

# 水中可視光ワイヤレス給電通信システムにおける 高電力効率変調法の検討

7313051 木元 亮太

## 1 まえがき

現在の水中環境調査において、自立型無人機 (AUV : Autonomous Underwater Vehicle) や水中センサ及び観測船などの水中システム間の通信には一般的に音波が使われている。音波通信は数 km の長距離通信が可能であるが、通信速度が数 kbps と非常に低速である。水中システム間の通信には数 Mbps~数十 Mbps 程度の通信速度が必要とされており、高速な水中無線通信への需要が高まっている。そこで、音波通信に代わる高速な水中無線通信として、可視光通信が注目を集めている [1]。本稿では、柔軟な水中無線通信ネットワーク網構築のために、水中センサのバッテリーレス化にも着目し、可視光ワイヤレス給電技術 [2] を適用した水中ワイヤレス給電通信システムを提案する。とくに、可視光通信の変調方式として一般的なオンオフキーイング (OOK) 方式、パルス位置変調 (PPM) 方式、反転パルス位置変調 (IPPM) 方式 [3] の三つの変調方式を取り上げ、高効率給電実現のための変調方式について検討を行う。

## 2 水中ワイヤレス通信給電システム

### 2.1 システムモデル

図 1 に提案する水中可視光ワイヤレス給電通信方式のシステムモデルを示す。

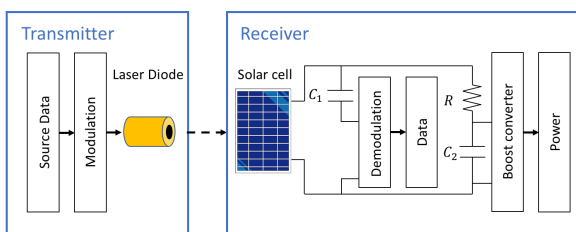


図 1 システムモデル

送信機では変調方式で決められた発光パターンに従って、LD(Laser Diode) を点灯させることで、情報を送信する。受信機では受信信号を太陽光パネルを用いて光電変換を行い、電力/通信信号分離フィルタを用いて電力信号と通信信号へ分離される。通信信号は復調し、情報を取り出す。電力信号は昇圧コンバータに入力され、一定の電圧となるよう調整し、安定した電力として取り出す。このとき、コンバータの入力電圧が短時間に変動すると、出力電圧にもその影響が出てきてしまう。そのため、コンバータの入力電圧が変動しないような変調方式が望ましい。

### 2.2 変調方式

可視光通信の変調方式として、オンオフキーイング (OOK) 方式、パルス位置変調 (PPM) 方式、反転パルス位置変調 (IPPM) 方式の三つの変調方式が提案されている。OOK 方式とは情報ビットの 1, 0 に対応して発光、消灯、させることで情報を表現する。しかし、情報ビット 1 が連続で送信され、情報に偏りがあるとき給電電力に影響が出てしまう問題が考えられる。PPM 方式は、図 2 に示すように時間軸をフレームと呼ばれる単位に分割し、さらに 1 フレームを  $M$  個のロットで分割し、その中の一箇所にパルスを配置する。そして、1 フレーム内のどこにパルスが存在するかで情報を表現する。 $M$  個のロットに分割した場合、1 シンボルあたり  $\log_2 M$  [bit] 伝送できる。1 フレーム内でパルスが常に一つであり、パルスの比率が一定であるため、給電電力が安定することが期待される。しかし、ロット数を増やすことにより 1 フレーム内でのパルスの比率が小さくなり、給電電力が減少することが考えられる。IPPM 方式は、PPM 方式のパルスパターンを反転させた変調方式である。IPPM 方式は 1 フレーム内でパルスの数が常に一定であるため給電電力の安定化に加え、1 フレーム内でのパルスの比率が PPM より高く、高効率給電が期待できる。

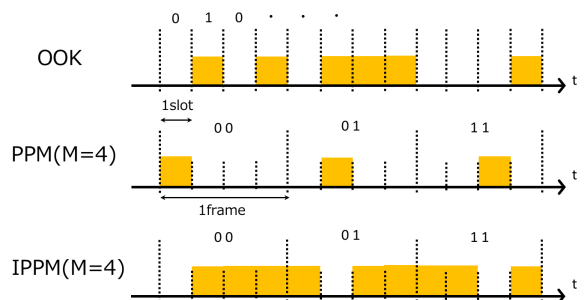


図 2 OOK, PPM, IPPM 方式における送信波形

## 3 シミュレーション評価, 考察

本稿では、IPPM ( $M = 4$ ), OOK, PPM ( $M = 4$ ) 方式の受信光電流に応じた昇圧型 DC/DC コンバータの出力電圧及び、通信性能についてシミュレーションにより評価する。ここで、各変調方式の通信速度は全て 1Mbps である。また、電力/通信信号分離フィルタの各パラメータは  $C_1 = 0.1\mu\text{F}$ ,  $C_2 = 500\mu\text{F}$ ,  $R = 1\Omega$  であり、昇圧型 DC/DC コンバータは入力電圧 1V に対して、出力電圧 5V となるように設計し

ている。ここで、昇圧型 DC/DC コンバータの PWM 制御に用いる Duty 比は固定とし、最大電力点追従 (MPPT) は行っていない。また、水中伝送路損失は考慮していない。

### 3.1 給電性能

図 3 に受信光電流に対する DC/DC コンバータの出力電圧を示す。比較のため受信光電流が直流である場合の結果も示す。図 3 において、直流の出力電圧を 1 とした時の各変調方式での出力電圧は IPPM 方式で 3/4, OOK 方式で 1/2, PPM 方式で 1/4 となっており、1 フレーム内でのパルスの比率と一致していることが確認できる。よって、1 フレーム内でのパルスの比率が最も高い IPPM 方式が高効率給電が可能である。

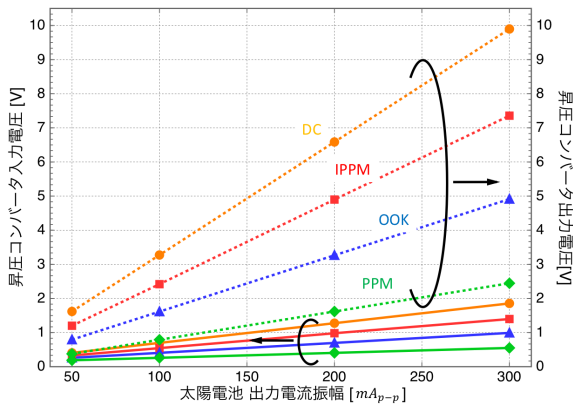


図 3 受光電流に応じた昇圧コンバータの入出力電圧

図 4 は出力電圧が 5V となるように受信光電流を調整した時の出力電圧の波形である。図 4 から OOK 方式のみ出力電圧にばらつきが生じている。これは OOK 方式のパルスの比率の偏りによるものと考えられる。一方、パルスの比率が一定である PPM, IPPM 方式においてはばらつきが生じていない。変動の少ない出力電圧を得るには PPM, IPPM 方式が適していると言える。

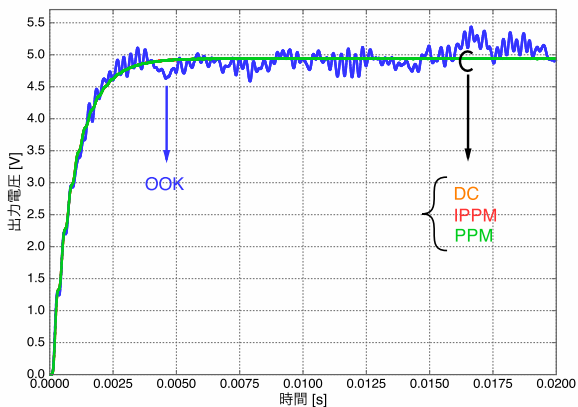


図 4 出力電圧 5V 時の出力電圧波形

### 3.2 通信性能

通信信号受信の際、内部抵抗により熱雑音が発生する。熱雑音による影響を考慮した時の、信号誤り率 (BER) を図 5

に示す。ただし、受信機の温度は 300K, 内部抵抗は 1M  $\Omega$  である。図 5 において、OOK 方式のみ BER が悪化している。これは復調方法の違いによるものである。PPM, IPPM 方式は相関をとることでパルスを識別しており、OOK 方式では一定の閾値によってパルスを識別している。今回は、適切な閾値が直流成分とともに変動してしまい、設定した閾値が適切でなかったことにより、OOK 方式のみ BER が悪化したと考えられる。また、PPM, IPPM 方式において、IPPM 方式の方が BER が高くなっている。これは PPM 方式に比べ、IPPM 方式のビットあたりの送信電力が高いためである。そのため、SNR 特性は PPM 方式の方が良いが、同時給電を行う本システムには IPPM 方式が適していると言える。

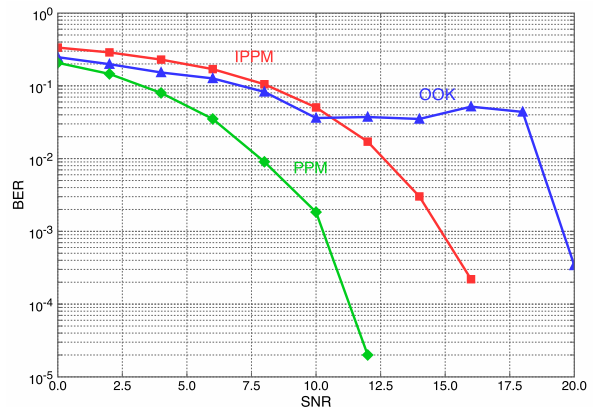


図 5 信号対雑音比 (SNR) に対する BER の比較

## 4 まとめ

本稿では、水中ワイヤレス給電通信システムを提案し、可視光通信の変調方式として一般的な OOK, PPM, IPPM 方式の三つの変調方式に着目し、高電力効率電力伝送実現のための変調方式の検討を行った。その結果、安定かつ高効率な給電が可能なのは IPPM 方式である。また、通信性能を考慮しても IPPM 方式の方が本システムには適している。今後は、可視光水中通信環境、及び太陽電池での MPPT 制御を考慮し、電力/通信性能について評価を行う。

### 参考文献

- [1] H. Kaushal, G. Kaddoum, "Underwater optical wireless communication," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 1518-1547, 2016.
- [2] Z. Wang, D. Tsonev, S. Videv, and H. Haas, "On the Design of a Solar-Panel Receiver for Optical Wireless Communications with Simultaneous Energy Harvesting," *IEEE J. sel. Areas Commun.*, vol. 33, no. 8, pp. 1612-1623, Aug. 2015.
- [3] 杉山 英充, 春山 真一郎, 中川 正雄, "可視光通信に適した変調方式の実験的検討", 信学技報, vol. 105, no. 76, OCS2005, pp. 43-48, 2005 年 5 月.