

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 8 日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23300074

研究課題名(和文) 水中環境状態観測のためのユビキタス情報収集手法に関する研究

研究課題名(英文) Ubiquitous information gathering system for underwater environment observations

研究代表者

川端 邦明 (Kawabata, Kuniaki)

独立行政法人理化学研究所・理研-XJTU連携研究ユニット・ユニットリーダー

研究者番号：90301754

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,500,000円、(間接経費) 2,850,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、珊瑚礁や沿岸部における水中環境情報収集の作業支援を実現する手法、システムの研究開発を目的とした。水中定点センサノードおよび水中移動センサノードの開発、およびこれらを無線ネットワークにより相互に接続した情報収集システムの開発を行った。水中環境での実験により、取得時間と取得データを整合した形式で、ネットワークに接続された計算機上に情報収集・蓄積が実現されることを示した。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research is to develop the methods and the system for supporting underwater observation activities. The prototypes of underwater stationary sensor node and underwater movable sensor node were developed. An information gathering system was organized based on wireless network connection among the sensor node prototypes and the computer for accumulating acquired information. By conducting the experiment of underwater information gathering, developed system could simultaneously gather and accumulate the underwater condition with the time stamp of them via wireless network.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学，知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：システム工学 情報システム ネットワーク 海洋生態 モニタリング

1. 研究開始当初の背景

地球環境保全に関する社会的な関心の高まりとともに、その対策を講じることが急務であると報告され、実態を調査・分析するためにはフィールドでの観測活動が必要不可欠である。特に、海洋での水中環境変化に影響を受けた生態系の変質が指摘されているが、人手による広範囲の水中観測・調査には手間・労力とも負担が大きく、困難を極めているという現状があった。水上ブイから携帯電話回線でデータ通信を行う方法や、水中に長期間設置したロガーを回収し収集データを取り出す方法があったが、水温等の水質調査が中心となっていた。ダイバーによる水中調査・観察の主たる役割は、目視による生態系の状態観測である。しかしながら、潜水時間の限界から観察活動方法に制約があり、効率的な実施に困難な点があった。綿密な実態調査・分析には、網羅的かつ連続的に情報を収集することが望ましい。定点観測のためにカメラを設置することで水中環境を録画・モニタする試みもはじめられたが、単一カメラを固定的に使用するものであった。このことから、観測作業を支援する網羅的な水中環境情報収集に関するニーズがあった。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は、サンゴ礁や沿岸部における水中環境保全活動の基本となる水中環境データに関する調査・情報収集を支援する手法およびシステムについて研究開発することである。社会的な環境問題への関心が近年大きくなり、海洋環境はその対象の典型例であるとともに、環境保全の指標を提供するものといえる。現在水中環境保全活動では、沿岸部での環境状態や生態系の調査が人手で行われている。この作業における負担軽減および作業効率化を支援するために、無線ネットワークで相互に接続可能な定点センサノードと水中移動センサノードのプロトタイプをそれぞれ開発し、これらをオンラインで情報的に結合し、動作させることで水中環境に関するデータ収集を行う基盤技術の開発を行う。これにより、ユビキタスに水中観測網を構築し、水中環境において空間的にシームレスなデータ収集を実現する技術を創成するとともに、中長期定点継続観測、並列的な環境状態計測、オンラインデータ収集等の現状の人手による作業では困難であった水中データ収集実現の基礎となる技術・システムを構築する。

3. 研究の方法

水中定点センサノードおよび水中移動センサノードについて研究開発を行うとともに、これらを統合してシステム化を実現する。各項目の詳細については以下に示す。

①水中定点センサノードの開発

サンゴ礁等の状態など水中環境状態を観測

し外部に伝達可能な、水中定点観測用プラットフォームとして、無線センサネットワーク技術に着目し、水中でデータを取得し、水上にて無線センサネットワークを展開する水中定点センサノードの開発を行う。サンゴ生態学および環境工学の研究者や調査ダイバーへのヒアリング調査、また、無線センサネットワークの技術的要件から、センサノードの機能を検討し、設計・試作を行う。特に、水中情報(画像、水温等)収集機能、通信機能、自立駆動機能、情報処理機能、耐水・耐圧機能等を具備して、水中環境で安定して駆動可能なプロトタイプの開発・構築を行う。プロトタイプの開発においては、プールや海中環境において継続的な試験・実験に基づいてセンサノードの改良を繰り返し行うことで、水中定点での環境情報収集機能の高度化を行う。

②水中移動センサノードの開発

水中移動センサノードは、定点観測では死角となる領域へのアプローチ、観察対象への接近等による環境データの収集および作業を行うものである。水中移動センサノードの開発として、操作者の指令に基づいて水中移動センサとして機能するための制御機能を基本として、移動中もしくは作業中にも操縦指令とは独立して水中環境情報(画像)を自動的にオンライン収集する機能を実装したシステム設計・構築を行う。この際、水中環境情報のみならず、水中移動センサノードの内部状態(スラスト速度等)も記録し、情報取得時間情報と整合して保持する機能の実装も行う。また、効率的な環境データ収集のために、物体操作等の作業を想定したマニピュレータ開発を行う。防水性の観点から制御・電装系を耐圧防水容器に収め、機構への動力伝達を非接触で行う最小限の配線に留めたユニット構造とし、作業に応じて機能構成を柔軟に変更可能な簡易着脱方式として設計する。さらに、スラストをフリージョイントにより保持して重力と浮力による復元力を利用して受動的にスラスト姿勢が鉛直上向きに調節され推力を有効活用する機構を設計する。マニピュレータと受動型スラスト姿勢維持機構を水中移動センサノードに実装して、水中物体操作作業実験を行う。

③無線ネットワークによる情報収集システムの開発

網羅的な水中環境情報を獲得するためには、センサノードにより取得したデータ等を収集する必要がある。水中定点および水中移動センサノードに搭載した無線ネットワーク通信機能を用いて接続を行い、取得センサデータおよびその取得時間を整合した形式でデータ管理サーバへとオンラインで保存するシステムの設計および開発を行う。センサノードプロトタイプを用いて並列的に情報収集に関する検証実験を実施することでシステムとして機能することを確認する。

4. 研究成果

①水中定点センサノードの開発

設計試作を行った水中定点センサノードの外観を図1に示す。センサノードは調査領域の任意の位置に設置され、各センサノードが取得した情報を送信することを想定している。センサノード設置の容易性を考慮すると、取得情報の外部への伝達手段として無線通信が必要となるが、水中では通信の制約が多い。一方で、サンゴは様々な水深で生息しており、定点観測を行うためには水中でセンサノードが任意の位置に設置できる必要がある。これらのことから、無線通信デバイス、GPS、制御用PC、バッテリーなどを搭載した無線通信ユニットをフロートとして水上に設置し外部との無線通信機能を確保するとともに、水中環境情報を取得する視覚センサ、水温センサ、加速度センサを内蔵したセンサユニットをテザーにより接続し、無線通信ユニットから水中に吊り下げる構成を取った。水上に設置する無線通信ユニットは、フロートとして浮き輪を取り付けた水密容器の内部に情報処理機能、位置情報取得機能、自立駆動機能などを搭載した。また、調査内容によって柔軟にソフトウェアや周辺ハードウェアの変更が可能のように、情報処理機能として汎用小型PCを搭載した。また、無線通信機能には、無線LANおよび外部アンテナを搭載し、通信規格として障害に強いとされるIEEE802.11bを使用した。その他、位置情報取得機能としてGPSアダプタ、自律駆動電源としてバッテリーを搭載し、DC-DCコンバータを介して両ユニットの各デバイスへ供給している。これらの機器を収めた水密容器を、フロートに固定した。水上の無線通信ユニットに情報処理機能および自立駆動機能を搭載することで、水中のセンサユニットの状態確認やバッテリー交換などのメンテナンスを容易にした。さらに水中状態を観測するセンサユニットには、情報収集機能として視覚センサ、水温センサを搭載している。また、センサユニットの姿勢は、水密容器中心部に配置した加速度センサにより検出する。両ユニットの防水耐圧加工のために、アクリル素材を利用した水密容器を製作した。O-リングによる円筒面固定構造を用い、水中深度10[m]で設計を行った。水中のセンサユニットと水上の無線通信ユニットとは、防水イーサネットケーブルと防水コネクタを介して接続している。センサノードは、ハードウェアクロックに基づき現在時刻を取得してセンサデータファイル(年月日時分秒.csv)を作成し、基地局サーバに送信するとともにローカルストレージに書き込み準備を行う。次に、画像をキャプチャし、年月日時分秒.jpg名で保存する。画像取得と合わせて温度、加速度データ、GPSデータを取得し、基地局に送信するとともにローカルストレージに書き込む。

また、開発・高度化した水中定点センサノ

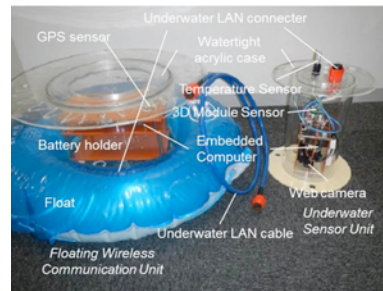


図1 水中定点センサノード試作機

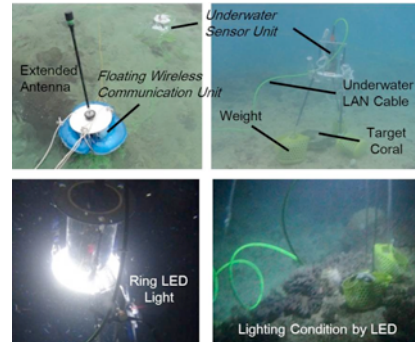


図2 海中への設置および夜間水中観測の外観

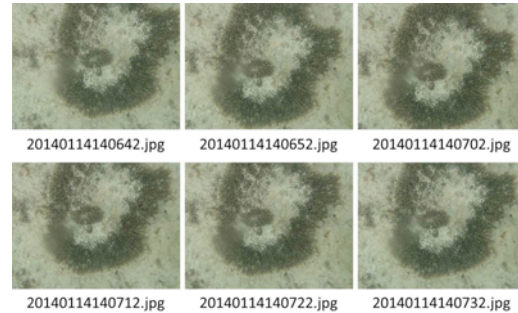


図3 定点センサノードによる取得画像の例

File Name: 20130114100216.txt	
[21:39] [0.22 / 0.13 / -0.95 / 7.60 / -12.30] [20130114100230.jpg, 27301] [26.37 / 52.46]	
[21:40] [0.20 / 0.13 / -0.94 / 7.40 / -11.20] [20130114100232.jpg, 27270] [26.37 / 52.46]	
[21:42] [0.21 / 0.14 / -0.95 / 8.50 / -12.10] [20130114100234.jpg, 27289] [26.37 / 52.46]	
	[GPS Lat (deg) / Lon(deg)]
[Seawater Temperature (deg C)]	[Image File Name, Image File Size (byte)]
[Acceleration X(m/sec ²) / Y(m/sec ²) / Z(m/sec ²) / Roll(deg) / Pitch(deg)]	

図4 取得センサデータの例

ードのプロトタイプを用いた機能試験として、2014年1月に、琉球大学 熱帯生物圏研究センター瀬底研究施設前の海中にて実験を行った。水深およそ2.0mにあるミドリイシ属の造礁サンゴ1群体を撮影した様子である天候は雨、風速は5[m]であった。センサデータは、サンプリングタイム10[sec]で取得し、連続して40分間の観測を行った。図2にセンサノード設置の様子、図3に取得画像の一部を示す。また、図4に取得したセンサデータについて例示した。このように、試作、実験、改良の繰り返しによって最終的に、ハードウェアおよびソフトウェアのスリム化が図れ、動作安定性が向上し、連続的な観測が可能となった。

②水中移動センサノードの開発

開発した水中移動センサノードを図5に示

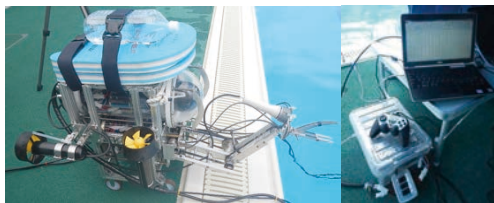


図 5 水中移動センサノード試作機

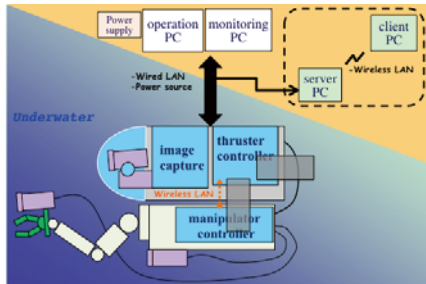


図 6 水中情報取得・転送システム構成

す。本体には垂直方向および水平方向にスラストが設置されており、これらにより水中での位置・姿勢を制御することが可能となっている。また、本体前方に取り付けられたドーム型アクリル内側および本体下方に取り付けられたハンド部手先にカメラが取り付けられており、これらの画像に基づいてオペレータは水中移動センサノードの移動操作・作業を行う。図 6 左下に移動センサノードの基本システム構成を示す。給電および操縦指令、センサデータ収集はテザーを介して行い、操作およびモニタリング用計算機は有線 LAN ケーブルにより移動センサノード内部の計測・制御システムと接続されている。水中移動センサノード内部の計測・制御システムは操作用計算機からの指令に基づいてスラスト制御を行う。モニタリング用計算機上にはセンサノードからネットワーク経由で送信される前方カメラの画像がオペレータに提示される。これにより、オペレータからの操縦指令をもとに海中を移動することで、必要な際に必要な対象・領域へ移動センサノードを誘導することが可能となった。また、水中移動センサノード操縦のための基本システム構成をベースに、操縦中に得られた環境状態データをオンラインで収集する仕組みを

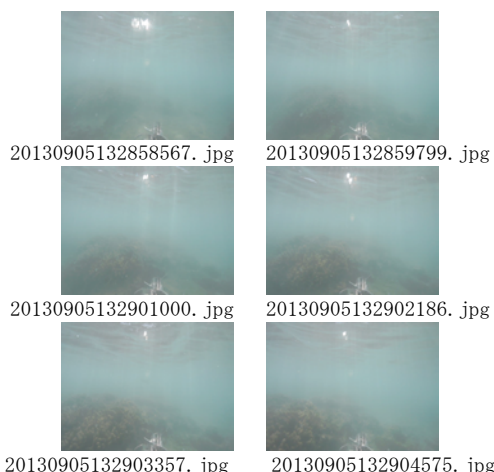


図 7 海中実験時の取得・転送画像情報の例



図 8 開発したユニット型水中マニピュレータ

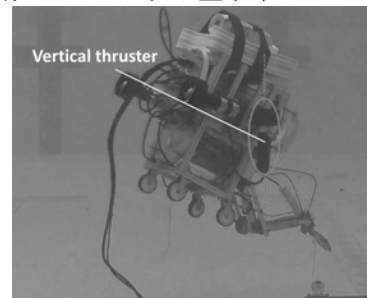


図 9 受動型スラスト姿勢維持機構を用いた物体持ち上げ作業の様子

構築した。具体的には水中移動センサノードに搭載されたカメラからデータを取得するサーバ計算機を設置し、無線 LAN を介して外部のクライアント計算機に取得時間と共に提供する機能を実装した (図 6 右上)。これにより、移動センサノードを操縦している間に特別な操作を行わずとも水中環境のデータがクライアント計算機に時間情報とともに取得することが可能になった (図 7)。

また、図 8 に開発したユニット型水中マニピュレータを示す。ペイロードは目標設計値 2[kg] に対して、実験により 3[kg] 程度はあることを確認した。センサノード本体とマニピュレータユニット間では無線 LAN を用いた通信により省配線化を実現した。さらに受動型スラスト姿勢維持機構をセンサノードに実装して、従来型の固定式スラスト機構との引き上げ力について比較を行ったところ、開発した機構の方がスラスト推力を効率的に活用して作業することができることが実験により分かった。

③無線ネットワークによる情報収集システムの開発

開発したセンサノードプラットフォームを用いて、同時かつ協調的に情報収集を行うためのシステムを構築した。システムは、各センサノードおよび情報収集用の計算機が無線 LAN 通信を介してネットワーク接続されている。水中定点センサノードに関しては、情報収集・蓄積用計算機をサーバ、センサノードをクライアントとし、通信ユニットから送信されたセンサデータおよび画像を受信し、保存する。この一連の作業を繰り返し行い、観測データをサーバへと蓄積する機能を実装・実現した。また、水中移動センサノードに関しては、センサノードをクライアントとして接続し、取得した画像情報を任意の間隔にて有線 LAN 経由で取得するサーバ計算機と、これに無線 LAN を介して接続して、画像データを取得・蓄積するクライアント計算機を用いて水中環境データ取得、転送、保存の基本

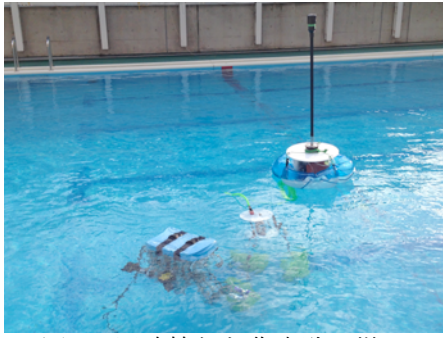


図 10 同時情報収集実験の様子

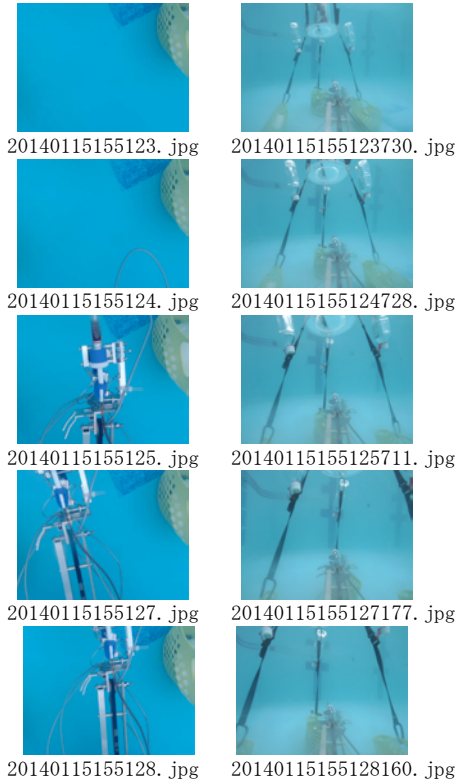


図 11 取得画像の例

的な機能を実装・実現した。

図 10 に水中での同時情報収集実験の様子について示す。また、図 11 に実験中に並列的に収集された水中画像について示す。これらより、開発したプラットフォームを基に無線通信によりシステム化を行うことでユビキタスな水中情報収集を実現する基盤技術が開発されたことが分かる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① T. Suzuki, K. Kato, E. Makihara, T. Kobayashi, H. Kono, K. Sawal, K. Kawabata, F. Takemura, N. Isomura, H. Yamashiro, Development of Underwater Monitoring Wireless Sensor Network to Support Coral Reef Observation,

International Journal of Distributed Sensor Networks, 査読有, Vol. 2014, 2014, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/189643>

- ② F. Takemura, R. T. Shiroku, K. Kawabata, S. Sagara, Development of Easily-Removable Underwater Manipulator Unit with built-in Controller, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有, Vol. 25, 2013, 778-784, <http://www.fujipress.jp/finder/xslt.php?mode=present&inputfile=ROBOT002500050002.xml>
- ③ F. Takemura, S. Futenma, K. Kawabata, S. Sagara, Experimental Verification of Lifting Force by an Underwater Robot with Thrusters Having the Passive Posture Maintenance Mechanism, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有, Vol. 25, 2013, 812-819, <http://www.fujipress.jp/finder/xslt.php?mode=present&inputfile=ROBOT002500050006.xml>
- ④ Y. Okuda, H. Kamada, S. Takahashi, S. Kaneko, K. Kawabata, F. Takemura, Method of Dynamic Image Processing for Ecology Observation of Marine Life, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有, Vol. 25, 2013, 820-829, <http://www.fujipress.jp/finder/xslt.php?mode=present&inputfile=ROBOT002500050007.xml>
- ⑤ K. Kawabata, F. Takemura, S. Futenma, T. Suzuki, On-line Image Gathering utilizing an Operated Underwater Movable Sensor Node, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有, Vol. 25, 2013, 772-777, <http://www.fujipress.jp/finder/xslt.php?mode=present&inputfile=ROBOT002500050001.xml>
- ⑥ 鈴木 剛, 小林 卓史, 澤井 圭, 川端 邦明, 武村 史朗, 磯村 尚子, 山城 秀之, 水中観測センサネットワークのための無線センサノード機能の検討, 電気学会論文誌 D (産業応用部門誌), 査読有, Vol. 133, 2013, 1-7, <http://dx.doi.org/10.1541/ieejias.133.414>

[学会発表] (計 13 件)

- ① Y. Nota, S. Takahashi, K. Kawabata, Shun'ichi Kaneko, F. Takemura, T. Suzuki, Dynamic Feature Point in Ocean-Marine Tag-, Korean-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision, 査読有, 2014 年 2 月 5 日, Okinawa, Japan
- ② K. Kawabata, F. Takemura, T. Suzuki, K. Sawai, S. Takahashi, H. Yamashiro,

- N. Isomura and J. Xue, On-line Image Gathering by Stationary and Movable Sensor Node for Underwater Visual Surveys, IEEE TENCON2013, 査読有, 2013年10月22日, Xi'an, China
- ③ 普天間 翔汰, 武村 史朗, 川端 邦明, 相良 慎一, 受動型スラスト姿勢維持機構を用いた水中ロボットの引上力の検討, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 2013 講演論文集, 2013年5月24日, 茨城
- ④ 川端 邦明, 武村 史朗, 普天間 翔汰, 鈴木 剛, 海洋生態系観測・記録支援のための操縦型センサノードを用いたデータ収集実験”, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集 (SI2012), 3I3-2, 2012年12月20日, 福岡
- ⑤ 武村 史朗, 上地 夏月, 川端 邦明, 相良 慎一, 単眼カメラを用いた海中移動体の位置計測システム基礎実験, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集 (SI2012), 3I3-1, 2012年12月20日, 福岡
- ⑥ F. Takemura S. Futenma, R. T. Shiroku, K. Kawabata and S. Sagara, Motion Verification of an Underwater Robot Using the Passive Posture Maintenance Mechanism for Thrusters, The 2012 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2012), 査読有, pp. 183 - 186, October 23rd, 2012, Palma de Majorca, Spain.
- ⑦ 武村 史朗, 普天間 翔汰, 鈴木 剛, 川端 邦明, 海洋生態系観測・記録を支援する移動センサノードの開発, 第22回インテリジェント・システム・シンポジウム講演論文集, 2012, 8月30日, 1C1-3(CD), 沖縄
- ⑧ 鈴木 剛, 澤井 圭, 武村 史朗, 川端 邦明, 山城 秀之, 海洋生態系観測・記録を支援する定点センサノードの開発, 第22回インテリジェント・システム・シンポジウム (FAN2012) 講演論文集, 浦添市てだこホール, 2012年8月30日, 1C1-2(CD), 沖縄
- ⑨ 川端 邦明, 鈴木 剛, 武村 史朗, 山城 秀之, 海洋生態系観測・記録を支援する定点・移動センサネットワーク”, 第22回インテリジェント・システム・シンポジウム (FAN2012) 講演論文集, 浦添市てだこホール, 2012年8月30日, 1C1-1(CD), 沖縄
- ⑩ 普天間 翔汰, 白久レイエス 樹, 武村 史朗, 川端 邦明, 相良 慎一, “受動型スラスト姿勢維持機構を用いた水中ロボットの姿勢安定性の検討”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 2012 講演論文集, 2012年5月29日, 2A2-G09 (DVD), 静岡
- ⑪ 福原 将弥, 武村 史朗, 川端 邦明, 相良 慎一, レーザーモジュールを用いた水中ロボットのためのリアルタイム距離計測システムの屋外環境下での評価”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 2012 講演論文集, 2012年5月29日, 2A2-F07 (DVD), 静岡
- ⑫ 川端 邦明, 武村 史朗, 鈴木 剛, 山城 秀之, 無線センサ・ロボット・ネットワークによる海中観測支援にむけて, 次世代産業システム研究会, 2012年3月9日, 沖縄
- ⑬ 小林 卓史, 澤井 圭, 川端 邦明, 武村 史朗, 磯村 尚子, 下嶋 賢, 渡邊 謙太, 蔵屋 英介, 鈴木 剛, 無線センサノードによる海中モニタリング実地実験, 第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2011年12月25日, 京都

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川端 邦明 (KAWABATA, Kuniaki)
 独立行政法人理化学研究所・理研-XJTU 連携研究ユニット・ユニットリーダー
 研究者番号：90301754

(2) 研究分担者

武村 史朗 (TAKEMURA, Fumiaki)
 沖縄工業高等専門学校・機械システム工学科・准教授
 研究者番号：70455187

鈴木 剛 (SUZUKI, Tsuyoshi)
 東京電機大学・工学部・教授
 研究者番号：00349789

(3) 連携研究者

山城 秀之 (YAMASHIRO, Hideyuki)
 琉球大学・熱帯生物圏研究センター瀬底研究施設・教授
 研究者番号：80341676

磯村 尚子 (ISOMURA, Naoko)
 沖縄工業高等専門学校・生物資源工学科・准教授
 研究者番号：90376989