東海大学海洋研究所報告　第 35 号(2014)　1 ～ 16 頁　　原著論文(Original Article)
Bull Inst. Oceanic Res. & Develop. Tokai Univ. (2014), 35, 1-16

望星丸の船体汚損状況からみた海洋生物の移動規制の実現性に関する検討 － その1

金子　仁 [1)]

Consideration on Possibility of Regulation of Aquatic Invasion by Bio-fouling on Ship's Hull from Bio-fouling Situation of Bousei Maru – 1st Report

Hitoshi Kaneko[1)]

Abstract

IMO (International Maritime Organization) had discussed to regulate the undesirable invasion of marine organisms, aquatic invasion, due to a ballast water transport. Thus, the International Convention for the control and management of Ships' Ballast Water and Sediments (the B.W.M. Convention) was adopted in 2004. Now the B.W.M. Convention is expected to go into effect.

As aquatic invasion is caused not only by the ballast water but also by the bio-fouling on hulls of ship, IMO has discussed to regulate the aquatic invasion due to the bio-fouling, which has started since 2008. We hope that IMO will hold the discussion more lively as the B.W.M. Convention is expected to go into effect shortly.

The B.W.M. Convention introduced the regulation values for bacterium, zooplankton, and phytoplankton in the ballast water. Thus, the ballast water treatment systems onboard ships have been developed to eradicate them. It is unknown at present which types of regulations for the bio-fouling are adopted.

The bio-fouling in the research and training ship with 2,174 international gross tons, Bousei Maru, had been observed from 2006 to 2011. Then the various problems were studied from a technical viewpoint, when the regulation of aquatic invasion due to the bio-fouling was introduced. The bio-fouled parts of the hull are divided into the shell and its large fittings, for example, the bowthruster, the sea chest, and the propellers. In this study we focused the shell of the hull.

The conclusions are as follows,

1) To paint the whole hull after the use of sand blast prevents the bio-fouling by large marine organisms with effect.

2) Changes of the structure and materials of the hull, the way to maintain the hull in a dock yard, operation of the ships, and the cleaning of underwater at a port, are needed for the complete prevention from the bio-fouling. These tactics, however, are not considered as realistic ones from the technical and the economic viewpoints.

1）東海大学海洋学部航海工学科航海学専攻　〒424-8610 静岡県静岡市清水区折戸3-20-1
Department of Navigation, School of Marine Science and Technology, Tokai University, 3-20-1 Orido, Shimizu-ku, Shizuoka-shi 424-8610, Japan
(2013 年 11 月 9 日受付／2013 年 11 月 25 日受理)

1. はじめに

IMO（International Maritime Organization:国際海事機関）にて，船舶による国境を越えた生物移動の規制が議論され，バラスト水管理条約（正式名は「船舶のバラスト水および沈殿物の規制および管理のための国際条約，International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, 2004」）が 2004 年に採択された．しかしながら 2013 年現在未発効である．発効要件は，批准国 30 ヶ国以上かつ商船船腹量 35 %以上となっており，2013 年 6 月時点では 37 カ国が批准し，その合計船腹量は全世界の商船全体の 30.32%であるので近々発効されると考えられる．

船舶による生物移動はバラストタンクのバラスト水によるものばかりでなくフジツボ，海藻などの生物が船体付着（船体汚損という）して移動するもの，また，船舶の推進機関の海水を利用した冷却クーラ（例えば，潤滑油冷却クーラー）や海水配管に付着して移動するものがある．筆者はバラスト水による生物移動量に比べて船体汚損により移動する生物量のほうが多いと考えている．

船体汚損による生物移動の規制に関して，2008 年に IMO で議論が開始されたが，バラスト水管理条約の発効と相まって船体汚損による移動規制が今後進むと考えられる．

バラスト水管理条約では，細菌，動物・植物プランクトンなど,大きさがμオーダーの生物に対して数値による規制がなされた．その結果，世界中でバラスト水処理装置が開発され，これらの生物を殺菌・殺滅する方法が採用された．船体に関してはどのような規制が実施されるか未定である。

東海大学の調査・研修船，国際総トン数 2,174 トン）の水中および Dock での船体観察では，船体には目視できるものとしてフジツボ科（Balanidae），カンザシゴカイ科（Serpulidae），イガイ科（Mytilidae），フサコケムシ科（Bugulidae），アオサ属（*Ulva sp.*）が付着し，フジツボの殻内にはカニ，ヨコエビなどが生息し，スライムなども観察される．また，Fig.1 に示す，μオーダーのプランクトン（動物プランクトンのカマキリヨコエビ，ドロクダムシ，ワレカラ，オタマボヤの幼生，珪藻の *Chaetroceros*）なども望星丸に付着していた．しかしながら，広い船体にμオーダーの数値規制は実際的ではないと考える．何故なら，海水に暴露された広い船体全体を完全に清浄する方法が現在,開発されていないからである．

船舶の管理面をみると船体の保全費用削減のためドック間隔が 5 年，7 年に延びつつあり，船体汚損の可能性が増

Fig.1 Micrometer-size planktons, zooplanktons (upper) and a diatom (lower), attached to the hull of Bousei Maru.

す状況である．船体汚損増加は生物移動増のリスクを増大するばかりでなく燃料消費増（CO_2 排出量増）となり，船体汚損軽減のための管理方法は，海運および造船業界においては今まで以上に重要なテーマとなると考える．

我が国の輸出入を合わせた貿易量は，2011 年では，年間 9 億 6 千万トンでありその 99.7 %を船舶で運んでいる．全世界の海上貿易量が約 55 億トンであるので日本 1 カ国だけで世界の貿易量の「6 分の 1」を占めている．地球規模で生物の多様性保全を進めている中，世界の海から恩恵を得ている我が国および関係業界である海運，漁業，造船などは，バラスト水による移動量より多いと思われる船体汚損による移動についても積極的に研究し，情報発信し，対策を施し環境問題の解決で世界に貢献する必要がある．しかしながら，我が国では,この分野での研究例は少ない．

船体汚損の部位は船体外板と大形艤装品部（バウスラスター，ソナー，ソナードーム，ビルジキール，シーチェスト，船尾管シール，プロペラ，舵など）に分かれる． Fig.2 に望星丸の船体部位の位置を示し，その部位の汚損状況の写真を Fig.3 および Fig.4 に示す．

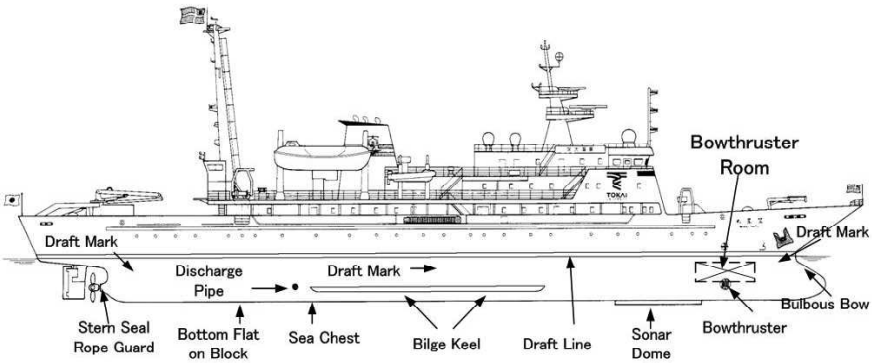

Fig.2 The Illustration of Bosei Maru and the names of parts on the hull.

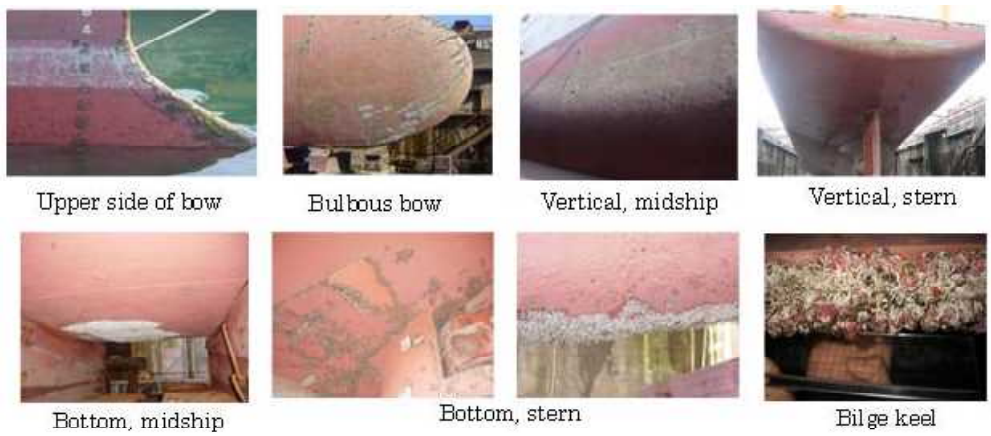

Fig.3 The bio-fouling situation of the hull of Bosei Maru.

Fig.4 The bio-fouling situation of the large fitting parts on the hull of Bosei Maru.

Fig.3 は船体外板部であり，Fig.4 は船体に付属した大形艤装品部である．筆者の経験では望星丸は外航商船に比べて汚損度合いが激しいと考えている．望星丸は海外に航海する船舶であるので今後，汚損防止対策が必要になると考えられる．

2. 研究の目的および方法

【目的】 望星丸は 2009 年 11 月の Dock で竣工以来，初めて船体の全面にサンドブラスト（船体の塗装表面に砂などの研磨材を圧縮空気など利用して吹き付け，表面を研磨する方法）をかけ，全面的に古い防錆塗装（船体鉄板の錆止め塗装．通常 AC 塗装という）および防汚塗装（生物による汚損防止のための塗装．通常 AF 塗装という）を削り落とし，新たに防錆塗装および防汚塗装を施した．そこで，本研究は，望星丸の船体にサンドブラストを行った前後の汚損状況を比較し，船体の汚損防止管理にサンドブラストが効果あるのかどうかの検証を行うこと，また，現在，IMO にて商船を含む一般船舶の船体汚損による生物移動規制の議論がなされているところであるが，望星丸の船体汚損の分析および船体の観察を通してその実施上の問題点を考察することである．なお，塗装は防錆塗装と防汚塗装に分かれるが，本研究では両方を合わせて，単に塗装と呼んでいる．

望星丸の船体汚損の部位は船体外板と大形艤装品部に分かれるが，対象は船体外板とした．大形艤装品部に関しては別途報告する予定である．

【方法】 鉄構造物の錆の度合いや塗装の劣化状況の定量化に利用されている面積割合図を利用して，望星丸における 2009 年のサンドブラスト実施時期を含む 6 年間の塗装の劣化状態（剥げ，割れ）およびフジツボなどの大形生物による船体汚損状況を定量化しデーター（定量化データー）とした．この定量化データーを基本として，望星丸の船体観察情報（水中および Dock 中の観察），船体構造情報，運航情報，船体メンテナンス情報から船体汚損原因および船体汚損軽減策を考察した．また，船体汚損による生物移動規制の実施の問題点を考察した．

橋梁や鉄鋼構造物の錆の状況の定量化に面積割合図が利用され鉄構造物が管理に利用されている．面積割合図は，例えば米国材料試験協会（ASTM：American Society for Testing and Materials）および米国鋼構造物協会（SSPC Steel Structures Painting Council, U.S.A.）の「腐食割合面積とさびの評価判定図」がある．

Fig.5 は本研究で利用した International Paint Japan ㈱の Dataplan Extent Diagrams である．本面積割合図は，船舶用として塗装の剥げ・割れの形状と面積割合の組み合わせパターンが豊富であること，現場での携帯が容易であることから同社の面積割合図を採用し望星丸の船体の塗装状況および船体汚損の定量化に利用した．

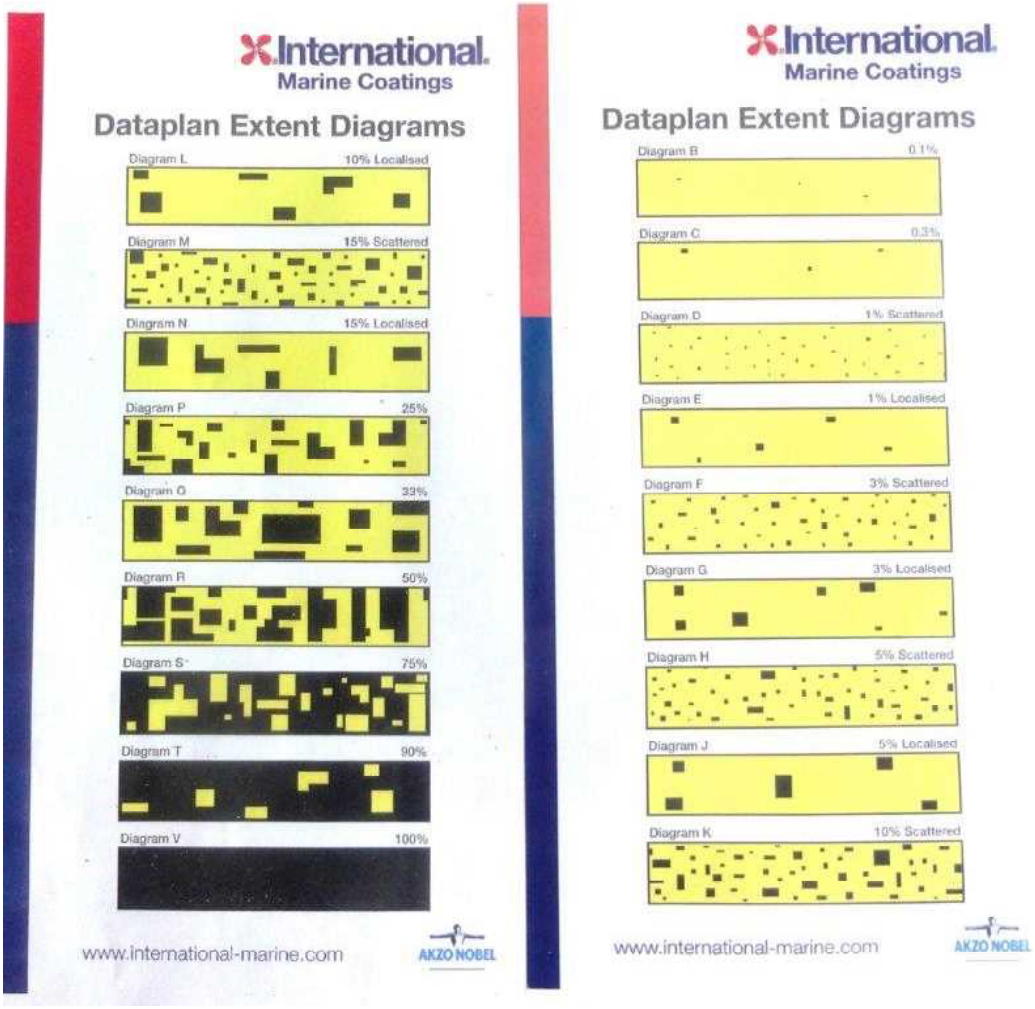

Fig.5 Dataplan extent diagrams by International Paint Japan. This diagram was used to quantify situations of the paint damage and the bio-fouling on the hull of Bousei Maru.

Fig.6 The outline of target area. The area is about 2.2m (in a longitudinal direction) x7.2m (in a transverse direction). The usual draft is around 4.4m.

望星丸の船体は広く，全体を評価対象にすることはできない．また．三保造船所 Dock では船体が Dock 一杯を占有するため，俯瞰できる船体部位は限られている．そこで分析対象部位は Fig.6 に示す黒線で囲まれた領域（喫水方向で 2m4.2m，船長方向で船首 Draft mark ～ 7.2m の溶接部内）とした．

3．結果

3.1 望星丸の船体付着生物および船体整備

(1)船体の付着生物

Table1 は 2008 年 11 月に望星丸の船体から採取した付着動物である． 1mm メッシュでフィルタリングした後の個体数では，環形動物，節足動物で約 90%を占め，湿重量（ g ）では，節足動物が約 95%を占める． 1 個体当たりの湿重量では軟体動物が最も重い．このように船体汚損で優占する付着動物はカンザシゴカイのような環形動物とフジツボのような節足動物である．

(2)船体整備

望星丸は毎年 11 月頃に静岡市清水区の三保造船㈱の Dock に入れて船体整備が行われている． 2009 年の Dock にて竣工後初めて（ 16 年振り）船体全面にサンドブラストが施され，古い防錆塗装および防汚塗装剥ぎ取られ，新しい塗装となった．

Table 1 Species of marine organisms attached to the hull.
Annelidae and Arthropoda accounted for majority.

Phylum name	Population		Wet weight		
	number	%	g	%	g/piece
Annelida	2,193	55.1	5.13	1.86	0.0023
Arthropoda	1,337	33.6	265.09	95.90	0.1983
Protochordata	393	9.9	4.21	1.52	0.0107
Platyhelminthes	26	0.7	0.33	0.12	0.0127
Tentaculata	15	0.4	0.19	0.07	0.0127
Nemertea	11	0.3	0.04	0.01	0.0036
Coelenterata	3	0.1	0.32	0.12	0.1067
Mollusca	2	0.1	1.11	0.40	0.5550
Echinodermata	1	0.0	0.00	0.00	0.0000
Total	3,981	100	276.42	100	0.0694

それ以前の 2009 年までの船体への塗装実施は，以下のようである．①先ず，望星丸が Dock に入り，船体の位置が計画通りの位置になると Dock の水が抜かれ，船体は盤木の上に設置される．②水が抜かれ， Dock に作業員が入れるようになると，船体全体を高圧洗浄水で洗浄する．③船体が乾いてから防錆塗装の損耗がある部分は個別に防錆塗装が施され，その後，全面に防汚塗装が施される．④特に防錆塗装の損傷が激しい部位は， Power tool（動力工具）により部分的に剥ぎ取り後に防錆塗装および防汚塗装が施される．

望星丸の状況では，塗装の上に塗装が施され，劣化した塗装の上に塗装されるような状況であったことから， 2006 年頃には塗装が剥げやすい状況であった．防汚塗装の種類により防汚効果に影響が出るが， 6 年間の調査期間の塗装の種類は同じであり自己研磨型の加水分解型であった．

3.2 船体外板の船側平坦部

(1)塗装および船体汚損の外観

Fig.7 ～ Fig.12 に 2006 年～ 2011 年の 6 年間の Dock 時の船体の写真を示す．写真中，赤色の線で囲んだ部分は，塗装が剥げている部分であり，黒く塗られている部分は生物により汚損されている部分である．

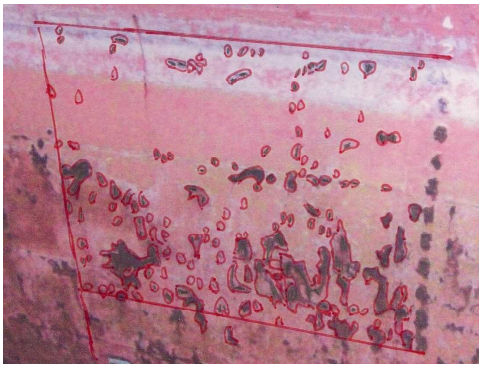

Fig.7 The paint damage and the bio-fouling situation in 2006. Paint Damage Rate is 7.5%, Large Organism Attachment Rate is 5.3% and Slime Attachment Rate is 90%.

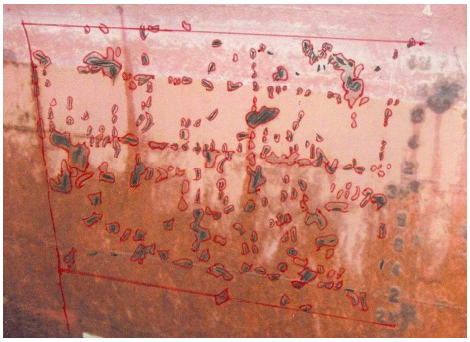

Fig.8 The paint damage and the bio-fouling situation in 2007. Paint Damage Rate is 4.5%, Large Organism Attachment Rate is 2.0% and Slime Attachment Rate is 90%.

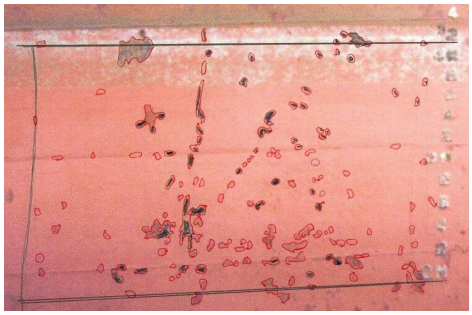

Fig.9 The paint damage and the bio-fouling situation in 2008. Paint Damage Rate is 3.0%, Large Organism Attachment Rate is 1.8% and Slime Attachment Rate is 90%.

写真からの状況では， 2006 年（ Fig.7 ）～ 2009 年（ Fig.10 ）の写真の塗装損傷が激しいこと， 2009 年度の Dock で全面サンドブラストを行った結果， 2010 年， 2011 年のように塗装の損傷のない船体となっていることも分かる．また，全写真とも黄緑色がかったスライムが付着していることが分かる．なお，水線付近の白い部分はスライムである．この部分は塗装の衰耗が激しくスライムが付着しやすい．白色となったのは，水面上に出た時に死んだものと考えている．

以下に各年の塗装および生物による船体汚損状況を示す．

① 2006 年（ Fig.7 ）， 2009 年（ Fig.8 ）は大きな面積の塗装損傷があり，その損傷部はフジツボ，カンザシゴカイ，海藻による汚損が激しい．また，スライムは全面的に付着していた．

② 2008 年（ Fig.9 ）では 2006 年， 2007 年に比べて塗装の損傷および汚損状況は軽微で良好な状態であった．推定であるが， 2007 年の Dock で Power tool を利用して大規模に塗装を剥ぎ取り補修したことに起因していると考えられる．それでも小面積の塗装損傷や汚損が観察された．また，スライムは全面的に付着していた．

③ 2009 年（ Fig.10 ）では大きな塗装の損傷はないが，小さな塗装損傷が多く発生している．特徴的なのは左下の鉛筆線で囲んだ部分である．塗装の剥げは見られないが，疎らであるが全面的にフジツボ，カンザシゴカイの付着が見られた．注意深く観察すると，塗装表面が凸凹状態であり防汚塗装が衰耗していると考えられた．また，スライムは全面的に付着していた．

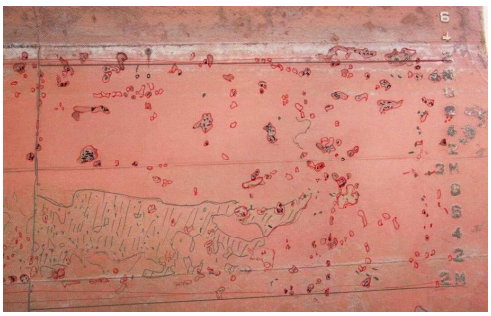

Fig.10　The paint damage and the bio-fouling situation in 2009 Paint Damage Rate is 3.0%, Large Organism Attachment Rate is 2.0% and Slime Attachment Rate is 90%.

④ 2010 年（ Fig.11 ）， 2011 年（ Fig.12 ）はサンドブラスト施工後の状況であるが塗装の損傷および汚損は大幅に減っていた．しかし，スライムは他年度と同じように全面的に付着していた．

Fig.11　The paint damage and the bio-fouling situation in 2010. Paint Damage Rate is 0.1%, Large Organism Attachment Rate is 0.1% and Slime Attachment Rate is 90%.

(2)塗装損傷割合

船体汚損は塗装の劣化（衰耗，クラック，剥げ）が進むと激しくなる．そこで塗装の状況を塗装損傷割合（%）（ Paint Damage Rate ）として定量化した．塗装の損傷とは塗装の剥がれやクラックが発生している状態とする． Fig.13 に面積割合図を利用して評価した 6 年間の塗装損傷割合を示す．

Fig.12　The paint damage and the bio-fouling situation in 2011. Paint Damage Rate is 0.05%, Large Organism Attachment Rate is 0.1% and Slime Attachment Rate is 90%.

塗装損傷割合は， 2006 年度は 7.5%と

最も高いが，2007 年～ 2009 年は約 4%であった．サンドブラスト実施後の 2010 年，2011 年の塗装損傷割合は約 0.1%で表面に凸凹はない状態であった．望星丸は

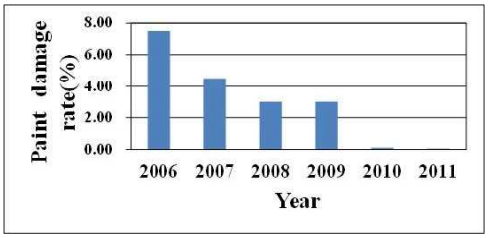

Fig.13 Paint Damage Rate from 2006 to 2011.

毎年ドック時に塗装を行うが，サンドブラスト施工後の塗装状態は良好に保たれたと言える．

(3)大形生物汚損割合

船体の平坦部の汚損で普通に見られる生物は植物ではアオサ，動物ではフジツボやカンザシゴカイであり船体抵抗増，船速低下，燃料消費量増，主機関の排気温度上昇となり運航に支障を来す場合がある．

アオサ，フジツボおよびカンザシゴカイは一般に塗装が剥げた部位に付着し汚損することが知られている．それらの汚損面積割合を大型生物汚損割合（%）（ Large Organism Attachment Rate ）とする．Fig.14 に 6 年間の大形生物汚損割合を示す． 2006 年の大形生物汚損割合が最も大きく 5.3%， 2007 ～ 2009 年は約 2%で

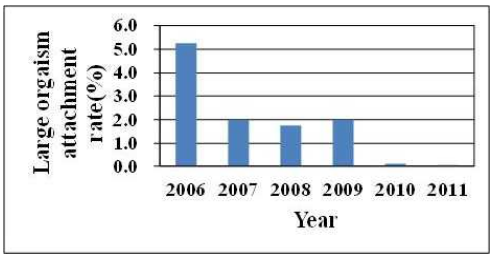

Fig.14 Large Organism Attachment Rate from 2006 to 2011.

あった． Fig.15 に示すように塗装損傷割合と大形生物損傷割合の相関係数を求めてみると 0.95 であり相関が高く，船体汚損面積は塗装の損傷と関係があると言える．

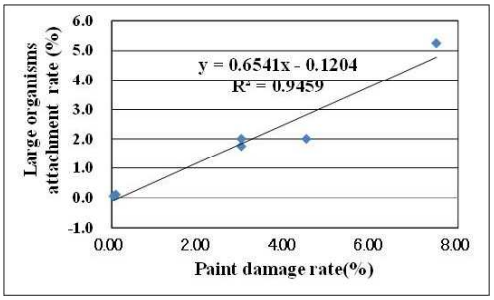

Fig.15 Relationship between Large Organism Attachment Rate and Paint Damage Rate. It shows strong

(4)スライム汚損割合

望星丸の船体上のスライムは緑色，茶色，白色となって観察される． Fig.16 に 6 年間のスライム汚損割合（%）（ Slime Attachment Rate ）を示す．

全般的に 90%程度であり，サンドブラスト実施後も同程度であることからサンドブラストはスライムによる汚損には効果を

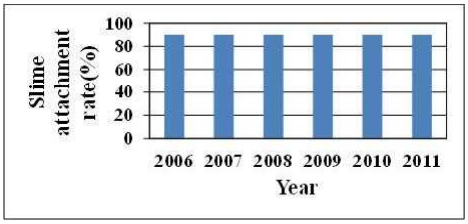

Fig.16 Slime Attachment Rate from 2006 to 2011. Every year, slime attached widely on the hull

発揮していないと推測される．

3.3 船体外板のその他の部位

船体には船体整備方法や船体の構造

上から生物汚損の激しい部位がある．本項ではその部位について特徴を述べる．

(1)盤木部

Fig.6（2章）に望星丸が Dock で盤木の上に乗っている写真を示した． Fig.17 は盤木部の汚損状況である．船体が盤木の上に乗る部分はサンドブラストおよび塗装を施すことができない部位である．望星丸では毎年，盤木の位置を変えて付着生物を除去し塗装しているが，盤木に乗った船底部は Fig.17 のように汚損する．このことから， Dock 中に望星丸を乗せる盤木を移動できれば良いが盤木の移動システムや船体の重量を支えるための船体構造の変更などが必要となる．なお，写真の生物はフジツボ，カンザシゴカイ，フサコケムシである．

Fig.17 The bio-fouling situation of the middle bottom on block.

(2)突起部

船体外板には 3.2 項で述べた平坦部と平坦部から突き出た突起部がある．突起部は船体に対して凸となっていることから塗装が完全に施すことができない，凸となっているため水流の中で抵抗となり塗装が剥がれたり，また塗装の衰耗が激しく汚損が進む部分である．

① Fig.18 は船尾船底部である．鉄板溶接部や写真右の船尾フレームの端が汚損しているのが分かる．当該部は狭く，塗装を完全に施すことが難しい部位であり，またプロペラによる水流で塗装の剥げや衰耗しやすい部位である．天井の平坦な部位においても塗装が剥げ，生物が付着する．毎年フジツボ，カンザシゴカイ，ムラサキイガイで汚損されているが，サンドブラストの効果は望めないところである．

Fig.18 The bio-fouling situation of the stern bottom.

② Fig.19 に満載吃水線標（ Free Board Mark ），喫水標（ Draft mark ）および管の汚損状況を示す．また， Fig.20 に船首喫水標， Fig.21 船央喫水標の汚損状況を示す．満載吃水線標，喫水標や管は船体に溶接して固定している．これらの部位にはフジツボ，カンザシゴカイの上にアオサが付着している場合が多い．管の内部ではムラサキイガイが優占する傾向

Fig.19 The bio-fouling situations of the free board mark, the draft mark and the pipes.

Fig.20 The bio-fouling situation of the fore draft mark.

Fig.21 The bio-fouling situation of the midship draft mark.

がみられた．これらの部位はサンドブラストをかけ塗装を新しくしても汚損されている状況である．

③ Fig.22 はビルジキールである．ビルジキールは船体のローリング（横揺れ）防止のために両舷に付けられている．ビルジキールの先端は塗装が施し難く，また水流により塗装が剥げやすいことから，付着生物が付きやすく毎年フジツボ，カンザシゴカイ，フサコケムシが付着し大きく成長している．

Fig.22 The bio-fouling situation of the bilge keel. A lot of barnacles and serpulidaes were attached to grow every year.

④ Fig.23 は船尾の喫水線付近に付けられている支持金物である．この支持金物は舵やプロペラの整備時にワイヤーを引っかけるものである．塗装の剥げや衰耗により毎年多くのフジツボが観察される．

Fig.23 The bio-fouling situation ofthe aft cable hanger set onthe water line. A lot of small barnacles were attached.

(3)Bulbous bow

Fig.24 ～ Fig.26 に Bulbous bow の船体汚損状況を示す．Fig.24 を見ると塗装が斜めに機械的に損傷していることが分かる．これらの塗装の損傷は海面や海中の浮遊物や望星丸の Anchor や Anchor chain で引っ掻かれて損傷を受けたものであり，そこにフジツボ，カンザシゴカイ，アオサが付着し大きく成長していた．Bulbous bow の上部は太陽が当たるためフジツボに付着したアオサが生長する場所である．喫水 4m の船首が水を切る部分は毎年沢山のフジツボが見られる場所である．また，Fig.24 において下部にも Anchor や Anchor chain の引っかきで塗装が剥げ多くのフジツボ，カンザシゴカイが付着しているのが分かる．Fig.26 はサンドブラストを施行した後であるが，このようにサンドブラストの効果が望めないことが分かる．

Fig.24 The bio-fouling situation of the bulbous bow. There were a lot of mechanical damages on paint. A lot of ulvas attached to barnacles were grown on upper side due to sunlight, but only barnacles on the lower side.

Fig. 25 The bio-fouling situation of the upper side of the bulbous bow. A lot of ulvas attached to barnacles were grown on the upper side.

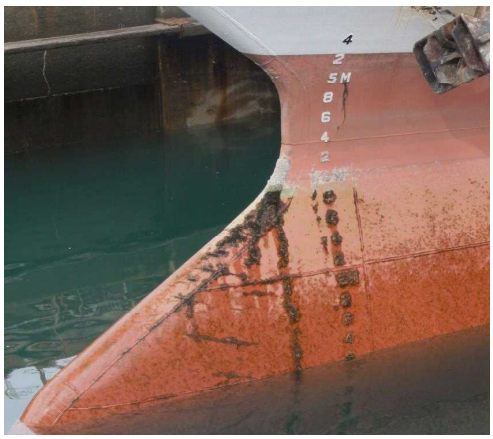

Fig.26 The bio-fouling situation of the upper side of the bulbous bow after sandblast in 2010.

(4)船尾管付近

Fig.27 に船尾管付近の汚損状況を示す．船尾管付近はプロペラ直前でありプロペラへの水の流速が速く，船尾管付近において塗装の剥げや衰耗が進み易い．全般的にカンザシゴカイが優占して付着している．

Fig.27 The bio-fouling situation of around the stern tube. Paint was easily damaged due to the high flow speed into the propeller.

4.考察

(1)船体の外板平坦部

望星丸の塗装損傷割合および大形生物汚損割合による分析や船体観察からフジツボ，カンザシゴカイ，アオサなどの大形生物による汚損は船体の塗装の損傷が大きいと増加することが分かった．望星丸では 16 年振りにサンドブラストをかけ古い塗装を全面的に落とし，鉄板の下地を出して新しく塗装が施された．それまでは，塗装の上に塗装を繰り返していて（いわゆる，厚化粧），運航時に剥げまた早期に衰耗し易い状況であった．全面サンドブラストをかけ新しく再塗装した結果，大形生物による汚損は観察されなくなった．このことから大形生物による船体汚損を減らすには短い間隔での全面サンドブラストにより新しい塗装の下地を確保してから再塗装する方法が有効であるといえる．船体の外板において平坦部は多くの面積を有するので本対策は有効と考える．

しかしながら，微小生物や無機物の集合体であるスライムの付着はスライム汚損割合の分析や船体観察から毎年同じ程度あることが分かった．望星丸は 1 年で 90%程度のスライム汚損割合であり，筆者の経験では外航商船に比べて多いと考える．その理由であるが，望星丸の停泊時間は全運航時間の 70%程度であり，停泊時間が多く，塗装の防汚効果機能が発揮し難い運航状況であるからと考える．スライム付着を減らすには停泊時間を減らし，塗装の効果が発揮できるように常に新しい塗装面を露出させることである．

一般的な商船の運航面で，スライムの付着が激しくなる場面は，豪州などにおける船混み（自然災害や資源の採掘現場および港湾でのストライキにより，港湾から出される貨物量に対して多くの船が配船され待たされる状態）による長期滞船時であるが，現在，商船においては長期停泊の場合，定期的に港外に出て船を走らせる対策をとることにより効果があると考えられている．スライムには，珪藻などの他，動物・植物プランクトンなどが含まれているため，放置すると成長し肥大化する．望星丸のバルバスバウ上部にアオサが成長しているが，そのようなアオサが船体外板の平坦部にも付着したままの商船や漁船を多々見かける．塗装メーカーは，塗装効果に対して停泊期間を限定して保証しているが，その期間は 10 日～ 2 週間程度である．1 週間程度の停泊期間の発生時は船舶を走らせることがスライムの付着量減らす一つの対策であろう．

バルバスバウにおいて，海上の浮遊物や Anchor および Anchor chain により機械的に塗装が損傷し，生物が付着し大きく成長していた．これらの部分の汚損防止対策として，チタニウムなどの汚損防止効果のある材料の利用やダイバーによる定期的な観察と水中での船底掃除（ UWC: Under water cleaning ）による除去がある．前者は材料が非常に高価であることや大形の製造物の製造には不向きなど実現には課題も多い．船底掃除

であるが，筆者の東海大学臨海実験所での汚損防止策を施していない付着板の浸漬実験では 1 日程度でフジツボやカンザシゴカイが付着し，数日後にはスポンジでも除去ができないほどの付着力があった．商船では，船底掃除機のブラシ部に銅線やワイヤーブラシを使用しており塗装も剥がれる．掃除後，ある一定期間は良いが，塗装が剥げることから船底掃除前より付着が進むという現実がある．これらのことから，塗装の機械的ダメージ部分は塗装の損傷を監視し，発見したら船底掃除機のブラシ部に柔らかい材料を利用して掃除を行うことであると考える．しかしながら対象部のみピンポイントで掃除することは難しい．また，監視システムが必要であるが，透明度の悪い海中では難しい．このことから新しい技術開発が必要である．

船尾の船尾管周りおよび船尾船底においてプロペラへ流入する水の流速が速いこと，および乱流のため塗装の損傷を受け易いことから汚損が激しい．当該部位の汚損防止は塗装のみでは難しいと考える．

船底の盤木部は船舶が Dock で盤木の上に乗る部分であり塗装を施すことができない．船体を盤木に乗せる部分は船体の重量を支える部分であるので盤木に乗せる部分はどこでもよいという分けにはいかない．対策として，船体重量を支えることのできる部位の範囲を広くし，また Dock 中に盤木位置を変えることができれば塗装は可能となる．しかしながら，大幅な船体構造の変更や造船所側では盤木位置を変えることができるシステムが必要である．また，盤木部の塗装のために高圧清水洗浄や塗装の乾燥に時間を要し Dock 期間が延びると考える．

(2)船体外板の突起部

船体には平坦部な外板ばかりではなく突起部がある．ここの突起部は外板を接続するための溶接部や外板に溶接して付属させた部品などである．望星丸での船体観察では突起部の汚損が毎回観測された．原因は，突起部の構造的な特徴から Dock で塗装が完全にならないこと，航海中の水流による塗装の剥離や早期の衰耗である．汚損防止対策は，これら突起物を船体に付加しないこと，突起部を滑らかにすることであるが，船体構造の変更が必要となる．なお，サンドブラストによる効果は期待できない．

【溶接部】 望星丸のような既存船では外板間の溶接部の肉盛りを削除し滑らかにする方法があるが，肉盛り部を削除するとなれば鉄板間の接続強度の低下が発生し問題となる．新造船では溶接部の肉盛りを無くした設計が考えられるが，船体構造の変更を要し，また大幅なコストアップとなると考える．

【満載吃水線標および喫水標】 望星丸の毎回の観察では，フジツボ，カンザシゴカイの上にアオサが付着していた．これら満載吃水線標および喫水標は貨物の積載量の判断，船体の復元性や姿勢を見るためのものであり規則で備えることが決められている．現在，材質が鉄製である．これらの標は小型であり，また船体強度に影響しないため汚損防止効果のあるチタニウムの利用が有効と思われるが，コストアップとなる．

【ビルジキール】 ビルジキールの役目は船体のローリング防止である．もし，取り外すとなれば，横揺れ防止のための他の手法が必要となる．例えば，アンチローリングタンクなどの制振装置であるが，望星丸はこれらの装置の設置スペースがなく難しい．新造船は，船体を幅広にすることや，制振装置の搭載でビルジキールを取り除くことが可能と思われるが大幅なコストアップとなろう．

【支持金物】 望星丸では船尾に舵やプロペラの抜出しのためにワイヤーなどを引っかける支持金物が取り付けられて

いる．これらの支持金物を取り外すことは可能である．しかしながら，舵やプロペラの抜出し時に Dock 側に専用のクレーンや重機が必要となる．

【管】 船体に接続する管には海水管がある．海水管が船外に出る部分の突起部の削除は可能であるが，船体と管の強固な接続が必要であり，その技術が必要となる．勿論，コストアップとなるであろう．

5.結論

船舶による国境を越えた生物移動の規制が IMO で議論されてきた．先ず，バラスト水での移動規制について議論され，その条約である「バラスト水管理条約」の発効が間近である．バラスト水管理条約での主技術はバラスト水の取水時にバラスト水に含まれる生物をフイルターや化学的処理により殺滅するバラスト水処理装置である．また，バラスト水の排出時には生物量が計測され，規制値を超える場合は排出できないシステムとなっている．このようにバラスト水に関しては，取水口，バラストタンク，排出口の閉鎖された船内海水系統でバラスト水が移動，貯留されることから生物の殺滅等が簡単に行われ管理手法が確立できた．

船体の生物による汚損防止は，現在は，主に塗装で行われる．しかしながら，塗装のみでの汚損防止策には限界がある．理由は，船体構造や塗装方法が原因で， Dock 中に完全な塗装を施すことはできない，また，航海中に船体が Anchor や漂流物に接触することや，船体構造が原因で塗装の剥離や異常衰耗が生じる．さらにまた，生物が異常に発生する場所を航行する場合があり，塗装の汚損防止性能では限界がある海域もある．望星丸では船体の塗装の剥離，異常衰耗が発生すると必ず生物が付着していた．船体が全体的に外部の海水に暴露しており船体全体の各部位で同時に発生する船体汚損を防止することは不可能と考えられる．

船体汚損を防止するには，塗装の性能を良くすることは勿論であるが，船体の構造の変更， Dock での塗装方法の変更，運航方法の変更が必要となり，総合的な対策が必要となるが，大幅なコストアップとなり実際的ではない．また，塗装のみでは完全な汚損防止は不可能であるので船体の部位においては別の手法も必要となる．

ただ，完全ではないが望星丸の船体全体にサンドブラストをかけ，塗装を新たにした結果，船体の大半の面積を占める平坦部に関しては，スライムの減少はみられないものの，大形生物では付着量の減少がみられることが分かった．大形生物の付着を減少させることはそれらに付随して移動する小形の生物の移動も減らすことができる．サンドブラストの間隔を短くした船体管理は船体汚損による生物の移動リスクの減少に関して有効と考える．

スライムの付着に関しては，望星丸の停泊時間が長いことに起因していると推測される．

謝辞

付着生物全般に関して，ご指導いただいた東海大学海洋学部の木村賢史先生に感謝を申し上げる。

本研究は環境省の地球環境研究総合推進費（ D-072 ）の支援により実施された．また，旭海運㈱，今治造船㈱，インターナショナルペイント・ジャパン，㈱鈴与総合研究所，中国塗料㈱，日本防蝕工業㈱，日本油化工業㈱，郵船商事㈱の各企業の研究資金援助を得て実施さ

れた．これらの機関，企業に感謝を申し上げる．

引用文献

The correspondence group of sub-committee on bulk liquids and gases of IMO (2008) : Development of international measures for minimizing the transfer of invasive aquatic species through bio-fouling of ships, 28 November, 2008.

金子仁・津金正典・伊藤格（2009）：界面活性剤による船体への海洋生物付着防止，日本航海学会論文集，21，77-83.

金子仁・津金正典・木村賢史（2010）：船体への生物付着の実態と付着防止策，日本マリンエンジニアリング学会誌，45，80-85.

日本船主協会（2013）：海と船の Q & A, (http://www.jsanet.or.jp/qanda/text/q4_46.html).