

令和 2 年 7 月 8 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06977

研究課題名(和文)位相共役による高速MIMO音響通信、及び、マルチユーザ音響通信に関する研究

研究課題名(英文)Time reversal for high-rate MIMO communication and multi user communication

研究代表者

志村 拓也 (SHIMURA, Takuya)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・研究プラットフォーム運用開発部門・グループリーダー

研究者番号：80359140

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：近年、空中電波通信と同様に、水中音響においてもMIMO通信やマルチユーザ通信の実現が求められている。これを実現する方法として、位相共役波の時空間収束性を利用した空間多重通信が期待できる。本研究では空間分離性能をさらに向上させるため、適応型位相共役通信処理を利用して、水中音響通信環境における空間多重MIMO/マルチユーザ通信への有効性を検証した。シミュレーションでは、通信処理利得の定量的評価を実施し、入力エネルギー利用効率が準最適であることを示した。また、実験データを用いて、従来の空間多重MIMO通信手法であるOFDMによるMIMO通信と比較し、適応型位相共役通信の優位性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年の海洋観測においては自律型探査機やセンサーネットワークなどの研究開発が進んでいる。これらを水中において監視・制御するために、水中音響通信の需要は高まりつつある中で通信速度向上は喫緊の課題といえる。MIMO通信の実現による通信速度高速化は動画や時系列記録のような大容量データの広域・リモート収集を可能にし、観測のリアルタイム性を高め、これまでの海洋観測の在り方を大きく変えることにつながる。

研究成果の概要(英文)：The establishment of high-rate MIMO/multi-user communication using spatial multiplexing are required in underwater acoustic communication(UAC) as well as in-air communications in recent years.

In this research, the effectiveness of time-reversal (TR) communication processing for spatial division multiplexing (SDM) MIMO/multiuser communication in the UAC is investigated. Since the TR wave converges spatiotemporally, it is considered that high spatial separation performance can be achieved. To enhance the spatial resolution of the TR processing, we applied the adaptive TR (ATR) method to SDM. First, we performed a quantitative evaluation of the ATR communication processing in simulation data, and confirmed that the input energy utilization efficiency of ATR processing could achieve suboptimal performance. In experimental results, we confirmed the superiority of adaptive time-reversal communication compared with the conventional SDM method using OFDM modulation.

研究分野：水中音響工学

キーワード：Time Reversal (時間反転) Phase Conjugate (位相共役) 水中音響通信 空間多重通信 MIMO通信  
マルチユーザ通信 ドップラー OFDM

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

## 1. 研究開始当初の背景

水中の音響通信では、①非常に多くのマルチパス波が受信される、②利用可能な周波数帯域幅が非常に狭い、③時間変動の影響(ドップラーシフトの影響)が桁違いに大きいなど、空中における電波通信とは異なる特有の問題がある。こうした問題に対する方法として、位相共役と呼ばれる通信手法が有望であると考えられる。位相共役(Phase Conjugate)とは、時間反転(Time Reversal)とも呼ばれる時間反転処理を用いた信号処理手法の呼称である。従来のビームフォーミングによる処理は、方位を制御しているだけであるが、位相共役による処理では、反射波や屈折波などのマルチパス波が時間空間的に収束するため、非常に鋭い収束が得られる。なお、この収束現象を伝搬路において実際に発生させる手法をアクティブな位相共役(Active Time Reversal)と呼び、それと等価な処理を信号処理上で実現する手法をパッシブな位相共役(Passive Time Reversal)と呼ぶ。海中の音波伝搬路では、前述の通り、空中の電波通信とは大きく異なり、多数のマルチパス波が受信され、それによるシンボル間干渉の影響が非常に大きいため、マルチパス波を収束させて利用する Time Reversal による通信は逆に有効な手段となる。研究代表者らは、Time Reversal と判定帰還型等化器(Decision Feedback Equalizer: DFE)を組み合わせた手法を考案し(Time-Reversal DFE)、数百 km レンジでの Single-Input/Multiple-Output (SIMO: 一入力多出力)による長距離通信の実証研究などを進めてきた。

一方で、水中音響通信の分野でも、高速化のための Multiple-Input/Multiple-Output (MIMO: 多入力多出力)通信や、複数の無人探査機を同時運用するためのマルチユーザ通信に対する要求が高まってきている。MIMO 通信や空間多重方式のマルチユーザ通信では、複数の送波器からの信号が同時に受信されるため、それらの干渉(チャンネル間干渉、ユーザ間干渉)を除去する必要があるが、その手法としても、Time Reversal による通信は有効であると期待できる。中でも、空間多重を実現するための Adaptive Time Reversal という手法があり、これを用いるとチャンネル間干渉/ユーザ間干渉をより抑圧することが可能となる。この Adaptive Time Reversal を用いた MIMO 通信やマルチユーザ通信の研究は、これまでほとんどされたことがない。よって、本研究において、その有用性について検証を行った。

## 2. 研究の目的

上述の通り、Time-Reversal DFE は、マルチパス波が多数受信される水中音響通信に適した方法であると考えられるが、さらに、その収束性を適用して空間多重通信への拡張が可能であるという点も、優位性のひとつと考えられる。空間多重通信は、同じ周波数帯域の信号を複数の送波器から同時に発信して通信を多重化する方法であるが、MIMO 通信によって通信容量を増加するためには、この空間多重通信が必須となる。また、マルチユーザ通信については、時分割多重や周波数分割多重などが確実な方法ではあるが、時間ないし周波数帯域を分割するため、各ユーザの通信速度はユーザ数に応じて低下する。よって、空間多重によって各ユーザの通信速度を落とさずマルチユーザ通信が実現できれば、その方が望ましい。この空間多重通信を実現する方法として、Adaptive Time Reversal という方法があり、これを用いるとチャンネル間干渉/ユーザ間干渉の抑圧効果がさらに高められることが期待されている。

Kim(2001)により、Adaptive Time Reversal の高い干渉除去性能が示されて以来、Song(2010)、Shimura(2012)、Cho(2013)など、水中音響通信における MIMO/マルチユーザ通信への適用が一部で行われており、その有効性を実証する実験結果が報告されている。一方で、Adaptive Time Reversal の干渉除去性能や、Time Reversal そのものの収束性能について、水中音響通信における信号処理利得の観点から定量的に評価した研究例はほとんどない。また、MIMO 通信において広く用いられている OFDM 変調方式を利用した手法などとの比較もあまり行われておらず、これまでの研究例では Adaptive Time Reversal を用いた方式の優位性を示すに至っていない。

本研究では、この Adaptive Time Reversal による MIMO 通信、マルチユーザ通信について、シミュレーションや実験データの解析を基に、その有用性・優位性を検証した。シミュレーションにおいては、波動モデルに基づいた音響伝搬計算結果から通信シミュレーションを実施し、水中音響伝搬路特性と通信信号処理利得の関係についての定量的評価を試みた。また、実験データを用いて既存手法と同一環境における信号処理結果の直接比較を行い、有用性・優位性を検証した。

## 3. 研究の方法

本研究では、シミュレーションや実験データの解析を行って、Adaptive Time Reversal の空間多重通信の性能を検証した。シミュレーションの音波伝搬計算は、波動理論に基づくノーマルモード法を使用した。これにより、Time Reversal の input SNR に対する性能評価、MIMO 通信におけるチャンネル分離性能、移動体の影響を保証するチャンネルトラッキング Time Reversal 通信の評価を行った。また、実験データによる解析では、同様に MIMO 通信のチャンネル分離性能や移動体とのマルチユーザ通信の性能評価を行った。

## 4. 研究成果

### (1) シミュレーションによるパフォーマンス分析

#### ① 多重マルチパス環境に対する利得の定量的評価

Time Reversal DFE による通信利得の定量的評価についての基礎的な検討として、入力エネルギーに対する SIMO 通信における通信信号収束性能を確認した。Time Reversal の原理に基づき、入力マルチパス波を含む全波動場のエネルギー総和であると仮定した場合、すなわち、マルチパス干渉成分のエネルギーをすべて信号処理利得として有効利用すると考えた。図1は、SIMO におけるマルチパス波を含む全入力エネルギー対雑音比と信号処理結果 SNR の

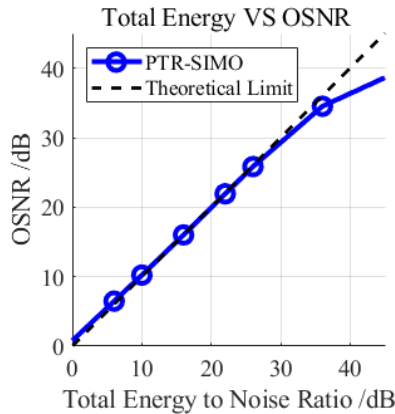


図 1 SIMO における全入力エネルギー対雑音比と処理結果 SNR の関係

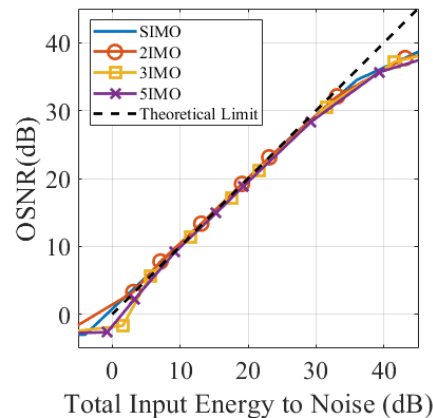


図 2 MIMO における全入力エネルギー対雑音比と処理結果 SNR の関係

関係である。図中の破線は、入力エネルギー対雑音比と処理結果 SNR が一致する理論限界線である。図1が示す通り、処理結果は理論限界線に沿って推移することから、静止条件においては準最適なエネルギー利用効率を達成できることが分かった。また、主に、送受波環境により生じる空間エイリアシングによって不完全な収束波動場が形成される場合に、その最大パフォーマンスは制限されることが分かった。この時の処理利得は、エイリアシングする波動場のパワーを干渉成分として考慮した場合の SINR におおよそ一致する。

同様に、MIMO 通信におけるエネルギー利用効率を確認した(図2)。SIMO 通信の処理結果と 2, 3, 5 とチャンネル数を増やした場合の処理結果はほとんど変化せず、さらに理論限界線に沿って処理結果が推移することが確認できた。MIMO 通信においても、静止条件においては、チャンネル間干渉を抑えて準最適なエネルギー利用効率を達成できることが分かった。また、送受信環境によって、空間分離性能および時間反転波収束性能が変化することが確認できた。空間分離性能は、マルチパス波が極端に少ない場合に、送波器間隔に応じて低周波数の信号からチャンネル間干渉が徐々に生じることで、通信品質に影響を与えることが確認できた。この影響度は、おおよそ相互  $q$ -function の残留干渉成分と自己  $q$ -function のパワー比で評価できることを確認した。位相共役 MIMO 通信においては、マルチパス波が少ない低周波領域においてはチャンネル間干渉、マルチパス波が多い高周波領域においては空間エイリアシングによるパフォーマンス上界を形成することが分かった。

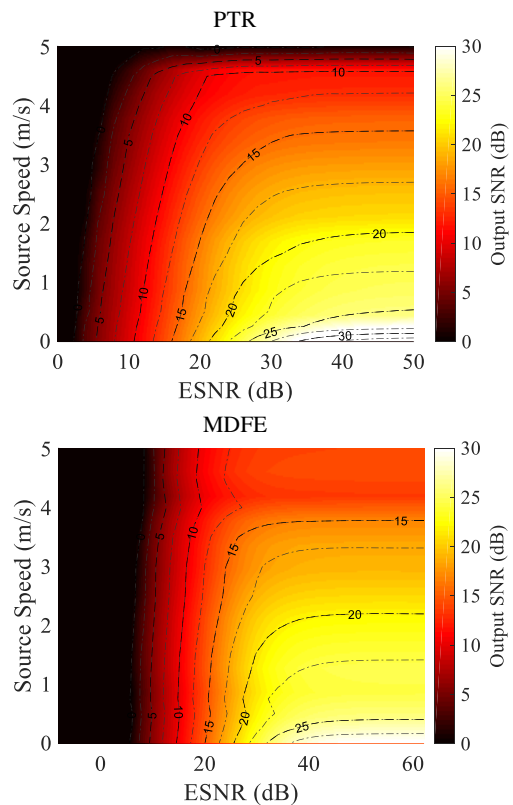


図 3 移動体通信における Time Reversal と MDFE 通信処理結果比較

## ② 時変動伝搬路における性能評価

伝搬路の動的変化を含む評価のために、送波器が水中を最大約 10knot で水平移動する場合の通信パフォーマンスを検討した。比較のために、従来型のシングルキャリア方式等化学手法である MDFE による通信処理も実施した。図3は、通信処理結果 SNR を、入力エネルギー対雑音比と送波器移動速度に対して表示したカラーマップである。送波器が低速で移動する場合、すなわち準静的とみなせる条件においては、位相共役通信は高いエネルギー利用効率を達成し、MDFE を上回る結果となった。一方で、高速で移動する場合には位相共役による収束波形に時変動する残留干渉成分が生じることで、徐々にパフォーマンスが低下し MDFE が優勢となる傾向がわかった。

位相共役処理に伝搬路変動の影響を緩和する手法として、チャンネルトラッキングアルゴリズムを導入した CIR-updating 法を用いた場合の移動体通信シミュレーションデータに対するパフォーマンス分析を実施した(図4)。通常の位相共役通信処理では、通信が破綻するような高速度で移動する送波器からの通信信号に対しても、CIR-updating を

用いることで復調が可能になるだけでなく、マルチパス波のエネルギー利用効率がほとんど低下しないことが確認できた。通常の位相共役処理では、送波器移動速度が高い場合に、逆伝搬処理後の収束が不完全となることで、**q-function** の振幅が大幅に低下し、エネルギーが分散してしまうことが分かった。一方で、**CIR-updating** によりチャンネルレスポンスを逐次推定して位相共役処理を行うことにより、逆伝搬処理後の **q-function** 特性が一定に保たれるため、高いエネルギー利用効率が達成できることが分かった。

(2) 実験データによる検証

① 仮想アレイ方式による MIMO 通信の検証

駿河湾において計測した実データを用いて、仮想アレイ方式による MIMO 通信の検証を行った。図5に、音速プロファイルと送波器、受波アレイの位置を示す。送波器は、中心周波数 500Hz、送波レベル約 200dB の低周波音源を用い、これを調査船から吊下し、深度を変えて発信を繰り返した。この信号を、20 チャンネル、受波器間隔 6m の受波アレイで受信し、各送波器深度からの信号を加算して MIMO 通信の信号を模擬して評価した。図6は、加算するチャンネル数、すなわち、MIMO の送信チャンネル数を 4 とし、その深度を変化させたときの復調結果である。Adaptive Time-Reversal DFE (図中 ATR) による結果は、深度に依らず安定しており、また、比較のために行った OFDM による MIMO (ZF-OFDM-MIMO) よりも高い output SNR となっている。図7は、加算するチャンネル数を増加させて、何チャンネルまで分離できるかを検証した結果である。仮想アレイ方式であるため、加算数に応じて受信 SNR が低下するため、復調成績も低下しているが、同じ条件で比較した OFDM よりも Adaptive Time-Reversal DFE の方が、output SNR は 8dB ほど高く、ビットエラーも 8 チャンネルまで加算しても発生していない。

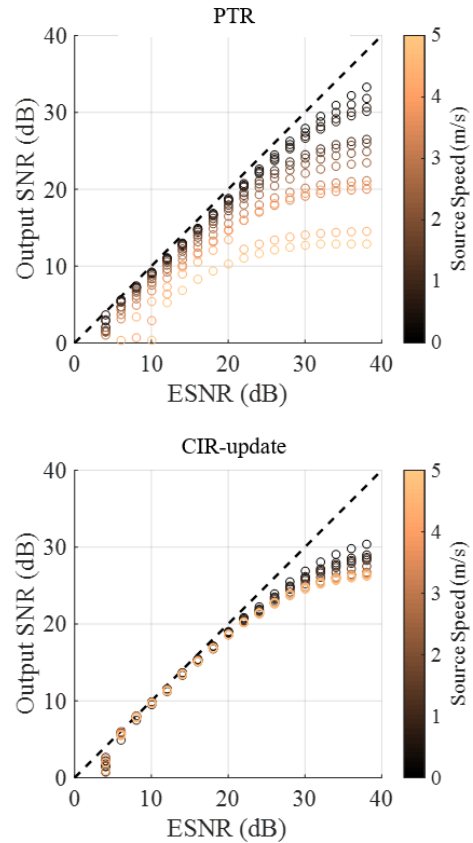


図 4 移動体通信における Time Reversal と CIR-updating 結果比較

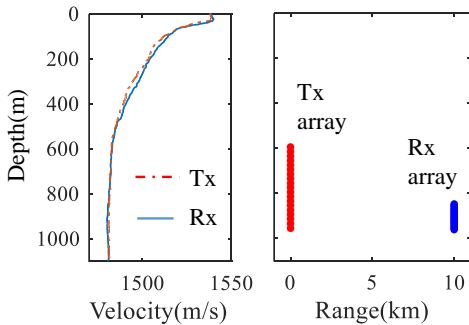


図 5 音速プロファイルとアレイ配置

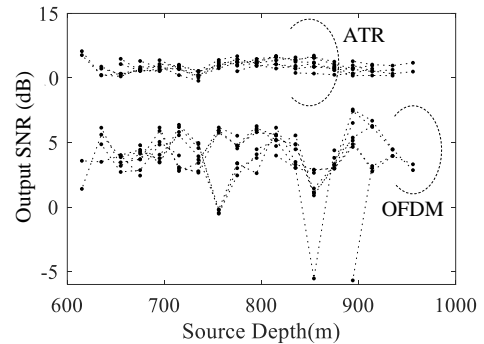


図 6 4chMIMO の解析結果

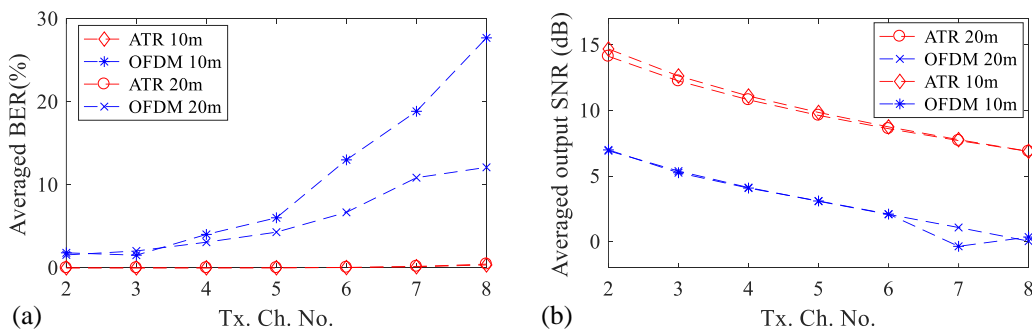


図 7 MIMO の送信チャンネル数に対する結果の比較



## ② MIMO 通信の水槽試験

①と同様に、OFDM による MIMO 通信との比較を水槽試験で行った。この水槽試験では、図8に示すような指向性の鋭い送波器を用いて、横の壁からの反射を抑圧し、送波点と受波点を含む垂直平面内での伝搬路での検証を可能にした。Adaptive Passive Time-Reversal DFE による試験では、中心周波数 70 kHz、使用帯域幅 20kHz、シンボルレート 20kS/s、16 Quadrature Amplitude Modulation (QAM) で変調をかけた信号を送信した。一方、OFDM による試験では、同じ周波数帯域において 2048 のサブキャリア数で、QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) の変調をかけた信号を送信した。図9に試験結果を示す。OFDM の結果を見ると、チャンネル数が 1、すなわち SIMO の場合には、非常に良好な結果が得られているが、2 チャンネル以上になると成績が悪化し、QPSK でも 3 チャンネル以上ではエラーが発生している。一方、Adaptive Passive Time-Reversal DFE では、チャンネル数を増やしても成績が低下せず、エラーも発生していない。このとき Adaptive Passive Time-Reversal DFE では、16QAM (80kbps) で 5 チャンネルの MIMO 通信がエラーフリーでできていることから、 $400\text{kbps}/24\text{kHz}=16.7\text{bps/Hz}$  ( $3.34\text{bps/Hz/ch}$ ) という周波数利用効率を達成していることになる。水中音響通信における MIMO 通信の研究例では、OFDM を用いたもの[Baosheng et al., 2008]、Space-Time Trellis Codes (STTCs) を用いたもの[Roy et al., 2007]、Space-Time Bit-Interleaved Coded Modulation (ST-BICM) を用いたもの[Bouvet et al., 2017]、ターボ等化を用いたもの[Pelekanakis et al., 2011]などがあるが、これらの周波数利用効率は、 $1\sim 4\text{bps/Hz}$  にとどまっており、チャンネルあたりの周波数利用効率はいずれも  $1.0\text{bps/Hz/ch}$  以下である。よって、Adaptive Passive Time-Reversal DFE を用いれば、従来手法を上回る利用効率で MIMO による高速通信が確立できると期待される。

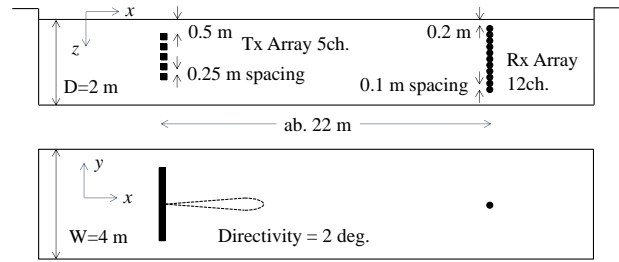


図8 水槽試験概略図

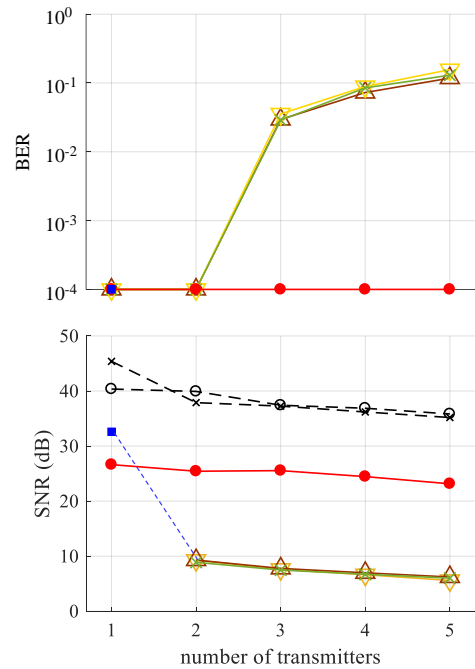


図9 水槽試験結果

## ③ 移動体とのマルチユーザ通信の実海域試験

①で用いたものと同じ送波器、受波アレイを用いて、Adaptive Passive Time-Reversal DFE による移動体とのマルチユーザ通信の実海域試験を行った。図9に示すように、水深約 1,000m の海域で、受波アレイを係留設置し、10km 離れた地点に、1 台の送波器を係留設置、もう 1 台の送波器を調査船から曳航して行った。図10に試験結果を示す。図の横軸は調査船の移動速度で、縦軸に Output SNR を示してある。図中、Multi と示されているのは、2 つの送波器から同時に発信した信号を処理した結果、すなわち、マルチユーザ通信の処理結果で、Single と示されているのは、移動する送波器からのみ発信した場合の結果、すなわち、シングルユーザ通信の処理結果である。これらを比較すると、マルチユーザ通信の信号を Adaptive Passive Time-Reversal DFE によって処理した結果は、シングルユーザ通信の信号を Passive Time-Reversal DFE で処理した結果とほぼ同じとなっていることから、ユーザ間干渉をほぼ抑圧していると考えられる。また、移動速度に対して、多少の乱れはあるものの大きさは依存しておらず、Adaptive Passive Time-Reversal DFE によって、移動体とのマルチユーザ通信を安定して実現できることが示された。なお、この試験において、OFDM によるマルチユーザ通信も試みたが、同程度の周波数利用効率で構成した信号では、比較検証できるような復調結果を得ることができなかった。

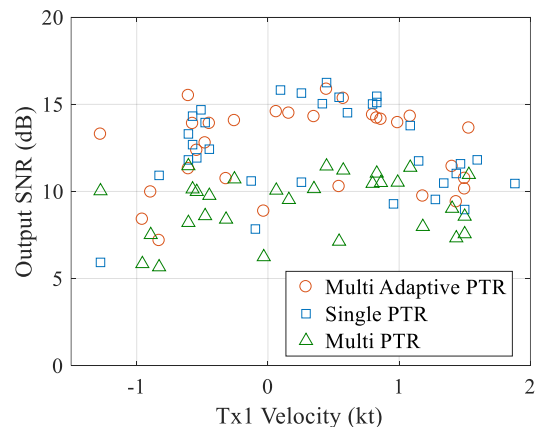


図10 実海域試験結果

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Takuya Shimura, Yukihiro Kida, Mitsuyasu Deguchi and Yoshitaka Watanabe	4. 巻 57
2. 論文標題 Multiuser communication using adaptive time reversal with moving transmitter	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 07LC07-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.7567/JJAP.57.07LC07">https://doi.org/10.7567/JJAP.57.07LC07</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Yukihiro Kida, Mitsuyasu Deguchi and Takuya Shimura	4. 巻 57
2. 論文標題 Evaluation of effects of multipath and co-channel interference on time reversal multiple-input/multiple-output in underwater acoustic channel	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 07-LG01-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.7567/JJAP.57.07LG01">https://doi.org/10.7567/JJAP.57.07LG01</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 志村拓也	4. 巻 75
2. 論文標題 【解説記事】Time Reversalによる海中音響通信 - マルチユーザ通信, MIMO通信への適用 -	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本音響学会誌	6. 最初と最後の頁 17-22
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 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Takuya Shimura, Yukihiro Kida, Mitsuyasu Deguchi, Yoshitaka Watanabe, Hiroshi Ochi	4. 巻 56
2. 論文標題 Experimental study on multiple-input/multiple-output communication with time reversal in deep ocean	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 07JG03-1 - 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.7567/JJAP.56.07JG03">https://doi.org/10.7567/JJAP.56.07JG03</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yukihiro Kida, Takuya Shimura, Mitsuyasu Deguchi, Yoshitaka Watanabe, Hiroshi Ochi and Koji Meguro	4. 巻 56
2. 論文標題 Performance analysis of passive time reversal communication technique for multipath interference in shallow sea acoustic channel	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 07JG04-1 - 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.7567/JJAP.56.07JG04">https://doi.org/10.7567/JJAP.56.07JG04</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takuya Shimura, Yukihiro Kida, Mitsuyasu Deguchi	4. 巻 141
2. 論文標題 Vertical multiuser communication using adaptive time reversal	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Journal of the Acoustical Society of America	6. 最初と最後の頁 3990
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1121/1.4989135">https://doi.org/10.1121/1.4989135</a>	査読の有無 無
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 Kida Yukihiro, Deguchi Mitsuyasu, Shimura Takuya	4. 巻 59
2. 論文標題 Investigation of a channel tracking based time reversal processing for underwater acoustic communication	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SKKF01 ~ SKKF01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.35848/1347-4065/ab7f1d">https://doi.org/10.35848/1347-4065/ab7f1d</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kida Yukihiro, Shimura Takuya, Deguchi Mitsuyasu	4. 巻 58
2. 論文標題 The relationship of time-reversal and multi-channel decision feedback equalization in underwater acoustic communication	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SGGF03 ~ SGGF03
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.7567/1347-4065/ab0fff">https://doi.org/10.7567/1347-4065/ab0fff</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計24件(うち招待講演 0件/うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Takuya Shimura, Yukihiro Kida, Mitsuyasu Deguchi and Yoshitaka Watanabe
2. 発表標題 Effect of transmitter movement on multiuser communication with time reversal
3. 学会等名 2018 Proceedings of Meeting of the Marine Acoustics Society of Japan
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 樹田行弘、出口充康、志村拓也
2. 発表標題 水中音響位相共役MIMO通信とマルチパス・チャンネル間干渉
3. 学会等名 海洋音響学会2018年度研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Multiuser Communication with Adaptive Time Reversal under Doppler Effect
2. 発表標題 Takuya SHIMURA, Yukihiro KIDA, and Mitsuyasu DEGUCHI
3. 学会等名 MTS/IEE OCEANS, Kobe, 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yukihiro Kida, Mitsuyasu Deguchi, Takuya Shimura
2. 発表標題 The Effects of Interferences on Time Reversal MIMO: An Evaluation of Multipath and Co-Channel Interference
3. 学会等名 MTS/IEE OCEANS, Kobe, 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Takuya Shimura, Yukihiro Kida and Mitsuyasu Deguchi
2. 発表標題 Demonstration of high rate MIMO communication with adaptive time reversal in tank experiment
3. 学会等名 The 38th Symposium on UltraSonic Electronics (USE2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 樹田行弘、出口充康、志村拓也
2. 発表標題 水中音響位相共役MIMO通信とマルチパス・チャンネル間干渉
3. 学会等名 The 38th Symposium on UltraSonic Electronics (USE2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takuya Shimura, Yukihiro Kida, Mitsuyasu Deguchi
2. 発表標題 Basic research on MIMO underwater communication using adaptive time reversal
3. 学会等名 OCEANS 2017 - Aberdeen (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takuya Shimura, Yukihiro Kida, Mitsuyasu Deguchi
2. 発表標題 Vertical multiuser communication using adaptive time reversal
3. 学会等名 Acoustics '17 Boston (The 3rd Joint Meeting of the Acoustical Society of America and the European Acoustics Association) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 志村拓也, 出口充康, 樹田行弘, 渡邊佳孝
2. 発表標題 Time reversal for multiuser and MIMO communication
3. 学会等名 海洋音響学会2017年度研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 樹田行弘, 出口充康, 志村拓也
2. 発表標題 浅海域音響伝搬路における多重反射波干渉に対するTime Reversal通信の機能分析
3. 学会等名 海洋音響学会2017年度研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yukihiro Kida, Mitsuyasu Deguchi, Takuya Shimura
2. 発表標題 Evaluation of effects of multipath and co-channel interference on time reversal MIMO in underwater acoustic channel
3. 学会等名 The 38th Symposium on UltraSonic Electronics (USE2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takuya Shimura, Yukihiro Kida, Mitsuyasu Deguchi, Yoshitaka Watanabe
2. 発表標題 Multiuser communication with moving targets using adaptive time reversal
3. 学会等名 The 38th Symposium on UltraSonic Electronics (USE2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takuya Shimura, Yukihiro Kida, Mitsuyasu Deguchi
2. 発表標題 MIMO communication with adaptive time reversal
3. 学会等名 4th Underwater Acoustics Conference and Exhibition (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yukihiro Kida, Mitsuyasu Deguchi, Takuya Shimura
2. 発表標題 Relationship between multipath interference and performance of passive time reversal communication in shallow water
3. 学会等名 4th Underwater Acoustics Conference and Exhibition (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 志村拓也, 樹田行弘, 出口充康
2. 発表標題 Time Reversalによる空間多重水中音響通信の研究～高速MIMO通信、マルチユーザ通信への適用～
3. 学会等名 ブルーアースサイエンス・テク2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 樹田行弘, 志村拓也, 出口充康
2. 発表標題 水中音響位相共役通信の多重反射干渉に対する機能分析
3. 学会等名 ブルーアースサイエンス・テク2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 志村拓也, 樹田行弘, 出口充康
2. 発表標題 Time reversalによる水中音響通信の研究 ~ 空間多重通信への適用とOFDMとの性能比較 ~
3. 学会等名 電子情報通信学会 超音波研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 志村拓也, 出口充康, 樹田行弘
2. 発表標題 Time Reversal による水中音響MIMO 通信の研究
3. 学会等名 2019 年電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ/NOLTAソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 志村拓也, 出口充康, 樹田行弘, 渡邊佳孝
2. 発表標題 高速水中音響通信の研究開発 ~ Time ReversalによるMIMO通信の研究、しんかい16500搭載音響通信装置の開発 ~
3. 学会等名 電子情報通信学会 超音波研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yukihiro Kida, Mitsuyasu Deguchi, Takuya Shimura
2. 発表標題 Investigation of a channel tracking based time reversal processing for underwater acoustic communication
3. 学会等名 The 40th Symposium on Ultra Sonic Electronics(USE2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 志村拓也, 出口充康, 樹田行弘
2. 発表標題 Time-Reversal DFEによる水中音響通信の研究 - MIMO通信、マルチユーザ通信への応用 -
3. 学会等名 電子情報通信学会 AP-RCS研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuya Shimura, Yukihiro Kida, Mitsuyasu Deguchi
2. 発表標題 High-rate underwater acoustic multiple-input/multiple-output communication with adaptive time reversal
3. 学会等名 2019 International Congress on Ultrasonics (ICU2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yukihiro Kida, Mitsuyasu Deguchi, Takuya Shimura
2. 発表標題 A TANK EXPERIMENT OF UNDERWATER ACOUSTIC MIMO COMMUNICATION USING TIME REVERSAL
3. 学会等名 5th Underwater Acoustics Conference & Exhibition (UACE2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 樹田行弘, 出口充康, 志村拓也
2. 発表標題 位相共役通信とマルチチャンネルDFEの移動体水中音響水平方向通信における比較
3. 学会等名 海洋音響学会 春季講演会
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	樹田 行弘  (KIDA Yukihiko)  (60725646)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・研究プラットフォーム 運用開発部門・技術副主任    (82706)	