



# 超音波OFDM・時分割双方向通信による 海中での無線通信エリアの構築



琉球大学工学部工学科

沖縄高専 機械システム工学科・メディア情報工学科

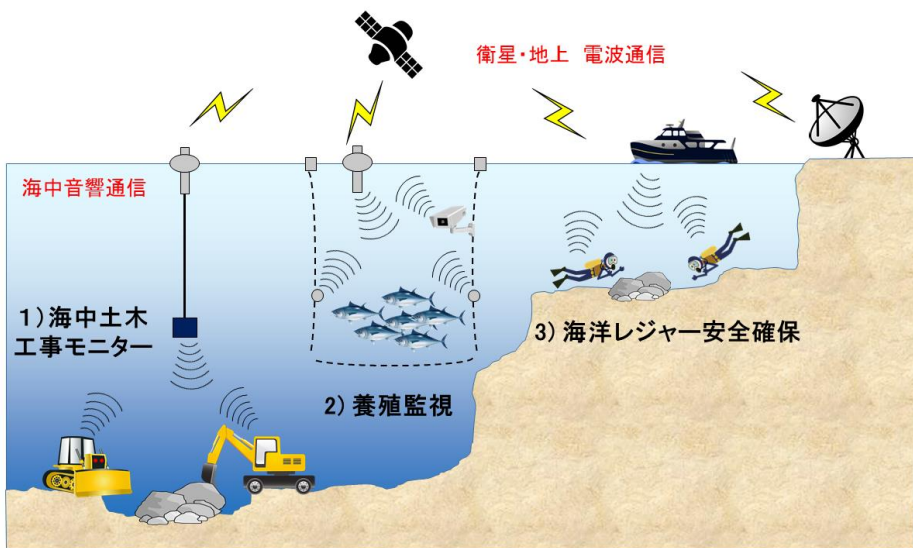
株式会社マグナデザインネット



琉球大学工学部と沖縄高専、株式会社マグナデザインネットは、無線LANや地上デジタル放送で用いられているOFDM変調方式を用いて、深海での海洋資源開発、養殖業の自動化、マリレジャーの安全向上を目的とした、超音波による海中双方向通信システムを開発しています。

## ① はじめに

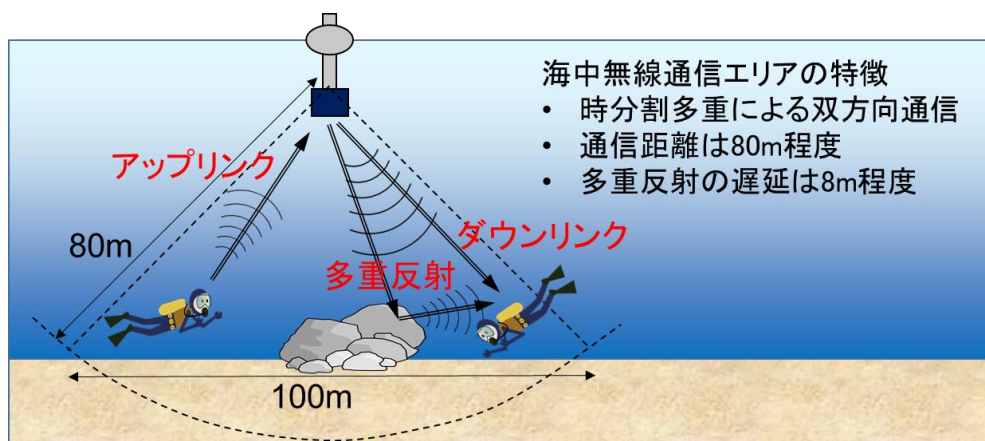
本システムのターゲット分野を以下に示します。約100m規模の超音波による無線通信エリアを構築することで、海中土木工事モニター、養殖場の監視、マリレジャー安全確保をターゲットとしています。



## ③ 海中の通信エリア

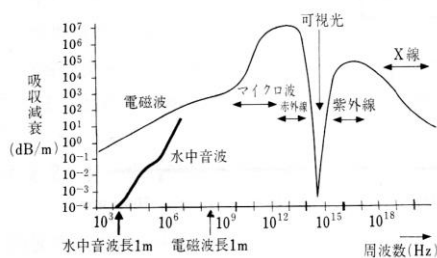
基地局を中心として、100m程度の小規模無線通信エリアを構築することを目的としています。

エリア内では、時分割で、基地局からユーザ(ダウンリンク)通信、ユーザから基地局(アップリンク)通信をサポートしています。陸上でのLTEと呼ばれる第4世代携帯電話と類似した方式を海中で超音波で実現することを目指しています。



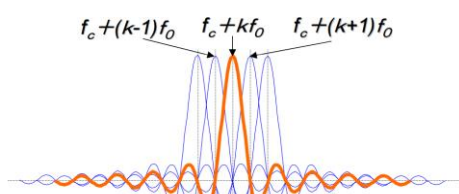
## ② 超音波 OFDMとは

右に、周波数に対する海中での電磁波(光)と音波の吸収減衰率を示します。海中では、電磁波中の可視光だけは減衰率は低く、遠距離通信が可能で、音波も周波数が100KHz以下では減衰率が低く通信向きです。光は汚濁による透明度低下で、減衰率上昇の問題と、指向性の制御が困難と考え、音波での実現を目指しています。



電磁波と音波の海中での吸収減衰率の周波数特性 (海洋音響の基礎と応用 (成山堂書店、2004))

右下図は伝送速度向上のために、周波数方向に多数の波(サブキャリア)を用いるOFDM方式のスペクトラムを示した図です。本システムは人間が聞えない16KHz以上の超音波を用いています。

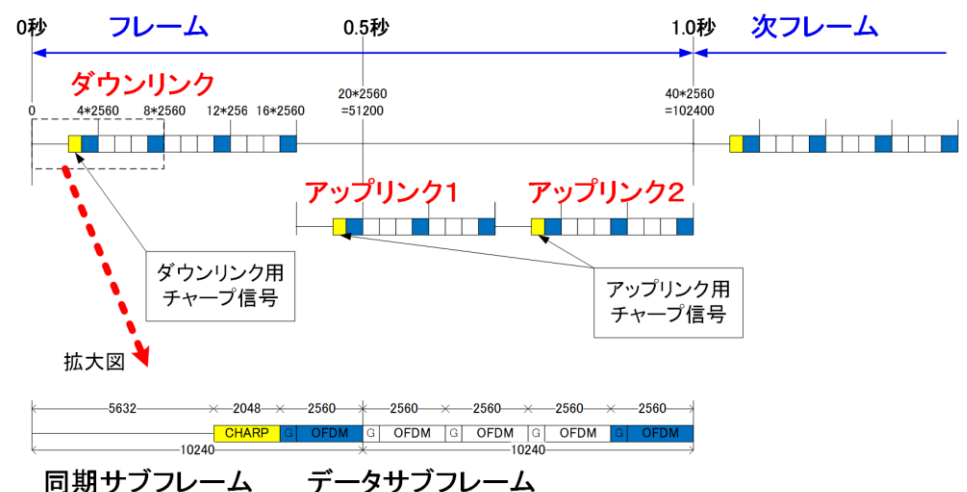


OFDMスペクトラム (デジタル無線通信の基礎からOFDM入門まで 琉球大学 工学部 情報工学科 和田 知久)

## ④ 時分割双方向 フレーム

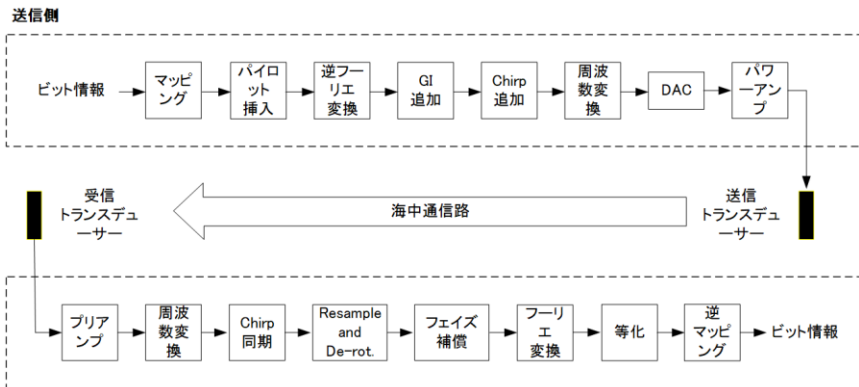
ダウンリンクとアップリンク通信のタイミング図を示します。以下例では、2つのユーザからのアップリンク1、2をサポートしています。1秒のフレームと呼ばれる時間内に、1回のダウンリンク通信と複数のアップリンク通信を実現します。各通信の先頭にはチャープと呼ばれる同期信号があります。

フレーム周期 1.00秒 = 102400サンプル  
サンプリング周波数 102400 points/sec



### ⑤ 送受信システム図

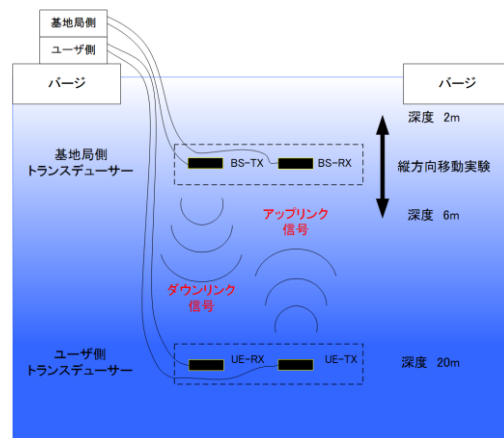
送受信の変調としてOFDM方式を利用しており、送信側で逆離散フーリエ変換、受信側で離散フーリエ変換を行っています。詳細のシステムパラメータを表に示します。



通信システムパラメータ	値
送受信トランスデューサー数	送信用1、受信用1
サンプリング周波数	102,400 Hz
通信周波数帯	16K-48K Hz
通信周波数幅	32KHz
フーリエ変換サイズ	2048
OFDM シンボル長	20.0 ms
ガードインターバル長	5.0ms
同期用チャープ信号長	20.0ms
ダウンリンク・アップリンク間の無音期間	55.0ms
サブキャリア間隔	50.0 Hz
サブキャリア数	641
パイロットサブキャリア数	321 および41
データレート	62.4Kbps (16QAM)

### ⑧ 海中通信実験方法

海中通信実験の概略図を以下に示します。上側のトランスデューサー対が基地局側に対応し、下側のトランスデューサー対がユーザ側に対応します。基地局側からは、ダウンリンク信号がフレームに従って繰り返し送信され、そのダウンリンク信号に同期して、ユーザ側はアップリンク信号を送出します。詳細パラメータを表に示します。



フィールド実験パラメータ	値
実験場所	静岡県沼津市内浦湾
実験深度	約30m
トランスデューサー深度	2から6 m (基地局), 20m(ユーザ)
デジタル変調	QPSK/16QAM
送受トランスデューサー間隔	30 cm
通信方向	縦方向
基地局側トランスデューサー移動速度	0.1m/s~1.1m/s,0.2m/sステップ

### ⑥ 開発した通信装置

送受信装置の写真を示します。送信パワーアンプは(株)オキシテック社のOST7017、FPGAはXilinx社Zynq7000を利用。大学側で設計した処理方式に従い、(株)マグナデザインネット社に回路設計を委託しました。



### ⑨ 海中通信実験測定データ

右写真の下段の波形は海面近くでモニターされた信号であり、ダウンリンク信号に対して、適切に同期が行われ、アップリンク信号が生成されていることを確認しました。



ダウンリンク信号をFFT装置に入力し、周波数特性を示すスペクトルを確認した写真を右に示します。中心周波数32KHzを中心に、±16KHzの部分に所望の矩形型のOFDM信号を観測できました。

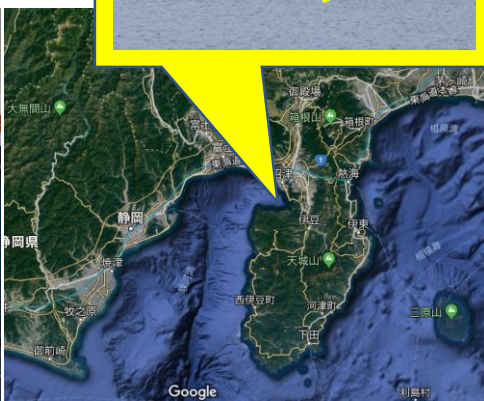


ユーザ側でダウンリンク信号を復調したコンスタレーションを右に示します。16QAMのコンスタレーションです。



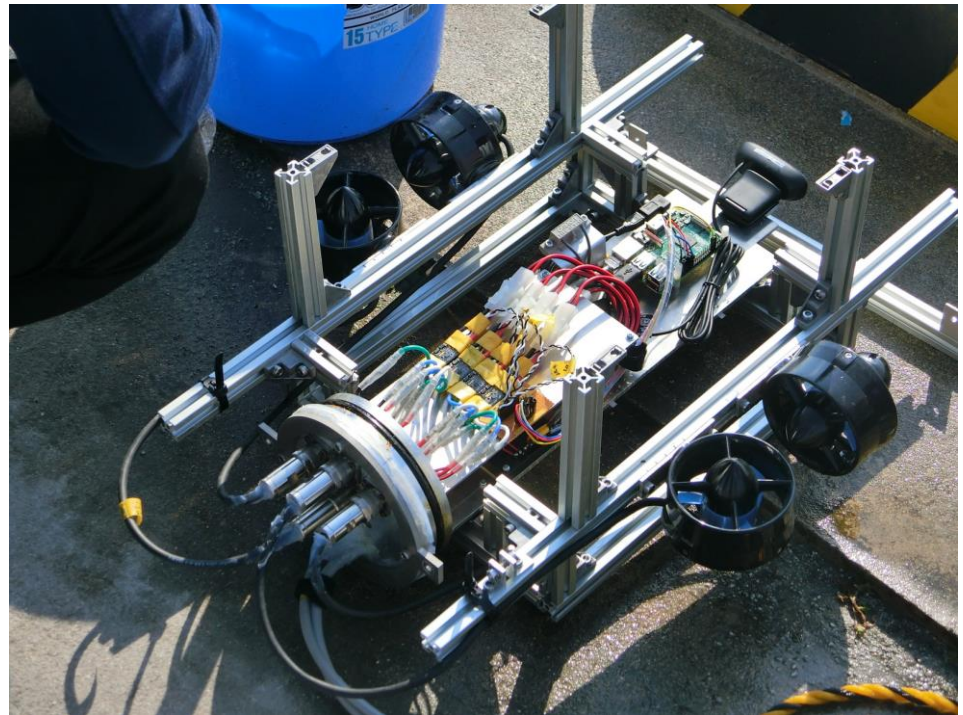
### ⑦ 伊豆での海中通信実験

伊豆半島沼津市内浦湾のバージで、垂直方向の双方向通信実験をH30年2月2日の実施しました。バージは深度約30mの位置に係留され、写真のようなムーンプールでの実験です。



## ⑩ 応用目指しての水中ロボットの無線操作実験

沖縄高専が開発した水中小型ロボットの写真を以下に示します。音による海中無線通信で、ロボットの動作の制御と海中での写真撮影データの、伝送デモをするために現在取り組んでいます。左が、水中小型ロボットの写真で、右は、カバーはずした写真です。ラズベリーパイと呼ばれるARMプロセッサを搭載したシングルボードコンピューターをロボット制御に用いています。今年度は、通信装置が大きくロボットには内蔵せず、実験を実施しています。

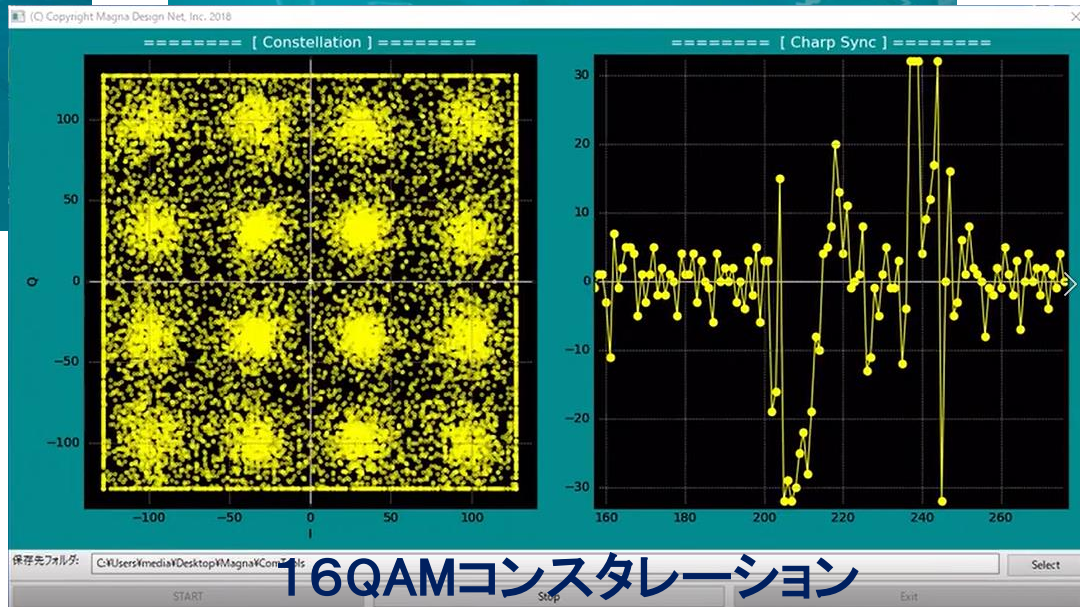


## ⑪ 現在、海でのロボットコントロール実験中

以下は糸満フィッシャリーナで先日行ったロボット制御実験の様子です。オレンジの浮きの下に基地局用通信装置を設置しています。この基地局からの音による制御信号により小型水中ロボットを制御する実験を始めています。右下に、16QAMの通信を示す写真を示します。



基地局通信装置



本研究課題は、H28-30年度 総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) 地域ICT 振興型研究開発採択課題によりサポートされています。