

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5362733号
(P5362733)

(45) 発行日 平成25年12月11日(2013.12.11)

(24) 登録日 平成25年9月13日(2013.9.13)

(51) Int.Cl.

HO2J 17/00 (2006.01)

F 1

HO2J 17/00

B

請求項の数 43 (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2010-529136 (P2010-529136)
 (86) (22) 出願日 平成20年10月13日 (2008.10.13)
 (65) 公表番号 特表2011-501636 (P2011-501636A)
 (43) 公表日 平成23年1月6日 (2011.1.6)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2008/079681
 (87) 國際公開番号 WO2009/049281
 (87) 國際公開日 平成21年4月16日 (2009.4.16)
 審査請求日 平成22年6月14日 (2010.6.14)
 (31) 優先権主張番号 60/979,381
 (32) 優先日 平成19年10月11日 (2007.10.11)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 595020643
 クアアルコム・インコーポレイテッド
 QUALCOMM INCORPORATED
 アメリカ合衆国、カリフォルニア州 92
 121-1714、サン・ディエゴ、モア
 ハウス・ドライブ 5775
 (74) 代理人 100108855
 弁理士 蔵田 昌俊
 (74) 代理人 100091351
 弁理士 河野 哲
 (74) 代理人 100088683
 弁理士 中村 誠
 (74) 代理人 100109830
 弁理士 福原 淑弘

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】磁気機械システムを使用する無線電力転送

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

磁気機械振動子のアレイであって、各振動子が、磁気対称部と、前記磁気部に結合されたねじり素子とを備えているアレイと、

前記アレイの周囲に形成された、また前記振動子に電磁的に結合されて前記振動子との電磁結合によって引き起こされる電流を生成するコイルと、

出力電力の生成するための電流を受信する制御回路とを備えているシステム。

【請求項 2】

前記磁気機械振動子のおのがMEMSデバイスである請求項1のシステム。

【請求項 3】

10

前記ねじり素子が機械ばねまたは静磁場のうちの1つである請求項1のシステム。

【請求項 4】

前記ねじり素子が静磁場と機械ばねの両方を有している請求項1のシステム。

【請求項 5】

前記磁気対称部が径方向に対称的である請求項1のシステム。

【請求項 6】

前記磁気対称部は、断面において円形の第一の部分と、前記円形断面エリアよりも薄い第二の範囲とを含む請求項5のシステム。

【請求項 7】

前記振動子のアレイが円板形状に配置されている請求項1のシステム。

20

【請求項 8】

磁気素子を備え、それは運動可能部を備えており、
静磁場の源を備え、前記静磁場は前記磁気素子を特定の回転位置に強要するエリア内に配置され、前記静磁場は、前記磁気素子が印加磁場の影響下で運動することを可能とする程に十分に弱く、前記静磁場は、前記磁気素子の運動に抵抗する力である場を備え、電気生成部を備え、それは、前記静磁場に対する前記磁気素子の前記運動に基づいて電気出力を生成するシステム。

【請求項 9】

前記磁気素子の運動を低減するばねをさらに備えている請求項 8 のシステム。

【請求項 10】

前記磁気素子は、それが回転可能に搭載されている請求項 8 のシステム。

10

【請求項 11】

前記磁気素子が径方向に対称的である請求項 8 のシステム。

【請求項 12】

前記磁気素子は、断面において円形の第一の部分と、前記円形断面よりも薄い第二の範囲とを含む請求項 11 のシステム。

【請求項 13】

前記磁気素子は、磁気素子のアレイの一部である請求項 11 のシステム。

【請求項 14】

前記電気生成部としてコイルをさらに備えており、

20

前記コイルは、前記素子のアレイの前記素子のおののに共通している請求項 13 のシステム。

【請求項 15】

前記素子のアレイが円板形状に配置されている請求項 13 のシステム。

【請求項 16】

印加電力に基づいて、磁気機械振動子のアレイの各素子に、ねじり素子の力に逆らって磁気素子を運動させることを有し、

前記振動子との電磁結合によって引き起こされる、電流を單一コイル構造に生成することを有し、さらに、

出力電力を生成するための電流を出力することを有している方法。

30

【請求項 17】

前記磁気機械振動子のおのがMEMSデバイスのアレイを備えている請求項 16 の方法。

【請求項 18】

前記ねじり素子として固定磁場を使用することをさらに有している請求項 16 の方法。

【請求項 19】

前記ねじり素子として固定磁場と機械ばねの両方を使用することをさらに有している請求項 16 の方法。

【請求項 20】

前記各振動子が $10 \mu m$ 未満のサイズを有している請求項 1 のシステム。

40

【請求項 21】

前記コイルが誘導コイルである請求項 1 のシステム。

【請求項 22】

前記コイルが前記振動子からエネルギーを誘導的に受信する請求項 1 のシステム。

【請求項 23】

前記コイルが前記振動子との共振関係を有している請求項 1 のシステム。

【請求項 24】

前記ねじり素子が第一の角度位置に標準的にバイアスされたばねを有し、前記磁気結合によって別の角度位置に運動される請求項 1 のシステム。

【請求項 25】

50

前記各振動子が $10 \mu m$ 未満のサイズを有している請求項 1 6 の方法。

【請求項 2 6】

前記コイルが誘導コイルである請求項 1 6 の方法。

【請求項 2 7】

前記コイルが前記振動子からエネルギーを誘導的に受信する請求項 1 6 の方法。

【請求項 2 8】

前記コイルが前記コイルとの近場共振を有している請求項 1 6 の方法。

【請求項 2 9】

前記ねじり素子が第一の角度位置に標準的にバイアスされたばねを有し、前記磁気結合によって別の角度位置に運動される請求項 1 6 の方法。 10

【請求項 3 0】

少なくとも一つの磁気機械振動子であって、前記少なくとも一つの振動子が、磁気部と、前記磁気部に連結されたねじり素子とを備えており、前記少なくとも一つの振動子が前記ねじり素子上で運動することができる磁気機械振動子と、

前記少なくとも一つの振動子に電磁的に結合されて前記少なくとも一つの運動可能な振動子との電磁結合によって引き起こされる電流を生成するコイルと、

前記少なくとも一つの運動可能な振動子がある位置を越えて運動することを防止するストップとを備えているシステム。_____

【請求項 3 1】

出力電力の生成するための電流を受信する制御回路をさらに備えている請求項 3 0 のシステム。 20

【請求項 3 2】

前記運動振動子が複数あり、アレイを形成している請求項 3 0 のシステム。

【請求項 3 3】

前記運動振動子が U 字状溝内の磁気素子を備えている請求項 3 0 のシステム。

【請求項 3 4】

第一および第二の溝で基板中に形成された磁気素子と、第一および第二の磁気素子と、前記第一および第二の磁気素子が磁場の影響下で前記溝内で運動することを可能にする方法で前記溝内に運動可能に配置されている。_____

前記磁気素子に結合されたねじり素子と、

前記磁気素子と相互作用して前記磁気素子の運動に基づいて電流を作り出すコイルと、
を備える磁気共振システム。

【請求項 3 5】

前記磁気素子が複数ある請求項 3 4 のシステム。

【請求項 3 6】

前記基板がシリコンで作られている請求項 3 4 のシステム。

【請求項 3 7】

前記磁気素子が $10 \mu m$ 以下である請求項 3 4 のシステム。

【請求項 3 8】

前記磁気素子が 1 テスラよりも高い磁化を有している請求項 3 4 のシステム。 40

【請求項 3 9】

前記磁気素子が二つのハーフピースを形成する請求項 3 4 のシステム。

【請求項 4 0】

前記ハーフピースがその回転軸に一致する重心を有している請求項 3 9 のシステム。

【請求項 4 1】

前記溝が低摩擦材料で被覆されている請求項 3 4 のシステム。

【請求項 4 2】

前記溝がその中に真空室を有している請求項 3 4 のシステム。

【請求項 4 3】

前記溝が U 字状溝である請求項 3 4 のシステム。 50

【発明の詳細な説明】**【背景技術】****【0001】**

この出願は、2007年10月11日付けで提出された仮出願60/979,381号からの優先権を要求し、その開示の全内容は参照によってこれに組込まれる。

【0002】

われわれの先の出願は磁気機械システムを説明した。ナイジェルパワーLLCによる先の出願は、実質的無変調搬送波で磁気信号を送る送信機を使用する無線電力供給および/または充電システムを説明した。受信機は、送信機の放射場からエネルギーを抽出する。抽出されたエネルギーは、負荷に電力を供給したりバッテリーを充電したりするために整流され使用され得る。

10

【0003】

われわれの先の出願は、結合磁気共振を使用する電気エネルギーの非放射転送を説明する。非放射は、受信および送信アンテナの両方が波長と比較して小さいことを意味し、したがって、ヘルツ波に関して低い放射効率を有する。高い効率は、送信アンテナと、送信アンテナの近い場の内に設置された受信アンテナとの間で得ることができる。

【発明の概要】**【0004】**

本出願は、電磁結合に基づいて無線電力を捕らえるための技術を説明する。

20

【図面の簡単な説明】**【0005】**

【図1】図1は、送信および受信ループ間の誘導のブロック図を間に示す。

【図2】図2は、素子ねじり振り子を示す。

【図3】図3は、ダイナモ受信機を示す、

【図4A】図4Aは、球内の磁束を示す。

【図4B】図4Bは、球内の磁場強度を示す。

【図5】図5は、統合実施形態を示す。

【図6】図6は、円板状アレイを示す。

【図7】図7は、コイルがどのように円板状アレイの周囲に巻かれてよいかを示す。

【発明を実施するための形態】

30

【0006】

非放射エネルギー転送の古典的原理はファラデーの誘導法則に基づいている。送信機は一次側を形成し、受信機は、転送距離で分離された二次側を形成する。一次側は、交流磁場を生成する送信アンテナを表わす。二次側は、ファラデーの誘導法則を使用して、交流磁場から電力を抽出する受信アンテナを表わす。

【数1】

$$-\mu_0 \frac{\partial H(t)}{\partial t} = \nabla \times E(t)$$

40

【0007】

ここで、 $\nabla \times E(t)$ は、交流磁場によって生成される電場の回転を表す。

【0008】

しかしながら、発明者は、一次側と二次側の間に存在する弱い結合が漂遊インダクタンスと見なされ得ることを認める。この漂遊インダクタンスは次に、リアクタンスを増大させ、それ自体が一次側と二次側の間のエネルギー転送を妨げ得る。

【0009】

この種の弱い結合システムの転送効率は、動作周波数のリアクタンスの正確な反対に調整されたコンデンサーを使用することによって改善することができる。システムがこのように調整されるとき、それは、その動作周波数で共振する補償トランスになる。それから

50

、電力転送効率は、一次側と二次側の損失によって単に制限される。これらの損失は、それらの品質またはQ値によって規定されるものである。

【0010】

漂遊インダクタンスの補正も、電力転送を最大にするために源および負荷のインピーダンス整合の一部と見なされてよい。したがって、この方法におけるインピーダンス整合は電力転送の量を増大させることができる。

【0011】

図1は、非放射システムの送信および受信部間のインピーダンス整合を示している。

【0012】

送信機100と受信機150の間の距離Dが増大するとき、伝送の効率が減少し得る。
増大した距離において、より大きいループおよび／またはより大きいQ値が、効率を改善するためには使用されてもよい。しかしながら、これらの装置が携帯機器に組み入れられるとき、ループのサイズは携帯機器のパラメータによって制限され得る。

【0013】

効率は、アンテナ損失の縮小によって改善され得る。1MHz未満などの低周波では、損失は、不完全導電材、およびループの付近の渦電流に帰着され得る。

【0014】

フェライト材料などの磁束拡大材料はアンテナのサイズを人為的に増大させるために使用することができる。渦電流損失は、磁場の集中によって本質的に低減される。

【0015】

低周波における標準またはリップ線などの抵抗を低下させて表皮効果を軽減するために特別の種類のワイヤーを使用することができる。

【0016】

非放射転送の代案は、2008年9月14日に提出されたわれわれの同時係争中の出願12/210,200号に説明されるような磁気機械システムを使用する。これは磁場からエネルギーを拾い上げ、それを機械エネルギーに変換し、次に、ファラデーの誘導法則を使用して電気エネルギーに再変換する。

【0017】

実施形態によれば、磁気機械システムは、交流磁場からエネルギーを受信するエネルギー受信システムの一部であってよい。

【0018】

実施形態によれば、磁気機械システムは磁石たとえば永久磁石で形成され、それは、外部交流磁場の力の下で振動することを可能とする方法で搭載される。これは、磁場からのエネルギーを機械エネルギーに変換する。

【0019】

速度vで運動する荷電粒子と磁場Hを仮定する。

【数2】

$$F = q\mu_0(v \times H)$$

【0020】

実施形態では、この振動は、磁気双極モーメントmのベクトルに垂直な軸のまわりの回転モーメントを使用し、磁石の重心に位置する。これは平衡を許可し、したがって重力の影響を最小にする。このシステムに適用される磁場は、次のトルクを生成する。

【数3】

$$T = \mu_0(m \times H)$$

【0021】

このトルクは、基本磁石の磁気双極モーメントを場ベクトルの方向に沿って整列させる。トルクは、一つまたは複数の運動磁石を加速し、それによって、振動磁気エネルギーを

10

20

30

40

50

機械エネルギーに転換する。

【0022】

基本システムが図2に示される。磁石200は、ねじりばね210によって適所に保持される。このねじりばねは、磁場からのトルクがかかっていないときに201で示される位置に磁石を保持する。この無トルク位置201は $\theta = 0$ と見なされる。

【0023】

磁気トルクは、磁石200をばねの力に逆らって、位置202へ、ばね定数 K_R をもつばねの力に逆らって運動させる。運動は、 K_R 割る I の平方根に比例する周波数で共振を示すねじり振り子を作り出す慣性モーメント I を形成する。

【0024】

摩擦損失と電磁放射は振動磁気双極モーメントによって引き起こされる。

【0025】

このシステムが、システムの共振にあたる交流磁場 H_{AC} にさらされると、ねじり振り子は、印加磁場の強度に依存する角度変位データ (data) で振動する。

【0026】

別の実施形態によれば、ねじりばねのいくつかまたはすべてが追加静磁場 H_{DC} によって置き換えられる。この静磁場は、次のトルクを与えるように方向付けられる。

【数4】

$$T = \mu_0(m \times H_{DC})$$

10

20

【0027】

別の実施形態は、ばねと静磁場の両方を使用して装置を保持してもよい。

【0028】

機械エネルギーは、通常のファラデーの誘導たとえばダイナモ原理を使用して、電気エネルギーに再変換される。これは、たとえば、図3に示されるような磁気電気システム200の周囲に巻かれた誘導コイル305に使用することができる。310などの負荷は、コイル305の両端に接続することができる。この負荷が機械的抵抗として現われる。負荷はシステムを減衰させ、機械振動子のQ値を低下させる。さらに、コイルがその両端に負荷を持っているとき、磁石中の渦電流は増大してもよい。これらの渦電流はさらに総合損失に寄与する。

30

【0029】

実施形態では、コイル電流に起因する交流磁場によって渦電流が生成される。磁石式中のより小さな磁石は渦電流を低減し得る。実施形態によれば、より小さな磁石のアレイがこの渦電流影響を最小限にするために使用される。

【0030】

磁石の角度変位がピーク値に達すると、磁気機械システムは飽和を示す。このピーク値は、外部のH場 (field) の方向から、または塑性変形からねじりばねを保護する315などの変位ストップの存在によって決定することができる。これも、磁石素子用の制限された利用可能空間などのパッケージングによって制限され得る。

40

【0031】

一つの実施形態によれば、負荷時のQが無負荷時のQの半分になるときに最適整合が得られる。実施形態によれば、誘導コイルは、その条件を満たして出力電力の量を最大にするように設計される。

【0032】

そのような可動磁石のアレイを使用するとき、アレイを形成する磁石間に相互結合があつてよい。この相互結合は内力と減磁を引き起こすことができる。実施形態によれば、アレイは、径方向に対称的、たとえば、図4Aおよび4Bに示されるように、正規または偏長のいづれかの回転楕円体であり得る。図4Aは、磁化球の平行磁束線を示す。これは、磁束密度Bを示す。図4Bは、磁化球中の磁場強度を示す。これらの図から回転楕円体形状

50

三次元アレイの磁石間にゼロ変位が有効にあることが理解できる。_____

【 0 0 3 3 】

円板の磁化係数は幅対直径比に依存する。構造体の厚さを増大させることなくより容易に使用され得る平坦部を回転槽円体が有しているので、成形素子はまた、装置内への統合により好適な形成因子を有する。

【 0 0 3 4 】

下記は、磁気機械システムと古典的フェリ磁性材料（フェライト）の比較である。フェリ磁性材料すなわちフェライトは磁気機械システムとしてモデル化されてよく、逆に言えば、磁気機械システムは、古典的フェライト物質で達成可能であり得ない特別の特性を備えたフェライトと見なされ得る。これは下記に示される。

10

【 0 0 3 5 】

フェリ磁性物質では、反強磁性材料中と同じように隣接原子の磁気モーメントは反対向きに整列しているが、モーメントは、正味磁気モーメントがあるように完全には補償しない。しかしながら、これは、永久磁石に使用することができる強磁性材料よりも少ない。

【 0 0 3 6 】

より弱い磁気影響はあるが、フェライトとして知られているこれらのフェリ磁性材料のいくつかは低い電気伝導率を有している。これは、誘導渦電流が低いので、これらの物質をACインダクタおよびトランスのコアに役立つようとする。

【 0 0 3 7 】

低い電気伝導率はまた、渦電流が減じられるように相互に電気的に分離された多数の小さい基本磁石からなる磁気機械システムに見つけることができる。

20

【 0 0 3 8 】

結晶強磁性・フェリ磁性材料は、バイス磁区（Weiss domains）とも呼ばれる磁区の中に一般的に組み立てられる。磁区中のアトムは、正味磁気モーメントが生じるように整列される。これらの磁区は、磁気機械システムの磁石と見なされてよい。

【 0 0 3 9 】

多くの磁性材料では、変わら程度に、磁区磁化は、主結晶方向の一つに沿ってそれ自体を整列させる傾向がある。この方向は磁化容易方向と呼ばれ、最小エネルギーの状態を表わす。フェライト材料では、外部磁場が印加されないならば、結晶磁区の方向は、完全な打ち消しがあり、巨視的レベルの合成正味磁気モーメントがゼロであるように、ランダムに配向されると見なされてよい。これは、「基本」磁石が等しく配向される磁気機械システムと対照的である。

30

【 0 0 4 0 】

結晶磁区の磁気モーメントを他の（非容易）方向に回転させるために、回転角に依存して一定の力および仕事が必要とされる。フェリ磁性材料が外部磁場にさらされると、そのような仕事が行なわれる。上に説明したように、裏に潜む物理現象は、磁気モーメントに印加されるローレンツ力である。

【 0 0 4 1 】

磁気機械システムのねじりばね（機械的または磁気的）は、最小エネルギーの状態に戻すように磁区の磁気配向を設定する。外部場が除去されると、磁気機械システムのねじりばねと見なされ得る。 フェライト中の結晶磁区に異なる形状とサイズを有するので、それらは異なるばね係数として現われる。別の実施形態は、すべて等しいばね定数を有する基本振動子を使用する。

40

【 0 0 4 2 】

より強い外部場は、外部磁場によって与えられる方向に、より多くの磁区が整列されるまたはより良く整列されるようにする。この影響は磁気分極と呼ばれる。これは、数学的に次のように表現され得る。

【 数 5 】

$$B = \mu_0 H + J = \mu_0 (H + M) = \mu_0 \mu_r H$$

50

【0043】

ここで、 J は磁気分極であり、 M は磁化の強さであり、 μ_r は比透磁率である。

【0044】

磁化影響は、回転可能磁気モーメントを使用する因子 μ_r による受け位置における磁束密度の拡大と見なされてよい。磁束密度の局所的拡大のこの原理は、上に説明した磁気機械システムに固有である。したがって、比透磁率は磁気機械システムに起因し得る。共振システムでは、この比透磁率は周波数の関数であり、共振周波数の近くで最大に達する。

【0045】

フェライト材料に現れ得る磁区磁化を変えるための別の機構は、そこに残る磁化の方向であるが、個々の磁区で占められる容積は変わり得る。このプロセスは、磁区壁運動と呼ばれるもので、磁化方向が提出 (filled) 方向に近い磁区はより大きく成長するが、より多く不都合に配向されるそれらはサイズが小さくなる。10

【0046】

この種の磁化プロセスは、上に説明したように、磁気機械システムのそれとは異なる。外部磁場が連続的に増大されると、フェライト材料は飽和点が到達するまで次第に磁化される。飽和は、磁区の正味磁気モーメントが外部磁場に最大に整列する状態である。

【0047】

磁気機械システムは、上に説明したように、基本磁石の角度変位が最高ピーク角度変位に達するときに飽和する。交流外部磁場が印加されたときの動的挙動は異なる。この目的のために、バルクフェライト材料の磁化プロセスは考慮することができる。フェライトの一般的磁化曲線 (外部場 H の関数としての M) を考慮すると、フェライトが異なる動的挙動を示す三つの主要領域を識別することができる。20

【0048】

低い磁化では、磁区壁動作および回転は主に可逆的である。可逆的であることは、外部場が増大され、次に再び元の磁場強度に減少されたときに、ヒステリシス影響のほかに、元の磁化状態に戻ることができる。

【0049】

磁化曲線の第二の領域は、磁化の傾斜 (M 対 H) がより大きく、不可逆的磁区壁運動が生じるところである。

【0050】

カーブの第三の区域は、不可逆的磁区回転の一つである。ここで、傾斜は非常に平坦であり、残余磁区磁化を外部磁場にしたがって回転させるために必要とされる高い場強度を示している。30

【0051】

不可逆的磁区壁運動または磁区回転は、多かれ少なかれはっきりとすべてのフェライトに現れる磁化曲線のよく知られたヒステリシスを説明する。ヒステリシスは、磁化または誘導 B が外部磁場に対して遅れることを意味する。結果として、与えられた場 H における誘導 B は、フェライト試料の前の磁気履歴の知識なしでは特定することができない。したがって、ヒステリシスは、材料に固有のメモリと見なされてよい。

【0052】

ヒステリシスループに含まれるエリアは、たとえば交流外部磁場に起因するように、周期的磁化プロセスで生じる磁気損失のものさしである。

【0053】

無線エネルギー転送のアプリケーションに関して、ヒステリシス損失が一般的に著しくなる少なくとも磁化の第二の領域にフェライトを追いやる要求がある。この要求は、たとえば通信受信機アンテナに対して異なる。しかしながら、これはここにさらに示さない。

【0054】

より高い周波数において、二つの主要損失原因はフェライト材料中に確認することができる。

【0055】

10

20

30

40

50

- ・不可逆的磁区変化によるヒステリシス損失、および
- ・フェライト中の残留導電率による渦電流損失。ヒステリシスループを一周するエネルギーが速度に依存しないとき、ヒステリシス損失は周波数に比例して増大する。渦電流損失は、ヒステリシスループを広げる影響を有する。

【0056】

上に説明したようにねじりばねを使用する磁気機械システムは、不可逆的影響に関するかぎり、たいていはヒステリシスを有していない。より高い周波数では、渦電流損失も予期されなければならない。より低い周波数（1 MHz）では、磁気機械システムは、飽和に近いレベルにおいて高いQ値を与えるポテンシャルを有している。

【0057】

交流磁場については、フェライトコア材料は、次のその複素透磁率によって特徴づけられ得る。

【数6】

$$\mu = \mu' + j\mu''$$

【0058】

実および虚部は、それぞれ、外部場に対して同位相および直交位相の磁化での透磁率を表わしている。

【0059】

二つの透磁率は、フェライト材料のデータシートに記入されているのをしばしば見つけることができる。一般的に、実成分は、周波数に対してかなり一定であり、わずかに上昇し、次に、より高い周波数で急激に落ちる。いっぽう虚成分は、最初にゆっくり上昇し、次に、実成分が急峻に落ちるところでとても不意に増大する。

【0060】

カットオフの直前に生じる μ' の最大がフェリ磁性共振である。フェリ磁性共振は、フェライト材料の本質的性質で、材料を使用することができるより高い周波数と見なされてよい。材料の透磁率 μ' が高いほど、フェリ磁性共振の周波数は低いことも観察される。共振のこの現象は、磁区回転と逆トルク（ばね）とある慣性モーメントを示す。共振周波数がいわゆる磁気回転比に依存することを示すことができる。

【0061】

フェライトは、機械システムと同様な共振を示すが、この影響が、特定周波数において高透磁率 μ' をもつ材料を得るために技術的に利用することができないような低過ぎるQ値をもつ。

【0062】

材料が強い静磁場にさらされると、あるフェライト材料（たとえばイットリウム・イオン・ガーネット）にマイクロ波周波数（> 1 GHz）において高いQ値（10,000まで）での磁気回転共振を観察することができる。この影響は、電子スピン歳差運動に基づいており、サーチュレーター、アイソレータ、高Qフィルターおよび振動子などのマイクロ波成分を作るために利用することができる。しかしながら、マイクロ波範囲内での連結磁気共振を使用する非放射エネルギー転送は、非常に短い範囲に限定されるであろう。

【0063】

磁気回転共振は、原子レベルの磁気機械システムと見なされてよい。しかしながら、違いは、磁気モーメントが振動軸ではなく静磁場の磁力線のまわりで歳差運動をしていることである。しかしながら、どちらの場合でも、運動磁気モーメントと角度変位がある。

【0064】

したがって、磁気機械システムは、それらのエネルギー転送の一部としてフェリ磁性と磁気回転を使用することができる^と理解することができる。

【0065】

磁気機械システムは、単一永久磁石から、または多数（アレイ）の基本磁石から作られてよい。理論的解析は以下を示す。

10

20

30

40

50

【0066】

・磁気モーメント対慣性モーメントの比は基本磁石の数の増大につれて増大する。この比は、強磁性から知られた磁気回転比に似ている。

【0067】

・磁気機械システムのパフォーマンスは、磁気機械システムのパフォーマンスに対するモーメント A 最小感度のこの比について増大する。

【数7】

$$k_c = \frac{P_{av}}{H_{AC}^2 V_s}$$

10

【0068】

ここで、 P_{av} は、最適整合の状況下で入手可能である電力を示し、 H_{AC} は、外部交流磁場強度であり、 V_s は、磁気機械システムに必要とされる体積である。この最小感度は、比出力換算係数と呼ばれ、振り子が励起磁場の方向に垂直に配向されるとすると、単位システム体積あたりどれくらいの電力を交流磁場 H_{AC} から抽出できるかを示すものである。

【0069】

長さ l_{em} の棒磁石の想定を使用しての理論的解析は、与えられたシステム Q 値と動作周波数に対して、比出力換算係数が、 $\frac{1}{l_{em}^2}$ に、したがって $N_e^{-2/3}$ に反比例して増大することを示す。ここで、 N_e は、単位システム体積に合う基本振動子の数である。この方程式は、飽和時に要素を保持せず、これは、ねじり振り子の角度変位がストップによって制限されないことを意味する。これは、单一振動磁石上の基本磁石のアレイの利点を示す非常に興味深い結果である。

20

【0070】

より高い比出力換算係数は、システムが飽和するところで、より低い磁場強度を有することができる。

【0071】

飽和の結果として、与えられた周波数において、単位システム体積あたりの有能電力の上限が存在し、それはつぎのものに依存する。

30

【0072】

- ・最高ピーク角度変位 peak
- ・外部交流磁場 H_{AC} の強さ

理論は、この上限は H_{AC} とともに線形に増大することを示す。この上限は磁気機械システムのための重要な設計パラメータである。それはまた、次式の比が一定のままであるかぎり、磁気機械システムを設計するいくつかの自由度が存在することを示す。

【数8】

$$\frac{Q_{UL} \cdot H_{AC}}{l_{em}^2}$$

40

【0073】

ここで、 Q_{UL} は、磁気機械システムの無負荷時の Q 値である。

【0074】

上記の解析は、微小磁気機械振動子のアレイを使用することは、單一マクロ振動子での実施で達成できるいかなるものよりも良いパフォーマンスを有するシステムの設計を可能にすることを示す。マクロサイズの振動子は、機械システムでは実現することのできない高 Q 値を必要とするであろう。

【0075】

別の実施形態は、磁気機械システムを創作するために微小電気機械システム（MEMS）

50

)を使用する。図5は、MEMSテクノロジーを使用して磁気機械振動子のアレイを形成する実施形態を示している。

【0076】

アレイ500は、多数の502などの磁石素子で形成されてよい。各磁石素子502は、シリコン基板へ微小機械加工された二つのU字形状溝512, 514で形成される。同様のサイズの永久棒磁石504, 506が溝内に形成されている。磁石は10μm以下であってよい。マイクロメートルレベルでは、結晶材料は大きいサイズとは異なって振る舞ってよい。従って、このシステムは、たとえば10[度]と同じくらい高い相当な角度変位を与えることができる。これは、そのようなシステムのQ値を増大させる能力を与える。

10

【0077】

磁石それ自体は約10μm以下であってよい。これらの装置は、シリコンなどの単一バルク材料中に形成されてよい。磁石504, 506は、たとえば1テスラよりも高い高磁化を有することができる。

【0078】

磁石それ自体は二つのハーフピースからなり、一方のピースは上側に取り付けられ、他方は下側に取り付けられている。好ましくは、これらの装置は、重心が回転軸と一致するように搭載されている。

【0079】

装置は、タイプ摩擦を低減するために、低摩擦材料で覆われていてよく、またはベロおよびバルク材料間のエリアが真空に引かれていてよい。

20

【0080】

図6は、磁石の三次元アレイの貫通エリアを示している。一つの実施形態では、アレイそれ自体は、円板形状などの径方向対称形状に形成されている。図6の円板形状アレイ600は、ほとんどすべての変位角においてほとんど一定の減磁係数を与え得る。この実施形態では、MEMS磁気機械システムによって生成される振動誘導磁場の動的成分を拾うために誘導コイルが円板に巻かれてよい。システムの帰結動的成分は次のように表現され得る。

【数9】

$$m_x(t) = |m| \cdot \sin \theta(t) \cdot e_x$$

30

【0081】

図7は、誘導コイルがどのように円板の周囲に巻かれ得るかを示している。

【0082】

単位システム体積あたり磁気機械システムを介して転送することができる電力のための数学の方程式は、下記のものから導き出すことができる。

【0083】

- ・形状(たとえば基本振動子のサイズまたは数)などのシステムパラメータ
- ・材料特性
- ・周波数
- ・外部交流磁場強度

40

最大有能電力のための方程式は、磁気機械振動子の制限角度変位およびQ値の制約の下で決定される。

【0084】

これらの方程式は、磁気機械システムのポテンシャルを、また最適設計パラメータを見つけるように分析する。

【0085】

一次側システムパラメータは、設定の他のいかなるパラメータにも依存せず、したがつて別のパラメータの関数として表現することができないパラメータである。

50

【0086】

システムを分析するため、次の設定の一次側パラメータが選ばれた。

【0087】

V_s :

磁気機械システムの体積 [m³]。

【0088】

l_{em} : 基本棒磁石の長さ [m]

$\frac{l_{em}}{r_{em}}$: 基本磁石の長さ対半径比

$\frac{l_{em}}{V_{em}}$: 基本磁石の比体積 [m³ / kg]

H_{em} : 基本磁石の内部磁場強度 [A/m]

α : 充てん係数（システム体積に対する総磁気体積の比）

Q_{UL} : 一つまたは複数の機械共振子の無負荷時のQ値。

10

【0089】

それは、機械摩擦、放射による、また機械エネルギーから電気エネルギーへの変換による損失を含む。

【0090】

θ_{peak} : 機械共振子に支持された磁石棒の最大ピーク変位角 [rad]

f_0 : 共振周波数 [Hz]

H_{ac} : 外部印加交流磁場 [A/m]

P_{av_mech} : 有能機械電力。（負荷への最大電力）

20

二次側システムパラメータと物理量は次のものを含む。

【数10】

r_{em} : 基本棒磁石の半径[m] (= $l_{em}\pi/\rho_{em}$)

V_{em} : 基本磁石の体積 = $l_{em}^3\pi/\rho_{em}$

V_α : 基本システム(共振器)に必要とされる体積 (= V_{em}/α)

N_s : システム体積中の基本磁石の数 = V_{em}/V_α

I : 基本磁石の慣性モーメント[kgm²]。それは v_{em} と l_{em} と ρ_{em} の関数である

K_r : ねじりばね定数。それは Q_{UL} と f_0 と I の関数である。

30

Γ_s : 全システム損失を示す動回転摩擦[kgm²s⁻¹]。それは Q_{UL} と f_0 と I の関数であり、機械的摩擦、放射による、また機械的エネルギーから電気的エネルギーへの変換による損失を含む。

Γ_L : 負荷等価動回転摩擦[kgm²s⁻¹]。

ω : 振動基本システムの角速度

m : 磁気モーメント(ベクトル)[Am²]。それは l_{em} と ρ_{em} と H_{em} の関数である

θ : 変位角[rad]

φ : ゼロ変位における磁気モーメントベクトルと外部印加交流磁場との間の角度[rad]

40

【0091】

インダクタンスとキャパシタンスと抵抗とからなる線形電気系統と、ねじりばねと慣性モーメントと動摩擦（トルクに比例する角速度）とから形成された回転機械システムとの間に類似点がある。この類似点は表1に示される。

【表 1】

電気システム		回転機械システム
物理量:		
I (電流)	\Leftrightarrow	T (トルク)
U (電圧)	\Leftrightarrow	ω (角速度)
成分パラメータ:		
L	\Leftrightarrow	$1/K_r$
C	\Leftrightarrow	l
R_p	\Leftrightarrow	$1/\Gamma$
共振周波数:		
$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$	\Leftrightarrow	$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_r}{I}}$
非負荷時Q(平行回路):		
$Q_{UL} = R_p \sqrt{\frac{C}{L}}$	\Leftrightarrow	$Q_{UL} = \frac{1}{\Gamma} \sqrt{K_r I}$

10

20

30

40

【0092】

方程式の導出は以下に示される。共振条件からねじりばね定数を得る。

【数11】

$$K_r = (2\pi f_0)^2 I$$

【0093】

最適整合条件

【数12】

$$\Gamma_L = \Gamma_s$$

【0094】

は磁気電気変換器（誘導コイル足す負荷）で達成することができると仮定される。Q値方程式（表1を参照）から、動摩擦は次のようにになる。

【数13】

$$\Gamma_s = \Gamma_L = \frac{\sqrt{K_r I}}{Q_{UL}} = \frac{2\pi f_0 l}{Q_{UL}}$$

【0095】

上の定義パラメータを使用して、基本磁石の磁気モーメントは次のように表現され得る。

【数14】

$$m = V_{em} \cdot H_{em}$$

【0096】

また慣性モーメントは

【数15】

$$I = \frac{V_{em} \cdot l_{em}^2}{12v_{em}}$$

【0097】

よく知られた上記トルク方程式に基づいて、駆動トルクのRMS値は次のようになる。

【数16】

$$T = m \cdot \mu_0 H_{AC} \cdot \sin(\varphi)$$

10

【0098】

キルヒホッフの節法則を適用することは、回路中のトルク間に次の関係を与える。

【数17】

$$T - T_{K_r} - T_l - T_{\Gamma_s} - T_{\Gamma_L} = 0$$

【0099】

共振周波数では、定義

20

【数18】

$$T_{K_r} = -T_l$$

【0100】

したがって、

【数19】

$$T = T_{\Gamma_s} + T_{\Gamma_L}$$

30

【0101】

によって、また次の整合条件

【数20】

$$T_{\Gamma_L} = \frac{T}{2}$$

【0102】

からわれわれは得る。

【0103】

40

基本システムあたりの有能機械電力は、いま次のように単純に表現され得る。

【数21】

$$T_{\Gamma_L} = \frac{T}{2}$$

【0104】

上記方程式を使用すると、磁気機械システム全体から入手可能総電力について次の関係を得ることができる。

【数22】

$$P_{av_mech} = \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{\mu_0^2 H_{em}^2 Q_{UL} v_{em} V_s \alpha}{f_0 l_{em}^2} \cdot (H_{AC} \cdot \sin(\varphi))^2$$

【0105】

この方程式は、与えられた Q_{UL} および周波数に対して、帰結角度変位を無視して、有能電力が基本棒磁石の長さに逆に比例して増大することを示す。基本振動子のピーク角度変位については、われわれは次のものを得る。

【数23】

10

$$\theta_{peak} = \frac{3\sqrt{2}}{2\pi^2} \cdot \frac{\mu_0 H_{em} Q_{UL} v_{em}}{f_0^2 l_{em}^2} \cdot H_{AC} \cdot \sin(\varphi)$$

【0106】

与えられた Q 値および周波数におけるピーク角度変位が基本棒磁石の長さに逆に比例して増大することを示し、したがって外部磁場強度 H_{AC} に、したがって外部磁場から抽出することができる電力にもいくつかの制約を設定する。最大角度変位制約の導入は、周波数・磁石長積の関係をもたらす。

【数24】

20

$$f_0 \cdot l_{em} = \left(\frac{3\sqrt{2}}{2\pi^2} \cdot \frac{\mu_0 H_{em} Q_{UL} v_{em}}{\theta_{peak}} \cdot H_{AC} \cdot \sin(\varphi) \right)^{\frac{1}{2}}$$

【0107】

ピーク角度変位（飽和）の制約を使用して、最大有能電力について興味深い方程式を得ることができる。

【数25】

30

$$P_{av_mech} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot \mu_0 H_{em} V_s \alpha f_0 \theta_{peak} \cdot H_{AC} \cdot \sin(\varphi)$$

【0108】

この方程式はまた、磁気機械システムの総磁気モーメント m_{tot} と外部磁気誘導 B_{AC} とで次のように表現され得る。

【数26】

40

$$P_{av_mech} = \frac{1}{2} (2\pi f_0) \cdot |m_{tot} \times B_{AC}| \cdot \frac{\theta_{peak}}{\sqrt{2}}$$

【0109】

この方程式は、もはや Q 値と、棒磁石の長さに依存せず、それは、磁気機械システムの設計のある自由度を示す。しかしながら、これらのパラメータは、見えなくされるか、ピーク角度変位 θ_{peak} に内在する。

【0110】

最大有能電力は、周波数につれて直線的に増大する。この振る舞いは、ファラデーの誘導法則に基づいたシステムの中に見つけることもできる。

【0111】

50

磁気機械システムのパフォーマンスを定量する有用な規定は、既に説明した比出力換算係数

【数27】

$$k_c = \frac{P_{av_mech}}{H_{AC}^2 V_s} = \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{\mu_0^2 H_{em}^2 Q_{UL} v_{em} \alpha}{f_0 l_{em}^2} \cdot \sin(\varphi)$$

【0112】

それから飽和磁場強度

【数28】

10

$$H_{AC_sat} = \theta_{peak} \left(\frac{3\sqrt{2}}{2\pi^2} \cdot \frac{\mu_0 H_{em} Q_{UL} v_{em} \cdot \sin(\varphi)}{f_0^2 l_{em}^2} \right)^{-1}$$

【0113】

である。

【0114】

システムは、低い飽和レベルには妥協して、高い k_c のために設計されてよい。

【0115】

反対に、システムは、低い k_c には妥協して、より高い飽和レベルのために設計されてよい。

20

【0116】

数値例

数値例については、以下のパラメータが仮定される。

【数29】

$$V_s = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 (= 4 \text{ cm}^3 \text{ 直径が } 4\text{cm} \text{ で厚さが } 3.1 \text{ mm の円板と等価})$$

$$v_{em} = 131.6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$H_{em} = 1\text{T}/\mu_0 \text{ A/m}$$

$$\alpha = 0.25$$

$$Q_{UL} = 1000$$

$$\theta_{peak} = 0.175 (=10^\circ)$$

$$\varphi = 0$$

30

主関心の周波数は $f = 135 \text{ kHz}$ である。

主関心の場強度は $H_{AC} = 5 \text{ A/m}$ である。

【0117】

電力は、周波数につれて理論上直線的に増大する。しかしながら、より高い周波数においては、システム中の最大蓄積振動エネルギー、機械的歪み、その他などの他の要因によって電力が付加的に制限されてよいことは気づかなければならぬ。これは、この解析では考慮されていない。

40

【0118】

異なる長さの基本磁石について外部交流磁場強度の関数としての有能電力を計算することができる。

【0119】

$20 \mu\text{m}$ 長の棒磁石を使用するシステムはほぼ 2.5 W で飽和するが、 $10 \mu\text{m}$ 棒長を使用するシステムは約 600 mW のより低い値で飽和する。しかしながら、 $10 \mu\text{m}$ のシステムは、 $20 \mu\text{m}$ 棒を使用するものより敏感である（より高い比出力換算係数）。これは、 5 A/m の磁場強度において確認することができる。

50

【0120】

この例に基づいて、直径4cm厚さ3mmの円板形状システムは、135kHzにおいてメタルあたり5アンプ(amps)の磁場から260mWまでを抽出することができる事が分かる。

【0121】

少数の実施形態だけが上に詳細に開示されたが、他の実施形態は可能であり、発明者はこれらがこの明細書内に包含されることを意図している。明細書は、別の方法で実施されてよい～より一般的な目的を実施する特定の例を説明している。この開示は、代表的であることが意図されており、また請求項は、この分野で通常の技術を有する人に予測可能かもしれないあらゆる変更や代替に及ぶように意図されている。たとえば、他のサイズ、材料および接続を使用することができる。磁場を受けるために他の構造を使用することができる。一般に、一次側結合機構として、磁場の代わりに電場を使用することができる。他の種類の磁石および他の形状のアレイを使用することができる。

10

【0122】

また発明者は、単語「ための手段」を使用するこれらの請求項だけが35USC112第六段落の下で解釈されることを意図している。さらに、明細書にない限定は、それらの限定が請求項に明らかに含まれていないならば、任意の請求項に読み込まれるようには意図されていない。

【0123】

特定の数値がここに言及される場合、値は、20%までは増大または減少されてよく、ある異なる範囲が特に言及されないかぎり、本出願の教示内にまだとどまっていると見なすべきである。特定の論理感覚が使用される場合、反対の論理感覚も包含されるように意図されている。

20

以下に、本願出願の当初の特許請求の範囲に記載された発明を付記する。

[1] 磁気機械振動子のアレイであって、各振動子が、磁気対称部と、前記磁気部に取り付けられたねじりサスペンションとを備えているアレイと、

前記アレイの周囲に形成された、また前記振動子に電磁的に連結されて前記振動子との電磁結合によって引き起こされる電流を生成する誘導コイルと、

出力電力の生成するための電流を受信する制御回路とを備えており、

各前記振動子が10m未満のサイズを有しているシステム。

30

[2] 前記磁気機械振動子のおのがMEMSデバイスである[1]のシステム。

[3] 前記ねじりサスペンションが磁場を有している[1]のシステム。

[4] 前記ねじりサスペンションが磁場のみならずまた機械ばねを有している[1]のシステム。

[5] 前記磁気対称部が径方向に対称的である[1]の装置。

[6] 前記磁気対称部は、断面において円形の第一の部分と、前記円形断面エリアよりも薄い第二の範囲とをもつ円板形状をしている[5]のシステム。

[7] 前記素子のアレイが円板形状に配置されている[1]のシステム。

[8] 磁気素子を備え、それは運動可能に搭載されており、

静磁場の源を備え、前記静磁場は前記磁気素子を特定の回転位置に強要するエリア内に配置され、前記静磁場は、前記磁気素子が印加磁場の影響下で運動することを可能とする程に十分に弱く、

40

電気生成部を備え、それは、前記静磁場に対する前記磁気素子の前記運動に基づいて電気出力を生成するシステム。

[9] 前記静磁場は、前記磁気素子の運動に抵抗する単独力である場を備えている[8]のシステム。

[10] 前記磁気素子の運動を低減もし抵抗もするばねをさらに備えている[9]のシステム。

[11] 前記磁気素子は、それが回転することを可能とする方法で搭載されている[8]のシステム。

50

- [12] 前記磁気素子が径方向に対称的である[8]のシステム。
- [13] 前記磁気素子は、断面において円形の第一の部分と、前記円形断面よりも薄い第二の範囲とをもつ円板形状をしている[12]のシステム。
- [14] 前記磁気素子は、磁気素子のアレイの一部である[12]のシステム。
- [15] 前記電気生成部としてコイルをさらに備えており、前記コイルは、前記素子のアレイの前記素子のおののに共通している[14]のシステム。
- [16] 前記素子のアレイが円板形状に配置されている[14]のシステム。
- [17] 印加電力に基づいて、磁気機械振動子のアレイの各素子に、ねじりサスペンションの力に逆らって磁気素子を運動させることを有し、ここで各前記振動子は10未満のサイズを有しており、10
- 前記振動子との電磁結合によって引き起こされる、電流を單一コイル構造に生成することを有し、さらに、
- 出力電力を生成するための電流を出力することを有している方法。
- [18] 前記磁気機械振動子のおのがMEMSデバイスのアレイである[17]の方法。
- [19] 前記ねじりサスペンションとして固定磁場を使用することをさらに有している[17]の方法。
- [20] 前記ねじりサスペンションとして固定磁場と機械ばねの両方を使用することをさらに有している[17]の方法。

【図1】

図1

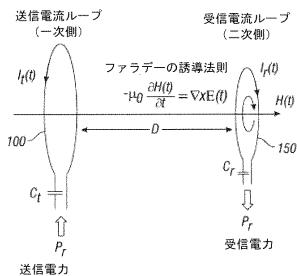


FIG. 1

【図3】

図3

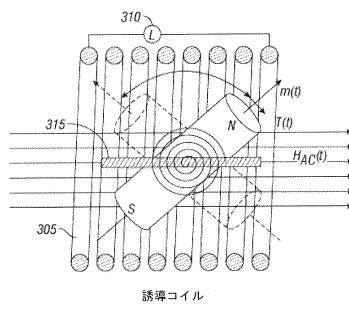


FIG. 3

【図2】

図2

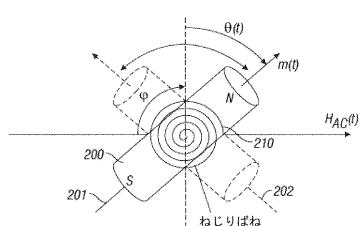


FIG. 2

【図4A】

図4A

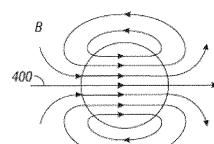


FIG. 4A

【図4B】

図4B

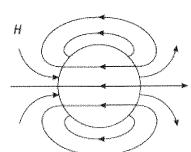


FIG. 4B

【図6】

図6

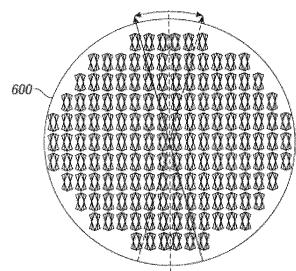


FIG. 6

【図5】

図5

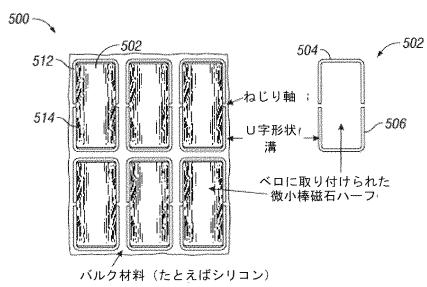


FIG. 5

【図7】

図7

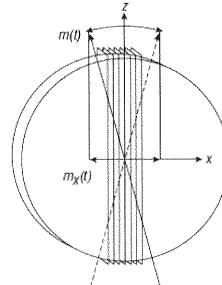


FIG. 7

フロントページの続き

(74)代理人 100075672
弁理士 峰 隆司

(74)代理人 100095441
弁理士 白根 俊郎

(74)代理人 100084618
弁理士 村松 貞男

(74)代理人 100103034
弁理士 野河 信久

(74)代理人 100119976
弁理士 幸長 保次郎

(74)代理人 100153051
弁理士 河野 直樹

(74)代理人 100140176
弁理士 砂川 克

(74)代理人 100101812
弁理士 勝村 紘

(74)代理人 100124394
弁理士 佐藤 立志

(74)代理人 100112807
弁理士 岡田 貴志

(74)代理人 100111073
弁理士 堀内 美保子

(74)代理人 100134290
弁理士 竹内 将訓

(74)代理人 100127144
弁理士 市原 卓三

(74)代理人 100141933
弁理士 山下 元

(72)発明者 ウィドマー、ハンズペーター
アメリカ合衆国、カリフォルニア州 92121、サン・ディエゴ、モアハウス・ドライブ 57
75

(72)発明者 ドミニアク、スティーブン
アメリカ合衆国、カリフォルニア州 92121、サン・ディエゴ、モアハウス・ドライブ 57
75

(72)発明者 クック、ニゲル・ピー。
アメリカ合衆国、カリフォルニア州 92121、サン・ディエゴ、モアハウス・ドライブ 57
75

審査官 相澤 祐介

(56)参考文献 特表2010-539821(JP,A)
特開昭62-071430(JP,A)
特開2006-149163(JP,A)
特開2004-187429(JP,A)
特表2001-526374(JP,A)
特開平11-215802(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

(21)

JP 5362733 B2 2013.12.11

H 0 2 J 1 7 / 0 0