

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560999

研究課題名(和文)海中周囲雑音による物体映像化において雑音源位置が探知映像に与える影響に関する研究

研究課題名(英文) Study of influences of spatial noise distributions on target images in the ambient noise imaging

研究代表者

森 和義 (Mori, Kazuyoshi)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工・その他部局等・准教授)

研究者番号：70259894

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、周囲雑音イメージングにおいて雑音源位置が探知映像に与える影響を調査した。ここで、ターゲット前方の雑音源を前方照明、背後を後方照明と呼ぶ。平成26年11月10-14日に内浦湾にて実海域試験を行い、イメージング装置の視野内のターゲットを映像化しながら、同時に雑音源位置を計測した。前方照明では、ターゲット散乱波が優位に計測され、ターゲット方位の受波強度は他の方位より大きくなった。逆に、後方照明では、直達雑音が優位に計測され、ターゲット方位の受波強度が小さくなった。この結果は、周囲雑音イメージングにおいてターゲット映像を正確に解釈するには、雑音源位置を予め把握する重要性を示している。

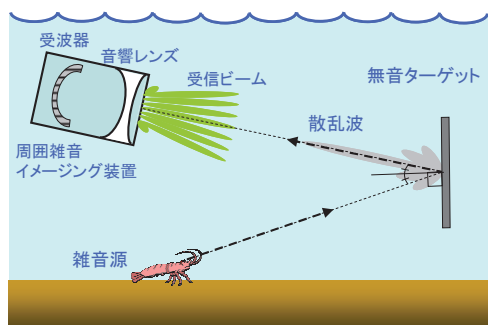
研究成果の概要(英文)：In this study, we investigated the influence of the spatial noise distribution on the target image obtained by the ambient noise imaging (ANI). Here, the noise sources in front of the target are called 'front light', and those in rear of the target are called 'back light'. In November 10-14, 2014, targets arranged in the field of view were imaged, and the positions of noise sources were also measured in the sea trial at Uchiura Bay. In the front light, the received intensities of the target directions were greater than those of other directions due to the dominant target scatterings. Reversely, in the back light, the received intensities of the target directions were lower than those of other directions due to the dominant direct noises. These results showed that the knowledge of spatial noise distribution is important to interpret the target image obtained by the ANI correctly.

研究分野：船舶海洋工学

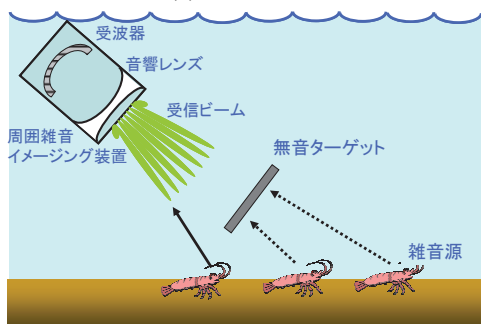
キーワード：海洋科学 海洋工学 海洋探査 音響レンズ 海中周囲雑音 物体映像化 沿岸域生物雑音

1. 研究開始当初の背景

従来の海中音響映像化装置において周囲雑音は探知を乱す妨害音と見なされてきた。しかし、海中周囲雑音を音源として積極的に活用する革新的なアイデアが提唱されている。この手法はアクティブでもパッシブでもない第3の新しい方式であり、周囲雑音イメージングとも呼ばれている。本手法は広帯域マルチビーム受信機で実現され、現在までに2つの実験システムが実海域での物体映像化に成功している。1990年代には、球面状反射板を用いた装置、2000年代初頭には円板状2次元スパスアレイを用いた装置が開発された。申請者は、周囲雑音イメージングを実現する有力な手段として音響レンズに着目し、数値解析および縮尺実験により集束特性を検討してきた。2009~2011年の間は科研費基盤研究(B)(番号：21360440)の助成を受け、より具体的なシステム開発に向けた研究を行った。2009年には、実海域での利用を想定したレンズ設計を行い、同レンズを用いた試作システムを開発した。2010年の内浦湾での実海域試験では、ビームパターンを計測して試作システムが設計通りの方位解像度を有していることを確認し、さらにアルミ板から成る無音ターゲット物体を海中周囲雑音のみで探知することに成功した。



(a) 前方照明



(b) 後方照明

図1 雑音源、ターゲットおよび周囲雑音イメージング装置の位置関係の概念図

ここで、この実海域試験では、図1(a)のようなターゲットの背後に何もなく、ターゲットの前方に雑音源があり、ターゲット散乱波を受信ビームで捕らえることができる理想的な状態でいった。ここで、このような条件を前方照明と呼ぶこととする。しかし、実際

的な利用を想定すると常に理想的な位置にターゲットがあるとは限らない。例えば、図1(b)のようにターゲットの背後に雑音源が存在するような場合には、一部の雑音は受信ビームに直接捕らえられ、他の一部はターゲットによって遮られるような状態になると考えられる。ここで、このような条件を後方照明と呼ぶこととする。つまり、周囲雑音イメージングにおいては、同時に雑音源の位置を計測して把握しておかなければ、イメージング装置で得られた映像からターゲットの有無や形状を正確に判断できない可能性がある。したがって、周囲雑音イメージングと雑音源位置の同時計測を行うことが重要となる。

2. 研究の目的

本研究では、周囲雑音イメージングにおいて、雑音源位置が探知映像に与える影響を調査することを目的とする。ここでは、雑音源空間分布として前方照明および後方照明となるようにイメージング装置とターゲットを配置して実海域試験を行い、ターゲット有無や形状の違いに応じて、視野内の受信ビームに捕らえられるターゲット散乱波もしくは雑音の強度の違いを比較する。

具体的には、開発済みの音響レンズを用いたプロトタイプシステムの再構築を行う。そして、実海域にて周囲雑音イメージング実験を行いながら、同時に雑音源位置を計測する。周囲雑音イメージングの主要な音源は沿岸域に生息するテッポウエビ類が発するパルス雑音であり、申請者らは1対の正四面体アレイを用いて雑音源位置を推定する観測的研究を実施してきた。今回は、同じ観測装置を併用しながら、周囲雑音イメージングと雑音源位置計測の同時実験を行い、雑音源位置が周囲雑音イメージングにおける探知映像に与える影響を調査する。

3. 研究の方法

(1) プロトタイプシステムの再構築

筆者らは、周囲雑音イメージングシステムに音響レンズを導入し、対象周波数帯域を40~200 kHzと想定し、中心周波数120 kHzで方位解像度1度、視野角 ± 7 度を有するレンズを設計・製作した。当初は、像面に水平方向一列の受波器アレイを配置したプロトタイプシステムを構築したが、得られる映像は水平一列の走査線だけ、つまり1次元画像であった。そこで、ターゲットの2次元画像を得るため、水平視野角 ± 7 度および垂直視野角 ± 4 度に対応する凹面状の像面を覆うような2次元受波器アレイを開発した。素子の中心間隔は約21 mmであり、入射角度1度毎に素子が配置されている。素子数は水平15個、垂直9個であるが、4隅の8素子を省いて、合計127個である。図2に再構築されたプロトタイプシステムの概観を示す。音響レンズと2次元受波器アレイからなる周囲雑音イメージン

グシステおよび雑音源空間分布を計測するための1対の正四面体アレイを合わせて水中システムと呼ぶ。海上システムでは、それぞれの出力信号を増幅するプリアンプを通じて、データ収録システム(DAQシステム)にて音響信号がサンプリングされる。2次元受波器アレイからの127チャンネル、および1対の正四面体アレイからの8チャンネルの信号は、独立したA/D変換器により全チャンネル同時サンプリングされる。ここで、サンプリング速度は1.0 MS/s、量子化ビット数は16 bitである。DAQシステムには2台のSSD RAIDが搭載されており、その合計記憶容量は2.4 TBである。これより、合計135チャンネルの出力信号を途切れなく連続記録すること、つまりストリーミング収録が可能となっている。

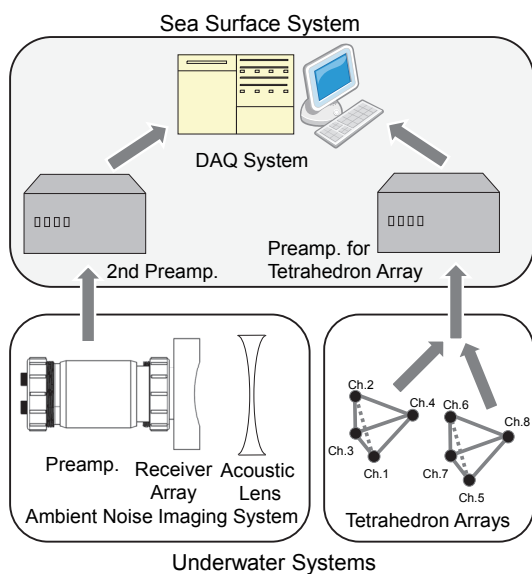


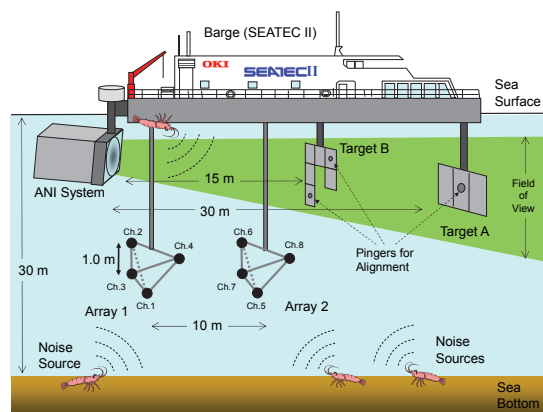
図2 再構築プロトタイプシステムの概観

(2) 実験方法

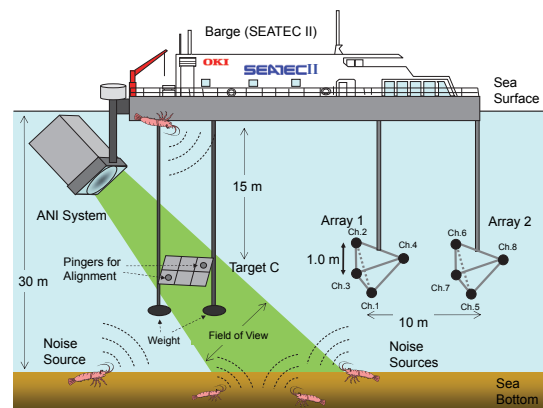
実海域試験は、2014年11月10～14日に実施され、沼津市三津町の海岸から約250 m沖(内浦湾)に係留された実験バージ OKI SEATEC II を利用した。図3に実験配置を示す。この海域の海底深度は約30 mである。周囲雑音イメージングシステムはバージの端に固定され、同時に雑音源空間分布を計測するために1辺が1 mの正四面体アレイ1対を10 m離して吊り下げた。イメージングシステムの視野方向とターゲットの配置は図3のように(a)前方照明と(b)後方照明で異なる。前方照明では、ターゲットの後方に雑音源が無いように視野を水平に向け、視野内にTarget AとTarget Bが存在する。Target Aにおいては $1 \times 1 \text{ m}^2$ 、Target Bにおいては、 $0.5 \times 0.5 \text{ m}^2$ の正方形パネルを複数枚並べて様々な形状を表せるようにした。各パネルは、8 mm厚の独立気泡ネオプレンフォームと7 mm厚の発泡スチロール板を1 mm厚のアルミ板に重ねたものである。Target Aはイメージング

システムから約30 m、Target Bは約15 mの距離に配置した。各ターゲットには、位置合わせのため送信周波数130 kHzのピンガが取り付けられている。後方照明では、ターゲットの後方に海底上の生物雑音源が存在するように視野を下方に向け、視野内にTarget Cが存在する。Target Cは前方照明のTarget Bと同様に $0.5 \times 0.5 \text{ m}^2$ の正方形パネルを複数枚並べ、イメージングシステムから約15 mの距離に配置した。位置合わせのため送信周波数130 kHzのピンガが取り付けられているのも同様である。

実験においては、まずターゲットに取り付けたピンガより130 kHzで10波のバーストパルスを放射し、視野内にターゲットが配置されるように位置合わせを行った。その後、ピンガを止めて、海中周囲雑音のみにおいて、2次元受波器アレイおよび1対の正四面体アレイで受信される音波を記録した。



(a) 前方照明



(b) 後方照明

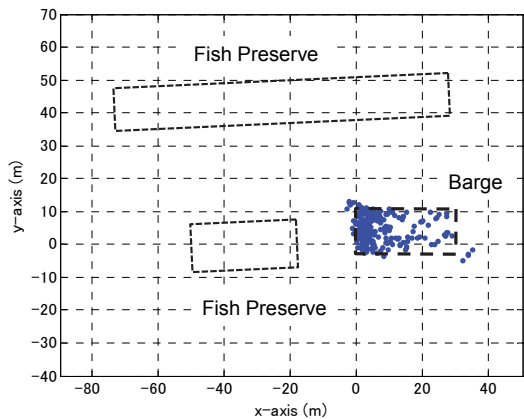
図3 実験配置図

4. 研究成果

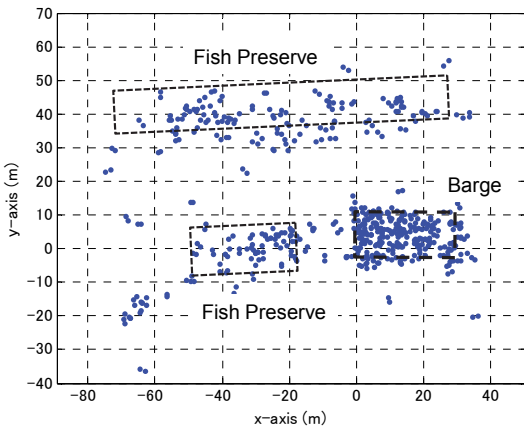
(1) 雑音源空間分布計測の結果

ここでは、1対の正四面体アレイで得られた観測データから典型的なテップウエビ音の固有の波形を有する突発性パルス雑音を抽出した。抽出されたパルス雑音の各受波器間の到達時間差より、雑音源の位置を推定した。図4は前方照明における結果の一例である。図4(a)-(b)は水平方向の音源位置推定結果

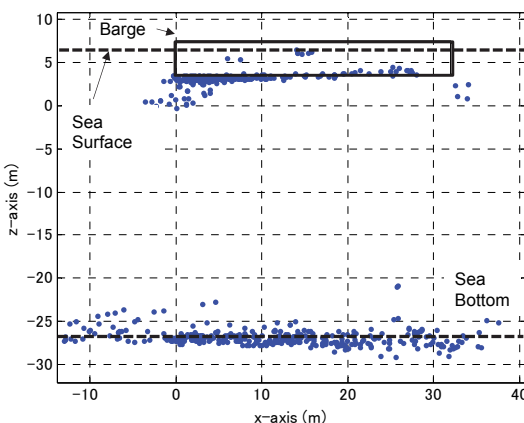
である。図 4(a)はアレイより浅い海面方向より到達したパルス雑音の推定音源位置を示している。これより、音源位置はバージのみに集中していることがわかる。それに対して、図 4(b)はアレイより深い海底方向より到達したパルス雑音の推定音源位置である。図を見ると、音源位置は主にバージ付近に集まっているが、それに加えて、近傍の養殖用生け簀付近にも分布している。これは、図 4(c)の垂直方向の音源位置推定結果でも確認できる。つまり、音源位置はバージ底面およびその直下の海底に集中しているが、近傍の養殖生け簀直下の海底にも分布している。この結果は、後方照明においても同様であり、実験海域における雑音源空間分布はほとんど変化しなかった。



(a) 水平方向(アレイの上部, 海面方向)



(b) 水平方向(アレイの下部, 海底方向)

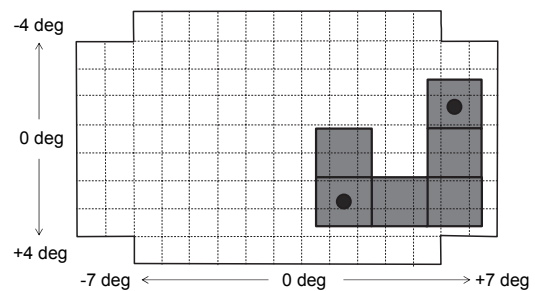


(c) 垂直方向

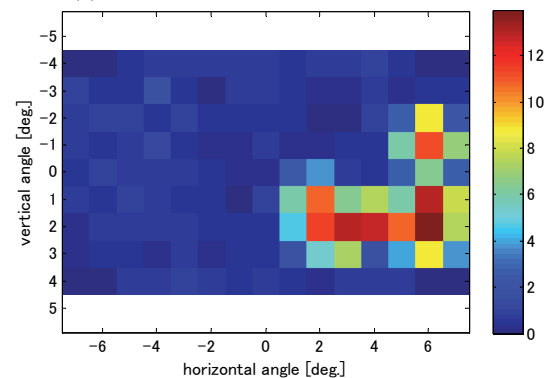
図 4 雑音源空間分布

(2) 周囲雑音イメージングの結果

図 5 は、前方照明において Target B を映像化した結果である。図 5(a)は視野内の Target B 配置の模式図である。レンズへの入射角度と像面で結像する角度は反対になるため、受波器アレイで得られる画像は図 3(a)の配置に対して上下左右で反対の向きになる。図 5(b)はピンガを停止させて、海中周囲雑音のみによって映像化を行った例である。ここでは、まず事前にターゲット無しの受波振幅および帯域レベルを計算した。そして、ターゲットがあるとき、ターゲット無しの振幅の 2 倍を超える突発音をターゲット散乱波として切り出して、そのパワースペクトルを計算した。最終的には、150-200 kHz の帯域レベルを計算し、ターゲット無しの帯域レベルとの差分を画素値とした。切り出された突発音の一つに対して、その画像はターゲットの一部のみを示すことから、複数の画像を求め、画素値の大きい順に 30 個を選択して最大値で結合したものが図 5(b)である。探知映像は図 5(a)に示すターゲット形状をよく表しているのがわかる。



(a) 視野内のターゲット配置の様子

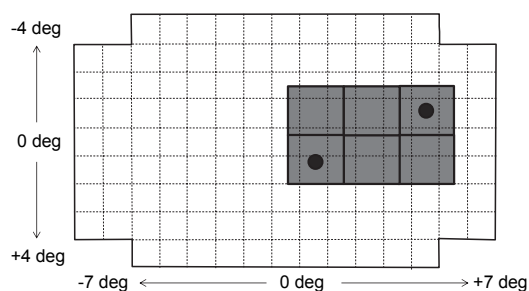


(b) 探知映像

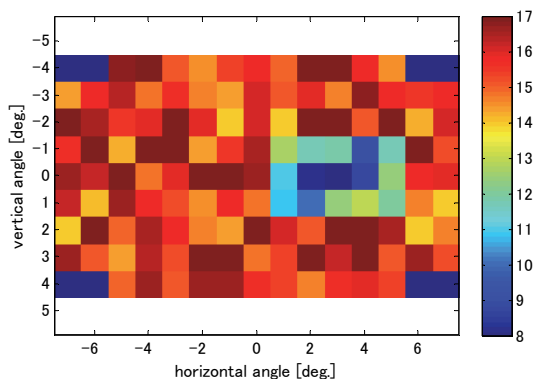
図 5 前方照明の周囲雑音イメージング結果 (Target B)

図 6 は、後方照明において Target C を映像化した結果である。前方照明と同様にターゲット無しの振幅の 2 倍を超える突発音をターゲット散乱波もしくは直接受信した雑音として切り出し、60-200 kHz の帯域レベルを計算し、ターゲット無しの帯域レベルとの差分を画素値とした。一つの突発音に対する画像は、視野の一部のみ、つまり海底もしくはターゲットの一部のみを表すことから、複数の

画像を求め、画素値の大きい順に 200 個を選択して最大値で結合したものが図 6(b)である。探知映像は図 6(a)に示すターゲット形状に合わせて画素値が小さくなっており、ターゲットが海底からの雑音を遮っているか、あるいはターゲット散乱波が直接受信される雑音よりも強度が弱いことを表している。つまり、ターゲットはシルエットのような状態で探知されているのがわかる。



(a) 視野内のターゲット配置の様子



(b) 探知映像

図 6 後方照明の周囲雑音イメージング結果 (Target C)

以上より、周囲雑音イメージングにおいて、ターゲットを探知する際には、雑音源位置が大きく影響することがわかった。前方照明の場合にはターゲット方位の受波強度がそれ以外の方向よりも強くなり、逆に後方照明の場合にはターゲット方位の受波強度が弱くなった。探知映像を正確に解釈するためには、予めあるいは同時に海中周囲雑音の空間分布を把握する必要があることが改めて確認された。つまり、周囲雑音イメージングの実用化のためには、対象海域の正確な雑音源マップを作成することが重要であり、これを発展させることで水中セキュリティや音に敏感な海洋生物調査などの応用面での可能性に今後期待できると考える。

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 10 件)

- ① K. Mori, H. Ogasawara, T. Nakamura, T. Tsuchiya, N. Endoh, Preliminary Data

Analysis of the 2nd Sea Trial for Ambient Noise Imaging with Acoustic Lens, Proceedings of the 3rd Underwater Acoustics Conference and Exhibition, 要旨査読有, 2015, 掲載決定

- ② K. Mori, H. Ogasawara, T. Nakamura, T. Tsuchiya, N. Endoh, Numerical Analysis for Ambient Noise Imaging with Acoustic Lens: Target Detection around the Barge Moored in Uchiura Bay, Proceedings of the 2nd International Conference and Exhibition on Underwater Acoustics, 要旨査読有, 2014, 33–38

http://www.uaconferences.org/docs/proceedings/UA2014_6.pdf

- ③ T. Tsuchiya, T. Anada, N. Endoh, S. Matsumoto, K. Mori, Basic Study of Properties of Planate Acoustic Lens Constructed with Phononic Crystal Structure, Proceedings of the 2nd International Conference and Exhibition on Underwater Acoustics, 要旨査読有, 2014, 343–348

http://www.uaconferences.org/docs/proceedings/UA2014_53.pdf

- ④ K. Mori, H. Ogasawara, T. Nakamura, T. Tsuchiya, and N. Endoh, Relationship between Spatial Distribution of Noise Sources and Target Scatterings Observed in the 2010 Sea Trial of Ambient Noise Imaging, Japanese Journal of Applied Physics, フル査読有, Vol. 52, 2013, 07HG02-1–07HG02-6 DOI:10.7567/JJAP.52.07HG02

- ⑤ K. Mori, H. Ogasawara, T. Nakamura, T. Tsuchiya, and N. Endoh, Preliminary Analysis of Target Range Estimation on Sea Trial 2010 for Ambient Noise Imaging with Acoustic Lens, Proceedings of the 1st International Conference and Exhibition on Underwater Acoustics, 要旨査読有, 2013, 721–726

<http://www.uaconferences.org/docs/proceedings/UAC2013.89.80.pdf>

- ⑥ K. Mori, H. Ogasawara, T. Nakamura, T. Tsuchiya, and N. Endoh, Preliminary Analysis of Spatial Distribution of Noise Sources on Sea Trial of Ambient Noise Imaging with Acoustic Lens, Proceedings of the 11th European Conference on Underwater Acoustics, 要旨査読有, 2012, 1484–1489

- ⑦ T. Tsuchiya, T. Anada, N. Endoh, S. Matsumoto, and K. Mori, The Design of Planate Acoustic Lens Made by Phononic Crystal Structures, Proceedings of the 11th European Conference on Underwater Acoustics, 要旨査読有, 2012, 1738–1743

- ⑧ T. Tsuchiya, T. Anada, N. Endoh, S. Matsumoto, and K. Mori, Basic Study of Properties of Planate Acoustic Lens Constructed with Phononic Crystal Structure, Japanese Journal of Applied Physics, フル査

読有, Vol. 51, 2012, 07GG11-1-07GG11-5
DOI:10.1143/JJAP.51.07GG11

- ⑨ K. Mori, H. Ogasawara, T. Nakamura, T. Tsuchiya, and N. Endoh, Extraction of Target Scatterings from Received Transients on Target Detection Trial of Ambient Noise Imaging with Acoustic Lens, Japanese Journal of Applied Physics, フル査読有, Vol. 51, 2012, 07GG10-1-07GG10-7
DOI:10.1143/JJAP.51.07GG10
- ⑩ S. Kamimura, H. Ogasawara, K. Mori, and T. Nakamura, Tidal Effect in Small-Scale Sound Propagation Experiment, Japanese Journal of Applied Physics, フル査読有, Vol. 51, 2012, 07GG08-1-07GG08-7
DOI:10.1143/JJAP.51.07GG08

[学会発表] (計 13 件)

- ① K. Mori, H. Ogasawara, T. Nakamura, T. Tsuchiya, N. Endoh, Rebuilding a prototype system for ambient noise imaging with acoustic lens, The 35th Symposium on Ultrasonic Electronics, 2014 年 12 月 5 日, 東京都
- ② K. Shimizu, T. Tsuchiya, T. Anada, N. Endoh, S. Matsumoto, K. Mori, Influence of refractive index by structure parameter of phononic crystal and analysis of focusing acoustic field, The 35th Symposium on Ultrasonic Electronics, 2014 年 12 月 5 日, 東京都
- ③ 森 和義, 小笠原英子, 中村敏明, 横須賀市走水港において採取したテッポウエビ発生音の指向性および音源強度変動の計測, 超音波研究会, 2014 年 8 月 25 日, 東京都
- ④ 森 和義, 小笠原英子, 中村敏明, 土屋健伸, 遠藤信行, 音響レンズを用いた周囲雑音イメージングにおける内浦湾計測バレッジ周辺海域でのターゲット検出シミュレーション, 海洋音響学会 2014 年度研究発表会, 2014 年 5 月 30 日, 東京都
- ⑤ 土屋健伸, 穴田哲夫, 遠藤信行, 松本さゆり, 森 和義, フォノンニック結晶構造による菱形音響レンズの周波数特性, 海洋音響学会 2014 年度研究発表会, 2014 年 5 月 30 日, 東京都
- ⑥ 土屋健伸, 清水 一磨, 深澤昂太, 穴田哲夫, 遠藤信行, 松本さゆり, 森 和義, 菱形音響レンズの基礎特性の解析, 日本音響学会 2014 年春季研究発表会, 2014 年 3 月 11 日, 東京都
- ⑦ K. Mori, H. Ogasawara, T. Nakamura, T. Tsuchiya, and N. Endoh, Overview of the last five years studies for ambient noise imaging with acoustic lens, Workshop on Ultrasonic and Underwater Acoustic in Japan, 2013 (Technical Committee on Ultrasonics), 2013 年 11 月 23 日, 京都府
- ⑧ K. Mori, H. Ogasawara, T. Nakamura, T.

Tsuchiya, and N. Endoh, A basic study for target range estimation on the 2010 sea trial of ambient noise imaging with acoustic lens, The 34th Symposium on Ultrasonic Electronics, 2013 年 11 月 21 日, 京都府

- ⑨ T. Tsuchiya, T. Anada, N. Endoh, S. Matsumoto, K. Mori, Development of rhomboidal acoustic lens constructed with phononic crystal, The 34th Symposium on Ultrasonic Electronics, 2013 年 11 月 22 日, 京都府
- ⑩ 土屋健伸, 深澤昂太, 穴田哲夫, 遠藤信行, 松本さゆり, 森 和義, フォノンニック結晶構造を用いた音響レンズの基礎特性解析, 海洋音響学会 2013 年度研究発表会, 2013 年 5 月 28 日, 東京都
- ⑪ 森 和義, 小笠原英子, 中村敏明, 横須賀市走水港において採取したテッポウエビの発生音計測, 日本音響学会 2013 年春季研究発表会, 2013 年 3 月 15 日, 東京都
- ⑫ K. Mori, H. Ogasawara, T. Nakamura, T. Tsuchiya, and N. Endo, A basic study of relationship between spatial distribution of noise sources and target scatterings observed in the sea trial of ambient noise imaging, The 33rd Symposium on Ultrasonic Electronics, 2012 年 11 月 15 日, 千葉県
- ⑬ 森 和義, 小笠原英子, 中村敏明, 土屋健伸, 遠藤信行, 音響レンズを用いた周囲雑音イメージングの実海域試験における雑音源空間分布計測データの予備的解析, 海洋音響学会 2012 年度研究発表会, 2012 年 5 月 29 日, 東京都

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等
なし

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
森 和義 (MORI, Kazuyoshi)
防衛大学校・応用科学群・准教授
研究者番号: 70259894
- (2) 研究分担者
なし
- (3) 連携研究者
なし