

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6337030号
(P6337030)

(45) 発行日 平成30年6月6日(2018.6.6)

(24) 登録日 平成30年5月11日(2018.5.11)

(51) Int. Cl.		F I			
GO 1 R	29/10	(2006.01)	GO 1 R	29/10	E
HO 1 Q	3/08	(2006.01)	GO 1 R	29/10	B
			HO 1 Q	3/08	

請求項の数 3 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2016-16266 (P2016-16266)	(73) 特許権者	000000572
(22) 出願日	平成28年1月29日 (2016.1.29)		アンリツ株式会社
(65) 公開番号	特開2017-134026 (P2017-134026A)		神奈川県厚木市恩名五丁目1番1号
(43) 公開日	平成29年8月3日 (2017.8.3)	(74) 代理人	100072604
審査請求日	平成29年7月27日 (2017.7.27)		弁理士 有我 軍一郎
		(74) 代理人	100140501
			弁理士 有我 栄一郎
		(72) 発明者	河村 尚志
			神奈川県厚木市恩名五丁目1番1号 アンリツ株式会社内
		審査官	小川 浩史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 Massive-MIMOアンテナ測定装置およびその指向性測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

Massive-MIMOアンテナを供試アンテナとし、該供試アンテナを支持する供試アンテナ支持部(31)と、

前記供試アンテナから出力される電磁波を受信するためのプローブアンテナ(12)と

、
前記プローブアンテナを前記供試アンテナの近傍領域の所定の測定平面内で移動させるためのプローブ走査機構(13)と、

前記供試アンテナに測定用の信号を与える信号発生器(21)と、

前記プローブアンテナの受信信号から振幅と位相を検出する振幅位相検出器(22)と

10

、
前記プローブ走査機構を制御し、前記プローブアンテナの位置を前記測定平面内で走査させつつ前記振幅位相検出器の出力を受けて、前記供試アンテナの遠方界指向性を求める測定制御部(32)とを備えたMassive-MIMOアンテナ測定装置において、

前記供試アンテナ支持部は、前記供試アンテナの電磁波放射面が前記測定平面に正対する向きを基準方向とし、前記供試アンテナの向きを前記基準方向から変更できるように構成され、

前記測定制御部は、

前記供試アンテナが前記基準方向を向いている状態で、前記プローブアンテナが前記測定平面の一部を通過するように走査させ、該走査で得られる振幅、位相の情報から、前記

20

供試アンテナが放射しているビームの方向を求めるビーム方向検出手段(33)と、

前記ビーム方向検出手段によって検出されたビームの方向が、前記測定平面の中央に向くように、前記供試アンテナ支持部を制御して前記供試アンテナの向きを変更するアンテナ向き変更手段(34)と、

前記アンテナ向き変更手段によってビーム方向が前記測定平面の中央に向くように前記供試アンテナの向きが変更された状態で、前記プローブアンテナを前記測定平面上で走査して、前記供試アンテナの仮の指向性を求める仮指向性算出手段(35)と、

前記仮指向性算出手段で得られた仮の指向性を、前記アンテナ向き変更手段によって変更した角度分補正して、前記供試アンテナが前記基準方向を向いているときの指向性を求める指向性補正手段(36)とを備えていることを特徴とする Massive-MIMO アンテナ測定装置。

10

【請求項2】

前記ビーム方向検出手段は、前記プローブアンテナが、前記測定平面内をその直交軸の一方に沿って通過する走査と、前記直交軸の他方に沿って通過する走査とを行なうことで、前記供試アンテナが放射しているビームの方向を求めることを特徴とする請求項1記載の Massive-MIMO アンテナ測定装置。

【請求項3】

Massive-MIMO アンテナを供試アンテナとし、該供試アンテナを支持する供試アンテナ支持部(31)と、

前記供試アンテナから出力される電磁波を受信するためのプローブアンテナ(12)と

20

前記プローブアンテナを前記供試アンテナの近傍界領域の所定の測定平面内で移動させるためのプローブ走査機構(13)と、

前記供試アンテナに測定用の信号を与える信号発生器(21)と、

前記プローブアンテナの受信信号から振幅と位相を検出する振幅位相検出器(22)とを有し、

前記プローブ走査機構を制御し、前記プローブアンテナの位置を前記測定平面内で走査させつつ前記振幅位相検出器の出力を受けて、前記供試アンテナの遠方界指向性を求める Massive-MIMO アンテナ測定装置の指向性測定方法において、

前記供試アンテナ支持部を、前記供試アンテナの電磁波放射面が前記測定平面に正対する方向を基準方向とし、前記供試アンテナの向きを前記基準方向から変更できるように構成し、

30

前記供試アンテナが前記基準方向を向いている状態で、前記プローブアンテナを、前記測定平面の一部を通過するように走査させ、該走査で得られる振幅、位相の情報から、前記供試アンテナが放射しているビームの方向を検出する段階と、

前記検出されたビームの方向が、前記測定平面の中央に向くように、前記供試アンテナ支持部を制御して前記供試アンテナの向きを変更する段階と、

前記ビーム方向が前記測定平面の中央に向くように前記供試アンテナの向きを変更した状態で、前記プローブアンテナを前記測定平面上で走査して、前記供試アンテナの仮の指向性を求める段階と、

40

前記求めた仮の指向性を、前記供試アンテナの向きを変更した角度分補正して、前記供試アンテナが前記基準方向を向いているときの指向性を求める段階とを含むことを特徴とする Massive-MIMO アンテナ測定装置の指向性測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、携帯電話やスマートフォン等の移動体端末と基地局との間の通信をより効率化するための技術として提案されている Massive-MIMO に用いる基地局側のアンテナの特性を、近傍界測定法を用いて測定する技術に関する。

【背景技術】

50

【 0 0 0 2 】

M a s s i v e - M I M O は、多くのアンテナ素子を用いて、マルチユーザ M I M O 伝送を行う技術であり、これら多くのアンテナ素子を制御してデジタル的にアンテナの指向性を作り出す構成や、アナログの位相器を用いてビーム方向を制御する構成など複数の構成が考案されている。

【 0 0 0 3 】

この M a s s i v e - M I M O に使用されるアンテナのような、強い指向性を持つアンテナの測定法として、電磁界理論によってアンテナの近傍電磁界から遠方界指向性を算出する近傍界測定法 (N F M : Near Field Measurement) が知られている。

【 0 0 0 4 】

近傍界測定法は、アンテナ近傍で電磁界を測定するため、空間による電磁波の損失が小さく、指向性だけでなくアンテナの近傍界分布よりアンテナの診断を行うこともできる利点がある。

【 0 0 0 5 】

一般的に、図 8 に示すように、アンテナ開口面から放射される電磁界の領域のうち、アンテナ開口に近接する領域は、放射に寄与しない電磁界成分が主となるリアクティブ近傍界領域 (極近傍) であり、アンテナ開口からの距離によって指向性の変化がない領域は放射遠方界領域 (遠方界) と呼ばれる。一般にアンテナの指向性と表現するのは、この放射遠方界領域で測定された指向性である。

【 0 0 0 6 】

遠方界は、アンテナの最大径 D (開口寸法) に対し、

$$R > 2 D^2 / \dots \dots (1)$$

を満たす距離 R 以上離れた位置として規定される。ここで λ は自由空間波長である。また、自由空間で受信アンテナが受信可能な最大電力 W_a は、送信アンテナの利得を G_t 、受信アンテナの利得を G_r 、送信電力を W_t とすると、

$$W_a = (\lambda / 4 \pi R)^2 \cdot G_t \cdot G_r \cdot W_t \dots \dots (2)$$

となる。

【 0 0 0 7 】

このため、利得の高い開口面の大きなアンテナでは距離 R が大きくなり、空間での減衰が大きくなる。さらに、ミリ波帯では、自由空間波長 λ が小さくなるため、より減衰量が増加し、低レベルのサイドローブの測定が困難となる問題がある。

【 0 0 0 8 】

リアクティブ近傍界領域と放射遠方界領域の間の領域である放射近傍界領域 (近傍界) は、距離に応じて指向性が変化する領域である。前記した N F M は、この放射近傍界領域で電磁界を測定し、計算により遠方界での指向性を求めるものである。

【 0 0 0 9 】

具体的には、所定の信号が供給されたアンテナの近傍をプローブアンテナで走査し、そのプローブアンテナで受信した信号から、走査位置毎の振幅と位相の分布を求め、この分布から無限遠での指向性をデータ処理により得ることができる。アンテナ近傍での測定のため、空間での減衰量が小さく、遠方界の測定に比べ高精度な測定が可能である。

【 0 0 1 0 】

N F M は、供試アンテナの近傍を走査する範囲によって複数の種類に分かれるが、利得の高いアンテナに対して有利で、データ処理が容易な平面 N F M が広く用いられる。

【 0 0 1 1 】

図 9 は、平面 N F M を用いて供試アンテナ 1 の指向性を求める測定装置 1 0 の構成を示している。この測定装置 1 0 は、供試アンテナ 1 をその放射面が所定方向に向いた状態で支持する支持体 1 1 と、供試アンテナ 1 から出力された電磁波を受けるためのプローブアンテナ 1 2 と、プローブアンテナ 1 2 を供試アンテナ 1 の放射面に対向する近傍の測定平面内で X、Y 方向に移動させるプローブ走査機構 1 3 を有している。

【 0 0 1 2 】

10

20

30

40

50

また、測定装置 10 は、供試アンテナ 1 に測定用の信号を与える信号発生器 21、プローブアンテナ 12 の受信信号から振幅、位相の情報を検出する振幅位相検出器 22、プローブ走査機構 13 を制御して、測定平面 P 内でプローブアンテナ 12 の位置を所定ピッチで走査させつつ振幅位相検出器 22 の出力を受け、測定平面 P 内における振幅位相の分布から、供試アンテナ 1 の遠方界指向性を求める測定制御部 24 と、得られた供試アンテナ 1 の指向性を表示させる表示部 25 とを有している。なお、信号発生器 21 と振幅位相検出器 22 としては、それらの機能を有するネットワークアナライザを用いることができ、測定制御部 24 としては、パーソナルコンピュータを用いることができる。

【0013】

ここで、NFM の場合、プローブアンテナ 12 は供試アンテナ 1 から測定信号の 3 波長程度離れた近傍の測定平面 P 内を走査してその電界の振幅と位相が検出されることになる。

【0014】

この測定平面 P における振幅と位相の分布が、供試アンテナ 1 の指向性とプローブアンテナ 12 の指向性から定義される関数のフーリエ変換の形となっており、測定制御部 24 において、逆フーリエ変換によりその関数を求めた後、プローブアンテナの指向性を取り除く演算処理（プローブ補正）を行なうことで、供試アンテナ 1 の指向性を求めることができる。測定制御部 24 では、データ処理を高速フーリエ変換（FFT）によって行うことができるため、高速に供試アンテナ 1 の遠方界の指向性を算出することができる。

【0015】

上記したように、測定平面 P における振幅と位相の分布が、供試アンテナの指向性とプローブアンテナの指向性から定義される関数のフーリエ変換の形となっていて、逆フーリエ変換によりその関数を求めた後、プローブアンテナの指向性を取り除く演算処理（プローブ補正）を行なうことで、供試アンテナの指向性を求めることができる点については、非特許文献 1 に開示されているように一般的に知られている。

【0016】

このようにしてアンテナの指向性を求める NFM は、遠方界測定（FFM:Far Field Measurement）に対して、次のような利点がある。

【0017】

NFM は近距離での測定であるため、電波暗室を使用しなくても測定が可能であり、大規模な装置が必要でない。また、ミリ波帯では装置がコンパクトになるため、居室に設置した簡易電波暗箱での測定が可能であり、電波暗室での測定で課題となる測定系の構築に費やす時間を大幅に短縮することができる。さらに、自由空間損失の小さい領域での測定のため、精度の良い測定結果を得ることができる。

【0018】

さらに、NFM では、アンテナの近傍の振幅・位相分布が得られるため、設計通りの指向性が得られなかった場合に、その原因を診断することが可能である。これは、Massive-MIMO アンテナのようなフェーズドアレイアンテナにとって大きな利点となる。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0019】

【非特許文献 1】 オーム社 平成 20 年 7 月 25 日発行 アンテナ工学ハンドブック（第 2 版）電子情報通信学会編 p730 ~ p733

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0020】

上記した平面 NFM で、実際に Massive-MIMO アンテナを測定する場合、次の 2 つの解決すべき課題が想定される。

【0021】

10

20

30

40

50

第1の課題は、近傍界走査範囲の増大である。NFMの近傍界走査範囲は、供試アンテナの大きさ、測定周波数等の供試アンテナに対する条件と、測定結果に希望する指向性の角度範囲によって決定される。

【0022】

例えば、図10のように、電磁界を走査する範囲 L_x は、測定平面 P までの距離を R、供試アンテナ1の開口を D、希望する指向性の測定範囲を $\pm \theta$ とすると、

$$L_x = D + 2R \tan \theta \quad \dots\dots (2)$$

と表される。

【0023】

ここで、実際の例として、図11のように、2.4GHz及び6.0GHzのアンテナAUT1、AUT2について、必要な走査範囲を示す。

【0024】

それぞれのアンテナは、Massive-MIMOアンテナを想定して、アンテナ素子を $\lambda/2$ 間隔で縦8列横8列に並べたものを想定した。また、開口分布は一様分布とし、開口寸法より、計算される理想的な利得とビームの電力半値幅は、図11のとおりである。

【0025】

上記の二つのアンテナAUT1、AUT2の理論的な指向性は図12となり、ほぼ一致している。測定距離 R は4mとした。ここで、 $\theta = 60^\circ$ とすると

$$AUT1 : L_x = 5.7 + 2 \times 5.0 \tan 60 = 23.0 \text{ m} \quad \dots\dots (3)$$

$$AUT2 : L_x = 2.3 + 2 \times 2.0 \tan 60 = 9.2 \text{ m} \quad \dots\dots (4)$$

となる。

【0026】

図12より、AUT1、AUT2に関しては、第3サイドローブまで評価できていることが分かる。さらに次のサイドローブまで評価するため $\theta = 80^\circ$ とすると、

$$AUT1 : L_x = 5.7 + 2 \times 5.0 \tan 80 = 62.4 \text{ m} \quad \dots\dots (3')$$

$$AUT2 : L_x = 2.3 + 2 \times 2.0 \tan 80 = 25.0 \text{ m} \quad \dots\dots (4')$$

となり、必要な走査範囲が大きく増加することが分かる。走査範囲を小さくするには距離 R を小さくすればよいが、プローブアンテナの種類によっては被測定アンテナとの間で多重反射を生じ、測定結果に影響を与えてしまう場合があり、経験則に従うと3~5程度の距離で測定することが望ましい。

【0027】

上記考察は、図13の(a)に示しているように、供試アンテナ1の電磁波放射面が測定平面 P に正対し、ビーム(主ローブ)が測定平面 P の中央を向いている状態を想定したものであるが、前記したように、Massive-MIMOアンテナでは、アンテナの向きを固定したままで、複数のアンテナ素子に対する移相給電を用いてアンテナ全体のビームの方向を異なる方向に変更して使用することが想定されている。

【0028】

したがって、例えば、図13の(b)のように、ビームの方向を下方に傾けた状態でのアンテナの指向性を求める必要があり、そのためには、図13の(b)に示しているように測定平面 P の範囲を大きく広げなくてはならなくなる。

【0029】

また、第2の課題として測定精度の低下がある。即ち、上記したように、NFMでは、近傍界電界分布からFFTを用いて指向性を算出しているが、この計算の特性上、供試アンテナの指向性が算出される間隔は、中心(E面 0° 、H面 0°)付近で最も細かく、角度が大きくなるにつれて指向性の算出点の間隔が荒くなる性質がある。このため、前記のように、ビームが放射面に対して傾いて測定平面の中央部に放射されず、且つビーム幅が狭い状態で指向性を測定した場合、その測定精度が悪化する可能性がある。

【0030】

本発明は、上記課題を解決して、測定範囲を最小限度に抑えることができ、測定精度の

10

20

30

40

50

悪化を防止できる Massive - MIMO アンテナ測定装置およびその指向性測定方法を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0031】

前記目的を達成するために、本発明の請求項1の Massive - MIMO アンテナ測定装置は、

Massive - MIMO アンテナを供試アンテナとし、該供試アンテナを支持する供試アンテナ支持部(31)と、

前記供試アンテナから出力される電磁波を受信するためのプローブアンテナ(12)と

、

前記プローブアンテナを前記供試アンテナの近傍領域の所定の測定平面内で移動させるためのプローブ走査機構(13)と、

前記供試アンテナに測定用の信号を与える信号発生器(21)と、

前記プローブアンテナの受信信号から振幅と位相を検出する振幅位相検出器(22)と

、

前記プローブ走査機構を制御し、前記プローブアンテナの位置を前記測定平面内で走査させつつ前記振幅位相検出器の出力を受けて、前記供試アンテナの遠方界指向性を求める測定制御部(32)とを備えた Massive - MIMO アンテナ測定装置において、

前記供試アンテナ支持部は、前記供試アンテナの電磁波放射面が前記測定平面に正対する向きを基準方向とし、前記供試アンテナの向きを前記基準方向から変更できるように構成され、

前記測定制御部は、

前記供試アンテナが前記基準方向を向いている状態で、前記プローブアンテナが前記測定平面の一部を通過するように走査させ、該走査で得られる振幅、位相の情報から、前記供試アンテナが放射しているビームの方向を求めるビーム方向検出手段(33)と、

前記ビーム方向検出手段によって検出されたビームの方向が、前記測定平面の中央に向くように、前記供試アンテナ支持部を制御して前記供試アンテナの向きを変更するアンテナ向き変更手段(34)と、

前記アンテナ向き変更手段によってビーム方向が前記測定平面の中央に向くように前記供試アンテナの向きが変更された状態で、前記プローブアンテナを前記測定平面上で走査して、前記供試アンテナの仮の指向性を求める仮指向性算出手段(35)と、

前記仮指向性算出手段で得られた仮の指向性を、前記アンテナ向き変更手段によって変更した角度分補正して、前記供試アンテナが前記基準方向を向いているときの指向性を求める指向性補正手段(36)とを備えていることを特徴とする。

【0032】

また、本発明の請求項2の Massive - MIMO アンテナ測定装置は、請求項1記載の Massive - MIMO アンテナ測定装置において、

前記ビーム方向検出手段は、前記プローブアンテナが、前記測定平面内をその直交軸の一方に沿って通過する走査と、前記直交軸の他方に沿って通過する走査とを行なうことで、前記供試アンテナが放射しているビームの方向を求めることを特徴とする。

【0033】

また、本発明の請求項3の Massive - MIMO アンテナ測定装置の指向性測定方法は、

Massive - MIMO アンテナを供試アンテナとし、該供試アンテナを支持する供試アンテナ支持部(31)と、

前記供試アンテナから出力される電磁波を受信するためのプローブアンテナ(12)と

、

前記プローブアンテナを前記供試アンテナの近傍領域の所定の測定平面内で移動させるためのプローブ走査機構(13)と、

前記供試アンテナに測定用の信号を与える信号発生器(21)と、

10

20

30

40

50

前記プローブアンテナの受信信号から振幅と位相を検出する振幅位相検出器(22)とを有し、

前記プローブ走査機構を制御し、前記プローブアンテナの位置を前記測定平面内で走査させつつ前記振幅位相検出器の出力を受けて、前記供試アンテナの遠方界指向性を求める *M a s s i v e - M I M O* アンテナ測定装置の指向性測定方法において、

前記供試アンテナ支持部を、前記供試アンテナの電磁波放射面が前記測定平面に正対する方向を基準方向とし、前記供試アンテナの向きを前記基準方向から変更できるように構成し、

前記供試アンテナが前記基準方向を向いている状態で、前記プローブアンテナを、前記測定平面の一部を通過するように走査させ、該走査で得られる振幅、位相の情報から、前記供試アンテナが放射しているビームの方向を検出する段階と、

前記検出されたビームの方向が、前記測定平面の中央に向くように、前記供試アンテナ支持部を制御して前記供試アンテナの向きを変更する段階と、

前記ビーム方向が前記測定平面の中央に向くように前記供試アンテナの向きを変更した状態で、前記プローブアンテナを前記測定平面上で走査して、前記供試アンテナの仮の指向性を求める段階と、

前記求めた仮の指向性を、前記供試アンテナの向きを変更した角度分補正して、前記供試アンテナが前記基準方向を向いているときの指向性を求める段階とを含むことを特徴としている。

【発明の効果】

【0034】

このように、本発明では、供試アンテナが基準方向を向いている状態で、プローブアンテナを走査させて供試アンテナが放射しているビームの方向を検出し、その検出されたビームの方向が、測定平面の中央に向くように、供試アンテナの向きを変更してから、プローブアンテナを測定平面上で走査して、供試アンテナの仮の指向性を求め、その求めた仮の指向性を、供試アンテナの向きを変更した角度分補正して、供試アンテナが基準方向を向いているときの指向性を求めている。

【0035】

このため、基準方向を向いている供試アンテナのビーム方向が測定表面の中央から離れている場合であっても、最小限度の大きさの測定平面で指向性を求めることができる。

【0036】

また、供試アンテナのビームが、指向性計算結果が高精度に得られる測定平面の中央に向くように供試アンテナの向きを変更してから指向性を求めて、そのアンテナの向きの変更分を補正しているから、ビーム方向によらず高精度な指向性を求めることができる。

【図面の簡単な説明】

【0037】

【図1】本発明の実施形態の構成図

【図2】本発明の実施形態の要部の処理手順を示すフローチャート

【図3】本発明の実施形態の動作を説明するための図

【図4】本発明の実施形態の動作を説明するための図

【図5】本発明の実施形態の動作を説明するための図

【図6】本発明の実施形態の動作を説明するための図

【図7】本発明の実施形態の動作を説明するための図

【図8】アンテナの測定領域の説明図

【図9】従来装置の構成図

【図10】アンテナの指向性と測定範囲との関係を示す図

【図11】測定範囲を求めるために用いた2つのアンテナのパラメータを示す図

【図12】2つのアンテナの指向性を示す図

【図13】アンテナのビーム方向と測定範囲との関係を示す図

【発明を実施するための形態】

10

20

30

40

50

【 0 0 3 8 】

以下、図面に基づいて本発明の実施の形態を説明する。

図 1 は、本発明を適用した M a s s i v e - M I M O アンテナ測定装置（以下、単に測定装置と記す）3 0 の構成を示している。

【 0 0 3 9 】

この測定装置 3 0 は、前述の従来装置 1 0 に記載したプローブアンテナ 1 2、プローブ走査機構 1 3、信号発生器 2 1、振幅位相検出器 2 2、表示部 2 5 の他に、供試アンテナ支持部 3 1、測定制御部 3 2 を有している。

【 0 0 4 0 】

この測定装置 3 0 は、M a s s i v e - M I M O アンテナとして用いられる供試アンテナ 1 の指向性を測定するものであり、ここでは、供試アンテナ 1 を、複数のアンテナ素子が縦横に配列された平面形アレーアンテナとし、外部から入力されるビーム方向制御信号により、各アンテナ素子に対する給電位相が制御されて、アンテナ全体として出力するビームの方向が変更されるものとする。

10

【 0 0 4 1 】

供試アンテナ支持部 3 1 は、供試アンテナ 1 を、その電磁波放射面 1 a（アンテナとしての開口面）が測定平面 P に正対する向きを基準方向とし、その電磁波放射面 1 a が、基準方向から測定平面 P に対して傾きのある状態に変更できるように支持する。なお、ここで、基準方向とは、供試アンテナ 1 の電磁波放射面 1 a が測定平面 P と平行に対向し、且つ測定平面 P の原点位置で X 軸および Y 軸に直交する Z 軸が電磁波放射面 1 a の中心位置 C を通過する状態とする。

20

【 0 0 4 2 】

供試アンテナ支持部 3 1 は、例えば図 1 に示しているように、測定平面 P の Y 軸に平行で供試アンテナ 1 の電磁波放射面 1 a の中心位置 C を通過する Y 軸を中心に回転する方位角変更機構部 3 1 a と、方位角変更機構部 3 1 a 上に固定され、方位角変更機構部 3 1 a の回転軸上に供試アンテナ 1 を支持し、且つ、測定平面 P の X 軸に平行で供試アンテナ 1 の電磁波放射面 1 a の中心位置 C を通過する X 軸を中心に供試アンテナ 1 を回転させる仰角変更機構部 3 1 b とを有している。方位角変更機構部 3 1 a による供試アンテナ 1 の方位角の 0°（基準角）は Z 軸に平行な方向であり、この方向を基準として Y 軸を中心に任意の角度に方位角を変更できる。同様に、仰角変更機構部 3 1 b による供試アンテナ 1 の仰角の 0°（基準角）も Z 軸に平行な方向であり、この方向を基準として X 軸を中心に任意の角度に仰角を変更できる。

30

【 0 0 4 3 】

プローブアンテナ 1 2 は、前記したように、供試アンテナ 1 から出力された電磁波を受けるためのものであり、数 1 0 G H z 帯では方形導波管等が用いられる。

【 0 0 4 4 】

近傍界走査を行うプローブアンテナ 1 2 について求められる主な特性は、次の（a）～（c）の 3 つである。

【 0 0 4 5 】

（a）できるだけ広いビーム幅を持つこと。理想的には等方性アンテナが相応しいが、実在するアンテナには指向性が存在する。このためプローブアンテナの指向性で N F M により算出された供試アンテナ 1 の指向性を補正するプローブ補正が必要となる。ビーム幅が狭いアンテナをプローブアンテナとした場合、指向性のダイナミックレンジが小さくなり、低レベルのサイドローブを正確に測定できなくなる可能性がある。

40

【 0 0 4 6 】

（b）交差偏波の小さいこと。アンテナの指向性は、偏波ごとに評価する必要がある。直線偏波のアンテナであれば垂直・水平偏波で、円偏波アンテナであれば左旋偏波・右旋偏波で評価を行う。N F M における偏波は、プローブアンテナの偏波に依存するため、精度の良い測定なためには、できる限り交差偏波の小さいプローブアンテナを使用する必要がある。

50

【 0 0 4 7 】

(c) 多重反射による測定結果への影響が小さいこと。これは、アンテナを小型化し、電波吸収体で周囲を覆うことで実現することができる。なお、反射による影響を小さくするため、高電界変換を用いた光プローブを用いることも可能である。

【 0 0 4 8 】

ここでは、ミリ波帯で上記条件を満たすプローブアンテナとして、先端を開放した導波管を用いている。この導波管を用いたプローブアンテナ 1 2 は、アンテナ開口面が小さいため、ビームが広く、また、公差偏波を主偏波に対し - 2 0 d B 程度に抑えることができる。さらに、周囲を電波吸収体で覆う構造を簡単に実施でき、多重反射対策が容易である。

10

【 0 0 4 9 】

なお、図 1 では示していないが、実施形態のプローブアンテナ 1 2 には、上記多重反射対策が施されており、また、プローブアンテナ 1 2 以外に、供試アンテナ支持部 3 1、プローブ走査機構 1 3 の表面や、供試アンテナ 1 からプローブアンテナ 1 2 の間の空間が、電波吸収体（簡易電波暗箱）で覆われていて、小規模な測定環境で、内部の不要な反射や外部からの電磁波の混入の影響を防いでいるものとする。

【 0 0 5 0 】

プローブ走査機構 1 3 は、プローブアンテナ 1 2 を測定平面 P 内で X、Y 方向に所定ピッチで移動させる。このプローブ走査機構 1 3 と供試アンテナ支持部 3 1 は、測定制御部 3 2 によって制御される。

20

【 0 0 5 1 】

信号発生器 2 1 は供試アンテナ 1 に測定用の信号を与え、振幅位相検出器 2 2 は、プローブアンテナ 1 2 の受信信号を受けて、プローブアンテナ 1 2 の位置毎の振幅、位相の情報を検出し、その情報を測定制御部 3 2 に出力する。なお、信号発生器 2 1 および振幅位相検出器 2 2 は、それらの機能を有するネットワークアナライザ等で構成する場合がある。

【 0 0 5 2 】

測定制御部 3 2 は、前記した従来の測定装置 1 0 と同様に、パーソナルコンピュータ等によって構成され、基本的には、プローブ走査機構 1 3 を制御して、測定平面 P 内でプローブアンテナ 1 2 の位置を所定ピッチで走査させつつ振幅位相検出器 2 2 の出力を受け、測定平面内における振幅位相の分布から、供試アンテナ 1 の遠方界指向性を求める処理を行なうが、ここでは、M a s s i v e - M I M O アンテナとして用いられる供試アンテナ 1 のビーム方向が各アンテナ素子に対する移相給電制御等により、電磁波放射面に直交する方向だけでなく、広い角度範囲内で変更されることに対処するための構成を有している。

30

【 0 0 5 3 】

即ち、測定制御部 3 2 は、機能上は、プローブ走査機構 1 3 および供試アンテナ支持部 3 1 を制御し、また、振幅位相検出器 2 2 の出力を受けるためのインタフェース（図示せず）の他に、ビーム方向検出手段 3 3、アンテナ向き変更手段 3 4、仮指向性算出手段 3 5、指向性補正手段 3 6 を有しており、図 2 に示すフローチャートにしたがって処理を行なう。以下、測定制御部 3 2 の機能および処理手順について具体的に説明する。

40

【 0 0 5 4 】

ビーム方向検出手段 3 3 は、供試アンテナ 1 の電磁波放射面 1 a が基準方向を向いている状態（S 1）で、プローブアンテナ 1 2 が測定平面 P の一部を通過するように走査させ（S 2）、その走査で得られる振幅、位相の情報から、供試アンテナ 1 が放射しているビーム（主ローブ）の方向を求める（S 3）。このビーム方向検出処理は、通常の指向性算出処理と同じように、逆フーリエ変換によりその関数を求めて遠方界の指向性を求めているが、厳密な指向性は不要なのでプローブ補正を省略できる。

【 0 0 5 5 】

このビーム方向検出は、供試アンテナ 1 が実際に放射しているビームの方向を大まかに

50

検出するためのものであり、測定平面全体を走査する必要はなく、最小限の走査として、X軸に沿った方向に1回、Y軸に沿った方向に1回行なえば済む。

【0056】

例えば、図3に示しているように、測定平面Pに正対している供試アンテナ1からある角度でビームBが放射されている状態で、上記演算処理を行なったとき、水平面(H面)の指向性が図4の(a)のように方位角で最大強度となり、垂直面(E面)の指向性が図4の(b)のように、仰角で最大強度となったとする。なお、振幅が最大となる位置より、その両側の振幅が極小となる位置(主ローブとサイドローブとの境界)を特定する方が容易な場合には、最大の極大位置の両側の2つの極小位置の中間値を、ビーム方向を特定する角度として求めてもよい。

10

【0057】

このように、ビーム方向が測定平面Pの中心から大きく離れた位置を通過する場合、その指向性を3次程度のサイドローブを含めて求めようすると、測定平面Pの大きさが足りなくなる。また、この状態でプローブアンテナ12を細かく走査させて指向性を求めても、そのFFTによる指向性計算の性質上、主ローブ近傍の測定精度が低下してしまう。このため、この測定装置30では、上記のように求めたビーム方向から、そのビーム方向が水平面および垂直面でともに0°付近(測定平面Pの中央近傍を通過する状態)となるように、供試アンテナ支持部31を制御して供試アンテナ1の向きを変更している(S4)。なお、ここで、検出されたビーム方向が測定平面Pの中央近傍にあるか否かを判定して、近傍にある場合には、従来通り、測定平面全体に渡ってプローブアンテナ12を走査して指向性を算出し、近傍にない場合には次のアンテナ向き変更処理(S4)に進ようにしてもよい。

20

【0058】

ここで、検出された供試アンテナ1のビームBの方位角、仰角に対し、図5のように、供試アンテナ1を方位角変更機構部31aによりY軸を中心に $\theta = 0$ から $\theta = -$ まで回転させ、仰角変更機構部31bによりX軸を中心に $\phi = 0$ から $\phi = -$ まで回転させれば、供試アンテナ1の電磁波放射面1aから放射されているビームBの遠方界での方位角および仰角をほぼ0°(測定平面Pの中央近傍を通過する状態)とすることができる。

【0059】

このように、ビーム方向が測定平面Pの中央に向くように変更されると、仮指向性算出手段35によってプローブ走査機構13が制御されて、プローブアンテナ12が測定平面全体を所定ピッチで走査されて、各走査位置の電界の振幅と位相の情報が得られ、その分布から、供試アンテナ1の遠方界の仮の指向性が算出される(S5、S6)。

30

【0060】

この演算は、前記した非特許文献1に記載されているものでここでは詳述しないが、簡単に説明すると、プローブアンテナ12の受信出力が、供試アンテナ1のベクトル送信関数とプローブアンテナ12のベクトル受信関数の内積となる結合積のフーリエ変換で表されるので、測定平面P上の各走査位置のプローブ受信出力を測定して振幅と位相の分布を求め、これを逆フーリエ変換することで結合積を求める。そして、その結合積に対し、プローブアンテナ12の指向性(既知とする)から得られるベクトル受信関数を除算してプローブアンテナ12の指向性の影響を取り除いて(プローブ補正)、供試アンテナ1のベクトル送信関数を求め、そのベクトル送信関数に基づき所定の演算(例えば非特許文献1の式11・70、11・71)により指向性を算出する。

40

【0061】

なお、近傍界走査におけるサンプリング間隔(プローブアンテナ12の移動間隔)は、遠方界に変換したときに求められる角度範囲に影響を与え、サンプリング間隔を広くすると求められる角度範囲が狭くなり、狭くすると角度範囲は広くなることが知られている。しかしながら、平面NFMの場合の指向性は、原理的に $\pm 90^\circ$ の範囲のデータにしか意味を持たないため、角度範囲が $\pm 90^\circ$ となるサンプリング間隔 $=$ / 2以下にする必要

50

はない。ただし、データ処理の問題から通常は0.45程度のサンプリング間隔とすることが多い。また、正面方向の特定の角度範囲までの測定で良いのであれば、サンプリング間隔を広くする(測定点数を少なくする)ことで測定的高速化を図ることも考えられる。

【0062】

図6の(a)、(b)は、上記演算処理で求めた水平面(H面)と垂直面(E面)の指向性の例を示している。ここで得られる指向性は、供試アンテナ1のビーム方向が測定平面の中央を向くようにアンテナの向きを変更して測定したものであるから、供試アンテナ1の向きが測定平面に正対しているときの指向性を正しく表していない。

【0063】

これを解消するために、指向性補正手段36は、仮指向性算出手段35で得られた仮の指向性のデータを、アンテナ向き変更手段34によって変更した角度(、)分だけ戻すように補正して、供試アンテナ1の向きが基準方向を向いているときの遠方界指向性を求める(S7)。

【0064】

図7の(a)、(b)は、指向性補正手段36によって補正された水平面(H面)と垂直面(E面)の指向性の例を示しており、図6に示した指向性に対して、水平面(H面)の指向性は、垂直面(E面)の指向性は、だけシフトしている。

【0065】

このようにして得られた指向性を表示部25によって表示することで、限られた大きさの測定平面を用いながら、ビーム方向が種々変更される供試アンテナ1の指向性を把握できる(S8)。

【0066】

また、前記したように、近傍界指向性をFFTにより計算する場合、供試アンテナ1の指向性が算出される間隔が、測定平面の中央(E面0°、H面0°)付近で最も細かく、角度が大きくなるにつれて指向性の算出点の間隔が荒くなる性質があるが、この測定装置30では、種々の方向に切り替えられると予想される供試アンテナ1のビーム方向が測定平面の中央に向くようにアンテナの向きそのものを変更してから上記指向性の計算を行なうので、ビーム方向が測定平面の中央に向いてない状態で指向性を求める場合に比べて、主ローブの周辺の指向性を格段に高精度に求めることができる。

【0067】

上記説明は、測定装置30側で基準方向を向いている供試アンテナ1のビーム方向が未知の場合を想定し、ビーム方向検出手段33において、プローブアンテナ12を測定平面のX軸(Y=0の直線)上を1回走査し、Y軸(X=0の直線)上を1回走査することで、遠方界におけるビームの方向の特定していた。これはビーム方向を特定するための最小限の走査として測定を効率化したものであるが、X、Yそれぞれ1回の走査で得られた情報を基に算出した遠方界のビームの方位角および仰角が、0°を中心とする所定角度範囲から大きくかけ離れている場合には、そのビーム方向が測定平面と交わる座標近傍を通るようにX方向、Y方向の少なくとも一方の走査を再度行なうことで、遠方界におけるビーム方向をより正確に求めることができる。

【0068】

この場合、1回目の走査で得られた遠方界のビーム方向(、)の少なくとも一方の大きさ(絶対値)が、所定のしきい値を越えている場合には、そのしきい値を越えているビーム方向と測定平面とが交わる座標を通るような走査を少なくとも1回追加すればよい。

【0069】

また、基準方向を向いている供試アンテナ1の遠方界におけるビーム方向が、測定装置30側で予測できる場合には、ビーム方向検出手段33において、その予測されるビーム方向が測定平面に交わる大凡の座標(X, Y) = (A, B)を求め、測定平面をX軸に平行なY = Bの直線上でプローブアンテナ12を1回走査し、Y軸に平行なX = Aの直線上

10

20

30

40

50

でプローブアンテナ12を1回走査させる。このように遠方界におけるビーム方向が測定平面に交わると予想される座標を通過するようにプローブアンテナ12を走査することで、振幅および位相の検出精度が高くなり、実際の遠方界におけるビーム方向をより正確に求めることができる。

【0070】

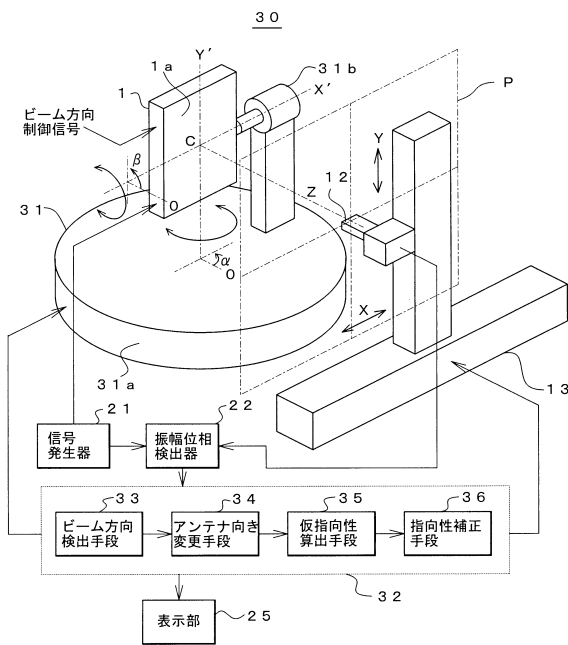
また、ビーム方向検出手段33において求めた遠方界におけるビーム方向と、予め予測される遠方界のビーム方向（例えばビーム方向制御信号から予測されるビーム方向）との差を求めて記憶しておけば、供試アンテナ1を用いる基地局装置等の移相制御用のデータ補正に用いることができる。

【符号の説明】

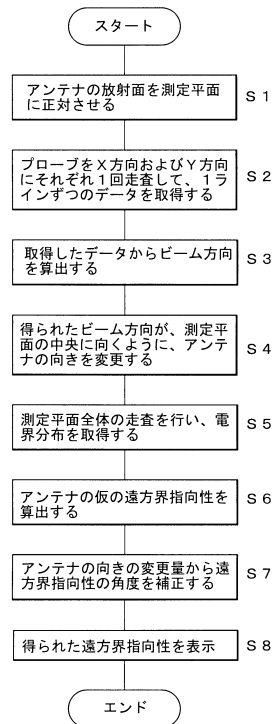
【0071】

1 …… 供試アンテナ、13 …… プローブ走査機構、21 …… 信号発生器、22 …… 振幅位相検出器、25 …… 表示部、30 …… 測定装置、31 …… 供試アンテナ支持部、32 …… 測定制御部、33 …… ビーム方向検出手段、34 …… アンテナ向き変更手段、35 …… 仮指向性算出手段、36 …… 指向性補正手段

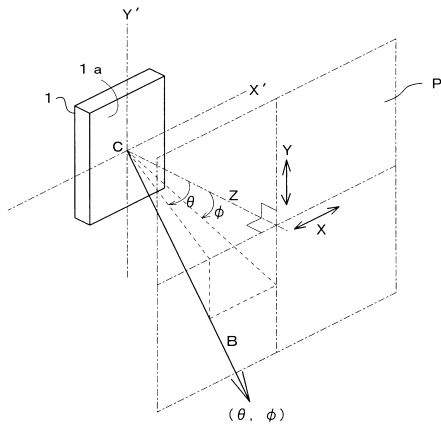
【図1】



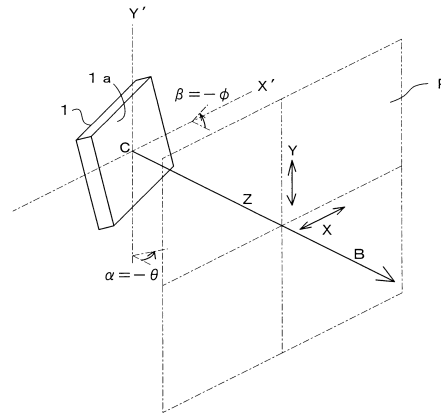
【図2】



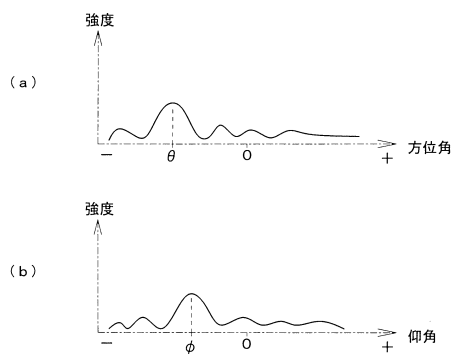
【図3】



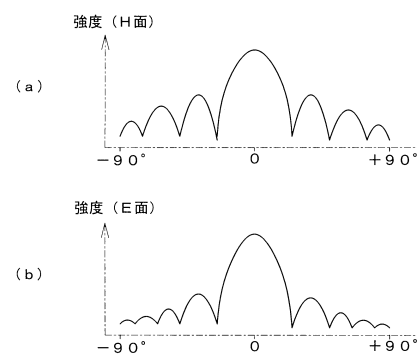
【図5】



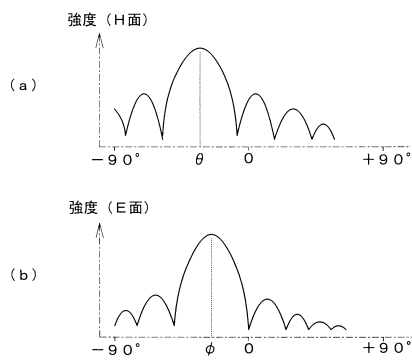
【図4】



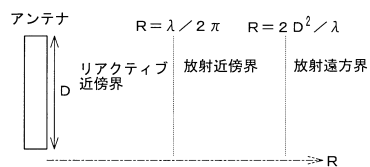
【図6】



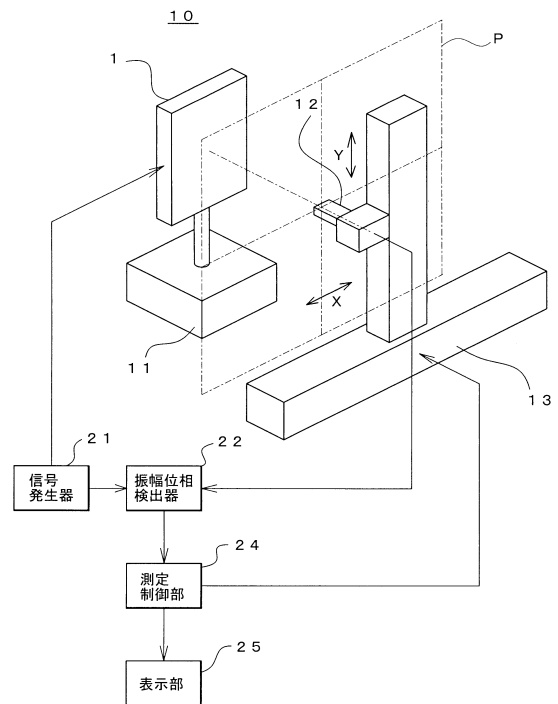
【図7】



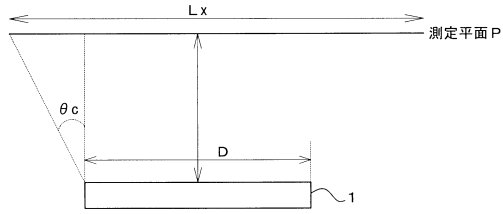
【図8】



【図9】



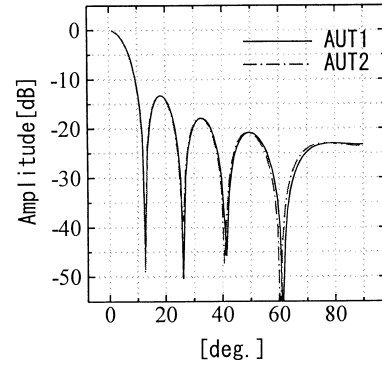
【図 1 0】



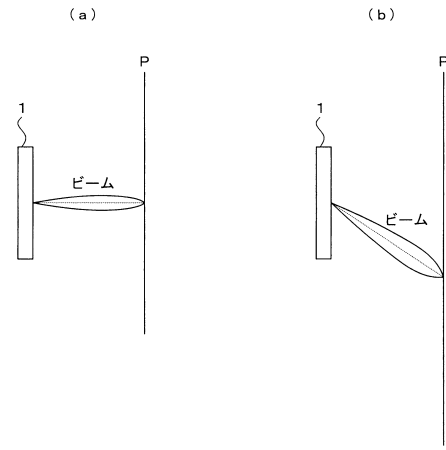
【図 1 1】

	AUT1	AUT2
周波数 (GHz)	24	60
波長 (mm)	12.5	5
開口寸法 D (mm)	57 × 57	23 × 23
アンテナ素子間隔 (λ)	0.5	0.5
アンテナ素子数	8 × 8	8 × 8
利得 (dBi)	24.2	24.2
半値幅 (deg)	12.6	12.5

【図 1 2】



【図 1 3】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2001-153906(JP,A)
特開2001-194401(JP,A)
特開2002-243783(JP,A)
特開2008-224506(JP,A)
米国特許第5432523(US,A)
米国特許出願公開第2015/0188647(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01R 29/10
H01Q 3/08
H01Q 3/26 - 3/42