

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26420824

研究課題名(和文) 発光ダイオード光源を利用した海洋付着生物の着生制御実験と船舶運航管理への新展開

研究課題名(英文) Prevention of biofouling by the induction of barnacle larvae toward blue LEDs light source and its application to the sustainable development of seaborne transport at sea

研究代表者

三村 治夫 (Mimura, Haruo)

神戸大学・海事科学研究科・教授

研究者番号：90190727

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：フジツボ付着期幼生を容器内に浮遊させ、海面上からLED光(青、青緑、緑、橙)を照射した。最大放射強度 293 W m^{-2} の青色LED光が到達する容器底面に着生した個体数は、その周辺領域に着生した個体数と比べ、顕著に減少した。比較的強い青色放射光が着生阻害に有用であることがわかった。フィールドに浸漬した比較的強い青色光源と付着版との距離を40 cmに離し付着板への着生阻害実験を行った。この距離では、付着板面に到達する最大放射強度は光源直下と比べ10分の1以下に低下する。この実験から、付着板へ着生した個体数の減少が確認できた。青色光源へ誘引行動を起こすことで船底防汚が具現化できる新手法が見つかった。

研究成果の概要(英文)：We developed the novel method for the prevention of the larval settlement by using LED irradiation. LED was irradiated above the surface of seawater body when barnacle larvae were suspended in a tub. The settlement was obviously inhibited where blue light with the maximum irradiation intensity of 293 W m^{-2} was reached at the bottom. The number of individuals settled under irradiation increased when blue-green, green and amber light with maximum irradiation intensity of 170, 214, and 185 W m^{-2} was reached independently, indicating that the strong blue LED light was highly applicable to the prevention of the settlement. Next experiment was carried out by keeping the distance of the light source 40 cm from an immersion plate on which less than one-tenth irradiation intensity was reached. Obvious reduction of the individuals settled was observed, indicating that the prevention of the settlement on a ship's hull is possible by induction of larvae toward relatively strong blue light source.

研究分野：海洋微生物学

キーワード：運航の経済性 摩擦抵抗増加の抑制 船底防汚 フジツボ付着期幼生 青色LED光源 放射強度 誘引行動

1. 研究開始当初の背景

海上輸送は重量物を一括輸送できる利点がある。1 トンの貨物を 1 マイル輸送する過程で船が排出する二酸化炭素量は、鉄道・トラックの排出量と比較し、顕著に低い。船用の熱機関は粗悪油を使用しているのが現状である。そのため、酸性雨の原因となる硫酸酸化物の排出量が多い。気候変動を抑制し、大気・海洋環境を保全しながら持続可能な海上輸送を目指すとりくみが継続している。

就航直後から起こる付着生物の船底付着・成長が、推進時の摩擦抵抗を増加させる主要因である。摩擦抵抗の増加を抑制するため、多種多様な海洋生物に対し致死効果を有する有機スズ化合物が多用されたが、貝の内分泌を攪乱する作用が指摘され、国際条約によって使用が禁止されている。開発が進んでいる撥水性の高い船底塗料は、荷役時、錨泊時及び近海域内で機関を停止させて行うドリフティング時に、付着生物の着生を阻害する効力が低い。

船底の生物汚損の進行に伴い、船速が顕著に低下する。船速を維持し運航の定時制を担保するためには、燃料消費量の増加を伴う。運航の経済性維持、大気環境負荷の抑制及び生物多様性の保全を考慮すると、停泊時に船上から実施できる簡易かつ生物毒性のない斬新な付着生物着生阻害手法の開発が、喫緊の課題である。

2. 研究の目的

フジツボ付着期幼生は、船速が 0.5 m/s 以上だと船底へ着生しない。本研究では、毒性化学物質を使用しないで船底防汚効果が期待できる新手法として、青色 LED 光の着生阻害効果を定量的に把握することを目指した。この実験で得られた結果を基軸とし、船上で簡易に行える船底防汚手法の開発へと研究を進展させる。

3. 研究の方法

(1) 青、青緑、緑、または橙色の LED 光が海水容器の隅領域に到達するようにしたフジツボ付着期幼生の着生実験装置

海水 (0.5 トン) をプランクトンネットでろ過し、付着期幼生を採取した。プランクトンネットろ過海水を 0.5 リットルずつ容器へ入れ、採取した試料を容器内へ浮遊させた。その後、ただちに各 LED 光源を上部から照射した (図 1)。

容器底部を分割し (図 2)、各領域に着生した個体数を相対着生率として算出した。

相対着生率 (% cm^{-2}) = [(当該領域内の個体数 / 計数対象とした全領域内に着生した個体の総数) × 100] / 当該領域の面積

(2) 光源直下の容器底面へ到達する LED 放射強度の測定

透明アクリルプレート容器 (150 mm × 150

mm × 30 mm ; 厚さ 2 mm) に、ろ過海水 (225 ml) を深さ 10 mm になるまで入れた。放射照度計 (HD 2302.0, Delta OHM 製) に接続した測定用プローブ (LP471RAD) をアクリル容器の底部を移動させ、底面を透過した放射強度分布を測定した (図 2A、図 2B 参照)。

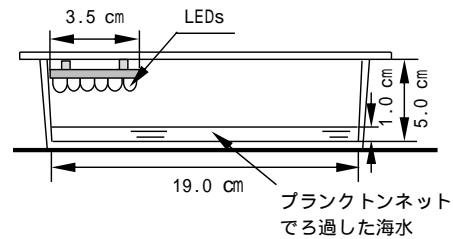


図 1 フジツボ付着期幼生の着生実験装置 LED 光源を容器の隅に設置し、水面上方から容器底面へ LED 光を照射した。



図 2 容器底部の領域分割と放射強度の測定 LED 光源を隅に設置した場合の容器底面の領域分割を図 2A に示す。領域を

及びその他に分割し、各領域に着生した個体の相対着生率を算出した。点線で示した位置 (30 mm × 35 mm) に LED 光源 (6 列 × 6 列、計 36 個) を設置した。容器中央に設置した青色 LED 光源が発光-消光を繰り返す場合の容器底面の領域分割を図 2B に示す。領域を、及びに分割し、各領域に着生した個体の相対着生率を算出した。LED 光源の容器底面への投影面積と領域を同じとした。

(3) 青色 LED 光源を利用する船底防汚を想定した浸漬装置

青色 LED の先端と付着板との距離を 40 cm に設定した (図 3)。

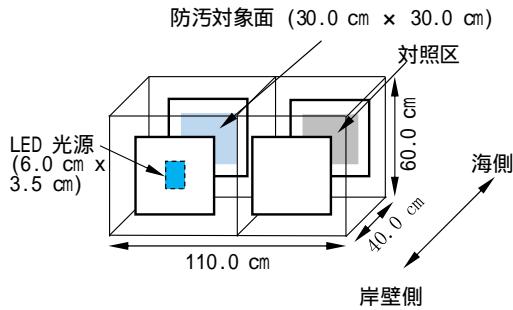


図3 船底防汚を想定した浸漬装置

LED光源(図4A)、光源を保護するために使用した透明アクリル板(図4B)及び付着板に着生した個体数を計数した領域(図4C)を示す。光源保護のために使用した透明アクリル板は、光源領域とその他の領域に分けて個体数を計数し、各領域の相対着生率を求めた(図4B参照)。

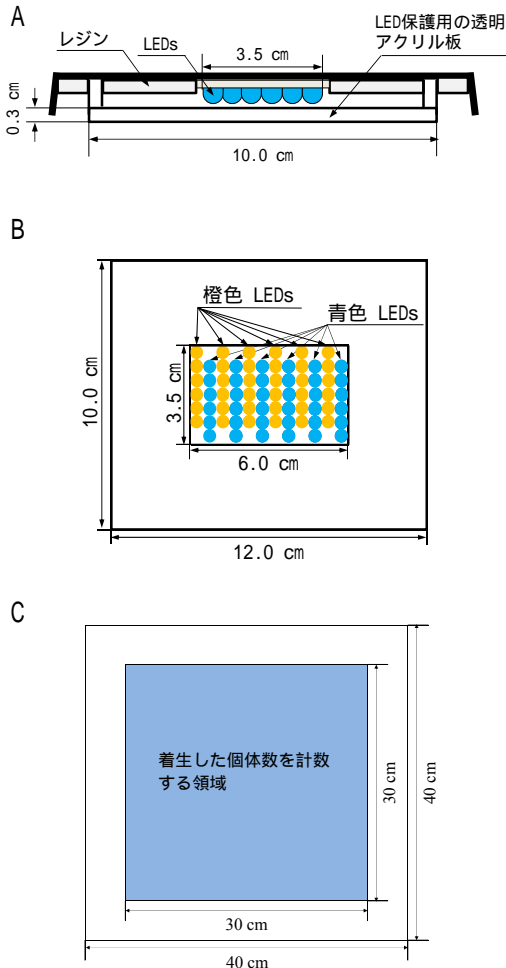


図4 浸漬装置を構成する要素の詳細

防水を維持するため光源をレジンで被覆した(図4A)。青色及び橙色LEDsは、1列ごとに6個配置した(図4B)。着生した付着期幼生の計数領域は、平板先端部から10 cm内側の領域とした(図4C)。

4. 研究成果

(1) 青、青緑、緑、または橙色LED光源を容器内の隅領域に設置した場合のフジツボ付着期幼生の着生分布(実験室で実施)

領域ごとに、着生した付着期幼生の個体数を、相対着生率(% cm²)で示す(図5)。青色LED光源を照射した場合、照射領域を含む隅領域、領域(図2A参照)、に着生した付着期幼生個体はゼロであった。青緑、緑及び橙色LED光源を照射した場合、領域への着生数は、平均値(n=2)で2.3% cm²、4.1% cm²及び3.0% cm²であった。LED光を照射しなかった場合、領域に着生したキプリス幼生はゼロであった。、及び領域に着生した付着期幼生の相対着生率は、0.03% cm²~0.07% cm²であった。

各容器の底面に着生したキプリス幼生の固体数は、36個体~73個体(1回目の実験)及び13個体~35個体(2回目の実験)と変動した。これは、フィールドからキプリス幼生を採取しているため、試料ごとに幼生数にばらつきがあったのが原因と思われる。

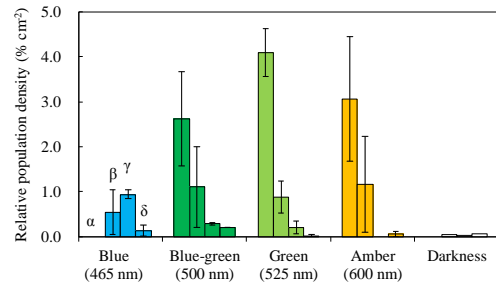


図5 各LED光到達面におけるフジツボ付着期幼生の着生個体数

放射強度を計測した結果を図6に示す。いずれのLED光源も指向性が高く、光源中心部に該当する位置の放射強度値が最も高かった。最大放射強度は、使用した光源内では、青色LED光源の値が最も高く、293.6 W m⁻²であった。青緑、緑、橙色LED光源の放射強度の最大値は、それぞれ170.7 W m⁻²、214.3 W m⁻²、185.6 W m⁻²であった。青色より長波長域のLED光源を使用した場合、最大放射強度が170 W m⁻²以上であっても、光源直下を含む領域への相対着生率が、他の領域の値と比べ、最も高かった。

高輝度青色LED光はキプリス幼生の着生阻害に有用であった。他の光源の着生阻害効果については、青緑~橙LED光源を用いた場合、170 W m⁻²以上の最大放射強度の光が到達する容器の隅や底面への相対着生率が、他の領域と比べ最も高かったことから、これらの波長と放射強度は、放射光が到達する領域へ付着期幼生の誘引行動を誘起し、着生を促進する効果があると思われる。

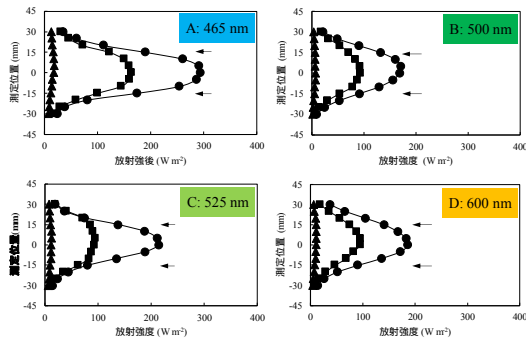


図 6 光源設置位置に該当する容器底部位置の各 LED 光源の放射光強度分布
 図中矢印は、LED 光源の端部位置を示す。

(2) 明滅する青色 LED 光源直下へ着生する附着期幼生の相対着生率の変化 (実験室で実施)

着生面での放射強度の最大値を 71.6 W m^{-2} 及び 580.0 W m^{-2} に設定し、発光 - 消滅を繰り返す条件下に着生実験を行った (表 1)。常時比較的弱い放射光 (72 W m^{-2}) を照射した場合、光源直下へ着生した附着期幼生の相対着生率は $4.8 \% \text{ cm}^{-2}$ であった。発光 30 秒 - 消光 30 秒の繰り返しでは、相対着生率が $0.4 \% \text{ cm}^{-2}$ まで顕著に減少した。常時暗では、光源直下に該当する領域 (図 2B 参照) の相対着生率はゼロであった。比較的強い放射光 (580 W m^{-2}) が容器底面へ到達した場合、附着期幼生の着生は確認できなかった。この結果は、青色 LED の最大放射強度、 293 W m^{-2} 、下の実験結果と整合している (図 5 参照)。附着期幼生は比較的弱い青色 LED の放射強度下へ誘引行動を起こし着生することが観察できたが、30 秒消光期間が継続すると誘引効果が顕著に低下した。省エネルギーを考慮しても、消光期間は 10 秒程度が上限と思われる。

表 1 光源直下領域への附着期幼生の着生に与える発光 - 消光間隔の影響

発光 - 消光繰り返し間隔	相対着生率 ($\% \text{ cm}^{-2}$)	
	$71.6 \text{ (W m}^{-2})$	$580.0 \text{ (W m}^{-2})$
常時発光	4.8 (33/66) ^a	0.0 (0/15)
発光 (30 秒) - 消光 (10 秒)	3.9 (16/39)	0.0 (0/22)
発光 (30 秒) - 消光 (30 秒)	0.4 (1/26)	0.0 (0/53)
発光 (30 秒) - 消光 (60 秒)	0.0 (0/37)	0.0 (0/52)
常時暗	0.0 (0/42)	0.0 (0/43)

^aカッコ内の前側の値は光源直下領域、 α 領域へ着生した個体数、後ろ側の値は海水と接触する領域に着生した全個体数を示す。

(3) 青色 LED 光源へ誘引行動を起こす附着期幼生の性質を利用した船底防汚 (フィールドで実施)

橙色 (600nm) 及び青色光 (465nm) を使用した。橙色光を 30 秒間発光させ、青色光の消光と同時に青色光を 10 秒間発光させた。

浸漬期間中、この 2 色の発光 - 消光を繰り返した。青色光の光源近傍位置の最大放射強度は変化させず、 558.6 W m^{-2} 一定とした。橙色光の光源近傍位置の最大放射強度が 219.5 W m^{-2} と比較的強い場合、附着板へ着生した個体数が、コントロール (常時暗) と比べ、2 倍以上に増加した (表 2)。一方、橙色光の最大放射強度を 34.8 W m^{-2} へ低下させた場合、附着板に着生した個体数は、コントロール (常時暗) と比べ、25%以下に減少した。

表 2 青色と橙色が交互に発光する光源が照射される附着板に着生する附着期幼生の個体数の変化

橙色LEDの最大放射強度 (a)	常時暗 (b)	a / b	橙色LEDの最大放射強度 (a)	常時暗 (b)	a / b
219.5 W m^{-2}			34.8 W m^{-2}		

個体数 580 251 2.31 40 173 0.23

青色LED10秒 - 橙色LED30秒の発光間隔とし、繰り返し発光を継続した。橙色LEDの最大放射強度値にかかわらず、青色LEDの光源直下の最大放射強度を 558.6 W m^{-2} とした。

光源を保護する透明アクリル板について、橙色光源を比較的強い最大放射強度、 219.5 W m^{-2} 、とした場合、光源占有面積に該当する領域 (図 4B 参照) へ着生した個体数も、その周辺の領域と比べ、顕著に増加した (表 3)。一方、橙色光の最大放射強度を 34.8 W m^{-2} へ低下させた場合、光源占有面積に該当する領域へ着生した個体数も、その周辺の領域に着生した個体数も、顕著に減少した。

附着板へ到達した青色 LED 光の極大値は、附着板の概ね中央領域 (図 7A) に局在し、 $25.9 \text{ W m}^{-2} \sim 27.9 \text{ W m}^{-2}$ であった (図 7B)。

表 3 LED光源を保護する透明アクリル板に着生した附着期幼生数

個体数計数領域	青色光源	橙色光源	青色光源	橙色光源
	558.6 W m^{-2} , 10 seconds	219.5 W m^{-2} , 30 seconds	558.6 W m^{-2} , 10 seconds	34.8 W m^{-2} , 30 seconds
光源直下 (3.5 cm x 6.0 cm)	581 ($4.3 \% \text{ cm}^{-2}$) ^b		6 ($2.6 \% \text{ cm}^{-2}$)	
光源を除く他の領域	70 ($0.1 \% \text{ cm}^{-2}$)		5 ($0.5 \% \text{ cm}^{-2}$)	

^a青色と橙色LEDは、浸漬中継続して交互に発光させた。

^bカッコ内に相対着生率を示す。

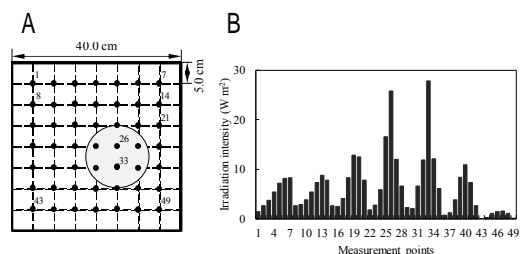


図 7 附着板に到達する青色 LED の放射強度分布

放射強度を測定した位置 (図 7A) 及びその位置の放射強度 (図 7B) を示す。円で囲んだ領域が、附着板面へ到達した放射強度の測定値が比較的強い領域であった。

上述したフィールド実験結果は、実験室で得た結果と矛盾せず、比較的強い青色LED光が有する付着期幼生に対する着生阻害効果は、船底防汚に有効に利用できることを強く示唆している。さらに、比較的強い青色光源の設置位置から40 cm程度離れた位置にある、光源から到達する放射強度が 30 W m^{-2} 以下の青色光で被覆された付着板の防汚効果が確認できたことが、最も重要な成果である。省エネルギーを考慮した消光時間は最長で30秒程度と推定できた。付着期幼生の青色光源への誘引行動を利用した船底防汚の具現化へ研究を進展することが次の課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 12 件)

中西 勇斗、三村 治夫、廣野 康平、矢野 吉治、河合 和弥、キプリス幼生の青色LED光源への誘引を利用した照射面の防汚、2018年度日本海水学会第69年会、2018.6.8、千葉大学(千葉県)

三村 治夫、廣野 康平、矢野 吉治、遠藤 紀之、高輝度光のキプリス幼生に対する着生阻害効果と航路に沿った浮遊幼生の個体数調査、日本船舶海洋工学会講演会論文集 第19号、2014A-GS1-1、2014.11.20、長崎ブリックホール(長崎県)

三村 治夫、廣野 康平、中西 勇斗、青色LED光源へのキプリス幼生の誘引行動を利用した船底防汚の基礎実験、2018年度日本付着生物学学会総会・研究集会、2018.3.26、東京海洋大学(東京都)

Kohei Hirono and Haruo Mimura, Prevention effect of LED blue light irradiation on the settlement of cyprids, Proceedings of Oceans'17 MTS/IEEE conference, various 4 pages, 2017.6.21, Aberdeen (Scotland)

中川 和磨、三村 治夫、遠藤 紀之、平行平板の間に依存したフジツボキプリス幼生の着生行動の変化、第53回好塩微生物研究会、2016.12.10、神戸大学(兵庫県)

中島 叡祥、廣野 康平、矢野 吉治、三村 治夫、遠藤 紀之、河合 和弥、航行船と海岸線との距離を指標としたフジツボ幼生の種及び個体数の分布、第86回マリンエンジニアリング学術講演会、2016.10.25、姫路商工会議所(兵庫県)

廣野康平、中島叡祥、矢野吉治、三村治夫、遠藤紀之、青色LED光の放射強度及び明滅間隔に依存したフジツボ付着期幼生の着生率の変化、第86回マリンエンジニアリング学術講演会、2016.10.25、姫路商工会議所(兵庫県)

Haruo Mimura, Kazuya Kawai, Akiyoshi Nakajima, Kohei Hirono, Yoshiji Yano, Noriyuki Endo, Populations of barnacle larvae inhabiting around sailing routes in southwestern Japan and prevention experiment of settlement by LED blue light emission, pp. 63-66, The 15th Annual Conference & 4th President Meeting, Asia Maritime and Fisheries Universities Forum, 2016.10.13, Keelung (Taiwan)

遠藤紀之、河合和弥、矢野吉治、廣野康平、三村治夫、寄港地を含む近海航路域内に棲息するフジツボ幼生の実態調査、2016年度日本付着生物学学会総会・研究集会、2016.3.30、東京海洋大(東京)

廣野康平、遠藤紀之、矢野吉治、三村治夫、キプリス幼生着生率の青色LED放射照度依存性、第4回ワークショップ「船底塗料と海洋環境に関する最新の話題」、2015.9.16、函館国際水産・海洋総合研究センター(北海道)

Haruo Mimura, Kohei Hirono, Yoshiji Yano, and Noriyuki Endo, Application of blue LED irradiation to antifouling of a ship's bottom, Proceedings of OCEANS'15 MTS/IEEE conference, various 4 pages, 2015.5.20, Genova (Italy)

三村治夫、廣野康平、矢野吉治、遠藤紀之、青色LED光源を利用したフジツボキプリス幼生の着生阻害実験、第51回好塩微生物研究会、2014.12.13、近畿大学(広島県)

〔図書〕(計 1 件)

Mimura, H. and Hirono, K., Nova Science Publishers, Inc., Application of blue LED light to the prevention of barnacle larval settlement, In Kado, R., Mimura, H., and Endo, N. (Eds.), Barnacles: Recent progress in biology and antifouling. (2018) 総ページ数198ページ(pp.157-173)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三村 治夫(MIMURA, Haruo)
神戸大学・大学院海事科学研究科・教授
研究者番号: 9 0 1 9 0 7 2 7

(2) 研究分担者

廣野 康平(HIRONO, Kohei)
神戸大学・大学院海事科学研究科・准教授
研究者番号: 8 0 3 4 6 2 8 8

(3) 研究分担者

矢野 吉治(YANO, Yoshiji)
神戸大学・大学院海事科学研究科・教授
研究者番号: 1 0 1 7 4 5 6 7