

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4243208号
(P4243208)

(45) 発行日 平成21年3月25日(2009.3.25)

(24) 登録日 平成21年1月9日(2009.1.9)

(51) Int.Cl.		F I	
HO 1 Q	3/44	(2006.01)	HO 1 Q 3/44
HO 1 Q	1/40	(2006.01)	HO 1 Q 1/40
HO 1 Q	9/30	(2006.01)	HO 1 Q 9/30
HO 1 Q	19/32	(2006.01)	HO 1 Q 19/32

請求項の数 2 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2004-69194 (P2004-69194)	(73) 特許権者	393031586 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
(22) 出願日	平成16年3月11日(2004.3.11)	(73) 特許権者	000101857 アンテナ技研株式会社 埼玉県さいたま市見沼区宮ヶ谷塔4丁目7 2番地
(65) 公開番号	特開2005-160011 (P2005-160011A)	(74) 代理人	100081422 弁理士 田中 光雄
(43) 公開日	平成17年6月16日(2005.6.16)	(74) 代理人	100098280 弁理士 石野 正弘
審査請求日	平成18年9月21日(2006.9.21)	(72) 発明者	ブレット・ハンナ 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
(31) 優先権主張番号	特願2003-372802 (P2003-372802)		
(32) 優先日	平成15年10月31日(2003.10.31)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		
(出願人による申告)平成15年度通信・放送機構、研究テーマ「自律分散型無線ネットワークの研究開発」に関する委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受ける特許出願			

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アレーアンテナ装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

無線信号を送受信するための給電素子と、上記給電素子から所定の間隔だけ離れて設けられた少なくとも1つの無給電素子と、上記無給電素子に接続された可変リアクタンス素子とを備え、上記可変リアクタンス素子のリアクタンス値を変化させることにより、上記無給電素子をそれぞれ導波器又は反射器として動作させ、アレーアンテナ装置の指向特性を変化させるアレーアンテナ装置において、

上端面を少なくとも有する円筒形状を有する接地導体の上端面上に、上記接地導体の筒の径と実質的に同一の径を有する円柱形状を有する誘電体をそれらの中心軸が一致するように配置し、上記誘電体内に上記給電素子を配置し、上記誘電体の外周面上に上記無給電素子を配置し、

上記無線信号の周波数の自由空間波長を λ とし、上記誘電体中を伝搬する無線信号の波長を λ_r としたとき、

(1) 上記接地導体の円筒形状の高さ (h_s) を $0.25 \lambda_r$ に設定し、

(2) 上記誘電体の円柱形状の高さ (h_{dp}) を $0.25 \lambda_r$ 以上で $0.25 \lambda_r$ 以下の範囲で設定し、

(3) 上記誘電体の円柱形状の半径 (r_{dg}) を $0.23 \lambda_r$ 以上で $0.33 \lambda_r$ 以下の範囲で設定することによりアンテナ装置の容積比を低減したことを特徴とするアレーアンテナ装置。

【請求項2】

上記アレーアンテナ装置は、6本の無給電素子を備えたことを特徴とする請求項1記載のアレーアンテナ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数のアンテナ素子からなるアレーアンテナ装置の指向特性を変化させることができるアレーアンテナ装置に関し、特に、電子制御導波器アレーアンテナ装置 (Electronically Steerable Passive Array Radiator Antenna) の指向特性を適応的に変化させることができるアレーアンテナ装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来技術の電子制御導波器アレーアンテナ装置は、例えば、非特許文献1や特許文献1において提案されている。この電子制御導波器アレーアンテナ装置は、無線信号が給電される給電素子と、この給電素子から所定の間隔だけ離れて設けられ、無線信号が給電されない少なくとも1個の無給電素子と、この無給電素子に接続された可変リアクタンス素子とから成るアレーアンテナを備え、上記可変リアクタンス素子のリアクタンス値を変化させることにより、上記アレーアンテナ装置の指向特性を変化させることができる。

【0003】

この電子制御導波器アレーアンテナ装置において、このアンテナ装置の多面的なビーム形成能力はマルチパスフェーディング及び同一チャンネル干渉の低減を可能にし、かつ入射信号の正確な到来方向 (DOA) 推定を可能にする。また、このアンテナ装置は、無線コンピュータネットワーク及び方向探知の能力を最大化するアプリケーションを有している。

【0004】

【特許文献1】特開2001-024431号公報。

【特許文献2】特開2003-114268号公報。

【非特許文献1】T. Ohira et al., "Electronically steerable passive array radiators for low low-cost analog adaptive beamforming", IEEE International Conference on Phased Array Systems and Technology, pp.101-106, Dana Point, U.S.A., May 2000.

【非特許文献2】Y. Ojira, et al., "Improvement of elevation directivity for ESPAR antennas with finite ground plane", IEEE AP-S Internal Symposium, Boston, U.S.A., July 2001.

【非特許文献3】J.W. Lu, et al., "A performance comparison of smart antenna technology for wireless mobile computing terminals", Proceeding of Asia Pacific Microwave Conference, pp.581-584, Taipei, Taiwan, 3rd-6th December 2001.

【非特許文献4】D.V. Thiel et al., "Switched parasitic antennas for cellular communications", Published by Artech House, pp.170-180, 2002.

【非特許文献5】M. Kominami, et al., "Dipole and slot elements and arrays on semi-infinite substrates", IEEE Transactions on Antennas Propagation, Vol.33, No.6, pp.600-607, June 1994.

【非特許文献6】N. Kishioka et al., "FDTD analysis of strip dipole antenna covered by dielectric material", Proceedings of Asia Pacific Microwave Conference, pp.1352-1355, Sydney, Australia, 3rd-6th December 2000.

【非特許文献7】J.D. Krauss, "Antennas", Published by McGraw-Hill, pp.725-726, 1988.

【非特許文献8】T. Ohira et al., "Handheld microwave direction-of-arrival finder based on varactor tuned aerial beamforming", Proc. Asia Pacific Microwave Conference, pp.585-588, Taipei, Taiwan, 3rd-6th December 2001.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、移動体アプリケーションにおいて実用的であり、またはその動作環境において邪魔にならないようなものであるためには、このアンテナ装置の小型化が命題である。

【0006】

図12は、例えば非特許文献2において開示されている、第1の従来例に係る電子制御導波器アレーアンテナ装置100Aの構成を示す斜視図である。図12において、自由空間における従来のアンテナ設計における寸法も示している。

【0007】

図12において、上端面を有するが下面の端面を有しない、いわゆるスカート部を備えた円筒形状の接地導体11Aの上端面上に、1本の給電素子A0と、当該給電素子A0を中心として所定の距離だけ離間した円周上に6本の無給電素子A1乃至A6が、当該接地導体11Aの上端面に対して垂直かつ互いに平行となるように植立されている。ここで、給電素子A0は下端部が接地導体11Aとは電氣的に絶縁されるように支持され、その下端部は給電ケーブルを介して無線機に接続されている。また、各無給電素子A1乃至A6は、その下端部が接地導体11Aとは電氣的に絶縁されるように支持され、各無給電素子A1乃至A6の下端部は可変リアクタンス素子を介して接地されている。

【0008】

以上のように構成された電子制御導波器アレーアンテナ装置100Aにおいて、各素子A0乃至A6の長さは所望の周波数(当該周波数の波長を λ_0 とする。)で共振するように $0.25\lambda_0$ よりわずかに短い。接地導体11Aには、主ローブの放射パターンの仰角を低減すると同時に接地導体11Aの円筒半径を縮小できるように導電スカート(円筒周囲部)が使用されている(非特許文献2参照。)

【0009】

ところで、モノポールの電子制御導波器アレーアンテナ装置を中実の円柱誘電体に埋め込むことにより、当該アレーアンテナ装置の小型化方法は既に、例えば非特許文献3において開示されている。例えば、当該アレーアンテナ装置を、自由空間の場合より高い誘電率の誘電体内に完全に埋め込む場合、アレーアンテナ装置の寸法を次の式(1)に従って縮小することができる。

【0010】

【数1】

$$\lambda_r = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \quad (1)$$

【0011】

ここで、 λ_r は無損失物質内を無限に伝搬する電磁波エネルギーの波長であり、 λ_0 は自由空間の波長であり、 μ_r 及び ϵ_r はそれぞれ物質の比透磁率及び比誘電率である。

【0012】

図13は、例えば非特許文献4-6において開示された、第2の従来例に係る電子制御導波器アレーアンテナ装置100Bの構成を示す斜視図である。図13では、上述のサイズ縮小方法を使用したアレーアンテナ装置の寸法も示している。

【0013】

図13において、円板形状の接地導体11B上に、給電素子A0及び無給電素子A1乃至A6が配置されている。ここで、アレーアンテナ装置100Bのサイズは、円柱誘電体13Bの内側半径を $0.25\lambda_r$ にし、無給電素子A1乃至A6をその内側半径の円周上の位置に取り付けることで縮小することができる。無給電素子A1乃至A6の新たな長さは、式(1)の λ_r 項を誘電体13Bの誘電率と自由空間媒体の誘電率との平均である有効誘電率項

【数1】

10

20

30

40

50

$$e = (r_0 + r) / 2$$

で置換することにより概算が可能である（非特許文献 4 - 6 参照。）。

【0014】

以上説明したように、従来例では、いまだアレーアンテナ装置では、そのスカートをつば部分が大きく、さらに小型化が望まれている。

【0015】

本発明の目的は以上の問題点を解決し、従来技術に比較してさらに小型化できるアレーアンテナ装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0016】

本発明に係るアレーアンテナ装置は、無線信号を送受信するための給電素子と、上記給電素子から所定の間隔だけ離れて設けられた少なくとも1つの無給電素子と、上記無給電素子に接続された可変リアクタンス素子とを備え、上記可変リアクタンス素子のリアクタンス値を変化させることにより、上記無給電素子をそれぞれ導波器又は反射器として動作させ、アレーアンテナ装置の指向特性を変化させるアレーアンテナ装置において、

上端面を少なくとも有する筒形状を有する接地導体の上端面上に、上記接地導体の筒の径と実質的に同一の径を有する柱形状を有する誘電体をそれらの中心軸が一致するように配置し、上記誘電体内に上記給電素子を配置し、上記誘電体の外周面上に上記無給電素子を配置したことを特徴とする。

【0017】

上記アレーアンテナ装置において、好ましくは、上記誘電体は略円柱形状、略楕円形状又は多角柱形状を有することを特徴とする。

【発明の効果】

【0018】

本発明に係るアレーアンテナ装置によれば、従来技術のアレーアンテナ装置に比較して、その半径を実質的に接地導体の半径と等しくすることができ、これにより、当該アレーアンテナ装置全体のサイズを大幅に小さくし、小型化できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下、本発明に係る実施形態について図面を参照して説明する。なお、同様の構成要素については同一の符号を付している。

【0020】

< 第1の実施形態 >

図1は本発明の第1の実施形態に係るアレーアンテナ装置100Cの構成を示す斜視図であり、図2は図1のアレーアンテナ装置100Cを用いるアレーアンテナの制御装置の構成を示すブロック図である。

【0021】

第1の実施形態に係るアレーアンテナ装置100Cは、無線信号を送受信するための給電素子A0と、給電素子から所定の間隔だけ離れて設けられた6本の無給電素子A1 - A6と、各無給電素子A1 - A6にそれぞれ接続された6個の可変リアクタンス素子12 - 1乃至12 - 6とを備え、それらのリアクタンス値を変化させることにより、無給電素子A1 - A6をそれぞれ導波器又は反射器として動作させ、アレーアンテナ装置の指向特性を変化させる電子制御導波器アレーアンテナ装置である。ここで、上端面を少なくとも有する中空の円筒形状の接地導体11Cの上端面上に、接地導体11Cの円筒の半径と実質的に同一の半径を有する円柱形状を有する誘電体13Cをそれらの中心軸が一致するように配置し、誘電体13C内に給電素子A0を配置し、誘電体13Cの外周面上に無給電素子A1 - A6を配置したことを特徴としている。

【0022】

図1及び図2において、長さ h_s で半径 r_{dg} の円筒形状の接地導体11Cの上端面上に、例えばアルミナ（比誘電率 $\epsilon_r = 9.6$ ）にてなる長さ h_{dp} で半径 r_{dg} の円柱形

10

20

30

40

50

状の誘電体 13C がそれらの中心軸が一致するように配置されて、例えば、所定の接着剤を用いて固定される。誘電体 13C の中心軸において長さ h_a のモノポールの給電素子 A0 が中心軸に沿って配置されるように、誘電体 13C 内に埋め込まれて設けられる。給電素子 A0 の下端部は給電点となり、給電用同軸ケーブル 5 などを通じて無線送信機 7 などを含む無線機に接続される。また、各無給電素子 A1 乃至 A6 は誘電体と同じ長さ h_{dp} を有し、誘電体 13C の外周面上に等間隔となるように配置されている。

【0023】

図 2 において、給電素子 A0 の給電点は、給電用同軸ケーブル 5 及びサーキュレータ 6 を介して低雑音増幅器 (LNA) 1 に接続され、また、無給電素子 A1 乃至 A6 はそれぞれ可変リアクタンス素子 12-1 乃至 12-6 に接続され、これら可変リアクタンス素子 12-1 乃至 12-6 は、適応制御型コントローラ 20 からの制御電圧信号にตอบสนองしてそのリアクタンス値を変化させる。

10

【0024】

図 1 及び図 2 において、給電素子 A0 の下端部は接地導体 11 と電氣的に絶縁され、各無給電素子 A1 乃至 A6 はそれぞれ、可変リアクタンス素子 12-1 乃至 12-6 を介して、接地導体 11 に対して高周波的に接地される。可変リアクタンス素子 12-1 乃至 12-6 の動作を説明すると、例えば給電素子 A0 と無給電素子 A1 乃至 A6 の長手方向の長さが実質的に同一であるとき、例えば、可変リアクタンス素子 12-1 がインダクタンス性 (L 性) を有するときは、可変リアクタンス素子 12-1 は延長コイルとなり、無給電素子 A1 の電気長が給電素子 A0 に比較して長くなり、反射器として働く。一方、例えば、可変リアクタンス素子 12-1 がキャパシタンス性 (C 性) を有するときは、可変リアクタンス素子 12-1 は短縮コンデンサとなり、無給電素子 A1 の電気長が給電素子 A0 に比較して短くなり、導波器として働く。また、他の可変リアクタンス素子 12-2 乃至 12-6 に接続された無給電素子 A2 乃至 A6 についても同様に動作する。

20

【0025】

従って、図 2 のアレーアンテナ装置 100C において、各無給電素子 A1 乃至 A6 に接続された可変リアクタンス素子 12-1 乃至 12-6 に印加する制御電圧値を変化させて、その接合容量値であるリアクタンス値を変化させることにより、アレーアンテナ装置 100C の平面指向特性を変化させることができる。

【0026】

図 2 のアレーアンテナの制御装置において、アレーアンテナ 100C で受信される無線信号を送信する送信局は、学習シーケンス信号発生器 21 で発生される所定の学習シーケンス信号と同一の信号パターンを有する学習シーケンス信号を含む所定のシンボルレートのデジタルデータ信号に従って、無線周波数の搬送波信号を、例えば BPSK、QPSK などのデジタル変調法を用いて変調し、当該変調信号を電力増幅して受信局のアレーアンテナ装置 100C に向けて送信する。本実施形態においては、データ通信を行う前に、送信局から受信局に向けて学習シーケンス信号を含む無線信号が送信され、受信局では、適応制御型コントローラ 20 による適応制御処理が実行される。

30

【0027】

アレーアンテナ装置 100C は送信局からの無線信号を受信し、上記受信された信号は、給電用同軸ケーブル 5 及びサーキュレータ 6 を介して低雑音増幅器 (LNA) 1 に入力されて増幅され、次いで、ダウンコンバータ (D/C) 2 は増幅された信号を所定の中間周波数の信号 (IF 信号) に低域変換する。さらに、A/D 変換器 3 は低域変換されたアナログ信号をデジタル信号に A/D 変換し、そのデジタル信号を適応制御型コントローラ 20 及び復調器 4 に出力する。次いで、適応制御型コントローラ 20 は、入力される受信信号と学習シーケンス信号とに基づいて、各可変リアクタンス素子のリアクタンス値を、順次所定の差分幅だけ摂動させ、各リアクタンス値に対して所定の評価関数値 (例えば、受信信号の電力) を計算し、上記計算された評価関数値に基づいて、最急勾配法を用いて、当該評価関数値が最大となるように、各リアクタンス値を反復して計算することにより、当該アレーアンテナ装置 100C の主ビームを所望波の方向に向けかつ干渉波の方

40

50

向にヌルを向けるための各可変リアクタンス素子のリアクタンス値を計算して設定するように制御する。これにより、当該評価関数値が最大となるように、上記アレーアンテナ装置 100C の主ビームを所望波の方向に向けかつ干渉波の方向にヌルを向けるための各可変リアクタンス素子のバイアス電圧値を探索し、探索された各バイアス電圧値を有する制御電圧信号を各可変リアクタンス素子に出力して設定する。

【0028】

以上説明したように、本実施形態に係るアレーアンテナ装置 100C においては、接地導体 11C もまた、円柱形状の誘電体 13C 及び無給電素子 A1 - A6 の配置半径と一致する半径を有するように縮小され、従来例に比較して小型化できる。誘電体 13C は円柱形状に限らず、略円柱形状、略楕円柱形状、略多角形柱形状などの柱形状であってもよい。

10

【0029】

以上の実施形態においては、中空の円筒形状の接地導体 11C を用いているが、本発明はこれに限らず、中空の概略円筒形状又は略楕円筒形状などの筒形状の接地導体、もしくは、中実の円柱形状、概略円柱形状又は略楕円柱形状などの柱形状の接地導体であってもよい。

【0030】

< 第 2 の実施形態 >

図 3 は本発明の第 2 の実施形態に係るアレーアンテナ装置 100D の構成を示す斜視図であり、図 4 は図 3 のアレーアンテナ装置 100D の上面を示す上面図である。また、図 5 は図 3 のアレーアンテナ装置 100D の無給電素子 A1 の下部付近の構成を示す詳細正面図である。本実施形態に係るアレーアンテナ装置 100D は、円柱形状の誘電体 13C を備えた図 1 のアレーアンテナ装置 100C に比較して、12 角柱形状の誘電体 13D を備え、誘電体 13D の 12 個の外周矩形面のうち 1 つおきの外周矩形面にそれぞれストリップ形状の無給電素子 A1 - A6 を形成したことを特徴としている。以下、第 1 の実施形態との相違点を中心に詳細説明する。

20

【0031】

図 3 において、長さ h_s で半径 r_{dg} の円筒形状の接地導体 11D の上端面上に、例えばポリカーボネート（比誘電率 $\epsilon_r = 2.9$ ）にてなる長さ h_d で半径 r_{dg} の 12 角柱形状の誘電体 13D がそれらの中心軸が一致するように配置されて、例えば、所定の接着剤を用いて固定される。誘電体 13D の中心軸において長さ h_a のモノポールの給電素子 A0 が中心軸に沿って配置されるように、誘電体 13D 内に埋め込まれて設けられる。給電素子 A0 の下端部は給電点となり、給電用同軸ケーブル 5 などを通じて無線送信機 7 などを含む無線機に接続される。また、各無給電素子 A1 乃至 A6 は長さ h_p を有し、誘電体 13D の誘電体 13D の 12 個の外周矩形面のうち 1 つおきの外周矩形面にそれぞれ、所定の等しい間隔となるように、その長手方向が中心軸と平行となるようにストリップ形状の無給電素子 A1 - A6 を形成した。なお、図 4 の上面図に示すように、各無給電素子 A1 乃至 A6 はそれぞれ、テフロン基板 50 上に導体パターン 51 を形成してなり、ここで、誘電体 13D の 12 角柱形状の内面に接する内周円の半径は r_{dg} である。

30

【0032】

図 5 の無給電素子 A1 の導体パターン 51 の下端部の下側であってテフロン基板 50 上において、端子導体 61, 62 が形成され、ここで、端子導体 62 は接地導体 11D にねじ 63 止めされる。導体パターン 51 は抵抗 R1 を介して端子導体 61 に接続されるとともに、例えば可変容量ダイオードである可変リアクタンス素子 12-1 を介して端子導体 62 に接続される。端子導体 61 は抵抗 R2, R3 を介して端子導体 62 に接続されている。さらに、端子導体 61 は、テフロン基板 50 を厚さ方向で貫通するスルーホールに充填されたスルーホール導体 41 を介して接地導体 11D に接続されている。また、端子導体 62 は、テフロン基板 50 を厚さ方向で貫通するスルーホールに充填された複数のスルーホール導体 42 を介して接地導体 11D に接続されている。

40

【0033】

50

以上説明したように、本実施形態に係るアレーアンテナ装置 100D においては、接地導体 11D もまた、12 角柱形状の誘電体 13D の内周半径及び無給電素子 A1 - A6 の配置半径と一致する半径を有するように縮小され、従来例に比較して小型化できる。

【0034】

以上の実施形態においては、中空の円筒形状の接地導体 11D を用いているが、本発明はこれに限らず、中空の概略円筒形状又は略楕円筒形状などの筒形状の接地導体、もしくは、中実の円柱形状、概略円柱形状又は略楕円柱形状などの柱形状の接地導体であってもよい。

【0035】

以上の実施形態においては、12 角柱形状の誘電体 13D を用いているが、本発明はこれに限らず、無給電素子の数に応じた多角柱形状の誘電体を用いてもよい。

【0036】

<変形例>

以上の実施形態においては、6 本の無給電素子 A1 乃至 A6 を備えているが、本発明はこれに限らず、少なくとも 1 本の無給電素子を備えることにより、アレーアンテナ装置の指向特性を変化させてもよい。

【0037】

次いで、第 1 の実施形態に係るアレーアンテナ装置 100C 及び第 2 の実施形態に係るアレーアンテナ装置 100D のシミュレーション結果について以下に説明する。

【0038】

第 1 の実施形態に係るアレーアンテナ装置 100C では、アレーアンテナ装置 100C の構造について、アンソフト社製高周波電磁界構造シミュレータ (HFSS: High Frequency Structure Simulator) を用いてシミュレーションし、マルチニッチクラウディングを採用する所定の遺伝的アルゴリズムを使用して構造パラメータ及びリアクタンス値セット ($x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$) に対して最適化した。ここで、当該アレーアンテナ装置 100C の構造について、一定のリアクタンス値が使用され得ないように適応ビーム形成を使用しない到来方位角探索アプリケーションに関して最適化した。例えば、 30° 以内までの到来方位角の計算は、 30° で離隔された方位角での離散ビーム位置において受信される信号強度を測定することにより、電子制御導波器アレーアンテナ装置であるアレーアンテナ装置 100C を使用して達成することができる。ビームステアリングは、リアクタンス値セットを適応的に装荷された無給電素子 A1 - A6 を用いて変化させることにより達成される。離隔 30° の到来角仕様は、主ローブの電力半値ビーム幅が 90° 以下であるときに達成されている。

【0039】

本実施形態において、円柱形状の誘電体 13C に使用する材料は、比誘電率 ϵ_r が 9.5 で損失正接が 0.015 であるアルミナである。最適化コスト関数は、 90° の半値電力幅 (方位角) に関して無給電素子 A1 の方向の主ビームの指向性利得が最大となるように設定した。給電素子 A0 はインピーダンス整合回路を介して無線機に接続するために、反射減衰量は考慮しなかった。なお、シミュレーション周波数は 2.484 GHz に設定した。

【0040】

本発明者らのシミュレーション結果においては、誘電体 13C 及び無給電素子 A1 - A6 の高さ h_{dp} の最適化範囲は、 $0.25 \epsilon_r$ 乃至 $0.25 \epsilon_0$ であった。円柱誘電体 13C 及び接地導体 11C の円筒半径 r_{dg} は、 $0.23 \epsilon_r$ 乃至 $0.33 \epsilon_r$ の間で変化させた。最適化には無給電素子 A1 - A6 のベースのリアクタンス値セットを含み、リアクタンス値 x_1, x_2, x_3 及び x_4 の最適化範囲は -90 乃至 -5 であり、第 1 の実施形態に係る電子制御導波器アレーアンテナ装置の対称性を使用して最適化変数の数を減らして $x_5 = x_3$ 及び $x_6 = x_2$ とした。給電素子 A0 の高さ h_a 及び接地導体 11C の長さ h_s はそれぞれ、9.8 mm 及び 30.2 mm で一定に保った。無給電素子 A1 - A6 の幅は、1.8 mm であり、給電素子の半径は、0.5 mm であった。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 1 】

次の表 1 は、シミュレーションした当該アレーアンテナ装置 1 0 0 C の最適設計パラメータを示したものである。

【 0 0 4 2 】

【表 1】

第1の実施形態において最適化されたアンテナの寸法及びリアクタンス値

パラメータ	最適結果	2.484GHzにおけるサイズ(mm)
h_s	$0.25\lambda_0$	30.2
h_{dp}	$0.447\lambda_r$	17.5
h_a	$0.25\lambda_r$	9.8
r_{dg}	$0.317\lambda_r$	12.4
x_1-x_6	$\{-18,-18,-46,-8,-46,-18\}\Omega$	—

10

20

【 0 0 4 3 】

第 1 の実施形態に係るアレーアンテナ装置 1 0 0 C は、自由空間に配置された第 1 の従来例の電子制御導波器アレーアンテナ装置 1 0 0 A に比べて半径は 7 9 %、高さは 1 8 % 低減し、同じ周波数でサイズ（容積比）は事実上 1 / 3 3 になった。

【 0 0 4 4 】

図 6 は図 1 のアレーアンテナ装置 1 0 0 C のシミュレーション結果であって、H 面の指向特性を示す図であり、図 7 は図 1 のアレーアンテナ装置 1 0 0 C のシミュレーション結果であって、E 面の指向特性を示す図である。図 6 及び図 7 から明らかなように、9 0 ° の半値電力幅で 4 . 8 3 d B の指向性利得を得ることができた。

30

【 0 0 4 5 】

第 2 の実施形態に係るアレーアンテナ装置 1 0 0 D においても、アレーアンテナ装置 1 0 0 D の構造について、第 1 の実施形態と同様に、アンソフト社製高周波電磁界構造シミュレータ（HFSS）を用いてシミュレーションし、マルチニッチクラウドイングを採用する所定の遺伝的アルゴリズムを使用して構造パラメータ及びリアクタンス値セットに対して最適化した。

【 0 0 4 6 】

第 2 の実施形態で用いる誘電体 1 3 D はポリカーボネートにてなり、その電気特性は、比誘電率 ϵ_r が 2 . 9 で損失正接が 0 . 0 0 6 であった。第 2 の実施形態に係るアレーアンテナ装置 1 0 0 D を用いることにより、プリント基板であるテフロン基板 5 0 を用いて構成される無給電素子 A 1 - A 6 を誘電体 1 3 D に対して平らに形成できる。ここで、本発明者らは、当該アレーアンテナ装置 1 0 0 D について、無給電素子 A 1 の方向の利得が最大となるように、かつ周波数 2 . 4 8 4 G H z で 9 0 ° 未満の半値電力幅について最適化した。

40

【 0 0 4 7 】

本発明者らのシミュレーションにおいては、無給電素子 A 1 - A 6 の高さ h_p の最適化範囲は、 $0.282\lambda_r$ 乃至 $0.381\lambda_r$ であった。無給電素子 A 1 - A 6 の幅は、6 mm で一定であり、誘電体 1 3 D の高さ h_d は常に、無給電素子 A 1 - A 6 の長さ h_p より 7 mm だけ長い。給電素子 A 0 は 1 mm の半径を有し、その高さ h_a を $0.226\lambda_r$

50

乃至 $0.247 \lambda_r$ 間で最適化した。接地導体 11D の半径及び誘電体 13D の内周半径 r_{dg} は、 $0.211 \lambda_r$ 乃至 $0.31 \lambda_r$ 間で最適化した。接地導体 11D の長さ h_s は最適化変数ではなく、 $0.25 \lambda_0$ に設定した。無給電素子 A1 - A6 に装荷された可変リアクタンス素子 12-1 乃至 12-6 のリアクタンス値 $x_1 - x_6$ は、 -73Ω から 14Ω まで変化させた。この場合も、上述と同じく対称性を利用して、リアクタンス最適化変数の数を減らした。

【0048】

次の表 2 は、シミュレーションした当該アレーアンテナ装置 100D の最適設計パラメータを示したものである。

【0049】

【表 2】

10

第2の実施形態において最適化されたアンテナの寸法及びリアクタンス値

パラメータ	最適結果	2.484GHzにおけるサイズ(mm)
h_s	$0.25\lambda_0$	30
h_p	$0.296\lambda_r$	20
h_d	$0.380\lambda_r$	27
h_a	$0.24\lambda_r$	17.5
r_{dg}	$0.268\lambda_r$	21
x_1-x_6	$\{-69, -73, 2, 6, 2, -73\} \Omega$	—

20

【0050】

当該最適設計パラメータによれば、 2.8 dBi の絶対利得及び周波数 2.484 GHz で 76° の半値電力幅が得られた。第2の実施形態においては、自由空間に配置された第1の従来例の電子制御導波器アレーアンテナ装置に比べて半径は 69% 、高さは 6% 低減し、同じ周波数でサイズ（容積比）はほぼ $1/11$ になった。

30

【0051】

図8は図3のアレーアンテナ装置 100D のシミュレーション結果であって、H面の指向特性を示す図であり、図9は図3のアレーアンテナ装置 100D のシミュレーション結果であって、E面の指向特性を示す図である。図8及び図9はH面及びE面の正規化された放射パターンであり、レムコム社製電磁界シミュレーションソフトウェア「XFDTD」（現在電磁界解析法の標準的な手法のひとつであるFDTD（Finite Difference Time Domain、時間領域差分法）を使った3次元電磁界シミュレーションソフトウェアである。）を使用して、第2の実施形態のシミュレーション結果を検証した。XFDTDによるシミュレーションは、利得及び半値電力幅をそれぞれ 3.91 dBi 及び 68° と計算した。これは、HFSSを使用して計算された結果よりも優れていた。

40

【0052】

図10は図3のアレーアンテナ装置 100D の実験結果であって、H面の指向特性（主ビームの方位角が $0, 60, 120, 180, 240, 300$ 度のとき）を示す図である。また、図11は図3のアレーアンテナ装置 100D の実験結果であって、H面の指向特性（主ビームの方位角が $30, 90, 150, 210, 270, 330$ 度のとき）を示す図である。図10及び図11から明らかなように、図8のシミュレーション結果と実質的に一致していることがわかる。なお、図10及び図11において、主ビームの方位角にお

50

ける最大利得を付記している。

【産業上の利用可能性】

【0053】

以上説明したように、本発明に係る実施形態によれば、給電素子A0を中実の誘電体13C又は13D内に埋め込み、かつ無給電素子A1-A6をその外周面上に形成することにより、電子制御導波器アレーアンテナ装置を大幅に小型化できる。

【図面の簡単な説明】

【0054】

【図1】本発明の第1の実施形態に係るアレーアンテナ装置100Cの構成を示す斜視図である。

10

【図2】図1のアレーアンテナ装置100Cを用いるアレーアンテナの制御装置の構成を示すブロック図である。

【図3】本発明の第2の実施形態に係るアレーアンテナ装置100Dの構成を示す斜視図である。

【図4】図3のアレーアンテナ装置100Dの上面を示す上面図である。

【図5】図3のアレーアンテナ装置100Dの無給電素子A1の下部付近の構成を示す詳細正面図である。

【図6】図1のアレーアンテナ装置100Cのシミュレーション結果であって、H面の指向特性を示す図である。

【図7】図1のアレーアンテナ装置100Cのシミュレーション結果であって、E面の指向特性を示す図である。

20

【図8】図3のアレーアンテナ装置100Dのシミュレーション結果であって、H面の指向特性を示す図である。

【図9】図3のアレーアンテナ装置100Dのシミュレーション結果であって、E面の指向特性を示す図である。

【図10】図3のアレーアンテナ装置100Dの実験結果であって、H面の指向特性（主ビームの方位角が0, 60, 120, 180, 240, 300度するとき）を示す図である。

【図11】図3のアレーアンテナ装置100Dの実験結果であって、H面の指向特性（主ビームの方位角が30, 90, 150, 210, 270, 330度とき）を示す図である。

30

【図12】第1の従来例に係る電子制御導波器アレーアンテナ装置100Aの構成を示す斜視図である。

【図13】第2の従来例に係る電子制御導波器アレーアンテナ装置100Bの構成を示す斜視図である。

【符号の説明】

【0055】

A0...給電素子、

A1乃至A6...無給電素子、

R1, R2, R3...抵抗、

40

1...低雑音増幅器(LNA)、

2...ダウンコンバータ、

3...A/D変換器、

5...給電用同軸ケーブル、

6...サーキュレータ、

7...無線受信機、

11C, 11D...接地導体、

12-1乃至12-6...可変リアクタンス素子、

13A, 13B, 13C, 13D...誘電体、

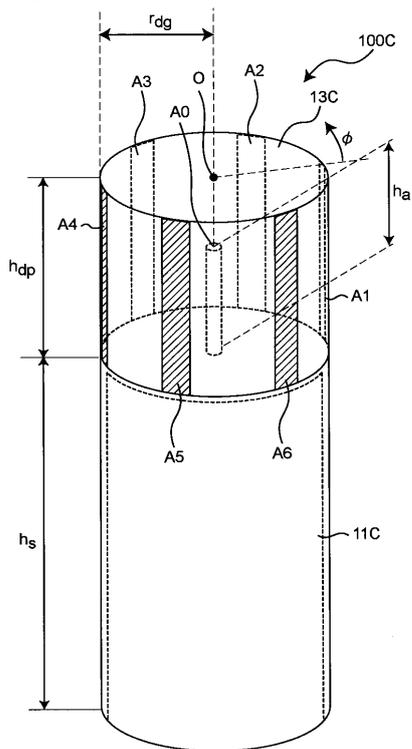
20...コントローラ、

50

- 2 1 ... CRTディスプレイ、
- 4 1 , 4 2 ...スルーホール導体、
- 5 0 ...テフロン基板、
- 5 1 ...導体パターン、
- 6 1 , 6 2 ...端子導体、
- 6 3 ...ねじ、
- 1 0 0 A , 1 0 0 B , 1 0 0 C , 1 0 0 D ...アレーアンテナ装置。

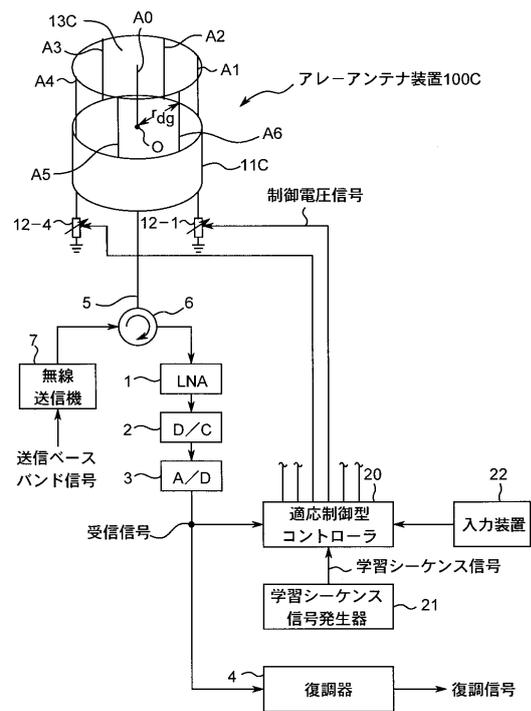
【 図 1 】

第1の実施形態

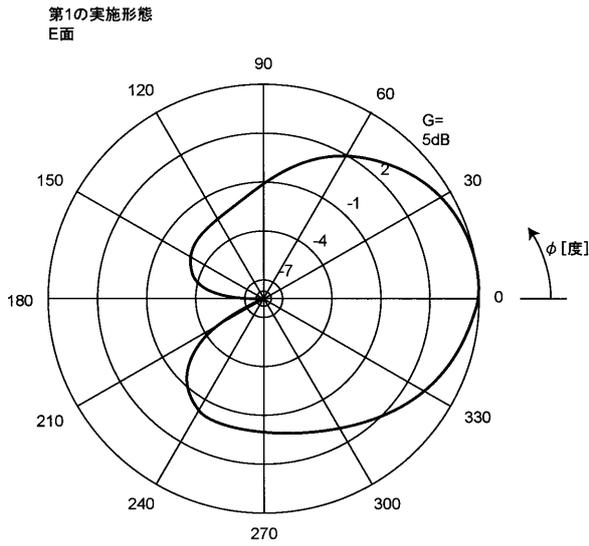


【 図 2 】

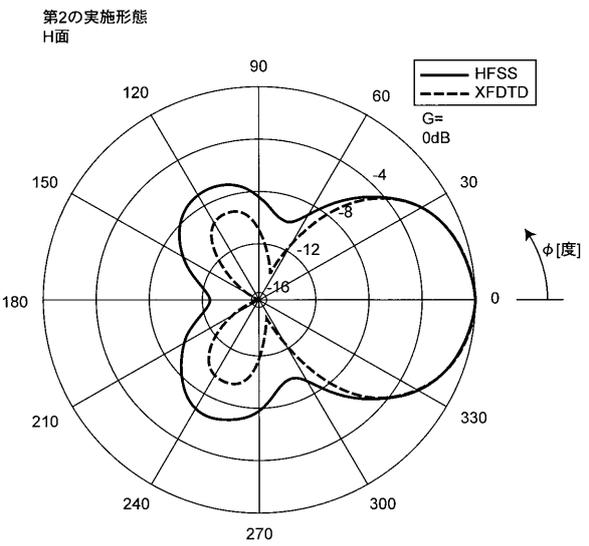
アレーアンテナの制御装置



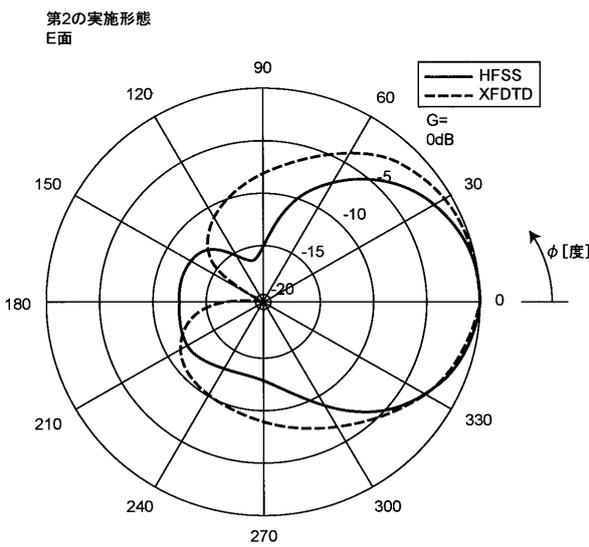
【図7】



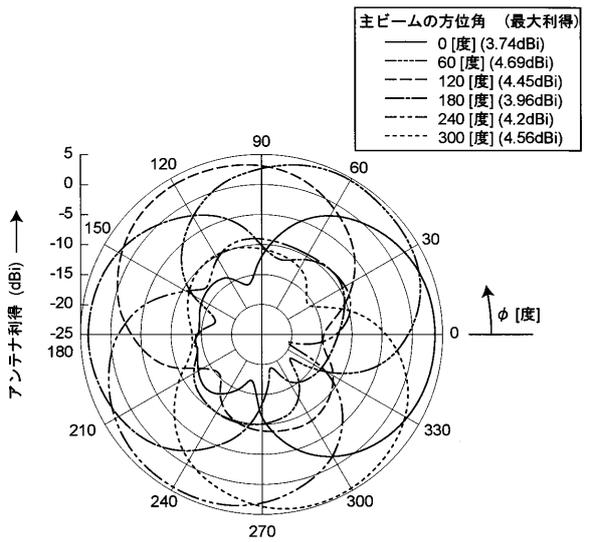
【図8】



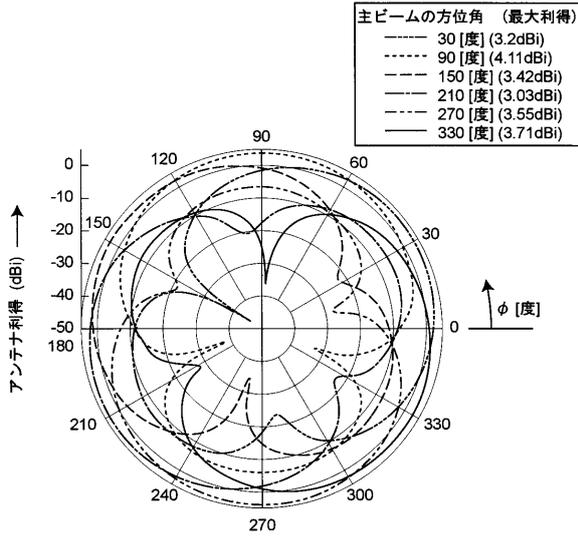
【図9】



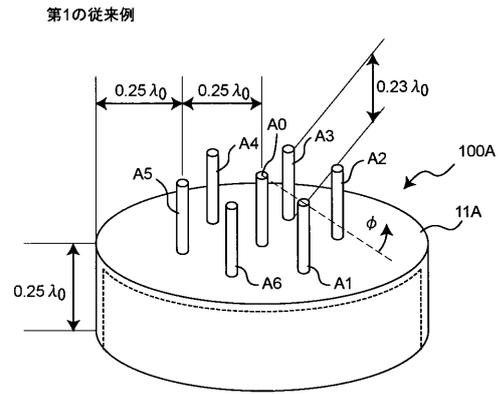
【図10】



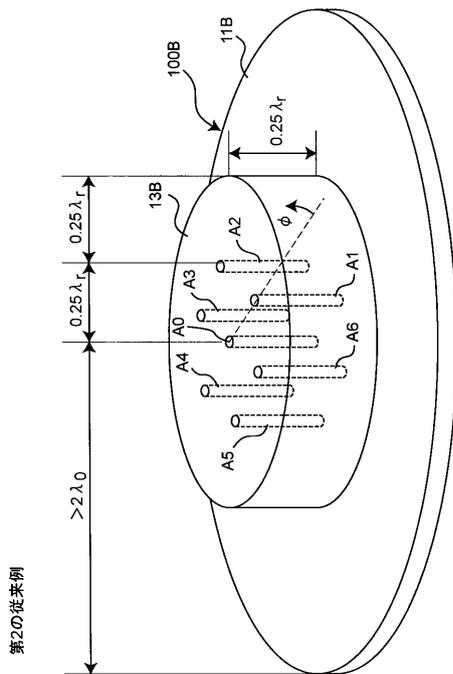
【図11】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

- (72)発明者 韓 青
京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
- (72)発明者 稲垣 恵三
京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
- (72)発明者 飯塚 泰
埼玉県さいたま市見沼区宮ヶ谷塔4丁目7番地 アンテナ技研株式会社内
- (72)発明者 齋藤 茂
埼玉県さいたま市見沼区宮ヶ谷塔4丁目7番地 アンテナ技研株式会社内
- (72)発明者 大平 孝
京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内

審査官 佐藤 当秀

- (56)参考文献 特開2001-345633(JP,A)
特開2002-164730(JP,A)
特開2002-135036(JP,A)
特開平10-173431(JP,A)
特開平05-327527(JP,A)
特開平05-014032(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01Q 1/00-25/04