

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2019-190591
(P2019-190591A)

(43) 公開日 令和1年10月31日(2019.10.31)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
F 1 6 C 32/06 (2006.01)	F 1 6 C 32/06	B 3 J 0 1 1
F 1 6 C 33/12 (2006.01)	F 1 6 C 33/12	B 3 J 1 0 2

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2018-85277 (P2018-85277)
(22) 出願日 平成30年4月26日 (2018. 4. 26)

(71) 出願人 000125370
学校法人東京理科大学
東京都新宿区神楽坂一丁目3番地
(74) 代理人 100079049
弁理士 中島 淳
(74) 代理人 100084995
弁理士 加藤 和詳
(74) 代理人 100099025
弁理士 福田 浩志
(72) 発明者 官武 正明
東京都新宿区神楽坂一丁目3番地 学校法人東京理科大学内
(72) 発明者 貞弘 稜
東京都新宿区神楽坂一丁目3番地 学校法人東京理科大学内

最終頁に続く

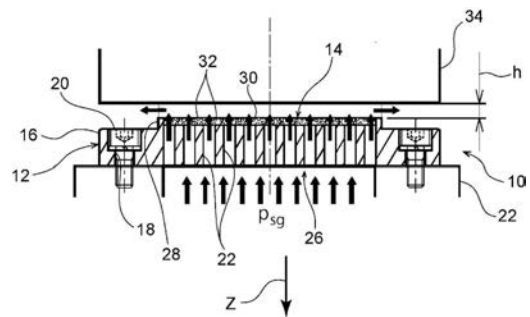
(54) 【発明の名称】 多孔質静圧空気軸受及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 製造コストが増加することを抑制する。

【解決手段】 多孔質静圧空気軸受 10 は、金属材料を用いて形成され、一方側から他方側へ向けて空気が流れる複数の第1流通孔 24 を有する多孔質層支持部 12 を備えている。また、多孔質静圧空気軸受 10 は、金属材料を用いて形成され、多孔質層支持部 12 の他方側の面に沿ってこの多孔質層支持部 12 と一体に形成された多孔質層 14 を備えている。多孔質層 14 は、第1流通孔 24 からの空気が導入されると共にこの空気が多孔質層支持部 12 とは反対側の面から流出する複数の第2流通孔 32 を有している。この第2流通孔 32 から流出した空気によってシャフト 34 が支持される。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

金属材料を用いて形成され、一方側から他方側へ向けて空気が流れる複数の第 1 流通部を有する支持部と、

金属材料を用いて形成され、前記支持部の他方側の面に沿って前記支持部と一体に形成され、前記第 1 流通部からの空気が導入されると共にこの空気が前記支持部とは反対側の面から流出する複数の第 2 流通部を有し、この第 2 流通部から流出した空気によって軸部材が支持される多孔質層と、

を備えた多孔質静圧空気軸受。

【請求項 2】

前記多孔質層をその厚み方向から見て、前記多孔質層の中心部側の前記第 2 流通部を介した空気の通り易さと外周部側の前記第 2 流通部を介した空気の通り易さとが異なっている請求項 1 記載の多孔質静圧空気軸受。

【請求項 3】

前記多孔質層の外周部側の前記第 2 流通部を介した空気の通り易さが、中心部側よりも通り易くなっている請求項 2 記載の多孔質静圧空気軸受。

【請求項 4】

前記多孔質層の中心部側の前記第 2 流通部を介した空気の通り易さが、外周部側よりも通り易くなっている請求項 2 記載の多孔質静圧空気軸受。

【請求項 5】

前記支持部と前記多孔質層とが、同じ金属材料を用いて形成されている請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれか 1 項に記載の多孔質静圧空気軸受。

【請求項 6】

金属材料を用いて形成され、一方側から他方側へ向けて空気が流れる複数の第 1 流通部を有する支持部と、

金属材料を用いて形成され、前記支持部の他方側の面に沿って前記支持部と一体に形成され、前記第 1 流通部からの空気が導入されると共にこの空気が前記支持部とは反対側の面から流出する複数の第 2 流通部を有し、この第 2 流通部から流出した空気によって軸部材が支持される多孔質層と、

を備えた多孔質静圧空気軸受の製造方法に適用され、

金属粉末にレーザを照射することで、前記支持部を形成する支持部形成工程と、

金属粉末にレーザを照射することで、前記支持部の他方側の面に沿って前記多孔質層を形成する多孔質層形成工程と、

を有する多孔質静圧空気軸受の製造方法。

【請求項 7】

単位体積当たりの前記金属粉末に投入される前記レーザのエネルギーをエネルギー密度 E (J/m^2) とし、

前記多孔質層形成工程においてエネルギー密度 E を調節することで、前記多孔質層の前記第 2 流通部を介した空気の通り易さを調節する請求項 6 記載の多孔質静圧空気軸受の製造方法。

【請求項 8】

ステンレス鋼の前記金属粉末を用い、

前記多孔質層形成工程において前記エネルギー密度 E を $28.125 J/m^2$ 以下に設定する請求項 7 記載の多孔質静圧空気軸受の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、多孔質静圧空気軸受及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

10

20

30

40

50

下記特許文献 1 には、静圧軸受として用いられる八ニカムサンドイッチ構造体が開示されている。この八ニカムサンドイッチ構造体は、平均粒径 100 マイクロメートルの SiC 粉末 100 重量部とアクリルバインダー 100 質量部及びエタノール 20 質量部を混練した接合材を、静圧軸受け形状に切り出した 2 枚の多孔質カーボン平板の八ニカム構造体との接合面に塗布し、その 2 枚の塗布面の間に SiC 八ニカム構造体を配置することで構成されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2005 - 195105 号公報

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところで、多孔質カーボン平板等の多孔質層と八ニカム構造体とを接合材を介して接合する構成や、多孔質層からの空気の流出量を調節するために多孔質層の表面に目詰まり処理を行う構成では、製造コストが増加する。

【0005】

本発明は上記事実を考慮し、製造コストが増加することを抑制できる多孔質静圧空気軸受及びその製造方法を得ること目的とする。

【課題を解決するための手段】

20

【0006】

請求項 1 記載の多孔質静圧空気軸受は、金属材料を用いて形成され、一方側から他方側へ向けて空気が流れる複数の第 1 流通部を有する支持部と、金属材料を用いて形成され、前記支持部の他方側の面に沿って前記支持部と一体に形成され、前記第 1 流通部からの空気が導入されると共にこの空気が前記支持部とは反対側の面から流出する複数の第 2 流通部を有し、この第 2 流通部から流出した空気によって軸部材が支持される多孔質層と、を備えている。

【0007】

請求項 1 記載の多孔質静圧空気軸受によれば、第 1 流通部を有する支持部を形成した後に、この支持部の他方側の面に沿って第 2 流通部を有する多孔質層を形成する。これにより、製造コストが増加することを抑制することができる。

30

【0008】

請求項 2 記載の多孔質静圧空気軸受は、請求項 1 記載の多孔質静圧空気軸受において、前記多孔質層をその厚み方向から見て、前記多孔質層の中心部側の前記第 2 流通部を介した空気の通り易さと外周部側の前記第 2 流通部を介した空気の通り易さとが異なっている。

【0009】

請求項 2 記載の多孔質静圧空気軸受によれば、多孔質層の中心部側の第 2 流通部を介した空気の通り易さと外周部側の第 2 流通部を介した空気の通り易さとが異なっている。これにより、軸部材と多孔質層との間の空気の繰り返しの圧縮に起因する不安定な振動を抑制することができることがわかっている。なお、以下においてはこの不安定な振動を「ニューマティックハンマ」と呼ぶ。

40

【0010】

請求項 3 記載の多孔質静圧空気軸受は、請求項 2 記載の多孔質静圧空気軸受において、前記多孔質層の外周部側の前記第 2 流通部を介した空気の通り易さが、中心部側よりも通り易くなっている。

【0011】

請求項 3 記載の多孔質静圧空気軸受によれば、多孔質層の外周部側の第 2 流通部を介した空気の通り易さが、中心部側よりも通り易くなっている。これにより、ニューマティックハンマが生じることを抑制することができることがわかっている。

50

【 0 0 1 2 】

請求項 4 記載の多孔質静圧空気軸受は、請求項 2 記載の多孔質静圧空気軸受において、前記多孔質層の中心部側の前記第 2 流通部を介した空気の通り易さが、外周部側よりも通り易くなっている。

【 0 0 1 3 】

請求項 4 記載の多孔質静圧空気軸受によれば、多孔質層の中心部側の第 2 流通部を介した空気の通り易さが、外周部側よりも通り易くなっている。これにより、ニューマティックハンマが生じることを抑制することができることがわかっている。

【 0 0 1 4 】

請求項 5 記載の多孔質静圧空気軸受は、請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれか 1 項に記載の多孔質静圧空気軸受において、前記支持部と前記多孔質層とが、同じ金属材料を用いて形成されている。

10

【 0 0 1 5 】

請求項 5 記載の多孔質静圧空気軸受によれば、支持部と多孔質層とが、同じ金属材料を用いて形成されている。これにより、第 1 流通部を有する支持部を形成した後に、材料の変更を行うことなく、この支持部の他方側の面に沿って第 2 流通部を有する多孔質層を形成することができる。これにより、製造コストが増加することをより一層抑制することができる。

【 0 0 1 6 】

請求項 6 記載の多孔質静圧空気軸受の製造方法は、金属材料を用いて形成され、一方側から他方側へ向けて空気が流れる複数の第 1 流通部を有する支持部と、金属材料を用いて形成され、前記支持部の他方側の面に沿って前記支持部と一体に形成され、前記第 1 流通部からの空気が導入されると共にこの空気が前記支持部とは反対側の面から流出する複数の第 2 流通部を有し、この第 2 流通部から流出した空気によって軸部材が支持される多孔質層と、を備えた多孔質静圧空気軸受の製造方法に適用され、金属粉末にレーザを照射することで、前記支持部を形成する支持部形成工程と、金属粉末にレーザを照射することで、前記支持部の他方側の面に沿って前記多孔質層を形成する多孔質層形成工程と、を有する。

20

【 0 0 1 7 】

請求項 6 記載の多孔質静圧空気軸受の製造方法によれば、金属粉末にレーザを照射することで、支持部を形成する（支持部形成工程）。次いで、金属粉末にレーザを照射することで、支持部の他方側の面に沿って多孔質層を形成する（多孔質層形成工程）。この製造方法では、支持部と多孔質層とを一体に形成でき、製造コストが増加することを抑制することができる。なお、支持部を形成する金属粉末と多孔質層を形成する金属粉末とは、同じ種類の金属粉末であってもよい異なる種類の金属粉末であってもよい。

30

【 0 0 1 8 】

請求項 7 記載の多孔質静圧空気軸受の製造方法は、請求項 6 記載の多孔質静圧空気軸受の製造方法において、単位体積当たりの前記金属粉末に投入される前記レーザのエネルギーをエネルギー密度 E (J/m^2) とし、前記多孔質層形成工程においてエネルギー密度 E を調節することで、前記多孔質層の前記第 2 流通部を介した空気の通り易さを調節する。

40

【 0 0 1 9 】

請求項 7 記載の多孔質静圧空気軸受の製造方法によれば、エネルギー密度 E を調節することにより、多孔質層の第 2 流通部を介した空気の通り易さを調節することができる。

【 0 0 2 0 】

請求項 8 記載の多孔質静圧空気軸受の製造方法は、請求項 7 記載の多孔質静圧空気軸受の製造方法において、ステンレス鋼の前記金属粉末を用い、前記多孔質層形成工程において前記エネルギー密度 E を $28.125 J/m^2$ 以下に設定する。

【 0 0 2 1 】

請求項 8 記載の多孔質静圧空気軸受の製造方法によれば、ステンレス鋼の金属粉末を用いると共にエネルギー密度 E を $28.125 J/m^2$ 以下に設定することにより、多孔質

50

静圧空気軸受として機能する多孔質層を得ることができる。

【発明の効果】

【0022】

本発明に係る多孔質静圧空気軸受及びその製造方法は、製造コストが増加することを抑制できる、という優れた効果を有する。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】第1実施形態に係る多孔質静圧空気軸受を示す平面図である。

【図2】図1に示された2-2線に沿って切断した多孔質静圧空気軸受を示す側断面図である。

【図3】多孔質層支持部のハニカム部を拡大して示す拡大平面図である。

【図4】シャフトを支持している多孔質静圧空気軸受を示す図2に対応する側断面図である。

【図5】レーザ密度 2.5 J/mm^3 で造形後の多孔質層の断面を拡大して示す拡大断面図である。

【図6】レーザ密度 2.8125 J/mm^3 で造形後の多孔質層の断面を拡大して示す拡大断面図である。

【図7】レーザ密度 3.125 J/mm^3 で造形後の多孔質層の断面を拡大して示す拡大断面図である。

【図8】レーザ密度 3.4375 J/mm^3 で造形後の多孔質層の断面を拡大して示す拡大断面図である。

【図9】レーザ密度 3.75 J/mm^3 で造形後の多孔質層の断面を拡大して示す拡大断面図である。

【図10】実験装置を示す断面図である。

【図11】 P_{sg} が 0.4 MPa で測定された無次元軸受負荷容量 W 及び無次元静剛性 K_s を示すグラフである。

【図12】 P_{sg} が 0.6 MPa で測定された無次元軸受負荷容量 W 及び無次元静剛性 K_s を示すグラフである。

【図13】第2実施形態に係る多孔質静圧空気軸受を示す図2に対応する側断面図である。

【図14】第3実施形態に係る多孔質静圧空気軸受を示す図2に対応する側断面図である。

【図15】測定された無次元軸受負荷容量 W 及び無次元静剛性 K_s を示すグラフである。

【図16】測定された無次元減衰係数 B 及び無次元動剛性 K_d を示すグラフである。

【図17】シャフトを径方向に支持する多孔質静圧空気軸受を示す平面図である。

【図18】シャフトを径方向に支持する多孔質静圧空気軸受を示す側断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

(はじめに)

多孔質静圧空気軸受は、高い負荷容量や剛性が得られることから、超精密加工機や測定器などに広く使用されている。さて、現在市販されている多孔質空気軸受は、厚さ数mmの多孔質材(グラファイト、セラミックス、金属粉末焼結体)をハニカム構造の部材や、給気溝を設けた部材に接着等することにより製作している。また、ニューマティックハンマを防止するため、表面目詰まり(多孔質表層部の通気率を母材通気率よりも低くする処理)を施している。そのため、量産製造に際しては、接着や多孔質層の表面の目詰まり度の管理が必要となり、コストの増加の原因となっている。

【0025】

そこで、本発明では、従来の多孔質静圧空気軸受の表面目詰まり層と同等の通気率を持つ多孔質層(厚さ:数十 μm ~数百 μm)と、ハニカム形状の支持部材が一体となった構造を提案し、金属粉末積層焼結3Dプリンタ(3D Systems, ProX(登録商

10

20

30

40

50

標) DMP300) を用いて多孔質静圧空気軸受を製作した。この構造を採用することにより、表面の多孔質層は強度を維持しつつ、簡易的な多孔質静圧空気軸受の作製が期待できる。本発明では、試作した軸受の静特性に関して、実験的検討を行い、提案する多孔質静圧空気軸受の構造の有用性を以下に示す。

【0026】

(第1実施形態に係る多孔質静圧空気軸受10の構成)

先ず、本発明の第1実施形態に係る多孔質静圧空気軸受10の構成について説明する。

【0027】

図1～図3に示されるように、本実施形態の多孔質静圧空気軸受10は、金属材料を用いて一体に形成された支持部としての多孔質層支持部12及び多孔質層14を備えている。

10

【0028】

多孔質層支持部12は、円板状に形成されている。この多孔質層支持部12の外周部は、固定フランジ部16とされており、この固定フランジ部16には、周方向に間隔をあけて配置された複数のボルト挿通孔18が形成されている。そして、図4に示されるように、ボルト挿通孔18に挿通されたボルト20がバックメタル22等の被取付部に螺合されることで、多孔質静圧空気軸受10がバックメタル22等の被取付部に取付けられるようになっている。なお、本実施形態では固定フランジ部16を設けた例について説明したが、多孔質層支持部12がハウジング等と一体化された構成では、固定フランジ部16を設けなくてもよい。

20

【0029】

また、多孔質層支持部12において固定フランジ部16よりも内側の部分には、軸方向に貫通された第1流通部としての複数の第1流通孔24が形成されている。なお、軸方向一方側を矢印Zで示している。図3に示されるように、この第1流通孔24は、軸方向から見て内周面が正六角形状に形成されている。また、複数の第1流通孔24は、軸方向から見て略蜂の巣状に規則的に並んでいる。ここで、本実施形態では、第1流通孔24の内周面の1片(正六角形の1片)の長さが0.5mmに設定されている。また、隣り合う第1流通孔24の間隔は、0.25mmに設定されている。なお、多孔質層支持部12において複数の第1流通孔24が形成されている部分をハニカム部26と呼ぶ。ここで、第1流通孔24の内周面の1片(正六角形の1片)の長さは、後述する多孔質層14の変形(多孔質層支持部12側からの空気の圧力 p_{sg} による変形)を考慮して、0.5mm以下に設定するとよい。換言すると、第1流通孔24の半径を0.5mm以下に設定するとよい。これにより、後述する多孔質層14の変形が抑制され、多孔質層14の変形によって当該多孔質層14と後述するシャフト34とが接触することを効果的に抑制することができる。

30

【0030】

また、多孔質層支持部12は、ハニカム部26の外周部から軸方向他方側(矢印Z方向とは反対側)へ向けて突出する環状の外壁部28を備えている。この外壁部28の内周側に多孔質層14が形成されている。

【0031】

図1及び図2に示されるように、多孔質層14は、多孔質層支持部12の外壁部28の内周側においてハニカム部26と一体に形成されている。この多孔質層14には、多孔質層支持部12のハニカム部26に形成された複数の第1流通孔24からからの空気が導入されると共にこの空気がハニカム部26とは反対側の面30から流出する第2流通部としての複数の第2流通孔32が形成されている。なお、複数の第2流通孔32は、後述するように第1流通孔24と比べて極めて小さな孔である。

40

【0032】

図4に示されるように、以上説明した本実施形態の多孔質静圧空気軸受10では、多孔質層支持部12のハニカム部26の軸方向一方側(矢印Z方向側)の空気の圧力が所定の圧力に設定されている。その結果、多孔質層支持部12のハニカム部26の軸方向一方側

50

の空気は、ハニカム部 2 6 に形成された複数の第 1 流通孔 2 4 の内部に導入される。複数の第 1 流通孔 2 4 内に導入された空気は、軸方向他方側（矢印 Z 方向とは反対側）へ向けて流れる。また、複数の第 1 流通孔 2 4 内を軸方向他方側へ向けて流れた空気は、多孔質層 1 4 に形成された複数の第 2 流通孔 3 2 内に導入される。そして、複数の第 2 流通孔 3 2 内に導入された空気は、多孔質層 1 4 においてハニカム部 2 6 とは反対側の面 3 0 から流出する。この多孔質層 1 4 においてハニカム部 2 6 とは反対側の面 3 0 から流出する空気によって、軸部材としてのシャフト 3 4 が支持されるようになっている。

【 0 0 3 3 】

（多孔質静圧空気軸受 1 0 の製造方法）

次に、多孔質静圧空気軸受 1 0 の製造方法について説明する。

10

【 0 0 3 4 】

本実施形態の多孔質静圧空気軸受 1 0 は、多孔質層 1 4（厚さ数百 μm ）と、多孔質層支持部 1 2 が一体となっており、金属粉末焼結 3 D プリントを用いて製作した。これにより、多孔質静圧空気軸受 1 0 の製造コストが増加することが抑制されている。

【 0 0 3 5 】

本実施形態で用いた金属 3 D プリントは、金属粉末を半導体レーザ（スポット径約 8 0 μm 、最大出力 5 0 0 W）により溶融させて焼結を行うが、多孔質静圧空気軸受 1 0 の製作に使用した金属粉末はステンレス鋼の金属粉末である 1 7 - 4 P H（S U S 6 3 0 相当）、平均粒径は 2 0 μm である。3 D プリントによる積層焼結のピッチは 4 0 μm とした。

20

【 0 0 3 6 】

今回使用した 3 D プリントによる多孔質静圧空気軸受 1 0 の製造においては、同時に複数個の多孔質静圧空気軸受 1 0 を製造可能である。製造時間は、多孔質静圧空気軸受 1 0 を 4 個同時製造の場合は約 8 時間、8 個同時製造の場合は約 1 0 時間である。

【 0 0 3 7 】

本実施形態では、金属粉末にレーザを照射することで、多孔質層支持部 1 2 を形成し（支持部形成工程）、多孔質層支持部 1 2 上の金属粉末にレーザを照射することで、多孔質層支持部 1 2 の軸方向他方側の面に沿って多孔質層 1 4 を形成する（多孔質層形成工程）。金属 3 D プリントにより多孔質静圧空気軸受 1 0 を製作した後、軸受下面（多孔質層支持部 1 2 における多孔質層 1 4 とは反対側の面）を研削加工し、その後、ワイヤ放電加工機を用いて多孔質層 1 4 の表面をカットし、多孔質層 1 4 を初期厚さの 1 0 0 0 μm から任意の厚さ t_p に加工した。

30

【 0 0 3 8 】

本実施形態で用いた金属 3 D プリントは、金属粉末を半導体レーザにより溶融させて造形を行うが、レーザ強度を調整することで、多孔質層 1 4 と緻密部をそれぞれ製作することが可能である。多孔質静圧空気軸受 1 0 の試作に際しては、多孔質層 1 4 を製作するための最適レーザ強度を選定するため、レーザ強度を、2 0 0 W から 3 0 0 W まで 2 5 W ずつ変化させて造形を行い、比較を行った。レーザ走査速度は何れも 2 5 0 0 mm/s とした。以下の表 1（Table 1）にレーザの照射条件の一覧を、図 5 ~ 図 9 に、造形後の多孔質層 1 4 の断面の顕微鏡写真を示す。

40

【 0 0 3 9 】

【表 1】

Table 1 Laser sintering conditions for the porous layer

Laser power, P [W]	200	225	250	275	300
Laser scanning speed, V [mm/s]	2500				
Laser spot diameter, d_l [mm]	0.08 (average diameter)				
Layer thickness, t_l [mm]	0.04				
Energy density, $E=P/(V d_l t_l)$ [J/mm ³]	25	28.125	31.25	34.375	37.5

10

【0040】

図5に示すように、レーザ密度 25 J/mm^3 (200 W) や、図6に示すように、レーザ密度 28.125 J/mm^3 (225 W) では、断面に数十 μm の空孔 (第2流通孔32) が多く確認された。図5や図6に示すものは、多孔質層14の断面写真であるため、空孔同士はつながっていないように見えるが、3次元的には空孔同士が繋がっていると考えられ、多孔質層14は通気性を有する。

【0041】

一方、図7に示すレーザ密度 31.25 J/mm^3 (250 W)、図8に示すレーザ密度 34.375 J/mm^3 (275 W)、図9に示すレーザ密度 37.5 J/mm^3 (300 W) では断面に存在する空孔 (第2流通孔32) はわずかであり、通気性はほぼ無い。このことから、金属粉末として $17-4 \text{ PH}$ ($\text{SUS}630$ 相当) を用いて多孔質層14を製作するには、レーザ密度 28.125 J/mm^3 (225 W) 以下とする必要があることがわかった。

20

【0042】

以上の結果により、多孔質層14を製作する際のレーザ密度を、 25 J/mm^3 (200 W) および 28.125 J/mm^3 (225 W) として多孔質静圧空気軸受10を製作し、3Dプリンタで製造後、多孔質層14を初期の約 $1000 \mu\text{m}$ から $200 \mu\text{m}$ カットして (多孔質層14の厚さ $t_p =$ 約 $800 \mu\text{m}$)、多孔質静圧空気軸受10の開放流量を測定した。

30

【0043】

測定の結果、レーザ密度 25 J/mm^3 (200 W) では流量が 5.85 l/min ($p_{sg} = 0.5 \text{ MPa}$) であった。ここで、 p_{sg} とは、多孔質層支持部12の八ニカム部26の軸方向一方側 (矢印Z方向側) の空気の圧力 (図4参照) のことである。また、レーザ密度 28.125 J/mm^3 (225 W) では流量が 0.55 l/min ($p_{sg} = 0.5 \text{ MPa}$) であった。今回試作した多孔質静圧空気軸受10の外径 (多孔質層14の外径) は 40 mm であるが、外径 40 mm の市販品の多孔質静圧空気軸受の開放流量は $1 \sim 2 \text{ l/min}$ 程度であることから、レーザ密度 25 J/mm^3 (200 W) では流量が過大となる。以上の結果により、本実施形態では、多孔質層14を製作するためのレーザ密度を 28.125 J/mm^3 (225 W) に決定した。なお、多孔質層14を支持する多孔質層支持部12については、1辺 0.5 mm の六角形の穴 (第1流通孔24) から多孔質層14に給気する。多孔質層支持部12は通気性を持たない緻密構造とするため、レーザ密度は 40.625 J/mm^3 (325 W) とて製作した。

40

【0044】

ところで、多孔質静圧空気軸受10の特性は、軸受開放流量により大きく変化する。本実施形態で取り扱う多孔質静圧空気軸受10では、多孔質層14を通過する気体の流速が遅く粘性が支配的であるため、多孔質層14を通過する気体の流れは Darcy の法則に従うとすると、開放流量は多孔質層14の厚さ t_p に反比例する。そのため、多孔質層1

50

4の厚さ t_p を変化させることで、流量を調整することが可能となる。本実施形態では、多孔質層14の厚さ t_p を、初期厚さである $1000\mu\text{m}$ からワイヤ放電加工機によりカットして、市販品と同等の $1\sim 2\text{l/min}$ 程度の流量が得られるように調整した。そして、試験軸受(多孔質層厚さ $t_p = \text{約}300\mu\text{m}$ 、軸受開放流量 1.14l/min : $p_{sg} = 0.6\text{MPa}$)を製作した。なお、この試験軸受けの多孔質層14は、レーザ密度 27.5J/mm^3 (220W)で製作している。

【0045】

(多孔質静圧空気軸受10の特性の評価)

次に、本実施形態の多孔質静圧空気軸受10の特性の評価について説明する。

【0046】

10

図10には、実験装置36の概略図が示されている。この図に示されるように、試験軸受である多孔質静圧空気軸受10は、軸受面を下向きとされた状態で天蓋部38の一部を構成するバックメタル22にボルト20で固定されている。

【0047】

質量 $m = 3.5\text{kg}$ のシャフト34は鉛直に置かれ、静圧空気ジャーナル軸受40により非接触支持されている。このシャフト34の下部はエアシリンダ42となっており、エアシリンダ42への給気圧力 p_f を変化させることで試験軸受である多孔質静圧空気軸受10に任意の負荷 w を与えることができる。実験に際しては、軸受負荷 $w[\text{N}]$ を変化させた際の軸受すきま $h[\mu\text{m}]$ の変化量を静電容量型非接触変位計により測定した。軸受無次元負荷容量 W および無次元静剛性 K_s は、以下の式1、式2により求めた。 A は軸受面積である。

20

【0048】

【数1】

$$W = \frac{w}{p_{sg}A} \quad \text{式1}$$

【数2】

$$K_s = \frac{\Delta W}{\Delta h} h \quad \text{式2}$$

30

【0049】

図11に $p_{sg} = 0.4\text{MPa}$ の場合の無次元軸受負荷容量 W および無次元静剛性 K_s の測定結果を示し、図12に $p_{sg} = 0.6\text{MPa}$ の場合の無次元軸受負荷容量 W および無次元静剛性 K_s の測定結果を示す。これらの図に示すように、無次元軸受負荷容量 W はすきま h の減少にともない増加し、無次元静剛性 K_s の値が最大となる最適軸受すきまは、 $h = 3\sim 5\mu\text{m}$ 程度、無次元静剛性 K_s の最大値は0.4程度であった。これらの軸受静特性は、市販されている多孔質静圧空気軸受とおおむね同程度の値であり、本実施形態で提案する軸受構造と金属3Dプリンタを用いた製造方法により、通常の製作方法より簡便に多孔質静圧空気軸受10を製作できることが確認された。なお、 $p_{sg} = 0.6\text{MPa}$ の場合、軸受すきま $h = 6.5\sim 14\mu\text{m}$ において実験データが無いが、これはニューマティックハンマによりデータの取得が困難であったためである。

40

【0050】

(第2実施形態及び第3実施形態に係る多孔質静圧空気軸受)

以上説明したように、第1実施形態に係る多孔質静圧空気軸受10においても、一般的な多孔質静圧空気軸受と同じく、給気圧や軸受すきまによっては、ニューマティックハンマが生じることが明らかとなった。以下、このニューマティックハンマが生じることを抑制した第2実施形態及び第3実施形態に係る多孔質静圧空気軸受について説明する。なお、第2実施形態及び第3実施形態に係る多孔質静圧空気軸受において、前述の多孔質静圧空気軸受10と対応する部分には、当該多孔質静圧空気軸受10と対応する部分と同一の

50

符号を付して、その説明を省略することがある。

【 0 0 5 1 】

図 1 3 及び図 1 4 に示されるように、第 2 実施形態に係る多孔質静圧空気軸受 4 4 及び第 3 実施形態に係る多孔質静圧空気軸受 4 6 は、多孔質層 1 4 の内径部 4 8 を焼結する際のレーザ強度と多孔質層 1 4 の外径部 5 0 を焼結する際のレーザ強度を変化させることで、多孔質層 1 4 の通気率を内径部 4 8 と外径部 5 0 で変化させている。

【 0 0 5 2 】

図 1 3 に示された第 2 実施形態に係る多孔質静圧空気軸受 4 4 では、多孔質層 1 4 の内径部 4 8 (直径 2 4 . 5 mm より内径側) の通気率 (空気の通り易さ) が外径部 5 0 より大きく (空気が通り易く) なるように焼結している。具体的には、多孔質層 1 4 の内径部 4 8 をレーザ密度 2 6 . 8 7 5 J / m m ³ (2 1 5 W) で焼結し、多孔質層 1 4 の外径部 5 0 をレーザ密度 2 8 . 7 5 J / m m ³ (2 3 0 W) で焼結している。

10

【 0 0 5 3 】

図 1 4 に示された第 3 実施形態に係る多孔質静圧空気軸受 4 6 では、多孔質層 1 4 の外径部 5 0 (直径 2 4 . 5 mm より外径側) の通気率 (空気の通り易さ) が内径部 4 8 より大きく (空気が通り易く) なるように焼結している。具体的には、多孔質層 1 4 の内径部 4 8 をレーザ密度 2 8 . 7 5 J / m m ³ (2 3 0 W) で焼結し、多孔質層 1 4 の外径部 5 0 をレーザ密度で 2 6 . 8 7 5 J / m m ³ (2 1 5 W) 焼結している。

【 0 0 5 4 】

なお、多孔質静圧空気軸受 4 4 、 4 6 の試作においては、何れの軸受においても、軸受開放流量が 0 . 8 ~ 1 . 2 l / m i n (吸気圧 $p_{sg} = 0 . 6 \text{ MPa}$) となるよう多孔質層 1 4 の厚みをワイヤ放電加工機により加工して調節した。

20

【 0 0 5 5 】

以上説明した多孔質静圧空気軸受 4 4 、 4 6 について、図 1 0 に示された実験装置 3 6 を用いて、前述と同様に無次元軸受負荷容量 W および無次元静剛性 K_s を測定した。

【 0 0 5 6 】

また、多孔質静圧空気軸受 4 4 、 4 6 の動特性の実験においては、実験装置 3 6 のシャフト 3 4 の下部にインパルス荷重を与え、その際の自由振動波形を非接触変位計に接続したデジタルオシロスコープにより記録する。その自由振動波形により、振動周波数 f 、対数減衰率 を求める。得られた値を以下の式 3 に代入し無次元減衰係数 B を、また以下の式 4 から無次元動剛性 K_d を求める。

30

【 0 0 5 7 】

【 数 3 】

$$B = \frac{h}{p_a A} 4m\pi f^2 \delta \quad \text{式3}$$

【 数 4 】

$$K_d = \frac{h}{p_{sg} A} m f^2 (\pi^2 + \delta^2) \quad \text{式4}$$

40

【 0 0 5 8 】

軸受静特性については、図 1 5 に無次元軸受負荷容量 W および無次元静剛性 K_s の測定結果を示す。この図に示すように、前述の第 1 実施形態に係る多孔質静圧空気軸受 1 0 (Type A) については、軸受すきま $h = 6 . 5 \sim 1 4 \mu\text{m}$ においてニューマティックハンマが生じたが、第 2 実施形態に係る多孔質静圧空気軸受 4 4 (Type B) および第 3 実施形態に係る多孔質静圧空気軸受 4 6 (Type C) においては、ニューマティックハンマは生じなかった。軸受静特性を比較すると、第 1 実施形態に係る多孔質静圧空気軸受 1 0 に関しては、静剛性の値が最大となる最適軸受すきまは $h = 3 \sim 5 \mu\text{m}$ 、第 2 実施形態に係る多孔質静圧空気軸受 4 4 および第 3 実施形態に係る多孔質静圧空気軸受 4 6 は h

50

= 5 ~ 7 μm であり、第2実施形態に係る多孔質静圧空気軸受44と第3実施形態に係る多孔質静圧空気軸受46については、ほぼ同等の性能であった。なお、第1実施形態に係る多孔質静圧空気軸受10については、軸受開放流量を多くすることで、無次元軸受負荷容量Wが増加し、最適軸受すきまhを第2実施形態に係る多孔質静圧空気軸受44および第3実施形態に係る多孔質静圧空気軸受46と同等にすることは可能であるが、軸受開放流量を多くするとニューマティックハンマ発生すきま領域がさらに増加する可能性が高くなる。

【0059】

軸受動特性については、図16に動特性の試験結果を示す。この図に示すように、無次元減衰係数Bの値を見ると、第1実施形態に係る多孔質静圧空気軸受10においては、 $h = 6.5 \sim 14 \mu\text{m}$ においてニューマティックハンマにより測定結果が得られていないが、 $h = 6.5 \sim 14 \mu\text{m}$ において無次元減衰係数Bが負の値になっていると考えられる。一方、静特性試験においてニューマティックハンマは生じなかった第2実施形態に係る多孔質静圧空気軸受44および第3実施形態に係る多孔質静圧空気軸受46においては、すべての軸受すきまhにおいて、無次元減衰係数Bが正の値であることがわかる。第2実施形態に係る多孔質静圧空気軸受44および第3実施形態に係る多孔質静圧空気軸受46を比較すると、両者の静特性は同等であったが、無次元動剛性 K_d や無次元減衰係数Bについては、第3実施形態に係る多孔質静圧空気軸受46の方が高い値であり、第3実施形態に係る多孔質静圧空気軸受46のほうが軸受動特性に優れるという結果となった。第3実施形態に係る多孔質静圧空気軸受46は、多孔質層14の内径部48の通気率を外径部50の通気率よりも低くしているが、軸受すきまの変動により生じる軸受すきまから多孔質層14の内部への流入・流出流量が少なくなることで、高いスクイズ効果が得られたものと考えられる。

【0060】

なお、以上説明した多孔質静圧空気軸受10、44、46では、多孔質層支持部12と多孔質層14とを同じ金属粉末によって形成した例について説明したが、本発明はこれに限定されない。例えば、多孔質層支持部12と多孔質層14とを互いに異なる金属粉末によって形成してもよい。

【0061】

また、以上説明した多孔質静圧空気軸受10、44、46は、シャフト34の軸方向の端部を支持するが、本発明は他のタイプの多孔質静圧空気軸受に適用することもできる。例えば、図17及び図18に示されるように、シャフト34を径方向に支持する多孔質静圧空気軸受52に本発明を適用することもできる。なお、多孔質静圧空気軸受52において、前述の多孔質静圧空気軸受10、44、46と対応する部分には、当該多孔質静圧空気軸受10、44、46と対応する部分と同一の符号を付している。

【0062】

以上、本発明の一実施形態について説明したが、本発明は、上記に限定されるものでなく、その主旨を逸脱しない範囲内において上記以外にも種々変形して実施することが可能であることは勿論である。

【符号の説明】

【0063】

- 10 多孔質静圧空気軸受
- 12 多孔質層支持部（支持部）
- 14 多孔質層
- 24 第1流通孔（第1流通部）
- 32 第2流通孔（第2流通部）
- 44 多孔質静圧空気軸受
- 46 多孔質静圧空気軸受
- 52 多孔質静圧空気軸受

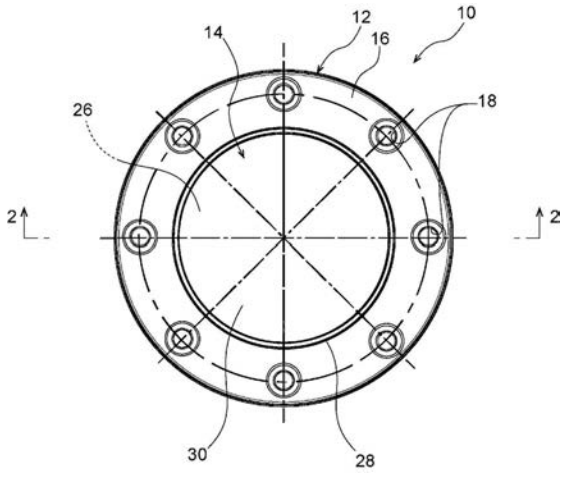
10

20

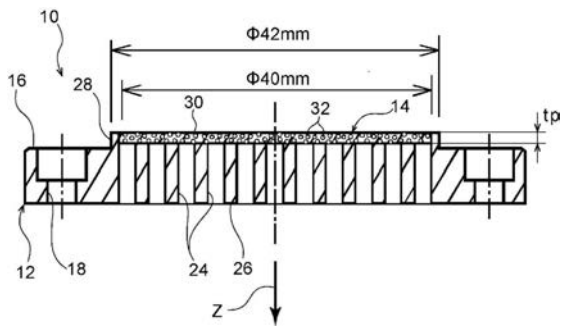
30

40

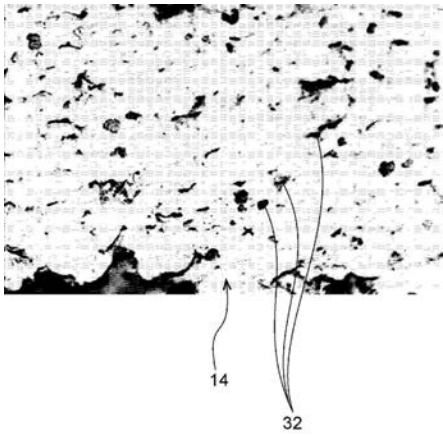
【 図 1 】



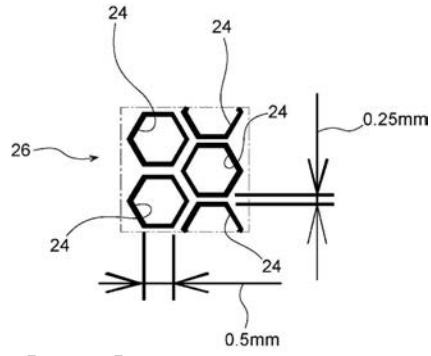
【 図 2 】



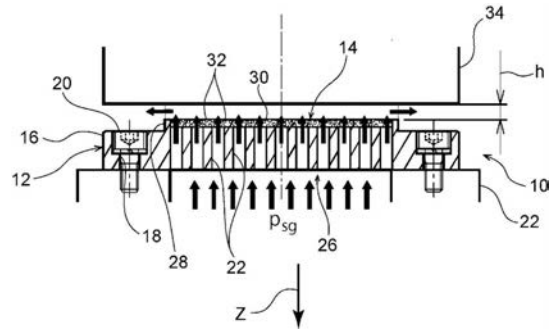
【 図 5 】



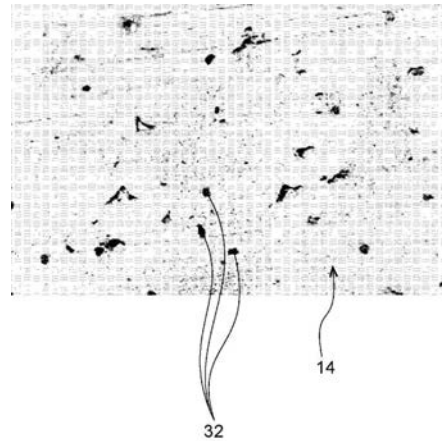
【 図 3 】



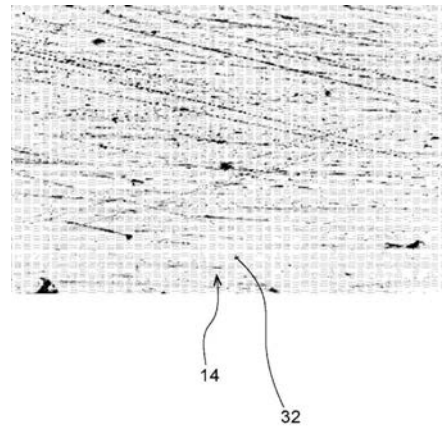
【 図 4 】



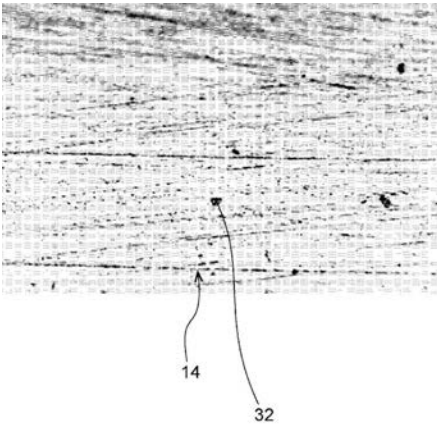
【 図 6 】



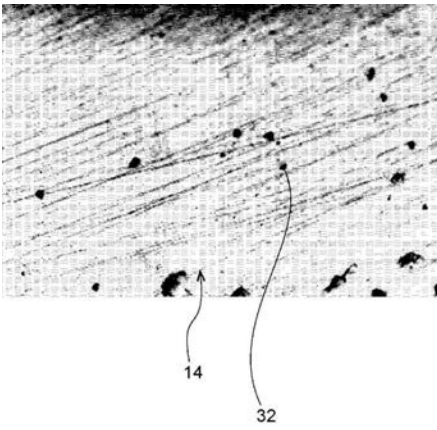
【 図 7 】



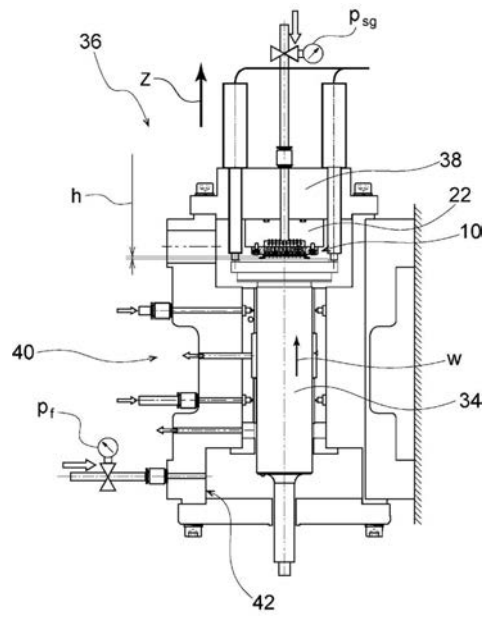
【 図 8 】



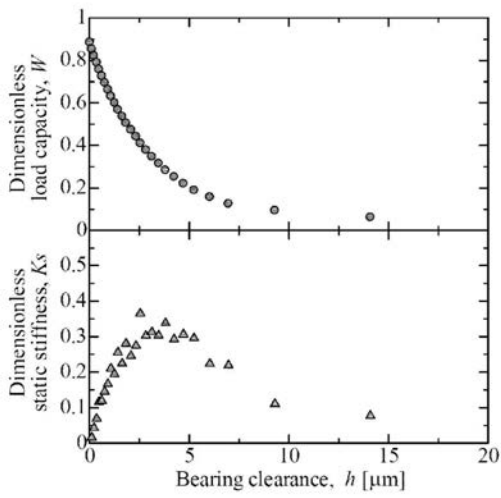
【 図 9 】



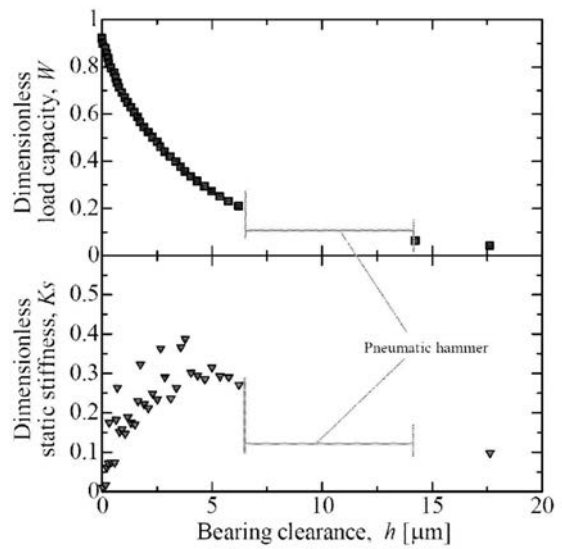
【 図 1 0 】



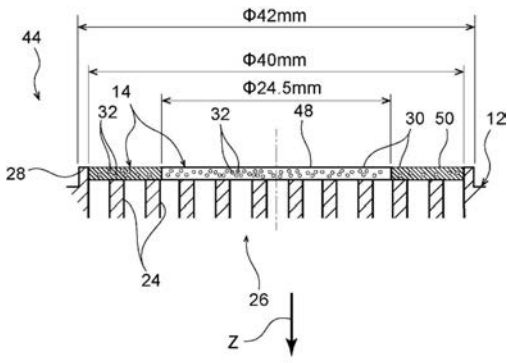
【 図 1 1 】



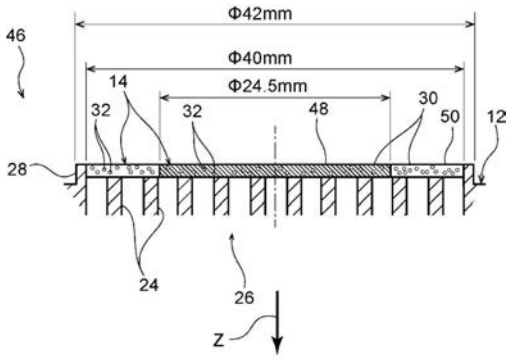
【 図 1 2 】



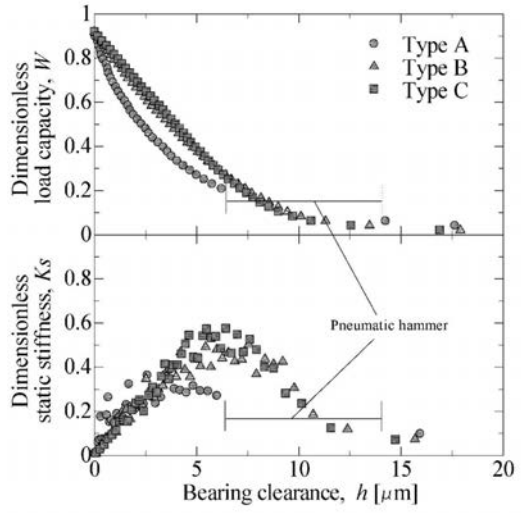
【 図 1 3 】



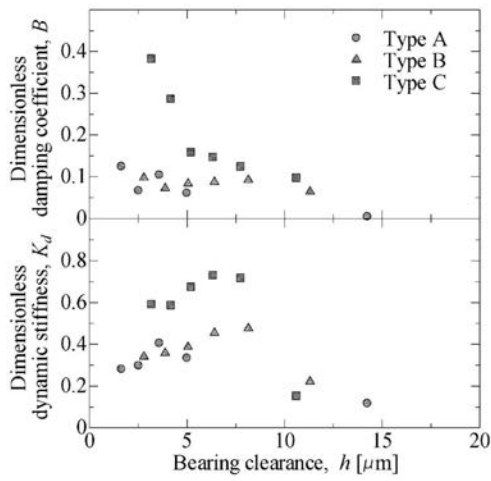
【 図 1 4 】



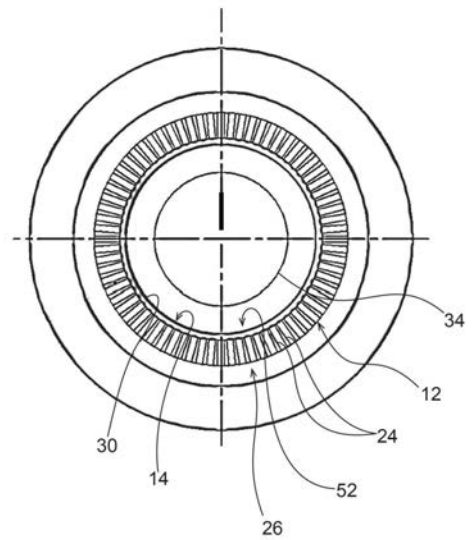
【 図 1 5 】



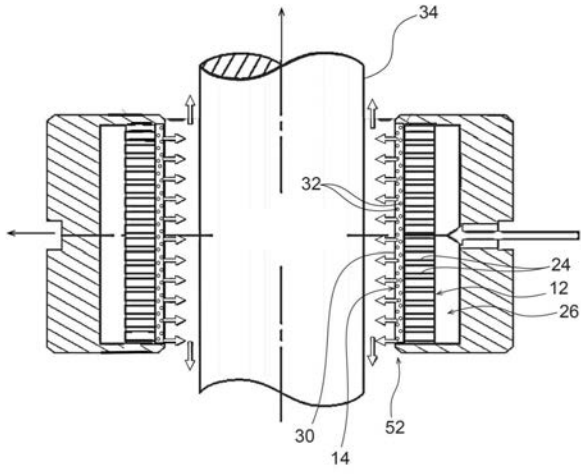
【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



【 図 1 8 】



フロントページの続き

(72)発明者 中山 将太

東京都新宿区神楽坂一丁目3番地 学校法人東京理科大学内

Fターム(参考) 3J011 AA20 BA08 CA10 DA02 KA02 KA03 LA01 SB02 SB19

3J102 AA02 BA03 BA17 BA18 CA15 EA02 EA06 EA19 EA24 EA26

EA29 FA03 FA09