

(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
2015 年 10 月 22 日(22.10.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/159808 A1

- (51) 国際特許分類:
H04B 5/02 (2006.01) *H01Q 21/20* (2006.01)
H01Q 13/08 (2006.01) *H04B 1/59* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/061189
- (22) 国際出願日: 2015 年 4 月 10 日(10.04.2015)
- (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 2014-085145 2014 年 4 月 17 日(17.04.2014) JP
- (71) 出願人: ソニー株式会社 (SONY CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1080075 東京都港区港南 1 丁目 7 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 飯田 幸生 (IIDA, Sachio); 〒1080075 東京都港区港南 1 丁目 7 番 1 号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 宮田 正昭, 外 (MIYATA, Masaaki et al.); 〒1040032 東京都中央区八丁堀三丁目 2 5 番 9 号 KSKビル西館 8 階 特許業務法人 大同特許事務所 Tokyo (JP).

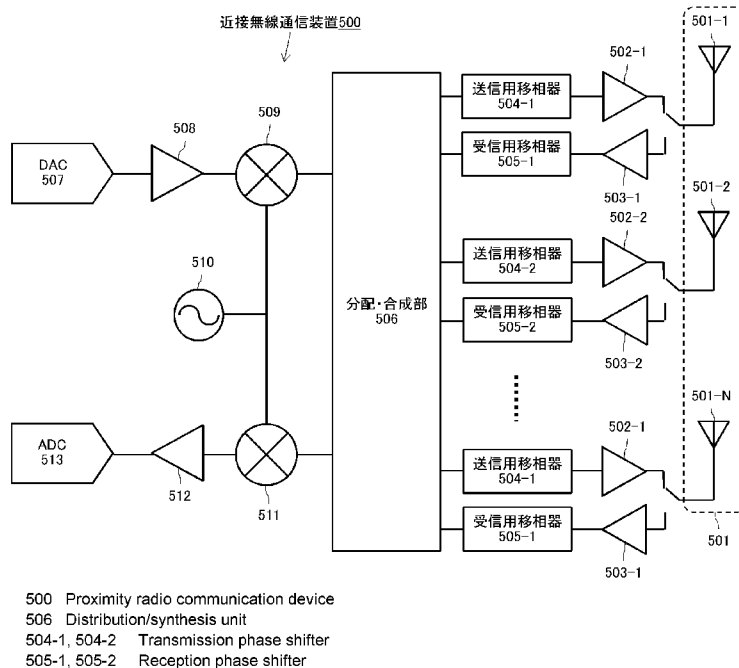
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: RADIO COMMUNICATION DEVICE AND RADIO COMMUNICATION SYSTEM

(54) 発明の名称: 無線通信装置並びに無線通信システム



500 Proximity radio communication device
506 Distribution/synthesis unit
504-1, 504-2 Transmission phase shifter
505-1, 505-2 Reception phase shifter

(57) Abstract: Provided is an excellent radio communication device capable of appropriately performing proximity communication using millimeter waves. In view of a method for generating a radio wave vortex and characteristics such that the state of $L=0$ or $L=\pm 2$ is attenuated in proportion to the fourth power of distance, an array antenna for generating a radio wave vortex is installed in both an initiator and a responder in place of an electric field induction antenna, which cannot be used in a millimeter waveband, and communication is performed using the state of a radio wave vortex having the characteristics of attenuation in proportion to the fourth power of distance, whereby it becomes possible to facilitate the detection of an approaching communication counterpart, to limit a communication area appropriately, and to prevent false connection.

(57) 要約: ミリ波を用いて好適に近接通信を行なうことができる、優れた無線通信装置を提供する。電波渦の生成方法と、 $L=0$ 又は $L=\pm 2$ の状態が距離の 4 乗に比例して

減衰する特性である。したがって、ミリ波帯で使用できない電界誘導アンテナの代わりに、イニシエーターとレスポnderの両方に電波渦を生成するアレイ・アンテナを装備し、距離の 4 乗に比例して減衰する特性を有する電波渦の状態を用いて通信することにより、通信相手の接近検出を容易にし、通信エリアを適切に制限して、誤接続を防止することが可能になる。

明 細 書

発明の名称：無線通信装置並びに無線通信システム

技術分野

[0001] 本明細書で開示する技術は、主にミリ波を用いて近接無線通信を行なう無線通信装置並びに無線通信システムに関する。

背景技術

[0002] 数センチメートル程度の至近距離で非接触により無線通信を行なう近接無線通信が、例えば、電子定期券や電子マネーなどで利用されている。また、近接無線通信を利用した電子定期券や電子マネーの機能を有する携帯電話機が広く普及してきている。近接無線通信は、例えば、ISO/IEC 14443や、ISO/IEC 18092（以下、NFC（Near Field Communication）とも言う）として規格化されている。

[0003] また、NFCよりも高速な通信速度での近接無線通信が普及しつつある。そのような高速な近接無線通信の通信方式として、例えば、TransferJet（登録商標）を挙げることができる。TransferJet（登録商標）は、UWB（Ultra Wide Band）を利用した近接無線通信方式であり（例えば、特許文献1を参照のこと）、ISO/IEC 17568やISO/IEC 17569として規格化されている。TransferJet（登録商標）では、4.48GHzのキャリアが採用され、最高560Mbpsの通信速度で近接無線通信が行なわれる。

[0004] TransferJet（登録商標）のような近接無線通信方式を用いることにより、デジタルカメラや、パーソナル・コンピュータ（PC）、プリンターなど機器間で高速のデータ転送が可能になる（例えば、特許文献2を参照のこと）。かかる近接無線通信方式を用いた近接無線通信システムでは、アンテナから放射される電波が距離の4乗に比例して減衰する電界誘導アンテナを用いることで、至近距離にいる通信相手のみ検出することを容易にし、また、通信距離を意図的に数センチメートルの至近距離に限定して

セキュリティーを確保することにより、煩雑なセキュリティー設定を不要にするとともに、ユーザーの使い勝手（程よいタッチ操作感）を向上させている。

[0005] また近年では、ミリ波帯の広帯域な周波数を用いてさらに高速なデータ転送を行なう試みがなされている。電波は周波数の2乗に比例して減衰するので、周波数の高いミリ波では、利得の低い上記の電界誘導アンテナを使用することができない。このため、ミリ波を用いた電波通信では、放射される電波が距離の2乗に比例して減衰する通常のアンテナを使用するのが相当と思料される。

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 本明細書で開示する技術の目的は、ミリ波を用いて好適に近接無線通信を行なうことができる、優れた無線通信装置並びに無線通信システムを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0007] 本願は、上記課題を参酌してなされたものであり、請求項1に記載の技術は、

電波渦を送受信するアンテナ部と、

前記アンテナ部で送受信する電波渦の状態を設定する設定部と、

を具備する無線通信装置である。

[0008] 本願の請求項2に記載の技術によれば、請求項1に記載の無線通信装置の前記設定部は、前記アンテナ部を、距離の $(2 + K)$ 乗に比例して減衰する特性となる電波渦の状態に設定するように構成されている（但し、 $K > 0$ ）。

[0009] 本願の請求項3に記載の技術によれば、請求項1又は2のいずれかに記載の無線通信装置の前記アンテナ部は、複数のアンテナ素子をそれぞれ円の中心に向けて、円周に沿って等間隔に配置した円形アレイ・アンテナからなる。また、送信信号を前記複数のアンテナ素子の各々に分配し、又は、前記複

数のアンテナ素子の受信信号を合成する分配・合成部をさらに備えている。

[0010] 本願の請求項 4 に記載の技術によれば、請求項 3 に記載の無線通信装置の前記設定部は、前記複数のアンテナ素子の送信信号又は受信信号を各々が配置された角度に応じて移相する移相器を備えている。

[0011] 本願の請求項 5 に記載の技術によれば、請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の無線通信装置の前記アンテナ部は、 N 個のアンテナ素子をそれぞれ円の中心に向けて、円周に沿って等間隔に配置した円形アレイ・アンテナを備えている。そして、前記設定部は、送信時において、 n 番目のアンテナ素子からの送信信号をそれぞれ後述する下式 (4) に示す励振位相 Φ_n だけ移相して前記アンテナ部が所望する OAM 状態 L の電波渦を送信するようにし、又は、受信時において、 n 番目のアンテナ素子の受信信号を後述する下式 (4) に示す位相 Φ_n だけ移相して、前記アンテナ部が所望する OAM 状態 L の電波渦を受信できるようにする。

[0012] 本願の請求項 6 に記載の技術によれば、請求項 3 に記載の無線通信装置の前記分配・合成部は、送信信号を前記複数のアンテナ素子に等しい位相で分配し、又は、前記複数のアンテナ素子の受信信号を等しい位相で合成するように構成されている。

[0013] 本願の請求項 7 に記載の技術によれば、請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の無線通信装置の前記アンテナ部は、送信用の複数のアンテナ素子をそれぞれ円の中心に向けて円周に沿って等間隔に配置した第 1 の円形アレイ・アンテナと、受信用の複数のアンテナ素子をそれぞれ円の中心に向けて円周に沿って等間隔に配置した第 2 の円形アレイ・アンテナを個別に備えている。

[0014] 本願の請求項 8 に記載の技術によれば、請求項 7 に記載の無線通信装置は、前記第 1 の円形アレイ・アンテナと前記第 2 の円形アレイ・アンテナを同心円の円周上に配設している。

[0015] 本願の請求項 9 に記載の技術によれば、請求項 7 又は 8 のいずれかに記載の無線通信装置は、前記第 1 の円形アレイ・アンテナを前記第 2 の円形アレイ・アンテナの内側に配設している。

- [0016] 本願の請求項 10 に記載の技術によれば、請求項 3 乃至 9 のいずれかに記載の無線通信装置の前記複数のアンテナ素子は、それぞれ直線偏波パッチ・アンテナからなる。
- [0017] 本願の請求項 11 に記載の技術によれば、請求項 3 乃至 9 のいずれかに記載の無線通信装置の前記複数のアンテナ素子は、それぞれミリ波帯の信号を送受信するように構成されている。
- [0018] 本願の請求項 12 に記載の技術によれば、請求項 1 に記載の無線通信装置の前記アンテナ部は、送信用のアンテナと受信用のアンテナを個別に持ち、第 1 の状態の電波渦を使用して送信するとともに、前記第 1 の状態とは異なる第 2 の状態の電波渦を受信するように構成されている。
- [0019] また、本願の請求項 13 に記載の技術は、
それぞれ電波渦を送受信するアンテナ部を持つ複数の通信ブランチを備え、
通信ブランチ毎に状態の異なる電波渦を使用して送受信する、
無線通信装置である。
- [0020] 本願の請求項 14 に記載の技術によれば、請求項 1 に記載の無線通信装置の前記設定部は、機器検索時には、前記アンテナ部を距離の $(2 + K)$ 乗に比例して減衰する特性となる電波渦の状態に設定し（但し、 $K > 0$ ）、接続確立後は、前記アンテナ部を距離の 2 乗に比例して減衰する特性となる電波渦の状態に設定するように構成されている。
- [0021] また、本願の請求項 15 に記載の技術は、
それぞれ電波渦を送受信する第 1 の無線機と第 2 の無線機で構成され、前記第 1 の無線機から前記第 2 の無線機へ第 1 の状態の電波渦を使用して送信し、前記第 2 の無線機から前記第 1 の無線機へ前記第 1 の状態とは異なる第 2 の状態の電波渦を使用して送信する、
無線通信システムである。
- [0022] 但し、ここで言う「システム」とは、複数の装置（又は特定の機能を実現する機能モジュール）が論理的に集合した物のことを言い、各装置や機能モ

ジュールが単一の筐体内にあるか否かは特に問わない（以下、同様）。

[0023] また、本願の請求項 16 に記載の技術は、

それぞれ電波渦を送信するアンテナ部を持つ複数の送信ブランチを備え、送信ブランチ毎に状態の異なる電波渦を送信する送信機と、

それぞれ電波渦を受信するアンテナ部を持つ複数の受信ブランチを備え、受信ブランチ毎に状態の異なる電波渦を受信する受信機と、

を具備する無線通信システムである。

[0024] また、本願の請求項 17 に記載の技術は、

それぞれ電波渦を送受信するイニシエーターとレスポnderで構成され、前記イニシエーターは、距離の $(2 + K)$ 乗に比例して減衰する特性となる電波渦を用いて定期的に接続要求を送信しながら前記レスポnderからの応答を待ち（但し、 $K > 0$ ）、前記レスポnderは、間欠受信しながら前記イニシエーターからの電波渦を待ち受け前記イニシエーターの接近を検出すると接続受付を応答し、接続を確立した後は、前記イニシエーターと前記レスポnderはアンテナ部を距離の 2 乗に比例して減衰する特性となる電波渦に切り替えてデータ通信を行なう、

無線通信システムである。

発明の効果

[0025] 本明細書で開示する技術によれば、ミリ波を用いて好適に近接無線通信を行なうことができる、優れた無線通信装置並びに無線通信システムを提供することができる。

[0026] 本明細書で開示する技術によれば、ミリ波を用いた近接無線通信において、イニシエーター及びレスポnderとして動作する無線通信装置の双方に、電波渦を生成するアレイ・アンテナを装備している。したがって、無線通信装置は、距離の 4 乗に比例して減衰する特性を有する電波渦の状態を用いて通信することにより、通信相手の接近を容易に検出するとともに、通信エリアを適切に制限して誤接続を防止することができる。

[0027] なお、本明細書に記載された効果は、あくまでも例示であり、本発明の効

果はこれに限定されるものではない。また、本発明が、上記の効果以外に、さらに付加的な効果を奏する場合もある。

[0028] 本明細書で開示する技術のさらに他の目的、特徴や利点は、後述する実施形態や添付する図面に基づくより詳細な説明によって明らかになるであろう。

図面の簡単な説明

[0029] [図1A]図 1 Aは、OAM状態 $L = 3$ のときの偏波面の回転を模式的に示した図である。

[図1B]図 1 Bは、OAM状態 $L = 2$ のときの偏波面の回転を模式的に示した図である。

[図1C]図 1 Cは、OAM状態 $L = 1$ のときの偏波面の回転を模式的に示した図である。

[図1D]図 1 Dは、OAM状態 $L = 0$ のときの偏波面の回転を模式的に示した図である。

[図1E]図 1 Eは、OAM状態 $L = -1$ のときの偏波面の回転を模式的に示した図である。

[図1F]図 1 Fは、OAM状態 $L = -2$ のときの偏波面の回転を模式的に示した図である。

[図1G]図 1 Gは、OAM状態 $L = -3$ のときの偏波面の回転を模式的に示した図である。

[図2]図 2は、シーケンシャル・ローテーション技術を適用して作成した円形アレイ・アンテナ200を示した図である。

[図3A]図 3 Aは、図 2 に示した円形アレイ・アンテナ200で発生させたOAM状態 $L = 3$ における遠方電磁界の電磁界シミュレーションの結果を示した図である。

[図3B]図 3 Bは、図 2 に示した円形アレイ・アンテナ200で発生させたOAM状態 $L = 2$ における遠方電磁界の電磁界シミュレーションの結果を示した図である。

[図3C]図3 Cは、図2に示した円形アレイ・アンテナ200で発生させたOAM状態 $L=1$ における遠方電磁界の電磁界シミュレーションの結果を示した図である。

[図3D]図3 Dは、図2に示した円形アレイ・アンテナ200で発生させたOAM状態 $L=0$ における遠方電磁界の電磁界シミュレーションの結果を示した図である。

[図3E]図3 Eは、図2に示した円形アレイ・アンテナ200で発生させたOAM状態 $L=-1$ における遠方電磁界の電磁界シミュレーションの結果を示した図である。

[図3F]図3 Fは、図2に示した円形アレイ・アンテナ200で発生させたOAM状態 $L=-2$ における遠方電磁界の電磁界シミュレーションの結果を示した図である。

[図3G]図3 Gは、図2に示した円形アレイ・アンテナ200で発生させたOAM状態 $L=-3$ における遠方電磁界の電磁界シミュレーションの結果を示した図である。

[図4]図4は、円偏波アレイ・アンテナを対向させて距離を変化させたときの各OAM状態における電波渦の伝搬損失のシミュレーション結果を示した図である。

[図5]図5は、電波渦を使用する近接無線通信装置500の構成例（第1の実施例）を示した図である。

[図6]図6は、電波渦を使用する近接無線通信装置600の構成例（第2の実施例）を示した図である。

[図7]図7は、送信用と受信用で個別にアンテナ部を備えた近接無線通信装置700の構成例（第3の実施例）を示した図である

[図8]図8は、送信用と受信用で個別にアンテナ部を備えた近接無線通信装置800の変形例を示した図である。

[図9]図9は、送受信円形アレイ・アンテナの構成例を示した図である。

[図10]図10は、電波渦を使用する近接無線通信システム1000の構成例

(第4の実施例)を示した図である。

[図11]図11は、 h_{11} と第1の無線機1001及び第2の無線機1002の送信電力 P_t をパラメータとして掃引したSINRのグラフを例示した図である。

[図12]図12は、変調方式にQPSKを用いた場合のBERとCNRの関係を示したグラフである。

[図13]図13は、第4の実施例において、OAM状態を決定する励振位相に誤差がある場合に h_{11} 及び h_{21} の変化をシミュレーションした結果を示した図である。

[図14]図14は、電波渦を使用する近接無線通信システム1400の構成例(第5の実施例)を示した図である。

[図15]図15は、第5の実施例において、OAM状態を決定する励振位相に誤差がある場合に h_{12} 及び h_{21} の変化をシミュレーションした結果を示した図である。

[図16]図16は、電波渦を使用する近接無線通信システム1600の構成例(第6の実施例)を示した図である。

発明を実施するための形態

[0030] 以下、図面を参照しながら本明細書で開示する技術の実施形態について詳細に説明する。

[0031] UWBを利用した近接無線通信方式が既に関開され(例えば、特許文献1を参照のこと)、TransferJet(登録商標)などで標準規格化が進められている(前述)。ここで、UWBに代えてミリ波を用いて、さらに高速なデータ通信が可能な近接無線通信方式について考察してみる。

[0032] UWBを利用した近接無線通信方式では、放射電波が距離の4乗に比例して減衰する電界誘導アンテナを用いることで、意図的に通信距離を至近距離に限定して、セキュリティを確保している。これに対し、ミリ波を用いた近接無線通信では、電波は周波数の2乗に比例して減衰するので、利得の低い電界誘導アンテナを用いると、ごく僅かな通信距離となってしまうので、

UWBを利用した近接無線通信方式と同様のタッチ操作感を得ることができない。また、放射される電波が距離の2乗に比例して減衰する通常のアンテナを使用して、ミリ波の近接無線通信を行なおうとすると、距離減衰特性の違いのため、所望する通信エリアを超えて到達してしまうという問題がある。例えば、ミリ波を用いた近接無線通信システムにおいて、相手装置から送信されたビーコン信号を受信して通信相手との距離を推定して、自装置の位置と通信相手装置との位置関係から通信可能エリア内と判断した場合だけ通信を接続する無線通信装置について提案がなされている（例えば、特許文献3を参照のこと）。

[0033] これに対し、本明細書では、電波渦を生成するアレイ・アンテナを装備した無線通信装置によりミリ波を用いた近接無線通信を行なう技術について提案する。イニシエーター及びレスポnderの双方に、本明細書で開示する技術を適用した無線通信装置を配置すると、例えば距離の4乗に比例して減衰する特性を有する電波渦の状態を用いて通信することにより、通信相手の接近を容易に検出するとともに、通信エリアを適切に制限して誤接続を防止することができる。

[0034] まず、電波渦について説明する。光と電波は伝搬方向を回転軸として螺旋状に偏波面がねじれた渦、すなわち電波渦の状態で伝搬することができる。この電波渦の状態には電子の固有状態の軌道角運動量（Orbital Angular Momentum: OAM）と同様の複数の状態が存在する。電波渦の状態は以下のように状態番号Lが振られて識別される。

[0035] [数1]

渦がない状態を $L=0$

右回りに1回転あたり 2π の位相遅延がある状態を $L=1$

左回りに1回転あたり 2π の位相遅延がある状態を $L=-1$

右回りに1回転あたり 4π の位相遅延がある状態を $L=2$

左回りに1回転あたり 4π の位相遅延がある状態を $L=-2$

右回りに1回転あたり 6π の位相遅延がある状態を $L=3$

左回りに1回転あたり 6π の位相遅延がある状態を $L=-3$

以下省略

[0036] 図1A～図1Gには、OAM状態L毎の偏波面の回転を模式的に示している。各図において、左側には xy を電波の偏波方向とし、 z を電波の進行方向として偏波面を示し、右側には z 方向（すなわち、進行方向）から眺めた偏波面を示している。図1Cから、OAMの状態 $L=1$ のときの偏波面は、一般的な右旋円偏波（Right-Hand Circularly Polarized: RHCP）と同じであることが分かる。また、図1Eから、OAMの状態 $L=-1$ のときの偏波面は、一般的な左旋円偏波（Left-Hand Circularly Polarized: LHCP）と同じであることが分かる。異なるOAM状態の電波渦は、互いに直交する性質がある。

[0037] 電波渦は、円形に配置したフェーズド・アレイ・アンテナを用いて発生させることができる（例えば、非特許文献1、2を参照のこと）。また、当業界では、複数のアンテナを円周に沿って配置した円形アレイ・アンテナが知られている（例えば、特許文献4、5を参照のこと）。各アンテナを円の中心に向けて、円周に沿って等間隔に配置するとともに、配置された角度に応じた位相で各アンテナを励振するというシーケンシャル・ローテーション技術により、電波渦を生成することができる。

[0038] 図2には、シーケンシャル・ローテーション技術を適用して作成した円形アレイ・アンテナ200を示している。図示の円形アレイ・アンテナ200は、 xy 平面上に配置され、下面がGND層となっている両面プリント基板210の上面に、8個の直線偏波パッチ・アンテナ201～208を所定の半径の円周上に等間隔に配置して構成される。円形アレイ・アンテナ200を構成する各パッチ・アンテナ201～208は、シーケンシャル・ローテーション技術により、給電部が円の中心を向いて配置されている。そして、各アンテナ201～208を、それぞれが配置された角度に応じた位相で励振することにより、図中で z 方向に進行する電波渦を生成することができる。直線偏波パッチ・アンテナ201～208の具体的な構成については説明を省略するが、所望する無線周波数帯すなわちミリ波帯の信号を送受信でき

る構造並びに寸法で構成されているものとする。

[0039] ここで、円形アレイ・アンテナに含まれるパッチ・アンテナの総数を N とすると（図 2 に示す例では、 $N = 8$ ）、 n 番目のパッチ・アンテナは（但し、 n は N 以下の正の整数）、1 番目のパッチ・アンテナを基準として、下式（2）で表される角度 ϕ_n だけ回転している。

[0040] [数2]

$$\phi_n = \frac{2\pi(n-1)}{N} \quad \dots(2)$$

[0041] N 個のパッチ・アンテナで生成可能な OAM 状態 L は、下式（3）の範囲となる（例えば、非特許文献 2 を参照のこと）。

[0042] [数3]

$$-N/2 < L < N/2 \quad \dots(3)$$

[0043] 図 2 に示したような、円形アレイ・アンテナに含まれるパッチ・アンテナの総数 $N = 8$ の場合、生成可能な OAM 状態は、 $L = 3, 2, 1, 0, -1, -2, -3$ の 7 状態になる。また、各 OAM 状態 L を発生させるために必要な n 番目のパッチ・アンテナの励振位相は、1 番目のパッチ・アンテナの励振位相を基準として、下式（4）で表される角度 Φ_n になる。

[0044] [数4]

$$\Phi_n = \frac{2\pi L(n-1)}{N} \quad \dots(4)$$

[0045] 図 3 A ～ 図 3 G には、図 2 に示した円形アレイ・アンテナ 200 で発生さ

せた各 O A M 状態 $L = 3, 2, 1, 0, -1, -2, -3$ における遠方電磁界の電磁界シミュレーションの結果を示している。各図中の x, y, z 軸は図 2 と一致するものとする。各図において、電磁界強度の低い部分は暗く表示され、電磁界強度の高い部分は明るく表示されている。なお、各 O A M 状態における電界の位相分布は、図 1 を参照されたい。

[0046] 既に述べたように、状態 $L = \pm 1$ はそれぞれ一般的な右旋円偏波と左旋円偏波である。右旋円偏波と左旋円偏波の遠方電磁界のビームは、図 3 C 並びに図 3 E に示すように、伝搬方向に集中している。その他の O A M 状態の遠方電磁界は、図 3 A、図 3 B、図 3 D、図 3 F、図 3 G に示すように、中心にヌルのあるカップ状のビームになる。

[0047] 図 2 に示した円形アレイ・アンテナ 200 が伝搬方向に放射する電界を求める際、各パッチ・アンテナ 201 ~ 202 は理想的に直線偏波であるが、一般性を欠かさないために楕円偏波を放射するものとして解析を行なう。

[0048] 1 番目のパッチ・アンテナが伝搬方向に放射する電界の楕円偏波 E_1 を下式 (5) で表す。但し、同式 (5) 中、 U と V は直交する偏波の単位ベクトルであり、 a と b は各ベクトルの振幅である。

[0049] [数5]

$$E_1 = aU + bV \quad \dots(5)$$

[0050] このとき、 n 番目のパッチ・アンテナが伝搬方向に放射する電界の楕円偏波 E_n は、下式 (6) に示す通りとなる。

[0051] [数6]

$$E_n = [\{a \cos(\phi_n) - jb \sin(\phi_n)\}U + \{a \sin(\phi_n) + jb \cos(\phi_n)\}V] \exp(j\Phi_n) \quad \dots(6)$$

[0052] 上式 (6) に上式 (2) ~ (4) を代入して解くことで、 n 個のパッチ・

アンテナの伝搬方向に放射する合成電界 E が下式 (7) として求められる。

[0053] [数7]

$$\mathbf{E} = \begin{cases} \frac{(a+b)}{2} N(\mathbf{U} + j\mathbf{V}) & (L=1) \\ \frac{(a-b)}{2} N(\mathbf{U} - j\mathbf{V}) & (L=-1) \\ 0 & (otherwise) \end{cases} \dots(7)$$

[0054] ここで、上式 (7) から、 L が ± 1 の場合には、偏波ベクトル U と V の振幅が等しいため、合成された電界 E は完全な円偏波ベクトルになることが分かる。各パッチ・アンテナが直線偏波を放射している場合も、振幅 a 又は b のどちらか片方がゼロとなるが、偏波ベクトル U と V の振幅は等しいため、合成された電界 E は完全な円偏波になる。これが、 $L = \pm 1$ の場合に円偏波が生じている理由である。

[0055] また、上式 (7) から、 $L = 0, \pm 2, \pm 3$ の場合に合成された電界 E はゼロになることが分かる。これが、図 3 A、図 3 B、図 3 D、図 3 F、図 3 G に示したように、遠方電磁界が中心にヌルのあるカップ状のビームになる理由である。図 3 C 並びに図 3 E のように遠方電磁界のビームが伝搬方向に集中する場合に比較すると、エネルギーが分散することから、通信距離が短くなる。

[0056] 図 4 並びに表 1 には、OAM 状態を同じにした 1 対の円形アレイ・アンテナを対向させて距離を変化させたときの、各 OAM 状態 $L = 0, 1, 2, 3$ における電波渦の伝搬損失のシミュレーション結果を示している。但し、距離は使用波長 λ を単位にして表している。なお、図 4 並びに表 1 では省略したが、各 OAM 状態 $L = -1, -2, -3$ のときの結果は、それぞれ OAM 状態 $L = 1, 2, 3$ の結果と同様である。

[0057]

[表1]

距離[λ]	減衰量[dB]			
	OAM L=0	OAM L=1	OAM L=2	OAM L=3
3.3	-20.6	-14.0	-21.0	-40.0
6.7	-32.3	-18.0	-32.0	-56.1
10.0	-39.1	-21.5	-39.0	-66.3
13.3	-44.2	-23.7	-44.7	-73.9
20.0	-51.3	-27.2	-51.7	-84.3

[0058] OAM状態 $L=1$ のグラフは、距離が2倍になると減衰が6 dB増加する。このことから、対向するアレイ・アンテナに到達する電波は距離の2乗に比例して減衰することが分かる。

[0059] また、OAM状態 $L=0$ と $L=2$ のグラフは、距離が2倍になると減衰が12 dB増加する。このことから、対向するアレイ・アンテナに到達する電波は距離の4乗に比例して減衰することが分かる。

[0060] また、OAM状態 $L=3$ のグラフは、距離が2倍になると減衰が18 dB増加する。このことから、対向するアレイ・アンテナに到達する電波は距離の6乗に比例して減衰することが分かる。

[0061] 以上の検討により、電波渦の生成方法と、OAM状態 $L=0$ 又は $L=\pm 2$ の電波渦の状態を用いた無線通信では電波は距離の4乗に比例して減衰する特性であること、並びに、 $L=\pm 3$ の電波渦の状態を用いた無線通信では電波は距離の6乗に比例して減衰することが明らかになった。OAM状態 $L=\pm 1$ の場合の遠方電磁界のビームが伝搬方向に集中するため、電波の距離減衰が小さい。これに対し、OAM状態 $L=0$ 、 ± 2 、 ± 3 の場合の遠方電磁界は中心にヌルのあるカップ状で、エネルギーが分散するため、電波の距離減衰が大きくなる。

[0062] ミリ波を用いた近接無線通信において、利得の低い電界誘導アンテナを用いると、ごく僅かな通信距離になってしまうので、UWBを利用した近接無線通信方式と同様のタッチ操作感を得ることができない。一方、放射電波が

距離の2乗に比例して減衰する通常のアンテナを使用すると、距離減衰特性の違いのため、所望する通信エリアを超えて到達してしまうという問題がある（前述）。これに対し、本明細書で開示する技術では、イニシエーターとレスポonderの両方に電波渦を生成するアレイ・アンテナを装備し、且つ、距離の4乗に比例して減衰する特性を有する電波渦の状態（ $L=0$ 又は $L=\pm 2$ ）を用いて通信することにより、通信相手の接近検出を容易にし、通信エリアを適切に制限して、誤接続を防止することが可能になる。また、ユーザーは、UWBを利用した近接無線通信方式と同様のタッチ操作感を得ることができる。

[0063] ちなみに、イニシエーターとレスポnderの両方に電波渦を生成するアレイ・アンテナを装備し、且つ、距離の2乗に比例して減衰する特性を有する電波渦の状態（ $L=\pm 1$ ）を用いると、近接無線通信として所望する通信エリアを超えて到達してしまうという問題がある。

実施例 1

[0064] 図5には、電波渦を使用する近接無線通信装置500の構成例（第1の実施例）を示している。

[0065] 図示の近接無線通信装置500は、N個のアンテナ素子501-1、501-2、…、501-Nで構成される円形アレイ・アンテナ501を装備している。

[0066] 各アンテナ素子501-1、501-2、…、501-Nは、例えば、それぞれ直線偏波パッチ・アンテナで構成され、下面がGND層となっている両面プリント基板の上面に、所定の半径の円周上に等間隔に配置されて（図2を参照のこと）、1つの円形アレイ・アンテナ501を構成する。使用される直線偏波パッチ・アンテナの具体的な構成については説明を省略するが、所望する無線周波数帯すなわちミリ波帯の信号を送受信できる構造並びに寸法で構成されているものとする。

[0067] 近接無線通信装置500は、各アンテナ素子501-1、501-2、…、501-Nに対して、それぞれ対応するN個の送信アンプ502-1、5

02-2、…、502-Nと、受信アンプ503-1、503-2、…、503-Nと、送信用移相器504-1、504-2、…、504-Nと、受信用移相器505-1、505-2、…、505-Nを備えている。また、近接無線通信装置500は、分配・合成部506と、デジタル・アナログ変換部(DAC)507と、電力増幅部508と、アップ・コンバーター509と、発振部510と、ダウン・コンバーター511と、低雑音増幅部512と、アナログ・デジタル変換部(ADC)513を備えている。

[0068] 送信時には、上位レイヤー(図示しない)からのデジタル送信信号をデジタル・アナログ変換部507でアナログ信号に変換し、電力増幅部508で増幅した後、アップ・コンバーター509は、発振部510の発振周波数を用いて所望の無線周波数帯(例えば、ミリ波帯)にアップ・コンバートする。分配・合成部506は、アップ・コンバートされたアナログ送信信号を各送信用移相器504-1、504-2、…、504-Nに分配する。

[0069] 各送信用移相器504-1、504-2、…、504-Nで移相された送信信号は、それぞれ送信アンプ502-1、502-2、…、502-Nで増幅された後、各アンテナ素子501-1、501-2、…、501-Nから送出される。送信用移相器504-1、504-2、…、504-Nは、各アンテナ素子501-1、501-2、…、501-Nからの送信信号をそれぞれ上式(4)に示した励振位相だけ移相して、円形アレイ・アンテナ501が所望のOAM状態Lの電波渦を送信できるようにする。

[0070] 一方、受信時には、各アンテナ素子501-1、501-2、…、501-Nの受信信号を受信アンプ503-1、503-2、…、503-Nで増幅し、受信用移相器505-1、505-2、…、505-Nでそれぞれ移相した後に、分配・合成部506で位相合成する。各受信用移相器505-1、505-2、…、505-Nが受信信号をそれぞれ上式(4)に従って移相することで、円形アレイ・アンテナ501が所望のOAM状態Lの電波渦を受信できるようになる。

[0071] ダウン・コンバーター511は、発振部510の発振周波数を用いて、位

相合成した後の無線周波数帯（例えば、ミリ波帯）の受信信号をダウンコンバートする。ダウンコンバートされた受信信号は、低雑音増幅部 512 で増幅され、アナログ・デジタル変換部 513 でデジタル受信信号に変換されてから、上位レイヤー（図示しない）に渡される。

[0072] 表 2 には、近接無線通信装置 500 が OAM 状態 $L = 1$ の電波渦を送受信するために必要な送信用移相器 504-1、504-2、…、504-N と、受信用移相器 505-1、505-2、…、505-N の位相を例示している。同表において、 n 番目の送信用移相器 504- n の位相 Φ_n は、上式（4）に $N = 8$ と $L = 1$ を代入したラジアン値である。一方、受信側からは電波渦が逆回転して見えるので、 n 番目の受信用移相器 505- n の位相 Φ_n は、上式（4）に $N = 8$ と $L = -1$ を代入したラジアン値である。これらの位相 Φ_n の値は、1 番目のパッチ・アンテナを基準とする相対値である。この場合、通信相手に到達する電波は距離の 2 乗に比例して減衰する（図 4 を参照のこと）。

[0073] [表 2]

n	1	2	3	4	5	6	7	8
$\Phi_{nTX}[\text{rad}]$	0	$\pi/4$	$\pi/2$	$3\pi/4$	π	$5\pi/4$	$3\pi/2$	$7\pi/4$
$\Phi_{nRX}[\text{rad}]$	0	$7\pi/4$	$3\pi/2$	$5\pi/4$	π	$3\pi/4$	$\pi/2$	$\pi/4$

[0074] また、表 3 には、近接無線通信装置 500 が OAM 状態 $L = 2$ の電波渦を送受信するために必要な送信用移相器 504-1、504-2、…、504-N と、受信用移相器 505-1、505-2、…、505-N の位相を例示している。同表において、 n 番目の送信用移相器 504- n の位相 Φ_n は、上式（4）に $N = 8$ と $L = 2$ を代入したラジアン値である。一方、受信側からは電波渦が逆回転して見えるので、 n 番目の受信用移相器 505- n の位相 Φ_n は、上式（4）に $N = 8$ と $L = -2$ を代入したラジアン値である。これらの位相 Φ_n の値は、1 番目のパッチ・アンテナを基準とする相対値である。

[0075]

[表3]

n	1	2	3	4	5	6	7	8
$\Phi_{nTX}[\text{rad}]$	0	$\pi/2$	π	$3\pi/2$	0	$\pi/2$	π	$3\pi/2$
$\Phi_{nRX}[\text{rad}]$	0	$3\pi/2$	π	$\pi/2$	0	$3\pi/2$	π	$\pi/2$

[0076] この場合、通信相手に到達する電波は距離の4乗に比例して減衰する（図4を参照のこと）。したがって、送信用移相器504-1、504-2、…、504-Nと、受信用移相器505-1、505-2、…、505-NによりOAM状態 $L=2$ に設定して近接無線通信装置500を使用すると、通信相手の接近検出を容易にし、通信エリアを適切に制限して、誤接続を防止することが可能になる。また、近接無線通信装置500のユーザーは、UWBを利用した近接無線通信方式と同様のタッチ操作感を得ることができる。

[0077] また、表4には、近接無線通信装置500がOAM状態 $L=3$ の電波渦を送受信するために必要な送信用移相器504-1、504-2、…、504-Nと、受信用移相器505-1、505-2、…、505-Nの位相を例示している。同表において、 n 番目の送信用移相器504- n の位相 Φ_n は、上式（4）に $N=8$ と $L=3$ を代入したラジアン値である。一方、受信側からは電波渦が逆回転して見えるので、 n 番目の受信用移相器505- n の位相 Φ_n は、上式（4）に $N=8$ と $L=-3$ を代入したラジアン値である。これらの位相 Φ_n の値は、1番目のパッチ・アンテナを基準とする相対値である。この場合、通信相手に到達する電波は距離の6乗に比例して減衰する（図4を参照のこと）。

[0078] [表4]

n	1	2	3	4	5	6	7	8
$\Phi_{nTX}[\text{rad}]$	0	$3\pi/4$	$3\pi/2$	$\pi/4$	π	$7\pi/4$	$\pi/2$	$5\pi/4$
$\Phi_{nRX}[\text{rad}]$	0	$5\pi/4$	$\pi/2$	$7\pi/4$	π	$\pi/4$	$3\pi/2$	$3\pi/4$

実施例 2

[0079] 図6には、電波渦を使用する近接無線通信装置600の構成例（第2の実施例）を示している。

[0080] 図示の近接無線通信装置600は、N個のアンテナ素子601-1、601-2、…、601-Nで構成される円形アレイ・アンテナ601を装備している。

[0081] 各アンテナ素子601-1、601-2、…、601-Nは、例えば、それぞれ直線偏波パッチ・アンテナで構成され、下面がGND層となっている両面プリント基板の上面に、所定の半径の円周上に等間隔に配置されて（図2を参照のこと）、円形アレイ・アンテナ601を構成する。使用される直線偏波パッチ・アンテナの具体的な構成については説明を省略するが、所望する無線周波数帯すなわちミリ波帯の信号を送受信できる構造並びに寸法で構成されているものとする。

[0082] 近接無線通信装置600は、分配・合成部603と、ディジタル・アナログ変換部（DAC）604と、電力増幅部605と、アップ・コンバーター606と、送信アンプ607と、発振部608と、受信アンプ609と、ダウン・コンバーター610と、低雑音増幅部611と、アナログ・ディジタル変換部（ADC）612をさらに備えている。

[0083] 送信時には、上位レイヤー（図示しない）からのディジタル送信信号をディジタル・アナログ変換部604でアナログ信号に変換し、電力増幅部605で増幅した後、アップ・コンバーター606は、発振部608の発振周波数を用いて所望の無線周波数帯（例えば、ミリ波帯）にアップ・コンバートした後、送信アンプ607で増幅する。そして、分配・合成部603は、送信信号を、各アンテナ素子601-1、601-2、…、601-Nに等しい位相で分配する。

[0084] 一方、受信時には、各アンテナ素子601-1、601-2、…、601-Nの受信信号を等しい位相で分配・合成部603で合成した後、受信アンプ609で増幅する。ダウン・コンバーター610は、発振部608の発振

周波数を用いて、無線周波数帯（例えば、ミリ波帯）の受信信号をダウンコンバートする。ダウンコンバートされた受信信号は、低雑音増幅部 611 で増幅され、アナログ・デジタル変換部 612 でデジタル受信信号に変換されてから、上位レイヤー（図示しない）に渡される。

[0085] 図 6 に示す近接無線通信装置 600 は、OAM 状態の $L=0$ の電波渦だけを送受信可能である。この場合、通信相手に到達する電波は距離の 4 乗に比例して減衰する（図 4 を参照のこと）。したがって、近接無線通信装置 600 は、通信相手の接近検出を容易にし、通信エリアを適切に制限して、誤接続を防止することが可能である。また、近接無線通信装置 600 のユーザーは、UWB を利用した近接無線通信方式と同様のタッチ操作感を得ることができる。

[0086] また、図 6 に示す近接無線通信装置 600 は、図 5 に示した近接無線通信装置 500 と相違して、移相器が不要となるため、回路が簡素化される利点がある。

実施例 3

[0087] 図 7 には、送信用と受信用で個別にアンテナ部を備えた近接無線通信装置 700 の構成例（第 3 の実施例）を示している。

[0088] 図示の近接無線通信装置 700 は、M 個のアンテナ素子 701-1、701-2、…、701-M で構成される送信用の円形アレイ・アンテナ 701 と、N 個のアンテナ素子 711-1、711-2、…、711-N で構成される受信用の円形アレイ・アンテナ 711 を装備している。

[0089] 送信用の各アンテナ素子 701-1、701-2、…、701-N は、例えば、それぞれ直線偏波パッチ・アンテナで構成され、下面が GND 層となっている両面プリント基板の上面に、所定の半径の円周上に等間隔に配置されて（図 2 を参照のこと）、1 つの円形アレイ・アンテナ 701 を構成する。また、受信用の各アンテナ素子 711-1、711-2、…、711-N は、例えば、それぞれ直線偏波パッチ・アンテナで構成され、下面が GND 層となっている両面プリント基板の上面に、所定の半径の円周上に等間隔に

配置されて（図2を参照のこと）、1つの円形アレイ・アンテナ711を構成する。使用される直線偏波パッチ・アンテナの具体的な構成については説明を省略するが、所望する無線周波数帯すなわちミリ波帯の信号を送受信できる構造並びに寸法で構成されているものとする。

[0090] 近接無線通信装置700は、送信用の各アンテナ素子701-1、701-2、…、701-Mに対して、それぞれ対応するM個の送信アンプ702-1、702-2、…、702-Mと、送信用移相器703-1、703-2、…、703-Mを備えている。また、近接無線通信装置700は、受信用の各アンテナ素子711-1、711-2、…、711-Nに対して、それぞれ対応するN個の受信アンプ712-1、712-2、…、712-Nと、受信用移相器713-1、713-2、…、713-Nを備えている。また、近接無線通信装置700は、分配部704と、アップ・コンバーター705と、電力増幅部706と、ディジタル・アナログ変換部（DAC）707と、発振器708と、合成部714と、ダウン・コンバーター715と、低雑音増幅部716と、アナログ・ディジタル変換部（ADC）717を備えている。近接無線通信装置700は、送信用と受信用で個別にアンテナ部を備える点で、送受信でアンテナ部を共用する近接無線通信装置500とは相違する。

[0091] 送信時には、上位レイヤー（図示しない）からのディジタル送信信号をディジタル・アナログ変換部707でアナログ信号に変換し、電力増幅部706で増幅した後、アップ・コンバーター705は、発振部708の発振周波数を用いて所望の無線周波数帯（例えば、ミリ波帯）にアップ・コンバートする。分配部704は、アップ・コンバートされたアナログ送信信号を各送信用移相器703-1、703-2、…、703-Mに分配する。

[0092] 各送信用移相器703-1、703-2、…、703-Mで移相された送信信号は、それぞれ送信アンプ702-1、702-2、…、702-Mで増幅された後、各アンテナ素子701-1、701-2、…、701-Mから送出される。送信用移相器703-1、703-2、…、703-Mは、

各アンテナ素子 701-1、701-2、…、701-Mからの送信信号をそれぞれ上式(4)に示した励振位相だけ移相して、円形アレイ・アンテナ 701が所望のOAM状態Lの電波渦を送信できるようにする。

[0093] 一方、受信時には、各アンテナ素子 711-1、711-2、…、711-Nの受信信号を受信アンプ 712-1、712-2、…、712-Nで増幅し、受信用移相器 713-1、713-2、…、713-Nでそれぞれ移相した後に、合成部 713で位相合成する。各受信用移相器 713-1、713-2、…、713-Nが各アンテナ素子 711-1、711-2、…、711-Nの受信信号をそれぞれ上式(4)に従って移相することで、円形アレイ・アンテナ 711が所望のOAM状態Lの電波渦を受信できるようになる。

[0094] ダウン・コンバーター 715は、発振部 708の発振周波数を用いて、位相合成した後の無線周波数帯（例えば、ミリ波帯）の受信信号をダウンコンバートする。ダウンコンバートされた受信信号は、低雑音増幅部 716で増幅され、アナログ・デジタル変換部 717でデジタル受信信号に変換されてから、上位レイヤー（図示しない）に渡される。

[0095] 図示の近接無線通信装置 700を、ミリ波帯を使用する近接無線通信システムで利用する際には、各送信用移相器 703-1、703-2、…、703-Mは、円形アレイ・アンテナ 701が所望のOAM状態 $L = \pm 2$ 又は $L = 0$ の電波渦を送信できるように、上式(4)に従って、各アンテナ素子 701-1、701-2、…、701-Mからの送信信号を移相するとともに、円形アレイ・アンテナ 711が所望のOAM状態Lの電波渦を受信できるように、上式(4)に従って、各アンテナ素子 711-1、711-2、…、711-Nの受信信号を移相するようにすればよい。

[0096] また、図8には、送信用と受信用で個別にアンテナ部を備えた近接無線通信装置 800の変形例を示している。近接無線通信装置 800は、送信用のアンテナ素子 801-1、801-2、…、801-Mに分配する前の送信信号を単一の送信アンプ 802で増幅するとともに、各アンテナ素子 811

− 1、811−2、…、811−Nの受信信号を位相合成した後に単一の受信アンプ812で増幅するように構成されている点で、図7に示した近接無線通信装置700とは相違する。その他の点は近接無線通信装置700とほぼ同様なので、近接無線通信装置800についての詳細な説明は省略する。

[0097] 図9には、図7、図8に示した近接無線通信装置700、800で使用可能な送受信用円形アレイ・アンテナの構成例を示している。但し、アンテナ素子の総数 $M=N=8$ とする。

[0098] 下面がGND層となっている両面プリント基板900の上面に、送信用の円形アレイ・アンテナを構成する8個の直線偏波パッチ・アンテナ901～908が、所定の半径の円周上に等間隔に配置されている。各直線偏波パッチ・アンテナ901～908は、シーケンシャル・ローテーション技術により、給電部が円の中心を向いて配置されている。使用される直線偏波パッチ・アンテナの具体的な構成については説明を省略するが、所望する無線周波数帯すなわちミリ波帯の信号を送受信できる構造並びに寸法で構成されているものとする。

[0099] また、同じ両面プリント基板900の上面には、受信用の円形アレイ・アンテナを構成する8個の直線偏波パッチ・アンテナ911～918が、上記の送信用の円形アレイ・アンテナとは同心円となる円周上に等間隔に配置されている。また、各直線偏波パッチ・アンテナ911～918は、同様に、シーケンシャル・ローテーション技術により、給電部が円の中心を向いて配置されている。使用される直線偏波パッチ・アンテナの具体的な構成については説明を省略するが、所望する無線周波数帯すなわちミリ波帯の信号を送受信できる構造並びに寸法で構成されているものとする。

[0100] 図示の例では、送信用の直線偏波パッチ・アンテナ901～908は内側の円周に、受信用の8個の直線偏波パッチ・アンテナ911～918は外側の円周に、それぞれ配設されている。送信用の円形アレイ・アンテナを内側に配設するのは、近接無線通信に使用するOAM状態 $L=\pm 2, 0$ の電波渦の遠方電磁界が中心にヌルのあるカップ状のビーム（図3B、図3D、図3

Fを参照のこと）になることに依拠する。すなわち、送信用の直線偏波パッチ・アンテナ901～908から生成された電波渦は進行するに従って外側に広がっていくので、通信相手側では外側に配置された受信用の直線偏波パッチ・アンテナ911～918で感度よく受信することができる。

実施例 4

[0101] 図10には、電波渦を使用する近接無線通信システム1000の構成例（第4の実施例）を示している。図示の近接無線通信システム1000は、第1の無線機1001と第2の無線機1002で構成され、電波渦を使用する近接無線通信により1対1の全二重（Full Duplex）を行なう。第1の無線機1001と第2の無線機1002は、例えば図8に示した、送信用と受信用で個別にアンテナ部を備えた近接無線通信装置800の構成からなるものとする。

[0102] 当業界では、アップリンクとダウンリンクで周波数を分けるFDD（Frequency Division Duplex）や、アップリンクとダウンリンクで時間を分けるTDD（Time Division Duplex）などの方式によりFull Duplex通信を行なうことが知られている。同一周波数で同時に送受信を行なう（言い換えれば、アップリンクとダウンリンクで周波数も時間も分けない）Full Duplex通信の場合、送信アンテナが放射した電波の一部が受信アンテナに強烈な信号として入力されてLNA（Low Noise Amplifier：低雑音アンプ）を飽和させてしまうため、送信波を抑圧するアナログ干渉キャンセラーが必要になる。アナログ干渉キャンセラーは、干渉波に対して逆相になるレプリカ信号を加算して打ち消す方法を行なうが、周波数の高いミリ波において高精度な逆相レプリカ信号を生成するのは困難であり、課題が多い。

[0103] これに対し、本実施例では、異なるOAM状態の電波渦は互いに直交する性質があること（前述）を利用して、アナログ干渉キャンセラーを用いることなく、Full Duplex通信を行なう。具体的には、第1の無線機1001から第2の無線機1002への送信にはOAM状態 $L=2$ の電波渦

を使用し、第2の無線機1002から第1の無線機1001への送信にはOAM状態 $L = -2$ の電波渦を使用する。送受信で異なるOAM状態の電波渦を使用するため、第1の無線機1001及び第2の無線機1002はともに、送信用のアンテナと受信用のアンテナを個別に持つ。好ましくは、第1の無線機1001及び第2の無線機1002は、図9に示した送受信円形アレイ・アンテナを備えている。

[0104] 第1の無線機1001の送信アレイ・アンテナが送信したOAM状態 $L = 2$ の電波渦が第2の無線機1002の受信アレイ・アンテナに到達する経路の伝搬特性を h_{21} 、第2の無線機1002の送信アレイ・アンテナが送信したOAM状態 $L = -2$ の電波渦が第1の無線機1001に到達する経路の伝搬特性を h_{12} とする。

[0105] また、第1の無線機1001の送信アレイ・アンテナが送信した電波渦が送受信アンテナ間の結合によって第1の無線機1001の受信アレイ・アンテナに到達する経路の伝搬特性を h_{11} 、第2の無線機1002の送信アレイ・アンテナが送信した電波渦が送受信アンテナ間の結合によって第2の無線機1001の受信アレイ・アンテナに到達する経路の伝搬特性を h_{22} とする。

[0106] 第1の無線機1001と第2の無線機1002の間の伝搬特性 h_{21} 及び h_{12} は、図4並びに表1に示したように、 3λ から 20λ の距離で -20 dB から -50 dB まで変化する。これに対し、第1の無線機1001並びに第2の無線機1002それぞれの送受信アンテナ間の結合である h_{11} と h_{22} は、アンテナの加工精度や励振位相の精度を高めることにより、 -60 dB 以下の一定値にすることができる。

[0107] 第1の無線機1001の受信電力 S [dBm] は、第2の無線機1002の送信電力 P_t [dBm] に対して伝搬損失を h_{21} [dB]、インプリメンテーション・ロス IL [dB] とすると、下式(8)に示す通りとなる。

[0108]

[数8]

$$S = P_t + h_{12} - IL \quad \dots(8)$$

[0109] また、第1の無線機1001の受信ノイズN [dBm] は、帯域幅をB [Hz]、ノイズ・フィギュアをNF [dB] とすると、下式(9)に示す通りとなる。

[0110] [数9]

$$N = -174 + 10 \log_{10}(B) + NF \quad \dots(9)$$

[0111] さらに、第1の無線機1001が受信する干渉電力I [dBm] は、第1の無線機1001の送信電力を P_t [dBm]、アイソレーションを h_{11} [dB] とすると、下式(10)に示す通りとなる。

[0112] [数10]

$$I = P_t + h_{11} \quad \dots(10)$$

[0113] 上式(8)～(10)を用いて、第1の無線機1001の受信における信号対雑音干渉電力比SINRは、下式(11)で表すことができる。

[0114] [数11]

$$SINR = S - 10 \log_{10} \left(10^{\frac{I}{10}} + 10^{\frac{N}{10}} \right) \quad \dots(11)$$

[0115] 図11には、例として、 $h_{21} = -40$ [dB]、 $B = 2.16$ [GHz]、 $IL = 2$ [dB]、 $NF = 6$ [dB] とした場合に、 h_{11} と第1の無線機10

01及び第2の無線機1002の送信電力 P_t をパラメータとして掃引したSINRのグラフを示している。

[0116] 変調方式にQPSK (Quadrature Phase Shift Keying) を用いた場合のビット誤り率 (Bit Error Rate: BER) と搬送波電力対雑音電力比 (Carrier Noise Ratio: CNR) の関係は下式(12)となることが当業界で知られている。したがって、図12に示すように $BER = 10^{-3}$ にするためには、約10 dBのCNRが必要になる。

[0117] [数12]

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{CNR}{2}} \right) \quad \dots(12)$$

[0118] 再び図11を参照すると、送信電力が -22 dBm以上であればSINRが10 dB以上となるので、干渉キャンセラーを用いることなくFull Duplex通信が可能なが分かる。

[0119] 図13には、OAM状態を決定する励振位相に誤差がある場合に h_{11} 及び h_{21} の変化をシミュレーションした結果を示している。本実施例では、 h_{11} が -60 dB以下とみなしてFull Duplex通信が行なえることを示した。図13から、励振位相の誤差によってOAM状態が $L=2$ からずれると直ちに h_{11} に大きな変化が現れることが分かる。 -60 dB以下とする L の値は 2 ± 0.03 の範囲である。

実施例 5

[0120] 図14には、電波渦を使用する近接無線通信システム1400の構成例(第5の実施例)を示している。図示の近接無線通信システム1400は、第1の無線機1401と第2の無線機1402で構成される。第1の無線機1401は複数(図示の例では2個)の送信ブランチTX1、TX2を備えている。また、第2の無線機1402は複数(図示の例では2個)の受信ブラ

ンチRX1、RX2を備えている。そして、第1の無線機1401と第2の無線機1402間では、電波渦を使用する近接無線通信によりMIMO (Multiple Input Multiple Output) 多重通信を行なう。

[0121] 一般的に、MIMO多重通信を行なうには、送受信機がチャネル状態情報を既知である必要がある。これに対し、送受信アンテナに直交した偏波アンテナを用いることで、チャネル状態情報が不要になる空間直交偏波MIMOがある。

[0122] 本実施例では、異なるOAM状態の電波渦は互いに直交する性質がある（前述）ことを利用して、空間直交偏波MIMOによる多重通信が可能になることを示す。具体的には、第1の無線機1401側では、TX1はOAM状態 $L = -2$ の電波渦を送信し、TX2はOAM状態 $L = 2$ の電波渦を送信する。また、第2の無線機1402側では、RX1がTX1からの電波渦を受信し、RX2がTX1からの電波渦を受信する。

[0123] TX1が送信したOAM状態 $L = -2$ 電波渦がRX1に到達する経路の伝搬特性を h_{11} 、TX2が送信したOAM状態 $L = 2$ の電波渦がRX2に到達する経路の伝搬特性を h_{22} とする。

[0124] また、TX1が送信したOAM状態 $L = -2$ 電波渦がRX2に到達する経路の伝搬特性を h_{21} 、TX2が送信したOAM状態 $L = 2$ の電波渦がRX1に到達する経路の伝搬特性を h_{12} とする。

[0125] 第1の無線機1401側では、図9に示した同心円上に配置した内側の円形アレイ・アンテナをTX1に割り当て、外側の円形アレイ・アンテナをTX2に割り当てる。また、第2の無線機1402側では、内側の円形アレイ・アンテナをRX2に割り当て、外側の円形アレイ・アンテナをRX1に割り当てることで、伝搬特性 h_{11} と h_{22} を同等の特性に揃えることができる。

[0126] TX1とRX1間の伝搬特性 h_{11} 及びTX2とRX2間の伝搬特性 h_{22} は、図4並びに表1に示したように、 3λ から 20λ の距離で -20 dB から -50 dB まで変化する。これに対し、直交した電波渦の伝搬である h_{12} と h_{21} は

、アンテナの加工精度や励振位相の制度の影響を受けて変化する。

[0127] 図15には、OAM状態を決定する励振位相に誤差がある場合に h_{12} 及び h_{21} の変化をシミュレーションした結果を示している。励振位相の誤差によってOAM状態が $L=2$ からずれると直ちに h_{12} に大きな変化が現れることが分かる。空間直交偏波MIMO多重通信を行なう目安として、 h_{11} と h_{12} の差を20dB以上となるOAM状態の誤差範囲は $L=2 \pm 0.4$ になる。

実施例 6

[0128] 図16には、電波渦を使用する近接無線通信システム1600の構成例（第6の実施例）を示している。図示の近接無線通信システム1600は、電波渦を使用して近接無線通信を行なうイニシエーター1601とレスポonder 1602で構成される。イニシエーター1601とレスポonder 1602はそれぞれ、例えば図5、図7、図8のいずれかに示した近接無線通信装置で構成されるものとする。

[0129] イニシエーター1601は、距離の4乗に比例して減衰する特性を有する電波渦を用いて（すなわち、OAM状態 $L=\pm 2$ 又は $L=0$ に設定して）、定期的に接続要求を発呼しながら、応答を待つ。

[0130] 一方、レスポonder 1602は、距離の4乗に比例して減衰する特性を有する電波渦を用いて（すなわち、OAM状態 $L=\pm 2$ 又は $L=0$ に設定して）間欠受信しながら、イニシエーター1601が送信する電波渦を待ち受ける（イニシエーター1601をサーチする）。勿論、レスポonder 1602は、常時受信して電波渦を待ち受けてもよい。そして、レスポonder 1602は、イニシエーター1601からの電波渦を受信して、接近を検出したときには、接続受付を応答して、イニシエーター1601と接続を確立する。

[0131] イニシエーター1601とレスポonder 1602は、接続を確立した後に、双方が距離の2乗に比例して減衰する特性を有する電波渦に切り替えて（すなわち、OAM状態 $L=\pm 1$ に設定して）、データ伝送を行なう。そして、データ伝送が終了すると、イニシエーター1601とレスポonder 160

2は、再び距離の4乗に比例して減衰する特性を有する電波渦に切り替えて（すなわち、OAM状態 $L = \pm 2$ 又は $L = 0$ に設定して）、待ち受け状態に戻る。

[0132] 以上で説明したイニシエーター1601とレスポnder1602の動作は、例えばMAC (Media Access Control) 制御により実現することができる。

先行技術文献

特許文献

[0133] 特許文献1：特許第4345849号公報

特許文献2：特許第4788562号公報

特許文献3：特開2012-169779号公報

特許文献4：特開昭53-8546号公報

特許文献5：特開昭60-206207号公報

非特許文献

[0134] 非特許文献1：Q. Bai, A. Tennant, B. Allen, M. U. Rehman, "Generation of Orbital Angular Momentum (OAM) Radio Beams with Phased Patch Array," (Antennas and Propagation Conference (LAPC 2013), Loughborough, pp. 410-413, Nov. 2013)

非特許文献2：S. M. Mohammadi, L. K. S. Daldorff, J. E. S. Bergman, R. L. Karlsson, B. Thide, K. Forozesh, T. D. Carizzi, B. Isham, "Orbital angular momentum in a radio - A system study," (IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 58, no. 2, pp. 565-572, Feb. 2010)

産業上の利用可能性

[0135] 以上、特定の実施形態を参照しながら、本明細書で開示する技術について詳細に説明してきた。しかしながら、本明細書で開示する技術の要旨を逸脱しない範囲で当業者が該実施形態の修正や代用を成し得ることは自明である。

[0136] 本明細書では、主にミリ波を用いて近接無線通信を行なうシステムに適用した実施形態を中心に説明してきたが、本明細書で開示する技術の要旨はこれに限定されるものではない。電波渦を送受信するさまざまなタイプの無線通信システムに、同様に本明細書で開示する技術を適用することができる。

[0137] 要するに、例示という形態により本明細書で開示する技術について説明してきたのであり、本明細書の記載内容を限定的に解釈すべきではない。本明細書で開示する技術の要旨を判断するためには、特許請求の範囲を参酌すべきである。

[0138] なお、本明細書の開示の技術は、以下のような構成をとることも可能である。

- (1) 電波渦を送受信するアンテナ部と、
前記アンテナ部で送受信する電波渦の状態を設定する設定部と、
を具備する無線通信装置。
- (2) 前記設定部は、前記アンテナ部を、距離の $(2 + K)$ 乗に比例して減衰する特性となる電波渦の状態に設定する（但し、 $K > 0$ ）、
上記(1)に記載の無線通信装置。
- (3) 前記アンテナ部は、複数のアンテナ素子をそれぞれ円の中心に向けて、円周に沿って等間隔に配置した円形アレイ・アンテナからなり、
送信信号を前記複数のアンテナ素子の各々に分配し、又は、前記複数のアンテナ素子の受信信号を合成する分配・合成部をさらに備える、
上記(1)又は(2)のいずれかに記載の無線通信装置。
- (4) 前記設定部は、前記複数のアンテナ素子の送信信号又は受信信号を各々が配置された角度に応じて移相する移相器を備える、

上記（３）に記載の無線通信装置。

（５）前記アンテナ部は、 N 個のアンテナ素子をそれぞれ円の中心に向けて、円周に沿って等間隔に配置した円形アレイ・アンテナを備え、

前記設定部は、送信時において、 n 番目のアンテナ素子からの送信信号をそれぞれ下式（１３）に示す励振位相 Φ_n だけ移相して前記アンテナ部が所望するＯＡＭ状態 L の電波渦を送信するようにし、又は、受信時において、 n 番目のアンテナ素子の受信信号を下式（１３）に示す位相 Φ_n だけ移相して、前記アンテナ部が所望するＯＡＭ状態 L の電波渦を受信できるようにする、上記（１）乃至（４）のいずれかに記載の無線通信装置。

[数13]

$$\Phi_n = \frac{2\pi L(n-1)}{N} \quad \dots(13)$$

（６）前記分配・合成部は、送信信号を前記複数のアンテナ素子に等しい位相で分配し、又は、前記複数のアンテナ素子の受信信号を等しい位相で合成する、

上記（３）に記載の無線通信装置。

（７）前記アンテナ部は、送信用の複数のアンテナ素子をそれぞれ円の中心に向けて円周に沿って等間隔に配置した第１の円形アレイ・アンテナと、受信用の複数のアンテナ素子をそれぞれ円の中心に向けて円周に沿って等間隔に配置した第２の円形アレイ・アンテナを個別に備える、

上記（１）乃至（３）のいずれかに記載の無線通信装置。

（８）前記第１の円形アレイ・アンテナと前記第２の円形アレイ・アンテナを同心円の円周上に配設する、

上記（７）に記載の無線通信装置。

（９）前記第１の円形アレイ・アンテナを前記第２の円形アレイ・アンテナの内側に配設する、

上記（７）又は（８）のいずれかに記載の無線通信装置。

（１０）前記複数のアンテナ素子は、それぞれ直線偏波パッチ・アンテナからなる、

上記（３）乃至（９）のいずれかに記載の無線通信装置。

（１１）前記複数のアンテナ素子は、それぞれミリ波帯の信号を送受信するように構成されている、

上記（３）乃至（９）のいずれかに記載の無線通信装置。

（１２）前記アンテナ部は、送信用のアンテナと受信用のアンテナを個別に持ち、

第１の状態の電波渦を使用して送信するとともに、前記第１の状態とは異なる第２の状態の電波渦を受信する、

上記（１）に記載の無線通信装置。

（１３）それぞれ電波渦を送受信するアンテナ部を持つ複数の通信ブランチを備え、

通信ブランチ毎に状態の異なる電波渦を使用して送受信する、
無線通信装置。

（１４）前記設定部は、機器検索時には、前記アンテナ部を距離の $(2 + K)$ 乗に比例して減衰する特性となる電波渦の状態に設定し（但し、 $K > 0$ ）、接続確立後は、前記アンテナ部を距離の２乗に比例して減衰する特性となる電波渦の状態に設定する、

上記（１）に記載の無線通信装置。

（１５）それぞれ電波渦を送受信する第１の無線機と第２の無線機で構成され、前記第１の無線機から前記第２の無線機へ第１の状態の電波渦を使用して送信し、前記第２の無線機から前記第１の無線機へ前記第１の状態とは異なる第２の状態の電波渦を使用して送信する、
無線通信システム。

（１６）それぞれ電波渦を送信するアンテナ部を持つ複数の送信ブランチを備え、送信ブランチ毎に状態の異なる電波渦を送信する送信機と、

それぞれ電波渦を受信するアンテナ部を持つ複数の受信ブランチを備え、受信ブランチ毎に状態の異なる電波渦を受信する受信機と、を具備する無線通信システム。

(17) それぞれ電波渦を送受信するイニシエーターとレスポnderで構成され、前記イニシエーターは、距離の $(2+K)$ 乗に比例して減衰する特性となる電波渦を用いて定期的に接続要求を送信しながら前記レスポnderからの応答を待ち(但し、 $K>0$)、前記レスポnderは、間欠受信しながら前記イニシエーターからの電波渦を待ち受け前記イニシエーターの接近を検出すると接続受付を応答し、接続を確立した後は、前記イニシエーターと前記レスポnderはアンテナ部を距離の2乗に比例して減衰する特性となる電波渦に切り替えてデータ通信を行なう、無線通信システム。

符号の説明

- [0139] 200…円形アレイ・アンテナ
201～208…直線偏波パッチ・アンテナ
500…近接無線通信装置(第1の実施例)
501…円形アレイ・アンテナ
502…送信アンプ、503…受信アンプ
504…送信用移相器、505…受信用移相器、506…分配・合成部
507…デジタル・アナログ変換部(DAC)、508…電力増幅部
509…アップ・コンバーター、510…発振部
511…ダウン・コンバーター、512…低雑音増幅部
513…アナログ・デジタル変換部(ADC)
600…近接無線通信装置(第2の実施例)
601…円形アレイ・アンテナ
603…分配・合成部、604…デジタル・アナログ変換部(DAC)
605…電力増幅部、606…アップ・コンバーター、607…送信アンプ

608…発振部、609…受信アンプ、610…ダウン・コンバーター
611…低雑音増幅部、612…アナログ・デジタル変換部（ADC）
700…近接無線通信装置（第3の実施例）
701…円形アレイ・アンテナ（送信用）、702…送信アンプ
703…送信用移相器、704…分配部
705…アップ・コンバーター、706…電力増幅部
707…デジタル・アナログ変換部（DAC）、708…発振部
711…円形アレイ・アンテナ（受信用）、712…受信アンプ
713…受信用移相器、714…合成部、715…ダウン・コンバーター
716…低雑音増幅部、717…アナログ・デジタル変換部（ADC）
800…近接無線通信装置（第3の実施例の変形例）
801…円形アレイ・アンテナ（送信用）、802…送信アンプ
803…送信用移相器、804…分配部
805…アップ・コンバーター、806…電力増幅部
807…デジタル・アナログ変換部（DAC）、808…発振部
811…円形アレイ・アンテナ（受信用）、812…受信アンプ
813…受信用移相器、814…合成部、815…ダウン・コンバーター
816…低雑音増幅部、817…アナログ・デジタル変換部（ADC）
1000…近接無線通信システム（第4の実施例）
1001…第1の無線機、1002…第2の無線機
1400…近接無線通信システム（第5の実施例）
1401…第1の無線機、1402…第2の無線機
1600…近接無線通信システム（第6の実施例）
1601…イニシエーター、1602…レスポnder

請求の範囲

- [請求項1] 電波渦を送受信するアンテナ部と、
前記アンテナ部で送受信する電波渦の状態を設定する設定部と、
を具備する無線通信装置。
- [請求項2] 前記設定部は、前記アンテナ部を、距離の $(2 + K)$ 乗に比例して減衰する特性となる電波渦の状態に設定する（但し、 $K > 0$ ）、
請求項1に記載の無線通信装置。
- [請求項3] 前記アンテナ部は、複数のアンテナ素子をそれぞれ円の中心に向けて、円周に沿って等間隔に配置した円形アレイ・アンテナからなり、
送信信号を前記複数のアンテナ素子の各々に分配し、又は、前記複数のアンテナ素子の受信信号を合成する分配・合成部をさらに備える、
請求項1又は2のいずれかに記載の無線通信装置。
- [請求項4] 前記設定部は、前記複数のアンテナ素子の送信信号又は受信信号を各々が配置された角度に応じて移相する移相器を備える、
請求項3に記載の無線通信装置。
- [請求項5] 前記アンテナ部は、 N 個のアンテナ素子をそれぞれ円の中心に向けて、円周に沿って等間隔に配置した円形アレイ・アンテナを備え、
前記設定部は、送信時において、 n 番目のアンテナ素子からの送信信号をそれぞれ下式（1）に示す励振位相 ϕ_n だけ移相して前記アンテナ部が所望するOAM状態 L の電波渦を送信するようにし、又は、
受信時において、 n 番目のアンテナ素子の受信信号を下式（1）に示す位相 ϕ_n だけ移相して、前記アンテナ部が所望するOAM状態 L の電波渦を受信できるようにする、
請求項1乃至4のいずれかに記載の無線通信装置。

[数1]

$$\Phi_n = \frac{2\pi L(n-1)}{N} \quad \dots(1)$$

[請求項6] 前記分配・合成部は、送信信号を前記複数のアンテナ素子に等しい位相で分配し、又は、前記複数のアンテナ素子の受信信号を等しい位相で合成する、

請求項3に記載の無線通信装置。

[請求項7] 前記アンテナ部は、送信用の複数のアンテナ素子をそれぞれ円の中心に向けて円周に沿って等間隔に配置した第1の円形アレイ・アンテナと、受信用の複数のアンテナ素子をそれぞれ円の中心に向けて円周に沿って等間隔に配置した第2の円形アレイ・アンテナを個別に備える、

請求項1乃至3のいずれかに記載の無線通信装置。

[請求項8] 前記第1の円形アレイ・アンテナと前記第2の円形アレイ・アンテナを同心円の円周上に配設する、

請求項7に記載の無線通信装置。

[請求項9] 前記第1の円形アレイ・アンテナを前記第2の円形アレイ・アンテナの内側に配設する、

請求項7又は8のいずれかに記載の無線通信装置。

[請求項10] 前記複数のアンテナ素子は、それぞれ直線偏波パッチ・アンテナからなる、

請求項3乃至9のいずれかに記載の無線通信装置。

[請求項11] 前記複数のアンテナ素子は、それぞれミリ波帯の信号を送受信するように構成されている、

請求項3乃至9のいずれかに記載の無線通信装置。

[請求項12] 前記アンテナ部は、送信用のアンテナと受信用のアンテナを個別に

持ち、

第 1 の状態の電波渦を使用して送信するとともに、前記第 1 の状態とは異なる第 2 の状態の電波渦を受信する、

請求項 1 に記載の無線通信装置。

[請求項13] それぞれ電波渦を送受信するアンテナ部を持つ複数の通信ブランチを備え、

通信ブランチ毎に状態の異なる電波渦を使用して送受信する、
無線通信装置。

[請求項14] 前記設定部は、機器検索時には、前記アンテナ部を距離の $(2 + K)$ 乗に比例して減衰する特性となる電波渦の状態に設定し（但し、 $K > 0$ ）、接続確立後は、前記アンテナ部を距離の 2 乗に比例して減衰する特性となる電波渦の状態に設定する、
請求項 1 に記載の無線通信装置。

[請求項15] それぞれ電波渦を送受信する第 1 の無線機と第 2 の無線機で構成され、前記第 1 の無線機から前記第 2 の無線機へ第 1 の状態の電波渦を使用して送信し、前記第 2 の無線機から前記第 1 の無線機へ前記第 1 の状態とは異なる第 2 の状態の電波渦を使用して送信する、
無線通信システム。

[請求項16] それぞれ電波渦を送信するアンテナ部を持つ複数の送信ブランチを備え、送信ブランチ毎に状態の異なる電波渦を送信する送信機と、
それぞれ電波渦を受信するアンテナ部を持つ複数の受信ブランチを備え、受信ブランチ毎に状態の異なる電波渦を受信する受信機と、
を具備する無線通信システム。

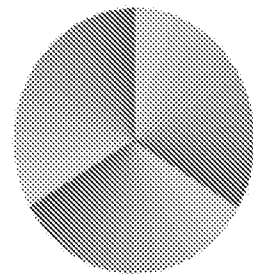
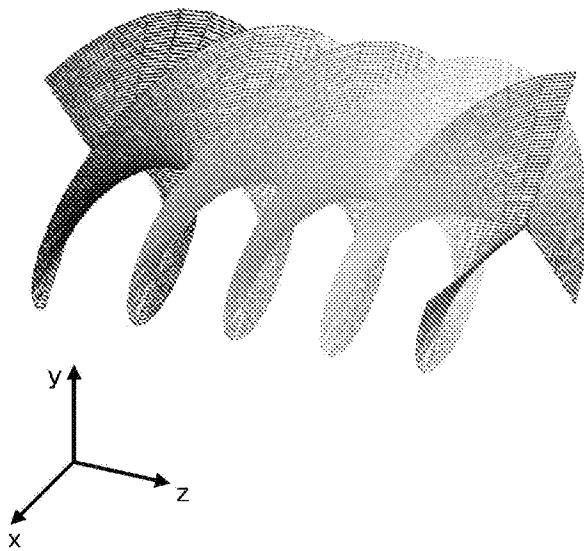
[請求項17] それぞれ電波渦を送受信するイニシエーターとレスポnderで構成され、前記イニシエーターは、距離の $(2 + K)$ 乗に比例して減衰する特性となる電波渦を用いて定期的に接続要求を送信しながら前記レスポnderからの応答を待ち（但し、 $K > 0$ ）、前記レスポnderは、間欠受信しながら前記イニシエーターからの電波渦を待ち受け前記

イニシエーターの接近を検出すると接続受付を応答し、接続を確立した後は、前記イニシエーターと前記レスポnderはアンテナ部を距離の2乗に比例して減衰する特性となる電波渦に切り替えてデータ通信を行なう、
無線通信システム。

[図1A]

OAM

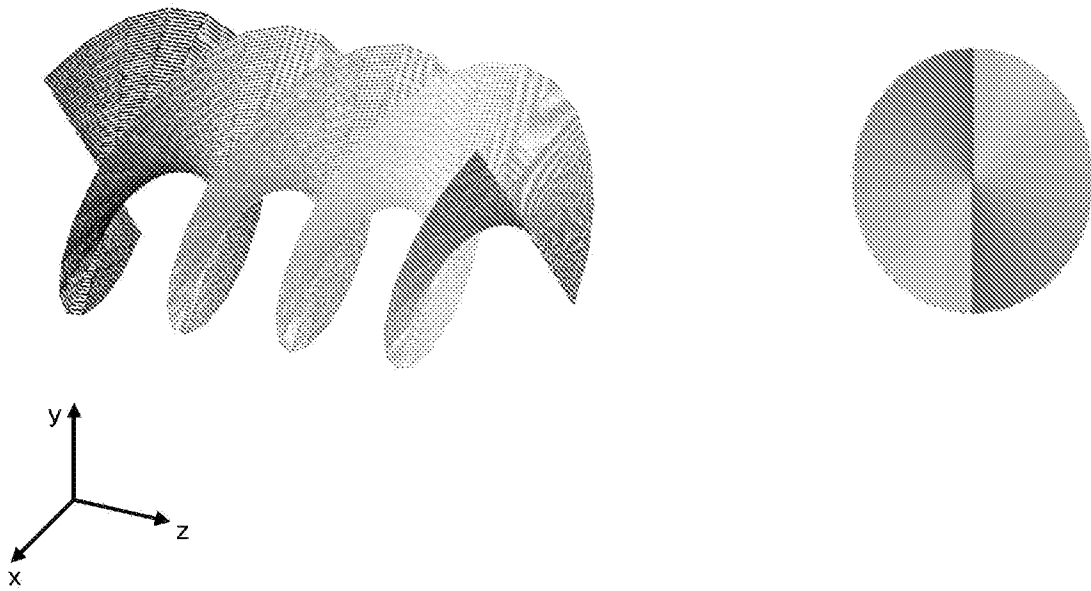
L=3



[図1B]

OAM

L=2



[図1C]

OAM

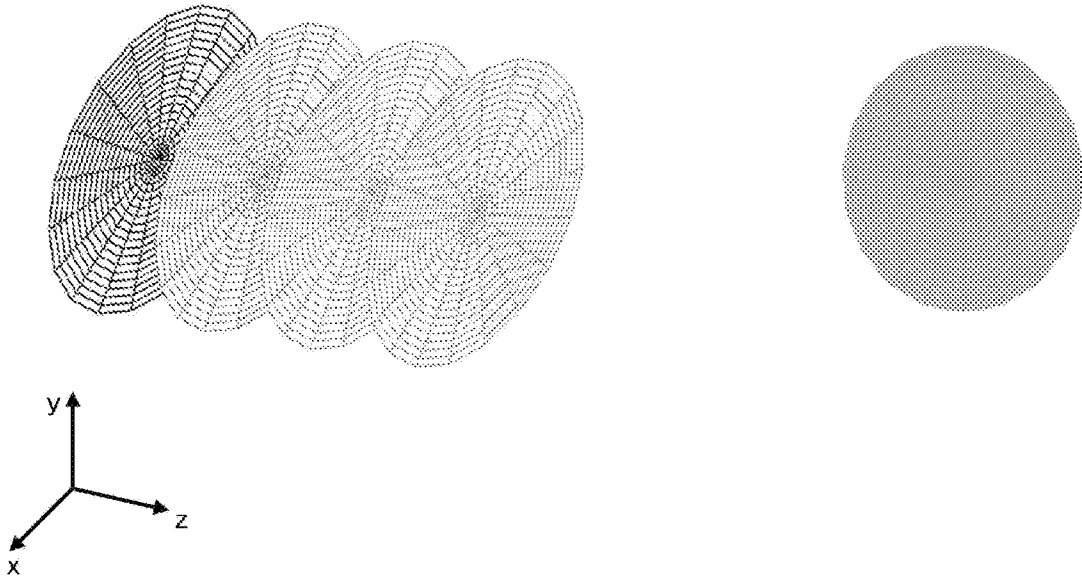
L=1



[図1D]

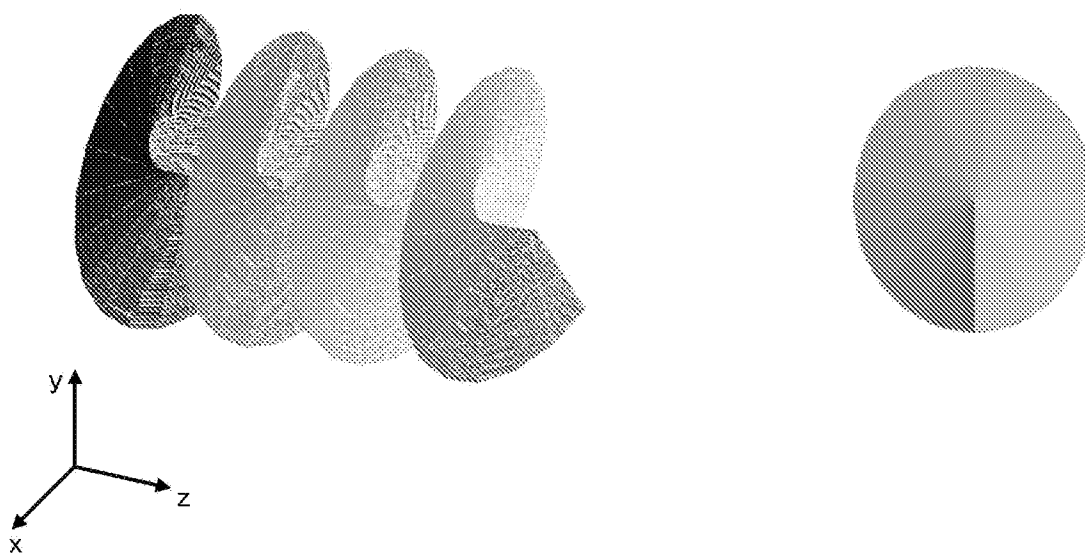
OAM

L=0



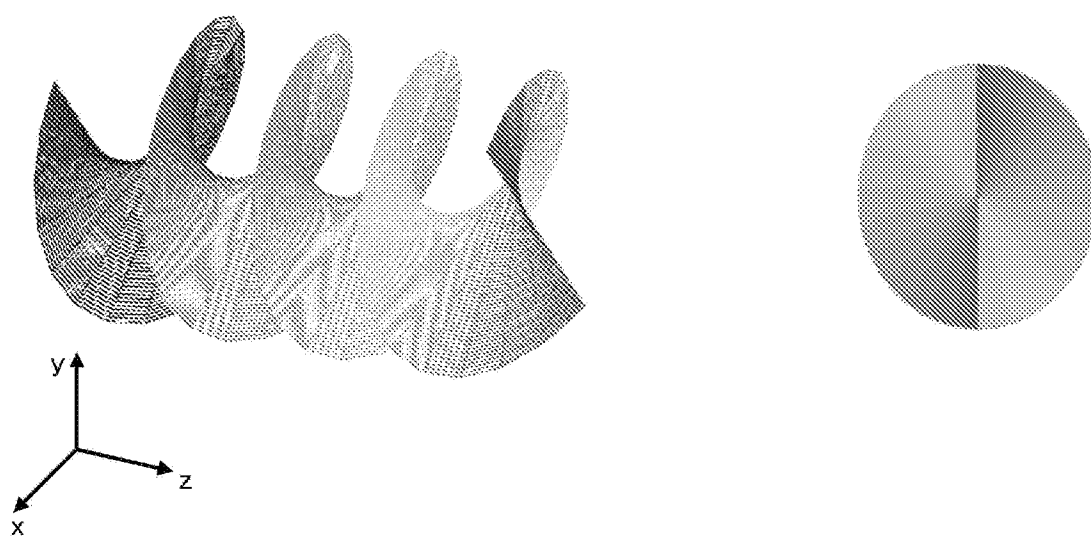
[図1E]

OAM

 $L=-1$ 

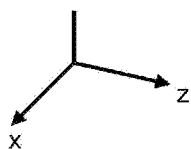
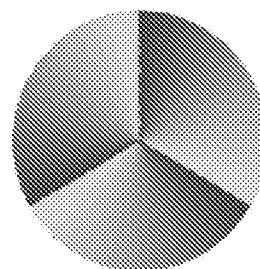
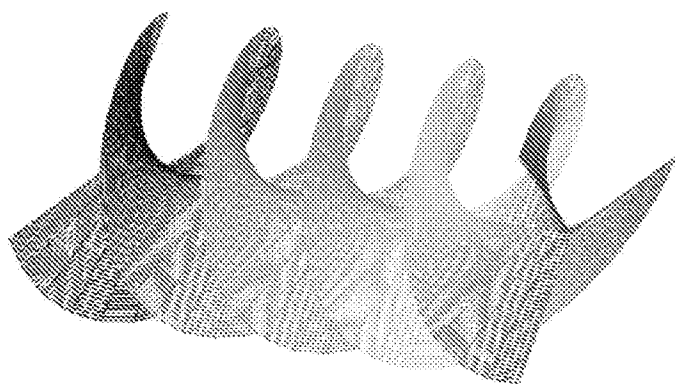
[図1F]

OAM

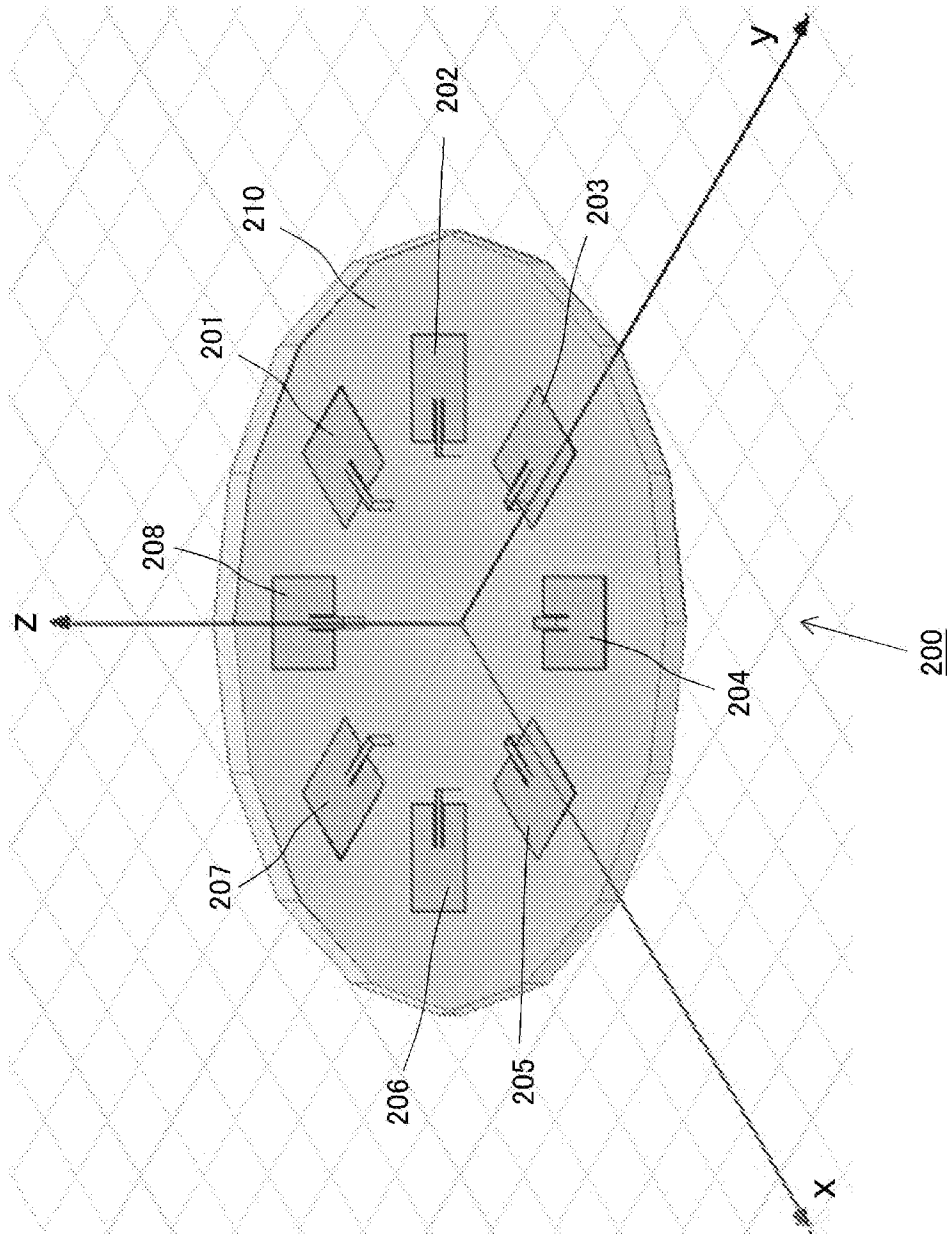
 $L=-2$ 

[図1G]

OAM

 $L=-3$ 

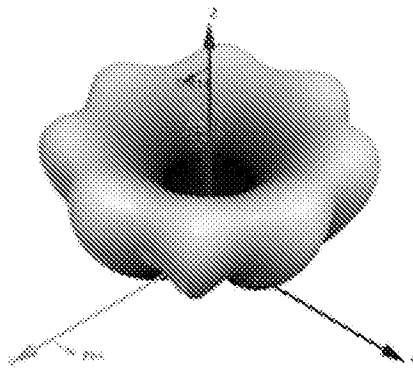
[図2]



[図3A]

OAM

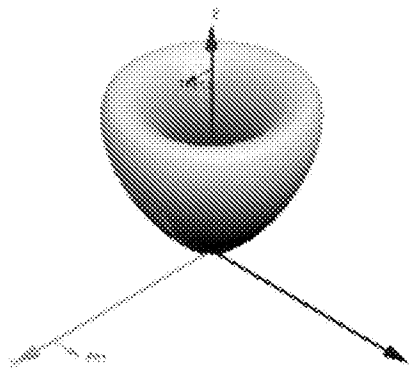
L=3



[図3B]

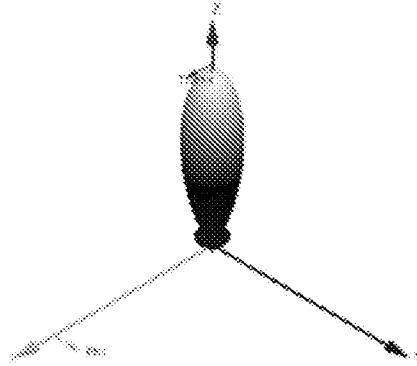
OAM

L=2



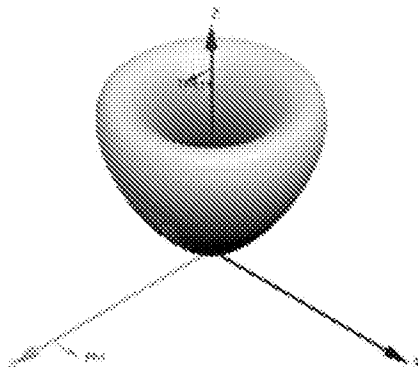
[図3C]

OAM L=1



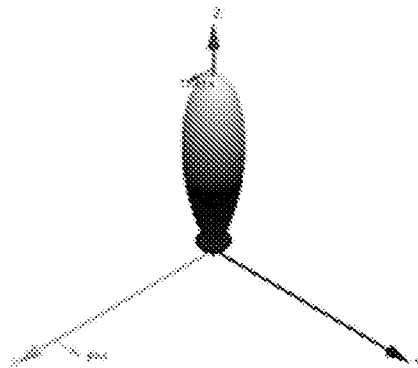
[図3D]

OAM L=0



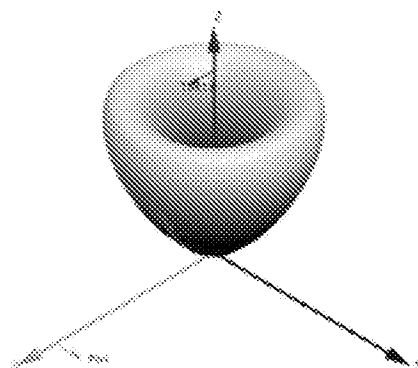
[図3E]

OAM

 $L=-1$ 

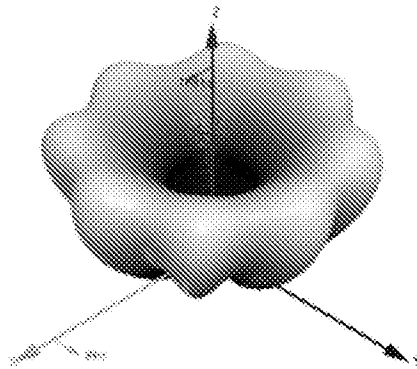
[図3F]

OAM

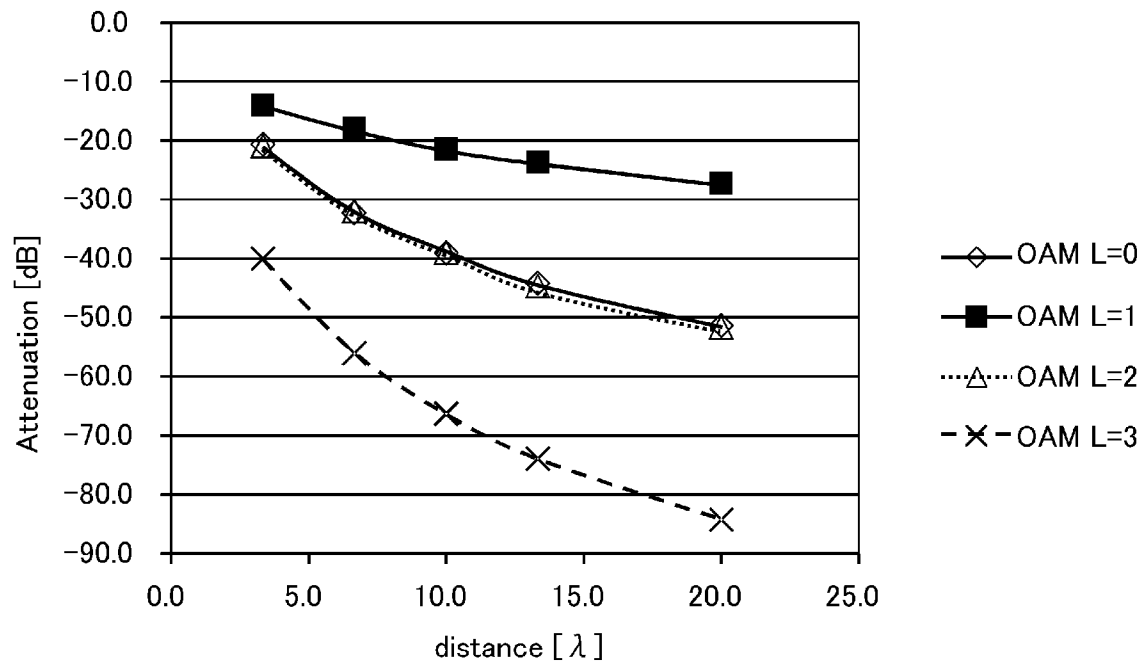
 $L=-2$ 

[図3G]

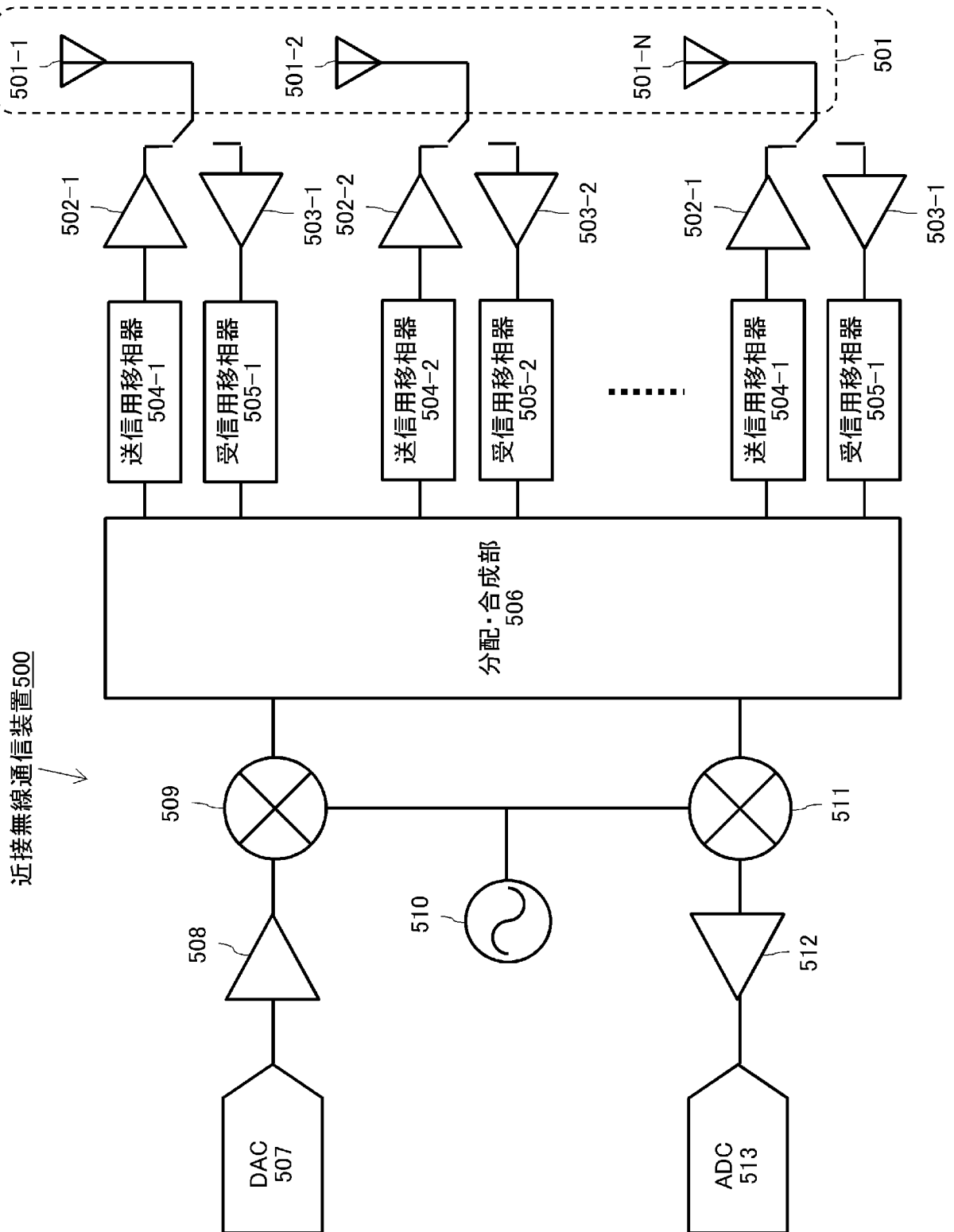
OAM

 $L=-3$ 

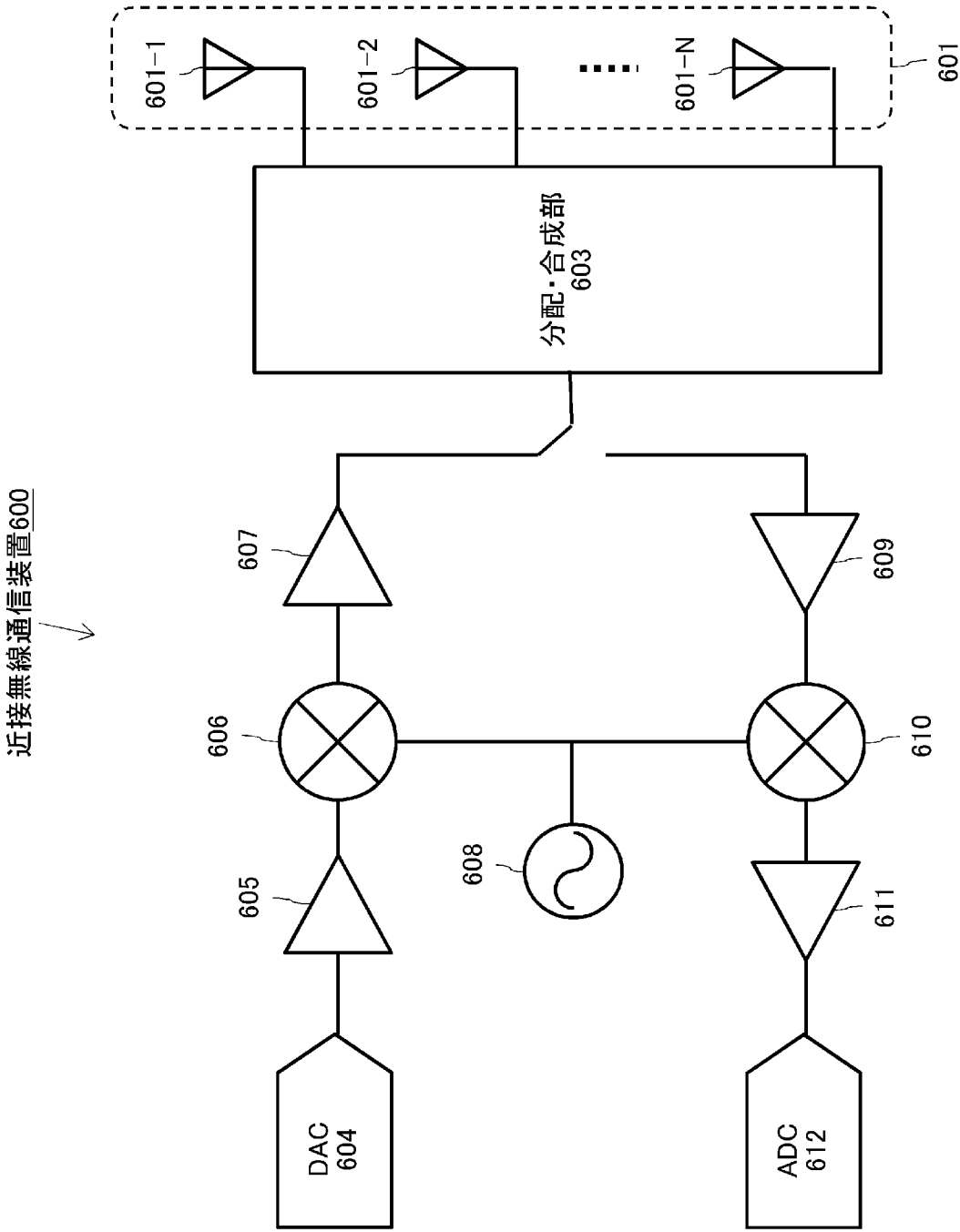
[図4]



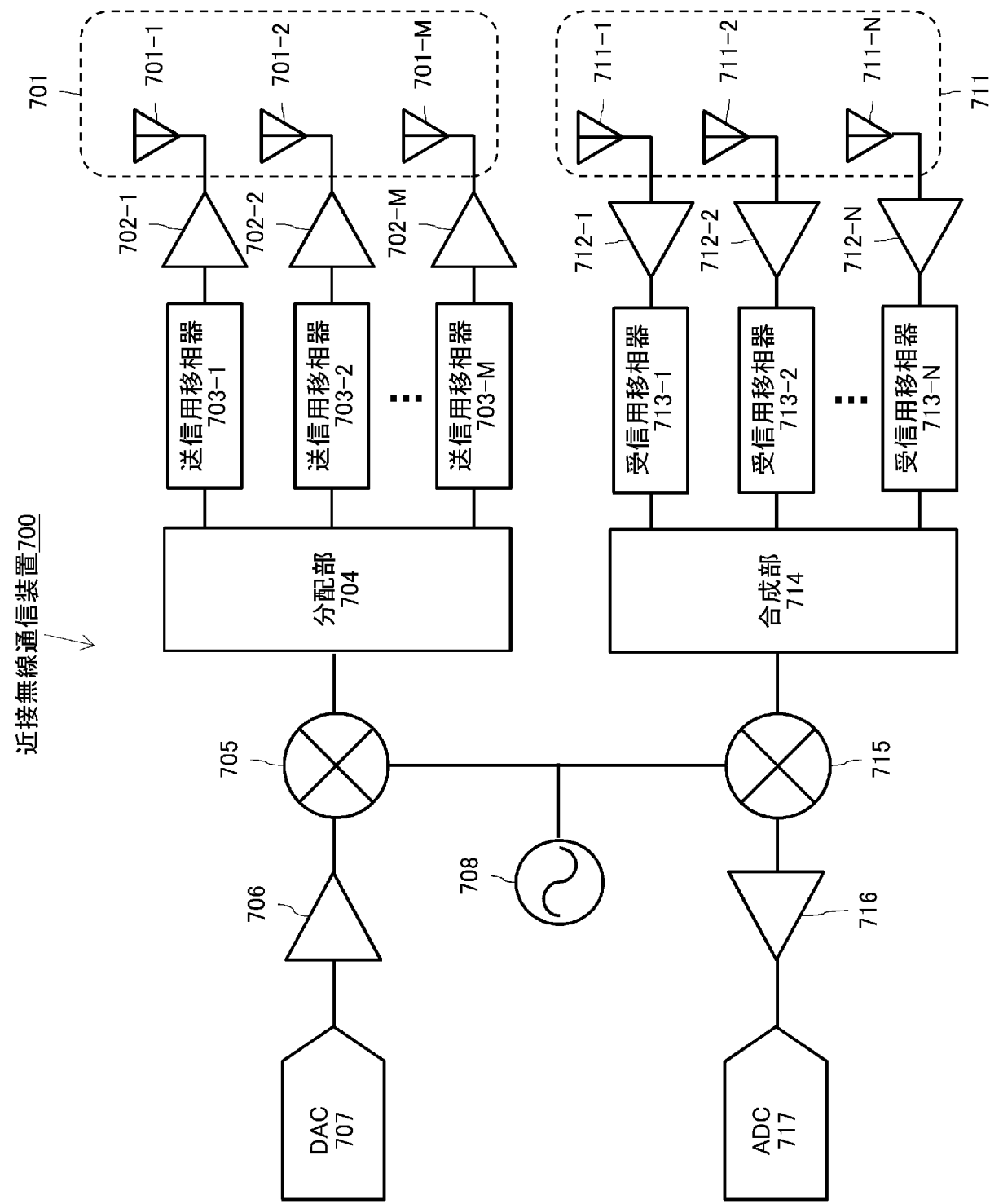
[図5]



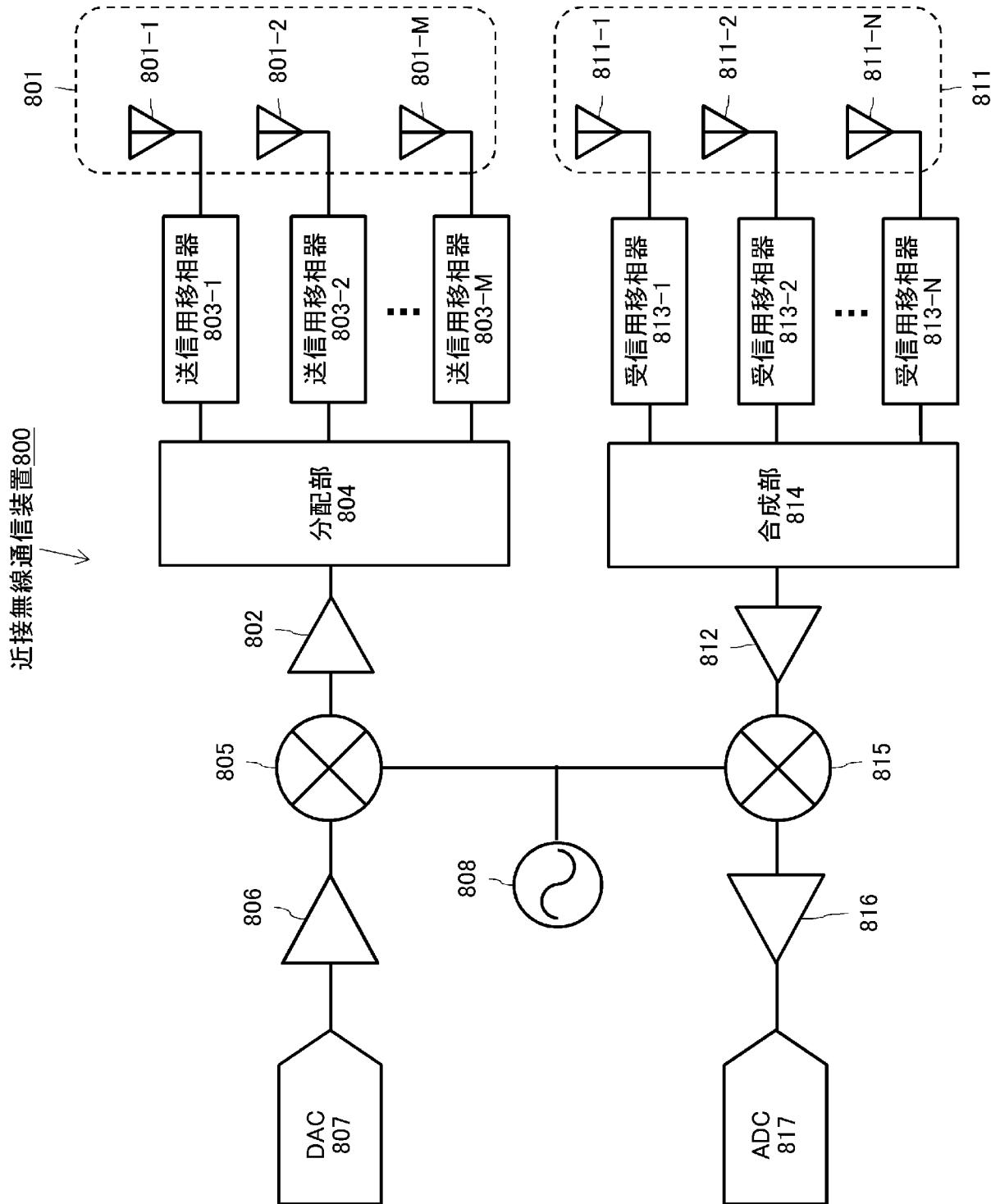
[図6]



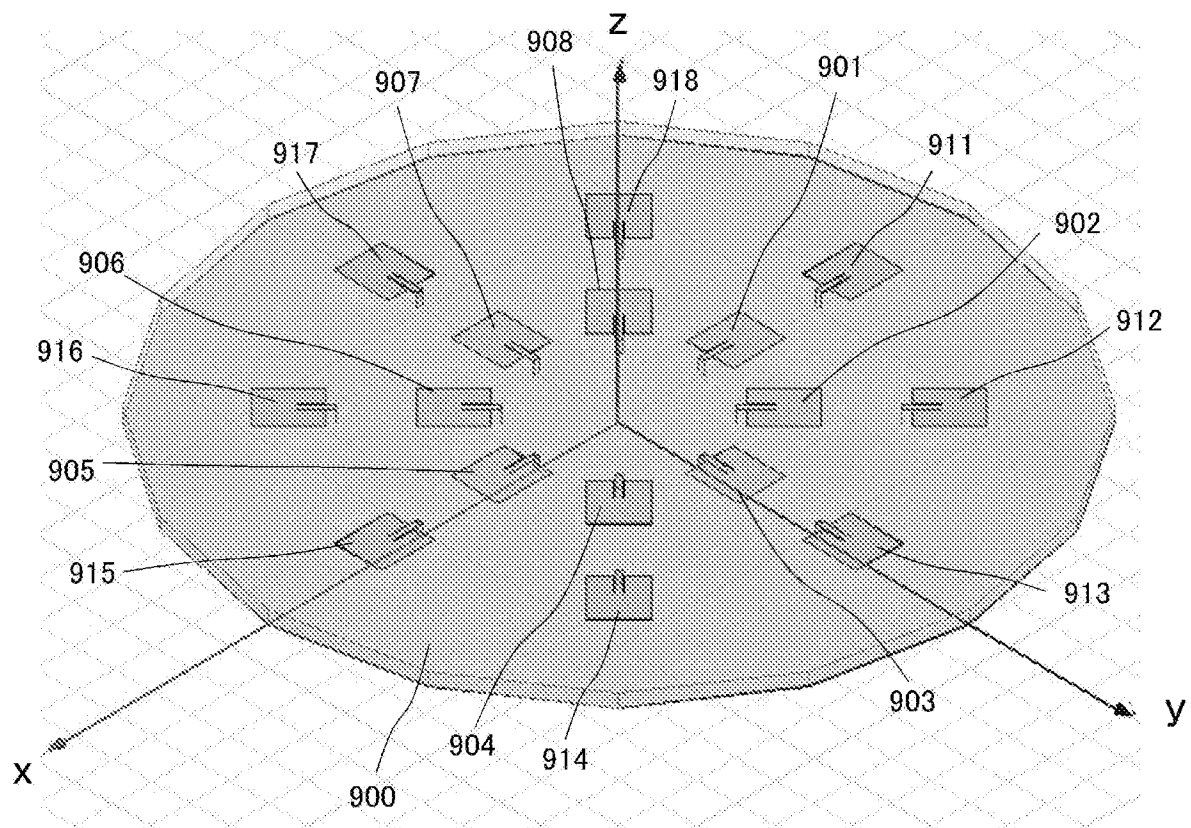
[図7]



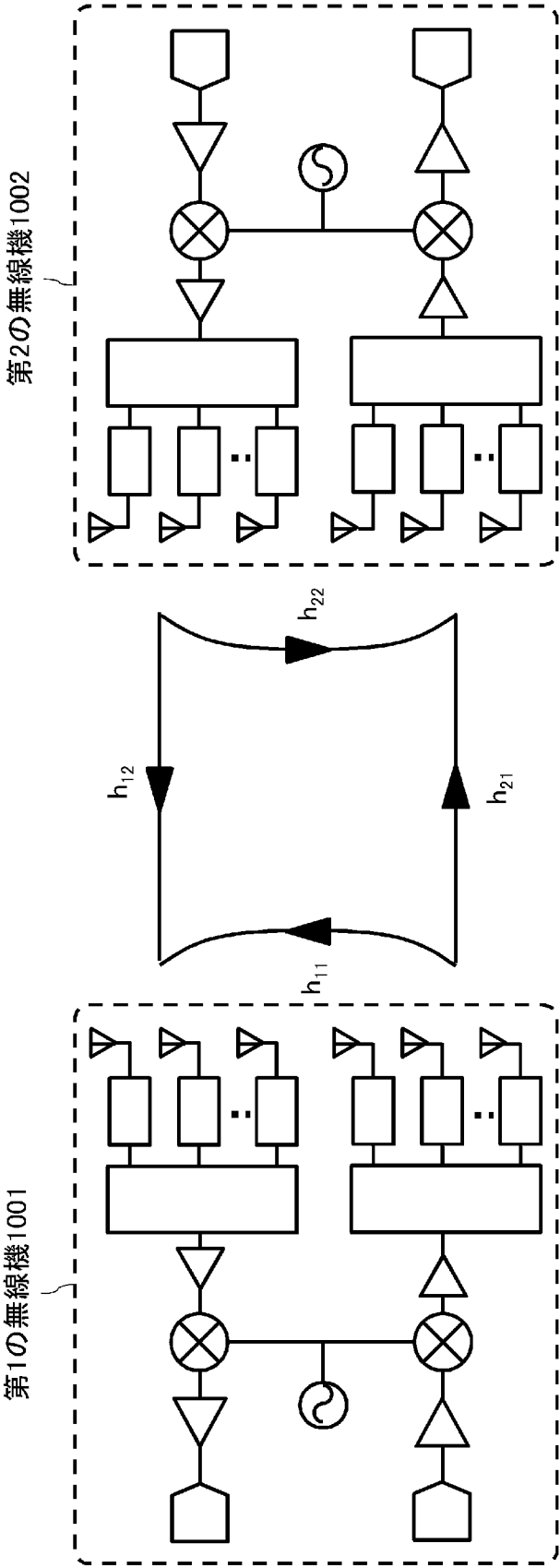
[図8]



[図9]

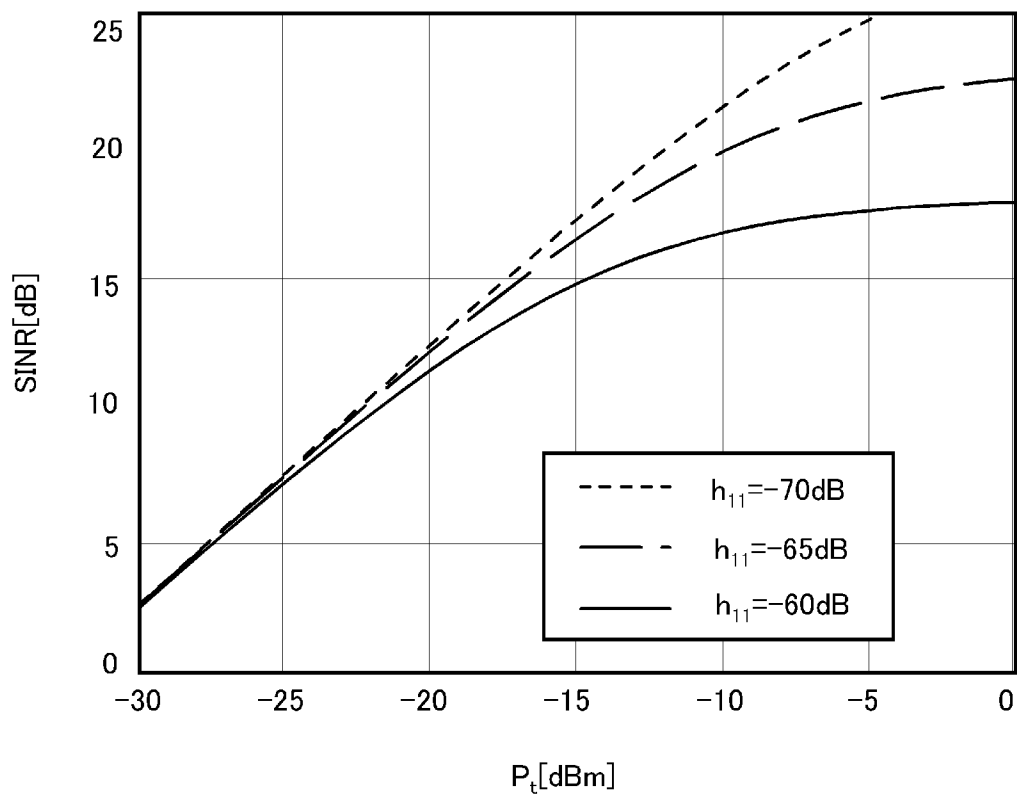


[図10]

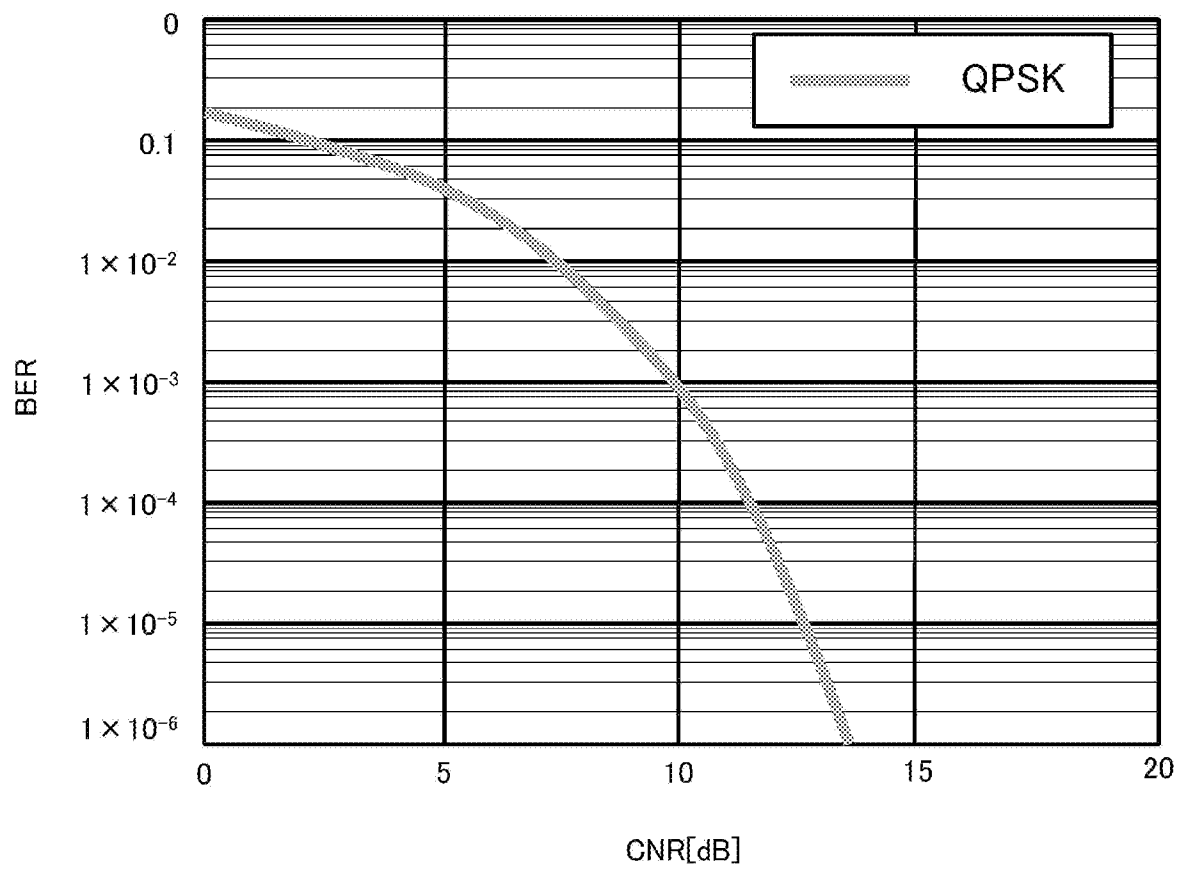


近接無線通信システム1000

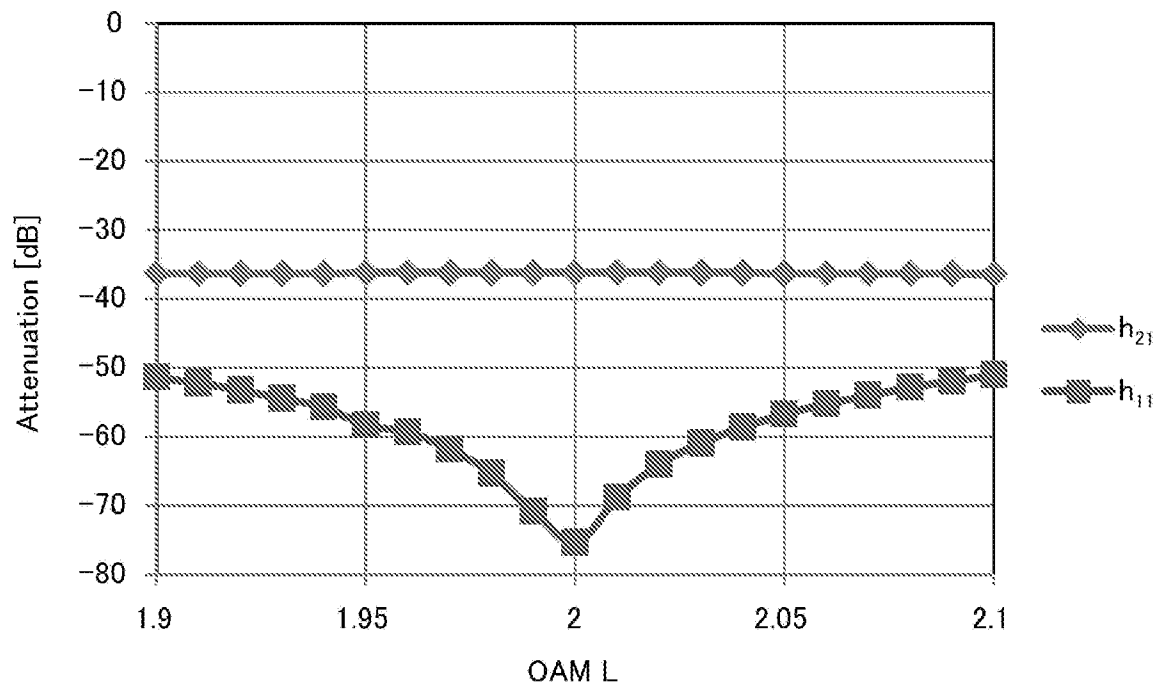
[図11]



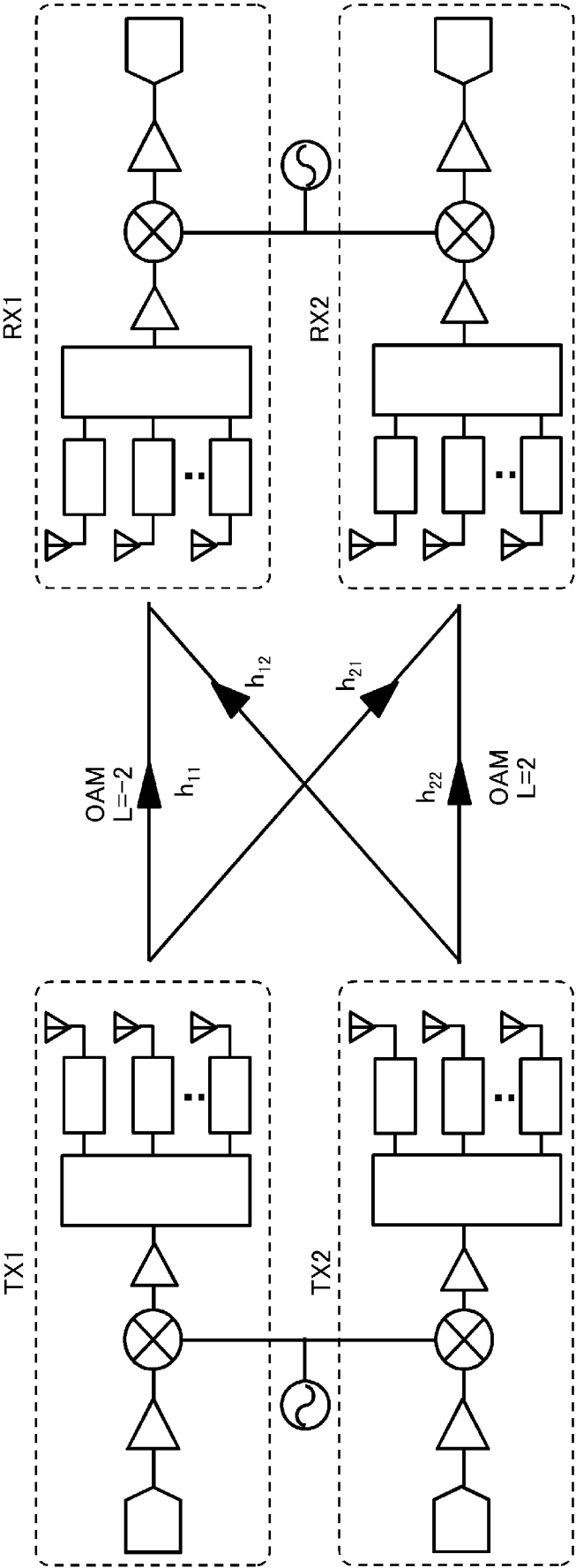
[図12]



[図13]

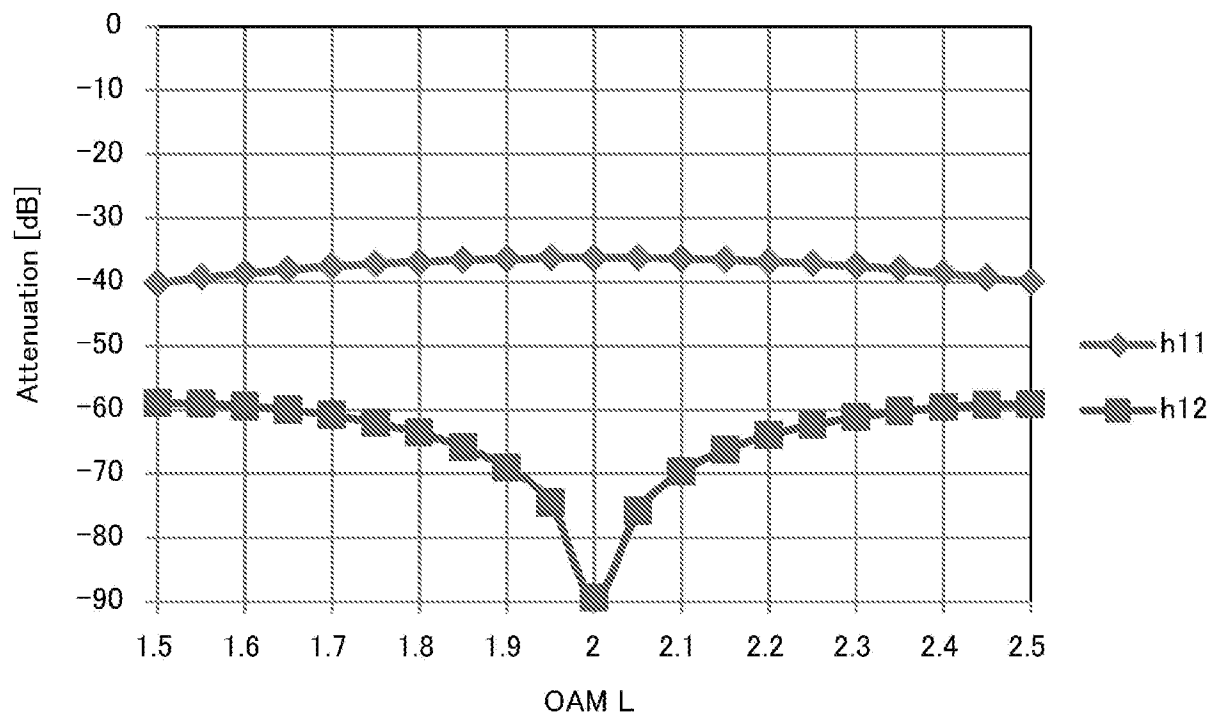


[図14]

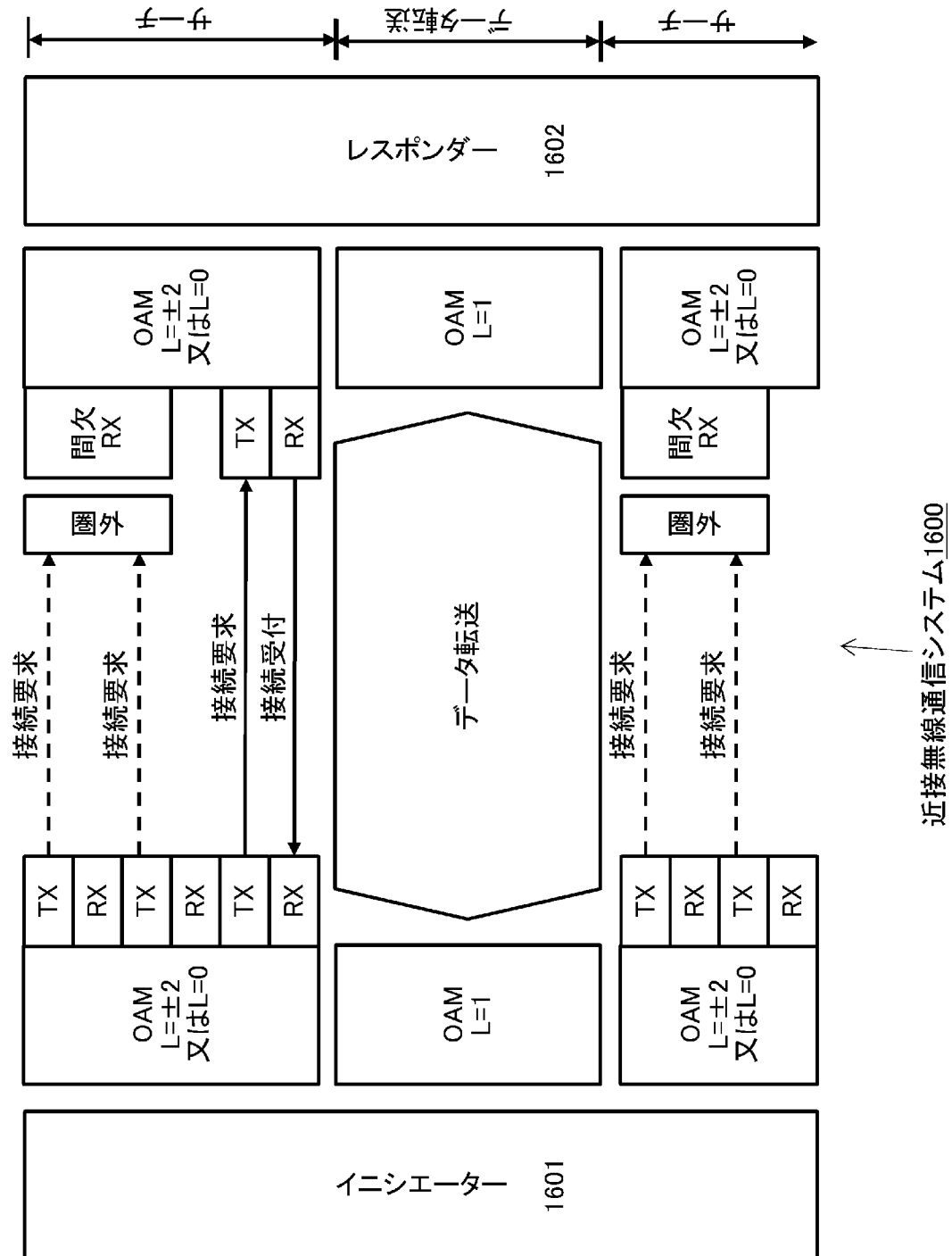


近接無線通信システム1400

[図15]



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/061189

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B5/02(2006.01)i, H01Q13/08(2006.01)i, H01Q21/20(2006.01)i, H04B1/59(2006.01)i

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)

H04B5/02, H01Q13/08, H01Q21/20, H04B1/59

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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.
Y	Ove Edfors and Anders J. Johansson, "Is Orbital Angular Momentum (OAM) Based Radio Communication an Unexploited Area?", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, February 2012, Volume 60, Issue 2, pp.1126-1131	1-13, 15, 16
Y	JP 7-288417 A (Hitachi, Ltd.), 31 October 1995 (31.10.1995), paragraphs [0002], [0029]; fig. 3, 5, 25 (Family: none)	1-13, 15, 16
Y	JP 2004-88325 A (Shigeo KAWASAKI), 18 March 2004 (18.03.2004), paragraph [0035]; fig. 4(a) (Family: none)	3, 4, 6, 11

☒ 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
27 April 2015 (27.04.15)

Date of mailing of the international search report
19 May 2015 (19.05.15)

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/JP2015/061189

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 8-181539 A (Toyo Communication Equipment Co., Ltd.), 12 July 1996 (12.07.1996), paragraph [0016]; fig. 1 to 8 (Family: none)	7-10, 12, 13, 15, 16
A	EP 2639993 A2 (BROADCOM CORP.), 18 September 2013 (18.09.2013), paragraph [0170]; fig. 17C & US 2013/0235744 A1	1-17
A	Qiang Bai et al., "Generation of Orbital Angular Momentum (OAM) Radio Beams with Phased Patch Array," 2013 Loughborough Antennas and Propagation Conference (LAPC), November 2013, pp.410-413	1-17

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H04B5/02(2006.01)i, H01Q13/08(2006.01)i, H01Q21/20(2006.01)i, H04B1/59(2006.01)i

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（I P C））

Int.Cl. H04B5/02, H01Q13/08, H01Q21/20, H04B1/59

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

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 年

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）

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
Y	Ove Edfors and Anders J. Johansson, "Is Orbital Angular Momentum (OAM) Based Radio Communication an Unexploited Area?," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, February 2012, Volume 60, Issue 2, pp.1126-1131	1-13, 15, 16
Y	J P 7 - 2 8 8 4 1 7 A (株式会社日立製作所) 1 9 9 5 . 1 0 . 3 1 , 段落 [0 0 0 2] , [0 0 2 9] , 図 3 , 5 , 2 5 (ファミリー無し)	1-13, 15, 16

☒ 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。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「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

「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）

「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

「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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「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

「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

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 7 . 0 4 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

1 9 . 0 5 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

川口 貴裕

5 J

3 0 5 5

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 3 4

C (続き) . 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
Y	J P 2 0 0 4 - 8 8 3 2 5 A (川崎繁男) 2 0 0 4 . 0 3 . 1 8 , 段落 [0 0 3 5] , 図 4 (a) (ファミリー無し)	3, 4, 6, 11
Y	J P 8 - 1 8 1 5 3 9 A (東洋通信機株式会社) 1 9 9 6 . 0 7 . 1 2 , 段落 [0 0 1 6] , 図 1 - 8 (ファミリー無し)	7-10, 12, 13, 15, 16
A	E P 2 6 3 9 9 9 3 A 2 (BROADCOM CORPORATION) 2 0 1 3 . 0 9 . 1 8 , 段落 [0 1 7 0] , 図 1 7 C & U S 2 0 1 3 / 0 2 3 5 7 4 4 A 1	1-17
A	Qiang Bai et al., "Generation of Orbital Angular Momentum (OAM) Radio Beams with Phased Patch Array," 2013 Loughborough Antennas and Propagation Conference (LAPC) , November 2013, pp. 410-413	1-17