

自律型 LED 水中集魚灯のための水濁測定機能の実装とその評価 An Implementation and Evaluation of Water Turbidity Measurement Function in LED Underwater Fishing Lights

吉武 伸泰[†]
Nobuhiro Yoshitake

田中 康一郎[†]
Koichiro Tanaka

安楽 和彦[‡]
Kazuhiko Anraku

藤井 敏[§]
Satoshi Fujii

1. はじめに

第一次産業である漁業分野において、捕漁システムの自動化は必須事項である。欧米等の諸外国では、捕漁から水揚げまで全ての流れを自動化し、水産資源の科学データによる管理や操業の効率化を行っている。また特に光を用いる灯火産業においては、低消費電力を実現できる LED 照明と魚群や水濁に応じてその照度を自動制御できる機能の実現は必要不可欠である。しかし、灯火産業を自動化する場合、集魚灯の自動制御が求められる。漁師が集魚灯漁を行う場合、船上に取り付けた船上灯と海中に沈める水中灯を扱うが、水中灯の調光の方が調光する際の難易度が高い。これはその時の海水の濁度、魚群との距離によって海中を伝わる水中灯の照度が変わるためである。魚群を船まで誘導するためには、この条件に応じて水中灯の輝度制御を行う必要があり、この調光が難しいことが問題となっている。そこで海水の濁度を検知し、水中灯の輝度を自律制御可能な水中灯の開発を行っている。

2. 開発環境

2.1. 水中集魚灯制御システム

図 1 に示すのが自律型水中灯制御システムの構成である。水濁測定用 LED と照度センサを水中灯に取り付けており、このセンサが感知した値を基に水中灯の輝度自律制御を行う。照度センサは水中灯に取り付けているセンサ制御基板と繋がっており、サーバ通信基板を介して船上のサーバへと送信される。サーバは受信したセンサの照度から海中の濁度を判断し、水中灯の電源を制御し調光を行う。これが輝度自律制御の流れである。また自律制御するだけでなく、利用者の持つ端末から手動制御も可能である [1]。次章からはこのシステムにおける水中灯について詳しく紹介する。

2.2. 水中灯の構成

図 2 に前章で紹介したセンサ制御基板 FFK3 とサーバ通信基板 Arduino Ethernet を示す。FFK3 はこのシステム実現のために開発した基板であり、FPGA (Field Programmable Gate Array) として Xilinx 社の Spartan-3AN (XC3S200AN), MCU (Microcontroller-Unit) として, Texas Instruments 社

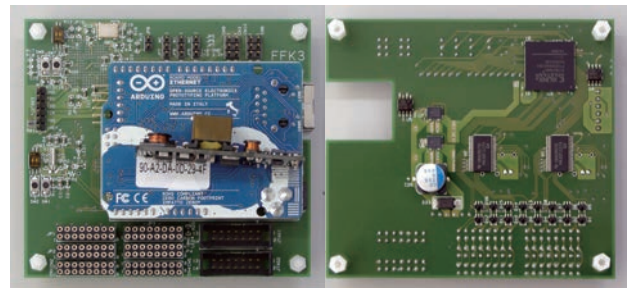


図 2: センサ制御基板 FFK3

の MSP430 (F2274IDA) を搭載している。MCU は照度センサの値を A/D (Analog to Digital) 変換する、FPGA は A/D 変換した照度センサの値をまとめる、サーバ通信基板へセンサの値を送信することを目的としている。MSP430 には 10 ビットの A/D コンバータがあり、最大 8 つ入力に A/D 変換が可能である。FFK3 は MSP430 を 2 つ搭載することで最大 16 個の入力に対して A/D 変換ができる。サーバ通信基板として使用する Arduino Ethernet は Arduino Software が提供する Atmel 社の AVR を搭載した基板である。サーバとの通信は最大 100m の通信が行える Ethernet 通信を想定しており、この基板は PoE (Power over Ethernet) による基板への電源供給が可能であることから Arduino Ethernet を使用する。

図 3 がこの基板と照度センサを取り付けた水中灯のプロトタイプである。水中灯の上部に FFK3 と Arduino Ethernet、濁度測定を行うための LED、照度センサの 3 つの防水ケースを取り付けている。LED と照度センサの防水ケースは一部アクリルでできており、この面を向かい合わせることで間を流れる海水の濁度測定を行う。プロトタイプでは測定用 LED1 つに対して、照度センサを 4 つ取り付けている。次にこの水中灯を使用した水濁測定の評価について紹介する。

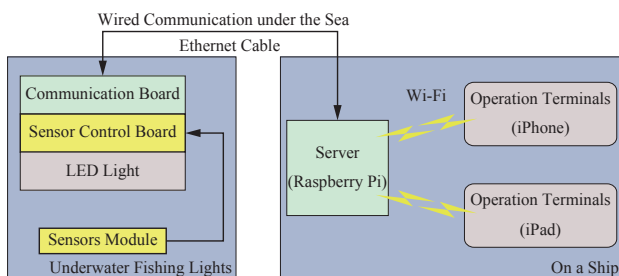


図 1: 自律型水中灯制御システムの構成

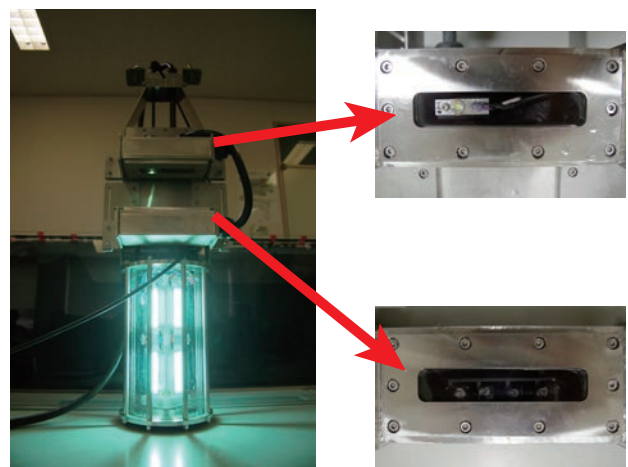


図 3: 自律型 LED 水中集魚灯プロトタイプ

[†]九州産業大学情報科学部

[‡]鹿児島大学水産学部

[§]交和電機産業

3. 水濁測定機能評価

3.1. 空中実験

まず、照度センサが測定用 LED の光に対する出力を確認するために、空中での評価を行った。LED の輝度を 1kHz の PWM (Pulse Width Modulation) で Duty を 0% から 1% ずつ上げていく。この時照度センサの値を A/D 変換、サーバに送信し保存する。このデータに対してグラフを作り、LED と照度センサの関係を求めるものである。

図 4 にその評価結果を示す。Case 1 は照度センサに対して測定用 LED 以外の光が入らない環境で測定を行ったものである。LED の輝度を上げると照度センサの値が線形に変化することが確認できる。また Duty が 30 を超えると照度センサの値が飽和することが確認できた。Case 2 と Case 3 については照度センサに測定用 LED 以外の光が若干入った状態である。これはこのシステムが昼間に測定されることを想定して行ったもので、それぞれ Duty が 0 に対して初期値 10, 30 を検知している。そして同様の測定を行った結果、Case 2 では Duty が 28%, Case 3 では Duty が 26% で照度センサの値が飽和した。この時それぞれのグラフの傾きを求めると Case 1 のグラフの傾きと同じになった。このことから、照度センサに測定用 LED 以外の光が入っても、照度を求めることが可能であると確認できた。

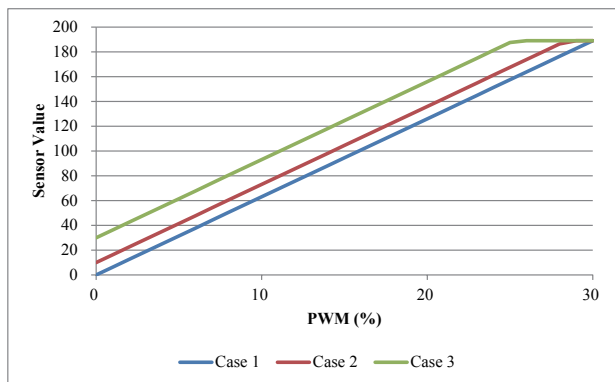


図 4: 空中での書度測定結果

3.2. 水槽実験

次に、水道水を水槽に張り、その水の濁度を変えることで濁度を検知できるか測定を行った。濁度を変えるために日本水道協会 で用いられる標準物質カオリンを使用した。図 5 が濁度測定を行った結果である。本評価では濁度 0, 15, 30, 45 に対して測定を行った。その結果、濁度によってそれぞれ照度が飽和する点の違い、濁度 0 に対しては Duty が 19%, 濁度 15 は 20%, 濁度 30 は 21%, 濁度 45 は 22% となることを確認できた。この結果から、濁度を求める方程式を

$$a = y/x - b \quad (1)$$

と仮定する。それぞれ測定した照度センサの値と PWM が飽和した PWM の値から、グラフの傾きを計算する。このとき求めた傾きに依りて、濁度が求められるということである。このことから、照度が最大となる点が Duty 1% に対して濁度 15 の変化があることがわかった。

3.3. 海での実験

これまで行ってきた評価を踏まえて、実際に海水の濁度を検知できるか評価を行った。図 6 に福岡県粕屋郡新宮町新宮浜で行った評価結果を示す。測定を昼に行ったため、照度センサに対して周辺光が入っており、Duty 0% に対して初期値 20 が入っていた。その後 Duty を上げていくと、値は線形に変わっていき、Duty が 18% で

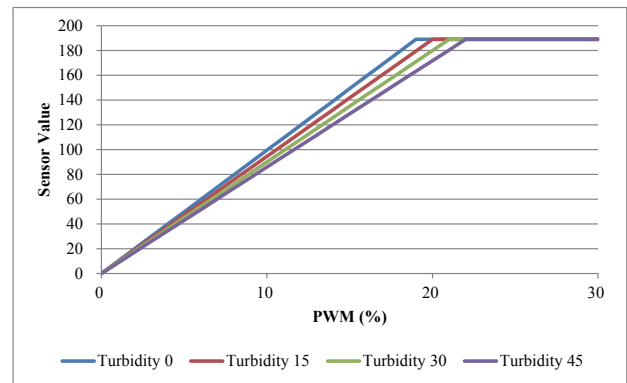


図 5: 標準物質カオリンを使用した濁度測定結果

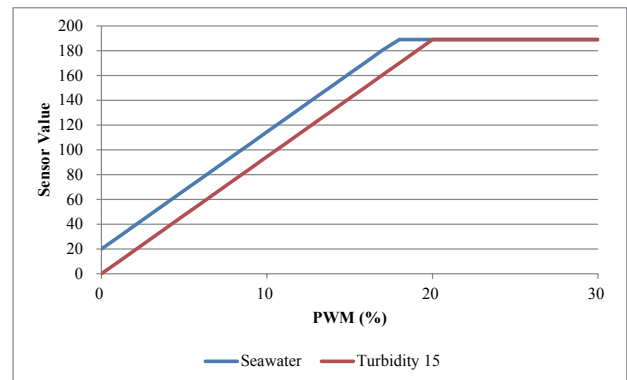


図 6: 海水の濁度測定結果

飽和した。これを 3.2 節で求めた濁度を求める式に代入して傾きを求めると、同 3.2 節で行った評価の濁度 15 のものと傾きが同じであることが確認できた。したがってこの時の海水の濁度は 15 であると推定することができる。しかし、水道水と海水は違うため、本来の濁度と対応付けるためには濁度計を使用して測定を行うことが必要である。

4. まとめ

本稿では、自律型 LED 水中集魚灯のために必要な水濁測定機能の実装とその評価を行った。LED の輝度を変化させ、その照度を照度センサで測定することで、水濁を検知できることが確認できた。しかし、現在の方法では PWM の Duty 1% に対して、濁度 15 の幅でしか、濁度を検知できない。これではより詳細な濁度検知を行う場合対応することができない。そこでより高精度な濁度検知を行うために、LED への PWM の Duty をより 0.1% ずつ変化させて測定を行う必要がある。そこでまず、測定用 LED がある周波数の PWM に対して、最小で何% の Duty で点灯するか求める必要がある。そして今回と同様の評価を行い、より詳細な濁度を検知できるか確認しなければならない。もし PWM の Duty の幅を下げてても高精度に濁度を検知できない場合は、ND (Neutral Density) フィルター使用するなどして精度を高めることが考えられる。

5. 謝辞

本研究の一部は、JST A-STEP の支援で実施した。

参考文献

- [1] Yoshitake, Tanaka, Anraku, and Fujii, "An Implementation of Automatic Brightness Control Function in LED Underwater Fishing Lights," in *Proceedings of the ITC-CSCC 2013*, July 2013.