

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016年11月3日(03.11.2016)



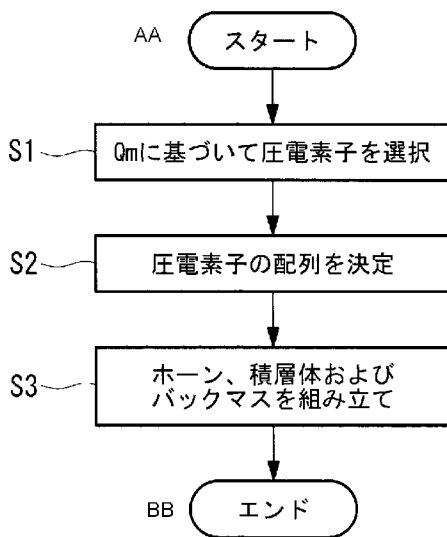
(10) 国際公開番号
WO 2016/174709 A1

- (51) 国際特許分類:
H04R 17/10 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/062683
- (22) 国際出願日: 2015年4月27日(27.04.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: オリンパス株式会社 (OLYMPUS CORPORATION) [JP/JP]; 〒1928507 東京都八王子市石川町2951番地 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 戸田 雅也 (TODA, Masaya); 〒1510072 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリンパス株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 上田 邦生, 外 (UEDA, Kunio et al.); 〒2208137 神奈川県横浜市西区みなとみらい2-2-1 横浜ランドマークタワー37F Kanagawa (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, 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).

[続葉有]

(54) Title: ULTRASONIC TRANSDUCER PRODUCTION METHOD AND ULTRASONIC TRANSDUCER

(54) 発明の名称: 超音波振動子の製造方法および超音波振動子



- S1 Select piezoelectric elements on the basis of Qm
- S2 Determine sequence of piezoelectric elements
- S3 Assemble horn, laminate, and back mass
- AA Start
- BB End

(57) Abstract: This ultrasonic transducer production method includes: a sequence determination step (S2) for determining the sequence of a plurality of piezoelectric elements in a laminate on the basis of the mechanical quality factor of each piezoelectric element; and an assembly step (S3) for assembling into one the laminate in which the plurality of piezoelectric elements have been sequenced according to the sequence determined in the sequence determination step, a horn, and a back mass. In the sequence determination step (S2), the sequence of the plurality of piezoelectric elements is determined such that the differences in the mechanical quality factors among piezoelectric elements that are adjacent in the longitudinal direction is within 5% of the average value of the mechanical quality factors of the plurality of piezoelectric elements.

(57) 要約: 本発明の超音波振動子の製造方法は、積層体における複数の圧電素子の配列を各圧電素子が有する機械的品質係数に基づいて決定する配列決定ステップ (S2) と、該配列決定ステップにおいて決定された配列に従って複数の圧電素子が配列された積層体、ホーン、およびバックマスを1つに組み立てる組立ステップ (S3) とを含み、配列決定ステップ (S2) において、長手方向に隣接する圧電素子間の機械的品質係数の差が、複数の圧電素子の機械的品質係数の平均値の5%以内となるように、複数の圧電素子の配列を決定する。

WO 2016/174709 A1

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：超音波振動子の製造方法および超音波振動子

技術分野

[0001] 本発明は、超音波振動子の製造方法および超音波振動子に関するものである。

背景技術

[0002] 従来、生体組織の切開等の処置において超音波治療装置が使用されている（例えば、特許文献1参照。）。また、治療用超音波装置に搭載される超音波振動子の1つとして、高出力のボルト締めランジュバン型（BLT）振動子が知られている（例えば、特許文献2参照。）。

[0003] 超音波振動子は振動に伴って発熱し、超音波振動子を内蔵するハンドピースの温度が上昇する。そこで、ハンドピースの表面温度を操作者が素手で把持可能な温度に保つために、ハンドピースのグリップ部分に放熱フィンのような空冷構造を設けた超音波治療装置が提案されている（例えば、特許文献3参照）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特許第4642935号公報

特許文献2：特開昭61-18299号公報

特許文献3：特開2001-321388号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、特許文献3の空冷構造による放熱量は不十分であり、超音波振動子の温度上昇を十分に抑制することは難しい。例えば、骨や軟骨等の硬組織や石灰化した組織の処置においては、非常に高い出力が必要とされ、超音波振動子への電力投入量を増大する必要がある。このような場合、超音波振動子による発熱量も非常に大きくなって発熱量が空冷構造による放熱量

を上回り、超音波振動子の温度が上昇する。

[0006] 超音波振動子の共振周波数は温度に依存するため、温度上昇によって超音波振動子の共振周波数が変化すると、超音波振動子に供給されている駆動電力の周波数に対する超音波振動子の共振周波数のずれが大きくなり、超音波振動子の出力（振動振幅）が低下する。高出力を維持し続けるためには電力投入量をさらに増大しなければならず、さらなる発熱を招いたり超音波振動子の駆動が不安定になったりする。このように、特許文献3においては、超音波振動子を高い出力で安定的に駆動し続けることが難しいという問題がある。

[0007] 本発明は、上述した事情に鑑みてなされたものであって、振動に伴う温度上昇を抑制し、高い出力で安定的に駆動し続けることができる超音波振動子の製造方法および超音波振動子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

[0008] 上記目的を達成するため、本発明は以下の手段を提供する。

本発明の第1の態様は、先端側から基端側へ向かって長手方向に沿って順に、ホーンと、複数の圧電素子が前記長手方向に積層された積層体と、バックマスとを備え、前記長手方向の縦振動を発生する超音波振動子の製造方法であって、前記積層体における前記複数の圧電素子の配列を各前記圧電素子が有する機械的品質係数に基づいて決定する配列決定ステップと、該配列決定ステップにおいて決定された配列に従って前記複数の圧電素子が配列された前記積層体、前記ホーン、および前記バックマスを1つに組み立てる組立ステップとを含み、前記配列決定ステップにおいて、前記長手方向に隣接する圧電素子間の機械的品質係数の差が、前記複数の圧電素子の機械的品質係数の平均値の5%以内となるように、前記複数の圧電素子の配列を決定する超音波振動子の製造方法である。

[0009] 本発明の第1の態様によれば、組立ステップにおいて、圧電素子の積層構造を有する積層体がホーンとバックマスとによって両側から挟まれるように、積層体、ホーンおよびバックマスを1つに組み立てることによって、超音

波振動子を製造することができる。

この場合に、隣接する圧電素子間の機械的品質係数の差は最大でも平均値の5%となるように、配列決定ステップにおいて圧電素子の配列が決定される。このように、同一または近似する機械的品質係数を有する圧電素子同士が隣接するように圧電素子を配列することによって、圧電素子間の振動の伝達効率が向上して振動の熱への変換が抑制され、超音波振動子の発熱が抑制される。これにより、振動に伴う超音波振動子の温度上昇を抑制し、高い出力で安定的に超音波振動子を駆動し続けることができる。

[0010] 上記第1の態様においては、機械的品質係数に基づいて前記複数の圧電素子を選択する圧電素子選択ステップを含み、該圧電素子選択ステップにおいて、前記複数の圧電素子の機械的品質係数の平均値に対して前記複数の圧電素子の機械的品質係数のばらつきが $\pm 2.5\%$ 以内となるように、前記複数の圧電素子を選択し、前記配列決定ステップにおいて、前記圧電素子選択ステップにおいて選択された前記複数の圧電素子の配列を決定してもよい。

このようにすることで、隣接する圧電素子間の機械的品質係数の差は必ず5%以内となるので、配列決定ステップにおいては、圧電素子の配列をランダムに決定することができる。

[0011] 上記第1の態様においては、前記配列決定ステップにおいて、前記ホーン側から前記バックマス側に向かって順番に機械的品質係数が小さくなるように、前記複数の圧電素子の内、前記ホーン側の少なくとも一部の配列を決定してもよい。

このようにすることで、ホーンに近い側に大きな機械的品質係数を有する圧電素子が配置されるので、積層体において発生した縦振動がホーンに効率的に伝達される。これにより、入出力効率（供給電力量に対する縦振動の振幅）を向上し、超音波振動子の駆動に必要な電力を低減することができる。また、ホーンと該ホーンに隣接する圧電素子との間の機械的品質係数の差が小さくなるので、ホーンと圧電素子との境界における発熱を抑制し、超音波振動子の発熱をさらに抑制することができる。

[0012] 上記第1の態様においては、前記超音波振動子が、半波長共振型であり、前記配列決定ステップにおいて、最も前記ホーン側に位置する前記圧電素子から最も前記バックマス側に位置する前記圧電素子に向かって順番に機械的品質係数が小さくなるように、前記複数の圧電素子の配列を決定してもよい。

このようにすることで、超音波振動子の発熱をさらに抑制することができるとともに、さらに高い入出力効率を得ることができる。

[0013] 上記第1の態様においては、前記超音波振動子が、1波長共振型であり、前記配列決定ステップにおいて、最も前記ホーン側に位置する前記圧電素子から前記縦振動の節に位置する前記圧電素子に向かって順番に機械的品質係数が小さくなり、かつ、前記縦振動の節に位置する前記圧電素子から最も前記バックマス側に位置する前記圧電素子に向かって順番に機械的品質係数が大きくなるように、前記複数の圧電素子の配列を決定してもよい。

このようにすることで、超音波振動子の発熱をさらに抑制することができるとともに、さらに高い入出力効率を得ることができる。

[0014] 上記第1の態様においては、前記超音波振動子が、1波長共振型であり、前記配列決定ステップにおいて、最も前記ホーン側に位置する前記圧電素子から前記縦振動の腹に位置する前記圧電素子に向かって順番に機械的品質係数が大きくなり、かつ、前記縦振動の腹に位置する前記圧電素子から最も前記バックマス側に位置する前記圧電素子に向かって順番に機械的品質係数が小さくなるように、前記複数の圧電素子の配列を決定してもよい。

このようにすることで、超音波振動子の発熱をより抑制することができる。

[0015] 本発明の第2の態様は、先端側から基端側へ向かって長手方向に沿って順に、ホーンと、複数の圧電素子が前記長手方向に積層された積層体と、バックマスとを備え、前記複数の圧電素子は、前記長手方向に隣接する圧電素子間の機械的品質係数の差が、前記複数の圧電素子の機械的品質係数の平均値の5%以内となるように配列されている超音波振動子である。

[0016] 上記第2の態様においては、前記複数の圧電素子の機械的品質係数のばらつきが、前記複数の圧電素子の機械的品質係数の平均値に対して $\pm 2.5\%$ 以内であってもよい。

上記第2の態様においては、前記複数の圧電素子は、最も前記ホーン側に位置する前記圧電素子から前記長手方向の縦振動の腹に位置する前記圧電素子に向かって順番に機械的品質係数が小さくなるように、配列されていてもよい。

[0017] 上記第2の態様においては、半波長共振型であり、前記複数の圧電素子は、最も前記ホーン側に位置する前記圧電素子から最も前記バックマス側に位置する前記圧電素子に向かって順番に機械的品質係数が小さくなるように、配列されていてもよい。

上記第2の態様においては、1波長共振型であり、前記複数の圧電素子は、最も前記ホーン側に位置する前記圧電素子から前記縦振動の腹に位置する前記圧電素子に向かって順番に機械的品質係数が小さくなり、かつ、前記縦振動の腹に位置する前記圧電素子から最も前記バックマス側に位置する前記圧電素子に向かって順番に機械的品質係数が大きくなるように、配列されていてもよい。

[0018] 上記第2の態様においては、1波長共振型であり、前記複数の圧電素子は、最も前記ホーン側に位置する前記圧電素子から前記長手方向の縦振動の腹に位置する前記圧電素子に向かって順番に機械的品質係数が大きくなり、かつ、前記縦振動の腹に位置する前記圧電素子から最も前記バックマス側に位置する前記圧電素子に向かって順番に機械的品質係数が小さくなるように、配列されていてもよい。

発明の効果

[0019] 本発明によれば、振動に伴う温度上昇を抑制し、超音波振動子を高い出力で安定的に駆動し続けることができるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]本発明の第1の実施形態に係る超音波振動子の全体構成を示す長手軸方

向の断面図である。

[図2]図1の超音波振動子の全体構成を示す簡略図である。

[図3]図1の超音波振動子の積層体における機械的損失係数の分布を示すグラフである。

[図4]図1の超音波振動子の製造方法を示すフローチャートである。

[図5]本発明の第2の実施形態に係る超音波振動子の全体構成を示す簡略図である。

[図6]図5の超音波振動子の積層体における機械的損失係数の分布を示すグラフである。

[図7]本発明の第3の実施形態に係る超音波振動子の全体構成を示す簡略図である。

[図8]図7の超音波振動子の積層体における機械的損失係数の分布を示すグラフである。

[図9]本発明の第4の実施形態に係る超音波振動子の全体構成を示す簡略図である。

[図10]図9の超音波振動子の積層体における機械的損失係数の分布を示すグラフである。

[図11]積層体における機械的損失係数の分布と、超音波振動子の温度上昇量との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0021] (第1の実施形態)

本発明の第1の実施形態に係る超音波振動子10とその製造方法について図1から図4を参照して説明する。

本実施形態に係る超音波振動子10は、図1に示されるように、ボルト締めランジュバン型(BLT)振動子であり、先端側から基端側へ向かって長手軸Aに沿って順に、ホーン1と、複数の圧電素子2が積層された積層体3と、バックマス4とを備えている。

[0022] ホーン1は、長手軸Aに沿って延びる柱状であり、長手軸Aに直交する横

断面の面積が基端から先端に向かう程小さくなる形状を有している。ホーン 1 は、チタン合金のような高い強度を有する金属から形成されている。ホーン 1 の基端面の略中心位置には、長手軸 A に沿って延びる柱状のボルト 5 が設けられている。

[0023] 圧電素子 2 は、P Z T（チタンジルコン酸鉛）のような圧電材料からなるリング状の板状部材である。積層体 3 は、各圧電素子 2 が 2 つの電極 6 a, 6 b によって長手軸 A 方向に挟まれるように、圧電素子 2 と電極 6 a または 6 b とが長手軸 A 方向に交互に積層された積層構造を有している。電極は、長手軸 A 方向に交互に正電極 6 a と負電極 6 b とを構成しており、電極 6 a, 6 b に交番電力が供給されたときに各圧電素子 2 が長手軸 A 方向に伸縮振動するようになっている。積層体 3 とホーン 1 との間、および、積層体 3 とバックマス 4 との間には、図示しない絶縁体が挟まれており、積層体 3 は、ホーン 1 およびバックマス 4 と電氣的に絶縁されている。また、積層体 3 には、先端から基端まで長手軸 A に沿って貫通形成され、ボルト 5 が挿入されるボルト穴 3 a が形成されている。

[0024] バックマス 4 は、アルミのような金属材料から形成された柱状の部材である。バックマス 4 の先端面には、ボルト 5 に締結されるねじ穴 4 a が長手軸 A に沿って形成されている。

積層体 3 のボルト穴 3 a 内にボルト 5 を挿入し、積層体 3 の基端面から突出したボルト 5 の基端部にバックマス 4 を締結することによって、積層体 3 がホーン 1 とバックマス 4 とによって両側から強固に締め付けられている。

[0025] 超音波振動子 10 は、半波長共振型である。すなわち、超音波振動子 10 の長手軸 A 方向の寸法は、超音波振動子 10 の共振周波数の波長の半分に設計されている。これにより、超音波振動子 10 は、図 2 に示されるように、共振周波数の交番電力が電極 6 a, 6 b に供給されたときに、半波長共振する。半波長共振において、2 つの腹がホーン 1 の先端およびバックマスの基端に現れ、1 つの節 N がホーン 1 と積層体 2 との境界に現れる。

なお、超音波振動子 10 は、半波長共振型ではなく、共振周波数の波長と

同一の長手軸A方向の寸法を有する1波長共振型であってもよい。

[0026] さらに、図3に示されるように、積層体3において、全ての圧電素子2が、互いに同一または近似する機械的品質係数 Q_m （以下、単に「 Q_m 」という。）を有している。具体的には、各圧電素子2の Q_m は、全ての圧電素子2の Q_m の平均値 $M(Q_m) \pm 2.5\%$ 以内である。したがって、長手軸A方向に隣接する2つの圧電素子2間の Q_m の差は、最大で平均値 $M(Q_m)$ の5%となる。図3において、各データ点は各圧電素子2に対応している。

[0027] 次に、超音波振動子10の製造方法について説明する。

本実施形態に係る超音波振動子10の製造方法は、図4に示されるように、 Q_m に基づいて圧電素子2を選択する圧電素子選択ステップS1と、圧電素子2の積層体3における配列を決定する配列決定ステップS2と、積層体3、ホーン1およびバックマス4を1つに組み立てる組立ステップS3とを含む。

[0028] 製造会社から購入する圧電素子2の Q_m には、数100程度のばらつきがある。圧電素子選択ステップS1においては、まず、圧電素子2の Q_m を測定する。 Q_m の測定には、公知の任意の方法が用いられる。例えば、インピーダンスアナライザや周波数計測器等によって共振周波数 f_s および該共振周波数を示すピーク波形の半値幅 $(f_2 - f_1)$ を測定し、 $Q_m = f_s / (f_2 - f_1)$ の関係式から Q_m を算出する。次に、同一または近似の Q_m を有する圧電素子2を、積層体3に必要な数（本例においては6個）だけ選択する。具体的には、6個の圧電素子2の Q_m のばらつきが、該6個の圧電素子2の Q_m の平均値 $M(Q_m)$ に対して $\pm 2.5\%$ 以内となるように、6個の圧電素子2を選択する。

[0029] 次に、配列決定ステップS2において、圧電素子選択ステップS1において選択された6個の圧電素子2の配列をランダムに決定する。

次に、組立ステップS3において、6個の圧電素子2が、配列決定ステップS2において決定されたランダム配列に従って配列するように、6個の圧電素子2と電極6a、6bとを交互に積層して積層体3を形成する。次に、

形成された積層体3のボルト穴3 a内にホーン1のボルト5を挿入し、積層体3から突出したボルト5の先端部にバックマス4を締結して積層体3を長手軸A方向に圧縮する。これにより、超音波振動子10が製造される。

[0030] 次に、このように構成された超音波振動子10の作用について説明する。

本実施形態に係る超音波振動子10によって超音波振動を発生させるためには、電源（図示略）から、超音波振動子10の共振周波数または該共振周波数の近傍の周波数を有する交番電力を電気ケーブル（図示略）を介して電極6 a, 6 bに供給する。これにより、個々の圧電素子2が長手軸A方向に伸縮振動して積層体3が縦振動を発生する。積層体3において発生した縦振動は、ホーン1に伝達され、ホーン1の先端が長手軸A方向に高周波振動する。

[0031] ここで、圧電素子2の Q_m と積層体3における振動伝達との関係について説明する。

機械的品質係数 Q_m は、伸縮振動の際に圧電素子2に生じる弾性損失を表す係数であり、機械的損失係数の逆数である。機械的品質係数 Q_m が高い程、弾性損失が小さく、振動を減衰させ難く、発熱が少ない。したがって、超音波振動子10用の圧電素子2としては、例えば1000以上の高い Q_m を有する圧電素子が使用される。

[0032] 同一の圧電素子内は均質であるため、同一の圧電素子内における振動の伝達効率は高く、振動はほとんど減衰することなく伝達する。したがって、仮に、積層体3が、単一の均質な圧電素子から構成されていた場合、積層体3全体が同調して縦振動し、積層体3における発熱は少ない。

[0033] 実際の積層体3は、複数の圧電素子2の積層構造を有し、圧電素子2と他の圧電素子2との間で圧電素子2の性質が不連続に変化する。このように、性質が不連続に変化する圧電素子2同士の境界においては、縦振動の一部が反射される等して損失するため、圧電素子2から隣接する他の圧電素子2への振動の伝達効率は低下する。また、振動の損失に伴って熱が発生する。すなわち、圧電素子2の境界で反射された振動が他の振動と作用することによ

って発熱の原因となる高調波を発生させる。また、隣接する2つの圧電素子2の Q_m に差がある場合は、一方の圧電素子2の伸縮挙動と他方の圧電素子2の伸縮挙動とにずれが生じることによって2つの圧電素子2の境界において滑り運動が生じ、摩擦熱が生じる。

[0034] 本実施形態に係る超音波振動子10によれば、略等しい Q_m を有する圧電素子2を積層体3に使用しているので、積層体3における Q_m が略均一になっている。したがって、複数の圧電素子2からなる積層体3は、単一の圧電素子からなる積層体と類似の挙動を示し、積層体3において縦振動は減衰することなく高い効率で伝達するとともに積層体3における発熱が抑制される。これにより、超音波振動子10の出力（ホーン1の先端の振幅）を増大するために電極6a, 6bに供給する交番電力を増大したとしても、超音波振動子10は、温度上昇することなく高い出力を安定的に発揮し続けることができるという利点がある。

[0035] 特に、超音波振動子10を構成する部品の内、発熱量が最も大きいものは積層体3である。したがって、積層体3における発熱を抑制することによって、超音波振動子10全体の温度上昇を効率的に抑制することができるという利点がある。また、従来のBLT振動子の製造方法から圧電素子2の選択のみを変更するだけで、発熱量の少ない超音波振動子10を製造することができるという利点がある。

[0036] (第2の実施形態)

本発明の第2の実施形態に係る超音波振動子20およびその製造方法について図5および図6を参照して説明する。

本実施形態に係る超音波振動子20は、積層体31における圧電素子2の配列において、第1の実施形態の超音波振動子10と異なっている。したがって、本実施形態においては、積層体31について主に説明し、第1の実施形態と共通する構成については同一の符号を付して説明を省略する。

[0037] 本実施形態に係る超音波振動子20は、図5に示されるように、超音波振動子10と同様に、半波長共振型である。

積層体 3 1 において、圧電素子 2 は、図 6 に示されるように、 Q_m が、ホーン 1 側からバックマス 4 側に向かって順番に小さくなるように配列されている。したがって、最もホーン 1 側に位置する圧電素子 2 の Q_m が最も大きくなっており、最もバックマス 4 側に位置する圧電素子 2 の Q_m が最も小さくなっている。さらに、長手軸 A 方向に隣接する圧電素子 2 間の Q_m の差は、6 個の圧電素子 2 の Q_m の平均値 $M(Q_m)$ の 5% 以内である。

[0038] 次に、超音波振動子 2 0 の製造方法について説明する。

本実施形態に係る超音波振動子 2 0 の製造方法は、圧電素子選択ステップと、配列決定ステップと、組立ステップとを含む。

圧電素子選択ステップにおいて、第 1 の実施形態において説明した圧電素子選択ステップ S 1 と同様にして、圧電素子 2 の Q_m を測定する。次に、6 個の圧電素子 2 の Q_m のばらつきが、該 6 個の圧電素子 2 の Q_m の平均値 $M(Q_m)$ に対して $\pm 15\%$ 以内となるように、かつ、 Q_m を大きき順に並べたときに隣接する Q_m 間の差が平均値 $M(Q_m)$ の 5% 以内となるように、6 個の圧電素子 2 を選択する。

[0039] 次に、配列決定ステップにおいて、選択ステップにおいて選択された 6 個の圧電素子 2 の配列を、最もホーン 1 側に位置する圧電素子 2 から最もバックマス 4 側に位置する圧電素子 2 に向かって順番に Q_m が小さくなるように、決定する。

次に、組立ステップにおいて、6 個の圧電素子 2 が、配列決定ステップにおいて決定された配列に従って配列するように、6 個の圧電素子 2 と電極 6 a, 6 b とを交互に積層して積層体 3 を形成する。次に、最も大きな Q_m を有する圧電素子 2 がホーン 1 側に配置され、最も小さな Q_m を有する圧電素子 2 がバックマス 4 側に配置されるように、ホーン 1 と積層体 3 とバックマス 4 とを 1 つに組み立てる。

[0040] 本実施形態に係る超音波振動子 2 0 によれば、第 1 の実施形態の効果に加えて以下の効果を奏する。

上述したように、圧電素子 2 の Q_m には個体誤差が存在し、製造会社から

購入した圧電素子 2 の Q_m にはばらつきが存在する。第 1 の実施形態のように、略等しい Q_m を有する圧電素子 2 のみを選別して使用する場合、購入した圧電素子 2 の内、一部を製造に利用することができない。本実施形態によれば、異なる Q_m を有する圧電素子 2 を組み合わせて使用することによって、購入した圧電素子 2 を有効的に製造に利用することができるという利点がある。

[0041] また、ホーン 1 に近い側に大きな Q_m を有する圧電素子 2 を配置することによって、積層体 3 において発生した縦振動がホーン 1 へ効率的に伝達される。これにより、超音波振動子 20 の入出力効率（電極 6 a, 6 b に供給される交番電力に対するホーン 1 の振動振幅）を高め、電極 6 a, 6 b に供給する交番電力を低減しながら大きな出力を得ることができるという利点がある。

[0042] さらに、ホーン 1 は圧電素子 2 よりも大きな Q_m を有し、ホーン 1 と圧電素子 2 との境界においても、 Q_m の差に起因する振動の損失および発熱が生じる。そこで、最も大きな Q_m を有する圧電素子 2 をホーン 1 の隣に配置し、ホーン 1 の Q_m と圧電素子 2 の Q_m との差を最小とすることによって、積層体 3 からホーン 1 への振動の伝達効率的を高め、発熱をさらに抑制することができるという利点がある。

[0043] （第 3 の実施形態）

本発明の第 3 の実施形態に係る超音波振動子 30 およびその製造方法について図 7 および図 8 を参照して説明する。

本実施形態に係る超音波振動子 30 は、積層体 32 における圧電素子 2 の配列において、第 1 の実施形態の超音波振動子 10 と異なっている。したがって、本実施形態においては、積層体 32 について主に説明し、第 1 の実施形態と共通する構成については同一の符号を付して説明を省略する。

[0044] 本実施形態に係る超音波振動子 30 は、図 7 に示されるように、第 1 および第 2 の実施形態に係る超音波振動子 10, 20 とは全長が異なり、1 波長共振型である。すなわち、超音波振動子 30 の長手軸 A 方向の寸法は、超音

波振動子 30 の共振周波数の波長と同一に設計されている。これにより、超音波振動子 30 は、図 7 に示されるように、共振周波数の交番電力が電極 6 a, 6 b に供給されたときに、1 波長共振する。1 波長共振において、3 つの腹が現れ、2 つの節 N 1, N 2 がホーン 1 の長手方向の途中位置と積層体 3 の長手方向の途中位置に現れる。

[0045] 本実施形態例において、積層体 32 は 8 個の圧電素子 2 を備えている。積層体 32 において、圧電素子 2 は、図 8 に示されるように、最もホーン 1 側に位置する圧電素子 2 から節 N 2 に位置する圧電素子 2 に向かって順番に Q_m が小さくなり、かつ、節 N 2 に位置する圧電素子 2 から最もバックマス 4 側に位置する圧電素子 2 に向かって順番に Q_m が大きくなるように、配列されている。このときに、最も大きな Q_m を有する圧電素子 2 が最もホーン 1 側に位置することが好ましい。さらに、長手軸 A 方向に隣接する圧電素子 2 間の Q_m の差は、8 個の圧電素子 2 の Q_m の平均値 $M(Q_m)$ の 5% 以内である。

[0046] 次に、超音波振動子 30 の製造方法について説明する。

本実施形態に係る超音波振動子 30 の製造方法は、圧電素子選択ステップと、配列決定ステップと、組立ステップとを含む。

圧電素子選択ステップにおいて、第 1 の実施形態において説明した圧電素子選択ステップ S 1 と同様にして、圧電素子 2 の Q_m を測定する。次に、8 個の圧電素子 2 の Q_m のばらつきが、該 8 個の圧電素子 2 の Q_m の平均値 $M(Q_m)$ に対して $\pm 7.5\%$ 以内となるように、かつ、各圧電素子 2 の Q_m と他の少なくとも 1 つの圧電素子 2 の Q_m との差が平均値 $M(Q_m)$ の 5% 以内となるように、8 個の圧電素子 2 を選択する。

[0047] 次に、配列決定ステップにおいて、選択ステップにおいて選択された 8 個の圧電素子 2 の配列を、節 N 2 において Q_m が最小となり、節 N 2 からホーン 1 側およびバックマス 4 側に向かって Q_m が順番に大きくなるように、決定する。

次に、組立ステップにおいて、8 個の圧電素子 2 が、配列決定ステップに

において決定された配列に従って配列するように、8個の圧電素子2と電極6 a, 6 bとを交互に積層して積層体3を形成する。次に、形成された積層体3とホーン1とバックマス4とを1つに組み立てる。

[0048] 本実施形態に係る超音波振動子30によれば、第1の実施形態の効果に加えて以下の効果を奏する。

本実施形態によれば、第2の実施形態と同様に、異なる Q_m を有する圧電素子2を組み合わせて使用することによって、購入した圧電素子2を有効的に製造に利用することができるという利点がある。

[0049] また、ホーン1に近い側に大きな Q_m を有する圧電素子2を配置することによって、超音波振動子30の入出力効率（電極6 a, 6 bに供給される交番電力に対するホーン1の振動振幅）を高め、電極6 a, 6 bに供給する交番電力を低減しながら大きな出力を得ることができるという利点がある。

さらに、積層体3の内、縦振動の振幅がゼロとなる節N2に、最も小さい位置 Q_m を有する圧電素子2を配置し、振幅が大きくなる位置程、大きな Q_m を有する圧電素子2を配置することによって、縦振動の伝達効率を向上し、積層体3における発熱をさらに低減することができるという利点がある。

[0050] (第4の実施形態)

本発明の第4の実施形態に係る超音波振動子40およびその製造方法について図9および図10を参照して説明する。

本実施形態に係る超音波振動子40は、積層体33における圧電素子2の配列において、第3の実施形態の超音波振動子30と異なっている。したがって、本実施形態においては、積層体33について主に説明し、第3の実施形態と共通する構成については同一の符号を付して説明を省略する。

[0051] 本実施形態に係る超音波振動子40は、図9に示されるように、超音波振動子30と同様に、1波長共振型であり、積層体33は8個の圧電素子2を備えている。

積層体33において、圧電素子2は、図10に示されるように、最もホーン1側に位置する圧電素子2から節N2に位置する圧電素子2に向かって順

番に Q_m が大きくなり、かつ、節2に位置する圧電素子2から最もバックマス4側に位置する圧電素子2に向かって順番に Q_m が小さくなるように、配列されている。さらに、長手軸A方向に隣接する圧電素子2間の Q_m の差は、8個の圧電素子2の Q_m の平均値 $M(Q_m)$ の5%以内である。

[0052] 次に、超音波振動子40の製造方法について説明する。

本実施形態に係る超音波振動子40の製造方法は、圧電素子選択ステップと、配列決定ステップと、組立ステップとを含む。

本実施形態の圧電素子選択ステップは、第3の実施形態において説明した圧電素子選択ステップと同一である。

[0053] 次に、配列決定ステップにおいて、選択ステップにおいて選択された8個の圧電素子2の配列を、節N2において Q_m が最大となり、節N2からホーン1側およびバックマス4側に向かって Q_m が順番に小さくなるように、決定する。

次に、組立ステップにおいて、8個の圧電素子2が、配列決定ステップにおいて決定された配列に従って配列するように、8個の圧電素子2と電極6a、6bとを交互に積層して積層体3を形成する。次に、形成された積層体3とホーン1とバックマス4とを1つに組み立てる。

[0054] 本実施形態に係る超音波振動子40によれば、第1の実施形態の効果に加えて以下の効果を奏する。

本実施形態によれば、第2の実施形態と同様に、異なる Q_m を有する圧電素子2を組み合わせて使用することによって、購入した圧電素子2を有効的に製造に利用することができるという利点がある。

[0055] 次に、上述した積層体3、31、32、33における Q_m の分布と、超音波振動子10、20、30、40発熱量との関係について説明する。

図11には、第1から第4の実施形態に係る超音波振動子10、20、30、40に、等しい電力量の交番電力を供給して半波長共振または1波長共振させたときの温度上昇を測定した結果を示すグラフである。比較例として、無作為に選択した圧電素子を使用して製造した超音波振動子の温度上昇も

測定した。

[0056] 図11示されるように、本実施形態に係る超音波振動子10, 20, 30, 40の温度上昇量は、比較例に比べて優位に小さいことが確認された。特に、超音波振動子20, 30の温度上昇量が小さく、大きな Q_m を有する圧電素子2をホーン1側に配置することによって超音波振動子20, 30の発熱を効果的に抑制できることが確認された。また、超音波振動子20の温度上昇量は、比較例に比べて4℃低く、超音波振動子20に供給する交番電力を11W(14%)増加したとしても、温度上昇を比較例と同等に抑制することができることが確認された。

符号の説明

[0057] 10, 20, 30, 40 超音波振動子
1 ホーン
2 圧電素子
3, 31, 32, 33 積層体
4 バックマス
5 ボルト
6a, 6b 電極
S1 圧電素子選択ステップ
S2 配列決定ステップ
S3 組立ステップ

請求の範囲

[請求項1] 先端側から基端側へ向かって長手方向に沿って順に、ホーンと、複数の圧電素子が前記長手方向に積層された積層体と、バックマスとを備え、前記長手方向の縦振動を発生する超音波振動子の製造方法であって、

前記積層体における前記複数の圧電素子の配列を各前記圧電素子が有する機械的品質係数に基づいて決定する配列決定ステップと、

該配列決定ステップにおいて決定された配列に従って前記複数の圧電素子が配列された前記積層体、前記ホーン、および前記バックマスを1つに組み立てる組立ステップとを含み、

前記配列決定ステップにおいて、前記長手方向に隣接する圧電素子間の機械的品質係数の差が、前記複数の圧電素子の機械的品質係数の平均値の5%以内となるように、前記複数の圧電素子の配列を決定する超音波振動子の製造方法。

[請求項2] 機械的品質係数に基づいて前記複数の圧電素子を選択する圧電素子選択ステップを含み、

該圧電素子選択ステップにおいて、前記複数の圧電素子の機械的品質係数の平均値に対して前記複数の圧電素子の機械的品質係数のばらつきが±2.5%以内となるように、前記複数の圧電素子を選択し、

前記配列決定ステップにおいて、前記圧電素子選択ステップにおいて選択された前記複数の圧電素子の配列を決定する請求項1に記載の超音波振動子の製造方法。

[請求項3] 前記配列決定ステップにおいて、前記ホーン側から前記バックマス側に向かって順番に機械的品質係数が小さくなるように、前記複数の圧電素子の内、前記ホーン側の少なくとも一部の配列を決定する請求項1に記載の超音波振動子の製造方法。

[請求項4] 前記超音波振動子が、半波長共振型であり、
前記配列決定ステップにおいて、最も前記ホーン側に位置する前記

圧電素子から最も前記バックマス側に位置する前記圧電素子に向かって順番に機械的品質係数が小さくなるように、前記複数の圧電素子の配列を決定する請求項3に記載の超音波振動子の製造方法。

[請求項5]

前記超音波振動子が、1波長共振型であり、

前記配列決定ステップにおいて、最も前記ホーン側に位置する前記圧電素子から前記縦振動の節に位置する前記圧電素子に向かって順番に機械的品質係数が小さくなり、かつ、前記縦振動の節に位置する前記圧電素子から最も前記バックマス側に位置する前記圧電素子に向かって順番に機械的品質係数が大きくなるように、前記複数の圧電素子の配列を決定する請求項3に記載の超音波振動子の製造方法。

[請求項6]

前記超音波振動子が、1波長共振型であり、

前記配列決定ステップにおいて、最も前記ホーン側に位置する前記圧電素子から前記縦振動の節に位置する前記圧電素子に向かって順番に機械的品質係数が大きくなり、かつ、前記縦振動の節に位置する前記圧電素子から最も前記バックマス側に位置する前記圧電素子に向かって順番に機械的品質係数が小さくなるように、前記複数の圧電素子の配列を決定する請求項1に記載の超音波振動子の製造方法。

[請求項7]

先端側から基端側へ向かって長手方向に沿って順に、ホーンと、複数の圧電素子が前記長手方向に積層された積層体と、バックマスとを備え、

前記複数の圧電素子は、前記長手方向に隣接する圧電素子間の機械的品質係数の差が、前記複数の圧電素子の機械的品質係数の平均値の5%以内となるように配列されている超音波振動子。

[請求項8]

前記複数の圧電素子の機械的品質係数のばらつきが、前記複数の圧電素子の機械的品質係数の平均値に対して $\pm 2.5\%$ 以内である請求項7に記載の超音波振動子。

[請求項9]

前記複数の圧電素子は、最も前記ホーン側に位置する前記圧電素子から前記長手方向の縦振動の節に位置する前記圧電素子に向かって順

番に機械的品質係数が小さくなるように、配列されている請求項 7 に記載の超音波振動子。

[請求項10]

半波長共振型であり、

前記複数の圧電素子は、最も前記ホーン側に位置する前記圧電素子から最も前記バックマス側に位置する前記圧電素子に向かって順番に機械的品質係数が小さくなるように、配列されている請求項 9 に記載の超音波振動子。

[請求項11]

1 波長共振型であり、

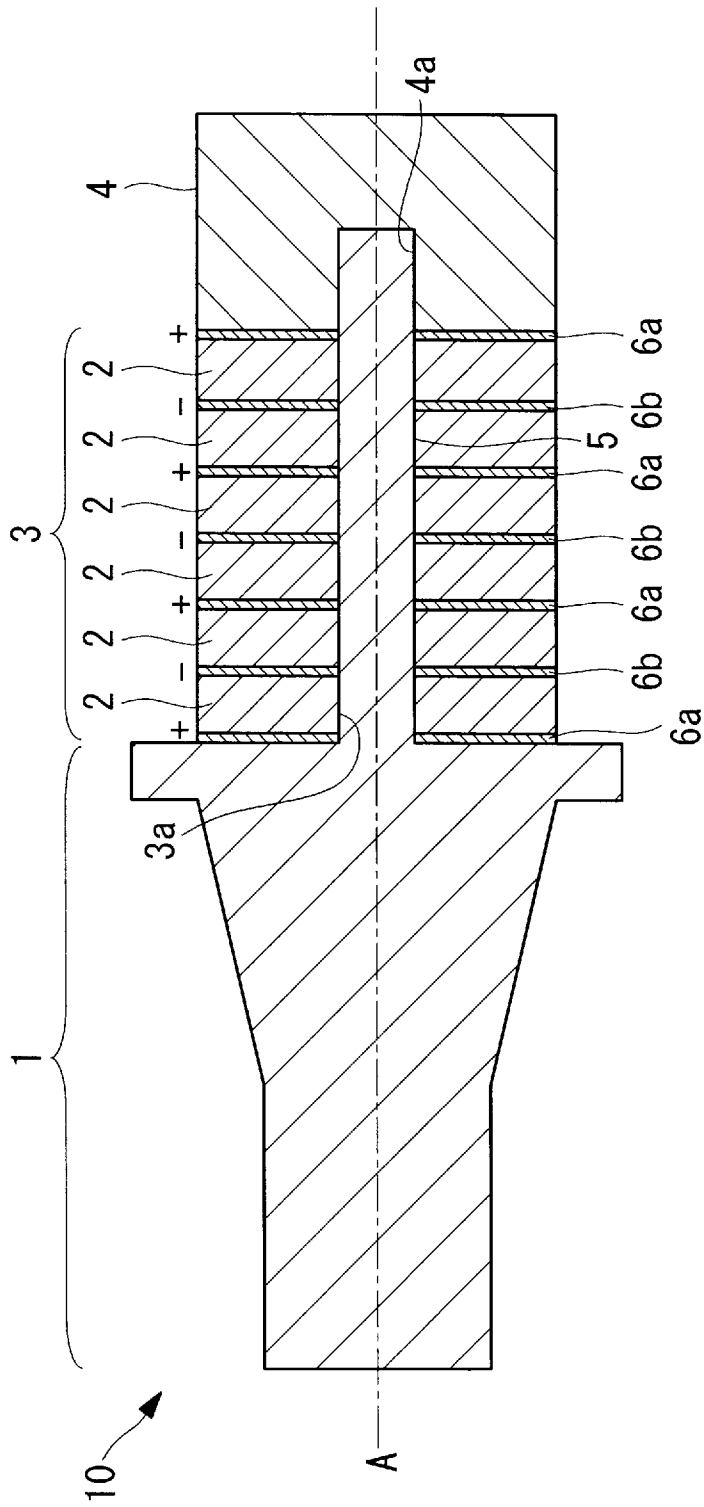
前記複数の圧電素子は、最も前記ホーン側に位置する前記圧電素子から前記縦振動の節に位置する前記圧電素子に向かって順番に機械的品質係数が小さくなり、かつ、前記縦振動の節に位置する前記圧電素子から最も前記バックマス側に位置する前記圧電素子に向かって順番に機械的品質係数が大きくなるように、配列されている請求項 9 に記載の超音波振動子。

[請求項12]

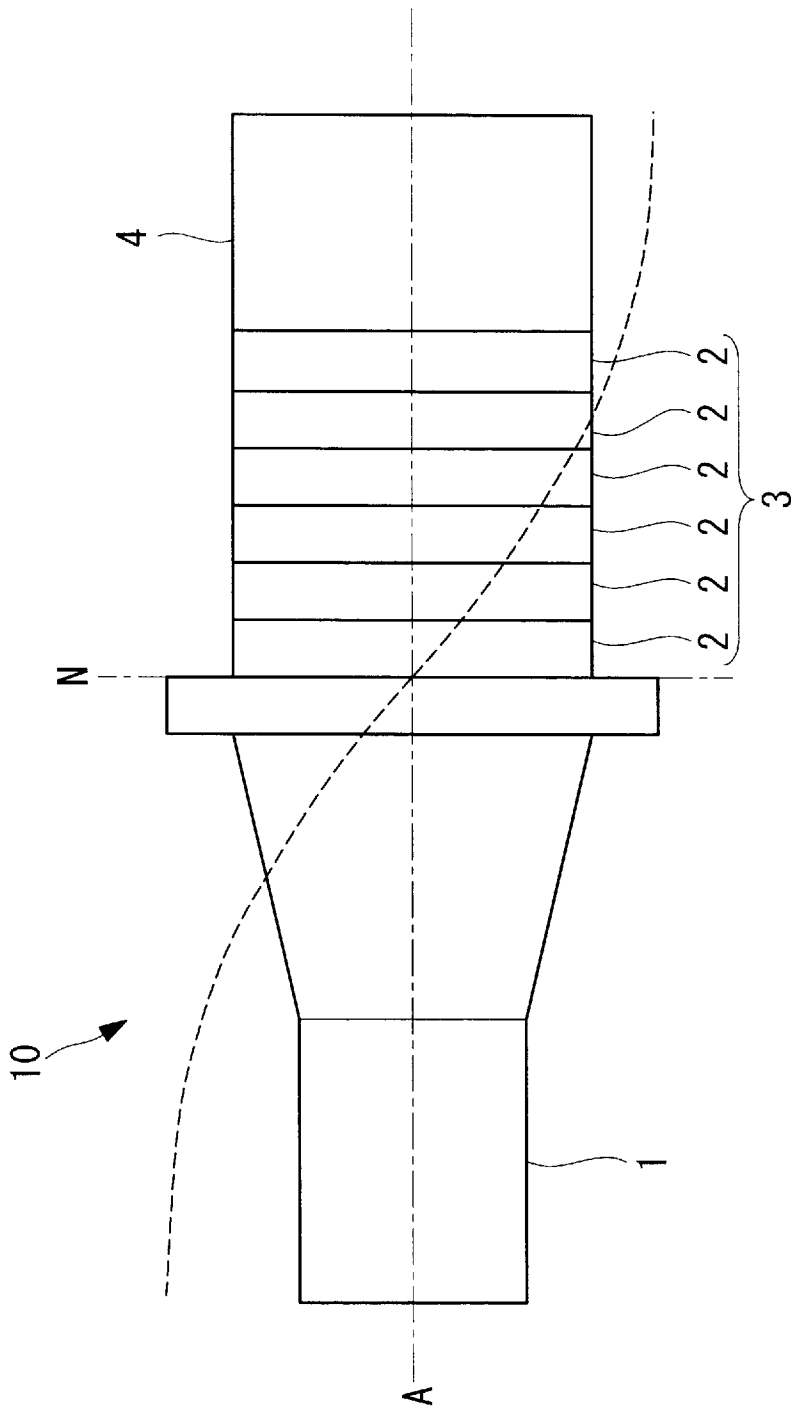
1 波長共振型であり、

前記複数の圧電素子は、最も前記ホーン側に位置する前記圧電素子から前記長手方向の縦振動の節に位置する前記圧電素子に向かって順番に機械的品質係数が大きくなり、かつ、前記縦振動の節に位置する前記圧電素子から最も前記バックマス側に位置する前記圧電素子に向かって順番に機械的品質係数が小さくなるように、配列されている請求項 7 に記載の超音波振動子。

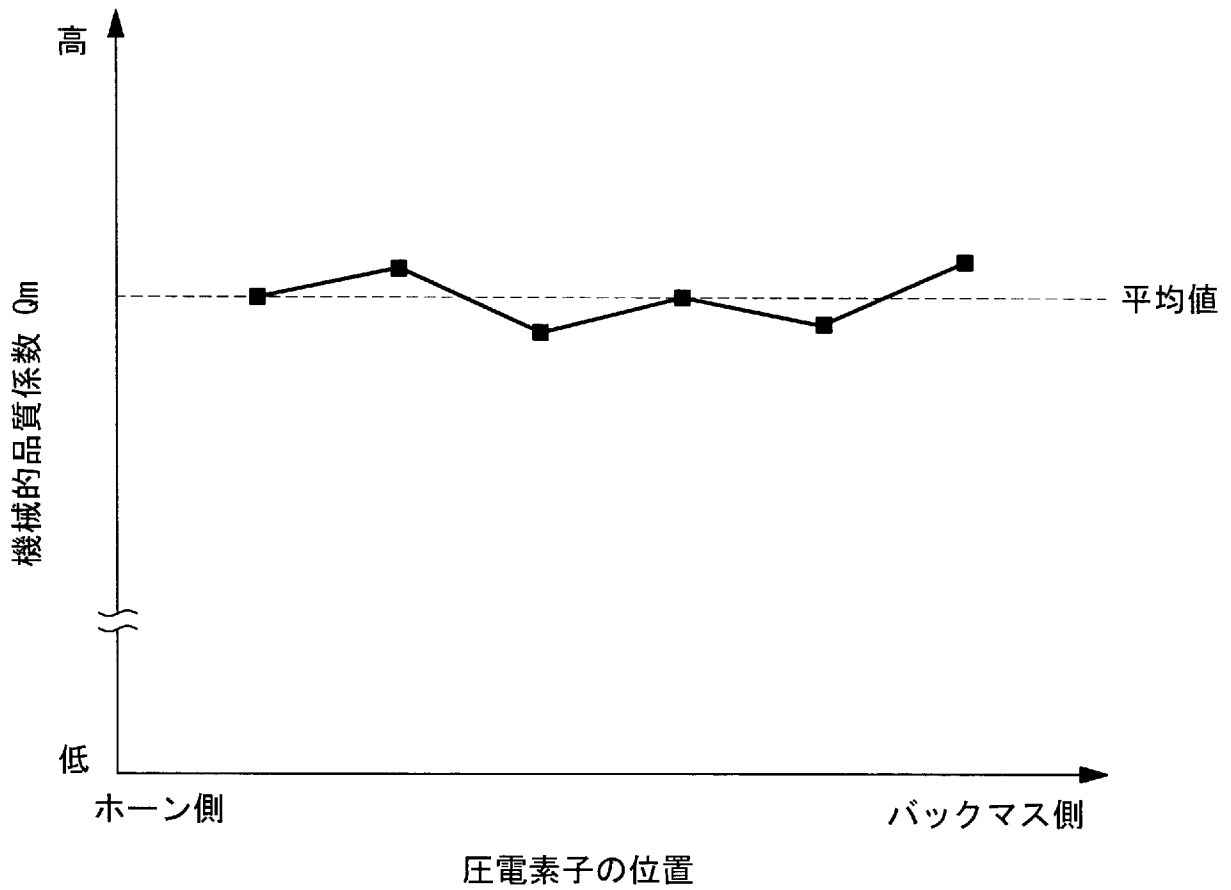
[図1]



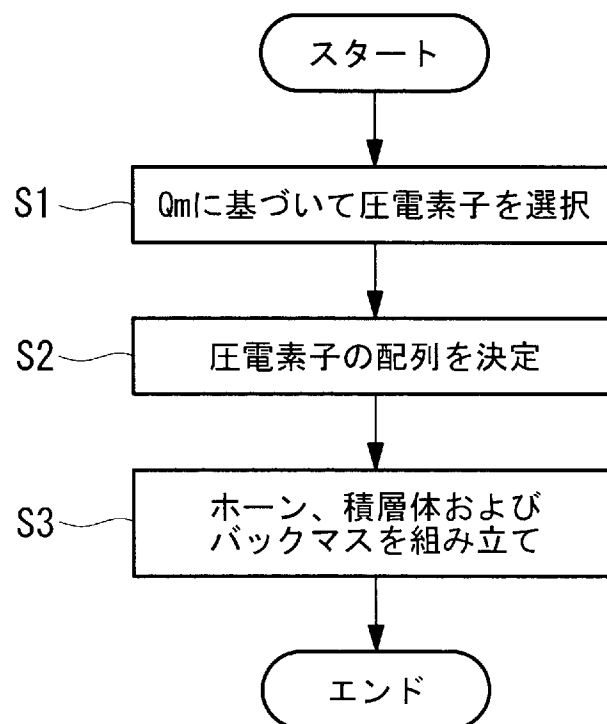
[図2]



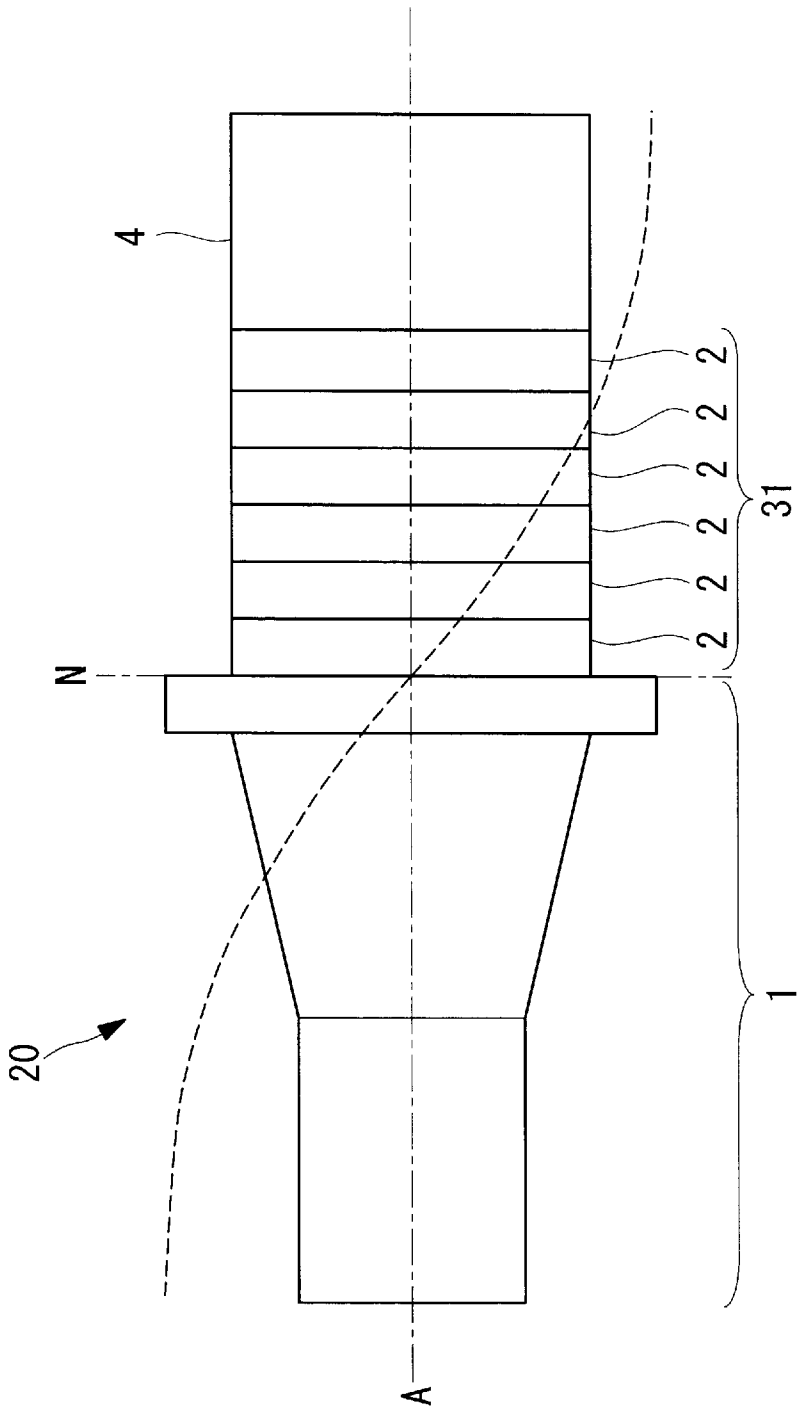
[図3]



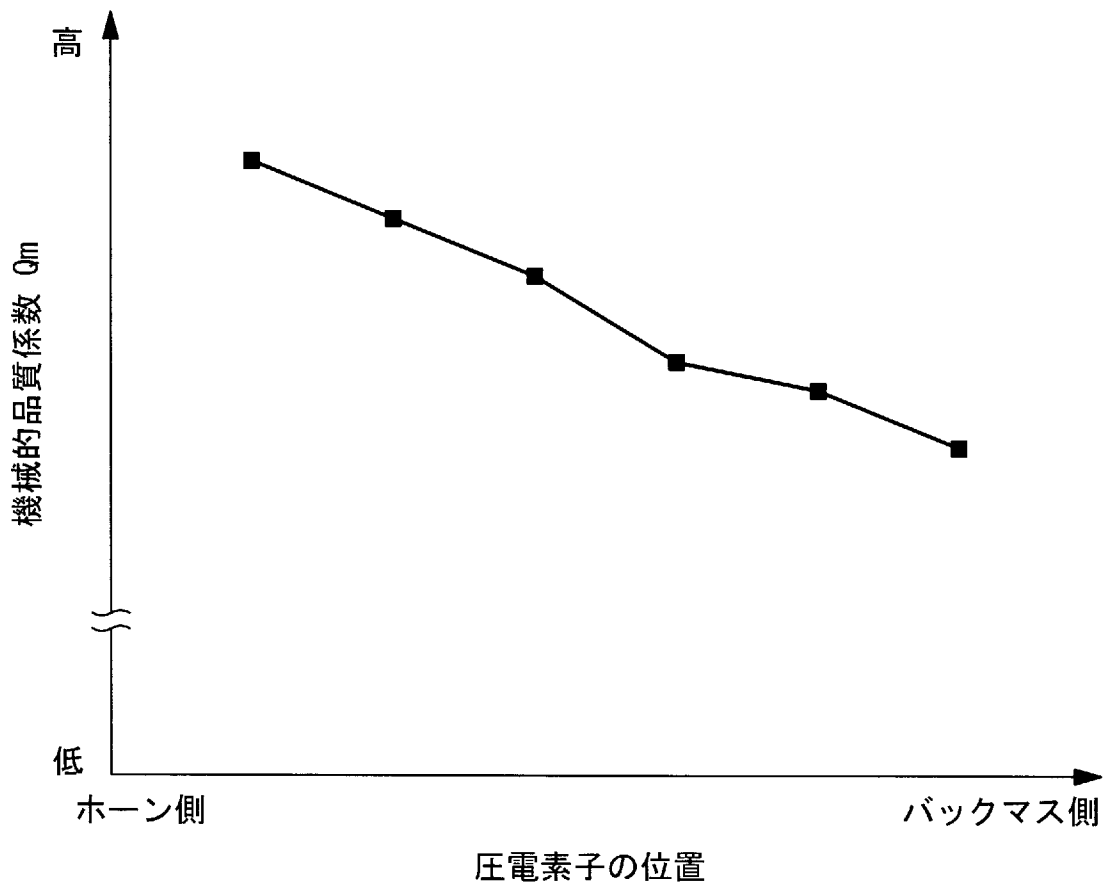
[図4]



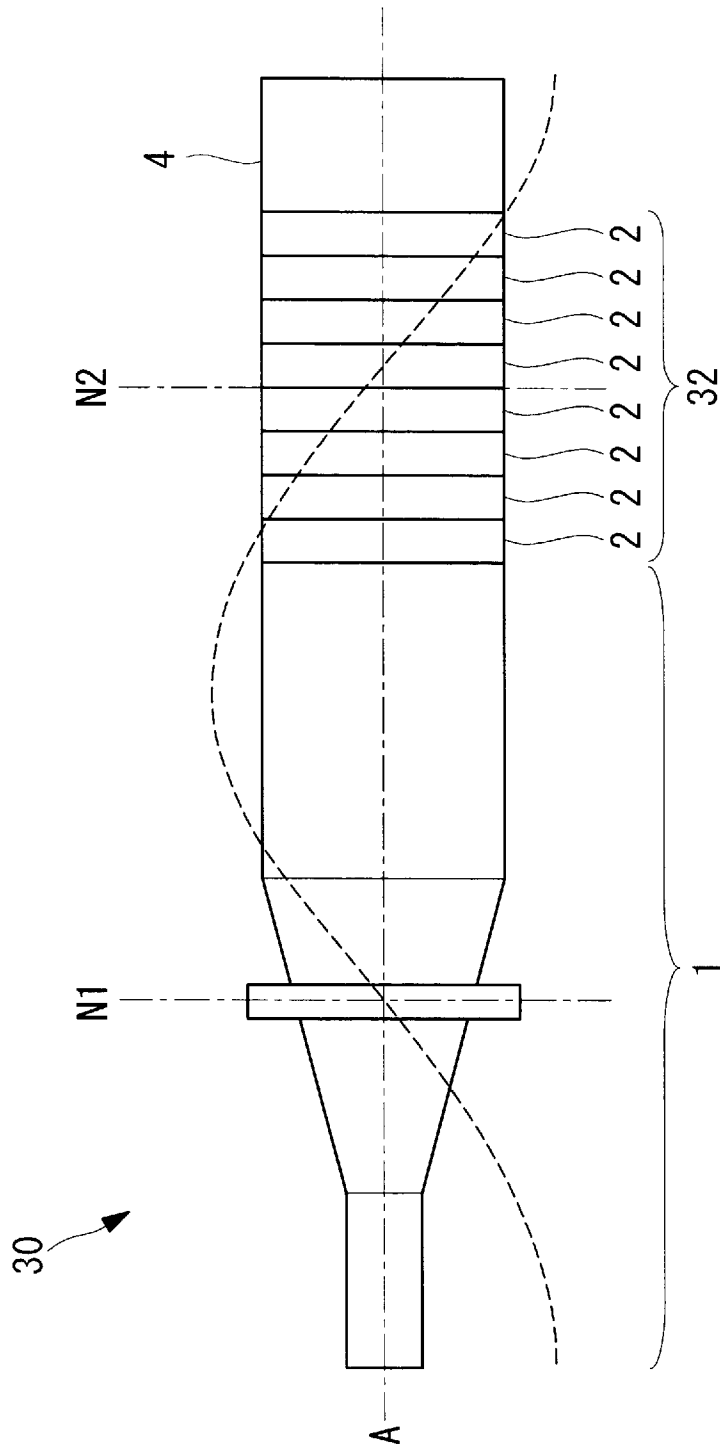
[図5]



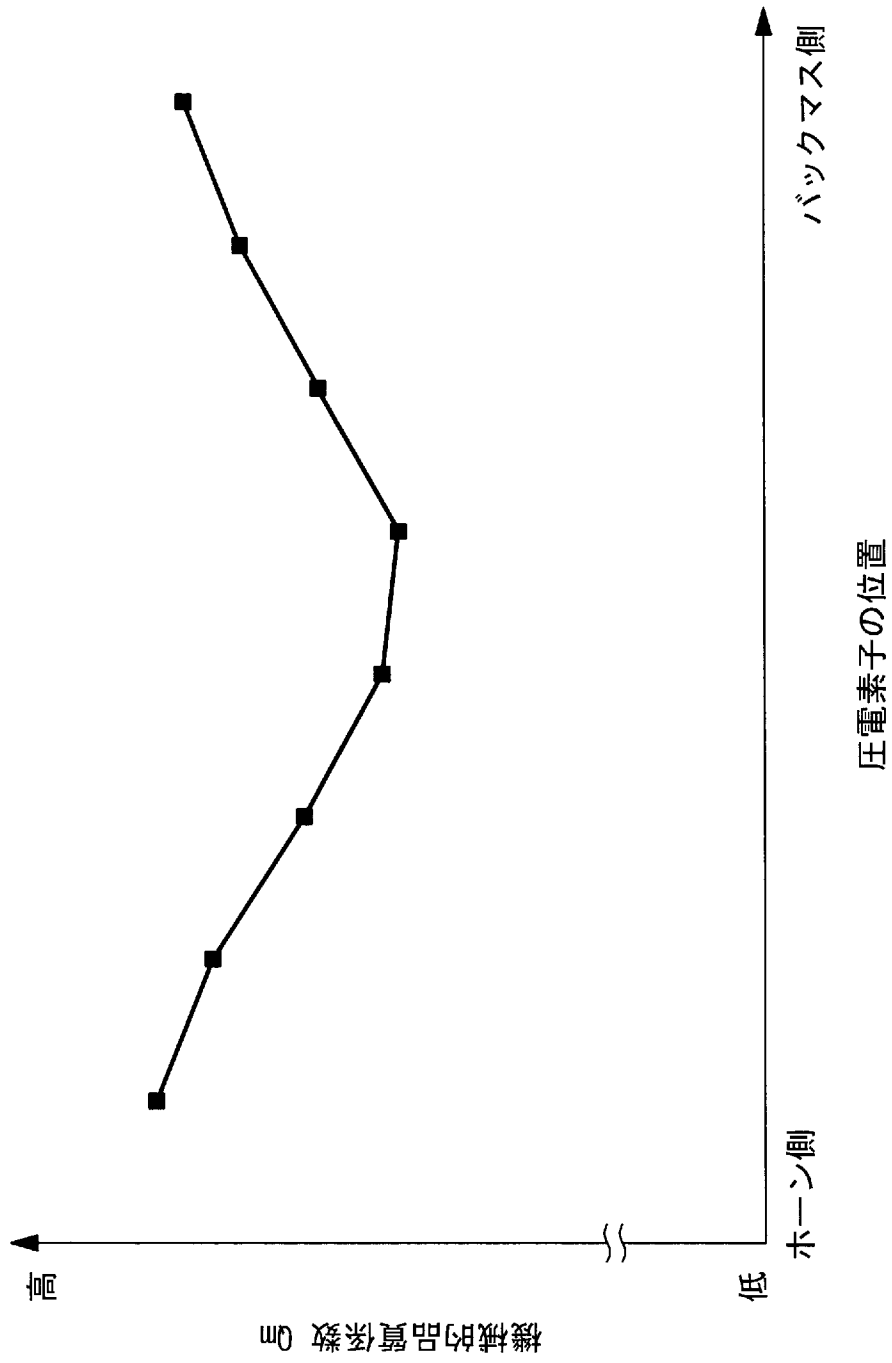
[図6]



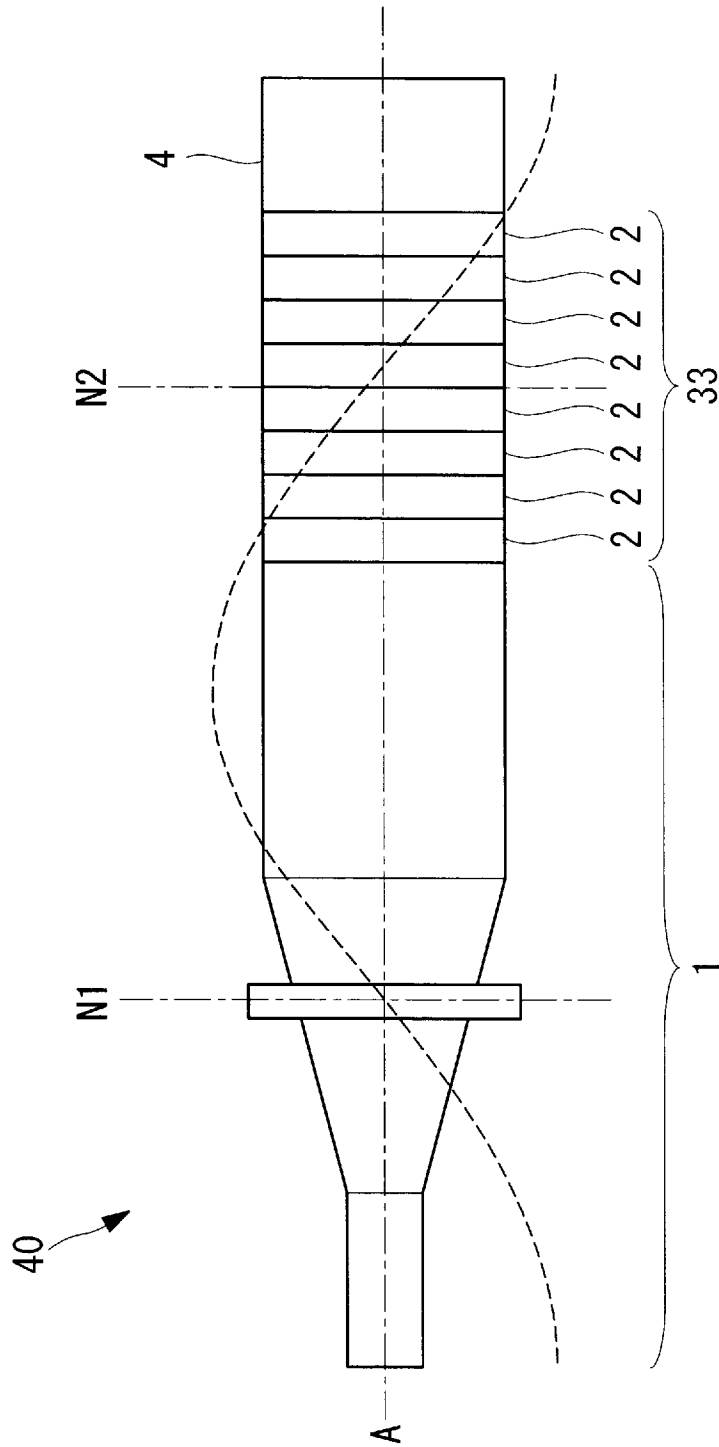
[図7]



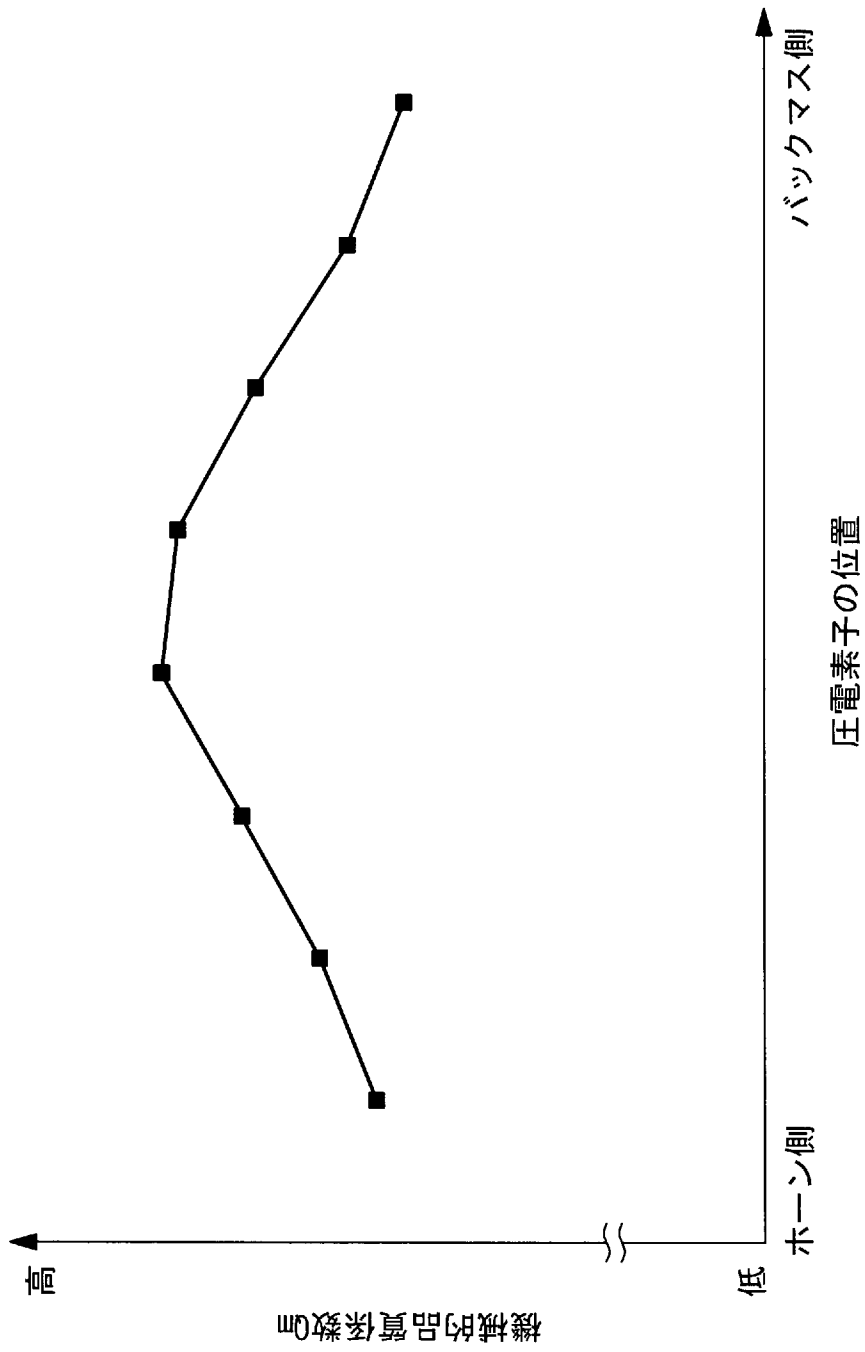
[図8]



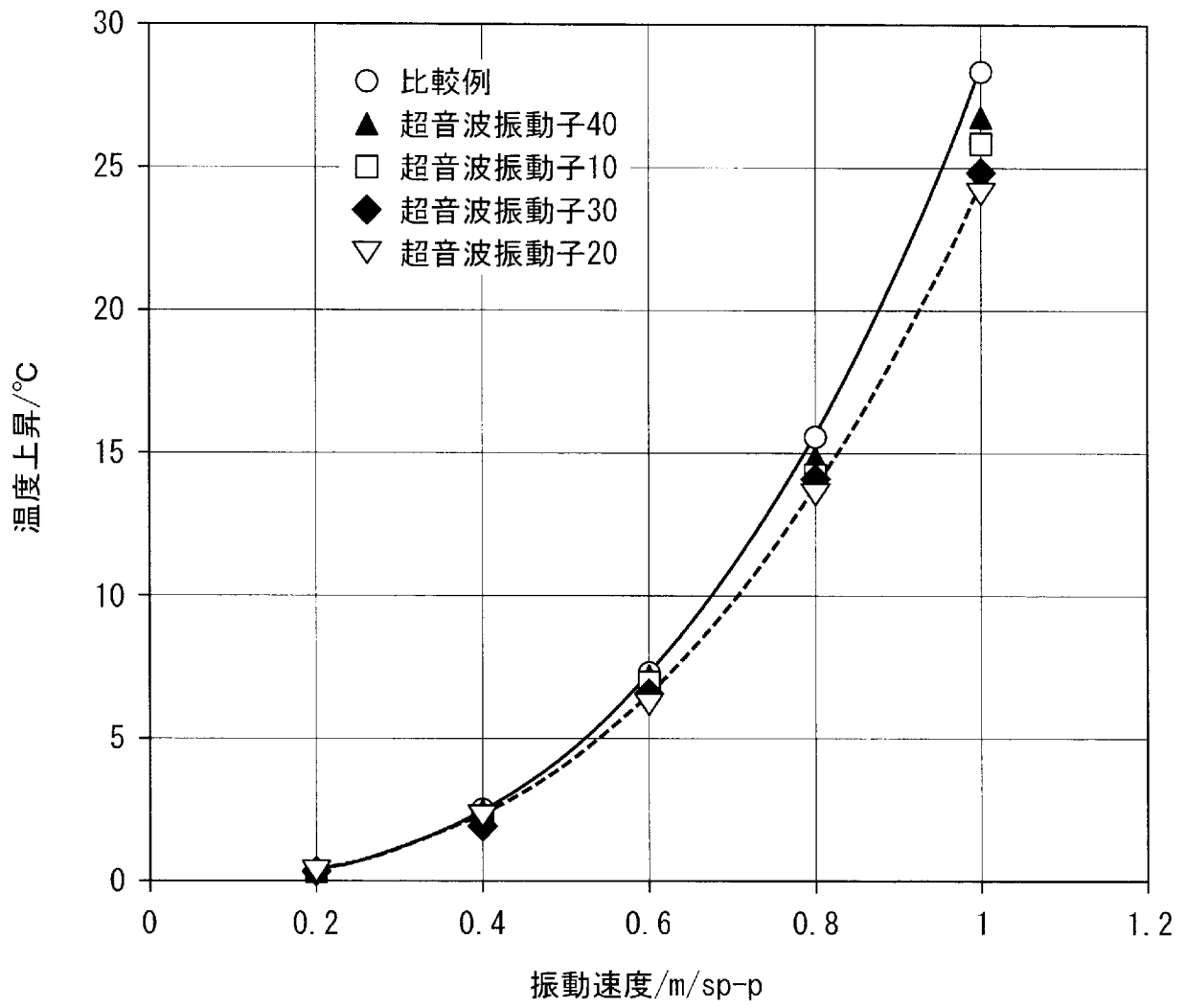
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/062683

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H04R17/10(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)
H04R17/10

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

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

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2003-333695 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 21 November 2003 (21.11.2003), paragraphs [0013] to [0023]; fig. 1, 2 (Family: none)	1, 2, 7, 8 3-6, 9-12
Y	JP 8-213664 A (Nihon Cement Co., Ltd., Canon Inc.), 20 August 1996 (20.08.1996), paragraphs [0025] to [0037]; fig. 1 to 6, 8 & US 5770916 A & EP 725450 A1 & DE 69607666 D1 & DE 69607666 T2 & KR 10-0239285 B1	1, 2, 7, 8
Y	JP 2003-70271 A (Asmo Co., Ltd.), 07 March 2003 (07.03.2003), paragraphs [0015] to [0032]; fig. 1 to 3 (Family: none)	1, 2, 7, 8

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

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

Date of the actual completion of the international search 30 June 2015 (30.06.15)	Date of mailing of the international search report 07 July 2015 (07.07.15)
--	---

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

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H04R17/10(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. H04R17/10		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2015年 日本国実用新案登録公報 1996-2015年 日本国登録実用新案公報 1994-2015年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A Y Y	JP 2003-333695 A (オリンパス光学工業株式会社) 2003. 11. 21, 【0013】 - 【0023】, 第1, 2図 (ファミリーなし) JP 8-213664 A (日本セメント株式会社, キヤノン株式会社) 1996. 08. 20, 【0025】 - 【0037】, 第1-6, 8図 & US 5770916 A & EP 725450 A1 & DE 69607666 D1 & DE 69607666 T2 & KR 10-0239285 B1 JP 2003-70271 A (アスモ株式会社) 2003. 03. 07, 【0015】 - 【0032】, 第1-3図 (ファミリーなし)	1, 2, 7, 8 3-6, 9-12 1, 2, 7, 8 1, 2, 7, 8
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 30.06.2015	国際調査報告の発送日 07.07.2015	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 渡邊 正宏 電話番号 03-3581-1101 内線 3591	5 Z 4 5 4 6