

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7680448号
(P7680448)

(45)発行日 令和7年5月20日(2025.5.20)

(24)登録日 令和7年5月12日(2025.5.12)

(51)国際特許分類 F I
H 0 4 R 17/10 (2006.01) H 0 4 R 17/10 3 3 0 B

請求項の数 15 (全38頁)

(21)出願番号	特願2022-533224(P2022-533224)	(73)特許権者	517454055
(86)(22)出願日	令和3年3月5日(2021.3.5)		ザ コモンウェルス オブ オーストラリア
(65)公表番号	特表2023-516530(P2023-516530 A)		THE COMMONWEALTH OF AUSTRALIA
(43)公表日	令和5年4月20日(2023.4.20)		オーストラリア国 サウスオーストラリア
(86)国際出願番号	PCT/AU2021/050198		ア 5 1 1 1 エディンバラ ウェストアベニュー
(87)国際公開番号	WO2021/174316	(74)代理人	100079108
(87)国際公開日	令和3年9月10日(2021.9.10)		弁理士 稲葉 良幸
審査請求日	令和5年12月6日(2023.12.6)	(74)代理人	100109346
(31)優先権主張番号	2020900680		弁理士 大貫 敏史
(32)優先日	令和2年3月5日(2020.3.5)	(74)代理人	100117189
(33)優先権主張国・地域又は機関	オーストラリア(AU)		弁理士 江口 昭彦
		(74)代理人	100134120
			弁理士 内藤 和彦

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 振動エネルギー投射デバイス及びシステム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

エネルギー変換装置であって、
 ベース、
 前記ベースに結合されているか前記ベースを備える第1の磁石、
 前記第1の磁石に隣接して配置される圧電変換器、
 前記圧電変換器と同軸の磁石配列であって、前記磁石配列は、前記圧電変換器の反対側、または少なくとも部分的に前記圧電変換器の周囲に配置されているか、あるいは前記圧電変換器が前記磁石配列の反対側または少なくとも部分的に周囲に配置されており、前記磁石配列は、前記磁石配列の第1の端部が前記第1の磁石に引き付けられるように分極されている、前記磁石配列、
 前記第1の端部の反対側にある前記磁石配列の第2の端部に引き付けられるように分極された第2の磁石、
 前記第2の磁石に結合されているか前記第2の磁石を備える、振動可能マス、
 前記圧電変換器と外部回路の間で電流を伝導するために前記圧電変換器に電氣的に接続された導電体、を含み、
 前記第1の磁石、前記圧電変換器、前記磁石配列、及び前記第2の磁石は、実質的に同軸であり、
 前記第1の磁石、前記第2の磁石、及び前記磁石配列は、前記圧電変換器を圧縮状態に保つために協働しており、

10

20

前記第 2 の磁石の振動運動は、前記圧電変換器の圧縮と前記導電体の電流の流れに直接関係し、

前記装置は、前記導電体の電流を約 300 Hz から約 100 kHz の周波数範囲の前記振動可能マスの振動に変換し、音響プロジェクトとして機能するように構成される、前記装置。

【請求項 2】

前記磁石配列が前記圧電変換器の周囲に少なくとも部分的に配置されている、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記圧電変換器がリラクサー強誘電性単結晶 (RFS C) を含む、請求項 1 または請求項 2 に記載の装置。 10

【請求項 4】

前記圧電変換器が三元圧電単結晶を含む、或いは、
前記圧電変換器が PMN - PT または PZN - PT 結晶である、或いは、
前記圧電変換器が PIN - PMN - PT 結晶である、或いは、
前記圧電変換器が Mn - PIN - PMN - PT 結晶または Mn - PMN - PZT 結晶である、請求項 3 に記載の装置。

【請求項 5】

前記圧電変換器の圧電結晶は、[011] に分極され、横方向伸長 (3 - 2) モードで動作するように配置され、 20

前記圧電結晶の 2 軸は、前記第 1 の磁石、前記磁石配列、前記第 2 の磁石と前記振動可能マスと実質的に同軸である、請求項 4 に記載の装置。

【請求項 6】

前記第 1 の磁石と前記圧電変換器の第 1 の端部との間に配置された第 1 の薄いシムと、前記第 2 の磁石と前記圧電変換器の反対側の第 2 の端部との間に配置された第 2 の薄いシムとをさらに備える、請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 7】

前記圧電変換器が、前記第 1 の磁石と前記第 2 の磁石との間に配置されたスペーサーを含み、前記スペーサーは、前記磁石配列及び前記圧電変換器よりも著しく圧縮性である、又は、 30

前記スペーサーが、開口であって、前記開口を介して前記圧電変換器を受け入れるための前記開口を画定する、又は、

前記スペーサーは、前記振動可能マスが静止しているときに、約 1 mm から約 3 mm の間の軸方向の厚さを有する、又は、

前記スペーサーは、前記振動可能マスが静止しているときに、約 2 . 4 mm から約 2 . 8 mm の間の軸方向の厚さを有する、
のうちの少なくとも 1 つである、請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 8】

前記磁石配列は、前記圧電変換器が延びる通路を画定し、前記磁石配列と前記圧電変換器は、前記通路で互いに接触しない、又は、 40

前記磁石配列が、互いに対して所定の位置に固定された複数の磁石本体を含む、又は、
前記装置が、前記複数の磁石本体のうちの 2 つの間に配置され、同軸に配置されたアライメントディスクをさらに含み、前記アライメントディスクが、前記圧電変換器を受け取り、軸方向に整列するために、前記アライメントディスクの中心にアライメント開口を画定する、又は、

前記アライメントディスクが磁氣的に不活性な材料で形成されている、又は、
前記磁石配列が実質的に円筒形である、
のうちの少なくとも 1 つである、請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 9】

前記スペーサーが、前記磁石配列と前記第 2 の磁石とを分離するように配置された複数 50

の圧縮性リガメントを含み、

前記圧電変換器の軸方向の長さが、前記スペーサーと前記磁石配列の結合された軸方向の長さを実質的に同じである、請求項 7 に記載の装置。

【請求項 10】

前記磁石配列及び前記第 2 の磁石が、前記圧電変換器に約 50 ニュートンから約 500 ニュートンの実質的に静的な圧縮力を及ぼすように構成される、又は、

前記磁石配列及び前記第 2 の磁石が、前記圧電変換器に約 5 ニュートンから約 50 ニュートンの実質的に静的な圧縮力を及ぼすように構成される、
請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 11】

前記装置は、前記導電体の電流を約 300 Hz から約 50 kHz の周波数範囲の前記振動可能マスの振動に変換し、音響プロジェクトとして機能するように構成される、請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 12】

前記磁石配列が前記圧電変換器と同心に配置されている、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 13】

前記圧電変換器が前記磁石配列を少なくとも部分的に取り囲む、或いは、

前記圧電変換器が複数の積み重ねられた圧電変換器素子を含む、或いは

前記磁石配列が、円筒形磁石であって、

前記第 1 の磁石または前記第 2 の磁石と接触しているが、両方とは接触していないこと、又は

前記円筒形磁石を前記第 1 の磁石または前記第 2 の磁石に結合する薄い結合層と接触していることのうちの 1 つである、前記円筒形磁石を含む、
のうちの少なくとも 1 つである、請求項 12 に記載の装置。

【請求項 14】

前記第 1 の磁石、前記磁石配列、及び前記第 2 の磁石の組み合わせが、前記圧電変換器に約 50 ニュートンから約 500 ニュートンの実質的に静的な圧縮力を及ぼすように構成される、又は、

前記第 1 の磁石、前記磁石配列、及び前記第 2 の磁石の組み合わせが、前記圧電変換器に約 5 ニュートンから約 50 ニュートンの実質的に静的な圧縮力を及ぼすように構成される、
請求項 12 又は 13 に記載の装置。

【請求項 15】

前記第 2 の磁石の外端に配置されたインピーダンス整合層、及び / 又は

前記第 2 の磁石の外端に配置された音響レンズ

をさらに備える、請求項 1 から 14 のいずれか一項に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

実施形態は、一般に、振動エネルギー変換デバイス及びシステム、特に振動エネルギー投射または検出デバイス及びシステムに関する。特に、実施形態は、一般に、磁石及び圧電変換器の新規な配列に関し、その配列は、圧電変換器を圧縮状態に保つように構成される。

【背景技術】

【0002】

材料技術の最近の進歩により、新たな圧電結晶材料が利用可能になった。このような材料の例には、リラクサー強誘電性単結晶 (RFS C) 材料が含まれる。このような材料は、振動エネルギーハーベスティング及び超音波投射デバイスで使用できるが、応力の集中及び / または亀裂の伝播を引き起こす内部の欠陥のために張力下に置かれた場合、このような材料は長持ちしない。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 3 】

以前の振動エネルギー変換デバイスに関連する1つまたは複数の欠点または短所に対処する、またはそれらを改善すること、あるいは少なくともそれに有用な代替手段を施すことが望ましい。

【 0 0 0 4 】

本明細書に含まれている文書、行為、材料、デバイス、物品などのいかなる説明も、これらの内容のすべてまたは一部が、添付の「特許請求の範囲」のそれぞれの優先日前において存在していた先行技術基準の一部を形成する、または本開示に関連する分野における通常の一般的知識であったとの承認とみなされるべきではない。

【 0 0 0 5 】

本明細書を通じて、単語「含む、備える (c o m p r i s e)」、または「含む、備える (c o m p r i s e s)」もしくは「含む、備える (c o m p r i s i n g)」などの変形は、記載した要素、構成要素もしくはステップ、または要素群、構成要素群もしくはステップ群を包含するが、いかなる他の要素、構成要素もしくはステップ、または要素群、構成要素群もしくはステップ群をも排除することを意味するものではないことが理解されよう。

【 発明の概要 】

【 0 0 0 6 】

いくつかの実施形態は、エネルギー変換装置であって、
 ベース、
 ベースに結合されているかベースを備える第1の磁石、
 第1の磁石に隣接して配置される圧電変換器、
 圧電変換器と同軸の磁石配列であって、磁石配列は、圧電変換器の反対側、または少なくとも部分的に圧電変換器の周囲に配置されているか、あるいは圧電変換器が磁石配列の反対側または少なくとも部分的に周囲に配置されており、磁石配列は、磁石配列の第1の端部が第1の磁石に引き付けられるように分極されている、磁石配列、
 第1の端部の反対側にある磁石配列の第2の端部に引き付けられるように分極された第2の磁石、
 第2の磁石に結合されているか第2の磁石を備える、振動可能マス、
 圧電変換器と外部回路の間で電流を伝導するために圧電変換器に電氣的に接続された導電体、を含み、
 第1の磁石、圧電変換器、磁石配列、及び第2の磁石は、実質的に同軸であり、
 第1の磁石、第2の磁石、及び磁石配列は、圧電変換器を圧縮状態に保つために協働しており、
 第2の磁石の振動運動は、圧電変換器の圧縮と導電体の電流の流れに直接関係し、
 装置は、導電体の電流を約300 Hzから約100 kHzの周波数範囲の振動可能マスの振動に変換し、それによって音響プロジェクトとして機能するように構成される、装置に関する。

【 0 0 0 7 】

様々な実施形態において、磁石配列及び第2の磁石が、圧電変換器に約5ニュートン (N) から約50ニュートンの実質的に静的な圧縮力を及ぼすように構成される。いくつかの実施形態では、静的圧縮力は、約90 Nから約400 Nの間である。いくつかの実施形態では、静的圧縮力は、約50 Nから約500 Nの間である。

【 0 0 0 8 】

磁石配列は、圧電変換器の周囲に少なくとも部分的に配置され得る。振動可能マスは、共振マスを含み得る。

【 0 0 0 9 】

圧電変換器は、リラクサー強誘電性単結晶 (R F S C) を含み得る。圧電変換器は、二元または三元圧電単結晶を含み得る。圧電変換器は、PMN - PTまたはPZN - PT結晶である場合がある。圧電変換器は、PIN - PMN - PTまたはPMN - PZT結晶で

10

20

30

40

50

ある場合がある。圧電変換器は、 $Mn - PIN - PMN - PT$ 結晶または $Mn - PMN - PZT$ 結晶であり得る。あるいは、圧電変換器は、圧電セラミック材料（例えば、 PZT ）または圧電ポリマー材料（例えば、 $PVDF -$ ポリフッ化ビニリデンまたはポリフッ化ビニリデン）であり得るか、またはそれらを含み得る。

【0010】

圧電変換器の圧電結晶は、 $[011]$ に分極され、横方向伸長（3-2）モードで動作するように配置され得、圧電結晶の2軸は、第1の磁石、磁石配列、スペーサー、第2の磁石と振動可能マスと実質的に同軸である。

【0011】

第1の磁石、磁石配列、及び第2の磁石は、希土類磁石であり得る。装置は、第2の磁石の外端に配置されたインピーダンス整合層及び/または音響レンズをさらに備え得る。

10

【0012】

装置は、第1の磁石と圧電変換器の第1の端部との間に配置された第1の薄いシムと、第2の磁石と圧電変換器の反対側の第2の端部との間に配置された第2の薄いシムとを含み得る。第1の薄いシム及び第2の薄いシムは、機械加工可能なガラスセラミック材料で形成することができる。

【0013】

圧電変換器は、第1の磁石と第2の磁石との間に配置されたスペーサーを含み得る。スペーサーは、磁石配列や圧電変換器よりも大幅に圧縮性が高い場合がある。スペーサーは、開口であって、開口を介して圧電変換器を受け入れるための開口を画定することができる。スペーサーは、振動可能マスが静止しているとき、約1mmから約3mmの間の軸方向の厚さを有し得る。スペーサーは、振動可能マスが静止しているときに、約2.4mmから約2.8mmの間の軸方向の厚さを有し得る。

20

【0014】

磁石配列は、圧電変換器が延びる通路を画定することができ、磁石配列と圧電変換器は、通路内で互いに接触せずともよい。磁石配列は、複数の軸に対して対称であり得る。磁石配列は、単一の磁石本体を含み得る。磁石配列は、互いに対して所定の位置に固定された複数の磁石本体を含み得る。軸方向スペーサーは、複数の磁石本体のうちの2つの間に配置することができる。装置は、複数の磁石本体のうちの2つの間に配置され、同軸に配置されたアライメントディスクをさらに含み、アライメントディスクが、圧電変換器を受け取り、軸方向に整列するために、アライメントディスクの中心にアライメント開口を画定することができる。アライメントディスクは、磁氣的に不活性な材料で形成することができる。磁石配列は、実質的に円筒形であり得る。

30

【0015】

スペーサーは、磁石配列と第2の磁石とを分離するように配置された複数の圧縮性リガメントを含み得、圧電変換器の軸方向の長さは、スペーサーと磁石配列の結合された軸方向の長さを実質的に同じである。

【0016】

代替の実施形態では、装置は、振動可能マスの振動エネルギーを導電体の電流に変換し、それによってエネルギーハーベスティング装置として機能するように構成され得る。

40

【0017】

いくつかの実施形態は、航空機または船舶の取り付け本体などの構成要素から振動エネルギーを投射するように、航空機または船舶に設置及び/または取り付けられた装置を含む航空機または船舶に関する。いくつかの実施形態は、船舶の使用中に船舶からの振動エネルギーを投射するために船舶に取り付けられた装置を含む船舶に関する。

【0018】

磁石配列は圧電変換器と同心に配置され得る。

【0019】

圧電変換器は、磁石配列を少なくとも部分的に取り囲むことができる。圧電変換器は、複数の積み重ねられた圧電変換器素子を含み得る。磁石配列は、円筒形磁石であって、

50

第1の磁石または第2の磁石と接触しているが、両方とは接触していないこと、及び円筒形磁石を第1の磁石または第2の磁石に結合する薄い結合層と接触していることのうちの一つである円筒形磁石を含み得る。

【0020】

第1の磁石、磁石配列、及び第2の磁石の組み合わせが、圧電変換器に約50ニュートンから約500ニュートンの実質的に静的な圧縮力を及ぼすように構成され得る。いくつかの実施形態では、静的圧縮力は、約5Nから約50Nの間である。

【0021】

静的圧縮力と圧電変換器の運動は、同じ軸方向に整列させることができる。

【0022】

この装置は、第2の磁石の振動エネルギーを導電体の電流に変換し、それによってエネルギーハーベスティング装置として機能するように構成することができる。

【0023】

装置は、導電体の電流を約300Hzから約100kHzの周波数範囲の第2の磁石の振動に変換し、それによって音響プロジェクトとして機能するように構成され得る。

【0024】

いくつかの実施形態は、エネルギー変換デバイスであって、

圧電変換器、

圧電変換器に電氣的に結合された導電体、

圧電変換器に静的圧縮力を加えるように配置された軸方向に整列した磁石アセンブリであって、一端がベースに結合され、反対側の自由端を有する、磁石アセンブリ、を含み、磁石アセンブリは圧電変換器と同軸であり、磁石アセンブリの少なくとも一部は圧電変換器と同心であり、

磁石アセンブリは、磁石アセンブリの軸方向に隣接する部分の間のギャップを画定し、ギャップは、磁石アセンブリが圧電変換器に高い静的圧縮力を加えるのに十分に小さいが、ギャップを閉じずに圧電変換器の軸方向の動きを可能にするのに十分大きくなるように寸法決定される。

【0025】

いくつかの実施形態では、静的圧縮力は、約5ニュートンから約50ニュートンの間である。代替の実施形態では、静的圧縮力は、約50Nから約500Nの間、任意選択で約90Nから約400Nの間である。

【0026】

ギャップは、磁石アセンブリの軸方向に隣接する部分の間に約0.2mmから約1.0mmの間の軸方向の分離を画定し得る。

【0027】

いくつかの実施形態は、振動エネルギーを1つまたは複数の取り付け本体から投射するために1つまたは複数の取り付け本体に取り付けられた、本明細書に記載の装置、またはデバイスの複数のものを含む音響投射システムに関する。

【0028】

いくつかの実施形態は、装置またはデバイスのそれぞれのものが音響投射に使用されていないときに、1つまたは複数の取り付け本体に取り付けられ、振動エネルギーを検出するように構成された、本明細書に記載の装置、またはデバイスの複数のものを含む、音響検出システムに関する。

【0029】

音響投射または検出システムの様々な実施形態では、装置またはデバイスのものは、1つまたは複数の取り付け本体上の間隔を置いた位置に配置することができる。

【0030】

音響投射または検出システムの様々な実施形態では、装置またはデバイスの複数のものが、1つまたは取り付け本体上のアレイまたはバンクに配置される。

【0031】

10

20

30

40

50

音響投射または検出システムの様々な実施形態では、装置またはデバイスの複数のものが同じ方向を向くように配置されている。

【0032】

音響投射または検出システムの様々な実施形態では、装置またはデバイスの複数のものが異なる方向を向くように配置されている。

【0033】

下のさらなる詳細において、例として、実施形態を添付の図面を参照して説明する。

【図面の簡単な説明】

【0034】

【図1】いくつかの実施形態によるエネルギーハーベスティングデバイスの概略的な分解斜視図である。 10

【図2】振動エネルギーハーベスティングデバイスを使用できる環境を説明するための概略的なブロック図である。

【図3】振動エネルギーハーベスティングデバイスがいくつかの用途のために電気エネルギーを生成するのに有効である可能性がある周波数の例示的なプロットである。

【図4】いくつかの実施形態による振動エネルギーハーベスティングデバイスで使用することができる圧電変換器の概略図である。

【図5】いくつかの実施形態による振動エネルギーハーベスティングデバイスで使用されるスペーサーの斜視図である。

【図6】いくつかの実施形態による振動エネルギーハーベスティングデバイスの側面図であり、磁石配列が一例の構成を有するように示されている。 20

【図7】振動エネルギーハーベスティングデバイスのための代替の磁石配列を示している。

【図8】いくつかの実施形態による振動エネルギーハーベスティングデバイスの側面の見え方を概略的に表現したものである。

【図9A】いくつかの実施形態による、圧電変換器の周りの磁石配列を示す、振動エネルギーハーベスティングデバイスの内側から得た上面図である。

【図9B】他の実施形態による振動エネルギーハーベスティングデバイスの上面図であり、圧電変換器の周りの代替の磁石配列を示している。

【図10】3つの異なるギャップの構成についての磁石配列の直径及び長さに対する磁石配列の磁気パーミアンスを示すための3Dプロットである。 30

【図11】磁石配列の特定の温度での消磁界と磁束密度のプロットである。

【図12】様々な磁石の外径がプロットされた、スペーサーによる磁力と分離ギャップのプロットである。

【図13】磁力と磁石の外径の例示的なプロットである。

【図14】いくつかの実施形態による、電気音響変換器デバイスの概略図である。

【図15】いくつかの実施形態による、電気音響変換器デバイスの概略図である。

【図16】いくつかの実施形態による、電気音響変換器デバイスの概略図である。

【図17】例示的な電気音響変換器デバイスからの測定されたインピーダンス対周波数の例示的なプロットである。

【図18】正弦波トーンバーストの概略図である。 40

【図19】通常の空気結合超音波の貫通伝達を示す概略図である。

【図20】透過媒体の同じ側にある送信機及び受信機からの空気結合超音波伝達を示す概略図である。

【図21】いくつかの実施形態による、電気音響変換デバイスを担持する例示的なクラフトの概略図である。

【図22】選択した軸方向のギャップ間隔に対するヘッド磁石の長さとの例示的なプロットである。

【発明を実施するための形態】

【0035】

実施形態は、概して、高周波振動エネルギー変換デバイス及びシステムに関する。実施 50

形態は、デバイスの一部として振動可能マスを含む。特に、実施形態は、一般に、圧電変換器を圧縮状態に保つことを目的とした磁石及び圧電変換器の新規な構成に関する。例えば、いくつかの実施形態は、約5ニュートン(N)から約50ニュートンまたは約500ニュートンから約5000ニュートンの範囲で、圧電変換器に静的圧縮力を加えることができる。

【0036】

いくつかの振動エネルギー変換の実施形態は、振動エネルギーを電気エネルギーに変換することによって、振動エネルギーの収集のために最適化されるが、他の実施形態は、電気エネルギーを(運動)振動エネルギーに変換することによって、圧力波の生成のために最適化される。電気エネルギーを(運動)振動エネルギーに変換することによって、圧力波の生成のために最適化された実施形態は、電気音響変換(または「音響投射」)デバイスとして説明することができる。同じエネルギー変換の原理とデバイスの設計の考慮事項の多くは、両方の形式の変換に適用される。

10

【0037】

振動エネルギーのハーベスティングに最適化されているが、圧力波の生成にも適切または変更可能な振動エネルギー変換デバイス及び技術の実施形態を、図1から図13を参照して最初に説明する。図1及び図6は、いくつかの実施形態による振動エネルギーハーベスティングデバイス100として最適化された振動エネルギー変換器の構成要素の配置を詳細に示している。図8は、デバイス100と同じ構成要素及び構成を有するが、代替の磁石配列を備えた振動エネルギーハーベスティングデバイス800の概略的な断面図である。振動エネルギーハーベスティングデバイス100、800の実施形態は、一般に、同軸構成要素の軸方向のスタックとして配置される。これは、エネルギーハーベスティングデバイス100、800の軸に直交する軸にのみ沿った振動が、エネルギーハーベスティングデバイス100、800を無視できるか、またはまったく励起しないことを意味する。

20

【0038】

振動エネルギーハーベスティングデバイス100は、マウント215を介して振動式ホスト構造210に固定、結合、または他の方法で接続されたベース110を含む(図2を参照)。本明細書で使用される場合、近位という用語は、ベース110に向かう方向を示し、遠位という用語は、ベース110から離れる方向を示す。振動式ホスト構造210は、例えば、プラント、機器、車両、またはクラフト200の一部を形成することができる。クラフト200は、ヘリコプターなどの航空機を含むことができ、振動式ホスト構造210は、例えば、ギアボックスを含むことができる。いくつかの実施形態で、ベース110は省かれ得る。

30

【0039】

いくつかの振動エネルギーハーベスティングの用途は、振動エネルギーハーベスティングデバイスの共振周波数を、ホスト構造210の共振周波数に一致させることが有益である。他の用途では、振動エネルギーハーベスティングデバイスの共振周波数がホスト構造210の共振周波数と一致しないことが好ましい場合がある。

【0040】

振動エネルギーハーベスティングデバイス100は、第1の磁石112、第2の磁石150、及び第1の磁石112と第2の磁石150との間に磁石配列130をさらに含む。また、第1及び第2の磁石112、150の間に、第1及び第2のシム115a、115b、スペーサー140、薄い接着剤層114、116、117、及び任意選択でアライメントディスク135が挿入される。また、第1の磁石112と第2の磁石150との間に配置され、磁石配列130によって少なくとも部分的に囲まれているのは、圧電変換器120である。振動エネルギーハーベスティングデバイス100のこれらの構成要素は、ハウジング170の内部に収容されている。振動エネルギーハーベスティングデバイス100の構成要素は、一般に、単一の中心軸165に沿って整列される。軸165はまた、本明細書に記載されるように、近位-遠位方向に対応する。磁石配列130は、圧電変換器120が延びる通路を画定し、磁石配列130と圧電変換器120は、通路で互いに接触

40

50

しない。

【0041】

本明細書で使用される場合、磁石配列という用語は、記載された機能を達成するために協働する1つの磁石または磁石の組み合わせを含む配列を説明することを意図している。本明細書で説明される磁石アセンブリは、物理的及び/または磁氣的に一緒に結合された複数の磁石の組み合わせを説明することを意図している。磁石配列は、磁石アセンブリを含み得、磁石アセンブリは、磁石配列を含み得る。しかしながら、本明細書に記載される特定の実施形態は、磁石配列を含む磁石アセンブリを企図している。例えば、振動エネルギーハーベスティングデバイス100、800は、磁気ヘッド及びテールマスと、ヘッドとテールマスとの間の磁石配列とを備える磁石アセンブリを含む。

10

【0042】

第1及び第2の磁石112、150は、好ましくは希土類磁石であり、磁性材料に対して強い引力を有する。第1の磁石112は、第1の磁石112の近位側でベース110に磁氣的及び/または機械的に結合されている。第1のシム115aは、第1の磁石112の遠位側に配置され、接着剤層114によってそれに接着される。接着剤層114、116、及び117は、例えば、CB359などの適切なエポキシ接着剤を含み得る。第1及び第2のシム115a、115bは、例えば、機械加工可能なガラスセラミックシムであり得る。このようなシムの例示的な材料は、Corning, Inc.によって販売されているMacorブランドで市販されている機械加工可能なガラスセラミック材料である。このようなシムは、わずかな量の表面の変形を可能にすることができるため、適している場合がある。それによって、大半の希土類磁石よりもわずかに柔らかい表面を設けることができ、圧電変換器(結晶として形成される場合)に形成される破損の可能性が低減する。それは、例えば、本明細書に記載の磁石アセンブリによって圧電変換器に加えられる比較的高い静的圧縮力に起因する。しかしながら、いくつかの実施形態では、シム115a、115bの代わりに、他の同様に变形可能な材料を使用することができる。そのような類似の材料は、例えば、第1の磁石112の遠位側または第2の磁石150の近位側に配置された、コーティング、層、材料組成勾配を有する層、または薄いシートとして設けられ得る。そのような類似の材料は、例えば、圧電変換器120に接触することが意図されている表面でより高いガラス濃度を有する磁石-ガラス複合材料を含み得る。

20

【0043】

磁石配列130は、第1のシム115aの遠位側に配置され、接着剤層116によってそれに接着される。したがって、磁石配列130の近位端は、第1のシム115aの遠位面に結合されている。磁石配列130は、一般に、圧電変換器120をその中に受け入れるための内部ボアまたは中空を画定する環状断面を備えた円筒形である。図1及び図6に示される磁石配列130は、複数の軸方向に積み重ねられた同心の磁気環状部131で構成される。環状部131のそれぞれは、接着剤層116によって、隣接する遠位及び近位の軸方向構造に接着され得る。磁気環状部131のそれぞれは、好ましくは希土類磁石である。

30

【0044】

磁石配列130の目的は、圧電変換器120の両端に圧縮力が加えられるようにするために、軸方向に隣接する構成要素に強い磁気の引力を加えながら、圧電変換器120を取り囲むか、または少なくとも部分的に取り囲むことである。この強力な磁気引力は、隣接する磁石間の間隔が小さいことと、希土類磁石で使用されているような磁石の材料の選択によるものである。磁石配列130の構成要素及び/または第1及び第2の磁石112、150の間の強い磁気の引力のために、圧電変換器120は圧縮下に保たれる。圧電変換器120の好ましい形態である圧電セラミックまたは圧電結晶などのいくつかの圧電材料の場合、そのような材料に張力をかけることを可能にすると、材料の構造的な破壊が急速に生じる可能性がある。

40

【0045】

磁石配列130を構成する磁石の軸方向スタック内にあるスペーサー140の存在、及

50

び軸 1 6 5 に沿って整列された第 1 及び第 2 の磁石 1 1 2、1 5 0 は、ベース 1 1 0 または少なくとも第 1 の磁石 1 1 2 に対する先端マス 1 6 0 のいくつかの相対的な軸方向の動きを可能にする小さな軸方向のギャップ（比較的圧縮可能なスペーサーによって占められる）があることを確実にする。この相対的な軸方向の動きは、第 1 及び第 2 の磁石 1 1 2、1 5 0 及び磁石配列 1 3 0 のばね定数よりも少なくとも 1 桁または 2 桁小さく、圧電変換器 1 2 0 のばね定数よりも少なくとも 1 桁または 2 桁低い大きさの有効なばね定数を有するスペーサー 1 4 0 によって可能になる。これは、ホスト構造 2 1 0（ベース 1 1 0 が結合されている）が振動するとき、スペーサー 1 4 0 が小さな軸方向の圧縮及び伸長を経験することを可能にする。振動エネルギーハーベスティングデバイス 1 0 0 をホスト構造 2 1 0 に結合するマウント 2 1 5 は、振動の伝達の要因に含む独自のばね定数を有することができるが、一般に、マウント 2 1 5 のばね定数は、スペーサー 1 4 0 のばね定数よりも 1 桁または 2 桁高いことが意図される。先端マス 1 6 0 の慣性のために、ベース 1 1 0 を介して伝達される振動は、スペーサー 1 4 0 の繰り返しの圧縮及び圧電変換器 1 2 0 の同時の繰り返しの圧縮をもたらす傾向がある。

10

【 0 0 4 6 】

スペーサー 1 4 0 は、圧電変換器 1 2 0 が通過するのを可能にするサイズの中央開口 1 4 2 を画定する板状のベース 1 4 1 を有する。中央開口 1 4 2 は、例えば、4 mm × 4 mm よりわずかに大きくてもよい。スペーサーベース 1 4 1 は、そこから上向きに突出する一連の放射状に配向されたリガメント 1 4 4 を有する。リガメント 1 4 4 のそれぞれは同じ高さを有するので、スペーサー 1 4 0 は、振動中にその近位側からその遠位側まで等距離を保つことができる。スペーサー 1 4 0 は、圧電変換器 1 2 0 のばね定数の 1 / 1 0 以下の桁のばね定数を有する、適切なプラスチック材料などの材料で形成されている。スペーサー 1 4 0 によって維持されるギャップは、例えば、共振先端マス 1 6 0 が静止しているとき、約 2 . 6 mm のオーダーであり得る。説明された配置は、振動中に圧電変換器 1 2 0 の約 1 0 ミクロンの軸方向の運動及び圧縮を可能にする。

20

【 0 0 4 7 】

スペーサー 1 4 0 の存在によって維持されるギャップは、例えば、磁気引力による圧縮力が約 5 0 ニュートンから約 5 0 0 ニュートン（N）の間になるように選択される。スペーサー 1 4 0 は、共振先端マス 1 6 0 が静止しているとき、約 1 mm から約 3 mm の間の軸方向の厚さを有することができる。いくつかの実施形態では、スペーサーは、共振先端マス 1 6 0 が静止しているとき、約 2 . 4 mm から約 2 . 8 mm の間の軸方向の厚さを有し得る。

30

【 0 0 4 8 】

いくつかの実施形態では、スペーサー 1 4 0 は、磁石配列 1 3 0 の 2 つの環状部 1 3 1 の間に軸方向に配置される。他の実施形態では、スペーサー 1 4 0 は、磁石配列 1 3 0 の遠位側に配置され得、その結果、スペーサー 1 4 0 は、その近位側の磁石配列 1 3 0 とその遠位側の第 2 の磁石 1 5 0（及び第 2 のシム 1 1 5 b）との間に軸方向に配置される。第 2 の磁石 1 5 0 は、第 2 の磁石 1 5 0 の遠位側にある共振先端マス 1 6 0 に磁氣的または機械的に結合されている。

【 0 0 4 9 】

共振先端マス 1 6 0 は、先端マス 1 6 0 の近位側にある第 2 の磁石 1 5 0、または場合によっては介在構造にのみ結合される。共振先端マス 1 6 0 の遠位端は、定位置に固定されておらず、軸方向に自由に動くことができる。振動エネルギーハーベスティングデバイス 1 0 0 がハウジング内に配置されるいくつかの実施形態では、そのハウジングは、共振先端マス 1 6 0 がハウジングの壁に接触する前に横方向及び/または軸方向の動きの、例えば 2 ~ 5 mm のオーダーのある程度の自由な動きを可能にする。共振先端マス 1 6 0 は、例えば、主に炭化タンゲステンで形成され得る。

40

【 0 0 5 0 】

第 1 及び第 2 のシム 1 1 5 a、1 1 5 b は、圧電変換器 1 2 0（結晶として形成された場合）が振動エネルギーハーベスティングデバイス 1 0 0、8 0 0 の製造または使用中に

50

軸方向に完璧に近いほどには整列されないことを可能にするほど柔らかいものであるように、比較的低いヤング率を有するように選択される。シム 115 a、115 b は、例えば、1 mm 未満の厚さを有し得る。さもなければ、圧電変換器 120 の結晶構造は、圧縮下の振動中に破壊及び/または過度に摩耗する傾向がある可能性がある。そのような理由のために、同様に低いヤング率を有するシムは、電気音響変換デバイスなど、本明細書で説明される他のエネルギー変換器デバイスの実施形態でも使用され、その例には、音響プロジェクト 1400、1500、1600 が含まれる。

【0051】

いくつかの実施形態では、薄いアライメントディスク 135 が、磁石配列 130 の環状部 131 の軸方向スタックの中央に存在し得る。アライメントディスク 135 は、圧電変換器 120 の外周よりもわずかに大きいサイズの中央開口 136 を画定する。アライメントディスク 135 は、圧電変換器 120 が磁石配列 130 と軸方向に整列されて配置されるのを補助する役割を果たす。スペーサー 140 の開口 142 はまた、アライメントディスク 135 と同様の整列機能を果たす。スペーサー 140 及びアライメントディスク 135 の両方は、例えば、適切なポリカーボネート材料で形成され得る。

10

【0052】

図 3 は、最大 3 kHz の周波数に対するパワースペクトル密度 (PSD) の例示のプロットである。図 3 は、30 ~ 3000 Hz の範囲の広帯域振動によって駆動されるベース 110 で、共振マス 160 の上部で行われた加速度測定のパワースペクトル密度を示している。2000 ~ 2500 Hz の領域に示されているピークは共振領域であり、応答が比較的広帯域であり、この場合は約 500 Hz の帯域を超えていることを示している。

20

【0053】

図 4 は、圧電結晶の形態の例示的な圧電変換器 120 の図である。圧電変換器 120 は、例えば、チタン酸ジルコン酸鉛 (PZT) のような圧電セラミック、または PVDf (ポリフッ化ビニリデン) のような圧電ポリマー材料などの他の適切な材料で形成することができる。特定の圧電結晶は、他の圧電結晶よりも変換デバイスとしてより効果的である可能性がある。例えば、機械的に柔らかい軸で異方性である圧電結晶は、振動エネルギーハーベスティングデバイス 100、800 がより低い周波数で共振することを可能にするために好ましい場合がある。圧電変換器 120 の好ましい材料には、単結晶強誘電体材料が含まれる。強誘電性単結晶は、機械的エネルギーを電氣的エネルギーに、またはその逆に変換する。これにより、エネルギーハーベスティングデバイスの活性物質としての候補になる。環境から機械が利用できる場合に直接圧電効果を利用することにより、機械をリラクサー強誘電性単結晶材料の電荷分極に変換することができ、有用な量のエネルギーを得ることができる。

30

【0054】

エネルギーハーベスティング用の現在有望なクラスの方法は、リラクサー強誘電性単結晶 (RFSC) である。これらの材料は、強誘電体材料の単結晶である (例えば、ニオブ酸亜鉛 - チタン酸鉛、PZN - PT として知られている)。これらの材料は、結晶が応力にさらされたときに、より高い効率で比較的高い出力電圧を供給することが示されている。いくつかの強誘電性結晶材料組成物、例えば、三元ニオブ酸インジウム - ニオブ酸鉛マグネシウム - チタン酸鉛 (PIN - PMN - PT) の特定の組成物では、結晶材料は、外部の供給源からの臨界量の応力にさらされるとときに、相変態を経る。

40

【0055】

リラクサー単結晶は、線形圧電効果と非線形電気機械的に結合した相転移の両方を示す。リラクサー単結晶の線形圧電効果は、セラミックチタン酸ジルコン酸鉛 (PZT) の約 6 倍であることが観察されている。可逆的な応力及び温度が誘導する相変態は、リラクサー単結晶での自発的な電荷の生成に関連している。これらの相変態は、機械的エネルギーハーベスティングのサイクルあたりのエネルギー密度を 1 桁以上増加させることができる。この相変態挙動を利用することで、応力に偏った (stress-biased) エネルギーハーベスティング装置は、リラクサー単結晶材料の相変態を最大限に活用すること

50

ができる。

【0056】

チタン酸ジルコン酸鉛 ($Pb [Zr_x Ti_{1-x}] O_3$ 、またはPZT) の材料は、通常、 $150 \sim 500 \text{ pC/N}$ の範囲の圧電電荷定数 d と、約 0.3 から 0.7 の電気機械結合係数 k を示す。RFSC 材料は、非常に大きな電荷定数 d と結合係数 k のパラメータを示すことができる。例えば、第1世代のRFSC 材料である $Pb (Zn_{1/3} Nb_{2/3}) O_3$ (PZM - PT) 及び $Pb (Mg_{1/3} Nb_{2/3}) O_3$ (PMN - PT) は、電気機械結合係数が 0.9 を超え、PZT よりも1桁大きくなり得る圧電電荷定数を有する。これらの改善された係数は、モルホトロピック相境界 (MPB) に近いリラクサー強誘電体組成物に存在する。第1世代の材料は、欠点がないものではない。例えば、PMN - PT の保磁力場はPZT (E_C 約 $8 \sim 15 \text{ kV cm}^{-1}$) と比較して小さい (E_C 約 1.8 kV cm^{-1})。菱面体晶 - 正方晶相転移温度 PMN - PT は低く (T_{RT} 約 85°C)、これは、そのような材料が、高温を経る適用と両立しない可能性があることを意味する。 $Pb (In_{1/2} Nb_{1/2}) O_3 - Pb (Mg_{1/3} Nb_{2/3}) O_3 - Pb Ti O_3$ (または PIN - PMN - PT) などの第2世代のRFSC 材料は、比較的高い転移温度 (T_{RT} 約 $120^\circ \text{C} \sim 140^\circ \text{C}$) や第1世代PMNPT 単結晶の約3倍の保磁力場 (E_C 約 5.5 kV/cm) などの材料の特性により、エネルギーハーベスティングデバイスの使用の見込みが示される。また、これらは、PZT よりも高い桁を超え得る圧電電荷定数を有する (例えば、 d 約 $1000 \sim 5000 \text{ pC/N}$)。

10

【0057】

より最近では、第3世代マンガン修飾 $Pb (Mg_{1/3} Nb_{2/3}) O_3 - Pb (Zr, Ti) O_3 (Mn - PMN - PZT) [011]$ 分極単結晶の電力密度がPZT 4セラミックの5倍以上であることが報告されている。第3世代のリラクサー強誘電性単結晶は、破壊靱性と保磁力場が改善され、またキュリーと相転移の温度も高くなっていることを示してきた。

20

【0058】

エネルギーハーベスティングのためのRFSC 材料のさらなる利点は、結晶の方向によって大幅に変化する可能性のある電気機械的コンプライアンス s と電荷定数 d を備えた異方性材料パラメータである。 d_{32} 横方向拡張モード (transverse extension mode) (または「3 - 2モード」) は、エネルギーハーベスティングの用途に特に役立つ。 $[011]$ 分極RFSC と共に使用される場合、「3 - 2モード」は、ハーベスト装置の設計が (i) PZT と比較して改善された電気機械的変換のための大きな d_{32} 電荷定数、(ii) 同様に形質導入効率を改善するための大きな結合係数 k 約 0.9 、及び (iii) $[011]$ PIN - PMN - PT の機械的に柔らかい軸「2」軸を利用することを可能にする。 $[011]$ PIN - PMN - PT の「2」軸は、その「1」軸よりも著しく大きく、またPZT よりもはるかに大きいコンプライアンスを有し、ハーベスト装置の共振周波数を理想的な大きさの変換器素子に対して3分の1から2分の1に低くすることができる。「3 - 2モード」変換のこれらの3つの利点に加えて、 $[011]$ 分極RFSC 材料は、 $[100]$ 分極材料よりも大きなサイクルが誘起する劣化に対してより耐性があるという証拠がある。これらの利点は、「3 - 2モード」の $[011]$ 分極PIN - PMN - PT 単結晶が、振動エネルギーハーベスト装置の圧電変換器として使用するのに適している可能性があることを意味する。

30

40

【0059】

図5は、いくつかの実施形態によるスペーサー140の斜視図である。同様の機能達成するために様々な構成を選択することができるが、示されるスペーサー140の実施形態は、軸方向スタックの軸方向に隣接する磁気構成要素間に圧縮可能なギャップを設け、それによって、振動エネルギーハーベスティングデバイス100が経た振動に応じて、圧電変換器120 (位置付けられて、開口142と整列させている) の様々な圧縮を可能にする効果を有することを示していた。リガメント144の上面146は、概して同一平面上に作られ、例えば、環状部131または第2のシム115bの近位表面に接着され得る

50

。有利には、スペーサーベース 141 の遠位表面の周りに間隔を置いて放射状に向けられたリガメント 144 のアレイは、電気導体ガリガメント 144 の間の空間 143 を通過することを可能にし、その結果、それらの導電体（例えば、811a、811b、図 8）を圧電変換器 120 の反対の導電面に結合することができる。圧電変換器 120 は、導体 811a、811b が圧電変換器 120 に電氣的に結合されることを容易に可能にするために、その反対側の面に導電性エポキシ 122 を有し得る。

【0060】

リガメント 144 は、それらの組み合わされた機械的剛性が圧電変換器 120 よりもはるかに小さくなるように形成され、圧電変換器 120 の有効なばね定数と共振先端マス 160 の大きさによって表向きは決定されるハーベスティングデバイス 100、800 の主な共振を妨害しないように形成される。スペーサー 140 は、圧電変換器 120 の 10 倍未満の有効な機械的剛性を有するべきであり、それにより、スペーサー / 共振マス相互作用に起因するいずれかの二次的な共振は、エネルギーハーベスティングデバイス 100、800 の対象となる主要周波数から十分に離れる。さらに、変換器とスペーサーの剛性の約 10 : 1 の比率により、磁気圧縮力が主に圧電変換器 120 を介して作用し、圧電変換器 120 の磁気圧縮が最大化され、共振運動中に張力がかかる可能性が最小限に抑えられることを確実にする。

【0061】

スペーサー 140 は、例えば、アルミニウム、ポリカーボネート、または同様の材料などの磁氣的に受動的な材料で形成することができる。いくつかの実施形態は、強磁性材料を含むスペーサー 140 を使用することができるが、そのような材料が適切に低いばね定数を有し、スペーサー 140 の隣接する反対側の磁性構成要素間の磁気引力を低減する効果を有さない。スペーサー 140 は、ハーベスティングデバイス 100、800 の長い動作寿命を保証するために、動的負荷の下で耐久性がある必要がある。さらに、スペーサー 140 の機械的及び材料的特性は、高温で大きく変化すべきではない。スペーサー 140 は、ハーベスティングデバイス 100、800 が水平に向けられている場合、またはホストの振動に横方向の成分がある場合に、圧電変換器 120 を機械の曲げ応力から保護するように設計することができる。スペーサー 140 のアスペクト比が低い（＝長さ / 外径）、3次元の印刷されたポリカーボネートから製造されたスペーサー 140 は、数 μm のオーダーの小さな静的たわみしか許容しないと推定される。これは、圧電変換器 120 を損傷するほどではないと考えられる。

【0062】

図 7 は、磁石構成 130 の代わりに使用することができる磁石構成 730 の例として、中空円筒形の磁石を示している。磁石配列 730 は、単一の連続体であり得る。磁石配列 730 の外径 (OD) は、磁石配列 130 の外径とほぼ同じであり得、また、第 1 及び第 2 の磁石 112、150 の外径とほぼ同じであり得る。磁石配列 730 はまた、通常の動作中に圧電変換器 120 に接触することなく圧電変換器 120 の最大寸法を収容するのに十分な大きさの内側軸方向ポア 732 を画定する内径 (ID) を有する。磁石配列 730 は、磁石本体の内部ポアと整列する軸方向の磁化 M を有する。磁石配列 730 の長さ (L) は、圧電変換器 120 の長さからスペーサー 140 の軸方向の長さを引いたものとほぼ同じである。換言すれば、磁石配列 730（及び 130）の軸方向の長さ、スペーサー 140 及び任意のアライメントディスク 135（存在する場合）の軸方向の長さを加えると、圧電変換器 120 の長さにはほぼ等しくなる。磁石配列 730 は、圧電変換器 120 が延びる通路を画定し、磁石配列 730 と圧電変換器 120 は、通路で互いに接触しない。

【0063】

いくつかの実施形態では、圧電変換器 120 は、約 $4\text{ mm} \times 4\text{ mm}$ （幅及び高さ）及び約 12 mm の長さの寸法を有する RFSC であり得る。RFSC の形態の圧電変換器 120 の場合、結晶は、約 $2 \times 2\text{ mm}^2$ と約 $5 \times 5\text{ mm}^2$ の間の断面を有し得る。そのような結晶の長さは、約 5 mm から約 10 または 12 mm の間であり得、例えば、最大約 15 または 20 mm または 75 mm でさえあり得る。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 4 】

図 8 は、振動エネルギーハーベスティングデバイス 1 0 0 と同じ構成である振動エネルギーハーベスティングデバイス 8 0 0 の概略的な断面図であるが、ただしデバイス 8 0 0 は、磁石配列 7 3 0 を使用し、磁石配列 7 3 0 と第 2 の磁石 1 5 0 との間にスペーサー 1 4 0 が配置されている。接着剤層 1 1 4、1 1 6、1 1 7 は、必要に応じて存在するものであるが、図 8 を不必要に不明瞭にすることを避けるために、示されていない。同様に、シム 1 1 5 a、1 1 5 b は、図 8 には示されていないが、第 1 の磁石 1 1 2 と圧電変換器 1 2 0 との間、及び第 2 の磁石 1 5 0 と圧電変換器 1 2 0 との間に存在する。例えば、図 8 は、導電体 8 1 1 a、8 1 1 b を示しており、これらは圧電変換器 1 2 0 の反対側に接触し、電氣的に結合するために、スペーサー 1 4 0 のリガメント 1 4 4 の間のギャップを

10

【 0 0 6 5 】

図 9 A 及び 9 B は、代替の磁石構成を示している。図 9 A は、図 7 及び 8 に示されるような連続円筒形磁石配列 7 3 0 の第 2 の磁石 1 5 0 から近位に見た上面図を示す。磁石配列 7 3 0 は、第 1 の磁石 1 1 2 及び / または第 2 の磁石 1 5 0 の外径と実質的に同じ外径を有し得る。

【 0 0 6 6 】

図 9 B は、磁石配列が圧電変換器 1 2 0 を部分的に取り囲んでいるが、完全には取り囲んでいない、第 2 の磁石 1 5 0 から近位に見た、上面図の代替的な構成を示している。例えば、圧電変換器 1 2 0 を部分的に取り囲む磁石配列は、圧電変換器 1 2 0 の反対側（例えば、軸方向ではなく横方向）に配置された少なくとも 2 つの磁性本体 9 3 1、9 3 2 を含み得る。圧電変換器 1 2 0 を少なくとも部分的に取り囲むように、3 つ、4 つ、5 つ、6 つ、またはそれより多くなど、2 つを超える磁性本体を整列または配列することができる。図 9 B に示すように、上から見たときに少なくとも 1 つの対称軸が存在するように、少なくとも 2 つの磁性本体 9 3 1、9 3 2 を配置することができる。軸方向に隣接する磁性構成要素間の強い磁気引力が圧電変換器 1 2 0 の圧縮可能な（柔らかい）軸に比較的強い磁気圧縮力を与えるように使用することができるよう、軸方向に隣接する磁性構成要素をわずかな距離だけ分離するために適切なスペーサーを収容できれば、振動エネルギーハーベスティングデバイス 1 0 0、8 0 0 における磁石配列の構成を変えることができる。

20

【 0 0 6 7 】

逆に、他の代替的な構成では、振動エネルギー変換器は、中央または中間の磁性本体の反対側に配置された少なくとも 2 つの圧電変換器本体を含み得る。中央または中間の磁性本体を少なくとも部分的に取り囲むように、3 つ、4 つ、5 つ、6 つ、またはそれより多くなど、2 つを超える圧電変換器本体を整列または配列することができる。少なくとも 2 つの圧電変換器本体は、上から見たときに少なくとも 1 つの対称軸が存在するように配置することができる。

30

【 0 0 6 8 】

振動エネルギーハーベスティングデバイス 1 0 0 及び 8 0 0 の実施形態では、磁気構成要素 1 1 2、1 3 0、7 3 0、1 5 0、スペーサー（複数可）1 3 5 及び 1 4 0、先端マス 1 6 0 及び圧電変換器 1 2 0 は、デバイス 1 0 0、8 0 0 の近位端と遠位端との間に延びる単一軸 1 6 5 に沿って同軸である。好ましくは、磁気構成要素 1 1 2、1 3 0、7 3 0、1 5 0、スペーサー（複数可）1 3 5 及び 1 4 0、先端マス 1 6 0 及び圧電変換器 1 2 0 は同心である。振動エネルギーハーベスティングデバイス 1 0 0 及び 8 0 0 の静止（非振動）位置では、各構成要素は、軸方向に隣接する別の構成要素と接触している。振動エネルギーハーベスティングデバイス 1 0 0 及び 8 0 0 は、スペーサー 1 4 0 及び磁石配列 1 3 0、7 3 0 の中空ポア以外に空隙を有さない。

40

【 0 0 6 9 】

第 2 の磁石 1 5 0 と磁石配列 7 3 0 との組み合わせにより圧電変換器 1 2 0（本明細書に記載の適切な結晶の形態）に加えられる圧縮力は、以下に説明するプロセスを使用して推定されている。

50

【 0 0 7 0 】

磁石配列 7 3 0 の典型的な予想される形状のセットは、表 1 に詳述されている。

【表 1】

表 1. 磁石配列 7 3 0 の典型的な形状

外径、OD (mm)	内径、中央、空部の円筒形磁石の ID (mm)	長さ、中央空部の磁石+下部マグネットの L* (mm)	長さ、上部、磁石の L (mm)
20~40**	10	(12-ギャップ)+(OD/2)	OD/2

10

*圧電水晶変換器の寸法は 1 2 x 4 x 4 mm³であると仮定されている。「ギャップ」は、スピーカー 1 4 0 の軸方向の厚さによって得られる。

**ODが 2 0 mm を超える永久希土類磁石の設計は、構成磁石の引張強度が大きいため、製造が難しく、取り扱いが危険である可能性があることに留意されたい。

【 0 0 7 1 】

理想的な永久磁石の場合、磁化 M は磁場 H に依存せず、第 2 象限に線形の磁束 B - H 消費曲線が生じる。磁力の計算には、磁束 B ではなく、円筒形の磁石配列の磁化 M が必要である。理想的な永久磁石の場合、M は H に依存しないため、磁石が理想的である場合(つまり、N 3 8 H 磁石の場合、 $M_r = 1.26 T / \mu_0$ 約 1.003 MA/m、式中 μ_0 は自由空間の透磁率(約 $4 \times 10^{-7} H/m$))、円筒内の M は残留磁化 M_r に等しくなる。理想的な磁石を想定せず、材料の実際の B H / M H 特性を使用するため、M の値はやや低くなる。

20

【 0 0 7 2 】

負荷の線の勾配を求めるパーミアンス係数 $P_c = [1 - N_z] / N_z$ を介して磁気動作点を求める際に、円筒の形状消磁係数 N_z が考慮された。表 2 に、様々な円筒形状のパーミアンス係数の例を示す。

【 0 0 7 3 】

【表 2】

表 2. 様々な円筒形状のパーミアンス P_c *

30

円筒の長さ L(m)	アスペクト比 $\tau=L/2R$	形状消磁 N_z	パーミアンス $P_c=[1-N_z]/N_z$	中実円筒 P_c	中空円筒 ID は 10mm P_c
0.002	0.1	0.81588	0.226	0.254	0.288
0.004	0.2	0.68901	0.451	0.468	0.533
0.006	0.3	0.59629	0.677	0.678	0.776
0.01	0.5	0.46984	1.128	1.102	1.268
0.014	0.7	0.38764	1.580	1.535	1.773
0.02	1	0.30705	2.257	2.202	2.545
0.04	2	0.18137	4.514	4.475	5.19
0.06	3	0.12870	6.770	6.791	7.871

40

*OD=0.02m, R=OD/2=0.01m と仮定。

【 0 0 7 4 】

パーミアンスを計算するために、動作温度は 1 0 0 ° C と仮定した。円筒形磁石配列の磁気パーミアンスの控えめな推定は、磁石配列 1 3 0、7 3 0 の管状の性質、及び機械加工可能なガラスシム 1 1 5 a、1 1 5 b による追加の間隔も考慮して行われた。第 2 の磁

50

石 1 5 0 は、磁気パーミアンスの推定に含まれず、推定の控えめな性質に追加された。図 1 0 は、形状の関数として、予測された磁気パーミアンスのプロット 1 0 0 0 を示しており、最小パーミアンス P_c 約 1 . 5 H を示している。

【 0 0 7 5 】

この控えめな磁気パーミアンスの推定値を使用して、磁気負荷線 (magnetic load line) (つまり、パーミアンス 1 . 5 に等しい勾配を持つ) を、典型的な高温のネオジウム - ホウ素 - 鉄磁石 (N 3 8 H) のデータシートにマッピングした。これにより、BH 動作点を決定し、そこから磁気分極 J を推定することができた (2 0 2 0 年 3 月 5 日以前 https://www.eclipsemagnetics.com/media/wysiwyg/brochures/neodymium_grades_data.pdf から提供されたドキュメントのプロットから適合させた図 1 1 のプロット 1 1 0 0 を参照)。磁気分極 J がわかれば、磁化 M を計算できる。次いで、これを使用して、静磁エネルギー定数 K_d を見出すことができる。この K_d は控えめであり、考慮されるすべての磁気形状と温度 (1 0 0 ° C 以下) に対して妥当である。

10

【 0 0 7 6 】

計算された K_d を、次の式に代入し (David Vokoun , Marco Belggia , Ludek Heller , Petr Sittner , “ Magnetostatic interactions and forces between cylindrical permanent magnets ” , Journal of Magnetism and Magnetic Materials , 3 2 1 (2 0 0 9) 3 7 5 8 - 3 7 6 3 の式 4 から取得)、磁力の推定値を計算できる。

20

【 数 1 】

$$F_z \approx -8\pi K_d R^2 \int_{q=0}^{+\infty} \frac{J_1^2}{q} \sinh(q\tau_1) \sinh(q\tau_2) e^{-q\epsilon} dq$$

式中、 F_z は磁力、 R は円筒の半径、 $t_i = t_i / (2 R)$ 、 $i = 1, 2$ は、下側の円筒のアスペクト比 (磁石配列 1 3 0 と第 1 の磁石 1 1 2 からなる) と上部円筒 (第 2 の磁石 1 5 0 からなる)、 $K_d = \mu_0 M^2 / 2$ 及び M は磁化、自由空間の透磁率 $\mu_0 = 4 \times 10^{-7} N / A^2$ 、 $\epsilon = Z / R$ は 2 つの円筒間の縮小させた距離であり、 $J_1(q)$ は第 1 種のベッセル関数である。

30

【 0 0 7 7 】

図 1 2 及び 1 3 は、それぞれ、ギャップ (スペーサー 1 4 0 の軸方向の厚さによって決定される) 及び外径 OD の関数としての磁気圧縮力のプロット 1 2 0 0 及び 1 3 0 0 を示している。より大きな磁石の場合、1 0 0 N の範囲の力が予測され、4 0 0 N の圧縮が容易に達成できる。約 5 0 N から約 5 0 0 N の範囲の力は、振動エネルギーハーベスティングデバイス 1 0 0、8 0 0 の記載された軸方向配列で達成できると推定される。4 0 0 N の圧縮力は、例えば、2 0 M P a の範囲の機械的圧縮応力を生成するために必要な力であり、振動エネルギーハーベスティングデバイス 1 0 0、8 0 0 などの共振ハーベスティングデバイス内で R F S C の相転移メカニズムを利用するために必要である。相転移付近での本明細書に記載されるようなエネルギーハーベスティングデバイスの動作は、より高いエネルギーハーベスティング効率につながる可能性があるが、そのような動作は必要ではなく、他の圧電状態でのエネルギーハーベスティング効率は依然として許容可能である。

40

【 0 0 7 8 】

磁気予負荷アプローチの例示的な設計上の特徴を図 1、6、及び 1 4 に示す。いくつかの実施形態によれば、磁石配列 1 3 0 または 7 3 0 を含む磁気支持構造は、圧電変換器 1 2 0 などの長方形の圧電プレート素子の周りの一連のリング状磁石として概略的に示されている。図 1 2、1 3、及び 2 2 は、すぐ下で説明するデバイスの寸法と構成の例に基づいて、デバイスのパラメータ (磁石の外径、ギャップ、ヘッドマスの長さなど) の推定ま

50

たはプロットされた関係を示している。そのような実施形態の例では、リング状磁石は、外径 $r_m - OD$ 及び内径 $r_m - ID$ を有し得、各リング状磁石は、約 1.65 mm の高さ及びリング状磁石の高さ全体 $r_m - H$ を有する。積み重ねられたリング状磁石の代わりに単一の円筒形磁石 730 が使用される場合でも、同じ $r_m - OD$ を適用することができる。(遠位)ヘッド磁石 150 は、磁気支持構造 130 または 730 に引き付けられ、圧電セラミック素子 120 及びスペーサー 140 の両方に圧縮を加え、 $r - OD$ と同様の外径、及び高さ $h_m - H$ 約 $r_m - OD / 2$ を有する。 $r_m - OD$ と同様の直径を持ち、必要に応じてデバイスの共振周波数を調整するために高さが選択された追加のヘッドマス(例えば、図 1 または 6 の 160)を含めることができる。テール磁石 112 は、磁気回路を完成させ、 $r_m - OD$ と同様の直径、及びヘッドマス 150 ($h_m - H$) の高さと同様の高さを有する。

10

【0079】

例示的なスペーサー 140 が図 5 に示され、垂直リガメントは、(結晶)圧電変換器 120 の約 10 分の 1 の機械的剛性を有するように設計されている。スペーサー 140 は、高さギャップ - H で磁気回路にギャップを作成する。圧電変換器 120 を、機械的負荷を与える間損傷から保護する、高さ $MH = 0.8 \text{ mm}$ の機械加工可能なガラス(例えば、Macor (商標)で形成される)の薄いディスク 114 は、圧電素子 120 のいずれかの端、及び任意選択でリング状磁石 130 の間に配置することができる。

【0080】

リング状磁石の高さ全体は $r_m - H = (\text{圧電変換器の長さ}) + (2 * \text{ガラスディスクの高さ}) - \text{ギャップ} - H$ である。必要に応じて、隣接するリング状磁石間にポリカーボネートなどのポリマーの非常に薄いディスク層を配置することで、高さのわずかな変動に対処できる。例示的な実施形態は、圧電変換器 120 として $12 \text{ mm} \times 4 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ の RFSC 素子を使用する。プルーフマスは、ヘッド磁石と単一のリング状磁石からなり得て、シム 114 と他の重要でないマスはデバイスの共振周波数に大きな影響を与えない。

20

【0081】

デバイス 100、800、1400 の 1 つの振動エネルギーハーベスト装置の実施形態によれば、 50 N のおおよその静的圧縮磁力が、最大周波数約 4.5 kHz の振動下で、 $r_m - OD = 20 \text{ mm}$ 、 $r_m - ID = 10 \text{ mm}$ 、ギャップ - $H = 4 \text{ mm}$ 、 $r_m - H = (12 + 2 * 0.8) - 4 = 9.6 \text{ mm}$ 、 $h_m - H = 10 \text{ mm}$ で圧電変換器 120 に加えられ得る。

30

【0082】

デバイス 100、800、1400 の別の振動エネルギーハーベスト装置の実施形態によれば、 500 N のおおよその静的圧縮磁力が、最大周波数約 1.2 kHz の振動(すなわち、プルーフマスとしてのヘッド磁石のみ)の下で、 $r_m - OD = 50 \text{ mm}$ 、 $r_m - ID = 25 \text{ mm}$ 、ギャップ - $H = 3 \text{ mm}$ 、 $r_m - H = (12 + 2 * 0.8) - 3 = 10.6 \text{ mm}$ 、 $h_m - H = 25 \text{ mm}$ で圧電変換器 120 に加えられ得る。

【0083】

最大駆動周波数が 45 kHz のデバイス 100、800、1400 の音響プロジェクトの実施形態(すなわち、プルーフマスとしてのヘッド磁石 1450 のみ)では、 45 N のおおよそ静的圧縮磁力が、 $r_m - OD = 20 \text{ mm}$ 、 $r_m - ID = 10 \text{ mm}$ 、ギャップ - $H = 1 \text{ mm}$ 、 $r_m - H = (12 + 2 * 0.8) - 1 = 12.6 \text{ mm}$ 、 $h_m - H = 1.5 \text{ mm}$ で、生成できる。さらなる例のモデル化された音響プロジェクトの実施形態(90 N の圧縮下で 2 ミクロンの DC 変位を生成する単一の $12 \times 4 \times 4 \text{ mm}^3$ RFSC でモデル化)は、 5 V 駆動電圧で 8.75 kHz の振動(駆動)周波数について、約 31.5 N の静的圧縮力が必要であり、 5 V の駆動電圧で 17.5 kHz の振動周波数の場合、約 15.8 N の静的圧縮力が必要であり、 5 V の駆動電圧で 42.2 kHz の振動周波数の場合、約 6.5 N の静的圧縮力が必要であり、 5 V の駆動電圧で 45 kHz の振動周波数の場合、約 6.1 N の静的圧縮力が必要であり、 50 V の駆動電圧で 45 kHz の振動周波数の場合、約 61.3 N の静的圧縮力が必要であり、 50 V の駆動電圧で 42.2 kHz の振動

40

50

周波数の場合、約 65 . 3 N の静的圧縮力が必要であるということを示す。このようなモデル化された実施形態は、5 V の駆動電圧で約 50 kHz 以上の振動周波数の場合、約 5 N の静的圧縮力が必要であることを示している。さらに、そのようなモデル化された実施形態は、約 50 N の近くの静的圧縮力が、5 ~ 50 V の駆動電圧で約 300 Hz から約 8 . 75 kHz の間の振動周波数に対して実行可能であることを示している。

【0084】

そのような例示的な実施形態は、いくつかの例示的なデバイスの構成を示し、異なるデバイスの構成がどのように異なる静的圧縮力をもたらし、異なる振動または駆動周波数の下で動作することができるかを示すために提示される。記載された実施形態から逸脱することなく、本明細書に記載され、図に示される原理に基づいて、様々な他のデバイスの構成が可能である。

10

【0085】

さらに図2を参照すると、いくつかの実施形態は、可動クラフトまたは固定プラント200に関し、これはマウント215を介してそれに固定された関係で取り付けられた振動エネルギーハーベスティングデバイス100、800を備えた振動ホスト構造210を有する。クラフトまたはプラント200は、同じまたは異なるホスト構造210に取り付けられた複数のそのような振動エネルギーハーベスティングデバイス100、800を有することができる。クラフトまたはプラント200は、例えば、機械の状態を監視するための1つまたは複数のセンサ230を有することができる。1つまたは複数の振動エネルギーハーベスティングデバイス100、800のエネルギー出力は、1つまたは複数のセンサ230に電気的に結合された1つまたは複数の電池220（または他の電気エネルギー貯蔵デバイス）に供給され得る。次に、1つまたは複数のセンサ230は、電池からの電気エネルギーを使用して、例えば、監視システム240に出力をすることができる。

20

【0086】

振動エネルギーハーベスティングデバイス100、800のいくつかの実施形態は、プラントまたはクラフト200の操作プラントで通常経験される条件でそれらが適切に機能することを可能にするために、いくらか高い温度で効果的に動作できるように設計されている。例えば、振動エネルギーハーベスティングデバイス100、800は、摂氏80 ~ 120度の温度でより高い効率で動作できるように設計され得る。

【0087】

次に、図14から20を参照して、電気音響変換（音響投射を含む）に最適化されているが、エネルギーハーベスティングにも適切または変更可能な変換デバイスの実施形態を、次に説明する。図14は、音響プロジェクタ1400が電流供給源1455からの電気エネルギーを、出力の圧力波1460を生成するための振動エネルギーへ変換するように設計されていることを除いて、振動エネルギーハーベス装置100、800と同様の構成要素及び設計原理を有する音響プロジェクタデバイス1400として最適化された振動エネルギー変換器の概略図である。音響プロジェクタ1400の実施形態はまた、それが能動的に圧力波を生成していないときのセンサデバイスとして使用することができる。センサデバイスとして機能する場合、音響プロジェクタ1400は、振動エネルギーハーベスティングのために上記の方法で振動を電気信号に変換することができ、電気信号は、音響投射システムに関連する別個の処理デバイスまたは回路によって処理することができる。したがって、音響プロジェクタ1400は、例えば異なる時間に圧力波を放出し、圧力波を受信（検出）することができる電気音響変換デバイスの例である。

30

40

【0088】

音響プロジェクタ1400は、ベース110、第1の磁石112に類似した磁気テールマス、薄いシム115a、115b、磁気支持構造（磁石配列130、730など）によって少なくとも部分的に囲まれた圧電素子120、スパーサー140、及びヘッドマス1450を含む。アライメントディスク135がまた、磁気支持構造の形状により可能になる振動エネルギーハーベスティングデバイス100と同様の方法で、プロジェクタ構成要素の軸方向スタックに含まれ得る。そのような構成要素は、ハウジング1470に収容さ

50

れている。

【 0 0 8 9 】

ハウジング 1 4 7 0 は、音響プロジェクト 1 4 0 0 の構成要素と一緒に囲み、保持するためのケースを含み得る。ハウジング 1 4 7 0 はまた、ケースとヘッドマス 1 4 5 0 との間にデカップリング材料を含み得る。いくつかの実施形態では、ゴムケーシングなどのソフトシーリング外側ケースが、ハウジング 1 4 7 0 の一部または全部を取り囲んでいる。ハウジング 1 4 7 0 は、磁気テールマス 1 1 2、磁石配列 1 3 0、7 3 0 及びヘッドマス 1 4 5 0 を含む磁気アセンブリの構成要素を備えた磁気回路を完成させるために、例えば、鋼、ミューメタルまたは鉄などの強磁性材料であり得る。

【 0 0 9 0 】

いくつかの実施形態では、ヘッドマス 1 4 5 0 は、遠位磁石及びヘッドマスの両方として機能する。しかしながら、いくつかの実施形態では、ヘッドマス 1 4 5 0 は、図 1 4 に示されるような磁石と、例えば、タングステンカーバイドマスなどの追加の非磁石のマスとを含む。ヘッドマス 1 4 5 0 はまた、その外側遠位面 1 4 5 2 に、またはそれと隣接して配置されたインピーダンス整合層 1 4 5 8 及び / または音響レンズを有し得る。あるいは、炭化タングステンのマスの代わりに、インピーダンス整合層 1 4 5 8 及び / または音響レンズを使用することができる。

【 0 0 9 1 】

音響プロジェクト 1 4 0 0 で使用されるスペーサー 1 4 0 は、より近位に配置され得るが、振動エネルギーハーベスト装置 1 0 0、8 0 0 で使用されるスペーサー 1 4 0 と実質的に同じである。例えば、スペーサー 1 4 0 及び音響プロジェクト 1 4 0 0 は、磁石配列 1 3 0、7 3 0 と磁気テールマス 1 1 2 との間に軸方向に配置され得る。シム 1 1 5 a は、スペーサー 1 4 0 と磁気テールマス 1 1 2 との間に配置することができる。振動エネルギーハーベスト装置 1 0 0、8 0 0 と同様に、圧電素子 1 2 0 は、スペーサー 1 4 0 の開口を通過し、シム 1 1 5 a に接触し、それに対して、圧電素子 1 2 0 は、磁気圧縮による軸方向の力によって、近位端で圧縮される。その遠位端で、圧電素子 1 2 0 は、ヘッドマス 1 4 5 0 に接着されている、遠位に配置されたシム 1 1 5 b に隣接している。

【 0 0 9 2 】

音響プロジェクト 1 4 0 0 は、交流電流源 1 4 5 5 を圧電素子 1 2 0 (上記の圧電結晶材料のいずれかで形成され得る) に適用して、約 3 0 0 ヘルツから約 1 0 0 k H z の範囲の周波数で、軸方向の膨張及び収縮を引き起こす。この小さな軸方向の膨張及び収縮は、圧電変換器 1 2 0 のために選択された圧電結晶の柔軟な軸の選択された配向によるものである。圧電変換器 1 2 0 の結果として生じる変位は、例えば、磁石アセンブリの磁石の質量に加えて任意の追加のいずれかのヘッドマスに応じて、1 または 2 ミクロンから約 1 0 0 ミクロンのオーダーであり得る。振動エネルギーハーベスティングデバイス 1 0 0 に関連して上で論じられた圧電材料のいずれも、音響プロジェクト 1 4 0 0 の圧電素子 1 2 0 に使用することができる。

【 0 0 9 3 】

A C 源 1 4 5 5 からの電流の影響下での圧電変換器 1 2 0 の運動は、交流の周波数によって決定される周波数で磁気ヘッドマス 1 4 5 0 の軸方向変位を引き起こす。磁気ヘッドマス 1 4 5 0 は、音響プロジェクト 1 4 0 0 の自由端であるため (ハウジング 1 4 7 0 及びホスト構造に結合されている磁気テールマス 1 1 2 及びベース 1 1 0 とは対照的に)、磁気ヘッドマス 1 4 5 0 の外側遠位面 1 4 5 2 の振動性の軸方向の変位は、圧力波 1 4 6 0 を音響プロジェクト 1 4 0 0 から離れる遠位方向に伝播させる。磁気ヘッドマス 1 4 5 0 の遠位端にある媒体、物質、または材料に応じて、圧力波 1 4 6 0 の放射インピーダンス 1 4 5 6 は、音響プロジェクト 1 4 0 0 の遠位端で変化し得る。いくつかの実施形態では、インピーダンス整合層 1 4 5 8 は、標的伝播媒体の圧力波の振幅を最大化するために、外側遠位面 1 4 5 2 に、またはそれに隣接して配置され得る。そのような実施形態では、インピーダンス整合層 1 4 5 8 は、可変の特性を有し得るか、または音響エネルギーを整列または集束させるためのレンズまたはレンズシステムを含み得る。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 4 】

振動エネルギーハーベスト装置 1 0 0、8 0 0と同様に、音響プロジェクト 1 4 0 0は、圧電変換器の磁気の圧縮に依存して、静的圧縮負荷（例えば、約 5 Nから約 5 0 0 Nの間、約 5 Nから約 5 0 Nの間、約 5 0 Nから約 5 0 0 Nの間、または約 9 0 Nから約 4 0 0 Nの間）を加え、それにより、圧電変換器 1 2 0を、効果的な電気から振動へのエネルギー変換をもたらすモードで動作させる。スペーサー 1 4 0は、圧電変換器 1 2 0を磁気テールマス 1 1 2（他の実施形態では、ヘッドマス 1 4 5 0）から少なくとも部分的に取り囲む磁石配列 1 3 0、7 3 0をわずかに分離するように機能し、その結果、磁石は、圧電変換器 1 2 0に比較的高い圧縮力をもたらすための強い磁気引力を生成する小さなギャップによって分離される。

10

【 0 0 9 5 】

図 1 5 及び 1 6 は、音響プロジェクト 1 5 0 0、1 6 0 0の形態の代替エネルギー変換デバイスの実施形態の概略図を示している。音響プロジェクト 1 5 0 0、1 6 0 0は、電気音響変換デバイスの例である。音響プロジェクト 1 5 0 0、1 6 0 0は、本明細書で説明される振動エネルギーハーベスティングデバイスの実施形態に類似し得るが、音響プロジェクトとして最適化される。音響プロジェクト 1 5 0 0、1 6 0 0はまた、エネルギーハーベスティング及び/または検出の目的に適しているか、または修正可能である。特に、音響プロジェクト 1 5 0 0、1 6 0 0などの本明細書に記載の音響プロジェクトデバイスは、振動検出器デバイスとして使用することができる。そのような状況において、音響プロジェクト 1 5 0 0、1 6 0 0は、そのようなデバイスの圧電変換器に電氣的に結合された電極の電流の変動を観察することによって、デバイスの遠位投射/検出面に衝突する大小の圧力波を検出するために使用され得る。

20

【 0 0 9 6 】

最初に図 1 5 を参照すると、音響プロジェクト 1 5 0 0は、軸方向の中心に配置された磁石 1 5 3 0を有し、一方で圧電変換器 1 5 2 0が磁石 1 5 3 0の周りに同軸及び同心に配置されていることを除いて、音響プロジェクト 1 4 0 0と一般的な設計が類似している。音響プロジェクト 1 5 0 0は、音響プロジェクト 1 4 0 0と同様の構成で、磁気テールマス 1 5 1 2、シム 1 5 1 5 a、1 5 1 5 b、及び磁気ヘッドマス 1 5 5 0を含む。音響プロジェクト 1 5 0 0では、中央磁石 1 5 3 0とテールマス 1 5 1 2との間に物理的スペーサーは挿入されていない。しかしながら、磁気引力による静的圧縮力を誘発するために、中央磁石 1 5 3 0とテールマス 1 5 1 2との間に画定された軸方向ギャップ 1 5 4 0（例えば、約 0 . 2 mmから約 1 mmの間）が、依然として存在する。

30

【 0 0 9 7 】

音響プロジェクト 1 5 0 0の構成要素は、全体的または少なくとも部分的にハウジング 1 5 7 0に収容され得る。音響プロジェクト 1 5 0 0はまた、少なくともその遠位突出面を覆い、任意選択でハウジング 1 5 7 0のほとんどまたはすべてを覆うために、外側ケーシング 1 5 6 8を有し得る。外側ケーシングは、例えば、薄いゴムまたはシリコンシート材料を含み得る。

【 0 0 9 8 】

磁石 1 5 3 0は、磁石配列と一緒に結合された複数の磁石要素を含み得るか、または例えば、単一の磁石本体を含み得る。AC源 1 4 5 5などの変化する電流供給源から励起電流を適用するために、導電体（図示せず）が圧電変換器 1 5 2 0に結合されている。磁石 1 5 3 0は、磁気引力によってヘッドマス 1 5 5 0に結合されることに加えて、例えば、適切な接着剤によってヘッドマス 1 5 5 0に取り付けられ得る。

40

【 0 0 9 9 】

磁気ヘッドマス 1 5 5 0は、周波数の調整またはインピーダンス整合のための追加の共振マスを設けるために、磁気ヘッドマス 1 5 5 0の遠位面に、結合される追加のヘッドマス 1 5 6 0を有し得る。いくつかの実施形態では、追加のヘッドマス 1 5 6 0は、磁気ヘッドマス 1 5 5 0の軸方向の断面よりも表面積が大きいか、または磁気ヘッドマス 1 5 5 0のみで可能であるより大きな音響波面を生成するために音響レンズとして成形された遠

50

位外面 1 5 5 2 を有し得る。他の実施形態では、磁気ヘッドマス 1 5 5 0 は、遠位外面 1 5 5 2 を画定し得、より大きな音響波面を生成するために、遠位方向に増加する断面積を有するように構成され得る。

【 0 1 0 0 】

圧電変換器 1 5 2 0 は、複数の変換器素子 1 5 2 2 を含み得る。変換器 1 5 2 0 は、磁石配列の反対側に、または少なくとも部分的にその周りに配置することができる。いくつかの実施形態では、圧電変換器 1 5 2 0 は、磁石 1 5 3 0 の周りに完全にまたは途中まで延びるように、一般に環状またはほぼ環状の形態である一連の軸方向に積み重ねられた圧電変換器素子 1 5 2 2 を含む。他の実施形態では、圧電変換器 1 5 2 0 は、軸方向に整列された単結晶変換器素子のリング状または円周方向に間隔を置かれた、または配置されたアレイを含み得る。そのようなアレイの変換器素子は、例えば、それらが容易に一緒に適合することを可能にするために、くさび形であり得る。そのようなリング状アレイは、例えば、図 5 に示されるスペーサー 1 4 0 のリガメント 1 4 4 のアレイに類似し得る。リング状または円周方向のアレイは、圧電変換器素子を、磁石 1 5 3 0 の周りに略円形またはほぼ円形の周囲に密にまたは緩く詰め込んでおくことができる。リング状または円周方向のアレイは、好ましくは、音響プロジェクト 1 5 0 0 の近位から遠位（整列）軸に直交する少なくとも 2 つの軸に関して対称である。圧電変換器 1 5 2 0 は、磁石 1 5 3 0 、テールマス 1 5 1 2 、及びヘッドマス 1 5 5 0 を含む、音響プロジェクト 1 5 0 0 の残りの部分と軸方向に位置合わせされる中心軸を有するように配置されている。

【 0 1 0 1 】

圧電変換器 1 5 2 0 の材料及びその構成的な圧電要素 1 5 2 2 は、振動エネルギーハーベスティングの実施形態に関連して上記のように、1 つまたは複数の R F S C 変換器素子から形成または構成され得るか、または Navy Type のチタン酸ジルコン酸鉛（P Z T）組成物などの、より従来的な圧電セラミックが含まれる場合がある。リラクサー強誘電性単結晶が圧電変換器 1 5 2 0 または圧電素子 1 5 2 2 に使用される場合、結晶は、[0 1 1] 分極材料を使用して d 3 2 モードの円筒に配置され得る。複数の R F S C のアレイを使用する音響プロジェクト 1 5 0 0 、1 6 0 0 の説明されている圧電変換器の配置では、高い適用励起電圧が、導電体（図示せず）を介して半径方向内側の圧電面に適用され得て、外側面が接地され、リングの内側から半径方向外側に 3 方向に向けられ、1 方向は音響プロジェクト 1 5 0 0 、1 6 0 0 の軸方向と整列する。

【 0 1 0 2 】

シム 1 5 1 5 a 、1 5 1 5 b は、Mac or などの薄い（比較的柔らかい）機械加工可能なセラミック材料で形成されているか、または形成され得る。シム 1 5 1 5 a 、1 5 1 5 b は、それらが環状であり、磁石 1 5 3 0 が通過する中央開口を画定するという点で、シム 1 1 5 a 、1 1 5 b とは異なる。

【 0 1 0 3 】

シム 1 5 1 5 a は、近位に配置され、テールマス 1 5 1 2 に接着されている。シム 1 5 1 5 a は、それに隣接する圧電変換器 1 5 2 0 の近位端を有する。シム 1 5 1 5 a の材料の厚さ及び中央開口は、圧電変換器 1 5 2 0 が A C 電流供給源 1 4 5 5 からの変化する電流にตอบสนองして軸方向の膨張または収縮を受けるときに、磁石 1 5 3 0 が開口に部分的に出入りすることを可能にするサイズである。したがって、シム 1 5 1 5 a はスペーサーとして機能し、圧電変換器 1 5 2 0 の予想される軸方向のたわみよりもわずかに大きい厚さを有する可能性がある。例えば、予想される最大の軸方向のたわみが 1 . 0 mm である場合、シム 1 5 1 5 a の厚さは約 1 . 2 mm であり得る。

【 0 1 0 4 】

シム 1 5 1 5 b は、遠位に配置され、ヘッドマス 1 5 5 0 に接着されている。シム 1 5 1 5 a は、それに隣接する圧電変換器 1 5 2 0 の近位端を有する。シム 1 5 1 5 b の材料の厚さは、シム 1 5 1 5 a の場合と同じである必要はなく、シム 1 5 1 5 b の環によって画定される中央開口は、磁石 1 5 3 0 がそれを通過できるようなサイズである必要があるだけである。両方のシム 1 5 1 5 a 、1 5 1 5 b は、圧電変換器 1 5 2 0 の端面に接触す

るために少なくとも十分な平坦な表面積を備えるべきである。

【0105】

図16も参照すると、さらなる音響プロジェクトの実施形態が音響プロジェクト1600として示されている。音響プロジェクト1600は、磁石1530がヘッドマス1550の代わりにテールマス1512に結合され、シム1515a、1515bの機能及び構成が逆になっていることを除いて、音響プロジェクト1500と同じである。換言すれば、遠位シム1515bは、圧電変換器1520がAC電流供給源1455からの変化する電流に応答して軸方向の膨張または収縮を受けるときに、磁石1530が開口に部分的に出入りすることを可能にするサイズである材料の厚さと中央の開口を備えているものである。したがって、音響プロジェクト1600において、シム1515bはスペーサーとして機能し、圧電変換器1520の予想される軸方向のたわみよりもわずかに大きい厚さを有し得る。例えば、予想される最大の軸方向のたわみが1.0mmである場合、シム1515bの厚さは約1.2mmであり得る。

10

【0106】

シム1515a、1515bは、わずかな量の表面の変形を可能にし得ることで適している可能性があり、それにより、ほとんどの希土類磁石よりもわずかに柔らかい表面をもたらす。圧電変換器1520で形成される破壊の可能性を低減する（結晶として形成される場合、または一連の結晶を含む場合）。しかしながら、いくつかの実施形態では、シム1515a、1515bの代わりに、他の同様に変形可能な材料を使用することができる。そのような類似の材料は、例えば、テール（第1の）磁石1512の遠位側またはヘッド（第2の）磁石1550の近位側に配置された、コーティング、層、材料組成勾配を有する層、または薄いシートとして設けられ得る。そのような類似の材料は、例えば、圧電変換器1520に接触することが意図されている表面でより高いガラス濃度を有する磁石-ガラス複合材料を含み得る。

20

【0107】

音響プロジェクト1500の場合、磁石1530は、ヘッドマス1550と直接接触するか、または磁石1530とヘッドマス1550との間の磁気引力が無視できるほどの影響を受けるように十分に薄い接着結合層によって、そこから分離され得る。音響プロジェクト1600と類似して、磁石1530は、テールマス1512と直接接触するか、または磁石1530とテールマス1512との間の磁気引力が無視できるほど影響を受けるように十分に薄い接着結合層によってそこから分離され得る。

30

【0108】

音響プロジェクト1600では、中央磁石1530とヘッドマス1550との間に物理的スペーサーは挿入されていない。しかしながら、磁気引力による高い（例えば、5~500Nまたは50~500N）静的圧縮力を誘発するために、中央磁石1530とヘッドマス1550との間に画定された軸方向ギャップ1640（例えば、約0.2mmから約1.0mmの間）が、依然として存在する。音響プロジェクト1500、1600の場合、圧縮や曲げなどの機械的負荷が圧電変換器1520によって吸収されるため、スペーサーは必要とされない。

【0109】

上記以外は、音響プロジェクト1600は音響プロジェクト1500と同じである。例えば、ハウジング1570、圧電変換器1520、テールマス1512、ヘッドマス1550、追加のヘッドマス1560、及びアウターケーシング1568などの構成要素は、図15及び16に同じ参照符号で示されている。

40

【0110】

本明細書に記載の音響プロジェクト1400、1500、1600、及び他のエネルギー変換デバイスの実施形態は、圧電変換器120、1520が磁石配列130、730（または図9Bの931、932）または磁石1530と同軸である配列を採用する。いくつかの実施形態では、磁石配列130、730または931/932は、軸165などの軸に平行な方向に延在し、それに沿って、構成要素の中心が整列され、中心軸から半径方

50

向に間隔を置いて（外側に）1つまたは複数の位置に配置され、圧電変換器120などの圧電変換器が、中心軸と整列し中心軸に沿って延びる。他の実施形態では、磁石配列または磁石と圧電変換器との半径方向の位置が入れ替わっている。これらの他の実施形態では、圧電変換器1520などの圧電変換器は、中心軸と整列し、中心軸に沿って延びる磁石1530などの磁石の外側に、半径方向に配置された1つまたは複数の構成部品を有するように配置される。この文脈において、同軸という用語は、各磁石または圧電構成要素が厳密にどのような形態をとるか、及び各磁石または圧電構成要素を構成する構成部品の数に関係なく、磁石配列または磁石の重心が圧電変換器の重心と一般に軸方向に整列する配列を説明することを意図している。同軸という用語は、圧電変換器120、1520及び磁石配列130、730または磁石1530と、テールマス112、1512、ヘッドマス150、1550、シム115a、115b、1515a、1515b、アライメントディスク135（存在する場合）、及びスペーサー140（存在する場合）などの他のデバイス構成要素との軸方向の位置合わせも表す。

10

【0111】

いくつかの実施形態では、磁石または圧電構成要素は、略円形または円形アレイの構成を有するであろう。そのような実施形態では、また非円形の実施形態（図9Bに示されるような）においても、磁石及び圧電構成要素はまた、磁石構成要素が圧電構成要素の半径方向内側に配置されるか、圧電構成要素が磁石構成要素の半径方向内側に配置される同心円として説明され得る。

【0112】

音響プロジェクト1400、1500、1600などの本明細書に記載の音響プロジェクトデバイスは、複数のそのようなデバイスを組み合わせて含む音響投射システムの一部を形成することができる。そのような複数の音響プロジェクトデバイスは、そのようなプロジェクトのアレイまたはバンク内で互いに隣接して配置され得るか、またはそれらは離間された位置に配置され得る。そのようなシステムでは、音響プロジェクトの複数のものが実質的に同じ方向に向けられ得、及び/または音響プロジェクトの複数のものが異なる方向に向けられ得る。

20

【0113】

本明細書で説明するように、様々な実施形態は、音響プロジェクトの圧電変換器素子に圧縮機械的な予負荷を適用する。以前の音響超音波プロジェクトの設計の中には、軸方向のボルト/ナット（他にタイロッドとも言われ、ストレスロッドと呼ばれることもある）を使用して、圧電素子に静的圧縮応力を備えるものがある。予応力が大きいほど、変換器が張力にさらされる前に可能になる動作の振幅が大きくなり、この場合、変換器は通常は故障する（セラミックであるため）。

30

【0114】

本明細書に記載の軸方向磁石アセンブリにおける磁石の組み合わせの配置は、タイロッドに静的圧縮応力の代替供給源を設ける。説明した配置には、タイロッドの端に板ばねが必要ないため、減衰が低く、妨げられない共振運動の範囲が広いという利点がある。磁気の配置は、圧電素子を取り囲む単一の円筒に限定されず、様々な形状の様々な数の磁石及びスペーサーを有するように構成することができ、その例は上に記載されている。

40

【0115】

表1に示す磁気計算の結果は、磁気予圧力配置を使用して生成できる大きな圧縮力を示している。これには、音響投射に対する次のような複数の潜在的な利点がある。

・単一のデバイスとして、またはアレイで、航空/陸上/水上車両の構造的ヘルスマニタリングなどの分野で、音波サーモグラフィ、複合材料製造、及び様々な水中アプリケーションのエキサイターとしての、空気結合システムや水中システムなどの、複数の適用向けのコンパクトな設計。一般に、説明した音響プロジェクトは、低周波数（300Hz+）の音響投射がすでに使用されている場所であればどこでも使用できる。

・ヘッドマスの妨げられない共振運動。

・ヘッドマスの動きが中央に配置されたタイロッドによって圧縮で制約されないことに

50

よる、よりクリーンな音響モード形状。

・圧縮にタイロッドを使用する設計よりも本質的に動きに対する抵抗が少ないことによる、エネルギー効率の高い操作。

・デバイスの共振周波数での効率的な伝達と高感度の信号受信（様々な設計上の考慮事項により、約300Hzを超えるように変更できる）。

・変換器が圧縮されたままであるため、圧電結晶を強い電界で駆動できる（結晶セラミックは張力をかけたときに耐久性がない）、相当の量の予応力。

・特定の結晶組成で利用可能なリラクサー強誘電相転移を利用して、音響出力を増加させる可能性（結晶が可逆転移を経るときに発生する結晶ひずみの段階的変化を介して）。

【0116】

【表3】

OD (mm)	推定プルーフマス* (kg)	圧縮性磁力* (N)	結晶の形状 (mm ³)	最大先端たわみ** (μm)	効果的なばね定数 (N/m)	最低共振周波数(Hz)	最大加速度*** (g)
20	0.14	90	12x2x2	5	5e6	970	60
			12x4x4	2	2e7	1940	
40	1.0	400	12x2x2	80	5e6	350	35
			12x4x4	20	2e7	710	

表3：磁気システムの圧縮力と機械的挙動の推定。推定は、デバイス100、800、及び1400の形状に基づくか、またはそれらに類似するデバイスの形状に固有である。

*プルーフマスには、磁石の最大質量（下部と中央）と追加の炭化タングステン（WC）の質量が含まれる。形状の例を表1に定める。いかなる追加のWC質量も、遠位端の磁石（例えば、上部の磁石）と同じ形状であると仮定されている。

**静的圧縮磁力によって生成されるたわみは、15GPaの変換器の弾性率に基づいている。最大動的先端たわみは、静的圧縮磁力によって生成されるたわみに等しくなる。

***最大加速度は、磁気圧縮力によって生成される静的たわみと、達成可能な最低周波数によって制限される。

【0117】

表3に示す磁気計算の結果は、磁気の予圧力の配置を利用して生成できる大きな圧縮力と、達成できる最低の共振周波数を示している。

【0118】

音響プロジェクトの主な目的は、比較的大きな機械的変位を生成することである。これにより、ひいては隣接する媒体に音響エネルギーが放射される。例えば、振動する圧電バネの動的ひずみは、次のように概算できる。

【数2】

$$S = \frac{8}{\pi^2} Q_m d_{ij} E$$

【0119】

式中、Sは動的ひずみ、Q_mは機械的品質係数、d_{ij}は圧電係数、Eは印加電界である。提案された磁気圧縮構成では、d₃₂が選択される。これは、準拠した2軸と、より効率的及び/またはポータブルな設計に有益な、より低い動作周波数とより高い電力密度など、それに起因する利点のためである。例として、第3世代のRFSCには、大きな、Q_m（通常は1000）、大きなd_{ij}（通常は1000pC/N）、及び大きなE_c（6kV/cm）がある。そのため、大きな動的ひずみを生成することができる。

【0120】

さらに従来使用されていた圧電セラミックよりも、第1世代のRFSCを使用することには利点がある。このような利点には、より低い弾性率/より高いコンプライアンス2軸、より高い結合定数、及びより高い圧電ひずみ定数が含まれる。第3世代のRFSCには、これらの利点と特別な Q_m があり、理想的な選択肢となっている。

【0121】

動的ひずみの予測を表4に示す。水晶振動子の形状は $4 \times 4 \times 12 \text{ mm}^3$ と仮定され、最大電圧の値は $0.4 E_c$ と仮定される(3方向の4mmの距離について)。実証の目的では、変換器のみが考慮され、周囲のプロジェクタ構造の影響は無視される。結晶学的相変化の潜在的な影響も無視される。

【表4】

変換器	Q_m	d_{32}	最大電圧V (E)	動的ひずみ (S)
PZTタイプ1	1000	290	4800	1.128e-3
PMN-PT	80	-2100	1040	1.416e-4
PIN-PMN-PT	100	-1800	2120	3.093e-4
Mn-PMN-PZ-PT	1000	-900	2400	1.751e-3

表4：圧電素子タイプの動的ひずみの比較

【0122】

表4は、Mn-PMN-PZTが、少なくとも空気中及び浅い水深での伝達/投射に最も適切な選択であることを示している。Mn-PMN-PZ-PTを電気から機械への変換器として使用すると、 Q_m が高く、圧電定数 d が大きく、弾性率 s^E が低く、結合度 k が高いため、投射に有利である。PIN-PMN-PTは、より大きな圧電定数 d_{32} と結合 k によって得られる感度により、感知の用途に実用的である可能性がある。本明細書に記載の音響プロジェクタデバイス1400、1500、1600は、磁石及び追加の質量を付与する支持構造の両方を含み、磁石は結晶変換器と並列にばねとして機能するため、追加の質量または剛性を含み得る。これは、次の式によってデバイスの全体的な機械的品質に影響を与える。

【数3】

$$Q_m = \frac{\sqrt{Mk}}{D}$$

【0123】

式中、 M は質量、 k はばね定数、 D は減衰係数である。

【0124】

磁気圧縮の予圧力の提案された方法は、第3世代の圧電素子と組み合わせると、以下に説明する利点が得られる。

【0125】

水晶変換器の準拠した2軸により、従来の圧電セラミック変換器を使用して製造されたデバイスよりも低い動作周波数が可能になる。散乱損失は通常、周波数の4乗で増加するが、共振条件が必要な場合、プロジェクタのサイズは動作周波数に反比例する。

【0126】

単一の長方形または「スパイク」パルスの代わりに正弦波トーンバースト励起(図18に例示)を使用すると、圧電変換器120、1520は共振応答が可能になり、デバイスの信号投射効率と信号受信感度が向上する。4つの界面(プローブから伝達媒質(複数可)、目的の場所に向かい、再び戻る)の後、元の音響エネルギーのわずかな割合しか残らない。この問題は、共振動作によって部分的に軽減される。

【0127】

より低い伝達周波数は、ソノトロード(すなわち、超音波機械加工、溶接、及び混合)

10

20

30

40

50

に役立つ。例えば、低動作周波数、特に50kHz以下によって得られる音響伝搬の利点を備えた、音波サーモグラフィ用のコンパクトな音響励起デバイスとして役立つ。

【0128】

磁石配列によって得られる大きな静的予負荷により、変換器はコンパクトになり、張力にさらされることなく大きな電気励起電圧に耐えることができる。これにより、システムの操作能力と一般的な耐久性が向上する。

【0129】

音響投射デバイスの場合、ヘッドマスの音響インピーダンスを空気と水の両方に一致させることが考慮される。音波が2つの材料間の界面を通過するとき、エネルギーの一部のみが伝達され、残りは反映され、そうでなければ失われる。伝達されるエネルギーの割合は、2つの材料の音響インピーダンスがどれだけ緊密に一致しているかによって異なる。空気の周波数減衰は周波数と共に指数関数的に増加するため、空気結合超音波デバイスは1MHz未満で動作する。

10

【0130】

反射係数と伝達係数は、次の式で得られる（検証している平面に垂直な波の励起の場合）。

【0131】

【数4】

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

20

【0132】

【数5】

$$T = \frac{2Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

【0133】

式中、Rは反射係数、Tは伝達係数であり、波は音響インピーダンス Z_1 の媒体から音響インピーダンス Z_2 の媒体に伝わり、 $Z_i = \rho_i \times v_i$ 、 $i = 1, 2$ 、 ρ_i は密度、 v_i は媒体の音の速度である。2つの値が互いに近くであるほど、伝達率が高くなり、反射率が低くなることは明らかであり、したがって、信号対雑音比を向上させるには、音響インピーダンスを可能な限り近くさせる必要がある。一般的に使用される様々な材料の一般的な音響インピーダンスを表3に示す。

30

【0134】

ある媒体から別の媒体へのエネルギー伝達係数は、次の式で計算される（エネルギー伝達のパーセンテージとして100を掛けることができる）。

【0135】

【数6】

$$T_e = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

40

【表 5 - 1】

材料	密度 (kg/m ³)	弾性率 (GPa)	媒質での音 速 (m/s)	インピー ダンス Z= 密度 x 音 速 (x10 ⁶ レイ リー)	直径 20mm のヘ ッドマスの特性 インピーダンス (Z*エリア)
空気	1.25	該当なし	330	0.000413	0.52
PLA	600	1.4	1071	0.64	808
水	1000	該当なし	1500	1.50	1885
ABS	1050	2	1834	1.93	2420
PEEK	1260	3.6	1856	2.34	2939
ポリカーボ ネート	1200	2.4	2270	2.72	3423
PMMA	1190	3	2775	3.30	4149
コンポジッ ト (標準)	1600	70	3000	4.80	6032
G-10、FR-4 グ ラスファイ バー	1850	24	3589	6.64	8344
Mn-PMN- PZT	7900	14	1352	10.7	13417
MACOR	2520	66.9	5152	13.0	16316
コーディエ ライト	2600	70	5189	13.5	16953
アルミニウ ム	2690	68.3	5039	13.6	17033
ステアタイ ト L-5	2710	138	7136	19.3	24302
チタン合金	3760	107	5335	20.1	25206
ムライト	2800	150	7319.25	20.5	25753
PZT	7700	63	3161	24.3	30583
焼結アルニ コ (磁石)	6900	100	3806	26.3	33009

10

20

30

40

50

【表 5 - 2】

材料	密度 (kg/m ³)	弾性率 (GPa)	媒質での音 速 (m/s)	インピー ダンス Z= 密度 x 音 速 (x10 ⁶ レイ リー)	直径 20mm のヘ ッドマスの特性 インピーダンス (Z*エリア)
窒化アルミ ニウム	3250	308	9735	31.6	39758
Sm2Co17 (磁石)	8400	120	3780	31.7	39897
NdFeB (磁石)	7500	160	4619	34.6	43531
アルミナ	3970	314	8893	35.3	55368
CW1000 タングステ ン	16960	280	4063	68.9	86597

表 5 : 様々な材料及び媒体の特性パラメータ

【 0 1 3 6 】

表 5 は、音響投射モデルで役立つ様々な材料のパラメータを示している。表 5 のパラメータは、音響伝達率の推定に使用できる（例えば、以下の表 6 及び 7 を参照されたい）。

【 0 1 3 7 】

表 6 と表 7 は、プロジェクトを媒体に整合させる音響インピーダンスの利点を示している。インピーダンス整合を実現する 1 つの方法は、表 5 に示す界面材料を最適化することである。

【表 6】

	エネルギー伝達係数 (Te)	伝達されるエネルギーの割合(% (Te*100)
既存のプロトタイプ設計： MN-PMN-PZT から MACOR シム、 NdFeB、空気へ	3.74e-5	0.0037
音響インピーダンス整合を改善す るための追加層:MN-PMN-PZT から Fr-4、PMMA、PEEK、空気へ	5.74e-4	0.0574

表 6 : 空気中の音響エネルギー伝達のための追加の結合層の利点の例プロトタイプ設計に整合するインピーダンスにより、空気への伝達エネルギーが 1.5 倍向上する。

10

20

30

40

50

【表 7】

	エネルギー伝達係数 (Te)	エネルギー伝達の割合% (Te*100)
既存のプロトタイプ設計： MN-PMN-PZT から MACOR シム、NdFeB、空気へ	1.25e-1	12.5
音響インピーダンス整合を改 善するための追加層：MN- PMN-PZT から Fr-4、PMMA、 PEEK、水へ	7.76e-1	77.6

表 7：水での音響エネルギー伝達のための追加の結合層の利点の例。プロトタイプ設計に整合するインピーダンスにより、水中への伝達エネルギーが 6 倍向上する。

【 0 1 3 8 】

空気結合超音波の固有の弱点は、空気の音響インピーダンスが低いことである。これは通常、他の材料の 10^4 分の 1 である（空気に関する表 6 と、水に関する表 7 を比較されたい）。これにより、音響エネルギー伝達の値が小さくなり、音響インピーダンス整合の影響が減少するが、排除されるわけではない。ただし、（タイロッドを使用するのではなく）磁気圧縮予負荷を使用するデバイスの妨げられない共振運動は、機械的効率に対してより高い電気的効率をもたらすことによって、これを打ち消す可能性がある。

【 0 1 3 9 】

磁気予圧力空気結合音響プロジェクトを使用して、特に低周波数で適切な材料におけるかなりの距離を移動できるラム/プレート波を生成できる。別個の送信機 1910 及び受信機 1912 を使用する例示的な透過伝達構成を図 19 に示す。空気結合された送信機 1920 及び受信機 1912 が、図 19 に示されるように試験部分の反対側にあるように、または図 20 に示されるように試験部分の同じ側にあるように測定を構成することが可能である。空気結合送信機 1910 は、単一の点の代わりに線分を測定することができ、正確な画像化が必要とされない用途での試験速度を大幅に向上させる。図 19 及び 20 に示される構成において、音響プロジェクトの実施形態 1400、1500、1600 は、送信機 1910 に使用され得ることが企図される。そのような音響プロジェクトの実施形態 1400、1500、1600 は、図 19 及び 20 に示される構成において、受信機 1912 の音響検出モードで使用され得ることもまた企図される。いくつかの実施形態では、受信機 1912 は、送信機 1910 からの、または送信機 1910 によって誘導される出力または効果を直接的または間接的に感知するように構成されるセンサ（本明細書に記載の振動エネルギー変換デバイス以外）であるか、またはそれを含むことができる。このようなセンサの例には、サーマルカメラまたは走査型レーザー振動計が含まれる。そのような実施形態では、送信機からの音響エネルギーは、受信機 1912 によって検出され得る試験部分または他の介在媒体において、放射線、損傷、または別の熱的または光学的に検出可能な効果を励起し得る。

【 0 1 4 0 】

水中音響技術は、産業及び科学の目的で使用される場合がある。能動式ソナーはターゲットから戻るエコーを送受信するが、受動式ソナーは外部のターゲットソースから放射されるノイズを遮断するのみである。産業及び科学での用途の例には、以下が含まれるが、これらに限定されない。

- (i) 水深を測定する水深測量音響器、
- (i i) 水生生物を検出し、位置を特定するように設計された漁業用音響器、
- (i i i) 海底の音響イメージングに使用されるサイドスキャン/マルチビームソナー、
- (i v) 海底の内部構造を研究するために使用される堆積物プロファイラ、

10

20

30

40

50

- (v) デジタルデータの送信に使用される音響通信システム、
- (vi) プラットフォームの位置特定のための位置決めシステム、
- (vii) 固定媒体に対するソナーの速度、または固定の機器に対する水の速度を測定するために使用される音響ドップラーシステム、及び
- (viii) 水文学的摂動を評価するために使用される音響トモグラフィー。

【0141】

海洋学では、高出力の低周波プロジェクタが望ましい。設計の低電力出力は、アレイの複数の個別の音響プロジェクタデバイス1400、1500、1600などの複数の電気音響変換デバイスを使用することによって補うことができる。海洋学的用途の例は、電気音響変換デバイスを備えた船舶などのクラフト2100によって図21に示されている。これは、例えば、音響プロジェクタ1400、1500、1600であり得、クラフト2100の船体2110の下側など、取り付け本体に取り付けられる。船舶には、例えば、ボート、船、または潜水艦が含まれ得る。いくつかの実施形態では、電気音響変換デバイスの複数のもの（例えば、音響プロジェクタ1400、1500、1600の形態で）を1つまたは複数の取り付け本体に取り付けて、1つまたは複数の取り付け本体から振動（音響）エネルギーを投射することができる。1つまたは複数の取り付け本体は、船体2110及び/または船体2110に順番に取り付けられる取り付け構造を含み得る。他の例では、1つまたは複数の取り付け本体は、船舶以外の可動クラフト、または水または空気などの流体のボリュームに面するパイロン、壁または固定面などの1つまたは複数の静的取り付け本体を含み得る。複数の電気音響変換デバイスは、同じ方向または複数の方向に、またはそれらから圧力波を放出または検出するように向けることができる。そのような複数の変換装置/デバイスの実施形態は、取り付け構造/取り付け本体、ならびにそのようなシステムの動作のための適切な制御システム及び電源を含む、音響投射システムまたは音響検出システムの一部を形成し得る（例えば、クラフト2100を含むか、またはその一部として）。

10

20

【0142】

水中の用途での圧電変換器の性能指数（FOM）は、初期音響速度に関連付けられている $d_{ij}Q_m$ 、及び/または電気音響効率に関連付けられている k^2Q_m である。提案された磁石配列のすでに述べた特性、特に高い Q_m 、共振運動及び結晶学的相変化の可能性を考えると、次のように推測することができる。

30

- ・重要でコンパクトな予圧力負荷メカニズム（結晶学的相変化の可能性は言うまでもなく）によって可能になる高い駆動力により、結晶が張力に達するのではなく圧縮状態に保たれるため、強力な信号放射が可能になる。いくつかの既存の設計は、圧電変換器に予圧力を与えるためにタイロッドを使用するが、タイロッドは、本明細書で説明する音響プロジェクタの実施形態よりもかさばり、デバイスの共振応答を減衰させる。

- ・ Q_m が高いと、帯域幅が狭くなり、電力が高くなる。

- ・設計によって許可されたヘッドマスの妨げられない共振運動は、より効率的な圧力波伝達と受信圧力波に対するより高い感度を生み出す。

- ・シンプルな設計により、製造はシンプルで、簡単に入手できる素材で一貫して再現可能である。

40

【0143】

個々の低周波プロジェクタの低電力と低指向性は、各音響プロジェクタへの励起電流を制御するローカルコントローラーによる適切な制御により密集したアレイにそれらのいくつかを組み立てることによって克服できる。これにより、単一の音響プロジェクタと比較した場合、ソースレベルが大きくなり、指向性が向上することに至り得る。

【0144】

磁気予圧力を利用する音響プロジェクタのアレイは、音響プロジェクタごとに個別のハウジングケースを必要としないように構成することができる。潜在的に、磁氣的に能動的な個々の音響プロジェクタは、個々の音響プロジェクタの予圧力を最適化するために適切な磁気回路に配置され得る。

50

【0145】

トンピルツ型音響プロジェクトは、例えば図21に示すように、船体に取り付けられた水中電気音響変換器として使用できる。それらは、軸方向のタイロッドを備えたリング状の圧電材料のスタックを利用し、リングはスタックの長さに沿って極性が交互になり、電極が点在し、互いに結合され、電氣的に並列に接続される。トンピルツ型プロジェクトは、頑丈で防水性のあるハウジング内に取り付けられており、前面の放射面は音響的に透明なゴム引きの「ブーツ」で覆われている。

【0146】

トンピルツ型変換器の共振周波数は、バレル-ステープ屈曲変換器の共振周波数よりも高く、その例では、1000 Hz を超えて共振することがわかっている。Takeishi Inoueら(1990 Jpn. J. Appl. Phys. 2956) (“Inoue et al”)により示されているトンピルツ型の例は約7300 Hz 共振周波数である。低周波数用途のトンピルツ型変換器の設計、最適化、製造、及び特性評価を説明する2019年の論文では、共振周波数は約4600 Hz であった。

10

【0147】

Inoueらが示した装置は、動作周波数が低くなるように最適化されている。Inoueらの論文によると、トンピルツ型変換器(ハウジングケースを除くすべてを含む)の体積は約486 cm³であるが、長さ2 cmの炭化タングステン先端マスを備えた音響プロジェクトデバイス1400(図14)の体積は約27 cm³(Inoueらの装置の体積の5.6%)である。音響プロジェクトデバイス1400のプロトタイプの質量は、Inoueらの設計の約6%であり、圧電素子の体積は、Inoueらの設計の約0.5%である。これは、提案された磁気予圧力配置が可能にするコンパクトな形状を示している。

20

【0148】

本開示の実施形態による振動エネルギー変換デバイスは、有利にも、静的圧縮力を発揮するために非磁性の機械的圧縮機構を使用しない。例えば、実施形態は、圧電変換器120に静的圧縮力を加えるためにタイロッドを使用しない(含まない)。

【0149】

本開示の広範な一般的範囲から逸脱することなく、多数の変形及び/または修正が、上記の実施形態に対して行われ得ることは、当業者に理解されよう。したがって、本実施形態は、すべての点で例示的であり、限定的ではないと見なされるべきである。

30

40

50

【図面】

【図 1】

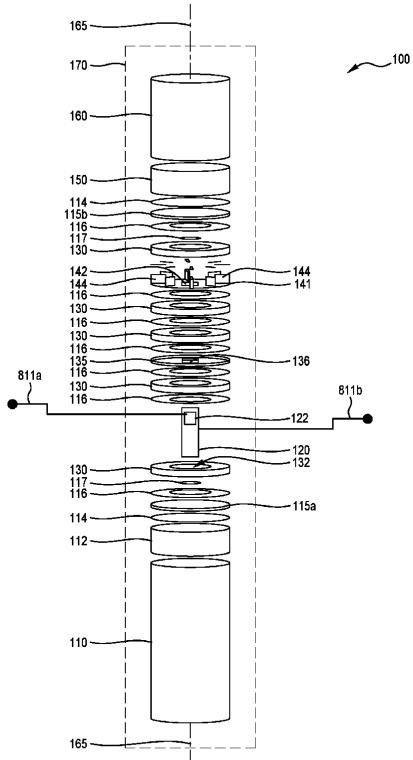
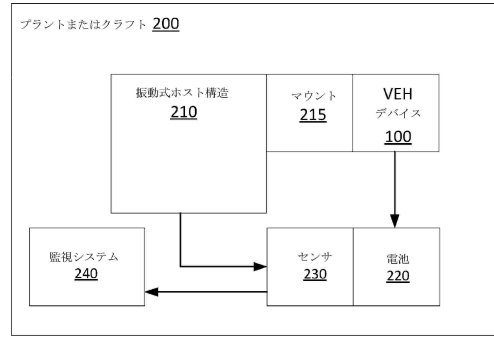


Figure 1

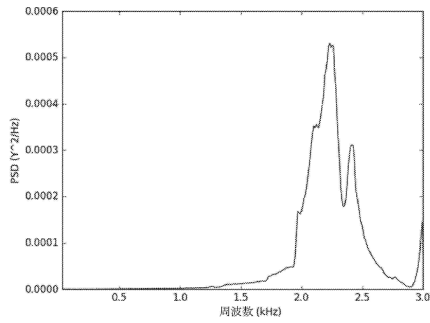
【図 2】



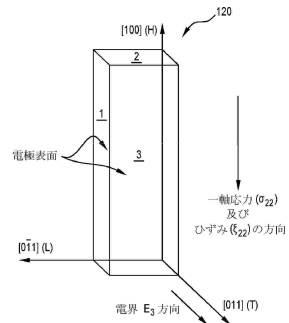
10

20

【図 3】



【図 4】



30

40

50

【図5】

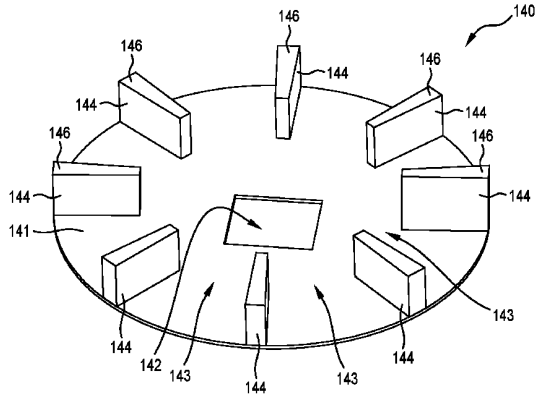
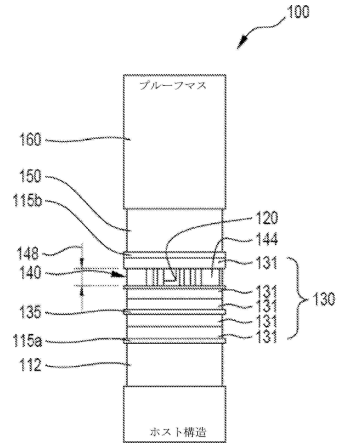


Figure 5

【図6】



10

【図7】

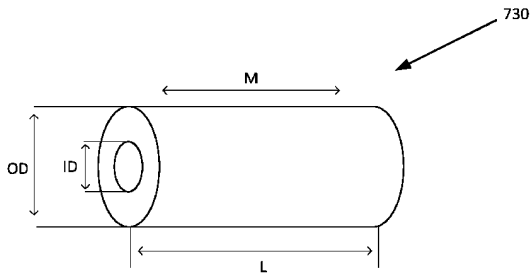
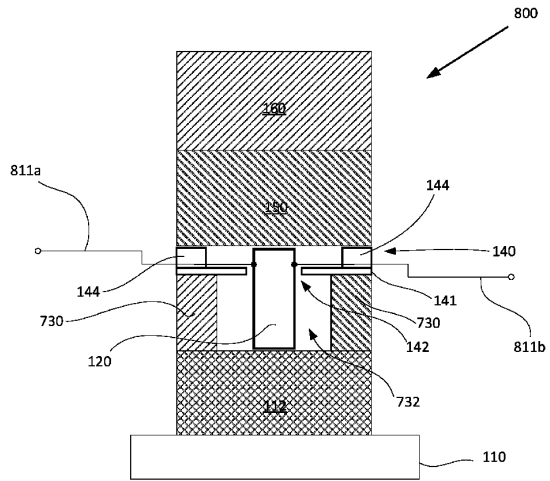


Figure 7

【図8】



20

Figure 8

30

40

50

【図 9 A】

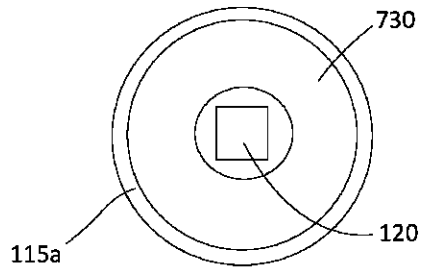


Figure 9A

【図 9 B】

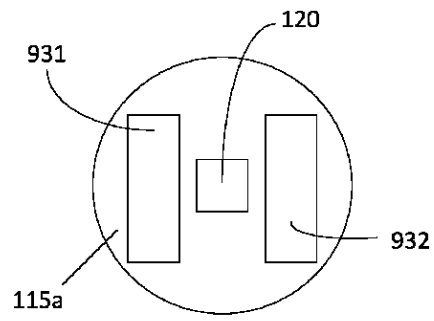
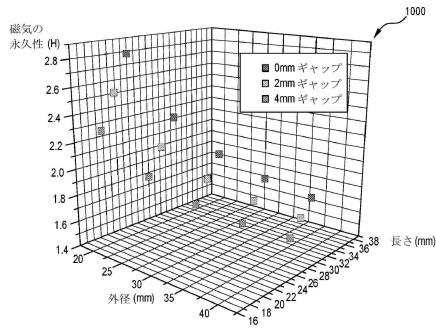


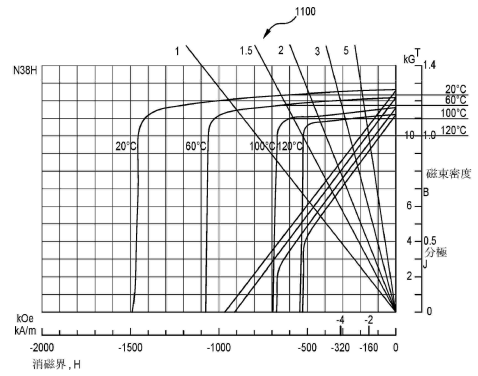
Figure 9B

10

【図 1 0】



【図 1 1】



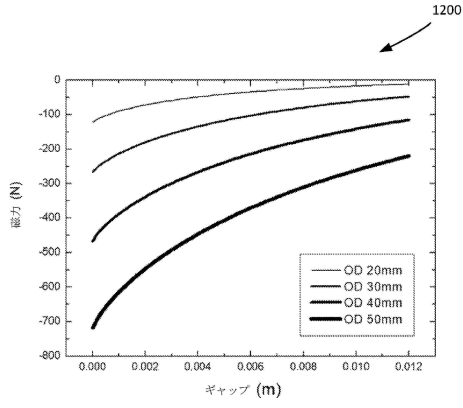
20

30

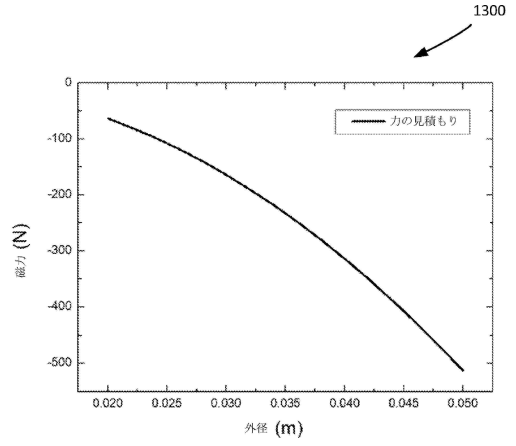
40

50

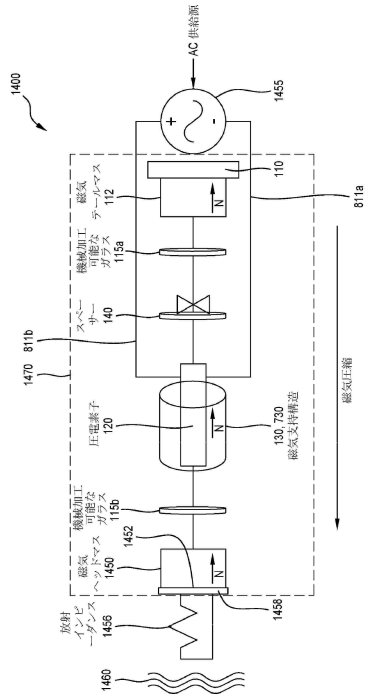
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



【図 1 5】

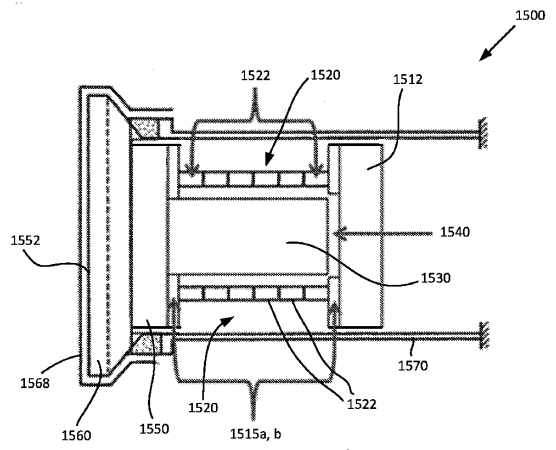


Figure 15

10

20

30

40

50

【図 16】

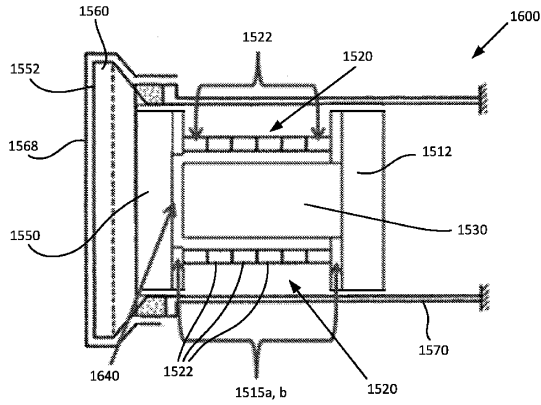
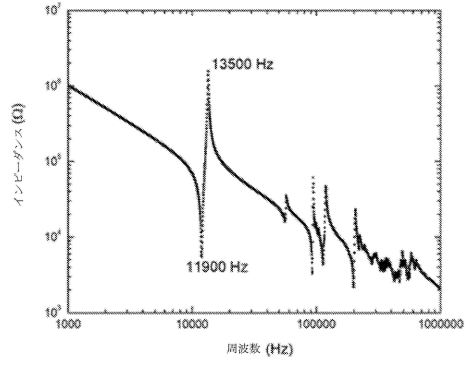


Figure 16
(Rule 26)
RO/AU

【図 17】

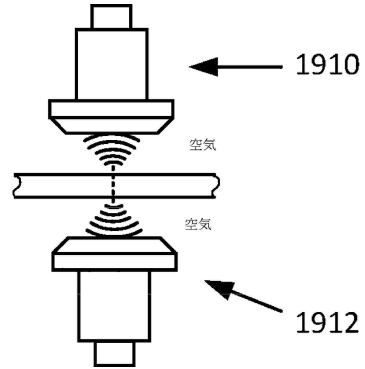


10

【図 18】



【図 19】



20

30

40

50

【図 20】

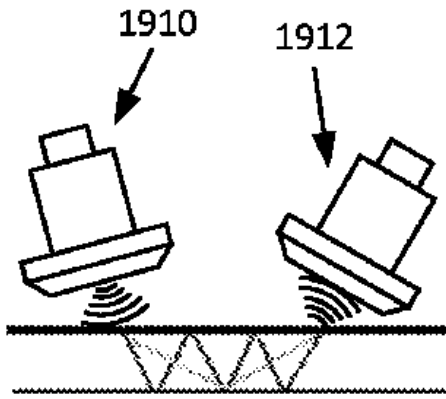
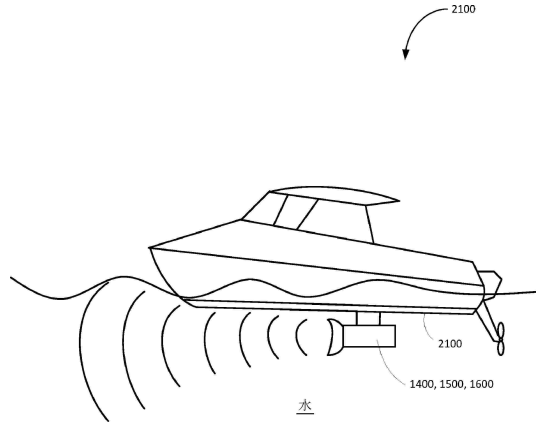


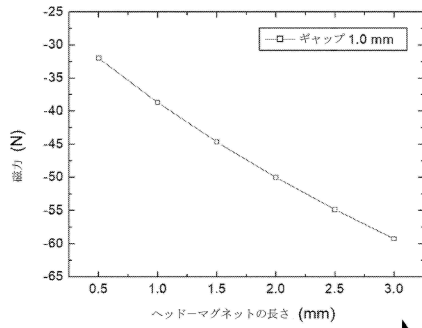
Figure 20

【図 21】



10

【図 22】



2200

20

30

40

50

フロントページの続き

- (72)発明者 モス, スコット
オーストラリア国, サウス オーストラリア 5 1 1 1 エディンバラ ウェスト アベニュー ザ コ
モンウェルス オブ オーストラリア内
- (72)発明者 バクセバノズ, メイソン
オーストラリア国, サウス オーストラリア 5 1 1 1 エディンバラ ウェスト アベニュー ザ コ
モンウェルス オブ オーストラリア内
- 審査官 富澤 直樹
- (56)参考文献 特開 2 0 1 4 - 1 2 7 7 9 4 (J P , A)
特開 2 0 1 2 - 2 1 7 0 3 9 (J P , A)
特開 2 0 0 4 - 1 8 6 6 8 7 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)
H 0 4 R 1 7 / 0 0
H 0 4 R 1 7 / 1 0