

(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
2018年7月5日(05.07.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/124086 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 3/00 (2006.01) *G01N 3/20* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/046686
- (22) 国際出願日: 2017年12月26日(26.12.2017)
- (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 2016-251455 2016年12月26日(26.12.2016) JP
- (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 1 6 番 5 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 岡嶋 芳史 (OKAJIMA, Yoshifumi);
〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 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 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内
Tokyo (JP). 石川 博司 (ISHIKAWA, Hiroshi);

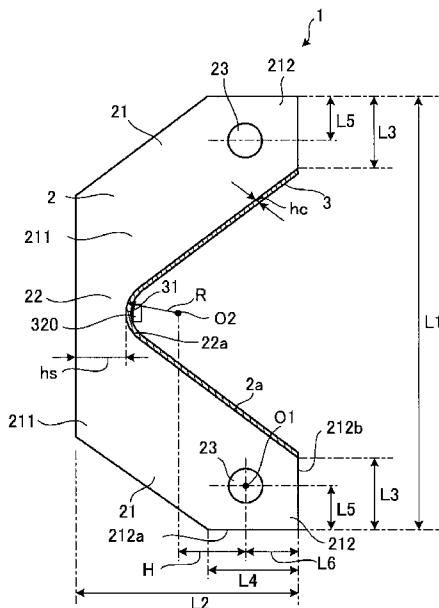
〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号
三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 玉置 齊
(TAMAKI, Hitoshi); 〒1088215 東京都港区港
南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会
社内 Tokyo (JP). 武野 和馬(TAKENO, Kazuma);
〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号
三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).

(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).

(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, JO, 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,

(54) Title: THERMAL BARRIER COATING TESTING METHOD AND TEST PIECE

(54) 発明の名称: 遮熱コーティングの試験方法及び試験片



(57) Abstract: This thermal barrier coating testing method includes: a test piece preparing step of preparing a test piece 1 including a pair of arm portions 21, a curved portion 22 between the pair of arm portions 21, and a thermal barrier coating layer 3 on a curved surface 22a of the curved portion 22; a mounting step of mounting the test piece 1 in a compression test device, after implementation of the test piece preparing step; and a stress loading step of using the compression test device to load the test piece 1 with a compressive stress in a direction causing the pair of arm portions 21 to approach one another, after implementation of the mounting step.

(57) 要約: 一对のアーム部 2 1 と、一对のアーム部 2 1 の間の湾曲部 2 2 と、湾曲部 2 2 の湾曲面 2 2 a 上の遮熱コーティング層 3 とを有する試験片 1 を準備する試験片準備工程と、試験片準備工程の実施後に、試験片 1 を圧縮試験装置に装着する装着工程と、装着工程の実施後に、圧縮試験装置で、試験片 1 に対して一对のアーム部 2 1 を近づける方向に圧縮応力を負荷する応力負荷工程とを含む。

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:

- 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：遮熱コーティングの試験方法及び試験片

技術分野

[0001] 本発明は、圧縮応力が作用する湾曲部に形成された遮熱コーティングの損傷の有無を評価する遮熱コーティングの試験方法及び試験片に関する。

背景技術

[0002] 例えば、ガスタービンの翼および燃焼器の部材などのに表面には、遮熱性および耐久性を向上させるために、遮熱コーティング（TBC：Thermal Barrier Coating）層が形成されている。遮熱コーティング層は高温環境下に長期間さらされるので、遮熱コーティング層が損傷するおそれがある。遮熱コーティング層が損傷すると、遮熱コーティング層の下の基材の損傷につながるおそれがある。そこで、遮熱コーティング層を有する部材を評価する方法や装置が知られている（例えば、特許文献1参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2001-330542号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献1に記載された技術では、実機である動翼において最も疲労損傷が進行してき裂が伸びている部位から試験片を採取する。試験片は、動翼の前縁に沿い、径方向に沿って延びる棒状の形状である。そして、試験片に、試験片の軸線方向に対して垂直な方向に沿って繰り返し曲げ荷重を負荷する。このように、特許文献1に記載された技術は、湾曲部を有していない試験片に応力を負荷する。

[0005] ガスタービンの翼および燃焼器の部材の湾曲部は、他部より高い圧縮応力が作用しているので、遮熱コーティング層の品質を適切に評価することが求

められている。しかも、湾曲部は、遮熱コーティングの施工が他の部分に比べて難しく、遮熱コーティングの品質を均一に保つことが難しい。このため、ガスタービンの翼および燃焼器の部材の湾曲部は、遮熱コーティング層の品質を適切に評価することが求められている。このように、圧縮応力が作用する湾曲部に形成された遮熱コーティングについて、損傷の有無を正確に評価することが求められている。

[0006] 本発明は、このような実情に鑑みてなされたものであり、圧縮応力が作用する湾曲部に形成された遮熱コーティングの損傷の有無を正確に評価することができる遮熱コーティングの試験方法及び試験片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] 本発明の遮熱コーティングの試験方法は、圧縮応力が作用する湾曲部に形成された遮熱コーティングの損傷の有無を評価する遮熱コーティングの試験方法であって、一対のアーム部と、前記一対のアーム部の間に配置された湾曲部と、前記湾曲部の湾曲面上の遮熱コーティング層とを有する試験片を準備する試験片準備工程と、前記試験片準備工程の実施後に、前記試験片を圧縮試験装置に装着する装着工程と、前記装着工程の実施後に、前記圧縮試験装置で、前記試験片に対して前記一対のアーム部を近づける方向に圧縮応力を負荷する応力負荷工程と、を含むことを特徴とする。

[0008] この方法によれば、圧縮応力が作用する湾曲部に形成された遮熱コーティングの損傷の有無を正確に評価することができる。

[0009] 本発明の遮熱コーティングの試験方法における、前記試験片準備工程は、前記一対のアーム部に、板厚方向に貫通する一対の丸孔を形成し、前記装着工程は、前記一対の丸孔に挿通したピンを介して、前記試験片を前記圧縮試験装置に装着し、前記応力負荷工程は、前記ピンを介して、前記試験片に対して前記一対のアーム部を近づける方向に圧縮応力を負荷することを特徴とする。この方法によれば、曲げモーメントの影響を軽減し、圧縮応力が作用する湾曲部に形成された遮熱コーティングの損傷の有無を正確に評価するこ

とができる。

[0010] 本発明の遮熱コーティングの試験方法における、前記試験片準備工程は、前記湾曲部の曲率半径 R を評価対象である実機の湾曲部の曲率半径の値の範囲内とし、前記遮熱コーティング層の厚さ h_c を前記実機の遮熱コーティング層の厚さの値の範囲内とし、前記湾曲部の厚さ h_s を前記実機の湾曲部の厚さの値の範囲内とし、前記一对の丸孔の中心と前記曲率半径 R の中心との距離 H を、前記曲率半径 R と、前記厚さ h_c と、前記厚さ h_s とに基づいて算出される値とすることを特徴とする。この方法によれば、圧縮応力が作用する湾曲部に形成された遮熱コーティングの損傷の有無を正確に評価することができる。

[0011] 本発明の遮熱コーティングの試験方法における、前記試験片準備工程は、前記曲率半径 R を 3 mm 以上、 7 mm 以下の範囲内とし、前記厚さ h_c を 0 、 3 mm 以上、 1.5 mm 以下の範囲内とし、前記厚さ h_s を 3 mm 以上、 7 mm 以下の範囲内とすることを特徴とする。この方法によれば、圧縮応力が作用する湾曲部に形成された遮熱コーティングの損傷の有無を正確に評価することができる。

[0012] 本発明の試験片は、圧縮応力が作用する湾曲部に形成された遮熱コーティングの損傷の有無を評価する遮熱コーティングの試験方法で使用される試験片であって、一对のアーム部と、前記一对のアーム部の間に配置された湾曲部と、前記湾曲部の湾曲面上の遮熱コーティング層と、を備えることを特徴とする。

[0013] この構成によれば、圧縮応力が作用する湾曲部に形成された遮熱コーティングの損傷の有無を正確に評価することができる。

[0014] 本発明の試験片は、前記一对のアーム部に、前記一对のアーム部を板厚方向に貫通する一对の丸孔を備え、前記一对の丸孔に挿通したピンを介して、圧縮試験装置に装着されることを特徴とする。この構成によれば、曲げモーメントの影響を軽減し、圧縮応力が作用する湾曲部に形成された遮熱コーティングの損傷の有無を正確に評価することができる。

[0015] 本発明の試験片は、前記湾曲部の曲率半径 R は、評価対象である実機の湾曲部の曲率半径の値の範囲内であり、前記遮熱コーティング層の厚さ h_c は、前記実機の遮熱コーティング層の厚さの値の範囲内であり、前記湾曲部の厚さ h_s は、前記実機の湾曲部の厚さの値の範囲内であり、前記一对の丸孔の中心と前記曲率半径 R の中心との距離 H は、前記曲率半径 R と、前記厚さ h_c と、前記厚さ h_s とに基づいて算出される値であることを特徴とする。この構成によれば、圧縮応力が作用する湾曲部に形成された遮熱コーティングの損傷の有無を正確に評価することができる。

[0016] 本発明の試験片は、前記曲率半径 R は、3 mm 以上、7 mm 以下の範囲内であり、前記厚さ h_c は、0.3 mm 以上、1.5 mm 以下の範囲内であり、前記厚さ h_s は、3 mm 以上、7 mm 以下の範囲内であることを特徴とする。この構成によれば、圧縮応力が作用する湾曲部に形成された遮熱コーティングの損傷の有無を正確に評価することができる。

発明の効果

[0017] 本発明によれば、圧縮応力が作用する湾曲部に形成された遮熱コーティングの損傷の有無を正確に評価することができる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]図1は、第一実施形態に係る遮熱コーティングの試験方法で使用される試験片の一例を示す正面図である。

[図2]図2は、第一実施形態に係る試験片の寸法の要求範囲を示すグラフである。

[図3]図3は、第一実施形態に係る遮熱コーティングの試験方法で使用される試験装置の構造の一例を示す概略図である。

[図4]図4は、遮熱コーティングの試験方法の概略を示すフロー図である。

[図5]図5は、ひずみゲージ計測結果の一例を示すグラフである。

[図6]図6は、第二実施形態に係る試験片の評価結果を示すグラフである。

[図7]図7は、遮熱コーティングが施された、圧縮応力が作用する湾曲部を有する動翼の一例を示す斜視図である。

[図8]図8は、図7に示す動翼に遮熱コーティングを実施する状態を示す概略図である。

[図9]図9は、従来の試験片を示す概略図である。

[図10]図10は、従来の試験片を示す概略図である。

[図11]図11は、従来の試験方法を示す概略図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下、本発明の実施の形態について、添付図面を参照して詳細に説明する。なお、この実施形態によりこの発明が限定されるものではない。また、下記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。さらに、以下に記載した構成要素は適宜組み合わせることが可能であり、また、実施形態が複数ある場合には、各実施形態を組み合わせることも可能である。

[0020] (第一実施形態)

図1を用いて、試験片1について説明する。図1は、第一実施形態に係る遮熱コーティングの試験方法で使用される試験片の一例を示す正面図である。試験片1は、評価対象の実機であるガスタービンの動翼100(図7参照)の高い圧縮応力が作用している範囲を含む湾曲部104(図7参照)を模している。試験片1は、本体部2と、本体部2の表面に形成された遮熱コーティング層3とを備える。

[0021] 本体部2は、試験片1の基材である。本体部2は、動翼100の翼部102(図7参照)の基材と同じ耐熱合金で構成されている。本体部2は、材料のインゴットから切り出して板状に形成される。本体部2は、所定の圧縮応力を負荷した際に、不用意に変形しない程度の板厚を有する。本体部2は、例えば、板厚5mm以上、15mm以下程度とすることが好ましい。本体部2は、一对のアーム部21と、湾曲部22と、一对の丸孔23とを有する。

[0022] 一对のアーム部21は、向かい合って配置されている。より詳しくは、一对のアーム部21は、基端部211から先端部212に向かうにつれて、互いに離れるように配置されている。一对のアーム部21は、圧縮試験装置3

10（図3参照）に装着しやすい形状に形成されている。一对のアーム部21の基端部211の間に、湾曲部22が配置されている。一对のアーム部21と湾曲部22とは、一体に形成されている。

[0023] 湾曲部22は、曲率半径Rで湾曲した湾曲面22aを有する。湾曲部22の曲率半径Rは、ガスタービンの動翼100の湾曲部104の曲率半径と合わせて、3mm以上、7mm以下の範囲内とすることが好ましい。湾曲部22の厚さ h_s は、ガスタービンの動翼100の湾曲部104の厚さと合わせて、3mm以上、7mm以下の範囲内とすることが好ましい。

[0024] 一对の丸孔23は、一对のアーム部21の先端部212を板厚方向に貫通して形成されている。一对の丸孔23は、向かい合って配置されている。丸孔23は、圧縮試験装置310のピン315が摺動自在に挿通される径を有する。本実施形態では、丸孔23の直径は、5.5mmである。

[0025] 遮熱コーティング層3は、本体部2を高温から保護する。遮熱コーティング層3は、本体部2の内周面2a上に成膜されている。遮熱コーティング層3は、ガスタービンの動翼100と同じ方法で形成されている。遮熱コーティング層3の、試験片1の湾曲部22の湾曲面22aに対応する位置を、湾曲部31という。

[0026] 遮熱コーティング層3の厚さ h_c は、ガスタービンの動翼100の遮熱コーティング層の厚さと合わせて、0.3mm以上、1.5mm以下の範囲内とすることが好ましい。

[0027] 遮熱コーティング層3は、本体部2の内周面2aに、金属結合層であるボンドコート層を形成し、ボンドコート層上に溶射等の成膜方法によって酸化物セラミックスからなるセラミックス層を積層して形成されている。ボンドコート層は、例えば、MCrAlY合金（Mは、Co、Ni、または、これらの組み合わせ）である。セラミックス層としては、ZrO₂系の材料、例えば、Y₂O₃で部分安定化または完全安定化したZrO₂であるYSZ（イットリア安定化ジルコニア）である。

[0028] このように構成された試験片1において、一对の丸孔23の中心O1と曲

率半径 R の中心 O_2 との距離 H は、湾曲部 22 の曲率半径 R と、遮熱コーティング層 3 の厚さ h_c と、湾曲部 22 の厚さ h_s とに基づいて算出される値とする。距離 H は、遮熱コーティング層 3 の湾曲部 31 に、試験で遮熱コーティング層 3 に損傷を生じた圧縮応力と、ガスタービンの動翼 100 の例えば湾曲部 104 について FEM (Finite Element Method) 計算で算出した圧縮応力とを網羅して負荷するような寸法とする。

[0029] 図 2 を用いて、距離 H の算出方法を説明する。図 2 は、第一実施形態に係る試験片の寸法の要求範囲を示すグラフである。グラフは、横軸を遮熱コーティング層 3 の湾曲部 31 の曲率半径 R_0 、縦軸を湾曲部 22 の曲率半径 R / 距離 H とし、湾曲部 22 の厚さ h_s ごとに、遮熱コーティング層 3 の厚さ h_c を変えた場合の、距離 H の寸法の要求範囲を示す。グラフは、例として、湾曲部 22 の厚さ h_s を 3 mm、5 mm、7 mm とし、それぞれの厚さ h_s ごとに、遮熱コーティング層 3 の厚さ h_c を 0.3 mm、1.0 mm、1.5 mm と変えた場合の、距離 H の寸法の要求範囲を示す。距離 H は、グラフで示される値以上であればよい。

[0030] 本実施形態において、距離 H を、85 mm としたときの、試験片 1 の他の寸法は次のとおりである。本体部 2 の縦方向の長さ L_1 は、700 mm である。本体部 2 の横方向の長さ L_2 は、240 mm である。アーム部 21 の先端部 212 の縦方向の長さ L_3 は、115 mm である。アーム部 21 の先端部 212 の横方向の長さ L_4 は、110 mm である。丸孔 23 の先端部 212 の端面 212a からの長さ L_5 は、70 mm である。丸孔 23 の先端部 212 の端面 212b からの長さ L_6 は、65 mm である。

[0031] 図 3 を用いて、試験片 1 の圧縮試験を行う圧縮試験装置 310 について説明する。図 3 は、第一実施形態に係る遮熱コーティングの試験方法で使用される試験装置の構造の一例を示す概略図である。圧縮試験装置 310 は、下側基台 311 と、下側基台 311 に固定された下側保持部 312 と、上側基台 313 と、上側基台 313 に固定された上側保持部 314 と、一对のピン 315 とを有する。一对のピン 315 は、下側保持部 312 に形成された挿

通孔 312a と、上側保持部 314 に形成された挿通孔 314a とに挿入されている。一对のピン 315 は、下側保持部 312 の挿通孔 312a と、上側保持部 314 の挿通孔 314a とで回転自在に支持されている。ピン 315 は、試験片 1 に所定の圧縮応力を負荷した際に変形しない程度の強度を有する。本実施形態では、ピン 315 の直径は、5 mm 程度とする。ピン 315 は、試験片 1 の板厚より長い軸方向の長さを有する。圧縮試験装置 310 には、一对のピン 315 を介して試験片 1 が装着される。圧縮試験装置 310 は、装着された試験片 1 に、一对のアーム部 21 を近づける方向の圧縮応力を負荷する。

[0032] 次に、図 4 を用いて、試験片 1 を使用した遮熱コーティングの試験方法について説明する。図 4 は、遮熱コーティングの試験方法の概略を示すフロー図である。本実施形態に係る遮熱コーティングの試験方法は、圧縮応力が作用する湾曲部に形成された遮熱コーティングの損傷の有無を評価する。遮熱コーティングの試験方法は、試験片準備工程 P1 と、装着工程 P2 と、応力負荷工程 P3 とを含む。以下各工程 P1 ～ P3 について詳細に説明する。

[0033] 試験片準備工程 P1 は、一对のアーム部 21 と、一对のアーム部 21 の間に配置された湾曲部 22 と、本体部 2 の内周面 2a 上に成膜された遮熱コーティング層 3 とを有する試験片 1 を準備する。より詳しくは、まず、一对の丸孔 23 の中心 O1 と曲率半径 R の中心 O2 との距離 H を、湾曲部 22 の曲率半径 R と、遮熱コーティング層 3 の厚さ h_c と、湾曲部 22 の厚さ h_s とに基づいて算出する。そして、算出した距離 H に基づいて、本体部 2 の他の寸法を算出する。そして、算出した寸法に基づいて、本体部 2 を材料のインゴットから切り出す。そして、算出した寸法に基づいて、一对のアーム部 21 の先端部 212 に、一对の丸孔 23 を板厚方向に貫通して形成する。そして、切出した本体部 2 の内周面 2a に、実機と同様の手順で、遮熱コーティング層 3 を形成する。このようにして、試験片準備工程 P1 で、試験片 1 が作成される。

[0034] 試験片準備工程 P1 は、湾曲部 22 の曲率半径 R を、ガスタービンの動翼

100の湾曲部104の曲率半径と合わせて、3mm以上、7mm以下の範囲内とすることが好ましい。本実施形態では、湾曲部22の曲率半径Rを、6mmとする。湾曲部22の厚さ h_s を、ガスタービンの動翼100の湾曲部104の厚さと合わせて、3mm以上、7mm以下の範囲内とすることが好ましい。本実施形態では、湾曲部22の厚さ h_s を、3mmとする。遮熱コーティング層3の厚さ h_c を、ガスタービンの動翼100の遮熱コーティング層の厚さと合わせて、0.3mm以上、1.5mm以下の範囲内とすることが好ましい。本実施形態では、遮熱コーティング層3の厚さ h_c は、1.5mmとする。

[0035] 装着工程P2は、試験片準備工程P1の実施後に、試験片1を圧縮試験装置310に装着する。より詳しくは、試験片1の一对の丸孔23に一对のピン315を挿入して、試験片1を圧縮試験装置310に装着する。一对のピン315は、下側保持部312と上側保持部314とに対して回転自在、かつ、試験片1の一对の丸孔23に対して回転自在である。このように試験片1を圧縮試験装置310に装着することで、応力負荷工程P3において、試験片1における曲げモーメントの影響を無視することができる程度に軽減することができる。

[0036] 応力負荷工程P3は、装着工程P2の実施後に、圧縮試験装置310で、試験片1に対して、一对のピン315を介して、一对のアーム部21を近づける方向の圧縮応力を負荷する。応力負荷工程P3は、実機の応力場と同様に、遮熱コーティング層3に圧縮応力が作用する方向に負荷をかける。より詳しくは、まず、試験片1の遮熱コーティング層3の湾曲部31に、ひずみゲージ320を貼着する。ひずみゲージ320は、例えば、差動トランス式伸び計である。そして、圧縮試験装置310で試験片1に圧縮応力を負荷する。ひずみゲージ320は、試験片1の遮熱コーティング層3の湾曲部31のひずみを測定する。ひずみゲージ320は、計測結果を図示しない制御装置に出力し、記憶装置に記憶させる。制御装置は、ひずみゲージ320の計測結果を表示装置で表示する。表示装置には、例えば、計測結果が図5に示

すようなグラフで表示される。

[0037] 図5を用いて、ひずみゲージ320の計測結果について説明する。図5は、ひずみゲージ計測結果の一例を示すグラフである。グラフは、横軸を変位 δ 、縦軸を遮熱コーティング層表面ひずみ ε としている。遮熱コーティング層表面ひずみ ε は、損傷発生時に不連続点を生じる。このグラフでは、圧縮応力を負荷すると、変位 δ の増加にともなって、遮熱コーティング層表面ひずみ ε が増加する。そして、遮熱コーティング層表面ひずみ ε が ε_c のとき、遮熱コーティング層表面ひずみ ε が不連続である。これにより、遮熱コーティング層表面ひずみ ε が ε_c で遮熱コーティング層3が損傷したと推測される。このように、図5に示す例では、損傷が発生した遮熱コーティング層表面ひずみ ε を、損傷限界ひずみ ε_c とする。

[0038] 以上説明したように、本実施形態によれば、ガスタービンの動翼100の高い圧縮応力が作用している範囲を含む湾曲部104を模した試験片1の本体部2の内周面2a上に、実機と同様の手順で、遮熱コーティング層3を形成する。そして、実機の応力場と同様に、遮熱コーティング層3に圧縮応力が作用する方向に負荷をかけて、遮熱コーティング層3の湾曲部31のひずみを測定する。これにより、本実施形態は、遮熱コーティング層3の湾曲部31における損傷の有無を正確に評価することができる。試験片1はガスタービンの動翼100の高い圧縮応力が作用している範囲を含む湾曲部104を模しているので、本実施形態は、ガスタービンの動翼100の湾曲部104に形成された遮熱コーティングの損傷の有無を正確に評価することができる。

[0039] 本実施形態によれば、試験片1において遮熱コーティング層3の湾曲部31における損傷の有無を正確に評価することで、実機の遮熱コーティングの損傷の有無を正確に評価することができる。

[0040] さらに、湾曲部104は、遮熱コーティングの施工が他の部分に比べて難しく、遮熱コーティングの品質を均一に保つことが難しい。図8を用いて、湾曲部104における遮熱コーティングの施工について説明する。図7は、

遮熱コーティングが施された、圧縮応力が作用する湾曲部を有する動翼の一例を示す斜視図である。図8は、図7に示す動翼に遮熱コーティングを実施する状態を示す概略図である。図8に示すように、動翼100は、プラットフォーム103とマスキング治具110との間に配置されている。湾曲部104の周辺を溶射装置300で溶射する際に、本体部301および供給管302がマスキング治具110に干渉しないように、溶射装置300をプラットフォーム103に対して斜めに傾斜させた状態で施工する。溶射装置300を施工部に対して直立させた状態で施工した場合に比べて、溶射装置300によるビーム径Xが拡大する。これにより、遮熱コーティング剤が、湾曲部104に付着しにくいおそれがある。遮熱コーティング層が所定の厚みとなるように、溶射のパス数を増加させると、湾曲部104の周辺の厚さが他の部分よりも厚くなるおそれがある。このように、ガスタービンの翼および燃焼器の部材の湾曲部は、施工が難しいため、遮熱コーティング層の品質を適切に評価することが求められている。

[0041] 本実施形態によれば、試験片1において遮熱コーティング層3の湾曲部31における損傷の有無を正確に評価することで、ガスタービンの動翼100の湾曲部104に形成された遮熱コーティングの損傷の有無を正確に評価することができる。

[0042] これに対して、従来の方 法について説明する。図9ないし図11に示すように、従来の方 法は、ガスタービンの動翼100の翼部102から採取した、軸線方向に延びた試験片120に、軸線方向と垂直な方向、または、軸線方向に沿った方向に荷重を負荷する。図9は、従来の方 法を示す概略図である。図10は、従来の方 法を示す概略図である。図11は、従来の方 法を示す概略図である。このように、従来は、ガスタービンの動翼100の高い圧縮応力が作用する湾曲部104（図7参照）ではなく、軸線方向に延びた試験片120でひずみを測定する。このため、従来の方 法では、遮熱コーティング層3に高い圧縮応力が作用する湾曲部104の形状で損傷の有無を評価することができない。

[0043] 本実施形態によれば、試験片 1 の遮熱コーティング層 3 の湾曲部 3 1 に圧縮応力を負荷するので、遮熱コーティング層 3 の湾曲部 3 1 における損傷の有無をより正確に評価することができる。

[0044] このように、本実施形態は、試験片 1 の遮熱コーティング層 3 の湾曲部 3 1 における損傷の有無を評価することで、ガスタービンの動翼 1 0 0 の高い圧縮応力が作用する湾曲部 1 0 4 に形成された遮熱コーティングの損傷の有無を正確に評価することができる。

[0045] (第二実施形態)

次に、図 6 を参照して、本実施形態に係る遮熱コーティングの試験方法について説明する。図 6 は、第二実施形態に係る試験片の評価結果を示すグラフである。なお、本実施形態では、重複した記載を避けるべく、第一実施形態と異なる部分について説明し、第一実施形態と同様の構成である部分については、同じ符号又は対応する符号を付して説明する。

[0046] 試験片準備工程 P 1 で、試験片 1 を、実機であるガスタービンの動翼 1 0 0 から切出して作成する。より詳しくは、試験片準備工程 P 1 で、動翼 1 0 0 の湾曲部 1 0 4 を含み、一对の丸孔 2 3 の中心 O 1 と曲率半径 R の中心 O 2 との距離 H が、湾曲部 2 2 の曲率半径 R と、遮熱コーティング層 3 の厚さ h_c と、湾曲部 2 2 の厚さ h_s とに基づいて算出される値となるように切出す。そして、算出した寸法に基づいて、切出した試験片 1 の一对のアーム部 2 1 の先端部 2 1 2 に、一对の丸孔 2 3 を形成する。

[0047] 試験片準備工程 P 1 では、運転前または運転後のガスタービンの動翼 1 0 0 から試験片 1 の切出しを行えばよい。より詳しくは、運転前のガスタービンの動翼 1 0 0 の遮熱コーティングの損傷の有無を評価したい場合、運転前のガスタービンの動翼 1 0 0 から試験片 1 を切出せばよい。運転後のガスタービンの動翼 1 0 0 の遮熱コーティングの損傷の有無を評価したい場合、運転後のガスタービンの動翼 1 0 0 から試験片 1 を切出せばよい。

[0048] 装着工程 P 2 と応力負荷工程 P 3 とは、第一実施形態と同様に実施する。

[0049] 図 6 を用いて、本実施形態の評価方法について説明する。本実施形態では

、運転前のガスタービンの動翼 100 の遮熱コーティングの損傷の有無を評価する。グラフは、運転前のガスタービンの動翼 100 から切出した試験片 1 ごとの損傷限界ひずみ ε_c を示す。実線は、ガスタービンの動翼 100 の湾曲部 104 について FEM 計算で算出した当該部発生ひずみを示す。破線は、ひずみの許容範囲、言い換えると、ばらつき範囲を示す。グラフから、評価対象翼は、損傷限界ひずみ ε_c がばらつき範囲内に収まり、実線の当該部発生ひずみより高い限界値である。このため、評価対象翼は品質に問題がないと判断することができる。このように判断された評価対象翼は、補修が不要である。

[0050] 以上説明したように、本実施形態によれば、運転前または運転後のガスタービンの動翼 100 から試験片 1 を切出して、ガスタービンの動翼 100 に形成された遮熱コーティングの強度を測定する。本実施形態は、ガスタービンの動翼 100 に形成された遮熱コーティングの損傷の有無を正確に評価することができる。これにより、本実施形態は、ガスタービンの動翼 100 の品質管理の精度を向上することができる。または、本実施形態は、ガスタービンの動翼 100 の劣化診断の精度をより向上することができる。

[0051] 試験片 1 は、ガスタービンの動翼 100 を模したものとして説明したが、これに限定されるものではない。試験片 1 は、遮熱コーティングが施された、圧縮応力が作用する湾曲部を有する他の部材、例えば、燃焼器の湾曲部についても適用することができる。

符号の説明

[0052]

1	試験片
2	本体部
2 a	内周面
2 1	アーム部
2 2	湾曲部
2 2 a	湾曲面
2 3	丸孔

3	遮熱コーティング層
3 1	湾曲部
1 0 0	動翼
1 0 2	翼部
1 0 4	湾曲部
H	距離（丸孔と曲率半径の中心との距離）
h c	厚さ（遮熱コーティング層の厚さ）
h s	厚さ（湾曲部の厚さ）
R	曲率半径

請求の範囲

- [請求項1] 圧縮応力が作用する湾曲部に形成された遮熱コーティングの損傷の有無を評価する遮熱コーティングの試験方法であって、
- 一対のアーム部と、前記一対のアーム部の間に配置された湾曲部と、前記湾曲部の湾曲面上の遮熱コーティング層とを有する試験片を準備する試験片準備工程と、
- 前記試験片準備工程の実施後に、前記試験片を圧縮試験装置に装着する装着工程と、
- 前記装着工程の実施後に、前記圧縮試験装置で、前記試験片に対して前記一対のアーム部を近づける方向に圧縮応力を負荷する応力負荷工程と、
- を含むことを特徴とする遮熱コーティングの試験方法。
- [請求項2] 前記試験片準備工程は、前記一対のアーム部に、板厚方向に貫通する一対の丸孔を形成し、
- 前記装着工程は、前記一対の丸孔に挿通したピンを介して、前記試験片を前記圧縮試験装置に装着し、
- 前記応力負荷工程は、前記ピンを介して、前記試験片に対して前記一対のアーム部を近づける方向に圧縮応力を負荷することを特徴とする請求項1に記載の遮熱コーティングの試験方法。
- [請求項3] 前記試験片準備工程は、
- 前記湾曲部の曲率半径 R を評価対象である実機の湾曲部の曲率半径の値の範囲内とし、前記遮熱コーティング層の厚さ h_c を前記実機の遮熱コーティング層の厚さの値の範囲内とし、前記湾曲部の厚さ h_s を前記実機の湾曲部の厚さの値の範囲内とし、前記一対の丸孔の中心と前記曲率半径 R の中心との距離 H を、前記曲率半径 R と、前記厚さ h_c と、前記厚さ h_s とに基づいて算出される値とすることを特徴とする請求項1または2に記載の遮熱コーティングの試験方法。
- [請求項4] 前記試験片準備工程は、

前記曲率半径 R を 3 mm 以上、7 mm 以下の範囲内とし、前記厚さ h_c を 0.3 mm 以上、1.5 mm 以下の範囲内とし、前記厚さ h_s を 3 mm 以上、7 mm 以下の範囲内とすることを特徴とする請求項 3 に記載の遮熱コーティングの試験方法。

[請求項5] 圧縮応力が作用する湾曲部に形成された遮熱コーティングの損傷の有無を評価する遮熱コーティングの試験方法で使用する試験片であって、

一対のアーム部と、

前記一対のアーム部の間に配置された湾曲部と、

前記湾曲部の湾曲面上の遮熱コーティング層と、

を備えることを特徴とする試験片。

[請求項6] 前記一対のアーム部に、前記一対のアーム部を板厚方向に貫通する一対の丸孔を備え、

前記一対の丸孔に挿通したピンを介して、圧縮試験装置に装着されることを特徴とする請求項 5 に記載の試験片。

[請求項7] 前記湾曲部の曲率半径 R は、評価対象である実機の湾曲部の曲率半径の値の範囲内であり、

前記遮熱コーティング層の厚さ h_c は、前記実機の遮熱コーティング層の厚さの値の範囲内であり、

前記湾曲部の厚さ h_s は、前記実機の湾曲部の厚さの値の範囲内であり、

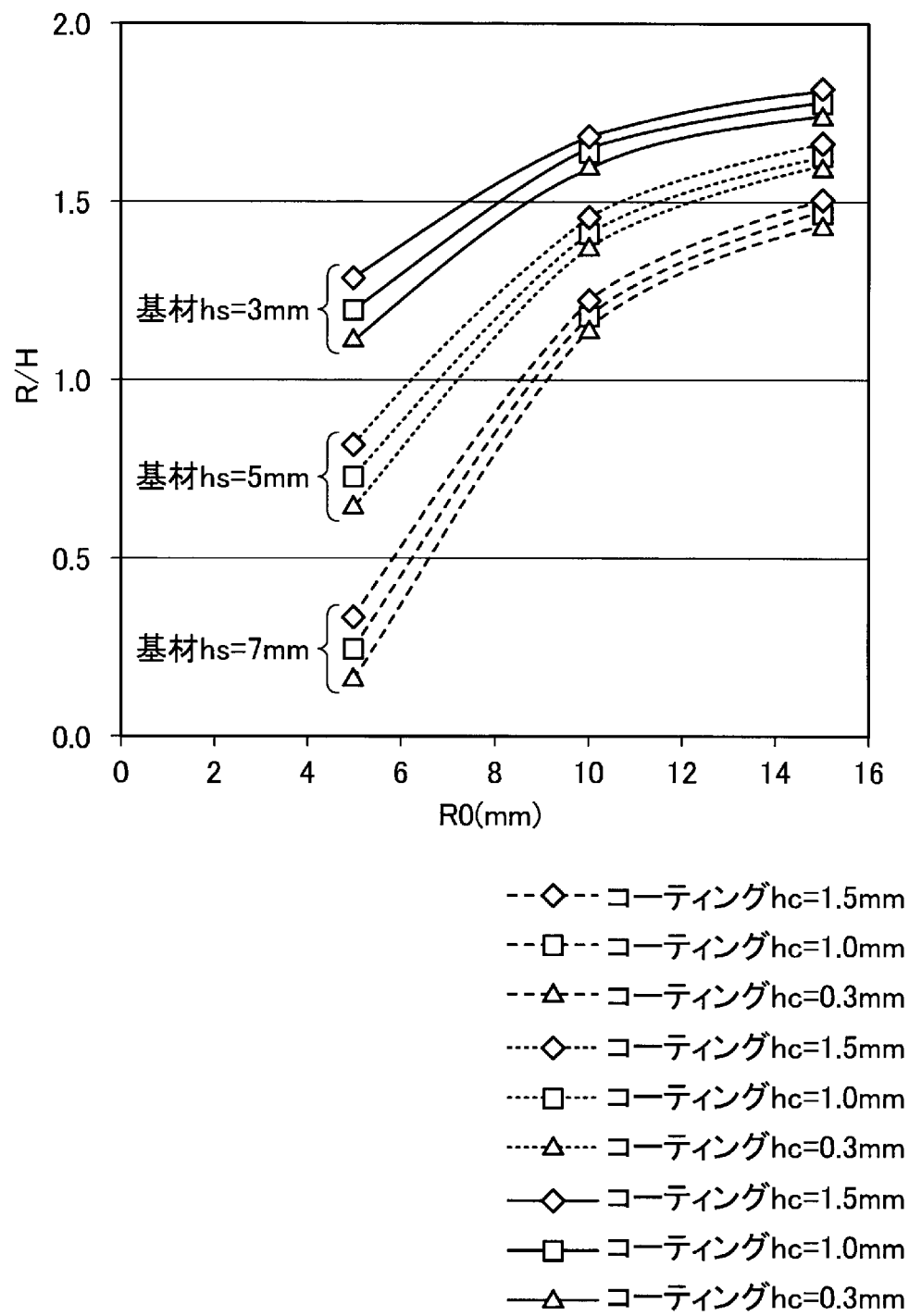
前記一対の丸孔の中心と前記曲率半径 R の中心との距離 H は、前記曲率半径 R と、前記厚さ h_c と、前記厚さ h_s とに基づいて算出される値であることを特徴とする請求項 5 または 6 に記載の試験片。

[請求項8] 前記曲率半径 R は、3～7 mm の範囲内であり、

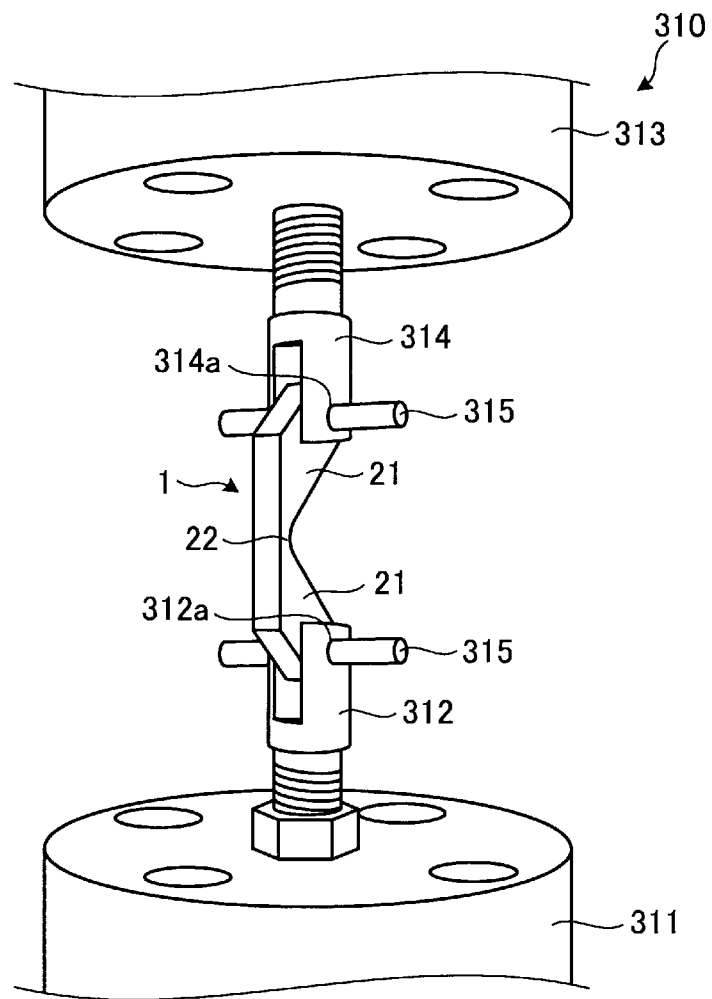
前記厚さ h_c は、0.3～1.5 mm の範囲内であり、

前記厚さ h_s は、3～7 mm の範囲内であることを特徴とする請求項 7 に記載の試験片。

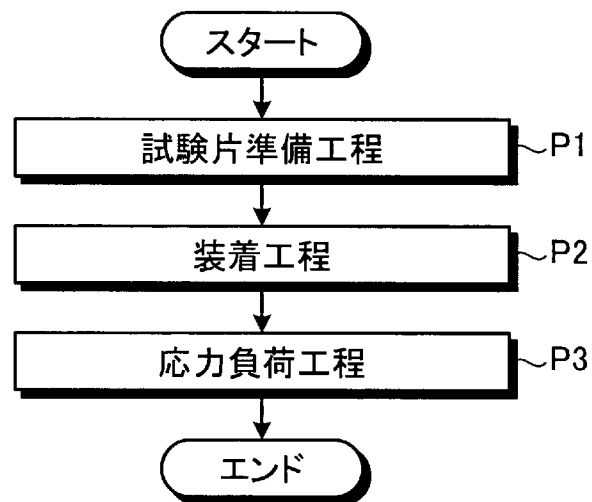
[図2]



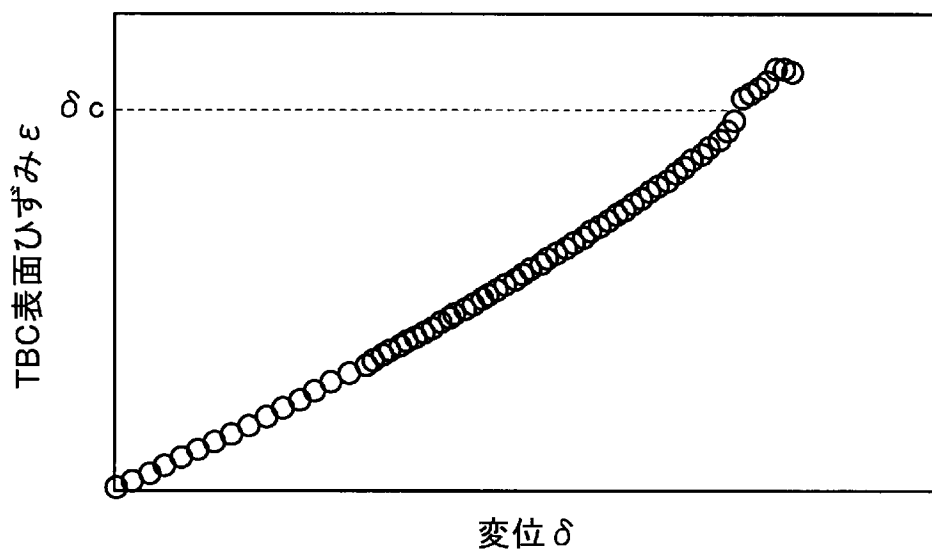
[図3]



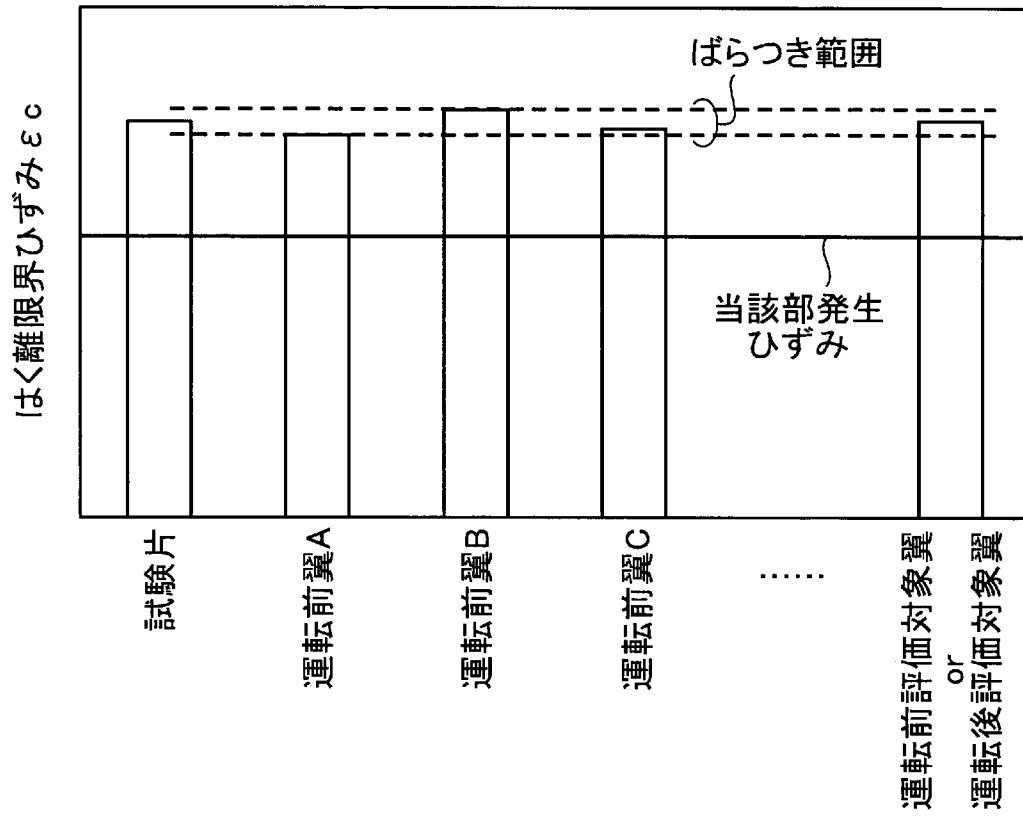
[図4]



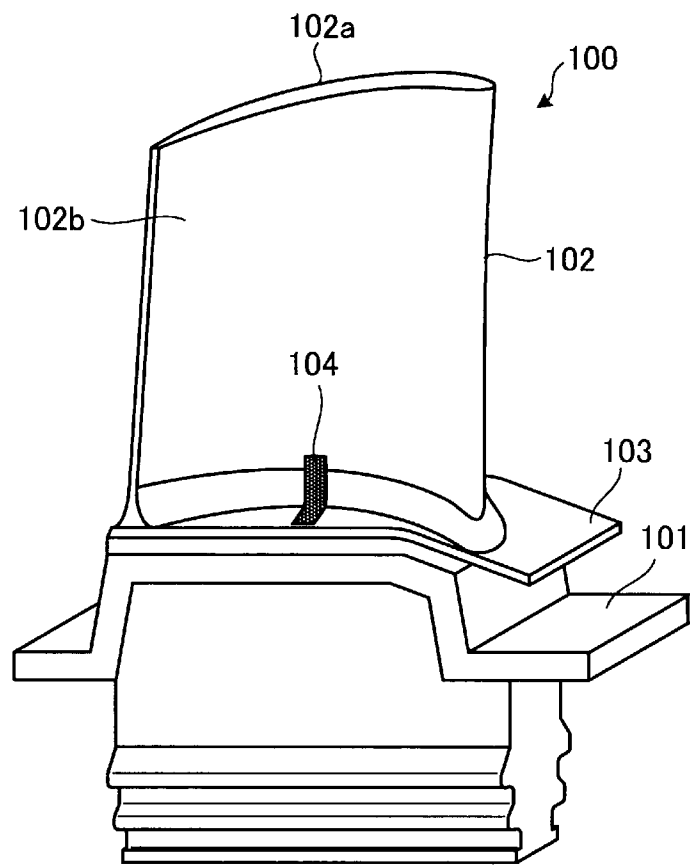
[図5]



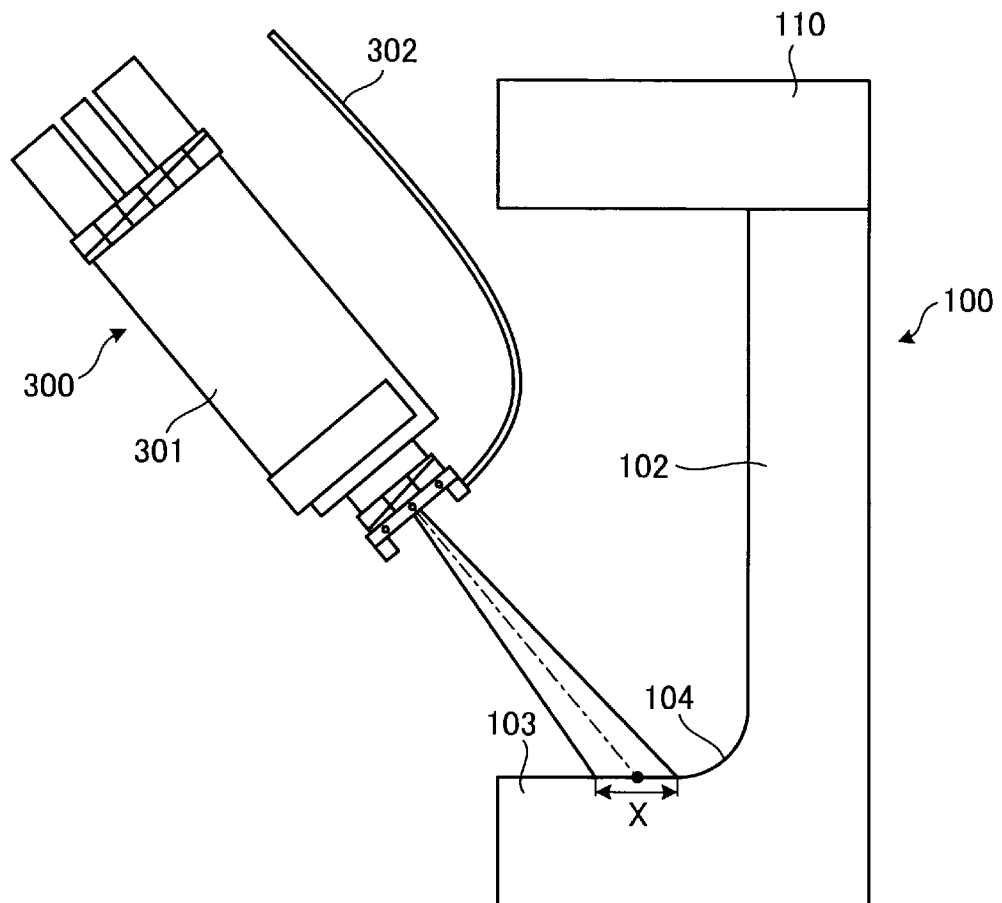
[図6]



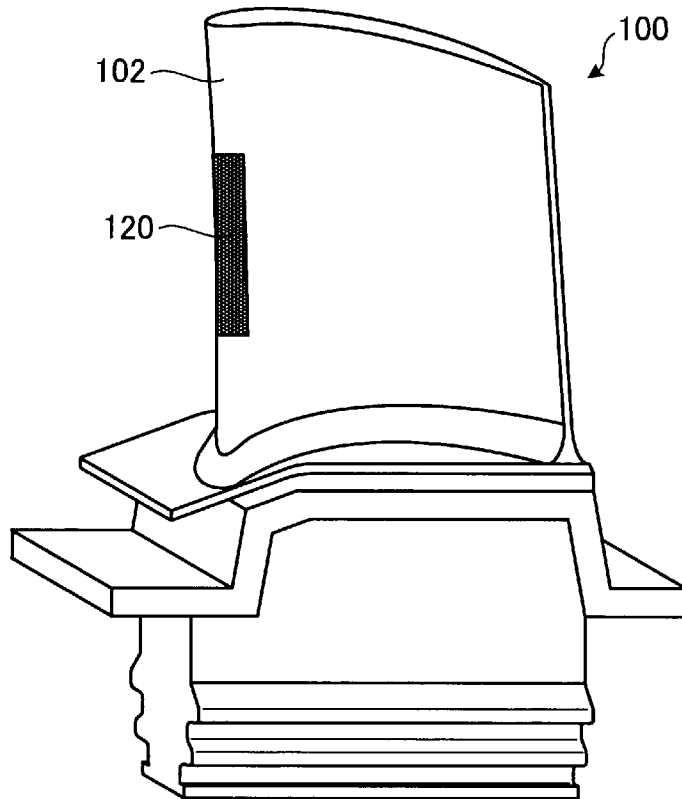
[図7]



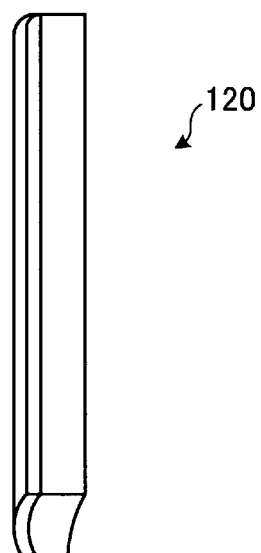
[図8]



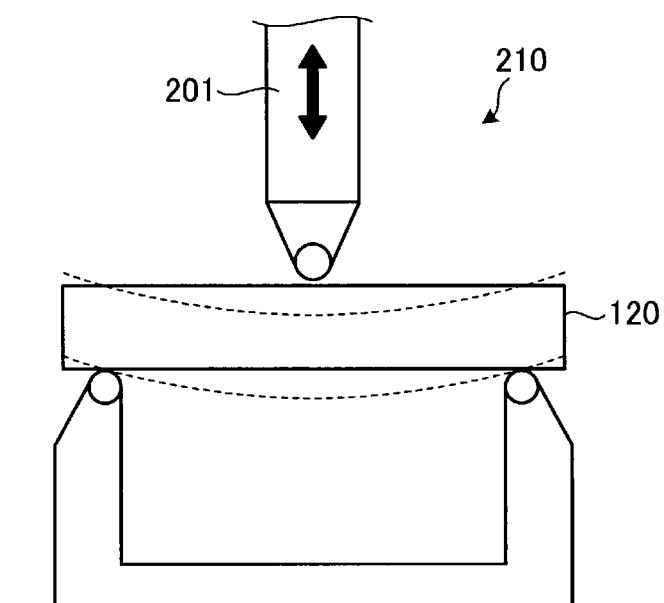
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/046686

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G01N3/00 (2006.01) i, G01N3/20 (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)

Int.Cl. G01N3/00, G01N3/20

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

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.
X Y	JP 2004-184238 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 02 July 2004, paragraphs [0014]-[0026], fig. 4, 7 (Family: none)	1, 5 2-4, 6-8
Y	JP 60-61644 A (TOSHIN KOGYO KK) 09 April 1985, page 3, lower left column, lines 16-19 (Family: none)	2-4, 6-8
A	JP 2004-309217 A (TOSHIBA CORPORATION) 04 November 2004, paragraphs [0042]-[0048] (Family: none)	1-8

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"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

"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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

06 February 2018

Date of mailing of the international search report

20 February 2018

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. G01N3/00(2006.01)i, G01N3/20(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. G01N3/00, G01N3/20

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	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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
X Y	JP 2004-184238 A（三菱重工業株式会社）2004.07.02, [0014] - [0026], 図4、図7（ファミリーなし）	1, 5 2-4, 6-8
Y	JP 60-61644 A（東伸工業株式会社）1985.04.09, 第3頁左下欄第16行目～第19行目（ファミリーなし）	2-4, 6-8
A	JP 2004-309217 A（株式会社東芝）2004.11.04, [0042]～[0048]（ファミリーなし）	1-8

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

「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

の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

06.02.2018

国際調査報告の発送日

20.02.2018

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）

伊藤 昭治

2 J

4 0 7 7

電話番号 03-3581-1101 内線 3252