

(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
2017年11月16日(16.11.2017)



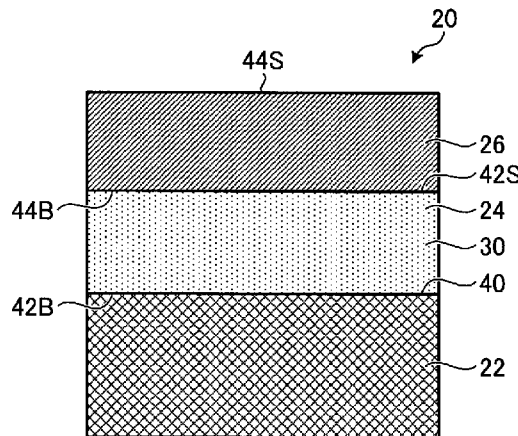
(10) 国際公開番号

WO 2017/195518 A1

- (51) 国際特許分類:
C04B 41/89 (2006.01) *F01D 25/24* (2006.01)
F01D 5/18 (2006.01) *F02C 7/00* (2006.01)
F01D 25/00 (2006.01) *F23R 3/42* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/014844
- (22) 国際出願日: 2017年4月11日(11.04.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
 特願 2016-097038 2016年5月13日(13.05.2016) JP
- (71) 出願人: 三菱日立パワーシステムズ株式会社(MITSUBISHI HITACHI POWER SYSTEMS, LTD.) [JP/JP]; 〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 栗村 隆之 (KURIMURA, Takayuki); 〒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). 松本 峰明 (MATSUMOTO, Mineaki); 〒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). 谷川 秀次(TANIGAWA, Shuji); 〒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). 辻 良史 (TSUJI, Yoshifumi); 〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人酒井国際特許事務所 (SAKAI INTERNATIONAL PATENT OFFICE); 〒1000013 東京都千代田区霞が関3丁目8番1号 虎の門三井ビルディング Tokyo (JP).

(54) Title: COATING STRUCTURE, TURBINE PART HAVING SAME, AND METHOD FOR MANUFACTURING COATING STRUCTURE

(54) 発明の名称: コーティング構造、これを有するタービン部品及びコーティング構造の製造方法



(57) Abstract: Provided is a coating structure, a turbine part having the same, and a method for manufacturing the coating structure. The coating structure is provided on a surface of a base portion including a ceramic-based composite material. The coating structure is layered on the surface of the base portion, and includes a bond coat layer formed of a rare-earth silicate and a top coat layer laminated over the bond coat layer. The residual stress present in the bond coat layer is compressive residual stress. The oxygen permeability coefficient of the bond coat layer is no more than $10^{-9} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ at a temperature of 1,200 °C or higher and when the oxygen partial pressure is at least 0.02 MPa on the side having a higher oxygen partial pressure. The bond coat layer may include carbonitride particles or carbonitride whiskers.



WO 2017/195518 A1

(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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約 : コーティング構造、これを有するタービン部品及びコーティング構造の製造方法を提供する。セラミックス基複合材料を含む基部の表面に設けられたコーティング構造であって、基部の表面に積層され、希土類シリケートで形成されたボンドコート層と、ボンドコート層に積層されたトップコート層と、を有し、ボンドコート層は、残留応力が圧縮残留応力であり、かつ、1200℃以上、酸素分圧が高い側の酸素分圧が0.02MPa以上における酸素透過係数が $10^{-9} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下である。ボンドコート層は、炭窒化物粒子もしくは炭窒化物ウイスキーを含む場合もある。

明 細 書

発明の名称：

コーティング構造、これを有するタービン部品及びコーティング構造の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、コーティング構造、これを有するタービン部品及びコーティング構造の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 航空用および産業用ガスタービンや飛しょう体等には、1000℃以上になる部分がある。1000℃以上になる部分に用いる部品（高温部品）に、セラミックス基複合材料（CMC：Ceramic Matrix Composites）で製造した部品を用いることが検討されている。また、セラミックス基複合材料の表面には、耐水蒸気腐食性及び遮熱性を向上させる構造として、耐環境コーティング（EBC：Environmental Barrier Coating）、又は遮熱コーティング（TBC：Thermal Barrier Coating）を形成する構造が検討されている。

[0003] 特許文献1には、セラミックス基複合材料を含む母材の表面に設けられるコーティング構造として、前記母材の表面に設けられる耐環境コーティング膜又は遮熱コーティング膜の少なくとも一方からなる第1保護膜と、第1保護膜上に設けられる酸化アルミニウム膜からなる第2保護膜と、を備えるコーティング構造が記載されている。また、特許文献1には、コーティング構造の第1保護膜にTBC膜を用いた場合、ボンドコート膜とセラミックス膜を積層する構造が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2015-113255号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ここで、特許文献1では、ボンドコート膜をMCrAlY合金（Mは、Co、Ni、又はこれらの組み合わせ）で作成している。しかしながら、このようにボンドコート膜に合金を用いると、耐熱性が高くできないという問題がある。

[0006] 本発明は、耐熱性が高いコーティング構造、これを有するタービン部品及びコーティング構造の製造方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明は、セラミックス複合材料を含む基部の表面に設けられたコーティング構造であって、前記基部の表面に積層され、希土類シリケートで形成されたボンドコート層と、前記ボンドコート層に積層されたトップコート層と、を有し、前記ボンドコート層は、残留応力が圧縮残留応力であることを特徴とする。

[0008] 本発明によれば、ボンドコート層を緻密にすることができ、かつ、き裂が発生しにくくなり、気密性も高く、耐酸化性も高くすることができる。これにより、より温度が高い環境でも基部を保護することができる。

[0009] 前記ボンドコート層は、1200℃以上、酸素分圧が高い側の酸素分圧が0.02MPa以上における酸素透過係数が $10^{-9} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下であることが好ましい。これにより、ボンドコート層の気密性を高くすることができ、かつ、耐久温度を高くすることができる。これにより、より温度が高い環境でも基部を保護することができる。

[0010] ここで、前記ボンドコート層は、結晶率が90%以上100%以下であることが好ましい。これにより、ボンドコート層の使用環境下における結晶化に伴う体積変化によるひび割れ、剥離等が生じることを抑制することができる、気密性を高くすることができる。

[0011] また、前記ボンドコート層は、前記基部の表面と他の材料を介さずに積層されていることが好ましい。これにより、積層構造を簡単にすることができる。

- [0012] また、前記ボンドコート層は、残留応力が前記トップコート層よりも小さいことが好ましい。ボンドコート層の残留応力を小さくすることで、ボンドコート層にひび割れ等が生じることを抑制することができ、気密性を高くすることができる。
- [0013] また、前記ボンドコート層は、結晶の粒径が $0.01\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。これにより、ボンドコート層の構造を複雑形状とすることができ、ボンドコート層の裏面から表面に繋がる割れが生じることを抑制することができ、気密性を高くすることができる。
- [0014] また、前記ボンドコート層は、ケイ素またはチタンを含有する分散物質が前記希土類シリケートに分散されていることが好ましい。これにより、ボンドコート層の靱性と耐クリーム特性を高くすることができる。また、分散粒子の酸化によって生成するケイ素酸化物またはチタン酸化物により、き裂が閉塞する自己治癒機能が発現する。
- [0015] また、前記分散物質は、粒子であることが好ましい。これにより、簡単に製造することができる。
- [0016] また、前記分散物質は、ウイスカであることが好ましい。これにより、効率よく靱性を高くすることができる。
- [0017] また、前記分散物質は、窒素を含有することが好ましい。窒化物は炭化物よりも耐酸化性が高く、分散物質の効果を長時間持続させることが可能となる。
- [0018] 本発明は、タービン部品であって、上記のいずれかに記載のコーティング構造と、前記コーティング構造が表面に形成された前記基部と、を有することを特徴とする。これにより、より温度が高い環境で使用することができる。
- [0019] 本発明は、コーティング構造の製造方法であって、セラミックス基複合材料を含む基部の表面にエアロゾルデポジション法で希土類シリケートを製膜し、ボンドコート層を形成するステップと、前記ボンドコート層の表面に溶射でトップコート層を形成するステップと、前記ボンドコート層と前記ト

ップコート層を形成した後、前記基部に前記ボンドコート層と前記トップコート層が積層された物体に熱処理を実行するステップと、を含むことを特徴とする。これにより、耐熱性を高くすることができ、より高温の環境でも母材を保護することができるコーティング構造を製造することができる。

発明の効果

[0020] 本発明によれば、耐熱性を高くすることができ、より高温の環境でも母材を保護することができる。

図面の簡単な説明

- [0021] [図1]図1は、本実施形態に係るガスタービンの一例を示す模式図である。
- [図2]図2は、本実施形態に係るタービン部の一例を示す断面図である。
- [図3]図3は、本実施形態に係るコーティング構造を有するタービン部材の一例を模式的に示す断面図である。
- [図4]図4は、他の実施形態に係るコーティング構造を有するタービン部材の一例を模式的に示す断面図である。
- [図5]図5は、他の実施形態に係るコーティング構造を有するタービン部材の一例を模式的に示す断面図である。
- [図6]図6は、本実施形態のタービン部材を製造する部品製造システムのブロック図である。
- [図7]図7は、本実施形態に係るタービン部品の製造方法の一例を説明するためのフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0022] 以下、本発明に係る実施形態について図面を参照しながら説明するが、本発明はこれに限定されない。以下で説明する各実施形態の要件は、適宜組み合わせることができる。また、一部の構成要素を用いない場合もある。また、下記の実施形態における構成要素には、当業者が置換可能かつ容易なもの、あるいは実質的に同一のものが含まれる。例えば、本実施形態では、ガスタービンのタービン部品を例として説明するが、本実施形態のコーティング構造、コーティング構造を有する高温部品は、他の用途の部品にも用いるこ

とができる。本実施形態のコーティング構造、コーティング構造を有する高温部品は、例えば、飛翔体の部品として用いることができる。

[0023] 図1は、本実施形態に係るガスタービン1の一例を示す模式図である。ガスタービン1は、燃焼用空気を圧縮する圧縮機2と、圧縮機2から供給された圧縮空気に燃料を噴射して燃焼させ、燃焼ガスFGを生成する燃焼器3と、燃焼器3から供給された燃焼ガスFGにより駆動するタービン部4と、発電機6と、圧縮機2、タービン部4、及び発電機6に配置される回転軸5とを備えている。

[0024] 図2は、タービン部4の一部を示す断面図である。タービン部4は、回転軸5の周囲に配置されるタービン静翼7と、回転軸5の周囲に配置されるタービン動翼8と、回転軸5に対する放射方向に関してタービン動翼8の外側に配置される分割環9とを備えている。

[0025] 分割環9は、車室10に支持される。分割環9は、環状の部材であり、回転軸5の周方向に配置される複数の分割体を含む。分割環9とタービン動翼8の先端との間に間隙が設けられる。

[0026] 以下の説明において、ガスタービン1の部材を適宜、タービン部材20、と称する。タービン部材20は、高温環境で使用される高温部品（高温部材）である。タービン部材20は、タービン部4の部材でもよいし、燃焼器3の部材でもよい。タービン部材20は、タービン静翼7でもよいし、タービン動翼8でもよいし、分割環9でもよい。

[0027] 図3は、タービン部材20の一例を模式的に示す断面図である。図3に示すように、タービン部材（高温部品）20は、基部（基材）22と、基部22の表面に形成されるコーティング構造とを有する。

[0028] 基部22は、セラミックス基複合材料（CMC：Ceramic Matrix Composites）で形成される。セラミックス基複合材料（以下、CMC、と称する）は、無機の粒子、金属の粒子、ウスカ、短繊維、及び長繊維などとセラミックスとを複合化することで強度を向上させた材料である。セラミックス基複合材料（以下、CMC、と称する）は、炭化ケイ素（SiC）を用いるこ

とができる。CMCは、例えばニッケル基超合金に比べて比重が小さく、耐熱性が高い。

[0029] コーティング構造は、基部22の表面40に設けられるボンドコート層24と、ボンドコート層24上に設けられるトップコート層26と、を有する。ボンドコート層24は、基部22と接する裏面42Bと、裏面42Bの反対方向を向く表面42Sとを有する。トップコート層26は、ボンドコート層24と接する裏面44Bと、裏面44Bの反対方向を向く表面44Sとを有する。

[0030] ボンドコート層24は、基部22の表面40に積層されている。ボンドコート層24は、後述するがエアロゾルデポジション法で形成することができる。ボンドコート層24は、母材30で形成されている。母材30は、希土類シリケートで形成されている。希土類シリケートは、イットリウム(Y)、スカンジウム(Sc)、セリウム(Ce)、ネオジム(Nd)、イッテルビウム(Yb)等の希土類を含有するケイ素化合物である。希土類(Ln: Y、Sc、Ce、Nd、Yb、Lu等の希土類元素)を含有する含有する希土類シリケートとしては、 $L_n Si_2 O_7$ 、 $L_n Si O_5$ および $L_n Si_2 O_7$ と $L_n Si O_5$ の混合相が例示される。また、 $(Y, Yb)_2 Si_2 O_7$ のように、Lnとして複数の希土類元素を併用することも可能である。

[0031] ここで、ボンドコート層24は、残留応力が圧縮残留応力である。また、ボンドコート層24は、1200℃以上、表面側(高酸素分圧側)の酸素分圧が0.02MPa以上における酸素透過係数、例えば、1200℃、表面側(高酸素分圧側)の酸素分圧が0.02MPaにおける酸素透過係数が $10^{-9} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下であることが好ましい。酸素透過係数は、文献(Y. Ogura et al., "Oxygen permeability of $Y_2 Si O_5$ ", Materials Transactions, 42(6) pp1124-1130 (2001))に示されているようなガス透過率測定装置で計測することができる。

[0032] トップコート層26は、ボンドコート層24に積層される。トップコート層26は、ボンドコート層24に溶射で形成することができる。トップコー

ト層 26 は、母材に希土類シリケートを用いることができる。また、トップコート層 26 は、 ZrO_2 系の材料を用いてもよく、特に Y_2O_3 で部分安定化又は完全安定化した ZrO_2 である YSZ (イットリア安定化ジルコニア) を含んでもよい。

[0033] コーティング構造は、以上のようにボンドコート層 24 とトップコート層 26 が積層されている。コーティング構造は、ボンドコート層 24 とトップコート層 26 の積層構造とすることで、耐環境コーティング (EBC: Environmental Barrier Coating) 膜、又は遮熱コーティング (TBC: Thermal Barrier Coating) 膜の少なくとも 1 つの機能を備えるものであり、コーティング構造は、耐熱性が高く、気密性も高く、耐酸化性も高くすることができ、基部 22 を保護することができる。

[0034] コーティング構造は、ボンドコート層 24 を、希土類シリケートを母材とし、残留応力が圧縮残留応力である。これにより、ボンドコート層 24 にき裂が発生しにくくなり、気密性も高く、耐酸化性も高くすることができ、基部 22 を保護することができる。ここで、コーティング構造は、基材 22 にコーティングする場合、溶射法であると被膜が冷却過程で収縮して引張の残留応力を持ってしまう。これに対して、エアロゾルデポジション法は、室温で施工されるために被膜施工後の温度変化がなく、残留応力は引張にならず、圧縮応力とはいかないまでも零応力 (0 に近い応力状態) となっている。このように、コーティング構造は、残留応力が圧縮残留応力となっていると割れが発生しにくい。エアロゾルデポジション法で施工されたボンドコート層 24 は、零応力で、トップコート層 26 を例えば溶射法で施工すると、トップコート層 26 が冷却過程で収縮しトップコートには引張残留応力が発生することになるが、ボンドコート層にはそれに釣り合う圧縮応力が発生する。これにより、コーティング構造は、残留応力が圧縮残留応力となる。

[0035] また、コーティング構造は、ボンドコート層 24 を、希土類シリケートを母材とし、かつ $1200^{\circ}C$ 以上における酸素透過係数は $10^{-9} kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ 以下とすることで、ボンドコート層 24 の気密性を高くし、かつ、耐久

温度を高くすることができる。

[0036] コーティング構造は、ボンドコート層 2 4 を基部 2 2 の表面と他の材料を介さずに積層する構造とすることで、積層構造を簡単とすることができる。また、ボンドコート層 2 4 に希土類シリケートを用いているため基部 2 2 との線膨張係数を近くすることができ、使用時の温度変化で、一部に荷重が集中することを抑制できる。

[0037] また、コーティング構造は、ボンドコート層 2 4 とトップコート層 2 6 との両方に希土類シリケートを用いることで、基部 2 2 とボンドコート層 2 4 とトップコート層 2 6 との異なる複数の温度での線膨張係数等の特性を近くすることができ、使用時の温度変化で、一部に荷重が集中することを抑制できる。

[0038] また、コーティング構造は、ボンドコート層 2 4 の結晶率が 9 0 % 以上 1 0 0 % 以下であることが好ましい。コーティング構造は、ボンドコート層 2 4 の結晶率を上記範囲とすることで、ボンドコート層 2 4 にひび割れ等が生じることを抑制することができ、気密性を高くすることができる。また、コーティング構造は、製造時に、ボンドコート層 2 4 及びトップコート層 2 6 を形成し、熱処理を実行する前のボンドコート層 2 4 の結晶率も 9 0 % 以上 1 0 0 % 以下であることが好ましい。コーティング構造は、ボンドコート層 2 4 をエアロゾルデポジション法で形成することで、熱処理を実行する前の時点での結晶率を高くすることができる。これにより、熱処理を簡単に行うことができ、また、コーティング構造のボンドコート層 2 4 の結晶率を高くすることができる。

[0039] また、コーティング構造は、ボンドコート層 2 4 の結晶の粒径が 0. 0 1 μ m 以上 1 0 μ m 以下であることが好ましい。ボンドコート層 2 4 の結晶の粒径を上記範囲とすることで、ボンドコート層 2 4 の構造を複雑形状とすることができ、ボンドコート層 2 4 の裏面から表面に繋がる割れが生じることを抑制することができ、気密性を高くすることができる。

[0040] また、コーティング構造は、ボンドコート層 2 4 の残留応力がトップコー

ト層 26 よりも小さいことが好ましい。コーティング構造は、ボンドコート層 24 の残留応力を小さくすることで、ボンドコート層 24 にひび割れ等が生じることを抑制することができ、気密性を高くすることができる。

[0041] また、本実施形態では、基部との熱膨張係数差が小さく、密着性が高いため、トップコート層とボンドコート層の母材（マトリクス）に希土類シリケートを用いたが、同様に基部との熱膨張係数差が小さく、密着性が高いジルコン（ $ZrSiO_4$ ）、 $HfSiO_4$ を用いてもよい。

[0042] 図 4 は、他の実施形態に係るコーティング構造を有するタービン部材の一例を模式的に示す断面図である。なお、タービン部材 20a のうち、タービン部材 20 と同様の構造については、詳細な説明を省略する。以下タービン部材 20a に特有の点を重点的に説明する。図 4 に示すタービン部材 20a は、基部 22 とコーティング構造とを有する。コーティング構造は、ボンドコート層 24a と、トップコート層 26 とを有する。

[0043] ボンドコート層 24a は、母材 30 と粒子 32 と、を有する。母材 30 は、ボンドコート層 24 と同様に希土類シリケートである。粒子 32 は、母材 30 の内部に分散して配置されている。粒子 32 は、ボンドコート層 24a の厚みよりも径が小さい構造である。粒子 32 は、粒径を $0.01\mu m$ 以上 $10\mu m$ 以下、例えば、 $1\mu m$ とすることが好ましい。粒子 32 は、ケイ素化合物（Si 化合物）またはチタン化合物で形成されている。ケイ素化合物には、窒素、酸素を含有する各種化合物が含まれる。チタン化合物には、チタンの炭化物（チタンカーバイト）、チタンの窒化物（チタンナイトライド）、チタンの炭窒化物（チタンカーボナイトライド）が含まれる。

[0044] コーティング構造は、ボンドコート層 24a に粒子 32 を分散させることで、耐クリープ性及び破壊靱性を向上させることができる。例えば、コーティング構造は、粒子 32 を分散させることで、母材 30 に異物を分散させることができ、クリープ変形を生じにくくすることができる。また、コーティング構造は、母材 30 にき裂が生じた場合でも、粒子 32 と接触した位置でき裂を止めることができる。また、粒子表面が酸化物となることにより、き

裂が閉塞する自己治癒機能が生じる。これにより、ボンドコート層24の表面から裏面に到達するき裂が生じることを抑制することができる。

[0045] ここで、粒子32は、窒素を含有することが好ましい。ここで、窒素を有するケイ素化合物としては、 SiCNO 、 Si_3N_4 、サイアロン ($\text{Si}_3\text{N}_4 - \text{Al}_2\text{O}_3$)、 $\text{Si}_2\text{N}_2\text{O}$ が例示される。粒子32は、窒素を含有することで、ボンドコート層24aに酸素が浸入してきた場合、粒子32で酸素を捕集することができる。ボンドコート層24aは、粒子32に窒素を含有させることで耐酸化性が向上してき裂偏向、酸素捕集及びき裂治癒効果が長時間持続し、ボンドコート層24aを酸素が通過し、基部22に酸素が到達することをより高い確率で抑制することができる。

[0046] 図5は、他の実施形態に係るコーティング構造を有するタービン部材の一例を模式的に示す断面図である。なお、タービン部材20bのうち、タービン部材20と同様の構造については、詳細な説明を省略する。以下タービン部材20bに特有の点を重点的に説明する。図5に示すタービン部材20bは、基部22とコーティング構造とを有する。コーティング構造は、ボンドコート層24bと、トップコート層26とを有する。

[0047] ボンドコート層24bは、母材30とウスカ32aと、を有する。母材30は、ボンドコート層24bと同様に希土類シリケートである。ウスカ32aは、単結晶の繊維状（棒状）の構造物である。ウスカ32aは、粒子と同様の材料で形成することができる。ウスカ32aは、例えば、長さが $5\mu\text{m}$ 以上 $20\mu\text{m}$ 以下、断面の幅が 100nm 程度である。

[0048] コーティング構造は、ボンドコート層24bにウスカ32aを分散させることで、粒子32を分散させた場合よりも靱性をより向上させることができる。つまり繊維状のウスカ32aを配置することで、母材30に混合させる量に対して、基部22の表面に直交する向きから見てウスカ32aが配置されている領域を大きくすることができる。これにより、き裂がボンドコート層24bの表面から裏面に到達するき裂が生じることを抑制することができる。

- [0049] ここで、ボンドコート層24bは、繊維状の形状の軸方向が、基材22の表面に沿った方向となるウスカ32aが、基材22の表面に直交する向きに沿った方向となるウスカ32aよりも多くなることが好ましい。
- [0050] なお、ボンドコート層24a、24bの母材30に分散させる微粒物質の構造は、粒子32、ウスカ32aに限定されない。例えば、微粒物質をウスカ32aとは異なる繊維状の構造物としてもよい。繊維状の構造物とすることで、き裂の進行を効率よく止めることができ、韌性を高くすることができる。
- [0051] 図6は、本実施形態のタービン部材を製造する部品製造システムのブロック図である。図6に示す部品製造システム100は、タービン部品を製造する。部品製造システム100は、基部製造装置102と、ボンドコート層形成装置104と、トップコート層形成装置106と、加熱処理装置108と、材料製造装置110と、を有する。部品製造システム100は、ボンドコート層形成装置104と、トップコート層形成装置106と、加熱処理装置108と、材料製造装置110と、の組み合わせがコーティング構造製造システムとなる。
- [0052] 基部製造装置102は、タービン部材のうち基部を製造する。基部製造装置102が基部を形成する方法は特に限定されない。基部製造装置102は、例えば、基部の構造に対応する型に、材料を充填し焼成することで、基部を製造する。
- [0053] ボンドコート層形成装置104は、基部の表面にボンドコート層を形成する。ボンドコート層形成装置104は、ボンドコート層となる材料である希土類シリケートを母材とする材料をエアロゾルデポジション法（AD法）で基部の表面に施工する。具体的には、ボンドコート層となる材料の微粒子、超微粒子をガスと混合してエアロゾル化し、真空中で基部の表面に噴射することで、ボンドコート層を形成する。これにより、ボンドコート層形成装置104は、ボンドコート層として基部の表面に希土類シリケートを母材とする層を形成する。

- [0054] トップコート層形成装置106は、ボンドコート層の表面にトップコート層を形成する。トップコート層形成装置106は、トップコート層となる材料である希土類シリケートを溶射でボンドコート層の表面に施工する。これにより、トップコート層形成装置106は、トップコート層としてボンドコート層の表面に希土類シリケートの層を形成する。
- [0055] 加熱処理装置108は、基部の表面にボンドコート層とトップコート層が形成された構造物に対して熱処理を行う。加熱処理装置108は、加熱炉であり、構造物を所定温度、例えば、700℃以上1000℃以下等で所定時間（数時間から数十時間）保持することで、構造物の特性を変化させる処理を行う。
- [0056] 材料製造装置110は、ボンドコート層、トップコート層として施工する材料を製造する。材料製造装置110は、希土類シリケートをボンドコート層形成装置104と、トップコート層形成装置106とで施工できる状態に加工する。また、材料製造装置110は、ボンドコート層を、希土類シリケートの母材に粒子、ウイスカ等の微細物質を混合した材料を用いる場合、希土類シリケートの母材に微細物質を混合した材料を製造する。
- [0057] 図7は、本実施形態に係るタービン部品の製造方法の一例を説明するためのフローチャートである。なお、タービン部品の製造方法の一部の工程がコーティング構造の製造方法となる。図7に示す製造方法は、部品製造システム100で各工程を実行することで実現することができる。
- [0058] 部品製造システム100は、基部製造装置102で基部を製造する（ステップS12）。部品製造システム100は、基部を製造した後、ボンドコート層形成装置104で、基部の表面にボンドコート層をエアロゾルデポジション法で形成する（ステップS14）。部品製造システム100は、ボンドコート層を形成した後、トップコート層形成装置106で、ボンドコート層の表面にトップコート層を溶射で形成する（ステップS16）。部品製造システム100は、トップコート層を形成した後、作製した構造物に対して熱処理を実行する（ステップS18）。

- [0059] 部品製造システム100は、以上の工程を実行することで、ボンドコート層を、材料が緻密に配置され、かつ、気体が通過する割れ、クラックが少ないまたはない構造とすることができ、酸素透過率が低い構造とすることができる。また、ボンドコート層の母材を希土類シリケートまたはジルコンとすることで、基部の表面に形成でき、トップコート層と密着する合金を用いる場合よりも耐熱性を高くすることができる。
- [0060] これにより、コーティング構造の製造方法は、耐熱性が高く、気密性が高いボンドコート層と、耐熱性が高く水蒸気の透過を抑制できるトップコート層を有するコーティング構造を製造することができる。
- [0061] なお、本実施形態では、簡単に施工できるため、トップコート層形成装置106は、溶射でトップコート層を形成したが、トップコート層は、溶射以外の方法で施工してもよい。

符号の説明

- [0062]
- 1 ガスタービン
 - 2 圧縮機
 - 3 燃焼器
 - 4 タービン部
 - 5 回転軸
 - 6 発電機
 - 7 タービン静翼
 - 8 タービン動翼
 - 9 分割環
 - 10 車室
 - 20 タービン部材
 - 22 基材（基部）
 - 24 ボンドコート層
 - 26 トップコート層
 - 100 部品製造システム

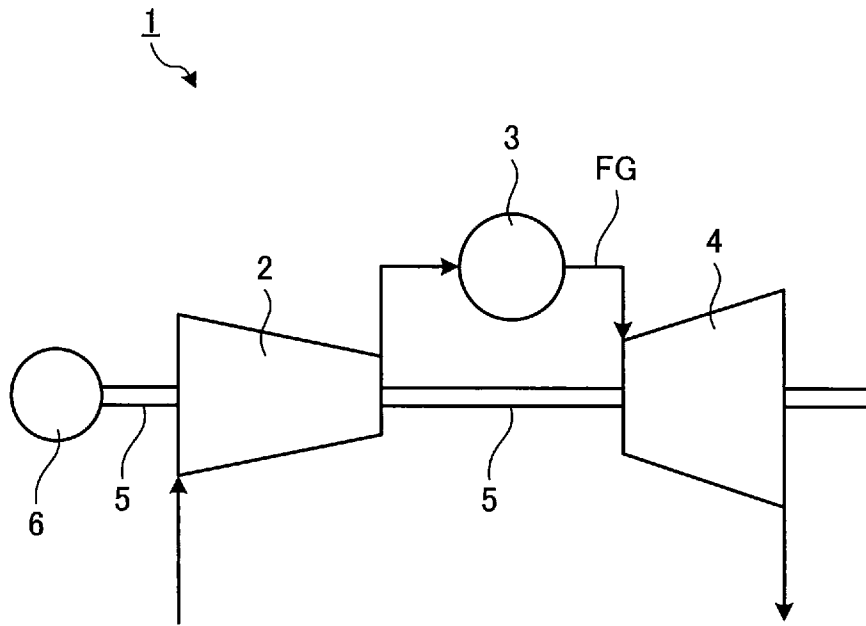
- 1 0 2 基部製造装置
- 1 0 4 ボンドコート層形成装置
- 1 0 6 トップコート層形成装置
- 1 0 8 加熱処理装置
- 1 1 0 材料製造装置

請求の範囲

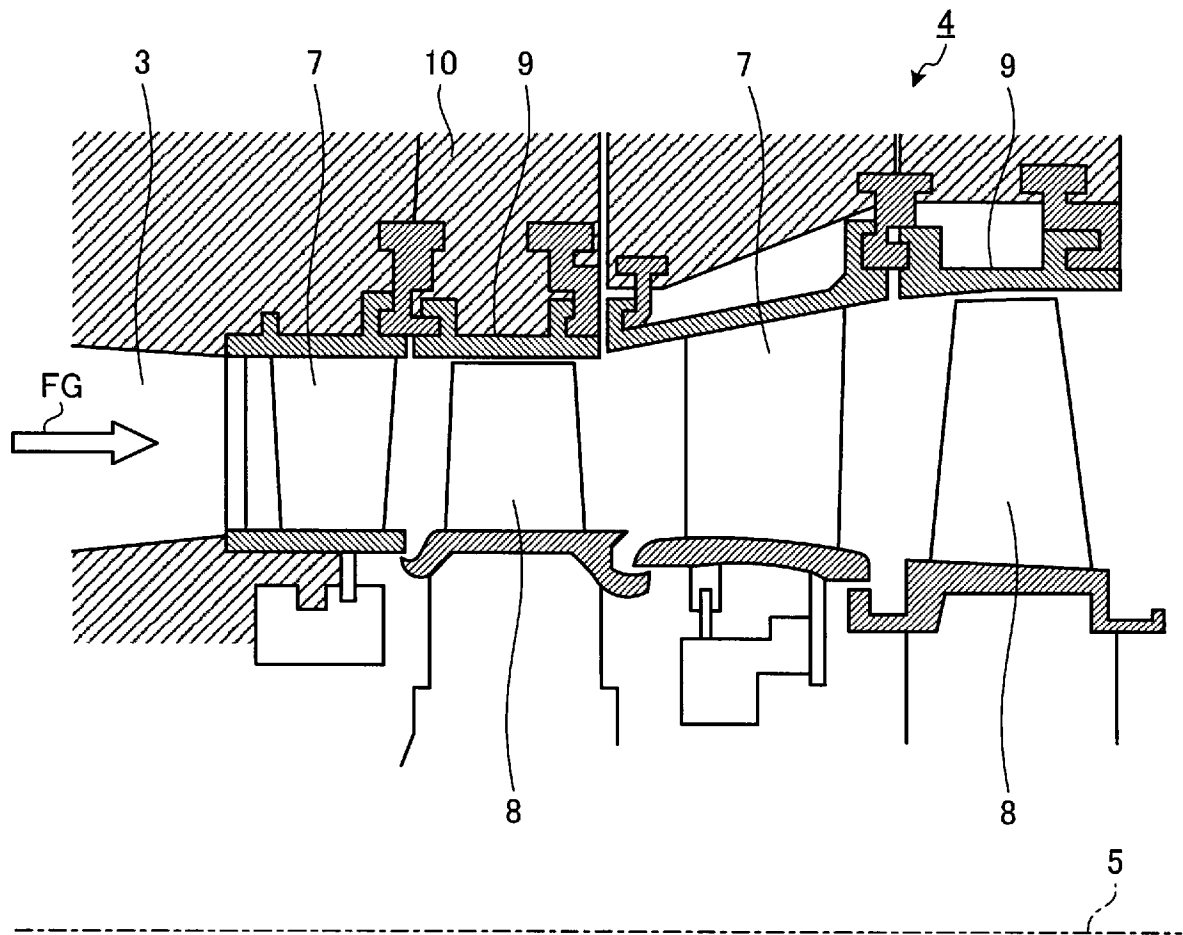
- [請求項1] セラミックス基複合材料を含む基部の表面に設けられたコーティング構造であって、
前記基部の表面に積層され、希土類シリケートで形成されたボンドコート層と、
前記ボンドコート層に積層されたトップコート層と、を有し、
前記ボンドコート層は、残留応力が圧縮残留応力であり、かつ、1200℃以上、酸素分圧が高い側の酸素分圧が0.02MPa以上における酸素透過係数が $10^{-9} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下であることを特徴とするコーティング構造。
- [請求項2] 前記ボンドコート層は、結晶率が90%以上100%以下であることを特徴とする請求項1に記載のコーティング構造。
- [請求項3] 前記ボンドコート層は、前記基部の表面と他の材料を介さずに積層されていることを特徴とする請求項1または請求項2に記載のコーティング構造。
- [請求項4] 前記ボンドコート層は、残留応力が前記トップコート層よりも小さいことを特徴とする請求項1から請求項3のいずれか一項に記載のコーティング構造。
- [請求項5] 前記ボンドコート層は、結晶の粒径が $0.01 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1から請求項4のいずれか一項に記載のコーティング構造。
- [請求項6] 前記ボンドコート層は、ケイ素またはチタンを含有する分散物質が前記希土類シリケートに分散されていることを特徴とする請求項1から請求項5のいずれか一項に記載のコーティング構造。
- [請求項7] 前記分散物質は、粒子であることを特徴とする請求項6に記載のコーティング構造。
- [請求項8] 前記分散物質は、ウイスカであることを特徴とする請求項6に記載のコーティング構造。

- [請求項9] 前記分散物質は、窒素を含有することを特徴とする請求項6から請求項8のいずれか一項に記載のコーティング構造。
- [請求項10] 請求項1から請求項9のいずれか一項に記載のコーティング構造と、
、
前記コーティング構造が表面に形成された前記基部と、を有することを特徴とするタービン部品。
- [請求項11] セラミックス基複合材料を含む基部の表面にエアロゾルデポジション法で希土類シリケートを製膜し、ボンドコート層を形成するステップと、
前記ボンドコート層の表面に溶射でトップコート層を形成するステップと、
前記ボンドコート層と前記トップコート層を形成した後、前記基部に前記ボンドコート層と前記トップコート層が積層された物体に熱処理を実行するステップと、を含むことを特徴とするコーティング構造の製造方法。
- [請求項12] セラミックス基複合材料を含む基部の表面にエアロゾルデポジション法で $ZrSiO_4$ または $HfSiO_4$ を製膜し、ボンドコート層を形成するステップと、
前記ボンドコート層の表面に溶射でトップコート層を形成するステップと、
前記ボンドコート層と前記トップコート層を形成した後、前記基部に前記ボンドコート層と前記トップコート層が積層された物体に熱処理を実行するステップと、を含むことを特徴とするコーティング構造の製造方法。
- [請求項13] 前記ボンド層を形成するステップは、ケイ素またはチタンを含有する分散物質を分散させるステップを含むことを特徴とする請求項11または請求項12に記載のコーティング構造の製造方法。

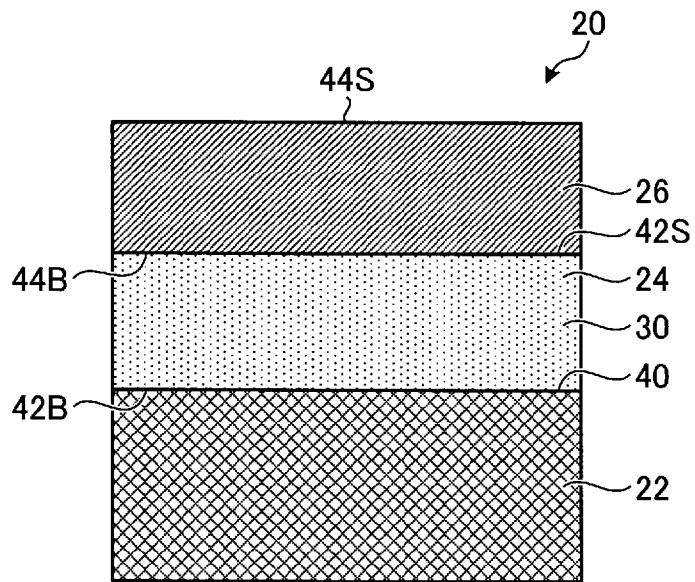
[図1]



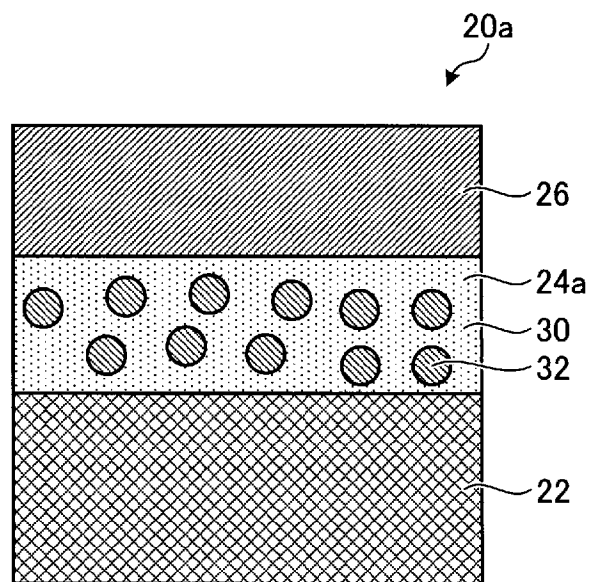
[図2]



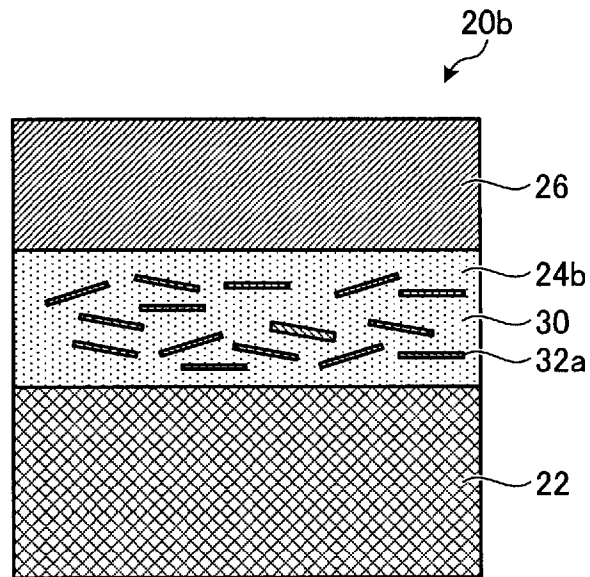
[図3]



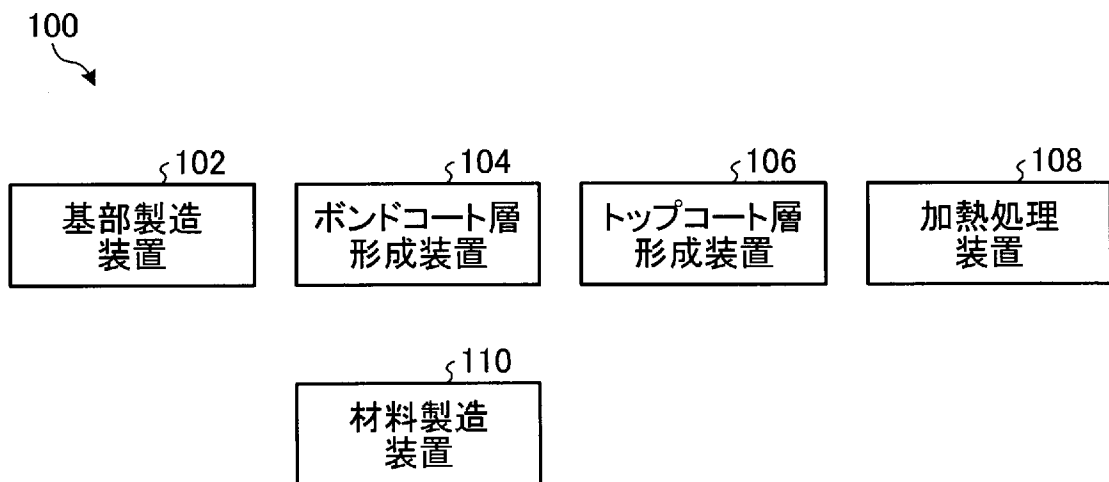
[図4]



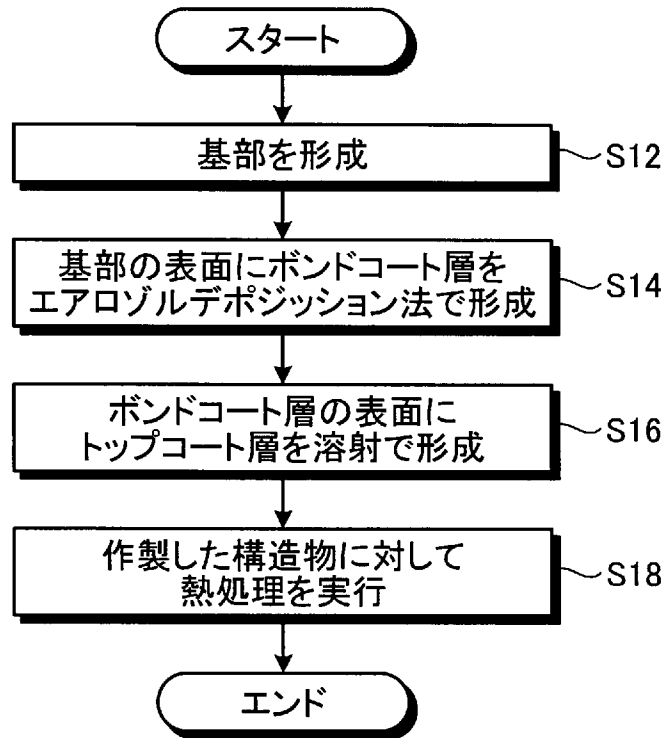
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/014844

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
C04B41/89(2006.01)i, F01D5/18(2006.01)i, F01D25/00(2006.01)i, F01D25/24(2006.01)i, F02C7/00(2006.01)i, F23R3/42(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)
C04B41/89, F01D5/18, F01D25/00, F01D25/24, F02C7/00, F23R3/42

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
Japio-GPG/FX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2007-91504 A (Kyocera Corp.), 12 April 2007 (12.04.2007), (Family: none)	1-13
A	JP 2005-335990 A (Kyocera Corp.), 08 December 2005 (08.12.2005), (Family: none)	1-13
A	JP 2013-139633 A (General Electric Co.), 18 July 2013 (18.07.2013), & US 2013/0177437 A1 & EP 2612948 A2	1-13
A	JP 10-87386 A (Toshiba Corp.), 07 April 1998 (07.04.1998), (Family: none)	1-13

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 03 July 2017 (03.07.17)	Date of mailing of the international search report 11 July 2017 (11.07.17)
--	---

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

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/014844

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2012-513946 A (Snecma Propulsion Solide), 21 June 2012 (21.06.2012), & US 2011/0256411 A1 & WO 2010/072978 A1 & EP 2379471 A1	1-13
A	JP 5-270950 A (Societe Europeenne de Propulsion), 19 October 1993 (19.10.1993), & US 5622751 A & EP 550305 A1	1-13
A	JP 2005-200226 A (Central Research Institute of Electric Power Industry), 28 July 2005 (28.07.2005), & US 2005/0249977 A1	1-13
A	JP 2008-247722 A (IHI Corp.), 16 October 2008 (16.10.2008), (Family: none)	1-13

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. C04B41/89(2006.01)i, F01D5/18(2006.01)i, F01D25/00(2006.01)i, F01D25/24(2006.01)i, F02C7/00(2006.01)i, F23R3/42(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. C04B41/89, F01D5/18, F01D25/00, F01D25/24, F02C7/00, F23R3/42

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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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)

Japio-GPG/FX

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
A	JP 2007-91504 A (京セラ株式会社) 2007.04.12, (ファミリーなし)	1-13
A	JP 2005-335990 A (京セラ株式会社) 2005.12.08, (ファミリーなし)	1-13
A	JP 2013-139633 A (ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ) 2013.07.18, & US 2013/0177437 A1 & EP 2612948 A2	1-13
A	JP 10-87386 A (株式会社東芝) 1998.04.07, (ファミリーなし)	1-13

☑ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ 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	の日の後に公表された文献
「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	「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
「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	「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
「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)	「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
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 03.07.2017	国際調査報告の発送日 11.07.2017
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) 延平 修一 電話番号 03-3581-1101 内線 3465

C (続き) . 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
A	JP 2012-513946 A (スネクマ・プロピュルシオン・ソリド) 2012.06.21, & US 2011/0256411 A1 & WO 2010/072978 A1 & EP 2379471 A1	1-13
A	JP 5-270950 A (ソシエテ ヨーロペアン ドゥ プロピュルシオン) 1993.10.19, & US 5622751 A & EP 550305 A1	1-13
A	JP 2005-200226 A (財団法人電力中央研究所) 2005.07.28, & US 2005/0249977 A1	1-13
A	JP 2008-247722 A (株式会社 I H I) 2008.10.16, (ファミリーなし)	1-13