

カタクチイワシ棒受網漁業用 LED 集魚灯の開発

吉村 和正*・水口 勲*²・水口 千津雄*²・中村 武史*³・梶川 和武*³
毛利 雅彦*³・川崎 潤二*³・濱野 明*³・渡邊 俊輝*⁴

Development of Fishing Lights for Japanese Anchovy Stick-held Dip Net Fishery
Kazumasa Yoshimura, Isao Mizuguchi, Chizuo Mizuguchi, Takeshi Nakamura, Yoritake Kajikawa,
Masahiko Mouri, Jyunji Kawasaki, Akira Hamano and Toshiteru Watanabe

山口県の日本海沿岸で操業されているカタクチイワシを対象とした棒受網漁業に用いる LED 集魚灯の開発を行った。LED の効率、海水の分光透過特性、およびカタクチイワシの視感度に基づいた設計を行うことで、既存灯であるハロゲン灯の 1/10 の消費電力で同等以上の性能を有する LED 水中集魚灯の開発に成功した。

1. 緒 言

松明に始まる集魚灯漁法は、“あかり”の発達に伴い、高出力の灯具を用いて強い光を遠くまで照射する光力競争の一途をたどってきた。その結果、発電機の大型化に加えて、燃油代やランプ交換費用の増加といった操業経費の増加が問題となってきた。また、2000 年頃から燃油価格の高騰が始まる一方で、国内の水産物消費量の減少や魚価の低下が年々進み、操業の効率化が急務となった。それと同時期に青色発光ダイオード (LED : Light Emitting Diode) の高輝度化が実現されつつあり¹⁾、魚類の視感度は青色光に対して高く、かつ、同波長帯の光が海水の透過率が高いことから、青色 LED を用いた集魚灯の研究が行われるようになった²⁾。

カタクチイワシ棒受網漁業は、山口県日本海側の主幹漁業として位置付けられ、長門市ではカタクチイワシが漁獲量の最も多い魚種である³⁾。棒受網漁業は山口県漁業調整規則で発電機総容量が 10 [kW]と定められているため、消費電力 3 [kW]のハロゲン集魚灯が 3 灯使用されている⁴⁾。操業時は、ハロゲン灯を水中に沈めて 3~4 時間ほど点灯させて魚群を蝟集させる。1 航海で 1~2 回の操業が行われており、一日の燃油代は約 16 万円と報告されている⁵⁾。

現在操業で使用されているハロゲン灯は、投入電力の可視光への変換割合は 10%程度にすぎず、ほとんどを熱として消費している。また、放出光の多くは長波長帯にあり、集魚灯としては不適當な照明であるといえる。

そこで、本研究では、LED の効率の高さや波長選択性の高さを最大限に活かした集魚灯の開発を目的に、LED の分光特性と効率、海水の分光透過特性、およびカタクチイワシの視感度特性に基づいて光学的な仕様を検討した。

2. 実験方法

LED 集魚灯の設計は、LED の分光特性と効率、操業海域近辺の海水の分光透過特性、および対象魚種であるカタクチイワシの視感度特性に基づいて行った。LED の分光特性

および放射束の評価は、小型全光束測定装置 (スペクトラ・コープ製) を用いて行った。また、海水の分光透過特性の評価は、分光計測器 (スペクトラ・コープ製 Field Lambda) を用いて行った。

3. 実験結果

3・1 LED の分光特性と効率

研究開発中あるいは製品化された LED 集魚灯のほとんどは、青色~緑色の単色 LED や白色 LED が使用されている。いずれも III 属・V 属の元素からなる半導体活性層からの発光であり、元素の比率で発光色が制御されている (白色 LED では蛍光体も使用されている)。インジウムの含有量を増加させることで発光ピーク (Wp) が長波長化されるが、含有量増加に伴い外部量子効率は低下する。例えば、Wp が 460 [nm]の青色 LED と比較すると、同 500 [nm]の青緑色 LED では約 15%、同 530 [nm]の緑色 LED では約 40% 低下する⁶⁾。

本研究では、青色 LED、青緑色 LED、および緑色 LED として、日亜化学工業製 NSPB500BS、トリコン製

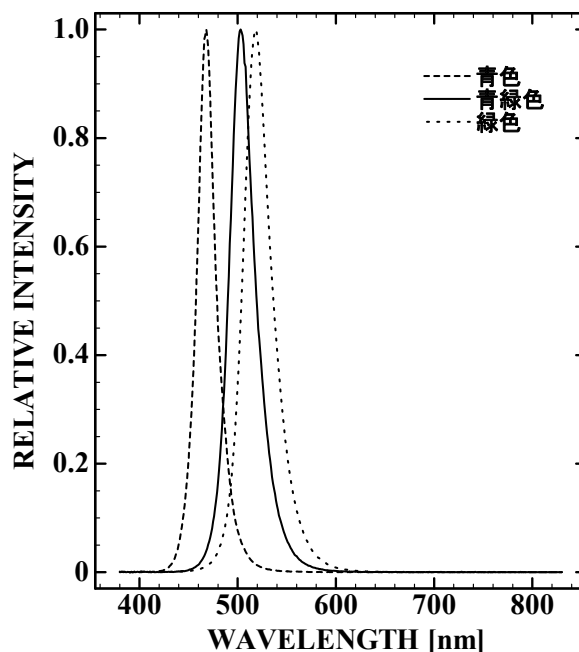


図1 各 LED の発光スペクトル

* 企業支援部設計制御グループ

*² 水口電装株式会社

*³ (国研)水産研究・教育機構 水産大学校

*⁴ 山口県水産研究センター-海外研究部

3BG3-5A3AR-KC, および日亜化学工業製 NSPG500S を選定し, 検討を行った. 各 LED の発光スペクトルを図 1 に示す. 各 LED を 1,000 個購入した中から 10 個を無作為に選択して放射束を測定した. 20 [mA] の電流を印加した場合の 10 個の平均値は, 青色 LED, 青緑色 LED, および緑色 LED で, それぞれ 32, 27, および 21 [mW] であった. このことから, LED の効率という点では青色 LED が望ましいと考えられる.

3・2 海水の分光透過特性

海水中に入射した光は吸収と散乱の 2 つの過程によって減衰する. その減衰量は溶存物質や懸濁物質等によって大きく変化するため, 海域において分光透過特性は大きく異なる. カタクチイワシ棒受網漁業は本県の下関市～萩市の沿岸域で操業されているが, 同海域の分光透過特性は明らかとなっていない. そこで, 下関市豊北町元山港において, ハロゲン灯を用いて海水の分光透過率の計測を行った.

海面直上と水深 1 [m] における光量の差から算出した分光透過率を図 2 に示す. わずか 1 [m] の深さにもかかわらず, 全体光量は 1/3 以下に減衰した. 減衰量は長波長側で大きく, 720 [nm] 以上の波長では透過率は 10% 以下となった. また, 海水の透過率が高いといわれる青色光付近の波長帯においても, 透過率は約 30% であった.

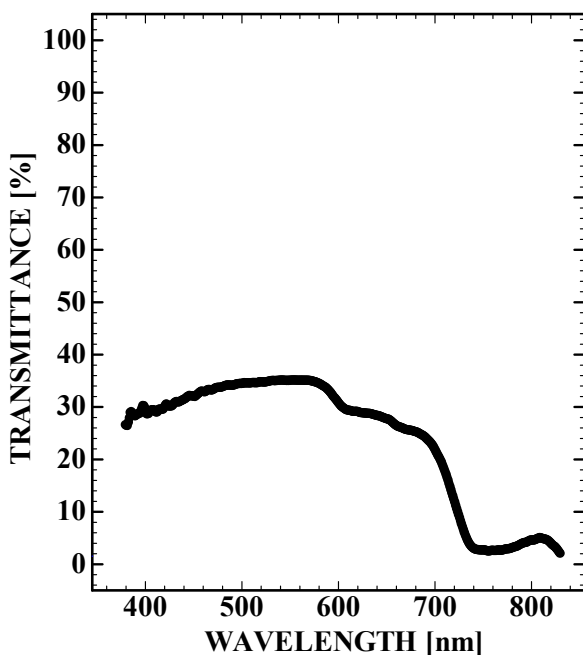


図 2 水深 1 [m] での海水の分光透過率

3・3 官能量としての到達光量の比較

集魚灯から放射された光は海水による減衰の影響を受けた後, カタクチイワシの目で感知される. カタクチイワシの網膜細胞に対する ERG 測定 (Electro Retino Gram) から推定された比視感度曲線によると⁷⁾, カタクチイワシは 450 ~ 550 [nm] の範囲に視感度を有し, 視感度のピークは約 500 [nm] であるとされている. カタクチイワシの視感度からは, 青緑色 LED が望ましいと考えられる.

既存灯であるハロゲン灯, 青色 LED, 青緑色 LED, および緑色 LED について, 3・1 および 3・2 の結果を用いて,

カタクチイワシが感じる官能量として到達光量の比較を行った. 官能量は次式で算出した.

$$\int_{380}^{830} (P(\lambda) \times T(\lambda) \times \varphi(\lambda)) d\lambda \quad (1)$$

式(1)において, $P(\lambda)$, $T(\lambda)$, および $\varphi(\lambda)$ は, それぞれ波長 λ [nm] における放射束, 水深 1 [m] における海水の透過率, およびカタクチイワシの比視感度である.

算出された結果を図 3 に実線で示す. また, 比較のために, 空気中の分光スペクトルおよび水深 1 [m] における海水の透過率だけを考慮した分光スペクトルを点線および破線でそれぞれ示す. ハロゲン灯((a))は海水の透過率が低い長波長帯の光を多く含むため, 海水による減衰だけで約 20% に光量が低下する. さらに, カタクチイワシの視感度に含まれる割合は約 14% しかなく, 官能量は空気中の光量の 1.5% であった. それに対して, 3 色の LED((b)青色 LED, (c)青緑色 LED, (d)緑色 LED)の海水による減衰は同程度であり, 空気中の光量の約 35% となった. しかしながら, 視感度内に含まれる割合が異なるため, 官能量は, 青色 LED は空気中の光量の 6.4%, 青緑色 LED は同 20.8%, 緑色 LED は同 11.7% となった. 各官能量に放射束値を乗じると, 青色 LED は 2.05, 青緑色 LED では 5.62, 緑色 LED は 2.46 となり, 青緑色 LED が最も効率が良い光源であることが明らかとなった.

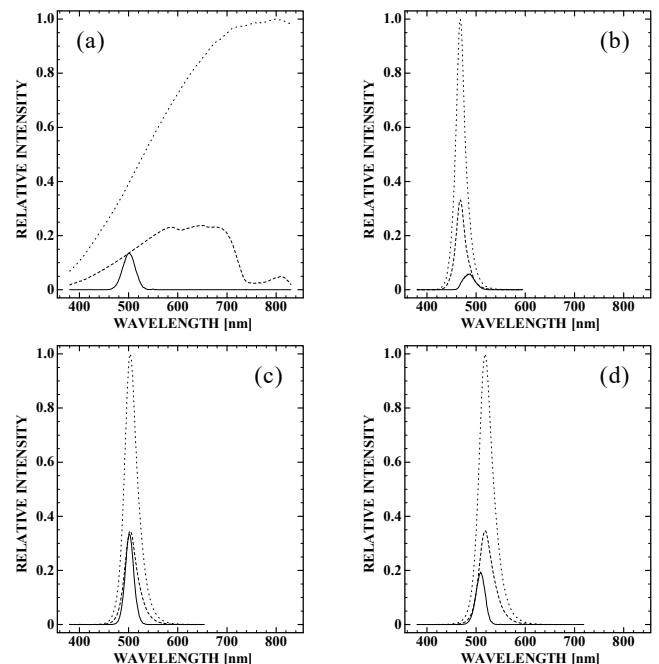


図 3 各光源の分光スペクトルと特性による変化

3・4 LED 集魚灯の試作

棒受網漁は蝸集させた魚群を漁網に誘導した後, 海面付近に浮上させてタモですくい上げる漁法である. そのため, 集魚灯の役割として, 漁船から遠く離れた位置を遊泳するカタクチイワシを蝸集させ, 蝸集後は集魚灯周辺に魚群を興奮させることなくコンパクトに留めておくことが必要とされる. そこで, 指向性が高い砲弾型 LED を下部に, 広範囲に均一な光を照射可能な SMD 型 LED を上部に配置した.

砲弾型 LED はトリコン製青緑色 LED (3BG3-5A3AR-KC) を用いたが、高出力な SMD 型の青緑色 LED の市販品が無く入手困難であったため、SMD 型は白色 LED とした。また、魚群を海面近くに誘導することで操業の効率化を図るために、砲弾型 LED と SMD 型 LED を個別に調光可能な灯具とした。

魚類は点滅光や急激な光強度の変化で忌避するといわれているが、漁獲対象魚種であるカタクチイワシが連続光と認識する周波数(臨界融合頻度)で点滅動作させることで、灯具の消費電力を抑制することができる。また、LED はパルス動作の場合は印加電流を大きくすることができるため、瞬間的な光量を増加させることが可能となる。さらに、点滅動作は、漁獲対象魚種と非漁獲対象魚種の集魚と忌避を制御する『選択集魚』の可能性を有していることから、両 LED を個別に点滅動作する機能も付加した。

これまでの検討結果に基づいて試作した LED 水中集魚灯を図 4 に示す。試作した灯具の消費電力は、従来灯の 1/10 の 300 [W] であり、バッテリーでも使用可能となった。本集魚灯を用いた洋上での操業試験では、ハロゲン灯と同等以上の漁獲が確認された⁸⁾。



図 4 既存灯 (ハロゲン灯) と開発した LED 灯

4. 結 言

カタクチイワシ棒受網漁業で使用されているハロゲン灯に代わる LED 集魚灯の開発を目的に、LED の分光特性と効率、海水の分光透過特性、およびカタクチイワシの視感度特性に基づいて光学的な仕様を検討した。カタクチイワシが感じる官能量として最も効率が良い光源が青緑色 LED であることを明らかにし、同 LED を用いた LED 水中集魚灯を試作した。試作した灯具を用いた操業試験では、ハロゲン灯と同等以上の漁獲が実現された。

本研究の一部は、平成 21~25 年度文部科学省地域イノベーション戦略支援プログラム (グローバル型) の研究助成を受け、実施されたものである。

参考文献

- 1) Nakamura S, Senoh M, Nagahama S: High-power InGaN single-quantum-well-structure blue and violet light-emitting diodes., Appl. Phys. Lett., **67**, p. 1868-1870 (1995).
- 2) 稲田博史, 有元貴文, 長島徳雄, 飯田浩二: 魚灯を活かす技術・制度の再構築へ, 恒星社厚生閣 (2010).
- 3) 山口県農林水産統計年報 (平成 23~24 年), 中国四国農政局統計部, 岡山, p. 216-221 (2013).
- 4) 渡邊俊輝, 梶川和武: カタクチイワシ漁業への LED 灯の実用化における課題, 日本水産学会漁業懇話会報, **No. 64**, p. 33-38 (2014).
- 5) 平成 20 年度省エネルギー技術導入促進事業報告書, 社団法人海洋水産システム協会, 東京, p. 185-195 (2009).
- 6) LED2011-巨大市場の見通しから成長支える技術動向まで-, 日経エレクトロニクス (2010).
- 7) 梶川和武, 毛利雅彦, 中村武史, 濱野明: 棒受網のための LED 水中灯による海中の光環境のカタクチイワシ視感度に基づく評価, 数理水産科学, **11**, p. 44-53 (2014).
- 8) 梶川和武, 毛利雅彦: LED 水中灯の開発と蝟集効果, 日本水産学会誌, **81**, p. 141-142 (2015).