

# 水中光通信に関する基礎研究開発

村田政隆, 宮原則行

## Fundamental Study on Underwater Optical Communication

Masataka Murata and Noriyuki Miyahara

### 要 旨

携帯電話やリモコンなど、陸上では電波や光による無線通信技術が普及している。しかし、水中では電波や光が空気中に比べ大きく減衰してしまうという本質的問題以外にも、防水対策、給電問題、流体力の影響を受ける等の水中特有の開発障壁があるため、水中用途の無線技術はほとんど普及していない。これまで、電波は淡水中では利用可能なものの、海水中では産業用には利用できないことを示してきた。一方、光については、十分な利用可能性検討を行ってきていないため、海水用途での無線計測実現を目的に、光通信技術を適用した水中光通信技術の実現性について実験的検討を行った。その結果、小型で省電力駆動のLEDを利用しても、水中光通信の実用可能性を示すことができた。

携帯電話、RFID、無線LAN、家電のリモコン等、日常生活では、利便性が高い無線通信技術が多用されている。無線通信で利用されている電波や赤外線は、水中での減衰が著しく、空気中に比べて通信距離が極端に短くなるため、海水や淡水等の水環境で利用可能な水中無線通信の技術開発や導入事例が非常に少ない<sup>1)2)</sup>。

水産海洋分野の研究や調査等では、センサーシステムを水中に投下したり水中物体に固定したりする必要があるケースが多い。しかしながら、有線通信の場合、流体力を受けたケーブルが不規則に運動してしまうため、この外乱対策や測定データの補正を行わなければならない。また、ケーブルを使用せずにデータロガーを利用する場合は、測定値はデータロガーを回収後に収集されるため、リアルタイム測定は不可能である。このように、有線による弊害の排除と、リアルタイム性の両立が求められる計測では、水中無線通信技術が必要になる。

これまで、315MHzの微弱電波を用いた水中無

線技術について基礎的実験を行い、淡水中であれば約2m程度の通信距離が確保できる可能性を示し、電解物質が含まれる海水中では数mm程度しか通信距離を確保できないこともわかった<sup>3)</sup>。現在、これまでの成果を活用し、淡水魚のストレス指標を示すグルコース値を自由遊泳状態でリアルタイムに測定する小型バイオセンサシステムの開発に取り組んでいる。しかし、前述のように微弱電波は海水中では使用できないため、研究対象が淡水魚に制限されており、産業応用に向けた研究が難しい状況である。そこで、海水中での光無線通信技術の研究開発に取り組んだ。

水産海洋分野では、スケールモデルを用いた水槽実験が行われることが多く、小型のセンサーシステムは利便性が高いケースが多い。また、経時変化を捉えることが重要な場合もあり、長時間測定可能な省電力仕様が求められるケースもある。そこで、将来的な技術応用を見据え、まずはボタン電池1つで駆動可能なLEDを光源に用いることを考えた。一般的な家電のリモコンは、水に吸

収されやすい赤外線を使用している上、乾電池により100mA程の電流を赤外線LEDに供給しているため、民生品の利用を断念せざるを得ない。そこで、受光系を含めた送受信機を試作することとした。はじめに、送信機に使用する

LEDの仕様について検討した。光の波長による通信距離の実験も考慮し、寸法と視野角が同一で入手性が良く、波長選択性が高いLEDを選定した結果、直径約3mm、視野角60deg.の表1に示すKingbright社製L934シリーズから、使用するLEDを選択することにした。

表1 Kingbright社製LED

色	ピーク波長 (nm)	順方向電圧 (V) @Typ.	輝度 (mcd) @ 20mA	型番
青	430	4.0	20	L934MBD
緑	565	2.2	40	L934SGD
黄	595	2.0	100	L934SYD
橙	610	2.0	200	L934SED
赤	660	1.85	400	L934SRDG

水中における可視光の吸収率は、長波長側の青色よりも、短波長側の青色が低いため、通信距離確保には赤色LEDよりも青色LEDを利用するのが有効である。しかし波長が短いほど、順方向電圧は大きくなり、20mA当たりの輝度も低くなる。これまで、微弱電波モジュールは電圧が3Vのボタン電池を使用しており、従来技術と置換可能とするためには、基本的には3V以下で回路を駆動させる必要がある。そこで、本実験では順方向電圧が低く、最も輝度が高い赤色LEDが、水の吸収特性を考慮しても有利であると判断した。また、民生用光通信モジュールは赤外線仕様であるため、受光系も試作する必要がある。本実験では、図1に概略を示す送受信機を試作した。

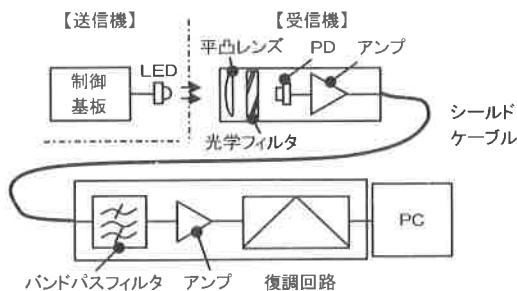


図1 試作機概略図

送信機の制御基板には、3Vのボタン電池で

駆動するPICマイコン配置し、通信速度2.4kbpsにてASCIIコードをLEDで送信する仕様とした。ただし、外乱光の影響を低減するために、赤外線リモコンでも利用されているパルス変調(約38kHz)を行った。受光側にφ20mm、焦点距離f=25mmの平凸レンズと、外径24mm、カットオン波長600nmの光学フィルタを用い、S/N比の改善を図った。受光機では、38kHzで同期検波し、増幅後2.4kbpsの通信信号に復調し、パソコンによりASCIIコードを確認した。なお、通信機能確認や回路の動作チェックを行うため、電源にACアダプタを使用したタイプの送信機を試作し、空気中で通信距離の確認を行った。空気中実験状況を図2に示す。



図2 空気中実験状況

一般的な環境で通信可能かどうかを確認するため、送受信機をあえて窓際に設置し、室内の蛍光灯を点灯させ、送受信機が外乱を受けやすい状況にして実験を行った。送信機のLEDに35mAの電流を与えてパソコンで受信状況を確認したところ、光軸が正確に一致した場合、約80cmの通信距離が得られることを確認した。単3電池を複数使用し、赤外線LEDに100mAを超える駆動電流を与えているテレビのリモコンに比べれば、通信距離が短い状況は仕方がないが、光軸が正確に一致しなければ正常に通信できない状況については、別途改善方法を検討する必要がある。

次に、水中通信の状況を確認するため、送信機の小型化を図り、基板サイズを17mm×26mmに縮小した。また、通信のタイミングを1secに設定し、低消費電力化を図るため、LEDの駆動電流を空気中実験の1/5に相当する約7mAに設定し、実験を行った。水中実験の様子と防水処理した送信

機を図3に示す。

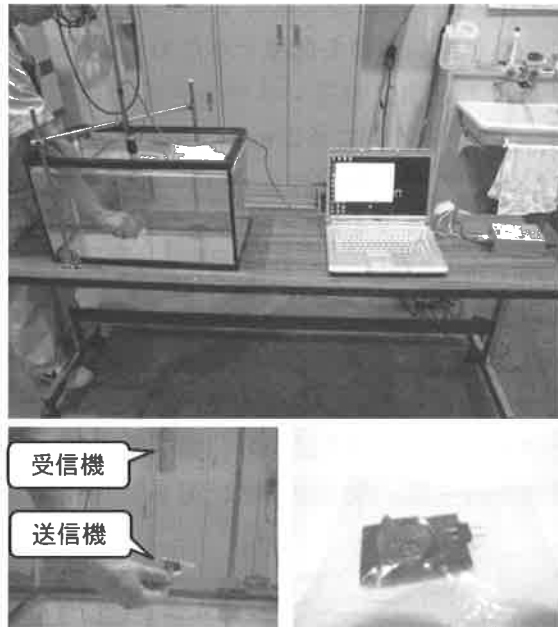


図3 水中実験状況  
(上：全体状況 左下：送受信状態 右下：送信機)

約600W×300D×350H(mm)の水槽に、深さ300mmまで水道水を満たし、水槽中央部にレンズ面が水没するように受信機を固定した。防水処理を行った送信機を水中に位置する受信機レンズ直下から、深度方向に、ほぼ光軸上を移動させ、通信状態を確認した。その結果、送信機が受光部から離れるほど正常な通信結果を得られづらくはなるが、送信機を約30cm離れた水槽底面でも通信は可能であった。次に、食塩を投入し、塩分濃度を0.5%にしても同じ傾向となった。

以上より、赤色LEDとPICマイコン、ボタン電池で駆動する送信機でも、30cm程度の距離であれば、電波では通信不可能であった塩水でも、利用可能性を示すことができた。

#### 参考文献

- 1)SHELLEY T：Eureka,Vol.20,No.11(2000),P20-22
- 2)Hideaki Endo,Eiji Takahashi,Masataka Murata, Hitoshi Ohnuki,Huifeng Ren,Wakako Tsugawa, Koji Sode：Fisheries Science,Vol.76,No.4,(2010),P687-694
- 3) 村田政隆、宮原則行：北海道立工業技術センター研究報告、第9号(2006)、P58-60