

1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆研究開発課題名 : 海中・水中IoTにおける無線通信技術の研究開発
- ◆受託者 : 国立大学法人九州工業大学、パナソニックホールディングス株式会社
- ◆研究開発期間 : 令和3年度～令和6年度(4年間)
- ◆研究開発予算(契約額) : 令和3年度から令和5年度までの総額315百万円(令和5年度126百万円)

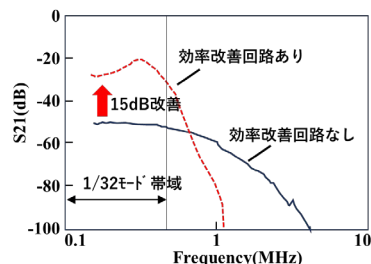
2. 研究開発の目標

- 2024年度までに海中/水中での動画転送が可能な中距離通信(4m, 1Mbps)を実現し、大型水槽や実海域での実験により技術確立を行う。
- 中距離通信と連携し、海中での中継局を利用したデータ収集を想定した長距離通信(10m, マルチホップ数10以上)システムの技術確立を行う。

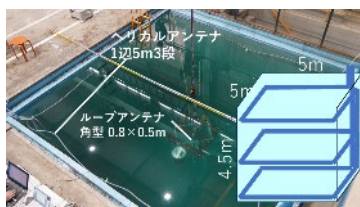
3. 研究開発の成果

- 標準化(IEEE 1901c) P1901c WGにて、当技術が**ベースライン技術として承認**(当初計画:WG立上げ/2024年度を前倒しで実施中)

研究開発項目1: 中距離電波伝搬の理論解析とアンテナの開発



LCラダー型効率改善回路の開発



ヘリカルアンテナによる通信エリアの拡大

●大型水槽アンテナ実験と伝送特性の向上のための効率改善回路の開発

LCラダー回路により海中通信に適した低周波帯の伝送特性を約15dB改善
アンテナ改良、効率改善回路付加、1/32モード通信で**1Mbps/3.2m**達成

●伝送特性の実験値・シミュレーション値を用いた**通信速度計算法の確立**

Sパラメータ・雑音特性・通信機器の特性から通信速度の計算

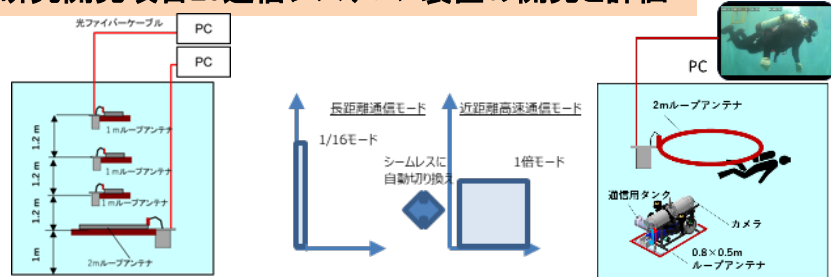
●社会実装に向けたヘリカルアンテナ・U字型HSDAの開発

ヘリカルアンテナは**1辺5mの大型水槽全域で15Mbps以上**の通信を達成
U字HSDAはエレメントから1.8mで3.5Mbpsの通信速度達成

●実海域実験でワイヤーアンテナによる30m/100m通信エリアの実現

開発したアンテナの実海域での評価を実施
30m/100mのワイヤーアンテナによる広範囲通信の実現

研究開発項目2: 通信システム・装置の開発と評価



マルチホップ通信実験

近距離・長距離シームレス切替

●長距離 海中通信装置開発(各種、長距離化、通信安定化機能を追加開発)

- ①1/64モード改善
- ②マルチホップのパラメータチューニング
- ③プリアンプ検討
- ④時間スケジューリング、同期/非同期ブロードキャスト実装
- ⑤遠隔監視システム検討
- ⑥親機子機の新認証方式の追加
- ⑦AUV接続IF検討
- ⑧ハードが異なる場合の互換性検討
- ⑨新機能探索

●大型水槽実験 マルチホップ通信実験で10m、10ホップの目標達成に目途

- ①大型塩水水槽にて3.2m 1Mbpsを実現
 - ②マルチホップ3ホップで3.6mの通信を達成
- (* AUV: Autonomous Underwater Vehicle)

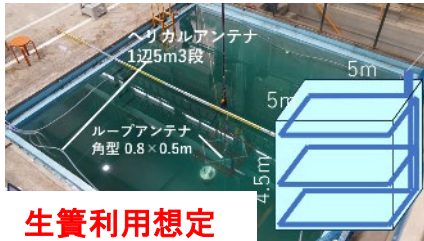
●社会実装に向け**AUV・スマートフォン動画伝送**と**AUV制御実験**を実施

●ワイヤーアンテナの実海域実験で20m範囲で動画伝送可能な6Mbps通信確認

研究開発項目1: 中距離電波伝搬の理論解析とアンテナの開発

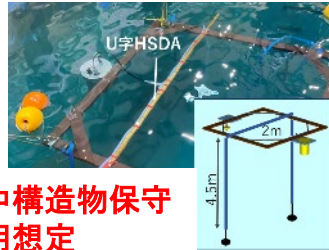
■ 2種類の大型アンテナの開発・評価

5 x 5 x 4.5mヘリカルアンテナ内



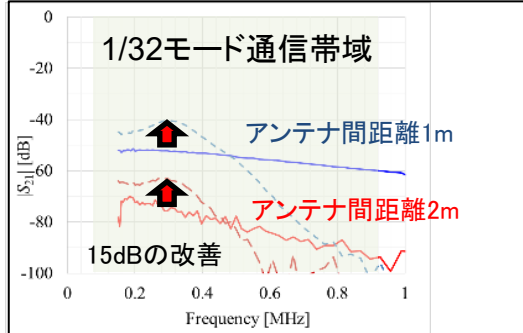
外周で40Mbps 中央で15Mbps達成
深さ依存は小さい

2 x 4.5mのU字HSDA



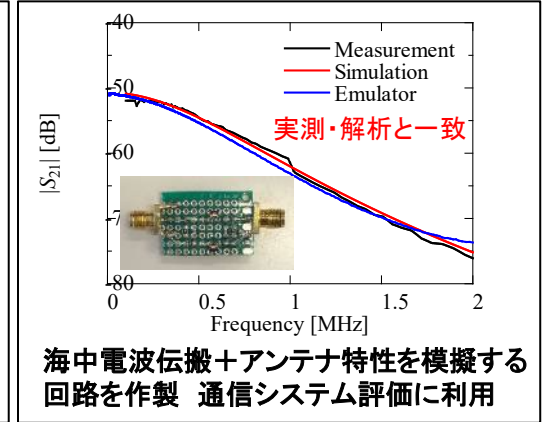
エレメント付近40Mbps、
1.8m離れた位置でも3.5Mbps達成

■ 効率改善回路



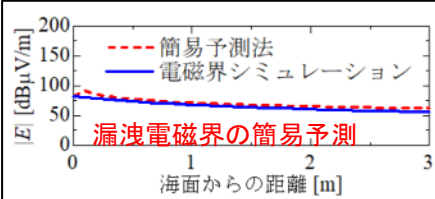
LCラダー回路による効率改善回路を開発
海中通信に適した低域側で15dB改善

■ 海中通信エミュレータの開発



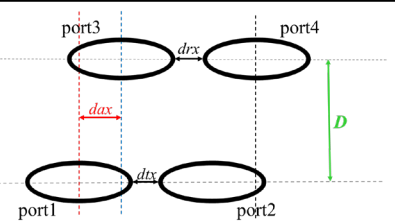
海中電波伝搬+アンテナ特性を模擬する
回路を作製 通信システム評価に利用

■ 漏洩電磁界簡易推定



放射電力: $S = P + G - L_1 - L_2$
P: 送信電力, G: 海水アンテナ利得
 L_1 : 海中の減衰, L_2 : 空気中の減衰
送信可能電力の簡易計算のための
海面電磁界強度推定式を提案

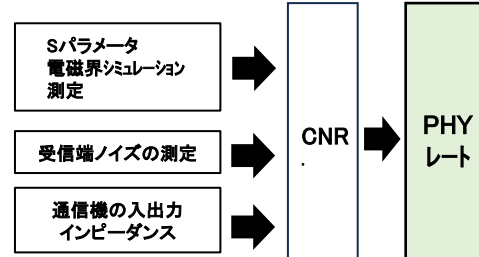
■ 海中MIMO通信評価



ループアンテナを用いた海中MIMO
通信のアンテナ軸ずれの評価
伝送特性の固有値の変化を計算し
軸ずれによるMIMO特性の低下は
5dB程度

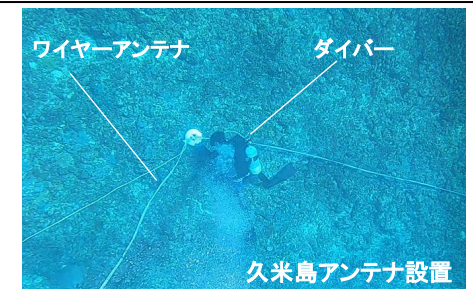
■ Wavelet OFDM通信速度の推定法

電磁界解析や測定で得られたSパラメータから
通信速度(PHYレート)計算のアルゴリズム開発



2m/1mループアンテナ1m間隔で、1/32モードで
実測との誤差、最大9%の精度で一致

■ 大型プール・実海域での実験



実海域(沖縄県久米島・岡山県白石島)
にて、30m/100mのワイヤーアンテナによる
広域海中通信実験を実施

■ これまでの成果

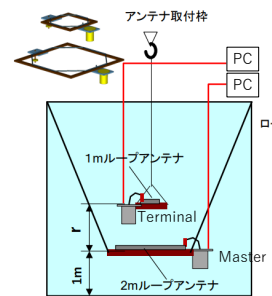
- ① 海中アンテナ改良、効率改善回路付加、1/32通信モード(62.5-875kHz)の開発により2m/1mループアンテナで1Mbps/3.2mを達成。
- ② 伝送特性(Sパラメータ)からWaveletOFDM通信装置の通信速度の計算法を確立し、2m/1mループアンテナで比較最大9%誤差の精度で評価可能なことを実証。
- ③ 生簀・水中構造物の点検を想定した大型アンテナを開発し、5m角ヘリカルアンテナは15Mbps以上、U字HSDAでエレメントから1.8m離れて3.5Mbpsの速度を達成。
- ④ 海上に漏洩する電磁界強度の簡易計算法を開発。EMCを考慮した送信電力の決定に活用可能
- ⑤ 海中MIMO通信でアンテナ群軸ずれの影響を評価。

■ 今後の課題

- ① 1Mbps/4mの実現のための、プリアンプ、歪みの少ないスイッチの導入、効率改善回路・インピーダンス変換回路の改良。
- ② 実海域における海上への漏洩電磁界測定・海面(波影響)、岸壁、海底でのラテラル波の評価。

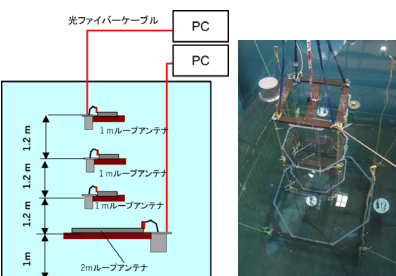
研究開発項目2: 通信システム・装置の開発と評価

■通信システム開発と中距離通信実験(目標1Mbps/4m)



- 中距離通信(PHYレート)
1/32モードで **1Mbps/3.2m**
- 1/16~1/64モードの安定動作のため
通信機改善
- 短距離・長距離通信モード自動切換
- 利得向上のためのプリアンプ検討

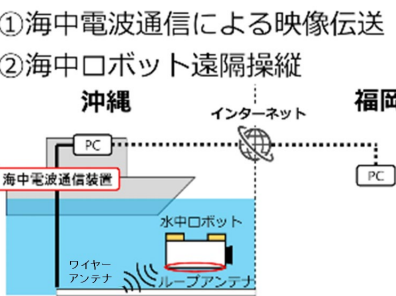
■マルチホップ通信実験(目標:10mマルチホップ10段10ホップ以上)




- 長距離通信(PHYレート)
1/4モードで **3ホップ 3.6m達成**
- 16ホップ中継可能なモード検証
- 1/32,1/64モードパケット到達時間の
パラメータチューニング
- 海中伝搬シミュレータによる実験効率化

■実海洋(久米島)でのAUV通信実験


- ①海中電波通信による映像伝送
- ②海中ロボット遠隔操縦



海中映像伝送
実海域で実験成功
世界初!



海中ロボット遠隔操縦
前進開始→



AUV

- 海中電波通信による、船上・遠隔地からの海中カメラ映像伝送に成功!
- 海中電波通信による、船上、遠隔地からの海中のAUV制御に成功!

■これまでの成果

- ① 通信装置改良により長距離化、帯域圧縮モード、安定化機能を追加した。また近距離・長距離シームレス化の装置プロトタイプ作成と知財化完了。
- ② 中距離通信で**1/32通信モード**で**1Mbps/3.2m通信**を、**マルチホップ3ホップ**で**3.6m**を達成、4m1Mbpsおよび10m/10ホップ通信に目途をつけた。
- ③ 海中電波通信による**AUVから船上へのカメラ映像伝送・AUV制御**に成功。更に遠隔地(福岡)からのカメラ動画視聴、AUV制御も達成
- ④ 久米島近海でのAUV連携実験の事前検討で、ワイヤーアンテナ上をAUVが進む方式で20mの範囲で6Mbps以上の通信速度達成。

■課題 最終目標:長距離通信(10m、マルチホップ10ホップ以上)

- ① 実海域実験で10m、10ホップ以上の性能を実現するため通信システム開発と実海域実験機材の製作。
- ② 通信距離10m以上確保のための、**プリアンプ**による**受信利得向上**と**効率改善回路**の適用。
- ③ AUV実装時のAUVスラストノイズによる通信装置への影響の対策、

国際標準化(IEEE 1901c)

■これまでの成果

IEEE国際標準化 IEEE SASB(Standards Board)により本技術がIEEE 1901cとして承認 (当初計画:規格書発行/2025年度を前倒して実施中)

■課題

規格書発行に向けIEEE SAによる最終的な編集作業が行われる中で、問い合わせやレビューの依頼が発生した場合に必要な対応を行う

4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	標準化提案	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
7 (1)	5 (5)	1 (1)	20 (8)	17 (9)	5 (3)	1 (1)	1 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

【出願】 水中・海中における移動装置について3件、通信モード切替え方式について1件、通信制御方法について1件、通信中継方法について1件
上記の出願完了

【研究発表】 AUVへの無線通信の導入に関する研究論文1件が採択。アンテナの特性、効率改善回路などの内容について4件の研究論文の投稿準備中

【受賞・表彰】

【標準化】 IEEE P1901cの作業部会において、技術ドラフト(v1.0)が承認
IEEE SASB (Standards Board)により本技術がIEEE 1901cとして承認

【プレスリリース】 技術ドラフト(v1.0)の承認、およびIEEE SASBによるIEEE 1901cの承認をパナソニックから発表
技術ドラフトの承認: <https://news.panasonic.com/jp/press/jn230907-1>
IEEE 1901cの承認: <https://news.panasonic.com/jp/press/jn240306-1>

5. 今後の研究開発計画

- 研究開発項目1: 中距離電波伝搬の理論解析とアンテナの開発 最終目標(海中・水中 **1Mbps/4m**通信)
 - ① 効率改善回路・インピーダンス変換回路の拡充(1/64モードに対応した回路設計、周波数範囲の設定、改善量の向上、小型化、低損失化)
 - ② 受信側プリアンプの開発(歪みの評価、歪みの少ないスイッチの設計)
 - ③ ワイヤーアンテナ、ヘリカルアンテナ、U字アンテナの特性改善
 - ④ ラテラル波の評価、ラテラル波の積極利用による通信距離の延長

- 研究開発項目2: 通信システム・装置の開発と評価 最終目標:長距離通信(**10m、マルチホップ10ホップ以上**)
 - ①長距離モード(1/16~1/64モード)の動作安定化および通信性能向上により、目標である4m1Mbps通信の達成を目指す
 - ②マルチホップ通信10ホップ10m通信に向けての、通信性能向上および各種パラメータ等の調整を実施
 - ③社会実装に向けて、AUV(海中自律ロボット)等への組込実験による通信性能確認と課題抽出

- 国際標準化: 規格書発行 ⇒ 【ストレッチ目標】2024年度中の規格書発行によるIEEE 1901c標準化活動の完了