

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：82627

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630462

研究課題名(和文)実船舶に適用可能なバイオフィルム付着判定法の開発

研究課題名(英文)Development of detection method for biofilm adhesion on ship hull

研究代表者

藤本 修平 (Fujimoto, Shuhei)

国立研究開発法人 海上技術安全研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：80586686

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：船体へのバイオフィルムの付着は、燃費の悪化や越境生物の輸送などの原因となる。そうした事態を防止するため、簡便かつ低コストなバイオフィルム付着の検出手法が求められている。そこで、本研究では実船舶にも適用可能なバイオフィルム付着判定手法を開発した。バイオフィルム中を透過する光を計測し、画像解析により透明状態のバイオフィルムの付着量を可視化する手法である。また、実験用小型開水路を用いてバイオフィルムの成長挙動を観測した。バイオフィルムの成長には周囲流動場が強い影響を与えることを示唆する結果を得た。

研究成果の概要(英文)：Biofouling on ship's hull causes increase of frictional resistance and fuel cost. In addition the fouling on ship's hull may cause cross-border transfer of alien organism. To avoid such consequences, simple and low cost inspection technique to quantify the fouling is needed. Aimed at application to actual ship, detection method for biofilm adhesion was developed. The detection method is based on image analysis and applicable for transparent biofilm by using transmitted light in the film. Growth process of biofilm in an open channel was observed by in-situ measurement. It was shown that adhesion of biofilm is affected by flow field around the film.

研究分野：船舶保守管理

キーワード：生物付着 バイオフィルム 画像解析 可視化観測

1. 研究開始当初の背景

微生物によって固体表面に形成される膜状構造をバイオフィームと呼ぶ。医療機器や濾過器内等に発生するバイオフィームは、細菌繁殖の温床となるため古くからその付着防止を目的として活発に研究されてきた。こうした機器内部の流れは実験観察等が比較的容易に実施できることもあり、衛生工学分野を中心として研究例が多い。一方で、海面下の船底に付着する海洋生物起源のバイオフィームに関する研究例は、観測に困難が伴うため比較的少ない。船底に付着したバイオフィームは船体の摩擦抵抗を増大させるだけでなく、付着した生物が船とともに移動し、本来の生息地と離れたところで繁殖する「生物越境」の原因ともなる。また、バイオフィームの付着により船底防汚塗料の防汚成分溶出が妨げられ、フジツボ等の貝類が付着しやすくなるとも考えられており、船体保守管理の観点からもバイオフィーム付着の判定は極めて重要な意味をもつ。特に、実船舶に適用できる生物付着判定法の開発が志向されているが、現在までに実用化された例はない。

本研究の研究代表者は過去に水中カメラを用いて停泊中の船底の観測を行い、その撮影画像の色相分布等を解析することによりバイオフィーム付着量を定量評価する研究を実施してきた。しかし、付着最初期のバイオフィームは無色透明であり、色相分布等の色情報を利用した付着判別は不可能である。また、研究代表者らが実施した船底観測からは船体各部位ごとに生物付着量に差異があることが判明している。この差異は船底各部分での近傍の流動場の違いによるものと予想されるが、それについて調査した研究例はこれまでにない。

2. 研究の目的

船底への生物付着防止の基本情報として、どのような条件でバイオフィームが付着するかを知ることは極めて重要であるが、現在までのところ、それは明らかになっていない。不明の理由は、バイオフィーム付着量の計測法が確立されていないことにある。本研究では、偏光画像解析を応用した新しい手法により実船舶にも適用可能なバイオフィーム付着量の計測法を開発する。また、開発した計測手法を用いてモデル実験を実施し、周囲流動場がバイオフィーム付着に及ぼす影響を明らかにする。加えて、開発手法の実船舶への適用性についても検討する。

3. 研究の方法

まず「実験用開水路」および「画像撮影用の治具」等を設計・製作する。開水路として、バイオフィームの養生や観測に適した装置を設計する。次いで「透明バイオフィーム付着量計測手法の開発」に取り組む。実船舶への適用性を意識し、小型カメラと偏光フィル

タおよび照明用光源から成る簡素な構成とする。最後に、開発したバイオフィーム付着計測手法を用いて「バイオフィーム付着への周囲流動場の影響の考察」を行う。

4. 研究成果

(1) 実験用開水路の製作

実験用に透明塩化ビニル樹脂製の水路を構築した。図1に製作した実験用開水路の概要を示す。ポンプ（寺田ポンプ製作所製、CMP3N-50.4R）によりタンク内の水を循環させる装置系である。バイオフィーム付着の試験部が上部開放型となる開水路とした。開水路部の寸法は幅 300 mm、長さ 1000 mm、高さ 300 mm である。試験部上流に流量計（日本フローセル製、LHD-2）を設置し、試験部に流れ込む水の速度（バルク流速）を計測できるようにした。また、ポンプと試験部の間に三方弁を設け、弁の開閉により試験部に流入する水量をある程度変化させ、ことなるバルク流速条件での試験ができるようにした。

開水路完成後実際に運転を開始したところ、（水路内の水が外部に排出されない循環系であるため）ポンプの発熱により水温が上昇していく問題が発生した。そこで、水温上昇を抑制するために投げ込み式のクーラーを（トーマス科学器械製、TRL117A）を用いた。図2にクーラーによる水温制御の一例を示す。図の横軸はポンプの始動から（水路の運転を開始してから）の経過時間を示している。ポンプ始動時は 28℃程度の水温であったが、ポンプの発熱により徐々に水温が上昇し 125 分後には 39℃程度になった。ここでクーラーを投入し 30℃以下まで水温を下げた。実際に開水路試験を行う際は、クーラーにより水温を 28℃-30℃の間に保つ。水温が 28℃以下になるとクーラーが off になり（図2の 255 分）、その後水温が再度上昇し 30℃を越えるとクーラーが on となる（図2の 277 分）。

バイオフィームの付着や成長を促進させるため、太陽光とほぼ等しいスペクトルの光を発する人工太陽照明灯（セリック製、SOLAX XC-100）で開水路部を照射した。

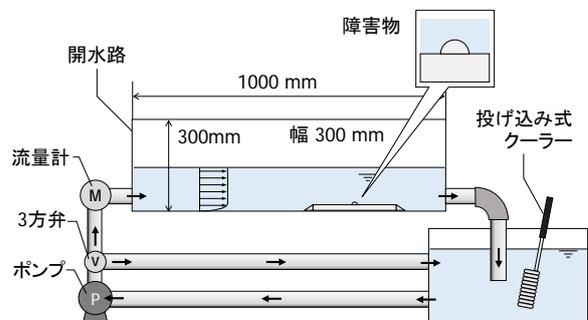


図1 実験用開水路の概要

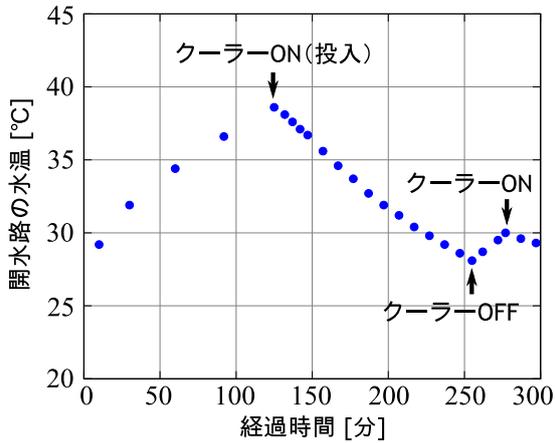


図2 投げ込み式クーラーによる水温制御

加えて、バイオフィーム付着への周囲流動場の影響を調査するため、試験部底面に設置する障害物を製作した。障害物は半径 10 mm の半円柱であり、船舶船底の溶接ビード（溶接で鋼板を接合する際に生じる、船体接合部の盛り上がり）を模擬した形状である。過去に研究代表者らが行った水中カメラによる船底観測では、溶接ビード近傍はバイオフィーム付着量が周囲に比べて多い傾向があった。

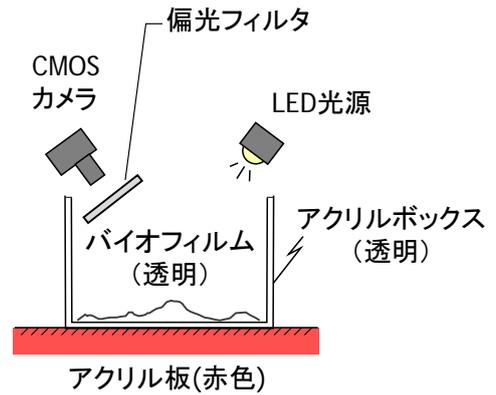
(2) バイオフィーム付着量計測法の開発

まずバイオフィームを撮影するための撮影系を構築した。小型 CMOS カメラ (IDS 製, UI-3240CP-C-HQ) のレンズ (興和光学社製, LM12JC1MS) に偏光フィルタを取り付け、偏光状態を変化させて撮影できるようにした。撮影時の照明用として白色 LED 光源 (アズワン製, NLSS05BM-AC 6500K) を用いた。

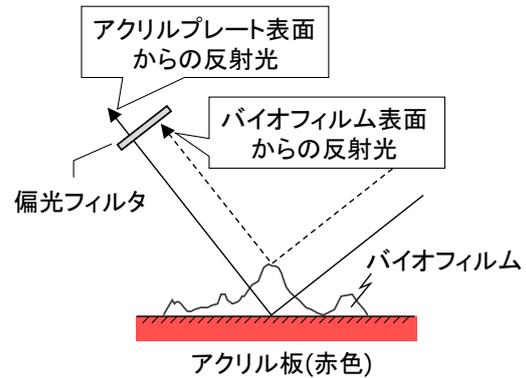
構築した撮影系を用いて透明バイオフィーム付着量計測法の開発に取り組んだ。まず流れのない容器の内壁面に付着するバイオフィームを観測対象とした。海上技術安全研究所内の落下水槽（露天の水槽）内の水をアクリル製容器内に汲み置きし、常温（20 – 25°C程度）で約 140 時間静置して容器内壁面にバイオフィームを付着させた。アクリル容器は透明アクリル樹脂製であり、その寸法は 145 mm × 145 mm × 145 mm（板厚 2mm）である。通常、海面下の船底には赤色塗料が塗装されることが多く、その状況を模擬するために赤色のアクリル板（450 mm × 300mm）をアクリル容器の下に敷いた。

透明状態のバイオフィームを計測するため、バイオフィーム中を透過する光の強度を利用する。図 3 に計測の方法を示す。バイオフィームを計測する際には、容器内の水を除去した上で LED 光源によりバイオフィームを照射し、偏光フィルタを取り付けた CMOS カメラで撮影した（図 3 (a)）。偏光フィルタの角度を調節することで、バイオフィーム表面からの反射光を除去し、アクリル板表面からの反射光のみをカメラで撮影する（図 3

(b)）。図 4 に偏光フィルタによる表面反射光除去の一例を示す。図 4 の A は表面反射光を除去しない場合で、バイオフィーム表面での反射によりバイオフィーム付着箇所が白く見えている。画像の中央部付近にある白い光沢の無い領域は、比較用にバイオフィームを紙ウエスで拭い去った箇所である。図 4 の B では偏光フィルタの効果により表面反射光が除去されている。表面反射光を除去した上、色情報の分析によりバイオフィーム膜厚を評価する。



(a) 透明バイオフィーム膜厚計測の構成



(b) 偏光フィルタによる表面反射光の除去
図3 透明バイオフィームの膜厚測定

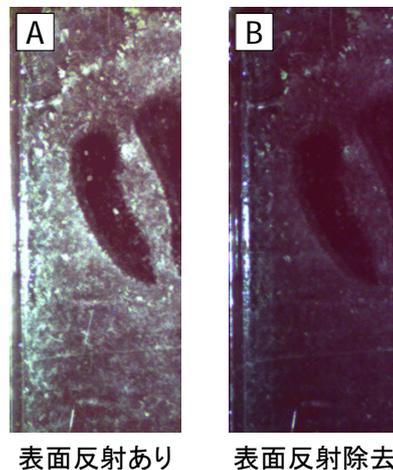


図4 偏光フィルタによる表面反射光の除去

本研究ではバイオフィルムの付着量（膜厚分布）を、色の鮮やかさ（彩度）を指標として評価した。バイオフィルムが無色透明状態であるため、底面に敷いたアクリル板の赤色が透過して撮影されるが、バイオフィルムの厚さによって、その赤色がくすんで（彩度が下がって）撮影される。そこで、撮影した画像の彩度分布を算出した。図5に彩度分布の算出結果の一例を示す。

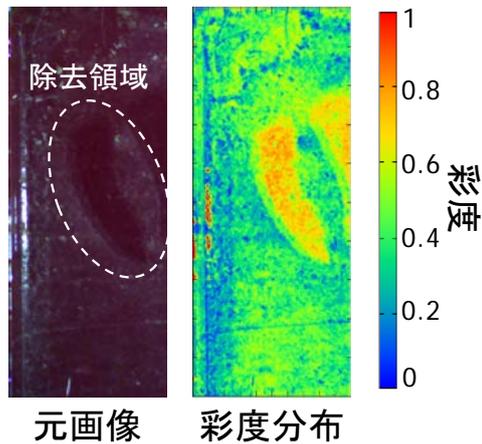


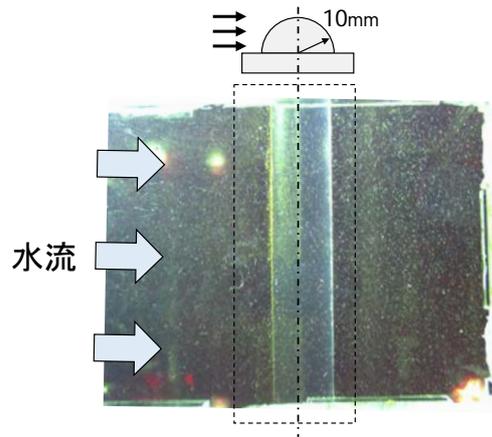
図5 彩度による膜厚分布の評価

図5左の「元画像」の破線丸囲みの領域は、比較用にバイオフィルムを除去した箇所である。図5右の「彩度分布」を見るとバイオフィルム除去領域では彩度が高い値となっており、バイオフィルム付着領域では彩度が低い値になっている。容器の角部など、バイオフィルムが厚く付着していると推測される箇所ほど彩度の値が低くなっており、バイオフィルムの膜厚分布を反映していると考えられる。以上が本研究で開発した透明バイオフィルムの膜厚分布計測法である。今後、付着したバイオフィルムを採取して重量を測定する等の方法により校正を行うことで、本手法を用いた定量的なバイオフィルムの膜厚測定も可能になると考える。

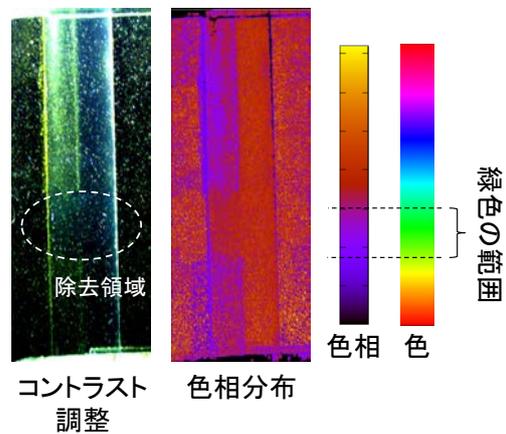
(3) 流動場影響の考察

まず開水路内の流れの様子を把握するため、粒子画像による流速測定を実施した。水路内の水に微小粒子を混入させてレーザー光源で照射し、流れとともに移動する粒子の運動をビデオカメラで撮影して画像解析により流速を測定する Particle Image Velocimetry (PIV) を行い、水路内の流れを調査した。次いで、開水路内の水を長時間循環させ続け、底面に生じるバイオフィルムを観測した。開水路内底面には半円柱形状の障害物を設置し、そこに付着したバイオフィルムの分布を観察した。観察はアクリル樹脂製の箱メガネを用い、開水路内でのその場観測とした。観測結果からバイオフィルムが付着しやすい流れの条件を考察した。図6に障害

物へのバイオフィルム付着の例を示す。平均流速約 4.0 cm/s でおよそ 626 時間、開水路内の水を循環させた結果である。図6(a)は円柱障害物を撮影した画像である。図の左から右に水が流れている。半円柱の表面に緑色のバイオフィルムが付着していることが判る。図(b)はバイオフィルム付着領域をより明瞭に可視化するため、画像解析を行った結果である。画像のコントラストの調整や色相を用いた色の種類の分析により、半円柱の上流側半面にのみバイオフィルムが付着していることが判った。図中の破線丸囲みは、参照用に意図的にバイオフィルムを拭き去った領域である。色相分布の赤紫色の領域が、バイオフィルムが付着している緑色領域に対応している。半円柱の上流側半面にバイオフィルムがよく付着しており、下流側半面にはほとんど付着していないことが判る。これは、半円柱の上流側は水の流れがよく当たるため、循環している水の中の微生物が障害物に付着しやすくなるためであると考えられる（半円柱の下流側では水の流れが流れ去るため、微生物の付着や表面への定着が起こりにくい）。以上のように、周囲の流動場がバイオフィルム付着に及ぼす影響に関する知見が得られた。



(a) バイオフィルムの付着（元画像）



(b) 画像解析の結果

図6 半円柱障害物へのバイオフィルム付着

今回構築したバイオフィルム撮影用の装置系は、小型 CMOS カメラ等の使用によりコンパクトかつ比較的安価であり、実船舶測定に向けた装置化も可能であると考える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 件)

〔学会発表〕(計 3 件)

(1) 藤本修平, 伊飼通明, 「水路試験によるバイオフィルム成長過程の観察」, 日本機械学会関東支部講演会, 2016 年 3 月 11 日, 東京工業大学 (東京都目黒区).

(2) 藤本修平, 「画像解析によるバイオフィルム付着検出法の検討」, 日本実験力学会 2015 年次講演会, 2015 年 8 月 29 日, 新潟大学 (新潟県新潟市).

(3) 藤本修平, 「船底生物付着量の定量評価」, 日本実験力学会 2014 年次講演会, 2014 年 8 月 28 日, 兵庫県立大学 (兵庫県姫路市).

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

国内外の別 :

○取得状況 (計 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

取得年月日 :

国内外の別 :

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤本 修平 (FUJIMOTO Shuhei)

国立研究開発法人 海上技術安全研究所・その他部局等・研究員

研究者番号 : 80586686

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :