

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2020-79786  
(P2020-79786A)

(43) 公開日 令和2年5月28日(2020.5.28)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 R 29/08 (2006.01)	GO 1 R 29/08	B
GO 1 R 29/10 (2006.01)	GO 1 R 29/10	Z
HO 2 J 50/20 (2016.01)	GO 1 R 29/10	A
	HO 2 J 50/20	

審査請求 有 請求項の数 1 O L (全 60 頁)

(21) 出願番号	特願2019-184509 (P2019-184509)	(71) 出願人	000006013 三菱電機株式会社
(22) 出願日	令和1年10月7日(2019.10.7)		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(62) 分割の表示	特願2018-209637 (P2018-209637) の分割	(74) 代理人	100108431 弁理士 村上 加奈子
原出願日	平成30年4月10日(2018.4.10)	(74) 代理人	100153176 弁理士 松井 重明
(31) 優先権主張番号	PCT/JP2018/014265	(74) 代理人	100109612 弁理士 倉谷 泰孝
(32) 優先日	平成30年4月3日(2018.4.3)	(72) 発明者	本間 幸洋 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三 菱電機株式会社内
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(72) 発明者	佐藤 真帆 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三 菱電機株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2017-105269 (P2017-105269)		
(32) 優先日	平成29年5月29日(2017.5.29)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

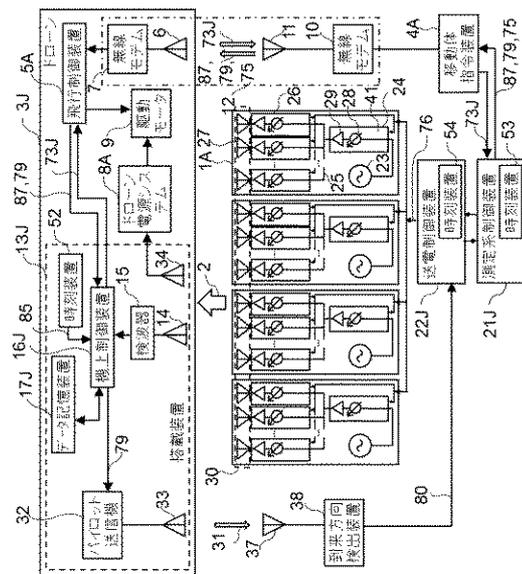
(54) 【発明の名称】 電波測定システム

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】ドローンなどの空中移動体を用いて、高精度にアンテナが放射する電波を測定する電波計測システムを提供する。

【解決手段】無線送電装置による空中移動体への送電システムであって、上空方向に電波2を放射している送電アンテナ30の上空で移動または静止する空中移動体3Jと、空中移動体3Jの時刻付きの位置を測定する位置測定部と、を備える。空中移動体3Jには、電波2を受信する計測用アンテナ14および受電アンテナ34と、計測用アンテナ14が受信する電波2の振幅および位相の何れか少なくとも一つを含む時刻付きの受信電波データを計測する電波計測部15とが搭載されている。受電アンテナ34が受信した電波2から得られる電力を、空中移動体および電波計測部15の何れか少なくとも一つが利用する。

【選択図】 図26



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

上空方向に電波を放射している被計測アンテナの上空で移動または静止する空中移動体と、

地上に設置されて、前記空中移動体の位置を測定し、前記空中移動体の位置を表す計測点データを生成する位置測定部と、

地上に設置されて、時刻データを出力する地上時刻装置と、

前記計測点データを生成した時点の前記地上時刻装置が出力する時刻データを前記計測点データに付加して時刻付計測点データを生成する計測点データ時刻付加部と、

前記空中移動体に搭載されて、前記電波を受信する計測用アンテナと、

前記空中移動体に搭載されて、前記計測用アンテナが受信する前記電波の振幅および位相の何れか少なくとも一つを含む受信電波データを計測する電波計測部と、

前記空中移動体に搭載されて、前記地上時刻装置と同期が取れた時刻データを出力する移動体時刻装置と、

前記空中移動体に搭載されて、前記受信電波データが計測された時点で前記移動体時刻装置が出力する時刻データを前記受信電波データに付加して時刻付受信電波データを生成する受信電波データ時刻付加部と、

前記時刻付受信電波データおよび前記時刻付計測点データに付加された時刻データから判断した前記受信電波データを計測した時点での前記計測点データを前記被計測アンテナに対する相対的な位置として表した電波源相対位置データと、前記受信電波データを含む放射電波データを生成する放射電波データ生成部とを備え、

前記被計測アンテナが、放射する前記電波で電力を送電する送電アンテナであり、

前記電波を受信する前記空中移動体に搭載された受電アンテナをさらに備え、

前記受電アンテナが受信した前記電波から得られる電力を、前記空中移動体および前記電波計測部の何れか少なくとも一つが利用する、電波測定システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

この発明は、アンテナが放射する電波を計測する電波測定システムに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

複数の素子アンテナから放射されるマイクロ波を制御することにより送電マイクロ波ビームの方向を制御して送電するシステムが開発されている（非特許文献 1 参照）。このシステムは、マイクロ波などの周波数帯域の電波を用いて遠方に電力を送電することを目的として開発されている。このシステムでは、ビーム制御には振幅モノパルス法と素子電界ベクトル回転法（Rotating Element Electric Field Vector (REV) Method、REV 法）

とを用いている。振幅モノパルス法と REV 法とを用いることで、マイクロ波を用いた高効率な無線電力伝送が実現されている。受電側から送電マイクロ波の送信方向をガイドするパイロット信号を送信し、振幅モノパルス法によりパイロット信号の到来方向を各送電パネルで検知し、その方向にマイクロ波を放射する。REV 法により、各送電パネル間の段差に相当する光路長を検知して補正する。送電するマイクロ波のビーム方向や放射パターンは、モニタアンテナを 2 次元に移動可能な XY スキャナーに取り付けて、電波が放射されるエリアをスキャンすることで測定されている。

## 【0003】

水中環境下で移動体に給電する給電システムとして、給電される移動体を電磁界エネルギーが大きくなる方向に導いて無線給電を受ける給電位置に誘導する技術が提案されている（特許文献 1 参照）。特許文献 1 では、送電のためのアンテナを通信にも使用することが提案されている。特許文献 1 の図 11 では送信アンテナ 11-1 の中に通信機能 150 があり、図 12 では受信アンテナ 21-1 の中に通信機能 250 があるように書かれている。しかし、送電のためのアンテナを通信にも使用する具体的な構成は、特許文献 1 には

記述されていない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2016-127678

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】牧野克省他：“SSPSの実現に向けた高精度マイクロ波ビーム方向制御装置の開発とその技術実証試験”，電子情報通信学会技報，SANE 2015 22, pp.37 42, June 2015.

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

電波が反射する環境では、マルチパスの影響がある。そのため、アンテナの放射パターンを高い精度で測定することは難しい。また、高精度なアンテナ放射パターンを測定する場合は、電波が反射しにくい電波暗室の環境で測定される。しかし、電波暗室の環境においても、少ないながらもマルチパスの影響を受ける。そのため、必要な精度で測定できないことがある。また、空中移動体に送電する無線送電装置において、空中移動体が存在する方向に高精度に電波を放射できず、無線送電の効率が低下するという課題がある。

【0007】

20

本発明は、上記のような問題を解決するために、ドローンなどの空中移動体を用いて、高精度にアンテナが放射する電波を測定する電波計測システムを得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

この発明に係る電波測定システムは、上空方向に電波を放射している被計測アンテナの上空で移動または静止する空中移動体と、地上に設置されて、空中移動体の位置を測定し、空中移動体の位置を表す計測点データを生成する位置測定部と、地上に設置されて、時刻データを出力する地上時刻装置と、計測点データを生成した時点の地上時刻装置が出力する時刻データを計測点データに付加して時刻付計測点データを生成する計測点データ時刻付加部と、空中移動体に搭載されて、電波を受信する計測用アンテナと、空中移動体に搭載されて、計測用アンテナが受信する電波の振幅および位相の何れか少なくとも一つを含む受信電波データを計測する電波計測部と、空中移動体に搭載されて、地上時刻装置と同期が取れた時刻データを出力する移動体時刻装置と、空中移動体に搭載されて、受信電波データが計測された時点に移動体時刻装置が出力する時刻データを受信電波データに付加して時刻付受信電波データを生成する受信電波データ時刻付加部と、時刻付受信電波データおよび時刻付計測点データに付加された時刻データから判断した受信電波データを計測した時点での計測点データを被計測アンテナに対する相対的な位置として表した電波源相対位置データと、受信電波データとを含む放射電波データを生成する放射電波データ生成部とを備える。

30

被計測アンテナが、放射する電波で電力を送電する送電アンテナであり、電波を受信する空中移動体に搭載された受電アンテナをさらに備え、受電アンテナが受信した電波から得られる電力を、空中移動体および電波計測部の何れか少なくとも一つが利用する。

40

【発明の効果】

【0009】

この発明に係る電波測定システムによれば、高精度に被計測アンテナが放射する電波を測定できる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】この発明の実施の形態1に係る空中移動体を用いた電波測定システムの概念図である。

50

【図 2】実施の形態 1 に係る空中移動体を用いた電波測定システムの構成図である。

【図 3】実施の形態 1 に係る電波計測システムを構成する空中移動体の電源システムの構成を説明するブロック図である。

【図 4】実施の形態 1 に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの電波の放射パターンを測定する手順を説明するフローチャートである。

【図 5】実施の形態 1 に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの電波の放射パターンを測定する別の手順を説明するフローチャートである。

【図 6】この発明の実施の形態 2 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムの概念図である。

【図 7】実施の形態 2 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成図である。

10

【図 8】実施の形態 2 に係る無線送電装置により送電される電力を受電する空中移動体の電源システムの構成を説明するブロック図である。

【図 9】実施の形態 2 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電手順を説明するフローチャートである。

【図 10】この発明の実施の形態 3 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成図である。

【図 11】実施の形態 3 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電手順を説明するフローチャートである。

【図 12】この発明の実施の形態 4 に係る空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成図である。

20

【図 13】実施の形態 4 に係る空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置による空中移動体への送電システムにおいて無線送電装置による空中移動体への送電システムでの電波の放射パターンを測定する手順を説明するフローチャートである。

【図 14】この発明の実施の形態 5 に係る空中移動体を用いた電波測定システムの構成図である。

【図 15】実施の形態 5 に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの電波の放射パターンを測定する手順を説明するフローチャートである。

【図 16】この発明の実施の形態 6 に係る空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成図である。

30

【図 17】実施の形態 6 に係る空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置により送電される電力を受電する空中移動体の電源システムの構成を説明するブロック図である。

【図 18】この発明の実施の形態 7 に係る空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成図である。

【図 19】この発明の実施の形態 8 に係る空中移動体を用いた電波測定システムの概念図である。

【図 20】実施の形態 8 に係る空中移動体を用いた電波測定システムの構成図である。

【図 21】実施の形態 8 に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの電波の放射パターンを測定する手順を説明するフローチャートである。

40

【図 22】この発明の実施の形態 9 に係る空中移動体を用いた電波測定システムの構成図である。

【図 23】実施の形態 9 に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの測定系制御装置および機上制御装置の内部構成を説明する図である。

【図 24】実施の形態 9 に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの電波の放射パターンを測定する手順を説明するフローチャートである。

【図 25】実施の形態 9 に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの電波の放射パターンを測定する別の手順を説明するフローチャートである。

【図 26】この発明の実施の形態 10 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成図である。

50

【図 27】実施の形態 10 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電制御装置および機上制御装置の内部構成を説明する図である。

【図 28】実施の形態 10 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電手順を説明するフローチャートである。

【図 29】実施の形態 10 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムで REV 法により各素子アンテナが放射する電波の素子電界ベクトルを計算する手順を説明するフローチャートである。

【図 30】この発明の実施の形態 11 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成図である。

【図 31】実施の形態 11 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電制御装置および機上制御装置の内部構成を説明する図である。

【図 32】実施の形態 11 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電手順を説明するフローチャートである。

【図 33】この発明の実施の形態 12 に係る空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成図である。

【図 34】実施の形態 12 に係る空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置による空中移動体への送電システムにおいて無線送電装置による空中移動体への送電システムでの電波の放射パターンを測定する手順を説明するフローチャートである。

【図 35】この発明の実施の形態 13 に係る空中移動体を用いた電波測定システムの構成図である。

【図 36】実施の形態 13 に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの測定系制御装置および機上制御装置の内部構成を説明する図である。

【図 37】実施の形態 13 に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの電波の放射パターンを測定する手順を説明するフローチャートである。

【図 38】この発明の実施の形態 14 に係る空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成図である。

【図 39】実施の形態 14 に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの測定系制御装置および機上制御装置の内部構成を説明する図である。

【図 40】実施の形態 14 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電制御装置および機上制御装置の内部構成を説明する図である。

【図 41】この発明の実施の形態 15 に係る空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成図である。

【図 42】実施の形態 15 に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの測定系制御装置および機上制御装置の内部構成を説明する図である。

【図 43】この発明の実施の形態 16 に係る空中移動体を用いた電波測定システムの構成図である。

【図 44】実施の形態 16 に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの測定系制御装置および機上制御装置の内部構成を説明する図である。

【図 45】実施の形態 16 に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの電波の放射パターンを測定する手順を説明するフローチャートである。

【図 46】実施の形態 17 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電制御装置および機上制御装置の内部構成を説明する図である。

【図 47】実施の形態 17 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電手順を説明するフローチャートである。

【図 48】実施の形態 18 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電制御装置および機上制御装置の内部構成を説明する図である。

【図 49】実施の形態 18 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電手順を説明するフローチャートである。

【図 50】実施の形態 18 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムで REV 法により各素子アンテナが放射する電波の素子電界ベクトルを計算する手順を説明する

10

20

30

40

50

フローチャートである。

【図 5 1】実施の形態 19 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電制御装置および機上制御装置の内部構成を説明する図である。

【図 5 2】実施の形態 19 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電手順を説明するフローチャートである。

【図 5 3】実施の形態 19 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムで REV 法により各素子アンテナが放射する電波の素子電界ベクトルを計算する手順を説明するフローチャートである。

【図 5 4】実施の形態 20 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電制御装置および機上制御装置の内部構成を説明する図である。

10

【図 5 5】実施の形態 20 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電手順を説明するフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0011】

実施の形態 1 .

実施の形態 1 に係る電波測定システムの構成について、図 1 と図 2 を用いて説明する。図 1 は、この発明の実施の形態 1 に係る空中移動体を用いた電波測定システムの概念図である。図 2 は、実施の形態 1 に係る空中移動体を用いた電波測定システムの構成図である。空中移動体を用いた電波測定システムによる無線送電装置が放射する電波の測定は、屋外などの電波環境の良い場所で実施される。

20

【0012】

複数（図 1 の例では 4 台）の送電装置 1 で、屋外で上空方向に送電電波 2 を放射する。送電装置 1 は、放射する電波により電力を送電する送電アンテナを有する無線送電装置である。送電装置 1 の上空の空間に形成される送電電波 2 による電界および磁界の 2 次元および 3 次元の強度分布（放射パターン、電波の形状またはビーム形状と呼ぶ）は、ドローン 3 を使用して計測する。なお、ドローンとは、遠隔操作や自動制御によって飛行（空中移動）できる無人航空機の総称である。ドローン 3 は、人またはコンピュータにより移動体指令装置 4 を介して制御される。

【0013】

ドローン 3 は、飛行制御装置 5、機上通信アンテナ 6、無線モデム 7、ドローン電源システム 8 を有する。飛行制御装置 5 は、空中を移動または静止するためにドローン 3 が有する機構を制御する。機上通信アンテナ 6 は、通信のための電波を送信および受信する。無線モデム 7 は、機上通信アンテナ 6 を使用して通信する。ドローン電源システム 8 は、ドローン 3 が飛行、通信および電波のビーム形状を計測する際に使用する電力を管理する。ドローン 3 が空中を移動または静止するための機構を代表するものとして、図には動力源となる駆動モータ 9 を表示する。移動体指令装置 4 は、ドローン 3 と通信できるように、無線モデム 10 および通信アンテナ 11 を有する。これらの装置は、ドローン 3 および移動体指令装置 4 が通常は備えるものである。移動体指令装置 4 が有する無線モデム 10 および通信アンテナ 11 と、ドローン 3 が有する機上通信アンテナ 6 および無線モデム 7 とは、移動体通信系 12 を構成する。移動体通信系 12 により、ドローン 3 は制御される。

30

40

【0014】

さらに、ドローン 3 には、送電電波 2 が形成するビーム形状を表すビーム形状データ 71 を計測するための搭載装置 13 が搭載されている。搭載装置 13 は、モニタアンテナ 14、検波器 15、機上制御装置 16、およびデータ記憶装置 17 を有する。モニタアンテナ 14 は、送電電波 2 を受信する。モニタアンテナ 14 は、送電装置 1 が放射する電波を受信する計測用アンテナである。検波器 15 は、モニタアンテナ 14 が受信した電波を検波して電波の位相や振幅を計測する。機上制御装置 16 は、検波器 15 を制御し測定した検波データ 73 を管理する。データ記憶装置 17 は、検波データ 73 などを記憶する記憶装置である。搭載装置に含まれる機器や装置および機上制御装置で実行される処理を表す

50

機能部などは、ドローンに搭載される。

【 0 0 1 5 】

検波器 1 5 で検波データ 7 3 を計測するなどのための計測コマンド 7 2 は、移動体指令装置 4 から移動体通信系 1 2 および飛行制御装置 5 を介して、機上制御装置 1 6 に送られる。機上制御装置 1 6 は、計測コマンド 7 2 による指示にしたがって検波器 1 5 を制御する。

【 0 0 1 6 】

検波データ 7 3 には、送電電波 2 の振幅および位相のどちらか一方または両方が少なくとも含まれる。検波データ 7 3 は、モニタアンテナ 1 4 が受信する送電電波 2 の振幅および位相を含む受信電波データである。検波器 1 5 は、受信電波データを計測する電波計測部である。

10

【 0 0 1 7 】

機上制御装置 1 6 と飛行制御装置 5 の間は有線または近距離無線で結ばれ、双方向にデータおよびコマンドの送受が可能である。ドローン 3 には、ドローン 3 の位置を測位する G P S (Global Positioning System) 受信機などの測位センサ 1 8 が備えられる。測位センサ 1 8 が計測した位置データ 7 4 は、飛行制御装置 5 を介して機上制御装置 1 6 に送られる。検波データ 7 3 は、検波データ 7 3 を計測した時点すなわち電波を受信した時点のドローン 3 の位置を表す位置データ 7 4 と組にした位置付検波データ 7 0 を含む測定データ 7 7 が、データ記憶装置 1 7 に記憶される。位置データ 7 4 は、検波データ 7 3 を計測した時点のドローン 3 の位置である計測点データである。位置付検波データ 7 0 を、電波測定データとも呼ぶ。データ記憶装置 1 7 に記憶された測定データ 7 7 は、ドローン 3 が着陸した後に、測定系制御装置 2 1 に入力される。

20

【 0 0 1 8 】

測定データ 7 7 は、移動体通信系 1 2 を介して測定系制御装置 2 1 に送信されてもよい。図 2 では、移動体通信系 1 2 を介して測定系制御装置 2 1 に送信される測定データ 7 7 などのデータの流れも示している。

【 0 0 1 9 】

移動体指令装置 4 は、計測コマンド 7 2 および飛行コマンド 7 5 を、移動体通信系 1 2 によりドローン 3 に向けて送信する。計測コマンド 7 2 は、搭載装置 1 3 を制御するコマンドである。飛行コマンド 7 5 は、ドローン 3 の飛行を制御するためのコマンドである。コマンドとは、機器がどのように動作するかを指示する指令である。コマンドを受信した機器あるいはその制御装置は、コマンドから制御信号を生成し、制御信号により機器を制御する。

30

【 0 0 2 0 】

図 3 を参照して、ドローン電源システム 8 の構成を説明する。図 3 は、実施の形態 1 に係る電波計測システムを構成する空中移動体の電源システムの構成を説明するブロック図である。ドローン電源システム 8 は、蓄電ユニット 1 9 と、負荷側コンバータ 2 0 a、2 0 b、2 0 c とを有する。蓄電ユニット 1 9 は、外部から供給された直流電力を貯蔵する。負荷側コンバータ 2 0 a、2 0 b、2 0 c は、蓄電ユニット 1 9 に貯蔵された直流電力を負荷設備が必要とする電圧に変換して負荷設備に給電する DC - DC コンバータである。負荷設備とは、搭載装置 1 3、飛行制御装置 5、無線モデム 7 および駆動モータ 9 などである。負荷側コンバータ 2 0 a は、変換した直流電力を搭載装置 1 3 に供給する。負荷側コンバータ 2 0 b は、変換した直流電力を飛行制御装置 5 および無線モデム 7 に給電する。負荷側コンバータ 2 0 c は、駆動モータ 9 に給電する。なお、搭載装置 1 3 に含まれる機器が複数の電源電圧を必要とする場合は、電圧ごとに複数の負荷側コンバータを設ける。飛行制御装置 5 および無線モデム 7 が異なる電源電圧が必要な場合は、それぞれ別の負荷側コンバータから給電する。また、例えば搭載装置 1 3 と無線モデム 7 が同じ電源電圧で使用される場合は、同じ負荷側コンバータから給電してもよい。ドローン 3 が飛行できなくなる確率を小さくするために、複数の駆動モータ 9 および複数の負荷側コンバータ 2 0 c を設けてもよい。

40

50

## 【 0 0 2 1 】

送電装置 1 が放射する送電電波 2 を計測する電波測定システムは、搭載装置 1 3 を搭載したドローン 3 と、ドローン 3 を制御する移動体指令装置 4 と、搭載装置 1 3 に含まれる電波測定用の機器を制御する測定系制御装置 2 1 とを有して構成される。

## 【 0 0 2 2 】

送電装置 1 は、送信信号生成部 2 3 と、1 個の初段モジュール 2 4 と、分配回路 2 5 と、複数の 2 段モジュール 2 6 と、2 段モジュール 2 6 ごとに設けられた素子アンテナ 2 7 を有する。送電制御装置 2 2 は送電制御信号 7 6 を送電装置 1 に送る。送電制御信号 7 6 により、送電装置 1 が送電するかどうか、どのようなビーム形状および方向に送電するかなどを制御する。送信信号生成部 2 3 は、各素子アンテナ 2 7 が電波として放射する決められた周波数の送信信号を生成する。送信信号生成部 2 3 が出力する送信信号は、初段モジュール 2 4 に入力される。初段モジュール 2 4 で増幅および位相を調整された送信信号は、分配回路 2 5 で分配されて 2 段モジュール 2 6 に入力される。2 段モジュール 2 6 で増幅および位相を調整された送信信号は、素子アンテナ 2 7 から送電電波 2 として空間に放射される。送信信号生成部 2 3、初段モジュール 2 4 および 2 段モジュール 2 6 は、送電制御信号 7 6 により制御される。初段モジュール 2 4 または 2 段モジュール 2 6 を、素子モジュールと呼ぶ。

## 【 0 0 2 3 】

初段モジュール 2 4 と 2 段モジュール 2 6 は、同じ構成である。初段モジュール 2 4 および 2 段モジュール 2 6 のそれぞれは、移相器 2 8 と、増幅器 2 9 とを有する。移相器 2 8 は、送信信号の位相を指令値だけ変化させる。移相器 2 8 は、位相の分解能を決めるビット数で決まる位相回転の刻み幅で離散的に位相を変化させる。例えば 5 ビット移相器の場合は、 $360^\circ / 2^5 = 11.25^\circ$  の刻み幅で位相を回転させる。移相器 2 8 は、連続的に位相を変化させるものでもよい。初段モジュール 2 4 の移相器 2 8 は、送電装置 1 に属する複数の素子アンテナ 2 7 の位相を一律に変更できる。増幅器 2 9 は、送信信号を増幅する。

## 【 0 0 2 4 】

1 個の送電装置 1 において、各素子アンテナ 2 7 はマトリクス状に配置されている。また、4 個の送電装置 1 は互いに隣接するようにマトリクス状に配置されている。したがって、すべての素子アンテナ 2 7 はマトリクス状に配置される。

## 【 0 0 2 5 】

1 個の送電装置 1 は、放射する電波の位相を制御できる複数の素子アンテナ 2 7 を有するフェーズドアレイアンテナである。また、4 個の送電装置 1 の集合を 1 個のフェーズドアレイアンテナ 3 0 と考えることもできる。この実施の形態 1 の電波計測システムでは、フェーズドアレイアンテナ 3 0 が放射する電波のビーム形状を計測する。つまり、フェーズドアレイアンテナ 3 0 が、ビーム形状を計測する対象となるアンテナである被計測アンテナである。1 個の送電装置 1 を送電ユニットと考え、複数の送電装置 1 の集合体を送電装置と考えることもできる。送電装置 1 は、複数の素子アンテナ 2 7 を複数のグループに分けた場合の 1 個のグループに対応する。

## 【 0 0 2 6 】

動作を説明する。図 4 は、実施の形態 1 に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの電波の放射パターンを測定する手順を説明するフローチャートである。ステップ S 0 1 で、ドローン 3 の移動パターンを決める。移動パターンとしては、送電電波 2 が放射される方向に垂直なカット面上で 2 次元的に走査するパターンとする。カット面を送電装置 1 からの距離が異なる複数の位置に設定して、3 次元的に電波を測定する。

## 【 0 0 2 7 】

ステップ S 0 2 で、飛行コマンド 7 5 を移動体通信系 1 2 によりドローン 3 に送り、ドローン 3 を移動パターン中の初期位置に移動させ、静止させる。ステップ S 0 3 で、送電装置 1 が送電を開始する。S 0 2 と S 0 3 を、入れ替えてもよい。

## 【 0 0 2 8 】

10

20

30

40

50

ステップS04で、移動体通信系12により伝えられた計測コマンド72に従い、モニタアンテナ14が受信する送電電波2の振幅および位相を含む検波データ73を測定する。同時に測位センサ18がドローン3の位置を測定する。ステップS05で、測定した検波データ73と位置データ74の組である位置付検波データ70を、データ記憶装置17に記憶させる。ステップS06で、検波データ73をまだ測定していない測定位置があるかどうかをチェックする。検波データ73を測定していない測定位置がある場合(S06でYES)は、ステップS07で、飛行コマンド75を移動体通信系12によりドローン3に送り、ドローン3を次の測定位置に移動させ静止させる。そして、ステップS04に戻る。

#### 【0029】

検波データ73を測定していない測定位置が存在しない場合(S06でNO)は、ドローン3を地上に着陸させる。具体的には、ステップS08で、飛行コマンド75を移動体通信系12によりドローン3に送り、ドローン3を地上で停止させ、その駆動モータ9を停止させる。ステップS09で、データ記憶装置17から位置付検波データ70を取得し、測定系制御装置21に入力する。測定系制御装置21では、ステップS10で送電装置1を基準とする相対位置データ78に、位置データ74を変換する。ステップS11で、検波データ73を相対位置データ78に対応付けたビーム形状データ71を生成する。図4に示すフローチャートでのドローン3の動作は、蓄電ユニット19に貯蔵された電力を使用することでなされる。なお、地上とは地面の上だけでなく、ビルや塔などの地上に設置された構造物の上も含む。

#### 【0030】

ドローン3がカット面上を2次元的に走査するので、送電電波2の2次元の放射パターン(ビーム形状)を高精度に測定できる。さらに、ドローン3が垂直方向の高度を変えて送電電波2を測定することで、3次元的な送電電波2の放射パターンを測定できる。

#### 【0031】

送電装置1を基準とする相対位置に変換した位置データ74を、相対位置データ78と呼ぶ。相対位置データ78は、位置データ74を送電装置1に対する相対的な位置として表した電波源相対位置データである。ビーム形状データ71は、検波データ73と電波源相対位置データとを含む放射電波データである。測定系制御装置21は、放射電波データを生成する放射電波データ生成部である。測定系制御装置21が、放射電波データ生成部を有すると考えてもよい。他の装置が放射電波データ生成部である場合も、他の装置が放射電波データ生成部を有すると考えてもよい。

#### 【0032】

ドローン3の送電装置1に対する相対的な位置を計算するために、予め測位センサ18が測位する緯度、経度、高度などの座標系での送電装置1の位置を測定して、記憶しておく。記憶した送電装置1の位置をドローン3の位置データ74から減算することで、相対位置データ78を生成する。送電装置1にも測位センサを設けて、測位センサの計測値を減算することで相対位置を計算してもよい。

#### 【0033】

機上制御装置、データ記憶装置あるいは他の処理装置に送電装置の位置を記憶させておき、機上制御装置あるいは他の処理装置で、位置データを相対位置データに変換してもよい。そして、機上制御装置あるいは他の処理装置で検波データと相対位置データとを含む放射電波データを作成してもよい。その場合には、機上制御装置あるいは他の処理装置が放射電波データ生成部になる。機上制御装置で放射電波データを作成する場合には、以下のようなになる。予め測定した送電装置1の位置をドローン3が有する記憶装置に記憶しておく。機上制御装置で、位置データ74を相対位置データ78に変換し、検波データ73を相対位置データ78に対応付けたビーム形状データ71Aを生成する。ビーム形状データ71Aは、同じ時刻の検波データ73と相対位置データ78とを組合せた位置付検波データ70Aでもある。位置付検波データ70Aを、電波測定データとも呼ぶ。

#### 【0034】

10

20

30

40

50

電波測定システムでは、送電装置 1 から送電電波 2 を上空に向けて放射する。電波測定システムは、空中移動体であるドローン 3 を使用して、送電装置 1 の上空での送電電波 2 のビーム形状データ 7 1 を測定する。そうすることで、反射の影響を少なくして送電装置 1 の送電電波 2 のビーム形状データ 7 1 を精度よく測定できる。

【 0 0 3 5 】

図 4 では、ドローン 3 を静止させて検波データ 7 3 を計測したが、移動させながら検波データ 7 3 を計測してもよい。ドローン 3 をどのように飛行または静止するかを移動体指令装置 4 から飛行コマンド 7 5 を送信して制御したが、ドローン 3 に記憶させたプログラムにしたがって動作することでドローン 3 が自律的に飛行または静止するようにしてもよい。ドローン 3 に記憶されるプログラムは、ドローン 3 が決められた飛行ルートを飛行および静止するようにするプログラムである。

10

【 0 0 3 6 】

位置付検波データ 7 0 を含む測定データ 7 7 を、ドローン 3 が飛行中に通信で測定系制御装置 2 1 に送信するようにしてもよい。その場合の手順を説明するフローチャートを図 5 に示す。

【 0 0 3 7 】

図 5 について、図 4 とは異なる点を説明する。ステップ S 0 5 A で、測定した位置付検波データ 7 0 を含む測定データ 7 7 は、機上制御装置 1 6 から飛行制御装置 5 に送られる。さらに測定データ 7 7 は、移動体通信系 1 2 および移動体指令装置 4 を介して、測定系制御装置 2 1 に送られる。ステップ S 1 2 で、測定系制御装置 2 1 では、測定データ 7 7 に含まれる位置付検波データ 7 0 を、その内部に有する不揮発性記憶装置に記憶させる。ステップ S 0 5 A およびステップ S 1 2 があるので、ドローン 3 が有するデータ記憶装置 1 7 から位置付検波データ 7 0 を取得するステップ S 0 9 は、フローチャートから削除している。そのため、ステップ S 0 8 の実行後は、ステップ S 1 0 に進む。

20

図 5 に示す手順でも、送電装置 1 のビーム形状データ 7 1 を精度よく計測できる。

【 0 0 3 8 】

ドローン 3 から位置付検波データ 7 0 ではなく検波データ 7 3 を送信し、地上から計測したドローン 3 の位置データ 7 4 と検波データ 7 3 を測定系制御装置 2 1 が組合せて位置付検波データ 7 0 を生成してもよい。ドローン 3 は、少なくとも検波データ 7 3 を測定系制御装置 2 1 に送信すればよい。

30

【 0 0 3 9 】

電波計測システムは、無線送電装置ではなく他の用途のアンテナが放射する電波のビーム形状を計測することもできる。無線送電装置としては、この明細書で示すものとは異なるものでもよい。他の無線送電装置または他の用途のアンテナが放射する電波のビーム形状を計測する場合には、ビーム形状を計測する対象となるアンテナである被計測アンテナから上空方向に電波を放射させる。電波を放射している被計測アンテナの上空で、ドローンなどの空中移動体を静止および移動させる。空中移動体の位置は、GPS などの測位センサである位置測定部により測定する。空中移動体には、電波を受信する計測用アンテナと、計測用アンテナで受信した電波の振幅と位相を含む受信電波データを計測する検波器などを搭載する。受信電波データと、受信電波データを計測した時点での空中移動体の位置である計測点データとからビーム形状データを生成する。なお、ビーム形状データでは、被計測アンテナを基準とする相対位置として計測点データを表現する。

40

【 0 0 4 0 】

ドローン 3 を使用する代わりに、送電装置 1 の上空の決められた位置にモニタアンテナを固定してもよい。ただし、モニタアンテナを固定するための構造部材で電波が反射や遮蔽されるので、測定される電波の位相や振幅は精度が悪くなる可能性がある。

【 0 0 4 1 】

電波測定を屋外など電波環境の良い場所で行うことにより、地面の反射などのマルチパスの影響を受けないで、被計測アンテナのビーム形状を計測できる。なお、影響を受けないとは、受ける影響が十分に小さいことを意味する。また、種々のデータやコマンドなど

50

の送信には、ドローンを制御するために用意されている移動体通信系を用いる。そのため、ビーム形状の測定や無線送電を実施する上で必要な通信のために、ドローンに新たなハードウェアを追加することは不要である。このため、搭載装置を軽量にでき、かつ低消費電力で、電波計測が可能となる。

#### 【 0 0 4 2 】

測定系制御装置 2 1、送電制御装置 2 2、機上制御装置 1 6 および飛行制御装置 5 は、汎用計算機または専用計算機で専用のプログラムを実行させることで実現する。汎用計算機または専用計算機は、プログラムを実行する CPU (Central Processing Unit) などの演算処理部とメモリ部とを有する。メモリ部は、揮発性または不揮発性のメモリおよび/またはハードディスクである。メモリ部には、測定系制御装置 2 1、送電制御装置 2 2、機上制御装置 1 6 および飛行制御装置 5 の何れかで動作させるためのプログラムが記憶される。また、メモリ部には、処理の過程および/または処理結果のデータを記憶する。機上制御装置 1 6 のメモリ部は、データ記憶装置 1 7 と兼用してもよい。測定系制御装置 2 1 および送電制御装置 2 2 を 1 個の計算機で実現してもよい。また、機上制御装置 1 6 および飛行制御装置 5 を 1 個の計算機で実現してもよい。

以上のことは、他の実施の形態にもあてはまる。

#### 【 0 0 4 3 】

実施の形態 2 .

実施の形態 2 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成について、図 6 と図 7 を用いて説明する。図 6 は、この発明の実施の形態 2 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムの概念図である。図 7 は、実施の形態 2 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成図である。

#### 【 0 0 4 4 】

図 6 と図 7 に関して、図 1 および図 2 とは異なる点を説明する。ドローン 3 A は、パイロット送信機 3 2 と、パイロット送信アンテナ 3 3 と、送電電波 2 を受信する 1 台または複数台の受電アンテナ 3 4 と、ドローン電源システム 8 A とを有する。パイロット送信機 3 2 は、送電装置 1 A に送電方向を指示するためのパイロット信号 3 1 を生成する。パイロット送信アンテナ 3 3 は、パイロット信号 3 1 を送電装置 1 A に向けて放射する。ドローン電源システム 8 A は、受電アンテナ 3 4 が受信した電波から得られる電力を貯蔵および利用する。

#### 【 0 0 4 5 】

ドローン 3 A すなわち飛行制御装置 5 A と移動体指令装置 4 A とは、測定系制御装置 2 1 A に測定データ 7 7 を送信しない。図 7 では、ドローン 3 A がモニタアンテナ 1 4 と検波器 1 5 を有するように図示しているが、モニタアンテナ 1 4 と検波器 1 5 を有さなくてもよい。データ記憶装置 1 7 A は、実施の形態 1 の場合のデータ記憶装置 1 7 と異なり、パイロット送信機に関するデータなどを記憶し、電波測定システムで必要であるデータは記憶しない。

#### 【 0 0 4 6 】

実施の形態 1 と同様に、モニタアンテナ 1 4 で送電電波 2 を受信し、検波器 1 5 が電波の位相や振幅を計測してもよい。モニタアンテナ 1 4 および検波器 1 5 で電波を計測する場合は、実施の形態 2 は、空中移動体への送電システムかつ電波計測システムである。ドローンが有するデータ記憶装置および機上制御装置は、電波計測システムを構成する場合には、実施の形態 1 の場合と同様な構成も有する。

#### 【 0 0 4 7 】

パイロット送信機 3 2 は、パイロット送信機制御コマンド 7 9 に応じて、測定系制御装置 2 1 A により制御される。パイロット送信機制御コマンド 7 9 は、移動体指令装置 4 および移動体通信系 1 2 を介して、測定系制御装置 2 1 A から機上制御装置 1 6 A に送信される。

#### 【 0 0 4 8 】

パイロット送信機制御コマンド 7 9 を送信するため、送電開始前に素子電界ベクトル回

10

20

30

40

50

転法 (Rotating Element Electric Field Vector (REV) Method、REV法) を実行するため、測定系制御装置 2 1 A と送電制御装置 2 2 A は互いに通信およびデータの送受が可能である。また、図 7 に符号を示していないが、REV法を実行するためのコマンドが、送電制御装置 2 2 A から測定系制御装置 2 1 A を経由して機上制御装置 1 6 A に送信される。機上制御装置 1 6 A からは測定した受信電力のデータが、送電制御装置 2 2 A に送信される。なお、送電制御装置 2 2 A と機上制御装置 1 6 A とが、測定系制御装置 2 1 A を介さないで通信してもよい。

【0049】

図 8 を参照して、ドローン電源システム 8 A の構成を説明する。図 8 は、実施の形態 2 に係る無線送電装置により送電される電力を受電する空中移動体の電源システムの構成を説明するブロック図である。図 3 と比較して、図 8 に示すドローン電源システム 8 A は、整流器 3 5 と整流側コンバータ 3 6 とが追加されている。整流器 3 5 は、受電アンテナ 3 4 で受信した電波から生成される受信信号を整流して直流にする。整流側コンバータ 3 6 は、整流器 3 5 で整流した直流電力の電圧を変更する。蓄電ユニット 1 9 は、整流側コンバータ 3 6 が出力する直流電力を貯蔵する。

10

【0050】

実施の形態 2 のドローン電源システム 8 A では、受電アンテナ 3 4、整流器 3 5 および整流側コンバータ 3 6 を追加している。そうすることで、蓄電ユニット 1 9 に飛行開始前に貯蔵されていた電力に加え、飛行中に受電アンテナ 3 4 で受電した電力を利用することができる。そのため、ドローン 3 A は、ドローン 3 と比較して空中を移動または静止できる時間をより長くできる。ドローン 3 A を例えば電波計測に使用する場合には、電波を計測できる時間をより長くできる。時間を長くすることで、例えば、送電電波 2 のビーム形状データ 7 1 における計測点の空間密度を向上させることができる。

20

【0051】

ドローンが複数の蓄電ユニットを備え、飛行中に受電アンテナ 3 4 で受電した電力は一部の蓄電ユニットに蓄えるようにしてもよい。ドローンまたは検波器の何れか少なくとも一つが、飛行中に受電した電力が蓄えられる蓄電ユニットの電力を利用するようにしてもよい。

【0052】

送電装置 1 A は、パイロット信号 3 1 を受信するパイロット受信アンテナ 3 7 を有する。パイロット受信アンテナ 3 7 は、例えば図 6 に示すように、送電装置 1 A においてマトリクス状に配置した素子アンテナ 2 7 の中央部に配置する。さらに、到来方向検出装置 3 8 が追加されている。到来方向検出装置 3 8 は、複数の送電装置 1 A がそれぞれ有するパイロット受信アンテナ 3 7 が受信するパイロット信号 3 1 が入力されて、例えばモノパルス法によりパイロット信号 3 1 の到来方向を決める。到来方向は、送電装置 1 A から見てパイロット信号 3 1 が到来する方向である。到来方向検出装置 3 8 が検出した到来方向データ 8 0 は、送電制御装置 2 2 A に入力される。送電制御装置 2 2 A は、到来方向データ 8 0 により示される到来方向に向かう方向に送電電波 2 を放射するように送電装置 1 A を制御する。つまり、送電電波 2 が放射される方向である放射方向は、到来方向を 1 8 0 度反転させた方向である。

30

40

【0053】

パイロット信号 3 1 は、到来方向あるいは存在方向を知らせるためにドローン 3 A が発する方向信号である。存在方向とは、送電装置 1 A から見たドローン 3 A が存在する方向である。存在方向と到来方向は、互いに逆向きの方向である。ドローン 3 A に搭載されたパイロット送信機 3 2 およびパイロット送信アンテナ 3 3 は、方向信号を送信する方向信号送信部である。地上に設置された送電装置 1 A が有するパイロット受信アンテナ 3 7 は、方向信号を受信する方向信号受信部である。パイロット送信機 3 2、パイロット送信アンテナ 3 3 およびパイロット受信アンテナ 3 7 は、方向信号を送信および受信する方向信号送受信部である。

【0054】

50

この実施の形態 2 では、フェーズドアレイアンテナ 30 は、放射する電波で電力を送電する指向方向を変更できる送電アンテナとして機能する。ドローン 3A が、送電対象の空中移動体である。到来方向検出装置 38 は、送電装置 1A から見てドローン 3A が存在する方向である放射方向を決める放射方向決定部である。送電制御装置 22A は、放射方向にフェーズドアレイアンテナ 30 の指向方向を向ける指向方向変更部である。

#### 【0055】

動作を説明する。図 9 は、実施の形態 2 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電手順を説明するフローチャートである。まず、ステップ S21 で、ドローン 3A を送電装置 1A の上空の決められた位置に静止させる。

#### 【0056】

ステップ S22 で、送電装置 1A ごとに複数の 2 段モジュール 26 のそれぞれに対応する素子アンテナ 27 が電波を放射する。素子アンテナ 27 が放射する電波は、ドローン 3A が有するモニタアンテナ 14 で受信される。各素子アンテナ 27 が放射する電波がモニタアンテナ 14 の位置に生成する素子電界ベクトルの間の位相差を、REV 法により測定する。REV 法は、2 段モジュール 26 のどれか 1 個が放射する電波の位相を変化させて、モニタアンテナ 14 で受信される電波の電界ベクトルの振幅（電界強度）の変化を計測する。計測された電界強度である検波データ 73 は、移動体通信系 12 および測定系制御装置 21 を介して、送電制御装置 22 に送られる。送電制御装置 22 は、受信した検波データ 73 により伝えられた電界ベクトルの振幅の変化から、各 2 段モジュール 26 に対応する素子アンテナ 27 が放射する電波の素子電界ベクトルと、すべての素子アンテナ 27 が放射する電波を合成した電波の電界ベクトルとの位相差を算出する。なお、各素子アンテナ 27 が生成する素子電界ベクトルの間の位相差は、送電装置 1A の内部での経路長の差や、各素子アンテナ 27 とモニタアンテナ 14 との距離の差などにより発生する。

#### 【0057】

ステップ S23 では、各送電装置 1A が有する複数の 2 段モジュール 26 の間の計測された位相差を考慮して、各 2 段モジュール 26 が有する移相器 28 に位相オフセット値を設定する。位相オフセット値とは、外部から与えられる位相指令値から減算する値である。移相器 28 は、位相指令値から位相オフセット値を減算した量だけ位相を変化させる。そのため、実際に移相器 28 が出力する送信信号での位相の変化量は、位相指令値から位相オフセット値を引いた値である。位相指令値から位相オフセット値を減算することで、各 2 段モジュール 26 に同じ位相指令値が与えられる場合に、各 2 段モジュール 26 が同じ位相の電波を放射できるようになる。

#### 【0058】

ステップ S24 で、複数の送電装置 1A のそれぞれが放射しモニタアンテナ 14 で受信されて生成される電界ベクトルの間の位相差を、各送電装置 1A が有する 1 段モジュール 24 の位相を変化させて REV 法により測定する。この REV 法では、各送電装置 1A での初段モジュール 24 までの経路長の差や各送電装置 1A からモニタアンテナ 14 までの距離の差による、各送電装置 1A が生成する電界ベクトルの間の位相差が計測される。ステップ S25 では、各送電装置 1A が放射する電波の間の計測された位相差を考慮し、各送電装置 1A の初段モジュール 24 が有する移相器 28 の位相オフセット値を設定する。

#### 【0059】

S21 から S25 の処理で、各送電装置 1A の内部での経路長の差などによる 1 段モジュール 24 または 2 段モジュール 26 ごとの位相オフセット値を予め計測し、それらを考慮して各移相器 28 の位相指令値を決める。そのため、各素子アンテナ 27 から放射される電波を、位相の基準が揃った値にすることができる。なお、S21 から S25 は、送電装置 1A を最初に使用する前に実施する。初段モジュール 24 または 2 段モジュール 26 である素子モジュールを交換した場合にも、交換した素子モジュールの位相オフセット値を求める。

#### 【0060】

ステップ S26 で、ドローン 3A のパイロット送信アンテナ 33 がパイロット信号 31

10

20

30

40

50

を送信する。ステップS 2 7で、送電装置 1 Aが有するパイロット受信アンテナ 3 7がパイロット信号 3 1を受信する。ステップS 2 8で、到来方向検出装置 3 8がパイロット信号 3 1の到来方向データ 8 0を決定する。ステップS 2 9で、到来方向データ 8 0が示す到来方向に向かう方向を放射方向として送電電波 2を送信できるように、送電制御装置 2 2 Aが各送電装置 1 Aの素子モジュールのそれぞれに対する位相および振幅の指令値を算出する。送電制御信号 7 6が、素子モジュールごとの位相および振幅の指令値である。各 2 段モジュール 2 6の素子アンテナ 2 7が位相を調整された電波を放射することで、放射方向に放射される電波を強めることができる。また、各素子アンテナ 2 7が放射する電波の振幅を調整することで、ビーム形状をより望ましいものにできる。これらにより、送電装置 1 Aが放射方向に高効率に送電することが可能となる。

10

**【 0 0 6 1 】**

ステップS 3 0で、各送電装置 1 Aの初段モジュール 2 4および各 2 段モジュール 2 6が送電制御信号 7 6にしたがって位相および振幅を調整した送信信号を生成し、それぞれ対応する素子アンテナ 2 7から送電電波 2として放射する。

**【 0 0 6 2 】**

ステップS 2 6 ~ S 3 0と並行して、ステップS 3 1で、ドローン 3 Aが有する受電アンテナ 3 4で送電電波 2を受信し、整流器 3 5および整流側コンバータ 3 6が整流および変換した直流電力を蓄電ユニット 1 9に蓄電する。

**【 0 0 6 3 】**

S 2 6 ~ S 3 0ならびにS 3 1は、決められた周期で周期的に実行する。S 3 0およびS 3 1の実行後は、S 2 6およびS 3 1の前に戻る。1周期の長さは、想定する最大の移動速度でドローン 3が移動する場合でも、前回に計算した到来方向と現在の到来方向との差が許容できる範囲内になるように決める。

20

**【 0 0 6 4 】**

ドローン 3 Aからパイロット信号 3 1を送信し、パイロット信号 3 1が到来する方向に送電装置 1 Aが送電電波 2を放射するので、ドローン 3 Aの受電アンテナ 3 4が効率よく送電電波 2を受電することができる。

**【 0 0 6 5 】**

図 9に示すS 3 0で放射させる送電電波 2のビーム形状が、想定したビーム形状に実際になっているかどうかを検証することができる。そのために、各素子アンテナ 2 7に対する位相指令値および振幅指令値を固定した状態で放射する電波ビームのビーム形状を、例えば図 1および図 2に示す電波測定システムを使用して計測できる。その場合には、実施の形態 2に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムは、空中移動体を用いた電波測定システムでもあることになる。

30

**【 0 0 6 6 】**

電波測定システムとしては、ドローン 3 Aを使用する代わりに、送電装置 1 Aの上空の決められた位置にモニタアンテナを固定してもよい。ただし、モニタアンテナを固定するための構造部材で電波が反射や遮蔽されるので、測定される電波の位相や振幅は精度が悪くなる可能性がある。

**【 0 0 6 7 】**

送電電波の制御および空中移動体への電波を用いた無線送電を屋外など電波環境の良い場所で行うことにより、地面の反射などのマルチパスの影響を受けなくなる。そのため、電波による無線送電を従来よりも高精度に実施することができる。また、種々のデータやコマンドなどの送信は、ドローンを制御するために用意されている移動体通信系を用いるので、無線送電を実施する上で必要な通信のために、ドローンに新たなハードウェアを追加することは不要である。このため、搭載装置を軽量にでき、かつ低消費電力で、ドローンへの無線送電が可能となる。

40

**【 0 0 6 8 】**

フェーズドアレイアンテナではなく、指向方向を機械的に変更する送電アンテナを有する無線送電装置を使用して空中移動体に送電するようにしてもよい。空中移動体が存在す

50

る方向をパイロット信号以外の手段で無線送電装置に伝えるようにしてもよい。放射する電波で電力を送電する指向方向を変更できる送電アンテナと、送電対象である空中移動体が存在する方向である放射方向を決める放射方向決定部と、放射方向に送電アンテナの指向方向を向ける指向方向変更部と、送電アンテナから電波として送信される送信信号を生成する送信信号生成部とを備える無線送電装置であれば、どのようなものでも、従来よりも高精度に空中移動体が存在する方向に電波を放射でき、無線送電の効率を従来よりも改善できる。なお、放射方向決定部である到来方向検出装置 38 は、送電装置 1A とは離れた位置に設置される場合があるが、無線送電装置に含む。

#### 【0069】

ドローンなどの空中移動体を使用して R E V 法を実行することで、実際に空中移動体に送電する状況で R E V 法を実行できる。そのため、R E V 法を精度よく実行でき、空中移動体への送電時に空中移動体が存在する方向に精度よく電波を放射できる。つまり、従来よりも高精度に空中移動体が存在する方向に電波を放射でき、無線送電の効率を従来よりも改善できる。

#### 【0070】

電波測定システムとして使用しない場合は、測定系制御装置 21A は不要である。測定系制御装置 21A が存在しない場合は、R E V 法を実行するためのコマンドと測定した受信電力のデータは、送電制御装置 22A が移動体指令装置 4A および移動体通信系 12 介して送受信する。なお、図 7 には、R E V 法を実行するためのコマンドと測定した受信電力のデータの流れは図示していない。

#### 【0071】

R E V 法を実行する際に、ドローンに搭載した計測用アンテナではなく、地上に固定されたアンテナを利用してもよい。その場合には、ドローンは、R E V 法を実行するための機能を持たない。ドローンが計測用アンテナを備えないで、検波器を受電アンテナに接続して、受電アンテナが受信する電波の電界強度を検波器が計測してもよい。つまり、受電アンテナを計測用アンテナとしても使用してよい。

以上のことは、他の実施の形態にもあてはまる。

#### 【0072】

実施の形態 3 .

実施の形態 3 は、パイロット信号の代わりに空中移動体の位置データを送電装置に送信することで、送電装置が空中移動体へ向けて送電するように実施の形態 2 を変更した場合である。この発明の実施の形態 3 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成について、図 10 を用いて説明する。図 10 は、この発明の実施の形態 3 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成図である。

#### 【0073】

図 10 に関して、実施の形態 2 の場合の図 7 とは異なる点を説明する。送電装置 1 は、実施の形態 1 の場合と同じである。送電装置 1 は、パイロット受信アンテナ 37 を有しない。また、到来方向検出装置 38 も存在しない。ドローン 3B は、パイロット送信機 31 およびパイロット送信アンテナ 33 を有しない。ドローン 3B は、測位センサ 18 を有する。測位センサ 18 が計測する位置データ 74 は、機上制御装置 16B、飛行制御装置 5B、移動体通信系 12 および移動体指令装置 44 を経由して測定系制御装置 21B に送信される。位置データ 74 は、データ記憶装置 17B にも記憶される。なお、測位センサ 18 は、飛行制御装置 5B と接続してもよい。その場合には、位置データ 74 は、飛行制御装置 5B、移動体通信系 12、移動体指令装置 4B および測定系制御装置 21B を経由して送電制御装置 22B に送信される。

#### 【0074】

測位センサ 18 は、ドローン 3B の位置である移動体位置を測定する位置測定部である。送電制御装置 22B は、位置データ 74 から送電装置 1 を基準としてドローン 3B の位置に向かう方向を放射方向として決める放射方向決定部である。決めた放射方向は、放射方向データ 81 として記憶する。送電制御装置 22B は、放射方向データ 81 で表される

放射方向に向けて送電できるように初段モジュール 2 4 および 2 段モジュール 2 6 のそれぞれに対する位相および振幅の指令値（送電制御信号 7 6）を決める。送電制御装置 2 2 B は、送電制御信号 7 6 により送電装置 1 を制御する。なお、送電制御装置の少なくとも一部と送電装置とをあわせたものを、無線送電装置と考えることもできる。

【 0 0 7 5 】

動作を説明する。図 1 1 は、実施の形態 3 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電手順を説明するフローチャートである。図 1 1 について、実施の形態 2 の場合の図 9 とは異なる点を説明する。ステップ S 2 6 ~ S 2 8 を、ステップ S 3 2 ~ S 3 5 に変更している。ステップ S 3 2 で、測位センサ 1 8 でドローン 3 B が存在する 3 次元位置を測位する。ステップ S 3 3 で、測位した位置データ 7 4 を移動体通信系 1 2 により移動体指令装置 4 B に向けて送信する。ステップ S 3 4 で、送電制御装置 2 2 B は、送電制御装置 2 2 B を介して移動体指令装置 4 B から位置データ 7 4 を取得する。ステップ S 3 5 で、測定系制御装置 2 1 B は、位置データ 7 4 を送電装置 1 に対する相対位置に変換し、放射方向を求める。また、ステップ S 2 9 A で、送電制御装置 2 2 B が各送電装置 1 A の初段モジュール 2 4 および 2 段モジュール 2 6 のそれぞれに対する位相および振幅を指令する送電制御信号 7 6 を算出する。送電制御信号 7 6 は、ドローン 3 B の送電装置 1 に対する相対位置から決まる放射方向に向けて送電装置 1 が送電電波 2 を送信できるように算出される。

10

【 0 0 7 6 】

ドローン 3 B の位置データ 7 4 をドローン 3 B から送信して、位置データ 7 4 から求めたドローン 3 B が存在する方向に送電電波 2 を放射する。そのため、ドローン 3 B の受電アンテナ 3 4 が効率よく送電電波 2 を受電することができる。なお、ドローン 3 B が存在する方向に送電電波 2 を放射することに加えて、ドローン 3 B が存在する位置で送電電波 2 のビーム幅が小さくなるような送電制御信号 7 6 を生成するようにしてもよい。

20

以上のことは、他の実施の形態にもあてはまる。

【 0 0 7 7 】

実施の形態 4 .

実施の形態 4 は、空中移動体であるドローンが無線送電装置から電力の供給を受けながら、無線送電装置が放射する送電電波のビーム形状データを計測する場合である。ドローンが無線送電装置から電力の供給を受けるので、実施の形態 4 に係る空中移動体を用いた電波測定システムは、無線送電装置による空中移動体への送電システムでもある。この発明の実施の形態 4 に係る空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成について、図 1 2 を用いて説明する。図 1 2 は、この発明の実施の形態 4 に係る空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成図である。

30

【 0 0 7 8 】

図 1 2 について、実施の形態 1 の場合の図 2 とは異なる点を説明する。ドローン 3 C は、実施の形態 2 と同様な受電アンテナ 3 4 およびドローン電源システム 8 A を有するように、実施の形態 1 のドローン 3 を変更している。送電装置 1 は、実施の形態 1 でのものと同じである。

40

【 0 0 7 9 】

動作を説明する。図 1 3 は、実施の形態 4 に係る空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置による空中移動体への送電システムでの電波の放射パターンを測定する手順を説明するフローチャートである。図 1 3 について、実施の形態 1 の場合の図 4 とは異なる点を説明する。S 0 4 ~ S 0 7 と並行して、ステップ S 1 3 および S 1 4 で、受電アンテナ 3 4 で送電電波 2 を受信し、受信した送電電波 2 を整流器 3 5 が整流した電力を蓄電ユニット 1 9 に蓄電する。S 1 3 は、S 0 4 および S 0 5 と並行して動作する。S 1 4 は、S 0 7 と並行して動作する。

【 0 0 8 0 】

送電装置 1 のビーム形状を計測するので、実施の形態 2 などとは異なり、送電制御装置

50

2 2 A はドローン 3 C が存在する位置に応じてビームの方向を変更することはしない。

【 0 0 8 1 】

ドローン 3 C が送電電波 2 により電力の供給を受けながら、送電装置 1 の上空で移動または静止する。そのため、ビーム形状 7 1 を計測するのに実施の形態 1 の場合よりも長い時間を要する場合でも、ドローン 3 C を使用して送電電波 2 のビーム形状データ 7 1 を計測することができる。

【 0 0 8 2 】

実施の形態 5 .

実施の形態 5 は、移動体通信系に加えて、機上制御装置と測定系制御装置との間で、電波測定に関する計測コマンドと検波データを通信する通信系を有するように、実施の形態 1 を変更した場合である。この発明の実施の形態 5 に係る空中移動体を用いた電波測定システムの構成について、図 1 4 を用いて説明する。図 1 4 は、この発明の実施の形態 5 に係る空中移動体を用いた電波測定システムの構成図である。なお、実施の形態 4 あるいは他の構成の電波測定システムかつ空中移動体への送電システムを変更してもよい。

10

【 0 0 8 3 】

実施の形態 5 のドローン 3 D には、送電通信系 3 9 と、パイロット通信系 4 0 とを追加している。測定系制御装置 2 1 C は、送電通信系 3 9 によりドローン 3 D に搭載された搭載装置 1 3 D に計測コマンド 7 2 を送信する。搭載装置 1 3 D は、パイロット通信系 4 0 により検波データ 7 3 を測定系制御装置 2 1 C に送信する。測位センサ 1 8 は、機上制御装置 1 6 D に位置データ 7 4 を送る。データ記憶装置 1 7 D は、送電通信系 3 9 およびパイロット通信系 4 0 を使用しているかどうかを示すデータを記憶する。

20

【 0 0 8 4 】

送電通信系 3 9 は、送電装置 1 B が有する初段モジュール 2 4 A、2 段モジュール 2 6 A および素子アンテナ 2 7 と、ドローン 3 D に搭載されたモニタアンテナ 1 4 および検波器 1 5 A を有して構成される。初段モジュール 2 4 A および 2 段モジュール 2 6 A に、計測コマンド 7 2 を表現する 0 または 1 の信号列に応じて、送電電波 2 A を放射する / しないを切り替えるパルス変調スイッチ 4 1 を追加している。つまり、送電電波 2 A を検波データ 7 3 によりパルス変調することで、計測コマンド 7 2 を送信する。検波器 1 5 A は、受信する送電電波 2 A の受信または非受信から計測コマンド 7 2 を復調する。なお、パルス変調ではなく、振幅変調、あるいは B P S K (Binary Phase Shift Keying) などの位相変調などにより計測コマンド 7 2 を変調および復調してもよい。

30

【 0 0 8 5 】

測定系制御装置 2 1 C には、通信系切替スイッチ 4 2 を追加している。通信系切替スイッチ 4 2 は、移動体指令装置 4 C と送電制御装置 2 2 C のどちらに計測コマンド 7 2 を送信するかを切り替える。つまり、通信系切替スイッチ 4 2 は、移動体通信系 1 2 および送電通信系 3 9 のどちらを使用するかを切り替える。なお、ソフトウェアで計測コマンド 7 2 の送信先を切替えてもよい。

【 0 0 8 6 】

パイロット通信系 4 0 は、パイロット送信機 3 2、パイロット送信アンテナ 3 3、パルス変調スイッチ 4 3、パイロット受信アンテナ 3 7、および検波器 4 4 を有して構成される。パルス変調スイッチ 4 3 は、パイロット送信機 3 2 とパイロット送信アンテナ 3 3 の間に設けられる。検波器 4 4 は、パイロット受信アンテナ 3 7 が受信するパイロット信号 3 1 を検波する。パイロット送信機 3 2、パイロット送信アンテナ 3 3 およびパルス変調スイッチ 4 3 は、ドローン 3 D に搭載される。パイロット受信アンテナ 3 7 および検波器 4 4 は、地上に設置される。

40

【 0 0 8 7 】

パルス変調スイッチ 4 3 は、機上制御装置 1 6 D から供給される検波データ 7 3 を表現する 0 または 1 の信号列に応じて、パイロット信号 3 1 を放射する / しないを切り替える。つまり、パイロット信号 3 1 を検波データ 7 3 によりパルス変調することで、検波データ 7 3 を送信する。パイロット受信アンテナ 3 7 が受信するパイロット信号 3 1 は 2 分さ

50

れて、到来方向検出装置 38 および検波器 44 に入力される。検波器 44 は、パイロット信号 31 の受信または非受信から検波データ 73 を復調する。なお、パルス変調ではなく、振幅変調、あるいは BPSK などの位相変調などにより検波データ 73 を変調および復調してもよい。

【0088】

機上制御装置 16D は、検波データ 73 を飛行制御装置 5 に送信するか、パルス変調スイッチ 43 を検波データ 73 で制御するかを、ソフトウェアで切り替える。そうすることで、検波データ 73 をパイロット通信系 40 および移動体通信系 12 のどちらで送信するかを切り替える。

【0089】

動作を説明する。図 15 は、実施の形態 5 に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの電波の放射パターンを測定する手順を説明するフローチャートである。図 15 について、実施の形態 1 の場合の図 5 とは異なる点を説明する。ここで、計測コマンド 72 を通信する通信系を、コマンド通信系と呼ぶ。計測データ 77 を通信する通信系を、データ通信系と呼ぶ。S03 と S04A の間に、ステップ S15 を追加している。S15 では、コマンド通信系を移動体通信系 12 または送電通信系 39 のどちらかに決める。S04A では、S15 で決められたコマンド通信系で通信された計測コマンド 72 に従い、モニタアンテナ 14 が受信する送電電波 2 の振幅と位相を含む検波データ 73 を測定する。同時にドローン 3D の位置を測定する。S04A と S05B の間に、ステップ S16 を追加している。S16 では、データ通信系を移動体通信系 12 またはパイロット通信系 40 のどちらかに決める。ステップ S05B で、測定した位置付検波データ 70 は、S15 で決められたデータ通信系を介して、機上制御装置 16D から測定系制御装置 21C に送られる。

【0090】

計測コマンド 72 を通信するタイミングごとではなく、数回ごとにコマンド通信系を決めるようにしてもよい。飛行コマンド 75 を送電通信系 39 で通信するようにしてもよい。計測データ 77 を通信するタイミングごとではなく、数回ごとにデータ通信系を決めるようにしてもよい。移動体通信系 12 での通信を試みて、移動体通信系 12 では通信できない場合に、コマンド通信系に送電通信系 39 を決めたり、データ通信系にパイロット通信系 40 を決めたりしてもよい。

【0091】

送電通信系 39 とパイロット通信系 40 を設けることで、移動体通信系 12 の通信負荷が大きく通信が遅い場合などにも、必要なデータを必要な速度で通信できる。あるいは、移動体通信系 12 が故障した場合などに、送電通信系 39 とパイロット通信系 40 を使用することができる。したがって、送電通信系 39 とパイロット通信系 40 は、電波測定システムの安定運用に大きく寄与する。また、送電電波 2 やパイロット信号 31 に、パルス変調(送信の ON/OFF 制御)、振幅変調、位相変調などの簡素な装置により変調して通信できる。そのため、大きなハードウェアを追加することなしに、また、移動体通信系 12 の負荷および消費電力を増やすことなく、送電電波の制御やデータの授受を実現できる。

【0092】

実施の形態 6 .

実施の形態 6 は、計測コマンドや検波データを機上制御装置と測定系制御装置の間で通信するための計測通信系を備えるように、電波測定システムでもある場合の実施の形態 2 を変更した場合である。実施の形態 6 では、計測コマンドや検波データを機上制御装置と測定系制御装置の間で通信するために、移動体通信系を利用しない。実施の形態 6 は、空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置による空中移動体への送電システムの実施の形態である。実施の形態 6 に係る空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成について、図 16 を用いて説明する。図 16 は、この発明の実施の形態 6 に係る空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成図である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 9 3 】

図 1 6 に示す構成では、図 7 に示す実施の形態 2 の場合の構成に、計測通信系 4 5 を追加している。計測通信系 4 5 は、ドローン 3 E に搭載された機上通信機 4 6 および機上通信アンテナ 4 7、地上に設置された地上通信アンテナ 4 8 および地上通信機 4 9 を有して構成される。測定系制御装置 2 1 D からの計測コマンド 7 2 は、計測通信系 4 5 によりドローン 3 E に送信される。ドローン 3 E が計測した測定データ 7 7 は、計測通信系 4 5 により測定系制御装置 2 1 D に送信される。計測通信系 4 5 は、移動体通信系 1 2 とは異なる通信系である。データ記憶装置 1 7 E は、測定データ 7 7 などの電波測定システムとして必要なデータも記憶する点で、実施の形態 2 の場合のデータ記憶装置 1 7 A とは異なる。

10

## 【 0 0 9 4 】

機上制御装置 1 6 E と飛行制御装置 5 C との間では、通信できないようにしている。搭載装置 1 3 E はドローン 3 E に搭載されているだけで、ドローン 3 E が有する機器との間でのインターフェースが存在しないようにしている。また、位置データ 7 4 を送電システムで利用できるように、測位センサ 1 8 は機上制御装置 1 6 E と接続している。

## 【 0 0 9 5 】

移動体指令装置 4 D は、移動体通信系 1 2 により飛行コマンド 7 5 を送信してドローン 3 E の飛行を制御する。

## 【 0 0 9 6 】

ドローン電源システム 8 B を、図 1 7 を参照して説明する。図 1 7 は、実施の形態 6 に係る空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置により送電される電力を受電する空中移動体の電源システムの構成を説明するブロック図である。図 1 7 と図 8 との違いは、計測系電源線 5 0 を追加している点である。計測系電源線 5 0 は、ドローン 3 E に搭載された蓄電ユニット 1 9 に接続される。整流側コンバータ 3 6、負荷側コンバータ 2 0 b および負荷側コンバータ 2 0 c は、計測系電源線 5 0 を介して蓄電ユニット 1 9 に接続する。計測系電源線 5 0 を設けることで、ドローン 3 E と搭載装置 1 3 E との間の電源システムの接続箇所を、計測系電源線 5 0 の 1 箇所だけにできる。なお、整流側コンバータを備えなくてもよく、負荷側コンバータの構成を変更してもよい。

20

## 【 0 0 9 7 】

実施の形態 6 の空中移動体への送電システムは、実施の形態 2 の場合と同様に動作する。実施の形態 2 の送電システムとは異なる点は、移動体通信系 1 2 ではなく、計測通信系 4 5 を使用して、REV 法を実行するためのコマンドやデータを通信する点である。また、電波測定システムとしての実施の形態 6 は、実施の形態 1 の電波測定システムと同様に動作する。計測通信系 4 5 を使用する点が、実施の形態 6 は実施の形態 1 とは異なる。

30

## 【 0 0 9 8 】

搭載装置とドローン間でデータを送受する必要がないので、一般に市販されているドローンを改造することなしに電波計測システムを構成できる。搭載装置を別のドローンに搭載して使用することが容易になる。移動体通信系を電波計測のためのコマンドや計測したデータを通信するために使用しないようにすることは、他の実施の形態にも同様に適用できる。

40

## 【 0 0 9 9 】

実施の形態 7 .

実施の形態 7 は、実施の形態 5 の場合と同様な送電通信系とパイロット通信系を追加するように、実施の形態 6 を変更した場合である。実施の形態 7 に係る空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成について、図 1 8 を用いて説明する。図 1 8 は、この発明の実施の形態 7 に係る空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成図である。

## 【 0 1 0 0 】

図 1 8 は、実施の形態 5 の場合の図 1 4 と、ほぼ同様な構成を有する。図 1 8 に示す構成が図 1 4 に示す構成とは異なる点は、以下である。測定系制御装置 2 1 E に設ける通信

50

系切替スイッチ 4 2 A が、地上通信機 4 9 と送電制御装置 2 2 D のどちらに計測コマンド 7 2 を送信するかを切り替える。つまり、通信系切替スイッチ 4 2 A は、計測通信系 4 5 および送電通信系 3 9 のどちらを使用するかを切り替える。また、機上制御装置 1 6 F は、検波データ 7 3 を機上通信機 4 6 に送信するか、パルス変調スイッチ 4 3 を検波データ 7 3 で制御するかを、ソフトウェアで切り替える。そうすることで、機上制御装置 1 6 F は、検波データ 7 3 を計測通信系 4 5 およびパイロット通信系 4 0 のどちらで送信するかを切り替える。

#### 【 0 1 0 1 】

実施の形態 7 の空中移動体への送電システムは、実施の形態 2 の場合と同様に動作する。移動体通信系 1 2 ではなく、計測通信系 4 5 を使用する点が実施の形態 2 の場合とは異なる。また、電波測定システムとしての実施の形態 7 は、実施の形態 5 の電波測定システムと同様に動作する。計測通信系 4 5 を使用する点が、実施の形態 7 は実施の形態 5 とは異なる。

10

#### 【 0 1 0 2 】

搭載装置とドローン間でデータを送受する必要がないので、一般に市販されているドローンを改造することなしに電波計測システムかつ/または空中移動体への送電システムを構成できる。また、送電通信系 3 9 とパイロット通信系 4 0 を、計測通信系 4 5 が故障した場合などに使用することができる。したがって、送電通信系 3 9 とパイロット通信系 4 0 は、電波測定システムかつ/または送電システムの安定運用に大きく寄与する。

#### 【 0 1 0 3 】

移動体通信系を、機上制御装置と測定系制御装置との間の通信に利用できるようにしてもよい。その場合には、3重の通信系が、機上制御装置と測定系制御装置との間に存在するので、通信系の信頼性がより向上する。実施の形態 6 の場合でも同様である。

20

#### 【 0 1 0 4 】

実施の形態 8 .

実施の形態 8 は、空中移動体の位置を地上に設置した測位装置で測位するように、実施の形態 5 を変更した場合である。実施の形態 8 に係る空中移動体を用いた電波測定システムの構成について、図 1 9 と図 2 0 を用いて説明する。図 1 9 は、この発明の実施の形態 8 に係る空中移動体を用いた電波測定システムの概念図である。図 2 0 は、実施の形態 8 に係る空中移動体を用いた電波測定システムの構成図である。他の実施の形態も、空中移動体の位置を地上から測定するように変更できる。

30

#### 【 0 1 0 5 】

図 2 0 について、実施の形態 5 の場合の図 1 4 とは異なる点を説明する。ドローン 3 G は、測位センサ 1 8 を有しない。送電装置 1 B の近傍に、ドローン 3 G の位置を測定するレーザ測位装置 5 1 を設置している。レーザ測位装置 5 1 が測位したドローン 3 G の位置を表す位置データ 7 4 は、電波測定中は決められた周期で、測定系制御装置 2 1 F に入力される。データ記憶装置 1 7 G は、位置データ 7 4 を記憶せず、送電通信系 3 9 およびパイロット通信系 4 0 を使用しているかどうかを示すデータを記憶する。

#### 【 0 1 0 6 】

レーザ測位装置 5 1 はレーザ光 8 2 を各方向に送信し、測位対象であるドローン 3 G で反射された反射レーザ光 8 3 を受信する。反射レーザ光 8 3 の方向からドローン 3 G が存在する方向を決め、レーザ光 8 2 を放射してから反射レーザ光 8 3 を受信するまでの時間からドローン 3 G までの距離を決める。計測した方向と距離を変換して、ドローン 3 G の 3 次元位置を決める。なお、ドローン 3 G の位置を測定する測位装置としては、レーザ光ではなく電波を使用してもよい。

40

#### 【 0 1 0 7 】

動作を説明する。電波測定システムの場合の動作を、図 2 1 を参照して説明する。図 2 1 は、実施の形態 8 に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの電波の放射パターンを測定する手順を説明するフローチャートである。

#### 【 0 1 0 8 】

50

図 2 1 について、実施の形態 5 の場合の図 1 5 とは異なる点を説明する。ステップ S 0 4 B で、ドローン 3 G では、位置データ 7 4 を測定しない。ステップ S 0 5 C で、測定した検波データ 7 3 を含む測定データ 7 7 は、機上制御装置 1 6 G から飛行制御装置 5 に送られ、さらに移動体通信系 1 2 および移動体指令装置 4 C を介して、測定系制御装置 2 1 F に送られる。ステップ S 1 7 で、測定系制御装置 2 1 F が、受信した測定データ 7 7 に含まれる検波データ 7 3 と最新の位置データ 7 4 とを組合せて位置付検波データ 7 0 を作成する。

#### 【 0 1 0 9 】

実施の形態 5 の場合と同様に、電波測定システムでは、送電装置 1 から送電電波 2 を上空に向けて放射し、空中移動体であるドローン 3 G を使用して送電装置 1 の上空での送電電波 2 のビーム形状データ 7 1 を測定する。そうすることで、反射の影響を少なくして送電装置 1 の送電電波 2 のビーム形状データ 7 1 を精度よく測定できる。

#### 【 0 1 1 0 】

ドローン 3 G は測位センサを有しないので、ドローン 3 G は自分の位置を計測するために電力を使用しなくてもよい。また、ドローン 3 G から位置データ 7 4 を送信しないので、位置データ 7 4 を送信するのに要していた電力を消費しなくてもよくなる。そのため、実施の形態 5 の場合と比較して、より長い時間を飛行できる。

#### 【 0 1 1 1 】

実施の形態 9 .

実施の形態 9 は、空中移動体および地上側の装置が同期した時刻装置を持つように実施の形態 1 を変更した場合である。実施の形態 9 に係る空中移動体を用いた電波測定システムの構成について、図 2 2 と図 2 3 を用いて説明する。図 2 2 は、この発明の実施の形態 9 に係る空中移動体を用いた電波測定システムの構成図である。図 2 3 は、実施の形態 9 に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの測定系制御装置および機上制御装置の内部構成を説明する図である。図 2 3 では、測定系制御装置および機上制御装置とは関係が小さい部分を省略している。機上制御装置などの内部構成を示す以降の図でも、同様である。

#### 【 0 1 1 2 】

図 2 2 に示すように、ドローン 3 H に搭載された搭載装置 1 3 H は、モニタアンテナ 1 4、検波器 1 5、機上制御装置 1 6 H およびデータ記憶装置 1 7 H を有する。また、ドローン 3 H は、地上側の設備と同期した時刻を発生させる時刻装置 5 2 を有する。時刻装置 5 2 としては、自位置を測位する測位センサ 1 8 H である G P S 受信機の時刻管理機能を使用する。G P S (Global Positioning System) では、G P S 受信機が自分の位置を測るために 4 機以上の G P S 衛星からの電波を受信し、その到達時間を計測する。そのため、G P S 衛星および G P S 受信機では、時刻を必要な精度で同期させている。G P S 受信機の時刻の誤差は、5 0 ナノ秒以下であると言われている。測定系制御装置 2 1 H も、時刻装置 5 2 と同期した時刻を発生させる時刻装置 5 3 を有する。時刻装置 5 3 も、G P S 受信機を使用する。時刻装置 5 2 は、空中移動体に搭載された移動体時刻装置である。時刻装置 5 3 は、地上に設置されて、時刻装置 5 2 と同期がとれた時刻データを出力する地上時刻装置である。

#### 【 0 1 1 3 】

測定系制御装置 2 1 H が有する時刻装置 5 3 である G P S 受信機は、測位機能を有するが、測位機能を動作させることはない。そのため、G P S 受信機ではなく、G P S 衛星からの G P S 信号を受信して時刻同期させる機能を有する時刻装置を、時刻装置 5 3 として使用してもよい。

#### 【 0 1 1 4 】

時刻装置 5 2 と時刻装置 5 3 には、同期した時刻データを出力するものであれば、G P S 受信機とは異なる装置を使用してもよい。G P S 以外の測位システムであって、複数の衛星から電波を受信することで自身が存在する位置を測位する測位装置を有して構成される測位システムでもよい。時刻装置を兼ねる測位装置としては、そのような測位システム

10

20

30

40

50

で使用される測位装置でもよい。この実施の形態では、時刻装置 5 2 と時刻装置 5 3 は、衛星からの電波により時刻が較正される。ドローンに搭載される時刻装置と地上に設置される時刻装置は、衛星からの電波による方法とは異なる方法で時刻同期がとれるように較正するものでもよい。

【 0 1 1 5 】

送電制御装置 2 2 および移動体指令装置 4 などにも、同期した時刻を発生させる時刻装置を有するように構成してもよい。送電制御装置 2 2 および移動体指令装置 4 などが有する時刻装置は、時刻装置 5 3 と同様なものとする。

【 0 1 1 6 】

測位センサ 1 8 H は、時刻装置 5 2 が管理する時刻データを付加した位置データ 7 4 H を生成する。位置データ 7 4 H は、位置データ 7 4 を生成した時点の時刻データが付加された時刻付計測点データである。測位センサ 1 8 H は、時刻付計測点データを生成する計測点データ時刻付加部である。位置データ 7 4 H は、飛行制御装置 5 に送られ、さらに機上制御装置 1 6 H に送られる。時刻装置 5 2 が出力する時刻データ 8 5 は、機上制御装置 1 6 H に入力される。

10

【 0 1 1 7 】

図 2 3 に示すように、機上制御装置 1 6 H は、移動体通信部 3 0 1、検波器制御部 3 0 2、検波データ時刻付加部 3 0 3 および位置付検波データ生成部 3 0 4 を有する。移動体通信部 3 0 1 は、計測コマンド 7 2 を受信する。受信された計測コマンド 7 2 は、検波器制御部 3 0 2 に送られる。計測コマンド 7 2 で検波データ 7 3 の計測の開始が指示されると、検波器制御部 3 0 2 は、検波器 1 5 が検波データ 7 3 を機上制御装置 1 6 H に送信するように制御する。

20

【 0 1 1 8 】

機上制御装置 1 6 H が有する検波データ時刻付加部 3 0 3 は、検波器 1 5 が出力する検波データ 7 3 に、検波データ 7 3 が生成された際の時刻データ 8 5 を付加して検波データ 7 3 H を生成する。検波器 1 5 は検波データ 7 3 を計測するとすぐに出し、検波器 1 5 と機上制御装置 1 6 H との間の距離は長くととも数 1 0 c m 程度である。そのため、検波器 1 5 が検波データ 7 3 を計測してから機上装置 1 6 H が検波データ 7 3 を受信するまでの時間は、微小として考慮しなくてもよい。機上制御装置 1 6 H が検波データ 7 3 を受け取った時刻を、検波器 1 5 が検波データ 7 3 を計測した時刻とする。

30

【 0 1 1 9 】

検波データ 7 3 H は、受信電波データである検波データ 7 3 に検波データ 7 3 が計測された時点に時刻装置 5 2 が出力する時刻データが付加された時刻付受信電波データである。検波データ時刻付加部 3 0 3 は、時刻付受信電波データを生成する受信電波データ時刻付加部である。

【 0 1 2 0 】

位置付検波データ生成部 3 0 4 は、同じ時刻データ 8 5 が付けられた検波データ 7 3 H と位置データ 7 4 H とを組にして、位置付検波データ 7 0 H を生成する。位置付検波データ 7 0 H は、データ記憶装置 1 7 に記憶される。位置付検波データ 7 0 H を、移動体通信系 1 2 を介して測定系制御装置 2 1 H に送信してもよい。なお、時刻データ 8 5 が同じとは、時刻データ 8 5 の差が決められた許容差以下であることを意味する。

40

【 0 1 2 1 】

データ記憶装置 1 7 H には、検波データ 7 3 H、位置データ 7 4 H および位置付検波データ 7 0 H が記憶される。

【 0 1 2 2 】

測定系制御装置 2 1 H は、時刻装置 5 3、計測制御通信部 1 0 1、データ記憶部 1 0 2、計測制御部 1 0 3、相対位置変換部 1 0 4 およびビーム形状データ生成部 1 0 5 を有する。計測制御通信部 1 0 1 は、計測コマンド 7 2 を機上制御装置 1 6 H に送信する。ドローン 3 H から位置付検波データ 7 0 H を送信する場合には、計測制御通信部 1 0 1 は、位置付検波データ 7 0 H を含む計測データ 7 7 H を受信する。データ記憶部 1 0 2 には、送

50

電装置位置 86、位置付検波データ 70H およびビーム形状データ 71 が記憶される。送電装置位置 86 は、送電装置 1 が存在する位置を表すデータである。位置付検波データ 70H 中の位置データ 74 から送電装置位置 86 を減算すると、相対位置データ 78 が得られる。

【0123】

計測制御部 103 は、ドローン 3H に送信する計測コマンド 72 および飛行コマンド 75 を生成する。計測コマンド 72 に対して位置付検波データ 70H が計測されると、ビーム形状データ 71 を生成するようにビーム形状データ生成部 105 を起動する。相対位置変換部 104 は、位置付検波データ 70H 中の位置データ 74 から送電装置位置 86 を減算して、相対位置データ 78 を得る。ビーム形状データ生成部 105 は、位置データ 74 から変換された相対位置データ 78 に検波データ 73 を対応付けたビーム形状データ 71 を生成する。ビーム形状データ生成部 105 は、相対位置データ 78 と、検波データ 73 とを含む放射電波データを生成する放射電波データ生成部である。

10

【0124】

動作を説明する。図 24 は、実施の形態 9 に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの電波の放射パターンを測定する手順を説明するフローチャートである。図 24 について、実施の形態 1 の場合の図 4 とは異なる点を説明する。ステップ S04H で、機上制御装置 16H が有する検波データ時刻付加部 303 は、検波器 15 が出力する検波データ 73 に、検波データ 73 が検波データ時刻付加部 303 に入力された時点の時刻データ 85 を付加して、検波データ 73H (時刻データ 85 を含む) を生成する。また、測位センサ 18H が計測した位置データ 74H (時刻データ 85 を含む) を機上制御装置 16H に送信する。

20

【0125】

ステップ S05H で、機上制御装置 16H が有する位置付検波データ生成部 304 は、検波データ 73H と同じ時刻データ 85 が付与された位置データ 74H を組み合わせて、位置付検波データ 70H を生成する。位置付検波データ 70H は、データ記憶装置 17 に記憶される。なお、検波データ 73H と位置データ 74H はどちらも、時刻装置 52 が出力する時刻データ 85 が付加されている。そのため、時刻装置 52 と時刻装置 53 とで時刻の同期が取れていない場合でも、同じ時刻データ 85 を持つ検波データ 73H と位置データ 74H とを組み合わせて、測定系制御装置 21H は位置付検波データ 70H を生成できる。

30

【0126】

ステップ S09H で、データ記憶装置 17 から位置付検波データ 70H を取得し、測定系制御装置 21H に入力する。測定系制御装置 21H が有するビーム形状データ生成部 105 は、位置付検波データ 70H からビーム形状データ 71 を生成する。

【0127】

実施の形態 9 の電波計測システムでは、時刻データ 85 を基に位置付検波データ 70H を生成するので、位置付検波データ 70H およびビーム形状データ 71 を従来よりも精度よく生成できる。

【0128】

位置付検波データ 70H をドローン 3H が飛行中に測定系制御装置 21H に送信することもできる。その場合の動作を、図 25 を使用して説明する。図 25 は、実施の形態 9 に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの電波の放射パターンを測定する別の手順を説明するフローチャートである。実施の形態 1 の場合の図 5 とは異なる点を説明する。ステップ S04H は、図 24 と同様である。ステップ S05J で、機上制御装置 16H が有する移動体通信部 301 は、生成した位置付検波データ 70H を、測定系制御装置 21H に送信する。ステップ S12J で、測定系制御装置 21H では、受信した位置付検波データ 70H を、データ記憶部 102 に記憶させる。

40

図 25 に示す処理でも、位置付検波データ 70H およびビーム形状データ 71 を従来よりも精度よく生成できる。

50

## 【 0 1 2 9 】

この実施の形態 9 でも、実施の形態 1 と同様な効果がある。同期した時刻データを使用して、検波データと位置データを組み合わせるので、ビーム形状をより精度よく測定できる。

## 【 0 1 3 0 】

実施の形態 1 0 .

実施の形態 1 0 は、空中移動体および地上側の装置が同期した時刻装置を持つように実施の形態 2 を変更した場合である。実施の形態 1 0 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成について、図 2 6 と図 2 7 を用いて説明する。図 2 6 は、この発明の実施の形態 1 0 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成図である。図 2 7 は、実施の形態 1 0 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電制御装置および機上制御装置の内部構成を説明する図である。

10

## 【 0 1 3 1 】

図 2 6 に示すように、ドローン 3 J は、時刻装置 5 2 および測位センサ 1 8 H として動作する GPS 受信機を有する。測定系制御装置 2 1 J も、時刻装置 5 3 として動作する GPS 受信機を有する。送電制御装置 2 2 J も、時刻装置 5 4 として動作する GPS 受信機を有する。こうして、ドローン 3 J に搭載された機上制御装置 1 6 J、測定系制御装置 2 1 J および送電制御装置 2 2 J は、同期した時刻を使用できる。図 2 6 と図 2 7 では、REV 法を実行するためのコマンドやデータの流れも図示している。

## 【 0 1 3 2 】

送電制御装置 2 2 J は、ドローン 3 J に送信するデータ取得コマンド 8 7 を生成する。データ取得コマンド 8 7 は、電界変化データを取得するように機上制御装置 1 6 J に指示するためのコマンドである。電界変化データは、REV 法を実行して得られるモニタアンテナ 1 4 が計測する電界ベクトルの変化を表すデータである。データ取得コマンド 8 7 は、送電制御装置 2 2 J から、測定系制御装置 2 1 J、移動体指令装置 4 A、移動体通信系 1 2 および飛行制御装置 5 A を経由して、ドローン 3 J に搭載された機上制御装置 1 6 J に送信される。機上制御装置 1 6 J は、データ取得コマンド 8 7 を受信すると、データ取得コマンド 8 7 で指定された計測期間を設定する。計測期間は、REV 法シナリオ 8 8 ( 後述 ) が実行されることが予定されている期間内に設定される。計測期間は、1 個の期間でもよいし、複数に分かれた期間でもよい。少なくとも計測期間を含む期間で、モニタアンテナ 1 4 が受信する電波の電界ベクトルを検波器 1 5 が計測する。電界ベクトルを振幅と位相で表現されるベクトルとして計測してもよいし、電界ベクトルの振幅だけを計測してもよい。電界ベクトルの振幅を電界強度と呼ぶ。例えば計測期間ごとに、データ取得コマンド 8 7 を送信するようにしてもよい。

20

30

## 【 0 1 3 3 】

機上制御装置 1 6 J は、検波器 1 5 J が計測した電界ベクトルに、計測した時点の時刻データ 8 5 を付加して検波データ 7 3 J を生成する。REV 法シナリオ 8 8 を実行中に検波器 1 5 が計測する検波データ 7 3 J を、REV 法実行時電波データと呼ぶ。検波データ 7 3 J は、モニタアンテナ 1 4 が計測する電界ベクトルの変化を表す。少なくとも計測期間に計測された検波データ 7 3 J が、データ記憶装置 1 7 J に記憶される。REV 法シナリオ 8 8 を実行中に計測された検波データ 7 3 J は、機上制御装置 1 6 J から、データ取得コマンド 8 7 とは逆向きの経路で送電制御装置 2 2 J に送信される。送電制御装置 2 2 J で素子電界ベクトルを求めるためにドローンから送信されるデータが、電界変化データである。この実施の形態 1 0 では、検波データ 7 3 J が電界変化データである。

40

## 【 0 1 3 4 】

REV 法では、各素子モジュールの位相の基準を揃える ( 較正する ) ために、少なくとも一部の素子アンテナ 2 8 が電波を放射する状態で一部の移相器 2 8 の移相量を変化させてモニタアンテナ 1 4 が電界ベクトルの変化を計測することを繰り返す。移相量とは、移相器 2 8 が出力する信号の位相を入力される信号の位相から変化させる量である。電界ベクトルの変化から、素子アンテナ 2 7 ごとに素子電界ベクトルを計算する。素子電界ベク

50

トルは、1個の素子モジュールが出力する送信信号が供給される素子アンテナ27が放射する電波がモニタアンテナ14の位置に生成する電界ベクトルである。素子アンテナ27ごとの素子電界ベクトルの位相から、各移相器28の位相基準を揃えるための移相オフセット値88を計算する。計算した移相オフセット値88は、各移相器28に設定する。また、素子アンテナ27ごとの素子電界ベクトルの振幅比から、素子電界ベクトルの振幅も揃うように、各増幅器29の増幅率を調整するようにしてもよい。素子電界ベクトルではなく、素子電界ベクトルの位相である素子電界位相だけを求めてもよい。

#### 【0135】

図27を参照して、送電制御装置22J、機上制御装置16Jおよびデータ記憶装置17Jの構成を説明する。図27では、空中移動体への送電システムとして動作する上で必要な構成だけを示す。なお、計測制御装置21Jは、送電制御装置22Jと機上制御装置16Jとの間を中継するだけなので、図27には示さない。送電制御装置と機上制御装置とが直接に通信する場合は、計測制御装置は不要である。

10

#### 【0136】

送電制御装置22Jは、時刻装置54、データ記憶部201、REV法実行部202、データ取得コマンド生成部203、送電制御通信部204、素子電界演算部205、位相オフセット値計算部206、位相オフセット値設定部207、放射方向決定部208および電波放射制御部209を有する。素子電界演算部205は、計測データ解析部210、移相量取得部211、素子電界位相計算部212および素子電界振幅計算部213を有する。

20

#### 【0137】

データ記憶部201は、REV法を実行するため、および送電制御装置1Aがドローン3Jに送電するために必要なデータを記憶する。データ記憶部201には、REV法シナリオ88、REV法基準状態89、検波データ73J、位相操作データ90、素子電界ベクトル91、位相オフセット値92、到来方向データ80、放射方向データ81および放射指令値93が記憶される。

#### 【0138】

REV法シナリオ88は、REV法を実行するために各移相器28の位相を変化させる量(移相量)のパターンを規定するデータである。なお、REV法シナリオ88は、1個ずつ移相器28の移相量を変化させてもよいし、複数個の移相器28の位相を同じ移相量だけ変化させてもよい。REV法シナリオ88では、すべての素子アンテナ27から電波を放射してもよいし、一部の素子アンテナ27から電波を放射してもよい。REV法シナリオ88は、少なくとも一部の素子アンテナ27が電波を放射する状態で、一部の移相器28の移相量を変化させることを繰り返すパターンを規定するものであればよい。移相量を変化させる移相器28を操作移相器と呼ぶ。

30

#### 【0139】

REV法基準状態89は、移相量を変化させる移相器28以外の移相器28の位相を指定するデータである。REV法基準状態89としては、例えば、最近に実施したREV法で得られた位相オフセット値とする。最初にREV法を実行する場合は、例えばすべてゼロとする。REV法シナリオ88は、基準状態から移相量を変化させる移相器28の順番および各移相器28で移相量を変化させる時間変化のパターンである位相操作パターンを規定する。REV法シナリオ88にしたがって送電制御信号76が生成されて、送電制御信号76は送電装置1Aに送られる。送電制御信号76により、送電制御装置22Jは各初段モジュール24および各2段モジュール26、すなわち各移相器28および各増幅器29に指令値を伝える。

40

#### 【0140】

位相操作パターンは、REV法シナリオ88の開始からの相対時間で各移相器28の移相量を変化させるシーケンスを規定する。移相器28ごとに、その移相器28で移相量を変化させる期間の開始からの相対時間でその移相器28の移相量の変化を表現してもよい。一般的に表現すると、REV法シナリオ88では、位相操作パターンが、時刻が指定さ

50

れる 1 個または複数個の基準事象と、何れかの基準事象からの相対時間で時刻が表現される非基準事象とで表現される。REV 法シナリオは、位相操作パターンとして事象の順番だけを規定するなど、より自由度を持たせて位相操作パターンを表現するものでもよい。この実施の形態で使用する REV 法シナリオ 88 では、開始が基準事象であり、それ以外の事象は非基準事象である。

#### 【0141】

データ取得コマンド 87 は、ドローン 3 J に搭載された検波器 15 が検波データ 73 J を計測する期間である計測期間を機上制御装置 16 J に指示するためのコマンドである。データ取得コマンド 87 は、計測期間を例えば開始時刻と開始時刻からの経過時間で表現する。計測期間を開始時刻と終了時刻で表現してもよい。データ取得コマンド 87 は、計測期間の開始と終了のタイミングに送信されるコマンドでもよい。

10

#### 【0142】

検波データ 73 J は、検波器 15 が生成する電界ベクトルの時刻付のデータである。検波データ 73 J は、決められた時間の刻み幅ごとに計測される。位相操作データ 90 は、REV 法シナリオ 88 にしたがって変化した移相器 28 の時間の刻み幅ごとの移相量のデータである。

#### 【0143】

素子電界ベクトル 91 は、モニタアンテナ 14 が存在する位置で素子アンテナ 27 が生成する電界ベクトルを表すデータである。後で説明するが、素子電界演算部 205 は、素子電界ベクトルの位相である素子電界位相と、素子電界ベクトルの振幅である素子電界振幅を計算する。素子電界演算部は、素子電界位相だけを計算してもよい。

20

#### 【0144】

位相オフセット値 92 は、移相量すなわち位相指令値から減算する数値である。移相オフセット値 92 は、各移相器 28 に設定する。各移相器 28 は、位相指令値から位相オフセット値 92 を減算した移相量だけ位相を変化させる。そうすることで、各移相器 28 に対して同じ位相指令値が与えられた場合に、各素子アンテナ 27 が生成する素子電界ベクトル 27 の位相が同じになる。位相オフセット値 92 は、素子モジュールごとの素子電界位相の差として計算される。位相オフセット値 92 は、素子モジュールごとの素子電界位相に基づき求められた、素子モジュールの位相の基準を揃えるためのデータである。

#### 【0145】

素子モジュールの位相の基準を揃えるために、移相器 28 に位相オフセット値を設定する方法とは異なる方法を使用してもよい。空中移動体への送電システムの他の実施の形態でも同様である。

30

#### 【0146】

到来方向データ 80 は、パイロット信号 31 が到来する方向を表すデータである。到来方向データ 80 は、到来方向検出装置 38 が求める。放射方向データ 81 は、フェーズドアレイアンテナ 30 から放射する電波の方向を指定するデータである。放射指令値 93 は、放射方向データ 81 で示される方向に電波を放射できるように各移相器 28 および各増幅器 29 に指令する指令値を表すデータである。放射指令値 93 は、送電制御信号 76 として送電装置 1A に送信される。

40

#### 【0147】

REV 法実行部 202 は、REV 法シナリオ 88 で指定される移相器 28 の移相量を変化させ、変化させた結果の記録である位相操作データ 90 を生成する。REV 法実行部 202 は、REV 法シナリオに基づき変化する移相器 28 の移相量の時間変化を記録する位相操作データ 90 を生成する位相操作記録部でもある。REV 法シナリオ 88 は、データ記憶部 201 に記憶せずに、REV 法実行部 202 を実現するプログラム中に記述されるような形でもよい。

#### 【0148】

データ取得コマンド生成部 203 は、データ取得コマンド 87 を生成する。送電制御通信部 204 は、データ取得コマンド 87 を機上制御装置 16 J に送信し、機上制御装置 1

50

6 J から送信される検波データ 7 3 J を受信する。送電制御通信部 2 0 4 は、送電制御装置 2 2 J と他の装置の間の他の通信も実施する。

【 0 1 4 9 】

素子電界演算部 2 0 5 は、R E V 法シナリオ 8 8、位相操作データ 9 0 および検波データ 7 3 J に基づき、各移相器 2 8 の素子電界ベクトル 9 1 を計算する。素子電界ベクトル 9 1 を計算する方法は、従来技術である。例えば、特公平 1 - 3 7 8 8 2 号に記載されている。例えば、検波データ 7 3 J に記録された電界ベクトルの振幅が最大になる時点での位相操作データ 9 0 に記録された移相量から素子電界ベクトルの位相を計算する。また、電界ベクトルの振幅の最大値と最小値の比から、素子電界ベクトルの振幅を計算する。素子電界演算部 2 0 5 は、素子モジュールごとに素子電界位相を求める R E V 法解析部である。素子電界演算部 2 0 5 の内部構成は、後で説明する。なお、位相操作データ 9 0 は、R E V 法シナリオ 8 8 に基づき生成される。したがって、素子電界演算部 2 0 5 は、R E V 法シナリオ 8 8 および検波データ 7 3 J に基づき、各移相器 2 8 の素子電界ベクトル 9 1 を計算する。

10

【 0 1 5 0 】

位相オフセット値計算部 2 0 6 は、各移相器 2 8 の素子電界ベクトル 9 1 から各移相器 2 8 の位相オフセット値 9 2 を計算する。位相オフセット値設定部 2 0 7 は、位相オフセット値 9 2 を各移相器 2 8 に設定する。

【 0 1 5 1 】

放射方向決定部 2 0 8 は、到来方向データ 8 0 を基に放射方向を決めて放射方向データ 8 1 に設定する。電波放射制御部 2 0 9 は、放射方向データ 8 1 に基づき放射指令値 9 3 を生成する。放射方向が決まっていない、すなわち放射方向データ 8 1 が未設定の場合は、電波放射制御部 2 0 9 は放射指令値 9 3 を生成しない。電波放射制御部 2 0 9 は、放射方向にフェーズドアレイアンテナ 3 0 の指向方向を向ける指向方向変更部である。

20

【 0 1 5 2 】

図 2 7 に示すように、ドローン 3 G に搭載されるデータ記憶装置 1 7 J は、計測期間データ 9 4、検波データ 7 3 J を記憶する。計測期間データ 9 4 は、検波データ 7 3 J を記録する期間を表すデータである。計測期間データ 9 4 は、送電制御装置 2 2 J から送信されるデータ取得コマンド 8 7 で指示される。検波データ 7 3 J は、計測期間データ 9 4 で指定される計測期間にモニタアンテナ 1 4 が計測した電界ベクトルに、電界ベクトルを計測した時点での時刻データ 8 5 と対応付けたデータである。

30

【 0 1 5 3 】

機上制御装置 1 6 J は、時刻装置 5 2、移動体通信部 3 0 1、検波器制御部 3 0 2、検波データ時刻付加部 3 0 3、データ取得コマンド解釈部 3 0 5、送信データ生成部 3 0 6 およびパイロット送信機制御部 3 0 7 を有する。移動体通信部 3 0 1 は、送電制御装置 2 2 A が送信するデータ取得コマンド 8 7 を受信し、検波データ 7 3 J を送電制御装置 2 2 A に送信する。検波データ時刻付加部 3 0 3 は、検波器 1 5 が出力する検波データ 7 3 に、機上制御装置 1 6 J が検波データ 7 3 を受け取った時刻の時刻データ 8 5 を付加する。機上制御装置 1 6 J は、機上制御装置 1 6 H と比較して、データ取得コマンド解釈部 3 0 5、送信データ生成部 3 0 6 およびパイロット送信機制御部 3 0 7 を有する点、位置付検波データ生成部 3 0 4 を有しない点が異なる。

40

【 0 1 5 4 】

データ取得コマンド解釈部 3 0 5 は、データ取得コマンド 8 7 から計測期間データ 9 4 を取り出してデータ記憶装置 1 7 J に格納する。検波器制御部 3 0 2 は、計測期間データ 9 4 で指定される計測期間に検波データ 7 3 を生成するように検波器 1 5 を制御する。検波データ時刻付加部 3 0 3 は、検波データ 7 3 に時刻データ 8 5 を付加して検波データ 7 3 J を生成する。検波データ 7 3 J は、データ記憶装置 1 7 J に格納される。

【 0 1 5 5 】

送信データ生成部 3 0 6 は、計測期間データ 9 4 で規定される計測期間の検波データ 7 3 J を圧縮して送信する検波データ 7 3 J を生成する。移動体通信部 3 0 1 は、データ取

50

得コマンド 87 を受信し、送信データ生成部 306 が生成する検波データ 73 J を送電制御装置 22 J に送信する。送信データ生成部 306 は、検波データ 73 J と位置データ 74 H と対応付けた位置付検波データ 70 H を圧縮して送信するデータを生成してもよい。

【0156】

パイロット送信機制御部 307 は、パイロット送信機 32 がパイロット信号 31 を送信するかどうかを制御する。

【0157】

素子電界演算部 205 は、計測データ解析部 210、移相量取得部 211、素子電界位相計算部 212 および素子電界振幅計算部 213 を有する。計測データ解析部 210 は、機上制御装置 16 J から送信される検波データ 73 J を解析して計測期間ごとに、電界強度が最大および最小になる時刻と、電界強度の最大値および最小値を検出する。移相量取得部 211 は、電界強度が最大および最小になる時刻で位相操作データ 90 を参照して、操作移相器の移相量である操作移相量を計測期間ごとに求める。電界強度が最大または最小になる時刻は移相量を求める時刻なので、移相量検出時刻とも呼ぶ。

10

【0158】

素子電界位相計算部 212 は、各移相器 28 の操作移相量に基づき素子モジュールごとの素子電界位相を計算する。REV法シナリオ 88 で、1 個ずつ移相器 28 の移相量を変化させる場合は、各移相器 28 の操作移相量から定数を減算することで素子電界位相を計算できる。減算する定数は、位相の基準に応じて適切に決める。複数の移相器 28 の移相量を同時に変化させて計測した操作移相量がある場合は、連立方程式を解くことで、素子モジュールごとの素子電界位相を計算できる。

20

【0159】

素子電界振幅計算部 213 は、計測期間ごとの電界強度の最大値および最小値の比から素子電界ベクトルの振幅を計算する。

【0160】

移相量検出時刻から移相器 28 の移相量を求めるために、位相操作データ 90 を参照する方がより正確ではあるが、REV法シナリオ 88 を参照することもできる。その場合には、REV法シナリオ 88 の開始からの相対時間で規定される各移相器 28 の移相量の変化パターンを、移相量検出時刻から REV法シナリオ 88 の開始時刻を減算した相対時間で参照して、移相量検出時刻における移相器 28 の移相量を求める。REV法シナリオ 88 の相対時間を絶対時間（時刻）に変換しておき、移相量検出時刻で、絶対時間に変換されている REV法シナリオを参照してもよい。

30

【0161】

動作を説明する。図 28 は、実施の形態 10 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電手順を説明するフローチャートである。図 28 について、実施の形態 2 の場合の図 9 とは異なる点を説明する。ステップ S22 J で、2 段モジュール 29 の移相量と、その移相量の時にモニタアンテナ 14 で計測される電界ベクトル（少なくとも振幅値）を時刻データ 85 に対応付けて REV法を実行する。REV法を実行する具体的な手順は、図 29 に示す。S22 J では、2 段モジュール 26 の移相器 28 を対象として、図 29 の処理を実施する。S24 J では、1 段モジュール 25 の移相器 28 を対象として、図 29 の処理を実施する。

40

【0162】

REV法を実行する手順を、図 29 を参照して説明する。図 29 は、実施の形態 10 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムで REV法により各素子アンテナが放射する電波の素子電界ベクトルを計算する手順を説明するフローチャートである。

まず、ステップ S41 で、送電制御装置 22 J がデータ取得コマンド 87 を機上制御装置 17 J へ送信する。

【0163】

ステップ S42 で、データ取得コマンド解釈部 305 が、データ取得コマンド 87 を解釈して、計測を開始および終了する時刻を指定する計測期間データ 94 を指定された数だ

50

け、データ記憶装置 17 J に格納する。j 番目の計測期間を変数  $T_j$  で表現する。ステップ S 43 で、 $j = 0$  とし、REV 法実行部 202 が、各移相器 28 の移相量を REV 法基準状態での値に設定する。

【0164】

ステップ S 44 で、 $j = j + 1$  とし、REV 法実行部 202 が、REV 法シナリオで指定された順番で 1 個の移相器 28 を選択する。選択した移相器 28 を、移相器 28 j と表記する。移相器 28 j が、移相量を変化させる一部の移相器である操作移相器である。ステップ S 45 で、REV 法実行部 202 が、REV 法シナリオ 88 に基づき計測期間  $T_j$  において移相器 28 j の移相量を変化させ、位相操作データ 90 を記録する。なお、移相器 28 j の移相量の変更シーケンスが完了すると、移相器 28 j の移相量は REV 法基準状態での値に戻す。計測期間  $T_j$  において、S 45 と並行して実行される処理として、ステップ S 46 が実行される。S 46 では、モニアアンテナ 14 が電波を受信し、計測期間  $T_j$  の検波データ 73 J である電界強度  $C_j$  を計測する。

10

【0165】

ステップ S 47 で、移動体通信部 301 が、計測期間  $T_j$  での電界強度  $C_j$  をドローン 3 J から送電制御装置 22 J に送信する。電界強度  $C_j$  は同じ内容を少ないデータ量で送信できるように送信データ生成部 306 が圧縮してから送信する。なお、S 47 で電界強度  $C_j$  を送信する処理は、S 46 での電界強度  $C_j$  を計測する処理が完了することを待たずに実行してもよい。計測期間  $T_j$  での電界強度  $C_j$  が、計測期間  $T_j$  での電界の変化を表す電界変化データである。

20

ステップ S 48 で、送電制御通信部 204 が、電界強度  $C_j$  を受信する。

【0166】

ステップ S 49 で、計測データ解析部 210 が、電界強度  $C_j$  が最大値  $C_{jmax}$  をとる時刻  $t_{jmax}$  および最小値  $C_{jmin}$  をとる時刻  $t_{jmin}$  を求める。計測期間  $T_j$  での電界強度  $C_j$  がすべて入力されてから S 49 を実行してもよいし、電界強度  $C_j$  が入力されるごとに、素子電界演算部 205 が時刻  $t_{jmax}$  および時刻  $t_{jmin}$  を検出してもよい。時刻  $t_{jmax}$  および時刻  $t_{jmin}$  が、操作移相器である移相器 28 j の移相量検出時刻である。

【0167】

ステップ S 50 で、移相量取得部 211 が、位相操作データ 90 を参照して、時刻  $t_{jmax}$  での移相器 28 j の移相量  $p_{jmax}$  および時刻  $t_{jmin}$  での移相器 28 j の移相量  $p_{jmin}$  を検出する。移相量  $p_{jmax}$  および移相量  $p_{jmin}$  が、移相器 28 j の操作移相量である。

30

【0168】

ステップ S 51 で、素子電界位相計算部 212 が、移相量  $p_{jmax}$  と移相量  $p_{jmin}$  から、素子電界ベクトル  $E_j$  の位相を計算する。移相量  $p_{jmax}$  から計算した位相と移相量  $p_{jmin}$  から計算した位相の平均を、素子電界ベクトル  $E_j$  の位相とする。移相量  $p_{jmax}$  または移相量  $p_{jmin}$  だけから計算した位相を、素子電界ベクトル  $E_j$  の位相としてもよい。

【0169】

ステップ S 52 で、素子電界振幅計算部 213 が、電界強度  $C_j$  の最大値  $C_{jmax}$  と最小値  $C_{jmin}$  の比の値から、素子電界ベクトル  $E_j$  の振幅を計算する。素子電界ベクトル  $E_j$  の振幅は、計算しなくてもよい。

40

【0170】

ステップ S 53 で、未処理の移相器 28 があるかチェックする。未処理の移相器 28 が有る(S 53 で YES)場合は、ステップ S 44 に戻る。

未処理の移相器 28 が無い(S 53 で NO)場合は終了する。

【0171】

REV 法を実行することで、各素子モジュールが有する移相器 28 に位相オフセット値 92 を算出して設定する。位相オフセット値 92 により、各素子モジュールの位相基準を同じにする(揃える)ことができる。S 29 では、電波放射制御部 209 は、各素子モジュールの位相基準が揃った状態で、各素子モジュールに対する位相と振幅の指令値を生成する。指令値は送電制御信号 76 として送電装置 1A に送られる。なお、各素子モジュー

50

ルに対する位相と振幅の指令値は、フェーズドアレイアンテナ 30 の指向方向を送電方向に向けるように計算されたものである。

【0172】

S30では、送電制御信号76の指示にしたがい送電装置1Aが電波を放射する。こうして、電波放射制御部209は、素子モジュールごとの素子電界位相に基づき、素子モジュールの位相の基準を揃えた状態で、送電方向に電波を放射するように送電装置1Aを制御する。

【0173】

ドローン3Jからパイロット信号31を送信し、パイロット信号31が到来する方向に送電装置1Aが送電電波2を放射するので、ドローン3Jの受電アンテナ34が効率よく送電電波2を受電することができる。

10

【0174】

実施の形態2と同様に、ドローンなどの空中移動体を使用してREV法を実行することで、実際に空中移動体に送電する状況でREV法を実行できる。そのため、REV法を精度よく実行でき、空中移動体への送電時に放射方向に精度よく電波を放射できる。さらに、REV法を実行する際に使用する検波データ73Jに時刻データ85が含まれるので、精度よくREV法を実行できる。

【0175】

機上制御装置16Jから電界変化データとして、REV法を実行中の検波データ73Jを送信するのではなく、検波データ73Jに基づき生成される電界変化データを送信してもよい。そうすることで、機上制御装置から送電制御装置に送信されるデータ量を減らすことができる。また、素子電界演算部を機上制御装置に持たせて、機上制御装置で素子電界位相を計算してもよい。なお、検波データ73J自体も検波データ73Jに基づき生成される電界変化データに含まれる。

20

以上のことは、他の実施の形態にもあてはまる。

【0176】

実施の形態11

実施の形態11は、空中移動体および地上側の装置が同期した時刻装置を持つように実施の形態3を変更した場合である。実施の形態11は、実施の形態10と比較すると、パイロット信号の替りに空中移動体の位置データを送電制御装置に送信するようにした場合である。実施の形態11に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成について、図30と図31を用いて説明する。図30は、この発明の実施の形態11に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成図である。図31は、実施の形態11に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電制御装置および機上制御装置の内部構成を説明する図である。

30

【0177】

図30に示すように、ドローン3Kは、時刻装置52でもある測位センサ18Hを有する。測位センサ18Hが計測する位置データ74Hは、測定系制御装置21Kに送信される。測定系制御装置21Kは、時刻装置53を有する。送電制御装置22Kは、時刻装置54を有する。機上制御装置16K、測定系制御装置21Kおよび送電制御装置22Kは、同期した時刻を使用できる。

40

【0178】

図31について、実施の形態10の場合の図27とは異なる点を説明する。機上制御装置16Kは、時刻装置52を含む測位センサ18Hを有し、パイロット送信機制御部307を有しない。移動体通信部301は、少なくとも送電装置1Aから受電中は、位置データ74Hを送電制御装置22Kに送信する。

【0179】

送電制御装置22Kは、データ記憶部201Kおよび放射方向決定部208Kを変更している。データ記憶部201Kは、位置データ74Hおよび送電装置位置86を記憶し、到来方向データ80を記憶しない。放射方向決定部208Kは、ドローン3Kから送信さ

50

れる位置データ74Hを、送電装置位置86を基準とする相対位置に変換し、相対位置から放射方向を決定する。

【0180】

動作を説明する。図32は、実施の形態11に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電手順を説明するフローチャートである。図32について、実施の形態3の場合の図11とは異なる点を説明する。S22JとS24Jは、図28と同様である。ステップS32Kで、測位センサ18Hによりドローン3Kが自分の3次元位置を時刻データ85とともに計測して位置データ74Hを生成する。位置データ74Hは、時刻付きの位置データである。放射方向を求めるための処理であるステップ33KからS35Kまでは、位置データ74ではなく位置データ74H(時刻データ85も含む)に対して、S33からS35と同様に動作する。

10

【0181】

実施の形態11の空中移動体への送電システムは、実施の形態3と同様に動作して、同様な効果が得られる。検波データ73Jに時刻データ85が含まれているので、実施の形態10の場合と同様に、精度よくREV法を実行できる。

以上のことは、他の実施の形態にもあてはまる。

【0182】

実施の形態12.

実施の形態12は、空中移動体および地上側の装置が同期した時刻装置を持つように実施の形態4を変更した場合である。実施の形態12に係る空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成について、図33を用いて説明する。図33は、この発明の実施の形態12に係る空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成図である。

20

【0183】

図33について、実施の形態9の場合の図22とは異なる点を説明する。ドローン3Lは、実施の形態2の場合と同様な受電アンテナ34およびドローン電源システム8Aを有する。実施の形態4の場合の図12と比較すると、実施の形態9の場合と同様に、時刻装置53、時刻装置54が追加されている。測位センサ18を、時刻装置52を含む測位センサ18Hに変更している。

【0184】

動作を説明する。実施の形態12に係る空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置による空中移動体への送電システムにおいて無線送電装置による空中移動体への送電システムでの電波の放射パターンを測定する手順を説明するフローチャートである。図34について、実施の形態10の場合の図28とは異なる点を説明する。S04~S07と並行して、実施の形態4と同様に、S13とS14を追加している。S13およびS14では、受電アンテナ34で送電電波2を受信し、受信した送電電波2を整流器35が整流した電力を蓄電ユニット19に蓄電する。S13は、S04およびS05と並行して動作する。S14は、S07と並行して動作する。

30

【0185】

実施の形態12は、実施の形態4と同様に動作し、同様な効果がある。さらに、実施の形態11と同様に、検波データ73Jに時刻データ85が含まれるので、精度よくREV法を実行できる。

40

【0186】

実施の形態13.

実施の形態13は、空中移動体および地上側の装置が同期した時刻装置を持つように実施の形態5を変更した場合である。実施の形態13に係る空中移動体を用いた電波測定システムの構成について、図35と図36を用いて説明する。この発明の実施の形態13に係る空中移動体を用いた電波測定システムの構成図である。図36は、実施の形態13に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの測定系制御装置および機上制御装置の内部構成を説明する図である。実施の形態13は、実施の形態12と比較すると、送電通信系

50

39およびパイロット通信系40を持つ点異なる。

【0187】

図35について、実施の形態5の場合の図14とは異なる点を説明する。ドローン3Mは、時刻装置52でもある測位センサ18Hを有する。測定系制御装置21Mは、時刻装置53を有する。送電制御装置22Mは、時刻装置54を有する。機上制御装置16M、測定系制御装置21Mおよび送電制御装置22Mは、同期した時刻を使用できる。

【0188】

図36について、実施の形態9の場合の図27とは異なる点を説明する。データ記憶装置17Mは、コマンド通信系データ95およびデータ通信系データ96を有する。コマンド通信系データ95は、コマンド通信系として移動体通信系12および送電通信系39のどちらを使用するかを表す。データ通信系データ96は、データ通信系として移動体通信系12およびパイロット通信系40のどちらを使用するかを表す。

10

【0189】

機上制御装置16Mは、送電信号復調部308、パイロット信号変調部309および通信系切替部310を有する。送電信号復調部308は、検波データ73を復調して計測コマンド72を生成する。パイロット信号変調部309は、測定データ77Hを送信するためにパルス変調スイッチ43に対する制御信号を生成する。通信系切替部310は、測定系制御装置21Mからの指示にしたがって、コマンド通信系として移動体通信系12および送電通信系39のどちらを使用するか、および、データ通信系として移動体通信系12およびパイロット通信系40のどちらを使用するかを切替える。

20

【0190】

測定系制御装置21Mは、パイロット信号復調部106および通信系切替部107を有する。データ記憶部102Mは、コマンド通信系データ95およびデータ通信系データ96を有する。

【0191】

パイロット信号復調部106は、検波器44がパイロット信号31を検波して生成するパイロット検波データ97(図示せず)を復調する。通信系切替部107は、コマンド通信系として移動体通信系12および送電通信系39のどちらを使用するか、および、データ通信系として移動体通信系12およびパイロット通信系40のどちらを使用するかを切替える。通信系を切替える際には、データ記憶部102Mに記憶しているコマンド通信系データ95およびデータ通信系データ96のデータ値を変更し、機上制御装置16Mに切替後の通信系を通知する。通知後に、コマンド通信系データ95およびデータ通信系データ96のデータ値を変更してもよい。測定系制御装置21Mから機上制御装置16Mに使用する通信系を知らせるための通信系を切替通知通信系と呼ぶ。切替通知通信系は、例えば、使用中のコマンド通信系を使用する。あるいは、常に移動体通信系12を切替通知通信系として使用してもよい。

30

【0192】

動作を説明する。図37は、実施の形態13に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの電波の放射パターンを測定する手順を説明するフローチャートである。図37について、実施の形態9の場合の図25とは異なる点を説明する。実施の形態5の場合と同様な、S15およびS16を追加している。S15では、コマンド通信系を決める。S16では、データ通信系を決める。さらに、S04Mで、S15で決められたコマンド通信系を介して計測コマンド72が通信される。S05Mで、S16で決められたデータ通信系を介して位置付検波データ70Hが通信される。

40

【0193】

実施の形態13の空中移動体への送電システムは、実施の形態5と同様に動作し、同様な効果がある。同期した時刻データを使用して、検波データと位置データを組み合わせるので、ビーム形状をより精度よく測定できる。

【0194】

実施の形態14 .

50

実施の形態 14 は、空中移動体および地上側の装置が同期した時刻装置を持つように実施の形態 6 を変更した場合である。実施の形態 14 は、実施の形態 9 または実施の形態 10 と比較すると、移動体通信系 12 の代わりに計測通信系 45 を持つ点が異なる。実施の形態 14 に係る空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成について、図 38、図 39 および図 40 を用いて説明する。図 38 は、この発明の実施の形態 14 に係る空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成図である。図 39 は、実施の形態 14 に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの測定系制御装置および機上制御装置の内部構成を説明する図である。図 40 は、実施の形態 14 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電制御装置および機上制御装置の内部構成を説明する図である。

10

#### 【0195】

図 38 について、実施の形態 6 の場合の図 16 とは異なる点を説明する。ドローン 3N に搭載された搭載装置 13N は、時刻装置 52 でもある測位センサ 18H を有する。時刻データ 85 が付加された位置データ 74H を含む測定データ 77H が、測定系制御装置 21N に送信される。測定系制御装置 21N は、時刻装置 53 を有する。送電制御装置 22J は、時刻装置 54 を有する。機上制御装置 16N、測定系制御装置 21N および送電制御装置 22J は、同期した時刻を使用できる。

#### 【0196】

図 39 について、実施の形態 9 の場合の図 23 とは異なる点を説明する。機上制御装置 16N は、移動体通信部 301N を有する。測定系制御装置 21N は、計測制御通信部 101N を有する。移動体通信部 301N および計測制御通信部 101N は、移動体通信系 12 は使用せず、計測通信系 45 を使用する。

20

#### 【0197】

図 40 について、実施の形態 10 の場合の図 27 とは異なる点を説明する。機上制御装置 16N は、移動体通信部 301N を有する。送電制御装置 22J は、測定系制御装置 21N を介して計測通信系 45 を使用するのので、送電制御通信部 204 に変更はない。

#### 【0198】

電波測定システムとしての実施の形態 14 は、実施の形態 9 の電波測定システムと同様に動作する。実施の形態 14 の電波測定システムは、実施の形態 9 と同様な効果を有する。同期した時刻データを使用して、検波データと位置データを組み合わせるので、ビーム形状をより精度よく測定できる。

30

#### 【0199】

実施の形態 14 の空中移動体への送電システムは、実施の形態 10 の場合と同様に動作する。実施の形態 14 の送電システムは、実施の形態 10 と同様な効果を有する。REV 法を実行する際に使用する検波データ 73J に時刻データ 85 が含まれるので、精度よく REV 法を実行できる。

#### 【0200】

実施の形態 15 .

実施の形態 15 は、空中移動体および地上側の装置が同期した時刻装置を持つように実施の形態 7 を変更した場合である。実施の形態 15 は、実施の形態 14 と比較すると、送電通信系 39 およびパイロット通信系 40 を持つ点が異なる。実施の形態 15 に係る空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成について、図 41 と図 42 を用いて説明する。図 41 は、この発明の実施の形態 15 に係る空中移動体を用いた電波測定システムかつ無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成図である。図 42 は、実施の形態 15 に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの測定系制御装置および機上制御装置の内部構成を説明する図である。なお、後で説明するが、REV 法の実行時には、送電通信系 39 およびパイロット通信系 40 を使用しないので、送電制御装置の内部構成は、実施の形態 14 の場合の図 40 と同じになる。

40

50

## 【 0 2 0 1 】

図 4 1 について、実施の形態 7 の場合の図 1 8 とは異なる点を説明する。ドローン 3 P に搭載された搭載装置 1 3 P は、時刻装置 5 2 でもある測位センサ 1 8 H を有する。測位センサ 1 8 H が計測する位置データ 7 4 H は、測定系制御装置 2 1 P に送信される。測定系制御装置 2 1 P は、時刻装置 5 3 を有する。送電制御装置 2 2 P は、時刻装置 5 4 を有する。機上制御装置 1 6 P、測定系制御装置 2 1 P および送電制御装置 2 2 P は、同期した時刻を使用できる。

## 【 0 2 0 2 】

図 4 1 を、実施の形態 1 3 の場合の図 3 5 と比較すると、移動体通信系 1 2 が無く、計測通信系 4 5 がある点が異なる。

## 【 0 2 0 3 】

図 4 2 について、実施の形態 1 3 の場合の図 3 6 とは異なる点を説明する。機上制御装置 1 6 P は、移動体通信部 3 0 1 P を有する。測定系制御装置 2 1 P は、計測制御通信部 1 0 1 P を有する。移動体通信部 3 0 1 P および計測制御通信部 1 0 1 P は、移動体通信系 1 2 を使用せず、計測通信系 4 5 を使用する。

## 【 0 2 0 4 】

R E V 法の実行時には、送電通信系 3 9 およびパイロット通信系 4 0 を使用しない理由を説明する。R E V 法を実行中には、指定した移相器 2 8 の移相量を変更するだけで、その他の状態は変更しない必要がある。そのため、少なくとも一部の素子アンテナ 2 7 から電波を放射するかどうかを切替えることが必要な送電通信系 3 9 では、R E V 法を実行中は通信することはできない。検波データ 7 3 J はデータ量が大きく、パイロット通信系 4 0 は通信容量が不足するので、R E V 法の実行時にはパイロット通信系 4 0 を使用しない。なお、R E V 法の実行に必要なドローンから送信するデータ量が小さくなるか、あるいは、パイロット通信系 4 0 の通信容量が大きくなれば、R E V 法の実行時にパイロット通信系 4 0 を使用可能である。

## 【 0 2 0 5 】

実施の形態 1 5 の電波測定システムは、実施の形態 5 と同様に動作し、同様な効果がある。同期した時刻データを使用して、検波データと位置データを組み合わせるので、ビーム形状をより精度よく測定できる。

## 【 0 2 0 6 】

実施の形態 1 5 の空中移動体への送電システムは、実施の形態 1 0 および実施の形態 1 4 の場合と同様に動作し、同様な効果が得られる。R E V 法を実行する際に使用する検波データ 7 3 J に時刻データ 8 5 が含まれるので、精度よく R E V 法を実行できる。

## 【 0 2 0 7 】

実施の形態 1 6 .

実施の形態 1 6 は、空中移動体および地上側の装置が同期した時刻装置を持つように実施の形態 8 を変更した場合である。実施の形態 1 6 は、実施の形態 1 3 と比較すると、空中移動体の位置を地上から計測するようにした場合である。実施の形態 1 6 に係る空中移動体を用いた電波測定システムの構成について、図 4 3 と図 4 4 を用いて説明する。図 4 3 は、この発明の実施の形態 1 6 に係る空中移動体を用いた電波測定システムの構成図である。図 4 4 は、実施の形態 1 6 に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの測定系制御装置および機上制御装置の内部構成を説明する図である。

## 【 0 2 0 8 】

図 4 3 について、実施の形態 7 の場合の図 2 0 とは異なる点を説明する。ドローン 3 Q に搭載された搭載装置 1 3 Q は時刻装置 5 2 を有する。測定系制御装置 2 1 Q は時刻装置 5 3 を有する。送電制御装置 2 2 Q は時刻装置 5 4 を有する。機上制御装置 1 6 Q、測定系制御装置 2 1 Q および送電制御装置 2 2 M は、同期した時刻を使用できる。

## 【 0 2 0 9 】

図 4 4 について、実施の形態 1 3 の場合の図 3 6 とは異なる点を説明する。機上制御装置 1 6 Q は、位置付検波データ生成部 3 0 4 を有しない。測定系制御装置 2 1 Q は、位置

10

20

30

40

50

データ時刻付加部 108 および位置付検波データ生成部 109 を有する。位置データ時刻付加部 108 は、レーザ測位装置 51 から入力される位置データ 74 に、その位置データ 74 を受信した時点の時刻データ 85 を付加する。なお、レーザ測位装置 51 が時刻装置を有し時刻データ 85 を含む位置データ 74 H を出力するようにしてもよい。レーザ測位装置 51 が位置データ 74 H を出力する場合は、位置データ時刻付加部 108 は不要である。

#### 【0210】

位置付検波データ生成部 109 は、同じ時刻データ 85 が付けられた検波データ 73 H と位置データ 74 H とを組にして、位置付検波データ 70 H を生成する。位置付検波データ 70 H は、データ記憶部 102 Q に記憶される。

#### 【0211】

動作を説明する。実施の形態 16 に係る空中移動体を用いた電波測定システムでの電波の放射パターンを測定する手順を説明するフローチャートである。図 45 について、実施の形態 13 の場合の図 37 とは異なる点を説明する。ステップ S04Q で、ドローン 3Q では、位置データ 74 を測定しない。ステップ S05Q で、ドローン 3Q で測定した検波データ 73 H は、機上制御装置 16Q から飛行制御装置 5 に送られ、さらに移動体通信系 12 および移動体指令装置 4C を介して、測定系制御装置 21Q に送られる。ステップ S17Q で、測定系制御装置 21Q が、受信した検波データ 73 H と同じ時刻データ 85 を有する位置データ 74 H とを組合せて位置付検波データ 70 H を作成する。

#### 【0212】

実施の形態 16 の電波測定システムは、実施の形態 8 と同様な効果がある。同期した時刻データを使用して、検波データと位置データを組み合わせるので、ビーム形状をより精度よく測定できる。

#### 【0213】

実施の形態 17 .

実施の形態 17 は、次の 2 点で実施の形態 10 を変更した場合である。(変更点 A)パイロット信号が受信できている場合だけ、無線送電装置から電波を放射する。(変更点 B)送電装置 1A が電波を放射する前にパイロット信号から放射方向を決めて、放射方向に電波を放射する。REV 法を実行する際にも、放射方向に電波を放射する状態を REV 法の基準状態とする。

#### 【0214】

実施の形態 17 では、実施の形態 10 と比較して、送電制御装置 22R だけを変更している。実施の形態 17 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成について、図 46 を用いて説明する。図 46 は、実施の形態 17 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電制御装置および機上制御装置の内部構成を説明する図である。

#### 【0215】

図 46 に関して、実施の形態 10 の場合の図 27 とは異なる点を説明する。送電制御装置 22R は、放射可否判断部 214 を有する。放射可否判断部 214 は、送電装置 1A が電波を放射することの可否を判断する。また、データ記憶部 201R、REV 法実行部 202R および電波放射制御部 209R も変更している。データ記憶部 201R は、放射可否データ 98 も記憶する。放射可否データ 98 は、送電装置 1A が電波を放射できるかどうかを示すデータである。

#### 【0216】

放射可否判断部 214 は、パイロット信号 31 の信号強度から電波を放射することの可否を判断して、放射可否データ 98 を設定する。パイロット信号 31 の信号強度が閾値以上である場合に、放射可すなわち放射できると判断する。パイロット信号 31 の信号強度が閾値未満である場合に、放射可すなわち放射できないと判断する。パイロット信号 31 の信号強度が閾値以上である場合を、パイロット信号 31 を受信できていると言う。パイロット信号 31 の信号強度が閾値未満である場合を、パイロット信号 31 を受信できてい

10

20

30

40

50

ないと言う。

【0217】

電波放射制御部209Rは、放射可否データ98を参照して、各素子モジュールに対する放射指令値93および送電制御信号76を生成する。放射可否データ98が否に変化した場合は、電波放射制御部209Rは送電装置1Aに送電を禁止する送電制御信号76を送信する。送電装置1Aが送電中(電波を放射中)の場合は、送電を禁止する送電制御信号76を受信すると、送電装置1Aは送電を停止する。送電を禁止する送電制御信号76を受信した後は、送電が可能(禁止されていない)であるとする送電制御信号76を受信するまでは、送電装置1Aは送電できない。

【0218】

放射可否データ98が可に変化した場合は、電波放射制御部209Rは送電が可能であることを通知する送電制御信号76を送電装置1Aに送信する。送電装置1Aは、送電が可能であることを通知する送電制御信号76を受信すると、送電禁止を解除する。なお、送電が可能であることを通知する送電制御信号76を送信せず、送電禁止の状態でも放射指令値93を表す送電制御信号76を受信した場合に送電するようにしてもよい。

【0219】

放射可否データ98が可であり、かつ送電装置1Aが送電禁止の状態でなく、かつ送電する必要があり、かつ送電方向が決まっている場合に、電波放射制御部209Rは放射指令値93に基づき生成した送電制御信号76を送電装置1Aに送信する。それ以外の場合は、電波放射制御部209Rは、放射指令値93を生成せず、放射指令値93に基づき生成した送電制御信号76を送電装置1Aに送信しない。つまり、電波放射可否判断部214が判断した結果である放射可否データ98に基づき、受信されたパイロット信号31の信号強度が閾値以上である場合に無線送電装置1Aから送電電波2を放射でき、受信されたパイロット信号31の信号強度が閾値未満である場合に無線送電装置1Aが送電電波2を放射しないように制御する。

【0220】

REV法実行部202Rは、REV法のために送電装置1Aが電波を放射する前に、パイロット信号31から放射方向を決めて、放射方向に電波を放射する状態をREV法基準状態89とする。その後で、REV法実行部202Rは、REV法シナリオ88を実行して電波を放射する。

【0221】

また、REV法を実行済で送電のために電波を放射する前にも、パイロット信号31に基づき放射方向を決めた後に、無線送電装置1Aが送電電波2を放射して送電を開始する。そうすることで、ドローン3Rが存在する方向とは異なる方向に放射される電波を少なくできる。

【0222】

動作を説明する。図47は、実施の形態17に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電手順を説明するフローチャートである。図47について、実施の形態10の場合の図28とは異なる点を説明する。

【0223】

S21の次に、ステップS36を追加している。S36では、REV法実行部202Rは、パイロット信号31から放射方向を決め、放射方向に送電電波2を放射する状態での各移相器28の移相量をREV法基準状態89に設定する。

【0224】

位相オフセット値を移相器28に設定するS23およびS25は、送電装置1Aが電波を放射しない状態である。S25の実行後および送電実行中であるS26からS30を決められた周期で繰り返し実行する際に、S26の前に実行するステップS37で、パイロット信号31の信号強度(パイロット信号強度)が閾値以上であるかどうかをチェックする。パイロット信号強度が閾値以上である場合(S37でYES)は、S26からS30の送電処理を継続する。閾値未満である場合(S37でNO)は、S38で送電を停止する。

10

20

30

40

50

閾値は、パイロット信号 3 1 を正常に受信できている状態でのパイロット信号強度を基準として、適切に小さい値に設定する。

【 0 2 2 5 】

S 2 6 から S 3 0 の送電処理は、必ずドローン 3 R が送信するパイロット信号 3 1 が到来する到来方向を求めた後で、到来方向に向かう方向を放射方向として送電する。

【 0 2 2 6 】

パイロット信号強度が閾値未満である状態は、以下の何れかの状態と考えられる。

(状態 1) ドローン 3 R に何らかの異常があり、送電電波 2 を受信できない状態。

(状態 2) ドローン 3 R の姿勢が傾いており、受電アンテナ 3 4 およびパイロット送信機 3 2 が送電装置 1 A の方向を向いてない状態。

【 0 2 2 7 】

(状態 1) または (状態 2) のどちらの状態でも、送電装置 1 A から送電する電力は、ドローン 3 R で受信できずに無駄になる。パイロット信号強度を閾値と比較することで、(状態 1) または (状態 2) を検出でき、無駄に送電電波 2 を放射することを防止できる。

【 0 2 2 8 】

(変更点 A) または (変更点 B) のどちらかだけを実施してもよい。実施の形態 1 0 とは異なる送電システムの実施の形態に、(変更点 A) または (変更点 B) のどちらか少なくとも一方を適用してもよい。

【 0 2 2 9 】

実施の形態 1 8 .

実施の形態 1 8 は、R E V 法で素子電界ベクトルを算出する処理の一部を空中移動体で実施して、空中移動体から送電制御装置へ送信するデータ量を小さくするように、実施の形態 1 7 を変更した場合である。実施の形態 1 8 では、実施の形態 1 7 と比較して、送電制御装置 2 2 S、機上制御装置 1 6 S およびデータ記憶装置 1 7 S を変更している。実施の形態 1 8 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成について、図 4 8 を用いて説明する。図 4 8 は、実施の形態 1 8 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電制御装置および機上制御装置の内部構成を説明する図である。図 4 8 に関して、実施の形態 1 7 の場合の図 4 6 とは異なる点を説明する。

【 0 2 3 0 】

計測期間  $T_j$  は、データ取得コマンドで通知される複数の期間である。それぞれの計測期間は、操作移相器が移相量を変更する期間に対応する。ドローン 3 S に搭載されたデータ記憶装置 1 7 S は、最大最小時刻 6 1 および最大最小振幅値 6 2 も記憶する。最大最小時刻 6 1 とは、計測期間  $T_j$  内に実際に検出された電界強度  $C_j(t)$  が最大になる時刻  $t_{jmax}$  と電界強度  $C_j(t)$  が最小になる時刻  $t_{jmin}$  である。最大最小振幅値 6 2 は、計測期間  $T_j$  内の電界強度  $C_j(t)$  の最大値  $C_{jmax}$  と最小値  $C_{jmin}$  である。最大最小時刻 6 1 および最大最小振幅値 6 2 が、データ取得コマンド 8 7 に対する返信として、機上制御装置 1 6 S から送電制御装置 2 2 S に送信される。最大最小時刻 6 1 および最大最小振幅値 6 2 が、計測期間  $T_j$  での電界の変化を表す電界変化データである。最大最小時刻 6 1 だけを電界変化データとして返信してもよい。

【 0 2 3 1 】

機上制御装置 1 6 S は、送信データ生成部 3 0 6 を有さず、計測データ解析部 3 1 1 を有する。計測データ解析部 3 1 1 は、実施の形態 1 0 において、送電制御装置 2 2 J が有する計測データ解析部 2 1 0 と同様な処理を実施する。計測データ解析部 3 1 1 は、計測期間  $T_j$  内に実際に計測された電界強度  $C_j(t)$  から時刻  $t_{jmax}$  および時刻  $t_{jmin}$  を検出する。また、電界強度  $C_j(t)$  の最大値  $C_{jmax}$  と最小値  $C_{jmin}$  も検出する。計測期間  $T_j$  は、その期間内に計測された電界強度  $C_j(t)$  を解析する解析期間である。また、最大最小時刻 6 1 としてデータ記憶装置 1 7 S に記憶される時刻  $t_{jmax}$  および時刻  $t_{jmin}$  は、解析期間のそれぞれで計測された電界強度  $C_j(t)$  を解析して得られる移相量検出時刻である。計測データ解析部 3 1 1 は、解析期間ごとに移相量検出時刻を検出する。

10

20

30

40

50

## 【 0 2 3 2 】

移動体通信部 3 0 1 は、最大最小時刻 6 1 および最大最小振幅値 6 2 を送電制御装置 2 2 S に送信する。移動体通信部 3 0 1 は、計測期間  $T_j$  で計測された電界強度  $C_j$  すなわち検波データ 7 3 J は、送電制御装置 2 2 S に送信しない。

## 【 0 2 3 3 】

送電制御装置 2 2 S が有するデータ記憶部 2 0 1 S では、ドローン 3 S から送信される最大最小時刻 6 1 および最大最小振幅値 6 2 を記憶する。検波データ 7 3 J はドローン 3 S から送信されないので、データ記憶部 2 0 1 S には検波データ 7 3 J は記憶されない。

## 【 0 2 3 4 】

素子電界演算部 2 0 5 S は、計測データ解析部 2 1 0 を有さない。移相量取得部 2 1 1 は、最大最小時刻 6 1 である時刻  $t_{jmax}$  および時刻  $t_{jmin}$  での位相操作データ 9 0 に記録された移相器 2 8 j の移相量を求める。素子電界位相計算部 2 1 2 は、位相を変化させた移相器 2 8 j の素子電界ベクトル 9 1 の位相（素子電界位相）を計算する。素子電界振幅計算部 2 1 3 は、電界強度  $C_j(t)$  の最大値  $C_{jmax}$  と最小値  $C_{jmin}$  の比率から、素子電界ベクトル 9 1 の振幅を計算する。位相オフセット値計算部 2 0 6 は、各移相器 2 8 の素子電界ベクトル 9 1 の位相から各移相器 2 8 の位相オフセット値 9 2 を計算する。位相オフセット値設定部 2 0 7 は、位相オフセット値 9 2 を各移相器 2 8 に設定する。

## 【 0 2 3 5 】

動作を説明する。図 4 9 は、実施の形態 1 8 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電手順を説明するフローチャートである。図 5 0 は、実施の形態 1 8 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムで R E V 法により各素子アンテナが放射する電波の素子電界ベクトルを計算する手順を説明するフローチャートである。

## 【 0 2 3 6 】

図 4 9 について、実施の形態 1 7 の場合の図 4 7 とは異なる点を説明する。2 段モジュール 2 6 の素子電界ベクトルを求めるステップ S 2 2 S では、ドローン 3 S から送信される最大最小時刻 6 1 を使用して、移相器 2 9 j により位相が制御される素子アンテナ 2 7 j が放射する電波による素子電界ベクトルを計算する。S 2 4 S では、送電装置 1 A で生成される電界ベクトルの位相差を求めるために、1 段モジュール 2 4 を対象として S 2 2 S と同様に R E V 法を実行する。

## 【 0 2 3 7 】

図 5 0 について、実施の形態 1 0 の場合の図 2 9 とは異なる点を説明する。S 4 7 S の前に、ステップ S 5 4 を追加している。S 5 4 では、ドローン 3 S が有する計測データ解析部 3 1 1 が、計測期間  $T_j$  の電界強度  $C_j$  の最大値  $C_{jmax}$  と、最大値  $C_{jmax}$  を取る時刻である時刻  $t_{jmax}$  とを検出する。さらに、計測期間  $T_j$  の電界強度  $C_j$  の最小値  $C_{jmin}$  と、最小値  $C_{jmin}$  を取る時刻である時刻  $t_{jmin}$  とを検出する。

S 5 4 の処理は、図 2 9 での S 4 9 の処理に相当する。そのため、図 5 0 では、S 4 9 は存在しない。

## 【 0 2 3 8 】

ステップ S 4 7 S では、移動体通信部 3 0 1 が、時刻  $t_{jmax}$  および時刻  $t_{jmin}$  を最大最小時刻 6 1 として、最大値  $C_{jmax}$  および最小値  $C_{jmin}$  を最大最小振幅値 6 2 として、送電制御装置 2 2 S が有する送電制御通信部 2 0 4 に送信する。

ステップ S 4 8 S で、送電制御通信部 2 0 4 が、時刻  $t_{jmax}$  および時刻  $t_{jmin}$  と、最大値  $C_{jmax}$  および最小値  $C_{jmin}$  とを受信する。

## 【 0 2 3 9 】

S 4 8 S の次に、S 5 0 が実行される。以降は、図 2 9 と同様である。

## 【 0 2 4 0 】

実施の形態 1 8 の空中移動体への送電システムはでは、実施の形態 1 7 が奏する効果に加えて、R E V 法を実行するためにドローン 3 S から送信されるデータ量を少なくすることができる。

## 【 0 2 4 1 】

10

20

30

40

50

実施の形態 19 .

実施の形態 19 は、R E V 法で素子電界ベクトルを算出する処理を空中移動体で実施して、空中移動体から送電制御装置へ送信するデータ量を小さくするように、実施の形態 17 を変更した場合である。また、R E V 法シナリオでは、各移相器の移相量を離散的に、かつ各移相量で一定になる時間を適切な長さとする。そうすることで、実際の移相器の移相量の変化の記録ではなく R E V 法シナリオを使用して時刻から移相量を求める際の誤差を小さくできる。

【 0 2 4 2 】

実施の形態 19 では、実施の形態 17 と比較して、送電制御装置 2 2 T、機上制御装置 1 6 T、データ記憶装置 1 7 T を変更している。実施の形態 19 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成について、図 5 1 を用いて説明する。図 5 1 は、実施の形態 19 に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電制御装置および機上制御装置の内部構成を説明する図である。図 5 1 に関して、実施の形態 18 の場合の図 4 8 とは異なる点を説明する。

10

【 0 2 4 3 】

電界計算コマンド 9 9 は、機上制御装置 1 6 T に素子電界ベクトルの計算を指示するコマンドである。送電制御装置 2 2 T から電界計算コマンド 9 9 を機上制御装置 1 6 T に送信する。機上制御装置 1 6 T は、検波データ 7 3 J を生成する。機上制御装置 1 6 T は、検波データ 7 3 J と R E V 法シナリオ 8 8 に基づき各素子モジュールの素子電界ベクトル 9 1 を計算する。機上制御装置 1 6 T は、素子電界ベクトル 9 1 を送電制御装置 2 2 T に送信する。

20

【 0 2 4 4 】

送電制御装置 2 2 T は、データ取得コマンド生成部 2 0 3 および素子電界演算部 2 0 5 を有さない。また、データ記憶部 2 0 1 T は、最大最小時刻 6 1 および最大最小振幅値 6 2 を記憶しない。データ記憶部 2 0 1 T は、R E V 法シナリオ 8 8 T を記憶する。R E V 法シナリオ 8 8 T は、素子電界ベクトル 9 1 を機上制御装置 1 6 T でも計算しやすくするため、R E V 法シナリオ 8 8 から変更している。R E V 法シナリオ 8 8 T については、後で説明する。

【 0 2 4 5 】

送電制御装置 2 2 T は、電界計算コマンド 9 9 を生成する電界計算コマンド生成部 2 1 5 を有する。電界計算コマンド 9 9 は、移動体通信系 1 2 により機上制御装置 1 6 T に送られる。電界計算コマンド 9 9 には、R E V 法開始時刻 6 3 が含まれる。R E V 法開始時刻 6 3 は、送電制御装置 2 2 T の R E V 法実行部 2 0 2 が R E V 法シナリオ 8 8 T の実行を開始する時刻である。R E V 法シナリオ 8 8 T において、実行開始は基準事象であり、それ以外の事象は実行開始からの相対時間で時間が表現される非基準事象である。

30

R E V 法シナリオが複数の基準事象を有する場合など、電界計算コマンド 9 9 を複数回、あるいは基準事象の時刻を伝えるコマンドを 1 回以上と電界計算コマンド 9 9 を 1 回、送信してもよい。

【 0 2 4 6 】

機上制御装置 1 6 T は、電界計算コマンド解釈部 3 1 2 と素子電界演算部 3 1 3 を有する。データ記憶装置 1 7 T は、R E V 法シナリオ 8 8 T、R E V 法開始時刻 6 3、計測期間データ 9 4、検波データ 7 3 J、最大最小時刻 6 1、最大最小振幅値 6 2 および素子電界ベクトル 9 1 を記憶する。R E V 法シナリオ 8 8 T は、ドローン 3 T が離陸する前にデータ記憶装置 1 7 T に記憶させておく。

40

【 0 2 4 7 】

データ記憶装置 1 7 T に記憶させる R E V 法シナリオ 8 8 T は、送電制御装置 2 2 T が有するものと同じでもよいし、素子電界演算部 3 1 3 に必要なデータだけを含むものでもよい。最大最小時刻 6 1 および最大最小振幅値 6 2 は、素子電界演算部 3 1 3 が素子電界ベクトル 9 1 を求めるために使用するデータなので、それらを素子電界演算部 3 1 3 の内部データにして、データ記憶装置 1 7 T に記憶しなくてもよい。

50

## 【 0 2 4 8 】

電界計算コマンド 9 9 を受信すると、電界計算コマンド解釈部 3 1 2 は、電界計算コマンド 9 9 から R E V 法開始時刻 6 3 を取り出してデータ記憶装置 1 7 T に格納する。R E V 法シナリオ 8 8 T を参照して、操作移相器ごとの計測期間  $T_j$  である計測期間データ 9 4 を設定する。計測期間データ 9 4 では、R E V 法開始時刻 6 3 を使用して相対時間を時刻に置き換える。R E V 法開始時刻 6 3 および R E V 法シナリオ 8 8 T に基づき複数の計測期間  $T_j$  を設定することは、移相量検出時刻である時刻  $t_{jmax}$  および時刻  $t_{jmin}$  をドローンで求める実施の形態 1 8 などに適用してもよい。

## 【 0 2 4 9 】

検波器制御部 3 0 2 は、計測期間データ 9 4 で指定される計測期間に検波データ 7 3 を生成する。検波データ時刻付加部 3 0 3 は、検波データ 7 3 に時刻データ 8 5 を付加して検波データ 7 3 J を生成する。検波データ 7 3 J は、データ記憶装置 1 7 J に格納される。

10

## 【 0 2 5 0 】

素子電界演算部 3 1 3 は、計測期間データ 9 4 で指定される期間で計測された検波データ 7 3 J と R E V 法シナリオ 8 8 T に基づき、素子電界ベクトル 9 1 を計算する。位相操作データ 9 0 は、送電制御装置 2 1 J から機上制御装置 1 6 T に送信されない。そのため、素子電界演算部 3 1 3 は、位相操作データ 9 0 の代わりに R E V 法シナリオ 8 8 T を参照する。

## 【 0 2 5 1 】

素子電界演算部 3 1 3 は、計測データ解析部 3 1 1、移相量取得部 3 1 4、素子電界位相計算部 3 1 5 および素子電界振幅計算部 3 1 6 を有する。計測データ解析部 3 1 1 は、実施の形態 1 8 と同様に、計測期間  $T_j$  内に実際に計測された電界強度  $C_j(t)$  が最大または最小になる時刻  $t_{jmax}$  および時刻  $t_{jmin}$  を検出する。厳密に最大または最小の時刻を求めるのではなく、ノイズによる変動分を除いて電界強度  $C_j(t)$  が最大または最小に近い値を取る期間の中央付近の時刻を、時刻  $t_{jmax}$  および時刻  $t_{jmin}$  として検出する。また、電界強度  $C_j(t)$  の最大値  $C_{jmax}$  と最小値  $C_{jmin}$  も検出する。時刻  $t_{jmax}$  および時刻  $t_{jmin}$  は、最大最小時刻 6 1 としてデータ記憶装置 1 7 T に記憶される。最大値  $C_{jmax}$  と最小値  $C_{jmin}$  は、最大最小振幅値 6 2 としてデータ記憶装置 1 7 T に記憶される。

20

## 【 0 2 5 2 】

移相量取得部 3 1 4 は、時刻  $t_{jmax}$  および時刻  $t_{jmin}$  から R E V 法開始時刻 6 3 を減算して相対時間に変換する。相対時間に変換した時刻  $t_{jmax}$  および時刻  $t_{jmin}$  で R E V 法シナリオ 8 8 T を参照して、時刻  $t_{jmax}$  での移相量  $p_{jmax}$  と時刻  $t_{jmin}$  での移相量  $p_{jmin}$  を求める。なお、R E V 法シナリオ 8 8 T 中の相対時間を、R E V 法開始時刻 6 3 を加算することで時刻に変換しておき、時刻  $t_{jmax}$  および時刻  $t_{jmin}$  で参照してもよい。

30

## 【 0 2 5 3 】

素子電界位相計算部 3 1 5 は、移相量  $p_{jmax}$  および移相量  $p_{jmin}$  から各素子モジュールの素子電界位相を計算する。素子電界振幅計算部 3 1 6 は、最大値  $C_{jmax}$  と最小値  $C_{jmin}$  から素子電界振幅を計算する。

## 【 0 2 5 4 】

素子電界演算部 3 1 3 が位相操作データ 9 0 を参照しない場合でも、操作移相量を確実に取得できるように、R E V 法シナリオ 8 8 T を変更している。R E V 法シナリオ 8 8 T では、各移相器 2 8 の移相量を離散的に変化させる。移相器 2 8 がある移相量で一定である期間は決められた長さ以上とする。つまり、R E V 法シナリオ 8 8 T では、操作移相器（移相量を操作される移相器 2 8）が異なる複数の移相量のそれぞれを決められた継続時間以上はとるように、位相操作パターンが規定されている。

40

## 【 0 2 5 5 】

R E V 法実行部 2 0 2 T が R E V 法シナリオ 8 8 T にしたがって送電装置 1 A を制御する際に、実際に移相量を変化させるタイミングには誤差が発生しうる。誤差が発生する場合でも、移相量で一定である期間は決められた長さ以上なので、R E V 法シナリオ 8 8 T

50

を参照して時刻 $t_{jmax}$ および時刻 $t_{jmin}$ での移相量 $p_{jmax}$ および移相量 $p_{jmin}$ を、誤差を小さくして取得できる。移相量を一定にする期間の長さは、実行時刻が変動する誤差の大きさを考慮して適切に決める。

【0256】

動作を説明する。図52は、実施の形態19に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電手順を説明するフローチャートである。図53は、実施の形態19に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでREV法により各素子アンテナが放射する電波の素子電界ベクトルを計算する手順を説明するフローチャートである。

【0257】

図52について、実施の形態18の場合の図49とは異なる点を説明する。2段モジュール26の素子電界ベクトルを求めるステップS22Tでは、ドローン3TでREV法シナリオ88Tに基づき、移相器29jにより位相が制御される素子アンテナ27jが放射する電波による素子電界ベクトル(電波の位相差)を計算する。S24Tでは、送電装置1Aで生成される電界ベクトルの位相差を求めるために、1段モジュール24を対象としてS22Tと同様にドローン3TでREV法を実行する。

【0258】

図53について、実施の形態18の場合の図50とは異なる点を説明する。S47SおよびS48Sが無く、ステップS55~S59を追加している。S54~S58は、ドローン3Tで実行される処理である。S54では、実施の形態18の場合と同様に計測データ解析部311が時刻 $t_{jmax}$ および時刻 $t_{jmin}$ を検出する。ステップS54の次に、ステップS55で移相量取得部314が、REV法シナリオ88Tを参照して、時刻 $t_{jmax}$ での移相器28jの移相量 $p_{jmax}$ を検出する。時刻 $t_{jmin}$ での移相器28jの移相量 $p_{jmin}$ も検出する。

【0259】

ステップS56で、素子電界位相計算部315が、移相量 $p_{jmax}$ と移相量 $p_{jmin}$ から、素子電界ベクトル $E_j$ の位相を計算する。移相量 $p_{jmax}$ から計算した位相と移相量 $p_{jmin}$ から計算した位相の平均を、素子電界ベクトル $E_j$ の位相とする。ステップS57で、素子電界振幅計算部316が、電界強度 $C_j$ の最大値 $C_{jmax}$ と最小値 $C_{jmin}$ の比の値から、素子電界ベクトル $E_j$ の振幅を計算する。

【0260】

ステップS58では、移動体通信部301が、素子電界ベクトル $E_j$ を送電制御装置22Sが有する送電制御通信部204に送信する。ステップS59で、送電制御通信部204が、素子電界ベクトル $E_j$ を受信する。

【0261】

S59の次に、S53で未処理の移相器28があるかチェックする。

【0262】

実施の形態19では、実施の形態17が奏する効果に加えて、ドローンでREV法を実行するので、ドローン3Sから送信されるデータ量を少なくできる。また、送電制御装置22TでREV法により素子電界ベクトル $E_j$ を計算しなくてもよくなる。

【0263】

機上制御装置で、操作移相器の操作移相量である移相量 $p_{jmax}$ と移相量 $p_{jmin}$ を求める処理まで実施して、移相量 $p_{jmax}$ と移相量 $p_{jmin}$ から素子電界ベクトル $E_j$ を計算する処理は送電制御装置で実施してもよい。その場合には、機上制御装置から送電制御装置に移相量 $p_{jmax}$ と移相量 $p_{jmin}$ を送信する。

【0264】

実施の形態20

実施の形態20は、REV法を小電力と通常電力の2段階で実行するように、実施の形態18を変更した場合である。実施の形態20では、実施の形態18と比較して、送電制御装置22Uを変更している。実施の形態20に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムの構成について、図54を用いて説明する。図54は、実施の形態20に係

10

20

30

40

50

る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電制御装置および機上制御装置の内部構成を説明する図である。図54に関して、実施の形態18の場合の図48とは異なる点を説明する。

【0265】

送電制御装置22Uは、データ記憶部201UとREV法実行部202Uを変更している。データ記憶部201Uは、小電力比率65、通常電力比率66および使用電力比率67を記憶している。小電力比率65は、REV法を1回目に実行する場合に放射する送電電波2の電力の定格出力に対する比率である。小電力比率65は、半分(50%)未満、例えば20%程度に設定される。通常電力比率66は、REV法を2回目に実行する場合に放射する送電電波2の電力の定格出力に対する比率である。通常電力比率66は、半分(50%)を超える値、例えば80%に設定される。使用電力比率67は、2段階のそれぞれで実行するREV法で使用する電力比率である。1回目のREV法では、使用電力比率67には小電力比率65が設定される。2回目のREV法では、使用電力比率67には通常電力比率66が設定される。つまり、REV法シナリオ88には、小電力で実行する部分と通常電力で実行する部分とがあることになる。

10

【0266】

REV法実行部202Uは、小電力比率65、通常電力比率66および使用電力比率67を参照して、REV法を2段階で実行する。

【0267】

動作を説明する。図55は、実施の形態20に係る無線送電装置による空中移動体への送電システムでの送電手順を説明するフローチャートである。図55について、実施の形態18の場合の図49とは異なる点を説明する。

20

【0268】

S36とS22Uの間に、ステップS61を追加している。S61では、使用電力比率67に小電力比率65を設定する。

S22UおよびS24Uで、使用電力比率67で指定される電力で電波を放射する。

【0269】

S25の後に、ステップS62およびステップS63を追加している。S62では、使用電力比率67が小電力比率65と等しいかどうか、すなわち使用電力が小電力かどうかをチェックする。使用電力比率67が小電力比率65と等しい場合(S62でYES)は、S63で、使用電力比率67に通常電力比率66を設定する。S63の実行後は、通常電力でのREV法を実行するため、S22Uに戻る。使用電力比率67が小電力比率65と等しくない場合(S62でNO)は、送電を開始するためにS37に進む。

30

【0270】

図55に示すフローチャートでは、最初は小電力でREV法を実行する。REV法を未実施の状態では、送電装置1Aが送電電波2を意図しない方向に放射する可能性がある。通常電力で送電電波2が意図しない方向に放射されると、思わぬ弊害が発生する可能性がある。最初は小電力でREV法を実行することで、意図しない方向に送電電波2を放射することにより弊害が発生する場合でも、弊害を問題にならない程度に小さくできる。

【0271】

1回目に小電力で実行するREV法により、S23およびS25で小電力のREV法で得られた位相オフセット値が移相器に設定される。そのため、2回目の通常電力で実行するREV法では、各素子モジュールの位相基準がかなり揃った状態で実行される。つまり、小電力でのREV法を実行した後は、意図する方向とほぼ同じ方向に送電装置1Aが送電電波2を放射できる。通常電力でREV法を実行する際には、送電電波2を放射することにより弊害が発生する可能性を非常に小さくできる。通常電力でREV法を実行するので、実際に使用する状態でREV法を実行できる。

40

【0272】

REV法を小電力と通常電力の2段階で実行することは、他の実施の形態にも適用できる。小電力と通常電力は、定格電力に対する比率ではなく、電力値を指定してもよい。

50

## 【 0 2 7 3 】

本発明はその発明の精神の範囲内において各実施の形態の自由な組み合わせ、あるいは各実施の形態の変形や省略が可能である。

## 【 符号の説明 】

## 【 0 2 7 4 】

- 1、 1 A 送電装置（無線送電装置）、
- 2 送電電波（電波）、
- 3、 3 A、 3 B、 3 C、 3 D、 3 E、 3 F、 3 G、 3 H、 3 J、 3 K、 3 L、 3 M、 3 N、 3 P、 3 Q、 3 R、 3 S、 3 T ドローン（空中移動体）
- 4、 4 A、 4 B、 4 C、 4 D 移動体指令装置、
- 5、 5 A、 5 B、 5 C 飛行制御装置、
- 6 機上通信アンテナ、
- 7 無線モデム、
- 8、 8 A、 8 B ドローン電源システム
- 9 駆動モータ、
- 10 無線モデム、
- 11 通信アンテナ、
- 12 移動体通信系、
- 13、 13 A、 13 B、 13 C、 13 D、 13 E、 13 F、 13 G、 13 H、 13 J、 13 K、 13 L、 13 M、 13 N、 13 P、 13 Q、 13 R、 13 S、 13 T 搭載装置、
- 14 モニタアンテナ（計測用アンテナ）、
- 15、 15 A 検波器（電波計測部）、
- 16、 16 A、 16 B、 16 D、 16 E、 16 F、 16 G、 16 H、 16 J、 16 K、 16 M、 16 N、 16 P、 16 Q、 16 R、 16 S、 16 T 機上制御装置、
- 17、 17 A、 17 B、 17 D、 17 E、 17 G、 17 S、 17 T データ記憶装置（記憶装置）
- 18、 18 H 測位センサ（位置測定部）、
- 19 蓄電ユニット、
- 20 a、 20 b、 20 c 負荷側コンバータ
- 21、 21 D、 21 E、 21 F、 21 G 測定系制御装置（放射電波データ生成部）
- 21 A、 21 B、 21 H、 21 J、 21 K、 21 L、 21 M、 21 N、 21 P、 21 Q 測定系制御装置
- 22 送電制御装置、
- 22 A、 22 B、 22 C、 22 D 送電制御装置（放射方向決定部、指向方向変更部）、
- 22 H、 22 J、 22 K、 22 L、 22 M、 22 R、 22 S、 22 T、 22 U 送電制御装置、
- 23 送信信号生成部、
- 24、 24 A 初段モジュール（素子モジュール）、
- 25 分配回路、
- 26、 26 A 2段モジュール（素子モジュール）、
- 27 素子アンテナ、
- 28 移相器、
- 29 増幅器、
- 30 フェーズドアレイアンテナ（被計測アンテナ、送電アンテナ）
- 31 パイロット信号、
- 32 パイロット送信機（方向信号送信部、方向信号送受信部）、
- 33 パイロット送信アンテナ（方向信号送信部、方向信号送受信部）、
- 34 受電アンテナ、
- 35 整流器、
- 36 整流側コンバータ

10

20

30

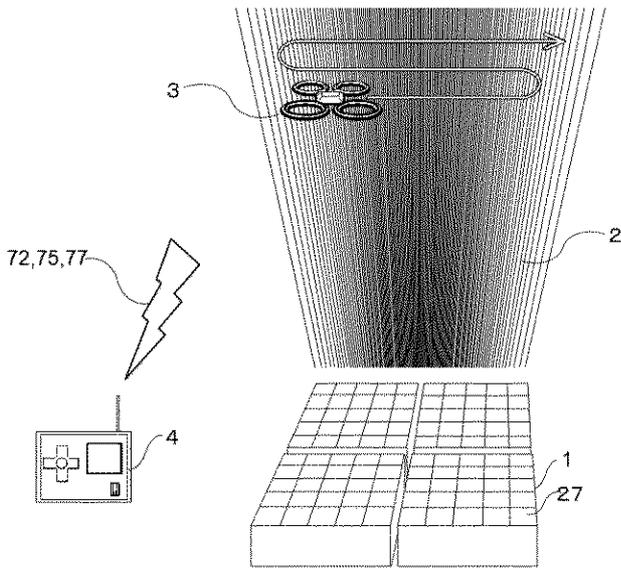
40

50

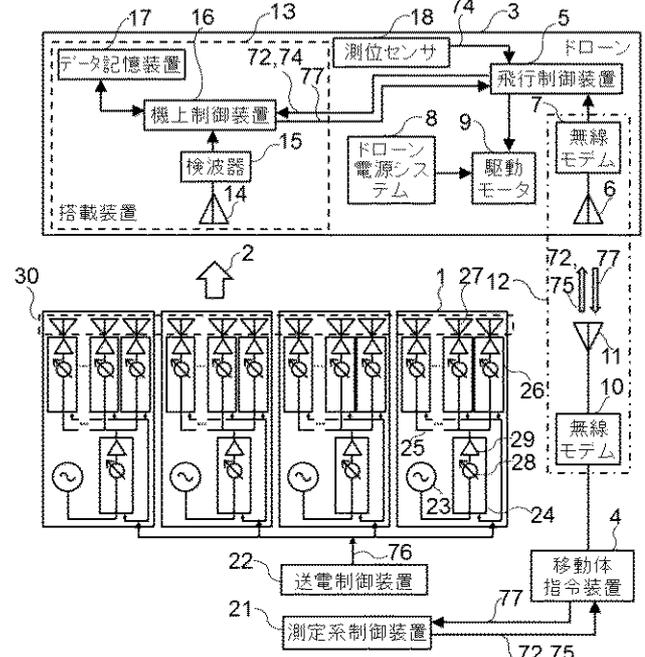
37	パイロット受信アンテナ（方向信号受信部、方向信号送受信部）、	
38	到来方向検出装置（放射方向決定部）、	
39	送電通信系、	
40	パイロット通信系、	
41	パルス変調スイッチ、	
42、42A	通信系切替スイッチ、	
43	パルス変調スイッチ、	
44	検波器、	
45	計測通信系、	
46	機上通信機、	10
47	機上通信アンテナ、	
48	地上通信アンテナ	
49	地上通信機、	
50	計測系電源線、	
51	レーザ測位装置、	
52、53、54	時刻装置、	
101、101N、101P	計測制御通信部、	
102、102Q	データ記憶部、	
103	計測制御部、	20
104	相対位置変換部、	
105	ビーム形状データ生成部（放射電波データ生成部）、	
106	パイロット信号復調部、	
107	通信系切替部、	
108	位置データ時刻付加部、	
109	位置付検波データ生成部、	
201、201K、201R、201S	データ記憶部	
202、202R	REV法実行部、	
203	データ取得コマンド生成部、	30
204	送電制御通信部、	
205	素子電界演算部、	
206	位相オフセット値計算部、	
207	位相オフセット値設定部、	
208	放射方向決定部、	
209、209R	電波放射制御部（指向方向変更部）、	
210	計測データ解析部、	
211	移相量取得部、	
212	素子電界位相計算部、	
213	素子電界振幅計算部、	40
214	放射可否判断部、	
215	電界計算コマンド生成部、	
301、301N、301P	移動体通信部、	
302	検波器制御部、	
303	検波データ時刻付加部（受信電波データ時刻付加部）、	
304	位置付検波データ生成部、	
305	データ取得コマンド解釈部、	
306	送信データ生成部、	
307	パイロット送信機制御部、	50

3 0 8	送電信号復調部	
3 0 9	パイロット信号変調部	
3 1 0	通信系切替部	
3 1 1	計測データ解析部	
3 1 2	電界計算コマンド解釈部、	
3 1 3	素子電界演算部、	
3 1 4	移相量取得部、	
3 1 5	素子電界位相計算部、	
3 1 6	素子電界振幅計算部、	
		10
7 0、7 0 A、7 0 H	位置付検波データ（電波測定データ）	
7 1、7 1 A	ビーム形状データ（放射電波データ）、	
7 2	計測コマンド、	
7 3、7 3 H	検波データ（受信電波データ）、	
7 3 J	検波データ（受信電波データ、電界変化データ）、	
7 4、7 4 H	位置データ（計測点データ）、	
7 5	飛行コマンド、	
7 6	送電制御信号	
7 7、7 7 H	測定データ	
7 8	相対位置データ（電波源相対位置データ）、	20
7 9	パイロット送信機制御コマンド	
8 0	到来方向データ、	
8 1	放射方向データ、	
8 2	レーザ光、	
8 3	反射レーザ光、	
8 5	時刻データ、	
8 6	送電装置位置、	
8 7	データ取得コマンド、	
8 8、8 8 T	REV法シナリオ、	30
8 9	REV法基準状態、	
9 0	位相操作データ、	
9 1	素子電界ベクトル（素子電界位相）、	
9 2	位相オフセット値、	
9 3	放射指令値、	
9 4	計測期間データ（計測期間、解析期間）、	
9 5	コマンド通信系データ	
9 6	データ通信系データ	
9 7	パイロット検波データ	
9 8	放射可否データ、	40
9 9	電界計算コマンド、	
6 1	最大最小時刻（電界変化データ）、	
6 2	最大最小振幅値（電界変化データ）、	
6 3	REV法開始時刻（基準事象の時刻）、	
6 5	小電力比率、	
6 6	通常電力比率、	
6 7	使用電力比率	

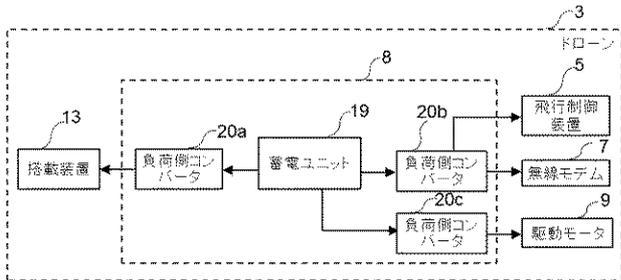
【図1】



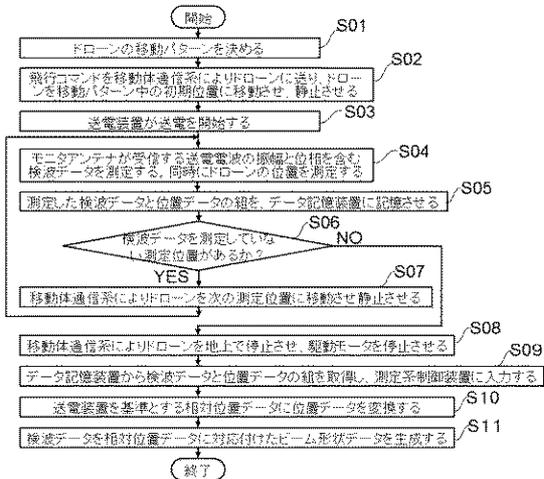
【図2】



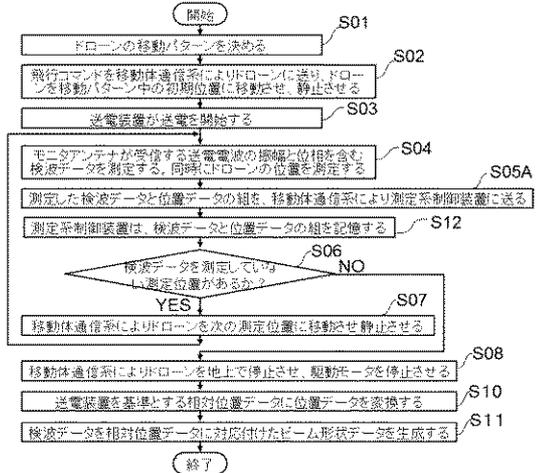
【図3】



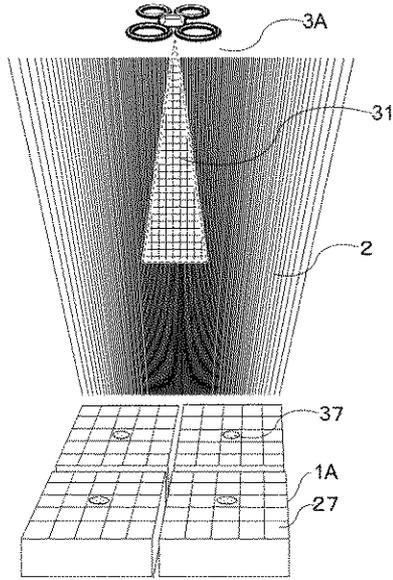
【図4】



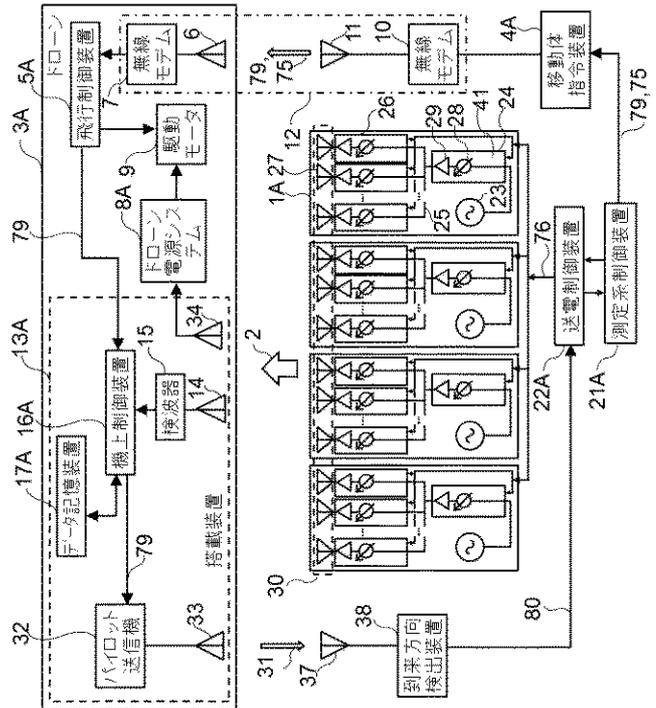
【図5】



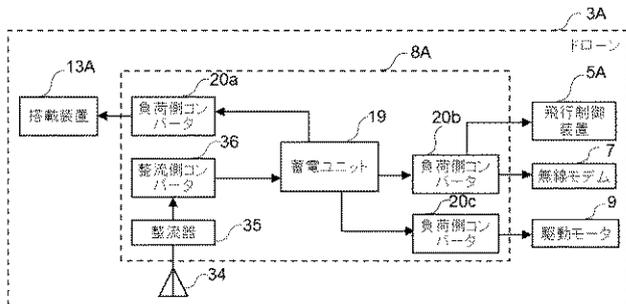
【図6】



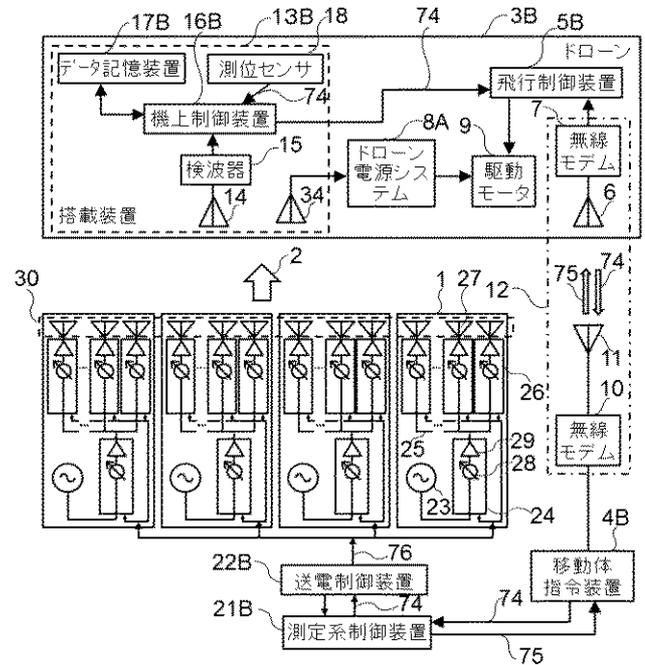
【図7】



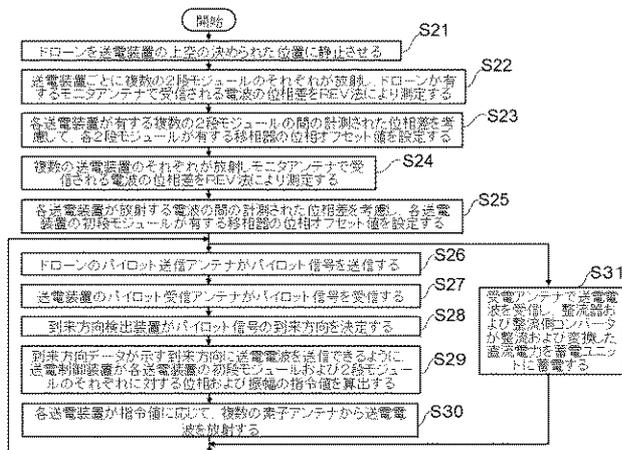
【図8】



【図10】

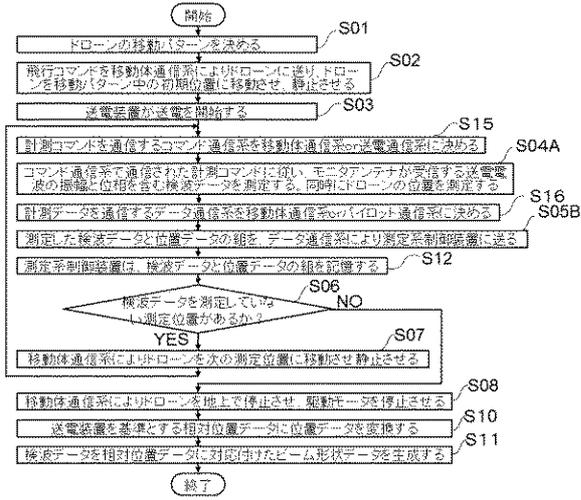


【図9】

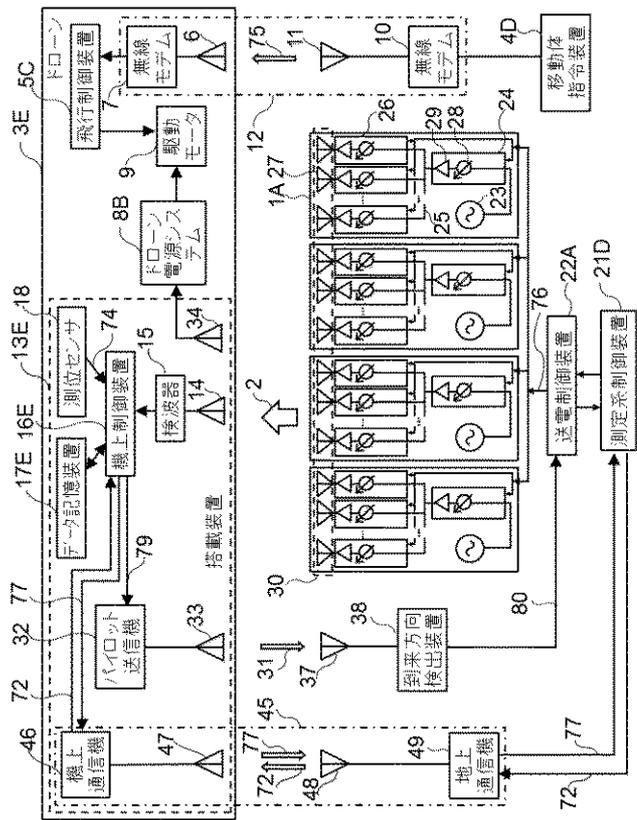




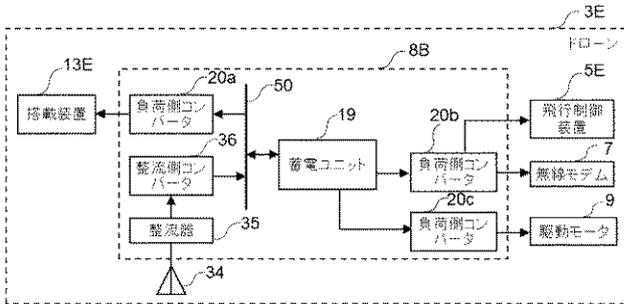
【図15】



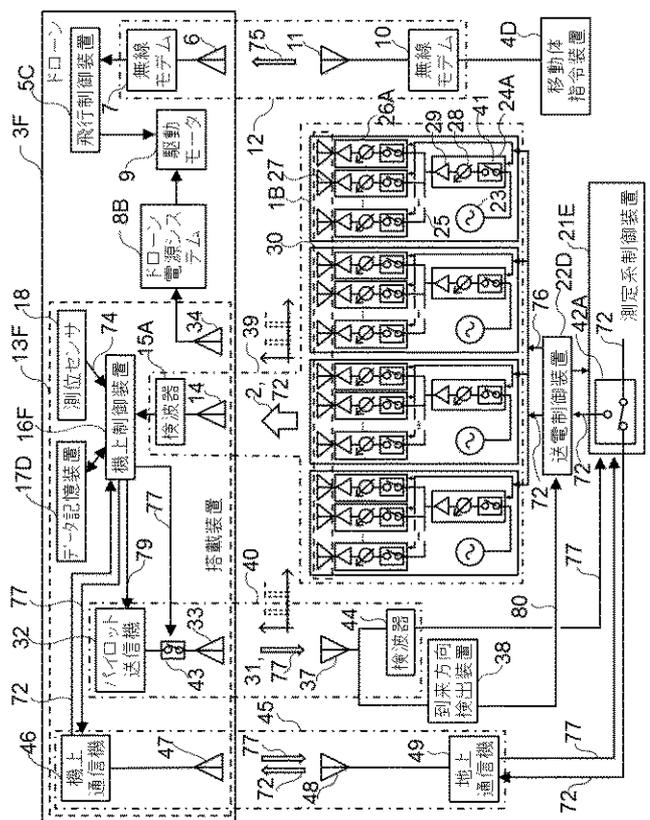
【図16】



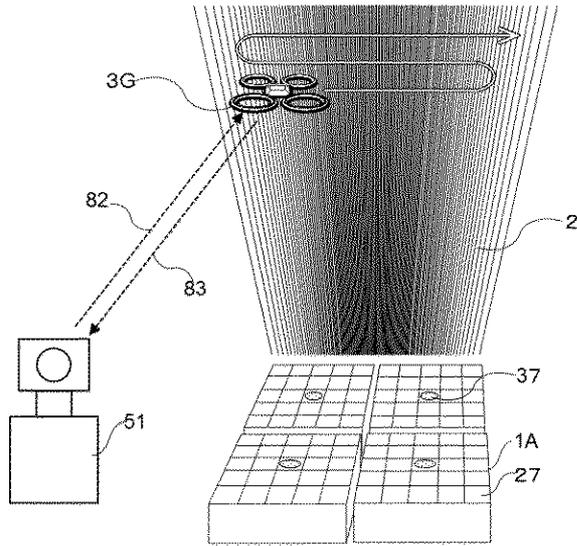
【図17】



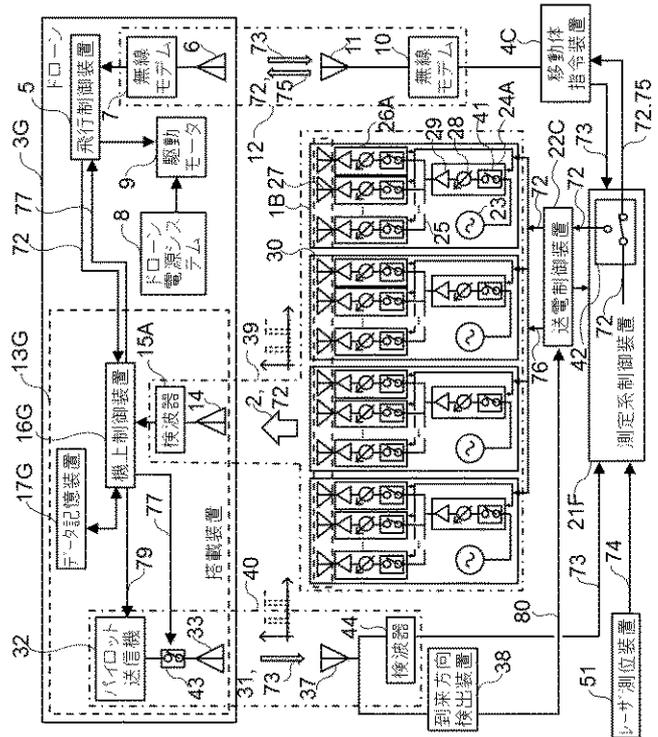
【図18】



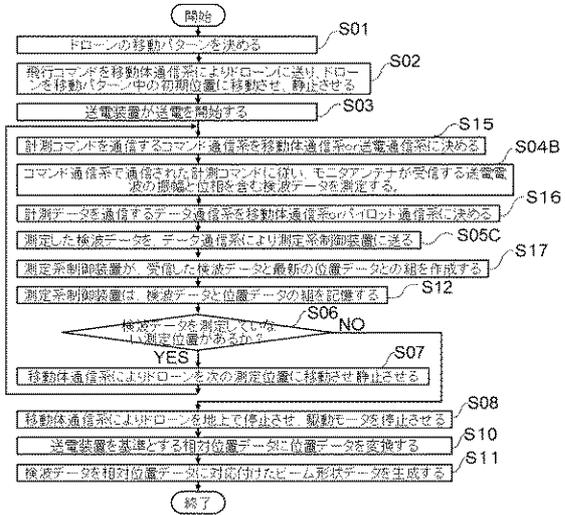
【図19】



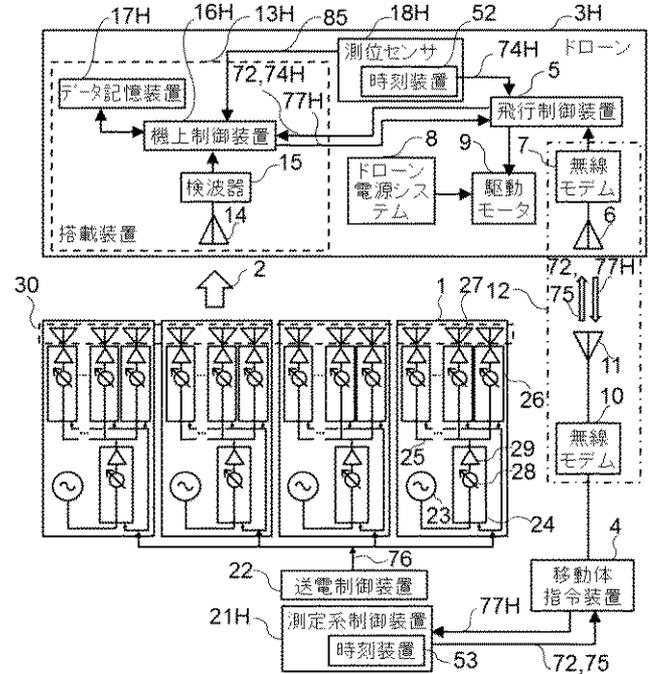
【図20】



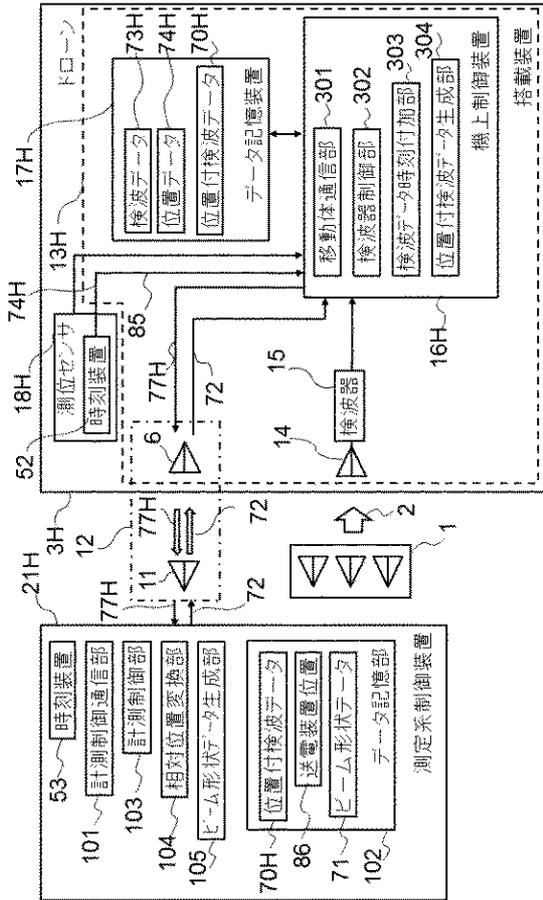
【図21】



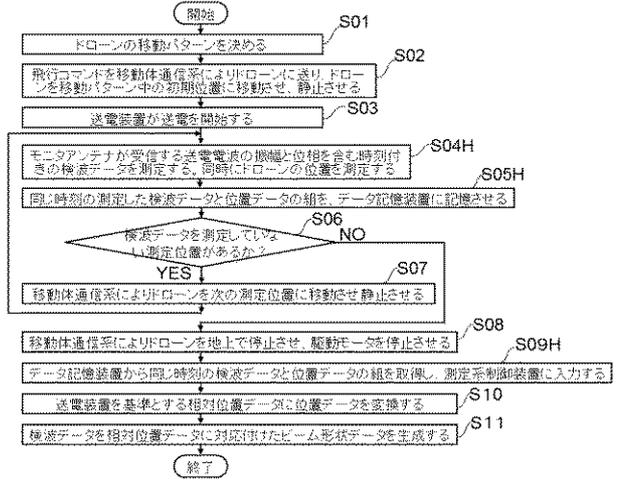
【図22】



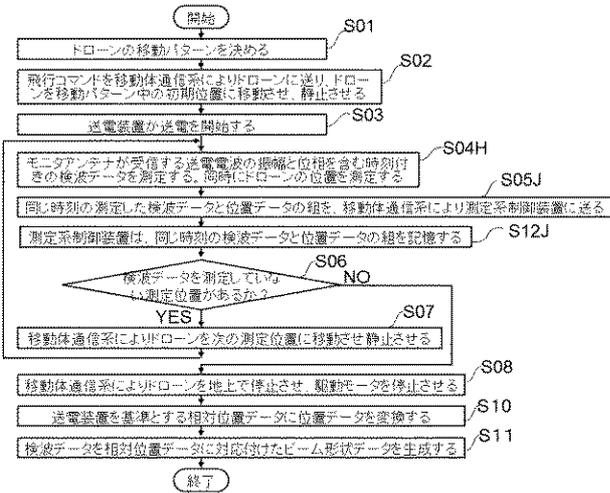
【図 2 3】



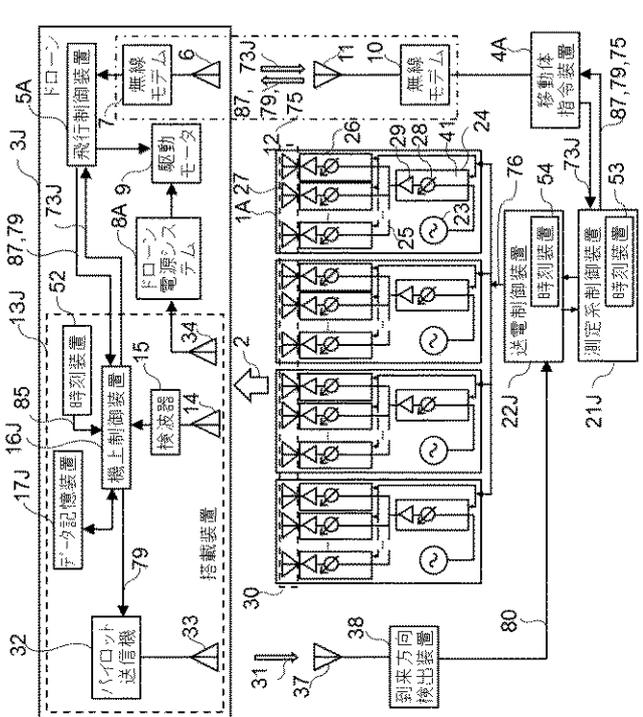
【図 2 4】



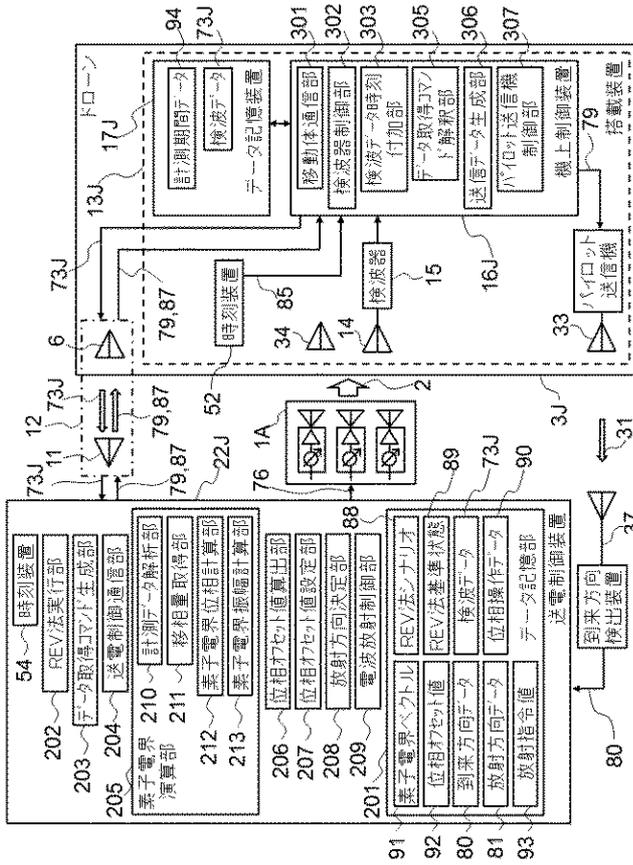
【図 2 5】



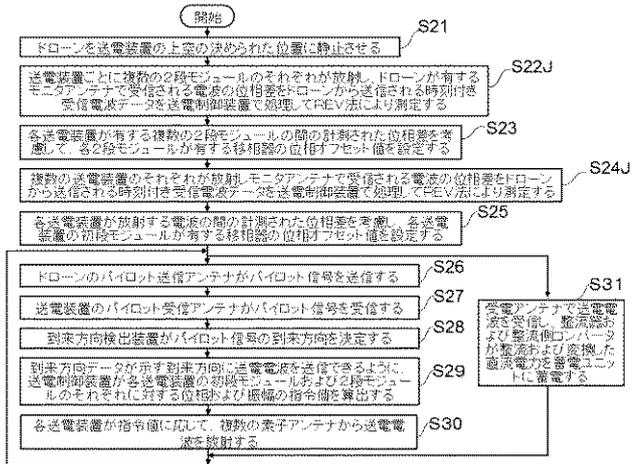
【図 2 6】



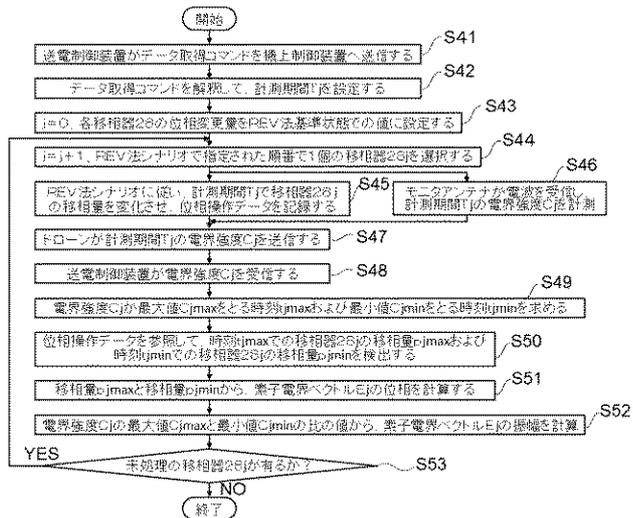
【図 27】



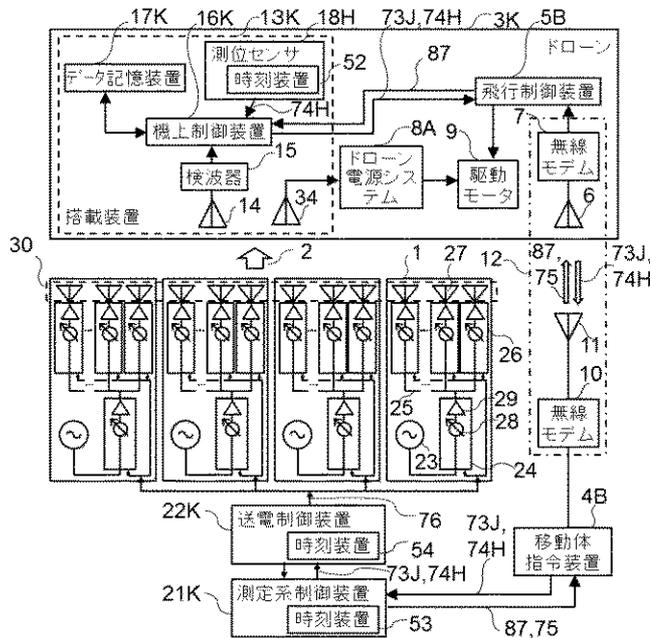
【図 28】



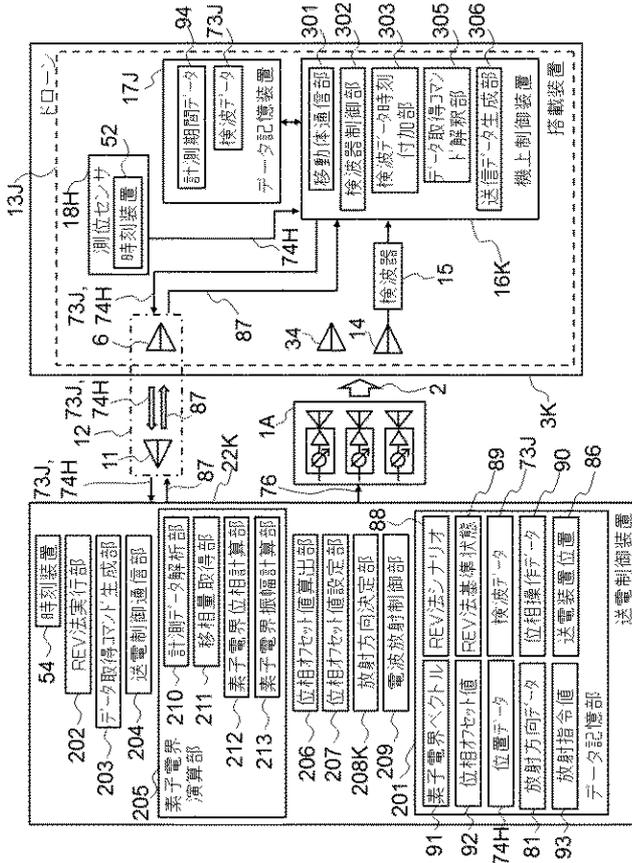
【図 29】



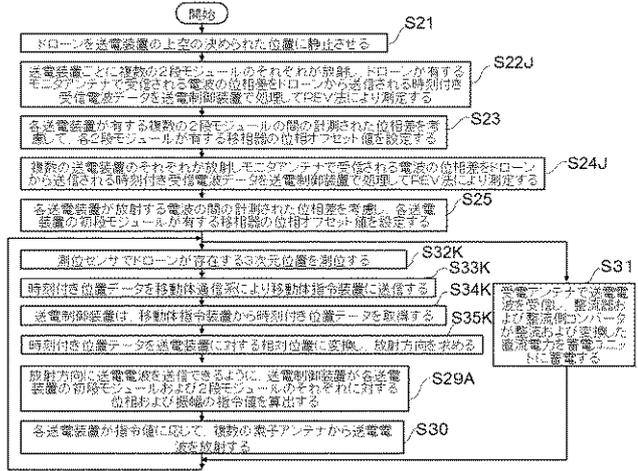
【図 30】



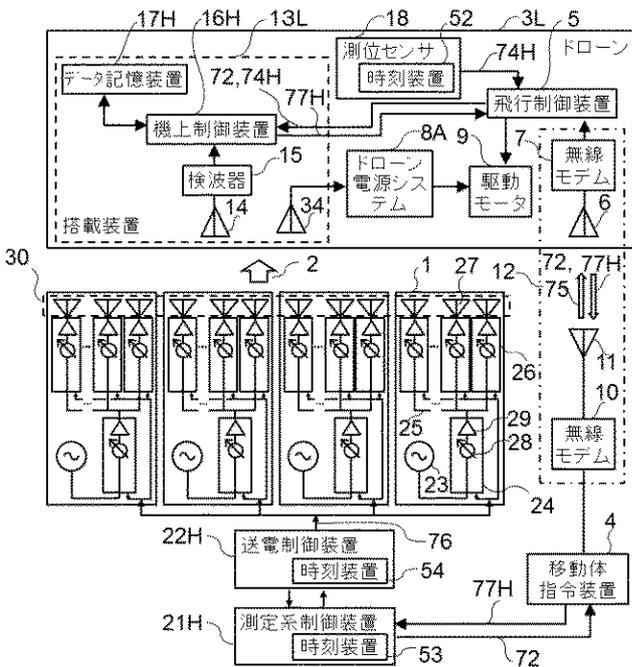
【図31】



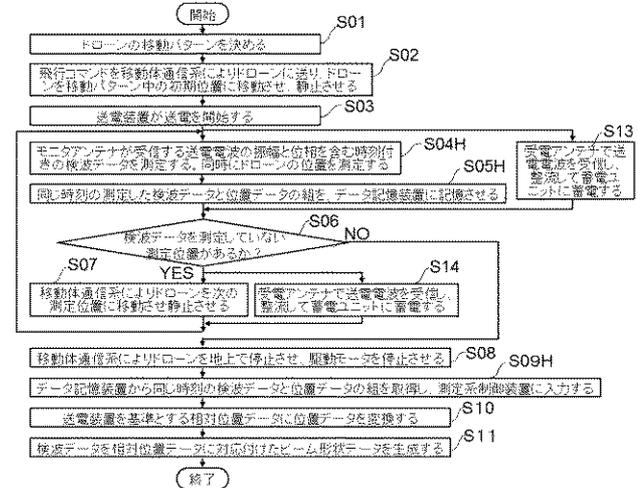
【図32】



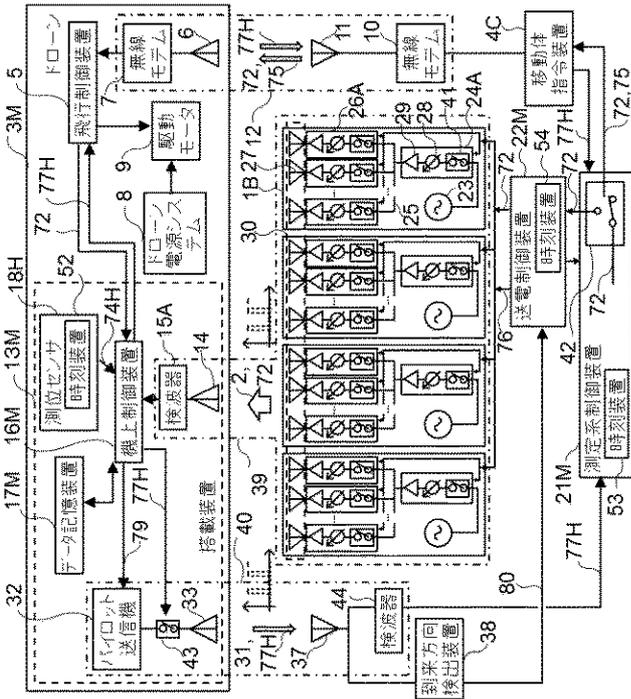
【図33】



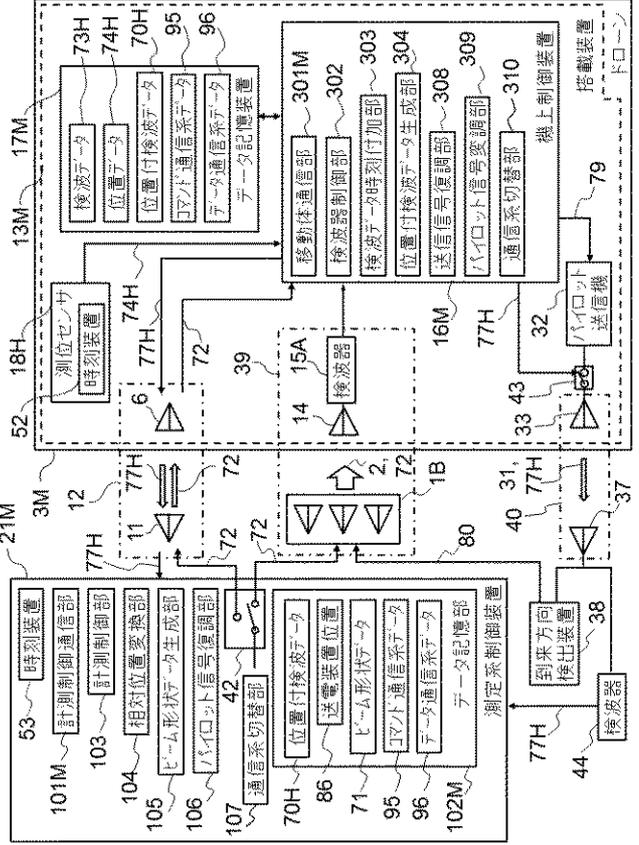
【図34】



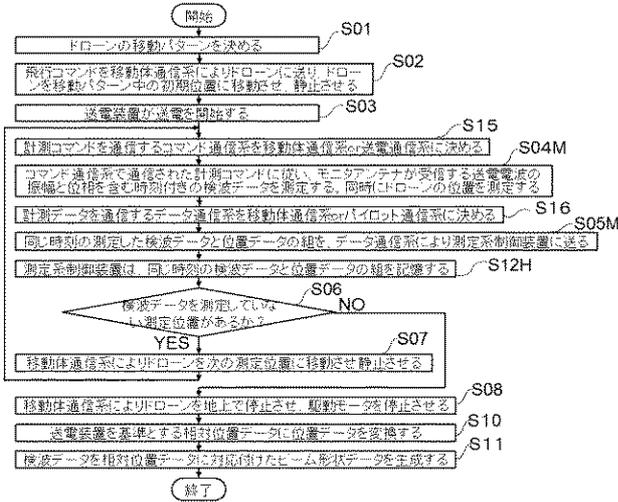
【図 35】



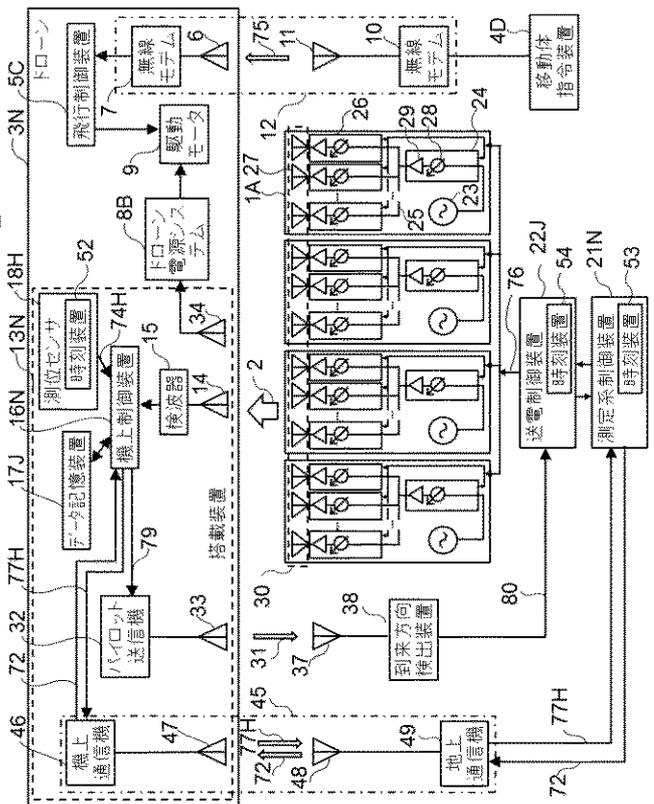
【図 36】



【図 37】

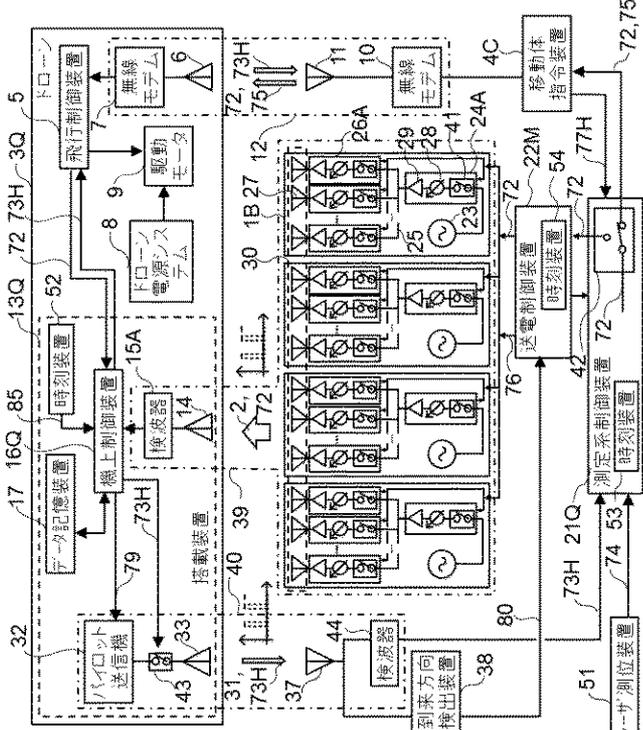


【図 38】

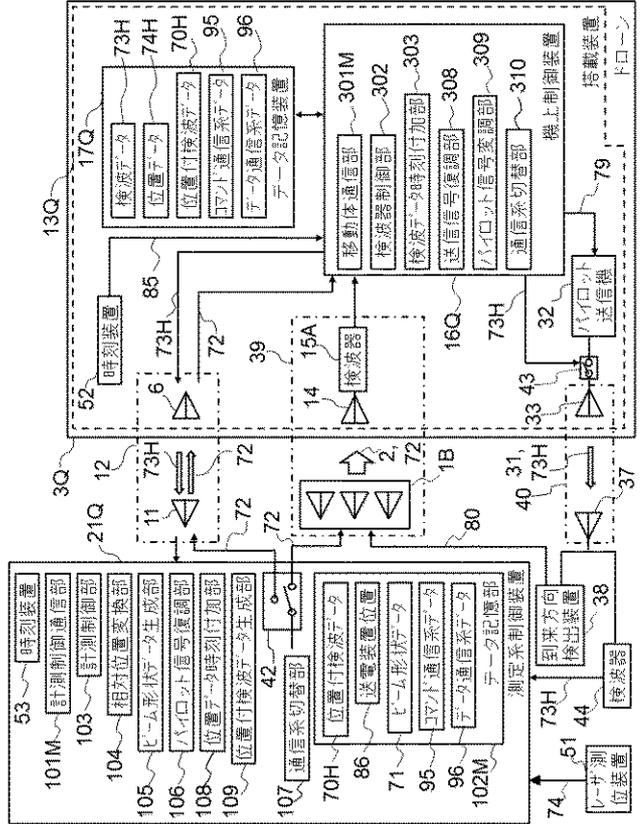




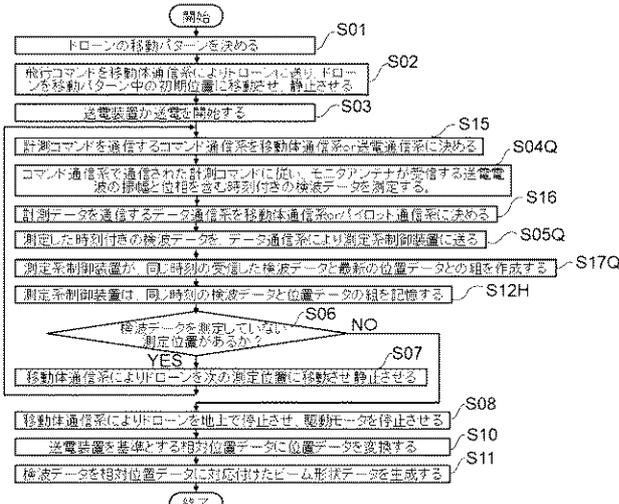
【図43】



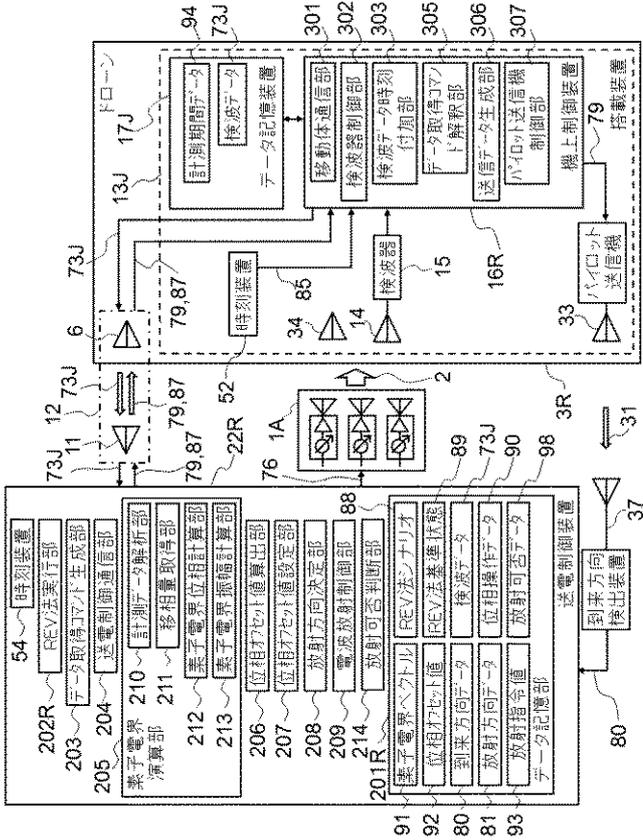
【図44】



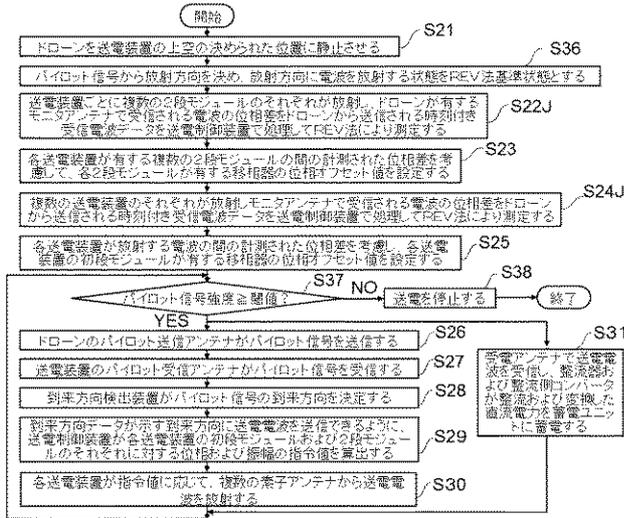
【図45】



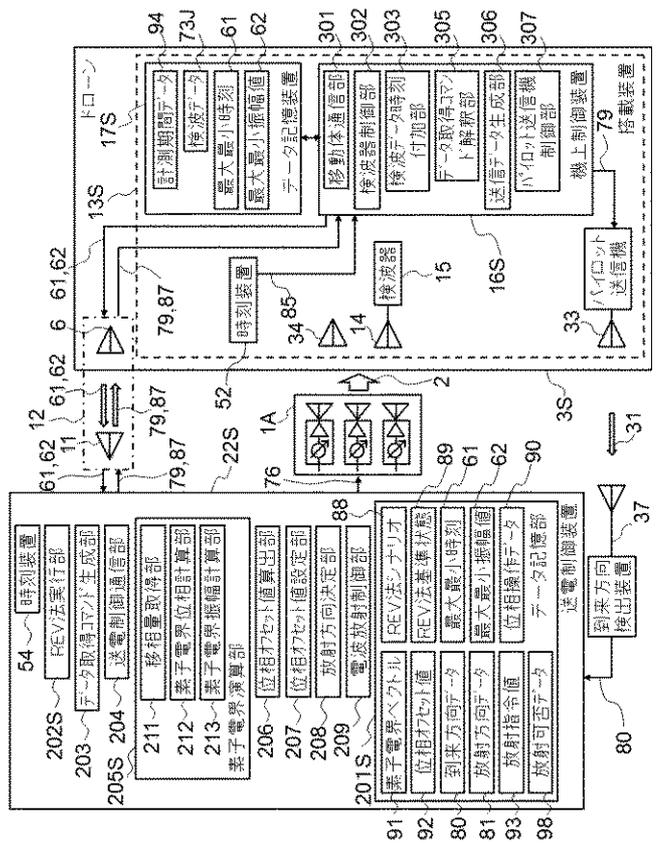
【図46】



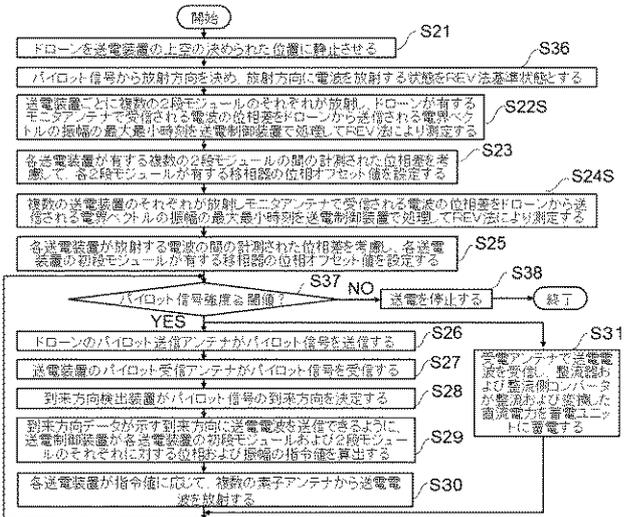
【図 47】



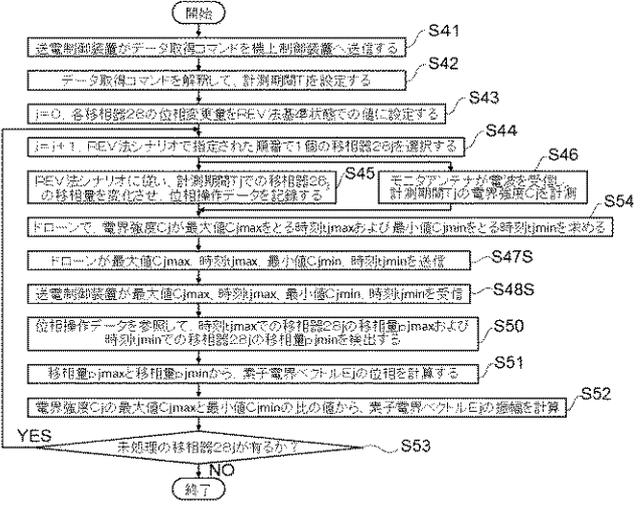
【図 48】



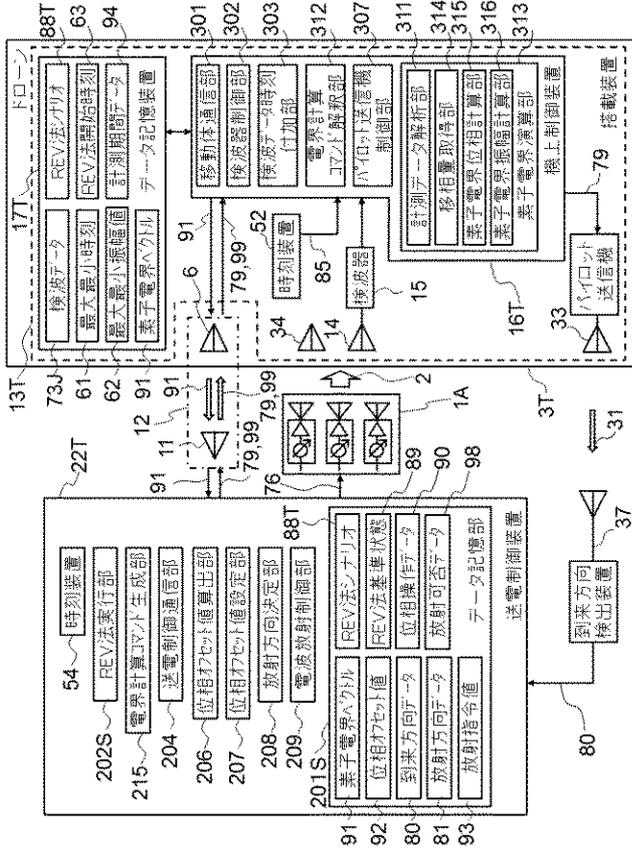
【図 49】



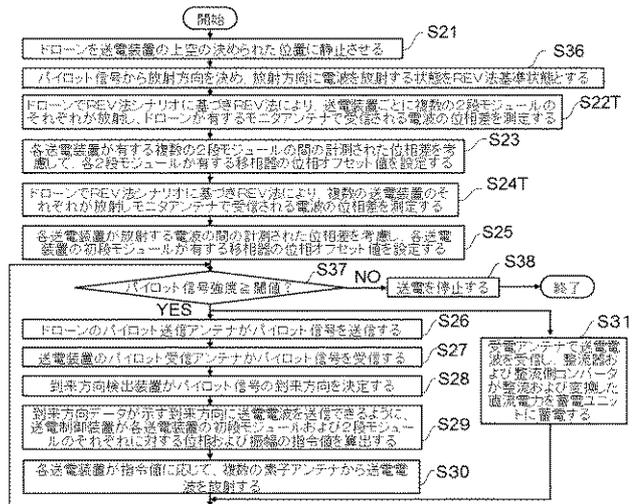
【図 50】



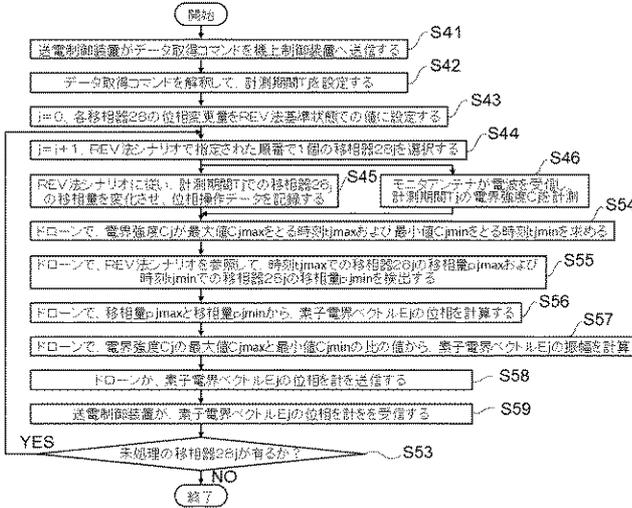
【図 5 1】



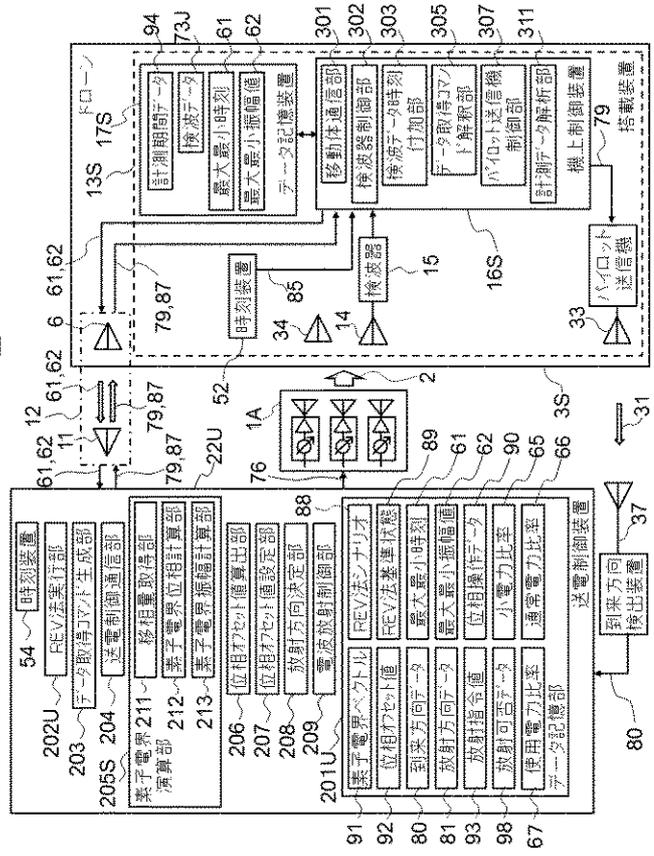
【図 5 2】



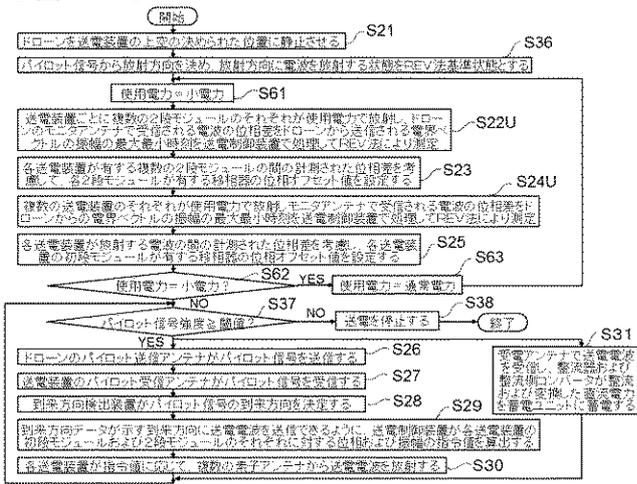
【図 5 3】



【図 5 4】



【図 5 5】



---

フロントページの続き

(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許出願(平成29年度経済産業省「太陽光発電無線送受電高効率化の研究開発 送電部の高効率化、技術実証の検討等」委託研究、産業技術力強化法第17条の規定の適用を受ける特許出願)

(72)発明者 澤 学

東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内