

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-137502

(P2017-137502A)

(43) 公開日 平成29年8月10日(2017.8.10)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
C O 9 D 133/04 (2006.01)	C O 9 D 133/04	4 J O 3 8
C O 9 D 163/00 (2006.01)	C O 9 D 163/00	
C O 9 D 175/04 (2006.01)	C O 9 D 175/04	
C O 9 D 101/28 (2006.01)	C O 9 D 101/28	
C O 9 D 133/26 (2006.01)	C O 9 D 133/26	
審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 24 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2017-68512 (P2017-68512)	(71) 出願人	501204525
(22) 出願日	平成29年3月30日 (2017.3.30)		国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
(62) 分割の表示	特願2010-143067 (P2010-143067) の分割		東京都三鷹市新川6丁目38番1号
原出願日	平成22年6月23日 (2010.6.23)	(71) 出願人	390033628
(出願人による申告) 平成21年度独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「エネルギー使用合理化技術戦略的開発/エネルギー有効利用基盤技術先導研究開発/海水摩擦抵抗を低減する船舶用塗料の基礎技術の研究開発」委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願			中国塗料株式会社
			広島県大竹市明治新開1番7
		(71) 出願人	000125370
			学校法人東京理科大学
			東京都新宿区神楽坂一丁目3番地
		(71) 出願人	504132881
			国立大学法人東京農工大学
			東京都府中市晴見町3-8-1
		(74) 代理人	100098545
			弁理士 阿部 伸一
		最終頁に続く	

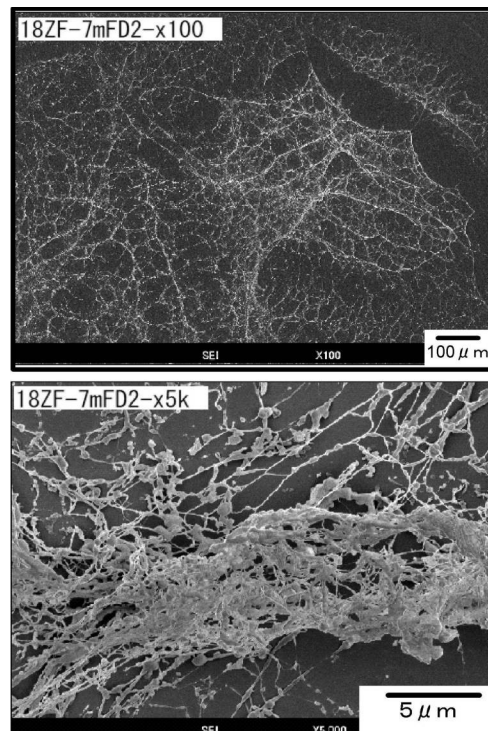
(54) 【発明の名称】 摩擦抵抗低減塗料、摩擦抵抗低減塗膜および船舶

(57) 【要約】

【課題】 海洋などのいわゆる外部流において水と船体表面との間の摩擦抵抗をトムズ効果により低減することができる摩擦抵抗低減塗料を提供する。

【解決手段】 摩擦抵抗低減塗料により形成された塗膜中に含有されている水溶性高分子が2次構造体を形成することにより、塗膜表面近傍に形成される渦構造を消失させることができるから、船体表面に水と船体表面との間の摩擦抵抗を塗布して塗膜を形成することにより、水と船体表面との間の摩擦抵抗を低減することができる。

【選択図】 図23



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

水中において 50 μm 以上の長さを有する水溶性高分子群となり群分子量が 1000 万以上の会合体を形成し得る水溶性高分子として Z 平均分子量が 100 万以上であり、且つ、最大粒径が 40 μm 以下の粒子であるポリエチレンオキシド、ポリアクリルアミド、ヒドロキシエチルセルロース、カルボキシメチルセルロースから選択される水溶性高分子と、
塗膜に樹脂の連続層を形成するためのアクリル系樹脂、エポキシ系樹脂又はウレタン系樹脂と、揮発性の溶剤として、ケトン系溶剤、エステル系溶剤、エーテル系溶剤、又は芳香族系溶剤から選択される少なくともいずれか 1 種以上とを含有し、前記水溶性高分子の摩擦抵抗低減塗料中の含有量が 4 重量%以上 9 重量%以下であることを特徴とする摩擦抵抗低減塗料。

10

【請求項 2】

水中において 50 μm 以上の長さを有する水溶性高分子群となり群分子量が 1000 万以上の会合体を形成し得る水溶性高分子として Z 平均分子量が 100 万以上であり、且つ、最大粒径が 40 μm 以下の粒子であるポリエチレンオキシド、ポリアクリルアミド、ヒドロキシエチルセルロース、カルボキシメチルセルロースから選択される水溶性高分子と、
塗膜に樹脂の連続層を形成するためのアクリル系樹脂、エポキシ系樹脂又はウレタン系樹脂と、揮発性の溶剤として、少なくともキシレンとを含有し、前記水溶性高分子の摩擦抵抗低減塗料中の含有量が 4 重量%以上 9 重量%以下であることを特徴とする摩擦抵抗低減塗料。

20

【請求項 3】

塗膜更新性樹脂を含有していることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の摩擦抵抗低減塗料。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のうちの 1 項に記載の摩擦抵抗低減塗料を水中で使用される構造物に塗布したことを特徴とする摩擦抵抗低減塗膜。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 3 のうちの 1 項に記載の摩擦抵抗低減塗料が船体に塗布されていることを特徴とする船舶。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、高分子を溶出させることにより、船舶など水中で使用される構造物の表面の摩擦抵抗を低減する摩擦抵抗低減塗料、当該摩擦抵抗低減塗料により形成された摩擦抵抗低減塗膜、および当該摩擦抵抗低減塗料が船体に塗布された船舶に関する。

【背景技術】

40

【0002】

船舶は、トン・マイル当たりの消費エネルギーの低い輸送機関であるが、運航に要するエネルギーの大半が海水の抵抗に対して消費される。海水と船体表面と間の摩擦抵抗は、海水中を推進する船舶の全抵抗の 50～80% 程度の割合を占めているとされる。そして、船舶は塗装された船体表面において海水と接するものであるところから、摩擦抵抗は海水と塗膜表面との間で発生する。したがって、海水と塗膜表面との間で生じる摩擦抵抗を低減することは、船舶の推進抵抗を低減し、省エネルギーを達成する有力な手段である。

【0003】

船体表面近傍の水に直鎖状の高分子や繊維などを添加することにより、水と船体表面との間の摩擦抵抗が抑制される現象は、トムズ効果として知られている。船体表面にこのト

50

ムズ効果を利用した塗料を塗装することにより、水と塗膜表面との間で生じる摩擦抵抗を低減する試みは、従来行われている（例えば、特許文献1および2）。

特許文献1および2には、水と船体表面と間の摩擦抵抗の低減を目的として、塗料に水溶性高分子を配合することが開示されている。しかし、これら文献に開示されている塗料、閉空間における実験（いわゆる内部流）に基づくものであるところから、開いた空間である海洋（いわゆる外部流）等において、水と船体表面との間の摩擦抵抗を低減することはできない。

また、特許文献3には、塗料組成に高吸水性樹脂を配合してなる塗料が開示されている。しかし、同文献に開示されている塗料には、高吸水性樹脂が配合されているものの、当該高吸水性樹脂により塗膜表面に形成される抱水コロイドは、水に溶解するものではないから、水と塗膜表面の間に生じる摩擦抵抗をトムズ効果により低減するものではない。

また、特許文献4には、熱搬送媒体として水中液体に摩擦低減剤を添加した熱搬送媒体が開示されている。しかし、同文献に開示されているものは、閉ざされた流路を通じて循環される熱搬送媒体の摩擦を低減するために、界面活性剤を添加した水溶液を熱搬送媒体として用いるものであり、水との間で生じる摩擦抵抗をトムズ効果により低減するものではない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2001-342432号公報

【特許文献2】特開平11-343427号公報

【特許文献3】特開昭58-174453号公報

【特許文献4】特開2003-277736号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

以上のように、海洋などのいわゆる外部流において水と船体表面との間の摩擦抵抗をトムズ効果により低減することができる塗料は、未だに得られていない。

そこで、本発明は、外部流において水と船体表面との間の摩擦抵抗をトムズ効果により低減することができる摩擦抵抗低減塗料、摩擦抵抗低減塗膜および船舶を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本出願の発明者らは、開いた空間である外部流の状態を反映した作用力差測定方法を開発した（特開2010-2356号公報）。そして、この作用力差測定方法を用いて塗料を評価した結果、水中において2次構造体を形成する水溶性高分子を塗料中に配合することにより、海洋等の外部流において水と船体表面との間の摩擦抵抗をトムズ効果により粘性抵抗を抑制できるという新たな知見を得た。

請求項1に記載の本発明の摩擦抵抗低減塗料は、水中において50 μm 以上の長さを有する水溶性高分子群となり群分子量が1000万以上の会合体を形成し得る水溶性高分子としてZ平均分子量が100万以上であり、且つ、最大粒径が40 μm 以下の粒子であるポリエチレンオキシド、ポリアクリルアミド、ヒドロキシエチルセルロース、カルボキシメチルセルロースから選択される水溶性高分子と、塗膜に樹脂の連続層を形成するためのアクリル系樹脂、エポキシ系樹脂又はウレタン系樹脂と、揮発性の溶剤として、ケトン系溶剤、エステル系溶剤、エーテル系溶剤、又は芳香族系溶剤から選択される少なくともいずれか1種以上とを含有し、前記水溶性高分子の摩擦抵抗低減塗料中の含有量が4重量%以上9重量%以下であることを特徴とする。

また、請求項2に記載の本発明の摩擦抵抗低減塗料は、水中において50 μm 以上の長さを有する水溶性高分子群となり群分子量が1000万以上の会合体を形成し得る水溶性高分子としてZ平均分子量が100万以上であり、且つ、最大粒径が40 μm 以下の粒子

であるポリエチレンオキシド、ポリアクリルアミド、ヒドロキシエチルセルロース、カルボキシメチルセルロースから選択される水溶性高分子と、塗膜に樹脂の連続層を形成するためのアクリル系樹脂、エポキシ系樹脂又はウレタン系樹脂と、揮発性の溶剤として、少なくともキシレンとを含有し、前記水溶性高分子の摩擦抵抗低減塗料中の含有量が4重量%以上9重量%以下であることを特徴とする。

ここで、「会合体」とは、複数の水溶性高分子により形成された2次的な構造体（2次構造体、凝集体を含む）の一つであり、同一分子間に水素結合、電荷移動結合、疎水結合などのような比較的弱い結合力がはたらき、2分子あるいはそれ以上の分子が結合して、比較的規則性の良い集合体が形成されたものである。また、「水中において会合体を形成する」とは、塗膜から溶出した水溶性高分子が会合体を形成すること、および塗膜の内部に水が侵入し、塗膜内において水溶性高分子の全部又は一部が会合体を形成することのいずれも含んでいる。

10

この構成により、塗膜化して水中で用いた場合に、水溶性高分子としてポリエチレンオキシド、ポリアクリルアミド、ヒドロキシエチルセルロース、カルボキシメチルセルロースから選択される水溶性高分子により形成された会合体によって、水と塗膜表面との間で生じる摩擦抵抗を低減することができる。

また、アクリル系樹脂、エポキシ系樹脂、またはウレタン系樹脂を配合することにより、摩擦抵抗低減塗料により形成された塗膜にこれらの樹脂の連続層を形成することができるから、塗膜に機械的強度および疎水性を与えると共に、塗膜中の水溶性高分子の水による膨潤を調整して、その溶出速度を制御することができる。

20

なお、アクリル系樹脂またはエポキシ系樹脂を配合した場合は、摩擦抵抗低減塗料により形成された塗膜の連続層がアクリル系樹脂またはエポキシ系樹脂により構成されるから、連続層を形成する樹脂の影響により水溶性高分子が低分子化して会合体を形成できなくなることを一層、防止できる。

また、水溶性高分子が水中において50 μm 以上の長さを有する水溶性高分子群となる会合体を形成することにより、塗膜表面に形成される渦構造を消失させることができる。なお、50 μm 以上の長さを有する2次構造体を構成する水溶性高分子の分子量（群分子量）は1000万以上となる。

ここで、「水中において50 μm 以上の長さを有する会合体が形成される」とは、塗膜から溶出した水溶性高分子が50 μm 以上の長さを有する会合体を形成すること、および塗膜の内部に水が侵入し、塗膜内において水溶性高分子の全部又は一部が50 μm 以上の長さを有する会合体を形成することのいずれも含んでいる。

30

また、水溶性高分子のZ平均分子量を100万以上とすることにより、水と塗膜表面との間で生じる摩擦抵抗を低減するのに十分な大きさの会合体を水溶性高分子により形成することができる。

また、水溶性高分子の最大粒径を40 μm 以下とすることにより、摩擦抵抗低減塗料により形成された塗膜表面を平滑なものとすることができる。

また、水溶性高分子の摩擦抵抗低減塗料中の含有量を4重量%以上9重量%以下とすることにより、水溶性高分子の溶出により摩擦抵抗低減塗料の塗膜が崩壊することを防止しつつ、水と塗膜表面との間で生じる摩擦抵抗を低減することができる。

40

【0007】

請求項3の本発明は、請求項1または2に記載の摩擦抵抗低減塗料において、塗膜更新性樹脂を含有していることを特徴とする。

ここで「塗膜更新性樹脂」とは、当該樹脂により形成された塗膜が、水中に保持される時間の経過とともに、その膜厚が減少するものをいう。

この構成により、塗膜更新性樹脂により形成された塗膜の膜厚の減少と共に、徐々に水溶性高分子を溶出させることができる。

【0008】

請求項4の摩擦抵抗低減塗膜は、請求項1乃至3のうちの1項に記載の摩擦抵抗低減塗料を水中で使用される構造物に塗布したことを特徴とする。

50

この構成により、塗膜中の水溶性高分子により会合体を形成し、水と塗膜表面との間で生じる摩擦抵抗を低減することができる。

【0009】

請求項5に記載の船舶は、請求項1乃至3のうちの1項に記載の摩擦抵抗低減塗料が船体に塗布されていることを特徴とする。

この構成により、水と塗装表面との間の摩擦抵抗を抑制することができる。

【発明の効果】

【0010】

本発明の摩擦抵抗低減塗料は、水中において会合体を形成する水溶性高分子を含有している。このため、例えば、本発明の摩擦抵抗低減塗料を船体面に塗布すれば、船体の塗膜中の水溶性高分子により、塗膜表面近傍に水溶性高分子の会合体を形成することができる。この会合体により、開空間において、塗膜表面近傍における水による乱流の形成が顕著に抑制される。これにより、塗膜表面の近傍に渦が生じることを抑制して、摩擦抵抗を低減させることができる。

また、会合体とすることにより、同一分子間に働く比較的弱い結合力を摩擦抵抗低減に利用することが可能となる。

また、水溶性高分子が最大粒径40 μm 以下の粒子として摩擦抵抗低減塗料に含有されている構成とすれば、摩擦抵抗低減塗料により形成された塗膜を平滑なものとすることができ、水溶性高分子が溶出した後の塗膜表面も平滑なものとする事が可能となる。これにより、塗膜面の粗度が高くなることにより摩擦抵抗が増大することを抑制できる。

また、水溶性高分子の含有量が4重量%以上9重量%以下である構成とすれば、水溶性高分子が溶出して形成された間隙により塗膜が崩壊することを防止しつつ、摩擦抵抗を低減させるために十分な水溶性高分子を溶出させることができる。

また、塗膜更新性樹脂を含有している構成とすれば、摩擦抵抗低減塗料により形成された塗膜の厚さが水中において経時的に減少することから、当該塗膜中の水溶性高分子を徐々に放出することができ、塗膜更新による防汚性も付与できる。さらに、例えば、摩擦抵抗低減塗料中に水溶性高分子以外の他の成分（例えば防汚塗料）をも配合すれば、当該他の成分をも徐々に放出させることができる。

【0011】

本発明の摩擦抵抗低減塗膜は、上述した本発明の摩擦抵抗低減塗料により形成されていることから、摩擦抵抗低減塗料について上述したとおり、塗膜表面の近傍に渦が形成されることを抑制して摩擦抵抗を低減させることができる。

また、水溶性高分子により50 μm 以上の長さを有する会合体が形成される構成とすれば、塗膜表面の近傍に形成される渦に効果的に作用し、摩擦抵抗を確実に低減することができる。

【0012】

本発明の船舶は、上述した本発明の摩擦抵抗低減塗料が船体に塗布されていることから、摩擦抵抗低減塗料について上述したとおり、塗膜表面の近傍に渦が形成されることを抑制して摩擦抵抗を低減させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】表面溶出を模擬するための試験に用いた滲出実験装置の概略構成を示す概略図

【図2】図1の滲出実験装置を用いた実験結果を示すグラフ

【図3】壁面からの拡散により、水溶性高分子がバッファ領域に導入され抵抗低減が起きることを示すDNS計算結果のグラフ

【図4】壁面近傍の速度分布を計測する装置を説明するための図面代用写真

【図5】図4に示した装置により行った実験結果を示すグラフ

【図6】CFD計算（DNS計算）により、水溶性高分子溶液の滲出の模擬計算を実施した結果を示すグラフ

【図7】摩擦抵抗低減と分子量との相関を測定する測定装置の概略構成を示す説明図

【図 8】水溶性高分子の Z 平均分子量と摩擦抵抗低減率との関係を示すグラフ

【図 9】水溶性高分子の重量平均分子量と摩擦抵抗低減率との関係を示すグラフ

【図 10】水溶性高分子の分子量分布を示すグラフ

【図 11】水溶性高分子の長さと摩擦係数との関係を D N S 計算により求めた結果を示すグラフ

【図 12】ポリエチレンオキシドにより形成される 2 次構造体の一例を示す模式図

【図 13】ポリエチレンオキシドにより形成される 2 次構造体の一例を示す図面代用写真

【図 14】水溶性高分子の 2 次構造体が船体表面において形成される渦構造を消すことにより摩擦抵抗を低減する機構の模式図

【図 15】摩擦抵抗低減塗料により形成された塗膜から水溶性高分子が溶出する溶出メカニズムを模式的に示した説明図

10

【図 16】実施例 1 の摩擦抵抗低減塗料により形成された塗膜からの水溶性高分子の溶出速度を評価した結果を示すグラフ

【図 17】実施例 2 の摩擦抵抗低減塗料により形成された塗膜からの水溶性高分子の溶出速度を評価した結果を示すグラフ

【図 18】実施例 1 の摩擦抵抗低減塗料の塗膜による摩擦抵抗低減効果を、二重円筒式抵抗測定装置を用いて評価した結果を示すグラフ

【図 19】ポリエチレンオキシド粒子を含有する摩擦抵抗低減塗料が塗布された鋼板の塗装面の曝露試験前後の状態を示す図面代用写真

【図 20】高精度摩擦抵抗計測装置の概略を説明する図面代用写真

20

【図 21】高精度摩擦抵抗計測装置を用いて 2 m の平板について行った試験結果を示すグラフ

【図 22】高精度摩擦抵抗計測装置を用いて抵抗測定を行った長さ 8 m の模型を底面側から示した図面代用写真

【図 23】実施例 1 の摩擦抵抗低減塗料の塗膜から溶出したポリエチレンオキシドを含む水溶液を凍結乾燥させたものを示す図面代用写真

【図 24】比較例 1 の摩擦抵抗低減塗料の塗膜から溶出した水溶性高分子を含む水溶液を凍結乾燥させたものを示す図面代用写真

【図 25】実施例 1 の摩擦抵抗低減塗料（5 % のポリエチレンオキシドを含有）について高精度摩擦抵抗計測装置による抵抗測定の実験結果を示すグラフ

30

【図 26】実施例 1 の摩擦抵抗低減塗料（8 % のポリエチレンオキシドを含有）について高精度摩擦抵抗計測装置による抵抗測定の実験結果を示すグラフ

【発明を実施するための形態】

【0014】

本発明の摩擦抵抗低減塗料は、水中において 2 次構造体を形成する水溶性高分子を含有している。ここで、「2 次構造体」とは、複数の水溶性高分子により形成された会合体や凝集体などの 2 次的な構造体をいう。また、「水溶性高分子」とは、水溶性の重合体をいい、例えば、ポリエチレンオキシド（ポリエチレングリコールを含む）、ポリアクリルアミド、ヒドロキシエチルセルロース、カルボキシメチルセルロース、からなる群より選択される少なくとも 1 つの直鎖状の高分子または糖類があげられるが、この中では、ポリエチレンオキシド（ポリエチレングリコールを含む）が好ましく用いられる。

40

【0015】

水溶性高分子は、最大粒径 40 μm 以下の粒子として、より好ましくは 38 μm 以下の粒子として摩擦抵抗低減塗料中に含有されることが好ましい。水溶性高分子を最大粒径 40 μm 以下より好ましくは 38 μm 以下の粒子として配合すれば、摩擦抵抗低減塗料により形成された塗膜の表面、および水溶性高分子が溶出した後の塗膜の表面を平滑なものとするができるから、塗膜表面の粗度増大による摩擦抵抗の増加を抑制することができる。

水溶性高分子は、2 次構造体を形成する前の単分子としての Z 平均分子量が 100 万以上のものであることが好ましく、200 万以上のものであることがより好ましい。Z 平均

50

分子量が上記範囲のものをを用いることにより、水と塗膜表面との間で生じる摩擦抵抗を低減するのに十分な大きさの２次構造体を水溶性高分子により形成することができる。

また、水中において水溶性高分子により形成される２次構造体は、それを構成する水溶性高分子全体の分子量（群分子量）が１０００万以上であることが好ましい。なぜなら、塗膜表面付近に渦が形成されることによる塗膜表面と水との摩擦抵抗の増大を水溶性高分子の２次構造体により低減するには、２次構造体が５０μm以上の長さを備えたものである必要があり、分子量１００万の水溶性高分子（理想長さ１００μm）が互い違いに絡み合った場合、５０μmの２次構造体が形成されるためには最低１０本の水溶性高分子が必要となることから、群分子量は１０００万以上であると推測することができるからである。

10

【００１６】

摩擦抵抗低減塗料における水溶性高分子の含有量は４重量％以上９重量％以下であることが好ましく、その下限は５重量％以上であることがより好ましく、その上限は８重量％以下であることがより好ましい。水溶性高分子の含有量を４重量％以上より好ましくは５重量％以上とすることにより、水溶性高分子により形成された２次構造体が摩擦抵抗低減効果を十分に発揮することができる。また、水溶性高分子の含有量を９重量％以下より好ましくは８重量％以下とすることにより、塗膜から水溶性高分子が溶出することにより塗膜が崩壊することを防止することができる。

ここで、水溶性高分子の含有量とは、摩擦抵抗低減塗料中に水溶性高分子が含まれている割合、すなわち摩擦抵抗低減塗料の重量全体を１００重量％として、その中で、水溶性高分子の占める重量％を意味している。

20

【００１７】

摩擦抵抗低減塗料は、アクリル系樹脂、エポキシ系樹脂、ウレタン系樹脂などの樹脂を含んでいるものであってもよい。これらの樹脂を配合することにより、摩擦抵抗低減塗料により形成された塗膜にこれらの樹脂の連続層を形成することができるから、塗膜に機械的強度および疎水性を与えると共に、塗膜中の水溶性高分子の水による膨潤を調整して、その溶出速度を制御することができる。

摩擦抵抗低減塗料中あるいは形成された塗膜中に含有される水溶性高分子に影響して水溶性高分子の分子量が小さくなること（低分子化）を防止できることから、上記樹脂の中では、アクリル系樹脂およびエポキシ系樹脂が、好ましく用いられる。

30

【００１８】

摩擦抵抗低減塗料は、塗膜更新性樹脂を含んでいるものであってもよい。この「塗膜更新性樹脂」としては、例えば、ロジン樹脂および／または加水分解型樹脂を挙げることができる。上記ロジン樹脂としては、例えば、ウッドロジン、ガムロジン、変性ロジン、ロジンエステルなどが挙げられる。

【００１９】

摩擦抵抗低減塗料は、上述した水溶性高分子、アクリル系樹脂、エポキシ系樹脂、ウレタン系樹脂、および塗膜更新性樹脂以外に、必要に応じて、他の固形成分として、他の有機高分子、着色剤、充填剤、防汚性成分などを含んでも良い。また、塗料の粘度調整のために用いられる非固形成分である溶剤を含んでもよい。溶剤としては、例えば、水、ケトン系溶剤、エステル系溶剤、エーテル系溶剤、芳香族系溶剤などが挙げられる。

40

【００２０】

上述した摩擦抵抗低減塗料を水中で使用される構造物に塗布することにより、本発明の摩擦抵抗低減塗膜を製造することができる。

また、上述した本発明の摩擦抵抗低減塗料を船体に塗布することにより、本発明の船舶を製造することができる。

【実施例】

【００２１】

船体表面の摩擦抵抗を低減する塗料の基礎技術として、塗膜からの高分子の溶出機構を利用した摩擦抵抗低減技術を開発するために、水と塗膜表面の間に生じる摩擦抵抗の精密

50

な計測手法の構築、模型船による船舶に適用した場合の摩擦抵抗の評価手法の開発、摩擦抵抗発現メカニズムの数値流体力学による検討、摩擦抵抗低減効果の高い高分子の探索、塗膜から高分子を溶出させる機構の開発等を実施した。

実施にあたり、塗膜表面で生じる水摩擦抵抗の要因に関する評価や、その低減機構を流体力学的なアプローチで研究するとともに、高分子種の選定や塗膜への配合方法、溶出物質の同定等の物質科学的アプローチを融合させた研究体制を構築した。

そして、塗膜から溶出した水溶性高分子にトムズ効果（ポリマー効果）を発揮させるための技術を開発し、現在の加水分解型防汚塗料より表面摩擦抵抗が低い摩擦抵抗低減塗料（実施例 1）を作製した。この摩擦抵抗低減塗料について、二重円筒式抵抗測定装置による試験、および高精度摩擦抵抗計測装置を用いた曳航水槽試験から推定される実船（船長 100m、船速 13 ノット）の摩擦抵抗が 10 % 以上低減することを検証した。

10

【0022】

〔表面溶出によるポリマー効果の発現機構の検証〕

壁面滲出実験における壁面近傍の速度分布を粒子画像流速測定装置（Particle Image Velocimetry 装置、PIV 装置）により測定した。その結果、壁面から水溶性高分子が滲出することの効果（ポリマー効果）により、壁面近傍の主流方向および壁面垂直方向の速度変動が小さく、乱れが抑制されていることを確認した。

壁面滲出実験を模擬した計算流体力学（数値流体力学、Computational Fluid Dynamics、以下、適宜「CFD」と略する。）計算、より具体的には、乱流の直接数値シミュレーション（Direct Numerical Simulation、以下、適宜「DNS」と略する。）計算により、壁面から滲出した水溶性高分子の効果によって壁面近傍に高濃度の水溶性高分子の分布が形成されること、および下流に行くにしたがって、大きな摩擦抵抗低減効果が得られることを確認した。

20

【0023】

（壁面からの溶液供給による摩擦抵抗低減）

塗膜表面からの水溶性高分子の溶出を模擬するために、図 1 に示した滲出試験実験装置を用いて、多孔質壁を有する水路から水溶性高分子溶液を滲出させ、抵抗の変化を測定した。その結果を図 2 に示す。

図 2 に示したとおり、多孔質壁の壁面から水溶性高分子溶液を滲出させることにより、摩擦抵抗低減効果が得られることを確認した。なお、図 2 に示した実験においては、水溶性高分子としてポリエチレンオキシドを用いた。

30

また、DNS 計算により、壁面からの拡散により水溶性高分子が壁面近傍のバッファ領域に導入され摩擦抵抗低減が起きることが示された。この DNS 計算により得られた結果を図 3 に示す。図 3 に示したとおり、壁面から水溶性高分子が滲出して拡散することにより、水溶性高分子がバッファ領域に導入され摩擦抵抗低減が起きることが示された。同図では、縦軸 R_D が摩擦抵抗低減率を示しており、横軸 x が滲出面の長さを示している。また、Newtonian が高分子なしの数値計算値、DNS が高分子ありの数値計算値、+ Experiment ($C_i=100\text{ppm}$) が実験結果値を示している。

x 軸は、滲出面の長さを表し、0 が滲出面の上流の部分で、流れが右側に行くようになっている。 y 軸は、滲出面より水溶性高分子を滲出させた場合の x 軸に示されている滲出面の長さの点での低減効果を表している。下流に行けば行くほど低減効果が上がるのは、水溶性高分子の蓄積効果により濃度が高くなるためである。

40

【0024】

（レイノルズ応力が壁面近傍で減少することの実験結果と計算結果）

摩擦抵抗は以下の式で表される。

【数 1】

$$\tau = \mu \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} - \overline{\rho u' v'}$$

式中、

τ : 摩擦応力
 $\bar{u}$: 速度の平行成分
 v : 速度の垂直成分
 u' : u の変動成分
 v' : v の変動成分
 μ : 粘性係数
 ρ : 密度

10

第 2 項がレイノルズ応力（主成分）である。

【0025】

図 4 は、P I V 法（Particle Image Velocimetry 法：粒子画像流速測定法）により、壁面近傍の速度分布を計測する装置を説明するための図面代用写真である。図 4 に示したように焼結金属板の滲出板を並べ、矢印（Flow）で示した方向に水を流し、差圧を測定することで摩擦抵抗値を測定した。測定結果を図 5 に示す。なお、この装置を用いた実験においては、水溶性高分子として 100 ppm のポリエチレンオキシドおよび 50 ppm のポリエチレンオキシドを用いた。

20

同図では、縦軸がレイノルズ応力成分を表しており、横軸が壁面からの距離を示している。同図に示した結果から、水溶性高分子の滲出により壁面近傍の速度の変動が小さくなる（＝流れの乱れが抑制される）ことが確認された。

【0026】

図 6 は、D N S 計算を用いて水溶性高分子溶液の滲出の模擬計算を実施した結果を示すものである。同図では、縦軸がレイノルズ応力成分を表しており、横軸が壁面からの距離を示している。同図には、D N S 計算によって図 5 に示した実験結果と略同様の結果が得られることが示されている。この結果により、D N S 計算は実験結果と対応の良い精度の高いものであることが分かる。

30

なお、D N S 計算により得られた計算値と実験値の違いは、流速の違いによるものである。このように図 5 と図 6 の間で y 軸の数値が違っていることは、実験と同じ流速として D N S 計算を行うことが計算能力の点で不可能であるためである。また、x 軸の値が異なっているのは、図 5 に示した実験値は、無次元化しているが、図 6 に示した計算値は、実測値であることによるものである。しかし、両者の中身（技術的意義）は同じである。

以上のとおり、実験値（図 5）と D N S 計算により得られた値（図 6）との比較により、定性的に、実験値と計算値の傾向が同じであることが確認されている。

40

【0027】

（摩擦抵抗低減と分子量との相関）

図 7 に示すように、摩擦抵抗低減効果を有する水溶性高分子を含有する塗料を用いて、回転円筒 1 表面に厚さ 200 μm の塗膜を形成し、超純水で満たされている円筒 2 に入れて、回転円筒 1 を 500（回転／分、rpm）で回転させることにより、回転円筒 1 のトルクをトルク計 3 により計測した。この測定結果を、対照として測定した無塗装の回転円筒 1 について同条件で測定された結果と比較することにより、水溶性高分子の摩擦抵抗低減効果を計算した。また、測定中に塗料から溶出した水溶性高分子が円筒 2 内の超純水中に溶解するので、水溶性高分子が溶解したこの水溶液を円筒 2 の取り出し口 4 から採取し、ゲル浸透クロマトグラフ／多角度光散乱検出器（GPC-MALS）を用いて、Z 平均分子量（

50

M_z) と、重量平均分離量 (M_w) とを求めた。

【数 2】

$$M_z = \frac{\sum N_i M_i^3}{\sum N_i M_i^2}$$

$$M_w = \frac{\sum N_i M_i^2}{\sum N_i M_i}$$

上記の式中、 N_i は分子量 M_i の分子数を示している。

【0028】

図 8 は水溶性高分子の Z 平均分子量 (M_z) と摩擦抵抗低減率との関係を示すグラフである。同図に示すように、Z 平均分子量を用いることにより、摩擦抵抗低減率と平均分子量との相関関係を良好に示すことができる。このため、Z 平均分子量は、水溶性高分子の種類や水中に浸漬させた時間の長さに関わらず、摩擦抵抗低減率を推測するための統一的な指標として用いることができる。また、同図によれば、水溶性高分子の Z 平均分子量 100 万以上のものは、摩擦抵抗低減率が 10 % 以上となることから、摩擦抵抗低減効果が顕著であることが分かる。

20

図 9 は水溶性高分子の重量平均分子量 (M_w) と摩擦抵抗低減率との関係を示すグラフである。同図に示すように、重量平均分子量を用いると、同じ重量平均分子量のものであっても、水溶性高分子を水中に浸漬させる時間が長くなるに従って、摩擦抵抗低減率が小さくなる。このことから、水中に浸漬させる時間が長くなるに従って水溶性高分子が劣化すること、および重量平均分子量は摩擦抵抗低減率を推測するための統一的な指標として適切な指標ではないことが分かった。

図 9 は、図 7 を用いて説明した方法により、回転円筒 1 で攪拌し続けたときの抵抗低減を測定したものであり、攪拌開始を 0 分として、7 分後、1 時間後及び 2 時間後において、円筒 2 内の水溶性高分子の水溶液を回転円筒 1 の回転中に採取して、GPC-MALS で、その水溶液に含まれている水溶性高分子の分子量及び慣性半径を測定したものである。

30

【0029】

(分子量分布と摩擦抵抗低減効果の関係)

分子量分布と摩擦抵抗低減効果の関係を示すため、水溶性高分子としてポリエチレンオキシドを用い、水中への浸漬時間を 7 分としたものの結果 (D-1)、水中への浸漬時間を 1 時間としたものの結果 (C-4)、水中への浸漬時間を 2 時間としたものの結果 (D-4) について、平均分子量 (M_z および M_w) と摩擦抵抗低減率との関係を調べた。その結果を表 1 に示す。

40

図 10 は D-1、C-4 および D-5 の分子量分布を示す。同図の横軸はその数値が大きくなるほど低分子量である。縦軸は、最も大きな割合で含まれている分子量の成分を 1 とし、当該成分に対する他の分子量の成分の相対的な割合を示している。

【表 1】

実験	摩擦抵抗低減率 (%)	分子量 ($\times 10^4$)	
		Mw	Mz
D-1	36.4	228	300
C-4	28.0	220	245
D-5	25.8	219	237

表 1 により、重量平均分子量 (Mw) が同等のものであっても、Z 平均分子量 (Mz) が大きいほど摩擦抵抗低減率が大きくなることが示されている。

10

また、D-1、C-4 および D-5 は、重量平均分子量 (Mw) が同等であるものの、図 10 のグラフ中に丸を付して示したように高分子量成分に差がある。このことから、D-1、C-4 および D-5 との間で摩擦抵抗低減率に大きな差が生じたのは、この丸を付した高分子量成分 (超高分子量成分) の含有量の差に起因するものと考えられ、この超高分子量成分が摩擦抵抗低減率の向上に寄与しているものと推定することができる。

【0030】

(水溶性高分子のサイズと摩擦抵抗低減効果、DNS 計算)

図 11 は、上述したとおり実測結果との対応が良好な (図 5、図 6 参照) 精度の高い DNS 計算を用いて、水溶性高分子の長さとの関係とを求めた結果を示したものである。同図では、横軸が水溶性高分子の長さを示し、縦軸が摩擦係数を示している。図 11 によれば、水溶性高分子を配合しない場合の摩擦係数の計算値 (8.0×10^{-3}) よりも低い摩擦係数を得ることすなわち摩擦抵抗低減を実現するには、その長さが $50 \mu\text{m}$ 以上の水溶性高分子を用いる必要があることが示唆されている。なお、DNS 計算は、水溶性高分子の配合量を 100 ppm として行った。

20

このように DNS 計算の結果により、摩擦抵抗低減は、壁面 (塗膜表面) 近傍の乱流中の渦構造に直接作用するだけのサイズ (渦構造の幅と同程度の長さ $50 \mu\text{m}$ 以上) の水溶性高分子が必要であることが分かった。しかし、 $50 \mu\text{m}$ 以上の長さを単高分子で実現することは不可能であることから、 $50 \mu\text{m}$ 以上の長さを得るには、水溶性高分子により 2 次構造体を形成することが必要となる。このような 2 次構造体を形成する水溶性高分子としては、ポリエチレンオキシド (明成化学工業株式会社製 E100 および住友精化株式会社製 PEO18ZF) がある。また、ポリエチレンオキシドの他にポリエチレングリコールもある。

30

ポリエチレングリコール (polyethylene glycol、略称 PEG) は、エチレングリコールが重合した構造をもつ高分子化合物 (ポリエーテル) である。ポリエチレンオキシド (polyethylene oxide、略称 PEO) も基本的に同じ構造を有する化合物であるが、PEG は分子量が $50,000 \text{ g/mol}$ 以下のもの (エチレングリコールの重合体) をいい、PEO はより高分子量のもの (付加重合体) をいう。両者は物理的性質 (融点、粘度など) が異なり用途も異なるが、化学的性質はほぼ同じである。

図 12 は、ポリエチレンオキシドにより形成される 2 次構造体の一例を示す模式図であり、ポリエチレンオキシド鎖の酸素原子が、水との水素結合を介して、他のポリエチレンオキシド鎖の酸素原子と結合することにより、会合体を形成しているものを模式的に示したものである。また、図 13 は、ポリエチレンオキシドにより形成される 2 次構造体の一例を示す図面代用写真である。

40

Z 平均分子量 100 万の水溶性高分子 (理想長さ $10 \mu\text{m}$) が互い違いに絡み合った場合を想定すると、2 次構造体として $50 \mu\text{m}$ の水溶性高分子群を形成するためには、最低でも 10 本の水溶性高分子鎖が必要である。このことから、2 次構造体としての分子量 (群分子量) は、 1000 万以上であることが必要であると推測される。

【0031】

図 14 は、水溶性高分子の 2 次構造体が、壁面近傍に形成される渦構造を消すことにより、摩擦抵抗を低減する機構を模式的に示した図である。同図に示すように、その長さが

50

5 μm 程度の短い水溶性高分子は、幅が50 μm 程度の渦構造に沿って流れることとなるから渦構造を消すことができない。これに対し、長い水溶性高分子は渦構造に作用してその渦構造を消すことができる。したがって、50 μm 以上の長さを有する二次構造体によれば、壁面近傍に不均一な渦が形成されることを抑制して摩擦抵抗低減を実現することができる。

【0032】

〔塗料の作製〕

水溶性高分子を含有する摩擦抵抗低減塗料は、（１）配合された水溶性高分子を劣化させないこと、（２）形成された塗膜からの水溶性高分子の安定した溶出が持続すること、（３）形成された塗膜から水溶性高分子が溶出した後の表面粗度が増大しないことが必要となる。

10

これら要件を充足させる塗料樹脂・顔料・溶剤を選定するにあたり、水溶性高分子の溶出・溶解過程をふまえて、樹脂の耐水性・強度、含有する水溶性高分子との親和性・反応性（劣化抑制）、水溶性高分子の加工（粒径、修飾）等を考慮した。

【0033】

〔実施例１〕

（水溶性高分子）

摩擦抵抗低減塗料により形成された塗膜から溶出した水溶性高分子により摩擦抵抗低減効果を得るには、水溶性高分子が水中において２次構造体を形成するものである必要がある。このような性質を備えたポリエチレンオキシドとして、本実施例１では、住友精化株式会社製PEO18ZFをジェットミルで最大粒径が38 μm 以下にしたものを用いた。

20

（塗料樹脂）

摩擦抵抗低減塗料により形成された塗膜の連続層を構成する不揮発性の塗料樹脂としては、配合された水溶性高分子を劣化させず、形成された塗膜からの水溶性高分子の安定した溶出を持続させるものを用いる必要がある。水溶性高分子として用いたポリエチレンオキシドに対して、上記のような性能を備えたものとして、アクリル樹脂（商品名：パラロイドB-66、ローム・アンド・ハース社製）を用いた。

（その他の成分）

摩擦抵抗低減塗料を着色するための顔料としてタルク（商品名：TTKタルク、竹原化学工業社製）、弁柄（商品名：弁柄No. 404、森下弁柄工業社製）、亜鉛華（酸化亜鉛３種、ハクスイテック製）を、摩擦抵抗低減塗料の粘度調整などを目的とした揮発性の溶剤としてキシレンを、流れ止め剤（商品名：ディスパロン A630-20X、楠本化成社製）を用いた。なお、塗膜から水中への水溶性高分子の溶出は、塗料中の揮発成分が乾燥する際に形成された無数のピンホールを介して水に接した水溶性高分子が膨潤することにより生じる。

30

（調整方法）

上述した成分を表２に示す分量で混合し、実施例１の摩擦抵抗低減塗料を調製した。

〔実施例２〕

アクリル樹脂の代わりにエポキシ樹脂（商品名：D. E. R. 671-X75、ダウケミカル社製）とポリアミド樹脂（商品名：ラッカマイド TD-966、大日本インキ化学工業社製）を用い、キシレンの代わりにキシレンとメチルイソブチルケトン（シェルジャパン製）、*n*-ブタノール（チッソ社製）を用いた以外は、実施例１と同様にして摩擦抵抗低減塗料を調製した。

40

【表 2】

原料	実施例 1 (G-1)	実施例 2 (I-1)
アクリル樹脂	20.0	
エポキシ樹脂		22.0
ポリアミド樹脂		8.0
ポリエチレンオキシド	5.0	5.0
タルク	13.0	13.0
弁柄	5.0	5.0
亜鉛華	15.0	15.0
キシレン	42.0	24.0
メチルイソブチルケトン		3.0
n-ブタノール		4.0
流れ止め剤	2.0	2.0
合計	102.0	101.0

(上表中の数値はいずれも重量部を示している。)

【0034】

(溶出速度の制御試験)

図15は、摩擦抵抗低減塗料により形成された塗膜から水溶性高分子が溶出する溶出メカニズムを模式的に示した説明図である。同図に示すように、鋼板11表面の塗膜12が水13と接すると、その表面層12Sに水13が染み込む。これにより表面層12Sの水溶性高分子14が水13により膨潤し、塗膜12の表面より溶出し2次構造体を形成する。

また、塗膜は塗料樹脂15の連続層に水溶性高分子14が分散されたものとして構成されている。このため、十分な強度を備えた塗料樹脂15により塗膜12を構成しないと、水3で水溶性高分子14が膨潤することにより塗膜12が崩壊してしまい、水溶性高分子14の溶出を制御することができなくなる。

また、水13が染み込むことにより塗膜12が崩壊しない範囲で、塗膜12中で2次構造体を形成させることもできる。

図16は、実施例1の摩擦抵抗低減塗料により形成された塗膜からの水溶性高分子の溶出速度を評価した結果を示すグラフである。水溶性高分子の溶出速度の評価は、鋼板上に乾燥した状態で約200μmの厚さとなる塗膜を形成し、20℃の水中に浸漬し、水中に溶出した炭素量を測定することにより、水溶性高分子の濃度を評価することで行った。図16に示されているように、塗膜を浸漬した水中の水溶液濃度に急激な変化が生じていないことから、実施例1の摩擦抵抗低減塗料により形成された塗膜は、水溶性高分子の溶出速度が制御されていることが分かる。

図17は、実施例2の摩擦抵抗低減塗料により形成された塗膜からの水溶性高分子の溶出速度を評価した結果を示すグラフである。水溶性高分子の溶出速度の評価は、実施例1と同様の方法により行った。図17に示されているように、実施例2の摩擦抵抗低減塗料により形成された塗膜は、水溶性高分子の溶出速度が制御されていることが分かる。

30

40

50

【0035】

(二重円筒式抵抗測定装置による摩擦抵抗低減効果の測定)

実施例1の摩擦抵抗低減塗料の塗膜による摩擦抵抗低減効果を、二重円筒式抵抗測定装置を用いて評価した。二重円筒式抵抗測定装置は、2つの円筒のうちの一方表面に測定対象試料の塗膜を形成し、二つの円筒の間に水を入れた状態で一方の円筒を回転させたときのトルク応力を測定するものである。実施例1の摩擦抵抗低減塗料との比較のため、既存製品(中国塗料株式会社製 自己研磨型防汚塗料SGP1000)についても、同様の条件により二重円筒式抵抗測定装置を用いた測定を行った。なお、二重円筒式抵抗測定装置としては、図7を用いて説明した装置を用いた。

図18は、実施例1の摩擦抵抗低減塗料の塗膜による摩擦抵抗低減効果を、二重円筒式抵抗測定装置を用いて評価した結果を示すグラフである。同図に示されているように、実施例1の摩擦抵抗低減塗料では、既存製品(SGP1000)に比べて、明らかに摩擦抵抗に該当するトルクが低減している。このように、上記測定の結果、実施例1の摩擦抵抗低減塗料の塗膜により、比較対照とした既存製品よりも10%以上の摩擦抵抗低減効果が得られた。

【0036】

(水溶性高分子の粒径)

本実施例1の摩擦抵抗低減塗料は、水溶性高分子としてポリエチレンオキシドを含有している。このポリエチレンオキシドはジェットミルで粉砕したポリエチレンオキシド粒子として摩擦抵抗低減塗料に配合した。粉砕により得られるポリエチレンオキシド粒子の粒径と摩擦抵抗低減効果との関係を検討した結果について以下に示す。

図19は、粒径の異なるポリエチレンオキシド粒子が配合された摩擦抵抗低減塗料が塗布された鋼板の塗装面の曝露試験前後の状態を示す図面代用写真である。同図の(a)(b)は、最大粒径が100 μm となるように粉砕されたポリエチレンオキシド粒子が配合されたものの試験前後の塗装面の状態、(c)(d)は、最大粒径が38 μm となるように粉砕されたポリエチレンオキシド粒子が配合されたものの試験前後の塗装面の状態を、それぞれ示している。図面代用写真中に比較対照として示したスケールは、共通のものである。また、曝露試験は、鋼板表面に実施例1の摩擦抵抗低減塗料により厚さ200 μm の塗膜を形成し、20 $^{\circ}\text{C}$ の十分な量の水中に浸漬させた状態で50時間放置することにより行った。

【0037】

最大粒径が100 μm であるポリエチレンオキシド粒子が配合されたものにより形成された塗膜は、図19の(a)に示されるように、試験前の段階でやや表面に凹凸があることが認められる。そして、図19の(b)に示されるように、試験後においては、水溶性高分子が溶出することにより空隙が形成され、表面の粗度が大きくなる。

対して、最大粒径が38 μm であるポリエチレンオキシド粒子が配合されたものにより形成された塗膜は、図19(c)に示されるように、塗膜表面が平滑なものとなる。さらに、図19(d)に示されるように、試験後においても、塗膜表面を平滑なもののみ維持することができる。

以上のとおり、摩擦抵抗低減塗料に配合するポリエチレンオキシド粒子の最大粒子径を38 μm 以下とすることにより塗膜表面を平滑なままに維持することができる。このため、ポリエチレンオキシド粒子の最大粒子系を38 μm 以下とすることにより、経時的に塗膜表面の粗度が増大することに起因する摩擦抵抗の増大を抑制することができる。また、ポリエチレンオキシド粒子としては、その表面が円滑な曲面状のものが望ましい。

【0038】

(高精度摩擦抵抗計測装置を用いた抵抗測定)

実施例1の摩擦抵抗低減塗料により摩擦抵抗低減効果が得られることは、二重円筒式抵抗測定装置を用いた実験により確認されている。しかし、二重円筒式抵抗測定装置は、閉ざされた空間(内部流)中の結果を示すものである。これは、一つの目安にはなるものの、摩擦抵抗低減塗料から溶出した水溶性高分子が何時までも二重円筒内に留まるところか

ら、船舶等に適用した場合の実態を正しく反映しているとは言い難い。

そこで、開かれた空間である海洋（外部流）中における摩擦抵抗低減効果を評価することができる高精度摩擦抵抗計測装置（特開2010-2356号公報参照）を用いて、実施例1の摩擦抵抗低減塗料の外部流中における摩擦抵抗低減効果を測定した。

図20は、本測定において用いた高精度摩擦抵抗計測装置の概略を説明する図面代用写真である。同図に示すように、高精度摩擦抵抗計測装置は、装置下部に前後の板バネを介してブランコ式につり下げられた測定対象の抵抗を計測する装置である。同図には、進行方向の長さが2mの厚さ10mmの平行につり下げられた平板の一方に実施例1の摩擦抵抗低減塗料（ポリエチレンオキシド8%、最大粒子径38μm以下）を塗布し（膜厚200μm）、他方に対照としての市販塗料（中国塗料株式会社製 自己研磨型防汚塗料SGP1000）を塗布し（膜厚200μm）、これら2枚の平板を同時に曳航することにより両者の抵抗差を測定する場合を示している。このように2枚の平板を同時に曳航し両者の抵抗差を評価することにより、試験状態の相違が緩和されることから、精度の高い結果が得られる。

10

本測定は、長さ150mの海上技術安全研究所の第三船舶試験水槽を用いて、曳航速度1.0m/sの条件で行った。

【0039】

図21は高精度摩擦抵抗計測装置を用いて2mの平板について行った試験結果を示すグラフである。同図では、横軸が時間の経過を示し、縦軸が摩擦抵抗低減率を示している。同図より、2mの平板を用いた試験では、初期段階において最大で21%の摩擦抵抗低減効果を発揮することが分かる。なお、初回を除いて、各航走の最初の段階における摩擦抵抗低減率が大きいのは、各航走の間において、波が消えることを待つ間（波待ち）や、進行方向を転換する際、塗膜表面からポリエチレンオキシドが溶出することにより、塗膜表面付近のポリエチレンオキシド濃度が高くなることによる。試験を繰り返すに従って、摩擦抵抗低減効果が漸減するものの、持続的に約2%の摩擦抵抗低減効果が得られている。

20

また、CFD計算によれば、実船スケール（船長100m）での船長長手方向のポリエチレンオキシドの濃度分布を推定すると、2mの平板において得られた2%の摩擦抵抗低減効果は、実船における14%の摩擦抵抗低減効果に相当する。このことから、実施例1の摩擦抵抗低減塗料により船体に塗膜を形成すれば、海洋において十分な摩擦抵抗低減効果が得られることが示唆されている。

30

【0040】

図22は、高精度摩擦抵抗計測装置を用いて抵抗測定を行った長さ8mの模型を底面側から示した図面代用写真である。同図に示した8m模型では、2mの平板のように、同時に2つのものをつり下げるのではなく、同じ模型の外面に実施例1の摩擦抵抗低減塗料を塗布したもの、および対照として用いた上記市販塗料を塗布したもののそれぞれについて別に試験を行い、両者の抵抗の差により摩擦抵抗低減効果を評価した。これ以外の条件については、長さ2mの平板を用いた試験と同様の条件で試験を行った。

【表3】

模型形状	船長 (m)	摩擦抵抗低減率 (%)
平板	2	6.6
船型	8	11.5

表3は、上述した長さ2mの平板模型および8m船型模型について高精度摩擦抵抗計測装置を用いて行った試験により得られた摩擦抵抗低減率を示している。同表においては、試験開始から2.5時間～3.5時間の間に行われた4回～9回の航走を平均して得られた結果の平均値を抵抗低減として示している。

表3によれば、摩擦抵抗低減率が、船長2mでは6.6%であるのに対し船長8mでは11.5%となっており、船長が長くなるに従って摩擦抵抗低減率も大きくなることが示されている。ポリエチレンオキシドの濃度が船尾側に行くにつれて大きくなる結果として

50

、船長が長くなるに従って摩擦抵抗低減効果も大きくなったものと推定することができる。また、この実験結果は、長さ2 mの平板における2 %の摩擦抵抗低減効果が、実船における14 %の摩擦抵抗低減効果に相当するとしたCFD計算の結果を支持している。CFD計算によれば、船長2 mで6.6 %、船長8 mで11.5 %の摩擦抵抗低減効果は、船長100 mでは18.4 %の摩擦抵抗低減効果に相当する。

【0041】

（高分子溶液の凍結乾燥像）

上述したとおり、実施例1の摩擦抵抗低減塗料によれば、外洋等の外部流においても十分な摩擦抵抗低減効果が得られる。そして、このことは、実施例1の摩擦抵抗低減塗料の塗膜から溶出したポリエチレンオキシドにより、塗膜表面近傍に2次構造体が形成されたことによるものである。

10

実施例1の摩擦抵抗低減塗料の塗膜から溶出した水溶性高分子が2次構造体を形成していることについては、水溶性高分子を含む水溶液を液体窒素で瞬間冷凍させて、真空ポンプで、水分等を蒸発させる方法（フリーズドライ法）で凍結乾燥させた状態を、走査型電子顕微鏡（FE-SEM）で観測した状態を、撮影した写真により確認した。

図23は、実施例1の摩擦抵抗低減塗料の塗膜から溶出したポリエチレンオキシドを含む水溶液を凍結乾燥させたものを示す図面代用写真である。同図よれば、ポリエチレンオキシドが2次構造体を形成していること、およびその長さが50 μmよりも長いことが分かる。

【0042】

〔比較例1〕

比較例1として、実施例1のアクリル樹脂の代わりにビニル樹脂（商品名：UCAR Solution Vinyl Resin VAGD、ユニオン・カーバイド日本社製）を、キシレンの代わりにキシレンとメチルイソブチルケトン（シェルジャパン社製）を用いた以外は、実施例1と同様の条件により、比較例1の摩擦抵抗低減塗料を調製した。この比較例1の摩擦抵抗低減塗料は、上述した高精度摩擦抵抗計測装置を用いた抵抗測定の結果、摩擦抵抗低減効果が認められなかった。比較例1の摩擦抵抗低減塗料の組成を表4に示す。

20

【表 4】

原料	比較例 1
ビニル樹脂	20.0
ポリエチレンオキシド	5.0
タルク	13.0
弁柄	5.0
亜鉛華	15.0
キシレン	22.0
メチルイソブチルケトン	20.0
流れ止め剤	2.0
合計	102.0

(上表中の数値はいずれも重量部を示している。)

図 2 4 は、比較例 1 の摩擦抵抗低減塗料の塗膜から溶出した水溶性高分子を含む水溶液を凍結乾燥させたものを示す図面代用写真である。同図よれば、比較例 1 では、水溶性高分子が $50\text{ }\mu\text{m}$ よりも長い 2 次構造体を形成していないことが分かる。

【0043】

(水溶性高分子の含有量と摩擦抵抗)

摩擦抵抗低減塗料中に含まれる水溶性高分子量と摩擦抵抗低減効果との関係を調べるため、上述した実施例 1 の摩擦抵抗低減塗料中のポリエチレンオキシドの含有量を 5 重量%としたものと、8 重量%としたものを作製した。そして、2 m の平板を用いて上述した高精度摩擦抵抗計測装置による抵抗測定を行った。

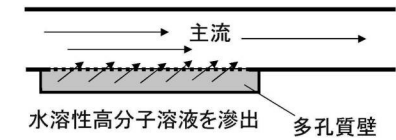
図 2 5 は 5 % のポリエチレンオキシドを含有するものの実験結果を示すグラフであり、図 2 6 は 8 % のポリエチレンオキシドを含有するものの実験結果を示すグラフである。これらの図により、ポリエチレンオキシドを 5 % 以上配合する摩擦低減効果が得られること、およびポリエチレンオキシドを 8 % 配合すればより十分な摩擦低減効果が得られることが分かる。

【産業上の利用可能性】

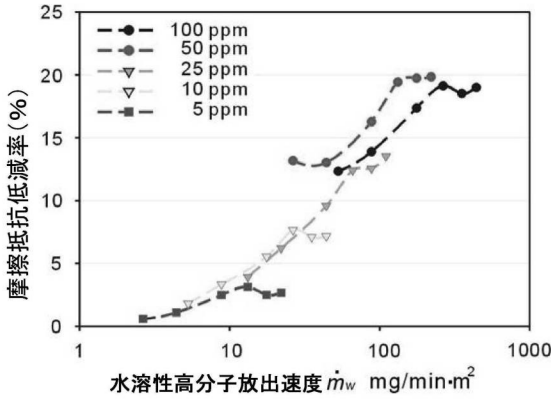
【0044】

本発明は、摩擦抵抗低減による省エネルギー化を実現するため、船舶のような海洋において移動する移動手段や摩擦抵抗を低減することに意義のある水中で使用される構造物に広く利用することができる。

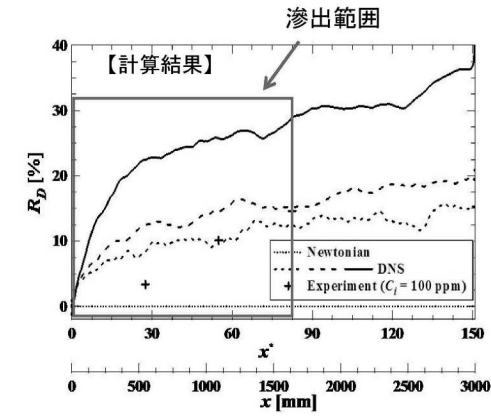
【図 1】



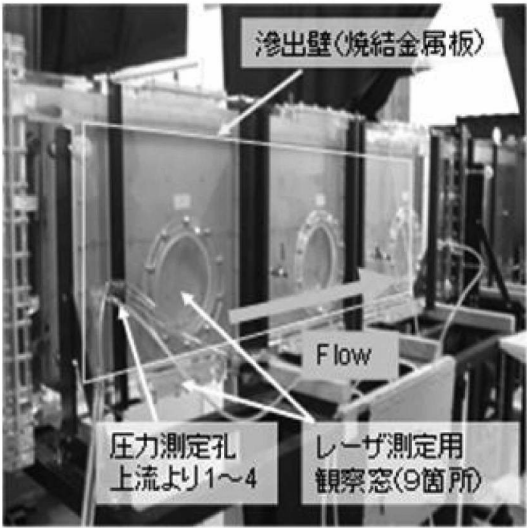
【図 2】



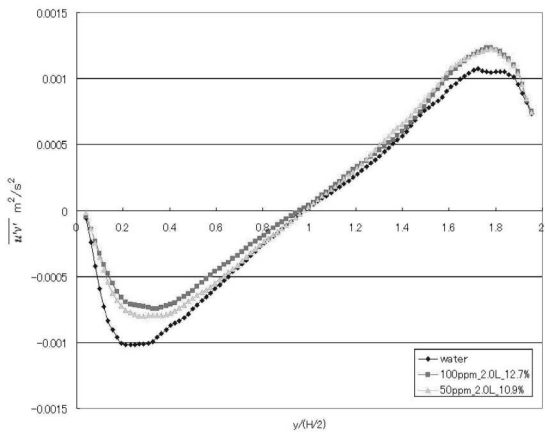
【図 3】



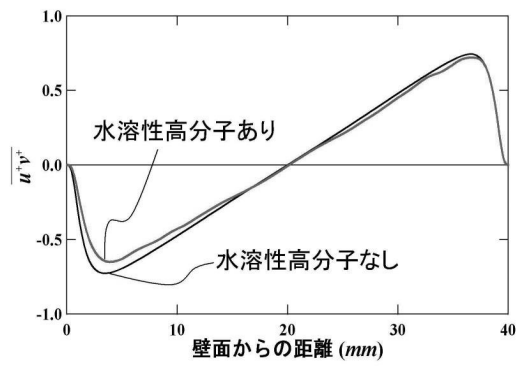
【図 4】



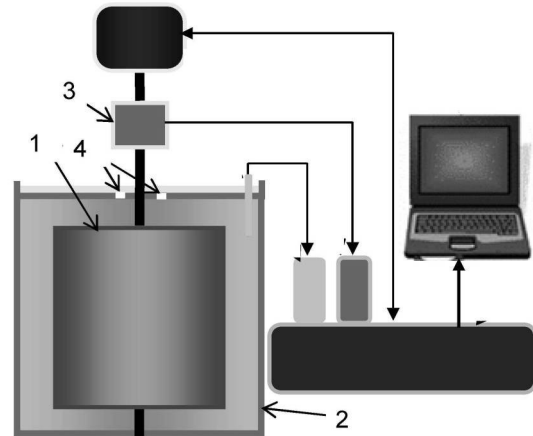
【図 5】



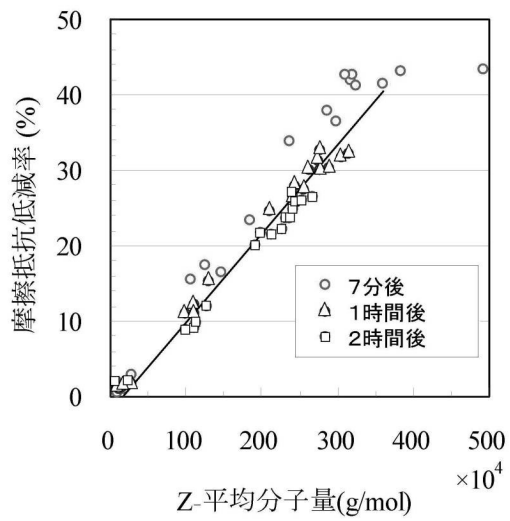
【図 6】



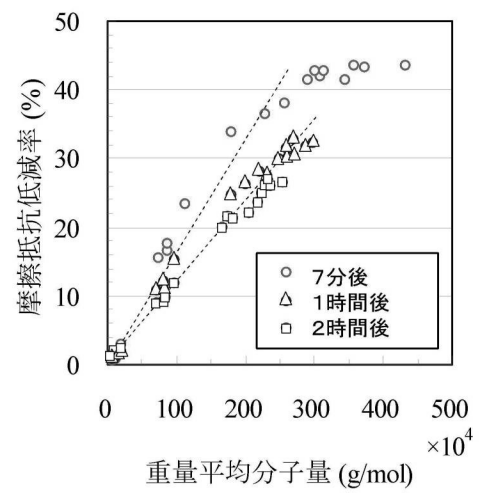
【図 7】



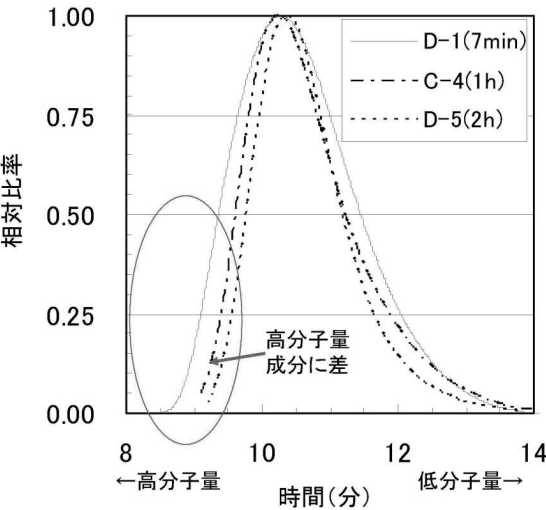
【図 8】



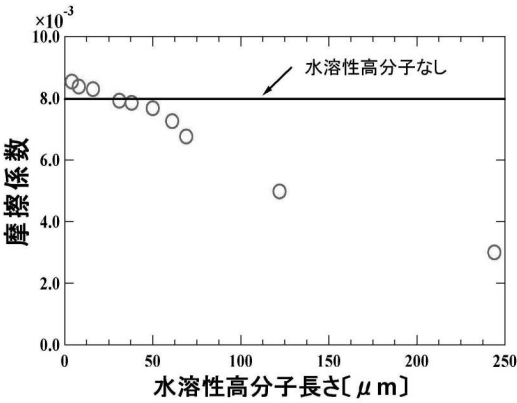
【図 9】



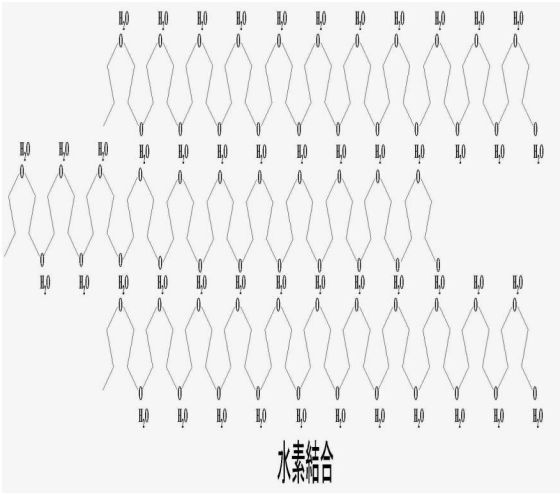
【図 1 0】



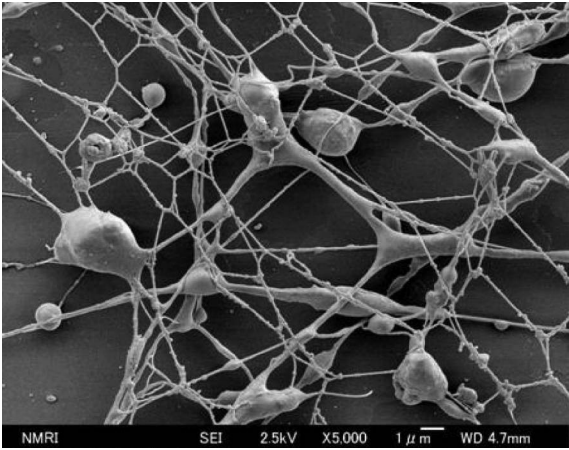
【図 1 1】



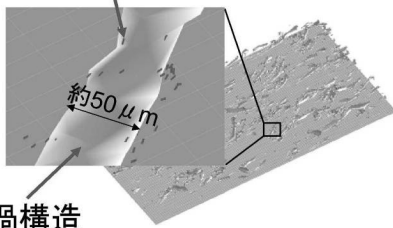
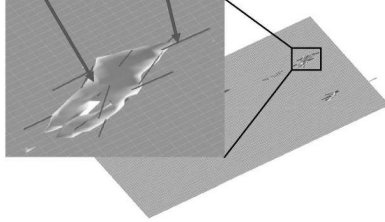
【図 1 2】



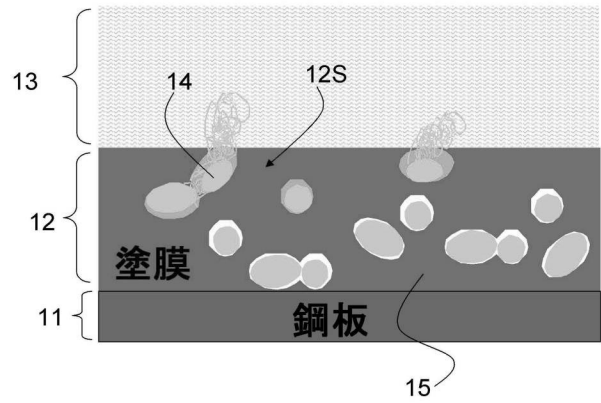
【図 1 3】



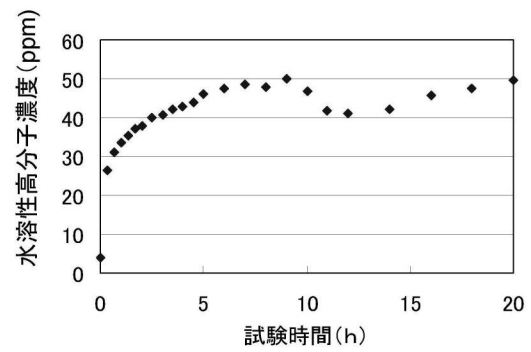
【図 1 4】

短い水溶性高分子(5 μm)長い水溶性高分子(167 μm)

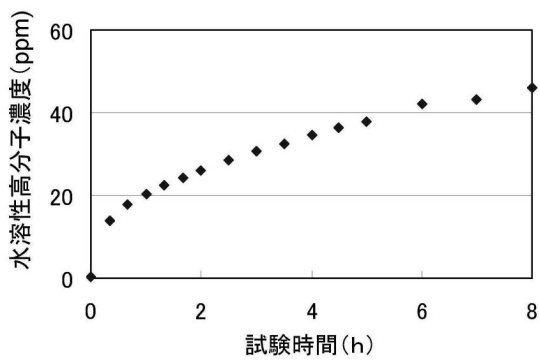
【図 1 5】



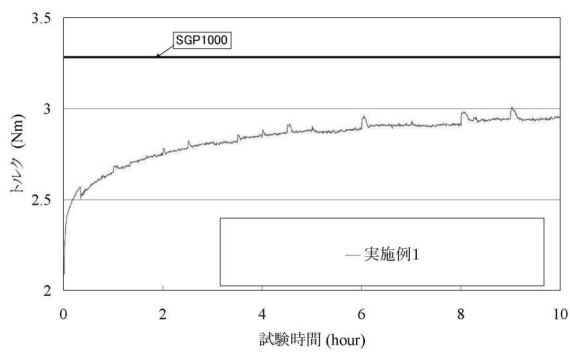
【図 1 6】



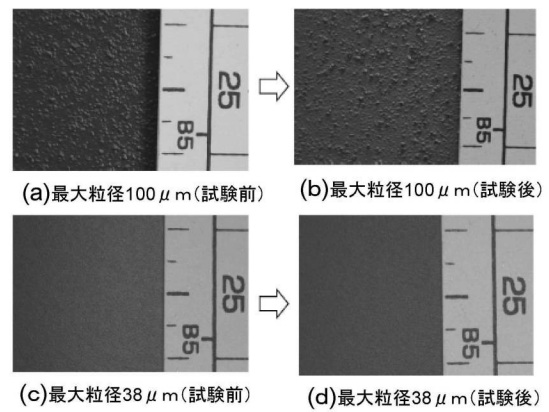
【図 1 7】



【図 1 8】



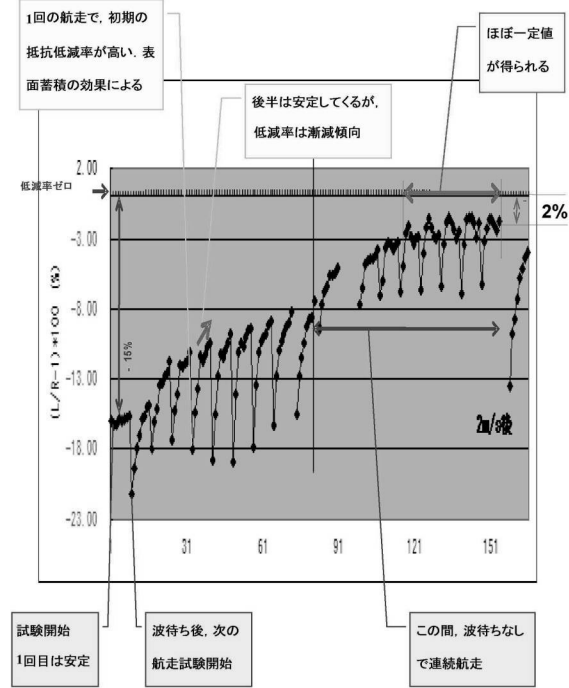
【図 1 9】



【図 2 0】



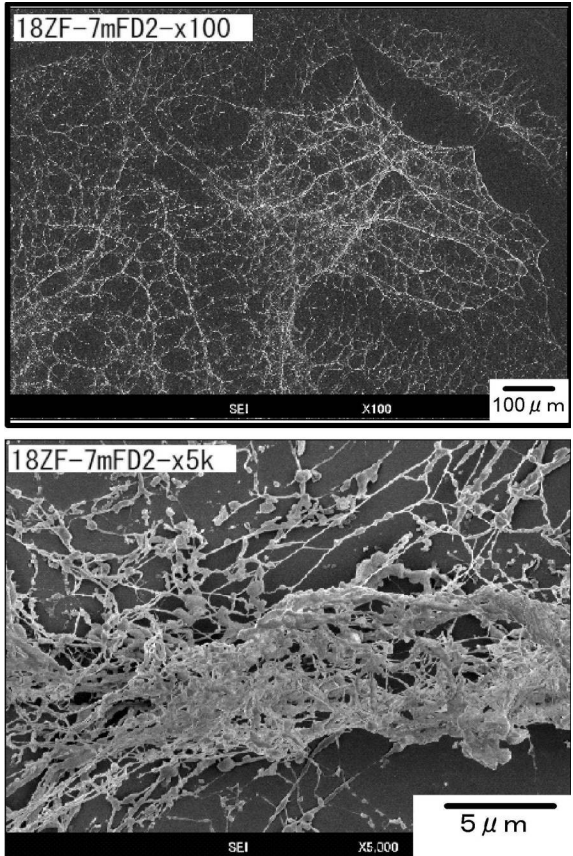
【図 2 1】



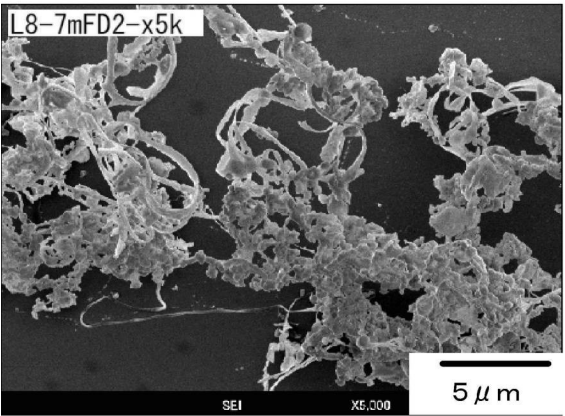
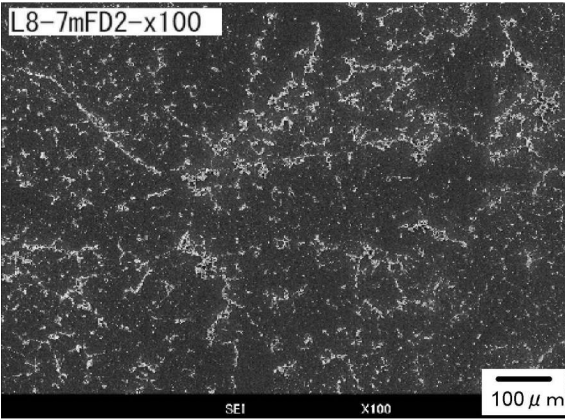
【図 2 2】



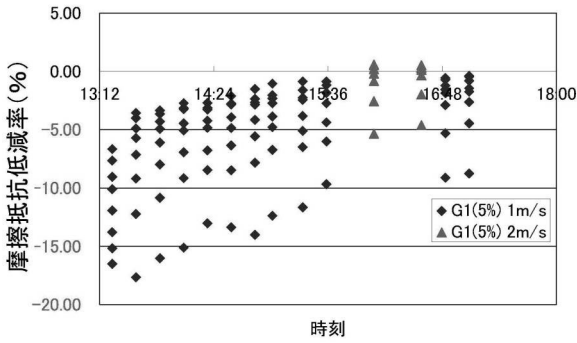
【図 2 3】



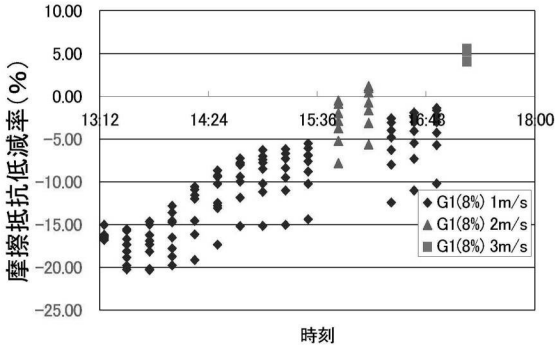
【図 2 4】



【図 2 5】



【図 2 6】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I		テーマコード (参考)	
C 0 9 D 171/02 (2006.01)	C 0 9 D	171/02		
C 0 9 D 7/12 (2006.01)	C 0 9 D	7/12		
C 0 9 D 5/16 (2006.01)	C 0 9 D	5/16		
C 0 9 K 3/00 (2006.01)	C 0 9 K	3/00	Q	
B 6 3 B 1/34 (2006.01)	B 6 3 B	1/34		

- (74)代理人 100087745
弁理士 清水 善廣
- (74)代理人 100106611
弁理士 辻田 幸史
- (72)発明者 安藤 裕友
東京都三鷹市新川六丁目 3 8 番 1 号 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所内
- (72)発明者 千田 哲也
東京都三鷹市新川六丁目 3 8 番 1 号 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所内
- (72)発明者 高橋 千織
東京都三鷹市新川六丁目 3 8 番 1 号 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所内
- (72)発明者 山口 良隆
東京都三鷹市新川六丁目 3 8 番 1 号 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所内
- (72)発明者 川島 英幹
東京都三鷹市新川六丁目 3 8 番 1 号 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所内
- (72)発明者 大縄 将史
東京都三鷹市新川六丁目 3 8 番 1 号 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所内
- (72)発明者 吉川 榮一
広島県大竹市明治新開 1 番 7 中国塗料株式会社内
- (72)発明者 蘆田 利彦
広島県大竹市明治新開 1 番 7 中国塗料株式会社内
- (72)発明者 溝口 朝久
広島県大竹市明治新開 1 番 7 中国塗料株式会社内
- (72)発明者 田代 真一
広島県大竹市明治新開 1 番 7 中国塗料株式会社内
- (72)発明者 川口 靖夫
東京都新宿区神楽坂一丁目 3 番地 学校法人東京理科大学内
- (72)発明者 本澤 政明
東京都新宿区神楽坂一丁目 3 番地 学校法人東京理科大学内
- (72)発明者 岩本 薫
東京都府中市晴見町 3 - 8 - 1 国立大学法人東京農工大学内

F ターム(参考) 4J038 CG141 CH011 DB001 DF012 KA06 KA08 KA20 MA06 MA09 MA14
NA09 PA18 PB07 PC02