

(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2010-264944

(P2010-264944A)

(43) 公開日 平成22年11月25日(2010.11.25)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 6 3 H 1/26 (2006.01)	B 6 3 H 1/26 D	4 F 2 0 4
B 2 9 C 39/10 (2006.01)	B 6 3 H 1/26 E	
B 2 9 C 39/42 (2006.01)	B 2 9 C 39/10	
B 2 9 L 31/08 (2006.01)	B 2 9 C 39/42	
B 2 9 L 31/30 (2006.01)	B 2 9 L 31:08	
審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 11 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2009-119703 (P2009-119703)
 (22) 出願日 平成21年5月18日 (2009.5.18)

(71) 出願人 000110435
 ナカシマプロペラ株式会社
 岡山県岡山市上道北方688-1
 (71) 出願人 504137912
 国立大学法人 東京大学
 東京都文京区本郷七丁目3番1号
 (71) 出願人 501204525
 独立行政法人海上技術安全研究所
 東京都三鷹市新川6丁目38番1号
 (74) 代理人 100088993
 弁理士 板野 嘉男
 (74) 代理人 100107917
 弁理士 笠原 英俊

最終頁に続く

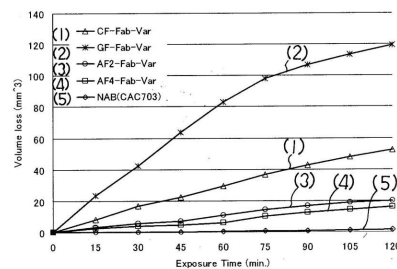
(54) 【発明の名称】 船用プロペラの翼及びその成形方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 キャビテーションエロージョンに耐え得る、安価で資源枯渇性のない強化繊維の複合材料を用いた船用プロペラ翼を提供する。

【解決手段】 船用プロペラの翼において、少なくとも、翼の表面をアラミド繊維のクロス材、あるいはアラミド繊維の一方向材を同じ軸方向又は異なる軸方向に向けて積層した表層材で構成し、前記表層材を芯材となる構造材に被覆する。構造材をカーボン繊維強化樹脂又はガラス繊維強化樹脂としてもよい。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

船用プロペラの翼において、少なくとも、翼の表面をアラミド繊維のクロス材を積層した表層材で構成したことを特徴とする船用プロペラの翼。

【請求項 2】

アラミド繊維のクロス材の積層に代えてアラミド繊維の一方向材を同じ軸方向又は異なる軸方向に向けて積層した請求項 1 の船用プロペラの翼。

【請求項 3】

表層材を芯材となる構造材に被覆した請求項 1 又は 2 の船用プロペラの翼。

【請求項 4】

構造材をカーボン繊維強化樹脂又はガラス繊維強化樹脂とした請求項 3 の船用プロペラの翼。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 いずれかの船用プロペラの翼の成形方法であり、表層材を積層して又は構造材の表裏に表層材を積層して真空バッグに封入し、真空バッグへ熱硬化性樹脂材を吸引して表層材、構造材に含浸させるとともに、樹脂材を熱硬化させて表層材又は構造材を一体化することを特徴とする船用プロペラの翼の成形方法。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 4 いずれかの船用プロペラの翼の成形方法であり、予め熱硬化性樹脂材を含浸させたプリプレグの表層材を積層して又は構造材の表裏にプリプレグの表層材を積層して真空バッグに封入し、樹脂材を熱硬化させて表層材又は表層材と構造材を一体化することを特徴とする船用プロペラの翼の成形方法。

【請求項 7】

熱硬化性樹脂材がエポキシ樹脂である請求項 6 の船用プロペラの翼の成形方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、繊維強化樹脂による複合材料、特に、アラミド繊維で強化された複合材料を用いてキャビテーションエロージョンを抑制する船用プロペラの翼及びその成形方法に関するものである。

【背景技術】**【0002】**

船用プロペラにおいて、一番の問題は翼に発生するキャビテーションに基づくエロージョン（以下、キャビテーションエロージョン）である。キャビテーションエロージョンが進行すると、推進効率の低下にとどまらず、翼が破損することもある。このため、従来から、キャビテーションエロージョンを抑制する研究が種々行われてきた。例えば、翼径に応じてピッチを変更したりする翼の形状の工夫やキャビテーションエロージョンを起こし難い素材の発掘等であった。しかし、翼の形状からキャビテーションエロージョンを抑制するのは既に限界にきているとさえいわれており、素材の分野からの向上が期待されている。

【0003】

最近、種々の新素材が開発されており、中でも、非鉄系の素材である繊維強化樹脂等の複合材料が注目されている。複合材料は、比強度、比剛性が高い上に軽量で安価といった長所を有しており、航空機、宇宙船、戦車等で幅広く使用されている。加えて、銅に代表される金属素材は資源の枯渇が懸念されているが、複合材料ではその心配もない。したがって、この複合材料を船用プロペラにも使用できないものかと検討が重ねられており、比較的キャビテーションが発生し難い潜水艦のプロペラ等に一部実用化されている。しかし、耐エロージョン性についてはアルミ青銅には及ばないことから、商船のプロペラでは実用化が逡巡されている。

【0004】

10

20

30

40

50

複合材料をプロペラに適用した例として以下の先行技術がある。特許文献 1 には翼の前縁と後縁の中間部を積層FRPとした技術が示されているが、ここでの積層FRPは何かについては記されておらず、その効果としても重量軽減や生物付着の防止についてのみであり、エロージョンについては何ら触れられていない。特許文献 2 には飛行機のプロペラの翼面にアラミド繊維の紐を巻き付ける技術が示されているが、アラミド繊維の表面側は順に炭素繊維と外被で覆われており、アラミド繊維自体が表面に露出するものではない。また、飛行機のプロペラではエロージョンはそれほど問題とはならないので、当然のことながら、エロージョンについては言及されていない。

【0005】

特許文献 3 には平軸受において、多孔性焼結金属の表面にライニング層を設け、このライニング層に微細繊維化されたアラミド繊維を含ませる技術が示されており、その効果としてキャピテーション浸食による磨耗が改善されるとある。しかし、ここでのアラミド繊維はテトラフルオロエチレンを主体とする樹脂マトリックスを強化するために粒状耐摩耗性充填材とともに添加される添加材であり、添加量も体積比で 2 ~ 10 % とごくわずかであるし、長さ 0.2 ~ 1.0 mm の短繊維を分散状態で添加しているにすぎない。本発明は、アラミド繊維のクロス材等をシート状にしてこれを船用プロペラの翼の表面に積層、貼着することで耐エロージョン性の向上を図るものであり、その目的、構成において根本的に異なる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献 1】特開昭 58 - 101897 号公報

【特許文献 2】特開平 02 - 085096 号公報

【特許文献 3】特表 2002 - 506176 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明は、翼の素材として上記した複合材料を再度見直したもので、特に、素材としてアラミド繊維を採択することで、複合材料が有する軽量、弾力性、安価といった長所を享受しつつ耐エロージョン性を向上させて十分実用に耐え得るものであることを見出したものである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

以上の課題の下、本発明は、請求項 1 に記載した、船用プロペラの翼において、少なくとも、翼の表面をアラミド繊維のクロス材を積層した表層材で構成したことを特徴とする船用プロペラの翼を提供するとともに、これにおいて、請求項 2 に記載した、アラミド繊維のクロス材の積層に代えてアラミド繊維の一方向材を同じ軸方向又は異なる軸方向に向けて積層した手段、請求項 3 に記載した、表層材を芯材となる構造材に被覆した手段、請求項 4 に記載した、構造材をカーボン繊維強化樹脂又はガラス繊維強化樹脂とした手段を提供したものである。

【0009】

さらに、本発明は、この翼の成形方法として、請求項 5 に記載した、表層材を積層して又は構造材の表裏に表層材を積層して真空バッグに封入し、真空バッグへ熱硬化性樹脂材を吸引して表層材、構造材に含浸させるとともに、樹脂材を熱硬化させて表層材又は構造材を一体化する手段、請求項 6 に記載した、予め熱硬化性樹脂材を含浸させたプリプレグの表層材を積層して又は構造材の表裏にプリプレグの表層材を積層して真空バッグに封入し、樹脂材を熱硬化させて表層材又は表層材と構造材を一体化する手段、そして、請求項 6 の熱硬化性樹脂材として請求項 7 に記載した熱硬化性樹脂材がエポキシ樹脂である手段を提供する。

【発明の効果】

【 0 0 1 0 】

請求項 1 の発明は、翼の表面をアラミド繊維のクロス材からなる表層材で構成したものであり、これによると、耐エロージョン性が従来の複合材料に比べて大きく向上することがわかった。また、当然のことであるが、この翼は金属材に比べて軽くて柔軟であるから、軽量化につながって駆動系の容量を小さくできるし、船尾振動を軽減できて快適性を向上させるといった種々の優れた効果がある。さらに、比強度が高いから、翼圧を薄くできてキャビテーションの発生を抑制するといった効果を有する。この他、アラミド繊維のクロス材は請求項 2 の一方向材によっても代替できるし、請求項 3 及び 4 の手段によると、翼全体の強度を高めることができる。

【 0 0 1 1 】

以上の翼の成形方法として、請求項 5 の V a R T M 法（真空吸引法）と請求項 6 のプリプレグ・オートクレープ法とがあるが、前者によれば、ユーザーサイドで手軽に成形できるし、後者によれば、熱硬化樹脂材として接着力の強いエポキシ樹脂を使用できて一体性の強い表層材・構造材を成形できる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 2 】

【 図 1 】 アラミド繊維のクロス材を製作する場合の説明図である。

【 図 2 】 耐エロージョン試験の試験装置の要部の正面図である。

【 図 3 】 各試験片における時間経過と損耗量の関係を示すグラフである。

【 図 4 】 各試験片の損耗速度を示すグラフである。

【 図 5 】 各試験片の損耗状況を示す表面写真である。

【 図 6 】 カーボン繊維とアラミド繊維の損耗状況を示す表面写真である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 3 】

まず、表層材（及び構造材。以下、単に表層材という）について検討することとした。本発明では、翼の表面を表層材で構成したものであるから、プロペラシャフトに嵌合するボス部分は従来どおりの金属として翼の部分のみに表層材を適用することとした。したがって、実際の適用では、ボスの表面に溝等を形成してこれに翼を嵌合したり、ボスの表面に取付片を突設してこれに翼を固着したりすることになる。

【 0 0 1 4 】

表層材の選定

表層材は強度材でもあるから、強度が高い素材が適し（同時に軽量であるのが好ましい）、この観点の下、本例では、表層材を構成する繊維をカーボン繊維（CFRP）、ガラス繊維（GFRP）及びアラミド繊維（AFRP）の 3 種を選定した。なお、アラミド繊維とは、ナイロン繊維に似たポリアミド系の有機繊維のことであり、ナイロンが脂肪族ポリアミドであるのに対してアラミドが芳香族ポリアミドである点で相違し、ナイロン繊維に比べて高強度、高磨耗性に優れた繊維であることは一般に知られている。

【 0 0 1 5 】

表層材の繊維の織方及び配向

表層材は最終的にはシート状になっている必要があることから、繊維の織方及び配向を種々選択した。織方及び配向には、クロス材と一方向材とがあり、前者は繊維を縦糸と横糸にして織ったものであり（Fabric）、後者は繊維を一方向に揃えて樹脂を含浸させるとともに、繊維がバラバラにならないように糸でステッチングしたものである。通常、一方向材は、繊維の向きを異なる方向に向けて（例えば $\pm 45^\circ$ ）積層している（Multi Axis）。本例では、カーボン繊維、ガラス繊維及びアラミド繊維についてクロス材を選択した。

【 0 0 1 6 】

樹脂材（接着剤）の選定

各シートは接着して積層するのであるが、このとき、接着剤として熱硬化性樹脂材を使用する。熱硬化性樹脂は、フェノール樹脂やアミノ樹脂等種々あるが、ここでは、接着力

10

20

30

40

50

の強い二種のエポキシ樹脂を選定した。なお、エポキシ樹脂とは、エポキシ基を有する化合物の総称であり、通常、硬化剤（フェノールやアミン等の活性水素を有する化合物）と併用することで三次元硬化ポリマーを形成することが知られている。エポキシ樹脂は強力な接着力を有する接着剤の他に電気絶縁材、積層剤、塗料等に幅広く使用されている。表1はエポキシ樹脂の主剤と硬化剤の組合せを樹脂番号で表したものである（左欄のVaRTMは後述する積層の成形方法のこと）。

【0017】

【表1】

呼称名	樹脂種類	主剤	硬化剤	備考
VaRTM1 (エポキシ1)	エポキシ樹脂	DENATITE T-769/R-1900	DENATITE T-769/H-1900	低温度硬化型 硬化条件：80°C/4h
VaRTM2 (エポキシ2)	エポキシ樹脂	DENATITE XNR6809	DENATITE XNH6809	一般的な材料 硬化条件：80°C/16h+120°C/2h

【0018】

成形（積層）方法

強化繊維のシートは所定の厚みになるように積層して一体化するのであるが、この一体化（成形）の方法としては、VaRTM法とプリプレグ・オートクレーブ法（以下、プリプレグ法）とがある。前者は積層したシートを真空バッグに封入して真空引きするとともに、樹脂材を吸入して繊維間及びシート間に含浸させるものであり、後者は予め樹脂材を含浸させたシートを使用して接着には含浸させた樹脂材を使用するものをいう。本例では、低コストで簡易なVaRTM法（真空吸引法）で成形を行った。図1はその方法を示す説明図であるが、強化繊維シートからなる表層材を所定枚数重ねてこれを真空バッグの中に封入し、真空バッグの一方の「吸引口」から真空ポンプで空気を吸引するとともに、この吸引力で他方に接続した熱硬化性樹脂材の充填室の「注入口」から樹脂材を吸引させてシート内及びシート間に含浸させ、これを加圧、加熱して樹脂材を硬化させて表層材を一体化する。なお、熱硬化性樹脂材としてエポキシ樹脂を使用する場合は、主剤と硬化剤を混合しながら吸引する。

20

【0019】

この方法は、負圧を利用した浸透圧方式によるものであるから、樹脂材がシートの内部に万遍なく浸透する利点を有している。ただ、エポキシ樹脂は粘度が高いから、高い負圧力が必要であるし、時間がかかるといった難点はある。ところで、実際の翼では、表層材を予め翼の形状に成形しておくのはいうまでもない。一方、シートを一体化するにはプリプレグ法もあるのは上記したとおりであるが、この場合は、樹脂材として接着力の強いエポキシ樹脂を予め含浸させた繊維強化シートを真空バッグの中に重ねて封入し、これを加圧、加熱してエポキシ樹脂を溶解させてシートを一体化させるものである。プリプレグ法によると、シートそのものに含浸させた樹脂材を接着材として使用するものであるから、粘度は高いが、接着性に優れたエポキシ樹脂を使用できる利点がある。

30

【0020】

以上の選定によって350mm×500mmの大きさの試験片を4種類とアルミ青銅（NAB）の1種類の合計5種類の試験片を作成し、耐エロージョン試験を行った。図2はこの試験装置の要部側面図であるが、水を入れた水槽1の中に設けられた台2の上に載せた試験片3の上に振動子4を設け、振動子4を水中で試験片2に接触させない範囲で振動させる方式で行った。振動子4が試験片3に対して接近と離反を繰り返すことで、両者の間には水圧の変化が生じて気泡の発生と崩壊が起こり、実際のキャビテーションに近い状態となる。そして、一定時間ごとに試験片3の損耗量を計測することで、エロージョンの程度を計った。

40

【0021】

試験の条件は以下のように設定した。

試験片の厚み

1.7～2.3mm

50

クロス材の層数	2 ~ 6 層
振動子と試験片との距離	0 . 5 m m
周波数	1 9 . 5 K H z
両振幅	5 0 μ m
試験時間	1 2 0 分
計測間隔	1 5 分ごと

【 0 0 2 2 】

図 3 は各試験片における損耗量と時間の関係を示すグラフ、図 4 は損耗速度のグラフであるが、このことから、次のことがわかった。

損耗量をもっとも少ないのは、アルミ青銅 (N A B) の試験片 (5) であり、試験時間 1 2 0 分後にもほとんど損耗は見られなかった。次に損耗量が少ないのはアラミド繊維 (A F - F a b - V a r) の 4 層材 (A F 4) 及び 2 層材 (A F 2) の試験片 (4) と (5) であった。一方、損耗量が多いのはカーボン繊維 (C F - F a b - V a r) の試験片 (1) であり、もっとも多かったのはガラス繊維 (G F - F a b - V a r) の試験片 (2) であった。なお、試験片 (3) 、 (4) の損耗量は概略で試験片 (1) の 1 / 3 、試験片 (2) の 1 / 6 であった。これからいえることは、複合材料の中ではアラミド繊維のクロス材がもっとも損耗量が少なく、従来使われているカーボン繊維やガラス繊維のものに比べて 1 / 3 ~ 1 / 6 の損耗量であった。

【 0 0 2 3 】

カーボン繊維、ガラス繊維及びアラミド繊維の物理的特性を比べてみると、アラミド繊維がもっとも柔軟性がある。このことは、キャビテーションに曝される翼の表面は柔軟な方が適していることを意味している。その理由は、キャビテーション崩壊時の衝撃エネルギーを吸収できるからと推察される。

【 0 0 2 4 】

以上の結果を裏付けるために、各試験片のエロージョンの進行状況を S E M 写真で観察してみた。図 5 は 3 0 分単位の経過後の各試験片の S E M 写真であるが、これからわかることは、いずれも樹脂材の剥離、繊維の切断が確認できる。カーボン繊維やガラス繊維は繊維がブツブツ切れてササクレ状態となっており、凹凸が激しい。しかし、アラミド繊維については、繊維が縮れた状態となっており樹脂材を抱えているように観察できる。なお、小さな孔ができていますが、深くは浸食されていない。一方、アルミ青銅でもその表面に若干の変化が見られる。

【 0 0 2 5 】

さらに、参考までに、アラミド繊維とカーボン繊維によるものについてエロージョンの進行状況を観察した。図 6 は 1 2 0 分経過後の S E M 写真であり、これにおいて、(イ) はカーボン繊維で、a) はマクロ的、b) はミクロ的なもの、(ロ) はアラミド繊維で、a) はマクロ的、b) はミクロ的なものである。これをみると、アラミド繊維は長さ方向に形状が残っており、切れた繊維は縮れた状態になっているのが観察できる。これは、アラミド繊維は伸縮性があり、キャビテーション崩壊時の衝撃エネルギーを吸収できることを意味している。なお、アラミド繊維の方がカーボン繊維に比べて樹脂との接着性が良いことが写真からも観察できる。

【 0 0 2 6 】

以上、5 種類の試験片による試験結果を総括すると次のようになる。

アルミ青銅の試験片 (5) を除いて損耗量が少ないのはアラミド繊維の試験片 (3) 、 (4) であり、これは他のカーボン繊維やガラス繊維等からなる複合材料の試験片 (1) 、 (2) に比べて概略 1 / 3 ~ 1 / 6 になっている。このことから、アラミド繊維は実際の翼に適用できることを示唆している。一方で、現在、もっとも耐エロージョン性が高いとされているアルミ青銅では、1 2 0 分経過もほとんど損耗は見られないが、これが 7 時間を経過すると、損耗が発生しているのが肉眼でも観察できた。上記した試験装置による試験時間は、中大形の船用プロペラで実際の稼働時間を約 2 千倍に縮めたものであるが、アルミ青銅の翼でも長時間稼働させると、キャビテーションエロージョンが発生して翼

10

20

30

40

50

面に傷が付くことは周知の事実である。

【 0 0 2 7 】

エロージョンが進行して翼が欠損する事態になると、プロペラを交換していた。換言すれば、アルミ青銅によるプロペラであっても、プロペラ交換は避けられないのである。問題は、その交換時期であり、アラミド繊維の翼では、その時期が早められるものの、実際の翼に十分に適用できることを窺わせているといえる。一方、これを除く従来使用されているカーボン繊維やガラス繊維の翼では、その交換時期が著しく早められて商船等の実際の翼に適用できなかったのである。なお、翼を複合材料で構成すれば、その軽量化によって数多くのメリットが享受できるのは上記したとおりである。

【 0 0 2 8 】

ところで、アラミド繊維のシートはクロス材だけでなく、一方向材と呼ばれるシートもあるのは上記したとおりである。本発明では、クロス材に代えて一方向材であってもよいことを確認している。並行したテストで試したが、120分経過後の損耗量は最大で5%程度劣る程度であったから、十分に使用に耐える。

【 0 0 2 9 】

プロペラの翼は強度材でもあるから、複合材料によって翼を製作するには、翼全体をアラミド繊維強化樹脂で構成してもよいが、芯の部分はより強度の高いカーボン繊維強化樹脂やガラス繊維強化樹脂を用い、キャビテーションに曝される表層材のみをアラミド繊維によってもよい。この場合でも、樹脂材を多く含むマトリックスが好ましい。なお、強度の点では金属が優れるから、芯を金属としてもよい。この場合、エポキシ樹脂は金属との接着相性も良いから、十分に実用できる。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 3 0 】

本発明は船用プロペラの翼に限るものではなく、エロージョンを引き起こす水に接する部位を有するあらゆる装置、部材に適用できる。具体的には、舵、ポンプ、パイプといったものが考えられる。

【 符号の説明 】

【 0 0 3 1 】

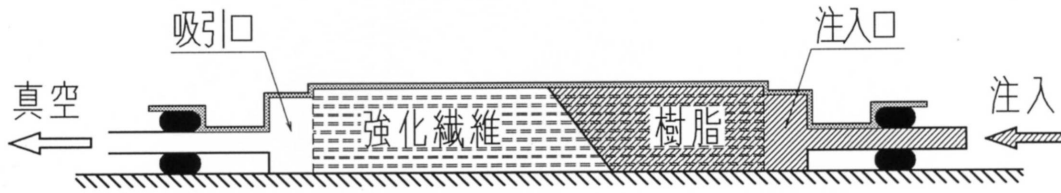
- 1 水槽
- 2 台
- 3 試験片
- 4 振動子

10

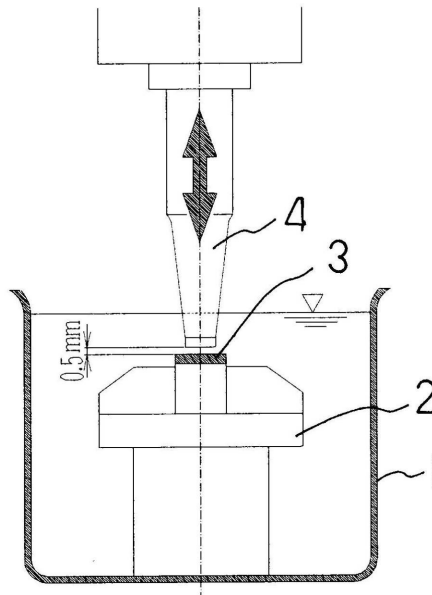
20

30

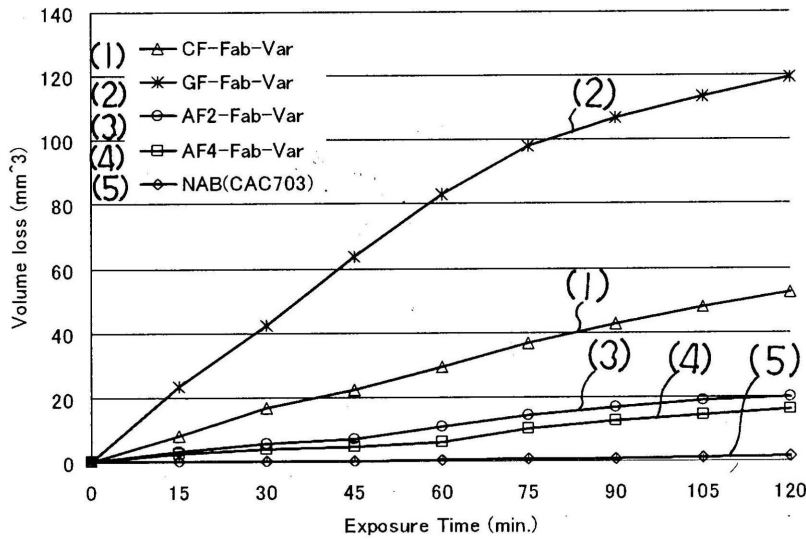
【 図 1 】



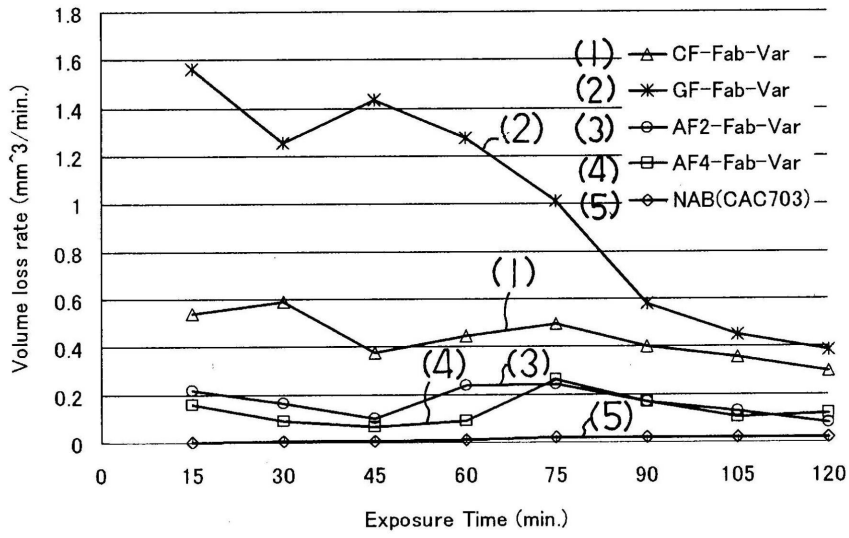
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】

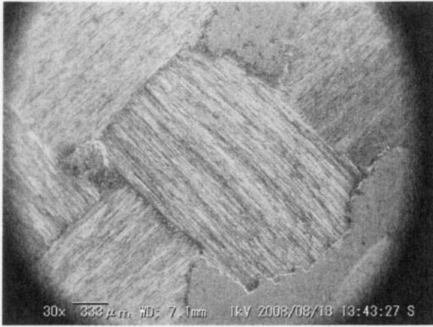


【 図 5 】

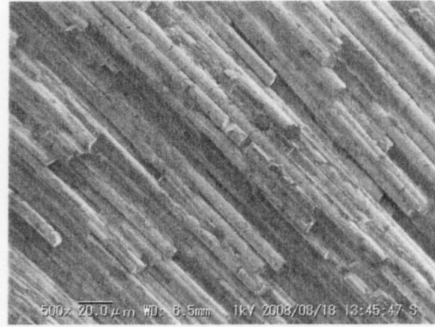
Material	Exposure Time (min.)				
	0	30	60	90	120
CF-Fab-VaR					
GF-Fab-VaR					
AF2-Fab-VaR					
AF4-Fab-VaR					
NAB (CAC703)					

【図6】

(イ)



a)マクロ的

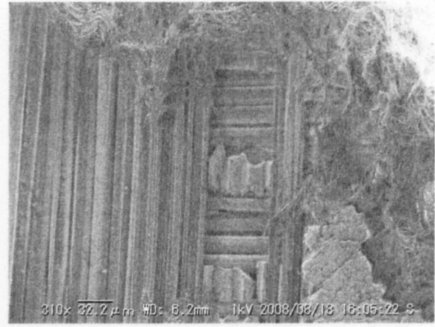


b)ミクロ的

(ロ)



a)マクロ的



b)ミクロ的

フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

テーマコード(参考)

B 2 9 L 31:30

(72)発明者 鶴沢 潔

東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大学法人東京大学内

(72)発明者 村山 英晶

東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大学法人東京大学内

(72)発明者 山磨 敏夫

岡山県岡山市東区上道北方688-1 ナカシマプロペラ株式会社内

(72)発明者 植松 進

東京都三鷹市新川6-38-1 独立行政法人海上技術安全研究所内

(72)発明者 菅澤 忍

東京都三鷹市新川6-38-1 独立行政法人海上技術安全研究所内

Fターム(参考) 4F204 AA36 AA39 AD16 AH28 AM28 EA03 EB01 EB11 EF27 EK09
EK19