

浅海域に対応した 水中音響通信技術の開発

2018年9月26日

SUBSEATECH JAPAN 2018

技術講演

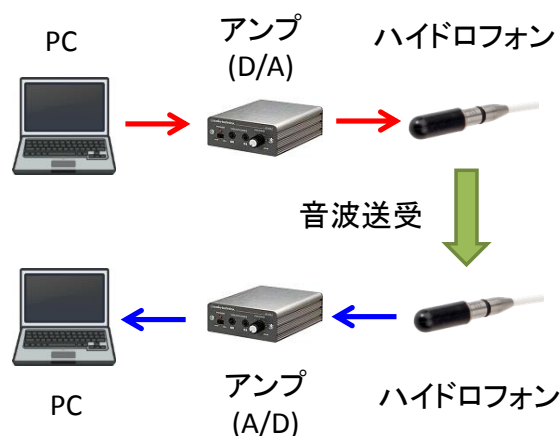
北見工業大学 地域未来デザイン工学科

吉澤 真吾

講演者自己紹介

- 2005年 北海道大学 工学研究科 博士(工学)
- 2006年 日本学術振興会 特別研究員(PD)
- 2007年 北海道大学 情報科学研究科 特任助教
- 2009年 北海道大学 情報科学研究科 助教
- 2012年 北見工業大学 電気電子工学科 准教授
(2017年 地域未来デザイン工学科に改組)
- 専門分野
 - デジタル信号処理技術(主に無線通信)
 - ハードウェア処理技術
 - デジタル回路設計, FPGA, マイコン

水中音響通信技術の研究



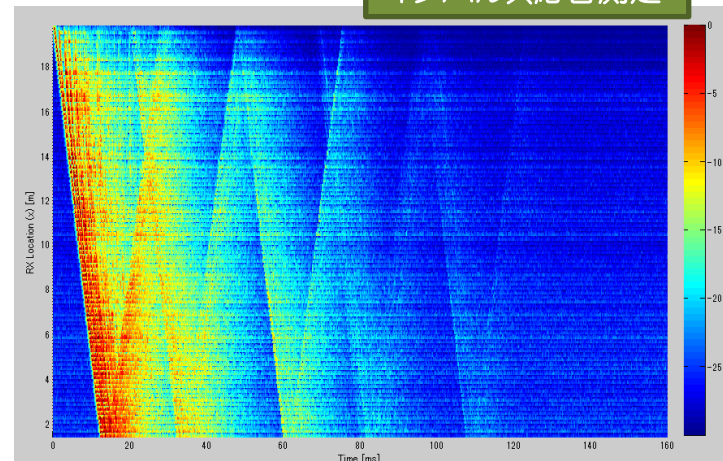
従来技術では困難な
浅海域(港湾)水中音響通信
の実用化を目指す

水中音響通信試験装置の開発



実海域での実証試験

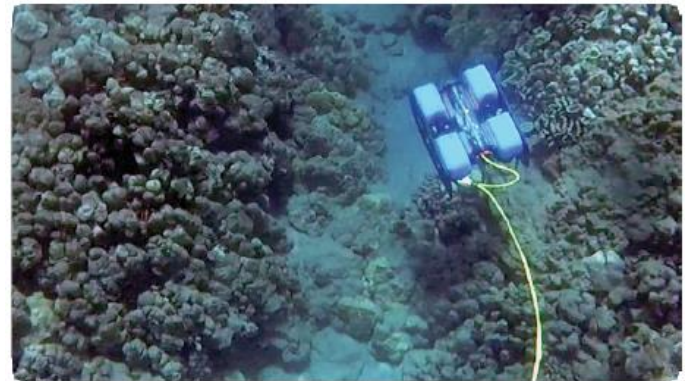
インパルス応答測定



水中音波伝搬シミュレータの開発

無線通信が利用される空間

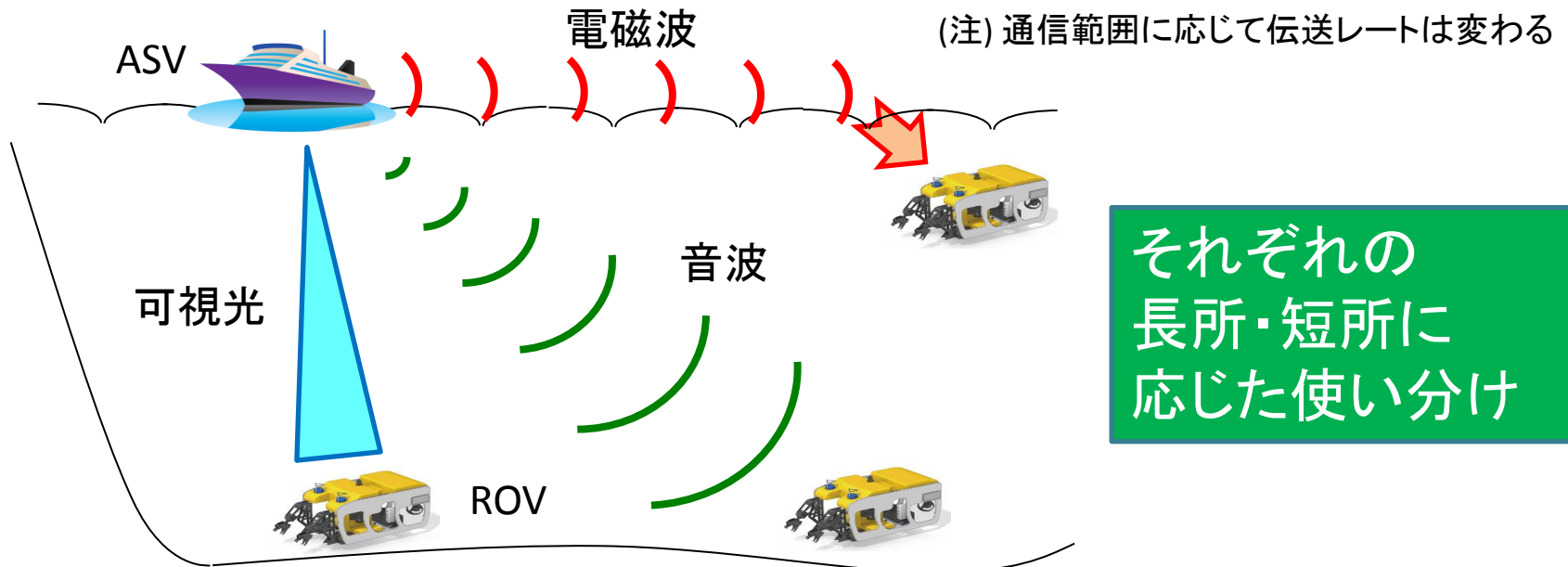
- 陸上（スマートフォン, テレビ）
- 海上（船舶）
- 上空（航空機, ドローン）
- 宇宙（人工衛星, 宇宙探査機）
- 海中！？
 - 潜水艦、有人探査機
 - AUV (自律型無人潜水機)
 - ROV (遠隔操作型無人探査機)
 - 無線通信技術としては最も難しい



ROV (BlueROV2)

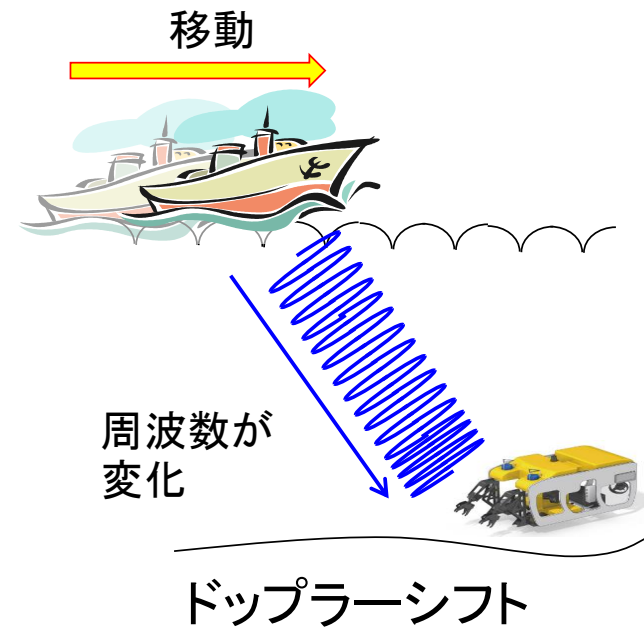
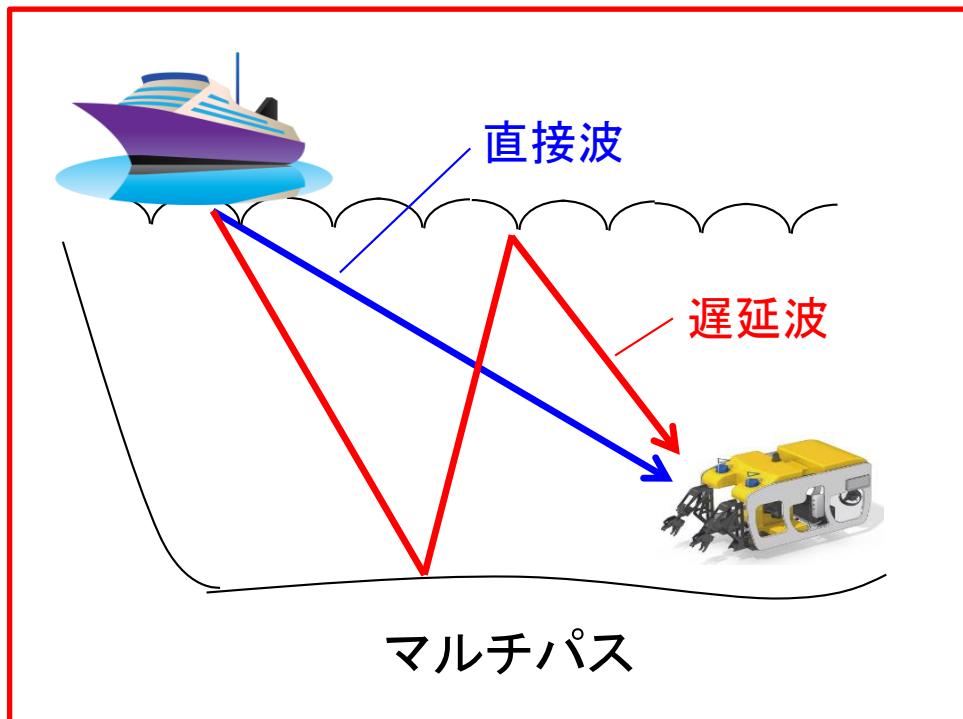
水中無線通信技術

	電磁波	可視光	音波
通信範囲	10 m	30 m	2 km
伝送レート	100 kbps	10 Mbps	10 kbps
指向性	広	狭	広
通信方向	水平・空中	鉛直	水平・鉛直
妨害要因	吸収減衰 (海水が導体)	濁度・ 太陽光	反射による妨害 ドップラーシフト



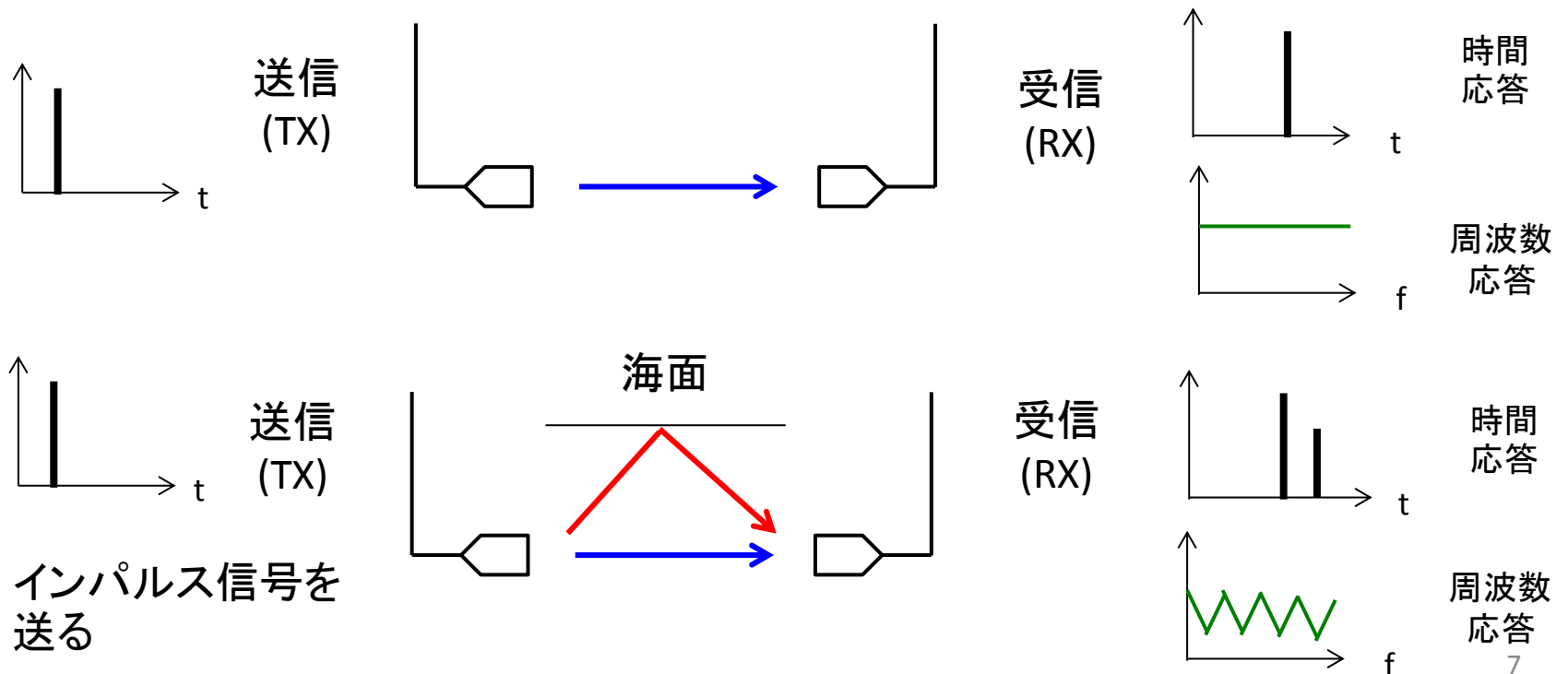
水中音響通信の研究

- 浅海域（港湾）での水中音響通信技術の開発
 - 周囲から反射した音波が干渉（マルチパス）
 - 送受信機の相対速度の影響（ドップラーシフト）



伝搬路～マルチパス

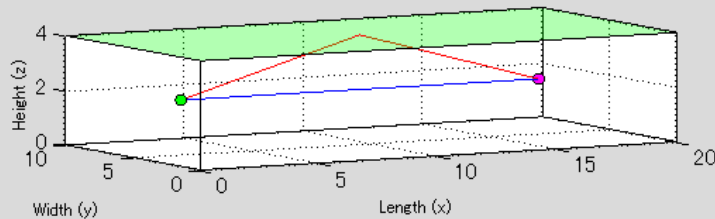
- 直接波とともに海面・海底や壁から反射した波も同時に受信する
- 複数経路から到来する様子をマルチパスと呼ぶ



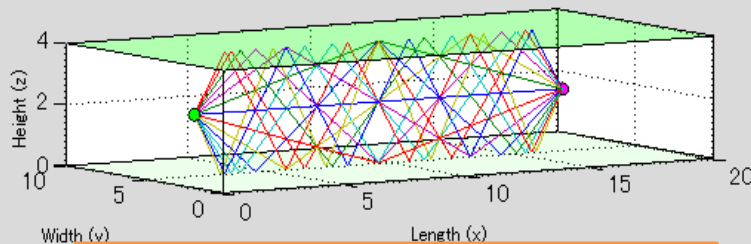
音波反射の様子

- 水中音波伝搬シミュレータを使ってモデリング

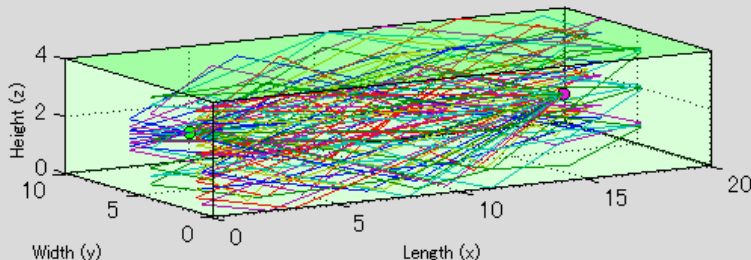
海面反射(深海域)



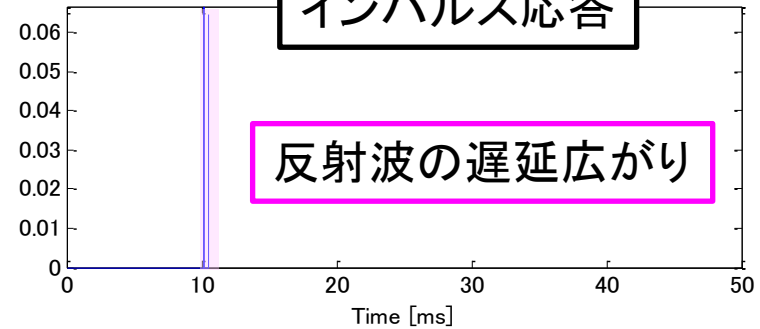
海面+海底反射 (浅海域)



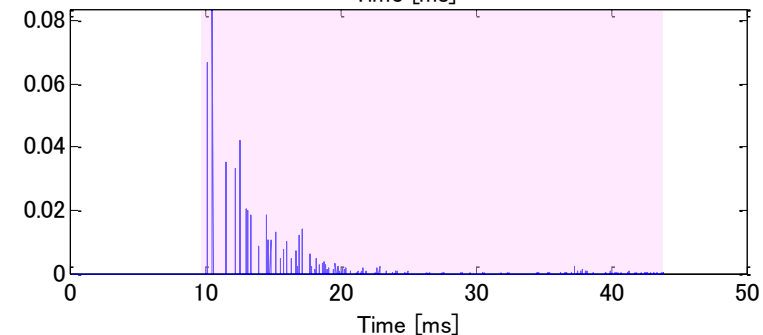
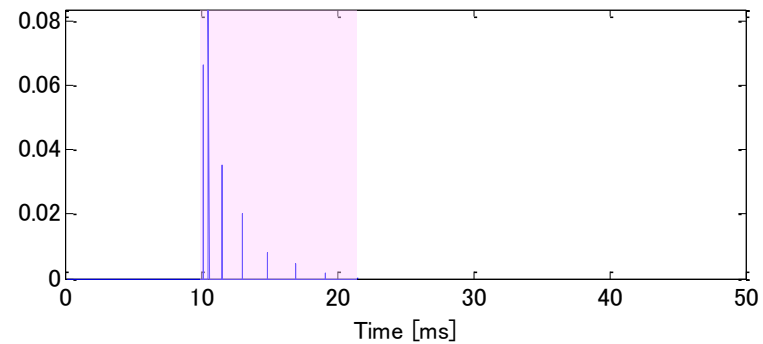
海面+海底+壁面反射 (港湾)



インパルス応答

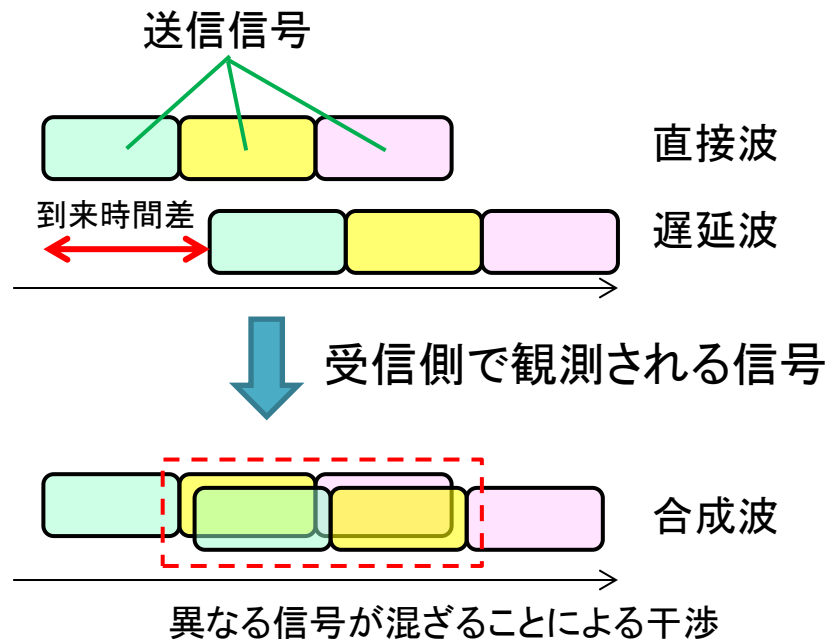


反射波の遅延広がり



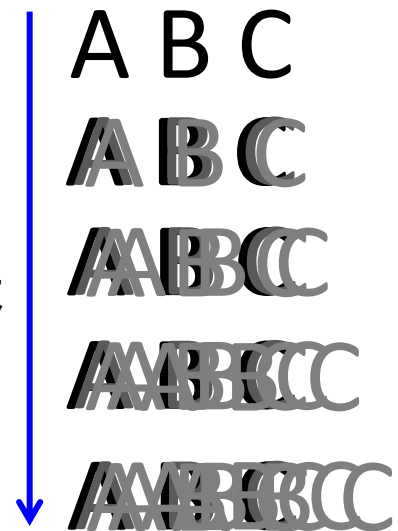
音波反射が与える影響

- ・ 遅延波による干渉
 - 受信側で直接波と遅延波が重畳される
 - 遅れた信号が所望信号に干渉する



文字画像で例えてみる

反射波数: 増
到達時間差: 大

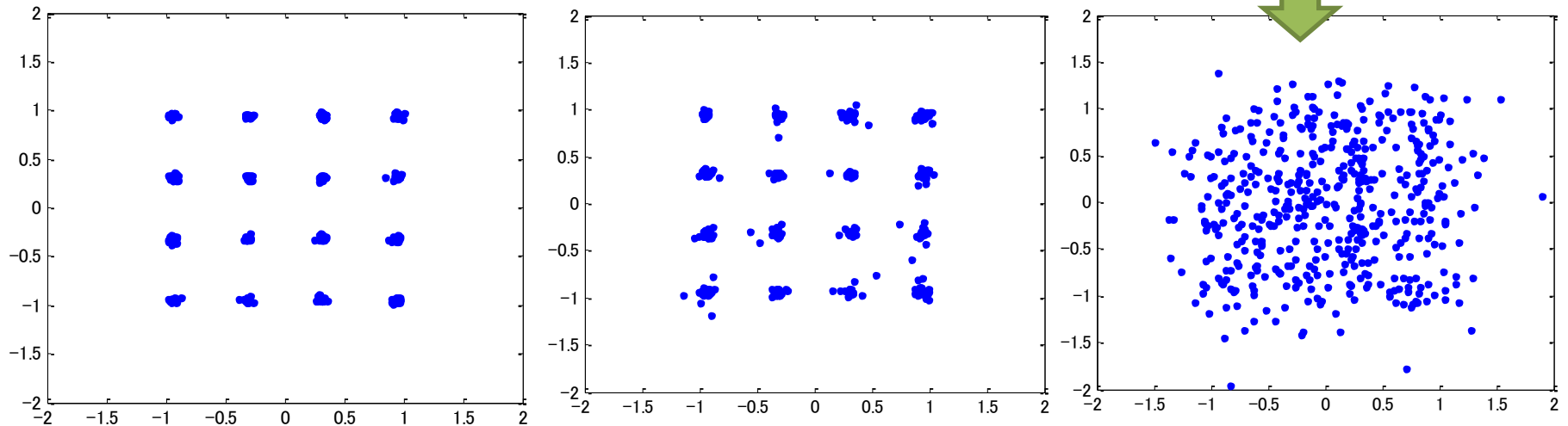


ソナーや水中測位も同様に遅延波による干渉を受ける

通信シミュレーション例

- OFDM方式通信
 - マルチパス対策として周波数領域等化を用いる(後述)

港湾のような厳しい環境でも通信を可能とすることが目標



海面反射(深海域)
16QAM伝送
ビット誤り率(BER): 0

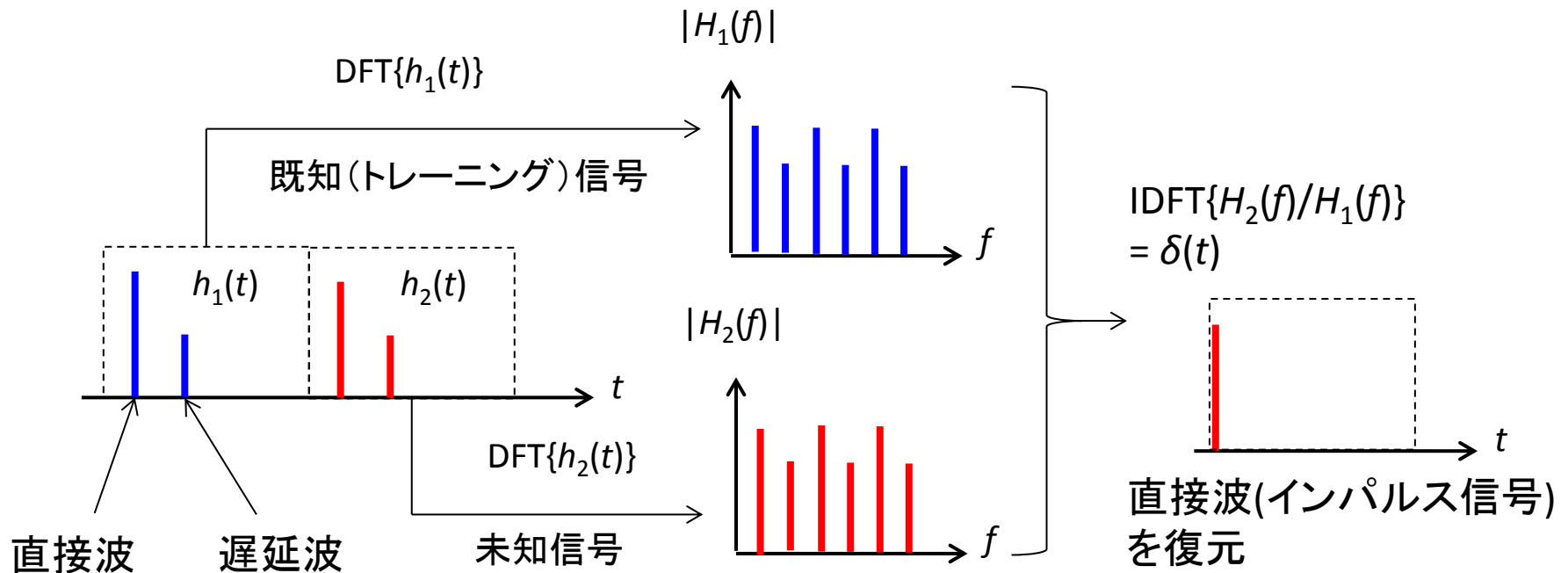
海面+海底反射(浅海域)
16QAM伝送
ビット誤り率(BER): 0

海面+海底+壁面反射(港湾)
16QAM伝送
ビット誤り率(BER): 0.18

マルチパス対策(1)

• 周波数領域等化

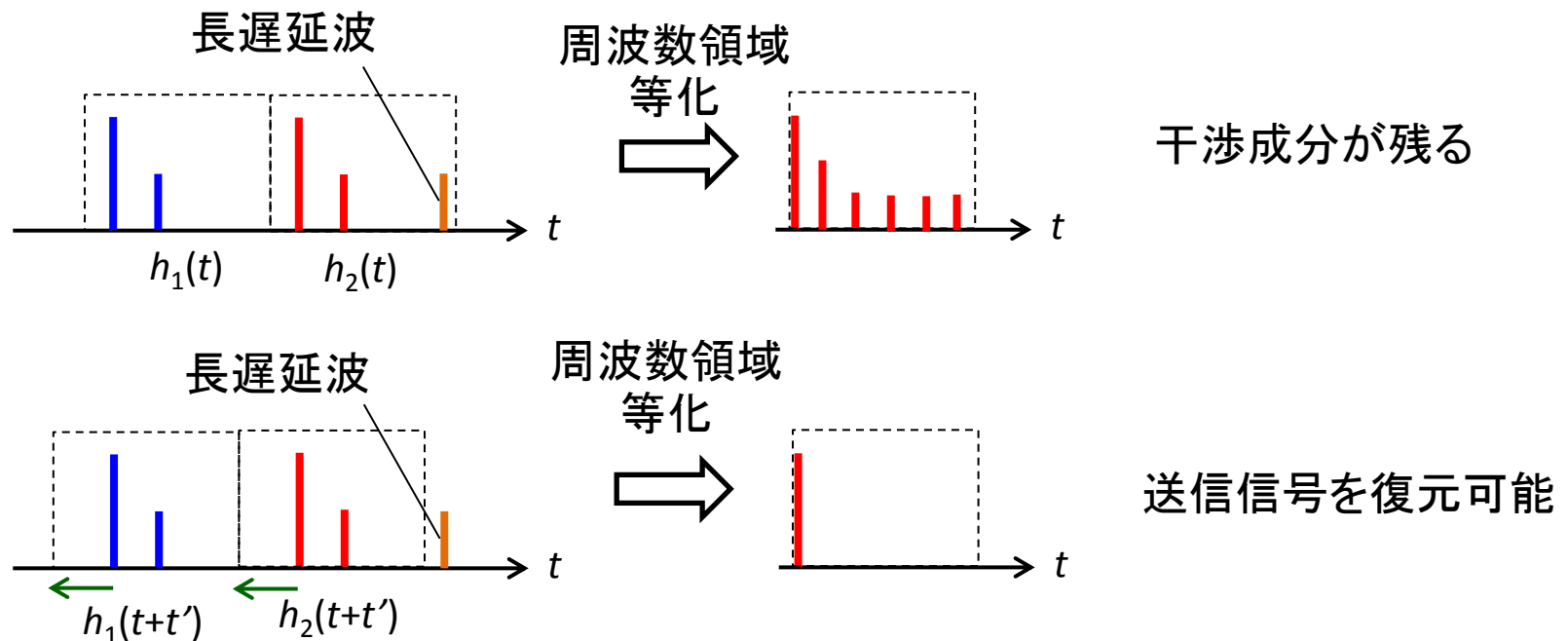
- 遅延波による干渉成分を周波数領域での除算で取り除く
- 送信信号をインパルス信号としたときの等化例



マルチパス下の受信信号 周波数領域で各周波数毎に除算し、時間領域に戻す

マルチパス対策(2)

- 長遅延波の干渉対策 (提案方式*)
 - 信号切り出し位置を変えることで遅延波干渉を軽減
 - 受信タイミングをずらしながら最適な信号切り出し位置を決める

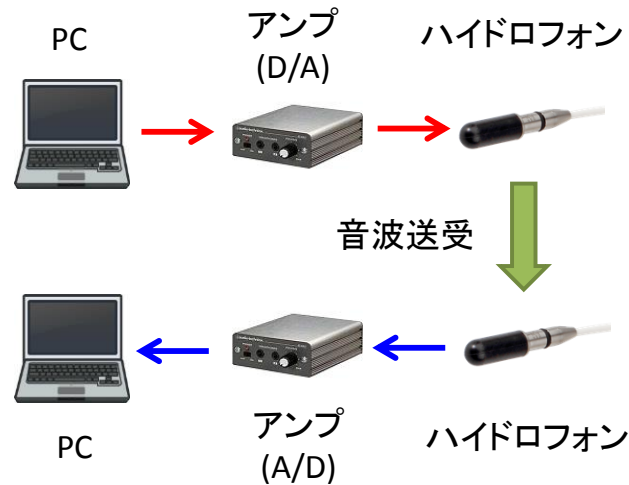
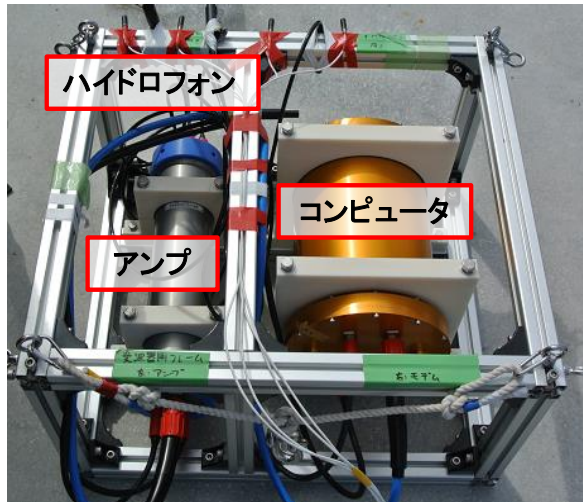


信号切り出し位置を前方にシフト

*齋藤 隆, 吉澤真吾, "水中通信システム及び水中通信装置,"
特許出願公開番号2016-25423

試験装置開発

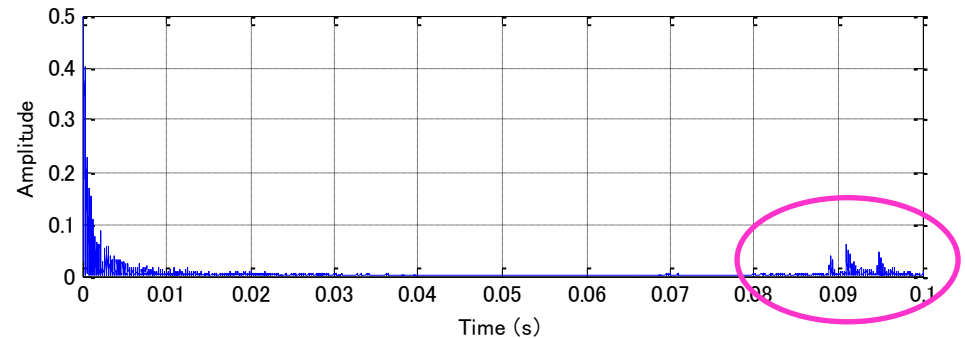
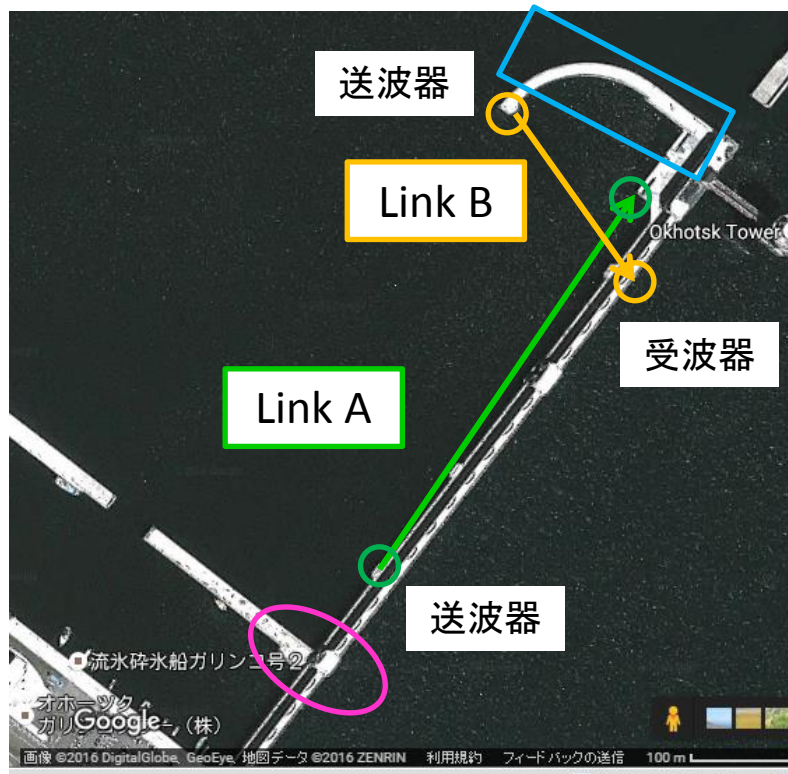
- ハイドロフォン, PC, AD/DA, 増幅器で構成
- 変復調処理や通信性能測定などをソフトウェア上で行う
 - 搬送波周波数 30 kHz ~ 60 kHz
 - 伝送レート 最大 50 kbps
 - 通信距離 最大 3 km



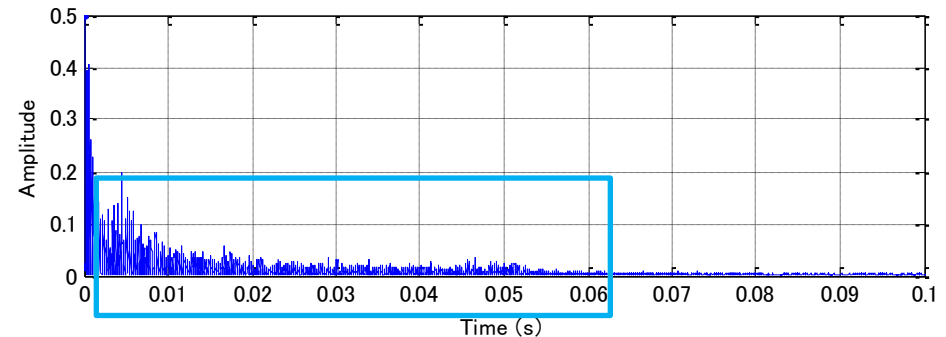
北見工大, 三菱電機特機システム, IHIとの共同開発

港湾試験(1)

- 水中音響伝搬測定
 - 遅延プロフィール測定の様子
 - 水平方向通信なので岸壁からの反射が顕著に表れる



Link A

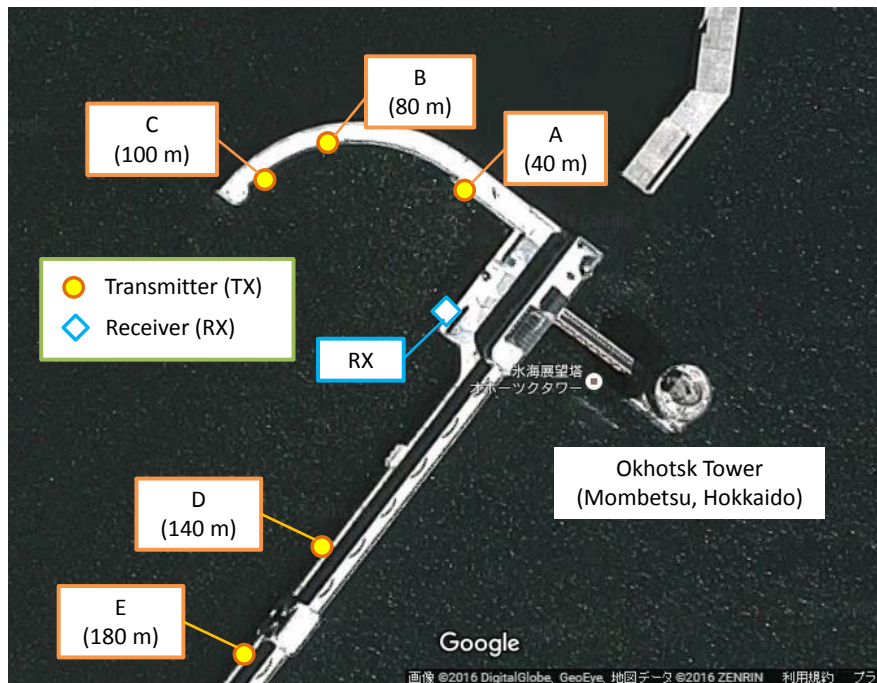


Link B

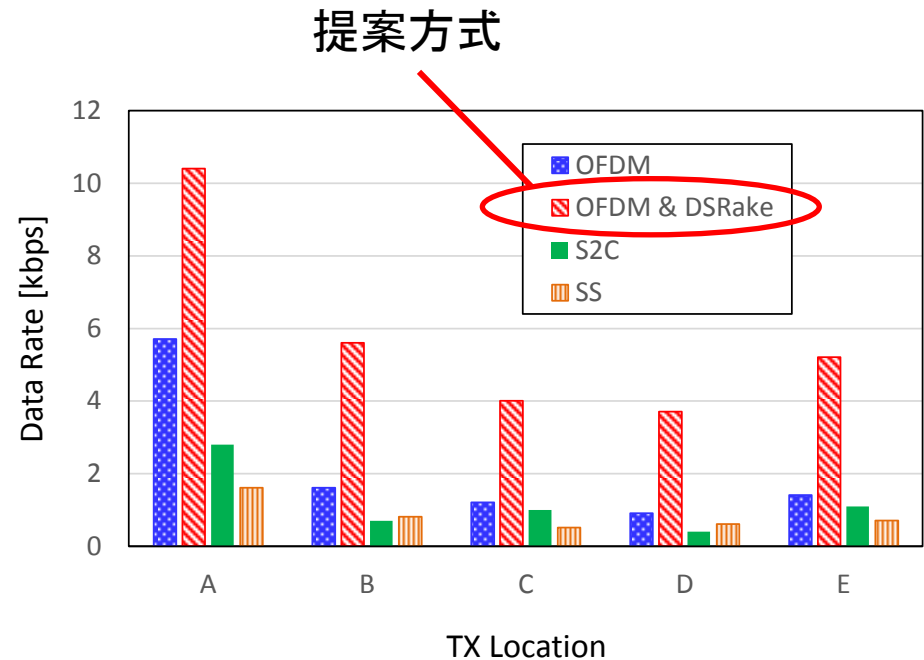
遅延プロフィール(縦軸は振幅)

港湾試験(2)

- 従来方式と提案方式を同一信号処理部に実装しての比較
- 提案方式が実伝送レートで約2～5倍向上させることを確認



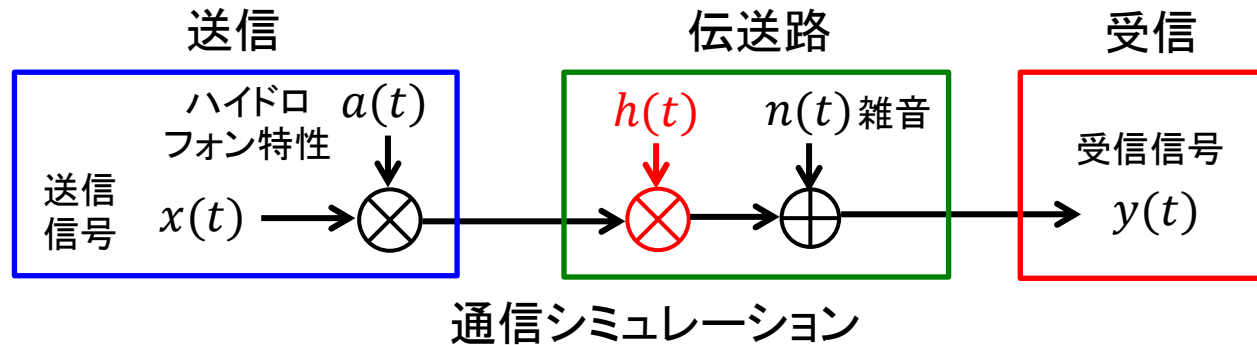
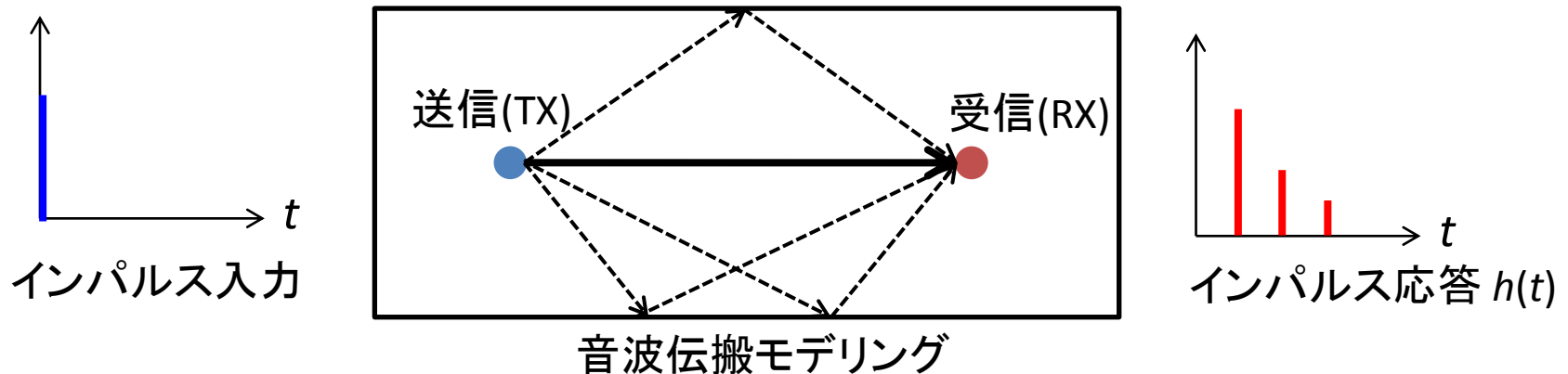
送受波器配置図
(北海道紋別市オホーツクタワー周辺)



実伝送レートの比較
(フレーム誤り率を基に算出)

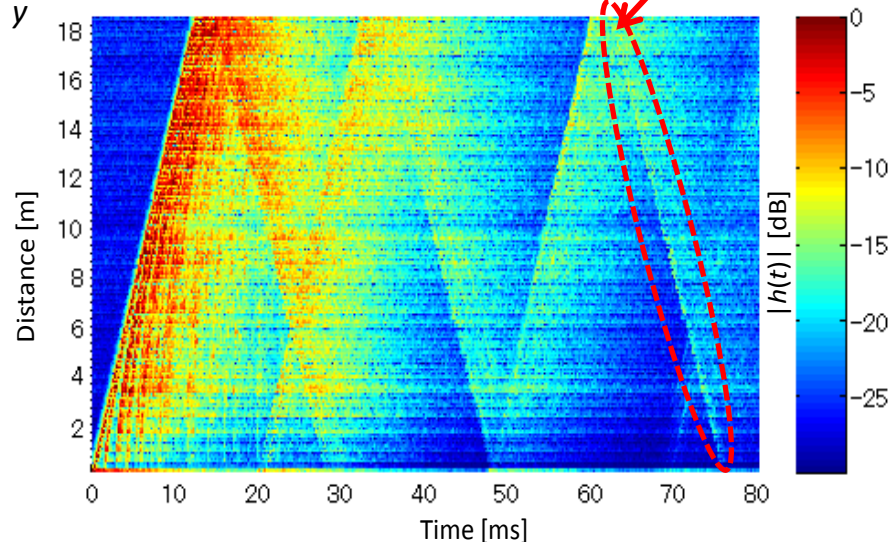
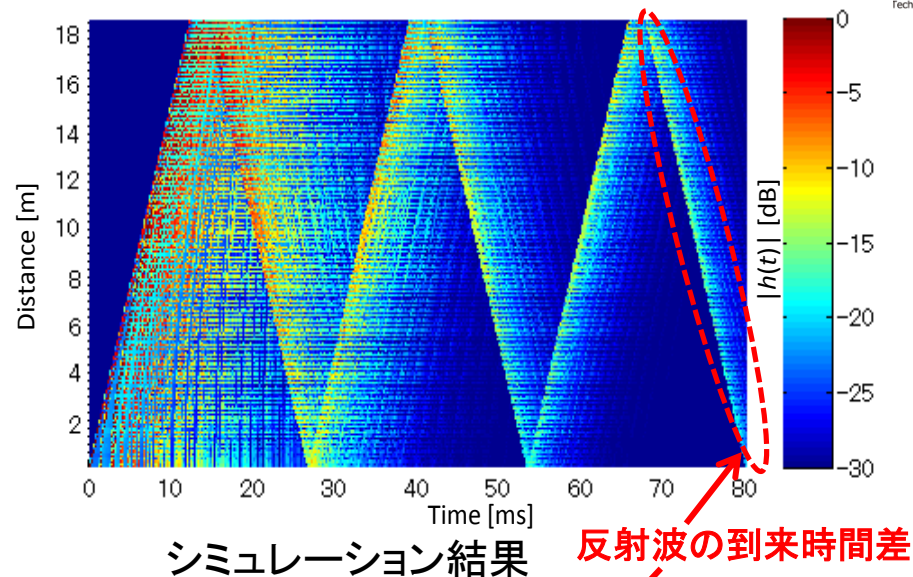
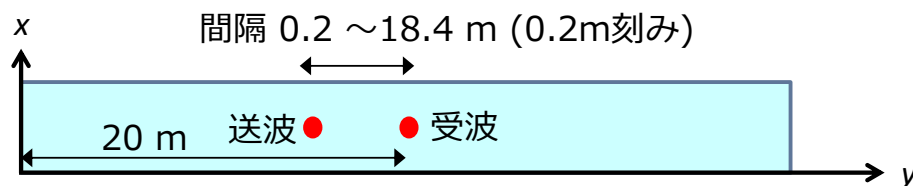
音波伝搬モデリング

- 音響通信性能をシミュレーションで推定するにはマルチパス（多重反射）やドップラーを正確にモデリングする必要がある
- 高精度な音波伝搬モデリングを行い実測と比較評価



測定試験

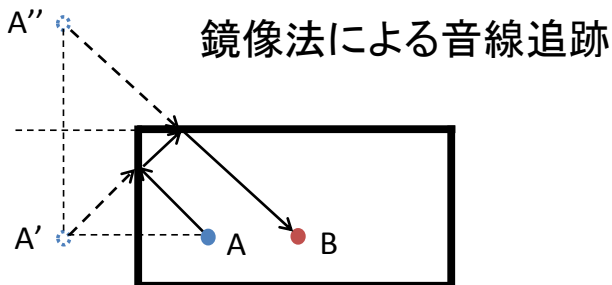
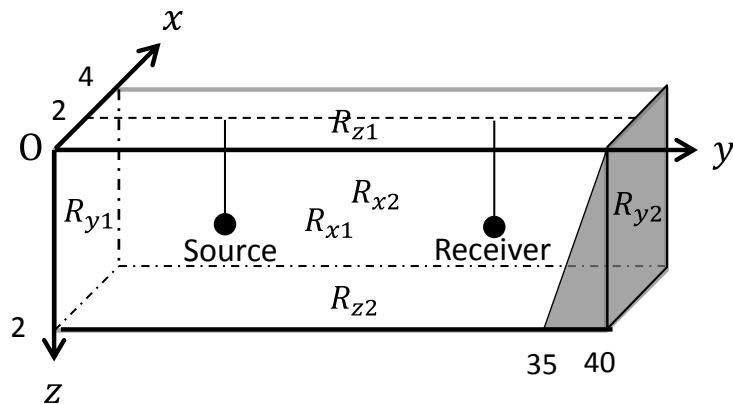
- インパルス応答をシミュレーションと実測結果で比較
- 一致する・異なる箇所での要因を考察



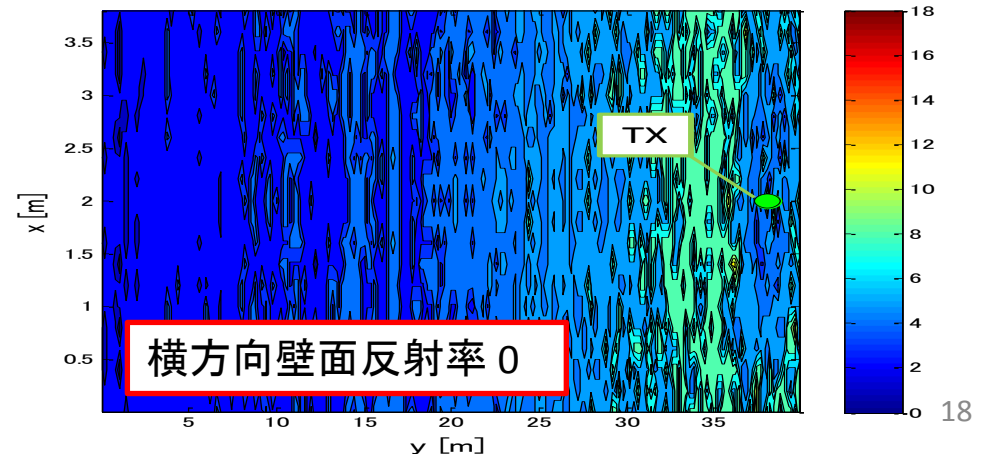
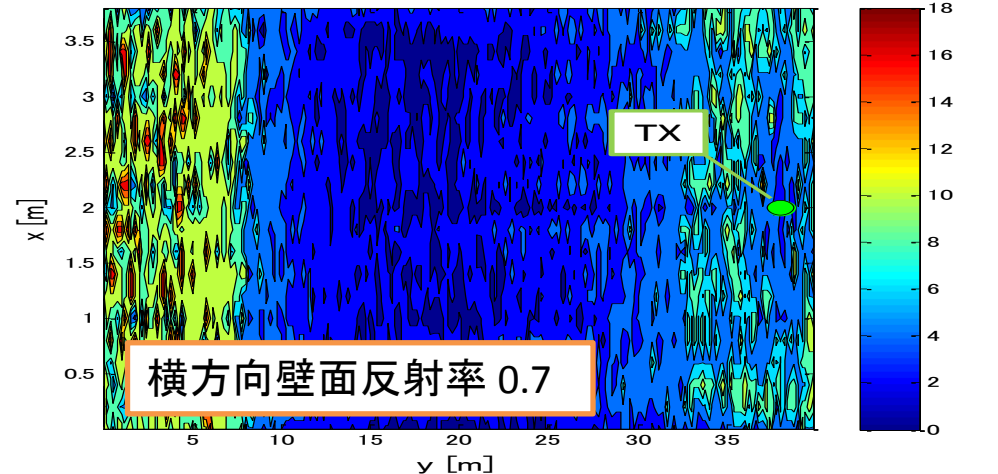
通信性能の解析

- 音波伝搬モデリングを用いて送受信機位置を変えたときの通信性能を評価

音場サイズ、送信機、受信機位置を指定

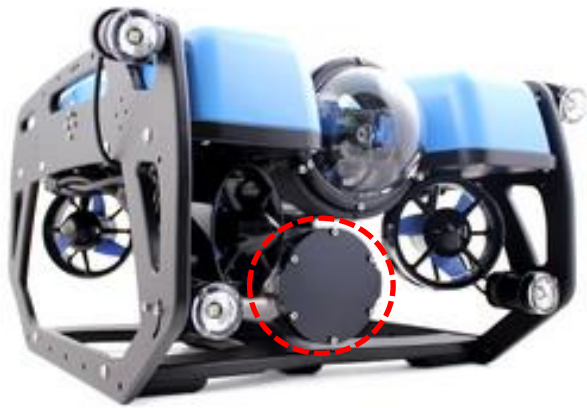


実効伝送レート [kbps]



水中ドローン組み込み型装置開発

- 既存部品を使った装置開発
 - ハイレゾオーディオ製品を活用
 - 増幅器モジュール, USBオーディオなど
 - シングルボードコンピュータで信号処理
 - Raspberry Pi + Pythonプログラム



収納できるように
音響装置を小型化

目標仕様

通信範囲 100 m

伝送レート 最大 10 kbps

データ通信・水中測位兼用

まとめ

- 水中音響通信技術の研究
 - 港湾などの音波反射が厳しい条件でも安定した通信を実現
 - シミュレーション・実測の両面での実証検証
- 今後の課題
 - 通信方式のさらなる改善(通信の高速化)
 - 音響装置小型化、ハードウェア処理化

ご清聴ありがとうございました。