

(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
2014 年 3 月 6 日(06.03.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/034491 A1

- (51) 国際特許分類:
H02J 17/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/072289
- (22) 国際出願日: 2013 年 8 月 21 日(21.08.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2012-191649 2012 年 8 月 31 日(31.08.2012) JP
- (71) 出願人: 日本電気株式会社(NEC CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号
Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 田能村 昌宏(TANOMURA Masahiro); 〒
1088001 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電
気株式会社内 Tokyo (JP). 吉田 周平(YOSHIDA
Shuhei); 〒1088001 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号
日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 静野 薫
(SHIZUNO Kaoru); 〒1088001 東京都港区芝五丁目
7 番 1 号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 小林
直樹(KOBAYASHI Naoki); 〒1088001 東京都港区
芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内 Tokyo
(JP). 福田 浩司(FUKUDA Hiroshi); 〒1088001 東京
都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

Tokyo (JP). 浜 芳典(HAMA Yoshinori); 〒1088001
東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会
社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 棚井 澄雄, 外(TANAI Sumio et al.); 〒
1006620 東京都千代田区丸の内一丁目 9 番 2 号
Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, 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,
IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS,
LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, 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.

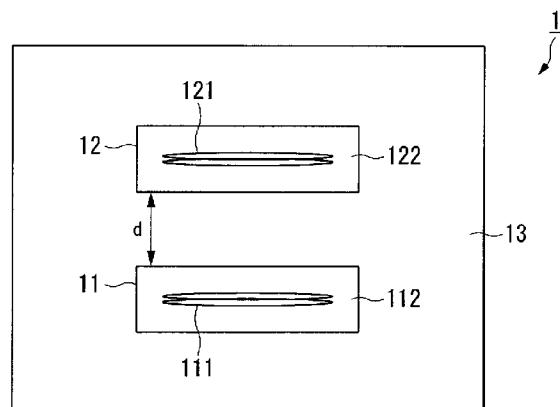
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,
MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシ
ア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ
(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,
GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,
NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI

[続葉有]

(54) Title: ELECTRIC POWER TRANSMISSION DEVICE AND ELECTRIC POWER TRANSMISSION METHOD

(54) 発明の名称: 電力伝送装置及び電力伝送方法

【図1】



(57) Abstract: The electric power transmission device of the present invention for transmitting electric power wirelessly in a good conductor medium is provided with a power transmitting unit for transmitting electric power wirelessly, and a power receiving unit for intrmitting wireless electric power transmitted from the power transmitting unit. The power transmitting unit and the power receiving unit are provided with an electric power transmission coil and a containment unit having a dielectric for covering the electric power transmission coil, and transmit electric power by oscillating at a frequency determined by the impedance of the power transmitting unit, the impedance of the power receiving unit, and the impedance of the good conductor medium.

(57) 要約: 良導体媒質中において電力を無線で伝送する電力伝送装置は、無線で電力を送出する送電部と、送電部から送出された無線電力を送入する受電部とを備え、送電部及び受電部は、電力伝送用コイルと、電力伝送用コイルを覆う誘電体を有する包含部とを備え、送電部のインピーダンスと、受電部のインピーダンスと、良導体媒質のインピーダンスで定まる周波数で共振させて電力伝送を行う。

WO 2014/034491 A1

WO 2014/034491 A1



(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

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：電力伝送装置及び電力伝送方法

技術分野

[0001] 本発明は、電力伝送装置及び電力伝送方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、海中の資源探査用機器や、地震の早期発見のための海底地震センサー網の普及が進み、これらの機器への電力供給手段に対するニーズが高まっている。これらの機器への電力供給手段としては、周囲が海水であることから、無線電力伝送技術を用いることが望ましい。無線で電力を伝送することができれば、電力供給用の金属プラグを露出させる必要がなく、 4 S/m 程度の導電率を有する海水中であってもショートする恐れがないからである。

[0003] 一般的に、電力を無線で送受電する手段には、導線を複数巻きしたコイルを用いる。送電部のコイルに交流電力を印加することで、このコイルを鎖交する磁束が発生する。さらに、この磁束が、受電部のコイルと鎖交することで受電部のコイルに誘導電流を生じさせ、電力の伝送が行われる。

[0004] ところで、無線技術については、例えば、特許文献1には、無線のミリ波信号を利用して、端末装置本体とメモリーカード等の着脱可能の電子デバイスとの通信を行う技術が開示されている。また、磁性体を用いて、送電部と受電部のインダクタンス値を向上させ、電力伝送の長距離化を図る技術が特許文献2に開示されている。また、Q値の高いコイルを用いて、同一の周波数で共鳴（磁界共鳴）させることで、送電部と受電部の相互インダクタンスを向上させ、長距離化を図る技術が特許文献3に開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2011-022640号公報

特許文献2：特許第4772744号公報

特許文献3：特表2012-504387号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0006] しかしながら、従来の電磁誘導技術を用いた無線電力伝送技術において、効率よく電力伝送を行うためには、送電部のコイルと受電部のコイルとの間の距離をほとんど密接させる必要があった。そのため、例えば、船舶の位置合わせを高精度に行わなければならない、安定的に電力供給することが困難である。
- [0007] 一方、上述した長距離化技術についても、大気中での長距離化技術を海水中に適用しようとしても、わずかな電力伝送効率しか得られないことが明らかとなっている。これは、空気と海水では、その導電率と誘電率が著しく異なり、大気中の電力伝送と海水中の電力伝送では、その媒質中における電力伝送のメカニズムが異なることに基づく。なお、空気の導電率は 0 S/m 、比誘電率は約 1 であり、一方、海水の導電率は約 4 S/m 、比誘電率は約 81 である。
- [0008] ここで、無線電力が大気中を伝搬する場合と、海水中を伝搬する場合の物理的相違点について簡単に説明する。
- まず、大気中の電力伝送の場合、その媒質（大気）の伝搬中に消費するエネルギーはほとんどない。この場合の電力伝送効率の低下の要因は、主に、コイルでの導体損失、送電部と受電部の間の整合損、漏れ磁束などの反射損、そして放射損からなる。特に、特許文献 2 では、Q 値の高いコイルを用い、送受電部近傍にエネルギーを溜める非放射現象とすることで、この放射損を効果的に抑制している。
- [0009] 他方、媒質が海水の場合、海水が一定の導電性を有しているため、その媒質中をエネルギーが伝搬する際にも損失が生じる。このエネルギー損失の要因は、海水中の導電率と海水中に発生した電界に基づく。すなわち、この導電率と電界の積に比例した電位勾配が海水中で発生することで損失が生じる。また、海水は導電性が高いため、その海水中において、送電部から無指向にエネルギーを送出すると、対向する受電部に到達せずに消失するエネルギー

ーが増加してしまう。したがって、海水中で効率よく電力伝送を行うためには、対向するコイル面同士を結ぶような指向性を持たせ、コイル面に対してほぼ垂直なエネルギーの流れを形成する必要がある。

[0010] 上述した伝搬メカニズムの相違を考慮すると、特許文献1に示されたミリ波信号を、海水のような良導体媒質中で伝送させることは特に困難である。例えば、60GHzのミリ波の場合、海水中での減衰距離は100 μ m以下となるから、海水中に置いて10cm以上の伝搬を行うことは不可能である。

[0011] また、特許文献2に示すような、磁性体や共鳴を用いて海水中での長距離化を行った場合であっても、磁束が増加する一方で、その磁束に付随して、海水中に放射する電界成分も増し、結果として、電力伝送効率が上昇することはない。さらに非放射現象であるため、導電性の高い媒質中で、長距離化を実現することが根本的に難しい。

[0012] また、特許文献3に示すような、従来の磁界共鳴技術の場合、大気中では、送電部のコイルと受電部のコイルの共振周波数を等しくするだけで、効率の良いエネルギー伝送を行うことができた。しかしながら、海水中においては、その比誘電率が81と大きいため、送電部と受電部の間のインピーダンスの影響が高く、単純な送受電部の共鳴現象を用いただけでは、エネルギー伝送を行うことが難しい。

[0013] さらに、図27の表に示すような各種媒質も、比較的高い導電率と比誘電率を有している。したがって、海水中のほか、このような媒質中を無線で電力伝送しようとする場合にも、同様の問題が生じ得る。

[0014] そこでこの発明は、上記課題を解決する電力伝送装置及び電力伝送方法を提供する。

課題を解決するための手段

[0015] 本発明は、上述の課題を解決すべくなされたものであり、良導体媒質中において電力を無線で伝送する電力伝送装置であって、無線で電力を送出する送電部と、前記送電部から送出された無線電力を送入する受電部と、を備え

、前記送電部及び受電部は、電力伝送用コイルと、前記電力伝送用コイルを覆う誘電体を有する包含部と、を備え、前記送電部のインピーダンスと、前記受電部のインピーダンスと、前記良導体媒質のインピーダンスで定まる周波数で共振させて電力伝送を行うことを特徴とする電力伝送装置である。

[0016] また本発明は、良導体媒質中において電力を無線で伝送する電力伝送方法であって、包含部が、電力伝送用コイルを誘電体で覆い、送電部が、無線で電力を送出し、受電部が、送出された無線電力を送入し、前記送電部のインピーダンスと、前記受電部のインピーダンスと、前記良導体媒質のインピーダンスで定まる周波数で共振させて電力伝送を行うことを特徴とする電力伝送方法である。

発明の効果

[0017] 本発明によれば、送電部と受電部が比較的離れた近傍界であっても、良導体媒質に拡散して消滅してしまう電磁エネルギーを最小限に抑えることができ、結果として、海水等の良導体媒質中における無線電力伝送で長距離化が可能となる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]本発明の第一実施形態に係わる電力伝送装置の構成を示す図である。

[図2]本発明の第一実施形態に係わる無線電力が送電部から受電部へ伝搬する場合における無線電力の等価回路図である。

[図3]本発明の第一実施形態に係わる送電部、受電部の容量成分及び送受電部に生じる容量成分が、電力伝送効率に与える影響を示すグラフである。

[図4A]本発明の第一実施形態に係わる送電用コイルの径と、送電側包含部の寸法比が電力伝送効率に与える影響を示すグラフである。

[図4B]本発明の第一実施形態に係わる送電用コイルの径と、送電側包含部の寸法比を示す断面図である。

[図5]本発明の第一実施形態に係わる電力伝送装置における電界ベクトルと磁界ベクトルを示す図である。

[図6]本発明の第一実施形態に係わる電力伝送装置における電界ベクトルと磁

界ベクトルに基づいて生じるポインティングベクトル（エネルギーの流れ）を示す図である。

[図7]本発明の第二実施形態に係わる電力伝送装置の構成を示す図である。

[図8]本発明の第二実施形態に係わる第一誘電体の誘電正接及び第二誘電体の誘電正接の比が電力伝送効率に与える影響を示したグラフである。

[図9]本発明の第二実施形態に係わる第一誘電体の比誘電率及び第二誘電体の比誘電率が電力伝送効率に与える影響を示したグラフである。

[図10]本発明の第三実施形態に係わる電力伝送装置の構成を示す図である。

[図11]本発明の第一実施形態における第一の実施例を示す図である。

[図12]本発明の第一実施形態における第二の実施例を示す図である。

[図13]本発明の第一実施形態における第三の実施例を示す図である。

[図14]本発明の第三実施形態における第一の実施例として、電力伝送装置の効果を実証するためのシミュレーション用のモデル図である。

[図15]本発明の第三実施形態の第一の実施例における送電部の上面概略図である。

[図16]本発明の第三実施形態の第一の実施例における電力伝送効率のシミュレーション結果を示すグラフである。

[図17A]本発明の第三実施形態の第一の実施例における送電部、受電部近傍の電界ベクトルを示す側断面図である。

[図17B]本発明の第三実施形態の第一の実施例における送電部、受電部近傍の電界ベクトルを示す平断面図である。

[図18A]本発明の第三実施形態の第一の実施例における送電部、受電部近傍の磁界ベクトルを示す側断面図である。

[図18B]本発明の第三実施形態の第一の実施例における送電部、受電部近傍の磁界ベクトルを示す平断面図である。

[図19A]本発明の第三実施形態の第一の実施例における送電部、受電部近傍のポインティングベクトルを示す側断面図である。

[図19B]本発明の第三実施形態の第一の実施例における送電部、受電部近傍の

ポインティングベクトルを示す平断面図である。

[図20A]本発明の第三実施形態の第一の実施例における大気中におけるポインティングベクトルを示す側断面図である。

[図20B]本発明の第三実施形態の第一の実施例における大気中におけるポインティングベクトルを示す平断面図である。

[図21A]従来の磁界共鳴技術を用いた場合における大気中におけるポインティングベクトルを示す側断面図である。

[図21B]従来の磁界共鳴技術を用いた場合における大気中におけるポインティングベクトルを示す平断面図である。

[図22]本発明の第三実施形態における第二の実施例として、電力伝送装置の効果を実証するためのシミュレーション用のモデル図である。

[図23]本発明の第三実施形態の第二の実施例におけるスパイラルコイルを上面から見たモデル図である。

[図24]本発明の第三実施形態の第二の実施例におけるスパイラルコイルを側面から見たモデル図である。

[図25]本発明の第三実施形態の第二の実施例におけるループコイルを、上面から見たモデル図である。

[図26]本発明の第三実施形態の第二の実施例におけるループコイルを、側面から見たモデル図である。

[図27]電力伝送に関係する各種媒質の導電率と比誘電率をまとめた表を示す図である。

[図28]本発明の第三実施形態における第三の実施例として、電力伝送装置6の効果を実証するためのシミュレーション用のモデル図である。

[図29]本発明の第三実施形態の第三の実施例における送電部の側面図である。

[図30]本発明の第三実施形態の第三の実施例におけるスパイラルコイルを、受電部側から見たモデル図である。

[図31]本発明の第三実施形態の第三の実施例におけるスパイラルコイルを、

受電部側から見たモデル図である。

[図32]本発明の第三の実施形態の第三の実施例におけるスパイラルコイルを、送電部側から見たモデル図である。

[図33]本発明の第三の実施形態の第三の実施例におけるスパイラルコイルを、送電部側から見たモデル図である。

[図34]本発明の第三の実施形態の第三の実施例における電力伝送効率のシミュレーション結果を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0019] <第一実施形態>

以下、本発明の第一実施形態による電力伝送装置を、図面を参照して説明する。

図1は第一実施形態による電力伝送装置の構成を示す図である。

この図において、電力伝送装置1は、送電部11及び受電部12を備えている。また、送電部11及び受電部12は、良導体媒質13に覆われている。送電部11は、送電用コイル111及び送電用コイル111を覆う誘電体からなる送電側包含部112を備えている。また、受電部12は、送電部11と同じく、受電用コイル121及び受電側包含部122を備えている。送電用コイル111、受電用コイル121は、銅線などの導体を複数回巻いたものであり、一般的に、ヘリカルコイル、スパイラルコイル等が用いられるが、本実施形態においては、これらに限定されることはない。

なお、ここでは、電力伝送装置における送電部及び受電部を総称して電力伝送部とする。また、送電用コイル及び受電用コイルを総称して電力伝送用コイルとする。ここで、送電部は、受電部としての機能を備えていてもよいし、受電部は送電部としての機能を備えていてもよい。また、送電部と受電部が、同一の構成であってもよい。

[0020] 送電側包含部112、受電側包含部122は、例えば、ポリエチレン、ポリイミド、ポリアミド、フッ素樹脂、アクリルなどの、比誘電率が2～10程度で、誘電正接が0.01以下の誘電体で構成する。

[0021] また、各実施形態において、良導体媒質は海水であることを前提として説明するが、本発明はこれに限定されない。例として、図27の表に示す河川、淡水、水道水、土、コンクリートのよう、導電率が $1 \times 10^{-4} \text{ S/m}$ 以上で、比誘電率が1より大きな物質であってもよい。

[0022] ここで、送電部11から送出された無線電力が受電部12へと伝搬する際の等価回路を図2に示す。

図2は、無線電力が送電部11から受電部12へ伝搬する際の、当該無線電力にとっての等価回路図である。

送電部11及び受電部12は、さらに、送電用コイル111又は受電用コイル121のインピーダンスを調整する送電側インピーダンス調整部113、受電側インピーダンス調整部123を備えている。ここで、送電部11における送電用コイル111のインピーダンスは、主に、誘導成分（インダクタンス成分） L_1 及び容量成分（キャパシタンス成分） C_1 からなり、これらは、コイルの形状、巻き数、銅線の太さ、及び、送電側包含部112を構成する誘電体の誘電率やそのサイズ等によって一意に定まる。同様に、受電部12における受電用コイル121のインピーダンスも、誘導成分 L_2 及び容量成分 C_2 からなる。

なお、本稿においては、送電側インピーダンス調整部及び受電側インピーダンス調整部を総称して、単にインピーダンス調整部とする。

[0023] 送電部11に供給された交流電力は、上述した L_1 、 L_2 、 C_1 、 C_2 と、 L_3 、 C_3 からなる等価回路を伝搬し、受電部12へと伝搬する。ここで、 L_3 は、送電用コイル111と受電用コイル121における相互インダクタンス成分であり、 C_3 は、送電部11と受電部12及び良導体媒質13で構成される容量成分である。

[0024] 伝搬する際の伝送効率は、その伝搬路において、伝搬する交流電力の周波数でインピーダンス整合（共振）がとれているか否かが肝要である。そこで、図2に示すように、送電側インピーダンス調整部113として可変容量の容量成分 C_1' を、受電側インピーダンス調整部123として可変容量の容

量成分 C_2' をそれぞれ付加して、任意の周波数でインピーダンス整合が得られるように調整することができる。このようにすれば、送電中に送電部11と受電部12の位置関係が変わり、 C_3 の値が変動したとしても、その変動を補償するように C_1' 、 C_2' を適宜調整すれば、共振を維持して安定的な電力を供給することができる。

容量の可変部には、バラクタダイオード（可変容量ダイオード）を用いることができるし、複数の容量をスイッチトランジスタと組み合わせて構成することもできる。

[0025] ここで、以降の説明においては、送電用コイル111自身が有する容量成分と可変容量の容量成分の合成容量成分を改めて C_1 とおき、これを、送電部11のインピーダンスを構成している容量成分 C_1 として説明する。同様に、受電用コイル121自身の容量成分と可変容量の容量成分の合成容量成分を改めて C_2 とおき、これを、受電部12のインピーダンスを構成している容量成分 C_2 として説明する。

[0026] ここで、第一実施形態の電力伝送装置1においては、送電部11のインピーダンスを構成している容量成分 C_1 、受電部12のインピーダンスを構成している容量成分 C_2 、送電部11、受電部12、及び、その間に存在する良導体媒質13で形成される容量成分 C_3 、送電部と受電部との間隔距離 d に関して、所定の条件を満たす場合に、特に高い電力伝送効率を得ることができる。

[0027] 図3は、送電部11、受電部12の容量成分及び送受電部間に生じる容量成分が、電力伝送効率に与える影響を示すグラフである。

図3に示すグラフによると、上記 C_1 [pF]、 C_2 [pF]、 C_3 [pF]、 d [cm]は以下の条件を満たす場合に、特に高い電力伝送効率を得られることがわかる。

[0028]

[数1]

$$30 > \frac{C3 \times d}{(C1 + C2)} > 0.5$$

[0029] なお、3次元電磁界シミュレーションによれば、本実施形態においては、送電用コイル111、受電用コイル121が $10\text{ cm}^2 \sim 30\text{ cm}^2$ 程度、送電部11と受電部12の距離 d が $5\text{ cm} \sim 30\text{ cm}$ 程度の条件で、式(1)を満たすことができる。

[0030] また、第一実施形態においては、送電用コイル111と送電側包含部112の寸法比、及び、受電用コイル121と受電側包含部122の寸法比が所定の条件を満たす場合に、特に高い電力伝送効率を得ることができる。

[0031] 図4Aは、送電用コイル111の外径と、送電側包含部112の寸法比が電力伝送効率に与える影響を示すグラフである。図4Aによると、送電側包含部112のコイル面に沿う方向の大きさ d_1 と、送電用コイル111の外径 d_2 (図4B)の関係が、比 d_1/d_2 を1.2以上にする事で、作製可能な最小比である1よりも5%以上の高い電力伝送効率を得ることができる。さらに、10%以上の高い電力伝送効率を得たい場合には、比 d_1/d_2 の値は1.4以上が好ましい。

なお、受電部12における受電用コイル121の径、及び、受電側包含部122の寸法比についても同様の効果を得ることができる。また、送電部11、受電部12ともに上記の条件を満たせば、より高い効果を得ることができる。

[0032] 次に、本実施形態による電力伝送装置1の具体的な動作について順を追って説明する。

まず、送電部11において、交流電源(図示せず)が所定の周波数で交流電力を出力する。次に、出力された交流電力は送電用コイル111に供給され、送電用コイル111は、当該交流電力を、電磁エネルギーとして外部(良導体媒質13)へと送出する。次に、受電部12は、送出された電磁エネ

ルギーを、受電用コイル 1 2 1 において送入する。ここで、送電側インピーダンス調整部 1 1 3 及び受電側インピーダンス調整部 1 2 3 は、送電部 1 1、受電部 1 2、良導体媒質 1 3 の各インピーダンスの合成インピーダンスが、伝送電力の周波数で共振するように調整されている。受電用コイル 1 2 1 によって送入された電力は、目的とする負荷（例えば、バッテリー等）に供給され、電力伝送が完了する。

[0033] 第一実施形態による電力伝送装置 1 では、送電部 1 1、受電部 1 2、良導体媒質 1 3 の各インピーダンスの合成インピーダンスで共振させることで、受電用コイル 1 2 1 に送入される電力を最大とすることができる。また、送電側包含部 1 1 2 及び受電側包含部 1 2 2 は、良導体媒質 1 3 中への電界の拡がりを抑え、これにより、良導体媒質 1 3 中に拡散して消滅する電磁エネルギーを最小限に抑える効果がある。

[0034] 図 5 は、第一実施形態による電力伝送装置 1 における電界ベクトルと磁界ベクトルを示す図であり、図 6 は、電界ベクトルと磁界ベクトルに基づいて生じるポインティングベクトル（エネルギーの流れ）を示す図である。

ここで、電力伝送時において、送電部 1 1 と受電部 1 2 の間に生じる電界と磁界のシミュレーション結果を示す模式図を図 5 及び図 6 に示す。図 5 に示すとおり、本実施形態の電力伝送装置 1 では、コイル面に対して、その電界と磁界をほぼ平行にすることができる。その結果、図 6 に示すとおり、送電部 1 1 から受電部 1 2 へのポインティングベクトル（電磁エネルギーの流れ）をほぼ垂直に生じさせることが可能となる。

[0035] 以上より、第一実施形態による電力伝送装置 1 によれば、送電部 1 1 と受電部 1 2 が比較的離れた近傍界であっても、良導体媒質に拡散して消滅してしまう電磁エネルギーを最小限に抑えることができ、結果として、海水等の良導体媒質中における無線電力伝送で長距離化が可能となる。

[0036] <第二実施形態>

図 7 は本発明の第二実施形態による電力伝送装置の構成を示す図である。

次に、第二実施形態による電力伝送装置を、図面を参照しながら説明する

。

この図において、電力伝送装置 2 は、送電部 2 1 及び受電部 2 2 を備えている。また、送電部 2 1 及び受電部 2 2 は、良導体媒質 2 3 に覆われている。送電部 2 1 は、送電用コイル 2 1 1、送電用コイル 2 1 1 を覆う第一誘電体からなる第一送電側包含部 2 1 2、及び、さらに第一送電側包含部 2 1 2 を覆う第二誘電体からなる第二送電側包含部 2 1 3 を備えている。また、受電部 2 2 は、送電部 2 1 と同じく、受電用コイル 2 2 1 及び第一受電側包含部 2 2 2、第二受電側包含部 2 2 3 を備えている。

なお、本稿においては、第一送電側包含部及び第一受電側包含部を総称して第一包含部とし、第二送電側包含部及び第二受電側包含部を総称して第二包含部とする。

[0037] 第一送電側包含部 2 1 2、第二送電側包含部 2 1 3、第一受電側包含部 2 2 2 及び第二受電側包含部 2 2 3 は、例えば、ポリエチレン、ポリイミド、ポリアミド、フッ素樹脂、アクリルなどの、比誘電率が 2 ～ 10 程度で、誘電正接が 0.01 以下の誘電体で構成する。

[0038] また、第二実施形態の電力伝送装置 2 においては、第一送電側包含部 2 1 2 を構成する第一誘電体の比誘電率及び第二送電側包含部 2 1 3 を構成する第二誘電体の比誘電率は、異なってもよいし、同一であってもよい。また、第一送電側包含部 2 1 2 を構成する第一誘電体の誘電正接及び第二送電側包含部 2 1 3 を構成する第二誘電体の誘電正接は、異なってもよいし、同一であってもよい。第一受電側包含部 2 2 2 を構成する第一誘電体及び第二受電側包含部 2 2 3 を構成する第二誘電体についても同様である。

[0039] また、電力伝送装置 2 の構成を示す図 7 では、送電部 2 1 及び受電部 2 2 の両方を、第一包含部及び第二包含部を有する構造として記載しているが、第二実施の形態においては、送電部 2 1 か、受電部 2 2 のいずれか一方のみを第一包含部及び第二包含部を有する構造としてもよい。

なお、本実施形態の電力伝送装置 2 においても、第一実施形態で説明したインピーダンス調整部を備えていてもよい。

[0040] ここで、第二実施形態の電力伝送装置 2 においては、第一送電側包含部 2 1 2 及び第二送電側包含部 2 1 3 を構成する各誘電体の誘電正接が所定の条件を満たす場合に、さらに高い電力伝送効率を得ることができる。

[0041] 図 8 は、第一誘電体の誘電正接及び第二誘電体の誘電正接の比が電力伝送効率に与える影響を示したグラフである。

図 8 が示すところによると、第二誘電体の誘電正接を第一誘電体の誘電正接よりも大きくすることで、より高い電力伝送効率を得られることがわかる。これは、第二送電側包含部 2 1 3（第二受電側包含部 2 2 3）を構成する第二誘電体によって、良導体媒質 2 3 への電界の拡がりを抑制する効果を得るとともに、第一送電側包含部 2 1 2（第一受電側包含部 2 2 2）を構成する第一誘電体の誘電正接を小さくすることで、送電用コイル 2 1 1（受電用コイル 2 2 1）近傍における誘電損失を低減させることができる効果に基づくものである。

[0042] また、第二実施形態の電力伝送装置 2 においては、第一送電側包含部 2 1 2 及び第二送電側包含部 2 1 3 を構成する各誘電体の誘電率が所定の条件を満たす場合にも、さらに高い電力伝送効率を得ることができる。

[0043] 図 9 は、第一誘電体の比誘電率及び第二誘電体の比誘電率が電力伝送効率に与える影響を示したグラフである。

図 9 が示すところによると、第二誘電体の比誘電率を第一誘電体の比誘電率よりも大きくすることで、より高い電力伝送効率を得られることがわかる。

[0044] 次に、第二実施形態による電力伝送装置 2 の具体的な動作について順を追って説明する。

まず、送電部 2 1 において、交流電源（図示せず）が所定の周波数で交流電力を出力する。次に、出力された交流電力は送電用コイル 2 1 1 に供給され、送電用コイル 2 1 1 は、当該交流電力を、電磁エネルギーとして外部（良導体媒質 2 3）へと送出する。次に、受電部 1 2 は、送出された電磁エネルギーを、受電用コイル 2 2 1 において送入する。ここで、送電部 2 1、受

電部 2 2、良導体媒質 2 3 の各インピーダンスの合成インピーダンスは、伝送電力の周波数で共振するように調整されている。受電用コイル 2 2 1 によって送入された電力は、目的とする負荷（例えば、バッテリー等）に供給され、電力伝送が完了する。

[0045] 第二実施形態による電力伝送装置 2 では、送電部 2 1、受電部 2 2、良導体媒質 2 3 の各インピーダンスの合成インピーダンスで共振させることで、受電用コイル 2 2 1 に送入される電力を最大とすることができる。

また、第二送電側包含部 2 1 3 及び第二受電側包含部 2 2 3 は、良導体媒質 2 3 中への電界の拡がりを抑え、これにより、良導体媒質 1 3 中に拡散して消滅する電磁エネルギーを最小限に抑える効果がある。

そして、第一送電側包含部 2 1 2 及び第一受電側包含部 2 2 2 は、送電用コイル 2 1 1 及び受電用コイル 2 2 1 近傍における誘電損失を低減させる効果がある。

[0046] 以上より、第二実施形態による電力伝送装置 2 は、第一実施形態による電力伝送装置 1 と同様に高い電力伝送効率を得ることができる。

[0047] <第三実施形態>

図 1 0 は本発明の第三実施形態による電力伝送装置の構成を示す図である。

次に、第三実施形態による電力伝送装置を、図面を参照しながら説明する。

図 1 0 において、電力伝送装置 3 は、送電部 3 1 及び受電部 3 2 を備えている。また、送電部 3 1 及び受電部 3 2 は、良導体媒質 3 3 に覆われている。送電部 3 1 は、送電用コイル 3 1 1、送電用コイル 3 1 1 を覆う第一誘電体からなる第一送電側包含部 3 1 2、第一送電側包含部 3 1 2 を覆う第二誘電体からなる第二送電側包含部 3 1 3、及び、第二送電側包含部 3 1 3 を覆う第三誘電体からなる第三送電側包含部 3 1 4 を備えている。また、受電部 3 2 は、送電部 3 1 と同じく、受電用コイル 3 2 1 及び第一受電側包含部 3 2 2、第二受電側包含部 3 2 3 及び第三受電側包含部 3 2 4 を備えている。

なお、本稿においては、第三送電側包含部及び第三受電側包含部を総称して、被覆部とする。

[0048] 第一送電側包含部 3 1 2、第三送電側包含部 3 1 4、第一受電側包含部 3 2 2 及び第三受電側包含部 3 2 4 は、例えば、ポリエチレン、ポリイミド、ポリアミド、フッ素樹脂、アクリルなどの、比誘電率が 2 ～ 10 程度で、誘電正接が 0.01 以下の誘電体で構成する。

[0049] また、第二送電側包含部 3 1 3 及び第二受電側包含部 3 2 3 は、良導体媒質 3 3（海水）の比重と等しく、導電率の低い液体（例えば、純水、蒸留水）からなる。このようにすることで、第二送電側包含部 3 1 3、第二受電側包含部 3 2 3 が、良導体媒質 3 3 中（海水中）において、中性浮力として働かせることができる。第二送電側包含部 3 1 3 又は第二受電側包含部 3 2 3 を中性浮力とすることができれば、例えば、電力伝送装置 3 を海水中に浮沈させる際に、特別な比重調整用の機構を設ける必要がなくなるため、低コスト化を図ることができる。

また、第三誘電体からなる第三送電側包含部 3 1 4、第三受電側包含部 3 2 4 は、液体である第二送電側包含部 3 1 3、第二受電側包含部 3 2 3 を物理的に閉じ込める。

[0050] また、第三実施形態の電力伝送装置 3 においては、第一送電側包含部 3 1 2 を構成する第一誘電体の比誘電率、第二送電側包含部 3 1 3 を構成する第二誘電体の比誘電率、並びに、第三送電側包含部 3 1 4 を構成する第三誘電体の比誘電率は、それぞれ異なってもよいし、同一であってもよい。また、第一送電側包含部 3 1 2 を構成する第一誘電体の誘電正接、第二送電側包含部 3 1 3 を構成する第二誘電体の誘電正接、並びに、第三送電側包含部 3 1 4 を構成する第三誘電体の誘電正接は、それぞれ異なってもよいし、同一であってもよい。第一受電側包含部 3 2 2 を構成する第一誘電体、第二受電側包含部 3 2 3 を構成する第二誘電体、並びに、第三受電側包含部 3 2 4 を構成する第三誘電体についても同様である。

[0051] また、電力伝送装置 3 の構成を示す図 10 では、送電部 3 1 及び受電部 3

2の両方を、上記に説明した第一包含部、第二包含部及び第三包含部を有する構造として記載しているが、本実施の形態においては、送電部31か、受電部32のいずれか一方のみを第一包含部、第二包含部及び第三包含部を有する構造としてもよい。

なお、第三実施の形態による電力伝送装置3においても、第一の実施形態で説明したインピーダンス調整部を備えていてもよい。

[0052] 次に、第三実施形態による電力伝送装置3の具体的な動作について順を追って説明する。

まず、送電部31において、交流電源（図示せず）が所定の周波数で交流電力を出力する。次に、出力された交流電力は送電用コイル311に供給され、送電用コイル311は、当該交流電力を、電磁エネルギーとして外部（良導体媒質33）へと送出する。次に、受電部32は、送出された電磁エネルギーを、受電用コイル321において送入する。ここで、送電部31、受電部32、良導体媒質33の各インピーダンスの合成インピーダンスは、伝送電力の周波数で共振するように調整されている。受電用コイル321によって送入された電力は、目的とする負荷（例えば、バッテリー等）に供給され、電力伝送が完了する。

[0053] 第三実施形態による電力伝送装置3では、送電部31、受電部32、良導体媒質33の各インピーダンスの合成インピーダンスで共振させることで、受電用コイル321に送入される電力を最大とすることができる。

また、第二送電側包含部313及び第二受電側包含部323は、良導体媒質33中への電界の拡がりを抑え、これにより、良導体媒質33中に拡散して消滅する電磁エネルギーを最小限に抑える効果がある。

そして、第一送電側包含部312及び第一受電側包含部322は、送電用コイル311及び受電用コイル321近傍における誘電損失を低減させる効果がある。

[0054] さらに、第三実施の形態による電力伝送装置3では、第三送電側包含部314、第三受電側包含部324を具備しているので、第二送電側包含部31

3 及び、第二受電側包含部 3 2 3 に、良導体媒質 3 3（海水）の比重と等しく、導電率の低い液体（例えば、純水、蒸留水）を用いることができる。したがって、送電部 3 1 及び受電部 3 2 は、第二送電側包含部 3 1 3 及び第二受電側包含部 3 2 3 を中性浮力として働かせることができる。

[0055] 以上より、第三実施の形態による電力伝送装置 3 は、特別な比重調整用の機構を設ける必要がないので、第一実施形態による電力伝送装置 1 及び第二実施形態による電力伝送装置 2 と同等に低コスト化を図ることができる。

実施例 1

[0056] 次に、図 1 1 に、第三実施形態における第一実施例を示す。

図 1 1 では、電力伝送装置 1 の送電部 1 1 が電力供給源 1 4 に具備され、受電部 1 2 が潜水艇 1 5 に具備されている。本発明を用いることで、潮流が起こって電力供給源 1 4 と潜水艇 1 5 の位置関係が変動した場合であっても、安定して電力供給を行うことが可能になる。

実施例 2

[0057] また、図 1 2 に、第三実施形態における第二の実施例を示す。

図 1 2 では、電力伝送装置 1 の送電部 1 1 が潜水艇 1 6 に具備され、受電部 1 2 が潜水艇 1 7 に具備されている。本発明を用いることで、潮流が起こって潜水艇 1 6 と潜水艇 1 7 の位置関係が変動した場合であっても、安定して電力供給を行うことが可能になる。

[0058] また、潜水艇 1 6 と潜水艇 1 7 は、送電部 1 1 を受電部として用い、受電部 1 2 を送電部として用いることで、双方向に電力供給を行うことが可能である。あるいは、潜水艇 1 6 及び潜水艇 1 7 は、送電部 1 1 と受電部 1 2 の両方を具備しても良い。

なお、受電部 1 2 を備える潜水艇 1 7 は、船舶または海底に敷設されたセンサー装置等であってもよい。

実施例 3

[0059] 次に、図 1 3 に、第三実施形態における第三実施例を示す。

送電部 1 1 が電源ケーブル 1 8 の接続部に具備され、受電部 1 2 が電源ケ

ーブル 19 の接続部に具備されている。本発明を用いることで、海水中であっても、無線で電力供給をすることで、ケーブル間を非接触で接続することが可能になり、電源ケーブルの交換が容易になり、磨耗することなく信頼性も向上する。

[0060] また、電源ケーブル 18 と電源ケーブル 19 は、送電部 11 を受電部として用い、受電部 12 を送電部として用いることで、双方向に電力供給を行うことが可能である。さらに、前記電源ケーブル 18 と前記電源ケーブル 19 は、送電部 11 と受電部 12 を両方具備しても良い。

[0061] また、送電部 11 及び受電部 12 に無線で情報伝送する機能を搭載してもよい。送電部 11 を送信機として用い、受電部 12 を受信器として用いることで、無線通信用の機構を別途設ける必要がないため、小型で低コストのシステムとすることができる。

実施例 4

[0062] 図 14 は、第三実施形態による電力伝送装置 4 の効果を実証するためのシミュレーション用のモデル図である。

本発明の第三実施形態の第一実施例として、その効果を実証した具体的なシミュレーションモデルについて、図 14 を参照しながら説明する。

図 14 において、電力伝送装置 4 は、送電部 41 及び受電部 42 を備えている。また、送電部 41 及び受電部 42 は、良導体媒質として海水 43 に覆われている。前記送電部 41 は、ヘリカルコイル（送電用コイル）411、内部誘電体（第一送電側包含部）412、外部誘電体（第二送電側包含部）413、被覆誘電体（第三送電側包含部）414 を備えている。前記受電部 42 は、ヘリカルコイル（受電用コイル）421、内部誘電体（第一受電側包含部）422、外部誘電体（第二受電側包含部）423、被覆誘電体（第三受電側包含部）424 を備えている。

[0063] 図 15 は、第三実施形態の第一の実施例における送電部 41 の上面概略図である。

図 15 に示すヘリカルコイル 411 は、直径 2 mm の導線を、外径 220

mm、内径100mmで29巻きした単層コイルを2枚、距離3mm離して対向させた構造からなる。

この対抗させたヘリカルコイルに対して給電ポートから交流電力を印加する。内部誘電体412はフッ素樹脂で構成し、被覆誘電体414はアクリルで構成する。被覆誘電体414のサイズは、縦255mm、横255mm、高さ19mmである。前記電力伝送装置4の共振周波数は約1MHzである。ここで、本実施例では、ヘリカルコイルの外径のサイズd2と、被覆誘電体のサイズd1の比 $d1/d2$ が、1より大きい1.16であっても、充分高い電力伝送効率を得られている。ただし、 $d1/d2$ の比を、1.16より大きくすれば、さらに高い電力伝送効率を得られる。

受電部42は、送電部41と同じ構成としている。ただし、ここで示した構成は一例であって、送電部41と受電部42が同じ構成でなくても、同様の効果が得られる。

[0064] 図16は、第三実施形態の第一の実施例における電力伝送効率のシミュレーション結果を示すグラフである。

送電部41と受電部42との間の距離dを10cmとし、海水中において電力伝送効率のシミュレーションを行ったところ、図16に示すとおり、伝送電力の周波数fが1MHz付近において、40%以上の高い電力伝送効率を得ることができた。

[0065] 図17A、17B及び図18A、18Bは、それぞれ、第三実施形態の第一の実施例における送電部41、受電部42近傍の電界ベクトル及び磁界ベクトルを示す図であり、図19Aおよび19Bは、本実施例における送電部41、受電部42近傍のポインティングベクトルを示す図である。

上述した実施例による電力伝送装置4における電界、磁界、並びにポインティングベクトルに関して、詳細な三次元電磁界シミュレーションを行った結果について、図17A～図19Bを参照しながら説明する。

第三実施形態の第一の実施例では、図17Aおよび17Bに示すとおり、電界の流れがコイル面と平行な面に沿って回転しており、かつ、図18Aお

よび18Bで示すとおり、磁界の流れがコイル面と平行な面に沿って放射状に生成されている。このような電界と磁界の流れに基づいて、コイル面とほぼ垂直な方向にポインティングベクトル（エネルギーの流れ）が発生する（図19Aおよび19B）。この結果、送電部41と受電部42との間の距離が10cm程度離れた海水中であっても、コイル面に対してほぼ垂直な方向にエネルギーの流れが形成され、海水中での長距離化が可能となる。

[0066] 図20Aおよび20Bは、第三実施形態の第一の実施例による電力伝送装置4の、大気中におけるポインティングベクトルを示す図である。

本実施例による電力伝送装置4の送電部41と受電部42を、大気中において、10cmの距離を離してシミュレーションを行った結果について、図20Aおよび20Bを参照しながら説明する。

図20Aおよび20Bに示すとおり、送受電部面に対して垂直なエネルギーの流れは生じず、エネルギーは螺旋を描くような流れとなっている。すなわち、コイル面に対してほぼ垂直なエネルギーの流れが生じる現象は、良導体媒質中を伝搬するエネルギー特有の現象であり、大気中を伝搬する際には生じない現象である。すなわち、本発明は、コイル面に対してほぼ垂直なエネルギーの流れが生じるという特有の現象を利用している。

[0067] 図21Aおよび21Bは、従来の磁界共鳴技術を用いた場合の、大気中におけるポインティングベクトルを示す図である。

次に、従来の磁界共鳴技術を用いた、大気中でのシミュレーションを行った結果について、図21Aおよび21Bを参照しながら説明する。

図21Aおよび21Bに示すとおり、この場合も、図20A、20Bと同様、コイル面に対して垂直なエネルギーの流れは生じずに、エネルギーは螺旋を描くような流れとなっている。この場合における電力伝送効率は90%である。なお、既に述べたように、この従来技術による電力伝送装置を用いて、海水中において、無線電力伝送を試みても高い電力伝送効率は得られず、シミュレーションの結果では、10cmの距離で10%程度の電力伝送効率しか得られないことが分かった。

[0068] 図18Aおよび18Bは、送電部41と受電部42のヘリカルコイル411、ヘリカルコイル421を貫く鎖交磁束が最大となる位相条件における磁界の様子を示している。

従来の磁界共鳴技術と、第三実施形態の第一の実施例による電力伝送装置4との物理的な相違点について、図18Aおよび18Bを参照しながら説明する。

図18Aおよび18Bに示すとおり、送電部41のヘリカルコイル411を貫く鎖交磁束と、受電部42のヘリカルコイル421を貫く鎖交磁束が互いに逆方向の向きとなることで、磁界が最大となり、コイル面に対して平行な磁界を生成している。

一方、磁界共鳴を用いた無線電力伝送技術では、密結合にした場合に共振周波数が2つに分割し、高い方の共振周波数において、送電部と受電部のコイルを貫く鎖交磁束の位相が逆相となることが一般に知られている。また、同技術において、共振周波数が分割しない疎結合の状態においては、送電部と受電部のコイルを貫く鎖交磁束の位相が同相となることが一般に知られている。

本発明は、密結合状態ではなく、共振周波数が分割しない疎結合の状態で、送電部と受電部のアンテナ・コイルを貫く鎖交磁束の位相が逆相となることが、従来の磁界共鳴技術との本質的な違いである。

実施例 5

[0069] 図22は、第三の実施形態による電力伝送装置5の効果を実証するためのシミュレーション用のモデル図である。

次に、本発明の第三実施形態の第二実施例として、その効果を実証した具体的なシミュレーション結果について、図22を参照しながら説明する。

図22において、電力伝送装置5は、送電部51及び受電部52を備えている。また、送電部51及び受電部52は、良導体媒質として海水53に覆われている。前記送電部51は、スパイラルコイル5111、ループコイル5112、内部誘電体（第一送電側包含部）512、外部誘電体（第二送電

側包含部) 5 1 3、被覆誘電体 (第三送電側包含部) 5 1 4 を備えている。
前記受電部 5 2 は、スパイラルコイル 5 2 1 1、ループコイル 5 2 1 2、内部誘電体 (第一受電側包含部) 5 2 2、外部誘電体 (第二受電側包含部) 5 2 3、被覆誘電体 (第三受電側包含部) 5 2 4 を備えている。

[0070] 図 2 3 及び図 2 4 は、それぞれ、第三実施形態の第二の実施例におけるスパイラルコイル 5 1 1 1 (スパイラルコイル 5 2 1 1) を上面及び側面から見たモデル図である。

スパイラルコイル 5 1 1 1 は、フッ素樹脂からなる誘電体基板 5 1 1 3 と金属配線からなるスパイラル配線 5 1 1 4 で構成される。誘電体基板 5 1 1 3 は厚さ 1 mm、縦 2 7 0 mm、横 2 7 0 mm で構成される。スパイラル配線 5 1 1 4 は、縦 2 6 0 mm、横 2 6 0 mm、配線幅 6 mm、厚さ 5 0 μ m、1 0 巻きで構成される。

[0071] 図 2 5 及び図 2 6 は、それぞれ、第三実施形態の第二の実施例におけるループコイル 5 1 1 2 (ループコイル 5 2 1 2) を、上面及び側面から見たモデル図である。

ループコイル 5 1 1 2 は、フッ素樹脂からなる誘電体基板 5 1 1 5 と金属配線からなるループ配線 5 1 1 6 で構成される。誘電体基板 5 1 1 5 は厚さ 1 mm、縦 2 7 0 mm、横 2 7 0 mm で構成される。ループ配線 5 1 1 6 は、縦 2 6 0 mm、横 2 6 0 mm、配線幅 6 mm、厚さ 5 0 μ m で構成される。

[0072] スパイラルコイル 5 1 1 1 とループコイル 5 1 1 2 は、内部誘電体 5 1 2 内において 3 mm の距離を話している。前記送電部 5 1 と前記受電部 5 2 を、海水中で 1 0 c m の距離を離してシミュレーションしたところ、5 5 % 以上の高い電力伝送効率が得られた。なお、共振周波数は約 1 MHz である。

本実施例では、受電部 5 2 は、送電部 5 1 と同じ構成としている。ただし、ここで示した構成は一例であって、送電部 5 1 と受電部 5 2 が同じ構成でなくても、同様の効果が得られる。

[0073] 第三実施形態の第二の実施例のように、誘電体基板上にコイルを形成する

ことで量産性が増すとともに、作製精度が高まり、個体ごとの特性ばらつきを低減することができる。そうすると、送電部と受電部の共振周波数を同一にすることができ、より高い電力伝送効率を得ることが可能となる。

実施例 6

[0074] 図 28 は本発明の第三実施形態による電力伝送装置 6 の効果を実証するためのシミュレーション用のモデル図である。

次に、本発明の第三実施形態の第三実施例として、その効果を実証した具体的なシミュレーション結果について、図 28 を参照しながら説明する。

図 28 において、電力伝送装置 6 は、送電部 61 及び受電部 62 を備えている。また、送電部 61 及び受電部 62 は、海水 63 に覆われている。送電部 61 は、スパイラルコイル 6111 とスパイラルコイル 6112 からなる送電用コイル、送電用コイルを覆う第一誘電体からなる第一送電側包含部 612、第一送電側包含部 612 を覆う第二誘電体からなる第二送電側包含部 613、及び、第二送電側包含部 613 を覆う第三誘電体からなる第三送電側包含部 614 を備えている。また、受電部 62 は、送電部 61 と同じく、スパイラルコイル 6211 とスパイラルコイル 6212 からなる受電用コイル及び第一受電側包含部 622、第二受電側包含部 623 及び第三受電側包含部 624 を備えている。

[0075] ここで、第三実施形態の第三の実施例におけるシミュレーションモデルは、図 28 に示すとおり、第二送電側包含部 613（第二受電側包含部 623）が、第一送電側包含部 612（第一受電側包含部 622）の上面及び下面（コイル面と平行な面）のみを覆う構造となっている。すなわち、第一送電側包含部 612（第一受電側包含部 622）を、第二送電側包含部 613（第二受電側包含部 623）で挟み込むような態様となっている。一方、第一送電側包含部 612（第一受電側包含部 622）の側面（コイル面と垂直な面）は、直接、第三送電側包含部 614（第三受電側包含部 624）によって覆われる構造となっている。

[0076] 図 29 は、第三実施形態の第三の実施例における送電部 61 を側面から見

たモデル図である。

第一送電側包含部612は、縦250mm、横250mm、高さ4.5mmのフッ素樹脂で構成される。比誘電率は10.2、誘電正接は0.0023である。

また、第二送電側包含部613は、2つの、縦250mm、横250mm、高さ6mmのフッ素樹脂で構成される。比誘電率は6.2、誘電正接は0.0019である。

また、第三送電側包含部614は、縦260mm、横260mm、高さ26.5mm、厚さ5mmのアクリルで構成される。アクリルの比誘電率は3.3、誘電正接は0.04である。

なお、第三実施形態の第三の実施例においては、受電部62も、上述した送電部61と同じ構成としてシミュレーションを行っている。

[0077] 図30及び図31は、それぞれ、第三実施形態の第三の実施例における送電部61のスパイラルコイル6111と6112を受電部側から見たモデル図である。

スパイラルコイル6111は、外周辺208mm、50巻の導体からなる配線で構成される。前記配線の直径は1mm、前記配線の間隔は1mmである。スパイラルコイル6112は、スパイラルコイル6111と同サイズとした。スパイラルコイル6111とスパイラルコイル6112は、0.5mmの距離を離して配置される。スパイラルコイル6111の最外周の端部と、スパイラルコイル6112の最外周の端部が、高周波電力の給電ポートとなる。スパイラルコイル6111の螺旋の向きと、スパイラルコイル6112の螺旋の向きは、給電ポートを介して、同じ方向に磁界が発生する向きで構成する。

[0078] 図32及び図33は、それぞれ、第三実施形態の第三の実施例における受電部62のスパイラルコイル6211と6212を送電部側から見たモデル図である。

スパイラルコイル6211は、外周辺208mm、50巻の導体からなる

配線で構成される。前記配線の直径は1 mm、前記配線の間隔は1 mmである。スパイラルコイル6 2 1 2は、スパイラルコイル6 2 1 1と同サイズとした。スパイラルコイル6 2 1 1とスパイラルコイル6 2 1 2は、0.5 mmの距離を離して配置される。スパイラルコイル6 2 1 1の最外周の端部と、スパイラルコイル6 2 1 2の最外周の端部が、高周波電力の受電ポートとなる。スパイラルコイル6 2 1 1の螺旋の向きと、スパイラルコイル6 2 1 2の螺旋の向きは、受電ポートを介して、同じ方向に磁界が発生する向きで構成する。

[0079] 前記送電部6 1と前記受電部6 2を、海水中で10 cmの距離を離してシミュレーションしたところ、図34で示すように、72%以上の高い電力伝送効率を得られた。なお、共振周波数は約140 kHzである。

第三実施形態の第三の実施例では、受電部6 2は、送電部6 1と同じ構成としている。ただし、ここで示した構成は一例であって、送電部6 1と受電部6 2が同じ構成でなくても、同様の効果が得られる。

[0080] 第三実施形態の第三の実施例によるシミュレーションで示されたように、コイルを被覆する誘電体を複数で構成することで、誘電体内の損失を増加させずに、低周波化することが可能になり、高い電力伝送効率を得られる。

[0081] 本願は、2012年8月31日に、日本に出願された特願2012-191649号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

産業上の利用可能性

[0082] 海水等の良導体媒質中における無線電力伝送で長距離化が可能となる電力伝送装置を提供することができる。

符号の説明

[0083] 1 電力伝送装置
1 1 送電部
1 1 1 送電用コイル
1 1 2 送電側包含部
1 1 3 送電側インピーダンス調整部

- 1 2 受電部
 - 1 2 1 受電用コイル
 - 1 2 2 受電側包含部
 - 1 2 3 受電側インピーダンス調整部
- 1 3 良導体媒質
- 1 4 電力供給源
- 1 5 潜水艇
- 1 6 潜水艇
- 1 7 潜水艇
- 1 8 電源ケーブル
- 1 9 電源ケーブル
- 2 電力伝送装置
 - 2 1 送電部
 - 2 1 1 送電用コイル
 - 2 1 2 第一送電側包含部
 - 2 1 3 第二送電側包含部
 - 2 2 受電部
 - 2 2 1 受電用コイル
 - 2 2 2 第一受電側包含部
 - 2 2 3 第二受電側包含部
 - 2 3 良導体媒質
- 3 電力伝送装置
 - 3 1 送電部
 - 3 1 1 送電用コイル
 - 3 1 2 第一送電側包含部
 - 3 1 3 第二送電側包含部
 - 3 1 4 第三送電側包含部
 - 3 2 受電部

- 3 2 1 受電用コイル
- 3 2 2 第一受電側包含部
- 3 2 3 第二受電側包含部
- 3 2 4 第三受電側包含部
- 3 3 良導体媒質
- 4 電力伝送装置
- 4 1 送電部
- 4 1 1 ヘリカルコイル
- 4 2 1 ヘリカルコイル
- 4 1 2 内部誘電体
- 4 2 2 内部誘電体
- 4 1 3 外部誘電体
- 4 2 3 外部誘電体
- 4 1 4 被膜誘電体
- 4 2 4 被膜誘電体
- 4 2 受電部
- 4 3 海水
- 5 電力伝送装置
- 5 1 送電部
- 5 1 1 1 スパイラルコイル
- 5 2 1 1 スパイラルコイル
- 5 1 1 2 ループコイル
- 5 2 1 2 ループコイル
- 5 1 1 3 誘電体基板
- 5 1 1 4 スパイラル配線
- 5 1 1 5 誘電体基板
- 5 1 1 6 ループ配線
- 5 1 2 内部誘電体

- 5 2 2 内部誘電体
- 5 1 3 外部誘電体
- 5 2 3 外部誘電体
- 5 1 4 被膜誘電体
- 5 2 4 被膜誘電体
- 5 2 受電部
- 5 3 海水
- 6 電力伝送装置
- 6 1 送電部
- 6 1 1 1 スパイラルコイル
- 6 1 1 2 スパイラルコイル
- 6 2 1 1 スパイラルコイル
- 6 2 1 2 スパイラルコイル
- 6 1 2 第一送電側包含部
- 6 1 3 第二送電側包含部
- 6 1 4 第三送電側包含部
- 6 2 受電部
- 6 2 2 第一受電側包含部
- 6 2 3 第二受電側包含部
- 6 2 4 第三受電側包含部
- 6 3 海水

請求の範囲

- [請求項1] 良導体媒質中において電力を無線で伝送する電力伝送装置であって、
- 無線で電力を送出する送電部と、
- 前記送電部から送出された無線電力を送入する受電部と、
- を備え、
- 前記送電部及び受電部は、
- 電力伝送用コイルと、
- 前記電力伝送用コイルを覆う誘電体を有する包含部と、
- を備え、
- 前記送電部のインピーダンスと、前記受電部のインピーダンスと、
- 前記良導体媒質のインピーダンスで定まる周波数で共振させて電力伝送を行う電力伝送装置。
- [請求項2] 前記送電部のインピーダンスを構成するキャパシタンス成分 (C_1 [pF]) と、前記受電部のインピーダンスを構成するキャパシタンス成分 (C_2 [pF]) と、前記送電部、前記受電部、及び、その間に存在する前記良導体媒質で形成される容量のキャパシタンス成分 (C_3 [pF]) と、前記送電部と前記受電部との間隔距離 (d [cm]) が、 $30 > C_3 \cdot d / (C_1 + C_2) > 0.5$ の関係を満たす請求項1に記載の電力伝送装置。
- [請求項3] 前記送電部、前記受電部の少なくとも一方は、
- 自己のインピーダンスを可変にするインピーダンス調整部と、
- を備えた請求項1または請求項2に記載の電力伝送装置。
- [請求項4] 前記包含部の電力伝送用コイル面に沿う方向の大きさ (d_1 [cm]) と、前記電力伝送用コイルの外径 (d_2 [cm]) が、 $d_1 / d_2 > 1.2$ の関係を満たす請求項1から請求項3の何れか一に記載の電力伝送装置。
- [請求項5] 前記包含部は、

前記電力伝送用コイルを覆う第一誘電体を有する第一包含部と、
前記第一包含部を覆う第二誘電体を有する第二包含部と、
を備えた請求項 1 から請求項 4 の何れか一項に記載の電力伝送装置
。

- [請求項6] 前記包含部は、
さらに、前記第二包含部を覆う第三誘電体を有する被覆部と、
を備えた請求項 5 に記載の電力伝送装置。
- [請求項7] 前記第二誘電体は、前記良導体媒質と比重が等しい誘電体からなる
請求項 5 または請求項 6 に記載の電力伝送装置。
- [請求項8] 前記第一誘電体の誘電正接が、前記第二誘電体の誘電正接よりも低
いか、又は、同一である請求項 5 から請求項 7 の何れか一項に記載の
電力伝送装置。
- [請求項9] 前記第一誘電体の比誘電率が、前記第二誘電体の比誘電率よりも低
いか、又は、同一である請求項 5 から請求項 8 の何れか一項に記載の
電力伝送装置。
- [請求項10] 前記良導体媒質は、
導電率が 1×10^{-4} より高く、かつ、比誘電率が 1 より高い請求
項 1 から請求項 9 の何れか一項に記載の電力伝送装置。
- [請求項11] 前記良導体媒質が、海水、河川、淡水、水道水、土、コンクリート
のいずれかである請求項 1 から請求項 10 の何れか一項に記載の電力
伝送装置。
- [請求項12] 前記良導体媒質中に発生した電界の一部もしくは全部が、前記送電
部または前記受電部の電力伝送用コイル面に対して略平行に回転して
おり、かつ、前記良導体媒質中に発生した磁界の一部もしくは全部が
、前記送電部または前記受電部の電力伝送用コイル面に対して略平行
に向いている請求項 1 から請求項 11 の何れか一項に記載の電力伝送
装置。
- [請求項13] 前記送電部の電力伝送用コイルを貫く鎖交磁束と、前記受電部の電

力伝送用コイルを貫く鎖交磁束が、磁界が最大となる位相条件で、互いに逆方向の向きとすることで、前記電力伝送用コイル面に対して平行な磁界を生成する請求項 1 2 に記載の電力伝送装置。

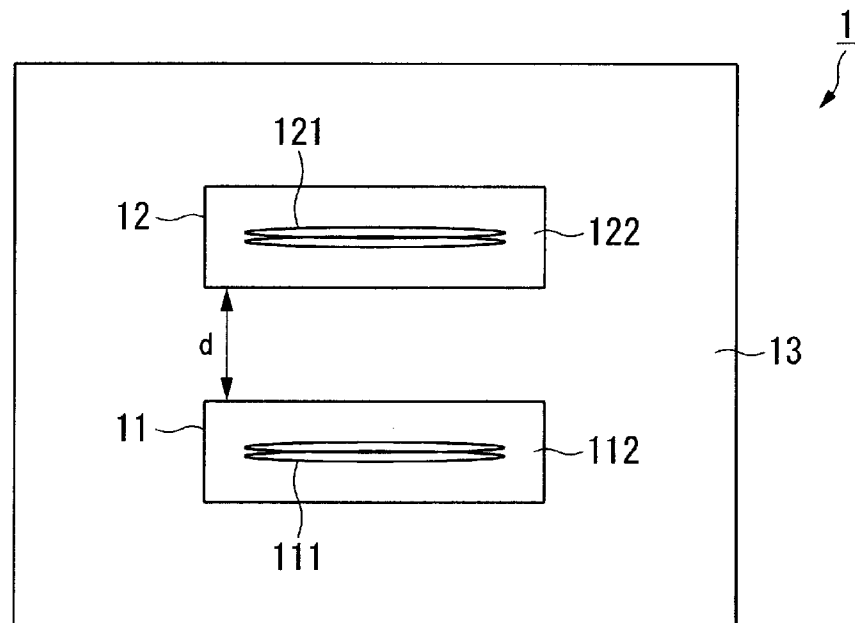
[請求項14] 海水中に設置した電力供給源、船舶または潜水艇に前記送電部を搭載し、海水中に設置したセンサー、船舶または潜水艇に前記受電部を搭載し、前記送電部から前記受電部に無線で電力伝送を行う請求項 1 から請求項 1 3 の何れか一項に記載の電力伝送装置。

[請求項15] 海水中に敷設された電源ケーブルの接続部に、前記送電部と前記受電部を用い、前記送電部から前記受電部に無線で電力伝送を行う請求項 1 から請求項 1 4 の何れか一項に記載の電力伝送装置。

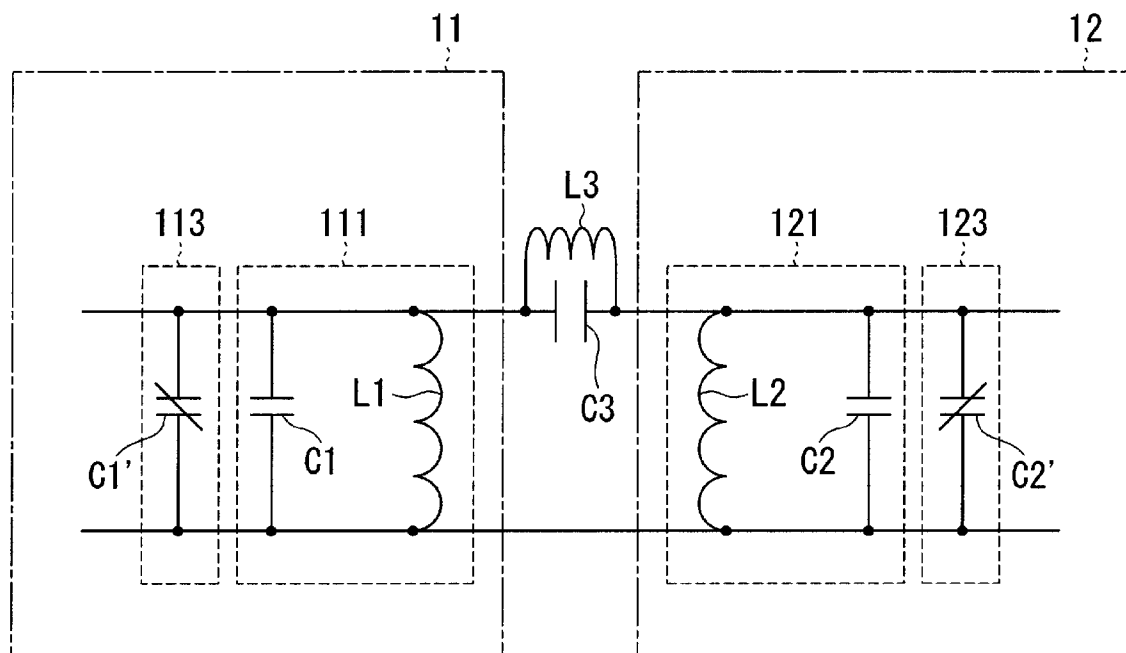
[請求項16] 前記送電部を情報伝送する送信機として用い、前記受電部を情報伝送する受信器として用いることで、電力伝送及び無線通信を同時に行う請求項 1 から請求項 1 5 の何れか一項に記載の電力伝送装置。

[請求項17] 良導体媒質中において電力を無線で伝送する電力伝送方法であって、
包含部が、電力伝送用コイルを誘電体で覆い、
送電部が、無線で電力を送出し、
受電部が、送出された無線電力を送入し、
前記送電部のインピーダンスと、前記受電部のインピーダンスと、
前記良導体媒質のインピーダンスで定まる周波数で共振させて電力伝送を行う電力伝送方法。

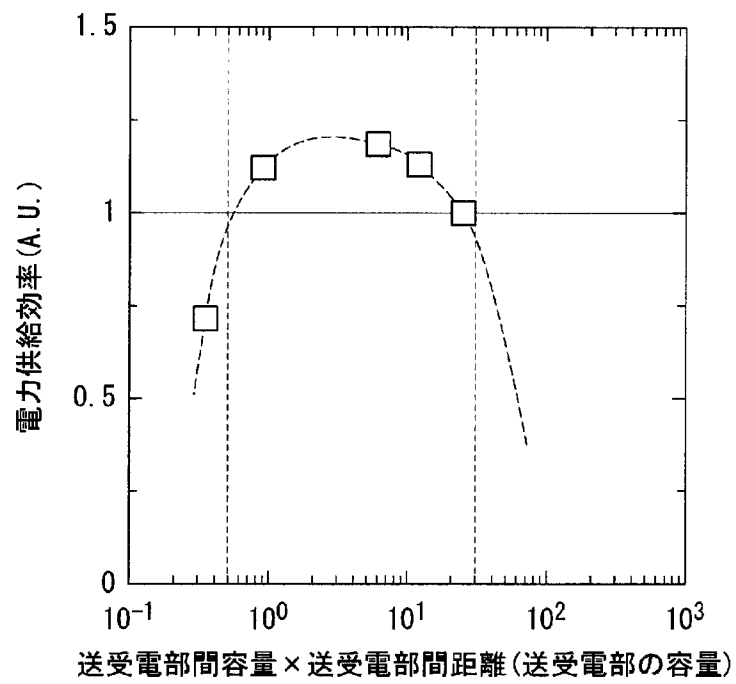
[図1]



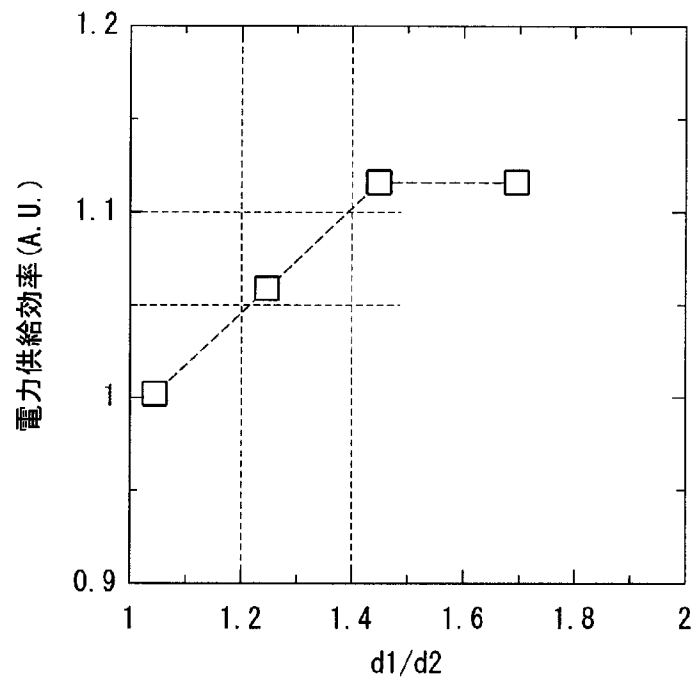
[図2]



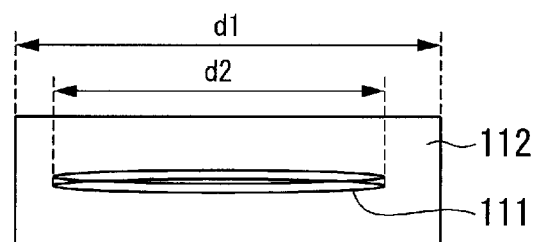
[図3]



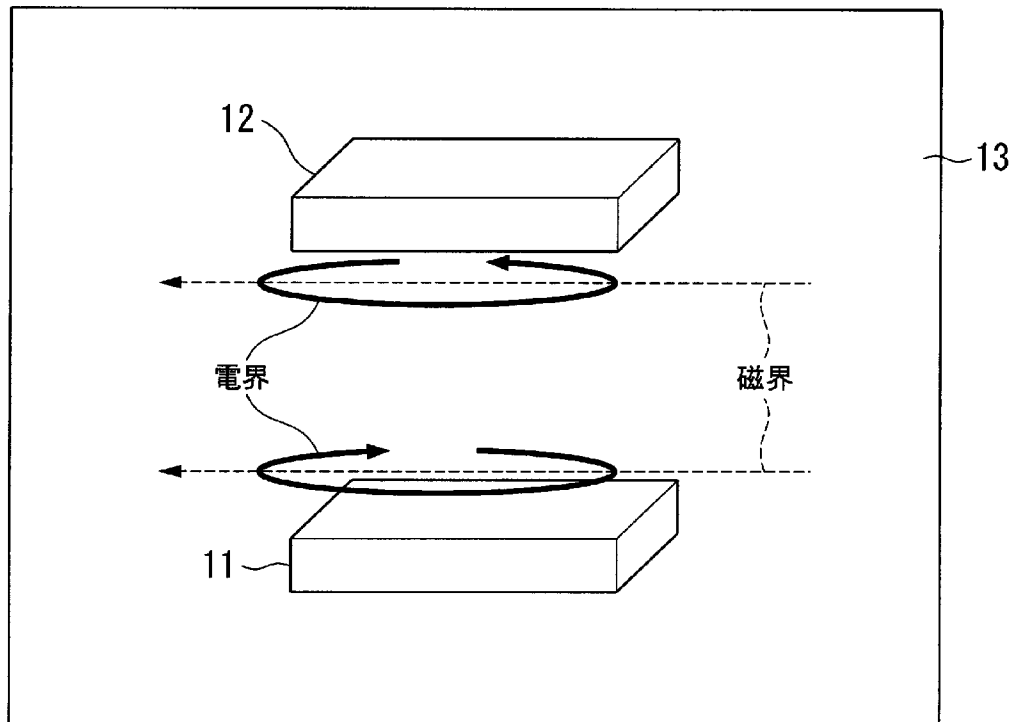
[図4A]



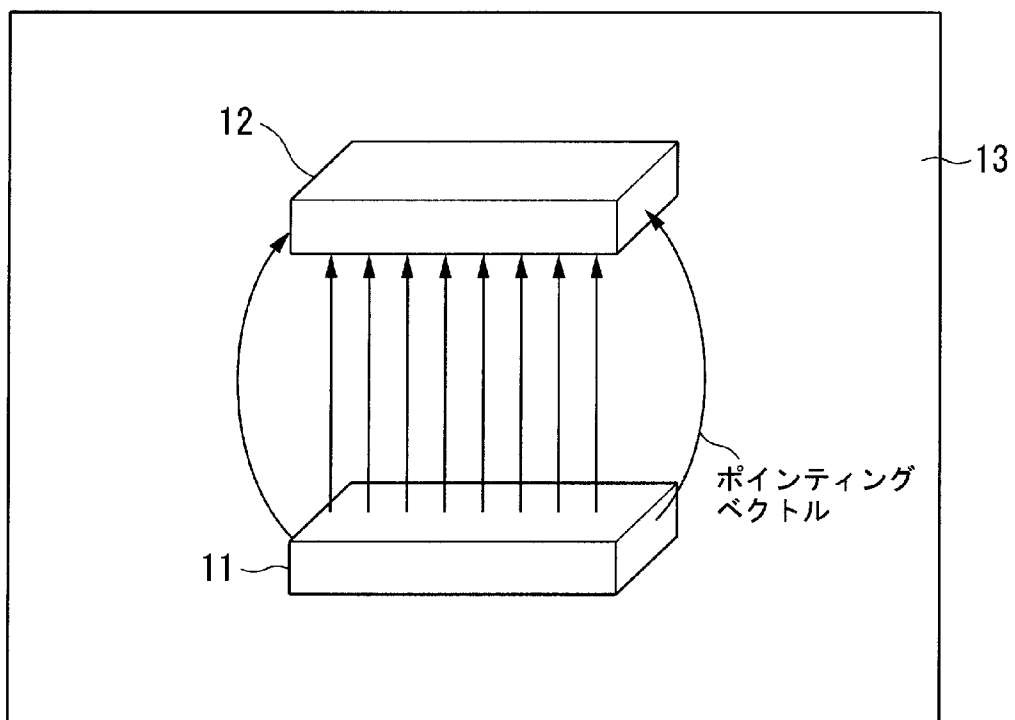
[図4B]



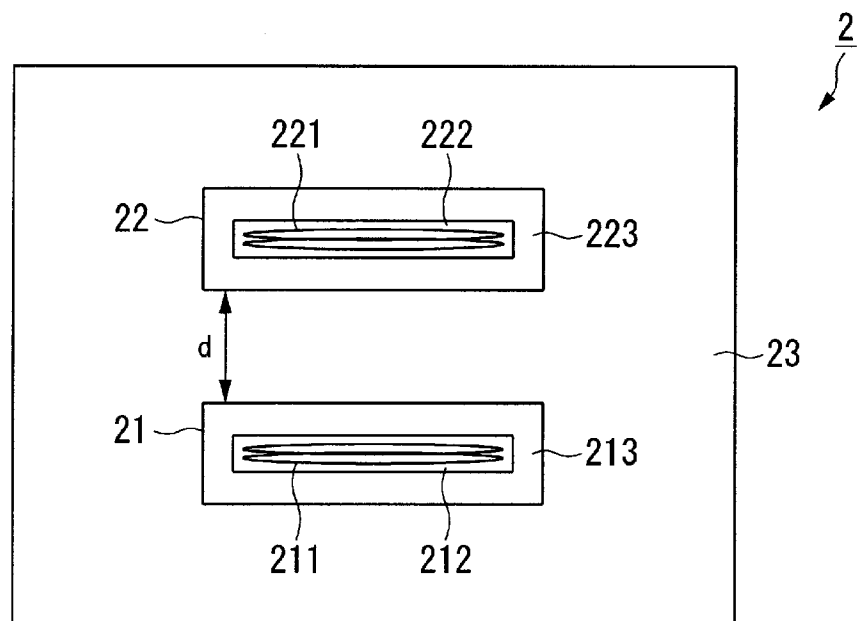
[図5]



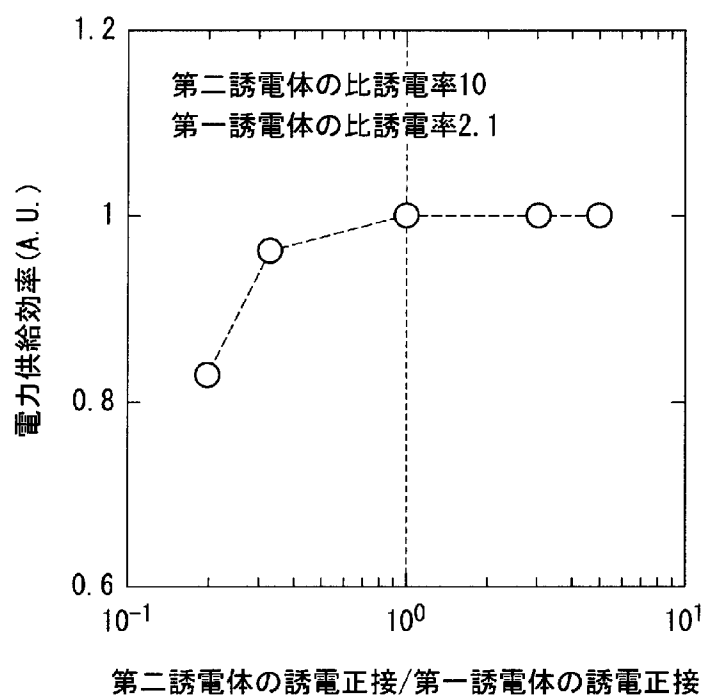
[図6]



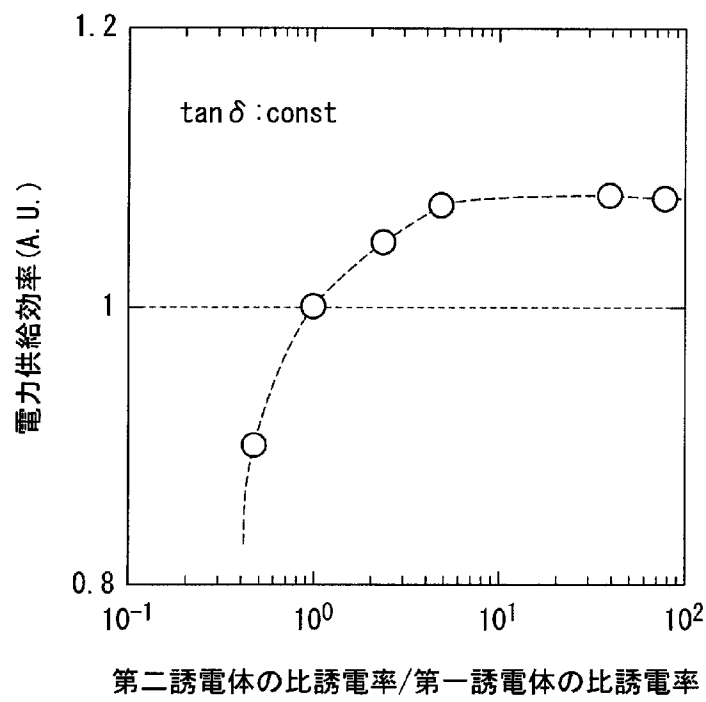
[図7]



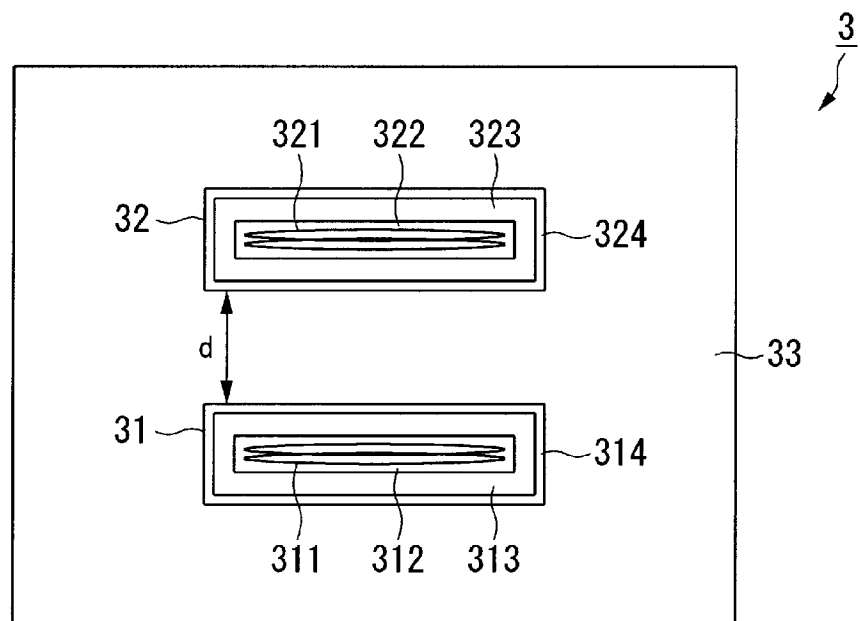
[図8]



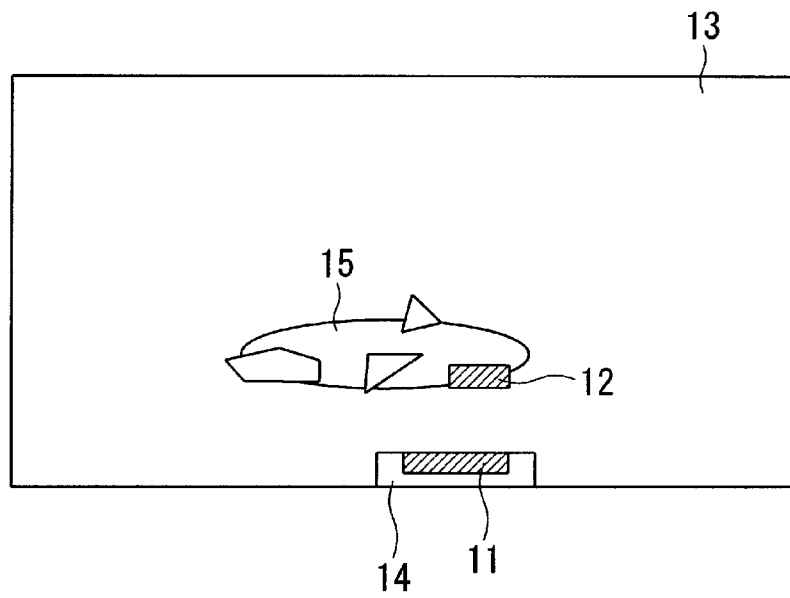
[図9]



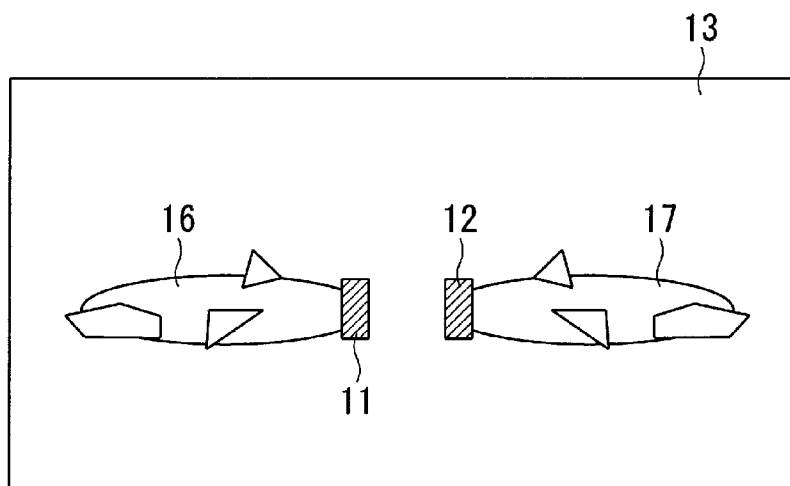
[図10]



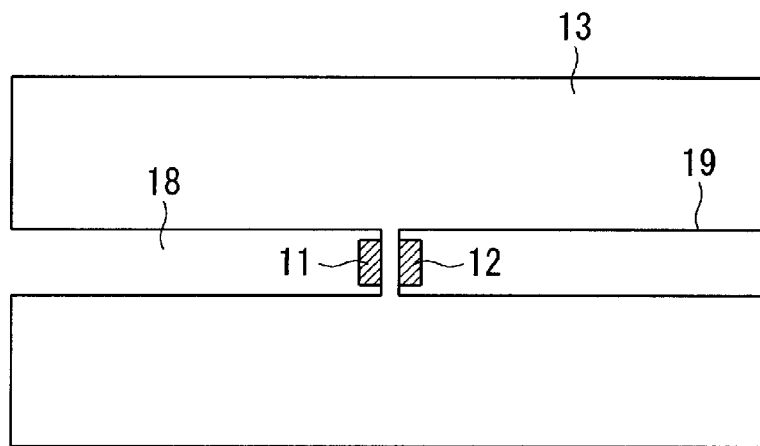
[図11]



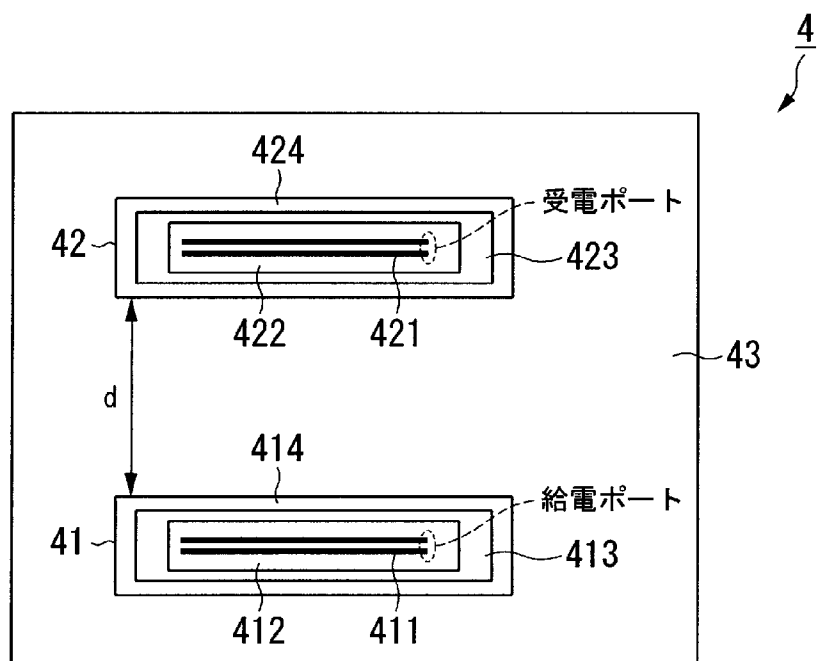
[図12]



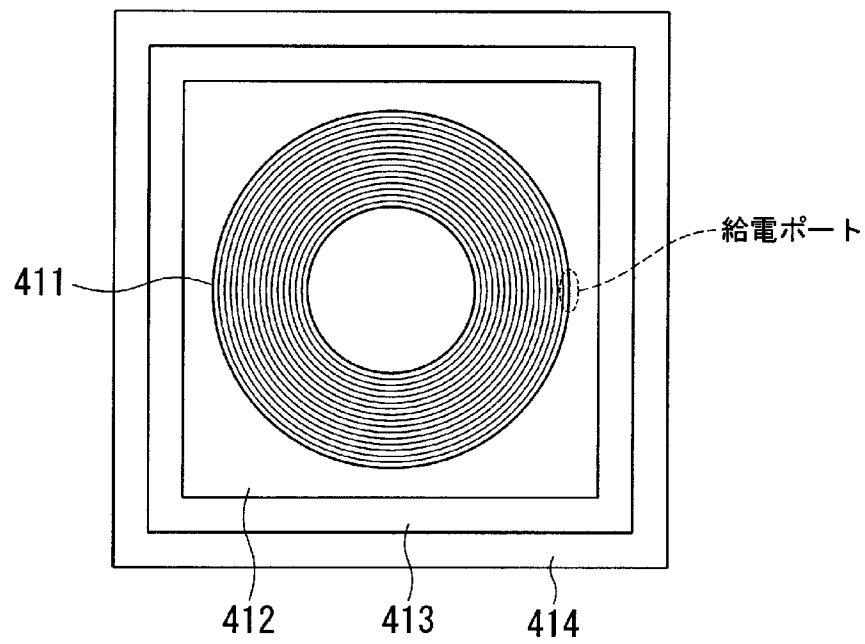
[図13]



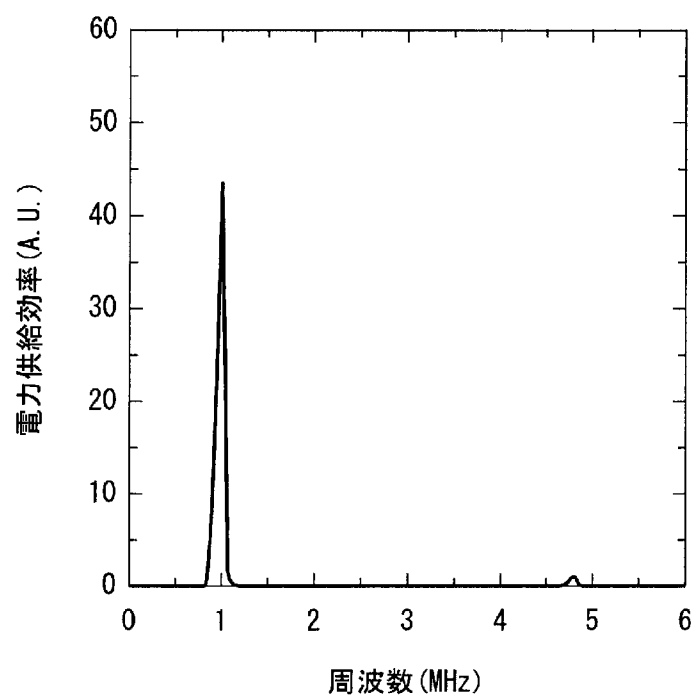
[図14]



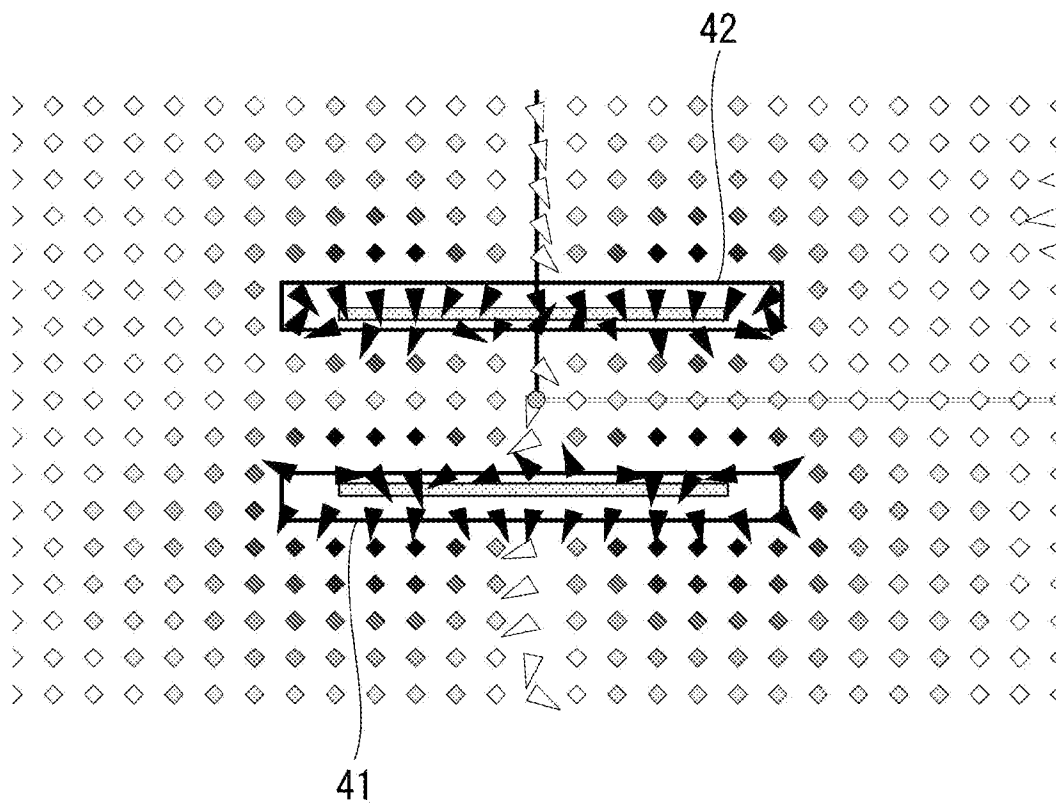
[図15]



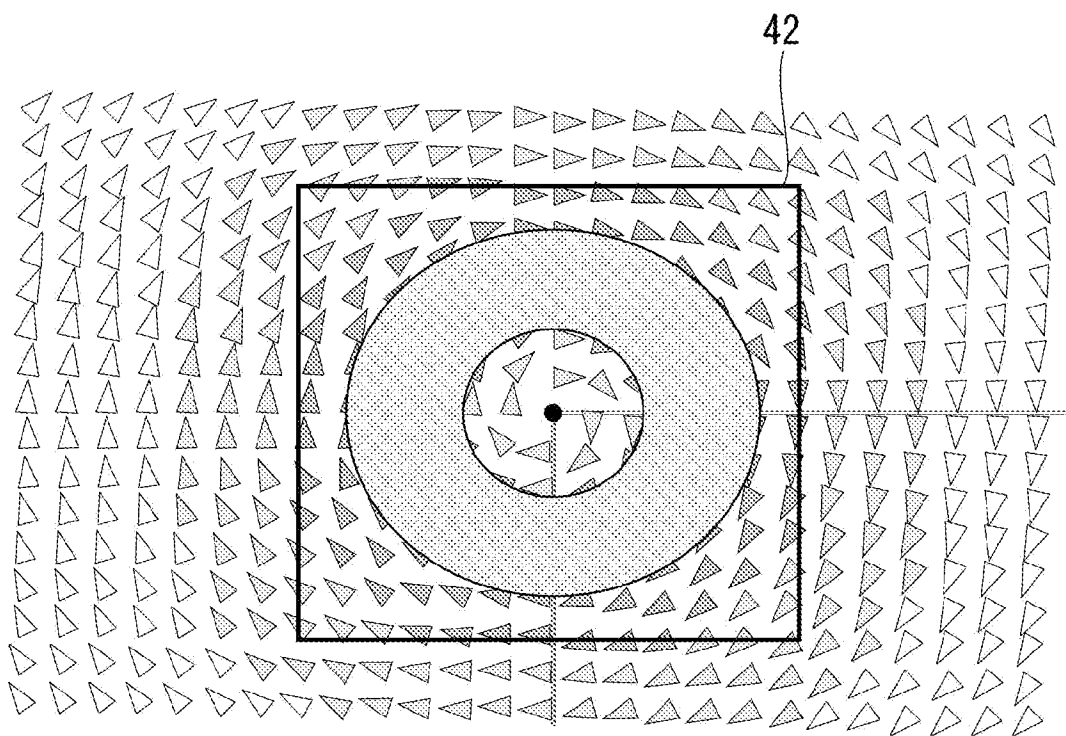
[図16]



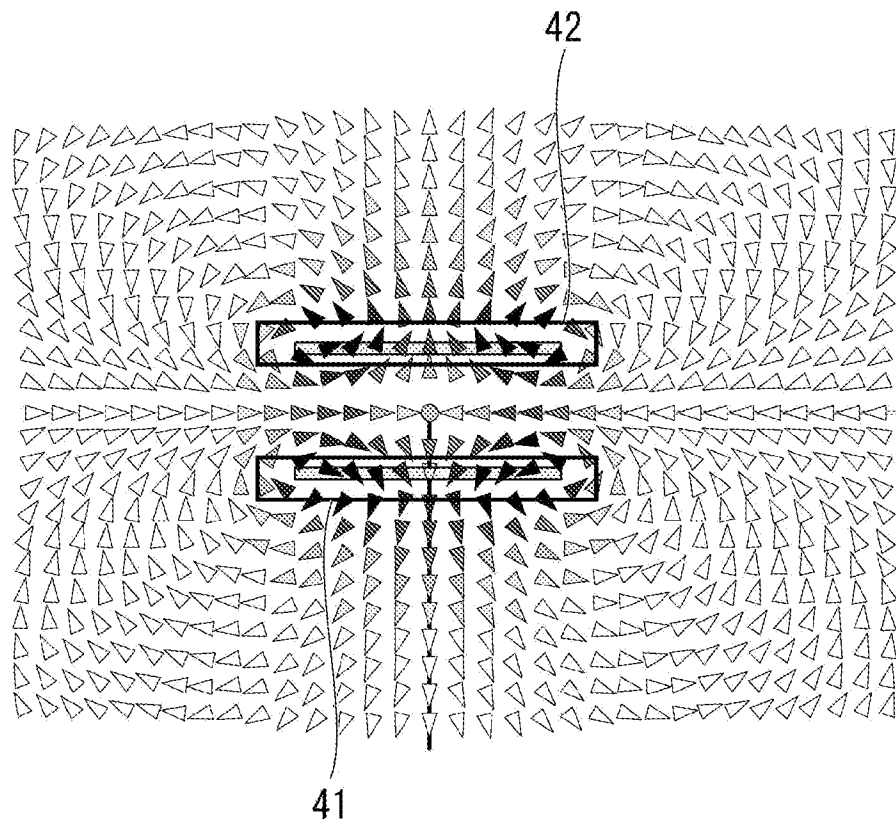
[図17A]



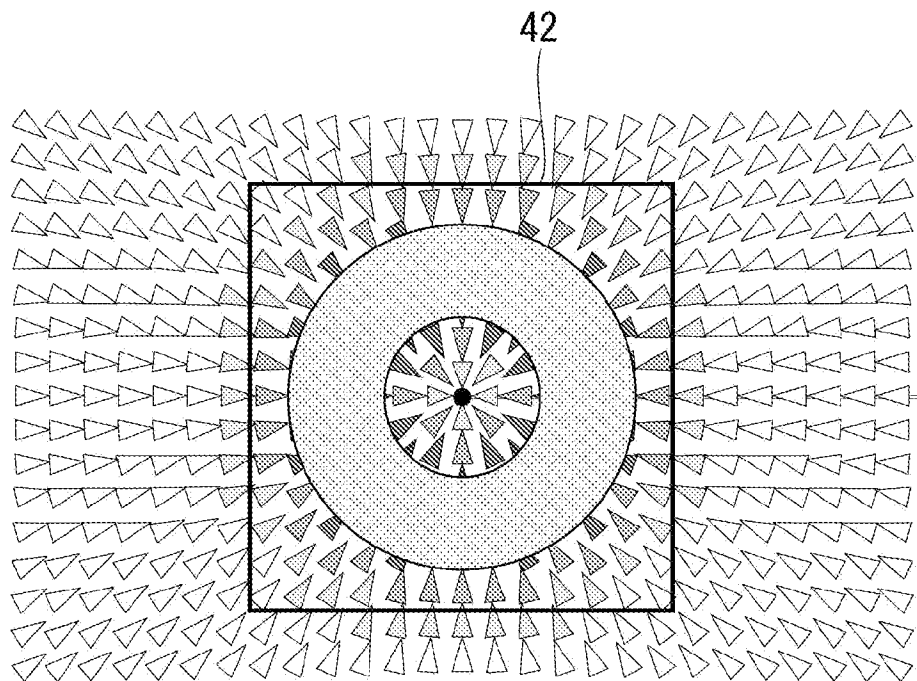
[図17B]



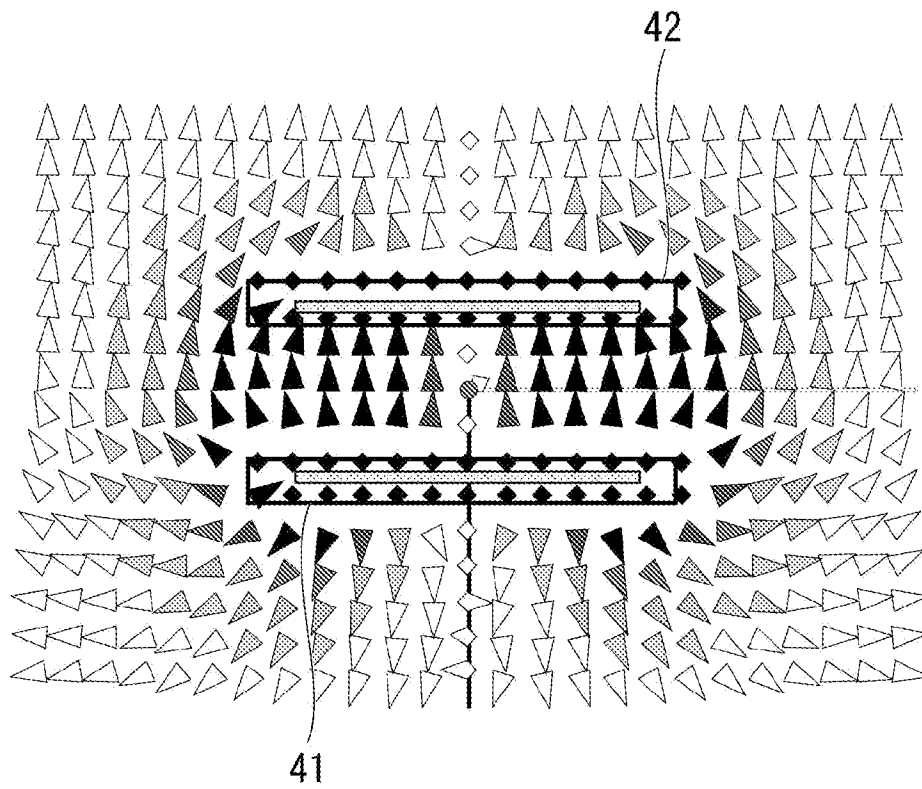
[図18A]



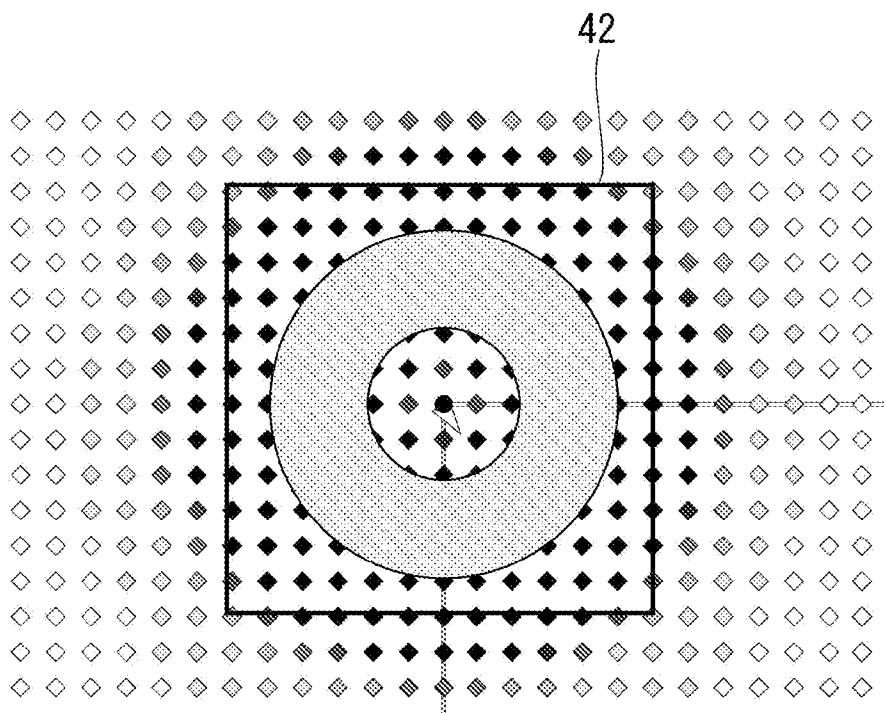
[図18B]



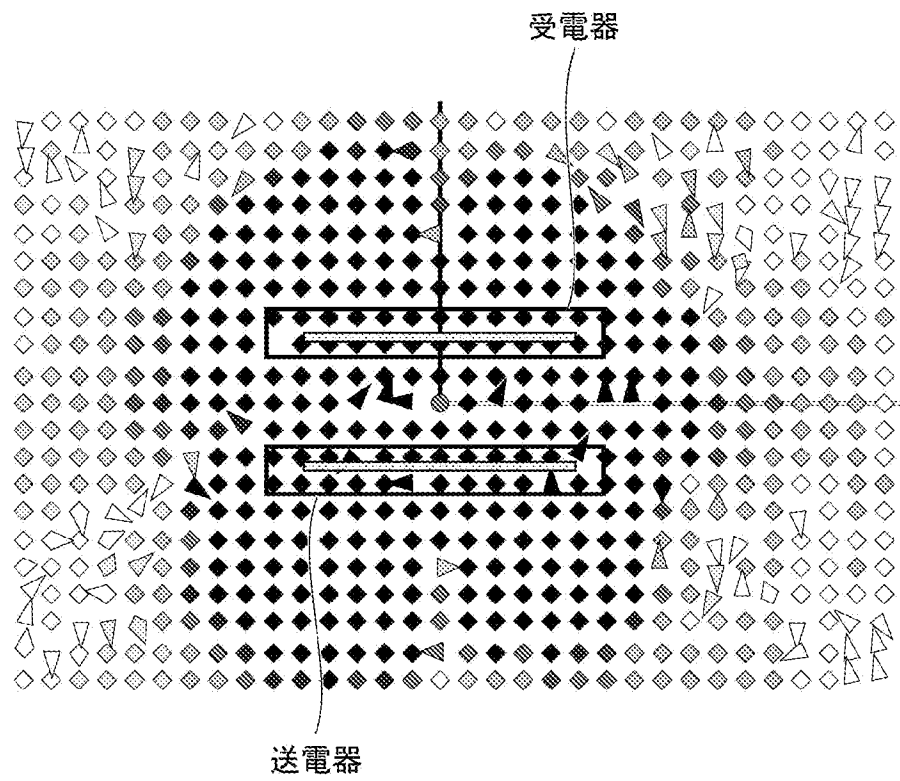
[図19A]



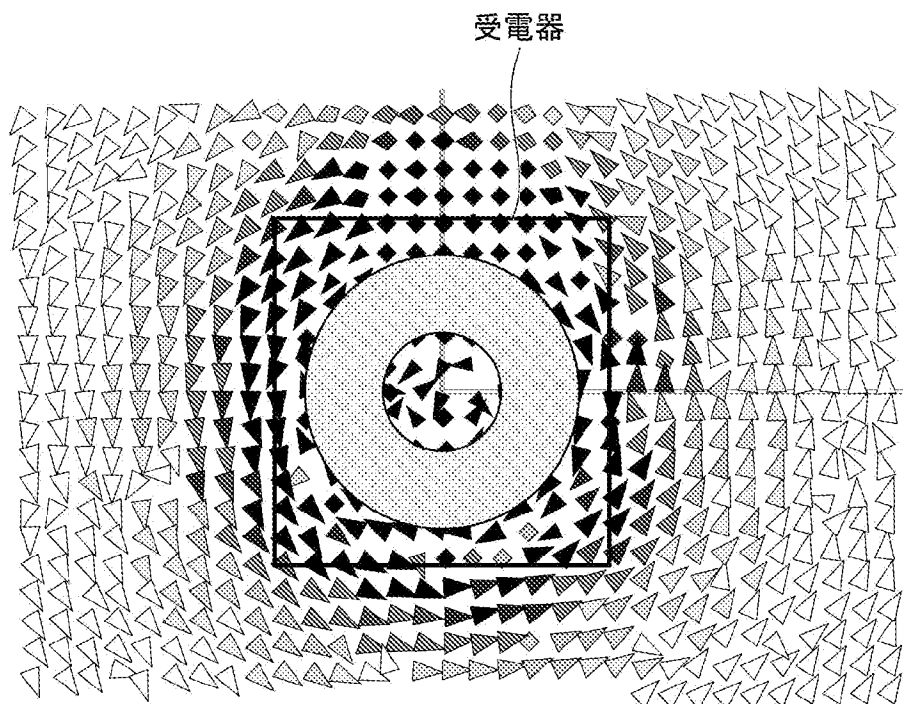
[図19B]



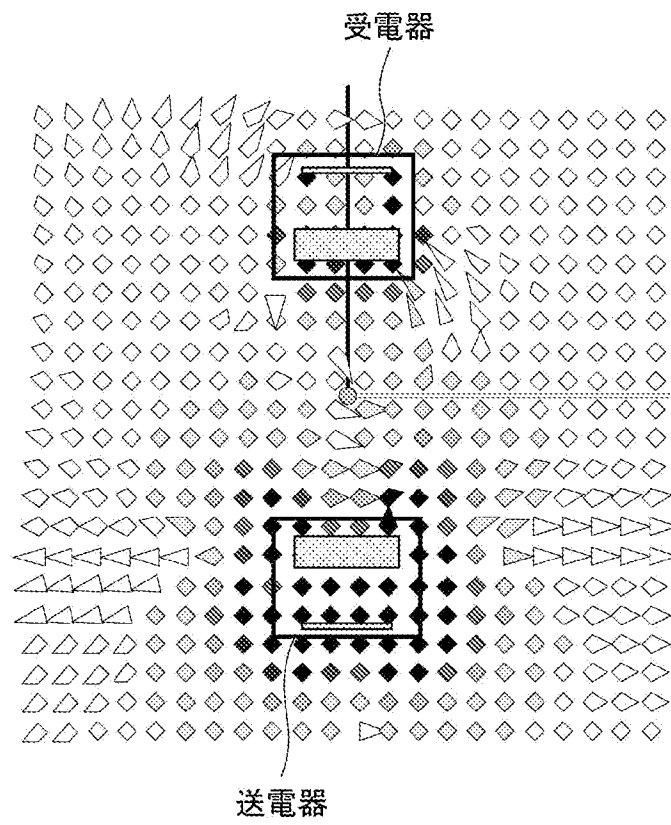
[図20A]



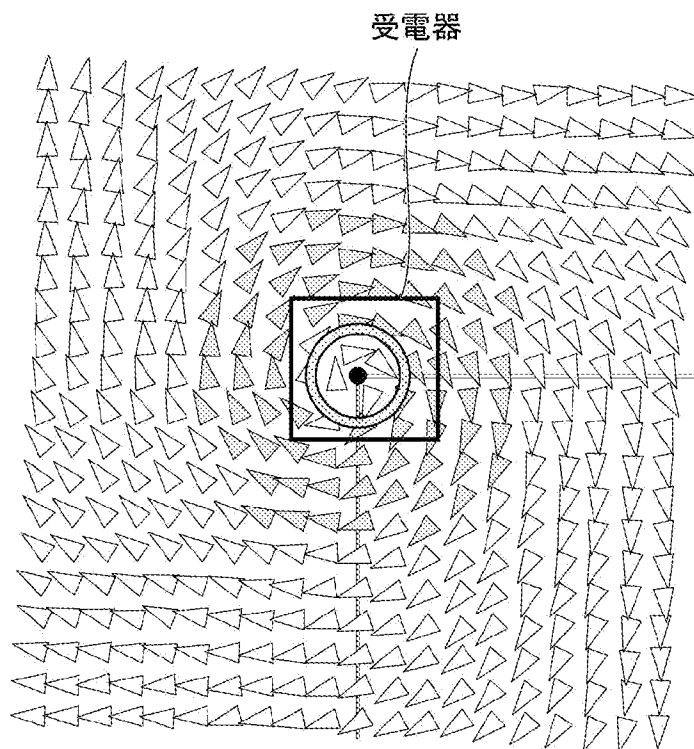
[図20B]



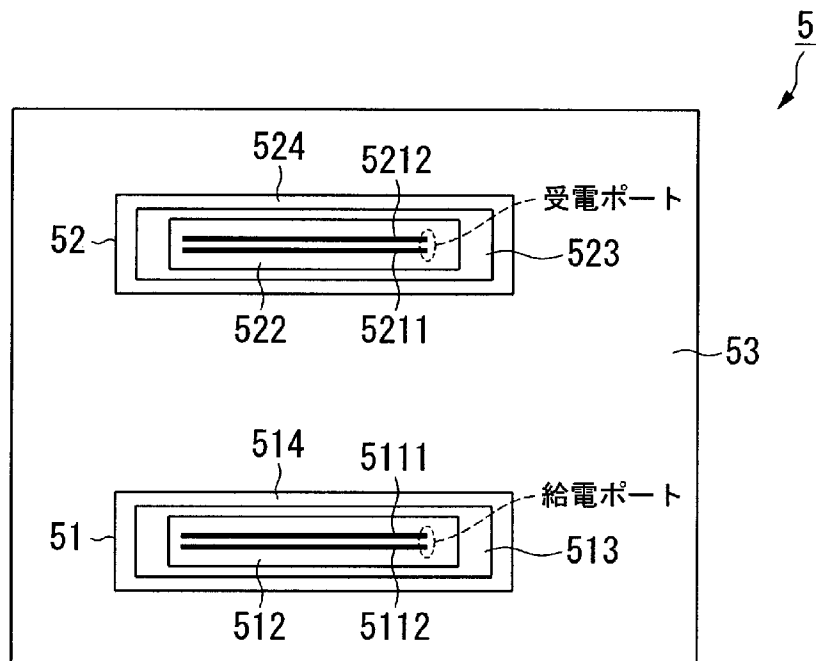
[図21A]



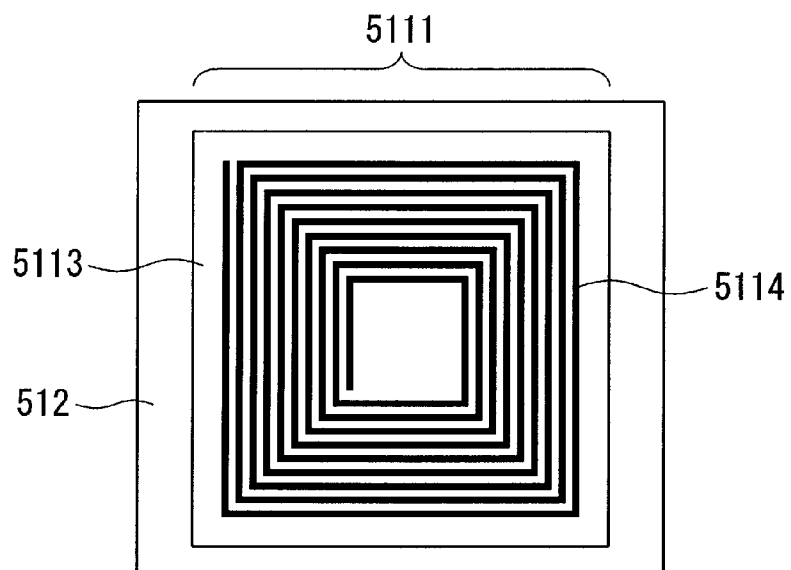
[図21B]



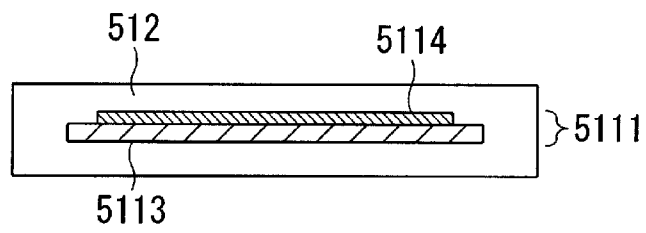
[図22]



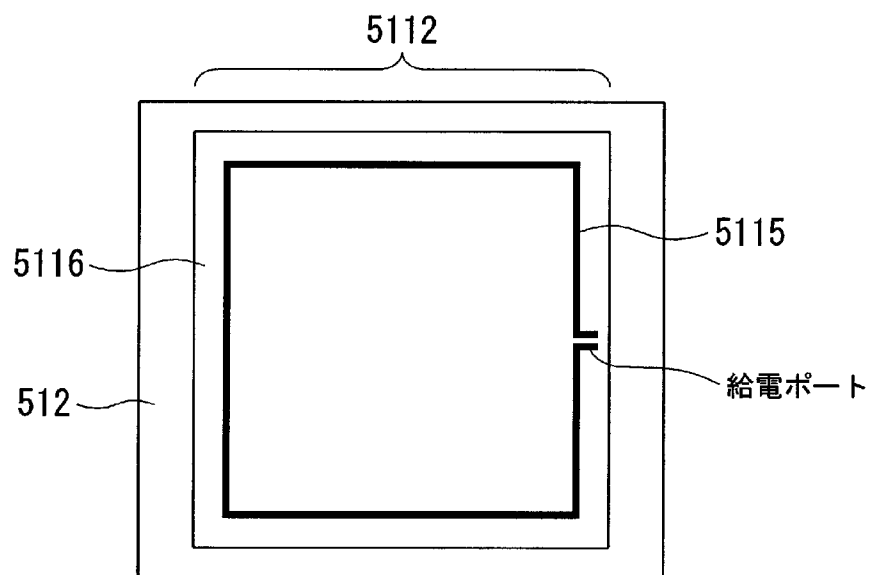
[図23]



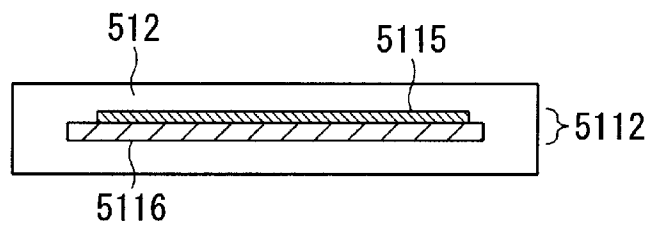
[図24]



[図25]



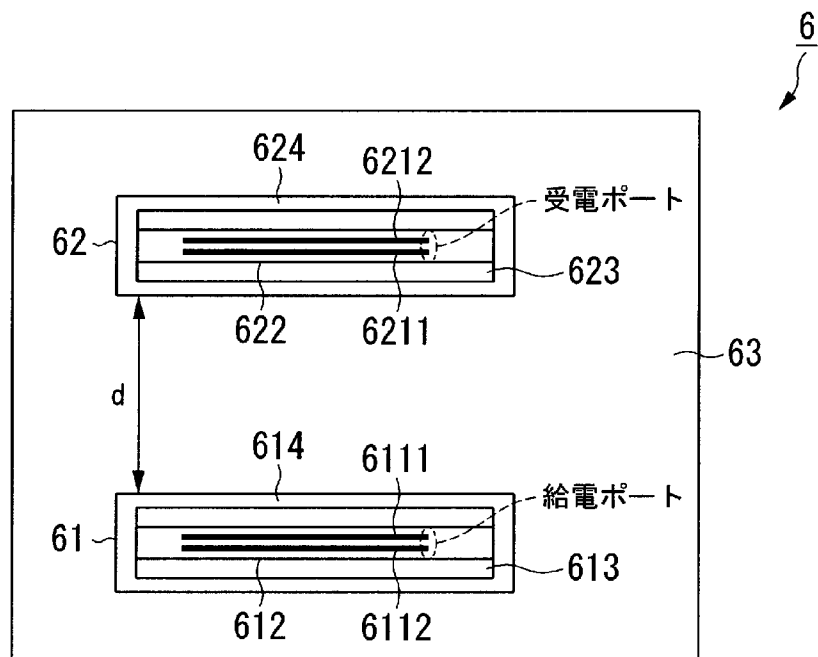
[図26]



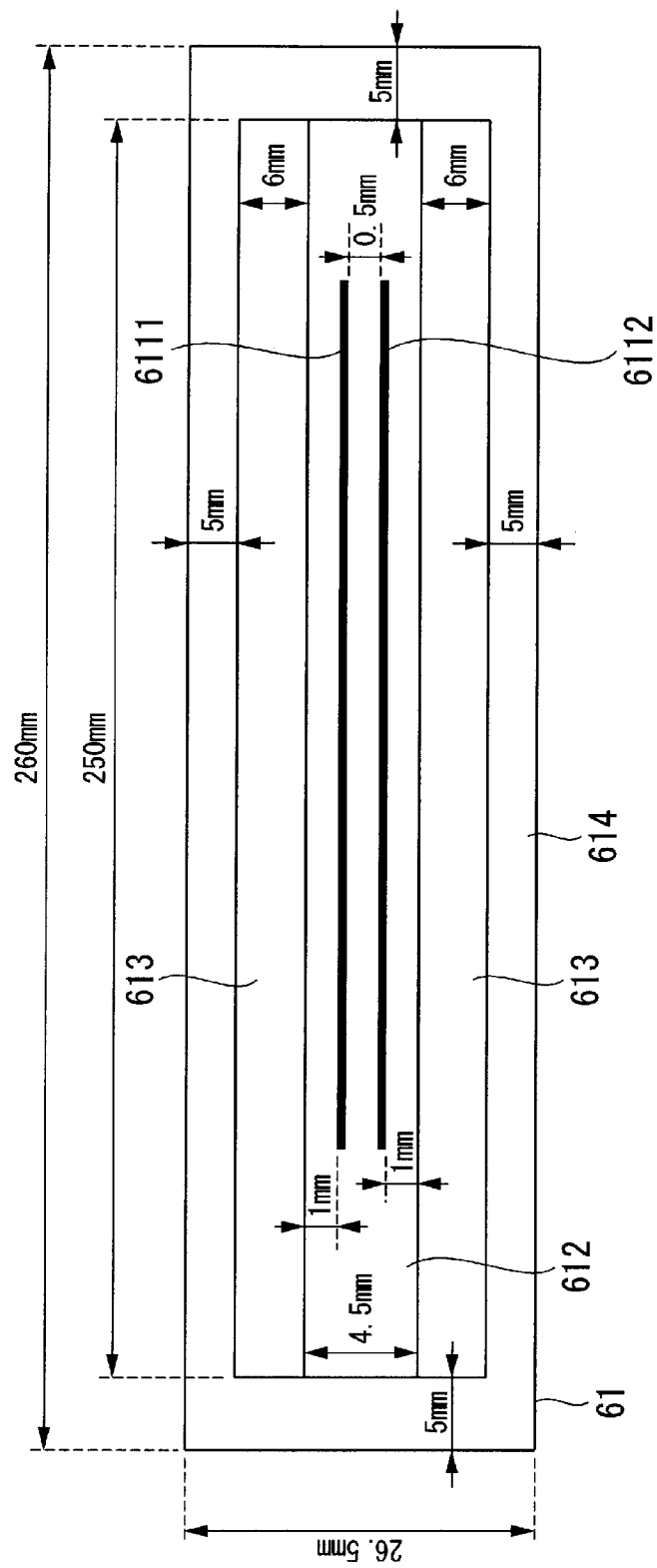
[図27]

	導電率 (S/m)	比誘電率
海水	約4	約81
河川	約 10^{-2} ~ 10^{-1}	約81
淡水、水道水	約 10^{-3} ~ 10^{-2}	約81
土(湿潤)	約 10^{-2} ~ 10^{-1}	約3~6
コンクリート	約 10^{-3} ~ 10^{-2}	約5~10
土(乾燥)	約 10^{-4} ~ 10^{-3}	約3~6
*空気	0	約1

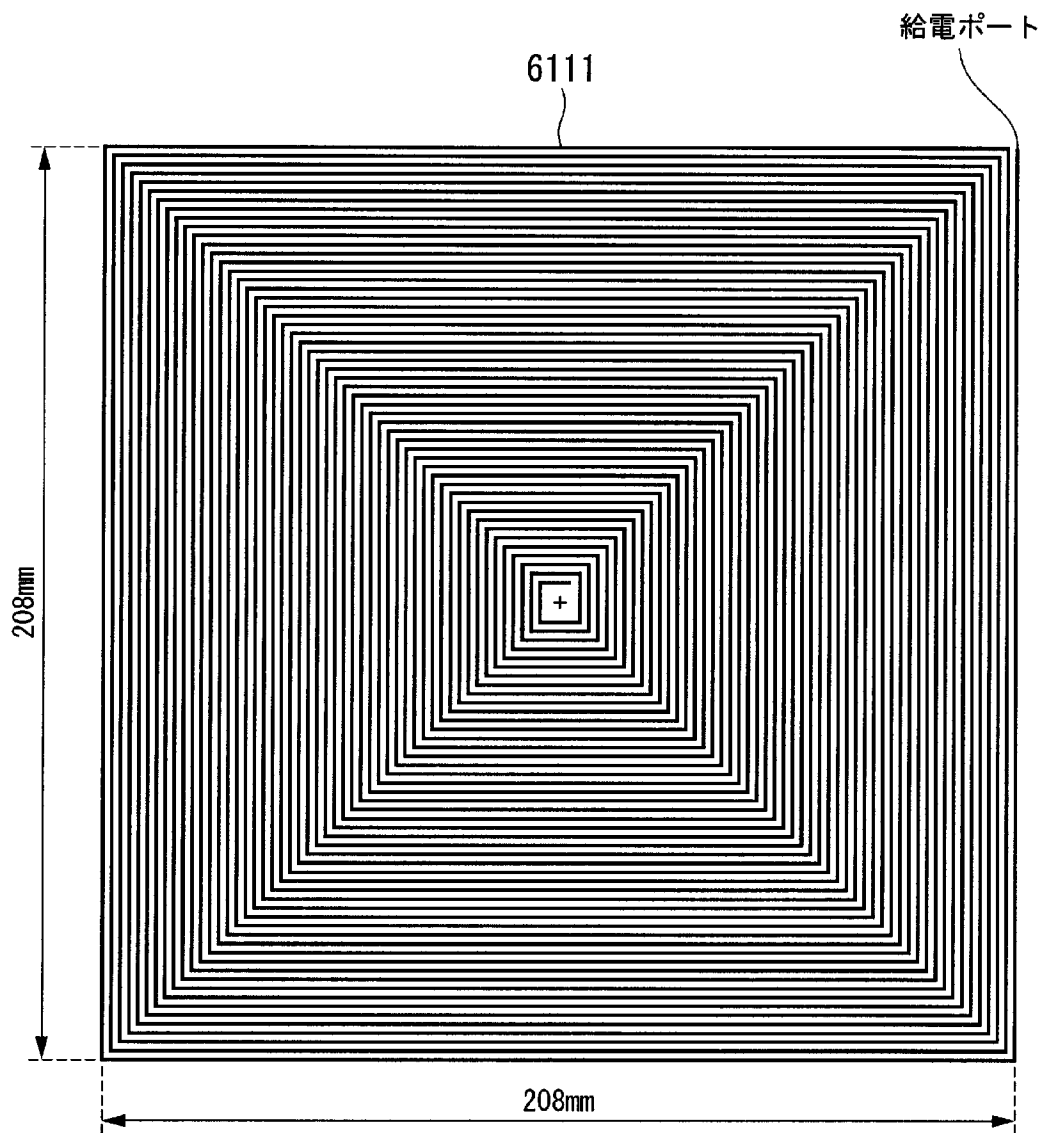
[図28]



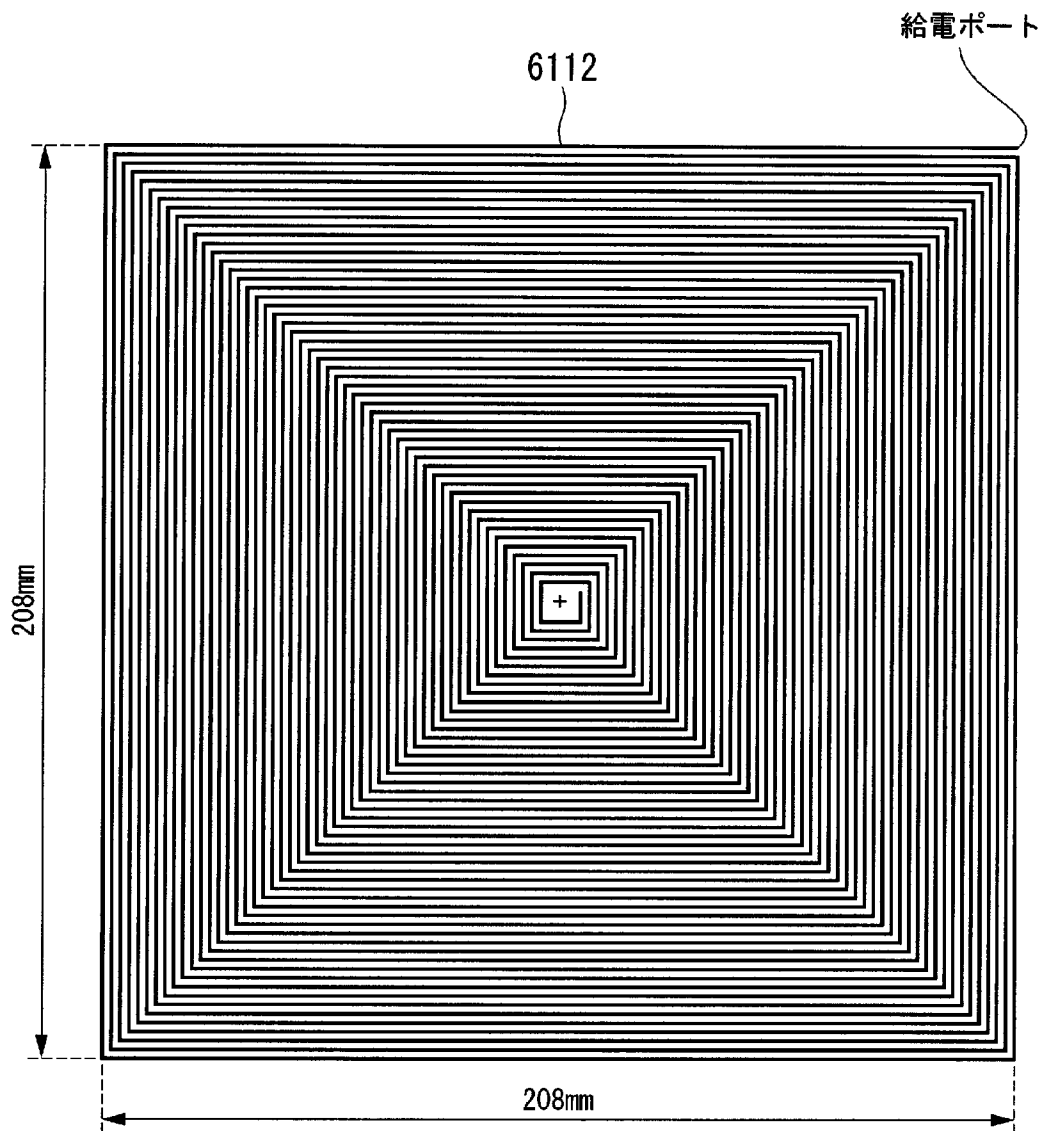
[図29]



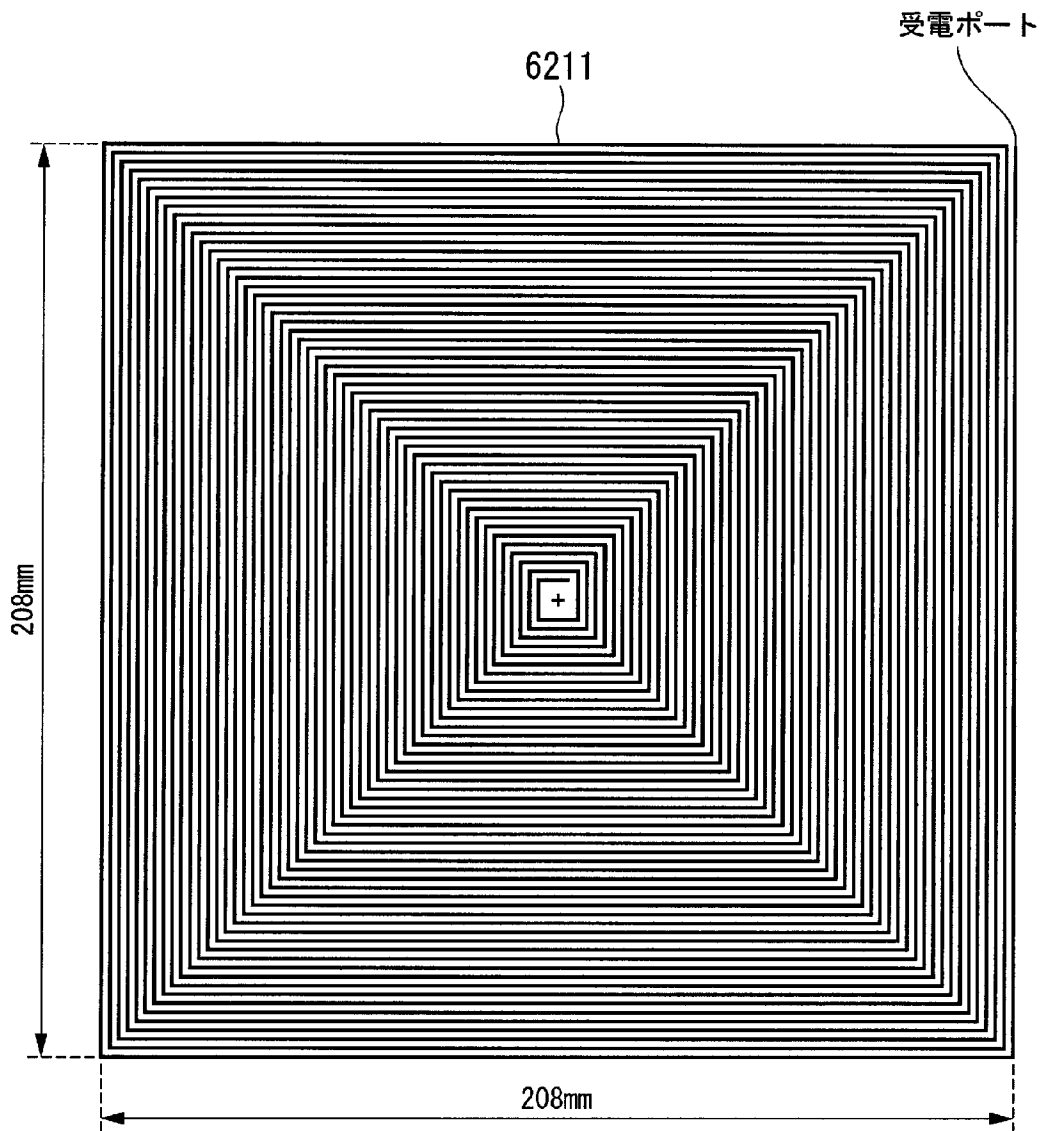
[図30]



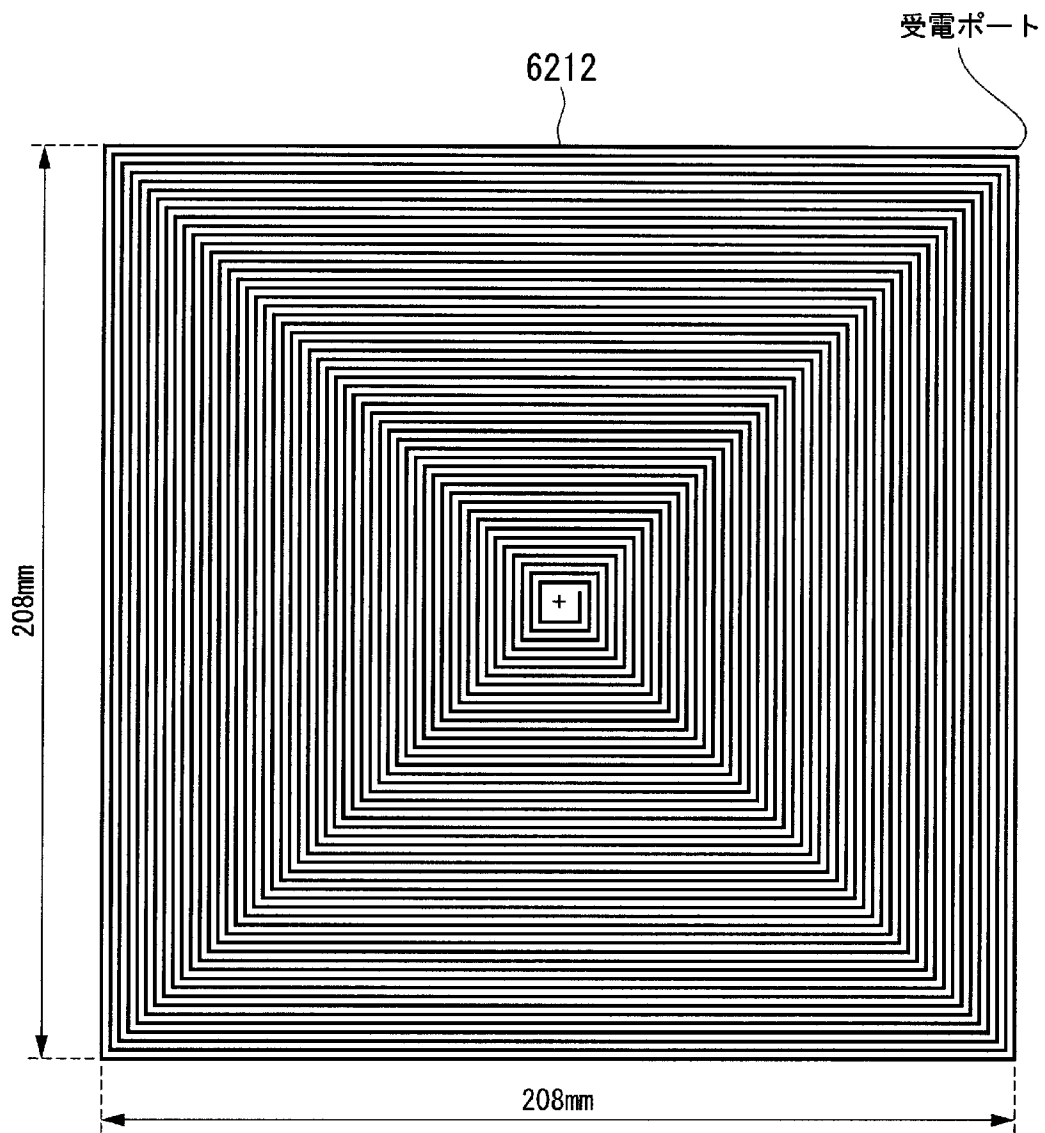
[図31]



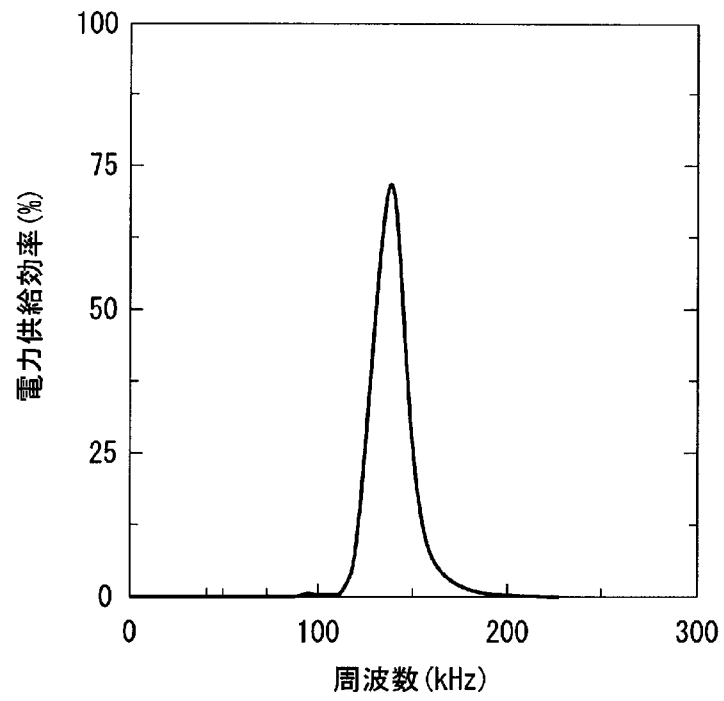
[図32]



[図33]



[図34]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/072289

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J17/00(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)

H02J17/00

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	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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	JP 2007-324532 A (Meleagros Corp.), 13 December 2007 (13.12.2007), paragraphs [0049], [0143] & WO 2007/142099 A1 & CN 101785073 A & TW 824216 A & TW 1012023 A	1-17
Y	JP 2011-244530 A (Toyota Industries Corp.), 01 December 2011 (01.12.2011), fig. 1; paragraphs [0013], [0029] & US 2013/0057208 A1 & WO 2011/142418 A1 & EP 2571133 A & CN 102884705 A	1-17

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
03 September, 2013 (03.09.13)

Date of mailing of the international search report
17 September, 2013 (17.09.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/072289

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2004-166384 A (Sharp Corp.), 10 June 2004 (10.06.2004), Problem Solving Means & US 2004/0095291 A1 & EP 1420357 A1 & DE 60306073 D & DE 60306073 T & TW 232410 B & KR 10-2004-0044116 A & CN 1501566 A & SG 111168 A	1-17
Y	WO 2011/030804 A1 (NEC Corp.), 17 March 2011 (17.03.2011), fig.3; page 8, lines 18 to 19 (Family: none)	1-17
Y	JP 2012-50321 A (Semiconductor Energy Laboratory Co., Ltd.), 08 March 2012 (08.03.2012), paragraph [0070]; fig. 11 & US 2012/0025627 A1 & WO 2012/014787 A1 & DE 112011102500 T & TW 1223061 A & CN 103026583 A	2-16
Y	JP 2012-89618 A (Showa Aircraft Industry Co., Ltd.), 10 May 2012 (10.05.2012), fig. 1 (Family: none)	5-16
Y	JP 10-108391 A (NEC Corp.), 24 April 1998 (24.04.1998), fig. 1; Problem Solving Means (Family: none)	16

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H02J17/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H02J17/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 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	JP 2007-324532 A（メレアグロス株式会社）2007.12.13, 【0049】, 【0143】 & WO 2007/142099 A1 & CN 101785073 A & TW 824216 A & TW 1012023 A	1-17
Y	JP 2011-244530 A（株式会社豊田自動織機）2011.12.01, 図1、【0013】, 【0029】 & US 2013/0057208 A1 & WO 2011/142418 A1 & EP 2571133 A & CN 102884705 A	1-17

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 3 . 0 9 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

1 7 . 0 9 . 2 0 1 3

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号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）

坂東 博司

5 T

4 2 3 4

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 6 8

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2004-166384 A (シャープ株式会社) 2004. 06. 10, 【解決手段】 & US 2004/0095291 A1 & EP 1420357 A1 & DE 60306073 D & DE 60306073 T & TW 232410 B & KR 10-2004-0044116 A & CN 1501566 A & SG 111168 A	1-17
Y	WO 2011/030804 A1 (日本電気株式会社) 2011.03.17, 図 3。8 ページ 1 8 ~ 1 9 行。(ファミリーなし)	1-17
Y	JP 2012-50321 A (株式会社半導体エネルギー研究所) 2012. 03. 08, 【0 0 7 0】、図 1 1 & US 2012/0025627 A1 & WO 2012/014787 A1 & DE 112011102500 T & TW 1223061 A & CN 103026583 A	2-16
Y	JP 2012-89618 A (昭和飛行機工業株式会社) 2012. 05. 10, 図 1 (ファミリーなし)	5-16
Y	JP 10-108391 A (日本電気株式会社) 1998. 04. 24, 図 1、【解決手段】 (ファミリーなし)	16