(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3569083号
(P3569083)
(45)発行日　平成16年9月22日(2004.9.22)　(24)登録日　平成16年6月25日(2004.6.25)

(51)Int.Cl.[7]　F I
H01Q 3/40　H01Q 3/40
H01Q 19/17　H01Q 19/17

請求項の数 2　(全 10 頁)

(21)出願番号　特願平8-231279
(22)出願日　平成8年8月14日(1996.8.14)
(65)公開番号　特開平10-65435
(43)公開日　平成10年3月6日(1998.3.6)
審査請求日　平成13年5月2日(2001.5.2)

前置審査

(73)特許権者　000004226
日本電信電話株式会社
東京都千代田区大手町二丁目３番１号
(74)代理人　100121670
弁理士　入戸野　巧
(74)代理人　100121669
弁理士　本山　泰
(72)発明者　小林　理
東京都新宿区西新宿三丁目１９番２号
日本電信電話株式会社内
(72)発明者　大平　孝
東京都新宿区西新宿三丁目１９番２号
日本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】マルチビームフェーズドアレーアンテナ

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
反射鏡と、
複数の高周波入力端子と複数の高周波出力端子とを有し、各入力端子の信号を各出力端子に等信号強度で所定の位相差をもって分配する分配回路と、
該分配回路の出力に接続され、入出力端子が１：１に対応した移相器アレーと、
該移相器アレーの出力に接続され前記反射鏡の焦点面以外の面におかれる素子アンテナアレーとを有し、
前記分配回路が、2^N（Ｎは自然数）個の入力端子と2^N個の出力端子をもつバトラーマトリクス回路であり、
前記素子アンテナアレーが、前記反射鏡とその焦点の間におかれ、
前記移相器アレーは、ｉ番目（$1 \leqq i \leqq 2^N$）の素子アンテナの座標を［X_{fi}、Y_{fi}、Z_{fi}］、ｉ番目の移相器の設定値をφi、ｉ番目の素子アンテナと焦点との間の距離Ｌi＝（$X_{fi}^2 + Y_{fi}^2 + Z_{fi}^2$）$^{1/2}$、自由空間における波数をｋとするとき、

$$\phi_1 + k \cdot L_1 = \phi_2 + k \cdot L_2 = \cdots = \phi_i + k \cdot L_i = \cdots \phi_N + k \cdot L_N$$

となるように移相量を設定されることを特徴とする、マルチビームフェーズドアレーアンテナ。
【請求項２】

反射鏡と、
複数の高周波入力端子と複数の高周波出力端子とを有し、各入力端子の信号を各出力端子に等信号強度で所定の位相差をもって分配する分配回路と、
該分配回路の出力に接続され、入出力端子が１：１に対応した移相器アレーと、
該移相器アレーの出力に接続され前記反射鏡の焦点面以外の面におかれる素子アンテナアレーとを有し、
前記分配回路が、2^N（Ｎは自然数）個の入力端子と2^N個の出力端子をもつバトラーマトリクス回路であり、
前記素子アンテナアレーが前記反射鏡の焦点面に対して反射鏡の反対側におかれ、
前記移相器アレーは、ｉ番目（$1 \leqq i \leqq 2^N$）の素子アンテナの座標を［X_{fi}、Y_{fi}、Z_{fi}］、ｉ番目の移相器の設定値をϕ_i、ｉ番目の素子アンテナと焦点との間の距離$Li=(X_{fi}^2+Y_{fi}^2+Z_{fi}^2)^{1/2}$、自由空間における波数をｋとするとき、

$$\phi_1 - k \cdot L_1 = \phi_2 - k \cdot L_2 = \cdots = \phi_i - k \cdot L_i = \cdots \phi_N - k \cdot L_N$$

となるように移相量を設定されることを特徴とする、マルチビームフェーズドアレーアンテナ。

【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明はマルチビームフェーズドアレーアンテナに関するものである。
【０００２】
【従来の技術】
マルチビームフェーズドアレーアンテナのための給電回路として、文献Ｊ．Ｂｕｔｌｅｒ ａｎｄ Ｒ．Ｌｏｗｅ，“Ｂｅａｍ－ｆｏｒｍｉｎｇ ｍａｔｒｉｘ ｓｉｍｐｌｉｆｉｅｓ ｄｅｓｉｇｎ ｏｆ ｅｌｅｃｔｒｏｎｉｃａｌｌｙ ｓｃａｎｎｅｄ ａｎｔｅｎｎａｓ”，Ｅｌｅｃｔｒｏｎｉｃ ｄｅｓｉｇｎ，Ｖｏｌ．９，ｐｐ．１７０－１７３，Ａｐｒ．１９６１．に「バトラーマトリクス」と呼ばれる高周波マトリクス回路が説明されている。バトラーマトリクスは2^N 個の入力信号端子と出力信号端子を有し、高周波ハイブリッド回路、固定移相器を多段に接続して構成される高周波マトリクス回路である。
【０００３】
図５に、例として８素子のバトラーマトリクス１０６を示す。回路は、高周波信号入力端子$101_{1\sim8}$（４Ｌ、３Ｌ、２Ｌ、１Ｌ、１Ｒ、２Ｒ、３Ｒ、４Ｒ）と高周波信号出力端子$102_{1\sim8}$（Ａ～Ｈ）を有し、９０°ハイブリッド$103_{1\sim12}$および固定移相器$104_{1\sim16}$から構成されている。信号入力端子のひとつに与えられた信号は、９０°ハイブリッドによる分配と固定移相器による位相設定の繰り返しにより、最終的にはすべての出力ポートに等信号強度で分配される。出力信号端子に現れる信号は等差数列で表される位相関係を有し、その公差は入力信号端子毎に異なる。８素子のバトラーマトリクスの場合には、公差、すなわち、隣接出力信号端子間の位相差として、入力ポート４Ｌ、３Ｌ、２Ｌ、１Ｌ、１Ｒ、２Ｒ、３Ｒ、４Ｒのそれぞれに対して、７π／８、５π／８、３π／８、π／８、－π／８、－３π／８、－５π／８、－７π／８の８通りが得られる。
【０００４】
バトラーマトリクスの出力信号のそれぞれを等間隔で配置された素子アンテナ$105_{1\sim8}$より構成されるアレーアンテナ１０５に給電するとき、高周波信号の位相関係に対応して、異なる方向にピークを有するビームが形成される。ビームの方向Θ（アレーアンテナの正面方向を基準とする）と隣接する素子間の位相差Δψの関係は、
$\sin\Theta = \Delta\psi / (kd)$ （１）
で与えられる。ただし、ｄはアレーアンテナの素子間隔、ｋは電波の波数を表している。

ビームの方向Θは、各素子アンテナから発した電波が同相で加算され、電波が強め合う方向という条件から求められる。

【０００５】

図５の８素子のバトラーマトリクスをアレーアンテナ１０５（素子アンテナ105_{1}～$_{8}$）に接続した場合に形成されるマルチビームのアンテナビームパタンを図６に示す。計算では、素子アンテナの指向特性は無指向性、素子アンテナの間隔ｄは半波長としている。高周波信号入力端子101_{1}～$_{8}$（４Ｌ、３Ｌ、２Ｌ、１Ｌ、１Ｒ、２Ｒ、３Ｒ、４Ｒ）への入力に対し、それぞれ、－６１°、－３８．７°、－２２°、－７．２°、７．２°、２２°、３８．７°、６１°の方向に８つの独立なビームが形成されることがわかる。

【０００６】

図６では、図１の素子アンテナから放射されるビームを上から順に４Ｌ、３Ｌ、２Ｌ、１Ｌ、１Ｒ、２Ｒ、３Ｒ、４Ｒビームと名付けている。また、素子アンテナの間隔を例えば１．５８３波長に広げると、±４．５°、±１３．７°、±２３．２°、±３３．５°の方向にビームが形成される。

【０００７】

バトラーマトリクスでは、入力または出力端子の数を2^{N}とするとき、回路を構成するコンポーネントの数は2^{N}・$\log_{2}$（2^{N}）のオーダであり、多ビーム多素子のアレーアンテナでも回路の規模は爆発的には増大しないことを特徴とする。したがって、多ビームを必要とするマルチビーム形成回路として使用するときにメリットが大きい。しかしながら形成されるビームの範囲はかなり広く、図６からわかるように素子アンテナの間隔が半波長の場合には、最も外側のふたつのビームの間隔は６１°－（－６１°）＝１２２°となる。素子アンテナの間隔を１．５８３波長に広げても、最も外側のふたつのビームの間隔は６７°である。

【０００８】

【発明が解決しようとする課題】

例えば、静止衛星から地球のある限定された地域をサービスエリアとするように、数度といった狭い領域にマルチビームを形成したい場合がある。バトラーマトリクスを単独に使用するとき、マルチビームが形成される範囲はかなり広い。素子アンテナの間隔を広げればビーム形成範囲を狭くすることができるが、アレーアンテナの全体の大きさが増すことには限度がある。

【０００９】

本発明の目的は、小さな回路規模で数多くのビームが形成できるバトラーマトリクスをマルチビームフェーズドアレーの給電回路として用い、狭い領域にマルチビームを形成可能なアンテナを提供することにある。

【００１０】

【課題を解決するための手段】

本発明は、バトラーマトリクスと素子アンテナの間に移相器のアレーを設け、アンテナアレーは反射鏡の焦点面からはずれた位置に置き、アンテナアレーを一次放射器として用いて反射鏡と組み合わせた構成とすることを最も主要な特徴とする。

【００１１】

バトラーマトリクスにアンテナ素子を接続し電波を直接空間に放射する従来方式とは、バトラーマトリクスと素子アンテナの間に移相器のアレーを挿入することと、アレーアンテナを一次放射器として使用し電波を反射鏡に照射して使用する点が異なる。

【００１２】

一般にバトラーマトリクスは、前に述べたように素子アンテナが直線状または平面状に並べたアレーアンテナに接続して使う。このときアレーアンテナから放射される電波は、等位相面が平面となる平面波である。本発明ではバトラーマトリクスの後段に移相器のアレーが接続されており、この移相器のアレーで特定の位相分布を加えることにより、アレーアンテナから放射する電波を球面波とする。アレーアンテナからの放射された球面波は反

射鏡に照射され、反射鏡によって球面波から再び平面波に変換されサービスエリアに照射される。

【００１３】

ところで式（１）からは、隣接素子間の位相差Δψが同じである場合には、素子アンテナの間隔ｄが広いほどビームの方向Θは小さくなることを示している。本発明の構成によれば、反射鏡には一次放射器として用いたアレーアンテナが拡大して投影されると考えることができる。すなわちこれは、等価的に素子アンテナの間隔ｄを広げることであり、バトラーマトリクスを単独で使用する従来の使用法と比較して、狭い領域にマルチビームを形成できる効果が得られる。

【００１４】

【発明の実施の形態】

図１および図２は、本発明の実施の形態のふた通りの場合について示したものである。発明は、高周波入力端子

【数１】

$$１０１a_{1\sim 2^N}$$

を有する（2^N　）入力（2^N　）出力のバトラーマトリクス１０６ａ、その出力端子数に対応する固定移相器

【数２】

$$１０４a_{1\sim 2^N}$$

の（2^N　）個のアレー１０４ａ、素子アンテナの（2^N　）個のアレー

【数３】

$$１０５a_{1\sim 2^N}$$

、反射鏡１０７より構成されている。バトラーマトリクス１０６ａの出力端子の各々に固定移相器

【数４】

$$１０４a_{1\sim 2^N}$$

が接続され、その出力のそれぞれは素子アンテナ

【数５】

$$１０５a_{1\sim 2^N}$$

に接続されている。（2^N　）個の素子アンテナより構成されるアレーアンテナ１０５ａは反射鏡の焦点面１０８以外の場所に置かれている。バトラーマトリクスは入力信号を所定の位相差で出力端子に分配する分配回路として動作する。

【００１５】

アレーアンテナ１０５ａの配置にはふた通りが考えられ、反射鏡の焦点面１０８より反射鏡寄りの場合と、反射鏡より遠い場合である。図２と図１は、そのそれぞれに対応している。［X_f　、Y_f　、Z_f　］は座標系１０９を表している。なお、原点は反射鏡の焦点１１０であり、X_f　Y_f　平面を反射鏡の焦点面１０８と定義している。Z_f　軸は

反射鏡の開口面の中心を向き、焦点から反射鏡方向を正としている。ｉ番目（$1 \leqq i \leqq 2^N$）の素子アンテナの座標を［X_{fi}、Y_{fi}、Z_{fi}］とする。またｉ番目の移相器の設定値をφ_i（位相遅れ）とする。

【００１６】

図１に関しては、仮に同相の信号を固定移相器のアレー１０４ａに加えるとき、素子アンテナ

【数６】

$$105a_{1\sim 2^N}$$

から放射される電波を反射鏡の焦点１１０に収れんさせることが、その役割である。アレーアンテナ１０５ａからは収れんする球面波１１２が放射される。すなわち、このためには移相器入力端子から素子アンテナを経て焦点に達する信号の経路長が、すべての信号経路において等しい必要がある。したがって、ｉ番目の固定移相器$104a_i$によって与える位相遅れをφ_i、素子アンテナ$105a_i$と焦点１１０との間の距離L_i（$L_i=(X_{fi}^2+Y_{fi}^2+Z_{fi}^2)^{1/2}$）とするとき、

$$\phi_1+k\cdot L_1=\phi_2+k\cdot L_2=\cdots=\phi_i+k\cdot L_i=\cdots\phi_N+k\cdot L_N \qquad (2)$$

が成立している必要がある。ただしｋは、自由空間における波数を表している。図１の場合のようにアレーアンテナ１０５ａが焦点面より反射鏡より遠い側にあるとき、中央の素子アンテナに接続した移相器ほど大きな位相遅れを与える必要があることがわかる。

【００１７】

図２のようにアレーアンテナ１０５ａが焦点面１０８より反射鏡寄りにあるときは、あたかも焦点１１０から電波が発射するのと等価であるように、移相器

【数７】

$$104a_{1\sim 2^N}$$

の値を設定する。つまり、アレーアンテナ１０５ａからは発散する球面波１１２が放射される。移相器

【数８】

$$104a_{1\sim 2^N}$$

の設定値は、

$$\phi_1-k\cdot L_1=\phi_2-k\cdot L_2=\cdots=\phi_i-k\cdot L_i=\cdots\phi_N-k\cdot L_N \qquad (3)$$

なる関係を満たす。このときアンテナアレーの外側の素子ほど大きな位相遅れを与えなければならないことがわかる。

【００１８】

仮想的に反射鏡の焦点から発した電波は反射鏡１０７に照射し、反射鏡１０７によって球面波から平面波１１３に変換されサービスエリアにビームが形成される。反射鏡１０７にはアレーアンテナ１０５の像が拡大して投影されていると考えることができる。バトラーマトリクス１０６ａの信号入力端子

【数９】

$101a_{1\sim2^N}$

毎に異なった位相関係の信号が得られる。信号入力端子
【数１０】

$101a_{1\sim2^N}$

により平面波１１３の放射方向はそれぞれ異なるが、等価的にアレー素子の間隔が拡大して反射鏡１０７に投影されているので、バトラーマトリクスとアレーアンテナを組み合わせて使用する場合と比較して、本発明では平面波１１３の放射方向は狭まるといえる。
【００１９】
次に、具体的な形状パラメータを設定し、本発明の構成のマルチビームアンテナのアンテナパタンを計算する。図３は本発明の一具体構成例で、アンテナパタン計算に用いるアンテナの形状を示している。開口径１１４が１０ｍ、焦点距離１１５が８ｍ、オフセット角１１６が４４°、開口半角１１７（焦点から反射鏡面を見込む角度の半分）が２９．７４°の反射鏡１０７があり、その焦点面１０８から１ｍ前方にアレーアンテナ１０５ａを配置している。素子アンテナは１９０ｍｍの円形開口のものとし、１９０ｍｍの間隔でアンテナを配置している。８入力８素子のバトラーマトリクスでは、隣接素子における位相差が±π／８、±３π／８、±５π／８、±７π／８のいずれかである。このような位相関係を有する信号を、式（３）で与えられる位相値に設定された移相器のアレーを介して１次放射器に与えるとき、反射鏡により形成されるアンテナパタンを計算した。形成されるアンテナパタンの断面をまとめて記したものが図４である。周波数は２．５ＧＨｚとした。図４では－１．６°、－１．１°、－０．７°、－０．２５°、０．２０°、０．６°、１．０°、１．５°の方向にピークを持つ８つのビームが形成されることがわかる。
【００２０】
従来の技術の項で、素子アンテナの間隔が１．５８３波長のときにアレーアンテナだけを用いたときに形成されるビームの方向は、±４．５°、±１３．７°、±２３．２°、±３３．５°となることを述べた。これは、周波数２．５ＧＨｚ（波長は１２０ｍｍ）のときに１９０ｍｍの間隔で素子アンテナを配置する場合に相当する。本発明の構成によれば、マルチビームが形成される領域は約１／２０に圧縮される効果が得られている。
【００２１】
【発明の効果】
バトラーマトリクスをアレーアンテナに接続し直接放射を行うとき、マルチビームが形成される領域は広く、その範囲を制御することが課題であった。バトラーマトリクスの出力に移相器アレーを接続し反射鏡の焦点面以外に配置したアレーアンテナと反射鏡より構成される系を考案し、このような系を用いることによりビームの形成される領域を圧縮することを可能とした。また反射鏡を使用したことにより、利得の向上と半値幅の狭さくという効果が得られる。本発明は送信アンテナ及び受信アンテナの双方に適用される。
【図面の簡単な説明】
【図１】本発明の実施の形態で、アレーアンテナを焦点面より反射鏡から遠い位置に配置した場合の構成である。
【図２】本発明の実施の形態のひとつで、アレーアンテナを焦点面より反射鏡寄りに配置した場合の構成である。
【図３】本発明の具体的構成の一例で、アンテナパタン計算に用いるアンテナの形状を示している。
【図４】本発明で得られるアンテナパタンの一計算例である。
【図５】バトラーマトリクスの構成を示したもので、回路は８入力８出力のものである。
【図６】バトラーマトリクスにより形成可能なアンテナビームパタンを表したもので、８入力８出力バトラーマトリクスを用いたときのものである。

【符号の説明】
【数１１】

$101_{1\sim8}$、$101a_{1\sim2^N}$　高周波信号入力端子

$102_{1}\sim_{8}$　高周波信号出力端子
$103_{1}\sim_{12}$　９０°ハイブリッド
【数１２】

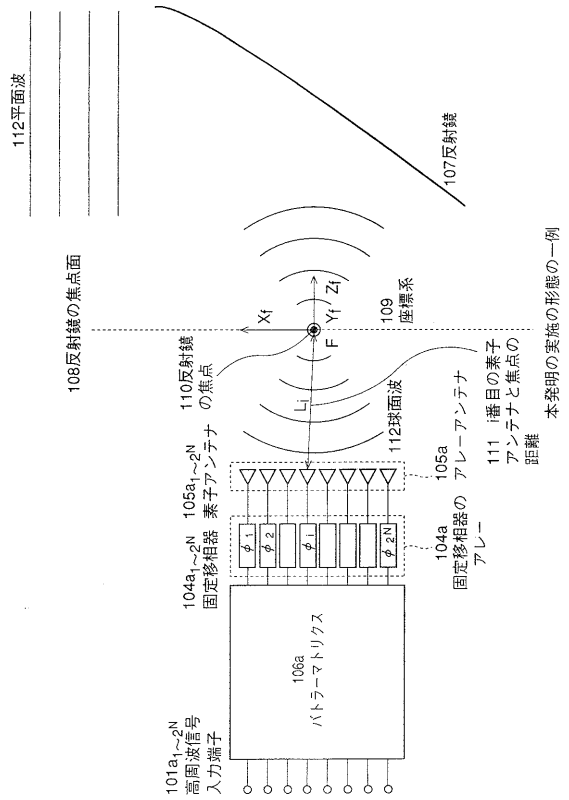
$104_{1\sim16}$、$104a_{1\sim2^N}$　固定移相器

１０４ａ　固定移相器のアレー
１０５、１０５ａ　アレーアンテナ
【数１３】

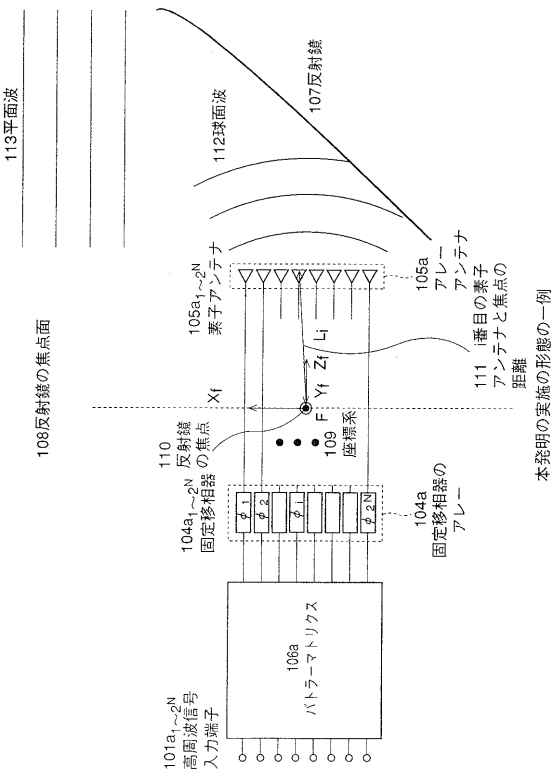
$105_{1\sim8}$、$105a_{1\sim2^N}$　素子アンテナ

１０６、１０６ａ　バトラーマトリクス
１０７　反射鏡
１０８　反射鏡の焦点面
１０９　座標系
１１０　反射鏡の焦点
１１１　ｉ番目素子アンテナと焦点の距離
１１２　球面波
１１３　平面波
１１４　開口系
１１５　焦点距離
１１６　オフセット角
１１７　開口半角

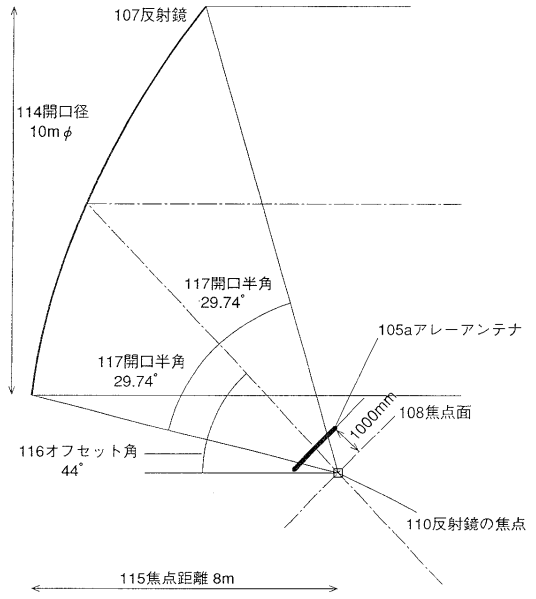
【図１】



【図２】

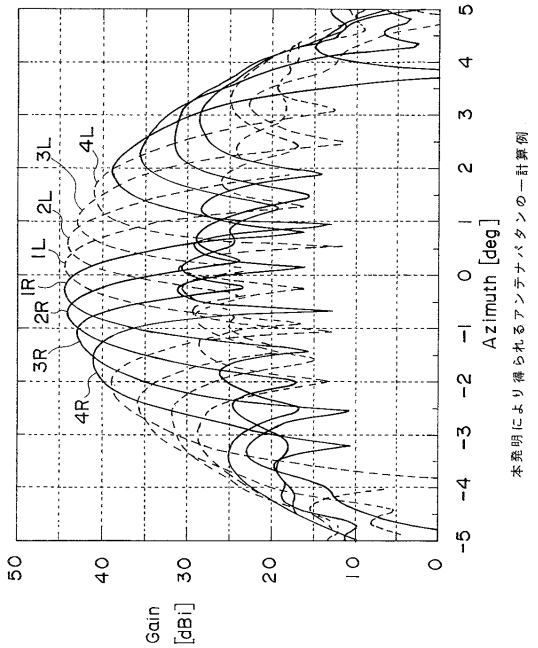


【図３】

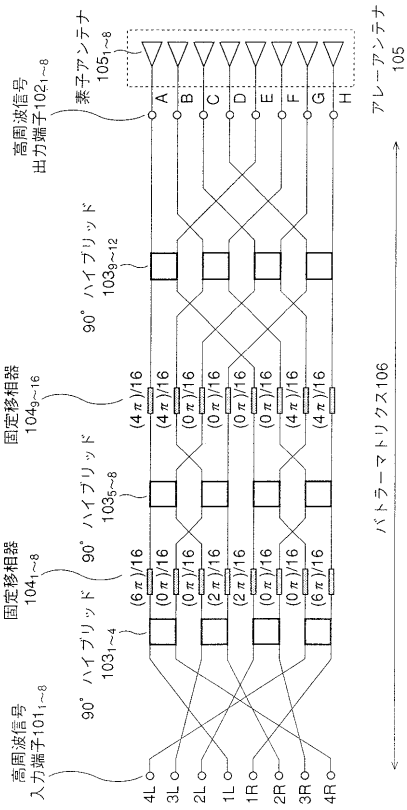


本発明の具体的構成の一例で、アンテナパタン計算に用いるアンテナの形状を示している

【図４】

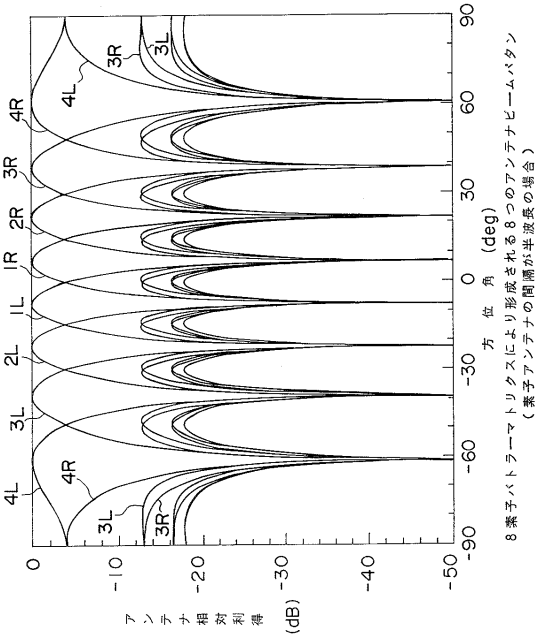


【図５】



8入力8出力のバトラーマトリクス
従来の技術

【図６】



8素子バトラーマトリクスにより形成される8つのアンテナビームパタン
（素子アンテナの間隔が半波長の場合）

フロントページの続き

(72)発明者　小川　博世
東京都新宿区西新宿三丁目１９番２号　　日本電信電話株式会社内

審査官　麻生　哲朗

(56)参考文献　特開平０６－１８１４１０（ＪＰ，Ａ）
特開昭５６－０４７１０６（ＪＰ，Ａ）
特開昭５３－０２４２５１（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
H01Q　3/40
H01Q 19/17