

# 海洋ロボットやダイバー安全確保のための、海中無線通信エリア構築に関する研究 (16771111)

## A Study of Network System for Underwater Acoustic Communication

### 研究代表者

鈴木大作 沖縄工業高等専門学校<sup>†</sup> 情報工学科  
Taisaku Suzuki Dep. of Media Information Engineering,  
National Institute of Technology, Okinawa College

### 研究分担者

和田知久<sup>†</sup> 金城篤史<sup>††</sup> 武村史朗<sup>†††</sup>  
Tomohisa Wada<sup>†</sup> Atsushi Kinjo<sup>††</sup> Fumiaki Takemura<sup>†††</sup>  
<sup>†</sup>琉球大学工学部工学科 <sup>††</sup>沖縄工業高等専門学校<sup>†</sup> 情報工学科 <sup>†††</sup>沖縄工業高等専門学校機械システム工  
学科

<sup>†</sup>Dep. of Engineering, Area of Computer Science and Intelligent Systems University of the Ryukyus

<sup>††</sup>Dep. of Media Information Engineering, National Institute of Technology, Okinawa College

<sup>†††</sup>Dep. of Mechanical Systems Engineering, National Institute of Technology, Okinawa College

研究期間 平成 28 年度～平成 30 年度

### 概要

近年、周囲を海に囲まれた日本の海洋開発が重要視されつつある。エネルギー・鉱物資源などの海底資源の探索や調査、漁業での効率的な海洋生物養殖など、様々な海洋資源開発が期待される。また、サンゴ礁などの環境調査・保護や、マリンスポーツにおける安全性の確保などが重要である。本研究では、数 100 メートル規模の海中エリアに対して、超音波通信によるワイヤレス LAN のような無線通信エリアを構築することで、従来有線でコントロールしていたロボットコントロールを無線で可能にし、またダイバーの安全情報の母船でのモニター、海洋探査ロボットからの映像情報の母船での受信などを可能とし、海洋ロボット関連の新産業創造創出への貢献やマリンスポーツのさらなる振興等を目指す。

### 1. まえがき

探査船（基地局）と AUV/ROV 等の海洋ロボット等（端末）や、海上のボート（基地局）と、潜水士などの海中ユーザ（端末）間で、ダウンリンク DL とアップリンク UL の双方向通信および、複数ユーザをサポートする海中無線通信エリアの構築に関する研究開発を行う

### 2. 研究開発内容及び成果

平成 30 年度において構築した実験システムの概要を図 1 に示す。本システムは、水中で移動しながら通信を行うことが可能な端末局（UE）と、複数の端末を収容し通信を行うことが可能な基地局（BS）より構成される。

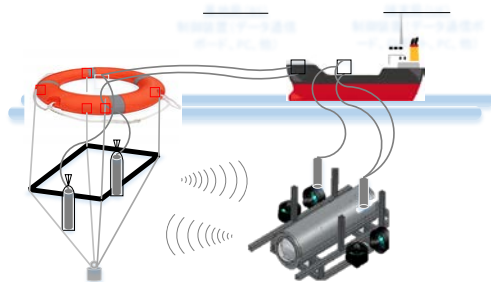


図1 実験システムの概要

基地局は、水面付近に位置するようにするために、送受信用トランスデューサを浮環に結びつけ設置した。データ通信制御処理を行うためのリアルタイム信号処理装置やロボット制御用 PC などは、浸水による機器破損のリスクを回避するために水上の船舶上に設置したが、実際の事業化の際には水中での一体型のシステムとなる予定である。端末局の海洋ロボットは、4つのスラスターを搭載し、前後進、左右回転、潜行浮上の動作が可能である。動作に必要な制御は、船上の PC より基地局に接続されたリアルタイム信号処理装置を介し、コマンドを送出することにより

行う。海洋ロボットには、DL（Down Link）受信用トランスデューサ 1 本と、UL（Up Link）送信用トランスデューサ 1 本が接続されており、基地局同様にリアルタイム信号処理装置や電源などは船舶上に設置している。海洋ロボットの内部には水中の画像を撮影するためのカメラを内蔵し、スラスターの制御なども併せてシングルボードコンピュータにより処理を行っている。

本システムでは、水中無線通信エリアを構築するために、超音波帯域を使用した OFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing）変調方式を採用している。本システムでの通信システムパラメータを表 1 に示す。

表1 通信システムパラメータ一覧

SC-FDM Parameters	Value
TX-RX Elements	1 TX and 1 RX Transducer
Sampling Frequency	102.4 ksp/s
TX Center Frequency	32000 Hz
Band Width	32000 Hz
FFT Size	2048
OFDM symbol length T	20 ms (2048 points)
GI length Tg	5 ms (512 points)
Effective Symbol length Tu=T+Tg	25 ms (2560 points)
Chirp Signal Length	20 ms (2048 points)
Guard Time between DL/UL packet	55 ms (5632 points)
Sub Carrier Spacing	50 Hz
Number of Sub Carrier	641
DFT precoder size	321 for SP symbol and 41 for CP symbol
Pilot	Zadoff-Chu, NzC= 85 and 13

本実験システムにおいて基地局端末局間で双方向にデータ通信を実現するための同期方法について図 2 に示す。本システムでは基地局と端末間のデータ多重方式は、TDD（Time Division Duplexing）方式による。TDD フレームでは、DL、UL1（端末 1）のそれぞれにおいて Sync Sub Frame と（同期用サブフレーム）と Data Sub Frame（データ用サブフレーム）により構成され、基地局端末間は Sync Sub Frame の先頭にある Chirp 信号によりタイ

ミングの同期を行う。なお、今回の実装では UL は 1 つの端末で占有しているが、タイムスロットを複数とすることにより端末を複数台収容することも可能となる。

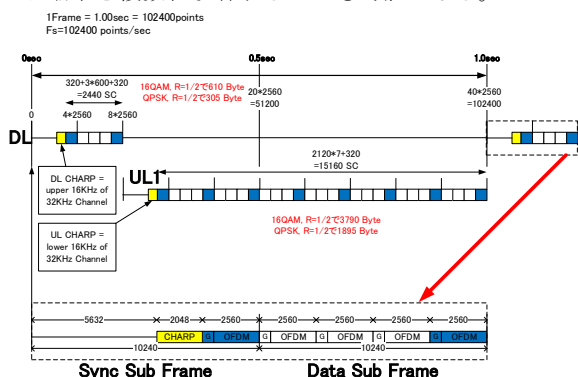


図 2 基地局端末局間同期方式の概要  
構築した実験システムを用いた海洋実験の風景を図 3 に示す。左図は船上に設置した基地局および端末局用リアルタイム信号処理装置や制御用 PC である。右図は、海面に設置した基地局と水面から投入した海洋ロボットの様子である。

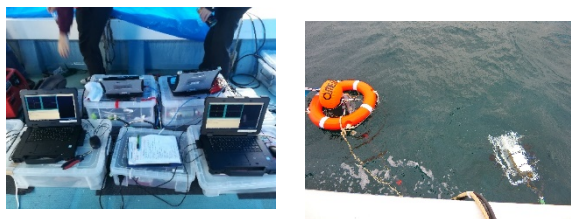


図 3 実験システムを用いた海洋実験の様子

図 4 の左図は船上の PC より無線操縦し潜行している海洋ロボットの様子である。

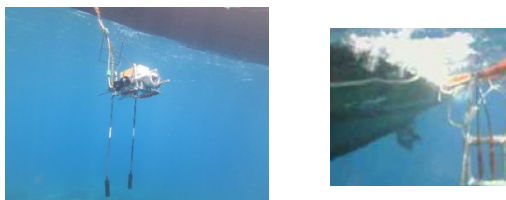


図 4 無線操縦されるロボット (左図) と搭載したカメラで撮影した写真 (右図)

実験当初では海面からの音波の反射によるマルチパスの影響や、基地局端末局間の送受信用トランスデューサの指向性、海洋ロボットのスラスターの水流が少なからずデータ通信の品質に影響を与えていたため、基地局側と端末局側海洋ロボットのトランスデューサをいずれも垂直方向に機器より距離を置いて設置するなど工夫して実験を行った。実験の結果、QPSK/16QAM の両変調方式により良好な同期処理とデータ通信を行うことができ、投入したロボットの前後・上下・左右旋回の各動作について安定した動作を確認することに成功した。また、ロボットに搭載したカメラによる撮影データの取得も成功し、船上の PC で画像を表示しリアルタイムに確認することができた (図 4 右図参照)。図 5 に基地局側受信処理における QPSK/16QAM のコンスタレーション図、図 6 に端末局海洋ロボット側受信処理における QPSK/16QAM のコンスタレーション図を示す。いずれのコンスタレーション図を見ても、海面の波による基地局の上下動や海中の潮流などによる海洋ロボットの変動にも関わらず、比較的良好的な通信が行えていることが確認できる。

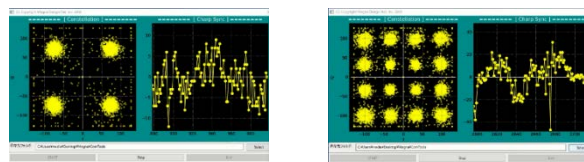


図 5 基地局側受信処理における QPSK/16QAM のコンスタレーション図

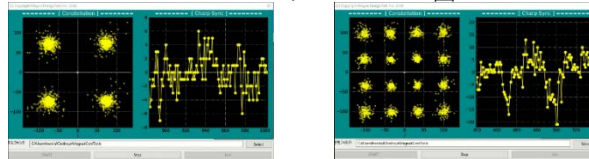


図 6 端末局側 (海洋ロボット) 受信処理における QPSK/16QAM のコンスタレーション図

### 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取組

本研究では OFDM 変調方式を用いた TDD 方式による海中無線通信エリアの構築に関する技術開発を行うと共に、新たに製作した海洋ロボットを用いた水中超音波無線ロボット制御に成功し、一定の成果を得られた。この成果を活用し、本研究の社会応用として、エネルギー・鉱物資源などの海底資源の探索や調査などの海洋資源開発用ロボットの通信手段、また、サンゴ礁などの環境調査・保護や、水産業における効率的な海洋生物養殖、マリンレジャーにおける安全性の確保など様々な分野における通信手段としての応用が期待でき、社会的意義は大きいと考えられる。

### 4. むすび

今後は海洋ロボットのスラスターの回転による水流が通信に与える影響をより少なくするためのトランスデューサの設置に関する対策などを検討しつつ、実用化への研究開発を進めたい。さらに将来的には、広帯域化によるデータ伝送容量の拡大や、地上の無線システムと連携したインターネット接続による高付加価値サービスの実現を目指し、海洋新産業創出に向けた更なる応用の拡大に向けた研究開発の加速を行いたい。

#### 【誌上发表リスト】

- [1] Taisaku Suzuki, Tomohisa Wada, Hiromasa Yamada, Shigeo Nakagawa, "A 31.8kbps/8kHz Underwater Acoustic Single Carrier Frequency Division Multiplexing (SC-FDM) Communication System with Forward Error Correction", OCEANS'17 MTS/IEEE Anchorage, September 18-21nd, 2017
- [2] Yusuke Onna, Taisaku Suzuki, Hiromasa Yamada, Shigeo Nakagawa and Tomohisa Wada, "A 32 kHz Bandwidth, 8 Branch Diversity Underwater Acoustic OFDM Communication System", MTS/IEEE OCEANS 2018 Kobe Techno-Oceans (OTO) 2018, May 28-31. 2018.
- [3] Atsushi Kinjo, Yusuke Onna, Suguru Kuniyoshi, Rie Saotome, Taisaku Suzuki, Tomohisa Wada, "A 32kHz Bandwidth, Robust TDD Synchronization, Underwater Small Area Acoustic Network (USAAN) System", MTS/IEEE OCEANS 2018 Charleston 2018, 22-25 Oct. 2018

#### 【申請特許リスト】

- [1] 和田 知久、鈴木 大作、中川 重夫、「位置変動に対して性能低下防止機能を有する OFDM 変調を用いた水中超音波通信装置」、日本国特許庁(JP)、出願日：平成 28 年 4 月 22 日