

(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
2018年11月1日(01.11.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/198873 A1

(51) 国際特許分類:

H04B 10/2575 (2013.01) H04B 10/63 (2013.01)
H04B 10/2537 (2013.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2018/015797

(22) 国際出願日: 2018年4月17日(17.04.2018)

(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 2017-089861 2017年4月28日(28.04.2017) JP

(71) 出願人: 国立大学法人東北大学 (TOHOKU UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 Miyagi (JP).

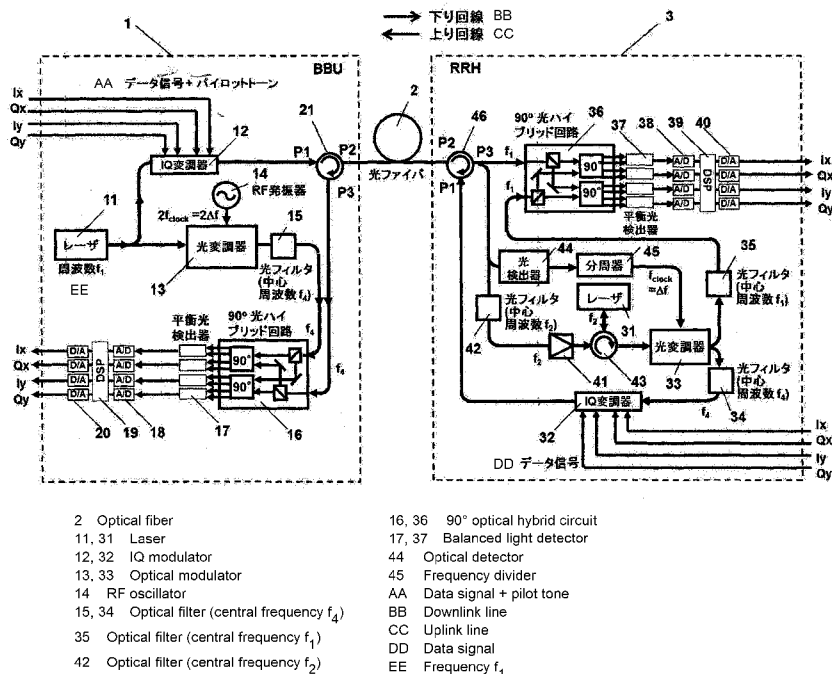
(72) 発明者: 中 沢 正 隆 (NAKAZAWA Masataka);

〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 岩月 勝美 (IWATSUKI Katsumi); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 廣岡 俊彦 (HIROOKA Toshihiko); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 吉田 真人 (YOSHIDA Masato); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 葛西 恵介 (KASAI Keisuke); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP).

(54) Title: OPTICAL TRANSMISSION METHOD AND OPTICAL TRANSMISSION DEVICE

(54) 発明の名称: 光伝送方法および光伝送装置

[図 1]



(57) Abstract: [Problem] To provide a Rayleigh back scattering non-mixing type optical transmission method and optical transmission device which achieve high economy with a simple configuration and have a large loss budget. [Solution] A wireless signal is transmitted between a base station baseband unit 1 and an antenna wireless unit 3 via an optical fiber 2. A laser light source 11 disposed in the base station baseband unit 1 is used as a light source for transmitting a downlink signal to the antenna wireless unit 3 and also used as a station light emitting source for receiving an uplink



(74) 代理人：須田 篤，外 (SUDA Atsushi et al.);
〒9800021 宮城県仙台市青葉区中央二丁目 1
番 3 0 号 須田ビル 5 F Miyagi (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, 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).

規則4.17に規定する申立て：

一 発明者である旨の申立て (規則 4.17(iv))

添付公開書類：

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

signal from the antenna wireless unit 3. A laser light source 31 disposed in the antenna wireless unit 3 is used as a light source for transmitting an uplink signal to the base station baseband unit 1 and also used as a station light emitting source for receiving a downlink signal from the base station baseband unit 1. The uplink signal and the downlink signal are transmitted with mutually different frequencies. In the base station baseband unit 1 and/or the antenna wireless unit 3, optical phase synchronization between signal light and the station light emitting source for reception is performed by an injection synchronization method or by means of an optical phase synchronization loop.

(57) 要約：【課題】簡便な構成で経済性が高く、且つロスバジェットの大きい後方レイリー散乱非混合型の光伝送方法及び光伝送装置を提供する。【解決手段】基地局ベースバンド部1とアンテナ無線部3との間で無線信号を、光ファイバ2を介して伝送させる。基地局ベースバンド部1に配置されたレーザ光源11を、アンテナ無線部3への下り信号の伝送用光源として用いると共に、アンテナ無線部3からの上り信号の受信用局発光源として用いる。アンテナ無線部3に配置されたレーザ光源31を、基地局ベースバンド部1への上り信号の伝送用光源として用いると共に、基地局ベースバンド部1からの下り信号の受信用局発光源として用いる。上り信号と下り信号は互いに異なる周波数で伝送する。基地局ベースバンド部1および／またはアンテナ無線部3で、注入同期法又は光位相同期ループを用いて、信号光と受信用局発光源との光位相同期を行う。

明 細 書

発明の名称：光伝送方法および光伝送装置

技術分野

[0001] 本発明は、光伝送方法及び光伝送装置に関するものである。

背景技術

[0002] スマートフォンの普及とLTE (Long Term Evolution) に代表されるモバイルブロードバンドサービスの進展に伴い、移動通信トラフィックが急増している。このような中、次世代の大容量モバイル通信システムとして第5世代移動通信システム (5 G) の研究開発が国内外で精力的に進められている (例えば、非特許文献1 参照)。

[0003] 本伝送システムでは、伝送制御やベースバンド信号処理を行う基地局ベースバンド部 (BBU: Base Band Unit) を1ヵ所に集約し、アンテナ及び高周波信号処理を担うアンテナ無線部 (RRH: Remote Radio Head) を分散配置するC-RAN (Centralized-Radio Access Network) の適用が検討されている (例えば、非特許文献2 参照)。C-RANの構成ではBBUとRRH間 (モバイルフロントホール) は光ファイバで接続され、アンテナより送受信される無線信号を光波に重畳して伝送する。

[0004] 無線信号を光波に重畳して伝送する手法としては、CPRI (Common Public Radio Interface) によるデジタルRoF (Radio over Fiber) 方式が広く用いられている (例えば、非特許文献3 参照)。デジタルRoFでは、無線信号をデジタル化して光ファイバ伝送するため、一般に無線信号の16倍程度の光伝送帯域が要求される。10 Gbit/s以上の無線通信容量が想定される5 G及びそれ以降の大容量無線アクセスシステムでは、モバイルフロントホールに要求される伝送容量は100 Gbit/s以上となる。

[0005] モバイルフロントホールの大容量化を実現する光伝送方式の一つとして、TWDM-PON (Time and Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network) が検討されている (例えば、非特許文献4 参照)。本方式は、従来の

光アクセスネットワーク技術であるTDM-PONに波長多重伝送技術を適用して大容量化を図るものであり、これまでに10 Gbit/s, 00K (On-Off Keying) 信号を4波多重する40 Gbit/s伝送システムが実現されている（例えば、非特許文献5参照）。

[0006] 一方、近年の光通信では、デジタルコヒーレント方式を用いた大容量光伝送技術が急速に進展している。本伝送においては、無線通信と同様に多値変調が採用されており、高度なデジタル信号処理技術を用いてキャリア位相推定、偏波分離、波形歪の補正および復調処理を行うことが大きな特徴である。これまで、1波長当たり100 Gbit/sの通信容量を有する25 Gbaud, QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 伝送システムが商用化されており、基幹伝送系への導入が始まっている（例えば、非特許文献6参照）。本光伝送においては、データ信号の多値度を増大することによって、波長多重伝送方式を用いることなくシンプルな構成で100 Gbit/sを越える大容量通信を実現することができる。また、低い変調速度でも高速伝送が実現できるため、比較的安価である低速な電子デバイスを用いて伝送系を構築することが可能であり、経済的な面でもメリットが大きい。

[0007] このような特徴から、将来予想される無線アクセスネットワークのさらなる大容量化・高度化に対応するために、モバイルフロントホールにおいてもデジタルコヒーレント光伝送を適用することに高い関心が寄せられている。また、モバイルフロントホールを利用した5 Gなどの移動通信システムに限らず、光ファイバを利用したFTTH (Fiber To The Home) などの一般的な光アクセスネットワークシステムについても、さらなる経済性や効率性の観点から、モバイルフロントホールでの技術を利用できると考えられる。

先行技術文献

非特許文献

[0008] 非特許文献1：箕輪守彦、関宏之、奥村幸彦、須山聡、大高明浩、木村俊二、中津川征士、浅野弘明、市川泰史、平野幸男、山尾泰、安達文幸、中沢正隆、「5 G実現に向けた超高密度マルチバンド・マルチアクセス多層セル構成に

よる大容量化技術の研究開発の概要」、電子情報通信学会、2015年、信学技報、RCS2015-250、pp. 43-48

非特許文献2：清嶋耕平、瀧口貴啓、河辺泰宏、佐々木優輔、「高度化C-RANアーキテクチャを活用したLTE-Advancedの開発」、NTT DCOMOテクニカルジャーナル、2015年、vol. 23、no. 2、pp. 6-10

非特許文献3：CPRI、“Specification 仕様の概略”、[online]、[平成27年11月17日検索]、インターネット〈URL:<http://www.cpri.info/jp/spec.html>〉

非特許文献4：寺田純、桑野茂、鈴木裕生、浅井孝浩、奥野幸彦、大高明浩、「5 Gの実現に向けたモバイル光ネットワーキング技術」、電子情報通信学会、2014年、信学技報、RCS2014-238、pp. 37-41

非特許文献5：K. Taguchi, K. Asaka, M. Fujiwara, S. Kaneko, T. Yoshida, Y. Fujita, H. Iwamura, M. Kashima, S. Furusawa, M. Sarashina, H. Tamai, A. Suzuki, T. Mukojima, S. Kimura, K. Suzuki, and A. Otaka, “First field trial of 40-km reach and 1024-split symmetric-rate 40-Gbit/s λ -tunable WDM/TDM-PON”, Optical Fiber Communication Conference (OFC), 2015, Postdeadline paper Th5A.6

非特許文献6：E. Yamazaki, S. Yamanaka, Y. Kisaka, T. Nakagawa, K. Murata, E. Yoshida, T. Sakano, M. Tomizawa, Y. Miyamoto, S. Matsuoka, J. Matsui, A. Shibayama, J. Abe, Y. Nakamura, H. Noguchi, K. Fukuchi, H. Onaka, K. Fukumitsu, K. Komaki, O. Takeuchi, Y. Sakamoto, H. Nakashima, T. Mizuochi, K. Kubo, Y. Miyata, H. Nishimoto, S. Hirano, and K. Onohara, “Fast optical channel recovery in field demonstration of 100-Gbit/s Ethernet over OTN using real-time DSP”, Opt. Express, 2011, vol. 19, pp. 13179-13184

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 多数のアンテナ（RRHに含まれる）が高密度に配置される5 G伝送システム

においては、効率的かつ経済的なモバイルフロントホール光ネットワークが不可欠となる。そのためには、光伝送系をシンプルに構築することが重要であり、これを構成する光・電子部品の点数を出来るだけ削減することが求められる。

[0010] 経済性、効率性が重要視されるモバイルフロントホール伝送には、多値信号を用いたデジタルコヒーレント伝送方式が好適である。しかしながら、デジタルコヒーレント伝送は、送信用光源に加えて受信側で局発光源が必要であり、上り回線・下り回線の各送受信を合計すると、1チャンネルあたり4台の光源が必要となる。また、多値データ信号を高精度に復調するためには、データ信号と局発光源との高精度な光位相同期技術が不可欠となる。

[0011] モバイルフロントホール光伝送系においては、敷設ファイバ数を削減して経済的な伝送システムを実現するため、一芯の光ファイバに上りと下り両方向の信号を伝送させる一芯双方向伝送方式が用いられる。また、FTTHなどの一般的な光アクセスネットワークシステムでも、経済性や効率性を追求するため、同様の一芯双方向伝送方式が用いられる。このような伝送形態においては、光ファイバ伝送路中で生じる上り・下りそれぞれの信号の後方レイリー散乱光が、反対方向の信号にノイズとして混入する。その結果、ロスバジェットや伝送距離が制限される等、伝送特性が大きく劣化する。

[0012] 本発明は、このような課題を解決するためのものであり、簡便な構成で経済性が高く、且つロスバジェットの大きい後方レイリー散乱非混合型の光伝送方法および光伝送装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0013] かかる目的を達成するために、本発明に係る光伝送方法は、第1の光送受信部と第2の光送受信部との間で上り信号および下り信号を、光ファイバを介して一芯双方向伝送させるための光伝送方法において、前記第1の光送受信部に配置されたレーザ光源を、前記第2の光送受信部への下り信号の伝送用光源として用いると共に、前記第2の光送受信部からの上り信号の受信用局発光源として用い、前記第2の光送受信部に配置されたレーザ光源を、前

記第 1 の光送受信部への上り信号の伝送用光源として用いると共に、前記第 1 の光送受信部からの下り信号の受信用局発光源として用い、前記第 1 の光送受信部および／または前記第 2 の光送受信部において、注入同期法又は光位相同期ループを用いて、前記上り信号と前記上り信号の受信用局発光源との光位相同期、および／または、前記下り信号と前記下り信号の受信用局発光源との光位相同期を行い、前記上り信号と前記下り信号は互いに異なる周波数で伝送することを特徴とする。

[0014] また、本発明に係る光伝送方法において、信号光の送信側でデータ信号にパイロットトーンを重畳し、前記信号光の受信側で前記パイロットトーンを介して前記信号光と前記受信用局発光源との間の位相を同期させ、前記パイロットトーンと前記上り信号および前記下り信号とは互いに異なる周波数で伝送してもよい。

[0015] また、本発明に係る光伝送方法において、信号光の送信側でデータ信号に複数のパイロットトーンを重畳し、前記信号光の受信側で前記複数のパイロットトーンのうち、いずれか 1 本を介して前記信号光と前記受信用局発光源との位相を同期させると共に、前記複数のパイロットトーンのうち、いずれか 2 本を光検出することで前記 2 本のパイロットトーンの差周波電気信号を抽出し、前記差周波電気信号を、前記受信用局発光源に接続され、前記受信用局発光源の出力光を変調する光変調器を駆動する変調信号または光位相同期ループの基準信号として用い、前記複数のパイロットトーンと前記上り信号および前記下り信号とは、互いに異なる周波数で伝送してもよい。

[0016] 本発明に係る光伝送装置は、第 1 の光送受信部と第 2 の光送受信部との間で上り信号および下り信号を、光ファイバを介して一芯双方向伝送させるための光伝送装置において、前記第 1 の光送受信部に配置されたレーザ光源が、前記第 2 の光送受信部への下り信号の伝送用光源であると共に、前記第 2 の光送受信部からの上り信号の受信用局発光源であり、前記第 2 の光送受信部に配置されたレーザ光源が、前記第 1 の光送受信部への上り信号の伝送用光源であると共に、前記第 1 の光送受信部からの下り信号の受信用局発光源

であり、前記第 1 の光送受信部もしくは前記第 2 の光送受信部に配置された前記レーザ光源は、外部から光を注入できる構造を有し、注入同期によって前記上り信号と前記上り信号の受信用局発光源との間の位相もしくは前記下り信号と前記下り信号の受信用局発光源との間の位相を同期するよう構成されている、または、前記第 1 の光送受信部もしくは前記第 2 の光送受信部に、前記上り信号と前記上り信号の受信用局発光源との間の位相もしくは前記下り信号と前記下り信号の受信用局発光源との間の位相を同期させるための電圧制御型発振器及び光位相同期ループが配置されていることを特徴とする。このとき、前記上り信号と前記下り信号とを、互いに異なる周波数で生成するよう構成されていることが好ましい。

[0017] 本発明に係る光伝送装置において、前記第 1 の光送受信部または前記第 2 の光送受信部は、前記上り信号または前記下り信号と共にパイロットトーンを生成する回路と、前記パイロットトーンを介して、前記上り信号と前記上り信号の受信用局発光源とを光位相同期する回路または前記下り信号と前記下り信号の受信用局発光源とを光位相同期する回路とを有し、前記上り信号と前記下り信号と前記パイロットトーンとを、互いに異なる周波数で生成するよう構成されていてもよい。

[0018] また、本発明に係る光伝送装置において、前記第 1 の光送受信部または前記第 2 の光送受信部は、前記上り信号または前記下り信号と共に複数のパイロットトーンを生成する回路と、前記複数のパイロットトーンのうちいずれか 1 本を介して、前記上り信号と前記上り信号の受信用局発光源とを光位相同期する回路または前記下り信号と前記下り信号の受信用局発光源とを光位相同期する回路と、前記複数のパイロットトーンのうちいずれか 2 本を光検出して差周波電気信号を抽出する回路とを有し、前記上り信号と前記下り信号と前記複数のパイロットトーンとを、互いに異なる周波数で生成するよう構成されていてもよい。

[0019] 本発明に係る光伝送方法および光伝送装置で、前記第 1 の光送受信部は、例えば、基地局ベースバンド部または光回線終端装置 (Optical Line Termin

al) から成り、前記第2の光送受信部は、例えば、アンテナ無線部または光回線ネットワーク装置 (Optical Network Unit) から成ることが好ましい。

発明の効果

[0020] 本発明に係る光伝送方法及び光伝送装置は、1台のレーザで送信用光源および局発光源の両方の役割を担わせ、光位相同期の位相基準信号として、例えばパイロットトーンを信号光と共に伝送することにより、光源を有効利用できると同時に、受信器での位相同期を光回路で実現することができる。また、上り信号および下り信号を（光位相同期用のパイロットトーンを用いる場合にはパイロットトーンも）互いに異なる光周波数で伝送することによって、後方レイリー散乱光による伝送性能の劣化を抑制し、ロスバジェットの大きい長距離双方向伝送を実現することができる。これにより、簡便な構成で且つ経済性の高い、後方レイリー散乱非混合型の光伝送方法および光伝送装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]本発明の第1の実施形態における光伝送装置（ホモダイン方式）を示すブロック構成図である。

[図2]本発明の第1の実施形態における光伝送装置の、（a）下り信号の周波数配置、（b）上り信号の周波数配置を示す説明図である。

[図3]本発明の第1の実施形態における光伝送装置の、伝送実験の実験系を示すブロック図である。

[図4]図3に示す伝送実験における、（a）BBU1からRRH3へ伝送する下り信号の光スペクトル、（b）RRH3からBBU1へ伝送する上り信号の光スペクトル、（c）伝送後の下り信号の光スペクトル、（d）伝送後の上り信号の光スペクトルである。

[図5]図3に示す伝送実験における、（a）光ファイバ伝送後の下り信号の256 QAMコンスタレーション、（b）光ファイバ伝送後の上り信号の256 QAMコンスタレーションである。

[図6]本発明の第2の実施の形態における光伝送装置（ヘテロダイン方式）を

示すブロック構成図である。

[図7]本発明の第3の実施の形態における光伝送装置（ホモダイン方式）を示すブロック構成図である。

[図8]本発明の第3の実施の形態における光伝送装置の、ヘテロダイン方式を用いる変形例を示すブロック構成図である。

[図9]本発明の第4の実施の形態における光伝送装置（ホモダイン方式）を示すブロック構成図である。

[図10]本発明の第4の実施の形態における光伝送装置の、ヘテロダイン方式を用いる変形例を示すブロック構成図である。

[図11]本発明の第5の実施の形態における光伝送装置を示すブロック構成図である。

[図12]図11に示す光伝送装置の、（a）下り信号の周波数配置、（b）上り信号の周波数配置を示す説明図である。

[図13]本発明の第6の実施の形態における光伝送装置を示すブロック構成図である。

発明を実施するための形態

[0022] 以下、図面に基いて、本発明の実施の形態について説明する。

以下に示す第1～第6の本発明の実施の形態は、デジタルコヒーレント光伝送技術ならびに光アクセスネットワークを用いて、第1の光送受信部と第2の光送受信部との間で高速な無線信号を、一芯の光ファイバを介して長距離双方向伝送させるための光伝送方法および光伝送装置を示している。

[0023] 以下に示す第1～第6の本発明の実施の形態では、第1の光送受信部が基地局ベースバンド部（BBU）から成り、第2の光送受信部がアンテナ無線部（RRH）から成っており、5Gなどの移動通信システムで利用されるモバイルフロントホール伝送を行うための光伝送方法および光伝送装置を示している。

しかし、これらの本発明の実施の形態は、基地局ベースバンド部（BBU）を光回線終端装置とし、アンテナ無線部（RRH）を光回線ネットワーク装置とすることにより、5Gなどの移動通信システムだけでなく、FTTHなどの一般的な

光アクセスネットワークシステムにも適用可能である。

[0024] なお、コヒーレント伝送における受信方式には、ホモダイン検波とヘテロダイン検波とがある。具体的には、信号光と局発光の周波数が等しい場合をホモダイン検波、異なる場合をヘテロダイン検波と呼ぶ。ホモダイン方式は、中間周波数帯にダウンコンバートした際、その帯域がヘテロダイン方式に比べて半分となり、それに伴い雑音帯域も半分となるため、受信感度がヘテロダイン方式より3 dB改善される。また、光検出器の帯域に関しても、ヘテロダイン方式では信号帯域に加え、セルフビート信号の分だけ広くとる必要があるのに対して、ホモダイン方式では信号帯域の半分だけで良い。一方、ホモダイン方式は、局発光の周波数だけではなく位相も安定化させるために、高精度な位相同期が必要となる。

[0025] [第1の実施形態]

本発明の第1の実施形態における光伝送装置の構成を、図1に示す。本実施形態では、コヒーレント検波としてホモダイン方式を用いる。基地局においてベースバンド信号処理を行う基地局ベースバンド部（以下、BBUと称する）1は、レーザ光源11、I/Q変調器12、光変調器13、RF発振器14、光フィルタ15、90度光ハイブリッド回路16、平衡光検出器17、A/D変換器18、デジタル信号処理回路（DSP: Digital Signal Processor）19、D/A変換器20、光サーキュレータ21を備える。一方、アンテナ及び高周波信号処理を担うアンテナ無線部（以下、RRHと称する）3は、レーザ光源31、I/Q変調器32、光変調器33、光フィルタ34及び35、90度光ハイブリッド回路36、平衡光検出器37、A/D変換器38、デジタル信号処理回路（DSP: Digital Signal Processor）39、D/A変換器40、光増幅器41、光フィルタ42、光サーキュレータ43、光検出器44、分周器45、光サーキュレータ46を備える。なお、光サーキュレータ21、43、46は、ポート1（P1）へ入射された信号光をポート2（P2）へ出力し、ポート2（P2）へ入射された信号光をポート3（P3）へ出力するようになっている。

[0026] f_1 [Hz]の光周波数で発振するレーザ光源 1 1 の出力光は、2分岐され、一方はBBU 1 からRRH 3 への下り回線用の信号光として、もう一方はRRH 3 からBBU 1 へ伝送してきた上り信号の受信に必要な局発光として、それぞれ用いる。前者は、I/Q変調器 1 2 によってデータ変調される。ここでI/Q変調器 1 2 は、ベースバンド信号 I_x , Q_x , I_y , Q_y で駆動され、偏波多重機能を備えている。あるいは2台のI/Q変調器 1 2 を用い、1台を I_x , Q_x 、もう1台を I_y , Q_y でデータ変調し、その後両者を偏波多重させてもよい。ベースバンド信号は、必要に応じて高周波増幅器で増幅された後、I/Q変調器 1 2 に供給されてもよい。ここで、データ信号から $\pm \Delta f$ [Hz]だけ離れた周波数にパイロットトーン 1 およびパイロットトーン 2 の2本の信号を立てておく。その結果、信号光は、周波数 f_1 [Hz]のデータ信号および周波数 f_2 [Hz]、 f_3 [Hz]の2本パイロットトーンで構成される。下り信号のデータとパイロットトーンの周波数配置を、図 2 (a) に示す。ここでは、 f_1 より Δf [Hz]だけ低周波数側の信号をパイロットトーン 1 (f_2)、高周波数側の信号をパイロットトーン 2 (f_3)としている。

[0027] パイロットトーンが重畳された信号光は、光サーキュレータ 2 1 のポート 1 (P 1) へ入射される。光サーキュレータ 2 1 のポート 2 より出力された信号光は、光ファイバ伝送路 2 を伝搬し、RRH 3 で受信される。RRH 3 では、伝送後の信号は、まずサーキュレータ 4 6 のポート 2 に入射され、ポート 3 より受信部へ出力される。2分岐された信号光の一方は、90度光ハイブリッド回路 3 6 および平衡光検出器 3 7 で構成されるホモダイン検波回路へ入力される。もう一方は、光フィルタ 4 2 によってパイロットトーンが抽出され、これを必要に応じて光増幅器 4 1 で増幅した後、光サーキュレータ 4 3 のポート 1 (P 1) へ入力し、ポート 2 (P 2) からレーザ光源 3 1 に注入する。パイロットトーンが十分なパワーを有し、且つその周波数がレーザ光源 3 1 の発振周波数に十分近いとき（正確には、パイロットトーンのパワー及び周波数が、レーザ光源 3 1 のロッキングレンジの範囲にあるとき）、注入同期現象により、レーザ光源 3 1 の位相はパイロットトーンの位相、即ち

下り信号光の位相に同期する。注入同期に用いるパイロットトーンは、パイロットトーン1、パイロットトーン2のいずれでも構わないが、ここではパイロットトーン1 (f_2 [Hz]) にレーザ光源31が注入同期するとして以降の動作を説明する。

[0028] 注入同期され、 f_2 [Hz]の光周波数で発振するレーザ光源31の出力は f_{clock} ($=\Delta f$) [Hz]のRF信号で駆動される光変調器33に入力される。ここで光強度または光位相変調を行うことで、 f_{clock} [Hz]間隔の複数のCW (Continuous Wave) 光が光周波数軸上に並ぶ光コム信号が生成される。 f_{clock} [Hz]のRF信号は、伝送されてきたパイロットトーン1とパイロットトーン2とを光検出器44に入力し、本光検出器44より出力される周波数 $2f_{\text{clock}}$ ($=f_3-f_2$) [Hz]のヘテロダインビート電気信号を、分周器45を用いて1/2分周することで得られる。生成された光コム信号を2分岐し、一方では、光フィルタ34を介して周波数 f_4 ($=f_2-\Delta f$) [Hz]のCW光を一本抽出し、これをRRH3からBBU1への上りの信号光として用いる。もう一方では、光フィルタ35を介して周波数 f_1 [Hz]のCW光を一本抽出し、これを局発光として下り信号光とともに、90度光ハイブリッド回路36および平衡光検出器37で構成されるホモダイン検波回路へ入力する。ホモダイン検波された信号は、A/D変換器38でデジタル信号に変換され、DSP回路39で偏波分離、復調、適応等化等の信号処理を行った後、D/A変換器40で再びアナログ信号へ変換され、データ信号 I_x , Q_x , I_y , Q_y が出力される。

[0029] 一方、上り信号については、RRH3において、BBU1と同様に、レーザ光源31の出力をIQ変調器32によってデータ変調および偏波多重する。なお、このとき、データ信号にはパイロットトーンを重畳させなくてよい。上り信号のデータとパイロットトーンの周波数配置を、図2(b)に示す。

[0030] 信号光は、光ファイバ伝送路2を伝搬し、BBU1で受信される。BBU1では、レーザ光源11から分岐された周波数 f_1 [Hz]の光を、 $2f_{\text{clock}}$ [Hz]の電気信号で駆動される光変調器13へ入射し、光強度または光位相変調を行う。ここで、 $2f_{\text{clock}}$ [Hz]の電気信号としては、下りのベースバンド信号を生成する際に

使用されるクロック信号を通倍して用いてもよい。光変調によって生成された $2f_{\text{clock}}$ [Hz]間隔の光コム信号より、光フィルタ 15 を用いて周波数 f_4 [Hz]のCW光を一本抽出し、本信号をBBU 1 における局発光として用いる。本信号を上り信号 (f_4 [Hz]) と共に、90度光ハイブリッド回路 16 および平衡光検出器 17 で構成されるホモダイン検波回路へ入力する。ホモダイン検波された信号は、A/D変換器 18 でデジタル信号に変換され、DSP回路 19 で偏波分離、復調、適応等化等の信号処理を行った後、D/A変換器 20 で再びアナログ信号へ変換され、データ信号 I_x , Q_x , I_y , Q_y が出力される。

[0031] 本実施形態では2つのレーザ光源 11、31は、RRH 3における注入同期によって互いに位相同期されているため、BBU 1においては、光位相同期回路は不要である。しかしながら、コヒーレント検波を行う際、90度光ハイブリッド回路 16 または36へ入力される信号光および局発光は、それぞれ異なる光路を通るため、光路長の変動に伴って（例えば温度変化に伴う光ファイバ長の変動）、データ信号と局発光間の位相はゆっくりとした速度で僅かに変動する。このような低速な位相ドリフト変動は、受信部のDSP 19 または39にて補正を行う。

[0032] 本実施形態においては、BBU 1 からRRH 3へ伝送する下り信号 (f_1 [Hz])、パイロットトーン 1 (f_2 [Hz])、パイロットトーン 2 (f_3 [Hz]) と、RRH 3 からBBU 1へ伝送する上り信号 (f_4 [Hz]) をそれぞれ異なる周波数に割り当てている。そのため、これらの信号を伝送した際に光ファイバ伝送路中で生じるそれぞれの信号の後方レイリー散乱光は、前方へ伝搬するそれぞれの信号光にノイズとしての混入することがない。例えば、RRH 3 からBBU 1 へ向けて伝送した上り信号 (f_4 [Hz]) の後方レイリー散乱光がRRH 3 の受信部へ戻って来ても、BBU 1 からRRH 3へ伝送されてきた下り信号 (f_1 [Hz])、パイロットトーン 1 (f_2 [Hz]) およびパイロットトーン 2 (f_3 [Hz]) と周波数的に互いに重なることがないため、パイロットトーン 1 (f_2 [Hz]) のレーザ光源 31 への注入同期動作や下り信号 (f_1 [Hz]) の復調に影響を及ぼすことはない。

[0033] [第1の実施形態で行った伝送実験の実施例]

第1の実施形態で行った、80 Gbit/s、偏波多重5 Gbaud、256 QAM (Quadrature Amplitude Modulation)信号のSMF (Single Mode Fiber) 26 km双方向伝送実験について説明する。

[0034] 伝送系の構成を示すブロック図を、図3に示す。なお、本図において、図1と同じ構成要素には同じ符号を付している。本伝送実験では、BBU1において、レーザ光源11として波長 $1.55\ \mu\text{m}$ で発振する（光周波数 f_1 [Hz]とする）線幅8 kHzのCW半導体レーザを用いた。I、Qベースバンドデータ信号は、サンプリング速度65 GS/sのDAC (Digital Analogue Converter) とDSP回路とから成る任意波形生成装置22を用いて生成した。本装置から出力される5 Gbaud、256 QAMベースバンド信号と、12 GHz ($=\Delta f=f_{\text{clock}}$) の正弦波信号（パイロットトーン信号として用いる）とをI/Q変調器12へ入力してレーザ光源11の出力光を変調し、5 Gbaud、256 QAMデータ信号 (f_1 [Hz]) と、 f_2 [Hz] および f_3 [Hz]の2本のパイロットトーンを生成している。ここで、任意波形生成装置22から出力される256 QAMデータ信号には、ロールオフ率が0.2のroot raised cosine Nyquist filterを施しており、その帯域を3 GHzに狭窄化している。偏波多重には、偏波ビームスプリッタと遅延回路とで構成される光回路から成る偏波多重回路23を用いた。生成した80 Gbit/s、偏波多重5 Gbaud、256 QAM信号と2本のパイロットトーンは、-5 dBmの伝送パワーで、光ファイバ2として用いた長さ26 kmのSMFを伝搬しRRH3へ到達する。なお、本実施例におけるデータ信号とパイロットトーンの周波数関係は、図2 (a) と等しい。

[0035] RRH3では、まず周波数 f_2 [Hz]のパイロットトーン信号を光フィルタ42で抽出し、これをレーザ光源31へ入射して注入同期を行うことで、レーザ光源31を下りのデータ信号に位相同期する。レーザ光源31としては、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ 帯で発振する線幅200 kHz程度のCW半導体レーザを用いた。本実験では、およそ0.3度の位相雑音でデータ信号と局発光源との位相同期を行っている。256 QAM信号の場合、最隣接するシンボル間の位相差として求められる許容位相雑音は、およそ2度である。したがって、本実験における注入同期回

路は、256 QAM信号を復調するに十分な性能を有している。注入同期によって f_2 [Hz] で発振するレーザ光源 3 1 の出力光を、 Δf [Hz] の正弦波で駆動される光変調器 3 3 に入射し、光変調によってサイドバンドの生成を行っている。本実験では、光変調器 3 3 として LN (LiNbO_3) 光強度変調器を用いたが、LN 光位相変調器や SSB (Single Side-Band) 変調器を用いても良い。また、第 1 の実施形態では、 Δf [Hz] のクロック信号は 2 本のパイロットトーンのヘテロダインビート信号から生成しているが、本実験では簡単のため、RF 発振器 4 7 を用いて生成した。 f_2 [Hz] から 12 GHz ($=\Delta f$ [Hz]) 低い周波数側 (f_4 [Hz]) および高い周波数側 (f_1 [Hz]) のサイドバンドを、光フィルタ 3 4 および 3 5 を用いて抽出し、それぞれを上り信号の光キャリア、下りのデータ信号をホモダイン検波する局発光として用いている。ホモダイン検波された下りのデータ信号は、40 GS/s のサンプリング速度で A/D 変換され、その後 DSP 3 9 を用いてオフラインで復調される。なお、90 度光ハイブリッド回路 3 6 へ入力する信号光と局発光とが異なる光路を通ることに起因するホモダイン検波信号の低速な位相変動は、DSP 3 9 内で補正を行っている。

[0036] RRH 3 における上り信号生成部では、下りのデータ信号と同様の方法で偏波多重 5 Gbaud、256 QAM 信号を生成し、-5 dBm の伝送パワーで、26 km の SMF を BBU 1 側へ伝送する。BBU 1 の受信部では、レーザ光源 1 1 から分岐された周波数 f_1 [Hz] の光を、光変調器 1 3、発振器 1 4、光フィルタ 1 5 から成る光周波数シフタによって f_4 [Hz] に変換し、これを局発光として用いて、下りの信号光をホモダイン検波する。ここで、発振器 1 4 の代わりとして、任意波形生成装置 2 2 を駆動する基準クロック信号源を用いてもよい。検波後の信号は、40 GS/s のサンプリング速度の A/D 変換器 1 7 でデジタル化され、その後 DSP 1 9 を用いてオフラインで復調される。BBU 1 においても、信号光と局発光とが異なる光路を通ることに起因するホモダイン検波信号の位相変動が生じるが、これは DSP 1 9 内で補正している。

[0037] 図 4 (a) および (b) は、それぞれ BBU 1 から送信される下り信号および RRH 3 から送信される上り信号の光スペクトルである。これらはそれぞれ、図

1のサーキュレータ21のP2またはサーキュレータ46のP2からの出力光を測定したものである。図のように本実験では、 $f_1 \sim f_4$ [Hz]のそれぞれ異なる光周波数に、上り信号、下り信号および2本のパイロットトン信号を割り当てて伝送している。図4(c)および(d)は、SMFを26 km双方向伝送した後の下り信号および上り信号の光スペクトルであり、それぞれ、図1のサーキュレータ46のP3またはサーキュレータ21のP3からの出力光を測定した結果である。本図から、光ファイバ伝送路中で生じた上りおよび下り信号の後方レイリー散乱光が、前方へ伝送したそれぞれの信号に混入している様子がわかる。例えば、図4(c)では、RRH3へ伝送された下り信号にRRH3よりBBU1へ向けて送信した上り信号(f_4 [Hz])の後方レイリー散乱光が混入していることがわかる。なお、本実験では、光サーキュレータ21および46のP1からP3への漏れ光量(クロストーク)は十分に小さいことを確認している。

[0038] 図5に光ファイバ伝送後の偏波多重5 Gbaud、256 QAM信号の復調結果を示す。図5(a)および(b)は、それぞれ下り信号および上り信号のコンスタレーションである。いずれの結果も8ビットの情報を有する各シンボル点が明確に分離できており、ビット情報を正確に復調できていることがわかる。

[0039] 本実施例において、例えばRRH3で生成する上り信号の周波数を、下りのデータ信号と同じ f_1 [Hz]で生成して伝送すると、上り、下りいずれのデータ信号も復調することが出来なくなる。これは、下り、上りそれぞれの信号の後方レイリー散乱光が互いにノイズとして前方へ伝搬した復調対象となるデータ信号光に混入し、データ信号のS/N (Signal-to-Noise Ratio)を劣化させるためである。また、上り信号の周波数を下り信号のパイロットトン2と同じ f_3 [Hz]として伝送させた場合には、下りのデータ信号の復調が不可となる。この場合は、上り信号の後方レイリー散乱光が前方へ伝搬したパイロットトン2へノイズとして混入し、RRH3においてレーザ光源31の注入同期特性を大きく劣化させるためである。

[0040] 以上のように、上り、下り信号を互いに異なる周波数に割り当て、且つ光

注入同期によってデータと局発光との位相同期を行う本発明に係る伝送方式を用いることにより、簡便な伝送系で大容量モバイルフロントホールを実現することが出来る。

[0041] [第2の実施形態]

本発明の第2の実施形態における光伝送装置の構成を、図6に示す。本構成は、図1とほぼ同一であるため、図1と同じ構成要素には同じ符号を付して重複する説明を省略する。また、本実施形態における上り信号、下り信号の周波数配置は、図2と同じである。本構成では、BBU1およびRRH3における局発光は、それぞれレーザ光源11および31の出力の周波数が f_2 [Hz]となるように周波数シフトした後、ヘテロダイン検波回路24に供給される。即ち、BBU1では、信号光および局発光の周波数がそれぞれ f_4 [Hz]、 f_2 [Hz]、RRH3ではそれぞれ f_1 [Hz]、 f_2 [Hz]となり、IF (Intermediate Frequency) 信号の周波数が Δf [Hz]となるヘテロダイン検波を行っている。

[0042] 本構成では、コヒーレント検波回路の構成が簡便化できるため、部品点数が削減され、コストが低減できる。その一方で、ヘテロダイン検波方式は、ホモダイン検波に比べて受信感度が3 dB劣化するため、ロスバジェットの確保に注意を要する。

[0043] [第3の実施形態]

本発明の第3の実施形態における光伝送装置の構成を、図7に示す。本構成は、光位相同期の手法として、注入同期ではなくOVC0 (Optical Voltage Controlled Oscillator) 方式に基づいた光位相同期ループ (OPLL: Optical Phase-Locked Loop) を用いる。また、本実施形態における上り信号、下り信号の周波数配置は、図2と同じである。BBU1の構成は、第1の実施形態と同じであるため、説明を省略する。RRH3では、狭帯域電気フィルタ48、ミキサ49、フィードバック回路50、RF帯電圧制御型発振器 (RF-VC0: Voltage Controlled Oscillator) 51、光変調器33で構成されるOPLL回路を備える。

[0044] 下り信号をRRH3でホモダイン検波するには、まず平衡光検出器37より出

力されるレーザ光源 31 とパイロットトーン 1 とのヘテロダインビート信号（IF 信号）を、狭帯域電気フィルタ 48 を用いて抽出する。IF 信号の位相は、ミキサ（DBM: Double Balanced Mixer）49 において、下り信号の 2 本のパイロットトーンから生成されるクロック信号（ f_{clock} [Hz]）の位相と比較され、その差が誤差電圧信号として検出される。この誤差信号を、フィードバック回路（ループフィルタ）50 を介して RF-VC0 51 に帰還することにより、IF 信号は常にクロック信号と同期した高安定な信号となる。最後に、レーザ光源 31 の出力光を、RF-VC0 51 からの出力信号（ f_{clock} [Hz]）で駆動される光変調器 33 によって光強度または光位相変調し、周波数 f_1 [Hz] のサイドバンド 1 本を光フィルタ 35 で抽出し、これを局発光として用いる。また、光フィルタ 34 を介して周波数 f_4 [Hz] のサイドバンドを 1 本抽出し、これを RRH 3 から BBU 1 への上りの信号光として用いる。ここで、光変調器 33 としては、LN 強度変調器、LN 位相変調器、SSB 変調器などを用いてよい。

[0045] 本実施形態では、2 つのレーザ光源 11、31 は、RRH 3 における OPLL 回路によって互いに位相同期されているため、BBU 1 においては、光位相同期回路は不要である。しかしながら、90 度光ハイブリッド回路 16 へ入射される信号光と局発光とがそれぞれ異なる光路を通ることに起因する、ホモダイン検波信号の低速な位相揺らぎは、DSP 19 にて補正を行う。

[0046] 本実施形態において、コヒーレント検波としてヘテロダイン方式を用いる場合の構成を、図 8 に示す。尚、本変形例では、図 6 と同じ構成要素には同じ符号を付して重複する説明を省略する。本構成では、BBU 1 における光フィルタ 15 の中心周波数と RRH 3 における光フィルタ 35 の中心周波数とを f_2 [Hz] に設定し、光変調器 13 および 33 を用いて、レーザ光源 11、31 の出力の周波数が f_2 [Hz] となるように周波数シフトする。これを、局発光としてヘテロダイン検波回路 24 に供給する。

[0047] [第 4 の実施形態]

本発明の第 4 の実施形態における光伝送装置の構成を、図 9 に示す。本構成は、第 3 の実施形態（図 7）において、OPLL の機能の一部をデジタル信号

処理で実現したものである。具体的には、RRH 3 においては光検出器 4 4、分周器 4 5、狭帯域電気フィルタ 4 8、ミキサ 4 9 の 4 つのアナログ回路で実現していた位相比較を DSP 3 9 上で行い、得られた誤差信号（デジタル信号）を D/A 変換器 4 0 によって D/A 変換し、フィードバック回路 5 0 を介して RF-VC0 5 1 に帰還させている。これにより、図 7 と比較して、構成を簡素化することができる。なお、図 9 はホモダイン方式の例を示しているが、本実施形態においても、第 3 の実施形態の変形例（図 8 参照）と同様に、図 1 0 のようにヘテロダイン方式で構成することも可能である。

[0048] [第 5 の実施形態]

本発明の第 5 の実施形態における光伝送装置の構成を、図 1 1 に示す。本実施形態では、1 台の BBU 1 に N 台の RRH 3 が接続されている場合を想定している。そのため、BBU 1 は、各 RRH 3 へ送信するための N 台の送信器と、各 RRH 3 からの上り信号を受信するための N 台の受信器を備えている。同図では各送受信器の構成を簡素化して示しているが、具体的には第 1 ～第 4 のいずれかの実施形態で示したものを用いればよい。

[0049] 本構成では、各 RRH 3 に異なる周波数を割り当て、光ファイバ伝送路 2 中を波長多重（WDM: Wavelength Division Multiplexing）伝送させている。その周波数配置の一例を、図 1 2 に示す。ここでは $2\Delta f$ [Hz] 間隔の WDM グリットを定義し、偶数番目の周波数チャネル ($f_2, f_4, \dots, f_{(2N)}$, N は自然数) に上り信号を割り当てている。例えば、 Δf [Hz] は、データ信号の変調周波数と等しくてもよい。一方、下りのデータ信号は、奇数番目の周波数チャネル ($f_1, f_3, \dots, f_{(2N-1)}$, N は自然数) に割り当てて伝送する。また、WDM グリットとは絶対周波数が Δf [Hz] だけ異なる周波数間隔 $2\Delta f$ [Hz] の WDM グリットを定義し ($f_1', f_2', \dots, f_N'$, N は自然数とする)、ここに下り信号のパイロットトーンを割り当てている。

[0050] 下り信号は、N 台の送信器から WDM 合波器 4 で合波され、光ファイバ伝送路 2 を WDM 伝送し、パワースプリッタ 6 で N 台の RRH 3 に分配される。各 RRH 3 では、中心周波数が $f_1, f_3, \dots, f_{(2N-1)}$ に設定された光フィルタ 7 によって所望の WD

M信号を選択し、コヒーレント検波回路8aで受信する。各RRH3は、周波数 f_2 , f_4 , $\dots$, $f_{(2N)}$ のレーザ光源31を備えており、コヒーレント検波回路8aは、第1～第4の実施形態で示したいずれかの方法で構成する。コヒーレント検波回路8aは、例えば、図1に示す第1の実施形態の、光変調器33、光フィルタ34及び35、90度光ハイブリッド回路36、平衡光検出器37、A/D変換器38、デジタル信号処理回路(DSP: Digital Signal Processor)39、D/A変換器40、光増幅器41、光フィルタ42、光サーキュレータ43、光検出器44、分周器45で構成することができる。光フィルタ7を省略し、コヒーレント検波回路8aにおいてWDM信号の選択と復調とを同時に行うことも可能である。

[0051] 一方、上り信号は、N台のRRH3からパワースプリッタ6で合波され、光ファイバ伝送路2をWDM伝送し、BBU1中のWDM分波器5でN個の異なる周波数に分離される。各受信器では、レーザ光源11を局発光源として用い、第1～第4の実施形態で示したいずれかの方法によりコヒーレント検波を行う。この場合のコヒーレント検波回路8bは、例えば、図1に示す第1の実施形態の、光変調器13、RF発振器14、光フィルタ15、90度光ハイブリッド回路16、平衡光検出器17、A/D変換器18、デジタル信号処理回路(DSP: Digital Signal Processor)19、D/A変換器20で構成することができる。

[0052] [第6の実施形態]

本発明の第6の実施形態における光伝送装置の構成を、図13に示す。本構成は、第5の実施形態(図11)において、下り信号の各RRH3への分配をパワースプリッタ6の代わりにWDM分波器9で行っており、各RRH3へは波長ごとに分離された信号が送られる。その結果、各RRH3は、光フィルタ7等の波長選択素子が不要となる。

[0053] 尚、以上の各実施形態においては、パイロットトーンを2本用いる場合を例示したが、これに代えて、信号光の送信側でデータ信号に3本以上のパイロットトーンを重畳し、信号光の受信側でこれらのパイロットトーンのうち

、いずれか1本を介して信号光と受信用局発光源との位相を同期させると共に、これらのパイロットトーンのうち、いずれか2本を光検出することで当該2本のパイロットトーンの差周波電気信号を抽出し、当該差周波電気信号を、受信用局発光源の出力光を変調する光変調器を駆動する変調信号や光位相同期ループの基準信号として用いてもよい。この場合、これらのパイロットトーンと上り信号および下り信号とは、互いに異なる周波数で伝送される。あるいは、信号光の送信側でデータ信号に単一のパイロットトーンを重畳し、信号光の受信側でこのパイロットトーンを介して信号光と受信用局発光源との位相を同期させると共に、受信用局発光源の出力光を変調する光変調器を駆動する変調信号や光位相同期ループの基準信号は、別途用意した発振器により発生させてもよい。この場合、このパイロットトーンと上り信号および下り信号とは、互いに異なる周波数で伝送される。

産業上の利用可能性

[0054] 以上詳細に説明したように、本発明は、モバイルフロントホールにおいて、BBUとRRHとの間で無線信号を、光ファイバを介して大きなロスバジェットで長距離双方向伝送するための後方レイリー散乱非混合型の光伝送方法および光伝送装置を提供することができる。本発明は、その光伝送方式としてデジタルコヒーレント伝送技術を用いることを特徴とし、そのコヒーレンスの点で無線信号と高い親和性を有することから、効率的且つ経済性の高い光・無線アクセスネットワークを実現できる。また、本発明は、光ファイバを利用したFTTHなどの一般的な光アクセスネットワークシステムでも、利用することができる。

符号の説明

[0055] 1 基地局ベースバンド部 (BBU)

1 1 レーザ光源

1 2 I/Q変調器

1 3 光変調器

1 4 (RF) 発振器

- 1 5 光フィルタ
- 1 6 90度光ハイブリッド回路
- 1 7 平衡光検出器
- 1 8 A/D変換器
- 1 9 デジタル信号処理回路 (DSP)
- 2 0 D/A変換器
- 2 1 光サーキュレータ
- 2 2 任意波形生成装置
- 2 3 偏波多重回路
- 2 4 ヘテロダイン検波回路
- 2 光ファイバ伝送路
- 3 アンテナ無線部 (RRH)
 - 3 1 レーザ光源
 - 3 2 I/Q変調器
 - 3 3 光変調器
 - 3 4 光フィルタ
 - 3 5 光フィルタ
 - 3 6 90度光ハイブリッド回路
 - 3 7 平衡光検出器
 - 3 8 A/D変換器
 - 3 9 デジタル信号処理回路 (DSP)
 - 4 0 D/A変換器
 - 4 1 光増幅器
 - 4 2 光フィルタ
 - 4 3 光サーキュレータ
 - 4 4 光検出器
 - 4 5 分周器
 - 4 6 光サーキュレータ

- 4 7 RF発振器
- 4 8 狭帯域電気フィルタ
- 4 9 ミキサ
- 5 0 フィードバック回路
- 5 1 RF帯電圧制御型発振器 (RF-VC0)
- 4 WDM合波器
- 5 WDM分波器
- 6 パワースプリッタ
- 7 光フィルタ
- 8 a, 8 b コヒーレント検波回路
- 9 WDM分波器

請求の範囲

[請求項1] 第1の光送受信部と第2の光送受信部との間で上り信号および下り信号を、光ファイバを介して一芯双方向伝送させるための光伝送方法において、

前記第1の光送受信部に配置されたレーザ光源を、前記第2の光送受信部への下り信号の伝送用光源として用いると共に、前記第2の光送受信部からの上り信号の受信用局発光源として用い、

前記第2の光送受信部に配置されたレーザ光源を、前記第1の光送受信部への上り信号の伝送用光源として用いると共に、前記第1の光送受信部からの下り信号の受信用局発光源として用い、

前記第1の光送受信部および／または前記第2の光送受信部において、注入同期法又は光位相同期ループを用いて、前記上り信号と前記上り信号の受信用局発光源との光位相同期、および／または、前記下り信号と前記下り信号の受信用局発光源との光位相同期を行い、

前記上り信号と前記下り信号は互いに異なる周波数で伝送することを

特徴とする光伝送方法。

[請求項2] 信号光の送信側でデータ信号にパイロットトーンを重畳し、
前記信号光の受信側で前記パイロットトーンを介して前記信号光と前記受信用局発光源との位相を同期させ、

前記パイロットトーンと前記上り信号および前記下り信号とは、互いに異なる周波数で伝送することを

特徴とする請求項1記載の光伝送方法。

[請求項3] 信号光の送信側でデータ信号に複数本のパイロットトーンを重畳し、
前記信号光の受信側で前記複数のパイロットトーンのうち、いずれか1本を介して前記信号光と前記受信用局発光源との位相を同期させると共に、

前記複数のパイロットトーンのうち、いずれか2本を光検出することで前記2本のパイロットトーンの差周波電気信号を抽出し、前記差周波電気信号を、前記受信用局発光源に接続され、前記受信用局発光源の出力光を変調する光変調器を駆動する変調信号または光位同期ループの基準信号として用い、

前記複数のパイロットトーンと前記上り信号および前記下り信号とは、互いに異なる周波数で伝送することを

特徴とする請求項1記載の光伝送方法。

[請求項4] 前記第1の光送受信部は、基地局ベースバンド部または光回線終端装置から成り、

前記第2の光送受信部は、アンテナ無線部または光回線ネットワーク装置から成ることを

特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の光伝送方法。

[請求項5] 第1の光送受信部と第2の光送受信部との間で上り信号および下り信号を、光ファイバを介して一芯双方向伝送させるための光伝送装置において、

前記第1の光送受信部に配置されたレーザ光源が、前記第2の光送受信部への下り信号の伝送用光源であると共に、前記第2の光送受信部からの上り信号の受信用局発光源であり、

前記第2の光送受信部に配置されたレーザ光源が、前記第1の光送受信部への上り信号の伝送用光源であると共に、前記第1の光送受信部からの下り信号の受信用局発光源であり、

前記第1の光送受信部もしくは前記第2の光送受信部に配置された前記レーザ光源は、外部から光を注入できる構造を有し、注入同期によって前記上り信号と前記上り信号の受信用局発光源との間の位相もしくは前記下り信号と前記下り信号の受信用局発光源との間の位相を同期するよう構成されている、または、前記第1の光送受信部もしくは前記第2の光送受信部に、前記上り信号と前記上り信号の受信用局

発光源との間の位相もしくは前記下り信号と前記下り信号の受信用局発光源との間の位相を同期させるための電圧制御型発振器及び光位相同期ループが配置されていることを

特徴とする光伝送装置。

[請求項6]

前記第1の光送受信部または前記第2の光送受信部は、前記上り信号または前記下り信号と共にパイロットトーンを生成する回路と、前記パイロットトーンを介して、前記上り信号と前記上り信号の受信用局発光源とを光位相同期する回路または前記下り信号と前記下り信号の受信用局発光源とを光位相同期する回路とを有し、

前記上り信号と前記下り信号と前記パイロットトーンとを、互いに異なる周波数で生成するよう構成されていることを

特徴とする請求項5記載の光伝送装置。

[請求項7]

前記第1の光送受信部または前記第2の光送受信部は、前記上り信号または前記下り信号と共に複数のパイロットトーンを生成する回路と、前記複数のパイロットトーンのうちいずれか1本を介して、前記上り信号と前記上り信号の受信用局発光源とを光位相同期する回路または前記下り信号と前記下り信号の受信用局発光源とを光位相同期する回路と、前記複数のパイロットトーンのうちいずれか2本を光検出して差周波電気信号を抽出する回路とを有し、

前記上り信号と前記下り信号と前記複数のパイロットトーンとを、互いに異なる周波数で生成するよう構成されていることを

特徴とする請求項5記載の光伝送装置。

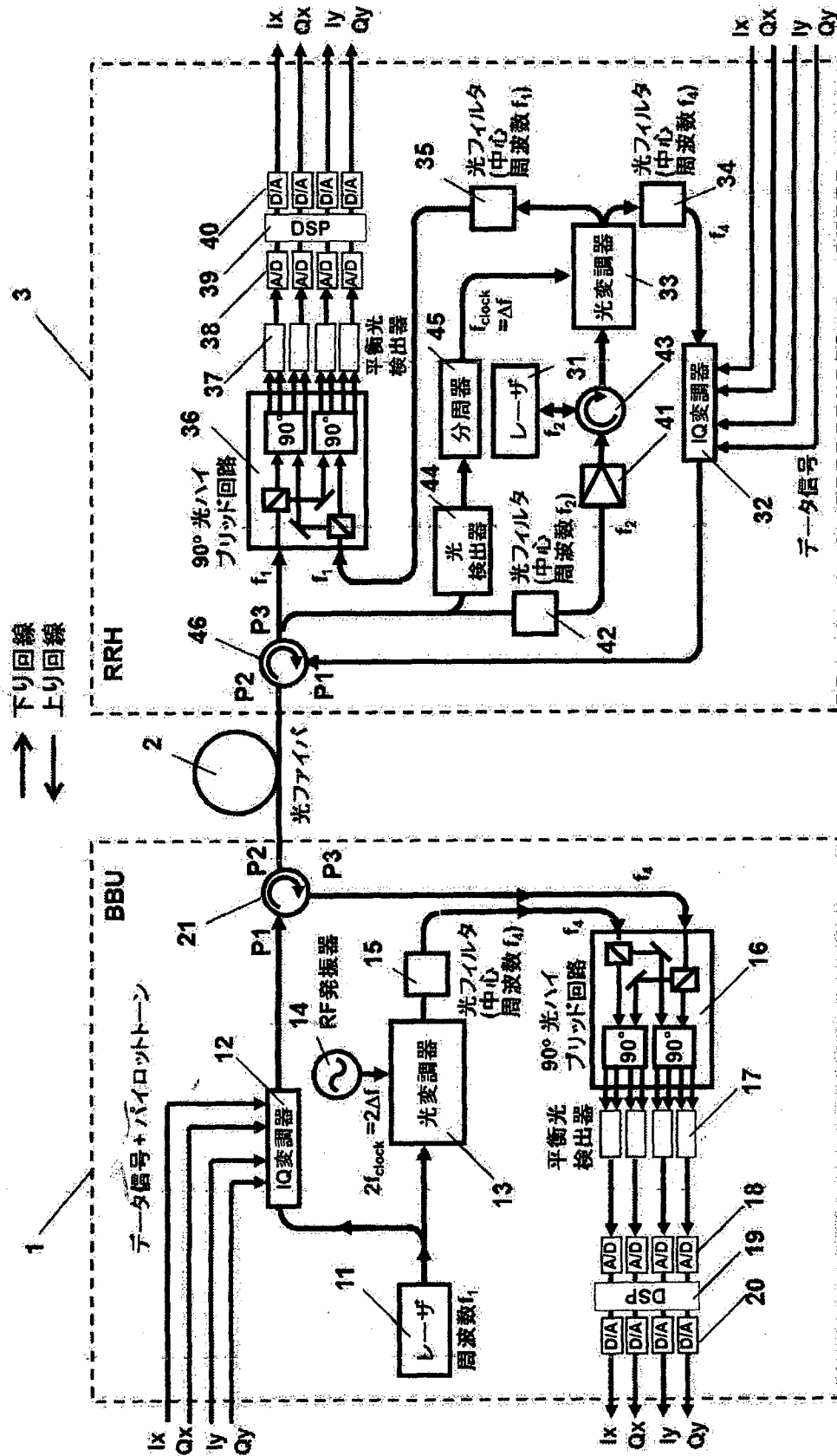
[請求項8]

前記第1の光送受信部は、基地局ベースバンド部または光回線終端装置から成り、

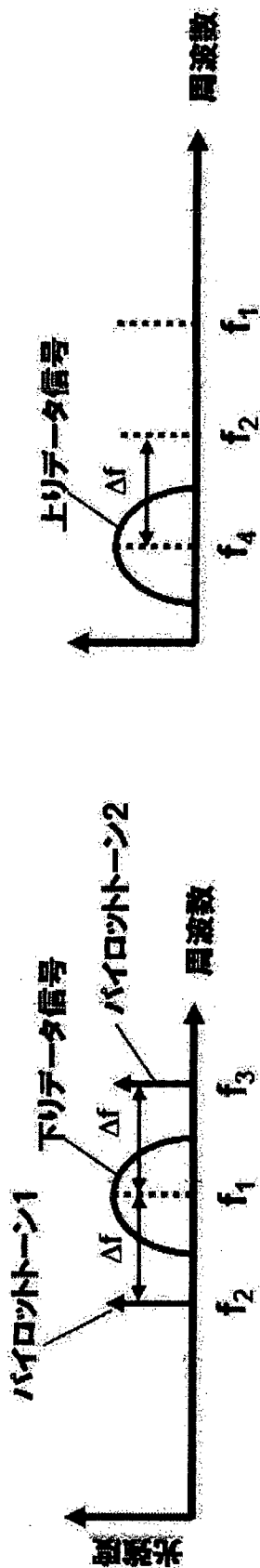
前記第2の光送受信部は、アンテナ無線部または光回線ネットワーク装置から成ることを

特徴とする請求項5乃至7のいずれか1項に記載の光伝送装置。

[図 1]



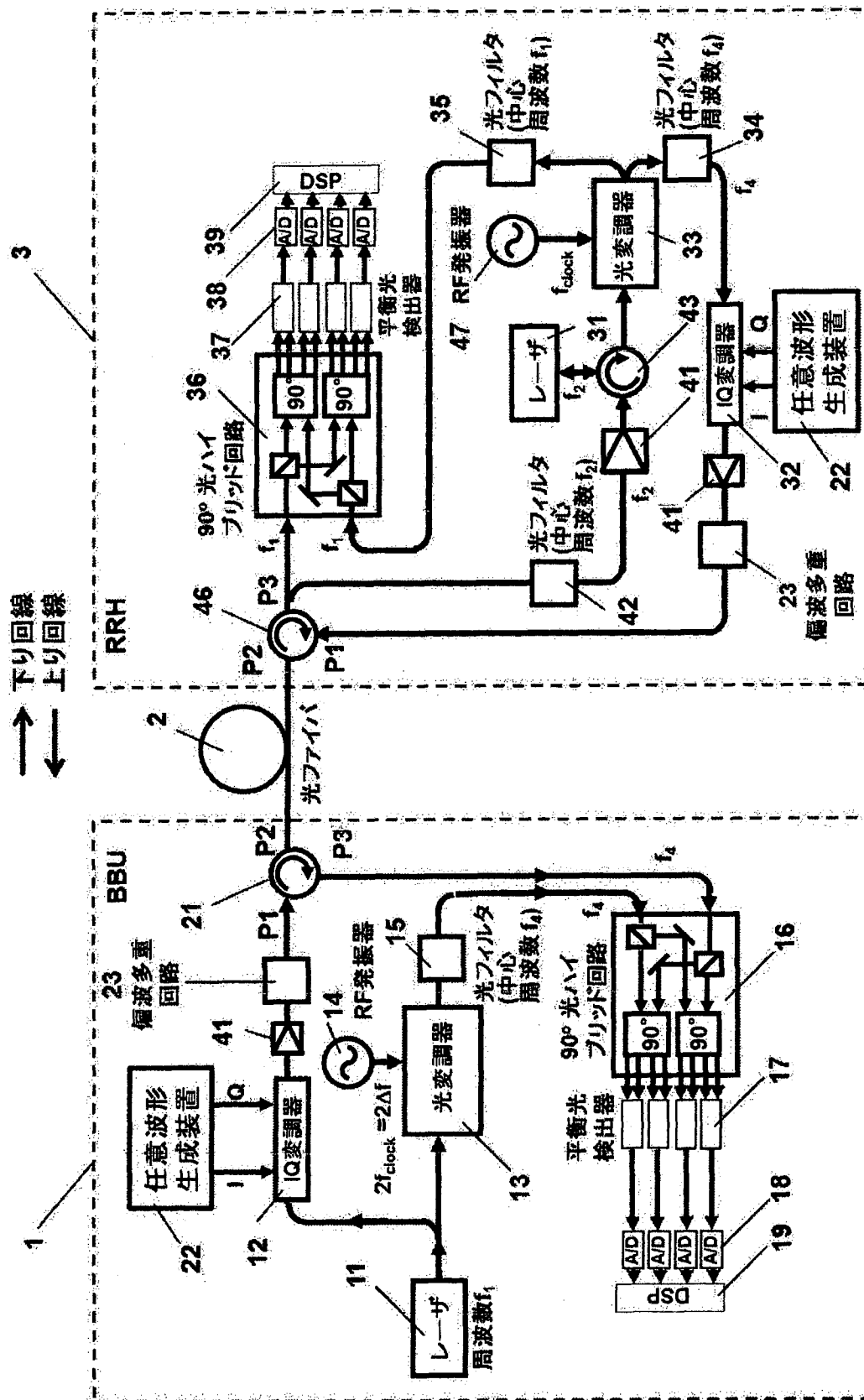
[図 2]



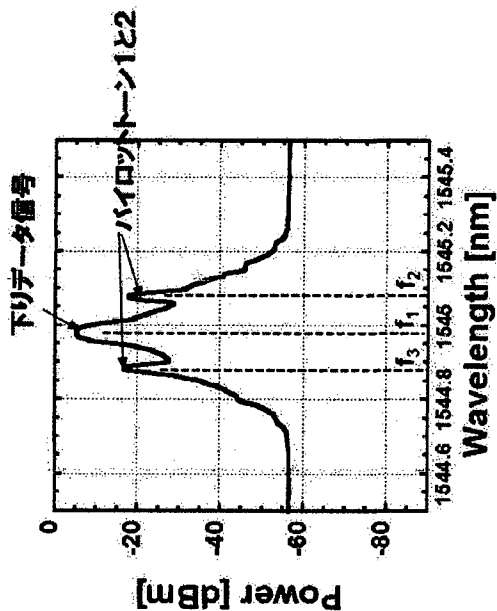
(b) 上り信号の周波数配置

(a) 下り信号の周波数配置

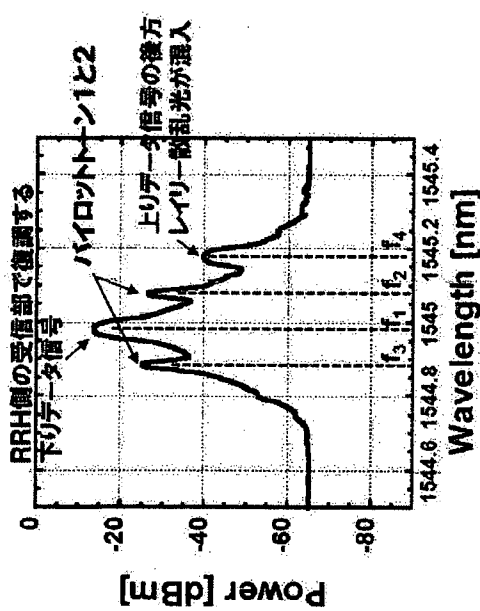
[圖 3]



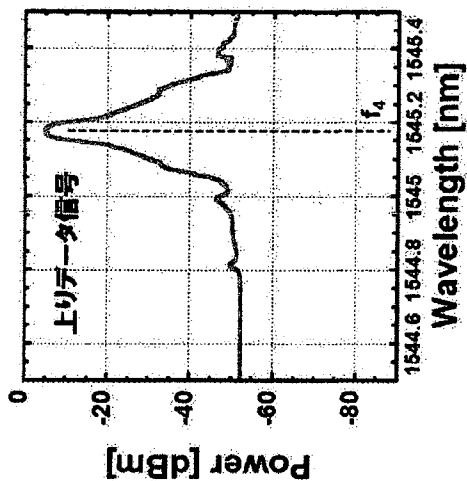
[図 4]



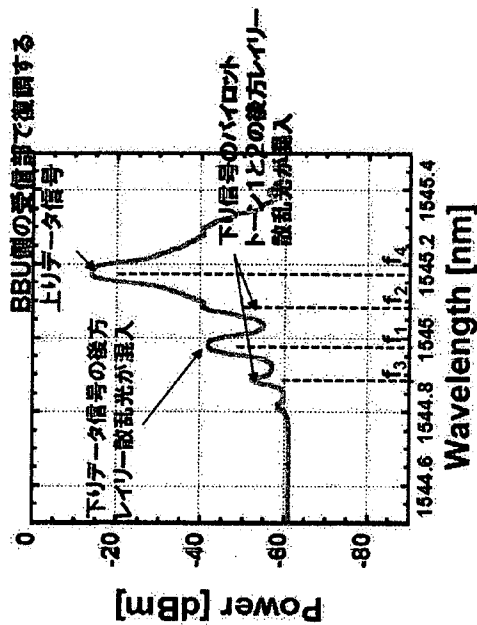
(a) BBU1からRRH3へ伝送する下リ信号の光スペクトル
 偏波多重、5 Gbaud 256 QAM信号+パイロットトン信号
 (図1の光サークキュレータ21のP2からの出力)



(c) BBU1からRRH3へ伝送されてきた下リ信号の光スペクトル
 (図1の光サークキュレータ46のP3からの出力)

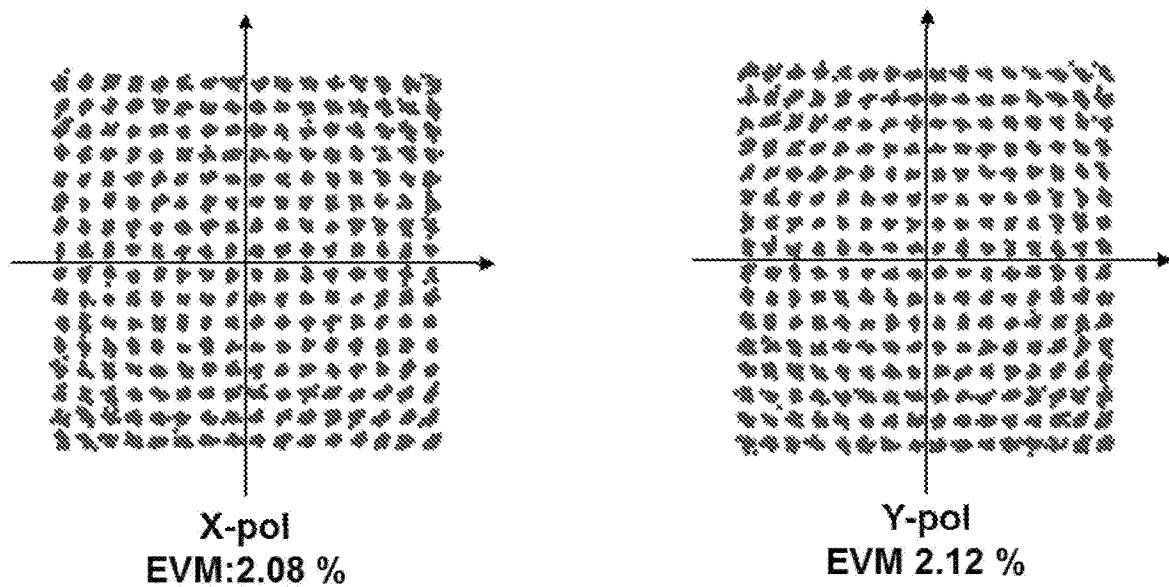


(b) RRH3からBBU1へ伝送する上リ信号の光スペクトル
 偏波多重、5 Gbaud 256 QAM信号
 (図1の光サークキュレータ46のP2からの出力)

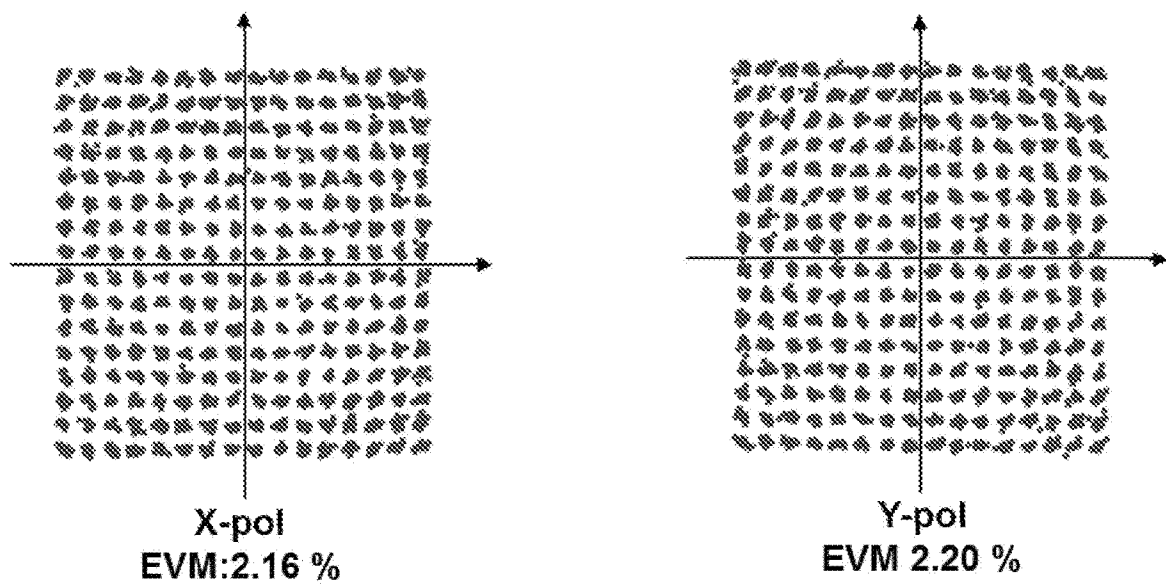


(d) RRH3からBBU1へ伝送されてきた上リ信号の光スペクトル
 (図1の光サークキュレータ21のP3からの出力)

[図5]

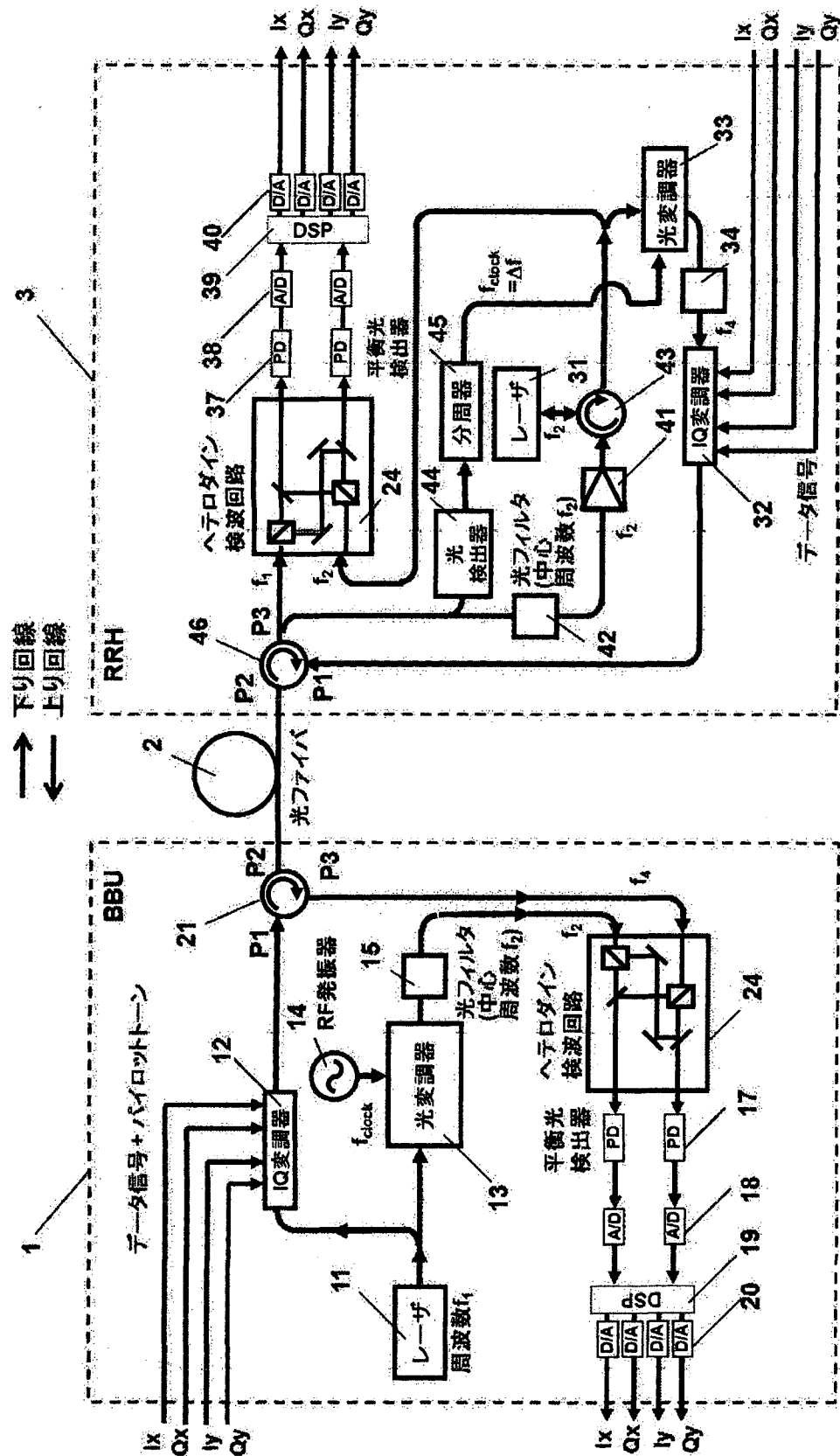


(a) 下り信号の復調結果
偏波多, 5 Gbaud 256 QAM信号のコンスタレーション

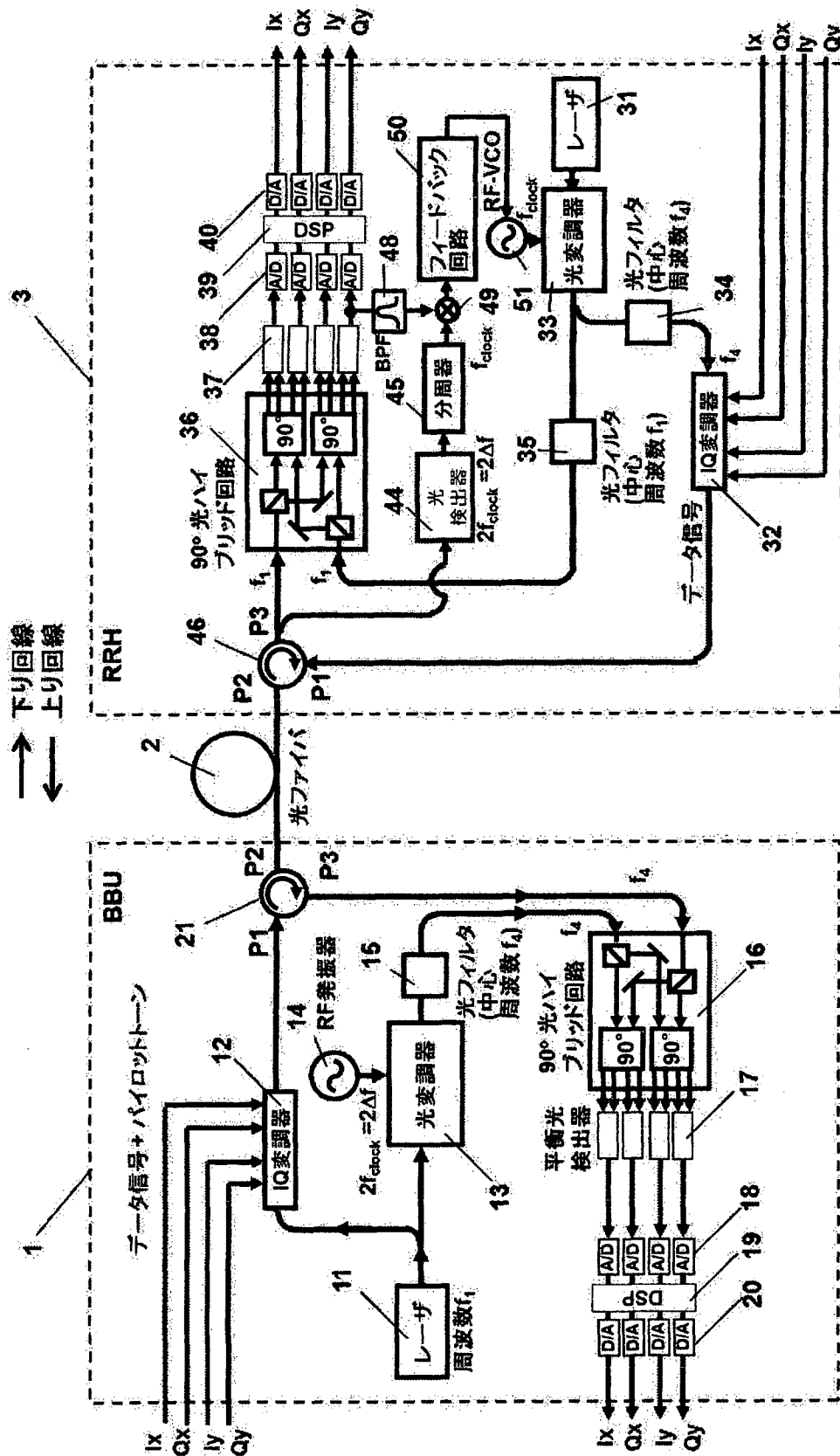


(b) 上り信号の復調結果
偏波多重, 5 Gbaud 256 QAM信号のコンスタレーション

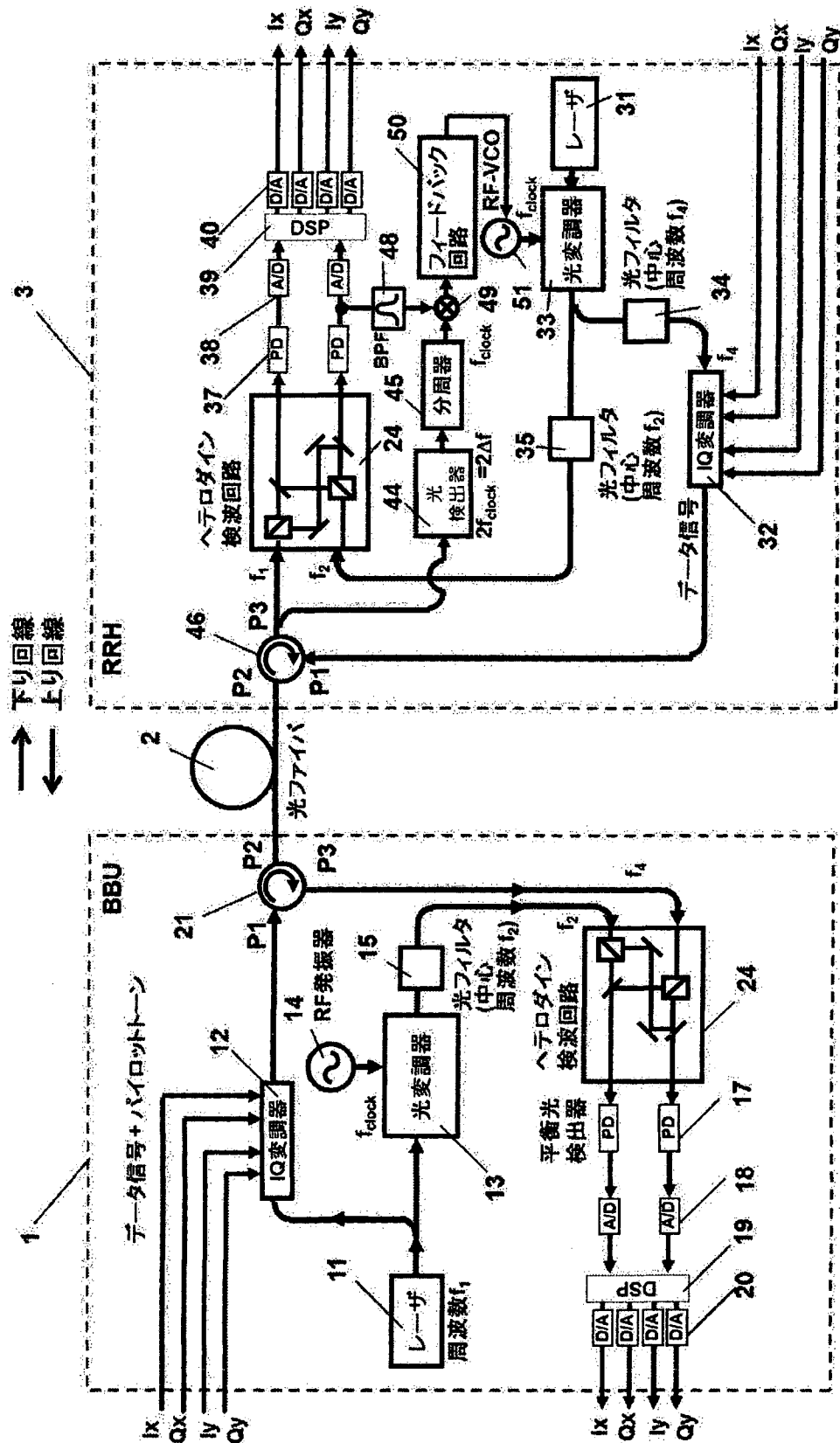
[図 6]



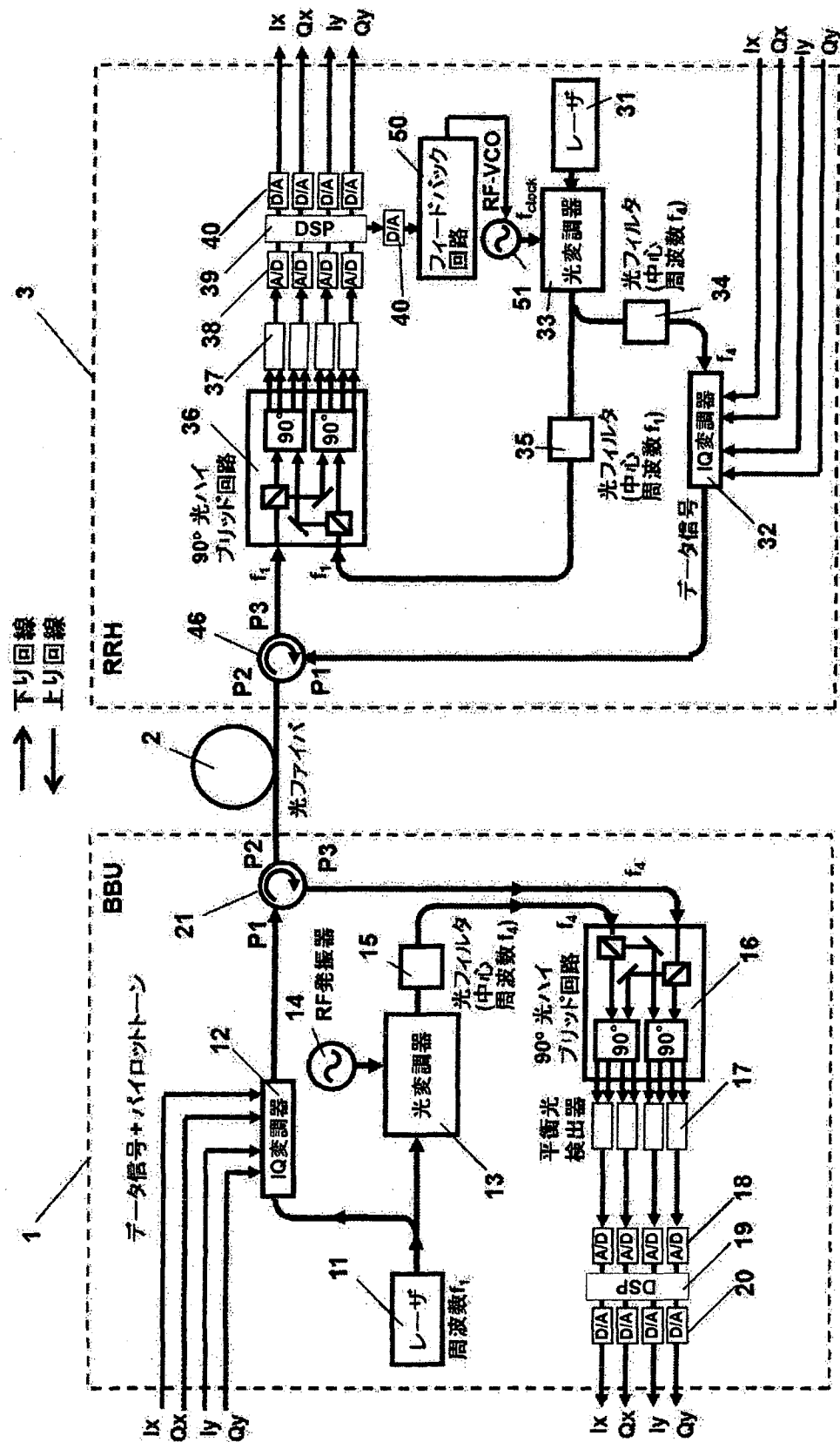
[圖 7]



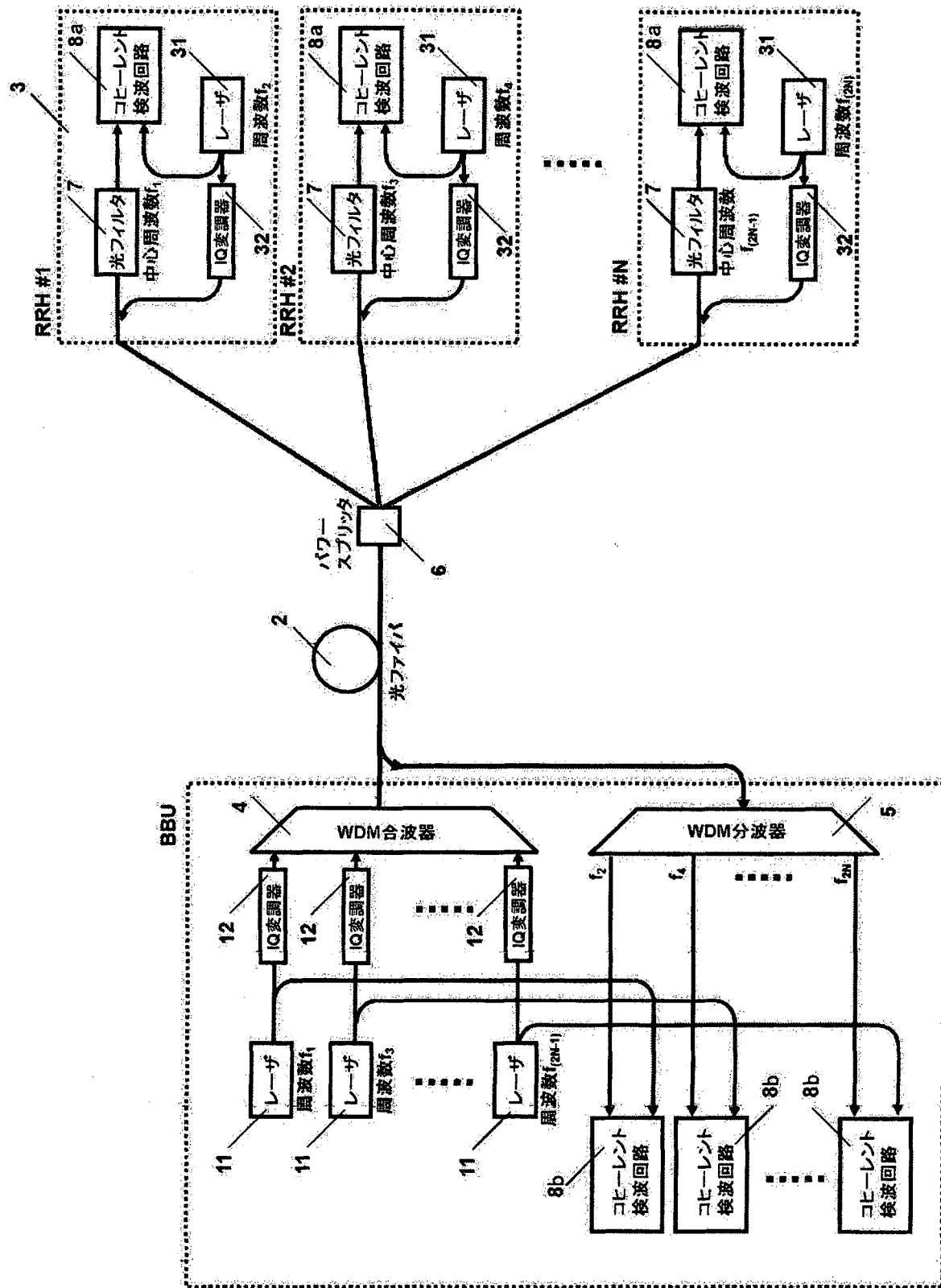
[図 8]



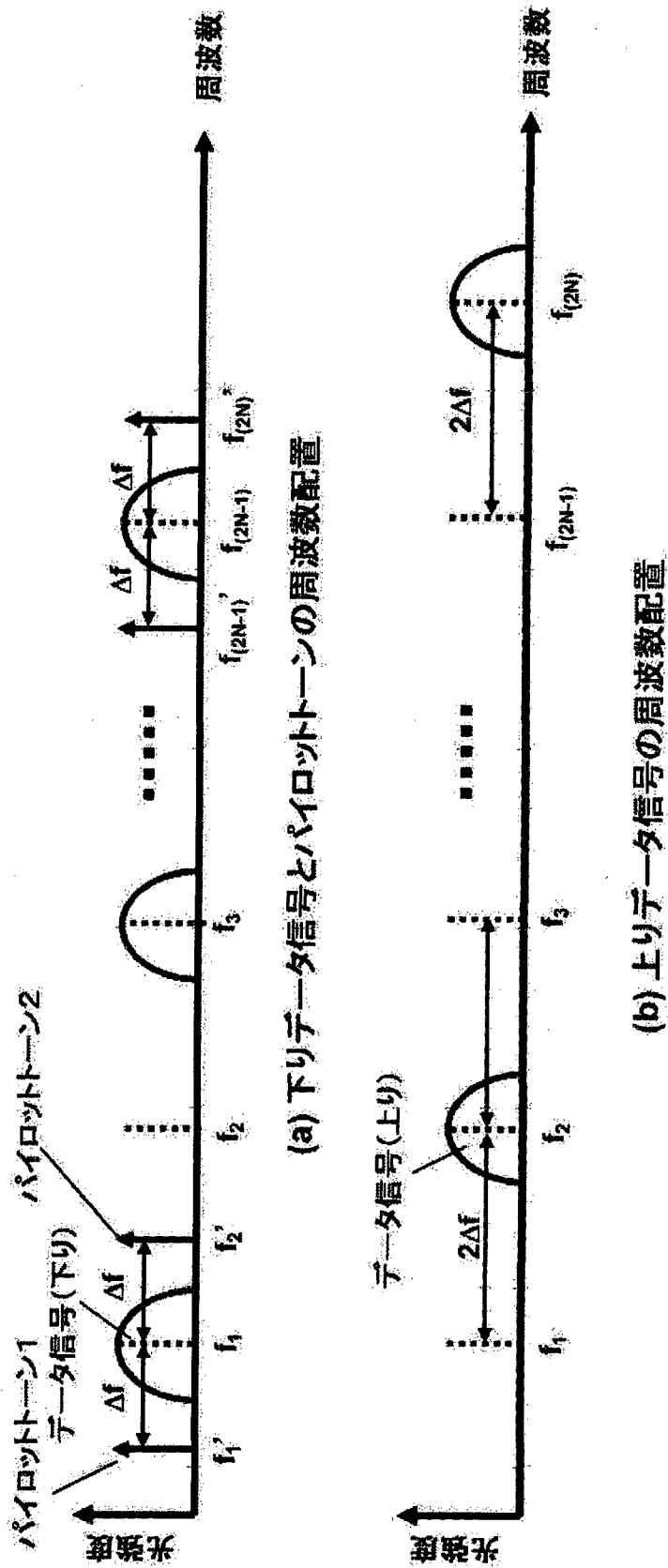
[図 9]



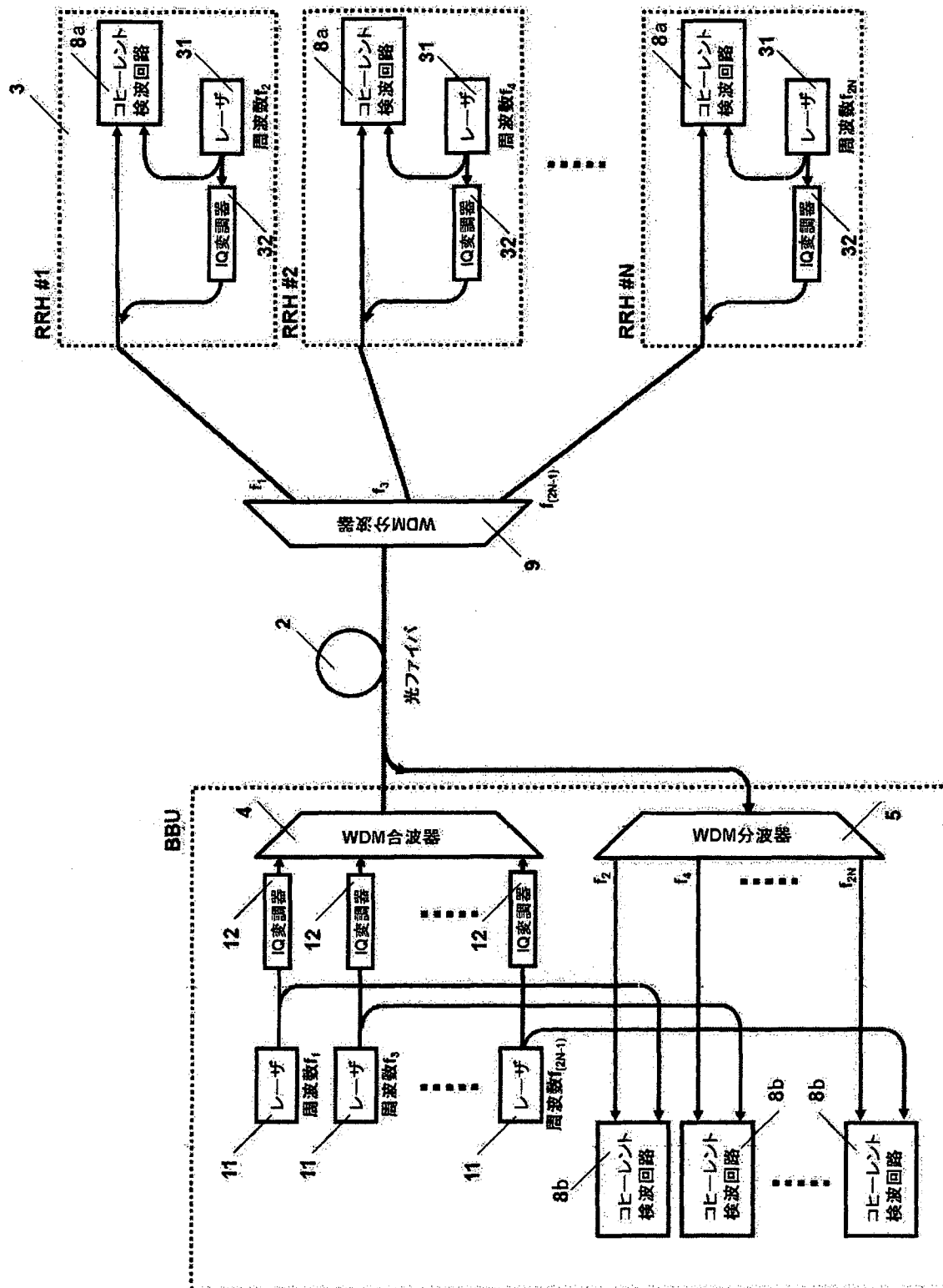
[図 11]



[図 12]



[図 13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/015797

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H04B10/2575 (2013.01) i, H04B10/2537 (2013.01) i, H04B10/63 (2013.01) 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)

Int.Cl. H04B10/2575, H04B10/2537, H04B10/63

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

IEEE Xplore

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	中沢正隆, コヒーレント技術を適用した光・無線融合型次世代アクセスネットワーク, 2015 年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会講演論文集 2, 25 August 2015, pp. SS-31 to SS-32, ISSN 1349-1423, ("Optical and wireless-integrated next-generation access network based on coherent technologies"), non-official translation (NAKAZAWA, Masataka, Lecture proceedings 2 of electronics society conference of IEICE 2015)	1, 4-5, 8 2-3, 6-7
A	WANG, Yixin et al., "120 Gbit/s injection-locked homodyne coherent transmission of polarization-multiplexed 64 QAM signals over 150 km", Optics Express, December 2014, vol. 22, no. 25, pp. 31310-31316	1-8



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

04 July 2018 (04.07.2018)

Date of mailing of the international search report

17 July 2018 (17.07.2018)

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/JP2018/015797

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2017-60020 A (NEC CORP.) 23 March 2017, paragraphs [0018]-[0031], fig. 1-2 & US 2017/0085321 A1, paragraphs [0021]-[0034], fig. 1-2	1-8
P, X	JP 2017-98675 A (TOHOKU UNIVERSITY) 01 June 2017, paragraphs [0015]-[0020], fig. 1-2 (Family: none)	1, 4-5, 8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H04B10/2575(2013.01)i, H04B10/2537(2013.01)i, H04B10/63(2013.01)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（IPC））

Int.Cl. H04B10/2575, H04B10/2537, H04B10/63

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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）

IEEE Xplore

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
X	中沢 正隆, コヒーレント技術を適用した光・無線融合型次世代アクセスネットワーク, 2015年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会講演論文集2, 2015.08.25, p. SS-31 - SS-32, ISSN 1349-1423	1, 4-5, 8
A		2-3, 6-7
A	WANG, Yixin et al., 120 Gbit/s injection-locked homodyne coherent transmission of polarization-multiplexed 64 QAM signals over 150 km, Optics Express, 2014.12, Vol. 22, No. 25, p. 31310 - 31316	1-8

☒ 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

04.07.2018

国際調査報告の発送日

17.07.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

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）

後澤 瑞征

5 K

4540

電話番号 03-3581-1101 内線 3556

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
A	JP 2017-60020 A (日本電気株式会社) 2017.03.23, 段落[0018]-[0031], 図 1-2 & US 2017/0085321 A1, 段落[0021]-[0034], 図 1-2	1-8
P, X	JP 2017-98675 A (国立大学法人東北大学) 2017.06.01, 段落[0015]-[0020], 図 1-2 (ファミリーなし)	1, 4-5, 8