

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号
特表2017-518018
(P2017-518018A)

(43) 公表日 平成29年6月29日 (2017.6.29)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 2 J 50/60 (2016.01)	H O 2 J 50/60	
H O 2 J 50/12 (2016.01)	H O 2 J 50/12	
H O 2 J 50/90 (2016.01)	H O 2 J 50/90	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 114 頁)

(21) 出願番号 (86) (22) 出願日 (85) 翻訳文提出日 (86) 国際出願番号 (87) 国際公開番号 (87) 国際公開日 (31) 優先権主張番号 (32) 優先日 (33) 優先権主張国 (31) 優先権主張番号 (32) 優先日 (33) 優先権主張国	特願2016-566978 (P2016-566978) 平成27年5月7日 (2015.5.7) 平成28年12月13日 (2016.12.13) PCT/US2015/029712 W02015/171910 平成27年11月12日 (2015.11.12) 61/989,799 平成26年5月7日 (2014.5.7) 米国 (US) 62/072,992 平成26年10月30日 (2014.10.30) 米国 (US)	(71) 出願人 513307922 ワイトリシティ コーポレーション W I T R I C I T Y C O R P O R A T I O N アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 O 2 4 7 2 ウォータータウン ウォーター ストリート 5 7 (74) 代理人 100147485 弁理士 杉村 憲司 (74) 代理人 100164471 弁理士 岡野 大和 (74) 代理人 100192924 弁理士 石井 裕充
---	--	--

最終頁に続く

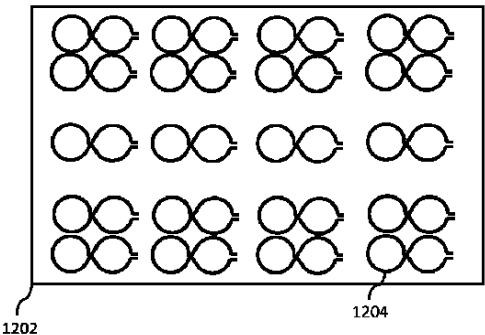
(54) 【発明の名称】 無線エネルギー伝送システムにおける異物検出

(57) 【要約】

無線電力伝送システム周囲の異物デブリを検出するシステムおよび方法は、導電材料からなる1つ以上のループをそれぞれ含む複数の検出器と、それぞれの検出器の電圧及び電流の少なくとも一方を測定するように構成されるとともに、この測定に基づいて無線電力伝送システム周囲に異物デブリが存在するか判定するように構成されるコントローラと、を備え、複数の検出器の少なくとも一部は導電材料から成る第1の巻数のループを含み、複数の検出器の少なくとも一部は導電材料から成る第2の巻数のループを含み、第2の巻数は第1の巻数よりも大きい。

【選択図】 図 1 3

Fig. 13



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

無線電力伝送システム周囲の異物デブリを検出する装置であり、前記装置は、
導電材料からなる 1 つ以上のループをそれぞれ含む複数の検出器と、
それぞれの検出器の電圧及び電流の少なくとも一方を測定するように構成されるとともに、この測定に基づいて前記無線電力伝送システム周囲に異物デブリが存在するか判定するように構成されるコントローラと、
を備え、

前記複数の検出器の少なくとも一部は前記導電材料から成る第 1 の巻数のループを含み、
前記複数の検出器の少なくとも一部は前記導電材料から成る第 2 の巻数のループを含み、
前記第 2 の巻数は前記第 1 の巻数よりも大きい、異物デブリを検出する装置。

10

【請求項 2】

前記複数の検出器の少なくとも一部は巻数が 1 のループを含み、前記複数の検出器の少なくとも一部は巻数が 2 のループを含む、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記複数の検出器の少なくとも一部は巻数が 3 のループを含む、請求項 2 に記載の装置。

【請求項 4】

動作中、無線電力伝送源が生成する磁束が前記複数の検出器を通過するように、前記装置が配置され、

20

前記第 2 の巻数のループを含む検出器が配置された領域における磁束よりも磁束が大きくなる領域に、前記第 1 の巻数のループを含む検出器が配置される、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 5】

前記複数の検出器がアレイを形成する、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 6】

前記アレイにおいて、隣接する検出器の少なくとも一部の間の間隔が相違する、請求項 5 に記載の装置。

【請求項 7】

前記アレイの少なくとも一部の検出器の断面積が、前記アレイの他の少なくとも一部の検出器の断面積と異なる、請求項 5 に記載の装置。

30

【請求項 8】

無線電力伝送システム周囲の異物デブリを検出する方法であり、前記方法は、
複数の検出器のそれぞれの電圧及び電流の少なくとも一方を測定するステップと、
この測定に基づいて前記無線電力伝送システム周囲に異物デブリが存在するか判定するステップと、
を含み、

前記検出器はそれぞれ、導電材料からなる 1 つ以上のループを含み、
前記複数の検出器の少なくとも一部は前記導電材料から成る第 1 の巻数のループを含み、
前記複数の検出器の少なくとも一部は前記導電材料から成る第 2 の巻数のループを含み、
前記第 2 の巻数は前記第 1 の巻数よりも大きい、異物デブリを検出する方法。

40

【請求項 9】

無線電力伝送システムであり、
第 1 周波数でソース磁場を生成して、電力を無線受電装置に伝送するように構成される無線電力伝送源と、

第 2 周波数で補助磁場を生成するように構成される補助磁場源と、
前記補助磁場源が生成する前記補助磁場の摂動に応答して、電気信号を生成するように構成される少なくとも 1 つの検出器と、

前記電気信号に基づいて前記無線電力伝送システム周囲に異物デブリが存在するか判定するように構成されるコントローラと、

50

を備える無線電力伝送システム。

【請求項 10】

前記補助磁場源は、少なくとも 1 つの補助コイルと少なくとも 1 つの増幅器とを備える、請求項 9 に記載の無線電力伝送システム。

【請求項 11】

前記第 1 周波数は前記第 2 周波数と等しい、請求項 9 に記載の無線電力伝送システム。

【請求項 12】

前記第 1 周波数は前記第 2 周波数と異なる、請求項 9 に記載の無線電力伝送システム。

【請求項 13】

前記無線電力伝送源に結合されるとともに、給電して前記無線電力伝送源を駆動するように構成される電源を更に備え、

前記補助磁場源が補助磁場を生成しているときに、前記電源がオフになる、請求項 9 に記載の無線電力伝送システム。

【請求項 14】

前記補助磁場源が、最大 4 つまでの補助コイルと、最大 4 つまでの増幅器とを備える、請求項 9 に記載の無線電力伝送システム。

【請求項 15】

前記無線電力伝送源が、第 1 領域上に巻き付けられたソース共振器コイルを備え、

前記少なくとも 1 つの補助コイルが、前記第 1 領域上に巻き付けられるように構成される、請求項 10 に記載の無線電力伝送システム。

【請求項 16】

前記少なくとも 1 つの補助コイルが、直列に接続された 2 セットの導体巻線を備え、

前記 2 セットの導体巻線のそれぞれが、第 2 領域及び第 3 領域の一方上に巻き付けられる、請求項 15 に記載の無線電力伝送システム。

【請求項 17】

前記第 2 領域の面積及び第 3 領域の面積の合計が実質的に、前記第 1 領域の面積と等しい、請求項 16 に記載の無線電力伝送システム。

【請求項 18】

前記少なくとも 1 つの補助コイルが、直列に接続された 4 セットの導体巻線を備え、

前記 4 セットの導体巻線がそれぞれ、第 2 領域、第 3 領域、第 4 領域及び第 5 領域の 1 つの上に巻き付けられる、請求項 15 に記載の無線電力伝送システム。

【請求項 19】

前記第 2 領域の面積、前記第 3 領域の面積、前記第 4 領域の面積及び前記第 5 領域の面積の合計が実質的に、前記第 1 領域の面積と等しい、請求項 18 に記載の無線電力伝送システム。

【請求項 20】

前記補助磁場が、前記ソース共振器コイルにおいて電流を誘導し、

前記ソース共振器コイルの前記電流が、前記補助磁場よりも強い磁場を生成する、請求項 15 に記載の無線電力伝送システム。

【請求項 21】

前記少なくとも 1 つの補助コイルが、第 1 回路基板に巻き付く導体巻線の第 1 部分と、第 2 回路基板に巻き付く導体巻線の第 2 部分とを含み、

前記第 1 回路基板と前記第 2 回路基板との間に配置されたコネクタが、前記導体巻線の前記第 1 部分と前記導体巻線の前記第 2 部分との間の電氣的接続をもたらす、請求項 15 に記載の無線電力伝送システム。

【請求項 22】

無線電力伝送システムであり、前記無線電力伝送システムは、

ソース共振器と、

前記ソース共振器と結合されるとともに、前記ソース共振器を駆動し、第 1 周波数で磁場を生成して、電力を無線受電装置に伝送するように構成される電力増幅器と、

選択的に、前記ソース共振器と接続することができ前記ソース共振器から切断されることができ、前記ソース共振器を駆動し、第2周波数で磁場を生成するように構成されることができる補助増幅器であり、前記第2周波数は、前記第1周波数とは異なり、前記無線受電装置と共振しない周波数である、補助増幅器と、

2つの動作モードの一方で前記無線電力伝送システムを動作させるように構成されるコントローラと、

を備え、

第1動作モードでは、前記電力増幅器が前記ソース共振器を駆動し、電力が前記無線受電装置へ伝送され、

第2動作モードでは、前記補助増幅器が前記ソース共振器を駆動し、前記コントローラは前記無線電力伝送システム周囲に異物デブリが存在するか判定するように構成される、無線電力伝送システム。

【請求項23】

前記補助増幅器が前記ソース共振器に接続されているときに、前記電力増幅器を前記補助増幅器から絶縁するタンク回路を更に備える、請求項22に記載の無線電力伝送システム。

【請求項24】

1つ以上の検出器を更に備え、前記検出器はそれぞれ、前記補助増幅器が前記ソース共振器を駆動するときに生成された前記磁場に基づいて電気信号を生成するように構成され、

前記コントローラは、前記電気信号のそれぞれに基づいて、前記無線電力伝送システム周囲に異物デブリが存在するか判定するように構成される、請求項22に記載の無線電力伝送システム。

【請求項25】

無線電力伝送システムであり、

磁場を生成して、電力を無線受電装置に伝送するように構成される無線電力伝送源と、

1つ以上の検出器であり、前記検出器はそれぞれ前記無線電力伝送源の近くに配置されたコイルを備える、検出器と、

1つ以上の前記コイルのそれぞれのインダクタンスの変化を検出するように構成されるとともに、前記変化に基づいて、前記無線電力伝送システム周囲に異物デブリが存在するか判定するように構成されるコントローラと、

を備える無線電力伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

< 関連出願の相互参照 >

本願は2014年5月7日に出願された米国仮特許出願第61/989,799号、及び2014年10月30日に提出された米国仮特許出願第62/072,992号の優先権を主張するものであり、これらの出願のそれぞれの内容全体を本明細書に参照のために援用する。

【0002】

本開示は、無線電力伝送システム付近の異物デブリ(FOD)を検出する無線エネルギー伝送、および無線電力伝送システム付近の異物デブリ(FOD)を検出する方法に関する。

【背景技術】

【0003】

エネルギーまたは電力は、例えば共同所有の「Wireless Energy Transfer Systems (無線エネルギー伝送システム)」と題する、2010年5月6日に米国特許出願公開第2010/0109094号明細書として公開された米国特許出願第12/613,686号、「Integrated Resonator-Shield Structures (一体共振シールド構造)」と題する

10

20

30

40

50

、2010年12月9日に米国特許出願公開第2010/0308939号明細書として公開された米国特許出願第12/860,375号、「Low Resistance Electrical Conductor (低抵抗導電体)」と題する、2012年3月15日に米国特許出願公開第2012/0062345号明細書として公開された米国特許出願第13/222,915号、および「Multi-Resonator Wireless Energy Transfer for Lighting (照明用多重共振器無線エネルギー伝送)」と題する、2012年10月4日に米国特許出願公開第2012/0248981号明細書として公開された米国特許出願第13/283,811号に詳述された、様々な既知の放射または遠視野技術および無放射または近視野技術を使って無線伝送することができる。これら文献の内容を参照のために援用する。

【先行技術文献】

10

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】米国特許出願公開第2010/010909445号明細書

【特許文献2】米国特許出願公開第2010/0308939号明細書

【特許文献3】米国特許出願公開第2012/0062345号明細書

【特許文献4】米国特許出願公開第2012/0248981号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

2012年10月19日に出願された米国仮特許出願第61/716,432号、2013年8月16日に米国仮特許出願第61/866,703号、2013年9月13日に米国仮特許出願第61/877,482号、及び(米国特許出願公開第2014/0111019号明細書として公開された)2013年10月21日に米国特許出願第14/059,094号の内容全体を本明細書に参照のために援用する。

20

【課題を解決するための手段】

【0006】

一般に、第1の態様において、本開示は、少なくとも1つの共振器を有する電源(a power source)と、少なくとも1つの共振器を有する受電装置(a power receiver)であって、電源から無線伝送された電力を受信するように構成された受電装置と、導電性材料の1つまたは複数のループを有する第1検出器であって、電源と受電装置の間の磁場に基づいて電気信号を生成する第1検出器と、導電性材料を有する第2検出器と、第1および第2検出器に連結される電子制御装置であって、システムの動作中、第1検出器の電気信号を測定し、第1検出器の測定電気信号を第1検出器のベースライン電気情報と比較して、電源と受電装置の間にデブリがあるか否かに関する情報を決定し、第2検出器の静電容量に関する第2検出器の電気信号を測定し、第2検出器の測定電気信号を第2検出器のベースライン電気情報と比較して、電源と受電装置の間に生物がいるか否かに関する情報を決定するように構成された電子制御装置とを含む無線電力伝送システムを特徴とする。

30

【0007】

本システムの実施形態は、以下に記載する特徴のうちの何れか1つまたは複数の特徴を含むことができる。

40

【0008】

電源は車両充電ステーションの部品であってもよい。受電装置は車両の部品であってもよい。

【0009】

第1検出器によって生成される電気信号は、電圧および電流のうちの少なくとも1つを含むことができる。第2検出器は電圧および静電容量のうちの少なくとも1つを含むことができる。

【0010】

第1検出器のベースライン電気情報は、電源と受電装置の間にデブリがない場合の第1

50

検出器の電気信号に対応し得る。第2検出器のベースライン電気情報は、電源と受電装置の間に生物がない場合の第2検出器の電気信号に対応し得る。

【0011】

電源と受電装置の間にデブリがあるか否かに関する情報の決定には、電源と受電装置の間にデブリがあるという尤度値の閾値との比較を含むことができる。電子制御装置は、第1検出器のベースライン電気情報の平均および共分散行列を計算することによって尤度値を決定し、平均および共分散行列に基づいて尤度値を決定するように構成することができる。電源と受電装置の間に生物がいるか否かに関する情報の決定は、第2検出器の測定電気信号の閾値との比較を含むことができる。

【0012】

第1検出器は、電源と受電装置の間の少なくとも第1面に位置する導電性材料の複数のループを含むことができる。第2検出器は電源と受電装置の間の第2面に位置する一片の導電性材料を含むことができる。第1面と第2面は平行であってもよい。第1面と第2面とは同じ面であってもよい。

【0013】

第2面の電源によって生成される磁場は半値全幅断面分布 (full width at half maximum cross-sectional distribution) を有することができ、第2面で第2検出器を取り囲む最小の円周部は、半値全幅断面分布の100%以上 (例えば110%以上、120%以上、130%以上、140%以上、150%以上、175%以上、200%以上) の囲まれた領域を有する。

【0014】

一片の導電性材料は第2面に蛇行経路を形成し得る。一本の導電性材料はほぼ共通の方向に延在する複数のセグメントを含み、セグメントのうちの少なくともいくつかのセグメント間の間隔は共通方向に垂直な方向に変化し得る。第2面における第1領域内の電源によって生成された磁束密度は、第2面における第2領域の磁束密度よりも大きくすることができ、第1領域内の連続するセグメント間の間隔は第2領域におけるものよりも小さくすることができる。

【0015】

第1検出器は第1面において互いに離間した複数のループを含むことができ、隣接するループ間の間隔は変えることができる。第1面の第1領域で電源によって生成された磁束密度は、第1面の第2領域における磁束密度よりも大きくすることができ、隣接するループ間の間隔は、第2領域よりも第1領域の方が小さくすることができる。第1および第2面は電源よりも受電装置の近傍に配置することができる。

【0016】

受電装置の少なくとも1つの共振器の総断面積は、受電装置の位置で電源によって生成される磁場の半値全幅断面積の80%以上 (例えば、90%以上、100%以上、120%以上、140%以上、150%以上、175%以上) とすることができる。

【0017】

電源は、1kW以上 (例えば、2kW以上、3kW以上、4kW以上、6kW以上、8kW以上、10kW以上、15kW以上、20kW以上) の電力を受電装置に伝送するように構成することができる。

【0018】

電源は複数の電力を異なるエネルギー伝送速度で受電装置に伝送するように構成することができる。電子制御装置は、複数の異なるエネルギー伝送速度のうちから選択された伝送速度で電力を伝送するために電源を調整し、選択されたエネルギー伝送速度に対応するベースライン電気情報を取得するように構成することができる。

【0019】

ベースライン電気情報を取得するステップは、電子記憶装置から情報を取り出すステップを含むことができる。電子制御装置は、電源の近傍にデブリのない電源を起動して第1検出器で磁束を生成し、磁束に応じて第1検出器の電気信号を測定することによって、ベ

10

20

30

40

50

ースライン電気情報を測定するように構成することができる。電子制御装置は、電源を起動して、電源と受電装置を少なくとも部分的に整合させて第1検出器の電気信号を測定するように構成することができる。電子制御装置は、電源を起動して、電源と受電装置の間に電力伝送を生じさせずに第1検出器の電気信号を測定するように構成することができる。

【0020】

電源は、電源と受電装置の間の位置で、少なくとも $6.25\mu\text{T}$ （例えば少なくとも $7\mu\text{T}$ 、少なくとも $8\mu\text{T}$ 、少なくとも $10\mu\text{T}$ 、少なくとも $15\mu\text{T}$ 、少なくとも $20\mu\text{T}$ 、少なくとも $30\mu\text{T}$ 、少なくとも $50\mu\text{T}$ ）の磁束を生成するように構成することができる。

10

【0021】

第1検出器は複数のループを含むことができ、電子制御装置は、複数のループのうちの少なくともいくつかのループによって生成された電気信号を測定し、この測定電気信号に基づいて電源と受電装置の間の不整合に関する情報を決定するように構成することができる。複数のループのうちの少なくともいくつかのループは電源の端部に隣接して置くことができる。電子制御装置は複数のループのうちの少なくともいくつかのループによって生成された電気信号を比較することにより、不整合に関する情報を決定するように構成することができる。

【0022】

電子制御装置は、電源と受電装置の間にデブリがあるか否かに対応する尤度値が閾値を超える場合、電源と受電装置の間の無線電力伝送を中断するように構成することができる。電子制御装置は、電源と受電装置の間にデブリがあるか否かに対応する尤度値が閾値を超える場合、電源と受電装置の間のエネルギー伝送速度を下げるように構成することができる。電子制御装置は、電源と受電装置の間にデブリがあるか否かに対応する尤度値が閾値を超える場合、無線電力伝送システムのユーザに警報インジケータを提供するように構成することができる。

20

【0023】

電子制御装置は、第2検出器の測定電気信号が閾値を超える場合、電源と受電装置の間の無線電力を遮断するように構成することができる。電子制御装置は、第2検出器の測定電気信号が閾値を超える場合、電源によって生成される磁場の大きさを低減するように構成することができる。電子制御装置は、第2検出器の測定電気信号が閾値を超える場合、無線電力伝送システムのユーザに警報インジケータを提供するように構成することができる。

30

【0024】

電源内の各共振器は、共振周波数 $f = \quad / 2$ 、固有損失率 およびQ値 $Q = \quad / (2)$ を有する電磁共振器とすることができ、電源内の共振器のうちの少なくとも1つのQ値は100より大きくすることができる。電源内の各共振器は、共振周波数 f を規定する静電容量およびインダクタンスを有することができる。電源内の共振器のうちの少なくとも1つのQ値は300より大きくてもよい。

【0025】

受電装置内の各共振器は、共振周波数 $f = \quad / 2$ 、固有損失率 およびQ値 $Q = \quad / (2)$ を有する電磁共振器とすることができ、受電装置内の共振器のうちの少なくとも1つのQ値は100より大きくてもよい。受電装置内の各共振器は、共振周波数 f を規定する静電容量およびインダクタンスを有することができる。受電装置内の共振器のうちの少なくとも1つのQ値は300より大きくてもよい。

40

【0026】

システムの実施形態は本明細書に開示するその他の任意の特徴も、適切な任意の組み合わせで含むことができる。

【0027】

別の態様において、本開示は、無線電力伝送システムの電源と受電装置の間に位置する

50

、導電性材料の1つまたは複数のループを有する第1検出器によって生成された電気信号を測定するステップと、第1検出器によって生成された測定電気信号を第1検出器のベースライン電気情報と比較して、電源と受電装置の間にデブリがあるか否かに関する情報を決定するステップと、導電性材料を有する第2検出器によって生成された、第2検出器の静電容量に関連する電気信号を測定するステップと、第2検出器によって生成された測定電気信号を第2検出器のベースライン電気情報と比較して、電源と受電装置の間に生物がいるか否かに関する情報を決定するステップとを含む方法の特徴とする。

【0028】

本方法の実施形態は下記の特徴のうちの何れか1つまたは複数の特徴を含むことができる。

【0029】

本受電装置は車両の部品であってもよい、そして本方法は、電源を使って電力を車両に伝送するステップを含んでもよい。電源と受電装置の間にデブリがない場合の第1検出器のベースライン電気情報は第1検出器の電気信号に対応し得る。第2検出器のベースライン電気情報は、電源と受電装置の間に生物がない場合の第2検出器の電気信号に対応し得る。

【0030】

電源と受電装置の間にデブリがあるか否かに関する情報を決定するステップは、電源と受電装置の間にデブリが位置する尤度値を閾値と比較するステップを含むことができる。本方法は、第1検出器のベースライン電気情報の平均および共分散行列を計算することによって尤度値を決定するステップと、平均および共分散行列に基づいて尤度値を決定するステップとを含むことができる。電源と受電装置の間に生物がいるかどうかに関する情報を決定するステップは、第2検出器の測定電気信号を閾値と比較するステップを含むことができる。

【0031】

本方法は、電源を使用して、1 kW以上（例えば、2 kW以上、3 kW以上、4 kW以上、6 kW以上、8 kW以上、10 kW以上、15 kW以上、20 kW以上）の電力を受電装置に伝送するステップを含むことができる。

【0032】

電源は電力を複数の異なるエネルギー伝送速度で受電装置に伝送するように構成することができ、本方法は、複数の異なるエネルギー伝送速度のうちの選択された伝送速度で電力を伝送するために電源を調整するステップと、選択されたエネルギー伝送速度に対応するベースライン電気情報を取得するステップとを含むことができる。ベースライン電気情報を取得するステップは、電子記憶装置から情報を取り出すステップを含むことができる。

【0033】

本方法は、電源の近傍にデブリのない電源を起動して第1検出器に磁束を生成するステップと、磁束に応じて第1検出器の電気信号を測定して第1検出器のベースライン電気情報を取得するステップとを含むことができる。本方法は、電源を起動して、電源と受電装置を少なくとも部分的に整合させて第1検出器の電気信号を測定するステップを含むことができる。本方法は、電源を起動して、電源と受電装置の間に電力伝送を生じさせずに第1検出器の電気信号を測定するステップを含むことができる。

【0034】

本方法は、電源と受電装置の間に、6.25 μ T以上（例えば、7 μ T以上、8 μ T以上、10 μ T以上、15 μ T以上、20 μ T以上、30 μ T以上、50 μ T以上）の磁束を生成するステップを含むことができる。

【0035】

本方法は、第1検出器の複数のループによって生成された電気信号を測定するステップと、測定電気信号に基づいて電源と受電装置の間の不整合に関する情報を決定するステップとを含むことができる。本方法は、複数のループによって生成された電気信号を比較す

10

20

30

40

50

ることによって不整合に関する情報を決定するステップを含むことができる。

【0036】

本方法は、電源と受電装置の間にデブリがあるか否かに対応する尤度値が閾値を超える場合、電源と受電装置の間の無線電力伝送を中断するステップを含むことができる。本方法は、電源と受電装置の間にデブリがあるか否かに対応する尤度値が閾値を超える場合、電源と受電装置の間のエネルギー伝送速度を下げるステップを含むことができる。本方法は、電源と受電装置の間にデブリがあるか否かに対応する尤度値が閾値を超える場合、警報インジケータを提供するステップを含むことができる。

【0037】

本方法は、第2検出器の測定電気信号が閾値を超える場合、電源と受電装置の間の無線電力伝送を中断するステップを含むことができる。本方法は、第2検出器の測定電気信号が閾値を超える場合、電源と受電装置の間のエネルギー伝送速度を下げるステップを含むことができる。本方法は、第2検出器の測定電気信号が閾値を超える場合、警報インジケータを提供するステップを含むことができる。

10

【0038】

本方法は、本明細書に開示する他のステップおよび/または特徴を、必要に応じて任意に組み合わせて含むことができる。

【0039】

さらなる態様において、本開示はデブリと生物を検出する装置を特徴とし、この装置は、導電性材料の1つまたは複数のループを有し、無線電力伝送システムの電源と受電装置の間の磁場に基づいて電気信号を生成するように構成された第1検出器と、導電性材料を有する第2検出器と、第1および第2検出器に連結された電子制御装置とを含み、該電子制御装置は、無線電力伝送システムの動作中、第1検出器の電気信号を測定し、第1検出器の測定電気信号を第1検出器のベースライン電気情報と比較して無線電力伝送システムの電源と受電装置の間にデブリがあるか否かに関する情報を決定し、第2検出器の静電容量に関連する第2検出器の電気信号を測定し、第2検出器の測定電気信号を第2検出器のベースライン電気情報と比較して無線電力伝送システムの電源と受電装置の間に生物がいるか否かに関する情報を決定するように構成される。

20

【0040】

本装置の実施形態は、任意のシステムに関連して本明細書に開示される任意の特徴を、必要に応じて任意に組み合わせて含むことができる。

30

【0041】

別の態様において、本開示は少なくとも1つの共振器を有する電源と、少なくとも1つの共振器を有する受電装置であって、電源によって無線伝送された電力を受信するように構成された受信装置と、電源と受電装置の間に位置する検出器であって、電源と受電装置の間の磁場に基づいて電気信号を生成するように構成された検出器と、電源および検出器に連結された電子制御装置であって、電源を起動して電源と受電装置の間に磁場を生成し、検出器の電気信号を測定し、ベースライン電気情報を測定電気信号と比較することによって電源と受電装置の間にデブリがあるか否かを決定するように構成された電子制御装置とを含む無線電力伝送システムを特徴とし、ベースライン電気情報は、電源と受電装置の間にデブリがない場合、検出器によって生成された電気信号に関する情報を含み、電子制御装置はベースライン電気情報の平均および共分散行列を決定し、平均および共分散行列に基づいて電源と受電装置の間にデブリがあるか否かを決定することによって、ベースライン電気情報を測定信号と比較するように構成される。

40

【0042】

システムの実施形態は下記の特徴のうちの何れか1つまたは複数の特徴を含むことができる。

【0043】

電子制御装置は、平均および共分散行列に基づいて電源と受電装置の間にデブリが位置する尤度値を計算するように構成することができる。電子制御装置は、尤度値に基づいて

50

電源と受電装置の間にデブリが位置する確率値を 0 ~ 1 の間で計算するように構成することができる。電子制御装置は尤度値を尤度閾値と比較することにより、電源と受電装置の間にデブリがあるか否かを決定するように構成することができる。

【 0 0 4 4 】

電子制御装置はベースライン電気情報を取得するように構成することができる。電子制御装置は電子記憶装置から情報を取り出してベースライン電気情報を取得するように構成することができる。電子制御装置は、近傍にデブリのない電源を起動して検出器に磁束を生成し、この磁束に応じる検出器の電気信号を測定することにより、ベースライン電気情報を取得するように構成することができる。電子制御装置は電源を起動して、電源と受電装置を少なくとも部分的に整合して検出器の電気信号を測定するように構成することができる。電子制御装置は電源を起動して、電源と受電装置の間に電力伝送を生じさせずに検出器の電気信号を測定するように構成することができる。

10

【 0 0 4 5 】

ベースライン情報は、システムの異なる動作状態に対応する、検出器によって生成された電気信号に関する情報を含むことができる。異なる動作状態は、電源と受電装置の間の異なるエネルギー伝送速度に対応することができる。異なる動作状態は、電源と受電装置の間の異なる整合に対応することができる。異なる動作状態は、電源の少なくとも 1 つの共振器によって画定された平面に直角の方向に沿って測定された、電源と受電装置の間の異なる間隔に対応することができる。

20

【 0 0 4 6 】

電子制御装置は磁束に応じて検出器の電気信号を複数回測定することによってベースライン情報を取得するように構成することができ、平均および共分散行列は電気信号の複数回の測定からの寄与を含むことができる。電子制御装置は異なる動作状態の各々に対応する平均および共分散行列を生成するように構成することができる。電子制御装置は、検出器の測定電気信号を異なる動作状態の各々に対応する平均および共分散行列と比較することによってシステムの動作状態を決定するように構成することができる。

【 0 0 4 7 】

電源は車両充電ステーションの部品であってもよい。受電装置は車両の部品であってもよい。

30

【 0 0 4 8 】

検出器によって生成された電気信号は、電圧および電流のうちの少なくとも 1 つを含むことができる。検出器は、電源と受電装置の間に位置する導電性材料の複数のループを含むことができる。複数のループは平面上で相互に離間させることができ、隣接するループ間の間隔は変化させることができる。

【 0 0 4 9 】

平面の第 1 領域において電源によって生成された磁束密度は、平面の第 2 領域の磁束密度よりも大きくすることができ、隣接するループ間の間隔は、第 2 領域よりも第 1 領域の方を小さくすることができる。

【 0 0 5 0 】

検出器は電源よりも受電装置の近傍に置くことができる。受電装置の少なくとも 1 つの共振器の総断面積は、受電装置の位置において電源によって生成された磁場の半値全幅断面積の 80 % 以上（例えば、90 % 以上、100 % 以上、120 % 以上、140 % 以上、150 % 以上、175 % 以上）とすることができる。

40

【 0 0 5 1 】

電源は、1 kW 以上（例えば、2 kW 以上、3 kW 以上、4 kW 以上、6 kW 以上、8 kW 以上、10 kW 以上、15 kW 以上、20 kW 以上）の電力を受電装置に伝送するように構成される。

【 0 0 5 2 】

電子制御装置は測定信号をシステムの動作状態に対応するベースライン情報の一部分と比較するように構成することができる。

50

【0053】

電源は電源と受電装置の間で、 $6.25\mu\text{T}$ 以上（例えば $7\mu\text{T}$ 以上、 $8\mu\text{T}$ 以上、 $10\mu\text{T}$ 以上、 $15\mu\text{T}$ 以上、 $20\mu\text{T}$ 以上、 $30\mu\text{T}$ 以上、 $50\mu\text{T}$ 以上）の磁束を生成するように構成することができる。

【0054】

検出器は導電性材料の複数のループを含むことができ、各々のループは電源が磁場を生成すると電気信号を生成するように構成されており、電子制御装置は複数のループのうちの少なくともいくつかによって生成された電気信号を測定し、測定電気信号に基づいて電源と受電装置の間の不整合に関する情報を決定するように構成することができる。複数のループのうちの少なくともいくつかは電源の端部に隣接して置くことができる。電子制御装置は、複数のループのうちの少なくともいくつかによって生成された電気信号を比較することにより、不整合に関する情報を決定するように構成することができる。電子制御装置は、電源と受電装置の間にデブリがある場合、電源と受電装置の間の無線電力伝送を中断するように構成することができる。

10

【0055】

電子制御装置は、電源と受電装置の間にデブリがある場合、電源と受電装置の間のエネルギー伝送速度を下げるように構成することができる。電子制御装置は、電源と受電装置の間にデブリがある場合、無線電力伝送システムのユーザに警報インジケータを提供するように構成することができる。

【0056】

電源内の各共振器は、共振周波数 $f = \quad / 2$ 、固有損失率 および Q 値 $Q = \quad / (2)$ を有する電磁共振器とすることができ、電源内の共振器のうちの少なくとも1つの Q 値は100より大きくすることができる。電源内の各共振器は、共振周波数 f を規定する静電容量およびインダクタンスを有することができる。

20

【0057】

電源の共振器のうちの少なくとも1つの Q 値は300よりも大きくすることができる。

【0058】

システムの実施形態は、本明細書に開示する他の特徴を必要に応じて任意に組み合わせることができる。

【0059】

さらなる態様において、本開示は、電源を起動して無線電力伝送システムの電源と受電装置の間に磁場を生成するステップと、電源と受信装置の間に位置する検出器によって生成された電気信号を測定するステップと、ベースライン情報を測定電気信号と比較することによって電源と受電装置の間にデブリがあるか否かを決定するステップとを含む方法の特徴とし、ベースライン情報は電源と受電装置の間にデブリがない場合に検出器によって生成された電気信号に関する情報を含み、ベースライン電気情報を測定信号と比較するステップは、ベースライン情報の平均および共分散行列を決定するステップと、平均および共分散行列に基づいて電源と受電装置の間にデブリがあるか否かを決定するステップとを含む。

30

【0060】

本方法の実施形態は下記の特徴のうちの何れか1つまたは複数の特徴を含むことができる。

40

【0061】

本方法は、平均および共分散行列に基づいて電源と受電装置の間にデブリが位置する尤度値を決定するステップを含むことができる。本方法は、尤度値に基づいて電源と受電装置の間にデブリが位置する確率値を0～1の間で決定するステップを含むことができる。本方法は、尤度値を尤度閾値と比較することによって電源と受電装置の間にデブリがあるか否かを決定するステップを含むことができる。

【0062】

本方法は、電子記憶装置から情報を取り出すことによってベースライン情報を取得する

50

ステップを含むことができる。本方法は、近傍にデブリのない電源を起動して検出器に磁束を生成し、該磁束に応じた検出器の電気信号を測定してベースライン情報を取得するステップを含むことができる。本方法は、電源を起動するステップと、電源と受電装置とを少なくとも部分的に整合させて検出器の電気信号を測定するステップとを含むことができる。本方法は、電源を起動して、電源と受電装置の間に電力伝送を生じさせずに検出器の電気信号を測定するステップを含むことができる。

【 0 0 6 3 】

ベースライン電気情報は、システムの異なる動作状態に対応する、検出器によって生成された電気信号に関する情報を含むことができる。異なる動作状態は、電源と受電装置の間の異なるエネルギー伝送速度、電源と受電装置の間の異なる整合、および電源の少なくとも1つの共振器によって画定された平面に直角な方向に沿って測定された、電源と受電装置の間の異なる間隔のうちの少なくとも1つに対応する。本方法は、磁束に応じた検出器の電気信号を複数回測定することによってベースライン情報を取得するステップを含むことができ、平均および共分散行列は電気信号の複数回の測定からの寄与を含むことができる。

10

【 0 0 6 4 】

本方法は、異なる動作状態の各々に対応する平均および共分散行列を生成するステップを含むことができる。本方法は、検出器の測定電気信号を異なる動作状態の各々に対応する平均および共分散行列と比較することにより、システムの動作状態を決定するステップを含むことができる。

20

【 0 0 6 5 】

本方法は電源を使って電力を車両の受電装置に伝送するステップを含むことができる。本方法は、電源を使って、1 kW以上（例えば、2 kW以上、3 kW以上、4 kW以上、6 kW以上、8 kW以上、10 kW以上、15 kW以上、20 kW以上）の電力を受電装置に伝送するステップを含むことができる。

【 0 0 6 6 】

本方法は、測定信号をシステムの動作状態に対応するベースライン情報の一部分と比較するステップを含むことができる。

【 0 0 6 7 】

本方法は、電源を使用して、電源と受電装置の間に6 . 25 μ T以上（例えば、7 μ T以上、8 μ T以上、10 μ T以上、15 μ T以上、20 μ T以上、30 μ T以上、50 μ T以上）の磁束を生成するステップを含むことができる。

30

【 0 0 6 8 】

本方法は、電源と受電装置の間にデブリがある場合、電源と受電装置の間の無線電力伝送を中断するステップを含むことができる。本方法は、電源と受電装置の間にデブリがある場合、電源と受電装置の間のエネルギー伝送速度を下げるステップを含むことができる。本方法は、電源と受電装置の間にデブリがある場合、警報インジケータを提供するステップを含むことができる。

【 0 0 6 9 】

本方法の実施形態は、本明細書に開示する任意の他のステップまたは特徴を、必要に応じて任意に組み合わせて含むことができる。

40

【 0 0 7 0 】

別の態様において、本開示はデブリを検出する装置を特徴とし、該装置は、検出器であって、該検出器が無線電力伝送システムの電源と受電装置の間に位置する場合、電源と受電装置の間の磁場に基づき電気信号を生成するように構成された検出器と、検出器に連結された電子制御装置であって、電源と受電装置の間の磁場に応じて検出器の電気信号を測定し、ベースライン情報を測定電気信号と比較することによって電源と受電装置の間にデブリがあるか否かを決定するように構成された電子制御装置とを含み、ベースライン情報は、電源と受電装置の間にデブリがない場合に検出器によって生成された電気信号に関する情報を含み、電子制御装置は、ベースライン情報の平均および共分散行列を決定し、平

50

均および共分散行列に基づいて電源と受電装置の間にデブリがあるか否かを決定することによって、ベースライン情報を測定信号と比較するように構成される。

【0071】

本装置の実施形態は、任意のシステムに関連する本明細書に開示された任意の特徴を含む、本明細書に記載された任意の特徴を、必要に応じて任意に組み合わせて含むことができる。

【0072】

更なる態様において、本開示は、無線電力伝送システム周囲の異物デブリを検出する装置であり、装置は、導電材料からなる1つ以上のループをそれぞれ含む複数の検出器と、それぞれの検出器の電圧及び電流の少なくとも一方を測定するように構成されるとともに、この測定に基づいて無線電力伝送システム周囲に異物デブリが存在するか判定するように構成されるコントローラと、を備え、複数の検出器の少なくとも一部は導電材料から成る第1の巻数のループを含み、複数の検出器の少なくとも一部は導電材料から成る第2の巻数のループを含み、第2の巻数は第1の巻数よりも大きい、異物デブリを検出する装置を含む。

【0073】

装置の実施形態は、構成のいずれか1つ以上を含むことができる。

【0074】

複数の検出器の少なくとも一部は巻数が1のループを含むことができ、複数の検出器の少なくとも一部は巻数が2以上のループを含むことができる。複数の検出器の少なくとも一部は巻数が3以上のループを含むことができる。

【0075】

動作中、無線電力伝送源が生成する磁束が複数の検出器を通過するように、装置を配置することができ、第2の巻数のループを含む検出器が配置された領域における磁束よりも磁束が大きくなる領域に、第1の巻数のループを含む検出器を配置することができる。

【0076】

複数の検出器はアレイを形成することができる。アレイにおいて、隣接する検出器の少なくとも一部の間の間隔を相違させることができる。アレイの少なくとも一部の検出器の断面積を、アレイの他の少なくとも一部の検出器の断面積と相違させることができる。

【0077】

装置の実施形態は、様々な実施形態に関連して開示された構成および態様を含む、本明細書に開示された他の構成および態様のいずれかを、適切に任意に組み合わせて含むこともできる。

【0078】

他の態様では、本開示は無線電力伝送システム周囲の異物デブリを検出する方法を含み、方法は、複数の検出器のそれぞれの電圧及び電流の少なくとも一方を測定するステップと、この測定に基づいて無線電力伝送システム周囲に異物デブリが存在するか判定するステップと、を含み、検出器はそれぞれ、導電材料からなる1つ以上のループを含み、複数の検出器の少なくとも一部は導電材料から成る第1の巻数のループを含み、複数の検出器の少なくとも一部は導電材料から成る第2の巻数のループを含み、第2の巻数は第1の巻数よりも大きい、異物デブリを検出する方法である。

【0079】

方法の実施形態は、様々な実施形態に関連して開示されたステップおよび構成を含む、本明細書に開示された1つ以上のステップおよび構成のいずれかを、適切に任意に組み合わせて含むこともできる。

【0080】

更なる態様では、本開示は、無線電力伝送システムであり、第1周波数でソース磁場を生成して、電力を無線受電装置に伝送するように構成される無線電力伝送源と、第2周波数で補助磁場を生成するように構成される補助磁場源と、補助磁場源が生成する磁場の摂動に応答して、電気信号を生成するように構成される少なくとも1つの検出器と、電気信

10

20

30

40

50

号に基づいて無線電力伝送システム周囲に異物デブリが存在するか判定するように構成されるコントローラと、を備える無線電力伝送システムを含む。

【0081】

システムの実施形態は、以下の1つ以上の構成のいずれかを含むことができる。

【0082】

システムは、少なくとも1つの補助コイルと少なくとも1つの増幅器とを備えることができる。第1周波数を第2周波数と等しくすることができ、または第1周波数を第2周波数と相違させることができる。システムは、無線電力伝送源に結合されるとともに、給電して無線電力伝送源を駆動するように構成される電源を備えることができ、補助磁場源が補助磁場を生成しているときに、電源をオフにすることができる。

10

【0083】

システムは、最大4つまでの補助コイルと、最大4つまでの増幅器とを備えることができる。システムは、第1領域上に巻き付けられたソース共振器コイルを備えることができ、少なくとも1つの補助コイルを、第1領域上に巻き付けるように構成することができる。少なくとも1つの補助コイルは、直列に接続された2セットの導体巻線を備えることができ、2セットの導体巻線のそれぞれを、第2領域及び第3領域の一方上に巻き付けることができる。第2領域の面積及び第3領域の面積の合計を実質的に、第1領域の面積と等しくすることができる。少なくとも1つの補助コイルは、直列に接続された4セットの導体巻線を備えることができ、4セットの導体巻線をそれぞれ、第2領域、第3領域、第4領域及び第5領域の1つの上に巻き付けることができる。第2領域の面積、第3領域の面積、第4領域の面積及び第5領域の面積の合計を実質的に、第1領域の面積と等しくすることができる。補助磁場は、ソース共振器コイルにおいて電流を誘導することができ、ソース共振器コイルの電流は、補助磁場よりも強い磁場を生成することができる。システムは、少なくとも1つの補助コイルが、第1回路基板に巻き付く導体巻線の第1部分と、第2回路基板に巻き付く導体巻線の第2部分とを含むことができる、少なくとも1つの補助コイルを備えることができ、第1回路基板と第2回路基板との間に配置されたコネクタは、導体巻線の第1部分と導体巻線の第2部分との間の電氣的接続をもたらすことができる。

20

【0084】

システムの実施形態は、様々な実施形態に関連して開示された構成および態様を含む、本明細書に開示された他の構成および態様のいずれかを、適切に任意に組み合わせて含むこともできる。

30

【0085】

他の態様において、本開示は、無線電力伝送システムであり、無線電力伝送システムは、ソース共振器と、ソース共振器と結合されるとともに、ソース共振器を駆動し、第1周波数で磁場を生成するように構成して、電力を無線受電装置に伝送するように構成される電力増幅器と、選択的に、ソース共振器と接続することができソース共振器から切断されることができ、ソース共振器を駆動し、第2周波数で磁場を生成するように構成されることができる補助増幅器であり、第2周波数は、第1周波数とは異なり、無線受電装置と共振しない周波数である、補助増幅器と、2つの動作モードの一方で無線電力伝送システムを動作させるように構成されるコントローラと、を備え、第1動作モードでは、電力増幅器がソース共振器を駆動し、電力が無線受電装置へ伝送され、第2動作モードでは、補助増幅器がソース共振器を駆動し、コントローラは無線電力伝送システム周囲に異物デブリが存在するか判定するように構成される、無線電力伝送システムを含む。

40

【0086】

システムの実施形態は、以下の1つ以上の構成のいずれかを含むことができる。

【0087】

システムは、補助増幅器がソース共振器に接続されているときに、電力増幅器を補助増幅器から絶縁するタンク回路を備えることができる。システムは、1つ以上の検出器を備えることができ、検出器はそれぞれ、補助増幅器がソース共振器を駆動するときに生成さ

50

れた磁場に基づいて電気信号を生成するように構成され、コントローラは、電気信号のそれぞれに基づいて、無線電力伝送システム周囲に異物デブリが存在するか判定するように構成される。

【0088】

システムの実施形態は、様々な実施形態に関連して開示された構成および態様を含む、本明細書に開示された他の構成および態様のいずれかを、適切に任意に組み合わせて含むこともできる。

【0089】

更なる態様において、本開示は、無線電力伝送システムであり、磁場を生成して、電力を無線受電装置に伝送するように構成される無線電力伝送源と、1つ以上の検出器であり、検出器はそれぞれ無線電力伝送源の近くに配置されたコイルを備える、検出器と、1つ以上のコイルのそれぞれのインダクタンスの変化を検出するように構成されるとともに、変化に基づいて、無線電力伝送システム周囲に異物デブリが存在するか判定するように構成されるコントローラと、を備える無線電力伝送システムを含む。

10

【0090】

システムの実施形態は、様々な実施形態に関連して開示された構成および態様を含む、本明細書に開示された1つ以上の構成および態様のいずれかを、適切に任意に組み合わせて含むことができる。

【0091】

例示的および非限定的実施形態によれば、異物デブリ検出システムは、磁場センサおよび/またはグラジオメータを使って、無線エネルギー伝送システムの共振器の周りの電磁場の乱れを測定することができる。センサおよび/またはグラジオメータは無線エネルギー伝送システムの電磁場に置くことができる。センサおよび/またはグラジオメータはFODが検出されるはずの領域(an area over which FOD should be detected)をほぼ覆うように配置することができる。車両の無線電力伝送システムの実施形態において、FODが検出されるはずの領域は、車両の底面の1つの領域、車両の底面全体、車両の底面よりも大きな領域、または車両の底面の下でない領域(region that may not be under the underside of a vehicle)を含むことができる。センサおよび/またはグラジオメータは、ワイヤループおよび/またはループを形成する印刷導体トレース、8の字ループ、および/または1つまたは複数のループを含む構造体を含み、これらは、1つまたは複数のループによって囲まれた表面領域を横切る磁束量に比例する電気信号を生成する。1つおよび/または複数のループは高入力インピーダンス読み出し回路に接続することができる。読み出し回路はループ内の電圧ならびに/または電流、ならびに/または電圧および/もしくは電流の相対位相を測定することができる。実施形態において、システムはFODの検出確率を増やすために複数のループ層を含むことができる。実施形態において、ループは共振器の損傷品質要因、エネルギー伝送の効率、伝送された電力量、システムによって生成された熱量などの無線電力伝送システムの特性に大きな影響を与えずに動作するように構成することができる。

20

30

【0092】

本開示において、グラジオメータはセンサの一種であると理解されたい。グラジオメータは1つまたは複数の検出器を含むことができる。例えば、1つまたは複数の検出器は検出器の周りの磁束を検出するために使用することができる。

40

【0093】

例示的および非限定的実施形態によれば、異物デブリ検出システムは、磁場センサおよび/またはグラジオメータを使って、無線エネルギー伝送システムの共振器の周りの電界における乱れを測定することができる。センサおよび/またはグラジオメータは無線エネルギー伝送システムの電磁場に設置することができる。センサおよび/またはグラジオメータは、ワイヤおよび/または印刷導体トレースおよび/または任意の種類の導電路を含むことができ、導電路は1つでもよいし複数でもよい。1つまたは複数の導電路はFODの検出が必要な領域をほぼ覆うように構成してもよい。一実施形態において、電界センサ

50

は F O D 面を行き来する 1 つの導電路であってもよく、別の実施形態においては F O D 面を横断し、別々に、または並列電気接続の後、および / または多重的に感知される、複数の実質的に真直ぐな導電路であってもよい。電界センサおよび / またはグラジオメータは高入力インピーダンス読み出し回路に接続することができる。読み出し回路はセンサ内の電圧ならびに / または電流、ならびに / または電圧および / もしくは電流の相対位相を測定することができる。実施形態において、システムは F O D の検出確率を増やすために複数のセンサ層を含んでもよい。実施形態において、センサは共振器の損動品質係数、エネルギー伝送の効率、伝送電力量、システムによって生成される熱量などの無線電力伝送システムの特性に重大な影響を与えずに動作するように構成することができる。

【 0 0 9 4 】

10

例示的および非限定的実施形態によれば、少なくとも 1 つの異物デブリ検出システムを含む無線エネルギー伝送システムを提供する。システムは振動磁場を生成するように構成された少なくとも 1 つの無線エネルギー伝送源を含むことができる。異物デブリは振動磁場に位置する磁場センサによって検出することができる。磁場センサの電圧および / または電流は読み出し回路を使って測定することができ、センサからの読み出しに基づくフィードバックループは無線エネルギー源のパラメータの制御に使用することができる。

【 0 0 9 5 】

本開示において、F O D は異物デブリのことを表すために使用される。F O D の検出とは、異物検出および / または生物検出 (L O D) のことであると理解されたい。産業において、生物の検出は F O D よりも L O D と称するのがより一般的になってきているが、F O D は幅広い材料および物体を含むと一般的に認識されている。本開示において、異物は生物を含むと理解されたい。従って、「F O D」および「L O D」という用語をどちらも使用するが、L O D は F O D の検出であると理解されたい。F O D の検出に関連して開示された技術は L O D にも適用することができ、その逆もある。例えば、F O D センサは L O D センサとして使用することができ、F O D センサを使用する方法は L O D センサに適用することができる。さらに、本開示において、「生物」とは少なくとも一部が生体有機組織、例えば細胞から成る物体を指す。生物は有機体全体 (例えば、人間、動物、植物) とすることができる。生物は有機体の一部 (例えば、人間、動物または植物のうちの 1 つまたは複数の四肢または体の部位) であってもよい。また生物は、少なくとも一部がかつて生存していたが今は生存していない有機組織 (例えば、樹木の枝、動物の身体) から成る物体 (またはその一部) も含むことができる。

20

30

【図面の簡単な説明】

【 0 0 9 6 】

【図 1】受動的 F O D 低減を提供する共振器カバーを有する共振器の側面図を示す略図である。

【図 2】個々の磁場センサとして使用することができ、2 つの個々の磁場ループによってキャプチャされる磁束の違いを感知するグラジオメータに使用することができる 2 つのワイヤループを示す略図である。

【図 3】図 3 A は対向する磁気双極子を有するように配置された 2 つの小さな導体ループの 2 ロープ構造 (このような構造は四重極磁場と称される) を示す略図であり、図 3 B は整合された四重極磁場の 4 ロープ構造を示す略図であり、図 3 C は八重極とも称される、対向する四重極磁場の 4 ロープ構造を示す略図であり、図 3 D は線寸法に延在する導体のループの 4 ロープ構造を示す略図である。

40

【図 4】図 4 A は高エリアフィルファクタを達成するための、実質的に四角いループを含む F O D 検出器アレイを示す略図であり、図 4 B は盲点を除去するために使用することのできる配置である、2 つのオフセットアレイを有する F O D 検出器の実施形態を示す略図である。

【図 5】読み出し回路に接続された例示的 F O D 検出器を示す略図である。

【図 6】読み出し回路に接続された例示的 F O D 検出器のアレイを示す略図である。

【図 7】読み出し回路および同期または基準ループに接続された F O D 検出器のアレイを

50

示す略図である。

【図 8】FOD 検出器ループの例示的实施形態を示す略図である。

【図 9】図 9 A ~ 図 9 C は 8 の字グラジオメータセンサからの電圧測定曲線を示すグラフである。

【図 10】例示的 EV 充電器システムのブロック図を示す略図である。

【図 11】図 11 A ~ 図 11 C は異なる形状の非対称センサを示す略図である。

【図 12】FOD センサの対称配置を示す略図である。

【図 13】FOD センサの非対称配置を示す略図である。

【図 14】FOD センサの別の非対称配置を示す略図である。

【図 15】FOD センサのさらなる非対称配置を示す略図である。

10

【図 16】FOD 検出センサ基板の例示的レイアウトを示す略図である。

【図 17】シールドトレースを有する FOD 検出センサ基板の例示的レイアウトを示す略図である。

【図 18】図 18 A ~ 図 18 F はセンサの異なる配置を示す略図である。

【図 19】図 19 A ~ 図 19 E はセンサの異なる配置を示す略図である。

【図 20】図 20 A ~ 図 20 C はセンサの異なる配置を示す略図である。

【図 21】図 21 A ~ 図 21 D はセンサの異なる配置を示す略図である。

【図 22】FOD センサの配置を示す略図である。

【図 23】磁場センサを使用して高磁場を検出する一連のステップを示すフローチャートである。

20

【図 24】独立型 FOD 検出の一連のステップを示すフローチャートである。

【図 25】FOD 検出システムにおける動作の異なるモードを実行するための一連のステップを示すフローチャートである。

【図 26】異物デブリ検出システムと生物デブリ検出システムとを組み合わせた実施形態の略図である。

【図 27】異物デブリおよび / または生物デブリを検出するコンピュータシステムを含む電子制御装置の実施形態の略図である。

【図 28】無線電力伝送システムの例示的配置を示す略図である。

【図 29】ソースコイルとデバイスコイルの間の例示的整合を示す略図である。

【図 30】FOD センサ基板によって取得されたシミュレーション結果のプロットのセットである。

30

【図 31】ベースラインパターンを減算した図 30 のシミュレーション結果を示すプロットのセットである。

【図 32】シミュレーション結果のプロットのセットを、縮尺を変更したカラーバーで示したものである。

【図 33】FOD センサ基板によって取得されたシミュレーション結果のプロットのセットである。

【図 34】ベースラインパターンを減算した図 33 のシミュレーション結果を示すプロットのセットである。

【図 35】シミュレーション結果のプロットのセットを、縮尺を変更したカラーバーで示したものである。

40

【図 36】FOD センサ基板によって取得されたシミュレーション結果のプロットのセットである。

【図 37】FOD センサ基板によって取得されたシミュレーション結果のプロットのセットである。

【図 38】シミュレーション結果のプロットのセットを、縮尺を変更したカラーバーで示したものである。

【図 39】ベースラインパターンを減算した図 37 のシミュレーション結果を示すプロットのセットである。

【図 40】無線電力伝送システムの略図である。

50

【図 4 1】F O D センサ基板によって取得されたシミュレーション結果のプロットのセットである。

【図 4 2】ソースの略図である。

【図 4 3】図 4 3 A は F O D センサ配置の略図であり、図 4 3 B は L O D センサの略図のセットである。

【図 4 4】2 つのセンサの測定例を示す概略プロットのセットである。

【図 4 5】ソースの略図である。

【図 4 6】無線電力伝送システムの一動作モードにおいて F O D を検出する一連のステップを示すフローチャートである。

【図 4 7】無線電力伝送システムの第 2 動作モードにおいて F O D を検出する一連のステップを示すフローチャートである。

10

【図 4 8】無線電力伝送システムの第 3 動作モードにおいて F O D を検出する一連のステップを示すフローチャートである。

【図 4 9】無線電力伝送システムのソースコイルの等角図である。

【図 5 0】無線電力伝送システムのソースコイル及び受電コイルの概略図である。

【図 5 1】図 4 9 のソースコイルの平面を平行移動させた平面における磁場の強さのプロットである。

【図 5 2】図 5 1 のプロットの 1 つの象限における磁場の強さのプロットである。

【図 5 3】個々の検出器が様々な巻数のループを含む、検出器アレイの概略図である。

【図 5 4】補助磁場源を含む無線電力伝送システムの概略図である。

20

【図 5 5】電力増幅器と切替可能な補助増幅器とを備える無線電力源の概略図である。

【図 5 6】検出器コイルのインダクタンス変化を測定することで F O D を検出する装置の概略図である。

【図 5 7】図 5 7 A 及び図 5 7 B は、F O D 検出システムの実施形態の概略図である。

【図 5 8】図 5 8 A 及び図 5 8 B は、無線電力源及び F O D 検出システムの実施形態の概略図である。

【図 5 9】図 5 9 A 及び図 5 9 B は、F O D 検出システム用の 1 つ以上の補助コイルの実施形態の概略図である。図 5 9 C は、F O D 検出システム用の 1 つ以上の補助コイルの一部の実施形態の概略図である。図 5 9 D は、F O D 検出システム用の 1 つ以上の補助コイルと無線電力源との実施形態の概略図である。

30

【図 6 0】図 6 0 A 及び図 6 0 B は、F O D 検出システム用の 1 つ以上の補助コイルの実施形態の概略図である。

【図 6 1】F O D 検出システム用の 1 つ以上の補助コイルの実施形態の概略図である。

【図 6 2】F O D 検出システム用の 1 つ以上の補助コイルの実施形態の概略図である。

【図 6 3】図 6 3 A 及び図 6 3 B は、F O D 検出システム用の 1 つ以上の補助コイルの一部の実施形態の概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0097】

様々な図において、同様の符号は同様の構成要素を指す。例示的であると記載されていない場合でも、図面は例示的实施形態を示すものであると理解されたい。

40

【0098】

2 つの連結された共振器の間の振動磁場に依存する無線電力伝送システムは、効率的、非放射かつ安全であり得る。共振器の間に挿入された非磁性および / または非金属の物体は、無線エネルギー伝送に使用される磁場とは実質的に相互に作用しない。いくつかの実施形態において、無線電力伝送システムのユーザはこれらの「異物」の存在を検出して、無線電力伝送システムの制御、電力低減、電力切断、警告などを行いたいと考えている。共振器の間に挿入される金属体および / またはその他の物体は、金属および / またはその他の物体が無線エネルギー伝送システムを乱す、および / またはシステムを実質的に加熱するように、無線電力伝送システムの磁場と相互に作用し得る。いくつかの実施形態において、無線電力伝送システムのユーザはこれらの「異物」の存在を検出して、無線電力伝

50

送システムの制御、電力低減、電力切断、警告などを行いたいと考えている。特定の実施形態において、ユーザは無線電力伝送システムの加熱を検出すると、安全な動作のためにシステムを制御し、電力を低減、遮断し、アラームの設定を行うことができる。無線電力伝送、無線電力伝送システムの異物の存在や加熱の検出に関する技術は、例えば、共通に所有する、「Foreign Object Detection in Wireless Energy Transfer Systems (無線エネルギー伝送システムにおける異物検出)」と題する、2012年9月10日出願された米国特許出願第13/608,956号、「Foreign Object Detection in Wireless Energy Transfer Systems (無線エネルギー伝送システムにおける異物検出)」と題する、2011年9月9日出願された米国仮特許出願第61/532,785号、「Vehicle Charger Safety System and Method (車両充電器安全システムおよび方法)」と題する、2010年10月6日出願された米国特許出願第12/899,281号、および「Wireless Energy Transfer Systems (無線エネルギー伝送システム)」と題する、2009年9月25日出願された米国特許出願第12/567,716号に記載されており、これらそれぞれの内容を参照として援用する。

10

20

30

40

50

【0099】

無線電力伝送システムの近傍に位置する異物デブリ(FOD)は安全なものである、および/またはエネルギー伝送に使用される磁場と安全に相互作用する。安全なFODの例には、泥、砂、葉っぱ、小枝、雪、グリス、油、水および低周波数磁場と有意に相互作用しないその他の物質がある。実施形態において、FODには、無線電力伝送に使用される磁場と安全に相互作用するが、危険が察知された場合、または念には念を入れて、無線伝送システムの共振器に非常に近い領域への侵入が制限される可能性のある物体が含まれる。この種のFODの一般的な例として、無線車両充電システムの共振器間および/または共振器コイル間で眠るのを好む猫がある。起こりそうもないが、中には人間の暴露効果(exposure effects)が一定の暴露ガイドラインおよび規定を超える高出力システム内の共振器の間に人間、特に子供がいる可能性が感知される場合もある。場合によっては、人間、動物、有機材料などを無線電力伝送システムにおけるFODの種類といえるだろう。いくつかの実施形態において、猫や人などの生物の検出は生物検出(LOD)と称される。実施形態において、FODの中にはエネルギー伝送に使用される共振器の特性を乱すように磁場と相互作用するもの、エネルギー伝送に使用される磁場を遮断または低減するもの、または点火、燃焼危険を生じさせるものがある。いくつかのアプリケーションにおいては、高出力充電中に可燃性金属体が発火するほど高温にならないようにする必要があるだろう。金属体の中には、加熱され、それらがまだ熱いうちに人に取り上げられて火傷させたり、または人に不快感を与えたりするほどの熱静電容量を有するものもある。例として、ツール、コイル、金属片、ソーダ缶、スチールウール、食物(チューイングガム、ハンバーガー)の包み、金属箔のついた煙草の箱などがある。

【0100】

従って、必要なのは無線電力伝送システムの近傍でFODの影響を検出または低減するための方法および構造である。

【0101】

FODリスクを低減する方法は、受動的低減技術と能動的低減技術とに分けることができる。受動的低減技術は、FODが高電磁場(例えば磁場、電場)の領域に入らない、または残らないようにするために使用することができる。受動的低減技術はFODが電磁場と危険に相互作用する可能性を低減することができる。能動的低減技術はFODの存在の検出およびそれとの反応に使用することができる。

【0102】

本開示において、あるコイル(例えば共振器コイル)から別のコイル(例えば別の共振器コイル)への「無線エネルギー伝送」は、電子デバイス、車両への入力、電球の点灯または電池の充電などの、有用な作業(例えば機械的な作業)を行うためのエネルギー伝送のことを言う。同様に、あるコイル(例えば共振器コイル)から別の共振器(例えば別の共振器コイル)への「無線エネルギー伝送」は、電子デバイス、車両への入力、電球の点灯または電池の充電などの有用な作業を行うための電力伝送のことを言う。無線エネルギー

ー伝送および無線電力伝送はどちらも、別のやり方では主電圧源への接続など、電源への接続を通して提供される、動作電力を提供するためのエネルギーの伝送（または伝達）のことを言う。従って、上記の理解の下で、「無線エネルギー伝送」および「無線電力伝送」という表現は本開示において同じ意味で用いられる。また、「無線電力伝送」および「無線エネルギー伝送」は情報の伝送を伴う、つまり、情報は電磁信号を介して、エネルギーまたは電力と共に、有用な作業を行うために伝送され得る。

【0103】

いくつかの実施形態において、無線電力伝送システムは電力を受信共振器に無線伝送するためにソース共振器を利用することができる。特定の実施形態において、無線電力伝送は、複数のソース共振器および／または複数のデバイス共振器および／または複数の中間共振器（「リピータ」共振器とも称する）によって拡張することができる。共振器はエネルギーを電磁場（例えば電場、磁場）に保存することのできる電磁共振器であってもよい。どの共振器も共振周波数 $f = \omega / 2\pi$ 、固有損失率 および Q 値 $Q = \omega / \Delta\omega$ （本開示において「固有」 Q 値とも称する）を有することができる、この場合、 ω は角共振周波数である。例えばシステムの電源または受電装置における共振器の共振周波数 f は、共振周波数 f を規定する静電容量およびインダクタンスを有することができる。

【0104】

いくつかの実施形態において、ソース共振器、レシーバ共振器、リピータ共振器のうちの何れかは、 $Q > 100$ （例えば、 $Q > 100$ 、 $Q > 200$ 、 $Q > 300$ 、 $Q > 500$ 、 $Q > 1000$ ）の高い Q 値を有することができる。例えば、無線電力伝送システムは1つまたは複数のソース共振器を有する電源を含むことができ、ソース共振器のうちの少なくとも1つは $Q_1 > 100$ （例えば、 $Q_1 > 100$ 、 $Q_1 > 200$ 、 $Q_1 > 300$ 、 $Q_1 > 500$ 、 $Q_1 > 1000$ ）の Q 値を有する。無線電力伝送システムは、1つまたは複数のレシーバ共振器を有する受電装置を含むことができ、レシーバ共振器のうちの少なくとも1つは、 $Q_2 > 100$ （例えば、 $Q_2 > 100$ 、 $Q_2 > 200$ 、 $Q_2 > 300$ 、 $Q_2 > 500$ 、 $Q_2 > 1000$ ）の Q 値を有する。システムは、 $Q_3 > 100$ （例えば、 $Q_3 > 100$ 、 $Q_3 > 200$ 、 $Q_3 > 300$ 、 $Q_3 > 500$ 、 $Q_3 > 1000$ ）の Q 値を有する少なくとも1つのレシーバ共振器を含むことができる。 Q 値の高い共振器を利用することにより、無線電力伝送システムの共振器の少なくともいくつかまたは全ての間に大きなエネルギー結合をもたらすことができる。 Q 値が高いと、共振器間の「連結時間」が共振器の「損失時間」よりも短くなるような、共振器間の強い結合をもたらすことができる。この手法において、エネルギーは、共振器の損失（例えば加熱損失、放射損失）によるエネルギー損失よりも速い速度で共振器間において効率的に伝送される。特定の実施形態において、幾何平均 $\sqrt{Q_i Q_j}$ は 100 （例えば $\sqrt{Q_i Q_j} > 200$ 、 $\sqrt{Q_i Q_j} > 300$ 、 $\sqrt{Q_i Q_j} > 500$ 、 $\sqrt{Q_i Q_j} > 1000$ ）よりも大きく、ここで、 i および j は一対のソースーレシーバ共振器、ソースーリピータ共振器またはリピーターーレシーバ共振器（例えば、 $i = 1$ 、 $j = 2$ 、または $i = 1$ 、 $j = 3$ 、または $i = 2$ 、 $j = 3$ ）である。何れの共振器も下記に記載するコイルを含むことができる。 Q 値の高い共振器の技術は、例えば、「Wireless Energy Transfer Systems（無線エネルギー伝送システム）」と題する、2009年9月25日に出願された共通に所有する米国特許出願第12/567,716号に記載されており、この内容を参照のために援用する。

【0105】

（受動的低減技術）

受動的低減技術は、FODが共振器間または高電磁場の特定の領域に入らないようにして、FODと電磁場の相互作用を防止するために使用することができる。

【0106】

付加的な例示的实施形態において、無線電力伝送システムにおける共振器カバーの構成は、受動的FOD低減技術を提供するものである。実施形態において、ソースおよび／またはデバイスおよび／またはリピータ共振器の筐体は、FODが電磁場の大きな共振器および／または共振器コイルの領域に近づくのを防止するように形成することができる。実

施形態において、共振器の筐体は、異物が共振器または共振器コイルからの特定の距離よりも近づかないように異物を遠ざける程度に厚いものであってもよい。例えば、筐体は追加の筐体材料および/または空隙および/またはボッティング材および/またはその他の物体および/または共振器コイルと共振器の外面の間の材料を含むことができる。実施形態において、共振器コイル面から筐体面までの距離は、0.5 mm, 1 mm, 5 mmなどとすることができる。実施形態において、共振器コイルの上面と筐体の上面との間の距離は、共振器コイルの底面と筐体の底面との間の距離と異なってもよい。実施形態において、共振器コイルは共振器筐体の最も薄い寸法のほぼ真ん中に配置してもよい。その他の実施形態において、共振器コイルは共振器筐体の最も薄い寸法の中心から実質的にオフセットして置いてよい。実施形態において、共振器コイルはFODに露出される表面から実質的に離して置いてよい。実施形態において、共振器筐体はFODと共振器の間に最小距離を提供する締め出しゾーン(keep-out zone)を含んでもよい。締め出しゾーンは、締め出しゾーンの外の磁場が安全面や性能面での懸念を生じさせないくらいに確実に十分小さくなるくらいの大きさとしてもよい。

10

20

30

40

50

【0107】

共振器筐体は、筐体上のFODが筐体またはカバーの表面から転がり落ちる、および共振器および/または高電磁場に近づかないようにするように湾曲させ、角度をもたせて設計することができる。共振器筐体は、重力が物体を共振器から引っ張って遠ざけるように形成し、配置させることができる。いくつかの実施形態において、共振器の筐体および位置は、他の自然または偏在する力を使ってFODを離すように設計することができる。例えば、水流、風、振動などを、FODが共振器の周りの望ましくない領域に蓄積または滞在しないようにするために使用することができる。実施形態において、FODが蓄積される可能性のある共振器の表面を地面にほぼ垂直に配置して、物体が共振器に自然に留まって蓄積されないようにしてもよい。

【0108】

ある程度の受動的FOD保護を提供する共振器カバーの例を図1に示す。無線電力伝送システムの磁気共振器104は、成形カバー102によって囲まれる、すなわち包囲される、または成形カバー102の下に置くことができる。カバー102は重力によってFOD106がカバー102を転げ落ちるように形成することができる。カバー102の形状は、電磁場の強さがFODの加熱またはFODとの相互作用によって危険な状態を生じさせるほど大きい共振器を取り囲む領域からFODを共振器の側面に押しやる、および/または離して、FOD106がカバー102の上および/または共振器104の近傍に蓄積されないようにするような形状とすることができる。実施形態において、FODは、磁場による加熱および/または発火、および/または磁場とのマイナスの相互作用のリスクにこれ以上さらされないように、高磁場領域から十分遠くに離すことができる。いくつかの実施形態において、カバーは円錐形、角錐形、マウンド形、楕円形、球体形などに形成された部分を含むことができる。いくつかの実施形態において、カバーは例えばテフロン(登録商標)のような滑りやすい素材を含み、FODをソース共振器とデバイス共振器の間に長く滞在させないようにすることができる。

【0109】

その他の例示的および非限定的実施形態において、受動的FOD技術には、共振器および/または共振器の部品のサイジングを行って、無線電力交換が行われる領域のいずれにおいても最大電磁場密度(例えば、磁場密度、電界密度)を所望する制限以下に低減させる技術が含まれる。いくつかの実施形態において、FODリスクの一部を低減するために比較的大きな共振器コイルを使用することができる。一定レベルの電力伝送において、より大きな共振器コイルを使用することにより、一定量の電力を無線で伝達するために必要とされる単位面積当たりの電磁場強度を減らすことができる。例えば、ソースによって生成される最大電磁場強度は、加熱やその他の危険の発生することが知られている閾値以下に低減することができる。受動的低減技術は常に実行可能、実用的または十分なものではない。例えば、共振器を大きくすることによってFODの危険を減らすことは、システム

のコストもしくは重量制限、または共振器を特定の容積のシステムに一体化させるという要望により、実用的とは言えないだろう。しかしながら、完全な受動的技術が可能でない用途においても、実用的および／または十分な受動的低減技術は、少なくとも部分的にFODリスクを減らすために使用することができ、能動的低減技術を補完することができる。いくつかの用途においては能動的低減技術のみを使用することができる。

【0110】

(能動的低減技術)

例示的および非限定的実施形態によれば、FODの能動的低減技術は、特定の物体、特定の種類の物体、金属体、有機物体、熱体、共振器パラメータの摂動および／または磁場分布の摂動を検出することのできる検出システムを含むことができる。

10

【0111】

例示的および非限定的実施形態によれば、金属体などのFODは、無線エネルギー伝送システムの効率または電力伝送能力に摂動を与えるくらいの大きさ、程度および／または材料組成である場合がある。このような場合、このようなFODの存在は、無線電力システムのソース共振器および／またはデバイス共振器および／またはリピータ共振器と関連する電圧、電流および／または電力のうちの1つまたは複数の変化を調べることによって決定することができる。ソース、デバイスまたはリピータ共振器のうちの1つまたは複数は、少なくとも100（例えば、少なくとも200、少なくとも500）の固有のQ値を有することができる。FODの中にはエネルギー伝送に使用される共振器のパラメータに摂動を与えるものがある、および／またはエネルギー伝送の特性に摂動を与えるものがある。FODは、例えば共振器のインピーダンスを変化させることがある。例示的および非限定的実施形態によれば、これらの摂動は共振器および無線エネルギー伝送の電圧、電流、電力、位相、インピーダンス、周波数などの測定によって検出することができる。予想または予測される値からの変化または逸脱はFODの存在の検出に使用することができる。例示的実施形態において、無線電力システムにおけるFODの検出またはFODへの反応に、専用のFODセンサは必要でない。

20

【0112】

例示的および非限定的実施形態によれば、FODは無線エネルギー伝送に弱い摂動を与えるだけであり、共振器の電気パラメータおよび／または無線エネルギー伝送の特性をモニタすることによって実質的に検出することはできない。しかしながらこのような物体はなお危険要因を作り出す可能性がある。例えば、磁場と弱く相互作用するだけのFODは、実質的にまだ加熱される可能性がある。FODは無線エネルギー伝送中に生成された磁場または電場によって加熱され得る。電磁場と弱く相互作用するだけであるのに著しく熱せられるFODの例として、チューイングガムや煙草のパッケージによく見られ、バーガーキングやケンタッキーフライドチキンなどのファストフードに使用される金属箔および包装紙がある。3.3kWの無線エネルギー車両充電システムの共振器の間に配置されると、チューイングガムの包装紙は、共振器および／またはエネルギー伝送システムと関連付けられた電気パラメータを調べることによって検出することはできない。しかしながら、このような包装紙はすばやく熱せられ、やがて張り紙を燃やしてしまうくらいに十分な電力をさらに吸収することができる。

30

40

【0113】

例示的および非限定的実施形態によれば、FODの能動的低減システムは、無線エネルギー伝送システム上および／またはこの近くの熱いスポット、熱い領域および／または熱い物体を検出する温度センサを含むことができる。システムは、無線エネルギー伝送システム内およびその周囲の熱源、熱勾配などを検出するために、任意の数の温度センサ、赤外線検出器、カメラなどを含むことができる。実施形態において、熱体の感知は、そのみまたは他の能動的および／または受動的低減技術に加えて使用することができ、加熱されたFODの検出能力のさらなる向上および／またはその他の能動的FOD検出システムの誤警報率を低減するために使用することができる。

【0114】

50

例示的および非限定的実施形態によれば、2つの共振器間の電磁場に弱く摂動を加えるだけのFOD物体の能動的低減システムは、FOD物体の近くの磁場における小さな変化を測定するためのセンサを含むことができる。例えば、金属箔およびチューイングガムの包み紙は2つの共振器間の磁束を実質的に変えないが、それがコイル、ループ領域、センサまたはグラジオメータの任意の部分を覆うおよび/または遮断する場合、より小さなセンサコイル、ループ、センサまたはグラジオメータを通して磁束を実質的に変えることができる。実施形態において、FODの存在によって生じた磁場における局所外乱は、FODの近くの磁場の変化、変動、勾配などを測定することによって検出することができる。

【0115】

例示的および非限定的実施形態によれば、FODセンサは図2に示す小さなワイヤループ202を使って実現することができる。このようなセンサは無線エネルギー伝送に使用される共振器の近くに配置することができる。動作中、無線エネルギー伝送システムはループを通過する磁場を生成することができる。ループはループ208の内部を貫通する磁束量に比例する電圧を作り出すことができる。いくつかの実施形態において、ループ内に誘起される電圧は5V未満である。別の実施形態において、ループ内に誘起される電圧は10V未満である。例えば、チューイングガムの包み紙の一部がループを覆う、および/またはループの近くの磁束を偏向および/または吸収するように置かれた場合、ループによって生成された電圧は変化し、電圧の変化を検出することにより、FODの存在を示すための決定に使用することができる。実施形態において、導体ループを無線電力伝送システム内のFODの存在を示すために使用してもよい。

【0116】

例示的および非限定的実施形態によれば、FODセンサは図2に示すような2つのワイヤループ202, 204を使って実現することができる。このようなセンサは無線エネルギー伝送に使用される共振器の近くに置くことができる。動作中、無線エネルギー伝送システムは2つのループを通過する磁場を発生させることができる。各々のループは各ループ206, 208の内部を貫通する時変磁束量に比例する電圧を発生させる。2つのループによって生成された電圧間の違いは、ループに近い磁場の勾配への比例である。2つのループが実質的に均一な磁場の領域に置かれ、ループが実質的に同じであれば、2つのループによって生成された電圧の大きさの違いは非常に小さい。例えば、チューイングガムの包み紙がループのうちの1つを部分的に覆い、もう1つのループは覆わないように置かれた場合、2つのループによって生成される電圧の違いは包み紙の存在しない場合よりも存在する方が大きくなる、というの、ガムの包み紙の金属箔は、通常ループを通過する磁束の一部を偏向および/または吸収するからである。いくつかの実施形態において、ループを通過する磁束は $6 \times 10^{-6} \text{ T} \cdot \text{m}^{-2}$ 未満であり得る。

【0117】

実施形態において、2つのループによって生成された出力信号は互いに減じ合うため、ループの組み合わせによって形成された構造は、感知された磁場がほぼ均一である場合には小さな信号を、そして2つのループ間の磁場に勾配がある場合には適度に大きな信号を生成する。ループおよび/またはコイルが磁場勾配および/または不均一または実質的に不均一な磁場が存在する中で信号を生成するように構成されている場合、これらはグラジオメータとして配置されていると言うことができる。尚、異なるループからの信号は、アナログ回路、デジタル回路、プロセッサ、コンパレータなどを使って減じることができる。尚、ループは、ループの内の1つの表面を横断する磁場によって誘起される電圧が、センサの別のループの内の1つの表面を横断する磁場によって誘起される電圧とほぼ同等および反対となるように、例えば8の字の構成のような特定の構成に接続してもよい。センサおよび/またはグラジオメータの感度は、2つのループ間の電圧差の大きさおよび/または位相に関連させてもよい。

【0118】

尚、いわゆる「8の字」導体ループは、1つの大きな導体ループを真ん中からつまみ、1つの大きなループが2つのほぼ同じ大きさの小さなループを形成し、1つのループをも

10

20

30

40

50

う1つのループに対して180°、または180°の奇数倍ねじることによって形成することができる。実施形態において、8の字の導体ループは、ワイヤ、リッツワイヤ、導管、PCBトレース、導電性インク、ゲル、塗料、リボンなどを含む任意の種類の導電性トレースを使って実現することができる。

【0119】

例示的および非限定的実施形態によれば、ループおよび/またはコイルおよび/またはセンサおよび/またはグラジオメータの感度は、特定の大きさまたは特定の大きさ以上の物体を好適に検出するように調整することができる。感度は、誤検出率を下げ、検出システムのノイズを下げ、および/または周波数範囲で動作するために調整することができる。実施形態において、ループの大きさおよび形状はセンサの感度を調整するために調整することができる。例えば、センサのループは、背景信号を下げるため、およびより小さなFODに対する感度を向上させるために、より小さくしてもよい。しかしながら、センサループが小さすぎると、いくつかのFODがセンサのループを全て完全に覆ってしまい、FODによって信号が生成されなくなる。このようなシナリオは複数のFODセンサを使用し、これらをFODが検出されるはずの領域に配置することによって低減させることができる。そして、1つのFODセンサがFODを検出しなくても、少なくとも1つの別のセンサが検出する可能性がある。上述の例において、大きなFODはいくつかのセンサを完璧に覆うが、その他のセンサは一部しか覆わない。一部が覆われるセンサはFODを検出し、システムを適切に反応するようにプログラムすることができる。実施形態において、ループはより多くの回転(turn)を含むよう、および/または例えば4ループまたは8ループなどの追加ループを含むように調整することができる。実施形態において、ループは回転対称性を有するように配置してもよい、または直線状に配置してもよい、または任意の大きさまたは形状の領域を埋めるような形状にしてもよい。実施形態において、ループは実質的には2次元であるが、他の実施形態において、性能を高めるために3次元に拡大してもよい。例えば、ループセンサをプリント基板(PCB)上に実現し、複数のループセンサを1つの層(または8の字を形成するために2つの層)上に実現し、または複数のループセンサをPCBの2つ以上の層に実現させることができる。

【0120】

グラジオメータを置くことができる、および/または他のグラジオメータおよび/またはループの設計を実装することのできる場所で磁場密度が不均一となる実施形態において、金属体が存在すると、2つのループ電圧間の違いに対応する波形において振幅および/または位相の変化が生じることがある。実施形態において、ループは複数の回転を有することができる。例示的および非限定的実施形態によれば、ループ領域206および208は、無線エネルギー伝送システムの磁場強度、検出方法の所望される感度、システムの複雑さなどに応じた大きさとしてすることができる。金属FODがループ領域よりも実質的に小さいと、FODが存在する場合に弱い信号しか生じない。この弱い信号はノイズや干渉信号に圧倒されるリスクがある。ループが最小被検出FODと類似した(例えば3倍以内)の大きさであれば、信号は低い誤警報率での検出に対して十分に大きい。実施形態において、FODセンサおよび/またはグラジオメータは、異なる大きさ、形状および/または配置の1つまたは複数のループを含むことができる。実施形態において、FODセンサは1つのセンサ、2つ以上のセンサまたはセンサのない領域を含むことができる。

【0121】

例示的および非限定的実施形態によれば、FODセンサの配置はアルゴリズム、コンピューティングシステム、ユーザまたは市場のフィードバックデータ、試験などを介して最適化することができる。

【0122】

例示的および非限定的実施形態によれば、金属体の近傍の磁場勾配を測定する別の方法は、磁場の局所勾配に比例する電圧を直接出力できるように、コイル(ループとも称する)を生成することである。このようなコイルは図2に示す2つのコイルとして使用することができるが、必要な電圧測定は1つのみである。例えば、図2に示すループのうちの1

10

20

30

40

50

つが他のループ領域の2倍で、それを8の字にねじり、8の字の各ループがほぼ等しい領域を持つが、各ループにおいて局所磁場によって誘起される電圧の符号が反対である場合、その2つの端子に生成される電圧は2つのループ間の磁束の差に比例する。両方のループを通過する磁束がほぼ等しい場合、センサからの出力信号はほぼゼロである。図3A～図3Dは、磁場の強さおよび/または密度における局所勾配に比例する電圧を直接生成することのできる、ねじれたループのいくつかの例示的構成を示す。

【0123】

図2に示す2つのループは磁気双極子、図3Aのループはグラジオメータおよび/または磁気四重極、そして図3Bのループはグラジオメータおよび/または八極子と称することができる。四重極の構成は、左から右の方向に、磁場勾配に比例する電圧を生成すること
10
ことができる。4ループ構成は磁場勾配(図3B)および磁場勾配(図3B)の勾配を測定するように構成することができる。図3Dは複数のループが長さ寸法に延在して、例えば長方形のFOD検出領域を覆う実施形態を表している。図3Dに示すように構成される複数のセンサは、任意の形状および大きさのFOD検出領域を覆うように配列することができる。実施形態において、偶数のループを持つ高次の多極子は、磁場に対する空間摂動を測定するようにも構成することもできる。実施形態において、図3A～図3Dに示すループは、導体、ワイヤ、導体トレースなどの複数の回転を使用することができる。

【0124】

これらの構成の各々は、FODの存在による磁場摂動を測定するという目標を達成することができる。複数のループを持つ構成は、ループと類似した特性のFODを検出する尤
20
度を大幅に低減することなく、より大きな領域を覆うことができる(より大きな場所でFODを検出することができる)。

【0125】

図2および図3A～図3Dのループ構成は円形に描かれているが、任意の形状および大きさのループを使用することができる。FODが存在しない場合に複数ループの構成がゼロの正味電流および/または正味電圧を生成することが望まれる場合、各ループの断面積は等しい磁束量をキャプチャするように設計されなければならない。実質的に均一な磁場において、ループ領域はほぼ同等である。ループが実質的に不均一な磁場に置かれる場合、ループ領域を、磁場が強い場合はより小さく、そして磁場が弱い場合はより大きくなるように調整し、各ループに誘起される電圧がほぼ同じ大きさで符号が反対となるようにし
30
てもよい。

【0126】

実施形態において、センサアレイの性能を改善するために、センサアレイを較正し、センサからの信号出力を処理することができる。例えば、FOD検出アルゴリズムが制御信号としてセンサ出力の変化を利用する場合、センサはFODが存在しない場合のその出力信号が可及的ゼロに近くなるように構成することができる。上述の様に、出力信号は、個々のセンサループの信号が実質的に相互に打ち消さないのであれば、ゼロに非常に近づけることができる。これによってセンサのダイナミックレンジが増大する。FODが存在しない場合にセンサによって生成された信号が実質的にゼロでない場合、「背景オフセット」を持つと言うことができ、信号を検出回路で処理してオフセットを除去することが
40
できる。実施形態において、アレイ内の異なるセンサは異なる背景オフセットを有することができる。実施形態において、背景オフセットは較正手順で決定することができる。

【0127】

円形以外の形状は高い面積開口率(high-area fill factor)を持つアレイに適切である。例として、正方形、長方形、六角形、および小さな間質空間を有するその他の形状がある。図4Aは正方形のコイルの例を示し、この場合、アレイは図示するものよりもさらに拡張することができ、プラスループとマイナスループの数は同じである。

【0128】

図内の「+」と「-」の符号はループに誘起される電圧に関連する符号を示すために設けたものである。よって、均一磁場の8の字センサは、1つがプラスで1つがマイナスで
50

示された2つのつながったローブによって表されている、というのもローブは、1つのローブにおいて磁場によって誘起された信号が別のローブの磁場によって誘起された信号を実質的に打ち消すように構成されるからである。つまり、プラスとマイナスの符号は、時間における特定の瞬間の誘起電圧の相対符号を示す。尚、振動する磁場において、単一のローブ、すなわちローブ内で誘起された電圧は、磁場振動と同じ周波数で変化する。つまり、誘起された電圧が正、すなわち「プラス」方向の場合、時間の一点において誘起される電圧は1/2周期($t_c/2$)後の反対の符号となる($t_c = 1/f = 2\pi/\omega = \lambda/c$)。従って、図中の「プラス」および「マイナス」符号の目的は、1組のローブで誘起される瞬時電圧が、2つの「プラス」ローブおよび/または2つの「マイナス」ローブの場合における同じ相対符号か、または「プラス」と「マイナス」ローブの様な反対の符号かの何れかを有することを示すものである。

10

【0129】

本開示において、「盲点」は、1つまたは複数のセンサの配置により、1つまたは複数のセンサがFOD(例えばデブリ)を検出することのできない領域のことを指すと理解されたい。図4Aに示す構成において、対称なFODを隣接するローブ間の特定の場所に置き、磁場振動が検出可能な磁場勾配を発生させないようにする。このようないわゆる「盲点」の例を図4Aに示す。例示的および非限定的実施形態によれば、配列されたローブの第2層を第1層の上および/または下に置き、図4Bに示す様に横方向に移動させることができる。移動量は、センサの第1層の「盲点」が第2層の最大検出可能性または少なくとも十分な検出可能性に対応するように選択することができる。実施形態において、移動は、1つのアレイ検出の可能性に対するFODの検出の尤度を向上させるような任意の移動とすることができる。このようにして、FODを検出することのできない多くの盲点を有する尤度を低減することができる。1つまたは複数の移動されるアレイの同様のスキームは、盲点の低減においてほぼ同じ利点を達成することができる。複数のアレイにおけるローブの配列も、不均一な磁場に対応するために変更することができる。

20

【0130】

実施形態において、配列されたローブの層は、同様の大きさおよび/または形状のローブを有することができる。他の実施形態において、配列されたローブの層は異なる大きさおよび/または形状のローブを有することができる。異なる大きさおよび/または形状を持つ配列されたローブの層を有する実施形態において、「盲点」の影響を低減させる、および/またはFOD検出の尤度を増大させるために、配列されたローブを移動させる必要はない。

30

【0131】

実施形態において、双極子、四重極、八極子などの個々のローブまたはローブは複数の大きさおよび/または不均一な大きさのものであってもよい。グラジオメータが不均一な磁場の領域を覆う実施形態において、ローブは、FODが存在しない場合、グラジオメータローブの出力において最小の電圧を確保できる大きさであってもよい。弱い磁場の領域にはより大きなローブを、強い磁場の領域にはより小さなローブを配置するようにしてもよい。実施形態において、より均一な磁場にはより大きなローブを、より不均一な領域にはより小さなローブを配置してもよい。実施形態において、センサアレイのグラジオメータの大きさは変更することができる。実施形態において、より不均一な磁場にはより小さなグラジオメータを配置してもよい。実施形態において、より大きな磁場強度の領域にはより小さなグラジオメータを配置してより小さなFODの検出能力を提供し、大きなFODのみの検出が所望されるより小さな磁場強度の領域には、より大きなグラジオメータを配置してもよい。

40

【0132】

図11A, 図11Bおよび図11Cはいくつかの非対称なFODセンサの設計を示す。センサは、不均一な磁場に置かれた場合、通常の動作中、実質的にゼロの電圧信号を提供するような形状、大きさとすることができる。FOD検出のために設計された基板または領域に亘るセンサ1202のアレイにおいて、FODセンサ1204は図12に示すよう

50

に、領域全体に対称に配置することができる。いくつかの実施形態において、FODセンサは、図13、図14および図15に示すように非対称に配置することができる。実施形態において、センサは高磁場の領域では密集させ、そして低磁場の領域では間隔を広げて配置することができる。例えば、FODが加熱される、または磁場と否定的に相互作用する可能性が最も高い最大磁場の領域には、より多くのセンサおよび/またはより高い感度のセンサを置くことが所望される。実施形態において、より低い磁場の領域でセンサの数量および/またはセンサの種類を減らす理由はない。いくつかの実施形態において、アレイ内のFODセンサの数を減らすことが所望される。例えば、センサが他の回路のために利用することのできる場所を取る、またはセンサがシステムの費用を追加させるような部品を必要とする、または任意のこのような実施上の配慮点がある場合、個々の設計およびアレイ内における配置が特別に設計された複数の個々のFODセンサを含むFODシステムを設計するのが好適である。そのような均一および不均一なアレイのいくつかの例を本明細書に記載するが、それらは開示した技術の範囲内における多くの例の中のほんの一部にすぎない。

【0133】

例示的および非限定的実施形態によれば、FODセンサのアレイは複数の種類のセンサを含むことができる。実施形態において、FODセンサには、単一ループセンサおよび/または双極子ループセンサ/グラジオメータおよび/または四重極ループセンサ/グラジオメータおよび/または八極子ループセンサ/グラジオメータなどがある。FODセンサのいくつかの領域は、センサおよび/またはグラジオメータを含まない。FODセンサは温度センサ、有機材料センサ、電界センサ、磁場センサ、静電容量センサ、磁気センサ、誘導センサ、運動センサ、重量センサ、圧力センサ、水センサ、振動センサ、光センサなどと、これらのセンサの任意の組み合わせとを含むことができる。

【0134】

例示的および非限定的実施形態によれば、2つの共振器間の電磁場に弱く摂動を与えるだけのFODの能動的低減システムは、FODの近傍の静電容量素子における静電容量の小さな変化を測定するためのセンサを含むことができる。例えば、無線電力伝送システムの上またはその近くに置かれる物体（例えば、有機材料または金属材料）は、2つの共振器間の磁束を実質的に変えないが、その近傍の導電材料の自己静電容量および/または相互静電容量を実質的に変化させることがある。一般に、導電材料および有機体または金属体のような2つの物体が接近する（しかし空気などの誘電体によって離されたままである）場合、双方の物体の静電容量は変化し、この効果は「相互静電容量」と称される。感度静電容量検出器は何れかの物体の静電容量の変化（すなわち、電圧の変化または直接静電容量測定）を検出するために使用することができ、これによって物体間の相互の接近を検出することができる。このような方法を使うことにより、特定の実施形態において、FODの存在によって生じる静電容量素子の静電容量値に対する局所擾乱を、FODの近傍の静電容量の変化、変動、勾配などを検出することによって検出することができる。このような方法は、典型的には磁場に大きな摂動を与えない有機体（例えば生物）の検出に特に有益である。

【0135】

例示的および非限定的実施形態によれば、FODセンサは図18Aに示すような静電容量素子としての一本のワイヤ1802を使って実現することができる。ワイヤは、その近傍に物体（例えば、有機体、金属体）がある場合とない場合とでは、異なる静電容量を有する。ワイヤ1802が物体の近傍において静電容量の変化を測定する、および/またはそれに反応することができる回路と一体化されている場合、そのワイヤを静電容量センサと称することができる。ワイヤが無線電力伝送システムのエリアおよび/または領域に設置される場合、その静電容量の変化を無線電力伝送のエリアおよび/または領域において特定の種類のFODが存在することを示すために使用することができる。実施形態において、特定の材料の近接に関連する静電容量を持つ導電材料は、無線電力伝送システム内のFODの存在を示すために使用することができる。

【0136】

実施形態において、特定の種類の材料の近接と関連し得る静電容量値を持つ任意の種類の材料および/または構造は、本明細書に記載する静電容量センサ内で使用することができる。ワイヤまたは任意の種類の導電路は魅力的である、というのも、ほぼ任意の大きさおよび形状の感知領域を持つように設計することができ、その性能は無線電力伝送システムの電磁場の存在下において低下しないからである。また、ワイヤ/導電トレースの静電容量は、有機材料などの材料がセンサに触れるほどではないが近くにある場合に变化する。実施形態において、ワイヤ/導電トレースセンサは、無線電力伝送システムの共振器または共振器筐体と物理的に接触する有機材料を検出することができる。実施形態において、静電容量センサで使用されるワイヤ/トレースは、無線電力伝送システムの回路、PCB、ハウジング、モジュール、サブシステムなどに一体化することができる。

10

【0137】

本開示において、ワイヤは例示的实施形態であり、ソリッドワイヤ、より線、導電管、プリント基板トレース、導電インク、ゲル、塗料、エポキシなどを含むが、それらに限定されない任意の種類の導電材料も、本明細書に記載する開示技術に適切な静電容量素子であると理解されたい。

【0138】

実施形態において、静電容量センサは1つまたは複数の静電容量素子を含むことができる。図18A~図18Fは静電容量素子のいくつかの例を示す。図18Aは静電容量素子1802が非対称および/または不規則な形状の実施形態を示す。図18Bは静電容量素子1804が正弦波形で、FODが検出されるはずの領域1806を覆うように配置することのできる実施形態を示す。図18Cは静電容量素子1804がFODセンサ1204上に配置された実施形態を示す。図18D~図18Fは1つまたは複数の静電容量素子の構成の実施形態を示す。例えば、1つまたは複数の静電容量素子からのデータは1つまたは複数のポイントで測定され、1つまたは複数のレベルで処理することができる。図18Dはポイント1808、1810、1812および1814で測定されたデータを処理1824の中心または一次レベルで処理することができることを示している。図18Eおよび図18Fはポイント1808、1810、1812、1814および1815で測定されたデータが一次プロセッサ(プロセッサ1824)および/または二次プロセッサ(プロセッサ1816~1822)レベルで処理することができることを示している。いくつかの実施形態において、いくつかのポイントからのデータを平均化し、他のものと比較することができる。例えば、図18Eはポイント1808と1810を平均化し、ポイント1812と1814の平均と比較し、さらにポイント1815と比較することができる実施形態を示している。

20

30

【0139】

静電容量素子の大きさは、一般に、生物の検出が可能なように要望どおりに選択することができる。いくつかの実施形態において、例えば、電源は静電容量素子の位置する平面に延在する磁場を生成する。磁場は平面内に半値全幅を有する断面磁場強度分布を有する。静電容量素子は、静電容量素子を囲む平面における最小サイズの円周部が、断面磁場分布の半値全幅の100%以上(例えば110%以上、120%以上、130%以上、140%以上、150%以上、175%以上、200%以上)の平面に包囲領域を持つように、平面に配置することができる。具体的には、静電容量素子の内のいくつかまたは全てを磁場分布の端部の近く(例えば、電源および/または受電装置の端部の近く)に置くことにより、生体が電源と受電装置の間の領域に侵入する前に検出するために、静電容量素子を使用することができる。

40

【0140】

一般に、受電装置および電源はどちらも1つまたは複数の共振器を含むことができ、その各々は1つまたは複数のコイルを含むことができる。いくつかの実施形態において、受電装置の共振器の総断面積は、受電装置の位置で電源によって生成される磁場の半値全幅断面積の80%以上(例えば、100%以上、120%以上、140%以上、150%以

50

上、175%以上、200%以上)であってもよい。

【0141】

受電装置に電力を伝送するために、電源は電源と受電装置の間に磁場(すなわち力線束)を生成する。いくつかの実施形態において、電源は電源と受電装置の間(すなわち電源と受電装置の間の1つまたは複数のポイント)に少なくとも $6.25\mu\text{T}$ (例えば、 $7\mu\text{T}$ 、 $8\mu\text{T}$ 、 $9\mu\text{T}$ 、 $10\mu\text{T}$ 、 $12\mu\text{T}$ 、 $15\mu\text{T}$ 、 $20\mu\text{T}$ 、 $30\mu\text{T}$ 、 $40\mu\text{T}$ 、 $50\mu\text{T}$)の磁束を生成するように構成される。

【0142】

例えば図18Cを参照すると、いくつかの実施形態において、FODセンサ1204は電源と受電装置の間の第1面に位置し、静電容量素子1804は電源と受電装置の間の第2面に位置する。第1面と第2面は同じ平面であっても異なる平面であってもよい。何れかの平面または両方の平面は、電源の近く、受電装置の近く、または電源と受電装置の間の領域において電源と受電装置から均等に離れて配置することができる。

【0143】

図19A~Eは静電容量素子のその他の例示的および非限定的な実施形態を示す。図19Aにおいて、囲まれた領域1902はFODが検出されるはずの例示的エリアまたは領域を示す。本実施形態において、静電容量素子1802は、FOD検出エリアを前後に曲がりくねって走る、例えば蛇行経路を形成する1本のワイヤによって実現することができる。図19Bおよび図19Cは代替的实施形態を示す。図19Dは図19Aと類似する実施形態を示すが、ワイヤ経路間の間隔が小さい。一方で、図19Eに示す間隔は大きい。上述の磁気FODセンサと同様に、センサの大きさ、形状、配置および設置はFODセンサの感度に影響を与える。例えば、図19Dに示すセンサ上に置かれる有機材料の小さなブロックは領域1902のどこにおいても検出することができるが、図19Eにおいてセンサ上に置かれた同じ材料は、点線の円によって強調されるエリア内では検出されない。いくつかの実施形態において、非常に小さなFODの検出が所望される場合、図19Dのセンサ設計が好適である。いくつかの実施形態において、大きなFODのみを検出することが所望される場合、小さなFODを検出し、他の種類のFODに対して高い感度を有する検出器を使用すると、検出エラーまたは誤検出が生じるため、図19Eに示すセンサにより近いセンサが好適である。

【0144】

静電容量センサの特徴を説明する1つの方法として、FODアレイの長さに亘るワイヤまたはワイヤセグメント間の間隔、FODアレイの幅およびFODアレイの高さ(3D配置の場合における)によるものがある。図19Aにおいて、静電容量素子を形成するワイヤパターンは、センサのセグメント間に長さ(L)および幅(W)に沿った実質的に等しい間隔を示している。センサがFOD領域1902として示される平面から外れたセグメントを含む場合、センサは高さセグメント間隔(H)を有するものとして説明することができる。図19A~Eに示される静電容量素子はFOD検出領域を実質的に埋めるように配置されており、FOD領域中に小さな感度を与えることができる。用途によってはセンサの感度のより良いFOD領域を有することが好ましく、FOD検出を必要としない領域があっても良い。これらの種類のセンサの例示的実施形態を図20A~Cに示す。

【0145】

実施形態において、静電容量素子は、FODセンサの長さ、幅および高さに沿って変化する間隔を持つセグメントを有する。図20A~CはFODセンサのいくつかの例を示す。図20Aに示すセンサ1802は、小さなFODに対する感度がFOD領域1902の中心よりも何れかの側面の方が高い。図20Bのセンサ1802は、小さなFODに対する感度がFOD領域1902の側面よりも中心の方が高い。図20Cのセンサ1802は、FOD領域1902の中心よりも隅の方が、小さなFODに対する感度が高い。図20A~図20Cに示すセンサは、2つ以上のセグメント間隔および/または可変のセグメント間隔を有するものとして記載されている。実施形態において、FOD検出器の静電容量素子は少なくとも2つの幅セグメント間隔(W_1 , W_2 , \dots , W_n)を有するこ

とができる。実施形態において、FOD検出器の静電容量素子は少なくとも2つの長さセグメント間隔 (L_1, L_2, \dots, L_n) を有することができる。実施形態において、FOD検出器の静電容量素子は少なくとも2つの高さセグメント間隔 (H_1, H_2, \dots, H_n) を有することができる。実施形態において、FOD検出器の静電容量素子は一定の、および可変のセグメント間隔の任意の組み合わせを有することができる。

【0146】

上述の磁場センサの様に、静電容量素子は実質的に2次元(2D)平面(すなわち上述の様に、導電材料の1つまたは複数のループを含む平面と同じまたは異なる平面)に配置することができる、または3Dに配置することができる。図21A~Dは領域1902を2つの異なる方向に横断する静電容量素子1802の例示的实施形態を示す。実施形態において、これらの静電容量素子の導体を相互に絶縁し、循環電流が無線電力伝送システムの電磁場によって誘起されないようにするのが好ましい。従って、このような素子は相互に積み重ねられる絶縁ワイヤを使って実現することができる、および/またはプリント基板の種々の層の素子を製作することによって実現することができる。

【0147】

実施形態において、静電容量センサおよび誘導センサは、振動無線電力伝送電磁場のない場合に動作する。例えば、上述の静電容量センサは、無線電力伝送に使用される振動電磁場が存在する場合と振動電磁場が存在しない場合とは同じ様に動作する。これらのセンサは、電磁場は大きくないがそれでもFODの検出が所望される無線電力伝送領域でFODを検出するために使用することができる。図22は無線電力システムの共振器の端部の周りおよび/または筐体2202を越えて延在する静電容量センサ1802の実施形態を示す。静電容量センサ1802は、物体および/若しくは材料が共振器に近づくとき、ならびに/またはそれらが共振器間の強い磁場の領域に侵入する前に、それらを検出するために使用することができる。例示的实施形態において、共振器筐体に向かって歩いてくる猫などの動物は静電容量センサ1802を通り越えて静電容量に変化を生じさせ、これを検出して共振器コイルの電力の低下または遮断のために使用することができる。実施形態において、静電容量センサは無線電力伝送システムに向かって動いてくる物体の検出に使用することができ、無線電力システムに、無線電力伝送システムの特定のスペース、領域、容積、エリアなどへの生物の侵入を知らせる制御信号を送ることができる。

【0148】

いくつかの実施形態において、静電容量センサには無線エネルギー伝送中に生成された振動磁場によって悪影響が与えられる。磁場は読み取りの感度に影響を与え得る、または読み取りを変化させることがある。静電容量センサは、好適には、磁場との相互作用を減らすように配置、および/または配向することができる。いくつかの実施形態において、例えば、静電容量センサの導体を共振器の双極子モーメントと平行に配向することが好ましい。図21A~21Dは、LODの導体の可能な配向を示す。検出領域1902の導体1802は、図21A~21Cに示すように、共振器の双極子モーメントと整合することができる。いくつかの実施形態において、導体は図21Dに示すように複数の配向に配置することができる。干渉の小さい配向の導体は、システムによって自動的に選択することができる。

【0149】

実施形態において、上述のグラジオメータは、無線電力伝送システムによって生成される磁場を使うのではなく、自身で磁場を生成することができる。グラジオメータはそれ自身の磁場の変化を検出することができる。例示的实施形態において、振動電流および/または電圧をグラジオメータの誘導センサにかける。FODの存在する中で検出された振動電流および/または電圧の変化は、FODの存在を示すために使用される信号である。振動電流および電圧信号はグラジオメータを直接駆動するために使用することができる。いくつかの実施形態において、振動電流信号は無線電力伝送磁場によってFODセンサに誘起することができる。

【0150】

いくつかの実施形態において、FODセンサを直接駆動するのに使用される振動電流の周波数および／または電圧は、センサが特定の種類のFODに対して特に敏感または鈍感となるように選択することができる。特定の実施形態において、磁気センサに対する振動信号の周波数、大きさおよび／または位相は、物体および／または材料の特性評価、識別および／または分類を行うために変化させることができる。いくつかの実施形態において、周波数、大きさおよび／または位相の範囲に亘って誘起されるFOD信号の周波数、大きさおよび／または位相は、FODを識別して無線電力伝送システムがFODの存在に反応するか否かを決定するために使用することができる。例えば、FOD検出システムは、FODの種類、大きさ、材料および／または場所に特有の反射を起こさせる周波数で駆動することができる。別の例では、FOD検出システムは、反射シグネチャがFODの種類、大きさ、材料および／または位置に特有の広帯域信号でも駆動することができる。いくつかの実施形態において、FOD検出システムは、無線電力伝送システムを駆動する周波数とは異なる周波数で駆動することができる。これによってFOD検出システムと無線電力伝送システムとを独立して動作させることができる。

10

20

30

40

50

【0151】

いくつかの実施形態において、FODセンサは誘導センサおよび静電容量センサをどちらも含むことができる。例示的実施形態において、静電容量センサの可変静電容量は、磁場センサの検出回路と一体化させることができる。このような実施形態は、静電容量感知機能のオンとオフが容易であることと、元々このようなセンサからの入力信号を受け取るように設計されていなかったFOD検出システムに追加することができるという利点がある。

【0152】

特定の実施形態において、FOD検出システムは複数の種類のセンサを含むことができる。いくつかのFOD検出システムにおいて、異なるセンサ種類のうちの少なくともいくつかは近づけてもよいし、同じスペースを共有してもよいし、および／または同様のまたは同じ領域でFODを検出してもよい。いくつかの実施形態において、異なるFODセンサのうちの少なくともいくつかは相互に離してもよいし、および／または異なる領域をモニタしてもよい。例示的実施形態において、FODシステムの誘導センサは、無線電力伝送システムにおける磁気共振器の静電容量素子から実質的に離してもよい。

【0153】

(能動的FOD検出処理)

上述のループ、双極子、四重極、八極子などのコイルセンサ／グラジオメータの構成は、振動電磁場の存在下で、振動電圧／電流／信号を出力することができる。実施形態において、振動電磁場は所望の測定信号であってもよい。複数のループからの信号が実質的に相互に打ち消し合われる他の実施形態において、振動信号は、共振器の設計、共振器の位置、FODの存在などによる不完全なセンサおよび／もしくはコイル設計、不均衡なグラジオメータの設計ならびに／または不均一な電磁場によるものである。例示的および非限定的実施形態によれば、読み出し増幅器は特定のコイル、ループセンサ、グラジオメータなどに接続させることができ、高入力インピーダンスを有することができる。この配置はセンサコイル、ループ、ローブ、センサ、グラジオメータなどに大量の循環電流が発生するのを防ぎ、このことにより、無線エネルギー伝送に使用される共振器のQ値が損なわれる、および／または摂動される。いくつかの実施形態において、ループ、ローブ、コイル、グラジオメータなどは、増幅器および／またはフィルタおよび／またはA/Dコンバータおよび／または演算増幅器、および／またはコンパレータ、および／またはプロセッサ、および／または高入力インピーダンスを有するように配置することのできる任意の電子部品に接続することができる。特定の実施形態において、FODセンサは導体ループおよび高入力インピーダンスの電子部品を含むことができる。例示的実施形態において、ループ、ローブ、コイル、センサなどに誘起される信号は、任意の入力インピーダンスの処理回路がFOD信号の処理に使用されることのできるくらい十分に小さくすることができる。信号処理には、信号の検出、信号の増幅、信号の合成、信号の変換(ACからDCおよ

びDCからACへ)、信号のクランプ、信号の比較、信号のフィルタリング、信号の記憶、プロセッサへの信号解析などが含まれるが、これらに限定されない。例えば、FOD検出システムの駆動周波数は特定の種類のFODに影響を受けるように選択することができる。いくつかの実施形態において、駆動周波数は無線電力伝送システムの周波数よりも低くてもよい。例えば、駆動周波数は10kHzとすることができる、というのも145kHzよりも10kHzの方がより多くの損失が生じる金属があるからである。別の例示的および非制限的な実施形態において、広帯域信号をFODセンサの駆動に使用することができ、スペクトル分析を測定および/または反射信号に対して行い、FODの存在を決定してもよい。種々のFODを種々の反射シグネチャに関連付けることができる。システムは、反射FODシグネチャを特徴付けて記憶する学習アルゴリズムを含むことができる。そしてシステムは「既知のFOD」データベースに基づいてFODの種類を決定することができる。

10

【0154】

いくつかの実施形態において、望ましくないオフセット信号、一定信号および/または振動信号をセンサおよびグラジオメータから減算するために、調整回路を使用してもよい。振動信号は、振動電磁場で任意の種類の捕捉コイルを使用して、または水晶発振器および/またはプロセッサを使用して生成することができる。振動信号の大きさおよび/または位相は、任意の周知の電子信号処理技術を使って生成、調整、操作することができる。実施形態において、FODの非存在下においてセンサから生成される一定のオフセットおよび/または振動信号を除去することにより、感度が上がり、背景ノイズが低減され、センサからの誤出力が低減される。

20

【0155】

例示的および非限定的実施形態によれば、アレイの少なくとも1つのコイル(ループ、センサ、グラジオメータ)からの少なくとも1つの導体を、図5に示す読み出し増幅器および/またはADコンバータに接続してもよい。ループ導体502を増幅器506および/またはADコンバータ508に接続して出力504を生成し、これを無線エネルギー伝送システムの他の素子によって使用することができる、またはマイクロプロセッサなどの処理素子(図示せず)への入力として使用し、コイル、ループセンサおよび/もしくはグラジオメータの格納された出力の分析に使用することができる。

30

【0156】

特定の実施形態において、アレイ内の特定のまたは全てのコイル、ループ、センサ、グラジオメータなどにかかる電圧は、順次に測定することができる、または少ない読み取り増幅器またはADコンバータを、図6に示す例示的実施形態のようなアレイをサンプリングするように多重化することができる。例示的実施形態において、グラジオメータ602, 604, 606のアレイを多重増幅器608に接続し、1つまたは複数のDAコンバータ610に接続してもよい。1つまたは複数のDAコンバータの出力612は、無線エネルギー伝送システムの他の素子によって使用することができる、またはコイル、ループセンサおよび/もしくはグラジオメータの出力を記憶、処理、変換、報告、分析などのために、マイクロプロセッサなどの処理素子(図示せず)への入力として使用することができる。

40

【0157】

いくつかの実施形態において、センサおよび/またはグラジオメータループの導体を能動的および/または受動的フィルタ回路に接続して、高周波数または低周波数で高い終端インピーダンスを提供してもよい。特定の実施形態において、センサおよび/またはグラジオメータループの導体を能動的および/または受動的フィルタ回路に接続して、非常に高い周波数または低い周波数で高い終端インピーダンスを提供してもよい。

【0158】

いくつかの実施形態において、コイル、ループ、センサ、グラジオメータなどの電圧をインクリメントしてサンプリングし、これにより、プロセッサは基準波形に対するコイル、ループ、センサ、グラジオメータなどで誘起される波形の振幅および位相を決定するこ

50

とができる。特定の実施形態において、電圧は振動周期につき、少なくとも2回（すなわち、ナイキストレートまたはそれ以上）サンプリングすることができる。実施形態において、電圧はより少ない周波数（すなわち高次ナイキスト帯）でサンプリングすることができる。電圧波形はサンプリング前にフィルタリングまたは調整することができる。電圧信号は、信号対雑音比の向上またはサンプリングする信号の高調波成分を低減するために処理することができる。電圧波形はサンプリングの後にデジタルフィルタにかけるか、または調整することができる。

【0159】

いくつかの実施形態において、コイル、ループ、センサ、グラジオメータなどにかかる電流をインクリメントおよびサンプリングして、これにより、プロセッサは基準波形に対するコイル、ループ、センサ、グラジオメータなどで誘起される波形の振幅および位相を決定することができる。特定の実施形態において、電流は振動周期につき少なくとも2回（すなわち、ナイキストレートまたはそれ以上）サンプリングすることができる。実施形態において、電流はより少ない周波数（すなわち高次ナイキスト帯）でサンプリングすることができる。電流波形はサンプリング前にフィルタリングまたは調整することができる。電流信号は信号対雑音比の向上またはサンプリングする信号の高調波成分を低減するために処理することができる。電流波形はサンプリングの後にデジタルフィルタにかけるか、または調整することができる。

10

【0160】

実施形態において、FOD検出器のコイル、ループ、センサ、グラジオメータなどからの時間サンプル電気信号を処理して、基準信号に関する振幅および位相を決定することができる。基準信号は、無線エネルギー伝送に使用される共振器を励起するために使用される同じクロックから導出してもよい。実施形態において、基準信号はFOD検出器のコイル、ループ、センサ、グラジオメータなどを導出するために使用される信号から導出してもよい。例示的实施形態において、コイル、ループ、センサ、グラジオメータなどからの信号は、1秒あたり5サンプル未満または10サンプル未満の割合で、FOD検出システムによって処理することができる。

20

【0161】

いくつかの実施形態において、FOD検出システムは、図7に示す無線エネルギー伝送システムの振動磁場に対してセンサおよび/またはグラジオメータの読み取り値を同期化するために、別個の周波数、磁場の大きさおよび/または位相のサンプリンググループ704およびエレクトロニクス702を有することができる。

30

【0162】

実施形態において、基準信号は異なる周波数の異なる振動子から発せられたものであってもよい。

【0163】

FOD検出のための8の字四重極構成（図3A）の処理例を以下に示す：

1. FODがない場合、8の字ループのうちの1つから時間サンプル電圧波形を収集する；
2. 基本周波数部品（またはその高調波）の振幅および/または位相を決定する；
3. ベースライン基準値として振幅および/または位相を保存する；
4. FODが存在する場合、同じ8の字ループから電圧波形を収集する；
5. 基本周波数部品（またはその高調波）の振幅および/または位相を決定する；
6. 振幅および/または位相を基準値と比較する；
7. 信号と基準値の違いが所定の閾値を超える場合、FODの検出を宣言する。

40

【0164】

いくつかの実施形態において、FODの存在下/非存在下における電圧/電流波形の振幅および位相は、極座標プロットおよび/または振幅/位相スペースで比較および/または評価することができる。極座標プロットおよび/または振幅/位相スペースを使用する実施形態において、測定信号と基準信号の間の距離（例えば最小二乗法によって決定され

50

る距離)が所定の閾値を超えると、センサにFODが存在すると決定される。

【0165】

特定の実施形態において、信号処理はアナログ電子回路、デジタル電子回路または両方を使って行うことができる。いくつかの実施形態では複数のセンサからの信号を比較および処理することができる。特定の実施形態において、FODセンサを無線電力伝送システムの1つ、全て、またはいくつかの共振器に存在させてもよい。いくつかの実施形態において、異なる共振器へのFODセンサからの信号は、FODの存在の決定および/または無線電力システムに制御情報を与えるために処理することができる。特定の実施形態において、FOD検出は制御可能にオンとオフを切り替えることができる。いくつかの実施形態において、FODの検出および処理は、無線電力伝送システムの周波数、無線電力システムによって伝送された電力レベル、ならびに/または無線電力伝送のイネーブルおよび/もしくはディスエーブル時の期間を制御するために使用することができる。特定の実施形態において、FOD検出器は報告システムの一部であってもよく、このシステムはシステムユーザにFODが存在することを報告する、および/または高レベルのシステムにFODが存在するか否かを報告するものである。いくつかの実施形態において、FOD検出システムは「学習能力」を利用することができ、この能力は特定の種類のFODの識別に使用され、FODの種類を無害、加熱危険、その他の理由による使用不可などに分類するためのシステム識別および/またはシステムフィードバックを含んでいる。一例示的実施形態において、FOD検出システムは5W未満、10W未満、20W未満の動作電力を必要とする。

10

20

【0166】

例示的および非限定的実施形態によれば、FOD検出システムおよび/もしくはサブシステムに処理能力を埋め込む、ならびに/またはセンサデータを遠隔および/もしくは中央処理装置に送ることができる。処理においては収集した電圧波形を基準波形と比較して、統計的に有意な変化を見つけることができる。処理においては収集した電流波形を基準波形と比較して、統計的に有意な変化を見つけることができる。当業者であれば、波形を複素平面上における振幅および位相、I成分またはQ成分、正弦成分または余弦成分に関して比較することができると理解されよう。

【0167】

実施形態において、FODの較正および/もしくは基準、ならびに/または計算および/もしくは決定されたベースライン情報は、FODサブシステムのメモリ素子に記憶させることができる。実施形態において、FODセンサはプリント基板トレースを含むことができ、FODシステムはプリント基板上にマイクロコントローラを含むことができる。実施形態において、FODシステムのメモリ素子はFODセンサと同じプリント基板に位置させてもよい。他の実施形態において、FODシステムのメモリ素子はFODシステムから離してもよい。例えば、FODシステムからの信号は、コントローラ/プロセッサ/ASIC/PIIC/DSPなど、ならびに/または無線電源共振器、デバイス共振器、リピータ共振器もしくは任意の種類のソース、デバイスおよび/もしくはリピータ電子制御ユニットに含まれる記憶装置に通信することができる。いくつかの実施形態において、FODシステムからの信号はコンピュータに通信することができる。特定の実施形態において、FODシステムからの信号は無線電力伝送システムの動作の制御に使用することができる。

30

40

【0168】

FOD検出システムの特定の、非制限的实施形態を以下に記載する。データは、これらのシステムがFOD検出器として機能する実施形態から収集されている。

【0169】

第1の実施形態において、より線は8の字ループに形成され、これは2つのループ間により長いワイヤを有する、図8に示すような四重極を形成している(グラジオメータ1)。第2の実施形態は図8のグラジオメータ2として設計されたものである。8の字ループは約5cmの長さで、各ループの直径は約2.5cmである。図9A~図9Cは無線エネ

50

ルギーソース共振器の上に設置された2つのセンサから収集されたサンプル電圧波形を示し、この共振器はデバイス共振器に取り付けられた負荷に3.3 kWを供給するように構成されている。図9 Aは図8に示す2つのグラジオメータの小さな残留電圧($\sim 30 \text{ mV}_{\text{rms}}$)を示している。残留電圧は不均一な磁場、ローブ領域の僅かな変化、および電氣的干渉によるものである。グラジオメータ1および2からの結果はそれぞれ曲線904、902として示されている。グラジオメータ2の右側のローブにチューイングガムの金属箔を置くと、ローブを通る少なくともいくらかの磁束が遮断され、グラジオメータがより不均衡になる。このシナリオにおいて、振幅の大幅な増加と僅かな位相シフトが、図9 Bの曲線902に示すように見られる。グラジオメータ2の左側のローブに金属箔が移動すると、グラジオメータは再度バランスを失い、その結果、右ローブが遮断された場合と同様の振幅の変化となるが、位相は図9 Cに示すように約 180° 変化する。いくつかの実施形態において、FODセンサまたはグラジオメータのこれらの位相および/または振幅読み取り値の変化を、センサにおけるFODの存在の検出に使用することができる。特定の実施形態において、FODセンサまたはグラジオメータの位相および/または振幅読み取り値におけるこれらの変化は、センサにおけるFOD位置の検出に使用することができる。

10

20

30

40

50

【0170】

8の字センサの実施形態も、センサコイルまたはループを実現させるプリント基板(PCB)の技術を使って作り上げられたものである。本実施形態は、低コスト、高フィルファクタ(ループは任意の形状に製作することができ、標準PCB処理技術を使って簡単にタイル化できるから)、高均一性、高再現性、小型などの利点がある。高フィルファクタは個々の8の字センサの16チャンネルアレイのタイル化された長方形ループを使って得られた。印刷ループは均一性が高く、FODがない場合、センサからのベースライン読み取り値はより小さく(かつより平坦に)なった。

【0171】

いくつかの実施形態において、上述のセンサおよび/またはグラジオメータセンサを他の種類のFODセンサと組み合わせて検出尤度を向上させ、誤警報(システムはFODがない場合にFODを検出する)を下げることができる。例えば、1つの温度センサまたは温度センサアレイを共振器アセンブリに一体化させることができる。1つのFODが熱せられ始めると、これは通常予測される温度測定および/またはらせん状の温度分布を妨げることがある。その逸脱を検出して、システムコントローラへのアラームの送出に使用することができる。実施形態において、温度センサは単体で、または金属体センサと組み合わせて使用してもよい、および/または金属体センサのバックアップもしくは確認センサとして使用してもよい。

【0172】

無線電力の近傍における人間および/または動物などの生物の存在は、ソースと受電装置の間にFODが存在する、および/または生物が一定の磁界強度の磁場に侵入した場合に検出され、これによって無線電力伝送システムは出力を下げる、および/または遮断する、および/またはアラームもしくは警報(例えば、視覚的および/または聴覚信号)を生成することができる。耐容可能、受容可能、許容可能などの磁界強度限度は周波数に依存し、規制限度、安全限度、標準限度、公共認識限度などに基づくことができる。特定の実施形態において、誘電センサは長いワイヤなどの導体からのフリンジ静電容量の変化を測定することができ、生物の近接を検出するために使用することができる。いくつかの実施形態において、この種のセンサは診断テスト中、無線エネルギー伝送前および無線エネルギー伝送中に使用することができる。実施形態において、この種類のセンサは単体で、または任意の種類のFOD検出器と組み合わせて使用することができる。特定の実施形態において、FOD検出器は人間、生体、生物質などを検出することができる。

【0173】

(車両充電アプリケーション)

FODの検出は、多くの種類の無線エネルギー伝送システムにおいて重要な安全遵守事

項である。例として、3.3kW車両充電システムによるFODの検出を以下に記載する。

【0174】

例示的EV充電システムのブロック図を図10に示す。このシステムはソースモジュールとデバイスモジュールとに分けることができる。ソースモジュールは充電ステーションの一部であり、デバイスモジュールは電気自動車に装備することができる。電力は共振器を経由してソースからデバイスに無線伝達することができる。伝達電力の閉ループ制御は、ソースとデバイスモジュールの間の帯域内および/または帯域外RF通信リンクによって行うことができる。

【0175】

FOD検出器システム（図示せず）は種々の場所でシステムに一体化させることができる。いくつかの実施形態において、FODシステムはソース共振器などのソースモジュール、ソース共振器、ハウジングまたは筐体に一体化することができる。特定の実施形態において、FODシステムはシステムのデバイス側に一体化することができる。いくつかの実施形態において、FODシステムは無線電力伝送システムのソース側およびデバイス側の両方に実装することができる。特定の実施形態において、FOD検出システムは識別アルゴリズムを有する複数のセンサおよびプロセッサを含むことができる。プロセッサは、ソース制御電子機器においてインターロックとして作用するインターフェースと接続させることができる。その他のFOD検出器システムは追加のインターフェースまたは外部のインターフェースを通して充電器システムに接続させることができる。各モジュールにおける局所I/O（入力/出力）は、FOD検出を利用する無線電力システムにおいて、システムレベルマネジメントおよび制御機能のためにインターフェースを提供することができる。

【0176】

高出力（3.3kW以上）の車両充電システムにおけるソース共振器は、巻線および任意選択で任意の磁性体の境界近くにその最大の磁場密度を有する。高磁場領域において、長方形のローブを有する複数の二重8の字コイルを含むセンサアレイは、金属FODの不注意な加熱から保護することができる。このアレイはPCB上に製作することができ、一体化されたフィルタリングと基板に含まれる信号調整器を有することができる。同じ設計の第2PCBを第1PCBの少し上または下に配置して、図4Bに示すように横に移動させることができる。あるいは、1つの基板にアレイの上下（またはそれ以上）の組を含む多層PCBを使用してもよい。上述のようなアルゴリズムは、その出力をシステムコントローラに伝送することのできる搭載プロセッサで 사용할ことができる。システムコントローラは金属FOD検出器の出力を、測定温度プロファイルまたは誘電が変化するような追加のFOD検出器の出力と比較することができる。そしてシステムはFODが検出された場合、システムの出力を下げるかまたは遮断するかを決定することができる。

【0177】

FOD検出システムのいくつかの起こり得る動作モードは下記の通りである：

- ・充電ステーションの健全性およびステータスチェックを行うため、および車両がソース上を走る前にFODをチェックするために、車両が非存在下で低電力の診断テストを行う。
- ・車両が到着してソースモジュール上に配置されたが、高出力充電前に、FOD検出器はソースおよび/またはソースの周りの領域にFODのまだ存在しないことを検証する。
- ・車両が到着してソースモジュールに配置されたが、高出力充電前に、FOD検出器はデバイスにFODがないことを検証する。
- ・高出力充電中、1つまたは複数のFOD検出器は、さらなるFODが共振器コイル上または共振器コイルの近傍にきていないことを検証する。

【0178】

低出力診断中にFODが検出されると、通信信号を車両、充電ステーション、中央処理装置などに設定して、FODが特定のソース位置に存在することを示すことができる。い

10

20

30

40

50

いくつかの実施形態において、FODセンサは通信設備を含むことができる。通信は帯域内および/もしくは帯域外で、電気自動車通信システムの一部であってもよく、または別個のネットワークであってもよい。特定の実施形態において、ソースはユーザまたはドライバに、車両またはその近傍にFODがあることを知らせてもよい。いくつかの実施形態において、ソースはユーザにFODの存在を警告するために、視覚的インジケータ、聴覚的インジケータ、物理的インジケータまたは無線インジケータなどを備えてもよい。特定の実施形態において、共振器はそれ自身および/またはその近傍からFODを除去する機構を含み、FODが検出された場合にこのような機構を起動させてもよい。いくつかの実施形態において、ユーザは共振器からFODを除去する装置を有してもよく、このような装置をソース共振器および/またはデバイス共振器および/またはリピータ共振器などのシステム共振器からFODを取り除くために使用してもよい。

10

【0179】

特定の実施形態において、FODを除去するために設計された装置は、金属、導体および/または磁性体などの特定のFODを引き付けるために使用する磁石を備えていてもよい。いくつかの実施形態において、FODを除去するために設計された装置は、FODを除去するために使用することのできるブラシ、ほうき、雑巾(swiffers)、ぼろきれ、モップ、拭き掃除用具などを備えていてもよい。特定の実施形態において、FODを除去するために構成された装置は、FODを除去するために使用することのできる真空、吸着カップ、ピンセット、ペンチ、粘着ローラ、送風機、扇風機などを備えていてもよい。

20

【0180】

(センサデータの処理)

実施形態において、アレイにおける複数のFODセンサからの読み取り値を別々に処理し、ベースラインまたは別のセンサ、センサアレイ、基準読み取り値、記憶された読み取り値、検索値などからの予想されたおよび/または測定された読み取り値と比較してもよい。他の実施形態において、複数のセンサからの読み取り値を使用し、一緒に分析してセンサアレイ全体の挙動の分析および比較を行ってもよい。複数のセンサからの読み取り値を同時に処理および分析することは、感度、FOD識別などの向上へとつながる。本開示において、処理と分析は同時に行うことができると理解されたい。複数のセンサ読み取り値を一緒に処理することにより、データのより高次元化のため、より多くの情報を提供することができる。複数のセンサからのデータの収集および処理は、隣接するセンサの相互関係、完全なセンサシステムの傾向および違いなどの効果、ならびにセンサが別々に分析されていればキャプチャすることができないであろうその他の効果をキャプチャすることができる。複数のセンサからのデータ処理におけるいくつかの課題として、データを効率的に処理して、データからの情報が処理中に失われないことを確認することがある。多次元のデータセットは、FODセンサ内の小さな変化を検出する能力を維持しながらデータを継続して検出する中で、記憶、分析するのは困難だろう。

30

【0181】

いくつかの実施形態において、複数のセンサからの読み取り値を一緒に処理、分析して、異常なシステム状態またはFODの存在の識別または警告として使用することのできる、1つまたは複数の数値を計算することができる。データ処理の方法において、システムの読み取り値を比較するためのベースライン値として使用することのできる、複数のセンサからの1つまたは複数の相関、共分散、および平均行列を計算してもよい。ベースラインが一旦確立されると、センサからの読み取り値を効率的な行列動作計算値を使ってベースラインと比較して、新しい読み取り値がベースライン読み取り値に匹敵する可能性または尤度を生成することができる。これらの例示的ステップの詳細を以下に示す。

40

【0182】

(i) センサベースラインの計算

いくつかの実施形態において、FODの存在しないベースラインを決定するために、センサアレイ内の少なくとも2つのセンサからの読み取り値を使用して平均および共分散行列を計算することができる。平均および共分散行列はFOD検出システム動作中に測定デ

50

ータとの比較として使用してもよい。

【 0 1 8 3 】

j 個のセンサを有する F O D システムの例示的实施形態において、各センサ i からの略正弦波信号の振幅 r_i および位相 θ_i は、各センサからキャプチャすることができる。位相 θ_i は基準値または信号によって定めることができる。ユーザは基準値または信号を決定することができる。いくつかの実施形態において、基準信号は基準クロック回路から生成することができる。F O D センサによって生成された信号が略正弦波でないいくつかの実施形態において、信号処理は、信号の基本成分を実質的に隔離して検出するために行うことができる。F O D センサによって生成される信号が略正弦波でない特定の実施形態において、信号処理は信号の少なくとも 1 つの高調波成分を実質的に隔離して検出するために行うことができる。いくつかの実施形態において、センサ信号の基本成分および高調波成分の任意の組み合わせは、F O D 検出スキームで測定して利用することができる。位相 θ_i は全センサの 1 つまたは複数の基準信号に関して計算することができる。j 個のセンサに関して、各センサの r_i , θ_i は 2 j 個のデータポイントを提供する。 r_i , θ_i データは下記に示す数式 1 (数 1) によるアレイフォーム x で表すことができる。

【 0 1 8 4 】

【 数 1 】

$$x = \begin{bmatrix} r_1 \\ \theta_1 \\ \vdots \\ r_j \\ \theta_j \end{bmatrix}$$

(1)

【 0 1 8 5 】

いくつかの実施形態において、比較のための基準信号は 2 つ以上あってもよい。複数の基準信号は F O D 検出システムの複数の基準コイルを介して生成することができる。いくつかの実施形態において、基準コイルの配置は無線電力伝送システムの磁場に依存する。例えば、放射状で無線電力伝送システムの共振器コイルの平面に垂直な磁場の場合、基準コイルはその磁場が基準コイル毎に均一になるよう、円形に配置することができる。別の例において、無線電力伝送システムの共振器コイルの平面に平行な磁場の場合、基準コイルは図 1 2 に示すように行または列に配置してもよい。基準コイルからの基準信号または一組の基準信号は、相互に、または F O D センサからの信号などと比較してもよい。基準信号または一組の基準信号は、検出された F O D の場所、サイズ、種類および / または材料に基づいて利用してもよい。

【 0 1 8 6 】

特定の実施形態において、少なくとも 1 つのセンサからの振幅および位相の読み取りは、関数、回路、計算などによって処理および / または修正し、処理データはアレイで表示することができる。いくつかの実施形態において、測定データを処理するために種々の関数を用いることができる。特定の実施形態において、元のセンサデータの処理および / または修正に使用される関数は、データの次元を下げてはならない。例えば、ある関数を各読み取り値の位相の正弦と余弦をとるために使用する場合、下記に示す数式 (2) を使うと下記のアレイ x となる。

【 0 1 8 7 】

【 数 2 】

$$x = \begin{bmatrix} r_1 \cos \theta_1 \\ r_1 \sin \theta_1 \\ \vdots \\ r_j \cos \theta_j \\ r_j \sin \theta_j \end{bmatrix}$$

(2)

【 0 1 8 8 】

いくつかの実施形態において、 x の各データ列は、

$$\sqrt{\sum_{i=1}^J r_i^2}$$

値などの規格化因子によって任意選択で規格化してもよい。

【 0 1 8 9 】

例示的实施形態において、FODの存在しないベースライン平均および共分散行列を確立するために、システムは複数の組のセンサ読み取り値、例えば p 組を獲得して、システムの種々の動作点（電力伝送レベル、ソースおよびデバイスモジュールの相対位置など）の複数のデータ行列 x を生成する。センサの複数の読み取り値は、好適には、システムおよびセンサ読み取り値の有益、共通、特定の、そして予想される動作範囲を表すものである。 p 組のデータ（任意選択で正規化された）平均 μ および共分散 を使い、下記に示す数式（3）および（4）に従って行列を計算することができる：

10

【 0 1 9 0 】

【 数 3 】

$$\mu = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p x_i$$

(3)

【 0 1 9 1 】

【 数 4 】

$$\sigma = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p (x_i - \mu)(x_i - \mu)^T$$

(4)

20

【 0 1 9 2 】

本例示的实施形態において、共分散行列 は $2j \times 2j$ の行列とすることができる。平均および共分散行列は通常動作中のセンサ読み取り値との比較のためのベースラインとして、システムによって保存することができる。平均および共分散行列は動作中のFOD尤度を計算するために使用することができる。

【 0 1 9 3 】

(i i) FOD尤度の計算

30

例示的实施形態において、通常動作中、システムはFODセンサからの読み取り値を収集し、これらの読み取り値を平均および共分散行列の較正ベースラインと比較してFODが存在するか否かを決定する。比較は、1つまたは複数の簡単に分析または比較可能な数または尤度を生成する関数に基づいて行ってもよい。一実施形態において、 x が j 個のFODセンサからの $2j$ 個のデータポイントのアレイである場合、尤度 y は下記に示す数式（5）に従って計算することができる。

【 0 1 9 4 】

【 数 5 】

$$y = (x - \mu)^T \sigma^{-1} (x - \mu)$$

(5)

40

【 0 1 9 5 】

尤度 は下記に示す数式（5.5）に従って計算することができる。

【 0 1 9 6 】

【 数 6 】

$$\Psi = (2\pi)^{-\frac{p}{2}} |\sigma|^{-\frac{1}{2}} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu)^T \sigma^{-1} (x-\mu)}$$

(5.5)

【 0 1 9 7 】

実施形態において、記憶された共分散行列 の逆数を予め計算してもよい。尤度 y はFODのインジケータとして使用してもよい。実施形態において、その上下でセンサ読み取

50

りが F O D の存在などのシステムの異常な状態を検出するものと思われる y の値に閾値を割り当ててもよい。

【 0 1 9 8 】

本例示的处理技術および方法において、ベースラインまたは較正読み取りを記憶するための比較的小さなデータ記憶要件で、システムの異常な状態の尤度を決定するために、複数のセンサ読み取りの挙動を共に効率的に使用することができる。

【 0 1 9 9 】

例示的实施形態において、1つの無線ソース共振器と1つの無線デバイス共振器とを備えるシステムには、F O D 検出システムがある。F O D 検出システムは、ソース共振器とデバイス共振器の間に位置する 7×7 アレイの 8 の字センサ（全体で 49 センサ）を含んでいる。8 の字センサはソース共振器の磁場に位置する。ソース共振器が振動磁場を発生させると、磁場は 49 の F O D センサで小さな振動電圧を生成する。F O D センサ内の電圧はセンサの周りの磁場分布に依存するので、システムの動作中、磁場グラジオメータとして機能することができる。

【 0 2 0 0 】

無線エネルギー伝送システムの通常の動作中、F O D センサからの信号または F O D センサの読み取り値は、温度変化、オフセットの変化、出力レベル、他の共振器の存在などによる磁場分布の変化によって変化またはドリフトする。センサの読み取り値は、F O D が存在しなくても、無線エネルギー伝送システムの通常の動作中に変化またはドリフトする。システムはセンサ読み取りのベースライン範囲または通常のセンサ読み取り値の範囲を決定するために、較正ステップが必要となる。ベースラインの読み取り値は、システムの動作中（システム待機、起動、電力伝達、維持など）における F O D センサ読み取り値を、F O D の検出、または F O D センサ読み取り値をベースラインから異ならせる異常なシステム状態と比較するために使用することができる。

【 0 2 0 1 】

例示的システムにおいて、ベースラインは較正手順中に確立することができる。ベースラインは1つまたは複数のシステム F O D センサ読み取り値に基づいて計算された平均および共分散行列を含むことができる。ベースラインを決定するために、システムは1つまたは複数のシステム状態（98 データポイント）のセンサ読み取り値の振幅および位相をキャプチャすることができる。各状態のセンサ読み取り値は上述のような平均および共分散行列を計算するために使用することができる。

【 0 2 0 2 】

先述の様に、p 測定は較正のために行うものとする。センサデータの各測定は 98 の値を含む。センサデータ x_i の各測定は、従って、下記に示す数式（6）により、サイズ 98 の列行列として表すことができる。

【 0 2 0 3 】

【 数 7 】

$$x_i = \begin{bmatrix} r_1 \cos \theta_1 \\ r_1 \sin \theta_1 \\ \vdots \\ r_{49} \cos \theta_{49} \\ r_{49} \sin \theta_{49} \end{bmatrix}$$

（ 6 ）

【 0 2 0 4 】

センサデータの p 測定は、好適には、F O D の検出され得るシステムの動作点の範囲において生成されるデータを表すことができる。（任意選択で正規化された）データの p 測定により、平均 μ および共分散行列を、下記に示す数式（7）および（8）に従って計算することができる。

【 0 2 0 5 】

【数 8】

$$\mu = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p x_i$$

(7)

【0206】

【数 9】

$$\sigma = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p (x_i - \mu)(x_i - \mu)^T$$

(8)

【0207】

10

システムが較正され、平均および共分散行列が保存されて計算されると、システムはシステムの動作中、FODセンサの測定値を定期的または継続的にとる。FODシステムにおける各センサからの各組の読み取り値に対して、システムは下記に示す数式(9)に従って、システムの近くに存在するFODの関数 y に基づき、尤度を計算する。

【0208】

【数 10】

$$y = (x - \mu)^T \sigma^{-1} (x - \mu)$$

(9)

【0209】

確率 は下記に示す数式(9.5)に従って計算することができる。

20

【0210】

【数 11】

$$\Psi = (2\pi)^{-\frac{p}{2}} |\sigma|^{-\frac{1}{2}} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu)^T \sigma^{-1} (x-\mu)}$$

(9.5)

【0211】

尤度 y および確率 はFOD尤度の決定に使用することができる。最大尤度 y は の最小値に相当する。

【0212】

y の入力、計算、測定または所定の閾値に基づき、システムは計算された値を、閾値以上であればFODが存在することを意味すると分類して、システムの他の部分を使ってFODのリスクを低減または調査する。

30

【0213】

FOD検出システムのいくつかの実施形態において、各センサからの読み取り値には共分散行列および尤度関数の計算において等しい重要性または同等のウェイトを与えることができる。特定の実施形態において、センサには同等でないウェイトまたは重要性を与えることができる。いくつかの実施形態において、多くのセンサのうちの特定のセンサからの読み取り値は、センサのより大きな感度や位置などのため、より重要である。例えば、センサ(すなわちコイル、ループ、8の字ループ)の中には磁場の高い領域に置かれるものもあれば、磁場の低い領域に置かれるものもある。また、本開示に記載される種々のセンサは磁場の高い領域に置かれ、他のセンサは磁場の低い領域に置かれると理解されたい。いくつかの実施形態において、高磁場にあるセンサによって検出された変化は、システムの他のセンサによって検出された変化よりもより重要といえる。平均および共分散行列の計算において、このようなセンサにはより大きな重要性を与え、それらの読み取りにより大きなウェイトを与えることができる。

40

【0214】

いくつかの実施形態において、高磁場または「熱い」領域にある共振器のFODセンサは、低磁場または「冷たい」領域にあるセンサよりも小さく、および/またはより密集させて設計してもよい。「熱い」領域から「冷たい」領域への移行が存在する領域も、より小さなセンサループを配置して、センサループ領域に亘る磁場の不均一性の影響を最小限

50

にすることができる。特定の実施形態において、FODセンサの特定の領域は、等しくないサイズおよび/または形状のローブを有するコイル、ループ、グラジオメータ、8の字センサなどを含んでもよい。このような非対称センサは、高感度、低ノイズおよび/または低温度感度性能を提供するように構成してもよい。いくつかの実施形態において、センサアレイは、アレイにおける少なくとも1つの他のセンサと異なるサイズおよび/または形状および/またはシンメトリ、および/または種類、および/または相対位置、および/または相対配向、および/または導体材料を持つ少なくとも1つのセンサを含むことができる。

【0215】

特定の実施形態において、システムは複数のベースラインおよび/または共分散行列を有することができる。例えば、システムはシステムの1つまたは複数の特定の状態、位置、温度、湿度、出力レベルなどのベースラインおよび/または共分散行列を有することができる。限定された、または特定のベースラインのために決定または計算された共分散行列がシステムの完璧な動作範囲を表さないいくつかの実施形態において、システムは、当該システムが、ベースラインが決定または計算された特定の状態、位置、出力レベル、および/または状態、位置、出力レベルの範囲などにある場合のみ、FOD検出システムを起動するように構成することができる。

10

【0216】

例えば、FOD検出システムは、特定の出力伝送レベル(例えば3kW)でのセンサ読み取り値のベースラインで較正された可能性がある。FOD検出システムはセンサ読み取りの特定の出力伝送レベル、0.5kW(例えば、1kW, 2kW, 3kW, 4kW, 5kW, 6kW, 8kW, 10kW, 15kW, 20kW, 50kW)のベースラインで較正されている可能性があると理解されたい。FOD検出システムは、システムがベースラインのとられた状態で動作しているか否かを決定するために、システムの他のセンサまたは部品からの情報を使用することができる。例えば、FOD検出システムはソース共振器増幅器制御回路から情報を受け取り、出力伝送レベルが3kW、またはこれに近い否かを決定することができる。FOD検出システムが他のサブシステムまたはセンサからシステムの状態を確認すると、FOD検出センサは、測定、保存されたベースライン読み取り値と比較してFODの存在を決定することができる。一例示的实施形態において、FOD検出システムは、出力レベル、位置、システム状態、温度、湿度などの検出能力を含むこ

20

30

【0217】

特定の実施形態において、ベースラインおよび/または較正は、システムの通常の、および/または容認可能な動作を表すセンサ読み取り値のために計算することができる。いくつかの実施形態において、ベースラインを計算するために使用されるセンサ読み取り値は、無線エネルギー伝送システムにFODのない動作、または誤りのない動作のためのものであってもよい。ベースラインの較正において使用されるセンサ読み取り値は、無線エネルギー伝送システムの許容可能な動作状態の部分的または完全な範囲、およびFOD検出システムからの許容可能な読み取り値の部分的または完全な範囲を表すことができる。

40

【0218】

一般に、無線電力伝送システムの種々の異なる動作状態は、ベースラインおよび/または較正情報で表すことができる。いくつかの実施形態において、例えば、システムの電源と受電装置の間の異なるエネルギー伝送速度に対応する複数の異なる動作状態に対するベースライン情報を提供(例えば、検索または測定)することができる。特定の実施形態において、システムの電源と受電装置の間の異なる整合に対応する複数の異なる動作状態に

50

対してベースライン情報を提供することができる。いくつかの実施形態において、電源の共振器によって画定された平面に直交する方向に沿って測定された、システムの電源と受電装置の間の異なる間隔に対応する複数の異なる動作状態に対して、ベースライン情報を提供することができる。

【0219】

特定の実施形態において、ベースラインの計算または校正に使用されるセンサ読み取り値は、容認不可のシステム挙動または状態を表すものであってもよい。いくつかの実施形態において、ベースラインの計算または校正に使用されるセンサ読み取り値は、システムの近くにFODが存在する読み取り値のためのものであってもよい。ベースラインの計算のために使用されるセンサ読み取り値は、システムの動作範囲を超える共振器のオフセットのためのものであってもよい。これらの異常または望ましくないシステム状態は、それら独自の平均および共分散行列の確立に使用してもよい。通常動作中のセンサ読み取り値は尤度 y を計算することによってこれらの読み取り値と比較し、これらの読み取り値が校正に使用される読み取り値と一致する尤度を決定してもよい。尤度が高い場合、システムはFODが存在すると決定し、検出イベントに対するシステム応答を開始してもよい。

10

【0220】

いくつかの実施形態において、少なくとも1つのFOD検出器システムを有する無線電力伝送システムは、システムの通常の、または許容可能な動作のベースラインを計算または決定するためにセンサ読み取り値を使用することができ、システムの望ましくないまたは許容できない動作または状態のための別のベースラインを計算または決定するためにセンサ読み取り値を使用することができる。いくつかの実施形態において、システムは1つまたは複数の記憶された平均および共分散行列を有する2つ以上の記憶されたベースラインを有することができる。特定の実施形態において、1つまたは複数の平均および共分散行列は、通常の予想されるおよび/または許容可能なシステム状態および/または挙動のセンサ読み取り値を表すことができ、1つまたは複数の平均および共分散行列は、異常な、許容できないおよび/または範囲外のシステム状態および/または挙動のセンサ読み取り値を表すことができる。いくつかの実施形態において、無線エネルギー伝送システムの動作中、FOD検出システムはFOD検出センサからの読み取り値をとり、これらを許容可能/許容不可能なベースラインと比較する。システムは許容可能または許容不可能なベースラインと比較する際に、FODセンサ読み取り値がより高い尤度 y を有するか否かの決定を助けるために、追加処理を行うことができる。

20

30

【0221】

いくつかの実施形態において、ベースラインの校正および計算中、システムを、状態や動作環境の範囲に亘り、共分散行列や尤度関数の計算において各状態や環境に等しい重要性または等しいウエイトを与えるように訓練(train)する、または校正することができる。例えば、状態や動作環境には、ソースとデバイス間の距離、出力レベル、無線電力伝達で使用される周波数、湿度範囲、温度範囲、高度レベルなどがある。特定の実施形態において、いくつかの特定のシステム状態または環境条件には、ベースラインの計算においてより高い重要性やウエイトを与えることができる。いくつかの実施形態において、特定のシステム状態はシステムの通常動作中、より重要となる、またはより起こる可能性が高い。例えば、合衆国の南部で使用するシステムは合衆国の北部で使用するシステムよりも高い温度範囲で校正が行われる可能性がある。

40

【0222】

特定の実施形態において、より起こる可能性の高いシステム状態にはベースラインの計算においてより高いウエイトを与えることができる。例えば、ベースラインの計算中、通常動作においてより有益な可能性のある状態から、より多くのデータポイント(より多くの p 測定)を収集することができる。いくつかの実施形態において、ベースラインを確立するための好適な方法は、各状態に対して収集されたサンプル数が動作中におけるその状態の存在する可能性に直接比例するようにベースラインサンプルを収集させるステップを含んでもよい。特定の実施形態において、好適な方法は、通常の動作中に存在する状態の

50

可能性に比例する各状態にウェイトを割り当ててもよい。

【0223】

例として、ベースライン (x_1, x_2, \dots, x_p) に p 測定が含まれる場合、それらにはそれぞれウェイト (w_1, w_2, \dots, w_p) を加重してもよい。そしてこの方法を使って組み立てられた平均および共分散行列は、下記に示す数式 (10) および (11) に従って計算することができる。

【0224】

【数12】

$$\mu = \frac{1}{\sum_{i=1}^p w_i} \sum_{i=1}^p w_i x_i$$

10

(10)

【0225】

【数13】

$$\sigma = \frac{1}{\sum_{i=1}^p w_i} \sum_{i=1}^p w_i (x_i - \mu)(x_i - \mu)^T$$

(11)

【0226】

(iii) 同期化

いくつかの実施形態において、FODシステムは振動磁場によって誘起される電圧および/または電流を拾う少なくとも1つの導電コイルを含むことができる。特定の実施形態において、振動電圧/電流信号は、磁場の周波数、磁場の振幅、磁場の位相などの量を決定するために使用することができる。これらの信号はFODシステムによって使用されるクロックリカバリや位相ロックループに使用することができるので、基準信号と称してもよい。いくつかの実施形態において、基準信号は、個々のセンサからの位相情報を基準位相に対して定めることができるように、位相基準の設定にも使用することができる。特定の実施形態において、無線電力伝送に使用される磁場を検出するために使用されるコイルを「基準コイル」と称することができる。

20

【0227】

いくつかの実施形態において、基準コイルは任意の形状および/または大きさとすることができ、FODセンサと同様の導体または異なる導体から製作することができる。プリント基板に一体化されたセンサを含むFODシステムの例示的实施形態において、基準コイルはプリント基板トレース、ワイヤトレース、リッツワイヤトレース、導電リボンなどを使って形成することができる。基準コイルはFODセンサの一部を覆ってもよい、またはFODセンサのローブ内に固定してもよい。

30

【0228】

特定の実施形態において、FODシステムは2つ以上の基準コイルを含んでもよい。いくつかの実施形態において、FODシステムの動作には、どの基準コイルまたは基準コイルの組み合わせを異なる動作モードで使用することができるのかを決定する方法を含むことができる。特定の実施形態において、基準コイル信号の信号処理は、1つの基準信号が特定のアプリケーションの他の信号よりも良いか、または複数の基準信号の方が良いかを決定するために使用することができる。信号雑音比、調和性、サンプリング感度などのパラメータを測定、計算、比較などして、どの基準コイル信号をFODシステムで使用することができるのかを決定することができる。

40

【0229】

先述の様に、各FODセンサの出力は正弦波によって近似させることができる。FODの存在は、FODが存在しない場合と比較して、センサ信号の強度および位相に影響を与えることがある。信号の位相の変化をチェックするために、基準信号を測定し、センサ信号と基準信号との位相差を使ってセンサ信号の位相の変化を検出することができる。基準信号は磁場に置かれているワイヤループの電圧を測定することによって生成することができる。FODの非存在下では、センサ信号と基準信号の間の位相差は変化しない。

50

【0230】

よって基準信号に対するセンサ信号の位相差をFODの検出に使用することができる。

【0231】

(iv) 直交サンプリング

直交サンプリングは基準信号に対する測定正弦波信号の振幅および相対位相を計算するために使用することができる。FOD検出の場合、基準信号に対する測定信号の振幅および相対位相は、FODが存在するまたはしない場合の測定信号の分類のためのパラメータとして使用することができる。サンプルされた信号が完全な正弦波でない場合、基準信号に対する直交サンプリングのトリガ信号の相対位相は、基準信号に対する測定信号の振幅および相対位相の計算に影響を与えることがある。このことは、FODがない場合、信号振幅および相対位相の計算値に大きな差を生じさせ、センサの感度を下げる。この問題に対する1つの解決策として、直交サンプリングのトリガ信号と基準信号の相対位相が実質的に変わらないことを確実にすることがある。例えば、相対位相をその平均値の10%以内(例えば5%以内、3%以内、1%以内)に維持する。相対位相は、サンプリング信号と基準信号の相対位相が実質的に変化しないことを確実にするため、および/またはサンプリングトリガ信号と基準信号との相対位置を能動的に測定および制御するために、基準信号を使って直交サンプリングのトリガ信号を生成することによって維持することができる。

10

【0232】

基準信号はセンサ信号と同様に、アナログフィルタおよび増幅器を使って処理される。しかしながら、基準信号のゲインはセンサ信号増幅器のゲインとは異なるものを選択することができる。

20

【0233】

(FODセンサの校正)

いくつかの実施形態において、FODシステムおよびセンサは校正手順を有することができる。この手順はシステムに動作の通常の限界を「学習する」または「訓練する」、または適切なベースラインデータ(例えば平均および相関行列)を計算するために使用することができる。適切なベースラインデータとは、無線電力伝送システムの尤度 y 、不整合、温度、湿度などのパラメータのことを指すが、これらに限定されないと理解されたい。校正手順には、上述の平均および相関行列を決定するための、システムの p 状態におけるセンサデータ(x)の収集が含まれてもよい。校正手順は、FODのない場合のセンサ読み取りの限界または範囲を提供することができる。実施形態において、センサ読み取り値は共振器の移動、共振器の異なるオフセット、温度変化、距離変化または共振器の種類、車両の変化などによって変化または変動する。システムはセンサ読み取り値のどの変化が通常の動作範囲で、どの変化が共振器の近くの異物によるものかを認識する必要がある。いくつかの実施形態において、システムはセンサ読み取り値の範囲および特性と、システムの通常動作内および動作の通常限界内と思われる変化とを識別するための校正または学習位相を必要とする。校正動作は「通常」または「FODなし」の読み取り値と分類される、センサ読み取り値のベースラインまたはベースライン範囲を提供することができる。通常の読み取り値範囲外のセンサ読み取り値は、警報信号および/またはFOD検出または軽減(mitigation)手順をトリガするために使用することができる。

30

40

【0234】

特定の実施形態において、システムは製造中、通常の使用期間中または使用する度に校正することができる。校正の種類、校正時間、複雑性、読み取り数などはシステムの使用シナリオ、所望感度または性能、システムのコストなどによって異なる。いくつかの実施形態において、FOD検出システムは2つ以上の校正方法を利用することができる。システムは1つの校正方法によって校正してもよいし、使用中または種々の環境および/または展開シナリオに応じて別の校正方法を用いてもよい。

【0235】

いくつかの実施形態において、FOD検出システムは製造中またはシステムの展開前に

50

、通常範囲またはセンサ読み取り値の「FODなし」の範囲に較正することができる。特定の実施形態において、システムは、オフセット、高さ、共振器、共振器の種類、出力レベル、配向、車両、温度、地面、気候条件などの範囲に亘って較正または「訓練」することができる。学習または較正段階は、予想される使用のシナリオの通常または予想される範囲に亘って異物のない場合にセンサ読み取り値を提供するように構成することができる。較正は、センサ読み取り値をとりながら、新しいシナリオ、オフセット、位置、環境変化などを徐々に提供する制御された環境で行うことができる。センサ読み取り値は位置や環境条件が変化するに従って継続的に取ることができ、位置や環境条件が大幅に変化する場合には周期的に取ることができる。

【0236】

例えば、較正手順中、FOD検出システムは、オフセットの変化または共振器の不整合によるセンサ読み取り値の変化に対して較正することができる。較正手順中、共振器には相互のオフセット、または相互の位置ずらしを行うことができる。共振器が相互にオフセットしている間、おそらくたとえ電力伝送中であってもセンサ読み取り値をモニタし、連続して処理することができる。いくつかの実施形態において、FOD検出システムを、状態や環境の変化に適応させるよう、適応技術を使って較正してもよい。特定の実施形態において、センサ読み取り値を、較正中、例えば5mm、10mm以上のオフセット毎など、別々のオフセットで較正してもよい。いくつかの実施形態において、センサ読み取り値を、測定位置毎または特定の測定位置における複数の出力レベルまたは連続して変化する出力レベルにおいて較正してもよい。特定の実施形態において、平均および共分散行列の決定および/または計算に使用する測定pを行うために、複数のシステム性能パラメータの設定、変更、スweepなどを行ってもよい。

【0237】

いくつかの実施形態において、システムの共分散行列は、システムパラメータ、測定、読み取り値などの予想値がゼロの場合、相関行列と同等である。本開示において、「共分散」および「相関」行列という用語はほとんど同じ意味で用いられる。

【0238】

特定の実施形態において、較正手順中、センサ読み取り値をモニタするが、センサから読み取り値が大きく変化した場合のみ処理または保存を行ってもよい。種々のオフセットの較正中、例えば、オフセットを変更してセンサ読み取り値をモニタしてもよい。センサ読み取り値は、すでに取りられて保存された較正データの所定の閾値から読み取り値が逸脱している場合のみ、処理、保存または較正データに追加してもよい。処理データは、所定の閾値分変化した場合のみ、十分に正確な較正のために必要な読み取り数および保存点を低減させてもよい。

【0239】

適応技術を使ってオフセットの範囲に亘る較正を行う例に戻るが、無線電力システムの動作パラメータは、すでに保存されているセンサの較正データからセンサ読み取り値が異なるようになるまで変更してもよい。保存されたデータと読み取り値が著しく異なるまたは所定の閾値だけ異なる場合、センサ読み取り値を処理し、通常動作中の「FODなし」の場合におけるセンサ読み取り値の較正データに追加することができる。この点において、センサデータは一貫性のない間隔で処理することができる。例えば、較正データは、左右方向の5mm、20mm、22mmおよび24mmの共振器のオフセットにおいて、これらの場所でのセンサ読み取り値と保存された較正データとの違いに応じてとることができる。別の無線電力システムにおける別の較正手順には、10mmと25mmで行われる測定を含むことができる。較正手順は高度にカスタマイズして、較正速度、精度、均一性または任意のシステム変数、パラメータ、仕様などに対して最適化することができる。いくつかの実施形態において、FODセンサの較正手順には、無線電力システムが少なくとも1つの動作モードである場合の、少なくとも1つのFODセンサの少なくとも1つの測定が含まれる。特定の実施形態において、FOD較正には無線電力システムが少なくとも2つの動作モードである場合の、少なくとも2つのFODセンサの2つ以上の測定の使用

が含まれる。

【 0 2 4 0 】

いくつかの実施形態において、システムに記憶される校正データは、各校正点に対するシステムの状態として保存することができる。保存された校正データは通常動作中のシステムの状態を決定するために使うことができる。例えば、各共振器のオフセット位置に対して、校正データは共振器オフセット位置の情報と共に保存することができる。システムの通常動作中、センサが特定の校正点と同様の読み取り値を生成すると、校正は、共振器のオフセットまたはシステムの状態のその他のパラメータを決定するため、システムによって使用されることができる。いくつかの実施形態において、校正された F O D システムを無線電力伝送システムの位置センサとして使用してもよい。例示的無線電力伝送システムの実施形態において、「 n 」個の状態があるが、この意味合い (tone) はセンサデータに基づいて区別されることが望ましい。例えば、「 n 」個の状態は相対的な共振器の位置であってもよい。また、「 n 」個の状態の 1 つに (0 , 0 , 1 0) があり、これは共振器コイルの中心が $x - y$ 平面に整列され、共振器コイルが 1 0 c m 離れている相対位置を表している (従来の (x , y , z) において、 z は $x - y$ 平面に垂直な次元である)。別の「 n 」個の状態は (- 5 , 1 0 , 1 5) であり、これは共振器コイルが x 方向に - 5 c m 、 y 方向に 1 0 c m 、そして z 方向に 1 5 c m オフセットしていることを表している。このような相対的な共振器の位置は無線電力伝送システムの通常の動作範囲内とすることができ、位置データをシステムによって使用して、インピーダンス整合ネットワークの調整、適切な出力レベルの決定、適切な駆動周波数の決定および / またはこれらの任意の組み合わせを含むが、これらに限定されないその動作の増進または変更を行うことができる。他の実施形態において、共振器の相対位置をシステムの範囲外と決定して、システム制御によって警告を発生し、電源投入を制限し、再位置決めアルゴリズムを開始するなどを行ってもよい。

【 0 2 4 1 】

一例示の実施形態において、校正データを特定のシステム動作位置、配向、出力レベル、周波数などに関連付けることができる。このような実施形態において、ベースラインの計算を動作状態 i 毎に確立、および / または記憶することができる。各状態 i は p 個のデータポイント (測定) を使って特徴付けることができ、($x_{(i, 1)}$, $x_{(i, 2)}$, \dots , $x_{(i, p)}$) と表すことができる。ここで、 i の範囲は 1 ~ n または 0 ~ $n - 1$ 、もしくはセットが n 個の状態値を含むような値の範囲以上である。これらの n の状態の各々に対して、各状態 i はそれ自身の平均および共分散行列を有し、これは下記に示す数式 (1 2) および (1 3) に従って計算することができる。

【 0 2 4 2 】

【 数 1 4 】

$$\mu_i = \frac{1}{p} \sum_{l=1}^p x_{(i,l)}$$

(1 2)

【 0 2 4 3 】

【 数 1 5 】

$$\sigma_i = \frac{1}{p} \sum_{l=1}^p (x_{(i,l)} - \mu_i)(x_{(i,l)} - \mu_i)^T$$

(1 3)

【 0 2 4 4 】

新しい測定を x とすると、システムの最も起こる可能性のある状態 (most likely state of the system) は、先述の、そして下記に示す数式 (1 4) の下記の行列積を計算することによって決定される。

【 0 2 4 5 】

【 数 1 6 】

$$y_i = (x - \mu_i)^T \sigma_i^{-1} (x - \mu_i)$$

10

20

30

40

50

(1 4)

【 0 2 4 6 】

確率 は下記の数式 (1 4 . 5) に従って計算することができる。

【 0 2 4 7 】

【 数 1 7 】

$$\Psi_i = (2\pi)^{\frac{p}{2}} |\sigma|^{\frac{1}{2}} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu)^T \sigma^{-1}(x-\mu)}$$

(1 4 . 5)

【 0 2 4 8 】

y の最大値を持つ状態は、システムの最も起こる可能性の高い状態である。y の最大値は μ_i の分布における μ_i の最小値に対応する。

10

【 0 2 4 9 】

F O D 検出システムの読み取り値によるシステムの状態に関する情報は、無線エネルギー伝送システムの他の部分によって使用することができる。共振器オフセット、共振器の分離などに関する情報は、ソースの出力およびインピーダンス、周波数などのその出力パラメータをシステムの状態に基づいて制御するために、無線エネルギーソース増幅器の出力および制御回路によって使用することができる。いくつかの実施形態において、他のセンサからの情報は、F O D 検出システムからのシステム状態予測を精緻化または補完するために使用することができる。温度センサ、誘導センサからの情報および共振器に関する出力および電圧の読み取り値などは、F O D 検出システムからのシステム状態の予測を補充または精緻化するために使用することができる。

20

【 0 2 5 0 】

特定の実施形態において、システム状態の情報は他のデバイスまたはシステムによって使用することができる。情報は、例えば、車両充電アプリケーションにおける駐車動作中に共振器の整合を誘導するため、車両によって使用することができる。

【 0 2 5 1 】

いくつかの実施形態において、コスト、システムで使用される部品の耐性、感度要件などに応じて、各システムは校正手順を必要とすることがある。特定の実施形態において、各 F O D 検出システムには無線エネルギー伝送共振器とこれが対をなすシステムとを使って、個々に校正手順が行われる。いくつかの実施形態において、各 F O D 検出システムには、少なくとも 1 つの特別の、または標準無線エネルギー伝送共振器およびシステムを使って、個々に校正手順が行われる。そして F O D 検出システムは、異なる 1 組の無線エネルギー伝送共振器と対にすることができる。

30

【 0 2 5 2 】

特定の実施形態において、F O D サブシステムの校正手順は、各種の無線エネルギー伝送システムまたは共振器の種類に対してのみ必要とされる。校正はテストシステムに対して 1 回行うことができ、1 つのシステムからの校正データは、各システムを再校正することなく、同一のまたは同様の全ての無線エネルギー伝送システムにおいて使用することができる。

【 0 2 5 3 】

いくつかの実施形態において、校正手順は無線エネルギー伝送システムの各々の異なる種類または共振器の種類に対してのみ必要とされる。特定のシステムの種類の F O D 検出センサからの読み取りが特徴付けられると、これらは他の類似するシステムのベースライン特性データとして使用することができ、システムのその他のコピーの校正手順が簡素化される。ベースシステム校正からロードされたベースライン校正データを使用すると、各々の連続するシステムコピーは、各システムに対する校正データの収集を完了するために、位置やシステム状態の特定のサブセットのみで校正すればよい。追加の校正手順は、部品のバリエーション、製造の不確実性などによってシステムの特性に小さな違いがある場合、各追加システムコピーに必要である。

40

【 0 2 5 4 】

50

特定の実施形態において、1つの特徴付けまたは較正からの情報を他のシステムで使うことができる。いくつかのシステムに関して、最も起こる可能性のある動作位置または状態である、1つのみの位置に電力をスweepすることによって、平均行列を計算することが可能である。共分散行列は、厳密に全てのデータポイントの平均でなくても、この平均値を使って計算することができる。

【0255】

m個の測定を動作の最も起こる可能性の高い状態でとるとすると、有効平均 μ_{eff} を数式15に従って計算することができる。

【0256】

【数18】

$$\mu_{eff} = \frac{1}{\sum_{l=1}^m w_l} \sum_{l=1}^m w_l x_l \quad (15)$$

10

【0257】

有効共分散は動作の全ての起こる可能性のある状態に亘るp個のデータポイントを測定することによって計算することができるが、数式(16)によるこの有効平均値を使って計算することができる。

【0258】

【数19】

$$\sigma_{eff} = \frac{1}{\sum_{l=1}^p w_l} \sum_{l=1}^p w_l (x_l - \mu_{eff})(x_l - \mu_{eff})^T$$

20

(16)

【0259】

この方法を使うと、新しいシステムを使用する場合、有効共分散はほぼ変わらず、較正には新しい有効平均値のみが必要となり、これはシステムの1つの状態のみに対して計算されるので、より早く測定することができる。

【0260】

展開前に較正されるシステムは、無線エネルギー伝送システムの使用および初期化の異なる段階においてFODを検出することができる。較正がデバイス共振器のない場合のセンサ読み取り値を含む実施形態において、システムはデバイス共振器の到着前にFODを検出することができる。例えば、車両充電アプリケーションにおいて、ソース共振器は車両の到着前にFODをチェックすることができる。いくつかの実施形態において、無線エネルギーソースは、車両到着前に電力をONにする、または立ち上げることができる。ソース共振器はFOD検出センサを励起して読み取り値を取得するために、全出力または全出力の一部まで出力を上げることができる。読み取り値はFODなしで動作および/または出力が上がるシステムの較正データと比較することができる。読み取り値が保存された較正データから逸脱している場合、FOD検出システムは、車両がソースに駐車する前、および/または無線電力の交換が部分的または全面的にONされる前に、ユーザにFODの可能性を警告するために使用することができる。

30

40

【0261】

車両なしでFODのチェックを行うことが所望される場合、無線電力システムソースは近接するデバイスコイルなしでソースコイルを励起させる必要がある。この場合、ソースはソースコイルを、通常の電力伝送中にデバイスの存在下で行う場合と同様に励起することができる、またはソースコイルを励起するために別のモードで動作することができる。例えば、デバイスコイルなくソースコイルによって提供されたインピーダンスは、ソース増幅器に通常動作を行わせない。この場合、増幅器およびFOD検出システムを動作させることができるようにソースコイルによって提供されたインピーダンスを修正するために、インピーダンス整合ネットワーク内に、回路にスイッチンさせることのできる1つまたは複数の素子を存在させることができる。FODチェックが完了すると、この1つまた

50

は複数の素子を回路からスイッチアウトさせて、車両が存在する場合に通常の電力伝送動作を行うことができる。

【0262】

配置前に較正されるシステムは、システムの起動時に無線エネルギー伝送共振器の近くにあるFODをすぐに検出することができる。例えば車両の駐車後、および無線エネルギー伝送がONされた後、FOD検出センサを励起して、保存された較正読み取り値と比較することのできる読み取り値を提供することができる。検出された読み取り値が保存された値と異なる場合、FOD検出システムはFODが存在する信号、警報、表示などを生成することができる。いくつかの実施形態において、無線電力伝送システムはFODが存在する場合としない場合とでは異なるように動作することができる。

10

【0263】

特定の実施形態において、FOD検出システムはシステムの配置中に較正することができる。いくつかの実施形態において、FOD検出システムはシステムがエネルギー伝送を開始する度に、および/またはシステムが任意のレベルで電力を伝送する際に、較正データを収集することができる。いくつかの実施形態において、システムはエネルギー伝送の開始中にシステム較正を行うことができる。特定の実施形態において、システムはシステムの起動時にFODがないことを確かめることができる。起動中にFODのないシステムの環境は、ユーザ、別のシステム、FOD除去デバイスなどによって確認することができる。最初の無線エネルギー伝送中、システムは最初のFODセンサ読み取り値をベースライン読み取り値として使用し、動作中の通常予想される一組の読み取り値を保存、比較、および/または較正することができる。特定の実施形態において、動作の最初の数秒または動作の最初の数分の間、FODセンサの1つまたは複数の読み取り値をとり、センサの基準またはベースラインの計算（すなわち、平均および共分散行列の計算）に使用することができる。センサの基準またはベースラインの計算も、無線電力伝送システムの尤度 y 、不整合、温度、湿度などを含むがこれらに限定されないパラメータの計算を指すと理解されたい。この較正段階中、システムは無線エネルギー伝送システムのパラメータをディザ、変更またはスweepして、動作中の可能性のあるセンサ読み取り値の範囲を提供してもよい。電力、位相、周波数などのパラメータは修正することができる。ベースラインが確立されると、システムを連続的または周期的にモニタして、システムの起動時における較正段階中に計算および測定されたベースライン読み取り値と比較されるFODセンサで通常に動作させることができる。ベースライン読み取り値からの十分な逸脱は、システム状態が変化してFODが存在することを示す信号に使用することができる。

20

30

【0264】

いくつかの実施形態において、システム起動中のFOD較正の使用において、較正はシステムが移動される、変更されるまたは起動される都度行うことができる。特定の実施形態において、共振器オフセット、距離、出力レベル、温度、環境などのシステム動作パラメータの変化は、FODの存在によるものではない、FODセンサ読み取り値の大きな違いとなる。従って、システムはFODシステムの寿命期間に亘ってそのベースライン行列に較正データを加え続けることができる。実施形態において、FODシステムはシステムのオン時および/または開始時および/または無線電力伝送中に自己較正することができる。いくつかの実施形態において、種々のアルゴリズムを使って磁場における較正データをキャプチャすることができる。例えば、FODシステムはシステムを起動する度に、または起動の一回おき、または n 回おきなどに較正データを収集してもよい。特定の実施形態において、システムは特定の動作温度、出力レベル、カップリング値などにおいて追加の較正データを収集することができる。いくつかの実施形態において、較正データの収集は適応性があり、時間の経過と共に変化する。例えば、温度範囲に亘って収集された較正データが十分であると考えられる場合、FODシステムは温度読み取り値に基づく較正データをそれ以上収集しない。温度を例として使用したが、共振器の種類、特定の間隔で置かれた共振器、特定の車両種に取り付けられた共振器、特定の出力レベルの共振器、特定の環境における共振器および/またはこれらの任意の組み合わせを含むが、これらに限定

40

50

されない任意のシステムパラメータを使用することができる。

【0265】

例えば車両充電アプリケーションにおいて、システムは車両がソースに駐車する毎にFODセンサ較正を行うことができる。較正中、車両が駐車すると、ソースは、FODセンサが測定され、ベースラインが計算、保存される間に、エネルギー伝送を開始してエネルギー伝送のパラメータを変調することができる。最初の較正中、共振器領域において、手動でまたは自動的にFODの除去、またはFODのチェックが行われ、計算されたベースラインがシステムの通常(FODがない、または低FODまたは危険でないFODなど)動作中のセンサ読み取り値を確実にキャプチャするようにする。いくつかの実施形態において、車両が駐車して充電される毎に、システムはその最初の起動中に再較正することができる。車両を駐車する毎に車両の位置、種類、高さなどが異なるため、以前にキャプチャされたFODセンサ較正データは、システムの現在の状態における通常のまたは予想されるFODセンサ読み取りを表さなくなる。特定の実施形態において、前のベースラインは再較正によって変えることができる。いくつかの実施形態において、前のベースラインを捨てる、上書きする、移動する、無視するなどして、再較正したベースラインを使用することができる。特定の実施形態において、最近、過去および記憶された較正データのいくつかの組み合わせをFOD検出アルゴリズムでを使用することができる。いくつかの実施形態において、FOD検出システムはユーザが時間をかけて較正することができる、および/またはシステムは、通常の、そしてFODのないセンサ読み取りを決定もしくは学習する自己学習もしくはマシン学習方法を含むことができる。

10

20

【0266】

別の例示的实施形態において、FODセンサはプリント基板を含むことができる。プリント基板は導電コイル、ループ、ローブ、センサ、グラジオメータおよび/または8の字を形成するトレースを含むことができる。導電トレースはプリント基板の単層に置くことができる、または導電トレースはプリント基板の複数の層を横切ってもよい。7列と7行の正方形の8の字FODの例示的回路基板のトレースを図16に示す。この回路基板は、FODセンサ読み取り回路1602と、エネルギー伝送に使用される振動磁場にFODセンサの位相と強度の読み取り値を同期化する同期コイル1604とを含む。

【0267】

導電トレースはFODセンサをFODセンサの他の電子部品に接続するためにも使用することができる。特定の実施形態においてFODシステムは少なくとも1つの電子マルチプレクサに接続される少なくとも1つのFODセンサを含むことができる。例示的マルチプレクサはICマルチプレクサ、2×8マルチプレクサなどと称される。例示的実施形態において、FODシステムはアナログデバイスICマルチプレクサを含むことができる。実施形態において、FODシステムはADG1607BRUZマルチプレクサまたは同様の機能を持つマルチプレクサを含むことができる。いくつかの実施形態において、複数のマルチプレクサをFODセンサ信号処理のために使用することができる。特定の実施形態において、高入力インピーダンスを持つICマルチプレクサをFODシステムにおいて使用することができる。

30

【0268】

いくつかの実施形態において、FODシステムはFODシステムと無線電力伝送システムの間での情報交換を可能にする通信設備および/または無線電力伝送システムのコントローラを含むことができる。特定の実施形態において、通信設備は有線設備および/または無線設備であってよい。いくつかの実施形態において、FODシステムは情報、制御信号、警報、レポート、TTL信号、マイクロコントローラコマンドなどを送信および/または受信することができる。特定の実施形態において、FODシステムはトランシーバを含むことができる。いくつかの実施形態において、FODシステムはマイクロコントローラを含むことができる。

40

【0269】

特定の実施形態において、FODセンサおよび/またはシステムは既存の無線電力シス

50

テムにアドオンしてもよい。例えば、FODセンサおよび／またはシステムは無線電力システムの共振器に取り付け、無線電力システムと有線および／または無線通信リンクで通信するよう、別々に梱包してもよい。いくつかの実施形態において、FODセンサおよび／またはシステムは無線電力システムの少なくとも1つの部品に一体化させてもよい。例えば、無線電力部品の筐体はFODセンサおよび／またはシステムを含んでもよい。別の例として、共振器ハウジングに固定されて取り付けられるプラスチックカバーは、FODセンサおよび／またはシステムを含んでもよい。

【0270】

特定の実施形態において、FODセンサは、好適には、無線電力伝送システムの振動磁場または無線電力伝送システムの振動電場の何れかを感知することができる。いくつかの実施形態において、FODセンサは主に振動磁場を感知する、または振動磁場のみを感知し、部分的または最小限に振動電界を感知するように設計してもよい。特定の実施形態において、FODシステムは磁気共振器の共振器コイルを実質的に覆うように設計してもよい。いくつかの実施形態において、FODセンサは磁気共振器の静電容量素子から実質的に離して設計してもよい。いくつかの実施形態において、FODシステムの導体ループは無線電力伝送システムの振動電場は無反応であるように設計してもよい。特定の実施形態において、FODセンサは振動電場への露出および振動電場の検出を最小限に抑えるようにシールドを含んでもよい。実施形態において、追加の「非ループ」導電トレースをFODセンサの導電トレースの上および／または下に追加することができる。図17は、周囲の電場への感度を低減させるために、PCBセンサアレイの導電層の1つの層上で使用することのできる非ループ導体1702（厚い黒のトレース）の例示的配置を示している。

【0271】

特定の実施形態において、特別の設計手法はFODシステムの性能を向上させることができる。例えば、FODセンサをセンシング電子機器に接続するために使用される導体を、それらが周囲の磁場から遮蔽されるように配置することができる。いくつかの実施形態において、導電トレースを実質的に相互に上下に配置して、いわゆる「ストリップライン」配置と称されるように時々配置することが好適であろう。導体をこのような配置にすることによって、より小さいおよび／または狭い導電パッドでこれらの信号搬送導体を周囲磁場から遮蔽することが可能となる。

【0272】

いくつかの実施形態において、センサをシステムの損傷、システムの誤動作、筐体貫通または他の種類の損傷を検出するために使用することができる。システムの損傷は、センサからの1つまたは複数の読み取り値を完全に妨害または変更し、センサ読み取り値に影響を与え得る。誤ったセンサ読み取り値はシステム損傷の種類と程度を決定するために使用することができる。いくつかの実施形態において、センサまたは1組のセンサは、損傷を受けたセンサのバックアップとして作用することができる。特定の実施形態において、信号またはメッセージをシステムのユーザに送り、システムの損傷を知らせてもよい。

【0273】

人間の組織（手、腕など）の存在を本明細書に記載する誘導ループFODセンサによって検出することができる。いくつかの実施形態において、誘導ループセンサを調整して、有機組織および／または生体組織を検出することができる。

【0274】

特定の実施形態において、少なくとも1つのFODセンサを無線電力伝送システムのデバイス側に設置してもよい。少なくとも1つのFODセンサをソース側のFODセンサとは別に、または連動して動作させ、無線電力伝送システムの共振器間のアイテムの検出性能を向上させることができる。FODセンサからの信号は、ソースとデバイス共振器および／または共振器コイルの相対位置などのシステムのその他の特性を決定するために使用してもよい。

【0275】

先に開示した様に、静電容量センサなどの他の種類のセンサを金属FOD検出器と一体

化させて、共振器間または共振器の周囲の領域に存在する他の種類の物体を検出する追加能力を提供することができる。これらの追加センサは金属FODセンサと独立して動作させることができる、またはセンサ信号を金属FODセンサからの信号と合成して一緒に処理することもできる。

【0276】

(不整合および磁場の検出)

無線電力伝送システムは磁場センサを含むことができる。磁場センサは、50W、200Wまたは1kW以上の電力を伝送する高出力システムに有益である。例示的および非制限的な実施形態によれば、磁場センサを無線電力伝送システムのソース、デバイスもしくはリピータ共振器および/もしくは部品に、またはそれらの近くに取り付けてもよい。例えば車両アプリケーションにおいて、磁場センサは地面、ガレージの床、舗道、またはこれらの近くにあるソース共振器に設置することができる。磁場センサはソース共振器筐体、電子部品およびその他の部品に一体化、取り付け、もしくは配置させるか、またはそれらの近くに配置させることができる。いくつかの設置において、磁場センサは車両の周囲の駐車エリアにおけるソースの周囲の地面、床、コンクリート、アスファルトなどに埋め込むことができる。いくつかの実施形態において、磁場センサは、コンクリートまたはアスファルトなどの地面材料で完全に覆うことができるが、駐車場所(例えば公共、個人、屋内、屋外など)によっては地表に設置、取り付け、または接着することができる。磁場センサは無線電力伝送システムのデバイスまたはその近くに一体化、取り付け、または配置することができる。例えば、磁場センサは車両の底面、車両の周囲、車両のキャビン内などの種々の場所に取り付けることができる。磁場センサは読み取り値を提供する無線電力伝送システムの電子部品に接続させることができる。いくつかの実施形態において、センサは無線であってもよく、無線電力伝送システムおよび/または他のエネルギーソースからキャプチャされたエネルギーを取り入れる、または使用することができ、無線通信経路を使って磁場の読み取り値を無線電力伝送システムの1つまたは複数の部品に送信することができる。

10

20

【0277】

電池やハイブリッド電気自動車の無線充電のために構成された無線電力伝送システム、または大量の電力を伝送するその他のアプリケーションにおいて、ユーザのアクセス可能な領域の磁場をモニタすることができる。ユーザのアクセス可能な領域の磁場は、例えば、人体暴露およびEMI/EMC規格を満たすくらい低く保つ必要がある。ソースおよびデバイス共振器の整合の変動は、同じ電力伝送レベルに対するユーザアクセス可能エリアの磁場レベルを大きくしたり小さくしたりすることになる。磁場センサは高磁場、磁場の变化または磁場の特定の分布を検出するために使用することができ、ユーザアクセス可能エリアにおける潜在的な高磁界の表示に使用することができる。センサからの表示は無線電力伝送システムによって使用され、システムは、例えば、電力伝送のレベルを下げて磁場を下げるることができる。無線電力伝送システムにおける全ての共振器整合に対する電力伝送を同じレベルに制限するよりも、1つまたは複数の場所の磁場を感知し、この情報をフィードバックループで使用して無線で供給される電力のレベルを制御して、法定制限、および/またはその他の安全、ユーザ快適性または干渉制限内で供給することのできる最大出力レベルで動作させることが望ましい。ユーザアクセス可能領域の境界の近く、例えば、車両の端部、ソース共振器筐体、デバイス共振器筐体、任意の共振器の近くなどに位置する1つまたは複数の磁場センサは、ユーザアクセス可能領域の磁場が一定の安全規制を超えたか否かを判断するために使用することができる。特定の実施形態において、ユーザのアクセス可能な空間に最も近い磁場センサからの読み取り値は単体で使用可能、または1組の複数のセンサ読み取り値においてより優先され、電力制御フィードバックループ内で処理および使用することができる。システムの電力はこのようなフィードバックに基づき、および/またはその他の検出システムからのデータ入力と連動して調整され、高出力無線電力伝送システムの確立された法定要件内での動作を保証する。

30

40

【0278】

50

いくつかの実施形態において、磁場センサは磁場強度の直接的または正規化された読み取り値を提供することができる。磁場センサは実際の磁場強度に比例または関連する読み取り値を提供するために較正することができる。いくつかの実施形態において、センサは相対的な読み取り値を提供することができる。いくつかの実施形態において、複数のセンサの相対的な読み取り値を潜在的な高磁場の推測または決定のために使用することができる。例えば、無線電力伝送システムのソースおよびデバイス共振器が車両の下にある車両充電アプリケーションにおいて、車両の近くにいる人が暴露され得る車両周辺の潜在的な高磁場をモニタすることが望ましい。車両磁場の近くに立つ人に届き得る潜在的高磁場を検出するために、センサを車両周辺に置いてよい。センサは磁場強度の直接的な読み取り値を提供することができる。いくつかの実施形態において、センサはセンサ近くの磁場の相対強度を示すように構成することができる。相対表示は、デバイスおよびソース共振器の不整合による潜在的高磁場の決定または推測に使用することができる。共振器の不整合は共振器が整合されている場合と比較すると、磁場分布が異なる。いくつかの実施形態において、不整合が大きくなればなるほど分布の変化は大きくなる。センサからの相対読み取り値は、ユーザアクセス可能エリアにおける変化および潜在的高磁場の検出に使用することができる。

10

20

30

40

50

【0279】

例えば、ソースとデバイス共振器が整合している場合、磁場分布は車両の左右でほぼ均一である。整合条件のもとでは、車両の左右間の最大磁界強度の違いは10%以下（例えば5%以下）である。例えば不正確な駐車によってソースとデバイス共振器とが不整合である場合、車両の左右の磁場分布は変化し、ソースとデバイス共振器とが整合されている場合ほど均一ではない。特定の実施形態において、ソースとデバイス共振器とが不整合の場合の車両間または車両の左右間の最大磁界強度は、11%以上（例えば20%以上）異なる。磁界強度の違いは、いくつかのシステムにおいて、ソースとデバイス共振器の間の不整合および/または車両の境界外の潜在的高磁界に比例または関連する。

【0280】

いくつかの実施形態において、システムは無線エネルギー伝送共振器の周囲の異なる領域における磁場センサの相対読み取り値をモニタするように構成することができる。相対的な読み取り値は予測読み取りと比較することができる。特定の実施形態において、センサ間の読み取り値が予測読み取り値と15%以上異なる場合、無線システムをエネルギー伝送レベルが低減するように構成してもよい。いくつかの実施形態において、センサ間の読み取り値が予測読み取り値と11%以上異なる場合、無線エネルギー伝送システムはエネルギー伝送レベルを低減するように構成してもよい。特定の実施形態において、ソースとデバイス共振器間の電力伝送レベルは、センサ間の磁場強度の読み取り値の相対差異に反比例する、または逆に関連する。例えば、車両の左右間の磁場強度の読み取り値が20%異なる場合、無線エネルギー伝送システムを通常の出力量レベルの80%で動作するように構成することができる。車両の左右間の磁場強度の読み取り値が40%異なる場合、無線エネルギー伝送システムを通常の出力量レベルの50%で動作するように構成することができる。記載するパーセント値は例示的なものであると理解されたい。

【0281】

いくつかの実施形態において、磁場センサは、車両の周辺、座席の近く、車両の前などの、人や動物への潜在的高磁界の暴露が生じ得るエリアの近くに設置してもよい。いくつかの実施形態において、磁場センサは、ソースとデバイス共振器が不整合の場合に磁場分布が比較的大きく変化する可能性のある領域に置くことができる。いくつかの実施形態において、磁場センサは、例えばソース共振器の双極子モーメントの近くまたはこれと並べて置くことができる。

【0282】

特定の実施形態において、磁場センサにはワイヤコイル、ループ、ホールエフェクトセンサ、磁気ダイオードセンサ、磁気トランジスタ、MEMSセンサなどがあり、任意の電圧、周波数または光感知方法を使用することができる。

【 0 2 8 3 】

特定の実施形態において、FODシステムおよびFODセンサを1つまたは複数の共振器の周囲の磁場および/または相対磁場分布の測定に使用することができる。いくつかの実施形態において、1つまたは複数のFODセンサを有するシステムは、共振器の周りの磁場の相対分布を測定するために使用することができる。共振器が不整合であれば、共振器の周りの磁場分布は変化する。1つまたは複数のFODセンサを有するFODシステムは、共振器の異なる部分の近くに位置するセンサからの異なる読み取り値を測定することにより、磁場分布の変化を検出することができる。大きいまたは予期しない差は共振器の不整合を示し、これはユーザアクセス可能領域まで磁場分布が及ぶ可能性をもたらす。

【 0 2 8 4 】

FODシステムは1つまたは複数の動作モードを含む。1つのモードにおいて、FODシステムはFODの検出に使用され、別のモードでは、FODセンサは磁場、磁場分布などを直接的に測定して、車両の整合および/または磁界強度を決定するために使用することができる。いくつかの実施形態において、FODシステムからの読み取り値は同時に処理し、FODを決定もしくは検出する、ならびに/または不整合および/もしくは人のアクセス可能な領域において高磁界となる可能性のある不整合の潜在的警告もしくは表示を提供することができる。

【 0 2 8 5 】

人のアクセス可能な領域において不整合および/または潜在的に高い磁場を検出するために磁場センサを使用する方法の例示的实施形態を図23に示す。ブロック2302において、磁場センサは磁場共振器における、またはその近くの磁界強度の読み取り値をとる。磁場の読み取り値は無線電力伝送システムのセンサモジュールによって収集して処理する。いくつかの実施形態において、読み取り値はFODセンサを使ってFODシステムから生成することができる。ブロック2304において、センサの読み取り値はセンサ間の磁場の違いを決定するために使用することができる。センサ読み取り値は相互に比較することができる。ブロック2306において、センサ読み取り値を予測される読み取り値またはベースライン読み取り値と比較することができる。ベースライン読み取り値にはセンサ読み取り値または共振器が整合する場合の差異範囲が含まれ得る。ベースライン読み取り値には、システムの種々の不整合の予測されるセンサ読み取り値または予測されるセンサ読み取り値の差異が含まれ得る。いくつかの実施形態において、システムはシステムの最も起こる可能性の高い不整合を決定するための最尤計算を含むことができる。ブロック2308において、決定された不整合および/または直接センサ読み取り値に基づき、システムの出力レベルを調整して、共振器近くのユーザのアクセス可能な場所における潜在的高磁界を防ぐことができる。

【 0 2 8 6 】

いくつかの実施形態において、外部または他の磁場センサからの読み取り値をFODシステムによって使うことができる。不整合情報はFOD読み取り値の精緻化および/またはFODシステムの較正向上のために使用することができる。

【 0 2 8 7 】

磁場センサを上述の例で説明したが、無線エネルギー伝送システムの共振器および/もしくは電子部品の、その近くの、または周囲の、潜在的に高いまたは異常な磁場を検出するために、同様の手法を電場センサと共に使用できると理解されたい。

【 0 2 8 8 】

実施形態において、FOD検出システムは2つ以上のベースライン、ならびに/または較正ファイル、または平均および共分散行列などのセンサの構成を使用することができる。ベースラインまたは較正の構成は、FODセンサからの通常のまたは予測される読み取り値を定めるために使用することができる。較正、ベースラインおよび構成ファイルは、読み取り値および/またはFODが存在すると決定される閾値の情報を含むことができる。例えば、ベースラインファイルは、尤度、平均行列、共分散行列などのベースライン値(「ベースラインパラメータ」とも称する)の情報を含むデータファイルであってもよい

10

20

30

40

50

。いくつかの実施形態において、較正ファイルは、尤度、平均行列、共分散行列などの情報を含むデータファイルであってもよい。実施形態において、ベースラインまたは較正ファイルもしくは構成は、2つ以上の位置、不整合、共振器の種類、温度などのために定めることができる。実施形態において、システムにおけるオフセットまたは不整合の範囲に対するFODのない条件下における通常のまたは予想されるFODセンサ読み取り値を定める較正またはベースラインは、FOD検出感度を低減させる。共振器のオフセットまたは不整合の範囲に対する通常のまたは予想されるFODセンサ読み取り値を定める較正またはベースラインは、1つまたはいくつかの共振器整合に対する通常のFODセンサ読み取り値を定めるベースラインの較正よりも広い範囲の予想または許容可能な読み取り値を有することができる。ベースラインまたは較正が狭いとセンサの感度または検出能力が高まる。

10

【0289】

FOD検出システムを有する無線エネルギー伝送システムのいくつかの実施形態において、2つ以上のベースラインおよび/または較正ファイル、範囲および/または設定を使用することができる。いくつかの実施形態において、動作中の共振器の位置、環境、不整合などがわかっていれば、共振器の特定の位置、環境、不整合に対するFODのない条件において予想されるもしくは通常のセンサ読み取り値、または共振器の可能性のある位置、環境、不整合などのより狭いサブセットに対するFODのない条件において予想されるもしくは通常のセンサ読み取り値を定める、ベースラインおよび較正を使用またはロードすることが好ましい。いくつかの実施形態において、より狭いベースラインまたは較正を定めるために、共振器の固定位置へのエネルギー伝送前にベースラインまたは較正を行ってもよい。

20

【0290】

例えば、車両アプリケーションの位置検出システムを使って共振器の不整合を決定してもよい。不整合情報は特定のベースラインまたは較正の選択に使用することができる。例えば不整合が4cmだと決定されると、4cm以下の不整合に対して通常のFODセンサ読み取り値を表すように構成されたベースラインまたは構成を使用してもよい。共振器の位置または不整合を判断することができない場合、全ての許容できるオフセット、例えば15cm以上の通常のFODセンサ読み取り値を定める構成のベースラインをデフォルトベースラインとして使用してもよい。

30

【0291】

別の例において、動作の最初の数秒間または最初の数分間、FODセンサの1つまたは複数の読み取り値をとり、センサの基準またはベースラインの計算（すなわち平均および共分散行列の平均の計算）に使用することができる。センサの基準またはベースラインの計算には、無線電力伝送システムの尤度 y 、不整合、温度、湿度などを含むがこれらに限定されないパラメータの計算も指すことを理解されたい。ベースラインが確立されると、システムは連続的または周期的にモニタされ、システムの起動時における較正段階中に計算および測定されるベースラインの読み取り値と比較されるFODセンサで正常に動作する。ベースライン読み取り値からの十分な逸脱は、システム状態が変化してFODが存在する可能性があることを知らせる信号に使用することができる。いくつかの実施形態において、個々の較正ファイルは、無線システムがソースのデバイスに接続されていない独立型構成であり、異なる温度および/または環境、異なるソース構成、車両などに対する共振器の整合がわかっている場合に使用することができる。

40

【0292】

FODシステムを使ったFOD検出は能動的である、または1つまたは複数の共振器が連結されて電力を伝送している場合に行うことができる。実施形態においてFODシステムを使ったFOD検出は能動的である、または共振器が連結されていない場合に行うことができる。ソース共振器が地面にある、またはその近くにある、またはデバイス共振器が車両の下にある例または車両アプリケーションにおいて、FOD検出は車両が駐車する前またはソース上を移動する前に行うことができる。いくつかの実施形態において、FOD

50

システムは周期的、または入ってくる車両が表示された際に起動させて、車両が接近してくる前にFODをチェックすることができる。FODが検出されると、ユーザ、車両またはシステムのその他の部品にFODの存在を示す表示がなされ、充電前にFODを除去する必要がある。車両がソースに駐車する前にFODを表示することで、ソース共振器またはその近くのFODの除去および/またはFODのチェックが容易になる。

【0293】

例示的および非制限的实施形態によれば、FOD検出システムはFODの独立型検出のために較正することができる。独立型FOD検出は、1つの共振器または1組の共振器およびそれらの個々のFOD検出システムが開放環境にあり、別の共振器に連結されていない場合に行うことができる。共振器または1組の共振器は、FOD検出システムと対になったソースまたはデバイス共振器であってもよい。例えば、車両アプリケーションにおいて、FOD検出システムを有するソース共振器は、車庫、駐車場またはデバイス共振器の装備された車両の駐車する別の場所に設置することができる。独立型のFOD検出において、FOD検出システムと対になったソース共振器はデバイス共振器なしでFODを検出しなくてはならない。いくつかの実施形態において、例えば、独立型FOD検出は、車両およびそのデバイス共振器がソース共振器に置かれていない場合、車両充電アプリケーションで行うことができる。いくつかの実施形態において、FOD検出システムおよび/またはソース共振器はデバイス共振器が存在するか否かを検出する必要がある、それに応じて較正することを選択することができる。このような動作モードをサポートするために、FOD検出システムは、別の無線電力共振器が存在しない、または強く連結されていない場合、許容できる誤り率で、特定の領域内のFODを検出することができる。例示的实施形態において、許容できる誤り率は100,000の読み取りにつき1誤検出以下である。別の例示的实施形態において、許容できる誤り率は1,000,000の読み取りにつき1誤検出以下である。

【0294】

いくつかの実施形態において、FOD検出システムはセンサ環境に応じて異なる較正ファイルを使用することができる。較正ファイルは、無線電力伝送システムに関連する温度、湿度、電力、周波数、ソース上の範囲を含むが、これらに限定されない識別子を含むデータファイルであってもよい。いくつかの実施形態において、ベースラインファイルは無線電力伝送システムに関連する情報、温度、湿度、電力、周波数、ソース上の範囲などを含むことができる。いくつかの実施形態において、FODセンサおよび/またはシステムの独立型較正は、ソース（またはFOD検出器が関連付けられた何れかの共振器）によって記憶された、および/またはサーバ、データベース、クラウドロケーションなどへの有線もしくは無線通信によってソースによってアクセスされた較正データ、ファイル、テーブルなどの使用を含むことができる。例示的实施形態において、較正データはFOD検出システム内に記憶することができる。

【0295】

いくつかの実施形態において、FOD検出システムはその動作周波数を調整し、種々の周波数におけるFOD測定を相互に比較し、および/または少なくとも1つの較正ファイルと比較して、FODの存在を決定することができる。他の実施形態において、ベースライン較正ファイルは、ユーザの環境においてFOD検出中に取得された測定との比較として使用することができる。

【0296】

いくつかの実施形態において、独立したFOD検出はソースの表面およびソース上の領域のFODを検出することができる。特定の实施形態において、FODの検出される共振器上の高さを Z_{spec} とする。FODセンサがソース共振器およびデバイス共振器の両方にあるアプリケーションにおいて、FODセンサは約 $Z_{spec} = Z_{gap} / 2$ の領域においてのみFODを検出すればよく、ここで、 Z_{gap} は予想される効率で動作する共振器の最大特定距離である。例示的实施形態において、 Z_{gap} は5cm未満（例えば10cm未満、20cm未満）であってもよい。

10

20

30

40

50

【0297】

いくつかの実施形態において、較正スキームは連続する較正スキームであってもよい。この較正の例は温度、湿度などのゆっくり変化する条件に有益である。他の実施形態において、独立型較正は周期的または断続的な較正スキームであってもよい。

【0298】

いくつかの実施形態において、較正はFOD検出システムの製造および/または設置の一部として行うことができる。他の実施形態において、較正は設置後に行ってもよい。

【0299】

いくつかの実施形態において、ソースFOD検出システムは非常に低い電力を使って独立した較正を達成することができる。例えば、ソースはFOD較正を行うために電力を100W超にしない。いくつかの実施形態において、ソースはFOD較正を行うために電力を50W超にしない。特定の実施形態において、ソースはFOD較正を行うために電力を300W超、500W超または1kW超にしない。

【0300】

独立したFOD検出のためのFOD検出方法の実施形態を図24に示す。ブロック2402において、FOD検出システムはFOD検出を行う表示を受信する。表示は例えばタイマなどの、システムの別の部分から受信してもよい。いくつかの実施形態において、FOD検出は入ってくる車両の表示によって引き起こされてもよい。入ってくる車両は無線電力伝送システムのソースに近づくとそのソースにIDを送信するように構成してもよい。いくつかのシステムにおいて、ソースは、無線通信経路、GPSまたはその他の手段を介して入ってくる車両を検出してもよい。車両が充電のために近づいてくることを示す表示は、車両が到着する前に、FOD検出システムに起動とFODのチェックとをトリガすることができる。ブロック2404において、ソースまたはシステムの別の部分はデバイスが存在するか否かを確かめるために検出ルーチンを行うことができる。デバイスが検出されない場合、FOD検出システムは独立FOD検出ルーチンを行うことができる。デバイスの検出は、ソース、通信経路および/または他のセンサへのロードを感知することによって行うことができる。

【0301】

ブロック2406において、ソースを励起して磁場を生成し、FODセンサがFODを検出することができるようにすることができる。FODセンサがワイヤループまたは差動ループである、本明細書に記載するような実施形態において、センサが測定を行うために磁場が必要である。いくつかの実施形態において、ソースが励起されてその通常の電力の一部を出力し、その出力はFODセンサを起動するための磁場を発生させるのに十分な出力に制限される。特定の実施形態において、ソースを励起してそのピーク出力の5%未満（例えば10%未満、20%未満）で出力してもよい。いくつかの実施形態において、ソースを励起して10W以上（例えば50W以上）の電力を出力してもよい。いくつかの実施形態において、ソースを、ソースからの通常の無線電力伝送中に使用されるのと同じ電源および増幅器によって励起してもよい。いくつかの実施形態において、ソースを励起するのに追加の増幅器および/または電源を使用してもよい。より低い出力レベルでより効率のよい、より小さな増幅器を使用してもよい。システムのいくつかの実施形態において、独立したFOD検出中、FODセンサを起動するのに必要な磁場は、別の増幅器によって駆動される別個のワイヤループ、コイル、共振器などによって生成してもよい。FOD検出のために使用される磁場は通常無線エネルギー伝送に使用される共振器によって生成することはできない。振動電圧および/または電流によって励起された際に磁場を生成するように構成された追加コイルまたはループは、FODセンサコイルの近くに配置することができる。磁場を生成するコイルはFODセンサコイルにプリント、組み付けまたは一体化することができる。

【0302】

ブロック2408において、FOD検出システムは独立したFOD検出のために特定の構成ファイルおよびベースラインファイルをロードすることができる。構成ファイルは予

10

20

30

40

50

想されるセンサ読み取り、尤度、中間行列、共分散行列などの情報を含むデータファイルであってもよい。ブロック 2 4 1 0 において、F O D 検出システムは F O D センサ読み取りを処理し、本明細書に記載の検出分析を適用することができる。F O D が検出されると、F O D システムは F O D の表示を生成し、それを無線電力伝送システムの他の部品または部分、車両システム、ユーザなどに送信してもよい。例えば、F O D が検出されると、F O D の表示を車両に送信してユーザに F O D がソースまたはその近くに存在することを警告することができる。そしてユーザは駐車してソースが分かりにくくなる前に F O D に気がつき、それを確認する、または除去することができる。

【 0 3 0 3 】

F O D 検出は独立型構成のデバイス共振器で行うことができる。デバイスはデバイス共振器を励起して F O D センサを起動させるための振動磁場を生成する増幅器を有することができる。デバイスは磁場を生成するために F O D センサに一体化させることができる、またはその近くに置くことのできる追加ループ、コイルなどを有することができる。ループまたはコイルは、無線エネルギー伝送が行われていなくても、励起して磁場を生成し、デバイスの近くの F O D を検出することができる。

【 0 3 0 4 】

本開示において、「ベースラインファイル」に含まれる情報は、「校正ファイル」および/または「構成ファイル」に含むことができると理解されたい。同様に、「校正ファイル」に含まれる情報は、「ベースラインファイル」および/または「構成ファイル」に含むことができる。同様に、「構成ファイル」に含まれる情報は「ベースライン」および/または「校正ファイル」に含むことができる。

【 0 3 0 5 】

(固定位置デバイスの認識)

例示的および非制限的实施形態によれば、ソース F O D 検出システムはデバイスがソースに対して固定された位置に移動する場合、校正することができる。例えば、その下にデバイスの固定された車両がソースに最初に駐車する時、および/またはソースとデバイスの間で充電サイクルが開始される前に、ソース F O D 検出システムは F O D 検出プログラムへのデバイスの存在の潜在的影響を含むように校正することができる。デバイスを校正に含めることにより、ソース F O D 検出システムはソースとデバイスとの間の空間にある F O D をより正確に検出することができる。例示的实施形態において、F O D 検出システムは、独立した F O D 読み取りの前および車両が駐車した後に侵入した F O D を検出することができる。例えば、F O D 検出器は車両が駐車する際に車両の下によって引きずられたデブリ、ならびに/またはソース共振器の上および/もしくは近くの車両の下に落下したデブリを、検出することができる。

【 0 3 0 6 】

いくつかの実施形態において、固定位置デバイス認識校正は各駐車の際に行うことができる。他の実施形態において、ユーザは校正を行うか否かを決定することができる。

【 0 3 0 7 】

いくつかの実施形態において、固定位置デバイス校正を開始するデバイスとソースの間で通信を行ってもよい。

【 0 3 0 8 】

デバイス共振器の存在が校正手順を開始するために磁場を大きく変えてしまういくつかの実施形態において、デバイス共振器および/または共振器コイルを開放する、もしくは短くすることができる、またはその磁場の変化がソース F O D 検出システムを動作、校正、起動させるのに十分なくらい小さくなるような電流で駆動させることができる。特定の实施形態において、デバイス共振器および/または共振器コイルは、ソースにおける磁場の調整で固定位置デバイスの校正を開始させる信号で駆動させることができる。いくつかの実施形態において、デバイスは、デバイスのソース側 F O D 検出システムへの影響を減少させる材料で覆うことができる。

【 0 3 0 9 】

電気信号を与えることによって直接的に駆動させることのできるFODセンサの実施形態において、ソース側FOD検出システムの磁場を可及的に小さくするか、またはデバイスの周波数と異なる周波数で生成し、ソース側FOD検出システムへのデバイス存在の影響を最小限に抑えることができる。

【0310】

車両自体がソース側FOD検出システムの領域に対して大きな摂動を生成するいくつかの実施形態において、ソース側FOD検出システムがその固定位置デバイス較正において車両の存在を示すような車両のパラメータを識別するような通信を、デバイスとソースの間で行ってもよい。つまり、FOD検出システムは、その較正ファイルおよび/または手順、および車両の存在を示すFOD検出アルゴリズムを処理、調整、強化などすることができる。

10

【0311】

(固定位置FOD検出)

例示的および非制限的实施形態によれば、FOD検出システムは固定位置FOD検出較正を行い、これによってシステムは、デバイスがソースに対する空間に固定されている場合にFODを検出することができる。例えば、車両アプリケーションにおいて、デバイスがその下に取り付けられた車両がソースに駐車すると、FOD検出システムは固定位置FOD検出較正を開始することができる。いくつかの実施形態において、システムは一度だけFOD検出較正を行うことができる。いくつかの実施形態において、一度だけのFOD検出較正によって生成されたデータは、デバイスがソースから離れてしまうまで記憶および使用することができる。これは、例えば、その下にデバイスの取り付けられた車両がその駐車スポットから離れていくまで使用することができる。いくつかの実施形態において、一度だけのFOD検出較正によって生成されたデータは、充電サイクルが行われている限り、較正ファイルとして使用することができる。充電サイクルが中断、または停止され、そして何らかの理由によって開始されると、固定位置デバイスの較正は固定位置FOD検出に続いて再度行うことができる。いくつかの実施形態において、固定位置FOD較正ファイルは他の較正ファイルと比較することができる、および/または既存の較正ファイルに組み込むことができる、および/またはカスタム較正ファイルの作成に使用することができる、および/またはFOD検出システムの訓練に使用することができる。

20

【0312】

いくつかの実施形態において、固定位置FOD検出はソースの表面上の $FOD_{Z_{s,p}e_c}/2$ を検出することができ、この場合、 $Z_{s,p}e_c$ は無線エネルギー伝送システムにおけるソースとデバイス間で作用する最大の特定共振器分離である。いくつかの実施形態において、FODがソースの表面上において $Z_{s,p}e_c/2$ を超える場合、デバイス側のFOD検出システムはFOD検出の責任を負う。

30

【0313】

(不整合の許容)

特定の実施形態において、FOD検出システムは、ある共振器の別の共振器に対する不整合を許容するように較正することができる。例えば、無線エネルギー伝送機能の装備された電気自動車のユーザが車両をソース共振器の位置範囲内に繰り返して駐車すると、FOD検出システムはユーザの駐車位置範囲を許容するように較正することができる。この範囲はユーザに特有のものである。

40

【0314】

いくつかの実施形態において、ユーザはこの種の較正を開始または制御することができる。これはユーザがFODシステムを異なる速度で訓練することを望む場合に有益である。例えば、無線電力伝送システムおよびFOD検出システムの装備された車両は、ユーザの変更によって、不整合のために再較正される必要がある。この再較正は相互にカスタマイズすることができる。

【0315】

(ドリフト補正)

50

いくつかの実施形態において、FOD検出システムはそのFOD検出におけるドリフトを補正するために較正することができる。FOD検出システムの感度および/または特異性は時間と共に変化する。これによってシステムは時間の経過と共に多少不安定になり、通常の動作から逸脱してしまう。この潜在的な変化を補償するために、FOD検出システムはその元来の工場設定検出機能に再較正および/またはリセットすることができる。

【0316】

いくつかの実施形態において、生体の検出較正をFOD検出システムの製造および/または設置中に行うことができる。他の実施形態において、この種の検出較正は設置後またはユーザが較正を開始した時に行うことができる。いくつかの実施形態において、較正、ベースラインの決定、および検出はFODセンサの場合と同様に行うことができる。較正中、およびベースライン手順中、センサ読み取り値は生物の存在しない通常の動作条件下において収集することができる。読み取り値に基づき、平均および共分散行列を計算し、これを追加センサ読み取り値が通常の条件に該当するか、または生物が存在するかを決定するために使用することができる。

【0317】

上述の較正種類の各々は個々に、または他の種類の較正と組み合わせて使用することができる。上述の較正種類の各々は、無線電力伝送システムにおける任意の共振器と関連するFOD検出システムによって使用することができる。つまり、FODは、ソース共振器、デバイス共振器およびリピータ共振器を含む無線電力伝送システムの任意のおよび全ての共振器によって使用することができる。

【0318】

FODの検出が上述の較正の種類またはそれらの任意の組み合わせに基づくいくつかの実施形態において、無線エネルギーシステムはFOD検出システムの信号に基づいて切断、出力低減および/またはロックアウトすることができる。いくつかの実施形態において、車両のオペレータまたはユーザに通知することができる。

【0319】

FODの検出が誤っている可能性のある特定の実施形態において、ユーザは較正プロセスを再スタートすることができる。ユーザの充電プロセスの再スタートに続いて、較正の種類または上述の較正種類の任意の組み合わせを開始させることができる。

【0320】

車両アプリケーションの無線電力伝送システムにおいて、FODを検出するFOD検出システムを使用する方法の例示的实施形態を図25のフローチャートに示す。

【0321】

ブロック2502において、FOD検出システムは、ソース共振器の装備された駐車エリアに車両が到着する際、デバイス共振器の装備された車両を認識する。車両は、例えば、車両によって送信された信号の識別、および/またはソース共振器によって生成された磁場の一部がループを通る際に電気信号を生成する、車両の下に取り付けられた1つまたは複数の検出ループに基づいて認識することができる。電気信号は車両によって測定され、識別信号はソース共振器に送信することができる。いくつかの実施形態において、車両の存在は光センサおよび/または圧力センサによって認識することができる。デバイス共振器は切断されたままである。

【0322】

ブロック2504において、FOD検出システムは無線電力伝送システム内の任意のFODの検出を開始する。検出にはソース共振器の周囲にあるFODの検出および駐車する際に車両が持ち込んだFODの検出が含まれる。この種の検出は無線電力伝送システムの製造中または設置中に較正することができ、「工場較正」とも称する。

【0323】

ブロック2506において、FOD検出システムはユーザにFODが検出されたか否かを通知する。FODは除去され、再度FOD検出が行われる。

【0324】

10

20

30

40

50

ブロック 2 5 0 8 において、F O D がブロック 2 5 0 4 で検出されなかった場合、無線電力伝送を開始する。F O D 検出を無線電力伝送中続ける、およびその間連続的、断続的、または周期的に行ってもよい。

【 0 3 2 5 】

F O D が無線電力伝送中に検出されると無線電力伝送システムは電力の伝送を停止する。無線電力伝送は、F O D が除去される、および / またはシステムのユーザに通知されるまで再開されない。一旦 F O D が除去されると、ブロック 2 5 0 4 に示すように F O D の検出が再開される。

【 0 3 2 6 】

いくつかの実施形態において、生物検出システムは許容できる誤り率で特定の領域内の生物を検出することができる。一例示的实施形態において、許容できる誤り率は 1 0 0 , 0 0 0 読み取りにつき 1 誤検出以下である。別の例示的实施形態において、許容できる誤り率は 1 , 0 0 0 , 0 0 0 読み取りにつき 1 誤検出以下である。

【 0 3 2 7 】

異物デブリ検出システムの一実施形態を図 2 6 に示す。システムは、物体および組織が無線エネルギー伝送に使用される共振器に近づくとき異物、およびいくつかの実施形態において、生体（猫、ねずみ、人など）を検出するために使用することのできるいくつかのモジュール、ブロックおよび部品を含むことができる。いくつかの構成において、F O D システムは外部センサから位置情報を受信することができ、その他のソースから車両情報を受信することができる。位置情報には環境パラメータ、共振器の整合、共振器の距離、無線エネルギー伝送部品の位置、損失性物体の相対位置および生体の存在する領域の位置があり、これらの決定に使用することができる。位置の変化はシステム 2 6 0 2 によってシステムの較正の変更、システムの感度、検出アルゴリズムなどの調整に使用することができる。例えば、エネルギーを伝送する共振器の周りの磁場分布は共振器間の不整合のオフセットに応じて変化させることができる。磁場分布の変化によってシステム内の F O D センサの読み取り値が変化し、誤検知が引き起こされ、および / または F O D 検出のためのシステムの感度が低減される。システムは新しい構成をロードし、処理アルゴリズムを変更し、他の機能を実行して、位置情報を受信した際のセンサ読み取り値の変化を補償する。

【 0 3 2 8 】

いくつかの実施形態において、システムは無線電力伝送パラメータに関連する情報も受信する。パラメータには、無線電力伝送のステータスに関するデータ、どの周波数、どの位相でどれだけの電力が伝送されたかなどに関するデータが含まれる。いくつかの実施形態において、システムは他のセンサおよびシステム部品から情報をさらに受信することができる。システム 2 6 0 2 は温度センサ、赤外センサ、圧力センサなどから情報を受信し、これらは F O D システムによって使用される較正またはベースラインの変更、または F O D 読み取り値を補足するために使用することができる。

【 0 3 2 9 】

F O D システムは 1 つまたは複数の F O D センサおよび / または L O D センサを含むことができる。F O D センサは電導体または本明細書に記載のループよりも多くのループを含むことができる。L O D センサは電導体または他の静電容量センサを含むことができる。F O D および / または L O D センサはワイヤを使って形成することができ、プリント基板上に形成される、または共振器パッケージングもしくはその他の基板に蒸着 / 印刷することができる。センサは共振器の近く、高磁場の近く、生体が存在する可能性のある領域の近くなどに配置または位置させることができる。いくつかの実施形態において、センサは共振器から 1 0 c m または 1 m も離して置くように構成してもよい。センサは有線でもよいし、データの無線通信を使って無線電力伝送システムから無線で電力を受信してもよい。センサは読み取り回路に連結させることができ、この回路はセンサ読み取り値を、これらがシステムの他のモジュールによって処理されることができるよう、サンプリングし、デジタル化する。

【0330】

いくつかの実施形態において、FODセンサなどのセンサは、センサを起動させるために振動磁場を必要とする。振動磁場は無線電力伝送システムのソース共振器によって発生させることができる。システム2602は、無線電力伝送システムの素子に、共振器を使って磁場を生成するよう、または共振器によって生成された磁場の特性の変更を行うよう、指示または表示を出力することができる。いくつかの実施形態において、システム2602は、FODセンサを動作させるための振動磁場を発生するように構成された磁場発生器2608を含むことができる。磁場発生器2608は増幅器に連結された1つまたは複数の導体ループを含むことができる。増幅器はループを駆動して磁場を生成させるために振動電圧を生成することができる。

10

【0331】

いくつかの実施形態において、システム2602は外部入力に基づいて選択可能な、またはセンサ読み取りまたはシステムの他の素子の状態に基づいて自動的に選択される較正モードおよび感知モードを有するように構成することができる。較正モード中、システムはセンサ情報を収集し、構成およびベースラインセンサデータを生成することができる。

【0332】

動作の較正モード中、システム2602の較正エンジン2612をセンサ構成またはベースライン読み取り値を定めるために使用することができる。いくつかの実施形態において、較正エンジンはエネルギー伝送状態を検出するように構成することができる。例えば、エネルギー伝送状態には無線電力伝送システムの不整合、温度、湿度がある。エネルギー伝送状態には、平均行列、共分散行列、尤度などのベースラインパラメータがある。較正エンジン2612はベースライン読み取り値を生成するための1つまたは複数の組の手順およびルーチンを含むことができる。特定の実施形態において、ベースラインの読み取りには、FODの存在しない通常の動作条件下において、1つまたは複数のFODおよび/またはLODセンサから読み取り値をとることを含んでもよい。読み取り値は、共振器の種々の温度、配向、オフセット、位置などでとることができる。読み取り値はベースラインの計算に使用してもよく、これには本明細書に記載する平均および共分散行列の計算を含むことができる。特定の実施形態において、平均および共分散行列は異なる温度、配向、位置、環境条件などに関して計算することができる。平均および共分散行列ならびにその他のベースライン読み取り値および設定は、較正保存場所2614に記憶してもよい。較正保存場所2614に記憶された較正およびベースライン読み取り値の各々の組は、特定の温度、共振器の位置、環境条件などでタグ付けする、またはこれらと関連付けることができる。位置、出力レベル、配向、温度などは、システムが外部センサおよび外部システムから受信することができる。ベースラインおよび較正ファイルは、周期的に、またはユーザ入力に応じて精緻化または更新することができる。センサからの追加読み取り値は周期的に収集して、例えば平均および共分散行列を周期的に更新することができる。

20

30

【0333】

いくつかの実施形態において、較正エンジン2612はFODまたは生物の存在下におけるベースライン読み取り値を定めるために使用することができる。較正エンジンはシステムの近くにFODが存在する種々の位置、温度、配向におけるセンサ読み取り値をキャプチャすることができる。FODおよび生物は、FODまたは生物が存在する場合に予想される、または典型的なセンサ読み取り値に対してシステムを訓練するために使用することができる。

40

【0334】

システムの動作の感知モード中、検出エンジン2616は、FODまたは生物が共振器またはその近くにあるか否かを決定するためのセンサからの読み取り値の分析に使用することができる。検出エンジン2616はセンサ2604および2606から読み取り値を受信し、読み取り値を処理して、センサ読み取り値がセンサの近くにFODまたは生物の存在を示しているか否かを決定することができる。検出エンジンは、センサ読み取り値を1つまたは複数のベースラインファイルまたは較正保存場所2614に記憶された較正と

50

比較することができる。比較には本明細書に記載する平均および共分散行列を使った、起こる可能性のあるシステム状態の計算を含むことができる。検出エンジン 2616 は、最も適切なベースラインおよび校正ファイルを選択するために、システム位置、温度、整合、エネルギー伝送パラメータなどに関する情報を受信することができる。いくつかの実施形態において、検出エンジンは 2 つ以上の異なるベースラインファイルと校正ファイルとを使用することができる。これらの種々のベースラインファイルおよび校正ファイルは、センサ読み取り値の精緻化、FOD 検出の確認、センサ感度の増減などに使用することができる。例えば、一実施形態において、システムは先ず最初にシステム位置、不整合などの広い範囲に対応する一般的なベースラインを使用することができる。潜在的な FOD 読み取り値が感知されると、システムは分析の感度または識別を増大させるために、2 つ目の、異なるベースラインファイルまたは校正ファイルを使用することができる。2 つ目のベースラインは、例えば狭い範囲のシステム位置およびオフセットに関する通常のセンサ読み取り値に対応することができる。

10

【0335】

いくつかの実施形態において、感知モードと校正モードを同時に実行させることができる。システムの校正エンジン 2612 はシステムの検出エンジン 2616 と同時に実行することができる。FOD または生体が検出されない場合、校正エンジンはベースラインファイルおよび校正ファイルの精緻化のために読み取り値を使用することができる。

【0336】

システム 2602 の動作中、1 つまたは複数のインジケータ 2618 を、光、グラフィックまたはビデオディスプレイおよびサウンドなどの視覚的または聴覚的なインジケータを使って、システムの状態を表示または信号で知らせるために使用することができる。FOD が検出されると、例えば、共振器の近くにデブリの存在する可能性があることをユーザに示すために、1 つまたは複数の光を起動させることができる。いくつかの実施形態において、システムはシステムおよび FOD / LOD の状態を外部システムおよび部品に信号で知らせることができる。システム状態の表示は、例えば、車両に送信することができる。

20

【0337】

FOD または生体が検出エンジン 2616 によって検出されると、システムは FOD または生体を移動させる、デブリを排除してシステムを調整するなどの 1 つまたは複数の対策を開始することができる。一実施形態において、システム 2602 は無線エネルギー伝送を変更または調整するよう、無線エネルギー伝送システムに信号を送ることができる。例えば、検出エンジンは、FOD および / または生物センサによって生成された電気信号の強度および / または位相に基づき、FOD または生物の大きさまたは影響を分類または決定することができる。分類には、例えば、FOD および / または生物が「問題あり」または「問題なし」の何れかに分類されるシンプルな二元分類スキームが含まれる。測定電気信号の異なる閾値は、FOD と生物の分類に使用することができる。FOD の分類に基づき、システム 2602 は無線エネルギー伝送システムに出力低下、周波数変更、共振器のディセーブル、共振器構成の変更などを表示することができる。いくつかの FOD に関して、例えば、全出力（例えば 3.3 kW）でのエネルギー伝送は、FOD に許容できないくらいに高い温度（例えば 70 °C）を誘発することがある。無線エネルギー伝送電力を半分に低減することにより、FOD の加熱を例えば 70 °C 未満（例えば 60 °C 未満、50 °C 未満、40 °C 未満）に制限することができる。実施形態において、温度センサ、赤外センサなどの追加センサを持つフィードバックループは、FOD の加熱を低減もしくは制御する、または生体への磁場暴露を制御するよう、エネルギー伝送電力を調整するために使用することができる。別の例では、2 つ以上のソースおよび / またはデバイス共振器を有する無線エネルギー伝送システムにおいて、共振器は FOD センサ読み取り値に関して条件付で有効または無効にすることができる。近傍の FOD が検出される共振器は、FOD のない共振器を全出力で動作させながら無効にする、または低電力に出力を下げるすることができる。

30

40

50

【0338】

本開示の図に表示または記載されているモジュール、ブロックなどの構造、順番および数は、本開示の趣旨から逸脱せずに変更または修正することができると理解されたい。例えばモジュールは複数の他のモジュールと組み合わせたり、またはそれらに分割したりすることができる。例えば、1つのモジュールは較正エンジンモジュールおよび検出エンジンモジュールとして機能することができる。モジュールの機能は、ソフトウェア、スクリプト、ハードウェアなどと実行することができる。例えば、図26に示すシステム2602の検出エンジン2616は、ソフトウェアモジュール、特定用途向け集積回路、フィールドプログラマブルゲートアレイの論理回路として実装することができる。

【0339】

図28は1つまたは複数のFODセンサ基板(「FOD検出センサ基板」とも称する)を含む無線電力伝送システムの配置例を示す略側面図である。1つまたは複数のFODセンサ基板をソースコイル(例えば電源の共振器コイル)または代替的に追加コイルによって生成された磁場分布を検出するために使用することができる。検出された磁場に関する情報(例えば、磁場分布、磁場勾配分布)は、デバイス内の電源コイルにおける1つまたは複数の共振器と受電装置内の1つまたは複数の共振器との不整合を決定するために使用することができる。座標2840は描画面において右方向を指すx方向と上方向を指すz方向とを示している。y方向は描画面に垂直である。

【0340】

図28の左上において、配置2800は(例えば受電装置共振器の)デバイスコイル2804に電力を伝送することのできる電源共振器のソースコイル2802を含む。FODセンサ基板2806はソースコイル2802とデバイスコイル2804の間に位置する。本例において、FODセンサ基板2806はソースコイル2802の上に約10mmの距離2807で設置されている。他の例において、距離2807は3~5mm(例えば4~8mm、5~10mm、7~12mm、10~15mm、15~20mm)であってもよい。距離2807は20mm超であってもよい。FODセンサ基板2806はFODセンサ基板2806を保持する支持体(図示せず)によってソースコイル2802に固定することができる。例えば、支持体はFODセンサ基板2806をソースコイル2802に固定する、1つまたは複数のポールであってもよい。いくつかの実施形態において、誘電基板をソースコイル2802上に置くことができ、FODセンサ基板2806を誘電基板上に固定することができる。例示的配置2800において、ソースコイル2802の中心軸2803とデバイスコイルの中心軸2805とは相互に整合している。デバイスコイル2805がソースコイル2802に対して移動すると、中心軸2803および2805は不整合になると理解されたい。本例において、FODセンサ基板2806のソースコイル2802に対する位置は支持体によって変化しない。従って、FODセンサ基板2806を「ソース側FODセンサ基板」と称することができる。いくつかの実施形態において、FODセンサ基板2806はx方向およびy方向に沿った中心軸2803および2805の間の不整合を決定するために使用することができる。

【0341】

図28の右上において、配置2810は、受電装置共振器のデバイスコイル2814に電力を伝送することのできる電源共振器のソースコイル2812を含んでいる。ソースコイル2812は中心軸2813を有し、デバイスコイル2814は中心軸2815を有する。FODセンサ基板2816はソースコイル2812とデバイスコイル2814の間に位置する。本例において、FODセンサ基板2816はデバイス2814の下に約50mmの距離2817で配置されている。他の例において、距離2817は5~15mm(例えば15~25mm、25~35mm、35~45mm、45~55mm)であってもよい。距離2817は50mm超でもよい。本例において、FODセンサ基板2816はデバイスコイル2814に固定されるため、「デバイス側FODセンサ基板」とも称することができる。FODセンサ基板2816は、x方向およびy方向に沿った中心軸2813と2815の間の不整合を決定するために使用することができる。

10

20

30

40

50

【0342】

図28の左下において、配置2820は受電装置共振器のデバイスコイル2824に電力を伝送することのできる電源共振器のソースコイル2822を含んでいる。ソースコイル2822は中心軸2823を有し、デバイスコイル2824は中心軸2825を有する。FODセンサ基板2826（ソース側センサ基板）はソースコイル2822に固定され、FODセンサ基板2828（デバイス側センサ基板）はデバイスコイル2824に固定される。FODセンサ基板2826および2828は、x方向およびy方向に沿った中心軸2823および2825の間の不整合を決定するために独立または連動の何れかによって使用することができる。

【0343】

図28の右下において、配置2830は受電装置共振器のデバイスコイル2834に電力を伝送することのできる電源共振器のソースコイル2832を含んでいる。ソースコイル2832は中心軸2823を有し、デバイスコイル2834は中心軸2825を有する。FODセンサ基板2836（ソース側センサ基板）はソースコイル2832に固定され、FODセンサ基板2838（デバイス側センサ基板）はデバイスコイル2834に固定される。いくつかの実施形態において、FODセンサ基板2836および2838のうちの何れか1つのみが存在する。配置2830もソースコイル2832に固定される追加コイル2839を含む。別の例において、追加コイル2839はデバイスコイル2834に固定される。追加コイル2839は磁場を発生させ、これはFODセンサ基板2836および2838が独立して、または他の検出器と連動して検出することができ、x方向およびy方向に沿った中心軸2833と2835の間の不整合を決定するために使用される。

【0344】

FODセンサ基板2806, 2816, 2826, 2828, 2836および2838は、本開示の図（例えば図1～図27）に関連して記載される、FODセンサアレイを含むことができると理解されたい。いくつかの実施形態において、ソースおよびデバイスコイルは10kHz～100MHzで動作することができる。例えば、ソースコイルは約145kHzで電力を伝送することができる。他の実施形態において、ソース共振器は約85kHz, 約44kHz, 約20kHz, 約250kHz, 約2.26MHz, 約6.78MHzおよび/または約13.56MHzで電力を伝送することができる。実施形態において、ソースは調整可能な周波数を有することができる。例えば、ソースは周波数145kHz±10kHzまたは85kHz±10kHzで動作することができる。実施形態において、周波数の動作範囲は中心動作周波数の±5%, ±10%または±20%とすることができる。ソースおよびデバイスコイルは、例えば、リッツワイヤ、単心ワイヤ、銅管、銅リボンおよび銅、銀、金またはグラフェンなどの高導電材料で被覆された任意の構造体を含む種々の導電材料で製作することができる。特定の実施形態において、FODセンサ基板はソースやデバイスコイルとは異なる形状や大きさを有することができる。FODセンサ基板はそれが固定されるソースやデバイスコイルよりも大きな面積を有することができる。例えば、FODセンサ基板はソースまたはデバイスコイルの幅よりも約5インチ大きな幅を有することができる。いくつかの実施形態において、FODセンサ基板の大きさは、磁場が最も強い磁場領域によって決定することができる。他の実施形態において、FOD基板の大きさおよび形状は、特定の物体が望ましくないレベルまで加熱される領域によって決定することができる、またはサイズおよび形状はこのような領域よりも10%、20%、50%もしくは100%だけ大きく設定して、設計全体に特定の余分な「安全係数」を提供することができる。また、配置2800, 2810, 2820および2830は、ソースコイルによって生成された磁場のエネルギー損失を少なくするために、ソースコイルと隣接するシールドを含むことができると理解されたい。同様に、配置2800, 2810, 2820および2830は、デバイスコイルに誘起される磁場のエネルギー損失を少なくするために、デバイスコイルと隣接するシールドを含むことができると理解されたい。

【0345】

いくつかの実施形態において、FODセンサ基板2806, 2816, 2826, 2828, 2836および2838は、ソースとデバイスコイルの間のz方向における距離を決定するために使用することができる。

【0346】

図29は電源共振器のソースコイル2910と受電装置共振器のデバイスコイル2920の間の整合例を示す略図であり、これは図28に示すソースとデバイスコイルにそれぞれ対応する。座標2940はx方向とy方向を示す。図29において、ソースコイル2910の中心は $x = 0\text{ mm}$ および $y = 0\text{ mm}$ で固定されている。本例において、ソースコイル2910の大きさは $200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ である。配置2900~2909はソースコイル2910に対する種々の位置におけるデバイスコイル2920を示している。

10

【0347】

配置2900はその中心が $x = 0\text{ mm}$ および $y = 0\text{ mm}$ ($dx = 0$, $dy = 0$ とも示される)に位置するデバイスコイル2920を示す。配置2901はその中心が $x = 75\text{ mm}$ および $y = 0\text{ mm}$ ($dx = 75$, $dy = 0$ とも示される)に位置するデバイスコイル2920を示す。配置2902はその中心が $x = 0\text{ mm}$ および $y = 75\text{ mm}$ ($dx = 0$, $dy = 75$ とも示される)に位置するデバイスコイル2920を示す。配置2903はその中心が $x = 75\text{ mm}$ および $y = 75\text{ mm}$ ($dx = 75$, $dy = 75$ とも示される)に位置するデバイスコイル2920を示す。配置2904はその中心が $x = 150\text{ mm}$ および $y = 0\text{ mm}$ ($dx = 150$, $dy = 0$ とも示される)に位置するデバイスコイル2920を示す。配置2905はその中心が $x = 0\text{ mm}$ および $y = 150\text{ mm}$ ($dx = 150$, $dy = 150$ とも示される)に位置するデバイスコイル2920を示す。配置2906はその中心が $x = 150\text{ mm}$ および $y = 150\text{ mm}$ ($dx = 150$, $dy = 150$ とも示される)に位置するデバイスコイル2920を示す。配置2907はその中心が $x = 300\text{ mm}$ および $y = 0\text{ mm}$ ($dx = 300$, $dy = 0$ とも示される)に位置するデバイスコイル2920を示す。配置2908はその中心が $x = 0\text{ mm}$ および $y = 300\text{ mm}$ ($dx = 0$, $dy = 300$ とも示される)に位置するデバイスコイル2920を示す。配置2909はその中心が $x = 300\text{ mm}$ および $y = 300\text{ mm}$ ($dx = 300$, $dy = 300$ とも示される)に位置するデバイスコイル2920を示す。

20

【0348】

図30~図39および図41は、配置2900~2909に基づく、FODセンサ基板を使った測定の電磁シミュレーションの結果を示す。FODセンサ基板は 8×7 アレイのFODセンサを含み、図30~図39および図41のプロットは、各FODセンサの測定電圧信号を灰色の正方画素で示している。これらの図において、図29に関連して示すように、 dx および dy の表記はソースコイル2910とデバイスコイル2920間の相対位置を表す。

30

【0349】

図30は、図28の配置2800に示すFODセンサ基板2806のシミュレーション結果のプロットを示す。この例において、ソースコイル2802は3Aの最大振幅振動電流でソースコイル2802内に磁場を生成する。これらのシミュレーションにおいて、デバイスコイル2804は、デバイスコイル2804内で実質的に電流が振動しないように開放回路となっている。座標3040はx方向およびy方向を示している。FODセンサ基板2806はx方向およびy方向における中心軸2803および2805の不整合に応じて、その位置において磁場を検出する。プロット3000~3009は、図29に示す10の対応配置2900~2909に対するFODセンサ基板2806によって測定されたシミュレートされた電圧を示す。カラーバー3050は $-0.5\text{ V} \sim 0.5\text{ V}$ の電圧振幅を示す。

40

【0350】

プロット3000はFODセンサ基板2806におけるFODセンサの 8×7 アレイの各々によって測定された電圧を示す。各センサの測定は陰影のある画素で示されている。例えば、画素3021は1つのFODセンサの測定電圧信号を表し、画素3022はFOD

50

D センサ基板 2 8 0 6 における別の F O D センサの測定電圧信号を表している。画素 3 0 2 1 は画素 3 0 2 2 よりも高い電圧に対応する。そうして F O D センサ基板 2 8 0 6 は電圧のパターンを測定する。プロット 3 0 0 0 において、電圧のパターンは軸 3 0 3 1 に対して比較的左右対称である。

【 0 3 5 1 】

いくつかの実施形態において、例えば、図 2 に関連して記載したように、どの F O D センサも 1 つまたは複数のループを含むことができる。特定の実施形態において、どの F O D センサも 8 の字の導体ループを含むことができる。

【 0 3 5 2 】

プロット 3 0 0 1 ~ 3 0 0 9 は、配置 2 9 0 1 ~ 2 9 0 9 で示される様に、ソースコイル 2 8 0 2 およびデバイスコイル 2 8 0 4 の異なる整合に関して F O D センサ基板 2 8 0 6 の F O D センサの 8 × 7 アレイにおける各々のセンサによって測定された電圧を示す。プロット 3 0 0 0 ~ 3 0 0 9 は軸 3 0 3 1 に対して比較的左右対称な電圧の、質的に同様のパターンを有する。

【 0 3 5 3 】

図 3 1 はベースラインパターンを減算することによってプロット 3 0 0 0 ~ 3 0 0 9 の対応するシミュレーション結果から生成された、一連のプロット 3 1 0 0 ~ 3 1 0 9 を示している。この例において、ベースラインパターンは、デバイスコイル 2 8 0 4 の存在しない F O D センサ基板 2 8 0 6 における F O D センサの 8 × 7 アレイによって測定された電圧のパターンとして決定される。カラーバー 3 1 5 0 は - 0 . 0 2 V ~ 0 . 0 2 V の電圧の振幅を示す。ベースラインパターンは減算されるので、電圧の範囲はカラーバー 3 0 5 0 の範囲よりも約 2 5 倍小さく、プロット 3 1 0 0 ~ 3 1 0 9 は実質的に相互に特徴的な電圧パターンを示している。この特徴的なパターンは、相対整合が不明な場合、ソースコイル 2 8 0 2 とデバイスコイル 2 8 0 6 の間の相対整合を決定するためのシグネチャとして使用することができる。例えば、ソースコイル 2 8 0 2 とデバイスコイル 2 8 0 6 の間の種々の既知の整合における電圧パターンは、校正ステップとして実験的に測定することができる。実験的に測定されたパターンは、データ記憶にライブラリとして保存することができる。そしてソースコイル 2 8 0 2 とデバイスコイル 2 8 0 6 の間の整合が不明な場合、F O D センサ基板 2 8 0 6 は電圧パターンの測定に使用することができ、測定されたパターンをライブラリに保存されたパターンと比較して、ソースコイル 2 8 0 2 とデバイスコイル 2 8 0 6 間の不整合および / または相対整合の程度を決定する。比較結果は、例えば測定パターンとライブラリに保存されたパターンの間の整合を決定することによって不明の整合を決定するために使用することができる。整合は、不明の整合が整合されて保存されたパターンに対応する整合に対応することを示す。

【 0 3 5 4 】

図 3 1 に戻るが、プロット 3 1 0 7 ~ 3 1 0 9 の電圧パターンは視覚的に相互にはっきりと区別するのが困難である。この場合、電圧のパターンは、各プロットのカラー範囲を調整するために縮尺を変更することができる。図 3 2 はそれぞれの電圧パターンを明確に示すために縮尺を変更したカラーバーでプロット 3 1 0 7 ~ 3 1 0 9 を示したものである。縮尺変更された電圧範囲のため、図 3 2 のプロット 3 1 0 7 ~ 3 1 0 9 は相互に実質的に明確な電圧パターンを視覚的に示している。これらの明確なパターンはプロット 3 1 0 7 ~ 3 1 0 9 によって表される対応する整合を区別するために使用することができる。

【 0 3 5 5 】

図 3 3 は図 2 8 の配置 2 8 0 0 に示す F O D センサ基板 2 8 0 6 のシミュレーション結果のプロットである。本例において、ソースコイル 2 8 0 2 は 3 A の最大振幅電流でソースコイル 2 8 0 2 を振動させて磁場を生成する。これらのシミュレーションにおいて、デバイスコイル 2 8 0 2 を、潜在的には、電力調整回路、インピーダンス整合回路および共振回路を通して負荷に接続し、ソースコイル 2 8 0 2 磁場によって誘起された電流がデバイスコイル 2 8 0 4 内で振動するようにすることができる。座標 3 3 4 0 は x 方向および y 方向を示す。F O D センサ基板 2 8 0 6 は x 方向および y 方向における中心軸 2 8 0 3

および 2805 の不整合に応じて、その位置における磁場を検出する。プロット 3300 ~ 3309 は図 29 に示す 10 の対応配置 2900 ~ 2909 に対する FOD センサ基板 2806 によって測定されたシミュレート電圧を示す。カラーバー 3350 は -1.0 V ~ 1.0 V の電圧振幅を示す。本例において、プロット 3300 ~ 3309 は同様の形状の電圧パターンであるが、電圧振幅はソースコイル 2802 とデバイスコイル 2804 の間の相対整合に応じて変動する。プロット 3300 に関して、電圧振幅は高い（プロット 3000 よりも高い）、というのもデバイスコイル 2804 には電流が存在するからである。ソースコイル 2802 とデバイスコイル 2804 の相対整合の変化による電圧振幅の変化は、デバイスコイル 2804 が開放回路である場合、プロット 3000 ~ 3009 の場合よりも大きい。例えば、プロット 3309 の電圧振幅はプロット 3300 の電圧振幅の約半分である。いくつかの実施形態において、測定パターンにおける電圧振幅の大きな変動は相対整合を決定する精度を向上させることができる。

10

【0356】

図 34 はベースラインパターンの減算による、プロット 3300 ~ 3309 からのシミュレーション結果のプロットを示す。この例では、ベースラインパターンは、デバイスコイル 2804 の存在しない FOD センサ基板 2806 における 8 × 7 アレイの FOD センサによって測定された電圧パターンとして決定される。カラーバー 3450 は -0.5 V ~ 0.5 V の電圧振幅を示す。プロット 3400 ~ 3403 および 3405 はプロット 3100 ~ 3103 および 3105 よりも大きな電圧振幅を有する、というのも測定中電流はデバイスコイル 2804 を流れることができるからである。大きな電圧振幅は測定電圧信号の信号雑音比 (SNR) を向上させる。本例において、プロット 3400 ~ 3403 および 3405 は視覚的に相互に特徴的な電圧パターンを示している。特徴的なパターンは、相対整合が不明の場合、図 31 に関連して説明したものと同様に、ソースコイル 2802 とデバイスコイル 2804 の間の相対整合を決定するシグネチャとして使用することができる。

20

【0357】

図 34 を参照すると、プロット 3404 および 3405 ~ 3409 の電圧パターンを相互に視覚的にはっきりと区別するのは困難である。電圧のパターンは、各プロットのカラー範囲を調整するために縮尺を変更することができる。図 35 はプロット間のそれぞれの電圧パターンの違いを明確に示すために、縮尺を変更したカラーバーと共にプロット 3404 および 3405 ~ 3409 を示したものである。縮尺変更された電圧範囲のため、図 35 のプロット 3404 および 3405 ~ 3409 は、視覚的に特徴的な電圧パターンを示している。これらはプロット 3404 および 3405 ~ 3409 の対応する整合を区別するために使用することができる。

30

【0358】

いくつかの実施形態において、FOD センサはプロット 3400 ~ 3409 の電圧レベルの測定を可能にするために、大きなダイナミックレンジを有することができる。FOD センサはプロット 3404 および 3406 ~ 3409 のパターンを区別するための高い感度および分解能も有することができる。よって、FOD センサは電圧の大きな変動を測定することができ、小さな変動も区別することができる。特定の実施形態において、A/D コンバータは FOD センサから測定信号を受信することができる。例えば、20 ビットの A/D コンバータは FOD センサの $10^{-6} \times$ 最大検出可能電圧の分解能を提供することができる。本例において、最大検出可能電圧が 1 V の場合、分解能は 1 μ V とすることができる。A/D コンバータは図 27 に関連して記載するような制御電子装置に含めることができる。

40

【0359】

図 36 は図 28 の配置 2810 に示す FOD センサ基板 2816 によって取得されたシミュレーション結果のプロットを示す。本例において、ソースコイル 2812 はソースコイル 2812 内で振動する 3 A の最大振幅電流で磁場を生成する。デバイスコイル 2814 は、デバイスコイル 2814 内で実質的に電流が振動しないように開放回路となってい

50

る。座標 3 6 4 0 は x 方向および y 方向を示す。F O D センサ基板 2 8 0 6 は x 方向および y 方向における中心軸 2 8 1 3 および 2 8 1 5 の不整合に応じて、ソースコイル 2 8 1 2 によって生成された磁場を検出する。プロット 3 6 0 0 ~ 3 6 0 9 は、図 2 9 に示す 1 0 の配置 2 9 0 0 ~ 2 9 0 9 に対して F O D センサ基板 2 8 1 6 によって測定された電圧を示している。カラーバー 3 6 5 0 は - 0 . 2 V ~ 0 . 2 V の電圧振幅を示している。本例において、プロット 3 6 0 0 ~ 3 6 0 9 はベースラインパターンの減算がなくとも特徴的な電圧パターンを示している。この手法はベースライン減算のステップをなくすことによる計算時間とコストの削減という利点がある。

【 0 3 6 0 】

図 3 6 に示す例において、プロット 3 6 0 0 ~ 3 6 0 9 におけるパターンの電圧振幅は、ソースコイル 2 8 1 2 とデバイスコイル 2 8 1 4 の間の相対整合に強く依存する。これは F O D センサ基板 2 8 1 6 がデバイス側センサ基板であるので、検出磁場を生成するソースコイル 2 8 1 4 に対して移動するためである。F O D センサ基板 2 8 1 6 がソースコイル 2 8 1 2 と整合しなくなると、測定電圧は F O D センサ基板がソースコイルに固定されている場合よりも早く変化ようになる。この手法は、電圧の測定パターンがソースとデバイスコイルの整合に強く依存するので有利である。

【 0 3 6 1 】

図 3 7 は図 2 8 の配置 2 8 1 0 に示す F O D センサ基板 2 8 1 6 によって取得されたシミュレーション結果のプロットである。本例において、ソースコイル 2 8 1 2 はソースコイル 2 8 1 2 内で振動する 3 A の最大振幅電流で磁場を生成する。デバイスコイル 2 8 1 4 は負荷に接続され、電流はデバイスコイル 2 8 1 4 内で振動する。座標 3 7 4 0 は x 方向および y 方向を示す。F O D センサ基板 2 8 0 6 は x 方向および y 方向における中心軸 2 8 1 3 および 2 8 1 5 の不整合に応じて、ソースコイル 2 8 1 2 によって生成された磁場を検出する。プロット 3 7 0 0 ~ 3 7 0 9 は図 2 9 に示す 1 0 の配置 2 9 0 0 ~ 2 9 0 9 に対して F O D センサ基板 2 8 1 6 によって測定された電圧を示している。カラーバー 3 7 5 0 は電圧振幅を示している。図 3 6 の例と同様に、プロット 3 7 0 0 ~ 3 7 0 9 に示す電圧振幅のパターンは、整合位置に強く依存する。しかしながら、プロット 3 7 0 4 , 3 7 0 6 および 3 7 0 9 の電圧パターンは視覚的に相互に区別するのが困難である。電圧パターンは、各プロットの範囲を調整するために縮尺を変更することができる。図 3 8 を参照すると、プロット 3 7 0 4 および 3 7 0 6 ~ 3 7 0 9 のカラーバーの各々はそれらのそれぞれの電圧パターンを示すために縮尺が変更されている。その結果、3 7 0 4 および 3 7 0 6 ~ 3 7 0 9 のパターンは明確に区別できる。これらのパターンはプロット 3 7 0 4 および 3 7 0 6 ~ 3 7 0 9 の対応する整合を決定するために使用することができる。

【 0 3 6 2 】

図 3 9 はベースラインパターンを減算することによって、プロット 3 7 0 0 ~ 3 7 0 9 から取得したシミュレーション結果のプロットを示す。本例において、ベースラインパターンはソースコイル 2 8 1 2 の存在しない F O D センサ基板 2 8 1 6 の F O D センサの 8 × 7 アレイによって測定された電圧のパターンとして決定される。ベースラインパターンを測定するために、F O D センサはデバイスコイル 2 8 1 4 内に提供される電流によって生成された磁場を測定することができる。例えば、電流はデバイスコイル 2 8 1 4 に接続された小さな電源によって供給することができる。プロット 3 9 0 0 ~ 3 9 0 9 はプロット 3 7 0 0 ~ 3 7 0 9 からベースラインパターンを減算した後の電圧パターンを示す。カラーバー 3 9 5 0 は図 3 9 に示されるプロットの電圧振幅を示す。減算後、プロット 3 9 0 4 および 3 9 0 6 ~ 3 9 0 9 は、図 3 7 のプロット 3 7 0 4 および 3 7 0 6 ~ 3 7 0 9 と比較してより特徴的な電圧パターンを示している。よって、ベースラインパターンの減算されたプロット 3 9 0 0 ~ 3 9 0 9 は、図 3 7 の場合と比較して、ソースコイル 2 8 1 2 とデバイスコイル 2 8 1 4 の間の整合の検出可能性を向上させることができる。

【 0 3 6 3 】

プロット 3 9 0 0 ~ 3 9 0 9 はプロット 3 7 0 0 ~ 3 7 0 9 からベースラインパターンを減算した後の電圧パターンを示す。カラーバー 3 9 5 0 は図 3 9 に示すプロットの電圧

10

20

30

40

50

振幅を示す。減算後、プロット 3904 および 3906 ~ 3909 は図 37 のプロット 3704 および 3706 ~ 3709 と比較してより特徴的な電圧パターンを示している。よって、ベースラインパターンの減算されたプロット 3900 ~ 3909 は、図 37 の場合と比較して、ソースコイル 2812 とデバイスコイル 2814 の間の整合の検出可能性を向上させることができる。

【0364】

図 40 は電源共振器のソースコイル 4002 と受電装置共振器のデバイスコイル 4012 とを含む無線電力伝送システムの略図である。ソースコイル 4002 はシールド 4004 の上に位置し、デバイスコイル 4012 はシールド 4014 の下に位置する。ソース側 FOD センサ基板 4006 はソースコイル 4002 の上に位置し、デバイス側の FOD センサ基板 4016 はデバイスコイル 4012 の下に位置する。デバイスコイル 4012、シールド 4014 および FOD センサ基板 4016 はデバイスカバー 4018 の下に位置する。いくつかの実施形態において、FOD センサ基板 4006 および 4016 の面積は、ソースコイル 4002 およびデバイスコイル 4012 の面積よりもそれぞれ大きくすることができる。座標 4040 は x 方向および z 方向を示す。システム 4000 はソース側およびデバイス側の何れかまたは両方に磁性体（例えばフェライト）を含むことができる。例えば、ソースコイル 4002 およびデバイスコイル 4012 の何れかまたは両方を磁性体の周りにそれぞれ巻くことができる。図 40 に示す配置は例であり、相対距離および寸法は変化させてもよいと理解されたい。

【0365】

ソースコイル 4002 およびデバイスコイル 4012 はそれぞれループ内の振動電流が x 方向に平行な優性磁気双極子を誘導するように、x 方向に平行な軸に巻きついた複数のループを有することができる。一方、FOD センサ基板 4006 および 4016 の FOD センサはそれぞれループ内の振動電流が z 方向に平行な優性磁気双極子を誘導するように、z 方向に平行な軸に巻きついた複数のループを有することができる。無線電力伝送システムは電源に接続することのできる追加コイル 4020 をさらに含むことができる。追加コイル 4020 は、コイル 4020 内の振動電流が z 方向に平行な優性磁気双極子を誘導するように配置することができる。

【0366】

いくつかの実施形態において、FOD センサはソースコイル 4002 よりも追加コイル 4020 とより強く連結することができる、というのも FOD センサと追加コイル 4020 は磁気双極子を z 方向に誘導することができるからである。このように、FOD センサは追加コイル 4020 によって生成された磁場を検出し、ソースコイル 4002 とデバイスコイル 4012 の間の整合を決定するために測定された電圧を使用するように構成することができる。この手法により、整合を決定するためにソースコイル 4002 に電力を供給する必要がなくなる。その代わりに、追加コイル 4020 はソースコイル 4002 が FOD センサによって検出される特定の電圧レベルを取得するのに必要とされる電力よりも低い電力でを使用することができる。これによって位置測定に必要とされる時間を削減することができる、というのも、ソースコイル 4002 を起動するために必要とされる時間がなくなるからである。いくつかの実施形態において、追加コイル 4020 はソースコイル 4002 に固定される。あるいは、追加コイル 4020 はデバイスコイル 4012 に固定することができる。

【0367】

図 41 は図 40 のシステム 4000 に示す FOD センサ基板 4006 によって取得されたシミュレーション結果のプロットである。本例において、追加コイル 4020 は、図 30 ~ 図 39 に示す例のソースコイル内の 3 A の電流とは対称的に、振動する 1 A の最大振幅電流を有するワイヤのシングルループである。デバイスコイル 4012 は、デバイスコイル 4012 内で実質的に電流が振動しないように開放回路となっている。座標 4140 は x 方向および y 方向を示す。FOD センサ基板 4006 は x 方向および y 方向におけるソースコイル 4002 の不整合に応じて、追加コイル 4020 によって生成される磁場を

検出する。プロット 4 1 0 0 ~ 4 1 0 9 は、図 2 9 に示す 1 0 の配置に対して F O D センサ基板 4 0 0 6 によって測定された電圧を示している。カラーバー 4 1 5 0 は電圧振幅を示している。本例において、プロット 4 1 0 0 ~ 4 1 0 9 はベースラインパターンの減算されていない視覚的に特徴的な電圧パターンを示している。この手法はベースライン減算のステップをなくすことによる、計算時間とコストの削減という利点がある。いくつかの実施形態において、追加コイル 4 0 2 0 は追加コイル 4 0 2 0 内で振動する 1 A の最大振幅電流によって生成された磁場を増大させることのできる複数のワイヤループを有することができ、これによって信号強度を増大させることができる。この場合、センサによって検出可能な強度よりも信号強度が高い場合、最大振幅電流は 1 A から低減され、これによって追加コイル 4 0 2 0 の作動コストを低減することができる。

10

【 0 3 6 8 】

図 3 0 ~ 3 9 および図 4 1 に関連して説明した例において、電圧の測定パターンをデータベースライブラリのパターンと比較することができる。比較は測定されたパターンと保存されたパターンとを統計的に関連付けることによって実行することができる。従って、測定パターンを提供するソースコイルとデバイスコイルの整合は、保存されたパターンに対応する整合を有すると判断することができる。

【 0 3 6 9 】

特定の実施形態において、校正ステップは、平均 μ および共分散 行列の計算および記憶のために実行することができ、これはソースコイルとデバイスコイルの間の整合を決定するための測定の尤度 y と確率 の計算に使用することができる。この場合、より小さな尤度 y の値とより大きな の値は測定の対応する整合を示す。例えば、校正ステップにおいて、F O D センサレイにおける j センサは、下記に示す数式 (1 7) によるアレイフォーム x でデータの計算を行うことができる。

20

【 0 3 7 0 】

【 数 1 7 】

$$x = \begin{bmatrix} |s_1| \\ |s_2| \\ \vdots \\ |s_j| \end{bmatrix}$$

30

(1 7)

ここで $|s_1| \dots |s_j|$ は各センサの電圧振幅に対応する。このステップにおいて、 x はソースとデバイスコイルの間の異なる相対整合位置の n 状態に対して測定される。 n 個の状態の各状態 i はシステムの種々の動作条件 (例えば、配向、出力レベル、周波数) における p 測定を使って特徴付けることができ、 $(x_{(i,1)}, x_{(i,2)}, \dots, x_{(i,p)})$ と表すことができる、ここで、 i は $1 \sim n$ 、 $0 \sim n - 1$ またはセットが n 個の状態値を含むような値の範囲である。これらの n 個の状態の各々に関して、各状態 i はそれ自身の平均および共分散行列を有することができ、これは下記に示す数式 (1 8) および (1 9) に従って計算することができる。

【 0 3 7 1 】

40

【 数 1 8 】

$$\mu_{eff} = \frac{1}{\sum_{l=1}^m w_l} \sum_{l=1}^m w_l x_l \quad (15)$$

(1 8)

【 0 3 7 2 】

【 数 1 9 】

$$\sigma_i = \frac{1}{p} \sum_{l=1}^p (x_{(i,l)} - \mu_i)(x_{(i,l)} - \mu_i)^T$$

50

(1 9)

【 0 3 7 3 】

新しい測定を x とすると、システムの最も起こる可能性の高い状態は、先述の行列積および下記に示す数式 (2 0) に従って計算することによって決定される。

【 0 3 7 4 】

【 数 2 0 】

$$y_i = (x - \mu_i)^T \sigma_i^{-1} (x - \mu_i)$$

(2 0)

【 0 3 7 5 】

確率 i は下記の数式 (2 1) に従って計算することができる。

10

【 0 3 7 6 】

【 数 2 1 】

$$\Psi_i = (2\pi)^{\frac{p}{2}} |\sigma|^{-\frac{1}{2}} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T \sigma_i^{-1} (x-\mu_i)}$$

(2 1)

【 0 3 7 7 】

最小値 y は i 分布における最大値 に対応する。新しい測定 x に関して、そのソースとデバイスコイル間の対応する相対整合を i 状態に対応するように決定することができ、これは μ_i および i を有し、最大値 または較正閾値を上回る 値となる。この決定は、尤度 y の最大値が F O D の存在を示す F O D 検出プロセスとは異なるものであると理解されたい。いくつかの実施形態において、尤度 y の入力、計算、測定された所定の閾値に基づき、電力伝送システムは、ソースとデバイスコイルの整合を識別するために、尤度 y の計算値を尤度 y の閾値未満として分類することができる。

20

【 0 3 7 8 】

図 3 0 ~ 図 3 9 および図 4 1 において、プロットは電圧振幅のパターンを示す。いくつかの実施形態において、パターンは測定電圧の振幅および / または位相から生成することができ、上述の様に電源共振器と受電装置共振器の間の整合情報を決定するために使用することができる。この手法はソースコイルとデバイスコイルの間の整合決定において追加情報を提供することができる。例えば較正ステップにおいて、 j 個のセンサのアレイ x は下記の数式 (2 2) に従って測定することができる。

30

【 0 3 7 9 】

【 数 2 2 】

$$x = \begin{bmatrix} r_1 \\ \theta_1 \\ \vdots \\ r_j \\ \theta_j \end{bmatrix}$$

(2 2)

ここで、 r_i 、 θ_i は j 個のセンサの測定電圧の振幅および位相にそれぞれ対応する。別の例において、データアレイ x は下記の数式 (2 3) に従って、測定電圧のサインおよびコサインをとって計算することができる。

40

【 0 3 8 0 】

【 数 2 3 】

$$x = \begin{bmatrix} r_1 \cos \theta_1 \\ r_1 \sin \theta_1 \\ \vdots \\ r_j \cos \theta_j \\ r_j \sin \theta_j \end{bmatrix}$$

(2 3)

【 0 3 8 1 】

50

数式(1)～(16)に関して説明した少なくともいくつかの技術をソースコイルとデバイスコイルの間の相対整合の決定に適用させることができる。

【0382】

図30～図39および図41のプロットは、FODセンサのアレイによって測定された、シミュレート電圧を示す。特定の実施形態において、FODセンサのアレイはFODセンサに誘起された電流のパターンを測定する。いくつかの実施形態において、FODセンサは電圧勾配を測定するグラジオメータであってもよい。この場合、図30～図39に関連して説明した技術を電圧勾配のパターンに適用することができる。

【0383】

FODセンサ基板は8×7アレイの他にセンサのアレイを有することができると理解されたい。センサの数は電圧パターンの測定に必要とされる分解能に基づいて調整することができる。例えば、FODセンサ基板は電圧および/または電流パターンを測定するための、本明細書に開示する任意のセンサの配置を含むことができる。

【0384】

図30～図39のプロットはソース側またはデバイス側の何れかにおける1つのFODセンサ基板に対するシミュレーション結果に対応している。図30～図39に関連して説明した技術は、例えば、ソース側とデバイス側の両方において複数のFODセンサ基板を使った配置に適用することができる。

【0385】

開示した整合測定技術は車両電池充電アプリケーションで 사용할 ことができる。例えば、ソースコイルは、家庭の車庫、ドライブウェイ、駐車場または車両が再充電のために停まることのできるその他の場所の電源に接続させることができ、デバイスコイルは車両に固定することができる。この技術は、車両ドライバがデバイスコイル上に車両を駐車する際、デバイスコイルがソースコイルと十分に整合しているか否かを決定するために使用することができる。例えば、この技術はソースとデバイスコイルの中心を300mm以内(例えば200mm以内、100mm以内、50mm以内)で整合させるために使用することができる。いくつかの実施形態において、デバイス側FODセンサ基板が使用される場合、測定位置は、配線または無線接続によって車両の視覚的または聴覚的デバイスに通信することができる。特定の実施形態において、ソース側FODセンサ基板が使用される場合、測定位置は車両の視覚的または聴覚的デバイスに無線送信することができる。そして視覚的または聴覚的デバイスは、車両と電源の間の不整合の程度に関する情報をドライバに伝え、必要であればドライバに車両位置の調整を促すことができる。

【0386】

2つのコイル間の相対整合を決定するための開示技術(「整合測定」とも称する)は、任意の出力レベルで電力を伝送する無線電力伝送システムで 사용할 ことができる。整合測定による相対整合の決定は、効率的な無線電力伝達の保証ならびにシステムの安全な動作のために有益である。例えば、2kW以上(例えば3kW以上、5kW以上)の電力を伝送する無線電力伝送システム(本開示において「高出力無線伝送システム」と称する)は、工場の一部に設置された種々の電源との整合測定が必要な産業機械またはロボットへの電力の伝送に 사용할 ことができる。別の例において、0.5kW以下(例えば0.1kW以下、0.05kW以下)の電力を伝送する無線電力伝送システム(本開示において「低出力無線伝送システム」と称する)は、壁の片側に電力伝送機を、壁のもう片側の受電装置に接続する照明デバイスを設置する必要のある無線照明システムとして 사용할 ことができる。このような場合、この開示技術は、共振器またはコイルの整合に際して壁の各側を見るのが容易でない場合に、電力伝送機と受電装置を整合させ、最大の効率および最高の連結整合を見つけるために 사용할 ことができる。いくつかの実施形態において、整合測定のための本開示技術は、キャビネット内の照明またはディスプレイ(例えばテレビ、モニター、プロジェクタ)もしくはプリンタなどの電子デバイスに電力を与える無線電力伝送システムに適用させることができる。

【0387】

10

20

30

40

50

いくつかの実施形態において、整合測定は、1つまたは複数の電源が1つまたは複数の受電装置に電力を送る部屋などの、複数の無線ソースおよび受電装置を含む無線電力伝送システムにおいて有益である。特定の実施形態において、1つまたは複数の電源を、1つまたは複数の受電装置に電力を好適に供給するように制御することができ、整合測定を、最適な連結または効率の高い整合を見つけるために使用することができる。いくつかの実施形態において、整合測定は、1つまたは複数のソースから1つまたは複数の受電装置への無線電力の最適な伝送のためのリピータ共振器の整合または位置づけのために使用することができる。例えば、室内におけるリピータ共振器の位置は、整合測定のための開示技術を使って決定することができる。この手法により、ユーザの視界を遮る壁または物体の存在のためにユーザが共振器を視覚的に整合するのが困難な室内または空間において、ユーザがリピータ共振器を1つまたは複数の電源共振器または1つまたは複数の受電装置共振器に簡単に位置決めすることが可能となり、有利である。例えば、リピータ共振器は壁の周り、隅、物体の周り、床下、天井および家具内に簡単に配置させることができる。

10

【0388】

図42は、電力の無線伝達に使用される異物検出センサを含むソース4200の略図である。この例では、センサはLODセンサであり、各LODセンサは物体（例えば生物）の存在によるセンサ内の静電容量変化によって誘起される電圧信号を測定する。

【0389】

図42の上図において、ソース4200はソースコイル4202の形成されたPCB4204を含む。ソースコイル4202は接地電極4206によって囲まれている。シールド4208は接地電極4206を囲んでいる。センサ4210はシールド4208を囲んでいる。いくつかの実施形態において、例えば、ソースコイル4202は約20インチの幅4221と約22インチの長さ4222を有する。図42の下断面図では、シールド4212はシールド4208およびセンサ4210の下側のPCB4204の別の側面に位置している。いくつかの実施形態において、例えば、接地電極は約1/2インチの幅4223を有し、シールド4208は約1/4インチの幅4224を有し、センサ4210は約1/4インチの幅4226を有し、シールド4212は約9/16インチの幅4227を有し、接地電極4206とセンサ4210の間の距離4225は約1インチである。より一般的には、しかしながら、ソース4200が電力を受電装置に伝送する特定のアプリケーションに応じて、これらの寸法はそれぞれ大きく変化させることができる。いくつかの別の実施形態において、ソースコイル4020は、図42に示すようにPCBの上にあるのではなく、PCB（シールド4212と同様にPCBの同じ側）の下に置くことができる。この場合、センサはソースコイル4020（図42に示すソースコイル4020の現在の位置）の上に置くことができる。

20

30

【0390】

特定の実施形態において、シールド4208はソース4200の周りに（例えばソースコイル4202またはセンサ4210によって）形成される電場の分布に影響を与え得る。例えば、シールド4208は、異なる電位で駆動される場合と比較して、接地電極4206に到達する前に電磁分布がPCB4204の周りにより大きく広がるよう、センサ4210と同じ電位で駆動することができる。この手法では、センサ4210の静電容量変化に対する電場の寄与を減少させることにより、センサ4210の検出範囲を増大させることができる。よって、シールド4208は電場のセンサ4210への望ましくない影響を低減させるブロックとして作用することができる。この例において、シールド4208は接地電極ではない。

40

【0391】

いくつかの実施形態において、センサ4210はLODセンサとすることができる。例えば、LODセンサは生物がLODセンサに近づいた際の静電容量変化を検出することができる。

【0392】

50

ソース 4 2 0 0 は多くの方法で修正することができる。例えば、図 4 3 A はシールド 4 3 0 4 で囲まれたソースコイル 4 3 0 2 を含む LOD センサ配置 4 3 0 0 の略図である。配置 4 3 0 0 は複数のセンサを含むことができる。本例において、シールド 4 3 0 4 は、シールド 4 3 0 4 の上側および右側に配置されたセンサ 4 3 1 0 , 4 3 1 2 および 4 3 1 4 によって囲まれている。シールド 4 3 0 4 は、シールド 4 3 0 4 の底および左側に配置されたセンサ 4 3 1 1 , 4 3 1 3 および 4 3 1 5 によって囲まれている。点線 4 3 2 0 は、センサ 4 3 1 0 , 4 3 1 2 および 4 3 1 4 がセンサ 4 3 1 1 , 4 3 1 3 および 4 3 1 5 から離れていることを示している。あるいは、センサ 4 3 1 0 , 4 3 1 2 および 4 3 1 4 はセンサ 4 3 1 1 , 4 3 1 3 および 4 3 1 5 にそれぞれ接続させることができる。点線 4 3 2 0 はまた、シールド 4 3 0 4 が点線 4 3 2 0 の場所で切れていることを示している。これにより、シールド 4 3 0 4 の損傷閾値よりも大きな振幅で循環電流が形成されることを防ぐことができる。点線 4 3 2 0 は配置 4 3 0 0 の位置に配置させることができると理解されたい。図 4 3 A に示す例において、センサ 4 3 1 0 ~ 4 3 1 5 はそれぞれ一片の銅基導電材料（例えば金属銅）から形成されている。複数のセンサ 4 3 1 0 ~ 4 3 1 5 からの測定は移動する物体の位置の決定に使用することができる。例えば、生体が複数のセンサ 4 3 1 0 ~ 4 3 1 5 を通り過ぎると、各センサ 4 3 1 0 ~ 4 3 1 5 は測定信号にピークを提供し、これは別のセンサと時間が異なっている。時間の違いを比較することにより、移動体の速度と方向を決定することができる。

10

【0393】

いくつかの実施形態において、センサ 4 3 1 0 ~ 4 3 1 5 は個別のセンサとすることができる。例えば、図 4 3 B の上部は山形状のセンサ 4 3 5 2 ~ 4 3 5 4 を含む LOD センサ 4 3 5 0 のアレイの略図である。山形状センサ 4 3 5 2 ~ 4 3 5 4 を生体が通過すると、センサ 4 3 5 2 ~ 4 3 5 4 による測定信号は、それらの形状のため、突出せずになだらかとなる。これらの測定信号はセンサ 4 3 5 2 ~ 4 3 5 4 のうちの 2 つの間に位置する生体の位置を簡単に補間するために使用することができる。図 4 3 B の下部はシールド 4 3 6 2 を囲む LOD センサ 4 3 6 4 ~ 4 3 6 7 のアレイの略図である。ソースコイル 4 3 6 0 はシールドの中心に位置する。座標 4 3 4 0 は x 方向と y 方向を示す。

20

【0394】

特定の実施形態において、異なるセンサ（例えば、センサ静電容量の変化に対応する信号）で測定される信号は異なる信号雑音比（SNR）を有し得る。例えば、図 4 3 A に戻るが、センサ 4 3 1 4 はセンサ 4 3 1 4 のノイズレベルを上回る信号レベルを検出し、一方でセンサ 4 3 1 0 はセンサ 4 3 1 0 のノイズレベルに相当する信号レベルを検出する、というのもセンサ 4 3 1 0 は電磁場を生成するソースコイル 4 3 0 2 に、より近いからである。同じ種類のノイズはセンサ 4 3 1 0 および 4 3 1 4 の両方の測定に寄与することができる。この場合、例えば、加重減算または相関技術を使って、片方のセンサ（例えばセンサ 4 3 1 4）のノイズレベルを別のセンサ（例えばセンサ 4 3 1 0）のノイズレベルの除去または低減に使用することができる。例えば、センサ 4 3 1 0 は検出物体（例えば生体）の存在から意図的にシールドすることができ、このためセンサ 4 3 1 0 はノイズのみを測定することができる。センサ 4 3 1 4 はノイズおよび検出物体の存在による信号をどちらも測定することができる。検出物体の存在からの信号の寄与は、ノイズの寄与をなくす、または低減させるため、センサ 4 3 1 0 および 4 3 1 4 からの測定信号を減算することによって決定することができる。この手法は複数のセンサに汎用することができる

30

40

【0395】

図 4 4 はプロット 4 4 0 0 および 4 4 1 0 を示し、これらは時間（t）および電圧（V）の関数として、2 つのセンサからの測定例をそれぞれ示している。プロット 4 4 0 0 は片方のセンサの電圧測定 4 4 0 2 を示し、プロット 4 4 1 0 はもう片方のセンサの電圧測定 4 4 1 2 を示す。電圧はそれぞれのセンサによって検出された静電容量の変化を示している。測定 4 4 1 2 は測定 4 4 0 2 の背景レベル 4 4 5 1 よりも小さな背景レベル 4 4 5 3 を有する。測定 4 4 1 2 は測定 4 4 0 2 よりも約 N 倍高い SNR を有する。2 つの測定を相互に関連付けて、両方の測定 4 4 0 2 および 4 4 1 2 へのノイズの寄与をなくすこと

50

ができる。例えば、いくつかの実施形態において、測定信号 4 4 0 2 は、S N R 率に基づいてそれらの強度を加重した後、測定 4 4 1 2 から減算することができる。そうすることにより測定 4 4 0 2 の強度を N 倍減らして、測定 4 4 1 2 から減算することができる。この手法はノイズの寄与を低減し、結果として生じる S N R を改善することができる。

【 0 3 9 6 】

プロット 4 4 0 0 は閾値レベル 4 4 5 0 を有し、プロット 4 4 1 0 は閾値レベル 4 4 5 2 を有する。閾値レベル 4 4 5 0 および 4 4 5 2 は較正ステップによって決定することができる。いくつかの実施形態において、測定 4 4 0 2 および 4 4 1 2 の信号は、個々の電圧閾値を超える電圧ピークによって識別することができる。例えば、ピーク 4 4 0 4 , 4 4 0 5 , 4 4 0 6 および 4 4 0 7 は、そのセンサに近づく誘電物体によって誘起される信号であると識別される、というのもそれらのピークは閾値レベル 4 4 5 0 よりも高いからである。ピーク 4 4 1 4 , 4 4 1 5 , 4 4 1 6 および 4 4 1 7 は誘電物体がそのセンサに近づく際、信号として識別される、というのもそれらのピークは閾値レベル 4 4 5 2 よりも高いからである。識別されたピークの比較は、有用なピークの決定および両方のセンサに寄与するノイズによるピークの削除に使用することができる。

10

【 0 3 9 7 】

いくつかの実施形態において、複数の L O D センサの測定信号の比較には、数式 (1) ~ (2 3) に関して説明した技術を使用することができる。例えば較正ステップは、平均 μ および共分散 行列を生成するために行うことができる。このステップにおいて、ノイズピークまたはドリフトを生じさせる複数の L O D センサの固有ノイズは、平均 μ および共分散 行列に含めることができる。物体 (例えば生物) を検出するための複数の L O D センサの使用、センサはデータアレイ x を提供するために、例えば数式 (1) , (2) , (1 7) , (2 2) および (2 3) に類似した方法で信号を測定することができる。この場合、複数の L O D センサによって測定される 1 つまたは複数の静電容量の変化は、アレイ x の決定に使用される。較正ステップ後、新しい測定 x のため、数式 (1) ~ (2 3) に関して説明した技術を尤度 y および / または確率 を計算するために使用して、複数の L O D センサによって測定された静電容量の変化を引き起こした生物の存在を決定することができる。生物の存在の決定は、F O D 検出処理に関連して記載した技術と同様の方法で実行することができるが、データアレイ x は、磁場センサからの振幅および位相データからでなく、静電容量の感知に基づいて複数のセンサから取得されると理解されたい。特定の

20

30

【 0 3 9 8 】

図 4 2 に戻るが、制御電子装置 (例えばコントローラ) はセンサ 4 2 1 0 およびシールド 4 2 0 8 に接続させることができる。制御電子装置は、組み合わせられた制御電子装置とセンサ 4 2 1 0 システムが、生体 (例えば、人または動物) の存在しない静電容量である最小寄生静電容量 (C_p) を有するように調整することができる。この調整ステップは、高い S N R のため、センサ 4 2 1 0 によって測定された小さな静電容量変化の検出をコントローラで行うことが可能となることによって、センサ 4 2 1 0 の感度を高めることができる。静電容量の変化は、センサ 4 2 1 0 に近づく生体などの誘電体によって発生する。この手法はセンサ 4 2 1 0 の静電容量変化検出の最大範囲を増やすことができる。いくつかの実施形態において、制御電子装置は、寄生静電容量を減少させるために、金属部品から隔離された場所に設置することができる。制御電子装置はソース 4 2 0 0 の隅に置いてよい。寄生静電容量は制御電子装置からセンサまでのルーティング接続長さを減らすことによって低減することができる。制御電子装置とセンサを接続する延長ワイヤを使用する代わりに、トレースが制御電子装置の近くで終わるセンサ 4 3 1 0 ~ 4 3 1 5 などの長いセンサを使って接続長さを低減することができる。この手法は、物体を検出することのできる領域を増やしなが

40

50

ローラは、コントローラが誤ピークを検出しないように、ソースコイルに接続された電源がONになった場合、OFFにすることができる。

【0399】

特定の実施形態において、センサにかかる電圧の振幅を増やすと、それらのSNRが増大する。制御電子装置は可及的高い電圧をセンサに与えるため、その最大電圧（例えば5V）で動作する。この手法により、制御電子装置の回路に固有のノイズを低減させることができる。

【0400】

図45は異物を検出するセンサを含む、電力を無線伝送するために使用されるソース4500の略図である。本例において、センサはLODセンサであり、各LODセンサは物体（例えば生物）の存在によるセンサの静電容量変化によって引き起こされる電圧信号を測定する。図45の左の図において、ソース4500は、開口スペース4501を囲む長方形（例えば正方形）の片であるPCB4502を含むことができる。センサ4506はPCB4502の上に位置し、PCB4502の左半分に片として延在する。センサ4508はPCB4502の上に位置し、PCB4502の右半分に片として延在する。シールド4504はPCB4502の外周ならびに内周に沿って走る。図45の右の図において、ソース4500の一部4530の断面は、シールド4504が、幅4220を有するPCB4502の周りを部分的に覆っていることを示している。例えば、幅4220は1.5インチとすることができる。いくつかの実施形態において、別のPCB4503をPCB4502の下に距離4522離して置くことができる。例えば、距離4522は1インチとすることができる。接地電極4510は別のPCB4503の下に形成することができる。この手法は、センサ4506および4508による測定信号の信号雑音比を向上させるために、ソース4500のより低い寄生静電容量を提供することができる。

【0401】

図40～図45に関連する上述の特徴はソース（例えば、電力を無線で伝達する電源）に関係するが、特徴のいくつかまたは全ては、ソースから無線で電力を受信する受電装置でも実行することができる。特に、このような受電装置は1つまたは複数の共振器を含むことができ、これは、上述の様に動作するように構成された1つまたは複数のコイルおよび1つまたは複数のセンサを含むことができる。

【0402】

（車両充電アプリケーションにおけるマルチモード動作）

車両充電アプリケーションにおいて、LODおよび/またはFOD検出システムは、車両と無線電力伝送システムとの間の位置関係により、複数の異なるモードで動作し、これらのモードを切り替えることができる。例えば第1のモードは、車両が電力伝送システムに接近しているが車両がまだ駐車しておらず、電力が車載のバッテリーにまだ伝送されていない状態に対応することができる。第2のモードは、車両が電力伝送システムの近くに駐車しているが、有用な電力（すなわち、車載のバッテリーを充電するための電力）がまだ伝送されていない状態に対応することができる。第3のモードは、充電用電力が駐車中の車両に有効に伝送されている状態に対応することができる。

【0403】

図46は、第1のモードにおいて実施される動作の各ステップを示すフローチャート4600の概略図である。ステップ4602では、例えば（Wi-Fi、Bluetooth（登録商標）又はセルラーデータネットワーク等を通じて）無線で伝送される通信信号を用いて、無線電力伝送システムに接近している車両が検出される。車両が検出されたときに、ステップ4604においてモード1校正ファイルが読み込まれる。そしてステップ4606では、検出システムは車両の近くに生物が存在するか調べて判定する。

【0404】

かかる生物が存在する場合には、ステップ4608において、システムは生物が近くに存在しており当該生物を取り除くべきというメッセージ（例えば視覚的なメッセージおよび/または聴覚的な警告）を出す。そのような生物が検出されない場合には、ステップ4

10

20

30

40

50

610において、システムは異物デブリが車両の近くに存在するか調べる。かかるデブリが検出された場合には、ステップ4612において、システムは、デブリが存在しており当該デブリを除去すべきというメッセージを出す。デブリが検出されない場合には、ステップ4614において、システムは車両が無線電力伝送システム上に駐車するのを待つ。

【0405】

図47は、第2のモードにおいて実施される動作（言い換えれば車両が無線電力伝送システム上に駐車し終えた後）の各ステップを示すフローチャート4700の概略図である。第1ステップ4702では車両が駐車されていることを確認し、ステップ4704ではモード2校正ファイルを読み込む。

【0406】

10

次にステップ4706では、システムは生物が近くに存在するかを調べ、かかる生物が検出された場合には、ステップ4708において当該生物を取り除くよう警告を出す。生物が検出されない場合には、ステップ4710において、システムは異物デブリが近くに存在するか調べる。かかるデブリが検出された場合には、ステップ4712において、システムは、当該デブリを除去するようメッセージを出す。デブリが検出されない場合には、ステップ4714において、システムは無線電力伝送システムと車両との間で電力伝送が始まるのを待つ。

【0407】

図48は、第3のモードにおいて実施される動作（言い換えれば電力が駐車中の車両に有効に伝送される動作）の各ステップを示すフローチャート4800の概略図である。第1ステップ4802に示すように、処理手順の初めで車両への電力伝送を開始する。次に、ステップ4804においてシステムはモード3校正ファイルを生成し、ステップ4806においてシステムは車両への電力伝送を停止する。

20

【0408】

ステップ4808では、モード2校正ファイルが読み込まれ、その後ステップ4810において、システムは、電力伝送システムの近くに異物が存在するか調べるモード2チェックを再度行う。かかる異物が検出された場合には、ステップ4820においてシステムは異物を除去するようメッセージを出す。かかる異物が検出されない場合には、ステップ4812においてモード3校正ファイルが読み込まれ、ステップ4814において車両への無線電力伝送が再開する。

30

【0409】

無線電力伝送中、システムはステップ4816においてモード3校正ファイルを用いて異物が存在するか調べる。異物が検出されない場合には、ステップ4822において必要に応じてモード3校正ファイルが更新され、ステップ4816においてシステムは異物の存在を定期的に調べ続ける。異物が検出された場合には、ステップ4818において電力伝送が停止し、その後ステップ4820においてシステムは異物を除去するようメッセージを出す。

【0410】

一般に、上述した方法に従って、異物および/または生物が存在するか調べるステップを含む図46～48に示すステップを実施することができる。モード1、2及び3に対応する校正ファイルは、上述した、様々な動作モードに対応した校正データ及び他の値を含む、様々な種類の校正ファイルに対応することができる。

40

【0411】

（車両充電アプリケーション用マルチループアレイ）

車両充電アプリケーション用ソース共振器において、様々な種類のコイルを使用することができる。特に、特定の車両充電アプリケーションのために、ソース共振器は、共通平面に延在する複数の同心ループを有するコイルを含むことができる。図49は、かかるコイル4902の例を示す概略図である。図49に示すように、コイル4902のループは共通の軸の周りを同心に巻回し、全て共通平面に延在する。

【0412】

50

図 5 0 は、無線電力伝送システムのソース共振器のコイル 5 0 0 2 を示す概略図である。コイル 5 0 0 2 はコイル 4 9 0 2 のように、共通平面（言い換えれば図 5 0 の $x - y$ 平面）に延在する複数のループを含む。図 5 0 には、車両（図示せず）の下側に取付けられ、コイル 5 0 0 2 から無線で z 方向に伝送される電気を受け取る受電共振器 5 0 0 4 も示されている。

【 0 4 1 3 】

FOD 及び LOD 検出システムにおいて、無線で電力を伝送するためにコイル 4 9 0 2 及び 5 0 0 2 等のコイルを使用する際には、コイルが生み出す磁場の空間的分布が重要となる。特に、上述した検出器のアレイを用いて、FOD 及び LOD のより正確な検出を確保するためには、それぞれのアレイの検出器を通過する磁束をできるだけ等しくすることが望ましい場合がある。

10

【 0 4 1 4 】

図 5 1 は、コイル 4 9 0 2 又はコイル 5 0 0 2 と同様のコイルに対して、 z 方向における磁場の大きさのシミュレーション結果の概略プロット図である。図から明らかなように、磁場の大きさは、コイルの角部で最大となる。すなわち、コイルの角部でコイルの誘導成分（the coil's conducting element）の密度が最大となる。そしてコイルの境界の外側の領域でゼロに近づく。

【 0 4 1 5 】

図 5 2 は、図 5 1 に示すコイルの角部の 1 つで磁場の大きさのシミュレーション結果を示す概略プロット図である。上述したように、いくつかの実施形態では、磁界センサのアレイを使用して、無線電力伝送システムにおけるソース共振器と車両の共振器との間の磁場の摂動を測定することで、FOD を検出することができる。しかしながら、図 5 1 および図 5 2 から、同様の寸法の検出器から成る、均等に間隔を空けたアレイを使用した場合に、特定の検出器（例えばソースコイルの角部の最も近くに位置する検出器）を通過する磁束が、他の検出器を通過する磁束よりも著しく多くなることが明らかである。

20

【 0 4 1 6 】

一般に、アレイの検出器を通過する磁場の磁束のダイナミックレンジを最小化することが望ましい場合がある。上述したように、このダイナミックレンジを減少させる 1 つの方法は、様々な断面積の検出器を使用することである。特に、ソース検出器と車両検出器との間で、低磁束領域ではより大きな断面積の検出器を使用するとともに、高磁束領域ではより小さな断面積の検出器を使用することで、等しい寸法の検出器のアレイと比較してダイナミックレンジを減少させることができる。

30

【 0 4 1 7 】

いくつかの実施形態では、検出器同士の間の x 方向および / または y 方向の間隔に変化を与えることでも、アレイの検出器を通過する磁束のダイナミックレンジを減少させることができる。さらに、様々な x 方向および y 方向の間隔に加えて、様々な断面積の検出器を使用することもできる。図 5 2 では、プロット図を横切って延びる垂直な線及び水平な線に従う寸法の 16 個の検出器のアレイを使用することで、約 5 のダイナミックレンジを達成することができる。

【 0 4 1 8 】

ダイナミックレンジを更に減少させるために、いくつかの実施形態では、様々な巻き数のループを有する検出器を使用することができる。図 5 3 は、様々な巻き数のループを有する複数の検出器のアレイを用いて各検出器を通過する磁束のダイナミックレンジを減少させる、FOD / LOD 検出システムの実施形態を示す概略図である。図 5 3 に示すソースコイルの象限は 16 の部分に区分され、それぞれの部分はアレイの異なる検出器に対応する。図に重ねた数字は、アレイにおける各検出器のループの巻き数を示す。

40

【 0 4 1 9 】

一般に、より大きな巻き数のループを有する検出器は低磁束領域で使用され、より小さな巻き数のループを有する検出器は高磁束領域で使用される。このように、例えば図 5 3 の検出器 5 3 0 2 は、低磁束領域に配置され、巻数が 3 のループを有する。反対に、検出

50

器 5 3 0 6 は、高磁束領域に配置され、巻数が 1 のループを有する。検出器 5 3 0 4 は、中間磁束領域に配置され、巻数が 2 のループを有する。なお図 5 3 では、明瞭化のためアレイの検出器 5 3 0 2、5 3 0 4 及び 5 3 0 6 のみを図示している。

【0420】

アレイの 1 つ以上の検出器のループの巻数に変化を与えることで、磁束のダイナミックレンジを減少させることができる。例えば、図 5 3 に示すアレイを用いることで、磁束のダイナミックレンジを 2 未満の値に減少することができ、アレイによって F O D 及び L O D をより高感度かつ正確に検出できる。

【0421】

図 5 3 では、16 個の検出器のアレイを使用して、ソースコイルの 1 つの象限に対応する磁束を検出する。したがって、それぞれ 16 個の検出器を有する、4 つのかかるアレイを使用して、コイル全体からの磁束を測定する。一般的に、4 つのアレイのそれぞれをインタフェースボードに接続し、4 つのインタフェースボードを共通のコントローラ又は制御基板に接続する。

【0422】

一般に、本明細書で開示したアレイでは、任意の巻数のループを有する検出器を使用することができる。例えば、1 つ以上（例えば 2 つ以上、3 つ以上、4 つ以上、6 つ以上、8 つ以上、10 以上）の巻数のループを有する F O D 検出器を使用することができる。また、F O D を検出する特定のアレイに、様々な巻数のループを有する任意の検出器の組み合わせを用いることができる。ソース共振器の特定の形状及び測定上の制約によって、複数の検出器の間隔を均等に又は様々にすることができ、また複数の検出器の断面積を同じ又は様々にすることができる。

【0423】

さらに、任意の数の検出器を有するアレイを用いて F O D を検出することができる。上述した例では、それぞれ 16 個の検出器を有する 4 つのアレイを用いることを説明したが、より一般的には、それぞれ任意の数の検出器を有する任意の数のアレイを使用することができる。また、様々なアレイに使用される検出器の数を、同じとすることも異なるものとすることもできる。

【0424】

（付加的な F O D 検出システム及び方法）

上述した節では、無線電力伝送システムにおいて、ソース共振器から車両共振器へ達する磁束の小さな摂動を測定することで F O D を検出する技術を説明した。F O D を検出するために、付加的な方法を使用することもできる。

【0425】

特に、いくつかの実施形態（とりわけソース共振器が電力を車両に有効に伝送していない実施形態）では、有効なソース共振器に依存しない方法を用いて F O D の存在を検出することができる。かかる方法は、例えば無線電力伝送システムの動作のモード 1 及び 2 において特に有益となり得る。

【0426】

特定の実施形態において、補助コイルを使用して磁場を生成することができ、その後補助的な磁場の摂動を検出器アレイで検出して F O D / L O D の存在を確認することができる。図 5 4 では、ソース共振器 5 4 0 2 の近くに位置する車両共振器 5 4 0 4 が示される。補助コイル 5 4 0 6 は、ソース共振器 5 4 0 2 に隣接し、ソース共振器 5 4 0 2 が接続されるコントローラ（図 5 4 には図示せず）と同じコントローラに接続される。補助コイル 5 4 0 6 は、検出器アレイ 5 4 0 8 が検出する磁場を生成する。検出器アレイ 5 4 0 8 が測定する信号に基づいて、システムは、上述した方法を用いて、ソース共振器 5 4 0 2 の近くに F O D 及び / 又は L O D が存在するか判定することができる。

【0427】

補助コイルを用いることで生じる重要な利点は、補助コイルが生成する磁場の周波数を、ソース共振器 5 4 0 2 が生成する磁場の周波数と相違させることができることである。

ソース共振器 5 4 0 2 から車両共振器 5 4 0 4 へ電力を送る周波数とは異なる測定周波数を使用することで、さもなければ電力伝送時の動的変動により生じ得る測定信号への影響を排除する。さらに、電力伝送周波数と計測周波数とが互いに十分異なる場合には、ソース共振器又は車両共振器で誘導される電流による、センサ信号に対する摂動を除去することができる。例として、ソース共振器 5 4 0 2 と車両共振器 5 4 0 4 との間において、85 kHz 又は 145 kHz の周波数で電力を送る場合に、補助ソース 5 4 0 6 は、はるかに高い周波数（例えば 6.78 MHz）及び / 又ははるかに低い周波数（例えば 8 kHz 以下）で測定磁場を発生させることができる。

【0428】

いくつかの実施形態では、補助コイル 5 4 0 6 が生成する磁場と検出器アレイ 5 4 0 8 における誘導電流とがソース共振器 5 4 0 2 を摂動しないことをより確実にするために、ソース 5 4 0 2 が生成する磁場の位相と補助コイル 5 4 0 6 が生成する磁場の位相とを相違させることができる。例えば、いくつかの実施形態では、磁場の位相を、30°以上（例えば 60°以上、90°以上、120°以上、150°以上、180°以上）相違させることができる。

【0429】

特定の実施形態では、補助増幅器をソース共振器に接続するとともに、ソースコイルを使用して電力を車両共振器に伝送していないときに、ソースコイルを用いて FOD / LOD 検出用の磁場を生成することができる。ソースコイル（例えば図 5 4 のソース共振器 5 4 0 2 のコイル）を使用して測定磁場を生成することには、多数の利点が存在し得る。例えば、モード 1、2 及び 3 において、FOD / LOD を検出するために同じ検出器アレイを使用することができる。さらに、補助コイルを実装する必要がないために、システム設計を単純化することができる。

【0430】

補助増幅器を既存のソース共振器に接続する場合には、2つの重大な結果を抑制すべきである。第 1 に、補助増幅器が、通常はソースコイルを駆動する電力増幅器をバックドライブして、無線電力伝送に対する磁場を生成することを、抑制するべきである。第 2 に、補助増幅器が車両共振器において電流を誘導することを、抑制するべきである。

【0431】

一般に、リレーを用いてソースの電力増幅器を切断すると、無線電力伝送システムにおいて容認できない電力損失をもたらすことがある。したがって、電力増幅器を切断する必要がない方法で、補助増幅器を導入することが好ましい。ゆえに、いくつかの実施形態では、ソースインピーダンスマッチングネットワークにおいて、誘導子 L_3 及びコンデンサ C_3 を過ぎた場所に補助増幅器を配置し、 L_3 を横切る切替可能なタンクを用いて、ソースの電力増幅器をバックドライブすることを避ける。

【0432】

図 5 5 は、切替可能な補助増幅器 5 5 0 2 を有する無線電力伝送システムの一実施形態の基本回路図を示す。車両共振器へ無線で電力を送っている間、スイッチ S_1 及び S_2 は開いており、そのため補助増幅器 5 5 0 2 はシステムから分離している。システムの電力増幅器は、無線で電力を送るための磁場を生成する、コイル L_s を駆動する。

【0433】

FOD / LOD を測定するために、スイッチ S_1 を閉じることによって、補助増幅器 5 5 0 2 をシステムに結合する。同時にスイッチ S_1 も閉じて、コンデンサ C_T を用いるブロッキングタンク回路を生み出す。ブロッキングタンク回路は、補助増幅器 5 5 0 2 がシステムの電力増幅器を駆動することを妨げる。その代わりに、補助増幅器 5 5 0 2 は、FOD / LOD を検出するための測定磁場を生成する、コイル L_s を駆動する。上述したように、測定磁場が車両共振器において電流を誘導しないことを確実にするために、補助増幅器 5 5 0 2 は、電力伝送周波数と十分に異なる周波数でコイル L_s を駆動する。特定の実施形態では、補助増幅器 5 5 0 2 がコイル L_s を駆動する周波数を、車両共振器における誘導電流を最小化するように選択することができる。

10

20

30

40

50

【 0 4 3 4 】

いくつかの実施形態では、ソースのインピーダンスマッチングネットワークは、誘導子 L_3 を含まない。かかる実施形態では、図 5 5 の切替可能なコンデンサ C_T の導入と類似する方法で、コンデンサ C_3 を横切る切替可能な誘導子 L_T を導入することで、ブロッキングタンク回路を実装できる。

【 0 4 3 5 】

特定の実施形態では、1つ以上の検出器におけるインダクタンス変化を測定することで、FODを検出することができる。上述したように、本明細書で説明するFOD検出は一般に、1つ以上の巻数の導電材料からなるループを有する。センサ付近に金属のFODが存在することで、当該FODがセンサループに流れる電流が生成する磁場に影響を与えることがあるため、FODセンサループのインダクタンスに影響を与えることがある。したがって、FOD検出器のインダクタンスを測定することで、検出器付近のFODの存在を検出することができる。

【 0 4 3 6 】

図 5 6 は、インダクタンス測定コントローラ 5 6 0 4 に接続された検出器 5 6 0 2 のアレイを示す概略図である。一般に検出器 5 6 0 2 は、無線電力伝送システムのソース検出器と車両検出器との間、又は無線電力伝送システムのソース検出器及び車両検出器の周囲に配置される。ソース検出器の周辺のFODの存在を検出するために、コントローラ 5 6 0 4 は検出器 5 6 0 2 のそれぞれのインダクタンスを測定する。FODは、アレイに対するインダクタンス測定の期待値 / 較正值からの変化又は偏差に基づいて検出される。検出器 5 6 0 2 のインダクタンス変化を測定するのに適したコントローラには例えば、Texas Instrument（登録商標、テキサス州ダラス）社から入手できるLDC1000コントローラが含まれる。

【 0 4 3 7 】

検出器のコイルのインダクタンス変化を測定するFOD検出システムでは、例えば図 5 6 に示すように、それぞれの検出器はLC共振回路として働く。したがって、検出器が、検出器のプリント回路基板と一体化する場合（図 5 7 A 及び 5 7 B に関する下記の説明を参照）、プリント回路基板は一組の共振器のアレイで構成される。異物がアレイの特定の検出器（すなわち共振器）のインダクタンスを摂動させるときに、付近の検出器（すなわち共振器）も、これら検出器が互いに接続されているために影響を受ける。ゆえに、特定の検出器のインダクタンスおよび / または抵抗の測定された変化は、検出器の近くに位置する異物による影響を受けるだけでなく、隣接する検出器の近くに位置する異物による影響も受ける。アレイの共振器間の共振結合に起因する、この「増幅」又は「分配」効果によって、異物に対するアレイ全体の感度を著しく向上させることができ、それによってシステムが検出できるかかる異物の精度を向上させることができる。

【 0 4 3 8 】

現在の節又は上述した節において、無線電力伝送システムにおいてFOD / LODを検出する様々な計測方法を開示した。かかるシステムの様々な動作モードにおいて当該方法をそれぞれ使用することができ、様々な方法を組み合わせることができ、および / または様々な方法を同様のシステムに対する異なる動作モードで使用できることが理解されるであろう。

【 0 4 3 9 】

例えば、3つの動作モードの全てにおいて、磁場センシング（すなわちソース共振器が生成する磁場の摂動の検出）を用いることができ、磁場センシングは電力がソースから車両検出器に有効に伝送される第3の動作モードにおいて特に有益である。補助コイルによるFOD検出をこれら3つの動作モードのすべてに対して使用することができ、補助コイルによるFOD検出はソース共振器が有効な磁場を生成していないモード1及び2に対して特に有益である。同様に、これら3つの動作モードのすべてにおいて、FODを検出するためにインダクタンスを計測することができ、FODを検出するためにインダクタンスを計測することはソース共振器が有効な磁場を生成していないモード1及び2において特

に有益である。図 5 5 に示すような切替可能な補助増幅器を備える無線電力伝送源は一般に、システムの動作モード 1 及び 2 において補助増幅器を用いて磁場を生成し、システムがモード 3 で動作しているときに本明細書で説明した他のいずれかの方法で F O D を検出する。

【 0 4 4 0 】

図 5 7 A は、F O D 検出システムの例示的实施形態を示す。いくつかの実施形態において、F O D 検出センサ基板は、いくつかの回路基板 5 7 0 6 A - D からなり得る。このことは、中継基板 5 7 0 4 及び電子基板 5 7 0 2 と機械的に組立てるのに有益となり得る。さらに、F O D 検出センサ基板をいくつかの基板に分解することで、コストを削減することができる。例えば、1 つの大きなプリント回路基板が、4 つのより小さなプリント基板よりも高価となる場合がある。中継基板 5 7 0 4 はコネクタ 5 7 0 7 を備え、F O D 検出センサ基板 5 7 0 6 A - D からの信号が電子基板 5 7 0 2 へのパスを持つ。電子基板 5 7 0 2 は、電力及び制御回路素子、通信手段及び信号処理能力を備えることができる。

10

【 0 4 4 1 】

図 5 7 B は、F O D 検出システムの例示的实施形態の平面図を示す。特定の実施形態では、中継基板 5 7 0 4 及び電子基板 5 7 0 2 を、ソース共振器コイル 5 7 1 0 の中間のスペース 5 7 1 2 内に適合する寸法および / または形状とすることができる。次に F O D 検出センサ基板 5 7 0 6 A - D を、ソース共振器 5 7 1 0 の上部で、ソース共振器 5 7 1 0 の中間の中継基板 5 7 0 4 及び電子基板 5 7 0 2 に接続することができる。いくつかの実施形態では、シールドリングを中継基板 5 7 0 4 及び電子基板 5 7 0 2 の上又は周りに用いて、電力を伝送するのに使用する磁場の損失を減少させることができる。シールドリングを、銅、アルミニウム及び磁性材料等から形成することができる。

20

【 0 4 4 2 】

(補助システム構成)

いくつかの実施形態において、ソース共振器コイルが磁場を生成していないときに、補助コイルを用いて F O D センサ用の補助磁場を生成することができる。これにより、ソース共振器が電力を車両のデバイス共振器に供給していない間 (例えば、車両が存在しないとき又は充電動作が始まる前)、F O D センサを作動させることができる。特定の実施形態では、ソースの出力が低いときに、補助磁場は有益となり得る。

30

【 0 4 4 3 】

図 5 8 A は、ソース共振器コイル 5 8 0 0 と、ソース共振器コイル 5 8 0 0 の上に配置された回路基板 5 7 0 6 A - D との実施形態の平面図である。回路基板 5 7 0 6 A - D は、F O D センサと 1 つ以上の補助コイルとを備えることができる。図 5 8 B は、ソース共振器コイル 5 8 0 0 と、第 1 回路基板 5 8 0 2 A と、第 2 回路基板 5 8 0 2 B との実施形態の側面図である。実施形態では、補助コイルを第 1 回路基板 5 8 0 2 A 上にプリントし又は巻き付けることができ、F O D センサを第 2 回路基板 5 8 0 2 B 上にプリントし又は巻き付けることができる。実施形態では、補助コイルを第 2 回路基板 5 8 0 2 B 上にプリントし又は巻き付けることができ、F O D センサを第 1 回路基板 5 8 0 2 A 上にプリントし又は巻き付けることができる。第 2 回路基板の上面付近に位置するであろう異物のより近くに F O D センサが存在するように、F O D センサを第 2 回路基板 5 8 0 2 B 上にプリントし又は巻き付けることが有利となり得る。いくつかの実施形態では、センサ及び補助コイル 5 8 0 2 A 及び 5 8 0 2 B は、プリント回路基板 (P C B) の異なる層を占めることができる。プリント回路基板 (P C B) は、補助コイルの製造プロセスにおける再現精度を高めることができる。特定の実施形態では、センサ基板を補助コイル基板から物理的に分離させることができる。いくつかの実施形態では、補助コイルを、巻回された導体 (中実銅、銅被覆アルミニウム、リッツ線等) から作ることができる。いくつかの実施形態では、補助コイルを、F O D センサを有するプリント回路基板の表面に固着された、巻回された導体から作ることができる。例示的实施形態において、F O D センサのトレースと補助コイルとが直接積み重ならないことを確保することが有益となり得る。F O D センサのトレースと補助コイルとが直接積み重なる場合、補助コイルが、強く F O D センサに結

40

50

合して、予期した電圧よりも大きな電圧を誘導することがある。

【 0 4 4 4 】

特定の実施形態では、補助コイルが、センサ基板 5706A-D 上の各 FOD センサ上で、ソース共振器コイルが生成する電圧に類似した電圧を誘導することが有利となり得る。このことで、磁場を生成するソース無しに、FOD センサ基板に、FOD センサに対する電圧の「ダイナミックレンジ」が類似することを期待でき、FOD センサに対する電圧の「ダイナミックレンジ」が類似するように較正できる。特定の実施形態において、補助コイルが、FOD センサ基板に対して、より小さい電圧の「ダイナミックレンジ」を誘導することが、センサ信号の大きさを互いにより近付けることができるために、有利となり得る。いくつかの実施形態において、補助コイルを線形増幅器（例えばテキサス州ダラスにある Texas Instruments 社の LM675）によって駆動することができる。線形増幅器は、補助コイルを駆動する際に、コストを低減できおよび / または生成される高調波成分を低減できる点で有益となり得る。駆動信号中の高調波成分を低減することで、システムのノイズを低減する。

10

【 0 4 4 5 】

いくつかの実施形態では、ソース共振器が駆動される周波数と同様の周波数で、補助コイルを駆動できる。例えば、ソース共振器コイルおよび補助コイルを、約 85 kHz（± 5 kHz、± 10 kHz 又はより大きな範囲内）で駆動できる。これにより、FOD センサに対してより大きな信号強度を供給できる。特定の実施形態において、補助コイルに対する駆動周波数をより高くすることによって、より低い駆動周波数の信号に比べてより大きな信号を誘導できる。このことは、FOD センサに対する誘導電圧が、補助コイルの駆動周波数、磁場及び面積に正比例することによるものである。補助コイルをソースと同じ周波数で駆動することにより、駆動コイルにソース共振器コイルおよび / またはデバイス共振器コイルで電流を誘導させることができる。例えば、デバイス共振器コイルで電流が誘導され、デバイス共振器コイルのソース共振器コイルに対する位置合わせのオフセットのために、FOD センサが精度良く FOD を検出できないおそれがある。このことは、いくつかのモードにおいて、FOD センサの較正が、ソース共振器コイルに対するデバイス共振器コイルの位置から独立していないことがあるためである。ソース共振器コイルで電流を誘導することにより、補助コイルが生み出す磁場を、ソースが（誘導電流により）生み出す任意の磁場によって相殺することができる。これにより、正味の磁場をより小さくする効果を発揮することができ、またこれにより、ソース電子部品をバックドライブする可能性（このことは損傷を与えるおそれがある）を抑えることもできる。

20

30

【 0 4 4 6 】

この効果は、ソース共振器の共振周波数よりも高い周波数でも生じ得る。例えば、補助コイルの周波数がソース共振コイルの共振周波数よりも高い場合（ $\omega_{aux} \gg \omega_{source}$ ）、ソース共振器コイルにおける誘導電流 I_{source} はおおよそ以下の式のように表される。

【 数 2 4 】

$$I_{source} = \frac{j\omega_{aux} M I_{aux}}{j\omega_{aux} L_{source} (1 - \frac{\omega_{source}^2}{\omega_{aux}^2}) + R_{source}} \approx k \sqrt{\frac{L_{aux}}{L_{source}}} I_{aux}$$

40

(24)

ここで M は相互インダクタンスであり、 I_{aux} は補助コイルにおける電流であり、 L_{source} はソース共振器コイルのインダクタンスであり、 R_{source} はソース共振器の抵抗であり、 k は結合係数であり、 L_{aux} は補助コイルのインダクタンスである。しかしながら、起こり得る補助コイルの近接により、また起こり得る補助コイルの形状により、ソース共振器と補助コイルとの間の結合係数 k が大きくなり得る。したがって、周波数とは無関係に、誘導電流 I_{source} を大きくすることができる。デバイス共振器コイルにおけ

50

る誘導電流に対して、類似する近似を行うことができる。

【 0 4 4 7 】

あるいは、ソース共振器の周波数よりも低い周波数で、補助コイルを駆動できる（ $\omega_{source} \gg \omega_{aux}$ ）。この場合には、ソース共振器コイルにおける誘導電流 I_{source} はおおよそ以下の式のように表される。

【 数 2 5 】

$$I_{source} \approx \frac{j\omega_{aux} M I_{aux}}{-j\omega_{aux} L_{source} \frac{\omega_{source}^2}{\omega_{aux}^2}} \approx \frac{\omega_{aux}^2}{\omega_{source}^2} k \sqrt{\frac{L_{aux}}{L_{source}}} I_{aux}$$

(25)

10

【 0 4 4 8 】

$\omega_{aux}^2 / \omega_{source}^2 \ll 1$ の場合（例えば、補助コイルの周波数が、ソース共振器コイルの周波数よりも小さい場合）には、誘導電流 I_{source} が小さくなり得る。いくつかの実施形態では、より低い補助コイルの周波数を使用する効果の1つは、FODセンサ信号の振幅をより小さくできることである。FODセンサ信号がより小さい場合には、FODセンサの信号雑音比（SNR）が悪化するおそれがあり、したがって異物検出のロバスト性が低下するおそれがある。特定の実施形態において、ソース共振器コイルを約 85 kHz（± 5 kHz、± 10 kHz 又はより大きな範囲内）で駆動した場合、補助コイルを約 85 kHz（± 5 kHz、± 10 kHz 又はより大きな範囲内）未満、例えば約 50 kHz 又は約 30 kHz 以下で駆動できる。

20

【 0 4 4 9 】

図 5 9 A は、異物検出システム用の補助コイル 5 9 0 2 の実施形態の平面図を示す。図 5 9 A は、1 つ以上の回路基板 5 9 0 4 A - D の一部としての補助コイル 5 9 0 2 を示す。いくつかの実施形態において、ソース共振器コイル（例えばソース共振器コイル 5 8 0 0）の巻線にほぼ従うように補助コイル 5 9 0 2 を巻き付けることができる。ソース共振器コイルの巻線に密接に従うことの利点は、ソースをオフにしたときに、補助コイルの磁場の強さ及び位相が、ソース共振器コイル 5 8 0 0 からの磁場の強さ及び位相に近づくことである。補助コイルがソース共振器コイルの巻線に密接に従うことの他の利点は、補助コイルの磁場によって FOD センサで誘導される電圧のダイナミックレンジが、ソースの磁場によって誘導される電圧のダイナミックレンジに類似することである。図 5 9 A に示す実施形態において、補助コイル 5 9 0 2 は、（それぞれの巻数がほぼ 4 である）コイルのセットを 4 セット備え、コイルの各セットは PCB 基板からなるペタル 5 9 0 4 A - D 上に配置される。コイルの各セットは、中央 5 9 1 0 で中継基板 5 7 0 4 および / または電子基板 5 7 0 2 に接続された、リターントレース（return traces、例えばトレース 5 9 0 6 及び 5 9 0 8）を有する。これらの基板のいずれか一方は、補助コイル 5 9 0 2 用の駆動電子部品（増幅器を含む）を備えることができる。図 5 9 B は、説明された有効なコイルを有し、図 5 9 A に示す補助コイル基板の磁場を相殺するモデルを示す。例えば、リターントレース 5 9 0 6 及び 5 9 0 8 で生成される磁場は相殺し、コイルの有効な形状をコイル 5 9 1 2 の巻数 4 のループに類似させることができる。各ループの端子 5 9 1 4 を接続して、ループを互いに直列に接続することができる。図 5 9 C は、ソース共振器コイル 5 8 0 0 の一部 5 9 1 6 と補助コイル 5 9 0 2 の一部 5 9 1 8 とのモデルを示す。上述したように、補助コイル 5 9 0 2 はソース共振器コイルのトレースに従う。いくつかの実施形態では、補助コイルのトレース 5 9 1 8 を、補助磁場の形状がソース磁場の形状と類似するように、ソース共振器コイルのトレース 5 9 1 6 上に均等に分布させることができる。

30

40

【 0 4 5 0 】

図 5 9 D は、補助コイル 5 9 0 2 及びソース共振器コイル 5 8 0 0 の例示的实施形態の側面図を示す。補助コイル 5 9 0 2 を流れる電流は約 500 mA の振幅を有することができる、ソース共振器コイル 5 8 0 0 を流れる誘導電流の振幅を約 3 A とすることができる。

50

このことで、ソース共振器コイル 5 8 0 0 が生成する磁場 5 8 2 0 が、補助コイル 5 9 0 2 が生成する補助磁場 5 8 2 2 に比べてより強くなる。なお、ソース共振器コイルは同時に駆動されず、より強い磁場 5 8 2 0 はソース共振器コイルにおける誘導電流によるものである。2つの磁場間で磁場が相殺されることを考慮して、正味の磁場は F O D センタに対して有益な磁場となる。かかる磁場により、F O D センサに対する電圧のダイナミックレンジを類似させることができ、したがって F O D に対する感度を類似させることができる。

【0451】

図 6 0 A は、異物検出システム用補助コイルの例示的实施形態の概略図を示す。補助コイルは、4つの回路基板 6 0 0 4 A - D 上にプリントされ又は巻き付けられる。回路基板のそれぞれは、導線の外側ループ 6 0 0 6 と導線の内側ループ 6 0 0 8 とを有する。回路基板の内側の縁においてトレース（例えば 6 0 1 0 および 6 0 1 2）で生成される磁場の大部分が相殺される。有効なコイルにより、図 6 0 B に示すモデルがもたらされる。より小さな外側ループ 6 0 0 6 A - D は、より大きな外側ループ 6 0 1 6 を形成し、より小さな内側ループ 6 0 0 8 A - D は、より大きな内側ループ 6 0 1 8 を形成する。有効な内側ループ 6 0 1 8 を有することの利点は、有効な内側ループ 6 0 1 8 が外側ループ 6 0 1 8 の中央のより弱い磁場を補償できることである。この構成の利点は、使用する導電材料（例えば銅）の量を低減させ、補助コイルの重量もコストも低減させることである。ループの当該セットのそれぞれが、中央 6 0 1 4 付近で電気的に直列に接続され、中継基板 5 7 0 4 および / または電子基板 5 7 0 2 に結合され得る。いくつかの実施形態において、補助コイル 6 0 0 2 は、中継基板 5 7 0 4 および / または電子基板 5 7 0 2 の少なくとも一方で、線形増幅器によって約 3 0 k H z で駆動され得る。

【0452】

図 6 1 は、異物検出システム用補助コイルの例示的实施形態のモデルを示す。補助コイル 6 1 0 2 A - D は、回路基板 6 1 0 4 A - D 上にプリントされ又は巻き付けられる。実施形態において、補助コイル 6 1 0 2 A - D のそれぞれが独立した増幅器によって駆動され、4つの補助コイルに対して4つの増幅器が存在する。この構成の利点は、磁場が内側のトレースで（例えば 6 1 0 8 及び 6 1 1 0 で）で相殺されないことである。複数の補助コイルを用いることの他の利点は、これら補助コイルがソース共振器及びデバイス共振器と結合しにくくなり、補助コイルの効力をデバイスの位置と無関係にできることである。いくつかの実施形態において、補助コイル 6 1 0 2 A - D を、中間基板 5 7 0 4 および / または電子基板 5 7 0 2 の少なくとも一方の上で、独立した増幅器に接続することができる。複数の線形増幅器は、複数の補助コイルを約 3 0 k H z で駆動することができる。特定の実施形態では、4つ未満の増幅器で補助コイル 6 1 0 2 A - D を駆動することができる。例えば、4つの補助コイルを結合するためのスイッチ（リレー等）を有する単一の増幅器を使用することができる。

【0453】

図 6 2 は、異物検出システム用補助コイルの実施形態の概略図を示す。補助コイル 6 2 0 0 は、回路基板 6 2 0 4 A - D 上にプリントされ又は巻き付けられた、4つのより小さな補助コイル 6 2 0 2 A - D を備えることができる。より小さな補助コイル 6 2 0 2 A - D を、単一の増幅器によって駆動することができ、回路基板 6 2 0 4 A - D の縁から離して配置し、したがってこれら補助コイル 6 2 0 2 A - D の磁場は相殺されない。

【0454】

特定の実施形態において、ソース共振器コイルの上または付近に配置された補助コイルは、ソース共振器の品質係数に悪影響を与えるおそれがある。この問題を解決する1つの方法は、補助コイルの構造において使用される、導電材料の量を減らすこと、および / または補助コイルの巻数を減少させることである。他の方法によって、ソースの領域にわたる導電材料の量を減らすことができる。例えば、銅の使用量を増加させることで、導体の垂直方向厚さを有効に増加して、導体の水平方向厚さを減少させることができ、したがってソース共振器コイルの真上の導体の面積を減少させることができる。

【 0 4 5 5 】

図 6 3 A ~ 6 3 B は、異物検出システム用補助コイルの実施形態の概略図を示す。図 5 9 A 及び 6 0 A に示すような回路基板の中央につながるコイルの各セットのトレースに代えて、本実施形態のトレースはそれぞれ隣接する基板の対応部分に接続される。図 6 3 A に示すように、図 5 9 A に示す補助コイルに類似する補助コイルに関して、回路基板 5 9 0 4 B 上のトレース 6 3 0 2 を、コネクタ 6 3 0 6 を介して回路基板 5 9 0 4 D 上のトレース 6 3 0 4 に接続して、図 5 9 B に示す補助コイルと類似する有効な補助コイルを作り出すことができる。いくつかの実施形態において、コネクタは、複数の回路基板を横断するハンダ付けされた導線や、基板対基板コネクタ等を含むことができる。図 6 3 B に示すように、図 6 0 A に示す補助コイルに類似する補助コイルに関して、回路基板 6 0 0 6 B 上のトレース 6 3 0 8 を、コネクタ 6 3 1 2 を介して回路基板 6 0 0 6 D 上のトレース 6 3 1 0 に接続して、図 6 0 B に示す補助コイルと類似する有効な補助コイルを作り出すことができる。

10

【 0 4 5 6 】

(ハードウェア及びソフトウェアの実装)

本明細書で説明する方法およびステップは、1つまたは複数の電子プロセッサおよび/または専用の電子回路などの種々の処理ハードウェア部品を含む制御電子装置で実行することができる。例えば、制御電子装置は電圧の種々のパターンをデータ記憶装置に記憶された校正データと比較するように構成してもよい。別の例として、制御電子装置は、上述したように、ノイズの提供を減らすために、2つの異なる L O D センサからの静電容量変化測定信号間の相関を分析するように構成してもよい。

20

【 0 4 5 7 】

本明細書で説明するソースコイルおよびデバイスコイルは、電力伝送のために共振器を使用しない無線電力伝送システムにおいて実行することができる。本開示技術は無線電力伝送システムに適用させることができる。

【 0 4 5 8 】

図 2 7 は、F O D / L O D 検出システム、校正エンジン、検出エンジンなどの先述のコンピュータ化された電子デバイスの一部として組み込むことのできるコンピュータシステムの実施形態を示す。図 2 7 は種々の実施形態によって提供される方法の種々のステップを行うことのできる、コンピュータシステム 6 0 0 の一実施形態の略図である。尚、図 2 7 は、その何れかまたは全てを適切に使用することのできる、種々の部品の概要図を提供するだけのものである。図 2 7 は、従って、個々のシステム素子を比較的離して、または比較的一体化して、どのように実行させるかを広範囲に示している。

30

【 0 4 5 9 】

コンピュータシステム 2 7 0 0 はバス 2 7 0 5 を介して電氣的に接続することのできる(または適切に通信している)ハードウェア素子を備えることができる。ハードウェア素子は、1つまたは複数の汎用プロセッサおよび/または1つまたは複数の特殊用途プロセッサ(デジタル信号処理チップ、グラフィック高速化プロセッサ、ビデオデコーダなど)を制限なく含むことのできる1つまたは複数のプロセッサ 2 7 1 0 ; リモートコントローラなどを制限なく含むことのできる1つまたは複数の入力デバイス 2 7 1 5 ; およびディスプレイデバイス、オーディオデバイスなどを制限なく含むことのできる1つまたは複数の出力デバイス 2 7 2 0 を含むことができる。

40

【 0 4 6 0 】

コンピュータシステム 2 7 0 0 は1つまたは複数の非一過性記憶デバイス 2 7 2 5 をさらに備え(および/またはそれらと通信することができ)、これは、局所および/またはネットワークアクセス可能なストレージを制限なく含むことができ、および/またはディスクドライブ、ドライブアレイ、光記憶デバイス、ランダムアクセスメモリ(R A M)および/または読み取り専用メモリ(R O M)などのソリッドステート記憶デバイスを制限なく含むことができ、これらはプログラム可能、フラッシュ更新可能などである。このような記憶デバイスは、種々のファイルシステム、データベース構造体などを制限なく含む

50

任意の適切なデータ保存を実行するように構成することができる。

【0461】

コンピュータシステム2700は通信サブシステム2730も備えることができ、これは、モデム、ネットワークカード（無線または有線）、赤外通信デバイス、無線通信デバイスおよび/またはチップセット（ブルートゥースデバイス、802.11デバイス、Wi-Fiデバイス、WiMaxデバイス、携帯通信デバイスなど）などを制限なく含むことができる。通信サブシステム2730は、ネットワーク（下記に一例を挙げるネットワークなど）、他のコンピュータシステムおよび/または本明細書に記載される任意の他のデバイスとのデータ交換が可能である。多くの実施形態において、コンピュータシステム2700は上述のRAMまたはROMデバイスを含むことのできるワーキングメモリ2735をさらに含むことができる。

10

【0462】

コンピュータシステム2700はワーキングメモリ2735内に現在位置するように示されているソフトウェア素子も備えることができ、ワーキングメモリにはオペレーティングシステム2740、デバイスドライバ、実行可能なライブラリ、および/またはアプリケーションプログラム2745などのその他のコードが含まれ、また、コンピュータシステムは、1つまたは複数の種々の実施形態によって提供されるコンピュータプログラムを含み、ならびに/または本明細書に記載された他の実施形態による方法の実行および/もしくはシステムの構成を行うように設計することができる。単に例として上述の方法に関連して説明した1つまたは複数の処理は、コンピュータ（および/またはコンピュータ内のプロセッサ）によって実行可能なコードおよび/または指示として実行することができ、一態様において、このようなコードおよび/または指示は、記載した方法に従って1つまたは複数の動作を行うために、汎用コンピュータ（または他のデバイス）を構成および/または適合するために使用することができる。

20

【0463】

一組のこれらの指示および/またはコードは、上述の非一過性記憶デバイス2725などの非一過性コンピュータ可読記憶媒体に記憶することができる。いくつかの場合において、記憶媒体はコンピュータシステム2700などのコンピュータシステムに組み込むことができる。他の実施形態において、記憶媒体はコンピュータシステムから分離させることができる（例えば、コンパクトディスクなどの取り外し可能な媒体）、および/または設置パッケージ内に設け、記憶媒体はそれに記憶された指示/コードを使って、汎用コンピュータのプログラム、構成および/または適合に使用することもできる。これらの指示はコンピュータシステム2700によって実行可能な実行可能コードの形態をとってもよい、ならびに/または、（例えば、種々の一般に入手可能なコンパイラ、設置プログラム、圧縮/解凍ユーティリティなどを使用した）コンピュータシステム2700へのコンパイルおよび/もしくは設置時に、ソースおよび/もしくは設置可能なコードの形態をとってもよい、そして実行可能なコードの形態をとってもよい。

30

【0464】

当業者であれば特定の要件に従って大きな変更が行われる可能性があることを理解されよう。例えば、カスタマイズされたハードウェアも使用することができる、および/または特定の素子をハードウェア、ソフトウェア（アプレットなどの携帯ソフトウェアを含む）もしくはそれらのどちらでも実行することができる。さらに、ネットワーク入力/出力デバイスなどの他の計算デバイスへの接続も利用することができる。

40

【0465】

上述の様に、一態様において、いくつかの実施形態は開示技術の種々の実施形態に従って方法を実行するために、コンピュータシステム（コンピュータシステム2700など）を利用することができる。1組の実施形態によれば、このような方法のいくつかまたは全ての手順は、ワーキングメモリ2735に含まれる、一連の1つまたは複数の指示（オペレーティングシステム2740および/またはアプリケーションプログラム2745などのその他のコードに組み込まれる）を実行するプロセッサ2710に応じて、コンピュ

50

タシステム 2700 によって行われる。このような指示は、1 つまたは複数の非一過性記憶デバイス 2725 などの別のコンピュータ読み取り可能媒体からワーキングメモリ 2735 に読み込むことができる。単なる例として、ワーキングメモリ 2735 に含まれる一連の指示の実行により、本明細書に記載される方法の 1 つまたは複数の処理をプロセッサ 2710 に行わせることができる。

【0466】

本明細書で使用する「機械可読媒体」、「コンピュータ可読記憶媒体」および「コンピュータ可読媒体」という用語は、機械を特定のやり方で動作させるデータの提供に關与する任意の媒体を指す。これらの媒体は非一過性であってもよい。コンピュータシステム 2700 を使用して実行される実施形態において、種々のコンピュータ可読媒体は、実行のため、プロセッサ 2710 への指示 / コードの提供に關与することができる、ならびに / またはこのような指示 / コードの保存および / もしくは伝達のために使用することができる。多くの実行において、コンピュータ可読媒体は物理的および / または有形の記憶媒体である。このような媒体は不揮発性媒体または揮発性媒体の形態をとることができる。不揮発性媒体には、例えば、非一過性記憶デバイス 2725 のような光ディスクおよび / または磁気ディスクがある。揮発性媒体には、ワーキングメモリ 2735 などのダイナミックメモリが制限なく含まれる。

【0467】

物理的および / または有形のコンピュータ可読媒体の共通の形式には、例えば、フロッピーディスク、フレキシブルディスク、ハードディスク、磁気テープもしくは任意のその他の磁気媒体、CD-ROM、任意のその他の光媒体、マークのパターンのついた任意のその他の物理的媒体、RAM、PROM、EPROM、FLASH-EPROM、任意のその他のメモリチップもしくはカートリッジ、またはコンピュータが指示および / もしくはコードを読みとることのできる任意のその他の媒体が含まれる。

【0468】

コンピュータ可読媒体の種々の形態は、実行のために、1 つまたは複数のシーケンスの 1 つまたは複数の指示のプロセッサ 2710 への伝送に關与する。単なる例として、指示は最初にリモートコンピュータの磁気ディスクおよび / または光ディスクに運ぶことができる。リモートコンピュータは指示をそのダイナミックメモリにロードし、その指示をコンピュータシステム 2700 によって受信および / または実行されるよう、信号として伝送媒体で送ることができる。

【0469】

通信サブシステム 2730 (および / またはその部品) は一般に信号を受信し、それからバス 2705 がそれらの信号 (および / または信号によって運ばれたデータ、指示など) をワーキングメモリ 2735 に運び、それからプロセッサ 2710 は指示を検索して実行する。ワーキングメモリ 2735 によって受信された指示は、プロセッサ 2710 の実行前または実行後の何れかに、任意選択で非一過性記憶デバイス 2725 に保存することができる。

【0470】

上述の方法、システムおよびデバイスは例である。構成によっては、必要に応じて種々の処理または部品を削除、交換または追加することができる。例えば、代替構成において、これらの方法は記載されたものとは異なる順序で行ってもよい、ならびに / または種々のステージを追加、削除および / もしくは組み合わせてもよい。また、特定の構成に関して記載した特徴を種々のその他の構成と組み合わせてもよい。同様に構成の異なる態様および要素を組み合わせてもよい。また、技術は進化する、従って要素の多くは例であり、本開示または請求項の範囲を制限しない。

【0471】

例示的構成 (実装を含む) の完璧な理解を提供するために、特定の詳細を明細書に提供した。しかしながら構成はこれらの特定の詳細なく実施することができる。例えば、周知の回路、手順、アルゴリズム、構造、技術は、構成を曖昧にしないように、不必要な詳細

10

20

30

40

50

を記載せずに示した。本明細書は例示的構成のみを提供するものであり、請求項の範囲、適用性または構成を制限しない。むしろ、先述した構成により、当業者は記載した技術を実行することができる。本開示の趣旨または範囲から逸脱せずに、種々の変更を素子の機能または配置に対して行うことができる。

【0472】

また、構成は、フローチャートまたはブロック図として示される工程として記載することができる。各図は動作を一連の工程として説明するものであるが、動作の多くを並行して、または同時に行うことができる。さらに、動作の順番は変えてもよい。工程は図に含まれない追加のステップを含んでもよい。さらに、これらの方法の例は、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、ミドルウェア、マイクロコード、ハードウェア記述言語またはこれらの任意の組み合わせによって実行することができる。ソフトウェア、ファームウェア、ミドルウェアまたはマイクロコードで実行する場合、必要なタスクを実行するプログラムコードまたはコードセグメントは、記憶媒体などの非一過性コンピュータ可読媒体に保存することができる。プロセッサは記載したタスクを実行することができる。

10

【0473】

本開示において、「調整」、「評価」、「計算」、「調節」および/または「アルゴリズム」などの用語は、較正手順の一部を説明するため、または較正の同意語として使用することができる。加えて、本開示において、方法または処理の一部である用語は方法それ自体と同意語として使用することができる。例えば、アルゴリズムは計算、調節などと呼ぶことができる。

20

【0474】

開示技術を特定の好適な実施形態と関連させて記載してきたが、その他の実施形態は本開示の範囲に含まれると当事者は理解する。例えば、無線電力の伝送に関連する設計、方法、部品構成は、種々の特定のアプリケーションおよびその例に沿って記載した。当業者であれば本明細書に記載された設計、部品、構成または部品を組み合わせ、または交換可能に使用することができ、上述の記載が部品のこのような組み合わせまたは互換性を本明細書に記載されたもののみに制限しないことが理解されよう。

【0475】

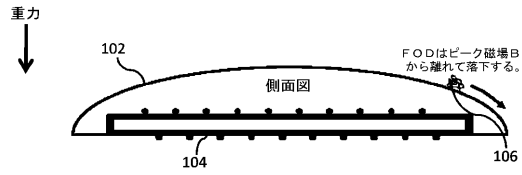
尚、本明細書に記載した技術は、電磁場を使って電力を伝送する任意の無線電力システムに適用することができる。記載された高共振無線電力システムのソース共振器およびデバイス共振器がある場合、当業者であれば、同じセンサ、検出器、アルゴリズム、サブシステムなどが、一次コイル、二次コイルを使った誘導システムに関して記載されると理解されよう。

30

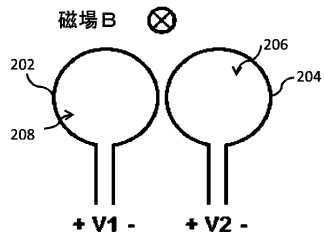
【0476】

本明細書で参照する全ての文献を、参照として本明細書に援用する。

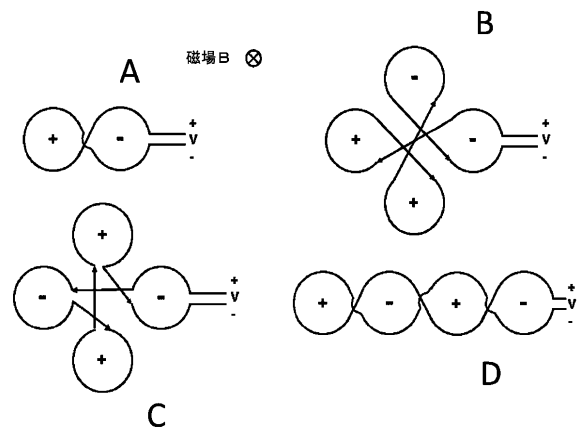
【 図 1 】



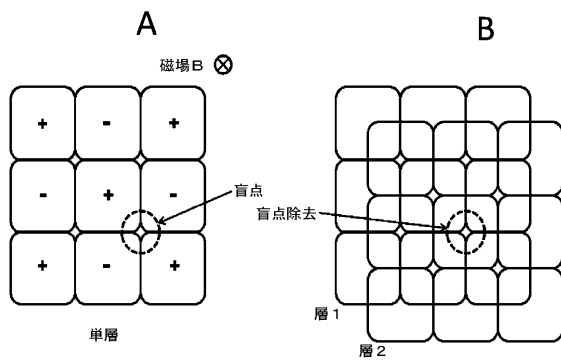
【 図 2 】



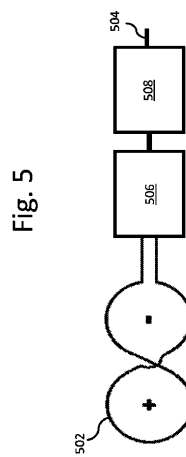
【 図 3 】



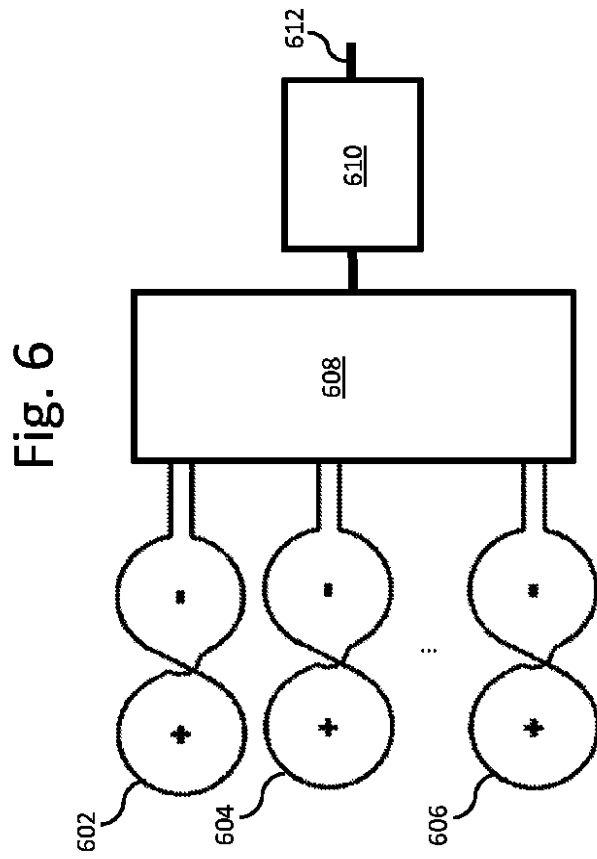
【 図 4 】



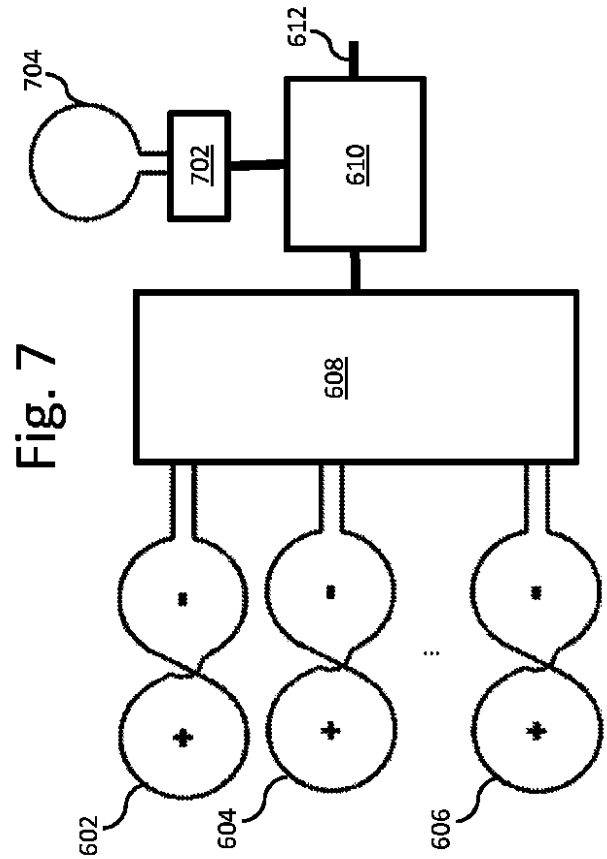
【 図 5 】



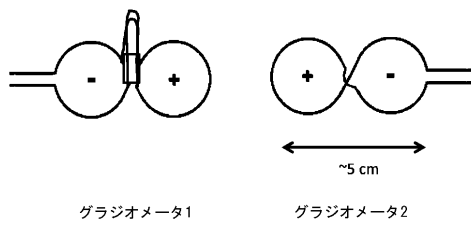
【 図 6 】



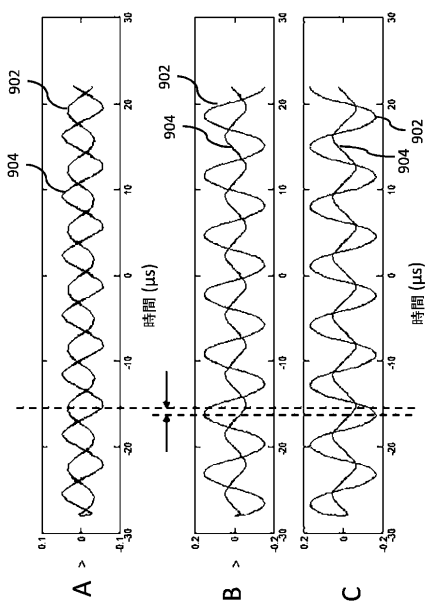
【 図 7 】



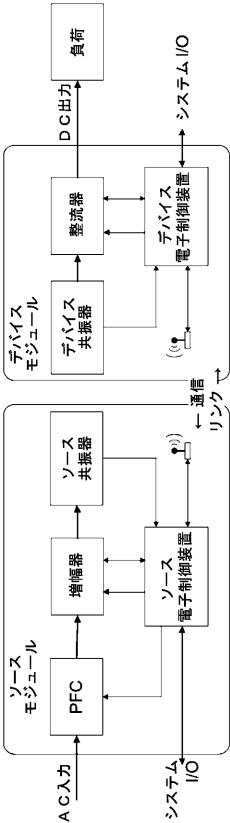
【 図 8 】



【 図 9 】



【図 1 0】



【図 1 1 A】

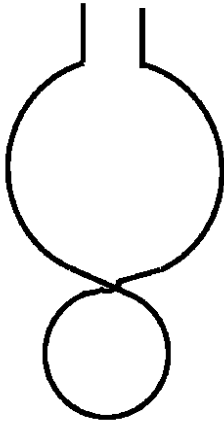


Fig. 11A

【図 1 1 B】

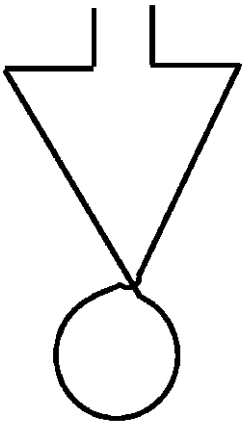


Fig. 11B

【図 1 1 C】

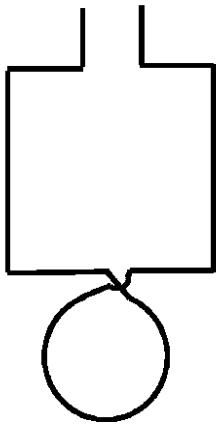
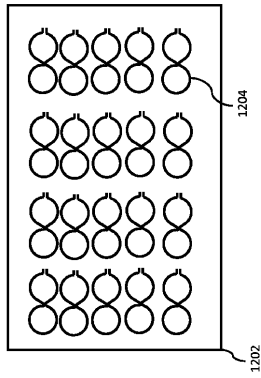


Fig. 11C

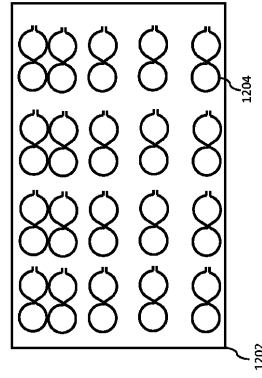
【 図 1 2 】

Fig. 12



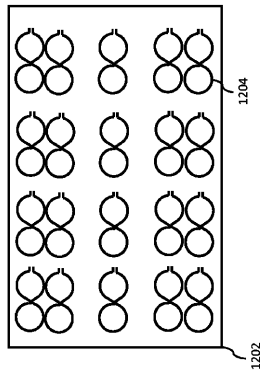
【 図 1 4 】

Fig. 14



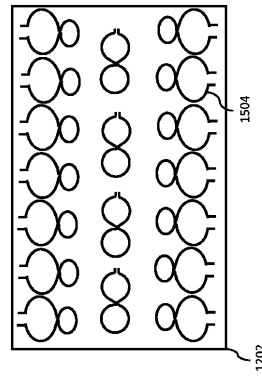
【 図 1 3 】

Fig. 13

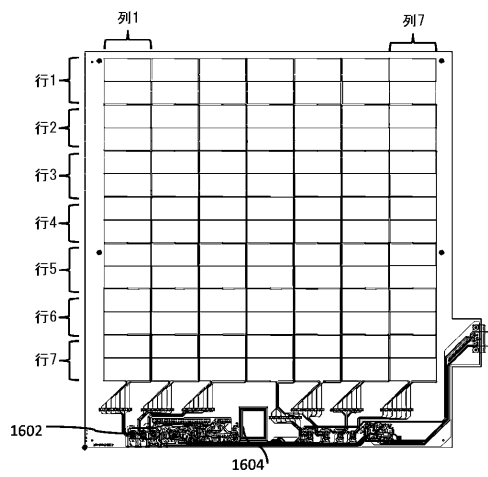


【 図 1 5 】

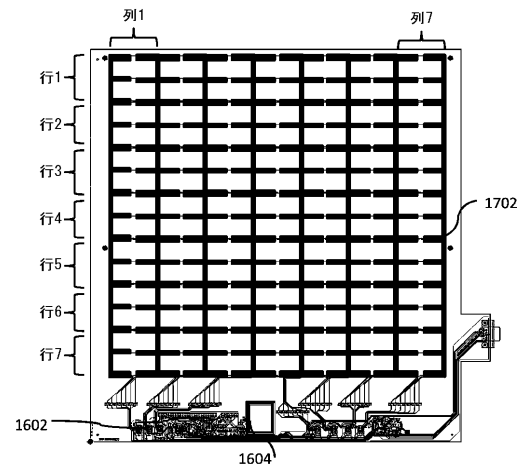
Fig. 15



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



【図 18A】

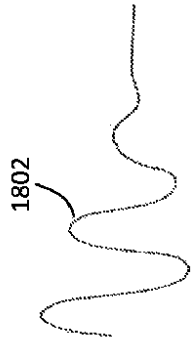


Fig. 18A

【図 18B】

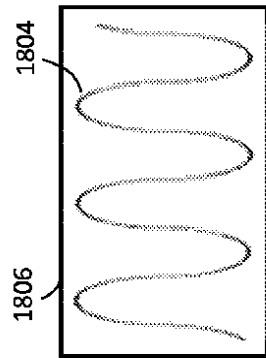


Fig. 18B

【図 18E】

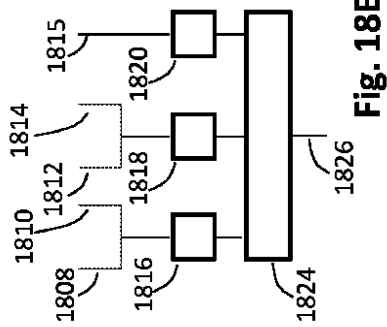


Fig. 18E

【図 18F】

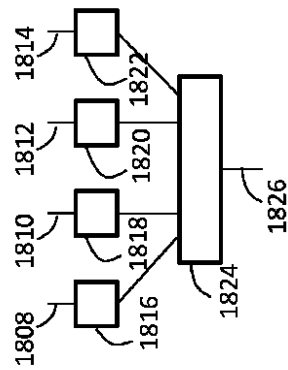


Fig. 18F

【図 18C】

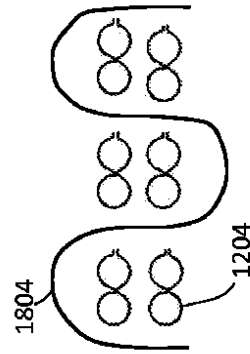


Fig. 18C

【図 18D】

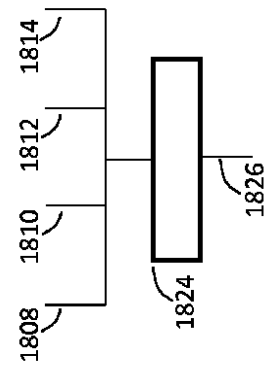


Fig. 18D

【図 19A】

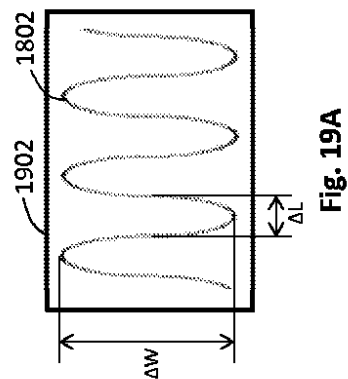


Fig. 19A

【図 19B】

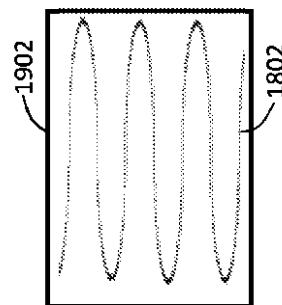


Fig. 19B

【図 19C】

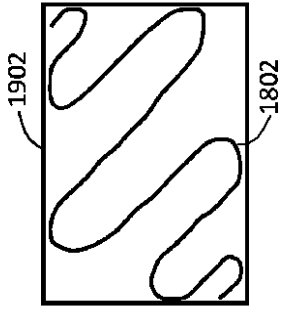


Fig. 19C

【図 19D】

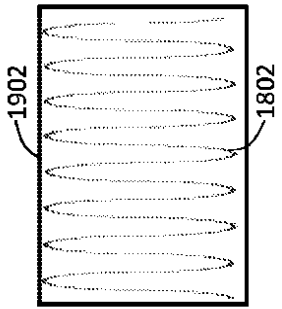


Fig. 19D

【図 19E】

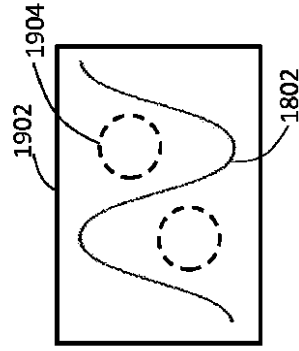


Fig. 19E

【図 20A】

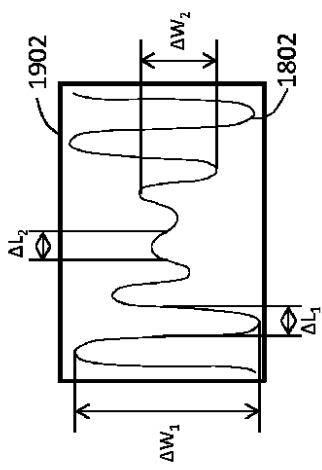


Fig. 20A

【図 20B】

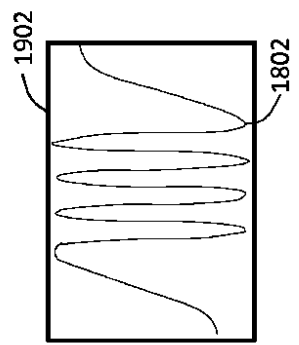


Fig. 20B

【図 20C】

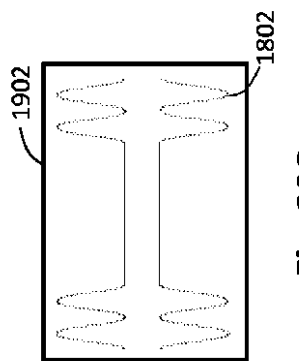
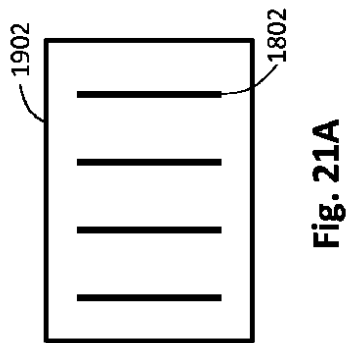
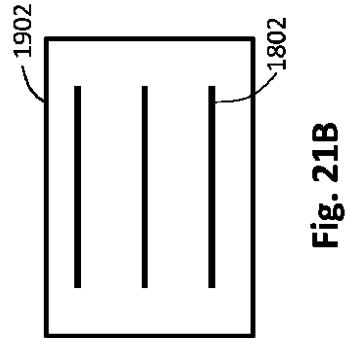


Fig. 20C

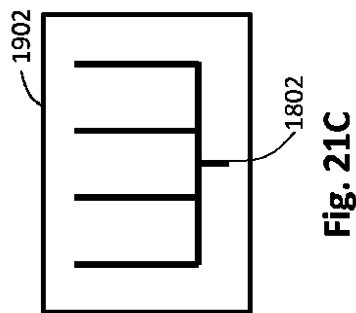
【 図 2 1 A 】



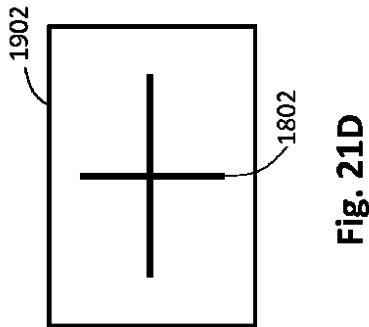
【 図 2 1 B 】



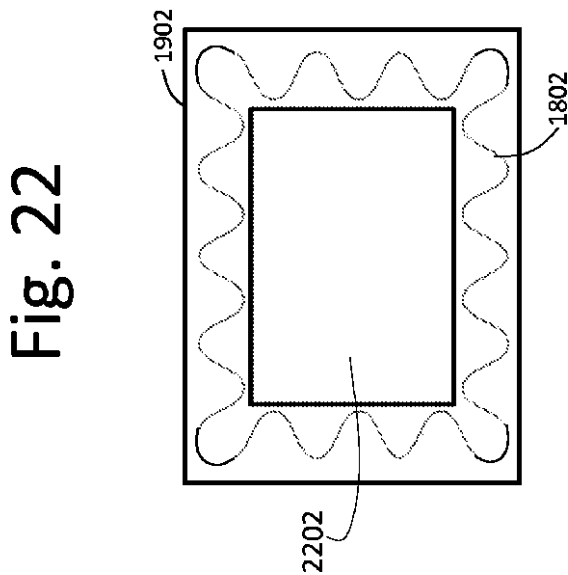
【 図 2 1 C 】



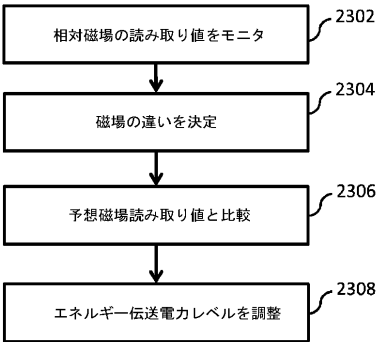
【 図 2 1 D 】



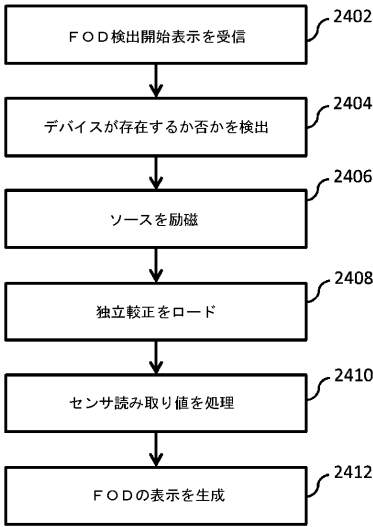
【 図 2 2 】



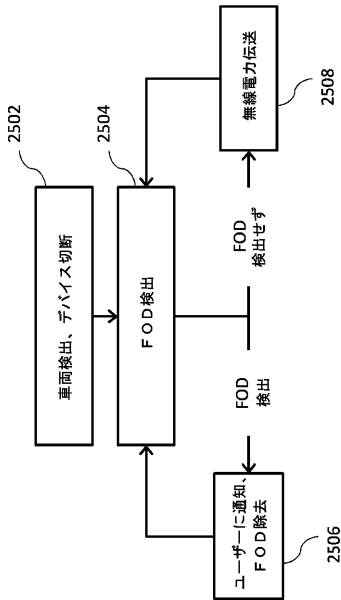
【 図 2 3 】



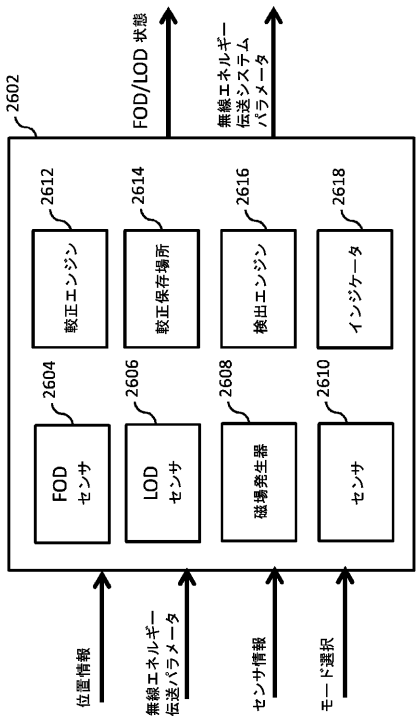
【 図 2 4 】



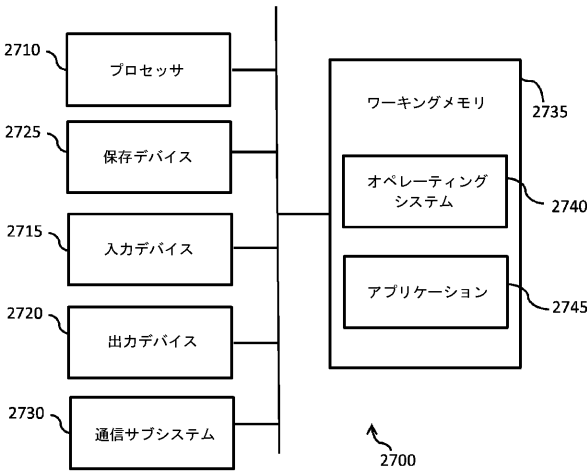
【 図 2 5 】



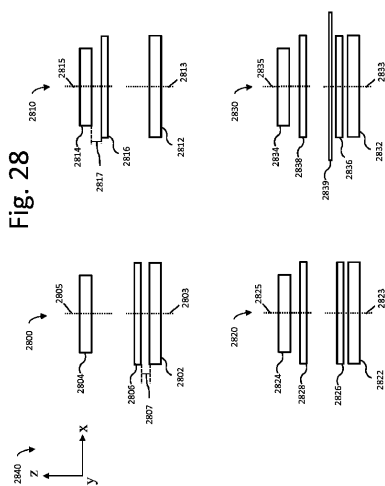
【 図 2 6 】



【 図 2 7 】



【 図 2 8 】



【 図 3 0 】

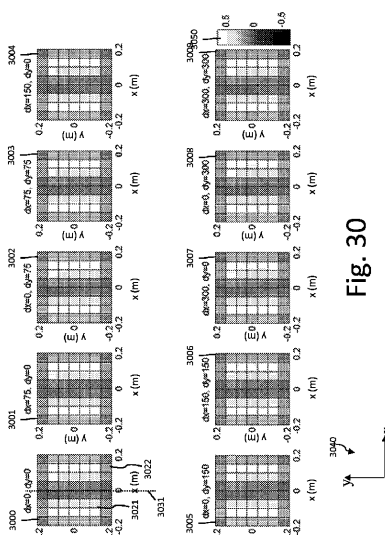


Fig. 30

【 図 2 9 】

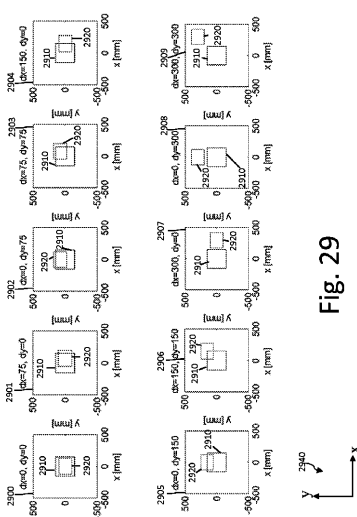


Fig. 29

【 図 3 1 】

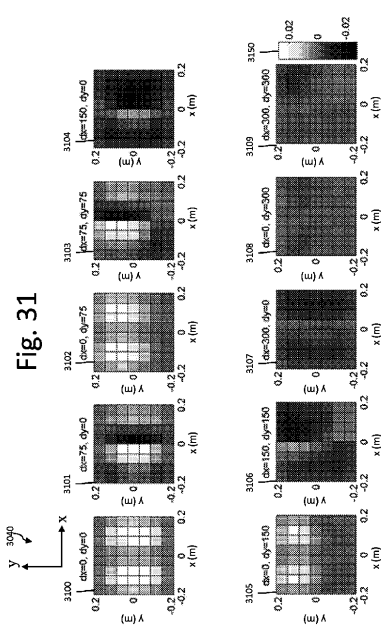


Fig. 31

【図 3 2】

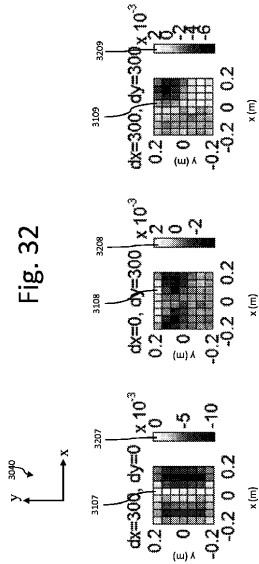


Fig. 32

【図 3 3】

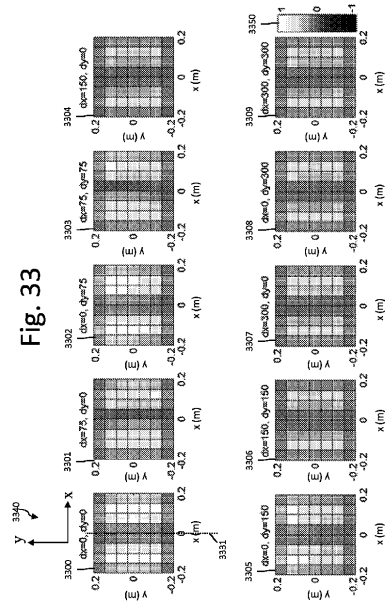


Fig. 33

【図 3 4】

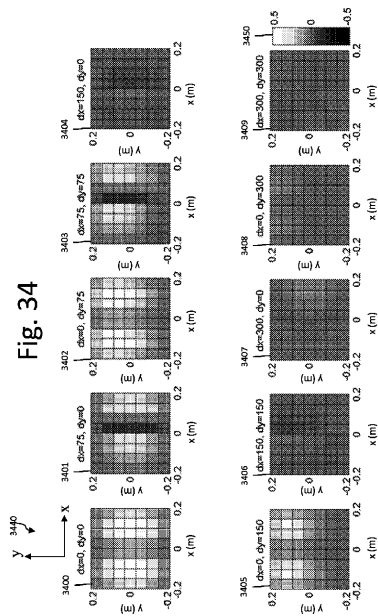


Fig. 34

【図 3 5】

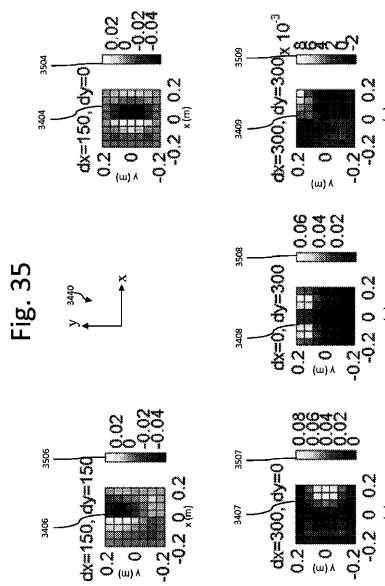
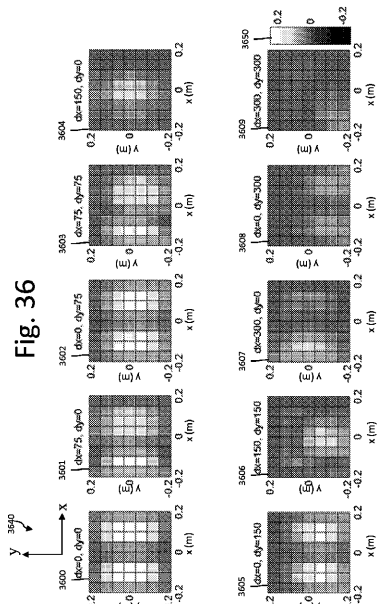
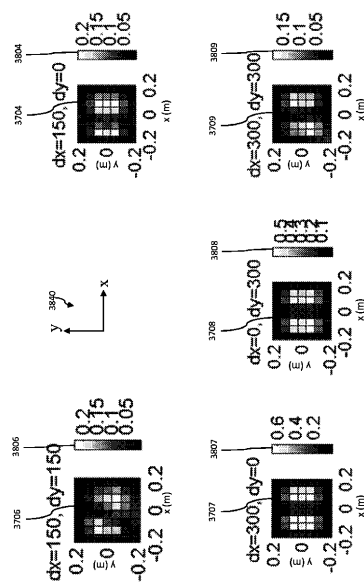


Fig. 35

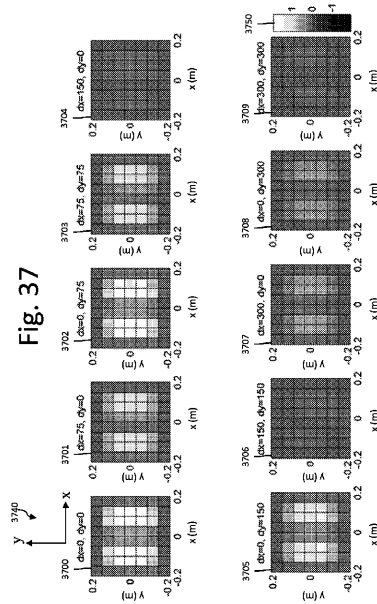
【図 3 6】



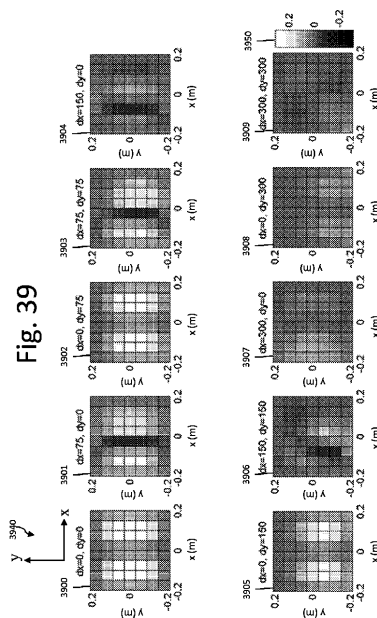
【図 3 8】



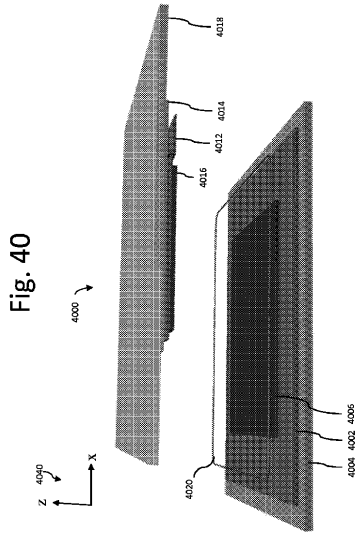
【図 3 7】



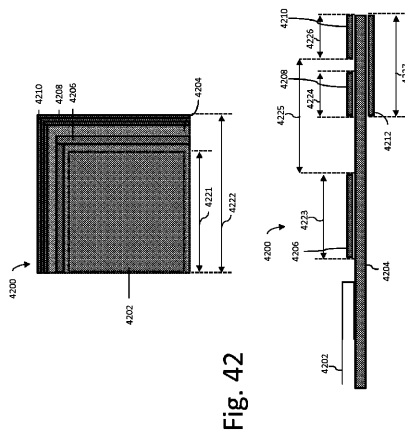
【図 3 9】



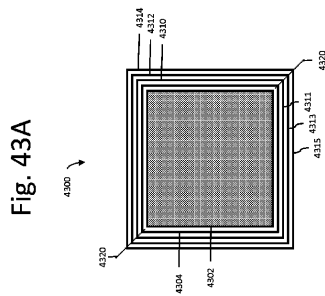
【図 40】



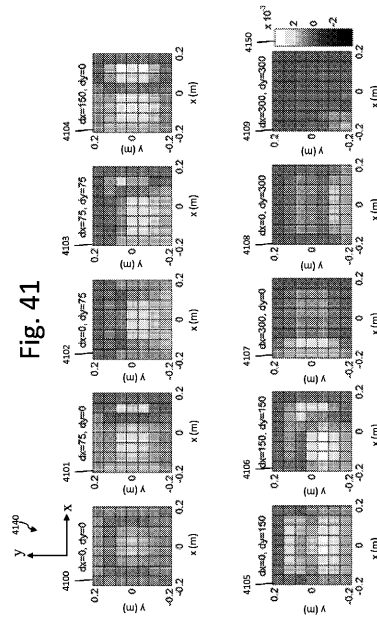
【図 42】



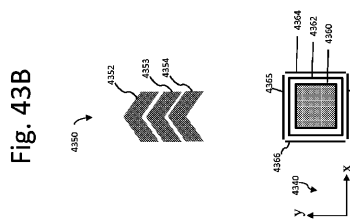
【図 43 A】



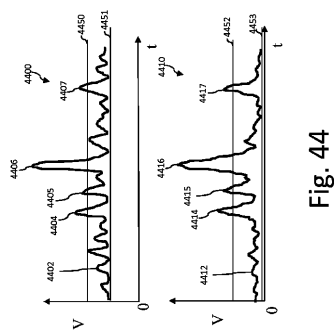
【図 41】



【図 43 B】



【図 44】



【 図 4 5 】

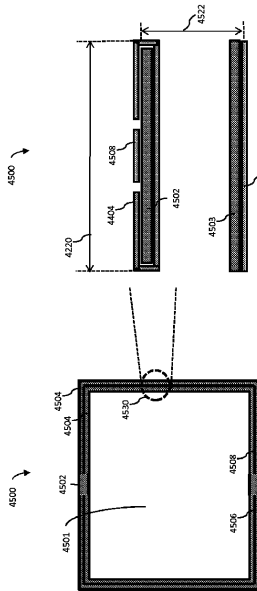
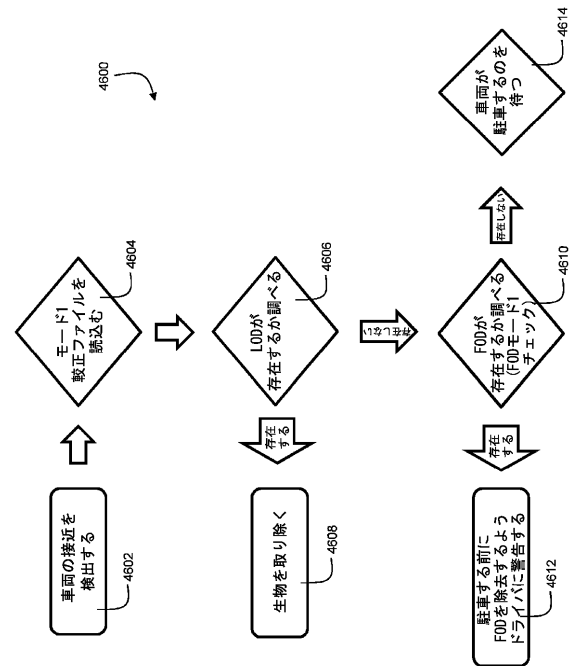
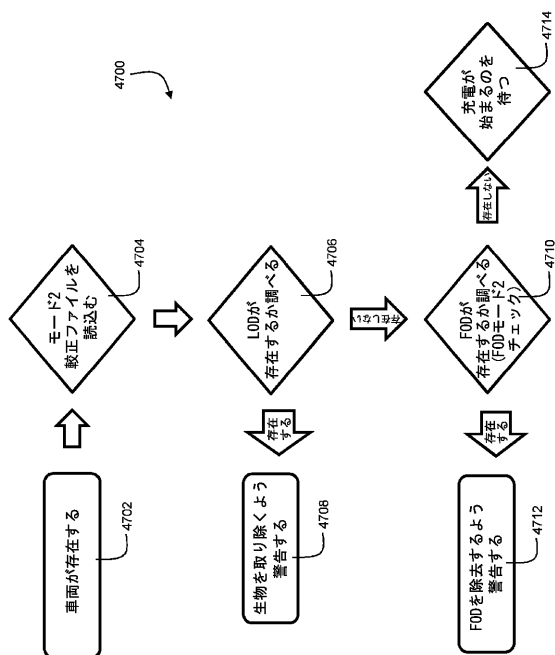


Fig. 45

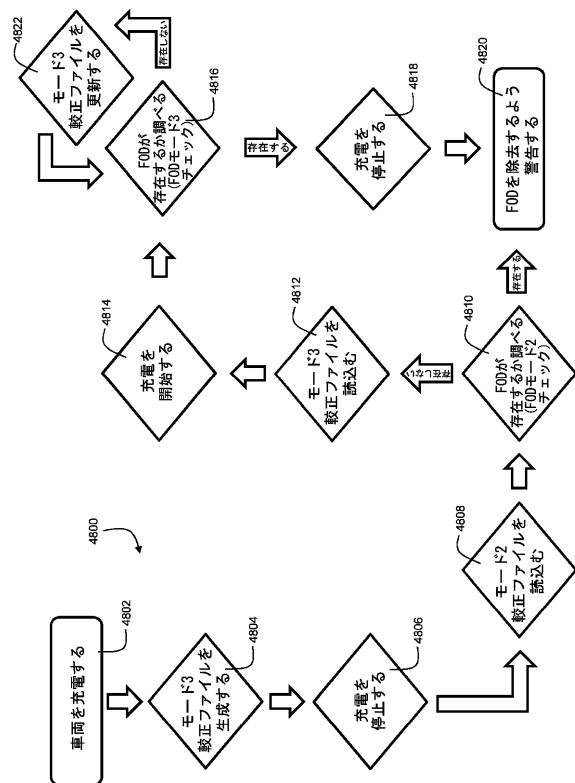
【 図 4 6 】



【 図 4 7 】



【 ㄨ 4 8 】



【図 49】

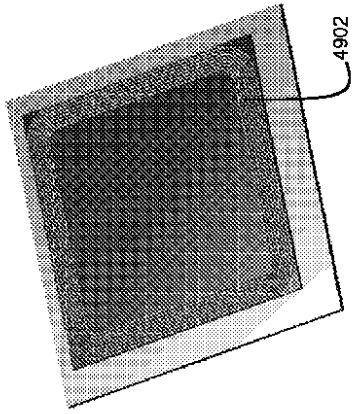


FIG. 49

【図 50】

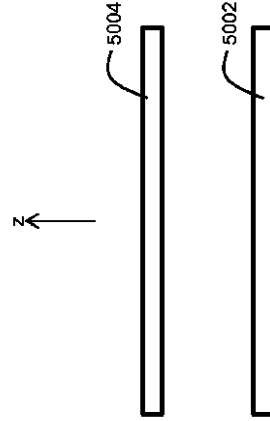


FIG. 50

【図 51】

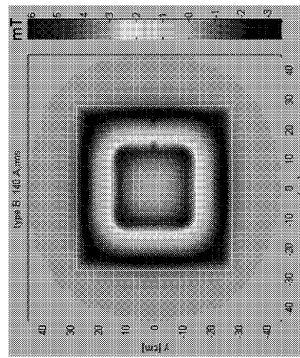
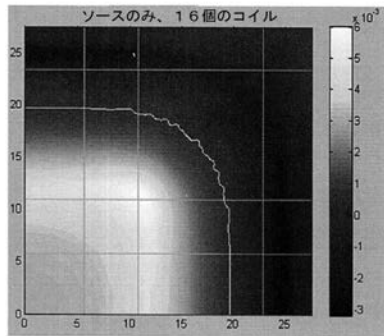


FIG. 51

【図 52】



【図 53】

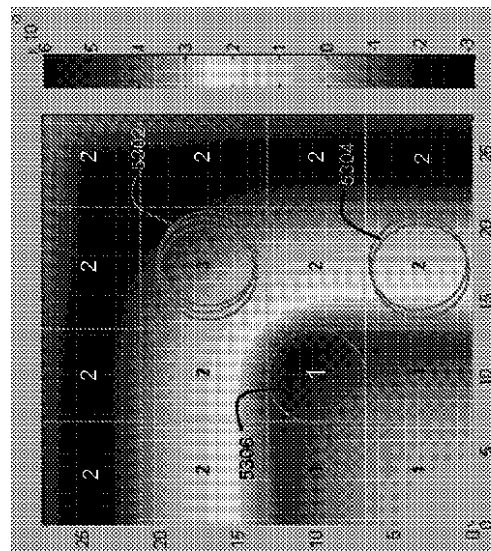


FIG. 53

【 図 5 4 】

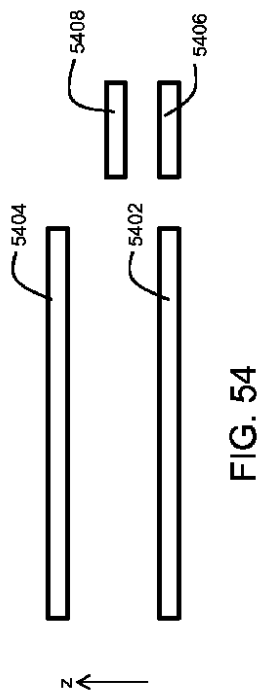


FIG. 54

【 図 5 6 】

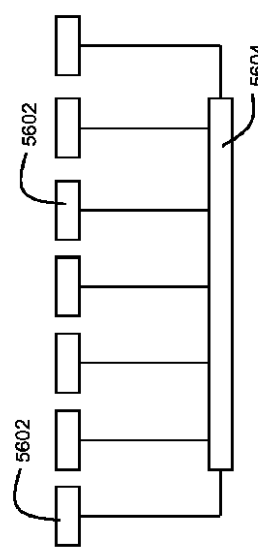


FIG. 56

【 図 5 5 】

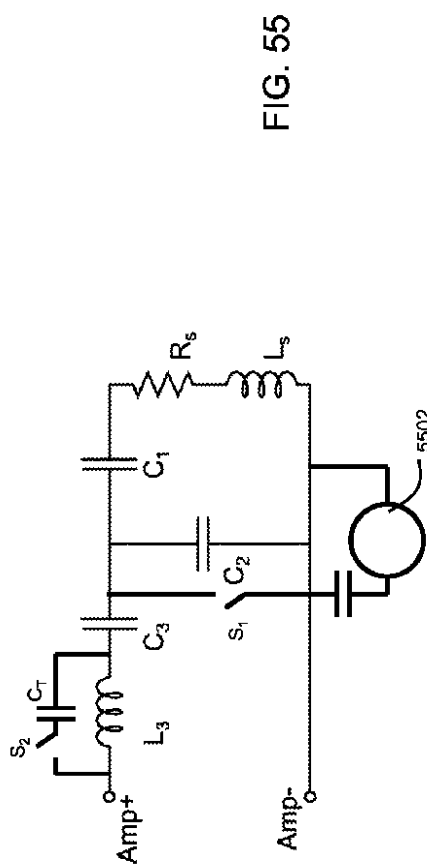


FIG. 55

【 図 5 7 A 】

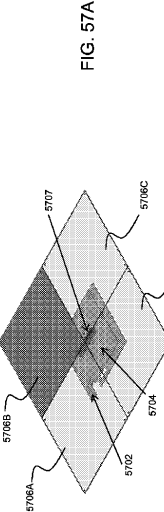
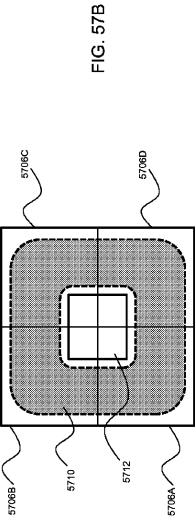
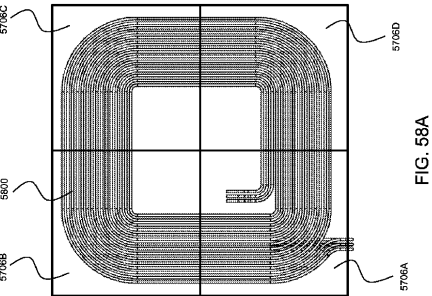


FIG. 57A

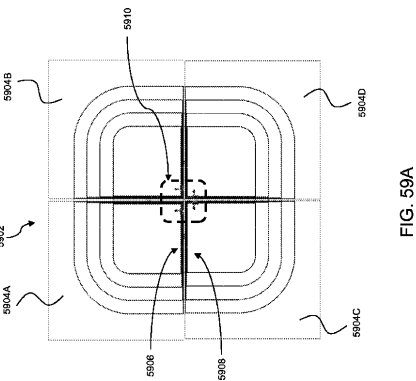
【図 5 7 B】



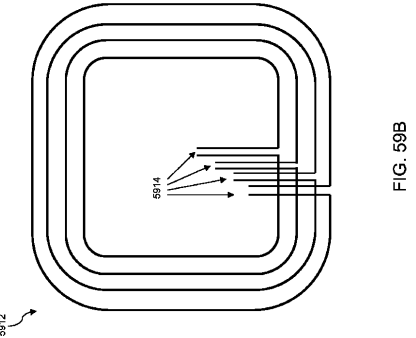
【図 5 8 A】



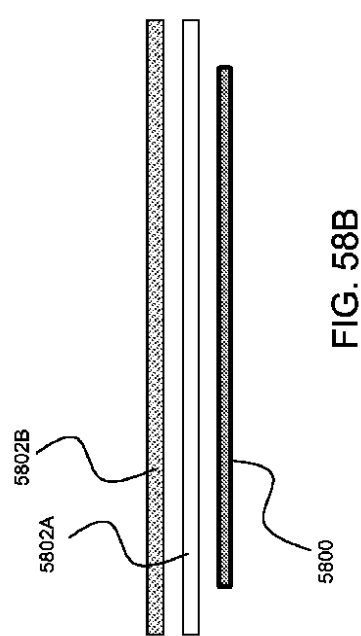
【図 5 9 A】



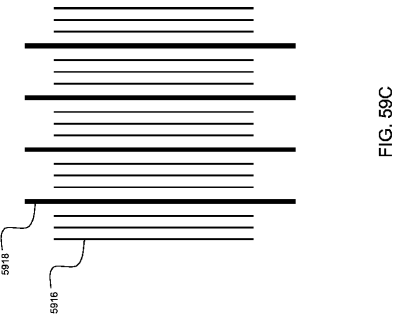
【図 5 9 B】



【図 5 8 B】



【図 5 9 C】



【図 59D】

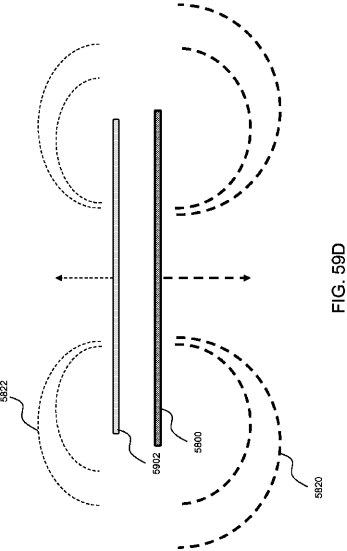


FIG. 59D

【図 60A】

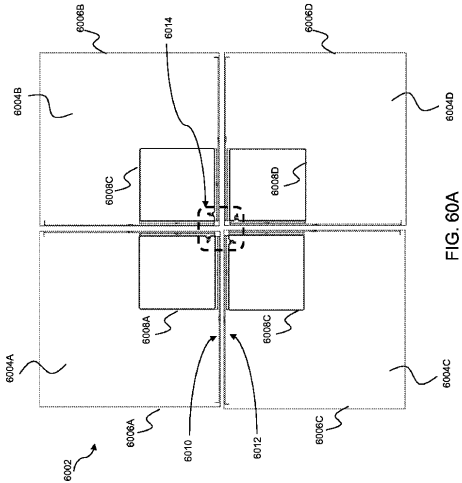


FIG. 60A

【図 60B】

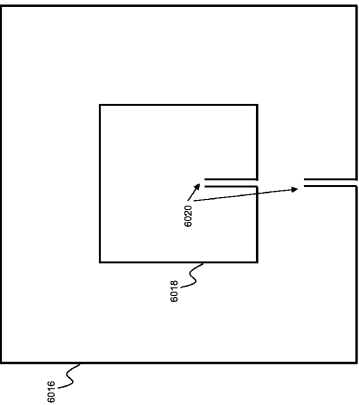


FIG. 60B

【図 61】

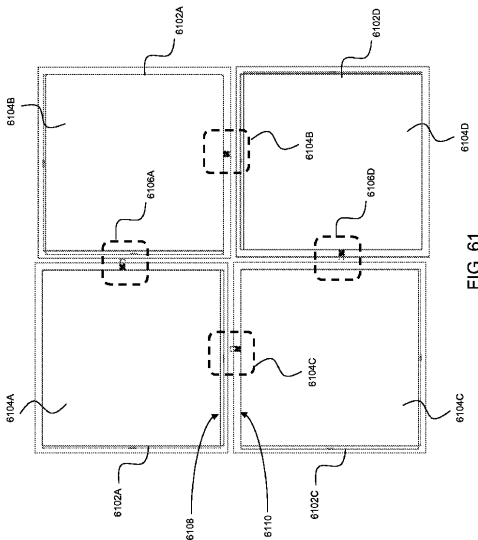


FIG. 61

【図 6 2】

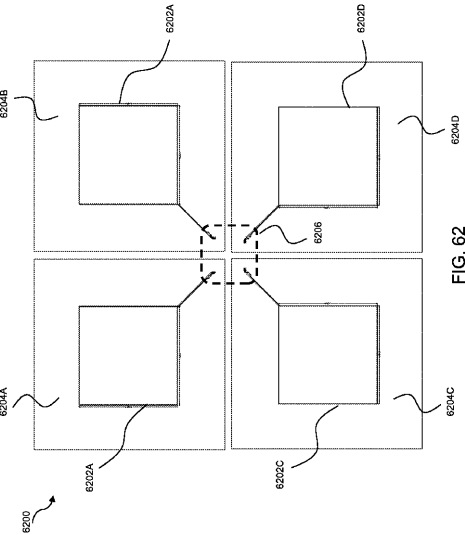


FIG. 62

【図 6 3 A】

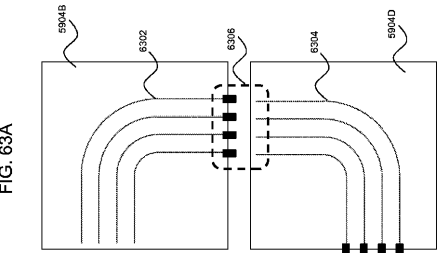


FIG. 63A

【図 6 3 B】

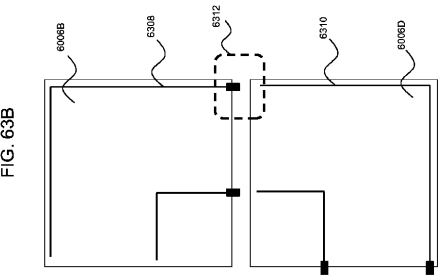


FIG. 63B

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/US2015/029712

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G01V3/10 B60L11/18 H02J5/00 H02J7/02
ADD.

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)

G01V H01F H02J B60L

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

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

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2014/111019 A1 (ROY ARUNANSHU MOHAN [US] ET AL) 24 April 2014 (2014-04-24) cited in the application paragraphs [0002], [0139] - [0157], [0238]; figures 2-15 -----	1-8

☐ 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

16 July 2015

Date of mailing of the international search report

29/09/2015

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Bream, Philip

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2015/029712**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see additional sheet

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.

2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.

3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

1-8

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

International Application No. PCT/ US2015/ 029712

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1-8

Optimising the sensitivity of a foreign object detection array

2. claims: 9-21

Improving safety in an existing wireless power transfer system

3. claims: 22-24

Providing a wireless power transfer system with an integrated foreign object detector.

4. claim: 25

An alternative means of detecting a foreign object.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2015/029712

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2014111019 A1	24-04-2014	CN 104885327 A	02-09-2015
		EP 2909912 A2	26-08-2015
		US 2014111019 A1	24-04-2014
		US 2014111154 A1	24-04-2014
		WO 2014063159 A2	24-04-2014

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(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), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(特許庁注：以下のものは登録商標)

１．ブルートゥース

- (72)発明者 アルナンシュ モハン ロイ
アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 02139 ケンブリッジ プレザント ストリート 1
73 ナンバー 102
- (72)発明者 ノーム カッツ
アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 02062 ノーウッド ノーウェスト ドライブ 81
6
- (72)発明者 ナサニエル エンデール アトナフ
アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 02215 ボストン ピーコン ストリート 518