

(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
2010 年 12 月 2 日(02.12.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/137340 A1

- (51) 国際特許分類:
F01D 25/00 (2006.01) F01D 5/30 (2006.01)
B23K 26/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/003599
- (22) 国際出願日: 2010 年 5 月 28 日(28.05.2010)
- (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 2009-131544 2009 年 5 月 29 日(29.05.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社 東芝 (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 佐々木英寿 (SASAKI, Hidekazu) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社 東芝 知的財産部内 Tokyo (JP). 千田格 (CHIDA, Itaru) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社 東芝 知的財産部内 Tokyo (JP). 村上格 (MURAKAMI, Itaru) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社 東芝 知的財産部内 Tokyo (JP). 野村光 (NOMURA,

Hiroshi) [JP/JP]; 〒1448721 東京都大田区蒲田五丁目 3 7 番 1 号 東芝プラントシステム株式会社内 Tokyo (JP).

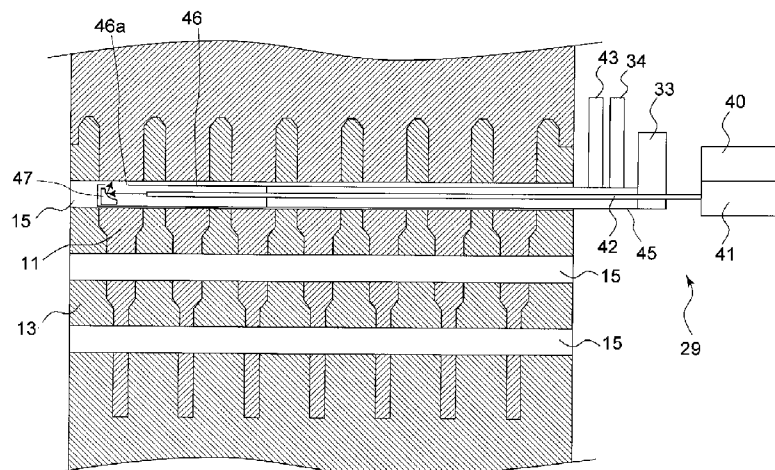
- (74) 代理人: 特許業務法人サクラ国際特許事務所 (SAKURA PATENT OFFICE, p.c.); 〒1010046 東京都千代田区神田多町二丁目 1 番地 神田東山ビル Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF,

[続葉有]

(54) Title: STRESS TREATMENT DEVICE AND OPERATION SYSTEM

(54) 発明の名称: 応力処理装置および施工システム

【図5】



(57) Abstract: A stress treatment device is comprised of an operation portion provided with a head portion which performs peening to irradiate the inside of a hole formed in a structure with a laser so that a compression stress area is formed inside the hole; a laser portion having an optical fiber for introducing the laser to the head portion; an injection portion for injecting liquid to the inside of the hole; and a support portion which supports the optical fiber so that the injected liquid can pass through the support portion and which is fixed within the head portion.

(57) 要約: 応力処理装置は、構造体に形成された孔内をレーザ照射するピーニングを施し、前記孔内に圧縮応力領域を形成するヘッド部と、前記レーザを前記ヘッド部に導光する光ファイバを有するレーザ部と、前記孔内に液体を噴射する噴射部と、前記噴射された液体を流通可能に前記光ファイバを支持し、かつ前記ヘッド部内に固定される支持部と、を備える施工部を具備する。

WO 2010/137340 A1

BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, 添付公開書類:
SN, TD, TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 応力処理装置および施工システム

技術分野

[0001] 本発明の実施形態は、構造体、例えば、タービン動翼とディスクの一方または両方に応力改善処理を施した蒸気タービンの応力処理装置および施工システムに関する。

背景技術

[0002] 蒸気タービンは、ロータの周方向に多数本植設されたタービン動翼と、タービンケーシングに固定された静翼（ノズル）とから構成される。1対のタービン動翼と静翼の組み合わせにより、タービン段落が形成される。複数のタービン段落をディスクに並べることで、蒸気タービンが形成される。タービン動翼とディスクは、運転時の遠心力に耐えられるように、例えば、500 kg/mm²以上の高い引張強さの材料（例えば、強高度銅）から構成され、例えば、フォーク形構造によって結合される。この高い引張強さの材料は、応力腐食割れ（以下、「SCC」という）に対する感受性が高い。

[0003] 蒸気タービンの回転に伴って、タービン動翼とディスクの結合部に、大きな遠心力が作用し、かつ、この結合部に隙間から蒸気が入り込む。この結果、蒸気中に含まれるNaやClなどの腐食生成物の蓄積による経年変化で、この結合部にSCCが生じる。

[0004] 近年、蒸気タービンの効率を向上させるために、低圧最終段においては排気損失を低減させることを目的として、翼長の長いタービン翼が採用される傾向にある。しかしながら、翼長が長くなるに伴って、この翼に作用する遠心力が増大する。このため、応力が集中する、翼とディスクの結合部は、起動停止に伴う低サイクル疲労、および高い平均応力と腐食環境下での高サイクル疲労に対して、十分な強度を有する必要がある。

[0005] そこで、SCCの発生を抑制するために、タービン動翼とディスクを結合するためのピン等の表面にショットピーニングを施して、圧縮残留応力を付

与する方法が提案されている（例えば特許文献 1 参照）。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開 2 0 0 5 － 6 0 7 2 7 公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、上記した先行技術では、ショットピーニングによって、施工範囲に大量の投射材を打ち出すため、この施工範囲でどれだけ均一に施工されるかは確率の問題となる。したがって、ショットピーニングをピンとピン孔の両方に適用した場合、ショットピーニングの施工が均一でないと、ピンの径とピン孔の径の公差が許容範囲を超え、精密な結合が損なわれる可能性がある。

[0008] 本発明は、このような課題を解決するためになされたもので、構造体に形成された孔内面の応力腐食割れの発生を低減し、疲労強度を向上することのできる応力処理装置および施工システム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

[0009] 上記の課題を解決するために一実施形態の応力処理装置は、構造体に形成された孔内をレーザ照射するピーニングを施し、前記孔内に圧縮応力領域を形成するヘッド部と、前記レーザを前記ヘッド部に導光する光ファイバを有するレーザ部と、前記孔内に液体を噴射する噴射部と、前記噴射された液体を流通可能に前記光ファイバを支持し、かつ前記ヘッド部内に固定される支持部と、を備える施工部を具備する。

[0010] また、一実施形態の施工システムは、翼フォークを有するタービン動翼と、前記翼フォークに係合するディスクフォークを有するロータのディスクと、を同時にリーマ加工する加工部と、前記ロータを回転させ、前記ディスクを所定位置に位置決めするロータ回転部と、ピーニングを施すヘッド部と、照射したレーザを前記ヘッド部に導光する光ファイバを有し、前記ピン孔内

をレーザ照射してピーニングを施すレーザ部と、前記ピン孔内に液体を噴射する噴射部と、前記噴射された液体を通過可能に前記光ファイバを支持し、かつ前記ヘッド部内に固定される支持部と、を備え、前記位置決めされた所定位置で前記翼フォークのピン孔内面および前記ディスクフォークのピン孔内面の少なくとも一方のピン孔内面に、ピーニングを施して圧縮応力領域を形成する施工部と、を具備する応力処理装置と、前記ピン孔内に噴射された液体を乾燥する乾燥部と、前記ピン孔内に形成された圧縮応力領域の画像を撮影し、前記画像に基づいて、前記圧縮応力領域を認識する認識部と、前記タービン動翼と前記ディスクを組み立てる組立部と、を具備し、前記ロータの同一円周上の異なる位置に前記各部位をそれぞれ配置し、または前記ロータの同一円周上の異なる位置に各部位をそれぞれ配置するとともに、タービン側の前記ディスクとコレクタ側の前記ディスクの対向する位置に同じ機能を有する前記各部位をそれぞれ配置する。

発明の効果

- [0011] 本発明によれば、構造体に形成された孔内面の応力腐食割れの発生を低減し、疲労強度を向上することができる。

図面の簡単な説明

- [0012] [図1A]タービン動翼とディスクを同時にリーマ加工することを説明するための、タービン動翼とディスクの結合構造を示す正面図である。
- [図1B]タービン動翼とディスクを同時にリーマ加工することを説明するための、タービン動翼とディスクの結合構造を示す側面図である。
- [図1C]タービン動翼とディスクを同時にリーマ加工することを説明するための、タービン動翼とディスクの結合構造を示す側面のX部拡大図である。
- [図2]実施形態1の応力処理装置の構成を説明するための図で、タービン動翼とディスクの結合構造のピン孔に応力改善を施す場合を示す正面図である。
- [図3]図2をA方向から見た構成を示す矢視図である。
- [図4]図2に示したヘッド部を示す拡大図である。
- [図5]応力処理装置の施工部としてのレーザピーニング装置の概要構成を説明

するための断面図である。

[図6] 図5に示したレーザピーニング装置の構成の一部を示す要部断面図である。

[図7] ピンが挿入されていないタービン動翼とディスクの結合構造を示す要部拡大断面図である。

[図8] 蒸気タービンの応力改善処理手順の一実施形態を示すフローチャートである。

[図9] 実施形態2に係る応力処理装置の構成を説明するための図で、ディスクのピン孔に応力改善を施す場合を示す正面図である。

[図10A] 単品施工する場合のタービン動翼の斜視図である。

[図10B] 単品施工する場合のタービン動翼の斜視図である。

[図10C] 単品施工する場合のタービン動翼のx方向からの部分側面図である。

[図11] 2枚重ねて施工する場合のタービン動翼を示す斜視図である。

[図12] 実施形態3に係る応力処理装置の構成を示す斜視図である。

[図13] 実施形態4に係る応力処理装置の構成を示す斜視図である。

[図14A] ピン孔の入口部の拡大断面図である。

[図14B] ピン孔の出口部の拡大断面図である。

[図15A] ピン孔の入口部の拡大断面図である。

[図15B] ピン孔の出口部の拡大断面図である。

[図16A] 実施形態7に係る応力処理装置のヘッド部とブームの要部の拡大側面図である。

[図16B] 実施形態7に係る応力処理装置のヘッド部とブームの要部の拡大正面図である。

[図17A] 実施形態8に係る応力処理装置のヘッド部とブームの要部の拡大側面図である。

[図17B] 実施形態8に係る応力処理装置のヘッド部とブームの要部の拡大正面図である。

[図18A] 実施形態8の変形例2に係る応力処理装置のヘッド部とブームの要部

の拡大側面図である。

[図18B]実施形態8の変形例2に係る応力処理装置のヘッド部とブームの要部の拡大正面図である。

[図19A]実施形態9に係る応力処理装置の施工動作が直線動作の場合の施工軌道を示す図である。

[図19B]実施形態9に係る応力処理装置の施工動作が直線動作の場合の施工時間を示す図である。

[図20A]実施形態9に係る応力処理装置の施工動作が直線動作の場合の施工軌道を示す図である。

[図20B]実施形態9に係る応力処理装置の施工動作が直線動作の場合の施工時間を示す図である。

[図21]応力処理装置の施工管理を行う施工管理システムの構成を示すブロック図である。

[図22A]レーザピーニングを行う応力処理装置において、素材の種類によって施工条件を切り替え施工する場合を説明するための、一方の素材のみを施工する場合の図である。

[図22B]レーザピーニングを行う応力処理装置において、素材の種類によって施工条件を切り替え施工する場合を説明するための、異なる条件で施工する場合の図である。

[図23A]実施形態11に係る応力処理装置の施工ヘッドの正面を示す要部断面図である。

[図23B]実施形態11に係る応力処理装置の施工ヘッドの側面を示す要部断面図である。

[図24]図23A、図23Bに示した施工ヘッドの回転状態を説明するための正面図である。

[図25A]実施形態11の変形例1に係る応力処理装置の施工ヘッドの正面を示す要部断面図である。

[図25B]実施形態11の変形例1に係る応力処理装置の施工ヘッドの側面を示

す要部断面図である。

[図26]図25A、図25Bに示した施工ヘッドの回転状態を説明するための正面図である。

[図27]実施形態11の変形例2に係る応力処理装置の施工ヘッドの動作制御を説明するための断面図である。

[図28]図27のE-E断面を示す断面図である。

[図29A]実施形態12に係る乾燥装置を説明するための、タービン動翼とディスクの正面図である。

[図29B]実施形態12に係る乾燥装置を説明するための、乾燥ヘッドのX方向から見た矢視図である。

[図30]実施形態12の変形例1に係る乾燥ヘッドを示す断面図である。

[図31]実施形態12の変形例2に係る乾燥ヘッドを示す断面図である。

[図32]実施形態13に係る検査ヘッドを示す断面図である。

[図33]実施形態14に係る併用ヘッドを示す断面図である。

[図34]実施形態15に係る回収部を示す図である。

[図35]液体を回収、再利用する実施形態16に係る再利用システムの構成を示すブロック図である。

[図36]実施形態17に係る施工システムの構成を示す図である。

[図37A]実施形態18に係る施工システムの上面図である。

[図37B]実施形態18に係る施工システムの側面図である。

[図38]実施形態20に係る応力処理装置のヘッド先端部の要部断面図である。

[図39]図38のX-X断面を示す断面図である。

[図40]図38に示した支持部を示す斜視図である。

発明を実施するための形態

[0013] (実施形態1)

以下、実施形態について図面を参照しながら説明する。図1A～図1Cはタービン動翼10とディスク12を同時にリーマ加工することを説明するため

の図である。図 1 A がタービン動翼 10 とディスク 12 の結合構造を示す正面図で、図 1 B が側面図で、図 1 C が図 1 B の X 部拡大図である。図 2 は、実施形態 1 の応力処理装置 24 の構成を説明するための図で、タービン動翼 10 とディスク 12 の結合構造のピン孔 15 に応力改善を施す場合を示す正面図である。図 3 は、図 2 を A 方向から見た構成を示す矢視図である。図 4 は、図 2 に示したヘッド部を示す拡大図である。なお、以下の図において、同様の構成部分については同一符号を付記する。

[0014] タービン動翼 10 は、下端に翼フォーク 11 を有する。ロータ 1 のディスク 12 は、上端にディスクフォーク 13 を有する。この翼フォーク 11 とディスクフォーク 13 は、互いに係合可能に形成される。後述する複数のピンを、翼フォーク 11 とディスクフォーク 13 とを貫通して設けられたピン孔 15 に挿入することで、タービン動翼 10 とディスク 12 とが結合される。なお、このタービン動翼 10 には、ピン孔 15 の孔径よりも 0.5～1.0 mm 程度小さい径の下孔 16 が予め形成されている。

[0015] リーマ加工装置 100 は、回転駆動部 101、複数のリーマ工具 102、図示しない移動部を備える。回転駆動部 101 は、複数のリーマ工具 102 を同時に、かつ同じ速度で回転させる。回転駆動部 101 およびリーマ工具 102 は、移動部によってピン孔 15 の軸方向（図中の矢印 14 方向）に移動する。リーマ加工装置 100 は、「翼フォークを有するタービン動翼と、前記翼フォークが係合するディスクフォークを有するロータのディスクと、を同時にリーマ加工する加工部」として機能する。

[0016] タービン動翼 10 は、ディスク 12 に植設された後に、下孔 16 に仮ピン 19 を挿入して下孔 16 を同軸上に位置決めする。次にリーマ加工装置 100 において、リーマ工具 102 を回転駆動部 101 にて複数同時に、かつ同じ速度で回転し、ピン孔 15 の軸方向に移動させて下孔 16 を削り、ピン孔 15 を合せ加工する。このように、ピン孔 15 を複数同時に加工することで、タービン動翼 10 とディスク 12 のピン孔 15 の位置ずれがなくなり、ピン孔 15 およびピンへの運転時の負荷が軽減される。なお、このリーマ加工

後に、生じたピン孔 15 内の切り屑は除去される。

- [0017] 本実施形態の応力処理装置 24 の構成を説明する。本実施形態に係る応力処理装置 24 は、疲労強度向上および残留応力除去を目的として、翼フォーク 11 とディスクフォーク 13 のピン孔 15 にピーニングを施す。
- [0018] 図 2 ～図 4 において、応力処理装置 24 は、ロータ回転部 20、施工部 29 およびこれら部位を駆動制御する制御部 18 を備える。ロータ回転部 20 は、やげん台 21、ロータ回転装置 22 を備える。やげん台 21 は、ロータ 1 の両端に 1 台ずつ配設され、このロータ 1 の両端を回転可能に軸受する。ロータ回転装置 22 は、ロータ 1 の先端部近傍に配設される。このロータ回転装置 22 は、例えばステッピングモータを有し、ロータ 1 の軸 2 の中心軸 27 を中心としてディスク 12 を所定位置に回転して、この所定位置での施工部 29 による施工を可能にする。このロータ回転装置 22 は、「翼フォークを有するタービン動翼と、前記翼フォークと係合して組み立てられ、かつ前記翼フォークと互いに貫通するピン孔が形成されるディスクフォークを有するディスクとを備えるロータを回転させ、前記ディスクを所定位置に位置決めするロータ回転部」として機能する。
- [0019] 施工部 29 は、ロータ 1 の正面近傍に配置され、台座 30、ロータ半径方向駆動部 31、ロータ接線方向駆動部 32、ヘッド送り駆動部 33、ヘッド回転駆動部 34、ブーム 35、ヘッド部 36 を備える。
- [0020] 台座 30 は、ロータ 1 の半径方向 17 および中心軸 27 と平行に移動可能に構成される。ここで、ロータ 1 の半径方向 17 は、水平方向と平行な方向を示す。
- [0021] ロータ半径方向駆動部 31 は、台座 30 の上方に配置されるロータ半径方向駆動軸を有し、ブーム 35 をロータ 1 の半径方向 17 に移動させる。
- [0022] ロータ接線方向駆動部 32 は、ブーム 35 内に配置されるロータ接線方向駆動軸を有し、ヘッド部 36 をロータ 1 の接線方向に移動させる。
- [0023] ヘッド送り駆動部 33 は、ヘッド部 36 の施工ヘッド 38 をロータ 1 の中心軸 27 と平行に移動させる。

- [0024] ヘッド回転駆動部 34 は、ヘッド部 36 に配置される回転モータを有し、ピン孔 15 の内面に後述する圧縮応力領域が形成されるように、ヘッド部 36 の施工ヘッド 38 を回転する。
- [0025] ブーム 35 は、図 3 に示すような、羽子板形状の平板で構成され、内部にロータ接線方向駆動部 32 が配置される。このブーム 35 は、最終段落とその手前の段落のタービン動翼 10 およびディスク 12 の隙間より小さい幅に設定される。
- [0026] ヘッド部 36 は、ブーム 35 の先端に配設され、回転可能な施工ヘッド 38 を有する。この施工ヘッド 38 は、ブーム 35 と垂直（図 3 の紙面と垂直）な方向に設けられる。
- [0027] 施工時には、最終段落とその手前の段落のタービン動翼とディスクの隙間からブーム 35 を挿入し、施工対象のピン孔 15 へ位置決めする。次に、この施工ヘッド 38 を回転させてピン孔 15 の内面にピーニングを施す。この施工部 29 は、「前記位置決めされた所定位置で前記翼フォークのピン孔内面および前記ディスクフォークのピン孔内面の少なくとも一方のピン孔内面に、ピーニングを施して圧縮応力領域を形成する施工部」として機能する。
- [0028] この応力処理装置 24 は、ヘッド部 36 がロータ 1 の中心軸 27、および、やげん台 21 と平行になるように、やげん台側面 28 に台座側面 37 を当接させて芯出しを可能にする。次に、ロータ半径方向駆動部 31 およびロータ接線方向駆動部 32 によって、施工対象のピン孔 15 位置に合わせて、施工ヘッド 38 位置を微調整する。次に、ヘッド送り駆動部 33 によって、施工ヘッド 38 をピン孔 15 内をロータ 1 の中心軸 27 と平行に移動させるとともに、この施工ヘッド 38 をヘッド回転駆動部 34 によって回転させて、施工対象のピン孔 15 への位置決めを可能とする。
- [0029] ところで、通常ではタービン動翼 10 は、ロータ 1 の円周上に 100 本以上結合されている。このような環境化において施工対象のピン孔 15 の位置と施工ヘッド 38 の位置を目視で直接確認することは困難である。
- [0030] そこで、本実施形態に係る応力処理装置 24 では、施工ヘッド 38 の近隣

に撮像ユニット３９を設け、ピン孔１５位置と施工ヘッド３８位置とを遠隔で確認する。この撮像ユニット３９は、監視カメラと、この監視カメラの周囲に配置された照明とを有する。そして、施工ヘッド３８をピン孔１５に位置決めする際に、監視カメラで撮影した映像から、画像計測方法（画像計測プログラム）によりピン孔１５の輪郭を３点検索して中心が認識され、基準孔との位置ずれが認識される。そして、この位置ずれに基づいて、ロータ半径方向駆動部３１とロータ接線方向駆動部３２が駆動制御され、ピン孔１５に対して施工ヘッド３８が位置決めされる。

[0031] このように、本実施形態に係る応力処理装置では、撮影した画像から、画像計測プログラムを用いて施工ヘッドとピン孔の位置ずれを補正するので、施工ヘッドを正しいピン孔の位置に位置決めできる。

[0032] 次に、この施工部２９の一例を説明する。図５は、施工部としてのレーザピーニング装置２９の概要構成を説明するための断面図である。図６はレーザピーニング装置２９の構成の一部を示す要部断面図である。

[0033] レーザピーニング装置２９は、台座３０、ロータ半径方向駆動部３１、ロータ接線方向駆動部３２、ヘッド送り駆動部３３、ヘッド回転駆動部３４、ブーム３５、ヘッド部３６の他に、レーザ発振器４０、レーザ光調整部４１、光ファイバ４２、送液部４３を備える。

[0034] 施工ヘッド３８は、中空の管状部材４５、ヘッド先端部４６、反射ミラー４７および支持部材５０を備える。

[0035] 管状部材４５は、支持部材５０によって回転可能に支持されている。管状部材４５の内部は、光ファイバ４２が貫通するとともに、ホース４８からの液体をヘッド先端部４６に供給する。ヘッド先端部４６は、円柱状に形成され、円周面に開口部４６ａを有し、管状部材４５と一体に形成されている。反射ミラー４７は、この開口部４６ａ近郊で、かつ光ファイバ４２の光軸上のヘッド先端部４６内に固定される。この反射ミラー４７は、非球面ミラーで構成され、入射するレーザ光Ｂを円周方向に曲げて、ピン孔１５内面付近で集光する。

- [0036] レーザ発振器 40 は、ジャイアントパルス YAG レーザ発振器が望ましい。但し、パルスレーザを照射した際にプラズマのようなエネルギーを発生することができるレーザ発振器であればよい。
- [0037] レーザ光調整部 41 は、ミラー、レンズ、バッフルなどの組み合わせによって、レーザ発振器 40 から放射されたレーザ光 B の形状を整形する。
- [0038] 光ファイバ 42 は、レーザ光調整部 41 によって形状整形されたレーザ光 B を伝送し、施工対象のピン孔 15 内面に放射する。この光ファイバ 42 は、ヘッド部 36 内に挿入され、光ファイバ 42 を伝送したレーザ光 B は、施工ヘッド 38 のヘッド先端部 46 から放射される。
- [0039] 送液部 43 は、ホース 48 および管状のスリーブ 49 を有し、施工対象のピン孔 15 内面に液体 L を供給する。このホース 48 は、ブーム 35 内に配設された支持部材 50 と接続される。ブーム 35 と支持部材 50 間には、円周状の溝 51 が形成されている。スリーブ 49 は、この溝 51 の内側に設けられ、液体を通過させる複数の貫通孔を有する。なお、部材 56 は、ブーム 35 と支持部材 50 間に設けられたリングである。送液部 43 からの液体 L は、ホース 48 を経由して溝 51 に蓄えられ、次にスリーブ 49 の貫通孔を介して支持部材 50 内部に供給される。支持部材 50 内部に供給された液体は、施工ヘッド 38 内を経由してヘッド先端部 46 の開口部 46a からピン孔 15 内面に噴出される。
- [0040] このホース 48 から供給された液体 L は、管状部材 45 を経由して、回転するヘッド先端部 46 の開口部 46a から噴出されることによって、ピン孔 15 内面全体に供給される。この供給された液体 L は、ロータ 1 の下方に設けられた液体受けパン 55 に落下して溜められる（図 2 参照）。
- [0041] このように、送液部 43 から供給する液体として、例えば、水を用いることで、施工対象のピン孔 15 の近傍を洗浄しながら、レーザ光 B を放射することが可能となる。また、送液部 43 から供給する液体として、水のような中性の液体に代えて、アルカリイオン水やアンモニア水といったアルカリ性の液体を用いることにより、タービン動翼 10 やディスク 12 に錆が発生す

るのを防止できる。

[0042] また、この液体は、レーザピーニング時に発生する不純物がレーザ光Bの光路上に浮遊することによるレーザ光の減衰を防止するため、不純物のない新しい状態のものを常にこの光路に満たす役割を有する。

[0043] ヘッド回転駆動部34は、図6に示すように回転駆動モータ52、タイミングベルト53およびプーリ54を有し、回転駆動モータ52、タイミングベルト53およびプーリ54は、ブーム35内に配置される。回転駆動モータ52は、外部から駆動制御される。プーリ54は、支持部材50を回転する。この回転駆動モータ52の回転モーメントがタイミングベルト53およびプーリ54を介して管状部材45に伝達されて、管状部材45およびヘッド先端部46を回転させる。

[0044] これにより、光ファイバ42の先端から放射されたレーザ光Bは、回転する反射ミラー47で反射され、ピン孔15内面で焦点を結ぶ。この結果、このピン孔15内面全体にレーザピーニングを施して圧縮応力領域Cを形成可能となる。

[0045] なお、図6に示したレーザピーニング装置29では、ピン孔15の径が異なる場合、施工ヘッド38がピン孔15に接触しないことがある。レーザ光Bは、最小スポット径の位置が最も応力改善効果が高く、レーザ焦点裕度つまり応力改善効果が得られる範囲を事前に求めることができる。

[0046] また、リーマ加工後のピン孔の径を事前に把握していれば、施工ヘッド38が使用可能であるか否か判断できる。ピン孔15の径が、応力改善効果を得られる範囲を越えている場合には、施工ヘッド38を交換する必要がある。

[0047] しかし、施工ヘッド38は、光学精密部品で構成されているため、取り扱いが難しく単純に施工ヘッド38のみを交換することが困難である。

[0048] そこで、本実施形態では、図6に示す施工ヘッド38、光ファイバ42、支持部材50、回転駆動モータ52、タイミングベルト53およびプーリ54を、1つのユニットとして構成し、このユニット単位で施工ヘッド38の

交換を可能にする。

[0049] これにより、本実施形態では、施工ヘッドを駆動系とともにユニット構成とした。このため、ピン孔の径が、応力改善効果を得られる範囲を越えている場合には、取り付けられている施工ヘッドを有するユニットを、応力改善効果を得られる施工ヘッドを有するユニットと簡単に交換できる。

[0050] 図7は、ピン23が挿入されていないタービン動翼10とディスク12の結合構造を示す要部拡大断面図である。ここでは、翼フォーク11とディスクフォーク13のピン孔15内面に、圧縮応力領域Cが形成されている。この圧縮応力領域Cは、例えば表層から0.1mm~0.2mm程度までの範囲に付与されている。このピン孔15には、ピン23が挿入され、タービン動翼10とディスク12との結合が可能になる。この圧縮応力領域Cがピン孔15内面に形成されていることによって、タービンの運転時にピン孔15内面にかかる引張応力が抑えられる。この結果、疲労強度を高めるとともに、SCCの発生を抑制することができる。

[0051] 次に、圧縮応力領域Cの形成を含めたタービン動翼10とディスク12の組み立て手順について説明する。図8は、蒸気タービンの応力改善処理手順の一実施形態を示すフローチャートである。

[0052] まず、タービン動翼10の翼フォーク11とディスク12のディスクフォーク13とを係合させ、タービン動翼10をロータ1に取り付ける（ステップS101）。この時点では、翼フォーク11にはピン孔15よりも径の小さい下孔16が形成されている。なお、ディスクフォーク13には、新設タービンの場合は下孔16が、またタービン動翼10の取り替えの場合はピン孔15が形成されている。このタービン動翼10の取り替えの場合は、取り替え前のタービン動翼10よりもピン孔の径を大きくするため、実質的にディスクフォーク13に形成されているピン孔は下孔16である。

[0053] 次に、下孔16にリーマ加工を施して径を大きくし、ピン孔15を形成し、必要に応じてリーマ加工で生じた切り屑を除去する（ステップS102）。

[0054] 次に、形成されたピン孔 15 の表面に、レーザピーニング装置による応力改善処理を行い、圧縮応力領域 C を形成する（ステップ S 103）。なお、この切り屑の除去の作業については、応力改善処理の作業によっては、この応力改善処理の作業と並行して、または応力改善処理の作業の後に、実行可能である。例えば、このレーザピーニングでは、レーザ光の放射点近傍である施工対象に液体を供給しながら施工するため、施工対象周辺の切り屑を除去しつつ施工可能である。

[0055] そして最後に、ピン孔 15 にピンを挿入して、タービン動翼 10 をディスク 12 に結合する（ステップ S 104）。なお、この組み立て手順は、制御部 18 の制御動作によって自動的に行うことが可能である。

[0056] このように、本実施形態に係る応力処理装置および施工システムでは、圧縮応力領域 C がピン孔内面に形成されていることによって、タービンの運転時にピン孔 15 内面にかかる引張応力が抑えられる。この結果、構造体に形成されたピン孔内面、すなわち蒸気タービンの動翼とディスクの結合部のピン孔内面の応力腐食割れの発生が低減できるとともに、疲労強度を向上できる。

[0057] また、運転プラントの蒸気タービンは、原子炉からの汚染した蒸気がタービンに循環するため、放射線量が高く、作業による長時間の現場作業ができない環境にある。しかし、本実施形態に係る応力処理装置では、施工ヘッドの位置決めや施工の遠隔操作が可能となるので、制御盤などを放射線源より離れた位置に配置することができる。この結果、被爆汚染を低減し、圧縮応力領域形成の連続作業が可能となる。

[0058] （実施形態 2）

図 9 は、実施形態 2 に係る応力処理装置 24 の構成を説明するための図で、ディスク 12 のピン孔 15 に応力改善を施す場合を示す正面図である。この実施形態 2 の応力処理装置 24 の構成は、図 2 に示した応力処理装置と同様の構成であるので、詳細な説明を省略する。

[0059] この応力処理装置 24 では、タービン動翼 10 を取り外した位置に、翼フ

オーク 11 と同一形状のガイドプレート 59 を配置する。このディスクフォーク 13 とガイドプレート 59 は、仮ピンによって位置決めした後、ピン孔 15 内面にピーニングを施して圧縮応力領域 C を形成する。なお、ピン孔 15 の位置と施工ヘッド 38 の位置との位置決めは、実施形態 1 の応力処理装置と同様であるので、ここでは説明を省略する。

[0060] このように、本実施形態 2 に係る応力処理装置では、圧縮応力領域がディスクフォークのピン孔内面に形成されていることによって、タービンの運転時にピン孔内面にかかる引張応力が抑えられる。この結果、蒸気タービンの動翼とディスクの結合部のピン孔内面の応力腐食割れの発生を防止するとともに、疲労強度を向上できる。

[0061] また、タービン動翼を取り外した位置に、翼フォークと同一形状のガイドプレートを配置する。このため、ディスクフォークの間を施工ヘッドが通過する際に、中心軸がずれることなく、またレーザピーニングによって施工する場合に液体をピン孔内面に確実に供給できる。

[0062] （実施形態 3）

次に、ロータ 1 から取り外したタービン動翼 10 にピーニングを施す場合を説明する。図 10A～図 10C は、単品施工する場合のタービン動翼 10 を示す図である。図 10A、図 10B はタービン動翼の斜視図で、図 10C は x 方向からの部分側面図である。図 11 は、2 枚重ねて施工する場合のタービン動翼 10 を示す斜視図である。図 12 は、実施形態 3 に係る応力処理装置 60 の構成を説明するための図で、取り外したタービン動翼 10 のピン孔 15 内面に応力改善を施す応力処理装置 60 を示す斜視図である。

[0063] タービン動翼 10 は、幅方向にある半円形の孔 15a、15b を有する。この 15a、15b は、ロータ 1 の半径方向にそれぞれ 3 つ形成され、ラジカル面 57 をそれぞれ構成する。そして、隣り合うタービン動翼 10 同士を重ね合わせることで、互いの孔 15a、15b によってピン孔 15 が形成される。

[0064] 図 10A、図 10B においては、半円形の孔 15a、15b を施工するの

に左右2回行わなければならない。しかし、図11においては、隣接するタービン動翼10をピン孔15が同軸上に配置することで、左右の孔15a、15bを同時に施工できる。この結果、施工回数を1回ずつ削減することができる。

[0065] この実施形態3に係る応力処理装置60では、隣接するタービン動翼10のピン孔15を同軸上に位置決めして施工する。この位置決めのために、応力処理装置60は、ガイドプレート61、ラジカル面ブロック62、端具ブロック63、クランプ64を有する。ガイドプレート61は、ディスクフォーク13と同じフォーク形状からなり、タービン動翼10の翼フォーク11に係合する。ラジカル面ブロック62は、翼フォーク11のラジカル面57の一方の面（例えば、孔15a側の面）を受ける。端具ブロック63は、翼フォーク11の植え込み部端具58に係合する。クランプ64は、ラジカル面57とは逆の半円形の凸部を有し、この凸部がラジカル面57の他方の面の孔（例えば孔15b）に係合する。

[0066] すなわち、翼フォーク11は、ガイドプレート61に挿入され、同時にラジカル面ブロック62、端具ブロック63に押し当てられる。その結果、翼フォーク11は、ロータの円周方向及び軸方向に相当する2方向と、タービン動翼10の長手方向との3方向が拘束される。この拘束された状態で、エアシリンダ65によって、クランプ64が、翼フォーク11のラジカル面57の一方の面（例えば、孔15a側の面）に当接し、常に同じ位置にタービン動翼10を固定可能となる。ガイドプレート61、ラジカル面ブロック62、端具ブロック63、クランプ64は、「前記取り外されたタービン動翼を、組み立て時の前記ロータの円周方向および軸方向に相当する2方向と、前記タービン動翼の長手方向との3方向に対して位置決めする位置決め部」として機能する。

[0067] また、応力処理装置60は、ヘッド部66、高さ方向調整部67、幅方向調整部68、ヘッド回転部69、ヘッド送り部70、制御部180を有する。ヘッド部66は、実施形態1のヘッド部36と同様の構成を有するので、

ここでは詳細な説明を省略する。高さ方向調整部 67 は、ヘッド部 66 の高さ方向 H を調整する。幅方向調整部 68 は、ヘッド部 66 の幅方向 S を調整する。ヘッド回転部 69 は、ヘッド部 66 を回転する。ヘッド送り部 70 は、ヘッド部 66 をロータ 1 の中心軸 27 に相当する方向と平行方向 P に移動させる。

[0068] 制御部 180 は、高さ方向調整部 67、幅方向調整部 68、ヘッド回転部 69 およびヘッド送り部 70 を同時に駆動制御することで、ピン孔 15 内面を施工して、圧縮応力領域を形成する。この圧縮応力領域が形成されたタービン動翼 10 は、ロータ 1 のディスク 12 と順次組み合わされる。

[0069] このように、本実施形態に係る応力処理装置では、圧縮応力領域 C がタービン動翼のピン孔内面に形成されていることで、タービンの運転時にピン孔 15 内面にかかる引張応力が抑えられる。この結果、蒸気タービンの動翼とディスクの結合部のピン孔内面の応力腐食割れの発生を防止するとともに、疲労強度を向上できる。

[0070] (実施形態 4)

図 13 は、実施形態 4 に係る応力処理装置 60 の構成を示す斜視図である。この応力処理装置 60 は、実施形態 3 の応力処理装置を応用したものであり、隣接するタービン動翼 10 を 2 列配置し、これらタービン動翼 10 のピン孔 15 を同軸上に位置決めして施工する。このため、応力処理装置 60 は、ガイドプレート 61、ラジカル面ブロック 62、端具ブロック 63、クランプ 64 を 2 台ずつ有する。また、ヘッド部 66 は、2 列のタービン動翼 10 に対応させて、実施形態 3 のヘッド部より長くする必要がある。なお、本実施形態では 2 列のタービン動翼を同時に施工したが、これに限らず 3 列以上のタービン動翼を同時に施工することも可能である。

[0071] このように、本実施形態に係る応力処理装置では、実施形態 3 と同様の効果を奏するとともに、複数列のタービン動翼を同時に施工することが可能となる。この結果、施工時間の短縮を図ることができる。

[0072] (実施形態 5)

図 1 4 A、図 1 4 B は、実施形態 5 に係る応力処理装置の施工ヘッド 3 8 の断面図である。図 1 4 A は紡錘形状の施工ヘッド 3 8 でピン孔 1 5 に挿入する場合、図 1 4 B は紡錘形状の施工ヘッド 3 8 でピン孔 1 5 に挿入された場合を示す図である。

[0073] 実施形態 1 では、撮影した画像から、画像計測プログラムを用いて施工ヘッドの位置決めを行った。この場合には、ヘッド先端部 4 6 が円柱形状でも、ピン孔 1 5 の入口で干渉することなく、施工ヘッド 3 8 をピン孔 1 5 の位置に容易に位置決めできる。しかし、この撮影した画像をモニタに写し、目視により施工ヘッドの位置ずれを人為的に補正する場合がある。この場合には、僅かな位置ずれを補正しきれず、ヘッド先端部 4 6 がピン孔 1 5 の入口で干渉することがある。

[0074] そこで、本実施形態に係る施工ヘッド 3 8 では、ヘッド先端部 4 6 を紡錘形状に形成する。このヘッド先端部 4 6 を配設した施工ヘッド 3 8 を位置決めし、ピン孔 1 5 に挿入する場合、僅かな位置ずれが生じていても、施工ヘッド 3 8 がピン孔 1 5 の半径方向に力を受け、この反力より管状部材 4 5 が撓み、施工ヘッド 3 8 がピン孔 1 5 に沿うようになる。この施工ヘッド 3 8 は、予めピン孔 1 5 より 0.5 mm 程度径を小さく形成するため、径方向に 0.25 mm 程度の軸心ずれ d を吸収できる。

[0075] また、レーザピーニングによってピン孔 1 5 内面に応力改善を行う場合には、レーザ光 B が焦点を結ぶ最小スポット径 s がエネルギーが最も大きく、ピン孔 1 5 半径に対して ± 0.5 mm 程度の応力改善が見込まれる裕度を持つ。このため、僅かな位置ずれ（軸心ずれ d ）を吸収しながら、応力改善効果が得られる範囲で回転動力を伝達することが可能となる。

[0076] （実施形態 6）

図 1 5 A、図 1 5 B は、ピン孔 1 5 の出入口部の拡大断面図である。図 1 5 A は入口部、図 1 5 B は出口部を示す図である。

[0077] ピン孔 1 5 の入口部と出口部では、開口部 4 6 a がピン孔 1 5 内に完全に挿入されていないので、液体は施工対象位置 a のみに噴出されずに分流して

しまう。この結果、施工対象位置 a に供給される液体の量が減少してしまう。

[0078] そこで、本実施形態では、ピン孔 15 の入口部と出口部に近接させてガイドプレート 80、81 を配置する。このガイドプレート 80、81 は、ピン孔 15 と同径の貫通孔 82、83 を有し、この貫通孔 82、83 の中心軸がピン孔 15 の中心軸と同軸になるように配置する。

[0079] この状態で、ヘッド先端部 46 がガイドプレート 80 に挿入される。開口部 46a がピン孔 15 の入口部の位置に到ると、液体はピン孔 15 と貫通孔 82 に供給されて分流されることなくピン孔 15 の入口部に直接噴出される。

[0080] そして、ヘッド先端部 46 がピン孔 15 内を進む。開口部 46a がピン孔 15 の出口部に到ると、液体はピン孔 15 と貫通孔 83 に供給されて、分流されることなくピン孔 15 の出口部に直接噴出される。

[0081] このように、本実施形態では、ガイドプレート 80、81 をピン孔 15 の入口部と出口部に配置するので、液体の分流を防止でき、液体を入口部と出口部に噴出することができ、効果的な洗浄が可能となる。

[0082] （実施形態 7）

図 16A、図 16B は、実施形態 7 に係る応力処理装置のヘッド部 36 とブーム 35 の要部拡大図である。図 16A は側面、図 16B は正面を示す図である。本実施形態では、ロータ 1 の半径方向に配置された複数のピン孔 15 を同時に施工するヘッド部 36 の構成を説明する。

[0083] ピン孔 15 は、ロータ 1 の半径方向に等ピッチで複数個形成されている。そこで、これらピン孔 15 に対応させてヘッド部 36 の複数の施工ヘッド 38 をブーム 35 の長手方向に配設する（図 16B 参照）。これら施工ヘッド 38 は、例えば、図 4 に示したヘッド回転駆動部 34 によって同時に回転されて、複数のピン孔 15 の同時施工を可能にする。

[0084] これにより、本実施形態では、ロータの半径方向に設けた複数のピン孔を同時に施工できるので、位置決め回数や施工回数を削減できる。このため、

この結果施工の作業工程や作業時間を削減できる。

[0085] (実施形態 8)

図 17 A、図 17 B は、実施形態 8 に係る応力処理装置のヘッド部 36 とブーム 35 の要部拡大図である。図 17 A は側面、図 17 B は正面を示す図である。本実施形態において、ロータ 1 の円周方向に配置された複数のピン孔 15 を同時に施工するヘッド部 36 の構成を説明する。

[0086] 例えば、図 5 に示すように翼フォーク 11 およびディスクフォーク 13 は、先端方向に厚さが薄くなっており、これに伴ってピン孔 15 の長さも短くなっている。このため、実施形態 7 のヘッド部を用いて複数のピン孔を同時に施工すると、長さの短いピン孔の施工では待ち時間が生じてしまう。

[0087] また、ピン孔 15 は、ロータの円周方向にも等ピッチで複数個形成されている。

[0088] そこで、これらピン孔 15 に対応させてヘッド部 36 の複数の施工ヘッド 38 をブーム 35 の幅方向に配設する（図 17 B 参照）。これら施工ヘッド 38 は、例えば、図 4 に示したヘッド回転駆動部 34 によって同時に回転されて、複数のピン孔 15 の同時施工を可能にする。

[0089] 各施工ヘッド 38 は、棒状構造の支持部材 85 にそれぞれ取り付けられる。各支持部材 85 は、図 17 B に示すように羽子板形状のブーム 35 の幅広領域部（ホルダ）35 a に配置される。この際、施工ヘッド 38 の中心が、ピン孔 15 に対応してロータの円周方向に等ピッチになるように、支持部材 85 を所定角度に角度付けして配置する。

[0090] これにより、本実施形態では、ロータの円周方向に設けた複数のピン孔を同時に施工できる。このため、位置決め回数や施工回数の削減でき、この結果施工の作業工程や作業時間を削減できるとともに、施工の待ち時間を削減でき、ヘッド回転駆動部の回転操作回数を削減できる。

[0091] (変形例 1)

ピン孔 15 の配列位置は、ロータ 1 の半径方向の位置と、円周上のピン孔 15 のピッチとによって様々な配列が考えられる。このため、異なるピン孔の

配列の場合には、図 17 A、図 17 B に示したホルダ 35 a の施工ヘッド取り付け位置を、使用するロータ 1 に合せて交換することで対応が可能とする。

[0092] そこで、本実施形態では、施工ヘッド 38 の支持部材 85 を、施工対象のピン孔 15 の円周上のピッチに対応して、所定角度に位置決めするホルダ 35 a のリーマ穴 86 を予め加工しておく。このように施工対象のピン孔 15 の異なる円周上のピッチに対応したホルダ 35 a を複数製作する。そして、施工対象のピン孔 15 のピッチに対応したホルダ 35 a を選び、このホルダ 35 a に支持部材 85 を取り付け、リーマ穴 86 にリーマボルト 87 を挿入して支持部材 85 を位置決め固定する。

[0093] このように、本変形例 1 では、ピン孔の異なる円周上のピッチに対応したホルダを複数製作し、このホルダの中から施工対象のピン孔のピッチに対応したホルダに施工ヘッドの支持部材を取り付ける。これにより、如何なるプラントのピン孔配列に対してもピン孔内の施工が可能となる。

[0094] （変形例 2）

また、同一プラントにおいて、フォークにはピン孔 15 が複数段の円周状に同じ数、例えば、実施形態では半径の異なる 3 つの同心円の円周状で同一半径方向に 3 つ配列されている。

[0095] そこで、この変形例 2 では、施工ヘッド 38 の位置を組替え可能とするホルダ 35 a を提供する。

[0096] 図 18 A、図 18 B は、実施形態 8 の変形例 2 に係る応力処理装置のヘッド部 36 とブーム 35 の要部拡大図である。図 18 A は側面、図 18 B は正面を示す図である。

[0097] ホルダ 35 a では、複数の所定のロータ 1 の半径方向と平行に配列した複数の組立用リーマ穴 86 を有する。組立用リーマ穴 86 は、1 つの施工ヘッド 38 に対して両側の長手方向に沿って配列されている。そして、各施工ヘッド 38 をロータ 1 の半径方向（矢印 88 方向）に移動させて施工対象のピン孔 15 の位置に合せ、その状態でリーマ穴 86 にリーマボルト 87 を挿入

して支持部材 8 5 を位置決め固定する。

[0098] このように本変形例 2 では、施工ヘッドを施工対象のピン孔の位置に合わせるように移動させ、その状態で支持部材を位置決めする。このため、施工ヘッドを施工対象のピン孔位置に容易に組み替え可能となる。

[0099] (実施形態 9)

図 1 9 A、図 1 9 B は、実施形態 9 に係る応力処理装置の施工動作を説明するための図である。図 1 9 A は直線動作の場合の施工軌道を示す図、図 1 9 B は直線動作の場合の施工時間を示す図である。

[0100] 応力処理装置 2 4 (又は 6 0) は、まずヘッド送り駆動部 3 3 を駆動制御し、レーザ照射時間 T_1 でピン孔 1 5 の軸方向 (図面の右から左方向) に直線でレーザを照射する。その後、ヘッド回転駆動部 3 4 を駆動制御し、レーザ遮断時間 T_2 でレーザ光を遮断してピン孔 1 5 の円周方向に光軸を移動する。そして、ヘッド送り駆動部 3 3 を再び駆動制御し、レーザ照射時間 T_1 でピン孔 1 5 の軸方向 (図面の左から右方向) に直線でレーザを照射する。以下、この施工動作を繰り返して、ピン孔 1 5 内面に圧縮応力領域が形成される。

[0101] ここで、レーザ照射時間 T_1 は、ピン孔 1 5 の軸方向の長さを、レーザ光の移動速度で割った値である。レーザ遮断時間 T_2 は、ピン孔 1 5 内面に圧縮応力領域が所定の厚みでムラなく形成できる、例えば、レーザ光の口径に関係した値である。

[0102] これにより、本実施形態では、レーザ光をピン孔の軸方向と平行に、かつ左右に折り返し移動させるので、ピン孔内面に均一な圧縮応力領域を形成できる。

[0103] (変形例)

図 2 0 A、図 2 0 B は、実施形態 9 の変形例に係る応力処理装置の施工動作を説明するための図である。図 2 0 A は螺旋動作の場合の施工軌道を示す図、図 2 0 B は螺旋動作の場合の施工時間を示す図である。

[0104] 実施形態 9 の施工動作では、レーザ遮断時間 T_2 が一操作毎に発生するの

で、その繰り返されたレーザ遮断時間 T だけ施工時間が長くなることが考えられる。

[0105] そこで、本変形例では、レーザ照射を連続的に行う場合について説明する。

[0106] 応力処理装置 24（又は 60）は、ヘッド送り駆動部 33 およびヘッド回転駆動部 34 を駆動制御し、レーザ照射時間 T でピン孔 15 内面を螺旋状にレーザを照射して、ピン孔 15 内面に圧縮応力領域を形成する。

[0107] ここで、レーザ照射時間 T は、レーザ光が所定ピッチで、ピン孔 15 の入口部から出口部まで螺旋状に移動する長さをレーザ光の移動速度で割った値である。所定ピッチは、ピン孔 15 内面に圧縮応力領域が所定の厚みでムラなく形成できる、例えば、レーザ光の口径に関係した値である。

[0108] これにより、本変形例では、レーザ照射を螺旋状に連続的に移動させるので、ピン孔内面に均一に圧縮応力領域が形成されるとともに、レーザ遮断時間が発生せず、施工時間を短縮可能である。

[0109] （実施形態 10）

レーザピーニング装置 29 では、タービン動翼 10 とディスク 12 の素材の種類によって施工条件を切り替えて施工を行う場合がある。

[0110] 図 21 は、応力処理装置 24 の施工管理を行う施工管理システムの構成を示すブロック図である。図 22A、図 22B は、レーザピーニングを行う応力処理装置 24 において、素材の種類によって施工条件を切り替え施工する場合を説明するための図である。図 22A は一方の素材のみを施工する場合の図、図 22B は異なる条件で施工する場合の図である。

[0111] 施工管理システムは、レーザピーニング装置 29 を含む応力処理装置 24、施工条件入力部 90、制御盤 91、モニタ 92 を備える。

[0112] 施工条件入力部 90 は、施工条件としてピン孔 15 の軸方向の移動量、図 22A、図 22B に示す一方の素材（翼フォーク 11 又はディスクフォーク 13）のみを施工するのか、素材の種類によって異なる施工条件で施工する等の情報を入力する。

- [0113] 制御盤 9 1 は、入力する施工条件の情報に基づいて、施工の動作速度 9 4 や動作範囲 9 5 を求め、これら情報を応力処理装置 2 4 の制御部 1 8 に出力するとともに、モニタ 9 2 に表示させる。なお、施工条件入力部 9 0、制御盤 9 1、モニタ 9 2 は、例えば、パーソナルコンピュータ（以下、「パソコン」という）などで構成可能である。すなわち、施工条件入力部 9 0 はパソコンのキーボードやマウス、制御盤 9 1 はパソコン本体、モニタ 9 2 はパソコンのディスプレイに相当する。
- [0114] 制御部 1 8 は、入力するこれら情報に基づいて、ロータ半径方向駆動部 3 1、ロータ接線方向駆動部 3 2、ヘッド送り駆動部 3 3、ヘッド回転駆動部 3 4 を駆動制御して、ピン孔 1 5 内面を施工する。
- [0115] 制御盤 9 1 は、移動距離をレーザ照射開始時からの時間で検出する。制御盤 9 1 は、応力処理装置 2 4 によるピン孔 1 5 の軸方向の移動位置が、目標の位置（レーザ照射時間 T_3 ）に達すると、レーザピーニング装置 2 9 にレーザ停止指令を出力してレーザ光を遮断させる。
- [0116] 次に、図 2 2 A では、レーザ光を遮断させた状態で次のレーザ照射の開始位置（レーザ遮断時間 T_4 ）に達すると、レーザ照射を開始する。また、図 2 2 B では、レーザ照射条件を切り替えた後に直ちにレーザ光を照射させて、次の目標の位置（レーザ照射時間 T_3 ）までレーザ光を移動させる。
- [0117] このように、本実施形態では、施工条件に応じて、レーザ照射の条件を切り替えることができるので、素材によって異なる条件でピン孔を施工することが可能となる。
- [0118] なお、施工条件として、図 1 9 A、図 2 0 A に示した直線動作又は螺旋動作で施工するかを施工条件入力部 9 0 から入力して施工の動作条件を切り替えることも可能である。この場合は、異なる動作条件でピン孔を施工可能となる。
- [0119] （実施形態 1 1）
- レーザピーニングにおいて、ピン孔 1 5 に応力改善する際に、ピン孔 1 5 の径が異なっても施工ヘッド 3 8 を共用する場合について説明する。実施形態

1に示した施工ヘッド38はユニット構成とした。しかし、この構成では交換する部分が大きく、複数のユニットを所持するのは困難が伴う。

[0120] そこで、本実施形態では、施工ヘッド38の共用を可能にする。

[0121] 図23A、図23Bは、実施形態11に係る応力処理装置の施工ヘッド38の要部断面図である。図23Aは正面を示す図で、図23Bは側面を示す図である。図24は、図23A、図23Bに示した施工ヘッド38の回転状態を説明するための正面図である。

[0122] 施工ヘッド38の径は、施工を行うピン孔15の径の最小径より小さく形成する。制御部18は、施工を行うピン孔15の径に合わせて施工ヘッド38が円運動するように、ロータ半径方向駆動部31とロータ接線方向駆動部32を駆動制御する。同時に、制御部18は、施工ヘッド38の中心98とピン孔15の中心99を結ぶ法線方向にヘッド回転駆動部34を駆動制御する。これにより、施工ヘッド38は、ピン孔15内面を偏心運動することが可能となる。この偏心運動の際に、レーザ光Bは、常に施工ヘッド38がピン孔15と接触している位置に照射されるように制御される。

[0123] このように、本実施形態では、ピン孔の径に合わせて施工ヘッドがピン孔内面を偏心運動するので、径が異なる複数の種類のピン孔を施工することが可能となる。

[0124] (変形例1)

図25A、図25Bは、実施形態11の変形例1に係る応力処理装置の施工ヘッド38の要部断面図である。図25Aは正面を示す図で、図25Bは側面を示す図である。図26は、図25A、図25Bに示した施工ヘッド38の回転状態を説明するための正面図である。

[0125] 実施形態11では、ピン孔15と施工ヘッド38間に隙間が生じる。このため、応力処理装置に振動や衝撃が加わると、レーザ光Bのスポット径が大きくなって、応力改善範囲の裕度を超え、応力改善効果が得られないことがある。

[0126] そこで、本変形例では、ピン孔15と施工ヘッド38間の隙間に応じたス

ペーサ 110 を設けてこの隙間を埋める。このペーサ 110 は、断面三日月形状で形成され、施工ヘッド 38 の外周面に着脱可能に取り付けられて、ピン孔 15 との隙間を調整する。このペーサ 110 は、例えば、リーマボルトなどによって施工ヘッドに固定することも可能である。なお、このペーサ 110 は、複数取り付けることも可能である。

[0127] 制御部 18 は、実施形態 11 と同様に、ロータ半径方向駆動部 31、ロータ接線方向駆動部 32 およびヘッド回転駆動部 34 を駆動制御する。このペーサ 110 を取り付けることにより、施工ヘッド 38 は、ピン孔 15 内面を良好に偏心運動することが可能となる。この偏心運動の際に、レーザ光 B は、常に施工ヘッド 38 がピン孔 15 と接触している位置に照射されるように制御される。

[0128] このように、本変形例では、施工ヘッドにペーサを取り付けて、ピン孔との隙間を調整する。このため、光学系部品である施工ヘッドを交換することなく、ピン孔の径に応じた形状のペーサを施工ヘッドの外周面に取り付けできる。この結果、初心者でも容易にペーサを取り付けられる。

[0129] (変形例 2)

図 27 は、実施形態 11 の変形例 2 に係る応力処理装置の施工ヘッド 38 の動作制御を説明するための断面図である。図 28 は、図 27 の E-E 断面を示す断面図である。

[0130] ここで、次の関係式が成り立つ。

$$X = (D - d) \div 2 \times \cos \theta$$

$$Y = (D - d) \div 2 \times \sin \theta$$

$$Z = P \times N + P \times \theta \div 360$$

C1 : ピン孔 15 の中心位置 (基準位置) (基準座標 (0, 0, 0))

C2 : 施工ヘッドの中心位置 (座標 (X, Y, Z))

D : ピン孔 15 の直径

d : 施工ヘッド 38 の直径

θ : ピン孔 15 方位

P : 1 回転当たりの施工ヘッド 38 の送りピッチ

N : 施工ヘッド 38 の回転数

X, Y, Z : 中心位置 C 1 から中心位置 C 2 までの X、Y、Z 軸方向の距離

R : ヘッドの回転軸角度 (ピン孔中心 C 1 の真上を 0 度とした時計回り方向の角度)

[0131] この関係から、制御部 18 が施工ヘッド 38 を上記 X、Y、Z 軸方向及び R 角方向に動作制御すると、施工ヘッド 38 (施工対象位置 a) がピン孔 15 の中心 C 1 と施工ヘッド 38 の中心 C 2 を結んだ法線方向を向き、かつ施工ヘッド 38 がピン孔 15 の内周面に沿って偏芯運動できる。

[0132] なお、施工ヘッド 38 の中心 C 2 の上記 X、Y 軸方向の運動において、ピン孔 15 の直径 D と施工ヘッド 38 の直径 d の差分が「 $D - d = 0$ 」の場合、ピン孔 15 と施工ヘッド 38 の中心 C 1、C 2 は等しくなる。即ち、この場合、施工ヘッド 38 は偏芯運動ではなく、円運動する。

[0133] このように、本変形例では、施工ヘッドを上記 X、Y、Z、R 軸方向に動作制御して、ピン孔との隙間を調整する。このため、ピン孔の径にかかわらず、施工ヘッド 38 は、ピン孔 15 内面を良好に偏心運動可能となる。この偏心運動の際に、レーザ光は、常に施工ヘッド 38 がピン孔 15 と接触している位置に照射されるように制御できる。

[0134] (実施形態 12)

応力処理装置 24 では、中性またはアルカリ性の液体 L を施工対象のピン孔 15 内面に噴出する。従って、この液体 L が残留したまま放置されると、その放置された部分に錆が発生する。このため、施工後のピン孔 15 またはタービン動翼 10 とディスク 12 の隙間部およびこれらの周囲を乾燥し錆の発生を防止する必要がある。

[0135] タービン動翼 10 またはディスク 12 に付着した液体 L は、基本的にはこれらの表面に付着し下方へ流れ落ちる。しかし、タービン動翼 10 とディス

ク 1 2 は円周状に連結されており、翼フォーク 1 1 とディスクフォーク 1 3 は、0.4 mm 程度の間隙しかない。このため、この隙間部 1 2 5 に液体 L が堆積してしまう場合がある。この狭い隙間部 1 2 5 に乾燥ヘッドを直接挿入して、乾燥気体を吹き付けることは、従来困難であった。また、ピン孔 1 5 内面においても、同様に、表面張力によって、液体 L が堆積することがある。

[0136] 図 29 A、図 29 B は、実施形態 12 に係るタービン動翼 10 とディスク 12 の隙間部 1 2 5 を乾燥する乾燥装置 130 を説明するための図である。図 29 A はタービン動翼 10 とディスク 12 の正面図で、図 29 B は乾燥ヘッド 131 の X 方向から見た矢視図である。

[0137] 乾燥装置 130 は、乾燥気体を供給する気体供給部（図示せず）、ヘッド移動部（図示せず）、乾燥ヘッド 131、リング 133 を有する。

[0138] 気体供給部は、窒素を 80% 含む気体をヒータで加熱乾燥し、水分を除去した乾燥気体を乾燥ヘッド 131 に供給する。

[0139] ヘッド移動部は、乾燥ヘッド 131 を軸方向に移動させる。

[0140] 乾燥ヘッド 131 は、円筒形状に形成され、先端部 131 a の円周面に図 29 B に示す複数の貫通孔 132 を有する。この乾燥ヘッド 131 は、フォークに形成されたピン孔 15 の数に対応した数、実施形態では 3 つ配置される。3 つの乾燥ヘッド 131 は、ピン孔 15 の長さに合せて、図 29 A に示すように、3 段に配列され、この配列の状態でピン孔 15 内面を移動する。これにより、ピン孔 15 内面を移動する全ての乾燥ヘッド 131 が、隙間部 1 2 5 の位置に同時に到ることが可能となる。

[0141] この貫通孔 132 は、例えば、乾燥ヘッド 131 の円周面の 6 方向に放射状に、かつ乾燥ヘッド 131 の先端部 131 a の 2 個所にそれぞれ配置される。これら 2 個所の貫通孔 132 間の距離は、施工対象のピン孔 15 の長さと等しい長さに設定されている。これら貫通孔 132 は、気体供給部から供給された乾燥気体を、乾燥ヘッド 131 内部からピン孔 15 内面に噴出させる。

[0142] リング 1 3 3 は、貫通孔 1 3 2 を挟むように、乾燥ヘッド 1 3 1 の軸方向の前後の円周面にそれぞれ 4 つ設けられる（図 2 9 A 参照）。

[0143] 乾燥ヘッド 1 3 1 が、挿入されたピン孔 1 5 内面を軸方向に移動する。翼フォーク 1 1 とディスクフォーク 1 3 の隙間部 1 2 5 の位置に到ると、リング 1 3 3 がピン孔 1 5 内面をシールする。このため、貫通孔 1 3 2 から供給された乾燥気体 V は、この隙間部 1 2 5 のみを介して外部に噴出する。

[0144] このように、本実施形態では、乾燥気体を隙間部のみから外部へ噴出することができる。このため、乾燥気体がピン孔内面に分流されず、隙間部に残留された液体を的確に除去でき、錆の発生を防止可能となる。

[0145] （変形例 1）

次に、ピン孔 1 5 内面を乾燥する乾燥ヘッド 1 3 5 について説明する。

[0146] 図 3 0 は、実施形態 1 2 の変形例 1 に係る乾燥ヘッド 1 3 5 を示す断面図である。

[0147] 乾燥ヘッド 1 3 5 は、円筒形状に形成され、円周面に複数の貫通孔 1 3 6 を有する。

[0148] これらの貫通孔 1 3 6 は、同じ円周上および乾燥ヘッド 1 3 5 の軸方向に複数配列される。貫通孔 1 3 6 は、乾燥ヘッド 1 3 5 内部から斜め前方に、乾燥気体 V を噴出するように、約 4 5 度の斜め穴に形成される。ピン孔 1 5 がロータ 1 の回転中心と平行で、かつ床面とも平行な状態にあり、液体 L がこのピン孔 1 5 内面に付着したまま残留するので、この液体 L を乾燥ヘッド 1 3 5 の前方へ飛散可能とするためである。

[0149] このように、本変形例では、乾燥気体を乾燥ヘッドの斜め前方のピン孔内面に噴出することができる。このため、乾燥気体がピン孔内面の前方に流れ、ピン孔内面に付着した液体を的確に除去でき、錆の発生を防止可能となる。

[0150] （変形例 2）

図 3 1 は、実施形態 1 2 の変形例 2 に係る乾燥ヘッド 1 3 7 を示す断面図である。

- [0151] 乾燥ヘッド 137 は、固定プロペラ部 138、回転部 139、接続リング 140、管状部材 141 を備える。
- [0152] 固定プロペラ部 138 は、乾燥ヘッド 137 の先端に内向きに固定されたプロペラ状の羽根 142 を有する。この羽根 142 は、供給される乾燥気体 V を正面から受けるように配置されている。
- [0153] 回転部 139 は、羽根 142 を覆う円筒形状に形成され、円周面に貫通孔 143 を有する。この貫通孔 143 は、変形例 1 の貫通孔 136 と同様、乾燥ヘッド 137 内部から斜め前方に、乾燥気体 V を噴出するように、約 45 度の斜め穴に形成される。
- [0154] 接続リング 140 は、管状部材 141 に対し、回転部 139 を回転可能に接続する。接続リング 140 は、例えば、摩擦抵抗を低減するベアリングなどで構成される。
- [0155] 管状部材 141 から供給される乾燥気体 V を、0.5 MPa 程度の圧力で勢い良く羽根 142 に噴出すると、羽根 142 は反力を受ける。この反力により、回転部 139 には、回転力が伝達され、その回転力で回転しながら、貫通孔 143 を介して、乾燥気体 V を乾燥ヘッド 137 のピン孔 15 内面全周に噴出できる。
- [0156] このように、本変形例では、回転する回転部から乾燥気体を乾燥ヘッドの斜め前方のピン孔内面に噴出できる。このため、乾燥気体がピン孔内面の前方に流れ、ピン孔内面に付着した液体を的確に除去でき、錆の発生を防止可能となる。
- [0157] (実施形態 13)
- 次に、ピン孔 15 内面に圧縮応力領域が形成された後に、ピン孔 15 内面を検査する場合について説明する。
- [0158] 図 32 は、実施形態 13 に係る検査ヘッド 145 を示す断面図である。
- [0159] ピン孔 15 は、通常 10 mm ~ 17 mm の直径で形成される。これに対して、翼フォーク 11 とディスクフォーク 13 の最大幅は、300 mm 以上あるため、ピン孔 15 内は照度が低く、ピン孔 15 全体を目視で検査すること

は困難であった。

[0160] そこで、本実施形態では、ピン孔 1 5 内全体を検査可能とする検査ヘッド 1 4 5 を提供する。

[0161] 検査ヘッド 1 4 5 は、管状部材 1 4 6、ファイバ스코ープ 1 4 7、照明部 1 4 8 を備える。

[0162] 管状部材 1 4 6 は、内部にファイバ스코ープ 1 4 7 が配設されている。また、管状部材 1 4 6 の先端には、照明部 1 4 8 が配設されている。

[0163] ファイバ스코ープ 1 4 7 は、管状部材 1 4 6 前方に目視可能な視界領域を発生する。ファイバ스코ープ 1 4 7 は、図示しないモニタと接続されており、映像の表示を可能にしている。

[0164] 照明部 1 4 8 は、リング状の照明からなり、管状部材 1 4 6 前方の視界領域内のピン孔 1 5 内面を照射する。

[0165] 検査ヘッド 1 4 5 がピン孔 1 5 内に挿入されると、前方の視界領域内のピン孔 1 5 内面が照射され、作業者の目視による検査を可能にする。

[0166] このように、本実施形態では、照明部によって映し出されたピン孔内面をファイバ스코ープでとらえて目視可能とするので、ピン孔全体を目視で検査できる。

[0167] (実施形態 1 4)

次に、乾燥作業とピン孔 1 5 内面検査を併用する場合について説明する。

[0168] 図 3 3 は、実施形態 1 4 に係る併用ヘッド 1 5 0 を示す断面図である。

[0169] 併用ヘッド 1 5 0 は、管状部材 1 5 1、ファイバ스코ープ 1 5 2、照明部 1 5 3 を備える。

[0170] 管状部材 1 5 1 は、内部にファイバ스코ープ 1 5 2 が配設されている。管状部材 1 5 1 の内面とファイバ스코ープ 1 5 2 との間には、隙間部 1 5 4 が形成される。管状部材 1 5 1 は、気体供給部に接続され、隙間部 1 5 4 を介して外部に乾燥気体 V を噴出する。このため、管状部材 1 5 1 の先端側の隙間部 1 5 4 は、狹隘構造に形成されている。

[0171] ファイバ스코ープ 1 5 2 は、管状部材 1 5 1 前方に目視可能な視界領域を

発生する。ファイバ스코ープ 152 は、図示しないモニタと接続されており、映像の表示を可能にしている。また、ファイバ스코ープ 152 の先端には、照明部 153 が配設されている。

[0172] 照明部 153 は、リング状の照明からなり、管状部材 151 前方の視界領域内のピン孔 15 内面を照射する。

[0173] 併用ヘッド 150 がピン孔 15 内に挿入されると、管状部材 151 とファイバ스코ープ 152 間の隙間部 154 からピン孔 15 内に乾燥気体 V が噴出される。この噴出と同時に前方の視界領域内のピン孔 15 内面が照射され、作業者の目視による検査を可能にする。

[0174] このように、本実施形態では、ピン孔全体を目視で検査しながら、同時にピン孔内を乾燥することができる。

[0175] (実施形態 15)

次に、ピン孔 15 に供給された切削材や液体を回収する回収部について説明する。

[0176] レーザピーニング時に噴出する液体 L は、ピン孔 15 のヘッド挿入側の反対方向から飛散する。

[0177] そこで、本実施形態では、切削材や液体を回収する回収部を提供する。

[0178] 図 34 は、実施形態 15 に係る回収部 160 を示す図である。回収部 160 は、フランジ 161、ガイドパイプ 162、リング 163、図示しないポンプを備える。

[0179] フランジ 161 は、ガイドパイプ 162 が取り付けられた孔 164 を有する。この孔 164 は、ピン孔 15 と同じ径に形成される。

[0180] ガイドパイプ 162 は、ポンプに接続され、ポンプの吸引動作によって、液体 L を吸引する。

[0181] リング 163 は、孔 164 を取り囲むように、フランジ 161 の側面に配設される。

[0182] ピン孔 15 の出口部に孔 164 が合うように、フランジ 161 とリング 163 をフォーク側面に取り付け、ポンプで吸引することで、施工時に飛散

する液体Lをガイドパイプ162に取り込む。

[0183] このように、本実施形態では、飛散する液体を吸引するので、ピン孔に残留する液体を削減でき、次の作業工程、例えば、乾燥工程での作業時間を短縮できる。

[0184] （実施形態16）

次に、レーザピーニング時に噴出する液体Lの回収、再利用するシステムについて説明する。

[0185] 図35は、液体Lを回収、再利用する実施形態16に係る再利用システムの構成を示すブロック図である。

[0186] 再利用システムは、レーザピーニング装置29を含む応力処理装置24、制御盤91、液体受けパン55、フィルタ170、PHコントロールユニット171、ポンプ貯液槽172、制御盤91を備える。なお、図35中、実線は液体Lの流れを示し、点線は制御系の接続経路を示す。

[0187] 液体受けパン55は、ピン孔15から落下した液体Lを貯留し、フィルタ170に供給する。

[0188] フィルタ170は、ピン孔15に残留していた不純物や油分、レーザピーニングによって昇華した微量の金属粉、外部から混入した異物などを濾過する機能を有する。なお、フィルタ170は、異物が所定量異常付着すると、目詰まりを起こす可能性があるため、定期的にフィルタを交換する必要がある。

[0189] PHコントロールユニット171は、濾過された液体LのPHを調整する機能を有する。なお、液体LのPHは、アルカリ性に近いほど、タービン動翼10およびディスク12を錆びにくくする効果がある。

[0190] ポンプ貯液槽172は、図示しないポンプを有し、PH調整された液体Lを吸い上げて応力処理装置24に供給する。なお、ポンプ貯液槽172の液体Lが所定レベル以下になった場合は、液体を補充する必要がある。

[0191] 制御盤91は、施工条件に基づいて、応力処理装置24を制御するとともに、ポンプ貯液槽172のポンプを駆動制御する。

[0192] 液体Lは、ポンプ貯液槽172に貯えられ、ポンプによって汲み上げられて、図示しない流量検知バルブ、ホース48、ブーム35の順に通過し、施工ヘッド38の開口部46aより噴出される。

[0193] 開口部46aから噴出された液体Lは、ピン孔15を経由して液体受けパン55に落下し、さらにフィルタ170に吸引されて異物が除去される。次に、液体Lは、PHコントロールユニット171によってPH調整され、ポンプによって吸い上げられてポンプ貯液槽172に循環される。

[0194] このように、本実施形態では、ピン孔に噴出された液体を濾過およびPH調整した後に、再び応力処理装置に供給するので、液体の再利用が可能となる。この結果、資源の枯渇化を防止できる。

[0195] (実施形態17)

図36は、実施形態17に係る施工システム175の構成を示す図である。

[0196] この施工システム175では、最終段落のディスク12aの同一円周上の異なる位置に上述した応力処理装置24と同様の機能を有する応力処理装置(例えば、応力処理装置24a~24cまたは応力処理装置24d、24e)を複数配列する。そして、制御盤91によって、これら応力処理装置が複数のピン孔15それぞれを同じタイミングで施工して圧縮応力領域を形成する。

[0197] また、この施工システム175では、タービン側の最終段落のディスク12aとコレクタ側の最終段落のディスク12bの対向する位置に上述した応力処理装置24と同様の機構を有する応力処理装置(例えば、応力処理装置24aと24dまたは応力処理装置24cと24e)を複数配列する。そして、制御盤91によって、これら応力処理装置を同じタイミングで複数のピン孔15をそれぞれ施工して圧縮応力領域を形成する。

[0198] また、この施工システム175では、応力処理装置24a~24eを組み合わせて配置する。そして、制御盤91によって、これら応力処理装置を同じタイミングで複数のピン孔15をそれぞれ施工して圧縮応力領域を形成してもよい。この施工システムは、「応力処理装置を、前記ロータの同一円周

上の異なる位置、およびタービン側の前記ディスクとコレクタ側の前記ディスクの対向する位置の少なくとも一方の位置に複数設置する施工システム」として機能する。

[0199] このように、本実施形態では、応力処理装置を用いてピン孔に圧縮応力領域を形成するので、蒸気タービンの動翼とディスクの結合部のピン孔内面の応力腐食割れの発生を防止するとともに、疲労強度を向上できる。

[0200] さらに、本実施形態では、複数の応力処理装置を組み合わせて配置し、複数のピン孔をそれぞれ施工して圧縮応力領域を形成する。このため、一度の回転制御で同時施工が可能となり、施工時間を削減できる。

[0201] (実施形態 18)

図 37A、図 37B は、実施形態 18 に係る施工システム 176 の構成を示す図である。図 37A は上面図、図 37B は側面図である。

[0202] この施工システム 176 では、リーマ加工装置 100a、100b と、施工装置 181a、181b、乾燥装置 182a、182b、検査装置 183a、183b、ピン組立装置 184a、184b、制御盤 91 を備える。

[0203] リーマ加工装置 100a、100b は、図 1A～図 1C に示したリーマ加工装置と同様なので、説明を省略する。このリーマ加工装置 100a、100b は、翼フォークを有するタービン動翼と、前記翼フォークに係合するディスクフォークを有するロータのディスクと、を同時にリーマ加工する加工部として機能する。

[0204] 施工装置 181a、181b は、レーザピーニング施工により、ピン孔 15 内面に圧縮応力領域を形成する。この施工装置 181a、181b は、「レーザピーニング施工の場合は、図 5 に示したレーザピーニング装置 29 と同様である。この施工装置 181a、181b は、前記ロータを回転させ、前記ディスクを所定位置に位置決めするロータ回転部と、前記位置決めされた所定位置で前記翼フォークのピン孔内面および前記ディスクフォークのピン孔内面の少なくとも一方のピン孔内面に、ピーニングを施して圧縮応力領域を形成する施工部と、前記ピン孔内に液体を噴射する噴射部と、を具備す

る応力処理装置」として機能する。

[0205] 乾燥装置 182 a、182 b は、レーザピーニング施工後にピン孔 15 内に残留する切削材、液体またはその他の異物を吹き飛ばす作業を行う。この乾燥装置 182 a、182 b は、図 29 A、図 29 B、図 30、図 31 のいずれかに示した乾燥装置 130 と同様である。この乾燥装置 182 a、182 b は、「前記ピン孔内に噴射された液体を乾燥する乾燥部」として機能する。

[0206] 検査装置 183 a、183 b は、レーザピーニング施工後のピン孔 15 内面の異物や施工範囲を確認する。この検査装置 183 a、183 b は、図 32 に示した検査ヘッド 145 を備える検査装置と同様である。この検査装置 183 a、183 b は、「前記ピン孔内に形成された圧縮応力領域の画像を撮影し、前記画像に基づいて、前記圧縮応力領域を認識する認識部」として機能する。

[0207] ピン組立装置 184 a、184 b は、圧縮応力領域が形成された翼フォーク 11 とディスクフォーク 13 のピン孔 15 にピンを挿入してタービン動翼 10 とディスク 12 を組み立てる作業を行う。このピン組立装置 184 a、184 b は、「前記タービン動翼と前記ディスクを組み立てる組立部」として機能する。

[0208] なおこの他に、応力集中を緩和するために、リーマ加工後の翼フォーク 11 とディスクフォーク 13 のピン孔 15 の出入口部を面取り加工する装置を備えることも可能である。

[0209] この施工システム 176 では、最終段落のディスク 12 a の同一円周上の異なる位置に、これら装置 100 a、181 a～184 a をそれぞれ配列する。そして、制御盤 91 によって、これら装置 100 a、181 a～184 a の駆動制御および作業管理を行う。この制御盤 91 は、これら装置 100 a、181 a～184 a の異なる複数の作業を同時に実施する。

[0210] また、この施工システム 176 では、最終段落のディスク 12 a、12 b の同一円周上の異なる位置にこれら装置 100 a、181 a～184 a およ

び100b、181b～184bがそれぞれ配列される。これとともに、タービン側のディスク12aとコレクタ側のディスク12bの対向する位置に、同じ機能を有する装置100aと100b、181aと181b、182aと182b、183aと183b、184aと184bがそれぞれ配置される。そして、制御盤91によって、これら装置100a、181a～184aおよび100b、181b～184bの駆動制御および作業管理を行う。この制御盤91は、これら装置100a、181a～184aおよび100b、181b～184bの異なる複数の作業を同時に実施する。

[0211] この施工システム176は、「翼フォークを有するタービン動翼と、前記翼フォークに係合するディスクフォークを有するロータのディスクと、を同時にリーマ加工する加工部と、前記ロータを回転させ、前記ディスクを所定位置に位置決めするロータ回転部と、前記位置決めされた所定位置で前記翼フォークのピン孔内面および前記ディスクフォークのピン孔内面の少なくとも一方のピン孔内面に、ピーニングを施して圧縮応力領域を形成する施工部と、前記ピン孔内に液体を噴射する噴射部と、を具備する応力処理装置と、前記ピン孔内に噴射された液体を乾燥する乾燥部と、前記ピン孔内に形成された圧縮応力領域の画像を撮影し、前記画像に基づいて、前記圧縮応力領域を認識する認識部と、前記タービン動翼と前記ディスクを組み立てる組立部と、を具備し、前記ロータの同一円周上の異なる位置に前記各部位をそれぞれ配置し、または前記ロータの同一円周上の異なる位置に各部位をそれぞれ配置するとともに、タービン側の前記ディスクとコレクタ側の前記ディスクの対向する位置に同じ機能を有する前記各部位をそれぞれ配置する施工システム」として機能する。

[0212] このように、本実施形態では、応力処理装置を用いてピン孔に圧縮応力領域を形成するので、蒸気タービンの動翼とディスクの結合部のピン孔内面の応力腐食割れの発生を防止するとともに、疲労強度を向上することができる。

[0213] また、本実施形態では、圧縮応力領域を形成するための異なる作業を行う

各装置を、組み合わせてディスクの同一円周上の異なる位置、またはディスクの対向する位置に配列し、各作業を行う。このため、各作業の同時実施が可能となり、作業時間や位置決め回数を削減できる。

[0214] (実施形態 19)

次に、施工管理インターロック機能、ペースメーカ機能について説明する。なお、これらの機能を実現する施工管理システムは、図 21 に示したシステム構成と同様なので、図 21 を用いて説明する。

[0215] 図 21 において、制御盤 91 は、レーザ照射履歴 91a、装置移動履歴 91b を記録する施工記録機能を有するとともに、これら履歴 91a、91b をモニタ 92 に表示させて、これら履歴に基づく施工管理記録情報 91c を作成、記録する。

[0216] また、制御盤 91 は、施工の動作速度 94 や動作範囲 95 の検知、レーザピーニング装置 29 の検知（例えば、レーザパワー不足などの検知）、ポンプ貯液槽 172 のポンプの液体流量の検知、施工範囲の検知などを行う。そして、制御盤 91 は、これらの検知結果に異常があった場合には、応力処理装置 24 の駆動を停止し、異常部位をモニタ 92 に表示する施工管理インターロック機能を有する。

[0217] なお、液体流量の検知は、流量検知バルブによって行われる。従って、液体流量が規定量に満たない場合には、レーザ光の照射位置での不純物や異物を除去できずに、レーザパワーが規定条件を下回ることが考えられる。このため、流量低下の場合は、応力処理装置 24 に指令し、モニタ 92 に異常発生を表示させる必要がある。

[0218] このように、本実施形態では、上述した効果を有するとともに、異常を検知して応力処理装置の駆動を停止する施工管理インターロック機能を有するので、装置の安全性を向上できる。

[0219] また、実施形態 17 で示したディスク 12a 円周上の異なる位置やタービン側のディスク 12a とコレクタ側のディスク 12b の対向する位置に応力処理装置を複数配列し、施工を同時に行う。

[0220] この場合、図 21 に示した制御盤 91 が各応力処理装置の施工記録機能を有し、上記情報を集約管理することが可能である。そして、制御盤 91 は、相互の作業完了予測時間を求めて、この予測時間をモニタ 92 に表示させるペースメーカ機能と目標工程に対する作業実績を表示させる表示機能を有することも可能である。

[0221] このように本実施形態では、上述した効果を有するとともに、相互の作業完了を予測するペースメーカ機能を有するので、作業効率を向上させることが可能である。

[0222] (実施形態 20)

図 38 は、実施形態 20 に係る応力処理装置のヘッド先端部 46 の要部断面図である。図 39 は、図 38 の X-X 断面を示す断面図である。図 40 は、図 38 に示した支持部 200 を示す斜視図である。

[0223] 気中において、ヘッド先端部 46 の光ファイバ 42 の先端を固定しないで管状部材 45 内に大量の液体を噴射させると、光ファイバ 42 の先端がその水流の勢いで振動し、レーザ光が施工対象位置 a からずれてしまう。また、この振動を防ぐために、この管状部材 45 内に少量の液体を噴射させると、勢いが弱くなりこの液体による液体膜が良好に生成されず、レーザエネルギーをこの液体膜のみに封印することができない。

[0224] そこで、本実施形態では、図 38、図 39 に示すように、光ファイバ 42 の先端を支持する支持部 200 をヘッド先端部 46 内に固設する。この支持部 200 は、光ファイバ 42 の芯線 42a を支持する支持部材 201 と、支持部材 201 の周方向に等間隔に配置され、この支持部材 201 とヘッド先端部 46 の内周面を結合する、例えば、3つの結合部材 202 とからなる。これら支持部材 201 と結合部材 202 は一体的に形成されている。なお、結合部材 202 は、3つに限らず、2つ又は4つ以上であってもよい。

[0225] 図 40 に示すように、中心部材 201 は、長手方向の長さが結合部材 202 の長手方向の長さと同じで、かつ中空の円筒形状に構成され、光ファイバ 42 の芯線 42a を中心軸として内部に挿入することで支持している。結合

部材 202 は、長方体からそれぞれ構成され、ヘッド先端部 46 内の 3 点に固定され、結合部材 202 間には、空隙が形成されて液体が流通可能になっている。

[0226] この支持部 200 は、ヘッド先端部 46 に固定されているので、このヘッド先端部 46 が回転する時に、ヘッド先端部 46 と伴に回転する。この時、光ファイバ 42 は、支持部 200 に支持された状態で回転はしない。

[0227] この状態で、管状部材 45 内に多くの流量の液体が噴射されると、液体は結合部材 202 間の空隙を介して施工対象位置 a に流れる。しかし、光ファイバ 42 の先端は支持部 200 に支持されているので、水流によって振動することが防がれ、レーザ光を施工対象位置 a に的確に照射できる。この支持部 200 は、前記光ファイバを支持する支持部材 201 と、前記支持部材 201 の周囲に設けられ、前記支持部材 201 と前記ピン孔内とを結合する複数の結合部材 202 とを有し、前記結合部材 202 間に形成された空隙を介して前記噴射部から噴射された液体を流通可能とする。

[0228] このように、本実施形態では、光ファイバの先端を、ヘッド先端部に固定された支持部に支持させる。この結果、多くの流量の液体を管状部材内に噴出し、良好な液体膜を生成でき、かつレーザエネルギーをこの液体膜内にのみ封印して、ピン孔内面の施工対象位置にレーザピーニングを施して圧縮応力領域を形成できる。

[0229] なお、ヘッド先端部 46 に形成された開口部 46 a は、反射ミラー 47 から出射されるレーザ光 B が楕円であるため、楕円形状であることが好ましい。さらに、例えば、この開口部 46 a の長径（ヘッド先端部 46 の長手方向の径）は、3～10 [mm]、短径（ヘッド先端部 46 の短手方向の径）は、2～6 [mm] 程度に設定するのが好ましい。

[0230] また、本願発明は、上記実施形態に限られず、例えば、構造体、例えば航空機ボディー等のファスナー穴（リベット穴）やディーゼルエンジンのシャフトのオイル噴出し穴や車の車軸等の工業製品等の高サイクル疲労対策、さらに金型の冷却穴等の応力腐食割れ対策に使用可能である。

[0231] また、上記実施形態では、気中にて応力処理を行う場合について説明したが、本願発明はこれに限らず、液中にても上記応力処理を行うことが可能である。

[0232] なお、本願発明は、上記実施形態のみに限定されるものではなく、実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で構成要素を変形してもよい。また、上記実施形態に開示されている複数の構成要素を適宜組み合わせることにより、種々の発明を構成できる。例えば実施形態に示される全構成要素から幾つかの構成要素を削除してもよい。さらに、異なる実施形態にわたる構成要素を適宜組み合わせてもよい。

符号の説明

[0233] 1…ロータ、2…軸、10…タービン動翼、11…翼フォーク、12…ディスク、12a, 12b…ディスク、13…ディスクフォーク、14…矢印、15…ピン孔、15a, 15b…孔、16…下孔、17…半径方向、18, 180…制御部、19…仮ピン、20…ロータ回転部、21…やげん台、22…ロータ回転装置、23…ピン、24, 24a~24e, 60…応力処理装置、27…中心軸、28…やげん台側面、29…施工部（レーザピーニング装置）、30…台座、31…ロータ半径方向駆動部、32…ロータ接線方向駆動部、33…ヘッド送り駆動部、34…ヘッド回転駆動部、35…ブーム、35a…ホルダ、36…ヘッド部、37…台座側面、38…施工ヘッド、39…撮像ユニット、40…レーザ発振器、41…レーザ光調整部、42…光ファイバ、43…送液部、45…管状部材、46…ヘッド先端部、46a…開口部、47…反射ミラー、48…ホース、49…スリーブ、50…支持部材、51…溝、52…回転駆動モータ、53…タイミングベルト、54…プーリ、55…液体受けパン、56…Ｏリング、57…ラジカル面、58…植え込み部端具、59, 61, 80, 81…ガイドプレート、62…ラジカル面ブロック、63…端具ブロック、64…クランプ、65…エアーシリンダ、66…ヘッド部、67…方向調整部、68…幅方向調整部、69…ヘッド回転部、70…ヘッド送り部、82, 83…貫通孔、85…支持部材

、 8 6 …リーマ穴、 8 7 …リーマボルト、 9 0 …施工条件入力部、 9 1 …制御盤、 9 2 …モニタ、 9 8 …施工ヘッドの中心、 9 9 …ピン孔の中心、 1 0 0, 1 0 0 a, 1 0 0 b …リーマ加工装置、 1 0 1 …回転駆動部、 1 0 2 …リーマ工具、 1 1 0 …スペーサ、 1 2 5 …隙間部、 1 3 0, 1 8 2 a, 1 8 2 b …乾燥装置、 1 3 1 …乾燥ヘッド、 1 3 1 a …先端部、 1 3 2, 1 3 6, 1 4 3 …貫通孔、 1 3 3 …リング、 1 3 5 …乾燥ヘッド、 1 3 7 …乾燥ヘッド、 1 3 8 …固定プロペラ部、 1 3 9 …回転部、 1 4 0 …接続リング、 1 4 1, 1 4 6, 1 5 1 …管状部材、 1 4 2 …羽根、 1 4 5 …検査ヘッド、 1 4 7, 1 5 2 …ファイバ스코プ、 1 4 8, 1 5 3 …照明部、 1 5 0 …併用ヘッド、 1 5 4 …隙間部、 1 6 0 …回収部、 1 6 1 …フランジ、 1 6 2 …ガイドパイプ、 1 6 3 …Ｏリング、 1 6 4 …孔、 1 7 0 …フィルタ、 1 7 1 …コントロールユニット、 1 7 2 …ポンプ貯液槽、 1 7 5, 1 7 6 …施工システム、 1 8 1 a, 1 8 1 b …施工装置、 1 8 3 a, 1 8 3 b …検査装置、 1 8 4 a, 1 8 4 b …ピン組立装置、 2 0 0 …支持部、 2 0 1 …中心部材、 2 0 2 …翼部材、 2 0 2 …翼部、 a …施工対象位置、 B …レーザ光、 C …圧縮応力領域、 d …軸心ずれ、 H …高さ方向、 L …液体、 P …平行方向、 s …最小スポット径、 S …幅方向、 T, T 1, T 3 …レーザ照射時間、 T 2, T 4 …レーザ遮断時間、 V …乾燥気体。

請求の範囲

- [請求項1] 構造体に形成された孔内をレーザ照射するピーニングを施し、前記孔内に圧縮応力領域を形成するヘッド部と、前記レーザを前記ヘッド部に導光する光ファイバを有するレーザ部と、前記孔内に液体を噴射する噴射部と、前記噴射された液体を流通可能に前記光ファイバを支持し、かつ前記ヘッド部内に固定される支持部と、を備える施工部を具備する応力処理装置。
- [請求項2] 前記構造体は、翼フォーク及びディスクフォークであり、
前記孔は、前記翼フォーク及び前記ディスクフォークに形成されたピン孔であり、
前記翼フォークを有するタービン動翼と、前記翼フォークと係合して組み立てられ、かつ前記翼フォークと互いに貫通する前記ピン孔が形成される前記ディスクフォークを有するディスクとを備えるロータを回転させ、前記ディスクを所定位置に位置決めするロータ回転部をさらに具備する
請求項1記載の応力処理装置。
- [請求項3] 前記施工部は、前記タービン動翼が取り外された前記ディスクフォークのピン孔内面に、ピーニングを施して圧縮応力領域を形成する
請求項2記載の応力処理装置。
- [請求項4] 前記構造体は、タービン動翼の翼フォーク及びディスクフォークであり、
前記タービン動翼が、ロータのディスクに形成された前記ディスクフォークと、このディスクフォークと互いに貫通する前記ピン孔が形成される前記翼フォークと、を備え、
前記孔は、前記翼フォーク及び前記ディスクフォークに形成されたピン孔であり、
前記応力処理装置が、前記翼フォークのピン孔内面に、前記ピーニングを施して前記圧縮応力領域を形成する施工部をさらに具備する

請求項 1 記載の応力処理装置。

[請求項5]

前記施工部は、前記取り外されたタービン動翼を、組み立て時の前記ロータの円周方向および軸方向に相当する 2 方向と、前記タービン動翼の長手方向との 3 方向に対して位置決めする位置決め部をさらに備え、

前記施工部は、前記位置決めされた所定位置で前記翼フォークのピン孔内に、前記ピーニングを施して圧縮応力領域を形成する

請求項 4 記載の応力処理装置。

[請求項6]

前記施工部は、

前記ヘッド部を回転させるヘッド回転部と、

前記ヘッド部を前記組み立て時のロータの半径方向に移動させる第 1 の移動部と、

前記ヘッド部を前記組み立て時のロータの軸方向に移動させる第 2 の移動部と、

少なくとも前記ヘッド回転部、前記第 1 の移動部および前記第 2 の移動部を制御し、前記ヘッド部を前記ピン孔と同軸上に移動させる制御部と、をさらに備える

請求項 2 記載の応力処理装置。

[請求項7]

前記ヘッド部に設けられ、事前に前記施工されたピン孔の画像を撮影する撮影部をさらに備え、

前記制御部が前記ピン孔の画像に基づいて、前記ヘッド部の先端位置を補正して施工対象の前記ピン孔位置に位置決めさせる

請求項 6 記載の応力処理装置。

[請求項8]

前記ヘッド部が、前記組み立て時のロータの円周方向に対して存在する前記ピン孔のうち、同一円周上に配置される複数の前記ピン孔、または前記組み立て時のロータの同一半径方向に配置される複数の前記ピン孔に対向する位置に複数設けられ、

前記ヘッド部が、前記同一円周上の複数のピン孔内または前記同一

半径方向の複数のピン孔内に、前記ピーニングを同時に施して圧縮応力領域を形成する

請求項 6 記載の応力処理装置。

[請求項9] 前記制御部は、前記ヘッド回転部および前記第 2 の移動部を制御し、前記ピン孔内に、前記ピーニングを螺旋状に施して、前記圧縮応力領域を連続的に形成させる

請求項 6 記載の応力処理装置。

[請求項10] 前記制御部は、前記ロータの軸方向の前記ヘッド部の移動量および前記レーザの照射範囲に基づいて、前記ピン孔内の前記レーザ部、前記ヘッド回転部および前記第 2 の移動部を制御し、前記ピン孔内を断続的に前記ピーニングを施し、前記圧縮応力領域を部分的に形成する

請求項 6 記載の応力処理装置。

[請求項11] 前記噴射部は、前記液体を前記ピン孔内のレーザ照射点に噴射し、液体膜を生成する

請求項 2 記載の応力処理装置。

[請求項12] 前記支持部は、前記光ファイバを支持する支持部材と、前記支持部材の周囲に設けられ、前記支持部材と前記ピン孔内とを結合する複数の結合部材とを有し、前記結合部材間に形成された空隙を介して前記噴射部から噴射された液体を流通する

請求項 2 記載の応力処理装置。

[請求項13] 前記ヘッド回転部は、前記ピン孔の内径より小さい径の前記ヘッド部の中心軸を、前記ピン孔の中心軸に対して平行に円運動させて、前記ヘッド部が前記ピン孔の内面に沿って偏心運動する

請求項 6 記載の応力処理装置。

[請求項14] 前記ロータの半径方向が異なり、かつ同一円周上の複数の前記ピン孔のピッチに対応した複数のホルダと、

施工対象の前記同一円周上の複数のピン孔のピットに対応したホルダに、複数の前記ヘッド部を組替えて取り付け、この同一円周上の複

数のピン孔内に、同時に前記ピーニングを施して前記圧縮応力領域を形成する

請求項6記載の応力処理装置。

[請求項15]

翼フォークを有するタービン動翼と、前記翼フォークに係合するディスクフォークを有するロータのディスクと、を同時にリーマ加工する加工部と、

前記ロータを回転させ、前記ディスクを所定位置に位置決めするロータ回転部と、ピーニングを施すヘッド部と、照射したレーザを前記ヘッド部に導光する光ファイバを有し、前記ピン孔内をレーザ照射してピーニングを施すレーザ部と、前記ピン孔内に液体を噴射する噴射部と、前記噴射された液体を流通可能に前記光ファイバを支持し、かつ前記ヘッド部内に固定される支持部と、を備え、前記位置決めされた所定位置で前記翼フォークのピン孔内面および前記ディスクフォークのピン孔内面の少なくとも一方のピン孔内面に、ピーニングを施して圧縮応力領域を形成する施工部と、を具備する応力処理装置と、

前記ピン孔内に噴射された液体を乾燥する乾燥部と、

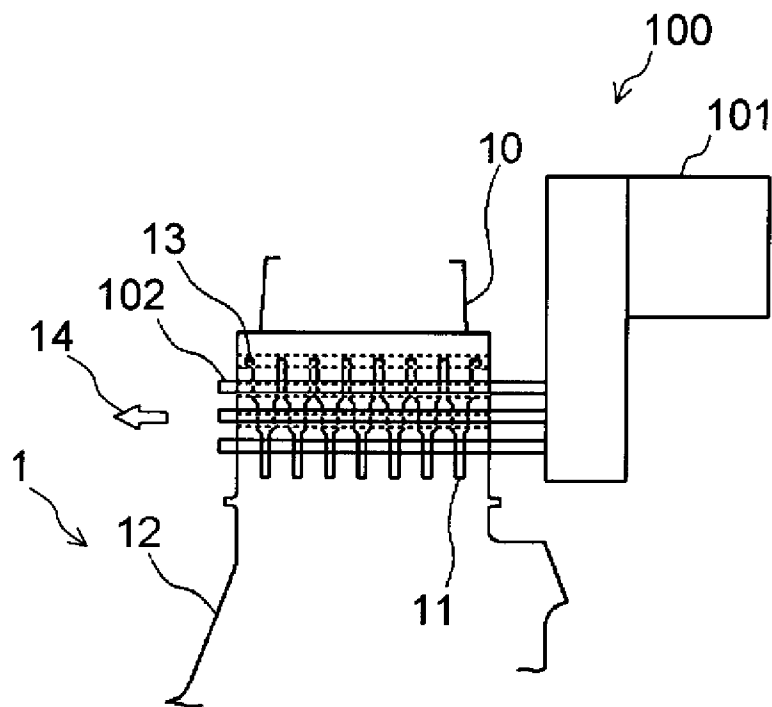
前記ピン孔内に形成された圧縮応力領域の画像を撮影し、前記画像に基づいて、前記圧縮応力領域を認識する認識部と、

前記タービン動翼と前記ディスクを組み立てる組立部と、を具備し、

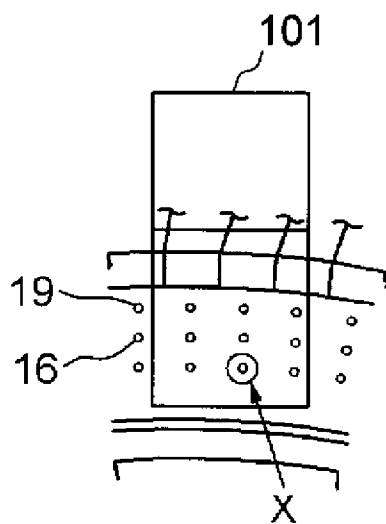
前記ロータの同一円周上の異なる位置に前記各部位をそれぞれ配置し、または前記ロータの同一円周上の異なる位置に各部位をそれぞれ配置するとともに、タービン側の前記ディスクとコレクタ側の前記ディスクの対向する位置に同じ機能を有する前記各部位をそれぞれ配置する

施工システム。

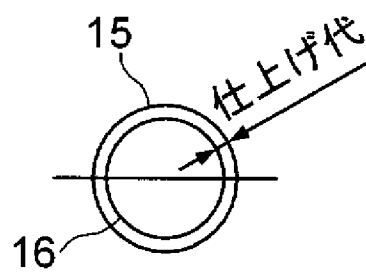
[図1A]



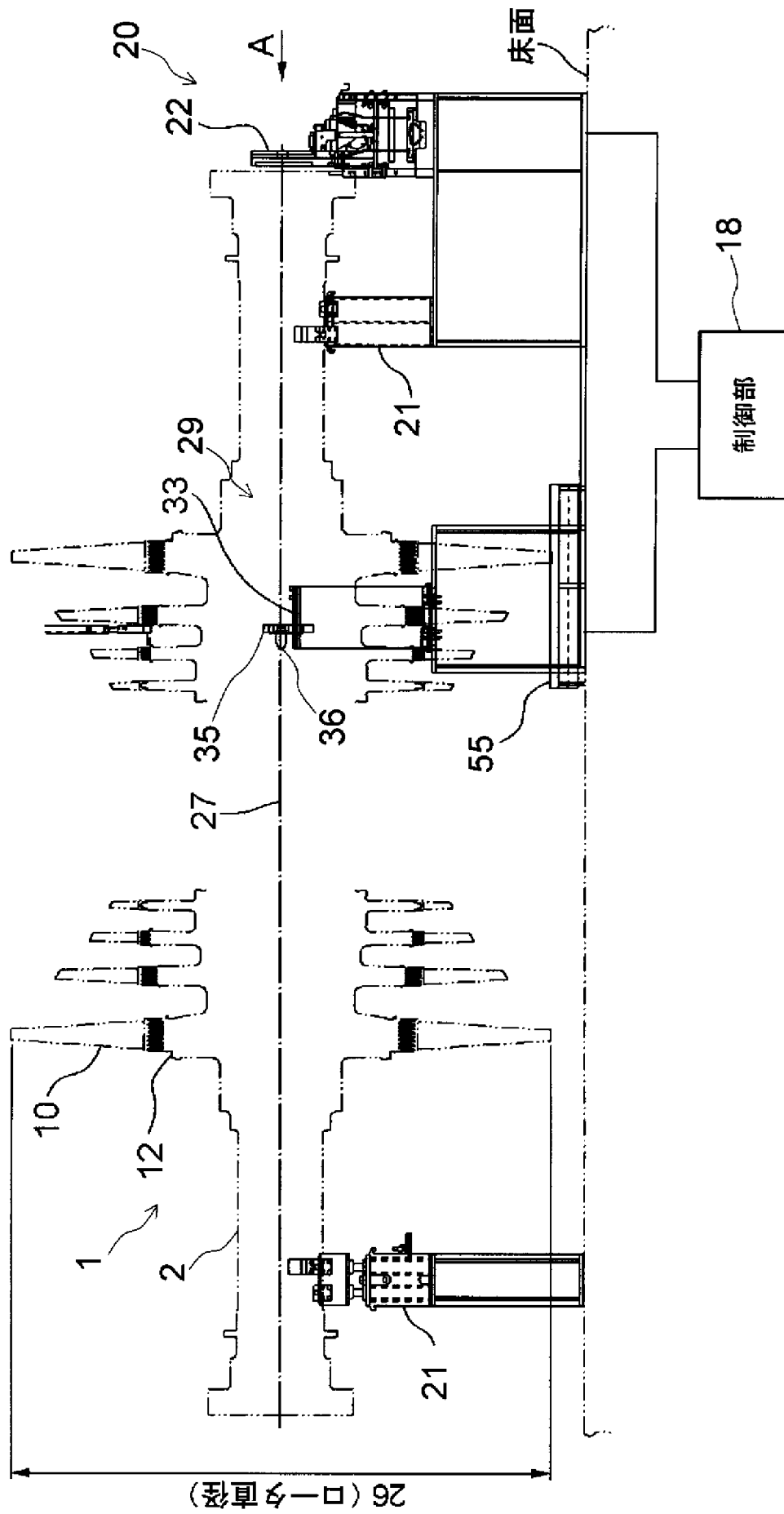
[図1B]



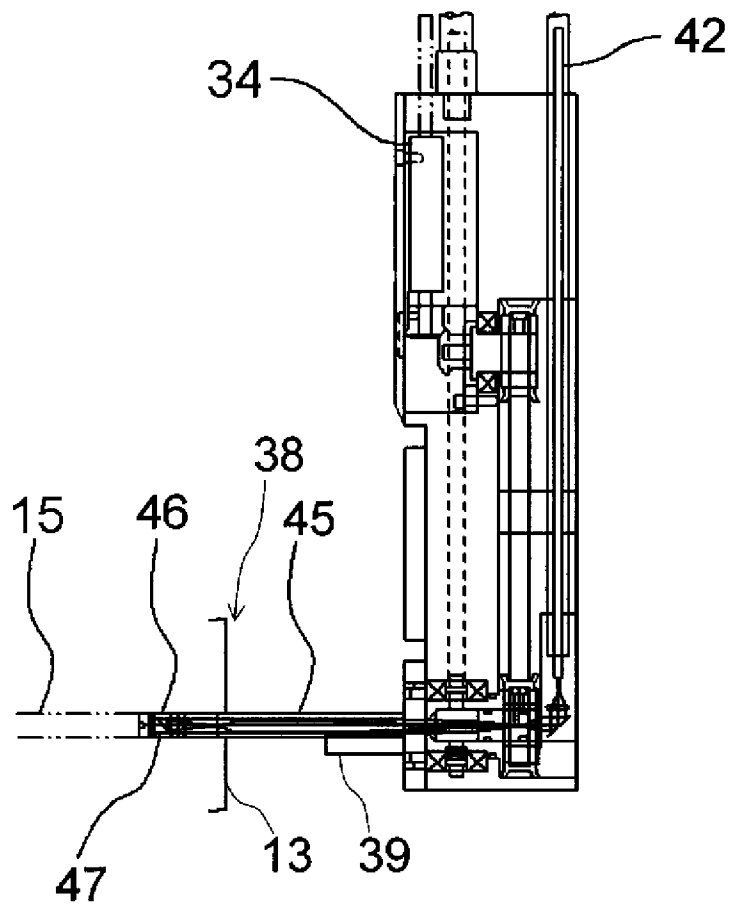
[図1C]



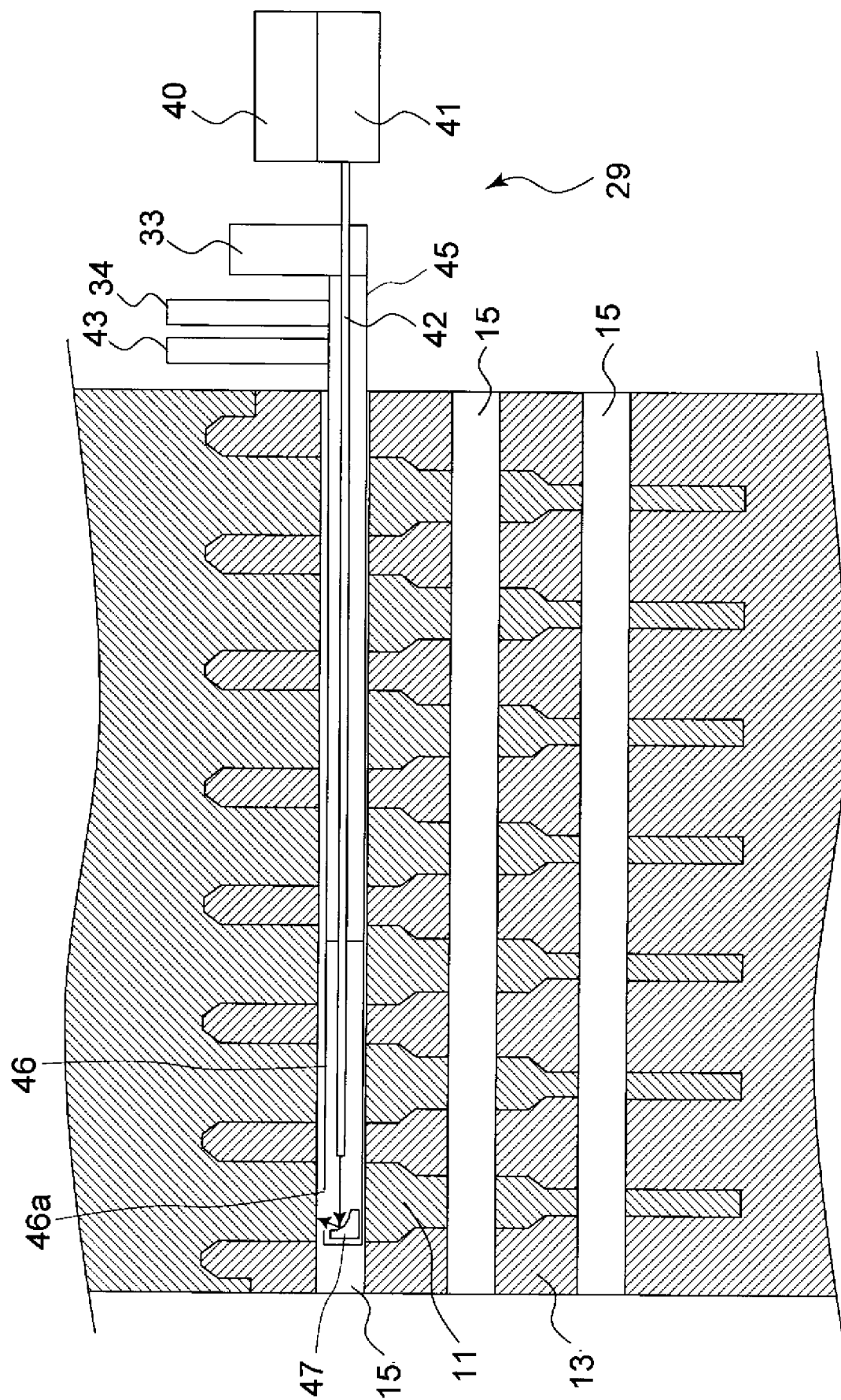
[図2]



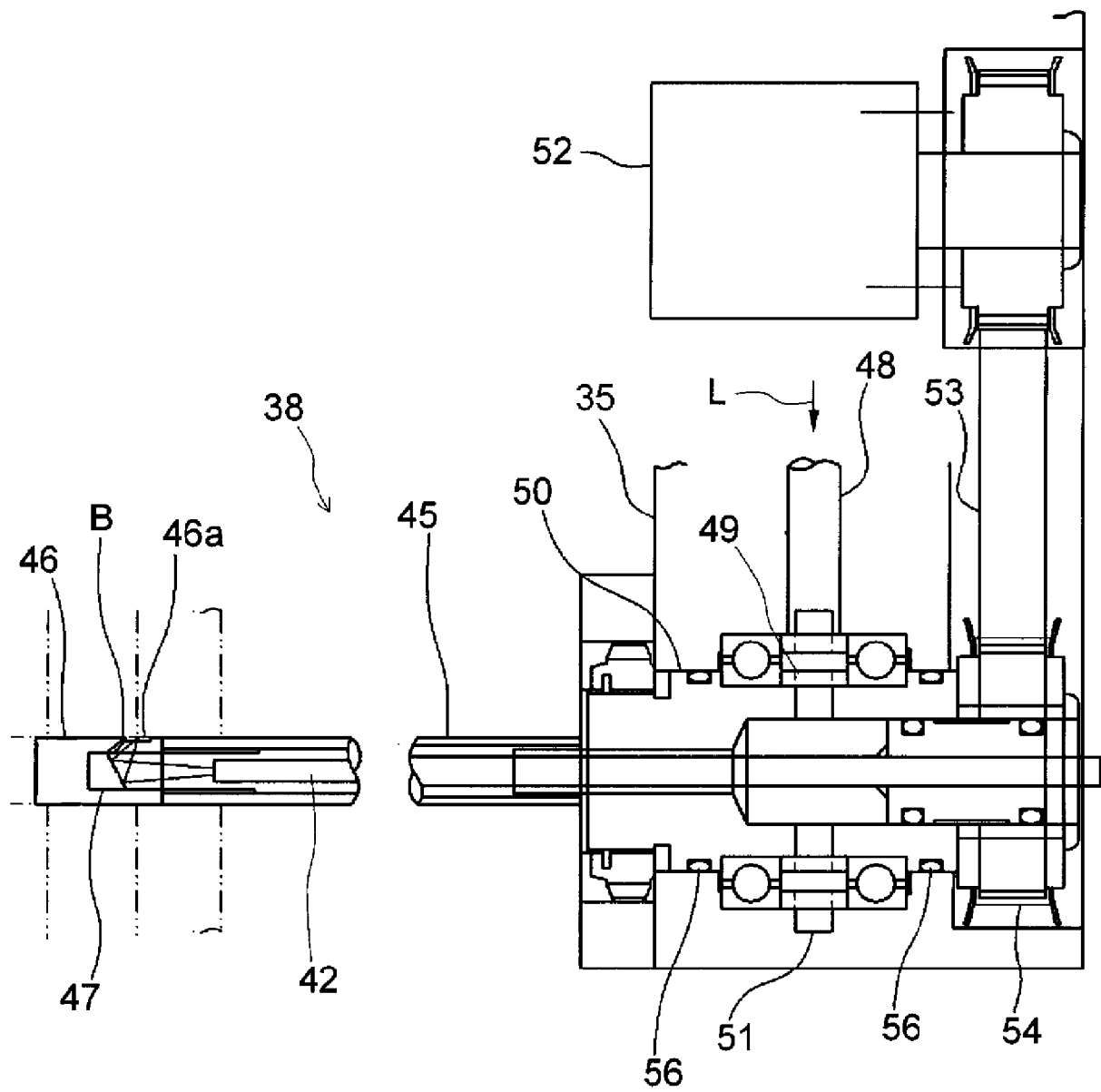
[図4]



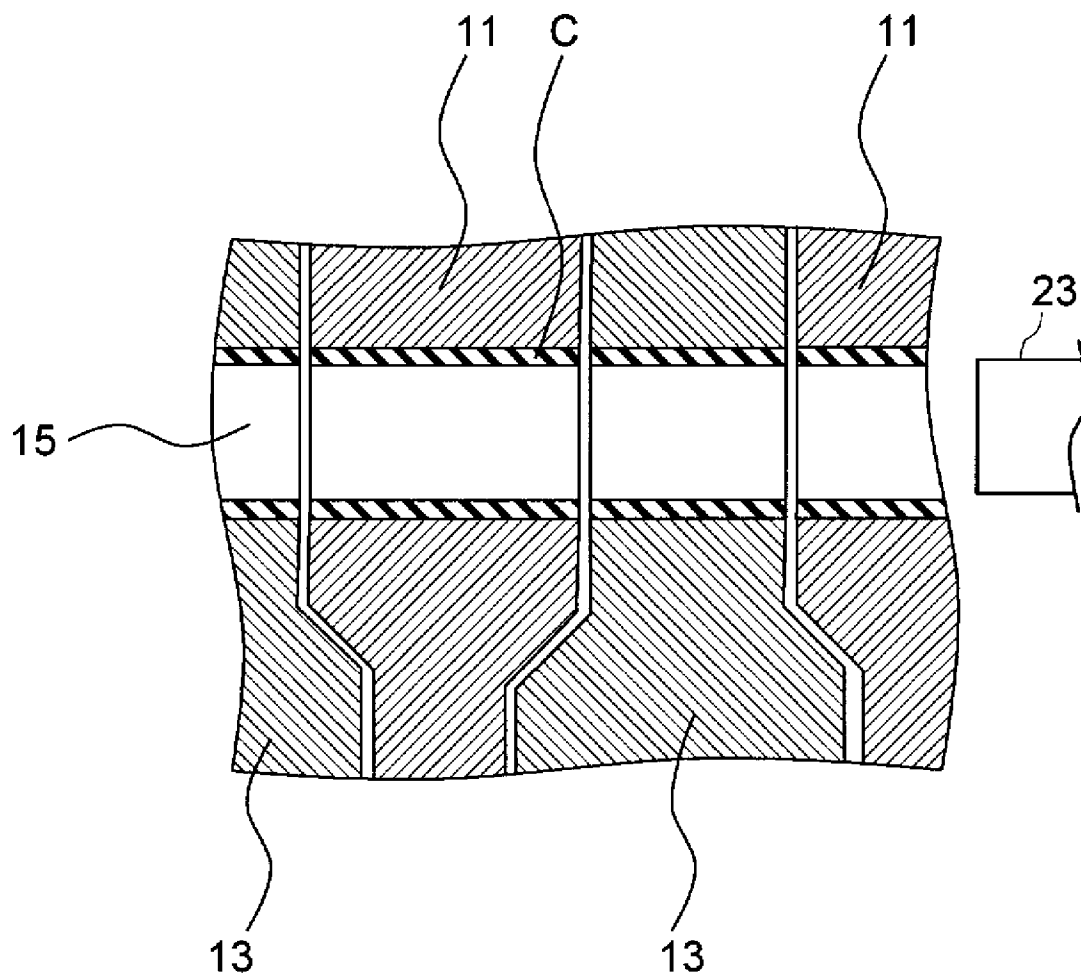
[図5]



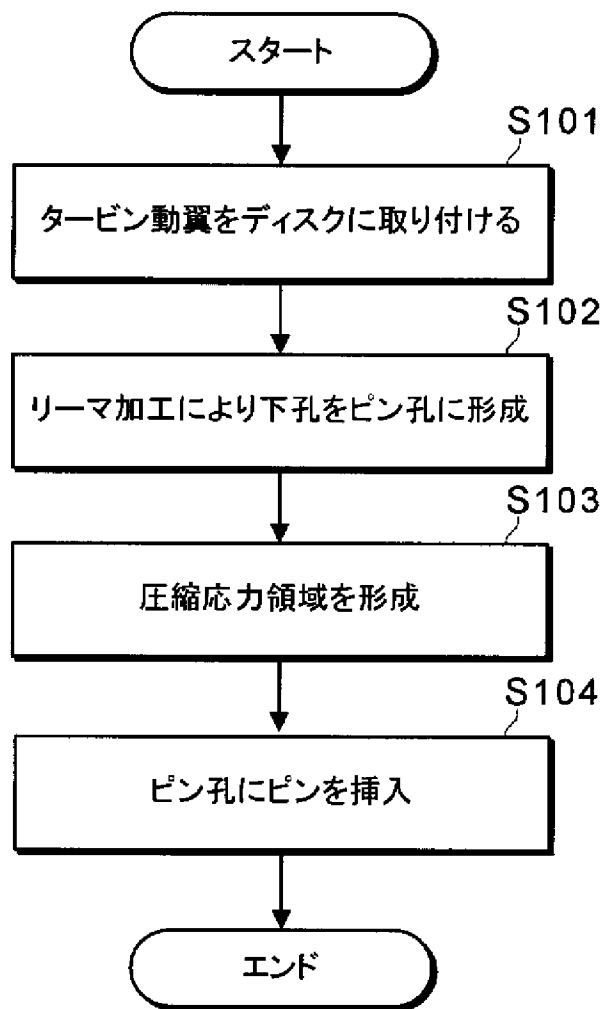
[図6]



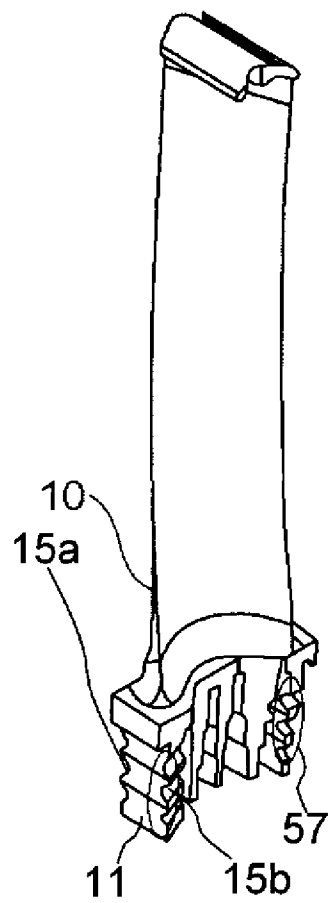
[図7]



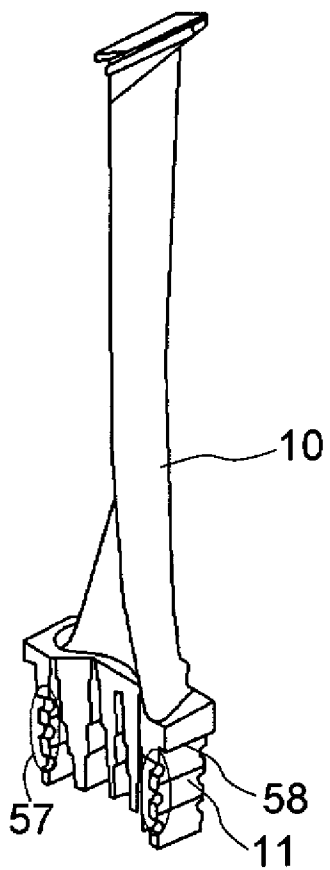
[図8]



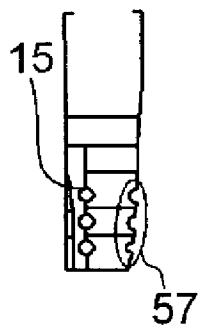
[図10A]



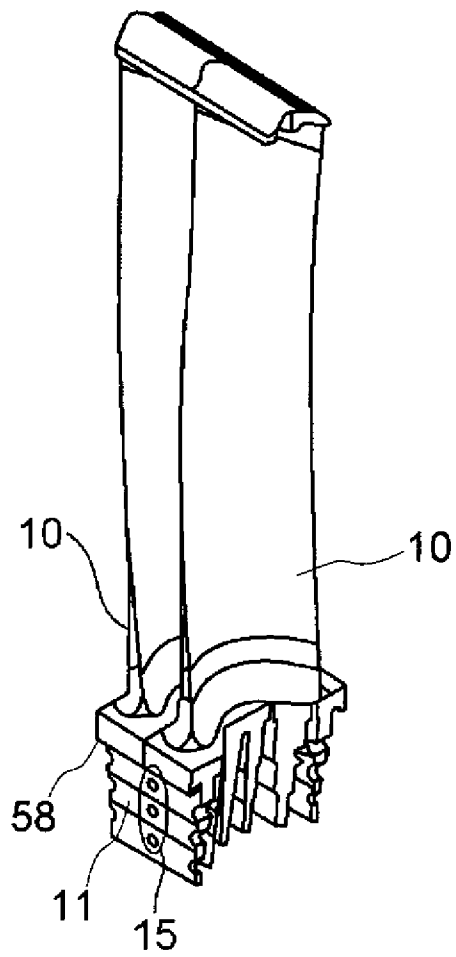
[図10B]



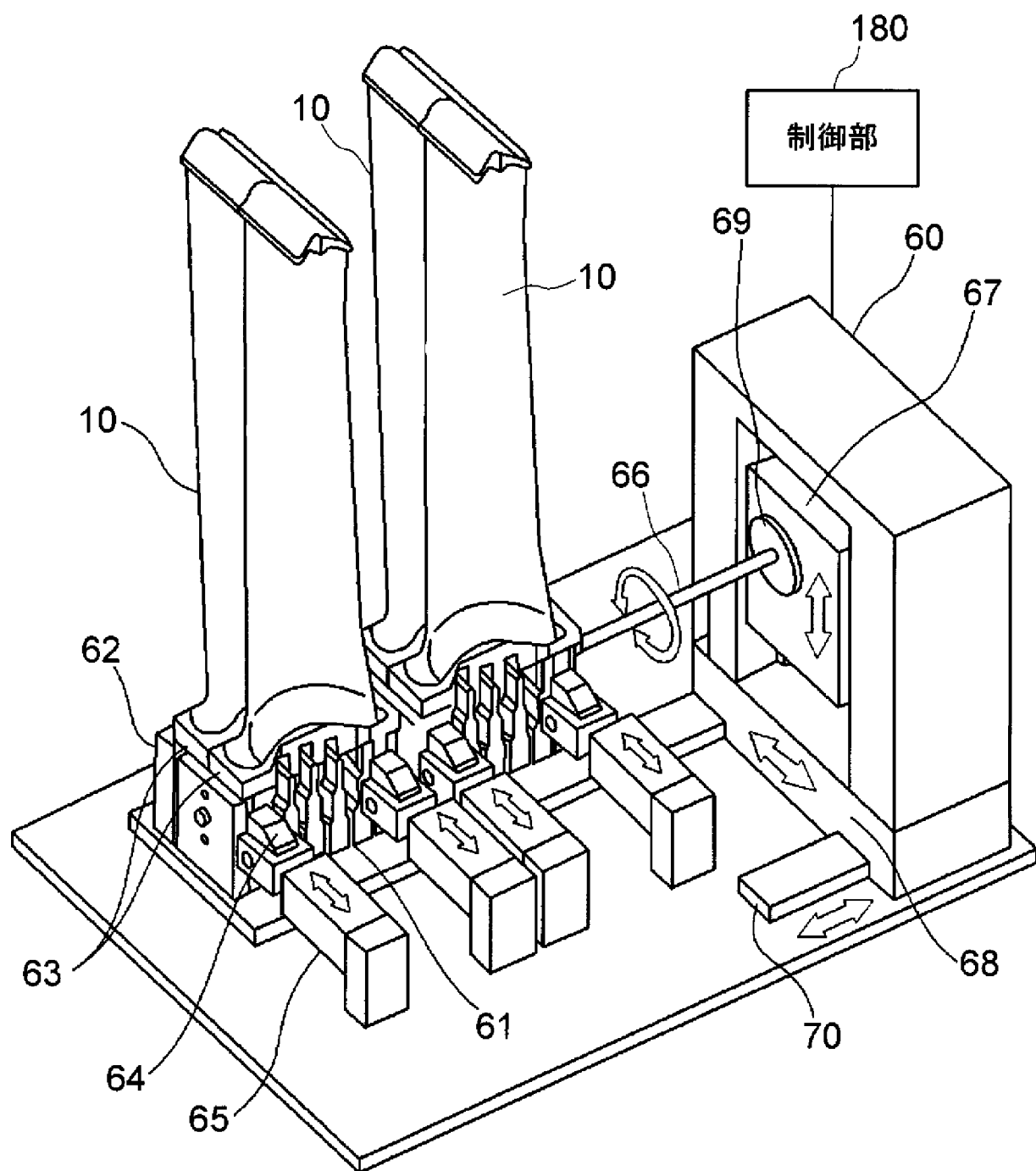
[図10C]



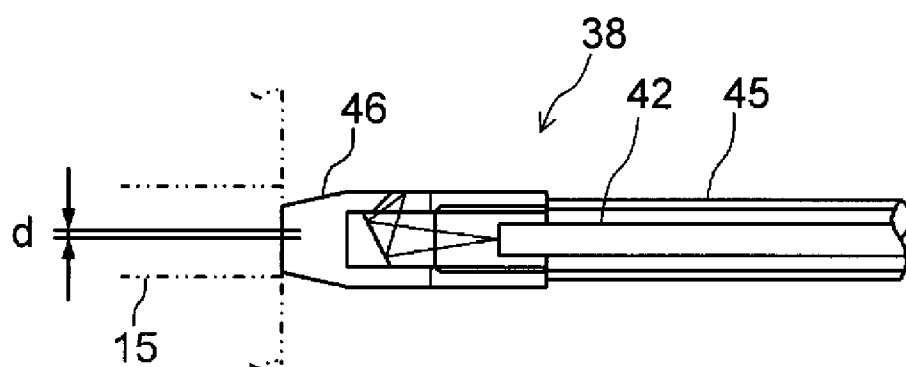
[図11]



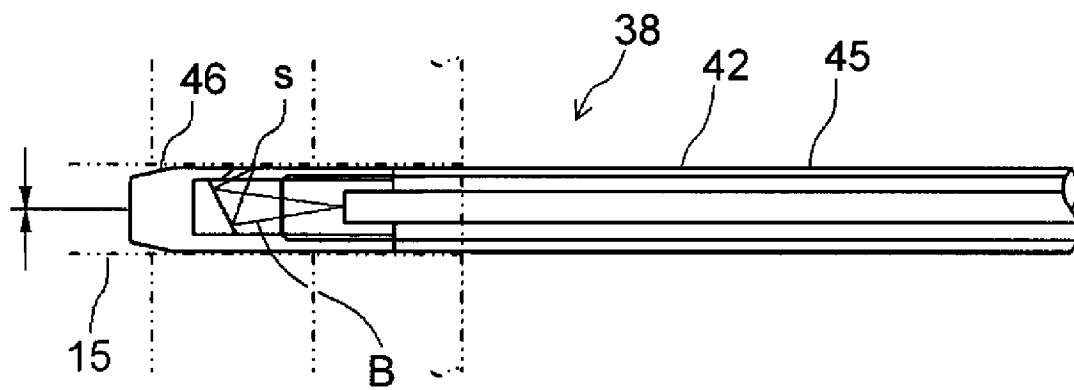
[図13]



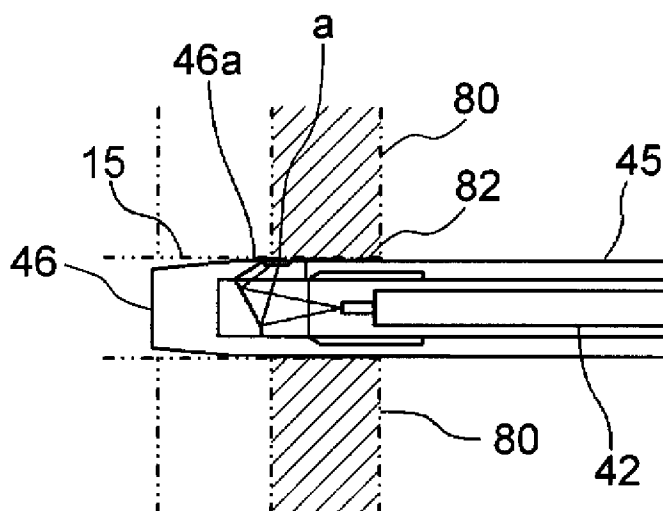
[図14A]



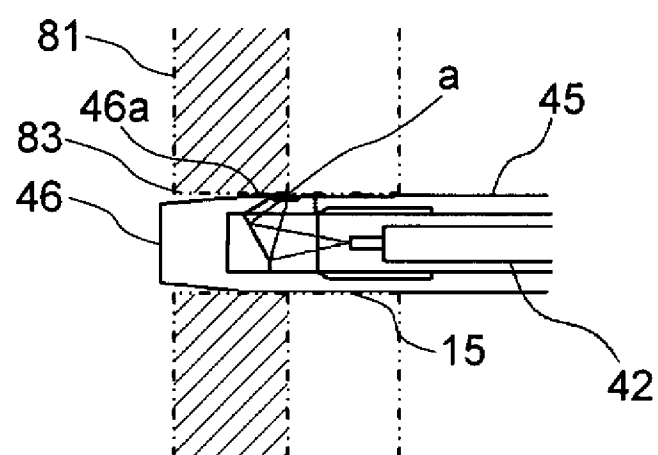
[図14B]



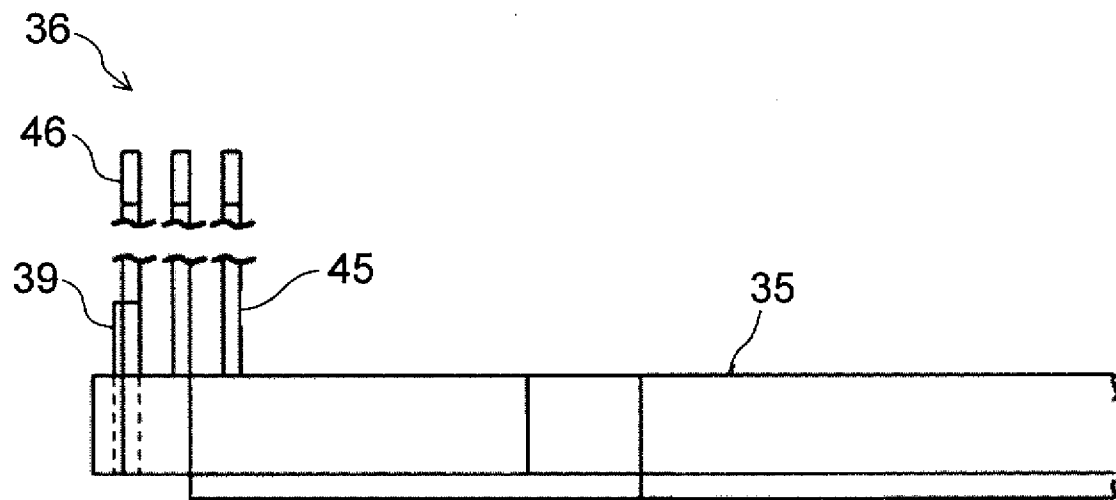
[図15A]



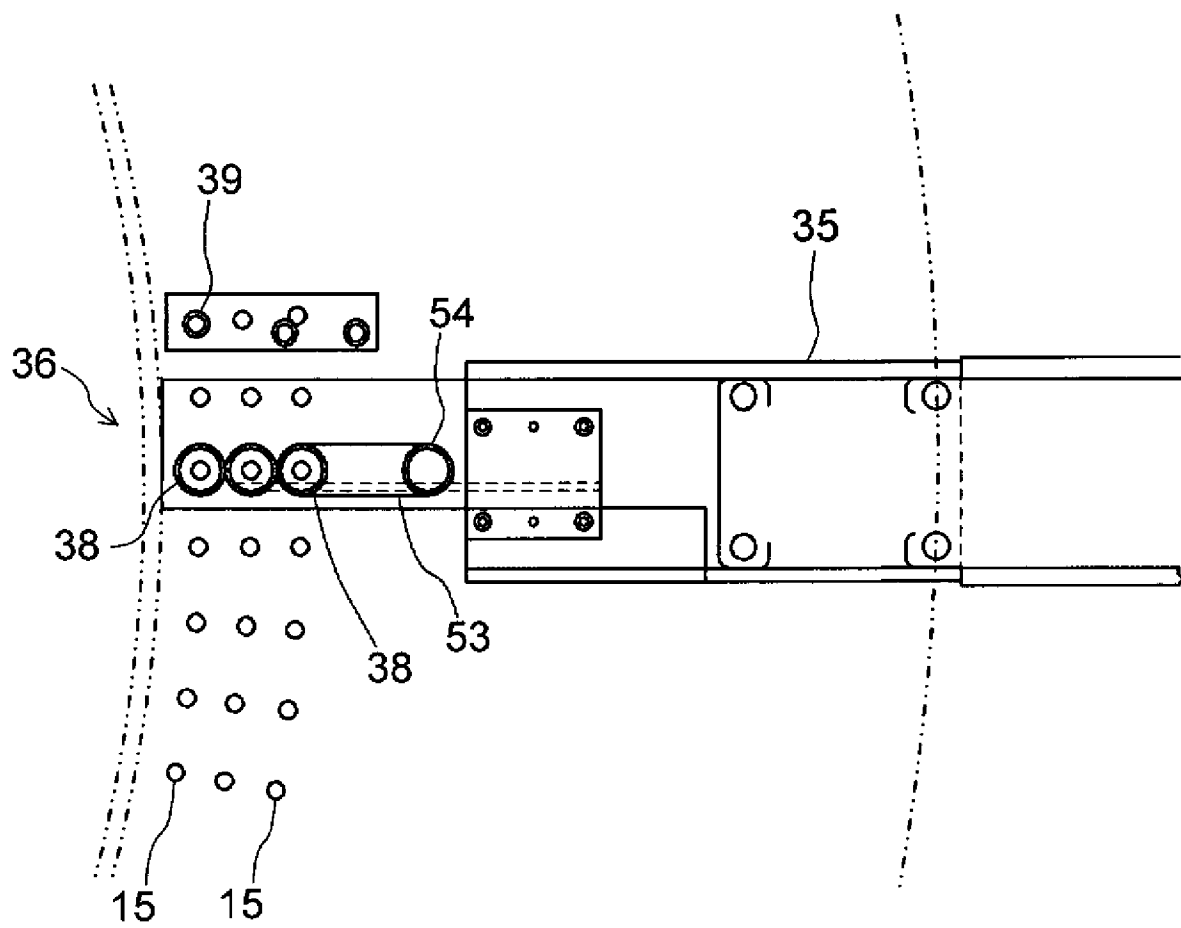
[図15B]



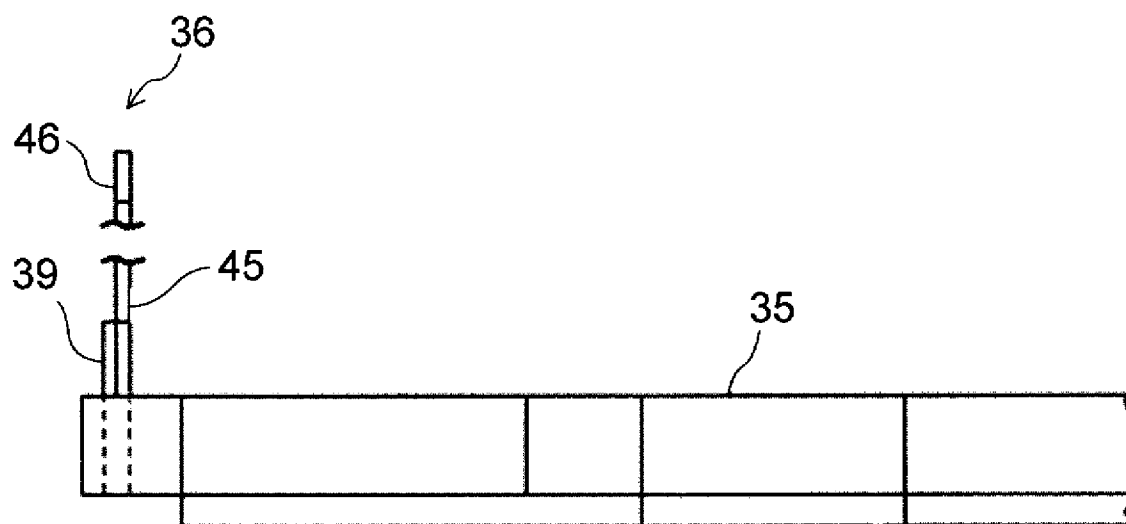
[図16A]



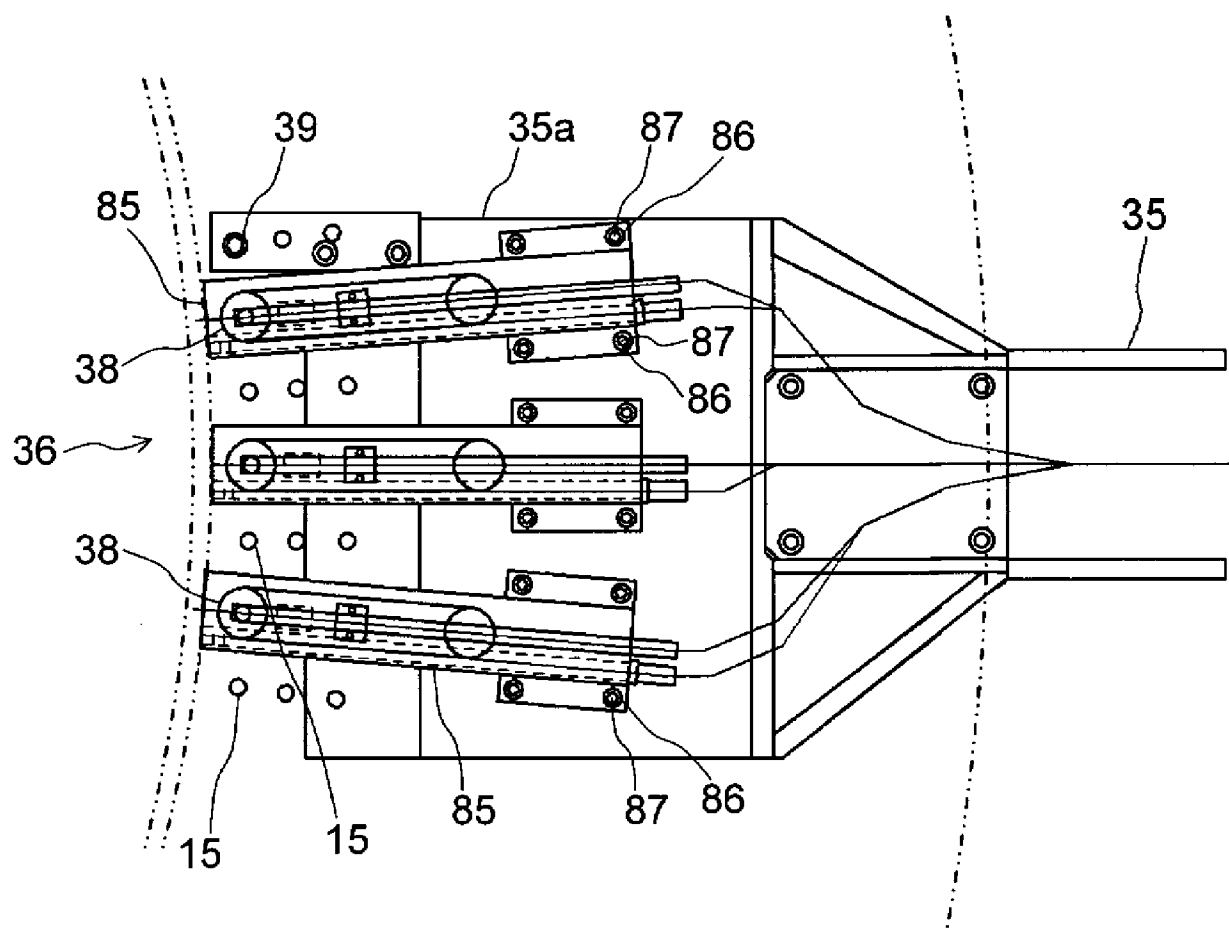
[図16B]



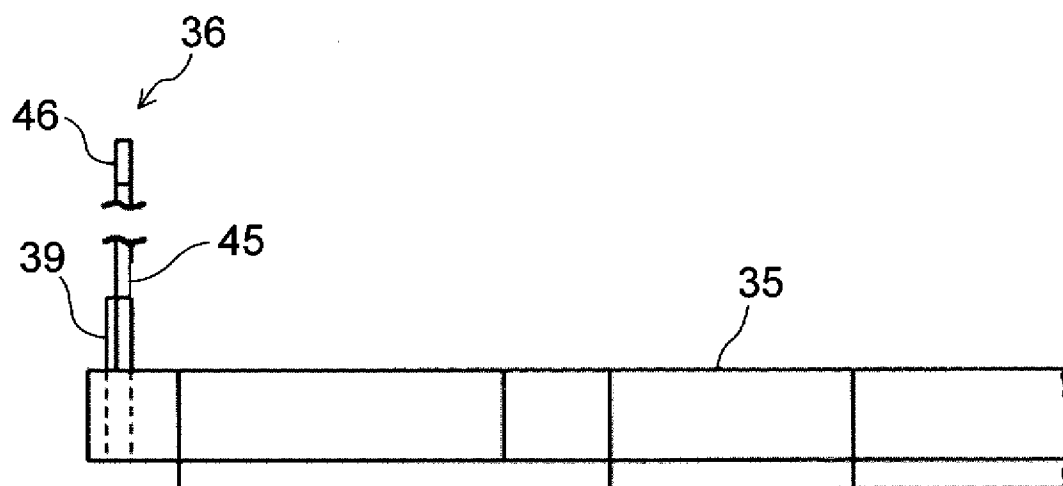
[図17A]



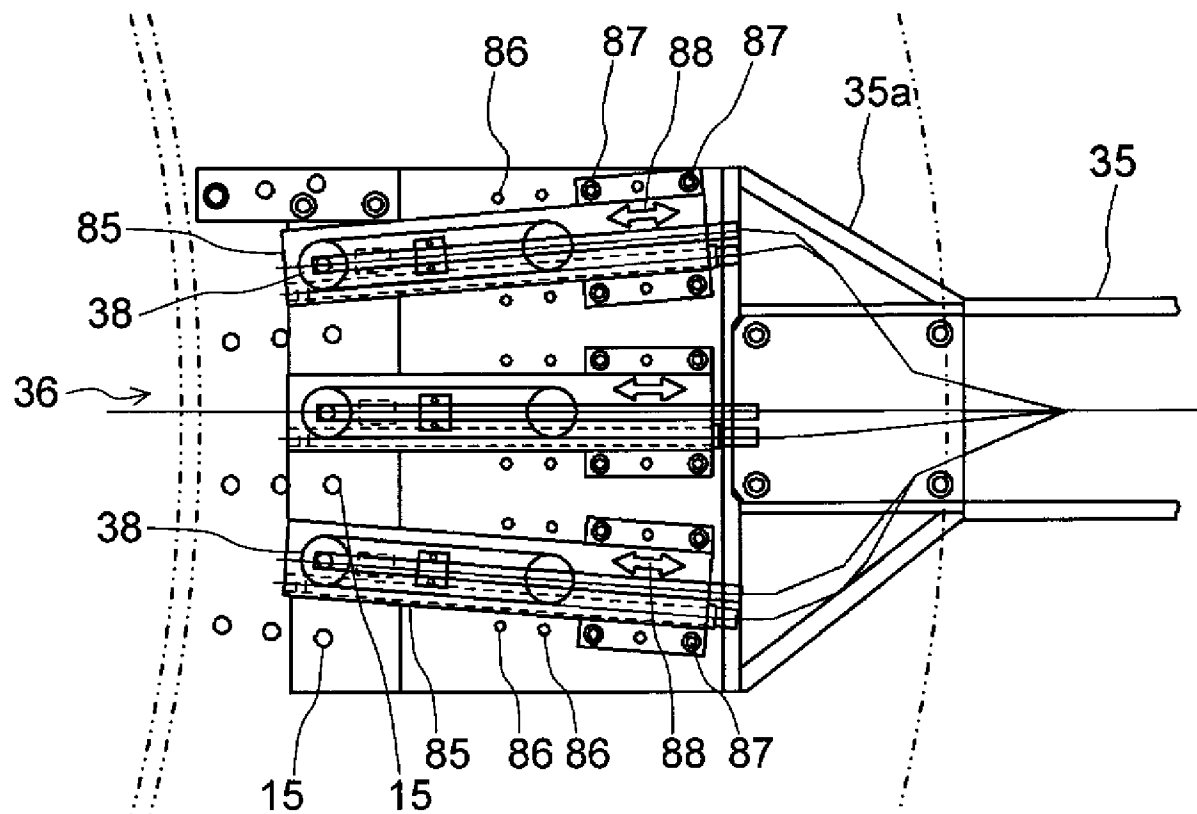
[図17B]



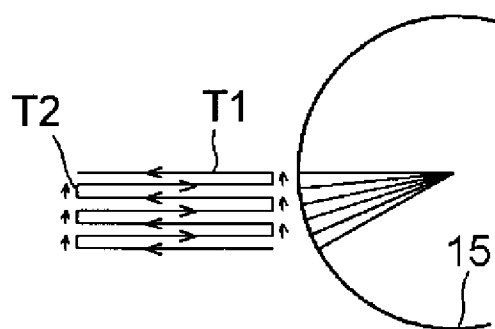
[図18A]



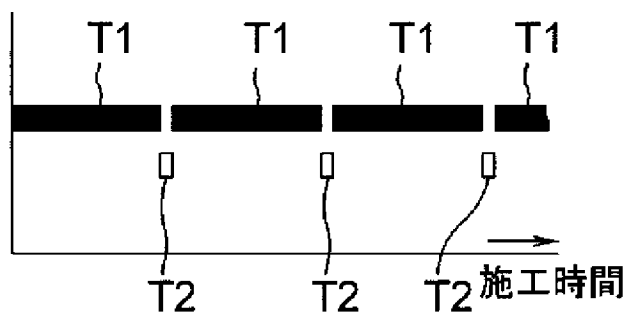
[図18B]



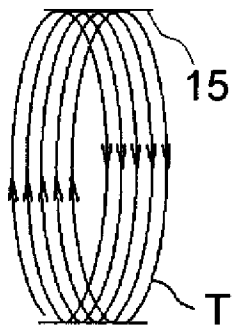
[図19A]



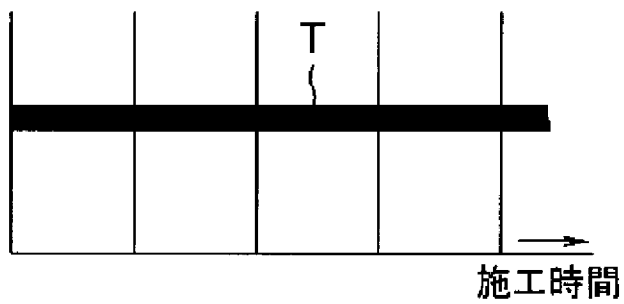
[図19B]



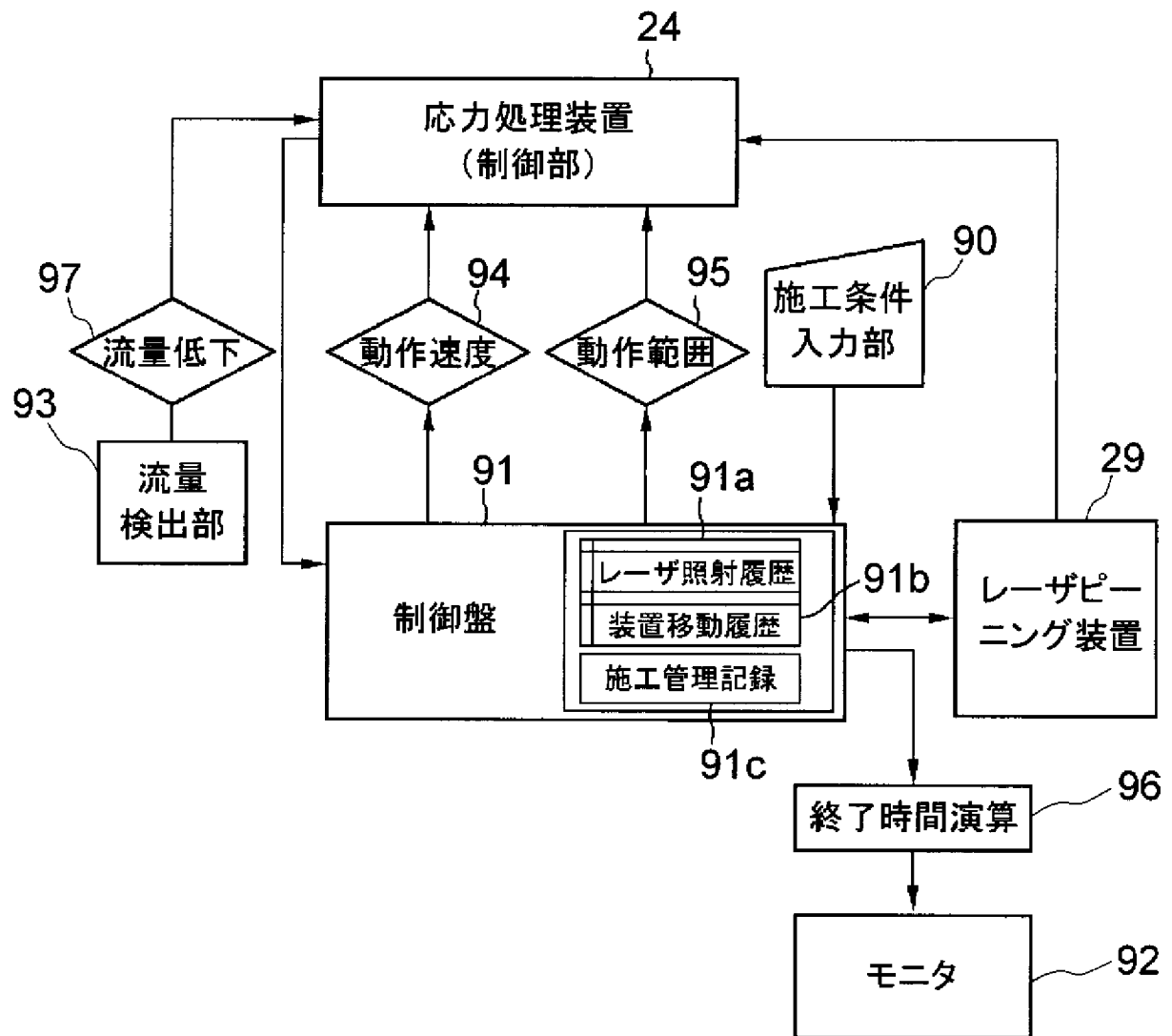
[図20A]



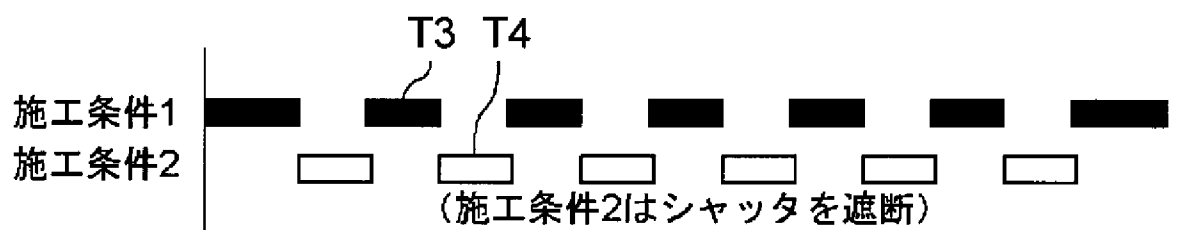
[図20B]



[図21]



[図22A]



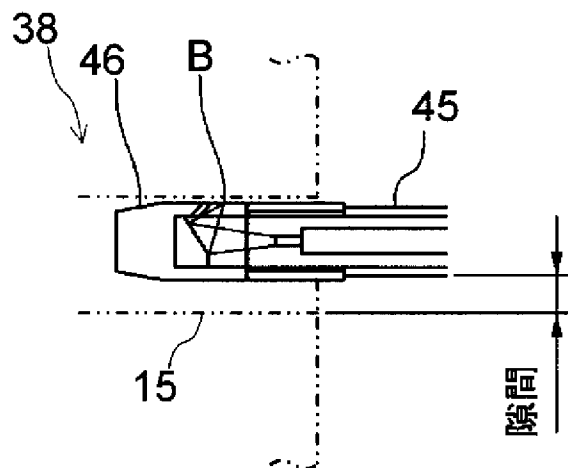
[図22B]



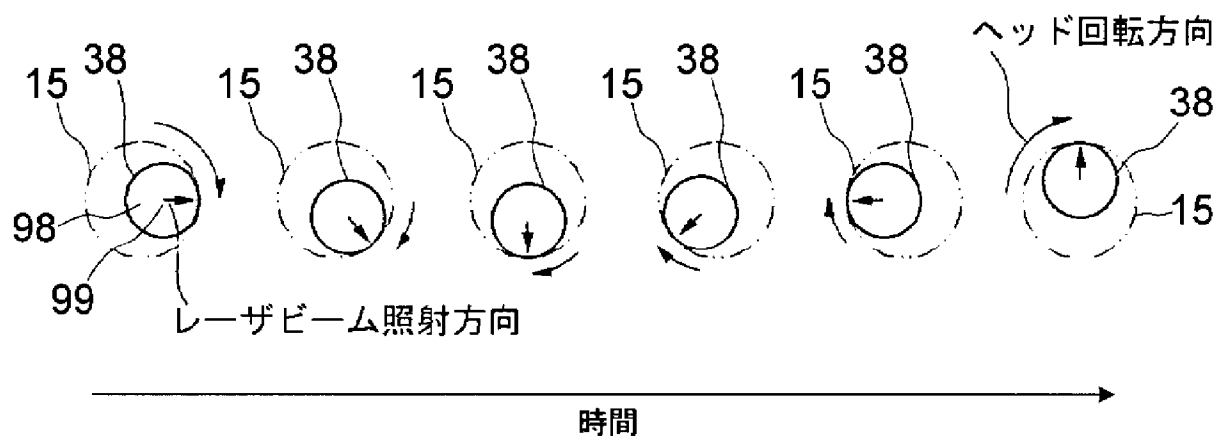
[図23A]



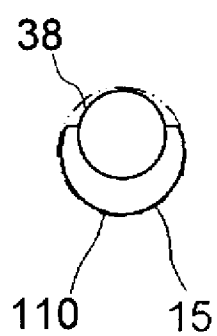
[図23B]



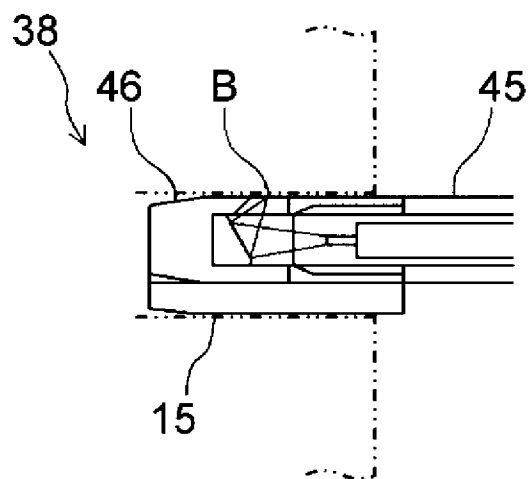
[図24]



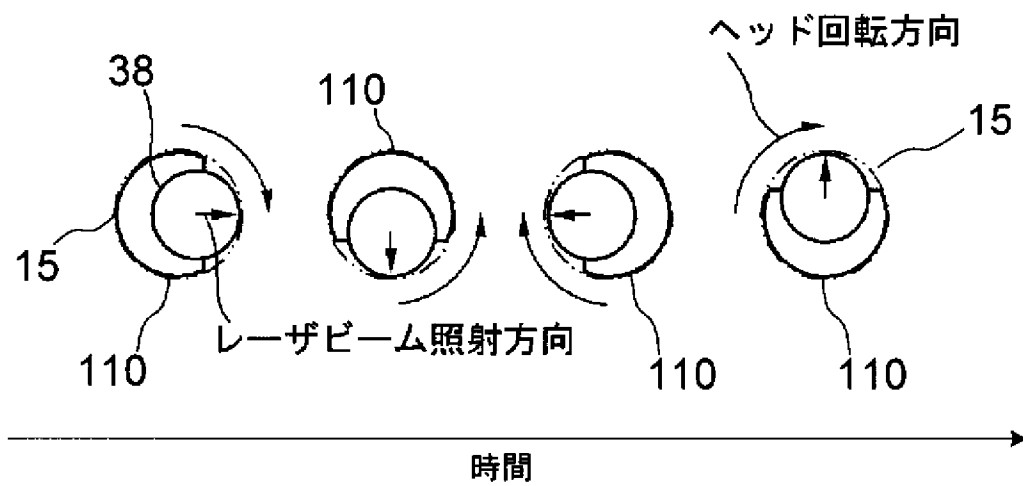
[図25A]



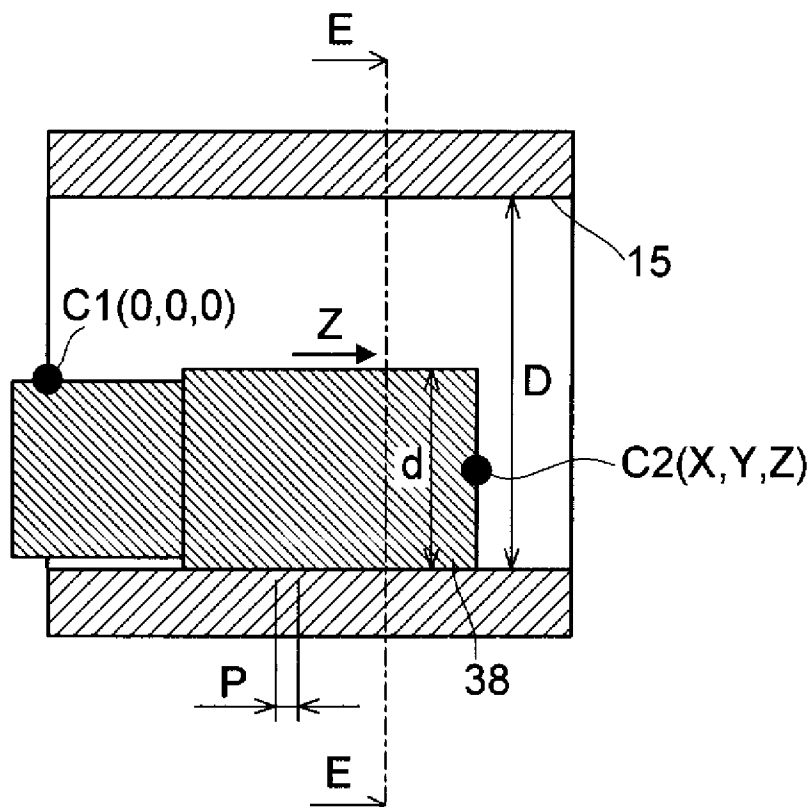
[図25B]



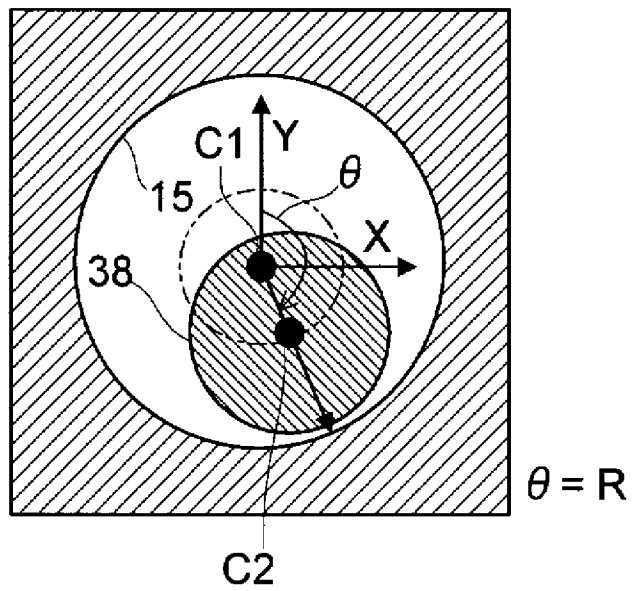
[図26]



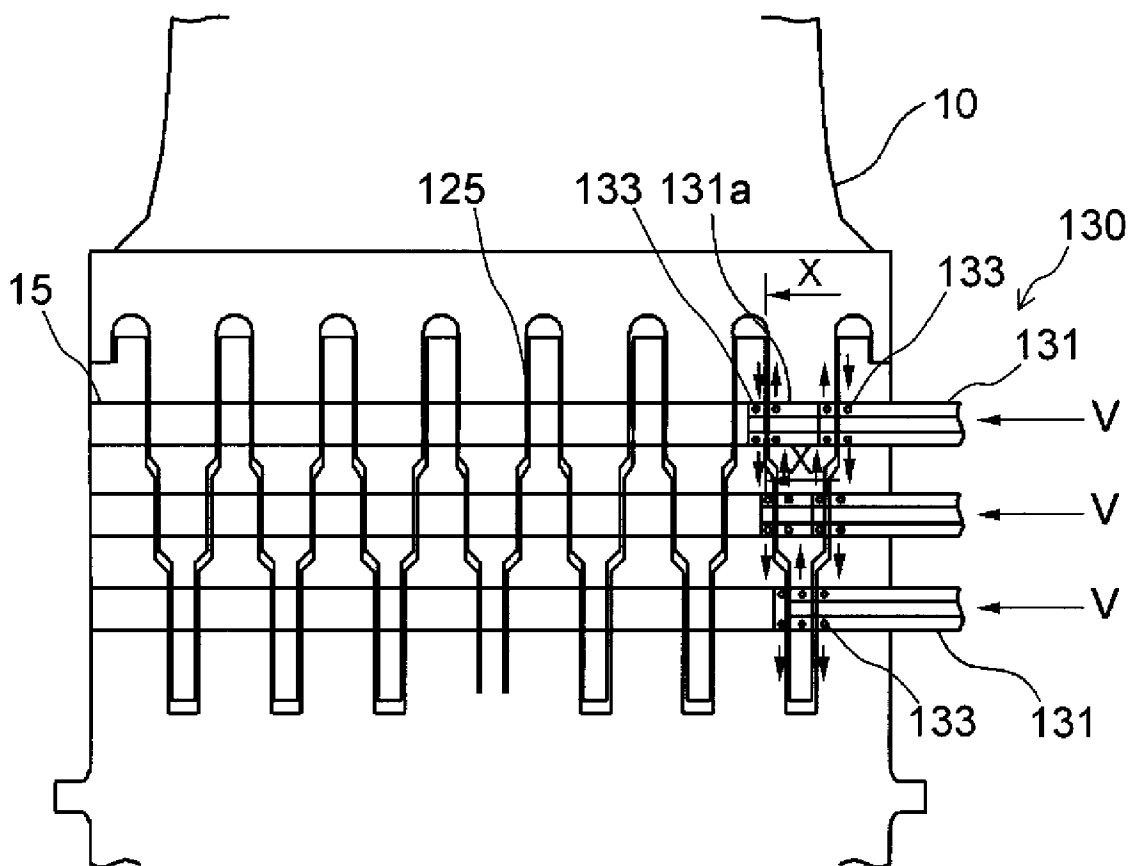
[図27]



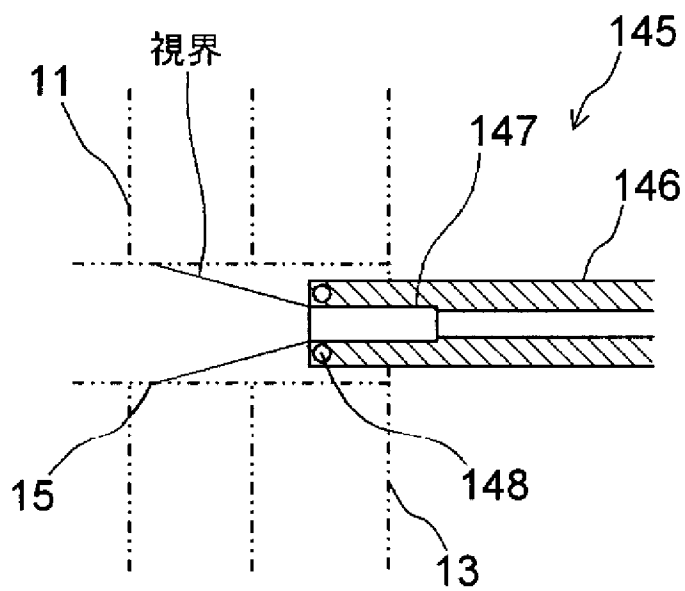
[図28]



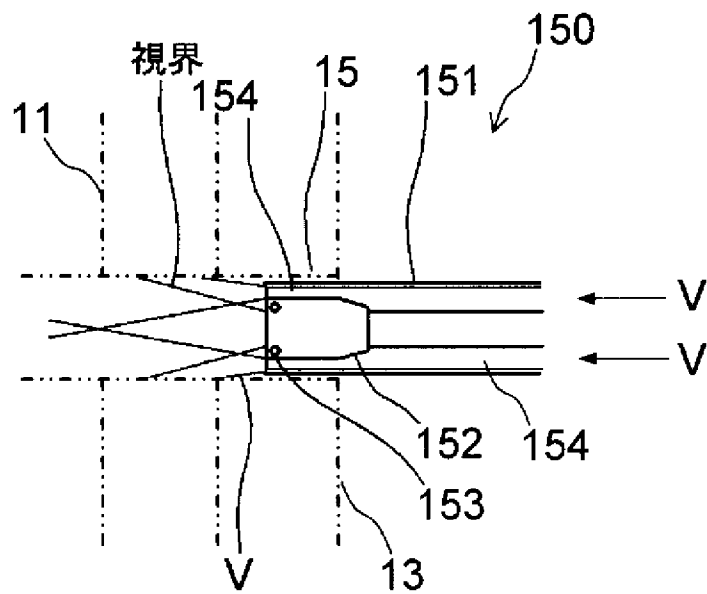
[図29A]



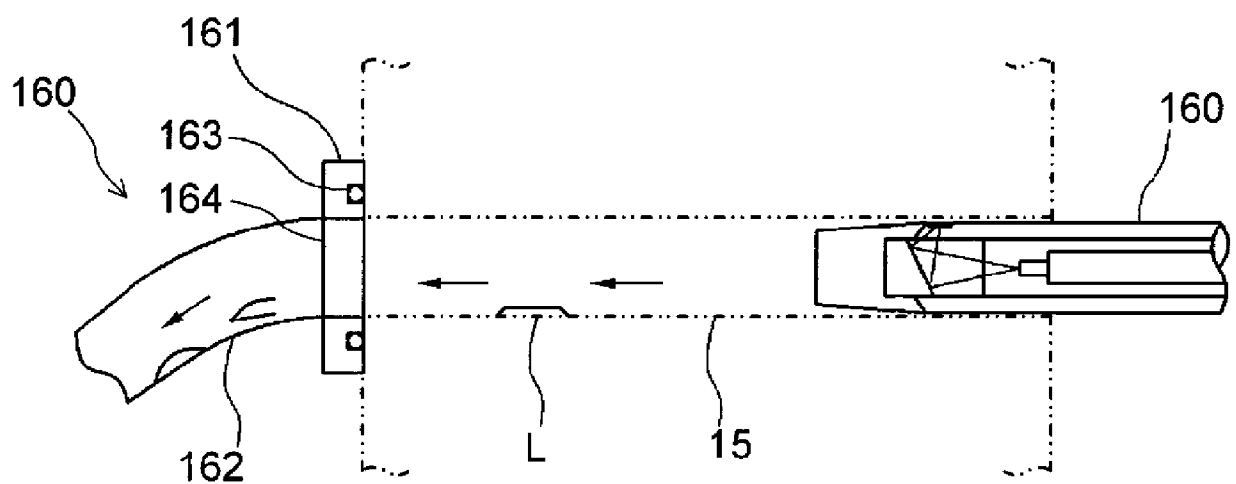
[図32]



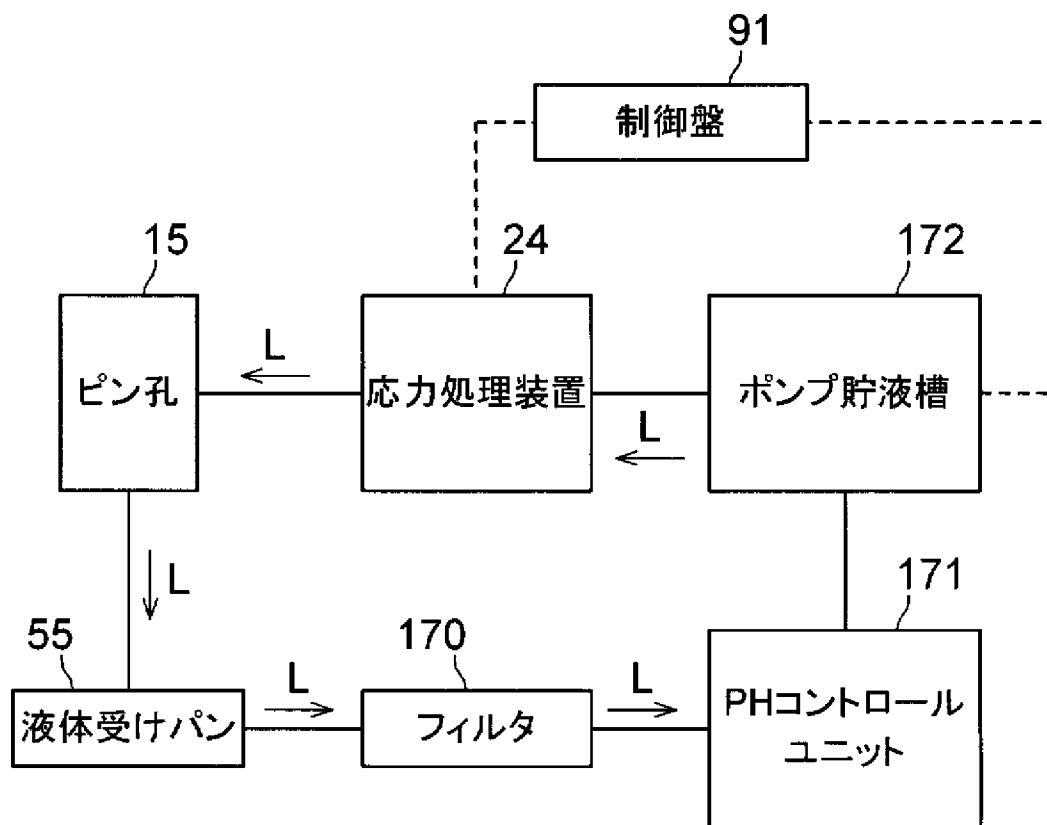
[図33]



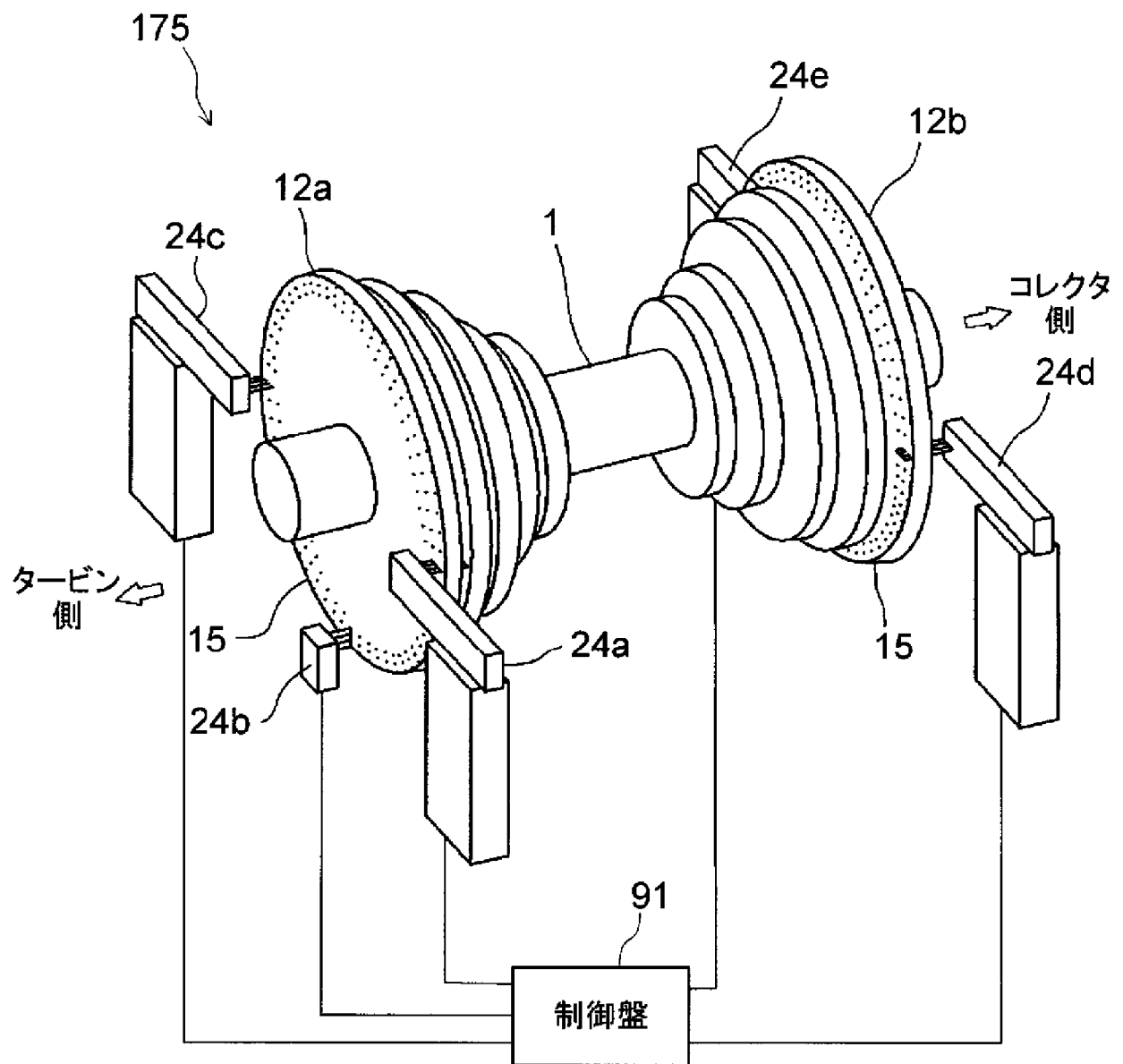
[図34]



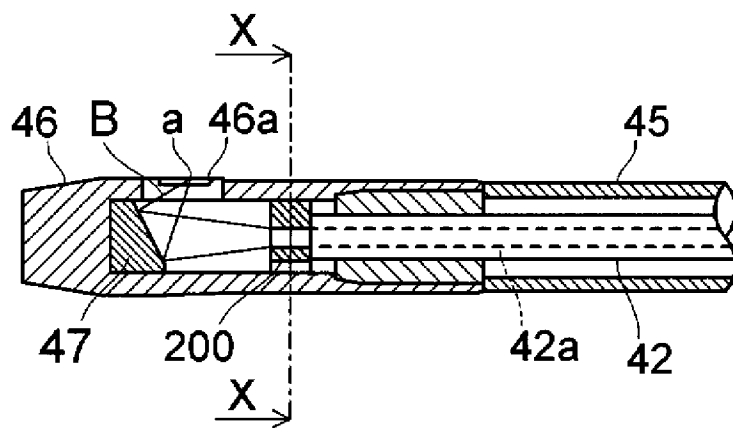
[図35]



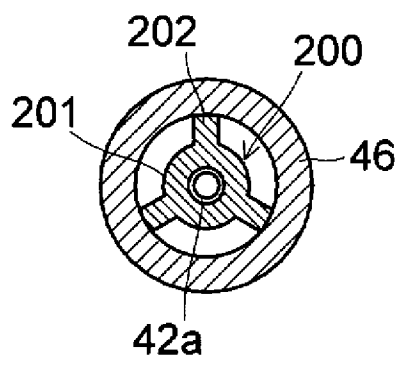
[図36]



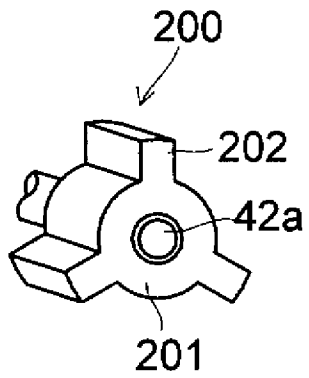
[図38]



[図39]



[図40]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/003599

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F01D25/00 (2006.01) i, B23K26/00 (2006.01) i, F01D5/30 (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)

F01D25/00, B23K26/00, F01D5/30

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 1996-2010

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2010 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2010

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 A	JP 2005-313191 A (Toshiba Corp.), 10 November 2005 (10.11.2005), entire text; all drawings (Family: none)	1 2-12, 14, 15 13
Y	JP 63-248901 A (Hitachi, Ltd.), 17 October 1988 (17.10.1988), entire text; all drawings (Family: none)	2-12, 14, 15
Y	JP 2007-30008 A (Shikoku Electric Power Co., Inc.), 08 February 2007 (08.02.2007), abstract; paragraph [0049] (Family: none)	7

☒ 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 July, 2010 (06.07.10)Date of mailing of the international search report
20 July, 2010 (20.07.10)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/003599

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2008-87029 A (Fuji Heavy Industries Ltd.), 17 April 2008 (17.04.2008), abstract; paragraph [0038] (Family: none)	15

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. F01D25/00(2006.01)i, B23K26/00(2006.01)i, F01D5/30(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（I P C））

Int.Cl. F01D25/00, B23K26/00, F01D5/30

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 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 A	JP 2005-313191 A（株式会社東芝）2005.11.10, 全文、全図 （ファミリーなし）	1 2-12, 14, 15 13
Y	JP 63-248901 A（株式会社日立製作所）1988.10.17, 全文、全図 （ファミリーなし）	2-12, 14, 15
Y	JP 2007-30008 A（四国電力株式会社）2007.02.08, 要約、第 0049 段落（ファミリーなし）	7

☒ 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

0 6 . 0 7 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

2 0 . 0 7 . 2 0 1 0

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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）

稲葉 大紀

3 T

9 8 2 0

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 9 5

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
Y	JP 2008-87029 A (富士重工業株式会社) 2008.04.17, 要約、第 0038 段落 (ファミリーなし)	15