

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：85406

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289329

研究課題名(和文) 高分解能イメージングソナーによる海中搜索支援技術の開発

研究課題名(英文) Development of the Underwater Search Supporting Technique Using the High-resolution Imaging Sonar

研究代表者

倉本 和興 (KURAMOTO, KAZUOKI)

海上保安大学校(国際海洋政策研究センター)・その他部局等・教授

研究者番号：50524500

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,800,000円

研究成果の概要(和文)：海上保安庁の特殊な海中搜索活動を迅速かつ安全に実施し、搜索活動のより一層の効率化・精度化を図ることを目的に、高分解能の前方監視型イメージングソナー(Forward Looking Sonar)を有効に活用し、海中搜索に最適化した支援技術の開発を行った。具体的には、全国11カ所の管区海上保安本部に配備されたR2Sonic2024/2022をFLSとして有効に活用することを想定し、R2Sonicシステムを船体に取り付けるための治具等の試作および海中搜索支援のために必要とされるソフトウェアの要素技術の開発を行った。また、実海域で取得したソナーデータを用いてこれらソフトウェアの動作確認を行った。

研究成果の概要(英文)：We have developed a newly optimized search and diver supporting technique, which utilizes the high-resolution forward looking sonar to allow Coast Guard personnel to improve the accuracy of the search operation, while also increasing the efficiency and safety factors involved in these types of operations. Concretely, the special mounting hardware for survey launches to install the R2sonic 2024/2022 and the elemental software necessary for the support of underwater searching divers have been developed. And we have checked the function of the software about indicating the sonar image on the marine chart, making of the mosaic image and tracking for underwater divers by using the sonar data of R2sonic2024/2022 acquired in the actual sea area.

研究分野：海洋音響工学

キーワード：水中探査 前方監視ソナー 水中可視化 海中搜索

1. 研究開始当初の背景

ひとたび海難事故あるいは津波災害等が発生した場合、海上保安庁では直ちにレスキューチームを現地へ派遣し、海上または海中での捜索と救助活動を行っている。特に、海中での捜索および救助活動は、人命救助の観点から緊急性が求められ、海中の状況が未確定であっても潜水捜索を実施せざるを得ないことから過酷で危険性を伴うオペレーションである。このような海上保安庁の海中捜索活動を迅速かつ安全に、しかも限られた現勢力の中で効率的に行うためには、潜水捜索に従事するダイバーに予め海中の状況、つまり物理的・空間的情報を出来るだけ知らせておくのが重要となる。更にその情報は、視覚的にその場でいち早く提供することがキーポイントである。

近年、水路測量や海底地形調査のための浅海用ナローマルチビーム測深機として、新たな機種 (R2Sonic2024/2022) が開発され、測深、測量の現場で主流となりつつある。当機は、極めて高度化・小型軽量化された高分解の測深機で、船舶への艙装等も容易となる特徴を持っている。更に、R2Sonic のマルチビームシステムはスイッチを切り替えることで前方監視型のイメージングソナー (Forward-Looking Sonar; 以下 FLS と表記) として使用できるユニークな機能を持っている。FLS はマルチビーム測深機と送波ビームの方向、計測方法等が幾分異なるものの基本構成は同じで、条件さえ整えればいずれの使い方も可能となる。海上保安庁においても、全国 11 カ所の各管区海上保安本部の浅海用ナローマルチビーム測深機が R2Sonic の 2024/2022 モデルに総て更新、配備されたところである。Sonic2024 については、測量船測深機専用として船底に下向きに固定装備されており、FLS としての使用は出来ない。しかしながら、各管区本部の測量船搭載艇用または備船用に配備された Sonic2022 については、FLS オプションが将来利用可能になる状態で納入されており、オプションのロック解除をすることで FLS としての使用が可能となっている。また、可搬型であることから、取り付け治具の製作を行ってソナーヘッドを前方へ向けることで海中捜索支援用のイメージングソナーとして使用できる。

2011 年 3 月 11 日、我々日本人は東日本大震災およびそれに伴う津波災害を経験した²⁾。海上保安庁では、震災直後から人命救助や行方不明者の捜索に当たり、360 名の人々を救助している^{3,4)}。その後、多くのレスキューチームが不明者の多い地域の沿岸部を中心に投入され、重点的かつ継続的な潜水捜索を行った結果、395 体のご遺体を収容している。しかしながら、海中の捜索活動に従事した潜水士等からの聞き取り調査によると、①膨大な捜索海域 ②海水の濁り・不透明度 ③海中の膨大な瓦礫 ④長時間の潜水、潜水士の疲労により海中捜索・救難活動の進展が大きく阻

まれたことが課題として報告されている⁵⁾。これらの課題を解決する 1 つの方法は、高分解能のイメージングソナーを有効に活用し、効果的に海中捜索、救難活動を実現する事である。更に、東日本大震災のような大規模災害は同時多発的にかつ広域に発生する。このような大災害の場合、多くの災害現場で同時に海中捜索、救難活動を行う必要があり、非常事態を予想して予め機材を数セット準備しておく必要がある。しかしながら、何時あるかも知れない大災害のために高価な機材を何台も準備しておくことは現実的でない。日頃、常用している機材の中で、災害時に対応できるように準備しておくのが最も合理的である。

以上の様な海上保安庁における R2Sonic マルチビームシステムの配備状況、さらには東日本大震災から学んだ教訓から、我々は全国 11 カ所の各管区本部の R2Sonic2022 (平時には測深機として使用) を、東日本大震災のような大規模災害時の有事においては FLS として有効に活用することを想定し、R2Sonic システムを使用した海中捜索支援のための技術的な開発を行うこととした。

2. 研究の目的

海上保安庁の特殊な海中捜索活動を迅速かつ安全に実施し、捜索活動のより一層の効率化・精度化を図ることを目的に、高分解能の前方監視型イメージングソナー (FLS) を有効に活用し、海中捜索に最適化した技術的な開発を行った。

最終的な海中の目標物の確認あるいは救助活動は、ダイバー自身の目と手によって行われることには変わりはない。したがって、限られた潜水スタッフ、潜水時間の中でより効率的に潜水捜索・救助活動を行うためには、FLS を活用した現場にあった海中捜索支援を構築することが求められる。海中捜索のシナリオとして、まず初めに海上から高分解能のイメージングソナーにより海中の捜索を行って目標物が存在するかどうかを判断し、存在する場合にはその位置情報および目標物の実画像を取得する。次に、その事前情報を基に捜索計画を立て、ダイバーを捜索ポイントに集中して投入し、潜水捜索・救助活動を行うのが最も効果的である。海上保安庁の現場の潜水士等からは海中捜索支援のニーズとして以下のような要望が挙がっている。

- ▶ 海中に目標物が本当に存在しているの
否か確実な情報が欲しい
 - ▶ 海中目標物の正確な位置情報が欲しい
 - ▶ 水中視界が効かない場合には、予め海中目
標物の実画像、全体状況を知りたい
 - ▶ できれば広範囲での捜索海域の画像が欲
しい
 - ▶ 海上の支援船からの後方支援機能があれ
ば安全・安心、確実な潜水捜索が行える
 - ▶ 捜索現場において海上保安官でも簡単
に使用できる操作システムが望ましい
- 従って、海中捜索を行う際の上記のような事

前情報を予めダイバーへ提供し、潜水捜索時においてはダイバーを後方支援することができれば、より安全で確実な海中捜索が行えると考えられる。元々水路測量用として測量船の船底に既設艙装されている測深機の場合と異なり、FLS は未だ船艇等に既設されている状況ではない。またソフトウェアに関して、測深機の場合は海図作成や海底調査のためのアプリケーションが充実しているのに対し、FLS は海中捜索を目的、用途としたソフトウェアは現在のところ見当たらない。

これまでのFLSに関する研究成果としては、沿岸水中セキュリティに関するダイバートラッキングの研究^{6,7,8)}があるが、これはソナーを岸壁に固定した場合のダイバーエコーの自動検出を取り扱ったものである。今回のようにソナーヘッドを船舶に取り付けFLSとしてのイメージを得る場合、プラットフォーム(船)自体が動揺しているため、その状況下で海底からの反射ノイズを除去し、移動するダイバーからの反射を抽出、追跡することは信号処理上において困難を伴う。これは従来までの成果をそのまま利用するだけではうまく行かず、過去の研究にはない新たなソフトウェアの開発が必要である。従って、本研究の目的を達成するためには、捜索現場海域においてFLSによる音響映像を即座に取得するためのハードウェアの開発を進めると共に、以下に示すような海中捜索のためのソフトウェアの付加機能の新たな開発が必須となる。

- ① 捜索時のリアルタイム機能
 - 海図上へのソナー画像の表示機能
 - 目標物探索時の位置情報表示機能
 - 目標物のソナー画像と位置情報の保存および呼び出し機能
 - 後方支援時の潜水捜索ダイバーのトラッキング機能
- ② 後処理機能
 - 広域捜索図のためのモザイク画像の作成機能
 - 海中落下物等のラベリング機能
 - 形状、大きさ等の測定および表示機能

海中捜索支援技術の開発の第一段階として、本研究ではR2Sonicシステムを船体に取り付けるための治具の試作を行い、当機を使用した実海域での運用試験を実施すると共に、海中捜索支援のために必要とされるソフトウェアの要素技術の開発を行うことにした。

3. 研究の方法

R2Sonic2024/2022 を小型船舶の舷に取り付けるための治具の設計と試作を行った。緊急事案に対応するためにも、治具は出来るだけ単純で、取り扱いが容易なものが求められる。現在のところ、組み立てから船体取り付けまで2時間程度で行うことが出来る状況である。捜索海域の水深に対応するため、運用上の機能としては手動でチルト角を変えることのできる比較的単純な機能のみに限定した。5ノット程度で航行しながらの撮影も可能である。



図1 専用治具により実習艇「いつもり」の船舷に取り付けられたSonic2024

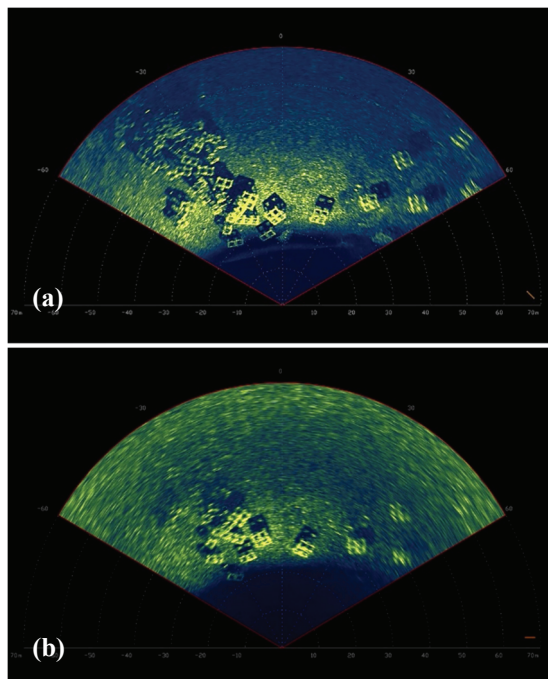


図2 麗女島沖の同じ場所で撮影された魚礁の一例 (a) Sonic2024 および (b) Sonic2022 (いずれも周波数 400 kHz, 最大レンジ 70 m)

今回試作した専用治具を用いて小型試験船の船舷にソナーを取り付けた時の状況を図1に示す。

海上保安大学校の小型実習艇にSonic2024/2022を艙装・搭載し、①試作した船体に取り付け治具の動作の確認、②R2Sonic2024/2022がFLSとしてどの範囲まで観測可能かを確認、③ソフトウェアの付加機能の開発のためのソナーデータの取得、の目的で広島県呉市の沿岸域において運用試験を実施した。尚、2024については(株)東陽テクニカ所有のFLS仕様のものを使用し、2022については海上保安庁第六管区海上保安本部所有のものを借用しFLSオプションのロックを一時解除して使用した。また、いずれもPOS/MVを船舶に艙装し、ソナー画像と共に位置情報および方位情報を同時に取得した。音響画像の撮影結果の一例として、海上保安大学校

近郊の麗女島沖の同じ場所で 2024 および 2022 により撮影されたソナー画像を図 2 に示す。図中にはいずれも多数の魚礁が撮影されているが、2022 に比べて水平ビーム幅が 1/2 倍である 2024 の方がより遠方まで鮮明に撮影されている。試験中の船上において、図 2 のようなほぼ実画像に近い海底の音響画像が常時リアルタイムの動画として得られている。

4. 研究成果

海中捜索支援に必要となるソフトウェアの要素技術のうち、本研究では以下の 3 点に絞って開発を行った。また、実海域で取得した 2024/2022 のソナーデータを用いてこれらソフトウェアの動作確認を行っており、それらの結果について以下に示す。

(1) ソナー画像の海図上への表示機能

広い海域の海中を捜索する場合、ソナー画像が現在捜索海域のどの場所を捜索しているかを把握することは重要である。当初の計画どおりに捜索を実施しているかを確認する上で、また目標物を発見した時の位置情報を得る上でも不可欠である。そこで、海中捜索を実施する海域の海図または航空写真を予め画像ファイルとして取得し、その画像上に取得したソナー画像を位置情報、方位情報に基づいて重畳出来るようにした。一例として、画像地図上(航空写真)に Sonic2024 によるソナー画像を表示した時の状況を図 3 に示す。この機能により、自分自身の位置、進行方向を海図または航空写真上で確認しながらの捜索が可能となり、操船者にとっても捜索オペレータにとっても目標物の発見、捕捉をする上で有用になる。

(2) 広域捜索モザイク画像の作成機能

海中落下物等が広い海域に渡って散逸している場合、全体状況を把握しておくことは重要となる。またダイバーによる最終的な潜水捜索、水中作業を行う場合、事前情報として目標物の周りの具体的な状況が分かると効果的である。そこで、ソナー画像をモザイク状に重ね合わせ⁹⁾、広範囲での捜索海域図を作成できるよう試みた。一例として、海上保安大学校近郊の海域で多数の魚礁が見られた R2Sonic2024 による画像(図 2 (a))から作成した広域モザイク画を図 4 に示す。モザイク図の作成方法は以下の通りである。まず、ソナー画像を形成する 256 本の音波ビームのウォーターカラム部分を除去する。その後、音波ビーム毎に海底面からの反射強度が最大となる部分を自動的に選択し、最大値を中心に一定の強度幅(図 4 のソナー画像中で円弧状の帯で示された部分)を設定する。そして、これらの部分を重ね合わせてモザイク画を作成した。この機能により、捜索海域の全体像が予め予備知識として把握でき、ダイバーによる潜水捜索及び救助活動が安全にかつ確実に実施されると期待される。

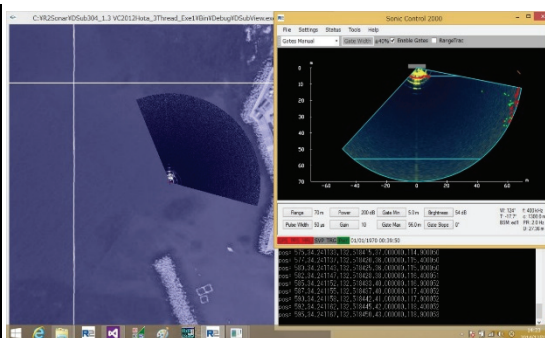


図 3 画像地図上(航空写真)に Sonic 2024 によるソナー画像を表示した時の状況

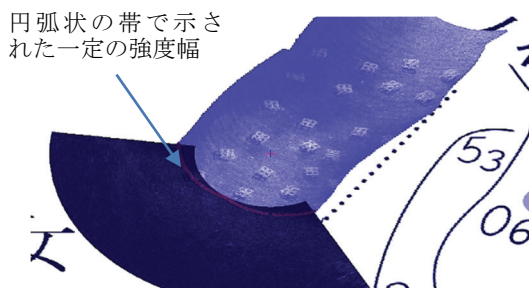


図 4 大学校近郊の海域で Sonic 2024 により撮影された魚礁のソナー画像(図 2 (a))から作成した広域モザイク図

(3) ダイバーのトラッキング機能

前方監視型イメージングソナー(FLS)の重要な特徴の一つは、監視船が静止状態であっても前方の海中、海底の状況がリアルタイムの動画として得られることである。この機能は、ダイバーが海中捜索を行う際の、海上の支援船からの後方支援機能として利用できる。通常、水中にいるダイバーは、放出した気泡を海上の支援船から目視で追うことでしか確認できず、海象条件によっては見失ってしまう場合がある。FLS により後方の支援船からリアルタイムで水中のダイバーを広範囲に撮影することにより、捜索中のダイバーの安全性と作業の確実性を確保することができる。図 5 に、2 名のダイバーが水深 5m 付近の海

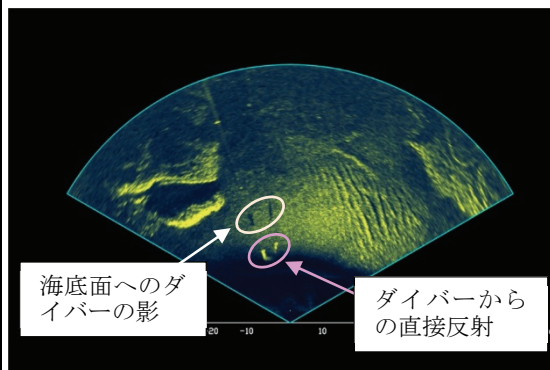


図 5 海面下 5m 付近の海中を潜行する 2 名のダイバーを Sonic2024 により後方から撮影(周波数 400 kHz, 最大レンジ 70 m, 水深約 15 m)

中を潜行する様子を Sonic2024 で撮影した画像を示す。手前のウォーターカラムの部分にダイバーからの直接反射が、その前方の海底にはダイバーの影が鮮明に現れているのが分かる。しかしながらソナー画像においては、他にも岩礁からの反射や海底突起物（図5においてはサンドウェーブ）からの多くの反射が捉えられており、日頃ソナー画像を見慣れていない支援船の搜索オペレータとしてはダイバーとの見極めは付きにくい。そこで、ソナー画像上において海中を潜行するダイバーを抽出し、その動きを表示することを試みた。

まず、動揺（ヨーイング）補正を行い、その後背景反射信号を除去するため、直前の数秒間のピングデータを平均化、差分して背景ノイズの除去を行った。ダイバーが近距離のウォーターカラムにいる場合には、プラットフォーム（船）自体が動揺している状態でも海底の固定された場所からの反射等は背景ノイズとして除去可能である。ウォーターカラムの部分については、10m×10mのトラッキングウィンドウを設定し、ダイバー2名とそれから出てきた気泡（今のところ、ダイバーとの区別が出来ない）のうち6つの反射強度の強い部分を抽出し、その部分にマーキングを行った。その時の結果を図6(a)に示す。図中に示したトラッキングウィンドウは、ピング毎にダイバーが存在すると思われる反射強度が大きな部分から重心位置を求めて自動的に設定している。進行方向に向かって先頭の2つのマーカーが2番目までの反射強度の強い部分で、2名のダイバーからの反射である。つまり、ダイバーがウォーターカラムにいる場合には、海底からの反射部分とウォーターカラムの部分を分離して処理することでソナー画像からのダイバーの抽出、追跡（トラッキング）は可能で、これは海上から海中の目標物に向かって潜行する際のダイバーの見失いを防ぐことに役立つと考えられる。一方、ダイバーがウォーターカラムを脱し海底反射と重なる状況になってくると、画像全体が動揺している中で海底からの背景ノイズの除去および移動するダイバーからの反射の抽出、追跡を同時に行う必要がある、その分離は非常に困難なものになってくる。そこで、海底反射とダイバーが重なった場合には、5ピング以前の数ピングの平均重畳モザイク処理で海底反射信号のモデルを作り、現在のダイバーのいる画像信号から海底モデル信号を除去する事でダイバーのみの抽出を試みた。その結果を図6(b)に示す。ダイバーが遠距離になると、除去しきれない海底からの背景ノイズが残響として残るため、十分にダイバーのみを抽出し、鮮明化するのが困難になってくるが、プラットフォーム動揺下でのダイバートラッキングはある程度可能になったと考えられる。本機能は、海上の支援船からの後方支援として、海底にある目標物に向かってダイバーが潜水搜索を行う際のダイバーナビゲーション

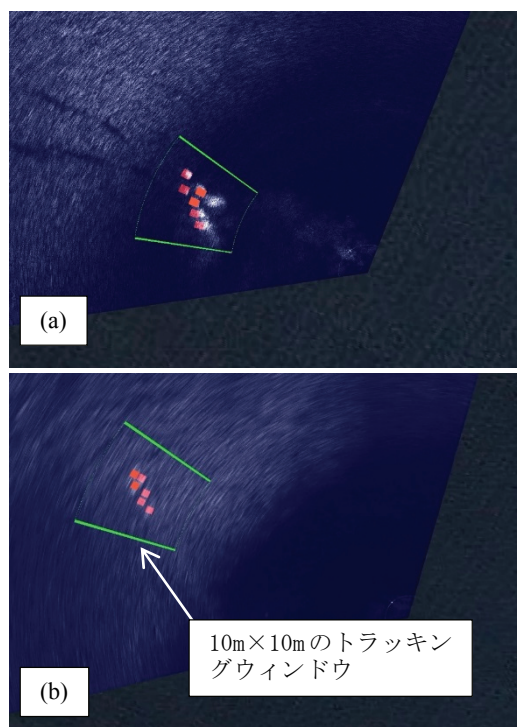


図6 Sonic2024 で撮影したソナー映像（図5）から2名のダイバーと気泡をトラッキングした結果 (a) ダイバーがウォーターカラムにいる場合 (b) ダイバーが海底反射と重なった場合

等に有効になると期待される。

今後は、これらソフトウェアの要素技術を統合して PC に組み込みを行うと共に、効果的な海中搜索活動を実施できるよう搜索現場で使いやすいソフトウェア付加機能の開発を行う予定である。また、海上保安庁の全国管区内の現場海域において実際に発生した事故、事件の現場へ当システムを適用し、海中搜索支援技術としてのより実効的な有効性を確認する。近年のうちに高い発生確率で予想されている東海、東南海・南海地震、さらにそれに伴う大津波を想定した災害、復興対策技術として確立しておくことは大変意義深いと考えている。

<引用文献>

- ① 倉本和興，“ナローマルチビームソナーによる水中イメージング－測深機と前方監視ソナーの違い－”，海洋音響学会誌, 43(1), 1-11 (2016).
- ② Richard J. Samuels, “3.11: Disaster and Change in Japan”, (Cornell University Press, Ithaca and London, 2013).
- ③ 海上保安庁, 海上保安レポート 2012, 特集 東日本大震災, (日経印刷株式会社, 東京, 2012) .
- ④ 海上保安協会, 東日本大震災 - そのとき海上保安官は -, (成山堂書店, 東京, 2012).
- ⑤ 海上保安庁, 東日本大震災対応報告書 (地震・津波災害編), (部内資料, 平成 24 年 1 月).

⑥ 倉本和興, 倉重吉範, 浅田昭, 前田文孝, 南利光彦, 半谷和裕, “水中セキュリティソナーシステムの開発 - 最適な水中音響映像監視手法とシステム構築に関する研究 -”, 海洋音響学会誌, 37(1), 1-12 (2010).

⑦ 前田文孝, 浅田昭, 倉本和興, 倉重吉範, “適応 2 段階閾値検出と航跡信頼度判定を用いた水中自動目標検出・追尾システム”, 海洋音響学会誌, 37(2), 77-88 (2010).

⑧ A.Asada, F.Maeda et al, “Automatic Signal Processing of Forward Looking Surveillance Sonar data in low Signal-to-Noise Ratio Conditions”, Proc. of 2nd Conference of WSS2010 IEEE, (2010).

⑨ A.Asada, H. Kunishima, T. Nagase, and K. Shibata, “Seamless Mosaicking of Acoustic Video Images with DIDSON and Seabat7123”, Proc. WSS2008, Copenhagen, Denmark, Aug., (2008).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

① 倉本 和興、【解説】ナローマルチビームソナーによる水中イメージングー測深機と前方監視ソナーの違いー、海洋音響学会誌、査読無、Vol.43、2016、pp.1-11.

〔学会発表〕(計4件)

① 倉本 和興、浅田 昭、前田 文孝、半谷和祐、イメージングソナーによる海中捜索支援技術の開発、海洋音響学会 2014 年度研究発表会、平成 26 年 5 月 30 日、神奈川大学セレストホール (神奈川県・横浜市).

② 倉本 和興、浅田 昭、半谷 和祐、Sonic 2024 および 2022 を用いた海中捜索支援技術の開発、海洋音響学会 2015 年度研究発表会、平成 27 年 5 月 14 日、東京大学生産技術研究所 (東京都・目黒区).

③ K. Kuramoto, A. Asada and K. Hantani, Development of the Underwater Search Supporting Technique Using the High -resolution Imaging Sonar, Proceedings of Oceans’15 of MTS/IEEE, Oct.20, 2015, the Gaylord National Resort & Convention Center, Washington DC(USA).

④ 倉本 和興、浅田 昭、半谷 和祐、前方監視ソナーによる潜水捜索ダイバーのための後方支援技術、海洋音響学会 2016 年度研究発表会、平成 28 年 5 月 19 日、東京大学生産技術研究所 (東京都・目黒区).

6. 研究組織

(1)研究代表者

倉本 和興 (KURAMOTO, Kazuoki)
海上保安大学校・国際海洋政策研究センター・教授
研究者番号：5 0 5 2 4 5 0 0

(2)研究分担者

浅田 昭 (ASADA, Akira)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：6 0 3 2 3 6 4 8

(3)連携研究者

田中 隆博 (TANAKA, Takahiro)

海上保安大学校・国際海洋政策研究センター・教授

研究者番号：2 0 5 5 9 2 2 3