

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4年度までの総額189百万円(令和4年度124百万円)

2. 研究開発の目標

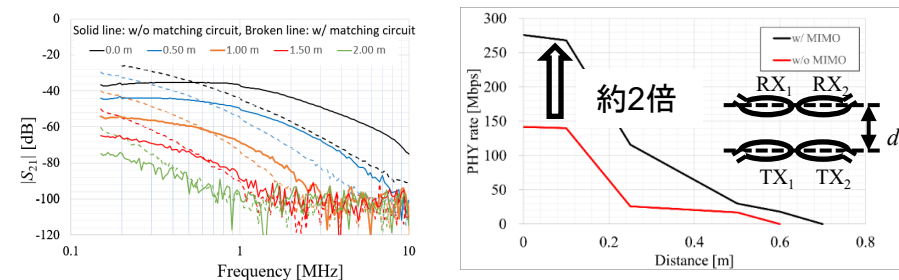
- 2024年度までに海中/水中での動画転送が可能な中距離通信(4m, 1Mbps)を実現し、大型水槽や実海域での実験により技術確立を行う。
- 中距離通信と連携し、海中での中継局を利用したデータ収集を想定した長距離通信(10m, マルチホップ数10以上)システムの技術確立を行う。

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

- 整合回路によるアンテナ間伝送特性の改善
- 2x2 MIMOによる伝送速度向上



研究成果1: 大型アンテナ・整合回路により伝送特性改善

- 直径2mのアンテナおよび整合回路により伝送特性が**最大20dB改善**

研究成果2: 2x2 海中MIMOにより伝送速度向上

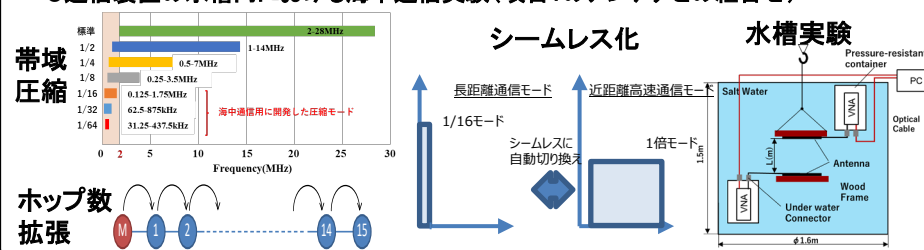
- 2組の送信、受信アンテナによる海中MIMO通信システムを構築
- 独立した2chの伝送路となる知見を得た。**伝送速度が約2倍**に向上
- シミュレーションによるMIMO通信路の全パス計算環境を構築

研究成果3: 海上への漏洩・ラテラル波による伝搬の知見を得た

- 海上へ漏洩する磁界強度を測定およびシミュレーションにより評価し、3m以上のアンテナ深度では測定限界以下となることを明らかにした
- 深度0.7m以下のアンテナでは、空間中を伝搬する電磁界により伝送特性が改善することを明らかにした。実海域実験では波や岸壁を考慮必要

研究開発項目2: 通信システム・装置の開発と評価

- 帯域圧縮モードおよびマルチホップ技術による10m超の長距離通信装置の開発
- 近距離高速・長距離通信のシームレス切替技術の開発
- 通信装置の水槽内における海中通信実験(項目1のアンテナとの組合せ)



● 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)

- ① 帯域圧縮1/1～1/64モード追加
- ② ホップ数16ホップ拡張
- ③ AGC強化
- ④ 時間スケジューリング機能追加
- ⑤ 同期ブロードキャスト機能追加
- ⑥ パケットロス率削減・低遅延化システム実装
- ⑦ 親機子機の新認証方式の追加

● 近距離高速・長距離通信シームレス化

自動モード切替えについての機能開発中、内容を知財化し特許出願済

● 水槽内通信実験

小型塩水水槽にて、1m 4.7Mbps、大型塩水水槽にて2.7m 1Mbpsを実現
また、大型淡水水槽にて、9m 18Mbpsを達成。

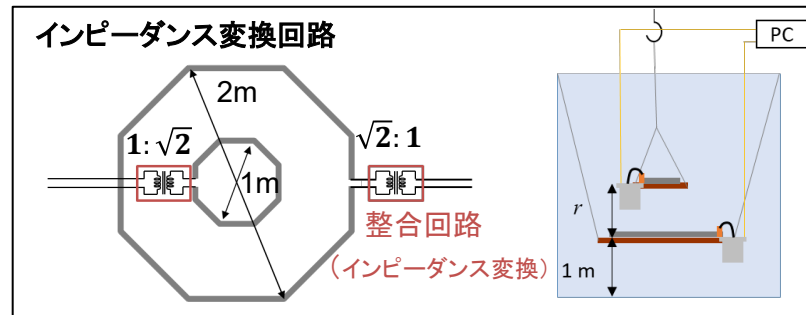
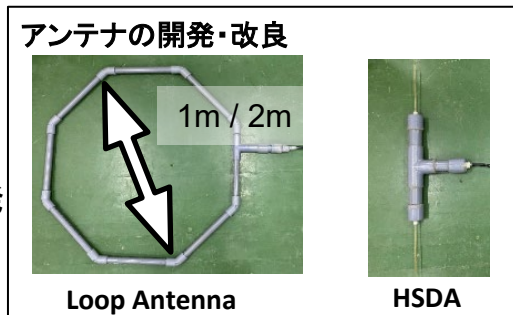
AUV*へ通信装置搭載し、地上からカメラ映像視聴およびLED制御を実現

(* AUV: Autonomous Underwater Vehicle)

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

■ 高効率なアンテナの開発と評価

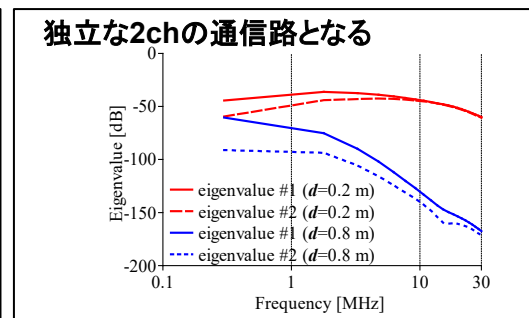
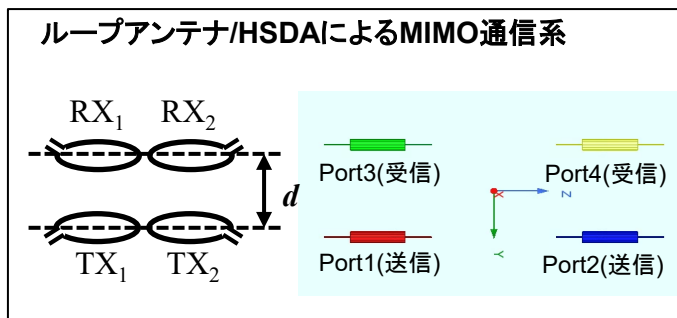
- ・ 低域で**最大20dB**の改善
 - ➔ 低域での通信をより重視
- ・ 測定/シミュレーションにより
伝送速度を計算する手法の開発
 - ➔ アンテナ要求仕様を決定可能



■ 海中・水中MIMO技術の開発と評価

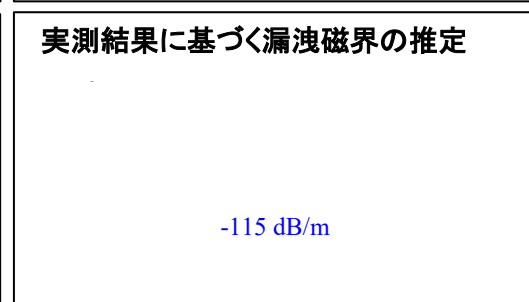
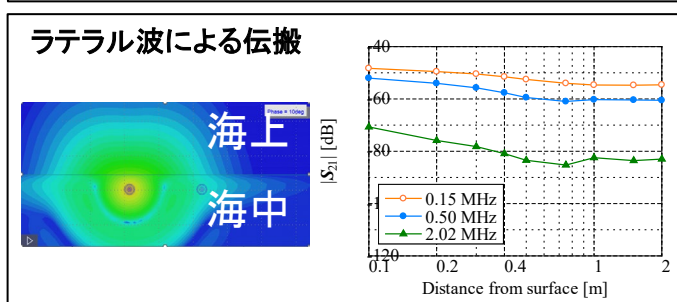
- ・ **2x2 海中MIMO通信システム**を構築
- ・ 2-28MHzを利用した通信において
約2倍の伝送速度を達成

Distance	w/o MIMO	w/ MIMO
0 m	140 Mbps	275 Mbps
0.5m	16 Mbps	30 Mbps



■ 海中・水中における電波伝搬の基礎評価

- ・ 水槽実験により**ラテラル波**を確認
- ・ 浅い深度(0.7m以下)のアンテナ
配置では**空気中を伝搬**
- ・ 3m以上の深度では漏洩磁界強度は
測定限界以下

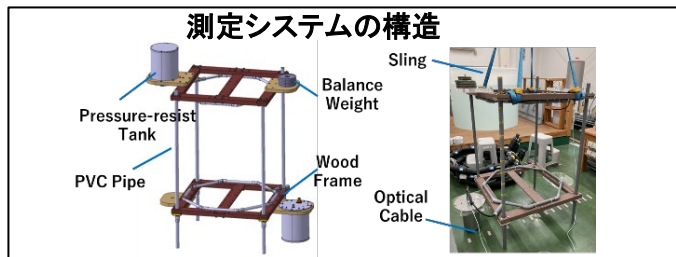
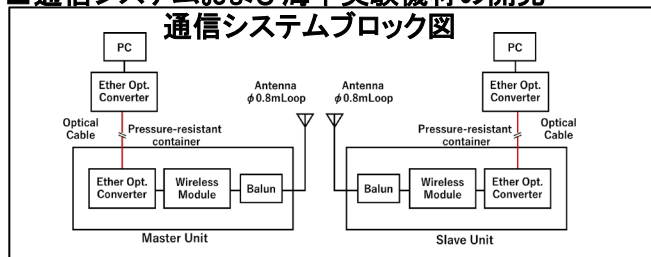


■ 最終目標(4mの距離で1Mbps)に向けた課題

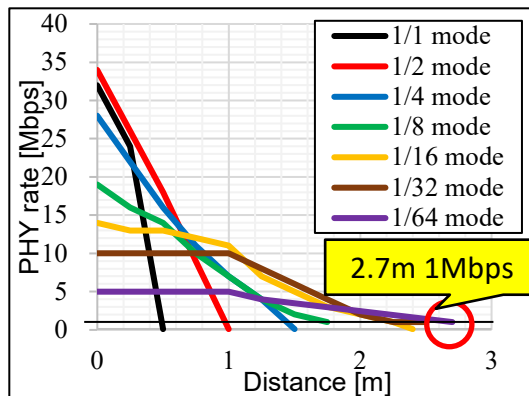
- ・ 最適なアンテナ構造の検討、アンテナのさらなる大型化
- ・ 送受信利得の向上
- ・ 整合回路(効率改善回路)の提案
- ・ 3 x 3以上のアンテナ組を用いたMIMO通信

研究開発項目2: 通信システム・装置の開発と評価

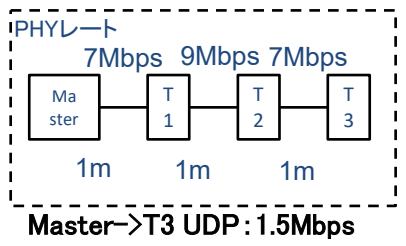
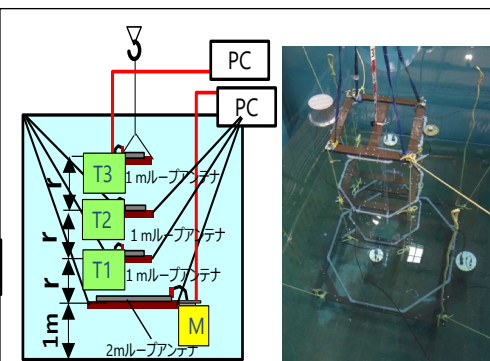
■ 通信システムおよび海中実験機材の開発



■ 大型塩水水槽による海中通信実験

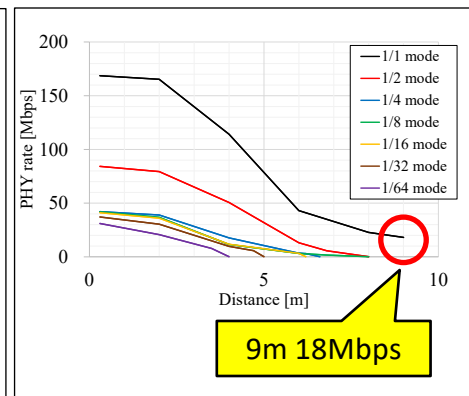


マルチホップ



マルチホップ 3ホップ 3m達成

■ 大型淡水水槽による通信実験



■これまでの成果 中間目標: 水槽(真水、海水)でマルチホップ2ホップ以上 ⇒ 2022/9の大型水槽実験でマルチホップ3ホップ3m達成

- ① WaveletOFDM通信装置で、マルチホップと海中に適した周波数(2MHz以下)で通信可能とする技術を開発。(1/16、1/32、1/64通信モード)
- ② 海中実験での耐圧容器・測定システムの製作と、電線間での結合を防ぐ光ファイバによる通信制御するシステムを構築
- ③ 大型塩水水槽で、4種類のアンテナを組合わせて通信実験を実施。ループアンテナとの組合せにより1/64通信モードで2.7m 1Mbpsを達成
- ④ 大型淡水水槽で、ループアンテナと通信装置1/1通信モードで9m 18Mbpsを達成

■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 通信装置に実装した1/16~1/64モード・マルチホップ通信が10ホップ以上の性能確認のための装置開発と実海域実験
- ② 通信距離10m以上確保のための、送受信利得向上等の通信性能向上とアンテナの整合、アンプの検討

国際標準化(IEEE 1901c)

■これまでの成果

IEEE国際標準化 P1901cWG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)

■課題

IEEE標準化WG内の合意形成のための活動継続 ⇒ 必要な機能について寄書し、規格書のドラフトに反映、最終目標のストレッチ(標準化達成)

4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

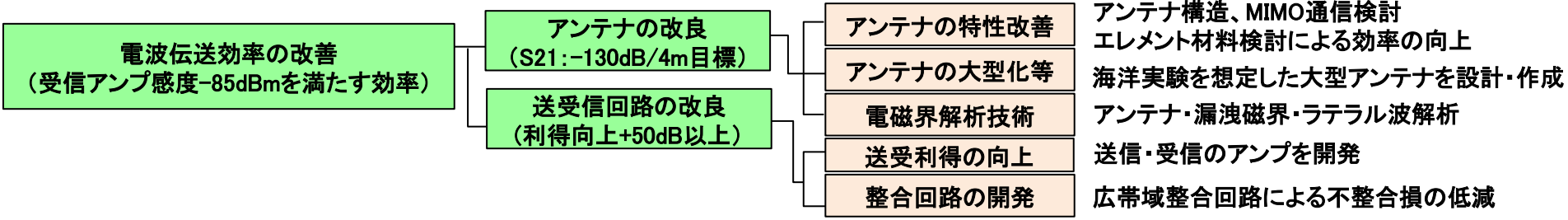
国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	標準化提案・採択	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
6 (6)	0 (0)	0 (0)	12 (10)	8 (6)	2 (1)	0 (0)	1 (1)

※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】 査読付収録論文を3件発表
- 【受賞・表彰】 研究に関する2022年3月の発表がエレクトロニクス実装学会研究奨励賞に内定(2023年3月に授賞式)
- 【標準化】 IEEE 1901cにおいて、PHY/MACに関する技術概要案を寄書、当技術がベースライン技術として承認
IEEE 1901cにおいて、PHY部仕様のドラフトについてWG承認完了し、現在のドラフトスタンダードはv0.2として承認済み
- 【プレスリリース】 本研究で使用している、Wavelet OFDM無線通信方式を”PaWalet Link”としてパナソニックホールディングスから発表
(<https://news.panasonic.com/jp/press/data/2021/11/jn211110-1/jn211110-1.html>)

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)



■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開発した1/16~1/64モード・マルチホップ・通信が、劣悪環境である海中実験で安定動作の確認と改善
- ②通信距離10m以上確保のための、利得向上等の通信性能改善、アンテナとの整合技術確立
- 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: WG内の合意形成 ⇒ 【ストレッチ目標】2025年度中の標準化(IEEE 1901.c)の成立