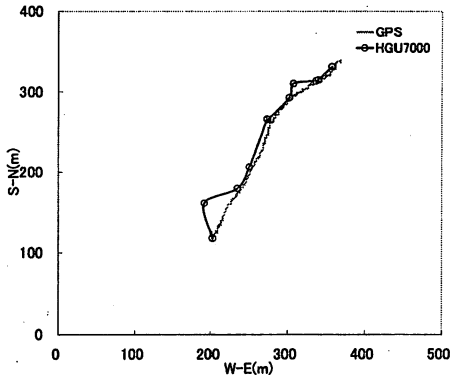


図 11 位置追跡実験の結果

## 5. 特定小電力無線機を用いた救助支援システム

### 5.1 特定小電力無線機の選定

携帯電話を用いた救助支援システムでは、システムの利用可能エリアの拡大が課題であった。海上保安統計年報によると、海難及び海中転落による死亡・行方不明者数のうち、船舶の海難によらない海中転落事故がほぼ半数を占めている。船舶の海難によらない海中転落事故では、海中転落した船舶を利用することができると考えられ、船舶に中継端末を設置することにより、携帯端末からの注意喚起と位置表示のメッセージを中継し、ホストコンピュータに送信することが可能となる。そこで、自動車のエンジンスタターにも利用されている特定小電力無線機を用いた救助支援システムの開発を行った。特定小電力無線機の仕様を表 3 に示す。

表 3 特定小電力無線機の仕様

周波数	426.025MHz
通信速度	1,200bps
送信出力	1mW

### 5.2 携帯端末と中継端末の開発

最初に携帯端末の開発を行った。携帯端末は特定小電力無線機と小型 GPS、および、マイクロコントローラにより構成している。マイクロコント

ローラでは、GPS により測位した位置情報に ID を付加し、無線伝送のための符号化を行っている。特定小電力無線機には、株式会社サーキットデザインの CDP-TX-04S を用いた。開発した携帯端末を図 12 左に示す。

次に、中継端末の開発を行った。中継端末にはホストコンピュータとの通信機能に加え、救助活動時に携帯端末の位置を距離と方位で表示するナビゲーション機能を搭載した。ホストコンピュータとの通信機能については、衛星通信を用いた救助支援システムの携帯端末をそのまま利用することができることから、ORBCOMM との接続インターフェースを設けた。また、ナビゲーション機能については、船舶との相対位置を表示することから、船舶の位置情報を入力するためのインターフェースを設け、船舶の GPS と接続した。開発した中継端末を図 12 右に示す。

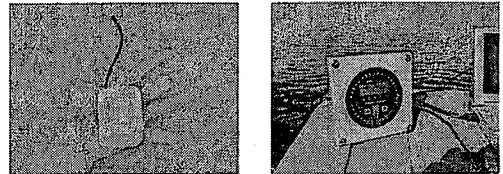


図 12 携帯端末 (左) と中継端末 (右)

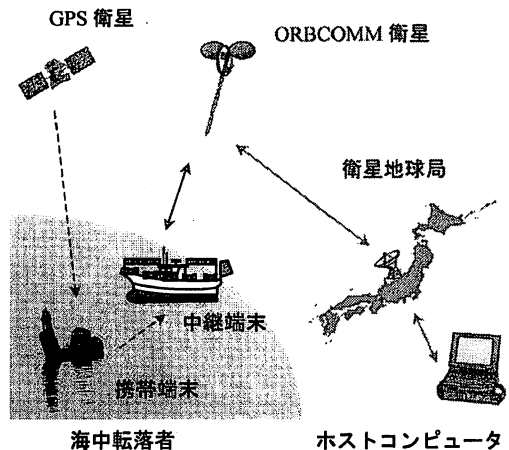


図 13 システムの構成図

### 5.3 救助支援システムの概要

図 13 に特定小電力無線機を用いた救助支援システムの構成を示す。システムは、携帯端末と船舶上の中継端末、陸上のホストコンピュータから構成される。海中転落が発生すると、携帯端末が

自動起動し、注意喚起のメッセージを中継端末に送信すると同時に、GPS による測位を開始する。携帯端末は 5 秒毎に注意喚起のメッセージを送信し、GPS による測位が行われると、位置表示のメッセージに切り替えて送信する。中継端末では、携帯端末からのメッセージをホストコンピュータに中継すると同時に、サイレンやライトにより事故の発生を周囲に報知する。また、海中転落者の相対位置を表示し、救助活動に備える。携帯端末が片方向の通信であることから、海中転落者は携帯端末の LED ではなく、船舶のサイレンやライトにより、状態の遷移を確認する。

#### 5.4 実験

特定小電力無線機を用いた救助支援システムの有効性を評価するため、3 項目の洋上実験を行った。海中転落実験、位置追跡実験に加え、システムの利用可能エリアを確認するための特定小電力無線機の通信距離実験を実施した。実験は函館港七重浜沖で防波堤と船外機船を用いて実施した。なお、中継端末は防波堤上に仮設している。

最初に通信距離実験を行った。この実験では、携帯端末を装着した救命胴衣を船外機船で中継端末から遠ざかる方向に曳航し、中継端末での受信電力を計測した。実験の結果を図 14 に示す。中継端末の受信感度は-117dBm であり、約 900m の距離を境に、通信が不安定になることが確認された。

次に、海中転落実験を行った。この実験では通信距離実験の結果を参考に、1,000m, 700m, 300m, 100m の地点を実験場所として選定し、携帯端末を身につけた被験者が海中転落 (図 15) し、中継端末における受信電力の計測を行った。実験の結果を図 16 に示す。1,000m の地点では、中継端末はメッセージを受信することができなかった。また、700m の地点においても、中継端末が背面となる位置関係においては、不安定な通信状態であることが確認された。

最後に、位置追跡実験を行った。この実験では携帯端末を装着した救命胴衣を中継端末から 500m 離れた地点で海中に投入し、40 分後に中継端末を防波堤上から船外機船上に移設し、中継端末のナビゲーション機能を用いて、救命胴衣の回収を行った。実験の結果を図 17 に示す。ナビゲーション機能により、容易に救命胴衣を発見することができた。ナビゲーション機能は、特に夜間

の救助活動において、重要な役割を果たすと考えられる。

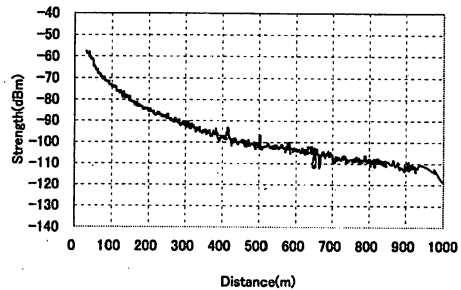


図 14 通信距離実験の結果

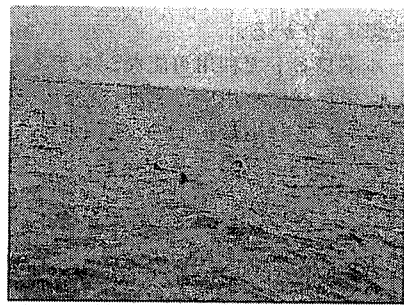


図 15 海中転落実験

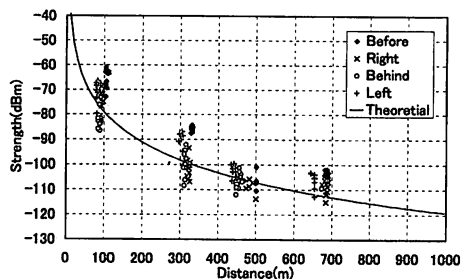


図 16 海中転落実験の結果

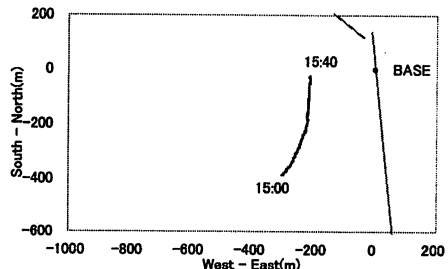


図 17 位置追跡実験の結果

## 6. 考察

GMDSS の主要機器である EPIRB (Emergency

Position Indicating Radio Beacon) は、海難事故発生時に衛星や航空機に向けて遭難信号を送信するブイであるが、受信される遭難信号の90%以上が誤報であり、正確な事故情報の収集に時間を要している。例えば、平成11年にマグロ延縄漁船新生丸が送信した遭難信号が誤報として処理され、救助活動の開始までに8時間を要した。また、平成12年から運用が開始された海の118番通報においても約99%が誤報となっている。このように、大規模な救助支援システムでは、誤報が大きな問題となっている。そのため、本報で提案する救助支援システムは、いずれも漁業協同組合や漁業部などの小規模な組織でシステムを運用することを想定している。

ワールドワイドで利用可能なシステムとして提案した衛星通信を用いた救助支援システムではアンテナを含む携帯端末の小型化が大きな課題となった。携帯端末としてユーザに許容される大きさは、タバコや携帯電話といった日常身に着けることに慣れているものの大きさであり、現時点では実用的なサイズにまで小型化することは難しい。

携帯電話を用いた救助支援システムは、沿岸域を対象とした実用的なシステムであると言え、プレジャーボートや釣り人、前浜漁業等での利用が想定される。携帯端末を救命胴衣と組み合わせて利用すること想定して実施したプール実験では、膨張式救命胴衣の自動起動装置から携帯端末を起動するための接点信号を取り出し、プールへの転落と同時に救命胴衣が膨らみ、合わせて、携帯端末が起動したことを確認した。

特定小電力無線機を用いた救助支援システムは、ホストコンピュータとの通信機能を携帯端末から中継端末に移転したことから、携帯端末を小型化することができた。また、衛星通信や携帯電話といった商用のサービスを利用するのではなく、独自にシステムや携帯端末を設計、構築できることから自由度が高く、現時点では最も実用に近いシステムであると言える。

表4は、各救助支援システムの特徴まとめたものである。衛星通信を用いた救助支援システムと携帯電話を用いた救助支援システムについては、1人1契約のランニングコストが必要となることから、乗組員数人以下の船舶に適しており、乗組員の多い大型船舶などでは、特定小電力無線機を用いた救助支援システムの利用が適している。

表4 救助支援システムの特徴

	衛星通信	携帯電話	特定小電力無線機
サービスエリア	全世界	海岸線から12海里の範囲	中継端末から1kmの範囲
外形寸法	22×9 ×3.3cm	9.3×5.4 ×2.2cm	8×6 ×3.5cm
重量	670g	115g	67g
ランニングコスト	要	要	不要
端末価格	8万円	3万円	1万円

## 7. おわりに

通信手段を異にする救助支援システムを提案し、実用性の評価を行った。実験により、技術面からの実用性の可否は評価することができたものの、システムの普及や利用の促進が大きな課題であると言える。一般的に、利用の頻度が極めて低いシステムを普及させることは難しい。そのため、救助支援システムは利用頻度の高い他のシステムの機能の一部として取り込むことが望ましいと言える。例えば、船舶に設置された機器をコントロールするためのリモコンに携帯端末の機能を埋め込む方法などが考えられる。また、救助支援システムは、センサネットワークシステムのアプリケーションの一つとして位置付けできることから、海中転落だけではなく、船舶の浸水や異常傾斜、および、気象、海況などをセンシングする総合システムとして普及させることが望ましいと考えている。

## 参考文献

- [1] 和田雅昭・天下井清・木村暢夫・岩森利弘、海中転落者のための救助システムについて、日本航海学会論文集, 108, pp.181-187(2003)
- [2] 和田雅昭・天下井清・木村暢夫・岩森利弘、海中転落者のための救助システムについて-IV. ～特定エリアの救助システムの実現～、日本航海学会論文集, 111, pp.165-172(2004)
- [3] 日本小型船舶検査機構、小型船舶船用品有効性に関する調査研究報告書(1983)
- [4] ORBCOMM, オープコムジャパン株式会社, <http://www.orbcomm.co.jp/>
- [5] DLP, 株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ, <http://www.dlp-service.jp/>