

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2016年9月29日(29.09.2016)



(10) 国際公開番号  
WO 2016/151793 A1

- (51) 国際特許分類:  
F02B 39/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/059092
- (22) 国際出願日: 2015年3月25日(25.03.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 新井 貴 (ARAI, Takashi); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 渡辺 大剛 (WATANABE, Daigo); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 室野 亘 (MURONO, Wataru); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 山口 秀樹 (YAMAGUCHI, Hideki); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 鳥越 泰治 (TORIGOE, Taiji); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 井上 亜希 (INOUE, Aki); 〒1088215 東京都港

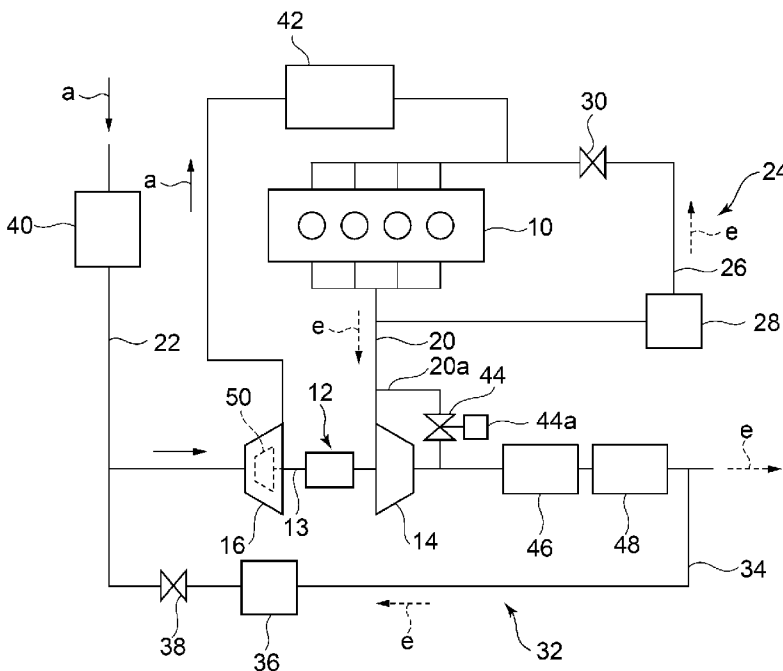
区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 紺野 勇哉 (KONNO, Yuya); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 誠真 I P 特許業務法人 (SEISHIN IP PATENT FIRM, P.C.); 〒1080073 東京都港区三田三丁目13番16号 三田43MTビル13階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,

[続葉有]

(54) Title: IMPELLER FOR ROTARY MACHINE, COMPRESSOR, SUPERCHARGER, AND METHOD FOR MANUFACTURING IMPELLER FOR ROTARY MACHINE

(54) 発明の名称: 回転機械の羽根車、コンプレッサ、過給機及び回転機械の羽根車の製造方法



(57) Abstract: This impeller for rotary machines is provided with: a base material for the impeller, which is formed from Al or an Al alloy; and an electroless plating coating that is applied to cover the base material and forms a surface layer of the impeller. The electroless plating coating has an amorphous structure, and is an Ni-P-based alloy in which a P content in the electroless plating coating is 5-11 wt% inclusive.

(57) 要約: 回転機械の羽根車は、Al又はAl合金によって構成される前記羽根車の基材と、前記基材を覆うように設けられて前記羽根車の表面層を形成する無電解めっき皮膜と、を備える。前記無電解めっき皮膜は、アモルファス構造を有し、且つ、前記無電解めっき皮膜中におけるP含有率が5重量%以上11重量%以下であるNi-P系合金である。

WO 2016/151793 A1

ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, 添付公開書類:  
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, — 國際調查報告 (條約第 21 條(3))  
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,  
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

## 明 細 書

発明の名称：

回転機械の羽根車、コンプレッサ、過給機及び回転機械の羽根車の製造方法

### 技術分野

[0001] 本開示は、回転機械の羽根車、該羽根車を備えたコンプレッサ、過給機及び該羽根車の製造方法に関する。

### 背景技術

[0002] 自動車用内燃機関、特にディーゼルエンジンなどでは、排気再循環（EGR）システムが多く採用されている。EGRシステムを採用した内燃機関に設けられた過給機のコンプレッサには、排気ガスの一部が導入されるため、コンプレッサ羽根車に排気ガス中に含まれる液滴などによるエロージョン（浸食）が発生しやすい。そのため、耐エロージョン対策として、Al合金などで製造されたコンプレッサ羽根車にNi-P系めっきを施工している。

また、過給機のコンプレッサ羽根車には、高速回転で発生する遠心力による応力と、Ni-P系めっき皮膜とAl合金との熱伸び差とによる応力とが発生する。そのため、めっき皮膜には耐エロージョン性だけでなく、耐き裂性（疲労強度）及び耐剥離性（界面強度）が要求される。

一旦、めっき皮膜にき裂が発生すると、その後、該き裂は母材に進展し、母材の破損につながる。

[0003] 特許文献1には、EGRシステムを採用した船用ディーゼル機関に設けられた過給機のコンプレッサ羽根車に、耐エロージョン性及び耐コロージョン（腐食）性を向上させるため、Ni-P系合金めっきを施工することが開示されている。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0004] 特許文献1：特開2014-163345号公報

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0005] めっき皮膜の耐エロージョン性を向上させるために、めっき膜厚を増加することが考えられるが、めっき皮膜を増加しすぎると、めっき膜が母材界面から剥離しやすくなり、かつめっき膜表面の疲労き裂発生リスクが増大する。一方、めっき膜厚を減らすと、疲労き裂発生リスクは減るが、耐エロージョン性が低下するおそれがある。

このように、耐エロージョン性と耐き裂性とは両立しにくい関係にあり、これらの性質を両立させることは容易ではない。

[0006] かかる従来技術の課題に鑑み、本発明の少なくとも一実施形態は、回転機械の羽根車において、めっき皮膜の形成によって、耐エロージョン性と耐き裂性（疲労強度）とを両立させるめっき皮膜の形成を可能にすることを目的とする。

### 課題を解決するための手段

[0007] (1) 本発明の少なくとも一実施形態に係る回転機械の羽根車は、  
回転機械の羽根車であって、  
A1又はA1合金によって構成される前記羽根車の基材と、  
前記基材を覆うように設けられて前記羽根車の表面層を形成する無電解めっき皮膜と、を備え、  
前記無電解めっき皮膜は、アモルファス構造を有し、且つ、前記無電解めっき皮膜中におけるP含有率が5重量%以上11重量%以下であるNi-P系合金である。

[0008] 前記構成(1)によれば、前記無電解めっき皮膜は、アモルファス構造を有するため、高強度となり、耐エロージョン性を向上できる。また、前記無電解めっき皮膜のP含有率が5重量%以上11重量%以下としたことで、高いビッカース硬さを有しつつ、良好な耐き裂性（疲労強度）を実現でき、これにより、羽根車のき裂の発生を抑制できる。

また、前記無電解めっき皮膜は、膜厚など均一な皮膜形成が可能となるた

め、広範囲にわたってめっき皮膜の前記特性を均一に発揮できる。

[0009] (2) 幾つかの実施形態では、前記構成(1)において、

前記無電解めっき皮膜は、15  $\mu\text{m}$ 以上60  $\mu\text{m}$ 以下の膜厚を有する。

前記無電解めっき皮膜の膜厚が15  $\mu\text{m}$ 未満では、耐エロージョン性及び耐き裂性を十分に発揮することが難しい。他方、60  $\mu\text{m}$ を超える膜厚としても耐エロージョン性や耐き裂性の向上効果は限定的であるし、逆に、めっき処理に要する時間が長くなり、高コストとなる。

前記構成(9)によれば、前記無電解めっき皮膜の膜厚を15  $\mu\text{m}$ 以上とすることで、耐エロージョン性及び耐き裂性を発揮でき、かつ60  $\mu\text{m}$ 以下とすることで、めっき処理を低コスト化できる。

[0010] (3) 幾つかの実施形態では、前記構成(1)又は(2)において、

前記無電解めっき皮膜は、500HV以上700HV以下のビッカース硬さを有する。

前記構成(3)によれば、前記無電解めっき皮膜は、500HV以上のビッカース硬さを有するため、耐エロージョン性を発揮でき、他方、700HV以下のビッカース硬さであるため、優れた耐き裂性を実現できる。

[0011] (4) 幾つかの実施形態では、前記構成(1)～(3)の何れかにおいて

、  
前記無電解めっき皮膜の破断延性(繰返しではなく1回)が歪み0.5%以上である。

前記構成(4)によれば、歪み0.5%以上の破断特性を有すれば、耐疲労破断性の高いめっき皮膜を形成でき、低サイクル疲労試験で許容繰返し数を満足することができる。これにより、羽根車のき裂の発生を抑制でき、羽根車を長寿命化できる。

[0012] (5) 幾つかの実施形態では、前記構成(1)～(4)の何れかにおいて

、  
前記羽根車は、過給機のコンプレッサ羽根車である。

前記構成(5)によれば、前記構成の羽根車を高速回転する過給機のコン

プレッサ羽根車として用いることで、該コンプレッサ羽根車の耐エロージョン性及び耐き裂性（疲労強度）を向上できる。これによって、長寿命のコンプレッサ羽根車を実現できる。

[0013] (6) 本発明の少なくとも一実施形態に係るコンプレッサは、前記構成（１）～（５）の何れかの羽根車によって形成されるコンプレッサ羽根車を有する。

前記構成（６）によれば、高い耐エロージョン性及び耐き裂性（疲労強度）を有するコンプレッサ羽根車を備えることで、コンプレッサの長寿命化が可能になる。

[0014] (7) 本発明の少なくとも一実施形態に係る過給機は、前記構成（６）のコンプレッサと、前記コンプレッサを駆動するためのタービンと、を備えている。

前記構成（７）によれば、高い耐エロージョン性及び耐き裂性（疲労強度）を有するコンプレッサ羽根車を有するコンプレッサを備えることで、高速回転に長期間耐え得る長寿命の過給機を実現できる。

[0015] (8) 幾つかの実施形態では、前記構成（７）において、前記コンプレッサは、内燃機関の吸気路に設けられ、前記タービンは、前記内燃機関からの排気によって駆動されるように構成され、

前記コンプレッサの上流側において、前記排気の一部が前記吸気路に循環されるように構成される。

前記構成（８）のように、例えば、EGRシステムを採用した内燃機関に設けられる過給機では、過給機のコンプレッサに液滴を含みエロージョン性が高い排気を含む吸気が導入される。

これに対し、前記構成（８）によれば、前記構成（７）を有する過給機は、前記構成（６）を有し、耐エロージョン性及び耐き裂性（疲労強度）が向上したコンプレッサを備えているので、高速回転に長期間耐え得る長寿命な

過給機を実現できる。

[0016] (9) 本発明の少なくとも一実施形態に係る回転機械の羽根車の製造方法は、

回転機械の羽根車の製造方法であって、

A1又はA1合金によって構成される前記羽根車の基材を覆うように、前記羽根車の表面層として無電解めっき皮膜を形成するステップを備え、

前記無電解めっき皮膜は、アモルファス構造を有し、且つ、前記無電解めっき皮膜中におけるP含有率が5重量%以上11重量%以下であるNi-P系合金である。

[0017] 前記(9)の方法により製造された羽根車は、表面に前記無電解めっき皮膜が形成される。該無電解めっき皮膜は、アモルファス構造を有するため、高強度となり、良好な耐エロージョン性を有する。また、前記無電解めっき皮膜のP含有率が5重量%以上11重量%以下であるため、高いビッカース硬さを有しつつ、良好な耐き裂性(疲労強度)を実現できる。

また、前記無電解めっき皮膜は、膜厚など均一な皮膜形成が可能となるため、広範囲にわたってめっき皮膜の前記特性を均一に発揮できる。

[0018] (10) 幾つかの実施形態では、前記(9)の方法において、

前記無電解めっき皮膜が形成された前記羽根車から試験片を切り出し、該試験片を用いて前記無電解めっき皮膜の破断延性を評価するステップをさらに備える。

めっき処理条件、例えば、めっき処理時におけるめっき処理液に対する被めっき処理物の総面積や、めっき処理液の流れと被めっき処理物との相対速度等によって、めっき皮膜の硬さや延性が変化する。

前記(10)の方法によれば、無電解めっき皮膜が形成された羽根車から切り出した試験片を使って評価するので、実物の羽根車における無電解めっき皮膜の破断延性を正確に評価できる。

[0019] (11) 幾つかの実施形態では、前記(10)の方法において、

前記試験片は前記羽根車のハブのブレード根元部を前記ハブの背面側に投

影した領域を前記ハブの背面から採取する。

羽根車には、回転によって発生する遠心力などに起因した応力が発生するが、図14にも示すように、羽根車のブレード根元部は最も大きな応力が発生する場所である。

前記構成(11)によれば、試験片を前記ハブのブレード根元部を前記ハブの背面側に投影した領域をハブの背面側から採取することで、最も厳しい応力条件下での破断延性を把握できる。

[0020] (12) 幾つかの実施形態では、前記(10)又は(11)の方法において、

前記破断延性が閾値を下回る場合、前記無電解めっき皮膜のめっき条件を変更するステップをさらに備える。

前記(12)の方法によれば、前記破断延性の結果に基づき、前記めっき皮膜のめっき条件を変更することで、前記無電解めっき皮膜の破断延性を閾値以上とすることができる。

### 発明の効果

[0021] 本発明の少なくとも一実施形態によれば、羽根車の耐エロージョン性と耐き裂性(疲労強度)とを同時に向上でき、これによって、羽根車及び該羽根車が設けられる機器類の長寿命化が可能になる。

### 図面の簡単な説明

[0022] [図1]一実施形態に係る過給機を備えたディーゼルエンジンの系統図である。

[図2]一実施形態に係るコンプレッサ羽根車の模式的断面図である。

[図3]無電解めっき皮膜のP含有率と耐エロージョン性との関係を示す線図である。

[図4]無電解めっき皮膜のP含有率とLCF破断寿命との関係を示す線図である。

[図5]LCF試験の繰り返し荷重の一例を示す線図である。

[図6]無電解めっき皮膜の結晶構造と耐エロージョン性との関係を示す線図である。

[図7]無電解めっき皮膜の結晶構造とLCF破断寿命との関係を示す線図である。

[図8]無電解めっき皮膜の膜厚と耐エロージョン性との関係を示す線図である。

[図9]無電解めっき皮膜の腐食試験結果を示す線図である。

[図10]無電解めっき皮膜の破断延性を示す線図である。

[図11]試験片に対する破断延性の試験方法を示す説明図である。

[図12]一実施形態に係るコンプレッサ羽根車の製造方法を示す工程図である。

[図13]コンプレッサ羽根車からの試験片の切り出し部を示し、(A)はコンプレッサ羽根車の側面視断面図であり、(B)は同じく正面図である。

[図14]コンプレッサ羽根車に発生する歪み分布を示す斜視図である。

### 発明を実施するための形態

[0023] 以下、添付図面を参照して本発明の幾つかの実施形態について説明する。ただし、実施形態として記載され又は図面に示されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対的配置等は、本発明の範囲をこれに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。

例えば、「ある方向に」、「ある方向に沿って」、「平行」、「直交」、「中心」、「同心」或いは「同軸」等の相対的或いは絶対的な配置を表す表現は、厳密にそのような配置を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の角度や距離をもって相対的に変位している状態も表すものとする。

例えば、「同一」、「等しい」及び「均質」等の物事が等しい状態であることを表す表現は、厳密に等しい状態を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の差が存在している状態も表すものとする。

例えば、四角形状や円筒形状等の形状を表す表現は、幾何学的に厳密な意味での四角形状や円筒形状等の形状を表すのみならず、同じ効果が得られる範囲で、凹凸部や面取り部等を含む形状も表すものとする。

一方、一つの構成要素を「備える」、「具える」、「具備する」、「含む」、又は「有する」という表現は、他の構成要素の存在を除外する排他的な表現ではない。

[0024] 図14は、車両用内燃機関に設けられた過給機のコンプレッサ羽根車であって、従来のN<sub>i</sub>-P系めっき皮膜が施されたコンプレッサ羽根車100に生じるひずみ分布をハブ102の背面102aに投影した解析結果を示したものである。図14から、ハブ102のうち、ブレード104の根元部を投影した領域102bに最も大きな歪み、即ち、応力が発生することがわかる。この応力は、主として、過給機の高速回転で発生する遠心力によって発生するものであり、これにN<sub>i</sub>-P系めっき皮膜とAl合金などで構成された母材との熱伸び差によって発生するものが加わっている。

[0025] 本発明の少なくとも一実施形態に係る過給機12は、図1に示すように、車両用内燃機関、例えば、EGRシステムを採用したディーゼルエンジン10に設けられる。

過給機12は、ディーゼルエンジン10の排気路20に設けられ、排気eによって回転する排気タービン14と、排気タービン14と回転軸13を介して連動するコンプレッサ16とを備えている。コンプレッサ16は吸気路22に設けられ、吸気aをディーゼルエンジン10に供給する。排気の一部はコンプレッサ16の上流側の吸気路22に循環される。

[0026] 例示的な実施形態として、図1に示すように、高圧EGRシステム24は、排気タービン14の上流で排気路20から分岐し、コンプレッサ16の上流側の吸気路22に接続された高圧EGR路26を有する。

高圧EGRシステム24において、ディーゼルエンジン10から排出された排気eの一部は、高圧EGR路26を介してディーゼルエンジン10の入口側で吸気路22に戻される。

例示的な構成では、高圧EGR路26にEGRクーラ28及びEGRバルブ30が設けられる。

[0027] 例示的な実施形態として、低圧EGRシステム32は、排気タービン14

の下流側で排気路 20 から分岐し、コンプレッサ 16 の上流側の吸気路 22 に接続された低圧 EGR 路 34 を有する。

低圧 EGR システム 32 において、ディーゼルエンジン 10 から排出された排気 e の一部は、低圧 EGR 路 34 を介してコンプレッサ 16 の入口側の吸気路 22 に戻される。

例示的な構成では、低圧 EGR 路 34 に EGR クーラ 36 及び EGR バルブ 38 が設けられる。

[0028] 例示的な実施形態として、コンプレッサ 16 の上流で吸気路 22 にエアクリーナ 40 が設けられ、コンプレッサ 16 の下流側で吸気路 22 にインタクーラ 42 が設けられる。

また、排気タービン 14 を跨ぐように、排気路 20 に排気バイパス路 20a が接続されている。排気バイパス路 20a にウェイストバルブ 44 が設けられ、ウェイストバルブ 44 の開度を調整するアクチュエータ 44a が設けられる。

さらに、排気タービン 14 の下流側の排気路 20 に、排気中の粒子状物質を捕捉する DPF フィルタ 48 と、排気中の NO<sub>x</sub> を NO<sub>2</sub> に酸化し、NO<sub>2</sub> の酸化作用で DPF フィルタ 48 に捕捉された粒子状物質を燃焼させる酸化触媒 46 が設けられる。

[0029] 本発明の少なくとも一実施形態に係るコンプレッサは、例えば、図 1 に示す過給機 12 に設けられるコンプレッサ 16 である。コンプレッサ 16 は、コンプレッサハウジング（不図示）の内部で回転軸 13 の一端に設けられたコンプレッサ羽根車 50 を備えている。コンプレッサ羽根車 50 は、例えば、図 13 に示すような構成を有する。

コンプレッサ羽根車 50 は、図 2 に模式的に示すように、A1 又は A1 合金で構成される基材 52 の表面に、無電解めっき皮膜 54 が形成されている。無電解めっき皮膜 54 は、アモルファス構造を有し、かつ皮膜中における P 含有率が 5 重量%以上 11 重量%以下の Ni-P 系合金で構成されている。

[0030] 無電解めっき皮膜54は、アモルファス構造を有するため、高強度となり、高い耐エロージョン性を発揮できると共に、P含有率が5重量%以上11重量%以下であるため、高いビッカース硬さを有しつつ、良好な耐き裂性（疲労強度）を実現できる、これにより、耐エロージョン性及び耐き裂性の両立が可能になる。

また、無電解めっき皮膜54は無電解めっき皮膜であるため、膜厚など均一な皮膜形成が可能となり、広範囲においてめっき皮膜の前記2つの特性を均一に発揮できる。

図2に示すように、吸気aには液滴Lなどの異物が混入している場合がある。例えば、図1に示す低圧EGRシステム32を採用する場合、水滴Lを含む排気eが低圧EGR路34を介して循環されて吸気aとともにコンプレッサに供給される。このように、吸気a中に異物（例えば、液滴L）が混ざっている場合においても、無電解めっき皮膜54は良好な耐エロージョン性及び耐き裂性を有するため、排気eに対して浸食されにくく、且つき裂の発生を抑制できる。

[0031] 図3は、無電解めっき皮膜54のP含有率と耐エロージョン性との関係を示す試験結果であり、図4は、無電解めっき皮膜54のP含有率と低サイクル疲労（LCF）試験の破断寿命との関係を示す試験結果である。低サイクル疲労（LCF）とは、塑性変形を与えるような大きな繰り返し荷重を部材に加えたときに該部材に発生する疲労破壊を言う。

図5は、LCF試験においてコンプレッサ羽根車に加えられる繰り返し荷重の一例を示し、横軸は時間を、縦軸は該コンプレッサ羽根車を備えた過給機の回転数を示している。該過給機の回転数の増減により無電解めっき皮膜54に加えられる繰り返し荷重が増減する。

[0032] 図3及び図4に示すように、P含有率が11重量%を超えると耐エロージョン性が急激に低下し、LCF破断寿命は、P含有率が5重量%未満であるか、又は11重量%を超えると低下する。

以上の結果を踏まえて、無電解めっき皮膜54では、耐エロージョン性及

びLCF破断寿命を両立させる観点から、P含有率は5重量%以上11重量%以下としている。

[0033] 図6は、無電解めっき皮膜54の結晶構造の違いと耐エロージョン性との関係を示す試験結果であり、図7は、無電解めっき皮膜54の結晶構造の違いとLCF破断寿命との関係を示す試験結果である。これら図中の「結晶化」は、アモルファス構造を有する無電解めっき皮膜54を熱処理などによって結晶化させたことを示している。

図6及び図7に示すように、無電解めっき皮膜54が結晶化すると、耐エロージョン性及びLCF破断寿命が急激に低下する。

これらの結果を踏まえて、無電解めっき皮膜54は、耐エロージョン性及びLCF破断寿命を改善する観点から、アモルファス構造としている。

[0034] 例示的な実施形態では、無電解めっき皮膜54は、15 $\mu$ m以上60 $\mu$ m以下の膜厚を有する。無電解めっき皮膜54の膜厚が15 $\mu$ m未満では、耐エロージョン性及び耐き裂性を十分に発揮することが難しい場合がある。他方、60 $\mu$ mを超える膜厚としても、耐エロージョン性や耐き裂性の改善効果は限定的であり、逆に、めっき処理に要する時間が長くなり、高コストとなる。

従って、無電解めっき皮膜54の膜厚を15 $\mu$ m以上とすることで、耐エロージョン性及び耐き裂性を発揮でき、かつ60 $\mu$ m以下とすることで、めっき処理を低コスト化できる。

[0035] 図8は、無電解めっき皮膜54の膜厚と耐エロージョン性との関係を示す試験結果である。図9は、無電解めっき皮膜54の耐食性と膜厚との関係を示す試験結果である。

図8に示すように、無電解めっき皮膜54の膜厚が1~2 $\mu$ m程度では耐エロージョン性を発揮できず、膜厚が15~60 $\mu$ mの範囲では高い耐エロージョン性を発揮できる。図9中のラインA、B及びCは、腐食環境が異なる場合の無電解めっき皮膜54の腐食の進行度を示している。図9から、無電解めっき皮膜54の膜厚が15 $\mu$ m以上のとき、最も厳しい腐食環境でも

要求寿命を満足できることがわかる。

[0036] 例示的な実施形態では、無電解めっき皮膜54は500HV以上700HV以下のビッカース硬さを有する。この場合、無電解めっき皮膜54は、500HV以上のビッカース硬さを有するため、耐エロージョン性を発揮でき、他方、700HV以下のビッカース硬さであるため、高い耐き裂性を実現できる。

[0037] 例示的な実施形態では、図10に示すように、前記構成を有する無電解めっき皮膜54の破断延性歪みが0.5%以上であると、LCF破断試験の破断寿命は、許容繰返し回数をクリアでき亀裂が発生しない。

これによって、前記構成を有する無電解めっき皮膜54は、耐疲労破断の高いめっき皮膜であるため、羽根車のき裂の発生を抑制でき、羽根車を長寿命化できる。

破断延性は、例えば、図11に示すような試験によって測定する。図11において、断面長方形の平板状の試験片Tの両端を、無電解めっき皮膜54が形成された面を下方にして支持台60の上に載置する。次に、圧子62を試験片Tの軸方向真ん中上面に当て下方へ荷重Fを付加し、所定の歪みを生じさせる。この操作をめっき皮膜が破断するまで荷重を変えて行う。

[0038] 前記構成のコンプレッサ羽根車50を高速回転する過給機12のコンプレッサ羽根車として用いることで、コンプレッサ羽根車50の耐エロージョン性を向上でき、かつき裂の進展を抑制でき、コンプレッサ16及びコンプレッサ16を備えた過給機12を長寿命化できる。

また、過給機12が低圧EGRシステム32を備えたディーゼルエンジン10に設けられ、コンプレッサ16に液滴を含みエロージョン性が高い排気を含む吸気aが導入される場合でも、高速回転に長期間耐えることができ、長寿命化できる。

[0039] 本発明の少なくとも一実施形態に係る回転機械の羽根車の製造方法は、図12に示すように、A1又はA1合金によって構成されるコンプレッサ羽根車50を覆うように、コンプレッサ羽根車50の表面に無電解めっき皮膜5

4を形成するステップ(S14)を備えている。

無電解めっき皮膜54は、アモルファス構造を有し、且つ、無電解めっき皮膜54中におけるP含有率が5重量%以上11重量%以下であるNi-P系合金である。

[0040] 前記方法により製造されたコンプレッサ羽根車50は、表面に無電解めっき皮膜54が形成される。無電解めっき皮膜54は、アモルファス構造を有するため、高強度となり、良好な耐エロージョン性を有する。また、P含有率が5重量%以上11重量%以下であるため、高いビッカース硬さを有しつつ、良好な耐き裂性(疲労強度)を有する。

また、無電解めっき皮膜54は、膜厚など均一な皮膜形成が可能となるため、めっき皮膜全域で高い耐エロージョン性及び耐き裂性(疲労強度)を均一に発揮できる。

[0041] 例示的な実施形態では、図12に示すように、ステップS14に先立って、無電解めっき皮膜54が形成されたコンプレッサ羽根車50から試験片を切り出し、該試験片を用いて無電解めっき皮膜54の破断延性を評価するステップS12をさらに備える。

即ち、図13に示すように、コンプレッサ羽根車50から試験片Tを切り出し、試験片Tを用いて破断延性を測定する。

めっき処理条件、例えば、めっき処理時におけるめっき処理液に対する被めっき処理物の総面積や、めっき処理液の流れと被めっき処理物との相対速度等によって、めっき皮膜の硬さや延性が変化する。

無電解めっき皮膜54が形成されたコンプレッサ羽根車50から切り出した試験片Tを使って破断延性を評価するので、実際に製造されたコンプレッサ羽根車50における無電解めっき皮膜54の破断延性を正確に把握できる。

[0042] 例示的な実施形態では、図13に示すように、試験片Tはコンプレッサ羽根車50のハブ56のブレード根元部をハブ56の背面56a側に投影した領域56bをハブ56の背面56aから採取する。

コンプレッサ羽根車50には、回転によって発生する遠心力などに起因した応力が発生するが、図14にも示すように、ハブ56のブレード根元部は最も大きな応力が発生する場所である。

試験片Tを前記領域56bから採取することで、最も厳しい応力条件下での破断延性を把握できる。

[0043] 例示的な実施形態では、図12に示すように、測定した破断延性が閾値を下回る場合(S16)、無電解めっき皮膜54を形成しためっき条件(例えば、めっき処理液の流れと被めっき処理物との相対速度、めっき時間等)を変更するステップS18をさらに備えている。

これによって、破断延性の結果に基づき、無電解めっき皮膜54のめっき条件を変更することで、無電解めっき皮膜54の破断延性を閾値以上とすることができる。

[0044] 例示的な実施形態では、図12に示すように、ステップS12に先立って切り出した試験片Tの前処理S10を行う。

前処理S10は、例えば、試験片Tの表面に付着した油脂類をアルカリ液などを使って除去するアルカリ脱脂ステップS10aと、脱脂後の試験片Tに対し、酸液又はアルカリ液を用いて表面に形成された不動態膜(アルミナ膜)を除去するエッチング処理S10bと、エッチング処理後、酸などに溶解しにくいCやSiが黒い微粉末状となって残るスマットを除去するスマット除去ステップS10cとを行う。

[0045] めっき皮膜形成ステップS14では、例示的な実施形態として、まず、試験片Tの表面にZnをめっきし、次に、Ni-P系合金をZnと置換させて、無電解めっき皮膜54を形成する。

例示的な実施形態では、めっき膜厚形成ステップS14の後、試験片Tの表面仕上げを行うステップS20及び仕上げ後の試験片Tを検査する検査ステップS22を行う。

### 産業上の利用可能性

[0046] 本発明の少なくとも一実施形態によれば、回転機械の羽根車に、良好な耐

エロージョン性と良好な耐き裂性（疲労強度）とを両立できる無電解めっき皮膜を形成でき、これによって、該羽根車及び該羽根車を備えた機器類を長寿命化できる。

### 符号の説明

[0047]	1 0	ディーゼルエンジン
	1 2	過給機
	1 3	回転軸
	1 4	排気タービン
	1 6	コンプレッサ
	2 0	排気路
	2 2	吸気路
	2 4	高圧EGRシステム
	2 6	高圧EGR路
	2 8、3 6	EGRクーラ
	3 0、3 8	EGRバルブ
	3 2	低圧EGRシステム
	3 4	低圧EGR路
	4 0	エアクリーナ
	4 2	インタクーラ
	4 4	ウェイストバルブ
	4 4 a	アクチュエータ
	4 6	酸化触媒
	4 8	DPFフィルタ
	5 0、1 0 0	コンプレッサ羽根車
	5 2	基材
	5 4	無電解めっき皮膜
	5 6、1 0 2	ハブ
	5 6 a、1 0 2 a	背面

58、104 ブレード

60 支持台

62 圧子

C き裂

S 歪み

a 吸気

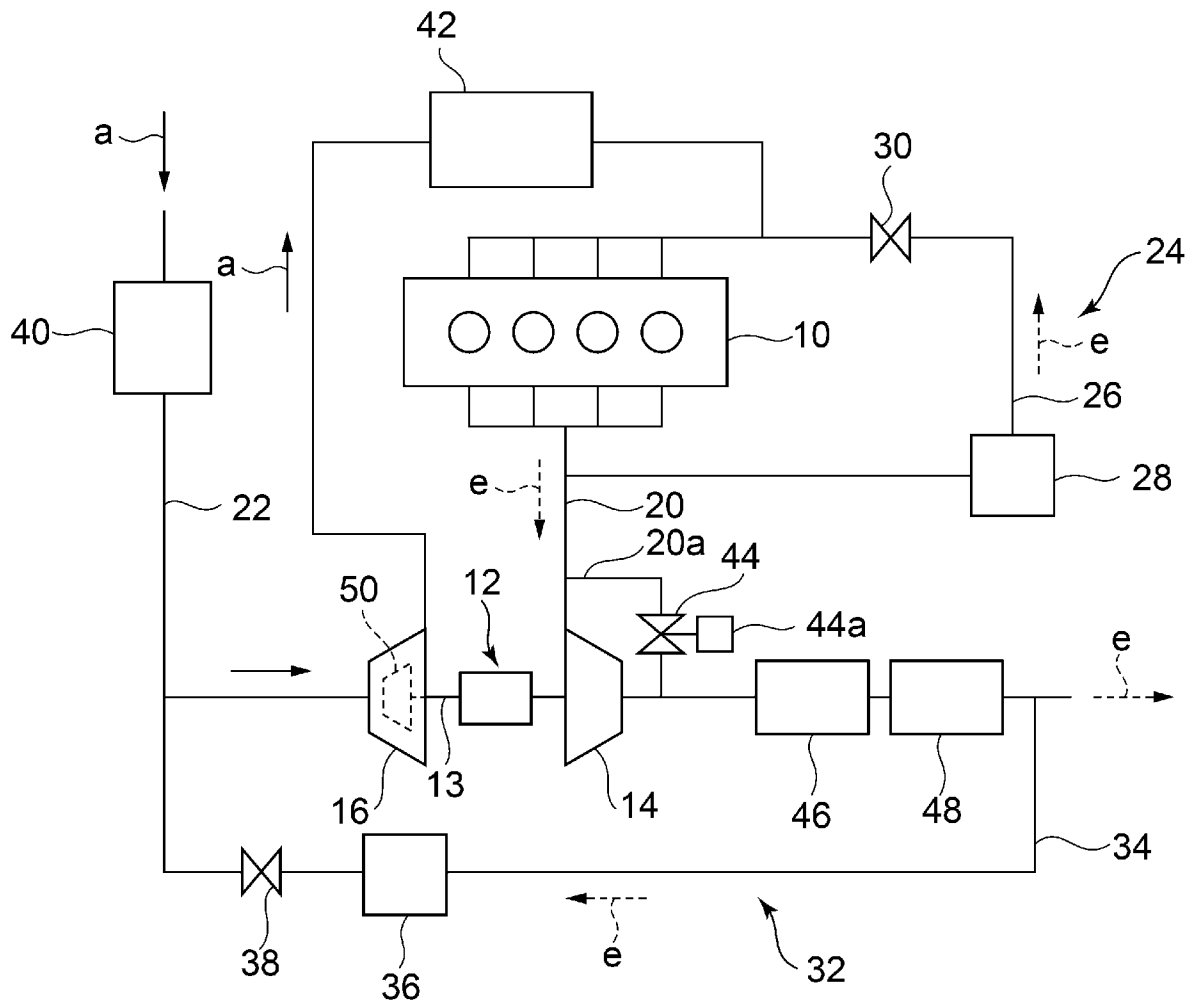
e 排気

## 請求の範囲

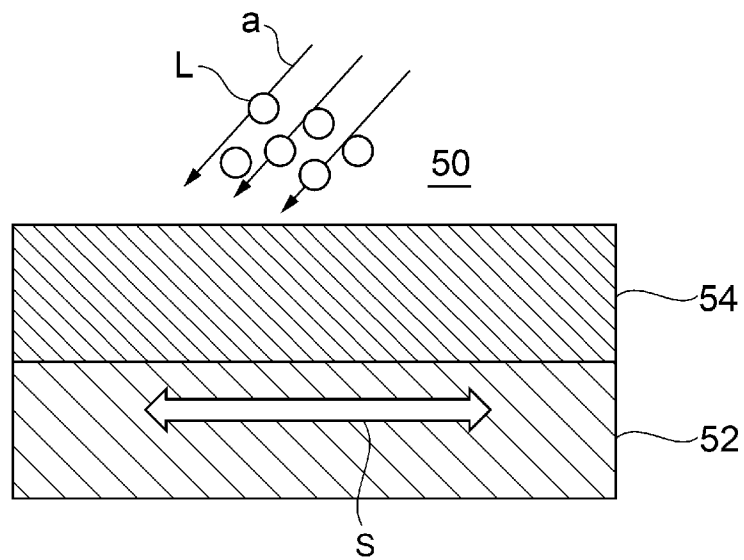
- [請求項1] 回転機械の羽根車であって、  
A l 又は A l 合金によって構成される前記羽根車の基材と、  
前記基材を覆うように設けられて前記羽根車の表面層を形成する無電解めっき皮膜と、を備え、  
前記無電解めっき皮膜は、アモルファス構造を有し、且つ、前記無電解めっき皮膜中における P 含有率が 5 重量%以上 11 重量%以下である Ni - P 系合金であることを特徴とする回転機械の羽根車。
- [請求項2] 前記無電解めっき皮膜は、 $15\ \mu\text{m}$ 以上 $60\ \mu\text{m}$ 以下の膜厚を有することを特徴とする請求項 1 に記載の回転機械の羽根車。
- [請求項3] 前記無電解めっき皮膜は、 $500\ \text{HV}$ 以上 $700\ \text{HV}$ 以下のピッカース硬さを有することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の回転機械の羽根車。
- [請求項4] 前記無電解めっき皮膜の破断延性は歪み $0.5\%$ 以上であることを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れか 1 項に記載の回転機械の羽根車。
- [請求項5] 前記羽根車は、過給機のコンプレッサ羽根車であることを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れか 1 項に記載の回転機械の羽根車。
- [請求項6] 請求項 1 乃至 5 の何れか 1 項に記載の羽根車によって形成されるコンプレッサ羽根車を有するコンプレッサ。
- [請求項7] 請求項 6 に記載のコンプレッサと、  
前記コンプレッサを駆動するためのタービンと、  
を備えることを特徴とする過給機。
- [請求項8] 前記コンプレッサは、内燃機関の吸気路に設けられ、  
前記タービンは、前記内燃機関からの排気によって駆動されるように構成され、  
前記コンプレッサの上流側において、前記排気の一部が前記吸気路に循環されるように構成されたことを特徴とする請求項 7 に記載の過給機。

- [請求項9] 回転機械の羽根車の製造方法であって、  
A1又はA1合金によって構成される前記羽根車の基材を覆うように、前記羽根車の表面層として無電解めっき皮膜を形成するステップを備え、  
前記無電解めっき皮膜は、アモルファス構造を有し、且つ、前記無電解めっき皮膜中におけるP含有率が5重量%以上11重量%以下であるNi-P系合金であることを特徴とする回転機械の羽根車の製造方法。
- [請求項10] 前記無電解めっき皮膜が形成された前記羽根車から試験片を切り出し、該試験片を用いて前記無電解めっき皮膜の破断延性を評価するステップをさらに備えることを特徴とする請求項9に記載の回転機械の羽根車の製造方法。
- [請求項11] 前記試験片は、前記羽根車のハブのブレード根元部を前記ハブの背面側に投影した領域を前記ハブの背面から採取することを特徴とする請求項10に記載の回転機械の羽根車の製造方法。
- [請求項12] 前記破断延性が閾値を下回る場合、前記無電解めっき皮膜のめっき条件を変更するステップをさらに備えることを特徴とする請求項10又は11に記載の回転機械の羽根車の製造方法。

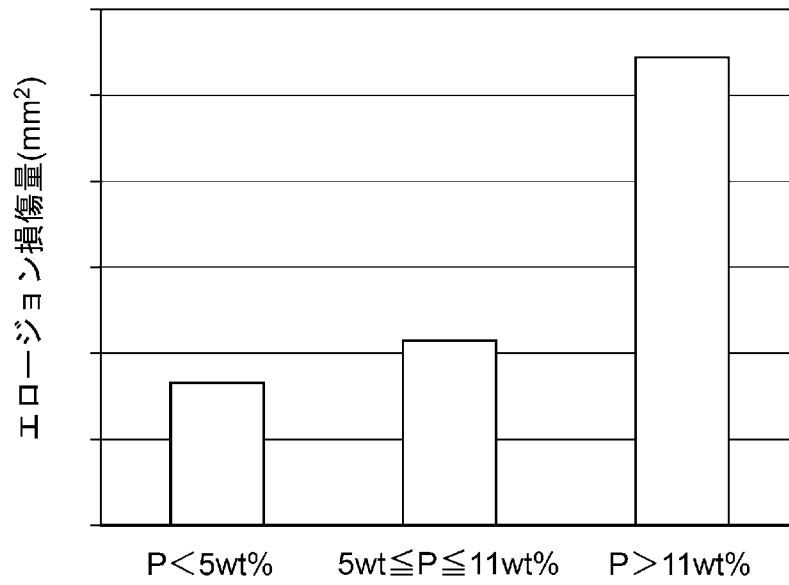
[図1]



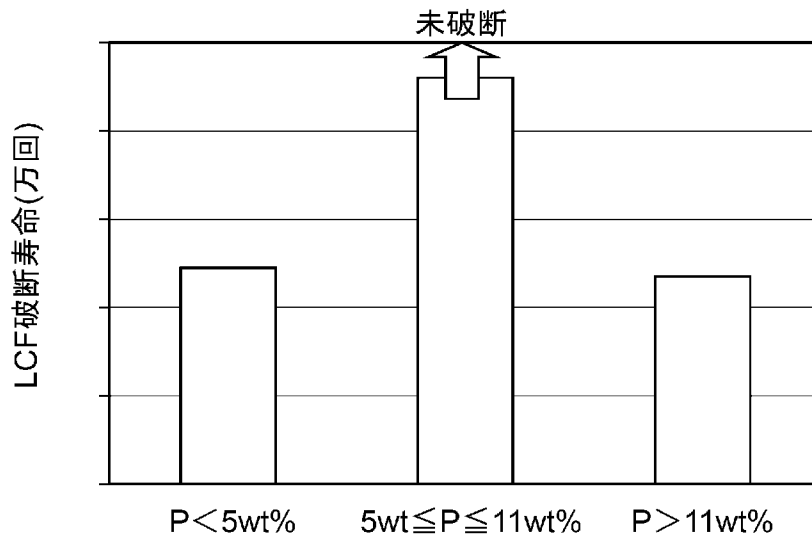
[図2]



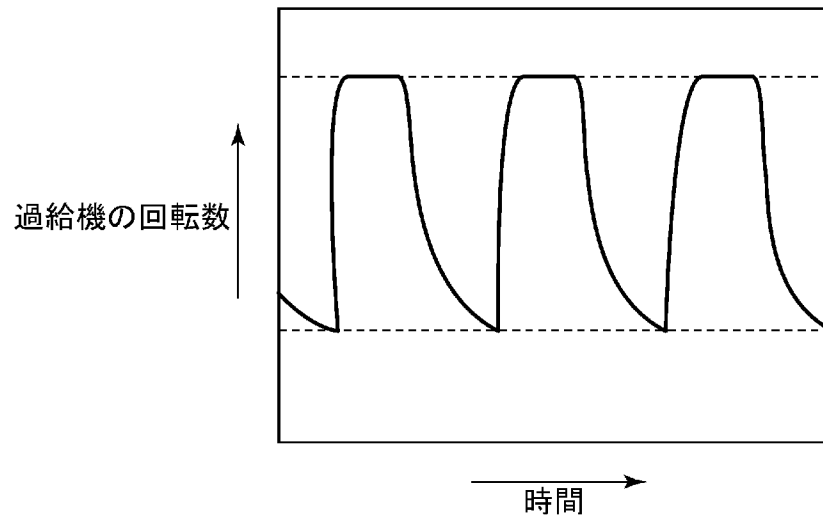
[図3]



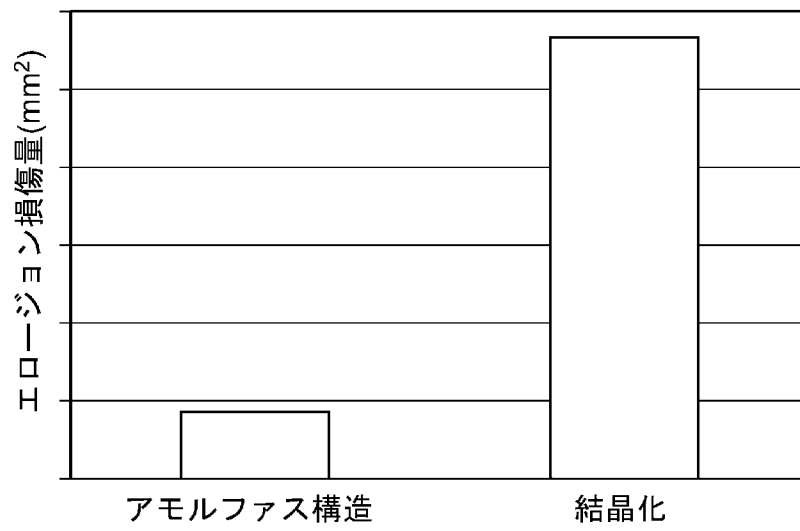
[図4]



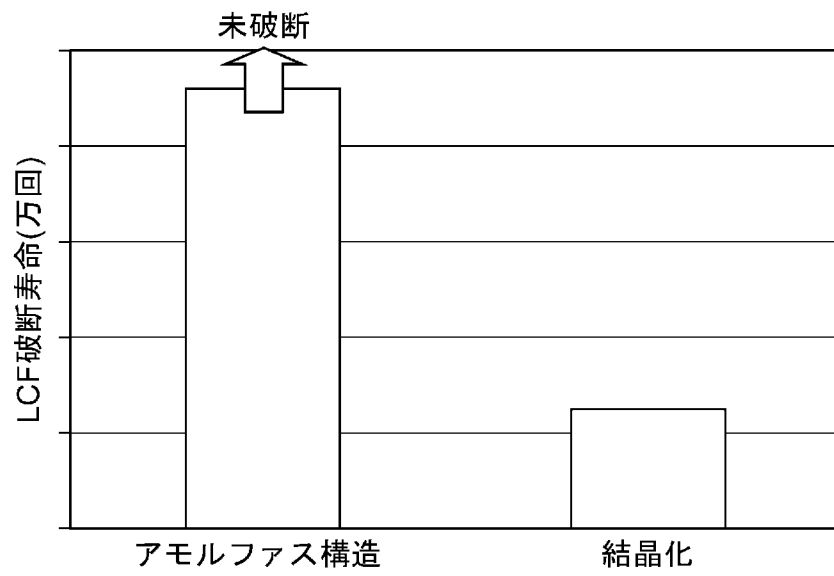
[図5]



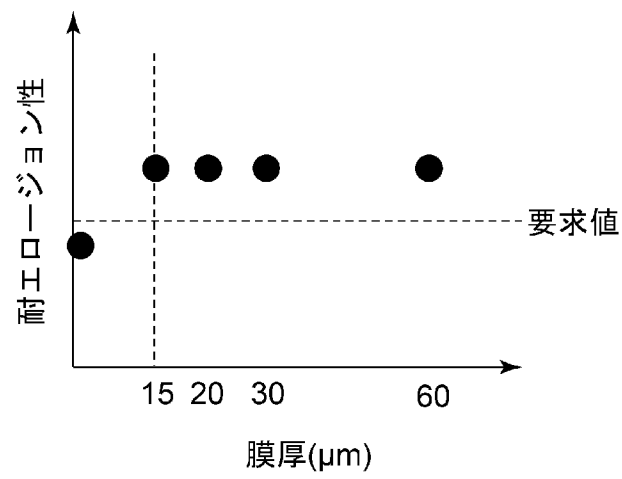
[図6]



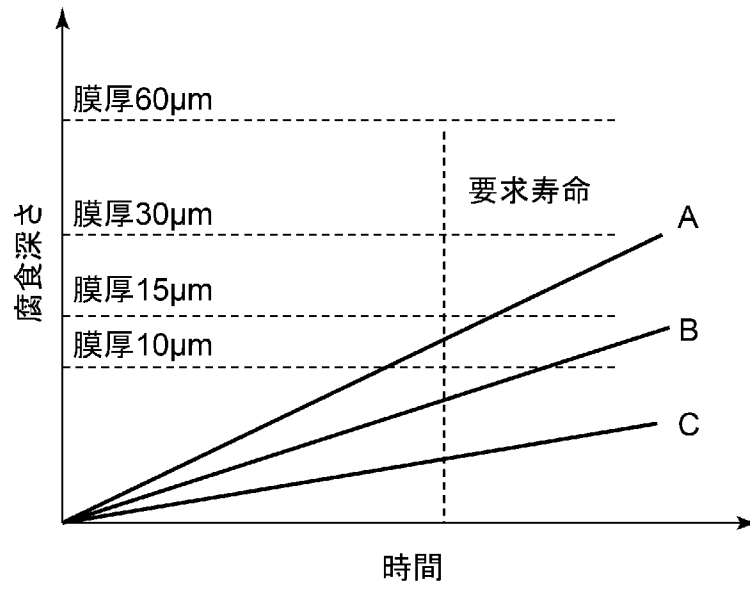
[図7]



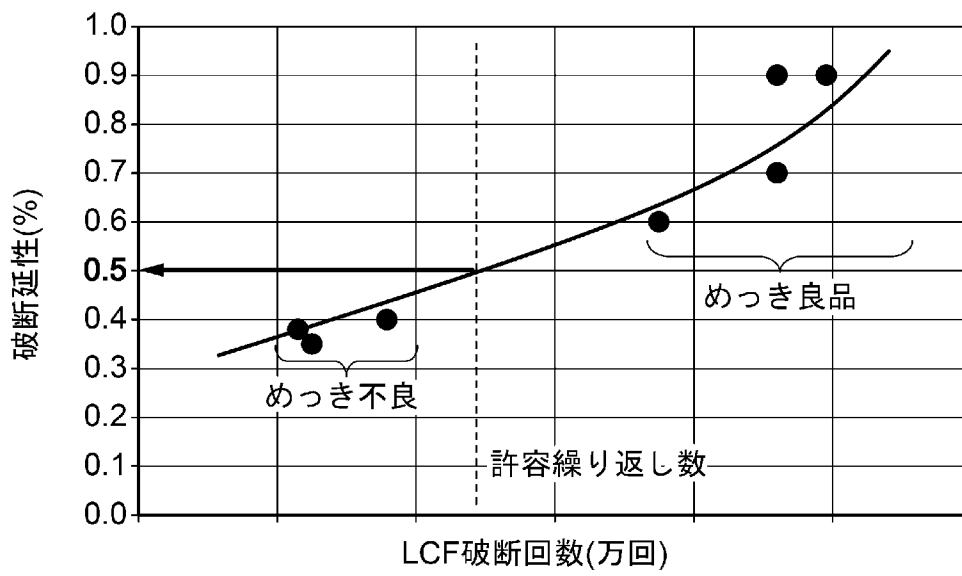
[図8]



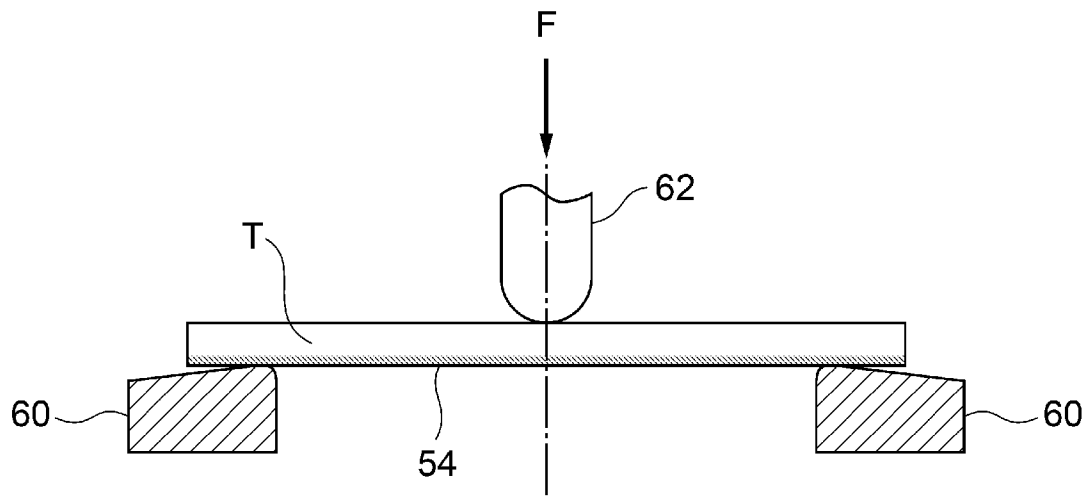
[図9]



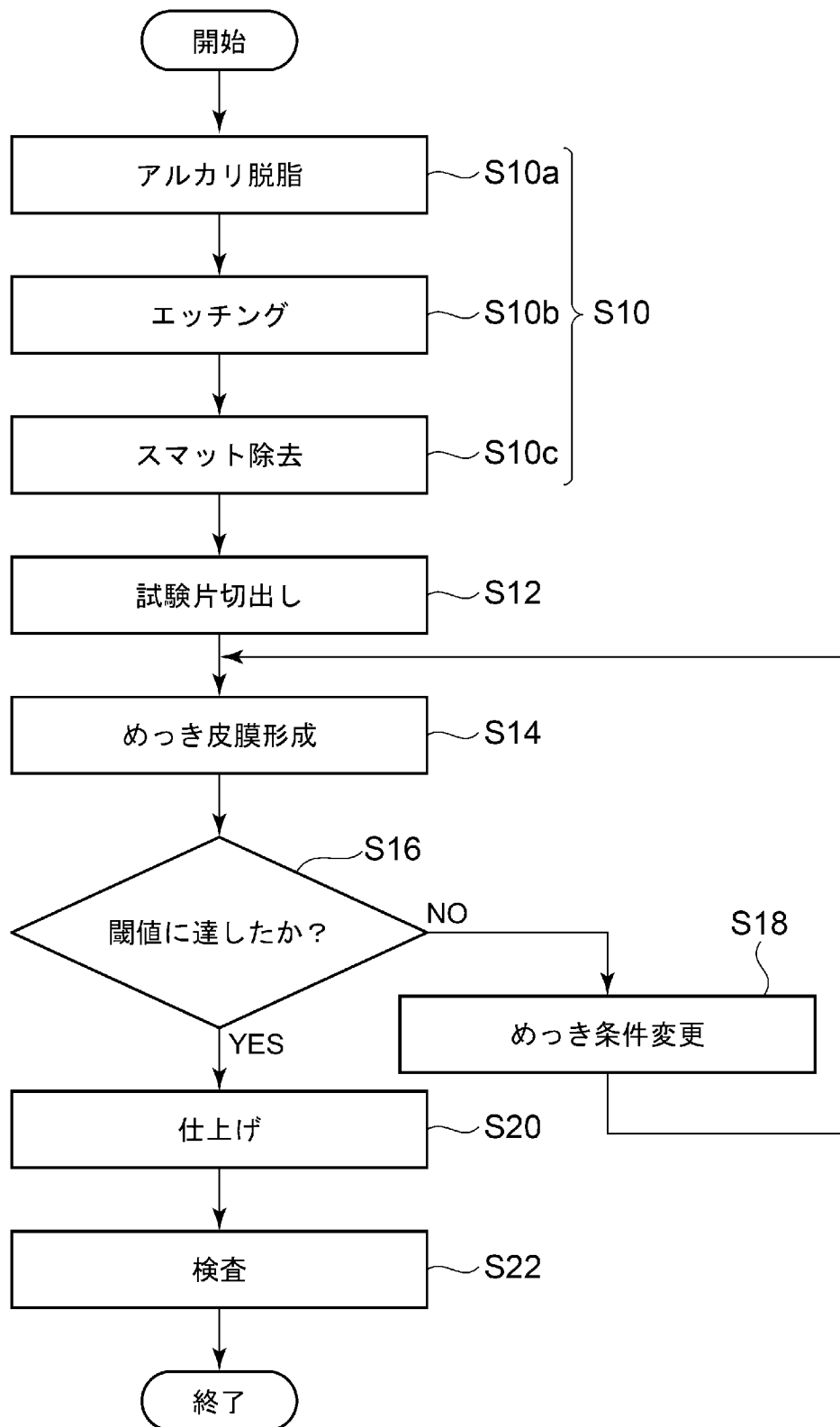
[図10]



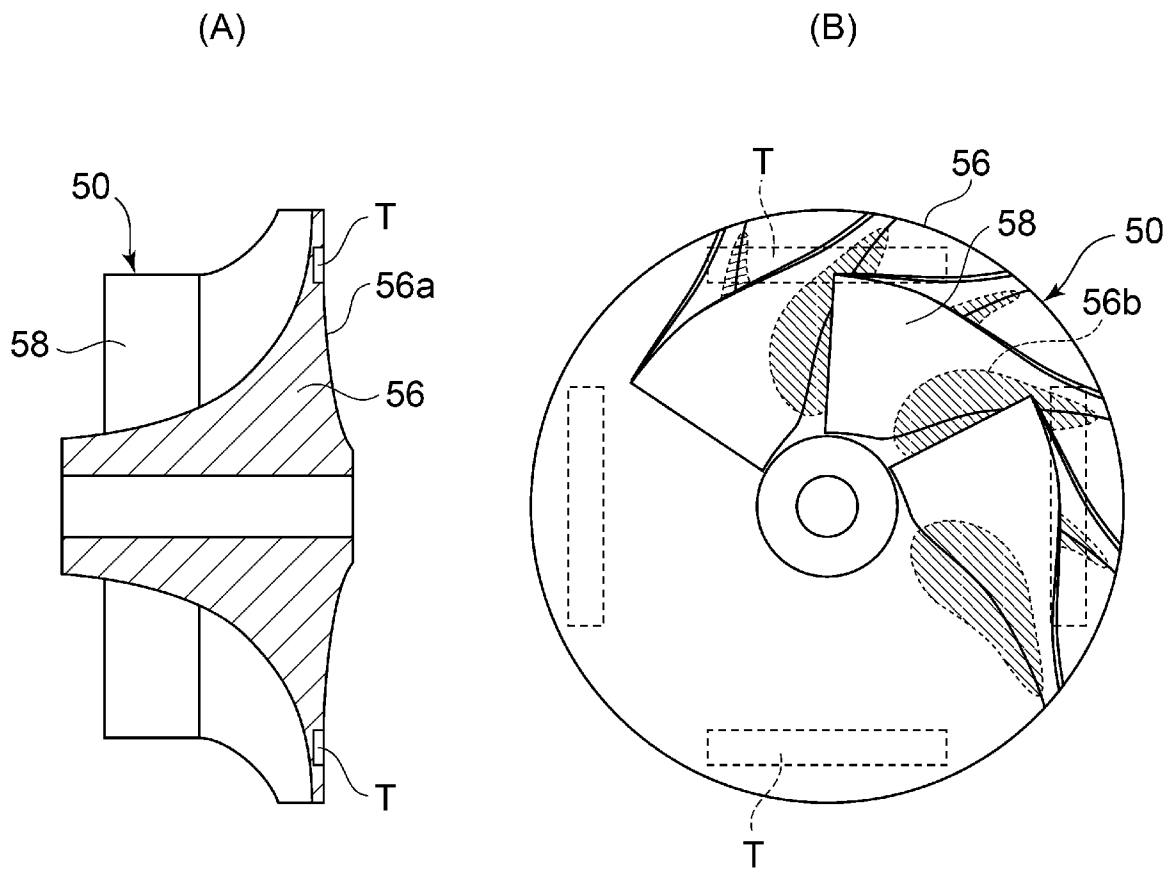
[図11]



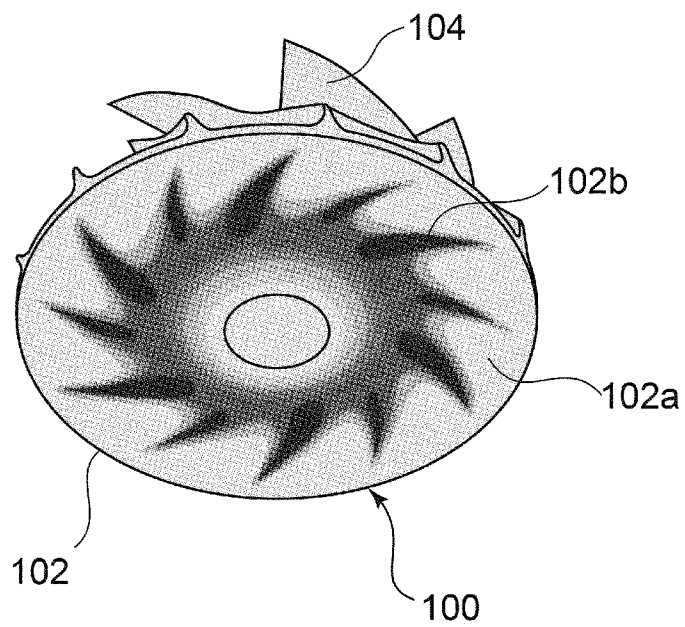
[図12]



[図13]



[図14]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2015/059092

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
F02B39/00(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
F02B39/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2014-163345 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 08 September 2014 (08.09.2014), paragraphs [0021] to [0037] (Family: none)	1-12
Y	JP 6-322557 A (Mitsubishi Electric Corp.), 22 November 1994 (22.11.1994), paragraphs [0036] to [0101] (Family: none)	1-12
Y	JP 2009-270152 A (Nakayama Steel Works, Ltd.), 19 November 2009 (19.11.2009), paragraphs [0030] to [0078] (Family: none)	1-12

Further documents are listed in the continuation of Box C.       See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 14 May 2015 (14.05.15)	Date of mailing of the international search report 26 May 2015 (26.05.15)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer  Telephone No.
--	---

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. F02B39/00(2006.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. F02B39/00		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2015年 日本国実用新案登録公報 1996-2015年 日本国登録実用新案公報 1994-2015年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2014-163345 A（三菱重工業株式会社）2014.09.08, 段落 [0021] - [0037]（ファミリーなし）	1-12
Y	JP 6-322557 A（三菱電機株式会社）1994.11.22, 段落 [0036]-[0101] （ファミリーなし）	1-12
Y	JP 2009-270152 A（株式会社中山製鋼所）2009.11.19, 段落 [0030] - [0078]（ファミリーなし）	1-12
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 14.05.2015	国際調査報告の発送日 26.05.2015	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 木村 麻乃 電話番号 03-3581-1101 内線 3355	3G 4030