

(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
2020年9月24日(24.09.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/189116 A1

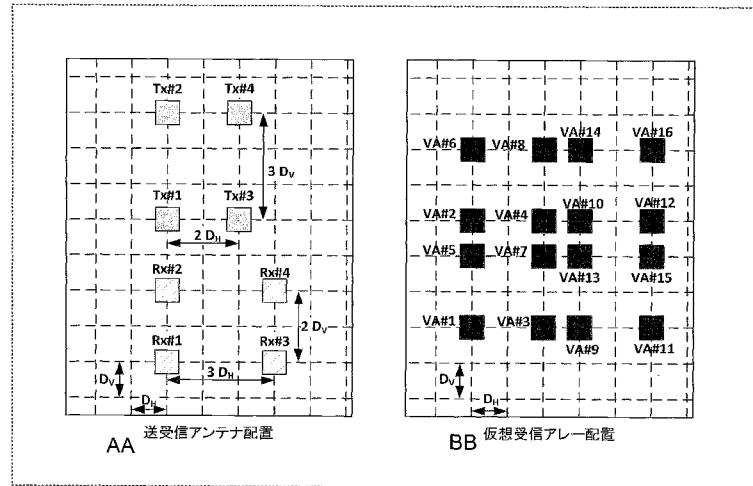
- (51) 国際特許分類:
H01Q 21/06 (2006.01) *G01S 7/03* (2006.01)
G01S 7/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/005749
- (22) 国際出願日: 2020年2月14日(14.02.2020)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2019-053751 2019年3月20日(20.03.2019) JP
- (71) 出願人: パナソニック IP マネジメント株式会社 (PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5406207

大阪府大阪市中心区城見2丁目1番61号 Osaka (JP).

- (72) 発明者: 岸上 高明 (KISHIGAMI, Takaaki).
岩佐 健太 (IWASA, Kenta). 四方 英邦 (YOMO, Hidekuni).
- (74) 代理人: 特許業務法人鷺田国際特許事務所 (WASHIDA & ASSOCIATES); 〒1600023 東京都新宿区西新宿1-23-7 新宿ファーストウェスト8階 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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,

(54) Title: RADAR DEVICE

(54) 発明の名称: レーダ装置



AA Transmission and reception antenna arrangement
BB Virtual reception array arrangement

(57) **Abstract:** A transmission array antenna is constituted of a plurality of transmission antenna groups. Each of the plurality of transmission antenna groups includes a plurality of transmission antennas that are disposed at second intervals each of which is an interval of an integral multiple of a first interval in a first direction, and are disposed at fourth intervals each of which is an interval of an integral multiple of a third interval in a second direction orthogonal to the first direction. A reception array antenna is constituted of a plurality of reception antenna groups. Each of the plurality of reception

HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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)）

antenna groups includes a plurality of reception antennas that are disposed at fifth intervals each of which is an interval of an integral multiple of the first interval in the first direction, and are disposed at sixth intervals each of which is an interval of an integral multiple of the third interval in the second direction. The difference between the second interval and the fifth interval is the first interval, and the difference between the fourth interval and the sixth interval is the third interval.

(57) 要約：送信アレーアンテナは、複数の送信アンテナ群から構成され、複数の送信アンテナ群の各々は、第1の方向に第1の間隔の整数倍の間隔である第2の間隔で配置される複数の送信アンテナを含み、第1の方向と直交する第2の方向において第3の間隔の整数倍の間隔である第4の間隔で配置され、受信アレーアンテナは、複数の受信アンテナ群から構成され、複数の受信アンテナ群の各々は、第1の方向に第1の間隔の整数倍の間隔である第5の間隔で配置される複数の受信アンテナを含み、第2の方向において第3の間隔の整数倍の間隔である第6の間隔で配置され、第2の間隔と第5の間隔との差は第1の間隔であり、第4の間隔と第6の間隔との差は第3の間隔である。

明 細 書

発明の名称：レーダ装置

技術分野

[0001] 本開示は、レーダ装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、高分解能が得られるマイクロ波又はミリ波を含む波長の短いレーダ送信信号を用いたレーダ装置の検討が進められている。また、屋外での安全性を向上させるために、車両以外にも、歩行者を含む物体（ターゲット）をより広角な範囲で検知するレーダ装置（以下、「広角レーダ装置」と呼ぶ）の開発が求められている。

[0003] 例えば、レーダ装置として、パルス波を繰り返し発信するパルスレーダ装置が知られている。より広角な範囲において車両／歩行者を検知する広角パルスレーダ装置の受信信号は、近距離に存在するターゲット（例えば車両）と、遠距離に存在するターゲット（例えば歩行者）とからの複数の反射波が混合された信号になりやすい。このため、（１）レーダ送信部では、低いレンジサイドローブとなる自己相関特性（以下、低レンジサイドローブ特性と呼ぶ）を有するパルス波又はパルス変調波を送信する構成が要求され、（２）レーダ受信部では、広い受信ダイナミックレンジを有する構成が要求される。

[0004] 広角レーダ装置の構成として、以下の２つの構成が挙げられる。

[0005] 一つ目は、パルス波又は変調波を、レーダ装置で想定する検知角と比較して狭角（例えば、数度程度のビーム幅）の指向性ビームを用いて、機械的又は電子的に走査してレーダ波を送信し、狭角の指向性ビームを用いて反射波を受信する構成である。この構成では、高分解能を得るためには多くの走査が必要となるので、高速移動するターゲットに対する追従性が劣化する。

[0006] 二つ目は、複数のアンテナ（アンテナ素子）で構成されるアレーアンテナによって反射波を受信し、素子間隔（アンテナ間隔）に対する受信位相差に

基づく信号処理アルゴリズムによって反射波の到来角を推定する手法 (Direction of Arrival (DOA) estimation) を用いる構成である。この構成では、送信ビームの走査角度間隔を間引いたとしても、受信ブランチにおいて到来角を推定できるので、走査時間の短縮化が図れ、1つ目の構成と比較して追従性が向上する。例えば、到来方向推定方法には、行列演算に基づくフーリエ変換、逆行列演算に基づくCapon法及びLP (Linear Prediction) 法、又は、固有値演算に基づくMUSIC (Multiple Signal Classification) 及びESPRIT (Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques) が挙げられる。

[0007] また、レーダ装置として、受信ブランチに加え、送信ブランチにも複数のアンテナ (アレーアンテナ) を備え、送受信アレーアンテナを用いた信号処理によりビーム走査を行う構成 (MIMO (Multiple Input Multiple Output) レーダと呼ぶこともある) が提案されている (例えば、非特許文献1を参照)。

[0008] MIMOレーダでは、送受信アレーアンテナにおけるアンテナ素子の配置を工夫することにより、最大で送信アンテナ素子数と受信アンテナ素子数との積に等しい仮想的な受信アレーアンテナ (以下、仮想受信アレーと呼ぶ) を構成できる。これにより、少ない素子数によってアレーアンテナの実効的な開口長を増大させる効果が得られ、角度分解能を向上できる。

[0009] また、垂直方向又は水平方向の一次元走査 (測角) 以外にも、垂直方向及び水平方向の2次元におけるビーム走査を行う場合にもMIMOレーダが適用可能である (例えば、非特許文献2を参照)。

先行技術文献

非特許文献

[0010] 非特許文献1: J. Li, P. Stoica, "MIMO Radar with Colocated Antennas," Signal Processing Magazine, IEEE Vol. 24, Issue: 5, pp. 106-114, 2007.

非特許文献2: P. P. Vaidyanathan, P. Pal, Chun-Yang Chen, "MIMO radar

with broadband waveforms: Smearing filter banks and 2D virtual arrays ,” IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, pp.188 - 192, 2008.

非特許文献3: J. Wenger, “Automotive mm-wave radar: status and trends in system design and technology,” IEE Colloquium on Automotive Radar and Navigation Techniques (Ref. No. 1998/230), pp. 144-147, 1998.

非特許文献4: M.Harte, T. Mahler, T. Schipper, A. Ziroff, and T. Zwick , “2-D antenna array geometries for MIMO radar imaging by digital beamforming,” 2013 European Microwave Conference, pp. 1695 - 1698, 2013.

発明の概要

- [0011] しかしながら、MIMOレーダにおける送受信ブランチのアンテナ配置によっては、レーダ装置の検出性能が劣化する場合がある。
- [0012] 本開示の非限定的な実施例は、検出性能を向上できるレーダ装置の提供に資する。
- [0013] 本開示の一実施例に係るレーダ装置は、送信アレーアンテナを用いて、レーダ信号を送信するレーダ送信回路と、受信アレーアンテナを用いて、前記レーダ信号がターゲットにおいて反射された反射波信号を受信するレーダ受信回路と、を具備し、前記送信アレーアンテナは、複数の送信アンテナ群から構成され、前記複数の送信アンテナ群の各々は、第1の方向に第1の間隔の整数倍の間隔である第2の間隔で配置される複数の送信アンテナを含み、前記第1の方向と直交する第2の方向において第3の間隔の整数倍の間隔である第4の間隔で配置され、前記受信アレーアンテナは、複数の受信アンテナ群から構成され、前記複数の受信アンテナ群の各々は、前記第1の方向に前記第1の間隔の整数倍の間隔である第5の間隔で配置される複数の受信アンテナを含み、前記第2の方向において前記第3の間隔の整数倍の間隔である第6の間隔で配置され、前記第2の間隔と前記第5の間隔との差は前記第1の間隔であり、前記第4の間隔と前記第6の間隔との差は前記第3の間隔

である。

[0014] なお、これらの包括的または具体的な実施例は、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラム、または、記録媒体で実現されてもよく、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラムおよび記録媒体の任意な組み合わせで実現されてもよい。

[0015] 本開示の一実施例によれば、レーダ装置の検出性能を向上できる。

[0016] 本開示の一実施例における更なる利点および効果は、明細書および図面から明らかにされる。かかる利点および／または効果は、いくつかの実施形態並びに明細書および図面に記載された特徴によってそれぞれ提供されるが、1つまたはそれ以上の同一の特徴を得るために必ずしも全てが提供される必要はない。

図面の簡単な説明

[0017] [図1A]送受信アンテナの配置例を示す図

[図1B]仮想受信アレーの配置例を示す図

[図2A]仮想受信アレー ($d_v=0.5\lambda$) による指向性パターンを示す図

[図2B]仮想受信アレー ($d_v=0.5\lambda$) による指向性パターンを示す図

[図3A]仮想受信アレー ($d_v=\lambda$) による指向性パターンを示す図

[図3B]仮想受信アレー ($d_v=2\lambda$) による指向性パターンを示す図

[図4]レーダ装置の構成を示すブロック図

[図5]レーダ送信信号の一例を示す図

[図6]レーダ送信信号生成部の他の構成を示すブロック図

[図7]レーダ送信信号の送信タイミング、及び、測定範囲の一例を示す図

[図8]基本配置1に係るアンテナ配置例を示す図

[図9A]サブアレー構成の一例を示す図

[図9B]サブアレー構成の一例を示す図

[図9C]サブアレー構成の一例を示す図

[図10]サブアレーを用いた送信アレーアンテナの構成例を示す図

[図11A]基本配置1に係る送受信アンテナ配置を用いた方向推定結果の一例を

示す図

[図11B]図1Aの送受信アンテナ配置を用いた方向推定結果の一例を示す図

[図12]基本配置1の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図13]基本配置1の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図14]基本配置1の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図15]基本配置1の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図16]基本配置1の変形例2に係るアンテナ配置例を示す図

[図17]基本配置1の変形例2に係るアンテナ配置例を示す図

[図18]基本配置1の変形例2に係るアンテナ配置例を示す図

[図19]基本配置1の変形例2に係るアンテナ配置例を示す図

[図20]基本配置1の変形例2に係るアンテナ配置例を示す図

[図21]基本配置1の変形例3に係るアンテナ配置例を示す図

[図22]基本配置1の変形例3に係るアンテナ配置例を示す図

[図23]基本配置1の変形例3に係るアンテナ配置例を示す図

[図24]基本配置1の変形例3に係るアンテナ配置例を示す図

[図25A]基本配置1の変形例3に係るサブアレーの構成例を示す図

[図25B]基本配置1の変形例3に係るサブアレーを用いた送信アレーアンテナの構成例を示す図

[図25C]基本配置1の変形例3に係るサブアレーを用いた送信アレーアンテナの構成例を示す図

[図26]基本配置1の変形例3及び変形例1を組み合わせたアンテナ配置例を示す図

[図27]基本配置1の変形例3及び変形例1を組み合わせたアンテナ配置例を示す図

[図28]基本配置1の変形例3及び変形例1を組み合わせたアンテナ配置例を示す図

[図29]基本配置1の変形例3及び変形例1を組み合わせたアンテナ配置例を示す図

[図30]基本配置1の変形例3及び変形例1を組み合わせたアンテナ配置例を示す図

[図31]基本配置1の変形例3及び変形例2を組み合わせたアンテナ配置例を示す図

[図32]基本配置1の変形例3及び変形例2を組み合わせたアンテナ配置例を示す図

[図33]基本配置1の変形例3及び変形例2を組み合わせたアンテナ配置例を示す図

[図34]基本配置2に係るアンテナ配置例を示す図

[図35]基本配置2に係るサブアレーの構成例を示す図

[図36]基本配置2の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図37]基本配置2の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図38]基本配置2の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図39]基本配置2の変形例2に係るアンテナ配置例を示す図

[図40]基本配置2の変形例2に係るアンテナ配置例を示す図

[図41]基本配置2の変形例2に係るアンテナ配置例を示す図

[図42]基本配置2の変形例2に係るアンテナ配置例を示す図

[図43]基本配置2の変形例2に係るアンテナ配置例を示す図

[図44]基本配置2の変形例3に係るアンテナ配置例を示す図

[図45]基本配置2の変形例3に係るアンテナ配置例を示す図

[図46]基本配置2の変形例3に係るアンテナ配置例を示す図

[図47]基本配置2の変形例3に係るアンテナ配置例を示す図

[図48]基本配置2の変形例3及び変形例2を組み合わせたアンテナ配置例を示す図

[図49]基本配置2の変形例3及び変形例2を組み合わせたアンテナ配置例を示す図

[図50A]基本配置2の変形例3及び変形例2を組み合わせたアンテナ配置例を示す図

[図50B]基本配置2の変形例3及び変形例2を組み合わせたアンテナ配置例を示す図

[図51A]基本配置2の変形例3及び変形例2を組み合わせたアンテナ配置例を示す図

[図51B]基本配置2の変形例3及び変形例2を組み合わせたアンテナ配置例を示す図

[図52A]基本配置3に係るアンテナ配置例を示す図

[図52B]基本配置3に係るアンテナ配置例を示す図

[図52C]基本配置3に係るアンテナ配置例を示す図

[図52D]基本配置3に係るアンテナ配置例を示す図

[図53A]基本配置3に係るアンテナ配置例を示す図

[図53B]基本配置3に係るアンテナ配置例を示す図

[図53C]基本配置3に係るアンテナ配置例を示す図

[図53D]基本配置3に係るアンテナ配置例を示す図

[図54A]基本配置3に係るアンテナ配置例を示す図

[図54B]基本配置3に係るアンテナ配置例を示す図

[図54C]基本配置3に係るアンテナ配置例を示す図

[図54D]基本配置3に係るアンテナ配置例を示す図

[図55A]基本配置3に係るアンテナ配置例を示す図

[図55B]基本配置3に係るアンテナ配置例を示す図

[図55C]基本配置3に係るアンテナ配置例を示す図

[図55D]基本配置3に係るアンテナ配置例を示す図

[図56A]基本配置3に係るサブアレーを用いた送信アレーアンテナの構成例を示す図

[図56B]基本配置3に係るサブアレーを用いた送信アレーアンテナの構成例を示す図

[図57]基本配置3に係る送受信アンテナ配置を用いた方向推定結果の一例を示す図

[図58]基本配置3の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図59]基本配置3の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図60]基本配置3の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図61]基本配置3の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図62]基本配置3の変形例1に係る送受信アンテナ配置を用いた方向推定結果の一例を示す図

[図63]基本配置3の変形例2に係るアンテナ配置例を示す図

[図64]基本配置3の変形例2に係るアンテナ配置例を示す図

[図65]基本配置3の変形例2に係るアンテナ配置例を示す図

[図66]基本配置3の変形例2に係るアンテナ配置例を示す図

[図67]基本配置3の変形例2に係るアンテナ配置例を示す図

[図68A]基本配置3の変形例2に係るアンテナ配置例を示す図

[図68B]基本配置3の変形例2に係るアンテナ配置例を示す図

[図69]基本配置4に係るアンテナ配置例を示す図

[図70A]基本配置4に係るサブアレーを用いた送信アレーアンテナの構成例を示す図

[図70B]基本配置4に係るサブアレーを用いた送信アレーアンテナの構成例を示す図

[図71]基本配置4に係る送受信アンテナ配置を用いた方向推定結果の一例を示す図

[図72]基本配置4の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図73]基本配置4の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図74]基本配置4の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図75]基本配置4の変形例1に係る送受信アンテナ配置を用いた方向推定結果の一例を示す図

[図76]基本配置4の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図77]基本配置4の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図78]基本配置4の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図79]基本配置4の変形例1に係る送受信アンテナ配置を用いた方向推定結果の一例

[図80]基本配置4の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図81]基本配置4の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図82]基本配置4の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図83]基本配置4の変形例2に係るアンテナ配置例を示す図

[図84]基本配置4の変形例2に係るアンテナ配置例を示す図

[図85]基本配置4の変形例2に係るアンテナ配置例を示す図

[図86]基本配置4の変形例2に係るアンテナ配置例を示す図

[図87]基本配置4の変形例2に係るアンテナ配置例を示す図

[図88A]基本配置4の変形例2に係るアンテナ配置例を示す図

[図88B]基本配置4の変形例2に係るアンテナ配置例を示す図

[図89]基本配置5に係るアンテナ配置例を示す図

[図90A]基本配置5に係るアンテナ配置例を示す図

[図90B]基本配置5に係るアンテナ配置例を示す図

[図91A]基本配置5に係るアンテナ配置例を示す図

[図91B]基本配置5に係るアンテナ配置例を示す図

[図92A]基本配置5に係るアンテナ配置例を示す図

[図92B]基本配置5に係るアンテナ配置例を示す図

[図92C]基本配置5に係るアンテナ配置例を示す図

[図92D]基本配置5に係るアンテナ配置例を示す図

[図93A]基本配置5に係るサブアレーを用いた送信アレーアンテナの構成例を示す図

[図93B]基本配置5に係るサブアレーを用いた送信アレーアンテナの構成例を示す図

[図94]基本配置5に係る送受信アンテナ配置を用いた方向推定結果の一例を示す図

[図95]基本配置5の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図96]基本配置5の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図97]基本配置5の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図98]基本配置5の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図99]基本配置5の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図100A]基本配置5の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図100B]基本配置5の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図101]基本配置5の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図102]基本配置5の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図103]基本配置5の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図104]基本配置5の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図105]基本配置5の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図106A]基本配置5の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図106B]基本配置5の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図107]基本配置5の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図108]基本配置5の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図109]基本配置5の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図110]基本配置5の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図111]基本配置5の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図112A]基本配置5の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

[図112B]基本配置5の変形例1に係るアンテナ配置例を示す図

発明を実施するための形態

[0018] 上述したように、垂直方向又は水平方向の一次元走査（測角）以外にも、垂直方向及び水平方向の2次元におけるビーム走査を行う場合にも、仮想受信アレーを構成するMIMOレーダが適用可能である。

[0019] 一例として、図1Aは、垂直方向（図1Aでは縦方向）に配置された4個の送信アンテナ（Tx#1～Tx#4）を含む送信アレーアンテナ、及び、水平方向（図1Aでは横方向）に配置された4個の受信アンテナ（Rx#1～Rx#4）を含む受信アレーアンテナを示す。図1Aにおいて、送信アンテナは、垂直方向

に等間隔 (d_v) に配置され、受信アンテナは、水平方向に等間隔 (d_H) に配置されている (例えば、非特許文献 4 を参照)。

[0020] 図 1 B は、図 1 A に示すアンテナ配置の送受信アレーアンテナを含む仮想受信アレーを示す。図 1 B に示す仮想受信アレーは、水平方向に 4 アンテナ及び垂直方向に 4 アンテナが矩形状に配置された 16 素子の仮想受信アンテナ (VA#1~VA#16) から構成される。図 1 B では、仮想受信アレーの水平方向及び垂直方向の素子間隔は、それぞれ、 d_H 、 d_v となる。すなわち、仮想受信アレーの水平方向及び垂直方向の開口長 D_H 、 D_v は、それぞれ、 $3 d_H$ 、 $3 d_v$ となる。

[0021] 図 2 A 及び図 2 B は、図 1 A 及び図 1 B に示した MIMO レーダのアンテナ配置において、水平方向の素子間隔 $d_H=0.5\lambda$ とし、垂直方向の素子間隔 $d_v=0.5\lambda$ とした場合の水平 0° 及び垂直 0° 方向に向けたフーリエビームパターンを示す。なお、 λ はレーダ搬送波の波長を示す。

[0022] 図 2 A 及び図 2 B に示すように、水平 0° 及び垂直 0° 方向にメインビーム (メインローブ) が形成される。ここで、メインビームのビーム幅が狭いほど、複数のターゲットに対する角度分離性能が向上する。例えば、図 2 A 及び図 2 B では、電力値が 3 dB のビーム幅は 13° 程度である。また、図 2 A 及び図 2 B に示すように、メインビームの周辺には、サイドローブが発生している。レーダ装置において、サイドローブは虚像として誤検出の要因となる。このため、サイドローブのピークレベルが低いほど、レーダ装置において虚像として誤検出される確率が低減される。図 2 A 及び図 2 B では、メインビームのピークレベルによって正規化したサイドローブのピークレベルに対する電力比 (ピークサイドローブレベル比 (PSLR : Peak Sidelobe Level Ratio)) は約 -13 dB となる。

[0023] レーダ装置において検出範囲を拡大するには、利得の高いアンテナを用いることが有効である。例えば、アンテナの指向性 (ビーム幅) を狭くすることにより、アンテナ利得を向上できる。アンテナの指向性は、例えば、アンテナの開口面を広げるほど、狭くなる。よって、アンテナの指向性を狭くす

るには、アンテナサイズが大きくなる。

[0024] 例えば、車両に搭載されるレーダ装置（例えば、車載レーダとも呼ぶ）等では、垂直方向の指向性を狭めるために、垂直方向に複数のアンテナ素子を並べて構成したサブアレーアンテナを用いる（例えば、非特許文献3を参照）。垂直方向の指向性を狭めることにより、垂直方向のアンテナ利得を向上でき、路面等の不要な方向の反射波を低減できる。

[0025] しかしながら、サブアレーアンテナを、送信アレーアンテナ又は受信アレーアンテナを構成するアンテナ素子に用いる場合、アレーアンテナの素子間隔は、サブアレーアンテナのサイズよりも狭い間隔には配置することは困難である。例えば、サブアレーアンテナを構成するアンテナ素子を垂直方向に配置する場合、サブアレーアンテナのサイズが1波長以上になり得る。よって、例えば、図1Aに示すMIMOレーダにおいて垂直方向にサブアレーアンテナを用いる場合には、垂直方向の素子間隔 d_v を1波長以上に広げることになる。

[0026] 図3A及び図3Bは、図1Aに示すMIMOレーダの送受信アンテナ配置において垂直方向の素子間隔 d_v を1波長（ λ ）以上とした場合に、水平 0° 及び垂直 0° 方向に向けたフーリエビームパターンの一例を示す。なお、図3A及び図3Bでは、垂直方向にサブアレー化したアンテナ素子単体の指向性は考慮していない。

[0027] また、図3Aでは、垂直方向の素子間隔 $d_v=\lambda$ 、水平方向の素子間隔 $d_h=0.5\lambda$ であり、図3Bでは、垂直方向の素子間隔 $d_v=2\lambda$ 、水平方向の素子間隔 $d_h=0.5\lambda$ である。

[0028] 図3A及び図3Bに示すように、水平 0° 及び垂直 0° 方向にメインビーム（メインローブ）が向き、例えば、図2A及び図2Bのサイドローブと比較して、メインビームの周辺の垂直方向に高いレベルのグレーティングローブが発生している。図3A及び図3Bでは、メインローブのピークレベルに対するグレーティングローブのピークレベルの比は0dBとなる。また、図3B（ $d_v=2\lambda$ ）では、図3A（ $d_v=\lambda$ ）と比較して、垂直方向に高いレベルの

グレーティングローブが発生する角度間隔が狭くなっている。すなわち、垂直方向の素子間隔 d_v が広がるほど、グレーティングローブが発生する角度間隔が狭まる性質が確認できる。

[0029] このように、レーダ装置は、垂直方向のアンテナサイズが大きくなるほど、垂直方向の素子間隔が広がるため、メインビームに比較的近い角度にグレーティングローブが発生しやすくなる。このため、レーダ装置で想定する検知角範囲が、グレーティングローブの発生する角度以上に広い場合には、レーダ装置は、検知角度範囲内において、グレーティングローブに起因する偽のピークを誤ってターゲット（物標）として検出する確率が増加し、レーダ装置の検出性能が劣化し得る。

[0030] 本開示に係る一実施例は、MIMOレーダを用いて垂直方向及び水平方向の2次元においてビーム走査を行う場合に、垂直方向又は水平方向のアンテナサイズ（又は素子サイズ）が1波長以上になる場合でも、グレーティングローブの発生を抑え、垂直又は水平方向の角度分解能の向上を可能とする。

[0031] 以下、本開示の一実施例に係る実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、実施の形態において、同一の構成要素には同一の符号を付し、その説明は重複するので省略する。

[0032] なお、以下では、レーダ装置において、送信ブランチにおいて、複数の送信アンテナから符号分割多重された異なる送信信号を送出し、受信ブランチにおいて、各送信信号を分離して受信処理を行う構成について説明する。しかし、レーダ装置の構成は、これに限定されず、送信ブランチにおいて、複数の送信アンテナから周波数分割多重された異なる送信信号を送出し、受信ブランチにおいて、各送信信号を分離して受信処理を行う構成でもよい。また、同様に、レーダ装置の構成は、送信ブランチで複数の送信アンテナから時分割多重された送信信号を送出し、受信ブランチで、受信処理を行う構成でもよい。

[0033] [実施の形態1]

[レーダ装置の構成]

図4は、本実施の形態に係るレーダ装置10の構成を示すブロック図である。

[0034] レーダ装置10は、レーダ送信部（送信ブランチ）100と、レーダ受信部（受信ブランチ）200と、基準信号生成部300と、を有する。

[0035] レーダ送信部100は、基準信号生成部300から受け取るリファレンス信号に基づいて高周波（無線周波数：Radio Frequency）のレーダ信号（レーダ送信信号）を生成する。そして、レーダ送信部100は、複数の送信アンテナ106-1～106-N_tによって構成される送信アレーアンテナを用いて、レーダ送信信号を所定の送信周期にて送信する。

[0036] レーダ受信部200は、レーダ送信信号がターゲット（図示せず）に反射した反射波信号を、複数の受信アンテナ202-1～202-N_aを含む受信アレーアンテナを用いて受信する。レーダ受信部200は、基準信号生成部300から受け取るリファレンス信号を用いて、下記の処理動作を行うことで、レーダ送信部100と同期した処理を行う。すなわち、レーダ受信部200は、各受信アンテナ202において受信した反射波信号を信号処理し、ターゲットの有無検出及び方向推定の少なくとも一つの処理を行う。なお、ターゲットはレーダ装置10が検出する対象の物体であり、例えば、車両（4輪及び2輪を含む）又は人を含む。

[0037] 基準信号生成部300は、レーダ送信部100及びレーダ受信部200のそれぞれに接続されている。基準信号生成部300は、基準信号としてのリファレンス信号をレーダ送信部100及びレーダ受信部200に供給し、レーダ送信部100及びレーダ受信部200の処理を同期させる。

[0038] [レーダ送信部100の構成]

レーダ送信部100は、レーダ送信信号生成部101-1～101-N_tと、送信無線部105-1～105-N_tと、送信アンテナ106-1～106-N_tと、を有する。すなわち、レーダ送信部100は、N_t個の送信アンテナ106を有し、各送信アンテナ106は、それぞれ個別のレーダ送信信号生成部101及び送信無線部105に接続されている。

- [0039] レーダ送信信号生成部 101 は、基準信号生成部 300 から受け取るリファレンス信号を所定数倍したタイミングクロックを生成し、生成したタイミングクロックに基づいてレーダ送信信号を生成する。そして、レーダ送信信号生成部 101 は、所定のレーダ送信周期 (T_r) にてレーダ送信信号を繰り返し出力する。レーダ送信信号は、 $r_z(k, M) = I_z(k, M) + j Q_z(k, M)$ で表される。ここで、 z は各送信アンテナ 106 に対応する番号を表し、 $z = 1, \dots, N_t$ である。また、 j は虚数単位を表し、 k は離散時刻を表し、 M はレーダ送信周期の序数を表す。
- [0040] 各レーダ送信信号生成部 101 は、符号生成部 102 と、変調部 103 と、LPF (Low Pass Filter) 104 とを含む。以下、第 z 番目 ($z = 1, \dots, N_t$) の送信アンテナ 106 に対応するレーダ送信信号生成部 101 - z における各構成部について説明する。
- [0041] 例えば、符号生成部 102 は、レーダ送信周期 T_r 毎に、符号長 L の符号系列の符号 $a(z)_n$ ($n = 1, \dots, L$) (パルス符号) を生成する。各符号生成部 102 - 1 ~ 102 - N_t において生成される符号 $a(z)_n$ ($z = 1, \dots, N_t$) には、互いに低相関又は無相関となる符号が用いられる。符号系列としては、例えば、Walsh-Hadamard 符号、M 系列符号、Gold 符号などが挙げられる。
- [0042] 変調部 103 は、符号生成部 102 から出力される符号系列 (例えば、符号 $a(z)_n$) に対してパルス変調 (振幅変調、ASK (Amplitude Shift Keying))、パルスシフトキーイング) 又は位相変調 (Phase Shift Keying) を行い、変調信号を LPF 104 へ出力する。
- [0043] LPF 104 は、変調部 103 から出力される変調信号のうち、所定の制限帯域以下の信号成分を、ベースバンドのレーダ送信信号として送信無線部 105 へ出力する。
- [0044] 第 z ($z = 1, \dots, N_t$) 番目の送信無線部 105 は、第 z 番目のレーダ送信信号生成部 101 から出力されるベースバンドのレーダ送信信号に対して周波数変換を施してキャリア周波数 (Radio Frequency : RF) 帯のレーダ送信信号を生成し、送信増幅器により所定の送信電力 P [dB] に増幅して第 z 番目

の送信アンテナ 106 へ出力する。

[0045] 第 z ($z=1, \dots, N_t$) 番目の送信アンテナ 106 は、第 z 番目の送信無線部 105 から出力されるレーダ送信信号を空間に放射する。

[0046] 図 5 は、レーダ送信部 100 の N_t 個の送信アンテナ 106 から送信されるレーダ送信信号を示す。符号送信区間 T_w 内には符号長 L のパルス符号系列が含まれる。各レーダ送信周期 T_r のうち、符号送信区間 T_w の間にパルス符号系列が送信され、残りの区間 ($T_r - T_w$) は無信号区間となる。1 つのパルス符号 ($a(z)_n$) あたり、 N_o 個のサンプルを用いたパルス変調が施されることにより、各符号送信区間 T_w 内には、 $N_r (=N_o \times L)$ 個のサンプルの信号が含まれる。すなわち、変調部 103 におけるサンプリングレートは、 $(N_o \times L) / T_w$ である。また、無信号区間 ($T_r - T_w$) には、 N_u 個のサンプルが含まれる。

[0047] なお、レーダ送信部 100 は、レーダ送信信号生成部 101 の代わりに、図 6 に示すレーダ送信信号生成部 101a を備えてもよい。レーダ送信信号生成部 101a は、図 4 に示す符号生成部 102、変調部 103 及び LPF 104 を有さず、代わりに符号記憶部 111 及び DA 変換部 112 を備える。符号記憶部 111 は、符号生成部 102 (図 4) において生成される符号系列を予め記憶し、記憶している符号系列を巡回的に順次読み出す。DA 変換部 112 は、符号記憶部 111 から出力される符号系列 (デジタル信号) をアナログ信号 (ベースバンド信号) に変換する。

[0048] [レーダ受信部 200 の構成]

図 4 において、レーダ受信部 200 は、 N_a 個の受信アンテナ 202 を備え、アレーアンテナを構成する。また、レーダ受信部 200 は、 N_a 個のアンテナ系統処理部 201-1 ~ 201- N_a と、方向推定部 214 と、を有する。

[0049] 各受信アンテナ 202 は、ターゲット (物体) に反射したレーダ送信信号である反射波信号を受信し、受信した反射波信号を、対応するアンテナ系統処理部 201 へ受信信号として出力する。

[0050] 各アンテナ系統処理部 201 は、受信無線部 203 と、信号処理部 207

とを有する。

[0051] 受信無線部203は、増幅器204と、周波数変換器205と、直交検波器206と、を有する。受信無線部203は、基準信号生成部300から出力されるリファレンス信号を所定数倍したタイミングクロックを生成し、生成したタイミングクロックに基づいて動作する。具体的には、増幅器204は、受信アンテナ202から出力される受信信号を所定レベルに増幅し、周波数変換器205は、高周波帯域の受信信号をベースバンド帯域に周波数変換し、直交検波器206は、ベースバンド帯域の受信信号を、I信号及びQ信号を含むベースバンド帯域の受信信号に変換する。

[0052] 信号処理部207は、AD変換部208、209と、分離部210-1～210-N_tと、を有する。

[0053] AD変換部208には、直交検波器206からI信号が入力され、AD変換部209には、直交検波器206からQ信号が入力される。AD変換部208は、I信号を含むベースバンド信号に対して、離散時刻でのサンプリングを行うことにより、I信号をデジタルデータに変換する。AD変換部209は、Q信号を含むベースバンド信号に対して、離散時刻でのサンプリングを行うことにより、Q信号をデジタルデータに変換する。

[0054] ここで、AD変換部208、209のサンプリングでは、レーダ送信信号における1つのサブパルスの時間 $T_p (=T_w/L)$ あたり、 N_s 個の離散サンプルが行われる。すなわち、1サブパルスあたりのオーバーサンプル数は N_s となる。

[0055] 以下の説明では、I信号 $I_r(k, M)$ 及びQ信号 $Q_r(k, M)$ を用いて、AD変換部208、209の出力としての第M番目のレーダ送信周期 $T_r[M]$ の離散時刻 k におけるベースバンドの受信信号を複素数信号 $x(k, M) = I_r(k, M) + j Q_r(k, M)$ と表す。また、以下では、離散時刻 k は、レーダ送信周期(T_r)の開始するタイミングを基準($k=1$)とし、信号処理部207は、レーダ送信周期 T_r が終了する前までのサンプル点である $k = (N_r + N_u) N_s / N_o$ まで周期的に動作する。すなわち、 $k=1, \dots, (N_r + N_u) N_s / N_o$ となる。ここで、 j は虚数単位である。

[0056] 信号処理部 207 は、送信アンテナ 106 の個数分の系統数に等しい N_t 個の分離部 210 を含む。各分離部 210 は、相関演算部 211 と、加算部 212 と、ドップラー周波数解析部 213 と、を有する。以下、第 z ($z=1, \dots, N_t$) 番目の分離部 210 の構成について説明する。

[0057] 相関演算部 211 は、レーダ送信周期 T_r 毎に、AD 変換部 208, 209 から受け取る離散サンプル値 $I_r(k, M)$ 及び $Q_r(k, M)$ を含む離散サンプル値 $x(k, M)$ と、レーダ送信部 100 において送信される符号長 L のパルス符号 $a(z)_n$ (ただし、 $z=1, \dots, N_t$, $n=1, \dots, L$) との相関演算を行う。例えば、相関演算部 211 は、離散サンプル値 $x(k, M)$ と、パルス符号 $a(z)_n$ とのスライディング相関演算を行う。例えば、第 M 番目のレーダ送信周期 $T_r[M]$ における離散時刻 k のスライディング相関演算の相関演算値 $AC_{(z)}(k, M)$ は、次式に基づき算出される。

[数1]

$$AC_{(z)}(k, M) = \sum_{n=1}^L x(k + N_s(n-1), M) a(z)_n^* \quad (1)$$

[0058] 上式において、アスタリスク (*) は複素共役演算子を表す。

[0059] 相関演算部 211 は、例えば、式 (1) に従って、 $k=1, \dots, (N_r + N_u) N_s / N_o$ の期間に渡って相関演算を行う。

[0060] なお、相関演算部 211 は、 $k=1, \dots, (N_r + N_u) N_s / N_o$ に対して相関演算を行う場合に限定されず、レーダ装置 10 の測定対象となるターゲットの存在範囲に応じて、測定レンジ (すなわち、 k の範囲) を限定してもよい。これにより、レーダ装置 10 では、相関演算部 211 の演算処理量の低減が可能となる。例えば、相関演算部 211 は、 $k=N_s(L+1), \dots, (N_r + N_u) N_s / N_o - N_s L$ に測定レンジを限定してもよい。この場合、図 7 に示すように、レーダ装置 10 は、符号送信区間 T_w に相当する時間区間では測定を行わない。

[0061] これにより、レーダ装置 10 は、レーダ送信信号がレーダ受信部 200 に直接的に回り込むような場合でも、レーダ送信信号が回り込む期間 (少なくとも τ 1 未満の期間) では相関演算部 211 による処理が行われないので、

回り込みの影響を排除した測定が可能となる。また、測定レンジ（kの範囲）を限定する場合、以下で説明する加算部212、ドップラー周波数解析部213及び方向推定部214の処理に対しても、同様に測定レンジ（kの範囲）を限定した処理を適用すればよい。これにより、各構成部での処理量を削減でき、レーダ受信部200における消費電力を低減できる。

[0062] 加算部212は、第M番目のレーダ送信周期 T_r の離散時刻k毎に相関演算部211から出力される相関演算値 $AC_{(z)}(k, M)$ を用いて、所定回数（ N_p 回）のレーダ送信周期 T_r の期間（ $T_r \times N_p$ ）に渡って、相関演算値 $AC_{(z)}(k, M)$ を加算（コヒーレント積分）する。期間（ $T_r \times N_p$ ）に渡る加算数 N_p の加算（コヒーレント積分）処理は次式で表される。

[数2]

$$CI_{(z)}(k, m) = \sum_{g=1}^{N_p} AC_{(z)}(k, N_p(m-1) + g) \quad (2)$$

[0063] ここで、 $CI_{(z)}(k, m)$ は相関演算値の加算値（以下、相関加算値と呼ぶ）を表し、 N_p は1以上の整数値であり、 m は加算部212における加算回数 N_p を1個の単位とした場合における加算回数の序数を示す1以上の整数である。また、 $z=1, \dots, N_t$ である。

[0064] 加算部212は、レーダ送信周期 T_r を単位として得られた相関演算部211の出力を一つの単位として、 N_p 回の加算を行う。つまり、加算部212は、相関演算値 $AC_{(z)}(k, N_p(m-1)+1) \sim AC_{(z)}(k, N_p \times m)$ を一単位として、離散時刻kのタイミングを揃えて加算した相関値 $CI_{(z)}(k, m)$ を離散時刻k毎に算出する。これにより、加算部212は、相関演算値の N_p 回に渡る加算の効果により、ターゲットからの反射波信号が高い相関を有する範囲において、反射波信号のSNR（Signal to Noise Ratio）を向上できる。よって、レーダ受信部200は、ターゲットの到来距離の推定に関する測定性能を向上できる。

[0065] なお、理想的な加算利得を得るためには、相関演算値の加算回数 N_p の加算区間において、相関演算値の位相成分がある程度の範囲で揃う条件が必要である。つまり、加算回数 N_p は、測定対象となるターゲットの想定最大移動速

度に基づいて設定されることが好ましい。これは、ターゲットの想定最大速度が大きいほど、ターゲットからの反射波に含まれるドップラー周波数の変動量が多い。このため、高い相関を有する時間期間が短くなるため、加算回数 N_p は小さい値となり、加算部212での加算による利得向上効果が小さくなるためである。

[0066] ドップラー周波数解析部213は、離散時刻 k 毎に得られた加算部212の N_c 個の出力である $CI_{(z)}(k, N_c(w-1)+1) \sim CI_{(z)}(k, N_c \times w)$ を一単位として、離散時刻 k のタイミングを揃えてコヒーレント積分を行う。例えば、ドップラー周波数解析部213は、次式に示すように、 $2N_f$ 個の異なるドップラー周波数 $f_s \Delta \Phi$ に応じた位相変動 $\Phi(f_s) = 2\pi f_s (T_r \times N_p) \Delta \Phi$ を補正した後に、コヒーレント積分を行う。

[数3]

$$\begin{aligned} FT_CI_{(z)}^{Nant}(k, f_s, w) &= \sum_{q=0}^{N_c-1} CI_{(z)}(k, N_c(w-1)+q+1) \exp[-j\phi(f_s)q] \\ &= \sum_{q=0}^{N_c-1} CI_{(z)}(k, N_c(w-1)+q+1) \exp[-j2\pi f_s T_r N_p q \Delta \Phi] \end{aligned} \quad (3)$$

[0067] ここで、 $FT_CI_{(z)}^{Nant}(k, f_s, w)$ は、ドップラー周波数解析部213における第 w 番目の出力であり、第 $Nant$ 番目のアンテナ系統処理部201における離散時刻 k でのドップラー周波数 $f_s \Delta \Phi$ のコヒーレント積分結果を示す。ただし、 $Nant=1 \sim Na$ であり、 $f_s = -N_f+1, \dots, 0, \dots, N_f$ であり、 $k=1, \dots, (N_r+N_u)$ N_s/N_o であり、 w は1以上の整数であり、 $\Delta \Phi$ は位相回転単位である。

[0068] これにより、各アンテナ系統処理部201は、離散時刻 k 毎の $2N_f$ 個のドップラー周波数成分に応じたコヒーレント積分結果である $FT_CI_{(z)}^{Nant}(k, -N_f+1, w), \dots, FT_CI_{(z)}^{Nant}(k, N_f-1, w)$ を、レーダ送信周期期間 T_r の複数回 $N_p \times N_c$ の期間($T_r \times N_p \times N_c$)毎に得る。なお、 j は虚数単位であり、 $z=1, \dots, N_t$ である。

[0069] $\Delta \Phi = 1/(N_c \times T_r \times N_p)$ とした場合、上述したドップラー周波数解析部213の処理は、サンプリング間隔 $T_m = (T_r \times N_p)$ 、サンプリング周波数 $f_m = 1/T_m$ で加算部212の出力を離散フーリエ変換(DFT: Discrete Fourier Transf

orm) 処理していることと等価である。

[0070] また、 N_f を2のべき乗の数に設定することで、ドップラー周波数解析部213では、高速フーリエ変換(FFT:Fast Fourier Transform)処理を適用でき、演算処理量を削減できる。なお、 $N_f > N_c$ では、 $q > N_c$ となる領域において $CI_{(z)}(k, N_c(w-1)+q) = 0$ とするゼロ埋め処理を行うことで、同様にFFT処理を適用でき、演算処理量を削減できる。

[0071] また、ドップラー周波数解析部213において、FFT処理の代わりに、上式(3)に示す積和演算を逐次的に演算する処理を行ってもよい。つまり、ドップラー周波数解析部213は、離散時刻 k 毎に得られた加算部212の N_c 個の出力である $CI_{(z)}(k, N_c(w-1)+q+1)$ に対して、 $f_s = -N_f+1, \dots, 0, \dots, N_f-1$ に対応する係数 $\exp[-j2\pi f_s T_r N_p q \Delta \phi]$ を生成し、逐次的に積和演算処理してもよい。ここで、 $q=0 \sim N_c-1$ である。

[0072] なお、以下の説明では、 N_a 個のアンテナ系統処理部201の各々において同様の処理を施して得られた第 w 番目の出力 $FT_CI_{(z)}^1(k, f_s, w)$, $FT_CI_{(z)}^2(k, f_s, w)$, $\dots$, $FT_CI_{(z)}^{N_a}(k, f_s, w)$ を、次式のように仮想受信アレー相関ベクトル $h(k, f_s, w)$ として表記する。仮想受信アレー相関ベクトル $h(k, f_s, w)$ は、送信アンテナ数 N_t と受信アンテナ数 N_a との積である $N_t \times N_a$ 個の要素を含む。仮想受信アレー相関ベクトル $h(k, f_s, w)$ は、後述する、ターゲットからの反射波信号に対して受信アンテナ202間の位相差に基づく方向推定を行う処理の説明に用いる。ここで、 $z=1, \dots, N_t$ であり、 $b=1, \dots, N_a$ である。

[数4]

$$\mathbf{h}(k, fs, w) = \begin{bmatrix} FT_CI_{(1)}^1(k, fs, w) \\ FT_CI_{(2)}^1(k, fs, w) \\ \vdots \\ FT_CI_{(Nr)}^1(k, fs, w) \\ FT_CI_{(1)}^2(k, fs, w) \\ FT_CI_{(2)}^2(k, fs, w) \\ \vdots \\ FT_CI_{(Nr)}^2(k, fs, w) \\ \vdots \\ FT_CI_{(1)}^{Na}(k, fs, w) \\ FT_CI_{(2)}^{Na}(k, fs, w) \\ \vdots \\ FT_CI_{(Nr)}^{Na}(k, fs, w) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{h}^1(k, fs, w) \\ \mathbf{h}^2(k, fs, w) \\ \vdots \\ \mathbf{h}^{Na}(k, fs, w) \end{bmatrix} \quad (4)$$

[数5]

$$\mathbf{h}^b(k, fs, w) = \begin{bmatrix} FT_CI_{(1)}^b(k, fs, w) \\ FT_CI_{(2)}^b(k, fs, w) \\ \vdots \\ FT_CI_{(Nr)}^b(k, fs, w) \end{bmatrix} \quad (5)$$

[0073] 以上、信号処理部207の各構成部における処理について説明した。

[0074] 方向推定部214は、アンテナ系統処理部201-1～201-Naから出力されるw番目のドップラー周波数解析部213の仮想受信アレー相関ベクトル $\mathbf{h}(k, fs, w)$ に対してアレー補正值 $h_cal_{[y]}$ を用いてアンテナ系統処理部201間の位相偏差及び振幅偏差を補正した仮想受信アレー相関ベクトル $\mathbf{h}_{after_cal}(k, fs, w)$ を算出する。仮想受信アレー相関ベクトル $\mathbf{h}_{after_cal}(k, fs, w)$ は次式で表される。なお、 $y=1, \dots, (Nt \times Na)$ である。

[数6]

$$\mathbf{h}_{after_cal}(k, fs, w) = \mathbf{CA} \mathbf{h}(k, fs, w) = \begin{bmatrix} h_1(k, fs, w) \\ h_2(k, fs, w) \\ \vdots \\ h_{Nt \times Nr}(k, fs, w) \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\mathbf{CA} = \begin{bmatrix} h_cal_{[1]} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & h_cal_{[2]} & \ddots & \dots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & h_cal_{[Nt \times Na]} \end{bmatrix}$$

[0075] アンテナ間偏差を補正した仮想受信アレー相関ベクトル $\mathbf{h}_{after_cal}(k, fs, w)$ は、 $Na \times Nr$ 個の要素からなる列ベクトルである。以下では、仮想受信アレー

一相関ベクトル $h_{\text{after_cal}}(k, f_s, w)$ の各要素を $h_1(k, f_s, w), \dots, h_{N_a \times N_r}(k, f_s, w)$ と表記して、方向推定処理の説明に用いる。

[0076] [レーダ装置10におけるアンテナ配置]

以上の構成を有するレーダ装置10における N_t 個の送信アンテナ106及び N_a 個の受信アンテナ202の配置について説明する。

[0077] <基本配置1>

図8は、基本配置1に係る送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。

[0078] なお、以下の説明において用いる水平方向（例えば、図8では横方向）の間隔 D_h 、及び、垂直方向（例えば、図8では縦方向）の間隔 D_v は、例えば、同一とする。なお、間隔 D_h 、及び間隔 D_v は、異なってもよい。

[0079] (1) 送受信アンテナの配置

図8では、送信アレーアンテナにおける送信アンテナ106の個数 $N_t=4$ 個（Tx#1, Tx#2, Tx#3及びTx#4）とし、受信アレーアンテナにおける受信アンテナ202の個数 $N_a=4$ 個（Rx#1, Rx#2, Rx#3及びRx#4）とする。

[0080] 図8に示す送信アレーアンテナは、「第1の送信アンテナ群」（図8では、Tx#2, Tx#4）と、「第2の送信アンテナ群」（図8では、Tx#1, Tx#3）とから構成される。各送信アンテナ群は、それぞれ、垂直方向について位置が同一であり、水平方向（図8では横方向）についてアンテナ間隔が $2D_h$ である2つの送信アンテナ素子を含む。また、「第1の送信アンテナ群」と「第2の送信アンテナ群」の垂直方向（図8では縦方向）の間隔は、例えば、 $3D_v$ となる。

[0081] また、図8に示す受信アレーアンテナは、「第1の受信アンテナ群」（図8では、Rx#2, Rx#4）と、「第2の受信アンテナ群」（図8では、Rx#1, Rx#3）とから構成される。各受信アンテナ群は、それぞれ、垂直方向について位置が同一であり、水平方向についてアンテナ間隔が $3D_h$ である2つの受信アンテナ素子を含む。また、「第1の受信アンテナ群」と「第2の受信アンテナ群」の垂直方向の間隔は、例えば、 $2D_v$ となる。

[0082] 換言すると、図8において、送信アンテナ群間の垂直方向の間隔（図8では $3D_v$ ）と、各受信アンテナ群内の水平方向のアンテナ間隔（図8では $3D_h$ ）とが同一である。また、図8において、各送信アンテナ群内の水平方向のアンテナ間隔（図8では $2D_h$ ）と、受信アンテナ群間の垂直方向の間隔（図8では $2D_h$ ）とが同一である。

[0083] また、図8において、送信アンテナ群間の間隔 $3D_v$ （又は、受信アンテナ群内のアンテナ間隔 $3D_h$ ）と、送信アンテナ群内のアンテナ間隔 $2D_h$ （又は、受信アンテナ群間の間隔 $2D_v$ ）との差は、 D_h 又は D_v である。

[0084] また、図8において、送信アンテナ群内のアンテナ間隔 $2D_h$ （ D_h の整数倍の間隔）と受信アンテナ群内のアンテナ間隔 $3D_h$ （ D_h の整数倍の間隔）との差は D_h である。また、図8において、複数の送信アンテナ群が配置される間隔 $3D_v$ （ D_v の整数倍の間隔）と複数の受信アンテナ群が配置される間隔 $2D_v$ （ D_v の整数倍の間隔）との差は D_v である。

[0085] （2）仮想受信アレーの配置

上述した図8に示す送受信アンテナ配置によって構成される仮想受信アレー（仮想アンテナVA#1～VA#16）の配置は以下のような特徴を有する。

[0086] ここで、仮想受信アレーの配置は、送信アレーアンテナを構成する送信アンテナの位置（給電点の位置）、及び、受信アレーアンテナを構成する受信アンテナの位置（給電点の位置）から、次式のように表すことができる。

[数7]

$$\begin{cases} X_{V_ \#k} = (X_{T_ \#[\text{mod}(k-1, N_t)+1]} - X_{T_ \#1}) + (X_{R_ \text{ceil}\{k/N_a\}} - X_{R_ \#1}) \\ Y_{V_ \#k} = (Y_{T_ \#[\text{mod}(k-1, N_t)+1]} - Y_{T_ \#1}) + (Y_{R_ \text{ceil}\{k/N_a\}} - Y_{R_ \#1}) \end{cases} \quad (7)$$

[0087] なお、 $\text{mod}(x, y)$ は除算後の剰余(モジュロ演算)を算出する演算子であり、 x を y で割ったときの余りを返す。また、 $\text{ceil}(x)$ は x 以上の最も近い整数に丸めた値を返す演算子である。また、式(7)においてX軸は、図8に示す水平方向（横方向）に対応し、Y軸は、図8に示す垂直方向（縦方向）に対応する。

[0088] ここで、送信アレーアンテナを構成する送信アンテナ106の位置座標を

(X_{T_n}, Y_{T_n}) (ただし、 $n=1, \dots, N_t$) とし、受信アレーアンテナを構成する受信アンテナ 202 の位置座標を (X_{R_m}, Y_{R_m}) (ただし、 $m=1, \dots, N_a$) とし、仮想受信アレーを構成する仮想アンテナの位置座標を (X_{V_k}, Y_{V_k}) (ただし、 $k=1, \dots, N_t \times N_a$) とする。なお、式 (7) では、VA#1 を仮想受信アレーの位置基準 (0, 0) として表している。

[0089] 一例として、図 8 に示すアンテナ配置の場合について説明する。

[0090] 送信アレーアンテナを構成する送信アンテナ 106 の位置座標は、送信アンテナ Tx#1 の位置座標 (X_{T_1}, Y_{T_1}) を基準として、送信アンテナ Tx#2 の位置座標 $(X_{T_2}, Y_{T_2}) = (X_{T_1}, Y_{T_1} + 3D_V)$ 、送信アンテナ Tx#3 の位置座標 $(X_{T_3}, Y_{T_3}) = (X_{T_1} + 2D_H, Y_{T_1})$ 、及び、送信アンテナ Tx#4 の位置座標 $(X_{T_4}, Y_{T_4}) = (X_{T_1} + 2D_H, Y_{T_1} + 3D_V)$ と表される。

[0091] 同様に、受信アレーアンテナを構成する受信アンテナ 202 の位置座標は、受信アンテナ Rx#1 の位置座標 (X_{R_1}, Y_{R_1}) を基準として、受信アンテナ Rx#2 の位置座標 $(X_{R_2}, Y_{R_2}) = (X_{R_1}, Y_{R_1} + 2D_V)$ 、受信アンテナ Rx#3 の位置座標 $(X_{R_3}, Y_{R_3}) = (X_{R_1} + 3D_H, Y_{R_1})$ 、及び、受信アンテナ Rx#4 の位置座標 $(X_{R_4}, Y_{R_4}) = (X_{R_1} + 3D_H, Y_{R_1} + 2D_V)$ と表される。

[0092] このような送信アレーアンテナの配置及び受信アレーアンテナの配置により、仮想受信アレー VA#1 ~ VA#16 の位置座標 $(X_{V_1}, Y_{V_1}) \sim (X_{V_16}, Y_{V_16})$ は、それぞれ以下ようになる。

$(0, 0), (0, 3D_V), (2D_H, 0), (2D_H, 3D_V), (0, 2D_V), (0, 5D_V),$
 $(2D_H, 2D_V), (2D_H, 5D_V), (3D_H, 0), (3D_H, 3D_V), (5D_H, 0), (5D_H,$
 $3D_V), (3D_H, 2D_V), (3D_H, 5D_V), (5D_H, 2D_V), (5D_H, 5D_V)$

[0093] このように、図 8 に示す仮想受信アレーの配置では、各仮想受信アレー素子はそれぞれ異なる位置に重なりなく配置される。このため、仮想受信アレーの開口長を拡張できるので、メインローブが狭まり、角度分解能を向上できる。

[0094] また、図 8 に示すように、仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子 VA#4, VA#7, VA#10 及び VA#13 は、水平方向に D_H 間隔、垂直方向に D_V 間隔

でそれぞれ密に配置される。一例として、図 8 において、間隔 D_H 及び間隔 D_V を 0.5λ 程度とした場合、仮想アレー素子VA#4, VA#7, VA#10及びVA#13は、水平方向に $D_H=0.5\lambda$ 間隔、垂直方向に $D_V=0.5\lambda$ 間隔で配置される。これにより、グレーティングローブを低減できる。なお、グレーティングローブの低減効果については後述する。

[0095] なお、仮想受信アレーの配置において、送信アレーアンテナと受信アレーアンテナとの位置関係に依存関係は無い。そのため、送信アレーアンテナ及び受信アレーアンテナの位置関係は、図 8 に示す配置に限定されず、任意に設定できる。以下に説明する他の配置構成においても同様である。

[0096] また、図 8 に示す送信アレーアンテナ及び受信アレーアンテナの配置における水平方向及び垂直方向の配置を、垂直方向及び水平方向の配置（例えば、図 8 の配置を 90° 回転させた配置）として同様な効果が得られる。以下に説明する他の配置構成においても同様である。

[0097] また、図 8 に示すアンテナ配置において、送信アレーアンテナの配置と受信アレーアンテナの配置とを入れ替えてもよい。例えば、図 8 に示す受信アレーアンテナの配置を送信アレーアンテナの配置とし、図 8 に示す送信アレーアンテナの配置を受信アレーアンテナの配置として用いてもよい。送信アレーアンテナの配置と受信アレーアンテナの配置とを入れ替えても、仮想受信アレーの配置は同一配置となるため、同様な効果を得ることができる。以下に説明する他の配置構成においても同様である。

[0098] ここで、一例として、図 8 において、間隔 D_H 及び間隔 D_V を 0.5λ 程度とした場合について説明する。図 8 に示すように、送信アンテナアレー及び受信アンテナアレーの双方において、各アンテナ素子の間隔は、 $2D_H$ 、 $3D_H$ 、 $2D_V$ および $3D_V$ の何れかである。換言すると、図 8 では、送信アンテナ群間の間隔 $3D_V$ 、受信アンテナ群内のアンテナ間隔 $3D_H$ 、送信アンテナ群内のアンテナ間隔 $2D_H$ 、及び、受信アンテナ群間の間隔 $2D_V$ は、レーダ送信信号（例えば、レーダ搬送波）の 1 波長より長い間隔である。よって、図 8 では、送信アンテナ 106 及び受信アンテナ 202 の水平方向及び垂直方向の素子サイズを 1λ 程度以上

のサイズに設計できる。

[0099] これにより、例えば、図 9 A に示すような、平面パッチアンテナを縦横に 2 素子ずつ並べた 4 素子をサブアレーに用いたアンテナを、図 8 に示す送信アレーアンテナ及び受信アレーアンテナの少なくとも一つの各アンテナ素子に適用できる。ただし、図 9 A では、アンテナ幅 $W_{ANT} < 2D_H$ 、及び、アンテナ高 $H_{ANT} < 2D_V$ である。

[0100] また、図 8 の場合、送信アレーアンテナの垂直方向のアンテナ間隔は、 $3D_V$ であり、水平方向のアンテナ間隔 $2D_H$ よりも広い。そのため、例えば、図 9 B に示すような、平面パッチアンテナを縦に 3 素子、横に 2 素子並べた 6 素子をサブアレーとして用いたアンテナを、図 8 に示す送信アレーアンテナの各アンテナ素子に適用できる。ただし、図 9 B では、アンテナ幅 $W_{ANT} < 2D_H$ 、及び、アンテナ高 $H_{ANT} < 3D_V$ である。

[0101] また、図 8 の場合、受信アレーアンテナの水平方向のアンテナ間隔は、 $3D_H$ であり、垂直方向のアンテナ間隔 $2D_V$ よりも広い。そのため、例えば、図 9 C に示すような、平面パッチアンテナを縦に 2 素子、横に 3 素子並べた 6 素子をサブアレーとして用いたアンテナを、図 8 に示す受信アレーアンテナの各アンテナ素子に適用できる。ただし、図 9 C では、アンテナ幅 $W_{ANT} < 3D_H$ 、及び、アンテナ高 $H_{ANT} < 2D_V$ である。

[0102] 図 8 に示すアンテナ配置において、図 9 A、図 9 B 又は図 9 C に示すようなサブアレー構成のアンテナを用いることにより、アンテナの指向性利得を向上でき、レーダ装置 10 における検知性能（例えば、検知距離）を向上できる。なお、図 8 に示すアンテナ素子に適用するサブアレーの構成は、図 9 A、図 9 B 及び図 9 C に示す構成に限定されず、図 8 に示す位置をアンテナ素子（換言すると、アンテナ系統）の位相中心として配置可能なサブアレー構成であればよい。

[0103] 一例として、図 10 は、図 8 に示す送信アレーアンテナの各アンテナ素子に、図 9 B に示すサブアレーを適用した場合の例を示す。図 10 に示すように、送信アレーアンテナは、垂直方向のサイズ $3D_V$ 、水平方向のサイズ $2D_H$ のサ

ブアレー構成の各アンテナ素子によって構成される。

[0104] このように、基本配置 1 によれば、例えば、 1λ 以上のサイズ（例えば、 $D_H = D_V = 0.5\lambda$ の場合）のアンテナ素子を適用でき、仮想受信アレーにおいて、水平方向及び垂直方向において、仮想アンテナを密に（例えば、 D_H 又は D_V 間隔で）配置できる。よって、グレーティングロブを低減（換言すると、抑圧）しつつ、アンテナの指向性利得を向上できる。

[0105] 以上、レーダ装置 10 におけるアンテナ配置の一例について説明した。

[0106] 方向推定部 214 は、上述した送受信アンテナの配置（例えば、図 8 を参照）から得られる仮想受信アレー（例えば、図 8 を参照）の受信信号を用いて、水平方向及び垂直方向の方向推定処理を以下のように行う。

[0107] 上記仮想受信アレーの素子番号（VA#の番号）は、式（6）に示すアンテナ間偏差を補正した仮想受信アレー相関ベクトル $h_{\text{after_cal}}(k, f_s, w)$ の列ベクトルの要素番号に対応する。例えば、図 8 に示す VA#1 は $h_{\text{after_cal}}(k, f_s, w)$ の列ベクトル要素の 1 番目の要素 $h_1(k, f_s, w)$ に対応する。図 8 に示す他の VA#2～VA#16 についても同様である。

[0108] 水平方向及び垂直方向の到来方向推定において、方向推定部 214 は、方向推定評価関数値 $P(\theta, \phi, k, f_s, w)$ における方位方向 θ 及び仰角方向 ϕ を所定の角度範囲内で可変として空間プロファイルを算出する。方向推定部 214 は、算出した空間プロファイルの極大ピークを大きい順に所定数抽出し、極大ピークの方位方向及び仰角方向を到来方向推定値として出力する。

[0109] なお、評価関数値 $P(\theta, \phi, k, f_s, w)$ は、到来方向推定アルゴリズムによって各種の方法がある。例えば参考非特許文献に開示されているアレーアンテナを用いた推定方法を用いてもよい。

[0110] （参考非特許文献）Direction-of-arrival estimation using signal subspace modeling Cadzow, J.A.; Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on Volume: 28, Issue: 1 Publication Year: 1992, Page(s):

[0111] 例えばビームフォーマ法は次式のように表すことができる。他にも、Capon, MUSICといった手法も同様に適用可能である。

[数8]

$$P(\theta_u, \phi_v, k, fs, w) = |a(\theta_u, \phi_v)^H h_{\text{after_cal}}(k, fs, w)|^2 \quad (8)$$

[0112] ここで、上付き添え字Hはエルミート転置演算子である。また、 $a(\theta_u, \phi_v)$ は、方位方向 θ 及び仰角方向 ϕ の到来波に対する仮想受信アレーの方向ベクトルを示す。

[0113] 以上のように、方向推定部214は、算出した到来方向推定値とともに、到来方向推定値の算出時の離散時刻 k 、ドップラー周波数 $fs\Delta\phi$ をレーダ測位結果として出力する。

[0114] また、方位方向 θ_u は到来方向推定を行う方位範囲内を所定の方位間隔 β_1 で変化させたベクトルである。例えば、 θ_u は以下のように設定される。

$$\theta_u = \theta_{\min} + u\beta_1, u=0, \dots, NU$$

$$NU = \text{floor}[(\theta_{\max} - \theta_{\min})/\beta_1] + 1$$

ここで $\text{floor}(x)$ は、実数 x を超えない最大の整数値を返す関数である。

[0115] また、 ϕ_v は到来方向推定を行う仰角範囲内を所定の方位間隔 β_2 で変化させたものである。例えば、 ϕ_v は以下のように設定される。

$$\phi_v = \phi_{\min} + v\beta_2, v=0, \dots, NV$$

$$NV = \text{floor}[(\phi_{\max} - \phi_{\min})/\beta_2] + 1$$

[0116] なお、本実施の形態では、仮想受信アレー配置 $VA\#1, \dots, VA\#(N_t \times N_a)$ に基づいて仮想受信アレーの方向ベクトル $a(\theta_u, \phi_v)$ が予め算出されている。ここで、方向ベクトル $a(\theta_u, \phi_v)$ は、方位方向 θ 及び仰角方向 ϕ からレーダ反射波が到来した場合の仮想受信アレーの複素応答を要素とした $(N_t \times N_a)$ 次の列ベクトルである。また、仮想受信アレーの複素応答 $a(\theta_u, \phi_v)$ は、アンテナ間の素子間隔で幾何光学的に算出される位相差を表す。

[0117] また、上述した時刻情報 k は、距離情報に変換して出力されてもよい。時刻情報 k を距離情報 $R(k)$ に変換するには次式を用いればよい。ここで、 T_w は

符号送信区間を表し、 L はパルス符号長を表し、 C_0 は光速度を表す。

[数9]

$$R(k) = k \frac{T_p C_0}{2L} \quad (9)$$

[0118] また、ドップラー周波数情報 ($f_s \Delta \Phi$) は相対速度成分に変換して出力されてもよい。ドップラー周波数 $f_s \Delta \Phi$ を相対速度成分 $v_d(f_s)$ に変換するには、次式を用いてよい。ここで、 λ は送信無線部 105 から出力される RF 信号のキャリア周波数の波長である。

[数10]

$$v_d(f_s) = \frac{\lambda}{2} f_s \Delta \Phi \quad (10)$$

[0119] 図 11A 及び図 11B は、方向推定部 214 の到来方向推定アルゴリズムにビームフォーマ法を用いた場合の方向推定結果の一例を示す。図 11A 及び図 11B では、ターゲット真値を水平 0 度、垂直 0 度とした場合の水平方向 ± 90 度範囲、及び、垂直方向 ± 90 度範囲における到来方向推定評価関数値の出力をプロットしている。なお、各アンテナの指向性は、無指向性として算出している。

[0120] 図 11A は、図 8 に示す送受信アンテナ配置（例えば、MIMO アレー配置）（ただし、 $D_H = 0.5\lambda$ 、 $D_V = 0.5\lambda$ ）を用いた場合の方向推定結果の一例を示す。すなわち、図 11A では、送信アンテナ 106 の水平方向及び垂直方向のアンテナ間隔が 1λ 以上となる条件であり、受信アンテナ 202 の水平方向及び垂直方向のアンテナ間隔も 1λ 以上となる条件である。

[0121] また、図 11B は、図 11A との比較のために、一例として、図 1 に示す MIMO レーダのアンテナ配置において送信アンテナの垂直方向のアンテナ間隔を λ とし、受信アンテナの水平方向のアンテナ間隔を λ とした場合（すなわち、 $d_V = \lambda$ 、 $d_H = \lambda$ ）の方向推定結果を示す。

[0122] 図 11B では、ターゲット真値の水平 0 度、垂直 0 度以外の方向において、グレーティングローブが水平方向および垂直方向に発生している。これに対して、図 11A では、ターゲット真値の水平 0 度、垂直 0 度以外の方向に

において、グレーティングローブが低減されていることが確認できる。例えば、図 11 A では、水平 0 度、垂直 0 度方向のメインローブのピーク電力値に対する、水平 0 度、垂直 0 度以外の方向のメインローブを除いた最も高いサイドローブのピーク電力値の比 (PSLR) は 0.44 程度となっている。

[0123] 以上のように、図 8 に示す MIMO アレー配置を用いることで、送信アレーアンテナ及び受信アレーアンテナに用いるアンテナの縦方向又は横方向の素子サイズが 1λ 程度でも、仮想受信アレーにおける水平方向及び垂直方向のアンテナ間隔を 0.5λ 程度となる素子間隔を含むように配置でき、グレーティングローブを低減できる。また、例えば、図 8 に示すように、仮想受信アレーの各仮想アレー素子は重なりなく配置されるため、仮想受信アレーの開口長を拡張でき、角度分解能を向上できる。

[0124] また、送信アンテナ 106 及び受信アンテナ 202 に用いるアンテナ素子に、縦方向及び横方向の素子サイズが少なくとも 1λ 程度のサブアレー構成のアンテナを使用できる。よって、アンテナの指向性利得を向上でき、レーダ装置 10 の検知性能（例えば、検知距離）を向上できる。

[0125] なお、MIMO アレー配置は、図 8 に示す例に限定されない。例えば、図 8 に示すアンテナ配置の水平方向と垂直方向とを入れ替えた配置を用いてもよい。この場合、仮想受信アレー配置は、図 8 の配置の水平方向と垂直方向とを入れ替えた配置が得られる。これにより、図 8 及び図 8 の水平方向と垂直方向とを入れ替えた角度分離性能が得られる。以下の説明に係る MIMO アレー配置においても同様に、水平方向と垂直方向とを入れ替えた配置を用いてもよい。

[0126] <基本配置 1 の変形例 1>

基本配置 1（例えば、図 8）では、送信アンテナ 106 の数を 4 素子 ($N_t=4$) とし、受信アンテナ 202 の数を 4 素子 ($N_r=4$) とする場合について説明した。しかし、送信アンテナ数 N_t 及び受信アンテナ数 N_r はこれらの数に限定されない。

[0127] 基本配置 1 の変形例 1 では、送信アレーアンテナは、基本配置 1 と同様、

例えば、垂直方向の間隔が $3D_v$ となる、第1の送信アンテナ群と第2の送信アンテナ群とから構成される。また、各送信アンテナ群は、基本配置1と同様、それぞれ、垂直方向について位置が同一であり、水平方向についてアンテナ間隔が $2D_h$ である複数の送信アンテナ素子を含む。

[0128] また、基本配置1の変形例1では、受信アレーアンテナは、基本配置1と同様、例えば、垂直方向の間隔が $2D_v$ となる複数の受信アンテナ群から構成される。また、各受信アンテナ群は、垂直方向について位置が同一であり、水平方向についてアンテナ間隔が $3D_h$ である複数の受信アンテナ素子を含む。

[0129] 換言すると、基本配置1の変形例1では、基本配置1と同様、送信アンテナ群間の垂直方向の間隔（ここでは $3D_v$ ）と、各受信アンテナ群内の水平方向のアンテナ間隔（ここでは、 $3D_h$ ）とが同一である。また、各送信アンテナ群内の水平方向のアンテナ間隔（ここでは、 $2D_h$ ）と、受信アンテナ群間の垂直方向の間隔（ここでは、 $2D_h$ ）とが同一である。

[0130] また、以下では、送信アンテナ群の数を「 $N_{TxGroup}$ 」と表し、各送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数を「 $N_{TxGroup_ANT}$ 」と表す。また、受信アンテナ群の数を「 $N_{RxGroup}$ 」と表し、各受信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数を「 $N_{RxGroup_ANT}$ 」と表す。

[0131] 基本配置1の変形例1では、 $N_{TxGroup_ANT}$ 及び $N_{RxGroup}$ の値に応じて、MIMOアレーのアンテナ数を増加させた配置が可能となる。

[0132] 図12は、 $N_{TxGroup_ANT}=4$ 、 $N_{RxGroup}=2$ の場合の送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。

[0133] 図13は、 $N_{TxGroup_ANT}=2$ 、 $N_{RxGroup}=3$ の場合の送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。

[0134] 図14は、 $N_{TxGroup_ANT}=4$ 、 $N_{RxGroup}=3$ の場合の送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。

[0135] なお、図12、図13及び図14において、 $N_{TxGroup}=2$ であり、 $N_{RxGroup_ANT}=2$ である。

[0136] 図12、図13及び図14に示す各MIMOアレー配置において、例えば、 D_h 及

び D_V を 0.5λ 程度とすることにより、送信アンテナ106及び受信アンテナ202の水平方向及び垂直方向の素子サイズを 1λ 程度以上のサイズに設計できる。

[0137] また、例えば、図12、図13及び図14に示す各仮想受信アレーにおいて、各仮想アレー素子はそれぞれ異なる位置に重なりなく配置されるので、仮想受信アレーの開口長を拡張でき、角度分解能を向上できる。

[0138] また、図12、図13及び図14に示す各仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子を、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置できる。また、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数は、 $N_{TxGroup_ANT}$ 及び $N_{RxGroup}$ に依存して増加する。

[0139] 例えば、仮想受信アレーにおいて、水平方向では $(N_{TxGroup_ANT} \times N_{RxGroup_ANT}) - 2$ の仮想アレー素子が D_H 間隔で並び、垂直方向では $(N_{RxGroup} \times N_{TxGroup}) - 2$ の仮想アレー素子が D_V 間隔で並ぶ。仮想受信アレーの中心付近において D_H 、 D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数が増加するほど、グレーティングローブ及びサイドローブの低減効果を向上できる。

[0140] また、 $N_{TxGroup_ANT}$ 、 $N_{RxGroup_ANT}$ が大きいほど、水平方向に並ぶ仮想アレー素子数が増大するため、水平方向の仮想受信アレーの開口長を拡張でき、水平方向の角度分解能を向上できる。同様に、 $N_{RxGroup}$ 、 $N_{TxGroup}$ が大きいほど、垂直方向に並ぶ仮想アレー素子数が増大するため、垂直方向の仮想受信アレーの開口長を拡張でき、垂直方向の角度分解能を向上できる。

[0141] 図15は、例えば、図14に示すように、送信アンテナ106の数 $N_t=8$ 及び受信アンテナ202の数 $N_a=6$ のMIMOアレー配置($N_{TxGroup_ANT}=4$ 、 $N_{TxGroup}=2$ 、 $N_{RxGroup}=3$ 、 $N_{RxGroup_ANT}=2$ 、 $D_H=0.5\lambda$ 、 $D_V=0.5\lambda$)を用いた場合に、方向推定部214の到来方向推定アルゴリズムとしてビームフォーマ法を用いた場合の方向推定結果の一例を示す。なお、各アンテナの指向性は、無指向性として算出している。

[0142] 図15では、ターゲット真値を水平0度、垂直0度とした場合の水平方向 ± 90 度範囲、及び、垂直方向 ± 90 度範囲における到来方向推定評価関数値の

出力をプロットしている。

[0143] 図 15 では、ターゲット真値の水平 0 度、垂直 0 度以外の方向において、例えば、図 11 A と比較して、グレーティングローブが低減されていることが確認できる。例えば、図 15 では、水平 0 度、垂直 0 度方向のメインローブのピーク電力値に対する、メインローブを除いた最も高いサイドローブのピーク電力値の比 (PSLR) は 0.22 程度となっている。

[0144] これより、図 14 の場合 ($N_{\text{TxGroup_ANT}}=4$ 、 $N_{\text{RxGroup}}=3$) には、図 8 ($N_{\text{TxGroup_ANT}}=2$ 、 $N_{\text{RxGroup}}=2$) の場合 (例えば、図 11 A を参照) と比較して (両図の場合、ともに $N_{\text{TxGroup}}=2$ 、 $N_{\text{RxGroup_ANT}}=2$)、 $N_{\text{TxGroup_ANT}}$ 及び N_{RxGroup} を増加させることにより、サイドローブの低減効果の向上が確認できる。また、図 15 では、図 11 A と比較して、メインローブのピークも鋭くなっており、 $N_{\text{TxGroup_ANT}}$ 及び N_{RxGroup} の増加によって、角度分解能の向上が確認できる。

[0145] <基本配置 1 の変形例 2>

以下、基本配置 1 の変形例 2 におけるアンテナ配置方法 1-2 A 及び 1-2 B についてそれぞれ説明する。

[0146] (配置方法 1-2 A)

基本配置 1 の変形例 1 では、受信アレーアンテナに含まれる受信アンテナ群の数 N_{RxGroup} を増加することにより、垂直方向に並ぶ仮想アレー素子数を増大させる場合について説明した。ここで、 $N_{\text{RxGroup}} \geq 3$ を満たせば、送信アレーアンテナにおいて、送信アンテナ群の数 N_{TxGroup} を増加することでも、仮想受信アレーにおいて垂直方向に並ぶ仮想アレー素子数を増大できる。

[0147] この場合、送信アンテナ群の垂直方向のアンテナ間隔を、例えば、一定の値 (例えば、 $3D_v$) としてよいが、受信アンテナ群の数 N_{RxGroup} に依存して、仮想受信アレー配置は仮想アレー素子が重複する配置になり得る。

[0148] そこで、仮想受信アレー配置において重複する仮想アレー素子が含まれない配置とするには、例えば、送信アンテナ群の垂直方向のアンテナ間隔のうち、偶数番目のアンテナ間隔に、以下のような間隔 D_{TxGroupV} を用いてよい。

[数11]

$$D_{TxGroupV} = D_V (2N_{RxGroup} - 3) \quad (11)$$

[0149] 例えば、 $N_{RxGroup}=3$ の場合、 $D_{TxGroupV}=3D_V$ となり、 $N_{RxGroup}=4$ の場合、 $D_{TxGroupV}=5D_V$ となる。

[0150] 例えば、送信アンテナ群の数 $N_{TxGroup}=3$ の場合、3個の送信アンテナ群の間隔は、 $\{3D_V, D_{TxGroupV}\}$ とする。また、送信アンテナ群の数 $N_{TxGroup}=4$ の場合、4個の送信アンテナ群の間隔は、 $\{3D_V, D_{TxGroupV}, 3D_V\}$ とする。同様に、送信アンテナ群の数 $N_{RxGroup_ANT}=5$ の場合、5個の送信アンテナ群の間隔は、 $\{3D_V, D_{TxGroupV}, 3D_V, D_{TxGroupV}\}$ とする。

[0151] 図16は、 $N_{TxGroup}=4$ 、 $N_{TxGroup_ANT}=4$ 、 $N_{RxGroup}=3$ 、 $N_{RxGroup_ANT}=2$ の場合の送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。図16では、式(11)の $D_{TxGroupV}=3D_V$ となる。

[0152] また、図17は、 $N_{TxGroup}=4$ 、 $N_{TxGroup_ANT}=4$ 、 $N_{RxGroup}=4$ 、 $N_{RxGroup_ANT}=2$ の場合の送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。図17では、式(11)の $D_{TxGroupV}=5D_V$ となる。

[0153] なお、仮想受信アレーの中心付近に不等間隔（例えば、 D_H 及び D_V よりも大きい間隔）となる配置が含まれてよい場合、 $D_{TxGroupV}$ は、式(11)の値よりも大きい値でもよい。

[0154] (配置方法1-2B)

基本配置1の変形1では、送信アレーアンテナの各送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数 $N_{TxGroup_ANT}$ を増加することにより、水平方向に並ぶ仮想アレー素子数を増大させる場合について説明した。ここで、 $N_{TxGroup_ANT} \geq 3$ を満たせば、受信アレーアンテナにおいて、受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数 $N_{RxGroup_ANT}$ を増加することでも、仮想受信アレーにおいて水平方向に並ぶ仮想アレー素子数を増大できる。

[0155] この場合、受信アンテナ群の水平方向のアンテナ間隔を、例えば、一定の値（例えば、 $3D_H$ ）としてもよいが、送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数 $N_{TxGroup_ANT}$ に依存して、仮想受信アレー配置は仮想アレー素子が重複する配置

になり得る。

[0156] そこで、仮想受信アレー配置において重複する仮想アレー素子が含まれない配置とするには、例えば、受信アンテナ群に含まれる受信アンテナの水平方向のアンテナ間隔のうち、偶数番目のアンテナ間隔に、以下のような間隔 D_{RxAnth} を用いてよい。

[数12]

$$D_{RxAnth} = D_H(2N_{TxGroup_ANT} - 3) \quad (12)$$

[0157] 例えば、 $N_{TxGroup_ANT}=3$ の場合、 $D_{RxAnth}=3D_H$ となり、 $N_{TxGroup_ANT}=4$ の場合、 $D_{RxAnth}=5D_H$ となる。

[0158] 例えば、受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数 $N_{RxGroup_ANT}=3$ の場合、3個の受信アンテナのアンテナ間隔は、 $\{3D_H, D_{RxAnth}\}$ とする。また、受信アンテナ数 $N_{RxGroup_ANT}=4$ の場合、4個の受信アンテナのアンテナ間隔は、 $\{3D_H, D_{RxAnth}, 3D_H\}$ とする。同様に、受信アンテナ数 $N_{RxGroup_ANT}=5$ の場合、5個の受信アンテナのアンテナ間隔は、 $\{3D_H, D_{RxAnth}, 3D_H, D_{RxAnth}\}$ とする。

[0159] 図18は、 $N_{TxGroup}=2$ 、 $N_{TxGroup_ANT}=3$ 、 $N_{RxGroup}=2$ 、 $N_{RxGroup_ANT}=4$ の場合の送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。図18では、式(12)の $D_{RxAnth}=3D_H$ となる。

[0160] 図19は、 $N_{TxGroup}=2$ 、 $N_{TxGroup_ANT}=4$ 、 $N_{RxGroup}=2$ 、 $N_{RxGroup_ANT}=4$ の場合の送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。図19では、式(12)の $D_{RxAnth}=5D_H$ となる。

[0161] なお、仮想受信アレーの中心付近に不等間隔（例えば、 D_H 及び D_V よりも大きい間隔）となる配置が含まれてよい場合、 D_{RxAnth} は、式(12)の値よりも大きい値でもよい。

[0162] 以上、基本配置1の変形例2における配置方法1-2A及び1-2Bについてそれぞれ説明した。

[0163] 例えば、図16～図19に示す送受信アンテナ配置（例えば、MIMOアレー配置）において、 D_H 及び D_V を 0.5λ 程度とすることにより、送信アンテナ106及び受信アンテナ202の水平方向及び垂直方向の素子サイズを 1λ 程度

以上のサイズに設計できる。

[0164] また、例えば、図 16～図 19 に示す各仮想受信アレーにおいて、各仮想アレー素子はそれぞれ異なる位置に重なりなく配置されるので、仮想受信アレーの開口長を拡張でき、角度分解能を向上できる。

[0165] また、例えば、図 16～図 19 に示す仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子を、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置できる。また、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数は、 $N_{TxGroup}$ 、 $N_{TxGroup_ANT}$ 、 $N_{RxGroup}$ 及び $N_{RxGroup_ANT}$ に依存して増加する。

[0166] 例えば、仮想受信アレーにおいて、水平方向では $(N_{TxGroup_ANT} \times N_{RxGroup_ANT}) - 2$ の仮想アレー素子が D_H 間隔で並び、垂直方向では $(N_{RxGroup} \times N_{TxGroup}) - 2$ の仮想アレー素子が D_V 間隔で並ぶ。仮想受信アレーの中心付近において D_H 、 D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子が増加するほど、グレーティングローブ及びサイドローブの低減効果を向上できる。

[0167] また、 $N_{TxGroup_ANT}$ 、 $N_{RxGroup_ANT}$ が大きいほど、水平方向に並ぶ仮想アレー素子数が増大するため、水平方向の仮想受信アレーの開口長を拡張でき、水平方向の角度分解能を向上できる。同様に、 $N_{TxGroup}$ 、 $N_{RxGroup}$ が大きいほど、垂直方向に並ぶ仮想アレー素子数が増大するため、垂直方向の仮想受信アレーの開口長を拡張でき、垂直方向の角度分解能を向上できる。

[0168] なお、基本配置 1 の変形 2 において、配置方法 1-2 A 及び配置方法 1-2 B を組み合わせた配置も可能である。図 20 は、 $N_{TxGroup}=4$ 、 $N_{TxGroup_ANT}=4$ 、 $N_{RxGroup}=4$ 、 $N_{RxGroup_ANT}=4$ の送信アンテナ 106 及び受信アンテナ 202 の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。図 20 では、式 (11) の $D_{TxGroupV}=5D_H$ となり、式 (12) の $D_{RxAntH}=5D_H$ となる。これにより、配置方法 1-2 A 及び配置方法 1-2 B を組み合わせた効果が得られる。

[0169] <基本配置 1 の変形例 3>

以下、基本配置 1 の変形例 3 におけるアンテナ配置方法 1-3 A、1-3 B 及び 1-3 C についてそれぞれ説明する。

[0170] (配置方法 1-3 A)

基本配置 1 では、送信アレーアンテナにおいて、各送信アンテナ群に含まれる送信アンテナの水平方向の位置が同一の場合について説明した。しかし、これに限らず、各送信アンテナ群の間において、各送信アンテナ群に含まれる送信アンテナの水平方向の配置位置は異なってもよい。

[0171] 例えば、送信アレーアンテナにおいて、第 1 の送信アンテナ群及び第 2 の送信アンテナ群にそれぞれ含まれる各送信アンテナは、水平方向の位置を D_H ずらして（換言すると、シフトして）配置されてよい。

[0172] 水平方向に D_H ずらす方向は、第 1 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナに対して、第 2 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナを右方向または左方向の何れの方角でもよい。

[0173] 図 2 1 は、送信アレーアンテナにおいて、第 1 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#2, Tx#4）に対して、第 2 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#1, Tx#3）をそれぞれ右方向に D_H ずらした場合の送信アンテナ 1 0 6 及び受信アンテナ 2 0 2 の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。

[0174] 図 2 1 では、Tx#1 及び Tx#2 の水平方向の位置が D_H 異なる。また、Tx#3 及び Tx#4 の水平方向の位置が D_H 異なる。

[0175] （配置方法 1 - 3 B）

基本配置 1 では、受信アレーアンテナにおいて、各受信アンテナ群に含まれる受信アンテナの水平方向の位置が同一の場合について説明した。しかし、これに限らず、各受信アンテナ群の間において、各受信アンテナ群に含まれる受信アンテナの水平方向の配置位置は異なってもよい。

[0176] 例えば、受信アレーアンテナにおいて、第 1 の受信アンテナ群及び第 2 のアンテナ群にそれぞれ含まれる各受信アンテナは、水平方向の位置を D_H ずらして配置されてよい。

[0177] 水平方向に D_H ずらす方向は、第 1 の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナに対して、第 2 の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナを右方向または左方向の何れの方角でもよい。

[0178] 図 2 2 は、受信アレーアンテナにおいて、第 1 の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#2, Rx#4）に対して、第 2 の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#1, Rx#3）をそれぞれ右方向に D_H ずらした場合の送信アンテナ 1 0 6 及び受信アンテナ 2 0 2 の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。

[0179] 図 2 2 では、Rx#1 及び Rx#2 の水平方向の位置が D_H 異なる。また、Rx#3 及び Rx#4 の水平方向の位置が D_H 異なる。

[0180] （配置方法 1 - 3 C）

配置方法 1 - 3 C は、配置方法 1 - 3 A 及び配置方法 1 - 3 B を組み合わせた方法である。

[0181] 例えば、送信アレーアンテナにおいて、第 1 の送信アンテナ群と第 2 の送信アンテナ群との間で送信アンテナは、水平方向の位置を D_H ずらして配置される。同様に、受信アレーアンテナにおいて、第 1 の受信アンテナ群と第 2 のアンテナ群との間で受信アンテナは、水平方向の位置を D_H ずらして配置される。

[0182] なお、水平方向に D_H ずらす方向は、例えば、第 1 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナに対して、第 2 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナを右方向又は左方向の何れの方角でもよい。また、水平方向に D_H ずらす方向は、例えば、第 1 の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナに対して、第 2 の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナを右方向又は左方向の何れの方角でもよい。

[0183] 図 2 3 は、配置方法 1 - 3 C に係る送信アンテナ 1 0 6 及び受信アンテナ 2 0 2 の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。図 2 3 では、送信アレーアンテナにおいて、第 1 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#2, Tx#4）に対して、第 2 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#1, Tx#3）はそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。また、図 2 3 では、受信アレーアンテナにおいて、第 1 の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#2, Rx#4）に対して、第 2 の受信アンテナ

群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#1, Rx#3）はそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。

[0184] 図24は、配置方法1-3Cに係る送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。図24では、送信アレーアンテナにおいて、第1の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#2, Tx#4）に対して、第2の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#1, Tx#3）はそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。また、図24では、受信アレーアンテナにおいて、第1の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#2, Rx#4）に対して、第2の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#1, Rx#3）はそれぞれ右方向に D_H ずらして配置される。

[0185] 例えば、受信アンテナ群と送信アンテナ群とで水平方向に D_H ずらす方向を異なる方向とした配置（例えば、図24）と比較して、受信アンテナ群と送信アンテナ群とで水平方向に D_H ずらす方向を同一とした配置（例えば、図23）の方が、仮想受信アレー配置の中心付近において仮想受信アレー素子がより密に配置されるため、より好適となる。

[0186] 以上、配置方法1-3A～1-3Cについてそれぞれ説明した。

[0187] 例えば、図21～図24に示す送受信アンテナ配置（例えば、MIMOアレー配置）において、 D_H 及び D_V を 0.5λ 程度とすることにより、送信アンテナ106及び受信アンテナ202の水平方向及び垂直方向の素子サイズを 1λ 程度のサイズに設計できる。

[0188] これにより、基本配置1の変形例3では、例えば、図9Aに示すような平面パッチアンテナを縦横2素子並べた4素子をサブアレーに用いたアンテナ（ただし、アンテナ幅 $W_{ANT} < 2D_H$, アンテナ高 $H_{ANT} < 2D_V$ ）を適用できる（図示せず）。

[0189] また、送信アンテナ群間の垂直方向の間隔は $3D_V$ であり、各送信アンテナ群内の送信アンテナ間の水平方向の間隔は $2D_H$ であり、送信アレーアンテナは、水平方向の間隔よりも垂直方向の間隔が広い。このため、基本配置1の変形

例3では、例えば、図9Bのような、平面パッチアンテナを縦3素子、横2素子並べた6素子をサブアレーとして用いたアンテナ（ただし、アンテナ幅 $W_{ANT} < 2D_H$ 、アンテナ高 $H_{ANT} < 3D_V$ ）を適用できる。

[0190] また、基本配置1の変形例3では、送信アレーアンテナ及び受信アレーアンテナの少なくとも一つにおいて、各送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ又は各受信アンテナ群に含まれる受信アンテナの水平方向の位置が互いに異なる。このため、基本配置1の変形例3では、サブアレーの横方向 W_{ANT} の素子サイズが D_H よりも小さければ、サブアレーの縦方向の素子サイズは任意サイズでよい。

[0191] 例えば、図25Aは、平面パッチアンテナを縦8素子、横1素子並べたサブアレーの一例を示す。なお、サブアレーの構成は図25Aに示す構成に限定されない。

[0192] また、図25Bは、図23又は図24に示す送信アンテナアレーに対して、図25Aに示すサブアレーを適用した場合の例を示す。なお、図25Bに示す送信アレーアンテナに加え、図25Cに示すように、無給電素子（ダミー素子）が配置されてよい。無給電素子により、隣接するアンテナによるアンテナ間結合の影響を各アンテナで均一化でき、各送信アンテナ（Tx#1～#4）の指向特性を均一化できる。また、無給電素子を設置することによって、アンテナの放射、インピーダンス整合、又は、アイソレーション等の電気的特性の影響を一様化できる。なお、無給電素子の配置は、図25Cに限らず、各アンテナと物理的に干渉しない位置、サイズで配置されてよい。

[0193] このように、基本配置1の変形例3に係るアンテナ配置において、サブアレー構成のアンテナを用いることにより、アンテナの指向性利得を向上でき、レーダ装置10における検知性能（例えば、検知距離）を向上できる。

[0194] また、基本配置1の変形例3では、仮想受信アレーの各仮想アレー素子は重なりなく配置されるため、仮想受信アレーの開口長を拡張でき、角度分解能を向上できる。

[0195] （変形例3と変形例1との組み合わせ）

なお、基本配置 1 の変形例 3 は、基本配置 1 の変形例 1 と組み合わせてもよい。

[0196] 例えば、基本配置 1 の変形例 1 に係る送信アレーアンテナの配置に対して、更に、送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナの水平方向の位置を、送信アンテナ群間で D_H ずらした配置としてよい。

[0197] 同様に、例えば、基本配置 1 の変形例 1 に係る受信アレーアンテナの配置に対して、更に、受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナの水平方向の位置を、受信アンテナ群間で D_H ずらした配置としてよい。

[0198] 図 26～図 30 は、変形例 3 と変形例 1 との組み合わせにおけるアンテナ配置の一例を示す。

[0199] 図 26 は、 $N_{TxGroup}=2$ 、 $N_{TxGroup_ANT}=4$ 、 $N_{RxGroup}=3$ 、 $N_{RxGroup_ANT}=2$ とし、送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナの水平方向の位置を D_H ずらした配置の場合の送信アンテナ 106 及び受信アンテナ 202 の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。

[0200] また、図 27 は、 $N_{TxGroup}=2$ 、 $N_{TxGroup_ANT}=4$ 、 $N_{RxGroup}=3$ 、 $N_{RxGroup_ANT}=2$ とし、受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナの水平方向の位置を D_H ずらした配置の場合の送信アンテナ 106 及び受信アンテナ 202 の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。

[0201] また、図 28 は、 $N_{TxGroup}=2$ 、 $N_{TxGroup_ANT}=4$ 、 $N_{RxGroup}=3$ 、 $N_{RxGroup_ANT}=2$ とし、送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナの水平方向の位置を D_H ずらし、受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナの水平方向の位置を D_H ずらした配置の場合の送信アンテナ 106 及び受信アンテナ 202 の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。図 28 では、第 1 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#2, Tx#4, Tx#6, Tx#8）に対して、第 2 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#1, Tx#3, Tx#5, Tx#7）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。また、図 28 では、受信アレーアンテナにおいて、第 1 の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#3, Rx#6）に対して、第 2 の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#2, Rx#5）

がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。また、図28では、第2の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナに対して、第3の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#1, Rx#4）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。

[0202] また、図29は、 $N_{TxGroup}=2$ 、 $N_{TxGroup_ANT}=4$ 、 $N_{RxGroup}=3$ 、 $N_{RxGroup_ANT}=2$ とし、送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナの水平方向の位置を D_H ずらし、受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナの水平方向の位置を D_H ずらした配置の場合の送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。図29では、第1の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#2, Tx#4, Tx#6, Tx#8）に対して、第2の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#1, Tx#3, Tx#5, Tx#7）がそれぞれ右方向に D_H ずらして配置される。また、図29では、受信アレーアンテナにおいて、第1の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#3, Rx#6）に対して、第2の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#2, Rx#5）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。また、図29では、第2の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナに対して、第3の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#1, Rx#4）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。

[0203] 例えば、図26～図29に示す各MIMOアレー配置において、 D_H 及び D_V を 0.5λ 程度とすることにより、送信アンテナ106及び受信アンテナ202の水平方向及び垂直方向の素子サイズを 1λ 以上のサイズに設計できる。

[0204] また、例えば、図26～図29に示す各仮想受信アレーにおいて、各仮想アレー素子はそれぞれ異なる位置に重なりなく配置されるので、仮想受信アレーの開口長を拡張でき、角度分解能を向上できる。

[0205] なお、送信アレーアンテナにおける第1の送信アンテナ群と第2の送信アンテナ群との間で各送信アンテナの水平方向の位置を D_H ずらして配置した場合、又は、受信アレーアンテナにおける第1の受信アンテナ群と第2の受信アンテナ群との間で各受信アンテナの水平方向の位置を D_H ずらして配置した場合

でも、仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子を、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置できる。また、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数は、例えば、 $N_{TxGroup_ANT}$ 及び $N_{RxGroup}$ に依存して増加する。

[0206] 例えば、仮想受信アレーにおいて、水平方向では $(N_{TxGroup_ANT} \times N_{RxGroup_ANT}) - 2$ の仮想アレー素子が D_H 間隔で並び、垂直方向では $(N_{RxGroup} \times N_{TxGroup}) - 2$ の仮想アレー素子が D_V 間隔で並ぶ。仮想受信アレーの中心付近において D_H 、 D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数が増加するほど、グレーティングローブ及びサイドローブの低減効果を向上できる。

[0207] また、 $N_{TxGroup_ANT}$ が大きいほど、水平方向に並ぶ仮想アレー素子数が増大するため、水平方向の仮想受信アレーの開口長を拡張でき、水平方向の角度分解能を向上できる。同様に、 $N_{RxGroup}$ が大きいほど、垂直方向に並ぶ仮想アレー素子数が増大するため、垂直方向の仮想受信アレーの開口長を拡張でき、垂直方向の角度分解能を向上できる。

[0208] なお、図28及び図29では、受信アンテナ群の数 $N_{RxGroup}$ が3以上の場合、各受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナの水平方向の位置を一定方向（右あるいは左方向）にずらして配置する場合を示す。しかし、受信アンテナの水平方向の位置をずらす方向はこれに限定されない。例えば、受信アンテナ群の数 $N_{RxGroup}$ が3以上の場合、各受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナの水平方向の位置を右方向又は左方向にずらす方向を、受信アンテナ群毎に可変にしてもよい。

[0209] 図30は、 $N_{TxGroup}=2$ 、 $N_{TxGroup_ANT}=4$ 、 $N_{RxGroup}=3$ 、 $N_{RxGroup_ANT}=2$ とし、送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナの水平方向の位置を D_H ずらし、受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナの水平方向の位置を D_H ずらした配置の場合の送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。図30では、第1の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#2, Tx#4, Tx#6, Tx#8）に対して、第2の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#1, Tx#3, Tx#5, Tx#7）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。また、図30では、受信アレーアンテナにおいて、第1の

受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#3, Rx#6）に対して、第2の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#2, Rx#5）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。また、図30では、第2の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナに対して、第3の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#1, Rx#4）がそれぞれ右方向に D_H ずらして配置される。

[0210] 図30のアンテナ配置でも、仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子を、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置できる。また、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数は、例えば、 $N_{TxGroup_ANT}$ 及び $N_{RxGroup}$ に依存して増える。例えば、水平方向では、 $(N_{TxGroup_ANT} \times N_{RxGroup_ANT}) - 2$ の仮想アレー素子が D_H 間隔で並び、垂直方向では $(N_{RxGroup} \times N_{TxGroup}) - 2$ の仮想アレー素子が D_V 間隔で並ぶ。仮想受信アレーの中心付近において D_H 、 D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子が増加するほど、グレーティングローブ及びサイドローブの低減効果を向上できる。

[0211] （変形例3と変形例2との組み合わせ）

また、基本配置1の変形例3は、基本配置1の変形例2と組み合わせてもよい。

[0212] 例えば、基本配置1の変形例2に係る送信アレーアンテナの配置に対して、更に、送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナの水平方向の位置を、送信アンテナ群間で D_H ずらした配置としてよい。

[0213] 同様に、例えば、基本配置1の変形例2に係る受信アレーアンテナの配置に対して、更に、受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナの水平方向の位置を、受信アンテナ群間で D_H ずらした配置としてよい。

[0214] なお、送信アンテナ群の数 $N_{TxGroup}$ が3以上の場合、各送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナの水平方向の位置を一定方向（右あるいは左方向）にずらして配置してもよく各送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナの水平方向の位置を右方向又は左方向にずらず方向を、送信アンテナ群毎に可変にしてもよい。

[0215] 図3 1 及び図3 2 は、変形例3 と変形例2 との組み合わせにおけるアンテナ配置の一例を示す。

[0216] 図3 1 は、 $N_{TxGroup}=4$ 、 $N_{TxGroup_ANT}=4$ 、 $N_{RxGroup}=4$ 、 $N_{RxGroup_ANT}=2$ とし、送信アンテナ群及び受信アンテナ群に含まれる各アンテナの水平方向の位置を D_H ずらした配置の場合の送信アンテナ1 0 6 及び受信アンテナ2 0 2 の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。図3 1 では、式(1 1)の $D_{TxGroupV}=5D_V$ となる。

[0217] 図3 1 では、送信アレーアンテナにおいて、第1 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#4, Tx#8, Tx#12, Tx#16）に対して、第2 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#3, Tx#7, Tx#11, Tx#15）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。また、図3 1 では、第2 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナに対して、第3 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#2, Tx#6, Tx#10, Tx#14）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。また、図3 1 では、第3 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナに対して、第4 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#1, Tx#5, Tx#9, Tx#13）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。

[0218] また、図3 1 では、受信アレーアンテナにおいて、第1 の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#4, Rx#8）に対して、第2 の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#3, Rx#7）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。また、図3 1 では、第2 の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナに対して、第3 の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#2, Rx#6）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。また、図3 1 では、第3 の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナに対して、第4 の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#1, Rx#5）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。

[0219] 次に、図3 2 は、 $N_{TxGroup}=2$ 、 $N_{TxGroup_ANT}=4$ 、 $N_{RxGroup}=2$ 、 $N_{RxGroup_ANT}=4$ とし、送信アンテナ群及び受信アンテナ群に含まれる各アンテナの水平方向の位置を D_H ずらした場合の送信アンテナ1 0 6 及び受信アンテナ2 0 2 の配置例、及び、仮

想受信アレーの配置例を示す。図32では、式(12)の $D_{\text{RxGroupH}}=5D_H$ となる。

[0220] 図32では、第1の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#2, Tx#4, Tx#6, Tx#8）に対して、第2の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#1, Tx#3, Tx#5, Tx#7）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。また、図32では、受信アレーアンテナにおいて、第1の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#2, Rx#4, Rx#6, Rx#8）に対して、第2の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#1, Rx#3, Rx#5, Rx#7）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。

[0221] 例えば、図31及び図32に示す各MIMOアレー配置において、 D_H 及び D_V を 0.5λ 程度とすることにより、送信アンテナ106及び受信アンテナ202の水平方向及び垂直方向の素子サイズを 1λ 以上にできる。

[0222] また、例えば、図31及び図32に示す各仮想受信アレーにおいて、各仮想アレー素子はそれぞれ異なる位置に重なりなく配置されるので、仮想受信アレーの開口長を拡張でき、角度分解能を向上できる。

[0223] また、図31及び図32に示す仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子を、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置できる。また、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数は、例えば、 N_{TxGroup} 、 $N_{\text{TxGroup_ANT}}$ 、 N_{RxGroup} 及び $N_{\text{RxGroup_ANT}}$ に依存して増加する。

[0224] 例えば、水平方向では $(N_{\text{TxGroup_ANT}} \times N_{\text{RxGroup_ANT}}) - 2$ の仮想アレー素子が D_H 間隔で並び、垂直方向では、 $(N_{\text{RxGroup}} \times N_{\text{TxGroup}}) - 2$ の仮想アレー素子が D_V 間隔で並ぶ。仮想受信アレーの中心付近において D_H 、 D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数が増加するほど、グレーティングローブ及びサイドローブの低減効果を向上できる。

[0225] また、 $N_{\text{TxGroup_ANT}}$ 及び $N_{\text{RxGroup_ANT}}$ が大きいほど、水平方向に並ぶ仮想アレー素子数が増大するため、水平方向の仮想受信アレーの開口長を拡張でき、水平方向の角度分解能を向上できる。同様に、 N_{TxGroup} 、 N_{RxGroup} が大きいほど、垂直方向に並ぶ仮想アレー素子数が増大するため、垂直方向の仮想受信アレーの開口長を拡張でき、垂直方向の角度分解能を向上できる。

[0226] なお、基本配置 1 の変形例 3 は、例えば、図 20 に示す基本配置 1 の変形例 2 における配置方法 A 及び B の組み合わせた配置に対して、更に、送信アレーアンテナ及び受信アレーアンテナにおいて、各アンテナの水平方向の位置を、送信アンテナ群間及び受信アンテナ群間で D_H ずらした配置としてよい。

[0227] 図 33 は、 $N_{TxGroup}=4$ 、 $N_{TxGroup_ANT}=4$ 、 $N_{RxGroup}=4$ 、 $N_{RxGroup_ANT}=4$ とし、送信アンテナ群及び受信アンテナ群に含まれる各アンテナの水平方向の位置を D_H ずらした配置の場合の送信アンテナ 106 及び受信アンテナ 202 の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。図 33 では、式 (11) の $D_{TxGroupV}=5D_V$ となり、式 (12) の $D_{RxGroupH}=5D_H$ となる。

[0228] 図 33 では、送信アレーアンテナにおいて、第 1 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#4, Tx#8, Tx#12, Tx#16）に対して、第 2 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#3, Tx#7, Tx#11, Tx#15）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。また、図 33 では、第 2 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナに対して、第 3 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#2, Tx#6, Tx#10, Tx#14）がそれぞれ水平方向に同一位置に配置される。また、図 33 では、第 3 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナに対して、第 4 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#1, Tx#5, Tx#9, Tx#13）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。

[0229] また、図 33 では、受信アレーアンテナにおいて、第 1 の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#4, Rx#8, Rx#12, Rx#16）に対して、第 2 の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#3, Rx#7, Rx#11, Rx#15）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。また、図 33 では、第 2 の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナに対して、第 3 の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#2, Rx#6, Rx#10, Rx#14）がそれぞれ右方向に D_H ずらして配置される。また、図 33 では、第 3 の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナに対して、第 4 の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#1, Rx#5, Rx#9, Rx#13）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置

される。

[0230] これにより、基本配置 1 の変形例 3 で得られる効果に加え、基本配置 1 の変形例 2 における配置方法 1 - 2 A 及び 1 - 2 B を組み合わせた効果が得られる。

[0231] <基本配置 2>

図 3 4 は、基本配置 2 に係る送信アンテナ 1 0 6 及び受信アンテナ 2 0 2 の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。

[0232] (1) 送受信アンテナの配置

図 3 4 では、送信アレーアンテナにおける送信アンテナ 1 0 6 の個数 $N_t=4$ 個 (Tx#1, Tx#2, Tx#3 及び Tx#4) とし、受信アレーアンテナにおける受信アンテナ 2 0 2 の個数 $N_a=4$ 個 (Rx#1, Rx#2, Rx#3 及び Rx#4) とする。

[0233] 図 3 4 に示す送信アレーアンテナは、「第 1 の送信アンテナ群」(図 3 4 では、Tx#2, Tx#4) と、「第 2 の送信アンテナ群」(図 3 4 では、Tx#1, Tx#3) とから構成される。各送信アンテナ群は、それぞれ、垂直方向について位置が同一であり、水平方向(図 3 4 では横方向)についてアンテナ間隔が $3D_h$ である 2 つの送信アンテナ素子を含む。また、「第 1 の送信アンテナ群」と「第 2 の送信アンテナ群」の垂直方向(図 3 4 では縦方向)の間隔は、例えば、 $3D_v$ となる。

[0234] また、図 3 4 に示す受信アレーアンテナは、「第 1 の受信アンテナ群」(図 3 4 では、Rx#2, Rx#4) と、「第 2 の受信アンテナ群」(図 3 4 では、Rx#1, Rx#3) とから構成される。各受信アンテナ群は、垂直方向について位置が同一であり、水平方向についてアンテナ間隔が $2D_h$ である 2 つの受信アンテナ素子を含む。また、「第 1 の受信アンテナ群」と「第 2 の受信アンテナ群」の垂直方向の間隔は、例えば、 $2D_v$ となる。

[0235] このように、図 3 4 に示す送受信アンテナ配置において、送信アレーアンテナは、複数の送信アンテナ群から構成され、複数の送信アンテナ群の各々は、例えば、水平方向に D_h の整数倍の間隔(ここでは、 $3D_h$)で配置される複数の送信アンテナを含む。また、複数の送信アンテナ群は、垂直方向におい

て $3D_V$ の間隔で配置される。換言すると、送信アンテナ群間の垂直方向のアンテナ間隔（図34では $3D_V$ ）と、各送信アンテナ群内の水平方向のアンテナ間隔（図34では $3D_H$ ）とが同一である。

[0236] また、図34に示す送受信アンテナ配置において、受信アレーアンテナは、複数の受信アンテナ群から構成され、複数の受信アンテナ群の各々は、例えば、水平方向に D_H の整数倍の間隔（ここでは、 $2D_H$ ）の間隔で配置される複数の受信アンテナを含む。また、複数の受信アンテナ群は、垂直方向において $2D_V$ の間隔で配置される。換言すると、各受信アンテナ群内の水平方向のアンテナ間隔（図34では $2D_H$ ）と、受信アンテナ群間の垂直方向のアンテナ間隔（図34では $2D_H$ ）とが同一である。

[0237] また、図34では、送信アンテナ106におけるアンテナ間隔（図34では $3D_H$ ）と、受信アンテナ202におけるアンテナ間隔（図34では $2D_H$ ）とは異なり、例えば、差は D_H である。また、図34では、複数の送信アンテナ群が配置される間隔 $3D_V$ （ D_V の整数倍の間隔）と複数の受信アンテナ群が配置される間隔 $2D_V$ （ D_V の整数倍の間隔）との差は D_V である。

[0238] 例えば、図34に示す水平方向（横方向）がX軸に対応し、図34に示す垂直方向（縦方向）がY軸方向に対応することを仮定する。

[0239] 図34に示すアンテナ配置の場合、送信アレーアンテナを構成する送信アンテナ106の位置座標は、送信アンテナTx#1の位置座標（ $X_{T_#1}, Y_{T_#1}$ ）を基準として、送信アンテナTx#2の位置座標（ $X_{T_#2}, Y_{T_#2}$ ）=（ $X_{T_#1}, Y_{T_#1}+3D_V$ ）、送信アンテナTx#3の位置座標（ $X_{T_#3}, Y_{T_#3}$ ）=（ $X_{T_#1}+3D_H, Y_{T_#1}$ ）、及び、送信アンテナTx#4の位置座標（ $X_{T_#4}, Y_{T_#4}$ ）=（ $X_{T_#1}+3D_H, Y_{T_#1}+3D_V$ ）と表される。

[0240] 同様に、受信アレーアンテナを構成する受信アンテナ202の位置座標は、受信アンテナRx#1の位置座標（ $X_{R_#1}, Y_{R_#1}$ ）を基準として、受信アンテナRx#2の位置座標（ $X_{R_#2}, Y_{R_#2}$ ）=（ $X_{R_#1}, Y_{R_#1}+2D_V$ ）、受信アンテナRx#3の位置座標（ $X_{R_#3}, Y_{R_#3}$ ）=（ $X_{R_#1}+2D_H, Y_{R_#1}$ ）、及び、受信アンテナRx#4の位置座標（ $X_{R_#4}, Y_{R_#4}$ ）=（ $X_{R_#1}+2D_H, Y_{R_#1}+2D_V$ ）と表される。

[0241] （2）仮想受信アレーの配置

上述した図34に示す送受信アンテナ配置によって構成される仮想受信アレー（仮想アンテナVA#1～VA#16）の配置は以下のような特徴を有する。

[0242] 例えば、図34に示す送信アレーアンテナの配置及び受信アレーアンテナの配置により、仮想受信アレーVA#1～VA#16の位置座標 $(X_{V_ \#1}, Y_{V_ \#1}) \sim (X_{V_ \#16}, Y_{V_ \#16})$ は、それぞれ以下のようにになる。なお、ここでは、VA#1を仮想受信アレーの位置基準 $(0, 0)$ として表している。

$(0, 0), (0, 3D_V), (3D_H, 0), (3D_H, 3D_V), (0, 2D_V), (0, 5D_V),$
 $(3D_H, 2D_V), (3D_H, 5D_V), (2D_H, 0), (2D_H, 3D_V), (5D_H, 0), (5D_H,$
 $3D_V), (2D_H, 2D_V), (2D_H, 5D_V), (5D_H, 2D_V), (5D_H, 5D_V)$

[0243] このように、図34に示す仮想受信アレーの配置では、各仮想受信アレー素子はそれぞれ異なる位置に重なりなく配置される。このため、仮想受信アレーの開口長を拡張できるので、メインローブが狭まり、角度分解能を向上できる。

[0244] また、図34に示すように、仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子VA#4, VA#7, VA#10及びVA#13は、水平方向に D_H 間隔、垂直方向に D_V 間隔でそれぞれ密に配置される。一例として、図34において、間隔 D_H 及び間隔 D_V を 0.5λ 程度とした場合、仮想アレー素子VA#4, VA#7, VA#10及びVA#13は、水平方向に $D_H=0.5\lambda$ 間隔、垂直方向に $D_V=0.5\lambda$ 間隔で配置される。これにより、基本配置1（例えば、図8を参照）と同様、グレーティングローブを低減できる。

[0245] また、例えば、図34に示すMIMOアレー配置において、間隔 D_H 及び間隔 D_V を 0.5λ 程度とした場合、送信アンテナ106及び受信アンテナ202の水平方向及び垂直方向の素子サイズを 1λ 以上のサイズに設計できる。

[0246] これにより、例えば、図9Aに示すような、平面パッチアンテナを縦横に2素子ずつ並べた4素子をサブアレーに用いたアンテナ（ただし、アンテナ幅 $W_{ANT} < 2D_H$, アンテナ高 $H_{ANT} < 2D_V$ ）を、図34に示す送信アレーアンテナ及び受信アレーアンテナの少なくとも一つの各アンテナ素子に適用できる。

[0247] 図34では、送信アレーアンテナにおいて、水平方向のアンテナ間隔は $3D_H$

であり、垂直方向のアンテナ間隔は $3D_V$ である。つまり、図34に示す送信アレーアンテナのアンテナ間隔（ $3D_H$ 及び $3D_V$ ）は、受信アレーアンテナのアンテナ間隔（ $2D_H$ 及び $2D_V$ ）より広い。また、図34に示す送信アレーアンテナの水平方向のアンテナ間隔（ $3D_H$ ）は、基本配置1における送信アレーアンテナの水平方向のアンテナ間隔（例えば、図8では $2D_H$ ）より広い。

[0248] よって、図34に示す送信アレーアンテナには、例えば、図9Aに示す4素子のサブアレーよりも縦方向及び横方向の間隔が広い、図35に示すように平面パッチアンテナを縦3素子、横3素子ずつ並べた9素子をサブアレーに用いたアンテナ（ただし、アンテナ幅 $W_{ANT} < 3D_H$, アンテナ高 $H_{ANT} < 3D_V$ ）を適用できる。

[0249] 方向推定部214は、上述した送受信アンテナ配置（例えば、図34を参照）から得られる仮想受信アレーの受信信号を用いて、水平方向及び垂直方向の方向推定処理を行う。例えば、図34に示す基本配置2の仮想受信アレーは、基本配置1（例えば、図8を参照）の仮想受信アレーと同様な構成であるため、同様な性能を得ることができる。

[0250] 以上のように、図34に示すMIMOアレー配置を用いることで、送信アレーアンテナ及び受信アレーアンテナに用いるアンテナの縦方向又は横方向の素子サイズが 1λ 程度でも、仮想受信アレーにおける水平方向及び垂直方向のアンテナ間隔を 0.5λ 程度となる素子間隔を含むように配置でき、グレーティングロブを低減できる。また、例えば、図34に示すように、仮想受信アレーの各仮想アレー素子は重なりなく配置されるため、仮想受信アレーの開口長を拡張でき、角度分解能を向上できる。

[0251] また、送信アンテナ106及び受信アンテナ202に用いるアンテナ素子に、縦方向及び横方向の素子サイズが少なくとも 1λ 程度のサブアレー構成のアンテナを使用できる。よって、アンテナの指向性利得を向上でき、レーダ装置10の検知性能（例えば、検知距離）を向上できる。

[0252] また、基本配置2では、送信アレーアンテナ及び受信アレーアンテナの何れか一方（図34では送信アレーアンテナ）において、他方よりもアンテナ

間隔を広く設定できる。これにより、一方のアレーアンテナにおいて、より大きなサイズのサブアレーを適用でき、アンテナの指向性利得を向上できる。

[0253] <基本配置2の変形例1>

基本配置2（例えば、図34）では、送信アンテナ106の数を4素子（ $N_t=4$ ）とし、受信アンテナ202の数を4素子（ $N_a=4$ ）とする場合について説明した。しかし、送信アンテナ数 N_t 及び受信アンテナ数 N_a はこれらの数に限定されない。

[0254] 基本配置2の変形例1では、送信アレーアンテナは、基本配置2（例えば、図34）と同様、例えば、垂直方向の間隔が $3D_v$ となる第1の送信アンテナ群と第2の送信アンテナ群とから構成される。また、各送信アンテナ群は、基本配置2と同様、垂直方向について位置が同一であり、水平方向についてアンテナ間隔が $3D_h$ である2つの送信アンテナ素子を含む。

[0255] また、基本配置2の変形例1では、受信アレーアンテナは、基本配置2と同様、例えば、垂直方向の間隔が $2D_v$ となる $N_{RxGroup}$ 個の受信アンテナ群（例えば、第1から第 $N_{RxGroup}$ の受信アンテナ群）から構成される。また、各受信アンテナ群は、垂直方向について位置が同一であり、水平方向についてアンテナ間隔が $2D_h$ である $N_{RxGroup_ANT}$ 個の受信アンテナ素子を含む。

[0256] 基本配置2の変形例1では、 $N_{RxGroup}$ 及び $N_{RxGroup_ANT}$ の値に応じて、MIMOアレーのアンテナ数（例えば、受信アンテナ数 N_a ）を増加させた配置が可能となる。

[0257] 図36は、 $N_{RxGroup}=3$ 、 $N_{RxGroup_ANT}=2$ の場合の送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。

[0258] 図37は、 $N_{RxGroup}=2$ 、 $N_{RxGroup_ANT}=3$ の場合の送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。

[0259] 図38は、 $N_{RxGroup}=3$ 、 $N_{RxGroup_ANT}=4$ の場合の送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。

[0260] なお、図36、図37及び図38において、 $N_{TxGroup}=2$ であり、 $N_{TxGroup_ANT}=2$ で

ある。

[0261] 図36、図37及び図38に示す各MIMOアレー配置において、例えば、 D_H 及び D_V を 0.5λ 程度とすることにより、送信アンテナ106及び受信アンテナ202の水平方向及び垂直方向の素子サイズを 1λ 程度以上のサイズに設計できる。

[0262] また、例えば、図36、図37及び図38に示す各仮想受信アレーにおいて、各仮想アレー素子はそれぞれ異なる位置に重なりなく配置されるので、仮想受信アレーの開口長を拡張でき、角度分解能を向上できる。

[0263] また、図36、図37及び図38に示す各仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子を、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置できる。また、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数は、 $N_{RxGroup}$ 及び $N_{RxGroup_ANT}$ に依存して増加する。

[0264] 例えば、仮想受信アレーにおいて、水平方向では $(N_{RxGroup_ANT} \times N_{TxGroup_ANT}) - 2$ の仮想アレー素子が D_H 間隔で並び、垂直方向では $(N_{RxGroup} \times N_{TxGroup_ANT}) - 2$ の仮想アレー素子が D_V 間隔で並ぶ。仮想受信アレーの中心付近において D_H 、 D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数が増加するほど、グレーティングローブ及びサイドローブの低減効果を向上できる。

[0265] また、 $N_{RxGroup_ANT}$ が大きいほど、水平方向に並ぶ仮想アレー素子数が増大するため、水平方向の仮想受信アレーの開口長を拡張でき、水平方向の角度分解能を向上できる。同様に、 $N_{RxGroup}$ が大きいほど、垂直方向に並ぶ仮想アレー素子数が増大するため、垂直方向の仮想受信アレーの開口長を拡張でき、垂直方向の角度分解能を向上できる。

[0266] <基本配置2の変形例2>

以下、基本配置2の変形例2におけるアンテナ配置方法2-2A及び2-2Bについてそれぞれ説明する。

[0267] (配置方法2-2A)

基本配置2の変形例1では、受信アレーアンテナに含まれる受信アンテナ群の数 $N_{RxGroup}$ を増加することにより、垂直方向に並ぶ仮想アレー素子数を増大

させる場合について説明した。ここで、 $N_{\text{RxGroup}} \geq 3$ を満たせば、送信アレーアンテナにおいて、送信アンテナ群の数 N_{TxGroup} を増加することでも、仮想受信アレーにおいて垂直方向に並ぶ仮想アレー素子数を増大できる。

[0268] この場合、送信アンテナ群の垂直方向のアンテナ間隔を、例えば、一定の値（例えば、 $3D_V$ ）としてよいが、受信アンテナ群の数 N_{RxGroup} に依存して、仮想受信アレー配置は仮想アレー素子が重複する配置になり得る。

[0269] そこで、仮想受信アレー配置において重複する仮想アレー素子が含まれない配置とするには、例えば、送信アンテナ群の垂直方向のアンテナ間隔のうち、偶数番目のアンテナ間隔に、以下のような間隔 $D_{\text{TxGroupV2}}$ を用いてよい。

[数13]

$$D_{\text{TxGroupV2}} = D_V (2N_{\text{RxGroup}} - 3) \quad (13)$$

[0270] 例えば、 $N_{\text{RxGroup}}=3$ の場合、 $D_{\text{TxGroupV2}}=3D_V$ となり、 $N_{\text{RxGroup}}=4$ の場合、 $D_{\text{TxGroupV2}}=5D_H$ となる。

[0271] 例えば、送信アンテナ群の数 $N_{\text{TxGroup}}=3$ の場合、3個の送信アンテナ群の間隔は、 $\{3D_V, D_{\text{TxGroupV2}}\}$ とする。また、送信アンテナ群の数 $N_{\text{TxGroup}}=4$ の場合、4個の送信アンテナ群の間隔は、 $\{3D_V, D_{\text{TxGroupV2}}, 3D_V\}$ とする。また、送信アンテナ群の数 $N_{\text{RxGroup_ANT}}=5$ の場合、5個の送信アンテナ群の間隔は、 $\{3D_V, D_{\text{TxGroupV2}}, 3D_V, D_{\text{TxGroupV2}}\}$ とする。

[0272] 図39は、 $N_{\text{TxGroup}}=4$ 、 $N_{\text{TxGroup_ANT}}=2$ 、 $N_{\text{RxGroup}}=3$ 、 $N_{\text{RxGroup_ANT}}=2$ の場合の送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。図39では、式(13)の $D_{\text{TxGroupV2}}=3D_V$ となる。

[0273] また、図40は、 $N_{\text{TxGroup}}=4$ 、 $N_{\text{TxGroup_ANT}}=2$ 、 $N_{\text{RxGroup}}=4$ 、 $N_{\text{RxGroup_ANT}}=2$ の場合の送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。図40では、式(13)の $D_{\text{TxGroupV2}}=5D_V$ となる。

[0274] なお、仮想受信アレーの中心付近に不等間隔（例えば、 D_H 及び D_V よりも大きい間隔）となる配置が含まれてよい場合、 $D_{\text{TxGroupV2}}$ は、式(13)の値よりも大きい値でもよい。

[0275] <配置方法2-2B>

記法配置 2 の変形例 1 では、受信アレーアンテナの各受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数 $N_{\text{RxGroup_ANT}}$ を増加することにより、水平方向に並ぶ仮想アレー素子数を増大させる場合について説明した。ここで、 $N_{\text{RxGroup_ANT}} \geq 3$ を満たせば、送信アレーアンテナにおいて、送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数 $N_{\text{TxGroup_ANT}}$ を増加することでも、仮想受信アレーにおいて水平方向に並ぶ仮想アレー素子数を増大できる。

[0276] この場合、受信アンテナ群の水平方向のアンテナ間隔を、例えば、一定の値（例えば、 $3D_H$ ）としてもよいが、受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数 $N_{\text{RxGroup_ANT}}$ に依存して、仮想アレー配置は仮想アレー素子が重複する配置になり得る。

[0277] そこで、仮想受信アレー配置において重複する仮想アレー素子が含まれない配置とするには、例えば、送信アンテナ群に含まれる送信アンテナの水平方向のアンテナ間隔のうち、偶数番目のアンテナ間隔に、以下のような間隔を用いてよい。

[数14]

$$D_{\text{TxAntH}} = D_H (2N_{\text{RxGroup_ANT}} - 3) \quad (14)$$

[0278] 例えば、 $N_{\text{RxGroup_ANT}}=3$ の場合、 $D_{\text{TxAntH}}=3D_H$ となり、 $N_{\text{RxGroup_ANT}}=4$ の場合、 $D_{\text{TxAntH}}=5D_H$ となる。

[0279] 例えば、送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数 $N_{\text{TxGroup_ANT}}=3$ の場合、3 個の送信アンテナのアンテナ間隔は、 $\{3D_H, D_{\text{TxAntH}}\}$ とする。また、送信アンテナ数 $N_{\text{TxGroup_ANT}}=4$ の場合、4 個の送信アンテナのアンテナ間隔は、 $\{3D_H, D_{\text{TxAntH}}, 3D_H\}$ とする。同様に、送信アンテナ数 $N_{\text{TxGroup_ANT}}=5$ の場合、5 個の送信アンテナのアンテナ間隔は、 $\{3D_H, D_{\text{TxAntH}}, 3D_H, D_{\text{TxAntH}}\}$ とする。

[0280] 図 4 1 は、 $N_{\text{TxGroup}}=2$ 、 $N_{\text{TxGroup_ANT}}=4$ 、 $N_{\text{RxGroup}}=2$ 、 $N_{\text{RxGroup_ANT}}=3$ の場合の送信アンテナ 1 0 6 及び受信アンテナ 2 0 2 の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。図 4 1 では、式 (14) の $D_{\text{TxAntH}}=3D_H$ となる。

[0281] 図 4 2 は、 $N_{\text{TxGroup}}=2$ 、 $N_{\text{TxGroup_ANT}}=4$ 、 $N_{\text{RxGroup}}=2$ 、 $N_{\text{RxGroup_ANT}}=4$ の場合の送信アンテナ 1 0 6 及び受信アンテナ 2 0 2 の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例

を示す。図4 1では、式(1 4)の $D_{TxAntH}=5D_H$ となる。

[0282] なお、仮想受信アレーの中心付近に不等間隔(例えば、 D_H 及び D_V よりも大きい間隔)となる配置が含まれてよい場合、 D_{TxAntH} は、式(1 4)の値よりも大きい値でもよい。

[0283] 以上、基本配置2の変形例2における配置方法2-2 A及び2-2 Bについてそれぞれ説明した。

[0284] 例えば、図3 9~図4 2に示す送受信アンテナ配置(例えば、MIMOアレー配置)において、 D_H 及び D_V を 0.5λ 程度とすることにより、送信アンテナ1 0 6及び受信アンテナ2 0 2の水平方向及び垂直方向の素子サイズを 1λ 程度以上のサイズに設計できる。

[0285] また、例えば、図3 9~図4 2に示す各仮想受信アレーにおいて、各仮想アレー素子はそれぞれ異なる位置に重なりなく配置されるので、仮想受信アレーの開口長を拡張でき、角度分解能を向上できる。

[0286] また、例えば、図3 9~図4 2に示す仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子を、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置できる。また、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数は、 $N_{TxGroup}$ 、 $N_{TxGroup_ANT}$ 、 $N_{RxGroup}$ 及び $N_{RxGroup_ANT}$ に依存して増加する。

[0287] 例えば、仮想受信アレーにおいて、水平方向では $(N_{RxGroup_ANT} \times N_{TxGroup_ANT}) - 2$ の仮想アレー素子が D_H 間隔で並び、垂直方向では $(N_{RxGroup} \times N_{TxGroup}) - 2$ の仮想アレー素子が D_V 間隔で並ぶ。仮想受信アレーの中心付近において D_H 、 D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子が増加するほど、グレーティングローブ及びサイドローブの低減効果を向上できる。

[0288] また、 $N_{TxGroup_ANT}$ 、 $N_{RxGroup_ANT}$ が大きいほど、水平方向に並ぶ仮想アレー素子数が増大するため、水平方向の仮想受信アレーの開口長を拡張でき、水平方向の角度分解能を向上できる。同様に、 $N_{TxGroup}$ 、 $N_{RxGroup}$ が大きいほど、垂直方向に並ぶ仮想アレー素子数が増大するため、垂直方向の仮想受信アレーの開口長を拡張でき、垂直方向の角度分解能を向上できる。

[0289] なお、基本配置2の変形例2において、配置方法2-2 A及び配置方法2

− 2 B を組み合わせた配置も可能である。図 4 3 は、 $N_{TxGroup}=4$ 、 $N_{TxGroup_ANT}=4$ 、 $N_{RxGroup}=4$ 、 $N_{RxGroup_ANT}=4$ の送信アンテナ 1 0 6 及び受信アンテナ 2 0 2 の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。図 4 3 では、式 (1 3) の $D_{TxGroupV2}=5D_H$ となり、式 (1 4) の $D_{TxAntH}=5D_H$ となる。これにより、配置方法 2 − 2 A 及び配置方法 2 − 2 B を組み合わせた効果が得られる。

[0290] <基本配置 2 の変形例 3>

以下、基本配置 2 の変形例 3 におけるアンテナ配置方法 2 − 3 A、2 − 3 B 及び 2 − 3 C についてそれぞれ説明する。

[0291] (配置方法 2 − 3 A)

基本配置 2 では、送信アレーアンテナにおいて、各送信アンテナ群に含まれる送信アンテナの水平方向の位置が同一の場合について説明した。しかし、これに限らず、各送信アンテナ群の間において、各送信アンテナ群に含まれる送信アンテナの水平方向の配置位置は異なってもよい。

[0292] 例えば、送信アレーアンテナにおいて、第 1 の送信アンテナ群及び第 2 の送信アンテナ群にそれぞれ含まれる各送信アンテナは、水平方向の位置を D_H ずらして（換言すると、シフトして）配置されてよい。

[0293] 水平方向に D_H ずらす方向は、第 1 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナに対して、第 2 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナを右方向または左方向の何れの方でもよい。

[0294] 図 4 4 は、送信アレーアンテナにおいて、第 1 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#2, Tx#4）に対して、第 2 の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#1, Tx#3）をそれぞれ右方向に D_H ずらした場合の送信アンテナ 1 0 6 及び受信アンテナ 2 0 2 の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。

[0295] 図 4 4 では、Tx#1 及び Tx#2 の水平方向の位置が D_H 異なる。また、Tx#3 及び Tx#4 の水平方向の位置が D_H 異なる。

[0296] (配置方法 2 − 3 B)

基本配置 2 では、受信アレーアンテナにおいて、各受信アンテナ群に含ま

れる受信アンテナの水平方向の位置が同一の場合について説明した。しかし、これに限らず、各受信アンテナ群の間において、各受信アンテナ群に含まれる受信アンテナの水平方向の配置位置は異なってもよい。

[0297] 例えば、受信アレーアンテナにおいて、第1の受信アンテナ群及び第2のアンテナ群にそれぞれ含まれる各受信アンテナは、水平方向の位置を D_H ずらして配置されてよい。

[0298] 水平方向に D_H ずらす方向は、第1の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナに対して、第2の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナを右方向または左方向の何れの方角でもよい。

[0299] 図45は、受信アレーアンテナにおいて、第1の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#2, Rx#4）に対して、第2の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#1, Rx#3）をそれぞれ左方向に D_H ずらした場合の送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。

[0300] 図45では、Rx#1及びRx#2の水平方向の位置が D_H 異なる。また、Rx#3及びRx#4の水平方向の位置が D_H 異なる。

[0301] （配置方法2-3C）

配置方法2-3Cは、配置方法2-3A及び配置方法2-3Bを組み合わせた方法である。

[0302] 例えば、送信アレーアンテナにおいて、第1の送信アンテナ群と第2の送信アンテナ群との間で送信アンテナは、水平方向の位置を D_H ずらして配置される。同様に、受信アレーアンテナにおいて、第1の受信アンテナ群と第2のアンテナ群との間で受信アンテナは、水平方向の位置を D_H ずらして配置される。

[0303] なお、水平方向に D_H ずらす方向は、例えば、第1の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナに対して、第2の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナを右方向又は左方向の何れの方角でもよい。また、水平方向に D_H ずらす方向は、例えば、第1の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナに対して、第

2の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナを右方向又は左方向の何れの方向でもよい。

[0304] 図46は、配置方法2-3Cに係る送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。図46では、送信アレーアンテナにおいて、第1の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#2, Tx#4）に対して、第2の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#1, Tx#3）はそれぞれ右方向に D_H ずらして配置される。また、図46では、受信アレーアンテナにおいて、第1の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#2, Rx#4）に対して、第2の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#1, Rx#3）はそれぞれ右方向に D_H ずらして配置される。

[0305] 図47は、配置方法2-3Cに係る送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。図47では、送信アレーアンテナにおいて、第1の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#2, Tx#4）に対して、第2の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#1, Tx#3）はそれぞれ右方向に D_H ずらして配置される。また、図47では、受信アレーアンテナにおいて、第1の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#2, Rx#4）に対して、第2の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#1, Rx#3）はそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。

[0306] 例えば、受信アンテナ群と送信アンテナ群とで水平方向に D_H ずらす方向を異なる方向とした配置（例えば、図47）と比較して、受信アンテナ群と送信アンテナ群とで水平方向に D_H ずらす方向を同一とした配置（例えば、図46）の方が、仮想受信アレー配置の中心付近において仮想受信アレー素子がより密に配置されるため、より好適となる。

[0307] 以上、配置方法2-3A～2-3Cについてそれぞれ説明した。

[0308] 例えば、図45～図47に示す送受信アンテナ配置（例えば、MIMOアレー配置）において、 D_H 及び D_V を 0.5λ 程度とすることにより、送信アンテナ10

6 及び受信アンテナ 202 の水平方向及び垂直方向の素子サイズを 1λ 程度のサイズに設計できる。

[0309] これにより、基本配置 1 の変形例 3 では、例えば、図 9 A に示すような平面パッチアンテナを縦横 2 素子並べた 4 素子をサブアレーに用いたアンテナ（ただし、アンテナ幅 $W_{ANT} < 2D_H$ 、アンテナ高 $H_{ANT} < 2D_V$ ）を適用できる（図示せず）。

[0310] また、図 4 5 ～図 4 7 に示す送信アレーアンテナには、例えば、図 9 A に示す 4 素子のサブアレーよりも縦方向及び横方向の間隔が広い、平面パッチアンテナを縦 3 素子、横 3 素子ずつ並べた 9 素子をサブアレーに用いたアンテナ（ただし、アンテナ幅 $W_{ANT} < 3D_H$ 、アンテナ高 $H_{ANT} < 3D_V$ ）を適用できる。

[0311] また、基本配置 2 の変形例 3 では、送信アレーアンテナ及び受信アレーアンテナの少なくとも一つにおいて、各送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ又は各受信アンテナ群に含まれる受信アンテナの水平方向の位置が互いに異なる。このため、基本配置 2 の変形例 3 では、サブアレーの横方向 W_{ANT} の素子サイズが D_H よりも小さければ、サブアレーの縦方向の素子サイズは任意サイズでよい。例えば、図 4 5 ～図 4 7 の各送信アレーアンテナにおいて、図 2 5 A に示す平面パッチアンテナを縦 8 素子、横 1 素子並べたサブアレーを用いてもよい。

[0312] （変形例 3 と変形例 1 又は変形例 2 との組み合わせ）

なお、基本配置 2 の変形例 3 は、基本配置 2 の変形例 1 又は変形例 2 と組み合わせてもよい。

[0313] 例えば、基本配置 2 の変形例 1 又は変形例 2 に係る送信アレーアンテナの配置に対して、更に、送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナの水平方向の位置を、送信アンテナ群間で D_H ずらした配置としてよい。

[0314] 同様に、例えば、基本配置 2 の変形例 1 又は変形例 2 に係る受信アレーアンテナの配置に対して、更に、受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナの水平方向の位置を、受信アンテナ群間で D_H ずらした配置としてよい。

[0315] 図 4 8、図 4 9、図 5 0 A、図 5 0 B、図 5 1 A 及び図 5 1 B は、変形例

3と、変形例2との組み合わせにおけるアンテナ配置の一例を示す。

[0316] 図48は、 $N_{TxGroup}=4$ 、 $N_{TxGroup_ANT}=4$ 、 $N_{RxGroup}=4$ 、 $N_{RxGroup_ANT}=4$ とし、送信アンテナ群に含まれる各アンテナの水平方向の位置を D_H ずらした配置の場合の送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。図48では、式(13)の $D_{TxGroupV2}=5D_H$ となり、式(14)の $D_{TxAntH}=5D_H$ となる。

[0317] 図49は、 $N_{TxGroup}=4$ 、 $N_{TxGroup_ANT}=4$ 、 $N_{RxGroup}=4$ 、 $N_{RxGroup_ANT}=4$ とし、受信アンテナ群に含まれる各アンテナの水平方向の位置を D_H ずらした配置の場合の送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。図49では、式(13)の $D_{TxGroupV2}=5D_H$ となり、式(14)の $D_{TxAntH}=5D_H$ となる。

[0318] 図49では、受信アレーアンテナにおいて、第1の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#4, Rx#8, Rx#12, Rx#16）に対して、第2の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx3, Rx#7, Rx#11, Rx#15）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。また、図49では、第2の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナに対して、第3の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx2, Rx#6, Rx#10, Rx#14）がそれぞれ右方向に D_H ずらして配置される。また、図49では、第3の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナに対して、第4の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx1, Rx#5, Rx#9, Rx#13）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。

[0319] 図50Aは、 $N_{TxGroup}=4$ 、 $N_{TxGroup_ANT}=4$ 、 $N_{RxGroup}=4$ 、 $N_{RxGroup_ANT}=4$ とし、送信アンテナ群及び受信アンテナ群に含まれる各アンテナの水平方向の位置を D_H ずらした配置の場合の送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例を示し、図50Bは、仮想受信アレーの配置例を示す。図50Aでは、式(13)の $D_{TxGroupV2}=5D_H$ となり、式(14)の $D_{TxAntH}=5D_H$ となる。

[0320] 図50Aでは、送信アレーアンテナにおいて、第1の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#4, Tx#8, Tx#12, Tx#16）に対して、第2の

送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx3, Tx#7, Tx#11, Tx#15）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。また、図50Aでは、第2の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナに対して、第3の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx2, Tx#6, Tx#10, Tx#14）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。また、図50Aでは、第3の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナに対して、第4の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx1, Tx#5, Tx#9, Tx#13）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。

[0321] また、図50Aでは、受信アレーアンテナにおいて、第1の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#4, Rx#8, Rx#12, Rx#16）に対して、第2の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#3, Rx#7, Rx#11, Rx#15）がそれぞれ右方向に D_H ずらして配置される。また、図50Aでは、第2の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナに対して、第3の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#2, Rx#6, Rx#10, Rx#14）がそれぞれ右方向に D_H ずらして配置される。また、図50Aでは、第3の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナに対して、第4の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#1, Rx#5, Rx#9, Rx#13）がそれぞれ右方向に D_H ずらして配置される。

[0322] 図51Aは、 $N_{TxGroup}=4$ 、 $N_{TxGroup_ANT}=4$ 、 $N_{RxGroup}=4$ 、 $N_{RxGroup_ANT}=4$ とし、送信アンテナ群及び受信アンテナ群に含まれる各アンテナの水平方向の位置を D_H ずらした配置の場合の送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例を示し、図51Bは、仮想受信アレーの配置例を示す。図50Aでは、式(13)の $D_{TxGroupV2}=5D_H$ となり、式(14)の $D_{TxAntH}=5D_H$ となる。

[0323] 図51Aでは、送信アレーアンテナにおいて、第1の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx#4, Tx#8, Tx#12, Tx#16）に対して、第2の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx3, Tx#7, Tx#11, Tx#15）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。また、図51Aでは、第1の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナに対して、第3の送信アンテナ群に

含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx2, Tx#6, Tx#10, Tx#14）がそれぞれ右方向に D_H ずらして配置される。また、図5 1 Aでは、第3の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナに対して、第4の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナ（例えば、Tx1, Tx#5, Tx#9, Tx#13）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。

[0324] また、図5 1 Aでは、受信アレーアンテナにおいて、第1の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#4, Rx#8, Rx#12, Rx#16）に対して、第2の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#3, Rx#7, Rx#11, Rx#15）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。また、図5 1 Aでは、第2の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナに対して、第3の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#2, Rx#6, Rx#10, Rx#14）がそれぞれ右方向に D_H ずらして配置される。また、図5 1 Aでは、第3の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナに対して、第4の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナ（例えば、Rx#1, Rx#5, Rx#9, Rx#13）がそれぞれ左方向に D_H ずらして配置される。

[0325] 例えば、図4 8、図4 9、図5 0 A及び図5 1 Aに示す各MIMOアレー配置において、 D_H 及び D_V を 0.5λ 程度とすることにより、送信アンテナ106及び受信アンテナ202の水平方向及び垂直方向の素子サイズを 1λ 以上のサイズに設計できる。

[0326] また、例えば、図4 8、図4 9、図5 0 B及び図5 1 Bに示す各仮想受信アレーにおいて、各仮想アレー素子はそれぞれ異なる位置に重なりなく配置されるので、仮想受信アレーの開口長を拡張でき、角度分解能を向上できる。

[0327] なお、送信アンテナ群の数 $N_{TxGroup}$ が3以上の場合、各送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナの水平方向の位置を一定方向（右あるいは左方向）にずらして配置でもよく、各送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナの水平方向の位置を右方向又は左方向にずらず方向を、送信アンテナ群毎に可変にしてもよい。同様に、受信アンテナ群の数 $N_{RxGroup}$ が3以上の場合、各受信アンテナ

ナ群に含まれる各受信アンテナの水平方向の位置を一定方向（右あるいは左方向）にずらして配置でもよく、各受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナの水平方向の位置を右方向又は左方向にずらず方向を、受信アンテナ群毎に可変にしてもよい。

[0328] 何れのアンテナ配置でも、仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子を、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置できる。また、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数は、例えば、 $N_{TxGroup}$ 、 $N_{TxGroup_ANT}$ 、 $N_{RxGroup}$ 及び $N_{RxGroup_ANT}$ に依存して増加する。

[0329] 例えば、水平方向では、 $(N_{TxGroup_ANT} \times N_{RxGroup_ANT}) - 2$ の仮想アレー素子が D_H 間隔で並び、垂直方向では $(N_{RxGroup} \times N_{TxGroup}) - 2$ の仮想アレー素子が D_V 間隔で並ぶ。仮想受信アレーの中心付近において D_H 、 D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子が増加するほど、グレーティングローブ及びサイドローブの低減効果を向上できる。

[0330] また、 $N_{TxGroup_ANT}$ 及び $N_{RxGroup_ANT}$ が大きいほど、水平方向に並ぶ仮想アレー素子数が増大するため、水平方向の仮想受信アレーの開口長を拡張でき、水平方向の角度分解能を向上できる。同様に、 $N_{TxGroup}$ 、 $N_{RxGroup}$ が大きいほど、垂直方向に並ぶ仮想アレー素子数が増大するため、垂直方向の仮想受信アレーの開口長を拡張でき、垂直方向の角度分解能を向上できる。

[0331] <基本配置3>

図5 2 A～Dは、基本配置3に係る送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。

[0332] (1) 送受信アンテナの配置

図5 2 A～Dでは、送信アレーアンテナにおける送信アンテナ106の個数 $N_t=4$ 個（Tx#1, Tx#2, Tx#3及びTx#4）とし、受信アレーアンテナにおける受信アンテナ202の個数 $N_a=4$ 個（Rx#1, Rx#2, Rx#3及びRx#4）とする。

[0333] 図5 2 A～Dに示す送信アレーアンテナは、「第1の送信アンテナ群」（図5 2 A～Dでは、Tx#2、Tx#4）と、「第2の送信アンテナ群」（図5 2 A～Dでは、Tx#1、Tx#3）とから構成される。各送信アンテナ群は、それぞれ

、垂直方向について位置が同一であり、水平方向（図5 2 A～Dでは横方向）についてアンテナ間隔が $2D_H$ である2つの送信アンテナ素子を含む。また、「第1の送信アンテナ群」と「第2の送信アンテナ群」の垂直方向（図5 2 A～Dでは縦方向）の間隔は、例えば、 $2D_V$ となる。

[0334] また、図5 2 A～Dにおいて、第1の送信アンテナ群及び第2の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナの水平方向の位置は、 D_H ずれた互いに異なる位置となる。例えば、第2の送信アンテナ群に含まれる各送信アンテナの水平方向の位置は、第1の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナの水平位置を、 $+D_H$ ずらした配置又は $-D_H$ ずらした配置である。

[0335] また、図5 2 A～Dに示す受信アレーアンテナは、「第1の受信アンテナ群」（図5 2 A～Dでは、Rx#1、Rx#2）と、「第2の受信アンテナ群」（図5 2 A～Dでは、Rx#3、Rx#4）とから構成される。各受信アンテナ群は、それぞれ、水平方向について位置が同一であり、垂直方向についてアンテナ間隔が $2D_V$ である2つの受信アンテナ素子を含む。また、「第1の受信アンテナ群」と「第2の受信アンテナ群」の水平方向の間隔は、例えば、 $2D_H$ となる。

[0336] また、図5 2 A～Dにおいて、第1の受信アンテナ群及び第2の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナの垂直方向の位置は、 D_V ずれた互いに異なる位置となる。例えば、第2の受信アンテナ群に含まれる各受信アンテナの垂直方向の位置は、第1の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナの垂直位置を、 $+D_V$ ずらした配置又は $-D_V$ ずらした配置である。

[0337] 例えば、図5 2 A及び図5 2 Cに示す送受信アンテナ配置において、送信アレーアンテナに含まれる送信アンテナのそれぞれの配置位置と、受信アレーアンテナに含まれる受信アンテナのそれぞれの配置位置とは、水平方向及び垂直方向により構成される2次元平面において、例えば、 $+90^\circ$ 又は -90° 回転させた関係にある。

[0338] また、図5 2 B及び図5 2 Dに示す送受信アンテナ配置において、送信アレーアンテナに含まれる送信アンテナのそれぞれの配置位置と、受信アレーアンテナに含まれる受信アンテナのそれぞれの配置位置とは、水平方向及び

垂直方向により構成される２次元平面において、例えば、 $+90^\circ$ 又は -90° 回転させ、かつ、反転させた関係にある。

- [0339] なお、第１の送信アンテナ群に対する第２の送信アンテナ群の水平方向のずれ量 ΔH_{Tx} の組み合わせ２種類（ $+D_H$ 、 $-D_H$ ）、及び、第１の受信アンテナ群に対する第２の受信アンテナ群の垂直方向のずれ量 ΔV_{Rx} の組み合わせ２種類（ $+D_V$ 、 $-D_V$ ）は、いずれの組み合わせでもよい。ここで、例えば、図５２Ａ～Ｄにおいて $+D_H$ 方向は右方向とし、 $-D_H$ は左方向とする。また、図５２Ａ～Ｄにおいて $+D_V$ 方向は上方向とし、 $-D_V$ は下方向とする。
- [0340] 例えば、４種類の組み合わせ構成 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (+D_H, +D_V)$ 、 $(+D_H, -D_V)$ 、 $(-D_H, +D_V)$ 、 $(-D_H, -D_V)$ のいずれの組み合わせでもよい。一例として、図５２Ａ～Ｄは、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, -D_V)$ 、 $(-D_H, +D_V)$ 、 $(+D_H, +D_V)$ 、 $(+D_H, -D_V)$ の場合のMIMOアレー配置及び仮想受信アレーの配置をそれぞれ示す。
- [0341] 図５２Ａ～Ｄに示す各アンテナ群ずれ量の場合のMIMOアレー配置により得られる仮想受信アレー配置は、それぞれ、回転対称性のある配置となり、同様の測角性能の特性が得られる。
- [0342] 例えば、図５２Ａに示す水平方向（横方向）がX軸に対応し、図５２Ａに示す垂直方向（縦方向）がY軸方向に対応することを仮定する。
- [0343] 例えば、図５２Ａに示すアンテナ配置の場合、送信アレーアンテナを構成する送信アンテナ１０６の位置座標は、送信アンテナTx#1の位置座標 $(X_{T_#1}, Y_{T_#1})$ を基準として、送信アンテナTx#2の位置座標 $(X_{T_#2}, Y_{T_#2}) = (X_{T_#1} + D_H, Y_{T_#1} + 2D_V)$ 、送信アンテナTx#3の位置座標 $(X_{T_#3}, Y_{T_#3}) = (X_{T_#1} + 2D_H, Y_{T_#1})$ 、及び、送信アンテナTx#4の位置座標 $(X_{T_#4}, Y_{T_#4}) = (X_{T_#1} + 3D_H, Y_{T_#1} + 2D_V)$ と表される。
- [0344] 同様に、受信アレーアンテナを構成する受信アンテナ２０２の位置座標は、受信アンテナRx#1の位置座標 $(X_{R_#1}, Y_{R_#1})$ を基準として、受信アンテナRx#2の位置座標 $(X_{R_#2}, Y_{R_#2}) = (X_{R_#1}, Y_{R_#1} + 2D_V)$ 、受信アンテナRx#3の位置座標 $(X_{R_#3}, Y_{R_#3}) = (X_{R_#1} + 2D_H, Y_{R_#1} - D_V)$ 、及び、受信アンテナRx#4の位置座標 $(X_{R_#4}, Y_{R_#4}) = (X_{R_#1} + 2D_H, Y_{R_#1} + D_V)$ と表される。

[0345] (2) 仮想受信アレーの配置

上述した図5 2 A～Dに示す送受信アンテナ配置によって構成される仮想受信アレー（仮想アンテナVA#1～VA#16）の配置は以下のような特徴を有する。

[0346] 例えば、図5 2 Aに示す送信アレーアンテナの配置及び受信アレーアンテナの配置により、仮想受信アレーVA#1～VA#16の位置座標 $(X_{V_ \#1}, Y_{V_ \#1}) \sim (X_{V_ \#16}, Y_{V_ \#16})$ は、それぞれ以下のようにになる。なお、ここでは、VA#1を仮想受信アレーの位置基準 $(0, 0)$ として表している。

$(0, 0), (D_H, 2D_V), (2D_H, 0), (3D_H, 2D_V), (0, 2D_V), (D_H, 4D_V), (2D_H, 2D_V), (3D_H, 4D_V), (2D_H, -D_V), (3D_H, D_V), (4D_H, -D_V), (5D_H, D_V), (2D_H, D_V), (3D_H, 3D_V), (4D_H, D_V), (5D_H, 3D_V)$

[0347] このように、図5 2 A～Dに示す仮想受信アレーの配置では、各仮想受信アレー素子はそれぞれ異なる位置に重なりなく配置される。このため、仮想受信アレーの開口長を拡張できるので、メインローブが狭まり、角度分解能を向上できる。

[0348] また、図5 2 A～Dに示す仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子VA#4, VA#7, VA#10及びVA#13は、水平方向に D_H 間隔、垂直方向に D_V 間隔でそれぞれ密に配置される。一例として、図5 2 A～Dにおいて、間隔 D_H 及び間隔 D_V を 0.5λ 程度とした場合、仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子は、水平方向に $D_H=0.5\lambda$ 間隔、垂直方向に $D_V=0.5\lambda$ 間隔で配置される。これにより、基本配置1（例えば、図8を参照）と同様、グレーティングローブを低減できる。

[0349] また、例えば、図5 2 A～Dに示すMIMOアレー配置において、間隔 D_H 及び間隔 D_V を 0.5λ 程度とした場合、送信アンテナ106及び受信アンテナ202の水平方向及び垂直方向の素子サイズを 1λ 以上のサイズに設計できる。

[0350] これにより、例えば、図9 Aに示すような、平面パッチアンテナを縦横に2素子ずつ並べた4素子をサブアレーに用いたアンテナ（ただし、アンテナ幅 $W_{ANT} < 2D_H$, アンテナ高 $H_{ANT} < 2D_V$ ）を、図5 2 A～Dに示す送信アレーアンテナ

及び受信アレーアンテナの少なくとも一つの各アンテナに適用できる。

[0351] なお、第1の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数（以下、「 $N_{TxHGroup1_ANT}$ 」と表す）と、第2の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数（以下、「 $N_{TxHGroup2_ANT}$ 」と表す）とは同数又は1アンテナ分の差分があてよい。例えば、 $|N_{TxHGroup1_ANT} - N_{TxHGroup2_ANT}| = 0 \text{ or } 1$ とする。

[0352] 同様に、第1の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数（以下、「 $N_{RxVGroup1_ANT}$ 」と表す）と、第2の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数（以下、「 $N_{RxVGroup2_ANT}$ 」と表す）とは同数又は1アンテナ分の差分があてよい。例えば、 $|N_{RxVGroup1_ANT} - N_{RxVGroup2_ANT}| = 0 \text{ or } 1$ とする。

[0353] 図53A～Dは、第1の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数 $N_{TxHGroup1_ANT}$ と第2の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数 $N_{TxHGroup2_ANT}$ とに1アンテナ分の差分があり、第1の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナの数 $N_{RxVGroup1_ANT}$ と第2の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数 $N_{RxVGroup2_ANT}$ とが同数の場合のMIMOアレーアンテナ数が最小となる構成例を示す。

[0354] 図53A～Dに示すように、 $|N_{TxHGroup1_ANT} - N_{TxHGroup2_ANT}| = 1$ かつ $|N_{RxVGroup1_ANT} - N_{RxVGroup2_ANT}| = 0$ の場合のMIMOアレーアンテナ数が最小となる構成は、送信アンテナ数が3となり、受信アンテナ数が4（ $N_{RxVGroup1_ANT} = N_{RxVGroup2_ANT} = 2$ ）となる構成であり、例えば、図53A～Dの4通りのパターンが存在する。

[0355] 図53Aは、 $N_{TxHGroup1_ANT} = 1$ （Tx#2）、 $N_{TxHGroup2_ANT} = 2$ （Tx#1, Tx#3）、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, -D_V)$ の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。

[0356] 図53Bは、 $N_{TxHGroup1_ANT} = 1$ （Tx#2）、 $N_{TxHGroup2_ANT} = 2$ （Tx#1, Tx#3）、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, +D_V)$ の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。

[0357] 図53Cは、 $N_{TxHGroup1_ANT} = 2$ （Tx#2, Tx#3）、 $N_{TxHGroup2_ANT} = 1$ （Tx#1）、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (+D_H, -D_V)$ の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。

[0358] 図53Dは、 $N_{TxHGroup1_ANT} = 2$ （Tx#2, Tx#3）、 $N_{TxHGroup2_ANT} = 1$ （Tx#1）、 $(\Delta H_{Tx},$

$\Delta V_{Rx}) = (+D_H, +D_V)$ の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。

[0359] 図5 4 A～Dは、第1の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数 $N_{TxHGroup1_ANT}$ と第2の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数 $N_{TxHGroup2_ANT}$ とが同数であり、第1の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナの数 $N_{RxVGroup1_ANT}$ と第2の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数 $N_{RxVGroup2_ANT}$ とに1アンテナ分の差分がある場合のMIMOアレーアンテナ数が最小となる構成例を示す。

[0360] 図5 4 A～Dに示すように、 $|N_{TxHGroup1_ANT} - N_{TxHGroup2_ANT}| = 0$ かつ $|N_{RxVGroup1_ANT} - N_{RxVGroup2_ANT}| = 1$ の場合のMIMOアレーアンテナ数が最小となる構成は、送信アンテナ数が4 ($N_{TxVGroup1_ANT} = N_{TxVGroup2_ANT} = 2$) となり、受信アンテナ数が3となる構成であり、例えば、図5 4 A～Dの4通りのパターンが存在する。

[0361] 図5 4 Aは、 $N_{RxHGroup1_ANT} = 1$ (Rx#1)、 $N_{RxHGroup2_ANT} = 2$ (Rx#2, Rx#3)、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, +D_V)$ の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。

[0362] 図5 4 Bは、 $N_{RxHGroup1_ANT} = 1$ (Rx#1)、 $N_{RxHGroup2_ANT} = 2$ (Rx#2, Rx#3)、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (+D_H, +D_V)$ の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。

[0363] 図5 4 Cは、 $N_{RxHGroup1_ANT} = 2$ (Rx#1, Rx#2)、 $N_{RxHGroup2_ANT} = 1$ (Rx#3)、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, -D_V)$ の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。

[0364] 図5 4 Dは、 $N_{RxHGroup1_ANT} = 2$ (Rx#1, Rx#2)、 $N_{RxHGroup2_ANT} = 1$ (Rx#3)、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (+D_H, -D_V)$ の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。

[0365] 図5 5 A～Dは、第1の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数 $N_{TxHGroup1_ANT}$ と第2の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数 $N_{TxHGroup2_ANT}$ とに1アンテナ分の差分があり、第1の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナの数 $N_{RxVGroup1_ANT}$ と第2の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数 $N_{RxVGroup2_ANT}$ とに1アンテナ分の差分がある場合のMIMOアレーアンテナ数が最小となる構成例を示す。

[0366] 図55A～Dに示すように、 $|N_{TxHGroup1_ANT} - N_{TxHGroup2_ANT}| = 1$ かつ $|N_{RxVGroup1_ANT} - N_{RxVGroup2_ANT}| = 1$ の場合のMIMOアレーアンテナ数が最小となる構成は、送信アンテナ数が3となり、受信アンテナ数が3となる構成であり、例えば、図55A～Dの4通りのパターンが存在する。

[0367] 図55Aは、 $N_{TxVGroup1_ANT} = 1$ (Tx#2)、 $N_{TxVGroup2_ANT} = 2$ (Tx#1, Tx#3)、 $N_{RxHGroup1_ANT} = 2$ (Rx#1, Rx#2)、 $N_{RxHGroup2_ANT} = 1$ (Rx#3)、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, -D_V)$ の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。

[0368] 図55Bは、 $N_{TxVGroup1_ANT} = 1$ (Tx#2)、 $N_{TxVGroup2_ANT} = 2$ (Tx#1, Tx#3)、 $N_{RxHGroup1_ANT} = 1$ (Rx#1)、 $N_{RxHGroup2_ANT} = 2$ (Rx#2, Rx#3)、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, +D_V)$ の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。

[0369] 図55Cは、 $N_{TxVGroup1_ANT} = 2$ (Tx#2, Tx#3)、 $N_{TxVGroup2_ANT} = 1$ (Tx#1)、 $N_{RxHGroup1_ANT} = 2$ (Rx#1, Rx#2)、 $N_{RxHGroup2_ANT} = 1$ (Rx#3)、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (+D_H, -D_V)$ の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。

[0370] 図55Dは、 $N_{TxVGroup1_ANT} = 2$ (Tx#2, Tx#3)、 $N_{TxVGroup2_ANT} = 1$ (Tx#1)、 $N_{RxHGroup1_ANT} = 1$ (Rx#1)、 $N_{RxHGroup2_ANT} = 2$ (Rx#2, Rx#3)、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (+D_H, +D_V)$ の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。

[0371] 例えば、図55A～Dにおいて、送信アレーアンテナは3つの送信アンテナを含み、受信アレーアンテナは3つの受信アンテナを含む。

[0372] また、3つの送信アンテナのうち2つの送信アンテナ（例えば、1つの送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ）は、例えば、水平方向に $2D_H$ （換言すると、 D_H の2倍の間隔）離れて配置される。また、3つの送信アンテナのうち残りの1つの送信アンテナは、例えば、水平方向に、上記2つの送信アンテナからそれぞれ D_H 間隔離れて（換言すると、中間位置）配置され、垂直方向に、上記2つの送信アンテナから $2D_V$ 間隔（換言すると、 D_V の2倍の間隔）離れて配置される。

[0373] 同様に、3つの受信アンテナのうち2つの受信アンテナ（例えば、1つの受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ）は、例えば、垂直方向に $2D_V$ （換言すると、 D_V の2倍の間隔）離れて配置される。また、3つの受信アンテナのう

ち残りの1つの受信アンテナは、例えば、垂直方向に、上記2つの受信アンテナからそれぞれ D_V 間隔離れて（換言すると、中間位置に）配置され、水平方向に、上記2つの受信アンテナから $2D_H$ 間隔（換言すると、 D_H の2倍の間隔）離れて配置される。

[0374] 換言すると、図5 5 A～Dにおいて、3つの送信アンテナのそれぞれの配置位置と、3つの受信アンテナのそれぞれの配置位置とは、水平方向（例えば、X軸）及び垂直方向（例えば、Y軸）により構成される2次元平面において回転対称の関係にある。例えば、図5 2 A～Dでは、送信アレーアンテナと、受信アレーアンテナとは、 ± 90 度回転させた関係にある。

[0375] なお、基本配置3、及び、基本配置3の各変形例に係る送受信アンテナ配置には、少なくとも、上述した3つの送信アンテナ又は3つの受信アンテナの配置関係を有するアンテナ配置が含まれている。

[0376] 図5 2 A～D、図5 3 A～D、図5 4 A～D及び図5 5 A～Dに示す仮想受信アレーの各仮想アレー素子はそれぞれ異なる位置に重なりなく配置されるので、仮想受信アレーの開口長を拡張でき、角度分解能を向上できる。

[0377] また、仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子は、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置される。一例として、図5 2 A～D、図5 3 A～D、図5 4 A～D及び図5 5 A～Dにおいて、間隔 D_H 及び間隔 D_V を 0.5λ 程度とした場合、仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子は、水平方向に $D_H=0.5\lambda$ 間隔、垂直方向に $D_V=0.5\lambda$ 間隔で配置される。これにより、グレーティングローブを低減できる。

[0378] また、例えば、基本配置3のMIMOアレー配置において、間隔 D_H 及び間隔 D_V を 0.5λ 程度とした場合、送信アンテナ106及び受信アンテナ202の水平方向及び垂直方向の素子サイズを 1λ 程度以上のサイズに設計できる。

[0379] これにより、例えば、図9 Aに示すような、平面パッチアンテナを縦横2素子ずつ並べた4素子をサブアレーに用いたアンテナ（ただし、アンテナ幅 $W_{ANT} < 2D_H$ 、アンテナ高 $H_{ANT} < 2D_V$ ）を、図5 2 A～D、図5 3 A～D、図5 4 A～D及び図5 5 A～Dに示す送信アレーアンテナ及び受信アレーアンテナの少

なくとも一つの各アンテナ素子に適用できる。

[0380] また、送信アンテナ 106 の場合、横方向 W_{ANT} の素子サイズが D_H よりも小さければ、縦方向には任意サイズのアンテナを用いることができる。

[0381] 例えば、図 56A は、図 52A に示すアンテナ配置に対して、図 25A に示す平面パッチアンテナを縦 8 素子、横 1 素子並べたサブアレーを適用した場合の例を示す。なお、図 56B に示すように、図 56A に示す送信アレーアンテナに加え、無給電素子（ダミー素子）が配置されてよい。無給電素子により、隣接するアンテナによるアンテナ間結合の影響を各アンテナで均一化でき、各送信アンテナ（Tx#1～#4）の指向特性を均一化できる。

[0382] このように、基本配置 3 に係るアンテナ配置において、サブアレー構成のアンテナを用いることにより、アンテナの指向性利得を向上でき、レーダ装置 10 における検知性能（例えば、検知距離）を向上できる。

[0383] 方向推定部 214 は、上述した送受信アンテナ配置から得られる仮想受信アレーの受信信号を用いて、水平方向及び垂直方向の方向推定処理を行う。なお、方向推定部 214 における基本配置 3 の仮想受信アレーに対する処理は、基本配置 1 と同様であるため、ここではその説明を省略する。

[0384] 図 57 は、例えば、図 52A に示すように、送信アンテナ 106 の数 $N_t=4$ 及び受信アンテナ 202 の数 $N_r=4$ の MIMO アレー配置（ $D_H=0.5\lambda$ 、 $D_V=0.5\lambda$ ）を用いた場合に、方向推定部 214 の到来方向推定アルゴリズムとしてビームフォーマ法を用いた場合の方向推定結果の一例を示す。すなわち、図 57 では、送信アンテナ 106 の水平方向及び垂直方向のアンテナ間隔が 1λ 以上となり、受信アンテナ 202 の水平方向及び垂直方向のアンテナ間隔も 1λ 以上となる。なお、各アンテナの指向性は、無指向性として算出している。

[0385] 図 57 では、ターゲット真値を水平 0 度、垂直 0 度とした場合の水平方向 ± 90 度範囲、及び、垂直方向 ± 90 度範囲における到来方向推定評価関数値の出力をプロットしている。

[0386] 図 57 では、ターゲット真値の水平 0 度、垂直 0 度以外の方向において、例えば、図 1A と比較して、グレーティングローブが低減されていることが

確認できる。例えば、図57では、水平0度、垂直0度方向のメインローブのピーク電力値に対する、水平0度、垂直0度以外の方向のメインローブを除いた最も高いサイドローブのピーク電力値の比（PSLR）は0.3程度となっている。

[0387] 以上のように、基本配置3に係るMIMOアレー配置を用いることで、送信アレーアンテナ及び受信アレーアンテナに用いるアンテナの縦方向又は横方向の素子サイズが1λ程度でも、仮想受信アレーにおける水平方向及び垂直方向のアンテナ間隔を0.5λ程度となる素子間隔を含むように配置でき、グレーティングローブを低減できる。また、例えば、図52Aに示す仮想受信アレーの各仮想アレー素子は重なりなく配置されるので、仮想受信アレーの開口長を拡張でき、角度分解能を向上できる。

[0388] <基本配置3の変形例1>

基本配置3では、送信アンテナ106の数及び受信アンテナ202の数を、送信4素子（ $N_t=4$ ）及び受信4素子（ $N_a=4$ ）の構成（例えば、図52A～D）、送信3素子（ $N_t=3$ ）及び受信4素子（ $N_a=4$ ）の構成（例えば、図53A～D）、送信4素子（ $N_t=4$ ）及び受信3素子（ $N_a=3$ ）の構成（例えば、図54A～D）、及び、最小構成として送信3素子（ $N_t=3$ ）及び受信3素子（ $N_a=3$ ）の構成（例えば、図55A～D）について説明した。しかし、送信アンテナ数 N_t 及び受信アンテナ数 N_a はこれらの数に限定されない。

[0389] 基本配置3の変形例1では、基本配置3に対して、MIMOアレーのアンテナ数を増加させた配置について説明する。

[0390] 例えば、送信アレーアンテナにおいて、第1の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数 $N_{TxHGroup1_ANT}$ 、及び、第2の送信アンテナ群に含まれるアンテナ数 $N_{TxHGroup2_ANT}$ を増加させてよい。また、受信アレーアンテナにおいて、第1の受信アンテナ群に含まれるアンテナの数 $N_{RxVGroup1_ANT}$ 、及び第2の受信垂直方向アンテナ群に含まれるアンテナ数 $N_{RxVGroup2_ANT}$ を増加させてよい。

[0391] 図58は、 $N_{TxHGroup1_ANT}=2$ （Tx#2, Tx#4）、 $N_{TxHGroup2_ANT}=2$ （Tx#1, Tx#3）、 $N_{RxVGroup1_ANT}=3$ （Rx#1, Rx#2, Rx#3）、 $N_{RxVGroup2_ANT}=3$ （Rx#4, Rx#5, Rx#6）の場合のMIMOアレー配

置例及び仮想受信アレー配置例を示す。なお、図58では、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, -D_V)$ の場合を示すが、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, +D_V)$ 、 $(+D_H, -D_V)$ ($+D_H, +D_V$) としてもよい。

[0392] 図59は、 $N_{TxHGroup1_ANT}=2$ (Tx#2, Tx#4)、 $N_{TxHGroup2_ANT}=2$ (Tx#1, Tx#3)、 $N_{RxVGroup1_ANT}=3$ (Rx#1, Rx#2, Rx#3)、 $N_{RxVGroup2_ANT}=2$ (Rx#4, Rx#5) の場合のMIMOアレー配置例及び仮想受信アレー配置例を示す。なお、図59では、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, -D_V)$ の場合を示すが、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (+D_H, -D_V)$ としてもよい。

[0393] 図60は、 $N_{TxHGroup1_ANT}=4$ (Tx#2, Tx#4, Tx#6, Tx#8)、 $N_{TxHGroup2_ANT}=4$ (Tx#1, Tx#3, Tx#5, Tx#7)、 $N_{RxVGroup1_ANT}=3$ (Rx#1, Rx#2, Rx#3)、 $N_{RxVGroup2_ANT}=3$ (Rx#4, Rx#5, Rx#6) の場合のMIMOアレー配置例及び仮想受信アレー配置例を示す。なお、図60では、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, -D_V)$ の場合を示すが、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, +D_V)$ 、 $(+D_H, -D_V)$ ($+D_H, +D_V$) としてもよい。

[0394] 図61は、 $N_{TxHGroup1_ANT}=3$ (Tx#2, Tx#4, Tx#6)、 $N_{TxHGroup2_ANT}=4$ (Tx#1, Tx#3, Tx#5, Tx#7)、 $N_{RxVGroup1_ANT}=3$ (Rx#1, Rx#2, Rx#3)、 $N_{RxVGroup2_ANT}=3$ (Rx#4, Rx#5, Rx#6) の場合のMIMOアレー配置例及び仮想受信アレー配置例を示す。なお、図61では、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, -D_V)$ の場合を示すが、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, +D_V)$ としてもよい。

[0395] 図58～図61に示す各MIMOアレー配置において、例えば、 D_H 及び D_V を0.5λ程度とすることにより、送信アンテナ106及び受信アンテナ202の水平方向及び垂直方向の素子サイズを1λ程度以上のサイズに設計できる。

[0396] また、例えば、図58～図61に示す各仮想受信アレーにおいて、各仮想アレー素子はそれぞれ異なる位置に重なりなく配置されるので、仮想受信アレーの開口長を拡張でき、角度分解能を向上できる。

[0397] また、図58～図61に示す各仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子を、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置できる。また、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数は、 $N_{TxHGroup1_ANT}$ 、 $N_{TxHGroup2_ANT}$ 、 $N_{RxVGroup1_ANT}$ 及び $N_{RxVGroup2_ANT}$ に依存して増加する。

[0398] 例えば、仮想受信アレーにおいて、水平方向では $(N_{TxHGroup1_ANT} + N_{TxHGroup2_ANT})$

の仮想アレー素子が D_H 間隔で並び、垂直方向では $(N_{RxVGroup1_ANT} + N_{RxVGroup2_ANT})$ の仮想アレー素子が D_V 間隔で並ぶ。また、仮想受信アレーにおいて、水平方向における $(N_{TxHGroup1_ANT} + N_{TxHGroup2_ANT}) - 2$ の D_H 間隔の仮想アレー素子と、垂直方向における $(N_{RxVGroup1_ANT} + N_{RxVGroup2_ANT}) - 2$ の D_V 間隔の仮想アレー素子と、が縦横の矩形形状に並ぶ。

[0399] 仮想受信アレーの中心付近において D_H 、 D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数が増加するほど、グレーティングローブ及びサイドローブの低減効果を向上できる。

[0400] また、 $N_{TxGroup1_ANT}$ 、 $N_{TxHGroup2_ANT}$ が大きいほど、水平方向に並ぶ仮想アレー素子数が増大するため、水平方向の仮想受信アレーの開口長を拡張でき、水平方向の角度分解能を向上できる。同様に、 $N_{RxVGroup1_ANT}$ 、 $N_{RxVGroup2_ANT}$ が大きいほど、垂直方向に並ぶ仮想アレー素子数が増大するため、垂直方向の仮想受信アレーの開口長を拡張でき、垂直方向の角度分解能を向上できる。

[0401] 図62は、例えば、図60に示すように、送信アンテナ106の数 $N_t=8$ 及び受信アンテナ202の数 $N_a=6$ のMIMOアレー配置($N_{TxGroup1_ANT}=4$ 、 $N_{TxGroup2_ANT}=4$ 、 $N_{RxGroup1_ANT}=3$ 、 $N_{RxGroup2_ANT}=3$ 、 $D_H=0.5\lambda$ 、 $D_V=0.5\lambda$)を用いた場合に、方向推定部214の到来方向推定アルゴリズムとしてビームフォーマ法を用いた場合の方向推定結果の一例を示す。なお、各アンテナの指向性は、無指向性として算出している。

[0402] 図62では、ターゲット真値を水平0度、垂直0度とした場合の水平方向 ± 90 度範囲、及び、垂直方向 ± 90 度範囲における到来方向推定評価関数値の出力をプロットしている。

[0403] 図62では、ターゲット真値の水平0度、垂直0度以外の方向において、グレーティングローブが低減されていることが確認できる。例えば、図62では、水平0度、垂直0度方向のメインローブのピーク電力値に対する、メインローブを除いた最も高いサイドローブのピーク電力値の比(PSLR)は0.13程度となっており、例えば、図52Aと比較して、 $N_{TxGroup1_ANT}$ 、 $N_{TxHGroup2_ANT}$ および $N_{RxVGroup1_ANT}$ 、 $N_{RxVGroup2_ANT}$ を増加させることにより、サイドローブの低減効果

の向上が確認できる。また、図62では、図57と比較して、メインローブのピークも鋭くなっており、 $N_{TxHGroup1_ANT}$ 、 $N_{TxHGroup2_ANT}$ および $N_{RxVGroup1_ANT}$ 、 $N_{RxVGroup2_ANT}$ の増加によって、角度分解能の向上が確認できる。

[0404] <基本配置3の変形例2>

以下、基本配置3の変形例2におけるアンテナ配置方法3-2A及び3-2Bについてそれぞれ説明する。

[0405] (配置方法3-2A)

基本配置3の変形例1では、受信アレーアンテナの受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数 $N_{RxVGroup1_ANT}$ 、 $N_{RxVGroup2_ANT}$ を増加することにより、垂直方向に並ぶ仮想アレー素子数を増大させる場合について説明した。これに限らず、例えば、送信アレーアンテナにおいて、送信アンテナ群の数 $N_{TxGroup}$ を増加することでも、仮想受信アレーにおいて垂直方向に並ぶ仮想アレー素子数を増大できる。

[0406] この場合、送信アンテナ群の垂直方向のアンテナ間隔を、例えば、一定の値（例えば、 $2D_V$ ）としてよいが、受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数 $N_{RxVGroup1_ANT}$ 、 $N_{RxVGroup2_ANT}$ に依存して、仮想受信アレー配置は仮想アレー素子が重複する配置になり得る。

[0407] そこで、仮想受信アレー配置において重複する仮想アレー素子が含まれない配置とするには、例えば、送信アンテナ群の垂直方向のアンテナ間隔のうち、偶数番目のアンテナ間隔に、以下のような間隔 $D_{TxHGroupV}$ を用いてよい。

[数15]

$$D_{TxHGroupV} = D_V (N_{RxVGroup1_ANT} + N_{RxVGroup2_ANT} - 2) \quad (15)$$

[0408] 例えば、 $N_{RxVGroup1_ANT} = N_{RxVGroup2_ANT} = 2$ の場合、 $D_{TxHGroupV} = 2D_V$ となり、 $N_{RxVGroup1_ANT} = N_{RxVGroup2_ANT} = 3$ の場合、 $D_{TxHGroupV} = 4D_V$ となる。

[0409] 例えば、送信アンテナ群の数 $N_{TxGroup} = 3$ の場合、3個の送信アンテナ群の間隔は、 $\{2D_V, D_{TxHGroupV}\}$ とする。また、送信アンテナ群の数 $N_{TxGroup} = 4$ の場合、4個の送信アンテナ群の間隔は、 $\{2D_V, D_{TxHGroupV}, 2D_V\}$ とする。同様に、 $N_{RxGroup_ANT} = 5$ の場合、5個の送信アンテナ群の間隔は、 $\{2D_V, D_{TxHGroupV}, 2D_V, D_{TxHGroupV}\}$ とする。

。

[0410] 図63は、 $N_{\text{RxVGroup}}=2$ 、 $N_{\text{TxBGroup}}=4$ 、 $N_{\text{TxBGroup1_ANT}}=2$ 、 $N_{\text{TxBGroup2_ANT}}=2$ 、 $N_{\text{TxBGroup3_ANT}}=2$ 、 $N_{\text{TxBGroup4_ANT}}=2$ 、 $N_{\text{RxVGroup1_ANT}}=2$ 、 $N_{\text{RxVGroup2_ANT}}=2$ の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。なお、「 $N_{\text{TxBGroup3_ANT}}$ 」は、第3番目の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数を表し、「 $N_{\text{TxBGroup4_ANT}}$ 」は、第4番目の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数を表す。図63では、式(15)の $D_{\text{TxBGroupV}}=2D_V$ となる。

[0411] なお、図63では、第1の受信アンテナ群($Rx\#1, Rx\#2$)に対する第2の受信アンテナ群($Rx\#3, Rx\#4$)のずれ量 $\Delta V_{\text{Rx}(2,1)}$ は、 $\Delta V_{\text{Rx}(2,1)}=-D_V$ の場合を示すが、 $\Delta V_{\text{Rx}(2,1)}=+D_V$ としてもよい。

[0412] また、図63では、第1の送信アンテナ群($Tx\#4, Tx\#8$)に対する第2の送信アンテナ群($Tx\#3, Tx\#7$)のずれ量 $\Delta H_{\text{Tx}(2,1)}$ を $-D_H$ とし、第2の送信アンテナ群に対する第3の送信アンテナ群($Tx\#2, Tx\#6$)のずれ量 $\Delta H_{\text{Tx}(3,2)}$ を $+D_H$ とし、第3の送信アンテナ群に対する第4の送信アンテナ群($Tx\#1, Tx\#5$)のずれ量 $\Delta H_{\text{Tx}(4,3)}$ を $-D_H$ とする。ただし、各ずれ量は2種類($+D_V$ 、 $-D_V$)の何れの組み合わせでもよい。なお、図63において、 $+D_V$ 方向は上方向とし、 $-D_V$ は下方向とし、 $+D_H$ 方向は右方向とし、 $-D_H$ は左方向とする。

[0413] また、図64は、 $N_{\text{RxVGroup}}=2$ 、 $N_{\text{TxBGroup}}=4$ 、 $N_{\text{TxBGroup1_ANT}}=2$ 、 $N_{\text{TxBGroup2_ANT}}=2$ 、 $N_{\text{TxBGroup3_ANT}}=2$ 、 $N_{\text{TxBGroup4_ANT}}=2$ 、 $N_{\text{RxVGroup1_ANT}}=3$ 、 $N_{\text{RxVGroup2_ANT}}=3$ の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。図64では、式(15)の $D_{\text{TxBGroupV}}=4D_V$ となる。

[0414] なお、図64では、第1の受信アンテナ群($Rx\#1, Rx\#2, Rx\#3$)に対する第2の受信アンテナ群($Rx\#4, Rx\#5, Rx\#6$)のずれ量 $\Delta V_{\text{Rx}(2,1)}$ は、 $\Delta V_{\text{Rx}(2,1)}=-D_V$ の場合を示すが、 $\Delta V_{\text{Rx}(2,1)}=+D_V$ としてもよい。

[0415] また、図64では、第1の送信アンテナ群($Tx\#4, Tx\#8$)に対する第2の送信アンテナ群($Tx\#3, Tx\#7$)のずれ量 $\Delta H_{\text{Tx}(2,1)}$ は、 $-D_H$ とし、第2の送信アンテナ群に対する第3の送信アンテナ群($Tx\#2, Tx\#6$)のずれ量 $\Delta H_{\text{Tx}(3,2)}$ は、 $+D_H$ とし、第3の送信アンテナ群に対する第4の送信アンテナ群($Tx\#1, Tx\#5$)のず

れ量 $\Delta H_{Tx(4,3)}$ は、 $-D_H$ とする。ただし、各ずれ量は2種類（ $+D_V$ 、 $-D_V$ ）の何れの組み合わせでもよい。なお、図64において、 $+D_V$ 方向は上方向とし、 $-D_V$ は下方向とし、 $+D_H$ 方向は右方向とし、 $-D_H$ は左方向とする。

[0416] なお、仮想受信アレーの中心付近に不等間隔（例えば、 D_H 及び D_V よりも大きい間隔）となる配置が含まれてよい場合、 $D_{TxHGroupV}$ は、式（15）の値よりも大きい値でもよい。

[0417] （配置方法3-2B）

基本配置3の変形1では、送信アレーアンテナの各送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数 $N_{TxHGroup1_ANT}$ 、 $N_{TxHGroup2_ANT}$ を増加することにより、水平方向に並ぶ仮想アレー素子数を増大させる場合について説明した。これに限らず、例えば、受信アレーアンテナにおいて、受信アンテナ群の数 $N_{RxVGroup}$ を増加することでも、仮想受信アレーにおいて水平方向に並ぶ仮想アレー素子数を増大できる。

[0418] この場合、受信アンテナ群の水平方向のアンテナ間隔を、例えば、一定の値（例えば、 $2D_H$ ）としてもよいが、送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数 $N_{TxHGroup1_ANT}$ 、 $N_{TxHGroup2_ANT}$ に依存して、仮想受信アレー配置は仮想アレー素子が重複する配置になり得る。

[0419] そこで、仮想受信アレー配置において重複する仮想アレー素子が含まれない配置とするには、例えば、受信アンテナ群の水平方向の間隔のうち、偶数番目の間隔に、以下のような間隔 $D_{RxVGroupH}$ を用いてよい。

[数16]

$$D_{RxVGroupH} = D_H (N_{TxHGroup1_ANT} + N_{TxHGroup2_ANT} - 2) \quad (16)$$

[0420] 例えば、 $N_{TxHGroup1_ANT} = N_{TxHGroup2_ANT} = 2$ の場合、 $D_{RxVGroupH} = 2D_H$ となり、 $N_{TxHGroup1_ANT} = N_{TxHGroup2_ANT} = 3$ の場合、 $D_{RxVGroupH} = 4D_H$ となる。

[0421] 例えば、受信アンテナ群の数 $N_{RxVGroup} = 3$ の場合、3個の受信アンテナ群間の水平方向の間隔は、 $\{2D_H, D_{RxVGroupH}\}$ とする。また、受信アンテナ群の数 $N_{RxVGroup} = 4$ の場合、4個の受信アンテナ群の水平方向の間隔は、 $\{2D_H, D_{RxVGroupH}, 2D_H\}$ とする。同様に、受信アンテナ群の数 $N_{RxVGroup} = 5$ の場合、5個の受信アンテナ群の水

平方方向の間隔は、 $\{2D_H, D_{RxVGroupH}, 2D_H, D_{RxVGroupH}\}$ とする。

[0422] 図65は、 $N_{TxHGroup}=2$ 、 $N_{RxVGroup}=4$ 、 $N_{TxHGroup1_ANT}=2$ 、 $N_{TxHGroup2_ANT}=2$ 、 $N_{RxVGroup1_ANT}=2$ 、 $N_{RxVGroup2_ANT}=2$ 、 $N_{RxVGroup3_ANT}=2$ 、 $N_{RxVGroup4_ANT}=2$ の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。なお、「 $N_{RxVGroup3_ANT}$ 」は、第3番目の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数を表し、「 $N_{RxVGroup4_ANT}$ 」は、第4番目の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数を表す。図65では、式(16)の $D_{RxVGroupH}=2D_H$ となる。

[0423] なお、図65では、第1の送信アンテナ群($Tx\#2, Tx\#4$)に対する第2の送信アンテナ群($Tx\#1, Tx\#3$)のずれ量 $\Delta H_{Tx(2,1)}$ のは、 $\Delta H_{Tx(2,1)}=-D_H$ の場合を示すが、 $\Delta H_{Tx(2,1)}=+D_H$ としてもよい。

[0424] また、図65では、第1の受信アンテナ群($Rx\#1, Rx\#2$)に対する第2の受信アンテナ群($Rx\#3, Rx\#4$)のずれ量 $\Delta V_{Rx(2,1)}$ を $-D_V$ とし、第2の受信アンテナ群に対する第3の受信アンテナ群($Rx\#5, Rx\#6$)のずれ量 $\Delta V_{Rx(3,2)}$ を $+D_V$ とし、第3の受信アンテナ群に対する第4の受信アンテナ群($Rx\#7, Rx\#8$)のずれ量 $\Delta V_{Rx(4,3)}$ を $-D_V$ とする。ただし、各ずれ量は2種類($+D_V$ 、 $-D_V$)の何れの組み合わせでもよい。なお、図65において、 $+D_V$ 方向は上方向とし、 $-D_V$ は下方向とする。

[0425] 図66は、 $N_{TxHGroup}=2$ 、 $N_{RxVGroup}=4$ 、 $N_{TxHGroup1_ANT}=3$ 、 $N_{TxHGroup2_ANT}=3$ 、 $N_{RxVGroup1_ANT}=2$ 、 $N_{RxVGroup2_ANT}=2$ 、 $N_{RxVGroup3_ANT}=2$ 、 $N_{RxVGroup4_ANT}=2$ の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。図66では、式(16)の $D_{RxVGroupH}=4D_H$ となる。

[0426] なお、第1の送信アンテナ群($Tx\#2, Tx\#4, Tx\#6$)に対する第2の送信アンテナ群($Tx\#1, Tx\#3, Tx\#5$)のずれ量 $\Delta H_{Tx(2,1)}$ は、 $\Delta H_{Tx(2,1)}=-D_H$ の場合を示すが、 $\Delta H_{Tx(2,1)}=+D_H$ としてもよい。

[0427] また、図66では、第1の受信アンテナ群($Rx\#1, Rx\#2$)に対する第2の受信垂直方向アンテナ群($Rx\#3, Rx\#4$)のずれ量 $\Delta V_{Rx(2,1)}$ を $-D_V$ とし、第2の受信アンテナ群に対する第3の受信アンテナ群($Rx\#5, Rx\#6$)のずれ量 $\Delta V_{Rx(3,2)}$ を $+D_V$ とし、第3の受信アンテナ群に対する第4の受信アンテナ群($Rx\#7, Rx\#8$)のずれ量 $\Delta V_{Rx(4,3)}$ を $-D_V$ とする。ただし、各ずれ量は2種類($+D_V$ 、 $-D_V$)の何れの組み

合わせでもよい。なお、図 6 6 において、 $+D_v$ 方向は上方向とし、 $-D_v$ は下方向とし、 $+D_h$ 方向は右方向とし、 $-D_h$ は左方向とする。

[0428] また、仮想受信アレーの中心付近に不等間隔（例えば、 D_h 及び D_v よりも大きい間隔）となる配置が含まれてよい場合、 $D_{RxVGroupH}$ は、式（16）の値よりも大きい値でもよい。

[0429] 以上、基本配置 3 の変形例 2 における配置方法 3-2 A 及び 3-2 B についてそれぞれ説明した。

[0430] 例えば、図 6 3～図 6 6 に示す送受信アンテナ配置（例えば、MIMOアレー配置）において、例えば、 D_h 及び D_v を 0.5λ 程度とすることにより、送信アンテナ 106 及び受信アンテナ 202 の水平方向及び垂直方向の素子サイズを 1λ 程度以上のサイズに設計できる。

[0431] また、例えば、図 6 3～図 6 6 に示す仮想受信アレーにおいて、各仮想アレー素子はそれぞれ異なる位置に重なりなく配置されるので、仮想受信アレーの開口長を拡張でき、角度分解能を向上できる。

[0432] また、例えば、図 6 3～図 6 6 に示す仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子を、 D_h 、 D_v 間隔で密に配置できる。また、 D_h 、 D_v 間隔で密に配置される仮想アレー素子数は、送信アンテナ群の数 $N_{TxHGroup}$ 、及び、各送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数 $N_{TxHGroup(ntvg_ANT)}$ （ここで、 $ntvg=1, \dots, N_{TxHGroup}$ である）と、受信アンテナ群の数 $N_{RxVGroup}$ 、及び、各受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数 $N_{RxVGroup(nrhg_ANT)}$ （ここで、 $nrhg=1, \dots, N_{RxVGroup}$ である）とに依存して増加する。

[0433] 例えば、仮想受信アレーにおいて、水平方向では $0.5 \times (N_{TxHGroup1_ANT} + N_{TxHGroup2_ANT}) \times N_{RxVGroup}$ の仮想アレー素子が D_h 間隔で列状に並び、垂直方向では $0.5 \times (N_{RxVGroup1_ANT} + N_{RxVGroup2_ANT}) \times N_{TxHGroup}$ の仮想アレー素子が D_v 間隔で列状に並ぶ。また、水平方向における $0.5 \times (N_{TxHGroup1_ANT} + N_{TxHGroup2_ANT}) \times N_{RxVGroup} - 2$ の D_h 間隔の仮想アレー素子と、垂直方向における $0.5 \times (N_{RxVGroup1_ANT} + N_{RxVGroup2_ANT}) \times N_{TxHGroup} - 2$ の D_v 間隔の仮想アレー素子とが縦横の矩形状に並ぶ。

[0434] 仮想受信アレーの中心付近において D_h 、 D_v 間隔で密に配置される仮想アレー

素子が増加するほど、グレーティングローブ及びサイドローブの低減効果を向上できる。

[0435] また、各送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数 $N_{TxHGroup(ntvg)_ANT}$ 、及び、受信アンテナ群の数 $N_{RxVGroup}$ が大きいほど、水平方向に並ぶ仮想アレー素子数が増大するため、水平方向の仮想受信アレーの開口長を拡張でき、水平方向の角度分解能を向上できる。同様に、各受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数 $N_{RxVGroup(nrhg)_ANT}$ 、及び、送信アンテナ群の数 $N_{TxHGroup}$ が大きいほど、垂直方向に並ぶ仮想アレー素子数が増大するため、垂直方向の仮想受信アレーの開口長を拡張でき、垂直方向の角度分解能を向上できる。

[0436] なお、基本配置3の変形2において、配置方法3-2A及び配置方法3-2Bを組み合わせた配置も可能である。

[0437] 図67は、 $N_{RxVGroup}=N_{TxHGroup}=4$ 、 $N_{TxHGroup1_ANT}=N_{TxHGroup2_ANT}=N_{TxHGroup3_ANT}=N_{TxHGroup4_ANT}=2$ 、 $N_{RxVGroup1_ANT}=N_{RxVGroup2_ANT}=N_{RxVGroup3_ANT}=N_{RxVGroup4_ANT}=2$ の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。図67では、式(15)の $D_{TxHGroupV}=2D_V$ となり、式(16)の $D_{RxVGroupH}=2D_H$ となる。

[0438] また、図67では、第1の送信アンテナ群(Tx#4, Tx#8)に対する第2の送信アンテナ群(Tx#3, Tx#7)のずれ量 $\Delta H_{Tx(2,1)}$ は、 $-D_H$ とし、第2の送信アンテナ群に対する第3の送信アンテナ群(Tx#2, Tx#6)のずれ量 $\Delta H_{Tx(3,2)}$ は $-D_H$ とし、第3の送信アンテナ群に対する第4の送信アンテナ群(Tx#1, Tx#5)のずれ量 $\Delta H_{Tx(4,3)}$ は $-D_H$ とする。ただし、各ずれ量は2種類($+D_V$ 、 $-D_V$)の何れの組み合わせでもよい。

[0439] また、図67では、第1の受信アンテナ群(Rx#1, Rx#2)に対する第2の受信アンテナ群(Rx#3, Rx#4)のずれ量 $\Delta V_{Rx(2,1)}$ は $-D_V$ とし、第2の受信アンテナ群に対する第3の受信アンテナ群(Rx#5, Rx#6)のずれ量 $\Delta V_{Rx(3,2)}$ は $+D_V$ とし、第3の受信アンテナ群に対する第4の受信アンテナ群(Rx#7, Rx#8)のずれ量 $\Delta V_{Rx(4,3)}$ は、 $-D_V$ とする。ただし、各ずれ量は2種類($+D_V$ 、 $-D_V$)の何れの組み合わせでもよい。

[0440] また、図67において、 $+D_V$ 方向は上方向とし、 $-D_V$ 方向は下方向とし、 $+D_H$

方向は右方向とし、 $-D_H$ 方向は左方向とする。

[0441] また、図 6 8 A は、 $N_{RxVGroup}=N_{TxHGroup}=4$ 、 $N_{TxHGroup1_ANT}=N_{TxHGroup2_ANT}=N_{TxHGroup3_ANT}=N_{TxHGroup4_ANT}=4$ 、 $N_{RxVGroup1_ANT}=N_{RxVGroup2_ANT}=N_{RxVGroup3_ANT}=N_{RxVGroup4_ANT}=4$ の場合のMIMOアレー配置例を示し、図 6 8 B は、仮想受信アレー配置例を示す。図 6 8 A では、式 (15) の $D_{TxHGroupV}=6D_V$ となり、式 (16) の $D_{RxVGroupH}=6D_H$ となる。

[0442] また、図 6 8 A では、第 1 の送信アンテナ群 (Tx#4, Tx#8, Tx#12, Tx#16) に対する第 2 の送信アンテナ群 (Tx#3, Tx#7, Tx#11, Tx#15) のずれ量 $\Delta H_{Tx(2,1)}$ は $-D_H$ とし、第 2 の送信アンテナ群に対する第 3 の送信アンテナ群 (Tx#2, Tx#6, Tx#10, Tx#14) のずれ量 $\Delta H_{Tx(3,2)}$ は、 $+D_H$ とし、第 3 の送信アンテナ群に対する第 4 の送信アンテナ群 (Tx#1, Tx#5, Tx#9, Tx#13) のずれ量 $\Delta H_{Tx(4,3)}$ は、 $-D_H$ とする。ただし、各ずれ量は 2 種類 ($+D_V$ 、 $-D_V$) の何れの組み合わせでもよい。

[0443] また、図 6 8 A では、第 1 の受信アンテナ群 (Rx#1, Rx#2, Rx#3, Rx#4) に対する第 2 の受信アンテナ群 (Rx#5, Rx#6, Rx#7, Rx#8) のずれ量 $\Delta V_{Rx(2,1)}$ は $-D_V$ とし、第 2 の受信アンテナ群に対する第 3 の受信アンテナ群 (Rx#9, Rx#10, Rx#11, Rx#12) のずれ量 $\Delta V_{Rx(3,2)}$ は $+D_V$ とし、第 3 の受信アンテナ群に対する第 4 の受信アンテナ群 (Rx#13, Rx#14, Rx#15, Rx#16) のずれ量 $\Delta V_{Rx(4,3)}$ は $-D_V$ とする。ただし、各ずれ量は 2 種類 ($+D_V$ 、 $-D_V$) の何れの組み合わせでもよい。

[0444] また、図 6 8 A 及び図 6 8 B において、 $+D_V$ 方向は上方向とし、 $-D_V$ 方向は下方向とし、 $+D_H$ 方向は右方向とし、 $-D_H$ 方向は左方向とする。

[0445] <基本配置 4>

図 6 9 は、基本配置 4 に係る送信アンテナ 106 及び受信アンテナ 202 の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。

[0446] (1) 送受信アンテナの配置

図 6 9 では、送信アレーアンテナにおける送信アンテナ 106 の個数 $N_t=4$ 個 (Tx#1, Tx#2, Tx#3 及び Tx#4) とし、受信アレーアンテナにおける受信アンテナ 202 の個数 $N_a=4$ 個 (Rx#1, Rx#2, Rx#3 及び Rx#4) とする。

[0447] 図 6 9 に示す送信アレーアンテナは、例えば、「第 1 の送信アンテナ群」(図 6 9 では、Tx#2、Tx#4) と、「第 2 の送信アンテナ群」(図 6 9 では、T

x#1、Tx#3) とから構成される。各送信アンテナ群は、それぞれ、水平方向について間隔が $2D_H$ であり、垂直方向について間隔が D_V である2つの送信アンテナ素子を含む。図69に示す各送信アンテナ群の各々において、隣り合う送信アンテナは、水平方向に $2D_H$ の間隔（換言すると、 D_H の2倍の間隔）離れて配置され、垂直方向に D_V の間隔離れて配置される。換言すると、図69では、各送信アンテナ群に含まれる送信アンテナは、水平方向に $2D_H$ 、垂直方向に D_V のアンテナ間隔で右斜め下方向（換言すると、左斜め上方向）に直線的に配置される。

[0448] また、図69において、第1の送信アンテナ群に対して、第2の送信アンテナ群は、水平方向において左方向に D_H 、垂直方向において下方向に $2D_V$ ずらして配置される。換言すると、図69に示す隣り合う送信アンテナ群は、水平方向に D_H の間隔、かつ、垂直方向に $2D_V$ （換言すると、 D_V の2倍の間隔）シフトした関係にある。

[0449] また、図69に示す受信アレーアンテナは、例えば、「第1の受信アンテナ群」（図69では、Rx#2、Rx#4）と、「第2の受信アンテナ群」（図69では、Rx#1、Rx#3）とから構成される。各受信アンテナ群は、それぞれ、水平方向についてアンテナ間隔が $2D_H$ であり、垂直方向についてアンテナ間隔が D_V である2つの受信アンテナ素子を含む。図69に示す各受信アンテナ群の各々において、隣り合う受信アンテナは、水平方向に $2D_H$ の間隔（換言すると、 D_H の2倍の間隔）離れて配置され、垂直方向に D_V の間隔離れて配置される。換言すると、図69では、各受信アンテナ群に含まれる受信アンテナは、水平方向に $2D_H$ 、垂直方向に D_V のアンテナ間隔で右斜め上方向（換言すると、左斜め下方向）に直線的に配置される。

[0450] また、図69において、第1の受信アンテナ群に対して、第2の受信アンテナ群は、水平方向において右方向に D_H 、垂直方向において下方向に $2D_V$ ずらして配置される。換言すると、図69に示す隣り合う受信アンテナ群は、水平方向に D_H の間隔、かつ、垂直方向に $2D_V$ （換言すると、 D_V の2倍の間隔）シフトした関係にある。

[0451] また、例えば、図 6 9 に示すように、送信アンテナTx#1～Tx#4の各々は、水平方向及び垂直方向の双方においてそれぞれ異なる位置に配置される。同様に、図 6 9 に示すように、受信アンテナRx#1～Rx#4の各々は、水平方向及び垂直方向の双方においてそれぞれ異なる位置に配置される。

[0452] また、図 6 9 に示す送受信アンテナ配置において、送信アンテナのそれぞれの配置位置と、受信アンテナのそれぞれの配置位置とは、例えば、水平方向又は垂直方向に平行な線に関して線対称の関係（換言すると、反転させた関係）にある。

[0453] 例えば、図 6 9 に示す水平方向（横方向）がX軸に対応し、図 6 9 に示す垂直方向（縦方向）がY軸方向に対応することを仮定する。

[0454] 図 6 9 に示すアンテナ配置の場合、送信アレーアンテナを構成する送信アンテナ 1 0 6 の位置座標は、送信アンテナTx#1の位置座標 $(X_{T_#1}, Y_{T_#1})$ を基準として、送信アンテナTx#2の位置座標 $(X_{T_#2}, Y_{T_#2}) = (X_{T_#1} + D_H, Y_{T_#1} + 2D_V)$ 、送信アンテナTx#3の位置座標 $(X_{T_#3}, Y_{T_#3}) = (X_{T_#1} + 2D_H, Y_{T_#1} - D_V)$ 、及び、送信アンテナTx#4の位置座標 $(X_{T_#4}, Y_{T_#4}) = (X_{T_#1} + 3D_H, Y_{T_#1} + D_V)$ と表される。

[0455] 同様に、受信アレーアンテナを構成する受信アンテナ 2 0 2 の位置座標は、受信アンテナRx#1の位置座標 $(X_{R_#1}, Y_{R_#1})$ を基準として、受信アンテナRx#2の位置座標 $(X_{R_#2}, Y_{R_#2}) = (X_{R_#1} - D_H, Y_{R_#1} + 2D_V)$ 、受信アンテナRx#3の位置座標 $(X_{R_#3}, Y_{R_#3}) = (X_{R_#1} + 2D_H, Y_{R_#1} + D_V)$ 、及び、受信アンテナRx#4の位置座標 $(X_{R_#4}, Y_{R_#4}) = (X_{R_#1} + D_H, Y_{R_#1} + 3D_V)$ と表される。

[0456] （２）仮想受信アレーの配置

上述した図 6 9 に示す送受信アンテナ配置によって構成される仮想受信アレー（仮想アンテナVA#1～VA#16）の配置は以下のような特徴を有する。

[0457] 例えば、図 6 9 に示す送信アレーアンテナの配置及び受信アレーアンテナの配置により、仮想受信アレーVA#1～VA#16の位置座標 $(X_{V_#1}, Y_{V_#1}) \sim (X_{V_#16}, Y_{V_#16})$ は、それぞれ以下ようになる。なお、ここでは、VA#1を仮想受信アレーの位置基準 $(0, 0)$ として表している。

$(0, 0)$, $(D_H, 2D_V)$, $(2D_H, -D_V)$, $(3D_H, D_V)$, $(-D_H, 2D_V)$, $(0, 4D_V)$

$(D_H, D_V), (2D_H, 3D_V), (2D_H, D_V), (3D_H, 3D_V), (4D_H, 0), (5D_H, 2D_V), (D_H, 3D_V), (2D_H, 5D_V), (3D_H, 2D_V), (4D_H, 4D_V)$

[0458] このように、図 6 9 に示す仮想受信アレーの配置では、各仮想受信アレー素子はそれぞれ異なる位置に重なりなく配置される。このため、仮想受信アレーの開口長を拡張できるので、メインローブが狭まり、角度分解能を向上できる。

[0459] また、図 6 9 に示す仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子 VA#2, VA#7, VA#9, VA#4, VA#15, VA#10, VA#8 及び VA#13 は、水平方向に D_H 間隔、垂直方向に D_V 間隔でそれぞれ密に配置される。一例として、図 6 9 において、間隔 D_H 及び間隔 D_V を 0.5λ 程度とした場合、仮想アレー素子 VA#2, VA#7, VA#9, VA#4, VA#15, VA#10, VA#8 及び VA#13 は、水平方向に $D_H=0.5\lambda$ 間隔、垂直方向に $D_V=0.5\lambda$ 間隔で配置される。これにより、基本配置 1（例えば、図 8 を参照）と同様、グレーティングローブを低減できる。

[0460] なお、図 6 9 に示す仮想受信アレーの中心付近において、間隔 D_H 及び間隔 D_V で密に配置された仮想アレー素子（例えば、VA#2, VA#7, VA#9, VA#4, VA#15, VA#10, VA#8 及び VA#13）に囲まれた座標に対応する位置の素子が欠落している。しかし、レーダ装置 10 は、例えば、欠落した箇所を囲む、間隔 D_H 及び間隔 D_V で密に配置された仮想アレー素子の受信信号を用いて補間処理を行うことにより、当該欠落している箇所の素子の受信信号を近似的に受信できる。

[0461] また、例えば、基本配置 4 の MIMO アレー配置において、間隔 D_H 及び間隔 D_V を 0.5λ 程度とした場合、送信アンテナ 106 及び受信アンテナ 202 の水平方向及び垂直方向の素子サイズを 1λ 程度以上のサイズに設計できる。

[0462] これにより、例えば、図 9 A に示すような、平面パッチアンテナを縦横 2 素子ずつ並べた 4 素子をサブアレーに用いたアンテナ（ただし、アンテナ幅 $W_{ANT} < 2D_H$, アンテナ高 $H_{ANT} < 2D_V$ ）を、図 6 9 に示す送信アレーアンテナ及び受信アレーアンテナの少なくとも一つの各アンテナ素子に適用できる。例えば、図 70 A は、図 6 9 に示す送信アンテナ配置に対して、図 9 A に示す平面パッチアンテナを縦 2 素子、横 2 素子並べたサブアレーを適用した場合の例を

示す。

- [0463] また、送信アンテナ 106 及び受信アンテナ 202 において、横方向 W_{ANT} の素子サイズが D_H よりも小さければ、縦方向には任意サイズのアンテナを用いることができる。例えば、図 70B は、図 69 に示すアンテナ配置に対して、図 25A に示す平面パッチアンテナを縦 8 素子、横 1 素子並べたサブアレーを適用した場合の例を示す。なお、図 70B に示す送信アレーアンテナに加え、無給電素子（ダミー素子）が配置されてよい（図示せず）。
- [0464] このように、基本配置 4 に係るアンテナ配置において、サブアレー構成のアンテナを用いることにより、アンテナの指向性利得を向上でき、レーダ装置 10 における検知性能（例えば、検知距離）を向上できる。
- [0465] 方向推定部 214 は、上述した送受信アンテナ配置から得られる仮想受信アレーの受信信号を用いて、水平方向及び垂直方向の方向推定処理を行う。なお、方向推定部 214 における基本配置 4 の仮想受信アレーに対する処理は、基本配置 1 と同様であるため、ここではその説明を省略する。
- [0466] 図 71 は、例えば、図 69 に示すように、送信アンテナ 106 の数 $N_t=4$ 及び受信アンテナ 202 の数 $N_a=4$ の MIMO アレー配置（ $D_H=0.5\lambda$ 、 $D_V=0.5\lambda$ ）を用いた場合に、方向推定部 214 の到来方向推定アルゴリズムとしてビームフォーマ法を用いた場合の方向推定結果の一例を示す。すなわち、図 71 では、送信アンテナ 106 の水平方向及び垂直方向のアンテナ間隔が 1λ 以上となり、受信アンテナ 202 の水平方向及び垂直方向のアンテナ間隔も 1λ 以上となる。なお、各アンテナの指向性は、無指向性として算出している。
- [0467] 図 71 では、ターゲット真値を水平 0 度、垂直 0 度とした場合の水平方向 ± 90 度範囲、及び、垂直方向 ± 90 度範囲における到来方向推定評価関数値の出力をプロットしている。
- [0468] 図 71 では、ターゲット真値の水平 0 度、垂直 0 度以外の方向において、例えば、図 1A と比較して、グレーティングローブが低減されていることが確認できる。例えば、図 71 では、水平 0 度、垂直 0 度方向のメインローブのピーク電力値に対する、水平 0 度、垂直 0 度以外の方向のメインローブを

除いた最も高いサイドローブのピーク電力値の比（PSLR）は0.35程度となっている。

[0469] 以上のように、基本配置4に係るMIMOアレー配置を用いることで、送信アレーアンテナ及び受信アレーアンテナに用いるアンテナの縦方向又は横方向の素子サイズが 1λ 程度でも、仮想受信アレーにおける水平方向及び垂直方向のアンテナ間隔を 0.5λ 程度となる素子間隔を含むように配置でき、グレーティングローブを低減できる。また、例えば、図69に示す仮想受信アレーの各仮想アレー素子は重なりなく配置されるので、仮想受信アレーの開口長を拡張でき、角度分解能を向上できる。

[0470] <基本配置4の変形例1>

基本配置4（例えば、図69）では、送信アンテナ106の数を4素子（ $N_t=4$ ）とし、受信アンテナ202の数を4素子（ $N_a=4$ ）とする場合について説明した。しかし、送信アンテナ数 N_t 及び受信アンテナ数 N_a はこれらの数に限定されない。

[0471] 基本配置4の変形例1では、例えば、図69に示すアンテナ配置を基本構成として、送信アンテナ数 N_t 及び受信アンテナ数 N_a を増加させた配置について説明する。

[0472] 以下、基本配置4の変形例1におけるアンテナの配置方法4-1A、4-1B、4-1C及び4-1Dについてそれぞれ説明する。

[0473] （配置方法4-1A）

例えば、送信アレーアンテナは、第1の送信アンテナ群と第2の送信アンテナ群とから構成される。また、各送信アンテナ群は、水平方向に $2D_h$ 、垂直方向に D_v のアンテナ間隔で右斜め下方向に直線的に配置される複数の送信アンテナ素子を含む。

[0474] また、第1の送信アンテナ群に対して、第2の送信アンテナ群は左方向に D_h 、下方向に $2D_v$ ずらして配置される。

[0475] ここで、第1の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数を「 $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$ 」とする。例えば、 $N_{TxLowerRightGr1_ANT} \geq 2$ である。また、第2の送信アンテナ群に

含まれる送信アンテナ数を「 $N_{\text{TxLowerRightGr2_ANT}}$ 」とする。例えば、 $N_{\text{TxLowerRightGr2_ANT}} \geq 2$ である。

[0476] また、受信アレーアンテナは、第1の受信アンテナ群と第2の受信アンテナ群とから構成される。また、各受信アンテナ群は、水平方向に $2D_H$ 、垂直方向に D_V の間隔で右斜め上方向に直線的に配置される複数の受信アンテナ素子を含む。

[0477] また、第1の受信アンテナ群に対して、第2の受信アンテナ群は右方向に D_H 、下方向に $2D_V$ ずらして配置される。

[0478] ここで、第1の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数を「 $N_{\text{RxUpperRightGr1_ANT}}$ 」とする。例えば、 $N_{\text{RxUpperRightGr1_ANT}} \geq 2$ である。また、第2の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数を「 $N_{\text{RxUpperRightGr2_ANT}}$ 」とする。例えば、 $N_{\text{RxUpperRightGr2_ANT}} \geq 2$ である。

[0479] 図72は、 $N_{\text{TxLowerRightGr1_ANT}}=4$ (Tx#2, Tx#4, Tx#6, Tx#8)、 $N_{\text{TxLowerRightGr2_ANT}}=4$ (Tx#1, Tx#3, Tx#5, Tx#7)、 $N_{\text{RxUpperRightGr1_ANT}}=2$ (Rx#2, Rx#4)、 $N_{\text{RxUpperRightGr2_ANT}}=2$ (Rx#1, Rx#3)の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。

[0480] また、図73は、 $N_{\text{TxLowerRightGr1_ANT}}=2$ (Tx#2, Tx#4)、 $N_{\text{TxLowerRightGr2_ANT}}=2$ (Tx#1, Tx#3)、 $N_{\text{RxUpperRightGr1_ANT}}=3$ (Rx#2, Rx#4, Rx#6)、 $N_{\text{RxUpperRightGr2_ANT}}=3$ (Rx#1, Rx#3, Rx#5)の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。

[0481] また、図74は、 $N_{\text{TxLowerRightGr1_ANT}}=4$ (Tx#2, Tx#4, Tx#6, Tx#8)、 $N_{\text{TxLowerRightGr2_ANT}}=4$ (Tx#1, Tx#3, Tx#5, Tx#7)、 $N_{\text{RxUpperRightGr1_ANT}}=3$ (Rx#2, Rx#4, Rx#6)、 $N_{\text{RxUpperRightGr2_ANT}}=3$ (Rx#1, Rx#3, Rx#5)の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。

[0482] 図72、図73及び図74に示す各MIMOアレー配置において、例えば、 D_H 及び D_V を 0.5λ 程度とすることにより、送信アンテナ106及び受信アンテナ202の水平方向及び垂直方向の素子サイズを 1λ 程度以上のサイズに設計できる。

[0483] また、例えば、図72、図73及び図74に示す各仮想受信アレーにおいて、各仮想アレー素子の一部の素子は重なる位置に配置されるが、仮想受信

アレーの開口長を拡張できるので、角度分解能を向上できる。なお、図 7 2 及び図 7 3 では、仮想アレー素子の重複は無く、図 7 4 では、2 箇所において仮想アレー素子が重複する。

[0484] また、図 7 2、図 7 3 及び図 7 4 に示す各仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子を、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置できる。なお、図 7 2、図 7 3 及び図 7 4 に示すように、各仮想受信アレーの中心付近において、一部の座標に対応する位置の素子は欠落している。しかし、レーダ装置 10 は、当該欠落している位置の周辺を囲んでいる、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置された仮想アレー素子の受信信号を用いて補間処理を行うことにより、当該欠落している素子の受信信号を近似的に受信できる。

[0485] また、図 7 2、図 7 3 及び図 7 4 に示す各仮想受信アレーの中心付近に密に配置される仮想アレー素子数は、 $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxUpperRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxUpperRightGr2_ANT}$ に依存して増加する。

[0486] 例えば、仮想受信アレーにおいて、水平方向では $(N_{TxLowerRightGr1_ANT} + N_{TxLowerRightGr2_ANT} + N_{RxUpperRightGr1_ANT} + N_{RxUpperRightGr2_ANT}) - 5$ の仮想アレー素子が D_H 間隔で並び、垂直方向では $0.5 \times (N_{TxLowerRightGr1_ANT} + N_{TxLowerRightGr2_ANT} + N_{RxUpperRightGr1_ANT} + N_{RxUpperRightGr2_ANT}) - 1$ の仮想アレー素子が D_V 間隔で並ぶ。仮想受信アレーにおいて D_H 、 D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数が増加するほど、グレーティングローブ及びサイドローブの低減効果を向上できる。

[0487] また、 $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxUpperRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxUpperRightGr2_ANT}$ が大きいほど、水平方向及び垂直方向に並び仮想アレー素子数が増大するため、水平方向及び垂直方向の仮想受信アレーの開口長を拡張でき、水平方向及び垂直方向の角度分解能を向上できる。

[0488] 図 7 5 は、例えば、図 7 4 に示すように、送信アンテナ 106 の数 $N_t=8$ 及び受信アンテナ 202 の数 $N_a=6$ の MIMO アレー配置 ($N_{TxLowerRightGr1_ANT}=N_{TxLowerRightGr2_ANT}=4$ 、 $N_{RxUpperRightGr1_ANT}=N_{RxUpperRightGr2_ANT}=3$ 、 $D_H=0.5\lambda$ 、 $D_V=0.5\lambda$) を用いた場合に、方向推定部 214 の到来方向推定アルゴリズムとしてビームフォーマ法を用いた場合の方向推定結果の一例を示す。なお、各アンテナの指向性は、無

指向性として算出している。

[0489] 図 7 5 では、ターゲット真値を水平 0 度、垂直 0 度とした場合の水平方向 ±90 度範囲、及び、垂直方向 ±90 度範囲における到来方向推定評価関数値の出力をプロットしている。

[0490] 図 7 5 では、ターゲット真値の水平 0 度、垂直 0 度以外の方向において、例えば、図 1 A と比較して、グレーティングローブが低減されていることが確認できる。例えば、図 7 5 では、水平 0 度、垂直 0 度方向のメインローブのピーク電力値に対する、メインローブを除いた最も高いサイドローブのピーク電力値の比 (PSLR) は 0.28 程度となっており、例えば、図 6 9 に示す基本配置 4 の構成 ($N_{TxLowerRightGr1_ANT}=N_{TxLowerRightGr2_ANT}=N_{RxUpperRightGr1_ANT}=N_{RxUpperRightGr2_ANT}=2$ の場合) (例えば、図 7 1 を参照) と比較して、 $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxUpperRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxUpperRightGr2_ANT}$ を増加させることにより、サイドローブの低減効果の向上が確認できる。また、図 7 5 では、図 7 1 と比較して、メインローブのピークも鋭くなっており、 $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxUpperRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxUpperRightGr2_ANT}$ の増加によって、角度分解能の向上が確認できる。

[0491] なお、 $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxUpperRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxUpperRightGr2_ANT}$ を増加するほど、水平方向の仮想アレーの開口長を、垂直方向よりも拡張でき、垂直方向の角度分解能と比較して、水平方向の角度分解能を、より向上しやすい MIMO アレー構成となる。

[0492] (配置方法 4 - 1 B)

配置方法 4 - 1 B では、仮想受信アレーの開口長を、水平方向よりも垂直方向に拡張する場合について説明する。これにより、水平方向の角度分解能と比較して、垂直方向の角度分解能をより向上できる MIMO アレー構成が得られる。

[0493] 例えば、送信アレーアンテナは、第 1 の送信アンテナ群と第 2 の送信アンテナ群とから構成される。また、各送信アンテナ群は、水平方向に D_H 、垂直方向に $2D_V$ のアンテナ間隔で右斜め上方向に直線的に配置される複数の送信アンテナ素子を含む。

[0494] また、第1の送信アンテナ群に対して、第2の送信アンテナ群は右方向に $2D_H$ 、下方向に D_V ずらして配置される。

[0495] ここで、第1の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数を「 $N_{TxUpperRightGr1_ANT}$ 」とする。例えば、 $N_{TxUpperRightGr1_ANT} \geq 2$ である。また、第2の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数を「 $N_{TxUpperRightGr2_ANT}$ 」とする。例えば、 $N_{TxUpperRightGr2_ANT} \geq 2$ である。

[0496] また、受信アレーアンテナは、第1の受信アンテナ群と第2の受信アンテナ群とから構成される。また、各受信アンテナ群は、水平方向に D_H 、垂直方向に $2D_V$ のアンテナ間隔で右斜め下方向に直線的に配置される複数の受信アンテナ素子を含む。

[0497] また、第1の受信アンテナ群に対して、第2の受信アンテナ群は左方向に $2D_H$ 、下方向に D_V ずらして配置される。

[0498] ここで、第1の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数を「 $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ 」とする。例えば、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT} \geq 2$ である。また、第2の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数を「 $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$ 」とする。例えば、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT} \geq 2$ である。

[0499] 図76は、 $N_{TxUpperRightGr1_ANT}=4$ (Tx#2, Tx#4, Tx#6, Tx#8)、 $N_{TxUpperRightGr2_ANT}=4$ (Tx#1, Tx#3, Tx#5, Tx#7)、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT}=2$ (Rx#4, Rx#3)、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT}=2$ (Rx#2, Rx#1)の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。

[0500] 図77は、 $N_{TxUpperRightGr1_ANT}=2$ (Tx#2, Tx#4)、 $N_{TxUpperRightGr2_ANT}=2$ (Tx#1, Tx#3)、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT}=3$ (Rx#2, Rx#4, Rx#6)、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT}=3$ (Rx#1, Rx#3, Rx#5)の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。

[0501] 図78は、 $N_{TxUpperRightGr1_ANT}=4$ (Tx#2, Tx#4, Tx#6, Tx#8)、 $N_{TxUpperRightGr2_ANT}=4$ (Tx#1, Tx#3, Tx#5, Tx#7)、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT}=3$ (Rx#2, Rx#4, Rx#6)、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT}=3$ (Rx#1, Rx#3, Rx#5)の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。

[0502] 図76、図77及び図78に示す各MIMOアレー配置において、例えば、 D_H 及び D_V を 0.5λ 程度とすることにより、送信アンテナ106及び受信アンテナ2

02の水平方向及び垂直方向の素子サイズを1λ程度以上のサイズに設計できる。

[0503] また、例えば、図76、図77及び図78に示す各仮想受信アレーにおいて、各仮想アレー素子の一部の素子は重なる位置に配置されるが、仮想受信アレーの開口長を拡張できるので、角度分解能を向上できる。なお、図76及び図77では、仮想アレー素子の重複は無く、図78では、2箇所において仮想アレー素子が重複する。

[0504] また、図76、図77及び図78に示す各仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子を、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置できる。なお、図76、図77及び図78に示すように、各仮想受信アレーの中心付近において、一部の座標に対応する位置の素子は欠落している。しかし、レーダ装置10は、当該欠落している位置の周辺を囲んでいる、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置された仮想アレー素子の受信信号を用いて補間処理を行うことにより、当該欠落している素子の受信信号を近似的に受信できる。

[0505] また、図76、図77及び図78に示す各仮想受信アレーの中心付近に密に配置される仮想アレー素子数は、 $N_{TxUpperRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxUpperRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$ に依存して増加する。

[0506] 例えば、仮想受信アレーにおいて、水平方向では $0.5 \times (N_{TxUpperRightGr1_ANT} + N_{TxUpperRightGr2_ANT} + N_{RxLowerRightGr1_ANT} + N_{RxLowerRightGr2_ANT}) - 1$ の仮想アレー素子が D_H 間隔で並び、垂直方向では $(N_{TxUpperRightGr1_ANT} + N_{TxUpperRightGr2_ANT} + N_{RxLowerRightGr1_ANT} + N_{RxLowerRightGr2_ANT}) - 5$ の仮想アレー素子が D_V 間隔で並ぶ。仮想受信アレーにおいて D_H 、 D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数が増加するほど、グレーティングローブ及びサイドローブの低減効果を向上できる。

[0507] また、 $N_{TxUpperRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxUpperRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$ が大きいほど、水平方向及び垂直方向に並び仮想アレー素子数が増大するため、水平方向及び垂直方向の仮想受信アレーの開口長を拡張でき、水平方向及び垂直方向の角度分解能を向上できる。

[0508] 図79は、例えば、図78に示すように、送信アンテナ106の数 $N_t=8$ 及

び受信アンテナ202の数 $N_a=6$ のMIMOアレー配置 ($N_{TxUpperRightGr1_ANT}=N_{TxUpperRightGr2_ANT}=4$ 、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT}=N_{RxLowerRightGr2_ANT}=3$ 、 $D_H=0.5\lambda$ 、 $D_V=0.5\lambda$) を用いた場合に、方向推定部214の到来方向推定アルゴリズムとしてビームフォーマ法を用いた場合の方向推定結果の一例を示す。なお、各アンテナの指向性は、無指向性として算出している。

[0509] 図79では、ターゲット真値を水平0度、垂直0度とした場合の水平方向±90度範囲、及び、垂直方向±90度範囲における到来方向推定評価関数値の出力をプロットしている。

[0510] 図79では、ターゲット真値の水平0度、垂直0度以外の方向において、例えば、図1Aと比較して、グレーティングローブが低減されていることが確認できる。例えば、図79では、水平0度、垂直0度方向のメインローブのピーク電力値に対する、メインローブを除いた最も高いサイドローブのピーク電力値の比 (PSLR) は0.28程度となっており、例えば、図69に示す基本配置4の構成 ($N_{TxUpperRightGr1_ANT}=N_{TxUpperRightGr2_ANT}=N_{RxLowerRightGr1_ANT}=N_{RxLowerRightGr2_ANT}=1$ の場合) (例えば、図71を参照) と比較して、 $N_{TxUpperRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxUpperRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$ を増加させることにより、サイドローブの低減効果の向上が確認できる。また、図79では、図71と比較して、メインローブのピークも鋭くなっており、 $N_{TxUpperRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxUpperRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$ の増加によって、角度分解能の向上が確認できる。

[0511] なお、 $N_{TxUpperRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxUpperRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$ を増加するほど、垂直方向の仮想アレーの開口長を、水平方向よりも拡張でき、水平方向の角度分解能と比較して、垂直方向の角度分解能を、より向上しやすいMIMOアレー構成となる。

[0512] (配置方法4-1C)

配置方法4-1Cは、配置方法4-1A及び配置方法4-1Bを組み合わせた方法である。

[0513] 例えば、送信アレーアンテナは、第1の送信アンテナ群と第2の送信アンテナ群とから構成される。また、各送信アンテナ群は、水平方向に $2D_H$ 、垂直

方向に D_V のアンテナ間隔で右斜め下方向に直線的に配置される複数の送信アンテナ素子を含む。

[0514] また、第1の送信アンテナ群に対して、第2の送信アンテナ群は左方向に D_H 、下方向に $2D_V$ ずらして配置される。

[0515] ここで、第1の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数を「 $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$ 」とする。例えば、 $N_{TxLowerRightGr1_ANT} \geq 2$ である。また、第2の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数を「 $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$ 」とする。例えば、 $N_{TxLowerRightGr2_ANT} \geq 2$ である。

[0516] また、例えば、受信アレーアンテナは、第1の受信アンテナ群と第2の受信アンテナ群とから構成される。また、各受信アンテナ群は、水平方向に D_H 、垂直方向に $2D_V$ のアンテナ間隔で右斜め下方向に直線的に配置される複数の受信アンテナ素子を含む。

[0517] また、第1の受信アンテナ群に対して、第2の受信アンテナ群は左方向に $2D_H$ 、下方向に D_V ずらして配置される。

[0518] ここで、第1の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数を「 $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ 」とする。例えば、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT} \geq 2$ である。また、第2の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数を「 $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$ 」とする。例えば、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT} \geq 2$ である。

[0519] 図80は、 $N_{TxLowerRightGr1_ANT}=4$ (Tx#2, Tx#4, Tx#6, Tx#8)、 $N_{TxLowerRightGr2_ANT}=4$ (Tx#1, Tx#3, Tx#5, Tx#7)、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT}=4$ (Rx#2, Rx#4, Rx#6, Rx#8)、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT}=4$ (Rx#1, Rx#3, Rx#5, Rx#7)の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。

[0520] 図80に示すMIMOアレー配置において、例えば、 D_H 及び D_V を 0.5λ 程度とすることにより、送信アンテナ106及び受信アンテナ202の水平方向及び垂直方向の素子サイズを 1λ 程度以上のサイズに設計できる。

[0521] また、図80に示す仮想受信アレーにおいて、各仮想アレー素子の一部の素子は重なる位置に配置されるが、仮想受信アレーの開口長を拡張できるので、角度分解能を向上できる。なお、図80では、1箇所において仮想アレー

一素子が重複する。

[0522] また、図80に示す仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子を、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置できる。なお、図80に示すように、各仮想受信アレーの中心付近において、一部の座標に対応する位置の素子は欠落している。しかし、レーダ装置10は、当該欠落している位置の周辺を囲んでいる、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置された仮想アレー素子の受信信号を用いて補間処理を行うことにより、当該欠落している素子の受信信号を近似的に受信できる。

[0523] また、図80に示す各仮想受信アレーの中心付近に密に配置される仮想アレー素子数は、 $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$ に依存して増加する。

[0524] 例えば、仮想受信アレーにおいて、水平方向では $0.5 \times (N_{TxLowerRightGr1_ANT} + N_{TxLowerRightGr2_ANT} + N_{RxLowerRightGr1_ANT} + N_{RxLowerRightGr2_ANT}) + 1$ の仮想アレー素子が D_H 間隔で並び、垂直方向では $0.5 \times (N_{TxLowerRightGr1_ANT} + N_{TxLowerRightGr2_ANT} + N_{RxLowerRightGr1_ANT} + N_{RxLowerRightGr2_ANT}) + 1$ の仮想アレー素子が D_V 間隔で並ぶ。仮想受信アレーにおいて D_H 、 D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数が増加するほど、グレーティングローブ及びサイドローブの低減効果を向上できる。

[0525] また、 $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$ が大きいほど、水平方向及び垂直方向に並ぶ仮想アレー素子数が増大するため、水平方向及び垂直方向の仮想受信アレーの開口長を拡張でき、水平方向及び垂直方向の角度分解能を向上できる。

[0526] (配置方法4-1D)

配置方法4-1Dは、配置方法4-1A及び配置方法4-1Bを組み合わせた方法である。

[0527] 例えば、送信アレーアンテナは、第1の送信アンテナ群と第2の送信アンテナ群とから構成される。また、各送信アンテナ群は、水平方向に $2D_H$ 、垂直方向に D_V のアンテナ間隔で右斜め上方向に直線的に配置される複数の送信アンテナ素子を含む。

[0528] また、第1の送信アンテナ群に対して、第2の送信アンテナ群は右方向に2

D_H 、下方方向に D_V ずらして配置される。

[0529] ここで、第1の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数を「 $N_{TxUpperRightGr1_ANT}$ 」とする。例えば、 $N_{TxUpperRightGr1_ANT} \geq 2$ である。また、第2の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数を「 $N_{TxUpperRightGr2_ANT}$ 」とする。例えば、 $N_{TxUpperRightGr2_ANT} \geq 2$ である。

[0530] また、例えば、受信アレーアンテナは、第1の受信アンテナ群と第2の受信アンテナ群とから構成される。また、各受信アンテナ群は、水平方向に $2D_H$ 、垂直方向に D_V のアンテナ間隔で右斜め上方向に直線的に配置される複数の受信アンテナ素子を含む。

[0531] また、第1の受信アンテナ群に対して、第2の受信アンテナ群は右方向に D_H 、下方方向に $2D_V$ ずらして配置される。

[0532] ここで、第1の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数を「 $N_{RxUpperRightGr1_ANT}$ 」とする。例えば、 $N_{RxUpperRightGr1_ANT} \geq 2$ である。また、第2の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数を「 $N_{RxUpperRightGr2_ANT}$ 」とする。例えば、 $N_{RxUpperRightGr2_ANT} \geq 2$ である。

[0533] 図81は、 $N_{TxUpperRightGr1_ANT}=4$ (Tx#2, Tx#4, Tx#6, Tx#8)、 $N_{TxUpperRightGr2_ANT}=4$ (Tx#1, Tx#3, Tx#5, Tx#7)、 $N_{RxUpperRightGr1_ANT}=4$ (Rx#2, Rx#4, Rx#6, Rx#8)、 $N_{RxUpperRightGr2_ANT}=4$ (Rx#1, Rx#3, Rx#5, Rx#7)の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。

[0534] 図81に示すMIMOアレー配置において、例えば、 D_H 及び D_V を 0.5λ 程度とすることにより、送信アンテナ106及び受信アンテナ202の水平方向及び垂直方向の素子サイズを 1λ 程度以上のサイズに設計できる。

[0535] また、図81に示す仮想受信アレーにおいて、各仮想アレー素子の一部の素子は重なる位置に配置されるが、仮想受信アレーの開口長を拡張できるので、角度分解能を向上できる。なお、図81では、1箇所において仮想アレー素子が重複する。

[0536] また、図81に示す仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子を、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置できる。なお、図81に示すように、各仮想受信ア

レーの中心付近において、一部の座標に対応する位置の素子は欠落している。しかし、レーダ装置 10 は、当該欠落している位置の周辺を囲んでいる、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置された仮想アレー素子の受信信号を用いて補間処理を行うことにより、当該欠落している素子の受信信号を近似的に受信できる。

[0537] また、図 8 1 に示す各仮想受信アレーの中心付近に密に配置される仮想アレー素子数は、 $N_{TxUpperRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxUpperRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxUpperRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxUpperRightGr2_ANT}$ に依存して増加する。

[0538] 例えば、仮想受信アレーにおいて、水平方向では $0.5 \times (N_{TxUpperRightGr1_ANT} + N_{TxUpperRightGr2_ANT} + N_{RxUpperRightGr1_ANT} + N_{RxUpperRightGr2_ANT}) + 1$ の仮想アレー素子が D_H 間隔で並び、垂直方向では $0.5 \times (N_{TxUpperRightGr1_ANT} + N_{TxUpperRightGr2_ANT} + N_{RxUpperRightGr1_ANT} + N_{RxUpperRightGr2_ANT})$ の仮想アレー素子が D_V 間隔で並ぶ。仮想受信アレーにおいて D_H 、 D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数が増加するほど、グレーティングローブ及びサイドローブの低減効果を向上できる。

[0539] また、 $N_{TxUpperRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxUpperRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxUpperRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxUpperRightGr2_ANT}$ が大きいほど、水平方向及び垂直方向に並び仮想アレー素子数が増大するため、水平方向及び垂直方向の仮想受信アレーの開口長を拡張でき、水平方向及び垂直方向の角度分解能を向上できる。

[0540] 以上、基本配置 4 の変形例 1 におけるアンテナの配置方法 4-1 A、4-1 B、4-1 C 及び 4-1 D についてそれぞれ説明した。

[0541] なお、配置方法 4-1 A、4-1 B、4-1 C 及び 4-1 D において、送信アレーアンテナが第 1 の送信アンテナ群と第 2 の送信アンテナ群とから構成される場合について説明した。しかし、送信アレーアンテナに含まれる送信アンテナ群の数 $N_{TxGroup}$ が 3 以上の構成でもよい。この場合、第 ntx の送信アンテナ群は、第 $(ntx-1)$ の送信アンテナ群に対して、配置方法 4-1 A、4-1 B、4-1 C 及び 4-1 D の何れかの規則に従って配置される。ここで、 $ntx=1, \dots, N_{TxGroup}$ である。

[0542] 同様に、配置方法 4-1 A、4-1 B、4-1 C 及び 4-1 D において、受信アレーアンテナが第 1 の受信アンテナ群と第 2 の受信アンテナ群とから

構成される場合について説明した。しかし、受信アンテナ群の数 $N_{RxGroup}$ が3以上の構成でもよい。この場合、第 nrx の受信アンテナ群は、第 $(nrx-1)$ の受信アンテナ群に対して、配置方法4-1A、4-1B、4-1C及び4-1Dの何れかの規則に従って配置される。ここで、 $nrx=1, \dots, N_{RxGroup}$ である。

[0543] 図82は、一例として、配置方法4-1Bにおいて、送信アンテナ群の数 $N_{TxGroup}=3$ 、受信アンテナ群の数 $N_{RxGroup}=3$ とし、 $N_{TxUpperRightGr1_ANT}=3$ ($Tx\#3, Tx\#6, Tx\#9$)、 $N_{TxUpperRightGr2_ANT}=3$ ($Tx\#2, Tx\#5, Tx\#8$)、 $N_{TxUpperRightGr3_ANT}=3$ ($Tx\#1, Tx\#4, Tx\#7$)、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT}=3$ ($Rx\#7, Rx\#8, Rx\#9$)、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT}=3$ ($Rx\#4, Rx\#5, Rx\#6$)、 $N_{RxLowerRightGr3_ANT}=3$ ($Rx\#1, Rx\#2, Rx\#3$)の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。

[0544] 例えば、図82に示すMIMOアレー配置において、 D_H 及び D_V を 0.5λ 程度とすることにより、送信アンテナ106及び受信アンテナ202の水平方向及び垂直方向の素子サイズを 1λ 程度以上のサイズに設計できる。

[0545] また、図82に示す仮想受信アレーにおいて、各仮想アレー素子の一部の素子は重なる位置に配置されるが、仮想受信アレーの開口長を拡張できるので、角度分解能を向上できる。なお、図82では、8箇所において仮想アレー素子が重複する。

[0546] また、図82に示す仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子を、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置できる。なお、図82に示すように、仮想受信アレーの中心付近において、一部の座標に対応する位置の素子は欠落している。しかし、レーダ装置10は、当該欠落している位置の周辺を囲んでいる、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置された仮想アレー素子の受信信号を用いて補間処理を行うことにより、当該欠落している素子の受信信号を近似的に受信できる。

[0547] また、図82に示す各仮想受信アレーの中心付近に密に配置される仮想アレー素子数は、 $N_{TxGroup}$ 、 $N_{RxGroup}$ に依存して増加する。

[0548] <基本配置4の変形例2>

基本配置4の変形例2では、基本配置4に示した4素子の送信アレーアンテナの配置、及び、4素子の受信アレーアンテナの配置をそれぞれ「基本セ

ット」とし、複数の基本セットの配置位置をオフセットした構成のMIMOアレー配置について説明する。

[0549] なお、以下に示す配置において、送信アレーアンテナの基本セットの水平方向及び垂直方向の配置位置に対するオフセット、又は、受信アレーアンテナの基本セットの水平方向及び垂直方向の配置位置に対するオフセットは、仮想受信アレー配置において重複する素子が無く、仮想受信アレーの中心付近において、より多くの仮想アレー素子が D_V 又は D_H 間隔で密に配置されるように設定されてよい。ただし、これに限定されず、例えば、仮想受信アレー配置において不等間隔になる配置を増加させる場合、又は、仮想受信アレー配置において仮想アレー素子が重複する配置を増加させる場合等にも同様に、配置位置のオフセットを調整することによって実現可能である。

[0550] 図83は、送信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{TxBaseSet}=2$ とし、受信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{RxBaseSet}=1$ とした場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。図83において、第1番目の基本セット（例えば、Tx#1, Tx#2, Tx#3及びTx#4）に対する、第2番目の基本セット（例えば、Tx#5, Tx#6, Tx#7及びTx#8）の水平方向における配置位置のオフセットを $D_{Offset_TxBaseSet2}=5D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{Offset_TxBaseSet2}=0$ とする。図83に示すように、送信アレーアンテナの2つの基本セットを水平方向にオフセットした配置により、水平方向に D_H 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を増加でき、水平方向の角度分解能を向上できる。

[0551] 図84は、送信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{TxBaseSet}=2$ とし、受信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{RxBaseSet}=1$ とした場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。図84において、第1番目の基本セット（例えば、Tx#1, Tx#2, Tx#3及びTx#4）に対する、第2番目の基本セット（Tx#5, Tx#6, Tx#7, Tx#8）の水平方向における配置位置のオフセットを $D_{Offset_TxBaseSet2}=0$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{Offset_TxBaseSet2}=5D_V$ とする。図84に示すように、送信アレーアンテナの2つの基本セットを垂直方向にオフセットした配置により、垂直方向に D_V 間隔で密に配置される仮想アレー

素子数を増加でき、水平方向の角度分解能を向上できる。

[0552] 図85は、送信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{TxBaseSet}=1$ とし、受信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{RxBaseSet}=2$ とした場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。図85において、第1番目の基本セット（例えば、Rx#1, Rx#2, Rx#3及びRx#4）に対する、第2番目の基本セット（Rx#5, Rx#6, Rx#7, Rx#8）の水平方向における配置位置のオフセットを $D_{Offset_RxBaseSet2}=5D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{Voffset_RxBaseSet2}=0$ とする。図85に示すように、受信アレーアンテナの2つの基本セットを水平方向にオフセットした配置により、水平方向に D_H 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を増加でき、水平方向の角度分解能を向上できる。

[0553] 図86は、送信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{TxBaseSet}=1$ とし、受信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{RxBaseSet}=2$ とした場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。図86において、第1番目の基本セット（例えば、Rx#1, Rx#2, Rx#3及びRx#4）に対する、第2番目の基本セット（Rx#5, Rx#6, Rx#7, Rx#8）の水平方向における配置位置のオフセットを $D_{Offset_RxBaseSet2}=0$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{Voffset_RxBaseSet2}=5D_V$ とする。図86に示すように、受信アレーアンテナの2つの基本セットを垂直方向にオフセットした配置により、垂直方向に D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を増加でき、垂直方向の角度分解能を向上できる。

[0554] 図87は、送信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{TxBaseSet}=2$ とし、受信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{RxBaseSet}=2$ とした場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。図87において、送信アレーアンテナの第1番目の基本セット（例えば、Tx#1, Tx#2, Tx#3及びTx#4）に対する、第2番目の基本セット（Tx#5, Tx#6, Tx#7, Tx#8）の水平方向における配置位置のオフセットを $D_{Offset_TxBaseSet2}=8D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{Voffset_TxBaseSet2}=0$ とする。また、図87において、受信アレーアンテナの第1番目の基本セット（例えば、Rx#1, Rx#2, Rx#3及びRx#4）に対する、第2番目の基本セット（Rx#5, Rx#6, Rx#7, Rx#8）の水平方向における配置位置のオフセ

ットを $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet2}}=5D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_RxBaseSet2}}=0$ とする。図87に示すように、送信アレーアンテナの2つの基本セットを水平方向にオフセットした配置、及び、受信アレーアンテナの2つの基本セットを水平方向にオフセットした配置により、水平方向に D_H 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を、例えば、図83又は図85と比較して更に増加でき、水平方向の角度分解能を更に向上できる。

[0555] 図88Aは、送信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{\text{TxBaseSet}}=4$ とし、受信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{\text{RxBaseSet}}=4$ とした場合のMIMOアレー配置例を示し、図88Bは仮想受信アレー配置例を示す。

[0556] 図88Aにおいて、送信アレーアンテナの第1番目の基本セット（例えば、Tx#1, Tx#2, Tx#3及びTx#4）に対する、第2番目の基本セット（Tx#5, Tx#6, Tx#7, Tx#8）の水平方向の配置位置のオフセットを $D_{\text{Hoffset_TxBaseSet2}}=8D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_TxBaseSet2}}=0$ とし、第3番目の基本セット（Tx#9, Tx#10, Tx#11, Tx#12）の水平方向における配置位置のオフセットを $D_{\text{Hoffset_TxBaseSet3}}=0$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_TxBaseSet3}}=5D_V$ とし、第4番目の基本セット（Tx#13, Tx#14, Tx#15, Tx#16）の水平方向における配置位置のオフセットを $D_{\text{Hoffset_TxBaseSet4}}=8D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_TxBaseSet4}}=5D_V$ とする。

[0557] また、図88Aにおいて、受信アレーアンテナの第1番目の基本セット（例えば、Rx#1, Rx#2, Rx#3及びRx#4）に対する、第2番目の基本セット（Rx#5, Rx#6, Rx#7, Rx#8）の水平方向における配置位置のオフセットを $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet2}}=5D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_RxBaseSet2}}=0$ とし、第3番目の基本セット（Rx#9, Rx#10, Rx#11, Rx#12）の水平方向における配置位置のオフセットを $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet3}}=0$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_RxBaseSet3}}=8D_V$ とし、第4番目の基本セット（Rx#13, Rx#14, Rx#15, Rx#16）の水平方向における配置位置のオフセットを $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet4}}=5D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_RxBaseSet4}}=8D_V$ とする。

[0558] 図88A及び図88Bに示すように、送信アレーアンテナの基本セットを

水平方向にオフセットした配置、及び、受信アレーアンテナの基本セットを水平方向にオフセットした配置により、水平方向に D_H 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を、例えば、図83又は図85と比較して更に増加でき、水平方向の角度分解能を更に向上できる。（なお、図88の場合、8箇所において仮想アレー素子が重複する。）

[0559] 同様に、図88A及び図88Bに示すように、送信アレーアンテナの基本セットを垂直方向にオフセットした配置、及び、受信アレーアンテナの基本セットを垂直方向にオフセットした配置により、垂直方向に D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を、例えば、図84又は図86と比較して更に増加でき、垂直方向の角度分解能を更に向上できる。

[0560] なお、変形例2では、基本配置4のアンテナ配置を基本セットにする場合について説明したが、基本セットは、基本配置4のアンテナ配置に限定されず、例えば、基本配置4の変形例1のアンテナ配置でもよい。

[0561] また、送信アレーアンテナ及び受信アレーアンテナに含まれる基本セットの数($N_{TxBaseSet}$ 、 $N_{RxBaseSet}$)は、上記例に限定されず、他の値でもよい。

[0562] <基本配置5>

図89は、基本配置5に係る送信アンテナ106及び受信アンテナ202の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。

[0563] (1) 送受信アンテナの配置

図89では、送信アレーアンテナにおける送信アンテナ106の個数 $N_t=4$ 個($Tx\#1$, $Tx\#2$, $Tx\#3$ 及び $Tx\#4$)とし、受信アレーアンテナにおける受信アンテナ202の個数 $N_a=4$ 個($Rx\#1$, $Rx\#2$, $Rx\#3$ 及び $Rx\#4$)とする。

[0564] 図89に示す送信アレーアンテナは、例えば、「第1の送信アンテナ群」(図89では、 $Tx\#2$, $Tx\#4$)と、「第2の送信アンテナ群」(図89では、 $Tx\#1$, $Tx\#3$)とから構成される。各送信アンテナ群は、それぞれ、水平方向についてアンテナ間隔が D_H であり、垂直方向についてアンテナ間隔が D_V である2つの送信アンテナ素子を含む。図89に示す各送信アンテナ群の各々において、隣り合う送信アンテナは、水平方向に D_H の間隔離れて配置され、垂直方向

に D_v の間隔離れて配置される。換言すると、図89では、各送信アンテナ群に含まれる送信アンテナは、水平方向に D_h 、垂直方向に D_v のアンテナ間隔で右斜め下方向（換言すると、左斜め上方向）に直線的に配置される。

[0565] また、図89において、第1の送信アンテナ群に対して、第2の送信アンテナ群は、水平方向において左方向に $2D_h$ 、垂直方向において下方向に D_v ずらして配置される。換言すると、図89に示す隣り合う送信アンテナ群は、水平方向に $2D_h$ の間隔（換言すると、 D_h の2倍の間隔）、かつ、垂直方向に D_v シフトした関係にある。

[0566] また、図89において、第1の送信アンテナ群に対して、第2の送信アンテナ群は、水平方向において左方向に D_h 、垂直方向において下方向に $2D_v$ ずらして配置される。

[0567] また、図89に示す受信アレーアンテナは、例えば、「第1の受信アンテナ群」（図89では、Rx#2、Rx#4）と、「第2の受信アンテナ群」（図89では、Rx#1、Rx#3）とから構成される。各受信アンテナ群は、それぞれ、水平方向についてアンテナ間隔が D_h であり、垂直方向についてアンテナ間隔が D_v である2つの受信アンテナ素子を含む。図89に示す各受信アンテナ群の各々において、隣り合う受信アンテナは、水平方向に D_h の間隔離れて配置され、垂直方向に D_v の間隔離れて配置される。換言すると、図89では、各受信アンテナ群に含まれる送信アンテナは、水平方向に D_h 、垂直方向に D_v のアンテナ間隔で右斜め上方向（換言すると、左斜め下方向）に直線的に配置される。

[0568] また、図89において、第1の受信アンテナ群に対して、第2の受信アンテナ群は、水平方向において右方向に $2D_h$ 、垂直方向において下方向に D_v ずらして配置される。換言すると、図89に示す隣り合う受信アンテナ群は、水平方向に $2D_h$ の間隔（換言すると、 D_h の2倍の間隔）、かつ、垂直方向に D_v シフトした関係にある。

[0569] また、例えば、図89に示すように、送信アンテナTx#1~Tx#4の各々は、水平方向においてそれぞれ異なる位置に配置される。同様に、図89に示すように、受信アンテナRx#1~Rx#4の各々は、水平方向においてそれぞれ異な

る位置に配置される。

[0570] また、図 8 9 に示す送受信アンテナ配置において、送信アンテナのそれぞれの配置位置と、受信アンテナのそれぞれの配置位置とは、例えば、水平方向又は垂直方向に平行な線に関して線対称の関係（換言すると、反転させた関係）にある。

[0571] 例えば、図 8 9 に示す水平方向（横方向）がX軸に対応し、図 8 9 に示す垂直方向（縦方向）がY軸方向に対応することを仮定する。

[0572] 例えば、図 8 9 に示すアンテナ配置の場合、送信アレーアンテナを構成する送信アンテナ 1 0 6 の位置座標は、送信アンテナTx#1の位置座標 $(X_{T_#1}, Y_{T_#1})$ を基準として、送信アンテナTx#2の位置座標 $(X_{T_#2}, Y_{T_#2}) = (X_{T_#1} + 2D_H, Y_{T_#1} + D_V)$ 、送信アンテナTx#3の位置座標 $(X_{T_#3}, Y_{T_#3}) = (X_{T_#1} + D_H, Y_{T_#1} - D_V)$ 、及び、送信アンテナTx#4の位置座標 $(X_{T_#4}, Y_{T_#4}) = (X_{T_#1} + 3D_H, Y_{T_#1})$ と表される。

[0573] 同様に、受信アレーアンテナを構成する受信アンテナ 2 0 2 の位置座標は、受信アンテナRx#1の位置座標 $(X_{R_#1}, Y_{R_#1})$ を基準として、受信アンテナRx#2の位置座標 $(X_{R_#2}, Y_{R_#2}) = (X_{R_#1} - 2D_H, Y_{R_#1} + D_V)$ 、受信アンテナRx#3の位置座標 $(X_{R_#3}, Y_{R_#3}) = (X_{R_#1} + D_H, Y_{R_#1} + D_V)$ 、及び、受信アンテナRx#4の位置座標 $(X_{R_#4}, Y_{R_#4}) = (X_{R_#1} - D_H, Y_{R_#1} + 2D_V)$ と表される。

[0574] （2）仮想受信アレーの配置

上述した図 8 9 に示す送受信アンテナ配置によって構成される仮想受信アレー（仮想アンテナVA#1～VA#16）の配置は以下のような特徴を有する。

[0575] 例えば、図 8 9 に示す送信アレーアンテナの配置及び受信アレーアンテナの配置により、仮想受信アレーVA#1～VA#16の位置座標 $(X_{V_#1}, Y_{V_#1}) \sim (X_{V_#16}, Y_{V_#16})$ は、それぞれ以下ようになる。なお、ここでは、VA#1を仮想受信アレーの位置基準 $(0, 0)$ として表している。

$(0, 0)$, $(2D_H, D_V)$, $(D_H, -D_V)$, $(3D_H, 0)$, $(-2D_H, D_V)$, $(0, 2D_V)$, $(-D_H, 0)$, (D_H, D_V) , (D_H, D_V) , $(3D_H, 2D_V)$, $(2D_H, 0)$, $(4D_H, D_V)$, $(-D_H, 2D_V)$, $(D_H, 3D_V)$, $(0, D_V)$, $(2D_H, 2D_V)$

[0576] このように、図 8 9 に示す仮想受信アレーの配置では、各仮想受信アレー

素子は、一部の仮想アレー素子（例えば、VA#8、#9）を除いて、異なる位置に重なりなく配置される。このため、仮想受信アレーの開口長を拡張できるので、メインローブが狭まり、角度分解能を向上できる。

[0577] また、図89に示す仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子VA#4、#11、#2、#16、#10、#7、#1、#15、#6、#13、VA#8、#9は、水平方向に D_H 間隔、垂直方向に D_V 間隔でそれぞれ密に配置される。一例として、図89において、間隔 D_H 及び間隔 D_V を 0.5λ 程度とした場合、仮想アレー素子VA#4、#11、#2、#16、#10、#7、#1、#15、#6、#13、VA#8、#9は、水平方向に $D_H=0.5\lambda$ 間隔、垂直方向に $D_V=0.5\lambda$ 間隔で配置される。これにより、基本配置1（例えば、図8を参照）と同様、グレーティングローブを低減できる。

[0578] なお、図89に示す仮想受信アレーの中心付近において、間隔 D_H 及び間隔 D_V で密に配置された仮想アレー素子に囲まれた座標に対応する位置の素子が欠落している。しかし、レーダ装置10は、例えば、欠落した箇所を囲む、間隔 D_H 及び間隔 D_V で密に配置された仮想アレー素子の受信信号を用いて補間処理を行うことにより、当該欠落している箇所の素子の受信信号を近似的に受信できる。

[0579] また、例えば、図89に示すMIMOアレー配置において、間隔 D_H 及び間隔 D_V を 0.5λ 程度とした場合、送信アンテナ106及び受信アンテナ202の水平方向及び垂直方向の素子サイズを 1λ 以上のサイズに設計できる。

[0580] これにより、送信アンテナ106及び受信アンテナ202の横方向 W_{ANT} の素子サイズが D_H よりも小さければ、縦方向には任意サイズのアンテナを用いることができる。例えば、図25Aに示すような、平面パッチアンテナを縦8素子、横1素子に並べた8素子をサブアレーに用いたアンテナを、図89に示す送信アレーアンテナ及び受信アレーアンテナの少なくとも一つの各アンテナに適用できる。

[0581] なお、第1の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数（以下、「 $N_{TxGroup1_ANT}$ 」と表す）と、第2の送信方向アンテナ群に含まれる送信アンテナ数（以下、「 $N_{TxGroup2_ANT}$ 」と表す）とは同数又は1アンテナ分の差分があってもよい。例

例えば、 $|N_{\text{TxGroup1_ANT}} - N_{\text{TxGroup2_ANT}}| = 0 \text{ or } 1$ とする。

[0582] 同様に、第1の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナの数（以下、「 $N_{\text{RxGroup1_ANT}}$ 」と表す）と、第2の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数（以下、「 $N_{\text{RxGroup2_ANT}}$ 」と表す）とは同数又は1アンテナ分の差分があつてよい。例えば、 $|N_{\text{RxGroup1_ANT}} - N_{\text{RxGroup2_ANT}}| = 0 \text{ or } 1$ とする。

[0583] 図90A及び図90Bは、第1の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数 $N_{\text{TxGroup1_ANT}}$ と第2の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数 $N_{\text{TxGroup2_ANT}}$ とに1アンテナ分の差分があり、第1の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナの数 $N_{\text{RxGroup1_ANT}}$ と第2の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数 $N_{\text{RxGroup2_ANT}}$ とが同数の場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。

[0584] 図90A及び図90Bに示すように、 $|N_{\text{TxGroup1_ANT}} - N_{\text{TxGroup2_ANT}}| = 1$ かつ $|N_{\text{RxGroup1_ANT}} - N_{\text{RxGroup2_ANT}}| = 0$ の場合のMIMOアレー配置は、送信アンテナ数が3となり、受信アンテナ数が4（ $N_{\text{RxGroup1_ANT}} = N_{\text{RxGroup2_ANT}} = 2$ ）となる構成であり、例えば、2通りのパターンが存在する。

[0585] 図90Aは、 $N_{\text{TxGroup1_ANT}} = 1$ （Tx#2）、 $N_{\text{TxGroup2_ANT}} = 2$ （Tx#1、Tx#3）の場合のMIMOアレー配置例であり、図90Bは、 $N_{\text{TxGroup1_ANT}} = 2$ （Tx#2、Tx#3）、 $N_{\text{TxGroup2_ANT}} = 1$ （Tx#1）の場合のMIMOアレー配置例である。

[0586] 次に、図91A及び図91Bは、第1の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数 $N_{\text{TxGroup1_ANT}}$ と第2の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数 $N_{\text{TxGroup2_ANT}}$ とが同数であり、第1の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナの数 $N_{\text{RxGroup1_ANT}}$ と第2の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数 $N_{\text{RxGroup2_ANT}}$ とに1アンテナ分の差分がある場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。

[0587] 図91A及び図91Bに示すように、 $|N_{\text{TxGroup1_ANT}} - N_{\text{TxGroup2_ANT}}| = 0$ かつ $|N_{\text{RxGroup1_ANT}} - N_{\text{RxGroup2_ANT}}| = 1$ の場合のMIMOアレー配置は、送信アンテナ数が4（ $N_{\text{TxGroup1_ANT}} = N_{\text{TxGroup2_ANT}} = 2$ ）となり、受信アンテナ数が3となる構成であり、例えば、2通りのパターンが存在する。

[0588] 図91Aは、 $N_{\text{RxGroup1_ANT}} = 1$ （Rx#3）、 $N_{\text{RxGroup2_ANT}} = 2$ （Rx#1, Rx#2）の場合のMIMOアレー

一配置例であり、図 9 1 B は、 $N_{\text{RxGroup1_ANT}}=2(\text{Rx}\#2, \text{Rx}\#3)$ 、 $N_{\text{RxGroup2_ANT}}=1(\text{Rx}\#1)$ の場合の MIMO アレー配置例である。

[0589] 次に、図 9 2 A～D は、第 1 の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数 $N_{\text{TxGroup1_ANT}}$ と第 2 の送信アンテナ群に含まれる送信アンテナ数 $N_{\text{TxGroup2_ANT}}$ とに 1 アンテナ分の差分があり、第 1 の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナの数 $N_{\text{RxGroup1_ANT}}$ と第 2 の受信アンテナ群に含まれる受信アンテナ数 $N_{\text{RxGroup2_ANT}}$ とに 1 アンテナ分の差分がある場合の MIMO アレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。

[0590] 図 9 2 A～D に示すように、 $|N_{\text{TxGroup1_ANT}} - N_{\text{TxGroup2_ANT}}| = 1$ かつ $|N_{\text{RxGroup1_ANT}} - N_{\text{RxGroup2_ANT}}| = 1$ の場合の MIMO アレー配置は、送信アンテナ数が 3 となり、受信アンテナ数が 3 となる構成であり、例えば、図 9 2 A～D の 4 通りのパターンが存在する。

[0591] 図 9 2 A は、 $N_{\text{TxVGroup1_ANT}}=1(\text{Tx}\#2)$ 、 $N_{\text{TxVGroup2_ANT}}=2(\text{Tx}\#1, \text{Tx}\#3)$ 、 $N_{\text{RxHGroup1_ANT}}=1(\text{Rx}\#3)$ 、 $N_{\text{RxHGroup2_ANT}}=2(\text{Rx}\#1, \text{Rx}\#2)$ の場合の MIMO アレー配置例である。

[0592] 図 9 2 B は、 $N_{\text{TxVGroup1_ANT}}=1(\text{Tx}\#2)$ 、 $N_{\text{TxVGroup2_ANT}}=2(\text{Tx}\#1, \text{Tx}\#3)$ 、 $N_{\text{RxHGroup1_ANT}}=2(\text{Rx}\#2, \text{Rx}\#3)$ 、 $N_{\text{RxHGroup2_ANT}}=1(\text{Rx}\#1)$ の場合の MIMO アレー配置例である。

[0593] 図 9 2 C は、 $N_{\text{TxVGroup1_ANT}}=2(\text{Tx}\#2, \text{Tx}\#3)$ 、 $N_{\text{TxVGroup2_ANT}}=1(\text{Tx}\#1)$ 、 $N_{\text{RxHGroup1_ANT}}=1(\text{Rx}\#3)$ 、 $N_{\text{RxHGroup2_ANT}}=2(\text{Rx}\#1, \text{Rx}\#2)$ の場合の MIMO アレー配置例である。

[0594] 図 9 2 D は、 $N_{\text{TxVGroup1_ANT}}=2(\text{Tx}\#2, \text{Tx}\#3)$ 、 $N_{\text{TxVGroup2_ANT}}=1(\text{Tx}\#1)$ 、 $N_{\text{RxHGroup1_ANT}}=2(\text{Rx}\#2, \text{Rx}\#3)$ 、 $N_{\text{RxHGroup2_ANT}}=1(\text{Rx}\#1)$ の場合の MIMO アレー配置例である。

[0595] 図 9 0 A、図 9 0 B、図 9 1 A、図 9 1 B 及び図 9 2 A～D に示す仮想受信アレーにおいて、各仮想アレー素子はそれぞれ異なる位置に重なりなく配置されるので、仮想受信アレーの開口長を拡張でき、角度分解能を向上できる。

[0596] また、仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子は、 D_H 、 D_V 間隔で密に配置される。一例として、図 9 0 A、図 9 0 B、図 9 1 A、図 9 1 B 及び図 9 2 A～D において、間隔 D_H 及び間隔 D_V を 0.5λ 程度とした場合、仮想受信アレーの中心付近に位置する仮想アレー素子は、水平方向に $D_H=0.5\lambda$ 間隔

、垂直方向に $D_v=0.5\lambda$ 間隔で配置される。これにより、グレーティングローブを低減できる。

[0597] また、例えば、基本配置5のMIMOアレー配置において、間隔 D_H 及び間隔 D_v を 0.5λ 程度とした場合、送信アンテナ106及び受信アンテナ202の水平方向及び垂直方向の素子サイズを 1λ 程度以上のサイズに設計できる。

[0598] これにより、例えば、送信アンテナ106及び受信アンテナ202の横方向 W_{ANT} の素子サイズが D_H よりも小さければ縦方向には任意サイズのアンテナを用いることができる。例えば、図93Aは、図89に示すアンテナ配置に対して、図25Aに示す平面パッチアンテナを縦8素子、横1素子並べたサブアレーを適用した場合の例を示す。なお、図93Bに示すように、図93Aに示す送信アレーアンテナに加え、無給電素子（ダミー素子）が配置されてよい。無給電素子により、隣接するアンテナによるアンテナ間結合の影響を各アンテナで均一化でき、各送信アンテナ（Tx#1～#4）の指向特性を均一化できる。

[0599] このように、基本配置5に係るアンテナ配置において、サブアレー構成のアンテナを用いることにより、アンテナの指向性利得を向上でき、レーダ装置10における検知性能（例えば、検知距離）を向上できる。

[0600] 方向推定部214は、上述した送受信アンテナ配置から得られる仮想受信アレーの受信信号を用いて、水平方向及び垂直方向の方向推定処理を行う。なお、方向推定部214における基本配置5の仮想受信アレーに対する処理は、基本配置1と同様であるため、ここではその説明を省略する。

[0601] 図94は、例えば、図89に示すように、送信アンテナ106の数 $N_t=4$ 及び受信アンテナ202の数 $N_a=4$ のMIMOアレー配置（ $D_H=0.5\lambda$ 、 $D_v=0.5\lambda$ ）を用いた場合に、方向推定部214の到来方向推定アルゴリズムとしてビームフォーマ法を用いた場合の方向推定結果の一例を示す。すなわち、図94では、送信アンテナ106の水平方向及び垂直方向のアンテナ間隔が 1λ 以上となり、受信アンテナ202の水平方向及び垂直方向のアンテナ間隔も 1λ 以上となる。なお、各アンテナの指向性は、無指向性として算出している。

[0602] 図94では、ターゲット真値を水平0度、垂直0度とした場合の水平方向±90度範囲、及び、垂直方向±90度範囲における到来方向推定評価関数値の出力をプロットしている。

[0603] 図94では、ターゲット真値の水平0度、垂直0度以外の方向において、例えば、図1Aと比較して、グレーティングローブが低減されていることが確認できる。例えば、図94では、水平0度、垂直0度方向のメインローブのピーク電力値に対する、水平0度、垂直0度以外の方向のメインローブを除いた最も高いサイドローブのピーク電力値の比（PSLR）は0.35程度となっている。

[0604] 以上のように、基本配置5に係るMIMOアレー配置を用いることで、送信アレーアンテナ及び受信アレーアンテナに用いるアンテナの縦方向又は横方向の素子サイズが1λ程度でも、仮想受信アレーにおける水平方向及び垂直方向のアンテナ間隔を0.5λ程度となる素子間隔を含むように配置でき、グレーティングローブを低減できる。また、例えば、図52Aに示す仮想受信アレーの各仮想アレー素子は重なりなく配置されるので、仮想受信アレーの開口長を拡張でき、角度分解能を向上できる。

[0605] <基本配置5の変形例1>

基本配置5の変形例1では、基本配置5に示した送信アレーアンテナの配置、及び、受信アレーアンテナの配置をそれぞれ「基本セット」とし、複数の基本セットの配置位置をオフセットした構成のMIMOアレー配置について説明する。

[0606] 以下、基本配置5の変形例1に係る配置方法5-1A、5-1B及び5-1Cについてそれぞれ説明する。

[0607] （配置方法5-1A）

配置方法5-1Aでは、基本配置5に示した4素子の送信アレーアンテナの配置、及び、4素子の受信アレーアンテナの配置をそれぞれ「基本セット」とし、複数の基本セットの配置位置をオフセットした構成のMIMOアレー配置について説明する。

[0608] なお、以下に示す配置において、送信アレーアンテナの基本セットの水平方向及び垂直方向の配置位置に対するオフセット、又は、受信アレーアンテナの基本セットの水平方向及び垂直方向の配置位置に対するオフセットは、仮想受信アレー配置において重複する素子が無く、仮想受信アレーの中心付近において、より多くの仮想アレー素子が D_V 又は D_H 間隔で密に配置されるように設定されてよい。ただし、これに限定されず、例えば、仮想受信アレー配置において不等間隔になる配置を増加させる場合、又は、仮想受信アレー配置において仮想アレー素子が重複する配置を増加させる場合等にも同様に、配置位置のオフセットを調整することによって実現可能である。

[0609] 図95は、送信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{TxBaseSet}=2$ とし、受信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{RxBaseSet}=1$ とした場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。図95において、第1番目の基本セット(Tx#1, Tx#2, Tx#3及びTx#4)に対する、第2番目の基本セット(Tx#5, Tx#6, Tx#7及びTx#8)の水平方向における配置位置のオフセット $D_{Hoffset_TxBaseSet2}=5D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{Voffset_TxBaseSet2}=0$ とする。図95に示すように、送信アレーアンテナの2つの基本セットを水平方向にオフセットした配置により、水平方向に D_H 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を増加でき、水平方向の角度分解能を向上できる。なお、図95の場合、2箇所において仮想アレー素子が重複して配置される。

[0610] 図96は、送信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{TxBaseSet}=2$ とし、受信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{RxBaseSet}=1$ とした場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。図96において、第1番目の基本セット(Tx#1, Tx#2, Tx#3及びTx#4)に対する、第2番目の基本セット(Tx#5, Tx#6, Tx#7及びTx#8)の水平方向における配置位置のオフセット $D_{Hoffset_TxBaseSet2}=0$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{Voffset_TxBaseSet2}=3D_V$ とする。図96に示すように、送信アレーアンテナの2つの基本セットを垂直方向にオフセットした配置によって、垂直方向に D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を増加でき、水平方向の角度分解能を向上できる。なお、図96の場合、2

箇所において仮想アレー素子が重複して配置される。

[0611] 図97は、送信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{TxBaseSet}=1$ とし、受信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{RxBaseSet}=2$ とした場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。図97において、第1番目の基本セット（例えば、Rx#1, Rx#2, Rx#3及びRx#4）に対する、第2番目の基本セット（Rx#5, Rx#6, Rx#7, Rx#8）の水平方向における配置位置のオフセット $D_{Hoffset_RxBaseSet2}=5D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{Voffset_RxBaseSet2}=0$ とする。図97に示すように、受信アレーアンテナの2つの基本セットを水平方向にオフセットした配置により、水平方向に D_H 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を増加でき、水平方向の角度分解能をできる。なお、図97の場合、2箇所において仮想アレー素子が重複して配置される。

[0612] 図98は、送信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{TxBaseSet}=1$ とし、受信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{RxBaseSet}=2$ とした場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。図98において、第1番目の基本セット（例えば、Rx#1, Rx#2, Rx#3及びRx#4）に対する、第2番目の基本セット（Rx#5, Rx#6, Rx#7及びRx#8）の水平方向における配置位置のオフセット $D_{Hoffset_RxBaseSet2}=0$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{Voffset_RxBaseSet2}=3D_V$ とする。図98に示すように、受信アレーアンテナの2つの基本セットを垂直方向にオフセットした配置によって、垂直方向に D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を増加でき、垂直方向の角度分解能を向上できる。なお、図98の場合、2箇所において仮想アレー素子が重複して配置される。

[0613] 図99は、送信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{TxBaseSet}=2$ とし、受信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{RxBaseSet}=2$ とした場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。図99において、送信アレーアンテナの第1番目の基本セット（例えば、Tx#1, Tx#2, Tx#3及びTx#4）に対する、第2番目の基本セット（Tx#5, Tx#6, Tx#7及びTx#8）の水平方向における配置位置のオフセット $D_{Hoffset_TxBaseSet2}=10D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{Voffset_TxBaseSet2}=0$ とする。また、図99において、受信アレーアンテナの

第1番目の基本セット（例えば、Rx#1, Rx#2, Rx#3及びRx#4）に対する、第2番目の基本セット(Rx#5, Rx#6, Rx#7及びRx#8)の水平方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Offset_RxBaseSet2}}=5D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_RxBaseSet2}}=0$ とする。図99に示すように、送信アレーアンテナの2つの基本セットを水平方向にオフセットした配置、及び、受信アレーアンテナの2つの基本セットを水平方向にオフセットした配置によって、水平方向に D_H 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を、例えば、図95又は図97と比較して、更に増加でき、水平方向の角度分解能を更に向上できる。なお、図99の場合、4箇所において仮想アレー素子が重複して配置される。

[0614] 図100Aは、送信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{\text{TxBaseSet}}=2$ とし、受信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{\text{RxBaseSet}}=4$ とした場合のMIMOアレー配置例を示し、図100Bは仮想受信アレー配置例を示す。

[0615] 図100Aにおいて、送信アレーアンテナの第1番目の基本セット（例えば、Tx#1, Tx#2, Tx#3及びTx#4）に対する、第2番目の基本セット（Tx#5, Tx#6, Tx#7及びTx#8）の水平方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Offset_TxBaseSet2}}=5D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_TxBaseSet2}}=0$ とする。

[0616] また、図100Aにおいて、受信アレーアンテナの第1番目の基本セット（例えば、Rx#1, Rx#2, Rx#3及びRx#4）に対する、第2番目の基本セット(Rx#5, Rx#6, Rx#7及びRx#8)の水平方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Offset_RxBaseSet2}}=5D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_RxBaseSet2}}=-3D_V$ とし、第3番目の基本セット(Rx#9, Rx#10, Rx#11及びRx#12)の水平方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Offset_RxBaseSet3}}=-5D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_RxBaseSet3}}=-3D_V$ とし、第4番目の基本セット(Rx#13, Rx#14, Rx#15及びRx#16)の水平方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Offset_RxBaseSet4}}=0$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_RxBaseSet4}}=-6D_V$ とする。

[0617] 図100A及び図100Bに示すように、送信アレーアンテナの基本セットを水平方向にオフセットした配置、及び、受信アレーアンテナの基本セットを水平方向にオフセットした配置により、水平方向に D_H 間隔で密に配置され

る仮想アレー素子数を、例えば、図95又は図97と比較して、更に増加でき、水平方向の角度分解能を更に向上できる。

[0618] 同様に、図100A及び図100Bに示すように、受信アレーアンテナの基本セットを垂直方向にオフセットした配置により、垂直方向に D_v 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を増加でき、垂直方向の角度分解能を向上できる。なお、図100Bの場合、8箇所において仮想アレー素子が重複して配置される。

[0619] <配置方法5-1B>

配置方法5-1Bでは、基本配置5に示した4素子の送信アレーアンテナの配置及び3素子の受信アレーアンテナの配置、又は、3素子の送信アレーアンテナの配置及び4素子の受信アレーアンテナの配置をそれぞれ「基本セット」とし、複数の基本セットの配置位置をオフセットした構成のMIMOアレー配置について説明する。

[0620] なお、以下では、一例として、図90Aに示すアンテナ配置を「基本セット」に用いる場合について説明する。しかし、アンテナ配置は、図90Aに示す例に限らず、他のアンテナ配置（例えば、図90B、図91A、又は、図91B）でもよい。

[0621] また、以下に示す配置において、送信アレーアンテナの基本セットの水平方向及び垂直方向の配置位置に対するオフセット、又は、受信アレーアンテナの基本セットの水平方向及び垂直方向の配置位置に対するオフセットは、仮想受信アレー配置において重複する素子が無く、仮想受信アレーの中心付近において、より多くの仮想アレー素子が D_v 又は D_H 間隔で密に配置されるように設定されてよい。ただし、これに限定されず、例えば、仮想受信アレー配置において不等間隔になる配置を増加させる場合、又は、仮想受信アレー配置において仮想アレー素子が重複する配置を増加させる場合等にも同様に、配置位置のオフセットを調整することによって実現可能である。

[0622] 図101は、送信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{TxBaseSet}=2$ とし、受信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{RxBaseSet}=1$ とした場合のMIMOアレー配置例

、及び、仮想受信アレー配置例を示す。図101において、第1番目の基本セット(Tx#1, Tx#2及びTx#3)に対する、第2番目の基本セット(Tx#4, Tx#5及びTx#6)の水平方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Hoffset_TxBaseSet2}}=4D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_TxBaseSet2}}=D_V$ とする。図101に示すように、送信アレーアンテナの2つの基本セットを水平方向にオフセットした配置によって、水平方向に D_H 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を増加でき、水平方向の角度分解能を向上できる。

[0623] 図102は、送信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{\text{TxBaseSet}}=2$ とし、受信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{\text{RxBaseSet}}=1$ とした場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。図102において、第1番目の基本セット(Tx#1, Tx#2及びTx#3)に対する、第2番目の基本セット(Tx#4, Tx#5及びTx#6)の水平方向における配置位置のオフセットを $D_{\text{Hoffset_TxBaseSet2}}=0$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_TxBaseSet2}}=3D_V$ とする。図102に示すように、送信アレーアンテナの2つの基本セットを垂直方向にオフセットした配置によって、垂直方向に D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を増加でき、垂直方向の角度分解能を向上できる。

[0624] 図103は、送信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{\text{TxBaseSet}}=1$ とし、受信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{\text{RxBaseSet}}=2$ とした場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。図103において、第1番目の基本セット(例えば、Rx#1, Rx#2, Rx#3及びRx#4)に対する、第2番目の基本セット(Rx#5, Rx#6, Rx#7及びRx#8)の水平方向における配置位置のオフセットを $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet2}}=4D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_RxBaseSet2}}=D_V$ とする。図103に示すように、受信アレーアンテナの2つの基本セットを水平方向にオフセットした配置によって、水平方向に D_H 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を増加でき、水平方向の角度分解能を向上できる。

[0625] 図104は、送信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{\text{TxBaseSet}}=1$ とし、受信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{\text{RxBaseSet}}=2$ とした場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。図104において、第1番目の基本

セット（例えば、Rx#1, Rx#2, Rx#3及びRx#4）に対する、第2番目の基本セット（Rx#5, Rx#6, Rx#7及びRx#8）の水平方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet2}}$ =0とし、垂直方向における配置位置オフセット $D_{\text{Voffset_RxBaseSet2}}=3D_V$ とする。図104に示すように、受信アレーアンテナの2つの基本セットを垂直方向にオフセットした配置によって、垂直方向に D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を増加でき、垂直方向の角度分解能を向上できる。

[0626] 図105は、送信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{\text{TxBaseSet}}=2$ とし、受信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{\text{RxBaseSet}}=2$ とした場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。図105において、送信アレーアンテナの第1番目の基本セット（Tx#1, Tx#2及びTx#3）に対する、第2番目の基本セット（Tx#4, Tx#5及びTx#6）の水平方向における配置位置のオフセットを $D_{\text{Hoffset_TxBaseSet2}}=4D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_TxBaseSet2}}=-2D_V$ とする。また、図105において、受信アレーアンテナの第1番目の基本セット（例えば、Rx#1, Rx#2, Rx#3及びRx#4）に対する、第2番目の基本セット（Rx#5, Rx#6, Rx#7及びRx#8）の水平方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet2}}=4D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_RxBaseSet2}}=D_V$ とする。図105に示すように、送信アレーアンテナの2つの基本セットを水平方向にオフセットした配置、及び、受信アレーアンテナの2つの基本セットを水平方向にオフセットした配置によって、水平方向に D_H 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を、例えば、図101又は図103と比較して、更に増加でき、水平方向の角度分解能を更に向上できる。

[0627] 図106Aは、送信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{\text{TxBaseSet}}=2$ とし、受信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{\text{RxBaseSet}}=4$ とした場合のMIMOアレー配置例を示し、図106Bは仮想受信アレー配置例を示す。

[0628] 図106Aにおいて、送信アレーアンテナの第1番目の基本セット（Tx#1, Tx#2及びTx#3）に対する、第2番目の基本セット（Tx#4, Tx#5及びTx#6）の水平方向における配置位置のオフセットを $D_{\text{Hoffset_TxBaseSet2}}=4D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_TxBaseSet2}}=D_V$ とする。

[0629] また、図 106A において、受信アレーアンテナの第 1 番目の基本セット（例えば、Rx#1, Rx#2, Rx#3 及び Rx#4）に対する、第 2 番目の基本セット（Tx#5, Tx#6, Tx#7 及び Tx#8）の水平方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet2}} = 4D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_RxBaseSet2}} = -2D_V$ とし、第 3 番目の基本セット（Tx#9, Tx#10, Tx#11 及び Tx#12）の水平方向における配置位置のオフセットを $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet3}} = -6D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_RxBaseSet3}} = -3D_V$ とし、第 4 番目の基本セット（Tx#13, Tx#14, Tx#15 及び Tx#16）の水平方向における配置位置のオフセットを $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet4}} = -2D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_RxBaseSet4}} = -5D_V$ とする。

[0630] 図 106A 及び図 106B に示すように、送信アレーアンテナの基本セットを水平方向にオフセットした配置、及び、受信アレーアンテナの基本セットを水平方向にオフセットした配置により、水平方向に D_H 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を、例えば、図 101 又は図 103 と比較して、更に増加でき、水平方向の角度分解能を更に向上できる。

[0631] 同様に、図 106A 及び図 106B に示すように、受信アレーアンテナの基本セットを垂直方向にオフセットした配置により、垂直方向に D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を増加でき、垂直方向の角度分解能を向上できる。

[0632] <配置方法 5-1C>

配置方法 5-1C では、基本配置 5 に示した 3 素子の送信アレーアンテナの配置及び 3 素子の受信アレーアンテナの配置をそれぞれ「基本セット」とし、複数の基本セットの配置位置をオフセットした構成の MIMO アレー配置について説明する。

[0633] なお、以下では、一例として、図 92B に示すアンテナ配置を「基本セット」に用いる場合について説明する。しかし、アンテナ配置は、図 92B に示す例に限らず、他のアンテナ配置（例えば、図 92A、図 92C、又は、図 92D）でもよい。

[0634] また、以下に示す配置において、送信アレーアンテナの基本セットの水平

方向及び垂直方向の配置位置に対するオフセット、又は、受信アレーアンテナの基本セットの水平方向及び垂直方向の配置位置に対するオフセットは、仮想受信アレー配置において重複する素子が無く、仮想受信アレーの中心付近において、より多くの仮想アレー素子が D_V 又は D_H 間隔で密に配置されるように設定されてよい。ただし、これに限定されず、例えば、仮想受信アレー配置において不等間隔になる配置を増加させる場合、又は、仮想受信アレー配置において仮想アレー素子が重複する配置を増加させる場合等にも同様に、配置位置のオフセットを調整することによって実現可能である。

[0635] 図107は、送信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{TxBaseSet}=2$ とし、受信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{RxBaseSet}=1$ とした場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。図107において、第1番目の基本セット(Tx#1, Tx#2及びTx#3)に対する、第2番目の基本セット(Tx#4, Tx#5及びTx#6)の水平方向における配置位置のオフセットを $D_{Offset_TxBaseSet2}=3D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{Voffset_TxBaseSet2}=0$ とする。図107に示すように、送信アレーアンテナの2つの基本セットを水平方向にオフセットした配置によって、水平方向に D_H 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を増加でき、水平方向の角度分解能を向上できる。

[0636] 図108は、送信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{TxBaseSet}=2$ とし、受信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{RxBaseSet}=1$ とした場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。図108において、第1番目の基本セット(Tx#1, Tx#2及びTx#3)に対する、第2番目の基本セット(Tx#4, Tx#5, Tx#6)の水平方向における配置位置のオフセット $D_{Offset_TxBaseSet2}=0$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{Voffset_TxBaseSet2}=3D_V$ とする。図108に示すように、送信アレーアンテナの2つの基本セットを垂直方向にオフセットした配置によって、垂直方向に D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を増加でき、水平方向の角度分解能を向上できる。

[0637] 図109は、送信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{TxBaseSet}=1$ とし、受信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{RxBaseSet}=2$ とした場合のMIMOアレー配置例

、及び、仮想受信アレー配置例を示す。図109において、第1番目の基本セット(Rx#1, Rx#2及びRx#3)に対する、第2番目の基本セット(Rx#4, Rx#5, Rx#6)の水平方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet2}}=3D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_RxBaseSet2}}=0$ とする。図109に示すように、受信アレーアンテナの2つの基本セットを水平方向にオフセットした配置によって、水平方向に D_H 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を増加でき、水平方向の角度分解能を向上できる。

[0638] 図110は、送信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{\text{TxBaseSet}}=1$ とし、受信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{\text{RxBaseSet}}=2$ とした場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。図110において、第1番目の基本セット(Rx#1, Rx#2及びRx#3)に対する、第2番目の基本セット(Rx#4, Rx#5, Rx#6)の水平方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet2}}=0$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_RxBaseSet2}}=3D_V$ とする。図110に示すように、受信アレーアンテナの2つの基本セットを垂直方向にオフセットした配置によって、垂直方向に D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を増加でき、垂直方向の角度分解能を向上できる。

[0639] 図111は、送信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{\text{TxBaseSet}}=2$ とし、受信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{\text{RxBaseSet}}=2$ とした場合のMIMOアレー配置例、及び、仮想受信アレー配置例を示す。図111において、送信アレーアンテナの第1番目の基本セット(Tx#1, Tx#2及びTx#3)に対する、第2番目の基本セット(Tx#4, Tx#5, Tx#6)の水平方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Hoffset_TxBaseSet2}}=6D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_TxBaseSet2}}=0$ とする。また、図111において、受信アレーアンテナの第1番目の基本セット(Rx#1, Rx#2及びRx#3)に対する、第2番目の基本セット(Rx#4, Rx#5, Rx#6)の水平方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet2}}=3D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{\text{Voffset_RxBaseSet2}}=0$ とする。図111に示すように、送信アレーアンテナの2つの基本セットを水平方向にオフセットした配置、及び、受信アレーアンテナの2つの基本セットを水平方向にオフセットした配

置によって、水平方向に D_H 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を、例えば、図107又は図109と比較して、更に増加でき、水平方向の角度分解能を更に向上できる。

[0640] 図112Aは、送信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{TxBaseSet}=2$ とし、受信アレーアンテナの基本セットの数を $N_{RxBaseSet}=4$ とした場合のMIMOアレー配置例を示し、図112Bは仮想受信アレー配置例を示す。

[0641] 図112Aにおいて、送信アレーアンテナの第1番目の基本セット(Tx#1, Tx#2及びTx#3)に対する、第2番目の基本セット(Tx#4, Tx#5, Tx#6)の水平方向における配置位置のオフセット $D_{Hoffset_TxBaseSet2}=3D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{Voffset_TxBaseSet2}=0$ とする。

[0642] また、図112Aにおいて、受信アレーアンテナの第1番目の基本セット(Rx#1, Rx#2及びRx#3)に対する、第2番目の基本セット(Rx#4, Rx#5, Rx#6)の水平方向における配置位置のオフセット $D_{Hoffset_RxBaseSet2}=-3D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{Voffset_RxBaseSet2}=-3D_V$ とし、第3番目の基本セット(Rx#7, Rx#8, Rx#9)の水平方向における配置位置のオフセット $D_{Hoffset_RxBaseSet3}=6D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{Voffset_RxBaseSet3}=0$ とし、第4番目の基本セット(Rx#10, Rx#11, Rx#12)の水平方向における配置位置のオフセット $D_{Hoffset_RxBaseSet4}=3D_H$ とし、垂直方向における配置位置のオフセット $D_{Voffset_RxBaseSet4}=-3D_V$ とする。

[0643] 図112A及び図112Bに示すように、送信アレーアンテナの基本セットを水平方向にオフセットした配置、及び、受信アレーアンテナの基本セットを水平方向にオフセットした配置により、水平方向に D_H 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を、例えば、図107又は図109と比較して、更に増加でき、水平方向の角度分解能を更に向上できる。

[0644] 同様に、図112A及び図112Bに示すように、受信アレーアンテナの基本セットを垂直方向にオフセットした配置により、垂直方向に D_V 間隔で密に配置される仮想アレー素子数を増加でき、垂直方向の角度分解能を向上できる。

- [0645] 以上、配置方法 5-1 A、5-1 B 及び 5-1 C についてそれぞれ説明した。
- [0646] なお、配置方法 5-1 A、5-1 B 及び 5-1 C において、送信アレーアンテナ及び受信アレーアンテナに含まれる基本セットの数 ($N_{TxBaseSet}$ 、 $N_{RxBaseSet}$) は、上記例に限定されず、他の値でもよい。
- [0647] 以上、本開示の一実施例に係る実施の形態について説明した。
- [0648] なお、上記実施の形態、及び、各バリエーションに係る動作を適宜組み合わせ実施してもよい。
- [0649] [他の実施の形態]
- 送信アンテナ数 N_t 及び受信アンテナ数 N_a は上述した例に限定されず、他の値でもよい。また、間隔 D_v 及び D_h は、 0.5λ に限定されず、例えば、 0.5λ 以上、かつ、 1λ 以下の値でもよい。また、 D_v と D_h とは同一の値でもよく、異なる値でもよい。
- [0650] 上記実施の形態では、符号化パルスレーダを用いる場合について説明したが、本開示は、チャープ (Chirp) パルスレーダのような周波数変調したパルス波を用いたレーダ方式についても適用可能である。
- [0651] 図 4 に示すレーダ装置 10 において、レーダ送信部 100 及びレーダ受信部 200 は、物理的に離れた場所に個別に配置されてもよい。
- [0652] レーダ装置 10 は、図示しないが、例えば、CPU (Central Processing Unit)、制御プログラムを格納した ROM (Read Only Memory) 等の記録媒体、および RAM (Random Access Memory) 等の作業用メモリを有する。この場合、上記した各部の機能は、CPU が制御プログラムを実行することにより実現される。但し、レーダ装置 10 のハードウェア構成は、かかる例に限定されない。例えば、レーダ装置 10 の各機能部は、集積回路である IC (Integrated Circuit) として実現されてもよい。各機能部は、個別に 1 チップ化されてもよいし、その一部または全部を含むように 1 チップ化されてもよい。
- [0653] 上述の実施の形態においては、各構成要素に用いる「・・・部」という表

記は、「・・・回路 (circuitry)」、「・・・デバイス」、「・・・ユニット」、又は、「・・・モジュール」といった他の表記に置換されてもよい。

[0654] 以上、図面を参照しながら各種の実施形態について説明したが、本開示はかかる例に限定されないことは言うまでもない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本開示の技術的範囲に属するものと了解される。また、開示の趣旨を逸脱しない範囲において、上記実施形態における各構成要素を任意に組み合わせてもよい。

[0655] 本開示はソフトウェア、ハードウェア、又は、ハードウェアと連携したソフトウェアで実現することが可能である。上記実施の形態の説明に用いた各機能ブロックは、部分的に又は全体的に、集積回路であるLSIとして実現され、上記実施の形態で説明した各プロセスは、部分的に又は全体的に、一つのLSI又はLSIの組み合わせによって制御されてもよい。LSIは個々のチップから構成されてもよいし、機能ブロックの一部または全てを含むように一つのチップから構成されてもよい。LSIはデータの入力と出力を備えてもよい。LSIは、集積度の違いにより、IC、システムLSI、スーパーLSI、ウルトラLSIと呼称されることもある。集積回路化の手法はLSIに限るものではなく、専用回路、汎用プロセッサ又は専用プロセッサで実現してもよい。また、LSI製造後に、プログラムすることが可能なFPGA (Field Programmable Gate Array) や、LSI内部の回路セルの接続や設定を再構成可能なりコンフィギュラブル・プロセッサを利用してもよい。本開示は、デジタル処理又はアナログ処理として実現されてもよい。さらには、半導体技術の進歩または派生する別技術によりLSIに置き換わる集積回路化の技術が登場すれば、当然、その技術を用いて機能ブロックの集積化を行ってもよい。バイオ技術の適用等が可能性としてありえる。

[0656] 本開示は、通信機能を持つあらゆる種類の装置、デバイス、システム（通信装置と総称）において実施可能である。通信装置の、非限定的な例としては、電話機（携帯電話、スマートフォン等）、タブレット、パーソナル・コ

ンピューター（PC）（ラップトップ、デスクトップ、ノートブック等）、カメラ（デジタル・スチル／ビデオ・カメラ等）、デジタル・プレーヤー（デジタル・オーディオ／ビデオ・プレーヤー等）、着用可能なデバイス（ウェアラブル・カメラ、スマートウォッチ、トラッキングデバイス等）、ゲーム・コンソール、デジタル・ブック・リーダー、テレヘルス・テレメディシン（遠隔ヘルスケア・メディシン処方）デバイス、通信機能付きの乗り物又は移動輸送機関（自動車、飛行機、船等）、及び上述の各種装置の組み合わせがあげられる。

[0657] 通信装置は、持ち運び可能又は移動可能なものに限定されず、持ち運びできない又は固定されている、あらゆる種類の装置、デバイス、システム、例えば、スマート・ホーム・デバイス（家電機器、照明機器、スマートメーター又は計測機器、コントロール・パネル等）、自動販売機、その他IoT（Internet of Things）ネットワーク上に存在し得るあらゆる「モノ（Things）」をも含む。

[0658] 通信には、セルラーシステム、無線LANシステム、通信衛星システム等によるデータ通信に加え、これらの組み合わせによるデータ通信も含まれる。また、通信装置には、本開示に記載される通信機能を実行する通信デバイスに接続又は連結される、コントローラやセンサ等のデバイスも含まれる。例えば、通信装置の通信機能を実行する通信デバイスが使用する制御信号やデータ信号を生成するような、コントローラやセンサが含まれる。

[0659] また、通信装置には、上記の非限定的な各種装置と通信を行う、あるいはこれら各種装置を制御する、インフラストラクチャ設備、例えば、基地局、アクセスポイント、その他あらゆる装置、デバイス、システムが含まれる。

[0660] <本開示のまとめ>

本開示の一実施例に係るレーダ装置は、送信アレーアンテナを用いて、レーダ信号を送信するレーダ送信回路と、受信アレーアンテナを用いて、前記レーダ信号がターゲットにおいて反射された反射波信号を受信するレーダ受信回路と、を具備し、前記送信アレーアンテナは、複数の送信アンテナ群か

ら構成され、前記複数の送信アンテナ群の各々は、第1の方向に第1の間隔の整数倍の間隔である第2の間隔で配置される複数の送信アンテナを含み、前記第1の方向と直交する第2の方向において第3の間隔の整数倍の間隔である第4の間隔で配置され、前記受信アレーアンテナは、複数の受信アンテナ群から構成され、前記複数の受信アンテナ群の各々は、前記第1の方向に前記第1の間隔の整数倍の間隔である第5の間隔で配置される複数の受信アンテナを含み、前記第2の方向において前記第3の間隔の整数倍の間隔である第6の間隔で配置され、前記第2の間隔と前記第5の間隔との差は前記第1の間隔であり、前記第4の間隔と前記第6の間隔との差は前記第3の間隔である。

[0661] 本開示の一実施例において、前記複数の送信アンテナ群の間において、各送信アンテナ群に含まれる送信アンテナの前記第1の方向の配置位置は異なる。

[0662] 本開示の一実施例において、前記複数の受信アンテナ群の間において、各受信アンテナ群に含まれる受信アンテナの前記第1の方向の配置位置は異なる。

[0663] 本開示の一実施例において、前記第2の間隔及び前記第5の間隔の少なくとも一つは、前記レーダ信号の1波長より長い間隔であり、前記第4の間隔及び前記第6の間隔の少なくとも一つは、前記レーダ信号の1波長より長い間隔であり、前記第1の間隔及び前記第3の間隔は、前記レーダ信号の0.5波長以上、かつ、1波長以下である。

[0664] 本開示の一実施例において、前記第2の間隔は、前記第1の間隔の2倍の間隔であり、前記第4の間隔は、前記第3の間隔の3倍の間隔である、前記第5の間隔は、前記第1の間隔の3倍の間隔であり、前記第6の間隔は、前記第3の間隔の2倍の間隔である。

[0665] 本開示の一実施例において、前記第2の間隔は、前記第1の間隔の3倍の間隔であり、前記第4の間隔は、前記第3の間隔の3倍の間隔である、前記第5の間隔は、前記第1の間隔の2倍の間隔であり、前記第6の間隔は、

前記第3の間隔の2倍の間隔である。

[0666] 本開示の一実施例に係るレーダ装置は、送信アレーアンテナを用いて、レーダ信号を送信するレーダ送信回路と、受信アレーアンテナを用いて、前記レーダ信号がターゲットにおいて反射された反射波信号を受信するレーダ受信回路と、を具備し、前記送信アレーアンテナは少なくとも3つの送信アンテナを含み、前記受信アレーアンテナは少なくとも3つの受信アンテナを含み、前記3つの送信アンテナのうち2つの送信アンテナは、第1の方向に第1の間隔の2倍の第2の間隔離れて配置され、前記3つの送信アンテナのうち残りの1つの送信アンテナは、前記第1の方向に、前記2つの送信アンテナからそれぞれ前記第1の間隔離れて配置され、前記第1の方向と直交する第2の方向に前記2つの送信アンテナから第3の間隔の2倍の間隔である第4の間隔離れて配置され、前記3つの受信アンテナのうち2つの受信アンテナは、前記第2の方向に前記第4の間隔離れて配置され、前記3つの受信アンテナのうち残りの1つの受信アンテナは、前記第2の方向に、前記2つの受信アンテナからそれぞれ前記第3の間隔離れて配置され、前記第1の方向に前記2つの受信アンテナから前記第2の間隔離れて配置される。

[0667] 本開示の一実施例において、前記第1の間隔と前記第3の間隔は、前記レーダ信号の0.5波長以上、かつ、1波長以下である。

[0668] 本開示の一実施例に係るレーダ装置は、送信アレーアンテナを用いて、レーダ信号を送信するレーダ送信回路と、受信アレーアンテナを用いて、前記レーダ信号がターゲットにおいて反射された反射波信号を受信するレーダ受信回路と、を具備し、前記送信アレーアンテナは、複数の送信アンテナ群から構成され、前記複数の送信アンテナ群の各々は、複数の送信アンテナを含み、前記複数の送信アンテナ群の各々において、隣り合う2つの送信アンテナは、第1の方向に第1の間隔の2倍の間隔である第2の間隔離れて配置され、前記第1の方向と直交する第2の方向に第3の間隔離れて配置され、前記複数の送信アンテナ群のうち、隣り合う送信アンテナ群は、前記第1の方向に前記第1の間隔、かつ、前記第2の方向に前記第3の間隔の2倍の第4

の間隔でシフトした関係にあり、前記複数の送信アンテナのそれぞれの配置位置と、前記受信アレーアンテナに含まれる複数の受信アンテナのそれぞれの配置位置とは、前記第 1 の方向又は前記第 2 の方向に平行な線に関して線対称の関係にある。

[0669] 本開示の一実施例において、前記第 1 の間隔と前記第 3 の間隔は、前記レーダ信号の 0.5 波長以上、かつ、1 波長以下である。

[0670] 本開示の一実施例に係るレーダ装置は、送信アレーアンテナを用いて、レーダ信号を送信するレーダ送信回路と、受信アレーアンテナを用いて、前記レーダ信号がターゲットにおいて反射された反射波信号を受信するレーダ受信回路と、を具備し、前記送信アレーアンテナは、複数の送信アンテナ群から構成され、前記複数の送信アンテナ群の各々は、複数の送信アンテナを含み、前記複数の送信アンテナ群の各々において、隣り合う 2 つの送信アンテナは、第 1 の方向に第 1 の間隔離れて配置され、前記第 1 の方向と直交する第 2 の方向の双方に第 2 の間隔離れて配置され、前記複数の送信アンテナ群のうち、隣り合う送信アンテナ群は、前記第 1 の方向に前記第 1 の間隔の 2 倍の第 3 の間隔離れて配置され、かつ、前記第 2 の方向に前記第 2 の間隔でシフトした関係にあり、前記複数の送信アンテナのそれぞれの配置位置と、前記受信アレーアンテナに含まれる複数の受信アンテナのそれぞれの配置位置とは、前記第 1 の方向又は前記第 2 の方向に平行な線に関して線対称の関係にある。

[0671] 本開示の一実施例において、前記第 1 の間隔と前記第 2 の間隔は、前記レーダ信号の 0.5 波長以上、かつ、1 波長以下である。

[0672] 2019 年 3 月 20 日出願の特願 2019-053751 の日本出願に含まれる明細書、図面および要約書の開示内容は、すべて本願に援用される。

産業上の利用可能性

[0673] 本開示は、目標を検知するレーダ装置として好適である。

符号の説明

[0674] 10 レーダ装置

- 1 0 0 レーダ送信部
- 2 0 0 レーダ受信部
- 3 0 0 基準信号生成部
- 1 0 1, 1 0 1 a レーダ送信信号生成部
- 1 0 2 符号生成部
- 1 0 3 変調部
- 1 0 4 L P F
- 1 0 5 送信無線部
- 1 0 6 送信アンテナ
- 1 1 1 符号記憶部
- 1 1 2 D A 変換部
- 2 0 1 アンテナ系統処理部
- 2 0 2 受信アンテナ
- 2 0 3 受信無線部
- 2 0 4 増幅器
- 2 0 5 周波数変換器
- 2 0 6 直交検波器
- 2 0 7 信号処理部
- 2 0 8, 2 0 9 A D 変換部
- 2 1 0 分離部
- 2 1 1 相関演算部
- 2 1 2 加算部
- 2 1 3 ドップラー周波数解析部
- 2 1 4 方向推定部

請求の範囲

- [請求項1] 送信アレーアンテナを用いて、レーダ信号を送信するレーダ送信回路と、
- 受信アレーアンテナを用いて、前記レーダ信号がターゲットにおいて反射された反射波信号を受信するレーダ受信回路と、
- を具備し、
- 前記送信アレーアンテナは、複数の送信アンテナ群から構成され、
- 前記複数の送信アンテナ群の各々は、第1の方向に第1の間隔の整数倍の間隔である第2の間隔で配置される複数の送信アンテナを含み、
- 前記第1の方向と直交する第2の方向において第3の間隔の整数倍の間隔である第4の間隔で配置され、
- 前記受信アレーアンテナは、複数の受信アンテナ群から構成され、
- 前記複数の受信アンテナ群の各々は、前記第1の方向に前記第1の間隔の整数倍の間隔である第5の間隔で配置される複数の受信アンテナを含み、
- 前記第2の方向において前記第3の間隔の整数倍の間隔である第6の間隔で配置され、
- 前記第2の間隔と前記第5の間隔との差は前記第1の間隔であり、
- 前記第4の間隔と前記第6の間隔との差は前記第3の間隔である、
- レーダ装置。
- [請求項2] 前記複数の送信アンテナ群の間において、各送信アンテナ群に含まれる送信アンテナの前記第1の方向の配置位置は異なる、
- 請求項1に記載のレーダ装置。
- [請求項3] 前記複数の受信アンテナ群の間において、各受信アンテナ群に含まれる受信アンテナの前記第1の方向の配置位置は異なる、
- 請求項1に記載のレーダ装置。
- [請求項4] 前記第2の間隔及び前記第5の間隔の少なくとも一つは、前記レーダ信号の1波長より長い間隔であり、
- 前記第4の間隔及び前記第6の間隔の少なくとも一つは、前記レー

ダ信号の1波長より長い間隔であり、

前記第1の間隔及び前記第3の間隔は、前記レーダ信号の0.5波長以上、かつ、1波長以下である、

請求項1に記載のレーダ装置。

[請求項5]

前記第2の間隔は、前記第1の間隔の2倍の間隔であり、
前記第4の間隔は、前記第3の間隔の3倍の間隔である、
前記第5の間隔は、前記第1の間隔の3倍の間隔であり、
前記第6の間隔は、前記第3の間隔の2倍の間隔である、
請求項1に記載のレーダ装置。

[請求項6]

前記第2の間隔は、前記第1の間隔の3倍の間隔であり、
前記第4の間隔は、前記第3の間隔の3倍の間隔である、
前記第5の間隔は、前記第1の間隔の2倍の間隔であり、
前記第6の間隔は、前記第3の間隔の2倍の間隔である、
請求項1に記載のレーダ装置。

[請求項7]

送信アレーアンテナを用いて、レーダ信号を送信するレーダ送信回路と、

受信アレーアンテナを用いて、前記レーダ信号がターゲットにおいて反射された反射波信号を受信するレーダ受信回路と、

を具備し、

前記送信アレーアンテナは少なくとも3つの送信アンテナを含み、
前記受信アレーアンテナは少なくとも3つの受信アンテナを含み、

前記3つの送信アンテナのうち2つの送信アンテナは、第1の方向に第1の間隔の2倍の第2の間隔離れて配置され、

前記3つの送信アンテナのうち残りの1つの送信アンテナは、前記第1の方向に、前記2つの送信アンテナからそれぞれ前記第1の間隔離れて配置され、前記第1の方向と直交する第2の方向に前記2つの送信アンテナから第3の間隔の2倍の間隔である第4の間隔離れて配置され、

前記3つの受信アンテナのうち2つの受信アンテナは、前記第2の方向に前記第4の間隔離れて配置され、

前記3つの受信アンテナのうち残りの1つの受信アンテナは、前記第2の方向に、前記2つの受信アンテナからそれぞれ前記第3の間隔離れて配置され、前記第1の方向に前記2つの受信アンテナから前記第2の間隔離れて配置される、

レーダ装置。

[請求項8] 前記第1の間隔と前記第3の間隔は、前記レーダ信号の0.5波長以上、かつ、1波長以下である、

請求項7に記載のレーダ装置。

[請求項9] 送信アレーアンテナを用いて、レーダ信号を送信するレーダ送信回路と、

受信アレーアンテナを用いて、前記レーダ信号がターゲットにおいて反射された反射波信号を受信するレーダ受信回路と、

を具備し、

前記送信アレーアンテナは、複数の送信アンテナ群から構成され、前記複数の送信アンテナ群の各々は、複数の送信アンテナを含み、

前記複数の送信アンテナ群の各々において、隣り合う2つの送信アンテナは、第1の方向に第1の間隔の2倍の間隔である第2の間隔離れて配置され、前記第1の方向と直交する第2の方向に第3の間隔離れて配置され、

前記複数の送信アンテナ群のうち、隣り合う送信アンテナ群は、前記第1の方向に前記第1の間隔、かつ、前記第2の方向に前記第3の間隔の2倍の第4の間隔でシフトした関係にあり、

前記複数の送信アンテナのそれぞれの配置位置と、前記受信アレーアンテナに含まれる複数の受信アンテナのそれぞれの配置位置とは、前記第1の方向又は前記第2の方向に平行な線に関して線対称の関係にある、

レーダ装置。

[請求項10] 前記第1の間隔と前記第3の間隔は、前記レーダ信号の0.5波長以上、かつ、1波長以下である、

請求項9に記載のレーダ装置。

[請求項11] 送信アレーアンテナを用いて、レーダ信号を送信するレーダ送信回路と、

受信アレーアンテナを用いて、前記レーダ信号がターゲットにおいて反射された反射波信号を受信するレーダ受信回路と、

を具備し、

前記送信アレーアンテナは、複数の送信アンテナ群から構成され、前記複数の送信アンテナ群の各々は、複数の送信アンテナを含み、

前記複数の送信アンテナ群の各々において、隣り合う2つの送信アンテナは、第1の方向に第1の間隔離れて配置され、前記第1の方向と直交する第2の方向の双方に第2の間隔離れて配置され、

前記複数の送信アンテナ群のうち、隣り合う送信アンテナ群は、前記第1の方向に前記第1の間隔の2倍の第3の間隔離れて配置され、かつ、前記第2の方向に前記第2の間隔でシフトした関係にあり、

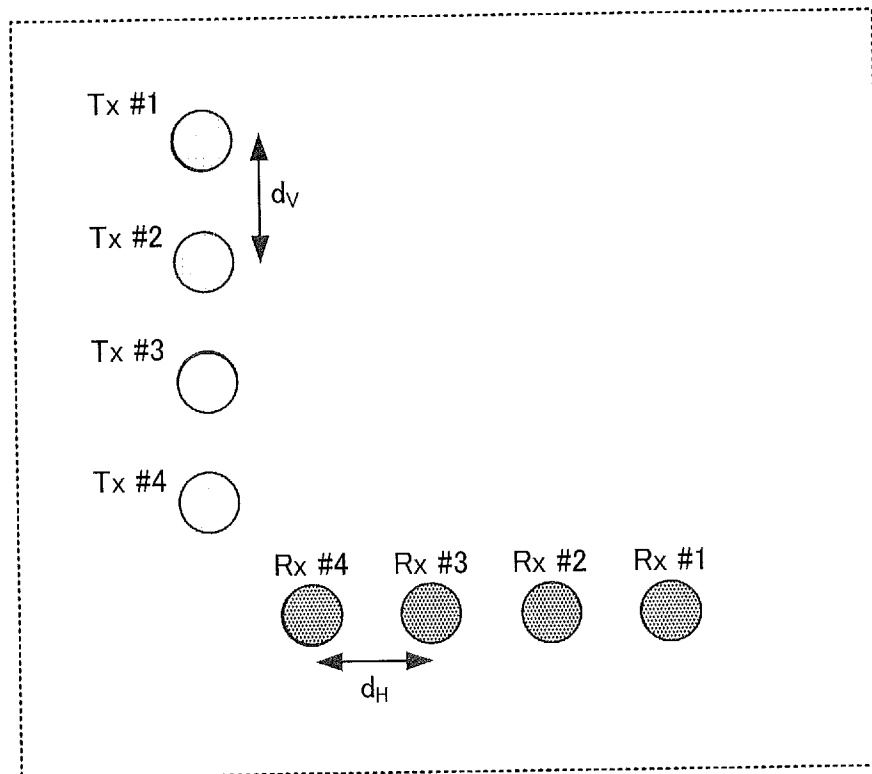
前記複数の送信アンテナのそれぞれの配置位置と、前記受信アレーアンテナに含まれる複数の受信アンテナのそれぞれの配置位置とは、前記第1の方向又は前記第2の方向に平行な線に関して線対称の関係にある、

レーダ装置。

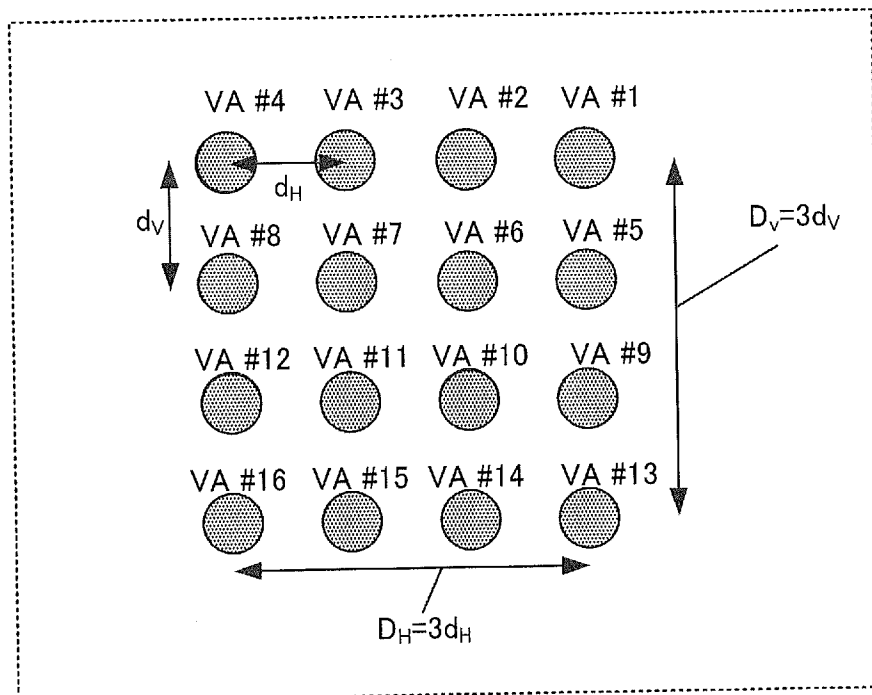
[請求項12] 前記第1の間隔と前記第2の間隔は、前記レーダ信号の0.5波長以上、かつ、1波長以下である、

請求項11に記載のレーダ装置。

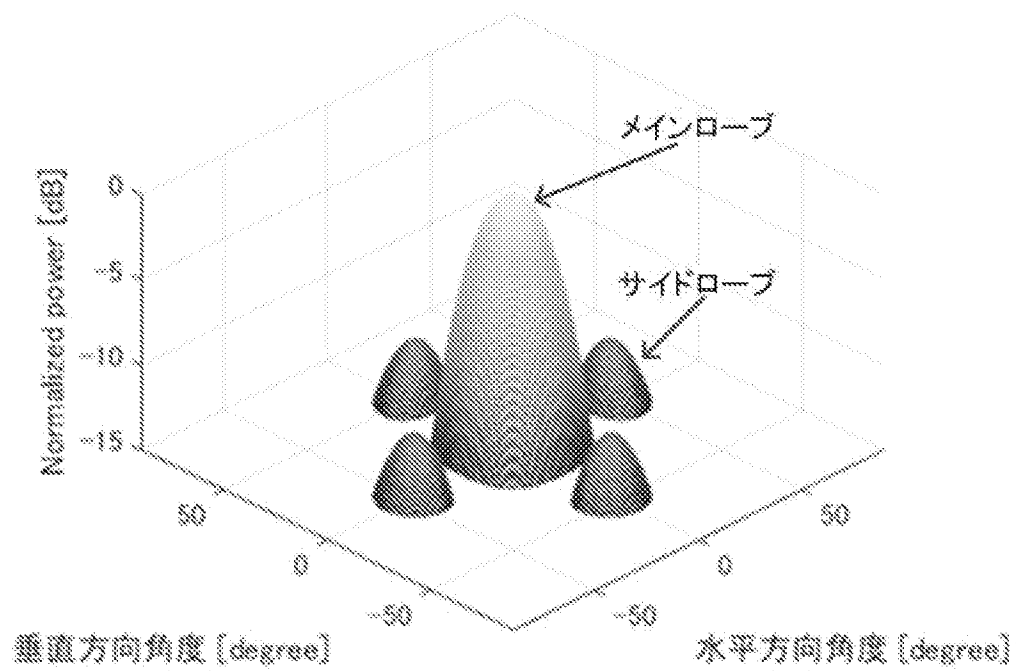
[図1A]



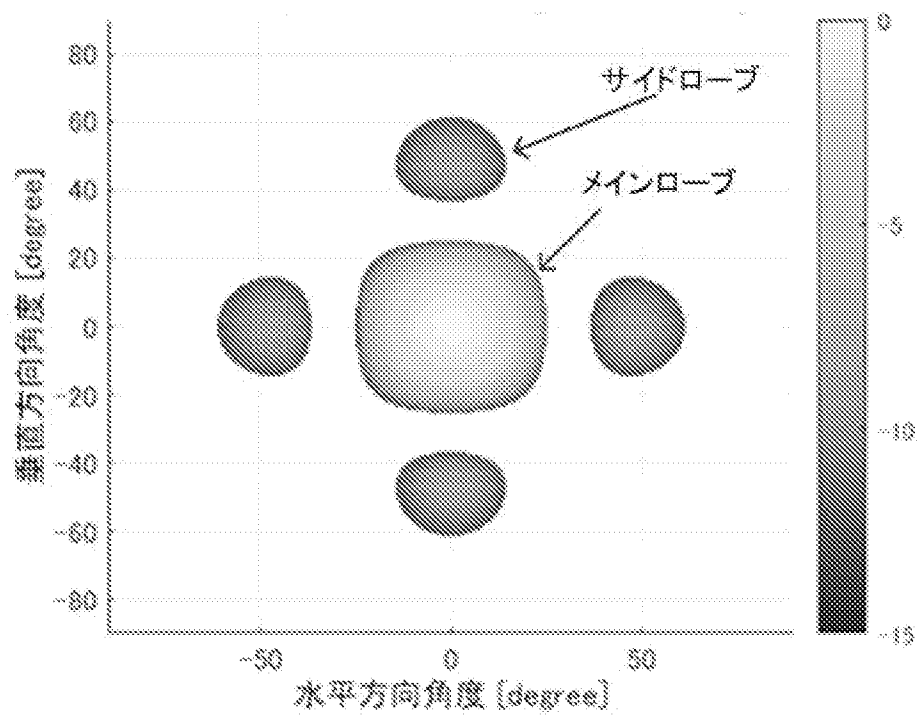
[図1B]



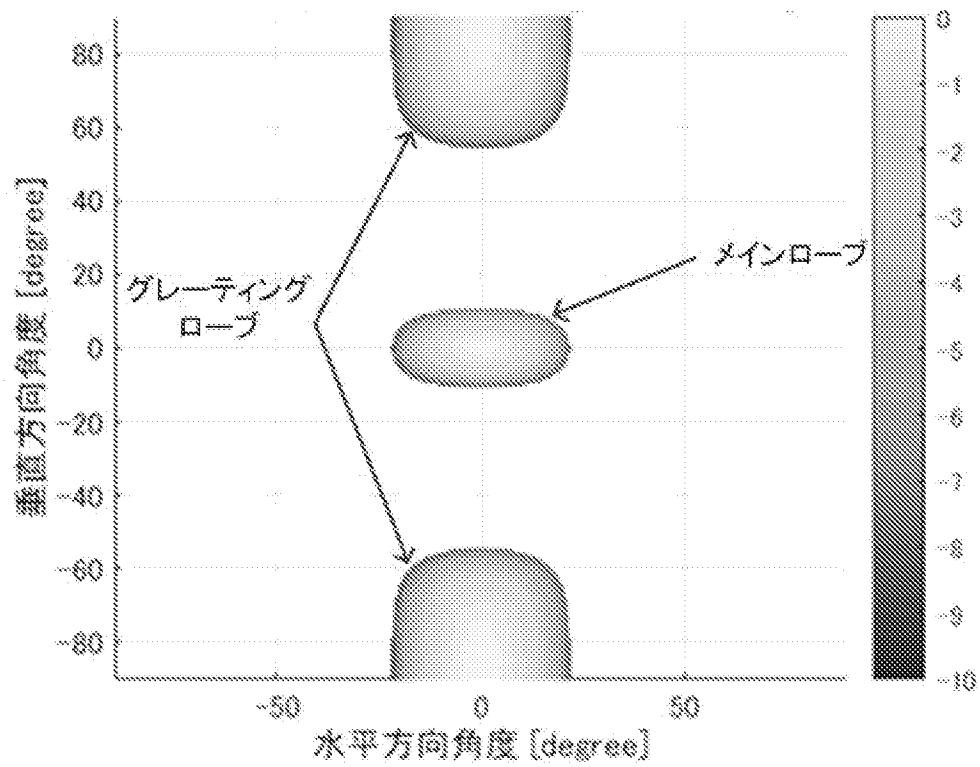
[図2A]



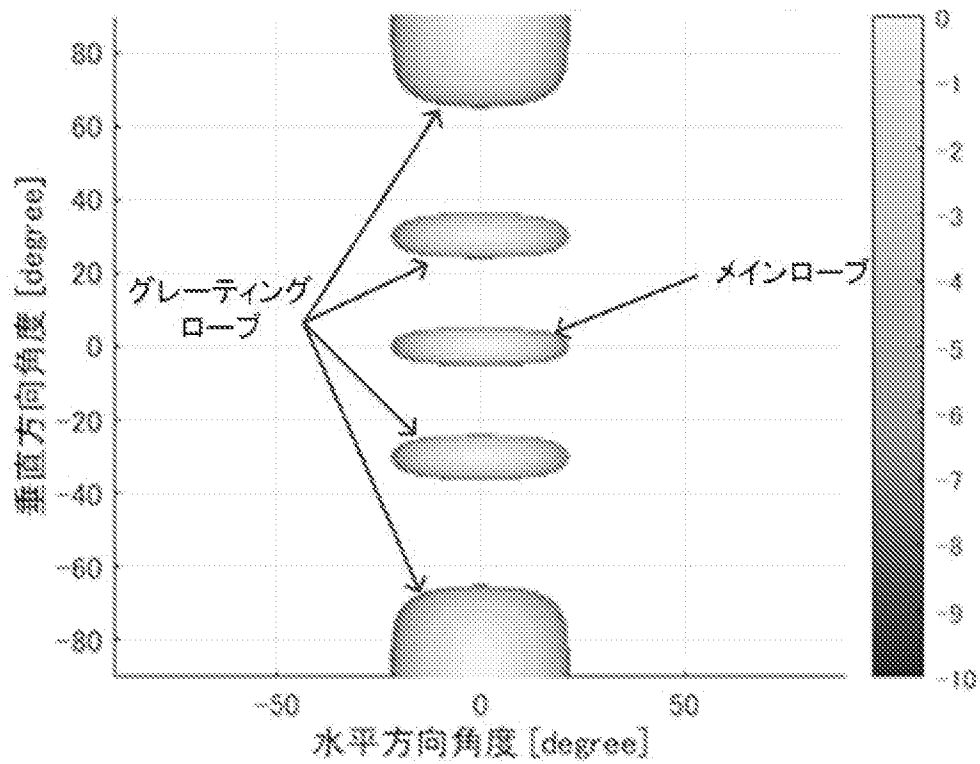
[図2B]



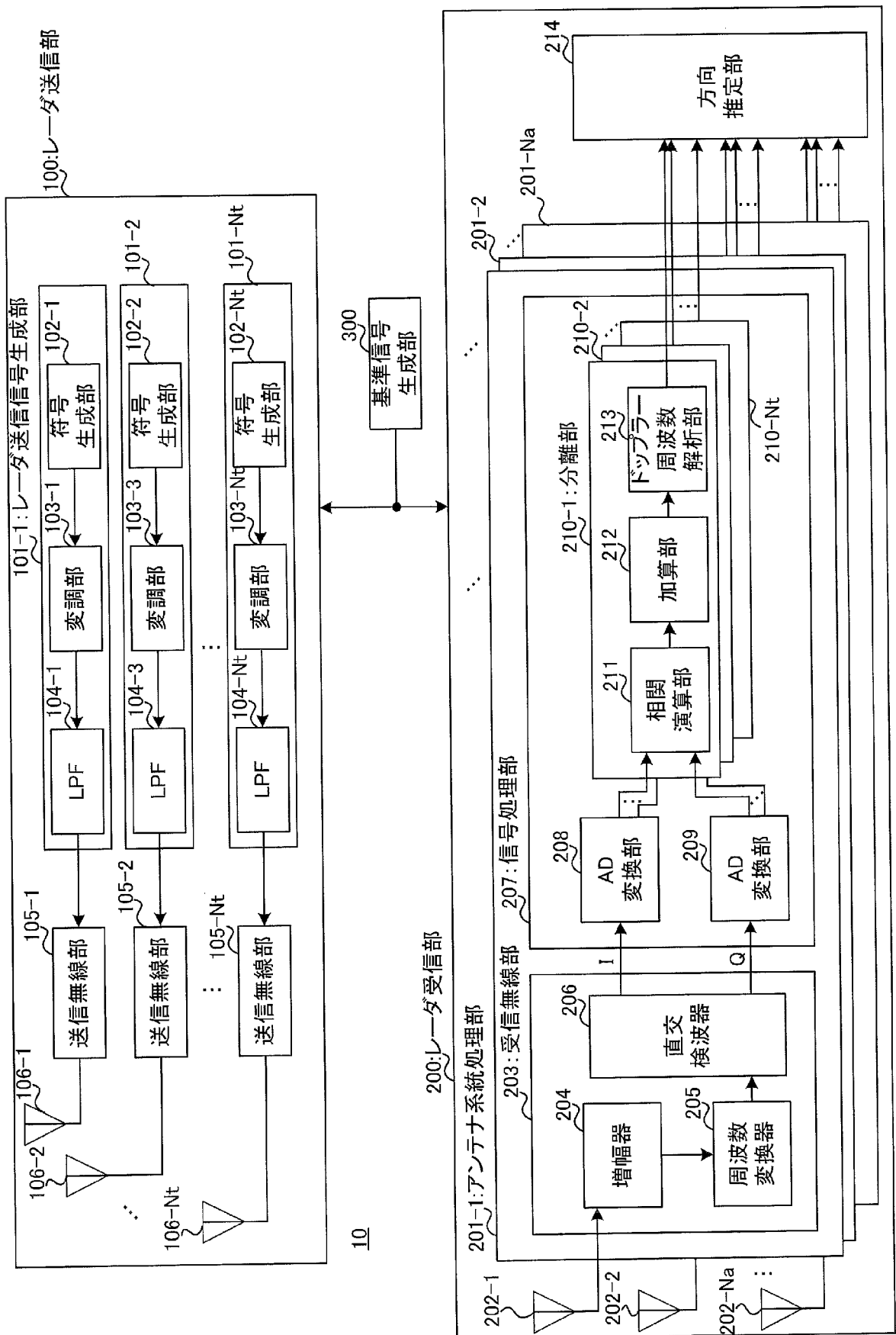
[図3A]



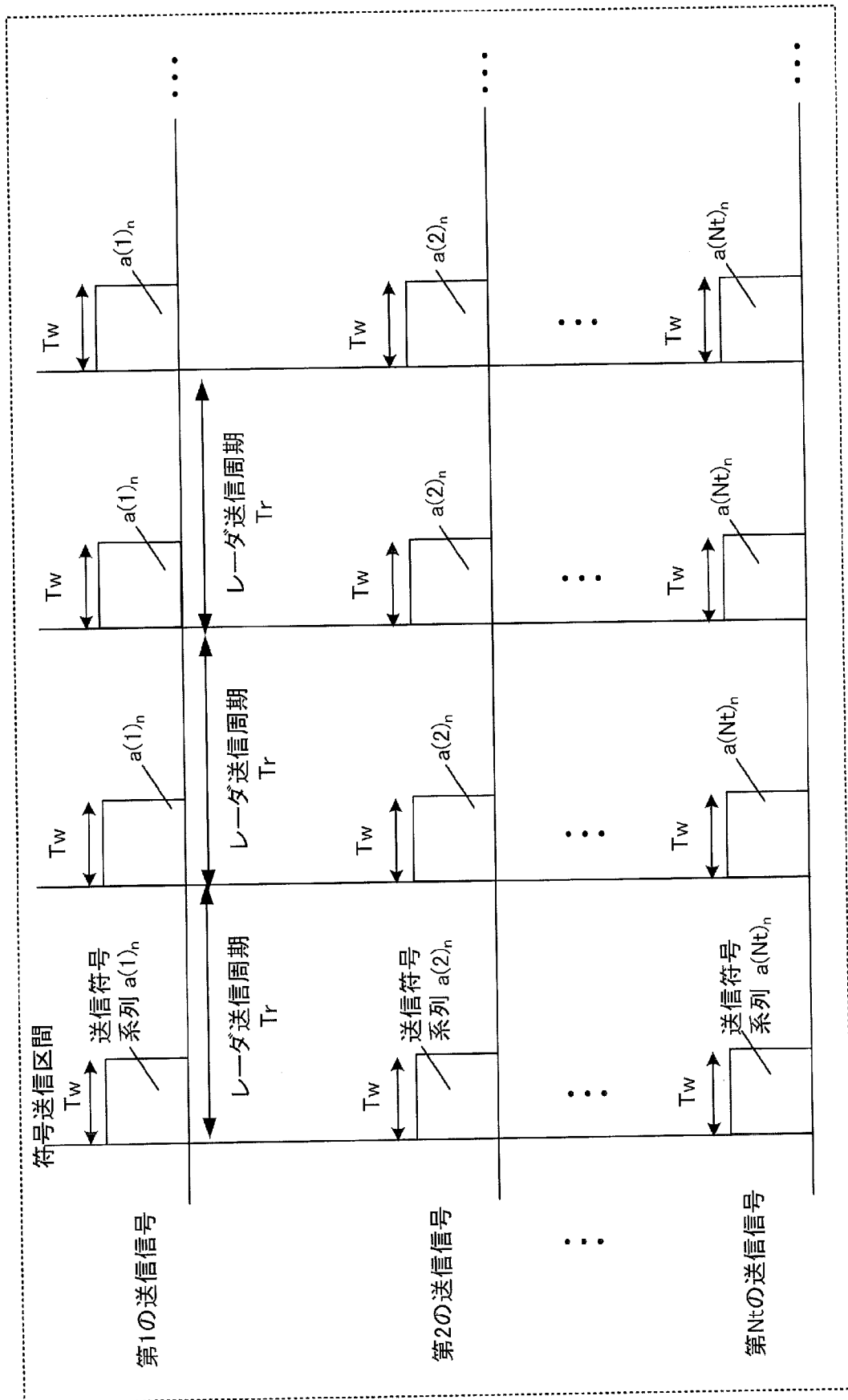
[図3B]



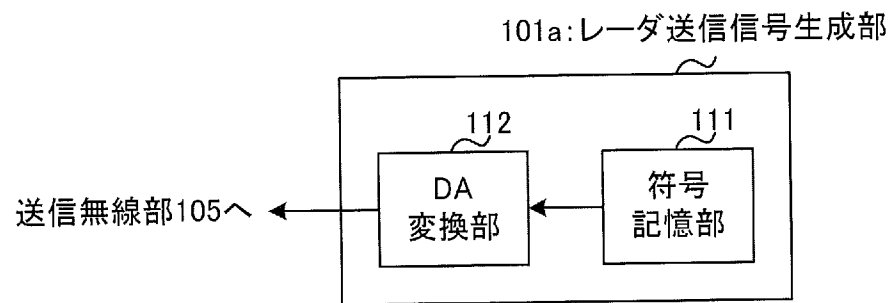
[図4]



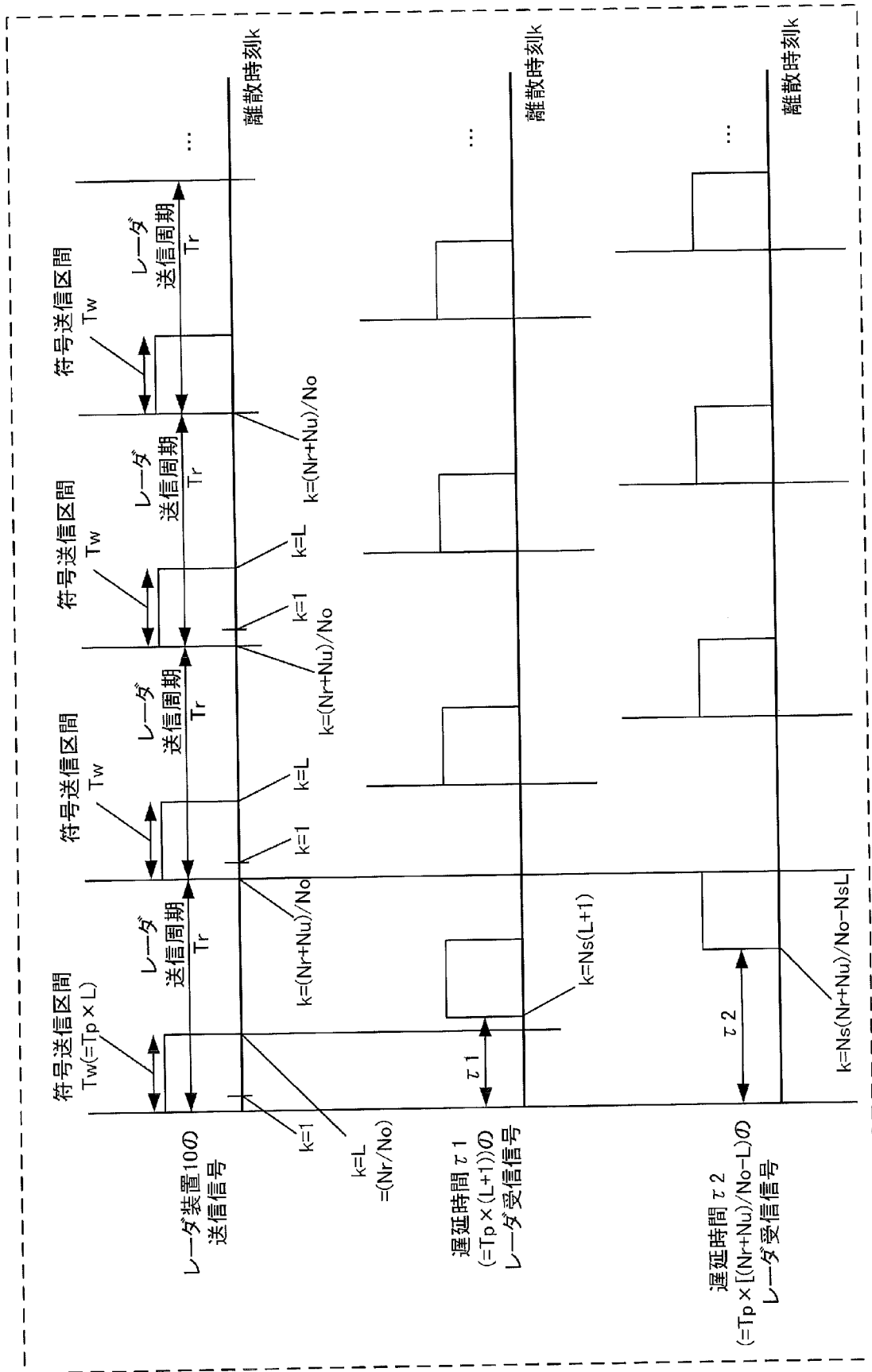
[図5]



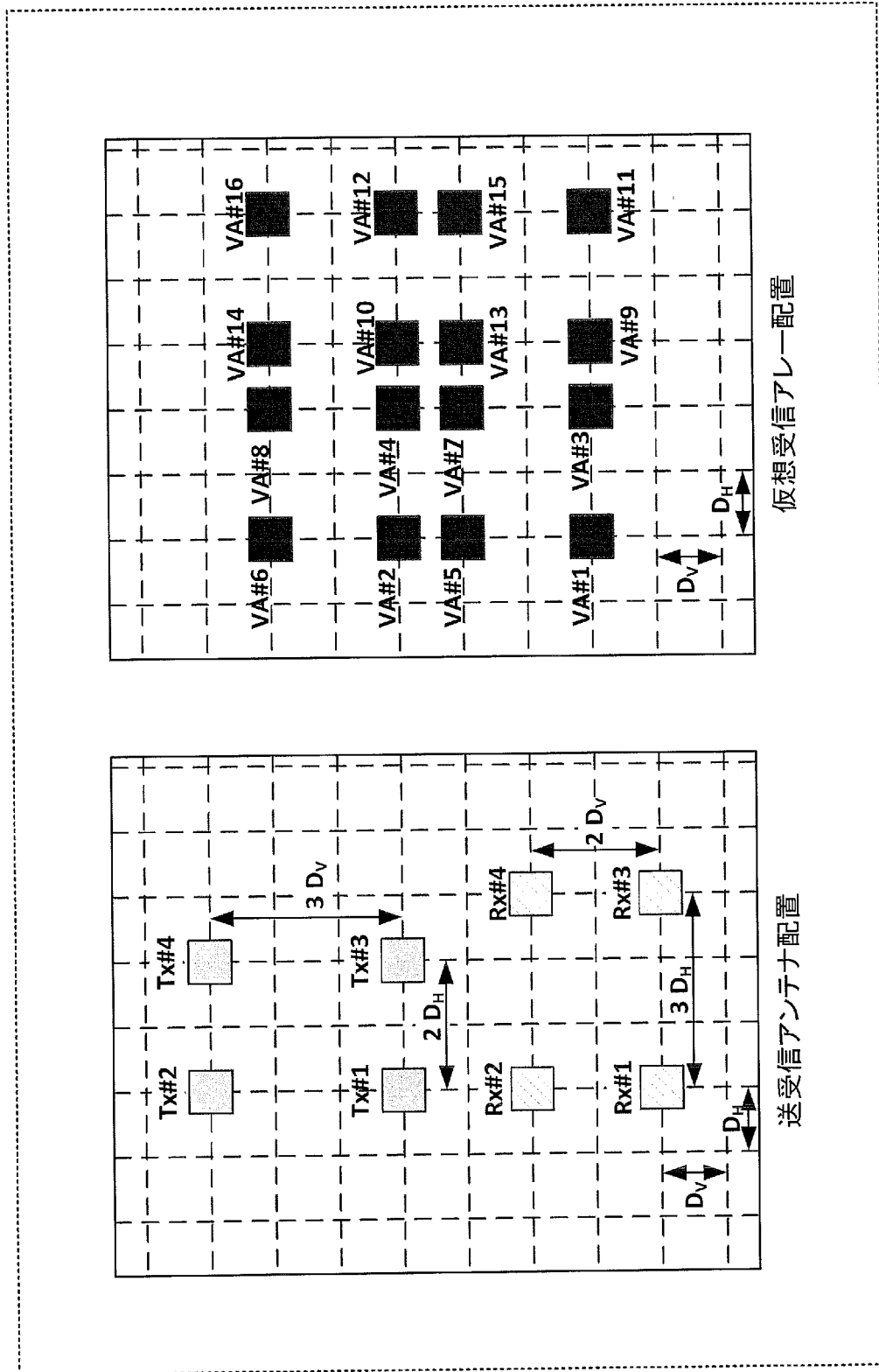
[図6]



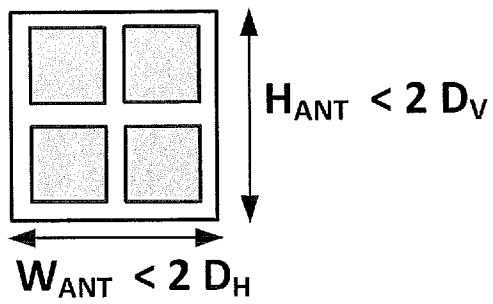
[図7]



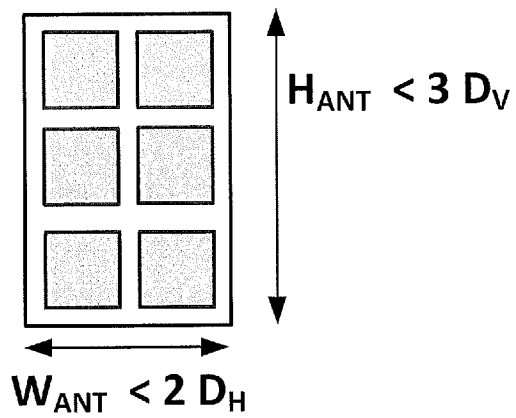
[図8]



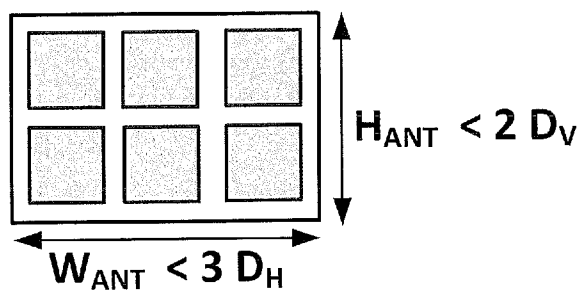
[図9A]



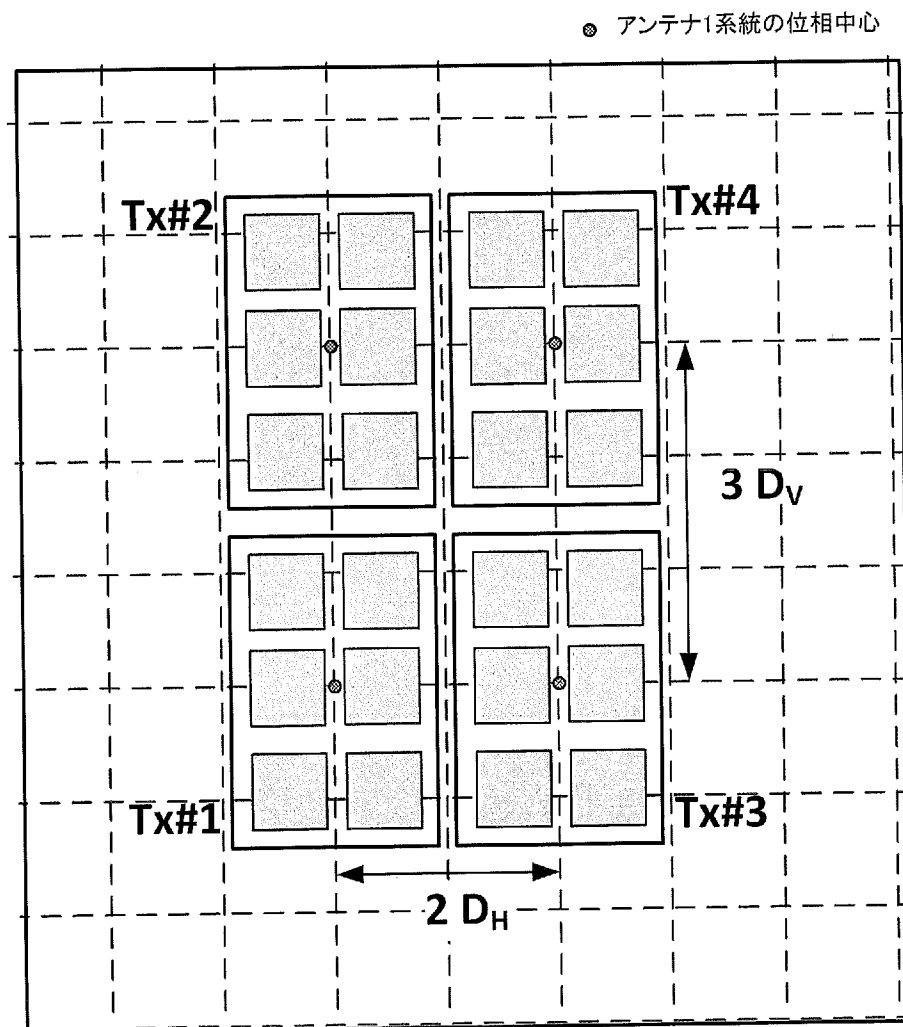
[図9B]



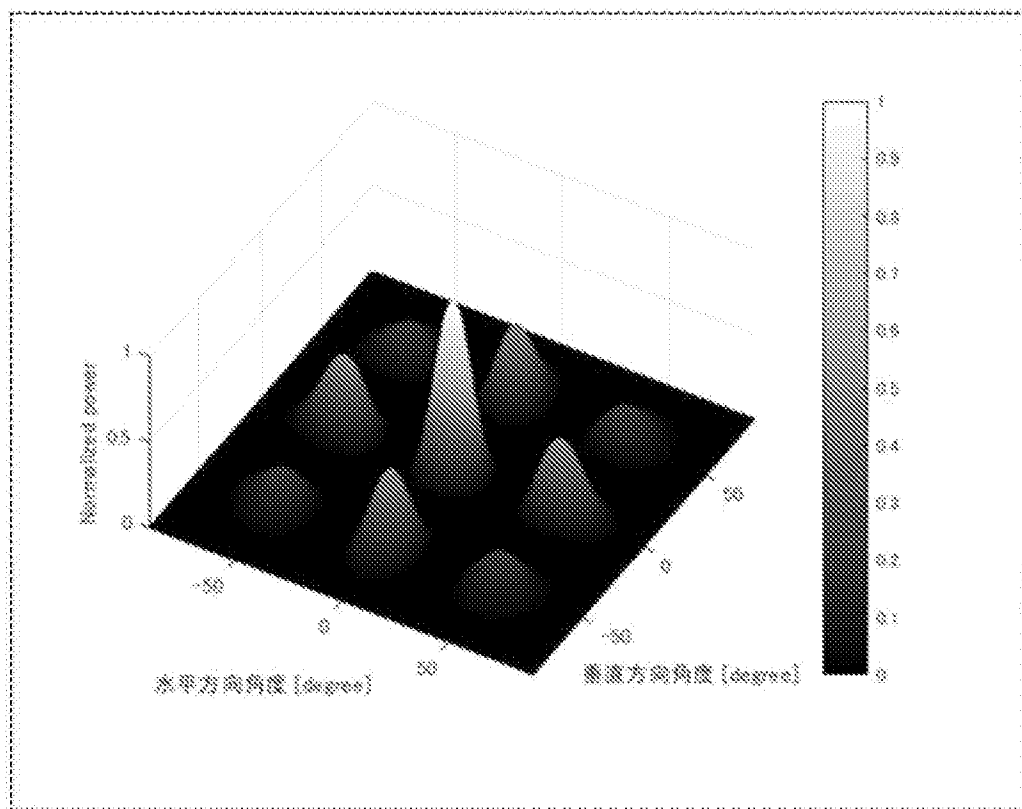
[図9C]



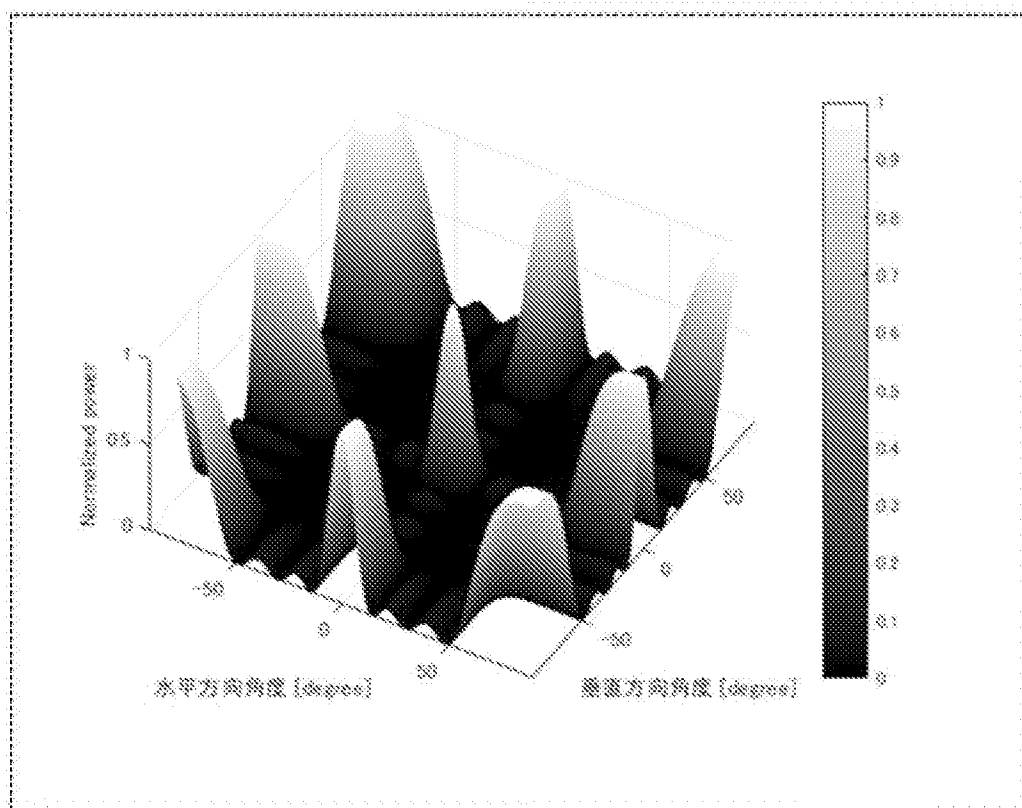
[図10]



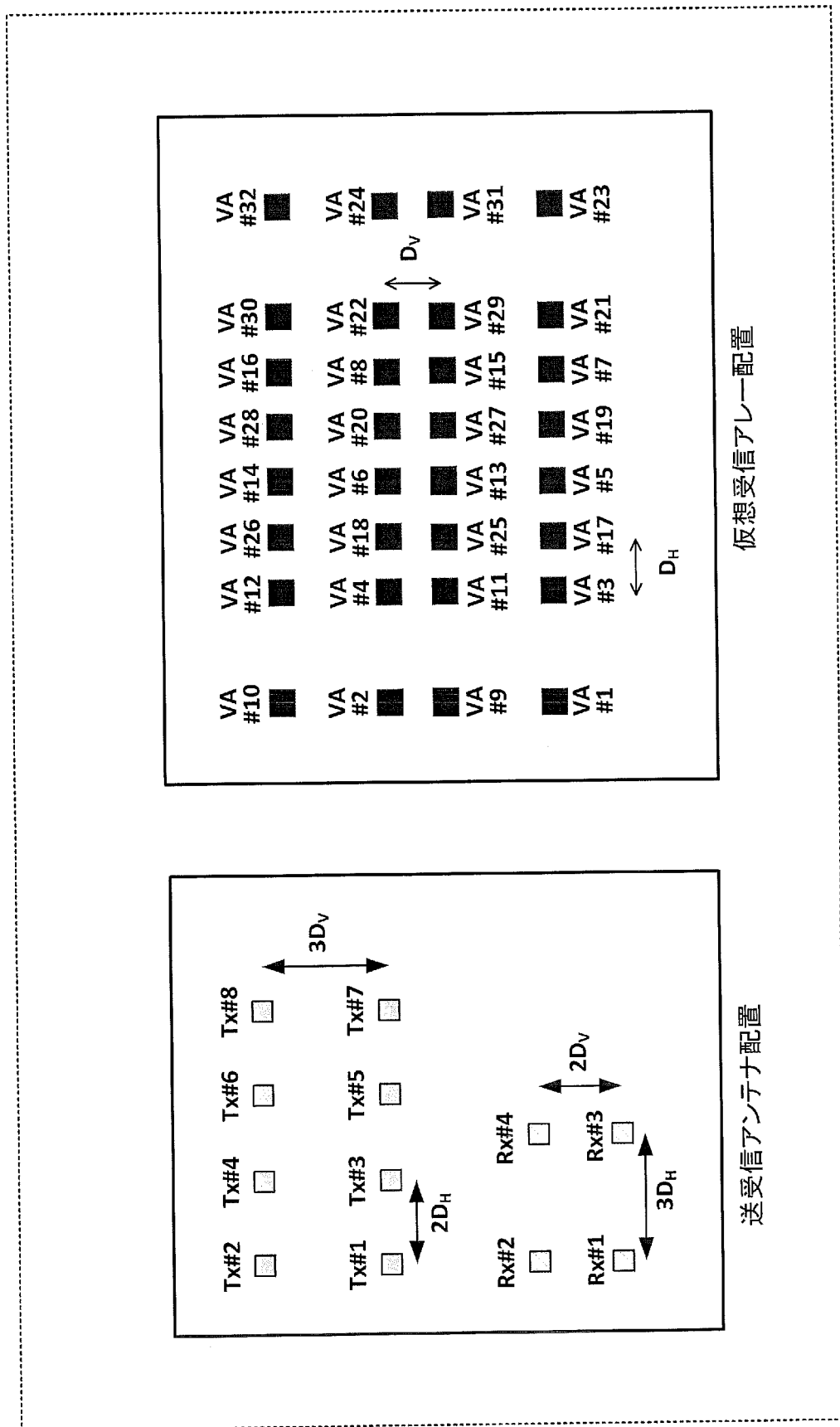
[図11A]



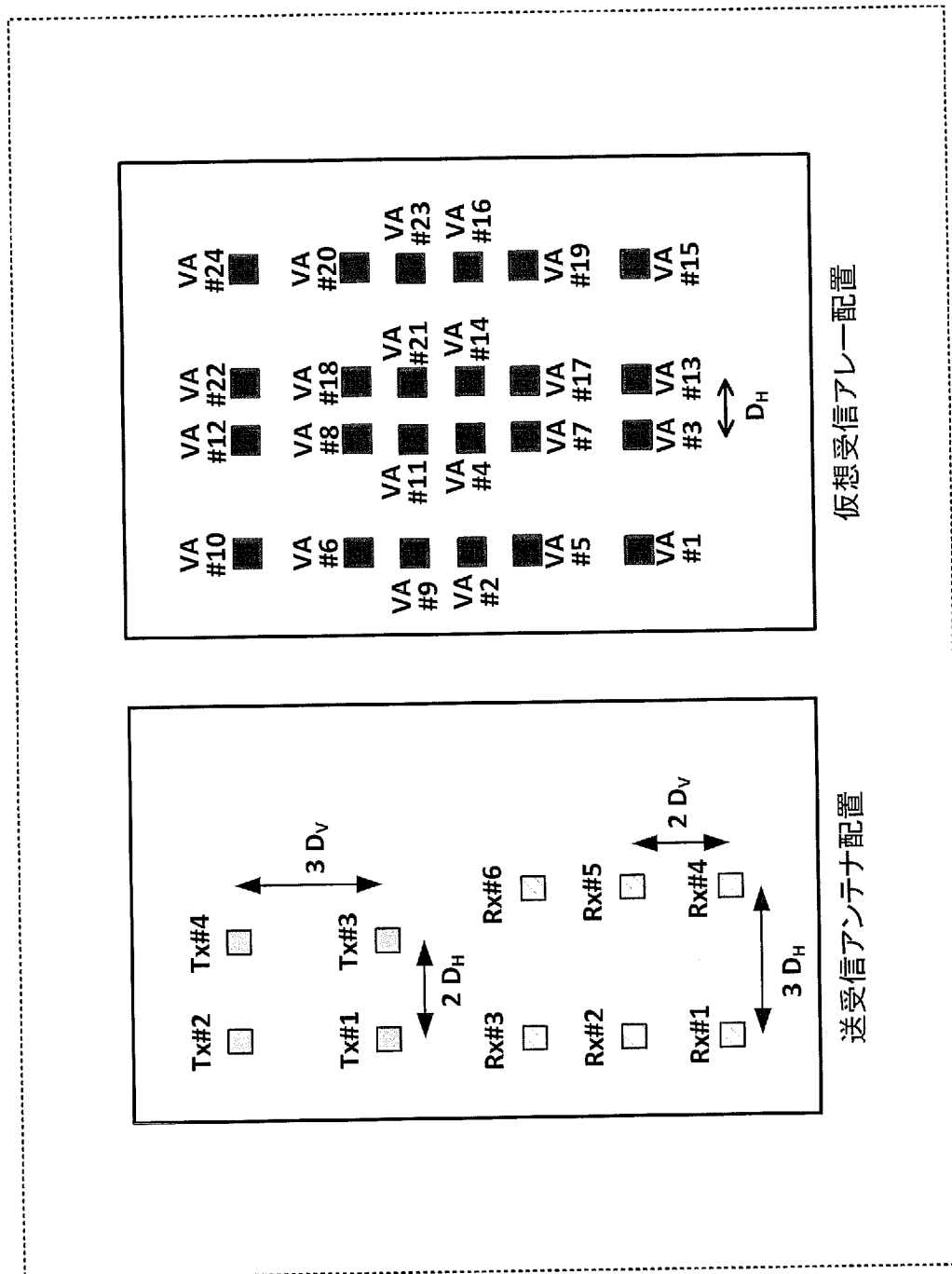
[図11B]



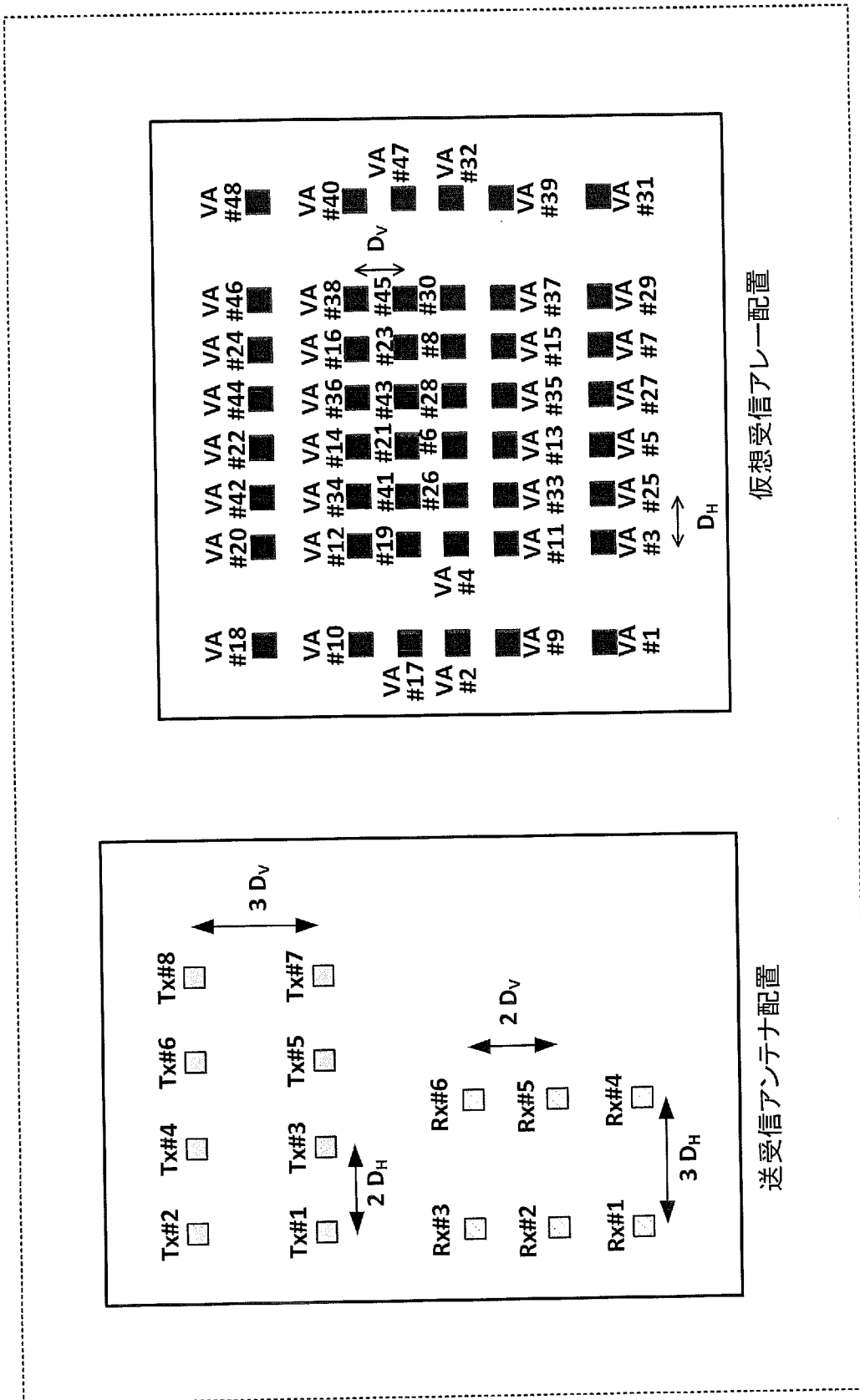
[図12]



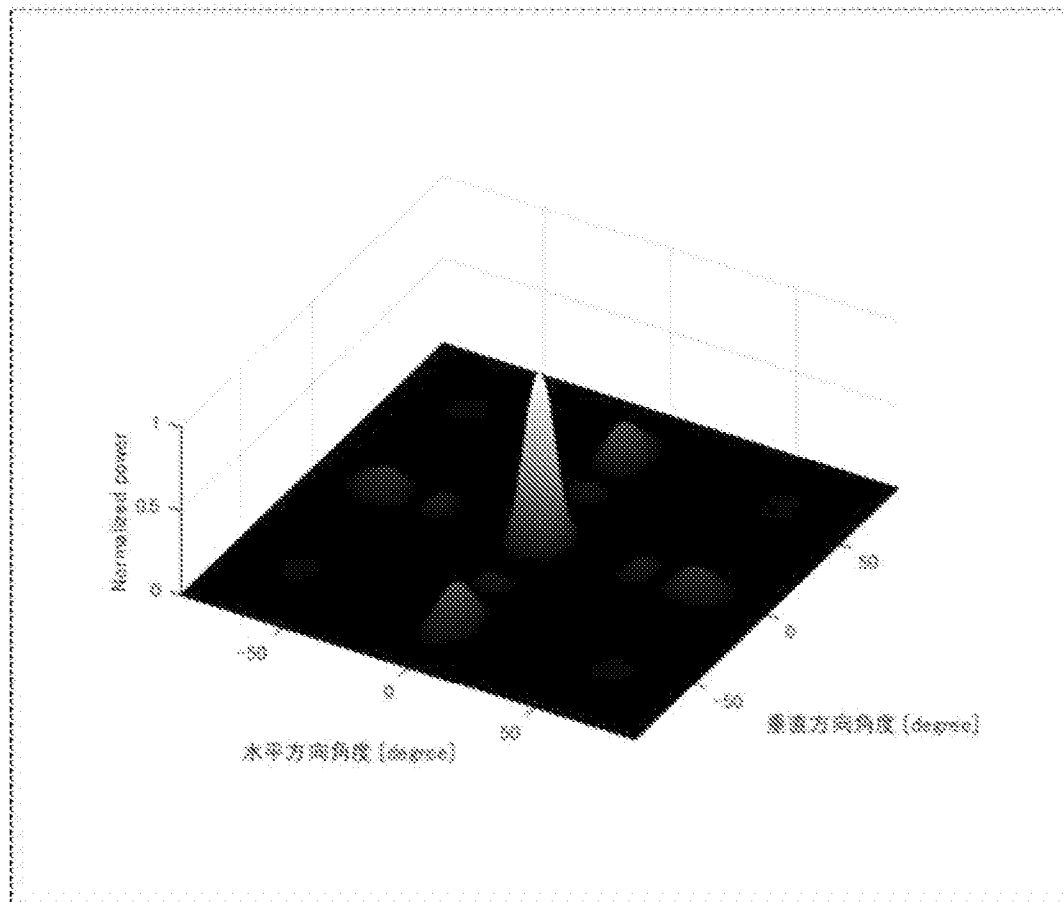
[図13]



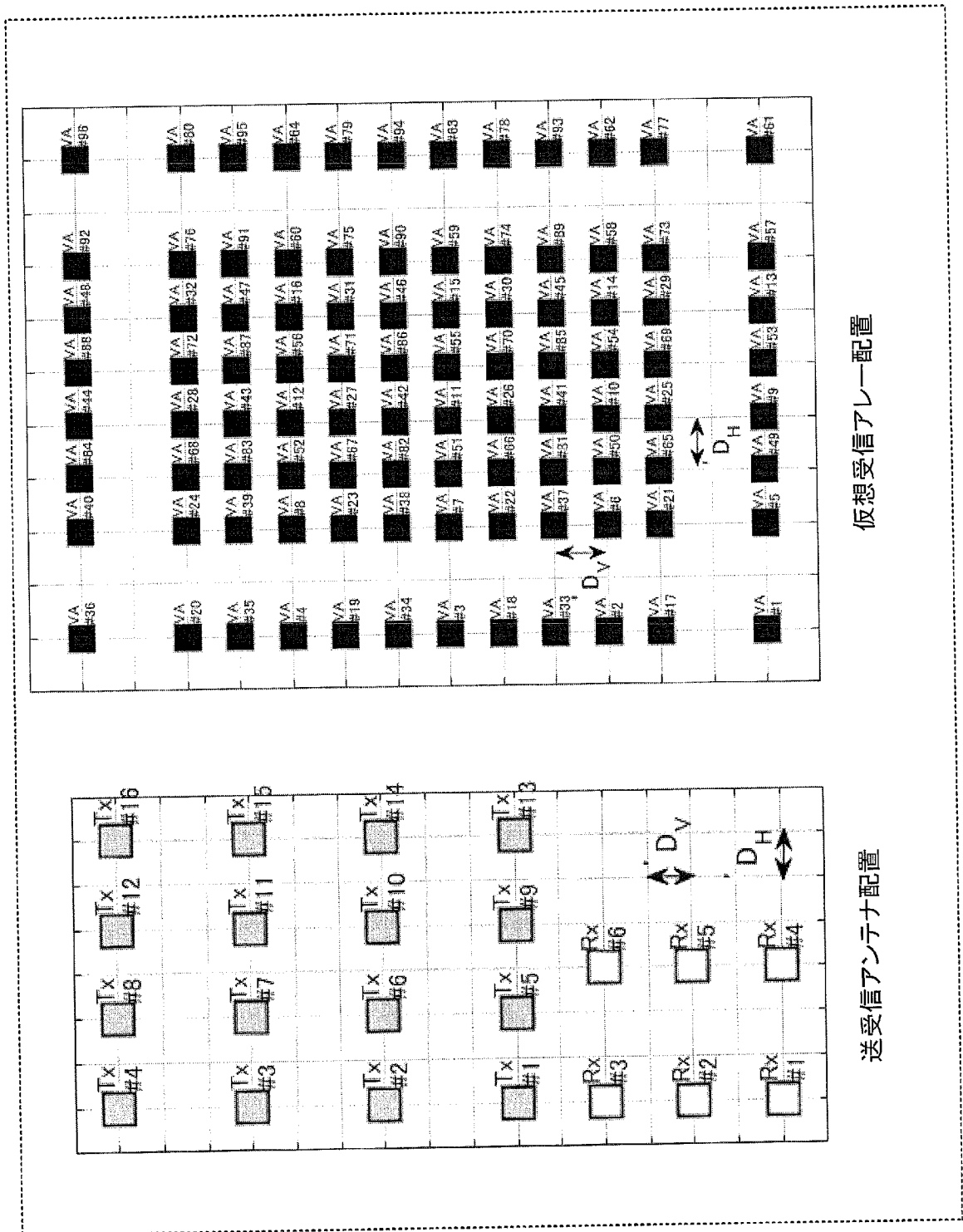
[図14]



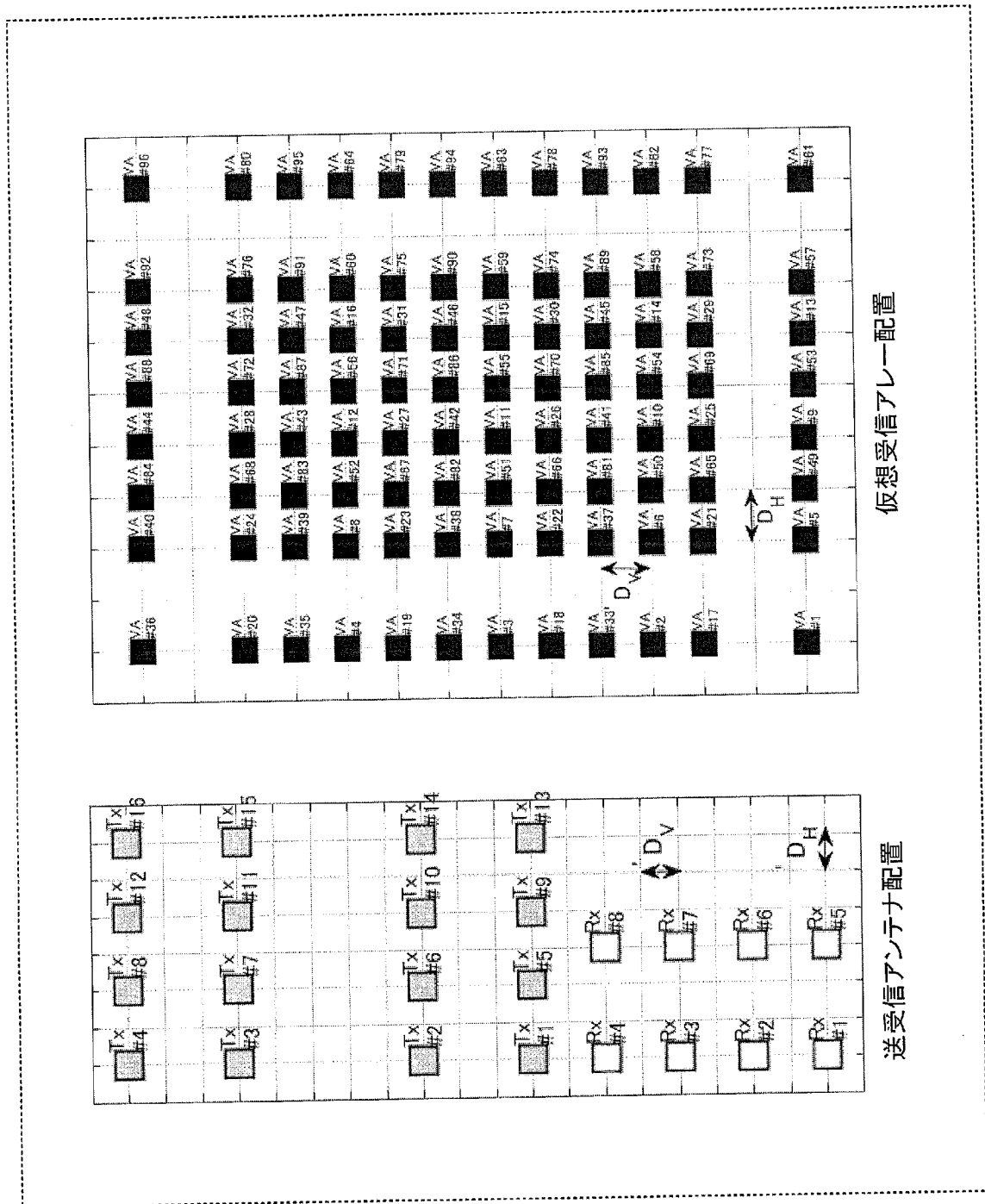
[図15]



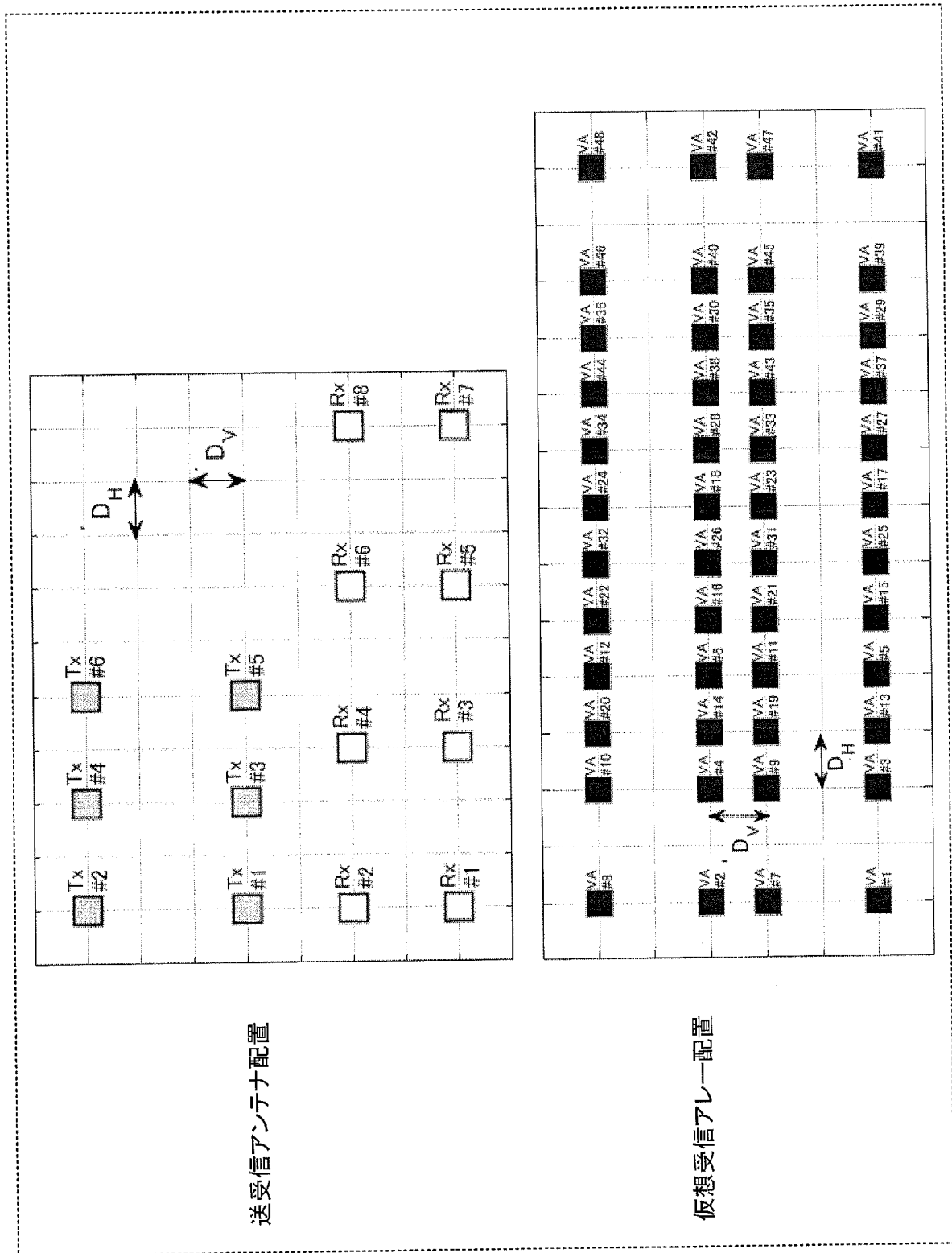
[図16]



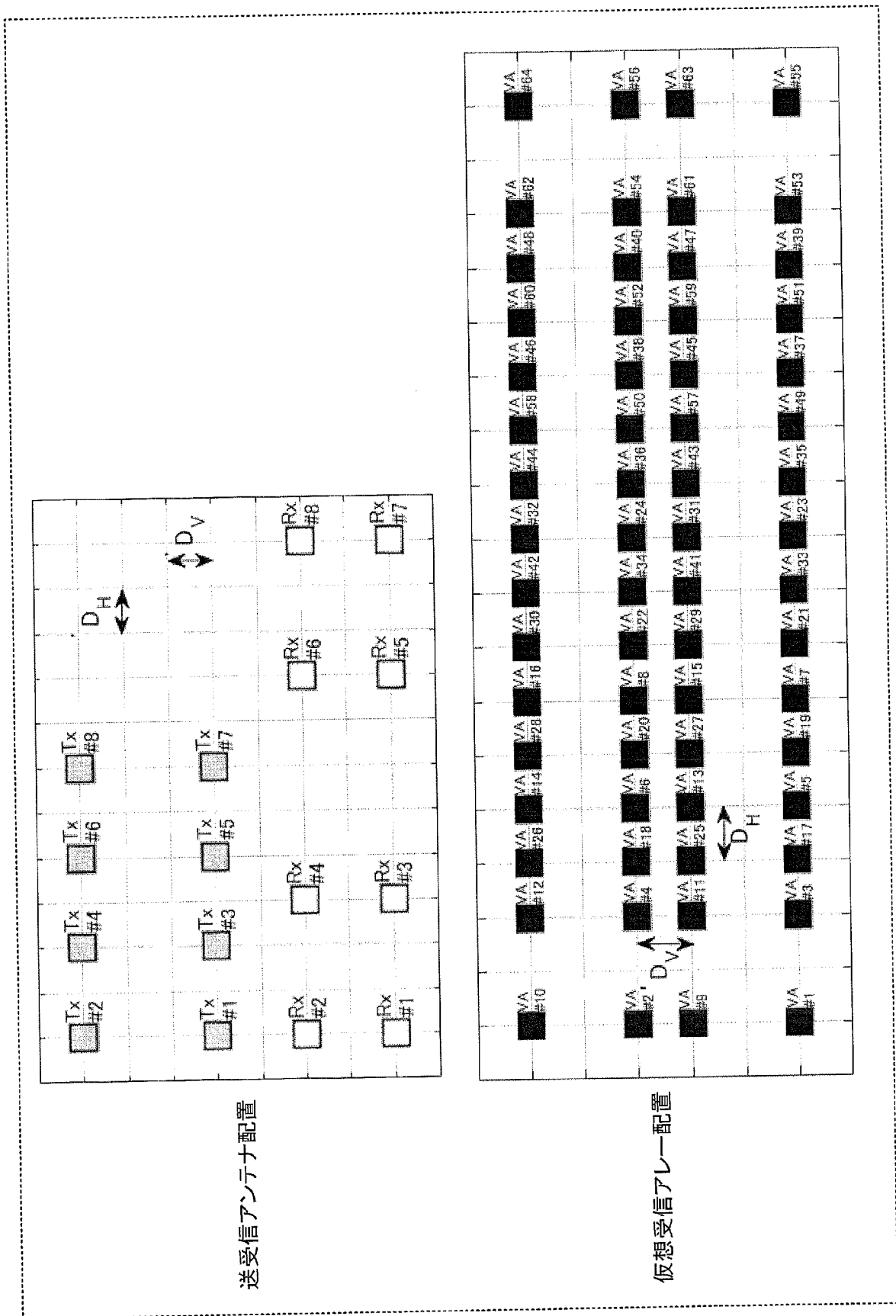
[図17]



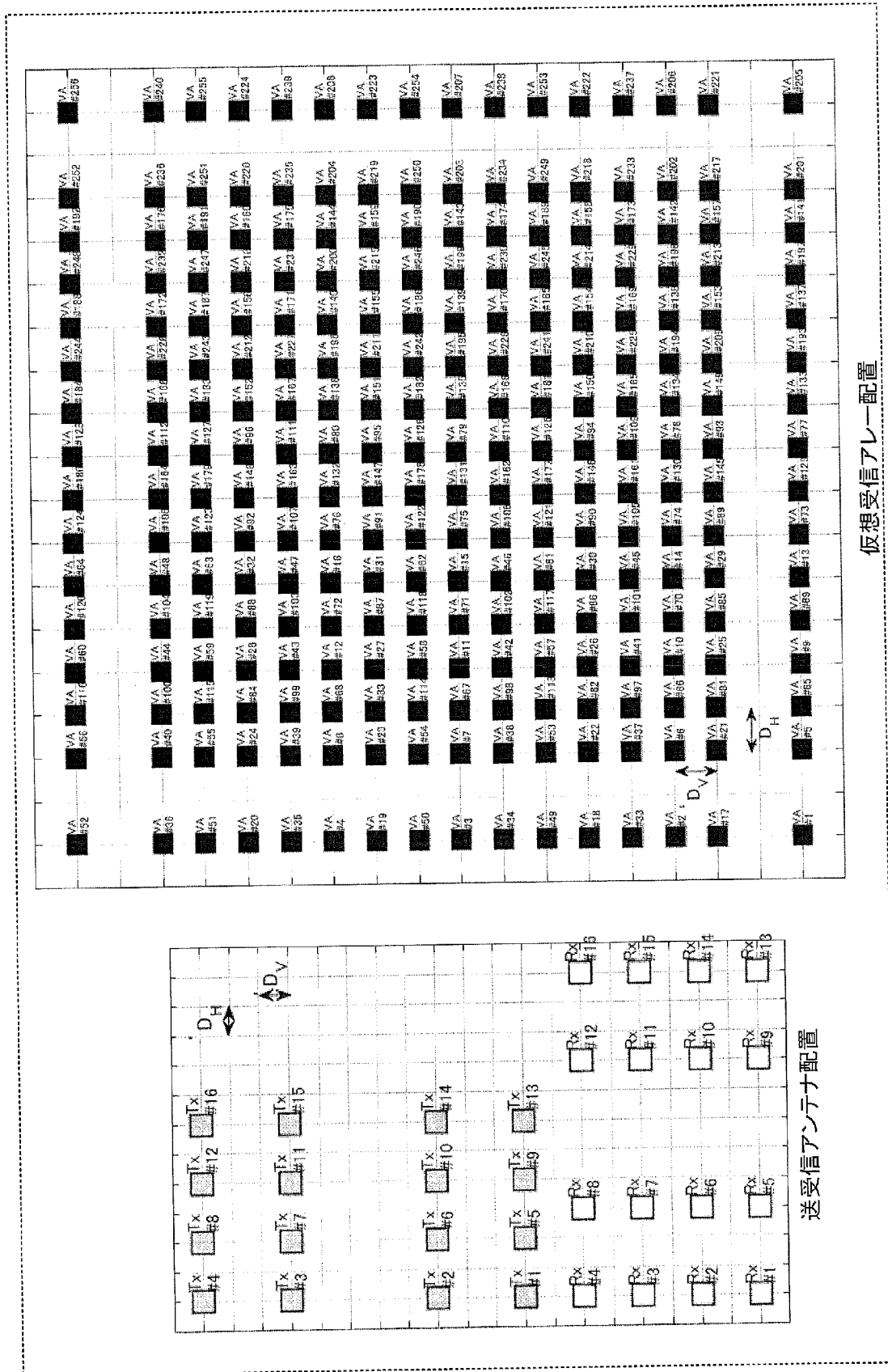
[図18]



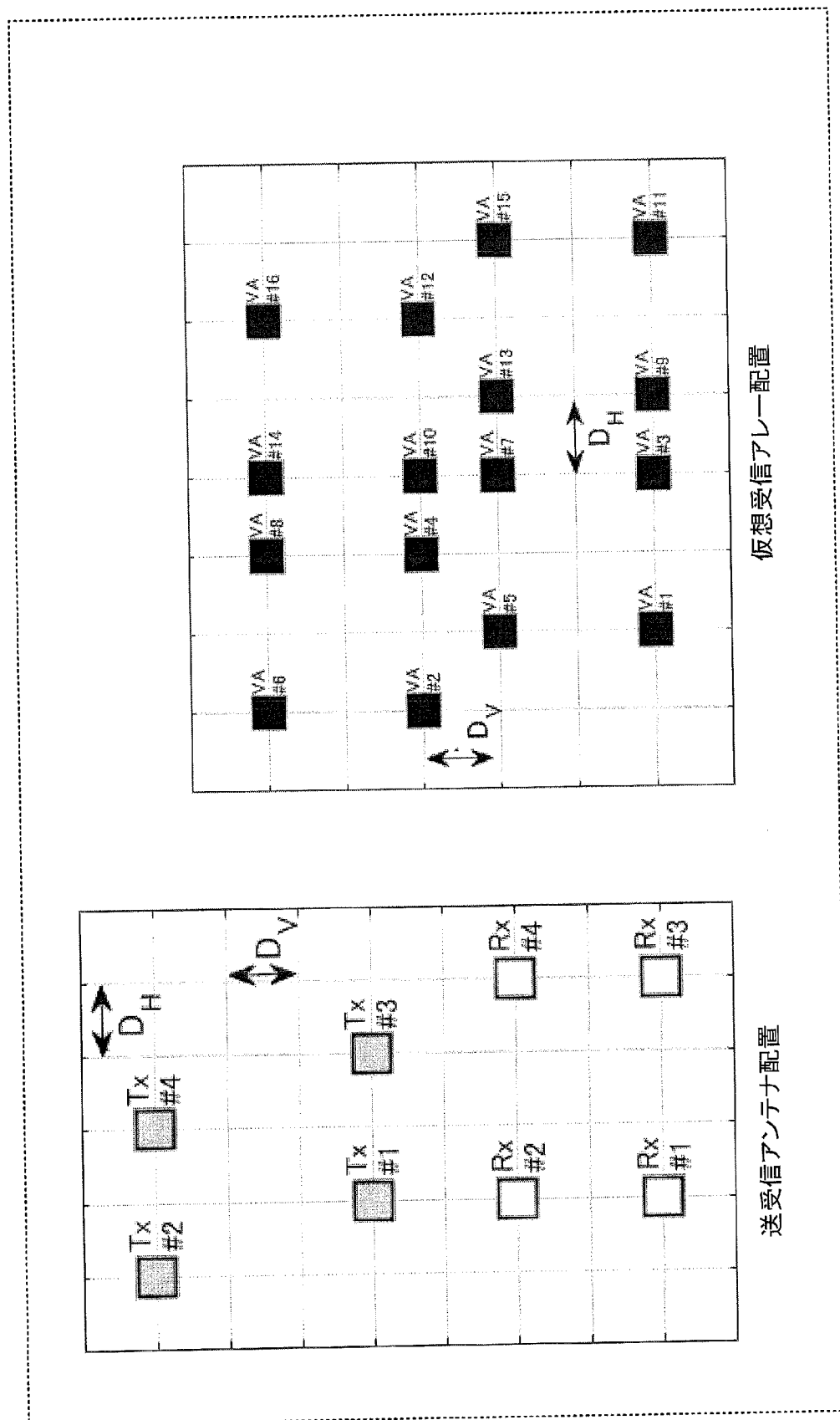
[図19]



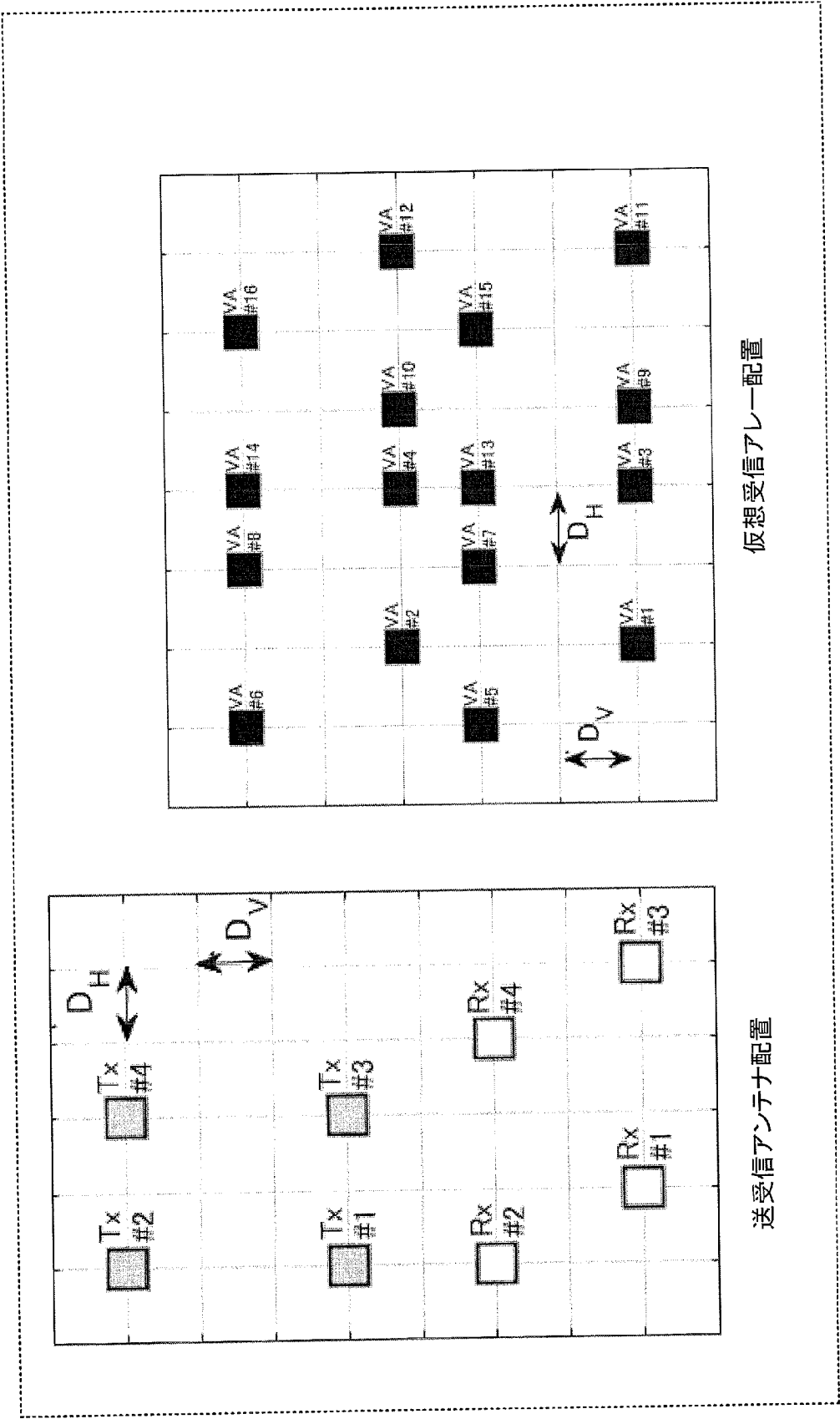
[図20]



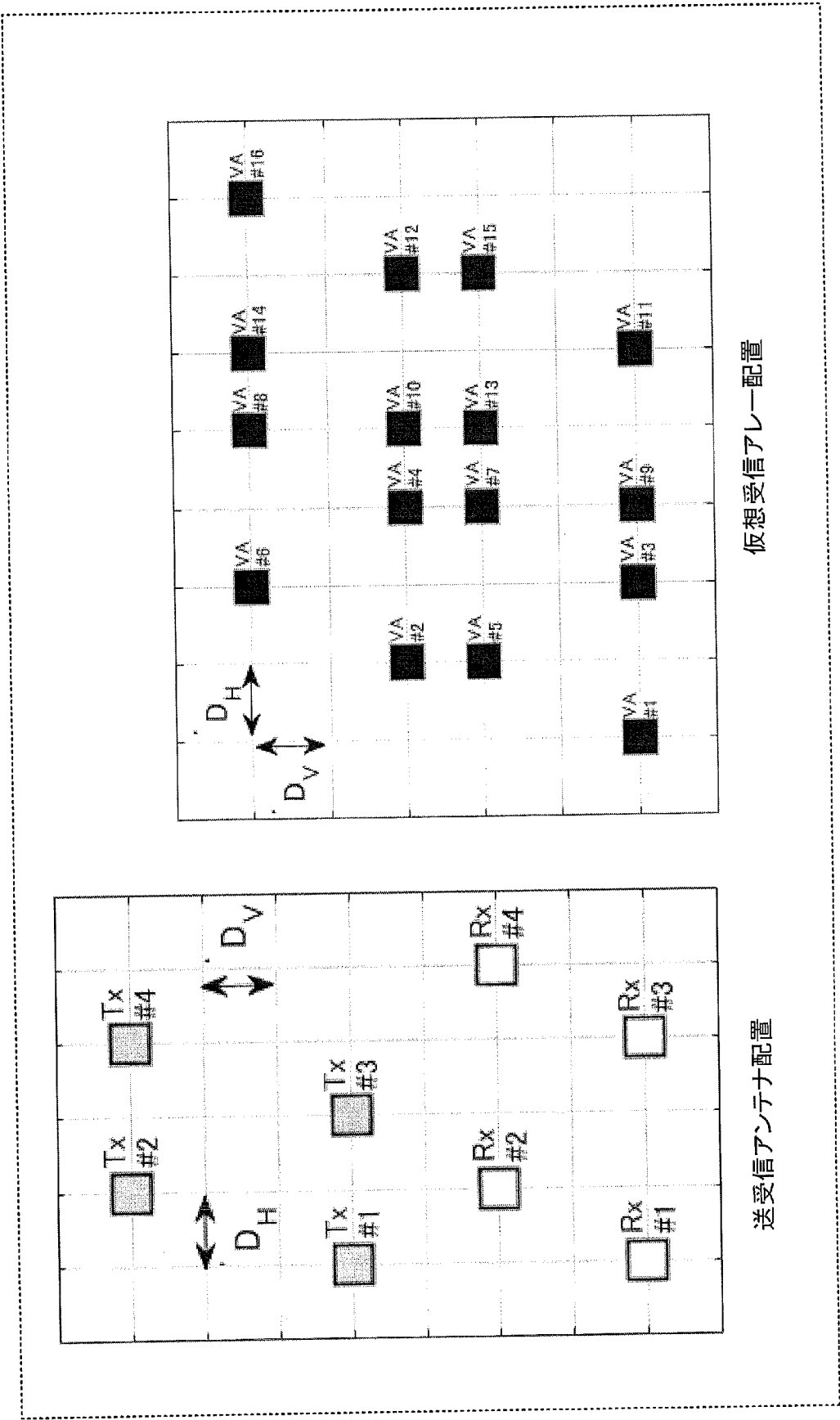
[図21]



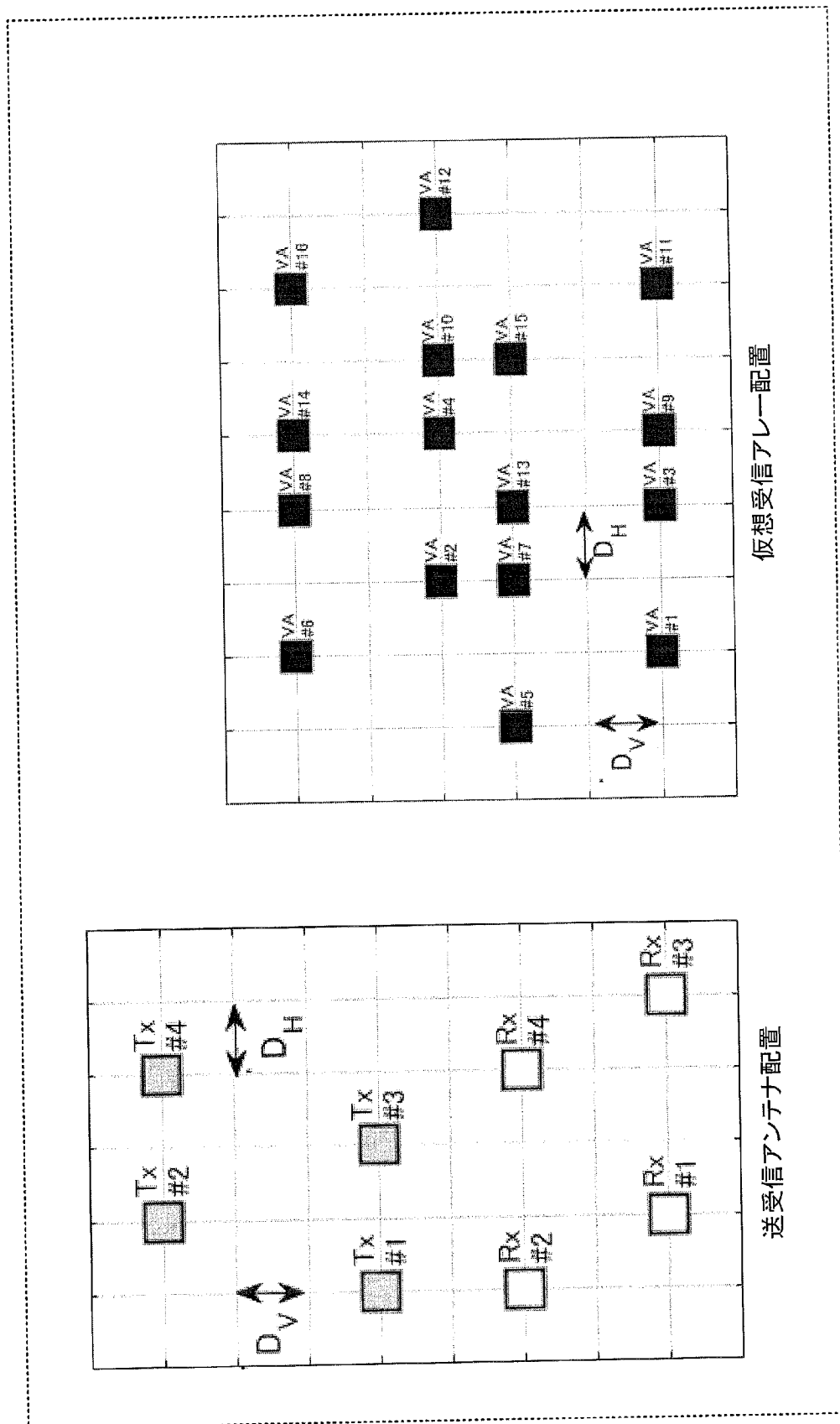
[図22]



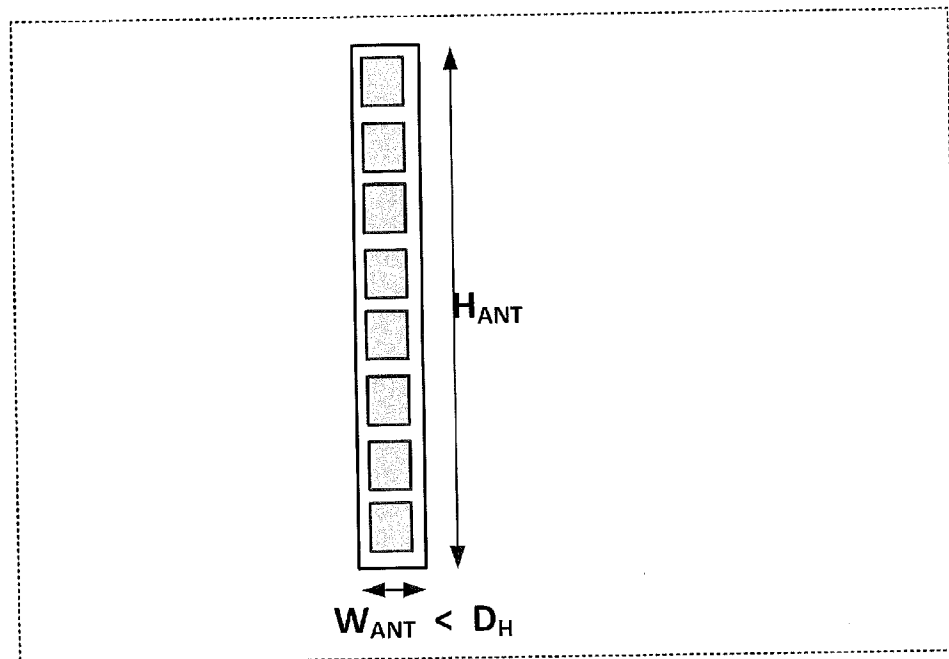
[図23]



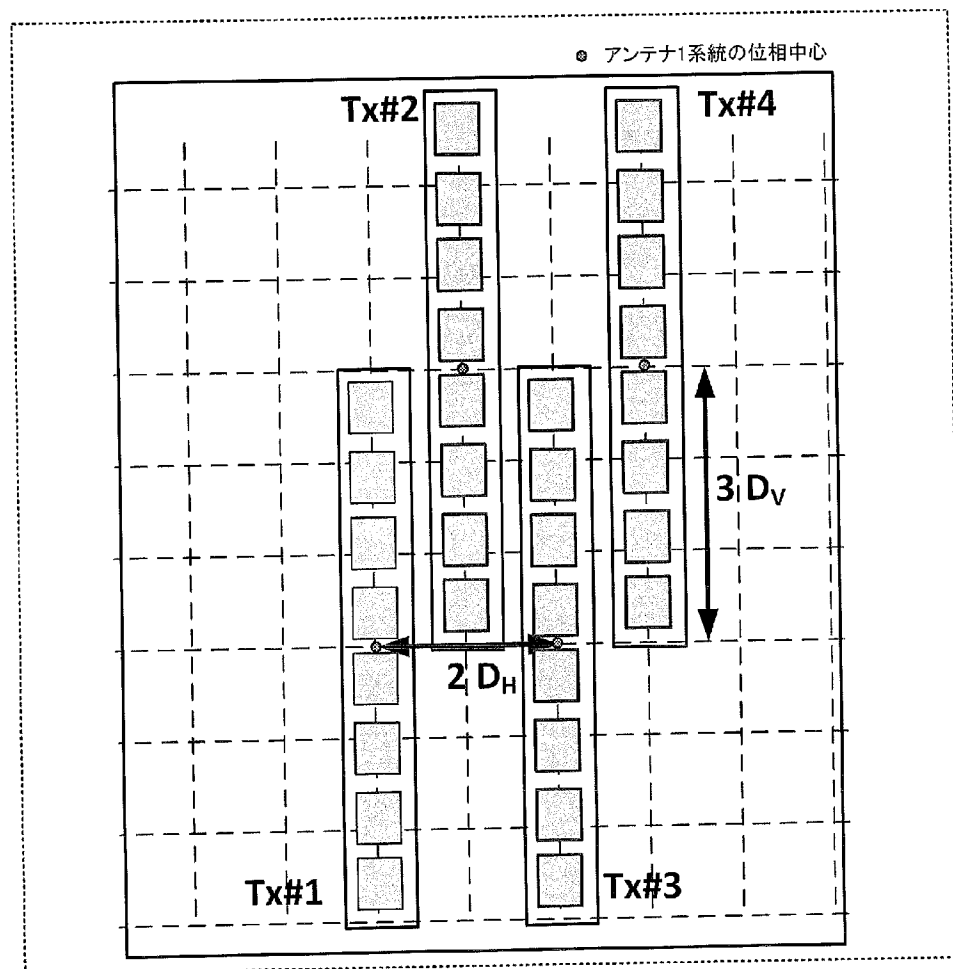
[図24]



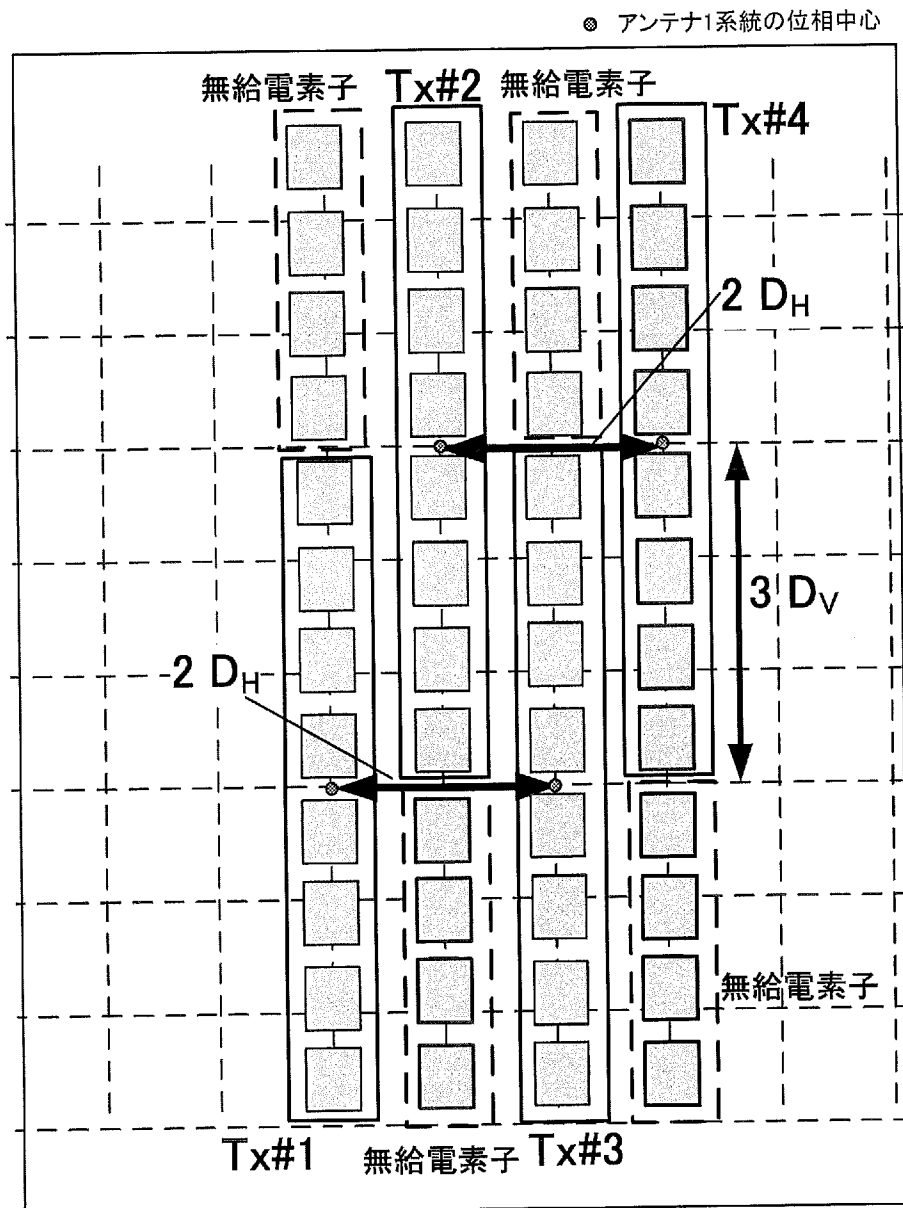
[図25A]



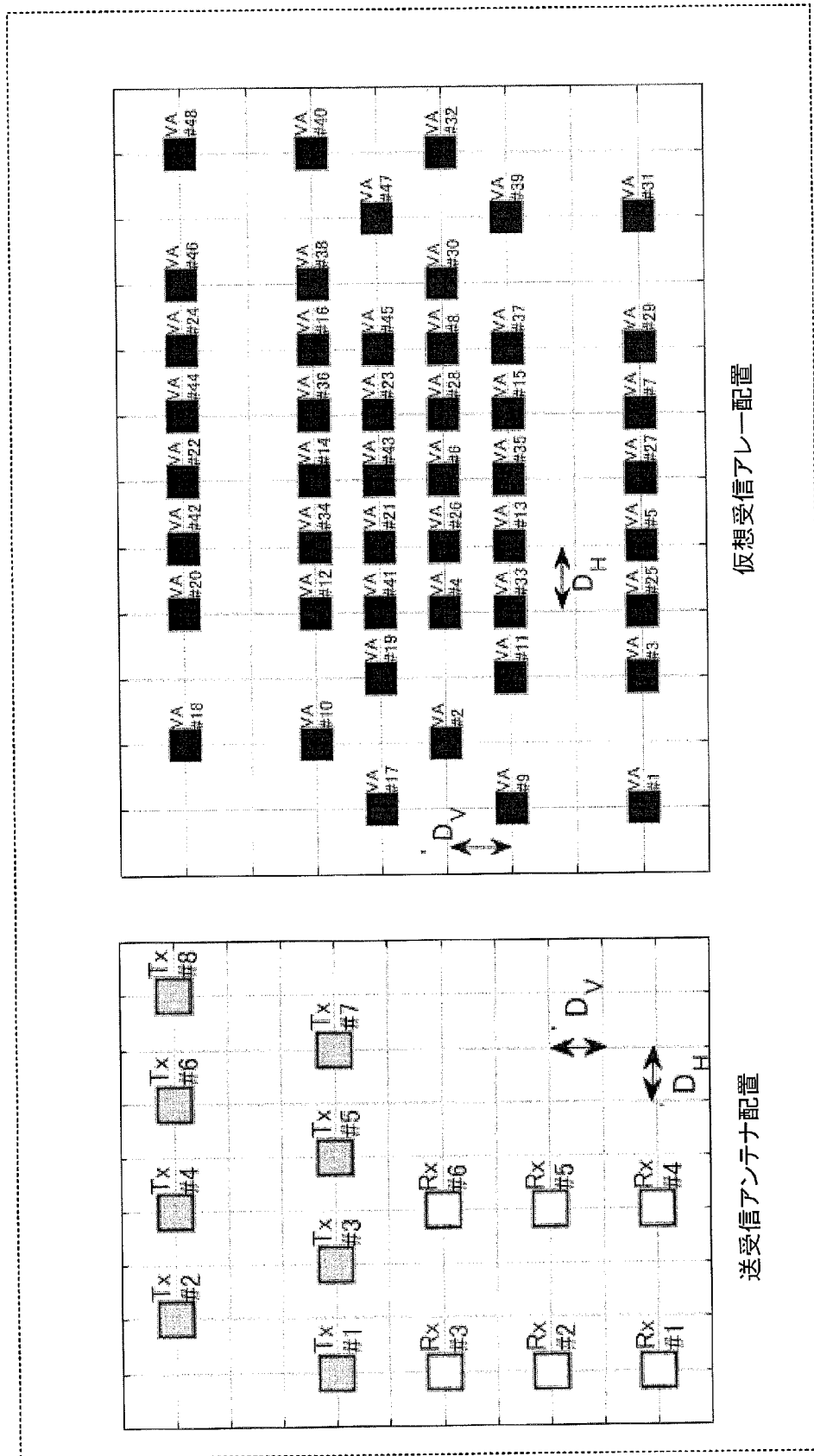
[図25B]



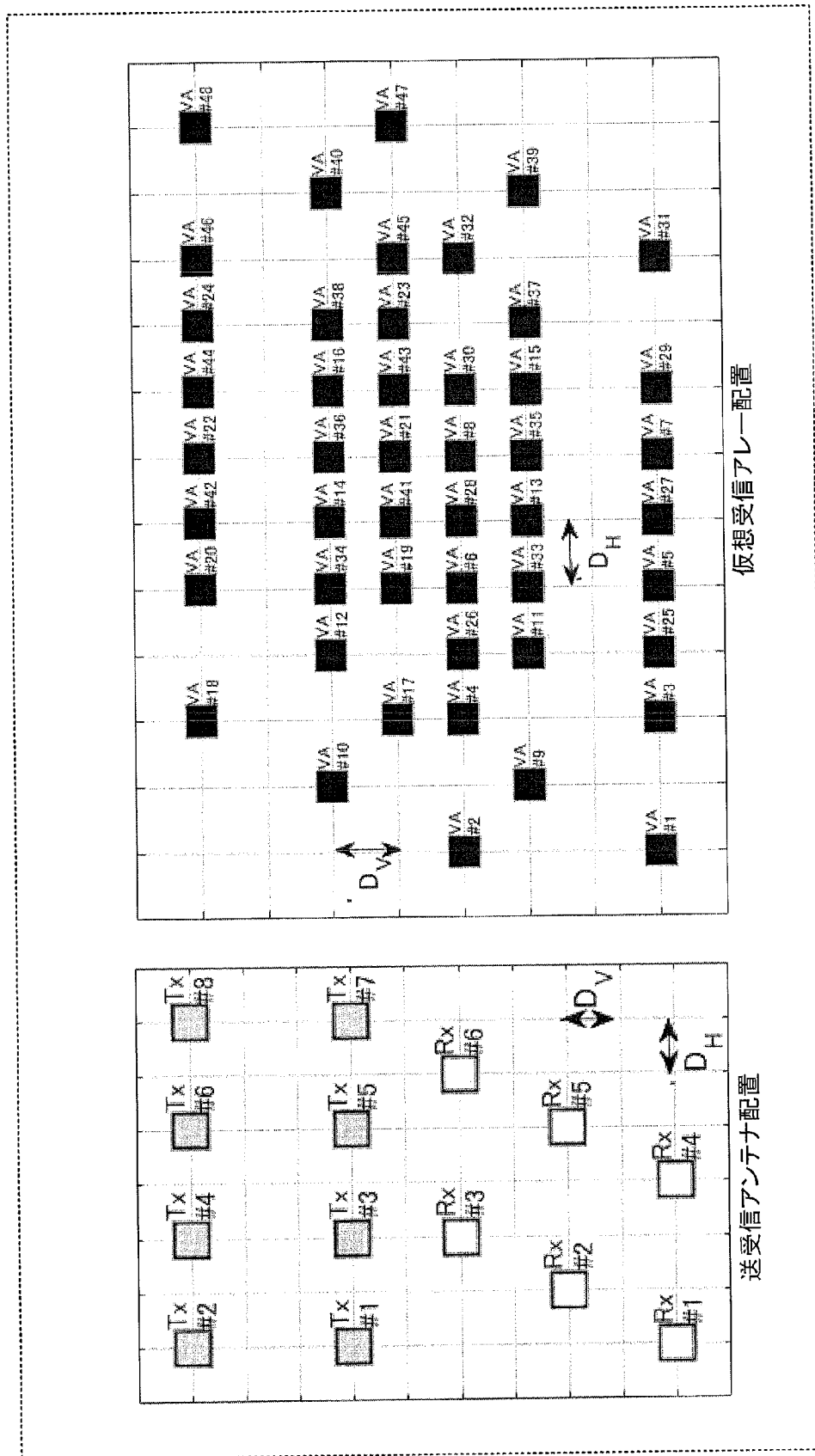
[図25C]



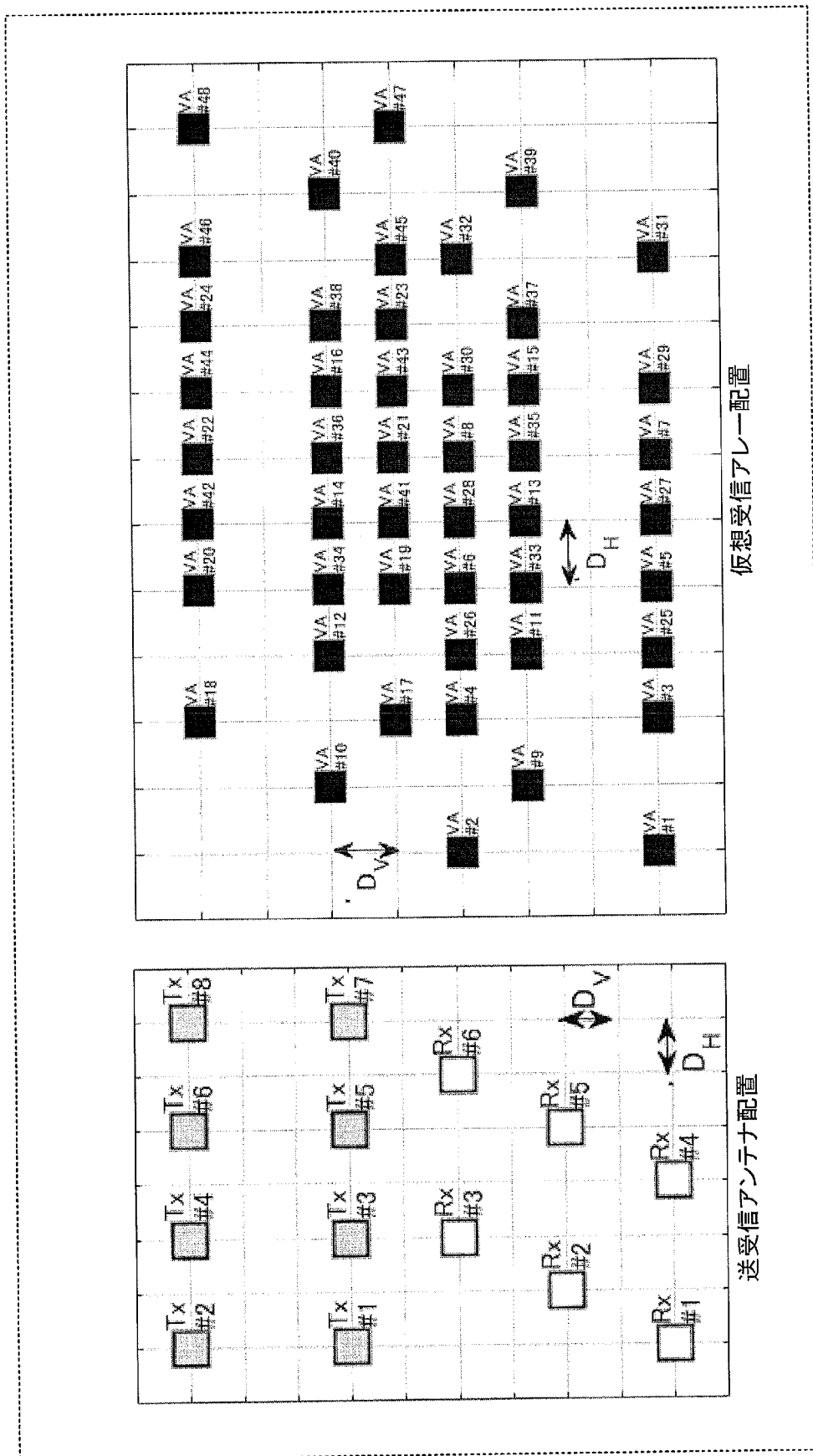
[図26]



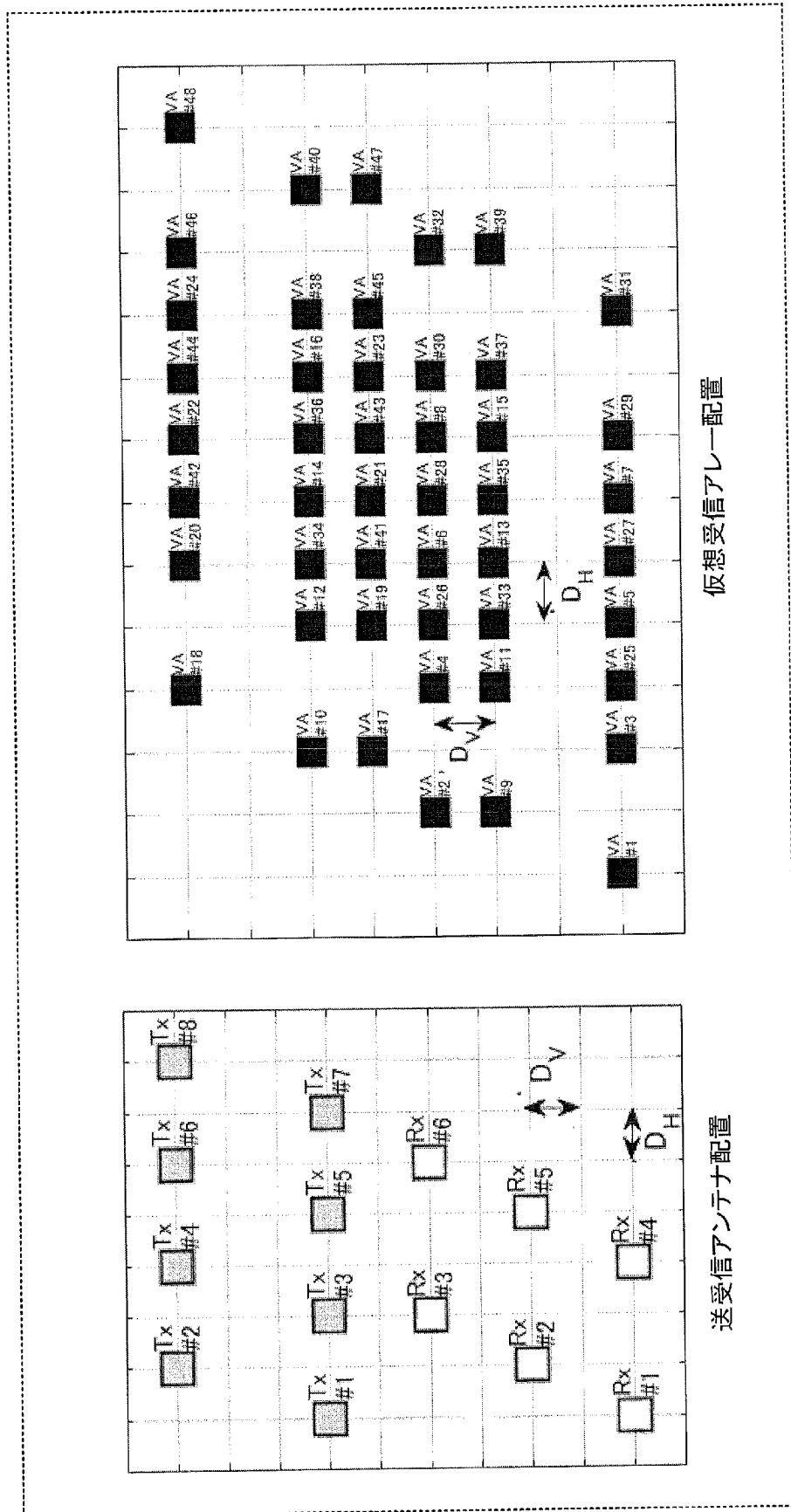
[図27]



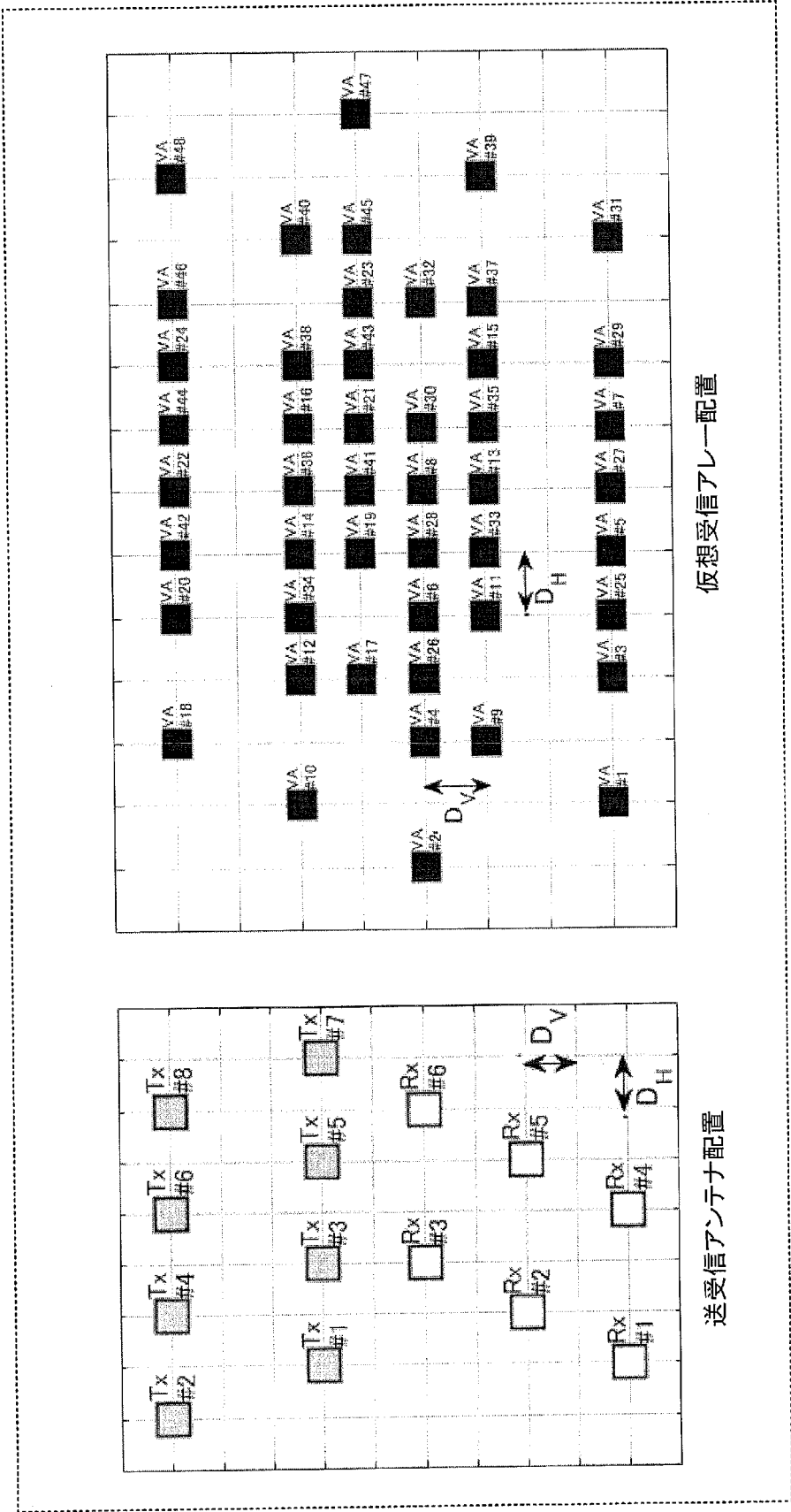
[図28]



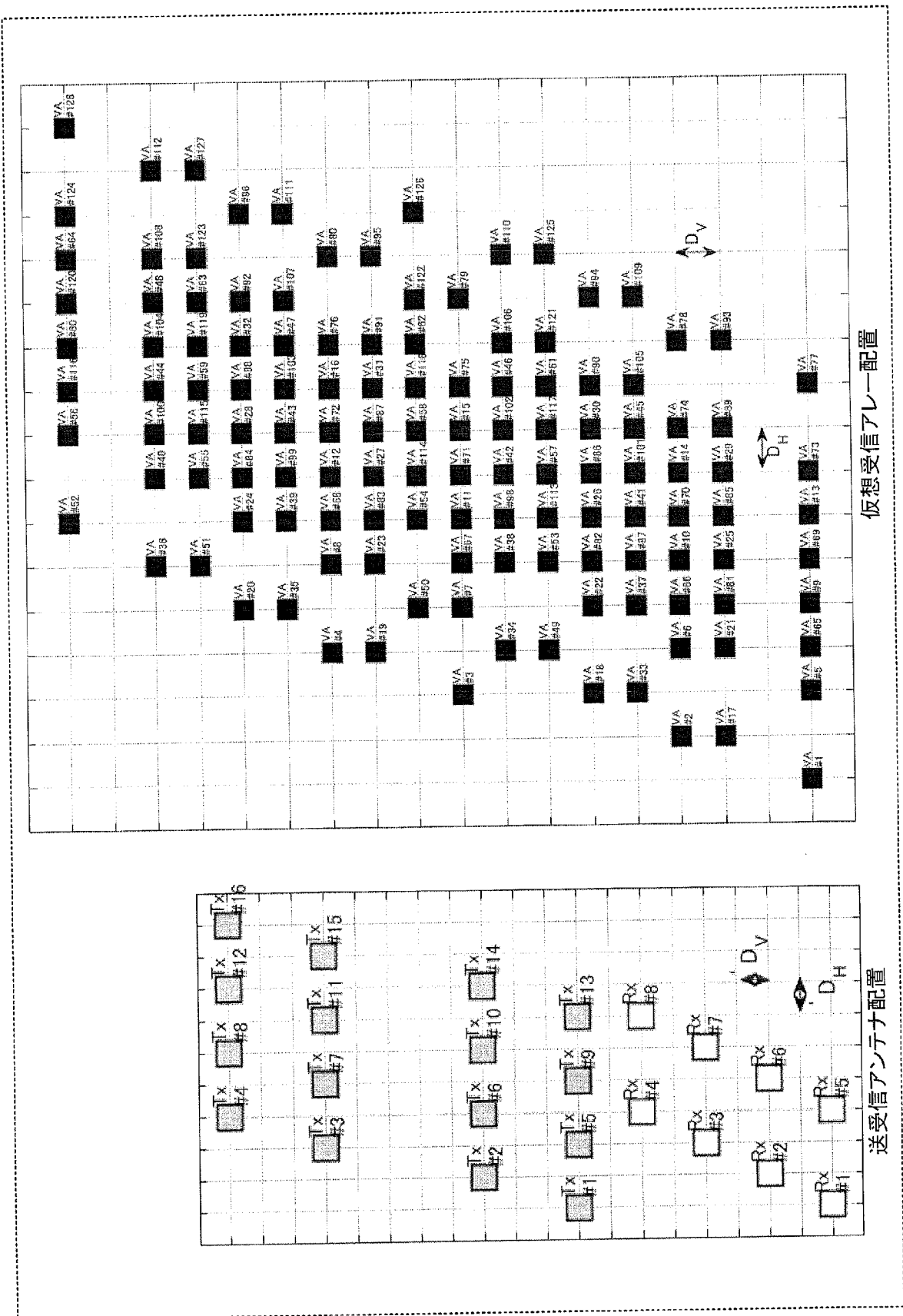
[図29]



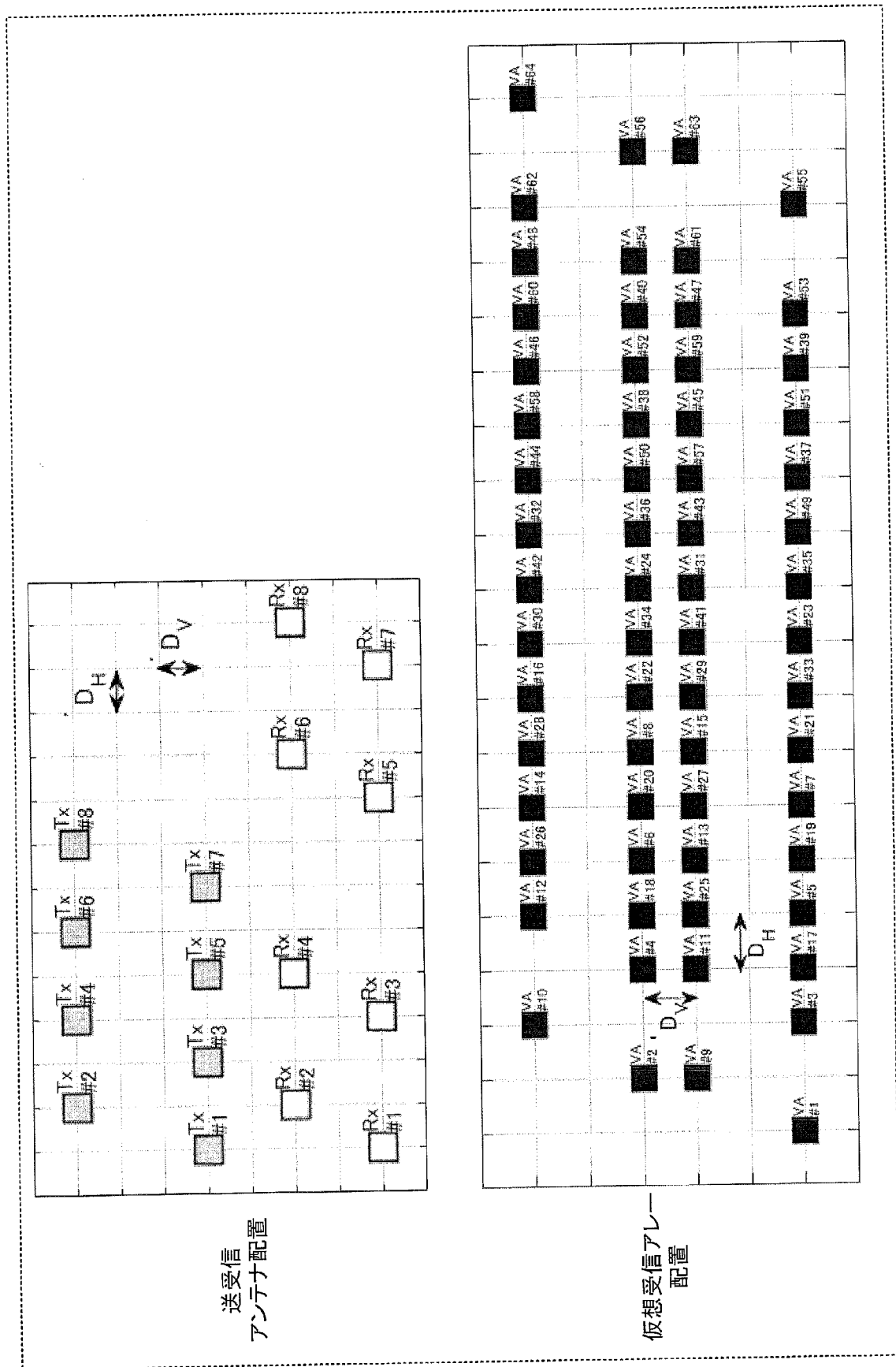
[図30]



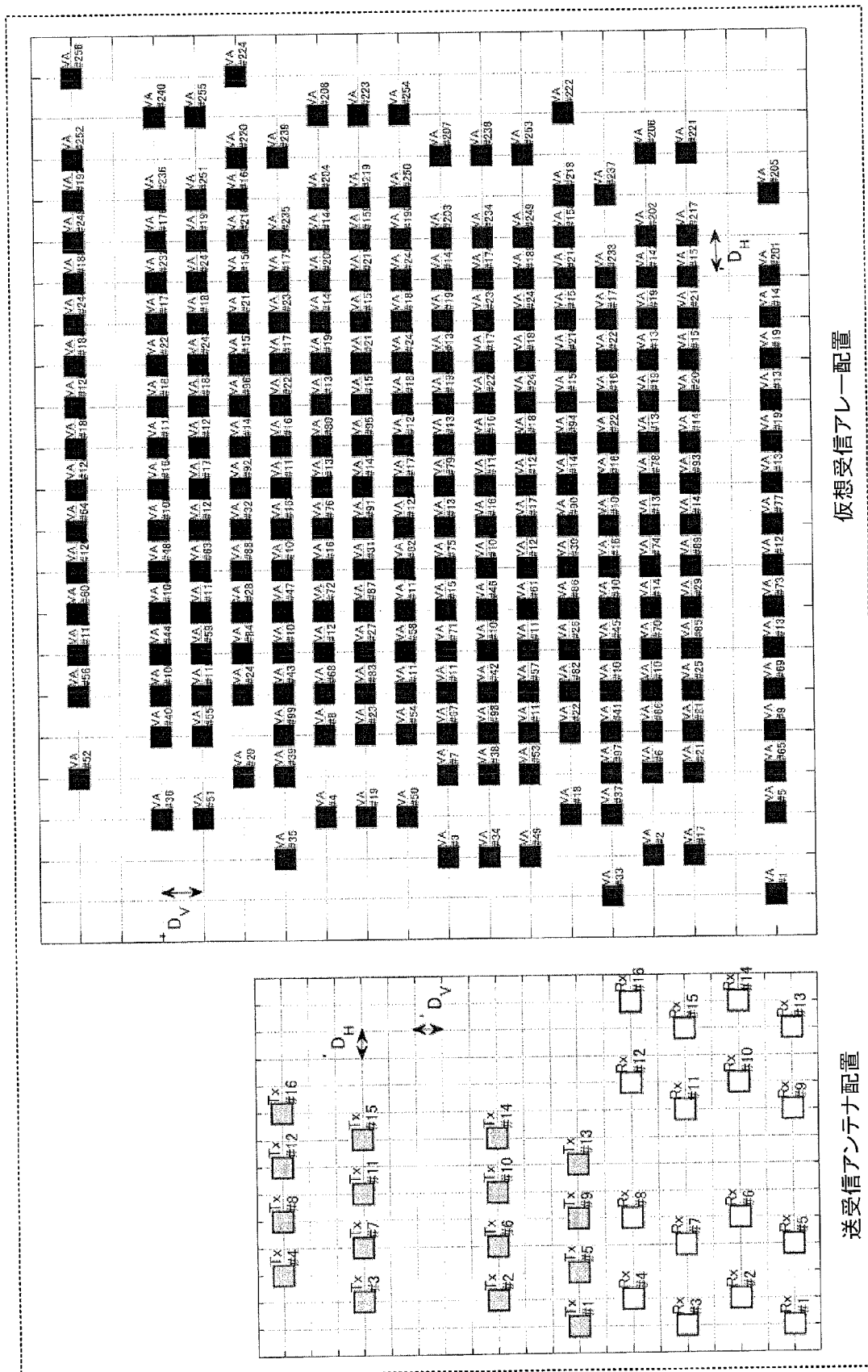
[図31]



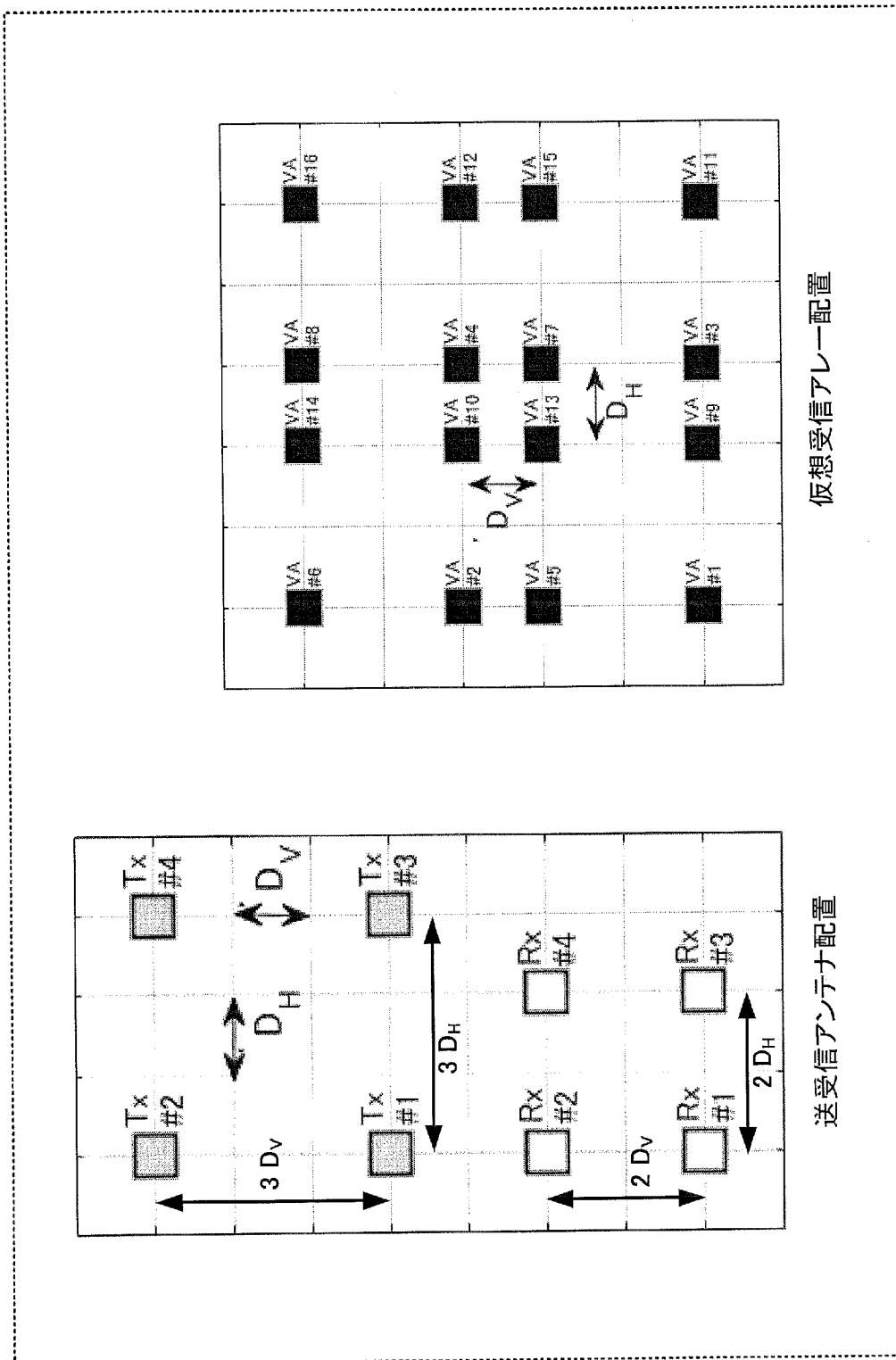
[図32]



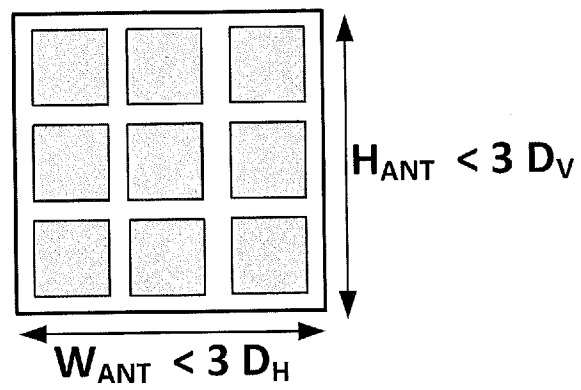
[図33]



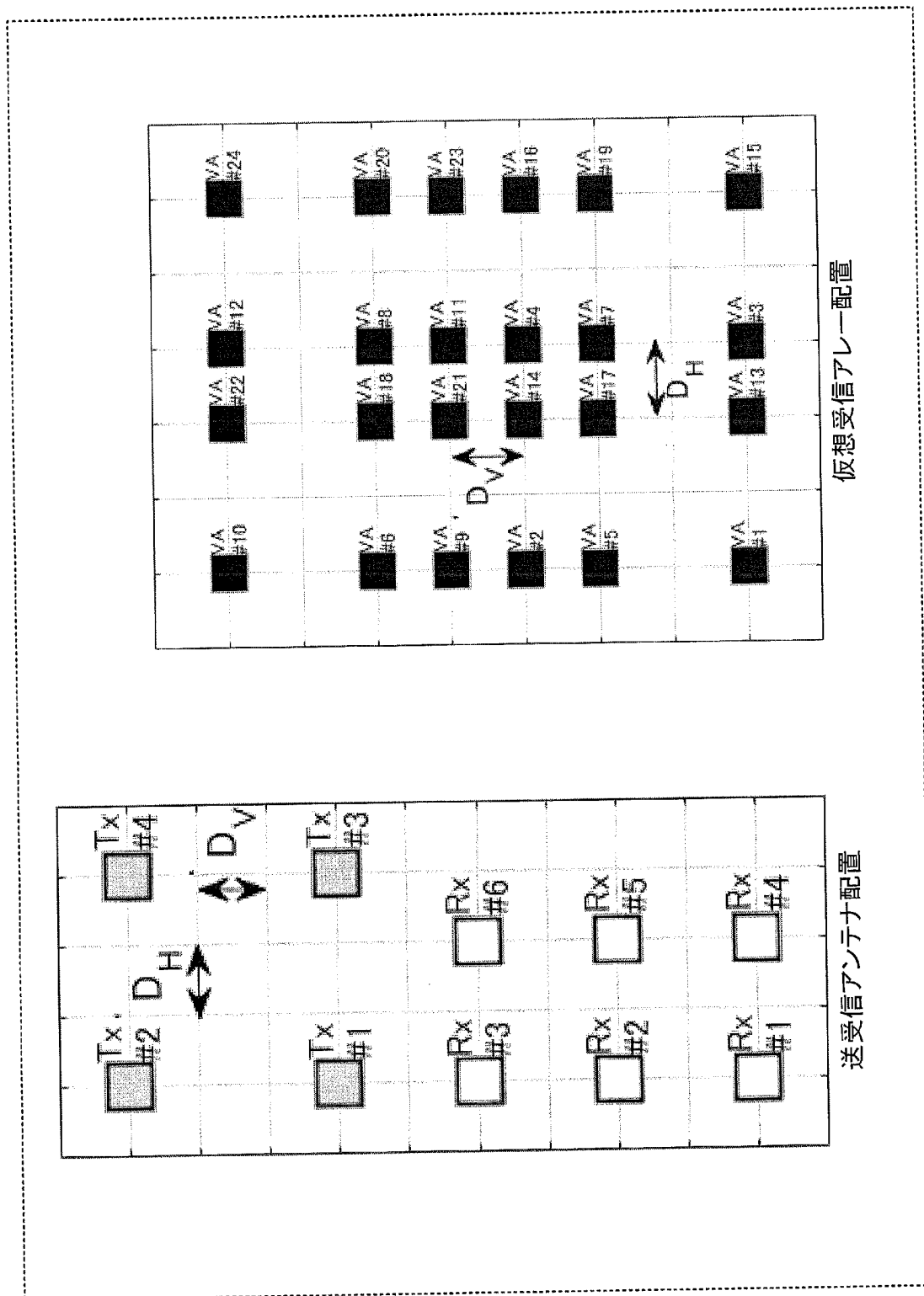
[図34]



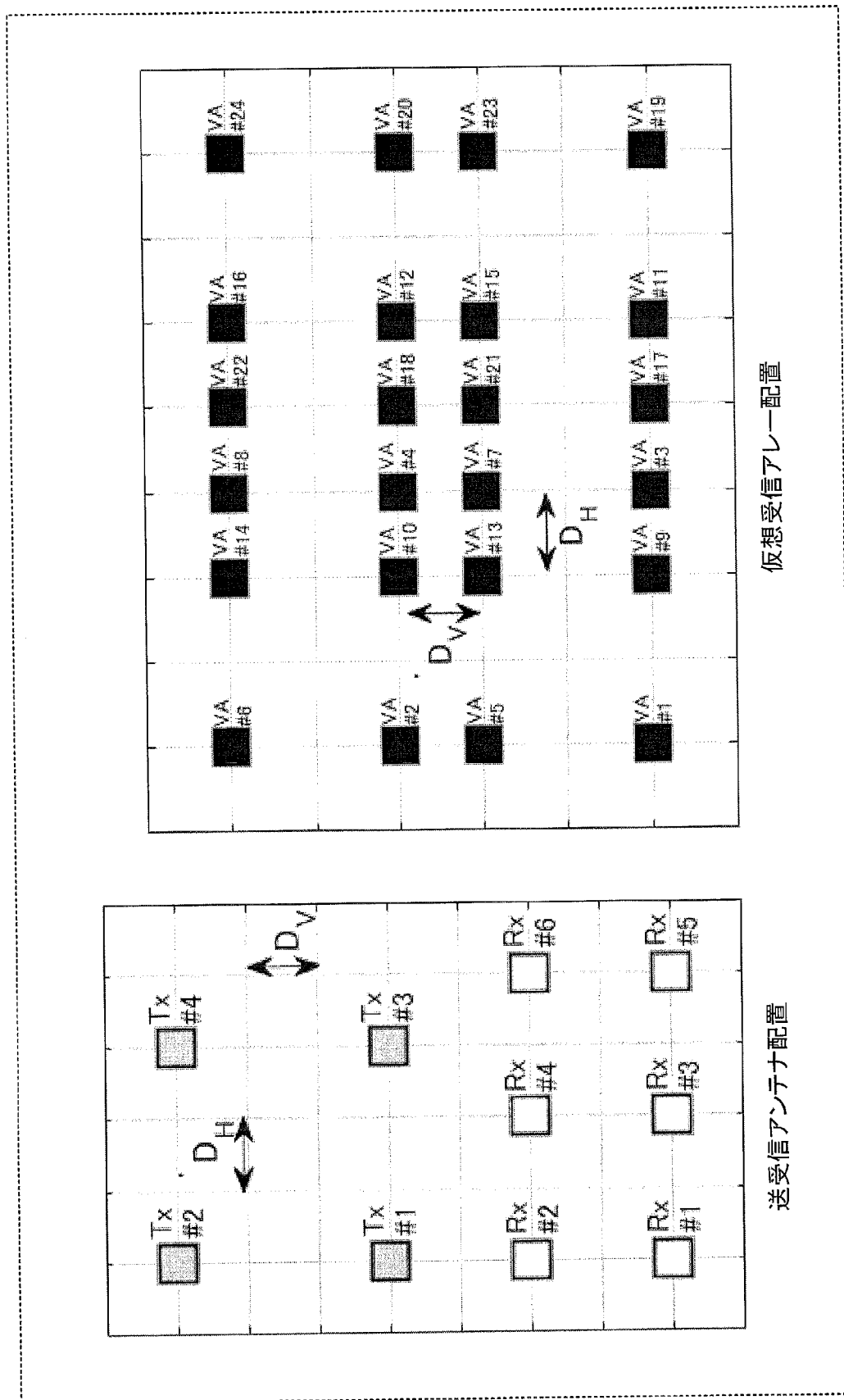
[図35]



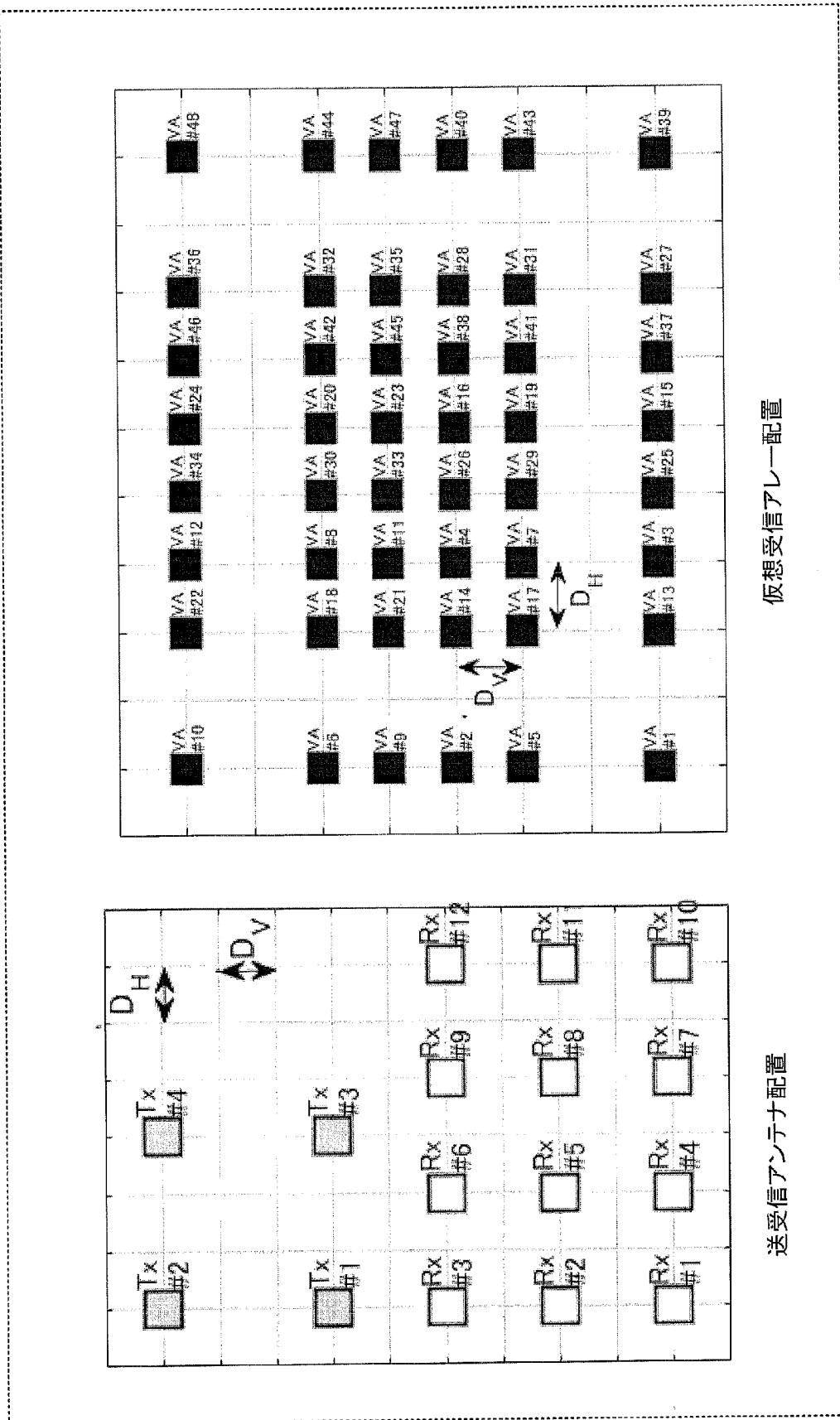
[図36]



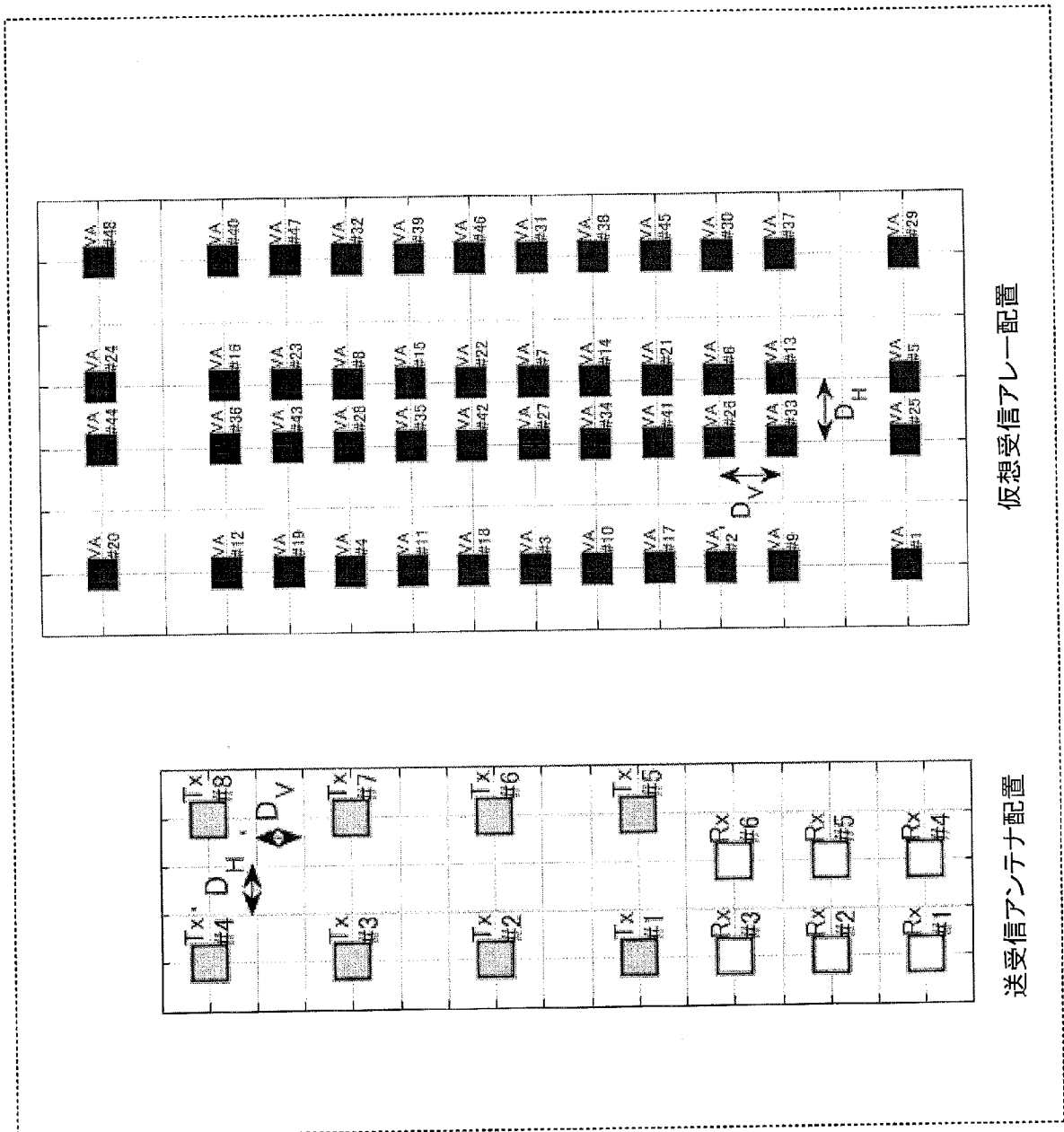
[図37]



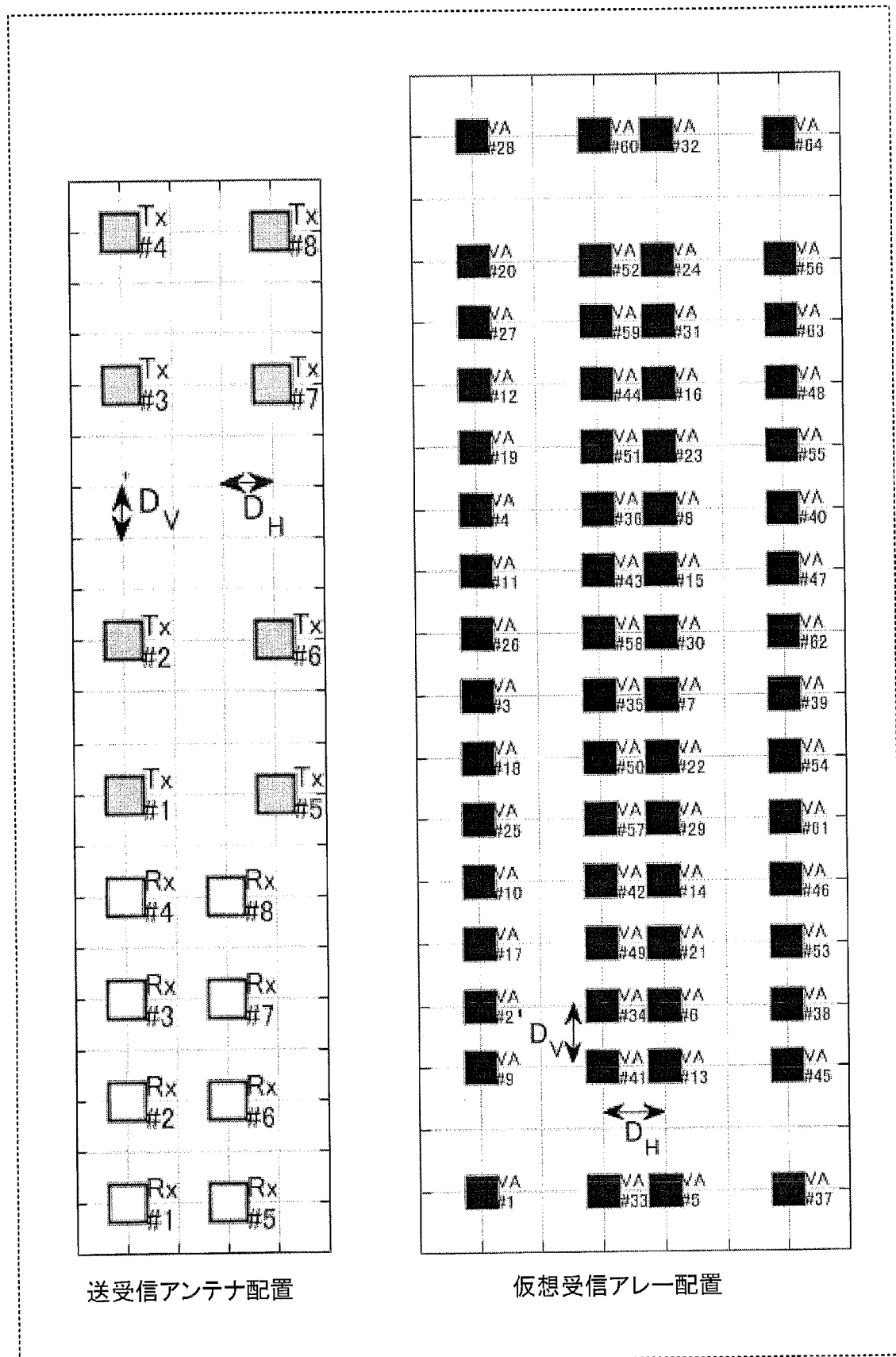
[図38]



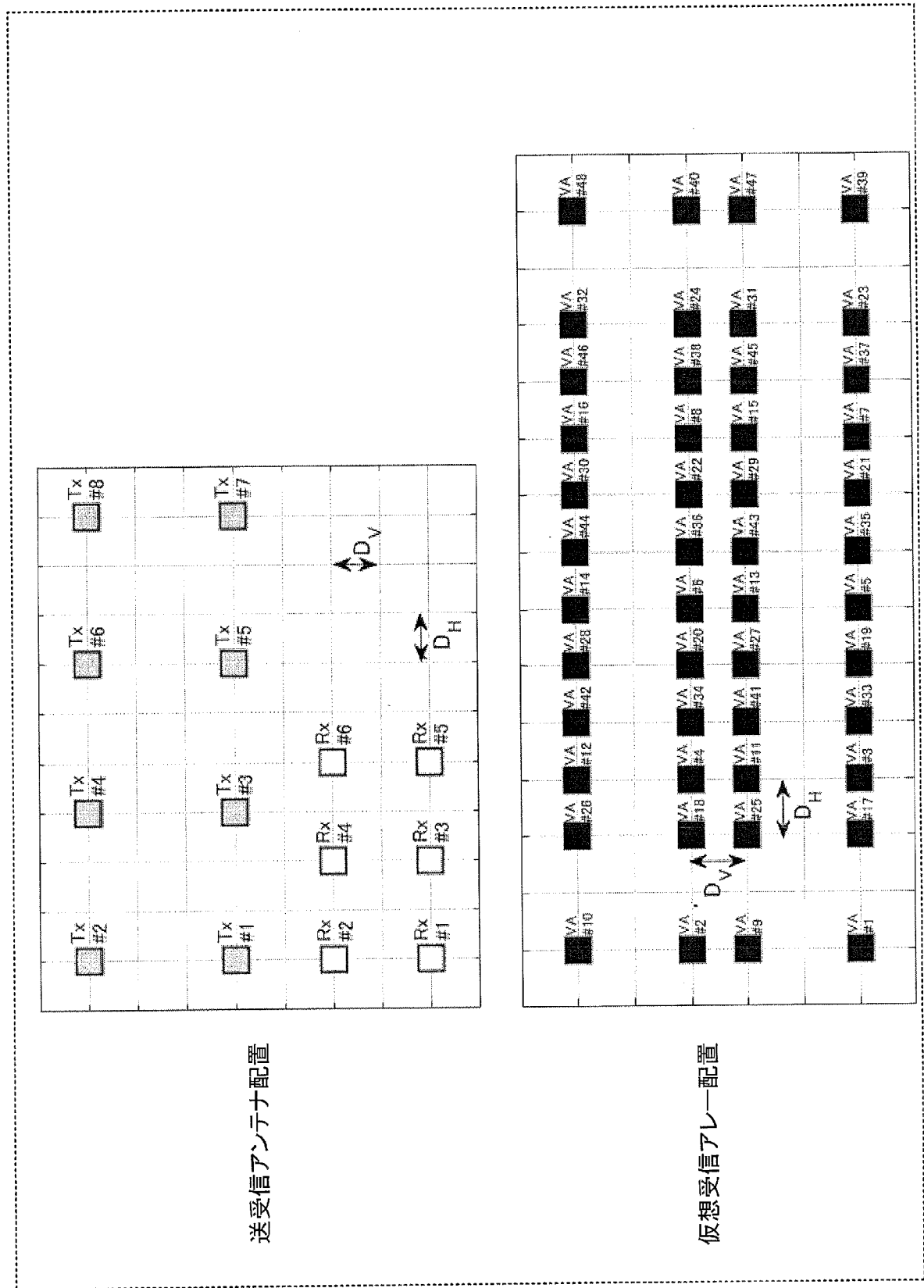
[図39]



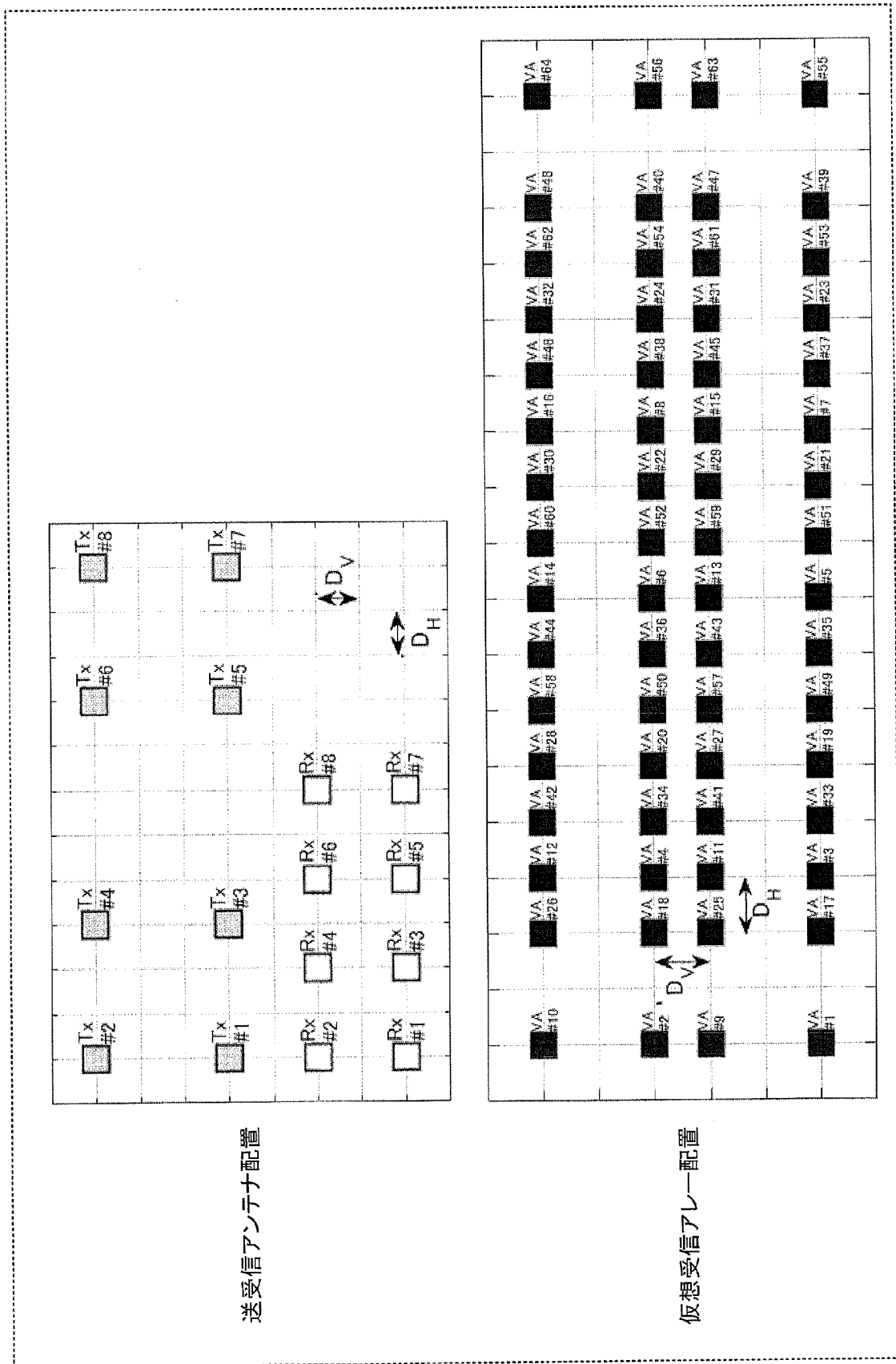
[図40]



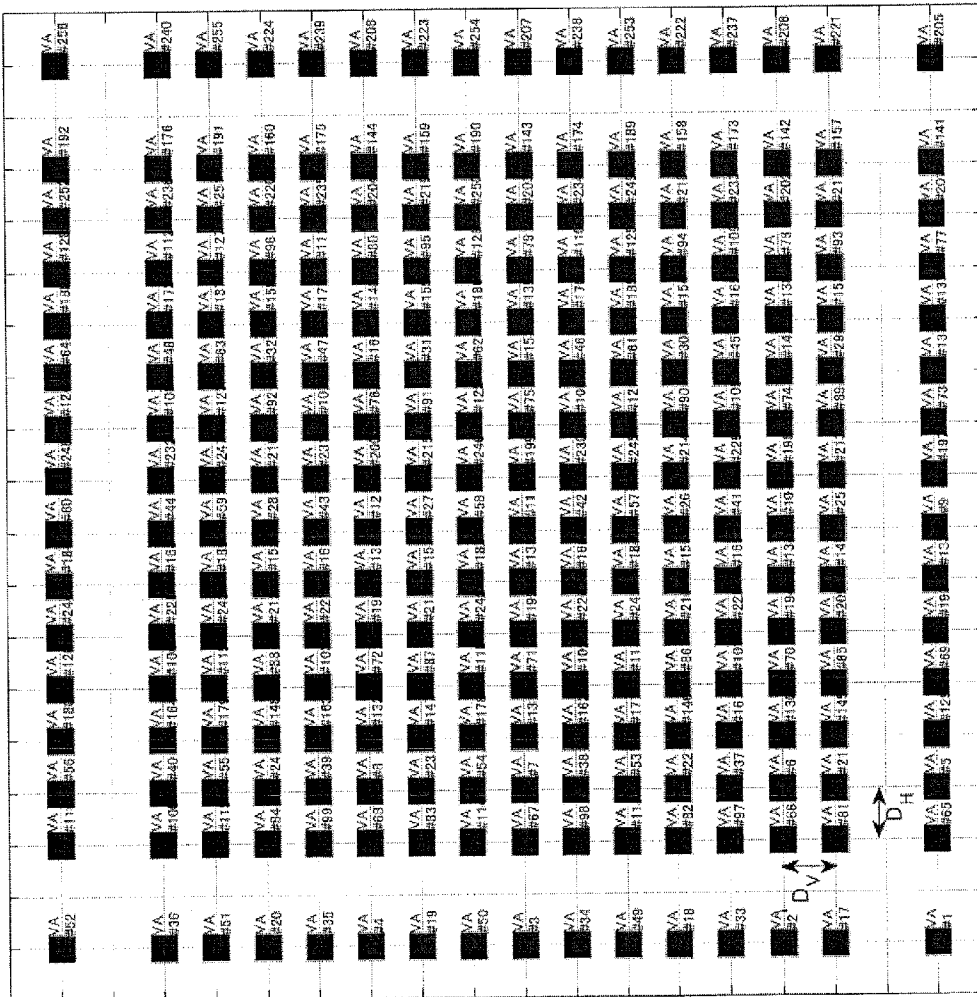
[図41]



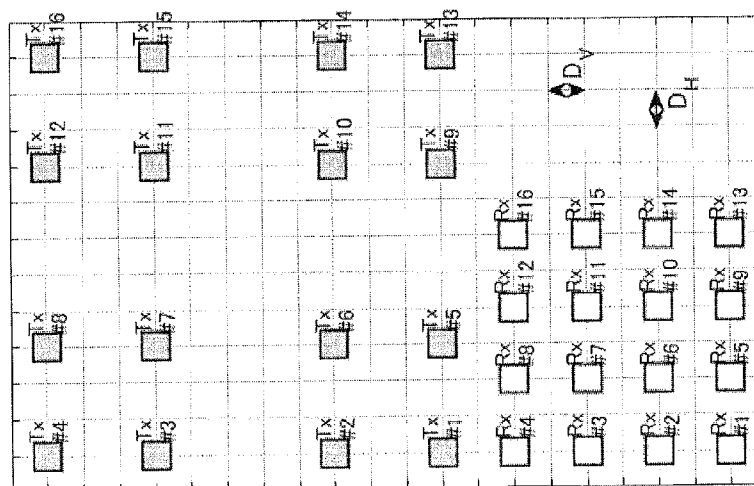
[図42]



[図43]

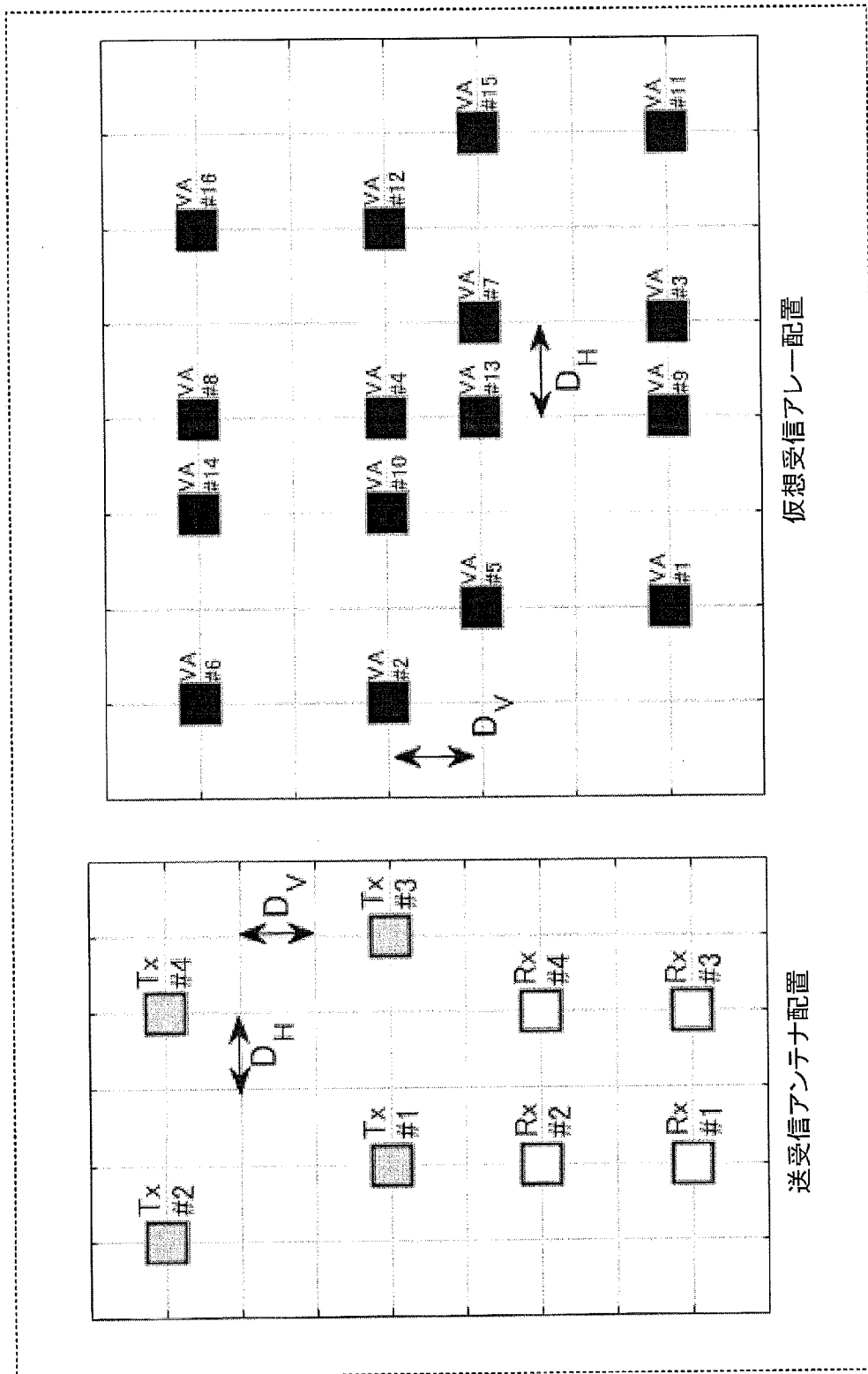


仮想受信アレー配置

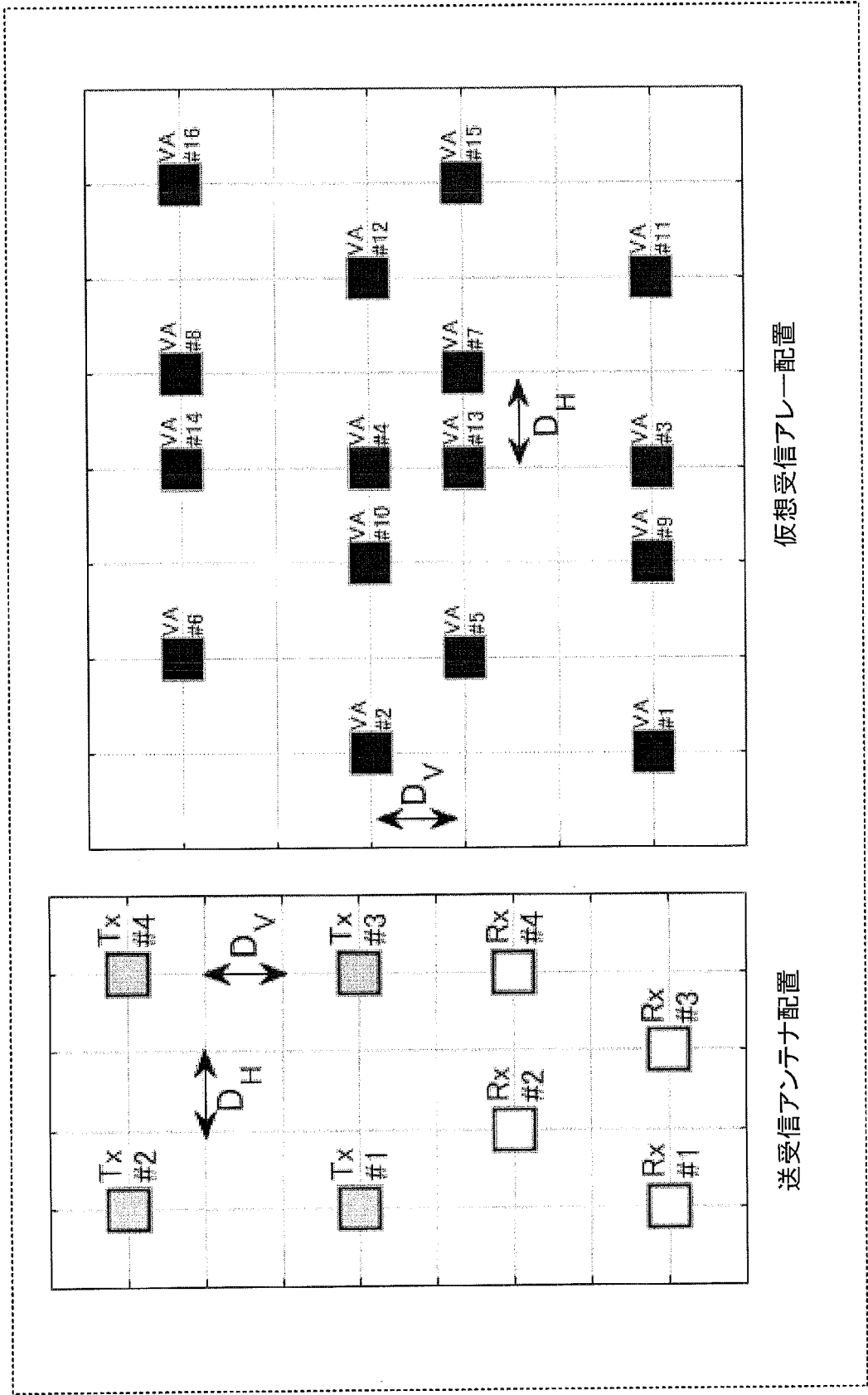


送信アンテナ配置

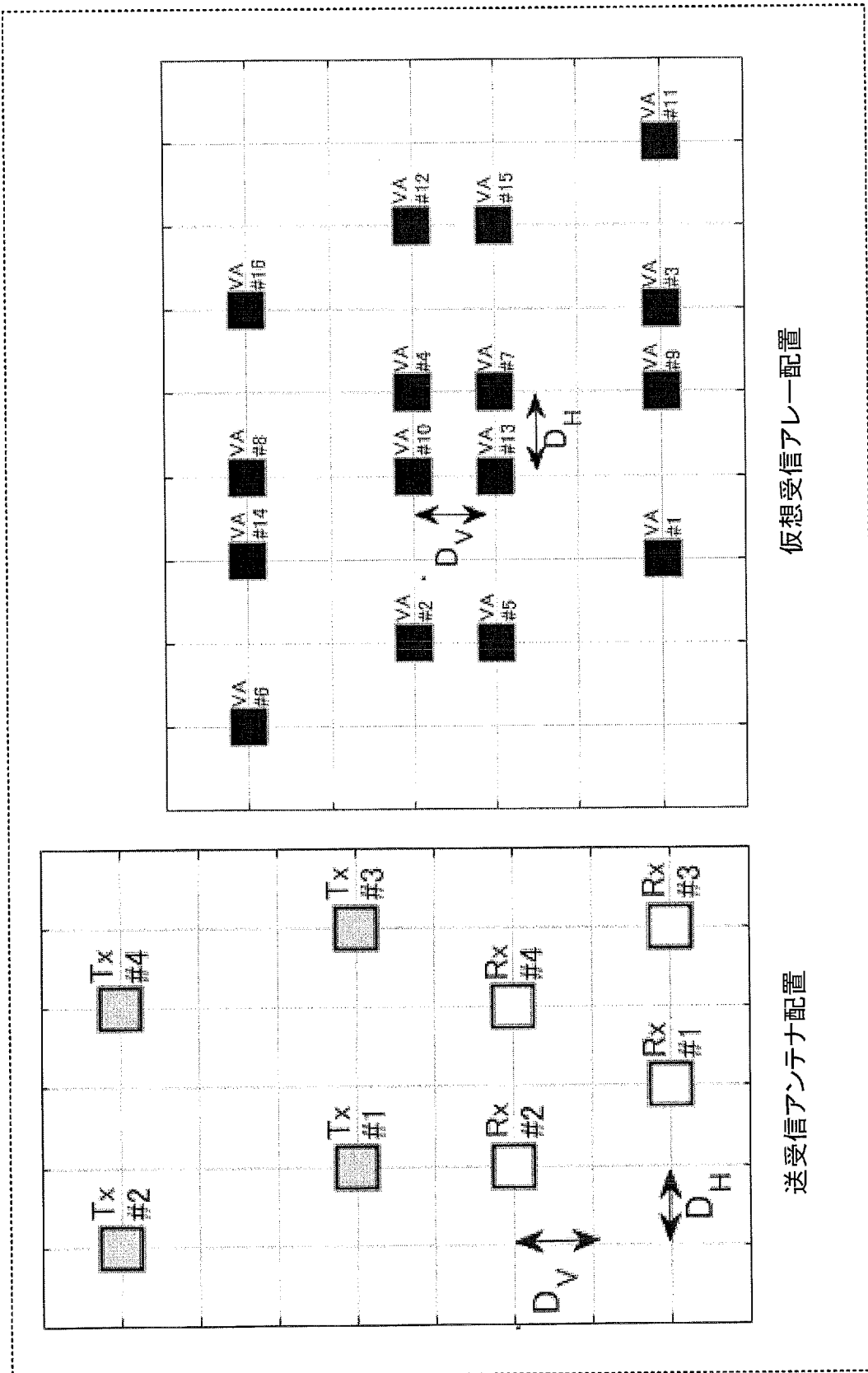
[図44]



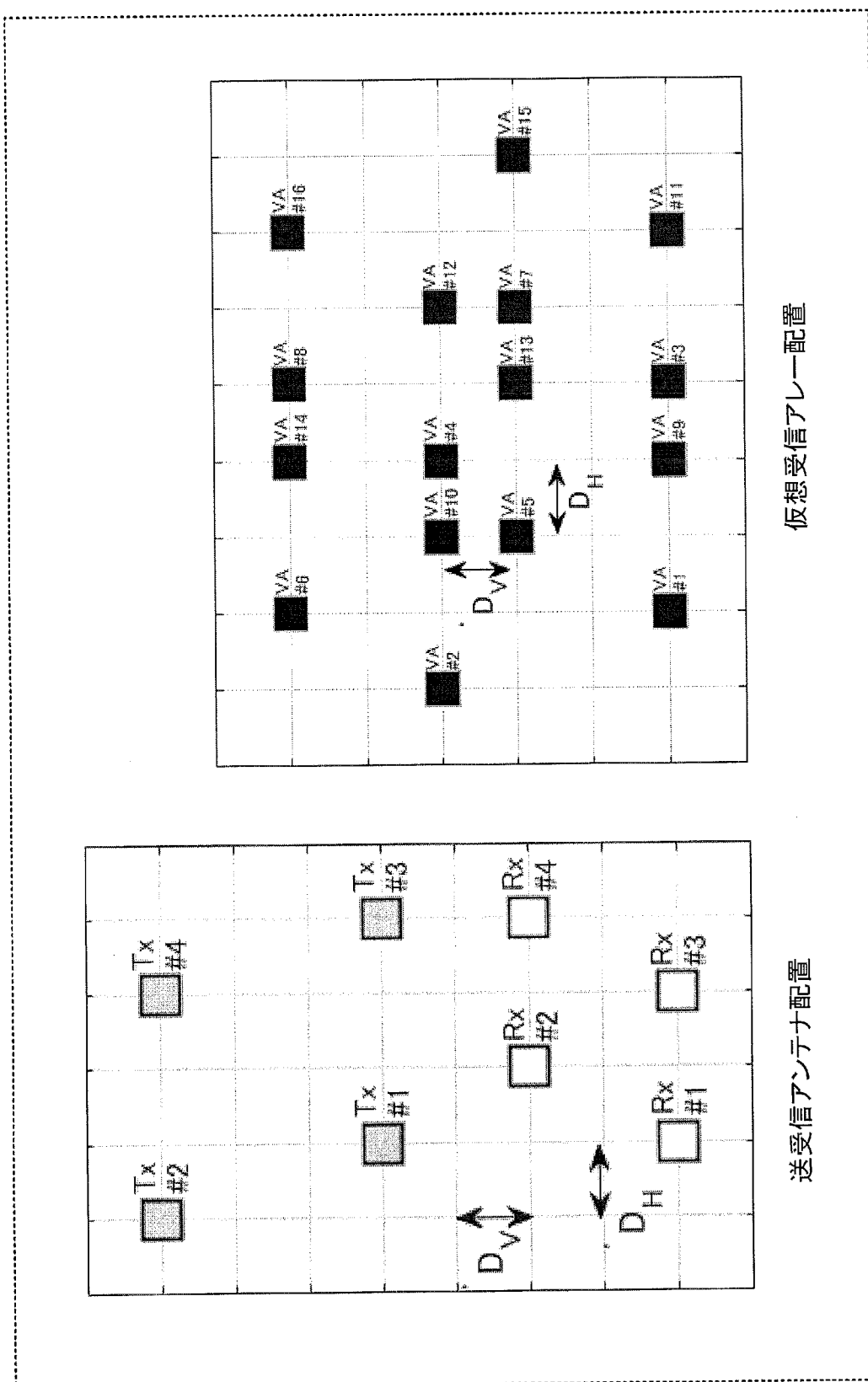
[図45]



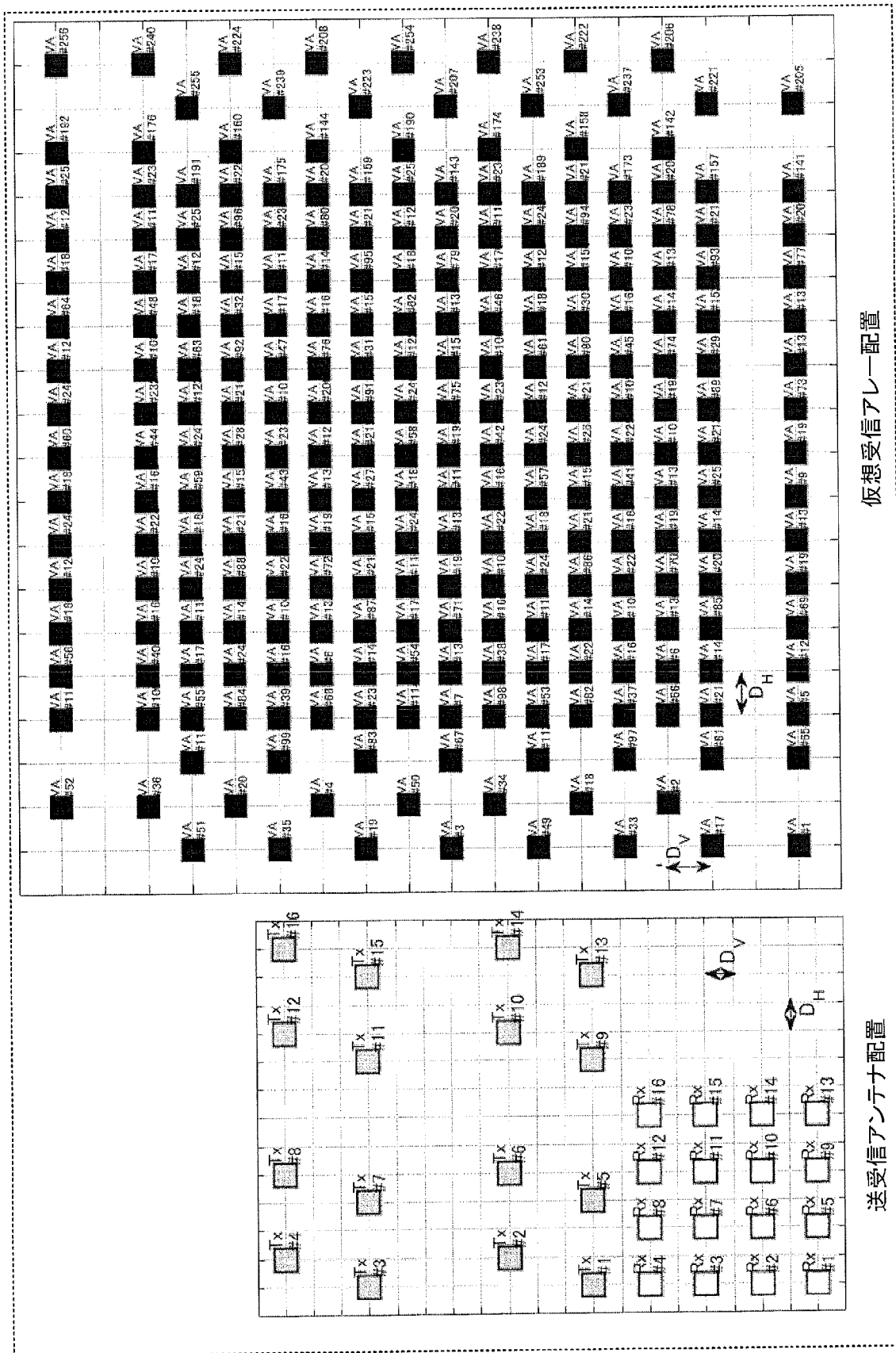
[図46]



[図47]



[図48]



仮想受信アレー配置

送信アンテナ配置

[図49]

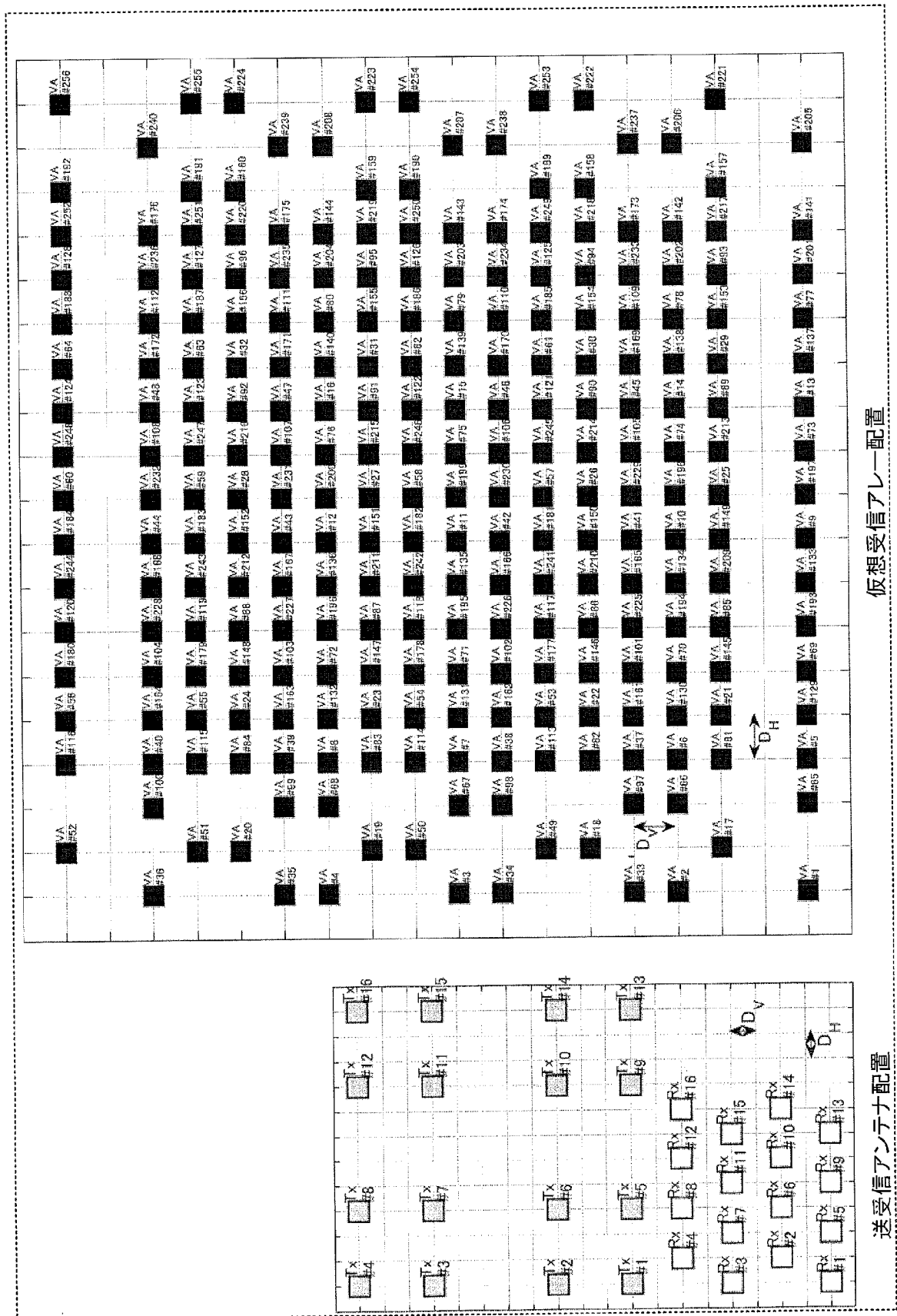
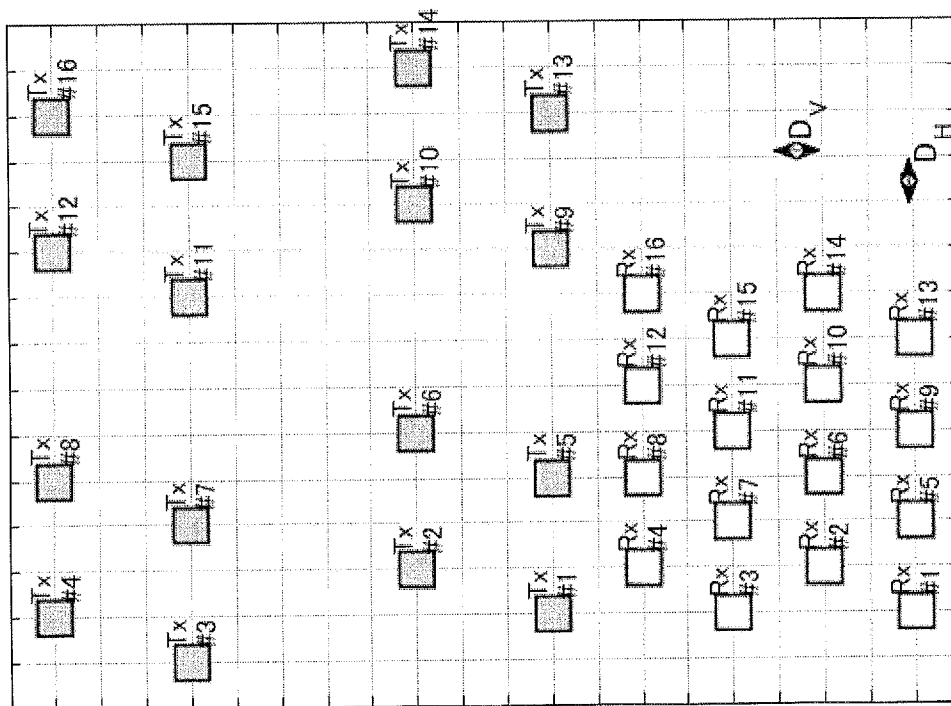
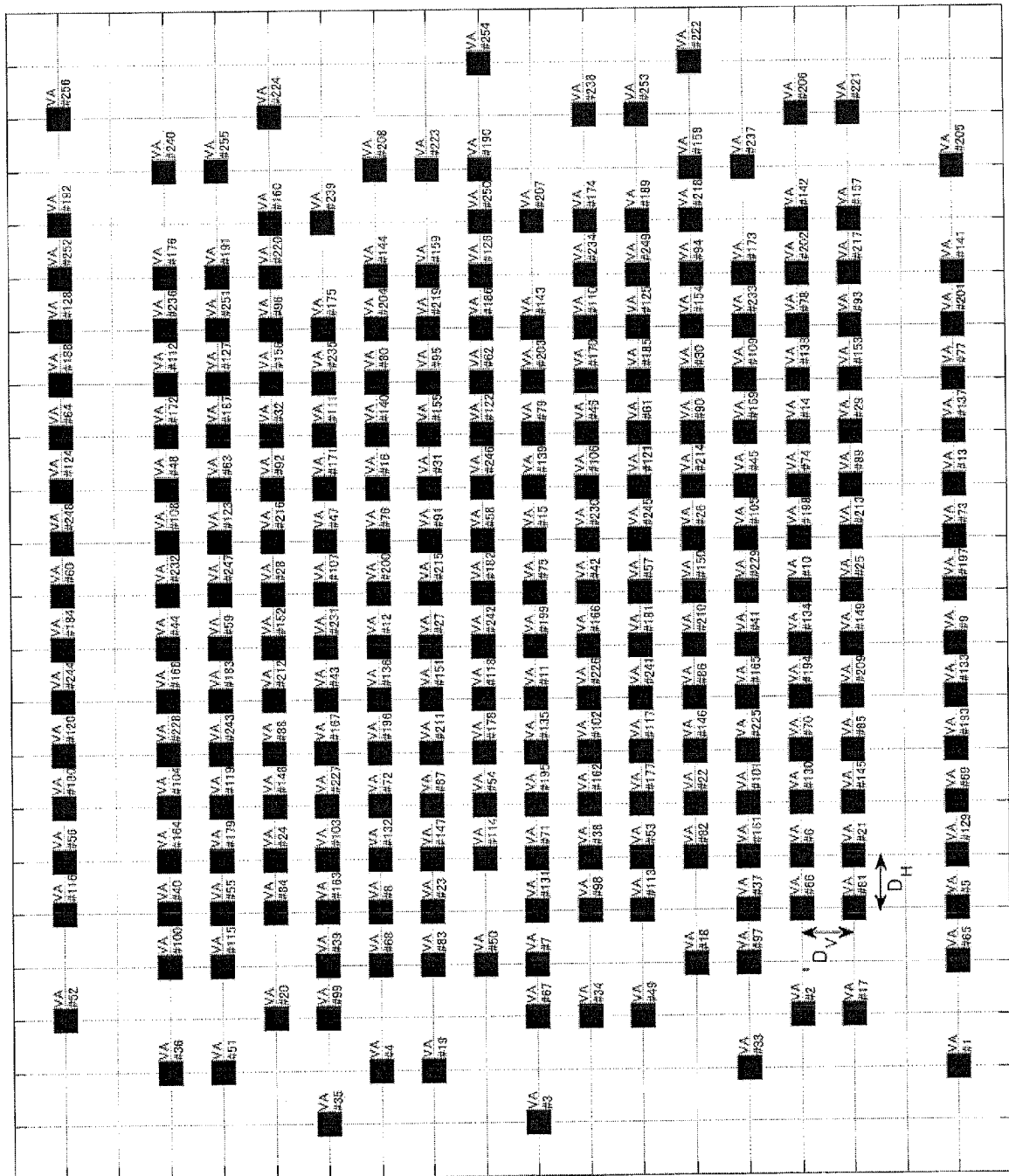


Diagram illustrating a grid of points (VA #1 to VA #258) arranged in a regular pattern. The grid is bounded by a dashed line. The points are labeled with their respective VA numbers. The grid is divided into four quadrants by a vertical dashed line and a horizontal dashed line. The top-left quadrant contains points VA #1 to VA #127. The top-right quadrant contains points VA #128 to VA #258. The bottom-left quadrant contains points VA #1 to VA #127. The bottom-right quadrant contains points VA #128 to VA #258. The grid is labeled with 'D_H' at the top and 'D_V' at the bottom.

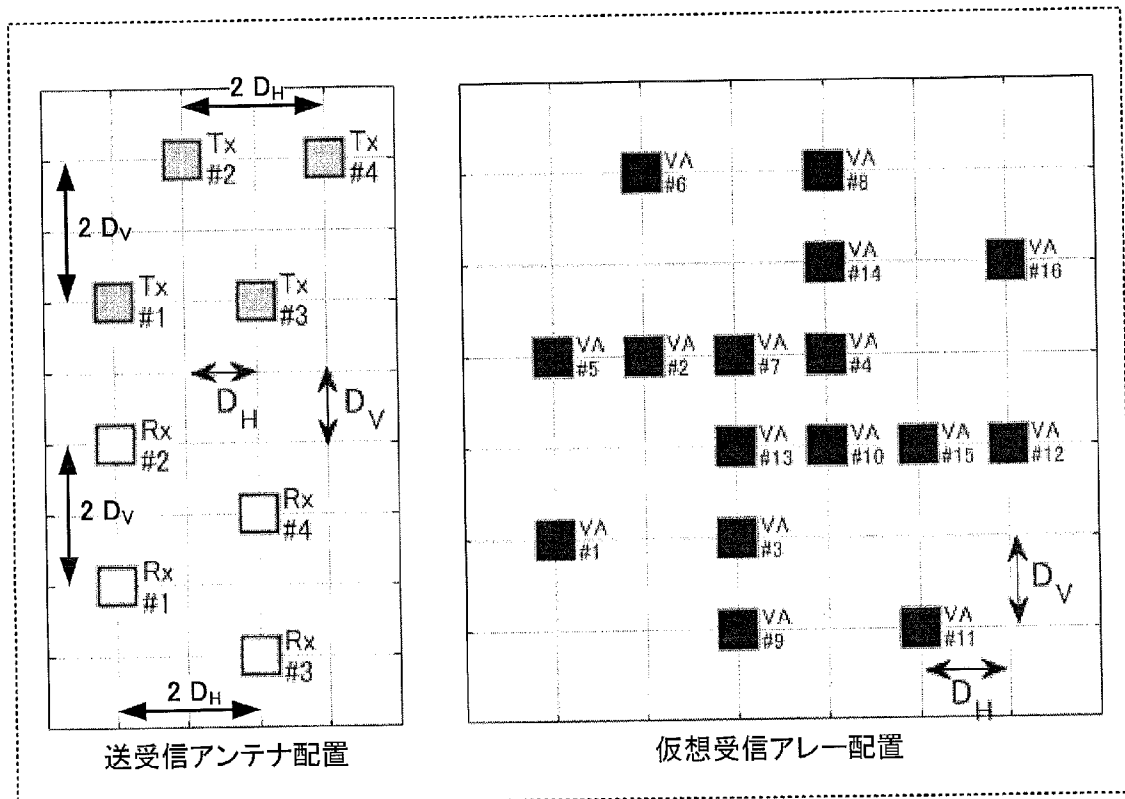
[図51A]



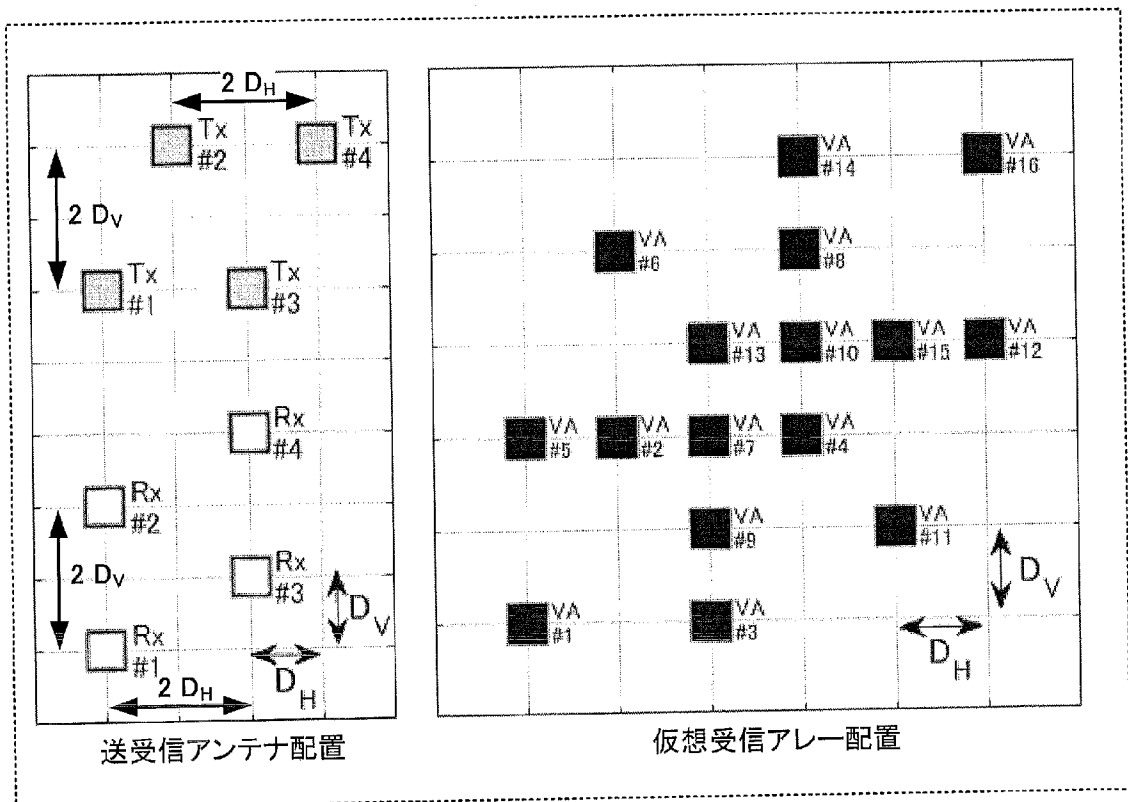
[図51B]



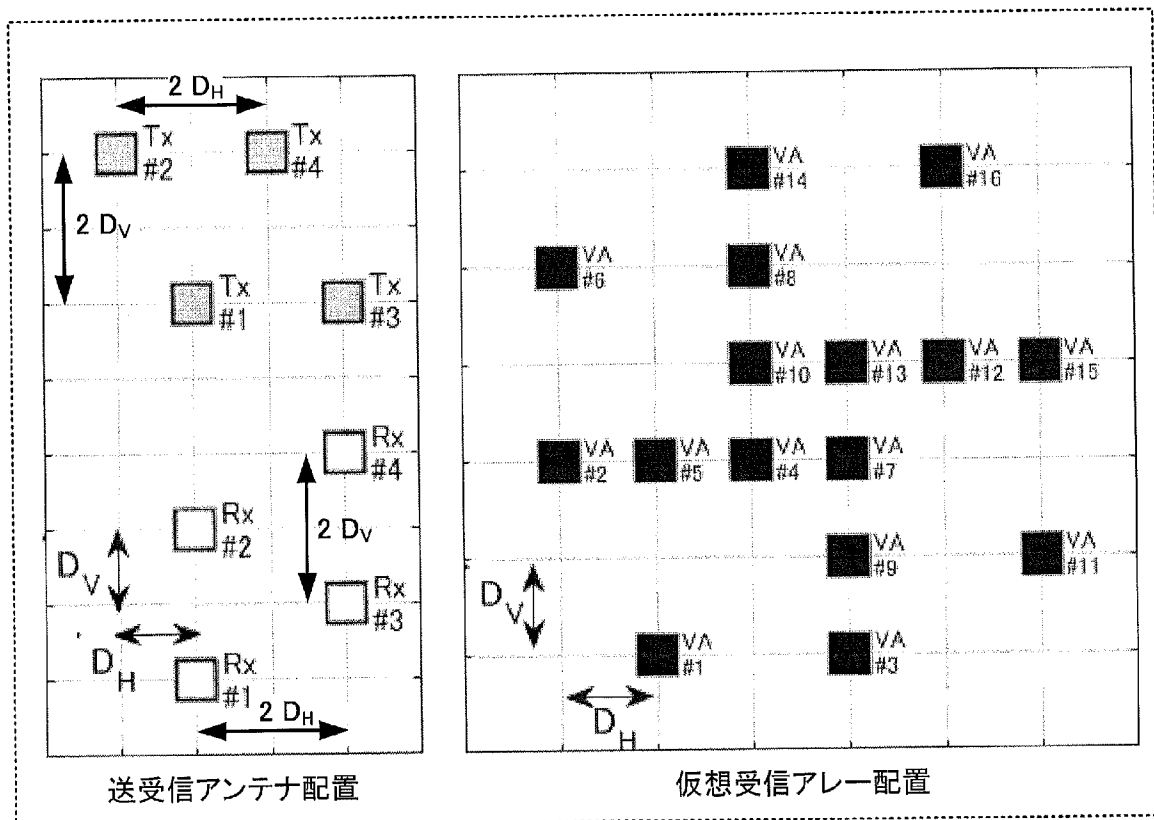
[図52A]



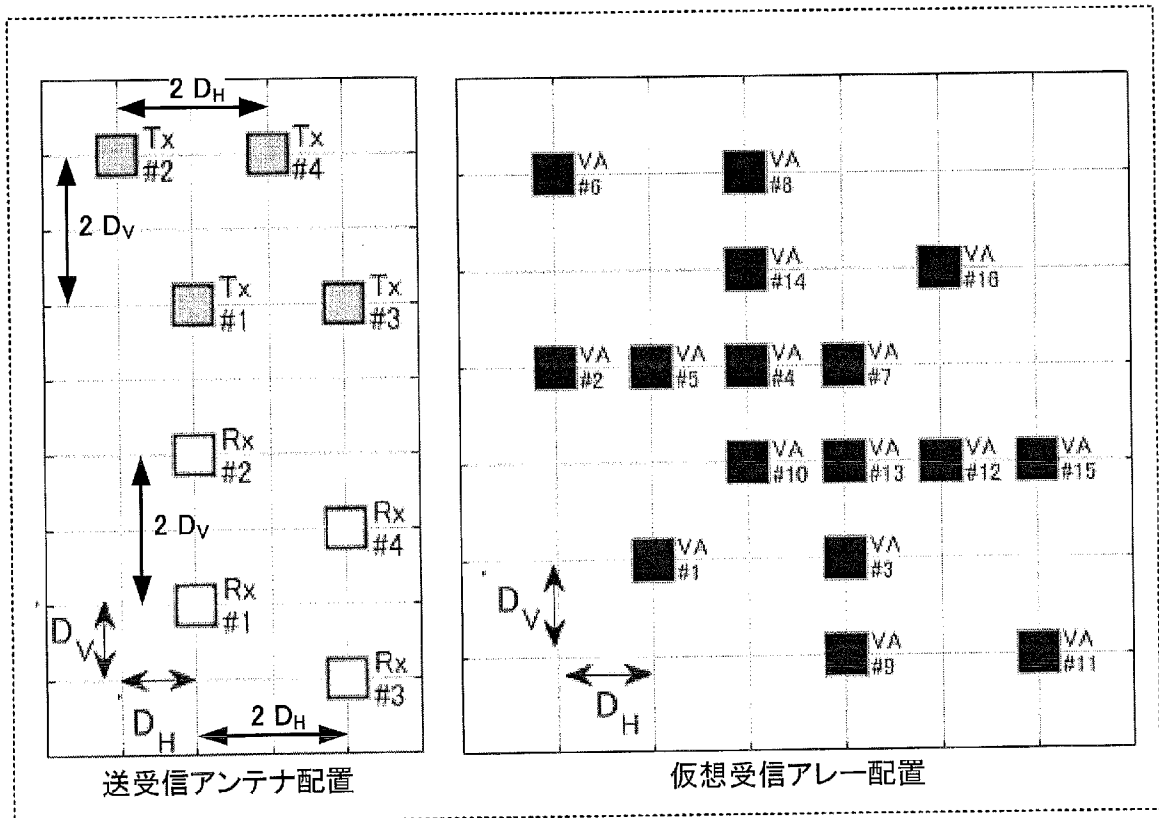
[図52B]



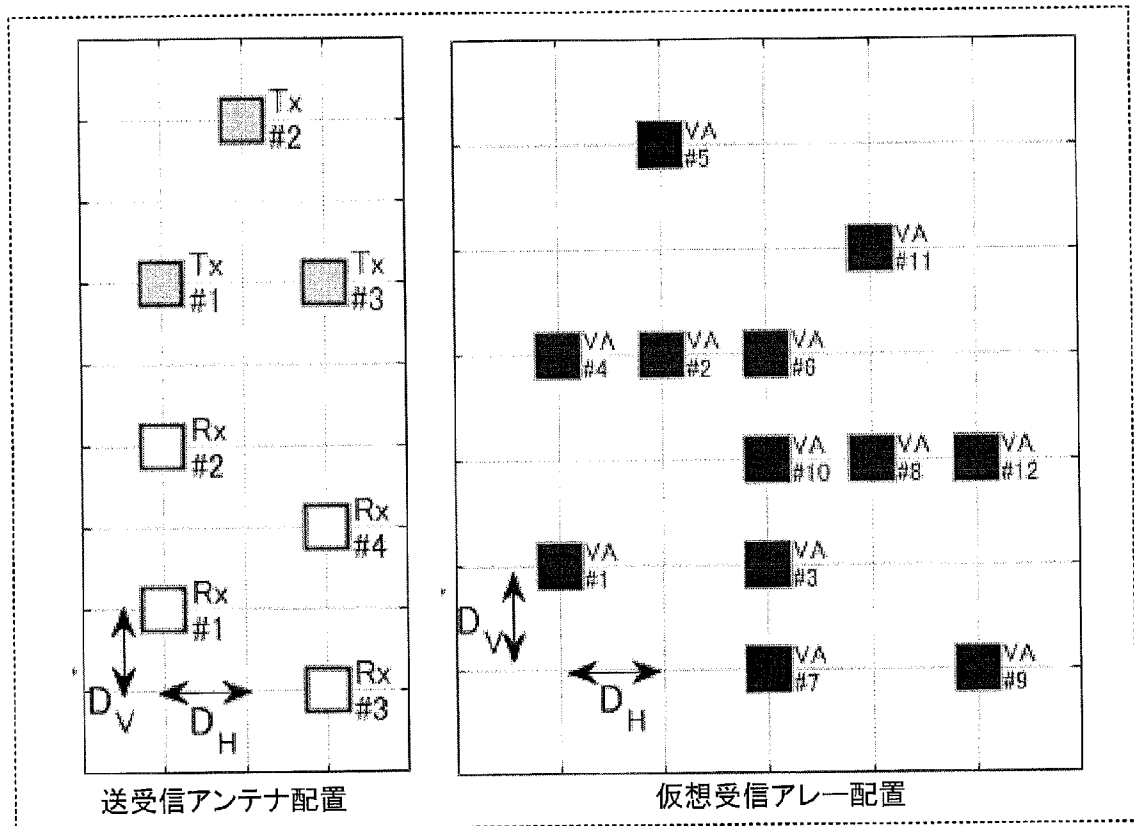
[図52C]



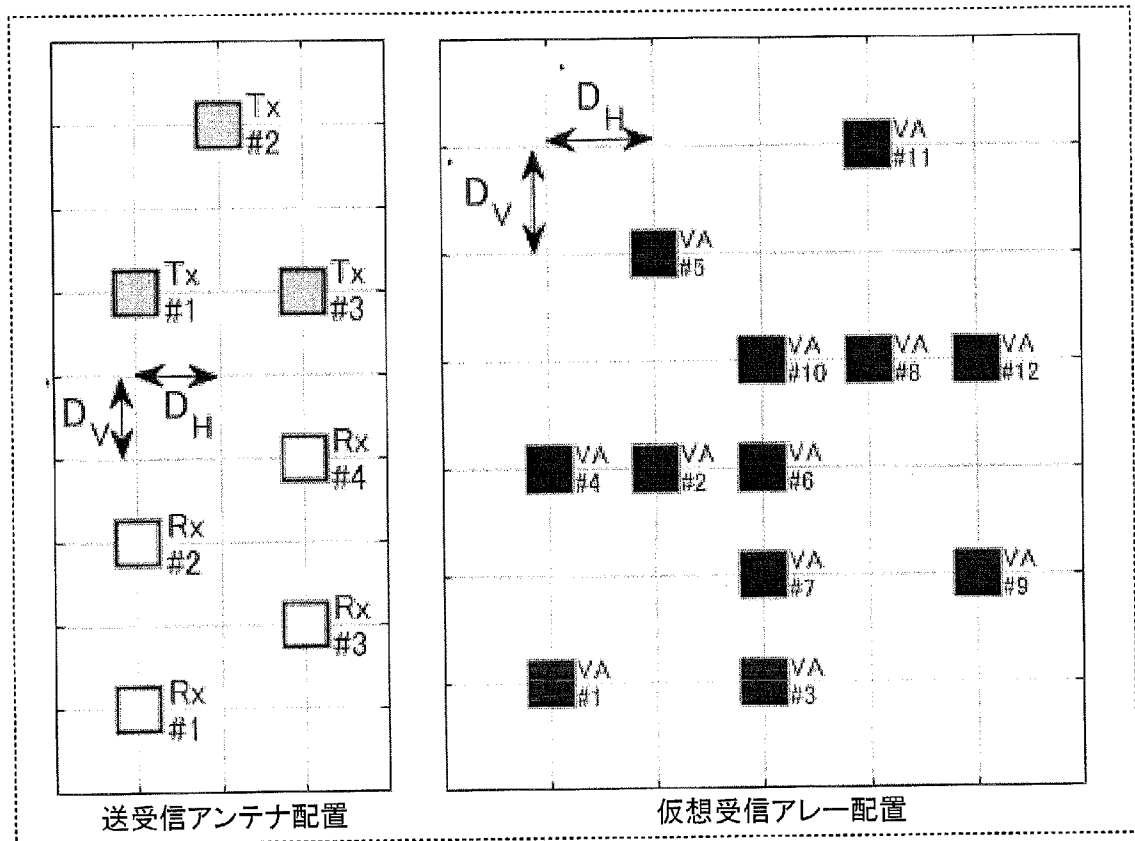
[図52D]



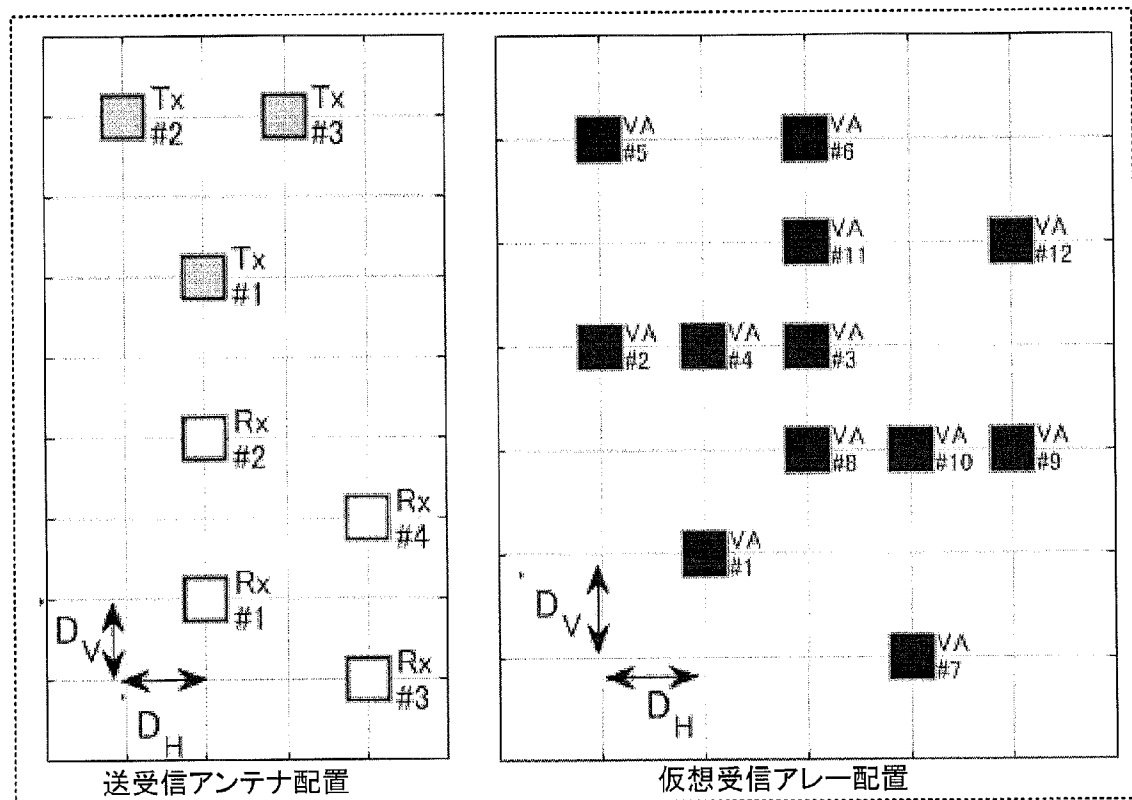
[図53A]



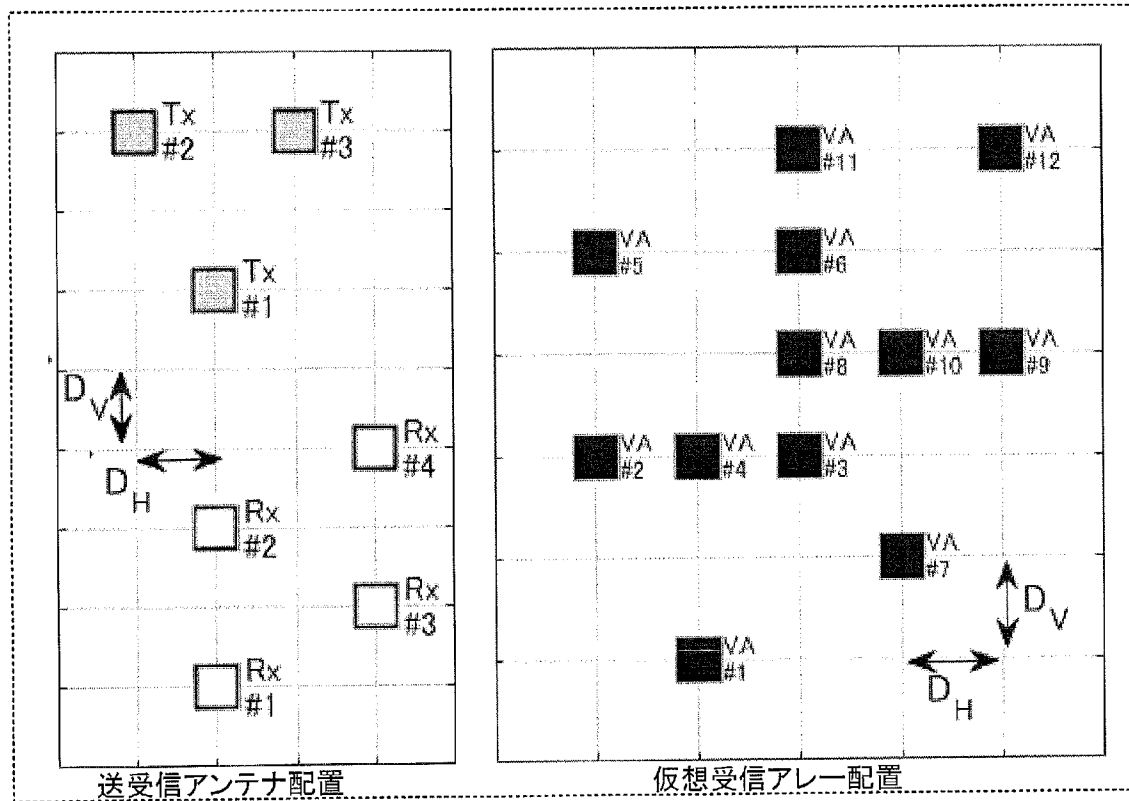
[図53B]



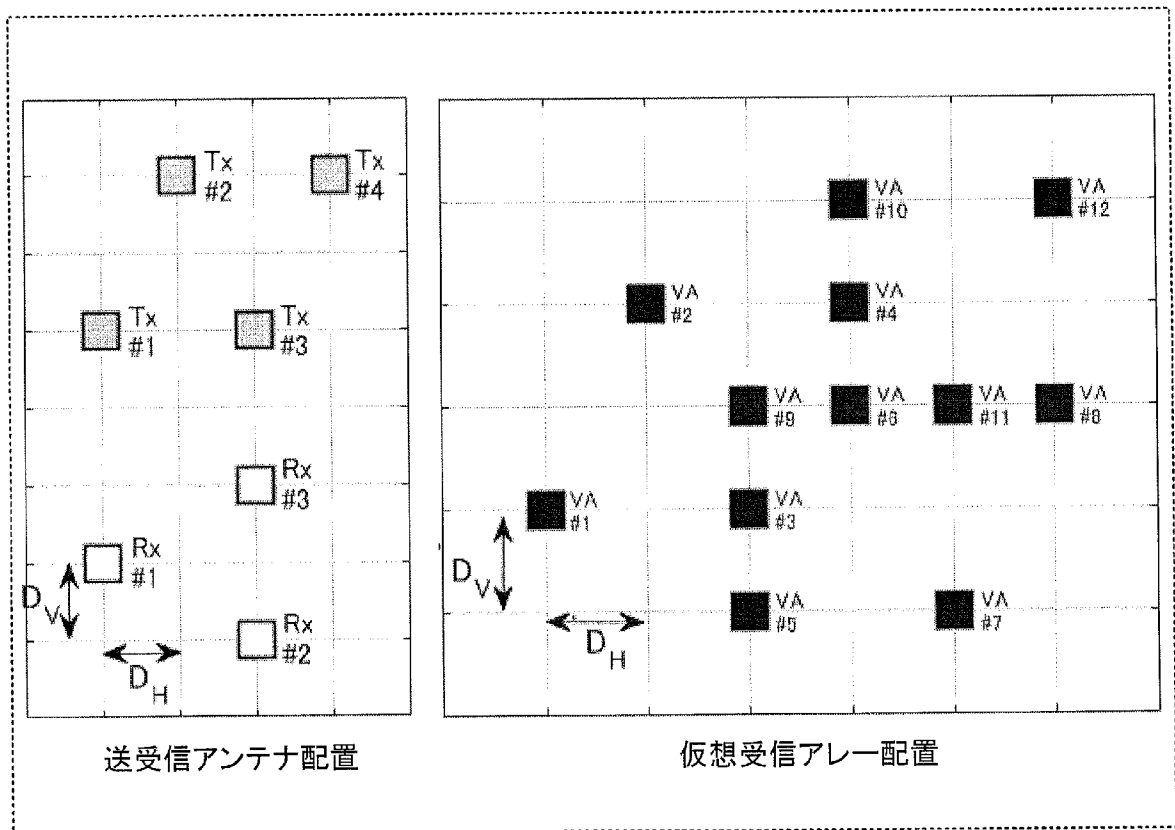
[図53C]



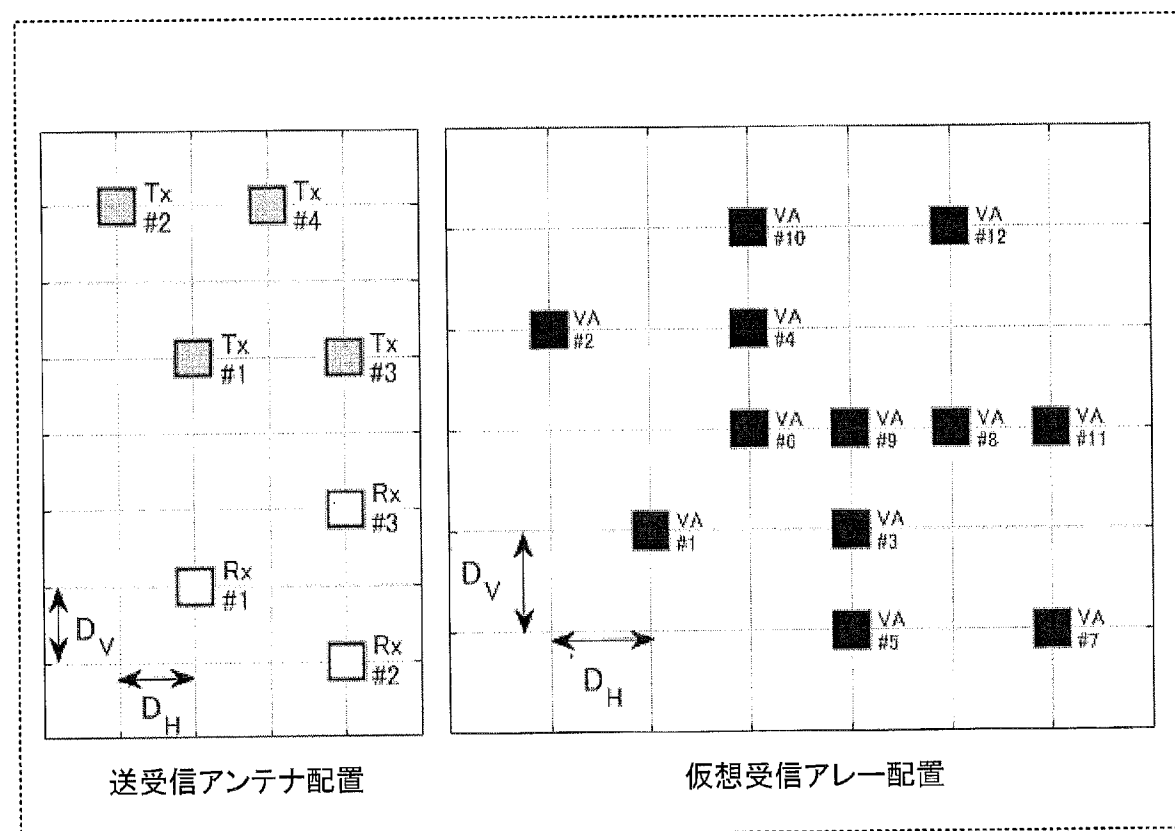
[図53D]



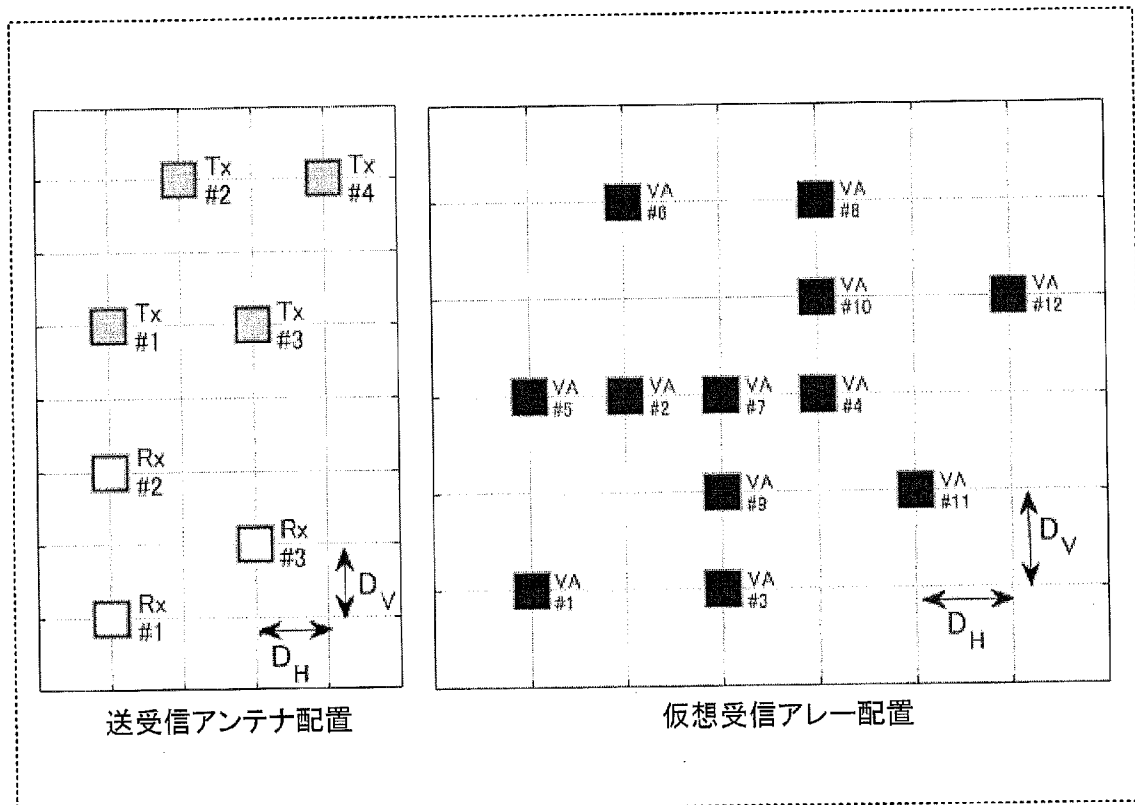
[図54A]



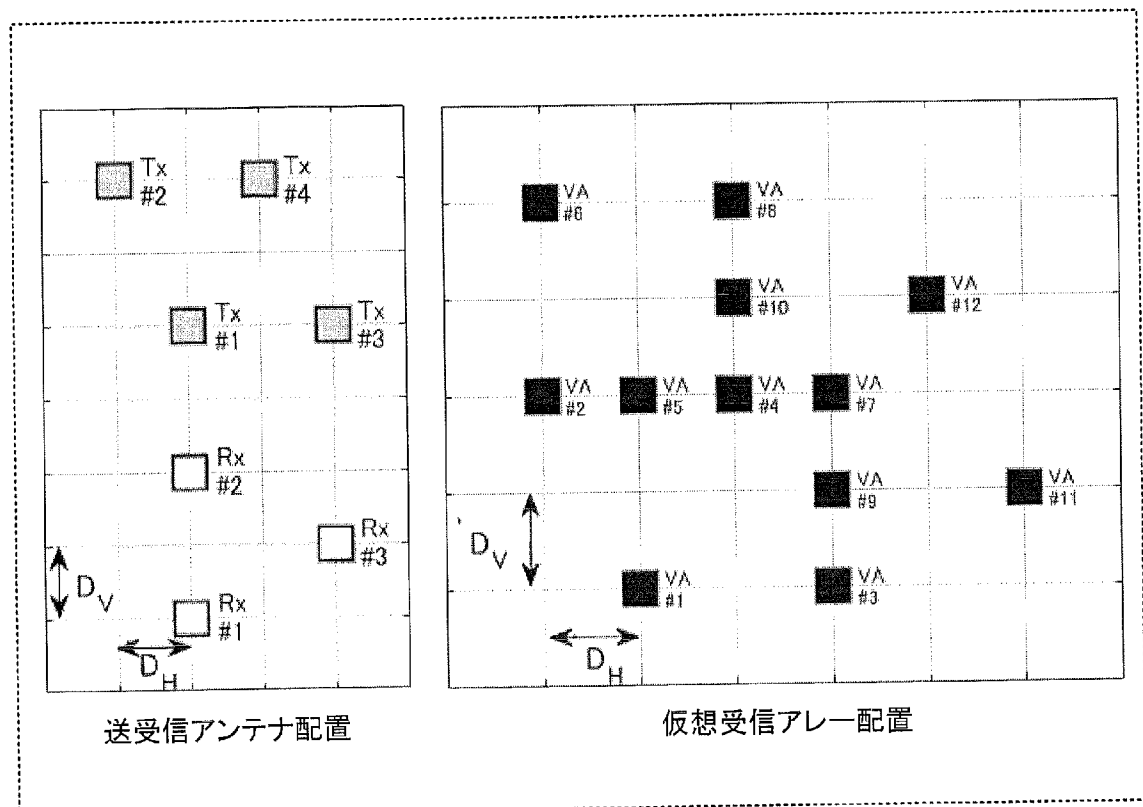
[図54B]



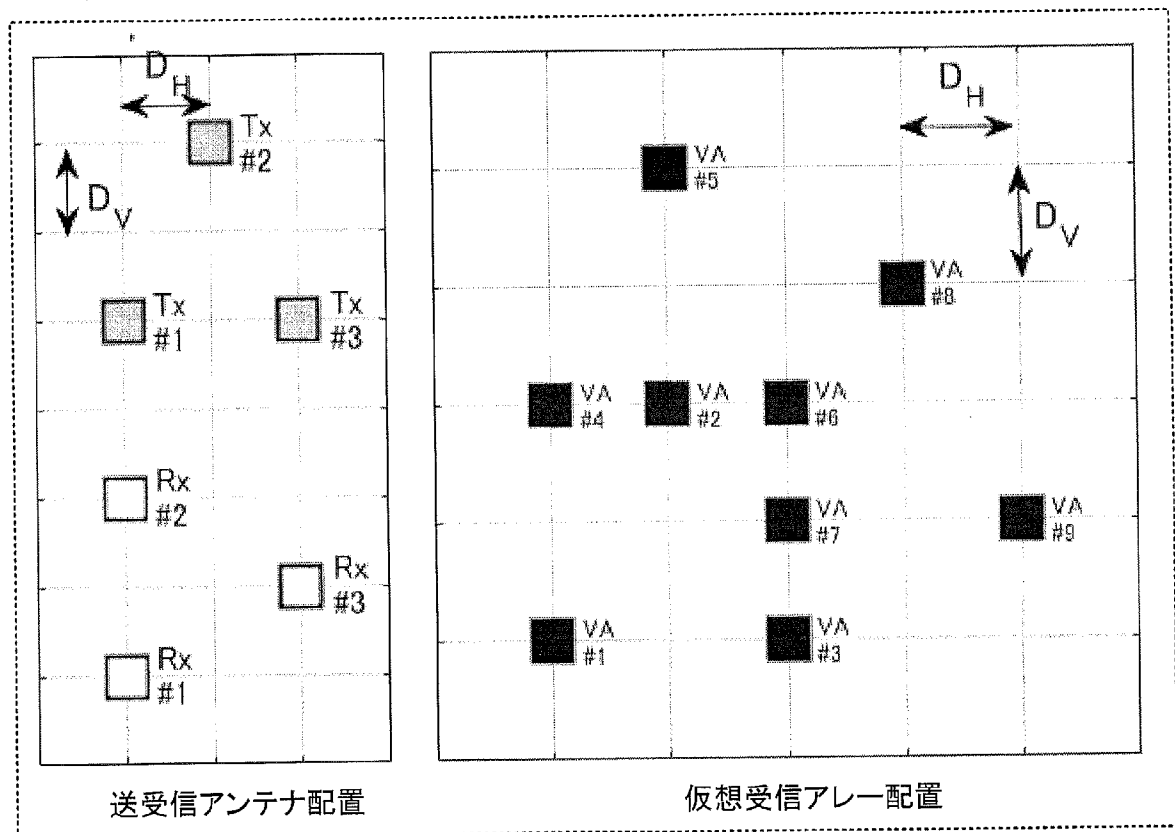
[図54C]



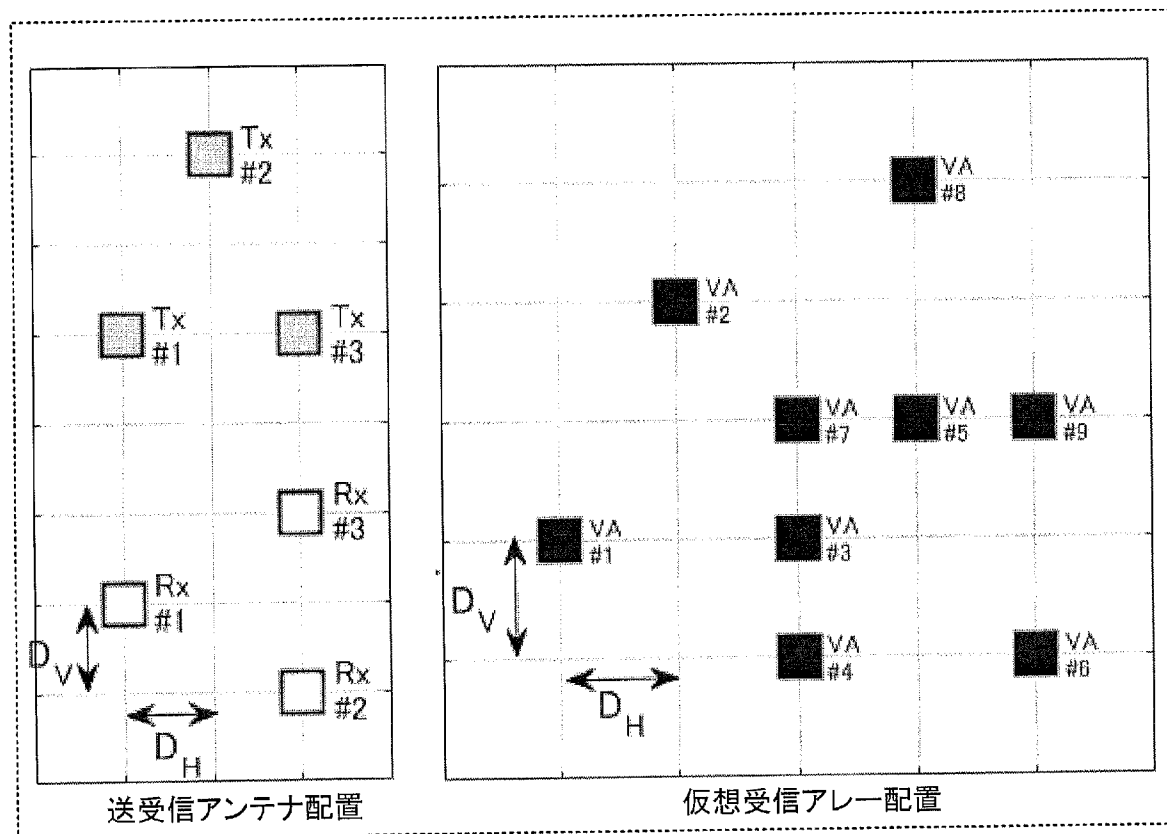
[図54D]



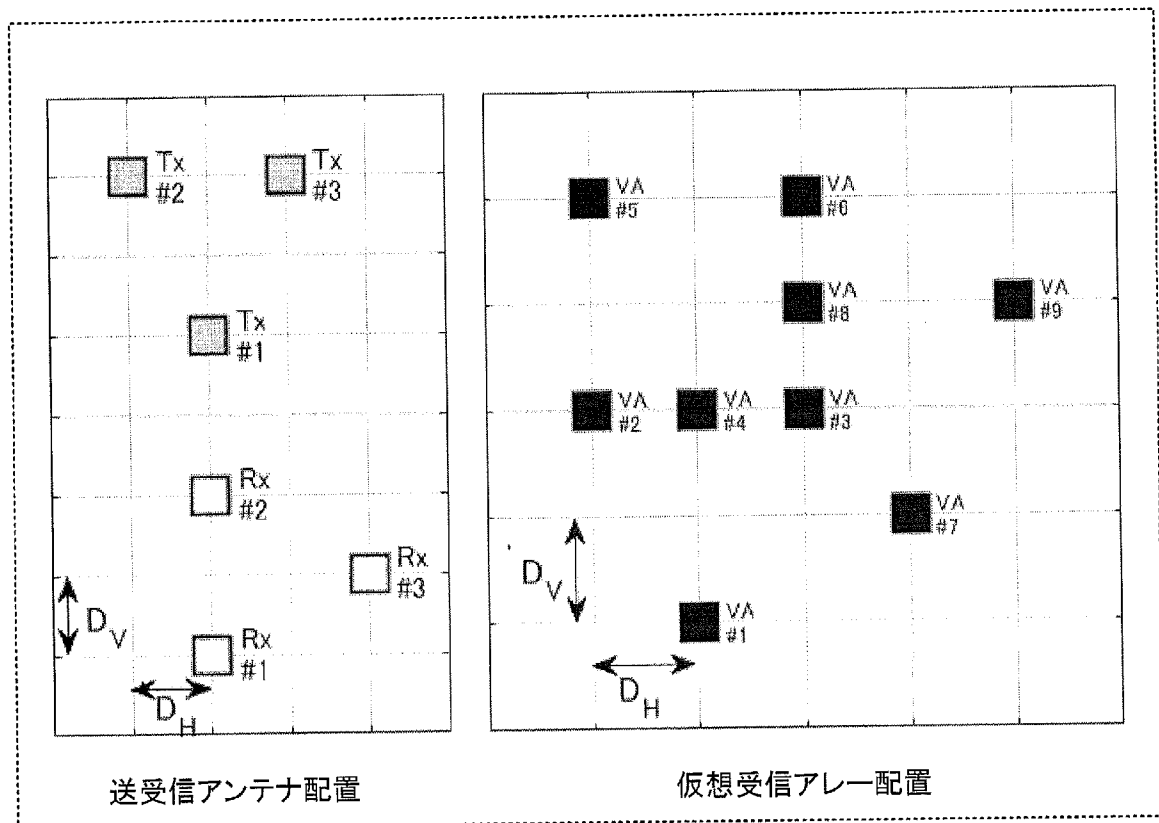
[図55A]



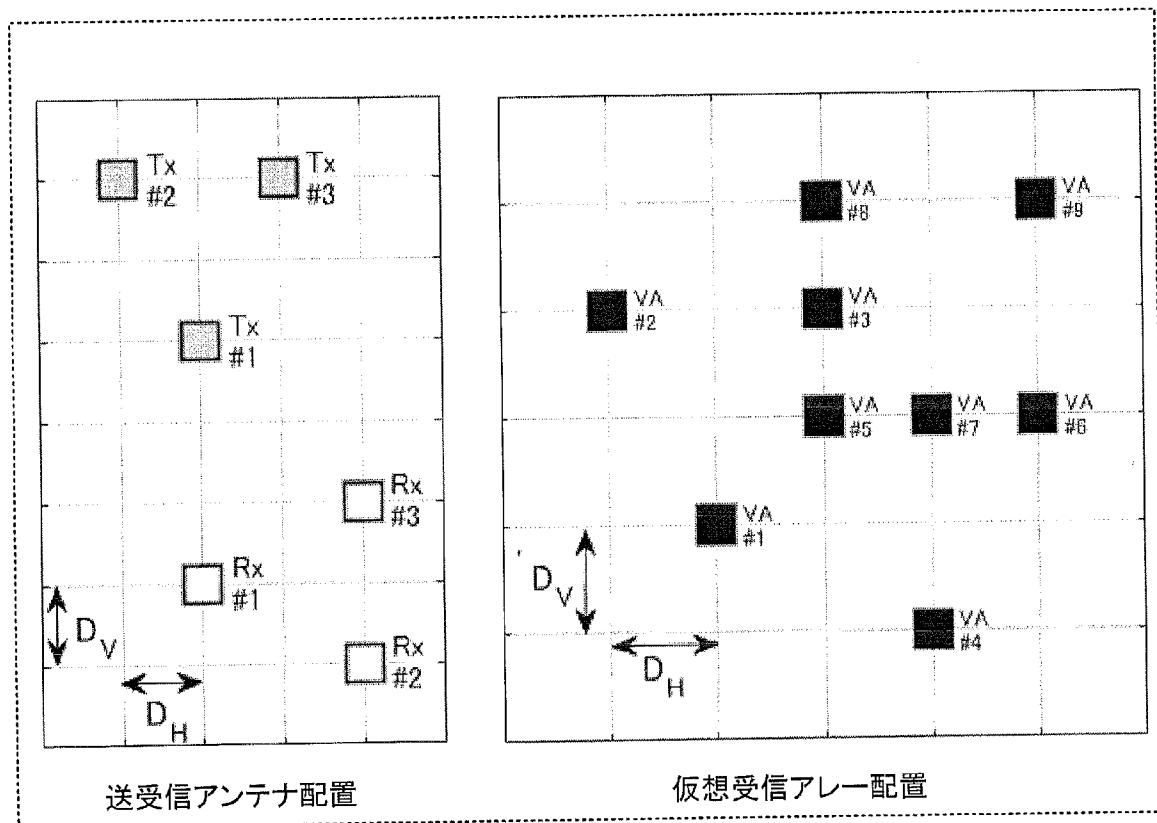
[図55B]



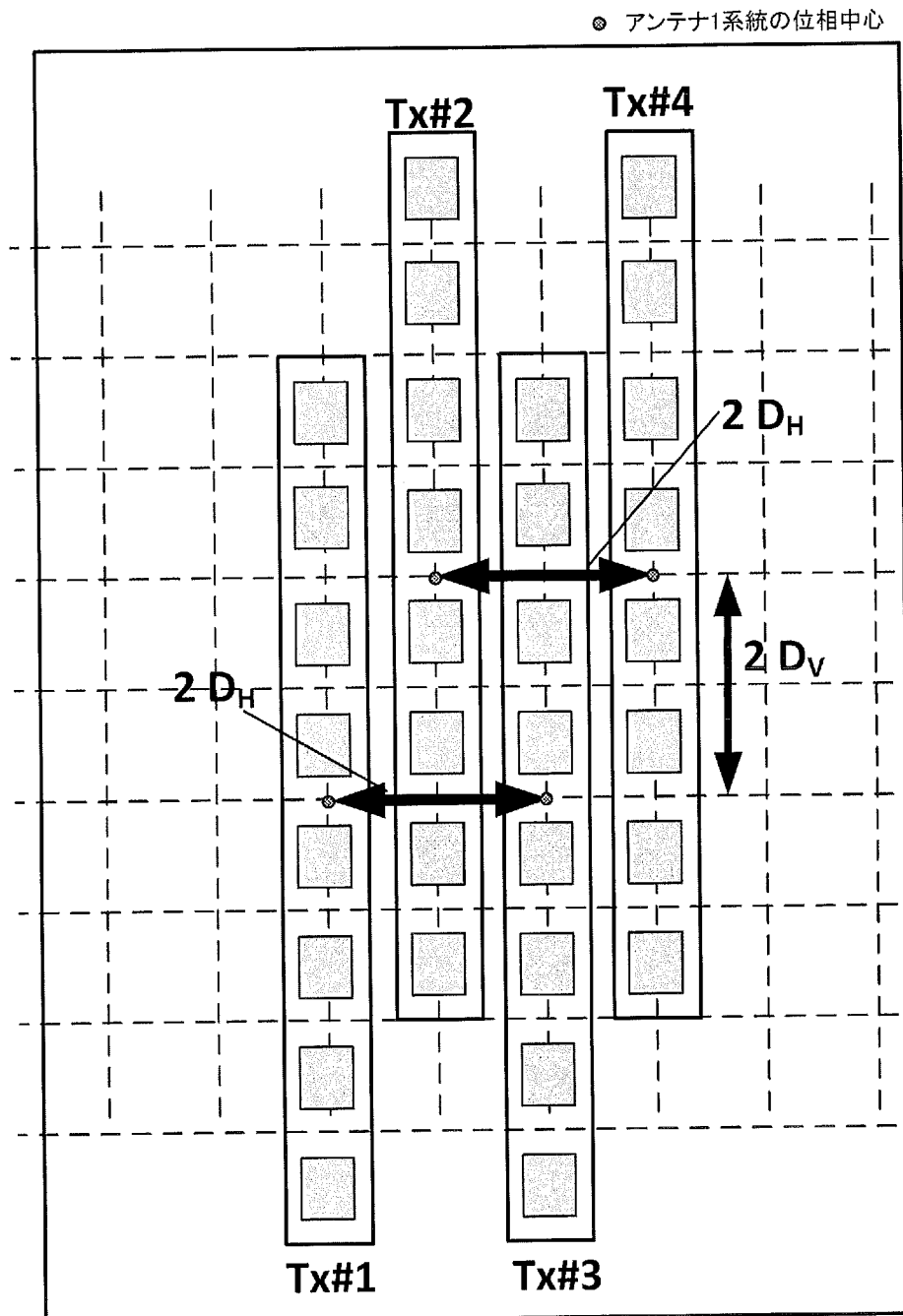
[図55C]



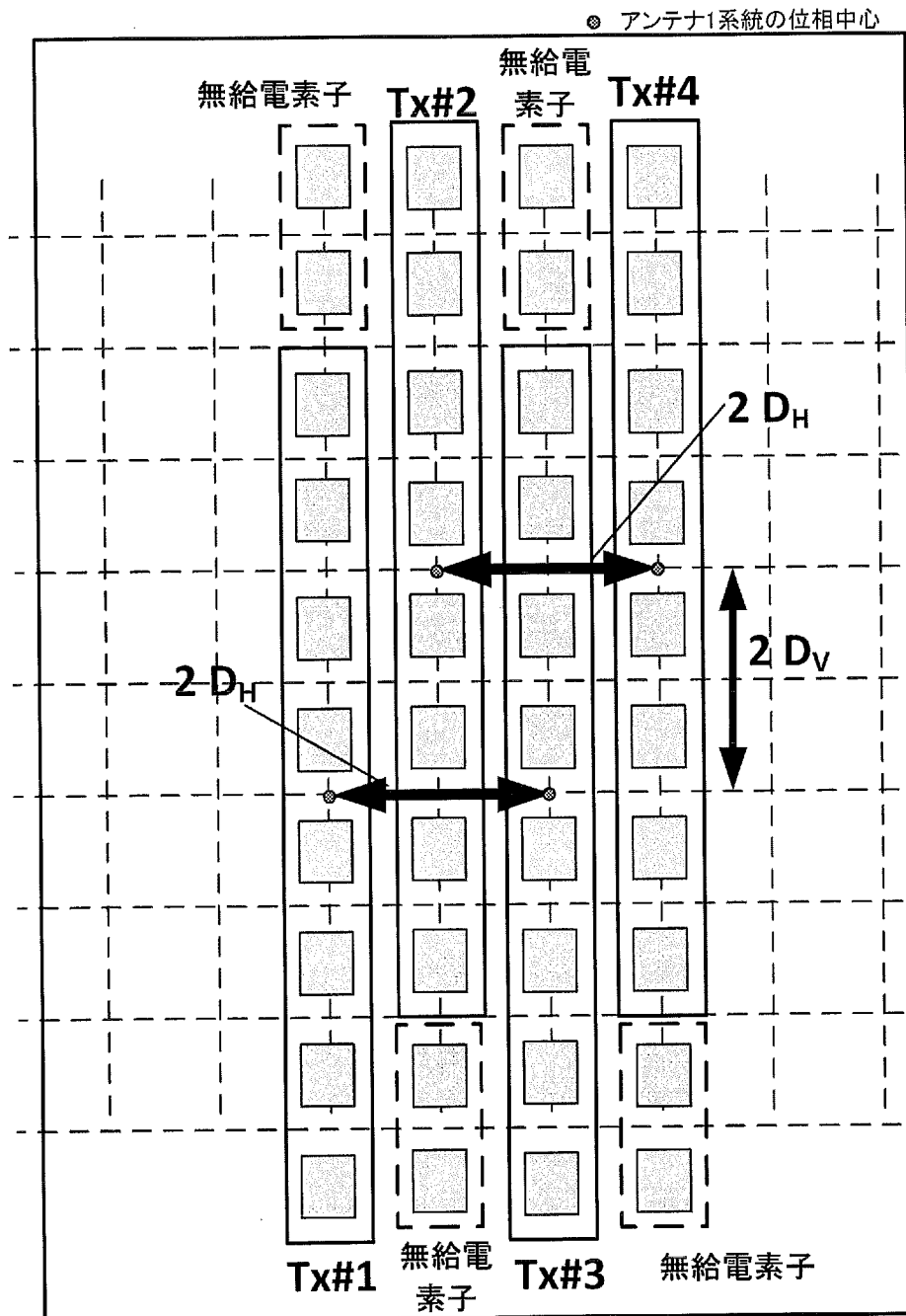
[図55D]



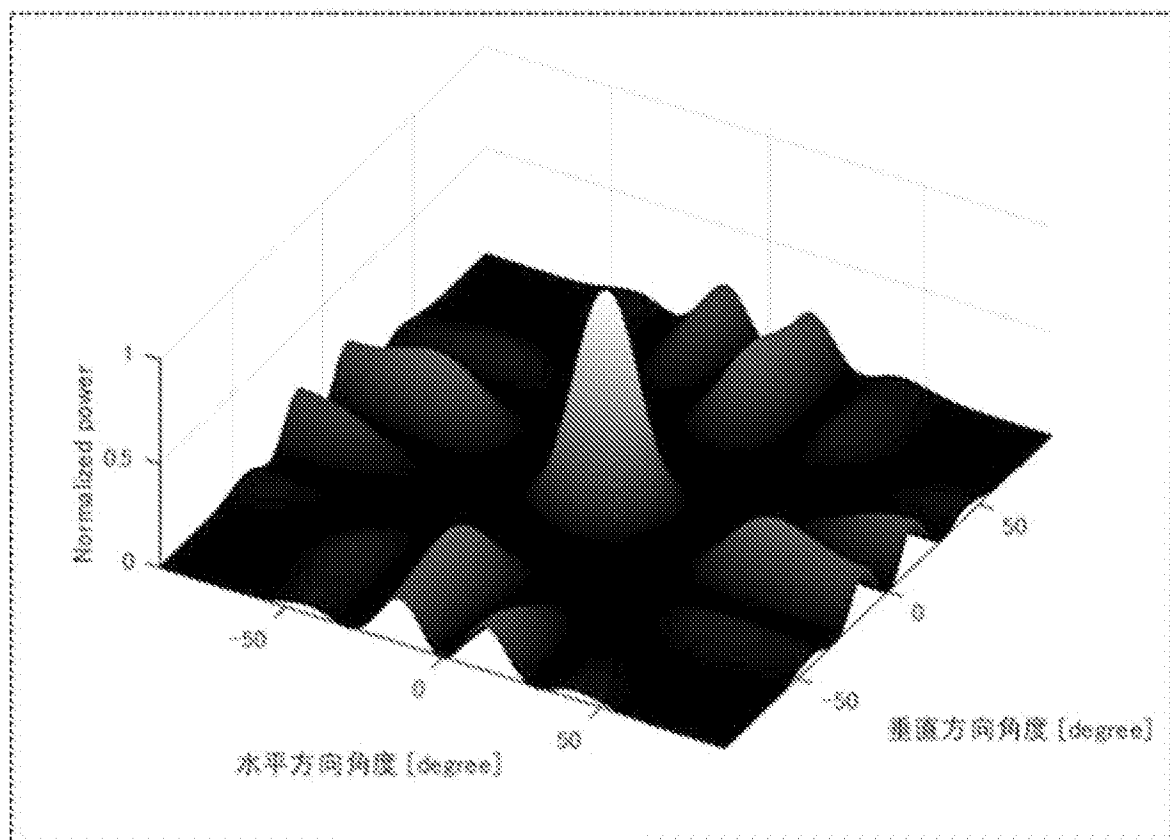
[図56A]



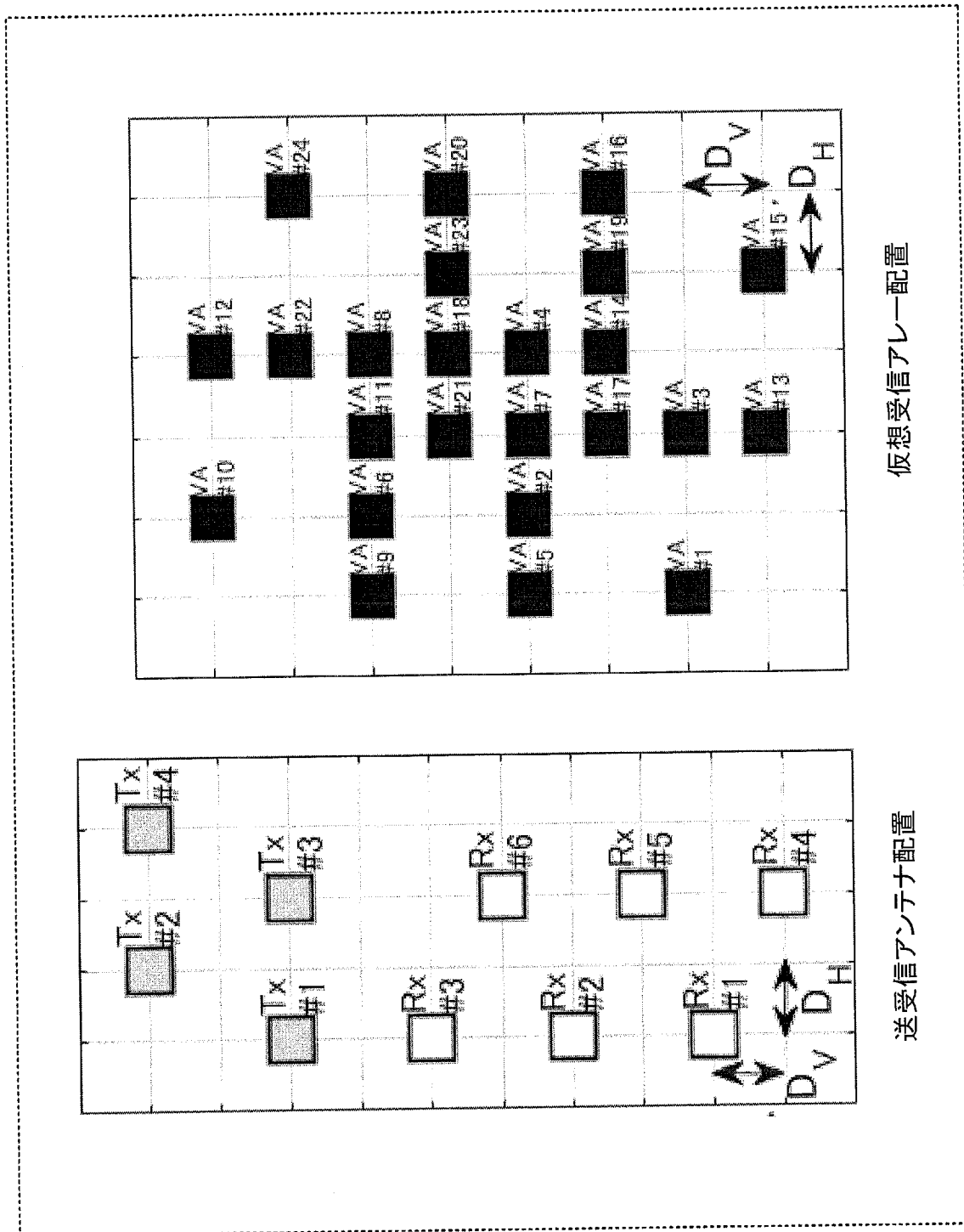
[図56B]



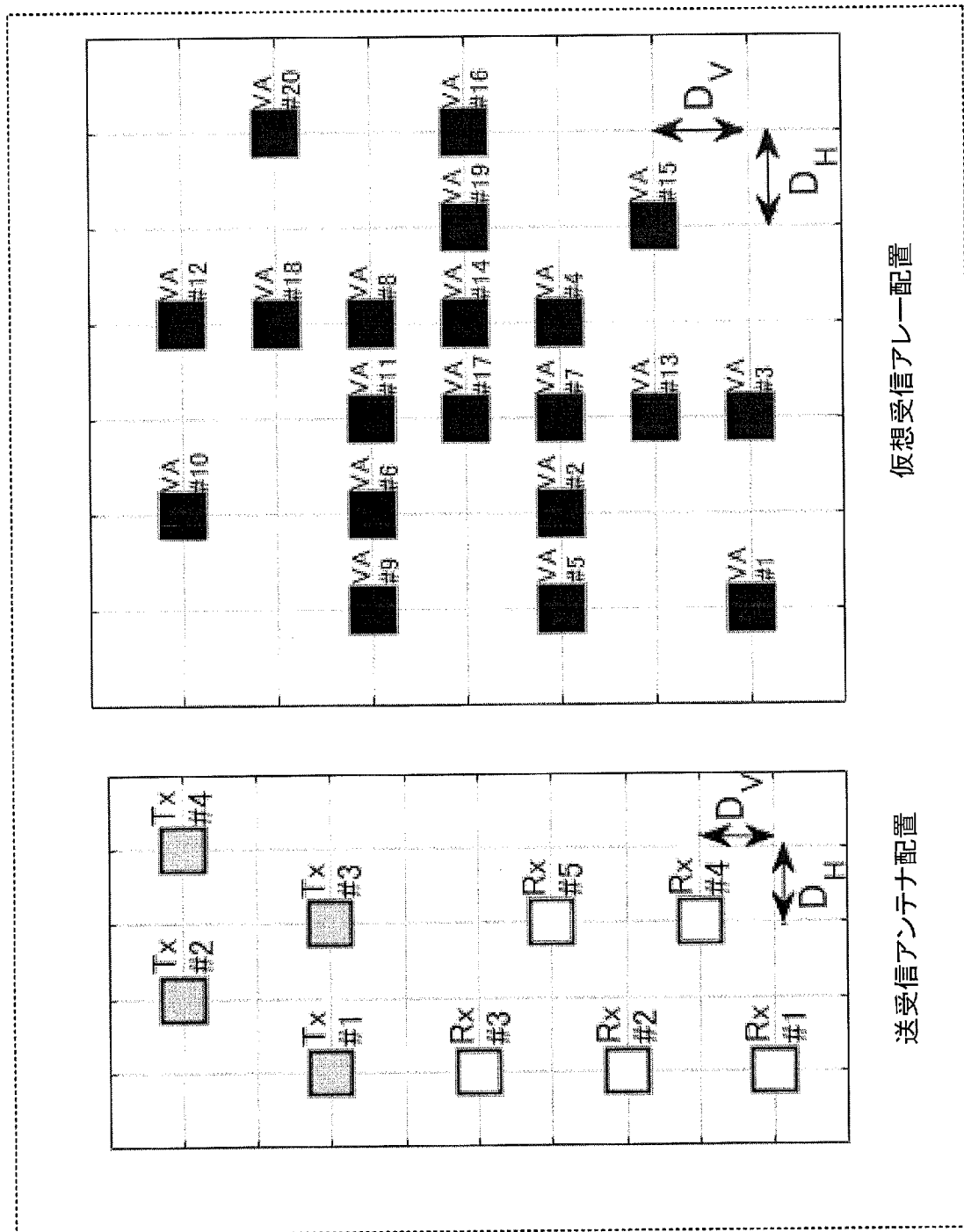
[図57]



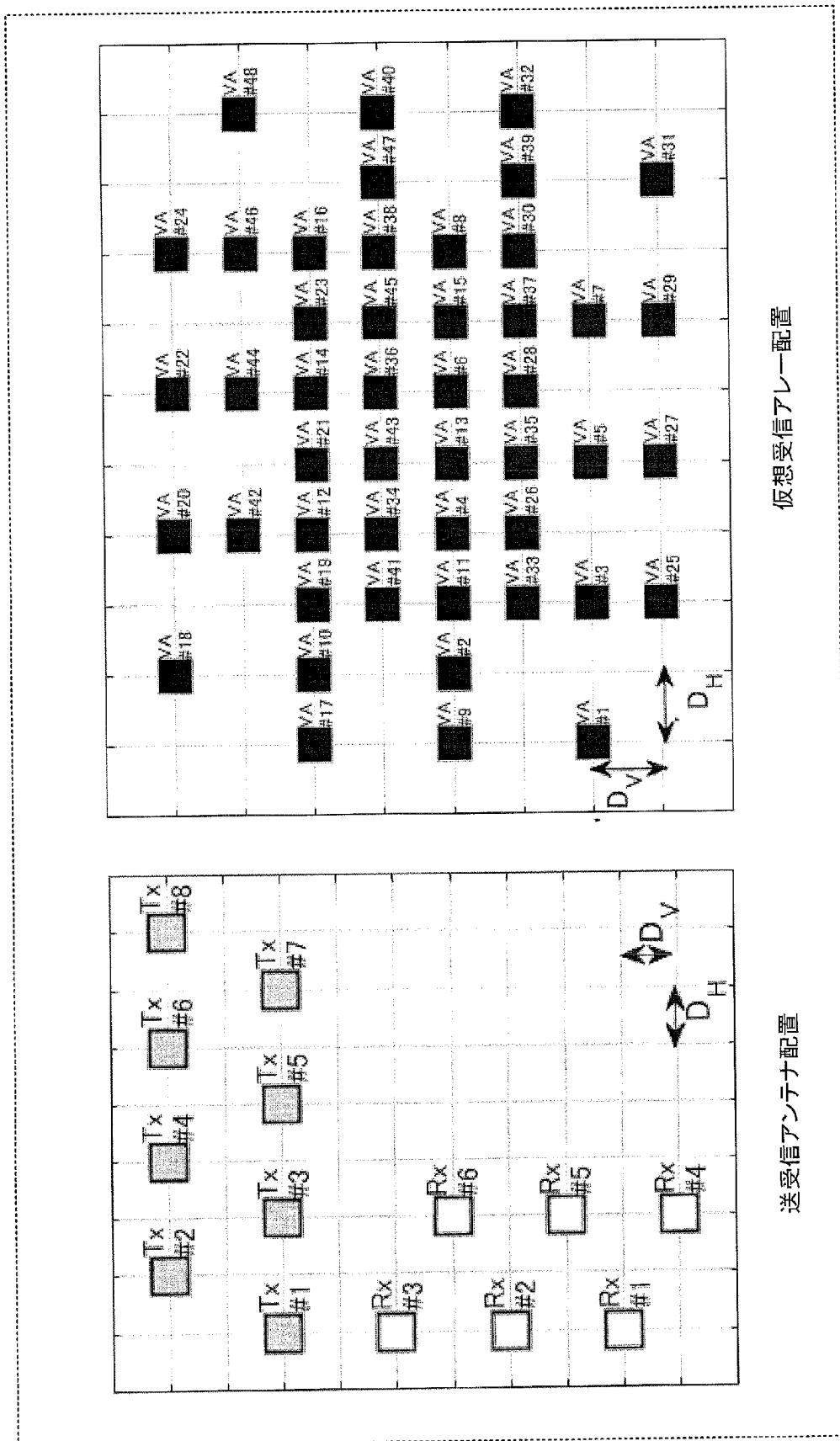
[図58]



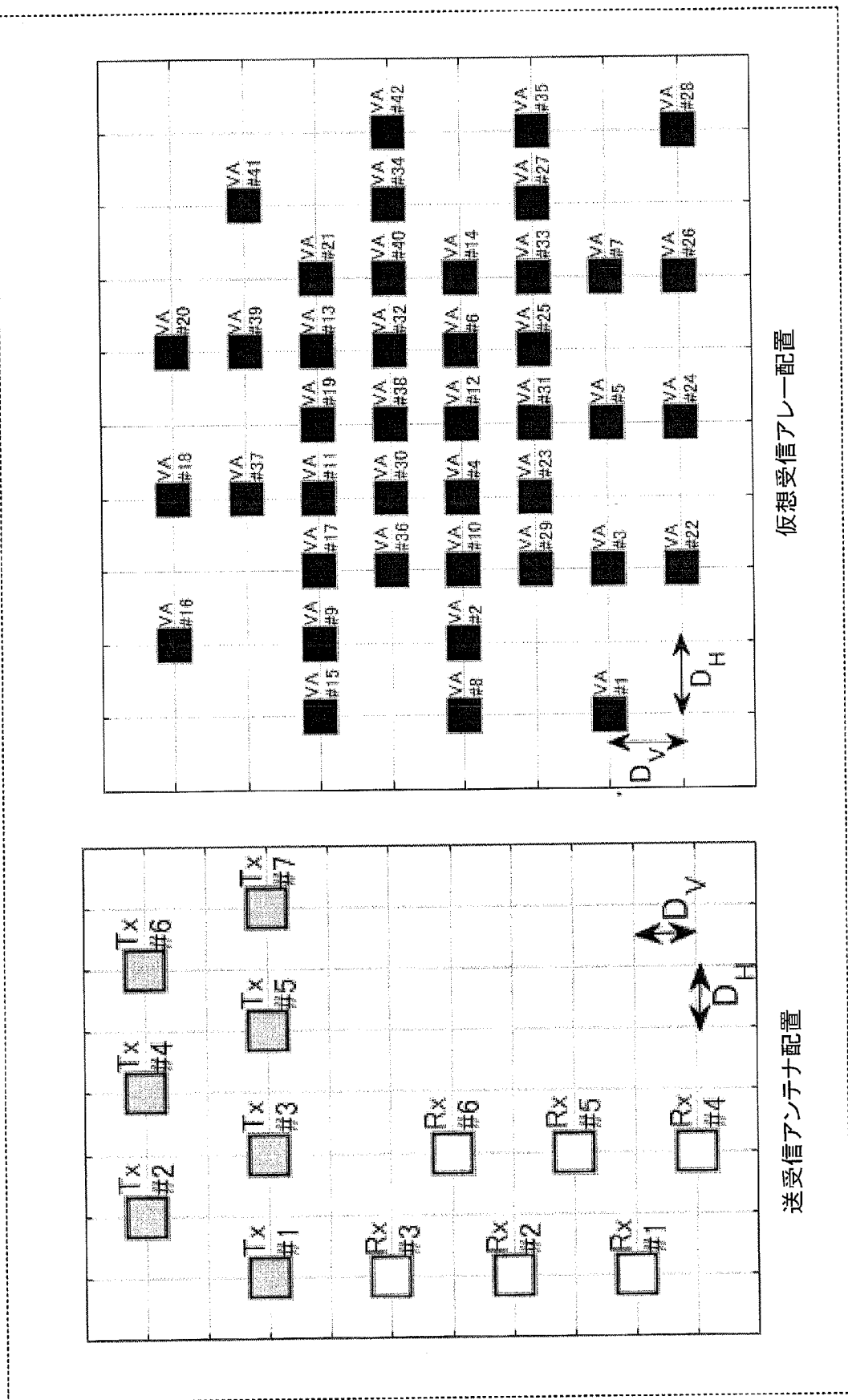
[図59]



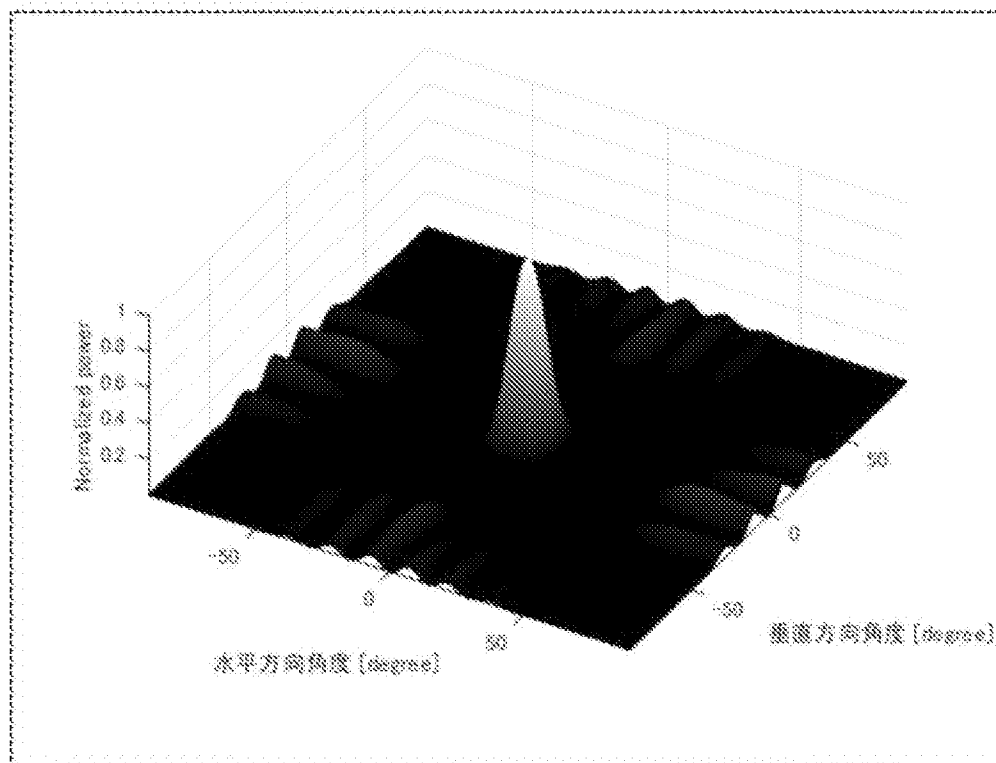
[図60]



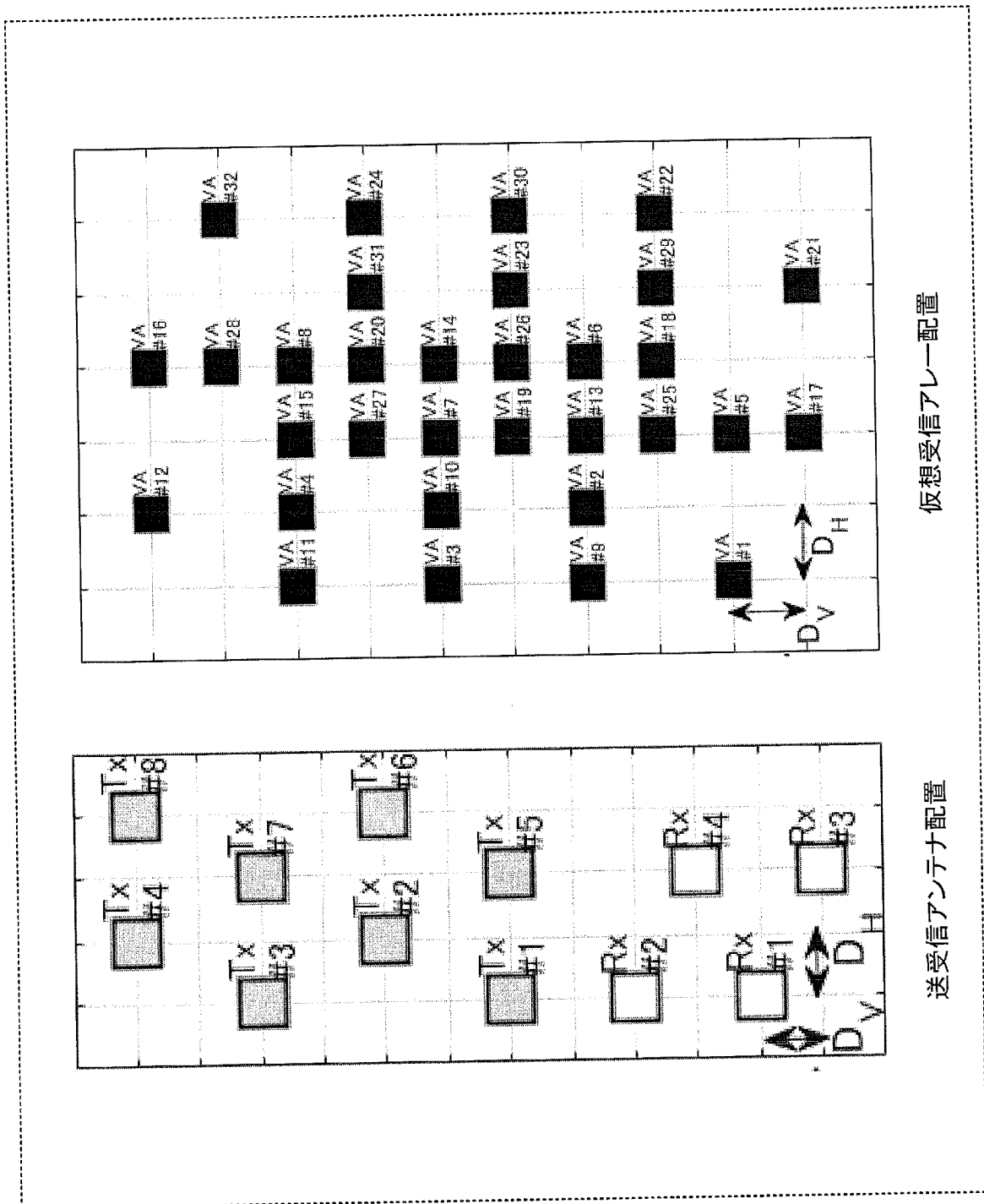
[図61]



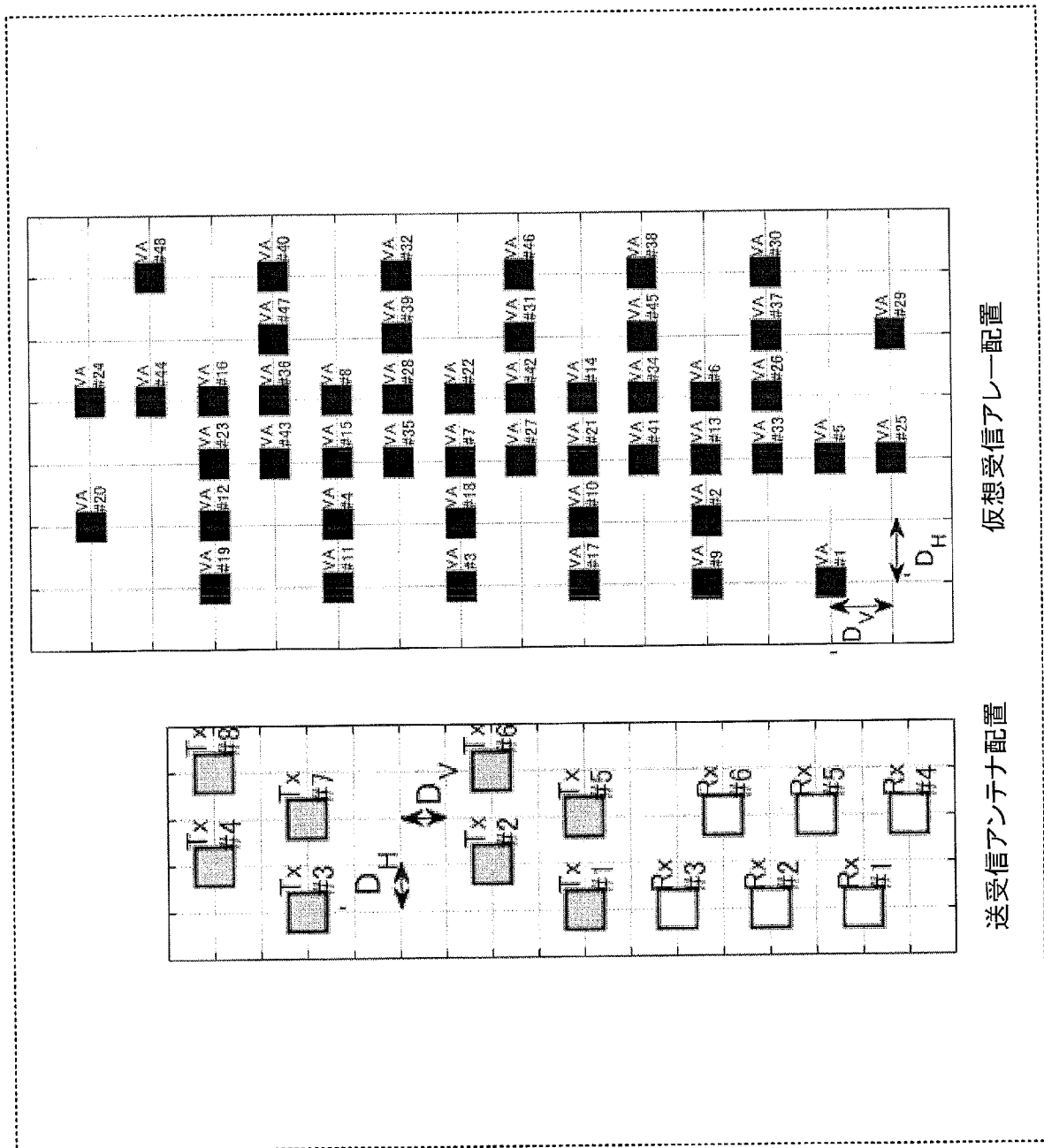
[図62]



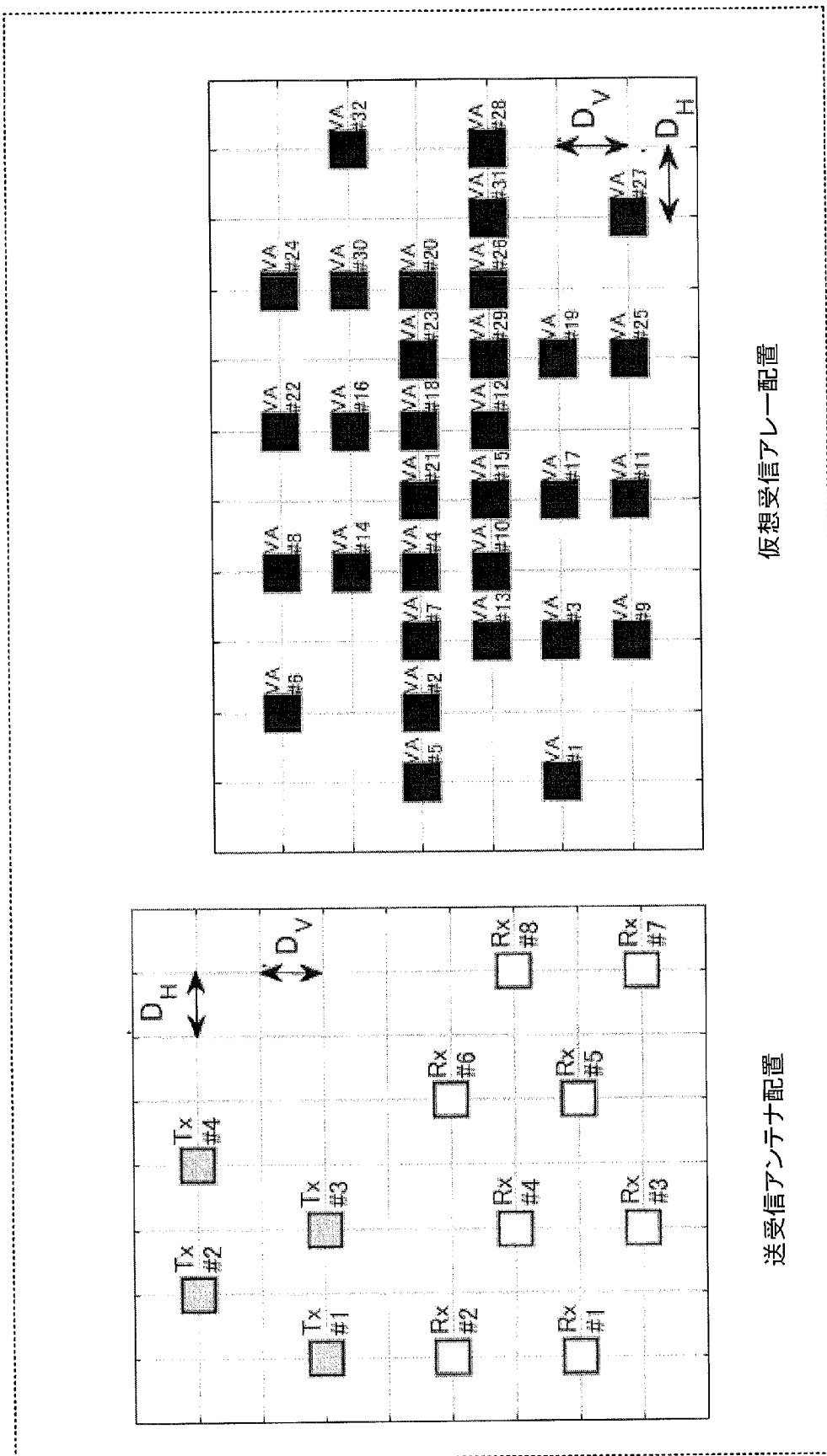
[図63]



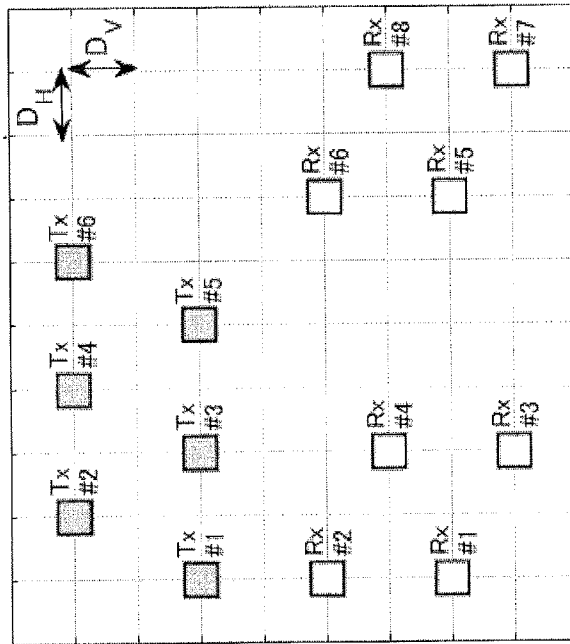
[図64]



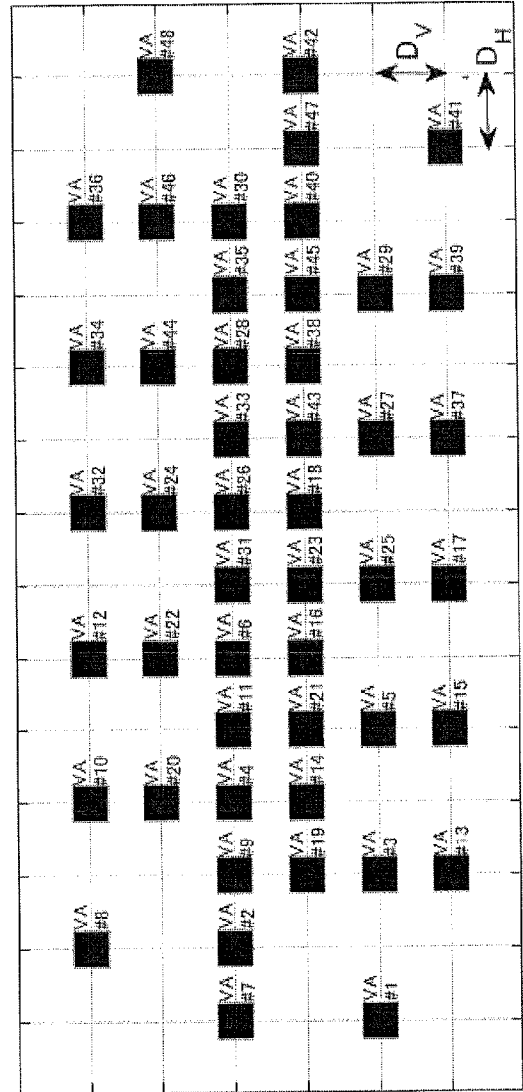
[図65]



[図66]

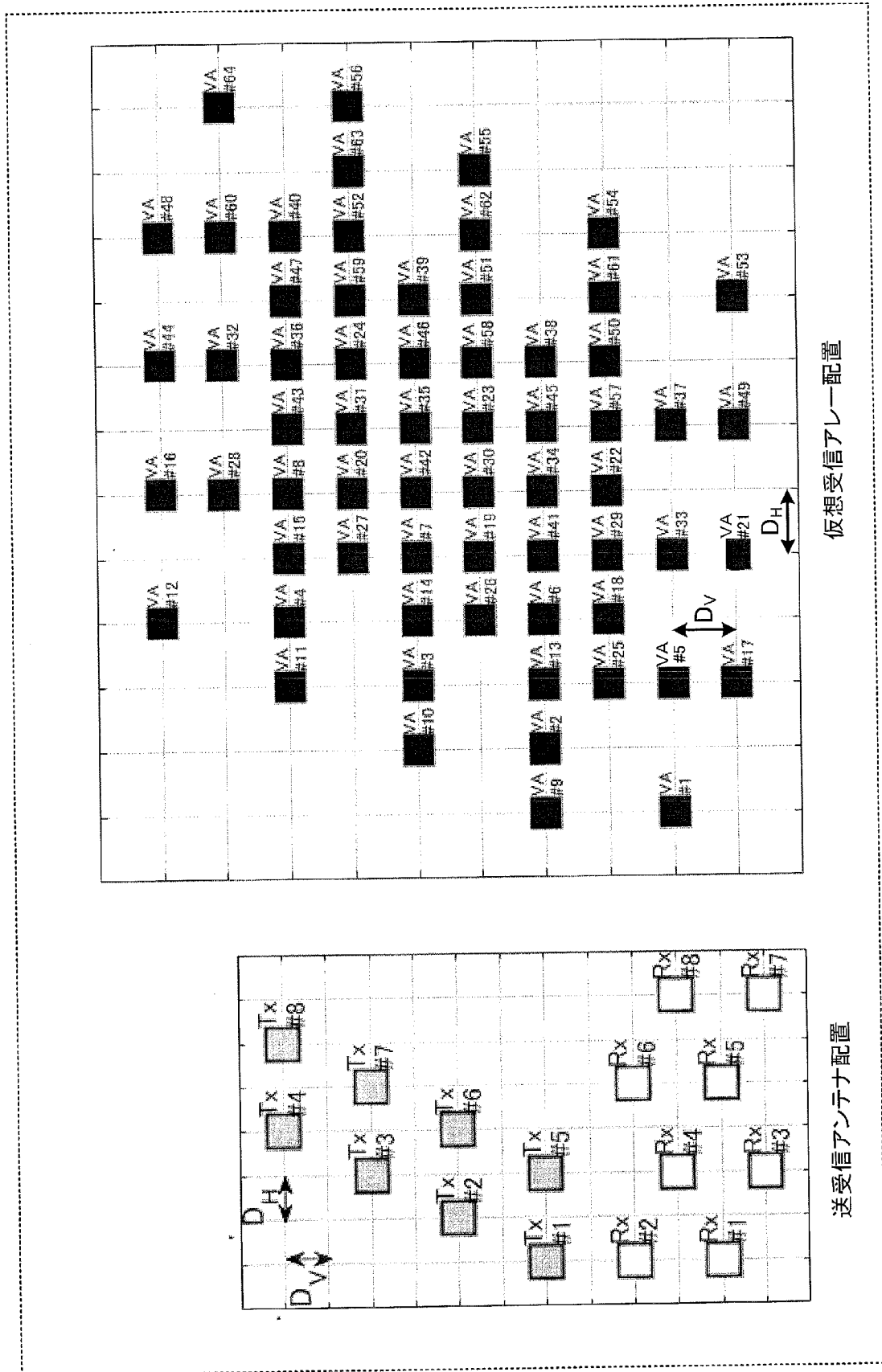


送受信アンテナ配置

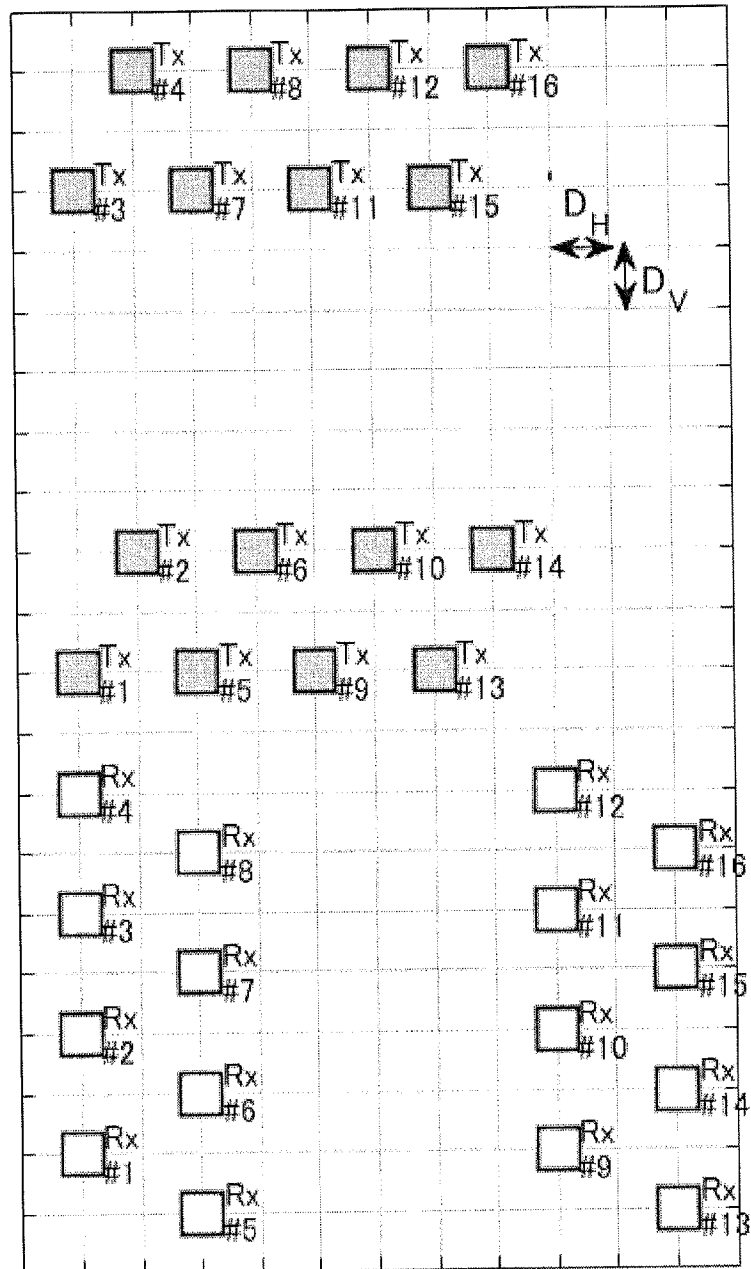


仮想受信アレー配置

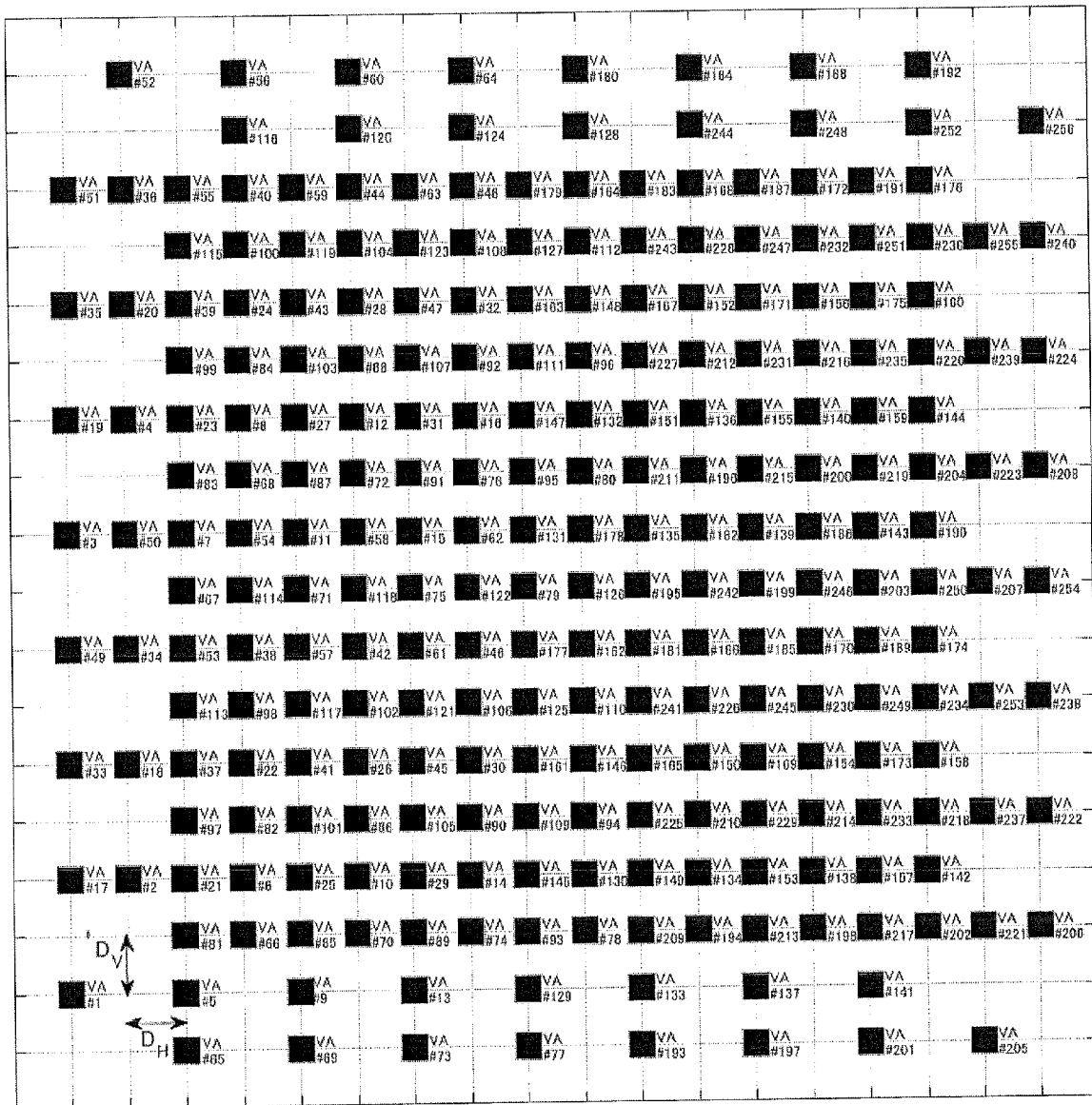
[図67]



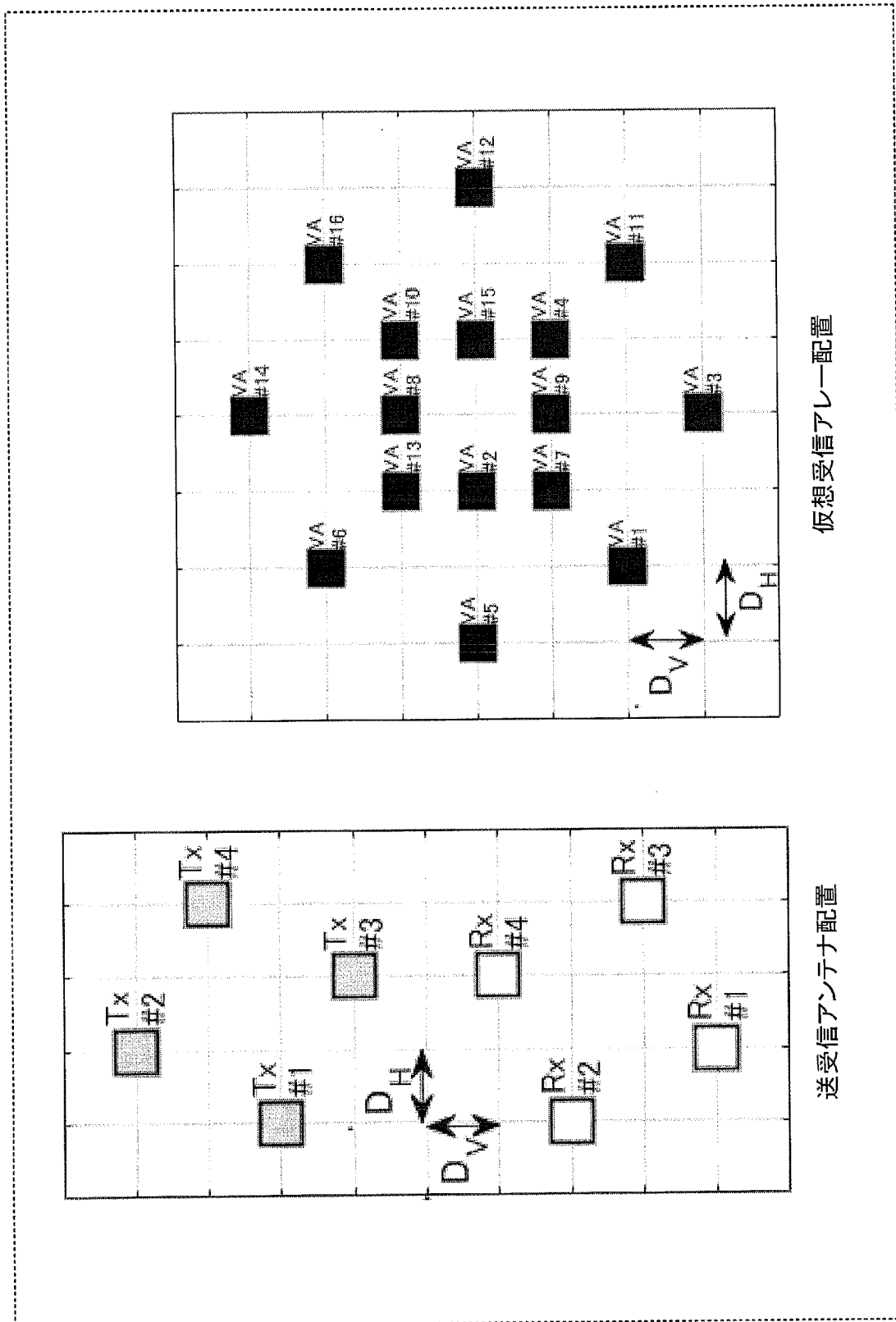
[図68A]



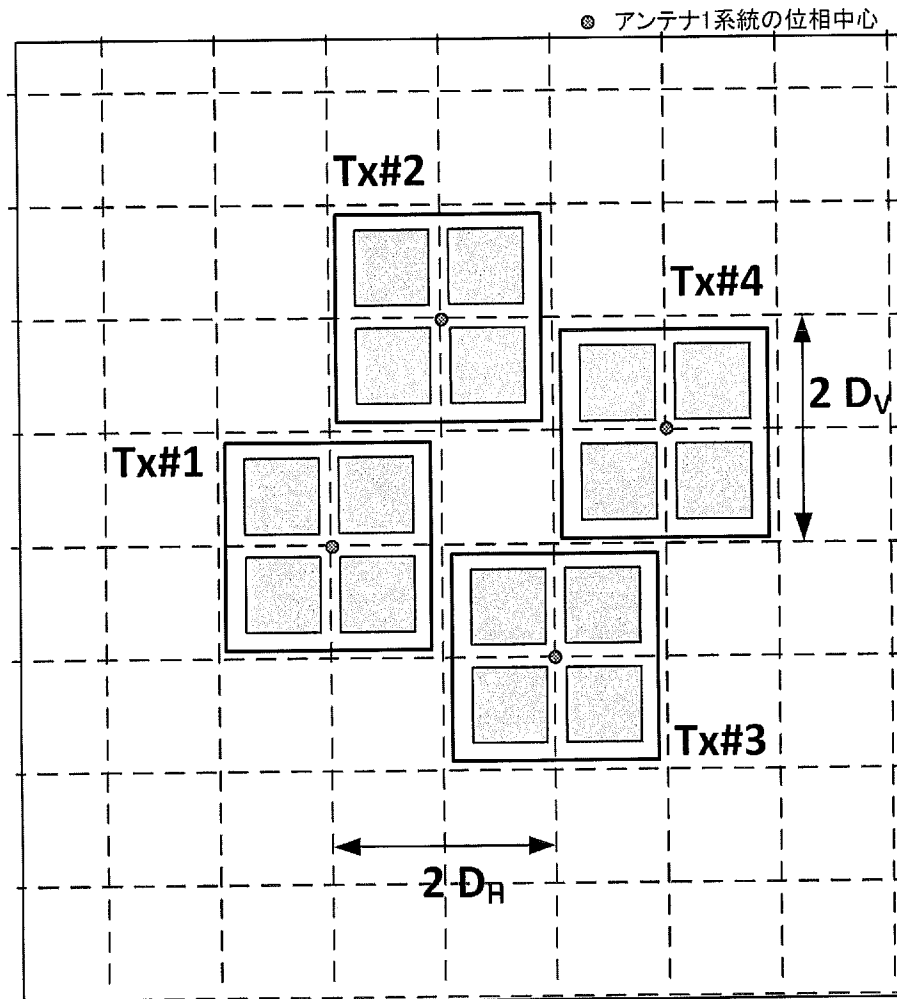
[図68B]



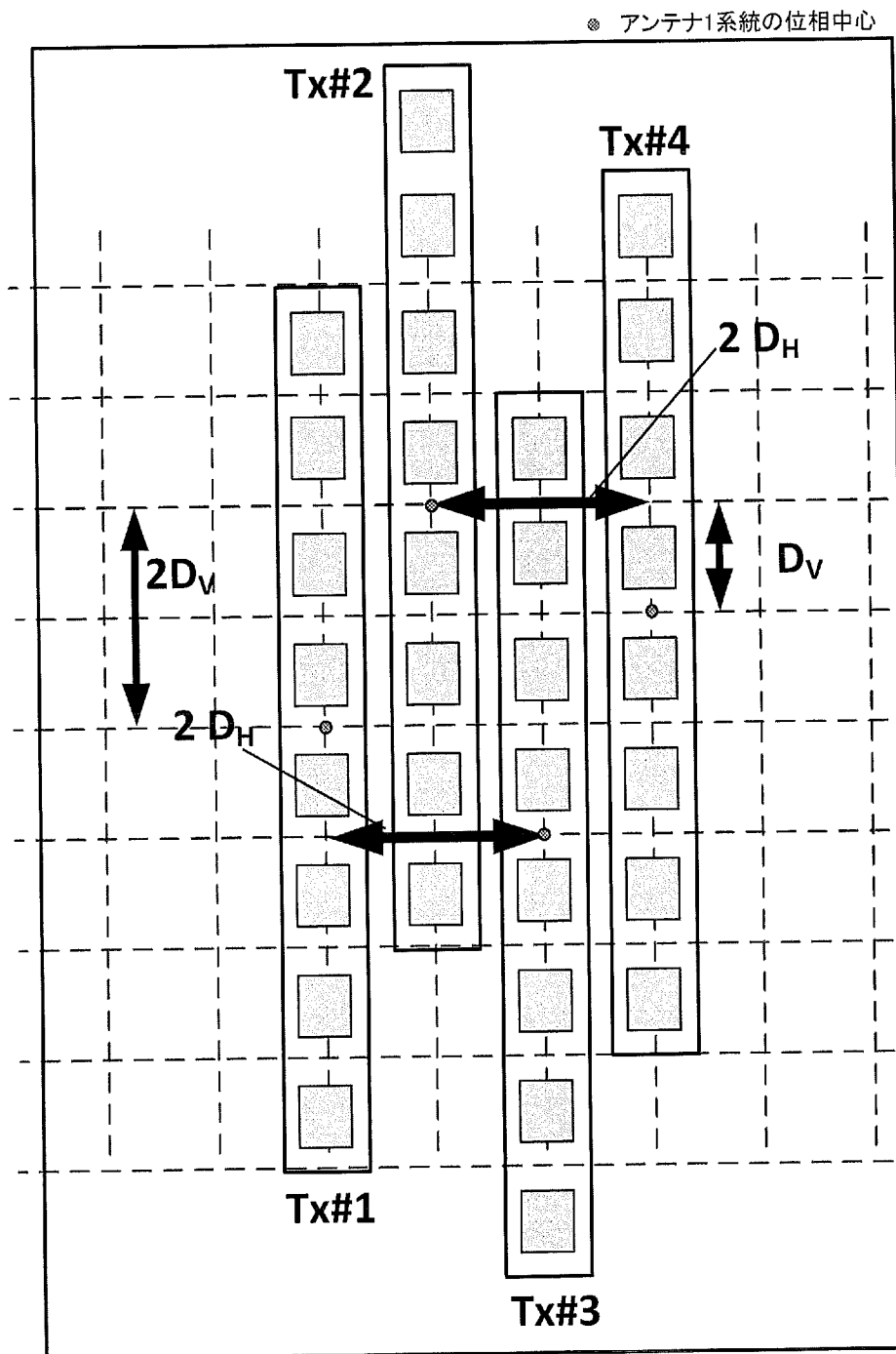
[図69]



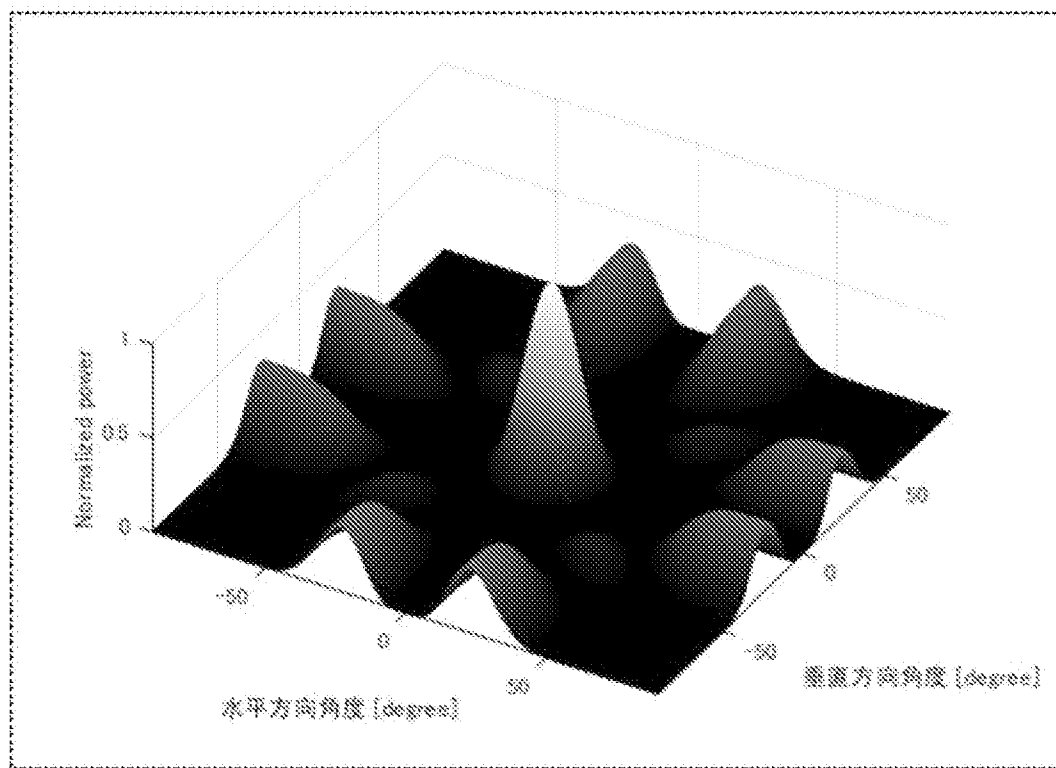
[図70A]



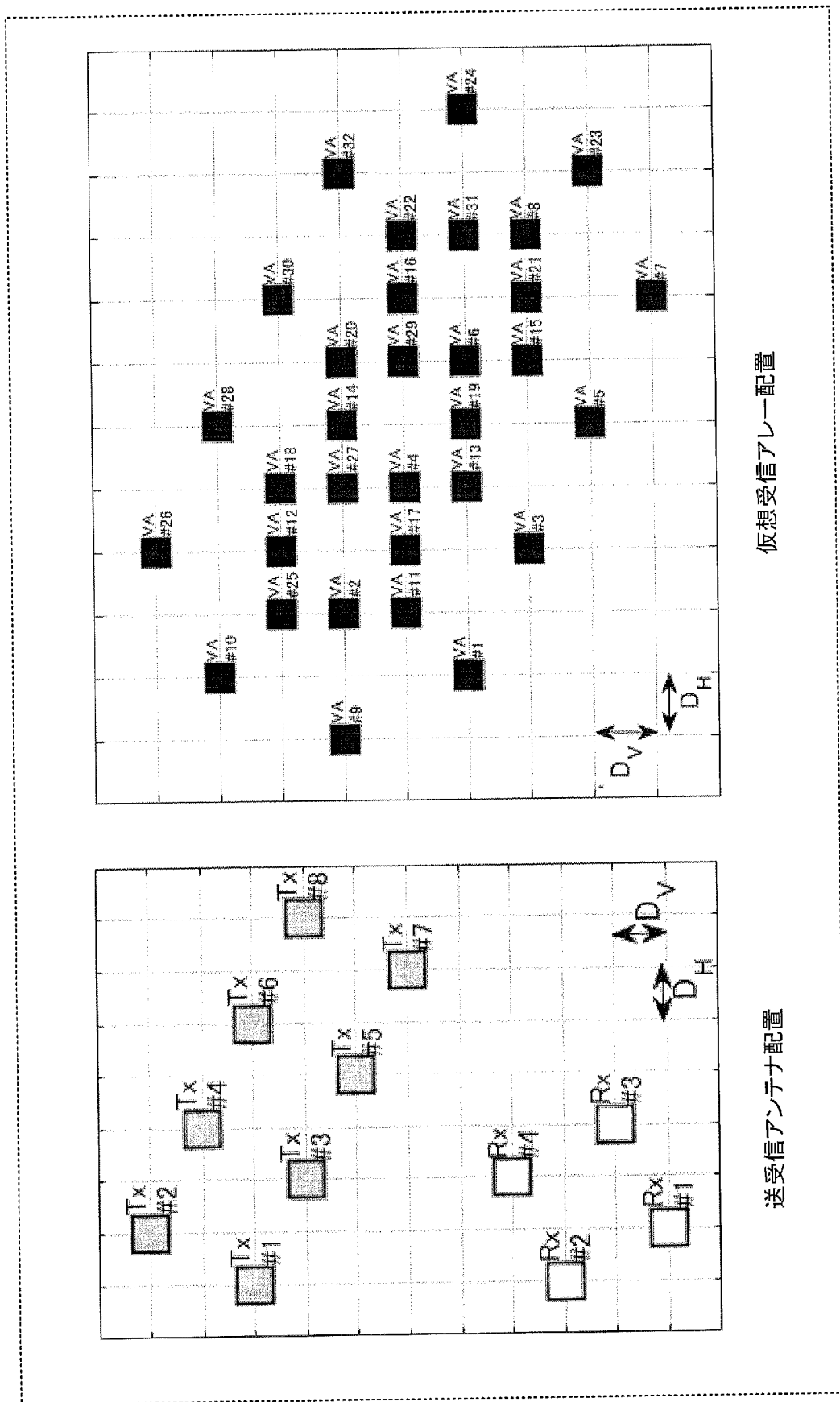
[図70B]



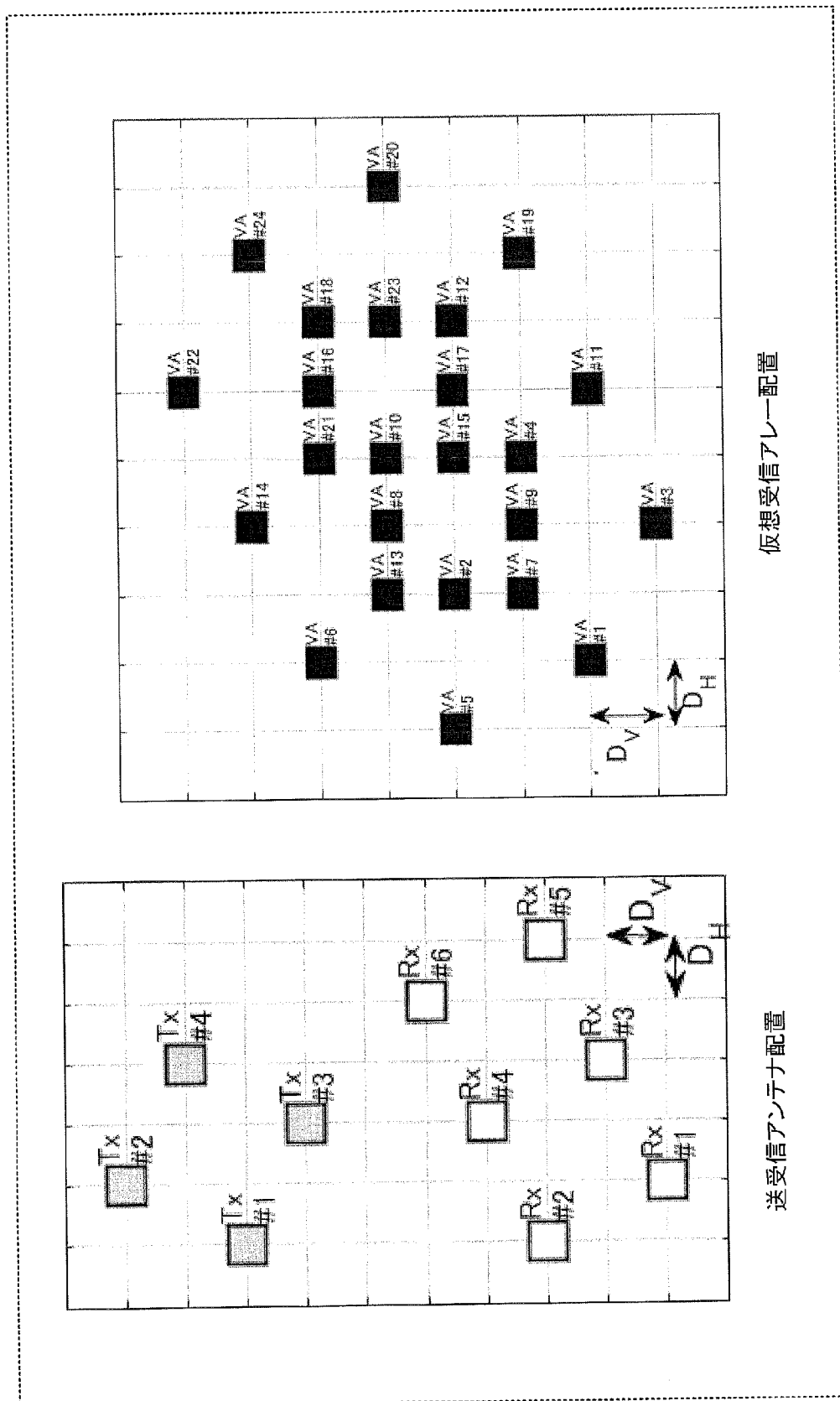
[図71]



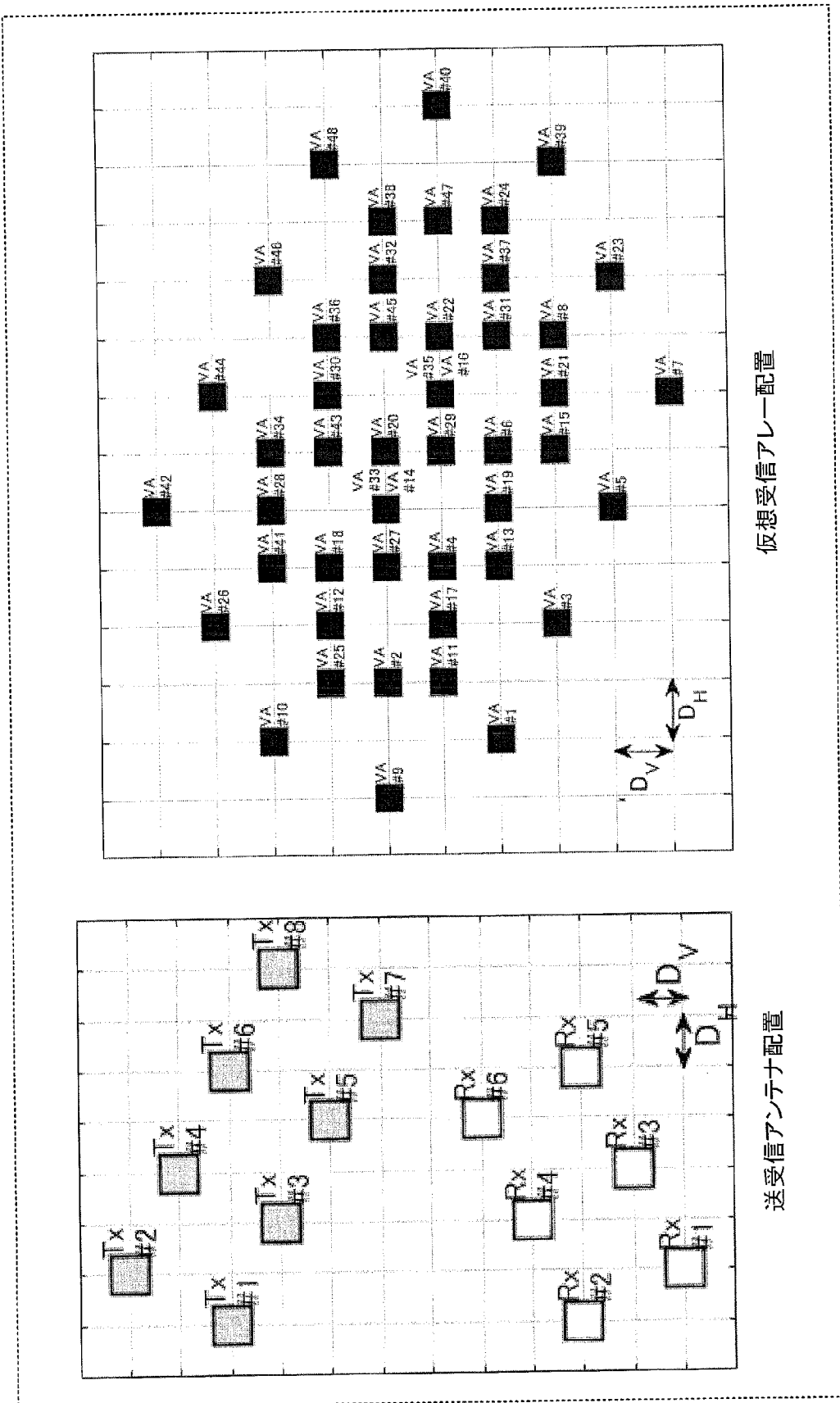
[図72]



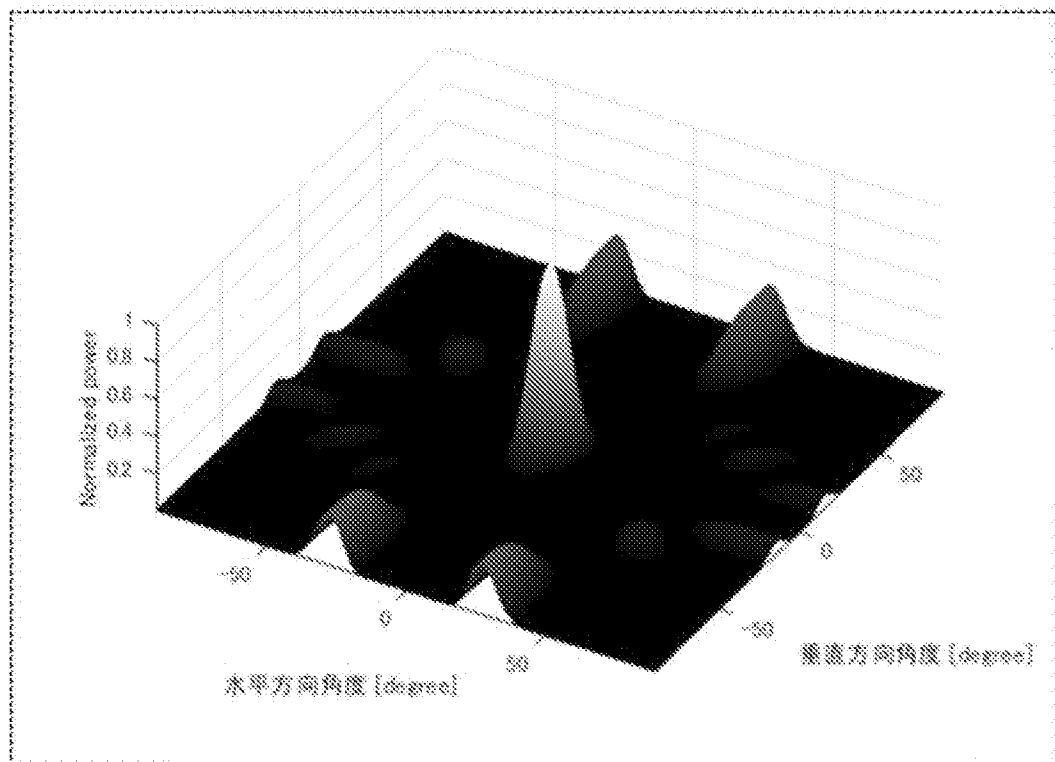
[図73]



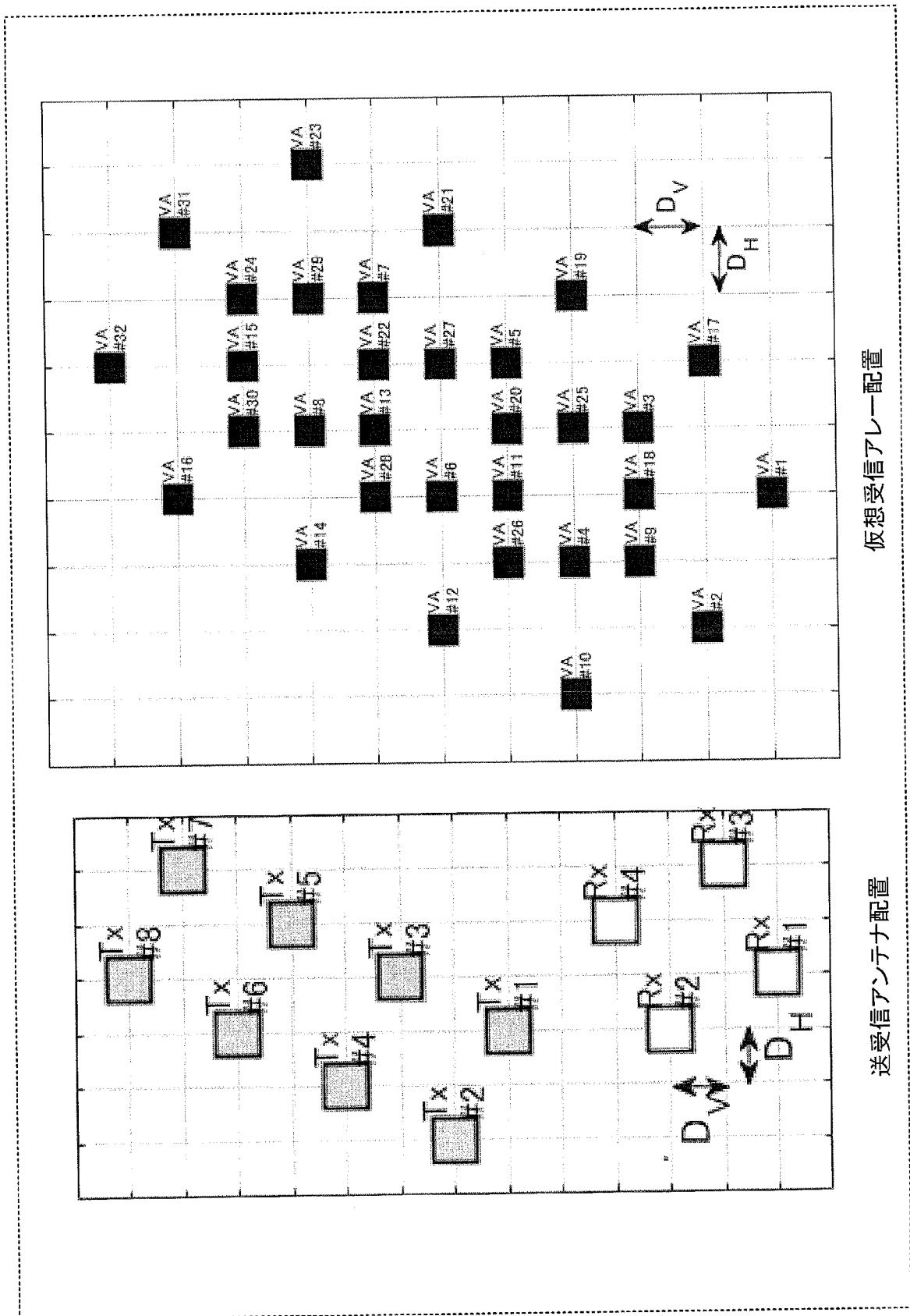
[図74]



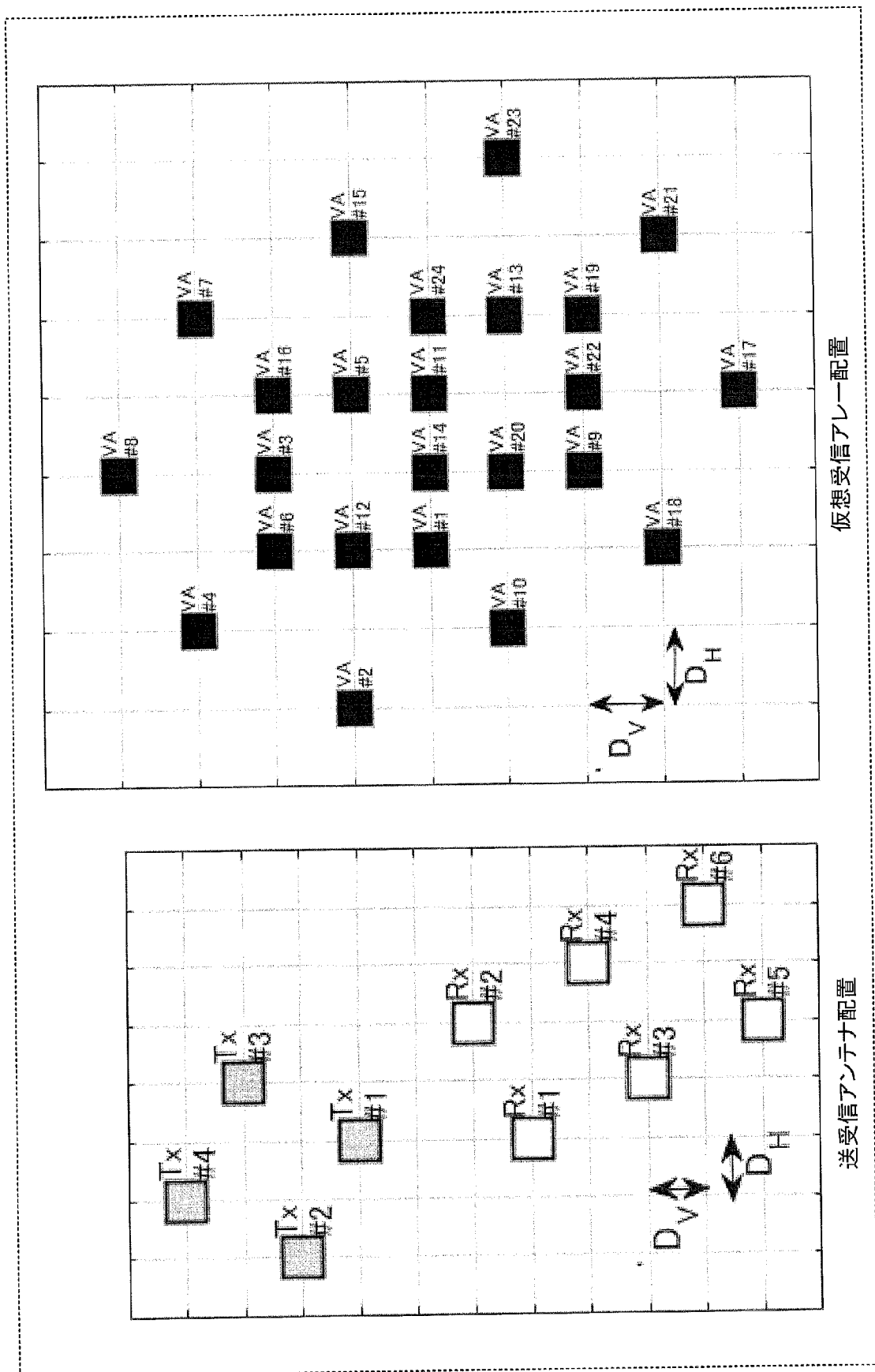
[図75]



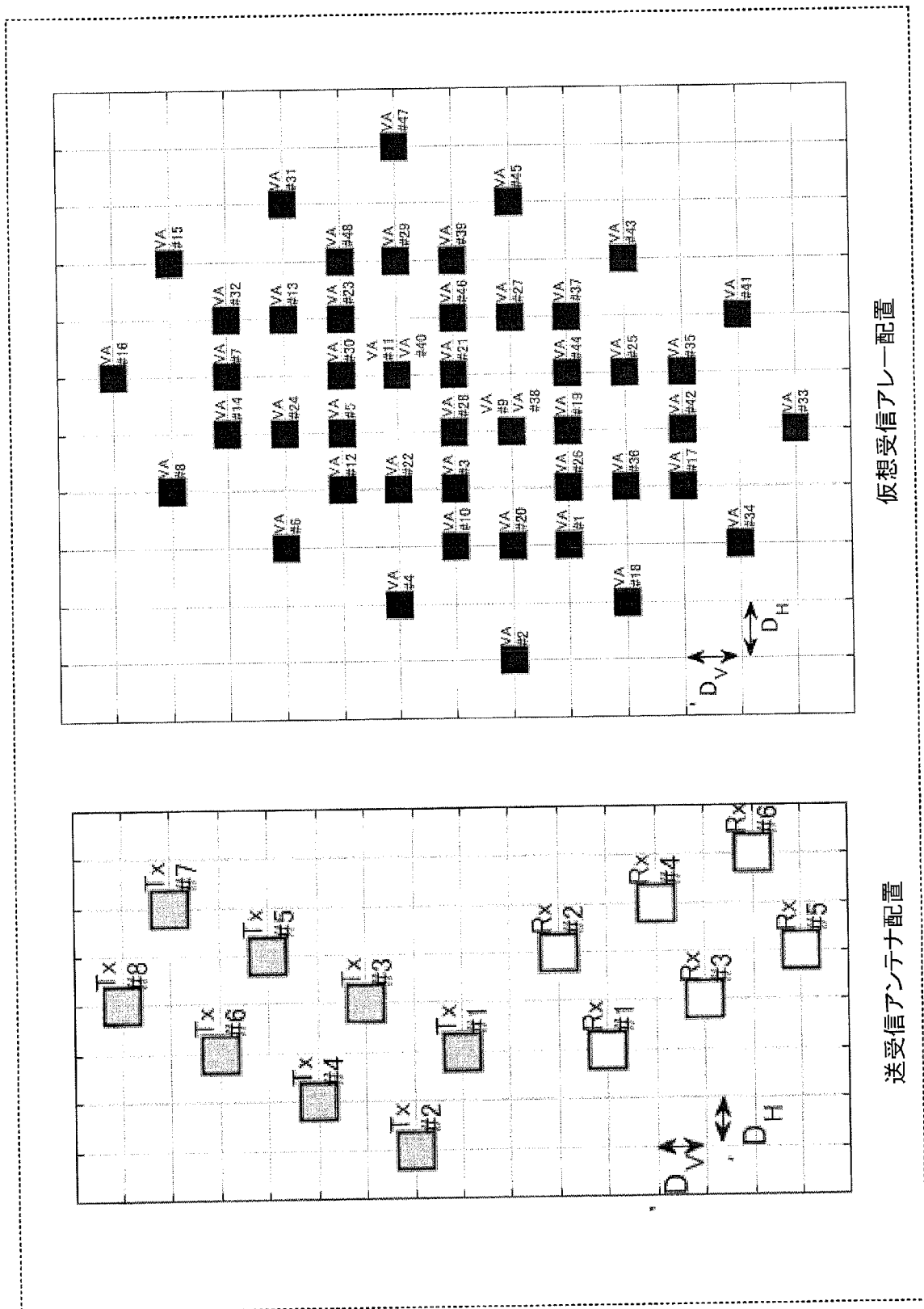
[図76]



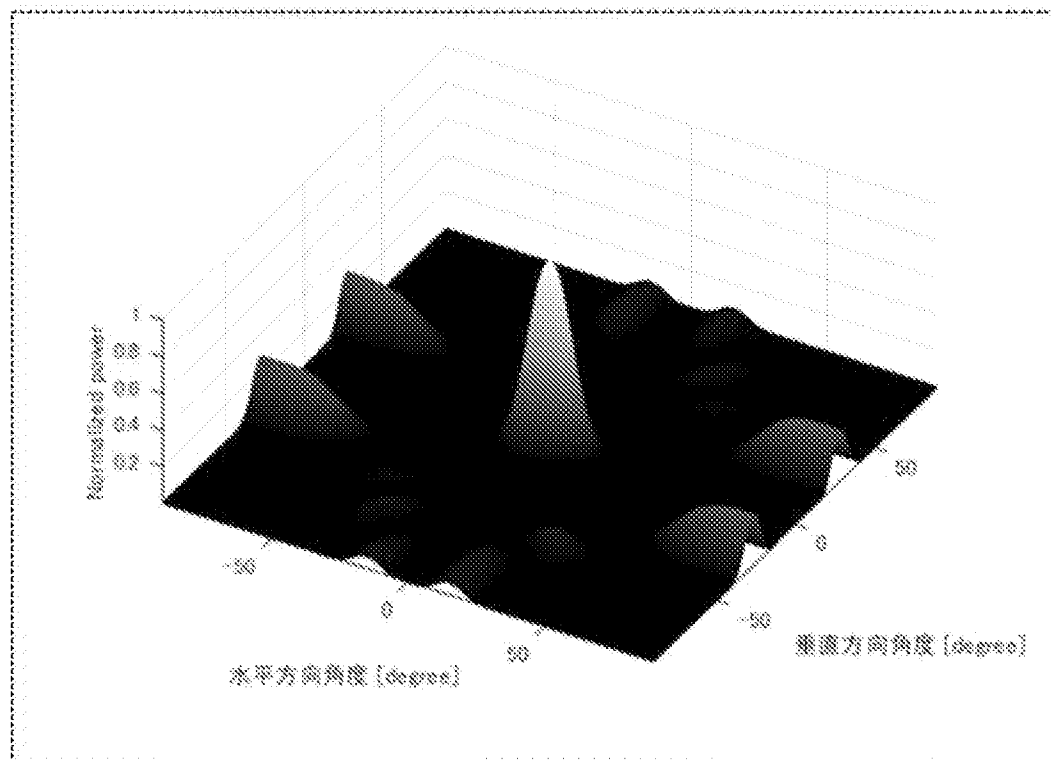
[図77]



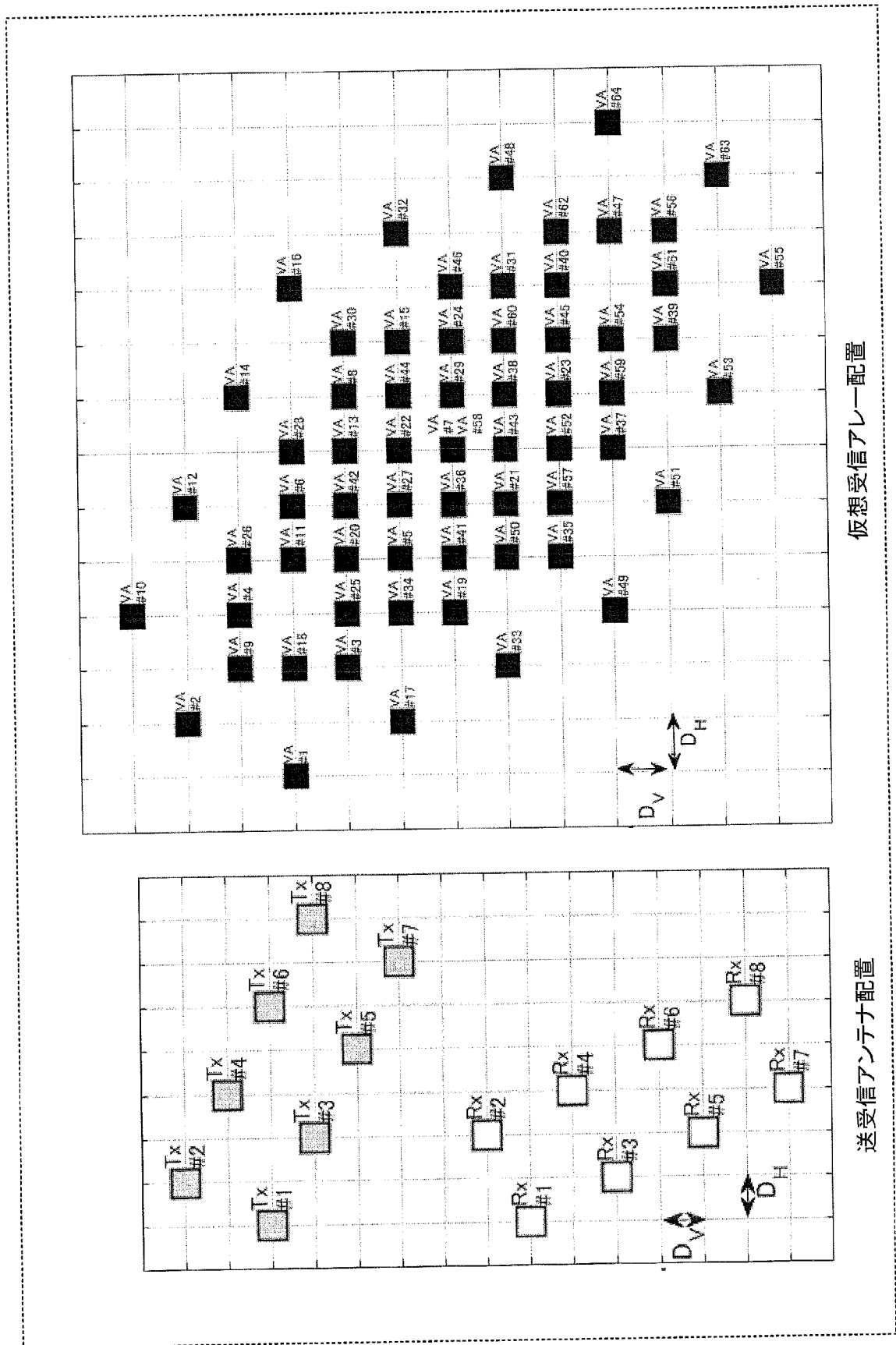
[図78]



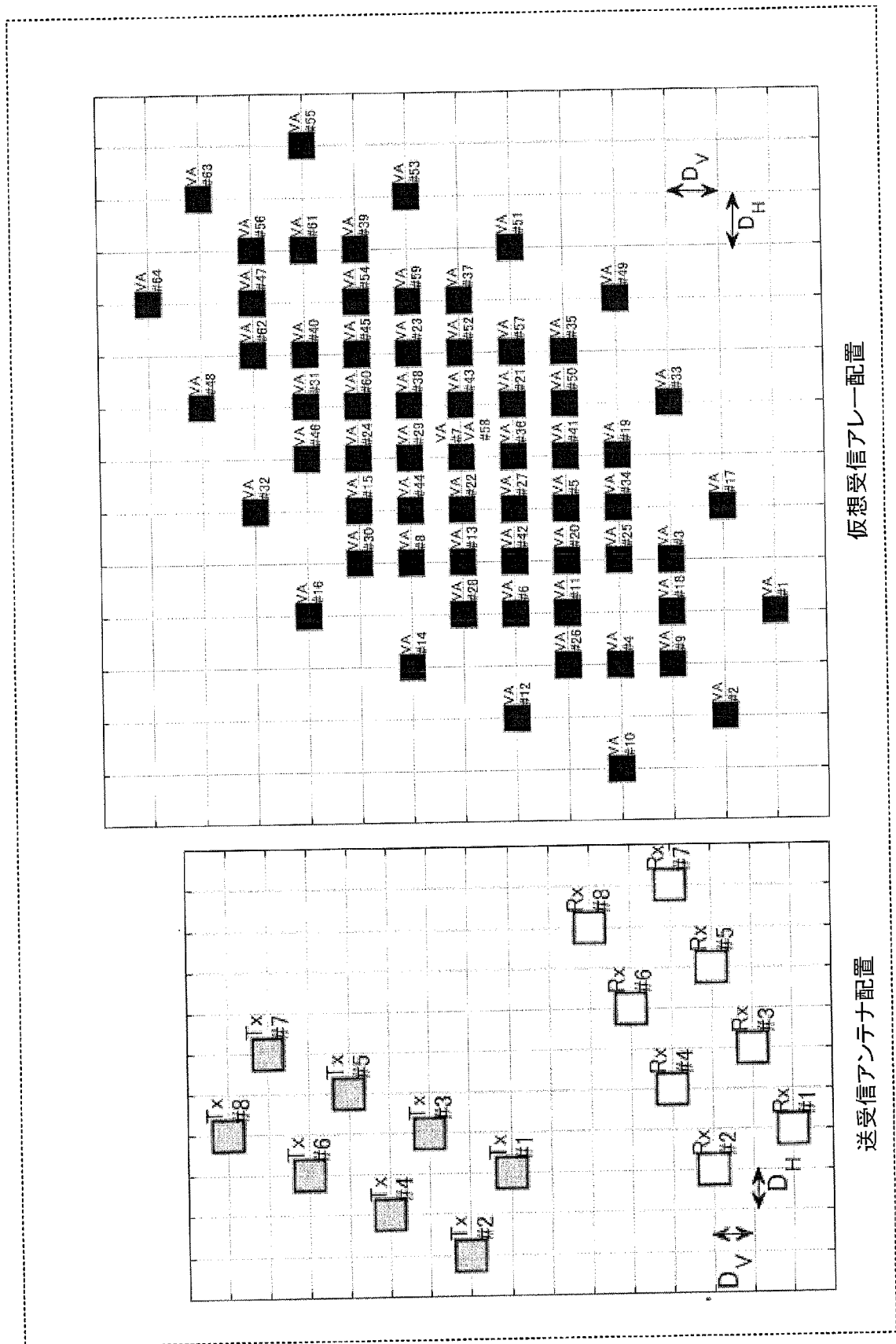
[図79]



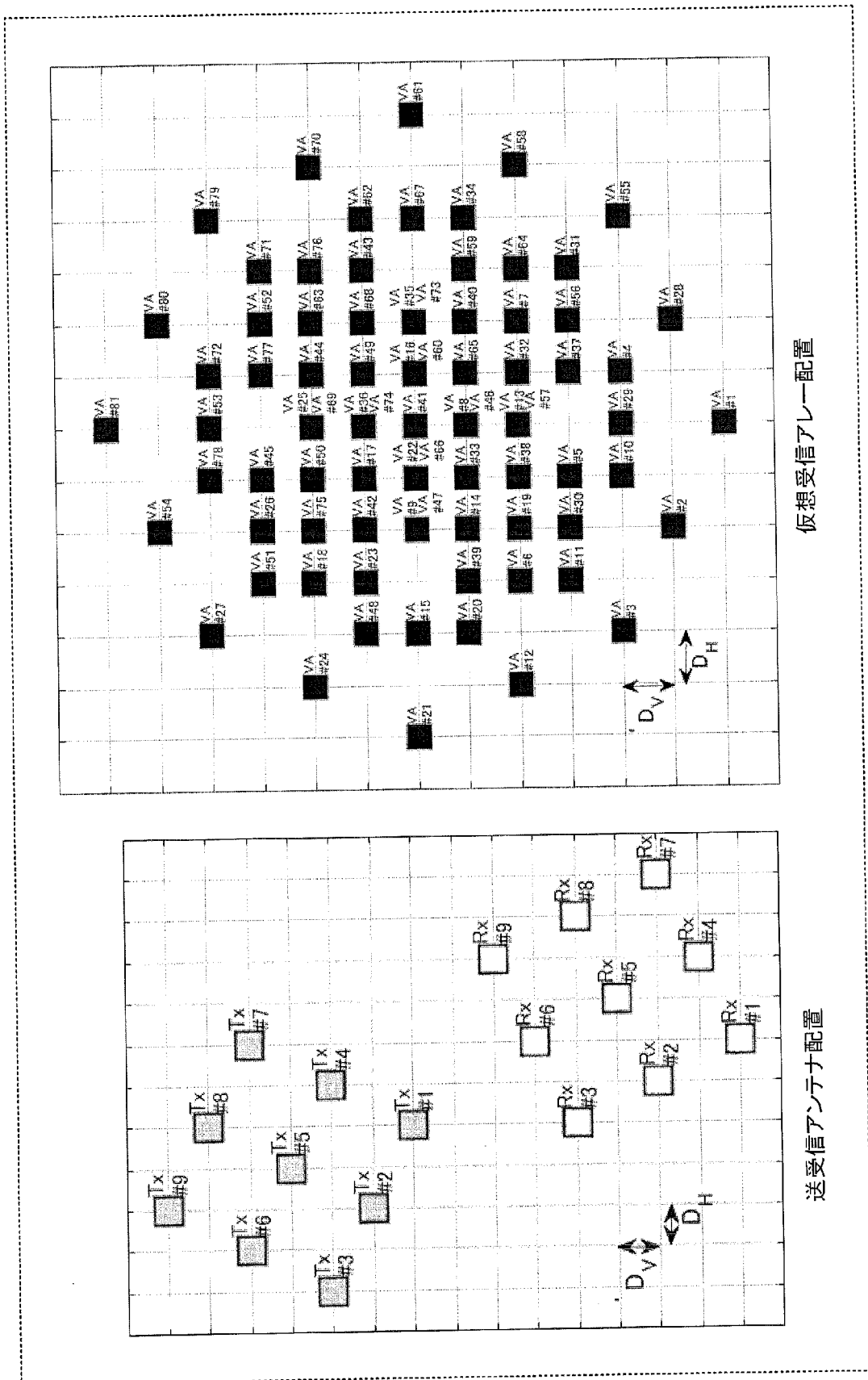
[図80]



[図81]



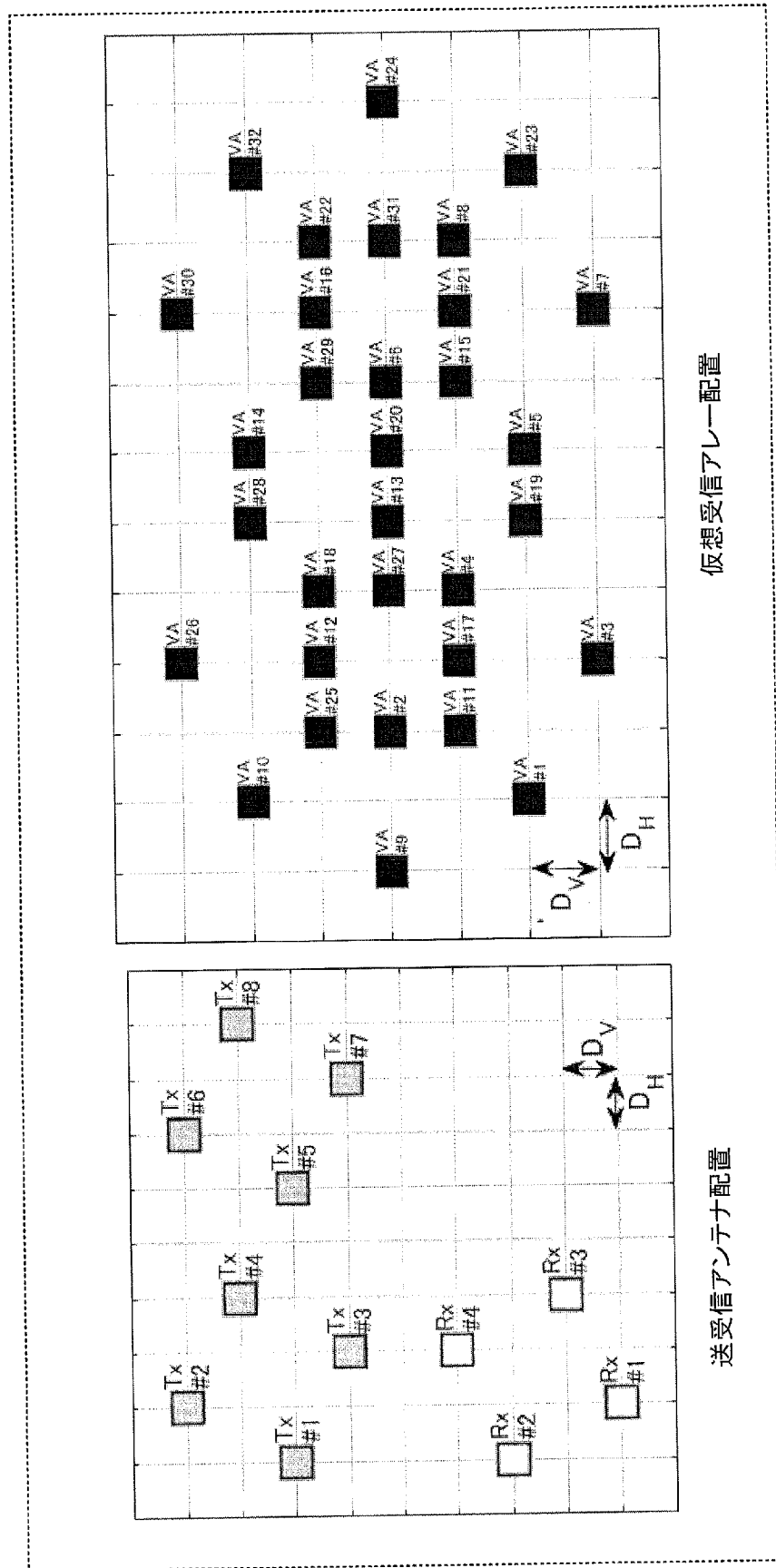
[図82]



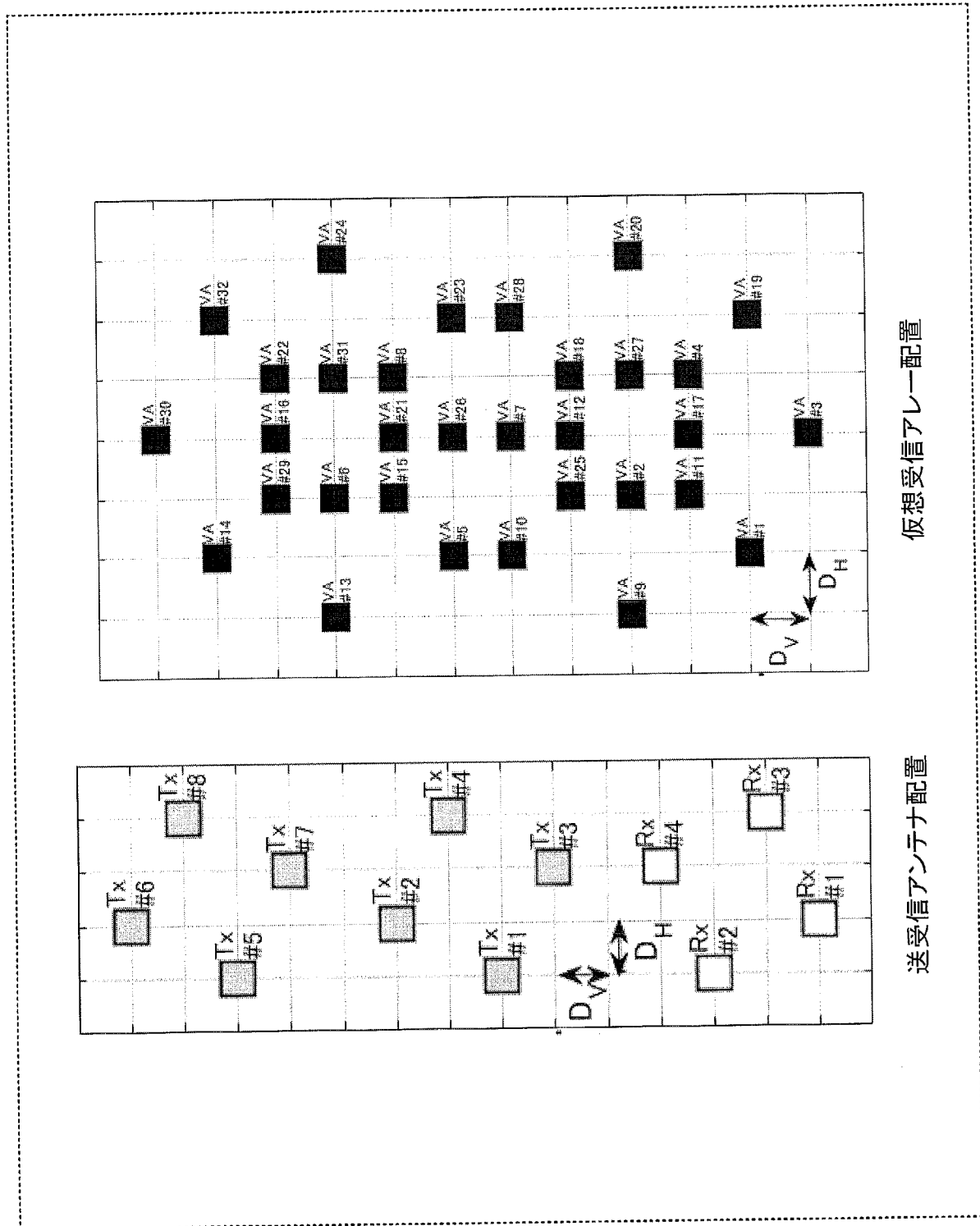
仮想受信アレー配置

送受信アンテナ配置

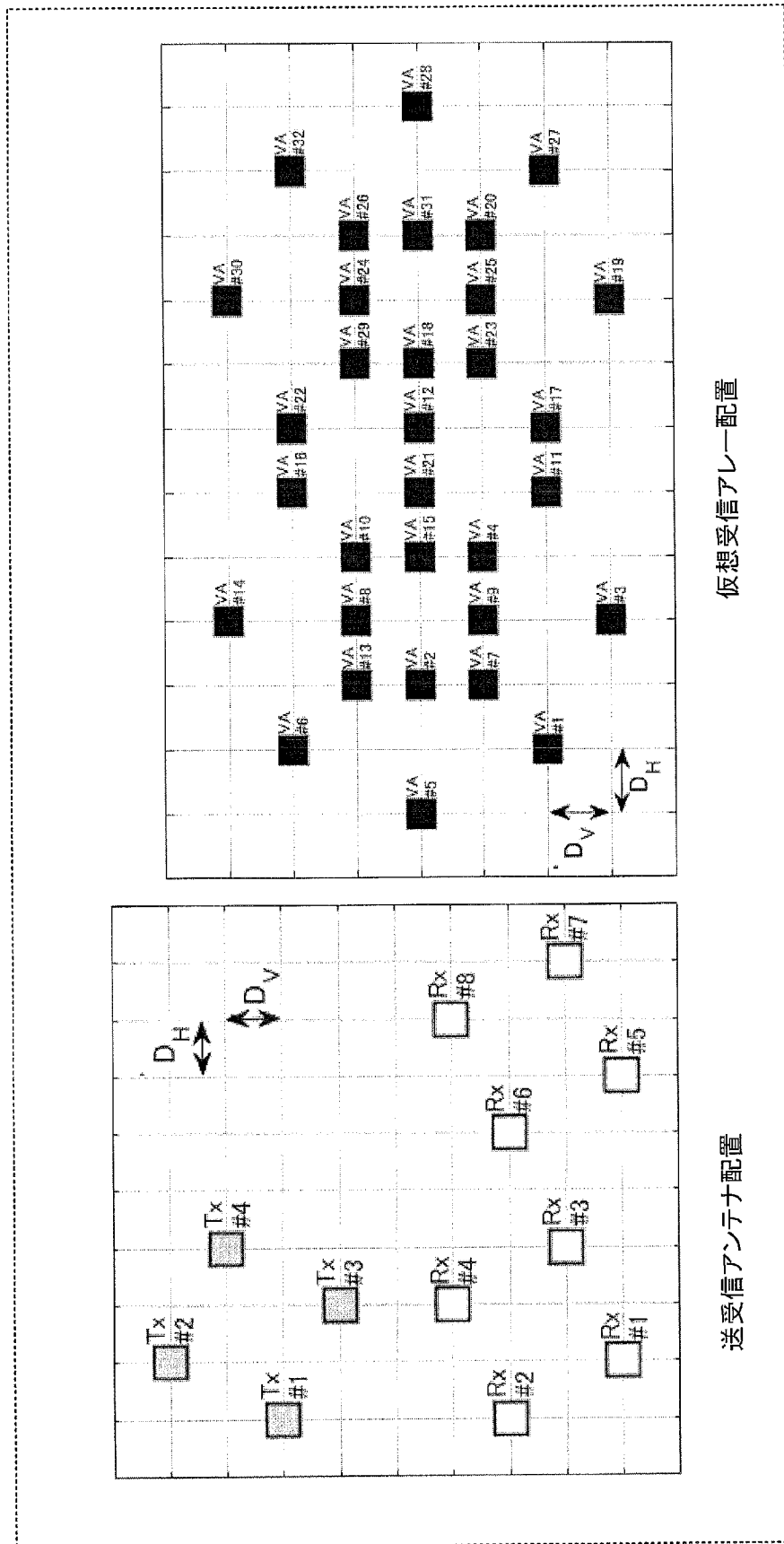
[図83]



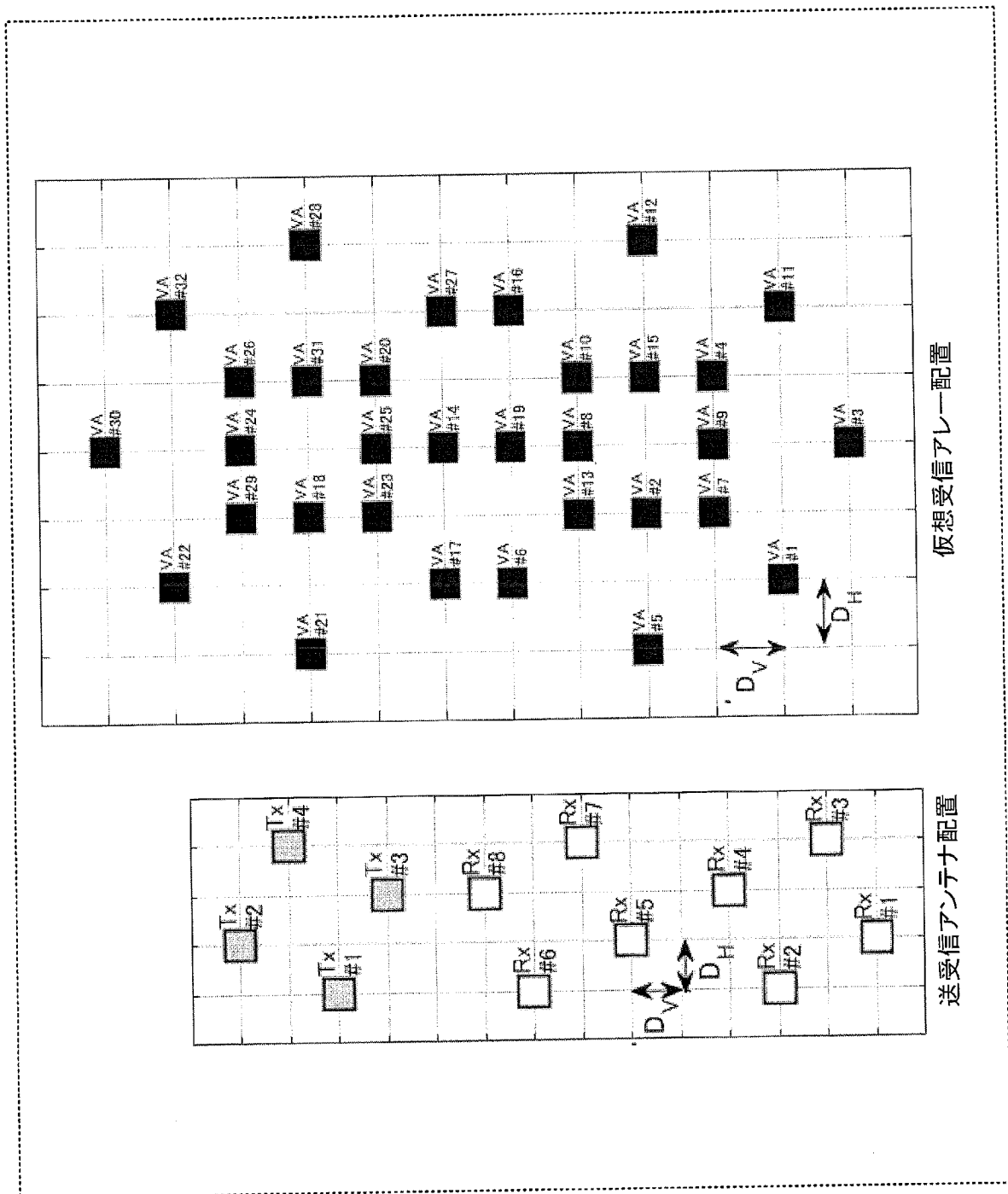
[図84]



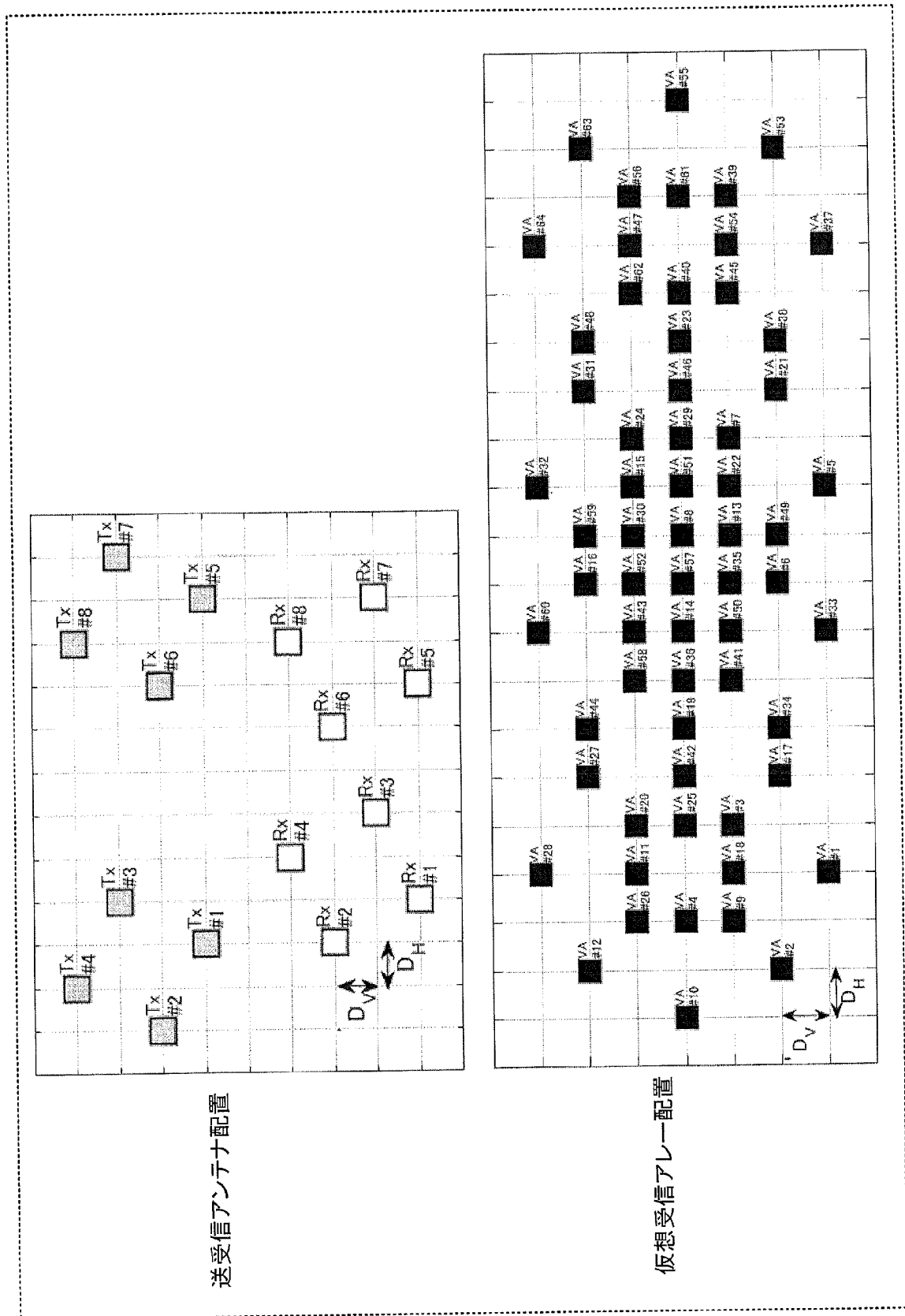
[図85]



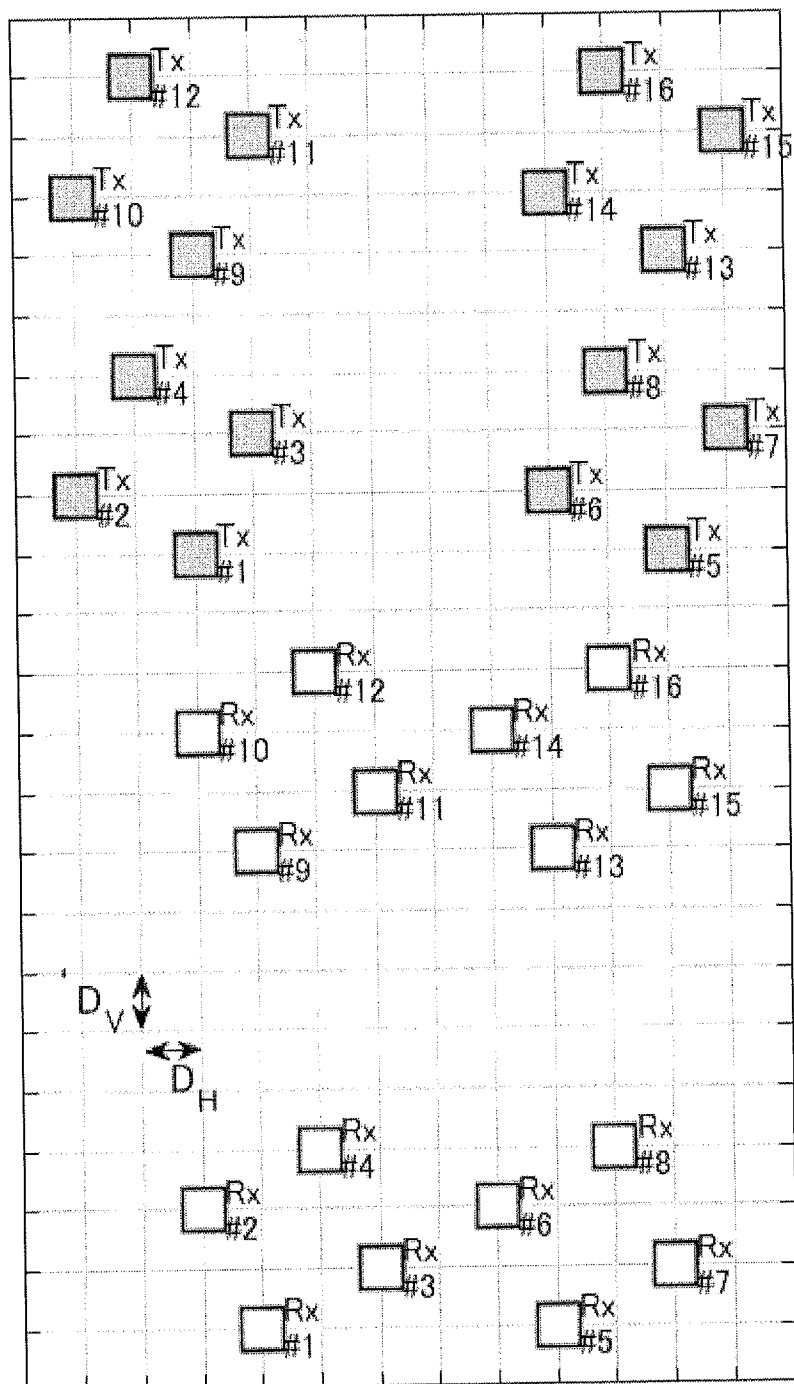
[図86]



[図87]



[図88A]



VA #108

VA #252

VA #192

VA #256

VA #136

VA #18

VA #220

VA #188

VA #251

VA #18

VA #224

VA #255

VA #18

VA #152

VA #172

VA #25

VA #21

VA #23

VA #19

VA #15

VA #176

VA #25

VA #22

VA #240

VA #154

VA #140

VA #18

VA #21

VA #17

VA #20

VA #18

VA #24

VA #14

VA #23

VA #18

VA #22

VA #175

VA #208

VA #253

VA #239

VA #15

VA #170

VA #139

VA #21

VA #23

VA #20

VA #15

VA #17

VA #143

VA #22

VA #238

VA #207

VA #138

VA #180

VA #18

VA #202

VA #24

VA #14

VA #23

VA #184

VA #17

VA #206

VA #248

VA #237

VA #148

VA #137

VA #17

VA #212

VA #20

VA #15

VA #24

VA #141

VA #18

VA #216

VA #205

VA #247

VA #17

VA #14

VA #104

VA #21

VA #22

VA #18

VA #15

VA #188

VA #24

VA #21

VA #232

VA #140

VA #13

VA #60

VA #17

VA #21

VA #16

VA #13

VA #12

VA #24

VA #13

VA #18

VA #21

VA #16

VA #20

VA #12

VA #245

VA #231

VA #28

VA #14

VA #18

VA #13

VA #59

VA #82

VA #20

VA #22

VA #32

VA #23

VA #16

VA #13

VA #63

VA #96

VA #21

VA #23

VA #19

VA #127

VA #13

VA #50

VA #27

VA #44

VA #18

VA #18

VA #12

VA #91

VA #19

VA #62

VA #31

VA #40

VA #16

VA #18

VA #12

VA #95

VA #11

VA #229

VA #26

VA #12

VA #12

VA #57

VA #90

VA #43

VA #70

VA #39

VA #12

VA #16

VA #10

VA #81

VA #94

VA #47

VA #80

VA #19

VA #125

VA #111

VA #25

VA #42

VA #11

VA #89

VA #10

VA #75

VA #29

VA #40

VA #18

VA #93

VA #110

VA #79

VA #10

VA #52

VA #41

VA #74

VA #11

VA #14

VA #10

VA #56

VA #45

VA #79

VA #120

VA #109

VA #20

VA #9

VA #61

VA #84

VA #73

VA #24

VA #11

VA #13

VA #55

VA #88

VA #77

VA #110

VA #50

VA #19

VA #36

VA #11

VA #93

VA #10

VA #54

VA #23

VA #40

VA #11

VA #87

VA #104

VA #18

VA #4

VA #49

VA #82

VA #35

VA #68

VA #22

VA #11

VA #8

VA #99

VA #53

VA #88

VA #39

VA #72

VA #117

VA #103

VA #17

VA #317

VA #34

VA #3

VA #81

VA #98

VA #67

VA #21

VA #38

VA #7

VA #35

VA #10

VA #71

VA #12

VA #72

VA #33

VA #66

VA #36

VA #97

VA #37

VA #70

VA #101

VA #1

VA #65

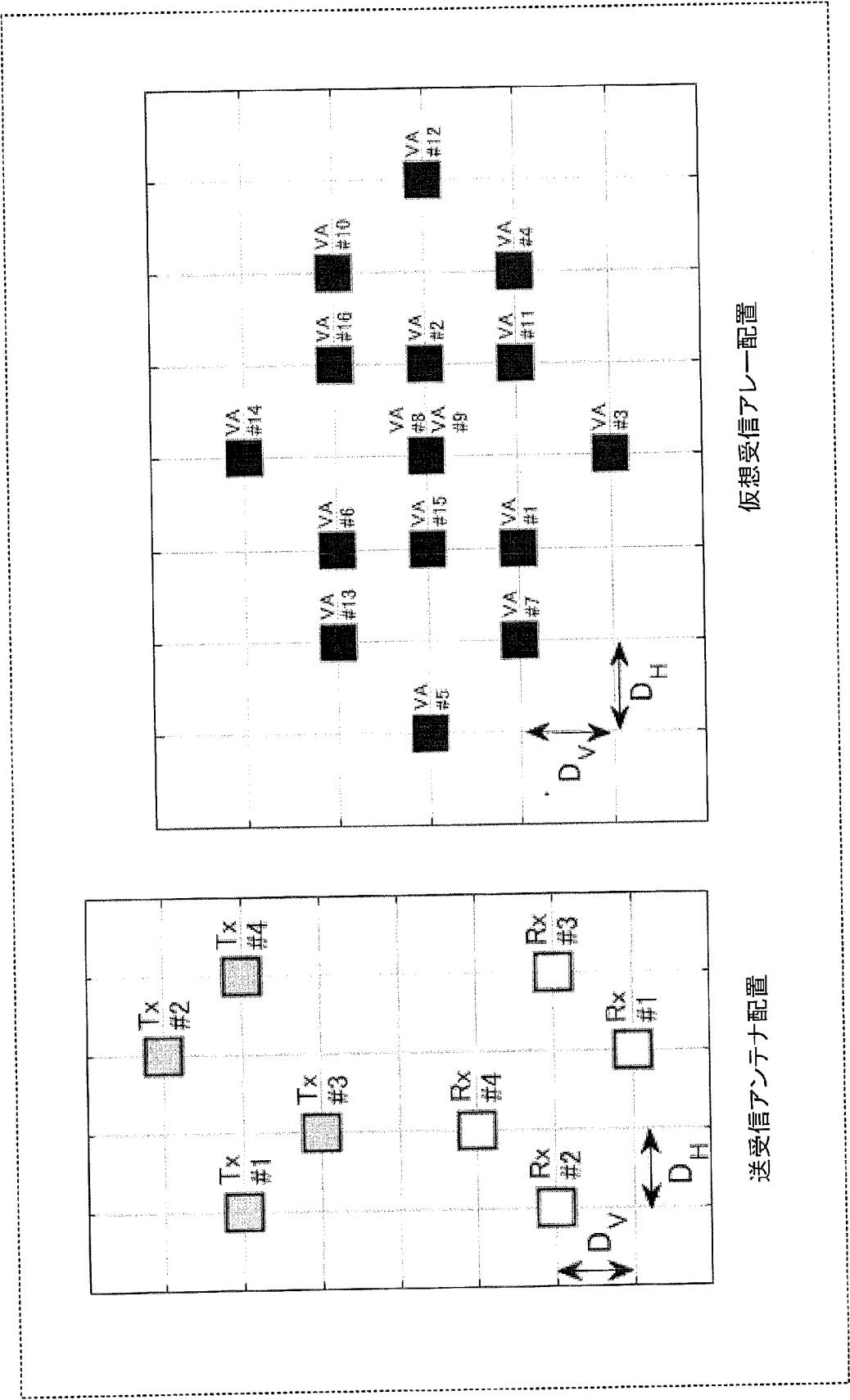
VA #5

VA #69

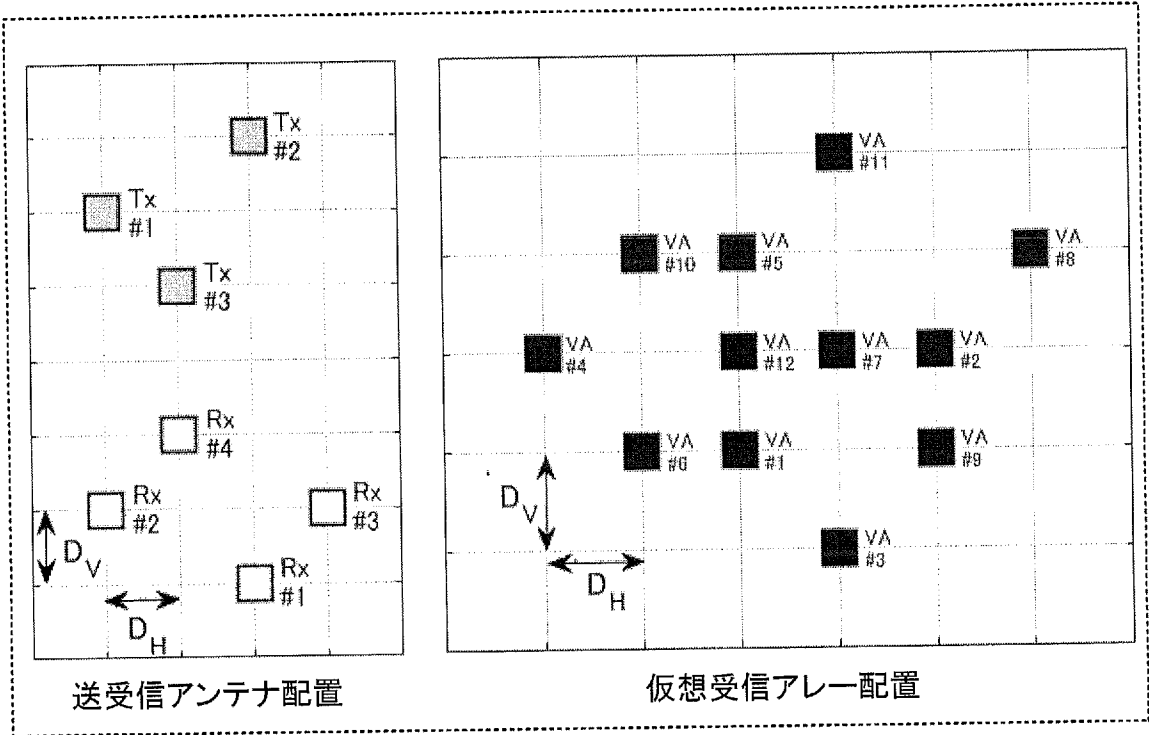
D_V

D_H

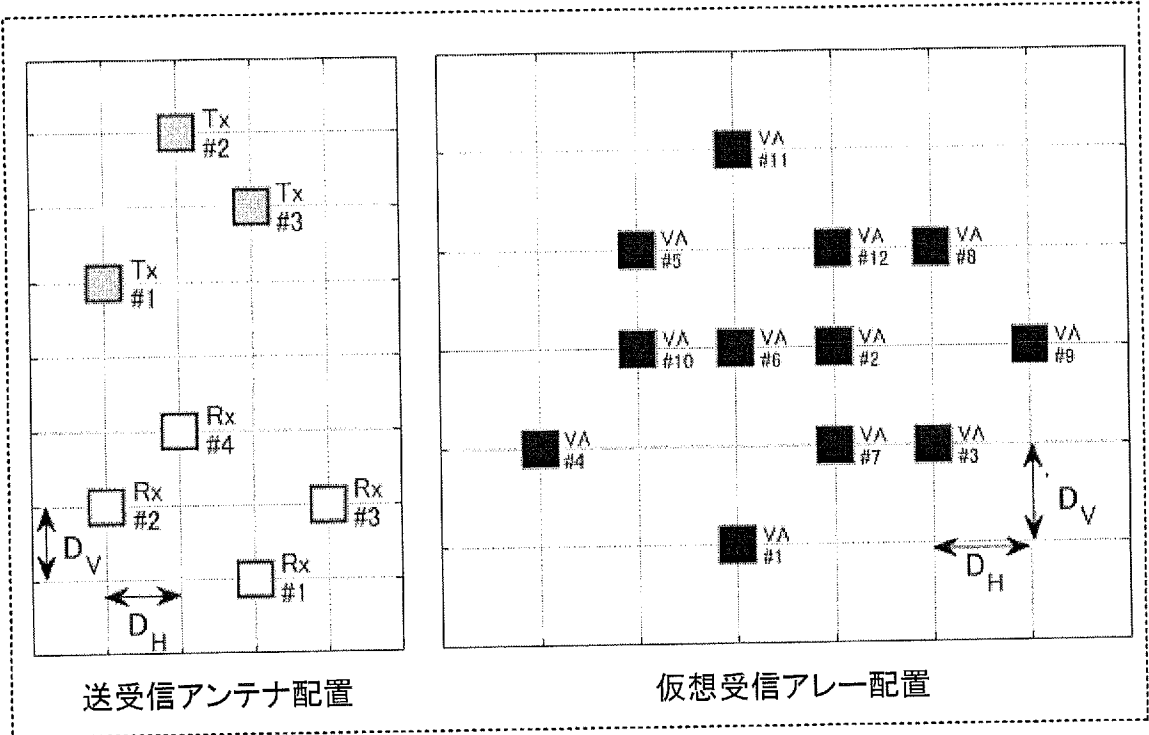
[図89]



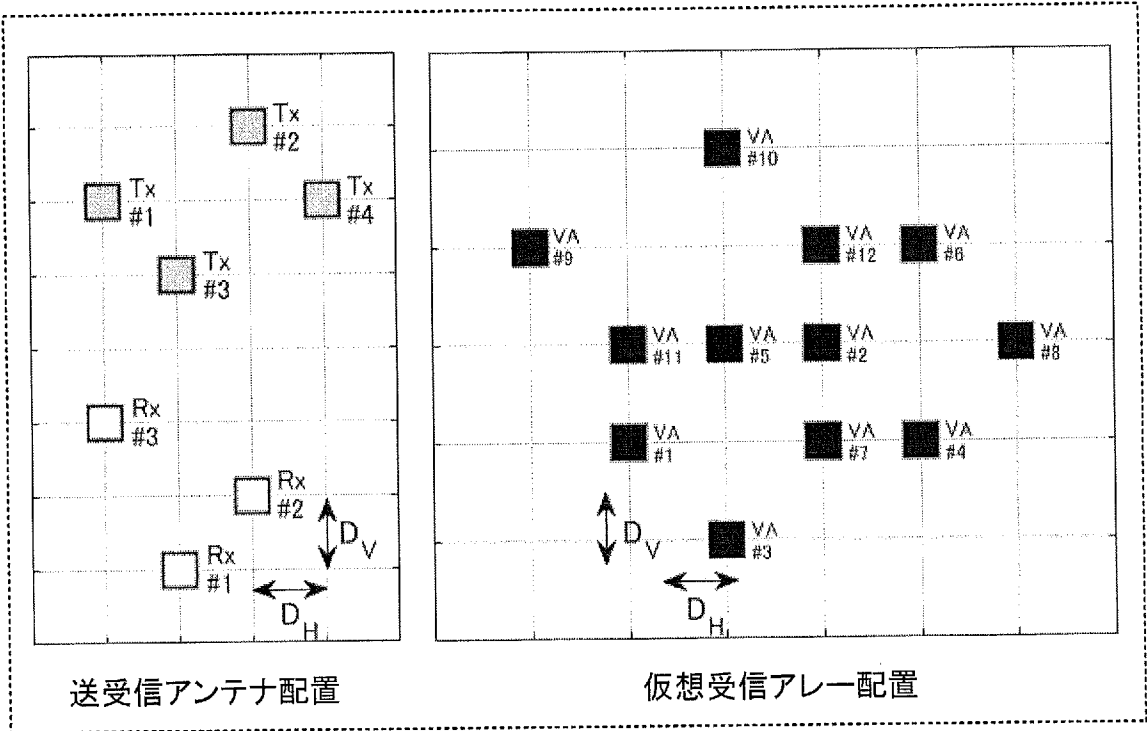
[図90A]



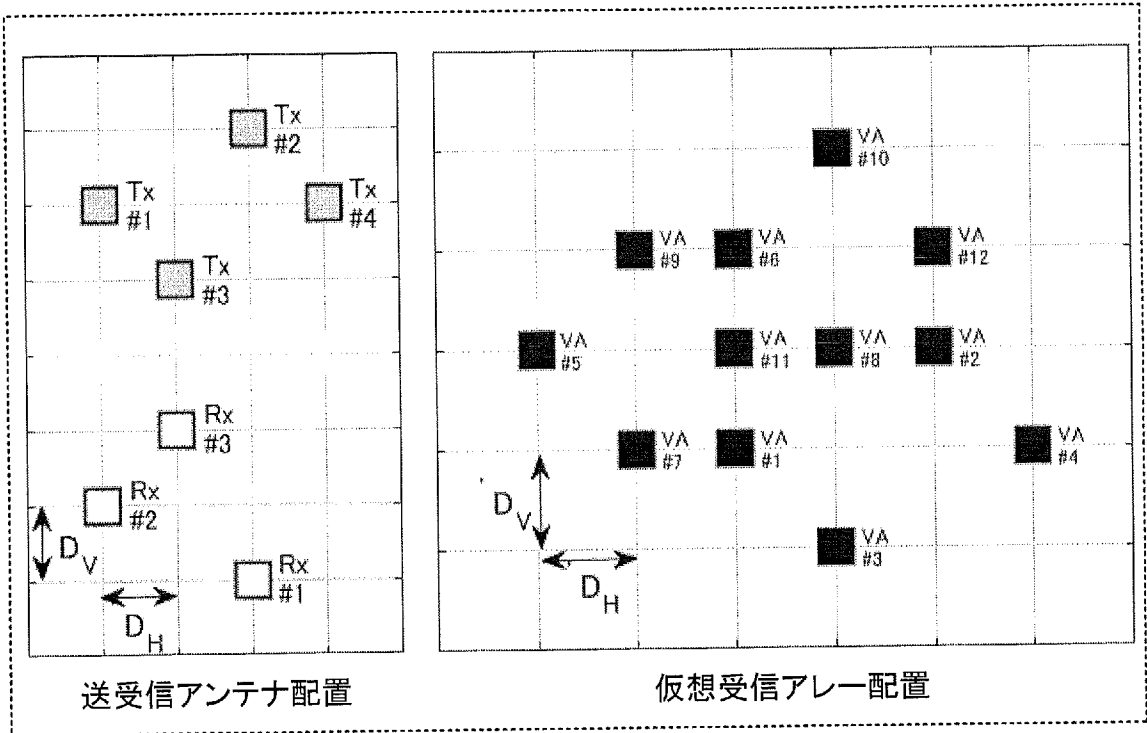
[図90B]



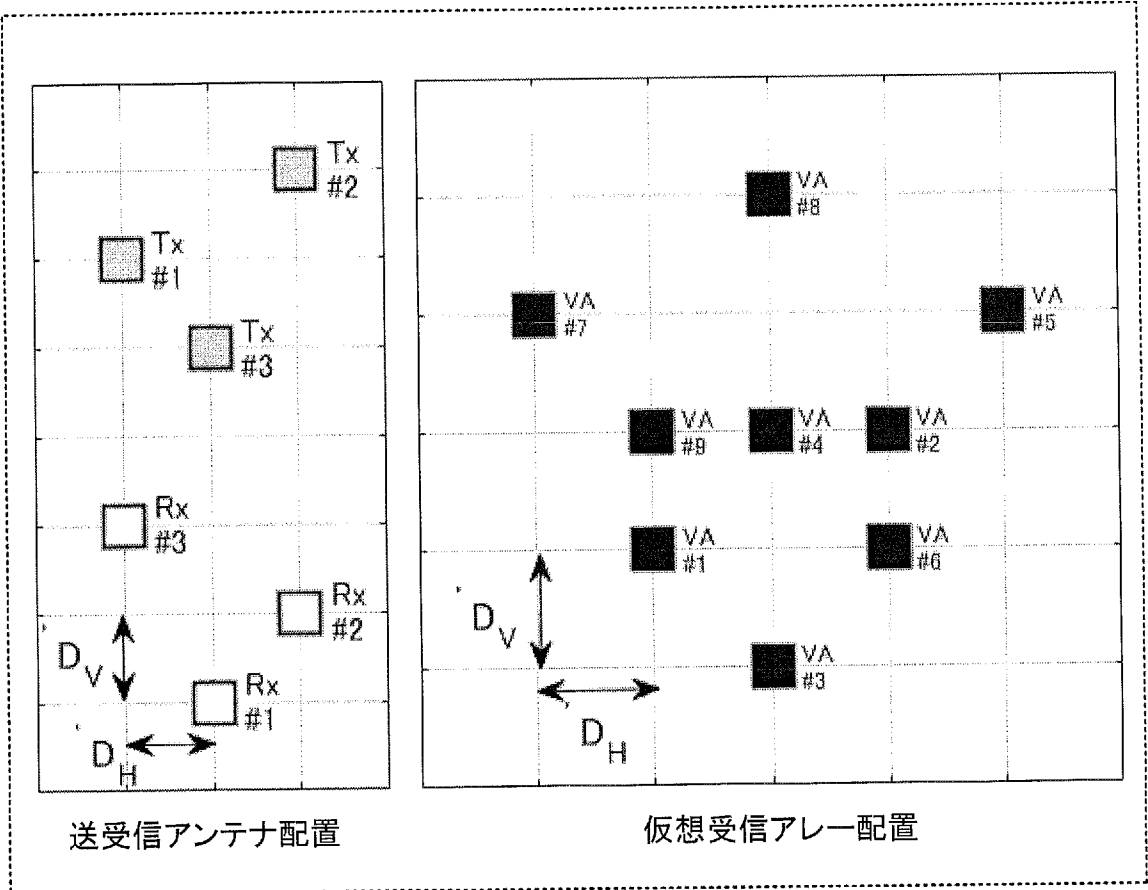
[図91A]



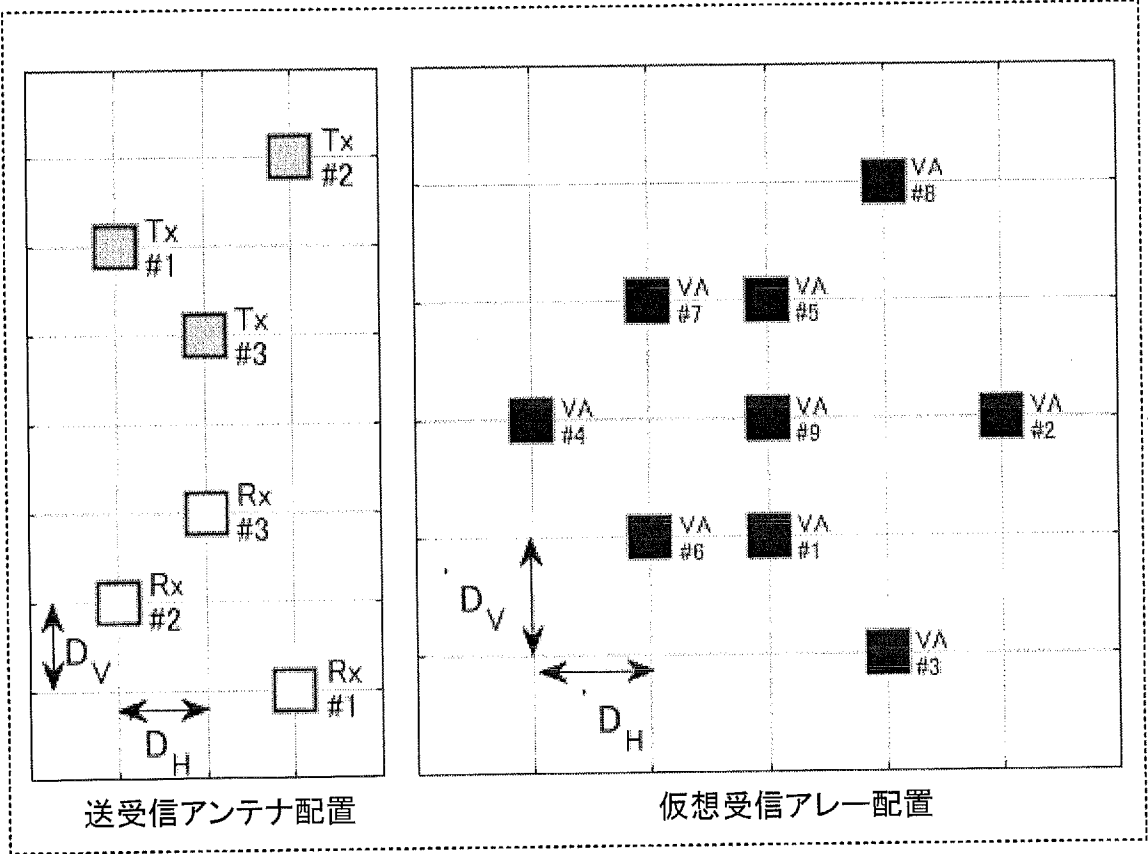
[図91B]



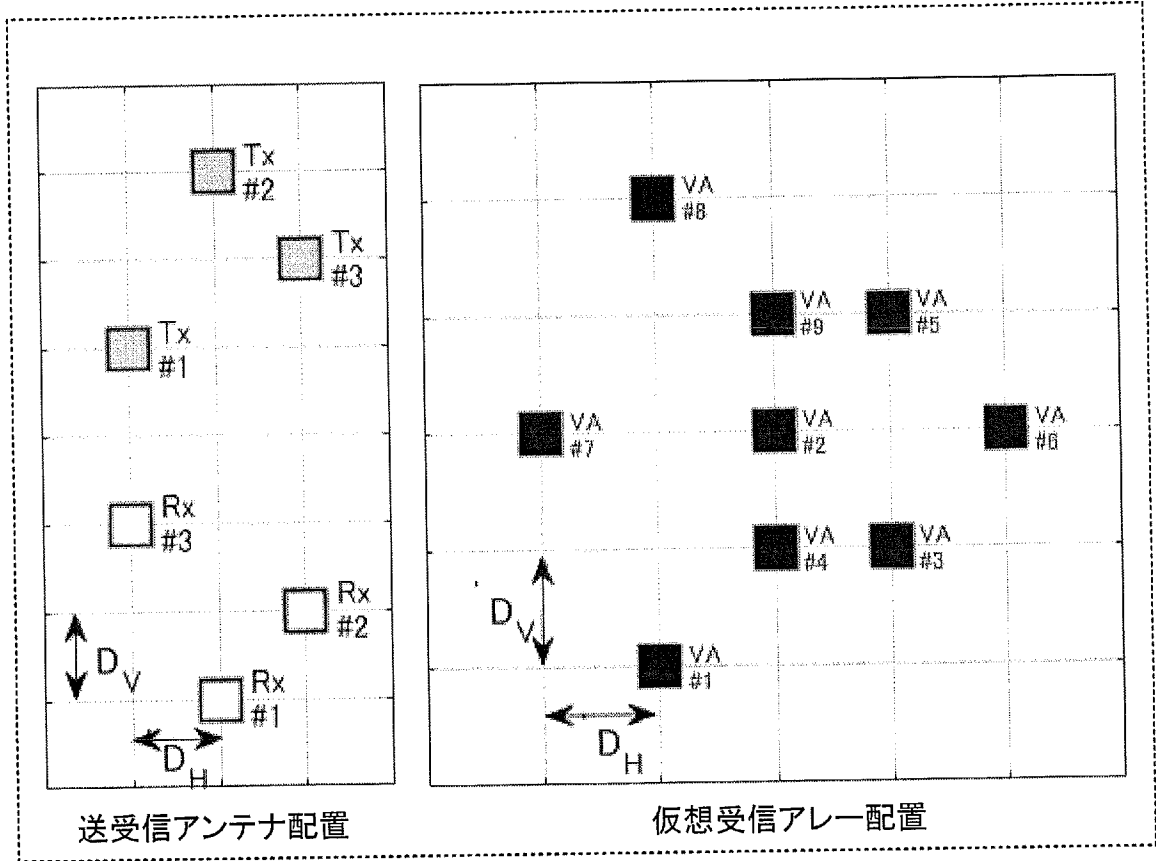
[図92A]



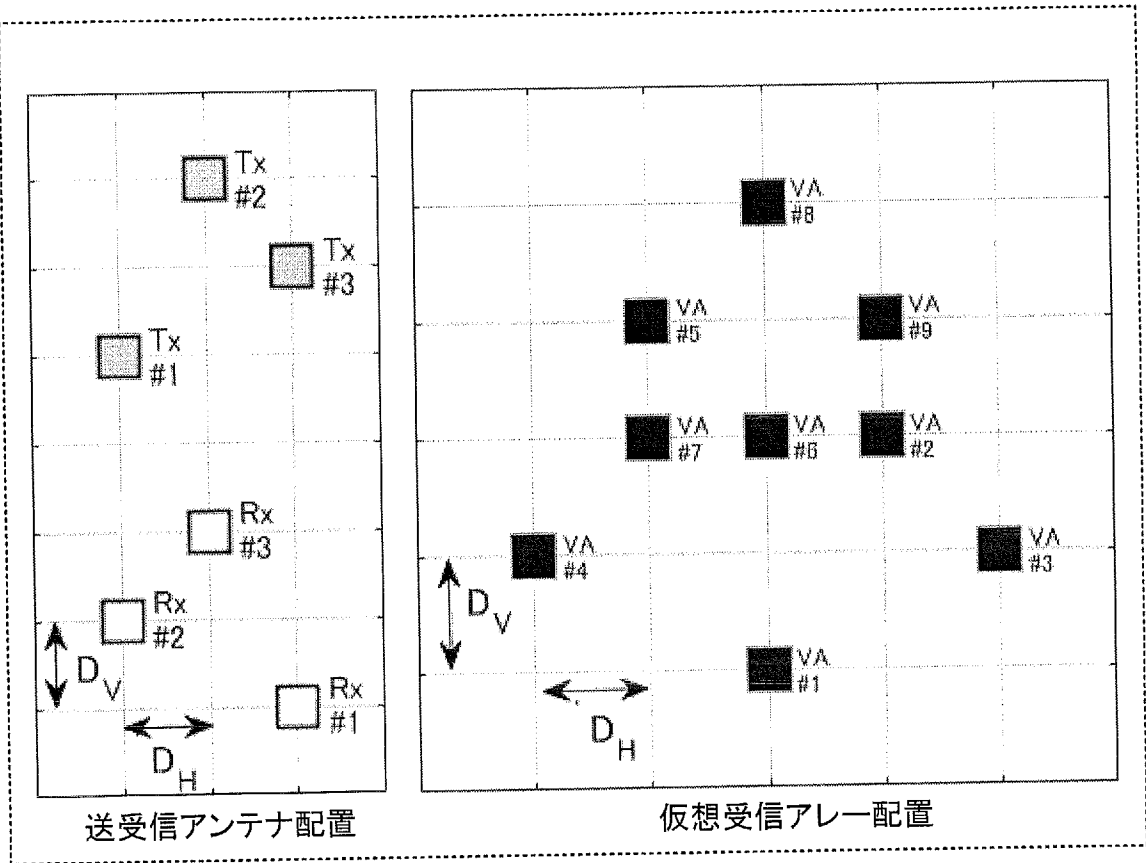
[図92B]



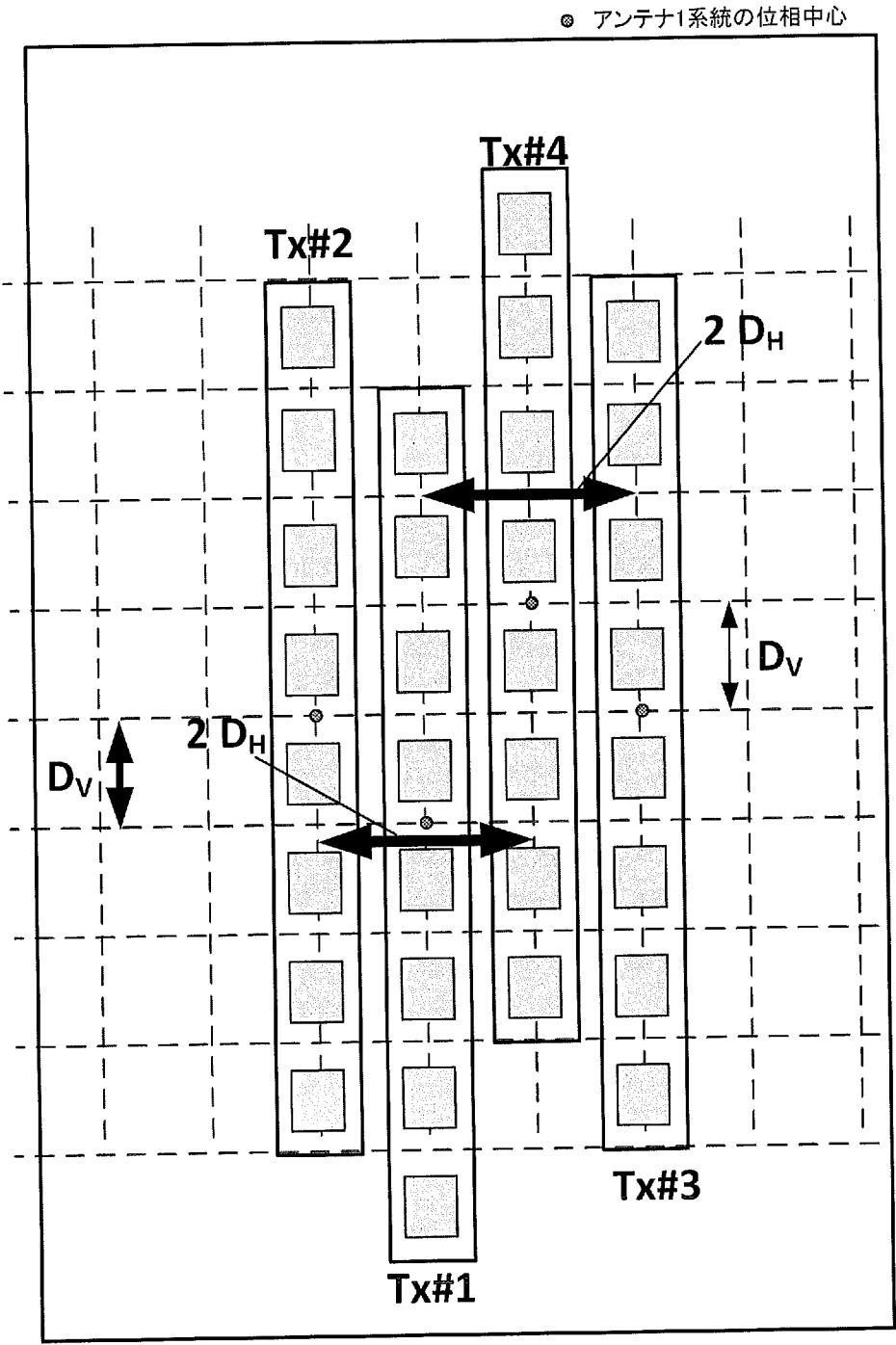
[図92C]



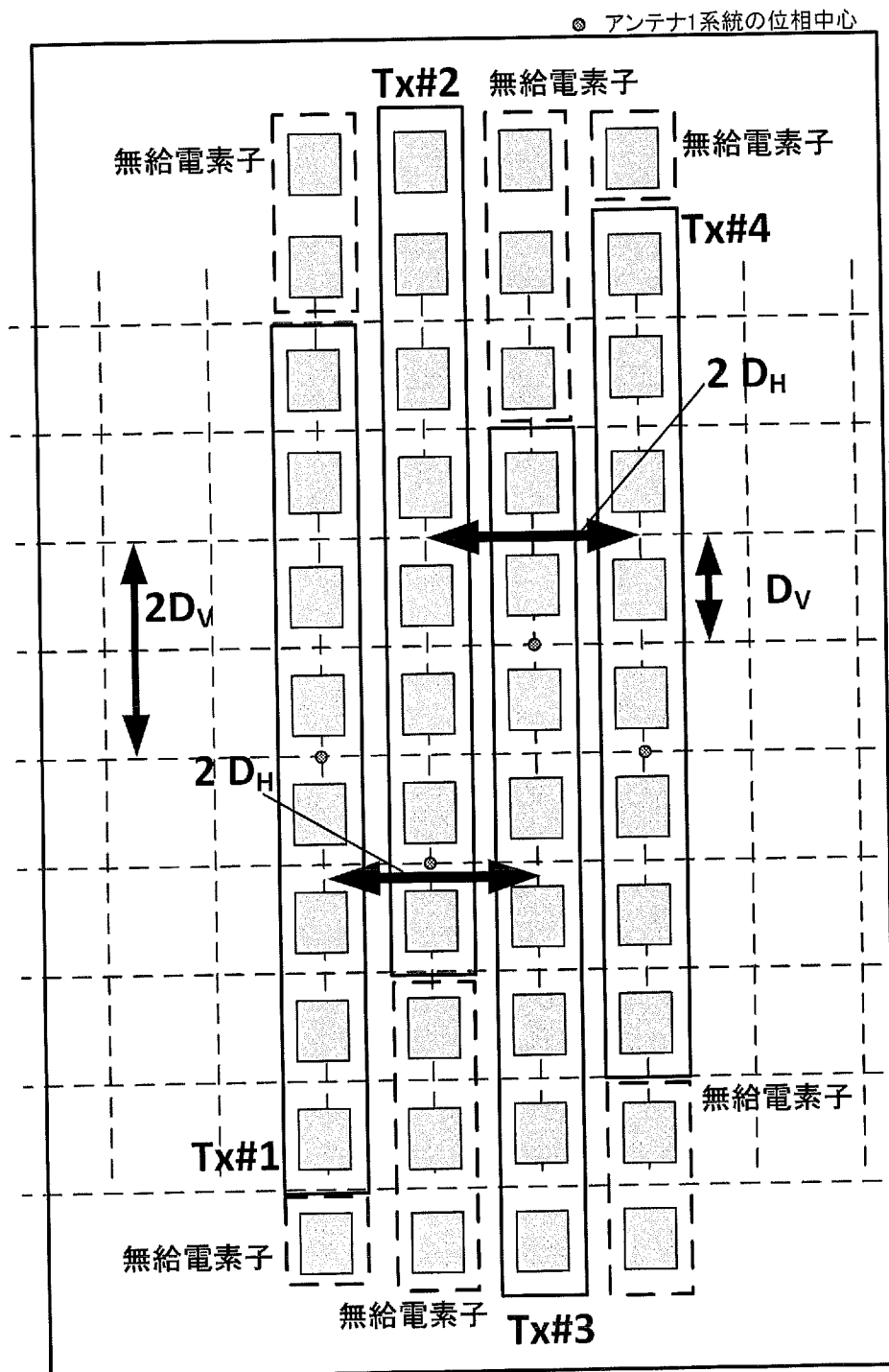
[図92D]



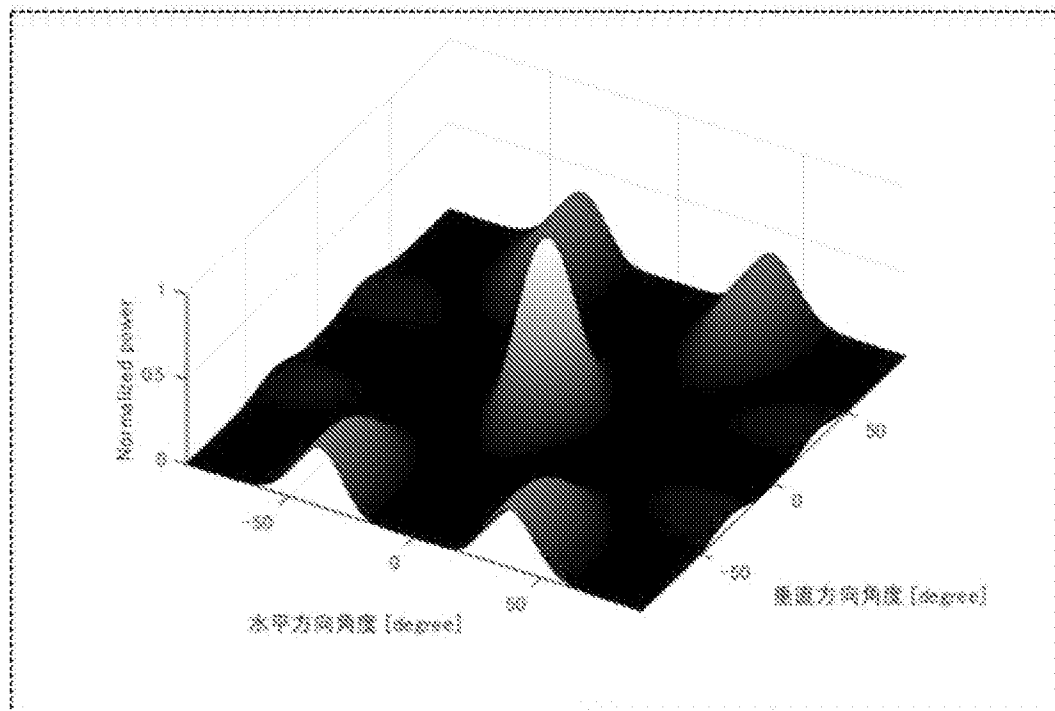
[図93A]



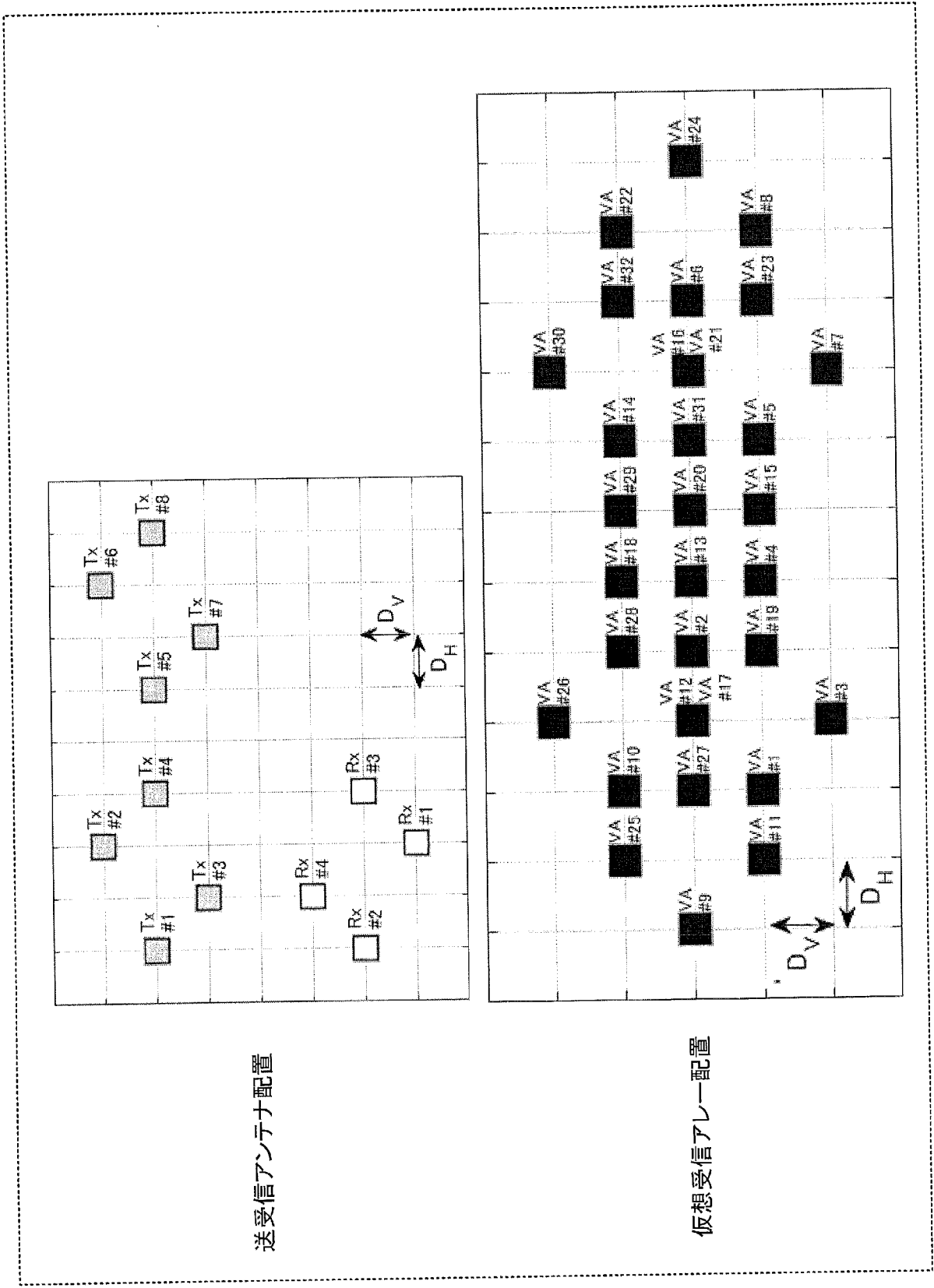
[図93B]



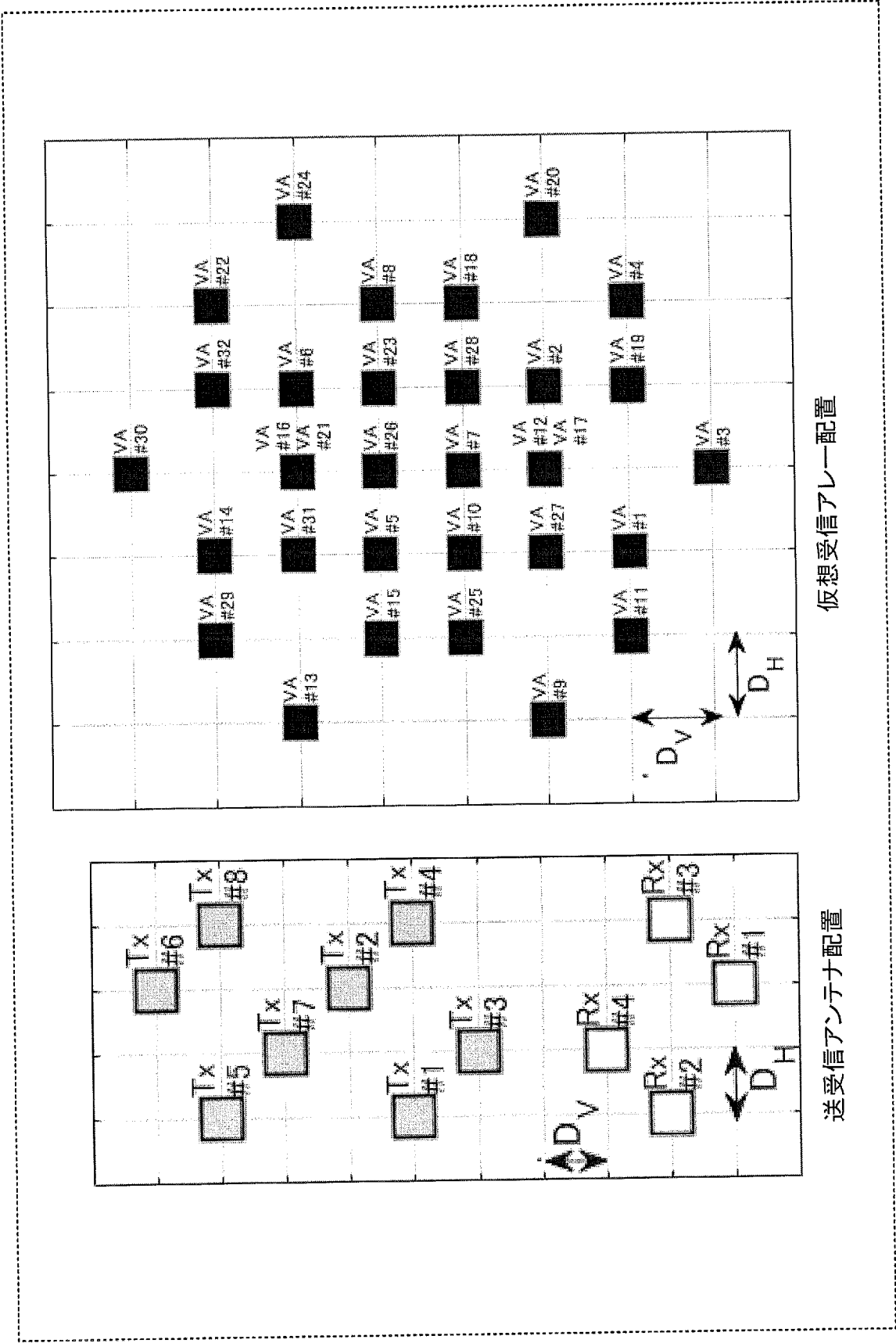
[図94]



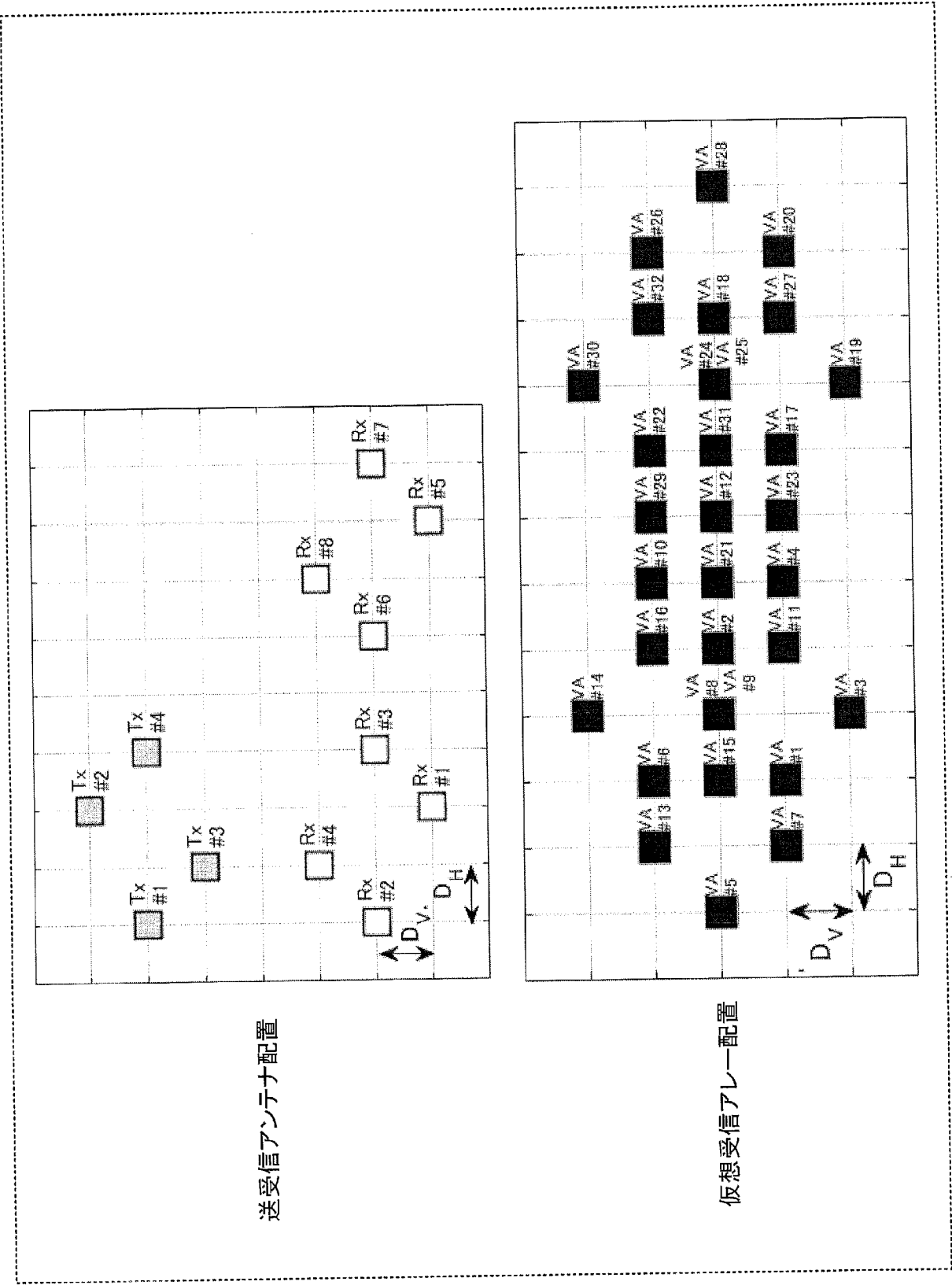
[図95]



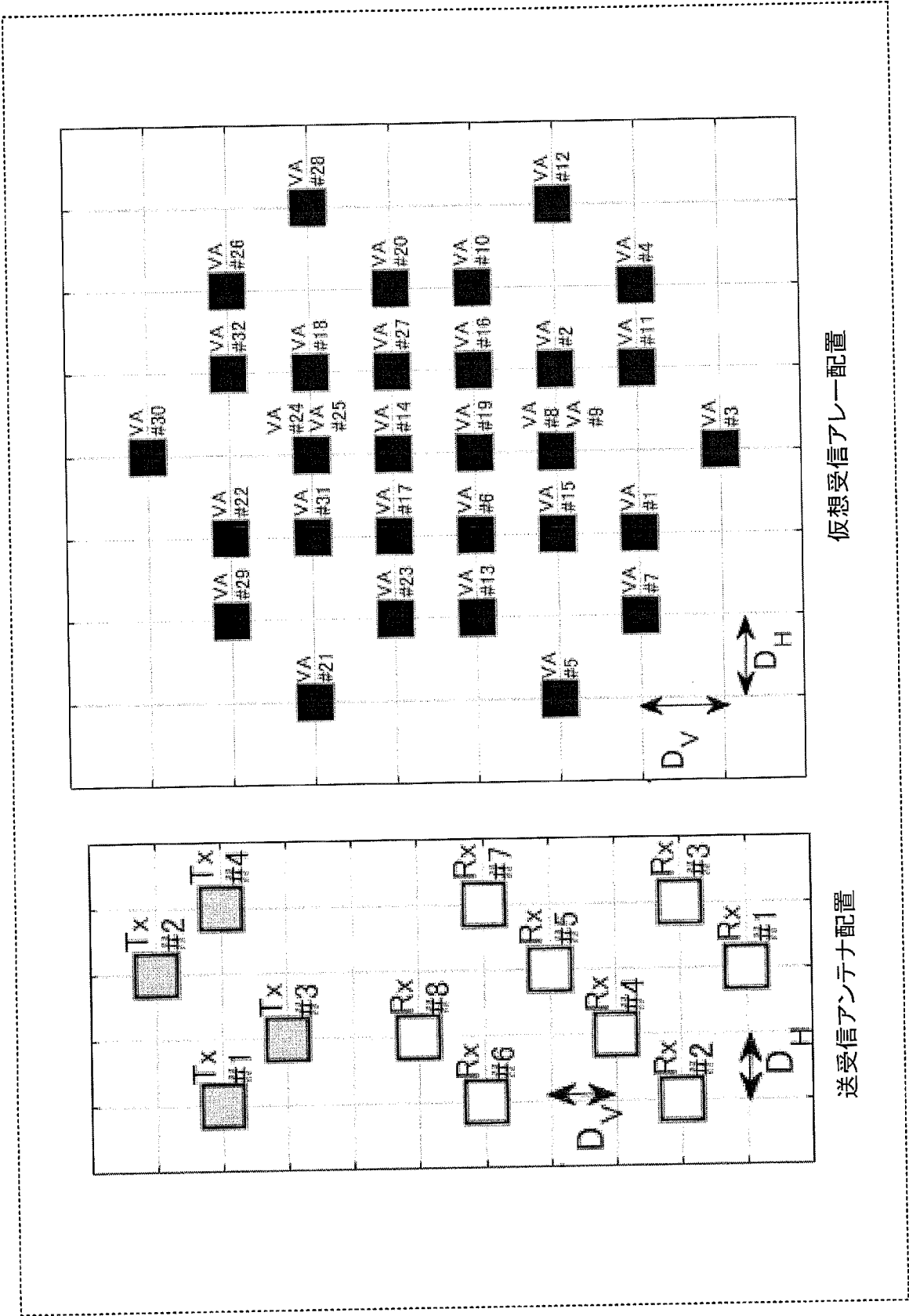
[図96]



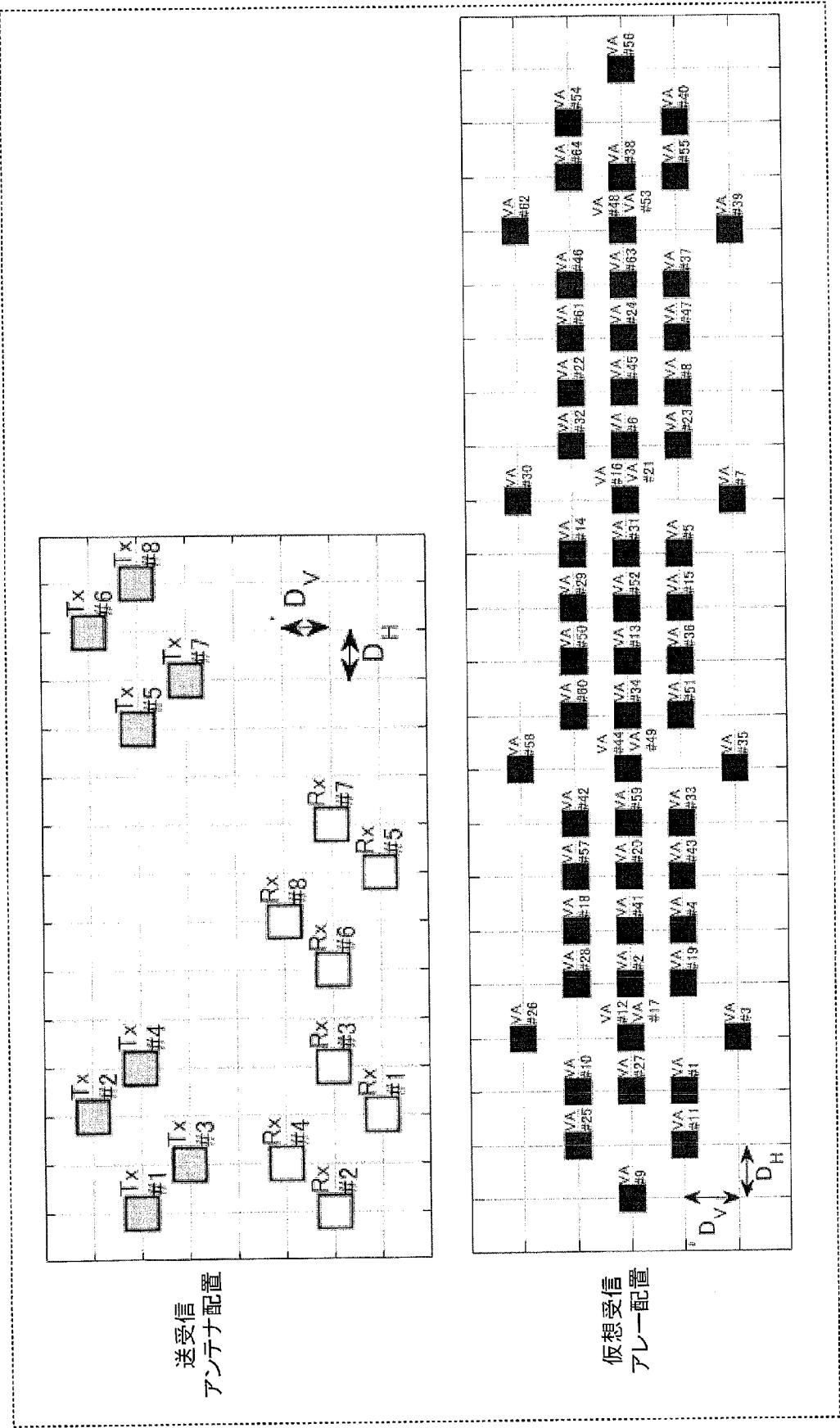
[図97]



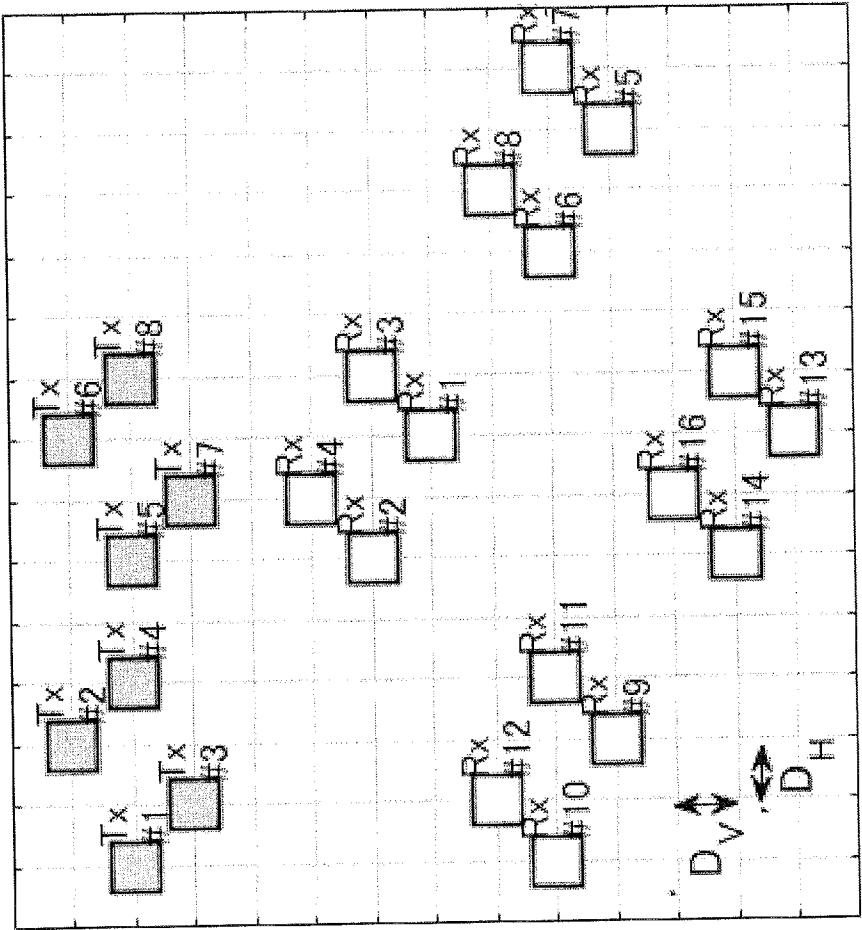
[図98]



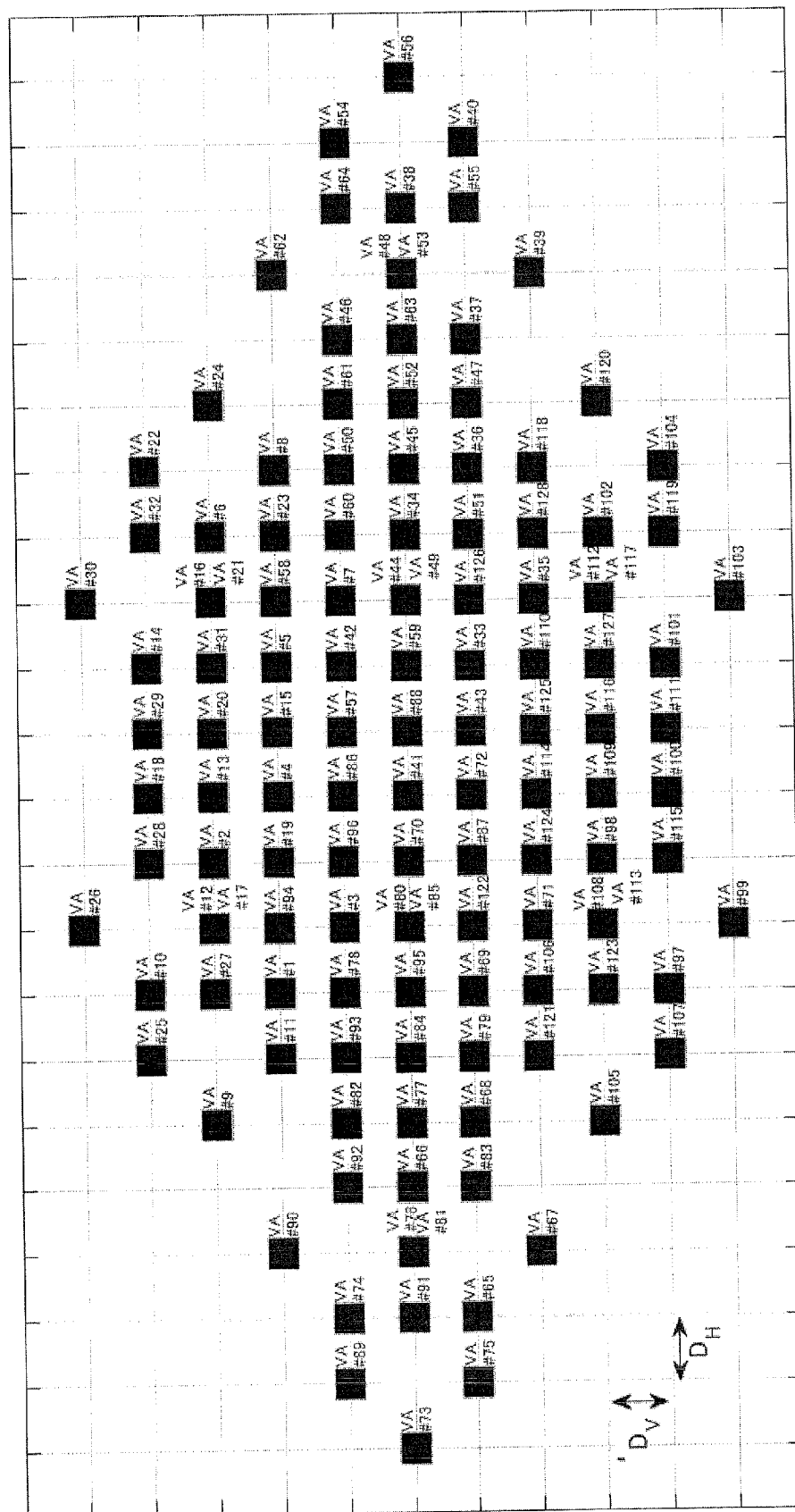
[図99]



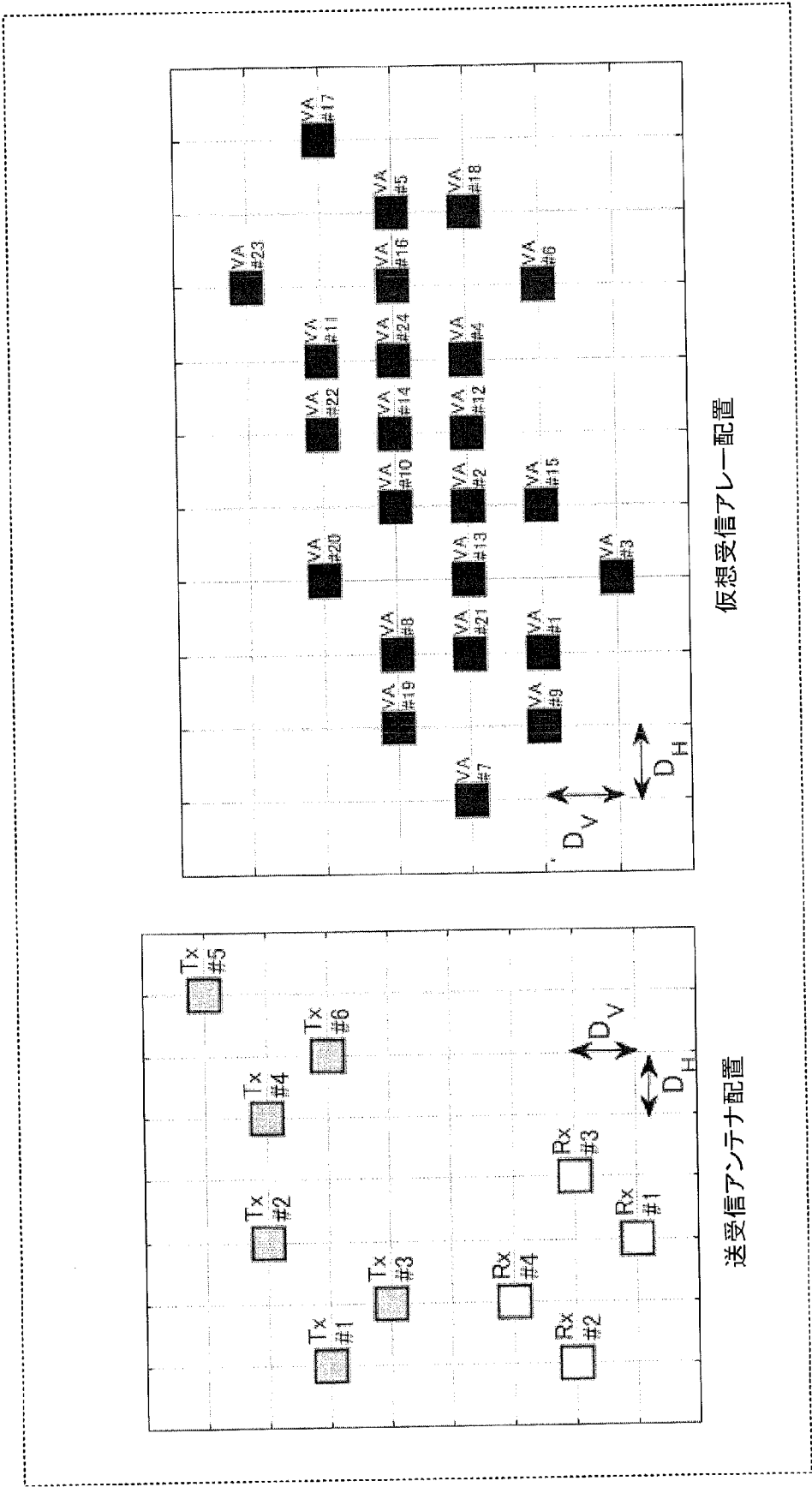
[図100A]



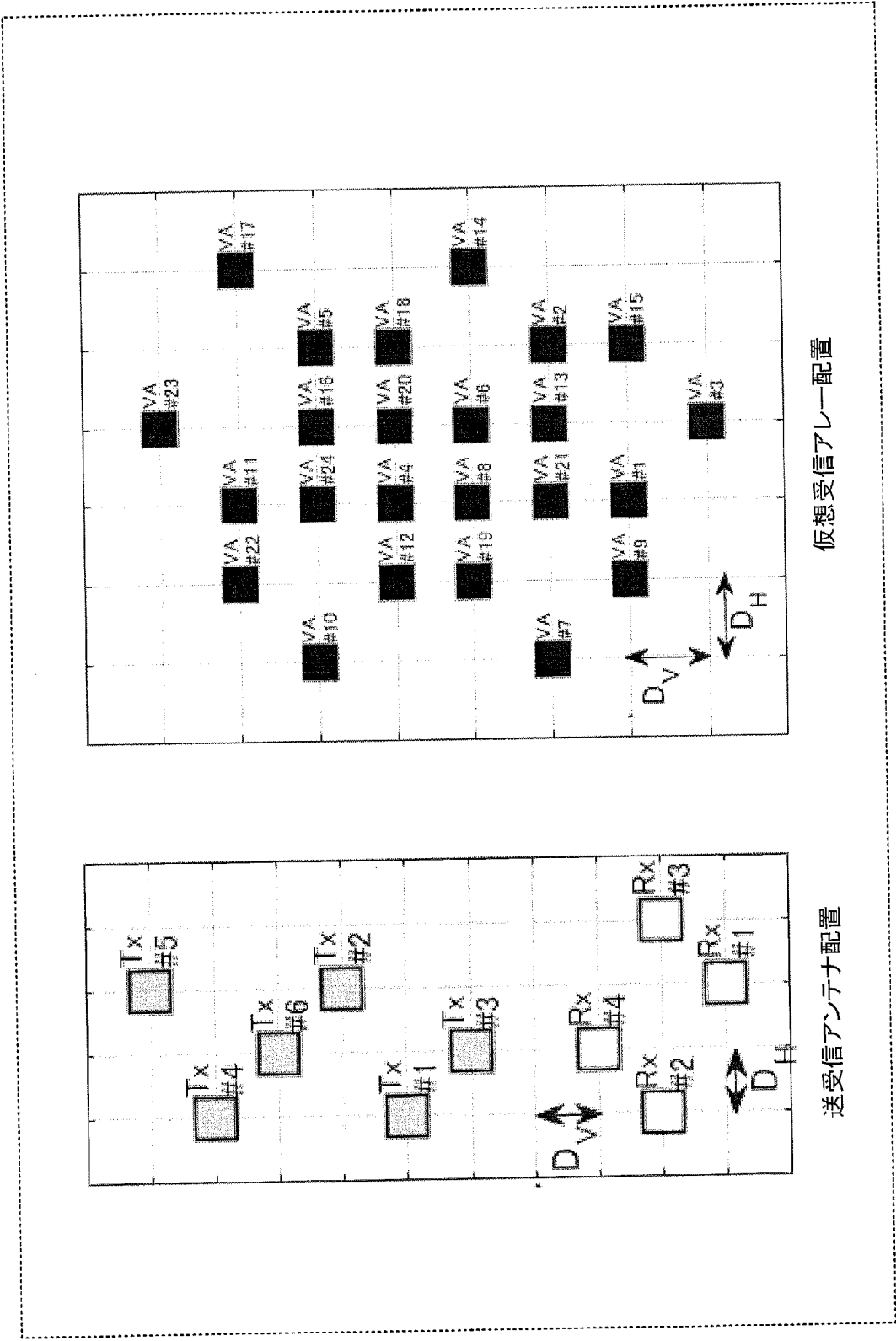
[図100B]



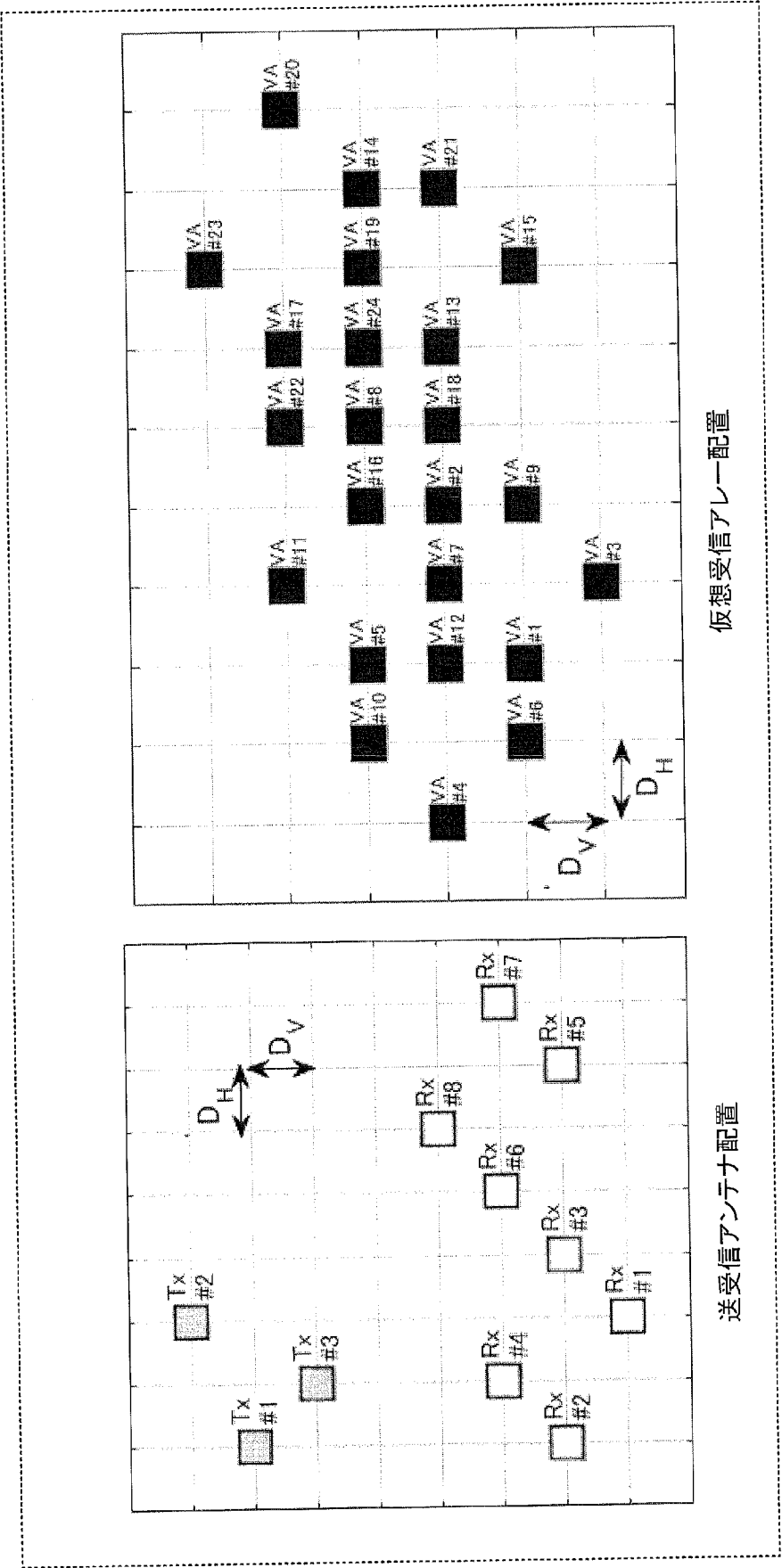
[図101]



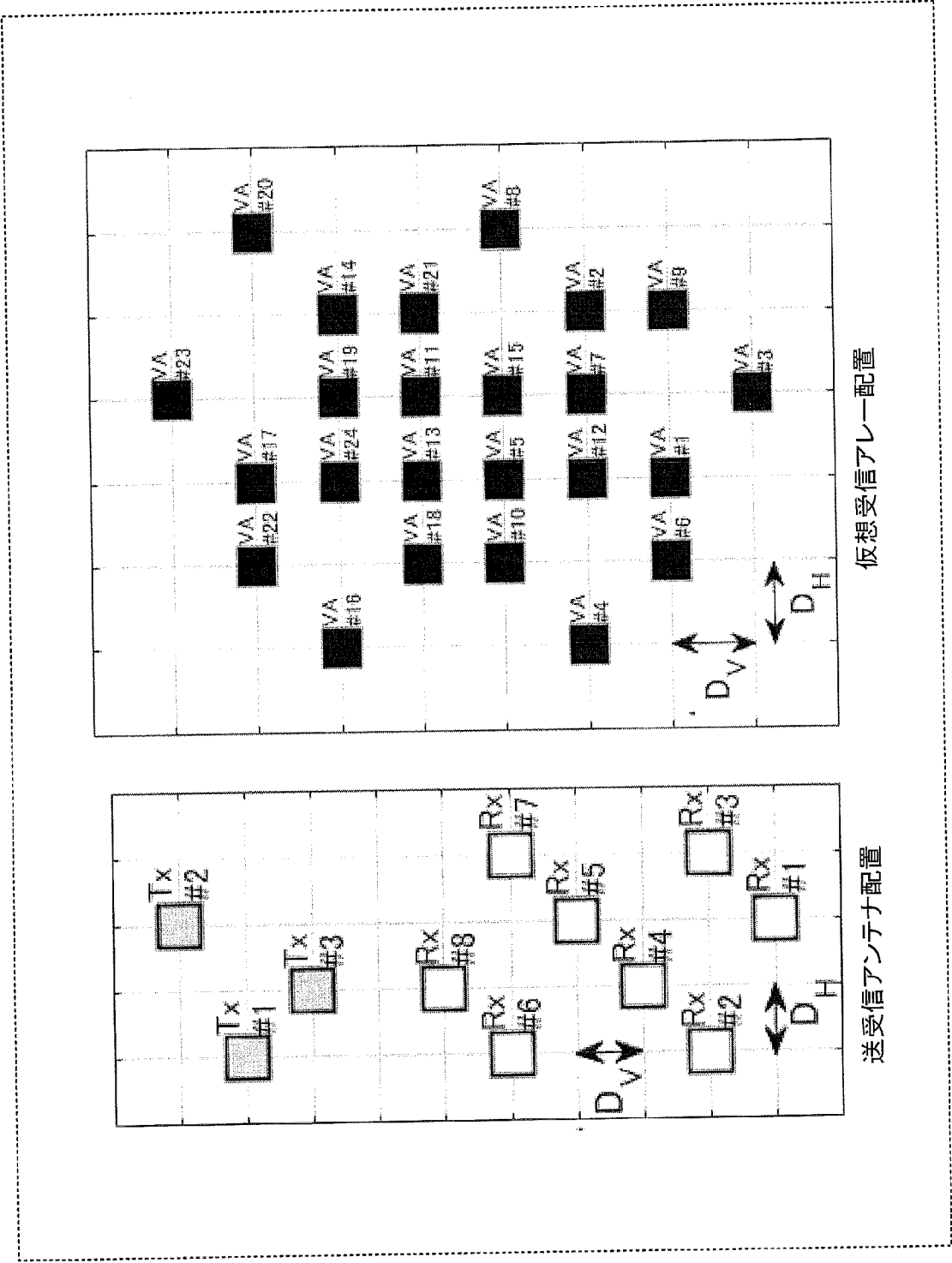
[図102]



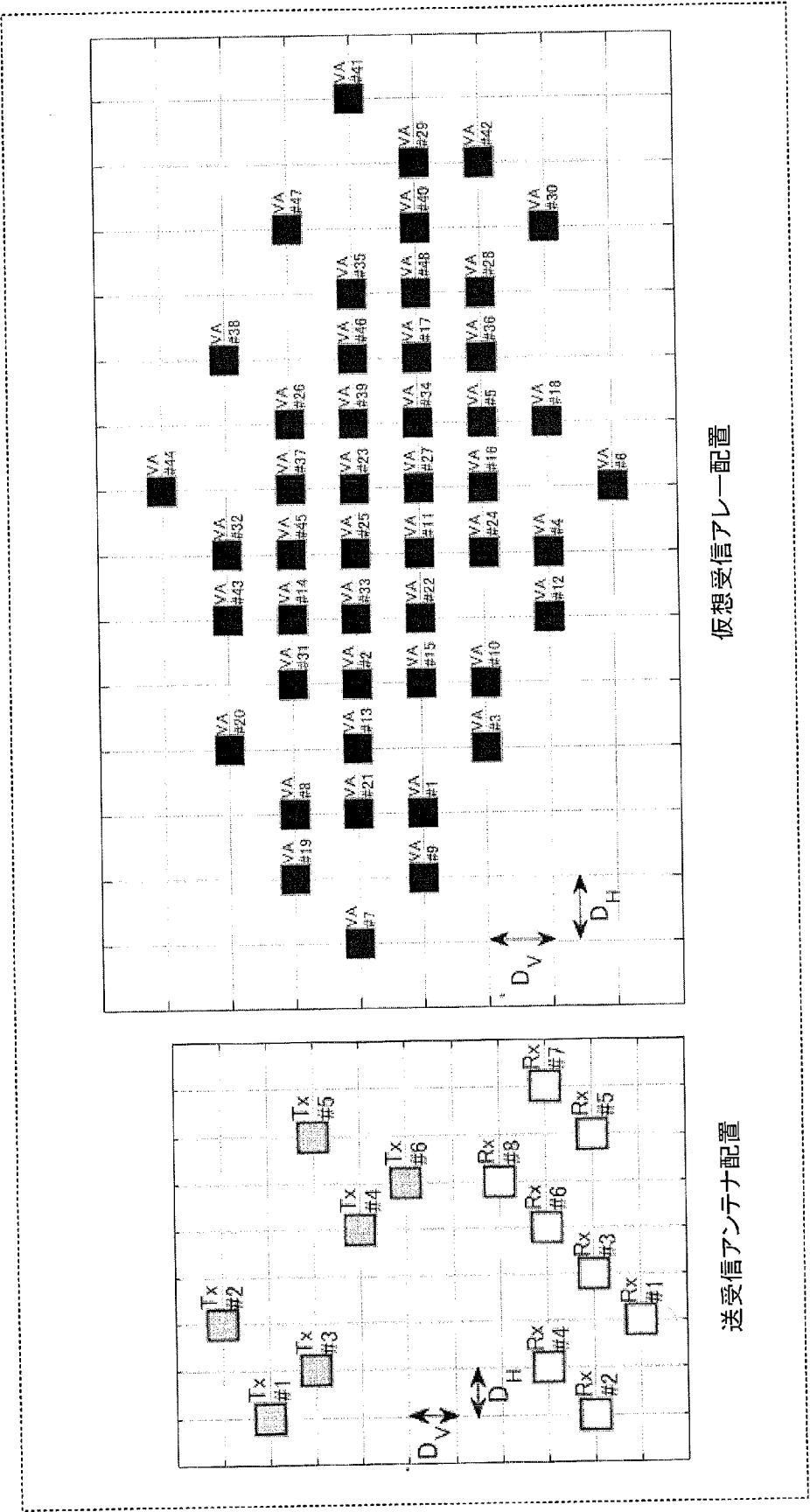
[図103]



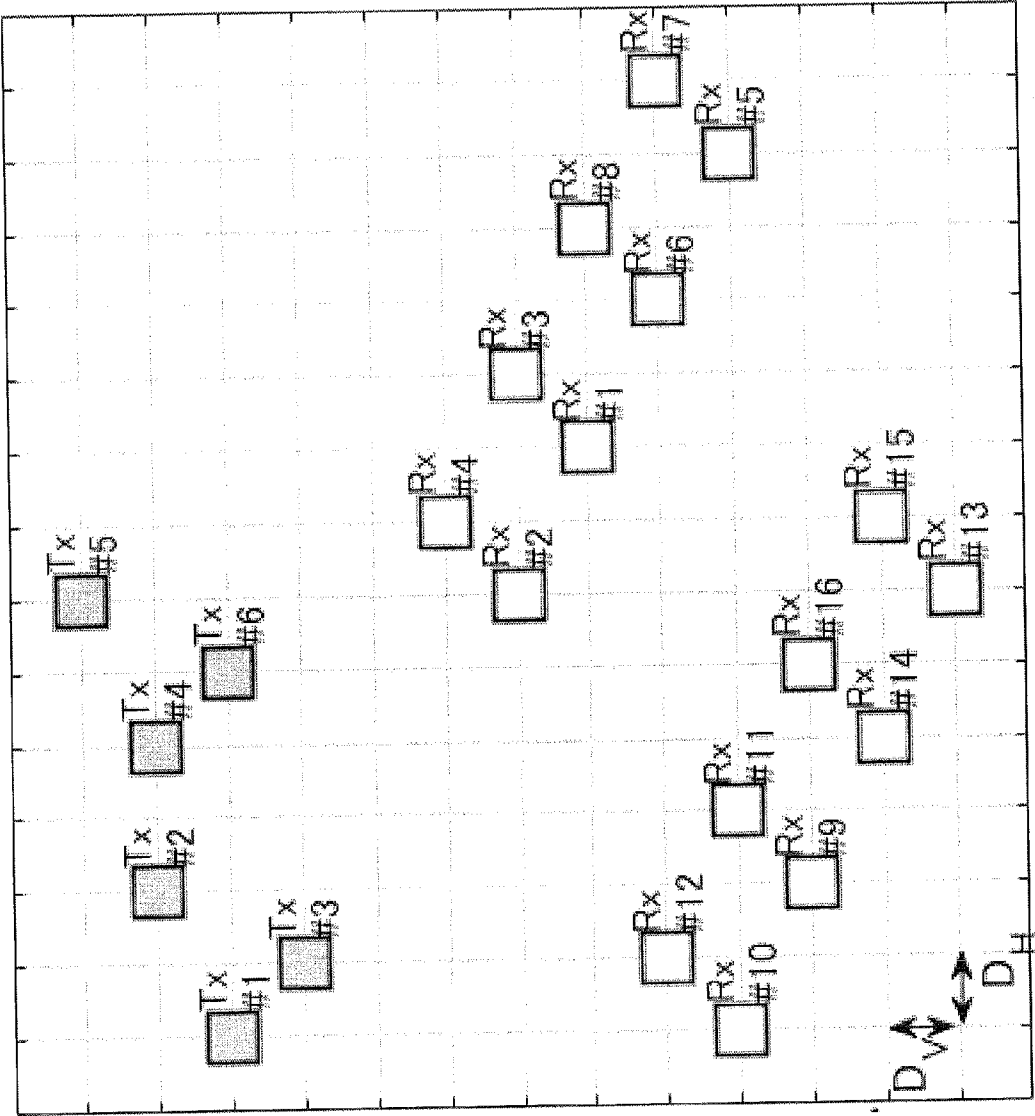
[図104]



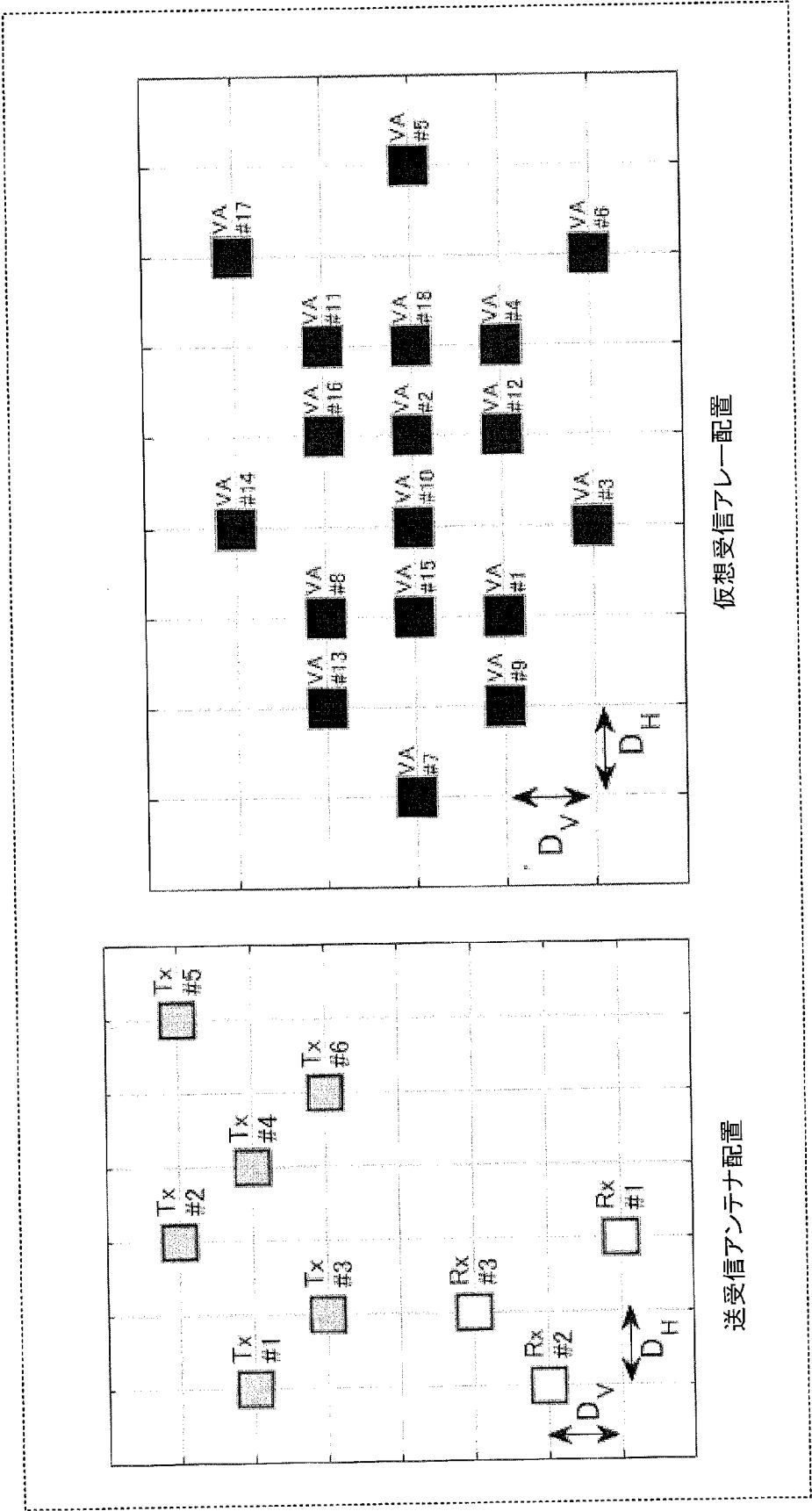
[図105]



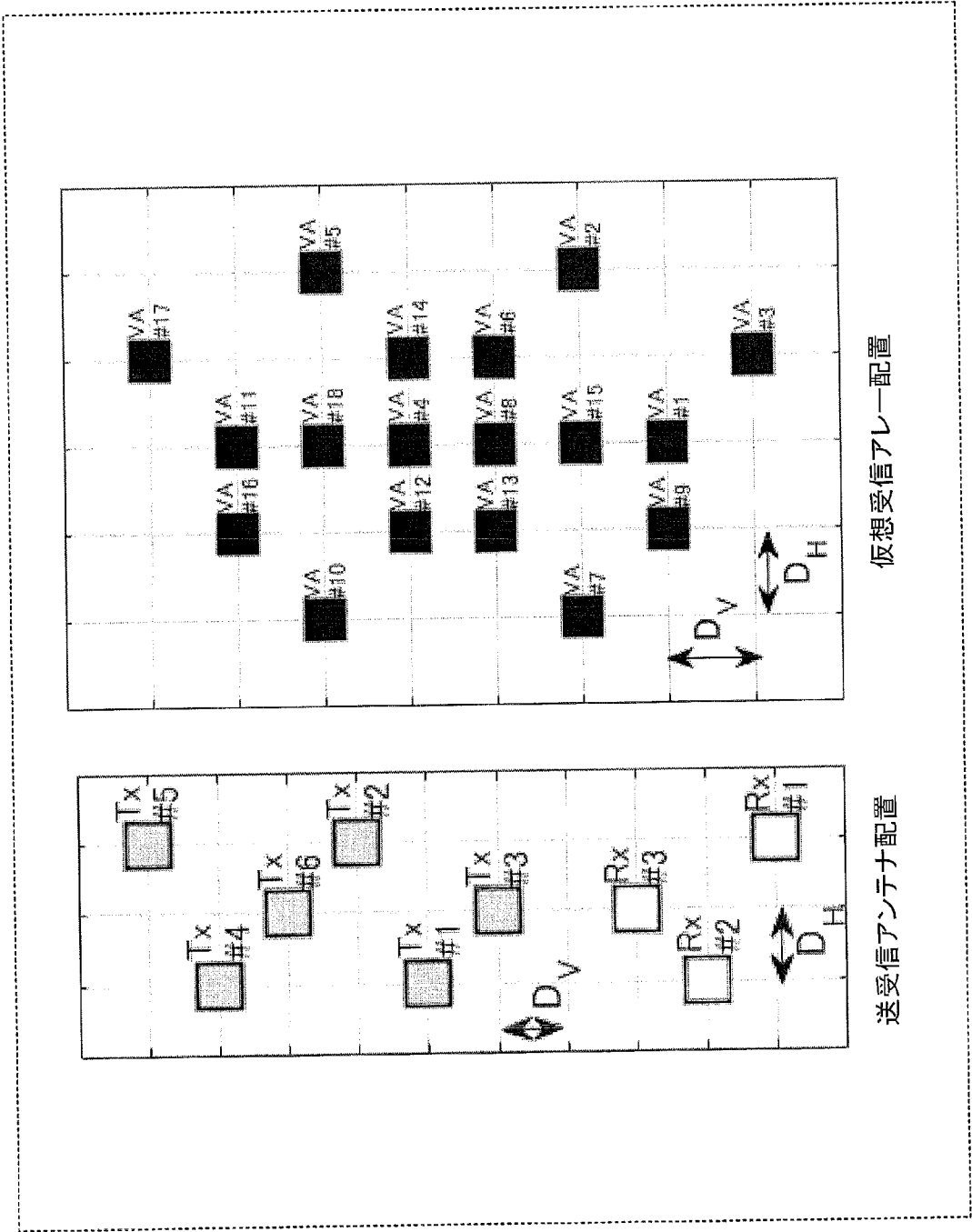
[図106A]



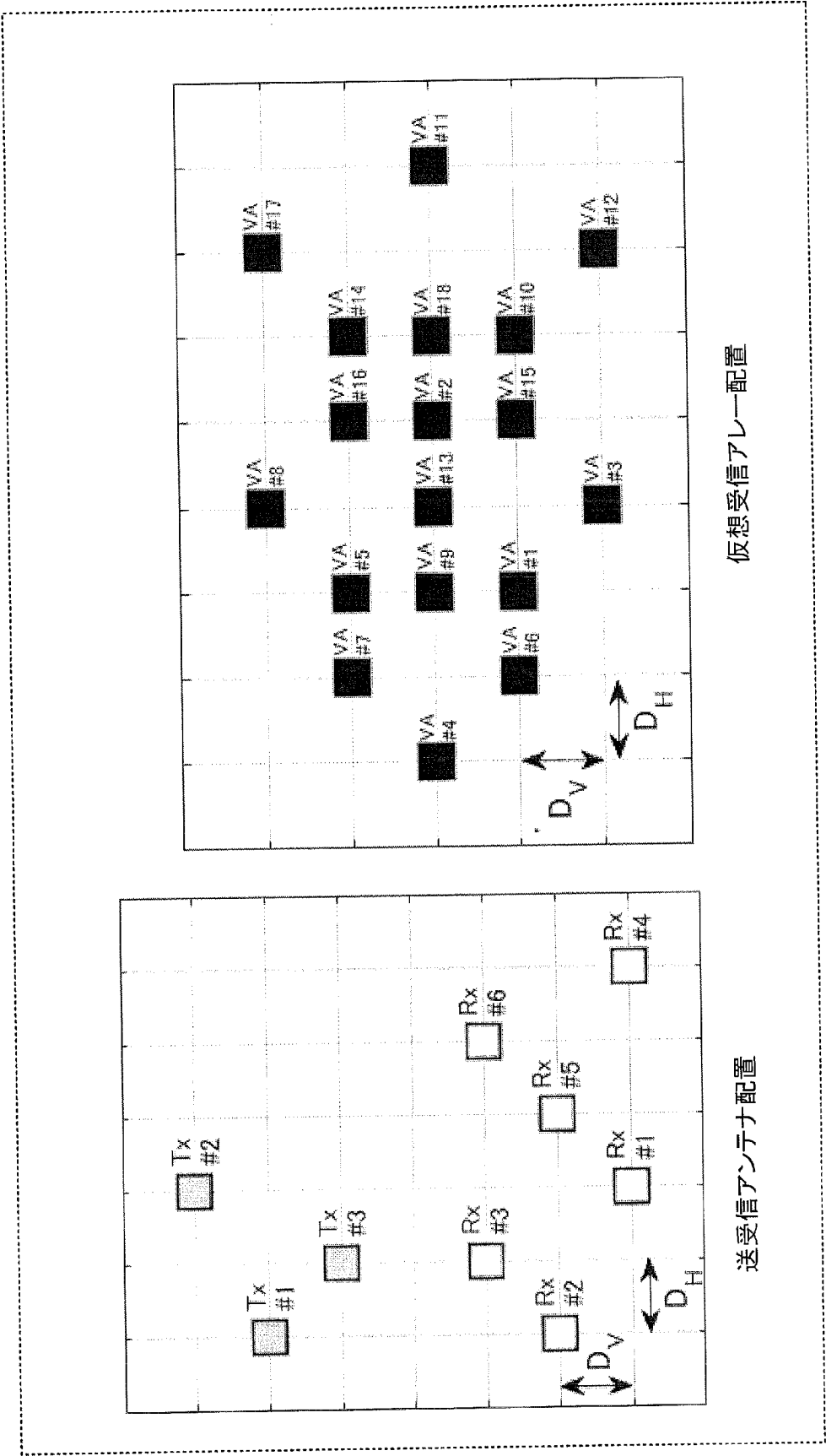
[図107]



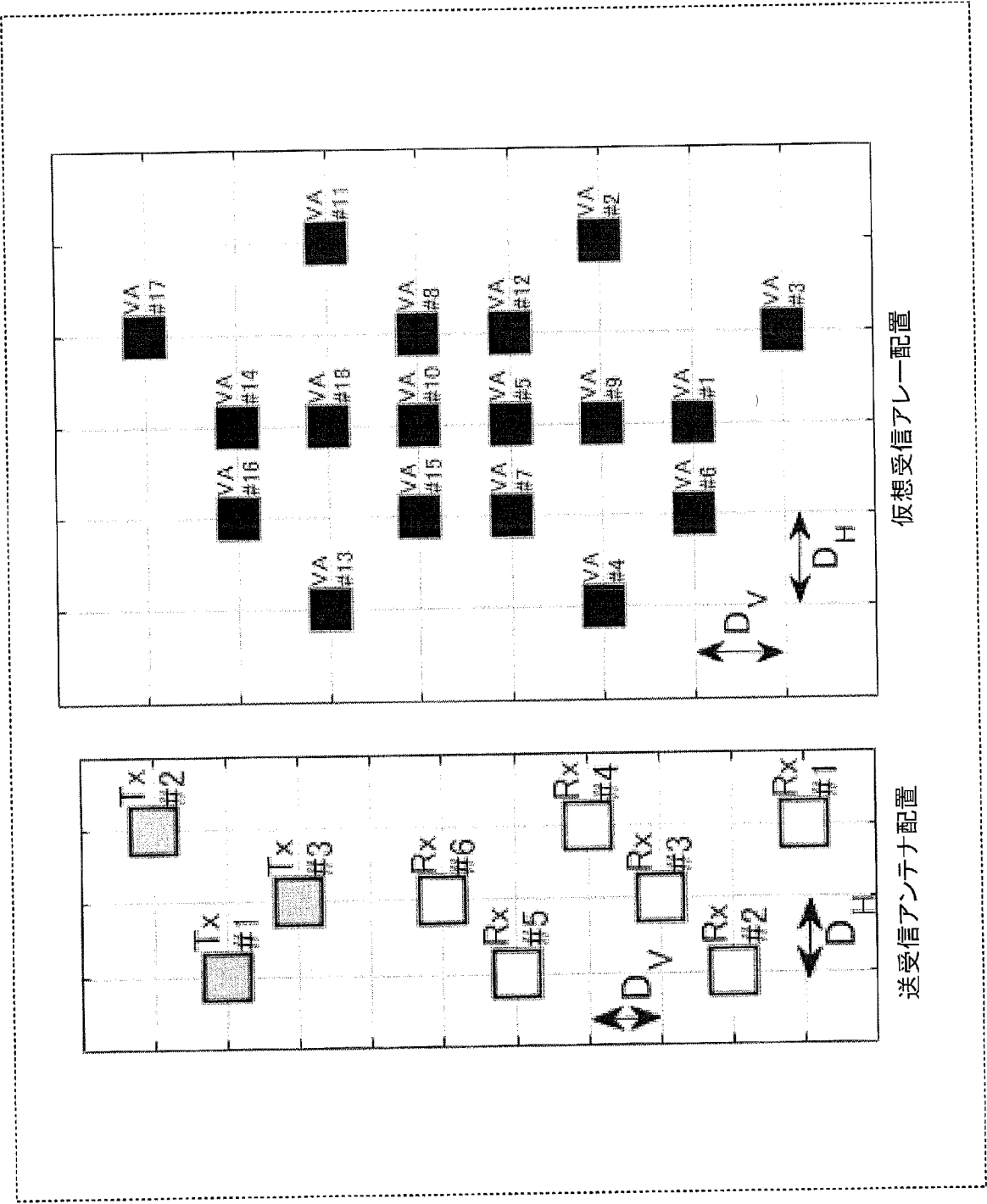
[図108]



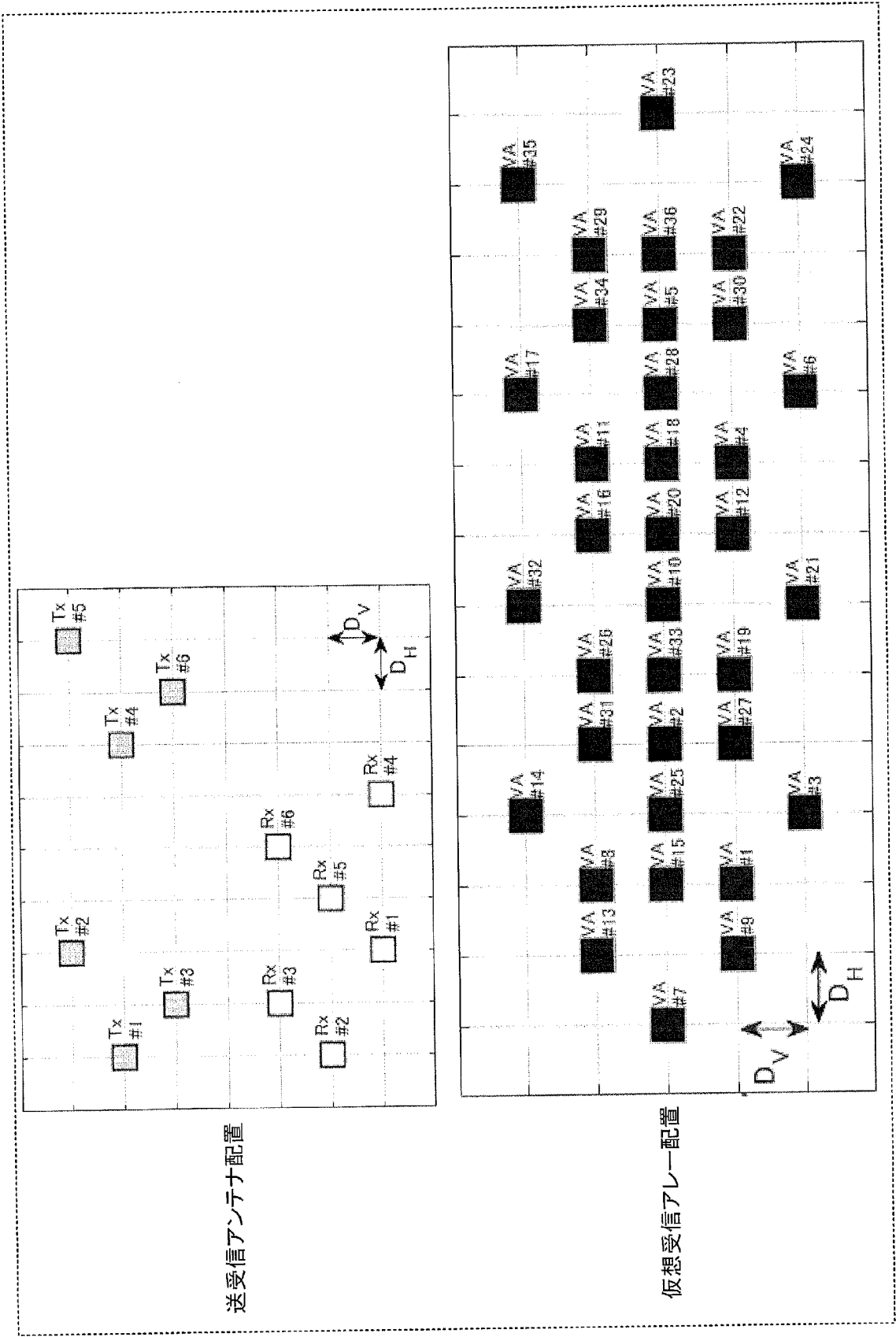
[図109]



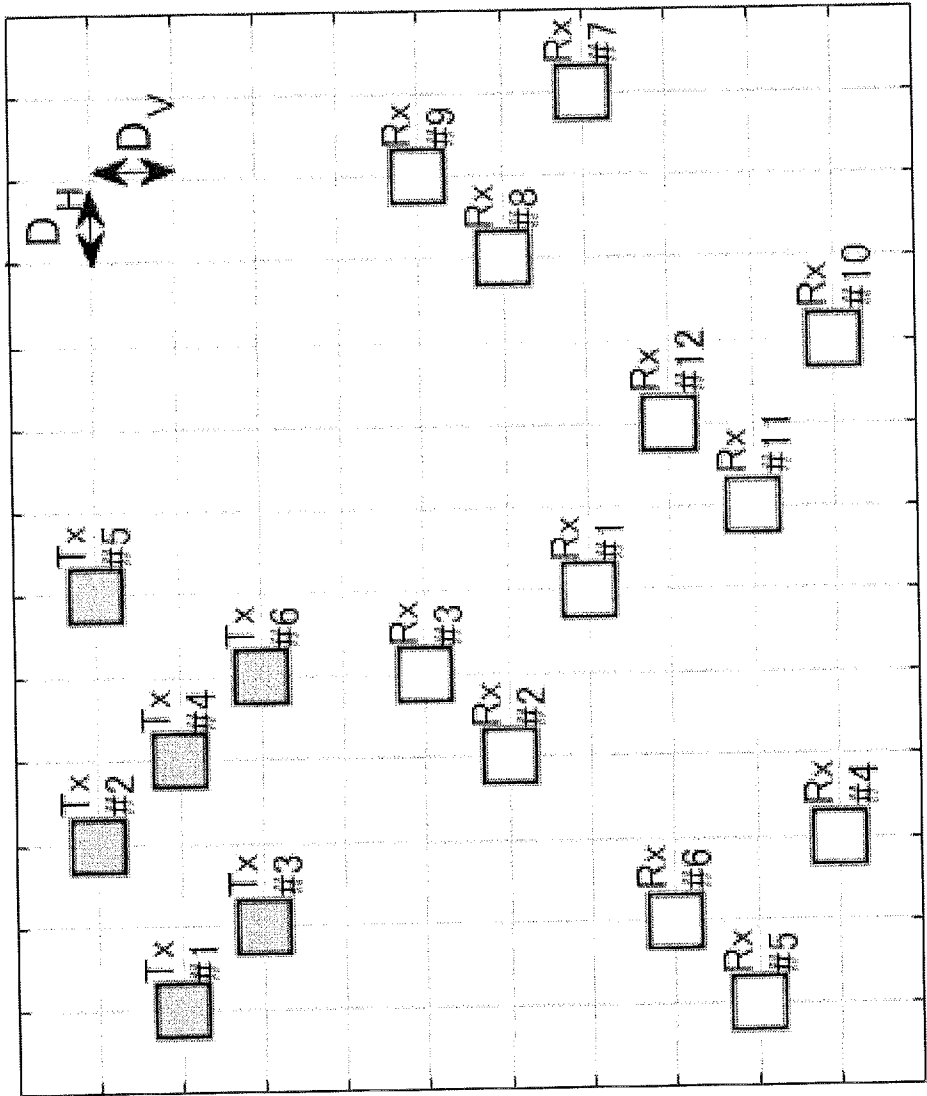
[図110]



[図111]



[図112A]



The diagram shows a hexagonal grid of 60 elements. The elements are labeled as follows:

- VA #14, VA #17, VA #50, VA #53
- VA #13, VA #8, VA #49, VA #47
- VA #7, VA #15, VA #10, VA #2, VA #18, VA #43, VA #51, VA #46, VA #38, VA #54, VA #41
- VA #32, VA #9, VA #35, VA #12, VA #4, VA #68, VA #45, VA #37, VA #71, VA #48, VA #40
- VA #31, VA #26, VA #34, VA #29, VA #3, VA #67, VA #62, VA #6, VA #70, VA #65, VA #39, VA #42
- VA #25, VA #33, VA #28, VA #20, VA #36, VA #61, VA #23, VA #69, VA #84, VA #56, VA #72, VA #59
- VA #27, VA #19, VA #30, VA #22, VA #63, VA #55, VA #66, VA #58
- VA #21, VA #24, VA #57, VA #60

A coordinate system is shown at the bottom right with axes D_V (vertical) and D_H (horizontal).

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/005749

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01Q 21/06(2006.01)i; G01S 7/02(2006.01)i; G01S 7/03(2006.01)i
FI: G01S7/03 230; G01S7/02 218; H01Q21/06

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)

G01S7/00-7/42; G01S13/00-13/95; H01Q3/00-3/46; H01Q21/00-25/04

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 1971-2020

Registered utility model specifications of Japan 1996-2020

Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

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	JP 2017-058359 A (PANASONIC CORP.) 23.03.2017 (2017-03-23) entire text, all drawings	1-12
A	JP 2016-180721 A (PANASONIC CORP.) 13.10.2016 (2016-10-13) entire text, all drawings	1-12
A	JP 2016-180720 A (PANASONIC CORP.) 13.10.2016 (2016-10-13) entire text, all drawings	1-12
A	JP 2018-170571 A (SECOM CO., LTD.) 01.11.2018 (2018-11-01) entire text, all drawings	1-12
A	JP 2017-521683 A (DENSO CORP.) 03.08.2017 (2017- 08-03) entire text, all drawings	1-12
A	JP 2017-534881 A (ROBERT BOSCH GMBH) 24.11.2017 (2017-11-24) entire text, all drawings	1-12



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
16 April 2020 (16.04.2020)Date of mailing of the international search report
12 May 2020 (12.05.2020)Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/005749

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2013-509066 A (TOYOTA MOTOR EUROPE NV/SA) 07.03.2013 (2013-03-07) entire text, all drawings	1-12
A	US 9869762 B1 (UHNDER, INC.) 16.01.2018 (2018-01-16) entire text, all drawings	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/005749

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2017-058359 A	23 Mar. 2017	US 2017/0082730 A1 CN 106546983 A	
JP 2016-180721 A	13 Oct. 2016	US 2016/0282450 A1 CN 106019240 A	
JP 2016-180720 A	13 Oct. 2016	US 2016/0285172 A1 CN 106019238 A	
JP 2018-170571 A	01 Nov. 2018	(Family: none)	
JP 2017-521683 A	03 Aug. 2017	US 2017/0139042 A1 WO 2016/002221 A1 EP 2963442 A1 CN 106662637 A	
JP 2017-534881 A	24 Nov. 2017	US 2017/0307744 A1 WO 2016/045938 A1 DE 102014219113 A1 CN 107076832 A	
JP 2013-509066 A	07 Mar. 2013	US 2011/0298676 A1 WO 2011/048195 A1 EP 2315312 A1 CN 102859794 A	
US 9869762 B1	16 Jan. 2018	US 2018/0149736 A1 WO 2018/051288 A1	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01Q 21/06(2006.01)i; G01S 7/02(2006.01)i; G01S 7/03(2006.01)i FI: G01S7/03 230; G01S7/02 218; H01Q21/06														
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）） G01S7/00-7/42; G01S13/00-13/95; H01Q3/00-3/46; H01Q21/00-25/04 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2020年</td> </tr> </table> 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）			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2020年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2020年				
日本国実用新案公報	1922 - 1996年													
日本国公開実用新案公報	1971 - 2020年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2020年													
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	JP 2017-058359 A（パナソニック株式会社）23.03.2017（2017 - 03 - 23） 全文，全図	1-12												
A	JP 2016-180721 A（パナソニック株式会）13.10.2016（2016 - 10 - 13） 全文，全図	1-12												
A	JP 2016-180720 A（パナソニック株式会社）13.10.2016（2016 - 10 - 13） 全文，全図	1-12												
A	JP 2018-170571 A（セコム株式会社）01.11.2018（2018 - 11 - 01） 全文，全図	1-12												
A	JP 2017-521683 A（株式会社デンソー）03.08.2017（2017 - 08 - 03） 全文，全図	1-12												
A	JP 2017-534881 A（ローベルト ボッシュ ゲゼルシャフト ミット ベシュレンク テル ハフツング）24.11.2017（2017 - 11 - 24） 全文，全図	1-12												
☒ 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。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"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</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"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）</td> <td>"&" 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"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</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	"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	"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	"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	"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	"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	"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）	"&" 同一パテントファミリー文献	"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	
* 引用文献のカテゴリー	"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													
"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	"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													
"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	"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													
"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）	"&" 同一パテントファミリー文献													
"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														
国際調査を完了した日 16.04.2020	国際調査報告の発送日 12.05.2020													
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） 山下 雅人 2S 9303 電話番号 03-3581-1101 内線 3216													

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	JP 2013-509066 A (トヨタ モーター ヨーロッパ ナームロゼ フェンノート シャップ/ソシエテ アノニム) 07.03.2013 (2013 - 03 - 07) 全文, 全図	1-12
A	US 9869762 B1 (UHANDER, INC.) 16.01.2018 (2018 - 01 - 16) 全文, 全図	1-12

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/JP2020/005749

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2017-058359	A	23.03.2017	US	2017/0082730	A1	
				CN	106546983	A	
JP	2016-180721	A	13.10.2016	US	2016/0282450	A1	
				CN	106019240	A	
JP	2016-180720	A	13.10.2016	US	2016/0285172	A1	
				CN	106019238	A	
JP	2018-170571	A	01.11.2018	(ファミリーなし)			
JP	2017-521683	A	03.08.2017	US	2017/0139042	A1	
				WO	2016/002221	A1	
				EP	2963442	A1	
				CN	106662637	A	
JP	2017-534881	A	24.11.2017	US	2017/0307744	A1	
				WO	2016/045938	A1	
				DE	102014219113	A1	
				CN	107076832	A	
JP	2013-509066	A	07.03.2013	US	2011/0298676	A1	
				WO	2011/048195	A1	
				EP	2315312	A1	
				CN	102859794	A	
US	9869762	B1	16.01.2018	US	2018/0149736	A1	
				WO	2018/051288	A1	