

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3616075号  
(P3616075)

(45) 発行日 平成17年2月2日(2005.2.2)

(24) 登録日 平成16年11月12日(2004.11.12)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F I

H02J 17/00

H02J 17/00

A

B64G 1/24

B64G 1/24

Z

H01Q 3/26

H01Q 3/26

A

請求項の数 6 (全 17 頁)

|           |                              |           |  |
|-----------|------------------------------|-----------|--|
| (21) 出願番号 | 特願2002-184504 (P2002-184504) | (73) 特許権者 | 000006208                                |
| (22) 出願日  | 平成14年6月25日 (2002.6.25)       |           | 三菱重工株式会社                                 |
| (65) 公開番号 | 特開2004-32879 (P2004-32879A)  |           | 東京都港区港南二丁目16番5号                          |
| (43) 公開日  | 平成16年1月29日 (2004.1.29)       | (74) 代理人  | 100102864                                |
| 審査請求日     | 平成14年6月25日 (2002.6.25)       |           | 弁理士 工藤 実                                 |
|           |                              | (72) 発明者  | 岩崎 知二                                    |
|           |                              |           | 愛知県名古屋市港区大江町10番地 三菱重工株式会社名古屋航空宇宙システム製作所内 |
|           |                              | (72) 発明者  | 木村 友久                                    |
|           |                              |           | 愛知県名古屋市港区大江町10番地 三菱重工株式会社名古屋航空宇宙システム製作所内 |
|           |                              | 審査官       | 西山 昇                                     |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 送電ビーム方向制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

送電ビームを送出する送電衛星に設けられ前記送電衛星の位置及び姿勢を検出する航法系センサと、

前記送電衛星に設けられ前記送電ビームを受信する受電設備の位置の情報を記憶する受電設備情報記憶部と、

前記送電衛星に設けられ、前記送電衛星の位置及び姿勢の情報と前記受電設備の位置の情報とに基づいて、前記送電ビームの送出方向を制御する制御部と

前記送電衛星に設けられ、前記受電設備から送信されたパイロット信号を受信する複数の受信アンテナと、

前記送電衛星に設けられ、前記複数の受信アンテナで受信された前記パイロット信号の位相差に基づいて前記受電設備と前記送電衛星との相対的な角度を検出する角度検出回路と

を備え、

前記制御部は、さらに、前記角度検出回路により検出された前記相対的な角度に基づいて前記送電ビームの送出方向を制御し、前記制御部による前記送電衛星の位置及び姿勢の情報と前記受電設備の位置の情報とに基づく前記送電ビームの送出方向制御と、前記角度検出回路により検出された前記相対的な角度に基づく前記送電ビームの送出方向制御とは重み付けがされる

送電ビーム方向制御装置。

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載の送電ビーム方向制御装置において、  
前記複数の受信アンテナのそれぞれの相対間隔は、前記受信パイロット信号の位相分解能が所望の値になるように設定自在である送電ビーム方向制御装置。

## 【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の送電ビーム方向制御装置において、  
前記複数の受信アンテナは、前記受電設備から送信された前記パイロット信号を受信する第 1 セットを構成する複数の受信アンテナと、  
前記パイロット信号を受信する第 2 セットを構成する複数の受信アンテナとを有し、  
前記角度検出回路は、前記第 1 セットを構成する複数の受信アンテナにて受信された前記パイロット信号の位相差に基づいて前記受電設備と前記送電衛星との相対的な第 1 角度を検出する第 1 の角度検出回路と、  
前記第 2 セットを構成する複数の受信アンテナにて受信された前記パイロット信号の位相差に基づいて前記受電設備と前記送電衛星との相対的な第 2 角度を検出する第 2 の角度検出回路とを有し、  
前記制御部により、前記第 1 角度及び前記第 2 角度の少なくともいずれか一方に基づいて、前記送電ビームの送出方向が制御される送電ビーム方向制御装置。

10

## 【請求項 4】

請求項 1 から 3 までのいずれか一項に記載の送電ビーム方向制御装置において、  
前記制御部は、前記航法系センサの運用が良好に行われているときには、前記送電衛星の位置及び姿勢の情報と前記受電設備の位置の情報とに基づいて、前記送電ビームの送出方向を制御し、前記航法系センサの運用が良好に行われないうちに、前記角度検出回路により検出された前記相対的な角度を用いて、前記送電ビームの送出方向を制御する送電ビーム方向制御装置。

20

## 【請求項 5】

請求項 1 から 4 までのいずれか一項に記載の送電ビーム方向制御装置において、  
さらに、前記送電衛星に設けられ前記送電ビームを受信する受電衛星に設けられた航法系センサによって検出された前記受電衛星の位置及び姿勢の情報を入力する受電衛星情報入力部を備え、  
前記制御部により、前記送電衛星の位置及び姿勢の情報と前記受電衛星の位置及び姿勢の情報とに基づいて、前記送電ビームの送出方向が制御される送電ビーム方向制御装置。

30

## 【請求項 6】

請求項 1 から 5 までのいずれか一項に記載の送電ビーム方向制御装置を備えた送電衛星。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、送電ビーム方向制御装置に関し、特に、受電設備への電力送電ビーム方向の高精度制御を行うことのできる送電ビーム方向制御装置に関する。

40

## 【0002】

## 【従来の技術】

宇宙太陽発電システムは、発電装置として地球から静止軌道上に打ち上げられた太陽発電衛星において太陽電池で得た電力をマイクロ波に変換し、送電アンテナからマイクロ波を地上又は衛星上に設けられた受電設備に送信することによって送電するものである。

## 【0003】

太陽発電衛星（送電衛星）から受電設備にマイクロ波を送信するに際しては、受電設備から太陽発電衛星にパイロット信号（誘導信号）が送られる。太陽発電衛星は、受電設備か

50

ら送られてくるパイロット信号の到来方向にマイクロ波を送信することによって、受電設備に送電が行われる。

【0004】

太陽発電衛星から受電設備に送電する際に、マイクロ波のビームを受電設備の受電アンテナに正確に収束させないと、電力の送電効率が低下する。そのため、太陽発電衛星では、送電するマイクロ波の位相を制御して、マイクロ波をパイロット信号の到来方向と同じ方向に送ることを可能ならしめるようにした、フェイズドアレイアンテナの一方式であるレトロディレクティブビーム方式と呼ばれる方式が知られている。レトロディレクティブビーム方式については、特開平8-37743号公報に説明されている。

【0005】

そのレトロディレクティブビーム方式の原理について図9を参照して説明する。図9において、送電波を集中したい受電側の目標点をAとし、この目標点Aから送電側に向けて周波数  $\omega$  なるパイロット信号を放射するものとする。さらに、送電側では、このパイロット信号を受信すると共に、周波数  $\omega$  なる送電波を受電側の目標点Aに向けて放射するものとする。目標点Aから発せられたパイロット信号が、 $t_0$  時間後に距離  $X_0$  離れた送電側の基準点  $P_0$  に到達するものと仮定すると、基準点  $P_0$  におけるパイロット信号の位相  $\phi_0$  は、

$$\phi_0 = \omega (t_0 - X_0 / c) \quad \dots (1)$$

となる。ただし、 $c$  は光速である。

【0006】

同様に、目標点Aから距離  $X_1$  離れた送電側の一点  $P_1$  における位相  $\phi_1$  は、

$$\phi_1 = \omega (t_0 - X_1 / c) \quad \dots (2)$$

となる。したがって、2点  $P_0$  ,  $P_1$  間の位相差  $\Delta\phi$  は、

$$\Delta\phi = \phi_1 - \phi_0 = -\omega \cdot r / c \quad \dots (3)$$

となる。ただし、 $r = X_1 - X_0$

今、送電側の2点  $P_0$  ,  $P_1$  から同相で送電波を放射したとすれば、目標点Aで受信されるこれらの送電波の位相差は、送電波の周波数が  $\omega$  であるから、(3)式により、

$$\Delta\phi = -\omega \cdot r / c \quad \dots (4)$$

となる。したがって、2点  $P_0$  ,  $P_1$  からの送電波の位相を目標点Aにおいて等しくするためには、点  $P_1$  から放射される送電波の位相を、

$$\phi_1 = \phi_0 + \omega \cdot r / c \quad \dots (5)$$

だけ補償してやればよい。つまり、送電側の基準点  $P_0$  以外の点において(5)式の位相補償を行なうことにより、送電側から発せられたすべての送電波の位相が目標点において等しくなる。これがレトロディレクティブ方式の原理である。上記のレトロディレクティブ方式を採用したマイクロ波送電装置として、例えば、特開平6-327172号公報に記載されたものがある。

【0007】

従来のマイクロ波送電装置の構成を図10に示す。

【0008】

図10において、受信回路102は、受信アンテナ101により受信したパイロット信号を所定のレベルになるように増幅または減衰させ、得られた信号を位相共役回路112へ出力する。位相共役回路112は、入力されたパイロット信号と位相が共役な  $n$  倍周波数の基準マイクロ波信号を生成して分波回路113へ出力する。

【0009】

ここで、図9に示す送電側の基準点  $P_0$  における入力信号の位相を  $\phi_0$  とすると、(3)式により点  $P_1$  における位相  $\phi_1$  は、

$$\phi_1 = \phi_0 - \omega \cdot r / c = \omega (t_0 - r / c) \quad \dots (6)$$

となる。また、点  $P_1$  において位相を補償した後の出力信号の位相  $\phi_1'$  は、(5)式により、

$$\phi_1' = \phi_1 + \omega \cdot r / c = \omega (t_0 + r / c) \quad \dots (7)$$

10

20

30

40

50

とならなければならない。つまり、位相共役回路 1 1 2 は、( 6 ) 式に示すパイロット信号の位相  $i$  を ( 7 ) 式に示す位相  $i$  に変換する。

【 0 0 1 0 】

分波回路 1 1 3 は、入力された基準マイクロ波信号を分波して  $n$  個の可変位相器 1 1 1 a , 1 1 1 b , . . . , 1 1 1 n へ出力する。なお、可変位相器 1 1 1 a , . . . , n は複수에分割されたサブレイの送電アンテナの  $n$  個のマイクロストリップ送電アンテナ素子 1 2 0 a , 1 2 0 b , . . . , 1 2 0 n にそれぞれ対応している。

【 0 0 1 1 】

一方、受信回路 1 1 4 ~ 1 1 7 は、それぞれ受信アンテナ 1 0 3 ~ 1 0 6 により受信したパイロット信号を所定のレベルに増幅または減衰して角度検出回路 1 1 8 へ出力する。 10

【 0 0 1 2 】

角度検出回路 1 1 8 は、R F 干渉計を備えており、4 個の受信アンテナ 1 0 3 ~ 1 0 6 により受信したパイロット信号の位相差を計ることにより受電設備の方向を求め、その方向を示す角度信号を演算処理部 1 1 9 へ出力する。

【 0 0 1 3 】

演算処理部 1 1 9 は、マイクロコンピュータを備えており、入力された角度信号に基づいて送電アンテナの各マイクロストリップ送電アンテナ素子 1 2 0 a , 1 2 0 b , . . . , 1 2 0 n から出力されるマイクロ波が受電設備の図示しない受電アンテナに収束するようなマイクロ波の位相差を演算して可変位相器 1 1 1 a , 1 1 1 b , . . . , 1 1 1 n へ出力する。可変位相器 1 1 1 a , 1 1 1 b , . . . , 1 1 1 n はそれぞれ、演算処理回路 1 1 9 から入力された位相差信号にしたがって分波回路 1 1 3 から入力された基準位相のマイクロ波に位相差を生じさせ、電力増幅器 1 2 1 a , 1 2 1 b , . . . , 1 2 1 n へ出力する。 20

【 0 0 1 4 】

電力増幅器 1 2 1 a , 1 2 1 b , . . . , 1 2 1 n は、送電アンテナの各マイクロストリップ送電アンテナ素子 1 2 0 a , 1 2 0 b , . . . , 1 2 0 n にそれぞれ対応して設けられ、外部電源 ( 宇宙太陽発電部 ) 1 2 2 より供給された電力を可変位相器 1 1 1 a , 1 1 1 b , . . . , 1 1 1 n から出力される信号の位相および周波数のマイクロ波へ増幅し、送電アンテナの各マイクロストリップ送電アンテナ素子 1 2 0 a , 1 2 0 b , . . . , 1 2 0 n へ出力する。 30

【 0 0 1 5 】

送電アンテナの各マイクロストリップ送電アンテナ素子 1 2 0 a , 1 2 0 b , . . . , 1 2 0 n はそれぞれ、電力増幅された位相差を有するマイクロ波を受電設備に向けて放射する。

【 0 0 1 6 】

上記したマイクロ波送電装置を用いて電力の送電を行なうことにより、マイクロ波ビームの指向性が向上し、その結果、効率の良い電力の送電が可能となる。

【 0 0 1 7 】

なお、特開平 8 - 3 7 7 4 3 号公報には、マイクロ波のビームの指向性が良好で、効率良く送電を行うことのできる次のマイクロ波送電装置が知られている。バンドパスフィルタおよび A G C アンプから構成される受信回路における位相変動を位相差検出回路によって検出し、この情報および角度検出回路によって検出されたパイロット信号の到来方向の情報に基づいて、送電アンテナから送電されるマイクロ波が受電物体に集束するような位相差を演算処理部において演算し、送電されるマイクロ波の位相を制御するものである。 40

【 0 0 1 8 】

【 発明が解決しようとする課題 】

受電設備への電力送電ビームの方向制御に際しては、受電設備の一地点から送信されたパイロット信号を、送電衛星上に互いに隣接して設置した複数 ( 例えば 4 つ ) の受信アンテナで受信し、それらの受信アンテナで受信したパイロット信号の位相差に基づいて、パイロット信号の到来角度を検知することとしている。なお、4 つの受信アンテナのうち 2 50

つは、Az方向（縦方向）の角度検出用に用いられ、残りの2つはE1方向（横方向）の角度検出用に用いられる。

【0019】

即ち、図10及び図11に示すように、受電設備50に設けられた単一のパイロット局51から送信されたパイロット信号52を、送電衛星80における送信ビームを送出する送信パネル81上に隣接配置された複数の受信アンテナ（図10の符号103～106）で受信して、その位相差からパイロット信号52の到来角度を求める（図10の角度検出回路118）。そして、その到来角度を示す角度信号を入力した演算処理部119は、各マイクロストリップ送電アンテナ120a, 120b...120nから出力されるマイクロ波が受電設備50のレクテナパネル53に収束するようなマイクロ波の位相差を演算して可変位相器111a, 111b, ...111nへ出力する。可変位相器111a, 111b...111nは、それぞれ演算処理回路119から入力された位相差信号にしたがって分波回路113から入力された基準位相のマイクロ波に位相差を生じさせ、電力増幅器121a, 121b, ...121nへ出力する。これにより、その送信パネル81から受電設備50のレクテナパネル53に向けて送信ビームを送出する。

10

【0020】

上記パイロット信号52から受電設備50の位置（方向）を検出する方法では、送電衛星80に対する受電設備50の相対的位置関係（相対角度）を検出する。ここで、送信ビームを送出する送電衛星80の送信パネル81は、大きな構造体であり、剛性の関係で撓むことがある。送信パネル81が撓むと、その送信パネル81に取付けられた複数（例えば4つ）のパイロット信号受信アンテナ（図10の符号103～106）の相対的位置関係が変わり、それらのアンテナで受信したパイロット信号の位相差に基づき検出する到来角度の検知精度が悪くなる。

20

【0021】

また、複数のパイロット信号受信アンテナには、送信パネル81（または送電衛星80）に対する取付け誤差（設計・仕様値に対する誤差）が存在する可能性がある。また、パイロット信号受信アンテナの取付け後に、アンテナの角度等に設計・仕様値に対する誤差が生じる可能性がある。さらに、複数のパイロット信号受信アンテナには、アンテナ特性上で設計・仕様値に対する誤差が生じる可能性がある。これらの場合には、それらのアンテナで受信したパイロット信号の位相差に基づき検出する到来角度の検知精度が悪くなる。

30

【0022】

到来角度の検出が正確に行われないと、図12(a)及び(b)に示すように、その不正確な検出角度に合うように姿勢制御された送信パネル81から送信される送信ビームの一部が、受電設備50の受電面から外れ、送電効率が小さくなる。

【0023】

上記のように、受信したパイロット信号52から検知したパイロット信号52の到来角度の情報のみで、送信ビームの方向制御を行っているため、送信ビームの方向制御精度が十分でなく、高い送電効率が得られない。

【0024】

また上記のように、受電設備の一地点から送信されたパイロット信号に基づいて、受電設備の位置を検出するため、送信ビームの方向制御の精度が十分でなく、高い送電効率が得られない。

40

【0025】

また上記のように、送電衛星上に隣接して設置した4つのパイロット信号受信アンテナを用いる方法では、パイロット信号の到来角度検知の精度が十分でないため、送信ビームの方向制御の精度を高くすることができず、高い送電効率が得られない。

【0026】

本発明の目的は、高精度な送信ビームの方向制御を実現することが可能な送信ビーム方向制御装置を提供することである。

本発明の他の目的は、送信パネルに撓みが生じても高精度な送信ビームの方向制御を実現

50

することが可能な送電ビーム方向制御装置を提供することである。

本発明の更に他の目的は、複数のパイロット信号受信アンテナに取り付け誤差があっても高精度な送電ビームの方向制御を実現することが可能な送電ビーム方向制御装置を提供することである。

本発明の更に他の目的は、複数のパイロット信号受信アンテナの取り付け状態が設計・仕様値通りでない場合であっても高精度な送電ビームの方向制御を実現することが可能な送電ビーム方向制御装置を提供することである。

本発明の更に他の目的は、複数のパイロット信号受信アンテナのアンテナ特性が設計・仕様値通りでない場合であっても高精度な送電ビームの方向制御を実現することが可能な送電ビーム方向制御装置を提供することである。

10

#### 【 0 0 2 7 】

##### 【 課題を解決するための手段 】

以下に、[ 発明の実施の形態 ] で使用する番号・符号を用いて、[ 課題を解決するための手段 ] を説明する。これらの番号・符号は、[ 特許請求の範囲 ] の記載と [ 発明の実施の形態 ] の記載との対応関係を明らかにするために付加されたものであるが、[ 特許請求の範囲 ] に記載されている発明の技術的範囲の解釈に用いてはならない。

#### 【 0 0 2 8 】

本発明の送電ビーム方向制御装置は、送電ビーム ( 1 3 ) を送出する送電衛星 ( 1 0 ) に設けられ前記送電衛星 ( 1 0 ) の位置及び姿勢を検出する航法系センサ ( 1 2 ) と、前記送電衛星 ( 1 0 ) に設けられ前記送電ビーム ( 1 3 ) を受信する受電設備 ( 6 0 ) の位置の情報を記憶する受電設備情報記憶部 ( 1 8 ) と、前記送電衛星 ( 1 0 ) に設けられ、前記送電衛星 ( 1 0 ) の位置及び姿勢の情報と前記受電設備 ( 6 0 ) の位置の情報とに基づいて、前記送電ビーム ( 1 3 ) の送出方向を制御する制御部とを備えている。

20

#### 【 0 0 2 9 】

本発明の送電ビーム方向制御装置において、更に、前記送電衛星に設けられ、前記受電設備から送信されたパイロット信号を受信する複数の受信アンテナと、前記送電衛星に設けられ、前記複数の受信アンテナにて受信された前記パイロット信号の位相差に基づいて前記受電設備と前記送電衛星との相対的な角度を検出する角度検出回路とを備えている。

#### 【 0 0 3 0 】

本発明の送電ビーム方向制御装置において、前記制御部は、前記航法系センサの運用が良好に行われているときには、前記送電衛星の位置及び姿勢の情報と前記受電設備の位置の情報とに基づいて、前記送電ビームの送出方向を制御し、前記航法系センサの運用が良好に行われないうちに、前記角度検出回路により検出された前記相対的な角度を用いて、前記送電ビームの送出方向を制御する。

30

#### 【 0 0 3 1 】

本発明の送電ビーム方向制御装置は、送電衛星 ( 1 0 ) に設けられ、受電設備 ( 2 0 ) の複数の送信点 ( 2 4 ) からそれぞれ送信された複数のパイロット信号 ( 2 0 1 ~ 2 0 n ) を受信する複数の受信アンテナ ( 1 0 3 ~ 1 0 6 ) と、前記送電衛星 ( 1 0 ) に設けられ、前記複数の受信アンテナ ( 1 0 3 ~ 1 0 6 ) にて受信された前記パイロット信号の位相差に基づいて前記受電設備 ( 2 0 ) と前記送電衛星 ( 1 0 ) との相対的な角度 ( ) を検出する角度検出回路 ( 1 1 8 ) と、前記送電衛星 ( 1 0 ) に設けられ、前記角度検出回路 ( 1 1 8 ) により検出された前記相対的な角度 ( ) に基づいて、前記送電ビーム ( 1 3 ) の送出方向を制御する制御部とを備えている。

40

#### 【 0 0 3 2 】

本発明の送電ビーム方向制御装置は、送電衛星 ( 1 0 ) に設けられ、受電設備から送信されたパイロット信号を受信する第 1 セットを構成する複数の受信アンテナ ( 1 0 3 a ~ 1 0 6 a ) と、前記送電衛星 ( 1 0 ) に設けられ、前記パイロット信号を受信する第 2 セットを構成する複数の受信アンテナ ( 1 0 3 n ~ 1 0 6 n ) と、前記第 1 セットを構成する複数の受信アンテナ ( 1 0 3 a ~ 1 0 6 a ) にて受信された前記パイロット信号の位相差に基づいて前記受電設備と前記送電衛星 ( 1 0 ) との相対的な第 1 角度 ( ) を検出する

50

第1の角度検出回路(118a)と、前記第2セットを構成する複数の受信アンテナ(103b~106b)にて受信された前記パイロット信号の位相差に基づいて前記受電設備(20)と前記送電衛星(10)との相対的な第2角度( )を検出する第2の角度検出回路(118b)と、前記第1角度( )及び前記第2角度( )の少なくともいずれか一方に基づいて、前記送電ビーム(13)の送出方向を制御する制御部とを備えている。

【0033】

本発明の送電ビーム方向制御装置は、送電ビーム(13)を送出する送電衛星(10)に設けられ前記送電衛星(10)の位置及び姿勢を検出する航法系センサ(12)と、前記送電衛星(10)に設けられ前記送電ビーム(13)を受信する受電衛星に設けられた航法系センサ(12)によって検出された前記受電衛星の位置及び姿勢の情報を入力する受電衛星情報入力部と、前記送電衛星(10)に設けられ、前記送電衛星(10)の位置及び姿勢の情報と前記受電衛星の位置及び姿勢の情報とに基づいて、前記送電ビーム(13)の送出方向を制御する制御部とを備えている。

10

【0034】

【発明の実施の形態】

本発明の送電ビーム方向制御装置の一実施形態を説明する。

本実施形態において、上記従来例と同じ内容を記載する場合には、同じ名称を付し、その詳細な説明を省略することにする。

【0035】

以下に述べる本実施形態は、航法系センサによる送電衛星の位置/姿勢角度情報、及び/又は、パイロット信号を用いた到来角度検知の高精度化により、高精度な送電ビーム方向制御を実現するレトロディレクティブ制御方式に関するものである。

20

【0036】

下記改良点により、送電効率の向上を図ることができる。

(1) 自律方式による送電ビーム方向制御の精度向上

航法系センサの情報から、送電衛星位置(受電衛星がある場合には受電衛星位置)、姿勢(送電アンテナ面、受電衛星がある場合には受電アンテナ面)角の検知を行うことにより、高精度な送電ビーム方向制御を行うことができる。

(2) パイロット信号到来角度検知の高精度化

1 送信点多点設置

受電設備側のパイロット信号送信点を複数設置することにより、到来角度検知誤差の低減を図ることができる。

30

2 受信点多点設置

送電衛星側のパイロット信号受信点を多点設置することにより、到来角度検知誤差の低減を図ることができる。

3 受信点間距離拡大設置

送電衛星側でパイロット信号受信点間距離を広げて設置することで、受信パイロット信号の位相差分解能を向上することができ、到来角度検知の精度向上を図ることができる。

(3) 自律方式と高精度なパイロット信号到来角度検知方式の組合せにより、送電ビーム方向制御の高精度化を図ることができる。

40

【0037】

まず、図1を参照して、第1実施形態について説明する。

【0038】

図1に示すように、本実施形態の送電衛星(太陽光発電衛星)10は、航法系センサ12を有している。航法系センサ12は、送電衛星10の送電パネル11に設けられる。航法系センサ12としては、AGPS、太陽センサ、恒星センサ、地球センサ、INS等が考えられる。

【0039】

航法系センサ12は、送電衛星10の位置及び姿勢(送電パネルないし送電アンテナ面(図10の符号120a、120b...120n)11)の角度を検知する。

50

## 【0040】

航法系センサ12により検出される送電衛星10の位置及び姿勢は、例えば地上受電設備60との相対的位置関係(相対値)ではなく、絶対的な座標の上での値(絶対値)である。また、送電衛星10は、地上受電設備60の絶対的な座標の上での位置(絶対値)とレクテナパネル65の角度(絶対値)の情報を有している。

## 【0041】

よって、送電衛星10は、その地上受電設備60の位置及びレクテナパネル65の角度の上記情報と、航法系センサ12により検出した送電衛星10の位置及び姿勢の上記値に基づいて、送電パネル11の姿勢を地上受電設備60(レクテナパネル65)の位置及び角度に合うように制御し、その姿勢制御した送電パネル11から送電ビーム13を送出する。これにより、高精度な送電ビームの方向制御を行うことができ、送電効率が向上する。

10

## 【0042】

仮に、送電パネル11に撓みが生じても、航法系センサ12により検出した送電パネル11の位置及び姿勢(角度)(絶対値)の検出精度に対する悪影響は、実質的には無く、従来のように送電パネルに取付けられた複数のパイロット信号受信アンテナで受信したパイロット信号の位相差のみから到来方向を検出し、その到来方向から受電設備の相対位置関係を求める方法に比べて、高精度な送電ビームの方向制御を行うことができ、送電効率が向上する。

## 【0043】

第1実施形態では、受電設備の方向(角度)を検出するためにパイロット信号の位相差を検出することが行われずに、航法系センサ12により検出した送電衛星10の位置及び姿勢の情報と、予め有している地上受電設備60の位置及び角度の情報のみから、送電ビーム13の方向制御を行う。よって、第1実施形態では、図2に示すように、図10に示した構成のうち4個の受信アンテナ103~106と角度検出回路118に代えて、航法系センサ12と、受電設備の位置・角度情報記憶部18と、角度検出部19とが設けられている。

20

## 【0044】

角度検出部19は、航法系センサ12による送電パネル11の位置及び姿勢(角度)の検出値と、受電設備の位置・角度情報記憶部18に記憶された受電設備60の位置・角度情報とに基づいて、送電パネル11から見た受電設備60の方向を求め、その方向を示す角度信号を演算処理部119へ出力する。その後の処理は、図10のケースと同様である。なお、図10のケースでは、受信アンテナ101により受信したパイロット信号と位相が共役なn倍周波数の基準マイクロ波信号を生成していたが、本実施形態では、マイクロ波発生部107がパイロット信号を用いることなく、基準マイクロ波信号を生成する。マイクロ波発生部107が分波回路113に基準マイクロ波信号を出力した後の処理は、図10のケースと同様である。

30

## 【0045】

従来の構成を示す図10から明らかなように、複数の受信アンテナ103~106により受信したパイロット信号52の位相差から受電設備50の方向を求める方法では、送電衛星(送電パネル)80の姿勢が求められるわけではない。即ち、従来、送電衛星80は、複数の受信アンテナ103~106で受信したパイロット信号52の位相差から求めた受電設備50の方向(=送電衛星のアンテナ面61とパイロット信号52とのなす角度)に送電ビームを送出していた。

40

## 【0046】

この従来の方法によれば、パイロット信号受信アンテナ103~106の取付け誤差(複数のパイロット信号受信アンテナ103~106間の距離が設計値と違うなど)やパイロット信号受信アンテナ103~106のアンテナ特性のばらつき(設計値と違う)によってパイロット信号52の位相差による到来角度の検出誤差が生じていた。これに対して、第1実施形態では、航法系センサ12により求めた送電衛星10の絶対座標の座標値と、記憶している地上受電設備60の絶対座標の座標値から求めた方向に送電ビーム13を送

50

出するので、送電ビームの方向制御精度に問題が生じることがない。

【0047】

次に、図3及び図4を参照して、第2実施形態について説明する。

【0048】

第2実施形態では、第1実施形態の航法系センサ12を用いる方法に対して、図10に示した複数の受信アンテナ103～106により受信したパイロット信号152の位相差から受電設備150の方向を求める方法をも併用する。図3の符号151は、単一のパイロット局である。

【0049】

第2実施形態では、図4に示すように、図10に示した4個の受信アンテナ103～106と角度検出回路118と共に、図2に示した航法系センサ12と受電設備の位置・角度情報記憶部18と角度検出部19とを備えている。演算処理部119は、角度検出回路118により検出された角度信号と、角度検出部19によって検出された角度信号の両方を入力する。なお、基準マイクロ波信号の生成は、第1実施形態と同様に、パイロット信号を用いることなく、マイクロ波発生部107により行う。

【0050】

上述したように、パイロット信号の位相差を用いて検出した角度よりも、航法系センサ12の検出値と受電設備の位置・角度情報記憶部18に記憶された情報とから求めた角度のほうが精度が高い。そのため、演算処理部119は、角度検出部19によって検出された角度信号を主として扱い（信頼度を高く扱い）、角度検出回路118により検出された角度信号は、航法系センサ12の故障等などの何らかの理由により角度検出部19によって検出された角度信号の値が明らかに異常である場合にのみ有効とするバックアップ用（従として）として用いる。

【0051】

航法系センサ12の故障時には、送電ビーム13の方向制御が不能になると問題があるので、バックアップとしてパイロット信号の位相差を用いた送電ビームの方向制御を行う。また、航法系センサ12の運用範囲が十分でない場合に備えて、航法系センサ12の補助として、パイロット信号の位相差による角度の検出を行う。

【0052】

例えば、航法系センサ12は、地球の影にかくれる「食」などの特定の状況下では、送電衛星10の衛星位置は検知できるが送電衛星10の姿勢（送電アンテナ面）角を検知できないことがある。その場合には、パイロット信号152の到来角度と、送電衛星10の衛星位置に基づいて、送電衛星10は、送電衛星10の姿勢角を推定し、その推定した送電衛星10の姿勢角を用いて角度信号を生成することができる。

【0053】

次に、図5および図6を参照して、第3実施形態について説明する。

【0054】

第3実施形態は、航法系センサを用いずに、パイロット信号到来角度検知の高精度化により、高精度な送電ビーム方向制御を実現するものである。

【0055】

図5は、地上の受電設備（レクテナ）20を示す平面図である。符号23は、レクテナのパネルである。レクテナパネル23の表には、無数のパッチアンテナが設けられ、各パッチアンテナの裏側には、マイクロ波を直流電力に変換するダイオードが設けられている。受電設備20においては、パイロット信号を送信するパイロット局24が複数設けられている。

【0056】

図5に示すように、受電設備20側のパイロット信号を送信する点（パイロット局24）を複数設置することにより、従来のように受電設備の一地点（図11のパイロット局51）より送信されたパイロット信号のみによって受電設備と送電衛星との相対角度を検出する方法に比べて、その相対角度の検出精度を高めることができる。

10

20

30

40

50

## 【0057】

即ち、図6に示すように、送電衛星は、受電設備20の複数の地点(パイロット局24)からそれぞれ送信された複数のパイロット信号201, 202, ... 20nのそれぞれの到来角度を検出し、それら複数の到来角度から、受電設備と送電衛星との相対角度を求めた方が検出精度が高い。

## 【0058】

例えば、複数のパイロット信号201, 202, ... 20nに対してそれぞれ検出した複数の到来角度の平均値を求め、その平均値を受電設備20と送電衛星との相対角度とすることができる。または、それらの複数の到来角度について統計処理を行い、その統計処理結果を受電設備20と送電衛星との相対角度とすることができる。

10

## 【0059】

または、図5に示すように、受電設備20において、パイロット信号201, 202, ... 20nをそれぞれ送出する複数(図5では8つ)の地点(パイロット局24)を互いに等距離に設定しておき、それら8つのパイロット信号201, 202, ... 20n(nは8)に対してそれぞれ検出した複数の到来角度から求めた複数の地点の中心位置25に電力送電ビームの中心を合わせて送出することができる。

## 【0060】

なお、第3実施形態では、航法系センサを用いないとして説明したが、第3実施形態に航法系センサによる上記角度検出方法を適用することができる。図7は、航法系センサ12と複数のパイロット局61, 62を併用したケースを示している。その場合、複数のパイロット信号201, 202... 20nのそれぞれについて検出した到来角度から求めた受電設備と送電衛星との相対角度と、航法系センサによる上記角度検出方法により求めた角度のそれぞれをどの程度の重みをもって評価するかについては、適宜設定することができる。なお、第3実施形態において、基準マイクロ波信号の生成は、第1実施形態と同様に、パイロット信号を用いることなく、マイクロ波発生部107により行う。

20

## 【0061】

次に、図8を参照して、第4実施形態について説明する。

## 【0062】

第4実施形態は、第3実施形態と同様に、航法系センサを用いずに、パイロット信号到来角度検知の高精度化により、高精度な送電ビーム方向制御を実現するものである。

30

## 【0063】

第4実施形態では、図8に示すように、送電衛星側のパイロット信号受信点を複数セット設けることにより、到来角度検知誤差の低減を図ることができる。ここで、セットとは、パイロット信号の位相差を求める時に必要な複数の受信点からなる組である。図8では、受信アンテナ103a~106a及び受信回路114a~117aが1つのセットであり、受信アンテナ103b~106b及び受信回路114b~117bが別の1つのセットであり、受信アンテナ103n~106n及び受信回路114n~117nが更に別の1つのセットである。

## 【0064】

送電ビームを送出する送電パネルは、大きな構造体であり、剛性の関係で撓むことがある。送電パネルが撓むと、その送電パネルに取付けられた1セットの複数のパイロット信号受信アンテナの相対的位置関係が変わり、それらのアンテナで受信したパイロット信号の位相差に基づき検出する到来角度の検出精度が悪くなる。この点、第4実施形態によれば、パイロット信号の受信点が複数セット設けられているため、送電パネルに撓みが生じても、到来角度の検出精度が落ちない。

40

## 【0065】

即ち、送電パネルに生じた撓みによって、或る1セット(又は少数セット)を構成する受信アンテナの相対的位置関係が変わり、そのことでそのセットによって求めた到来角度の検出精度が落ちて、そのセット以外の複数(多数)のセットのそれぞれを構成する受信アンテナの相対的位置関係は変わらない(多数セットの相対的位置関係が変動するほどの

50

撓みが生じることは現実的には考えられない)。よって、撓みの影響を受けない多数セットのそれぞれによって高い検出精度の到来角度が求まる。そして、全てのセットのそれぞれによって求められた全ての到来角度の平均化処理又は統計処理等を行うことにより、検出精度の悪い到来角度の影響（送電パネルの撓みの影響）が相対的に下がり、結果として高い検出精度が得られる。

**【 0 0 6 6 】**

また一般に、送電パネルに撓みが生じた場合には、パイロット信号の位相差を求めるときに用いられる1セットを構成する複数のパイロット信号受信アンテナのそれぞれが設置される場所が互いに近いほど相対的位置関係の変化が少なく、送電パネルの撓み時に生じる到来角度の検出精度の低下が免れる。よって、従来は、パイロット信号の位相差を検出する際に必要な上記1セットを構成する複数のパイロット信号受信アンテナは、互いに隣接した場所に設置され、送電パネルの撓みによる到来角度の検出に対する悪影響が極力出ないようにしていた。

10

**【 0 0 6 7 】**

第4実施形態では、上記のように、送電パネルに撓みが生じても、その撓みの影響を受けて検出精度が低下するセットは少数であり、撓みの影響を受けない多数セットのそれぞれによって高い検出精度の到来角度が求まる。よって、複数セットの受信点が設けられる第4実施形態では、1セットを構成する受信点を隣接して設置する必要性が無くなり、受信点の設置の自由度が増す（最適配置が可能）。このことから、1セットを構成する受信点間の距離を広げることができる。これにより、各セットで受信したパイロット信号の位相差分解能を向上させることができ、到来角度検出の精度向上を図ることができる。

20

**【 0 0 6 8 】**

なお、第4実施形態では、航法系センサを用いないとして説明したが、第4実施形態に航法系センサによる上記角度検出方法を適用することができる。その場合、複数セットのそれぞれについて検出した到来角度から求めた受電設備と送電衛星との相対角度と、航法系センサによる上記角度検出方法により求めた角度のそれぞれをどの程度の重みをもって評価するかについては、適宜設定することができる。なお、第4実施形態において、基準マイクロ波信号の生成は、第1実施形態と同様に、パイロット信号を用いることなく、マイクロ波発生部107により行う。

30

**【 0 0 6 9 】**

上記においては、受電設備は、地上に設けられていることを主として想定して説明したが、受電設備は衛星であることができる。その場合、受電衛星にも航法系センサ12を適用する。送電衛星は、受電衛星の航法系センサ12により検出された受電衛星の位置・姿勢情報を受け取り、その受け取った受電衛星の情報と、送電衛星が自ら有する航法系センサ12により検出した送電衛星の位置・姿勢情報とに基づいて、送電ビーム方向制御を高精度に実現することができる。

**【 0 0 7 0 】****【 発明の効果 】**

本発明の送電ビーム方向制御装置によれば、高精度な送電ビームの方向制御を実現することができる。

40

**【 図面の簡単な説明 】**

【 図 1 】 図 1 は、本発明の送電ビーム方向制御装置の第 1 実施形態の全体構成を示す図である。

【 図 2 】 図 2 は、本発明の送電ビーム方向制御装置の第 1 実施形態の送電衛星の構成を示すブロック図である。

【 図 3 】 図 3 は、本発明の送電ビーム方向制御装置の第 2 実施形態の全体構成を示す図である。

【 図 4 】 図 4 は、本発明の送電ビーム方向制御装置の第 2 実施形態の送電衛星の構成を示すブロック図である。

【 図 5 】 図 5 は、本発明の送電ビーム方向制御装置の第 3 実施形態の受電設備の構成を示

50

す平面図である。

【図 6】図 6 は、本発明の送電ビーム方向制御装置の第 3 実施形態の送電衛星の構成を示すブロック図である。

【図 7】図 7 は、本発明の送電ビーム方向制御装置の第 3 実施形態の全体構成を示す図である。

【図 8】図 8 は、本発明の送電ビーム方向制御装置の第 4 実施形態の送電衛星の構成を示すブロック図である。

【図 9】図 9 は、レトロディレクティブビーム方式の原理を説明するための図である。

【図 10】図 10 は、従来の送電衛星の構成を示すブロック図である。

【図 11】図 11 は、従来の宇宙太陽発電システムの全体構成を示す図である。

10

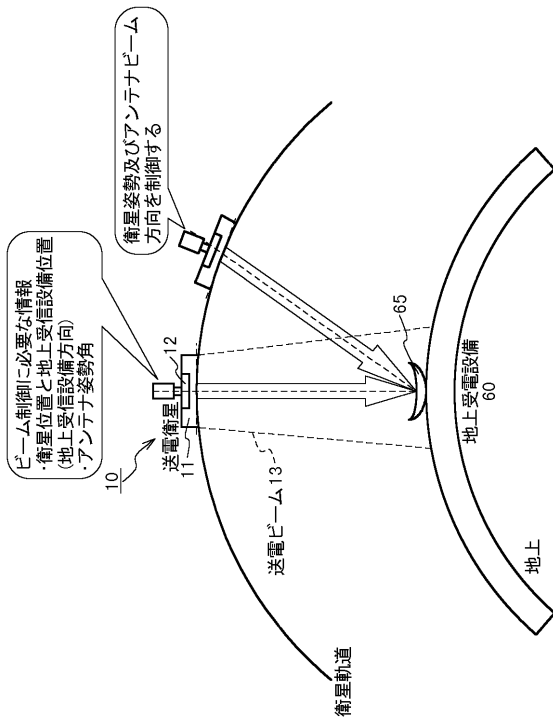
【図 12】図 12 ( a ) は、Az 方向にアンテナ姿勢角がずれて受電効率が低い状態を示し、図 12 ( b ) は、E l 方向にアンテナ姿勢角がずれて受電効率が低い状態を示す図である。

【符号の説明】

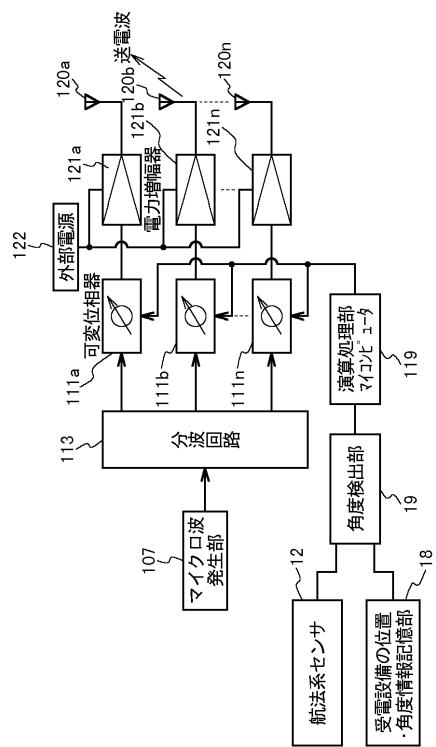
|         |                   |    |
|---------|-------------------|----|
| 1 0     | 送電衛星              |    |
| 1 1     | 送電パネル             |    |
| 1 2     | 航法系センサ            |    |
| 1 3     | 送電ビーム             |    |
| 1 8     | 受電設備の位置・角度情報記憶部   |    |
| 1 9     | 角度検出部             | 20 |
| 2 0     | 受電設備              |    |
| 2 3     | レクテナパネル           |    |
| 2 4     | パイロット局            |    |
| 5 0     | 受電設備              |    |
| 5 1     | パイロット局            |    |
| 5 2     | パイロット信号           |    |
| 5 3     | レクテナパネル           |    |
| 6 0     | 地上受電設備            |    |
| 6 1     | パイロット局            |    |
| 6 2     | パイロット局            | 30 |
| 6 5     | レクテナパネル           |    |
| 8 0     | 送電衛星              |    |
| 8 1     | 送信パネル             |    |
| 1 0 1   | 受信アンテナ            |    |
| 1 0 2   | 受信回路              |    |
| 1 0 3   | 受信アンテナ            |    |
| 1 0 4   | 受信アンテナ            |    |
| 1 0 5   | 受信アンテナ            |    |
| 1 0 6   | 受信アンテナ            |    |
| 1 0 7   | マイクロ波発生部          | 40 |
| 1 1 2   | 位相共役回路            |    |
| 1 1 3   | 分波回路              |    |
| 1 1 1 a | 可変位相器             |    |
| 1 1 4   | 受信回路              |    |
| 1 1 5   | 受信回路              |    |
| 1 1 6   | 受信回路              |    |
| 1 1 7   | 受信回路              |    |
| 1 1 8   | 角度検出回路            |    |
| 1 1 9   | 演算処理部             |    |
| 1 2 0 a | マイクロストリップ送電アンテナ素子 | 50 |

- 1 2 1 a 電力増幅器
  - 1 2 2 外部電源
  - 1 5 2 パイロット信号
  - 2 0 1 パイロット信号
- 到来角度

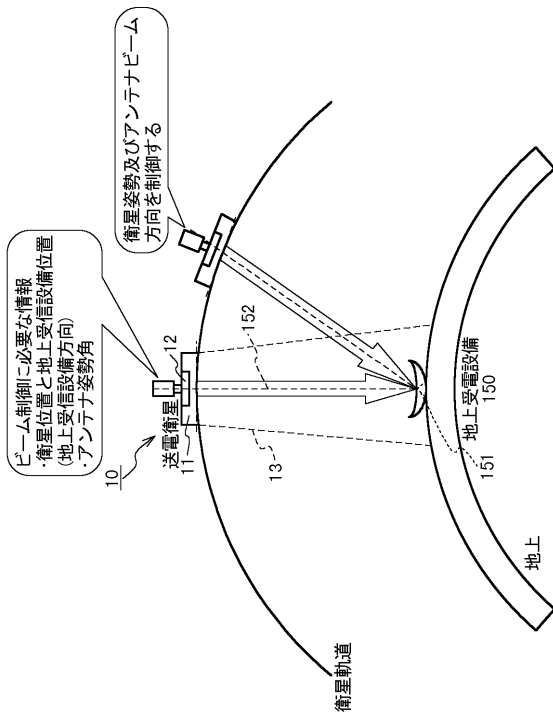
【 図 1 】



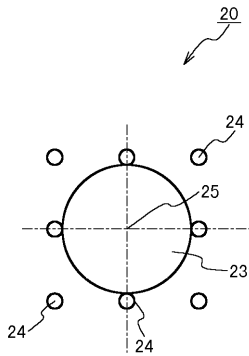
【 図 2 】



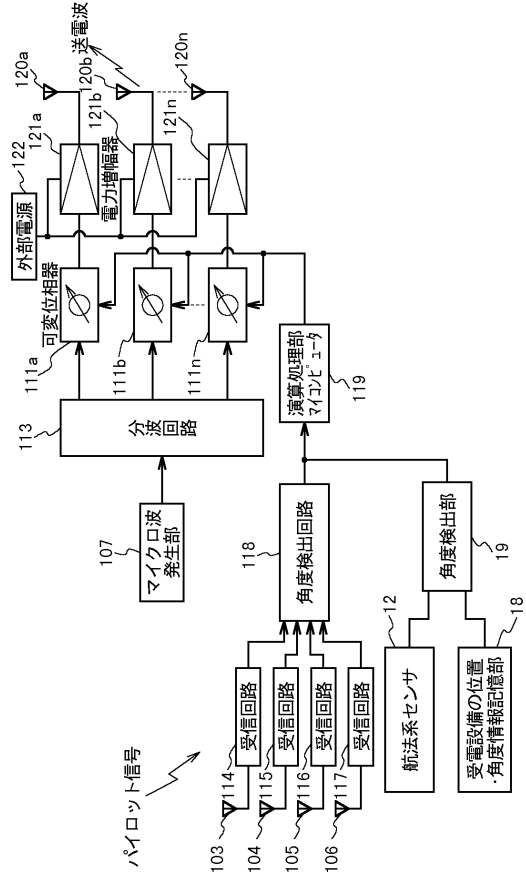
【 図 3 】



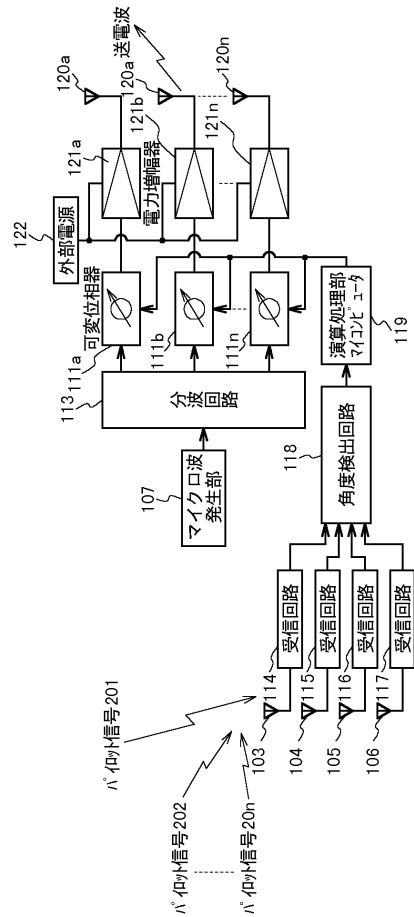
【 図 5 】



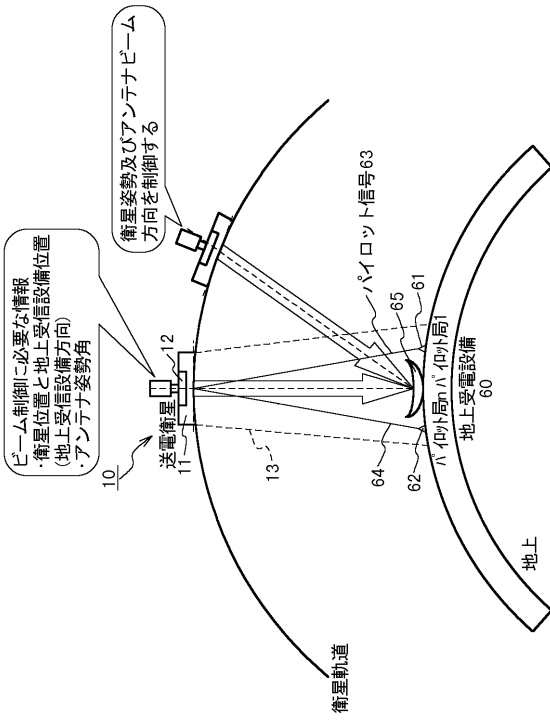
【 図 4 】



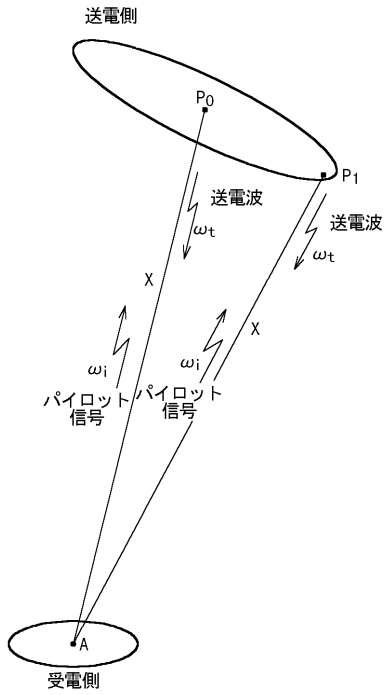
【 図 6 】



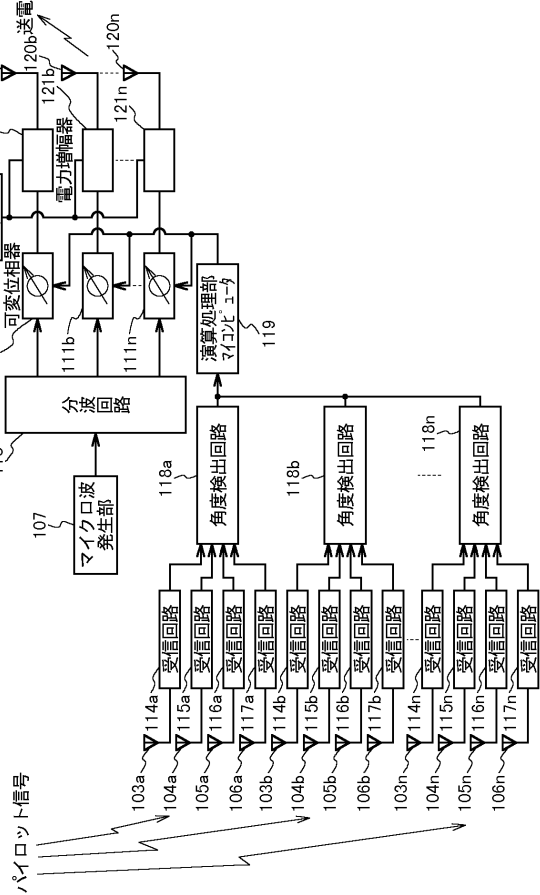
【 図 7 】



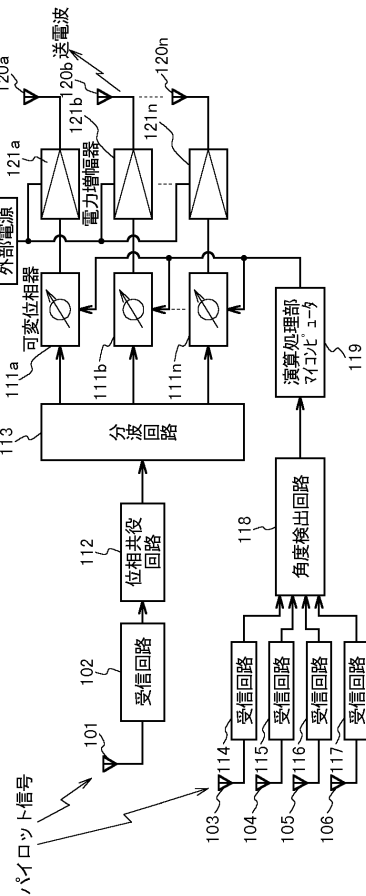
【 図 9 】



【 図 8 】



【 図 10 】





---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平08 - 103039 (JP, A)  
特開平06 - 327172 (JP, A)  
特開平08 - 037743 (JP, A)  
特開平08 - 130840 (JP, A)  
特開平07 - 183842 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

H02J 17/00

B64G 1/24

H01Q 3/26