

## 港湾警備および水中搜索を想定した水中セキュリティ ソーナーシステムの実証試験

倉重 吉範<sup>1</sup>   倉本 和興<sup>1</sup>   楠 勝浩<sup>1</sup>   田中 隆博<sup>1</sup>  
浅田 昭<sup>2</sup>   前田 文孝<sup>2</sup>

Practical Test of the Security Sonar System for Harbor Security  
and Search in the Water

Yoshinori Kurashige<sup>1</sup>   Kazuoki Kuramoto<sup>1</sup>   Katsuhiko Kusunoki<sup>1</sup>   Takahiro Tanaka<sup>1</sup>  
Akira Asada<sup>2</sup>   and   Fumitaka Maeda<sup>2</sup>

### Abstract

At present, a significant research project to develop an underwater security sonar system is in progress, started in 2005, the 3 years plan, has been funded by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan. As part of the elemental research, the hull mount type acoustic radar (SeaBat7123) and two types of acoustic video cameras (Standard DIDSON and Long Range DIDSON) have been developed. This acoustic radar has three frequencies (100 - 400kHz band) and each acoustic video camera has two frequencies (0.7 - 1.8MHz band) it is possible to respond to a target, at distance, properly. The hull mount type security sonar system that consisted of these acoustic radar and acoustic video camera is expected to be useful in surveillance system searching and detecting underwater terror attacks, poaching divers, illegal disposals and sunken ships, etc, because we can install it on patrol vessels and are able to watch underwater images while moving around the sea area. This study reports on the results of the practical tests of this security sonar system, carried out in Kobe and Yokohama, for harbor security and underwater searching. The effectiveness and possibility of this sonar system is also noted concerning the business of the Japan Coast Guard.

### 1. はじめに

近年、テロ活動は増加傾向にあり、日本においても石油関連施設、原子力発電所、港湾施設等の臨海重要施設やLNG・石油タンカー等に対する海上テロの脅威が懸念されており、また、密漁、不法投棄等の海上犯罪も依然として後を絶たない現状にある<sup>1)</sup>。これら水中空間を利用したテロや犯罪を監視する体制は、陸上、海上の監視システムとして広く利用されている電波レーダや光学カメラが水中ではほとんど使えないことから、陸上、海上に比べて手薄な状況にある。水中の物体を広範囲に探知するには音響ソーナーが唯一の手段であり、軍事部門では潜水艦・機雷探知ソーナーが、海洋調査・海底測量の分野ではマルチビーム音響

---

<sup>1</sup> 海上保安大学校 海事工学講座

<sup>2</sup> 東京大学生産技術研究所

測深機やサイドスキャンソーナーなどが実用化されているが、犯罪等の監視を目的とする有効なシステムはなく、新たなソーナースステムの開発が望まれている。

現在、文部科学省科学技術振興調整費による重要課題解決型研究として、音響技術を使った水中セキュリティソーナースステムの開発を行っている<sup>27)</sup>。その中で、船舶搭載型水中セキュリティソーナースステム（以下、「船舶搭載型ソーナースステム」という。）は、数百 m の範囲を電波レーダに匹敵する解像度で映像化でき、警備船等に搭載して海域を移動しながら機動的に監視ができることから、巡視艇等に搭載する水中監視・撮影システムとしての活用が期待されている<sup>28)</sup>。

今回、試作した船舶搭載型ソーナースステムを使って、港湾、沿岸域での犯罪取締り、海難船舶の搜索等を想定した実証試験を神戸港および横浜港で行い、水中監視・撮影システムとしての有効性を検証した。本稿では、その水中探査・撮影試験の結果について報告する。また、試験結果を踏まえて、船舶搭載型ソーナースステムの海上保安業務への活用についても言及する。

## 2. 船舶搭載型ソーナースステムの概要

検証した船舶搭載型ソーナースステムは、船舶搭載型音響レーダ(SeaBat7123)と音響ビデオカメラ(Standard-DIDSON)の2種類の音響センサを使用している。各センサの外観を図1に、また、それぞれの主な仕様を表1に示す。

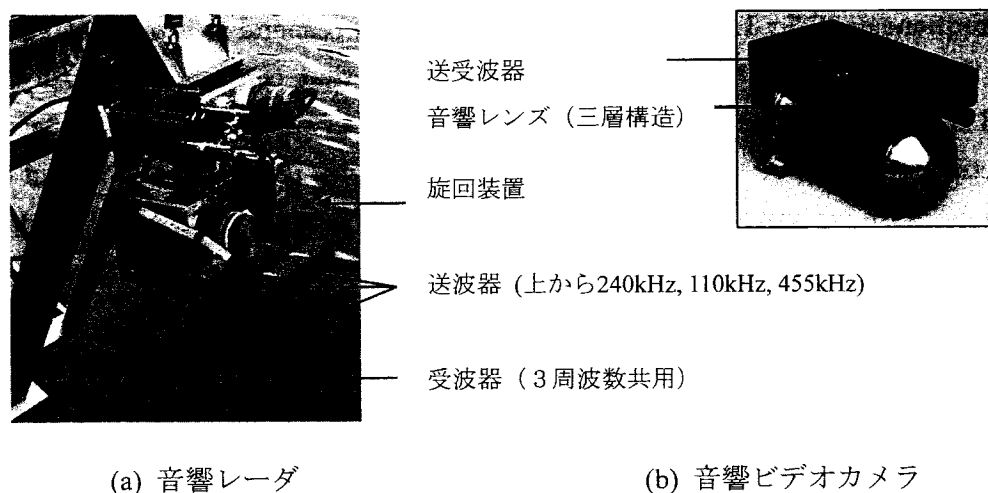


図1 船舶搭載型ソーナースステムの音響センサ

表1 音響レーダおよび音響ビデオカメラの主な仕様

	Acoustic Radar (SeaBat 7123)			Acoustic Video Camera (Standard-DIDSON)	
Operating Frequency	110kHz	240kHz	455kHz	1.1MHz	1.8MHz
Max Range	600m	300m	150m	40m	12m
Field of View	128°	90°	45°	29°	29°
Number of beams	256	256	256	48	96
Pan Tilt Control	H $\pm 90^\circ$ , V $+10^\circ$ to $-90^\circ$			Manual	

船舶搭載型音響レーダは、3周波（110kHz, 240kHz, 455kHz）型のマルチビームセクタスキャンソナーであり、表1に示すとおり目標物の大きさや目標物までの距離等に応じて、最適な周波数を使い分けることができる。識別性能のうち方位分解能（水平分解能）は、視野角によって決まり 240kHz では約  $0.35^{\circ}$  である。距離分解能は使用するパルス幅によって決まるが、パルス幅は数百マイクロ秒から数十ミリ秒の間で変えることができ、最小では 10cm 以下の分解能を有している。また、試作した音響レーダは、通常音波ビームを海底に対して浅い角度で照射して画像を生成するため、船の前方監視ができる特徴がある<sup>9)</sup>。音響ビデオカメラは、音響レンズによってビームフォーミングするセンサで、距離分解能は最小数ミリ m 程度の高分解能を有しているが、Standard-DIDSON の最大探知距離は 40m 以下で視野角も狭いことから、本試験では音響レーダで捉えた物標を詳細に観察する場合に使用した<sup>10,11)</sup>。いずれの音響センサもパンチルト機能を持たせた治具に装着して船体に固定されて

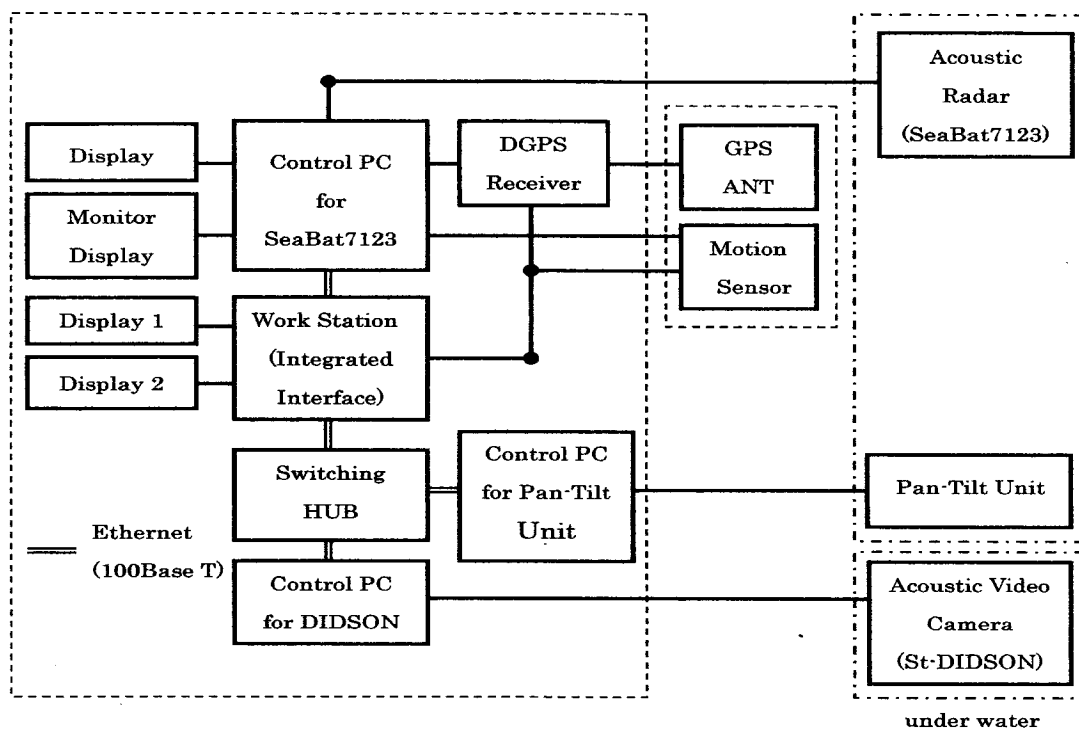


図2 システム構成図

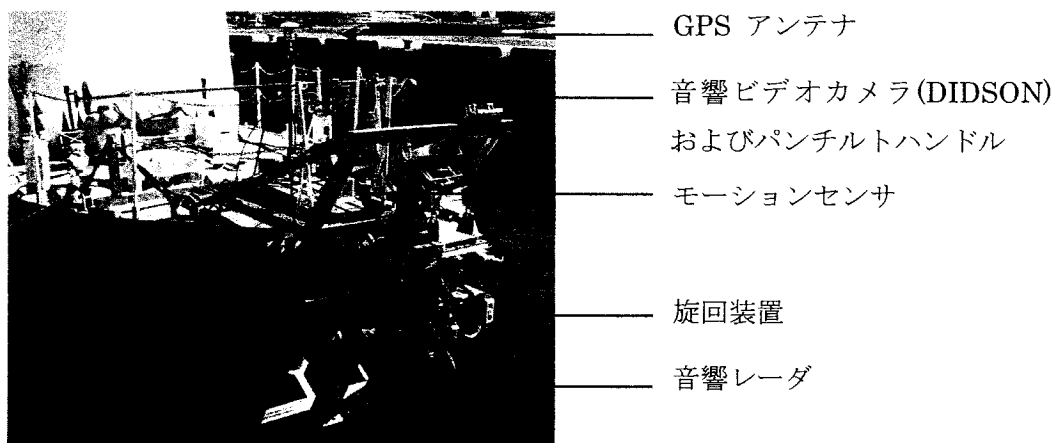


図3 測量船「はましお」船首部に取付けた船舶搭載型ソナーシステム

いる。これらの音響センサの他に、精密な位置情報を得るために DGPS 受信機(Starfire) を、方位・傾斜情報を得るためにモーションセンサ(IXSEA 製 光ファイバージャイロコンパス) を搭載し、音響センサとともに統合インターフェイスプロセッサ (以下、「統合 IF」という。) に組み込み、図 2 に示すシステム構成とした。これにより、オペレータは統合 IF から各種センサの制御、映像監視を行うことができるほか、位置情報、船首方位・傾斜情報等と地図情報を組み合わせることでモニタ画面に海図とレーダ映像を重畳表示することなどが可能となる。試験船に取付けた状況を図 3 に示す。

### 3. 神戸港での実証試験

試作した船舶搭載型ソーナーシステムについて、水中で発生する各種事案に対する監視・撮影システムとしての有効性を検証するため、平成 19 年 8 月 6 日から 8 月 9 日までの間、神戸港およびその周辺海域において実証試験を行った。試験船には、呉港から回航した海上保安大学校保有の実習艇「いつもり」(全長 18m、総トン数 16 トン) を使用し、専用の取付け金具により音響レーダを船首部に、音響ビデオカメラを舷側に取付けた。

#### 3.1 試験海域および方法

水中を監視する場面は、不法投棄、密漁等の犯罪取締り、水中テロの警戒、沈船等の海難搜索、航路障害物等の調査、潜水作業の支援など多種多様であるが、本試験では、1) 神戸市須磨区海釣り公園沖(水深 13~21m)において、沿岸域での沈船等の搜索および不法投棄等の取締りを想定した海底探査を、2) 神戸港第一防波堤およびポートアイランド西岸の周辺海域(水深約 12m)において、水中構造物付近での不審物探査および行方不明者搜索を想定した探査を、3) 神戸港中突堤から新港東ふ頭までの岸壁周辺海域(水深 8~12m)において、港内の水没車両等の搜索および重要イベントや米軍艦船等の寄港警備に際して行われる異物探索を想定した海底探査を行い、映像データ等を取得した。1)で想定したような広域搜索では、予め設定した海域を一定の間隔幅で平行搜索するのが一般的であり、音響レーダによる搜索では、先ず探知距離が長く視野角の広い周波数を使用して、水平から $-5^{\circ}$ 乃至 $-20^{\circ}$ の浅いビーム照射角度で幅広く探査し、対象物を捉えたと接近して分解能の高い周波数に切替え詳細撮影を行なった。その際、3 周波で同じ海域を撮影し、効率的な広域搜索を行うための最適周波数を検証した。3)では水深が浅いため音響レーダは 455kHz のみを使用し、特異物体を捉えたときは音響ビデオカメラによる詳細撮影を行った。これらの試験海域と実際の航跡図を図 4 に示す。

#### 3.2 試験結果

##### 3.2.1 沿岸域での沈船等搜索試験

須磨沖を 3 周波で撮影し、視野角、解像度、画像の鮮明度などを比較した結果、水深が数十 m の広域搜索では、240kHz が最適周波数であることが分かった。搜索試験の一例として、各種魚礁を撮影した音響レーダ映像を図 5 および図 6 に示す。図 5 は、240kHz (最大レンジ 125m) で撮影したものであるが、画像は鮮明で各種魚礁の配置状況やその形状が識別でき、海底に埋もれた物体、海底に生じた窪みなども判別できる。音波が直進し海底が平坦であると仮定すると、海底に生じた影の長さから物標のおおよその高さが読み取れる<sup>12)</sup>。角形の大型物標は縦横約 10m で立体格子状の構造であることが分かる。図 6 は 455kHz で撮影した詳

細画像である。(a)では、箱型構造物が非常に明るく写っていることから、音波を反射しやすいコンクリートなどの構造物と推測できる。また、半ば埋もれた状態の物体は、その形状や垂直に立った柱が読取れることから、電車の台車と残った骨組みと思われる。(b)は、魚礁となった沈船(はしけ)を445kHzで撮影したものである。船体の長さは約34m、幅約7mで、前後部に高さ3m程度の構造物を持ち、舷側が内側に折れ曲がった様子などが読み取れる。

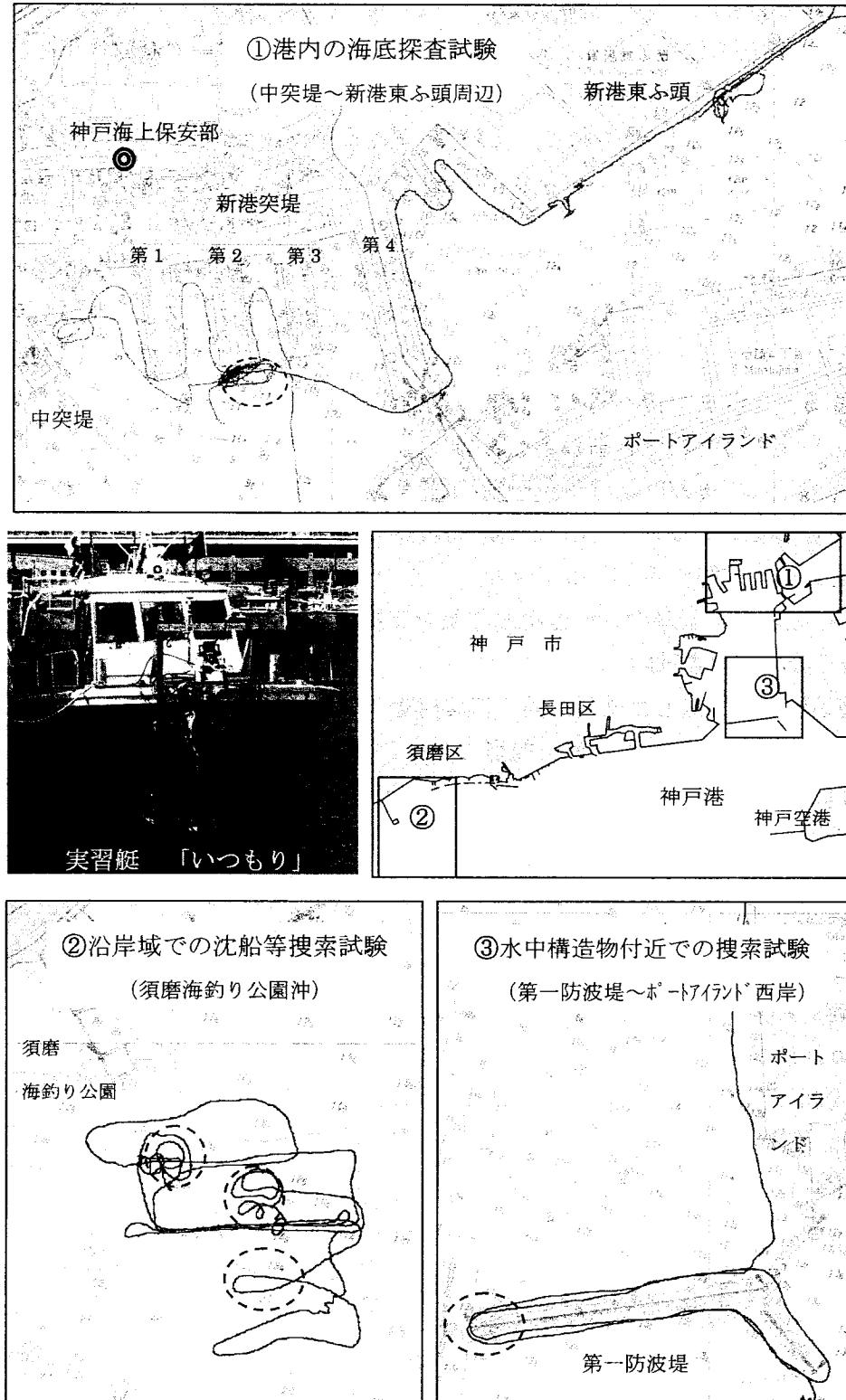


図4 神戸港での試験海域および航跡図

これらの探査・撮影結果から、プレジャーボートなどの沈没船や建設廃材等の不法投棄物の広域搜索には 240kHz が極めて有効であること、455kHz を併用すれば、船体の姿勢や損傷状況、積荷などの散乱状況、海底に半ば埋もれた物体などを詳細に観察できることが分かった。運用面では、レーダ画面上で目標にカーソルを合わせればその位置（音波経路から計算した経度緯度）が表示でき、また、モニタ映像を見ながら操船できることから、目標物の捕捉や周回撮影等を容易に行うことができた。音響レーダによる水中搜索法については、今後最適な搜索幅、画像解析法等の検証、水深が 100m を超える海域での実証試験が必要である。

### 3.2.2 水中構造物付近での水中搜索試験

図 7 は、第一防波堤西端付近を撮影した映像の一例である。(a)は 240kHz で撮影したもので、防波堤西端の全体構造がよく分かり、海底にできた影から石畳が海底より高くなっていることなどが読み取れる。(b)はその一部を 455kHz で撮影したものであるが、波消しブロックや石畳の個々の形状がより詳細に読み取れる。455kHz の距離分解能は、最小で約 10cm であることから、センサからの距離が 30m 程度であれば、消波ブロックに絡まった死体やケーソン上に置かれた数十 cm 程度の物体は、音波の影などによってその存在を見分けることが可能と思われる。これまで行方不明者搜索や不審物の水中探索は、潜水士が目視で行っており、夜間搜索や濁った海域、岩場のある海域などでは非常に困難な作業となっているが、音響レーダを併用すれば事前に又はリアルタイムに状況を把握でき搜索活動に大いに役立つ。音響レーダや音響ビデオカメラでは、物体の存在や形状を識別することはできるが、それが何であるかを正確に把握することはできない。このため、最終的には潜水士等による確認が必要であるが、これらの音響センサは潜水作業を支援する有力な手段になり得るとと思われる。

### 3.2.3 港内での海底探査試験

新港ふ頭周辺海底を探査した結果、第二突堤付近で 2 台、東ふ頭付近で 3 台の車両を発見した。図 8 は、第二突堤付近で車両を撮影したときの音響レーダと音響ビデオカメラの映像である。(a)は、455kHz で撮影したもので、岸壁から約 5m と約 28m 付近にある車両らしき 2 個の物体を捉えている。海底の岸壁土台部には小石などの多数があり、岸壁に向かって緩やかに駆け上がっていることが分かるが、その中であって四角形の 2 物体は、他の物体とは明確に区別できる。(b)は、(a)の車両らしき物体のうち岸壁に近い物体（水深 8m）を 40m レンジで撮影したものである。長さ約 5m、幅約 2m の大きさがあり、車輪状の影も判別できることから車両と考えられた。更に音響ビデオカメラを使って撮影した詳細画像が(c)である。音響ビデオカメラでは、4 個のタイヤやシャフトが判別でき横転した車と判断した。後日、神戸海上保安部の潜水士により 5 物体全てが車両と確認されたが、その多くが泥に埋もれた状態であった。撮影した映像では、いずれも車両と判別できる形状であったことから、455kHz の音波がヘドロ状の海底をある程度まで透過していると推測できる。そのほか、音響レーダでは、アンカーを引きずった跡や震災前の古い岸壁等を撮影することができた。これらの結果、港内での異物探査には、455kHz の音響レーダが効果的であり、車両程度の物体であれば容易に探知・判別できることが確認できた。さらに小さい物体については、その形状や材質、海底の状況にもよるが、方向を変えて撮影した映像を詳細に分析し、音響ビデオカメラも併用することで、探知は可能と考えられる。また、ビームを斜めに照射する音響レーダの特性を活用すれば、突堤間のような狭い海域、橋脚式栈橋のような奥まった水中空間でも容

易に撮影でき、港内全域での効率的な搜索・探査が可能になる。(c) ⑦は、車体から漏出する気泡若しくは油を捉えたものである。音響レーダや音響ビデオカメラでは、このように沈船から流出する気泡、船体に絡まって浮遊するロープ、ダイバーなど動く物標もリアルタイムに撮影できることから、これまで困難であった船体等の状況変化も容易に把握することが可能となる。

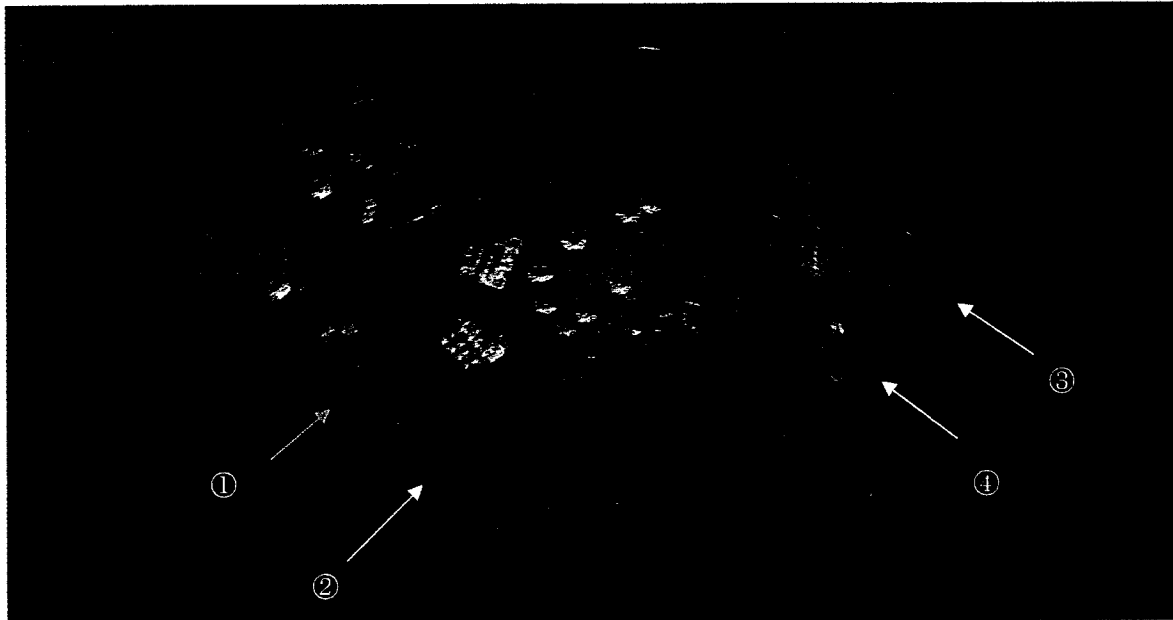


図5 須磨沖海底を撮影した音響レーダ画像(240kHz,125m) ①立体格子状の魚礁 ②円錐形の魚礁 ③半ば海底に埋もれた物体 ④物体後方の暗い部分は影、物体手前の暗い部分は海底の窪み

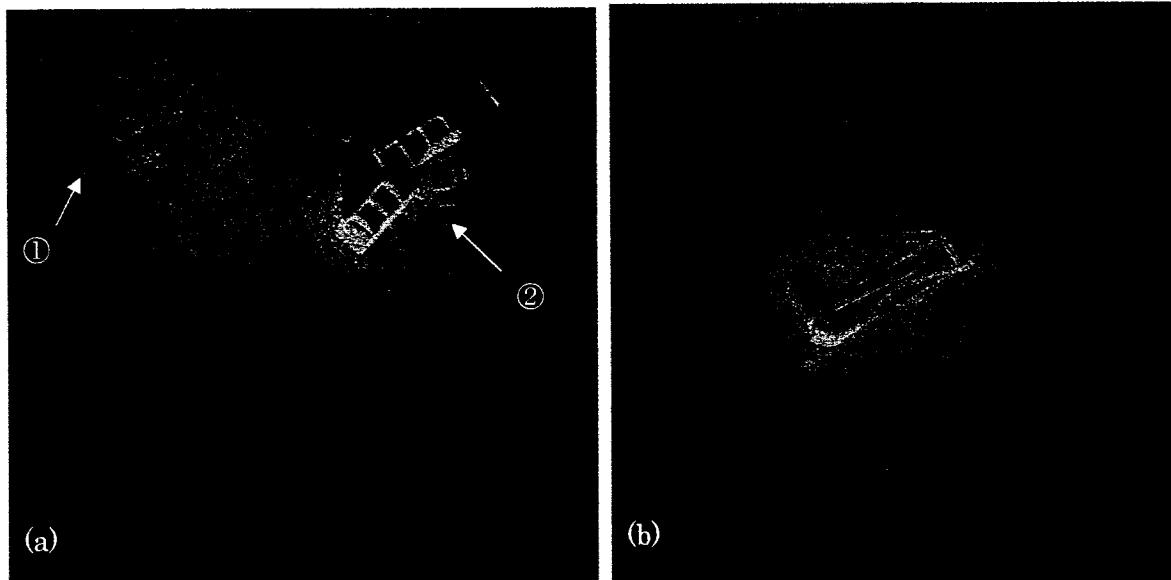


図6 須磨沖魚礁の詳細画像 (a)455kHz,75m ①海底に埋もれた物体（垂直に立った柱状物体も読取れる）②大型の箱形魚礁 (b)455kHz,100m 前後部が高く舷側が折れ曲った沈船（はしけ）（船体は半ば海底に埋もれている）

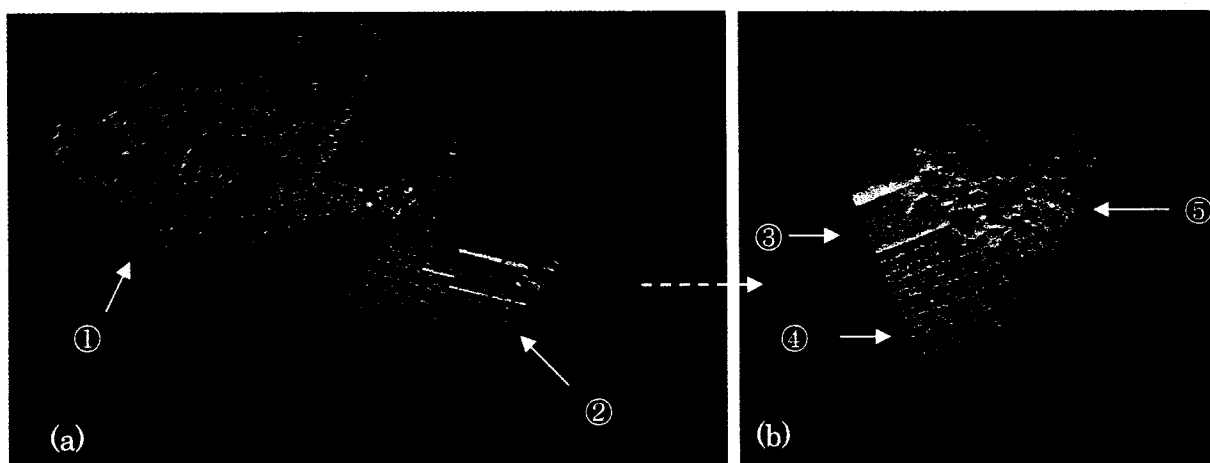


図7 第一防波堤西端付近を撮影した音響レーダ画像 (a)240kHz,75m ①海底 ②防波堤西端基部 (b)455kHz,50m ③コンクリートケーソン ④石畳 ⑤波消しブロック

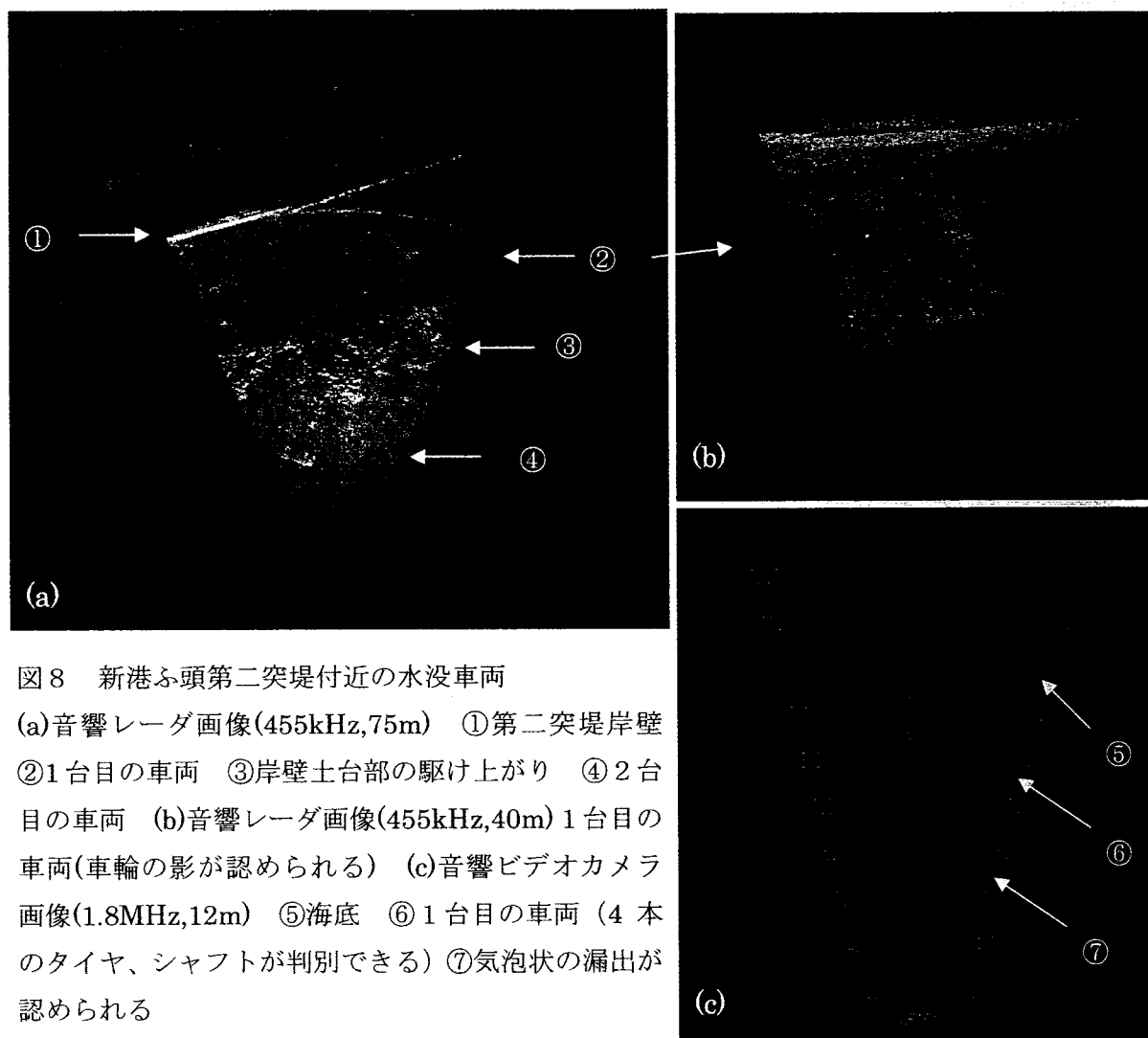


図8 新港ふ頭第二突堤付近の水没車両

(a)音響レーダ画像(455kHz,75m) ①第二突堤岸壁 ②1台目の車両 ③岸壁土台部の駆け上がり ④2台目の車両 (b)音響レーダ画像(455kHz,40m) 1台目の車両(車輪の影が認められる) (c)音響ビデオカメラ画像(1.8MHz,12m) ⑤海底 ⑥1台目の車両(4本のタイヤ、シャフトが判別できる) ⑦気泡状の漏出が認められる

#### 4. 横浜港での実証試験

水中搜索の効率化を図るため、ディスプレイ上に海図(地図)と音響レーダ映像とを重畳表示するソフトウェアおよび撮影映像を連続的に貼り合せてモザイク画を作成するソフトウ



エアを新たに開発した。これらのソフトを組み込んだ船舶搭載型ソナーシステムを使用して重要港湾における不審物等の探査および沈船等の搜索を想定した実証試験を、平成19年10月2日から5日までの間横浜港で実施し、開発したソフトウェアの有効性を検証した。

横浜港試験では、第三管区海上保安本部の協力を得て、本部所属の測量船「はましお」(全長17m、総トン数27トン)を試験船として使用した。音響レーダは、「いつもり」用の固定治具を使用し、船首あてV字金具のみを「はましお」用に改修して搭載し、音響ビデオカメラは、専用の固定治具を作製し前部甲板左舷側に取付けた。

#### 4.1 試験海域および方法

横浜港の山下ふ頭から新港・瑞穂・大黒ふ頭にかけて、岸壁に沿って移動しながら音響レーダによる海底探査を行った。また、本牧ふ頭釣り桟橋沖では沈船搜索を想定した平行搜索を行った。同時にモニタ画面に海図とレーダ映像とを重畳表示し、また、事後処理として撮影映像を貼り合わせたモザイク画を作成して運用上の有用性、利便性を検証した。重畳表示ソフトは、画像として取り込んだ海図上に、レーダ映像を表示するものであるが、ノースアップ、ヘッドアップ等の切替え表示を可能としている。搜索試験海域を図9に示す。

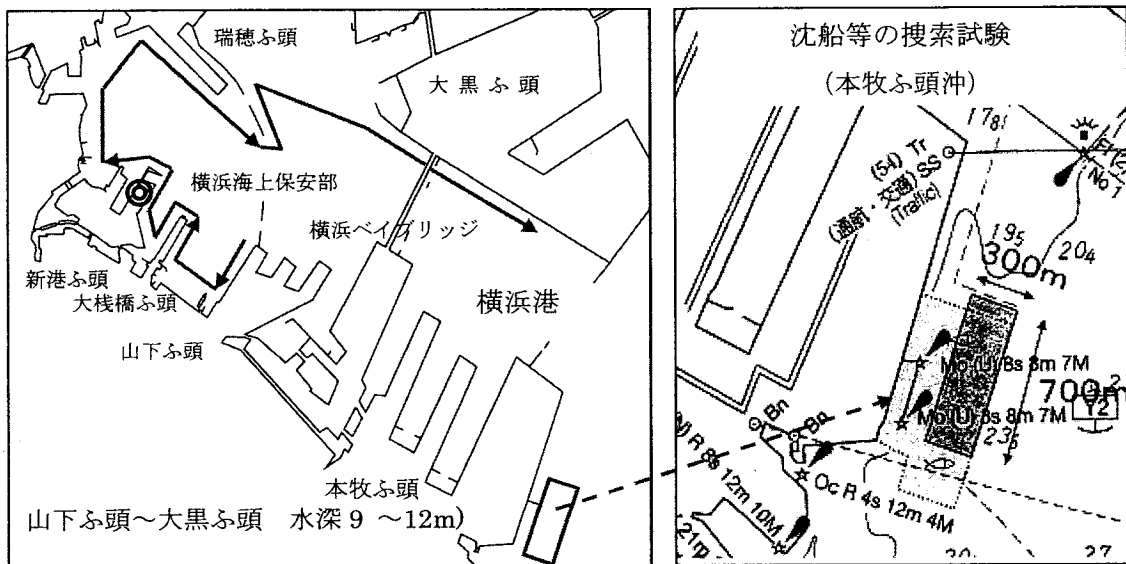


図9 横浜港での試験海域図

#### 4.2 試験結果

音響レーダ(240kHzおよび455kHz)で探査した結果、山下ふ頭から大黒ふ頭までの撮影海域では水没車両等の特異な物体は見当らなかった。図10(a)は、本牧ふ頭の釣り桟橋およびその沖合にある魚礁を240kHzで撮影したものであるが、折り重なった状態で設置された長さ約40m、幅約10mの沈船、釣り桟橋の橋脚、通行船のウェーキを捉えている。図10(b)は、この時のレーダ映像を海図上に重畳表示したモニタ画面である。これにより、オペレータや操船者は、撮影位置、撮影方向を画面上で確認しながら操船・搜索することが可能となり、運用上極めて有用であった。図11は、本牧沖の撮影映像を貼り合わせたモザイク画である。撮影方向が異なると画像は必ずしも一致しないが、搜索を終了した海域の全体像を把握ではできるだけでなく、撮影データの整理にも役立った。今後、電子海図とのインターフェイスが開発できればより実用的になる。

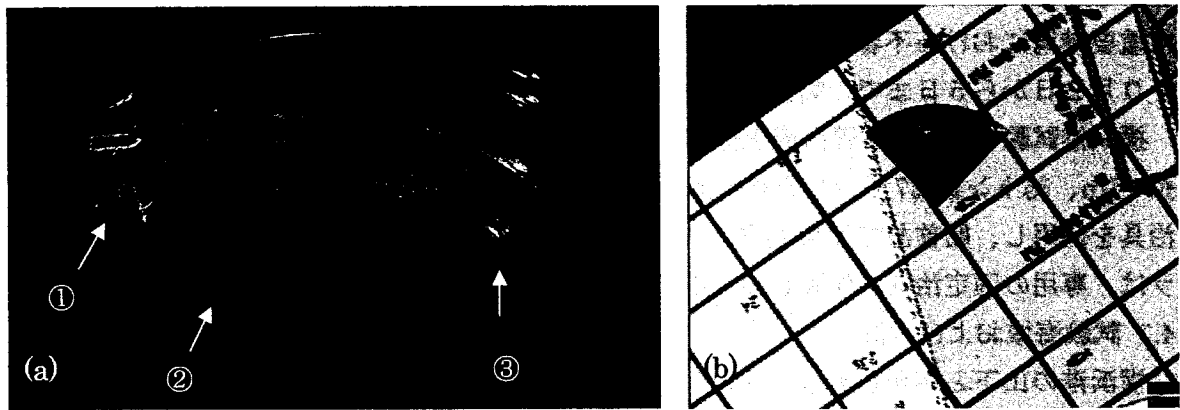


図 10 本牧ふ頭沖を撮影した音響レーダ画像 (a)240kHz,175m ①折重なった沈船(漁礁) ②通行船のウェーキ ③つり桟橋の橋脚 (b)レーダ映像と海図を重ね表示したモニター画面(ヘッドアップ表示)



図 11 音響レーダ映像から作成したモザイク画

## 5. おわりに

本研究は、東京大学生産技術研究所と共同し文部科学省科学技術振興調整費による「水中セキュリティソーナースystemの開発」として行ったものである。今回、試作した船舶搭載型ソーナースystemを使って、港湾警備および水中搜索を想定した初めての実証試験を行った。その結果、試作した船舶搭載型ソーナースystemが、1)水中物体の探査・撮影に有効であること、2)実務面で要求される分解能、最大探知距離等の性能を有していること、3)音響レーダの周波数および音響ビデオカメラを使い分けることによって沈船等の広域搜索から港内の不審物探査まで各種事案に対応した効率的な探査・撮影が可能であること、4)音響レーダ映像の海図上への重畳表示や撮影映像のモザイク画作成等が運用支援ソフトとして有用であることが確認できた。これまでに実施した運用試験においてダイバー等のリアルタイム監視も確認できていることから、船舶搭載型ソーナースystemは、港湾、沿岸域での水中監視・撮影システムとして極めて有用であると考えられる<sup>8,9)</sup>。開発した船舶搭載型ソーナースystemを巡視艇等に搭載できれば、海域を自由に移動して、昼夜・透明度に関係なく水中をリア

ルタイムに監視・撮影できることから、警備救難、航行安全、海底調査等幅広い分野での利用が考えられ、これまで困難であった各種水中空間事案への対応が可能になる。また、巡視船艇が水中監視能力を持つことによって、犯罪やテロの防止・抑止効果も期待でき、海上保安業務に大いに貢献できると思われる。今後の実用化に当たっては、船艇への搭載方法、取付け治具等の小型・軽量化、電子海図とのインターフェイス、捜索支援ソフトの改良開発等が課題である。

現在、海上保安庁では、測量船に搭載したサイドスキャンソナーやナローマルチビーム音響測深機を使って、沈船や不法投棄物等の捜索を行っており、今後はこれらと船舶搭載型ソナーシステムとの比較検証を行なう予定である。

最後に、神戸・横浜港での実証試験にご協力いただいた第三管区・第五管区海上保安本部、横浜・神戸海上保安部、測量船はましお、海上保安大学校訓練部の関係者各位に感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 海上セキュリティ委員会, 平成 17 年度港湾域における海上セキュリティ対策調査研究報告書(海上保安協会, 2006) , pp. 5-15
- 2) 浅田昭, 倉本和興他, “水中セキュリティソナーシステムの開発”, 海洋音響学会研究発表会講演論文集, pp. 59-60, May 2006.
- 3) 倉本和興, 浅田昭他, “水中セキュリティソナーシステムの開発—岸壁固定型センサーの性能評価試験と実用化試験—”, 海洋音響学会研究発表会講演論文集, pp. 61-64, May 2006.
- 4) A. Asada, K. Kuramoto, T. Tanaka, K. Oimatsu, Y. Kawashima, M. Nanri, T. Oyagi and K. Hantani : “Development of Underwater Security Sonar System” Proceedings of Oceans 2006 Asia Pacific , IEEE and Marine Technology Society, SINGAPORE (May 16-19, 2006).
- 5) 浅田昭, 倉本和興 : “音響ビデオカメラを使った水中監視映像”, 電子情報通信学会技術研究報告 IEICE Technical Report Vol. 106 No. 216 pp. 27-30 (2006).
- 6) A. Asada, F. Maeda, K. Kuramoto, Y. Kawashima, M. Nanri and K. Hantani, “Advanced Surveillance Technology for Underwater Security Sonar Systems” , Proceedings of Oceans 2007, IEEE (18-21 June 2007, Aberdeen, SCOTLAND).
- 7) K. Kuramoto, Y. Kurashige, T. Tanaka, A. Asada, F. Maeda, Y. Kawashima, M. Nanri, R. Imai and K. Hantani, “Development of Underwater Surveillance System” , Proceedings of 19<sup>th</sup> International Congress on Acoustics (2-7 September 2007, Madrid, SPAIN).
- 8) 倉本和興, 倉重吉範他, “水中セキュリティソナーシステムの開発—船舶搭載型音響レーダの性能評価試験と実運用試験—”, 海洋音響学会研究発表会講演論文集, pp. 81-84, May 2007.
- 9) 倉本和興, 倉重吉範, 田中隆博, 浅田昭, 前田文孝 “実習艇「いつもり」に搭載した船舶搭載型音響レーダと呉湾周辺海域での運用試験”, 海上保安大学校研究報告 第 51 巻第 1・2 号 第 2 部, pp. 19-31, (2008).

- 10) 倉本和興、倉重吉範、田中隆博、浅田昭, “音響ビデオカメラと実海域での水中監視映像”, 海上保安大学校研究報告 第 50 巻第 1・2 号 第 2 部, pp. 93-105 (2007).
- 11) 倉重吉範, 倉本和興他, “水中音響ビデオカメラ (St- & LR-DIDSON) による実海域での水中監視映像”, 海洋音響学会研究発表会講演論文集, pp. 77-80, May 2007.
- 12) 海洋音響学会編, “海洋音響の基礎と応用”, 第 13 章 海底面の探査, p. 158