

1. 水中電磁波通信に関する実験的検証

機械電子技術科 ○村田政隆、松村一弘
企画管理部 宮原則行

1. はじめに

現在、IC タグ (RFID)、無線 LAN や GPS など、電磁波による陸上無線通信及び計測・制御技術が盛んに開発されている。しかし、海洋や淡水を対象とした機器の研究開発という観点で眺めると、電磁波の減衰が大きいこと、低周波や淡水などに特化した無線通信事例や特許が、いくつか存在するだけである。このような背景の中、水中機器開発の高度化など、将来的な無線通信技術の産業的な応用を視野に入れば、水中電磁波通信の可能性や実用性を検証する必要性は高い。

そこで、水中電磁波通信の実験機を試作し、電磁波通信が不相当という概念が強かった水中環境での電磁波通信の実用化に向けて、実験的に検証した。

2. 実験機

2.1 電磁波

電磁波を利用する場合、基本的には総務大臣の免許を受ける必要があり、用途別に周波数、変調方式および送信出力等が定められている。ただし、図 1 に示す電界許容値以下で使用する微弱電波や、技術基準適合証明を受けた機器を使用する特定小電力無線局などは、免許がなくても例外的に扱うことが認められている。そこで、本実験で利用する電磁波には、利便性の観点から、免許や技術基準適合証明を必要としない微弱電波を用い、実験機を試作した。

なお、微弱電波を利用するにあたり、電磁波の電界強度が許容値以下であることを確認する必要がある。そこで、電磁波の確認には、電子機器類の電磁波ノイズの測定や対策を目的として当センターに設置されている 3m 法簡易電波暗室を使用し、dB($\mu\text{V}/\text{m}$) 単位により確認した。ここで、 $1\mu\text{V}/\text{m}$ を基準とした場合、 $500\mu\text{V}/\text{m}$ は約 53.9dB($\mu\text{V}/\text{m}$) に相当する。また、図 1 より、322MHz~10GHz までの電界強度許容値は、他に比べ低くなっているため、322MHz 以下の周波数を搬送波とすることが望ましいと考えた。

2.2 試作

前述したように、現在では安くて高性能な既製の無線モジュールの入手が容易となっている。今回、1,000 円~4,000 円程度で入手可能な、英国の RF Solution 社製の無線モジュールの中から、315MHz の AM 変調モジュールを選定した。そして、この無線モジュールと、ワンチップマイコンである PIC (PIC16F73) を組み合わせ、送信機のスイッチを押すと受信機の LED が点灯するという仕様の、簡単に通信確認ができる通信速度 2.4kbps の送受信機を試作した。

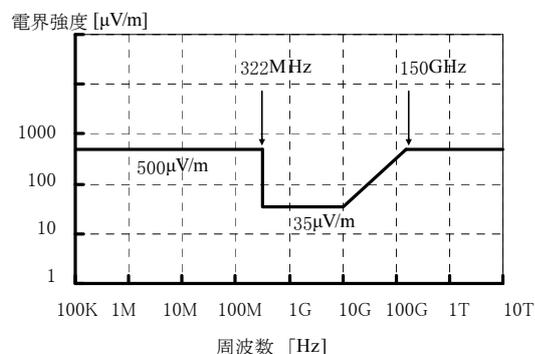


図 1 微弱電波の許容値

表 1 無線モジュールの仕様

	送信モジュール	受信モジュール
型式	AM-RT5-315	AM-HRR3-315
寸法	17.78×11.43 mm	38.1×12.7 mm
供給電圧	DC 5V	DC 5V
消費電流	4mA	2.5mA
搬送波	315 MHz	315 MHz
通信速度	4KHz	3KHz

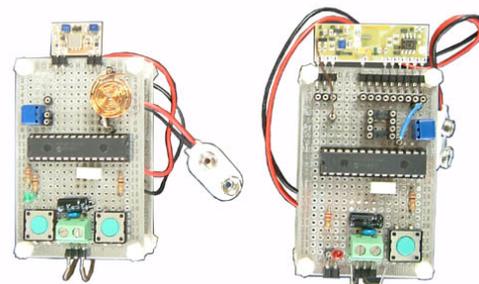


図 2 試作機 (左: 送信機 右: 受信機)

3. 実験

3.1 電波暗室実験

はじめに、送信機にφ0.5mmのエナメル線を1本立てた形態のホイップアンテナをとりつけ、このアンテナ長の違いによる電界強度の測定を行った。搬送波周波数が315MHzの実験機において、実験条件のアンテナ長Lを $L = \lambda / n$ (波長 $\lambda = 95.2\text{cm}$, $n = 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$)として、それぞれの電界強度を測定した。その結果、電源に安定化電源を用いた場合、水平偏波の電界強度は $n=4$ の時に $54.9\text{ dB}(\mu\text{V/m})$ とピークに達し、 $n=3$ の時でも電界強度が比較的強いことを確認した。そして、積層型乾電池(006P)を電源とした場合には電界強度が $15\text{dB}(\mu\text{V/m})$ 程度低下することを確認した。また、ホイップアンテナは単純な構造ではあるが、使用上では邪魔に感じることもある。そこで、機器に内蔵可能な小型アンテナの一例として、エナメル線を蚊取り線香のように巻いた渦巻型アンテナを試作し、ホイップアンテナの電界強度と比較した。その結果、垂直偏波は $2.7\text{dB}(\mu\text{V/m})$ 程度小さくなったが、水平偏波では $0.3\text{ dB}(\mu\text{V/m})$ 程度高くなり、アンテナ形状のコンパクト化が、容易に図れる可能性があることを確認した。

次に、水道水と人工海水を用意し、小型の渦巻型アンテナを取り付け、防水ケースに収めた送信機を水槽内に水没させて、電界強度を測定した。その結果、図3に示すように水道水では水深が深くなっても電磁波強度はさほど変化しないが、人工海水ではわずかに沈んだだけで電界強度が激減することが認められた。

3.2 プール実験

淡水での電磁波通信が確認できたため、次に、北海道大学大学院水産科学院のプールを利用して実験を行った。本実験では、プール水深が3mの部分を使用して、実験機と図4に示す市販受信機による水中通信実験を行った。それぞれの周波数と受信を確認できた最も深い水深の関係をまとめた結果を図5に示す。

このうち、最も深くまで電磁波が到達したのは、ラジオのAM放送であり、プールの底でも受信感度はきわめて良好であったことから、より深い水深でも十分受信可能であると思われる。本実験では、送信側出力強度が確認できず、一定強度での比較とはならないが、周波数が高くなるほど水中での到達水深が浅くなることを確認された。

また、図5では、搬送波315MHzの実験機を用いた2種類の結果も示している。Aは送信機が水面直上にある場合、Bは送信機を水面直下に水没させた場合を示しており、この結果から、送信機を水面よりも下に設置すれば、電磁波の到達水深が大きく深くなることがわかった。

4. おわりに

アンテナの長さや形状の違いによる電界強度の傾向確認により、防水ケースに内蔵も可能な形態でのアンテナの小型化が見込まれた。また、人工海水や淡水による水中通信実験を行った結果、淡水ではそれほど周波数を低くしなくても、水中通信の実現可能性を認めた。今後は、計測制御用途での実用化に向けた、研究開発を進めていく予定である。

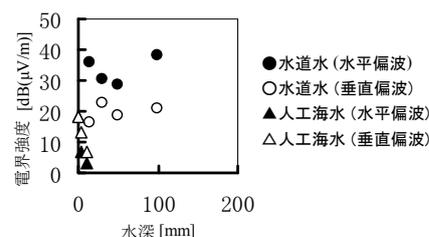


図3 水槽実験による水深と電界強度の測定結果



図4 プール実験に使用した市販受信機の一例

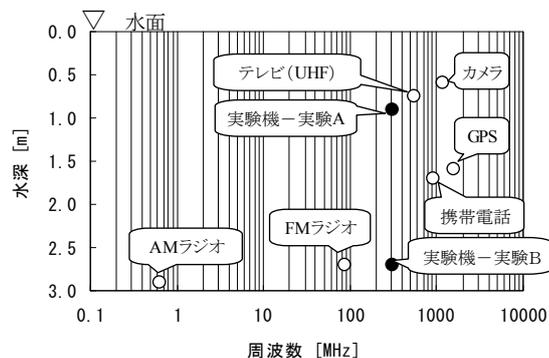


図5 周波数に対するプールでの通信距離の結果