

**海から迅速な展開が可能な陸海域
自律調査システムの開発に関する研究**

報 告 書

平成29年3月31日

東京海洋大学海洋工学部
一般社団法人日本海事検定協会
(検査第一サービスセンター)

目 次

1. 研究目的および概要	2
2. 平成 28 年度実施内容	4
2.1 マルチコプタ群と船舶による海上マルチホップ通信試験	4
2.1.1 試験概要	4
2.1.2 試験方法	5
2.1.3 試験結果	6
2.1.4 まとめ	8
2.2 小型・航行型 AUV 開発	10

1. 研究目的および概要

震災や事故などで起きる異変を迅速に調査し、状況を正確に把握することは対応策を講じる際の初期段階に非常に重要である。我が国がこれまでに経験した大震災では、交通網が寸断されて当該区域に近づくことが困難になったり、陸のインフラストラクチャが破壊されることにより電気の供給ができなくなるなどの問題が具体的に浮かび上がった。

海や河川に面する陸域や島嶼地域では、海域からの迅速なアクセスが可能であり、震災などの非常時にはこれを有効に活用することが可能と考えられている。船舶の発電機から陸へ給電する試みなども既に始まっている。本研究は、陸域や沿岸域、あるいは接近が危険な活動中の海底火山海域や石油流出の起きた海域などを想定し、ここに海上の船舶を起点として迅速に展開する無人自律型の調査システムを開発するものである。

本研究で開発する調査システムは、空へ展開するマルチコプタ編隊、海上へ展開する自律小型船、海中へ展開する自律型水中ロボットにより構成する。マルチコプタとは4枚、6枚など複数のロータを持って安定した飛行が行える飛行体であり、無人空撮プラットフォームとして知られている。この役割は調査域を迅速に撮影してリアルタイムにこれを船舶へ無線通信により伝送するとともに、複数台のマルチコプタを空へ展開して、長距離のアドホック通信網を確保することである。自律小型船は、海上にある船舶では接近困難な海域や沿岸の浅海域へ展開して、海上から画像撮影を行ったり、環境センサなどにより空中や水中のモニタリングを行ったり、ソナーを使って海底の概要を調査したりする。海上の船舶から陸へ給電するケーブルを導くためのヒービングラインを陸まで届け渡す役割も想定する。自律型水中ロボットは、水中や海底の様子をソナーやカメラを使って詳細に把握する役割を果たす。

本研究で提案するシステムは、海上の船舶を基点に展開することを想定している点が特徴であり、船舶から手の届かないところ（浅い沿岸域や危険域）に、自律観測システムを展開するものである。システムの構成要素それぞれは自律的な自動制御機能を持つとともに、これにより構成される調査システムはネットワークとして、船舶側から統括制御する。すなわち、空中、海上、水中に展開するシステムは、それぞれ個別に調査行動を指示することができ、船舶からその個体までは、空中と水中のネットワークで通信が確保されるように自動的に配置が再構成される。開発するシステムの概念図を図1に示す。

具体的には、本学の保有する練習船をモデルケースとして、この調査システムの基本形を構築する。このシステム開発にあたっては、これまでに培ってきた小型船や自律型水中ロボットに関する技術および資産を有効に活用しながら、3年間で開発するテストシステムを使った海域試験により自律調査システムの基礎技術確立を目指す。

本提案の調査システムが開発されれば、災害時の対応や危険地域の調査のみならず、国民の生活に不可欠な物資を輸送する商船の安全運航を確保するための、有効かつ安価なツールとしても活用できる。すなわち、霧の立ちこめたような視界が悪い海域や、夜航海にあつて、進路の前方上空にマルチコプタを飛行させ、赤外線カメラにより監視を行うと、目視では発見できないものまで、はっきりと確認できるようになる。大型のコンテナ船、タンカー、LNG船などでは、進路前方の広い範囲に死角が生じるが、これをマルチコプタのカメラで補うことも可能

である。視点を変えて、監視の対象を船舶に移すと、マルチコプタにより大型船の積荷の状態や、船体外板から艀装の状態までを迅速に撮影したり、センサを搭載して船舶の煙突から排出されるガスをモニタリングすることも可能となり、船舶の検査にも活用が考えられる。外航船の場合には、海賊船が自船に接近する前に対策を講じるための監視システムとしての役割も想定され、物資輸送の安全確保に貢献できる。

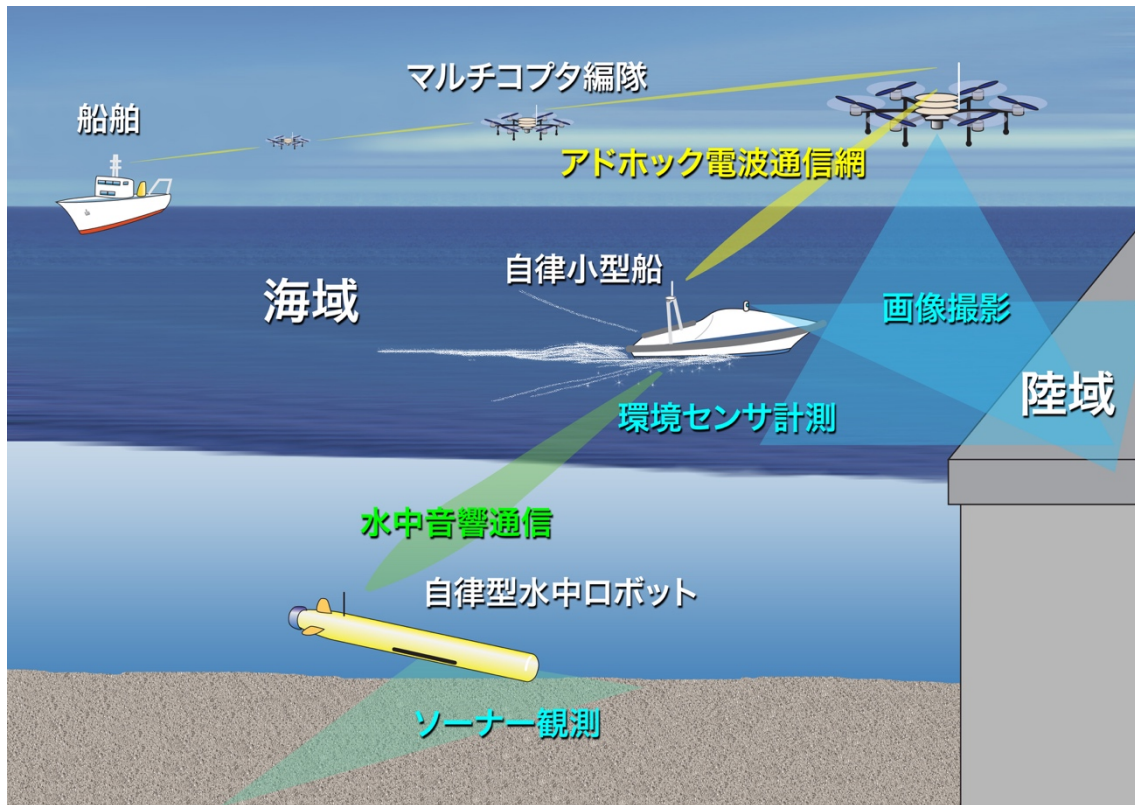


図1 開発するシステムの概念図

2. 平成 28 年度実施内容

今年度は、①マルチコプタ群と船舶による海上マルチホップ通信試験、②小型・航行型 AUV の開発について実施した。特に、プロジェクトのまとめとして、昨年度までに実施することが出来なかったマルチコプタ群と船舶による海上マルチホップ通信試験を実現することに重点を置いた。

2.1 マルチコプタ群と船舶による海上マルチホップ通信試験

今日、陸上におけるマルチコプタ（ドローン）の飛行実験には場所の制約が大きいことと、一方で海上試験を実施する場合には、失敗すれば高価なシステムを海へ落下させてしまうリスクがある。過去に東京海洋大学の練習船汐路丸から飛行させる実験を数回実施しているが、海上ではマルチコプタにとって強風が吹きやすく、仮に離陸させる事ができても、強風下で船橋ほか構造物への衝突を避けながら、甲板上の小さなスペースへ着陸させることは至難の業であることが分かっている。実験準備をして数日間の航海に出ても、天候が悪く結局まともに飛行させることすらできないということを経験してきた。このため、最終年度として確実に実験実施に漕ぎ着けるため、実験環境として、海上の船舶からマルチコプタ編隊を飛行させて陸域を観測するという目的を満たしつつも、試験実施の方法としては、陸上を起点としてマルチコプタ編隊を展開し、海上に小型船を配置することとして、天候や風の変化に柔軟に対応できるようにし、通信試験そのものは、本来の海上の船舶を起点とするマルチホップ通信を実施するという方針とした。

2.1.1 試験概要

試験実施場所は、図 2 に示すように静岡県賀茂郡南伊豆町の弓ヶ浜周辺の海岸および海域を選定した。選定にあたっては、小型船が現地でチャーター可能であり、短時間で展開、撤収が可能であること、広い砂浜と岬を有する海岸線があること、民家との距離がある程度離れていることなどを条件とした。

マルチコプタの自動飛行については、ドローンに関するネガティブなニュースがいくつも報じられている昨今の状況に鑑みて、自動制御不能に陥るなどの不測の事態に備え、絶えず陸上側から遠隔操縦が可能、かつ機体を視認できる距離範囲内で試験を実施することとした。

試験は、マルチコプタ 2 機、小型船、陸上局の合計 4 ノードから成る通信を行うこととし、陸上局を先端の観測ノードとみなし、マルチコプタ 2 機を中間の中継ノード、小型船を母船である基地局とみなす。

マルチコプタ 2 機と陸上局には、それぞれ同等の通信装置と観測用のカメラを搭載し、撮影機能と通信機能を持たせる。小型船には、基地局としての通信機能を持たせたノート PC を配置する。観測用カメラはそれぞれ、撮影の有無を選択できるようにし、今回は最大 3 台同時に撮影した映像を、基地局である小型船で同時に受信し、画像を表示できるようにする。



図2 試験実施場所（南伊豆弓ヶ浜周辺）

試験の目的は、高低差のある複数の移動体（マルチコプタ）を介して、アドホック通信網を形成し、画像をマルチホップさせて母船まで送り届ける事が出来るかどうかの確認を行い、通信距離による通信状況の変化や、マルチコプタ遠隔操縦用通信装置との電波干渉による影響などを確認することとして実施した。

試験の実施に当たっては、以下の協力を得た。小型船とマルチコプタ 2 機のオペレーションについては、株式会社ウインディーネットワークに全面的にご支援頂いた。マルチホップ通信網を使って画像を伝送する技術については、株式会社東芝 研究開発センター ネットワークシステムラボラトリーに共同研究として全面的にご協力頂いた。

2.1.2 試験方法

試験は段階的に、陸上海岸線を使ったマルチホップ通信の予備試験、小型船を使った海上マルチホップ通信試験を実施する。それぞれ、ノード間の距離や飛行高度を変えながら、通信品質について、画像品質を目視で判断し、ネットワーク PING のパケットロス率や到達時間等を計測する。

図2の実験場所1と2において、図3に示す通信予備試験を実施する。この予備試験の結果から、通信ノード間の高度差や通信可能距離について知見を得て、これをもとに、海上へほぼ一直線に通信網を伸ばす、実験場所3における試験、高さのある岬の脇を迂回する形で通信網を伸ばす、実験場所4における試験、岬を跨いで陸上カメラと小型船が相互に視認することのできない場所をマルチコプタで結ぶ、実験場所5における試験を実施する。海上マルチホップ通信試験の概要を図4に示す。

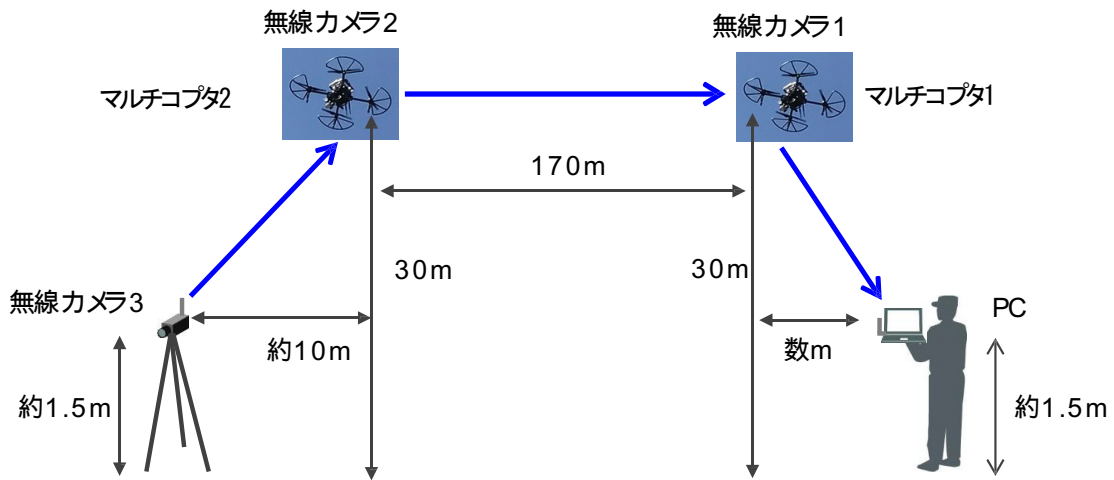


図3 マルチホップ通信予備試験（海岸線にて）

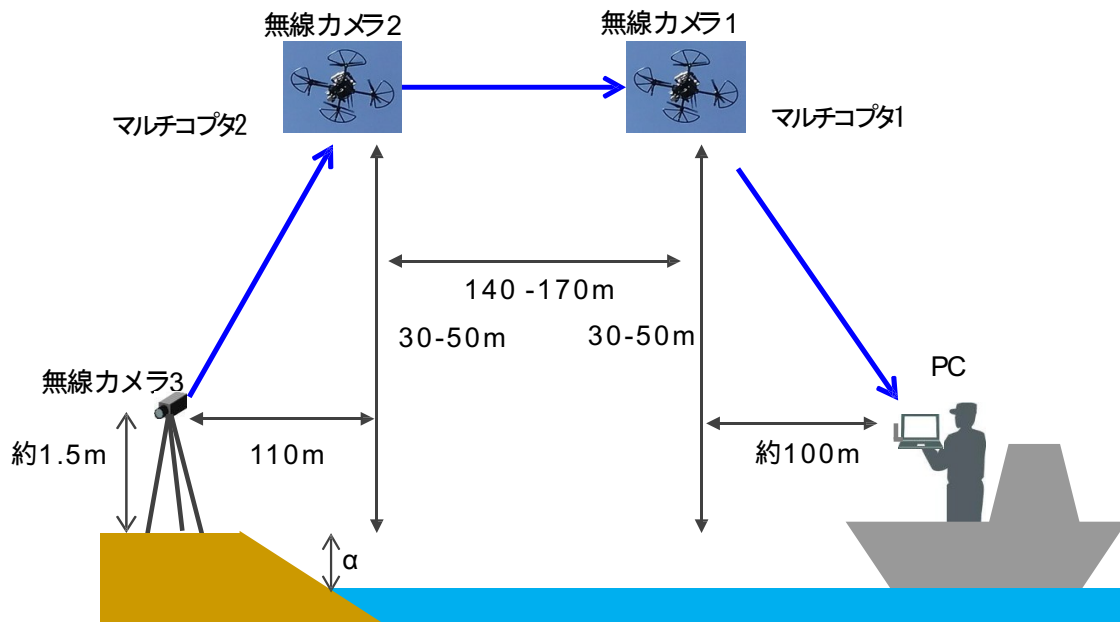


図4 海上マルチホップ通信試験

2.1.3 試験結果

試験時の様子を図5～7に示す。図5と6は、実験場所3において各ノードがほぼ一直線に並び通信を行っている様子を陸と海から撮影したものである。陸上カメラは図5のように三脚に固定して海岸に設置した。このカメラで撮影された映像は、マルチコプタ2、マルチコプタ1の順に経由して伝送され、小型船上のノートPCで受信されている。各ノードのカメラON/OFFは全て船上のノートPCからアドホック通信網を介して、遠隔で制御している。

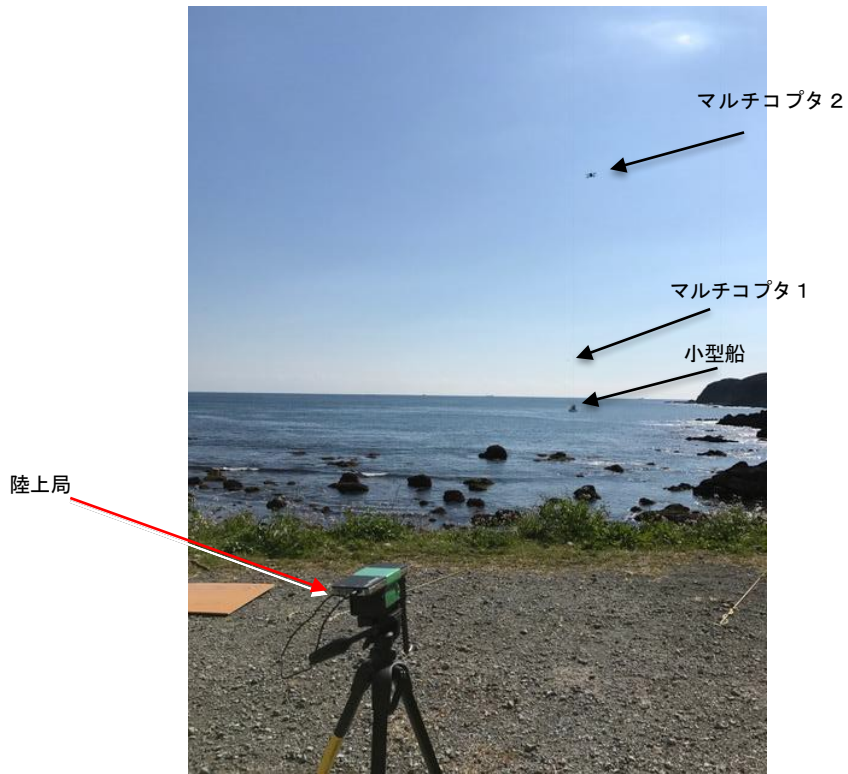


図5 試験風景（陸から海空を望む）



図6 試験風景（海から陸空を望む）



図 7 岬を越えた視野外の通信試験

図 7 は実験場所 4 において、岬を迂回する隊形で通信を行っている様子を小型船から撮影したものである。左側の岬に遮られて、先端ノードとマルチコプタ 2 は視認することが出来ないが、マルチホップ通信により、小型船上のノート PC で、陸上のカメラで撮影された映像と、マルチコプタ 1 で撮影された映像を確認することに成功した。

実験では、画像をハイビジョン相当の動画像で伝送し、良好な受信映像を得ることに成功した。それぞれのカメラで撮影され、ノート PC へ同時に伝送された動画像を、スクリーンキャプチャで切り出した画像を図 8～10 に示す。3 台カメラからの動画像を同時にマルチホップ伝送すると、受信側では遅れを伴うものの、ほぼ乱れなく受信された。

データパケット通信により画像を伝送していることから、通信距離や高低差、海面や岬によるマルチパス影響などの要因から、パケットのロスが発生すると、しばらくは伝送遅れという形で通信が継続し、それ以上に通信状況が悪くなると画像の途絶が起きる。

2.1.4 まとめ

プロジェクトの目標としていた、船舶とマルチコプタ編隊により形成するアドホック通信網を使って、近寄り難い領域の映像を撮影するということには、ひとまずの成功を収めることが出来た。有事等の非常時に国が利用する通信機であれば、長距離を直接画像伝送することが可能ではあるが、民生品を使って、日常利用可能な周波数帯域と電波出力の範囲では、今回の成果で確認されたような、マルチホップ通信網が有効であることが確認された。

複数のマルチコプタを飛行させる際に、3 機以上飛行させると電波干渉の問題で誤動作が起

き、飛行が不安定になることもあった。試験では、システムを実用化していくために、今後解決していくべき技術課題もいくつか明らかとなった。



図 8
陸上カメラ（先端ノード）
からの映像
マルチコプタ 2 機をホップ
して小型船で受信
レーザレンジファインダで
距離を計測しながら小型船
と携帯電話で通話中の様子



図 9
マルチコプタ 2（中間ノード）
搭載カメラからの映像
マルチコプタ 1 機をホップ
して小型船で受信

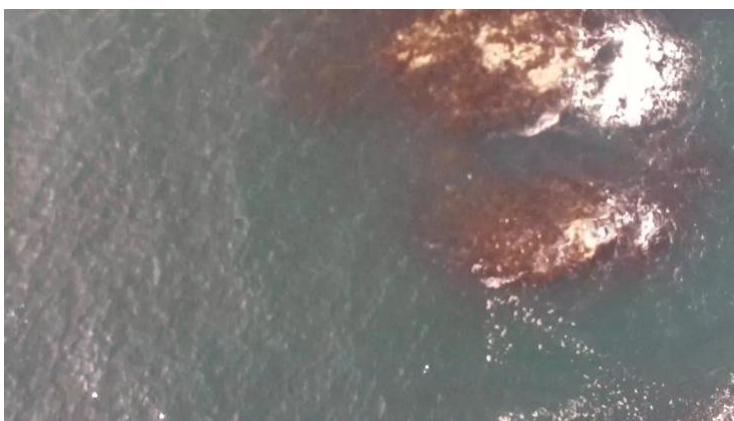


図 10
マルチコプタ 1（中間ノード）
搭載カメラからの映像
小型船で受信

2.2 小型・航行型 AUV 開発

昨年度までに、一部残っていたハードウェア作業と、電子制御系の回路について改良のための作業を実施し、図 11、12 に示す AUV を完成させた。

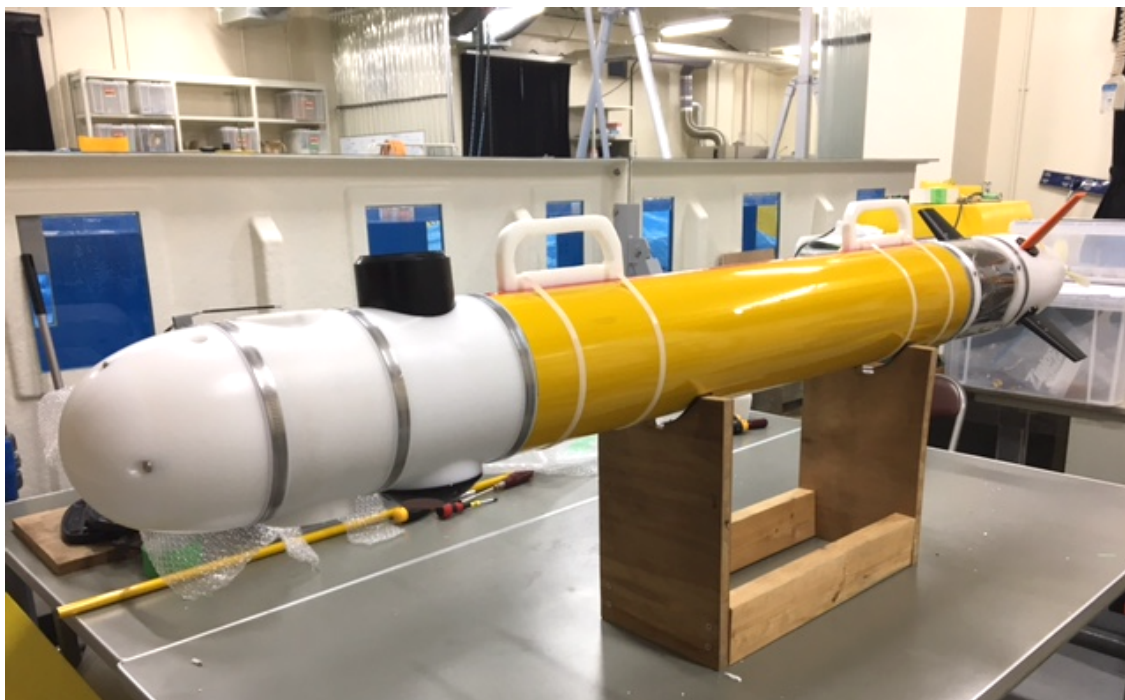


図 11 開発した小型・航行型 AUV (左舷前方より)

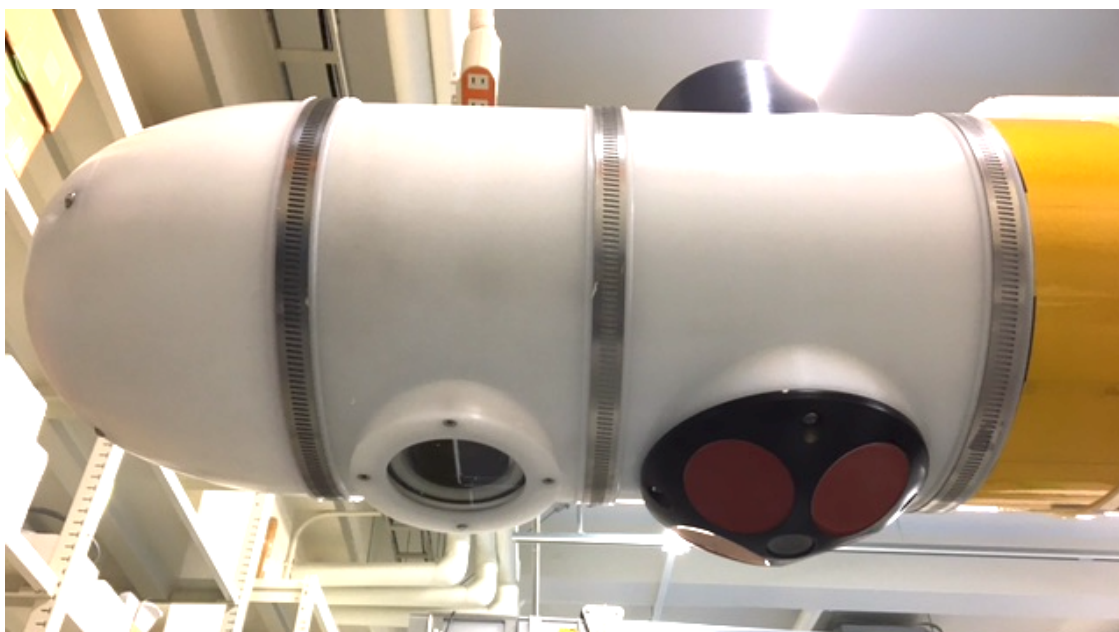


図 12 開発した小型・航行型 AUV (船首を下方から見上げる)