2-8 極限環境ワイヤレス(海中ワイヤレス)に関する研究開発

吉田 弘 菅 良太郎 松田隆志 滝沢賢一 児島史秀

近年の海底等を対象とした探査技術の進展に伴い、海中における電波利用に対するニーズが顕 在化している。これを受けて、情報通信研究機構(NICT)は海洋研究開発機構(JAMSTEC)との共 同研究によって、海中における電波利用に関する研究開発に取り組んでいる。本稿では、海中に おける電波伝搬特性を明らかにするため、海中における電波伝搬測定系(チャネルサウンダ)の開 発を進めていることから、その概要及び測定例を紹介する。

1 まえがき

海中における電波利用は、近年の深海及び海底を対 象とした探査技術の進展に伴って、海底下資源探査 レーダや数 Mbps 海中ワイヤレス通信等のニーズが顕 在化している [1][2]。図1には JAMSTEC が示してい る海中における電磁波利用例を示す。海底下資源の探 査を目的として、海底鉱物探査レーダや海底探査ロ ボット制御における電磁波の利用が期待されている。



図1 海中における電磁波利用の例 [1][2]

このような利用例に基づき、海中における電波利用 システムの設計・開発を行うためには、海中における 電波伝搬特性を明らかにすることが不可欠である。電 波伝搬特性を測定するためには、陸上におけるチャネ ルサウンダの構築とその測定結果を用いた解析手法が 活用できるものの、海中では水圧等の影響で多くの制 約が生じることから、新たな測定系の構築が必要にな る。このことから、本稿では、海中を対象とした電波 伝搬特性の測定系である海中チャネルサウンダの開発 について述べる。

2 海中チャネルサウンダの開発

2.1 構成[3]

海中チャネルサウンダの外観を図2に示す。サイズ は2.7 m(奥行) × 2.5 m(幅) × 2.2 m(高さ)、重量は



アンテナ切替機 (海中アンテナ台座の固定アンテナを1台づつ切替) (法受信機として使用) のシテリー 図2 海中チャネルサウングの外観

約 500 kg である。海水表面からの深度 500 m の水圧 にも耐えられるように設計している。チャネルサウン ダの主な構成としては、送受信を行う測定用海中アン テナと、接続するアンテナを切り替えるためのスイッ チ(アンテナ切替機)、アンテナ間の電波伝搬特性の 測定を行うベクトルネットワークアナライザによって 構成される。

海中アンテナは、送信用として1台、受信用として 3台(60 cm 間隔で配置)を台座上に設置している。送 受信アンテナ間の間隔は最大約2mまで変更できる。 これによって、海中ワイヤレス伝送方式の設計に必要 となる、送信距離に対する送受信アンテナ間の伝搬損 失及び位相回転量を計測することができる。また、送 信用アンテナは1次元ポジショナ(Yステージ)上に 設置されており、送信源の位置を変えて電波を発射す ることが可能であることから、3台の受信用アンテナ を用いた海中における波源の方向推定実験が行える。 この実験結果は、海底下レーダ等における信号処理技 術を確立するうえで重要になる。海中チャネルサウン ダには、電波伝搬測定系のほか、海水の電気的特性を 計測するための CTD 計、チャネルサウンダの傾斜を 計測するための3軸傾斜センサ、測定系を監視するた めの水中カメラ、これを駆動するための電源(バッテ リー)を具備する。これらの機器はすべて光ケーブル によって船上の制御装置と接続されて、制御・データ 転送が遠隔から行えるようにしている。

海中チャネルサウンダにおいて利用する海中アンテ ナの外観を図3に示す。海中アンテナは、真水を注入 した円筒容器内(サイズ:直径320mm、高さ: 253mm)にマグネチックループアンテナ(図中の黒い エレメント部分)を配置して構成する。真水の層は、 エレメントに対する水圧の影響を緩和させる役割を持 つとともに、海水との電気的整合を向上させることを 目的として設けている。このアンテナの共振周波数帯 (海水中)は10MHzである。これは、海中チャネル サウンダの送受アンテナ間距離においても、放射電磁 界の測定が可能となる周波数帯として選定した。この アンテナの通過帯域幅は、VSWR2.0以下となる周波 数帯域幅とすると、約45kHzである。

2.2 計測結果の例 [4]-[7]

開発した海中における電波伝搬測定系の機能検証を 目的として、JAMSTEC が所有する大型水槽施設(長 さ40 m、幅4 m、深さ2 m)において、水中における 測定を行った。図4 に機能検証時の様子を示す。この 検証は、水中における測定であることから、送受信ア ンテナ間距離を2 m 以上に離隔するため、海中チャ ネルサウンダのフレームから取り外して測定を行った。



図3 開発した海中アンテナの外観



図 4 大型水槽施設を利用した海中チャネルサウンダの機能検証

図5に測定結果の一部を示す。送信・受信アンテナ 間距離に対する相対的な電力レベル(距離0.1 mにお ける受信信号電力を0dBと定義)の測定結果を示す。 測定用アンテナの深度を1m(青色の実線)と1.9 m(赤 色の実線)とした場合について測定を行った。

測定結果からは、距離が約2mまでは、淡水にお ける電力減衰量の理論値(緑色の破線)に従って、測 定結果の電力レベルも減衰することを確認した。2m 以上の距離においては、フロアが生じていることがわ かる。この原因を考察するために、各深度に対して、 測定した信号波形から信号強度の遅延特性を求めた。 その結果、深度1mの際には、距離が3m以上とな る場合、1サンプル分の同期点(送信波形と受信波形 との相関値が最大となるタイミング)の遅れが生じる ことがわかった。深度1.9mの際には、送受信機間距 離に対して、このような同期ずれは生じていない。こ れは遅延波による影響と考えられることから、深度 1mにおいてフロアが生じているのは、水面方向から の遅延波によるものと考えられる。

また、水中における電波の到来方向推定実験も併せ て実施した。その結果として、MUSIC アルゴリズム による到来方向推定結果を図6に示す。周波数として





0

Angle [degree]

40

80

空间スムーシンク伝 (スムーシンク処理に1 次元を剖 り当てる処理)を適用することで、図に示すように、 鋭いスペクトラム (青色の実線)が得られることを確 認した。

3 今後の展望

-80

-40

今回開発した海中チャネルサウンダは、深度 500 m まで測定が行えることから、今後、傭船等を用いて、 様々な海中環境(水深、深度、海域等)における電波 伝搬特性の測定を行い、海中における電波伝搬特性の 解明を進めていく予定である。

【参考文献】

- 1 吉田,永井,中村,岩切,広瀬, "海底下調査を目指した電磁波テレメト リとロボットの研究,"物理探査学会第133回(平成27年度秋季)学術 講演会,2015年9月.
- 2 吉田,岩切,広瀬,福田,出口,菅, "深海における電磁波の応用,"電 子情報通信学会ソサイエティ大会,2015年9月.
- 3 吉田,岩切,広瀬,福田,出口, "海中チャネルサウンディングによる海 中電磁波伝搬特性の推定 - 計測コンセプトの紹介と事前試験結果につい ての報告,"海洋理工学会平成 27 年度春季大会,2015 年 5 月.
- 4 岩切, 広瀬, 吉田, "変調信号を用いた水中チャネルサウンディング実験," 電子情報通信学会ソサイエティ大会、2015年9月.
- 5 広瀬,岩切,吉田,"淡水中の短波帯超広帯域電波伝搬特性の実測,"電 子情報通信学会ソサイエティ大会,2015年9月.
- 6 広瀬,岩切,吉田,"水中における短波帯広帯域電波伝搬特性,"電子情報通信学会総合大会,2016年3月.
- 7 岩切, 広瀬, 吉田, "SIMO-OFDM 信号を用いた水中チャネルサウンディ ング実験," 電子情報通信学会総合大会、2016 年 3 月.

吉田 弘 (よしだ ひろし) 国立研究開発法人海洋研究開発機構 海洋工学センター 海洋基幹技術研究部 部長 博士(理学) 海洋工学、ロボット、電磁気学

菅 良太郎 (すが りょうたろう)

国立研究開発法人海洋研究開発機構 次世代海洋資源調査技術研究開発プロジェク トチーム ポストドクトラル研究員 博士(工学) アンテナ工学、電磁界解析、海洋ロボット

松田隆志 (まつだ たかし) ワイヤレスネットワーク総合研究センター ワイヤレスシステム研究室 研究員 博士(工学) センサネットワーク、無線給電、生体通信

滝沢賢一 (たきざわ けんいち)

ワイヤレスネットワーク総合研究センター ワイヤレスシステム研究室 研究マネージャー 博士(工学) 移動通信、水中通信、生体通信、画像符号化



児島史秀 (こじま ふみひで) ワイヤレスネットワーク総合研究センター ワイヤレスシステム研究室 室長 博士(工学) 無線通信、無線アクセス制御