

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02351

研究課題名（和文）小型移動体群による海中IoT基盤構築に向けた長期間稼働可能な長距離高速同時通信

研究課題名（英文）Long-range, high-speed, and simultaneous communications for the construction of an undersea IoT infrastructure using a swarm of underwater vehicles

研究代表者

海老原 格 (Ebihara, Tadashi)

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：80581602

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：小型移動体群による長期間稼働可能な長距離高速同時通信の実現に寄与するために、通信相手に狙いを定めて信号をやり取りする小型水中音響通信機を構築した。これまで確立した要素技術を基盤に、通信相手に狙いを定めて信号をやり取りする「スマートミラーレンズ通信機」を構築し、その性能を評価した。その結果、反射鏡を用いる通信機は、移動する通信相手を理想的に捕捉・追尾することができれば、既存通信機と比較して、信号電力を半減できることを明らかにした。また、レンズを用いる通信機は、異なる角度から来る信号間のクロストークを回避することで、空間分割多重アクセスが実現できることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、これまで水中イメージングに用いられてきた音響反射鏡や音響レンズを通信に応用し、通信相手に狙いを定めて信号をやり取りする仕組みの確立に挑戦した。そして、デジタル通信方式、音響反射鏡、音響レンズの各要素技術を発展・統合させた結果、新しい通信機が通信の長距離化、消費電力削減、マルチユーザ通信が実現できる性能を有していることを明らかにした。本研究が学術的意義を有していることは、研究成果が多数の論文として発表されていることが証明している。また、本研究は小型移動体群による長期間稼働可能な長距離高速同時通信の実現に寄与する点において、社会的な意義を有している。

研究成果の概要（英文）：To realize multi-user mobile underwater acoustic communications, a mirror-lens communication device that exchanges signals by targeting a communication partner was constructed, and its performance was evaluated. As a result, it was found that the communication device using a reflector can reduce the signal power by half compared with existing communication devices, if it can ideally capture and track a moving communication partner. It was also found that the lens-based communication device can realize space division multiple access by avoiding crosstalk between signals coming from different angles.

研究分野：情報通信工学

キーワード：水中音響通信 マルチパス 音響レンズ ドップラー

1. 研究開始当初の背景

水中音響通信は、ロボットの制御、映像伝送、海洋観測データの収集など、海洋の調査・観測を支える基盤技術である。しかし、水中の環境（遅延広がり、および、ドップラー広がり）は陸上よりも遙かに過酷なため、全方向に信号を送信する既存の通信機を用いて、小型移動体群の長期間・長距離同時通信を実現することは容易ではない。どのようにすればそれが実現できるのか、代表者はその問いになる鍵となる技術として、水中の環境に適した小型移動体用モデム、および、特定の方向に音響ビームを形成できるミラーレンズ設計技術を確立してきた。

2. 研究の目的

本研究では、小型移動体群による長期間稼働可能な長距離高速同時通信の実現に寄与できる、通信相手に狙いを定めて信号をやり取りする小型水中通信機を構築することを目的とする。

3. 研究の方法

- (1) これまで確立した要素技術を発展させると共に、それらを基盤にした「小型ミラーレンズ通信機」を構築する。
- (2) 通信機の運用に必要な機能として、移動する通信相手に常にミラーレンズを向ける「捕捉・追尾機構」を確立する。
- (3) 両者を統合することで、通信相手に狙いを定めて信号をやり取りする「スマートミラーレンズ通信機」に発展させ、段階的に検証を繰り返すことで、その完成度を高めていく。

4. 研究成果

(1) 小型ミラーレンズ通信機の構築

① デジタル通信方式の発展

信号を時間—周波数空間にマッピングすることで、水中音響通信路の大きな遅延広がりにも頑健なデジタル通信方式（Orthogonal signal division multiplexing; OSDM）について、ドップラー広がり対策、高速化、および、通信品質の向上を検討した。

第1に、ドップラー対策として、周波数方向にガードバンドを有する Doppler-resilient OSDM (D-OSDM)を提案し、実海域における移動体通信実験を行った。そして、D-OSDM は、既存の Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM)より優れた通信品質を達成することを明らかにした。

第2に、複数の送波器からそれぞれ異なる信号を同時に送信し、複数の受波器で受信することで、信頼性の向上を実現する技術である multi-input multi-output (MIMO)と D-OSDM を組み合わせた MIMO D-OSDM を提案し、実海域における移動体通信実験を行った。そして、MIMO D-OSDM は、既存の MIMO-OFDM より優れた通信品質を達成することを明らかにした。

第3に、D-OSDM 内部で仮定している水中通信路モデルと実際の水中通信路の誤差が通信品質に与える影響を明らかにするとともに、誤差を低減する手法の一つとして窓関数の利用を検討した。そして、実海域における移動体通信実験を行った結果、受信信号に窓関数を適用してから等化処理を行うことで、通信品質を飛躍的に向上できることを明らかにした。

② 音響反射鏡の設計

単一の通信相手に狙いを定めて信号をやり取りするための手段としての音響反射鏡を設計した。

第1に、波動理論を用いて、放物面反射鏡を設計した。

第2に、水中移動体の形状により適合させるため、任意の凸形状の入射面を持つシュミットカメラを最適化手法により設計した。そして、入射面が任意の凸形状の補正板を用いるシュミットカメラが設計できること、入射面の傾角が大きいほど、広い画角を得

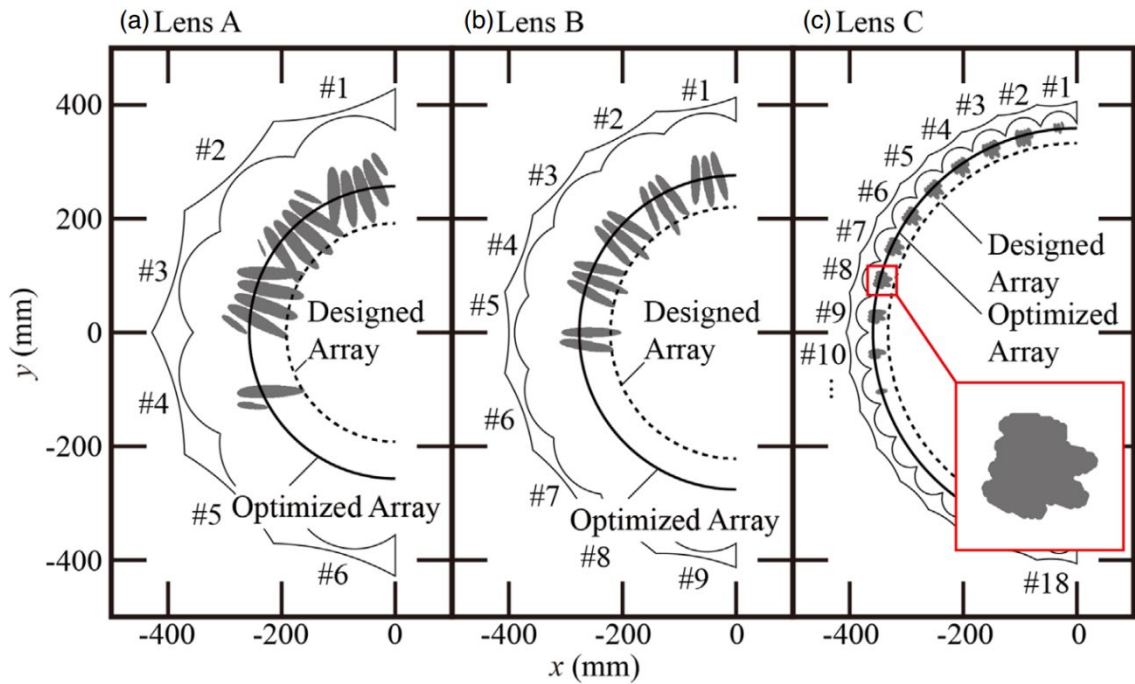


図1：設計した広角複眼レンズの断面図 (Y. Sato *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **60** (2021) SDDF01 から転載). 図中の#1, #2,... は通信セルを現わしており, レンズ A, B, C は各々異なる方向に存在する 6 ユーザ, 9 ユーザ, 18 ユーザと同時に通信できるように設計されている. また, 灰色の領域はレンズの焦点領域を現わしている. 音響レンズは波長に対するレンズの大きさが光学レンズに比べて小さいため, 幾何光学で設計される焦点と, 実際の焦点はずれることが多い. そこで, 波動理論を用いて音波の集束を計算することで, 受波器の最適な位置を設計した.

られる可能性があることを明らかにした.

③ 音響レンズの設計

複数の通信相手に同時に狙いを定めて信号をやり取りするための手段としての音響レンズを設計した.

第1に, 異なる角度から来る信号間のクロストークを回避することにより, 空間分割多重アクセスを達成する可能性を有する広角複眼レンズと hidroホンアレイを幾何学的に設計した (図1).

第2に, よりシンプルな形状のレンズとして, 凹型メニスカスレンズからなる半球型複眼レンズを設計し, 形状の簡素化と水中抵抗の低減を図った.

第3に, 音波が境界面に臨界角を超えて入射すると全反射が起こり, 画角が制限される水中音響レンズの問題を解決するために, エバネッセント場を利用することで, 臨界角を超える画角を持つ薄型レンズを設計した.

(2) 捕捉・追尾機構の確立

前記(1)②で設計した放物面反射鏡を用いた通信を実現するためには, 機械的に反射鏡を通信相手に指向する必要がある. そこで, 送信機と受信機の間で要求・応答信号をやりとりして, その過程で互いの方向を測定し, 反射鏡を指向することで, 通信相手を捕捉・追尾する仕組みを確立した. そして, シミュレーション, および, 実験を通じて, 送信機と受信機が互いの方向を測定し, 反射鏡が指向できることを確認した.

(3) スマートミラーレンズ通信機の構築と実証実験

第1に, 前記(1)②で設計した放物面反射鏡を用いるデジタル通信機を設計し, その性能をシミュレーションによって評価した. その結果, 移動する通信相手を理想的に捕捉・追尾することができれば, 既存通信機と比較して, 信号電力を半減できることを明らかにした. 一方, この仕組みは, 機械的にレンズを通信相手に指向するため, 複数の小型移動体と同時に通信するには, 通信相手と同数のレンズを備えて, 絶えず指向させ続ける必要があることも明らかになった.

第2に, 前記(1)③で設計した広角複眼レンズを用いるデジタル通信機を設計し, 複数

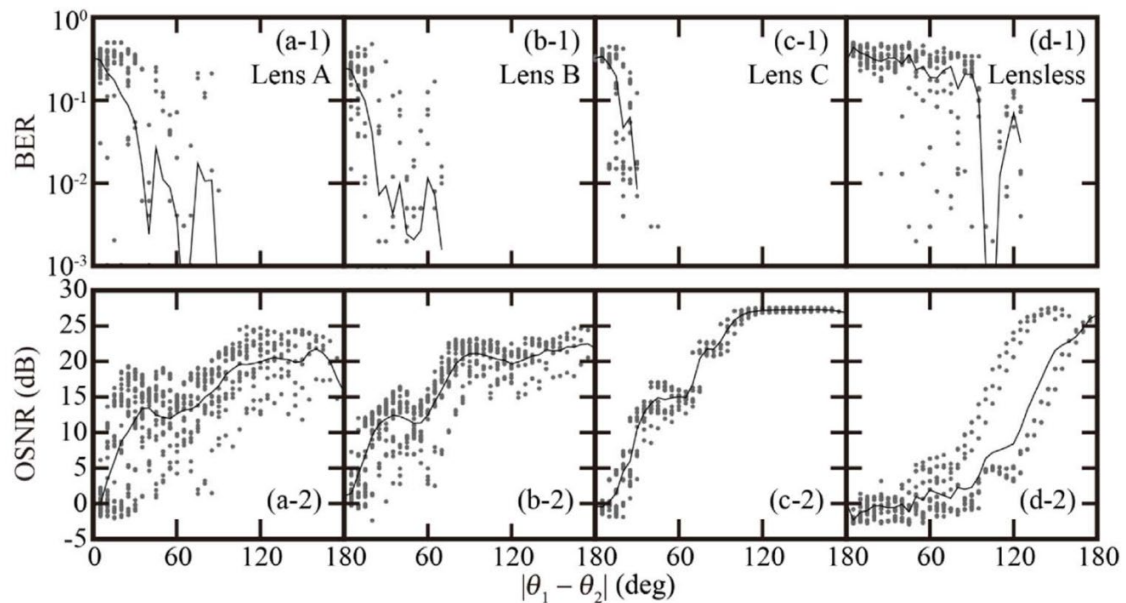


図2：設計した広角複眼レンズを用いた通信シミュレーションの結果 (Y. Sato *et al*, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **60** (2021) SDDF01 から転載). ここでは図1に示されるレンズA, レンズB, レンズC, および, レンズを用いない場合の4通りにおいて, 二つのユーザから同時に信号が到達した場合の通信品質を評価している. グラフの横軸は二つのユーザがなす角度を現わしており, 縦軸は通信品質の指標であるビット誤り率 (bit error rate; BER), および, 出力信号電力対雑音電力比 (output signal-to-noise ratio; OSNR) である. 図から, 広角複眼レンズを用いると, 二つのユーザがなす角度がある程度以上であれば, 信号間のクロストークを回避することができ, 空間分割多重アクセスが達成できることがわかる.

の通信相手と同時に通信できる仕組みを構築し, その性能をシミュレーションで明らかにした. その結果, 広角複眼レンズ通信機は, 複数のユーザと同時に通信してもユーザ間干渉の影響が小さく, 十分な品質で通信出来ることを明らかにした (図2).

第3に, 前記(1)③で設計した半球型複眼レンズを用いるデジタル通信機を設計し, 複数の通信相手と同時に通信できる仕組みを構築し, その性能をシミュレーションで明らかにした. その結果, 半球型複眼レンズ通信機は, 形状の簡素化と水中抵抗の低減を両立しつつ, 既存の平面型複眼レンズとほぼ同等の通信品質を達成できることを明らかにした.

以上の通り, 本研究では, 通信相手に狙いを定めて信号をやり取りする小型水中通信機を実現するために, デジタル通信方式, 音響反射鏡, 音響レンズの各要素技術を発展させた. そして, それらを基盤にした「スマートミラーレンズ通信機」を構築し, シミュレーションや実験を行った結果, 長期間稼働可能な長距離高速同時通信が実現できることを明らかにした.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yoshihara Tohru, Ebihara Tadashi, Mizutani Koichi	4. 巻 79
2. 論文標題 音波の伝搬時間群とデータベース照合を用いたマルチパス環境下における移動体の水中測位実験	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of JSCE	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.22-22012	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Chinone Ryotaro, Ebihara Tadashi, Sato Yuji, Wakatsuki Naoto, Maeda Yuka, and Mizutani Koichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Simulation of Underwater Acoustic Communication Using a Directional Transducer Consisting of Multiple Reflectors	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. RISP Int. Workshop Nonlinear Circuits, Commun. Sig. Process. (NCSP2023)	6. 最初と最後の頁 229 ~ 232
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Waki Takuya, Ebihara Tadashi, Wakatsuki Naoto, Zempo Keiichi, and Mizutani Koichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Measurement of Delay and Doppler Spreads in Shallow Water Environment for Mobile Underwater Acoustic Communication	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. RISP Int. Workshop Nonlinear Circuits, Commun. Sig. Process. (NCSP2023)	6. 最初と最後の頁 233 ~ 236
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoshihara Tohru, Ebihara Tadashi, and Mizutani Koichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Trial Experiment of Positioning of Underwater Backhoe Using Time-of-flight of Acoustic Signal Group and Database Matching for Realization of Unmanned and Remote Underwater Construction	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. Int. Symp. Underwater Tech. (UT23)	6. 最初と最後の頁 263 ~ 267
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tabata Yushi, Ebihara Tadashi, Ogasawara Hanako, Mizutani Koichi, and Wakatsuki Naoto	4. 巻 60
2. 論文標題 Mobile underwater acoustic communication with orthogonal signal division multiplexing under inter-carrier interference larger than a guardband	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 107003 ~ 107003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac27f2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sato Yuji, Ebihara Tadashi, Mizutani Koichi, and Wakatsuki Naoto	4. 巻 61
2. 論文標題 Design of a hemispherical compound eye lens consisting of a concave meniscus for underwater acoustic communication	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SG1017 ~ SG1017
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac4eab	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tabata Yushi, Ebihara Tadashi, Ogasawara Hanako, Wakatsuki Naoto, Zempo Keiichi, and Mizutani Koichi	4. 巻 61
2. 論文標題 Underwater acoustic communication using orthogonal signal division multiplexing with windowing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac51e5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tadashi Ebihara, Yushi Tabata, Hanako Ogasawara, Koichi Mizutani, and Naoto Wakatsuki	4. 巻 -
2. 論文標題 Field testing of underwater acoustic communication using orthogonal signal division multiplexing with time diversity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 27th International Congress on Sound and Vibration (ICSV27)	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoshihara Tohru, Ebihara Tadashi, Mizutani Koichi, and Sato Yuma	4. 巻 61
2. 論文標題 Underwater acoustic positioning in multipath environment using time-of-flight signal group and database matching	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac6a3d	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sato Yuji, Ebihara Tadashi, Mizutani Koichi, and Wakatsuki Naoto	4. 巻 60
2. 論文標題 Design of a wide-angle compound eye acoustic lens system suitable for multi-user underwater acoustic communication	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SDDF01 ~ SDDF01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abf2a6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tabata Yushi, Ebihara Tadashi, Ogasawara Hanako, Mizutani Koichi, and Wakatsuki Naoto	4. 巻 59
2. 論文標題 Improvement of communication quality using compressed sensing in underwater acoustic communication system with orthogonal signal division multiplexing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SKKF04 ~ SKKF04
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab8be5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ebihara Tadashi, Ogasawara Hanako, and Leus Geert	4. 巻 45
2. 論文標題 Underwater Acoustic Communication Using Multiple-Input Multiple-Output Doppler-Resilient Orthogonal Signal Division Multiplexing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Oceanic Engineering	6. 最初と最後の頁 1594 ~ 1610
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JOE.2019.2922094	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ebihara Tadashi, Ogasawara Hanako, Mizutani Koichi, and Wakatsuki Naoto	4. 巻 58
2. 論文標題 Field testing of underwater acoustic communication using Doppler-resilient orthogonal signal division multiplexing in coastal area of Suruga Bay	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SGGF07 ~ SGGF07
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab17cc	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計23件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 茅根涼太郎, 海老原格, 佐藤裕治, 若槻尚斗, 前田祐佳, 水谷孝一
2. 発表標題 パラボラ受信機を用いた反射環境下における水中音響通信シミュレーション
3. 学会等名 第43回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤裕治, 海老原格, 田邊昭子, 水谷孝一, 若槻尚斗
2. 発表標題 広角薄型音響レンズの設計と集束特性
3. 学会等名 第43回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石嶋諒一, 海老原格, 若槻尚斗, 水谷孝一
2. 発表標題 MIMO 水中音響通信における圧縮センシングを用いた通信品質の向上
3. 学会等名 第43回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ebihara Tadashi, Tabata Yushi, Ogasawara Hanako, Mizutani Koichi, and Wakatsuki Naoto
2. 発表標題 Field testing of underwater acoustic communication using orthogonal signal division multiplexing with time diversity
3. 学会等名 27th International Congress on Sound and Vibration (ICSV27) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤裕治, 海老原格, 水谷孝一, 若槻尚斗
2. 発表標題 凹メニスカスで構成される半球殻複眼音響レンズの設計
3. 学会等名 第42回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田端佑至, 海老原格, 小笠原英子, 水谷孝一, 善甫啓一, 若槻尚斗
2. 発表標題 水中音響通信におけるドップラーモデル化誤差が通信品質へ及ぼす影響
3. 学会等名 第42回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉原到, 海老原格, 水谷孝一, 佐藤優磨
2. 発表標題 直達波到達時間群を用いる水中音響測位
3. 学会等名 第42回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 茅根涼太郎, 海老原格, 佐藤裕治, 若槻尚斗, 前田祐佳, 水谷孝一
2. 発表標題 送信機を指向するパラボラ音響受信機による通信品質の向上
3. 学会等名 第42回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤裕治, 海老原格, 水谷孝一, 若槻尚斗
2. 発表標題 フロリナートを用いる球面液体レンズによる水中音響通信の数値計算
3. 学会等名 日本音響学会2021年春季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田邊昭子, 佐藤祐治, 海老原格, 若槻尚斗, 水谷孝一
2. 発表標題 音響レンズを用いた水中通信における入射条件の影響
3. 学会等名 海洋音響学会2020年度研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田端佑至, 海老原格, 小笠原英子, 水谷孝一, 若槻尚斗
2. 発表標題 水中移動体通信における圧縮センシングを用いた通信路推定の最適パラメータ
3. 学会等名 海洋音響学会2020年度研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 茅根涼太郎, 海老原格, 水谷孝一, 若槻尚斗
2. 発表標題 音源方向推定技術を用いて対向させるパラボラ反射鏡を用いる水中音響通信シミュレーション
3. 学会等名 日本音響学会2020年秋季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤裕治, 海老原格, 水谷孝一, 若槻尚斗
2. 発表標題 複眼水中音響レンズの隔壁による性能向上
3. 学会等名 第41回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田端佑至, 海老原格, 小笠原英子, 水谷孝一, 若槻尚斗
2. 発表標題 ガードバンドを超えるドップラーシフトが存在する環境下における水中音響通信
3. 学会等名 第41回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田邊昭子, 佐藤祐治, 海老原格, 若槻尚斗, 水谷孝一
2. 発表標題 エバネッセント波が生ずる楔の音波透過特性
3. 学会等名 第41回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 海老原 格
2. 発表標題 水中音響通信の先端技術
3. 学会等名 海洋音響学会第30回技術講習会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tadashi Ebihara
2. 発表標題 Underwater Acoustic Communication Using Orthogonal Signal Division Multiplexing: An Overview of Challenges and Recent Results
3. 学会等名 Seminar of Institute for Systems and Robotics, Instituto Superior Tecnico, Lisbon University（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤裕治，田邊昭子，茅根涼太郎，海老原格，水谷孝一，若槻尚斗
2. 発表標題 音響レンズを用いる水中通信とその数値解析
3. 学会等名 日本音響学会2019年秋季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤裕治，海老原格，水谷孝一，若槻尚斗
2. 発表標題 広角複眼水中音響レンズの設計
3. 学会等名 第40回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田端佑至, 海老原格, 小笠原英子, 水谷孝一, 若槻尚斗
2. 発表標題 水中移動体通信における圧縮センシングを用いた通信品質の向上
3. 学会等名 第40回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 茅根涼太郎, 青木拓也, 海老原格, 佐藤裕治, 水谷孝一, 若槻尚斗
2. 発表標題 音響反射鏡を用いた水中デジタル音響通信の数値シミュレーション
3. 学会等名 第40回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 茅根涼太郎, 海老原格, 佐藤祐治, 水谷孝一, 若槻尚斗
2. 発表標題 水中デジタル音響通信に用いる反射鏡の設計
3. 学会等名 電子情報通信学会2020年総合大会, 情報・システムソサイエティ特別企画学生ポスターセッション
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田邊昭子, 海老原格, 佐藤祐治, 水谷孝一, 若槻尚斗
2. 発表標題 水中音響レンズに音波が入射した際の多重反射の数値シミュレーション
3. 学会等名 電子情報通信学会2020年総合大会, 情報・システムソサイエティ特別企画学生ポスターセッション
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	若槻 尚斗 (Wakatsuki Naoto) (40294433)	筑波大学・システム情報系・准教授 (12102)	
研究分担者	水谷 孝一 (Mizutani Koichi) (50241790)	筑波大学・システム情報系・研究員 (12102)	
研究分担者	円崎 祐貴 (Enzaki Yuki) (70716472)	武蔵野大学・データサイエンス学部・助教 (32680)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------