

ソナーシステム技術による 海洋社会インフラのセキュリティ確保

Maritime Infrastructure Security Using Underwater Sonar Systems

下山 智典 南利 光彦
Shimoyama Tomofumi Nanri Mitsuhiro
村上 泰 玉川 啓太
Murakami Yasushi Tamakawa Keita

日立グループは、1950年代から海上自衛隊の艦艇に搭載するソナーシステムを開発製造してきた。潜水艦や機雷の搜索を主な目的に発達してきた技術であるが、現在では、沿岸に立地する社会インフラの防護、水中土木工事の効率化と安全性向上に寄与できるものとして開発が進められている。

今後も、水中音響システム技術の中核とし、各種海洋社会インフラ分野の安全・安心の実現に積極的に取り組んでいく。

1. はじめに

島嶼（しょ）によって形成されるわが国は海洋国家であり、海洋から多大な恩恵を受けているとともに、物資輸送の90%以上を海運に依存している。近年、周辺国による海洋権益の拡大を意図した海洋資源や島嶼の争奪問題が発生している中、船舶の安全は予断を許さない状況にある。

日立グループは、1950年代から海中の潜水艦や機雷を超音波で搜索するソナーシステムの研究開発に着手し、防衛省の技術研究開発への参画を経て、現在も海上自衛隊の護衛艦や掃海艇の装備品を納入している。

ここでは、ソナーシステムの概要と適用技術、海洋社会インフラのセキュリティ確保に関する研究への参画実績について述べる。

2. ソナーシステムの概要

海中では、可視光や電波を含む電磁波は減衰量が大きいため、レーダによる物体の搜索は極めて困難である。ソナーシステムは、海洋哺乳動物であるイルカが音波を使用して物体の位置を認識するように、音波を使用して水中の物体を搜索するシステムである。

2.1 開発の歴史

1912年、英国からニューヨークに処女航海中の豪華客

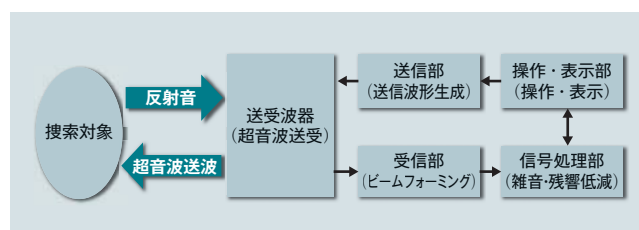


図1 ソナーの基本原則

水中の物体を搜索するソナーの基本原則を示す。

船「タイタニック号」が巨大な氷山に衝突して沈没し、約1,500名の人命が失われた。この悲劇をきっかけとして、音波を海中に送波したときの氷山の海中部分からの反射音により、その存在を検知する装置が米国で開発され、ソナー（Sonar：Sound Navigation and Ranging：音響による航法・測距装置）と命名された。ソナーは、その後改良を重ねられ、第一次世界大戦の海戦において、潜水艦を搜索するセンサーとして欧米の海軍で使用された。

2.2 基本原理

ソナーは、電気信号と音響信号を変換するセンサー部から水中に超音波を送信し、物体や海中・海底からの反射音を受信した後、電気信号に変換し、各種信号処理を加えて映像化することを基本原理としている。この原理によって水中の物体を搜索する装置であり、類似の超音波技術には、漁業分野の魚群探知機や、医療分野の超音波映像装置がある。基本原理とシステムブロックを図1に示す。

3. 機雷探知機のシステム概要

日立グループは、戦後初（日立製作所調べ）の潜水艦搜索用ソナーおよび機雷搜索用のソナーを開発した。ここでは、機雷を搜索・類別するソナーシステムである機雷探知機の概要と適用技術について述べる。機雷探知機が



図2 | 機雷探知機が装備されている掃海艇
掃海艇は、海中や海底に敷設された機雷を排除し、海の安全を守る。

装備されている掃海艇を図2に示す。

3.1 検索対象

機雷探知機の検索対象となる機雷は、船舶の航行による雑音や地磁気の乱れおよび水圧の変動を検知して起爆し、船体に損傷を与える兵器である。機雷の外形は、球体や円筒型の小型缶体であり、内部に炸(さく)薬や複数の艦船検知センサーおよび起爆装置が設置されている。広大な海洋の航路に艦船や航空機によって隠密に敷設され、海中や海底において静止状態で艦船を待ち受ける小型物体であるため、その検索は極めて困難である。

3.2 適用技術と主要機能

機雷探知機の開発・製造には、運用分析、システム工学、海洋音響工学、圧電材料、高速演算処理、光伝送、信号・画像処理、メカトロニクス制御に加え、操作性や維持整備性に関わるヒューマンマシンインタフェースに及ぶ幅広い分野の技術が必要となる。主要な構成部および機能に適用されている技術について、以下に述べる。

(1) 送受波器

船底部に装備され、海中に超音波を送信し、反射音を受信する電気音響変換機である。広帯域の送受信素子を多数配列した送受波器モジュールと電子回路部を、ステンレス製の水密ケースに内蔵している。送受波器内部で受信信号を光変換して艦上の処理部に伝送するフロントエンド処理により、信号の劣化や雑音の影響を低減し、受信した超音波の高精細な映像化を実現している。

(2) 駆動安定機構

基準排水量約500 tの小型艦艇である掃海艇は、波浪による動揺の影響を受けやすい。この対策として、船体のモーションセンサーのデータによって複数本の水密油圧シリンダーと旋回俯(ふ)仰装置を制御する3軸パラレルリンク方式を採用している。これにより、送受波器の動揺をリアルタイムで修正し、荒天下においても安定した機雷の

検索を可能にしている。

(3) 信号処理・表示

超音波を送波すると、船舶の航行音といった各種雑音、機雷以外の海底や岩礁などからの残響が海中から受信される。雑音・残響抑制信号処理および信号累加機能は、自艇の移動量を補正した複数の受信信号を累加し、不要な雑音信号を除去する。これにより、海底形状や海中の様子、および海中の物体のみを明瞭に表示し、受信映像の視認性を向上させる。

(4) 自動支援機能

自動探知機能は、表示装置に表示された海中の映像から機雷らしい信号に対し、自動で検出マーカーを重畳させる機能である。海象や海域特性などの環境に応じて、2種類のアルゴリズムを選択することができる。マルチピング信号検出処理は、複数の受信信号の中から同一の位置の検索対象らしい信号を累加して閾(しきい)値に達すると、検索対象と判断して検出するアルゴリズムである。位相誤差分散処理は、位相差の安定度を定量化し、安定度が閾値よりも小さい信号を機雷として検出するアルゴリズムであり、実海面データ計測によって残響信号の特性を分析することで構築された。

自動類別機能は、探知した機雷らしい検索対象の映像に対して映像領域を抽出し、寸法を自動で計測・表示する画像処理が適用されている。この計測結果を基に、操作員が機雷の種類を判断する。

(5) 検索対象の深度計測機能

機雷からの反射音は、送受波器の上下2段の受信素子の位相差の垂直方位を計算することによって検索対象の深度を自動算出する。音波の伝播経路は海水の温度によって屈曲するため、事前計測した各深度における音速データを基に自動補正することにより、正確な深度を算出できる。この結果により、操作員は、海中に係維された機雷か沈底機雷かを判断する。

(6) その他

防衛用システムは、盾と矛の関係にある。機雷側では探知を防ぐため、形状や材質の音響的なステルス化の研究が推進されている。これに対し、ソーナー側では低い反射エコーからの信号検出や水中無人機用センサーなどの研究開発を継続する必要がある。これら防衛分野のシステム開発製造には、専門の技術者のほか、大型の水槽や治具などの各種専用設備、防衛省の基準を満たした秘密保全管理施設などが必要となる。

3.3 実績

日立グループが製造した機雷探知機は、1991年の湾岸

戦争後のペルシア湾における掃海活動による国際貢献や、2011年の東日本大震災後の捜索救難活動など、わが国の海洋を守る海上自衛隊の各種任務の遂行に貢献している。また、掃海艦艇には、船舶の擬似航走音を発生させて機雷を殉爆させる音響掃海具、これらを海中に投入揚収する非磁性のクレーンや巻揚機、船体磁気による機雷の起爆を防止する消磁装置や各種電気品などが搭載されている。このように、日立グループの多くの製品が海の安全に貢献している。

4. 海洋社会インフラへの貢献

ソナー技術による海洋社会インフラのセキュリティ分野への参画実績を述べる。

2001年の米国同時多発テロ事件を発端に、近年、各種テロ行為に対するセキュリティ強化の要求が高まっている。また、わが国の臨海沿岸部には、各種発電所、石油備蓄施設、海上空港など、重要な社会インフラが多数存在しており、これらの施設がテロ攻撃を受けた場合、社会的・経済的に深刻な被害を受ける危険性がある。

各種警備システムの高度化や臨海沿岸という地勢的環境から、重要施設に対する海側からの隠密潜入によるテロ行為も脅威の一つとして顕在化しつつある。わが国においては、日本海からの不法侵入者によって邦人が拉致された問題や各種不審船事件が発生している。2001年に発生した九州南西海域工作船事件では、海上保安庁の巡視船と銃撃

戦のうえ沈没した工作船から、多数の武器とともに水中潜入に使用される小型舟艇やゴムボート、潜水器具、水中スクーターなどの装備が発見された。

4.1 水中潜入監視：水中セキュリティソーナーシステムの研究

2005年度から2007年度の間、東京大学生産技術研究所海中工学国際研究センターによる水中セキュリティソーナーシステムの研究に参画した。この研究の目的は、各種沿岸社会インフラ施設へのテロ行為を防止するための監視システムの構築、および実際の港湾での運用評価による各種技術の確立により、安全・安心な社会の実現に寄与することである。運用構想図を図3に示す。

システムは、統合監視システムを中心に、岸壁や海底に設置する固定設置型ソーナーと、船舶に搭載した船舶設置型ソーナーによって構成される。日立製作所は、この研究において、研究全般に対する検討支援、運用の中核となる統合監視サブシステム、ソーナーの信号処理、および船舶に装備される旋回・俯仰機構部を担当し、システムエンジニアリング、ソーナー信号処理ソフトウェア、メカトロニクスなどの幅広い分野の技術を提供した。

3年間の研究期間中に、実海面での試験評価を重ね、2007年11月には、統合運用試験を約10日間にわたって実施した。それにより、研究開発したシステムが実際の水中潜入監視に有効である結果が得られた。各種データの統合化処理の一例として、船舶搭載ソーナー映像を地理データ

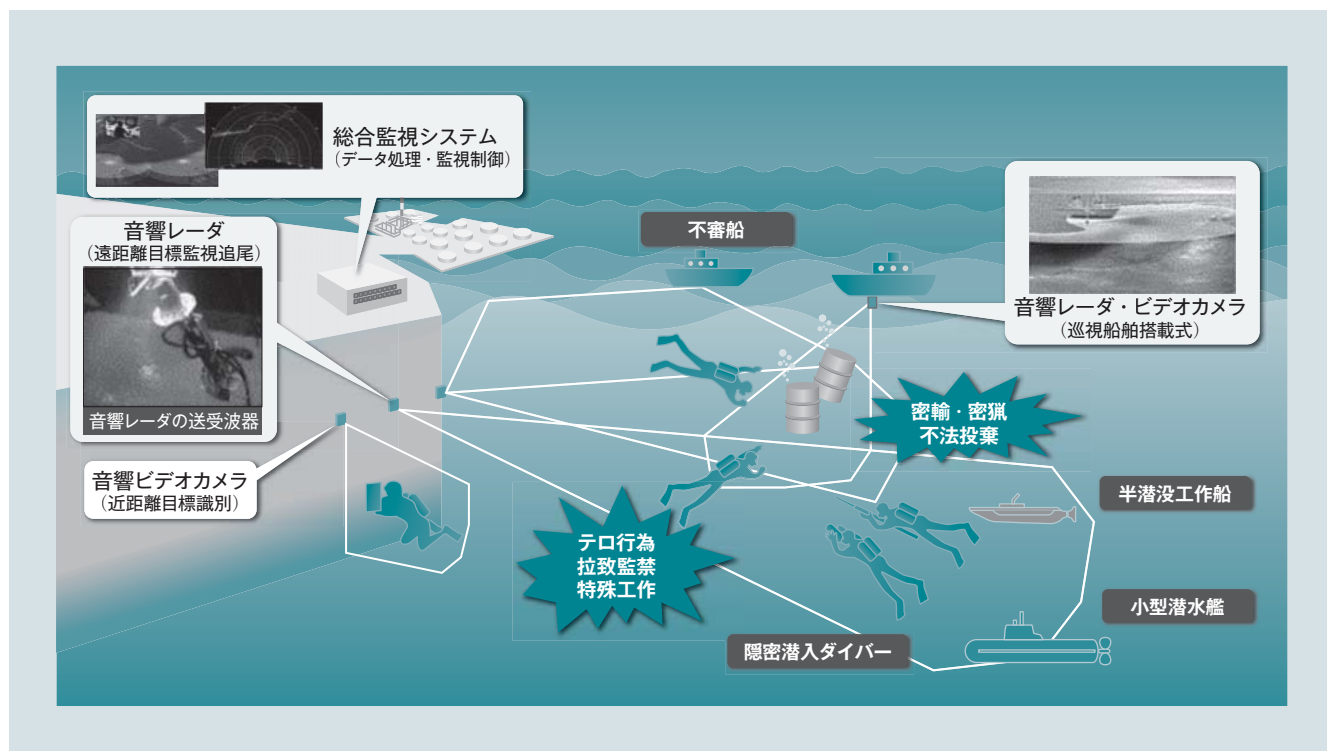


図3 | 水中セキュリティソーナーシステムの運用構想図
水中セキュリティソーナーシステムの運用構想を示す。

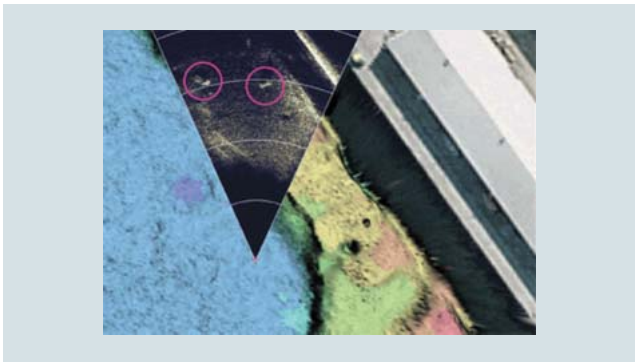


図4 | 音響センサー映像の重畳例
船舶搭載ソナー映像を地理データへ重畳した例を示す。

へ重畳した例を図4に示す。

4.2 水中工事

2009年度に、独立行政法人港湾空港技術研究所の水中測量・施工確認を目的とした超音波式三次元映像取得装置の開発に参画した。この装置の用途は、羽田空港D滑走路の水中橋脚部分の状況確認であり、多摩川による潮流や水中視程が悪い環境下での水中土木工事の施工確認の効率化や潜水作業の安全性向上に貢献している。また、現在、東日本大震災で被災した港湾の海中状況確認にも使用されている。

5. おわりに

ここでは、ソナーシステムの概要と適用技術、海洋社会インフラのセキュリティ確保に関する研究への参画実績について述べた。

防衛用システムは、運用者の必要性和技術者の実現性のバランスがシステムの優劣を決定する。また、敵を探索するセンサーの技術は最も重要な技術であり、欧米の研究機関や企業が研究開発に鎬（しのぎ）を削っている。現在、日立グループは、次期掃海艦用の統合化ソナーシステムの検討に着手するとともに、小型軽量でさらに高解像度の動画が得られる音響イメージングソナーの開発に着手している（図5参照）。

今後は、防衛やセキュリティ以外にも、海洋探査、捜索救難、水中土木、港湾復旧、水中無人機への搭載など、海洋分野の社会インフラや社会の安全・安心への貢献に積極的に取り組んでいく。

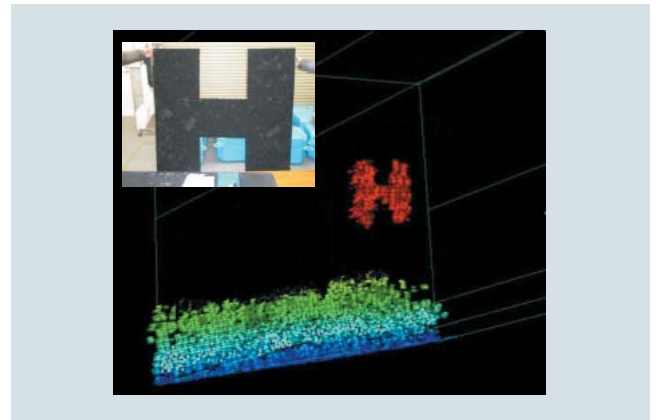


図5 | 音響イメージングソナーの映像例

海洋探査や捜索救難、水中土木、港湾復旧など、海洋社会インフラ分野で期待される音響イメージングソナーを開発している。

参考文献など

- 1) 海洋音響学会編：海洋音響の基礎と応用，成山堂書店（2004.5）
- 2) R.J.ユースリック：水中音響の原理，共立出版（1978.12）
- 3) 浅田，外：水中セキュリティソナーシステムの開発，海洋音響学会議論集（2006）
- 4) 東京大学生産技術研究所 海中工学国際研究センター 浅田研究室，水中セキュリティソナーシステムの開発，<http://unac.iis.u-tokyo.ac.jp/index.html>

執筆者紹介



下山 智典

1991年株式会社日立アドバンストシステムズ入社，事業推進本部 電子応用システム部 所属
現在，防衛・民間用の水中音響システムのエンジニアリングに従事
海洋音響学会会員



南利 光彦

1989年日立製作所入社，ディフェンスシステム社 装備システム本部 指揮管制システム設計部 所属
現在，防衛用ソナーシステムの開発に従事
海洋音響学会会員



村上 泰

2000年日立製作所入社，ディフェンスシステム社 装備システム本部 指揮管制システム設計部 所属
現在，防衛・民間用の水中音響システムの研究開発に従事
海洋音響学会会員



玉川 啓太

2011年日立製作所入社，ディフェンスシステム社 装備システム本部 指揮管制システム設計部 所属
現在，防衛・民間用の水中音響システムの研究開発に従事