

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6763143号
(P6763143)

(45) 発行日 令和2年9月30日(2020.9.30)

(24) 登録日 令和2年9月14日(2020.9.14)

(51) Int.Cl.		F I	
HO2J 50/12	(2016.01)	HO2J 50/12	
HO2J 7/00	(2006.01)	HO2J 7/00	3 O 1 D
HO2J 50/80	(2016.01)	HO2J 50/80	

請求項の数 9 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2015-559798 (P2015-559798)	(73) 特許権者	000004237
(86) (22) 出願日	平成27年1月15日 (2015.1.15)		日本電気株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2015/000162		東京都港区芝五丁目7番1号
(87) 国際公開番号	W02015/115041	(74) 代理人	100109313
(87) 国際公開日	平成27年8月6日 (2015.8.6)		弁理士 机 昌彦
審査請求日	平成29年12月15日 (2017.12.15)	(74) 代理人	100124154
(31) 優先権主張番号	特願2014-13892 (P2014-13892)		弁理士 下坂 直樹
(32) 優先日	平成26年1月29日 (2014.1.29)	(72) 発明者	吉田 周平
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国 (JP)		東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社社内
		(72) 発明者	田能村 昌宏
			東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 無線電力伝送の制御装置、無線電力伝送システムおよび無線電力伝送の制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

移動体に設けられる無線電力伝送の制御装置であって、
前記移動体の周辺に存在している伝送媒体を経由して、前記移動体に備えられた受電アンテナを介して電力を無線で受電する際の前記伝送媒体の特性を示すデータを取得するデータ収集手段と、
前記データを用いて前記伝送媒体の特性の変化を予測した予測伝送特性を導出し、前記予測伝送特性に対応した制御パラメータを算出するデータ予測手段と、
前記制御パラメータを用いて前記移動体および前記受電アンテナの制御を行うパラメータ制御手段と、を有し、
前記伝送媒体は海水であり、前記伝送媒体の特性は前記海水の温度、流速および圧力の少なくとも一つを含む、無線電力伝送の制御装置。

【請求項2】

前記制御パラメータは、前記移動体の位置を定めるパラメータ、前記受電アンテナの周波数を定めるパラメータおよび前記受電アンテナの負荷を定めるパラメータを含む請求項1に記載の無線電力伝送の制御装置。

【請求項3】

前記データ収集手段は、前記移動体に設けられて、前記データを検出する複数のセンサを備え、
前記センサは、前記伝送媒体の異なる特性を検出する請求項1または2に記載の無線電

力伝送の制御装置。

【請求項 4】

前記制御パラメータは、電力伝送効率を最適化するパラメータである請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の無線電力伝送の制御装置。

【請求項 5】

前記制御パラメータは、前記制御を行う際の応答速度が最も速くなるようなパラメータである請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の無線電力伝送の制御装置。

【請求項 6】

前記移動体の位置を制御する移動体制御手段をさらに備え、

前記移動体制御手段は、前記移動体の、お互いに異なる複数の座標軸に関する姿勢を制御する複数の姿勢制御手段を含む請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の無線電力伝送の制御装置。

10

【請求項 7】

前記受電アンテナの制御を行うアンテナ制御手段をさらに備え、

前記アンテナ制御手段は、前記受電アンテナの負荷を制御する負荷制御手段と、

前記受電アンテナの周波数を制御する周波数制御手段と、を含む請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の無線電力伝送の制御装置。

【請求項 8】

移動体の周辺に存在している伝送媒体を経由し、前記移動体に備えられた受電アンテナを介して電力を無線で受電する際の前記伝送媒体の特性を示すデータを、前記移動体に設けられた無線電力伝送の制御装置が取得し、

20

前記データを用いて前記伝送媒体の特性の変化を予測した予測伝送特性を前記制御装置が導出し、

前記予測伝送特性に対応した制御パラメータを前記制御装置が算出し、

前記制御パラメータを用いて前記移動体および前記受電アンテナの制御を前記制御装置が行うものであり、

前記伝送媒体は海水であり、前記伝送媒体の特性は前記海水の温度、流速および圧力の少なくとも一つを含む、無線電力伝送の制御方法。

【請求項 9】

請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の無線電力伝送の制御装置および受電アンテナを備える移動体と、

30

前記移動体に電力を無線で送信する電力送信装置と、を含み、

前記無線電力伝送の制御装置は、無線電力伝送の周波数および電力伝送効率の目標値を含む伝送情報を決定し、

前記移動体は、前記伝送情報を前記電力送信装置に送信する無線電力伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、無線電力伝送の制御装置、無線電力伝送システムおよび無線電力伝送の制御方法に関し、特に、空中や水中などにおいて制御対象が移動している環境下での無線電力伝送の制御装置、無線電力伝送システムおよび無線電力伝送の制御方法に関する。

40

【背景技術】

【0002】

電力を無線で伝送するシステム（無線電力伝送システム）において、電磁誘導現象を利用するシステムが考えられてきた。また、無線電力伝送システムにおいて、電磁誘導現象を利用するシステムの他に、磁界エネルギーの共鳴現象（磁界共鳴）を利用するシステムが提案されている。この磁界共鳴を利用するシステムは、電磁誘導現象を利用する無線電力伝送システムに比べて、伝送距離と伝送効率の間にトレードオフの関係が生じない、という特徴を持つ。そのため、この磁界エネルギーの共鳴現象を利用するシステムは、携帯電話やEV（Electric Vehicle：電気自動車）等の電気機器への充電技

50

術として期待されている。

【0003】

この磁界共鳴を用いる無線電力伝送システムにおいては、送電アンテナおよび受電アンテナの相対位置関係や、アンテナ間の媒体（以後、伝送媒体と呼ぶ場合がある）の状態が変わった際の、電力伝送特性の変動を補償する技術が重要である。その理由は、送受電アンテナ間の相対位置関係や媒体の状態が変化すると、受電アンテナを通過する磁束量に変化し、最大の電力伝送効率が得られる周波数（最適周波数）や負荷（最適負荷）が変化するためである。

【0004】

ここで、図10は、共鳴方式を用いた場合における、電力伝送効率と周波数の関係を示す概念図である。送電アンテナと受電アンテナとの距離が、距離a（実線）および距離b（破線）である場合における、電力伝送効率と周波数の関係がそれぞれ示されている。つまり、送受電アンテナ間の距離によって、電力伝送効率と周波数の応答関係は変化し、それに伴って、電力伝送が最大となる最適な周波数が変化している。なお、このような最適周波数の変化は、共鳴状態の変化、すなわち、磁束の結合状態の変化によって発生することが知られている。

10

【0005】

このような共鳴状態の変動を補償する技術は、EV等の移動体に対して効率よく充電する技術として特に重要である。例えば、EVが、地面に設置されたソースに接近して停止した場合を想定してみると、運転者によってEVの停止位置にばらつきが生じる。そのため、地面に設置されたソースに搭載された送電アンテナとEVに搭載された受電アンテナとの相対位置関係（距離や角度）が、給電機会毎に変動することになる。従って、共鳴状態の変動（磁束の結合状態の変動）を補償する技術が重要となる。

20

【0006】

この共鳴状態の変動を補償するため、送電アンテナおよび受電アンテナの回路定数（容量）を調節して、アンテナの周波数および負荷を最適に調整する回路システム（制御装置）が検討されている。さらに、補償の精度や応答性を高めるため、電力伝送特性の周波数に対する微分値から、最適周波数の制御方向、すなわち、高周波側ないしは低周波側のどちらに最適周波数を制御すれば良いかを計算するシステムが知られている。このような制御装置の例が、例えば、特許文献1に記載されている。

30

【0007】

特許文献1には、無線で電力を伝送する装置の調整システム、方法および機器が開示されている。この無線電力伝送装置は、一例として送信コイルを有する送信回路を備えており、この送信回路により負荷に対して無線で電力を供給する。ここで、送信コイルは所定の共振周波数で共振する。また、送信回路は回路定数（リアクタンス）を有している。この無線電力伝送装置は、負荷に電力を供給している間の共振周波数の変化を検出する検出回路を備えており、この共振周波数の変化に基づいて、リアクタンスを調整することができるとしている。

【先行技術文献】

【特許文献】

40

【0008】

【特許文献1】国際公開第2012/145327号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

図11は、関連技術による無線電力伝送の周波数制御の概念を説明するためのブロック図である。また、図12Aは、無線電力伝送の周波数特性を最適制御する関連技術を説明するために、周波数（ f ）に対する無線電力伝送の伝送効率（ η ）を示したグラフであり、図中の点は時刻 T_0 における動作点を示す。図12Bは、周波数（ f ）に対する無線電力伝送の伝送効率（ η ）を示したグラフであり、図中の点は時刻 $T_0 + T_{11}$ における動

50

作点を示す。図12Cは、周波数(f)に対する無線電力伝送の伝送効率(η)を示したグラフであり、図中の点は時刻 $T_0 + T_{21}$ における動作点を示す。これら図12A乃至図12Cには、共鳴状態の変動が補償されるようすが示されている。具体的には以下のとおりである。はじめに、EVが時刻 T_0 において、送電アンテナ付近に停止する。図12Aの印は、現時刻の動作点(動作周波数)を表す。次に、EVは、送電アンテナ端における反射電力のモニタや受電アンテナとの通信等の方法によって、現状の電力伝送効率 η_{ut} (図11の出力端)を検出する。続いて、検出した η_{ut} をフィードバックし(図11の出力端から入力端への帰還経路)、目標とする電力伝送効率 η_{cmd} (図11の入力端)との差分により、制御ゲイン f (η)および周波数制御の方向(高周波方向または低周波方向)を決定する f 制御が行われる(図11の f (η)および f 制御)。次に、時刻 $T_0 + T_{11}$ において、周波数発生回路が、制御ゲインおよび周波数制御の方向に基づいて周波数制御を行う(図11の f 発生回路)。すると、電力伝送効率の動作点(動作周波数)は、現状値から変化し始める(図12B)。続いて、EVは、改めて電力伝送効率 η_{ut} を検出する(図11の出力端)。以上のような f 制御と電力伝送効率の再設定を行うフィードバックループが繰り返される。このような帰還制御が、図11における制御の概念である。そして、最適周波数による伝送が行える状態、すなわち、 η_{cmd} が得られる状態になった場合(時刻 $T_0 + T_{21}$)、フィードバックが終了する(図12C)。このように、関連する制御装置は、電力伝送特性の周波数に対する微分値から最適周波数の制御方向を計算し、求めた結果に応じて周波数や負荷を制御している。

【0010】

しかしながら、関連する制御装置には以下のような問題があった。関連する制御装置が搭載されるものには、例えば、無線電力伝送システムを構成している送電アンテナや受電アンテナを搭載する、ヘリコプター、AUV(Autonomous Underwater Vehicle:自律型無人潜水機)および移動する人の保有する電子機器などがある。空中や水中等で稼働するこれらヘリコプター、AUV、および人が所持する電子機器(以後、移動体と呼ぶ場合がある)などに無線電力伝送を行う場合、風、浮力または潮流等による周辺環境の変動や移動体の揺れなどが、定期的かつ不規則に生じる。そのため、関連する制御装置を用いた場合、周辺環境の変動や移動体の揺れ(以後、環境変動と呼ぶ場合がある)による周波数や負荷の変動に対する追従制御が困難となり、安定した補償が困難であった。これは、陸上で稼働するEVに無線電力伝送を行う場合とは異なり、空中や水中等で稼働する移動体に無線電力伝送を行う場合、電力を無線で伝送する環境下での環境変動が電力伝送特性に強く影響するからである。より詳細には次のような影響が懸念される。

【0011】

図13は、無線電力伝送システムにおいて、環境変動が定期的には不規則に発生した場合の伝送特性の変化を説明するための図である。すなわち、水中での無線電力伝送において、移動体の揺れが発生する前(時刻 T_0)および発生した後(時刻 $T_0 + T_{22}$)における、周波数と電力伝送効率の関係を示す。ここで、実線は時刻 T_0 、破線は時刻 $T_0 + T_{22}$ での無線電力伝送特性である。また、図14Aは、無線電力伝送において環境変動が発生している場合(水中の場合)の関連技術による周波数制御を説明するために、現時点における周波数(f)に対する無線電力伝送の伝送効率(η)を示したグラフであり、図中の点は時刻 T_0 における動作点を示す。図14Bは、現時点における周波数(f)に対する無線電力伝送の伝送効率(η)を示したグラフであり、図中の点は時刻 $T_0 + T_{12}$ における動作点を示す。図14Cは、周波数(f)に対する無線電力伝送の時刻 $T_0 + T_{12}$ での伝送効率(η)(予測値)を示したグラフであり、図中の点は時刻 $T_0 + T_{12}$ における動作点を示す。図14Dは、周波数(f)に対する無線電力伝送の再決定すべきときの伝送効率(η)(予測値)を示したグラフであり、図中の点は再決定すべき制御方向における動作点を示す。まず、所定の電力伝送効率と周波数で制御されている(図14A)。そして、時刻 $T_0 + T_{12}$ において、周波数制御が開始される(図14B)。さらに、時刻 $T_0 + T_{22}$ において移動体の揺れが発生し、電力伝送特性が変化すると(図1

10

20

30

40

50

4 C)、周波数制御の方向がそのまま維持された場合には電力伝送特性が劣化する方向に向かうようになる。そのため、伝送効率が改善しないという問題が生じる。すなわち、関連する制御装置が算出した最適化方向に周波数を追従させているにも関わらず、伝送効率が改善しない。周波数制御の方向は図14Dのように決定し直す必要がある。しかしながら、移動体の揺れは定常的かつ不規則に発生しているため、関連する制御装置の制御では追従できず、電力伝送が最大となる最適条件に対する周波数制御が困難である。以上のように、関連する制御装置では、環境変動による周波数や負荷の変動に対する追従制御が困難であるという問題を生じる。

【0012】

以上述べた問題は、空中を飛ぶ無人ヘリコプターや水中で駆動するAUVを用いた場合、すなわち、送電アンテナと受電アンテナを搭載した機器の位置関係が、常に変動する場合において発生する問題である。なぜなら、地上を走行するEVなどの移動機器の場合、機器が一旦停止すれば、送電アンテナと受電アンテナを搭載した移動機器の位置関係が変化することはまず無いからである。

10

【0013】

本発明の目的は、上述した課題である、無線電力伝送においてその伝送環境の変動が定常的かつ不規則に発生しているような状況下では、安定して給電することが困難である、という課題を解決する無線電力伝送の制御装置、無線電力伝送システムおよび無線電力伝送の制御方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

20

【0014】

本発明の無線電力伝送の制御装置は、移動体に備えられた受電アンテナを介して電力を無線で伝送する際の伝送媒体の特性を示すデータを取得するデータ収集手段と、データを用いて伝送媒体の特性の変化を予測した予測伝送特性を導出し、予測伝送特性に対応した制御パラメータを算出するデータ予測手段と、制御パラメータを用いて移動体および受電アンテナの制御を行うパラメータ制御手段と、を有する。

【0015】

本発明の無線電力伝送の制御方法は、移動体に備えられた受電アンテナを介して電力を無線で伝送する際の伝送媒体の特性を示すデータを取得し、データを用いて伝送媒体の特性の変化を予測した予測伝送特性を導出し、予測伝送特性に対応した制御パラメータを算出し、制御パラメータを用いて移動体および受電アンテナの制御を行う。

30

【0016】

本発明の無線電力伝送システムは、上記無線電力伝送の制御装置及び上記受信アンテナを備える移動体と、移動体に電力を無線で送信する電力送信装置を含み、無線電力伝送の制御装置は、無線電力伝送の周波数および電力伝送効率の目標値を含む伝送情報を決定し、移動体は、伝送情報を電力送信装置に送信する。

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、予測された将来の環境変動に対応した制御パラメータを用いて無線電力伝送を制御することが可能となる。その結果、環境変動が連続して発生している空中や水中などの環境下であっても、安定して給電することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本発明の第1の実施形態にかかる無線電力伝送の制御装置の構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の第1の実施形態にかかる無線電力伝送の制御装置において、海水中で温度変動が発生した場合の伝送特性の変化を説明するための図である。

【図3A】本発明の第1の実施形態にかかる無線電力伝送の制御装置において、海水中で温度変動が発生した場合の周波数制御を説明するために、現時点における周波数(f)に対する無線電力伝送の伝送効率()を示したグラフであり、図中の点は時刻 $T_{0,1}$ にお

50

ける動作点を示す。

【図3B】現時点における周波数（ f ）に対する無線電力伝送の伝送効率（ η ）を示したグラフであり、図中の点は時刻 $T_{01} + T_{121}$ 、における動作点を示す。

【図3C】周波数（ f ）に対する無線電力伝送の時刻 $T_{01} + T_{221}$ での伝送効率（ η ）（予測値）を示したグラフであり、図中の点は時刻 $T_{01} + T_{221}$ 、における動作点を示す。

【図3D】周波数（ f ）に対する無線電力伝送の時刻 $T_{01} + T_{331}$ での伝送効率（ η ）（予測値）を示したグラフであり、図中の点は時刻 $T_{01} + T_{331}$ における動作点を示す。

【図4A】海水中での無線電力伝送に対して、海水中で温度変動が発生した場合の周波数制御の効果を説明するために、関連技術を適用した場合における制御量の変動幅を示したグラフである。

10

【図4B】海水中での無線電力伝送に対して、海水中で温度変動が発生した場合の周波数制御の効果を説明するために、本実施形態の技術を適用した場合における制御量の変動幅を示したグラフである。

【図5】本発明の第2の実施形態にかかる無線電力伝送の制御装置の構成を示すブロック図である。

【図6】本発明の第2の実施形態にかかる無線電力伝送の制御装置において、制御の動作を説明するための図である。

【図7】本発明の第3の実施形態にかかる無線電力伝送の制御装置の構成を示すブロック図である。

20

【図8】本発明の第4の実施形態にかかる無線電力伝送の制御装置の構成を示すブロック図である。

【図9】本発明の第5の実施形態にかかる無線電力伝送システムの構成を示す模式図である。

【図10】共鳴方式を用いた場合の、送電アンテナと受電アンテナ間の距離が異なる場合における電力伝送の特性を示す概念図である。

【図11】関連技術による無線電力伝送の周波数制御の概念を説明するためのブロック図である。

【図12A】無線電力伝送の周波数特性を最適制御する関連技術を説明するために、周波数（ f ）に対する無線電力伝送の伝送効率（ η ）を示したグラフであり、図中の点は時刻 T_0 、における動作点を示す。

30

【図12B】周波数（ f ）に対する無線電力伝送の伝送効率（ η ）を示したグラフであり、図中の点は時刻 $T_0 + T_{11}$ における動作点を示す。

【図12C】周波数（ f ）に対する無線電力伝送の伝送効率（ η ）を示したグラフであり、図中の点は時刻 $T_0 + T_{21}$ における動作点を示す。

【図13】無線電力伝送システムにおいて、環境変動が定常的に不規則に発生した場合の伝送特性の変化を説明するための図である。

【図14A】無線電力伝送において環境変動が発生している場合の関連技術による周波数制御を説明するために、現時点における周波数（ f ）に対する無線電力伝送の伝送効率（ η ）を示したグラフであり、図中の点は時刻 T_0 、における動作点を示す。

40

【図14B】現時点における周波数（ f ）に対する無線電力伝送の伝送効率（ η ）を示したグラフであり、図中の点は時刻 $T_0 + T_{12}$ 、における動作点を示す。

【図14C】周波数（ f ）に対する無線電力伝送の時刻 $T_0 + T_{12}$ での伝送効率（ η ）（予測値）を示したグラフであり、図中の点は時刻 $T_0 + T_{22}$ 、における動作点を示す。

【図14D】周波数（ f ）に対する無線電力伝送の再決定すべきときの伝送効率（ η ）（予測値）を示したグラフであり、図中の点は再決定すべき制御方向における動作点を示す。

【図15】本発明の第5の実施形態の変形例にかかる無線電力伝送システムの構成を示す

50

模式図である。

【図 1 6 A】送電アンテナと受電アンテナとの間の距離と最適周波数の関係の一例を示したグラフである。

【図 1 6 B】送電アンテナと受電アンテナとの間の距離と最適負荷の関係の一例を示したグラフである。

【図 1 7 A】海中無線給電用アンテナ間の離間距離と最適周波数の関係を表す近似式を示したグラフである。

【図 1 7 B】海中無線給電用アンテナ間の離間距離と最適負荷の関数を表す近似式を示したグラフである。

【図 1 8】本発明の第 5 の実施形態の変形例にかかる無線電力伝送システムの動作フローの一例を示すフローチャートである。

10

【発明を実施するための形態】

【0019】

次に、本発明を実施するための形態について図面を参照して説明する。なお、以下の説明では、同じ機能を有するものには同じ符号をつけ、その説明を省略する場合がある。

【0020】

(第 1 の実施形態)

図 1 は、本発明の第 1 の実施形態にかかる無線電力伝送の制御装置 1 1 の構成を示すブロック図である。本実施形態における制御装置 1 1 は、データ収集部 1 2、データ予測部 1 3 およびパラメータ制御部 1 4 を有する。この制御装置 1 1 は、無人ヘリコプターまたは AUV 等である移動体に搭載される。以下、各構成要素について説明する。

20

【0021】

データ収集部 1 2 は、電力を無線で伝送する環境下において発生する環境変動に関するデータを取得する。環境変動とは、移動体の位置および角度等、並びに、移動体周辺の伝送媒体の環境温度、誘電率および透磁率等の時間経過に伴う変動を指す。そして、データ収集部 1 2 は、移動体の状態および移動体の外部環境の状態を測定するためのセンサを備えている。

【0022】

データ予測部 1 3 は、データ収集部 1 2 で収集されたデータから、将来の環境変動を予測する。また、パラメータ制御部 1 4 は、データ予測部 1 3 で推定された制御パラメータを基に、移動体制御部 1 5 およびアンテナ制御部 1 6 を制御する。その結果、電力を無線で受け取る移動体の位置等および移動体に備えられた受電アンテナの制御がなされる。

30

【0023】

さらに具体的には、データ収集部 1 2 は、ジャイロセンサ、温度センサ、圧力センサ等およびそれらのセンサを駆動させるための周辺回路で構成されている。また、データ予測部 1 3 は、予測に基づき制御パラメータを推定するための専用回路、またはプロセッサやプログラム等、および、これらプロセッサやプログラム等を駆動させるための周辺回路等により構成することができる。また、パラメータ制御部 1 4 は、移動体制御部 1 5 とアンテナ制御部 1 6 の一方または両方の制御のための専用回路、またはプロセッサやプログラム、および、これらプロセッサやプログラム等を駆動させるための周辺回路により構成することができる。

40

【0024】

次に、本実施形態における、制御装置 1 1 の動作について、順を追って説明する。まず、データ収集部 1 2 が、上述のセンサを用いて、移動体の状態および移動体の外部環境の状態を測定する。測定されたこれらの状態情報は、データ化され、データ予測部 1 3 に送信される。次に、データ予測部 1 3 がデータ収集部 1 2 から送られたデータを受信する。次に、データ予測部 1 3 が、受信したデータを用いて、環境変動の将来を推定する。次に、データ予測部 1 3 は、推定された外部環境の状態に対応した制御パラメータを決定する。決定された制御パラメータは、データ化され、パラメータ制御部 1 4 に送信される。次に、パラメータ制御部 1 4 が、決定された制御パラメータを受信する。パラメータ制御部

50

14は、制御パラメータを基に、移動体制御部15およびアンテナ制御部16の制御を行う。このように、データ予測部13は、伝送媒体の特性を示すデータを用いて伝送媒体の特性の変化を予測した予測伝送特性を導出し、予測伝送特性に対応した制御パラメータを算出する。

【0025】

ここで、データ予測部13は、以下のような種々の方法を用いて将来の環境変動を推定することができる。例えば、データ予測部13は、取得したセンサのデータを時間軸上にプロットし、外挿法を用いることで、推定することができる。また、データ予測部13は、取得したセンサのデータを時間軸上にプロットし、これまでに蓄積したデータテーブルと比較することで、推定することができる。また、データ予測部13は、取得したセンサのデータをフーリエ変換し、各周波数成分の変動を監視することで、推定することができる。

10

【0026】

また、データ予測部13は、種々の方法を用いて、推定した将来の環境変動に対応した制御パラメータを決定することができる。例えば、データ予測部13は、全探索法や、山登り法を用いて、最適な制御パラメータを決定することができる。さらに、データ予測部13は、遺伝的アルゴリズム法を用いることもできる。データ予測部13は、遺伝的アルゴリズム法を用いれば、制御パラメータが多数存在する場合であっても、短い探索時間で、収束性良く、制御パラメータを決定することが可能となる。

【0027】

(効果)

次に、本実施形態による制御装置11の効果について説明する。例えば、本実施形態の制御装置11を海水中での無線電力伝送に適用した場合を考える。海水中では、海水の温度変動が定常的かつ不規則に発生することが想定される。海水の温度が変化すると、海水の導電率が変化する。海水の導電率が変化すると、送受電アンテナの負荷状態が変動する。そのため、無線電力伝送を安定に行うには、その変動分の補償が必要となる。なお、環境変動の一因として、海水の温度変動を例にして以下では説明するが、環境変動の要因はこれに限らない。移動体の位置や姿勢、周辺の伝送媒体の誘電率や透磁率等、様々な要因が変動した場合にも同様の制御が可能であり同様の効果が得られることは言うまでもない。

20

30

【0028】

図2は、海水中での無線電力伝送において、海水の温度変動が発生する前(時刻 T_{01})および発生した後(時刻 $T_{01} + T_{221}$)における、周波数と電力伝送効率の関係を示す特性図である。実線は時刻 T_{01} 、破線は時刻 $T_{01} + T_{221}$ での無線電力伝送特性である。また、図3Aは、現時点における周波数(f)に対する無線電力伝送の伝送効率(η)を示したグラフであり、図中の点は時刻 T_{01} における動作点を示す。

【0029】

図3Aでは、移動体が時刻 T_{01} において、所定の電力伝送効率と周波数で制御されている。そして、データ収集部12での温度データ収集、および、データ予測部13での、将来の温度変動の推定が開始される。前述のとおり、この温度変動の推定には、外挿法や、フーリエ変換を用いる方法など、種々の方法を用いることができる。推定した将来の温度変動に対応した周波数の制御方向が決定される(図3B)。周波数を小さくする方向に制御が決定されている。このように決定されるため、図3Bに示すように現時点では、伝送効率が下がる方向に制御されるが、図3Cに示すように、推定した将来の温度変動に対しては、伝送効率が上がる方向に制御されるからである。これに対し、関連技術のように温度変動をフィードバック制御するような周波数制御では、この場合、時刻 T_{01} の伝送特性に基づいて周波数を大きくする方向に決定するからである。このため、関連技術では、伝送効率が下がる方向に制御されてしまう可能性がある。

40

【0030】

時刻 $T_{01} + T_{121}$ までに、データ予測部13が、推定した将来の温度変動に対応し

50

た制御パラメータを決定する。時刻 $T_{01} + T_{221}$ においてパラメータ制御部 14 が、移動体制御部 15 およびアンテナ制御部 16 の制御を開始する（図 3 C）。このタイミングで、推定したような温度変動が実際に発生し、電力伝送特性は図 2 の実線から破線のように変化する。すると、電力伝送特性がたとえ変化しても、この変化を考慮した上での制御パラメータとなっているので、電力伝送効率は改善する方向に向かう。

【 0 0 3 1 】

このように本実施形態の制御装置 11 が推定する最適化方向に周波数を追従させた結果、最終的に、最適な周波数および高効率な伝送効率が得られるようになる（図 3 D）。以上のように、関連技術では困難であった、環境変動が生じている場合であっても、より安定に、より高効率に給電することが本実施形態の制御装置 11 では可能となる。本実施形態の制御装置 11 による制御が収束するようすの比較と図示化を次に行う。

10

【 0 0 3 2 】

図 4 A は、海水中の無線電力伝送に対して、海水中で温度変動が発生した場合の周波数制御の効果を説明するために、関連技術を適用した場合における制御量の変動幅を示したグラフである。図 4 B は、海水中での無線電力伝送に対して、海水中で温度変動が発生した場合の周波数制御の効果を説明するために、本実施形態の技術を適用した場合における制御量の変動幅を示したグラフである。すなわち、図 4 A 及び図 4 B は、予測した将来の温度変化に基づく制御を行わない場合（図 4 A）と、行う場合（図 4 B）における制御量の比較を示す図である。前提として、時刻 2 秒の時点において対象とする制御量（負荷など）が変化し、変動が発生したとする。この変動に対して、所定の制御関数のままで補償した場合が図 4 A であり、本実施形態により予測した将来の温度変化に基づいて時刻 10 秒の時点において制御関数を書き換えて補償した場合が図 4 B である。すると、図 4 B の場合においては、制御量の変動幅が図 4 A の場合よりも少なくなっていることがわかる。このように、予測的な制御を行った場合、制御量の変動が少なく安定した制御が可能となる。

20

【 0 0 3 3 】

以上説明してきたとおり、本実施形態によれば、予測された将来の環境変動に対応した制御パラメータを用いて無線電力伝送を制御することが可能となる。その結果、環境変動が連続して発生している空中や水中などの環境下であっても、安定して給電することができるという効果を奏する。

30

【 0 0 3 4 】

（第 2 の実施形態）

図 5 は、本発明の第 2 の実施形態にかかる無線電力伝送の制御装置 21 の構成を示すブロック図である。図 1 に示す制御装置 11 の構成と図 5 に示す制御装置 21 の構成との差異は、データ収集部 22 にある。すなわち、本実施形態のデータ収集部 22 は、センサ 221、センサ 222、センサ 223 等の複数のセンサから構成されている。具体的には例えば、センサ 221 およびセンサ 222 は温度センサで、センサ 223 は流速センサで構成されている。その他の制御装置 21 の構成は第 1 の実施形態と同一である。なお、データ収集部 22 の構成について、温度センサおよび流速センサの場合を例にして説明を進めていくが、センサの種類はこれらに限られない。圧力センサ、ジャイロセンサ、速度計、カメラ、音響センサ、等の種々のセンサおよびセンサに準ずる機器を用いることができる。

40

【 0 0 3 5 】

次に、本実施形態における制御装置 21 の動作について、順を追って説明する。第 1 の実施形態の場合と同様、定常的かつ不規則に温度変動が発生する海水中での無線電力伝送に用いられる場合を例として説明するが、これに限定されるものではない。

【 0 0 3 6 】

まず、データ収集部 22 が、温度センサ、流速センサなどの複数の異なるセンサを用いて、移動体 27 の外部温度および海水の流速を測定する。測定されたこれらの状態情報はデータ化され、データ予測部 23 に送信される。次に、データ予測部 23 がデータ収集部

50

22から送られたデータを受信する。次に、データ予測部23が、受信したデータを用いて、将来の環境変動を推定する。次に、データ予測部23は推定された外部環境の状態に対応した制御パラメータを決定する。決定された制御パラメータは、データ化され、パラメータ制御部24に送信される。次に、パラメータ制御部24が、決定された制御パラメータを受信する。パラメータ制御部24は、制御パラメータを基に、移動体制御部25、および、アンテナ制御部26の制御を行う。この際、データ予測部23は、複数の測定された外部環境の状態に関するデータの相関関係から、将来の環境変動をより精度よく推定することができる。

【0037】

図6は、本実施形態にかかる無線電力伝送の制御装置21において、制御の動作を説明するための図である。移動体27には、センサ221、センサ222、センサ223およびアンテナ203が搭載されている。なお、データ予測部23、パラメータ制御部24、移動体制御部25およびアンテナ制御部26等は、同様に、移動体27に搭載されているが、ここでは、図示を省略する。前述のとおり、センサ221およびセンサ222は温度センサであり、センサ223は流速センサである。センサ221とセンサ222は、ある時刻における温度をそれぞれ計測する。同時刻に、センサ223は流速について、その方向および大きさを測定する。センサ221、センサ222およびセンサ223の情報はデータ化され、データ予測部23に送信される。データ予測部23は、センサ221およびセンサ222のデータから、現在の周辺環境の温度分布を計算する。

【0038】

次に、センサ223のデータ、すなわち、流速の方向およびその大きさから、アンテナ203周辺の温度分布の変化を予測することができる。例えば、センサ221とアンテナ203の距離間隔が1m、流速が1m/sであった場合、センサ221で計測された温度と、1秒後のアンテナ203周辺の温度分布が等しくなることを予測することができる。このように、測定する物理量が異なる複数のセンサを使って、移動体周辺の現状の温度分布および移動体周辺の流速等の環境情報を取得し、移動体周辺の将来の温度分布(環境変動)が推定される。そして、推定された外部環境の状態に対応した制御パラメータを決定する。制御パラメータの決定以降の動作は、第1の実施形態の場合と同様である。

【0039】

(効果)

本実施形態によれば、予測された将来の環境変動に対応した制御パラメータを用いて無線電力伝送を制御することが可能となる。その結果、環境変動が連続して発生している空中や水中などの環境下であっても、安定して給電することができるという効果を奏する。

【0040】

さらに、本実施形態では、時間変動する複数のデータを取得し、複数のデータの相関関係から将来の環境変動を予測することで、より高い精度での将来予測ができる。その結果、環境変動が連続して発生している環境下であっても、安定して、かつ、高精度に給電することが可能となる。

【0041】

なお、前述の第1の実施形態にかかる単一のセンサのデータから予測する方法を、異なる複数のセンサから取得したデータを用いる本実施形態に組み合わせて使用することができる。そうするとデータ予測の精度がより向上する。さらに、本実施形態では、第1の実施形態においては予測が容易ではなかった突発的な外乱によって発生する突発的な温度変動を推定することが可能となる。突発的な変動を予測することは、外挿法やフーリエ変換を用いた方法では困難であるが、本実施形態では、異なる複数のセンサから取得したデータの相関関係を用いて将来の環境変動を推定できるため、突発的な変動にも対応できる。具体的には、突発的な外乱である突発的な温度上昇があった場合にも、センサ223を用いた移動体周辺の流速の測定およびセンサ221を用いた温度上昇の検出によって、受電アンテナ周辺において突発的に温度上昇が起こる時刻を推定することができる。このように、データ予測の精度および適用範囲が向上するという効果を奏する。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 2 】

(第 3 の 実 施 形 態)

図 7 は、本発明の第 3 の実施形態にかかる無線電力伝送の制御装置 3 1 の構成を示すブロック図である。図 5 に示す第 2 の実施形態にかかる制御装置 2 1 の構成と図 7 に示す制御装置 3 1 の構成との差異は、移動体制御部 3 5 およびアンテナ制御部 3 6 を含む点にある。そして、移動体制御部 3 5 は、姿勢制御部 3 5 1、姿勢制御部 3 5 2、姿勢制御部 3 5 3 等の複数の制御部から構成されている。具体的には、姿勢制御部 3 5 1 は移動体の X 軸に関する姿勢を制御し、姿勢制御部 3 5 2 は移動体の Y 軸に関する姿勢を制御し、姿勢制御部 3 5 3 は移動体の Z 軸に関する姿勢を制御する機構を備える。また、アンテナ制御部 3 6 は、負荷制御部 3 6 1、周波数制御部 3 6 2 等の複数の制御部から構成されている。具体的には、負荷制御部 3 6 1 はアンテナの最適負荷を制御する機構を備え、周波数制御部 3 6 2 はアンテナの最適周波数を制御する機構を備えている。その他の制御装置 3 1 の構成は第 2 の実施形態と同一である。なお、制御パラメータについて、パラメータ制御部 3 4 が、移動体の X、Y および Z 軸に関する姿勢並びにアンテナの最適負荷および周波数を制御する場合を例にして説明を進めていくが、制御パラメータの種類はこれらに限られない。異なる制御パラメータを制御対象としても良い。

10

【 0 0 4 3 】

次に、本実施形態における、制御装置 3 1 の動作について、順を追って説明する。まず、データ収集部 3 2 が、一つのまたは複数のセンサを用いて、移動体の位置や姿勢などの状態および移動体の外部環境の状態を測定する。測定された外部環境の状態情報は、データ化され、データ予測部 3 3 に送信される。次に、データ予測部 3 3 がデータ収集部 3 2 から送られたデータを受信する。次に、データ予測部 3 3 が、受信したデータを用いて、将来の環境変動を推定する。次に、データ予測部 3 3 は推定された外部環境の状態に対応した制御パラメータを決定する。決定された制御パラメータは、データ化され、パラメータ制御部 3 4 に送信される。次に、パラメータ制御部 3 4 が、決定された制御パラメータを受信する。パラメータ制御部 3 4 は、制御パラメータを基に、移動体制御部 3 5 およびアンテナ制御部 3 6 を制御する。移動体制御部 3 5 は、姿勢制御部 3 5 1、姿勢制御部 3 5 2、姿勢制御部 3 5 3 等の複数ある姿勢制御部のうち、一つまたは複数を選択して制御を行う。アンテナ制御部 3 6 は、負荷制御部 3 6 1、周波数制御部 3 6 2 等の複数ある制御部のうち、一つまたは複数を選択して制御を行う。

20

30

【 0 0 4 4 】

この際、データ予測部 3 3 は、推定した将来の環境変動を基に、移動体の X、Y、Z 軸に関する姿勢、アンテナの最適負荷および周波数、などの複数ある制御パラメータの中から所定の制御パラメータを選択する。例えば、電力伝送効率が高くなるような制御パラメータを一つまたは複数選択し、その制御パラメータおよび制御量を、パラメータ制御部 3 4 に伝達する。

【 0 0 4 5 】

より具体的には次のとおりである。例えば、アンテナの最適負荷は、アンテナに接続された整合回路のインダクタンス L およびキャパシタンス C で調整できる。また、アンテナの最適周波数は、アンテナに入力される電力の周波数を制御する VCO (Voltage - Controlled Oscillator : 電圧制御発振器) の制御電圧値 V_VCO で制御できる。データ予測部 3 3 は、これら L、C、V_VCO の各制御パラメータのうち、いずれか一つまたは複数を使って制御した際に得られる電力伝送効率を計算する。そして、データ予測部 3 3 は、最適な電力伝送効率得られる制御パラメータを決定する。なお、後述するように、この最適周波数および電力伝送効率の目標値は、電力受信側である移動体から電力送信側に帰還される。

40

【 0 0 4 6 】

また、データ予測部 3 3 は、前述の制御パラメータを決定するために様々な方法を用いることができる。例えば、あらかじめ取得しておいたデータテーブルを基に、予測された環境変動に対応する最適な制御パラメータを決定しても良い。また、複数の異なる周波数

50

における測定結果を基に現在の状況を確認した上で、予測された環境変動に対する結果を、等価回路解析手法等を用いて計算し、予測された環境変動に対応する最適な制御パラメータを決定しても良い。

【0047】

また、データ予測部33は、種々の方法を用いて、制御パラメータを決定することができる。データ予測部33は、例えば、全探索法や、山登り法を用いて、最適な制御パラメータを決定することができる。さらに、データ予測部33は、遺伝的アルゴリズム法を用いることもできる。データ予測部33は、遺伝的アルゴリズム法を用いれば、制御パラメータが多数存在する場合であっても、短い探索時間で、収束性良く、制御パラメータを決定することが可能となる。

10

【0048】

(効果)

本実施形態の制御装置31によれば、予測された将来の環境変動に対応した制御パラメータを用いて無線電力伝送を制御することが可能となる。その結果、環境変動が連続して発生している空中や水中などの環境下であっても、安定して給電することができるという効果を奏する。

【0049】

さらに、本実施形態では、予測された将来の環境変動に基づいて、飛行体やAUV等の移動体の位置に関わるパラメータ並びに移動体に搭載された受電アンテナの最適周波数および最適負荷のいずれか一つまたは複数のパラメータの中から電力伝送効率が高くなるような制御パラメータを選択する。その結果、環境変動が連続して発生している例えば空中や水中の環境下であっても、安定して、高効率に給電することが可能となる。

20

【0050】

(第4の実施形態)

図8は、本発明の第4の実施形態にかかる無線電力伝送の制御装置41の構成を示すブロック図である。図5に示す第2の実施形態にかかる制御装置21の構成と図8に示す制御装置41の構成との差異は、移動体制御部45およびアンテナ制御部46を含む点にある。そして、移動体制御部45は、姿勢制御部451、姿勢制御部452、姿勢制御部453等の複数の制御部から構成されている。

【0051】

具体的には、姿勢制御部451は移動体47のX軸に関する姿勢を制御し、姿勢制御部452は移動体47のY軸に関する姿勢を制御し、姿勢制御部453は移動体47のZ軸に関する姿勢を制御する機構を備える。また、アンテナ制御部46は、負荷制御部461、周波数制御部462等の複数の制御部から構成されている。具体的には、負荷制御部461はアンテナの最適負荷を制御する機構を備え、周波数制御部462はアンテナの最適周波数を制御する機構を備えている。その他の制御装置41の構成は第2の実施形態と同一である。なお、制御パラメータについて、パラメータ制御部44が、移動体47のX、YおよびZ軸に関する姿勢並びにアンテナの最適負荷および周波数を制御する場合を例にして説明を進めていくが、制御パラメータの種類はこれらに限られない。異なる制御パラメータを制御対象としても良い。

30

40

【0052】

次に、本実施形態における、制御装置41の動作について、順を追って説明する。まず、データ収集部42が、一つのまたは複数のセンサを用いて、移動体47の位置や姿勢などの状態および移動体47の外部環境の状態を測定する。測定された外部環境の状態情報は、データ化され、データ予測部43に送信される。次に、データ予測部43がデータ収集部42から送られたデータを受信する。次に、データ予測部43が、受信したデータを用いて、将来の環境変動を推定する。次に、データ予測部43は推定された外部環境の状態に対応した制御パラメータを決定する。決定された制御パラメータは、データ化され、パラメータ制御部44に送信される。次に、パラメータ制御部44が、決定された制御パラメータを受信する。パラメータ制御部44は、制御パラメータを基に、移動体制御部4

50

5 およびアンテナ制御部 4 6 を制御する。移動体制御部 4 5 は、姿勢制御部 4 5 1、姿勢制御部 4 5 2、姿勢制御部 4 5 3 等の複数ある姿勢制御部を制御する。アンテナ制御部 4 6 は、負荷制御部 4 6 1、周波数制御部 4 6 2 等の複数ある姿勢制御部を制御する。

【 0 0 5 3 】

この際、データ予測部 4 3 は、推定した将来の環境変動を基に、移動体 4 7 の X、Y、Z 軸に関する姿勢、アンテナの最適負荷および周波数、などの複数ある制御パラメータの中から所定の制御パラメータを選択する。例えば、応答速度が速く、かつ、電力伝送効率が高くなるような制御パラメータを選択し、その制御パラメータおよび制御量を、パラメータ制御部 4 4 に伝達する。この選択する制御パラメータの違いが、第 3 の実施形態にかかるデータ予測部 3 3 と、本実施形態にかかるデータ予測部 4 3 との相違点である。

10

【 0 0 5 4 】

データ予測部 4 3 の動作について、より具体的には次のとおりである。アンテナの最適負荷は、アンテナに接続された整合回路の L および C で調整できる。また、アンテナの最適周波数は、アンテナに入力される電力の周波数を制御する V C O の制御電圧値 V_V C O で制御できる。データ予測部 4 3 は、これら L、C、V_V C O のうち、いずれか一つまたは複数を使って得られる電力伝送効率と必要な処理時間を計算する。そして、データ予測部 4 3 は、最適な電力伝送効率および処理時間が得られる制御パラメータを決定する。

【 0 0 5 5 】

データ予測部 4 3 は、種々の方法を用いて、制御パラメータを決定することができる。データ予測部 4 3 は、例えば、全探索法や、山登り法を用いて、最適な制御パラメータを決定することができる。さらに、データ予測部 4 3 は、遺伝的アルゴリズム法を用いることもできる。データ予測部 4 3 は、遺伝的アルゴリズム法を用いれば、制御パラメータが多数存在する場合であっても、短い探索時間で、収束性良く、制御パラメータを決定することができる。

20

【 0 0 5 6 】

(効果)

本実施形態の制御装置 4 1 によれば、予測された将来の環境変動に対応した制御パラメータを用いて無線電力伝送を制御することが可能となる。その結果、環境変動が連続して発生している空中や水中などの環境下であっても、安定して給電することができるという効果を奏する。

30

【 0 0 5 7 】

さらに、予測された将来の環境変動に基づいて、飛行体や A U V 等の移動体の位置に関わるパラメータ並びに移動体に搭載された受電アンテナの最適周波数および最適負荷のいずれか一つまたは複数のパラメータの中から応答速度が速くかつ電力伝送効率が高くなるような制御パラメータを選択する。その結果、環境変動が連続して発生している例えば空中や水中の環境下であっても、高速に、安定して、高効率に給電することが可能となる。

【 0 0 5 8 】

(第 5 の実施形態)

図 9 は、本発明の第 5 の実施形態にかかる無線電力伝送システムの構成を示す模式図である。まず、本実施形態の構成について説明する。潜水艇などである移動体 5 7 は、海水中で稼働し、制御装置 5 1、受電アンテナ 5 0 3 および移動体バッテリー 5 0 4 を具備している。そして、母船 5 0 は、海上に浮かび、少なくとも送電アンテナ 5 0 2 を具備している。以下、各構成要素について説明する。

40

【 0 0 5 9 】

制御装置 5 1 は、データ収集部 5 2、データ予測部 5 3、パラメータ制御部 5 4 を備えている。ここで、データ収集部 5 2 はジャイロセンサとした。データ予測部 5 3 およびパラメータ制御部 5 4 には、将来の環境変動の予測および移動体および移動体に備えられた受電アンテナ 5 0 3 の制御を行うためのプログラムを搭載したプロセッサを用いることができる。移動体制御部 5 5 は、潜水艇の位置や姿勢を調整するモーターである。アンテナ

50

制御部 56 は、受電アンテナ 503 の姿勢を調整するモーターである。

【0060】

移動体バッテリー 504 はリチウムイオン二次電池などである。そして、移動体バッテリー 504 は、制御装置 51、移動体制御部 55 およびアンテナ制御部 56 に接続され、それらを駆動させるために用いられる。この他にも、潜水艇である移動体 57 は海底地形を探查するための図示しない電子機器を種々備えている。

【0061】

次に、本実施形態における制御装置 51 の動作および送電アンテナを備えた母船 50 の動作により実現される無線電力伝送システムの動作について説明する。ここで、環境変動として、海中で発生する潮流または浮力等によって移動体 57 の位置が変動する場合を本実施形態では想定する。なお、母船 50 は大型船であって揺れが少なく、海上において位置変動は殆ど起こらないと考えることができる。そのため、送受電アンテナ間の位置変動については、もっぱら移動体 57 側の位置変動を考慮すれば足りる。以上のように、移動体の位置が変動する場合において、その変動を補償するような制御装置 51 の動作および制御装置 51 の動作によって実現される安定した無線電力伝送について以下説明していく。

【0062】

まず、移動体 57 が母船 50 に接近し、送電アンテナ 502 から受電アンテナ 503 への無線電力伝送が開始される。電力伝送開始と同時に、その開始合図および無線電力伝送に用いられる周波数または出力等の情報が、図示しない海中音響通信システムによって、母船 50 から制御装置 51 に伝達される。次に、データ収集部 52 であるジャイロセンサが、移動体 57 の揺れ情報を取得する。次に、この揺れ情報が、データ予測部 53 に送信される。次に、データ予測部 53 が、移動体 57 の揺れ情報および現在地情報を基に、将来の揺れ情報を推定する。なお、移動体 57 の現在地は、着水時の位置情報およびジャイロセンサ等による加速度または速度情報を基に精度よく特定できる。

【0063】

ここで、データ予測部 53 では、将来の揺れ情報を推定するため、外挿法やフーリエ変換による周波数解析等の方法が用いられる。次に、推定された将来の揺れ情報および母船 50 から送信された情報を基に、制御パラメータ、すなわち、受電アンテナの調整角度および潜水艇の位置を調整するためのモーターのトルク等が決定される。次に、これらの制御パラメータが、パラメータ制御部 54 に送信される。次に、パラメータ制御部 54 は、データ予測部 53 で推定された制御パラメータを基に、移動体制御部 55 およびアンテナ制御部 56 の一方または両方の制御を行う。このようにして、将来の揺れ情報に対応した移動体 57 および受電アンテナ 503 の位置や向きが調整が行われる。そして、これら一連の動作は、現在情報を更新しながら繰り返し実行される。

【0064】

また、データ予測部 53 は、推定された将来の揺れ情報および母船 50 から送信された情報を基に、将来に最適となる周波数および電力伝送効率の目標値を推定する。そして、この最適周波数および電力伝送効率の目標値を含む伝送情報は、図示しない海中音響通信システムを介して、制御装置 51 から母船 50 に伝達される。母船 50 内では、この伝達された目標値となるように、送電アンテナ 502 から出力される電力の周波数および伝送効率の制御が行われる。その後、無線電力伝送に用いられる周波数または出力等の実際値を含む伝送情報が、母船 50 から制御装置 51 に伝達される。そして、データ予測部 53 は、将来に最適となる目標値を推定する際の初期情報として、この伝達された実際値を利用する。このように目標値および実際値の伝達を相互に行いながら、これら一連の動作は無線電力伝送システムにおいて繰り返し実行される。

【0065】

(効果)

以上説明してきた動作によって、海中において移動体 57 の揺れが定常的かつ不規則に発生する環境下においても、その移動体 57 の揺れを予測して無線電力伝送を行うことが

10

20

30

40

50

できる。その結果、母船 50 から海水中の移動体 57 に安定的に無線電力伝送することが可能となる。本実施形態の無線電力伝送システムによれば、制御装置 51 が予測された将来の環境変動に対応した制御パラメータを用いて無線電力伝送を制御することができるので、移動体 57 への充電効率が向上する。その結果、充電に関わる時間を短くでき、海底地形探査効率を向上させることができるという効果を奏する。

【0066】

(第5の実施形態の変形例)

次に、図15乃至図18を用いて、第5の実施形態の変形例について説明する。図15は、本変形例にかかる無線電力伝送システムの構成を示す模式図である。なお、本変形例の無線電力伝送システムは、上述の第5の実施形態に記載の無線電力伝送システムの構成と同一であるため、その説明を省略する。

10

【0067】

次に、本変形例における制御装置 61 の動作および送電アンテナを備えた母船 60 の動作により実現される無線電力伝送システムの動作について説明する。ここで、環境変動として、海中で発生する潮流または浮力等によって移動体の位置が変動する場合を本実施形態では想定する。なお、母船 60 は大型船であって揺れが少なく、海上において位置変動は殆ど起こらないと考えることができる。そのため、送受電アンテナ間の位置変動については、移動体 67 側の位置変動を考慮すれば足りる。以上のように、移動体の位置が変動する場合において、その変動を補償するような制御装置 61 の動作および制御装置 61 の動作によって実現される安定した無線電力伝送について以下説明していく。

20

【0068】

まず、移動体 67 が母船 60 に接近し、送電アンテナ 602 から受電アンテナ 603 への無線電力伝送が開始される。電力伝送開始と同時に、その開始合図および無線電力伝送に用いられる周波数または出力等の情報が、図示しない海中音響通信システムによって、母船 60 から制御装置 61 に伝達される。次に、データ収集部 62 であるジャイロセンサが、移動体 67 の揺れ情報を取得する。次に、この揺れ情報が、データ予測部 63 に送信される。次に、データ予測部 63 が、移動体 67 の揺れ情報および現在地情報を基に、将来の揺れ情報を推定する。データ予測部 63 では、将来の揺れ情報を推定するため、外挿法やフーリエ変換による周波数解析等の方法が用いられる。ここで、前記データ予測部 63 が予測した揺れ情報 (x) は、時間の関数であり、以下の式(1)で表される。

30

【0069】

$$x = f(t) \cdots \text{式}(1)$$

すなわち、データ予測部 63 は、将来の揺れ情報を推定し、上記式(1)に表される予測関数を作成する。なお、本実施例においては、xを送電アンテナと受電アンテナの相対距離、として説明を行うが、xはこれに限定されるものではなく、媒質の導電率や誘電率等の種々のパラメータであっても良い。

【0070】

次に、データ予測部 63 は、前記作成した予測関数 $x = f(t)$ を、あらかじめデータ予測部 63 に格納されている予測制御関数 $y = g(x)$ に代入し、制御パラメータを決定する。

40

【0071】

ここで、予測制御関数について説明する。予測制御関数は、予測関数 $x = f(t)$ に基づき、制御パラメータ(周波数や負荷)を決定するための関数である。上述したとおり揺れ情報 x は、時間の関数であり、 $x = f(t)$ と表される。この x は時間変動するが、各時間において、給電に最適な周波数や、最適なインピーダンスは異なる。図16Aは、送電アンテナと受電アンテナ間の距離と最適周波数の関係の一例を示したグラフである。また、図16Bは、送電アンテナと受電アンテナ間の距離と最適負荷の関係の一例を示したグラフである。図16A及び図16Bで示したように、送電アンテナと受電アンテナ間の距離に応じて、最適な周波数や最適な負荷が異なっている。したがって、時間に応じて変化する x に対して、最適な制御パラメータ(周波数やインピーダンス)を選ぶ必要がある

50

。図17Aは、海中無線給電用アンテナ間の離間距離と最適周波数の関係を表す近似式を示したグラフである。図17Bは、海中無線給電用アンテナ間の離間距離と最適負荷の関係を表す近似式を示したグラフである。この近似式は、 x に対して最適な周波数、または、負荷を y で表している。すなわち、前述の $x = f(t)$ を用いて、制御パラメータ y は、

$$y = g(x) = g(f(t)) \cdots \text{式(2)}$$

と表すことができる。この式を用いることで、予測した x に応じた最適な制御パラメータ y を決定することができる。

【0072】

次に、パラメータ制御部64は、データ予測部63で推定された制御パラメータ y を基に、アンテナ制御部66の制御を行う。このようにして、将来の揺れ情報 x に対応した周波数や負荷の調整が行われる。そして、これら一連の動作は、現在情報を更新しながら繰り返し実行される。以上、第五の実施形態の変形例の動作フローの一例を図18に示す。

【0073】

以上、実施形態（及び実施例）を参照して本願発明を説明したが、本願発明は上記実施形態（及び実施例）に限定されるものではない。本願発明の構成や詳細には、本願発明のスコープ内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。

【0074】

この出願は、2014年1月29日に出願された日本出願特願2014-013892を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

【符号の説明】

【0075】

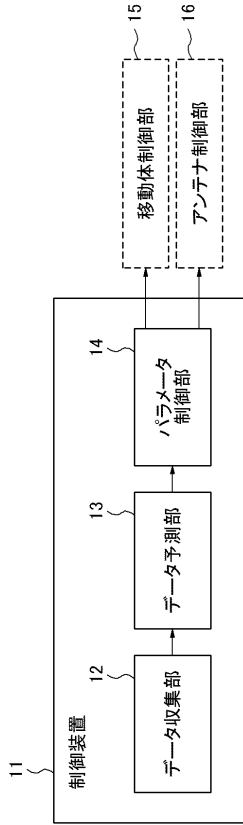
11、21、31、41、51	制御装置	
12、22、32、42、52	データ収集部	
13、23、33、43、53	データ予測部	
14、24、34、44、54	パラメータ制御部	
15、25、35、45、55	移動体制御部	
16、26、36、46、56、66	アンテナ制御部	
17、27、37、47、57	移動体	
50	母船	
221、222、223、321、322、323、421、422、423	センサ	
351、352、353、451、452、453	姿勢制御部	
361、461	負荷制御部	
362、462	周波数制御部	
503	受電アンテナ	
502	送電アンテナ	
504	移動体バッテリー	

10

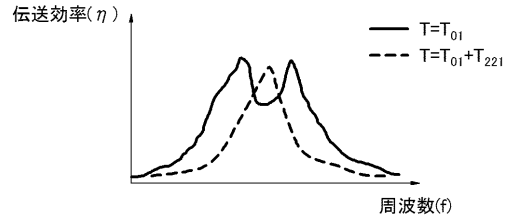
20

30

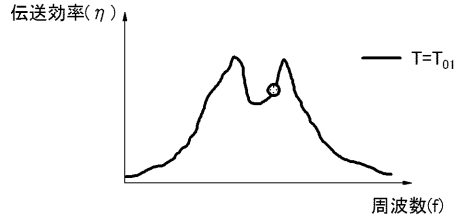
【図1】



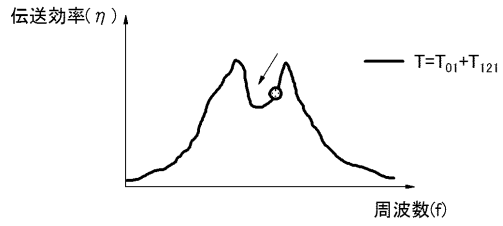
【図2】



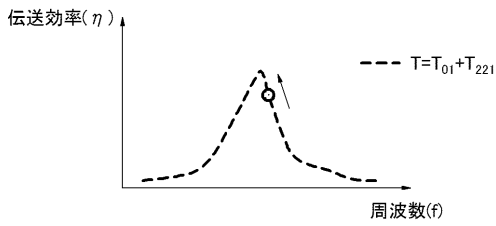
【図3A】



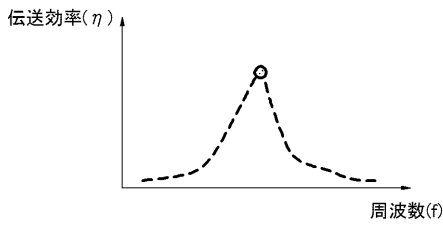
【図3B】



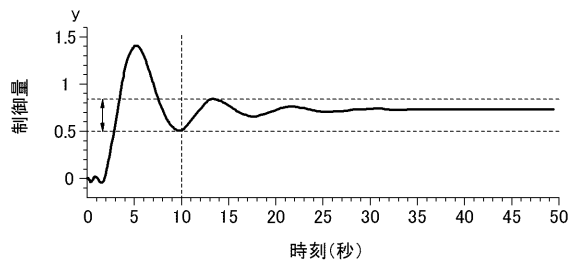
【図3C】



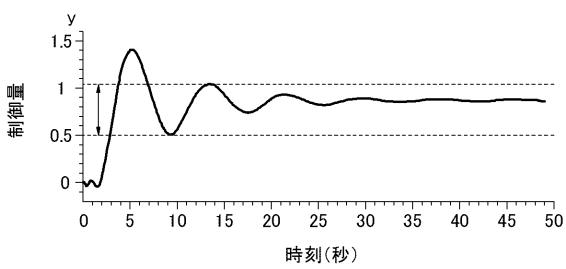
【図3D】



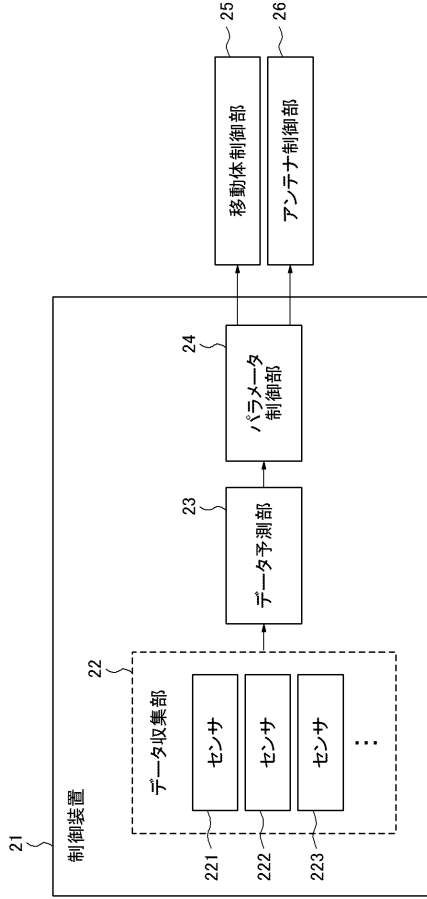
【図4B】



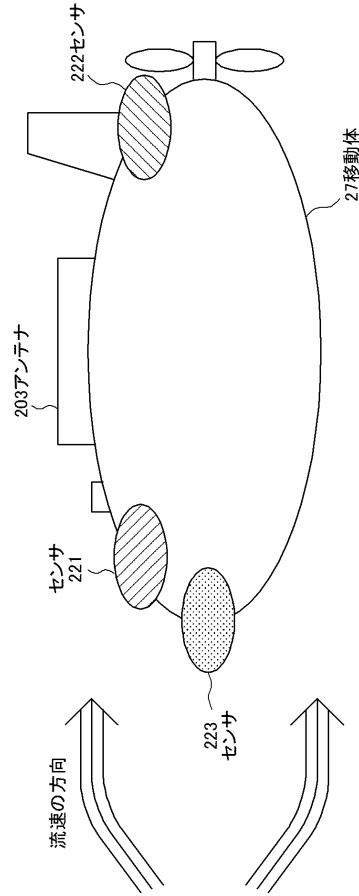
【図4A】



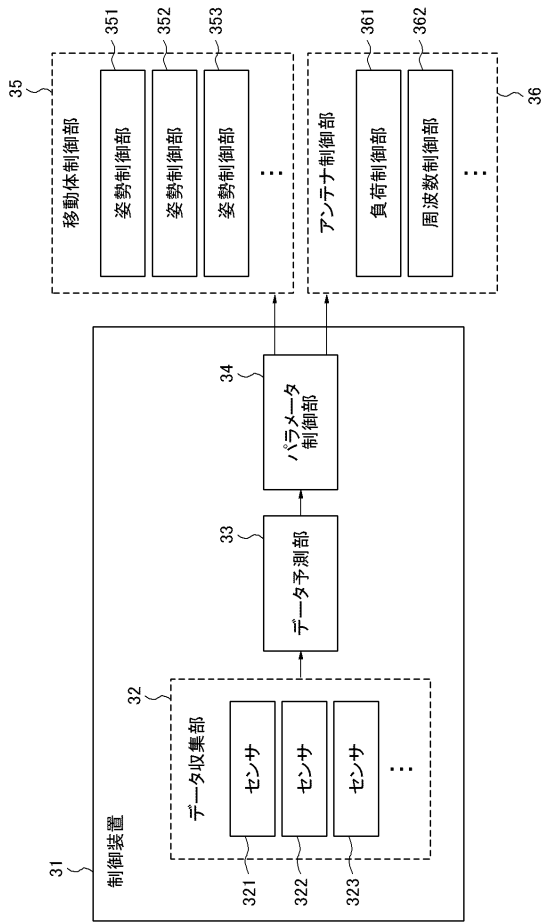
【図5】



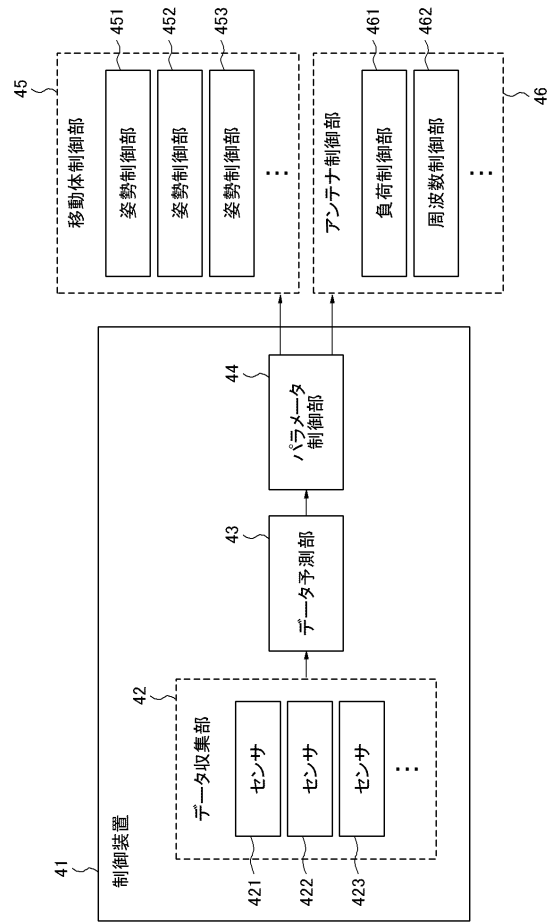
【図6】



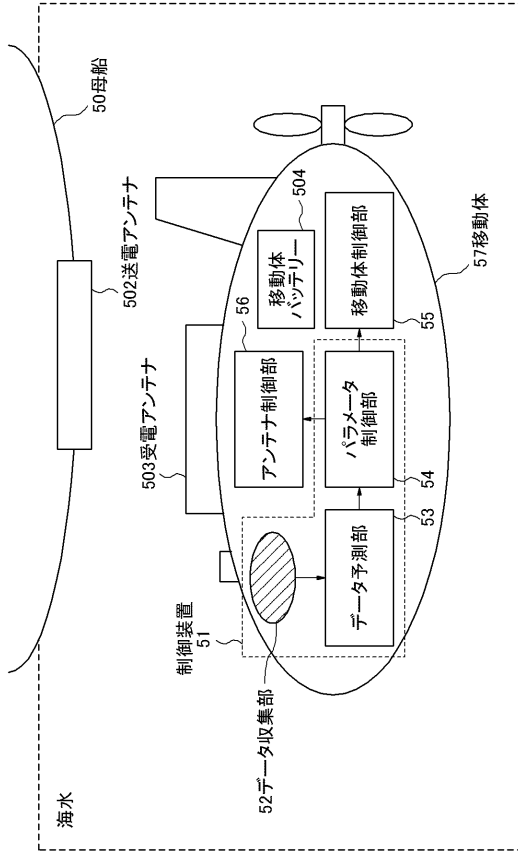
【図7】



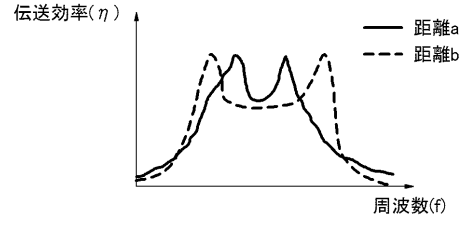
【図8】



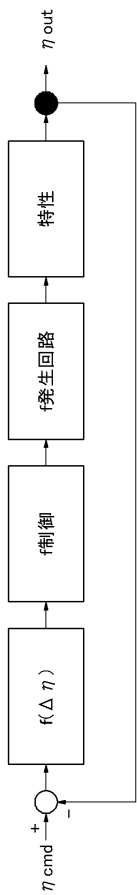
【図9】



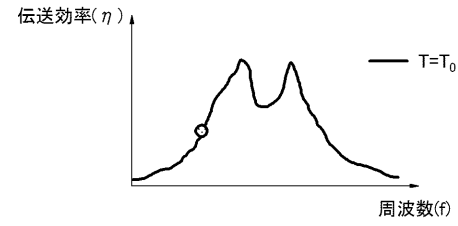
【図10】



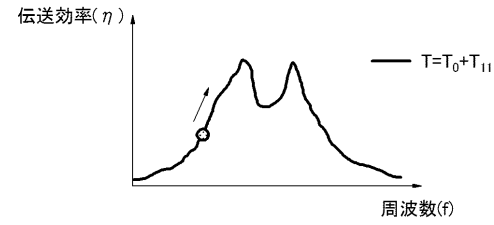
【図11】



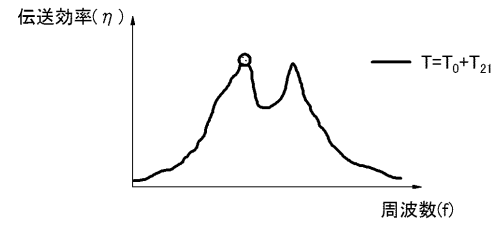
【図12A】



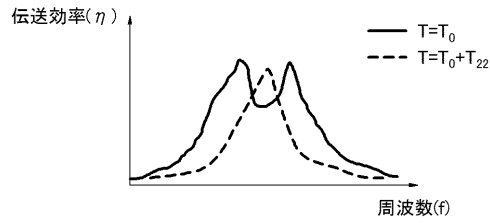
【図12B】



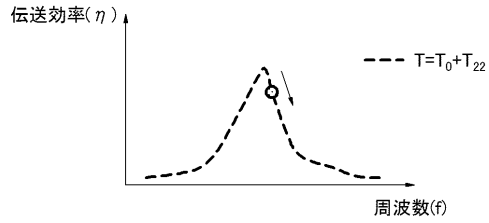
【図12C】



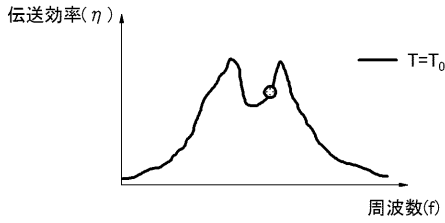
【図13】



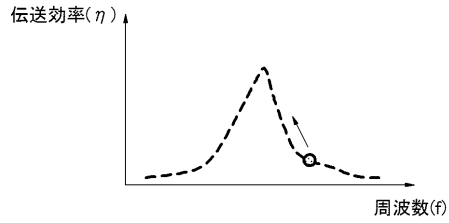
【図14C】



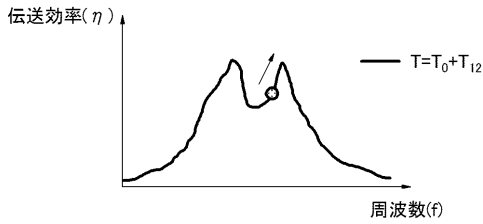
【図14A】



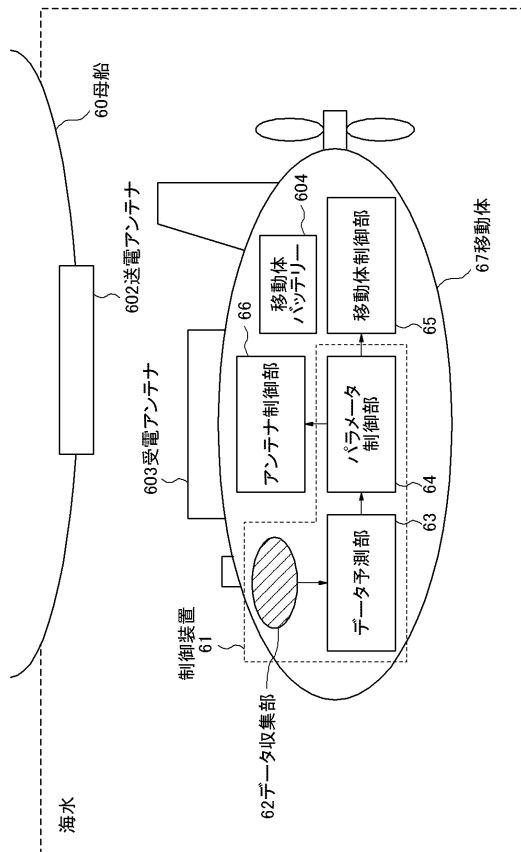
【図14D】



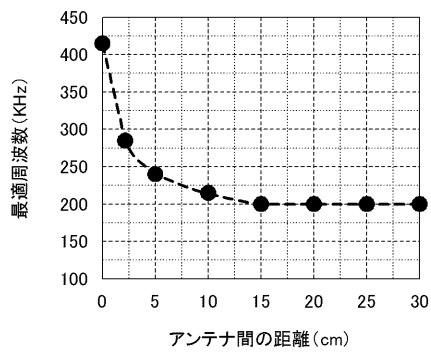
【図14B】



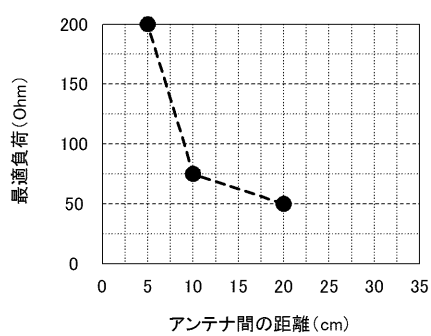
【図15】



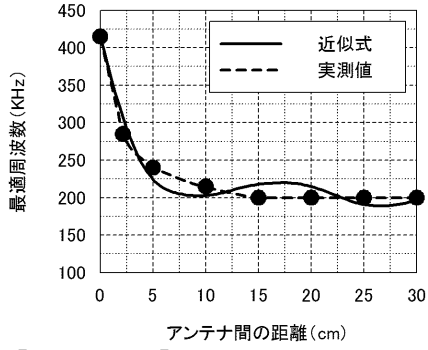
【図16A】



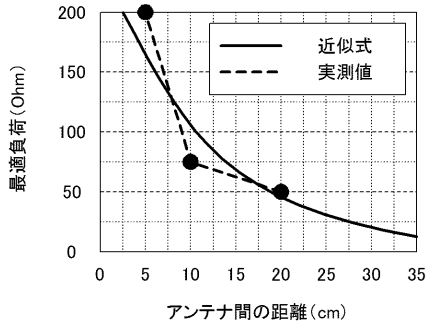
【図16B】



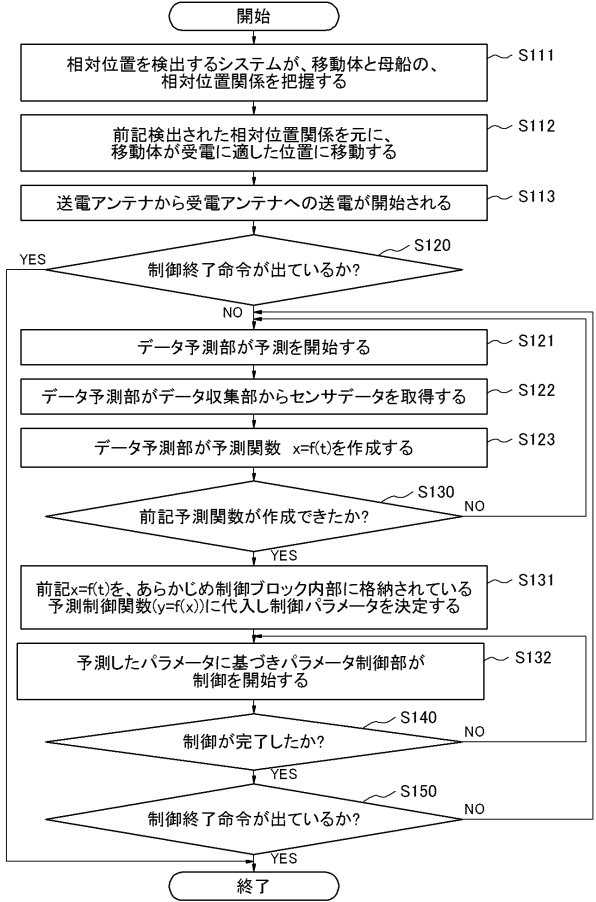
【図17A】



【図17B】



【図18】



フロントページの続き

(72)発明者 静野 薫

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

審査官 坂東 博司

(56)参考文献 特開2013-219972(JP,A)
特開2008-283791(JP,A)
特開2012-191721(JP,A)
特開2012-130173(JP,A)
特開2010-252497(JP,A)
特表2015-502726(JP,A)
国際公開第2013/085030(WO,A1)
国際公開第2013/059441(WO,A1)
国際公開第2013/015416(WO,A1)
特開2010-011696(JP,A)
特開2012-244844(JP,A)
特開2012-222975(JP,A)
特開2015-056954(JP,A)
特開平02-092032(JP,A)
特開2011-097819(JP,A)
米国特許出願公開第2014/0015333(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02J 50/12
H02J 7/00
H02J 50/80