

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 4月12日現在

機関番号：12102

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22860010

研究課題名（和文） マルチパス測定型水中音響多重通信に関する基礎研究

研究課題名（英文） Basic Study on Underwater Acoustic Communication using Multiplexing Technique with Multipath Measurement

研究代表者

海老原 格 (EBIHARA TADASHI)

筑波大学・システム情報系・助教

研究者番号：80581602

研究成果の概要（和文）：

マルチパスやドップラー効果の影響が顕著な環境である浅海域で安定した音響通信を実現するために、これまで主に理論やシミュレーションで評価されてきた直交信号分割多重(OSDM)の性能を実験により確認するとともに、ドップラーシフトに対する対策を検討した。OSDMにドップラーシフト補償法を適用し、通信性能をシミュレーションならびに水槽実験で確認した結果、マルチパスとドップラー Spredd の影響が顕著な環境下でも安定した水中音響通信が実現可能な見通しを得た。

研究成果の概要（英文）：

Underwater acoustic (UWA) communication in shallow water is still challenging owing to the effects of multipaths and Doppler shift. To conduct reliable communication in shallow water, performance of UWA communication using orthogonal signal division multiplexing (OSDM) with Doppler shift correction method is considered. From both simulation and test-tank experiment, UWA communication using OSDM is found to work effectively in the UWA channel in which the effects of multipaths and Doppler shift are large.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,260,000	378,000	1,638,000
2011年度	1,160,000	348,000	1,508,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,420,000	726,000	3,146,000

研究分野：情報通信工学

科研費の分科・細目：船舶海洋工学

キーワード：水中音響，情報通信工学

## 1. 研究開始当初の背景

音波を用いてワイヤレスに情報を伝送する水中音響通信は様々な分野で利用されている基幹技術である。特にマルチパスやドップラー効果の影響が顕著な環境である浅海域での音響通信は水中ロボットの制御，海洋

工事の際の映像伝送，海洋生物モニタリング等への需要がある一方で，安定した通信の実現が難しいことで知られている。

申請者らは通信方式の一つである直交信号分割多重(OSDM)を浅海域における水中音響通信に適用することを提案してきた。当該

方式はマルチパスの測定とメッセージの伝送を同時に行うことを特徴とする。OSDMを用いる水中音響通信は、従来の水中音響通信と比較すると重いマルチパスに対して頑健である一方、ドップラーシフトには弱いことが明らかになっている。

## 2. 研究の目的

本研究はこれまで主にシミュレーションで評価されてきた OSDM の性能を実験により確認するとともに、ドップラーシフトに対する対策を検討する。

## 3. 研究の方法

(1) ドップラーシフトに対する対策を検討する。これまで提案されてきたドップラーシフト補償法を OSDM に適用することで、OSDM の問題点であったドップラーシフトによる性能低下を抑制することを試みる。そこでまずシミュレーションによりドップラーシフト補償法の効果を確認する。

(2) 水槽実験により OSDM を用いる水中音響通信の性能を確認する。ここでは送受波器（水中音響トランスデューサ）が固定されている場合と送波器が移動する場合それぞれにおいて水中音響通信を行う。前者は OSDM のマルチパスに対する頑健性を、後者はドップラーシフトの OSDM に対する影響の確認を目的としている。

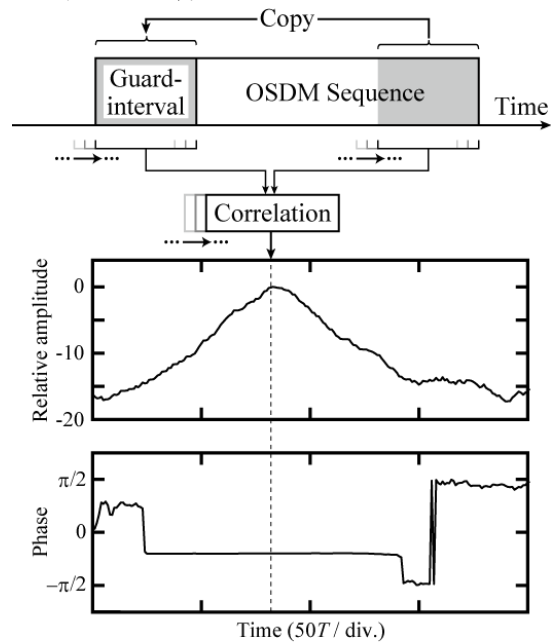
## 4. 研究成果

### 【2010 年度の成果】

2010 年度はドップラーシフトに対する対策を検討し、その効果をシミュレーションにより検討した。ドップラーシフトが小さな環境において正しくデータ伝送が行うために、直交周波数分割多重(OFDM)で提案されているドップラーシフト補償法(図1)を OSDM に適用した。当該方式は受信系列の位相回転を求めることでドップラーシフトを補償するもので、少ない計算コストでドップラーシフトを補償できるものの、位相回転が $\pm\pi$ を超えるドップラーシフトは補償できない。水中音響通信では受信機が数ノットで移動するだけで位相回転が $\pm\pi$ を超えてしまうことから、より大きなドップラーシフトに対応するために先のドップラーシフト補償法を拡張した(図2)。その結果、実用上想定されるドップラーシフト環境で正しくデータ伝送が行えることが確認された(図3)。

また、マルチパス環境ではフレーム同期が正しく行えないという問題が新たに明らかになった。そこで、この問題を解決するために OSDM で用いるパイロット信号を指標としたフレーム同期法を提案し、先のドップラーシフト補償法と組み合わせることで、ドップラーシフトに弱いというマルチパス

測定型水中音響多重通信の問題点が解決できる見込みを得た。



T: Time allocated to each complex symbol (symbol rate)

図1: OFDMで提案されているドップラーシフト補償法

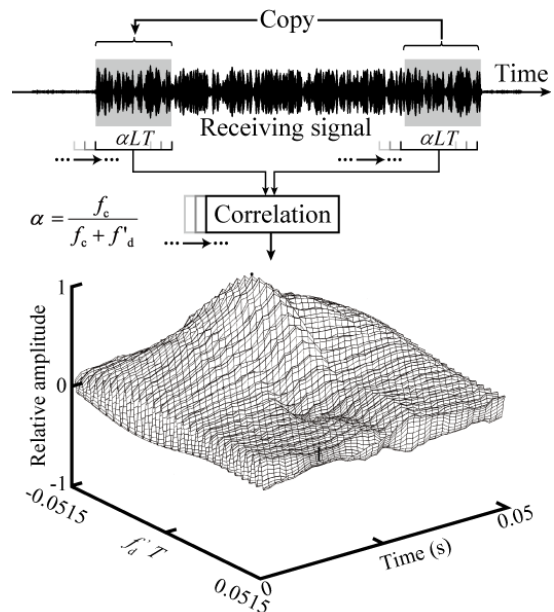


図2: 拡張されたドップラーシフト補償法

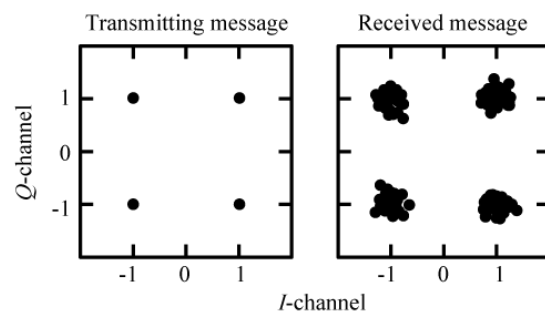


図3：ドップラーシフト環境におけるデータ伝送結果（シミュレーション）

【2011年度の成果】

2011年度は2010年度に検討されたドップラーシフト補償法をOSDMに適用し、水槽実験によりその効果を確認した。まず実験水槽内に送受波器を固定し、水中音響通信を行った（図4）。その結果、時間長にして10msを超える重いマルチパス環境においてもOSDMを用いることで正しくメッセージが伝送できることを確認した。次に送波器が移動させることで、マルチパスとドップラーシフトが混在する環境での水中音響通信を行った。その結果、前年度に検討したドップラーシフト補償法が有効に機能することを確認した（図5）。

この実験では信号長を様々に変化させながら通信を行ったが、条件によっては伝送品質が劣化することが確認された。これは伝送路の時変動によるドップラースプレッドに起因する。従来のOSDMに関する研究は、その多くが通信路は静的であると仮定していることから、ドップラースプレッドの影響について検討を行った。ドップラースプレッドの大きさに対する通信品質の関係をシミュレーションと実験により確認した。そして、信号長を可能な限り短くすることで重いマルチパスとドップラースプレッドの影響が顕著な環境下でも、OSDMによる水中音響通信が実現可能な見通しを得た。

本研究の成果は、直接的にはマルチパスやドップラー効果の影響が顕著な環境である浅海域において、新しい水中音響通信方式を提供したことにある。これにより、無人探査機や海底に設置された各種センサからの情報伝送に水中音響通信を利用できる範囲を大きく広げることが出来るものと信じている。また、本研究の成果は、間接的には電波無線通信分野などにも貢献できる。OSDMはモバイル情報通信向けに開発された方式であるが、実際に通信実験を行った例は正解的に見てもあまり見られない。本研究の成果はOSDMの通信性能に関して実験に基づく知見を与えることが出来ることから、水中音響通信のみならず、電波無線通信の関連研究者にも参考となる知見を与えることが出来るものと信じている。



図4：実験水槽

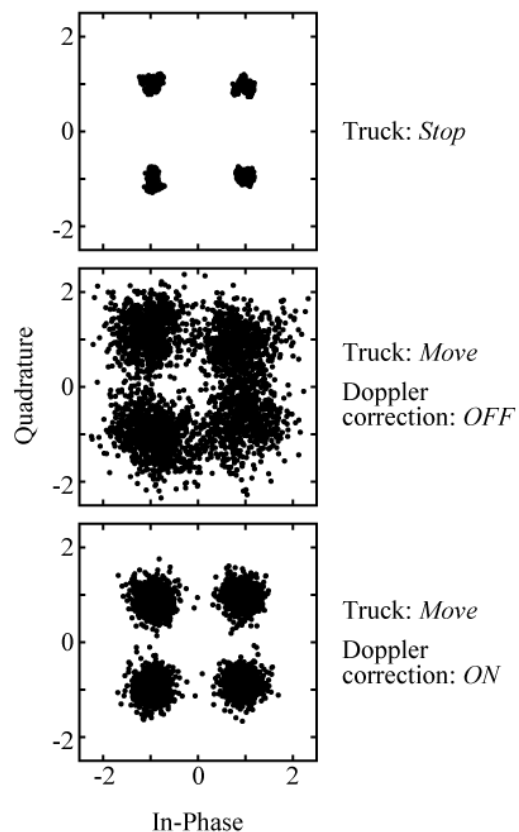


図5：実験結果の一例

（上段：ドップラーシフトなし，  
中段：ドップラーシフトあり・補償なし，  
下段：ドップラーシフトあり，補償あり）

## 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3件)

- ① T. Ebihara and K. Mizutani: Experimental study of Doppler effect for underwater acoustic communication using orthogonal signal division multiplexing, Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, (掲載確定).
- ② T. Ebihara and K. Mizutani: Study of Doppler Shift Correction for Underwater Acoustic Communication using Orthogonal Signal Division Multiplexing, Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, Vol.50, No.7, pp. 07HG06\_1-07HG06\_8 (2011).
- ③ 海老原格, 水谷圭一: マルチパス測定型水中音響多重通信とドップラーシフト補償 -水中での安定したデータ伝送を目指して-, 超音波テクノ, 査読無, Vol.23, No.6, pp.85-89 (2011) [解説論文].

[学会発表] (計3件)

- ① 海老原格, 水谷圭一: ドップラーシフト環境における直交信号分割多重を用いる水中音響通信の実証実験, 第32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, 2011年11月10日, 京都大学(京都府).
- ② T. Ebihara and K. Mizutani: Evaluation of Underwater Acoustic Communication with an Orthogonal Signal Division Multiplexing in Test-tank, Pacific Rim Underwater Acoustic Conference (PRUAC), 2011年10月6日, 済州(韓国).
- ③ 海老原格, 水谷圭一: 直交信号分割多重を用いる水中音響通信におけるドップラーシフト補償, 第31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, 2010年12月7日, 明治大学(東京都).

[その他]

- ① 海老原格: マルチパス測定型水中音響多重通信システム, イノベーション・ジャパン 2011-大学見本市, 独立行政法人科学技術振興機構、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構主催, I-05, 情報通信 (2011).
- ② 海老原格: 直交信号分割多重を用いた水中音響通信の造波水槽による実証実験, 平成23年度筑波大学陸域環境研究センター年次研究報告会一般研究発表, ポスター番号12 (2012).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

海老原 格 (EBIHARA TADASHI)

筑波大学・システム情報系・助教

研究者番号: 80581602