R1 海の付着がもたらす負担

海の生き物の付着は、船と漁網にどんな負担を、どれくらいかけているのか。

読み手	船主、造船所、漁協の担当者など、専門の知識がない方。燃料代や手入れの手間がどこから来るのかを知りたい方。
持って帰ってもらうこと	1. 船の水に浸かる部分が汚れると、船は余計な燃料を使います。増え方は条件で大きく変わります。国際的な排出量の計算では一律9%と仮定され、大型の速い貨物船の計算では、薄いぬめりの膜や薄いフジツボでも、ある時点で数十%です。 2. 塗料、船体の掃除、プロペラの研磨、陸に上げての手入れといった今の対策は効果があります。ただし、効き目の続く期間、掃除で出る物質、成分への規制という限界があります。 3. 漁網が汚れれば、掃除や交換に人手と時間がとられます。ただし費用の数字は少なく、広島・瀬戸内の数字はほとんどありません。
読んだ後に	自分の船や網について、燃料の使用量と、掃除・塗り替え・交換をした日付を、同じ記録に付けておく。

2026年11月　第3版　株式会社シーテックヒロシマ

1. 要点

- 船の水に浸かる部分が汚れると、船は余計な燃料を使います。増え方は条件で大きく変わります。国際的な排出量の計算では一律9%と仮定され、大型の速い貨物船の計算では、薄いぬめりの膜や薄いフジツボでも、ある時点で数十%です。[S1・S2]
- 塗料、船体の掃除、プロペラの研磨、陸に上げての手入れといった今の対策は効果があります。ただし、効き目の続く期間、掃除で出る物質、成分への規制という限界があります。[S3・S4]
- 漁網が汚れれば、掃除や交換に人手と時間がとられます。ただし費用の数字は少なく、広島・瀬戸内の数字はほとんどありません。[S5・S6]

2. 何が起きているか

世界・全国：船の燃料

船の水に浸かる部分が汚れると、船は余計な燃料を使います。水の抵抗が増え、同じ速さを出すのに大きな出力（エンジンが船を進めるために出す力）が要るためです。[S7] IMO（国際海事機関）の付着の指針は外来の生き物への対策が目的ですが、燃料の効率が上がりうるとも書いています。[S4]

燃料の増え方は、汚れ方・船・速さで大きく変わります（表1）。大きな値は、GloFouling（IMOなどによる付着対策の国際事業）の報告書が、長さ175〜230m・16〜24ノット（1ノットは時速約1.85km）の大型船に汚れが一様に付

いたと仮定した、ある時点の計算です。[S2] 米海軍の駆逐艦（1つの艦級）の計算では、銅系塗料と定期的な水中掃除を続けた状態の典型的な汚れで、年間の燃料が約10%増えました。滑らかな船体と比べた塗りたての塗装の粗さだけなら1.4%でした。[S7]

汚れが重いほど、必要な出力は大きく増えます。同じ研究者（シュルツ）による米海軍のフリゲート（1つの艦級）の計算では、15ノットで必要な出力が、滑らかな船体と比べて、塗りたての塗装で約2%、厚いぬめりの膜で約21%、重い石灰質の付着（フジツボなど、石灰質の殻をもつ生き物が厚く覆う状態）で約86%増えました。汚れが船体全体に一様に付くと仮定した計算で、著者自身は、実際の船ではそうならないのがふつうだとしています。燃料ではなく出力の値です（出力と燃料の違いは5章）。[S7]

表1　汚れによる燃料・出力の増え方（世界の資料）

資料	条件	増え方	何の量か・値の種類
IMO調査（2020年）[S1]	世界の排出量の計算。漁船を含む全船種に一律	+9%	抵抗と燃料。仮定（2014年の調査から引き継ぎ、根拠の説明なし）
シュルツら（2011年）[S7]	米海軍の駆逐艦1艦級（ガスタービン推進、水線長〔水面の高さでの船の長さ〕142m）。潜水検査の記録320件（2004〜2006年）から判断した典型的な汚れ（厚いぬめりの膜）が、船体全体に一様に付くと仮定。銅系塗料と定期的な水中掃除を続けた状態	+10.3%（上限の想定〔小さな硬い付着物が混じる状態〕+20.4%）	年間の燃料。計算
シュルツ（2007年）[S7]	米海軍のフリゲート1艦級（水線長124m）、15ノット。汚れが船体全体に一様に付くと仮定	塗りたての塗装 +2%、塗装の劣化か薄いぬめりの膜 +11%、厚いぬめりの膜 +21%、小さな石灰質の付着か海藻 +35%、中くらいの石灰質の付着 +54%、重い石灰質の付着 +86%	必要な出力（滑らかな船体と比べる）。計算
GloFouling（2022年）[S2]	175〜230mの貨物船、16〜24ノット。厚さ0.5mmのぬめりの膜が船体の最大50%	+25〜30%	ある時点の燃料（出力に比例と仮定）。計算
同上 [S2]	230mのコンテナ船、24ノット。5mmのフジツボが船体の20%	最大 +60%	同上

注：GloFoulingは、この結果から世界の船の排出量のうち付着による分を求めるのは非常に難しいとしています。小型漁船の世界の値には、FAO（国連食糧農業機関）の手引きの推定（熱帯・付着を防ぐ塗料なしで1か月後+7%、半年後+44%、出典・標本・方法の記載なし）と、同じ著者による1982年の1隻の試験（スリランカのひどく汚れた28フィート〔約8.5m〕の漁船で、掃除の後に1海里〔約1.85km〕あたりの燃料が約35%減。典型的な船かは不明）があります [S8]。国内の漁船の実測は岡山県の1例です。

実際の船でも、掃除の後に燃料は減っています。同じ型の中型の原油タンカー（アフラマックス型）8隻の、2012〜2016年の運航記録（船が毎日送る正午の報告）と気象データから、掃除の前後の燃料の変化を2つの統計の方法で推定した研究では、水中で船体を掃除した後に約9%、入渠（船を陸に上げて点検・修理すること）の後に約17%減りました（要旨のみ確認）。[S3] 効果は、空荷の航海より荷を積んだ航海で大きくなりました。[S3] 汚れたときに掃除するとすれば、これは平均の不利ではなく掃除1回の効果です。また入渠には塗り替えなども含まれるため、約17%は掃除だけの効果ではありません（どちらも本書の解釈）。

世界・全国：手入れと入渠、外来の生き物

船舶安全法の施行規則（第18条）では、5年の検査証書を持つ船の多くは、5年に2回、船底を含む船体の外側を検査されます（定期検査と、21〜39か月目の第一種中間検査。国際航海をする長さ24m以上の船〔漁だけに使う船を除く〕は、中間の検査が36か月以内の第三種中間検査）。どちらも、船を陸に上げるか、国がそれと同等と認める準備が要ります。5トン（船のトン数は、重さではなく容積をもとにした大きさ）以上の旅客船や、高速船などは毎年です。[S9] 20トン未満の小型船（旅客船以外）は、6年ごとの定期検査とその中間（33〜39か月目）の検査を受け、陸に上げて検査するかは船の種類や航行する海域で変わります。海岸から12海里（約22km）以内の海と、川や湖などに限って漁業だけに使う20トン未満の登録漁船は、検査が免除されています。検査がないため、こうした船には、この法律で陸に上げる時期の決まりがありません。[S9・S10]

国内の旅客船の入渠を毎年から2年ごと程度に減らすと、長距離フェリーなどで運航の費用が数%下がる、という2005年の試算を国が公表しています。国土交通省が2005年に公表した、日本造船研究協会の調査検討会の試算では、内航旅客船（国内を航行する旅客船）の入渠検査の間隔を毎年から2年程度に延ばすと、長距離フェリーなどで運航コストの約4〜5%を削減できるとされました（修繕費と、入渠中に運航できない損失が減るため。長距離フェリー50隻のおよそ3分の1が制度を使うと仮定し、業界全体で年10億円強）。2005年の試算で、入渠にかかる費用全体についての値であり、付着の対策だけの費用ではありません。[S28]

漁船漁業の修繕費（船体・機関・漁具などの修理）は、全国の平均で漁の支出の8〜10%です。農林水産省の令和7年漁業経営統計調査では、漁船漁業の個人経営体（経営体は、販売のために漁業や養殖をする世帯や会社。個人経営体はそのうちの世帯で、ここでは専業と、自家の漁業の収入がほかの収入より多い第1種兼業）の漁労支出（漁にかかる支出）は2025年に1経営体あたり平均644万円で、そのうち修繕費が8.0%でした。会社経営体（経営体のうちの会社で、使う動力漁船の合計が10トン以上）では、2025年度に10.1%でした。個人経営体の修繕費には造船所やメーカーなどに頼んだ修理だけが入り、自分で行う掃除や塗装は入りません。どちらの値も、付着の対策の分は分かりません。全国の平均で、広島・瀬戸内の値ではありません。[S29・S13]

船の付着は外来の生き物を運ぶ道すじの一つですが、直接の証拠は少ないのが実情です。日本に意図せず入った海の生き物25種のうち44%が、シーチェスト（海水の取り入れ口）を含む船体の付着で来たとする、文献にもとづく推定（2004年）がある一方、世界の記録では、付着が経路の候補とされた1,468件のうち直接の証拠は42件でした。[S11]

世界・全国：漁網と養殖

漁網が汚れれば、掃除や交換に人手と時間がとられます。総説によると、付着が多いと生簀（魚を飼う網の囲い）を通る水の流れが半分以下になることがあり（1989年の修士論文1件による値）、酸素不足で魚が死んだ記録もあります。[S12] 汚れた網が流れから受ける力は、きれいな網の12.5倍になりうるとされます（1970年の設計の手引きの値を総説が紹介したもので、方法の記載なし）。2018年の研究では、最大10倍という値です。[S12] 新しい研究は、生簀の容積が最大4割減るとしています。[S5]

ノルウェーの付着の多い海域のサケ養殖では、網を2週間に1回、付着が多ければそれ以上の頻度で水中で洗うとされます。生簀8基（直径50m）で18か月の生産1回の外注費は、塗装しない網（洗浄25回）で約42万、塗装した網（洗浄15回と塗装）で約49万米ドルと見積もられています（聞き取りによる2020年ごろの概算）。洗浄には寄生虫を食べる「掃除魚」のための分も含まれ、著者はこれが回数を決める最大の要因かもしれないとしており、付着だけの費用ではありません。[S5]

日本の数字は少なく古いものです。相模湾の定置網（決まった場所に張ったままにする網）の試験では、防汚処理をしない試験用の網地にヒドロ虫（クラゲやイソギンチャクの仲間の小さな生き物）が、3週間で1平方メートルあたり8kg以上付きました（湿重量。小田原沖の1地点・水深5m、1995年の夏）。夏は7〜10日ごとの掃除か交換が望ましいとされました。[S6] 同じ報告は、定置網の経営体の多くは高齢の人が働く小さな家族経営で、頻繁な網の交換と掃除は労力と費用の重い負担だとしています。[S6]

全国の漁業の担い手は減っています。農林水産省の漁業構造動態調査では、2025年11月1日現在の漁業就業者（年30日以上、海上で漁業の仕事をした15歳以上の人）は10万9,820人と推計され、前年より5,000人（4.4%）減りました。標本調査による推計（概数）で、全数を調べる漁業センサスの年の値とは、直接は比べられません。全国の値で、広島の値ではありません。この減少と付着の負担との関係を示す資料は見つかりませんでした。[S45]

地域（広島・瀬戸内）：船と漁業

広島県の漁船は、ほとんどが小型です。2023年の漁船2,905隻のうち動力漁船は1,982隻で、その76%が5トン未満、99.6%（1,975隻）が20トン未満です。ただし、10〜20トンの動力漁船298隻のうち240隻はカキ養殖の経営体の船で、カキ養殖には大きめの船が使われています。養殖の中心はカキで、2024年の収獲量は94,290トン（殻付き）、全国の63.6%でした。網の防汚剤を多く使うブリ類とマダイは30トンと40トンです（確報）。[S13]

瀬戸内の漁船は、全国の平均より小さな船です。2023年の漁業センサスで、瀬戸内海区（農林水産省の海域の区分で、瀬戸内海に面する府県の瀬戸内海側を合わせたもの）には全国の動力漁船の22.0%にあたる12,949隻があり、1隻あたりの平均は約4.8トンで、全国の平均の約8.4トンより小さい値です（合計のトン数を隻数で割った計算）。[S13]

広島県には、検査を受けるプレジャーボートなどの小型船も多くあります。日本小型船舶検査機構（JCI。国に代わって20総トン未満の船の検査と登録をする機関）の集計では、2026年3月末に広島県に在籍する検査対象の小型船は14,218隻（全国の約4.9%）で、うちプレジャーモーターボートは8,106隻と都道府県で最も多い数です。12海里以内などで漁業だけに使う漁船は検査の対象外のため、この数に入りません。漁業とほかの用途の両方に使う「小型兼用船」（3,233隻）は漁業センサスの漁船と重なりうるため、2つの数は足し合わせられません。[S30]

広島県の漁業の担い手は減っています。2023年の漁業センサスで、県の海面漁業の経営体（販売のために漁業や養殖をする世帯や会社）は1,945、漁業就業者（年30日以上、海上で漁業の仕事をした15歳以上の人）は2,672人で、2018年よりそれぞれ10.0%と19.7%減りました。この減少と付着の負担との関係を示す資料は見つかりませんでした。[S13]

県内の市町では、呉市の漁業の経営体・就業者・漁船の数が最も多くなっています。2023年の漁業センサスの市町別の集計で、呉市の経営体は634（県全体の約33%）、漁業就業者は748人（約28%）、漁船は832隻（約29%）で、いずれも県内の市町で最も多い数です。ただし、動力漁船の総トン数では、江田島市（2,353.8トン）が呉市（2,345.8トン）をわずかに上回ります。[S13]

広島県は、中国地方の船の修繕の大部分を占めます。国土交通省中国運輸局の速報では、2025年度に広島県で修繕された就航船（運航している船）は1,776隻、修繕高は563.7億円で、中国地方5県（山口県西部を除く）の隻数の約75%、金額の約85%でした。修繕の内容の内訳はなく、船底の掃除や塗装の分は分かりません。この統計は国の造船造機統計調査から作られ、鋼製でない船は20総トン以上か長さ15m以上のものしか含まないため、多くのFRP（繊維強化プラスチック）の漁船や小型船の修繕は入っていません。県の区分は修繕した造船所の所在地によるとみられますが、資料には書かれていません。[S31]

地域（広島・瀬戸内）：付着と燃料

カキの付着物になる生き物の付着数は、年によって大きく変わります。広島市農林水産振興センターは、広島市の沿岸と江田島湾・大黒神島の周辺で、ムラサキイガイの幼生（卵からかえった後、付着する前に海中をただよって育つ時期の子ども）と付着の数、フジツボとカンザシゴカイ類（石灰質の管をつくるゴカイの仲間）の付着の数を毎年調べています。ムラサキイガイの付着数（試験用の縄を水深5mに約1週間つるした、調査1回の平均）は、2014〜2024年に1個から43個の間で変わりました。2022年（1〜6月）は過去10年で3番目に多く、2023年は最も少なく、2024年は2番目に少ない年でした。[S14]

フジツボとカンザシゴカイ類の付着も、年や場所によって変わります。どちらも、ホタテガイの殻を水深1mと5mにつるして数えています（フジツボは8〜10月ごろ、カンザシゴカイ類は2地点で12月ごろまで）。報告書によると、2020年と2022年にはカキ養殖に大きな影響がなく、2023年と2024年には一部の地点で付着が増えました（2023年はカンザシゴカイ類、2024年はフジツボとカンザシゴカイ類）。呉市の海域では、同じような公開の調査は見つかりませんでした。費用や収量の損失の報告はありません。[S14]

県の指針の被害の記録にも、付着の項目はありません。県の「広島かき生産出荷指針」の統計資料にある主な被害の記録は、台風、ヘテロカプサ赤潮（プランクトンの一種が増えて海の色が変わる現象）、貝毒（貝が毒をためる現象）の3つで、1991年以降の年が載っています。この表には、2025年の大量のへい死（死ぬこと）や、種ガキ（養殖のもとになるカキの子）がうまく採れなかった年も載っていません。被害がないとは限りません。[S13]

2025年度のカキの生産量は、大きく減りました。県水産課の調べでは、2025年度（2025年7月〜2026年6月）の生産量はむき身で10,100トンで、前年度の60%、平年（2015〜2024年度の平均17,610トン）の57%でした。県は減少の原因を、2025年9月以降に県内全域で起きたへい死としており、付着生物を原因に挙げていません。[S13]

瀬戸内で燃料を測った例は、岡山県の小型底びき網漁船の1件だけでした。岡山県の水産研究所が国の水産工学研究所と共同で、岡山県西部の海で操業する小型底びき網漁船に、移動距離・エンジン回転数・燃料を記録する装置を付けて調べた報告（査読なし）です。船底を掃除してフジツボや藻を落とすと、同じ回転数の燃料が約10%減りました。回転数を毎分2,500回から2,300回に下げると約20%減り、速さは約0.4ノット落ちました。調べた隻数、試験の回数、汚れの程度、前回の掃除からの期間は書かれていません。[S15]

地域（広島・瀬戸内）：防汚成分

瀬戸内海の海水からは、船底の塗料に使われる防汚成分（付着を防ぐために塗料などに入れる成分）が見つかっています。広島湾のカキを対象にした論文（2022年、要旨のみ確認）は、瀬戸内海の海水で防汚成分DCOITを1リットルあたり最大24ナノグラム（ng。10億分の1グラム）検出しました。調べた3つの防汚成分（ジウロン、イルガロール、DCOIT）のうち、カキの胚（育ち始めの段階）への毒性はDCOITが最も強く、DCOITでは胚に24時間で影響が出ない濃度が1リットルあたり3ng未満でした。論文は、成分ごとの影響が出ない濃度と海水の濃度を比べて、DCOITのリスクは高く、ジウロンとイルガロール（1リットルあたり最大27.6ngと3.2ng）のリスクは低いと評価しています。DCOITは分析の前に試料の中で分解したため（研究船の上で処理した試料を除く）見つかる割合が低く、実際の濃度は低く見積もられている可能性があります。採水の時期と地点は要旨に書かれていません。著者は、広島湾で近年カキの稚貝が付きにくくなっていることを研究の理由に挙げていますが、防汚成分がその原因とは示していません。[S32]

広島市の調査でも防汚成分のジウロンがよく見つかりましたが、増えているかどうかは分かりません。広島市衛生研究所の2004年度の報告は、広島湾北部の調査試料でジウロンが見つかった割合を、2002年32.9%、2003年50.0%、2004年52.0%と記しています。試料はマリーナ・漁港・海域の環境基準点（水質の観測地点）などのもので、調査の

地点・回数・季節は年ごとに違います。見つかる割合は季節で大きく変わる（2004年は夏94.4%、冬25.0%）ため、この差を汚染が増える傾向とは言えません。濃度はマリーナと漁港で高く、著者は発生源をマリーナと漁港と考えています。[S33]

広島県で網の防汚剤がどれだけ使われているかは、測った値がありません。国のPRTR（化学物質の排出量を、事業者の届け出と国の推計で集めて公表する仕組み）の2024年度の推計は、広島県の漁網防汚剤からの排出を約189トンとしています。ただしこれは測った値ではなく、全国の使用量を都道府県に割り振った推計値です。そのほとんどは溶剤のキシレンで、海面養殖の収獲量の割合（広島県は12%）で割り振られ、網に塗るときに大気に出ると仮定されており、海への排出ではありません。有効成分のうち養殖の網の分はブリ・マダイ養殖の収獲量で割り振られ、広島県は丸めた速報値が0トンだったため0とされています（確報の値は上の30トンと40トン）。定置網の分は定置網の漁獲量の割合（広島県は0.055%）で割り振られ、広島県の有効成分は約0.16トン（ジスルフィラム約70kg、ポリカーバメート約78kg、銅ピリチオン約10kgなど）とされ、全量が海に出ると仮定されています。広島県の養殖の収獲量の多くはカキのため、この割り振りが県内の実際の使用量に合っているかは確かめられていません。[S21・S13]

3. 既にある対策と、その評価

防汚塗料

防汚塗料（生き物を付きにくくする塗料）は船を守る基本の手段で、多くは殺生物剤（生き物を弱らせて付着を防ぐ成分）を少しずつ出します。GloFoulingの報告書は、殺生物剤を出す塗料を、最も広く使われ、ほかの方法より費用の面でも有利な方法とし、表面が少しずつ溶ける型は最長5年効くとしています。[S2] IMOの指針（2023年。外来の生き物を減らすための任意の指針）も、防汚の仕組みを付着を減らす有効な手段としています。[S4]

登録されている防汚塗料の多くは、銅を含みます。日本塗料工業会に登録された防汚方法363件（2026年10月23日時点）のうち、273件（約75%）が亜酸化銅（銅の化合物）を含み、殺生物剤の記載がない方法（シリコーン系など）も23件あります。数は、調査者が登録の一覧から数えたものです。海外の会社を含む登録数で、使用量ではありません。[S16]

限界の一つは、船の使い方です。長く止まる船や遅い船では、付着が増えることがあります。[S4] 付着物をはがれやすくする「防汚剥離型」は速くよく動く船に向き、くぼみなどの部分では性能が大きく落ちることがあるとされます。[S2] 試験の結果は分かれます。GloFoulingが引く287日間の試験では、シリコーン系の剥離型にフジツボが最大75%付き、銅系は4%でした。同じ報告書が引く別の試験（2006年、市販の4つの塗料）では、60日間動かさずに浸けた後は4つの成績が同じくらいでしたが、管をつくるゴカイの仲間が少し付いたのはシリコーン系の剥離型だけでした。続けて水槽で15日間、動きのある条件で浸けると、付着した生き物の減り方は剥離型が最も大きくなりました。[S2] ワシントン州の12か月の試験（州は最も厳しい条件とする）では、殺生物剤を含まない2製品（うち1つはフッ素を含む物質を使うとされる）が4か所で良い成績で、銅を含まない殺生物剤入りの塗料も銅系と差がありませんでした。[S17]

小さな船には、別の制約もあります。アルミ合金の船体には、電気的な腐食が起きるため、銅系の防汚塗料を使えません。[S8・S26]

もう一つの限界は、成分が海に出ることです。広島湾北部の漁港の海底で、2004〜2005年の試料から銅が1kgあたり最大3,300mg（乾燥重量）見つかりました。5地点で1本ずつ採った柱状の試料の、漁港の1本の深さ12〜15cmの層

で、表層ではありません（湾の水質の観測地点〔環境基準点〕で採った1本は、どの層も67〜82mg）。著者は塗料の破片が原因の可能性が高いとします。[S18]

銅系の防汚塗料は、EUと米国でも当面は使えるままです。EUは亜酸化銅の承認を2028年6月まで延ばしましたが、審査中の延長で、更新の判断ではありません。[S19] ワシントン州も、安全で効く代わりの塗料があるとは判断できず、州の法律にあるレジャー船の銅系塗料の規制を、2026年には始めませんでした。州は代わりの塗料を改めて調べ、2029年6月30日までに議会に報告します。[S17] 米国環境保護庁（EPA）も、2024年に定めた連邦基準（国全体の基準。まだ適用前で、詳しくは4章）の説明で、銅と同じくらい安く、または同じくらい効き、しかもほかの生き物に同じようなリスクのない直接の代わりの殺生物剤はないとして、代わりの塗料を義務づけていません。ただし、この連邦基準の対象の船（長さ79フィート〔約24m〕以上の商用船などで、漁船とレジャー船は大きさにかかわらず除く）のうち、銅の濃度が基準を超える水域に年30日以上いる船（そこを母港とする船を含む）には、船の種類や運航に応じて、銅を使わない塗料や溶け出しの少ない塗料を検討するよう求めています。[S34]

船体の掃除、プロペラの研磨、入渠

掃除と研磨は、手軽に燃料を減らす対策です。IMOの省エネ情報ページは、水中での船体の掃除で総燃料が1〜5%減り（汚れ方・船・運航で変わる。費用は1回5,000〜50,000米ドル）、プロペラの研磨で主機関の燃料が3〜4%減りうる（年間の平均の節約は0.5〜3%。年2回の研磨を勧め、費用はダイバーによる研磨で、プロペラの数と複雑さによって1回4,000〜8,000米ドル）としています。算出の方法は示されていません。[S20]

掃除の効果は、掃除の仕方と、何と比べるかで大きく変わります。GloFoulingの計算では、表面が少しずつ溶ける型の防汚塗料を塗った全長179mのばら積み船（14ノット）を5年間掃除しない場合より、船体とプロペラのこまめな予防の掃除（汚れが軽いうちに掃除すること）で燃料費が22%（赤道域、水温25°C）と18%（地中海、水温17°C）減り、プロペラだけの掃除では約1%でした。同じ計算で、3年目と4年目に船体を掃除すると、掃除しない場合より燃料が14%（赤道域）と11%（地中海）減りました。5年間まったく掃除しない場合は、常にきれいな船より燃料費が42%（赤道域）と28%（地中海）多くなりましたが、「常にきれい」は、著者自身が理想的だが現実的でないとする比較のための条件です。どの場合も同じ塗料を塗った前提で、塗料の性能は分析していません。この報告書の調査費は、塗料や船体の掃除の会社などでつくる業界団体の会員が出しています（5章）。[S2]

IMOの調査は、2030年を想定し燃料を1トン375米ドルと置いた計算で、船体とプロペラの手入れは燃料の節約が費用を上回るとしています。[S1]

入渠は、船体の掃除と塗り替えをまとめて行う機会です。防汚塗料は、船を新しく造るときか入渠のときに塗られ、IMOの指針（2023年）は、塗料の効き目が入渠の間隔より長く続くよう勧めています。[S4] 小さな船は、陸に上げてこすり落とすことができます。[S8]

掃除の限界は海への影響です。IMOの省エネ情報ページによると、多くの港は、地元の水の生き物を汚染するおそれから、水中での船体掃除を認めていません。[S20] プロペラの研磨についても、IMOの省エネ情報ページは、外来の生き物や藻による汚染のおそれから、ふつうは港の制限があるとしています。[S20] IMOの2025年の手引き（強制力なし）は、掃除で殺生物剤やマイクロプラスチック、生き物が出ることと、塗膜が傷んで寿命が縮むことを挙げ、目に見える付着は回収しながら落とすのを原則とします。[S4]

掃除そのものも、塗料の銅を海に出します。米国サンディエゴ湾で、レジャー船用の銅系塗料2種類を塗った試験板（45cm角。船全体ではない）を106日間海に浸け、60日目に1回だけ掃除して銅の出方を測った研究（2014年発表）があります。その値をもとに3年間を計算すると（夏は3週ごと、ほかは4週ごとの掃除を仮定）、掃除の瞬間に出る溶けた銅は、3年間に出る量の1〜3%でした。しかし掃除で塗膜の表面が新しくなり、その後の溶け出しが増えるた

め、3年間の溶けた銅は、掃除せず動かさない場合（著者は現実的でない最小の値とする）の1平方センチメートルあたり約4,160マイクログラム（µg。100万分の1グラム）に対し、掃除した場合は7,084〜11,023マイクログラムと計算されました（測った値をもとにしたモデル計算で、夏は3週ごと、ほかは4週ごとの掃除を仮定）。柔らかい道具で掃除すると、硬いパッドより26〜32%少なくなりました。掃除の最中の銅は、その直後の通常の溶け出しより、生き物に取り込まれやすい形でした。[S35]

はがした付着物を回収しながら掃除する方法は、2020年の初期の評価で、付着をよく落とした一方、排水の安全性に課題が残りました。米国で1つの装置を、使われていない政府の船2隻で試した評価（2020年）では、船体の側面と平らな底で、付着が覆う割合が82〜94%減りました。一方、回収した物を陸で処理した後の排水の銅と亜鉛の濃度は試験ごとに桁違いに変わり、1回は水質の基準を大きく超えました。くぼみなどの部分（ニッチ部。シーチェスト、舵など）は評価していません。[S35]

ニッチ部は、面積は小さくても多くの種類の生き物が付く場所です。EPAは2024年の連邦基準の説明で、ニッチ部は水に浸かる面積の約1割なのに、船の付着の調査で見つかった種の8割以上がそこにいたとする研究を引いています。[S34]

EPAは、汚れが軽いうちに掃除する「予防の掃除」を評価しています。ぬめりの段階で頻繁にやさしく掃除することを、生き物と殺生物剤の放出を抑える、経済的に使える最良の技術（BAT）とし、汚れをぬめりの段階に保つことによる燃料の節約は、定期的な掃除の費用を上回るとしています。一方で、予防の掃除の最中にブラシの真上で銅の濃度が高くなった研究も紹介しています。[S34]

汚れの見張り（燃料と速さの記録）

燃料と速さの記録は汚れを見つける目安になりますが、変化は遅れて表れることが多いです。IMOの指針（2023年）は、一部の船の例として、速さが1〜3%落ちるか燃料が3〜9%増えると軽い付着のおそれ、速さが3%を超えて落ちるか燃料が9%を超えて増えると付着のおそれが高いとしています。これは国際規格ISO 19030-2（2016年）から取った例で、すべての船に当てはまる基準ではありません。同じ指針は、この見張りは遅れて表れることが多い指標でほかの要因にも左右されることがあり、主に船体向けで、ニッチ部の付着は捉えにくいとしています。[S4]

IMOの指針は、記録と、水中での直接の点検も勧めています。すべての種類の船に、船ごとの付着の管理計画と記録簿を備えるよう勧め、記録簿はその船が使われる間ずっと船上に置くとしています。水中での点検は、少なくとも12〜18か月ごとに行うよう勧めています。燃料などで性能を見張っていない船は、防汚塗料などを施工してから12か月以内に最初の点検をします。性能を見張っていて、防汚塗料などが十分に効いていると分かった船は、最初の点検を施工から18か月まで延ばせます（ただし、見張りではニッチ部の付着が分からないことがあります）。防汚の措置もほかの対策もない部分は12か月より短い間隔で点検し、重い付着が見つかって防汚の失敗が疑われるときは、入渠まで年2回などに増やします。どれも勧告で、義務ではありません。また同じ指針は、付着が育ったのと同じ水域の中だけで運航する船には当てはまらない場合があるとしています。そうした運航では外来の生き物を持ち込むおそれはないものの、掃除のときに有害な物質を出さない対策は、なお当てはまりうるとします。長さ24m未満のレジャー船には、この指針をもとにした別の手引きがあります。[S4]

漁網の掃除と防汚剤

網の防汚剤は効きますが、長くは続きません。防汚塗装の効き目は3〜6か月とされ[S2]、ノルウェーでは塗装した網でも18か月に15回の洗浄が要り、直接の費用は塗装しない網（25回）より高いと見積もられています。[S5] 総説などによると、銅の塗装は網を最長7か月守る一方、付着の多い海では8週間で効かなくなることがあり、サケの海で

の育成（ふつう10〜24か月）の間ずっと効くことはまれです。[S12・S5] 銅合金の網は最長60か月もちますが非常に高価で、剥離型の塗装は網には高すぎるとされます。[S2]

銅を使う網では、魚の育ちが良かったという結果もあります。総説によると、銅の塗装をした網ではシーバス（スズキの仲間）の育ちと餌の効率が塗装しない網より良く（1研究）、銅合金の網ではそれらが銅の塗装をした網と同じかそれ以上でした。[S12]

銅合金の網からの銅の溶け出しの評価は、資料で分かれます。総説などによると、銅合金の網からの銅の溶け出しは、海に入れて最初の6か月は銅の塗装より多く、その後は同じくらいになり、掃除が少なくて済むため育成の期間全体では少ないと見込まれています。[S12・S5] 一方、GloFoulingの養殖の手引きは、表では銅合金の網の方が時間とともに多く出すとし、本文では全体では少ないとしていて、同じ資料の中で食い違います。[S2]

網の対策にも、海や魚への影響があります。国のPRTR（化学物質の排出の推計）では、2024年に網に使われた成分はジスルフィラム165トン、ポリカーバメート142トン（定置網）、銅ピリチオン66トンなどで、溶剤のキシレン約4,000トンは全量が大気に出る仮定です。[S21] 総説（Bannisterほか、2019年）によると、網を水中で洗うと、はがれた付着物（ヒドロ虫など）の破片が魚のえらを傷つけることがあります。また、海底が低酸素の海域があるカナダの2州の一部では、水中での洗浄が中止されました（この点は総説に出典の記載なし）。一方、出荷される魚の銅は食品の基準を下回るとされます。[S12]

ノルウェーでは、網に使う銅の量が大きく変わってきました。同国の環境庁の集計では、養殖網の防汚に使われた銅は2019年の1,698トンから2023年の306トンまで減り、その後2024年は564トン、2025年は578.5トンに増えました（登録された使用量で、海への排出を測った値ではありません）。銅の代わりに使われるトラロピリル（フッ素を含む殺生物剤）は、2019年の53トンから2023年の116トンに増え、2024年は108トン、2025年は158トンでした。[S36]

ノルウェー海洋研究所は、網の銅による海の環境へのリスクを、一部の海域で「中程度」と見ています。2026年のリスク報告は、前年と同じく、このリスクを3つの生産海域（養殖を管理する海域の区分）で「中程度」、ほかの海域で「低い」としました。[S36]

銅の代わりのトラロピリルの評価は、まだ定まっていません。同じ報告は、トラロピリルは海での半減期が約9〜16時間と短いものの、OECD（経済協力開発機構）の定義ではPFAS（有機フッ素化合物の一群）に当たりうる物質で、それ以上分解しないTFA（トリフルオロ酢酸）ができうるとしています。製造者は、海水中ではTFAではなくフッ化物になると説明しています。一方、新しい調査ではTFAとトラロピリルの濃度に強い相関が見られ、ごく一部がTFAになっている可能性があるため、追跡が必要としています。処理した網に育つイガイには、トラロピリルが高い濃度でたまりうるとも書き、知見を増やす必要があるとしています。前年の2025年の報告は、トラロピリルの承認のあり方を問うべきだとしていましたが、2026年版にこの記述はありません。一方、同国の環境庁は、トラロピリルは比較的速く分解し、食物連鎖を通じて濃くなるおそれは小さいとしています。[S36]

日本では、網の防汚剤のうち有機スズ化合物（スズを含む物質の一群で、以前は網や船の防汚に使われた）を法律で規制し、今の防汚剤の選び方と使い方は、養殖の網では主に通知と任意の仕組みで管理しています。有機スズ化合物は化審法（化学物質の審査と製造などを規制する法律）で規制され、その一つのTBTOを含む漁網や防汚塗料は輸入できません。水産庁は2003年、持続的養殖生産確保法に基づく基本方針の運用を示した通知で、全国団体による審査・認定・登録の継続と、成分や効果の分からない資材が使われないよう、流通も含めた漁協・漁連による見守りを求めました（その後の改正は未確認）。和歌山県の任意の認証制度（県が認証する制度で、マダイ・クロマグロ・クエの養殖場のうち、認証を受けるものだけが対象）は、「漁網防汚剤安全評価委員会」の認定を受け、全国漁業協同

組合連合会に登録された網の防汚剤を使うことと、処理した日や製品などを記録することを条件にしています。[S22] 定置網の防汚剤には、こうした仕組みは見つかりませんでした。

有機スズを含む網の防汚剤は、かつて多く作られ、1980年代に業界がやめることを決め、法律でも規制されました。政府の1982年の答弁書は、1981年の国内の漁網防汚剤の生産を約5,200トン（溶剤などを含む製品の量の推定）とし、その大部分に有機スズ化合物（TBTOなど）が含まれていたと考えられるとしています。[S37] 神奈川県の1995年の報告によると、水産庁は1972年に有機スズの網の防汚剤の使用を控えるよう通知し、1986年にその確認の通知を出しました。全漁連（全国漁業協同組合連合会）は1985年に使用の半減を申し合わせ、1987年に全国かん水養魚協会とともに全面的な使用の中止を決めました（決定の文書そのものは見つかっていません）。[S38] 化審法では、1988年度にトリブチルスズ化合物13物質とトリフェニルスズ化合物7物質が監視の対象になり、1989〜1990年にTBTOが第一種特定化学物質に、ほかの20物質が第二種特定化学物質（どちらも化審法で製造や使い方を規制する区分）に指定されました。[S37]

網以外の固い道具では、付着をはがれやすくする塗料で作業が減った例があります。石川県の試算では、トリガイ（二枚貝の一種）の養殖の容器の付着物を落とす掃除に、平均的な養殖業者（種苗〔養殖のもとになる貝の子〕を1万個育てる規模）で年210時間かかっていました。市販のシリコーン系の剥離型の塗料を塗ると、1回の試験で10か月以上効果が続き、その間は従来の掃除が要りませんでした。掃除（年210時間）を塗装（120時間、1容器あたり約570円）に置き換えることで、作業時間を4割以上減らせる見込みとされました。ただし、容器の底のくぼみにはフジツボが付き、網のふたやロープには効果が見られませんでした。網ではなく固い容器での、1回の試験にもとづく試算です。[S27]

地域（広島・瀬戸内）での対策

広島湾のカキでは、付着を避ける指導が行われています。広島市農林水産振興センターは、幼生と付着の調査をもとに、ムラサキイガイの幼生や付着が増え始めた時期（2022年は1月中旬、2024年は5月上旬）から、カキを深く吊るして育てるなど、付着を避ける方法を養殖業者に指導しています。フジツボやカンザシゴカイ類の付着が増えたとき（2023年と2024年）には、筏を動かすときや、殻付きのカキを吊るす作業に注意するよう呼びかけました。この方法の費用や効果の大きさは、公開されている資料からは分かりません。[S14]

4. 変化

付着に関わる規制は、燃料と排出、外来生物、化学物質の3つの面で動いています。燃料と排出では大きな船への義務がすでに始まっていますが、外来生物と化学物質で強める動きの多くは任意か案の段階で、銅系の防汚剤のように期限が延びた例もあります（2026年11月1日時点）。

燃料と排出

燃料と排出の義務は、5,000総トン以上などの大きな船が主な対象です。すでに始まった国際的な制度とEUの制度は、漁船を含みません。国内の基準は、輸送事業者に努力を求めるものです。

- 2023年1月：2023年の運航から、CII（1年間の運航で、運んだ貨物の量と距離あたりにどれだけCO2を出したかを示す指標）を計算し、AからEの5段階で格付けする制度が始まる（船からの汚染を防ぐMARPOL条約の改正で、2022年11月に発効）。5,000総トン以上の貨物船と、クルーズ船などの一部の旅客船が対象で、漁船は大きさにかかわらず含まない。船籍のある国の水域の中だけを航海する船（日本の船なら、国内だけを航行する船）に

も、この制度は適用されない（条約国は、こうした船もできる範囲で規則に沿うよう、適切な措置をとるべきとされる）。[S24]

- 2023年3月（最新の改正）：省エネ法（エネルギーの使用の合理化及び非化石エネルギーへの転換等に関する法律）にもとづく国の告示「貨物輸送事業者の判断の基準」が、船舶について、船底クリーニングやプロペラの研磨などの点検・整備を行うよう事業者に努力を求める（努力義務で、掃除をしなくても罰則はない）。輸送量あたりのエネルギー使用量を中長期的に年平均1%以上下げるのが目標で、燃料を抑える「低摩擦船底塗料」の導入も挙げる。旅客輸送事業者の基準にも同じ項目がある。対象は国内の輸送で、事業に使う船の総トン数の合計（総船腹量）が2万総トン以上の事業者は、中長期の計画と毎年の報告を出す。漁業は輸送事業ではないため、漁船は対象外と読める（本書の読み方）。[S39]
- 2024年1月：EUの排出量取引制度（EU ETS。排出の総量に上限を設け、排出1トンごとに排出枠を納めさせる仕組み）が海運に広がる。対象は、国籍を問わずEUの港に入る5,000総トン以上の貨物船と旅客船（2027年からはオフショア船も）の排出で、EUの港の間の航海と港の中では全量、EUの外との航海では半分。排出枠を納める割合は、2024年の排出分が40%、2025年分が70%、2026年分から100%。2025年まではCO2だけで、2026年からメタンと一酸化二窒素も加わる。漁船は排出の監視と報告の対象外。[S40]
- 2025年1月：FuelEU Maritime（EUの船の燃料の規則）が全面適用。EUの港に寄る5,000総トン超の旅客船と貨物船に、船上で使うエネルギーの温室効果ガス強度（エネルギー1単位あたりの排出量。燃料の製造から船での燃焼まで）を、2020年の平均より2025年に2%、2030年に6%、2050年に80%下げるよう求める。漁獲や水産加工の船は対象外。[S41] 欧州委員会の担当部局のQ&A（拘束力のない解説）は、省エネの技術だけではこの強度は下がらないとしている。[S42]
- 2025年4月：IMOが、CIIの基準（必要CII）を2019年の基準線から下げる率に、それまで決まっていなかった2027〜2030年の値を加える（2027年13.625%、2030年21.5%。2023年の5%から2026年の11%までは、2021年の指針〔MEPC.338(76)〕ですでに決まっていた。指針の改正 MEPC.400(83)）。貨物と距離あたりのCO2が同じままなら、格付けは年々下がりうる（本書の解釈）。[S24]
- 2025年4月・10月：IMOのネットゼロ枠組み（燃料の温室効果ガス強度の基準と、排出への課金を合わせた仕組み）の案が4月に承認されたが、10月の臨時会合で採択が1年見送られた。2026年11月1日時点で未採択で、会合は2026年12月4日に再開の予定（11月30日〜12月3日の海洋環境保護委員会〔MEPC 85〕での確認が条件）。案は国際航海をする5,000総トン以上の船が対象で、2028〜2030年の報告期間に目標に届かない分を埋める「救済ユニット」の価格を、CO2に換算して1トンあたり第1段階100米ドル、第2段階380米ドルとしている（2028年からの開始は2025年10月の採択を前提にしていた）。[S43]
- 2026年7月：欧州委員会が、EU ETSの対象を400〜5,000総トンの一部の船に広げる改正案を出す。400総トン未満の船は含まず、漁船を含むすべての小型船を加える案は検討されたが選ばれなかった。2026年11月1日時点では案。[S40]

外来の生き物

付着そのものの規制は外来の生き物を防ぐためのもので、一部の国はすでに義務にしていますが、国際的な義務づけは作業中です。

- 2017〜2022年：カリフォルニア州（州の港に入る300総登録トン以上でバラスト水〔船を安定させるために積む水〕を積める船に、2017年10月から報告。管理計画と記録簿は、2018年以降に引き渡された船と、2018年以降に最初の定期の入渠を終えた船から）、ニュージーランド（2018年から「きれいな船体」の基準）、オーストラリア（2022年6月15日から入港前の付着の報告）が、付着の管理や報告を順に義務づけ。[S23]

- 2023年7月：IMOが付着の管理指針を採択（任意。すべての種類の船が対象だが、付着が育ったのと同じ水域の中だけで運航する船には当てはまらない場合があるとする）。[S4]
- 2024年10月：米国EPAが、船から出る排出の連邦基準（船舶付随排出法〔VIDA〕にもとづく）を定める。回収せずに水中で掃除して大型の付着生物（フジツボなど）を出すことを禁じ、ぬめりの段階の予防の掃除などを求める。ただし沿岸警備隊の実施規則が確定するまで適用されず、本書の確認では、2026年11月1日時点でその規則は米国の官報に出ていない。対象は米国の水域にいる長さ79フィート（約24m）以上の商用船などで、漁船は大きさにかかわらず、バラスト水を除いて対象外。適用が始まれば、一部の州の規則は置き換えられる。[S34]
- 2025年4月：IMOが、船の付着を水中で掃除するときの手引き（MEPC.1/Circ.918）を承認（強制力なし）。[S4]
- 2026年5月：IMOが、付着の管理を義務づける、法的拘束力のある独立した国際文書をつくることに合意。検討の範囲には、有害な物質やマイクロプラスチックが出るおそれへの対応も含まれ（大気汚染、温室効果ガス、水中の騒音への影響も考える）、塗料や掃除で出る物質も対象になりうる（本書の読み方）。最終草案は2029年が目標で、採択や発効の時期は未定。[S24]

化学物質

防汚成分の規制は、有害とされた成分の禁止と、今の成分の見直しが並んで進んでいます。

- 2008年9月：AFS条約（有害な防汚方法を規制する条約）が発効し、有機スズを禁止。条約国の船と、条約国の港・造船所・沖合の施設に入るすべての船が対象。[S4]
- 2023年1月：防汚剤シブトリンを新たに塗ることを、すべての船に禁止（2021年6月の改正 MEPC.331(76)。日本も施行規則第65条で施行）。2023年1月1日に外側の塗膜にシブトリンを含む船は、次の定期の塗り替えのとき（最後にシブトリンを含む防汚方法を塗ってから60か月以内）に、取り除くか、封じる塗膜で覆う。2023年より前に造られその後入渠していない固定式・浮体式の施設、国際航海をしない船、沿岸国が認めた国際航海の400総トン未満の船は、この取り除く義務の対象外。[S4・S9]
- 2025年9月：EUが亜酸化銅の承認期限を2028年6月まで延長（審査中）。[S19]
- 2026年3月：5か国がREACH（EUの化学物質の規則）のもとで出したPFAS（有機フッ素化合物の一群）の制限案に、ECHA（欧州化学品庁）のリスク評価委員会（RAC）が3月2日に最終意見（支持、適用除外つき）。もう一つの社会経済分析委員会（SEAC）の最終意見は11月17〜19日の会合で採択の予定（暫定の議事案。ECHAは年末までとする）で、欧州委員会の提案と加盟国の投票は日程未定。[S19] 案のPFASの定義は、OECDが2021年に示した定義に沿い、完全にフッ素化された炭素（CF3-またはCF2-）を1つ以上もつ物質で、フッ素樹脂（フッ素を含むプラスチック）も含む。[S19] EUの殺生物製品規則で扱う殺生物剤の有効成分は、期限なく対象外とする。ただしこの除外は有効成分だけで、塗料のフッ素樹脂の結合剤（塗膜をつくる樹脂）は含まない。案の要約は、船の防汚塗料や剥離型の塗料を名指ししていない。[S19]

これらの規制は、塗料だけでなく「表面処理」にも及びます。IMOの指針（2023年）は、防汚の仕組みを、被覆、塗料、表面処理、表面、装置のどれかで生き物の付着を抑えたり防いだりするものと定義しています。[S4] AFS条約を日本で実施する船舶安全法施行規則も、防汚方法に表面処理を含めています。国際航海をする400トン以上（国際総トン数）の船が防汚方法を変えたり更新したりするときは、臨時検査（定期の検査とは別に受ける検査）が要ります。面積が小さいなど、告示の要件に当たる場合は除かれます。[S9]

5. まだ分かっていないこと

数字がないもの

- 付着による費用（掃除、入渠と塗り替え、網の交換、カキの付着物の除去、余計な燃料）の公的な数字で、国内で見つかったのは、石川県のトリガイ養殖の試算（平均的な養殖業者〔種苗1万個〕で、容器の付着物を落とす掃除に年210時間。網ではなく固い容器で、金額ではなく時間）[S27] と、カキ養殖の古い例だけです。カキの例は、1973年の広島県の手引きの筏1台あたりの作業の費用と、2006年の京都府のイワガキの手引きの作業の時間です。費用ではなく損失では、1969年に広島湾で付着生物が大発生したときの推定があります。どれも今の値ではありません（中身と出典はR3-2の3章・5章）。小型の漁船の燃料の実測も、瀬戸内では岡山県の1例だけで、隻数や汚れの程度は不明です。[S15]
- 入渠や船底の塗り替えにかかる費用と、検査の対象外の小型漁船を陸に上げて掃除や塗装をする回数・費用の統計は、見つかりませんでした。修繕費の統計（全国の漁業経営、中国地方の修繕高）はありますが、付着の分は分けられておらず、中国地方の統計は多くのFRPの漁船や小型船を含みません。[S29・S31]
- 網を掃除・交換する回数や作業時間の、全国や広島の統計は見つかりませんでした。日本の値は、約30年前の相模湾の試験（2章）のように古いものです。[S6]
- 広島湾・瀬戸内の今の海水や海底の銅の値は、見つかりませんでした。網に使う銅の国内の量も、亜酸化銅がPRTRの対象外のため分かりません。[S21] 網の防汚剤を県の規則で義務づける例も見つかりませんでした。見つかったのは和歌山県の任意の認証だけで、審査をする「漁網防汚剤安全評価委員会」がどの団体に置かれているか、日本水産資源保護協会が関わっているかも確認できませんでした。[S22]
- 広島湾の海水の防汚成分（銅以外）の測定で見つかったのは、2002〜2005年の広島市の調査と、採水の時期と地点が要旨に書かれていない瀬戸内海の論文の値だけで、今の状態は分かりません。[S33・S32]

数字が食い違うもの

- GloFoulingの燃料の報告書は、同じ報告書の中で値が食い違います。要約の本文は、厚さ0.5mmのぬめりの膜が船体の最大50%を覆うと排出が25〜30%増えうるとし、同じページの図は「最大25%」としています。また図1は、長さ175mのばら積み船の例を25%、320mのタンカーの例を55%としていますが、付録の表では29.0%と61%です。[S2]
- IMOの計算は全船に一律9%（抵抗と燃料）を仮定し、同じ調査が紹介する別の方法では主機関の出力が平均7%（船の年数や手入れで2〜11%）増えます。量の種類が違い、直接は比べられません。[S1]
- 出力と燃料の増え方は同じとは限りません。ガスタービンの駆逐艦の計算では、15ノットで出力が18%増えても、速さの配分を含めた年間の燃料は10.3%増です。GloFoulingは燃料を出力に比例と仮定しています。[S7・S2]
- 水中掃除の効果は、IMOのページで総燃料の1〜5%、タンカー8隻の実測で掃除の後に約9%です。プロペラは、IMOのページで研磨により3〜4%（年間の平均では0.5〜3%）、GloFoulingの5年間の計算ではプロペラだけの掃除で約1%です。比べる相手と方法が違います。[S20・S3・S2]
- 養殖でよく引かれる付着の費用「生産コストの5〜10%」は、EUの研究事業の2004年の初期の見積もり（業界誌）で、元の分母は欧州の養殖の生産額、算定方法は不明です。[S25・S12] ノルウェーの大手1社は、付着の予防と除去の費用を養殖場の生産費の約2.2%としています（論文が紹介する会社の言い分）。著者は、間接の費用がこの見積もりを大きく上回りうるとします。[S5] 両者は比べられません。

- 付着の費用の割合は、対象と分母で大きく違います。同じ研究事業（CRAB）の最終報告（2007年。協力した数か所の養殖場への聞き取り）では、魚の網を水中で円盤型の洗浄機で洗う費用は養殖場の総費用の0.03〜1%、網を引き上げて干す方法は0.3%（1か所）でした。ただし網の掃除の費用の多くは陸での機械洗浄で、魚の養殖場4か所の網の掃除の費用は年約1万7千〜15万1千ユーロ（網1平方メートルあたり1.94〜4.86ユーロ）でした。貝を手で掃除する費用は、総費用の最大30%でした。[S44] ニュージーランドのグリーンマッスル（イガイの仲間）の養殖では、ムラサキイガイの付着による収量と種苗の損失を、年1,640万米ドル、業界の生産額の約10%とする推計があります（総説による紹介で、元の研究は確かめていません）。[S12]
- GloFoulingの養殖の手引き（文献の整理）は、隣り合うページで、同じ年15億〜30億米ドルの費用を、生産コストの5〜10%とも10〜15%ともしています。この金額は、総説（Fitridgeほか、2012年）が5〜10%から出したもので、独立した見積もりではありません。[S2・S12]
- 広島県のカキの全国の割合は、国の殻付きの統計（2024年）では63.6%、県が国の統計をむき身の重さに換算した推計では65.3%です。重さの基準が違うため、並べるときは基準を書く必要があります。[S13]

新しい手段にとって不利なデータ

- 今の対策は効きます（3章）。駆逐艦の計算で、塗りたての塗装の不利は約1.4%（フリゲートの計算では、必要な出力で約2%）と小さく、新しい表面が燃料で差をつけるには、きれいな状態をより長く保つ必要があります。[S7]
- 小さな船での効果の大きさは不明です。瀬戸内の1例では、掃除で約10%、回転を下げると約20%（速さは約0.4ノット落ちる）燃料が減りましたが、条件の記載が少なく、2つは併用もできるため、優劣の比較には使えません。[S15]
- 剥離型は速くよく動く船に最も向くとされ、くぼみなどの部分では性能が大きく落ちることがあります（3章）。剥離型の弱点として、ワシントン州は止まっている間の付着と塗膜の弱さを挙げ、網には費用が高すぎるともされます。フッ素を含む物質を使うとされる剥離型の塗料も、すでに市販されています。[S2・S17] 殺生物剤を含まない自己研磨型（表面が少しずつ溶ける型）の塗料については、同じ州が、技術と費用の面でまだ実用に至っていないとしています。[S17]
- EUのPFAS規制案はフッ素樹脂と、船を含む輸送分野の塗装を評価の範囲に入れています。条件付きで使い続ける案もあり、船の防汚塗装の扱いは分かりません。[S19] ワシントン州は、殺生物剤のない塗料のシリコーンやフッ素系の物質にも有害性のおそれがあるとします。[S17]
- 広島では、付着は公式の被害の項目になく、網の防汚剤を多く使う魚の養殖もわずかです。2025年度の広島かきの生産量は平年の57%で、県の有識者会議の暫定意見は高水温の長期化などを挙げ、付着生物は挙げていません（最終は2027年3月）。[S13]
- 主な資料には利害の関係があります。GloFoulingの燃料の報告書は業界団体GIA（海の生物安全のための世界の産業連合）との共同の報告書で、調査費は、塗料や船体の掃除、超音波の会社と海運会社1社などのGIAの会員が出しています。IMOの情報ページの水中掃除の値（1〜5%）は、2016年から少なくとも2024年12月まで、参考資料が掃除会社のパンフレット1点だけでした（過去の保存ページで確認。今は入れ替わっています）。[S2・S20]

確かさと発行者の立場

最も大きな不確かさは、大型で速い船の計算を、広島の5トン未満の船にそのまま当てはめられないことです。燃料が増える向きは計算と実測で一致しますが、大きさは同じ研究グループの計算に頼る部分が多く、実際の船で測った例は少数です。燃料ではタンカー8隻（要旨のみ確認）、岡山県の小型底びき網漁船の1例（隻数の記載なし）、スリラ

ンカの小型漁船1隻、速さでは長崎大学の練習船1隻（155総トン、全長約43mのアルミ合金製。長崎県の五島灘で測定）で2009・2012・2013年度に行った測定（同じ塗料でも年により結果が大きく違う）、出力では米海軍のフリゲート2隻（汚れによる増え方を9%と24%と測定）です。[S3・S15・S8・S26・S7] GloFoulingの報告書や後の多くの計算は、シュルツ（2007年）の汚れの区分と粗さの値を使っており、互いに独立した確認ではありません。GloFoulingの25〜30%は、1つの研究グループのコンピューターによる水の流れの計算だけにもとづきます。[S7・S2]

規制の日付や条文はできる限り原文で確かめましたが、EUのPFASやIMOの今後の日程は暫定の予定や目標で、米国の連邦基準がいつ適用されるかは決まっていません。

本書の発行者（株式会社シーテックヒロシマ）は、材料の表面処理で付着を制御する事業を行っており、本書が扱う既存の対策と競合しうる立場です。本書では、自社の技術や結果は扱いません。

6. 出典

調べたのは、2026年11月1日までに公開された資料です。国際機関、日本の国・県・市、EUと各国の機関の資料と、査読論文を中心に調べ、別の調査者が、出典に挙げた資料そのもので確かめた数字だけを使いました（S3とS32は要旨のみ）。総説などがほかの研究から引いた数字には、元の研究までは確かめていないものがあります。海外の行政のサイトの一部は自動の取得を遮断しており、確かめられなかった規則は使っていません。確かさ：A＝法令・決議・政府資料、B＝査読論文・方法を示した公的報告、C＝総説・解説・業界団体、D＝業界誌。S1〜S27は第1版と同じ番号です。第2版で加えた資料はS28以降です。S28〜S44は本文で最初に使う順に並べ、S45は後から加えたため、番号が本文の順になっていません。

ID	資料（発行元・年）	種類	確かさ	使った章
S1	Fourth IMO GHG Study 2020（IMO・2020）	推計	A	1〜3・5章
S2	GloFouling：燃費と温室効果ガスの報告（業界団体GIAと共同、GIAの会員の資金）・養殖の手引き（IOC-UNESCOと共同、文献の整理）（2022）	報告	B	1〜3・5章
S3	Adlandほか：船体の定期的な掃除の省エネ効果（2018、要旨のみ）	論文	B	1・2・5章
S4	IMO：AFS条約・シブトリン禁止の改正 MEPC.331(76)（2021）・付着管理指針 MEPC.378(80)（2023）・水中清掃の手引き（2025）	決議	A	1〜4章
S5	Bloecher・Floerl：サケ養殖の付着管理の費用（2021）	論文	B	1〜3・5章
S6	山本：相模湾の定置網の付着生物（神奈川県・1996）	県	B	1・2・5章
S7	Schultzほか：付着が艦艇に与える経済的影響（2011）・Schultz：塗装の粗さと付着が船の抵抗と出力に与える影響（2007）	論文	B	2・5章
S8	小型漁船の燃料節約の手引き（FAO・2012）・ベンガル湾漁業計画の会報（FAO/BOBP・1982年9月）	手引	C	2・3・5章
S9	船舶安全法施行規則（e-Gov・2026年7月施行版）	法令	A	2・4章
S10	検査対象船舶・検査の種類・船検前の準備（日本小型船舶検査機構）	解説	C	2章
S11	外来生物の経路：大谷（日本ベントス学会誌・2004）・Baileyほか（2020）	論文	B	2章
S12	養殖の付着の総説：Fitridgeほか（2012）・Bannisterほか（2019）	総説	C	2・3・5章
S13	広島・瀬戸内：センサス・表・市町の表・瀬戸内海区の漁船（センサス表2-1）・生産統計・魚・かき指針・かき指針のはじめに・かき指針の統計（被害の記録）・有識者会議（県・農水省・2025〜26）	統計	A	2・5章
S14	業務報告書：令和2年度・令和4年度・令和5年度・令和6年度（広島市農林水産振興センター）	報告	B	2・3章
S15	省エネ運転で漁業コストを減らそう（岡山県・2016）	県	C	2・5章

ID	資料（発行元・年）	種類	確かさ	使った章
S16	防汚方法の登録リスト（日本塗料工業会・2026年10月）	団体	C	3章
S17	防汚塗料 議会への第3次報告（ワシントン州・2024）	州	A	3・5章
S18	Tsunemasa・Yamazaki：広島湾北部の海底の防汚成分（2014）	論文	B	3章
S19	EU：決定 2025/1812・PFAS案のECHA発表・暫定議事案・要約（2025〜26）	法令	A	3〜5章
S20	IMO省エネ情報（GreenVoyage2050。DNVと作成し、IMOは内容の正確さを保証しないと明記）Hull cleaning・Propeller polishing（2026年4月更新）・Hull cleaningの保存版（2016年・2024年12月）	解説	C	3・5章
S21	PRTR推計「漁網防汚剤」：推計の方法・推計結果の表（環境省・経済産業省・2026）	推計	A	2・3・5章
S22	網の防汚剤の管理：水産庁の通知（2003）・和歌山県の認証制度（制度のページ・認証基準のマダイ・クロマグロ・クエ）・化審法施行令（第1条・第7条）	通知	A	3・5章
S23	入港船の付着規則：米カリフォルニア州・NZ・豪州（2017〜21）	規則	A	4章
S24	IMO：附属書VIの改正 MEPC.328(76)（2021）・CIIの削減率 MEPC.400(83)（2025）・MEPC 84 報告書・Add.3（2026）	条約	A	4章
S25	Lane・Willemsen：CRABの見積もり（業界誌・2004）	雑誌	D	5章
S26	清水ほか：軽合金製の中型船の船底の汚れが速力と燃費に与える影響（日本航海学会論文集・2014）	論文	B	3・5章
S27	シリコーン塗料を用いたトリガイ養殖の労力軽減技術（石川県・2021）	県	C	3・5章
S28	国土交通省：内航旅客船への新しい入渠検査制度の導入について（2005。日本造船研究協会の調査検討会の試算）	発表	A	2章
S29	農林水産省：令和7年漁業経営統計調査結果（2026）・調査項目の解説集	統計	A	2・5章
S30	日本小型船舶検査機構：年度末の在籍船（令和7年度末）・統計の用語（2026）	統計	B	2章
S31	国土交通省：令和7年度 中国地区船舶産業の生産動向（中国運輸局・2026、速報）・造船造機統計 造船調査の概要	統計	A	2・5章
S32	Ondukaほか：広島湾のカキの胚と幼生への3つの防汚成分のリスク（2022、要旨のみ）	論文	B	2・5章
S33	広島市衛生研究所：広島湾北部の有機スズ代替船底防汚剤による汚染状況（年報24号・平成16年度）	報告	B	2・5章
S34	米国環境保護庁：船舶付随排出の連邦基準（40 CFR Part 139）（米国官報・2024）	規則	A	3・4章
S35	水中の掃除の影響：Earleyほか（2014）・Tamburriほか（2020）	論文	B	3章
S36	ノルウェー：環境庁の網の防汚剤の統計（2026更新）・海洋研究所のリスク報告（2026・2025）	政府	A	3章
S37	有機スズの網の防汚剤：内閣の答弁書（1982）・環境省「化学物質と環境」（2004）	政府	A	3章
S38	神奈川県環境科学センター：沿岸海域の有機スズ化合物汚染実態調査（研究報告18号・1995）	県	C	3章
S39	省エネ法と告示：貨物輸送事業者の判断の基準（2023改正）・旅客輸送事業者の判断の基準・国土交通省の解説・省エネ法 第103条・第127条（e-Gov）	告示	A	4章
S40	EU排出量取引：欧州委員会のページ・指令 2023/959・拡大案の影響評価 SWD(2026) 616（2023〜26）	法令	A	4章
S41	FuelEU Maritime：欧州委員会のページ・規則 2023/1805	法令	A	4章
S42	欧州委員会の担当部局：FuelEU MaritimeのQ&A（拘束力なし）	解説	C	4章
S43	IMOネットゼロ枠組み：規則案（回章5005）（2025）・発表（2025年4月・2025年10月・2026年5月）	条約	A	4章
S44	CRAB（EUの研究事業）：最終報告（CORDIS・2007。協力した養殖場への聞き取り）	報告	C	5章
S45	農林水産省：令和7年漁業構造動態調査結果（2026、標本調査の概数）・農林水産基本データ集（漁業就業者）	統計	A	2章

関連する資料：R3-1 カキのへい死、R3-2 カキの付着生物、R3-3 カキ養殖の担い手と手作業、R6 変化（なぜ今か）、R7-A13 トリガイ養殖かごの付着生物、R7-C26 宇和海：漁船を陸に上げて船底を掃除する場所が減っていること、R7-D16 ノリ食害防除網に付く付着物、I1 見立ての一覧