

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2025年1月23日(23.01.2025)



(10) 国際公開番号
WO 2025/017809 A1

(51) 国際特許分類:
H04B 10/80 (2013.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2023/026143

(22) 国際出願日: 2023年7月14日(14.07.2023)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (**NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).

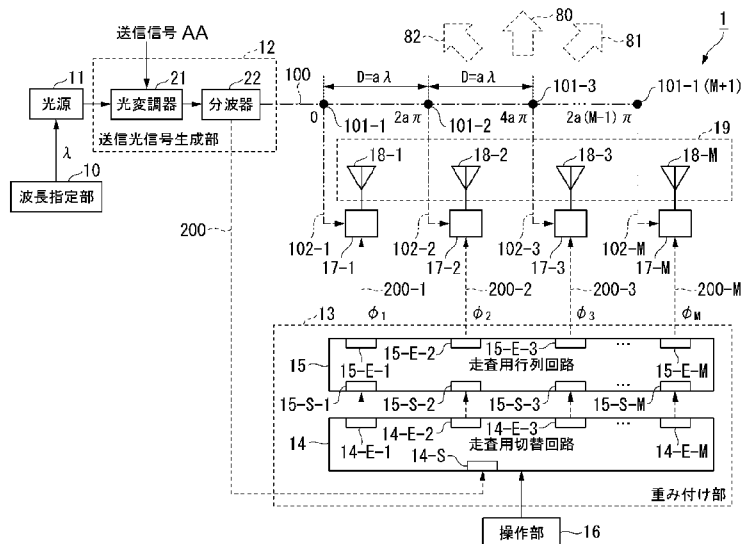
(72) 発明者: 伊藤 穂乃花 (**ITO Honoka**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 平賀 健 (**HIRAGA Ken**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 弁理士法人志賀国際特許事務所 (**SHIGA INTERNATIONAL PATENT OFFICE**); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,

(54) **Title:** TRANSMISSION DIRECTIVITY CONTROL DEVICE AND TRANSMISSION DIRECTIVITY CONTROL METHOD

(54) 発明の名称: 送信指向性制御装置、及び送信指向性制御方法



- 10 Wavelength specification unit
- 11 Light source
- 12 Transmission optical signal generation unit
- 13 Weighting unit
- 14 Scanning switching circuit
- 15 Scanning matrix circuit
- 16 Operation unit
- 21 Optical modulator
- 22 Splitter
- AA Transmission signal

(57) **Abstract:** This transmission directivity control device is provided with: a transmission optical signal generation unit that modulates light with a transmission signal to generate a first optical signal and a second optical signal in different frequency bands; a weighting unit that applies a phase gradient predetermined according to the direction of an arrangement line and the desired transmission direction to the second optical signal to generate phase-graded second optical signals corresponding respectively to antenna elements arranged along the arrangement line; and photoelectric conversion units that are provided corresponding respectively to the antenna elements, and that each combine the corresponding phase-graded second optical signal with the first optical signal, convert the resulting optical signal into an electrical signal, and output the converted electrical signal to the corresponding antenna element. Each of the path differences between the optical

HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

paths between adjacent photoelectric conversion units in a row and the wavelength of the light are selected so that a phase difference which occurs in one of the two optical signals combined by each photoelectric conversion unit, and which is caused by the path differences between the optical paths traveled by that one optical signal to reach each photoelectric conversion unit, is absorbed.

(57) 要約: 光を送信信号で変調して、異なる周波数帯域の第1光信号と、第2光信号とを生成する送信光信号生成部と、第2光信号に対して、配置線の方法と、所望する送信方向とに応じて予め定められる位相傾斜を付与して、配置線に沿って配置されるアンテナ素子の各々に対応する位相傾斜付きの第2光信号を生成する重み付け部と、アンテナ素子の各々に対応して備えられる光電変換部の各々であって、各々に対応する位相傾斜付きの第2光信号と、第1光信号とを合成して電気信号に変換し、変換した電気信号を、各々に対応するアンテナ素子に出力する光電変換部と、を備え、光電変換部の各々が合成する2つの光信号の何れか一方の光信号に生じる位相差であって、当該一方の光信号が光電変換部の各々に到達するまでの光経路の経路差によって生じる位相差が吸収されるように、一列において隣接する光電変換部の間の光経路の経路差の各々と、光の波長とを選択する。

明 細 書

発明の名称：送信指向性制御装置、及び送信指向性制御方法

技術分野

[0001] 本発明は、送信指向性制御装置、及び送信指向性制御方法に関する。

背景技術

[0002] 無線通信の高速化と大容量化を実現するために、ミリ波帯以上の高周波帯の活用が進められている。ところで、電波の空間伝搬損は、周波数が高くなるに従い増大する、例えば、自由空間伝搬損は、周波数の2乗に比例して増大する。そのため、高周波帯では多くの場合、高利得のアンテナが使用される。高利得のアンテナは、高い指向性を有するので、アンテナのビームの方向を無線通信の相手局に合わせることが必要であり、相手局の方向が動的な場合は、ビームの方向を動的に制御する手段、すなわちビームステアリングの適用が必須となる。ビームステアリングは、無線通信に限らず、例えばレーダ、イメージングや無線電力伝送といった用途においても必要とされている。

[0003] ビームステアリングを行う手段として、アンテナの方角を機械的に制御する手段、アンテナから放射された電波を可動式のレンズや反射鏡で屈折または反射させて制御する手段などが考案、使用されてきている。ただし、これらの手段は、機械的な可動部分を有するため、耐久性や移動の追従性の面に問題がある。そのため、機械的な可動部分を有さず、アンテナの小型・軽量化に適したフェーズドアレーアンテナが多く用いられるようになってきている。

[0004] フェーズドアレーアンテナでは、線上または面上に複数配置されたアンテナ素子に接続された可変遅延回路や可変減衰器回路、デジタル信号処理等の手段を用いて、各アンテナ素子に給電されるRF（Radio Frequency:無線周波数）信号の位相と振幅を制御（以下、この制御を重み付けともいう）することにより電子的にビームステアリングが行われる。

- [0005] ミリ波帯を使用する第5世代移動通信システム（例えば、非特許文献1参照）やミリ波帯無線LAN（Local Area Network）システム等では、アナログ回路で重み付けを行うタイプのフェーズドアレーアンテナが多く使用されている。
- [0006] 多くの無線通信システムにおいて無線通信の相手局が存在する範囲は、2次元平面内ではなく、3次元空間内で変化するため、例えば、方位角と仰角のように2軸でのビームステアリングが必要になる。したがって、フェーズドアレーアンテナには、面的にアンテナ素子を配置した2次元アレーアンテナを用いて2次元のビームステアリングを行うための重み付けが要求される。
- [0007] また、高周波帯利用の進展に伴い、更に高いアンテナ利得が求められるため、更に多数のアンテナ素子に対する重み付けを行うフェーズドアレーアンテナが必要となることが予想される。例えば、非特許文献1では28GHz帯での第5世代移動通信用基地局に使用する256素子のフェーズドアレーアンテナが開示されている。28GHz帯の場合に、無線周波数が10倍程度高周波になれば、自由空間伝搬損は、100倍、すなわち20dB増加する。そのため、例えば、基地局のアンテナ利得で、この自由空間伝搬損を補うためには数万個のアンテナ素子が必要となることが予想される。更に高速な伝送レートの提供を目指す第6世代移動通信では、例えば、300GHz帯（いわゆるテラヘルツ帯）の活用が検討されており、第5世代移動通信よりも、更に多くのアンテナ素子が必要となることが予想される。
- [0008] アンテナ素子への給電損を最小化するためには、各移相器回路を各アンテナ素子の近傍に配置する必要がある。そのため、例えば、プリント基板上に形成された平面アンテナ素子のすぐ裏に移相器回路等が配置され、スルーホールを介して給電されている。しかし、無線周波数が高くなってアンテナ素子間隔が狭くなるに従い多数の移相器回路等をアンテナ素子間隔と同等の間隔で、2次元で配置することは困難になる。例えば、無線周波数が300GHzの場合、自由空間波長は1mmであるため、アンテナ素子の間隔は波長

の半分、つまり0.5 mmとすることが一般的である。また、複数のビームを形成する回路（いわゆるマルチビーム形成回路）を構成するには、ビーム数と同数の移相器回路等を並列して配置しなければならず、さらに、移相器回路等の配置が困難になることが容易に想定される。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：特開2004-023400号公報

特許文献2：特開2007-165956号公報

非特許文献

[0010] 非特許文献1：渡辺 光，宇賀 晋介，中溝 英之，堤 恒次，新庄 真太郎，栗山 侑，“第5世代移動通信基地局向けミリ波アンテナ・RFフロントエンド技術”，電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン，2020，14 巻，3 号，p. 222-231.

非特許文献2：Dong-Hun KIM Jiro HIROKAWA Makoto ANDO, “One-Body 2-D Beam-Switching Butler Matrix with Waveguide Short-Slot 2-Plane Couplers,” IEICE TRANSACTIONS on Electronics, Oct 2017, Vol.E100-C, No.10, pp.884-892.

非特許文献3：C. Tsokos et al., “Analysis of a Multibeam Optical Beamforming Network Based on Blass Matrix Architecture,” in Journal of Lightwave Technology, Aug.15 2018, vol. 36, no. 16, pp. 3354-3372.

非特許文献4：Y. Liu and J. Klamkin, “Scalable Integrated Photonics Beamforming Circuits,” 2020 Asia Communications and Photonics Conference (ACP) and International Conference on Information Photonics and Optical Communications (IPOC), 2020, pp. 1-3.

非特許文献5：B. Ortega, J. Mora and R. Chulia, “Optical Beamformer for 2-D Phased Array Antenna With Subarray Partitioning Capability,” in IEEE Photonics Journal, June 2016, vol. 8, no. 3, pp. 1-9.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0011] 上記した移相器回路等の配置が困難になるという問題に対して、アンテナ素子数に応じた多数の移相器回路等を実装するのではなく、固定の位相量で移相する受動回路を使用してその入力端子を切り替えて使用する方式がある。しかしながら、この方式において、2次元のビームステアリングを実施するためには、回路の構造が、例えば、非特許文献2に示すような立体的に組み上げた構造になる。そのため、高周波帯での実装は、金属を高精度に立体加工した導波管での構成となることから量産が難しく、また、量産をしない場合であっても多素子化に対応することは困難と考えられる。
- [0012] これに対して、例えば、非特許文献3では、低損失導波路を小型で実装することができる光回路製造技術を応用し、信号を光に変換したうえで光回路により重み付けを実施する手段が提案されている。これにより、多素子・2次元の重み付け回路を構成できる可能性が高まると考えられるが、重み付け回路の部品数は、アンテナ素子数に応じて増加する。
- [0013] これらのことから、2次元アレーアンテナを制御する手段として、立体的な構造を用いないこと、及び、できる限り部品数の増加を抑え、アンテナ素子数の増大に対応できるようにすることが強く望まれる。
- [0014] 非特許文献2，3以外の光回路により重み付けを実施する既存の技術として、以下のような技術が開示されている。特許文献1には、波長分散線路を利用して2次元のビームステアリングを行う立体的な光回路に関する技術が開示されている。特許文献2には、波長多重を用いてマルチビーム形成を行う技術が開示されており、当該技術は、2次元化及び多素子化が可能であると考えられる。非特許文献4には、光波長を変換しながら移相器を反復して再利用するループ構成を用いて、重み付けを実施する回路の部品数を増やさずに、多素子化に対応し得る技術が開示されている。
- [0015] 非特許文献5には、平面構成の移相回路と、光波長に依存して遅延時間が異なるFBG(Fiber Bragg Gratings)反射線路を組み合わせ、平面構成の

移相回路によって行う 1 次元（1 平面内）のビームステアリングを行う技術が開示されている。さらに、非特許文献 5 の技術では、F B G 反射線路により行う、平面構成の移相回路の平面と直交する平面の方向でのビームステアリングを可能にして、2 次元ビームステアリングを実施する技術が開示されている。この技術を採用することにより、回路の部品点数を削減しつつ、2 次元のビームステアリングを行い得るものと考えられる。

[0016] しかしながら、特許文献 1 に開示されている技術では、製造の困難な多層構造の配線による行列回路が必要になり、平面回路製造プロセスによる量産に適さないという問題がある。特許文献 2 に開示されている技術では、アンテナ素子数の増大と 2 次元化に伴い回路を構成する部品数が莫大になるという問題がある。

[0017] 非特許文献 4 に開示されている技術では、光波長を変換しながら移相器を反復して再利用するループ構成を用いることから、配線が複雑になるという問題がある。非特許文献 5 に開示されている技術において用いている F B G は周波数帯域依存性が強いため、多数のアンテナ素子や多数のビームに対応する際に多数の波長多重を行う場合、F B G 反射線路の数が膨大化するという問題がある。

[0018] 本発明の目的は、アレーアンテナの規模が大きくなっても、配線構造を複雑にすることなく、適切な重み付けを可能とし、小型化及び量産化に適した簡易な構造の回路による送信指向性の制御を可能にする送信指向性制御装置、及び送信指向性制御方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0019] 本発明の一態様は、3 次元空間において任意に定められる配置線に沿って配置される複数のアンテナ素子と、光を送信信号で変調して、異なる周波数帯域の第 1 光信号と、第 2 光信号とを生成する送信光信号生成部と、前記第 2 光信号に対して、前記配置線の方角と、所望する送信方向とに応じて予め定められる位相傾斜を付与して、前記配置線に沿って配置される前記アンテナ素子の各々に対応する位相傾斜付きの第 2 光信号を生成する重み付け部と

、前記アンテナ素子の各々に対応して備えられ、一列に並べられる光電変換部の各々であって、各々に対応する前記位相傾斜付きの第2光信号と、前記第1光信号とを合成して電気信号に変換し、変換した前記電気信号を、各々に対応する前記アンテナ素子に出力する光電変換部と、を備え、前記光電変換部の各々が合成する2つの光信号の何れか一方の光信号に生じる位相差であって、当該一方の光信号が前記光電変換部の各々に到達するまでの光経路の経路差によって生じる位相差が吸収されるように、前記一列において隣接する前記光電変換部の間の光経路の経路差の各々と、前記光の波長とを選択する、送信指向性制御装置である。

[0020] 本発明の一態様は、3次元空間において任意に定められる配置線に沿って配置される複数のアンテナ素子に対する送信指向性制御方法であって、送信光信号生成部が、光を送信信号で変調して、異なる周波数帯域の第1光信号と、第2光信号とを生成するステップと、重み付け部が、前記第2光信号に対して、前記配置線の方法と、所望する送信方向とに応じて予め定められる位相傾斜を付与して、前記配置線に沿って配置される前記アンテナ素子の各々に対応する位相傾斜付きの第2光信号を生成するステップと、前記アンテナ素子の各々に対応して備えられ、一列に並べられる光電変換部の各々が、各々に対応する前記位相傾斜付きの第2光信号と、前記第1光信号とを合成して電気信号に変換し、変換した前記電気信号を、各々に対応する前記アンテナ素子に出力するステップと、を含み、前記光電変換部の各々が合成する2つの光信号の何れか一方の光信号に生じる位相差であって、当該一方の光信号が前記光電変換部の各々に到達するまでの光経路の経路差によって生じる位相差が吸収されるように、前記一列において隣接する前記光電変換部の間の光経路の経路差の各々と、前記光の波長とを選択する、送信指向性制御方法である。

発明の効果

[0021] 本発明によれば、アレーアンテナの規模が大きくなっても、配線構造を複雑にすることなく、適切な重み付けを可能とし、小型化及び量産化に適した

簡易な構造の回路による送信指向性の制御が可能になる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]第1の実施形態に係る送信指向性制御装置の構成例を示す図である。

[図2]第1の実施形態に係る光電変換部の内部構成と、アンテナ素子との接続関係とを示す図である。

[図3]第1の実施形態に係る送信指向性制御装置の動作を示すフローチャートである。

[図4]第2の実施形態に係る送信指向性制御装置の構成例を示す図である。

[図5]第2の実施形態に係るアンテナ素子の配置を示す図である。

[図6]第2の実施形態に係る送信指向性制御装置の動作を示すフローチャートである。

[図7]第3の実施形態に係る送信指向性制御装置の構成例を示す図である。

[図8]第4の実施形態に係る送信光信号生成部の内部構成と、送信光信号生成部と光源との接続関係と、光源に接続する波長指定部とを示す図である。

[図9]第4の実施形態に係る波長と方向の対応関係と、第1走査用切替回路、及び第2走査用切替回路の各々の内部において割り当てられる出力端子と波長の対応関係とを示す図である。

[図10]第5の実施形態に係る送信指向性制御装置の構成例を示す図である。

[図11]第1、第2、第3、第5の実施形態に示す送信光信号生成部の他の構成例と、光源との接続関係と、光源に接続する波長指定部とを示す図（その1）である。

[図12]第1、第2、第3、第5の実施形態に示す送信光信号生成部の他の構成例と、光源との接続関係と、光源に接続する波長指定部とを示す図（その2）である。

[図13]第1、及び第5の実施形態に示す光電変換部の他の構成例と、アンテナ素子との接続関係とを示す図である。

発明を実施するための形態

[0023] （第1の実施形態）

以下、本発明の実施形態について図面を参照しつつ説明する。図1は、第1の実施形態の送信指向性制御装置1の構成例を示すブロック図である。送信指向性制御装置1は、波長指定部10、光源11、送信光信号生成部12、重み付け部13、操作部16、光電変換部17-1～17-M、及びアンテナ素子18-1～18-Mを備える。ここで、Mは、2以上の自然数であり、本文において、自然数とは、0を含まない正の整数である。

[0024] 波長指定部10は、ユーザの操作を受けて、ユーザが選択する波長 λ を含む波長指定信号を生成して出力する。光源11は、波長可変光源であり、波長指定部10から受ける波長指定信号に含まれている波長 λ のCW (Continuous Wave:連続波)の光を生成して出力する。送信光信号生成部12は、光変調器21と、分波器22とを備える。光変調器21は、外部から与えられる電気的な送信信号をベースバンド信号とし、当該ベースバンド信号で、光源11が出力する光を強度変調して被変調光信号を生成する。

[0025] 分波器22は、光変調器21が生成する被変調光信号を、搬送波の光信号と、上側帯波の光信号とに分波する。分波器22は、分波した搬送波の光信号を、分波器22に接続する光経路100に出力し、分波した上側帯波の光信号を光経路200に出力する。光経路100、200、及び、以下に示す光経路は、例えば、光ファイバである。なお、図1及び以下に示す図において、一点鎖線で示す接続線は、搬送波の光信号が伝送される光経路を示しており、点線で示す接続線は、上側帯波の光信号が伝送される光経路を示している。

[0026] 操作部16は、送信方向を選択することが可能になっており、選択された送信方向に対応する切替指示信号を出力する。重み付け部13は、走査用切替回路14と、走査用行列回路15とを備える。走査用切替回路14は、例えば、光スイッチであり、1個の入力端子14-Sと、M個の出力端子14-E-1, 14-E-2, ..., 14-E-Mとを備える。入力端子14-Sには、光経路200が接続する。走査用切替回路14は、操作部16が出力する切替指示信号の種類に応じて、入力端子14-Sを、出力端子14-E

− 1 ~ 1 4 − E − M の何れか 1 つに接続するように切り替える。つまり、操作部 1 6 において選択が可能な送信方向は、M 種類であり、操作部 1 6 は、M 種類の送信方向の各々に対応する切替指示信号を出力する。

[0027] 走査用行列回路 1 5 は、例えば、遅延線路、高分散線路、共振リングなどを用いて位相傾斜を付与するように構成された回路であり、当該回路として、例えば、バトラー行列(Butler Matrix)回路やブラス行列(Blass Matrix)回路が適用されてもよい。走査用行列回路 1 5 は、供給される光信号に対して位相傾斜を付与する。走査用行列回路 1 5 は、M 個の入力端子 1 5 − S − 1, 1 5 − S − 2, ..., 1 5 − S − M と、M 個の出力端子 1 5 − E − 1, 1 5 − E − 2, ..., 1 5 − E − M を備える。M 個の入力端子 1 5 − S − 1 ~ 1 5 − S − M の各々は、走査用切替回路 1 4 の出力端子 1 4 − E − 1 ~ 1 4 − E − M の各々に接続する。

[0028] 走査用行列回路 1 5 において、M 個の入力端子 1 5 − S − 1 ~ 1 5 − S − M の各々と、M 個の出力端子 1 5 − E − 1 ~ 1 5 − E − M の各々との間において、付与する位相傾斜に応じた傾斜位相量が予め定められており、当該傾斜位相量が付与されるように、予め回路構成が定められる。

[0029] ここで、第 1 の実施形態において、「j」を 1 ~ M の間の任意の自然数とする。走査用行列回路 1 5 は、何れか 1 つの入力端子 1 5 − S − j から光信号が供給されると、供給された光信号に対して、入力端子 1 5 − S − j と、M 個の出力端子 1 5 − E − 1 ~ 1 5 − E − M の各々との間において定められている傾斜位相量 ϕ_j を付与した M 個の光信号を生成する。走査用行列回路 1 5 は、生成した M 個の光信号の各々を、M 個の出力端子 1 5 − E − 1, 1 5 − E − 2, ..., 1 5 − E − M の各々から出力する。なお、傾斜位相量、及びその他の位相量において、単位を示さない場合の単位は、弧度法の単位であるラジアンであり、度数法で示す場合、単位「°」を付して示す。

[0030] ここで、走査用行列回路 1 5 において、M = 3 とした場合の入力端子 1 5 − S − j と、M 個の出力端子 1 5 − E − 1 ~ 1 5 − E − M の各々との間において定められている傾斜位相量 ϕ_j の具体例について説明する。

- [0031] 入力端子 15-S-1 に光信号が供給されると、供給された光信号に対して、例えば、 $(0^\circ, 30^\circ, 60^\circ)$ の位相が付与された3つの光信号が、出力端子 15-E-1, 15-E-2, 15-E-3 の各々から出力される。したがって、 $(0^\circ, 30^\circ, 60^\circ)$ の各々をラジアンで表した位相量が、傾斜位相量 ϕ_j になる。この場合、 0° が傾斜位相量 ϕ_1 、 30° が傾斜位相量 ϕ_2 、 60° が傾斜位相量 ϕ_3 に対応し、これにより、 30° ずつ増加する位相傾斜が付与される。
- [0032] 入力端子 15-S-2 に光信号が供給されると、供給された光信号に対して、例えば、 $(0^\circ, 60^\circ, 120^\circ)$ の位相が付与された3つの光信号が、出力端子 15-E-1, 15-E-2, 15-E-3 の各々から出力される。したがって、 $(0^\circ, 60^\circ, 120^\circ)$ の各々をラジアンで表した位相量が、傾斜位相量 ϕ_j になる。この場合、 0° が傾斜位相量 ϕ_1 、 60° が傾斜位相量 ϕ_2 、 120° が傾斜位相量 ϕ_3 に対応し、これにより、 60° ずつ増加する位相傾斜が付与される。
- [0033] 入力端子 15-S-3 に光信号が供給されると、供給された光信号に対して、例えば、 $(0^\circ, 90^\circ, 180^\circ)$ の位相が付与された3つの光信号が、出力端子 15-E-1, 15-E-2, 15-E-3 の各々から出力される。したがって、 $(0^\circ, 90^\circ, 180^\circ)$ の各々をラジアンで表した位相量が、傾斜位相量 ϕ_j になる。この場合、 0° が傾斜位相量 ϕ_1 、 90° が傾斜位相量 ϕ_2 、 180° が傾斜位相量 ϕ_3 に対応し、これにより、 90° ずつ増加する位相傾斜が付与される。
- [0034] すなわち、傾斜位相量 ϕ_j における添え字の「j」は、出力端子 15-E-j の位置を示す「j」に対応しており、傾斜位相量 ϕ_j は、入力端子 15-S-1 ~ 15-S-M が異なると、異なる位相量になる。
- [0035] 光電変換部 17-1 ~ 17-M の各々には、光経路 100 における M 個の分岐点 101-1, 101-2, ..., 101-M から分岐する分岐光経路 102-1, 102-2, ..., 102-M の各々と、走査用行列回路 15 の出力端子 15-E-1 ~ 15-E-M の各々に接続する光経路 200-1, 2

00-2, ..., 00-Mとが接続する。なお、分岐光経路102-1~102-Mは、光経路100の一部分であり、光経路100において分岐光経路102-1~102-M以外の部分を、光経路100の本線という。

[0036] 光電変換部17-1~17-Mの各々は、同一の内部構成を備えており、光電変換部17-jは、図2に示す内部構成を備える。光電変換部17-jは、フォトダイオード（以下、PD（Photo Diode）という）31-jと、合波器32-jとを備える。合波器32-jは、分岐光経路102-jと、光経路200-jとに接続する。合波器32-jは、分岐光経路102-jを介して供給される搬送波の光信号と、光経路200-jを介して供給される上側帯波の光信号とを合波する。PD31-jは、合波器32-jと、アンテナ素子18-jとに接続しており、合波器32-jが出力する光信号を電気信号に変換してRF信号を生成する。以下、光電変換部17-jによる2つの光信号を合成して電気信号に変換してRF信号を生成する処理を、フォトミキシングともいう。

[0037] アンテナ素子18-1~18-Mは、3次元空間において任意に定められる配置線に沿って配置されており、いわゆる1次元のアレーアンテナであるアレーアンテナ19を形成する。なお、配置線は、直線であってもよいし、一般的に2次元のアレーアンテナとして用いられる凹形状や凸形状などの曲面を形成する曲線であってもよい。アンテナ素子18-1~18-Mの各々は、各々に接続する光電変換部17-1~17-Mから供給されるRF信号を電波として放射する。アンテナ素子18-1~18-Mの各々から放射される電波によって、いわゆる送信ビームが形成されることになる。

[0038] 例えば、配置線が、図1の紙面の横方向の直線である場合、アンテナ素子18-1~18-Mから放射される送信ビームは、図1の紙面の縦方向の上方向である符号80で示す方向を正面方向80とした場合、図1の紙面の平面上で、正面方向80と、左右の横方向との間の任意の方向、例えば、符号81, 82で示す方向や、正面方向80に向かうことになる。

[0039] 送信ビームの方向は、走査用行列回路15が付与する位相傾斜によって定

められる。走査用行列回路 15 が付与する位相傾斜を変えることにより、送信ビームの方向を、正面方向 80 と、左右の横方向との間の任意の方向にすることができる。ただし、位相傾斜は、配置線の方角と、当該配置線の方角を基準としたユーザが所望する送信方向とに応じて、M 個の入力端子 15-S-1 ~ 15-S-M の各々と、M 個の出力端子 15-E-1 ~ 15-E-M との間で、予め固定的に定められる。そのため、走査用行列回路 15 において、位相傾斜が固定的に定められた状態における送信ビームの方向の数は、走査用行列回路 15 の入力端子 15-S-1 ~ 15-S-M の数、すなわちアンテナ素子 18-1 ~ 18-M の数である M 個になる。

[0040] 光電変換部 17-1 ~ 17-M は、配置線に沿って一列に並べられる。光電変換部 17-1 ~ 17-M は、分波器 22 の光経路 100 が接続する出力端子を起点とし、当該一列において隣接する 2 つの光電変換部 17-1 ~ 17-M の各々に到達するまでの光経路 100 の経路長の差（以下、経路差 D という）が、一定であり、かつ、この一定の経路差 D が、次式（1）で示されるという接続条件（以下、第 1 接続条件という）を満たすように配置される。

[0041] [数 1]

$$D = a\lambda \quad \cdots (1)$$

[0042] 式（1）において、「 λ 」は、波長指定部 10 が出力する波長指定信号に含まれる波長 λ 、すなわち光源 11 が生成して出力する光の波長 λ である。

「a」は、任意の自然数である。言い換えると、経路差 D は、光源 11 が出力する光の波長 λ の自然数倍になっていれば、どのような値であってもよい。

[0043] 当該第 1 接続条件を満たす一例を示すと、光電変換部 17-1 ~ 17-M に対して、以下のように光経路 100 が配線される。光電変換部 17-1 ~ 17-M を、配置線に沿って、経路差 D の長さで等間隔に一列に配置する。光経路 100 の本線を、光電変換部 17-1 ~ 17-M が並ぶ一列に沿って配線する。光経路 100 の本線上の M 個の分岐点 101-1, 101-2,

..., $101-M$ において、隣接する分岐点 $101-1$, $101-2$, ..., $101-M$ の間隔の各々が経路差 D の長さになるようにする。分岐点 $101-1$, $101-2$, ..., $101-M$ の各々と、光電変換部 $17-1 \sim 17-M$ の各々とを、同一長の分岐光経路 $102-1 \sim 102-M$ によって接続する。

[0044] この場合、図1に示すように、分波器22の光経路100が接続する出力端子を起点として、光電変換部 $17-1 \sim 17-M$ の各々に至る光経路100の経路長の経路差 D は、当該起点から分岐点 $101-1 \sim 101-M$ の各々に至る光経路100の経路長の差として現れることになる。

[0045] 分波器22が出力する搬送波の光信号が光電変換部 $17-1$ に到達した際の位相を基準とするために、この位相を「0」とする。光電変換部 $17-1$ と、光電変換部 $17-2$ とには、分岐点 $101-1$ と、分岐点 $101-2$ の間の経路長の違い、すなわち経路差 D の違いがある。そのため、分波器22から出力されて光電変換部 $17-2$ に到達する光信号は、分岐点 $101-1$ と、分岐点 $101-2$ の間の経路差 D のために、位相が回転し、経路差 D の長さに応じた分だけ位相が進むことになる。ここで、式(1)より、 $D = a\lambda$ であるため、分波器22から出力されて光電変換部 $17-1$ に到達する光信号に対して、分波器22から出力されて光電変換部 $17-2$ に到達する光信号は、「 $2a\pi$ 」位相が進んだ光信号になる。

[0046] 上記したように、隣接する分岐点 $101-1$, $101-2$, ..., $101-M$ の間隔は、等間隔であるため、分波器22から出力されて光電変換部 $17-j$ に到達する光信号は、分波器22から出力されて光電変換部 $17-1$ に到達する光信号に対して、「 $2(j-1)a\pi$ 」位相が進んだ信号になる。

[0047] これに対して、走査用行列回路15の出力端子 $15-E-1 \sim 15-E-M$ の各々から出力されて、光電変換部 $17-1 \sim 17-M$ の各々に至る光経路 $200-1 \sim 200-M$ には、経路差が存在しないように配線される。そのため、走査用行列回路15の出力端子 $15-E-1 \sim 15-E-M$ の各々から出力されて光電変換部 $17-1 \sim 17-M$ の各々に到達する上側帯波の

光信号の各々における位相の違いは、走査用行列回路 15 によって付与される傾斜位相量 ϕ_j による違いになる。

[0048] (第 1 の実施形態の送信指向性制御装置による処理)

図 3 を参照しつつ、送信指向性制御装置 1 による処理について説明する。送信指向性制御装置 1 のユーザが波長 λ を定め、定めた波長 λ と、第 1 接続条件とにしたがう経路差 D になるように、光電変換部 17-1 ~ 17-M に光経路 100 を配線する。その上で、ユーザが、波長指定部 10 において波長 λ を選択する操作を行うと、当該操作を受けて波長指定部 10 は、波長 λ を含む波長指定信号を光源 11 に出力する。

[0049] ユーザは、操作部 16 において、所望する送信方向を選択する操作を行い、当該操作を受けて操作部 16 は、選択された送信方向に対応する切替指示信号を走査用切替回路 14 に出力する。当該切替指示信号を受けた走査用切替回路 14 は、例えば、入力端子 14-S を、出力端子 14-E-1 ~ 14-E-M の何れか 1 つである出力端子 14-E-j に接続する。

[0050] 以下、図 3 に示すフローチャートの処理が開始される。光源 11 は、波長指定部 10 が出力する波長指定信号を取り込む。光源 11 は、取り込んだ波長指定信号に含まれている波長 λ の光を生成し、生成した光を光変調器 21 に出力する。光変調器 21 は、外部から与えられる送信信号によって、光を強度変調して被変調光信号を生成する。光変調器 21 は、生成した被変調光信号を分波器 22 に出力する (S a 1)。分波器 22 は、光変調器 21 が出力する被変調光信号を、搬送波の光信号と、上側帯波の光信号とに分波する。ここで、搬送波の光信号は、次式 (2) によって示され、上側帯波の光信号は、次式 (3) によって示される。

[0051] [数 2]

$$L_C(t) = \cos(\omega_c t) \quad \dots (2)$$

[0052] [数 3]

$$L_S(t) = \frac{1}{2} \cos\{(\omega_c + \omega_{RF})t\} \quad \dots (3)$$

[0053] 式(2)、式(3)において、 ω_c は、光源11が生成する光の角周波数であり、 t は、時刻である。式(2)において、 ω_{RF} は、RF信号の角周波数であり、搬送波の光信号と、上側帯波の光信号との周波数差に相当する。分波器22は、搬送波の光信号を光経路100に出力し、上側帯波の光信号を光経路200に出力する(Sa2)。

[0054] 走査用切替回路14は、分波器22が出力する上側帯波の光信号を入力端子14-Sから取り込み、出力端子14-E-jから出力する(Sa3)。走査用行列回路15は、走査用切替回路14の出力端子14-E-jから出力された上側帯波の光信号を、入力端子15-S-jから取り込む。走査用行列回路15は、取り込んだ上側帯波の光信号に対して、入力端子15-S-jと、M個の出力端子15-E-1～15-E-Mの各々との間において定められている傾斜位相量 ϕ_j を付与して、M個の上側帯波の光信号を生成する。走査用行列回路15の出力端子15-E-jから出力される上側帯波の光信号を式で示すと、次式(4)になる。

[0055] [数4]

$$L_{S-j}(t) = \frac{1}{2} \cos\{(\omega_c + \omega_{RF})t + \phi_j\} \quad \dots (4)$$

[0056] 走査用行列回路15は、生成したM個の上側帯波の光信号を、M個の出力端子15-E-1～15-E-Mの各々から出力する(Sa4)。

[0057] 光電変換部17-1～17-Mの各々には、光経路100を介して分波器22から搬送波の光信号が供給され、光経路200-1～200-Mを介して上側帯波の光信号が供給される。ここで、図2を参照しつつ、光電変換部17-1～17-Mにおける任意の光電変換部17-jによって行われるフォトミキシングについて説明する。

[0058] 光電変換部17-jの合波器32-jに対して、分岐光経路102-jを介して供給される搬送波の光信号は、上記したように「 $2(j-1)a\pi$ 」の位相進みが生じるため、次式(5)によって示される。

[0059]

[数5]

$$L_{C_j}(t) = \cos(\omega_c t + 2(j-1)a\pi) \quad \dots (5)$$

[0060] これに対して、合波器 32-j に対して、光経路 200-j を介して供給される上側帯波の光信号は、上記した式 (4) で示される。したがって、合波器 32-j は、式 (5) によって示される搬送波の光信号と、式 (4) によって示される上側帯波の光信号とを合波して合波光信号を生成して PD 32-j に出力する。合波器 32-j が生成する合波光信号は、次式 (6) によって示される。

[0061] [数6]

$$L_{C_j}(t) + L_{S_j}(t) \quad \dots (6)$$

[0062] PD 32-j は、合波器 32-j が出力する合波光信号を取り込むと、合波光信号を電気信号に変換する。この電気信号への変換の際に、PD 32-j は、合波光信号を 2 乗検波し、当該 2 乗検波の結果から PD 32-j の出力周波数特性に依存した所定の RF 周波数帯域の成分の電気信号を生成する。PD 32-j による 2 乗検波を式で示すと次式 (7) の右辺に示される式になる。

[0063] [数7]

$$v_{RF_j} \propto \{L_{C_j}(t) + L_{S_j}(t)\}^2 \quad \dots (7)$$

[0064] PD 32-j が出力する RF 信号は、式 (7) の右辺の演算結果から RF 周波数帯域を抽出した、次式 (8) で示される RF 信号 v_{RF_j} になる。式 (8) に示されるように、RF 信号 v_{RF_j} は、 $\cos(\omega_{RF} t - \phi_j + 2ja\pi - 2a\pi)$ に比例する信号になる。

[0065] [数8]

$$\begin{aligned} v_{RF_j} &\propto \cos(\omega_{RF} t - \phi_j + 2(j-1)a\pi) \\ &= \cos(\omega_{RF} t - \phi_j + 2ja\pi - 2a\pi) \quad \dots (8) \end{aligned}$$

[0066] 光電変換部 17-1 ~ 17-M の各々は、生成した RF 信号を、各々に接

続するアンテナ素子 18-1 ~ 18-M に出力する。アンテナ素子 18-1 ~ 18-M の各々は、各々に接続する光電変換部 17-1 ~ 17-M が出力する RF 信号を電波として放射し (S a 5)、処理が終了する。

[0067] (第 1 の実施形態の効果)

上記したように、第 1 の実施形態の送信指向性制御装置 1 では、光源 11 が生成する光の波長が λ である場合に、上記した第 1 接続条件を満たすように、光電変換部 17-1 ~ 17-M に対して、光経路 100 を配線する。これにより、光電変換部 17-j が出力する RF 信号は、式 (8) によって示される信号になる。光電変換部 17-j に隣接する光電変換部 17-(j+1) が出力する RF 信号は、式 (8) の右辺の「j」に「j+1」を代入した次式 (9) で示される信号になる。

[0068] [数9]

$$v_{RF_{(j+1)}} \propto \cos(\omega_{RF}t - \phi_{j+1} + 2ja\pi) \quad \dots (9)$$

[0069] 式 (8) と、式 (9) とを比較すると分かるように、光電変換部 17-(j+1) と、光電変換部 17-j とが出力する RF 信号の位相差は、「 $-\phi_{j+1} + \phi_j + 2a\pi$ 」になる。「 $2a\pi$ 」は、 2π の「a」倍であり、「a」は自然数である。したがって、当該位相差が示す位相は、「 $-\phi_{j+1} + \phi_j$ 」に一致するため、搬送波の光信号が光電変換部 17-1 ~ 17-M の各々に到達するまでの光経路 100 の経路差 D によって、光電変換部 17-1 ~ 17-M の各々に供給される搬送波の光信号に生じる位相差「 $2a\pi$ 」が吸収されることになる。

[0070] 上記の第 1 の実施形態では、ユーザが波長指定部 10 を操作して光源 11 が生成する光の波長 λ を選択する。ユーザが選択する波長 λ にしたがって、予め第 1 接続条件を満たすように、光電変換部 17-1 ~ 17-M に光経路 100 を配線するようにしている。これに対して、経路差 D を先に定めて、光電変換部 17-1 ~ 17-M に光経路 100 を配線する。その上で、式 (1) を満たすように波長 λ を定めて、定めた波長 λ を、ユーザが波長指定部 10 において選択するようにしてもよい。

[0071] 言い換えると、第1の実施形態の送信指向性制御装置1では、搬送波の光信号が光電変換部17-1～17-Mの各々に到達するまでの光経路100の経路差Dによって、光電変換部17-1～17-Mの各々に供給される搬送波の光信号に生じる位相差が吸収されるように、経路差Dと、光源11が生成する光の波長 λ とを選択する。これにより、隣接する光電変換部17-(j+1)と、光電変換部17-jとに供給される搬送波の光信号の位相差を 2π の自然数倍にすることができる。その結果、上記したように、隣接する光電変換部17-(j+1)と、光電変換部17-jとが出力するRF信号の位相差は、「 $-\phi_{j+1} + \phi_j$ 」になる。このRF信号の位相差は、走査用行列回路15によって付与される位相傾斜を示すことになるため、これらのRF信号を用いることにより、アンテナ素子18-1～18-Mから放射されるRF信号の電波を、ユーザが所望する送信方向に伝搬させることが可能になる。

[0072] 例えば、第1の実施形態の構成において、分波器22から光電変換部17-1～17-Mの各々に到達する搬送波の光信号の位相を一致させるという目的のために、例えば、分波器22の光経路100が接続する出力端子から、光電変換部17-1～17-Mの各々までの光経路を同一の経路長にするという手段も取り得る。ただし、当該手段を採用する場合、アンテナ素子18-1～18-M、18-1-1～18-3-3の数、すなわち光電変換部17-1～17-M、17-1-1～17-3-3の数が増えるほど、光経路を同一の経路長にするのに要する回路規模は膨大になる。これに対して、第1の実施形態の送信指向性制御装置1では、光電変換部17-1～17-Mに対する光経路100の配線は、1本の光経路100をM分岐して、光電変換部17-1～17-Mの各々に接続する簡易な構成によって、上記の目的を達成することができている。また、第1の実施形態の送信指向性制御装置1では、光信号のアナログ回路による移相を行っている。そのため、全てデジタル信号処理で移相を行うフルデジタル制御のアレーアンテナに比べて、アナログ・デジタル変換器の数を大幅に削減することができる。したが

って、第 1 の実施形態の送信指向性制御装置 1 を用いることにより、アレーアンテナ 19 の規模が大きくなっても、配線構造を複雑にすることなく、適切な重み付けを可能とし、小型化及び量産化に適した簡易な構造の回路による送信指向性の制御ができる。

[0073] (第 2 の実施形態)

図 4 は、第 2 の実施形態の送信指向性制御装置 1 a の構成例を示すブロック図である。第 2 の実施形態において、第 1 の実施形態と同一の構成については、同一の符号を付して説明する。送信指向性制御装置 1 a は、波長指定部 10、光源 11、送信光信号生成部 12、重み付け部 13 a、操作部 16 a、光電変換部 17-1-1~17-3-3、及びアンテナ素子 18-1-1~18-3-3 を備える。

[0074] アンテナ素子 18-1-1~18-3-3 は、3次元空間において任意に定められる第 1 配置線と、第 1 配置線に交差する第 2 配置線とに沿って配置される。ここで、第 1 配置線と、第 2 配置線とは、直線であってもよいし、一般的に 2 次元のアレーアンテナとして用いられる凹形状や凸形状などの曲面を形成する曲線であってもよい。例えば、第 1 配置線と、第 2 配置線とが、直線であって、直交する関係にあり、第 1 配置線の方が、3次元空間における垂直方向であり、第 2 配置線が、3次元空間における水平方向であるとする。この場合、アンテナ素子 18-1-1~18-3-3 は、例えば、図 5 に示すように配置されて、いわゆる 2 次元アレーアンテナであるアレーアンテナ 19 a が形成される。言い換えると、第 2 の実施形態の送信指向性制御装置 1 a は、第 1 の実施形態の送信指向性制御装置 1 において、 $M=3$ として、1 次元アレーアンテナであるアレーアンテナ 19 の形状を、2 次元形状に拡張した構成になる。

[0075] 光電変換部 17-1-1~17-3-3 の各々は、アンテナ素子 18-1-1~18-3-3 の各々に接続しており、行方向が、第 1 配置線の方に一致し、列方向が、第 2 配置線の方に一致するように、行列形状に配置される。ここで、第 2 の実施形態において、「i」を、行の位置を示す 1~3

の間の任意の自然数とし、「 j 」を、列の位置を示す $1 \sim 3$ の間の任意の自然数とする。 i 行 j 列に配置される光電変換部 $17-i-j$ は、図 2 に示す第 1 の実施形態の光電変換部 $17-j$ と同様に、合波器と、PD とを備えており、供給される 2 つの光信号に対してフォトミキシングを行う。以下、光電変換部 $17-i-j$ が備える合波器と、PD とを示す場合、それぞれ合波器 $32-i-j$ 、PD $31-i-j$ として示す。

[0076] 重み付け部 $13a$ は、第 1 走査用切替回路 $14A$ 、第 2 走査用切替回路 $14B$ 、第 1 走査用行列回路 $15A$ 、及び第 2 走査用行列回路 $15B$ を備える。第 1 走査用切替回路 $14A$ と、第 1 走査用行列回路 $15A$ との接続関係、及び、第 2 走査用切替回路 $14B$ と、第 2 走査用行列回路 $15B$ との接続関係は、 $M=3$ とした場合の第 1 の実施形態の走査用切替回路 14 と、走査用行列回路 15 との接続関係と同一である。第 1 走査用切替回路 $14A$ 、第 2 走査用切替回路 $14B$ は、第 1 の実施形態の走査用切替回路 14 において、 $M=3$ とした場合の構成と同一の構成を備える。

[0077] 第 1 走査用行列回路 $15A$ と、第 2 走査用行列回路 $15B$ とは、第 1 の実施形態の走査用行列回路 15 において、 $M=3$ とした場合の構成に相当する回路であるが、付与する位相傾斜については、第 1 走査用行列回路 $15A$ と第 2 走査用行列回路 $15B$ の各々において個別に定められる。すなわち、第 1 走査用行列回路 $15A$ には、第 1 配置線の方角と、当該第 1 配置線の方角を基準としたユーザが所望する送信方角とに応じた位相傾斜が定められる。第 2 走査用行列回路 $15B$ には、第 2 配置線の方角と、当該第 2 配置線の方角を基準としたユーザが所望する送信方角とに応じた位相傾斜が定められる。

[0078] 第 1 走査用行列回路 $15A$ において、入力端子 $15A-S-1 \sim 15A-S-3$ の各々と、出力端子 $15A-E-1 \sim 15A-E-3$ の各々のとの間において予め定められる傾斜位相量を、以下、 ϕ に「 V_i 」を付した ϕ_{V_i} で表す。傾斜位相量 ϕ_{V_1} は、出力端子 $15A-E-1$ から出力される光信号に付与される傾斜位相量であり、傾斜位相量 ϕ_{V_2} は、出力端子 $15A-E-2$

から出力される光信号に付与される傾斜位相量であり、傾斜位相量 ϕ_{v3} は、出力端子15A-E-3から出力される光信号に付与される傾斜位相量である。第1の実施形態において説明したのと同様に、 $(\phi_{v1}, \phi_{v2}, \phi_{v3})$ の各々の値は、入力端子15A-S-1, 15A-S-2, 15A-S-3の何れに光信号が供給されるかによって異なる値になる。

[0079] 第2走査用行列回路15Bにおいて、入力端子15B-S-1~15B-S-3の各々と、出力端子15B-E-1~15B-E-3の各々のとの間において予め定められる傾斜位相量を、以下、 ϕ に「Hj」を付した ϕ_{Hj} で表す。傾斜位相量 ϕ_{H1} は、出力端子15B-E-1から出力される光信号に付与される傾斜位相量であり、傾斜位相量 ϕ_{H2} は、出力端子15B-E-2から出力される光信号に付与される傾斜位相量であり、傾斜位相量 ϕ_{H3} は、出力端子15B-E-3から出力される光信号に付与される傾斜位相量である。第1の実施形態において説明したのと同様に、 $(\phi_{H1}, \phi_{H2}, \phi_{H3})$ の各々の値は、入力端子15B-S-1, 15B-S-2, 15B-S-3の何れに光信号が供給されるかによって異なる値になる。

[0080] $(\phi_{v1}, \phi_{v2}, \phi_{v3})$ の値の組み合わせは3通り存在し、 $(\phi_{H1}, \phi_{H2}, \phi_{H3})$ の値の組み合わせは3通り存在する。そのため、送信ビームの方向は、 $3 \times 3 = 9$ 方向を指定することが可能になる。したがって、操作部16aにおいて、ユーザは、9方向を送信方向として選択することが可能になっており、操作部16aは、選択された送信方向に対応する切替指示信号を、第1走査用切替回路14Aと、第2走査用切替回路14Bとに出力する。

[0081] 第1走査用行列回路15Aと、第2走査用行列回路15Bと、光電変換部17-1-1~17-3-3の各々との接続条件（以下、第2接続条件という）は、以下に示す接続関係によって示される。

[0082] 第1走査用行列回路15Aの出力端子15A-E-1と、1行目の光電変換部17-1-1, 17-1-2, 17-1-3の各々との間の光経路100-1の接続関係は、第1の実施形態の分波器22の光経路100が接続する出力端子と、光電変換部17-1, 17-2, 17-3の各々との間の光

経路 100 の接続関係と同一になる。ただし、第 1 の実施形態における経路差 D を、第 2 の実施形態では、経路差 D_2 として表す。したがって、経路差 D_2 は、次式 (10) として示される。

[0083] [数10]

$$D_2 = a\lambda \quad \cdots (10)$$

[0084] 出力端子 15A-E-2 と、2 行目の光電変換部 17-2-1, 17-2-2, 17-2-3 の各々との間の光経路 100-2 の接続関係、及び、出力端子 15A-E-3 と、3 行目の光電変換部 17-3-1, 17-3-2, 17-3-3 の各々との間の光経路 100-3 の接続関係は、出力端子 15A-E-1 と、1 行目の光電変換部 17-1-1, 17-1-2, 17-1-3 の各々との間の光経路 100-1 の接続関係と同一である。

[0085] 第 2 走査用行列回路 15B の出力端子 15B-E-1 と、1 列目の光電変換部 17-1-1, 17-2-1, 17-3-1 の各々との間の光経路 200-1 の接続関係と、出力端子 15A-E-1 と、1 行目の光電変換部 17-1-1, 17-1-2, 17-1-3 の各々との間の光経路 100-1 の接続関係とは、同一であるが、経路差が、経路差 D_2 ではなく、次式 (11) で示される経路差 D_1 になる点で異なる。

[0086] [数11]

$$D_1 = b\lambda \quad \cdots (11)$$

[0087] 式 (11) において、「 b 」は、任意の自然数である。言い換えると、経路差 D_1 は、光源 11 が出力する光の波長 λ の自然数倍になっていれば、どのような値であってもよい。したがって、 $b = a$ であってもよく、この場合、経路差 $D_1 =$ 経路差 D_2 になる。

[0088] 出力端子 15B-E-2 と、2 列目の光電変換部 17-1-2, 17-2-2, 17-3-2 の各々との間の光経路 200-2 の接続関係、及び出力端子 15B-E-3 と、3 列目の光電変換部 17-1-3, 17-2-3, 17-3-3 の各々との間の光経路 200-3 の接続関係は、出力端子 15

B-E-1 と、1 列目の光電変換部 17-1-1, 17-2-1, 17-3-1 の各々との間の光経路 200-1 の接続関係と同一である。

[0089] 言い換えると、第2 接続条件とは、以下に示す列方向の条件と、行方向の条件とを含む条件ということができる。すなわち、列方向の条件とは、第1 走査用行列回路 15 A の出力端子 15 A-E-1, 15 A-E-2, 15 A-E-3 の各々を起点とし、各々に対応する行ごとの光電変換部 17-1-1~17-3-3 において隣接する2つの光電変換部 17-1-1~17-3-3 の各々に到達するまでの光経路 100-1~100-3 の経路差 D_2 が一定であり、かつ、この経路差 D_2 が式 (10) に示すように、光源 11 が生成する光の波長 λ の任意の自然数 a 倍の値になっているという条件である。

[0090] 行方向の条件とは、第2 走査用行列回路 15 B の出力端子 15 B-E-1, 15 B-E-2, 15 B-E-3 の各々を起点とし、各々に対応する列ごとの光電変換部 17-1-1~17-3-3 において隣接する2つの光電変換部 17-1-1~17-3-3 の各々に到達するまでの光経路 200-1~200-3 の経路差 D_1 が一定であり、かつ、この経路差 D_1 が式 (11) に示すように、光源 11 が生成する光の波長 λ の任意の自然数 b 倍の値になっているという条件である。

[0091] 当該第2 接続条件を満たす一例を示すと、光電変換部 17-1-1~17-3-3 に対して、以下のように光経路 100-1~100-3, 200-1~200-3 が配線される。1 行目の光電変換部 17-1-1, 17-1-2, 17-1-3 の組み合わせと、2 行目の光電変換部 17-2-1, 17-2-2, 17-2-3 の組み合わせと、3 行目の光電変換部 17-3-1, 17-3-2, 17-3-3 の組み合わせとにおいて、列方向、すなわち第2 配置線方向の隣接間隔が全て経路差 D_2 になるように配置する。1 列目の光電変換部 17-1-1, 17-2-1, 17-3-1 の組み合わせと、2 列目の光電変換部 17-1-2, 17-2-2, 17-3-2 の組み合わせと、3 列目の光電変換部 17-1-3, 17-2-3, 17-3-3 の組み合わせとにおいて、行方向、すなわち第1 配置線方向の隣接間隔が全て経

路差 D_1 になるように配置する。

[0092] このように、光電変換部 $17-1-1 \sim 17-3-3$ を配置した上で、第1の実施形態の場合と同様に、第1走査用行列回路 $15A$ の出力端子 $15A-E-1 \sim 15A-E-3$ の各々に接続する光経路 $100-1 \sim 100-3$ を列方向に沿って配線する。光経路 $100-1 \sim 100-3$ の各々の本線において隣接する分岐点の間隔が、光電変換部 $17-1-1 \sim 17-3-3$ の列方向の間隔、すなわち経路差 D_2 に一致するように、分岐点を定める。光経路 $100-1$ の分岐点の各々から同一長の分岐光経路によって、1行目の光電変換部 $17-1-1$ 、 $17-1-2$ 、 $17-1-3$ の各々に接続する。光経路 $100-2$ 、 $100-3$ についても、光経路 $100-1$ と同様に、それぞれ2行目の光電変換部 $17-2-1$ 、 $17-2-2$ 、 $17-2-3$ と、3行目の光電変換部 $17-3-1$ 、 $17-3-2$ 、 $17-3-3$ とに接続する。

[0093] 同様に、第2走査用行列回路 $15B$ の出力端子 $15B-E-1 \sim 15B-E-3$ の各々に接続する光経路 $200-1 \sim 200-3$ を行方向に沿って配線する。光経路 $200-1 \sim 200-3$ の各々の本線において隣接する分岐点の間隔が、光電変換部 $17-1-1 \sim 17-3-3$ の行方向の間隔、すなわち経路差 D_1 に一致するように、分岐点を定める。光経路 $200-1$ の分岐点の各々から同一長の分岐光経路によって、1列目の光電変換部 $17-1-1$ 、 $17-2-1$ 、 $17-3-1$ の各々に接続する。光経路 $200-2$ 、 $200-3$ についても、光経路 $200-1$ と同様に、それぞれ2列目の光電変換部 $17-1-2$ 、 $17-2-2$ 、 $17-3-2$ と、3列目の光電変換部 $17-1-3$ 、 $17-2-3$ 、 $17-3-3$ と接続する。

[0094] 上記のように、光電変換部 $17-1-1 \sim 17-3-3$ を配置して、光経路 $100-1 \sim 100-3$ 、 $200-1 \sim 200-3$ を配線することにより、図4に示すように、光経路 $100-3$ において隣接する分岐点 $101-3-1$ 、 $101-3-2$ の間の長さ、分岐点 $101-3-2$ 、 $101-3-3$ の間の長さ、経路差 D_2 が現れる。これは、他の光経路 $100-1$ 、1

00-2においても同様になる。また、光経路200-1において隣接する分岐点201-1-1, 201-1-2の間の長さ、分岐点201-1-2, 201-1-3の間の長さ、経路差 D_1 が現れる。これは、他の光経路200-2, 200-3においても同様になる。

[0095] (第2の実施形態の送信指向性制御装置による処理)

図6を参照しつつ、第2の実施形態の送信指向性制御装置1aによる処理について説明する。送信指向性制御装置1aのユーザが波長 λ を定め、定めた波長 λ と、第2接続条件とにしたがう経路差 D_1 , D_2 になるように、光電変換部17-1-1~17-3-3に光経路100-1~100-3, 200-1~200-3を配線する。その上で、ユーザが、波長指定部10において波長 λ を選択する操作を行うと、当該操作を受けて波長指定部10は、波長 λ を含む波長指定信号を光源11に出力する。

[0096] ユーザは、操作部16aにおいて、所望する送信方向を選択する操作を行い、当該操作を受けて操作部16aは、選択された送信方向に対応する切替指示信号を第1走査用切替回路14Aと、第2走査用切替回路14Bとに出力する。当該切替指示信号を受けた第1走査用切替回路14Aは、例えば、入力端子14A-Sを、出力端子14A-E-1~14A-E-3の何れか1つである出力端子14A-E-iに接続する。当該切替指示信号を受けた第2走査用切替回路14Bは、例えば、入力端子14B-Sを、出力端子14B-E-1~14B-E-3の何れか1つである出力端子14B-E-jに接続する。

[0097] 以下、図6に示すフローチャートの処理が開始される。Sb1, Sb2の処理は、図3に示す第1の実施形態のSa1, Sa2と同一の処理が、光源11と、送信光信号生成部12とによって行われる。

[0098] 第1走査用切替回路14Aは、分波器22が出力する搬送波の光信号を入力端子14A-Sから取り込み、出力端子14A-E-iから出力する(Sb3-1)。第1走査用行列回路15Aは、第1走査用切替回路14Aの出力端子14A-E-iから出力された搬送波の光信号を、入力端子15A-

S-i から取り込む。第1走査用行列回路15Aは、取り込んだ搬送波の光信号に対して、入力端子15A-S-iと、出力端子15A-E-1~15A-E-3の各々との間において定められている傾斜位相量 ϕ_{vi} を付与して、3つの搬送波の光信号を生成する。分波器22が出力する搬送波の光信号は、式(2)で示されるため、第1走査用行列回路15Aの出力端子15A-E-iから出力される搬送波の光信号は、次式(12)によって示される。

[0099] [数12]

$$L_{C_i}(t) = \cos(\omega_c t + \phi_{vi}) \quad \cdots (12)$$

[0100] 第1走査用行列回路15Aは、生成した3つの搬送波の光信号を、出力端子15A-E-1~15A-E-3の各々から出力する(Sb4-1)。

[0101] Sb3-2, Sb4-2の処理は、図3に示す第1の実施形態のSa3, Sa4の処理を、 $M=3$ とし、走査用行列回路15が付与する傾斜位相量を ϕ_j から ϕ_{Hj} に置き換えた処理と同一の処理であって、走査用切替回路14が行う処理を、第2走査用切替回路14Bが行い、走査用行列回路15が行う処理を、第2走査用行列回路15Bが行う処理が行われる。

[0102] この場合に、分波器22が出力する上側帯波の光信号は、式(3)で示されるため、Sb4-2の処理において、第2走査用行列回路15Bの出力端子15B-E-jから出力される上側帯波の光信号は、次式(13)によって示される。

[0103] [数13]

$$L_{S_j}(t) = \frac{1}{2} \cos\{(\omega_c + \omega_{RF})t + \phi_{Hj}\} \quad \cdots (13)$$

[0104] なお、Sb3-1, Sb4-1の処理と、Sb3-2, Sb4-2の処理は、並列に行われる処理である。

[0105] j列目の光電変換部17-i-jに到達する搬送波の光信号は、「 $2(j-1)a\pi$ 」の位相進みが生じるため次式(14)によって示される。

[0106]

[数14]

$$L_{C_{ij}}(t) = \cos(\omega_c t + \phi_{Vi} + 2(j-1)a\pi) \quad \dots (14)$$

[0107] i 行目の光電変換部 17-i-j に到達する上側帯波の光信号は、「2 (i-1) b π 」の位相進みが生じるため次式 (15) によって示される。

[0108] [数15]

$$L_{S_{ij}}(t) = \frac{1}{2} \cos\{(\omega_c + \omega_{RF})t + \phi_{Hj} + 2(i-1)b\pi\} \quad \dots (15)$$

[0109] 光電変換部 17-i-j は、式 (14) で示される搬送波の光信号と、式 (15) で示される上側帯波の光信号とをフォトミキシングする。すなわち、光電変換部 17-i-j が備える合波器 32-i-j が、式 (14) で示される搬送波の光信号と、式 (15) で示される上側帯波の光信号とを合波して合波光信号を生成する。PD 31-i-j は、合波器 32-i-j が生成した合波光信号を電気信号に変換する。この電気信号への変換の際に、PD 32-i-j は、合波光信号を 2 乗検波し、当該 2 乗検波の結果から PD 32-i-j の出力周波数特性に依存した所定の RF 周波数帯域の成分の電気信号を生成する。PD 32-i-j による 2 乗検波を式で示すと次式 (16) の右辺に示される式になる。

[0110] [数16]

$$v_{RF_{ij}} \propto \{L_{C_{ij}}(t) + L_{S_{ij}}(t)\}^2 \quad \dots (16)$$

[0111] 光電変換部 17-i-j が出力する RF 信号は、式 (16) の右辺の演算結果から RF 周波数帯域を抽出した、次式 (17) で示される RF 信号 $v_{RF_{ij}}$ になる。式 (17) に示されるように、RF 信号 $v_{RF_{ij}}$ は、 $\cos(\omega_{RF} t + (\phi_{Vi} - \phi_{Hj}) + 2(j-1)a\pi + 2(i-1)b\pi)$ に比例する信号になる。

[0112] [数17]

$$v_{RF_{ij}} \propto \cos(\omega_{RF} t + (\phi_{Vi} - \phi_{Hj}) + 2(j-1)a\pi + 2(i-1)b\pi) \quad \dots (17)$$

[0113] 光電変換部 17-1-1～17-3-3 の各々は、生成した RF 信号を、各々に接続するアンテナ素子 18-1-1～18-3-3 に出力する。アンテナ素子 18-1-1～18-3-3 の各々は、各々に接続する光電変換部 17-1-1～17-3-3 が出力する RF 信号を電波として放射し（S b 5）、処理が終了する。

[0114] （第 2 の実施形態の効果）

上記したように、第 2 の実施形態の送信指向性制御装置 1 a では、光源 1 が生成する光の波長が λ である場合に、上記した第 2 接続条件を満たすように、光電変換部 17-1-1～17-3-3 に対して、光経路 100-1～100-3, 200-1～200-3 を配線する。これにより、光電変換部 17-i-j が出力する RF 信号は、式（17）によって示される信号になる。ここで、光電変換部 17-i-j に、行方向において隣接する光電変換部 17-(i+1)-j が出力する RF 信号は、式（17）の右辺の「i」に「i+1」を代入した次式（18）で示される信号になる。

[0115] [数18]

$$v_{RF_{(i+1)j}} \propto \cos(\omega_{RF}t + (\phi_{V(i+1)} - \phi_{Hj}) + 2(j-1)a\pi + 2ib\pi) \quad \dots (18)$$

[0116] また、光電変換部 17-i-j に、列方向において隣接する光電変換部 17-i-(j+1) が出力する RF 信号は、式（17）の右辺の「j」に「j+1」を代入した次式（19）で示される信号になる。

[0117] [数19]

$$v_{RF_{i(j+1)}} \propto \cos(\omega_{RF}t + (\phi_{Vi} - \phi_{H(j+1)}) + 2ja\pi + 2(i-1)b\pi) \quad \dots (19)$$

[0118] 式（17）と、式（18）とを比較すると分かるように、光電変換部 17-(i+1)-j と、光電変換部 17-i-j と、が出力する RF 信号の位相差は、「 $\phi_{V(i+1)} - \phi_{Vi} + 2b\pi$ 」になる。「 $2b\pi$ 」は、 2π の「b」倍であり、「b」は自然数である。したがって、当該位相差が示す位相は、

「 $\phi_{v(i+1)} - \phi_{vi}$ 」に一致するので、上側帯波の光信号が、行ごとの光電変換部 17-1-1 ~ 17-3-3 の各々に到達するまでの光経路 200-1 ~ 200-3 の経路差 D_1 によって、光電変換部 17-1-1 ~ 17-3-3 の各々に供給される上側帯波の光信号に生じる位相差「 $2b\pi$ 」が吸収されることになる。

[0119] 式(17)と、式(19)とを比較すると分かるように、光電変換部 17-i-(j+1)と、光電変換部 17-i-jとが出力するRF信号の位相差は、「 $-\phi_{H(i+1)} + \phi_{Hi} + 2a\pi$ 」になる。「 $2a\pi$ 」は、 2π の「a」倍であり、「a」は自然数である。したがって、当該位相差が示す位相は、「 $-\phi_{H(i+1)} + \phi_{Hi}$ 」に一致するので、搬送波の光信号が、列ごとの光電変換部 17-1-1 ~ 17-3-3 の各々に到達するまでの光経路 100-1 ~ 100-3 の経路差 D_2 によって、光電変換部 17-1-1 ~ 17-3-3 の各々に供給される搬送波の光信号に生じる位相差「 $2a\pi$ 」が吸収されることになる。

[0120] 上記の第2の実施形態では、ユーザが波長指定部10を操作して光源11が生成する光の波長 λ を選択する。ユーザが選択する波長 λ にしたがって、予め第2接続条件を満たすように、光電変換部 17-1-1 ~ 17-3-3 に光経路 100-1 ~ 100-3, 200-1 ~ 200-2 を配線するようにしている。これに対して、経路差 D_1 と、経路差 D_2 とを先に定めて、光電変換部 17-1-1 ~ 17-3-3 に光経路 100-1 ~ 100-3, 200-1 ~ 200-2 を配線する。その上で、式(10)と、式(11)とを満たすように波長 λ を定めて、定めた波長 λ を、ユーザが波長指定部10において選択するようにしてもよい。

[0121] 言い換えると、第2の実施形態の送信指向性制御装置1aでは、位相傾斜付きの搬送波の光信号が列方向の光電変換部 17-1-1 ~ 17-3-3 の各々に到達するまでの光経路 100-1 ~ 100-3 の経路差 D_2 によって、光電変換部 17-1-1 ~ 17-3-3 の各々に供給される位相傾斜付きの搬送波の光信号に生じる位相差が吸収されるように、かつ、位相傾斜付きの

上側帯波の光信号が行方向の光電変換部 17-1-1~17-3-3 の各々に到達するまでの光経路 200-1~200-3 の経路差 D_1 によって、光電変換部 17-1-1~17-3-3 の各々に供給される位相傾斜付きの上側帯波の光信号に生じる位相差が吸収されるように、経路差 D_2 と、経路差 D_1 と、光源 11 が生成する波長 λ とを選択する。その結果、上記したように、行方向において隣接する光電変換部 17-(i+1)-j と、光電変換部 17-i-j とが出力する RF 信号の位相差は、「 $\phi_{v(i+1)} - \phi_{vi}$ 」になり、列方向において隣接する光電変換部 17-i-(j+1) と、光電変換部 17-i-j とが出力する RF 信号の位相差は、「 $-\phi_{H(i+1)} + \phi_{Hi}$ 」になる。前者の位相差「 $\phi_{v(i+1)} - \phi_{vi}$ 」は、第 1 走査用行列回路 15A によって付与される位相傾斜を示しており、後者の「 $-\phi_{H(i+1)} + \phi_{Hi}$ 」は、第 2 走査用行列回路 15B によって付与される位相傾斜を示している。そのため、これらの RF 信号を用いることにより、アンテナ素子 18-1-1~18-3-3 から放射される RF 信号の電波を、ユーザが所望する送信方向に伝搬させることが可能になる。

[0122] 第 2 の実施形態の送信指向性制御装置 1a は、上記した第 1 の実施形態の送信指向性制御装置 1 が有する効果に加えて、以下のような効果を有する。すなわち、送信指向性制御装置 1a では、2 次元の送信ビームの走査を行う際に、送信ビームを形成する回路の部品数の増大と構造の複雑さ、例えば、立体交差や立体配線などを大幅に抑えつつ、大規模かつ 2 次元の送信ビームの走査を行うことができる。言い換えると、送信指向性制御装置 1a を用いることにより、アレーアンテナ 19a の規模が大きくなっても、配線構造を複雑にすることなく、適切な重み付けを可能とし、小型化及び量産化に適した簡易な構造の回路による送信指向性の制御ができる。

[0123] なお、第 2 の実施形態では、 3×3 のアレーアンテナ 19a を構成する例について示しているが、第 2 の実施形態の送信指向性制御装置 1a では、 $N \times M$ の任意のサイズのアレーアンテナを構成することが可能である。ただし、 N と M とは自然数であって、 N と M の何れか一方が少なくとも 2 以上の自

然数である。

[0124] (第3の実施形態)

図7は、第3の実施形態の送信指向性制御装置1bの構成例を示すブロック図である。第3の実施形態において、第1及び第2の実施形態と同一の構成については、同一の符号を付して説明する。なお、図7において、符号400で示す構成は、図4において符号400で示す構成と同一の構成である。したがって、送信指向性制御装置1bは、波長指定部10、光源11、送信光信号生成部12、重み付け部13b、操作部16a、光電変換部17-1-1~17-3-3、及びアンテナ素子18-1-1~18-3-3を備える。

[0125] 重み付け部13bは、第1走査用切替回路14A、第2走査用切替回路14B、合波器41-1~41-3、分波器42-1~42-3、及び走査用行列回路15Cを備える。走査用行列回路15Cは、第1の実施形態の走査用行列回路15において、M=3とした構成と同一の構成である。

[0126] 合波器41-1~41-3は、供給される搬送波の光信号と、上側帯波の光信号とを合波して合波光信号を生成する。合波器41-1は、入力側で、第1走査用切替回路14Aの出力端子14A-E-1と、第2走査用切替回路14Bの出力端子14B-E-1とに接続し、出力側で、走査用行列回路15Cの入力端子15C-S-1に接続する。合波器41-2は、入力側で、第1走査用切替回路14Aの出力端子14A-E-2と、第2走査用切替回路14Bの出力端子14B-E-2とに接続し、出力側で、走査用行列回路15Cの入力端子15C-S-2に接続する。合波器41-3は、入力側で、第1走査用切替回路14Aの出力端子14A-E-3と、第2走査用切替回路14Bの出力端子14B-E-3とに接続し、出力側で、走査用行列回路15Cの入力端子15C-S-3に接続する。

[0127] 分波器42-1~42-3は、供給される光信号を、搬送波の光信号と、上側帯波の光信号とに分波する。分波器42-1は、入力側で、走査用行列回路15Cの出力端子15C-E-1に接続し、出力側で、光経路100-

1 と、光経路 200-1 とに接続する。分波器 42-2 は、入力側で、走査用行列回路 15C の出力端子 15C-E-2 に接続し、出力側で、光経路 100-2 と、光経路 200-2 とに接続する。分波器 42-3 は、入力側で、走査用行列回路 15C の出力端子 15C-E-3 に接続し、出力側で、光経路 100-3 と、光経路 200-3 とに接続する。光経路 100-1 ~ 100-3, 200-1 ~ 200-3 の各々と、光電変換部 17-1-1 ~ 17-3-3 の各々との接続関係は、第 2 の実施形態と同一である。

[0128] (第 3 の実施形態の送信指向性制御装置による処理)

第 3 の実施形態の送信指向性制御装置 1a では、第 2 の実施形態の送信指向性制御装置 1a における第 1 走査用行列回路 15A、及び第 2 走査用行列回路 15B の役目を、走査用行列回路 15C が兼ねることになる。したがって、図 6 に示す処理において、Sb3-1 と、Sb3-2 の処理の後に、合波器 41-1 ~ 41-3 によって、搬送波の光信号と、上側帯波の光信号とが合波される処理が加わり、Sb4-1 と、Sb4-2 の処理とが、走査用行列回路 15C によって行われる。

[0129] 第 2 の実施形態において、第 1 走査用行列回路 15A によって付与される傾斜位相量を ϕ_{vi} で表したが、より詳細に、入力端子 15A-S-p に光信号が供給されて、出力端子 15A-E-i から出力される光信号に付与される傾斜位相量を ϕ_{vpi} として表すことができる。同様に、第 2 走査用行列回路 15B によって付与される傾斜位相量を ϕ_{Hj} で表したが、より詳細に、入力端子 15B-S-p に光信号が供給されて、出力端子 15B-E-j から出力される光信号に付与される傾斜位相量を ϕ_{Hpj} として表すことができる。ここで、第 3 の実施形態において、p, i, j、及び以下に示す q は、1 ~ 3 の間の任意の自然数である。

[0130] 第 2 の実施形態の場合、 $i = j = q$ とした場合であっても、第 1 走査用行列回路 15A と、第 2 走査用行列回路 15B とが異なる回路になっているため、傾斜位相量 ϕ_{vpq} と、傾斜位相量 ϕ_{Hpq} とを、異なる値に位相量にすることができる。これに対して、第 3 の実施形態では、1 つの走査用行列回路 1

5 Cを用いるため、 $i = j = q$ とした場合、 $\phi_{vpq} = \phi_{hpq}$ になるという違いがある。

[0131] この違いを、送信ビームの方向で示すと、以下のように説明することができる。例えば、第2の実施形態の図5に示すアレーアンテナ19aにおいて、符号90で示す送信指向性制御装置1aの本体が存在する方向からみて、水平面に平行な方向、すなわち水平面に対する傾きが 0° である方向と、水平面から上方向に ϕ° 傾いた方向と、水平面から下方向に ϕ° 傾いた方向という3つの方向と、垂直面に平行な方向、すなわち垂直面に対する傾きが 0° である方向と、垂直面から右方向に ξ° 傾いた方向と、水平面から左方向に ξ° 傾いた方向という3つの方向とを組み合わせた、合計で9つの方向に送信ビームが送信できるとする。第2の実施形態の場合、 $\phi_{vpq} \neq \phi_{hpq}$ とすることができるので、 ϕ° と ξ° とは異なる角度にすることができる。これに対して、第3の実施形態では、 $\phi_{vpq} = \phi_{hpq}$ になるため、 ϕ° と ξ° とが同一になる。

[0132] Sb4-1, Sb4-2の処理が、走査用行列回路15Cによって行われた後、分波器42-1~42-3の各々は、各々に接続する出力端子15C-E-1~15C-E-3から出力される光信号を取り込んで搬送波の光信号と、上側帯波の光信号とに分波する。分波器42-1~42-3の各々は、分波した搬送波の光信号を、各々に接続する光経路100-1~100-3に出力し、分波した上側帯波の光信号を、各々に接続する光経路200-1~200-3に出力する。その後、Sb5の処理が行われて、処理が終了する。

[0133] (第3の実施形態の効果)

第3の実施形態の送信指向性制御装置1bは、上記した第2の実施形態の送信指向性制御装置1aが有する効果に加えて、以下のような効果を有する。第2の実施形態の送信指向性制御装置1aでは、第1走査用行列回路15A、第2走査用行列回路15Bの2つの行列回路を必要としているが、第3の実施形態の送信指向性制御装置1bでは、位相傾斜の付与を行う行列回路

が、走査用行列回路 15 C の 1 つの行列回路になる。そのため、送信指向性制御装置 1 b は、送信指向性制御装置 1 a よりも、より小型化が可能になる。

[0134] ただし、上記したように、送信指向性制御装置 1 a によって送信することができる送信ビームの方向の範囲に比べると、送信指向性制御装置 1 b によって送信することができる送信ビームの方向の範囲には、制限が加わる。また、送信指向性制御装置 1 a は、第 1 配置線方向と、第 2 配置線方向とにおいて、それぞれ任意の個数のアンテナ素子 $18-i-j$ を配置することができるのに対して、送信指向性制御装置 1 b の場合、アレーアンテナ 19 a の構成を 3×3 以外にすることができるが、第 1 配置線方向と、第 2 配置線方向とにおいて、配置することができるアンテナ素子 $18-i-j$ の個数を同一にする必要がある。

[0135] 第 2 の実施形態の送信指向性制御装置 1 a では、第 1 走査用行列回路 15 A、及び第 2 走査用行列回路 15 B によって、第 3 の実施形態の送信指向性制御装置 1 b では、走査用行列回路 15 C によって、第 1 配置線に沿って配置されるアンテナ素子 $18-1-1 \sim 18-3-3$ ごと、及び第 2 配置線に沿って配置されるアンテナ素子 $18-1-1 \sim 18-3-3$ ごとに重み付けを行って、電子的にビームステアリングを行うようにしている。一般的に、第 1 配置線、及び第 2 配置線に沿って配置されるアンテナ素子 $18-1-1 \sim 18-3-3$ に対して、一括で重み付けを行う場合、重み付け部の要素数は、アンテナ素子数の 2 乗に比例する。これに対して、第 2 の実施形態の送信指向性制御装置 1 a のように、第 1 配置線、及び第 2 配置線の各々に対して、個別に重み付けを行う場合、第 1 走査用行列回路 15 A、及び第 2 走査用行列回路 15 B の各々の要素数は、 $2 \times (\text{アンテナ素子数})^{1/2}$ に比例する。そのため、第 2 の実施形態の送信指向性制御装置 1 a は、アンテナ素子数の増加に伴う重み付け部 13 a の要素数の増加を、一般的な構成に比べて抑制することができる。さらに、第 3 の実施形態の送信指向性制御装置 1 b では、第 1 走査用行列回路 15 A、及び第 2 走査用行列回路 15 B の役目を

、走査用行列回路 15C が兼ねているため、第 2 の実施形態の送信指向性制御装置 1a よりも、アンテナ素子数の増加に伴う重み付け部 13b の要素数の増加を抑制することができる。

[0136] (第 4 の実施形態)

上記した第 2 の実施形態の送信指向性制御装置 1a は、1 つの光源 11 を備え、1 つの波長 λ の光から、1 つの送信ビームを送信するシングルビームの構成になっている。これに対して、送信指向性制御装置 1a を、以下のような構成にすることにより、複数の送信ビームを並列に送信するマルチビームの構成にすることができる。

[0137] 第 2 の送信指向性制御装置 1a において、光源 11 を、光源 11 と同一構成の 9 個の光源 11-1, 11-2, ..., 11-9 に置き換える。波長指定部 10 を、波長指定部 10 と同一構成の 9 個の波長指定部 10-1, 10-2, ..., 10-9 に置き換える。波長指定部 10-1 ~ 10-9 の各々は、光源 11-1 ~ 11-9 の各々に接続し、光源 11-1 ~ 11-9 の各々に、各々に対応する波長 $\lambda_1 \sim \lambda_9$ であって、ユーザによって選択される波長 $\lambda_1 \sim \lambda_9$ の各々を含む波長指定信号を出力する。

[0138] さらに、送信光信号生成部 12 を、図 8 に示す送信光信号生成部 12a に置き換える。送信光信号生成部 12a は、9 個の光変調器 21-1, 21-2, ..., 21-9 と、合波器 23 と、光コムフィルタ 24 とを備える。光変調器 21-1 ~ 21-9 の各々は、光変調器 21 と同一の構成である。光変調器 21-1 ~ 21-9 の各々は、光源 11-1 ~ 11-9 の各々に接続し、各々に接続する光源 11-1 ~ 11-9 が生成して出力する光を、各々に与えられる異なる送信信号 1, 送信信号 2, ..., 送信信号 9 で強度変調する。

[0139] 合波器 23 は、9 個の入力端子と、1 個の出力端子とを備えており、9 個の入力端子の各々は、光変調器 21-1 ~ 21-9 の各々に接続する。合波器 23 は、9 個の入力端子から供給される光信号を合波して合波光信号を生成し、生成した合波光信号を出力端子から出力する。

[0140] 光コムフィルタ 24 は、1 個の入力端子と、2 個の出力端子 25-1, 25-2 を備えており、入力端子に、合波器 23 の出力端子が接続し、出力端子 25-1 に光経路 100 が接続し、出力端子 25-2 に光経路 200 が接続する。光コムフィルタ 24 は、周期的な通過特性を有しており、入力端子から供給される合波光信号に含まれている 9 つの搬送波の光信号と、9 つの上側帯波の光信号とを、搬送波のグループと、上側帯波のグループとに分波して、9 つ搬送波の光信号の合波光信号を、出力端子 25-1 から出力し、9 つ上側帯波の光信号の合波光信号を、出力端子 25-2 から出力する。

[0141] 上記したように、第 2 の送信指向性制御装置 1a において、送信することができる送信ビームの方向は、9 方向である。この 9 方向に対して、1 組の搬送波と上側帯波の周波数差以上の周波数差を各々が有する 9 つの異なる波長の光を割り当てることができれば、異なる波長の光の各々を強度変調したとしても、互いの被変調光信号が干渉しないようにすることができる。そのため、ユーザが波長指定部 10-1 ~ 10-9 の各々において選択する波長 $\lambda_1 \sim \lambda_9$ を、互いの被変調光信号が干渉しないという条件を満たすような、異なる波長にする必要がある。

[0142] さらに、ユーザが波長指定部 10-1 ~ 10-9 の各々において選択する波長 $\lambda_1 \sim \lambda_9$ の各々は、次式 (20) に示される関係を満たす波長 $\lambda_1, \dots, \lambda_k, \dots, \lambda_9$ にする必要がある。

[0143] [数 20]

$$\left. \begin{array}{l} \lambda_1 = \frac{D_1}{b_1} = \frac{D_2}{a_1} \\ \vdots \\ \lambda_k = \frac{D_1}{b_k} = \frac{D_2}{a_k} \\ \vdots \\ \lambda_9 = \frac{D_1}{b_9} = \frac{D_2}{a_9} \end{array} \right\} \dots (20)$$

[0144] 式(20)において、 D_1 と D_2 は、第2の実施形態と同様に、それぞれ方向に並ぶ光電変換部17-1-1～17-3-3の経路差 D_1 であり、列方向に並ぶ光電変換部17-1-1～17-3-3の経路差 D_2 である。 k は、1～9の間の任意の自然数である。 $a_1, \dots, a_k, \dots, a_9$ 、及び $b_1, \dots, b_k, \dots, b_9$ は、任意の自然数である。

[0145] 上記したように、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_9$ は、異なる波長であるため、 $a_1 \sim a_9$ の各々は、異なる値になり、 $b_1 \sim b_9$ の各々は、異なる値になる。ただし、 $a_k = b_k$ であってもよいし、 $a_k \neq b_k$ であってもよい。したがって、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_9$ を選択する際の波長選択条件は、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_9$ の各々が異なる波長であるという条件と、式(20)を満足するという条件とを含む条件になる。この場合において、異なる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_9$ を定めてから、式(20)を満足するように、経路差 D_1 と、経路差 D_2 とを定めるようにしてもよいし、経路差 D_1 と、経路差 D_2 とを定めてから、波長選択条件を満たすように、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_9$ を定めるようにしてもよい。

[0146] 上記の波長選択条件を満たすように選択された波長 $\lambda_1 \sim \lambda_9$ を、例えば、図5に示すアレーアンテナ19aにおいて、符号90で示す送信指向性制御装置1aの本体が存在する方向からみて、図9(a)に示すように、波長 λ_1 を「左上方向」、波長 λ_2 を「左中方向」、波長 λ_3 を「左下方向」、波長 λ_4 を「中上方向」、波長 λ_5 を「正面方向」、波長 λ_6 を「中下方向」、波長 λ_7 を「右上方向」、波長 λ_8 を「右中方向」、波長 λ_9 を「右下方向」に割り当てる。

[0147] さらに、第2の実施形態の送信指向性制御装置1aにおいて、第1走査用切替回路14Aと、第2走査用切替回路14Bとを光スイッチに替えて分波器とする。なお、この場合、操作部16aから、第1走査用切替回路14Aと、第2走査用切替回路14Bとに切替指示信号を出力する必要がなくなるため、第4の実施形態では、操作部16aを備える必要がなくなる。

[0148] 第1走査用切替回路14A、及び第2走査用切替回路14Bの分波器が、以下のような分波を行うように設定する。第1走査用切替回路14Aの分波

器が、入力端子 1 4 A-S から供給される光信号を、波長 λ_1 , λ_4 , λ_7 の光信号と、波長 λ_2 , λ_5 , λ_8 の光信号と、波長 λ_3 , λ_6 , λ_9 の光信号との 3 つのグループに分波するようにする。さらに、第 1 走査用切替回路 1 4 A が備える分波器が、図 9 (b) に示すように、波長 λ_1 , λ_4 , λ_7 の光信号を出力端子 1 4 A-E-3 から出力し、波長 λ_2 , λ_5 , λ_8 の光信号を出力端子 1 4 A-E-2 から出力し、波長 λ_3 , λ_6 , λ_9 の光信号を出力端子 1 4 A-E-1 から出力するようにする。

[0149] 第 2 走査用切替回路 1 4 B の分波器が、入力端子 1 4 B-S から供給される光信号を、波長 λ_1 , λ_2 , λ_3 の光信号と、波長 λ_4 , λ_5 , λ_6 の光信号と、波長 λ_7 , λ_8 , λ_9 の光信号との 3 つのグループに分波するようにする。さらに、第 2 走査用切替回路 1 4 B が備える分波器が、図 9 (c) に示すように、波長 λ_1 , λ_2 , λ_3 の光信号を出力端子 1 4 B-E-1 から出力し、波長 λ_4 , λ_5 , λ_6 の光信号を出力端子 1 4 B-E-2 から出力し、波長 λ_7 , λ_8 , λ_9 の光信号を出力端子 1 4 B-E-3 から出力するようにする。

[0150] 第 1 走査用行列回路 1 5 A が付与する位相傾斜は、入力端子 1 5 A-S-3 から光信号が供給された場合に、送信ビームが上方向を向くような位相傾斜とし、入力端子 1 5 A-S-2 から光信号が供給された場合に、送信ビームが正面方向を向くような位相傾斜とし、入力端子 1 5 A-S-1 から光信号が供給された場合に、送信ビームが下方向を向くような位相傾斜とする。

[0151] 第 2 走査用行列回路 1 5 B が付与する位相傾斜は、入力端子 1 5 B-S-1 から光信号が供給された場合に、送信ビームが左方向を向くような位相傾斜とし、入力端子 1 5 B-S-2 から光信号が供給された場合に、送信ビームが正面方向を向くような位相傾斜とし、入力端子 1 5 B-S-3 から光信号が供給された場合に、送信ビームが右方向を向くような位相傾斜とする。

[0152] 第 2 の実施形態の送信指向性制御装置 1 a を、上記のような構成とした上で、図 6 に示す処理が、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_9$ ごとに行われる。これにより、異なる 9 つの波長 $\lambda_1 \sim \lambda_9$ を用いて、9 つの異なる送信信号 1 ~ 送信信号 9 が重畳された 9 つの送信ビームを、並列に、図 9 (a) に示す 9 つの方向に送信す

ることができる。

[0153] (第4の実施形態の効果)

上記した第4の実施形態のように構成した送信指向性制御装置1aは、9個の波長指定部10-1~10-9と、9個の光源11-1~11-9と、送信光信号生成部12aと、分波器に置き換えられた第1走査用切替回路14A及び第2走査用切替回路14Bとを備えることにより、波長多重を行うことが可能になる。この場合において、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_9$ は、上記した波長選択条件を満たす波長であるため、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_9$ の各々において、行方向において隣接する光電変換部17-i-jと、光電変換部17-(i+1)-jとに供給される上側帯波の光信号の位相差が 2π の自然数倍になり、列方向において隣接する光電変換部17-i-jと、光電変換部17-i-(j+1)とに供給される搬送波の光信号の位相差が 2π の自然数倍になる。その結果、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_9$ の各々において、行方向において隣接する光電変換部17-(i+1)-jと、光電変換部17-i-jとが出力するRF信号の位相差、及び、列方向において隣接する光電変換部17-i-(j+1)と、光電変換部17-i-jとが出力するRF信号の位相差は、第2の実施形態の場合と同一になる。そのため、第4の実施形態においても、第2の実施形態の送信指向性制御装置1aが有する効果を同一の効果を奏し、さらに、9つの送信ビームを並列に送信することができるマルチビームによる送信ができるという効果を有する。

[0154] 上記した第2の実施形態の送信指向性制御装置1aを、第4の実施形態のように構成する手法は、第1の実施形態の送信指向性制御装置1、及び第3の実施形態の送信指向性制御装置1bに適用することが可能である。当該手法を、第1の実施形態の送信指向性制御装置1の構成に適用した場合、M個の送信ビームを並列に送信することが可能になる。さらに、アレーアンテナ19aの構成を 3×3 以外の構成とした第2の実施形態の送信指向性制御装置1a、及び第3の実施形態の送信指向性制御装置1bにも、当該手法を適用することができる。

[0155] (第5の実施形態)

図10は、第5の実施形態の送信指向性制御装置1cの構成例を示すブロック図である。第5の実施形態において、第1の実施形態と同一の構成については、同一の符号を付して説明する。送信指向性制御装置1cは、波長指定部10、光源11、送信光信号生成部12、重み付け部13、光電変換部17-1～17-M、及びアンテナ素子18-1～18-Mを備える。

[0156] 第5の実施形態の送信指向性制御装置1cと、第1の実施形態の送信指向性制御装置1との構成上の違いは、以下の点である。第1の実施形態では、分波器22の光経路100が接続する出力端子を起点とし、光電変換部17-1～17-Mが並ぶ一列において隣接する2つの光電変換部17-1～17-Mの各々に到達するまでの光経路100の経路差が、一定の経路差Dになっていた。これに対して、第5の実施形態では、この経路差が、一定になっていない点である。

[0157] 図10には、第5の実施形態の構成の一例を示している。図10において、2番目からM番目までの光電変換部17-2～17-Mについては、第1の実施形態と同様に、分波器22から隣接する光電変換部17-2～17-Mの各々に到達するまでの光経路100の経路差を、経路差Dとしている。これに対して、光電変換部17-1と、光電変換部17-2については、光経路100の経路を、経路差Dとしていない。

[0158] このような場合であっても、光電変換部17-1と、光電変換部17-2との光経路100の経路差を、図10に示す例のように、波長 λ の任意の自然数倍とすれば、第1の実施形態と同様に、光電変換部17-1～17-Mの各々に供給される搬送波の光信号において経路差のために生じる位相差を吸収することができる。

[0159] 第5の実施形態の送信指向性制御装置1cの構成を、更に一般化して示すために、「j」を1～Mの間の任意の自然数とし、 m_j を任意の自然数とする。光電変換部17-1～17-Mにおいて、隣接する光電変換部17-(j-1)と、光電変換部17-jの間の光経路100の経路差を、波長 $\lambda \times m_j$

とする。ただし、 $j = 1$ の場合、光電変換部 17-0 が存在しないため、 $m_1 = 0$ とする。この場合、光電変換部 17-j が出力する RF 信号は、次式 (21) で示され、光電変換部 17-(j+1) が出力する RF 信号は、次式 (22) で示される。

[0160] [数21]

$$v_{RF_j} \propto \cos \left(\omega_{RF} t - \phi_j + 2\pi \sum_{r=1}^j m_r \right) \quad \cdots (21)$$

[0161] [数22]

$$v_{RF_ (j+1)} \propto \cos \left(\omega_{RF} t - \phi_{j+1} + 2\pi \sum_{r=1}^{j+1} m_r \right) \quad \cdots (22)$$

[0162] 式 (22) の右辺の式と、式 (21) の右辺の式との位相差は、「 $-\phi_{j+1} + \phi_j + 2m_{j+1}\pi$ 」になる。図10では、一例として、光電変換部 17-1 と、光電変換部 17-2 との光経路 100 の経路差を、経路差 D の 2 倍とした例を示している。この場合、光電変換部 17-1 と、光電変換部 17-2 との間の光経路 100 の経路差は、「 $2a\lambda$ 」であるため、 m_2 は、「 $2a$ 」になる。したがって、位相差は、「 $-\phi_2 + \phi_1 + 4a\pi$ 」になる。光電変換部 17-2 以降については、光経路 100 の経路差が、「 $a\lambda$ 」になるため、 m_{j+1} は、「 a 」になる。したがって、位相差は、「 $-\phi_{j+1} + \phi_j + 2a\pi$ 」になる。

[0163] すなわち、いずれの場合においても、 m_{j+1} が自然数であるため、「 $2m_{j+1}\pi$ 」は、 2π の自然数倍になる。そのため、「 $-\phi_{j+1} + \phi_j + 2m_{j+1}\pi$ 」が示す位相は、「 $-\phi_{j+1} + \phi_j$ 」に一致し、搬送波の光信号が光電変換部 17-1 ~ 17-M の各々に到達するまでの光経路 100 の経路差によって、光電変換部 17-1 ~ 17-M の各々に供給される搬送波の光信号に生じる位相差が吸収されることになる。そのため、第1の実施形態と同様に、隣接する光電変換部 17-(j+1) と、光電変換部 17-j とが出力する RF

信号の位相差を、走査用行列回路 15 によって付与される位相傾斜「 $-\phi_{j+1} + \phi_j$ 」にすることができる。

[0164] (第5の実施形態の効果)

第5の実施形態では、分波器 22 の光経路 100 が接続する出力端子を起点とし、隣接する2つの光電変換部 17-1 ~ 17-M の各々に到達するまでの光経路 100 の経路差が、一定になっていない場合であっても、経路差の各々を、波長 λ の任意の自然数倍にするようにしている。これにより、隣接する光電変換部 17-(j+1) と、光電変換部 17-j とが出力する RF 信号の位相差を、走査用行列回路 15 によって付与される位相傾斜「 $-\phi_{j+1} + \phi_j$ 」にすることができる。そのため、これらの RF 信号を用いることにより、アンテナ素子 18-1 ~ 18-M から放射される RF 信号の電波を、ユーザが所望する送信方向に伝搬させることが可能になる。

[0165] したがって、第5の実施形態の送信指向性制御装置 1c は、第1の実施形態の送信指向性制御装置 1 と同様の効果を奏するので、アレーアンテナ 19 の規模が大きくなっても、配線構造を複雑にすることなく、適切な重み付けを可能とし、小型化及び量産化に適した簡易な構造の回路による送信指向性の制御ができる。

[0166] 第5の実施形態の送信指向性制御装置 1c の隣接する2つの光電変換部 17-1 ~ 17-M の各々に到達するまでの光経路 100 の経路差を、一定にせず、経路差の各々を、波長 λ の任意の自然数倍にする手法は、アレーアンテナ 19 が、2次元に配置されたアレーアンテナ 19a を備える第2から第4の実施形態にも適用が可能であり、さらに、第2から第4の実施形態において、アンテナ素子 18-1-1 ~ 18-3-3 の数を増加させた構成に対しても適用が可能である。

[0167] (各実施形態に共通する効果)

第1から第5の実施形態では、光信号のアナログ処理で移相を実現していることから、電波を放射する際のビーム走査だけでなく、空間光無線通信（いわゆる FSO (Free Space Optics) 通信）等において、光を放射する際の

ビーム走査を、機械駆動ではなく電子的に行う回路に、第1から第5の実施形態の送信指向性制御装置1～1cの仕組みを応用することができる。現状のFSO通信では、放射方向を機械駆動装置により調整しているため、装置の重量や量産性の課題が想定され、また、動作速度や耐久性の観点において、運用や保守の課題が想定される。このような課題を有するFSO通信に対して、第1から第5の実施形態の送信指向性制御装置1～1cの仕組みを応用することによって、光ビームの電子的な走査が可能になれば、これらの課題を解決することが可能になる。

[0168] (各実施形態における他の構成例)

第1の実施形態において、アンテナ素子18-1～18-Mに給電するRF信号の位相傾斜誤差（以下、給電位相傾斜誤差という）に許容範囲があり、例えば、分波器22の光経路100が接続する出力端子から最も光経路100の経路長が最も近いアンテナ素子18-1の給電位相傾斜誤差を θ° とする。この場合、経路差Dを、次式(23)によって定める。

[0169] [数23]

$$D = (a \pm \theta^\circ/360)\lambda \quad \dots (23)$$

[0170] 経路差Dが、式(23)によって定められる場合、光電変換部17-jが出力するRF信号は、式(8)に替えて、次式(24)で示される。

[0171] [数24]

$$v_{RF_j} \propto \cos(\omega_{RF}t - \phi_j + 2(j-1)(a \pm \theta^\circ/360)\pi) \quad \dots (24)$$

[0172] 式(24)は、式(25)に変形することができる。

[0173] [数25]

$$v_{RF_j} \propto \cos(\omega_{RF}t - \phi_j + 2(j-1)a\pi \pm (j-1)\theta^\circ\pi/180) \quad \dots (25)$$

[0174] 光電変換部17-jに隣接する光電変換部17-(j+1)が出力するRF信号は、式(25)の「j」に「j+1」を代入して得られるため、次式(26)として示される。

[0175] [数26]

$$v_{RF_j+1} \propto \cos(\omega_{RF}t - \phi_{j+1} + 2ja\pi \pm j\pi\theta^\circ/180) \quad \dots (26)$$

[0176] 式(26)の右辺と、式(25)の右辺との位相差は、「 $-\phi_{j+1} + \phi_j + 2a\pi \pm \theta^\circ \pi/180$ 」になる。「 $\theta^\circ \pi/180$ 」は、「 θ° 」をラジアンで表した場合の値になる。「 $2a\pi$ 」は、 2π の「 a 」倍であり、「 a 」は自然数である。したがって、当該位相差が示す位相は、「 $-\phi_{j+1} + \phi_j \pm \theta^\circ \pi/180$ 」に一致する。そのため、搬送波の光信号が光電変換部17-1～17-Mの各々に到達するまでの光経路100の経路差「 $a\lambda$ 」によって、光電変換部17-1～17-Mの各々に供給される搬送波の光信号に生じる位相差「 $2a\pi$ 」を吸収しつつ、アンテナ素子18-1～18-Mに対して、給電位相傾斜誤差 θ° の範囲内でRF信号を供給することが可能になる。

[0177] 給電位相傾斜誤差 θ° を考慮して、経路差を定める手法は、第5の実施形態に対しても同様に適用することが可能である。また、当該手法は、アレーアンテナ19が、2次元に配置されたアレーアンテナ19aを備える第2から第4の実施形態にも適用が可能であり、さらに、第2から第4の実施形態において、アンテナ素子18-1-1～18-3-3の数を増加させた構成に対しても適用が可能である。

[0178] 第1、第2、第3、及び第5の実施形態に示す送信光信号生成部12を、図11に示す送信光信号生成部12bに置き換えてもよい。送信光信号生成部12bは、SSB(Single Side Band)光変調器26と、分波器22とを備える。SSB光変調器26は、光源11が生成する波長 λ の光を、送信信号でSSB変調する。ここで、SSB光変調器26が行うSSB変調は、強度変調する際に、下側波帯を抑制して、強度変調を行う変調である。したがって、SSB光変調器26は、搬送波の光信号と、上側帯波の光信号とを含む被変調光信号を生成する。分波器22は、SSB光変調器26が生成して出力する被変調光信号を、搬送波の光信号と、上側帯波の光信号とに分波し、分波した搬送波の光信号を光経路100に出力し、分波した上側帯波の光信

号を光経路200に出力する。

[0179] 第1、第2、第3、及び第5の実施形態に示す送信光信号生成部12を、図12に示す送信光信号生成部12cに置き換えてもよい。送信光信号生成部12cは、分配器27と、SSB光変調器26aとを備える。分配器27は、光源11が生成して出力する波長 λ の光を2つの光に分配し、分配した一方を、光経路100に出力し、他方をSSB光変調器26aに出力する。すなわち、光源11が生成した波長 λ の光が、そのまま搬送波の光信号として、光経路100に出力される。SSB光変調器26aは、分配器27が出力する光を、送信信号でSSB変調する。ここで、SSB光変調器26aが行うSSB変調とは、例えば、強度変調する際に、搬送波の周波数帯と、下側波帯とを抑制して、強度変調を行う変調である。したがって、SSB光変調器26aは、上側波帯の光信号を、被変調光信号として生成し、生成した上側波帯の光信号を光経路200に出力する。

[0180] なお、図8に示す第4の実施形態の送信光信号生成部12aの光変調器21-1～21-9に替えて、図11に示すSSB光変調器26を適用してもよい。また、図8に示す第4の実施形態の送信光信号生成部12aから光コムフィルタ24を取り除き、光変調器21-1～21-9に替えて、図12に示す分配器27と、SSB光変調器26aとを、それぞれ9個、備えるようにして、9個の分配器27が出力する搬送波の光信号となる光を合波する合波器と、9個のSSB光変調器26aが出力する上側波帯の光信号を合波する合波器とを備えるようにしてもよい。また、図8に示す送信光信号生成部12aとして、合波器23の出力に2分配する分配器を備えて、分配器の2つの出力に1入力1出力の光コムフィルタをそれぞれ接続して、一方の光コムフィルタから搬送波の合波光信号を出力し、他方の光コムフィルタから上側波帯の合波光信号を出力するようにしてもよい。

[0181] 上記した各実施形態において、送信光信号生成部12、12a、12b、12cは、強度変調して、周波数帯域の異なる搬送波の光信号と、上側波帯の光信号とを生成している。これに対して、送信光信号生成部12、12a

、12b、12cは、搬送波の光信号と、上側帯波の光信号とを生成することに限られず、以下に示す例のような、異なる周波数帯域の2つの光信号である第1光信号と、第2光信号とを生成するようにしてもよい。例えば、送信光信号生成部12、12a、12b、12cは、搬送波の光信号と、上側帯波の光信号とを生成することに替えて、搬送波の光信号と、下側帯波の光信号とを生成するようにしてもよい。また、送信光信号生成部12、12a、12b、12cは、搬送波の光信号と、上側帯波の光信号とを生成することに替えて、上側帯波の光信号と、下側帯波の光信号とを生成するようにしてもよい。

[0182] 上記の各実施形態では、光経路100によって、搬送波の光信号が伝送され、光経路200によって、上側帯波の光信号が伝送されるようにしている。ここで、光経路100によって伝送される光信号を第1光信号、光経路200によって伝送される光信号を第2光信号とする。この場合、第1光信号と、第2光信号との組み合わせは、上記した搬送波の光信号と、上側帯波の光信号との組み合わせに限られず、逆の上側帯波の光信号と、搬送波の光信号との組み合わせであってもよく、また、上記した搬送波の光信号と、下側帯波の光信号の組み合わせ、及び、当該組み合わせの逆の組み合わせであってもよく、上記した上側帯波の光信号と、下側帯波の光信号との組み合わせ、及び、当該組み合わせの逆の組み合わせであってもよい。

[0183] 第1、及び第5の実施形態に示す光電変換部17-1～17-Mにおいて、合波器32-1～32-Mを、いわゆるハーフミラーに置き換えるようにしてもよい。具体的には、光電変換部17-jを、図13に示す光電変換部17a-jに置き換える。光電変換部17a-jは、合波器32-jに替えて、いわゆるハーフミラーであるミラー33-jを備える。ミラー33-jは、分岐光経路102-jを介して供給される搬送波の光信号を反射して、PD31-jの方向に進行させ、光経路200-jを介してから供給される上側帯波の光信号を透過させて、PD31-jの方向に進行させることにより、搬送波の光信号と、上側帯波の光信号とを合波する。逆に、上側帯波の

光信号を反射し、搬送波の光信号を透過させる形態であってもよい。同様に、第2から第4の実施形態に示す光電変換部17-1-1~17-3-3が備える合波器32-1-1~32-3-3を、ハーフミラーに置き換えるようにしてもよい。

[0184] 第1の実施形態において示した第1接続条件を満たす光電変換部17-1~17-Mを等間隔に配置する構成や、第2の実施形態において示した第2接続条件を満たす光電変換部17-1-1~17-3-3において行方向の隣接間隔を同一とし、列方向の隣接間隔を同一とする構成は、上記したように一例である。第1接続条件を満たす限りにおいて、第1の実施形態において、光電変換部17-1~17-Mが等間隔で配置されていない構成であってもよい。第2接続条件を満たす限りにおいて、第2の実施形態において、光電変換部17-1-1~17-3-3において行方向の隣接間隔が同一になっていなくてもよく、列方向の隣接間隔が同一になっていなくてもよい。これは、第3及び第4の実施形態においても同様である。また、第5の実施形態では、分波器22の光経路100が接続する出力端子を起点とし、光電変換部17-1~17-Mにおいて隣接する2つの光電変換部17-1~17-Mの各々に到達するまでの光経路の経路差の各々が、一定にならないように、光電変換部17-1~17-Mが配置されていれば、どのように配置されていてもよく、光電変換部17-1~17-Mが等間隔に配置されていてもよい。これは、第5の実施形態の手法が適用される第2から第4の実施形態においても同様である。

[0185] 上記の各実施形態において、光電変換部17-1~17-M, 17-1-1~17-3-3の各々と、各々に接続するアンテナ素子18-1~18-M, 18-1-1~18-3-3との間の電気配線の配線長は、同一長であることが望ましいが、一般的な回路構成において割り当てられる程度の長さであればよく、厳密に同一の長さになっていなくてもよい。

[0186] 上記した第1の実施形態において、アンテナ素子18-1~18-Mの配置の指標となる配置線に沿って光電変換部17-1~17-Mを一行に並べ

るという一例を示している。これに対して、第1、及び第5の実施形態において、光電変換部17-1~17-Mが並ぶ一列は、配置線に沿っていなくてもよい。上記した第2の実施形態において、光電変換部17-1-1~17-3-3における行方向が、第1配置線の方に一致し、列方向が、第2配置線の方に一致するという一例を示している。これに対して、第2から第4の実施形態において、行方向が、第1配置線に対応し、列方向が、第2配置線に対応するという対応関係になっていれば、現実の行方向に並べられる光電変換部17-1-1~17-3-3の向きが、第1配置線の方に一致していなくてもよいし、現実の列方向に並べられる光電変換部17-1-1~17-3-3の向きが、第2配置線の方に一致していなくてもよい。

[0187] 上記の各実施形態において、光源11, 11-1~11-9は、波長可変光源であり、波長指定部10, 10-1~10-9から受ける波長指定信号に含まれている波長の光を生成するとしている。これに対して、光源11, 11-1~11-9を、波長可変光源ではなく、単一の波長を生成して出力する光源とし、波長指定部10, 10-1~10-9を備えない構成としてもよい。この場合、光源11として、ユーザが定める波長 λ を生成する光源を選択して用いることになり、光源11-1~11-9の各々として、各ユーザが定める波長 $\lambda_1 \sim \lambda_9$ の各々を生成する光源を選択して用いることになる。

[0188] 上記の各実施形態において図面に示す分波器22, 42-1~42-3、及び合波器23, 32-j, 41-1~41-3、並びに、本文において言及した分波器、及び合波器は、例えば、AWG(Arrayed Waveguide Grating)であってもよいし、AWG以外の光学素子によって構成されるものであってもよい。

[0189] 上記の各実施形態において示す光電変換部17-1~17-M, 17-1-1~17-3-3, 17a-jは、RF信号を生成するとしているが、RF信号を含むより広い周波数帯域の電磁波の電気信号を生成し、アンテナ素子18-1~18-M, 18-1-1~18-3-3から電波を含むより広

い周 波数帯域の電磁波を放射するようにしてもよい。

[0190] 上記の各実施形態において、走査用行列回路 15, 15A, 15B, 15Cは、傾斜位相量を付与しない光信号を出力しないようにしてもよい。

[0191] 以上、この発明の実施形態について図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計等も含まれる。

産業上の利用可能性

[0192] ミリ波帯やテラヘルツ帯の高周波帯の電波を用いた無線伝送、イメージング、レーダ等において形成される高い指向性を有する電磁波の送信に適用することができる。

符号の説明

[0193] 1…送信指向性制御装置、10…波長指定部、11…光源、12…送信光信号生成部、13…重み付け部、14…走査用切替回路、14-S…入力端子、14-E-1～14-E-M…出力端子、15…走査用行列回路、15-S-1～15-S-M…入力端子、15-E-1～15-E-M…出力端子、16…操作部、17-1～17-M…光電変換部、18-1～18-M…アンテナ素子、80, 81, 82…方向、100, 200…光経路、101-1～101-M…分岐点、102-1～102-M…分岐光経路

請求の範囲

[請求項1] 3次元空間において任意に定められる配置線に沿って配置される複数のアンテナ素子と、

光を送信信号で変調して、異なる周波数帯域の第1光信号と、第2光信号とを生成する送信光信号生成部と、

前記第2光信号に対して、前記配置線の方角と、所望する送信方向とに応じて予め定められる位相傾斜を付与して、前記配置線に沿って配置される前記アンテナ素子の各々に対応する位相傾斜付きの第2光信号を生成する重み付け部と、

前記アンテナ素子の各々に対応して備えられ、一列に並べられる光電変換部の各々であって、各々に対応する前記位相傾斜付きの第2光信号と、前記第1光信号とを合成して電気信号に変換し、変換した前記電気信号を、各々に対応する前記アンテナ素子に出力する光電変換部と、を備え、

前記光電変換部の各々が合成する2つの光信号の何れか一方の光信号に生じる位相差であって、当該一方の光信号が前記光電変換部の各々に到達するまでの光経路の経路差によって生じる位相差が吸収されるように、前記一列において隣接する前記光電変換部の間の光経路の経路差の各々と、前記光の波長とを選択する、

送信指向性制御装置。

[請求項2] 前記配置線を第2配置線とし、前記第2配置線に交差する第1配置線に沿って、更に、複数の前記アンテナ素子が配置されてアレーアンテナが形成されており、

前記重み付け部は、

前記第1光信号に対して、前記第1配置線の方角と、前記所望する送信方向とに応じて予め定められる位相傾斜を付与して、前記第1配置線に沿って配置される前記アンテナ素子の各々に対応する位相傾斜付きの第1光信号を生成し、

前記光電変換部は、

前記第 1 配置線の方角に対応する行方角と、前記第 2 配置線の方角に対応する列方角とに沿って、行列形状に配置されており、

前記光電変換部の各々は、

各々に対応する前記位相傾斜付きの第 2 光信号と、前記第 1 光信号とを合成して電気信号に変換することに替えて、各々に対応する前記位相傾斜付きの第 1 光信号と、各々に対応する前記位相傾斜付きの第 2 光信号とを合成して電気信号に変換し、変換した前記電気信号を、各々に対応する前記アンテナ素子に出力し、

前記位相傾斜付きの第 1 光信号が列方角の前記光電変換部の各々に到達するまでの光経路の経路差によって前記位相傾斜付きの第 1 光信号に生じる位相差が吸収されるように、かつ、前記位相傾斜付きの第 2 光信号が行方角の前記光電変換部の各々に到達するまでの光経路の経路差によって前記位相傾斜付きの第 2 光信号に生じる位相差が吸収されるように、列方角において隣接する前記光電変換部の間の光経路の経路差の各々と、行方角において隣接する前記光電変換部の間の光経路の経路差の各々と、前記光の波長とを選択する、

請求項 1 に記載の送信指向性制御装置。

[請求項3] 隣接する前記光電変換部の間の光経路の経路差の各々が、前記光の波長に、所定値を乗算した乗算値の何れかの乗算値に一致するように、隣接する前記光電変換部の間の光経路の経路差の各々を予め定めて前記光の波長を選択するか、または、前記光の波長を予め定めて隣接する前記光電変換部の間の光経路の経路差の各々を定める、

請求項 1 または請求項 2 に記載の送信指向性制御装置。

[請求項4] 前記所定値は、任意の自然数である、

請求項 3 に記載の送信指向性制御装置。

[請求項5] 前記所定値は、前記到達するまでの光経路の経路長が最も短い前記光電変換部が出力する前記電気信号において許容される誤差を θ° と

した場合、任意の自然数に対して $\theta^\circ / 360$ を加算、または、減算して得られる値である、

請求項 3 に記載の送信指向性制御装置。

[請求項 6] 隣接する前記光電変換部の間の光経路の経路差の全てが同一であるか、または、隣接する前記光電変換部の間の光経路の経路差の全部、もしくは、一部が異なる、

請求項 4 に記載の送信指向性制御装置。

[請求項 7] 隣接する前記光電変換部の間の光経路の経路差の全てが同一であるか、または、隣接する前記光電変換部の間の光経路の経路差の全部、もしくは、一部が異なる、

請求項 5 に記載の送信指向性制御装置。

[請求項 8] 3 次元空間において任意に定められる配置線に沿って配置される複数のアンテナ素子に対する送信指向性制御方法であって、

送信光信号生成部が、光を送信信号で変調して、異なる周波数帯域の第 1 光信号と、第 2 光信号とを生成するステップと、

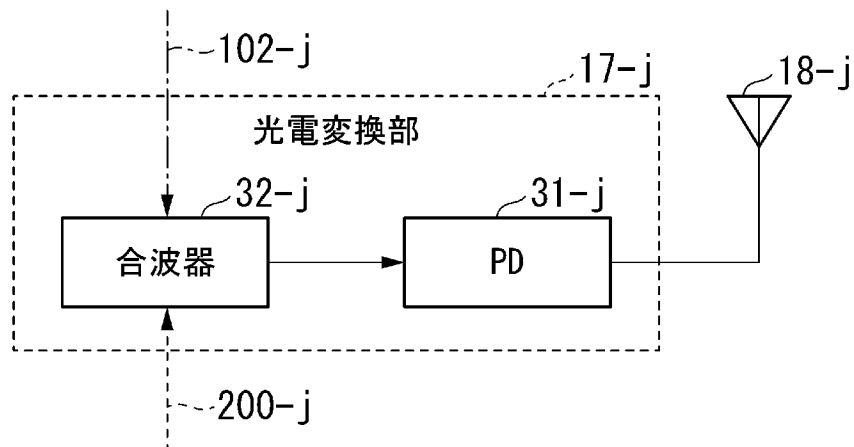
重み付け部が、前記第 2 光信号に対して、前記配置線の方角と、所望する送信方向とに応じて予め定められる位相傾斜を付与して、前記配置線に沿って配置される前記アンテナ素子の各々に対応する位相傾斜付きの第 2 光信号を生成するステップと、

前記アンテナ素子の各々に対応して備えられ、一列に並べられる光電変換部の各々が、各々に対応する前記位相傾斜付きの第 2 光信号と、前記第 1 光信号とを合成して電気信号に変換し、変換した前記電気信号を、各々に対応する前記アンテナ素子に出力するステップと、を含み、

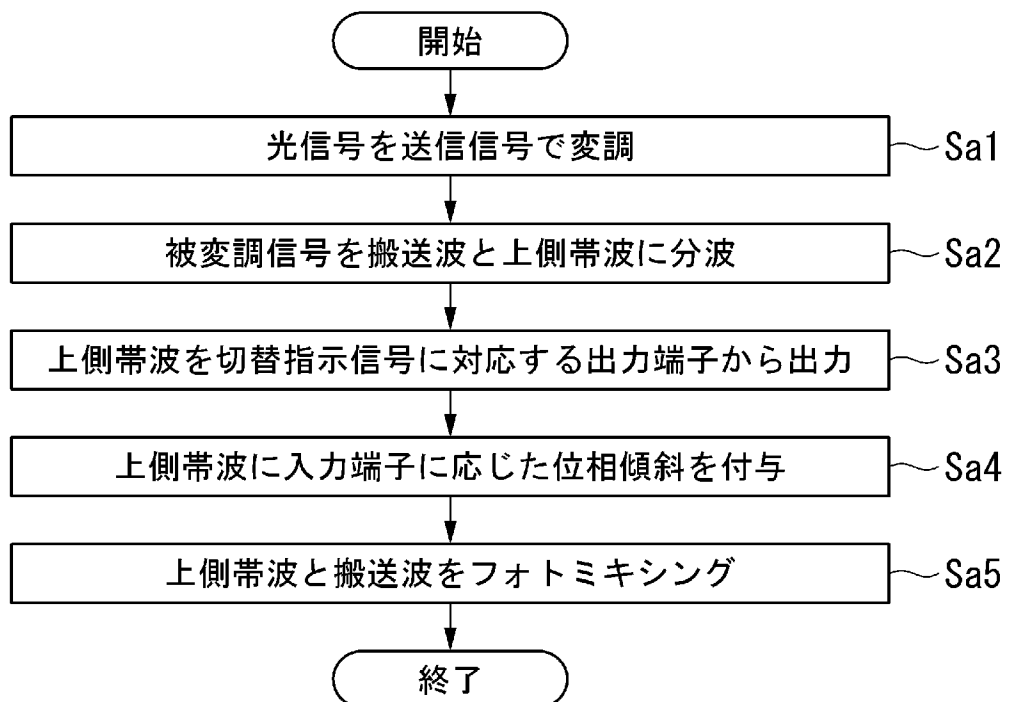
前記光電変換部の各々が合成する 2 つの光信号の何れか一方の光信号に生じる位相差であって、当該一方の光信号が前記光電変換部の各々に到達するまでの光経路の経路差によって生じる位相差が吸収されるように、前記一列において隣接する前記光電変換部の間の光経路の

経路差の各々と、前記光の波長とを選択する、
送信指向性制御方法。

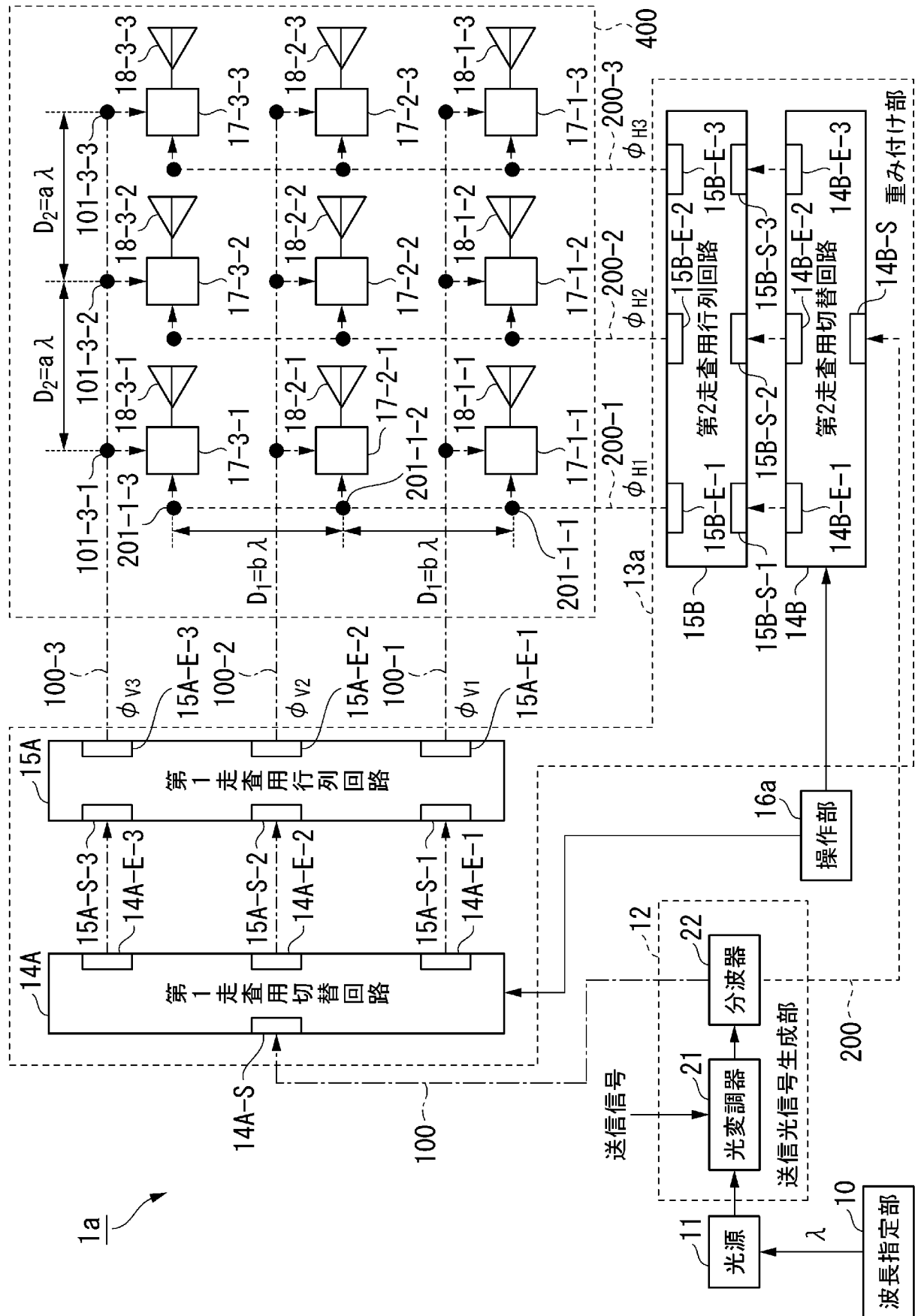
[図2]



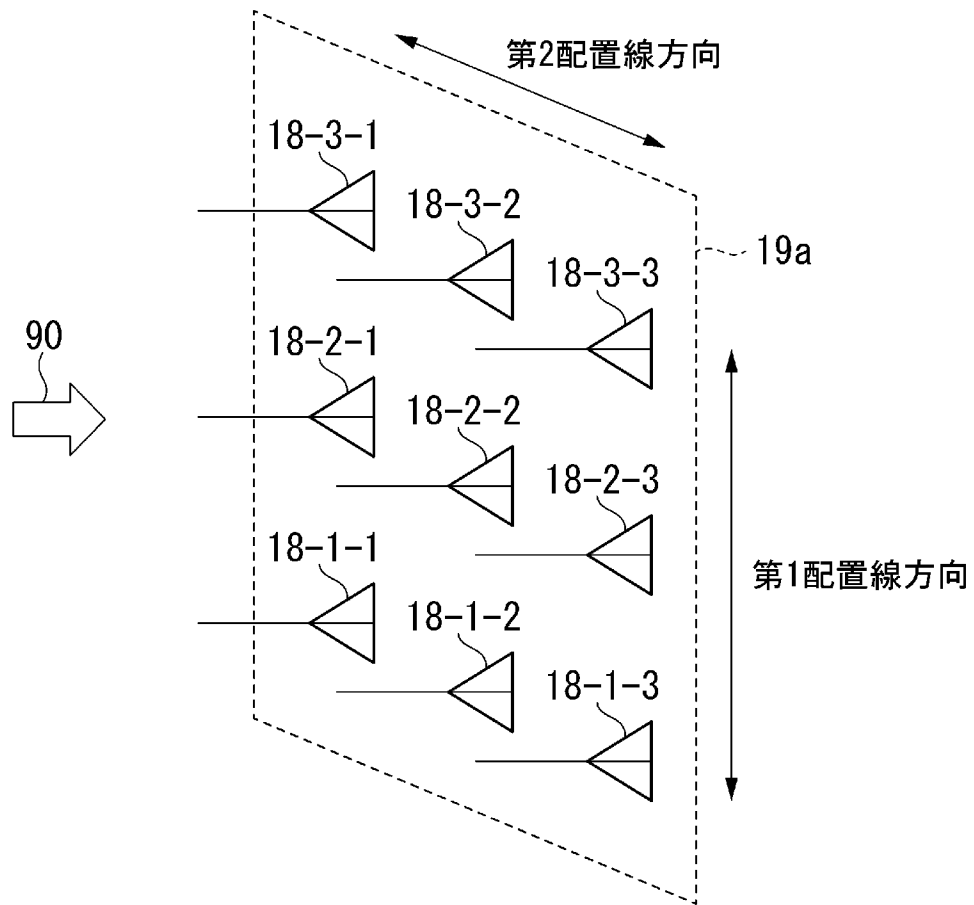
[図3]



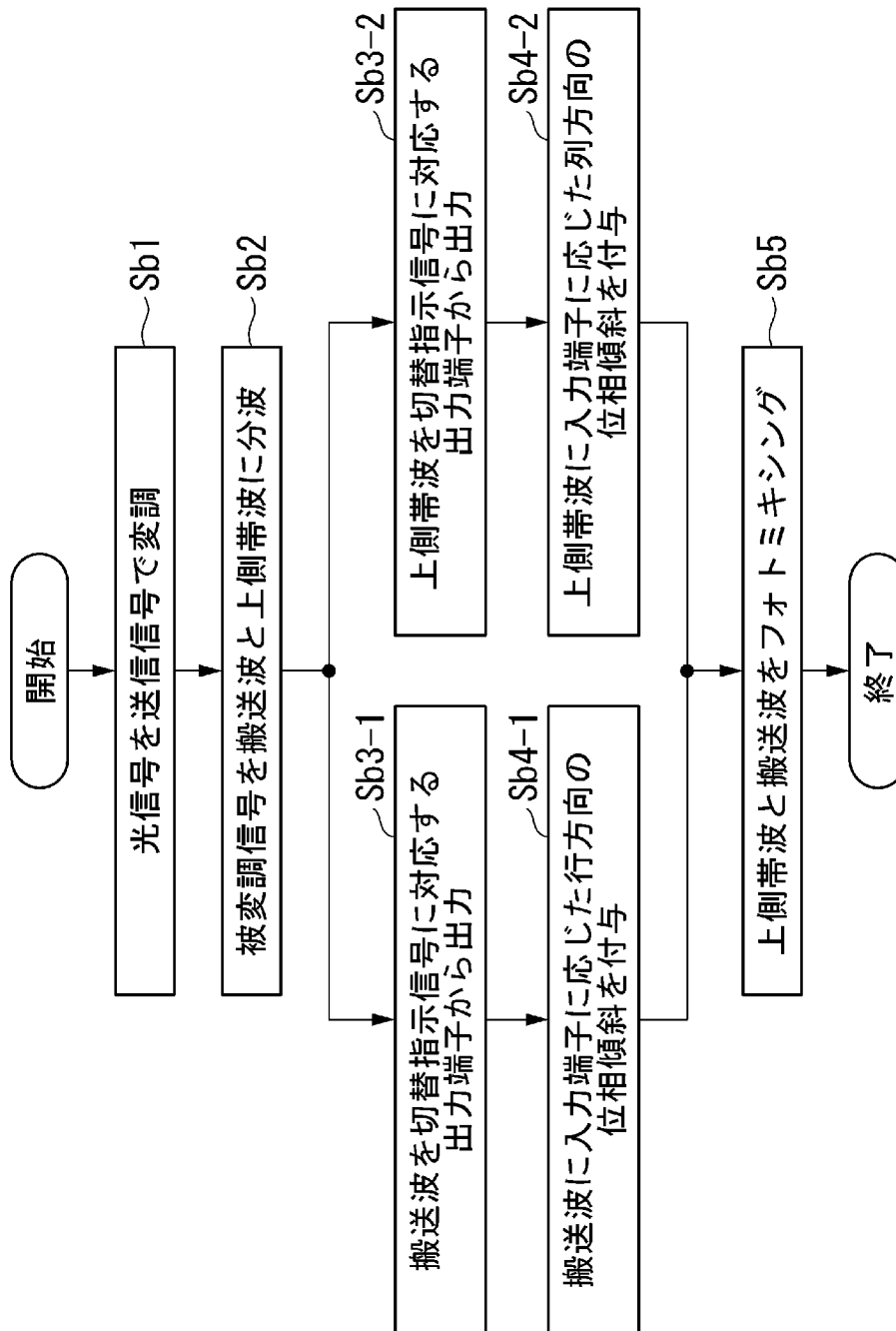
[図4]



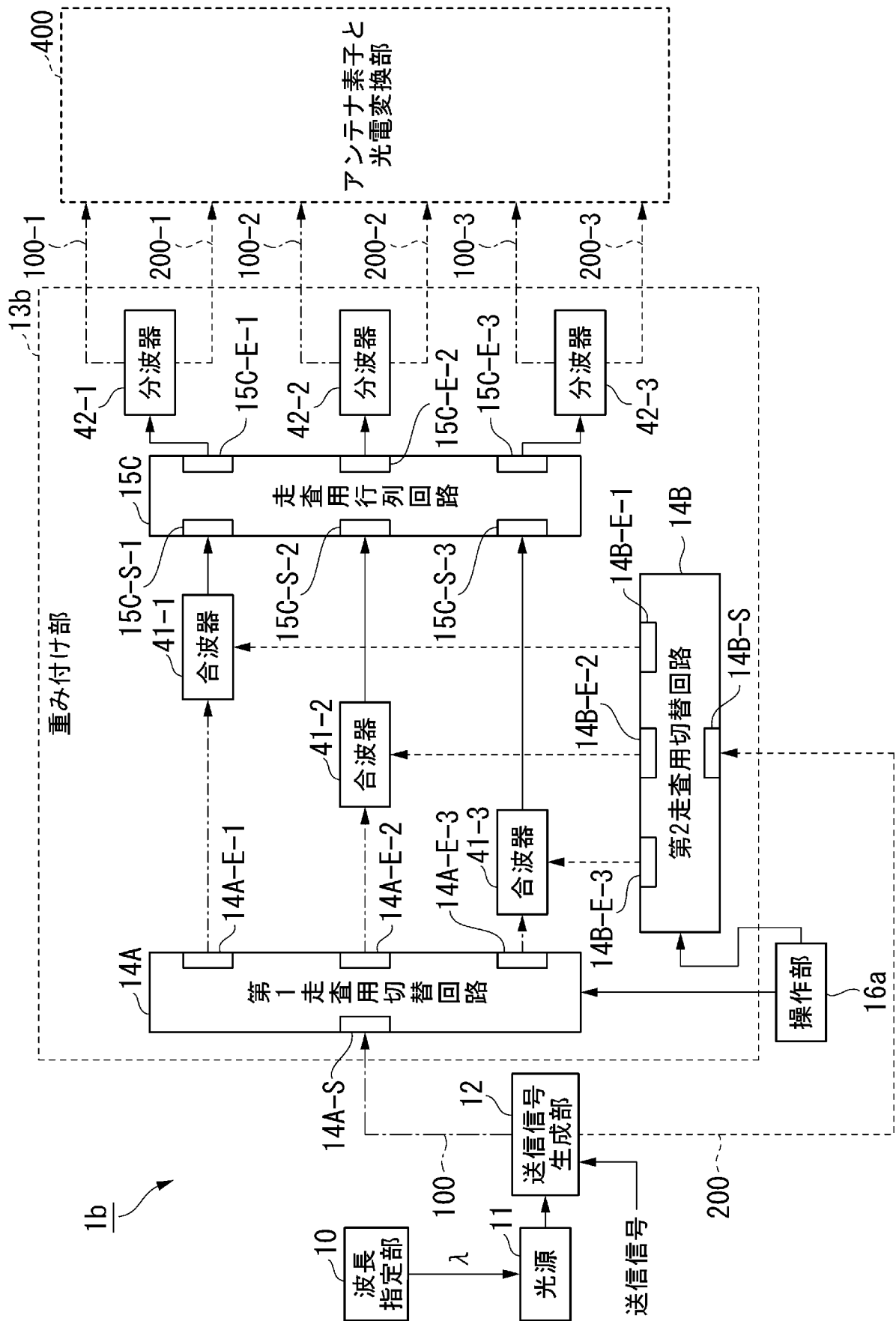
[図5]



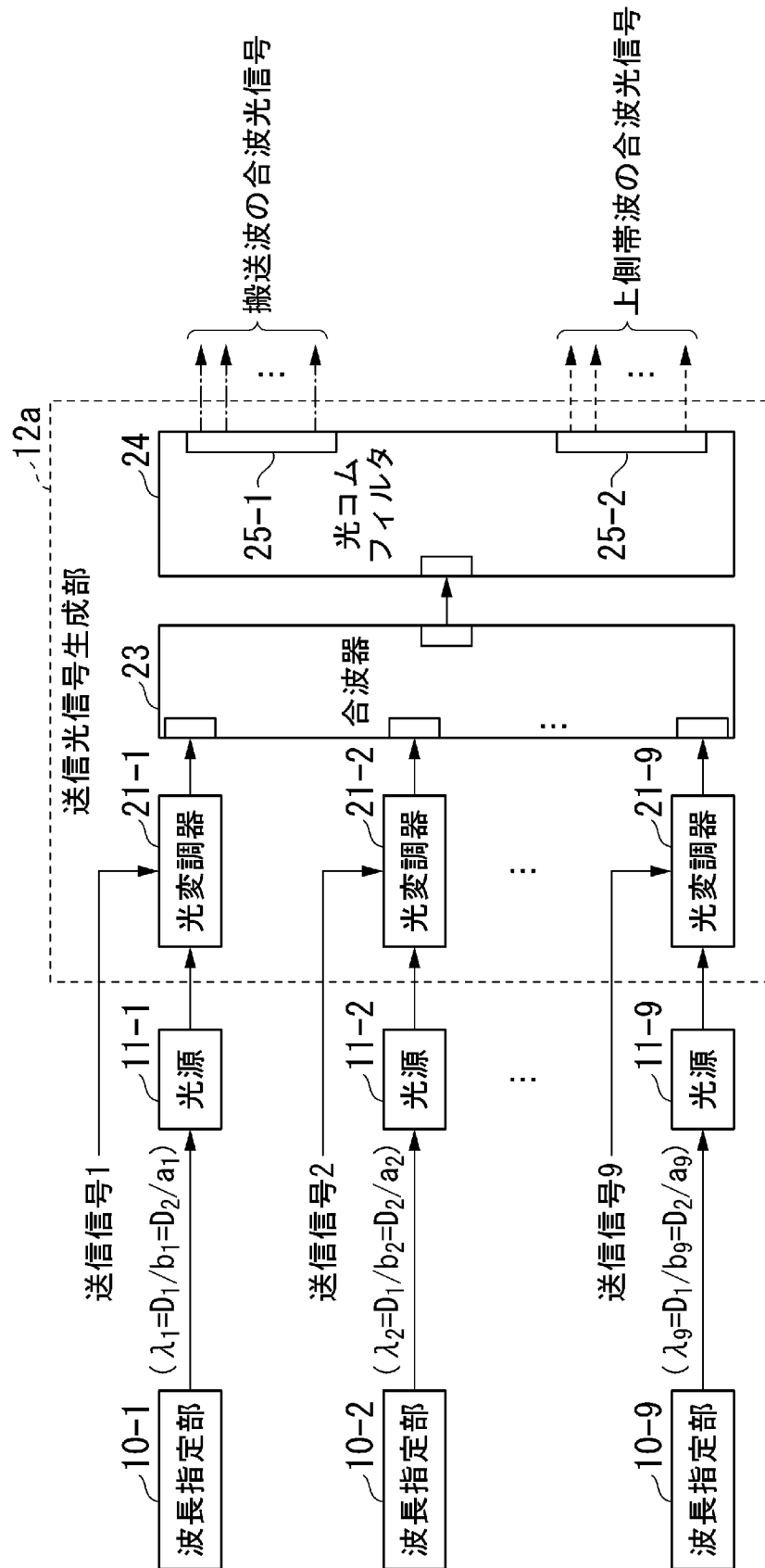
[図6]



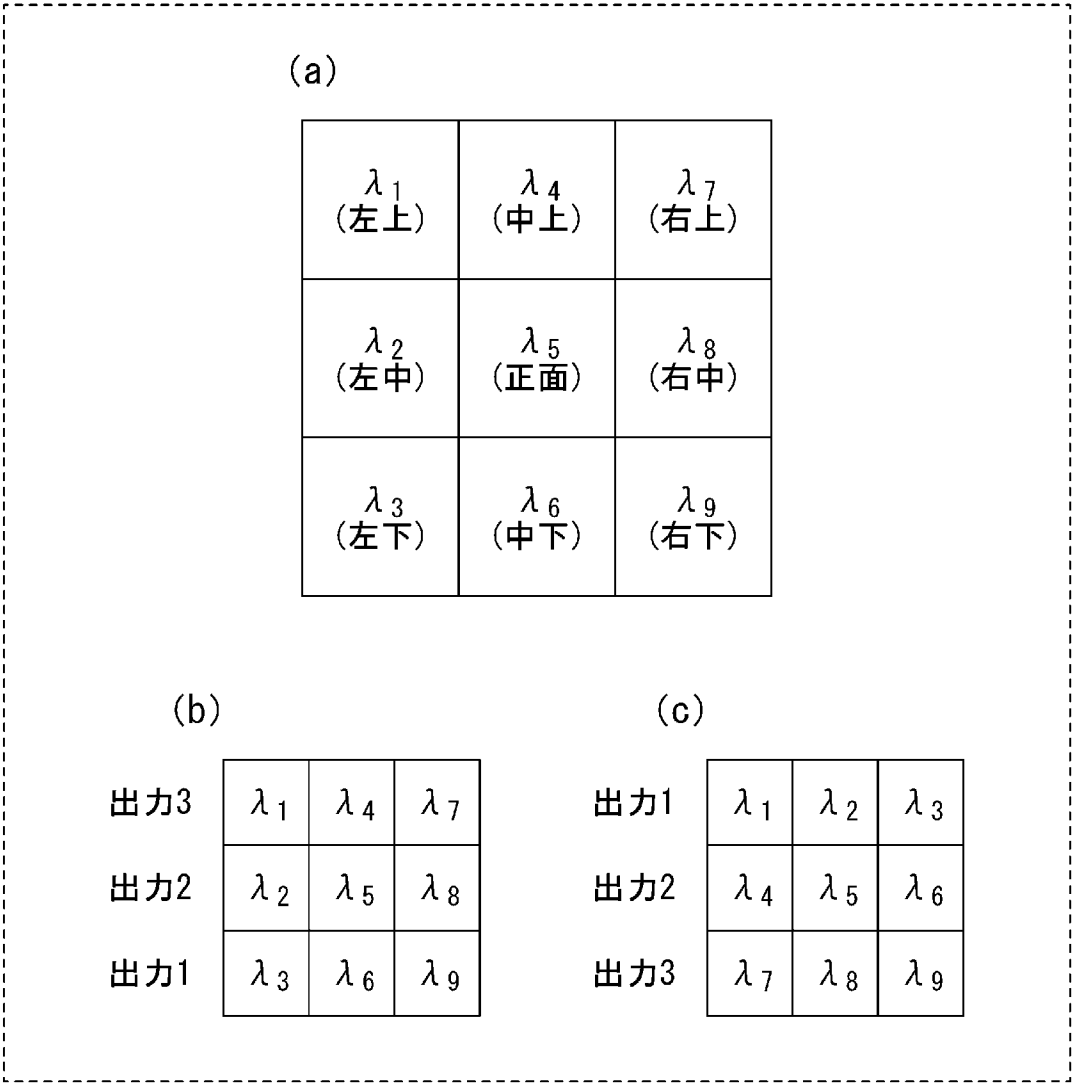
[図7]



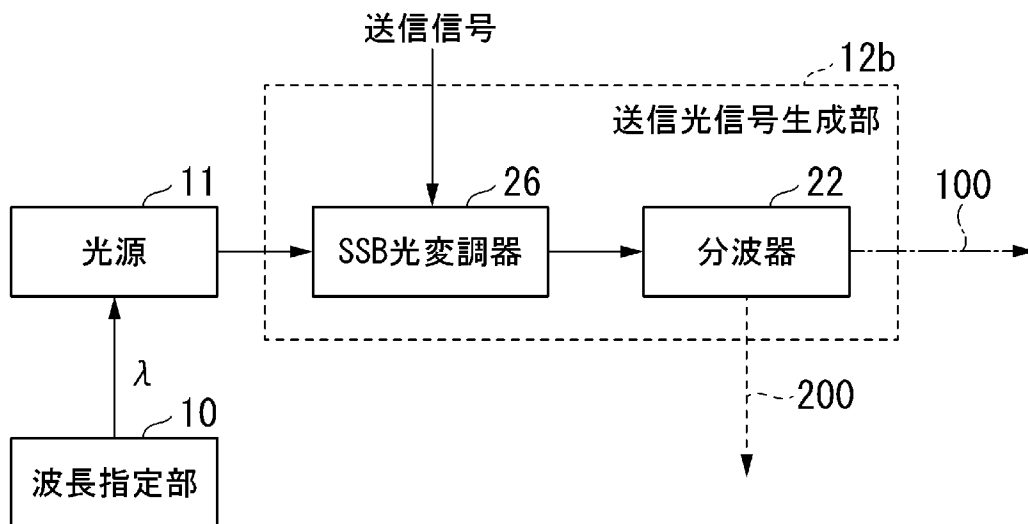
[図8]



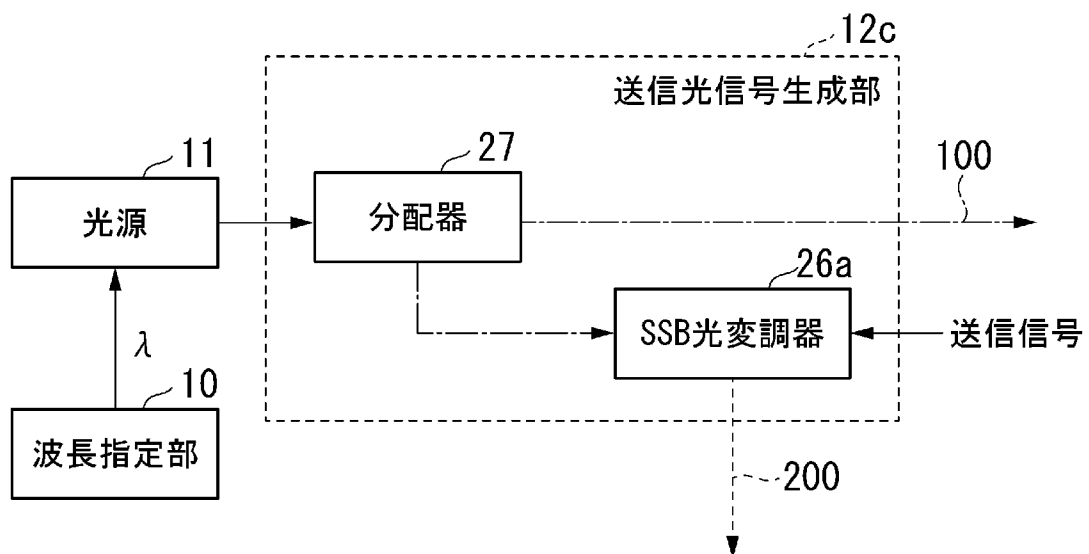
[図9]



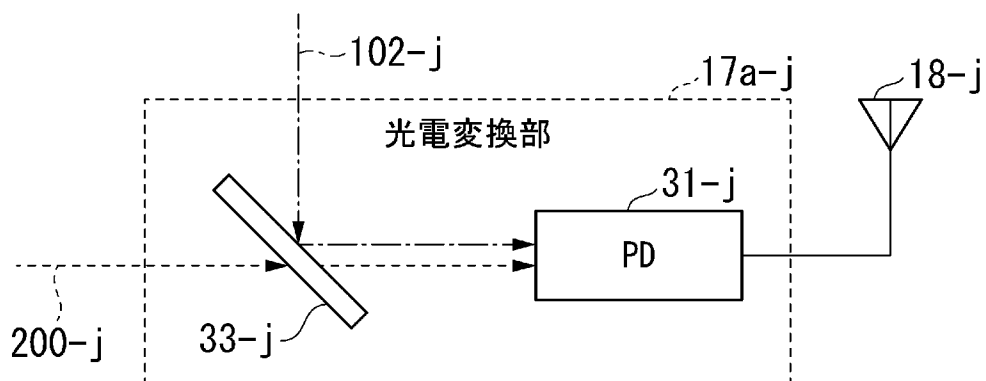
[図11]



[図12]



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/026143

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H04B 10/80**(2013.01)i

FI: H04B10/80

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04B10/80

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2023/0093054 A1 (APPLE INC.) 23 March 2023 (2023-03-23)	1-8
A	JP 2010-28236 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 04 February 2010 (2010-02-04)	1-8
A	WO 03/079101 A1 (UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA) 25 September 2003 (2003-09-25)	1-8



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

05 September 2023

Date of mailing of the international search report

19 September 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/026143

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)
US	2023/0093054	A1	23 March 2023	EP	4156555	A1
JP	2010-28236	A	04 February 2010	(Family: none)		
WO	03/079101	A1	25 September 2003	ES	2192152	A1

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H04B 10/80(2013.01)i FI: H04B10/80		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） H04B10/80 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922 - 1996年 日本国公開実用新案公報 1971 - 2023年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2023年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2023年 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	US 2023/0093054 A1 (APPLE INC.) 23.03.2023 (2023 - 03 - 23)	1-8
A	JP 2010-28236 A (三菱電機株式会社) 04.02.2010 (2010 - 02 - 04)	1-8
A	WO 03/079101 A1 (UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA) 25.09.2003 (2003 - 09 - 25)	1-8
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 05.09.2023	国際調査報告の発送日 19.09.2023	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 後澤 瑞征 5K 4540 電話番号 03-3581-1101 内線 3556	

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/026143

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
US	2023/0093054	A1	23.03.2023	EP	4156555	A1	
JP	2010-28236	A	04.02.2010	(ファミリーなし)			
WO	03/079101	A1	25.09.2003	ES	2192152	A1	