

明 細 書

発明の名称：磁界空間の形成方法

技術分野

[0001] 本発明は、比較的磁界強度が小さな磁界空間を形成する方法に関する。

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、携帯電話など人が携帯しながら使用できる電子機器が急速に普及してきている。そして、これら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。この電子機器の充電電池への充電作業を簡易にするために、給電装置と電子機器に搭載された受電装置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、コイル間の電磁誘導を利用して電力伝送を行う技術や（例えば、特許文献１参照）、給電装置及び受電装置が備える共振器（コイル）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技術が挙げられる（例えば、特許文献２参照）。

[0004] 一方で、上記ノート型ＰＣ、タブレット型ＰＣ、デジタルカメラ、携帯電話など人が携帯しながら使用できる電子機器は、携帯性を向上させるために、更なる小型化（コンパクト化）が求められている。

[0005] そこで、無線電力伝送技術を採用しつつ、コンパクト化された電子機器とするために、上記のような無線電力伝送技術で使用するコイルの内周側（内部）に、例えば、整流器、充電電池などの充電関連電子部品を収納することが考えられる。

[0006] しかしながら、上記の無線電力伝送技術では、無線電力伝送技術で使用するコイル周辺に磁界が発生する。その結果、コイルの内周側（内部）に収納された整流器、充電電池などの充電関連電子部品などに、磁界に起因する渦電流が発生して発熱し、整流器、充電電池などの充電関連電子部品に悪影響を及

ぼす問題がある。

- [0007] 上記磁界による問題を解決するために、例えば、特許文献3には、充電電池（二次電池）を備えた受電装置のスパイラルコイルと整流器との間に磁性箔体を配置して磁束の影響を低減させる受電装置が開示されている。

先行技術文献

特許文献

- [0008] 特許文献1：特許第4624768号公報
特許文献2：特開2010-239769号公報
特許文献3：国際公開2007/080820号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0009] もっとも、特許文献3の図3に示された電子機器1の内部に二次電池13が収納されているが、回路基板15自体は受電コイル11の外側に配置されており、十分にコンパクト化されているとは言えない。また、受電コイル11の内部に収納された二次電池13に対しては、二次電池13と受電コイル11との間に配置された磁性箔体16によって、受電コイル11による磁束の影響が低減されるが、特許文献3の図16を参照すると、給電装置30側には、磁性箔体16が採用されていないことから、電力伝送時に、受電コイル11の内部に収納された二次電池13は、給電装置30側の給電コイル31による磁束の影響を受けるので、二次電池13に対する十分な磁束の遮蔽効果が得られないと考えられる。
- [0010] そこで、本発明の目的は、給電モジュールにおけるコイルと受電モジュールにおけるコイルとの間で磁界を変化させて電力伝送を行う際に、コイル周辺で発生する磁界を遮断して、コイルの周辺の所望位置に意図的に磁界強度の小さな磁界空間を形成する方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0011] 上記課題を解決するための発明の一つは、給電モジュールにおけるコイル

と受電モジュールにおけるコイルとを対向配置し、これらコイルの対向面を除いた少なくとも一部の面を覆うように磁性部材を配置し、前記給電モジュールにおけるコイルと前記受電モジュールにおけるコイルとの間で磁界を変化させて電力伝送を行うことで、所望位置に当該所望位置以外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である。

[0012] 上記方法によれば、磁性部材が、給電モジュールにおけるコイルと受電モジュールにおけるコイルとが対向する面を除いた少なくとも一部の面を覆うことにより、給電モジュールにおけるコイルと受電モジュールにおけるコイルとの間で磁界を変化させて電力伝送を行う際に、給電モジュールにおけるコイル及び受電モジュールにおけるコイルの周辺で発生する磁界を磁性部材により遮断して、給電モジュールにおけるコイル及び受電モジュールにおけるコイルの周辺の所望位置に当該所望位置以外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できる。

このように給電モジュールにおけるコイル及び受電モジュールにおけるコイルの周辺の所望位置に当該所望位置以外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できるので、例えば、受電モジュールにおけるコイルで受電した交流電力を整流する整流器や、整流した直流電力を蓄える充電池や、電子機器などを、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間に収納した場合、磁界に起因する渦電流の発生が抑制されているので、整流器や充電池や電子機器などが発熱するのを防止することができる。

そして、整流器や充電池や電子機器などを、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間に収納することにより、整流器や充電池や電子機器などの発熱を防止しつつ、コンパクト化が可能となる。

[0013] また、上記課題を解決するための発明の一つは、上記磁界空間の形成方法において、前記磁性部材が、給電モジュールにおけるコイル及び／又は受電モジュールにおけるコイルの内周面を覆うように配置されていることを特徴としている。

- [0014] 上記方法によれば、給電モジュールにおけるコイル及び／又は受電モジュールにおけるコイルの内周側で発生する磁界を遮断して、給電モジュールにおけるコイル及び／又は受電モジュールにおけるコイルの内周側に比較的小さな磁界強度を有する磁界空間を形成することができる。
- [0015] また、上記課題を解決するための発明の一つは、上記磁界空間の形成方法において、前記磁性部材が、給電モジュールにおけるコイル及び／又は受電モジュールにおけるコイルの外周面を覆うように配置されていることを特徴としている。
- [0016] 上記方法によれば、給電モジュールにおけるコイル及び／又は受電モジュールにおけるコイルの外周側で発生する磁界を遮断して、給電モジュールにおけるコイル及び／又は受電モジュールにおけるコイルの外周側に比較的小さな磁界強度を有する磁界空間を形成することができる。
- [0017] また、上記課題を解決するための発明の一つは、上記磁界空間の形成方法において、前記磁性部材が、給電モジュールにおけるコイル及び受電モジュールにおけるコイルの対向面とは反対側の面を覆うように配置されていることを特徴としている。
- [0018] 上記方法によれば、給電モジュールにおけるコイル及び受電モジュールにおけるコイルの対向面とは反対側の面付近で発生する磁界を遮断して、給電モジュールにおけるコイル及び受電モジュールにおけるコイルの対向面とは反対側の面付近に比較的小さな磁界強度を有する磁界空間を形成することができる。
- [0019] また、上記課題を解決するための発明の一つは、上記磁界空間の形成方法において、前記給電モジュールにおけるコイルから前記受電モジュールにおけるコイルに共振現象により前記電力伝送を行うことを特徴としている。
- [0020] 上記方法によれば、コイル間の共振現象を利用した電力伝送を行うことにより、給電モジュールにおけるコイル及び受電モジュールにおけるコイルの周辺の所望位置に当該所望位置以外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できる。

[0021] また、上記課題を解決するための発明の一つは、上記磁界空間の形成方法において、前記給電モジュールにおけるコイルは、給電コイル及び給電共振器であり、前記受電モジュールにおけるコイルは、受電コイル及び受電共振器であり、前記給電コイルに給電された電力を前記給電共振器に対して電磁誘導により給電し、前記給電共振器に給電された電力を前記給電共振器と前記受電共振器とを共振させることによって磁界エネルギーとして前記給電共振器から前記受電共振器に伝送し、前記受電共振器に伝送された電力を電磁誘導により前記受電コイルに給電することにより前記電力伝送を行うことを特徴としている。

[0022] 上記方法によれば、給電コイル及び給電共振器と、受電コイル及び受電共振器とを使用した磁界共鳴方式による電力伝送を行うことにより、給電共振器及び受電共振器の周辺の所望位置に当該所望位置以外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できる。

発明の効果

[0023] 給電モジュールにおけるコイルと受電モジュールにおけるコイルとの間で磁界を変化させて電力伝送を行う際に、コイル周辺で発生する磁界を遮断して、コイルの周辺の所望位置に意図的に磁界強度の小さな磁界空間を形成する方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0024] [図1]磁界空間の形成方法の概略説明図である。

[図2]比較例に係る無線電力供給システムの構成図である。

[図3]比較例に係る伝送特性S₂₁の測定結果を示したグラフである。

[図4]比較例に係る磁界強度分布図である。

[図5]実施例1に係る無線電力供給システムの構成図である。

[図6]実施例1に係る伝送特性S₂₁の測定結果を示したグラフである。

[図7]実施例1に係る磁界強度分布図である。

[図8]実施例2に係る無線電力供給システムの構成図である。

[図9]実施例2に係る伝送特性S₂₁の測定結果を示したグラフである。

[図10]実施例2に係る磁界強度分布図である。

[図11]実施例3に係る無線電力供給システムの構成図である。

[図12]実施例3に係る伝送特性S21の測定結果を示したグラフである。

[図13]実施例3に係る磁界強度分布図である。

[図14]実施例4に係る伝送特性S21の測定結果を示したグラフである。

[図15]実施例4に係る磁界強度分布図である。

[図16]実施例5に係る伝送特性S21の測定結果を示したグラフである。

[図17]実施例5に係る磁界強度分布図である。

[図18]第二比較例に係る無線電力供給システムの構成図である。

[図19]第二比較例に係る伝送特性S21の測定結果を示したグラフである。

[図20]第二比較例に係る磁界強度分布図である。

[図21]第二実施例に係る無線電力供給システムの構成図である。

[図22]第二実施例に係る伝送特性S21の測定結果を示したグラフである。

[図23]第二実施例に係る磁界強度分布図である。

[図24]第三比較例に係る無線電力供給システムの構成図である。

[図25]第三比較例に係る伝送特性S21の測定結果を示したグラフである。

[図26]第三比較例に係る磁界強度分布図である。

[図27]第三実施例に係る無線電力供給システムの構成図である。

[図28]第三実施例に係る伝送特性S21の測定結果を示したグラフである。

[図29]第三実施例に係る磁界強度分布図である。

[図30]第四比較例に係る無線電力供給システムの構成図である。

[図31]第四比較例に係る伝送特性S21の測定結果を示したグラフである。

[図32]第四実施例に係る無線電力供給システムの構成図である。

[図33]第四実施例に係る伝送特性S21の測定結果を示したグラフと磁界強度分布図である。

[図34]第四実施例2に係る伝送特性S21の測定結果を示したグラフである。
。

[図35]第五比較例に係る無線電力供給システムの構成図である。

[図36]第五比較例に係る伝送特性S 2 1の測定結果を示したグラフである。

[図37]第五比較例に係る磁界強度分布図である。

[図38]第五実施例に係る無線電力供給システムの構成図である。

[図39]第五実施例に係る伝送特性S 2 1の測定結果を示したグラフである。

[図40]第五実施例に係る磁界強度分布図である。

[図41]第六実施例に係る無線電力供給システムの構成図、伝送特性S 2 1の測定結果を示したグラフ、及び、磁界強度分布図である。

[図42]実施形態2に係る無線電力供給システムの説明図である。

発明を実施するための形態

[0025] 以下に本発明に係る磁界空間の形成方法を実施例及び実施形態に基づいて説明する。

[0026] (概要)

本発明に係る磁界空間の形成方法は、例えば、図1に示すような無線電力供給システム200によって実現される。無線電力供給システム200は、給電コイル21及び給電共振器22を備える給電モジュール202と、受電コイル31及び受電共振器32を備える受電モジュール203を主な構成要素とし、給電共振器22及び受電共振器32には、ソレノイド型のコイルが使用されており、給電共振器22及び受電共振器32は、この給電共振器22のコイル面と受電共振器32のコイル面同士が対向するように配置されている。また、給電共振器22のコイル内周面側には、給電共振器22のコイル内周面全体を覆う円筒状の磁性部材23が配置されている。同様に、受電共振器32のコイル内周面側にも、受電共振器32のコイル内周面全体を覆う円筒状の磁性部材33が配置されている。また、給電モジュール202の給電コイル21と後述するネットワークアナライザ110の出力端子111は配線により接続され、任意の周波数で交流電力を出力端子111から給電コイル21に出力可能としている。また、受電モジュール203の受電コイル31とネットワークアナライザ110の入力端子112は配線により接続され、受電コイル31から入力端子112に入力された電力を測定可能とし

ている。そして、給電モジュール202の給電共振器22から受電モジュール203の受電共振器32に共振現象を利用して磁界を変化させて電力伝送を行うことで、給電共振器22及び受電共振器32の周辺で発生する磁界を磁性部材23・33により遮断して、給電共振器22及び受電共振器32のコイル内周面側（所望位置）に、当該コイル内周面側以外の磁界強度よりも磁界強度が小さな磁界空間Zを形成する。

[0027] ここで、給電共振器22及び受電共振器32とは、例えば、コイルを使用した共振器で、スパイラル型やソレノイド型やループ型などのコイルが挙げられる。また、共振現象とは、2つ以上のコイルが共振周波数において同調することをいう。また、コイルとコイルとを対向配置するとは、コイルの径方向断面をコイル面として、コイル面同士が直交しないように向かい合わせに配置することをいう。所望位置とは、詳細は後述するが、給電モジュール202におけるコイル（給電共振器22）又は受電モジュール203におけるコイル（受電共振器32）の内周側又は外周側の空間をいう。

[0028] （第一の実施例）

次に、上記の無線電力供給システム200のように、給電モジュール202における給電共振器22と受電モジュール203における受電共振器32とを対向配置し、これらの対向面を除いた少なくとも一部の面を覆うように磁性部材を配置した上記無線電力供給システムによって形成される磁界空間Zについて、比較例及び実施例1～3の磁界強度などを測定することにより第一の実施例として説明する。なお、磁界空間Zの磁界強度等を測定するに際して、比較例及び実施例1～3に合わせて変更した無線電力供給システム100・200・300・400を用いて測定する（図2、図5、図8、図11参照）。

[0029] 具体的には、比較例として、図2に示す給電モジュール102及び受電モジュール103に磁性部材を備えていない無線電力供給システム100によって形成される磁界空間Zについて、受電共振器32のコイル内周側に金属片を挿入したときと金属片を挿入していないときの磁界強度の変化及び後述

する伝送特性『S 2 1』の変化を測定する。

[0030] また、実施例 1 として、図 5 に示す給電モジュール 2 0 2 及び受電モジュール 2 0 3 において、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 のコイル内周面全体を覆う円筒状の磁性部材 2 3 ・ 3 3 を備えた無線電力供給システム 2 0 0 によって形成される磁界空間 Z について、受電共振器 3 2 のコイル内周側に金属片を挿入したときと金属片を挿入していないときの磁界強度の変化及び伝送特性『S 2 1』の変化を測定する。

[0031] また、実施例 2 として、図 8 に示す給電モジュール 3 0 2 及び受電モジュール 3 0 3 において、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 のコイル内周面全体を覆う円筒状の磁性部材 2 3 ・ 3 3 と、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 のコイル外周面全体を覆う円筒状の磁性部材 2 4 ・ 3 4 とを備えた無線電力供給システム 3 0 0 によって形成される磁界空間 Z について、受電共振器 3 2 のコイル内周側に金属片を挿入したときと金属片を挿入していないときの磁界強度の変化及び伝送特性『S 2 1』の変化を測定する。

[0032] また、実施例 3 として、図 1 1 に示す給電モジュール 4 0 2 及び受電モジュール 4 0 3 において、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 のコイル内周面全体を覆う円筒状の磁性部材 2 3 ・ 3 3 と、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 のコイル外周面全体を覆う円筒状の磁性部材 2 4 ・ 3 4 と、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 のコイル対向面とは反対側の側面を覆うリング形状の磁性部材 2 5 ・ 3 5 とを備えた無線電力供給システム 4 0 0 によって形成される磁界空間 Z について、受電共振器 3 2 のコイル内周側に金属片を挿入したときと金属片を挿入していないときの磁界強度の変化及び伝送特性『S 2 1』の変化を測定する。

[0033] （比較例に係る無線電力供給システム 1 0 0 の構成）

比較例で用いる無線電力供給システム 1 0 0 は、図 2 に示すように、給電コイル 2 1 及び給電共振器 2 2 を備える給電モジュール 1 0 2 と、受電コイル 3 1 及び受電共振器 3 2 を備える受電モジュール 1 0 3 とを備えている。そして、給電コイル 2 1 にはネットワークアナライザ 1 1 0（アジレント・

テクノロジ株式会社製)の出力端子11を接続している。また、受電コイル31には、ネットワークアライザ110の入力端子112を接続している。このように構成された無線電力供給システム100において、給電モジュール102に電力が供給されると、給電共振器22から受電共振器32に共振現象により電力を磁界エネルギーとして供給される。

[0034] ネットワークアライザ110は、任意の周波数で交流電力を出力端子11から給電コイル21に出力可能としている。また、ネットワークアライザ110は、受電コイル31から入力端子112に入力された電力を測定可能としている。更に、ネットワークアライザ110は、詳細は後述するが、図3に示す伝送特性『S21』を測定可能としている。

[0035] 給電コイル21は、ネットワークアライザ110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、線径1mmφの銅線材(絶縁被膜付)を1回巻にして、コイル径100mmφに設定している。

[0036] 受電コイル31は、給電共振器22から受電共振器32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ネットワークアライザ110の入力端子112に出力する役割を果たす。この受電コイル31は、給電コイル21同様に、線径1mmφの銅線材(絶縁被膜付)を1回巻にして、コイル径100mmφに設定している。

[0037] 給電共振器22及び受電共振器32は、それぞれLC共振回路であり、境界共振状態を創出する役割を果たす。なお、本実施例では、LC共振回路のコンデンサ成分については素子によって実現しているが、コイルの両端を開放し、浮遊容量によって実現してもよい。このLC共振回路では、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が共振周波数となる。

$$f = 1 / (2\pi\sqrt{LC}) \quad (式1)$$

[0038] また、給電共振器22及び受電共振器32は、線径1mmφの銅線材(絶縁被膜付)を3回巻にした、コイル径100mmφのソレノイド型のコイル

である。また、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 は、共振周波数を 1 3 . 0 M H z としている。また、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 とは、給電共振器 2 2 のコイル面と受電共振器 3 2 のコイル面同士が平行に対向するように配置されている。

[0039] 上記のように、給電共振器 2 2 の共振周波数と受電共振器 3 2 の共振周波数とを同一値とした場合（共振）、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できる。

[0040] また、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との間の距離 A を 1 5 m m に設定し、受電コイル 3 1 と受電共振器 3 2 との間の距離 B を 1 5 m m に設定し、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間の距離 C を 3 0 m m に設定している（図 2 参照）。

[0041] なお、比較例及び実施例 1 ～ 3 では、磁界強度及び伝送特性『S 2 1』を測定するに際して、受電共振器 3 2 のコイル内周側に挿入する金属片には、厚み 2 0 m m で、直径が 7 6 m m ϕ の円形のアルミ製のアルミ片 6 0 を使用する。また、実施例 4 及び実施例 5 では、厚み 2 0 m m で、直径が 5 8 m m ϕ の円形のアルミ製のアルミ片 6 0 を使用する。

[0042] （比較例の測定結果）

比較例に係る無線電力供給システム 1 0 0 によって形成される磁界空間 Z について、受電共振器 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときとアルミ片 6 0 を挿入していないときの磁界強度の変化及び後述する伝送特性『S 2 1』の変化の測定結果について説明する。なお、磁界空間 Z における磁界強度の測定に関しては、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。

[0043] まず、ネットワークアナライザ 1 1 0 を使用して、比較例に係る無線電力供給システム 1 0 0 において、受電共振器 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入していないときの伝送特性『S 2 1』を、無線電力供給システム 1

00に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。この際、図3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周波数とし、縦軸を伝送特性『S21』として測定する。

[0044] ここで、伝送特性『S21』とは、出力端子111から信号を入力したときの入力端子112を通過する信号を表しており、デシベル表示され、数値が大きいほど送電効率が高いことを表す。また、送電効率とは、ネットワークアナライザ110に無線電力供給システム101を接続した状態で、出力端子111から給電モジュール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。即ち、伝送特性『S21』が高いほど、送電効率が高くなることを意味する。

[0045] 測定の結果、図3に示すように、測定された伝送特性『S21』の測定波形141は、低周波側と高周波側とにピークが分離する。分離したピークのうち、高周波側の周波数を f_H 、低周波側の周波数を f_L として表す。

[0046] そして、この低周波側のピーク付近の周波数 f_L に、給電モジュール102に供給する交流電力の周波数を設定した場合（同相共振モード）、給電共振器22及び受電共振器32が同位相で共振状態となり、給電共振器22に流れる電流の向きと受電共振器32に流れる電流の向きとが同じ向きになる。この同相共振モードにおける磁界強度分布を図4（A）に示す。この図4（A）の磁界強度分布から、給電共振器22及び受電共振器32の外周側に、磁界による影響が低減されて、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間Z151を確認することができる。ここで、給電モジュールにおけるコイル（給電共振器22）に流れる電流の向きと受電モジュールにおけるコイル（受電共振器32）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。

[0047] 一方、高周波側のピーク付近の周波数 f_H に、給電モジュール102に供給する交流電力の周波数を設定した場合（逆相共振モード）、給電共振器22及び受電共振器32が逆位相で共振状態となり、給電共振器22に流れる電流の向きと受電共振器32に流れる電流の向きとが逆向きになる。この逆相

共振モードにおける磁界強度分布を図4（B）に示す。この図4（B）の磁界強度分布から、給電共振器22及び受電共振器32の内周側に、磁界による影響が低減されて、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間Z153を確認することができる。ここで、給電モジュールにおけるコイル（給電共振器22）に流れる電流の向きと受電モジュールにおけるコイル（受電共振器32）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。

[0048] 次に、比較例に係る無線電力供給システム100において、受電共振器32のコイル内周側にアルミ片60を挿入したときの伝送特性『S21』を、無線電力供給システム100に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0049] 測定の結果を、受電共振器32のコイル内周側にアルミ片60を挿入したときの伝送特性『S21』の測定波形142として図3に記す。この測定波形142において、低周波側のピーク付近の周波数 f_L における伝送特性『S21』が、受電共振器32のコイル内周側にアルミ片60を挿入しないときの伝送特性『S21』の測定波形141に比べて、著しく低下することが分かる。同様に、高周波側のピーク付近の周波数 f_H における伝送特性『S21』も、受電共振器32のコイル内周側にアルミ片60を挿入しないときの伝送特性『S21』の測定波形141に比べて、著しく低下することが分かる。

[0050] また、受電共振器32のコイル内周側にアルミ片60を挿入したときの同相共振モードにおける磁界強度分布を図4（C）に示す。また、受電共振器32のコイル内周側にアルミ片60を挿入したときの逆相共振モードにおける磁界強度分布を図4（D）に示す。このように、比較例に係る無線電力供給システム100において、受電共振器32のコイル内周側にアルミ片60を挿入した場合の磁界強度分布は、アルミ片60の影響を直接受けていることが分かる。換言すれば、アルミ片60は、無線電力供給システム100において発生する磁界の影響を直接受けていることが分かる。

[0051] (実施例 1 に係る無線電力供給システム 200 の構成)

次に、実施例 1 で用いる無線電力供給システム 200 は、図 5 に示すように、給電コイル 21、給電共振器 22 及び給電共振器 22 のコイル内周面全体を覆う円筒状の磁性部材 23 を備える給電モジュール 202 と、受電コイル 31、受電共振器 32 及び受電共振器 32 のコイル内周面全体を覆う円筒状の磁性部材 33 を備える受電モジュール 203 とを備えている。そして、比較例同様に、給電コイル 21 にはネットワークアナライザ 110 の出力端子 111 が接続され、受電コイル 31 には、ネットワークアナライザ 110 の入力端子 112 が接続されている。

[0052] 磁性部材 23・33 は、磁性粉末が分散された樹脂により形成されている。この磁性部材 23・33 で使用する樹脂は、熱硬化性樹脂でも熱可塑性樹脂でもよく、特に限定されるものではない。例えば、熱硬化性樹脂であれば、エポキシ樹脂、フェノール樹脂、メラミン樹脂、ビニルエステル樹脂、シアノエステル樹脂、マレイミド樹脂、シリコン樹脂などが挙げられる。また、熱可塑性樹脂であれば、アクリル系樹脂、酢酸ビニル系樹脂、ポリビニルアルコール系樹脂などが挙げられる。なお、本実施例では、エポキシ樹脂を主成分とした樹脂を用いている。

[0053] また、樹脂中に分散する磁性粉末には、軟磁性粉末を使用している。軟磁性粉末としては、特に限定されるものではないが、純 Fe、Fe-Si、Fe-Al-Si (センダスト)、Fe-Ni (パーマロイ)、ソフトフェライト、Fe 基アモルファス、Co 基アモルファス、Fe-Co (パーメンジュール) などを用いることができる。

[0054] 上記磁性部材 23・33 は、厚み 1 mm、外径 80 mm φ、内径 78 mm の円筒形状をしており、その透磁率を 100 としている。なお、その他の構成は、比較例に係る無線電力供給システム 100 と同様である。

[0055] (実施例 1 の測定結果)

実施例 1 に係る無線電力供給システム 200 によって形成される磁界空間 Z について、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入したときとアルミ片 60 を挿入していないときの磁界強度の変化及び伝送特性『S 2

1』の変化の測定結果について説明する。

[0056] まず、ネットワークアナライザ110を使用して、実施例1に係る無線電力供給システム200において、受電共振器32のコイル内周側にアルミ片60を挿入していないときの伝送特性『S21』を、無線電力供給システム200に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0057] 測定の結果、図6に示すように、測定された伝送特性『S21』の測定波形241は、低周波側と高周波側とにピークが分離する。

[0058] そして、この低周波側のピーク付近の周波数 f_L に、給電モジュール202に供給する交流電力の周波数を設定した場合（同相共振モード）の磁界強度分布を図7（A）に示す。この図7（A）の磁界強度分布から、給電共振器22及び受電共振器32の外周側に、磁界による影響が低減されて、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間Z251を確認することができる。また、給電共振器22及び受電共振器32の内周側に、磁界による影響が若干低減された磁界強度を有する磁界空間Z252を確認することができる。このように、同相共振モードにおいて、給電共振器22及び受電共振器32の内周側に、比較例に比べて小さな磁界強度を有する磁界空間Z252を形成することができる。

[0059] 一方、高周波側のピーク付近の周波数 f_H に、給電モジュール202に供給する交流電力の周波数を設定した場合（逆相共振モード）の磁界強度分布を図7（B）に示す。この図7（B）の磁界強度分布から、給電共振器22及び受電共振器32の内周側に、磁界による影響が低減されて、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間Z253を確認することができる。このように、逆相共振モードにおいて、給電共振器22及び受電共振器32の内周側に、比較例に比べて小さな磁界強度を有する磁界空間Z253を形成することができる。また、逆相共振モードで形成した磁界空間Z253は、同相共振モードで形成した磁界空間Z252よりも広く形成することができる。

[0060] 次に、実施例1に係る無線電力供給システム200において、受電共振器32のコイル内周側にアルミ片60を挿入したときの伝送特性『S21』を

、無線電力供給システム 200 に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0061] 測定の結果を、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入したときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 242 として図 6 に記す。この測定波形 242 において、低周波側のピーク付近の周波数 f_L における伝送特性『S 2 1』は、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 241 に比べて、若干低下するものの、伝送特性の値は高い値を維持していることが分かる。一方、高周波側のピーク付近の周波数 f_H における伝送特性『S 2 1』は、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 241 に比べて、ほぼ同じ値を維持していることが分かる（図 6 のポイント P 参照）。

[0062] また、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入したときの同相共振モードにおける磁界強度分布を図 7 (C) に示す。また、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入したときの逆相共振モードにおける磁界強度分布を図 7 (D) に示す。このように、実施例 1 に係る無線電力供給システム 200 において、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入した場合の磁界強度分布は、比較例に比べて、アルミ片 60 の影響をあまり受けていないことが分かる。即ち、給電モジュール 202 と受電モジュール 203 との間で電力伝送を行う際に、給電共振器 22 及び受電共振器 32 の周辺で発生する磁界を磁性部材 23・33 により遮断して、給電共振器 22 及び受電共振器 32 のコイル内周側に、比較例に係る磁界空間 Z153 よりも大きな磁界空間 Z253 を形成することができる。また、アルミ片 60 に対しては、無線電力供給システム 200 において発生する磁界の影響が低減されていると言える。

[0063] （実施例 2 に係る無線電力供給システム 300 の構成）

次に、実施例 2 で用いる無線電力供給システム 300 は、図 8 に示すように、給電コイル 21、給電共振器 22、給電共振器 22 のコイル内周面全体

を覆う円筒状の磁性部材 23 及び給電共振器 22 のコイル外周面全体を覆う円筒状の磁性部材 24 を備える給電モジュール 302 と、受電コイル 31、受電共振器 32、受電共振器 32 のコイル内周面全体を覆う円筒状の磁性部材 33 及び受電共振器 32 のコイル外周面全体を覆う円筒状の磁性部材 34 を備える受電モジュール 303 とを備えている。そして、実施例 1 同様に、給電コイル 21 にはネットワークアナライザ 110 の出力端子 111 が接続され、受電コイル 31 には、ネットワークアナライザ 110 の入力端子 112 が接続されている。

[0064] 磁性部材 24・34 は、実施例 1 の磁性部材 23・33 と同様に、磁性粉末が分散された樹脂により形成されている。この磁性部材 24・34 は、厚み 1mm、外径 120mmφ、内径 118mmφ の円筒形状をしており、その透磁率を 100 としている。なお、その他の構成は、実施例 1 に係る無線電力供給システム 200 と同様である。

[0065] (実施例 2 の測定結果)

実施例 2 に係る無線電力供給システム 300 によって形成される磁界空間 Z について、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入したときとアルミ片 60 を挿入していないときの磁界強度の変化及び伝送特性『S21』の変化の測定結果について説明する。

[0066] まず、ネットワークアナライザ 110 を使用して、実施例 2 に係る無線電力供給システム 300 において、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入していないときの伝送特性『S21』を、無線電力供給システム 300 に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0067] 測定の結果、図 9 に示すように、測定された伝送特性『S21』の測定波形 341 は、低周波側と高周波側とにピークが分離する。

[0068] そして、この低周波側のピーク付近の周波数に、給電モジュール 302 に供給する交流電力の周波数を設定した場合（同相共振モード）の磁界強度分布を図 10 (A) に示す。この図 10 (A) の磁界強度分布から、給電共振器 22 及び受電共振器 32 の内周側に、磁界による影響が若干低減された

磁界強度を有する磁界空間 Z 3 5 2 を確認することができる。このように、同相共振モードにおいて、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の内周側に、比較例に比べて小さな磁界強度を有する磁界空間 Z 3 5 2 を形成することが

できる。

[0069] 一方、高周波側のピーク付近の周波数 f_H に、給電モジュール 3 0 2 に供給

する交流電力の周波数を設定した場合（逆相共振モード）の磁界強度分布を図 1 0 (B) に示す。この図 1 0 (B) の磁界強度分布から、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、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間 Z 3 5 3 を確認することができる。このように、逆相共振モードにおいて、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の内周側に、比較例に比べて小さな磁界強度を有する磁界空間 Z 3 5 3 を形成することができ。また、逆相共振モードで形成した磁界空間 Z 3 5 3 は、同相共振モードで形成した磁界空間 Z 3 5 2 よりも広く形成することができる。

[0070] 次に、実施例 2 に係る無線電力供給システム 3 0 0 において、受電共振器 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの伝送特性『S 2 1』を、無線電力供給システム 3 0 0 に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0071] 測定の結果を、受電共振器 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 3 4 2 として図 9 に記す。この測定波形 3 4 2 において、低周波側のピーク付近の周波数 f_L における伝送特性『S 2 1』は、受電共振器 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 3 4 1 に比べて、若干低下するものの、伝送特性の値は高い値を維持していることが分かる。一方、高周波側のピーク付近の周波数 f_H における伝送特性『S 2 1』は、受電共振器 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 3 4 1 に比べて、ほぼ同じ値を維持していることが分かる（図 9 のポイント P 参照）。また、受電共振器 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの同

相共振モードにおける磁界強度分布を図 10 (C) に示す。また、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入したときの逆相共振モードにおける磁界強度分布を図 10 (D) に示す。このように、実施例 2 に係る無線電力供給システム 300 において、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入した場合の磁界強度分布は、比較例に比べて、アルミ片 60 の影響をあまり受けていないことが分かる。即ち、給電モジュール 302 と受電モジュール 303 との間で電力伝送を行う際に、給電共振器 22 及び受電共振器 32 の周辺で発生する磁界を磁性部材 23・33 及び磁性部材 24・34 により遮断して、給電共振器 22 及び受電共振器 32 のコイル内周側に、比較例に係る磁界空間 Z153 よりも大きな磁界空間 Z353 を形成することができる。また、アルミ片 60 に対しては、無線電力供給システム 300 において発生する磁界の影響が低減されていると言える。

[0073] また、実施例 2 に係る無線電力供給システム 300 が形成する磁界空間 Z353 は、実施例 1 に係る無線電力供給システム 200 が形成する磁界空間 Z253 に比べて、広がっていることが分かる。これは、実施例 2 に係る無線電力供給システム 300 では、給電共振器 22 及び受電共振器 32 のコイル外周面全体を覆う円筒状の磁性部材 24・34 が設けられていることから、給電共振器 22 及び受電共振器 32 の外周側に発生する磁界を遮断しているためである。

[0074] (実施例 3 に係る無線電力供給システム 400 の構成)

次に、実施例 3 で用いる無線電力供給システム 400 は、図 11 に示すように、給電コイル 21、給電共振器 22、給電コイル 21 と給電共振器 22 のコイル内周面全体を覆う円筒状の磁性部材 23、給電コイル 21 と給電共振器 22 のコイル外周面全体を覆う円筒状の磁性部材 24 及び給電共振器 22 のコイル対向面とは反対側の側面を覆うリング形状の磁性部材 25 を備える給電モジュール 402 と、受電コイル 31、受電共振器 32、受電コイル 31 と受電共振器 32 のコイル内周面全体を覆う円筒状の磁性部材 33、受電コイル 31 と受電共振器 32 のコイル外周面全体を覆う円筒状の磁性部材

34及び受電共振器32のコイル対向面とは反対側の側面を覆うリング形状の磁性部材35を備える受電モジュール403とを備えている。そして、実施例2同様に、給電コイル21にはネットワークアプライザ110の出力端子111が接続され、受電コイル31には、ネットワークアプライザ110の入力端子112が接続されている。

[0075] 磁性部材25・35は、実施例1の磁性部材23・33と同様に、磁性粉末が分散された樹脂により形成されている。この磁性部材25・35は、厚み1mm、外径120mm、内径80mmのリング形状をしており、その透磁率を100としている。なお、その他の構成は、実施例2に係る無線電力供給システム300と同様である。

[0076] (実施例3の測定結果)

実施例3に係る無線電力供給システム400によって形成される磁界空間Zについて、受電共振器32のコイル内周側にアルミ片60を挿入したときとアルミ片60を挿入していないときの磁界強度の変化及び伝送特性『S21』の変化の測定結果について説明する。

[0077] まず、ネットワークアプライザ110を使用して、実施例3に係る無線電力供給システム400において、受電共振器32のコイル内周側にアルミ片60を挿入していないときの伝送特性『S21』を、無線電力供給システム400に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0078] 測定の結果、図12に示すように、測定された伝送特性『S21』の測定波形441は、低周波側と高周波側とにピークが分離する。

[0079] そして、この低周波側のピーク付近の周波数f_Lに、給電モジュール402に供給する交流電力の周波数を設定した場合（同相共振モード）の磁界強度分布を図13（A）に示す。この図13（A）の磁界強度分布から、給電共振器22及び受電共振器32の内周側に、磁界による影響が若干低減された磁界強度を有する磁界空間Z452を確認することができる。このように、同相共振モードにおいて、給電共振器22及び受電共振器32の内周側に、比較例に比べて小さな磁界強度を有する磁界空間Z452を形成することが

できる。

[0080] 一方、高周波側のピーク付近の周波数 f_H に、給電モジュール 402 に供給する交流電力の周波数を設定した場合（逆相共振モード）の磁界強度分布を図 13（B）に示す。この図 13（B）の磁界強度分布から、給電共振器 22 及び受電共振器 32 の内周側に、磁界による影響が低減されて、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間 Z453を確認することができる。このように、逆相共振モードにおいて、給電共振器 22 及び受電共振器 32 の内周側に、比較例に比べて小さな磁界強度を有する磁界空間 Z453を形成することができる。また、逆相共振モードで形成した磁界空間 Z453は、同相共振モードで形成した磁界空間 Z452よりも広く形成することができる。

[0081] 次に、実施例 3 に係る無線電力供給システム 400 において、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入したときの伝送特性『S21』を、無線電力供給システム 400 に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0082] 測定の結果を、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入したときの伝送特性『S21』の測定波形 442 として図 12 に記す。この測定波形 442 において、低周波側のピーク付近の周波数 f_L における伝送特性『S21』は、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入しないときの伝送特性『S21』の測定波形 441 に比べて、ほぼ同じ値を維持していることが分かる。また、高周波側のピーク付近の周波数 f_H における伝送特性『S21』も、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入しないときの伝送特性『S21』の測定波形 441 に比べて、ほぼ同じ値を維持していることが分かる（図 12 のポイント P 参照）。

[0083] また、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入したときの同相共振モードにおける磁界強度分布を図 13（C）に示す。また、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入したときの逆相共振モードにおける磁界強度分布を図 13（D）に示す。このように、実施例 3 に係る無線電力供給システム 400 において、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ

片 60 を挿入した場合の磁界強度分布は、比較例に比べて、アルミ片 60 の影響をあまり受けていないことが分かる。即ち、給電モジュール 402 と受電モジュール 403 との間で電力伝送を行う際に、給電共振器 22 及び受電共振器 32 の周辺で発生する磁界を磁性部材 23・33、磁性部材 24・34 及び磁性部材 25・35 により遮断して、給電共振器 22 及び受電共振器 32 のコイル内周側に、比較例に係る磁界空間 Z153 よりも大きな磁界空間 Z453 を形成することができる。また、アルミ片 60 に対しては、無線電力供給システム 400 において発生する磁界の影響が低減されていると言える。

[0084] また、実施例 3 に係る無線電力供給システム 400 が形成する磁界空間 Z453 は、実施例 2 に係る無線電力供給システム 300 が形成する磁界空間 Z353 に比べて、広がっていることが分かる。これは、実施例 3 に係る無線電力供給システム 400 では、給電共振器 22 及び受電共振器 32 の側面を覆う磁性部材 25・35 が設けられていることから、給電共振器 22 及び受電共振器 32 の側面に発生する磁界を遮断しているためである。

[0085] (磁性部材の厚みの変化にともなう磁界空間 Z の変化)

次に、磁性部材 23・33 の厚みを増やした場合の磁界空間 Z の変化について、実施例 4・実施例 5 における磁界強度及び伝送特性『S21』を測定することにより説明する。

[0086] (実施例 4 に係る無線電力供給システム 500 の構成)

具体的に、実施例 4 における無線電力供給システム 500 は、実施例 1 に係る無線電力供給システム 200 における磁性部材 23・33 の厚みを 1 mm から 10 mm に増加させた磁性部材 123・133 を使用しており（図 15 参照）、その他の構成は実施例 1 と同じである。そして、この無線電力供給システム 500 によって形成される磁界空間 Z について、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入したときとアルミ片 60 を挿入していないときの磁界強度の変化及び伝送特性『S21』の変化を測定する。

[0087] (実施例 4 の測定結果)

まず、ネットワークアダプタ110を使用して、実施例4に係る無線電力供給システム500において、受電共振器32のコイル内周側にアルミ片60を挿入していないときの伝送特性『S21』を、無線電力供給システム500に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

測定の結果、図 14 に示すように、測定された伝送特性『S 2 1』の測定波形 5 4 1 は、低周波側と高周波側とにピークが分離する。

そして、この低周波側のピーク付近の周波数 f_L に、給電モジュール502に供給する交流電力の周波数を設定した場合（同相共振モード）の磁界強度分布を図15（A）に示す。この図15（A）の磁界強度分布から、給電共振器22及び受電共振器32の内周側に、磁界による影響が低減された磁界強度を有する磁界空間Z552を確認することができる。しかも、実施例4に係る無線電力供給システム500では、同相共振モードにおいて、給電共振器22及び受電共振器32の内周側に、実施例1に係る無線電力供給システム200が形成する磁界空間Z252に比べてより広い磁界空間Z552を形成することができる。これは、実施例4に係る無線電力供給システム500では、給電共振器22及び受電共振器32の内周面を覆う磁性部材120・133が、実施例1に比べて厚くなっていることから、給電共振器22及び受電共振器32の内周面側に発生する磁界をより確実に遮断しているためである。

[0090] 一方、高周波側のピーク付近の周波数 f_H に、給電モジュール502に供給する交流電力の周波数を設定した場合（逆相共振モード）の磁界強度分布を図15（B）に示す。この図15（B）の磁界強度分布から、給電共振器2及び受電共振器32の内周側に、磁界による影響が低減されて、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間2553を確認することができる。このように、逆相共振モードにおいて、給電共振器2及び受電共振器32の内周側に、実施例1に係る無線電力供給システム200が形成する磁界空間2553に比べてより広い磁界空間2553を形成することができる。これは、実施例4に係る無線電力供給システム500では、給電共振器22及び受電共振器22に比べてより広い磁界空間2553を形成することができる。これは、実

振器 32 の内周面を覆う磁性部材 123・133 が、実施例 1 に比べて厚く
なっていることから、給電共振器 22 及び受電共振器 32 の内周面側に発生
する磁界をより確実に遮断しているためである。また、逆相共振モードで形
成した磁界空間 Z553 は、同相共振モードで形成した磁界空間 Z552 よ
りも広く形成することができる。

[0091] 次に、実施例 4 に係る無線電力供給システム 500 において、受電共振器
32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入したときの伝送特性『S21』を
、無線電力供給システム 500 に供給する交流電力の周波数を変えながら測
定する。

[0092] 測定の結果を、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入した
ときの伝送特性『S21』の測定波形 542 として図 14 に記す。この測定
波形 542 において、低周波側のピーク付近の周波数 fL における伝送特性『
S21』は、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入しないと
きの伝送特性『S21』の測定波形 541 に比べて、ほぼ同じ値を維持して
いることが分かる（図 14 のポイント P1 参照）。また、高周波側のピーク
付近の周波数 fH における伝送特性『S21』も、受電共振器 32 のコイル内
周側にアルミ片 60 を挿入しないときの伝送特性『S21』の測定波形 54
1 に比べて、ほぼ同じ値を維持していることが分かる（図 14 のポイント P
2 参照）。

[0093] また、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入したときの同
相共振モードにおける磁界強度分布を図 15 (C) に示す。また、受電共振
器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入したときの逆相共振モードにお
ける磁界強度分布を図 15 (D) に示す。このように、実施例 4 に係る無線
電力供給システム 500 において、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ
片 60 を挿入した場合の磁界強度分布は、実施例 1 に比べて、アルミ片 60
の影響をほぼ受けていないことが分かる。即ち、給電共振器 22 及び受電共
振器 32 の内周面を覆う磁性部材 123・133 の厚みを増やせば、給電モ
ジュール 502 と受電モジュール 503 との間で電力伝送を行う際に、給電

共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 のコイル内周側に、比較的大きな磁界空間 Z 5 5 2 ・ Z 5 5 3 を形成することができる。

[0094] (実施例 5 に係る無線電力供給システム 6 0 0 の構成)

具体的に、実施例 5 における無線電力供給システム 6 0 0 は、実施例 2 に係る無線電力供給システム 3 0 0 における磁性部材 2 3 ・ 3 3 の厚みを 1 m m から 1 0 m m に増加させた磁性部材 1 2 3 ・ 1 3 3 を使用しており (図 1 7 参照)、その他の構成は実施例 2 と同じである。そして、この無線電力供給システム 6 0 0 によって形成される磁界空間 Z について、受電共振器 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときとアルミ片 6 0 を挿入していないときの磁界強度の変化及び伝送特性『S 2 1』の変化を測定する。

[0095] (実施例 5 の測定結果)

まず、ネットワークアナライザ 1 1 0 を使用して、実施例 5 に係る無線電力供給システム 6 0 0 において、受電共振器 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入していないときの伝送特性『S 2 1』を、無線電力供給システム 6 0 0 に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0096] 測定の結果、図 1 6 に示すように、測定された伝送特性『S 2 1』の測定波形 6 4 1 は、低周波側と高周波側とにピークが分離する。

[0097] そして、この低周波側のピーク付近の周波数 f_L に、給電モジュール 6 0 2 に供給する交流電力の周波数を設定した場合 (同相共振モード) の磁界強度分布を図 1 7 (A) に示す。この図 1 7 (A) の磁界強度分布から、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た磁界強度を有する磁界空間 Z 6 5 2 を確認することができる。しかも、実施例 5 に係る無線電力供給システム 6 0 0 では、同相共振モードにおいて、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の内周側に、実施例 2 に係る無線電力供給システム 3 0 0 が形成する磁界空間 Z 3 5 2 に比べてより広い磁界空間 Z 6 5 2 を形成することができる。これは、実施例 5 に係る無線電力供給システム 6 0 0 では、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の内周面を覆う磁性部材 1 2 3 ・ 1 3 3 が、実施例 2 に比べて厚くなっていることから、給電共振器 2 2

及び受電共振器 32 の内周面側に発生する磁界をより確実に遮断しているためである。

[0098] 一方、高周波側のピーク付近の周波数 f_H に、給電モジュール 602 に供給

する交流電力の周波数を設定した場合（逆相共振モード）の磁界強度分布を図 17（B）に示す。この図 17（B）の磁界強度分布から、給電共振器 2 及び受電共振器 32 の内周側に、磁界による影響が低減されて、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間 2653 を確認することができる。このように、逆相共振モードにおいて、給電共振器 22 及び受電共振器 32 の内周側に、実施例 2 に係る無線電力供給システム 300 が形成する磁界空間 235

3 に比べてより広い磁界空間 2653 を形成することができる。これは、実施例 5 に係る無線電力供給システム 600 では、給電共振器 22 及び受電共振器 32 の内周面を覆う磁性部材 123・133 が、実施例 2 に比べて厚くなっていることから、給電共振器 22 及び受電共振器 32 の内周面側に発生する磁界をより確実に遮断しているためである。また、逆相共振モードで形成した磁界空間 2653 は、同相共振モードで形成した磁界空間 2652 よりも広く形成することができる。

[0099] 次に、実施例 5 に係る無線電力供給システム 600 において、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入したときの伝送特性『S21』を測定する。

[0100] 測定の結果を、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入した

ときの伝送特性『S21』の測定波形 642 として図 16 に記す。この測定波形 642 において、低周波側のピーク付近の周波数 f_L における伝送特性『S21』は、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入しないときの伝送特性『S21』の測定波形 641 に比べて、ほぼ同じ値を維持していることが分かる（図 16 のポイント P1 参照）。また、高周波側のピーク付近の周波数 f_H における伝送特性『S21』も、受電共振器 32 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入しないときの伝送特性『S21』の測定波形 64

1 に比べて、ほぼ同じ値を維持していることが分かる（図 1 6 のポイント P 2 参照）。

[0101] また、受電共振器 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの同相共振モードにおける磁界強度分布を図 1 7 (C) に示す。また、受電共振器 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの逆相共振モードにおける磁界強度分布を図 1 7 (D) に示す。このように、実施例 5 に係る無線電力供給システム 6 0 0 において、受電共振器 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入した場合の磁界強度分布は、実施例 2 に比べて、アルミ片 6 0 の影響をほぼ受けていないことが分かる。即ち、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 の内周面を覆う磁性部材 1 2 3 ・ 1 3 3 の厚みを増やせば、給電モジュール 6 0 2 と受電モジュール 6 0 3 との間で電力伝送を行う際に、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 のコイル内周側に、比較的大きな磁界空間 Z 6 5 2 ・ Z 6 5 3 を形成することができる。

[0102] (第二の実施例)

上記の無線電力供給システム 1 0 0、2 0 0、3 0 0、4 0 0 では、給電モジュールにおける給電コイル及び給電共振器、受電モジュールにおける受電コイル及び受電共振器に、円形及びソレノイド型の円筒状のコイルを使用した場合について説明したが、第二の実施例では、給電モジュールにおける給電コイル及び給電共振器、受電モジュールにおける受電コイル及び受電共振器に、四角形状及び四角柱型の筒状のコイルを使用した場合の無線電力供給システムについて説明する。具体的には、給電モジュールにおける給電共振器と受電モジュールにおける受電共振器とを対向配置し、給電共振器及び受電共振器のコイル内周面側にコイル内周面全体を覆う四角柱型の筒状の磁性部材を配置した無線電力供給システムによって形成される磁界空間 Z について、磁界強度などを測定することにより第二の実施例として説明する。

[0103] 測定実験としては、第一の実施例同様に、第二の実施例に対する比較例（以後単に第二比較例）として、図 1 8 に示す給電モジュール 1 1 0 2 及び受電モジュール 1 1 0 3 に磁性部材を備えていない無線電力供給システム 1 1

00によって形成される磁界空間Zについて、受電共振器1132のコイル内周側にアルミ片60を挿入したときとアルミ片60を挿入していないときの伝送特性『S21』の変化及び磁界強度の変化を測定する。

[0104] また、第二の実施例における実施例（以後単に第二実施例）として、図21に示す給電モジュール1202及び受電モジュール1203において、給電共振器122及び受電共振器1232のコイル内周面全体を覆う四角柱型の筒状の磁性部材1223・1233を備えた無線電力供給システム1200によって形成される磁界空間Zについて、受電共振器1232のコイル内周側にアルミ片60を挿入したときとアルミ片60を挿入していないときの伝送特性『S21』の変化及び磁界強度の変化を測定する。

[0105] （第二比較例に係る無線電力供給システム1100の構成）
第二比較例で用いる無線電力供給システム1100は、図18に示すように、四角形状をした給電コイル1121と、四角柱型の筒状コイル構造をした給電共振器1122とを備える給電モジュール1102、及び、四角形状をした受電コイル1131と、四角柱型の筒状コイル構造をした受電共振器1132とを備える受電モジュール1103とを備えている。そして、第一の実施例同様に、給電コイル1121にはネットワークアライザ110の出力端子111が接続され、受電コイル1131には、ネットワークアライザ110の入力端子112が接続されている。

[0106] 給電コイル1121は、ネットワークアライザ110から得られた電力を電磁誘導によって給電共振器1122に供給する役割を果たす。この給電コイル1121は、線径1mmφの銅線材（絶縁被膜付）を1回巻にして、一辺が100mmの正方形形状になっている。

[0107] 受電コイル1131は、給電共振器1122から受電共振器1132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ネットワークアライザ110の入力端子112に出力する役割を果たす。この受電コイル1131は、給電コイル1121同様に、線径1mmφの銅線材（絶縁被膜付）を1回巻にして、一辺が100mmの正方形形状になっている。

[0108] 給電共振器 1 1 2 2 及び受電共振器 1 1 3 2 は、それぞれ LC 共振回路であり、磁界共鳴状態を創出する役割を果たす。給電共振器 1 1 2 2 及び受電共振器 1 1 3 2 は、線径 1 mm ϕ の銅線材（絶縁被膜付）を 3 回巻にした、一辺が 100 mm の四角柱型の筒状コイル構造をしている。

[0109] また、給電コイル 1 1 2 1 と給電共振器 1 1 2 2 との間の距離は 15 mm に設定し、給電共振器 1 1 2 2 と受電共振器 1 1 3 2 との間の距離は 30 mm に設定し、受電共振器 1 1 3 2 と受電コイル 1 1 3 1 との間の距離は 15 mm に設定している。また、給電共振器 1 1 2 2 及び受電共振器 1 1 3 2 は、共振周波数を 14.2 MHz としている。また、給電共振器 1 1 2 2 と受電共振器 1 1 3 2 とは、給電共振器 1 1 2 2 のコイル面と受電共振器 1 1 3 2 のコイル面同士が平行に対向するように配置されている。

[0110] なお、磁界強度の変化及び伝送特性『S 2 1』の変化を測定するに際して、受電共振器 1 1 3 2 のコイル内周側に挿入する金属片には、厚み 20 mm で、一辺が 76 mm の直方体形状のアルミ製のアルミ片 60 を使用する。

[0111] （第二比較例の測定結果）

第二比較例に係る無線電力供給システム 1 1 0 0 によって形成される磁界空間 Z について、受電共振器 1 1 3 2 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入したときとアルミ片 60 を挿入していないときの磁界強度の変化及び伝送特性『S 2 1』の変化の測定結果について説明する。

[0112] まず、ネットワークアナライザ 1 1 0 を使用して、無線電力供給システム 1 1 0 0 において、受電共振器 1 1 3 2 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入していないときの伝送特性『S 2 1』を、無線電力供給システム 1 1 0 0 に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0113] 測定の結果、図 19 に示すように、測定された伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 1 4 1 は、低周波側と高周波側とにピークが分離する。

[0114] そして、この低周波側のピーク付近の周波数 f_L に、給電モジュール 1 1 0 2 に供給する交流電力の周波数を設定した場合（同相共振モード）、給電共振器 1 1 2 2 及び受電共振器 1 1 3 2 が同位相で共振状態となり、給電共振

器 1 1 2 2 に流れる電流の向きと受電共振器 1 1 3 2 に流れる電流の向きとが同じ向きになる。この同相共振モードにおける磁界強度分布を図 2 0 (A) に示す。この図 2 0 (A) の磁界強度分布から、給電共振器 1 1 2 2 及び受電共振器 1 1 3 2 の外周側に、磁界による影響が低減されて、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間 Z 1 1 5 1 を確認することができる。

[0115] 一方、高周波側のピーク付近の周波数 f_H に、給電モジュール 1 1 0 2 に供給する交流電力の周波数を設定した場合（逆相共振モード）、給電共振器 1 1 2 2 及び受電共振器 1 1 3 2 が逆位相で共振状態となり、給電共振器 1 1 2 2 に流れる電流の向きと受電共振器 1 1 3 2 に流れる電流の向きとが逆向きになる。この逆相共振モードにおける磁界強度分布を図 2 0 (B) に示す。この図 2 0 (B) の磁界強度分布から、給電共振器 1 1 2 2 及び受電共振器 1 1 3 2 の内周側に、磁界による影響が低減されて、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間 Z 1 1 5 3 を確認することができる。

[0116] 次に、無線電力供給システム 1 1 0 0 において、受電共振器 1 1 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの伝送特性『S 2 1』を、無線電力供給システム 1 1 0 0 に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0117] 測定の結果を、受電共振器 1 1 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 1 4 2 として図 1 9 に記す。この測定波形 1 1 4 2 において、低周波側のピーク付近の周波数 f_L における伝送特性『S 2 1』が、受電共振器 1 1 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 1 4 1 に比べて、著しく低下することが分かる。同様に、高周波側のピーク付近の周波数 f_H における伝送特性『S 2 1』も、受電共振器 1 1 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 1 4 1 に比べて、著しく低下することが分かる。

[0118] また、受電共振器 1 1 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの同相共振モードにおける磁界強度分布を図 2 0 (C) に示す。また、受電

共振器 1 1 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの逆相共振モードにおける磁界強度分布を図 2 0 (D) に示す。このように、無線電力供給システム 1 1 0 0 において、受電共振器 1 1 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入した場合の磁界強度分布は、アルミ片 6 0 の影響を直接受けていることが分かる。換言すれば、アルミ片 6 0 は、無線電力供給システム 1 1 0 0 において発生する磁界の影響を直接受けていることが分かる。

[0119] (第二実施例に係る無線電力供給システム 1 2 0 0 の構成)

第二実施例で用いる無線電力供給システム 1 2 0 0 は、図 2 1 に示すように、四角形状をした給電コイル 1 2 2 1 と、四角柱型の筒状コイル構造をした給電共振器 1 2 2 2 と、給電共振器 1 2 2 2 のコイル内周面全体を覆う四角柱型の筒形状をした磁性部材 1 2 2 3 とを備える給電モジュール 1 2 0 2 、及び、四角形状をした受電コイル 1 2 3 1 と、四角柱型の筒状コイル構造をした受電共振器 1 2 3 2 と、受電共振器 1 2 3 2 のコイル内周面全体を覆う四角柱型の筒形状をした磁性部材 1 2 3 3 とを備える受電モジュール 1 2 0 3 、を備えている。そして、第二比較例同様に、給電コイル 1 2 2 1 にはネットワークアナライザ 1 1 0 の出力端子 1 1 1 が接続され、受電コイル 1 2 3 1 には、ネットワークアナライザ 1 1 0 の入力端子 1 1 2 が接続されている。

[0120] 磁性部材 1 2 2 3 ・ 1 2 3 3 は、磁性粉末が分散された樹脂により形成されている。この磁性部材 1 2 2 3 ・ 1 2 3 3 は、厚み 1 mm、一辺の外辺が 82 mm、内辺が 80 mm、高さが 30 mm の四角柱型の筒形状をしており、その透磁率を 100 としている。なお、給電コイル 1 2 2 1 や給電共振器 1 2 2 2 や受電コイル 1 2 3 1 や受電共振器 1 2 3 2 などのその他の構成は、第二比較例に係る無線電力供給システム 1 1 0 0 と同様である。

[0121] (第二実施例の測定結果)

第二実施例に係る無線電力供給システム 1 2 0 0 によって形成される磁界空間 Z について、受電共振器 1 2 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときとアルミ片 6 0 を挿入していないときの磁界強度の変化及び伝送特

性『S 2 1』の変化の測定結果について説明する。

[0122] まず、ネットワークアナライザ 1 1 0 を使用して、無線電力供給システム 1 2 0 0 において、受電共振器 1 2 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入していないときの伝送特性『S 2 1』を、無線電力供給システム 1 2 0 0 に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0123] 測定の結果、図 2 2 に示すように、測定された伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 2 4 1 は、低周波側と高周波側とにピークが分離する。

[0124] そして、この低周波側のピーク付近の周波数 f_L に、給電モジュール 1 2 0 2 に供給する交流電力の周波数を設定した場合（同相共振モード）の磁界強度分布を図 2 3（A）に示す。この図 2 3（A）の磁界強度分布から、給電共振器 1 2 2 2 及び受電共振器 1 2 3 2 の外周側に、磁界による影響が低減されて、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間 Z 1 2 5 1 を確認することができる。また、給電共振器 1 2 2 2 及び受電共振器 1 2 3 2 の内周側に、磁界による影響が若干低減された磁界強度を有する磁界空間 Z 1 2 5 2 を確認することができる。このように、同相共振モードにおいて、給電共振器 1 2 2 2 及び受電共振器 1 2 3 2 の内周側に、第二比較例に比べて小さな磁界強度を有する磁界空間 Z 1 2 5 2 を形成することができる。

[0125] 一方、高周波側のピーク付近の周波数 f_H に、給電モジュール 1 2 0 2 に供給する交流電力の周波数を設定した場合（逆相共振モード）の磁界強度分布を図 2 3（B）に示す。この図 2 3（B）の磁界強度分布から、給電共振器 1 2 2 2 及び受電共振器 1 2 3 2 の内周側に、磁界による影響が低減されて、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間 Z 1 2 5 3 を確認することができる。このように、逆相共振モードにおいて、給電共振器 1 2 2 2 及び受電共振器 1 2 3 2 の内周側に、第二比較例に比べて小さな磁界強度を有する磁界空間 Z 1 2 5 3 を形成することができる。また、逆相共振モードで形成した磁界空間 Z 1 2 5 3 は、同相共振モードで形成した磁界空間 Z 1 2 5 2 よりも広く形成することができる。

[0126] 次に、無線電力供給システム 1 2 0 0 において、受電共振器 1 2 3 2 のコ

イル内周側にアルミ片60を挿入したときの伝送特性『S21』を、無線電力供給システム1200に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0127] 測定の結果を、受電共振器1232のコイル内周側にアルミ片60を挿入したときの伝送特性『S21』の測定波形1242として図22に記す。この測定波形1242において、低周波側のピーク付近の周波数 f_L における伝送特性『S21』は、受電共振器1232のコイル内周側にアルミ片60を挿入しないときの伝送特性『S21』の測定波形1241に比べて、若干低下するものの、伝送特性の値は高い値を維持していることが分かる。一方、高周波側のピーク付近の周波数 f_H における伝送特性『S21』は、受電共振器1232のコイル内周側にアルミ片60を挿入しないときの伝送特性『S21』の測定波形1241に比べて、ほぼ同じ値を維持していることが分かる（図22のポイントP参照）。

[0128] また、受電共振器1232のコイル内周側にアルミ片60を挿入したときの同相共振モードにおける磁界強度分布を図23（C）に示す。また、受電共振器1232のコイル内周側にアルミ片60を挿入したときの逆相共振モードにおける磁界強度分布を図23（D）に示す。このように、第二実施例に係る無線電力供給システム1200において、受電共振器1232のコイル内周側にアルミ片60を挿入した場合の磁界強度分布は、第二比較例に比べて、アルミ片60の影響をあまり受けていないことが分かる。即ち、給電モジュールにおける給電コイル及び給電共振器、受電モジュールにおける受電コイル及び受電共振器に、四角形状及び四角柱型の筒状のコイルを使用し、更に、給電共振器及び受電共振器の内周面に沿った四角柱型の筒形状をした磁性部材を使用した場合の無線電力供給システム1200においても、給電モジュール1202と受電モジュール1203との間で電力伝送を行う際に、給電共振器1222及び受電共振器1232の周辺で発生する磁界を磁性部材1223・1233により遮断して、給電共振器1222及び受電共振器1232のコイル内周側に、第二比較例に係る磁界空間Z1153より

も大きな磁界空間 Z 1 2 5 3を形成することができる。また、アルミ片60に対しては、無線電力供給システム1200において発生する磁界の影響が低減されていると言える。

[0129] (第三の実施例)

第一の実施例における無線電力供給システム100、200、300、400では、給電モジュールにおける給電コイル及び給電共振器、受電モジュールにおける受電コイル及び受電共振器に、円形及びソレノイド型の円筒状のコイルを使用した場合、また、第二の実施例における無線電力供給システム1200では、給電モジュールにおける給電コイル及び給電共振器、受電モジュールにおける受電コイル及び受電共振器に、四角形状及び四角柱型の筒状のコイルを使用した場合について説明したが、第三の実施例では、給電モジュールにおける給電コイル及び給電共振器、受電モジュールにおける受電コイル及び受電共振器に、図24に示すように三日月形状及び三日月型の筒状のコイルを使用した場合の無線電力供給システムについて説明する。具体的には、給電モジュールにおける給電共振器と受電モジュールにおける受電共振器とを対向配置し、給電共振器及び受電共振器のコイル内周面側にコイル内周面全体を覆う三日月型の筒状の磁性部材を配置した無線電力供給システムによって形成される磁界空間 Z について、磁界強度などを測定することにより第三の実施例として説明する。

[0130] 測定実験としては、第一の実施例同様に、第三の実施例に対する比較例（以後単に第三比較例）として、図24に示す給電モジュール1302及び受電モジュール1303に磁性部材を備えていない無線電力供給システム1300によって形成される磁界空間 Z について、受電共振器1332のコイル内周側にアルミ片60を挿入したときとアルミ片60を挿入していないときの伝送特性『S21』の変化及び磁界強度の変化を測定する。

[0131] また、第三の実施例における実施例（以後単に第三実施例）として、図27に示す給電モジュール1402及び受電モジュール1403において、給電共振器1422及び受電共振器1432のコイル内周面全体を覆う三日月

型の筒状の磁性部材 1 4 2 3・1 4 3 3 を備えた無線電力供給システム 1 4 0 0 によって形成される磁界空間 Z について、受電共振器 1 4 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときとアルミ片 6 0 を挿入していないときの伝送特性『S 2 1』の変化及び磁界強度の変化を測定する。

[0132] (第三比較例に係る無線電力供給システム 1 3 0 0 の構成)

第三比較例で用いる無線電力供給システム 1 3 0 0 は、図 2 4 に示すように、三日月形状をした給電コイル 1 3 2 1 と、三日月型の筒状コイル構造をした給電共振器 1 3 2 2 とを備える給電モジュール 1 3 0 2、及び、三日月形状をした受電コイル 1 3 3 1 と、三日月型の筒状コイル構造をした受電共振器 1 3 3 2 とを備える受電モジュール 1 3 0 3 とを備えている。そして、第一の実施例同様に、給電コイル 1 3 2 1 にはネットワークアナライザ 1 1 0 の出力端子 1 1 1 が接続され、受電コイル 1 3 3 1 には、ネットワークアナライザ 1 1 0 の入力端子 1 1 2 が接続されている。

[0133] 給電コイル 1 3 2 1 は、ネットワークアナライザ 1 1 0 から得られた電力を電磁誘導によって給電共振器 1 3 2 2 に供給する役割を果たす。この給電コイル 1 3 2 1 は、線径 1 mm ϕ の銅線材（絶縁被膜付）を 1 回巻にして、図 2 4 に示すように、給電コイル 1 3 2 1 のコイルの外円の直径を 6 0 mm とし、内円の直径が 3 0 mm となる三日月形状にしている。

[0134] 受電コイル 1 3 3 1 は、給電共振器 1 3 2 2 から受電共振器 1 3 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ネットワークアナライザ 1 1 0 の入力端子 1 1 2 に出力する役割を果たす。この受電コイル 1 3 3 1 は、給電コイル 1 3 2 1 同様に、線径 1 mm ϕ の銅線材（絶縁被膜付）を 1 回巻にして、受電コイル 1 3 3 1 のコイルの外円の直径を 6 0 mm とし、内円の直径が 3 0 mm となる三日月形状にしている。

[0135] 給電共振器 1 3 2 2 及び受電共振器 1 3 3 2 は、それぞれ LC 共振回路であり、磁界共鳴状態を創出する役割を果たす。給電共振器 1 3 2 2 及び受電共振器 1 3 3 2 は、線径 1 mm ϕ の銅線材（絶縁被膜付）を 3 回巻にして（線間は 0. 1 mm としている）、コイルの外円の直径を 6 0 mm とし、内円

の直径が30mmとなる三日月型の筒状コイル構造をしている。

[0136] また、給電コイル1321と給電共振器1322との間の距離は10mmに設定し、給電共振器1322と受電共振器1332との間の距離は8mmに設定し、受電共振器1332と受電コイル1331との間の距離は10mmに設定している。また、給電共振器1322及び受電共振器1332は、共振周波数を15.5MHzとしている。また、給電共振器1322と受電共振器1332とは、給電共振器1322のコイル面と受電共振器1332のコイル面同士が平行に対向するように配置されている。

[0137] なお、磁界強度の変化及び伝送特性『S21』の変化を測定するに際して、受電共振器1332のコイル内周側に挿入する金属片には、厚み5mmの直方体形状のアルミ製のアルミ片60を受電共振器1332のコイル内周形状（三日月形状）に沿う形状にしたものを使用する。

[0138] （第三比較例の測定結果）

第三比較例に係る無線電力供給システム1300によって形成される磁界空間Zについて、受電共振器1332のコイル内周側にアルミ片60を挿入したときとアルミ片60を挿入していないときの磁界強度の変化及び伝送特性『S21』の変化の測定結果について説明する。

[0139] まず、ネットワークアナライザ110を使用して、無線電力供給システム1300において、受電共振器1332のコイル内周側にアルミ片60を挿入していないときの伝送特性『S21』を、無線電力供給システム1300に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0140] 測定の結果、図25に示すように、測定された伝送特性『S21』の測定波形1341は、低周波側と高周波側とにピークが分離する。

[0141] そして、この低周波側のピーク付近の周波数 f_L に、給電モジュール1302に供給する交流電力の周波数を設定した場合（同相共振モード）、給電共振器1322及び受電共振器1332が同位相で共振状態となり、給電共振器1322に流れる電流の向きと受電共振器1332に流れる電流の向きとが同じ向きになる。この同相共振モードにおける磁界強度分布を図26（A

）に示す。この図 2 6（A）の磁界強度分布から、給電共振器 1 3 2 2 及び受電共振器 1 3 3 2 の外周側に、磁界による影響が低減されて、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間 Z 1 3 5 1 を確認することができる。

[0142] 一方、高周波側のピーク付近の周波数 f_H に、給電モジュール 1 3 0 2 に供給する交流電力の周波数を設定した場合（逆相共振モード）、給電共振器 1 3 2 2 及び受電共振器 1 3 3 2 が逆位相で共振状態となり、給電共振器 1 3 2 2 に流れる電流の向きと受電共振器 1 3 3 2 に流れる電流の向きとが逆向きになる。この逆相共振モードにおける磁界強度分布を図 2 6（B）に示す。この図 2 6（B）の磁界強度分布から、給電共振器 1 3 2 2 及び受電共振器 1 3 3 2 の内周側に、磁界による影響が低減されて、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間 Z 1 3 5 3 を確認することができる。

[0143] 次に、無線電力供給システム 1 3 0 0 において、受電共振器 1 3 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの伝送特性『S 2 1』を、無線電力供給システム 1 3 0 0 に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0144] 測定の結果を、受電共振器 1 3 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 3 4 2 として図 2 5 に記す。この測定波形 1 3 4 2 において、低周波側のピーク付近の周波数 f_L における伝送特性『S 2 1』が、受電共振器 1 3 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 3 4 1 に比べて、著しく低下することが分かる。同様に、高周波側のピーク付近の周波数 f_H における伝送特性『S 2 1』も、受電共振器 1 3 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 3 4 1 に比べて、著しく低下することが分かる。

[0145] また、受電共振器 1 3 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの同相共振モードにおける磁界強度分布を図 2 6（C）に示す。また、受電共振器 1 3 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの逆相共振モードにおける磁界強度分布を図 2 6（D）に示す。このように、無線電力供

給システム 1300 において、受電共振器 1332 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入した場合の磁界強度分布は、アルミ片 60 の影響を直接受けていることが分かる。換言すれば、アルミ片 60 は、無線電力供給システム 1300 において発生する磁界の影響を直接受けていることが分かる。

[0146] (第三実施例に係る無線電力供給システム 1400 の構成)

第三実施例で用いる無線電力供給システム 1400 は、図 27 に示すように、三日月形状をした給電コイル 1421 と、三日月型の筒状コイル構造をした給電共振器 1422 と、給電共振器 1422 のコイル内周面全体を覆う三日月型の筒状の磁性部材 1423 とを備える給電モジュール 1402、及び、三日月形状をした受電コイル 1431 と、三日月型の筒状コイル構造をした受電共振器 1432 と、受電共振器 1432 のコイル内周面全体を覆う三日月型の筒状の磁性部材 1433 とを備える受電モジュール 1403、を備えている。そして、第三比較例同様に、給電コイル 1421 にはネットワークアナライザ 110 の出力端子 111 が接続され、受電コイル 1431 には、ネットワークアナライザ 110 の入力端子 112 が接続されている。

[0147] 磁性部材 1423・1433 は、磁性粉末が分散された樹脂により形成されている。この磁性部材 1423・1433 は、給電共振器 1422 及び受電共振器 1432 の内周面に沿った、厚み 1 mm の三日月型の筒形状をしており、その透磁率を 100 としている。なお、給電コイル 1421 や給電共振器 1422 や受電コイル 1431 や受電共振器 1432 などのその他の構成は、第三比較例に係る無線電力供給システム 1300 と同様である。

[0148] (第三実施例の測定結果)

第三実施例に係る無線電力供給システム 1400 によって形成される磁界空間 Z について、受電共振器 1432 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入したときとアルミ片 60 を挿入していないときの磁界強度の変化及び伝送特性『S21』の変化の測定結果について説明する。

[0149] まず、ネットワークアナライザ 110 を使用して、無線電力供給システム 1400 において、受電共振器 1432 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿

入していないときの伝送特性『S 2 1』を、無線電力供給システム 1 4 0 0 に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0150] 測定の結果、図 2 8 に示すように、測定された伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 4 4 1 は、低周波側と高周波側とにピークが分離する。

[0151] そして、この低周波側のピーク付近の周波数 f_L に、給電モジュール 1 4 0 2 に供給する交流電力の周波数を設定した場合（同相共振モード）の磁界強度分布を図 2 9（A）に示す。この図 2 9（A）の磁界強度分布から、給電共振器 1 4 2 2 及び受電共振器 1 4 3 2 の外周側に、磁界による影響が低減されて、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間 Z 1 1 4 5 1 を確認することができる。また、給電共振器 1 4 2 2 及び受電共振器 1 4 3 2 の内周側に、磁界による影響が若干低減された磁界強度を有する磁界空間 Z 1 4 5 2 を確認することができる。このように、同相共振モードにおいて、給電共振器 1 4 2 2 及び受電共振器 1 4 3 2 の内周側に、第三比較例に比べて小さな磁界強度を有する磁界空間 Z 1 4 5 2 を形成することができる。

[0152] 一方、高周波側のピーク付近の周波数 f_H に、給電モジュール 1 4 0 2 に供給する交流電力の周波数を設定した場合（逆相共振モード）の磁界強度分布を図 2 9（B）に示す。この図 2 9（B）の磁界強度分布から、給電共振器 1 4 2 2 及び受電共振器 1 4 3 2 の内周側に、磁界による影響が低減されて、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間 Z 1 4 5 3 を確認することができる。このように、逆相共振モードにおいて、給電共振器 1 4 2 2 及び受電共振器 1 4 3 2 の内周側に、第三比較例に比べて小さな磁界強度を有する磁界空間 Z 1 4 5 3 を形成することができる。また、逆相共振モードで形成した磁界空間 Z 1 4 5 3 は、同相共振モードで形成した磁界空間 Z 1 4 5 2 よりも広く形成することができる。

[0153] 次に、無線電力供給システム 1 4 0 0 において、受電共振器 1 4 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの伝送特性『S 2 1』を、無線電力供給システム 1 4 0 0 に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0154] 測定の結果を、受電共振器 1 4 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 4 4 2 として図 2 8 に記す。この測定波形 1 4 4 2 において、低周波側のピーク付近の周波数 f_L における伝送特性『S 2 1』は、受電共振器 1 4 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 4 4 1 に比べて、若干低下するものの、伝送特性の値は高い値を維持していることが分かる。一方、高周波側のピーク付近の周波数 f_H における伝送特性『S 2 1』は、受電共振器 1 4 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 4 4 1 に比べて、ほぼ同じ値を維持していることが分かる（図 2 8 のポイント P 参照）。

[0155] また、受電共振器 1 4 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの同相共振モードにおける磁界強度分布を図 2 9 (C) に示す。また、受電共振器 1 4 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの逆相共振モードにおける磁界強度分布を図 2 9 (D) に示す。このように、第三実施例に係る無線電力供給システム 1 4 0 0 において、受電共振器 1 4 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入した場合の磁界強度分布は、第三比較例に比べて、アルミ片 6 0 の影響をあまり受けていないことが分かる。即ち、給電モジュールにおける給電コイル及び給電共振器と受電モジュールにおける受電コイル及び受電共振器に、三日月形状及び三日月型の筒状のコイルを使用し、更に、給電共振器及び受電共振器の内周面に沿った三日月型の筒形状をした磁性部材を使用した場合の無線電力供給システム 1 4 0 0 においても、給電モジュール 1 4 0 2 と受電モジュール 1 4 0 3 との間で電力伝送を行う際に、給電共振器 1 4 2 2 及び受電共振器 1 4 3 2 の周辺で発生する磁界を磁性部材 1 4 2 3 ・ 1 4 3 3 により遮断して、給電共振器 1 4 2 2 及び受電共振器 1 4 3 2 のコイル内周側に、第三比較例に係る磁界空間 Z 1 3 5 3 よりも大きな磁界空間 Z 1 4 5 3 を形成することができる。また、アルミ片 6 0 に対しては、無線電力供給システム 1 4 0 0 において発生する磁界の影響が低減されていると言える。

[0156] (第四の実施例)

第一の実施例における無線電力供給システム100、200、300、400では、給電モジュールにおける給電コイル及び給電共振器、受電モジュールにおける受電コイル及び受電共振器に、コイル径を100mm ϕ に設定した同径のものを使用した場合について説明したが、第四の実施例では、給電モジュールにおける給電コイル及び給電共振器、受電モジュールにおける受電コイル及び受電共振器に、図30に示すように、コイル径が異なるものを使用した場合の無線電力供給システムについて説明する。具体的には、受電モジュールにおける受電コイル及び受電共振器のコイル径が、給電モジュールにおける給電コイル及び給電共振器のコイル径よりも小さくしたものを使用する。そして、給電モジュールにおける給電共振器と受電モジュールにおける受電共振器とを対向配置し、給電共振器及び受電共振器のコイル内周面側にコイル内周面全体を覆う円筒状の磁性部材を配置した無線電力供給システムによって形成される磁界空間Zについて、磁界強度などを測定することにより第四の実施例として説明する。

[0157] 測定実験としては、第一の実施例同様に、第四の実施例に対する比較例（以後単に第四比較例）として、図30に示す給電モジュール1502及び受電モジュール1503に磁性部材を備えていない無線電力供給システム1500によって形成される磁界空間Zについて、受電共振器1532のコイル内周側にアルミ片60を挿入したときとアルミ片60を挿入していないときの伝送特性『S21』の変化を測定する。

[0158] また、第四の実施例における実施例（以後単に第四実施例）として、図32に示す給電モジュール1602及び受電モジュール1603において、給電共振器1622及び受電共振器1632のコイル内周面全体を覆う円筒状の磁性部材1623・1633を備えた無線電力供給システム1600によって形成される磁界空間Zについて、受電共振器1632のコイル内周側にアルミ片60を挿入したときとアルミ片60を挿入していないときの伝送特性『S21』の変化及びアルミ片60を挿入していないときの磁界強度を測

定する。なお、第四実施例では、給電共振器 1 6 2 2 のコイル内周面全体を覆う円筒状の磁性部材 1 6 2 3 の径を変えた 3 つのモデル（モデル A 1、モデル A 2、モデル A 3：詳細は後述する）を使用して測定する。

[0159] （第四比較例に係る無線電力供給システム 1 5 0 0 の構成）

第四比較例で用いる無線電力供給システム 1 5 0 0 は、図 3 0 に示すように、円形状をした給電コイル 1 5 2 1 と、円筒形状をした給電共振器 1 5 2 2 とを備える給電モジュール 1 5 0 2、及び、円形状をした受電コイル 1 5 3 1 と、円筒形状をした受電共振器 1 5 3 2 とを備える受電モジュール 1 5 0 3 とを備えている。そして、第一の実施例同様に、給電コイル 1 5 2 1 にはネットワークアナライザ 1 1 0 の出力端子 1 1 1 が接続され、受電コイル 1 5 3 1 には、ネットワークアナライザ 1 1 0 の入力端子 1 1 2 が接続されている。

[0160] 給電コイル 1 5 2 1 は、ネットワークアナライザ 1 1 0 から得られた電力を電磁誘導によって給電共振器 1 5 2 2 に供給する役割を果たす。この給電コイル 1 5 2 1 は、線径 1 mm ϕ の銅線材（絶縁被膜付）を 1 回巻にして、内径が 5 4 mm ϕ の円形状にしている。

[0161] 受電コイル 1 5 3 1 は、給電共振器 1 5 2 2 から受電共振器 1 5 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ネットワークアナライザ 1 1 0 の入力端子 1 1 2 に出力する役割を果たす。この受電コイル 1 5 3 1 は、線径 1 mm ϕ の銅線材（絶縁被膜付）を 1 回巻にして、内径が 3 6 mm ϕ の円形状にしている。

[0162] 給電共振器 1 5 2 2 及び受電共振器 1 5 3 2 は、それぞれ LC 共振回路であり、磁界共鳴状態を創出する役割を果たす。給電共振器 1 5 2 2 は、線径 1 mm ϕ の銅線材（絶縁被膜付）を 4 回巻にした、コイルの内径 5 4 mm ϕ のソレノイド型のコイルで、共振周波数を 1 7. 2 MHz としている。一方、受電共振器 1 5 3 2 は、線径 1 mm ϕ の銅線材（絶縁被膜付）を 6 回巻にした、コイルの内径 3 6 mm ϕ のソレノイド型のコイルで、共振周波数を 1 7. 2 MHz としている。

[0163] また、給電コイル 1 5 2 1 と給電共振器 1 5 2 2 との間の距離は 5 mm に設定し、給電共振器 1 5 2 2 と受電共振器 1 5 3 2 との間の距離は 1 8 mm に設定し、受電共振器 1 5 3 2 と受電コイル 1 5 3 1 との間の距離は 5 mm に設定している。また、給電共振器 1 5 2 2 と受電共振器 1 5 3 2 とは、給電共振器 1 5 2 2 のコイル面と受電共振器 1 5 3 2 のコイル面同士が平行に対向するように配置されている。

[0164] なお、磁界強度の変化及び伝送特性『S 2 1』の変化を測定するに際して、受電共振器 1 5 3 2 のコイル内周側に挿入する金属片には、直径 2 7 mm ϕ 厚み 1 0 mm の円柱形状のアルミ製のアルミ片 6 0 を使用する。

[0165] (第四比較例の測定結果)

第四比較例に係る無線電力供給システム 1 5 0 0 によって形成される磁界空間 Z について、受電共振器 1 5 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときとアルミ片 6 0 を挿入していないときの磁界強度の変化及び伝送特性『S 2 1』の変化の測定結果について説明する。

[0166] まず、ネットワークアナライザ 1 1 0 を使用して、無線電力供給システム 1 5 0 0 において、受電共振器 1 5 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入していないときの伝送特性『S 2 1』を、無線電力供給システム 1 5 0 0 に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0167] 測定の結果、図 3 1 に示すように、測定された伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 5 4 1 は、低周波側と高周波側とにピークが分離する。

[0168] 次に、無線電力供給システム 1 5 0 0 において、受電共振器 1 5 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの伝送特性『S 2 1』を、無線電力供給システム 1 5 0 0 に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0169] 測定の結果を、受電共振器 1 5 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 5 4 2 として図 3 1 に記す。この測定波形 1 5 4 2 において、低周波側のピーク付近の周波数 f_L における伝送特性『S 2 1』、及び、高周波側のピーク付近の周波数 f_H における伝送特

性『S 2 1』が、受電共振器 1 5 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 5 4 1 に比べて、著しく低下することが分かる。

[0170] (第四実施例に係る無線電力供給システム 1 6 0 0 の構成)

第四実施例で用いる無線電力供給システム 1 6 0 0 は、図 3 2 に示すように、円形状をした給電コイル 1 6 2 1 と、円筒形状をした給電共振器 1 6 2 2 と、給電共振器 1 6 2 2 のコイル内周面全体を覆う円筒状の磁性部材 1 6 2 3 とを備える給電モジュール 1 6 0 2、及び、円形状をした受電コイル 1 6 3 1 と、円筒形状をした受電共振器 1 6 3 2 と、受電共振器 1 6 3 2 のコイル内周面全体を覆う円筒状の磁性部材 1 6 3 3 とを備える受電モジュール 1 6 0 3 とを備えている。そして、第四比較例同様に、給電コイル 1 6 2 1 にはネットワークアナライザ 1 1 0 の出力端子 1 1 1 が接続され、受電コイル 1 6 3 1 には、ネットワークアナライザ 1 1 0 の入力端子 1 1 2 が接続されている。

[0171] 磁性部材 1 6 2 3 ・ 1 6 3 3 は、磁性粉末が分散された樹脂により形成されている。そして、モデル A 1 では、図 3 2 に示すように、磁性部材 1 6 2 3 の内径は、4 6 mm ϕ で、厚みは 1 mm の円筒形状をしており、その透磁率を 1 0 0 としている。モデル A 2 では、図 3 2 に示すように、磁性部材 1 6 2 3 の内径は、3 7 mm ϕ で、厚みは 1 mm の円筒形状をしており、その透磁率を 1 0 0 としている。モデル A 3 では、図 3 2 に示すように、磁性部材 1 6 2 3 の内径は、2 8 mm ϕ で、厚みは 1 mm の円筒形状をしており、その透磁率を 1 0 0 としている。なお、モデル A 1、モデル A 2、モデル A 3 における磁性部材 1 6 3 3 の内径は、共通の 2 8 mm ϕ で、厚みは 1 mm の円筒形状をしており、その透磁率を 1 0 0 としている。また、給電コイル 1 6 2 1 や給電共振器 1 6 2 2 や受電コイル 1 6 3 1 や受電共振器 1 6 3 2 などのその他の構成は、第四比較例に係る無線電力供給システム 1 5 0 0 と同様である。

[0172] (第四実施例の測定結果)

第四実施例に係る無線電力供給システム 1600 によって形成される磁界空間 Z について、受電共振器 1632 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入したときとアルミ片 60 を挿入していないときの磁界強度の変化及び伝送特性『S21』の変化の測定結果について説明する。

[0173] まず、ネットワークアナライザ 110 を使用して、無線電力供給システム 1600 において、受電共振器 1632 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入していないときの伝送特性『S21』を、無線電力供給システム 1600 に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0174] 測定の結果、図 33 に示すように、モデル A1 では、測定された伝送特性『S21』の測定波形 1641A1 は、低周波側と高周波側とにピークが分離する。

[0175] そして、モデル A1 において、高周波側のピーク付近の周波数 f_H に、給電モジュール 1602 に供給する交流電力の周波数を設定した場合（逆相共振モード）の磁界強度分布を図 33 のモデル A1 に示す。この磁界強度分布から、給電共振器 1622 及び受電共振器 1632 の内周側に、磁界による影響が低減されて、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間 Z A1 を確認することができる。このように、逆相共振モードにおいて、給電共振器 1622 及び受電共振器 1632 の内周側に、小さな磁界強度を有する磁界空間 Z A1 を形成することができる。

[0176] また、モデル A2 でも、測定された伝送特性『S21』の測定波形 1641A2 は、低周波側と高周波側とにピークが分離する。

[0177] そして、モデル A2 において、高周波側のピーク付近の周波数 f_H に、給電モジュール 1602 に供給する交流電力の周波数を設定した場合（逆相共振モード）の磁界強度分布を図 33 のモデル A2 に示す。この磁界強度分布から、モデル A1 同様に、給電共振器 1622 及び受電共振器 1632 の内周側に、磁界による影響が低減されて、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間 Z A2 を確認することができる。このように、逆相共振モードにおいて、モデル A1 に比べて磁性部材 1623 の内径を小さくしたモデル A2 でも、

給電共振器 1 6 2 2 及び受電共振器 1 6 3 2 の内周側に、モデル A 1 同様の磁界強度を有する磁界空間 Z A 2 を形成することができる。

[0178] また、モデル A 3 でも、測定された伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 6 4 1 A 3 は、低周波側と高周波側とにピークが分離する。

[0179] そして、モデル A 3 において、高周波側のピーク付近の周波数 f_H に、給電モジュール 1 6 0 2 に供給する交流電力の周波数を設定した場合（逆相共振モード）の磁界強度分布を図 3 3 のモデル A 3 に示す。この磁界強度分布から、モデル A 1 ・モデル A 2 同様に、給電共振器 1 6 2 2 及び受電共振器 1 6 3 2 の内周側に、磁界による影響が低減されて、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間 Z A 3 を確認することができる。このように、逆相共振モードにおいて、モデル A 1 ・モデル A 2 に比べて磁性部材 1 6 2 3 の内径を小さくしたモデル A 3 でも、給電共振器 1 6 2 2 及び受電共振器 1 6 3 2 の内周側に、モデル A 1 ・モデル A 2 同様の磁界強度を有する磁界空間 Z A 3 を形成することができる。

[0180] 次に、無線電力供給システム 1 6 0 0 において、受電共振器 1 6 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの伝送特性『S 2 1』を、無線電力供給システム 1 6 0 0 に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0181] モデル A 1 の測定結果を、受電共振器 1 6 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 6 4 2 A 1 として図 3 3 に記す。この測定波形 1 6 4 2 A 1 において、低周波側のピーク付近の周波数 f_L における伝送特性『S 2 1』は、受電共振器 1 6 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 6 4 1 A 1 に比べて、若干低下するものの、伝送特性の値は高い値を維持していることが分かる。一方、高周波側のピーク付近の周波数 f_H における伝送特性『S 2 1』は、受電共振器 1 6 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 6 4 1 A 1 に比べて、ほぼ同じ値を維持していることが分かる（図 3 3 のモデル A 1 のポイント P 参照）。

[0182] 次に、モデルA 2の測定結果を、受電共振器1 6 3 2のコイル内周側にアルミ片6 0を挿入したときの伝送特性『S 2 1』の測定波形1 6 4 2 A 2として図3 3に記す。この測定波形1 6 4 2 A 2において、低周波側のピーク付近の周波数 f_L における伝送特性『S 2 1』は、受電共振器1 6 3 2のコイル内周側にアルミ片6 0を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形1 6 4 1 A 2に比べて、若干低下するものの、伝送特性の値は高い値を維持していることが分かる。一方、高周波側のピーク付近の周波数 f_H における伝送特性『S 2 1』は、受電共振器1 6 3 2のコイル内周側にアルミ片6 0を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形1 6 4 1 A 2に比べて、ほぼ同じ値を維持していることが分かる（図3 3のモデルA 2のポイントP参照）。

[0183] 次に、モデルA 3の測定結果を、受電共振器1 6 3 2のコイル内周側にアルミ片6 0を挿入したときの伝送特性『S 2 1』の測定波形1 6 4 2 A 3として図3 3に記す。この測定波形1 6 4 2 A 3において、低周波側のピーク付近の周波数 f_L における伝送特性『S 2 1』は、受電共振器1 6 3 2のコイル内周側にアルミ片6 0を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形1 6 4 1 A 3に比べて、若干低下するものの、伝送特性の値は高い値を維持していることが分かる。一方、高周波側のピーク付近の周波数 f_H における伝送特性『S 2 1』は、受電共振器1 6 3 2のコイル内周側にアルミ片6 0を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形1 6 4 1 A 3に比べて、ほぼ同じ値を維持していることが分かる（図3 3のモデルA 3のポイントP参照）。

[0184] 上記測定結果によれば、給電共振器1 6 2 2のコイル内周面全体を覆う円筒状の磁性部材1 6 2 3の径を変えた3つのモデル（モデルA 1、モデルA 2、モデルA 3）において、高周波側のピーク付近の周波数 f_H における伝送特性『S 2 1』は、受電共振器1 6 3 2のコイル内周側にアルミ片6 0を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形1 6 4 1 A 3に比べてそれぞれ、ほぼ同じ値を維持していることが分かる。即ち、磁性部材1 6 2 3の内

径を小さくした場合でも、給電共振器 1 6 2 2 及び受電共振器 1 6 3 2 の内周側に、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間を形成することができる。

[0185] 次に、上記第四実施例の無線電力供給システム 1 6 0 0 では、磁性部材 1 6 2 3 ・ 1 6 3 3 の厚みを 1 mm にしたものを使用していたが、次の第四実施例 2 では、磁性部材 1 6 2 3 ・ 1 6 3 3 の厚みを 2 mm に増やした場合の無線電力供給システム 1 6 0 0 によって形成される磁界空間 Z について、受電共振器 1 6 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときとアルミ片 6 0 を挿入していないときの伝送特性『S 2 1』の変化を測定する。なお、第四実施例のモデル A 1 の磁性部材 1 6 2 3 ・ 1 6 3 3 の厚みを 1 mm から 2 mm に変更したものをモデル A 1 - 2 として説明する。同様に、第四実施例のモデル A 2 の磁性部材 1 6 2 3 ・ 1 6 3 3 の厚みを 1 mm から 2 mm に変更したものをモデル A 2 - 2 とし、第四実施例のモデル A 3 の磁性部材 1 6 2 3 ・ 1 6 3 3 の厚みを 1 mm から 2 mm に変更したものをモデル A 3 - 2 として説明する。その他の構成は、第四実施例の無線電力供給システム 1 6 0 0 と同様である。

[0186] 測定の結果、受電共振器 1 6 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときとアルミ片 6 0 を挿入していないとき、図 3 4 に示すように、モデル A 1 - 2 では、測定された伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 6 4 1 A 1 - 2 は、低周波側と高周波側とにピークが分離する。

[0187] 一方、モデル A 1 - 2 において、受電共振器 1 6 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの伝送特性『S 2 1』の測定結果を、測定波形 1 6 4 2 A 1 - 2 として図 3 4 に記す。この測定波形 1 6 4 2 A 1 - 2 において、高周波側のピーク付近の周波数 f_H における伝送特性『S 2 1』は、受電共振器 1 6 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 6 4 1 A 1 - 2 に比べて、ほぼ同じ値を維持していることが分かる（図 3 4 のモデル A 1 - 2 のポイント P 1 参照）。また、低周波側のピーク付近の周波数 f_L における伝送特性『S 2 1』も、受電共振器 1 6 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入しないときの伝送特性『S 2

1』の測定波形1641A1-2に比べて、ほぼ同じ値を維持していることが分かる（図34のモデルA1-2のポイントP2参照）。

[0188] また、受電共振器1632のコイル内周側にアルミ片60を挿入したときとアルミ片60を挿入していないとき、モデルA2-2でも、測定された伝送特性『S21』の測定波形1641A2-2は、低周波側と高周波側とにピークが分離する。

[0189] 一方、モデルA2-2において、受電共振器1632のコイル内周側にアルミ片60を挿入したときの伝送特性『S21』の測定結果を、測定波形1642A2-2として図34に記す。この測定波形1642A2-2において、高周波側のピーク付近の周波数 f_H における伝送特性『S21』は、受電共振器1632のコイル内周側にアルミ片60を挿入しないときの伝送特性『S21』の測定波形1641A2-2に比べて、ほぼ同じ値を維持していることが分かる（図34のモデルA2-2のポイントP1参照）。また、低周波側のピーク付近の周波数 f_L における伝送特性『S21』も、受電共振器1632のコイル内周側にアルミ片60を挿入しないときの伝送特性『S21』の測定波形1641A2-2に比べて、ほぼ同じ値を維持していることが分かる（図34のモデルA2-2のポイントP2参照）。

[0190] また、受電共振器1632のコイル内周側にアルミ片60を挿入したときとアルミ片60を挿入していないとき、モデルA3-2でも、測定された伝送特性『S21』の測定波形1641A3-2は、低周波側と高周波側とにピークが分離する。

[0191] 一方、モデルA3-2において、受電共振器1632のコイル内周側にアルミ片60を挿入したときの伝送特性『S21』の測定結果を、測定波形1642A3-2として図34に記す。この測定波形1642A3-2において、高周波側のピーク付近の周波数 f_H における伝送特性『S21』は、受電共振器1632のコイル内周側にアルミ片60を挿入しないときの伝送特性『S21』の測定波形1641A3-2に比べて、ほぼ同じ値を維持していることが分かる（図34のモデルA3-2のポイントP1参照）。また、低

周波側のピーク付近の周波数 f_L における伝送特性『S 2 1』も、受電共振器 1 6 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 6 4 1 A 3 - 2 に比べて、ほぼ同じ値を維持していることが分かる（図 3 4 のモデル A 3 - 2 のポイント P 2 参照）。

[0192] 上記測定結果によれば、給電共振器 1 6 2 2 のコイル内周面全体を覆う円筒状の磁性部材 1 6 2 3 の厚みを増やした 3 つのモデル（モデル A 1 - 2、モデル A 2 - 2、モデル A 3 - 2）において、受電共振器 1 6 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したとき、高周波側のピーク付近の周波数 f_H における伝送特性『S 2 1』だけでなく、低周波側のピーク付近の周波数 f_L における伝送特性『S 2 1』も、受電共振器 1 6 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形に比べて、ほぼ同じ値を維持していることが分かる。

[0193] （第五の実施例）

上記の無線電力供給システム 2 0 0 等では、給電コイル 2 1 と給電共振器 2 2 との間の距離 A を 1 5 mm に設定し、受電コイル 3 1 と受電共振器 3 2 との間の距離 B を 1 5 mm に設定し、給電共振器 2 2 と受電共振器 3 2 との間の距離 C を 3 0 mm に設定した場合について説明したが（図 2 参照）、第五の実施例では、給電コイルと給電共振器との間の距離 A、及び、受電コイルと受電共振器との間の距離 B を 0 mm に設定した場合、即ち、給電共振器の内周側に給電コイルを配置し、受電共振器の内周側に受電コイルを配置した場合の無線電力供給システムについて説明する。具体的には、給電共振器の内周側に給電コイルを配置し、更に、給電コイルの内周側に円筒状の磁性部材を配置した給電モジュール、及び、受電共振器の内周側に受電コイルを配置し、更に、受電コイルの内周側に円筒状の磁性部材を配置した受電モジュールを備えた無線電力供給システムによって形成される磁界空間 Z について、磁界強度などを測定することにより第五の実施例として説明する。

[0194] 測定実験としては、第一の実施例同様に、第五の実施例に対する比較例（以後単に第五比較例）として、図 3 5 に示す給電モジュール 1 7 0 2 及び受

電モジュール 1703 に磁性部材を備えていない無線電力供給システム 1700 によって形成される磁界空間 Z について、受電共振器 1732 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入したときとアルミ片 60 を挿入していないときの伝送特性『S21』の変化及び磁界強度の変化を測定する。

[0195] また、第五の実施例における実施例（以後単に第五実施例）として、図 3 8 に示す給電モジュール 1802 及び受電モジュール 1803 において、給電共振器 1822 及び受電共振器 1832 のコイル内周面全体を覆う円筒状の磁性部材 1823・1833 を備えた無線電力供給システム 1800 によって形成される磁界空間 Z について、受電共振器 1832 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入したときとアルミ片 60 を挿入していないときの伝送特性『S21』の変化及び磁界強度の変化を測定する。

[0196] （第五比較例に係る無線電力供給システム 1700 の構成）

第五比較例で用いる無線電力供給システム 1700 は、図 35 に示すように、給電共振器 1722 の内周側に給電コイル 1721 を配置した給電モジュール 1702、及び、受電共振器 1732 の内周側に受電コイル 1731 同様に、給電コイル 1721 にはネットワークアライザ 110 の出力端子 111 が接続され、受電コイル 1731 には、ネットワークアライザ 110 の入力端子 112 が接続されている。

[0197] 給電コイル 1721 は、ネットワークアライザ 110 から得られた電力を電磁誘導によって給電共振器 1722 に供給する役割を果たす。この給電コイル 1721 は、線径 1mm の銅線材（絶縁被膜付）を 1 回巻にして、内径が 70mm の円形状にしている。

[0198] 受電コイル 1731 は、給電共振器 1722 から受電共振器 1732 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ネットワークアライザ 110 の入力端子 112 に出力する役割を果たす。この受電コイル 1731 は、線径 1mm の銅線材（絶縁被膜付）を 1 回巻にして、内径が 70mm の円形状にしている。

[0199] 給電共振器 1 7 2 2 及び受電共振器 1 7 3 2 は、それぞれ LC 共振回路であり、磁界共鳴状態を創出する役割を果たす。給電共振器 1 7 2 2 及び受電共振器 1 7 3 2 は、線径 1 mm ϕ の銅線材（絶縁被膜付）を 3 回巻にした、コイルの内径 1 0 0 mm ϕ のソレノイド型のコイルで、共振周波数を 1 2. 9 MHz としている。

[0200] また、給電共振器 1 7 2 2 と受電共振器 1 7 3 2 との間の距離は 3 0 mm に設定している。

[0201] なお、磁界強度の変化及び伝送特性『S 2 1』の変化を測定するに際して、受電共振器 1 7 3 2 のコイル内周側に挿入する金属片には、直径 5 8 mm ϕ 厚み 2 0 mm の円柱形状のアルミ製のアルミ片 6 0 を使用する。

[0202] （第五比較例の測定結果）

第五比較例に係る無線電力供給システム 1 7 0 0 によって形成される磁界空間 Z について、受電共振器 1 7 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときとアルミ片 6 0 を挿入していないときの磁界強度の変化及び伝送特性『S 2 1』の変化の測定結果について説明する。

[0203] まず、ネットワークアナライザ 1 1 0 を使用して、無線電力供給システム 1 7 0 0 において、受電共振器 1 7 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入していないときの伝送特性『S 2 1』を、無線電力供給システム 1 7 0 0 に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0204] 測定の結果、図 3 6 に示すように、測定された伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 7 4 1 は、低周波側と高周波側とにピークが分離する。

[0205] そして、この低周波側のピーク付近の周波数 f_L に、給電モジュール 1 7 0 2 に供給する交流電力の周波数を設定した場合（同相共振モード）、給電共振器 1 7 2 2 及び受電共振器 1 7 3 2 が同位相で共振状態となり、給電共振器 1 7 2 2 に流れる電流の向きと受電共振器 1 7 3 2 に流れる電流の向きとが同じ向きになる。この同相共振モードにおける磁界強度分布を図 3 7（A）に示す。この図 3 7（A）の磁界強度分布から、給電共振器 1 7 2 2 及び受電共振器 1 7 3 2 の外周側に、磁界による影響が低減されて、比較的小さ

な磁界強度を有する磁界空間 Z 1 7 5 1 を確認することができる。

[0206] 一方、高周波側のピーク付近の周波数 f_H に、給電モジュール 1 7 0 2 に供給する交流電力の周波数を設定した場合（逆相共振モード）、給電共振器 1 7 2 2 及び受電共振器 1 7 3 2 が逆位相で共振状態となり、給電共振器 1 7 2 2 に流れる電流の向きと受電共振器 1 7 3 2 に流れる電流の向きとが逆向きになる。この逆相共振モードにおける磁界強度分布を図 3 7（B）に示す。この図 3 7（B）の磁界強度分布から、給電共振器 1 7 2 2 及び受電共振器 1 7 3 2 の内周側に、磁界による影響が低減されて、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間 Z 1 7 5 3 を確認することができる。

[0207] 次に、無線電力供給システム 1 7 0 0 において、受電共振器 1 7 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの伝送特性『S 2 1』を、無線電力供給システム 1 7 0 0 に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0208] 測定の結果を、受電共振器 1 7 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 7 4 2 として図 3 6 に記す。この測定波形 1 7 4 2 において、低周波側のピーク付近の周波数 f_L における伝送特性『S 2 1』が、受電共振器 1 7 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 7 4 1 に比べて、著しく低下することが分かる。同様に、高周波側のピーク付近の周波数 f_H における伝送特性『S 2 1』も、受電共振器 1 7 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 7 4 1 に比べて、著しく低下することが分かる。

[0209] また、受電共振器 1 7 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの同相共振モードにおける磁界強度分布を図 3 7（C）に示す。また、受電共振器 1 7 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの逆相共振モードにおける磁界強度分布を図 3 7（D）に示す。このように、無線電力供給システム 1 7 0 0 において、受電共振器 1 7 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入した場合の磁界強度分布は、アルミ片 6 0 の影響を直接受けて

いることが分かる。換言すれば、アルミ片60は、無線電力供給システム1700において発生する磁界の影響を直接受けていることが分かる。

[0210] (第五実施例に係る無線電力供給システム1800の構成)

第五実施例で用いる無線電力供給システム1800は、図38に示すように、給電共振器1822の内周側に給電コイル1821を配置し、更に、給電コイル1821の内周側に円筒状の磁性部材1823を配置した給電モジュール1802、及び、受電共振器1832の内周側に受電コイル1831を配置し、更に、受電コイル1831の内周側に円筒状の磁性部材1833を配置した受電モジュール1803を備えている。そして、第五比較例同様に、給電コイル1821にはネットワークアナライザ110の出力端子111が接続され、受電コイル1831には、ネットワークアナライザ110の入力端子112が接続されている。

[0211] 磁性部材1823・1833は、磁性粉末が分散された樹脂により形成されている。この磁性部材1823・1833は、内径が60mmφで、高さが30mmで、厚みが1mmの円筒形状をしており、その透磁率を100としている。なお、給電コイル1821や給電共振器1822や受電コイル1831や受電共振器1832などのその他の構成は、第五比較例に係る無線電力供給システム1700と同様である。

[0212] (第五実施例の測定結果)

第五実施例に係る無線電力供給システム1800によって形成される磁界空間Zについて、受電共振器1832のコイル内周側（より詳しくは、磁性部材1833の内周側）にアルミ片60を挿入したときとアルミ片60を挿入していないときの磁界強度の変化及び伝送特性『S21』の変化の測定結果について説明する。

[0213] まず、ネットワークアナライザ110を使用して、無線電力供給システム1800において、受電共振器1832のコイル内周側にアルミ片60を挿入していないときの伝送特性『S21』を、無線電力供給システム1800に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0214] 測定の結果、図39に示すように、測定された伝送特性『S21』の測定波形1841は、低周波側と高周波側とにピークが分離する。

[0215] そして、この低周波側のピーク付近の周波数 f_L に、給電モジュール1802に供給する交流電力の周波数を設定した場合（同相共振モード）の磁界強度分布を図40（A）に示す。この図40（A）の磁界強度分布から、給電共振器1822及び受電共振器1832の外周側に、磁界による影響が低減されて、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間Z1851を確認することができる。また、給電共振器1822及び受電共振器1832の内周側に、磁界による影響が若干低減された磁界強度を有する磁界空間Z1852を確認することができる。このように、同相共振モードにおいて、給電共振器1822及び受電共振器1832の内周側に、第五比較例に比べて小さな磁界強度を有する磁界空間Z1852を形成することができる。

[0216] 一方、高周波側のピーク付近の周波数 f_H に、給電モジュール1802に供給する交流電力の周波数を設定した場合（逆相共振モード）の磁界強度分布を図40（B）に示す。この図40（B）の磁界強度分布から、給電共振器1822及び受電共振器1832の内周側に、磁界による影響が低減されて、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間Z1853を確認することができる。このように、逆相共振モードにおいて、給電共振器1822及び受電共振器1832の内周側に、第五比較例に比べて小さな磁界強度を有する磁界空間Z1853を形成することができる。また、逆相共振モードで形成した磁界空間Z1853は、同相共振モードで形成した磁界空間Z1852よりも広く形成することができる。

[0217] 次に、無線電力供給システム1800において、受電共振器1832のコイル内周側（より詳しくは、磁性部材1833の内周側）にアルミ片60を挿入したときの伝送特性『S21』を、無線電力供給システム1800に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0218] 測定の結果を、受電共振器1832のコイル内周側にアルミ片60を挿入したときの伝送特性『S21』の測定波形1842として図39に記す。こ

の測定波形 1842 において、低周波側のピーク付近の周波数 f_L における伝送特性『S21』は、受電共振器 1832 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入しないときの伝送特性『S21』の測定波形 1841 に比べて、若干低下するものの、伝送特性の値は高い値を維持していることが分かる。一方、高周波側のピーク付近の周波数 f_H における伝送特性『S21』は、受電共振器 1832 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入しないときの伝送特性『S21』の測定波形 1841 に比べて、ほぼ同じ値を維持していることが分かる（図 39 のポイント P 参照）。

[0219] また、受電共振器 1832 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入したときの同相共振モードにおける磁界強度分布を図 40 (C) に示す。また、受電共振器 1832 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入したときの逆相共振モードにおける磁界強度分布を図 40 (D) に示す。このように、第五実施例に係る無線電力供給システム 1800 において、受電共振器 1832 のコイル内周側にアルミ片 60 を挿入した場合の磁界強度分布は、第五比較例に比べて、アルミ片 60 の影響をあまり受けていないことが分かる。即ち、給電共振器の内周側に給電コイルを配置し、更に、給電コイルの内周側に円筒状の磁性部材を配置した給電モジュール、及び、受電共振器の内周側に受電コイルを配置し、更に、受電コイルの内周側に円筒状の磁性部材を配置した受電モジュールを備えた無線電力供給システム 1800 においても、給電モジュール 1802 と受電モジュール 1803 との間で電力伝送を行う際に、給電共振器 1822 及び受電共振器 1832 の周辺で発生する磁界を磁性部材 1823・1833 により遮断して、給電共振器 1822 及び受電共振器 1832 のコイル内周側に、第五比較例に係る磁界空間 Z1753 よりも大きな磁界空間 Z1853 を形成することができる。また、アルミ片 60 に対しては、無線電力供給システム 1800 において発生する磁界の影響が低減されていると言える。

[0220] この無線電力供給システム 1800 で使用した給電モジュール 1802 は、給電コイル 1821 が給電共振器 1822 の内周側に配置されており、更

に、磁性部材 1823 が給電コイル 1821 の内周側に配置されているため、給電モジュール 1802 の中央断面に対して対称形状をしている。このため、給電モジュール 1802 の両側のどちらに受電モジュール 1803 を置いたとしても（距離などの他の条件が同一である場合）、給電モジュール 1802 が備える給電共振器 1822 と、受電モジュール 1803 が備える受電共振器 1832 との間で、同条件で磁界共鳴状態を創出し、無線電力伝送が可能となる。これは、当該無線電力供給システム 1800 を構成する上で、給電モジュール 1802 等の配置（設計）に自由度は与えることになる。また、給電モジュール 1802 の両側にそれぞれ受電モジュール 1803 を配置した構成にすれば、1つの給電モジュール 1802 から2つの受電モジュール 1803 に対して無線電力伝送が可能となる。また、無線電力供給システム 1800 で使用した給電モジュール 1802 では、給電コイル 1821 が給電共振器 1822 の外周側に配置された構成にしてもよく、この場合、磁性部材 1823 が給電共振器 1822 の内周側に配置されることになる。同様に、受電モジュール 1803 では、受電コイル 1831 が受電共振器 1832 の外周側に配置された構成にしてもよく、この場合、磁性部材 1833 が受電共振器 1832 の内周側に配置されることになる。

[0221] （第六の実施例）

第一の実施例の実施例 3 に係る無線電力供給システム 400 では、図 13 に示すように、給電モジュール 402 の給電共振器 22 と受電モジュール 403 における受電共振器 32 とを対向配置し、給電共振器 22 のコイル中心軸と受電共振器 32 のコイル中心軸とが一致するように配置した場合について説明した（図 11～13 参照）。第六の実施例では、図 41（A）～（C）に示すように、給電共振器 1922 のコイル中心軸 1927 と受電共振器 1932 のコイル中心軸 1937 とが位置ズレするように（中心軸同士が一致しない）配置した場合の無線電力供給システム 1900 について説明する。なお、無線電力供給システム 1900 は、第一の実施例の実施例 3 に係る無線電力供給システム 400 と同じ構成であり、給電共振器 1922 のコイ

ル中心軸 1 9 2 7 と受電共振器 1 9 3 2 のコイル中心軸 1 9 3 7 とが位置ズレするように配置した点で異なる。

[0222] 具体的には、第六実施例で用いる無線電力供給システム 1 9 0 0 は、図 4 1 の断面図に示すように、給電コイル 1 9 2 1、給電共振器 1 9 2 2、給電コイル 1 9 2 1 と給電共振器 1 9 2 2 のコイル内周面全体を覆う円筒状の磁性部材 1 9 2 3、給電コイル 1 9 2 1 と給電共振器 1 9 2 2 のコイル外周面全体を覆う円筒状の磁性部材 1 9 2 4 及び給電共振器 1 9 2 2 のコイル対向面とは反対側の側面を覆うリング形状の磁性部材 1 9 2 5 を備える給電モジュール 1 9 0 2 と、受電コイル 1 9 3 1、受電共振器 1 9 3 2、受電コイル 1 9 3 1 と受電共振器 1 9 3 2 のコイル内周面全体を覆う円筒状の磁性部材 1 9 3 3、受電コイル 1 9 3 1 と受電共振器 1 9 3 2 のコイル外周面全体を覆う円筒状の磁性部材 1 9 3 4 及び受電共振器 1 9 3 2 のコイル対向面とは反対側の側面を覆うリング形状の磁性部材 1 9 3 5 を備える受電モジュール 1 9 0 3 とを備えている。そして、給電コイル 1 9 2 1 にはネットワークアナライザ 1 1 0 の出力端子 1 1 1 が接続され、受電コイル 1 9 3 1 には、ネットワークアナライザ 1 1 0 の入力端子 1 1 2 が接続されている。

[0223] そして、無線電力供給システム 1 9 0 0 によって形成される磁界空間 Z について、受電共振器 1 9 3 2 のコイル内周側（より詳細には、磁性部材 1 9 3 3 の内周側）にアルミ片 6 0 を挿入したときとアルミ片 6 0 を挿入していないときの伝送特性『S 2 1』の変化及びアルミ片 6 0 を挿入したときの磁界強度を測定する。なお、この第六実施例では、給電共振器 1 9 2 2 のコイル中心軸 1 9 2 7 と受電共振器 1 9 3 2 のコイル中心軸 1 9 3 7 との位置ズレが、5 mm に設定したモデル A と、1 0 mm に設定したモデル B と、2 0 mm に設定したモデル C の 3 つのモデルを使用して測定する。

[0224] （第六実施例の測定結果）

第六実施例に係る無線電力供給システム 1 9 0 0 によって形成される磁界空間 Z について、受電共振器 1 9 3 2 のコイル内周側（より詳細には、磁性部材 1 9 3 3 の内周側）にアルミ片 6 0 を挿入したときとアルミ片 6 0 を挿

入していないときの磁界強度の変化及び伝送特性『S 2 1』の変化の測定結果について説明する。

[0225] まず、ネットワークアナライザ 1 1 0 を使用して、無線電力供給システム 1 9 0 0 において、受電共振器 1 9 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入していないときの伝送特性『S 2 1』を、無線電力供給システム 1 9 0 0 に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0226] 測定の結果、図 4 1 に示すように、モデル A（位置ズレ 5 mm）では、測定された伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 9 4 1 A は、低周波側と高周波側とにピークが分離する。

[0227] 次に、モデル A の無線電力供給システム 1 9 0 0 において、受電共振器 1 9 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの伝送特性『S 2 1』を、無線電力供給システム 1 9 0 0 に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0228] モデル A の測定結果を、受電共振器 1 9 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入したときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 9 4 2 A として図 4 1 に記す。この測定波形 1 9 4 2 A において、低周波側のピーク付近の周波数 f_L における伝送特性『S 2 1』は、受電共振器 1 9 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 9 4 1 A に比べて、若干低下するものの、伝送特性の値は高い値を維持していることが分かる。一方、高周波側のピーク付近の周波数 f_H における伝送特性『S 2 1』は、受電共振器 1 9 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 9 4 1 A に比べて、ほぼ同じ値を維持していることが分かる（図 4 1 のモデル A のポイント P 参照）。

[0229] また、図 4 1 に示すように、モデル B の無線電力供給システム 1 9 0 0 において、受電共振器 1 9 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入していないときに測定された伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 9 4 1 B は、低周波側と高周波側とにピークが分離する。

[0230] 次に、モデル B の無線電力供給システム 1 9 0 0 において、受電共振器 1

932のコイル内周側にアルミ片60を挿入したときの伝送特性『S21』を、無線電力供給システム1900に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0231] モデルBの測定結果を、受電共振器1932のコイル内周側にアルミ片60を挿入したときの伝送特性『S21』の測定波形1942Bとして図41に記す。この測定波形1942Bにおいて、低周波側のピーク付近の周波数 f_L における伝送特性『S21』は、受電共振器1932のコイル内周側にアルミ片60を挿入しないときの伝送特性『S21』の測定波形1941Bに比べて、若干低下するものの、伝送特性の値は高い値を維持していることが分かる。一方、高周波側のピーク付近の周波数 f_H における伝送特性『S21』は、受電共振器1932のコイル内周側にアルミ片60を挿入しないときの伝送特性『S21』の測定波形1941Bに比べて、ほぼ同じ値を維持していることが分かる（図41のモデルBのポイントP参照）。

[0232] また、図41に示すように、モデルCの無線電力供給システム1900において、受電共振器1932のコイル内周側にアルミ片60を挿入していないときに測定された伝送特性『S21』の測定波形1941Cは、低周波側と高周波側とにピークが分離する。

[0233] 次に、モデルCの無線電力供給システム1900において、受電共振器1932のコイル内周側にアルミ片60を挿入したときの伝送特性『S21』を、無線電力供給システム1900に供給する交流電力の周波数を変えながら測定する。

[0234] モデルCの測定結果を、受電共振器1932のコイル内周側にアルミ片60を挿入したときの伝送特性『S21』の測定波形1942Cとして図41に記す。この測定波形1942Cにおいて、低周波側のピーク付近の周波数 f_L における伝送特性『S21』は、受電共振器1932のコイル内周側にアルミ片60を挿入しないときの伝送特性『S21』の測定波形1941Cに比べて、若干低下するものの、伝送特性の値は高い値を維持していることが分かる。一方、高周波側のピーク付近の周波数 f_H における伝送特性『S21』

は、受電共振器 1 9 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 9 4 1 C に比べて、ほぼ同じ値を維持していることが分かる（図 4 1 のモデル C のポイント P 参照）。

[0235] 上記測定結果によれば、給電共振器 1 9 2 2 のコイル中心軸 1 9 2 7 と受電共振器 1 9 3 2 のコイル中心軸 1 9 3 7 との位置ズレが、5 mm に設定したモデル A と、1 0 mm に設定したモデル B と、2 0 mm に設定したモデル C の 3 つのモデルにおいて、高周波側のピーク付近の周波数 f_H における伝送特性『S 2 1』は、受電共振器 1 9 3 2 のコイル内周側にアルミ片 6 0 を挿入しないときの伝送特性『S 2 1』の測定波形 1 9 4 1 A ・ 1 9 4 1 B ・ 1 9 4 1 C に比べてそれぞれ、ほぼ同じ値を維持していることが分かる。即ち、給電共振器 1 9 2 2 のコイル中心軸 1 9 2 7 と受電共振器 1 9 3 2 のコイル中心軸 1 9 3 7 とが位置ズレするように配置した場合でも、給電共振器 1 9 2 2 及び受電共振器 1 9 3 2 の内周側に、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間を形成することができる。

[0236] （実施形態 1）

次に、上記実施例で説明した磁界空間 Z の形成方法の活用例を実施形態 1 として簡単に説明する。

[0237] 例えば、上記無線電力供給システム 2 0 0 において、給電コイル 2 1 及び給電共振器 2 2 を備える給電モジュール 2 0 2 と、受電コイル 3 1 及び受電共振器 3 2 を備える受電モジュール 2 0 3 を主な構成要素とし、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 には、ソレノイド型のコイルが使用されており、給電共振器 2 2 及び受電共振器 3 2 は、この給電共振器 2 2 のコイル面と受電共振器 3 2 のコイル面同士が対向するように配置されている。また、給電共振器 2 2 のコイル内周面側には、給電共振器 2 2 のコイル内周面全体を覆う円筒状の磁性部材 2 3 が配置されている。同様に、受電共振器 3 2 のコイル内周面側にも、受電共振器 3 2 のコイル内周面全体を覆う円筒状の磁性部材 3 3 が配置されている。そして、この実施形態では、給電モジュール 2 0 2 の給電コイル 2 1 に、ネットワークアナライザ 1 1 0 の出力端子 1 1 1 の代

わりに、給電モジュール202に供給する電力の周波数を調整する発振回路を介した交流電源を接続し、受電モジュール203の受電コイル31に、ネットワークアナライザ110の入力端子112の代わりに、受電された交流電力を整流化する整流/安定化回路及び過充電を防止する充電回路を介した充電電池を接続する。

[0238] そして、給電モジュール202側の給電共振器22の内周側（磁性部材23の内周側）、即ち、磁界空間Z253が形成される場所に、発振回路を収納し、受電モジュール203側の受電共振器32の内周側（磁性部材33の内周側）、即ち磁界空間Z253が形成される場所に、整流/安定化回路を収納する。なお、充電回路及び充電電池を受電モジュール203の受電共振器32の内周側に収納してもよい。

[0239] 上記のように構成された無線電力供給システム200では、交流電源から発振回路を介して給電コイル21に供給された交流電力が、給電コイル21と給電共振器22との間の電磁誘導、給電共振器22と受電共振器32との間の共振（磁界共鳴状態）を利用した無線伝送、受電共振器32と受電コイル31との間の電磁誘導を経て、整流/安定化回路及び充電回路を介して充電電池に供給される。そして、このように給電共振器22から受電共振器32に共振を利用した電力供給が行われる際に、給電共振器22及び受電共振器32の周辺で発生する磁界を磁性部材23・33により遮断して、給電共振器22及び受電共振器32の内周側に配置された発振回路や整流/安定化回路に対する磁界の影響が低減された、比較的小さな磁界強度を有する磁界空間Z253を形成することができる。

[0240] また、上記実施形態では、給電共振器22及び受電共振器32の内周側に形成される磁界空間Z253内若しくは磁界空間Z253付近に、磁界の影響を低減させたい発振回路及び整流/安定化回路を収納しているため、発振回路及び整流/安定化回路に対して、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できる。

[0241] そして、発振回路及び整流/安定化回路などを、比較的小さな磁界強度を有

する磁界空間Ｚ２５３に収納することにより、発振回路及び整流/安定化回路などの発熱を防止しつつ、コンパクト化が可能となる。

[0242] また、上記実施形態では、給電共振器２２及び受電共振器３２の間や内周側や外周側、即ち、図７に示すように、磁界空間Ｚ２５１や磁界空間Ｚ２５２や磁界空間Ｚ２５３が形成される場所に、金属異物が存在しても、金属異物によって磁界が影響されずに、効率的かつ安全に給電モジュール２０２から受電モジュール２０３に共振現象を利用した電力供給をすることができる。

[0243] なお、上記実施例及び実施形態では、磁性部材２３・３３、磁性部材２４・３４、磁性部材２５・３５を給電モジュール２０２及び受電モジュール２０３の両方に設けた構成としているが、給電モジュール２０２又は受電モジュール２０３の一方にだけ配置した構成としてもよい。

[0244] （実施形態２）

また、例えば、図４２に示すように、無線電力供給システム２０００は、給電コイル２０２１、給電共振器２０２２及び磁性部材２０２３を備えた給電モジュール２００２が複数配置された送電シート２００６と、受電モジュール２００３内に収納された充電電池２０６３及び受電された交流電力を整流化する整流/安定化回路や過充電を防止する充電回路などで構成された回路基盤２０６２を有するスマートフォン２００１から構成される。

[0245] スマートフォン２００１は、充電電池２０６３及び受電された交流電力を整流化する整流/安定化回路や過充電を防止する充電回路などで構成された回路基盤２０６２を収納した筐体本体２０７０、及び、筐体本体２０７０外周部に着脱可能に取り付けられた受電装置２０６０から構成されている。そして、受電装置２０６０は、筐体本体２０７０の外周部に着脱可能な枠体２０６１を備え、枠体２０６１の内部に受電モジュール２００３を収納している。受電モジュール２００３は、筐体本体２０７０の外周部に沿うように四角柱型の筒状コイル構造をした受電共振器２０３２の内周側に、四角形状をした受電コイル２０３１を配置し、更に、受電コイル２０３１の内周側に四角柱

型の筒形状をした磁性部材 2033 を配置した構造をしている。なお、受電装置 2060 が筐体本体 2070 の外周部に取り付けられたことにより、受電モジュール 2003 は充電電池 2063 に電力を供給可能に接続されるものとする。また、給電モジュール 2002 も、受電モジュール 2003 と同じ構造をしている。

[0246] そして、受電モジュール 2003 は、送電シート 2006 に組み込まれた複数の給電モジュール 2002 と対になり、交流電源から発振回路を介して給電コイル 2021 に供給された交流電力が、給電コイル 2021 と給電共振器 2022 との間の電磁誘導、給電共振器 2022 と受電共振器 2032 との間の共振（磁界共鳴状態）を利用した無線伝送、受電共振器 2032 と受電コイル 2031 との間の電磁誘導を経て、整流/安定化回路及び充電回路などの回路基盤 2062 を介して充電電池 2063 に供給される。

[0247] 上記のように給電共振器 2022 から受電共振器 2032 に共振を利用した電力供給が行われる際に、給電共振器 2022 及び受電共振器 2032 の周辺で発生する磁界を磁性部材 2023・2033 により遮断して、給電共振器 2022 及び受電共振器 2032 の内周側、即ち、筐体本体 2070 内部に収納されている回路基盤 2062 及び充電電池 2063 に対する磁界の影響が低減された磁界空間を形成することができる。

[0248] これによれば、筐体本体 2070 内部に形成された磁界空間内に、磁界の影響を低減させたい回路基盤 2062 及び充電電池 2063 を収納しているため、回路基盤 2062 及び充電電池 2063 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できる。

[0249] また、回路基盤 2062 及び充電電池 2063 を、受電共振器 2032 の内周側に収納することができるので、スマートフォン 2001 のコンパクト化が可能となる。

[0250] また、上記受電モジュール 2003 では、受電共振器 2032 を筐体本体 2070 の外周部に沿うように四角柱型の筒状コイル構造にし、受電コイル 2031 を四角形状にし、更に、磁性部材 2033 も四角柱型の筒形状にす

ることにより、筐体本体 2070 の外周部の形状に適合するように変形させている（第二の実施例参照）。このように、受電コイル 2031、受電共振器 2032 及び磁性部材 2033 は、本受電モジュール 2003 を盛り込む機器に合わせた形状に変えることができる。例えば、イヤホン型音楽プレイヤー、補聴器、集音器などのように、耳に取り付けて使用する機器では、耳の形に合わせて三日月型の筐体を使用されるが、そのような三日月型の筐体に合わせて、受電コイル、受電共振器及び磁性部材を加工して取り付けることも可能である（第三の実施例参照）。

[0251] また、スマートフォン 2001 で使用した受電モジュール 2003 は、受電コイル 2031 が受電共振器 2032 の内周側に配置されており、更に、磁性部材 2033 が受電コイル 2031 の内周側に配置されているため、受電モジュール 2003 の中央断面に対して対称形状をしている（第五の実施例参照）。このため、スマートフォン 2001 を送電シート 2006 の上に置く際に、スマートフォン 2001 の表面及び裏面のどちらの面を下にしたとしても、給電モジュール 2002 が備える給電共振器 2022 と、受電モジュール 2003 が備える受電共振器 2032 との間で、同条件で磁界共鳴状態を創出し、無線電力伝送が可能となり、スマートフォン 2001 の充電電池 2063 を充電する際の利便性を高めることができる。

[0252] なお、上記スマートフォン 2001 が備える受電モジュール 2003 における受電コイル 2031 及び受電共振器 2032 のコイル径と、送電シート 2006 が備える給電モジュール 2002 における給電コイル 2021 及び給電共振器 2022 のコイル径は、同じ大きさでなくてもよく、受電モジュール 2003 における受電コイル 2031 及び受電共振器 2032 のコイル径が、給電モジュール 2002 における給電コイル 2021 及び給電共振器 2022 のコイル径よりも大きくても小さくてもよい（第四の実施例参照）。

[0253] また、スマートフォン 2001 を送電シート 2006 の上に置き充電する際に、送電シート 2006 が備える給電共振器 2022 のコイル中心軸と、

スマートフォン 2001 が備える受電共振器 2032 のコイル中心軸とが一致しなくてもよい（位置ズレしてもよい：第六の実施例参照）。

[0254] 上記実施形態 2 では、無線電力供給システムを説明するにあたりスマートフォン 2001 を例示して説明したが、充電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。また、本発明は、上記充電電池を備えた機器以外であっても、例えば、照明機器やロボットなどへ電池を介さずに直接給電する機器に適用することも可能である。

[0255] 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

- [0256] 2 1 給電コイル
 2 2 給電共振器
 2 3 磁性部材
 3 1 受電コイル
 3 2 受電共振器
 3 3 磁性部材
 1 1 0 ネットワークアナライザ

- 1 1 1 出力端子
- 1 1 2 入力端子
- 2 0 0 無線電力供給システム
- 2 0 2 給電モジュール
- 2 0 3 受電モジュール
- Z 磁界空間

請求の範囲

- [請求項1] 給電モジュールにおけるコイルと受電モジュールにおけるコイルとを対向配置し、これらコイルの対向面を除いた少なくとも一部の面を覆うように磁性部材を配置し、前記給電モジュールにおけるコイルと前記受電モジュールにおけるコイルとの間で磁界を変化させて電力伝送を行うことで、所望位置に当該所望位置以外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。
- [請求項2] 前記磁性部材は、給電モジュールにおけるコイル及び／又は受電モジュールにおけるコイルの内周面を覆うように配置されていることを特徴とする請求項1に記載の磁界空間の形成方法。
- [請求項3] 前記磁性部材は、給電モジュールにおけるコイル及び／又は受電モジュールにおけるコイルの外周面を覆うように配置されていることを特徴とする請求項1又は2に記載の磁界空間の形成方法。
- [請求項4] 前記磁性部材は、給電モジュールにおけるコイル及び受電モジュールにおけるコイルの対向面とは反対側の面を覆うように配置されていることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の磁界空間の形成方法。
- [請求項5] 前記給電モジュールにおけるコイルから前記受電モジュールにおけるコイルに共振現象により前記電力伝送を行うことを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の磁界空間の形成方法。
- [請求項6] 前記給電モジュールにおけるコイルは、給電コイル及び給電共振器であり、
前記受電モジュールにおけるコイルは、受電コイル及び受電共振器であり、
前記給電コイルに給電された電力を前記給電共振器に対して電磁誘導により給電し、前記給電共振器に給電された電力を前記給電共振器と前記受電共振器とを共振させることによって磁界エネルギーとして

前記給電共振器から前記受電共振器に伝送し、前記受電共振器に伝送された電力を電磁誘導により前記受電コイルに給電することにより前記電力伝送を行うことを特徴とする請求項5に記載の磁界空間の形成方法。