

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7532321号  
(P7532321)

(45)発行日 令和6年8月13日(2024.8.13)

(24)登録日 令和6年8月2日(2024.8.2)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 S 13/89 (2006.01)

G 0 1 S 13/89

G 0 1 S 7/03 (2006.01)

G 0 1 S 7/03 2 3 0

請求項の数 13 (全30頁)

(21)出願番号	特願2021-141121(P2021-141121)	(73)特許権者	000003078
(22)出願日	令和3年8月31日(2021.8.31)		株式会社東芝
(65)公開番号	特開2023-34744(P2023-34744A)		東京都港区芝浦一丁目1番1号
(43)公開日	令和5年3月13日(2023.3.13)	(74)代理人	110001737
審査請求日	令和5年3月16日(2023.3.16)		弁理士法人スズ工国際特許事務所
		(72)発明者	朱 旭
			東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会
			社東芝内
		(72)発明者	森 浩樹
			東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会
			社東芝内
		審査官	山下 雅人

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 レーダ装置及び方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数のアンテナパネルを含むレーダ装置であって、

前記複数のアンテナパネルは、第1送信パネルと第1受信パネルと第2受信パネル、又は第1送信パネルと第2送信パネルと第1受信パネル、を含み、

前記第1送信パネルは距離dのm倍の間隔の複数のアンテナを含み、

前記第1受信パネルは前記距離dのn倍の間隔の複数のアンテナを含み、

前記距離dは、前記第1送信パネルから送信される電波の略半波長であり、

mは2以上の正の整数であり、

nは2以上の正の整数であり、

mとnは互いに素であり、

前記複数のアンテナパネルが前記第1送信パネルと前記第1受信パネルと前記第2受信パネルを含む場合、

前記第1送信パネルは第1面に配置され、

前記第1受信パネルは第2面に配置され、

前記第2受信パネルは第3面に配置され、

前記第1面と前記第2面の間に前記第1送信パネルの第1送信面と前記第1受信パネルの第1受信面とがあり、

前記第2面と前記第3面の間に前記第1受信パネルの第1受信面と前記第2受信パネルの第2受信面とがあり、

前記第 1 面と前記第 2 面のなす角は 0 度より大きく 180 度より小さく、  
前記第 2 面と前記第 3 面のなす角は 0 度より大きく 180 度より小さく、  
前記複数のアンテナパネルが前記第 1 送信パネルと前記第 2 送信パネルと前記第 1 受信  
パネルを含む場合、  
前記第 1 送信パネルは第 4 面に配置され、  
前記第 2 送信パネルは第 5 面に配置され、  
前記第 1 受信パネルは第 6 面に配置され、  
前記第 4 面と前記第 5 面の間に前記第 1 送信パネルの第 1 送信面と前記第 2 送信パネル  
の第 2 送信面があり、  
前記第 5 面と前記第 6 面の間に前記第 2 送信パネルの第 2 送信面と前記第 1 受信パネル  
の第 1 受信面とがあり、  
前記第 4 面と前記第 5 面のなす角は 0 度より大きく 180 度より小さく、  
前記第 5 面と前記第 6 面のなす角は 0 度より大きく 180 度より小さい、レーダ装置。  
【請求項 2】  
前記第 2 送信パネルは前記距離  $d$  の  $m$  倍の間隔の複数のアンテナを含む、請求項 1 記載  
のレーダ装置。  
【請求項 3】  
前記第 2 送信パネルは前記距離  $d$  の  $o$  倍の間隔の複数のアンテナを含み、  
 $o$  は 2 以上の正の整数であり、  
 $n$  と  $o$  は互いに素である、請求項 1 記載のレーダ装置。  
【請求項 4】  
前記第 2 受信パネルは前記距離  $d$  の  $n$  倍の間隔の複数のアンテナを含む、請求項 1 記載  
のレーダ装置。  
【請求項 5】  
前記第 2 受信パネルは前記距離  $d$  の  $p$  倍の間隔の複数のアンテナを含み、  
 $p$  は 2 以上の正の整数であり、  
 $m$  と  $p$  は互いに素である、請求項 1 記載のレーダ装置。  
【請求項 6】  
前記複数のアンテナパネルが前記第 1 送信パネルと前記第 1 受信パネルと前記第 2 受信  
パネルを含む場合、前記第 1 送信パネルと前記第 1 受信パネルと前記第 2 受信パネルの夫  
々に含まれる複数のアンテナは、一次元配列され、  
前記複数のアンテナパネルが前記第 1 送信パネルと前記第 2 送信パネルと前記第 1 受信  
パネルを含む場合、前記第 1 送信パネルと前記第 2 送信パネルと前記第 1 受信パネルの夫  
々に含まれる複数のアンテナは、一次元配列される、請求項 1 に記載のレーダ装置。  
【請求項 7】  
前記複数のアンテナパネルが前記第 1 送信パネルと前記第 1 受信パネルと前記第 2 受信  
パネルを含む場合、前記第 1 送信パネルと前記第 1 受信パネルと前記第 2 受信パネルの各  
々に含まれる複数のアンテナは、二次元配列され、  
前記複数のアンテナパネルが前記第 1 送信パネルと前記第 2 送信パネルと前記第 1 受信  
パネルを含む場合、前記第 1 送信パネルと前記第 2 送信パネルと前記第 1 受信パネルの夫  
々に含まれる複数のアンテナは、二次元配列される、請求項 1 に記載のレーダ装置。  
【請求項 8】  
前記複数のアンテナパネルが前記第 1 送信パネルと前記第 2 送信パネルと前記第 1 受信  
パネルを含む場合、  
前記第 1 送信パネルに含まれる複数のアンテナは一次元配列され、  
前記第 2 送信パネルに含まれる複数のアンテナは一次元配列され、  
前記第 1 受信パネルに含まれる複数のアンテナは二次元配列され、  
前記複数のアンテナパネルが前記第 1 送信パネルと前記第 1 受信パネルと前記第 2 受信  
パネルを含む場合、  
前記第 1 送信パネルに含まれる複数のアンテナは一次元配列され、

10

20

30

40

50

前記第 1 受信パネルに含まれる複数のアンテナは二次元配列され、  
前記第 2 受信パネルに含まれる複数のアンテナは二次元配列される、請求項 1 に記載のレーダ装置。

【請求項 9】

前記複数のアンテナパネルが前記第 1 送信パネルと前記第 2 送信パネルと前記第 1 受信パネルを含む場合、

前記第 1 送信パネルに含まれる複数のアンテナは二次元配列され、

前記第 2 送信パネルに含まれる複数のアンテナは二次元配列され、

前記第 1 受信パネルに含まれる複数のアンテナは一次元配列され、

前記複数のアンテナパネルが前記第 1 送信パネルと前記第 1 受信パネルと前記第 2 受信パネルを含む場合、

前記第 1 送信パネルに含まれる複数のアンテナは二次元配列され、

前記第 1 受信パネルに含まれる複数のアンテナは一次元配列され、

前記第 2 受信パネルに含まれる複数のアンテナは一次元配列される、請求項 1 に記載のレーダ装置。

【請求項 10】

前記第 1 受信パネル、又は前記第 1 受信パネルと前記第 2 受信パネルに接続され、電波の反射物体の画像を生成する処理部をさらに備える、請求項 1 に記載のレーダ装置。

【請求項 11】

前記処理部は、前記第 1 受信パネルの受信信号により生成した第 1 画像と、前記第 2 受信パネルの受信信号により生成した第 2 画像とが重複する領域を含む場合、重複する領域の前記第 1 画像の画素値の平均値と前記第 2 画像の画素値の平均値に基づいて前記第 1 画像又は前記第 2 画像の重複する領域の画素値を補正する、請求項 10 に記載のレーダ装置。

【請求項 12】

前記距離  $d$  は、前記第 1 送信パネルから送信される電波の半波長である、請求項 1 乃至請求項 11 のいずれか一項に記載のレーダ装置。

【請求項 13】

請求項 1 乃至請求項 12 のいずれか一項に記載のレーダ装置の方法であって、

少なくとも前記第 1 送信パネルから対象物に電波を放射し、

前記対象物から反射した電波を少なくとも前記第 1 受信パネルで受信する方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、レーダに関する。

【背景技術】

【0002】

検査対象者（以下、対象者と称される）が危険物を保持しているか否かの検査を行うレーダ装置が提案されている。レーダ装置は、対象者に電波を放射し、対象者からの反射波を受信し、反射波に基づいて対象者が危険物を保持しているか否かを判定する。

【0003】

電波は対象者の表面で多くの方向に反射されるので、死角が生じることなく、対象者全体を検査するためには、多くのアンテナが必要であり、レーダ装置の構成が複雑である。さらに、多くのアンテナで送受信を行うので、検査時間が長い。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0004】

【文献】Bingyuan Liang, Xiaozhou Shang, Xiaodong Zhuge, and Jungang Miao, "Accurate Near-Field Millimeter-Wave Imaging of Concave Objects - A Case Study of Dihedral Structures Under Monostatic Array Configurations", IEEE transactions on geoscience and remote sensing, vol. 58, No 5, May 2020

10

20

30

40

50

【文献】Xiaodong Zhuge and Alexander G. Yarovoy, "Study on Two-Dimensional Sparse MIMO UWB Arrays for High Resolution Near-Field Imaging", IEEE transactions on antennas and propagation, vol. 60, No. 9, September 2012

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明の目的は、簡単な構成で短時間に対象者を検査することができるレーダ装置及び方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

実施形態に係るレーダ装置は、電波を送信又は受信する複数のアンテナパネルを含む。複数のアンテナパネルは、第1送信パネルと第1受信パネルと第2受信パネル、又は第1送信パネルと第2送信パネルと第1受信パネル、を含む。第1送信パネルは距離 $d$ の $m$ 倍の間隔の複数のアンテナを含む。第1受信パネルは距離 $d$ の $n$ 倍の間隔の複数のアンテナを含む。距離 $d$ は、第1送信パネルから送信される電波の略半波長である。 $m$ は2以上の正の整数である。 $n$ は2以上の正の整数である。 $m$ と $n$ は互いに素である。

複数のアンテナパネルが第1送信パネルと第1受信パネルと第2受信パネルを含む場合、第1送信パネルは第1面に配置され、第1受信パネルは第2面に配置され、第2受信パネルは第3面に配置され、第1面と第2面の間に第1送信パネルの第1送信面と第1受信パネルの第1受信面とがあり、第2面と第3面の間に第1受信パネルの第1受信面と第2受信パネルの第2受信面とがあり、第1面と第2面のなす角は0度より大きく180度より小さく、第2面と第3面のなす角は0度より大きく180度より小さい。

複数のアンテナパネルが第1送信パネルと第2送信パネルと第1受信パネルを含む場合、第1送信パネルは第4面に配置され、第2送信パネルは第5面に配置され、第1受信パネルは第6面に配置され、第4面と第5面の間に第1送信パネルの第1送信面と第2送信パネルの第2送信面とがあり、第5面と第6面の間に第2送信パネルの第2送信面と第1受信パネルの第1受信面とがあり、第4面と第5面のなす角は0度より大きく180度より小さく、第5面と第6面のなす角は0度より大きく180度より小さい。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】実施形態に係るレーダ装置の構成の一例を説明する図。

【図2】実施形態に係るレーダ装置の送信回路と受信回路の電氣的構成の一例を説明するブロック図。

【図3】実施形態に係るレーダ装置の送信回路と受信回路の電氣的構成の他の例を説明するブロック図。

【図4】実施形態に係る送信回路から出力されるチャープ信号の一例を説明する図。

【図5】実施形態に係る受信回路の動作の一例を説明する図。

【図6】実施形態に係るレーダ装置の検査原理を説明する図。

【図7】実施形態に係る送信パネルと受信パネルに備えられるアレイアンテナの原理を説明する図。

【図8】実施形態に係る送信パネルと受信パネルに備えられるアレイアンテナの第1例を説明する図。

【図9】実施形態に係る送信パネルと受信パネルに備えられるアレイアンテナの第2例を説明する図。

【図10】実施形態に係る送信パネルと受信パネルに備えられるアレイアンテナの第3例を説明する図。

【図11】実施形態に係る送信パネルと受信パネルに備えられるアレイアンテナの第4例を説明する図。

【図12】実施形態に係る送信パネルと受信パネルに備えられるアレイアンテナの第5例を説明する図。

10

20

30

40

50

【図 1 3】実施形態に係る送信パネルと受信パネルの配置の第 1 例を説明する図。  
【図 1 4】実施形態に係る送信パネルと受信パネルの配置の第 2 例を説明する図。  
【図 1 5】実施形態に係る送信パネルと受信パネルの配置の第 3 例を説明する図。  
【図 1 6】実施形態に係る送信パネルと受信パネルの配置の第 4 例を説明する図。  
【図 1 7】実施形態に係る送信パネルと受信パネルの配置の第 5 例を説明する図。  
【図 1 8】実施形態に係る送信パネルと受信パネルの配置の第 6 例を説明する図。  
【図 1 9】実施形態に係る送信パネルと受信パネルの配置の第 7 例を説明する図。  
【図 2 0】実施形態に係る送信パネルと受信パネルの配置の第 8 例を説明する図。  
【図 2 1】実施形態に係る送信パネルと受信パネルの配置の第 9 例を説明する図。  
【図 2 2】実施形態に係るレーダ装置の動作の一例を説明するフローチャート。  
【図 2 3】実施形態に係るレーダ装置の画像生成の第 1 例を説明する図。  
【図 2 4】実施形態に係るレーダ装置の画像生成の第 2 例を説明する図。  
【図 2 5】実施形態に係るレーダ装置の画像生成の第 3 例を説明する図。  
【図 2 6】実施形態に係るレーダ装置の画像生成の第 4 例を説明する図。  
【発明を実施するための形態】

【0008】

以下、図面を参照して、実施形態を説明する。以下の説明は、実施形態の技術的思想を具体化するための装置や方法を例示するものであって、実施形態の技術的思想は、以下に説明する構成要素の構造、形状、配置、材質等に限定されるものではない。当業者が容易に想到し得る変形は、当然に開示の範囲に含まれる。説明をより明確にするため、図面において、各要素のサイズ、厚み、平面寸法又は形状等を実際の実施態様に対して変更して模式的に表す場合もある。複数の図面において、互いの寸法の関係や比率が異なる要素が含まれることもある。複数の図面において、対応する要素には同じ参照数字を付して重複する説明を省略する場合もある。いくつかの要素に複数の呼称を付す場合があるが、これら呼称の例はあくまで例示であり、これらの要素に他の呼称を付すことを否定するものではない。また、複数の呼称が付されていない要素についても、他の呼称を付すことを否定するものではない。なお、以下の説明において、「接続」は直接接続のみならず、他の要素を介して接続されることも意味する。

【0009】

実施形態に係るレーダ装置は、例えば空港、駅、空港、ショッピングモール、コンサートホール、展示会場等の施設に設置され、対象者（施設の利用者）が危険物を保持しているか否かの保安検査をする際に利用される。例えば、対象者の各点に対し電波を順次放射し、対象者の各点によって反射された電波を順次受信することによって対象者が走査される。この走査により得られた受信信号に基づき対象者を含む画像が生成される。施設の管理者は、この画像を確認することにより、対象者が危険物を保持しているか否か、又は対象者の持ち物に危険物が隠されているか否か等を判断することができる。

【0010】

図 1 は、実施形態に係るレーダ装置 1 の構成の一例を示す図である。レーダ装置 1 は、複数枚の送信パネル 2 a、2 b、2 c、...、複数枚の受信パネル 4 a、4 b、4 c、...、送信回路 6、受信回路 8、画像生成回路 10、画像処理回路 12、コントローラ 14、通信回路 18 及び表示装置 16 を含む。個別に区別する必要が無い場合、送信パネル 2 a、2 b、2 c、... は送信パネル 2 と称される。個別に区別する必要が無い場合、受信パネル 4 a、4 b、4 c、... は受信パネル 4 と称される。送信パネル 2 の枚数と受信パネル 4 の枚数はともに複数である必要はなく、いずれか一方の枚数は単数であってもよい。送信パネル 2 及び受信パネル 4 の夫々は基板上に一次元配列された複数のアンテナからなるリニアアレイアンテナ、又は基板上に二次元配列された複数のアンテナからなる平面アレイアンテナ又はプレーナアレイアンテナ（以降、プレーナアレイアンテナと称される）を備える。基板は平面基板でも曲面基板でもよい。アンテナの例は、マイクロストリップアンテナである。

【0011】

送信パネル 2 a、2 b、2 c、...の各々が含む複数のアンテナは互いに直交するように送信、例えば、時分割送信する。時分割送信は、送信パネル 2 aに含まれる第 1 アンテナ、第 2 アンテナ、...、送信パネル 2 bに含まれる第 1 アンテナ、第 2 アンテナ、...、送信パネル 2 cに含まれる第 1 アンテナ、第 2 アンテナ、...、の順に送信するような単純な巡回方式でもよい。あるいは、或るタイミングでレーダ送信を行う送信パネルのアンテナをコントローラ 1 4 が調整するようにして時分割送信を実行してもよい。

【 0 0 1 2 】

送信パネル 2 が送信回路 6 に接続される。図 1 では示されないが、送信回路 6 は各送信パネル 2 a、2 b、2 c、...に接続される複数の送信回路を含んでもよい。送信パネル 2 a、2 b、2 c、...は様々な位置に配置され、対象者に対して様々な方向から電波を放射する。受信パネル 4 が受信回路 8 に接続される。受信回路 8 も各受信パネル 4 a、4 b、4 c、...に接続される複数の受信回路を含んでもよい。受信パネル 4 a、4 b、4 c、...も様々な位置に配置され、対象者からの様々な方向の反射波を受信する。少なくとも 1 枚の送信パネルと複数枚の受信パネル、又は複数枚の送信パネルと少なくとも 1 枚の受信パネルを対象者の周囲の様々な位置に配置することにより、対象者全体を検査することができる。

10

【 0 0 1 3 】

レーダ装置 1 は、所定の検査エリア全体に電波を常時放射して検査を実施してもよい。あるいは、レーダ装置 1 は、検査エリアに位置する対象者を撮影するカメラを含み、カメラで撮影された検査エリアの画像から対象者を認識し、対象者を認識した場合、認識した対象者に対してのみ電波を放射してもよい。

20

【 0 0 1 4 】

実施形態で用いられる電波としては、波長が 1 ミリメートルから 30 ミリメートルの電波を利用してもよい。波長が 1 ミリメートルから 10 ミリメートルの電波はミリ波とも称され、波長が 10 ミリメートルから 100 ミリメートルの電波はマイクロ波とも称される。さらに、テラヘルツ波と称される波長が 100 マイクロメートルから 1 ミリメートルの電波を用いてもよい。

【 0 0 1 5 】

レーダ装置 1 は、放射方向を変化しつつ電波の放射を繰り返し、対象者の複数の点に対して電波を放射することにより、対象者を電波で走査する。電波を放射すると、電波の伝搬路上に存在する物体で電波は反射される。レーダ装置 1 は、ある距離で反射された電波の反射強度を測定することにより、その距離に存在する物体が人体であるか、又は拳銃、爆薬等の危険物であるかを判定できる。レーダ装置 1 は、この判定結果をアラーム音等で出力する。

30

【 0 0 1 6 】

画像生成回路 10 は、受信回路 8 から出力される受信パネル 4 a、4 b、4 c、...の受信信号に基づいて少なくとも対象物の一部の部分画像を生成する。画像処理回路 12 は、部分画像を合成し、合成画像を生成する。表示装置 16 は、合成画像を表示する。合成画像は、対象物が所持している危険物の画像も含むので、レーザ装置 1 のオペレータは、この画像を観察することにより、対象物が危険物を所持しているか否かは判断することができる。

40

【 0 0 1 7 】

コントローラ 14 は、送信回路 6、受信回路 8、画像生成回路 10、画像処理回路 12 及び通信回路 18 の動作を制御する。

【 0 0 1 8 】

いくつかの回路、例えば、画像生成回路 10 と画像処理回路 12 は、レーダ装置 1 の外部装置、例えばサーバ装置に含まれるように構成されてもよい。通信回路 18 は、外部装置と通信し、受信回路 8 の出力を外部装置内の画像生成・処理回路に送信し、画像生成・処理回路の処理結果である合成画像を受信してもよい。また、通信回路 18 は合成画像をレーダ装置内またはレーダ装置外部のサーバ装置に送信し、合成画像をサーバ装置のデー

50

データベースに保存してもよい。さらに、表示装置 16 もレーダ装置 1 の外部に設けられてもよい。

【0019】

いくつかの回路、例えば画像生成回路 10、画像処理回路 12、コントローラ 14 は結合されて 1 つの回路として実現されてもよい。いくつかの回路、例えば画像生成回路 10、画像処理回路 12、コントローラ 14 は、ソフトウェアにより実現されてもよい。

【0020】

図 2 は送信回路 6 と受信回路 8 の電氣的構成の一例を示すブロック図である。送信回路 6 は送信パネル 2 毎に設けられる。受信回路 8 は受信パネル 4 毎に設けられる。図 2 は、送信パネル 2 a に接続される送信回路 6 a と、受信パネル 4 a に接続される受信回路 8 a を示す。送信パネル 2 a は、アンテナ 2 a - 1、2 a - 2、2 a - 3、...を含む。受信パネル 4 a は、アンテナ 4 a - 1、4 a - 2、4 a - 3、...を含む。

10

【0021】

送信回路 6 a はシンセサイザ 22 a とパワーアンプ 24 a とセクタ 25 a を含む。シンセサイザ 22 で生成された信号がパワーアンプ 24 で増幅された後、セクタ 25 a に入力される。セクタ 25 a は、1 つの入力端子と複数の出力端子を備え、1 つの入力端子を複数の出力端子のいずれかに選択的に接続する。パワーアンプ 24 a の出力がセクタ 25 a を介してアンテナ 2 a - 1、2 a - 2、2 a - 3、...のいずれかに順次供給される。これにより、電波が送信パネル 2 a のアンテナ 2 a - 1、2 a - 2、2 a - 3、...から検査エリアに時分割的に放射される。放射された電波は検査エリアに存在する全ての物体で反射され、反射波が受信パネル 4 で受信される。

20

【0022】

送信回路 6 a は送信回路 6 a の動作タイミングを制御するクロック信号を発生するクロック発生器も備え、クロック信号を受信回路 8 a にも送信する。これにより、送信回路 6 a と受信回路 8 a が同期して送受信を行うことができる。

【0023】

受信回路 8 a は、セクタ 27 a、低雑音増幅器 26 a、ミキサ 28 a、ローパスフィルタ (LPF) 30 a、A/D 変換器 (ADC) 32 a、高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transformation: FFT) 回路 34 a を備える。受信パネル 4 a に含まれるアンテナ 4 a - 1、4 a - 2、4 a - 3、...のいずれかから出力される受信信号はセクタ 27 a に入力される。セクタ 27 a は、1 つの入力端子と複数の出力端子を備え、1 つの入力端子を複数の出力端子のいずれかに選択的に接続する。これにより、アンテナ 4 a - 1、4 a - 2、4 a - 3、...から出力される受信信号が低雑音増幅器 26 を介してミキサ 28 a の第 1 入力端子に入力される。ミキサ 28 a の第 2 入力端子にはシンセサイザ 22 a の出力信号が入力される。シンセサイザ 22 a とミキサ 28 a との接続は、信号線を介する有線による接続でもよいし、無線による接続でもよい。ミキサ 28 a はシンセサイザ 22 a の送信信号と、アンテナ 4 a - 1、4 a - 2、4 a - 3 の受信信号を混合し、中間周波数 (Intermediate Frequency: IF) 信号を生成する。

30

【0024】

中間周波数信号はローパスフィルタ 30 a を介して A/D 変換器 32 a に入力される。A/D 変換器 32 a から出力されたデジタル信号は高速フーリエ変換回路 34 で解析され、後述するように物体の電波の反射強度が求められる。

40

【0025】

他の送信パネル 2 b、2 c、...についても、送信回路 6 a と同様な送信回路がそれぞれ接続される。他の受信パネル 4 b、4 c、...についても、受信回路 8 a と同様な受信回路がそれぞれ接続される。

【0026】

図 3 は送信回路 6 と受信回路 8 の電氣的構成の他の例を示すブロック図である。図 3 では、送信パネル 2 a に含まれる複数のアンテナ 2 a - 1、2 a - 2、2 a - 3、...に複数のパワーアンプ 24 a - 1、24 a - 2、24 a - 3、...がそれぞれ接続され、受信パネ

50

ル 4 a に含まれる複数のアンテナ 4 a - 1、4 a - 2、4 a - 3、... に複数の受信回路 8 a - 1、8 a - 2、8 a - 3、... がそれぞれ接続される。受信回路 8 a - 1、8 a - 2、8 a - 3、... のそれぞれは受信回路 8 a と同様な構成である。

【 0 0 2 7 】

送信側では、1つのシンセサイザ 2 2 の出力が1つのセクタ 2 5 を介して複数のパワーアンプ 2 4 a - 1、2 4 a - 2、2 4 a - 3、... のいずれかに順次供給される。図 2 では、シンセサイザ 2 2 a とパワーアンプ 2 4 a とセクタ 2 5 a が送信回路 6 を構成するが、図 3 では、パワーアンプ 2 4 a - 1、2 4 a - 2、2 4 a - 3、... のそれぞれが送信回路に対応する。

【 0 0 2 8 】

他の送信パネル 2 b、2 c、... についても、パワーアンプ 2 4 a - 1、2 4 a - 2、2 4 a - 3、... と同様なパワーアンプとセクタ 2 5 a と同様なセクタが接続される。他の受信パネル 4 b、4 c、... についても、受信回路 8 a と同様な受信回路が接続される。

【 0 0 2 9 】

図 3 では、1つの送信パネル 2 a に対して1つのシンセサイザ 2 2 が設けられ、1つのシンセサイザ 2 2 の出力が1つの送信パネル 2 a と1つの受信パネル 4 a の受信回路 8 に送信されているが、全ての送信パネル 2 に対して1つのシンセサイザ 2 2 が設けられ、1つのシンセサイザ 2 2 の出力が全ての送信パネル 2 と全ての受信パネルの受信回路に送信されてもよい。

【 0 0 3 0 】

パワーアンプ 2 4 と受信回路 8 の動作タイミングを制御するクロック信号を発生するクロック発生器についてもシンセサイザ 2 2 と同様に、1つの送信パネル 2 a に対して1つのクロック発生器が設けられ、1つのクロック発生器の出力が1つの送信パネル 2 a と1つの受信パネル 4 a の受信回路に送信されてもよいし、全ての送信パネル 2 に対して1つのクロック発生器が設けられ、1つのクロック発生器の出力が全ての送信パネル 2 と全ての受信パネルの受信回路に送信されてもよい。

【 0 0 3 1 】

レーダ方式としては種々の方式が採用可能であるが、ここでは、F M C W (Frequency Modulated Continuous Wave) 方式を採用するとする。シンセサイザ 2 2 a、2 2 は時間の経過に応じて周波数が直線的に増加する F M C W 信号を生成する。F M C W 信号はチャープ信号とも称される。チャープ信号は、振幅 A を時間 t の関数として表すと、図 4 ( a ) に示すように表される。チャープ信号は、周波数 f を時間 t の関数として表すと、図 4 ( b ) に示すように表される。チャープ信号は、図 4 ( b ) に示すように、中心周波数 f c、変調帯域幅 f b、信号時間幅 T b により表される。チャープ信号の傾きは周波数の変化レート (チャープレート) と称される。

【 0 0 3 2 】

送信パネル 2 から放射される F M C W 信号の送信波  $S_t(t)$  は、式 1 で表される。

【 0 0 3 3 】

$$S_t(t) = c \cos [2\pi (f_c \times t + t^2 / 2)] \quad \text{式 1}$$

チャープレート は式 2 で表される。

【 0 0 3 4 】

$$= f_b / T_b \quad \text{式 2}$$

このとき、送信パネル 2 (又は受信パネル 4) から距離 R だけ離れた物体からの反射波は、送信タイミングから  $t = 2R / c$  だけ遅れて観測される。c は光速である。受信信号  $S_r(t)$  はターゲットの反射強度を a とすると式 3 で表される。

【 0 0 3 5 】

$$S_r(t) = a \times c \cos [2\pi f_c (t - t_0) + (t - t_0)^2] \quad \text{式 3}$$

図 5 は複数、例えば 3 つの物体が存在する場合の検出原理を示す。図 5 ( a ) は送信信号と時間との関係及び受信信号と時間との関係を示す。図 5 ( a ) に示すように、送信信号は時間とともに周波数が線形的に変化する。受信信号は、送信信号に対して  $t$  だけ遅

10

20

30

40

50



延している。物体が複数ある場合、破線で示すように、最も近い物体からの反射波が最も早く受信され、一点鎖線で示すように、最も遠い物体からの反射波が最も遅く受信される。

【 0 0 3 6 】

図 2 に示すように、ミキサ 2 8 で受信信号は送信信号と乗算され、LPF 3 0 に入力される。LPF 3 0 の出力信号は IF 信号  $z(t)$  と称され、式 4 で表される。

【 0 0 3 7 】

$$z(t) = a \times \cos(2\pi f_c t) \quad \text{式 4}$$

図 5 ( b ) は IF 信号の周波数と時間との関係を示す。ノイズ等がない理想的な環境下では、反射波毎に周波数が一定となる。破線で示すように、最も近い物体からの反射波の周波数が最も低く、一点鎖線で示すように、最も遠い物体からの反射波の周波数が最も高い。

10

【 0 0 3 8 】

式 4 に示す時間領域の IF 信号  $z(t)$  を FFT 回路 3 4 において FFT することにより周波数領域の反射強度が計算できる。したがって、IF 信号の FFT の結果である周波数領域の各点での振幅がレーダからの距離毎の反射強度に対応する。周波数とレーダからの距離は式 5 の関係がある。

【 0 0 3 9 】

$$f_{if} = \frac{2R}{c} \quad \text{式 5}$$

時間領域の IF 信号を FFT することで得られる反射強度と周波数の関係を図 5 ( c ) に示す。このように、IF 信号の周波数領域信号の振幅を求めることにより、送信パネル 2 ( 又は受信パネル 4 ) からの距離毎の反射強度を求めることができる。

20

【 0 0 4 0 】

上述の処理は、走査方向に沿った放射点毎に行われる。

【 0 0 4 1 】

なお、レーダ方式としては、FMCW レーダ以外に、非線形チャープレーダ、周波数掃引型 ( SFCW ( Stepped-Frequency Continuous Wave ) ) レーダ、パルスレーダを用いてもよい。

【 0 0 4 2 】

図 6 は、垂直方向の或る線に沿って対象者を電波で走査した時の反射強度の分布を示す。反射強度は電波を反射した物質によって異なる。図 6 ( a ) は対象者が何も所持していない場合の反射強度分布を示す。電波は対象者の皮膚で反射されるので、放射点の位置に関わらず、電波の反射強度は変わらず、反射強度の分布はフラットな分布である。図 6 ( b ) は対象者が、ほぼ中央に拳銃 ( 金属 ) を所持している場合の反射強度分布を示す。金属は皮膚に比べて反射強度が高いため、拳銃の位置に対応する放射点の電波の反射強度は他の点の電波の反射強度に比べて高くなる。横軸は反射強度 ( 右が反射強度が高い ) であるので、電波の反射強度は右に凸な分布になる。図 6 ( c ) は対象者が、ほぼ中央に爆薬を所持している場合の電波の反射強度分布を示す。爆薬は皮膚に比べて電波を良く吸収するので、爆薬の位置に対応する放射点の反射強度は他の点の反射強度に比べて低くなり、電波の反射強度は左に凸な分布になる。分布は少なくとも 2 点の反射強度の値の相違により特定できる。表示装置 1 6 が図 6 に示す反射強度分布を表示し、オペレータがその形状を目視し、危険度を判定してもよい。

30

40

【 0 0 4 3 】

コントローラ 1 4 は、走査線上の少なくとも 2 点の反射強度を取得すると、電波の反射強度の分布形状の違いに基づいて対象者が危険物を所持している可能性に関する危険度を判定できる。コントローラ 1 4 は、危険度を二値 ( 危険か安全 ) で求めてもよいし、危険度の程度を示す多値の危険度 ( 例えばかなり危険、やや危険、やや安全、かなり安全等 ) を求めてもよい。通信回路 1 8 を介してレーダ装置 1 に接続される外部装置が、人工知能を用いて危険度を判定してもよい。人工知能の一例として、機械学習がある。機械学習では、各点の電波の反射強度から危険度を求めるモデル ( ニューラルネットワーク等 ) を表す演算回路が定義される。モデルは複数の段からなるノードからなる。各ノード間で情報

50

を伝達する結合強度を示すパラメータが定義される。入力段には各点の電波の反射強度が入力され、出力段のノードから危険度が出力される。教師付き学習の場合、各点の電波の反射強度が演算回路に入力され、演算回路から出力された危険度が、施設の管理者又は学習専門者により与えられる教師データとしての危険度に近づくように上記パラメータが学習される。

【 0 0 4 4 】

図 7 は送信パネル 2 と受信パネル 4 に備えられるアレイアンテナの原理を説明する。図 7 は、アレイアンテナとしてプレーナアレイアンテナを用いる例を示す。リニアアレイアンテナは、プレーナアレイアンテナの一部であるので、図 7 の説明はリニアアレイアンテナにも適用される。

10

【 0 0 4 5 】

送信パネル 2 には一定間隔  $d$  (例えば略半波長 ( $\lambda/2$ )) の仮想的な格子が定義され、仮想的な格子の交点に複数のアンテナ 4 2 が配置され、アレイアンテナが構成される。このアレイアンテナでは、半波長アレイアンテナのように格子の全ての交点にアンテナ 4 2 が配置されるのではなく、格子の大半の交点 (図 7 の破線で示す円) には実際のアンテナ 4 2 が配置されない。複数のアンテナ 4 2 は、X 方向に沿って間隔  $D_x \times 1$  で、Y 方向に沿って間隔  $D_y \times 1$  で二次元配列される。 $D_x \times 1$  は  $d$  の  $n_1$  倍であり、 $D_y \times 1$  は  $d$  の  $m_1$  倍である。 $n_1$  と  $m_1$  は 2 以上の正整数であり、 $n_1$  と  $m_1$  は等しくてもよいし、異なってもよい。図 7 は、一例として  $m_1 = n_1 = 3$  の場合の  $D_x \times 1 = 3d$ 、 $D_y \times 1 = 3d$  の例を示す。送信パネル 2 のアレイアンテナは、半波長アレイアンテナにおける配置より疎らに配置されたアンテナから構成され、半波長アレイアンテナよりも疎なアレイアンテナであり、隣り合うアンテナ間の干渉が生じることがない。

20

【 0 0 4 6 】

略半波長は、アンテナ 4 2 が送信する電波の半波長 ( $\lambda/2$ ) の最大で 25 パーセントのずれを含む値である。ずれは 10 % 以下であることが要求される場合もある。

【 0 0 4 7 】

受信パネル 4 にも一定間隔  $d$  の仮想的な格子が定義され、仮想的な格子の交点に複数のアンテナ 4 4 が配置され、アレイアンテナが構成される。このアレイアンテナでも、半波長アレイアンテナのように格子の全ての交点にアンテナ 4 4 が配置されるのではなく、格子の大半の交点 (図 7 の破線で示す円) には実際のアンテナ 4 4 が配置されない。複数のアンテナ 4 4 は、X 方向に沿って間隔  $D_x \times 2$  で、Y 方向に沿って間隔  $D_y \times 2$  で二次元配列される。 $D_x \times 2$  は  $d$  の  $m_2$  倍であり、 $D_y \times 2$  は  $d$  の  $n_2$  倍である。 $n_2$  と  $m_2$  は 2 以上の正整数であり、 $n_2$  と  $m_2$  は等しくてもよいし、異なってもよい。図 7 は、一例として  $m_2 = n_2 = 4$  の場合の  $D_x \times 2 = 4d$ 、 $D_y \times 2 = 4d$  の例を示す。受信パネル 4 のアレイアンテナは、半波長アレイアンテナにおける配置より疎らに配置されたアンテナから構成され、半波長アレイアンテナよりも疎なアレイアンテナであり、隣り合うアンテナ間の干渉が生じることがない。

30

【 0 0 4 8 】

$m_1$  と  $m_2$  は互いに素である。例えば  $m_1 = 3$ 、 $m_2 = 4$  である。 $n_1$  と  $n_2$  は互いに素である。例えば  $n_1 = 3$ 、 $n_2 = 4$  である。

40

【 0 0 4 9 】

2 つのアレイアンテナのアンテナどうしの間隔が半波長の  $m$  倍と  $n$  倍であり、 $m$  と  $n$  が互いに素である 2 つのアレイアンテナを用いて生成される画像の分解能は、アンテナの間隔には無関係であり、アレイの開口サイズとアンテナのビームパターンにより決まる。アレイの開口サイズは自由に設定できるので、開口サイズを対象物の断面積と同じとすれば、アレイアンテナが対象物を完全にカバーすることができる。アンテナのビームパターンは、任意の位置の送信アンテナが対象物に電波を送信し、任意の位置の受信アンテナが対象物から反射された電波を受信することができるよう設定される。そのため、送信パネル 2 と受信パネル 4 による電波の送受信により得られる画像の分解能は半波長アレイアンテナによる電波の送受信により得られる画像の分解能と一致させることができる。送信パ

50

ネル 2 と受信パネル 4 のアンテナ数は夫々 25 個である。送信パネル 2 と受信パネル 4 をともに半波長アレイアンテナとした場合、送信パネル 2 と受信パネル 4 の全ての格子交点に配置されるアンテナの数は夫々 169 個である。第 1 実施形態によれば、アンテナ数を削減できる。アンテナ数が少ないと、送信 / 受信時間が短いとともに、受信信号のデータ量も少なく、演算時間も短い。

【0050】

アンテナが略半波長よりも広い間隔で配置されてなるアレイアンテナの特性を説明する。アンテナ数を  $N$  とし、アンテナ間隔を  $D$  とし、アンテナ間の励振位相差を  $\phi$  とし、対象物内の測定点の方角はアレイアンテナ面に対して  $\theta$  の角度であるとする、2 つのアンテナから送信された電波の伝搬位相差は  $k D \cos \theta$  である。 $k$  は波数である。

10

【0051】

トータルの位相シフト  $\phi_{\text{total}}$  は式 6 で表される。

【0052】

$$\phi_{\text{total}} = k D \cos \theta + \phi \quad \text{式 6}$$

送信と受信の往復を考慮すると、波数  $k$  は  $4\pi / \lambda$  で表される。したがって、正規化された放射パターンは式 7 で表される。

【0053】

$$AF = (1/N) (\sin(N\theta/2) / \sin(\theta/2)) \quad \text{式 7}$$

式 7 は、アレイアンテナの放射パターンの一般的な表現である。式 7 の最大値は式 8 の条件が満たされると得られる。

20

【0054】

$$\theta = k D \cos \theta + \phi = \pm 2m\pi \quad \text{式 8}$$

ここで、 $m = [0, 1, 2, \dots]$  である。多くの場合、放射はアレイの軸に垂直な方向で最大になることが望ましい。第 1 の最大値が  $\theta = 0$  の方向で得られるためには、式 9 の条件が必要である。

【0055】

$$\phi = k D \cos \theta + \phi = 0 \quad \text{式 9}$$

このため、アレイファクタの最大値がアレイアンテナの軸に垂直な方向で最大になるためには、全てのアンテナが同じ励振位相である必要がある。しかしながら、 $D = \lambda/2$  であり、 $\phi = 0$  であるので、トータルの位相シフト  $\phi_{\text{total}}$  は式 10 で表される。

30

【0056】

$$\phi_{\text{total}} = k D \cos \theta + \phi = 2m\pi \cos \theta \quad \text{式 10}$$

式 10 の  $\phi_{\text{total}}$  を式 7 に代入すると、アレイファクタの最大値は  $\theta = 0$  の場合に得られることが分かる。これは、アレイファクタは、3 つの点 ( $\theta = 0, \lambda/2, \dots$ ) で最大値となることを意味する。2 つの追加の最大値はグレーティングローブと称される。さらに、 $D = 2.5\lambda$ 、 $\phi = 0$  であるならば、 $\theta = 0$  の最大値は  $0 < \theta < \lambda/2$  の角度範囲にシフトし  $\theta = \lambda/2$  の最大値は  $\lambda/2 < \theta < 3\lambda/2$  の角度範囲にシフトし、2 つの追加的なグレーティングローブが生じることが分かる。もしも、アンテナ間隔  $D = 5\lambda$  に広げられると、メインローブの両側にそれぞれ 10 本のグレーティングローブが生じる。

【0057】

40

したがって、アンテナ間隔  $D = n\lambda/2$ 、 $n = 1, 2, 3, \dots$  の場合、トータルの位相シフト  $\phi_{\text{total}}$  は式 11、式 12 で表される。

【0058】

$$\phi_{\text{total}} = k D \cos \theta + \phi = 2m\pi n \cos \theta \quad \text{式 11}$$

$$2m\pi n \cos \theta = 2m\pi \quad \text{式 12}$$

もし、式 12 を満たす  $\theta_m$  ( $m = [0, 1, 2, \dots]$ ) があれば、 $\theta_m$  はアレイファクタが最大値となる角度の集合である。すなわち、 $\theta_m$  ( $m = [0, 1, 2, \dots]$ ) は式 13 で表される。

【0059】

$$\theta_m = \cos^{-1}(m/n) \quad \text{式 13}$$

50

図 7 の送信パネル 2 の X 方向のアンテナ間隔  $D \times 1 = m_1 \times d$  ( $m_1 = 3$ ) と受信パネル 4 の X 方向のアンテナ間隔  $D \times 2 = m_2 \times d$  ( $m_2 = 4$ ) の  $m_1$  と  $m_2$  は互いに素であるので、同じ角度、すなわちアレイの垂直方向 (Z 方向) でアレイアンテナのアレイファクタが同時に最大値となることを式 13 は示す。

【0060】

図 7 の受信パネル 4 の Y 方向のアンテナ間隔  $D_y 1 = n_1 \times d$  ( $n_1 = 3$ ) と受信パネル 4 の Y 方向のアンテナ間隔  $D_y 2 = n_2 \times d$  ( $n_2 = 4$ ) の  $n_1$  と  $n_2$  は互いに素であるので、同じ角度、すなわちアレイの垂直方向 (Z 方向) でアレイアンテナのアレイファクタが同時に最大値となることを式 13 は示す。

【0061】

したがって、2 つのアレイアンテナのグレーティングローブの位置は異なる。アンテナが略半波長よりも広い間隔で配置されてなるアレイアンテナによる電波の送受信により得られる画像では、グレーティングローブの位置に偽像 (phantom) が生じる。したがって、アンテナ間隔が互いに素である 2 つのアレイアンテナによる送受信によって生じる偽像の位置は異なるので、2 つのアレイアンテナによる送受信によって生じる 2 つの画像を画像処理することにより、偽像の影響を取り除くことができる。

【0062】

次に、図 8 乃至図 12 を参照して、レーダ装置 1 が備える少なくとも 1 枚の送信パネルと複数枚の受信パネルの組合せの例、又は複数枚の送信パネルと少なくとも 1 枚の受信パネルの組合せの例を説明する。

【0063】

図 8 は、レーダ装置 1 が少なくとも 1 (例えば 1) 枚の送信パネル 2 a - 1 と複数 (例えば 2) 枚の受信パネル 4 a - 1、4 b - 1 を含む第 1 例を示す。第 1 例では、送信パネル 2 と受信パネル 4 はともにリニアアレイアンテナを備える。

【0064】

送信パネル 2 a - 1 は、X 方向に沿って間隔  $D_1$  で一次元配列された複数 ( $n_1$ ) 個のアンテナ  $50_1 - 50_{n_1}$  を含む。 $n_1$  は 2 以上の正整数である。間隔  $D_1$  は略半波長の  $d_1$  倍である。 $d_1$  は 2 以上の正整数である。

【0065】

受信パネル 4 a - 1 は、X 方向に沿って間隔  $D_2$  で一次元配列された複数 ( $n_2$ ) 個のアンテナ  $70_1 - 70_{n_2}$  を含む。 $n_2$  は 2 以上の正整数であり、 $n_1$  と等しくてもよいし、異なってもよい。間隔  $D_2$  は略半波長の  $d_2$  倍である。 $d_2$  は 2 以上の正整数である。 $d_2$  と  $d_1$  は互いに素である。

【0066】

受信パネル 4 b - 1 は、X 方向に沿って間隔  $D_3$  で一次元配列された複数 ( $n_3$ ) 個のアンテナ  $72_1 - 72_{n_3}$  を含む。 $n_3$  は 2 以上の正整数であり、 $n_1$  又は  $n_2$  と等しくてもよいし、異なってもよい。間隔  $D_3$  は略半波長の  $d_3$  倍である。 $d_3$  は 2 以上の正整数であり、 $d_2$  と等しくてもよいし、異なってもよい。 $d_3$  と  $d_1$  は互いに素である。 $d_3$  と  $d_2$  は互いに素であってもよいし、互いに素でなくてもよい。

【0067】

レーダ装置 1 は 3 枚以上の受信パネル 4 を含んでもよい。3 枚目以上の受信パネル 4 の構成は受信パネル 4 a - 1、4 b - 1 と同様である。送信パネル 2 と受信パネル 4 のリニアアレイアンテナの配列方向は X 方向に限らず、任意の方向でよい。送信アンテナと受信アンテナは互換性があるので、図 8 の例とは逆に、レーダ装置 1 は複数枚の送信パネル 2 と少なくとも 1 枚の受信パネル 4 を含んでもよい。

【0068】

図 9 は、レーダ装置 1 が少なくとも 1 (例えば 1) 枚の送信パネル 2 a - 2 と複数 (例えば 2) 枚の受信パネル 4 a - 2、4 b - 2 を含む第 2 例を示す。第 2 例では、送信パネル 2 はリニアアレイアンテナを備え、受信パネル 4 はプレーナアレイアンテナを備える。

【0069】

10

20

30

40

50

送信パネル 2 a - 2 は、X 方向に沿って間隔  $D_4$  で一次元配列された複数 ( $n_4$ ) 個のアンテナ  $5_{21} - 5_{2n_4}$  を含む。 $n_4$  は 2 以上の正整数である。間隔  $D_4$  は略半波長の  $d_4$  倍である。 $d_4$  は 2 以上の正整数である。

【0070】

受信パネル 4 a - 2 は、X 方向に沿って間隔  $D_5$  で、Y 方向に沿って間隔  $D_6$  で二次元配列された複数 ( $m_1 \times n_5$ ) 個のアンテナ  $7_{41}, 1 - 7_{4m_1}, n_5$  を含む。 $n_5$  は 2 以上の正整数であり、 $n_4$  と等しくてもよいし、異なってもよい。間隔  $D_5$  は略半波長の  $d_5$  倍である。 $d_5$  は 2 以上の正整数である。 $d_5$  と  $d_4$  は互いに素である。 $m_1$  は 2 以上の正整数であり、 $n_5$  と等しくてもよいし、異なってもよい。間隔  $D_6$  は略半波長の  $d_6$  倍である。 $d_6$  は 2 以上の正整数であり、 $d_5$  と等しくてもよいし、異なってもよい。 $d_5$  と  $d_6$  は互いに素であってもよいし、互いに素でなくてもよい。

10

【0071】

受信パネル 4 b - 2 は、X 方向に沿って間隔  $D_7$  で、Y 方向に沿って間隔  $D_8$  で二次元配列された複数 ( $m_2 \times n_6$ ) 個のアンテナ  $7_{61}, 1 - 7_{6m_2}, n_6$  を含む。 $n_6$  は 2 以上の正整数であり、 $n_5$  と等しくてもよいし、異なってもよい。間隔  $D_7$  は略半波長の  $d_7$  倍である。 $d_7$  は 2 以上の正整数であり、 $d_5$  と等しくてもよいし、異なってもよい。 $d_7$  と  $d_4$  は互いに素である。 $d_7$  と  $d_5$  は互いに素であってもよいし、互いに素でなくてもよい。 $m_2$  は 2 以上の正整数であり、 $m_1$  と等しくてもよいし、異なってもよい。間隔  $D_8$  は略半波長の  $d_8$  倍である。 $d_8$  は 2 以上の正整数であり、 $d_6$  と等しくてもよいし、異なってもよい。 $d_7$  と  $d_8$  は互いに素であってもよいし、互いに素でなくてもよい。 $d_8$  と  $d_6$  は互いに素であってもよいし、互いに素でなくてもよい。

20

【0072】

レーダ装置 1 は 3 枚以上の受信パネル 4 を含んでもよい。3 枚目以上の受信パネル 4 の構成は受信パネル 4 a - 2、4 b - 2 と同様である。送信パネル 2 のリニアアレイアンテナの配列方向は X 方向に限らず、任意の方向でよい。その場合、受信パネル 4 のプレーナアレイアンテナの配列方向はリニアアレイアンテナの配列方向とそれに交差する方向を含む。受信パネル 2 が備えるプレーナアレイアンテナの 2 つの配列方向の交差角度は  $90^\circ$  度に限らない。送信アンテナと受信アンテナは互換性があるので、図 9 の例とは逆に、レーダ装置 1 はプレーナアレイアンテナを備える複数枚の送信パネル 2 とリニアアレイアンテナを備える少なくとも 1 枚の受信パネル 4 を含んでもよい。

30

【0073】

図 8 と図 9 の組合せも可能である。すなわち、レーダ装置 1 はリニアアレイアンテナを備える少なくとも 1 枚の送信パネル 2 とリニアアレイアンテナ又はプレーナアレイアンテナを備える複数枚の受信パネル 4 を含んでもよい。あるいは、レーダ装置 1 はリニアアレイアンテナ又はプレーナアレイアンテナを備える複数枚の送信パネル 2 とリニアアレイアンテナを備える少なくとも 1 枚の受信パネル 4 を含んでもよい。

【0074】

図 10 は、レーダ装置 1 が少なくとも 1 (例えば 1) 枚の送信パネル 2 a - 3 と複数 (例えば 2) 枚の受信パネル 4 a - 3、4 b - 3 を含む第 3 例を示す。第 3 例では、送信パネル 2 a - 3 はプレーナアレイアンテナを備え、受信パネル 4 a - 3、4 b - 3 はリニアアレイアンテナを備える。

40

【0075】

送信パネル 2 a - 3 は、X 方向に沿って間隔  $D_9$  で、Y 方向に沿って間隔  $D_{10}$  で二次元配列された複数 ( $m_3 \times n_7$ ) 個のアンテナ  $5_{41}, 1 - 5_{4m_3}, n_7$  を含む。 $n_7$  は 2 以上の正整数である。間隔  $D_9$  は略半波長の  $d_9$  倍である。 $d_9$  は 2 以上の正整数である。 $m_3$  は 2 以上の正整数であり、 $n_7$  と等しくてもよいし、異なってもよい。間隔  $D_{10}$  は略半波長の  $d_{10}$  倍である。 $d_{10}$  は 2 以上の正整数であり、 $d_9$  と等しくてもよいし、異なってもよい。 $d_{10}$  と  $d_9$  は互いに素であってもよいし、互いに素でなくてもよい。

【0076】

50

受信パネル 4 a - 3 は、X 方向に沿って間隔  $D_{11}$  で一次元配列された複数 ( $n_8$ ) 個のアンテナ  $78_1 - 78_{n_8}$  を含む。 $n_8$  は 2 以上の正整数であり、 $n_7$  と等しくてもよいし、異なってもよい。間隔  $D_{11}$  は略半波長の  $d_{11}$  倍である。 $d_{11}$  は 2 以上の正整数である。 $d_{11}$  と  $d_9$  は互いに素である。 $d_{11}$  と  $d_{10}$  は互いに素であってもよいし、互いに素でなくともよい。

【0077】

受信パネル 4 b - 3 は、X 方向に沿って間隔  $D_{12}$  で一次元配列された複数 ( $n_9$ ) 個のアンテナ  $80_1 - 80_{n_9}$  を含む。 $n_9$  は 2 以上の正整数であり、 $n_8$  と等しくてもよいし、異なってもよい。間隔  $D_{12}$  は略半波長の  $d_{12}$  倍である。 $d_{12}$  は 2 以上の正整数であり、 $d_{11}$  と等しくてもよいし、異なってもよい。 $d_{12}$  と  $d_9$  は互いに素である。  
 $d_{12}$  と  $d_{11}$  は互いに素であってもよいし、互いに素でなくともよい。 $d_{12}$  と  $d_9$  又は  $d_{10}$  は互いに素であってもよいし、互いに素でなくともよい。

10

【0078】

レーダ装置 1 は 3 枚以上の受信パネル 4 を含んでもよい。3 枚目以上の受信パネル 4 の構成は受信パネル 4 a - 3、4 b - 3 と同様である。受信パネル 4 のリニアアレイアンテナの配列方向は X 方向に限らず、任意の方向でよい。その場合、送信パネル 2 のプレーナアレイアンテナの配列方向はリニアアレイアンテナの配列方向とそれに交差する方向を含む。プレーナアレイアンテナの 2 つの配列方向の交差角度は 90 度に限らない。送信アンテナと受信アンテナは互換性があるので、図 10 の例とは逆に、レーダ装置 1 はリニアアレイアンテナを備える複数枚の送信パネル 2 とプレーナアレイアンテナを備える少なくとも 1 枚の受信パネル 4 を含んでもよい。

20

【0079】

図 10 の複数の受信パネル 4 の少なくとも 1 枚はプレーナアレイアンテナを備えてもよい。

【0080】

図 11 は、レーダ装置 1 が少なくとも 1 (例えば 1) 枚の送信パネル 2 a - 4 と複数 (例えば 2) 枚の受信パネル 4 a - 4、4 b - 4 を含む第 4 例を示す。第 4 例では、送信パネル 2 a - 4 と受信パネル 4 a - 4、4 b - 4 はともにプレーナアレイアンテナを備える。

【0081】

送信パネル 2 a - 4 は、X 方向に沿って間隔  $D_{13}$  で、Y 方向に沿って間隔  $D_{14}$  で二次元配列された複数 ( $m_4 \times n_{10}$ ) 個のアンテナ  $56_1, 1 - 56_{m_4}, n_{10}$  を含む。 $n_{10}$  は 2 以上の正整数である。間隔  $D_{13}$  は略半波長の  $d_{13}$  倍である。 $d_{13}$  は 2 以上の正整数である。 $m_4$  は 2 以上の正整数であり、 $n_{10}$  と等しくてもよいし、異なってもよい。間隔  $D_{14}$  は略半波長の  $d_{14}$  倍である。 $d_{14}$  は 2 以上の正整数であり、 $d_{13}$  と等しくてもよいし、異なってもよい。 $d_{14}$  と  $d_{13}$  は互いに素であってもよいし、互いに素でなくともよい。

30

【0082】

受信パネル 4 a - 4 は、X 方向に沿って間隔  $D_{15}$  で、Y 方向に沿って間隔  $D_{16}$  で二次元配列された複数 ( $m_5 \times n_{11}$ ) 個のアンテナ  $82_a - 82_{m_5}, n_{11}$  を含む。 $n_{11}$  は 2 以上の正整数であり、 $n_{10}$  と等しくてもよいし、異なってもよい。間隔  $D_{15}$  は略半波長の  $d_{15}$  倍である。 $d_{15}$  は 2 以上の正整数である。 $d_{15}$  と  $d_{13}$  は互いに素である。 $m_5$  は 2 以上の正整数であり、 $n_{11}$  と等しくてもよいし、異なってもよい。間隔  $D_{16}$  は略半波長の  $d_{16}$  倍である。 $d_{16}$  は 2 以上の正整数であり、 $d_{15}$  と等しくてもよいし、異なってもよい。 $d_{16}$  と  $d_{14}$  は互いに素である。 $d_{16}$  と  $d_{15}$  は互いに素であってもよいし、互いに素でなくともよい。 $d_{15}$  と  $d_{14}$  は互いに素であってもよいし、互いに素でなくともよい。 $d_{16}$  と  $d_{13}$  は互いに素であってもよいし、互いに素でなくともよい。

40

【0083】

受信パネル 4 b - 4 は、X 方向に沿って間隔  $D_{17}$  で、Y 方向に沿って間隔  $D_{18}$  で二次元配列された複数 ( $m_6 \times n_{12}$ ) 個のアンテナ  $84_1, 1 - 84_{m_6}, n_{12}$  を含む。

50

$n_{12}$  は 2 以上の正整数であり、 $n_{11}$  と等しくてもよいし、異なってもよい。間隔  $D_{17}$  は略半波長の  $d_{17}$  倍である。 $d_{17}$  は 2 以上の正整数であり、 $d_{15}$  と等しくてもよいし、異なってもよい。 $d_{17}$  と  $d_{13}$  は互いに素である。 $m_6$  は 2 以上の正整数であり、 $n_{12}$  と等しくてもよいし、異なってもよい。間隔  $D_{18}$  は略半波長の  $d_{18}$  倍である。 $d_{18}$  は 2 以上の正整数であり、 $d_{16}$  と等しくてもよいし、異なってもよい。 $d_{18}$  と  $d_{14}$  は互いに素である。 $d_{18}$  と  $d_{16}$  は互いに素であってもよいし、互いに素でなくてもよい。 $d_{17}$  と  $d_{14}$  は互いに素であってもよいし、互いに素でなくてもよい。 $d_{18}$  と  $d_{13}$  は互いに素であってもよいし、互いに素でなくてもよい。

#### 【0084】

レーダ装置 1 は 3 枚以上の受信パネル 4 を含んでもよい。3 枚目以上の受信パネル 4 の構成は受信パネル 4 a - 4、4 b - 4 と同様である。送信パネル 2 と受信パネル 4 のプレーナアレイアンテナの配列方向は X 方向と Y 方向に限らず、任意の 2 方向でよい。プレーナアレイアンテナの 2 つの配列方向の交差角度は 90 度に限らない。送信アンテナと受信アンテナは互換性があるので、図 11 の例とは逆に、レーダ装置 1 はプレーナアレイアンテナを備える複数枚の送信パネル 2 とプレーナアレイアンテナを備える少なくとも 1 枚の受信パネル 4 を含んでもよい。

#### 【0085】

図 11 の複数の複数の受信パネル 4 の少なくとも 1 枚はリニアアレイアンテナを備えてもよい。

#### 【0086】

図 12 は、レーダ装置 1 が複数（例えば 2）枚の送信パネル 2 a - 5、2 b - 5 と複数（例えば 2）枚の受信パネル 4 a - 5、4 b - 5 を含む第 5 例を示す。第 5 例では、送信パネル 2 a - 4、2 b - 5 と受信パネル 4 a - 5、4 b - 5 はともにプレーナアレイアンテナを備える。

#### 【0087】

送信パネル 2 a - 5 は、X 方向に沿って間隔  $D_{19}$  で、Y 方向に沿って間隔  $D_{20}$  で二次元配列された複数 ( $m_7 \times n_{13}$ ) 個のアンテナ  $58_{1,1} - 58_{m_7, n_{13}}$  を含む。 $n_{13}$  は 2 以上の正整数である。間隔  $D_{19}$  は略半波長の  $d_{19}$  倍である。 $d_{19}$  は 2 以上の正整数である。 $m_7$  は 2 以上の正整数であり、 $n_{13}$  と等しくてもよいし、異なってもよい。間隔  $D_{20}$  は略半波長の  $d_{20}$  倍である。 $d_{20}$  は 2 以上の正整数であり、 $d_{19}$  と等しくてもよいし、異なってもよい。 $d_{19}$  と  $d_{20}$  は互いに素であってもよいし、互いに素でなくてもよい。

#### 【0088】

送信パネル 2 b - 5 は、X 方向に沿って間隔  $D_{21}$  で、Y 方向に沿って間隔  $D_{22}$  で二次元配列された複数 ( $m_8 \times n_{14}$ ) 個のアンテナ  $60_{1,1} - 60_{m_8, n_{14}}$  を含む。 $n_{14}$  は 2 以上の正整数であり、 $n_{13}$  と等しくてもよいし、異なってもよい。間隔  $D_{21}$  は略半波長の  $d_{21}$  倍である。 $d_{21}$  は 2 以上の正整数であり、 $d_{19}$  と等しくてもよいし、異なってもよい。 $d_{21}$  と  $d_{19}$  は互いに素である。 $m_8$  は 2 以上の正整数であり、 $n_{14}$  と等しくてもよいし、異なってもよい。間隔  $D_{22}$  は略半波長の  $d_{22}$  倍である。 $d_{22}$  は 2 以上の正整数であり、 $d_{21}$  と等しくてもよいし、異なってもよい。 $d_{22}$  と  $d_{20}$  は互いに素である。 $d_{19}$  と  $d_{20}$  は互いに素であってもよいし、互いに素でなくてもよい。 $d_{21}$  と  $d_{22}$  は互いに素であってもよいし、互いに素でなくてもよい。

#### 【0089】

受信パネル 4 a - 5 は、X 方向に沿って間隔  $D_{23}$  で、Y 方向に沿って間隔  $D_{24}$  で二次元配列された複数 ( $m_9 \times n_{15}$ ) 個のアンテナ  $86_{1,1} - 86_{m_9, n_{15}}$  を含む。 $n_{15}$  は 2 以上の正整数であり、 $n_{13}$ 、 $n_{14}$  と等しくてもよいし、異なってもよい。間隔  $D_{23}$  は略半波長の  $d_{23}$  倍である。 $d_{13}$  は 2 以上の正整数である。 $d_{23}$  と  $d_{19}$  は互いに素である。 $d_{23}$  と  $d_{21}$  は互いに素である。 $m_9$  は 2 以上の正整数であり、 $n_{15}$  と等しくてもよいし、異なってもよい。間隔  $D_{24}$  は略半波長の  $d_{24}$  倍である。 $d_{24}$  は 2 以上の正整数であり、 $d_{23}$  と等しくてもよいし、異なってもよい。 $d_{24}$  と

10

20

30

40

50

$d_{20}$  は互いに素である。 $d_{24}$  と  $d_{22}$  は互いに素である。 $d_{23}$  と  $d_{20}$  又は  $d_{22}$  は互いに素であっても良いし、互いに素でなくてもよい。 $d_{24}$  と  $d_{19}$  又は  $d_{21}$  は互いに素であっても良いし、互いに素でなくてもよい。

#### 【0090】

受信パネル 4b - 5 は、X 方向に沿って間隔  $D_{25}$  で、Y 方向に沿って間隔  $D_{26}$  で二次元配列された複数 ( $m_{10} \times n_{16}$ ) 個のアンテナ  $88_{1,1} - 88_{m_{10},n_{16}}$  を含む。 $n_{16}$  は 2 以上の正整数であり、 $n_{16}$  と等しくてもよいし、異なってもよい。間隔  $D_{25}$  は略半波長の  $d_{25}$  倍である。 $d_{25}$  は 2 以上の正整数であり、 $d_{23}$  と等しくてもよいし、異なってもよい。 $d_{25}$  と  $d_{19}$  は互いに素であってもよいし、互いに素でなくてもよい。 $d_{25}$  と  $d_{21}$  は互いに素である。 $d_{25}$  と  $d_{23}$  は互いに素であってもよいし、互いに素でなくてもよい。 $m_{10}$  は 2 以上の正整数であり、 $n_{16}$  と等しくてもよいし、異なってもよい。間隔  $D_{26}$  は略半波長の  $d_{26}$  倍である。 $d_{26}$  は 2 以上の正整数であり、 $d_{24}$  と等しくてもよいし、異なってもよい。 $d_{26}$  と  $d_{20}$  は互いに素であってもよいし、互いに素でなくてもよい。 $d_{26}$  と  $d_{22}$  は互いに素である。 $d_{26}$  と  $d_{24}$  は互いに素であってもよいし、互いに素でなくてもよい。

10

#### 【0091】

レーダ装置 1 は 3 枚以上の送信パネル 2 を含んでもよい。3 枚目以上の送信パネル 2 の構成は送信パネル 2a - 5、2b - 5 と同様である。レーダ装置 1 は 3 枚以上の受信パネル 4 を含んでもよい。3 枚目以上の受信パネル 4 の構成は受信パネル 4a - 5、4b - 5 と同様である。送信パネル 2 と受信パネル 4 のプレーナアレイアンテナの配列方向は X 方向と Y 方向に限らず、任意の 2 方向でよい。プレーナアレイアンテナの 2 つの配列方向の交差角度は 90 度に限らない。

20

#### 【0092】

図 12 の複数の送信パネル 2 の少なくとも 1 枚はリニアアレイアンテナを備えてもよい。図 12 の複数の受信パネル 4 の少なくとも 1 枚はリニアアレイアンテナを備えてもよい。

#### 【0093】

次に、図 13、図 14、図 15 及び図 16 を参照して、対象者 100 に対する送信パネル 2 及び受信パネル 4 の配置の例を説明する。図 13 乃至図 16 は平面図である。図 13 乃至図 16 では、レーダ装置 1 は少なくとも 1 (例えば 1) 枚の送信パネル 2a と複数 (例えば 3) 枚の受信パネル 4a、4b、4c を含むとする。送信パネル 2 と受信パネル 4 は、図 8 乃至図 12 の何れのアレイアンテナを備えてもよい。

30

#### 【0094】

図 13 は、1 枚の送信パネル 2a と 3 枚の受信パネル 4a、4b、4c の配置の第 1 例を示す。第 1 例では、受信パネル 4a、受信パネル 4b、送信パネル 2a 及び受信パネル 4c が X 方向に沿ってこの順に略直線上に配置されている。送信パネル 2a は対象者 100 の全体に電波を放射する。対象者 100 の表面あるいは対象者 100 が所持している危険物で電波が様々な方向に反射される。1 枚の受信パネル 4 で受信できる反射波の方向は限られている。対象者 100 は、2 本の分割線により 3 つの領域 100a、100b、100c に分割される。分割線は直線に限られず、曲線の場合もある。受信パネル 4a は、第 1 領域 100a の表面又は内部の物体で反射した電波を受信する位置に配置される。受信パネル 4b は、第 2 領域 100b の表面又は内部の物体で反射した電波を受信する位置に配置される。受信パネル 4c は、第 3 領域 100c の表面又は内部の物体で反射した電波を受信する位置に配置される。

40

#### 【0095】

画像生成回路 10 は、受信パネル 4a の受信信号に基づいて第 1 領域 100a の内部の物体を表す第 1 画像を生成する。画像生成回路 10 は、受信パネル 4b の受信信号に基づいて第 2 領域 100b の内部の物体を表す第 2 画像を生成する。画像生成回路 10 は、受信パネル 4c の受信信号に基づいて第 3 領域 100c の内部の物体を表す第 3 画像を生成する。画像処理回路 12 が第 1 画像と第 2 画像と第 3 画像を合成すると、対象者 100 全体の内部の物体を表す画像を生成することができる。

50



## 【 0 0 9 6 】

送信アンテナと受信アンテナは互換性があるので、図 1 3 の例とは逆に、レーダ装置 1 は複数枚の送信パネル 2 と少なくとも 1 枚の受信パネル 4 を含んでもよい。

## 【 0 0 9 7 】

図 1 4 は、1 枚の送信パネル 2 a と 3 枚の受信パネル 4 a、4 b、4 c の配置の第 2 例を示す。第 2 例でも、受信パネル 4 a、受信パネル 4 b、送信パネル 2 a 及び受信パネル 4 c が X 方向に沿ってこの順に略直線上に配置されている。送信パネル 2 a は対象者 1 0 0 の全体に電波を放射する。対象者 1 0 0 は一部が重複する 3 つの領域 1 0 2 a、1 0 2 b、1 0 2 c に分割される。分割線は直線に限られず、曲線の場合もある。第 1 領域 1 0 2 a と第 2 領域 1 0 2 b は一部重複した領域 1 0 4 を含む。第 2 領域 1 0 2 b と第 3 領域 1 0 2 c は一部重複した領域 1 0 6 を含む。受信パネル 4 a は、第 1 領域 1 0 2 a の表面又は内部の物体で反射した電波を受信する位置に配置される。受信パネル 4 b は、第 2 領域 1 0 2 b の表面又は内部の物体で反射した電波を受信する位置に配置される。受信パネル 4 c は、第 3 領域 1 0 2 c の表面又は内部の物体で反射した電波を受信する位置に配置される。

10

## 【 0 0 9 8 】

画像処理回路 1 2 は重複領域を考慮して第 1 画像と第 2 画像と第 3 画像を合成すると、対象者 1 0 0 全体の内部の物体を表す画像を生成することができる。

## 【 0 0 9 9 】

送信アンテナと受信アンテナは互換性があるので、図 1 4 の例とは逆に、レーダ装置 1 は複数枚の送信パネル 2 と少なくとも 1 枚の受信パネル 4 を含んでもよい。

20

## 【 0 1 0 0 】

図 1 5 は、1 枚の送信パネル 2 a と 3 枚の受信パネル 4 a、4 b、4 c の配置の第 3 例を示す。第 3 例では、受信パネル 4 a、受信パネル 4 b、送信パネル 2 a 及び受信パネル 4 c が、対象者 1 0 0 の周囲を囲むように筒の表面のような面に円弧を描くように配置されている。対象者 1 0 0 は、第 1 例と同様に、重複することなく 3 つの領域 1 0 0 a、1 0 0 b、1 0 0 c に分割されている。受信パネル 4 a は、第 1 領域 1 0 0 a の表面又は内部の物体で反射した電波を受信する位置に配置される。受信パネル 4 b は、第 2 領域 1 0 0 b の表面又は内部の物体で反射した電波を受信する位置に配置される。受信パネル 4 c は、第 3 領域 1 0 0 c の表面又は内部の物体で反した電波を受信する位置に配置される。図 1 5 の例では、図 1 3、図 1 4 の例に比べて対象者 1 0 0 のより近くに受信パネル 4 を配置することができる。

30

## 【 0 1 0 1 】

送信アンテナと受信アンテナは互換性があるので、図 1 5 の例とは逆に、レーダ装置 1 は複数枚の送信パネル 2 と少なくとも 1 枚の受信パネル 4 を含んでもよい。

## 【 0 1 0 2 】

図 1 6 は、1 枚の送信パネル 2 a と 3 枚の受信パネル 4 a、4 b、4 c の配置の第 4 例を示す。第 4 例では、受信パネル 4 a、受信パネル 4 b、送信パネル 2 a 及び受信パネル 4 c が、対象者 1 0 0 の周囲を囲むように筒の表面のような面に円弧を描くように配置されている。対象者 1 0 0 は、第 2 例と同様に、一部が重複する 3 つの領域 1 0 2 a、1 0 2 b、1 0 2 c に分割されている。受信パネル 4 a は、第 1 領域 1 0 2 a の表面又は内部の物体で反射した電波を受信する位置に配置される。受信パネル 4 b は、第 2 領域 1 0 2 b の表面又は内部の物体で反射した電波を受信する位置に配置される。受信パネル 4 c は、第 3 領域 1 0 2 c の表面又は内部の物体で反射した電波を受信する位置に配置される。図 1 6 の例では、図 1 3、図 1 4 の例に比べて対象者 1 0 0 のより近くに受信パネル 4 を配置することができる。

40

## 【 0 1 0 3 】

送信アンテナと受信アンテナは互換性があるので、図 1 6 の例とは逆に、レーダ装置 1 は複数枚の送信パネル 2 と少なくとも 1 枚の受信パネル 4 を含んでもよい。

## 【 0 1 0 4 】

50

図 1 7 は実施形態に係る送信パネルと受信パネルの配置の第 5 例を示す。図 1 7 ( a ) は 1 枚の送信パネル 2 a と、 2 枚の受信パネル 4 a、 4 b を用いる例を示す。図 1 7 ( b ) は 2 枚の送信パネル 2 a、 2 b と、 1 枚の受信パネル 4 を用いる例を示す。

【 0 1 0 5 】

図 1 7 ( a ) では、送信パネル 2 a が第 1 平面に配置され、受信パネル 4 a、 4 b が第 2 平面に配置される。第 1 平面と第 2 平面のなす角 が 0 度より大きく 1 8 0 度より小さければ、送信パネル 2 a の送信面から放射され、対象物 1 0 0 のどの部分で反射された電波も受信パネル 4 a 又は受信パネル 4 b の受信面に入射される。これにより、対象物 1 0 0 のどの部分の検査も可能となる。送信パネル 2 a の送信面と、受信パネル 4 a、 4 b の受信面は、第 1 平面と第 2 平面の間に位置する。対象物 1 0 0 は移動する対象物でもよい。

10

【 0 1 0 6 】

図 1 7 ( b ) では、受信パネル 4 が第 1 平面に配置され、送信パネル 2 a、 2 b が第 2 平面に配置される。第 1 平面と第 2 平面のなす角 が 0 度より大きく 1 8 0 度より小さければ、送信パネル 2 a 又は送信パネル 2 b の送信面から放射され、対象物 1 0 0 のどの部分で反射された電波も受信パネル 4 の受信面に入射される。これにより、対象物 1 0 0 のどの部分の検査も可能となる。送信パネル 2 a、 2 b の送信面と受信パネル 4 の受信面は、第 1 平面と第 2 平面の間に位置する。

【 0 1 0 7 】

図 1 8 は実施形態に係る送信パネルと受信パネルの配置の第 6 例を示す。図 1 8 ( a ) は 1 枚の送信パネル 2 a と、 2 枚の受信パネル 4 a、 4 b を用いる例を示す。図 1 8 ( b ) は 2 枚の送信パネル 2 a、 2 b と、 1 枚の受信パネル 4 を用いる例を示す。

20

【 0 1 0 8 】

図 1 8 ( a ) では、送信パネル 2 が第 1 平面に配置され、受信パネル 4 a が第 2 平面に配置され、受信パネル 4 b が第 3 平面に配置される。第 1 平面と第 2 平面のなす角  $\theta_1$  が 0 度より大きく 1 8 0 度より小さく、第 2 平面と第 3 平面のなす角  $\theta_2$  が 0 度より大きく 1 8 0 度より小さければ、送信パネル 2 の送信面から放射され、対象物 1 0 0 のどの部分で反射された電波も受信パネル 4 a 又は受信パネル 4 b の受信面に入射される。これにより、対象物 1 0 0 のどの部分の検査も可能となる。送信パネル 2 の送信面と、受信パネル 4 a の受信面は、第 1 平面と第 2 平面の間に位置し、受信パネル 4 a の受信面と、受信パネル 4 b の受信面は、第 2 平面と第 3 平面の間に位置する。

30

【 0 1 0 9 】

図 1 8 ( b ) では、送信パネル 2 a が第 1 平面に配置され、送信パネル 2 b が第 2 平面に配置され、受信パネル 4 が第 3 平面に配置される。第 1 平面と第 2 平面のなす角  $\theta_1$  が 0 度より大きく 1 8 0 度より小さく、第 2 平面と第 3 平面のなす角  $\theta_2$  が 0 度より大きく 1 8 0 度より小さければ、送信パネル 2 a 又は送信パネル 2 b の送信面から放射され、対象物 1 0 0 のどの部分で反射された電波も受信パネル 4 の受信面に入射される。これにより、対象物 1 0 0 のどの部分の検査も可能となる。送信パネル 2 a の送信面と、送信パネル 2 b の送信面は、第 1 平面と第 2 平面の間に位置し、送信パネル 2 b の送信面と、受信パネル 4 の受信面は、第 2 平面と第 3 平面の間に位置する。

【 0 1 1 0 】

40

図 1 7、図 1 8 に示す例は送信パネル、受信パネルの枚数が最小の場合であり、送信パネル、受信パネルの枚数が増えても同等に構成可能である。さらに、送信パネル、受信パネルの枚数が増えた場合、パネルの枚数に応じて平面の数が増えてもよい。

【 0 1 1 1 】

図 1 9、図 2 0 及び図 2 1 を参照して、検査エリアにおける送信パネル 2 と受信パネル 4 の配置の具体例を説明する。検査エリアは施設内の対象者 1 0 0 の通路であるとする。図 1 9 乃至図 2 1 は斜視図である。送信パネル 2 と受信パネル 4 は、図 8 乃至図 1 2 の何れのアレイアンテナを備えてもよい。

【 0 1 1 2 】

図 1 9 は、送信パネル 2 と受信パネル 4 の配置の第 7 例を示す斜視図である。通路の壁

50

1 1 0 の表面に少なくとも 1 枚の送信パネル 2 と複数枚の受信パネル 4、又は複数枚の送信パネル 2 と少なくとも 1 枚の受信パネル 4 が二次元配列される。図 1 9 は、壁 1 1 0 の表面に少なくとも 1 (例えば 1) 枚の送信パネル 2 a と、複数 (例えば 5) 枚の受信パネル 4 a、4 b、4 c、4 d、4 e が二次元配列される例を示す。

【0 1 1 3】

図 1 9 の例によれば、通路の歩行中に対象者 1 0 0 に放射された電波の様々な方向への反射波が多数の受信パネル 4 a - 4 e により受信される。このため、対象者 1 0 0 の全体が検査される。

【0 1 1 4】

送信アンテナと受信アンテナは互換性があるので、図 1 9 の例とは逆に、レーダ装置 1 は複数枚の送信パネル 2 と少なくとも 1 枚の受信パネル 4 を含んでもよい。

【0 1 1 5】

通路の壁 1 1 0 の表面ではなく、通路の床下又は天井に送信パネル 2 と受信パネル 4 が設置されてもよい。

【0 1 1 6】

図 2 0 は、送信パネル 2 と受信パネル 4 の配置の第 8 例を示す斜視図である。通路の側面に複数 (例えば 3) 枚の支持板 1 1 2 a、1 1 2 b、1 1 2 c が対象者 1 0 0 を囲むように設置される。中央の支持板 1 1 2 b が通路の側面に略平行に設置され、両脇の支持板 1 1 2 a、1 1 2 c が内側を向くように中央の支持板 1 1 2 b から多少傾いて設置されている。支持板 1 1 2 a には少なくとも 1 (例えば 2) 枚の送信パネル 2 a、2 b と、複数 (例えば 6) 枚の受信パネル 4 a、4 b、4 c、4 d、4 e、4 f が貼り付けられている。他の支持板 1 1 2 b、1 1 2 c にも、同様に、2 枚の送信パネル 2 と、6 枚の受信パネル 4 が貼り付けられている。

【0 1 1 7】

図 2 0 の例によっても、通路の歩行中に対象者 1 0 0 に放射された電波の様々な方向への反射波が多数の受信パネル 4 a - 4 f により受信される。このため、対象者 1 0 0 の全体が検査される。図 2 0 の例では、3 枚の支持板 1 1 2 a、1 1 2 b、1 1 2 c が対象者 1 0 0 を囲むので、対象者 1 0 0 のより近くに送信パネル 2 と受信パネル 4 を配置することができる。

【0 1 1 8】

支持板 1 1 2 の枚数は 4 枚以上でもよい。支持板 1 1 2 は、通路の床下又は天井に設置されてもよい。

【0 1 1 9】

送信アンテナと受信アンテナは互換性があるので、図 2 0 の例とは逆に、各支持板 1 1 2 a、1 1 b、1 1 c に複数枚の送信パネル 2 と、少なくとも 1 枚の受信パネル 4 が貼り付けられてもよい。

【0 1 2 0】

図 2 1 は、送信パネル 2 と受信パネル 4 の配置の第 9 例を示す斜視図である。検査エリアは対象者 1 0 0 の通路であるとする。通路の上下左右の 4 面に 4 枚の支持板 1 1 4 a、1 1 4 b、1 1 4 c、1 1 4 d が対象者 1 0 0 を囲むように設置される。例えば、支持板 1 1 4 a が通路の床下に設置され、支持板 1 1 4 b が通路の天井に設置され、支持板 1 1 4 c が通路の右側面に設置され、支持板 1 1 4 d が通路の左側面に設置される。

【0 1 2 1】

支持板 1 1 4 a には少なくとも 1 (例えば 2) 枚の送信パネル 2 a、2 b と、複数 (例えば 10) 枚の受信パネル 4 a、4 b、4 c、4 d、4 e、4 f、4 g、4 h、4 i が貼り付けられている。他の支持板 1 1 4 b、1 1 4 c、1 1 4 d にも、同様に、2 枚の送信パネル 2 と、10 枚の受信パネル 4 が貼り付けられている。

【0 1 2 2】

図 2 1 の例によれば、通路の歩行中に対象者 1 0 0 に放射された電波の様々な方向への反射波が多数の受信パネル 4 により受信される。このため、対象者 1 0 0 の全体が検査さ

10

20

30

40

50

れる。

【 0 1 2 3 】

送信アンテナと受信アンテナは互換性があるので、図 2 1 の例とは逆に、各支持板 1 1 4 a - 1 1 4 d に複数枚の送信パネル 2 と、少なくとも 1 枚の受信パネル 4 が貼り付けられてもよい。

【 0 1 2 4 】

図 2 2 は、実施形態に係るレーダ装置 1 の動作を説明するフローチャートである。図 2 2 では、レーダ装置 1 は、図 1 3 乃至図 1 6 に示すように、1 枚の送信パネル 2 a と 3 枚の受信パネル 4 a、4 b、4 c を含むとする。

【 0 1 2 5 】

S 1 0 2 で、送信回路 6 a は送信パネル 2 a へ送信信号を送信し、電波を放射させる。送信回路 6 a は、コントローラ 1 4 からの制御により、電波で対象者を走査するように、ビームフォーミングする。

【 0 1 2 6 】

S 1 0 4 で、受信回路 8 a、8 b、8 c は受信パネル 4 a、4 b、4 c からの信号を夫々受信処理し、受信パネル 4 a、4 b、4 c の受信信号を画像生成回路 1 0 へ送信する。受信回路 8 a、8 b、8 c は、コントローラ 1 4 からの制御により、受信パネル 4 a、4 b、4 c が図 1 3、図 1 5 の第 1 領域 1 0 0 a、第 2 領域 1 0 0 b、第 3 領域 1 0 0 c 又は図 1 4、図 1 6 の第 1 領域 1 0 2 a、第 2 領域 1 0 2 b、第 3 領域 1 0 2 の反射波を受信するようにビームフォーミングする。

【 0 1 2 7 】

S 1 0 6 で、画像生成回路 1 0 は受信パネル 4 a、4 b、4 c の受信信号に基づいて第 1 領域に関する第 1 画像（部分画像）、第 2 領域に関する第 2 画像（部分画像）、第 3 領域に関する第 3 画像（部分画像）を生成する。

【 0 1 2 8 】

S 1 0 8 で、画像処理回路 1 2 は第 1 画像、第 2 画像、第 3 画像が重複領域を含むか否かを判定する。画像処理回路 1 2 は、コントローラ 1 4 が受信回路 8 a、8 b、8 c に対してどのようにビームフォーミングを制御したかに基づき、第 1 画像、第 2 画像、第 3 画像が重複領域を含むか否かを判定することができる。

【 0 1 2 9 】

第 1 画像、第 2 画像、第 3 画像が重複領域を含まない場合（S 1 0 8 の N O）、S 1 1 0 で、画像処理回路 1 2 は第 1 画像、第 2 画像、第 3 画像を加算して合成画像を生成する。

【 0 1 3 0 】

第 1 画像、第 2 画像、第 3 画像が重複領域を含む場合（S 1 0 8 の Y E S）、S 1 1 2 で、画像処理回路 1 2 は 2 つの重複領域の画素値を正規化する。S 1 1 4 で、画像処理回路 1 2 は重複領域については正規化後の 2 つの重複領域の画素値の最大値を使い、他の領域については第 1 画像、第 2 画像、第 3 画像の画素値を使い、合成画像を生成する。

【 0 1 3 1 】

S 1 1 6 で、表示装置 1 6 は画像処理回路 1 2 が生成した合成画像を表示する。

【 0 1 3 2 】

コントローラ 1 4 は、通信回路 1 8 を介して合成画像を外部機器へ送信してよい。外部機器が合成画像に危険物が含まれるか否かを判定し、判定結果を外部機器から判定結果をされてもよい。

【 0 1 3 3 】

図 2 3 乃至図 2 6 は、画像処理回路 1 2 の画像の合成例を説明する図である。

【 0 1 3 4 】

図 2 3 は、図 1 3 又は図 1 5 に示すように、対象者 1 0 0 が重複領域を含まない第 1 領域 1 0 0 a、第 2 領域 1 0 0 b、第 3 領域 1 0 0 c に分割されるように送信パネル 2 と受信パネル 4 が配置された場合の合成例を示す。画像生成回路 1 0 は、受信パネル 4 a の受信信号に基づいて、対象者に向かって左側の第 1 領域 1 0 0 c の第 1 画像 1 5 2 a を生成

10

20

30

40

50

する。画像生成回路 10 は、受信パネル 4 b の受信信号に基づいて、対象者の中央の第 2 領域 100 b の第 2 画像 152 b を生成する。画像生成回路 10 は、受信パネル 4 c の受信信号に基づいて、対象者に向かって右側の第 3 領域 100 a の第 3 画像 152 c を生成する。第 1 画像 152 a、第 2 画像 152 b、第 3 画像 152 c は重複する画像を含まないので、画像処理回路 12 が第 1 画像 152 a、第 2 画像 152 b、第 3 画像 152 c を単純に加算すると、対象物全体の画像 154 が得られる。

【0135】

図 24 は、図 13 又は図 15 に示すように、対象者 100 が重複領域を含まない第 1 領域、第 2 領域に分割されるように送信パネル 2 と受信パネル 4 が配置された場合の合成例を示す。画像生成回路 10 は、受信パネル 4 a の受信信号に基づいて、対象者に向かって左側の第 1 領域の第 1 画像 156 a を生成する。受信パネル 4 b は対象者 100 からの反射を受信せず、画像生成回路 10 は、受信パネル 4 b の受信信号に基づいて、画素値が 0 である第 2 画像を生成する。画像生成回路 10 は、受信パネル 4 c の受信信号に基づいて、対象者に向かって右側の第 2 領域の第 3 画像 156 b を生成する。第 1 画像 156 a、第 3 画像 156 b は重複する画像を含まないので、画像処理回路 12 が第 1 画像 156 a、第 2 画像、第 3 画像 156 b を単純に加算すると、対象物全体の画像 158 が得られる。

【0136】

図 25 及び図 26 は、図 14 又は図 16 に示すように、対象者 100 が重複領域を含む第 1 領域 102 a、第 2 領域 102 b、第 3 領域 102 c に分割されるように送信パネル 2 と受信パネル 4 が配置された場合の合成例を示す。図 25 に示すように、画像生成回路 10 は、受信パネル 4 a の受信信号に基づいて、対象者に向かって左側の第 1 領域の第 1 画像 162 a を生成する。画像生成回路 10 は、受信パネル 4 b の受信信号に基づいて、対象者の中央の第 2 領域の第 2 画像 162 b を生成する。画像生成回路 10 は、受信パネル 4 c の受信信号に基づいて、対象者に向かって右側の第 3 領域の第 3 画像 162 c を生成する。

【0137】

第 1 領域 102 a と第 2 領域 102 b は重複する領域を含む。そのため、図 26 に示すように、第 1 領域の第 1 画像 162 a は第 2 領域と重複する領域の重複画像 164 a を含む。第 2 領域の第 2 画像 162 b は第 1 領域と重複する領域の重複画像 164 b を含む。

【0138】

重複画像 164 a の画素値と重複画像 164 b の画素値は本来同じ値であるが、実際には受信パネル 4 a、4 b で受信した反射波の強度のレベルが異なるので、異なる値であることがある。この場合、合成の際、どちらの重複画像を選ぶかにより、重複領域で画素値が不連続になってしまう。

【0139】

画像処理回路 12 は、受信パネル 4 a の第 1 画像 162 a と受信パネル 4 b の第 2 画像 162 b のいずれか一方を他方に応じて補正（正規化とも称される）する。画像処理回路 12 は、重複画像 164 a の画素値の平均値  $A_a$  と重複画像 164 b の画素値の平均値  $A_b$  を求める。受信パネル 4 b の第 2 画像 162 b を補正する場合、画像処理回路 12 は、第 2 画像 162 b（重複領域と非重複領域とも）の画素値に  $(A_a / A_b)$  を乗算する。これにより、第 2 画像 162 b の重複画像 164 b の画素値の平均値は  $A_a$ （第 1 画像 162 a の重複画像 164 a の画素値の平均値）となる。このため、合成の際、どちらの重複画像 164 a、164 b を選んでも、重複領域で画素値が不連続になってしまうことが防止される。受信パネル 4 a の第 1 画像 162 a を補正する場合、画像処理回路 12 は、第 1 画像 162 a（重複領域と非重複領域とも）の画素値に  $(A_b / A_a)$  を乗算する。これにより、第 1 画像 162 a の重複画像 164 a の画素値の平均値は  $A_b$ （第 2 画像 162 b の重複画像 164 b の画素値の平均値）となる。このため、合成の際、どちらの重複画像 164 a、164 b を選んでも、重複領域で画素値が不連続になってしまうことが防止される。

【0140】

画像処理回路 12 は、第 1 画像 162 a の重複画像 164 a と第 2 画像 162 b の重複画像 164 b のいずれか一方を上記のように補正し、補正後の重複画像 164 a、164 b の画素値の大きい方を選択する回路 165 を備える。画像処理回路 12 は、重複領域以外の第 1 領域、第 2 領域及び第 3 領域については、第 1 画像 162 a、第 2 画像 162 b、第 3 画像 162 c を使い、重複領域については補正後の 2 つの重複画像 164 a、164 b の画素値の中の大きい方 166 を使い、合成画像 168 を生成する。なお、重複領域について補正後の重複画像の画素値の大きい方を選択する代わりに、補正後の 2 つの重複画像の画素値の平均値を用いてもよい。

【0141】

以上のように、実施形態に係るレーダ装置 1 によれば、少なくとも 1 つの送信パネルと複数の受信パネル、又は複数の送信パネルと少なくとも 1 つの送信パネルとを、互いに離間した位置に配置することにより、対象者 100 の多数の方向への反射波を受信することができる。送信パネルにおける複数のアンテナどうしの間隔と受信パネルにおける複数のアンテナどうしの間隔を、一定間隔の  $m$  倍、 $n$  倍 ( $m$  と  $n$  は互いに素) とすることで、アレイアンテナを構成するアンテナ数を減少しつつ、レーダ装置 1 の分解能を向上させることができる。

【0142】

なお、本発明は上記実施形態そのままに限定されるものではなく、実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で構成要素を変形して具体化できる。また、上記実施形態に開示されている複数の構成要素の適宜な組み合わせにより、種々の発明を形成できる。例えば、実施形態に示される全構成要素から幾つかの構成要素を削除してもよい。さらに、異なる実施形態にわたる構成要素を適宜組み合わせてもよい。

【符号の説明】

【0143】

1 ... レーダ装置、2 ... 送信パネル、4 ... 受信パネル、6 ... 送信回路、8 ... 受信回路、10 ... 画像生成回路、12 ... 画像処理回路、14 ... コントローラ、16 ... 表示装置、18 ... 通信回路、100 ... 対象者

10

20

30

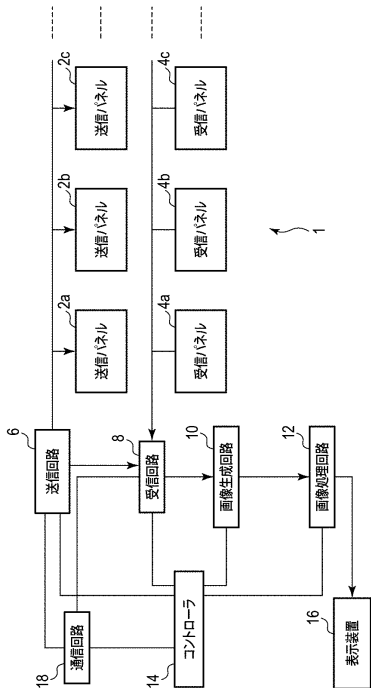
40

50

【図面】

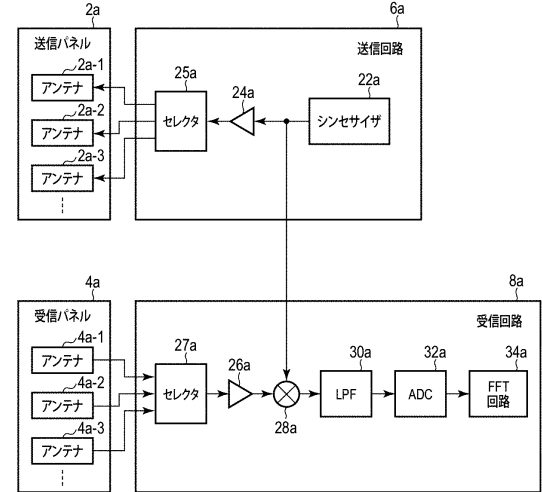
【図 1】

図 1



【図 2】

図 2

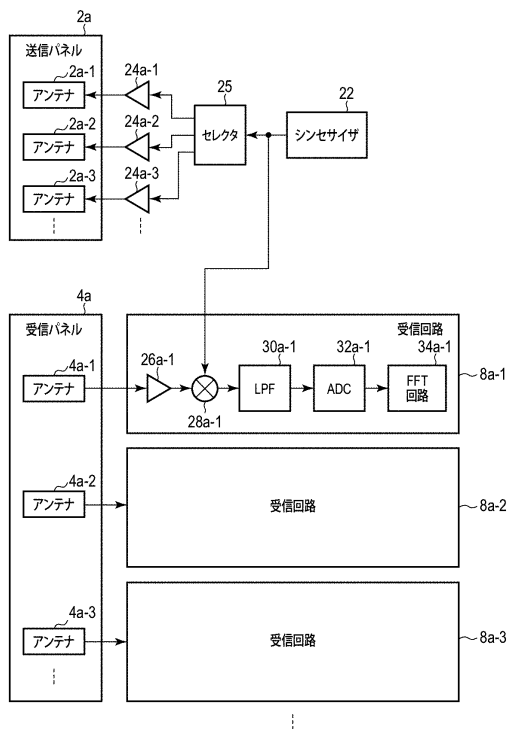


10

20

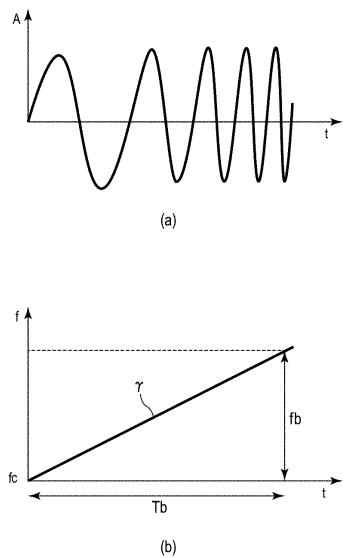
【図 3】

図 3



【図 4】

図 4



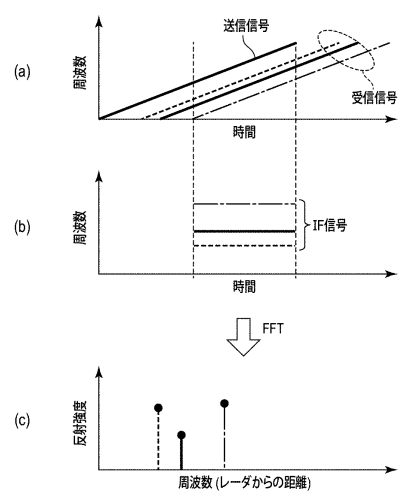
30

40

50

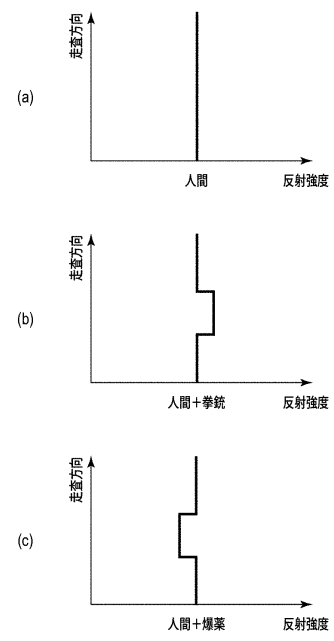
【図 5】

図 5



【図 6】

図 6

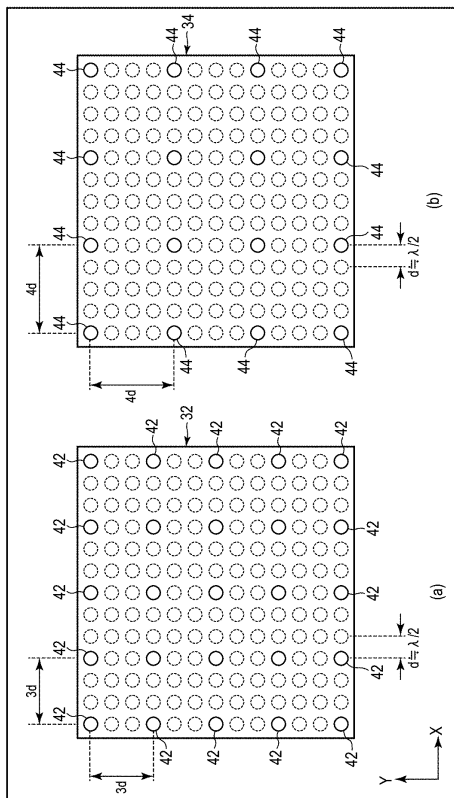


10

20

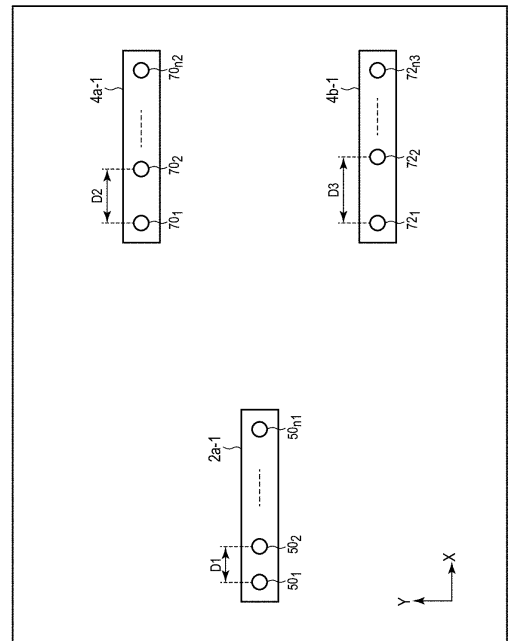
【図 7】

図 7



【図 8】

図 8



30

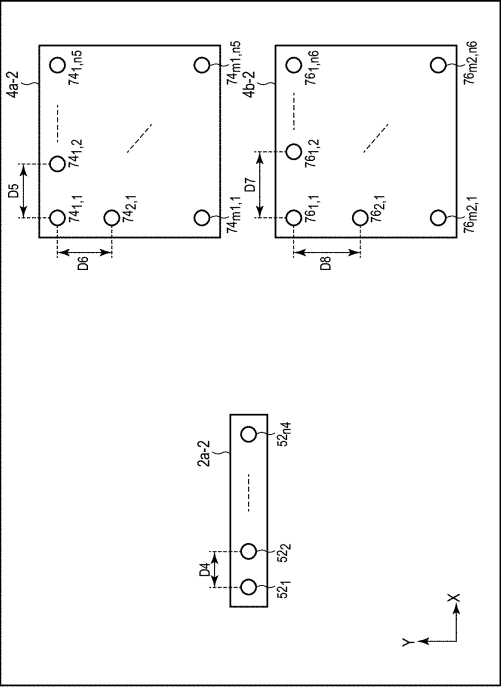
40

50



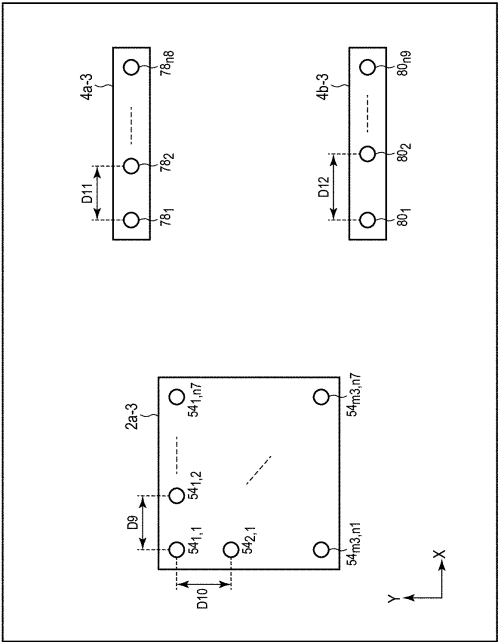
【 図 9 】

図 9



【 図 10 】

図 10

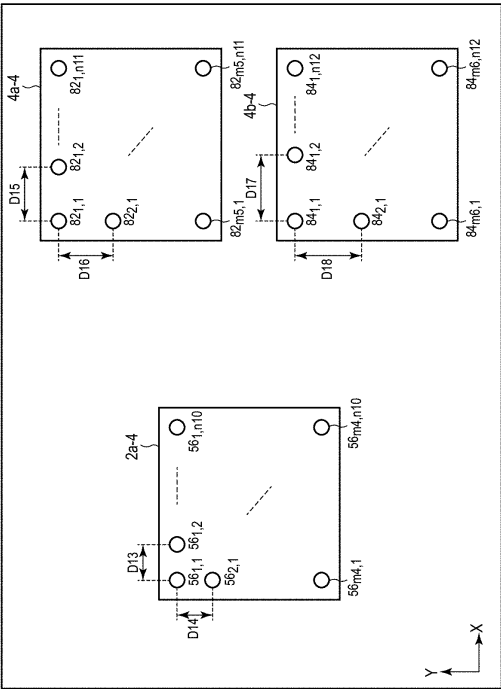


10

20

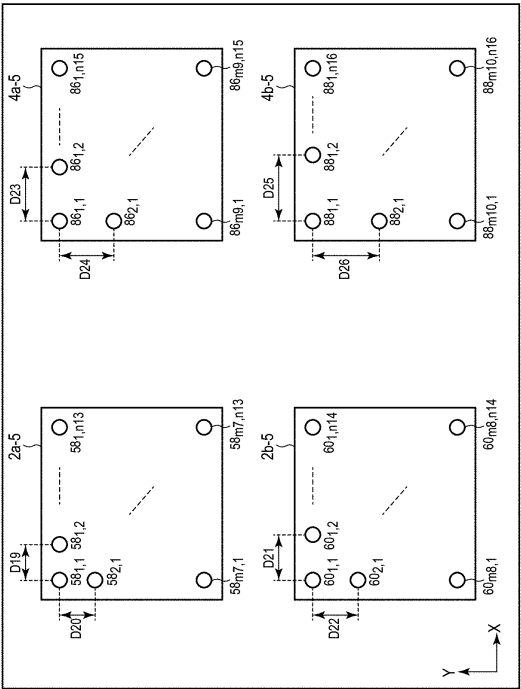
【 図 11 】

図 11



【 図 12 】

図 12



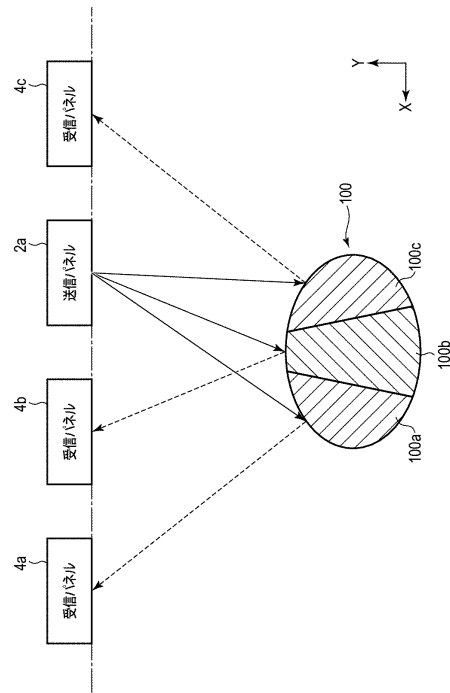
30

40

50

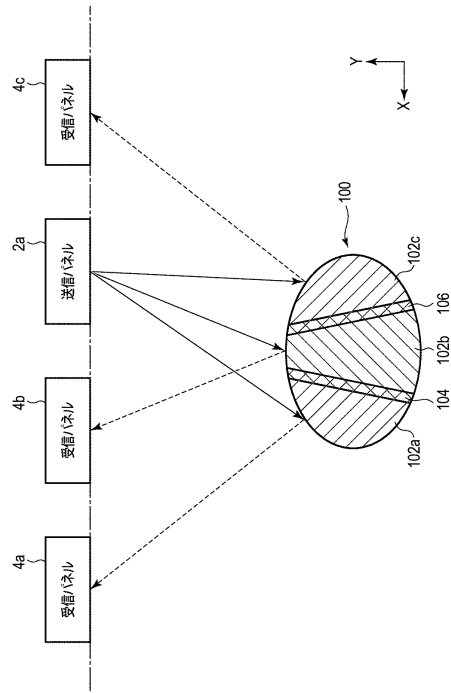
【図 1 3】

図 13



【図 1 4】

図 14

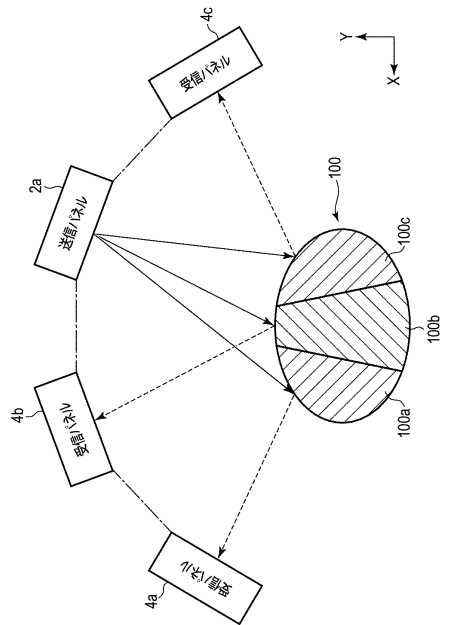


10

20

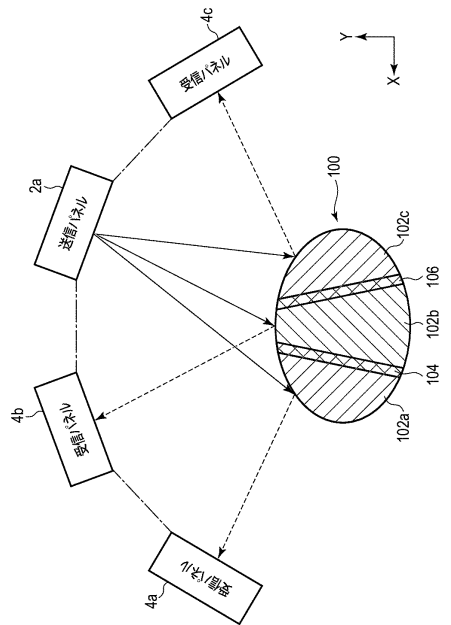
【図 1 5】

図 15



【図 1 6】

図 16



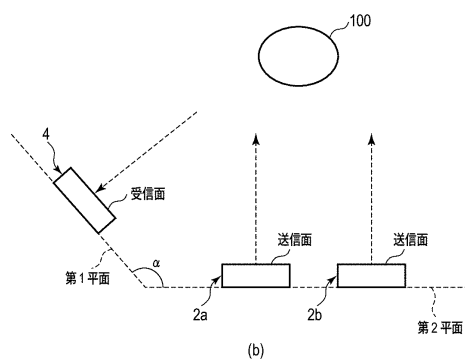
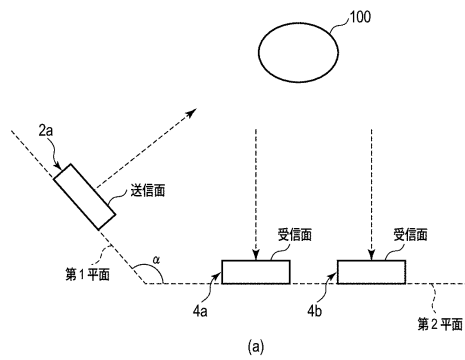
30

40

50

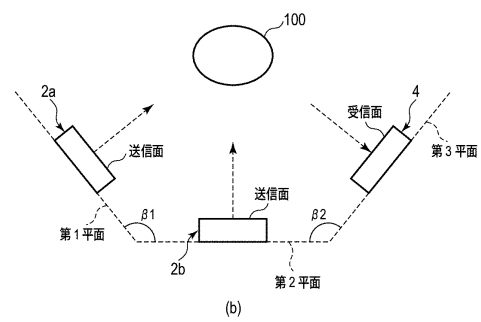
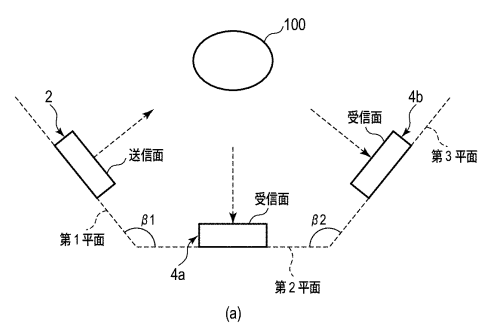
【図 1 7】

図 17



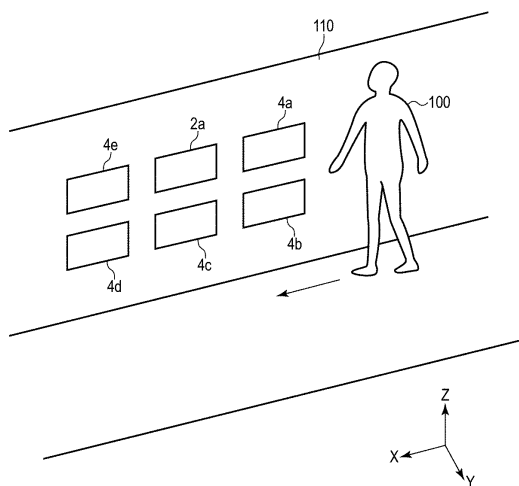
【図 1 8】

図 18



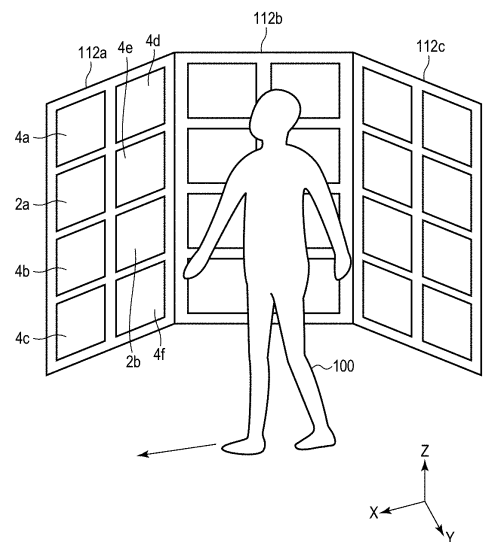
【図 1 9】

図 19



【図 2 0】

図 20



10

20

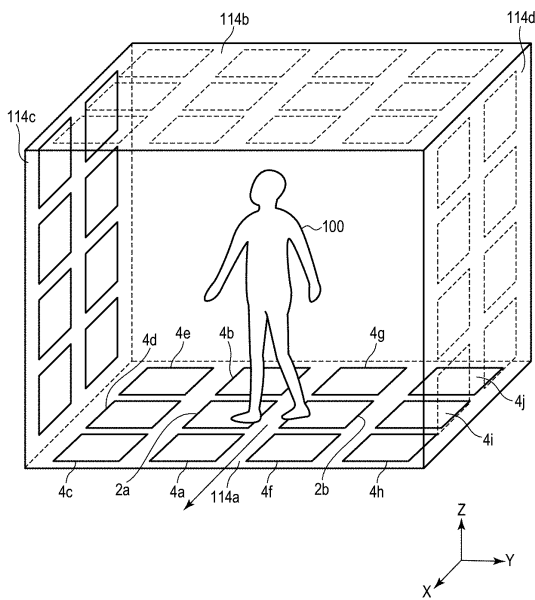
30

40

50

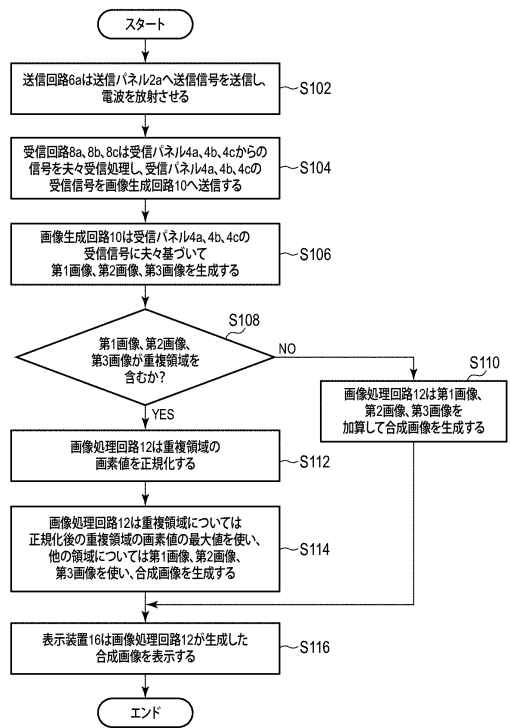
【図 2 1】

図 21



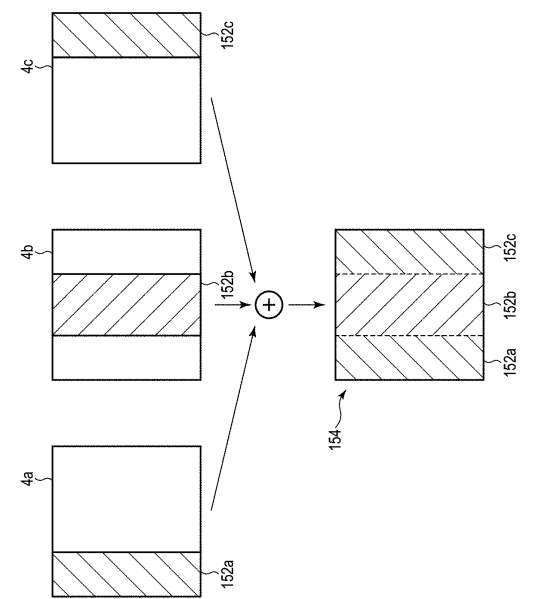
【図 2 2】

図 22



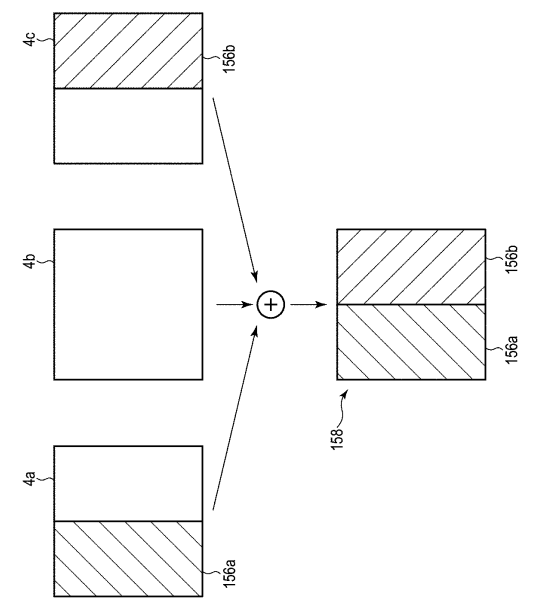
【図 2 3】

図 23



【図 2 4】

図 24



10

20

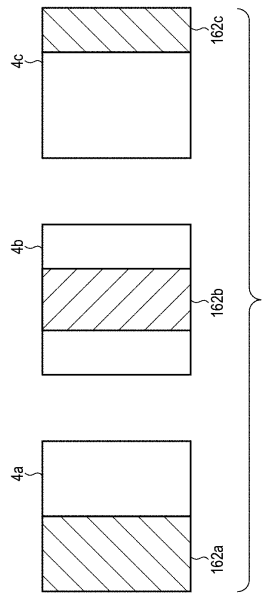
30

40

50

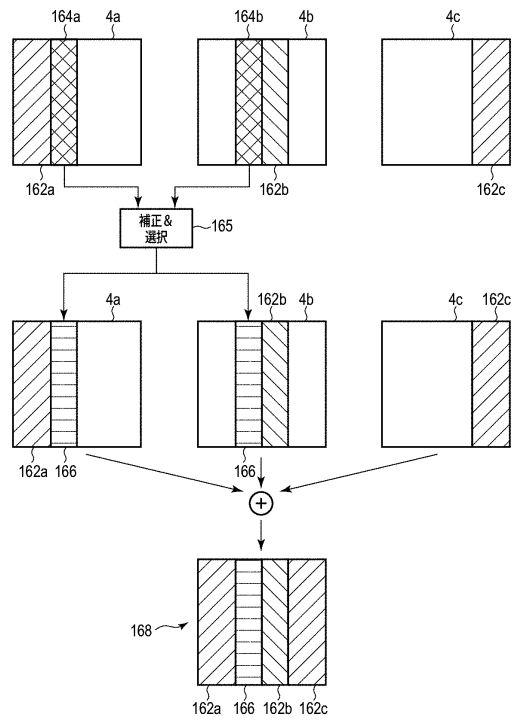
【 2 5 】

図 25



【 2 6 】

図 26



10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 2 0 - 2 0 4 5 1 3 ( J P , A )  
米国特許出願公開第 2 0 1 5 / 0 2 8 7 2 3 5 ( U S , A 1 )  
米国特許出願公開第 2 0 1 7 / 0 3 2 4 1 6 2 ( U S , A 1 )  
国際公開第 2 0 2 1 / 0 1 4 5 3 6 ( W O , A 1 )  
米国特許出願公開第 2 0 1 9 / 0 2 4 2 9 9 0 ( U S , A 1 )  
特開 2 0 1 5 - 2 0 4 5 7 6 ( J P , A )  
米国特許出願公開第 2 0 1 9 / 0 0 8 9 4 6 0 ( U S , A 1 )  
特開 2 0 2 0 - 0 8 5 4 6 1 ( J P , A )
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)  
G 0 1 S 7 / 0 0 - 1 7 / 9 5  
G 0 1 N 2 2 / 0 0 - 2 2 / 0 4