

明 細 書

発明の名称：

磁界空間を形成可能な無線電力伝送装置及びその形成方法

技術分野

[0001] 本発明は、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間を形成可能な無線電力伝送装置及びその形成方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、ノート型ＰＣ、タブレット型ＰＣ、デジタルカメラ、携帯電話、携帯ゲーム機、イヤホン型音楽プレイヤー、無線式ヘッドセット、補聴器、レコーダーなど人が携帯しながら使用できる携帯型の電子機器が急速に普及してきている。そして、これらの携帯型の電子機器の多くには充電電池が搭載されており、定期的な充電が必要とされる。この電子機器に搭載された充電電池への充電作業を簡易にするために、充電器に搭載された給電モジュールと電子機器に搭載された受電モジュールとの間で無線による電力伝送を利用した給電技術（磁界を変化させて電力伝送を行う無線電力伝送技術）により、充電電池を充電する機器が増えつつある。

[0003] 例えば、無線電力伝送技術としては、給電モジュール及び受電モジュールが備える共振器間の共振現象を利用して磁場を結合させることにより電力伝送を行う無線電力伝送技術が挙げられる（例えば、特許文献１参照）。

[0004] 上記の無線電力伝送技術では、共振器間の共振現象時に給電モジュール及び受電モジュールが備える共振器周辺に磁界が発生する。その結果、給電モジュールや受電モジュールの周辺に配置された安定回路、充電回路、充電電池、その他の電子部品などに、磁界に起因する渦電流が発生して発熱し、安定回路、充電回路、充電電池、その他の電子部品などに悪影響を及ぼす問題がある。

[0005] 上記磁界による問題を解決するために、例えば、特許文献２には、非接触給電による電力伝送を行なう給電装置において、漏洩電磁界を低減させるこ

とができるとする電力伝送システムが開示されている。また、特許文献3には、送電コイルと受電コイルの間の磁場を小さくすることができるとする送受電装置が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2010-239769号公報

特許文献2：特開2011-147213号公報

特許文献3：特開2010-239847号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、特許文献2の電力伝送システム及び特許文献3の送受電装置には、意図的に磁界強度の小さい磁界空間を形成することまでは言及されておらず、更に、給電装置や受電装置において、安定回路、充電回路、充電電池、その他の電子部品の大きさなどを考慮して、磁界強度の小さい磁界空間を、どれだけの大きさで発生させるかといった発想までは、言及されていない。

[0008] そこで、本発明の目的は、給電モジュールと受電モジュールとの間に、意図的に磁界強度の小さな磁界空間を形成し、更に、磁界強度の小さな磁界空間の大きさなどを制御可能な無線電力伝送装置、及び、磁界空間の形成方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0009] 上記課題を解決するための発明の一つは、少なくとも給電共振器を備えた給電モジュールから、少なくとも受電共振器を備えた受電モジュールに対して、共振現象によって電力を供給する無線電力伝送装置であって、前記給電共振器及び前記受電共振器における、電力の電源周波数に対する伝送特性の値が、二つのピーク帯域を有するように設定し、前記給電モジュールに供給する電力の電源周波数を、前記伝送特性の二つのピーク帯域の何れかに対応

する電源周波数帯域に設定することにより、前記給電共振器及び前記受電共振器の近辺に、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間を形成したことを特徴としている。

[0010] 上記構成によれば、共振現象によって電力を無線伝送するに際して、給電共振器及び受電共振器における伝送特性の値が二つのピーク帯域を有するように設定し、給電モジュールに供給する電力の電源周波数を、伝送特性の二つのピーク帯域の何れかに対応する電源周波数帯域に設定することにより、給電共振器及び受電共振器の近辺に、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間を形成することが可能となる。

そして、周辺の磁界強度よりも磁界強度を低減させた磁界空間に、磁界の影響を低減させたい電子機器などを収納することにより、電子機器などに対して、磁界に起因する渦電流の発生を低減・防止して、発熱による悪影響を抑制することが可能となる。

[0011] また、上記課題を解決するための発明の一つは、上記無線電力伝送装置において、前記給電モジュールに供給する電力の電源周波数を、前記伝送特性の二つのピーク帯域のうち高周波側に形成されるピーク帯域に対応する周波数帯域に設定したことを特徴としている。

[0012] 上記構成によれば、給電モジュールに供給する電力の電源周波数を、伝送特性の二つのピーク帯域のうち高周波側に形成されるピーク帯域に対応する周波数帯域に設定することにより、給電共振器と受電共振器との間に、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間を形成することが可能となる。

[0013] また、上記課題を解決するための発明の一つは、上記無線電力伝送装置において、前記給電モジュールに供給する電力の電源周波数を、前記伝送特性の二つのピーク帯域のうち低周波側に形成されるピーク帯域に対応する周波数帯域に設定したことを特徴としている。

[0014] 上記構成によれば、給電モジュールに供給する電力の電源周波数を、伝送特性の二つのピーク帯域のうち低周波側に形成されるピーク帯域に対応する

周波数帯域に設定することにより、給電共振器及び受電共振器の外側に、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間を形成することが可能となる。

[0015] また、上記課題を解決するための発明の一つは、上記無線電力伝送装置において、前記給電モジュールは、少なくとも給電コイル及び前記給電共振器を有し、前記受電モジュールは、少なくとも前記受電共振器及び受電コイルを有し、前記給電モジュール及び前記受電モジュールにおける、電力の電源周波数に対する伝送特性の値が、一つのピークを有する、単峰性の特性を有するように設定したことを特徴としている。

[0016] 上記構成によれば、給電モジュール及び受電モジュールにおける、電力の電源周波数に対する伝送特性の値が、一つのピークを有する、単峰性の特性を有するように設定することにより、伝送特性の最大化を図ることができる。そして、伝送特性を最大化できるということは、給電モジュールから受電モジュールに対する電力伝送効率を最大化することができることを意味しているため、磁界空間を形成しつつ、無線電力伝送の電力伝送効率を高めることが可能となる。

[0017] また、上記課題を解決するための発明の一つは、上記無線電力伝送装置において、前記給電モジュールは、少なくとも給電コイル及び前記給電共振器を有し、前記受電モジュールは、少なくとも前記受電共振器及び受電コイルを有し、前記給電モジュール及び前記受電モジュールにおける、電力の電源周波数に対する伝送特性の値が、少なくとも二つのピークを有する、双峰性の特性を有するように設定したことを特徴としている。

[0018] 上記構成によれば、給電モジュール及び受電モジュールにおける、電力の電源周波数に対する伝送特性の値が、少なくとも二つのピークを有する、双峰性の特性を有するように設定することにより、電力の電源周波数をピーク付近に設定した場合、磁界空間を形成しつつ、無線電力伝送の電力伝送効率を高めることが可能となる。

[0019] また、上記課題を解決するための発明の一つは、上記無線電力伝送装置に

において、前記給電モジュール及び前記受電モジュールに関する調整パラメータを変化させて、前記給電共振器と前記受電共振器との間に発生する磁界結合の強度を変更することにより、前記磁界空間の大きさを調整したことを特徴としている。

[0020] 上記構成によれば、給電モジュール及び受電モジュールに関する調整パラメータを変化させて、給電共振器と受電共振器との間に発生する磁界結合の強度を変更することにより、磁界空間の大きさを変更することができる。例えば、給電モジュールと受電モジュールとの間に発生する磁界結合を相対的に弱めることにより磁界空間の大きさを拡大することができる。一方、給電モジュールと受電モジュールとの間に発生する磁界結合を相対的に強めることにより磁界空間の大きさを小さくすることができる。

これにより、磁界の影響を低減させたい電子機器の大きさに合わせて磁界空間の大きさを調整することが可能となる。

[0021] また、上記課題を解決するための発明の一つは、上記無線電力伝送装置において、前記調整パラメータは、前記給電コイルと前記給電共振器との間の距離、及び、前記受電共振器と前記受電コイルとの間の距離の少なくとも一つであることを特徴としている。

[0022] 上記構成によれば、給電コイルと給電共振器との間の距離、及び、受電共振器と受電コイルとの間の距離の少なくとも一つを変更することにより、磁界結合の強度を変更して磁界空間の大きさを変更することができる。

[0023] また、上記課題を解決するための発明の一つは、少なくとも給電共振器を備えた給電モジュールから、少なくとも受電共振器を備えた受電モジュールに対して、共振現象によって電力を供給する無線電力伝送装置における磁界空間の形成方法であって、前記給電共振器及び前記受電共振器における、電力の電源周波数に対する伝送特性の値が、二つのピーク帯域を有するように設定し、前記給電モジュールに供給する電力の電源周波数を、前記伝送特性の二つのピーク帯域の何れかに対応する電源周波数帯域に設定することにより、前記給電共振器と前記受電共振器との間に、周辺の磁界強度よりも小さ

な磁界強度を有する磁界空間を形成することを特徴としている。

[0024] 上記の方法によれば、共振現象によって電力を無線伝送するに際して、給電共振器及び受電共振器における伝送特性の値が二つのピーク帯域を有するように設定し、給電モジュールに供給する電力の電源周波数を、伝送特性の二つのピーク帯域の何れかに対応する電源周波数帯域に設定することにより、給電共振器及び受電共振器の近辺に、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間を形成することが可能となる。

そして、周辺の磁界強度よりも磁界強度を低減させた磁界空間に、磁界の影響を低減させたい電子機器などを収納することにより、電子機器などに対して、磁界に起因する渦電流の発生を低減・防止して、発熱による悪影響を抑制することが可能となる。

発明の効果

[0025] 給電モジュールと受電モジュールとの間に、意図的に磁界強度の小さな磁界空間を形成し、更に、磁界強度の小さな磁界空間の大きさなどを制御可能な無線電力伝送装置、及び、磁界空間の形成方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0026] [図1]本実施形態に係る無線電力伝送装置を搭載した充電器及び無線式ヘッドセットの説明図である。

[図2]本実施形態に係る無線電力伝送装置の構成図である。

[図3]本実施形態に係る無線電力伝送装置を等価回路で示した説明図である。

[図4]共振器間の伝送特性『S 2 1』が二つのピークを有するときの説明図である。

[図5]ネットワークアナライザに接続した無線電力伝送装置の説明図である。

[図6]逆相共振モードにおける磁界ベクトル図である。

[図7]同相共振モードにおける磁界ベクトル図である。

[図8]単峰性及び多峰性の伝送特性『S 2 1』を説明した説明図である。

[図9]単峰性の特性における電源周波数に対する伝送特性『S 2 1』の関係を示したグラフである。

[図10]電磁界解析を用いて測定した単峰性における磁界強度分布図である。

[図11]磁界空間G 1における伝送特性『S 2 1』への影響を検証する際に使用する無線電力伝送装置等の説明図である。

[図12]鉄片を挿入した場合における電源周波数に対する伝送特性『S 2 1』の関係を示したグラフである（単峰性の場合）。

[図13]磁界空間G 2における伝送特性『S 2 1』への影響を検証する際に使用する無線電力伝送装置等の説明図である。

[図14]銅片を挿入した場合における電源周波数に対する伝送特性『S 2 1』の関係を示したグラフである（単峰性の場合）。

[図15]多峰性の特性における電源周波数に対する伝送特性『S 2 1』の関係を示したグラフである。

[図16]電磁界解析を用いて測定した多峰性における磁界強度分布図である。

[図17]鉄片を挿入した場合における電源周波数に対する伝送特性『S 2 1』の関係を示したグラフである（多峰性の場合）。

[図18]銅片を挿入した場合における電源周波数に対する伝送特性『S 2 1』の関係を示したグラフである（多峰性の場合）。

発明を実施するための形態

[0027] 以下に本発明である無線電力伝送に用いる無線電力伝送装置1、及び、無線電力伝送装置1における磁界空間G 1・G 2の形成方法について説明する。

[0028] （実施形態）

本実施形態では、図1及び図2に示すように、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間G 1（G 2）の形成を実現する、給電共振器2 2を備えた給電モジュール2及び受電共振器3 2を備えた受電モジュール3を主な構成要素とする無線電力伝送装置1を、給電モジュール2を搭載した充電器1 0 1、及び、受電モジュール3を搭載した無線式ヘッドセット1 0 2を例に説明する。なお、図1は、充電時における充電器1 0 1及び無線式ヘッドセット1 0 2の状態を示している。

[0029] (充電器 101 及び無線式ヘッドセット 102 の構成)

充電器 101 は、図 1 及び図 2 に示すように、給電コイル 21 及び給電共振器 22 を有した給電モジュール 2 を備えている。また、無線式ヘッドセット 102 は、イヤホンスピーカ部 102a、受電コイル 31 及び受電共振器 32 を有した受電モジュール 3 を備えている。そして、給電モジュール 2 の給電コイル 21 には、給電モジュール 2 に供給する電力の電源周波数を所定の値に設定した、発振回路を備えた交流電源 6 が接続されている。また、受電モジュール 3 の受電コイル 31 には、受電された交流電力を整流化する安定回路 7 及び過充電を防止する充電回路 8 を介して充電電池 9 が接続されている。そして、安定回路 7、充電回路 8 及び充電電池 9 は、充電時に、給電共振器 22 と受電共振器 32 との間に位置するように配置されており、詳細は後述するが、これら安定回路 7、充電回路 8 及び充電電池 9 が配置された、給電共振器 22 と受電共振器 32 との間に、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間 G1 が形成されている。なお、本実施形態における安定回路 7、充電回路 8、及び、充電電池 9 は、図 1 及び図 2 に示すように、最終的な電力の給電先となる被給電機器 10 であり、被給電機器 10 は、受電モジュール 3 に接続された電力の給電先の機器全体の総称である。また、給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 を無線電力伝送装置 1 としている。

[0030] また、図示しないが、充電器 101 は、無線式ヘッドセット 102 を収納するための、無線式ヘッドセット 102 の形状に即した収納溝が設けられており、この充電器 101 の収納溝に無線式ヘッドセット 102 を収納することにより、充電器 101 が備える給電モジュール 2 と無線式ヘッドセット 102 が備える受電モジュール 3 とが対向配置されるように無線式ヘッドセット 102 を位置決めすることができるようになっている。

[0031] 給電コイル 21 は、交流電源 6 から得られた電力を電磁誘導によって給電共振器 22 に供給する役割を果たす。この給電コイル 21 は、図 3 に示すように、抵抗器 R_1 、及び、コイル L_1 を要素とする RL 回路を構成している。なお、コイル L_1 部分には、ソレノイドコイルを使用している。また、給電コイ

ル 2 1 を構成する回路素子が有する合計のインピーダンスを Z_1 としており、本実施形態では、給電コイル 2 1 を構成する抵抗器 R_1 、及び、コイル L_1 を要素とする R L 回路（回路素子）が有する合計のインピーダンスを Z_1 とする。また、給電コイル 2 1 に流れる電流を I_1 とする。

[0032] 受電コイル 3 1 は、給電共振器 2 2 から受電共振器 3 2 に磁界エネルギーとして伝送された電力を電磁誘導によって受電し、安定回路 7 及び充電回路 8 を介して充電電池 9 に供給する役割を果たす。この受電コイル 3 1 は、給電コイル 2 1 同様に、図 3 に示すように、抵抗器 R_4 、及び、コイル L_4 を要素とする R L 回路を構成している。なお、コイル L_4 部分には、ソレノイドコイルを使用している。また、受電コイル 3 1 を構成する回路素子が有する合計のインピーダンスを Z_4 としており、本実施形態では、受電コイル 3 1 を構成する抵抗器 R_4 、及び、コイル L_4 を要素とする R L 回路（回路素子）が有する合計のインピーダンスを Z_4 とする。また、受電コイル 3 1 に接続された被給電機器 1 0（安定回路 7、充電回路 8 及び充電電池 9）の合計のインピーダンスを Z_L とする。また、受電コイル 3 1 に流れる電流を I_4 とする。なお、図 3 に示すように、受電コイル 3 1 に接続された被給電機器 1 0（安定回路 7、充電回路 8 及び充電電池 9）の各負荷インピーダンスを合わせたものを便宜的に抵抗器 R_L （ Z_L に相当）としている。

[0033] 給電共振器 2 2 は、図 3 に示すように、抵抗器 R_2 、コイル L_2 、及び、コンデンサ C_2 を要素とする R L C 回路を構成している。また、受電共振器 3 2 は、図 3 に示すように、抵抗器 R_3 、コイル L_3 、及び、コンデンサ C_3 を要素とする R L C 回路を構成している。そして、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 は、それぞれ共振回路となり、磁界共鳴状態を創出する役割を果たす。ここで、磁界共鳴状態（共振現象）とは、2 つ以上のコイルが共振周波数帯域において共振することをいう。また、給電共振器 2 2 を構成する回路素子が有する合計のインピーダンスを Z_2 とし、本実施形態では、給電共振器 2 2 を構成する、抵抗器 R_2 、コイル L_2 、及び、コンデンサ C_2 を要素とする R L C 回路（回路素子）が有する合計のインピーダンスを Z_2 とする。また、受電共振器

3 2 を構成する回路素子が有する合計のインピーダンスを Z_3 とし、本実施形態では、受電共振器 3 2 を構成する、抵抗器 R_3 、コイル L_3 、及び、コンデンサ C_3 を要素とする R L C 回路（回路素子）が有する合計のインピーダンスを Z_3 とする。また、給電共振器 2 2 に流れる電流を I_2 とし、受電共振器 3 2 に流れる電流を I_3 とする。

[0034] また、給電共振器 2 2、及び、受電共振器 3 2 における共振回路としての R L C 回路では、インダクタンスを L 、コンデンサ容量を C とすると、（式 1）によって定まる f_0 が共振周波数となる。

[数1]

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

・・・（式 1）

[0035] また、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 には、ソレノイドコイルを使用している。また、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 における共振周波数は一致させている。なお、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 は、コイルを使用した共振器であれば、スパイラル型やソレノイド型などのコイルであってもよい。

[0036] また、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との間の距離を d_{12} とし、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間の距離を d_{23} とし、受電共振器 3 2 と受電コイル 3 1 との間の距離を d_{34} としている（図 5 参照）。

[0037] また、図 3 に示すように、給電コイル 2 1 のコイル L_1 と給電共振器 2 2 のコイル L_2 との間の相互インダクタンスを M_{12} 、給電共振器 2 2 のコイル L_2 と受電共振器 3 2 のコイル L_3 との間の相互インダクタンスを M_{23} 、受電共振器 3 2 のコイル L_3 と受電コイル 3 1 のコイル L_4 との間の相互インダクタンスを M_{34} としている。また、給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 において、コイル L_1 とコイル L_2 との間の結合係数を k_{12} と表記し、コイル L_2 とコイル L_3 との間の結合係数を k_{23} と表記し、コイル L_3 とコイル L_4 との間の結合係数を k_{34} と表記する。

[0038] 上記無線電力伝送装置 1（給電モジュール 2 及び受電モジュール 3）によれば、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間に磁界共鳴状態（共振現象）を創出することができる。給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 が共振した状態で磁界共鳴状態が創出されると、給電共振器 2 2 から受電共振器 3 2 に電力を磁界エネルギーとして伝送することが可能となり、給電モジュール 2 を備えた充電器 1 0 1 から、受電モジュール 3 を備えた無線式ヘッドセット 1 0 2 に電力が無線伝送され、無線式ヘッドセット 1 0 2 内に設けられた充電電池 9 が充電される。

[0039] （磁界空間の形成）

本実施形態では、給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 の内部・周辺に発生する磁界の強度を抑制するために、磁界強度を弱めた磁界空間 G 1 ・ G 2 を形成する。具体的には、図 1 ～図 5 に示すように、給電モジュール 2 の給電共振器 2 2 から受電モジュール 3 の受電共振器 3 2 に共振現象を利用した電力供給をする際に、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の近辺に、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間 G 1 ・ G 2 を形成する。

[0040] 磁界空間 G 1 ・ G 2 を形成するためには、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 における、電源周波数に対する伝送特性『S 2 1』を示すグラフが、二つのピーク帯域を有するように設定し、給電モジュールに供給する電力の電源周波数を、二つのピーク帯域の何れかに対応する電源周波数に設定することにより実現する。本実施形態では、図 1 ～図 5 に示すように、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間に磁界空間 G 1 を形成するために、電源周波数を、二つのピーク帯域のうち高周波側に形成されるピーク帯域に対応する電源周波数に設定する。なお、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の外側に、磁界空間 G 2 を形成したい場合は（図 5 参照）、電源周波数を、二つのピーク帯域のうち低周波側に形成されるピーク帯域に対応する電源周波数に設定する。

[0041] ここで、伝送特性『S 2 1』とは、無線電力伝送装置 1（給電モジュール 2 及び受電モジュール 3）をネットワークアナライザ 1 1 0（例えば、アジ

レント・テクノロジー株式会社製のE5061Bなど、図5参照)に接続して計測される信号を表しており、デシベル表示され、数値が大きいほど電力伝送効率が高いことを意味する。また、電力伝送効率とは、ネットワークアナライザ110に無線電力伝送装置1を接続した状態で、出力端子111から給電モジュール2に供給される電力に対する入力端子112に出力される電力の比率のことをいう。

[0042] 具体的には、図5に示すように、ネットワークアナライザ110を使用して、給電共振器22及び受電共振器32における、電源周波数に対する伝送特性『S21』を、給電共振器22に供給する交流電力の電源周波数を変えながら解析する。この際、図4のグラフに示すように、横軸を出力端子111から出力される交流電力の電源周波数とし、縦軸を伝送特性『S21』として解析する。ここで、給電共振器22及び受電共振器32における伝送特性『S21』を測定するにあたり、給電コイル21と給電共振器22との間の結合が強いと、給電共振器22と受電共振器32との間の結合状態に影響を与えてしまい、給電共振器22及び受電共振器32における伝送特性『S21』の正確な測定ができないため、給電コイル21と給電共振器22との間の距離d12は、給電共振器22が十分に励振でき、給電共振器22による磁界を生成させ、かつ、給電コイル21と給電共振器22とができるだけ結合しない距離に保持する必要がある。また、同様の理由で受電共振器32と受電コイル31との間の距離d34も、受電共振器32が十分に励振でき、受電共振器32による磁界を生成させ、かつ、受電共振器32と受電コイル31とができるだけ結合しない距離に保持する必要がある。そして、解析された給電共振器22及び受電共振器32における伝送特性『S21』の解析波形が、図4に示すように、低周波数側に形成されるピーク帯域($f(\text{Low P})$)と高周波数側に形成されるピーク帯域($f(\text{High P})$)との二つのピーク帯域を有するように設定される。

[0043] なお、上記のように給電共振器22及び受電共振器32における伝送特性『S21』の解析波形が、低周波側と高周波側とにピークが分離して二つの

ピーク帯域を有するには、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間の距離 d_{23} を調整したり、給電共振器 2 2 の RLC 回路の R_2 、 L_2 、 C_2 、受電共振器 3 2 の RLC 回路の R_3 、 L_3 、 C_3 における抵抗値、インダクタンス、コンデンサ容量、結合係数 k_{23} などの給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 を構成する変更可能なパラメータを調整したりすることにより実現される。

[0044] そして、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 における伝送特性『S 2 1』の解析波形が、二つのピーク帯域を有する場合に、高周波数側に形成されるピーク帯域 ($f(\text{High P})$) に、供給する交流電力の電源周波数を設定した場合、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 が逆位相で共振状態となり、図 6 に示すように、給電共振器 2 2 に流れる電流の向き ($2\ 2\ A$) と受電共振器 3 2 に流れる電流の向き ($3\ 2\ A$) とが逆向きになる。その結果、図 6 の磁界ベクトル図に示すように、給電共振器 2 2 の内周側に発生する磁界と受電共振器 3 2 の内周側に発生する磁界とが打ち消し合うことにより、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の内周側に、磁界による影響が低減されて、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の内周側以外の磁界強度（例えば、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の外周側の磁界強度）よりも小さな磁界強度を有する磁界空間 G 1 を形成することができる。ここで、給電共振器 2 2 に流れる電流の向きと受電共振器 3 2 に流れる電流の向きとが逆向きとなる共振状態を逆相共振モードと呼ぶことにする。

[0045] 一方、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 における伝送特性『S 2 1』の解析波形が、二つのピーク帯域を有する場合に、低周波数側に形成されるピーク帯域 ($f(\text{Low P})$) に、供給する交流電力の電源周波数を設定した場合、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 が同位相で共振状態となり、図 7 に示すように、給電共振器 2 2 に流れる電流の向き ($2\ 2\ A$) と受電共振器 3 2 に流れる電流の向き ($3\ 2\ A$) とが同じ向きになる。その結果、図 7 の磁界ベクトル図に示すように、給電共振器 2 2 の外周側に発生する磁界と受電共振器 3 2 の外周側に発生する磁界とが打ち消し合うことにより、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の外周側に、磁界による影響が低減されて、給電共振

器 2 2 及び受電共振器 3 2 の外周側以外の磁界強度（例えば、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の内周側の磁界強度）よりも小さな磁界強度を有する磁界空間 G 2 を形成することができる。ここで、給電共振器 2 2 に流れる電流の向きと受電共振器 3 2 に流れる電流の向きとが同じ向きとなる共振状態を同相共振モードと呼ぶことにする。

[0046] （給電コイル、給電共振器及び受電共振器、受電コイルにおける S 2 1）

上記では、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 における伝送特性『S 2 1』が二つのピーク帯域を有するように設定した場合における磁界空間の形成について説明した。次に、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 における伝送特性『S 2 1』が二つのピーク帯域を有するように設定したうえで、給電コイル 2 1、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2、受電コイル 3 1（給電モジュール 2 及び受電モジュール 3）における伝送特性『S 2 1』の解析波形が単峰性又は双峰性を示す場合の磁界空間 G 1・G 2 について説明する。

[0047] ここで、給電コイル 2 1、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2、受電コイル 3 1（給電モジュール 2 及び受電モジュール 3）に供給する電力の電源周波数に対する伝送特性『S 2 1』は、それぞれのコイル間の磁界による結びつき度合い（磁界結合）の強度により、単峰性の性質を有するものと多峰性の性質を有するものに分かれる。そして、単峰性とは、給電コイル 2 1、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2、受電コイル 3 1 における、電源周波数に対する伝送特性『S 2 1』の解析波形のピークが一つで、そのピークが共振周波数帯域(f_0)において現れるものをいう（図 8 の破線 5 1 参照）。一方、多峰性とは、給電コイル 2 1、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2、受電コイル 3 1 における、電源周波数に対する伝送特性『S 2 1』の解析波形のピークが複数現れるものをいう（図 8 の実線 5 2 参照：この例では、ピークは二つ）。更に詳細に多峰性を定義すると、図 5 に示すように、ネットワークアナライザ 1 1 0 に給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 を接続して計測される反射特性『S 1 1』が二つ以上のピークを有する状態をいう。従って、電源周波数に対する伝送特性『S 2 1』のピークが一見して一つに見え

たとしても、計測されている反射特性『S 1 1』が二つ以上のピークを有する場合には、多峰性の性質を有するものとする。

[0048] 例えば、給電コイル 2 1、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2、受電コイル 3 1 における伝送特性『S 2 1』が、単峰性の性質を有するように設定すると、伝送特性『S 2 1』は、図 8 の破線 5 1 に示すように、電源周波数が共振周波数 f_0 の帯域で最大化する（電力伝送効率が最大化する）。

[0049] 一方、給電コイル 2 1、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2、受電コイル 3 1 における伝送特性『S 2 1』が、多峰性の性質を有するように設定すると、一般的に、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間の距離が同じであれば、多峰性における伝送特性『S 2 1』の最大値（複数のピークでの値）は、単峰性における伝送特性『S 2 1』の最大値（ f_0 での伝送特性『S 2 1』の値）よりも低い値になる。

[0050] なお、給電コイル 2 1、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2、受電コイル 3 1 における伝送特性『S 2 1』が単峰性又は多峰性の性質を有するには、給電モジュール 2 及び受電モジュール 3（無線電力伝送装置 1）を構成する、給電コイル 2 1 の R L 回路の R_1 、 L_1 （給電コイル 2 1 を R L C 回路にした場合には、更に C_1 ）給電共振器 2 2 の R L C 回路の R_2 、 L_2 、 C_2 、受電共振器 3 2 の R L C 回路の R_3 、 L_3 、 C_3 、受電コイル 3 1 の R L 回路の R_4 、 L_4 （受電コイル 3 1 を R L C 回路にした場合には、更に C_4 ）における抵抗値、インダクタンス、コンデンサ容量、結合係数 k_{12} 、 k_{23} 、 k_{34} 、コイル間距離 d_{12} 、 d_{23} 、 d_{34} などを、変更可能なパラメータとして調整することにより実現される。

[0051] （電磁界解析による磁界空間の測定）

次に、図 5 に示すように、無線電力伝送装置 1（給電モジュール 2 及び受電モジュール 3）をネットワークアナライザ 1 1 0 に接続し、磁界空間 $G_1 \cdot G_2$ が形成されることを測定実験により説明する。磁界空間 $G_1 \cdot G_2$ を測定するに際しては、電磁界解析を用いて解析し、磁界強度を色調で表示させることによって測定する。

[0052] なお、磁界空間 $G_1 \cdot G_2$ の測定に使用する無線電力伝送装置 1（給電モジュール 2、受電モジュール 3）は、上記充電器 101 及び無線式ヘッドセット 102 に組み込まれた無線電力伝送装置 1 を測定用に拡大構成したもので、スケール以外は同様の仕様である。具体的には、測定に用いる無線電力伝送装置 1 に関して、給電コイル 21 は、抵抗器 R_1 、及び、コイル L_1 を要素とする RL 回路であり、コイル L_1 部分は、線径 1 mm ϕ の銅線材（絶縁被膜付）を 1 回巻にして、コイル径 100 mm ϕ に設定している（共振なし）。受電コイル 31 は、抵抗器 R_4 、及び、コイル L_4 を要素とする RL 回路であり、コイル L_4 部分は、給電コイル 21 同様に、線径 1 mm ϕ の銅線材（絶縁被膜付）を 1 回巻にして、コイル径 100 mm ϕ に設定している（共振なし）。また、給電共振器 22 は、抵抗器 R_2 、コイル L_2 、及び、コンデンサ C_2 を要素とする RLC 回路であり、コイル L_2 部分は、線径 1 mm ϕ の銅線材（絶縁被膜付）を 2 回巻きにしたコイル径 100 mm ϕ のソレノイドコイルである。受電共振器 32 は、抵抗器 R_3 、コイル L_3 、及び、コンデンサ C_3 を要素とする RLC 回路であり、コイル L_3 部分は、線径 1 mm ϕ の銅線材（絶縁被膜付）を 2 回巻きにしたコイル径 100 mm ϕ のソレノイドコイルである。そして、給電共振器 22、及び、受電共振器 32 における共振周波数は 12.63 MHz である。また、給電共振器 22 と受電共振器 32 との間の距離 d_{23} を 120 mm とし、給電コイル 21 と給電共振器 22 との間の距離 d_{12} 、及び、受電共振器 32 と受電コイル 31 との間の距離 d_{34} を測定条件に合わせて調整している。

[0053] （単峰性の場合）

そして、まずは、ネットワークアナライザ 110 を使用して、給電共振器 22 及び受電共振器 32 における伝送特性『S21』を、供給する交流電力の電源周波数を変えながら解析する。この際、図 9 のグラフに示すように、交流電力の電源周波数とし、縦軸を伝送特性『S21』として解析する。

[0054] 図 9 の給電共振器 22 及び受電共振器 32 における伝送特性『S21』を示す実線 150 に示すように、12.53 MHz で低周波数側のピーク帯域

($f(\text{Low } P)$) を有し、 12.73 MHz で高周波数側のピーク帯域 ($f(\text{High } P)$) を有している。このように、給電共振器 22 及び受電共振器 32 における伝送特性『S 21』は、二つのピーク帯域を有する。なお、給電共振器 22 及び受電共振器 32 における伝送特性『S 21』を測定するにあたり、上記無線電力伝送装置 1 において、給電共振器 22 と受電共振器 32 との間の距離 d_{23} を 120 mm に設定している。また、給電コイル 21 と給電共振器 22 との間の距離 d_{12} を 100 mm に設定することにより、給電共振器 22 が十分に励振でき、給電共振器 22 による磁界を生成させ、かつ、給電コイル 21 と給電共振器 22 とができるだけ結合しない距離を確保している。同様に、受電共振器 32 と受電コイル 31 との間の距離 d_{34} を 100 mm に設定することにより、受電共振器 32 が十分に励振でき、受電共振器 32 による磁界を生成させ、かつ、受電共振器 32 と受電コイル 31 とができるだけ結合しない距離を確保している。

[0055] また、図 9 に示すように、給電コイル 21、給電共振器 22 及び受電共振器 32、受電コイル 31 (給電モジュール 2 及び受電モジュール 3) における伝送特性『S 21』(図 9 の実線 151) を見ると、解析波形のピークが 12.6 MHz 付近にある単峰性の性質を有するように設定されている。このピークは、およそ給電共振器 22、及び、受電共振器 32 における共振周波数 f_0 (12.63 MHz) に近いところに出現している。なお、給電コイル 21、給電共振器 22 及び受電共振器 32、受電コイル 31 (給電モジュール 2 及び受電モジュール 3) における伝送特性『S 21』を単峰性にして測定するために、上記無線電力伝送装置 1 において、給電共振器 22 と受電共振器 32 との間の距離 d_{23} を 120 mm に設定し、給電コイル 21 と給電共振器 22 との間の距離 d_{12} を 20 mm に設定し、受電共振器 32 と受電コイル 31 との間の距離 d_{34} を 20 mm に設定している。

[0056] 次に、上記無線電力伝送装置 1 の給電モジュール 2 に供給する交流電力の電源周波数を 12.5 MHz ($f(\text{Low } P)$)、 12.7 MHz ($f(\text{High } P)$) にそれぞれ設定した場合における、給電共振器 22 及び受電共振器 32 周辺の

磁界強度分布を、電磁界解析を用いて解析し、磁界強度を色調で表示させた解析結果として図 10 に示す。

[0057] この図 10 の磁界強度分布から、12.5 MHz (f(Low P)) の場合に、給電共振器 22 及び受電共振器 32 の外側に、磁界による影響が低減されて、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間 G2 を確認することができた (図 10 の 12.7 MHz (f(High P)) の場合における、給電共振器 22 及び受電共振器 32 の外側の磁界強度と比べても相対的に磁界強度が弱い磁界空間 G2 が形成されている)。また、12.7 MHz の場合に、給電共振器 22 と受電共振器 32 との間に、磁界による影響が低減されて、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間 G1 を確認することができた (図 10 の 12.5 MHz (f(Low P)) の場合における、給電共振器 22 と受電共振器 32 との間の磁界強度と比べても相対的に磁界強度が弱い磁界空間 G1 が形成されている)。

[0058] これにより、給電コイル 21、給電共振器 22 及び受電共振器 32、受電コイル 31 における伝送特性『S21』が、単峰性の性質を有する場合であっても、給電共振器 22 及び受電共振器 32 における伝送特性『S21』が二つのピーク帯域を有するように設定したうえで、その二つのピーク帯域のうち高周波側に形成されるピーク帯域 (f(High P)) に対応する電源周波数に設定することにより、給電共振器 22 と受電共振器 32 との間に、磁界による影響が低減されて、周辺の磁界強度よりも小さな磁界空間 G1 を形成することができる。また、伝送特性『S21』の二つのピーク帯域のうち低周波側に形成されるピーク帯域 (f(Low P)) に対応する電源周波数に設定することにより、給電共振器 22 と受電共振器 32 との外側に、磁界による影響が低減されて、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間 G2 を形成することができる。また、銅片を

使用した検証)

以下では、給電コイル 21、給電共振器 22 及び受電共振器 32、受電コ

イル 3 1 における伝送特性『S 2 1』が単峰性の性質を有する場合、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間、又は、給電共振器 2 2 ・受電共振器 3 2 の外側に、安定回路 7、充電回路 8、充電電池 9 などの電子機器を配置した場合に、給電コイル 2 1、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2、受電コイル 3 1（無線電力伝送装置 1）における伝送特性『S 2 1』、即ち、無線電力伝送装置 1 の電力伝送効率に影響を与えないか否かを検証する。

[0060] （給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間に鉄片を挿入した場合：単峰性）

安定回路 7、充電回路 8、充電電池 9 などの電子機器を想定した鉄片 6 0 を給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間に挿入したときの給電コイル 2 1、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2、受電コイル 3 1 における伝送特性『S 2 1』を測定することによってその影響を検証する（図 1 1 参照）。鉄片 6 0 は、図 1 1 に示すように、厚み 1 0 mm で、直径が 4 0 mm の円柱形状のものを使用する。

[0061] そして、鉄片 6 0 を給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間に挿入した状態で、給電モジュール 2 に供給する交流電力の電源周波数を変えながら給電コイル 2 1、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2、受電コイル 3 1 における伝送特性『S 2 1』を解析する。なお、鉄片 6 0 を給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間に挿入しない状態の給電コイル 2 1、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2、受電コイル 3 1 における伝送特性『S 2 1』（図 1 2 の実線 1 5 1）も合わせて記載する。

[0062] 図 1 2 に示すように、無線電力伝送装置 1 において、鉄片 6 0 を給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間に挿入した状態で解析された伝送特性『S 2 1』の解析波形（図 1 2 の実線 1 5 2）と、鉄片 6 0 を給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間に挿入しない場合の伝送特性『S 2 1』の解析波形（図 1 2 の実線 1 5 1）とを比較して見ると、1 2. 5 3 MHz（ $f(\text{Low P})$ ）における実線 1 5 1（鉄片 6 0 なし）の伝送特性『S 2 1』は、- 5. 4 dB であり、1 2. 5 3 MHz（ $f(\text{Low P})$ ）における実線 1 5 2（鉄片あり）の

伝送特性『S 2 1』は、 -6.2 dB であった。これは、電源周波数を 12.53 MHz ($f(\text{Low P})$) にした場合、鉄片 6 0 を給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間に挿入することによって、伝送特性『S 2 1』が 0.8 dB 低下し、無線電力伝送装置 1 の電力伝送効率に影響を与えていることを示している。

一方、 12.73 MHz ($f(\text{High P})$) における実線 1 5 1 (鉄片 6 0 なし) の伝送特性『S 2 1』は、 -3.1 dB であり、 12.73 MHz ($f(\text{High P})$) における実線 1 5 2 (鉄片あり) の伝送特性『S 2 1』は、 -3.2 dB であった。これは、電源周波数を 12.73 MHz ($f(\text{High P})$) にした場合、鉄片 6 0 を給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間に挿入したとしても、伝送特性『S 2 1』が 0.1 dB しか低下せず、無線電力伝送装置 1 の電力伝送効率にほとんど影響を与えていないことを示している。

即ち、電源周波数を 12.53 MHz ($f(\text{Low P})$) にした場合には、図 1 0 に示すように、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間に磁界空間 G 1 は形成されていないために、鉄片 6 0 による影響を受け、伝送特性『S 2 1』が低下し、無線電力伝送装置 1 の電力伝送効率に影響を与えていることが分かる。一方、電源周波数を 12.73 MHz ($f(\text{High P})$) にした場合には、図 1 0 に示すように、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間に磁界空間 G 1 が形成され、その磁界空間 G 1 に鉄片 6 0 が挿入されているため、鉄片 6 0 による影響をほとんど受けず、伝送特性『S 2 1』が大幅に低下することもなく、無線電力伝送装置 1 の電力伝送効率にほとんど影響を与えないことが分かる。

[0063] (給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の外側に銅片を挿入した場合：単峰性)

次に、安定回路 7、充電回路 8、充電電池 9 などの電子機器を想定した銅片 6 1 を給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の外側に配置したときの給電コイル 2 1、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2、受電コイル 3 1 (無線電力伝送装置 1) における伝送特性『S 2 1』を測定することによってその影響を

検証する（図 1 3 参照）。銅片 6 1 は、図 1 3 に示すように、100 mm × 100 mm × 1 mm の四角柱形状のものを使用する。また、銅片 6 1 は、図 1 3 に示すように給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 に対して 30 mm の距離を置いて配置した。

[0064] そして、銅片 6 1 を給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の外側に配置した状態で、給電モジュール 2 に供給する交流電力の電源周波数を変えながら給電コイル 2 1、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2、受電コイル 3 1 における伝送特性『S 2 1』を解析する。なお、銅片 6 1 を給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の外側に配置しない状態の給電コイル 2 1、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2、受電コイル 3 1 における伝送特性『S 2 1』（図 1 4 の実線 1 5 1）も合わせて記載する。

[0065] 図 1 4 に示すように、無線電力伝送装置 1 において、銅片 6 1 を給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の外側に配置した状態で解析された伝送特性『S 2 1』の解析波形（図 1 4 の実線 1 5 3）と、銅片 6 1 を給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の外側に配置しない場合の伝送特性『S 2 1』の解析波形（図 1 4 の実線 1 5 1）とを比較して見ると、12.73 MHz（f(High P)）における実線 1 5 1（銅片 6 1 なし）の伝送特性『S 2 1』は、-3.1 dB であり、12.73 MHz（f(High P)）における実線 1 5 3（銅片 6 1 あり）の伝送特性『S 2 1』は、-2.5 dB であった。これは、電源周波数を 12.73 MHz（f(High P)）にした場合、銅片 6 1 を給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の外側に配置することによって、伝送特性『S 2 1』が 0.6 dB 上昇し、無線電力伝送装置 1 の電力伝送効率に影響を与えていることを示している。

一方、12.53 MHz（f(Low P)）における実線 1 5 1（銅片 6 1 なし）の伝送特性『S 2 1』は、-5.4 dB であり、12.53 MHz（f(Low P)）における実線 1 5 3（銅片 6 1 あり）の伝送特性『S 2 1』は、-5.5 dB であった。これは、電源周波数を 12.53 MHz（f(Low P)）にした場合、銅片 6 1 を給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の外側に配置したと

しても、伝送特性『S 2 1』が0. 1 dBしか低下せず、無線電力伝送装置1の電力伝送効率にほとんど影響を与えていないことを示している。

即ち、電源周波数を12. 73 MHz (f(High P))にした場合には、図10に示すように、給電共振器22及び受電共振器32の外側に磁界空間G2は形成されていなく、銅片61による影響を受け、伝送特性『S 2 1』が上昇し、無線電力伝送装置1の電力伝送効率に影響を与えていたことが分かる。一方、電源周波数を12. 53 MHz (f(Low P))にした場合には、図10に示すように、給電共振器22及び受電共振器32の外側に磁界空間G2が形成され、その磁界空間G2に銅片61が配置されているため、銅片61による影響をほとんど受けず、伝送特性『S 2 1』が大幅に低下することもなく、無線電力伝送装置1の電力伝送効率にほとんど影響を与えていないことが分かる。

[0066]

上記の検証結果より、給電共振器22と受電共振器32との間に磁界空間G1を形成し、形成した磁界空間G1に安定回路7、充電回路8、充電池9などの電子機器を配置した場合、給電コイル21、給電共振器22及び受電共振器32、受電コイル31(無線電力伝送装置1)における伝送特性『S 2 1』、即ち、無線電力伝送装置1の電力伝送効率にほとんど影響を与えないことが分かる。同様に、給電共振器22及び受電共振器32の外側に磁界空間G2を形成し、形成した磁界空間G2に安定回路7、充電回路8、充電池9などの電子機器を配置した場合、給電コイル21、給電共振器22及び受電共振器32、受電コイル31(無線電力伝送装置1)における伝送特性『S 2 1』、即ち、無線電力伝送装置1の電力伝送効率にほとんど影響を与えないことが分かる。

[0067]

(多峰性の場合)

上記では、給電共振器22及び受電共振器32における伝送特性『S 2 1』が、二つのピーク帯域を有するように設定したうえで、給電コイル21、給電共振器22及び受電共振器32、受電コイル31(給電モジュール2及び受電モジュール3)における伝送特性『S 2 1』が単峰性の性質を有する

場合の磁界空間 $G1 \cdot G2$ の形成について説明した。次に、下記では、給電共振器 22 及び受電共振器 32 における伝送特性『S21』が、二つのピーク帯域を有するように設定したうえで、給電コイル 21、給電共振器 22 及び受電共振器 32、受電コイル 31（給電モジュール 2 及び受電モジュール 3）における伝送特性『S21』が多峰性（本実施形態では双峰性）の性質を有する場合の磁界空間 $G1 \cdot G2$ の形成について説明する。

[0068] まずは、単峰性の場合同様に、ネットワークアナライザ 110 を使用して、給電共振器 22 及び受電共振器 32 における伝送特性『S21』を、供給する交流電力の電源周波数を変えながら解析する。図 15 の実線 150 に示すように、給電共振器 22 及び受電共振器 32 における伝送特性『S21』は、12.53 MHz で低周波数側のピーク帯域 ($f(\text{Low P})$) を有し、12.73 MHz で高周波数側のピーク帯域 ($f(\text{High P})$) を有している。このように、上記単峰性の場合と同様に、給電共振器 22 及び受電共振器 32 における伝送特性『S21』は、二つのピーク帯域を有する。

[0069] そして、図 15 の実線 161 に示すように、給電コイル 21、給電共振器 22 及び受電共振器 32、受電コイル 31（給電モジュール 2 及び受電モジュール 3）における伝送特性『S21』は、解析波形が 12.54 MHz 付近と 12.72 MHz 付近との二か所でピークを形成する双峰性（多峰性）の性質を有するように設定されている。この二つのピークにおける電源周波数は、給電共振器 22 及び受電共振器 32 における伝送特性『S21』の低周波数側のピーク帯域 ($f(\text{Low P})$) 及び高周波数側のピーク帯域 ($f(\text{High P})$) とほぼ一致している。なお、給電コイル 21、給電共振器 22 及び受電共振器 32、受電コイル 31（給電モジュール 2 及び受電モジュール 3）における伝送特性『S21』を双峰性にして測定するために、上記無線電力伝送装置 1 において、給電共振器 22 と受電共振器 32 との間の距離 $d23$ を 120 mm に設定し、給電コイル 21 と給電共振器 22 との間の距離 $d12$ を 50 mm に設定し、受電共振器 32 と受電コイル 31 との間の距離 $d34$ を 50 mm に設定している。

[0070] 次に、上記無線電力伝送装置 1 の給電モジュール 2 に供給する交流電力の電源周波数を 12.5 MHz (f(Low P))、12.7 MHz (f(High P)) にそれぞれ設定した場合における、給電共振器 22 及び受電共振器 32 周辺の磁界強度分布を、電磁界解析を用いて解析し、磁界強度を色調で表示させた解析結果として図 16 に示す。

[0071] この図 16 の磁界強度分布から、12.5 MHz (f(Low P)) の場合に、給電共振器 22 及び受電共振器 32 の外側に、磁界による影響が低減されて、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間 G2 を確認することができた(図 16 の 12.7 MHz (f(High P)) の場合における、給電共振器 22 及び受電共振器 32 の外側の磁界強度と比べても相対的に磁界強度が弱い磁界空間 G2 が形成されている)。また、12.7 MHz の場合に、給電共振器 22 と受電共振器 32 との間に、磁界による影響が低減されて、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間 G1 を確認することができた(図 16 の 12.5 MHz (f(Low P)) の場合における、給電共振器 22 と受電共振器 32 との間の磁界強度と比べても相対的に磁界強度が弱い磁界空間 G1 が形成されている)。

[0072] これにより、給電コイル 21、給電共振器 22 及び受電共振器 32、受電コイル 31 における伝送特性『S21』が、多峰性の性質を有する場合であっても、給電共振器 22 及び受電共振器 32 における伝送特性『S21』が二つのピーク帯域を有するように設定したうえで、その二つのピーク帯域のうち高周波側に形成されるピーク帯域 (f(High P)) に対応する電源周波数に設定することにより、給電共振器 22 と受電共振器 32 との間に、磁界による影響が低減されて、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間 G1 を形成することができる。また、伝送特性『S21』の二つのピーク帯域のうち低周波側に形成されるピーク帯域 (f(Low P)) に対応する電源周波数に設定することにより、給電共振器 22 と受電共振器 32 との外側に、磁界による影響が低減されて、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間 G2 を形成することができる。また、伝送特性『S21』の二つのピーク帯域のうち低周波側に形成されるピーク帯域 (f(Low P)) に対応する電源周波数に設定することにより、給電共振器 22 と受電共振器 32 との外側に、磁界による影響が低減されて、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間 G2 を形成することができる。

[0073] (磁界空間 G 1 ・ G 2 における伝送特性『S 2 1』への影響：鉄・銅片を使用した検証)

以下では、給電コイル 2 1、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2、受電コイル 3 1 における伝送特性『S 2 1』が多峰性の性質を有する場合、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間、又は、給電共振器 2 2 ・受電共振器 3 2 の外側に、安定回路 7、充電回路 8、充電池 9 などの電子機器を配置した場合に、給電コイル 2 1、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2、受電コイル 3 1 (無線電力伝送装置 1) における伝送特性『S 2 1』、即ち、無線電力伝送装置 1 の電力伝送効率に影響を与えないか否かを検証する。

[0074] (給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間に鉄片を挿入した場合：多峰性)

安定回路 7、充電回路 8、充電池 9 などの電子機器を想定した鉄片 6 0 を給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間に挿入したときの給電コイル 2 1、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2、受電コイル 3 1 における伝送特性『S 2 1』を測定することによってその影響を検証する(図 1 1 参照)。鉄片 6 0 は、図 1 1 に示すように、厚み 1 0 mm で、直径が 4 0 mm の円柱形状のものを使用する。

[0075] そして、鉄片 6 0 を給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間に挿入した状態で、給電モジュール 2 に供給する交流電力の電源周波数を変えながら給電コイル 2 1、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2、受電コイル 3 1 における伝送特性『S 2 1』を解析する。なお、鉄片 6 0 を給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間に挿入しない状態の給電コイル 2 1、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2、受電コイル 3 1 における伝送特性『S 2 1』(図 1 7 の実線 1 6 1) も合わせて記載する。

[0076] 図 1 7 に示すように、無線電力伝送装置 1 において、鉄片 6 0 を給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間に挿入した状態で解析された伝送特性『S 2 1』の解析波形(図 1 7 の実線 1 6 2)と、鉄片 6 0 を給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間に挿入しない場合の伝送特性『S 2 1』の解析波形(図

17の実線161)とを比較して見ると、12.53MHz (f(Low P))における実線161(鉄片60なし)の伝送特性『S21』は、-9.0dBであり、12.53MHz (f(Low P))における実線162(鉄片あり)の伝送特性『S21』は、-10.0dBであった。これは、電源周波数を12.53MHz (f(Low P))にした場合、鉄片60を給電共振器22と受電共振器32との間に挿入することによって、伝送特性『S21』が1.0dB低下し、無線電力伝送装置1の電力伝送効率に影響を与えていることを示している。

一方、12.73MHz (f(High P))における実線161(鉄片60なし)の伝送特性『S21』は、-10.2dBであり、12.73MHz (f(High P))における実線162(鉄片あり)の伝送特性『S21』は、-10.3dBであった。これは、電源周波数を12.73MHz (f(High P))にした場合、鉄片60を給電共振器22と受電共振器32との間に挿入したとしても、伝送特性『S21』が0.1dBしか低下せず、無線電力伝送装置1の電力伝送効率にほとんど影響を与えていないことを示している。

即ち、電源周波数を12.53MHz (f(Low P))にした場合には、図16に示すように、給電共振器22と受電共振器32との間に磁界空間G1は形成されていないために、鉄片60による影響を受け、伝送特性『S21』が低下し、無線電力伝送装置1の電力伝送効率に影響を与えていることが分かる。一方、電源周波数を12.73MHz (f(High P))にした場合には、図16に示すように、給電共振器22と受電共振器32との間に磁界空間G1が形成され、その磁界空間G1に鉄片60が挿入されているため、鉄片60による影響をほとんど受けず、伝送特性『S21』が大幅に低下することもなく、無線電力伝送装置1の電力伝送効率にほとんど影響を与えないことが分かる。

[0077] (給電共振器22及び受電共振器32の外側に銅片を挿入した場合：多峰性)

次に、安定回路7、充電回路8、充電電池9などの電子機器を想定した銅片

6 1 を給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の外側に配置したときの給電コイル 2 1、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2、受電コイル 3 1（無線電力伝送装置 1）における伝送特性『S 2 1』を測定することによってその影響を検証する（図 1 3 参照）。銅片 6 1 は、図 1 3 に示すように、1 0 0 m m × 1 0 0 m m × 1 m m の四角柱形状のものを使用する。また、銅片 6 1 は、図 1 3 に示すように給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 に対して 3 0 m m の距離を置いて配置した。

[0078] そして、銅片 6 1 を給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の外側に配置した状態で、給電モジュール 2 に供給する交流電力の電源周波数を変えながら給電コイル 2 1、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2、受電コイル 3 1 における伝送特性『S 2 1』を解析する。なお、銅片 6 1 を給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の外側に配置しない状態の給電コイル 2 1、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2、受電コイル 3 1 における伝送特性『S 2 1』（図 1 8 の実線 1 6 1）も合わせて記載する。

[0079] 図 1 8 に示すように、無線電力伝送装置 1 において、銅片 6 1 を給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の外側に配置した状態で解析された伝送特性『S 2 1』の解析波形（図 1 8 の実線 1 6 3）と、銅片 6 1 を給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の外側に配置しない場合の伝送特性『S 2 1』の解析波形（図 1 8 の実線 1 6 1）とを比較して見ると、1 2 . 7 3 M H z (f (H i g h P)) における実線 1 6 1（銅片 6 1 なし）の伝送特性『S 2 1』は、− 1 0 . 2 d B であり、1 2 . 7 3 M H z (f (H i g h P)) における実線 1 6 3（銅片 6 1 あり）の伝送特性『S 2 1』は、− 1 1 . 5 d B であった。これは、電源周波数を 1 2 . 7 3 M H z (f (H i g h P)) にした場合、銅片 6 1 を給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の外側に配置することによって、伝送特性『S 2 1』が 1 . 3 d B 低下し、無線電力伝送装置 1 の電力伝送効率に影響を与えていることを示している。

一方、1 2 . 5 3 M H z (f (L o w P)) における実線 1 6 1（銅片 6 1 なし）の伝送特性『S 2 1』は、− 9 . 0 d B であり、1 2 . 5 3 M H z (f (L o w

P)) における実線 163 (銅片 61 あり) の伝送特性『S21』は、 -9.2 dB であった。これは、電源周波数を 12.53 MHz ($f(\text{Low P})$) にした場合、銅片 61 を給電共振器 22 及び受電共振器 32 の外側に配置したとしても、伝送特性『S21』が 0.2 dB しか低下せず、無線電力伝送装置 1 の電力伝送効率にほとんど影響を与えていないことを示している。

即ち、電源周波数を 12.73 MHz ($f(\text{High P})$) にした場合には、図 16 に示すように、給電共振器 22 及び受電共振器 32 の外側に磁界空間 G2 は形成されていないために、銅片 61 による影響を受け、伝送特性『S21』が低下し、無線電力伝送装置 1 の電力伝送効率に影響を与えていることが分かる。一方、電源周波数を 12.53 MHz ($f(\text{Low P})$) にした場合には、図 16 に示すように、給電共振器 22 及び受電共振器 32 の外側に磁界空間 G2 が形成され、その磁界空間 G2 に銅片 61 が配置されているため、銅片 61 による影響をほとんど受けず、伝送特性『S21』が大幅に低下することなく、無線電力伝送装置 1 の電力伝送効率にほとんど影響を与えないことが分かる。

[0080] 上記の検証結果より、給電共振器 22 と受電共振器 32 との間に磁界空間 G1 を形成し、形成した磁界空間 G1 に安定回路 7、充電回路 8、充電池 9 などの電子機器を配置した場合、給電コイル 21、給電共振器 22 及び受電共振器 32、受電コイル 31 (無線電力伝送装置 1) における伝送特性『S21』、即ち、無線電力伝送装置 1 の電力伝送効率にほとんど影響を与えないことが分かる。同様に、給電共振器 22 及び受電共振器 32 の外側に磁界空間 G2 を形成し、形成した磁界空間 G2 に安定回路 7、充電回路 8、充電池 9 などの電子機器を配置した場合、給電コイル 21、給電共振器 22 及び受電共振器 32、受電コイル 31 (無線電力伝送装置 1) における伝送特性『S21』、即ち、無線電力伝送装置 1 の電力伝送効率にほとんど影響を与えないことが分かる。

[0081] 上記構成によれば、共振現象によって電力を無線伝送するに際して、給電共振器 22 及び受電共振器 32 における伝送特性『S21』の値が二つのピ

ーク帯域を有するように設定し、給電モジュール 2 に供給する電力の電源周波数を、伝送特性『S 2 1』の二つのピーク帯域の何れかに対応する電源周波数帯域に設定することにより、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の近辺に、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間 G 1 ・ G 2 を形成することが可能となる。

そして、周辺の磁界強度よりも磁界強度を低減させた磁界空間 G 1 ・ G 2 に、磁界の影響を低減させたい電子機器（安定回路 7、充電回路 8、及び、充電電池 9 等）などを収納することにより、電子機器などに対して、磁界に起因する渦電流の発生を低減・防止して、発熱による悪影響を抑制することが可能となる。

[0082] また、上記構成によれば、給電モジュール 2 に供給する電力の電源周波数を、伝送特性『S 2 1』の二つのピーク帯域のうち高周波側に形成されるピーク帯域（f(High P)）に対応する周波数帯域に設定することにより、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間に、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間 G 1 を形成することが可能となる。

[0083] また、上記構成によれば、給電モジュール 2 に供給する電力の電源周波数を、伝送特性『S 2 1』の二つのピーク帯域のうち低周波側に形成されるピーク帯域（f(Low P)）に対応する周波数帯域に設定することにより、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の外側に、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間 G 2 を形成することが可能となる。

[0084] また、上記構成によれば、給電モジュール 2（給電コイル 2 1、給電共振器 2 2）及び受電モジュール 3（受電コイル 3 1、受電共振器 3 2）における、電力の電源周波数に対する伝送特性『S 2 1』の値が、一つのピークを有する、単峰性の特性を有するように設定することにより、伝送特性『S 2 1』の最大化を図ることができる。そして、伝送特性を最大化できるということは、給電モジュール 2 から受電モジュール 3 に対する電力伝送効率を最大化することができることを意味しているため、磁界空間 G 1 ・ G 2 を形成しつつ、無線電力伝送の電力伝送効率を高めることが可能となる。

また、給電モジュール 2（給電コイル 2 1、給電共振器 2 2）及び受電モジュール 3（受電コイル 3 1、受電共振器 3 2）における、電力の電源周波数に対する伝送特性『S 2 1』の値が、少なくとも二つのピークを有する、双峰性の特性を有するように設定することにより、電力の電源周波数をピーク付近に設定した場合、磁界空間 G 1・G 2 を形成しつつ、無線電力伝送の電力伝送効率を高めることが可能となる。

[0085] （磁界空間 G 1・G 2 の大きさの変更）

上記では、磁界空間 G 1・G 2 の形成方法等について説明した。次に、形成する磁界空間 G 1・G 2 の大きさを調整することができることを説明する。

[0086] 磁界空間 G 1・G 2 の大きさを変更するには、給電モジュール 2 における給電共振器 2 2 と受電モジュール 3 における受電共振器 3 2 との間の磁界による結びつき度合い（磁界結合）の強度を変更することによって行うことが可能である。例えば、この磁界結合を変化させるには、給電モジュール 2 における給電コイル 2 1 や給電共振器 2 2、及び、受電モジュール 3 における受電コイル 3 1 や受電共振器 3 2 に関する調整パラメータを変化させることによって行う。この調整パラメータを変化させる態様には、給電モジュール 2 における給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との配置関係や、受電モジュール 3 における受電コイル 3 1 と受電共振器 3 2 との配置関係を変化させること、給電モジュール 2 に供給する電力量を変化させること、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の各素子（コンデンサ、コイル）の容量やインダクタンスを変化させることなどが挙げられる。

[0087] 上記によれば、給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 に関する調整パラメータを変化させて、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間に発生する磁界結合の強度を変更することにより、磁界空間 G 1 の大きさを変更することができる。例えば、給電モジュール 2 と受電モジュール 3 との間に発生する磁界結合を相対的に弱めることにより磁界空間 G 1・G 2 の大きさを小さくすることができる。一方、給電モジュールと受電モジュールとの間に発生す

る磁界結合を相対的に強めることにより磁界空間 $G_1 \cdot G_2$ の大きさを拡大することができる。これにより、磁界の影響を低減させたい電子機器の大きさに合わせて磁界空間の大きさを調整することが可能となる。

[0088] 例えば、給電モジュール 2 における給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との配置関係、及び、受電モジュール 3 における受電コイル 3 1 と受電共振器 3 2 との配置関係、即ち、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との間の距離 d_{12} 、及び、受電共振器 3 2 と受電コイル 3 1 との間の距離 d_{34} を調整パラメータとして、この距離 d_{12} 及び距離 d_{34} を変化させることによって磁界空間 $G_1 \cdot G_2$ の大きさを変更することができる。

[0089] 上記構成によれば、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との間の距離 d_{12} 、及び、受電共振器 3 2 と受電コイル 3 1 との間の距離 d_{34} の少なくとも一つを変更することにより、磁界結合の強度を変更して磁界空間 $G_1 \cdot G_2$ の大きさを変更することができる。

[0090] (その他の実施形態)

上記の説明では、充電器 1 0 1 及び無線式ヘッドセット 1 0 2 を例示して説明したが、充電池を備えた機器であれば、タブレット型 PC、デジタルカメラ、携帯電話、イヤホン型音楽プレイヤー、補聴器、集音器などにも使用することができる。

[0091] また、上記では、電力が供給される機器として充電池 9 を例示して説明したが、これに限らず、電力が供給される機器に直接電力を消費しながら可動する機器を採用してもよい。

[0092] また、上記説明では、給電モジュール 2 及び受電モジュール 3 を携帯型の電子機器に搭載した場合を想定して説明したが、用途はこれら小型なものに限らず、必要電力量に合わせて仕様を変更することにより、例えば、比較的大きな電気自動車 (EV) における無線充電システムや、より小型な医療用の無線式胃カメラなどにも搭載することができる。

[0093] (磁界空間の形状の変更)

また、上記実施形態では、磁界空間 $G_1 \cdot G_2$ を形成することができるこ

とについて説明したが、更に、磁界空間 $G1 \cdot G2$ の形状を変更することができることについて説明する。

[0094] 磁界空間 $G1 \cdot G2$ の形状を変更するには、例えば、給電コイル 21、給電共振器 22、受電共振器 32、受電コイル 31 のそれぞれの間・周辺の磁界による結びつき度合い（磁界結合）の強度を変更することによって行うが、この磁界結合を変化させるには、給電コイル 21、給電共振器 22、受電コイル 31、受電共振器 32 のコイル形状を変えることによって行う。

[0095] 上記方法によれば、給電コイル 21、給電共振器 22、受電コイル 31、受電共振器 32 を所望の形状にすることにより、磁界強度が相対的に弱い磁界空間 $G1 \cdot G2$ を、給電コイル 21、給電共振器 22、受電コイル 31、受電共振器 32 の形状に沿った所望の形状で形成することができる。即ち、給電コイル 21・給電共振器 22 及び受電モジュール 3 における受電コイル 31・受電共振器 32 の形状を変えることにより、磁界強度が相対的に弱い磁界空間 $G1 \cdot G2$ の形状を変えることが可能となる。

[0096] 以上の詳細な説明では、本発明をより容易に理解できるように、特徴的部分を中心に説明したが、本発明は、以上の詳細な説明に記載する実施形態・実施例に限定されず、その他の実施形態・実施例にも適用することができ、その適用範囲は可能な限り広く解釈されるべきである。また、本明細書において用いた用語及び語法は、本発明を的確に説明するために用いたものであり、本発明の解釈を制限するために用いたものではない。また、当業者であれば、本明細書に記載された発明の概念から、本発明の概念に含まれる他の構成、システム、方法等を推考することは容易であると思われる。従って、請求の範囲の記載は、本発明の技術的思想を逸脱しない範囲で均等な構成を含むものであるとみなされるべきである。また、本発明の目的及び本発明の効果を十分に理解するために、すでに開示されている文献等を十分に参酌することが望まれる。

符号の説明

[0097] 1 無線電力伝送装置

- 2 給電モジュール
- 3 受電モジュール
- 6 交流電源
- 7 安定回路
- 8 充電回路
- 9 充電池
- 10 被給電機器
- 21 給電コイル
- 22 給電共振器
- 31 受電コイル
- 32 受電共振器
- 101 充電器
- 102 無線式ヘッドセット
- 110 ネットワークアナライザ
- G1 G2 磁界空間

請求の範囲

- [請求項1] 少なくとも給電共振器を備えた給電モジュールから、少なくとも受電共振器を備えた受電モジュールに対して、共振現象によって電力を供給する無線電力伝送装置であって、
- 前記給電共振器及び前記受電共振器における、電力の電源周波数に対する伝送特性の値が、二つのピーク帯域を有するように設定し、
- 前記給電モジュールに供給する電力の電源周波数を、前記伝送特性の二つのピーク帯域の何れかに対応する電源周波数帯域に設定することにより、
- 前記給電共振器及び前記受電共振器の近辺に、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間を形成したことを特徴とする無線電力伝送装置。
- [請求項2] 前記給電モジュールに供給する電力の電源周波数を、前記伝送特性の二つのピーク帯域のうち高周波側に形成されるピーク帯域に対応する周波数帯域に設定したことを特徴とする請求項1に記載の無線電力伝送装置。
- [請求項3] 前記給電モジュールに供給する電力の電源周波数を、前記伝送特性の二つのピーク帯域のうち低周波側に形成されるピーク帯域に対応する周波数帯域に設定したことを特徴とする請求項1に記載の無線電力伝送装置。
- [請求項4] 前記給電モジュールは、少なくとも給電コイル及び前記給電共振器を有し、
- 前記受電モジュールは、少なくとも前記受電共振器及び受電コイルを有し、
- 前記給電モジュール及び前記受電モジュールにおける、電力の電源周波数に対する伝送特性の値が、一つのピークを有する、単峰性の特性を有するように設定したことを特徴とする請求項1～3の何れかに記載の無線電力伝送装置。

- [請求項5] 前記給電モジュールは、少なくとも給電コイル及び前記給電共振器を有し、
- 前記受電モジュールは、少なくとも前記受電共振器及び受電コイルを有し、
- 前記給電モジュール及び前記受電モジュールにおける、電力の電源周波数に対する伝送特性の値が、少なくとも二つのピークを有する、双峰性の特性を有するように設定したことを特徴とする請求項1～3の何れかに記載の無線電力伝送装置。
- [請求項6] 前記給電モジュール及び前記受電モジュールに関する調整パラメータを変化させて、前記給電共振器と前記受電共振器との間に発生する磁界結合の強度を変更することにより、前記磁界空間の大きさを調整したことを特徴とする請求項5に記載の無線電力伝送装置。
- [請求項7] 前記調整パラメータは、前記給電コイルと前記給電共振器との間の距離、及び、前記受電共振器と前記受電コイルとの間の距離の少なくとも一つであることを特徴とする請求項6に記載の無線電力伝送装置。
- [請求項8] 少なくとも給電共振器を備えた給電モジュールから、少なくとも受電共振器を備えた受電モジュールに対して、共振現象によって電力を供給する無線電力伝送装置における磁界空間の形成方法であって、
- 前記給電共振器及び前記受電共振器における、電力の電源周波数に対する伝送特性の値が、二つのピーク帯域を有するように設定し、
- 前記給電モジュールに供給する電力の電源周波数を、前記伝送特性の二つのピーク帯域の何れかに対応する電源周波数帯域に設定することにより、
- 前記給電共振器と前記受電共振器との間に、周辺の磁界強度よりも小さな磁界強度を有する磁界空間を形成することを特徴とする磁界空間の形成方法。