

水中部における可視光通信の通信可能距離の簡易推定に関する基礎実験

東亜建設工業 正会員 ○福岡 繁 網野 貴彦

1. はじめに

近年、陸上で大容量データを高速に無線通信する手段として、可視光通信が注目されている。可視光通信は、写真-1 に示すように、送信機と受信機の光の相互やり取りによって通信する手段であるが、指向性が高いため、情報セキュリティや電波による精密機器の誤作動の防止等が強く求められる場所での利用が期待されている。

一方、水中の無線通信では一般に音波が用いられるが、通信速度が遅く、大容量データの通信には、ケーブルを用いた有線によらざるをえないのが現状である。可視光通信を水中に適用できれば、陸上同様に、高速かつ大容量の無線ネットワークを形成できる可能性が考えられる。水中無線ネットワークが形成できれば、潜水作業が困難な大水深や高波浪域の点検において水中ロボット等を適用する場合のデータの通信手段として活用でき、また、水中ロボットの無線遠隔操作が行える等様々な効果が期待できる可能性がある。

なお、可視光通信は媒体となる水の濁りや塩類濃度、外来光、浮遊物質等によって通信速度が影響されることが知られている¹⁾。そのため、通信可能距離を推定する場合、運用前に設置予定のサイトに通信機器を水没させて通信試験を行う必要があり、多大な労力が掛かる。本研究では、検討の導入として、サイトにおける水中試験の省略を目的に、サイトから採取した海水を用いた試験室内での簡易試験により通信可能距離を推定する手順を検討した。

2. 実験で用いた可視光通信機器

実験で用いた可視光通信機器を写真-1 に示す。可視光通信には、レーザーダイオードを用いるものもあるが、安全性やコストに課題がある。そのため、本研究では、安全かつ汎用性に富む発光ダイオードを用いた機器のうち、水中で透過性の高い青色の光を出力する市販の機器を選定した。また、選定した機器は、直径φ50、φ100mmの望遠レンズが取り付け可能であり、φ50

レンズでは試験室内の気中環境で最大 250Mbps 程度の通信速度を確保できるものである。

3. 実験概要

実験ケースを表-1、実験状況を写真-2 に示す。測定項目は、通信速度に加えて、光の強度の減衰特性を確認するために、受信機の受信レンズ前方の照度(以下、受信照度)とした。水中実験では、通信機器をアクリル容器に入れて、水道水で満たした大型水槽(W1.0m×L60m×H2.0m)内で、通信機器間の距離を変化させた。海水実験は、大型水槽内の水の入替えが困難であったことから、W50cm×L100cm×H40cmのアクリル容器に海水を満たし、離間距離を4.0mと固定した通信機器間に設置し、アクリル容器の個数を1〜3個と変えること

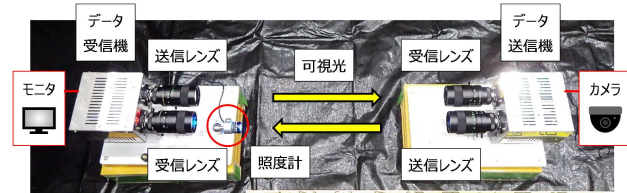


写真-1 可視光通信機器

表-1 実験ケース一覧

ケース	実験構成	通信環境 媒体	アクリル 容器数 (個)	機器 離間距離 (m)	水中通信 距離 (m)	備考
水中 実験		水道水	—	任意	任意	大型水槽
海水 実験		海水	1	4.0	1.0	アクリル容器
		海水	2	4.0	2.0	アクリル容器
		海水	3	4.0	3.0	アクリル容器
濁度 実験		カオリン 調整水	1	4.0	1.0	アクリル容器 濁度： 0〜35NTU

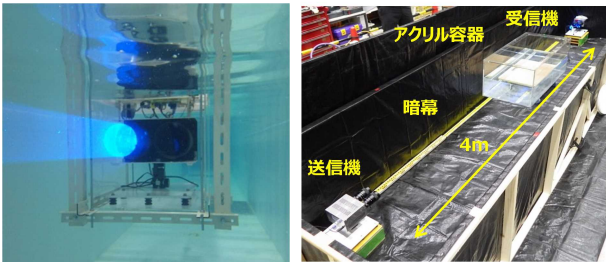


写真-2 実験状況（左：水中実験，右：海水実験）

キーワード 可視光通信，水中通信，水中無線ネットワーク，通信速度，照度

連絡先 〒230-0035 横浜市鶴見区安善町 1-3 東亜建設工業技術研究開発センター TEL 045-503-3741

で水中通信距離を変化させた。濁度実験では、海水実験と同様の手順により、1個の亚克力容器に水道水を満たし、カオリンにより濁度を調整しながら計測した。

また、水中実験は室内照明が点いている環境と消えている環境で行い、外来光が通信速度に及ぼす影響も確認した。なお、室内照明の有無の照度差は100Lux程度であった。海水および濁度実験では照明による影響を除外するために、外来光を遮断した環境で実験した。

4. 実験結果

図-1 に実験で得られた「通信速度－受信照度」の関係を示す。本結果より、通信環境の媒体(水道水、海水、濁水)が異なる条件であっても、レンズ径が同じであれば概ね同一線上にプロットされていることがわかる。

また、受信照度が低くなるほど、通信速度が低下していた。

次に、水中実験で得られた「通信速度－通信距離」の関係を図-2 に示す。本結果より、室内照明が消えている環境において、φ50 レンズでは29m、φ100 レンズでは39m まで通信が可能であることを確認した。また、φ50、φ100 レンズともに通信速度100Mbpsを境に、外来光の影響を受け始めた。

一方、光の距離による減衰を考慮する場合、式(1)に示す Lambert-Beer の法則に従うことが知られている。この式によれば、サイトの媒体の透過率 e^c と通信機器の光源照度 I が得られれば、通信可能距離を推定できる。なお、式(1)中の媒体の透過率 e^c は、今回の実験で用いた水中環境では0.85～0.9程度であった(気中では概ね1.0)。また、通信機器の光源照度 I は、φ50 では2479Lux、φ100 では3471Luxであった。ここで、 E : 距離 L における受信照度、 I : 通信機器の光源照度、 c : 媒体を透過する照度の1m当りの減衰率(e^c : 1m当りの透過率)、 L : 通信機器の離間距離である。

$$E = I(e^{-c})^L / L^2 \quad (1)$$

5. 通信可能距離の推定手順

サイトの環境条件や使用する機器に応じて水中での通信可能距離を推定する手順を以下に示す。

- ① 気中環境で「通信距離－受信照度」の関係性を把握し、式(1)から機器の光源照度 I を求める。なお、機器を変更しない場合、光源強度は変わらない。
- ② サイトから海水等を採取する。濁度によって通信

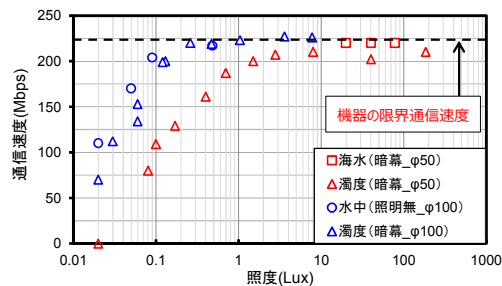


図-1 「通信速度と受信照度」の関係

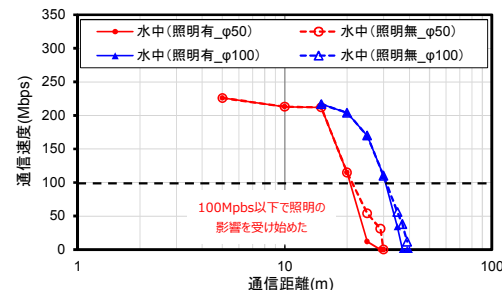


図-2 「通信速度と通信距離」の関係

速度が影響を受けるため、採取時期は濁度が高い時期とするのが良い。また、外来光も影響を与えるため、日中に水中照度も測定する。

- ③ 海水等を亚克力容器に入れて、サイトの水中照度を再現した環境で通信試験を行い、手順①で得られた光源照度 I を式(1)に代入することで海水の透過率 e^c を算出する。併せて、「通信速度－受信照度」の関係性を把握する。
- ④ 手順③で得られた「通信速度－受信照度」の関係性から、必要となる通信速度を確保できる受信照度 E を把握し、手順①～③で確立した式(1)に代入することで通信可能距離 L を推定する。

6. まとめ

本実験で得られた知見を以下に示す。

- (1) 通信環境の媒体(水道水、海水、濁水)が異なる条件であっても、「通信速度－受信照度」の関係性はレンズ径毎で概ね同一線上にプロットされた。
- (2) サイトから通信環境の媒体を採取して、室内における簡易試験により媒体の透過率と通信機器の光源照度を求めることで、水中での通信可能距離を簡易に推定する手順を提案した。本手順により、サイトでの水中通信試験が省略できるため、時間とコストの削減が図れると考えられる。

参考文献

- 1) 林新, 澤隆雄: 波長適用技術を用いた海中 LED 光無線データ通信, JAMSTEC Rep. Res. Dev., Vol.19, 2014.9