(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7587487号
(P7587487)

(45)発行日　令和6年11月20日(2024.11.20)

(24)登録日　令和6年11月12日(2024.11.12)

(51)国際特許分類

		FI		
H04L 12/44 (2006.01)		H04L	12/44	200
H04B 10/272(2013.01)		H04B	10/272	
H04B 10/2575(2013.01)		H04B	10/2575	120
H04J 14/02 (2006.01)		H04J	14/02	
H04W 88/08 (2009.01)		H04W	88/08	

請求項の数　6　（全41頁）

(21)出願番号　特願2021-162202(P2021-162202)
(22)出願日　令和3年9月30日(2021.9.30)
(65)公開番号　特開2023-51484(P2023-51484A)
(43)公開日　令和5年4月11日(2023.4.11)
審査請求日　令和5年8月1日(2023.8.1)
（出願人による申告）平成３０年度、国立研究開発法人情報通信研究機構、「Ｂｅｙｏｎｄ ５Ｇに向けたモバイル収容大容量光アクセスインフラの研究開発」副題「Ｒａｄｉｏ－ｏｖｅｒ－Ｆｉｂｅｒ型伝送技術をベースとするＢｅｙｏｎｄ ５Ｇモバイルフロントホールの研究開発」委託事業、産業技術力強化法第１７条の適用を受ける特許出願

(73)特許権者　000208891
ＫＤＤＩ株式会社
東京都新宿区西新宿二丁目３番２号
(74)代理人　110003281
弁理士法人大塚国際特許事務所
(72)発明者　田中 和樹
埼玉県ふじみ野市大原二丁目１番１５号
株式会社ＫＤＤＩ総合研究所内
(72)発明者　猪原 涼
埼玉県ふじみ野市大原二丁目１番１５号
株式会社ＫＤＤＩ総合研究所内
審査官　羽岡 さやか

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　光ファイバ通信システムおよび光伝送装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

所定のエリア毎に複数のＯＮＵ（Optical Network Unit）を含むＯＮＵ群を配下に備えるＯＬＴ（Optical Line Terminal）から構成される光ファイバ通信システムであって、

前記各ＯＬＴと前記各ＯＮＵ群との間にそれぞれ設けられた複数の中継局と、

隣接する前記エリアの前記各中継局を光接続する中継用光ファイバと、を備え、

前記各ＯＬＴは、前記中継用光ファイバを用いて、他のＯＬＴの配下のＯＮＵに対して、信号を伝送することを特徴とする光ファイバ通信システム。

【請求項２】

前記各ＯＬＴは、前記各ＯＬＴを収容する収容局内に配置され、配下のＯＮＵと光通信する際の波長を制御する波長コントローラと接続し、

第１のＯＬＴは、配下のＯＮＵと通信中の端末装置の位置情報に基づいて、前記端末装置が、配下の各ＯＮＵの通信領域外のＯＮＵと通信をすると判断した場合は、その通信領域外のＯＮＵを収容する第２のＯＬＴに対して、前記中継用光ファイバを用いて通信を行なうエリア外モードに移行する旨の要求を行ない、前記第２のＯＬＴが前記要求を許可した場合は、前記第１のＯＬＴおよび前記第２のＯＬＴは、前記エリア外モードへ移行し、前記第１のＯＬＴの波長コントローラまたは前記第２のＯＬＴの波長コントローラは、前記第２のＯＬＴの配下のＯＮＵのうち、前記エリア外モードに移行すべきＯＮＵに対して、前記エリア外モードで用いる波長を通知し、前記端末装置が、前記エリア外モードに移行したＯＮＵおよび前記中継用光ファイバを介して、前記第１のＯＬＴと通信を行なうこ

とを特徴とする請求項１記載の光ファイバ通信システム。
【請求項３】
第１のＯＬＴは、前記中継用光ファイバを用いて、第２のＯＬＴの配下のいずれかのＯＮＵとの間で、中継局間伝送を行なうために割り当てられた波長で信号を伝送することを特徴とする請求項１記載の光ファイバ通信システム。
【請求項４】
前記各ＯＬＴは、前記各ＯＬＴを収容する収容局内に配置され、無線信号を光信号に多重して配下のＯＮＵとＩＦｏＦ通信をする際の周波数を制御するＩＦコントローラと接続し、
第３のＯＬＴは、配下のＯＮＵと通信中の端末装置の位置情報に基づいて、前記端末装置が、配下の各ＯＮＵの通信領域外のＯＮＵと通信をすると判断した場合は、その通信領域外のＯＮＵを収容する第４のＯＬＴに対して、前記中継用光ファイバを用いて通信を行なうエリア外モードに移行する旨の要求を行ない、前記第４のＯＬＴが前記要求を許可した場合は、前記第３のＯＬＴおよび前記第４のＯＬＴは、前記エリア外モードへ移行し、前記第３のＯＬＴのＩＦコントローラまたは前記第４のＯＬＴのＩＦコントローラは、前記第４のＯＬＴの配下のＯＮＵのうち、前記エリア外モードに移行すべきＯＮＵに対して、前記エリア外モードで用いる周波数を通知し、前記端末装置が、前記エリア外モードに移行したＯＮＵおよび前記中継用光ファイバを介して、前記第３のＯＬＴと通信を行なうことを特徴とする請求項１記載の光ファイバ通信システム。
【請求項５】
第３のＯＬＴは、前記中継用光ファイバを用いて、第４のＯＬＴの配下のいずれかのＯＮＵとの間で、中継局間伝送を行なうために割り当てられた周波数でＩＦｏＦ通信をすることを特徴とする請求項１記載の光ファイバ通信システム。
【請求項６】
前記各ＯＬＴは、無線信号を光信号に多重して配下のＯＮＵとＩＦｏＦ通信をする際の周波数を制御するＯＬＴ側ＩＦコントローラを備え、
前記各中継局は、前記各ＯＬＴ側ＩＦコントローラから周波数の制御を受ける中継局側ＩＦコントローラを備え、
第５のＯＬＴは、配下のＯＮＵと通信中の端末装置の位置情報に基づいて、前記端末装置が、配下の各ＯＮＵの通信領域外のＯＮＵと通信をすると判断した場合は、その通信領域外のＯＮＵを収容する第６のＯＬＴに対して、前記中継用光ファイバを用いて通信を行なうエリア外モードに移行する旨の要求を行ない、前記第６のＯＬＴが前記要求を許可した場合は、前記第５のＯＬＴおよび前記第６のＯＬＴは、前記エリア外モードへ移行し、前記第５のＯＬＴのＯＬＴ側ＩＦコントローラおよび前記第６のＯＬＴのＯＬＴ側ＩＦコントローラは、各配下の中継局の中継局側ＩＦコントローラに対し、前記エリア外モードで用いる周波数を通知し、前記端末装置が、前記エリア外モードに移行した前記第６のＯＬＴの配下のＯＮＵおよび前記中継用光ファイバを介して、前記第５のＯＬＴと通信を行なうことを特徴とする請求項１記載の光ファイバ通信システム。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、エリア境界における無線品質を改善する光ファイバ通信システムおよび光伝送装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
従来から、光ファイバ通信システムにおける無線通信の品質を向上させるため、様々な検討がなされてきた。
【０００３】
無線品質を向上させる技術として、非特許文献１では、無線基地局の上位レイヤ機能を有するBaseband unit（BBU）やDistributed unit（DU）を収容局側に、下位レイヤ機

能を有するRemote radio head（RRH）やRemote unit（RU）をAntenna（ANT）設置サイトに配置するCentralized radio access network（C-RAN）アーキテクチャに関する技術が開示されている。C-RANでは、同一の収容局に配置された複数の無線基地局を集中制御、連携動作させることで、無線品質を向上させることが可能である。

【０００４】

また、非特許文献２では、アナログradio over fiber（RoF）技術をベースとしたMobile fronthaul（MFH）として、Wavelength division multiplexing passive optical network（WDM-PON）構成でPoint to multipoint（PtMP）アーキテクチャを構築し、１本のアクセスファイバを複数のANTサイトの収容のために有効活用する光アクセス方式が開示されている。

【０００５】

また、特許文献１では、アナログRoF技術をベースとしたMobile fronthaul（MFH）として、Intermediate frequency over fiber（IFoF）リンクやIFoFとRoFリンクのカスケード接続構成によるPtMPアーキテクチャを構築し、１本のアクセスファイバを複数のANTサイトの収容のため有効活用する光アクセス方式が開示されている。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【０００６】

【文献】TTC技術レポートTR-1079 第5世代移動体通信システムのフロントホールにおける光アクセスに関する技術報告書

【文献】10.1109/JLT.2019.2923245／Experimental Demonstration of a WDM-RoF Based Mobile Fronthaul With f-OFDM Signals by Using Directly Modulated 3s-DBR Laser

【特許文献】

【０００７】

【文献】特開２０１９－２１２９８３号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００８】

しかしながら、非特許文献１では、無線ユーザ端末が収容局の異なるセル間のエッジ部分にある場合に、Centralized radio access network（C-RAN）の特長である基地局間協調動作（異なるアンテナサイト間のMultiple-Input Multiple-Output（MIMO）等）による無線信号品質の向上が困難となる。

【０００９】

また、非特許文献２では、実現のためのシステム構成が複雑であり、多くのアクセスファイバが追加で必要となる。また、アクセスファイバの長距離化でコスト増加や工事期間長期化が懸念される。

【００１０】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、シンプルかつ経済的な光アクセスシステムである光ファイバ通信システム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】

【００１１】

（１）上記の目的を達成するために、本発明は、以下のような手段を講じた。すなわち、本発明の光ファイバ通信システムは、複数のＯＮＵ（Optical Network Unit）を配下に備える複数のＯＬＴ（Optical Line Terminal）から構成される光ファイバ通信システムであって、前記各ＯＬＴと前記各ＯＮＵとの間にそれぞれ設けられた複数の中継局と、前記各中継局を光接続する中継用光ファイバと、を備え、前記各ＯＬＴは、前記中継用光ファイバを用いて、他のＯＬＴの配下のＯＮＵに対して、信号を伝送することを特徴とする。

【００１２】
（２）また、本発明の光ファイバ通信システムにおいて、前記各ＯＬＴは、配下のＯＮＵと光通信する際の波長を制御する波長コントローラを備え、第１のＯＬＴは、配下のＯＮＵと通信中の端末装置の位置情報に基づいて、前記端末装置が、配下の各ＯＮＵの通信領域外のＯＮＵと通信をすると判断した場合は、その通信領域外のＯＮＵを収容する第２のＯＬＴに対して、前記中継用光ファイバを用いて通信を行なうエリア外モードに移行する旨の要求を行ない、前記第２のＯＬＴが前記要求を許可した場合は、前記第１のＯＬＴおよび前記第２のＯＬＴは前記エリア外モードへ移行し、前記第１のＯＬＴの波長コントローラまたは前記第２のＯＬＴの波長コントローラは、前記第２のＯＬＴの配下のＯＮＵのうち、前記エリア外モードに移行すべきＯＮＵに対して、前記エリア外モードで用いる波長を通知し、前記端末装置が、前記エリア外モードに移行したＯＮＵおよび前記中継用光ファイバを介して、前記第１のＯＬＴと通信を行なうことを特徴とする。
【００１３】
（３）また、本発明の光ファイバ通信システムにおいて、第１のＯＬＴは、前記中継用光ファイバを用いて、第２のＯＬＴの配下のいずれかのＯＮＵとの間で、中継局間伝送を行なうために割り当てられた波長で信号を伝送することを特徴とする。
【００１４】
（４）また、本発明の光ファイバ通信システムにおいて、前記各ＯＬＴは、無線信号を光信号に多重して配下のＯＮＵとＩＦＯＦ通信をする際の周波数を制御するＩＦコントローラを備え、第３のＯＬＴは、配下のＯＮＵと通信中の端末装置の位置情報に基づいて、前記端末装置が、配下の各ＯＮＵの通信領域外のＯＮＵと通信をすると判断した場合は、その通信領域外のＯＮＵを収容する第４のＯＬＴに対して、前記中継用光ファイバを用いて通信を行なうエリア外モードに移行する旨の要求を行ない、前記第４のＯＬＴが前記要求を許可した場合は、前記第３のＯＬＴおよび前記第４のＯＬＴは前記エリア外モードへ移行し、前記第３のＯＬＴのＩＦコントローラまたは前記第４のＯＬＴのＩＦコントローラは、前記第４のＯＬＴの配下のＯＮＵのうち、前記エリア外モードに移行すべきＯＮＵに対して、前記エリア外モードで用いる周波数を通知し、前記端末装置が、前記エリア外モードに移行したＯＮＵおよび前記中継用光ファイバを介して、前記第３のＯＬＴと通信を行なうことを特徴とする。
【００１５】
（５）また、本発明の光ファイバ通信システムにおいて、第３のＯＬＴは、前記中継用光ファイバを用いて、第４のＯＬＴの配下のいずれかのＯＮＵとの間で、中継局間伝送を行なうために割り当てられた周波数でＩＦｏＦ通信をすることを特徴とする。
【００１６】
（６）また、本発明の光ファイバ通信システムにおいて、前記各ＯＬＴは、無線信号を光信号に多重して配下のＯＮＵとＩＦｏＦ通信をする際の周波数を制御するＯＬＴ側ＩＦコントローラを備え、前記各中継局は、前記各ＯＬＴ側ＩＦコントローラから制御を受ける中継局側ＩＦコントローラを備え、第５のＯＬＴは、配下のＯＮＵと通信中の端末装置の位置情報に基づいて、前記端末装置が、配下の各ＯＮＵの通信領域外のＯＮＵと通信をすると判断した場合は、その通信領域外のＯＮＵを収容する第６のＯＬＴに対して、前記中継用光ファイバを用いて通信を行なうエリア外モードに移行する旨の要求を行ない、前記第６のＯＬＴが前記要求を許可した場合は、前記第５のＯＬＴおよび前記第６のＯＬＴは、前記エリア外モードへ移行し、前記第５のＯＬＴのＯＬＴ側ＩＦコントローラおよび前記第６のＯＬＴのＯＬＴ側ＩＦコントローラは、各配下の中継局の中継局側ＩＦコントローラに対し、前記エリア外モードで用いる周波数を通知し、前記端末装置が、前記エリア外モードに移行した前記第６のＯＬＴの配下のＯＮＵおよび前記中継用光ファイバを介して、前記第５のＯＬＴと通信を行なうことを特徴とする。
【００１７】
（７）また、本発明の光伝送装置は、光ファイバ通信システムに適用されるＯＬＴであって、配下の光ネットワーク装置と光通信する際の波長を制御する波長コントローラを備

え、他の光伝送装置から、前記他の光伝送装置の配下の光ネットワーク装置が用いる波長を示す波長情報が通知された場合は、自装置が備える波長コントローラに対して、配下の光ネットワーク装置が前記通知された波長情報に示された波長を用いるように制御することを特徴とする。

【００１８】

（８）また、本発明の光伝送装置は、光ファイバ通信システムに適用される光伝送装置であって、無線信号を光信号に多重して配下の光ネットワーク装置とＩＦｏＦ通信をする際の周波数を制御するＩＦコントローラを備え、他の光伝送装置から、前記他の光伝送装置の配下の光ネットワーク装置が用いる周波数を示す周波数情報が通知された場合は、自装置が備えるＩＦコントローラに対して、配下の光ネットワーク装置または中継局側のＩＦコントローラが前記通知された周波数情報に示された周波数を用いるように制御することを特徴とする。

【発明の効果】

【００１９】

本発明によれば、エリア境界付近での無線通信の品質を向上させることが可能となる。また、光ファイバコストや光ファイバ敷設置期間を短く抑えたシンプルかつ経済的な構造を有する光ファイバ通信システムを構築することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【００２０】

【図１】各実施形態に係る光ファイバ通信システムの概略構成を示す図である。

【図２】第１の実施形態に係る光ファイバ通信システムの概要を示す図である。

【図３】UEの接続先ANTが変化する様子を示す図である。

【図４】第１の実施形態に係る収容局CO-Bの概略構成を示す図である。

【図５】第１の実施形態おける波長の配置例を示す図である。

【図６Ａ】第１の実施形態に係る中継局RN-Bの概略構成を示す図である。

【図６Ｂ】第１の実施形態に係る中継局RN-Aの概略構成を示す図である。

【図７】（ａ）、（ｂ）通常動作時（エリア外通信なし）の各アンテナサイトの概略構成、および各アンテナサイトと各UEの位置関係を示す図である。

【図８】（ａ）、（ｂ）切り替え動作時（エリア外通信あり）の各アンテナサイトの概略構成、および各アンテナサイトと各UEの位置関係を示す図である。

【図９】UE位置情報と各ポート出力波長との対応の一例を示す表である。

【図１０】UE位置情報と各ポート出力波長との対応の一例を示す表である。

【図１１】経路切り替えの位置条件を示す図である。

【図１２】PtPファイバ、Ringファイバの構造を示す図である。

【図１３】第２の実施形態に係る光ファイバ通信システムの概要を示す図である。

【図１４】第２の実施形態に係る収容局CO-Bの概略構成を示す図である。

【図１５】第２の実施形態おける波長の配置例を示す図である。

【図１６Ａ】第２の実施形態に係る中継局RN-Bの概略構成を示す図である。

【図１６Ｂ】第２の実施形態に係る中継局RN-Aの概略構成を示す図である。

【図１７】（ａ）、（ｂ）各アンテナサイトの概略構成、および各アンテナサイトと各UEの位置関係を示す図である。

【図１８】第３の実施形態に係る光ファイバ通信システムの概要を示す図である。

【図１９】第３の実施形態に係る収容局CO-Bの概略構成を示す図である。

【図２０】第３の実施形態におけるCO～RN間のIFoF伝送周波数の配置例を示す図である。

【図２１Ａ】第３の実施形態に係る中継局RN-Bの概略構成を示す図である。

【図２１Ｂ】第３の実施形態に係る中継局RN-Aの概略構成を示す図である。

【図２２】第３の実施形態における中継局（RN-A、RN-B）間のIFoF伝送周波数の配置例を示す図である。

【図２３】第３の実施形態におけるRN-B～ONU／ANTサイト間のIFoF伝送周波数の配置

例を示す図である。
【図２４】（ａ）、（ｂ）通常動作時（エリア外通信なし）の各アンテナサイトの概略構成、および各アンテナサイトと各UEの位置関係を示す図である。
【図２５】（ａ）、（ｂ）切り替え動作時（エリア外通信あり）の各アンテナサイトの概略構成、および各アンテナサイトと各UEの位置関係を示す図である。
【図２６】UE位置情報と各ポート出力IFとの対応の一例を示す表である。
【図２７】UE位置情報と各ポート出力IFとの対応の一例を示す表である。
【図２８】第４の実施形態に係る光ファイバ通信システムの概要を示す図である。
【図２９】第４の実施形態に係る収容局CO-Bの概略構成を示す図である。
【図３０】第４の実施形態におけるCO～RN間のIFoF伝送周波数の配置例を示す図である。
【図３１Ａ】第４の実施形態に係る中継局RN-Bの概略構成を示す図である。
【図３１Ｂ】第４の実施形態に係る中継局RN-Aの概略構成を示す図である。
【図３２】第４の実施形態における中継局（RN-A、RN-B）間のIFoF伝送周波数の配置例を示す図である。
【図３３】第４の実施形態におけるRN-B～ONU／ANTサイト間のIFoF伝送周波数の配置例を示す図である。
【図３４】（ａ）、（ｂ）第４の実施形態における各アンテナサイトの概略構成、および各アンテナサイトと各UEの位置関係を示す図である。
【図３５】第５の実施形態に係る光ファイバ通信システムの概要を示す図である。
【図３６】第５の実施形態に係る収容局CO-Bの概略構成を示す図である。
【図３７】第５の実施形態におけるCO～RN間のIFoF伝送周波数の配置例を示す図である。
【図３８Ａ】第５の実施形態に係る中継局RN-Bの概略構成を示す図である。
【図３８Ｂ】第５の実施形態に係る中継局RN-Aの概略構成を示す図である。
【図３９】第５の実施形態における中継局（RN-A、RN-B）間のIFoF伝送周波数の配置例を示す図である。
【図４０】第５の実施形態におけるRN-B～ONU／ANTサイト間のIFoF伝送周波数の配置例を示す図である。
【図４１】（ａ）、（ｂ）通常動作時（エリア外通信なし）の各アンテナサイトの概略構成、および各アンテナサイトと各UEの位置関係を示す図である。
【図４２】（ａ）、（ｂ）切り替え動作時（エリア外通信あり）の各アンテナサイトの概略構成、および各アンテナサイトと各UEの位置関係を示す図である。
【図４３】UE位置情報と各TRxでの入出力IFとの対応の一例を示す表である。
【発明を実施するための形態】
【００２１】
本発明者らは、光ファイバ通信システムでは、エリア境界付近において無線品質が不安定となることに着目し、中継局間を光ファイバ接続することによって、エリア境界付近において無線品質を向上することができることを見出し、本発明をするに至った。
【００２２】
すなわち、複数のＯＮＵ（Optical Line Terminal）を配下に備える複数のＯＬＴ（Optical Line Terminal）から構成される光ファイバ通信システムであって、前記各ＯＬＴと前記各ＯＮＵとの間にそれぞれ設けられた複数の中継局と、前記各中継局を光接続する中継用光ファイバと、を備え、前記各ＯＬＴは、前記中継用光ファイバを用いて、他のＯＬＴの配下のＯＮＵに対して、信号を伝送することを特徴とする。
【００２３】
これにより、本発明者らは、エリア境界付近での無線通信の品質が向上する光ファイバ通信システムであって、光ファイバコストや光ファイバ敷設置期間を短く抑えることできるシンプルかつ経済的な光ファイバ通信システムを実現することを可能とした。以下、本発明の実施形態について図面を参照しながら具体的に説明する。

【００２４】
まず、各実施形態において共通する光ファイバ通信システムの概要について説明する。図１は、各実施形態に係る光ファイバ通信システムの概略構成を示す図である。
【００２５】
光ファイバ通信システム１は、光伝送装置（OLT（Optical Line Terminal）１１、２１）と複数の光ネットワーク装置（ONU（Optical Line Terminal）１５、２５）から構成されるPON（Passive Optical Network）である。収容局CO-Aと収容局CO-Bに光接続される基地局アンテナ群１６、２６を、それぞれ１本のアクセスファイバを有効活用してPoint to multi-point（PtMP）収容するために中継局（RN：Remote node）１３、２３を有する。中継局１３、２３では、パッシブ部品から成るAWGやWDM CPL等を利用して、光信号の伝送先サイトを波長で割り振る。なお、本明細書において、中継局をRemote node（RN）や集約局とも称する。隣接するエリアの収容局（CO：Central Office）は、上位ネットワーク（Upper Network）により接続されている。
【００２６】
さらに、本実施形態に係る光ファイバ通信システムでは、隣接するエリアの中継局間を中継用光ファイバ３１で接続している。中継局間を光接続することで、収容局CO-A/B配下の基地局アンテナ（アンテナサイト）を以下の経路で通信可能とする。
（１）基地局アンテナ⇔中継局A/B⇔中継局B/A⇔収容局CO-B/A⇔基地局A/B
（２）基地局アンテナ⇔中継局A/B⇔収容局A/B　（通常の接続構成）
【００２７】
つまり、今までは（２）の経路でのみ通信が可能であったが、隣接するエリアの中継局間（RN-A⇔RN-B）を中継用光ファイバ３１で接続することで、（１）のように、基地局アンテナ⇔中継局A⇔中継局B⇔収容局CO-B⇔基地局A、または基地局アンテナ⇔中継局B⇔中継局A⇔収容局CO-A⇔基地局Bの経路で通信を行うことも可能となる。
【００２８】
本発明は、このように構築された光ファイバ通信システムにおいて、時刻により変化するユーザ端末（UE：User equipment）の位置情報（UEでの各Antenna（ANT）または基地局からの無線通信品質でもよい）受信状況を元に、波長コントローラ１７、２７またはIFコントローラ１９、２９を用いて、OLTが通信先のONUを切り替える、またはエリアの異なる２つのONUと同時に通信することを可能とするものである。
【００２９】
このように、基地局（BS：Base station）と通信するユーザ端末（UE）が、収容局Central office-A（CO-A）に光接続されているセル群の一部および別の収容局CO-Bに光接続されているセル群の一部の双方と無線通信を行うことが可能となり、その結果、セルエッジでの無線品質が向上する。なお、「セル」は「基地局アンテナ（ANT：Antenna）」と置き換えてもよい。
【００３０】
また、中継局A（RN-A）と中継局B（RN-B）をそれぞれ収容局CO-Bと収容局CO-Aに直接光接続することも可能であるが、中継局RN-Aと中継局RN-Bをそれぞれ収容局CO-Bと収容局CO-Aに光接続するよりも、中継局間（RN-A⇔RN-B）を光接続する方が、光ファイバコストも抑えることができ、ファイバ敷設期間を短縮することも可能であり、シンプルかつ経済的な光ファイバ通信システムを構築することができる。
【００３１】
上述したシステムを実現するための構成は、以下の構成パターンが考えられる。
［１］OLTとエリア外ONUとの接続方式
（１）切り替え（エリア外のONUとの接続に伴い、エリア内のONUとの接続を中断する接続方式）
（２）常時接続（常時、エリア外のONUとエリア内のONUと同時接続可能な状態とする接続方式）
【００３２】

［２］PtMPの実現方式
（１）WDM-PON（Wavelength Division Multiplexing-Passive Optical Network）：端末の位置情報（UEでの各Antenna（ANT）または基地局からの無線通信品質でもよい）に基づき、収容局、アンテナサイトの光波長を切り替えることで基地局アンテナの収容先を変更する。
（２）カスケード接続：端末の位置情報（UEでの各Antenna（ANT）または基地局からの無線通信品質でもよい）に基づき、収容局およびアンテナサイトにおいて、IFoF伝送するためのIFを変更することで、基地局アンテナの収容先を変更する。または、端末の位置情報に基づき、中継局において、IFoF伝送するためのIFを変更することで、基地局アンテナの収容先を変更する。

【００３３】
［３］追加アクセスファイバ構成
（１）PtP（Point to Point）ファイバ追加構成
（２）Ringファイバ追加構成

【００３４】
［１］および［２］を組み合わせた構成について、以下、各実施形態で具体的に説明する。［３］追加アクセスファイバ構成については、PtPファイバ追加構成で説明するが、Ringファイバ追加構成でも同様である。

【００３５】
本明細書において、収容局のOLTから中継局またはアンテナサイトへの方向を下り、アンテナサイトまたは中継局から収容局のOLTへの方向を上りとする。

【００３６】
以下、各実施形態では、本発明をわかりやすくするため、２つの収容局およびその配下の基地局アンテナ、UEとからなる２つの隣接するエリアに絞って説明するが、隣接する収容局が複数あっても同様であることはいうまでもない。さらに、収容局CO-Bのエリアを中心に説明するが、収容局CO-Aのエリア、その他隣接する収容局のエリアも同様であることは、いうまでもない。

【００３７】
［第１の実施形態］
本実施形態における構成パターンは、以下の通りである。
［１］OLTとエリア外ONUとの接続方式：切り替え方式
［２］PtMPの実現方式：WDM-PON
［３］追加アクセスファイバ構成：PtPファイバ追加構成

【００３８】
まず、本実施形態に係る光ファイバ通信システムの概要について説明する。図２は、第１の実施形態に係る光ファイバ通信システムの概要を示す図である。図３は、UEのエリア位置により、UEの接続先ANTが変化する（ビーム形成#1→ビーム形成#2）様子を示す図である。図３では、一例として、UEが４つのANTと同時に通信を行う環境を想定した場合を示すが、これに限定されない。

【００３９】
収容局CO-Aと収容局CO-Bに光接続される基地局アンテナ群を、それぞれ１本のアクセスファイバを有効活用してPoint to multi-point（PtMP）収容するために中継局を有する。中継局では、パッシブ部品から成るAWGやWDM CPL等を利用して、光信号の伝送先サイトを波長で割り振る。

【００４０】
時刻により変化するユーザ端末の位置に基づいて、OLT、ONUは利用波長の設定を変更し、各基地局アンテナは収容局CO-Aまたは収容局CO-Bと通信する。ユーザ端末の位置情報をトリガーに波長変更を記載したが、ユーザ端末や基地局設備が持つ他の情報（アンテナ／基地局とユーザ端末間の無線通信品質情報等）をトリガーにして波長変更してもよい。以下、各機器の構成および波長変更手順について具体的に説明する。

【００４１】
［光ファイバ通信システムの各機器の構成］
本実施形態に係る光ファイバ通信システムを構成する各機器について説明する。
（収容局）
図４は、第１の実施形態に係る収容局CO-Bの概略構成を示す図である。収容局CO-Bは、CO-BエリアのONU#1-1だけでなく、時刻によってはCO-AエリアにあるONU#1-1’とも通信する。収容局CO-Bは、BS、OLT、および波長コントローラ（Wavelength controller）を備える。
【００４２】
基地局（BS：Base station）は、複数のBSまたはBS機能から構成されるBS poolと、複数のBSまたはBS機能の接続ポート（BS Port）を備える。図４では、一例として、基地局数（基地局機能数）m、各基地局接続ポート数nを想定した構成を示す。
【００４３】
OLTは、TRx（Transceiver）、AWG（Array Waveguide Gratings）for DL（Downlink）／UL（Uplink）、およびWDM CPL（Wavelength division multiplexing Coupler）を備える。TRx#1-1は、波長コントローラと接続され、波長コントローラからOLTおよびONUが使用する波長の情報を受信する。そしてTRx#1-1は、受信した波長の情報に基づき、OLTおよびONUが使用する波長を出力する。図４の波長λの表記について、「’」が無いものがCO-B配下のONU向け、「’」があるものがCO-A配下のONU向けの波長を示す。他の図においても、同様である。
【００４４】
TRx#1-1では、$\lambda_{d1\text{-}1}$（CO-B配下の波長）または$\lambda_{d1\text{-}1}$’（CO-A配下の波長）のいずれかの波長を出力することを想定している。例えば、CO-B配下のONU#1-1と通信する場合、波長$\lambda_{d1\text{-}1}$が出力され、CO-A配下のONU#1-1’と通信する場合、波長$\lambda_{d1\text{-}1}$’が出力される。TRx#1-1において出力する波長を選択する方法として、チューナブルLD（Laser Diode）で波長を選択する方法や、異なる波長の２台のLDを用意していずれか一方を出力する方法が考えられる。また、CO-Aエリアにある別のONU（ONU#1-1以外のONU）とも通信する必要がある場合は、TRx#1-1の機能を有するTRxが複数必要になる。
【００４５】
図５は、第１の実施形態おける波長の配置例を示す図である。図５（ａ）は、アンテナサイトおよび伝送方向でまとまった波長を割り当てる方式を示す。図５（ｂ）は、伝送方向でまとまった波長を割り当てる方式を示す。本実施形態では、異なる波長の光を１本の光ファイバで伝送する波長多重伝送を行うため、AWGおよびWDM CPLにおいて、例えば、図５に示すように波長を割り当てて、異なる波長の光を伝送する。
【００４６】
収容局CO-Aの基本的な機器構成は、収容局CO-Bと同じ構成である。ただし、収容局CO-Bとは使用する波長が異なるため、波長の表記は、図４におけるλの記載が、「’」のあるものとないものとが逆になる。また、収容局CO-Aは、中継局RN-Aと通信を行うため、“From/To RN-A”となる。
【００４７】
（中継局）
図６Ａは、第１の実施形態に係る中継局RN-Bの概略構成を示す図である。図６Ｂは、第１の実施形態に係る中継局RN-Aの概略構成を示す図である。中継局RN-Bおよび中継局RN-Aの構成は同じであるため、図６Ａを参照しながら、中継局RN-Bの構成について説明する。
【００４８】
中継局RN-Bは、ONUのほか、隣接するエリアの中継局RN-Aと中継用光ファイバで接続されている。AWGおよびWDM CPLにおいて、光信号の伝送先サイトを波長で割り振る。AWG for DL_AおよびAWG for DL_Bは、下り伝送信号のうち、RN-AとRN-B間伝送を行う複数信号をWDMするために利用する。そのため、１波長のみ伝送する場合は、不要

である。また、AWG for UL_AおよびAWG for UL_Bは、上り伝送信号のうち、RN-AとRN-B間伝送を行う複数信号をWDMするために利用する。そのため、１波長のみ伝送する場合は、不要である。

【００４９】

中継局RN-Bでは、従来のPONシステムの構成に加え、図６Ａにおけるグレーの部分が新たな構成として設けられているが、いずれもパッシブ部品のみでの構成が可能なシンプルな構成となっている。

【００５０】

（アンテナサイト）

アンテナサイトは、ONUとANTから構成される。ONUは、WDM-CPL、O/E、E/O、Circulatorを備え、中継局から伝送された波長をUEへ送信する。Circulatorは、上り、下り伝送を分ける部品であり、スイッチ等でもよい。また、Circulatorは、ONUの構成に含めず、外部に設けられていてもよい。

【００５１】

図７（ａ）は、通常動作時（エリア外通信なし）の各アンテナサイトの概略構成を示す図である。図７（ｂ）は、通常動作時（エリア外通信なし）の各アンテナサイトと各UEの位置関係を示すイメージ図である。図７（ａ）、（ｂ）に示すように、通常動作時の場合、エリア外通信は行われず、同一エリアで通信が行われる。

【００５２】

例えば、UE#2は、UE#2周辺でかつCO-Bエリアのアンテナサイト（ONU#1-1、ONU#1-2、ONU#1-3、ONU#1-4）と通信を行い、アンテナサイト（ONU#1-1、ONU#1-2、ONU#1-3、ONU#1-4）⇔中継局B⇔収容局Bの通信経路で波長の伝送が行われるため、下り伝送ではONU#1-1へ波長$\lambda_{d1\text{-}1}$（CO-B配下の波長）が入力され、上り伝送ではONU#1-1から波長$\lambda_{u1\text{-}1}$（CO-B配下の波長）が出力される。UE#1-1’も同様、UE#1周辺でかつCO-Aエリアのアンテナサイト（ONU#1-1’、ONU#1-2’、ONU#1-3’、ONU#1-4’）と通信を行い、アンテナサイト（ONU#1-1’、ONU#1-2’、ONU#1-3’、ONU#1-4’）⇔中継局A⇔収容局Aの通信経路で波長の伝送が行われるため、下り伝送ではONU#1-1’へ波長$\lambda_{d1\text{-}1}$’（CO-A配下の波長）が入力され、上り伝送ではONU#1-1’から波長$\lambda_{u1\text{-}1}$’（CO-A配下の波長）が出力される。

【００５３】

図８（ａ）は、切り替え動作時（エリア外通信あり）の各アンテナサイトの概略構成を示す図である。図８（ｂ）は、切り替え動作時（エリア外通信あり）の各アンテナサイトと各UEの位置関係を示すイメージ図である。切り替え動作時の場合、エリア外通信が行われる。

【００５４】

例えば、UE#2がエリアの境界付近に移動すると、UE#2が通信するアンテナサイトが、ONU#1-1、ONU#1-2からONU#1-1’、ONU#1-2’に変更され、エリア外通信が行われる。UE#2は、エリア境界付近のアンテナサイト（ONU#1-1’、ONU#1-2’、ONU#1-3、ONU#1-4）と通信を行う。変更されたアンテナサイト（ONU#1-1’、ONU#1-2’）は、アンテナサイト（ONU#1-1’、ONU#1-2’）⇔中継局A⇔中継局B⇔収容局CO-B⇔基地局Aの通信経路で波長の伝送が行われることになるため、下り伝送ではONU#1-1’へ波長$\lambda_{d1\text{-}1}$’（CO-A配下の波長）が入力され、上り伝送ではONU#1-1’から波長$\lambda_{u1\text{-}1}$（CO-B配下の波長）が出力される。ONU#1-2’も同様である。一方、UE#2と通信を行わなくなったONU#1-1、ONU#1-2は、波長の入出力を停止する、または上り伝送の波長をCO-A向けの波長$\lambda_{u1\text{-}1}$’へ変更し、アンテナサイト（ONU#1-1、ONU#1-2）⇔中継局B⇔中継局A⇔収容局CO-A⇔基地局Bの通信経路で波長の伝送を行ってもよい。

【００５５】

［波長設定変更手順］

次に、本実施形態における使用アンテナサイトの制御方法について、図２～図８を参照しながら説明する。上述した通り、収容局CO-Aと収容局CO-Bは、カバレッジが互いに隣

接する収容局であり、収容局CO-Aと収容局CO-B配下のエリアは、互いに異なる波長帯（例えば、波長群A、波長群B）をベースに運用している。

【００５６】

（１）CO-Bのエリア（波長群B）において、まず、UE#2から収容局CO-BのBSやモバイルコアに伝送されるUE#2の位置情報を、OLTの波長コントローラへ入力する。UE#2の位置情報を、波長コントローラへ入力する方法として、例えば、以下の２つの方法があるが、これに限定されない。

（ｉ）収容局CO-BのBSで、UE#2からの位置情報を直接読み取り、読み取ったUE#2の位置情報を、波長コントローラへ入力する。

（ｉｉ）上位ネットワーク（Upper Network）内の位置情報管理サーバで、UE#2の位置情報を読み取り、読み取ったUE#2の位置情報を、波長コントローラへ入力する。

【００５７】

波長コントローラは、UEの位置情報と各ポート出力波長との対応表を予め保有している。ここで、UEの位置情報とOLTおよびONUの各ポート出力波長との対応表について、説明する。

【００５８】

図９、図１０は、UE位置情報と各ポート出力波長との対応の一例を示す表である。図９（ａ）では、CO-B内のOLT Port#1-1に出力される波長の情報をまとめた表であり、図９（ｂ）は、CO-A内のOLT Port#1-1’に出力される波長の情報をまとめた表である。例えば、図９（ａ）では、UE#2の位置情報（Location information）が「１」（通常動作モード）の場合、下り伝送で使用する波長（OLT output wavelength）は「$\lambda_{d1\text{-}1}$」、上り伝送で使用する波長（ONU output wavelength）は「$\lambda_{u1\text{-}1}$」であることを示し、UE#2の位置情報（Location information）が「１０１」（エリア外動作モード）の場合、下り伝送で使用する波長（OLT output wavelength）は「$\lambda_{d1\text{-}1}$’」、上り伝送で使用する波長（ONU output wavelength）は「$\lambda_{u1\text{-}1}$」であることを示している。

【００５９】

一方、UE#2がエリア外動作モードの場合、CO-AはCO-A配下のONU（ONU#1-1’、ONU#1-2’）への波長の出力を停止し、通信を中断する。そのため、図９（ｂ）では、エリア外動作モードの部分において、下り伝送で使用する波長（OLT output wavelength）は「No output」、上り伝送で使用する波長（ONU output wavelength）は「－」としている。また、リソースを有効利用するために、エリア外動作モード時は、CO-AはCO-B配下のONU（ONU#1-1、ONU#1-2）と通信するよう、図１０（ｂ）に示すように、下り伝送で使用する波長（OLT output wavelength）は「$\lambda_{d1\text{-}1}$」、上り伝送で使用する波長（ONU output wavelength）は「$\lambda_{u1\text{-}1}$’」としてもよい。

【００６０】

（２）UE#2の位置情報を波長コントローラへ入力後、対応表を確認し、収容局CO-Bのエリア外のONU（例えば、CO-AのエリアのONU#1-1’）と通信する場合、OLTは、そのエリア外のONU（ONU#1-1’）を収容するCO-AのエリアのOLT（波長コントローラ）に対して、エリア外通信のリクエスト（通信を使用する許可期間・時間（タイミング）、利用したい波長、利用する波長を変更することにより利用しなくなる波長情報等を含む）を、送信する。

【００６１】

（３）エリア外通信のリクエストを受けたCO-AのエリアのOLTは、対応可否と許可時間（タイミング）を、送信元のOLT（CO-BエリアのOLT）に返す。対応可否については、例えば、リクエスト先のOLTから一定期間内に返信があれば対応可、一定期間内に返信がなければ対応不可とする様なルールを予め決めておいてもよいし、これに限定されない。

【００６２】

（４）エリア外通信許可を受けたOLT（波長コントローラ）は、許可期間（時間）の間、波長コントローラの対応表に基づき、OLTの出力波長を切り替える。そして、エリア外通信許可を出したOLT（CO-AのエリアのOLT）は、波長コントローラの対応表に基づき、

許可期間中は、自身の波長の出力を停止する。
【００６３】
（５）エリア外通信リクエストを出したOLT（CO-BのOLT）は、自身のTx（Transmitter）の波長変更とあわせて、そのポート（Port）の通信先となるエリア外ONU（CO-AのエリアのONU#1-1’）に対して波長変更命令を送信する。なお、手順（４）（５）において、エリア外通信許可を出したOLT（CO-AのOLT）が、自身の波長の出力を停止する前に、配下のONU（エリア外通信リクエストを出したOLT（CO-BのOLT）から見ると、エリア外のONU（CO-AのONU））に波長変更命令を出す方法をとってもよい。
【００６４】
（６）波長変更命令を受けたエリア外ONU（CO-AのONU）は、波長変更命令に含まれる情報に基づいて自身の出力波長を変更し、OLT（CO-BのOLT）とエリア外ONU（CO-AのエリアのONU#1-1’）との通信が確立される。
【００６５】
（７）許可期間終了後、エリア外通信のリクエストを出したOLT（CO-BのOLT）、およびエリア外通信のリクエストを受けたOLT（CO-AのOLT）は、それぞれリクエスト前の状態に戻る。
【００６６】
（８）エリア外通信許可を出したOLT（CO-AのOLT）は、手順（６）で波長変更した自身の配下のONU（ONU#1-1’）に対して、元の波長に戻す命令を送信する。
【００６７】
このようにUEの位置に応じて利用する波長の変更を行うことで、UEがエリア境界へ移動しても、無線品質を低下させることなく、通信を行うことができる。
【００６８】
また、上記手順（４）では、「エリア外通信許可を出したOLT（CO-AのエリアのOLT）は、波長コントローラの対応表に基づき、許可期間中は、自身の波長の出力を止める。」としているが、この場合、エリア外通信許可を出したOLT（CO-AのエリアのOLT）の１ポートと、エリア外通信リクエストを出したOLT（CO-BのOLT）配下にある１つのONU（ONU#1-1）が利用されない状態となる。
【００６９】
そこで、図１０（ｂ）の対応表に示すように、手順（２）で利用しなくなった波長を利用して、OLT（CO-AのエリアのOLT）の１ポートとONU#1-1間で通信を行うことで、通信リソースを有効活用することができる。両機器（OLTの１ポートとONU#1-1）の波長調整については、（５）～（８）と同様の手順で実現する。
【００７０】
ただし、通信リソースを有効活用するケースにおいて、機器障害等で波長変更プロセスが中断した場合には、２つのOLTが１つのONUと同時通信し、光信号間干渉が発生し、無線信号の品質が劣化する可能性がある。これを避けるため、手順（４）で、エリア外通信許可を受けたOLT（CO-BのOLT）は、波長切り替え後に、波長を切り替えた旨を、エリア外通信許可を出したOLT（CO-AのOLT）に通知する機能をさらに有する。その通知を受けたOLT（CO-AのOLT）は、自身がエリア外通信許可を出したOLT（CO-BのOLT）の波長変更が完了したと判断し、自身も変更した波長を利用する。一方、波長を切り替えた旨の通知を受けなかった場合には、変更した波長の利用を中止する。
【００７１】
また、ユーザ端末が、収容局CO-AとCO-B両配下のANTと通信する状態から、いずれか一方のCO配下のANTとのみ通信する状態にシフトする際、境界付近で端末が往復を繰り返すと、回線切り替えに伴う経路変更（波長変更）が頻繁に発生し、信号処理負荷が増大する可能性がある。そこで、例えば、図１１に示すように、UE#2がANT#1-1’、ANT#1-2’（ONU#1-1’、ONU#1-2’）と接続するときの境界線をB1とし、ANT#1-1、ANT#1-2’（ONU#1-1、ONU#1-2）と接続するときの境界線をB2とするなど、あるANTのエリアに入る時の位置条件に対して、出る時の位置条件を広くとることで経路切り替えが頻繁に

発生することを抑制し、信号処理負荷を軽減する。

【００７２】

また、２つの中継局（RN）間をPtP接続１ルートで接続する場合には、その光ファイバの切断等によりセルエッジでの信号品質改善効果がなくなる懸念がある。その場合、図１２に示すように、中継局からPtP接続２ルートで接続する、または、複数の中継局をリング構成で繋ぐことで、光ファイバの切断等が発生しても信号品質劣化がなく、信頼性の高いネットワークの実現が可能となる。

【００７３】

［第２の実施形態］

本実施形態における構成パターンは、以下の通りである。

［１］OLTとエリア外ONUとの接続方式：常時接続

［２］PtMPの実現方式：WDM-PON

［３］追加アクセスファイバ構成：PtPファイバ追加構成

【００７４】

まず、本実施形態に係る光ファイバ通信システムの概要について説明する。図１３は、第２の実施形態に係る光ファイバ通信システムの概要を示す図である。本実施形態においても、第１の実施形態と同様、一例として、図３に示すUEのエリア位置により、UEの接続先ANTが変化する（ビーム形成#1→ビーム形成#2）環境を想定した場合について説明するが、これに限定されない。

【００７５】

収容局CO-Aと収容局CO-Bに光接続される基地局アンテナ群を、それぞれ１本のアクセスファイバを有効活用してPoint to multi-point（PtMP）収容するために中継局を有する。中継局では、パッシブ部品から成るAWGやWDM CPL等を利用して、光信号の伝送先サイトを波長で割り振る。CO-AとCO-Bエリアの境界付近にあるANTサイトでは、CO-AおよびCO-Bからの下り信号を同時受信できるように、複数のO/E（ONU）を有する。CO-AとCO-Bエリアの境界付近にあるONUサイトでは、CO-AおよびCO-Bへ上り信号を同時送信できるように、複数のE/O（ONU）を有する。以下、各機器の構成について具体的に説明する。

【００７６】

［光ファイバ通信システムの各機器の構成］

（収容局）

図１４は、第２の実施形態に係る収容局CO-Bの概略構成を示す図である。収容局CO-Bは、CO-BエリアのONU#1-1だけでなく、常時CO-AエリアにあるONU#1-1’とも通信する収容局である。収容局CO-Bは、BSおよびOLTを備える。

【００７７】

BSは、複数のBSまたはBS機能から構成されるBS poolと、複数のBSまたはBS機能の接続ポート（BS Port）を備える。図１４では、一例として、基地局数（基地局機能数）m、各基地局接続ポート数nを想定した構成を示す。OLTは、TRx（Transceiver）、AWG（Array Waveguide Gratings）、およびWDM CPL（Wavelength division multiplexingCoupler）を備える。

【００７８】

本実施形態では、ONU#1-1’との通信用に、CO-B内ONUとの通信とは独立した伝送チャネル（波長）が割り当てられている。そのため、BS、OLTには、ONU#1-1’との通信用に、BS Port #1-1’r、TRx#1-1’rが設けられ、波長は、$\lambda_{d1\text{-}1}$’r、$\lambda_{u1\text{-}1}$’rが使用される。ONU#1-1’に加えて、CO-Aエリアの別のONUとも通信する場合は、BS Port #1-1’r、TRx#1-1’r相当の機能が追加で必要になる。

【００７９】

図１５は、第２の実施形態における波長の配置例を示す図である。図１５（ａ）は、アンテナサイトおよび伝送方向でまとまった波長を割り当てる方式を示す。図１５（ｂ）は、伝送方向でまとまった波長を割り当てる方式を示す。本実施形態では、異なる波長の光

を１本の光ファイバで伝送する波長多重伝送を行うため、AWGおよびWDM CPLにおいて、例えば、図１５に示すように波長を割り当てて波長を伝送する。

【００８０】

収容局CO-Aの基本的な機器構成は、収容局CO-Bと同じ構成である。ただし、収容局CO-Bとは使用する波長が異なるため、波長の表記は、図１４におけるλの記載が、「’」のあるものとないものとが逆になる。また、図１４におけるλの記載に「r」のある波長は、別のCOエリアのONU向け（エリア外ONU）の波長を表す。また、収容局CO-Aは、中継局RN-Aと通信を行うため、“From/To RN-A”となる。

【００８１】

（中継局）

図１６Ａは、第２の実施形態に係る中継局RN-Bの概略構成を示す図である。図１６Ｂは、第２の実施形態に係る中継局RN-Aの概略構成を示す図である。中継局RN-Bおよび中継局RN-Aの構成は同じであるため、図１６Ａを参照しながら、中継局RN-Bの構成について説明する。

【００８２】

中継局RN-Bは、ONUのほか、隣接するエリアの中継局RN-Aと中継用光ファイバで接続されている。AWGおよびWDM CPLにおいて、光信号の伝送先サイトを波長で割り振る。AWG for DL_AおよびAWG for DL_Bは、下り伝送信号のうち、RN-AとRN-B間伝送を行う複数信号をWDMするために利用する。そのため、１波長のみ伝送する場合は、不要である。また、AWG for UL_AおよびAWG for UL_Bは、上り伝送信号のうち、RN-AとRN-B間伝送を行う複数信号をWDMするために利用する。そのため、１波長のみ伝送する場合は、不要である。WDM CPL#1-1、#1-1rは、同じ光ファイバを使用しているが、WDM CPL#1-1とWDM CPL#1-1rに分けて、別々の光ファイバで伝送してもよい。

【００８３】

中継局RN-Bでは、従来のPONシステムの構成に加え、図１６Ａにおけるグレーの部分が新たな構成として設けられているが、いずれもパッシブ部品のみでの構成が可能なシンプルな構成となっている。

【００８４】

（アンテナサイト）

図１７（ａ）は、第２の実施形態の各アンテナサイトの概略構成を示す図である。図１７（ｂ）は、各アンテナサイトと各UEの位置関係を示すイメージ図である。本実施形態のアンテナサイトは、エリア境界付近のアンテナサイト（ONU#1-1’、ONU#1-1’r）と、エリア境界から離れたアンテナサイト（ONU#1-1）で構成が異なる。

【００８５】

エリア境界付近のアンテナサイト（ONU#1-1’、ONU#1-1’r）は、複数のO/E、E/Oを備える。O/E#1-1’とO/E#1-1’rを備えることにより、CO-A（波長λ_{d1-1}’）およびCO-B（波長λ_{d1-1}’r）からの下り信号を同時受信できる。また、E/O#1-1’とE/O#1-1’rを備えることにより、CO-A（波長λ_{u1-1}’）およびCO-B（波長λ_{u1-1}’r）への上り信号を同時送信できる。

【００８６】

WDM CPLは、WDM CPL#1-1’とWDM CPL#1-1’rの２つに分けて別々の光ファイバで伝送してもよい。Circulatorは、上り、下り伝送を分ける部品であり、スイッチ等でもよい。また、Circulatorは、ONUの構成に含めず、外部に設けられていてもよい。

【００８７】

このように、エリア境界付近アンテナサイトに複数のO/E（ONU）、複数のE/O（ONU）を設け、OLTとエリア外ONUを常時接続可能とすることで、UEがエリア境界へ移動しても、収容局（CO）、アンテナサイト（ONU、ANT）の光波長を切り替えることなく、かつ無線品質を低下させることなく、通信を行うことができる。

【００８８】

ただし、１つのアンテナサイトで複数のエリア向け信号を送受信する構成では、異なる

無線信号が同じタイミングでANTから放射されたり、ANTで受信されたりすることで、干渉による信号劣化の懸念がある。そこで、それぞれの無線信号のビームフォーミング（BF）制御情報を、ネットワークを介して共有し、それを元にBFすることでお互い干渉せずに信号伝送可能となる。

【００８９】

また、２つの中継局（RN）間をPtP接続１ルートで接続する場合には、その光ファイバの切断等によりセルエッジでの信号品質改善効果がなくなる懸念がある。その場合、図１２に示すように、中継局からPtP接続２ルートで接続する、または、複数の中継局をリング構成で繋ぐことで、光ファイバの切断等が発生しても信号品質劣化がなく、信頼性の高いネットワークの実現が可能となる。

【００９０】

［第３の実施形態］

本実施形態における構成パターンは、以下の通りである。

［１］OLTとエリア外ONUとの接続方式：切り替え方式（CO,ANTでIFを動的に変更）

［２］PtMPの実現方式：カスケード接続

［３］追加アクセスファイバ構成：PtPファイバ追加構成

【００９１】

まず、本実施形態に係る光ファイバ通信システムの概要について説明する。図１８は、第３の実施形態に係る光ファイバ通信システムの概要を示す図である。本実施形態においても、第１の実施形態と同様、一例として、図３に示すUEのエリア位置により、UEの接続先ANTが変化する（ビーム形成#1→ビーム形成#2）環境を想定した場合について説明するが、これに限定されない。

【００９２】

収容局CO-Aと収容局CO-Bに光接続される基地局アンテナ群を、それぞれ１本のアクセスファイバを有効活用してPoint to multi-point（PtMP）収容するために中継局を有する。CO-AエリアおよびCO-Bエリアはいずれも同じIF周波数を用いて通信を行い、中継局では、COから伝送されてきたIFoF信号を電気信号に変換し、IF信号分離機器、周波数変換機器等を用いて、各ANTサイト向けの無線信号に分けてそれぞれをE/Oに入力する。上り伝送においては、各ANTサイトからのIFoF信号を電気信号に変換し、周波数変換器等で周波数軸上に多重してCO向けのE/Oに入力する。

【００９３】

時刻（タイミング）により変化するユーザ端末の位置に基づいて、BS、ONUはIFoF伝送する無線信号のIF設定を変更し、各基地局アンテナが収容局CO-Aまたは収容局CO-Bと通信する。ユーザ端末の位置情報をトリガーにIF設定変更すると記載したが、ユーザ端末や基地局設備が持つ他の情報、例えば、アンテナ/基地局とユーザ端末間の無線通信品質情報等）をトリガーにしてIF設定変更してもよい。

【００９４】

本実施形態に係る光ファイバ通信システムでは、UEの位置情報（UEでの各Antenna（ANT）または基地局からの無線通信品質でもよい）に基づき、収容局（CO）、アンテナサイト（ONU、ANT）でIF（Intermediate frequency）を動的に変更し、RNでは動的にIF周波数変換は行わない。以下、各機器の構成およびIF設定変更手順について具体的に説明する。

【００９５】

［光ファイバ通信システムの各機器の構成］

本実施形態に係る光ファイバ通信システムを構成する各機器について説明する。

（収容局）

図１９は、第３の実施形態に係る収容局CO-Bの概略構成を示す図である。収容局CO-Bは、CO-BエリアのONU#1-1だけでなく、時刻によってはCO-AエリアにあるONU#1-1’とも通信する。収容局CO-Bは、BS、OLT、およびIFコントローラ（Intermediate frequency）を備える。

【００９６】
BSは、複数のBSまたはBS機能から構成されるBS poolと、複数のBSまたはBS機能の接続ポート（BS Port）を備える。図１９では、一例として、基地局数（基地局機能数）m、各基地局接続ポート数nを想定した構成を示す。BS Port #1-1は、IFコントローラと接続され、IFコントローラからOLTおよびONUが使用するIFの情報を受信する。そしてBS Port #1-1は、受信したIFの情報に基づき、OLTおよびONUが使用するIFを出力する。図１９のｆの表記について、「’」が無いものがエリア内（CO-B配下）のONU向け、「’」があるものがエリア外（CO-A配下）のONU向けの周波数（IF）を示す。他の図においても、同様である。
【００９７】
BS Port#1-1では、$f_{d1\text{-}1}$（エリア内（CO-Bエリア）向けのIF）または$f_{d1\text{-}1}$’（エリア外（CO-Aエリア）向けのIF）のいずれかのIFを出力することを想定している。例えば、CO-B配下のONU#1-1と通信する場合、エリア内通信であるため、$f_{d1\text{-}1}$が出力され、CO-A配下のONU#1-1’と通信する場合、エリア外通信となるため、$f_{d1\text{-}1}$’が出力される。
【００９８】
また、本実施形態では、ONU#1-1’との通信用に、CO-B内ONUとの通信とは別の伝送チャネル（IF周波数）が割り当てられている。ULとDLは別波長で光伝送するため、上りと下りでIF周波数が同じでもよい。
【００９９】
また、BS Port #1-1は、ONU#1-1’に加えて、CO-Aエリアの別のONUともタイミングにより通信する場合は、BS Port #1-1と同様に、CO-Aエリア向けの別のIFで出力可能なBSポートが追加で必要である。
【０１００】
OLTは、Mux、Demux、Transceiver（TRx）、およびWDM CPL（Wavelength division multiplexing Coupler）を備える。WDM CPLはTRxに含まれる形でもよい。Mux、Demuxの機能をBS側の機能の一部としても良い。図１９ではBS各ポートの入出力周波数は他ポートと異なるが、BS側では各ポート間の入力周波数および出力周波数をそれぞれ同一しておき、MuxおよびDemux側で周波数変換機能（Down conv., Up conv.）を入れる構成でも良い。
【０１０１】
図２０は、第３の実施形態におけるCO～RN間のIFoF伝送周波数の配置例を示す図である。図２０（ａ）、（ｂ）は、エリア内（通常動作）モードのUL・DLにおけるIFoF伝送周波数の配置例である。図２０（ｃ）、（ｄ）は、エリア外動作モードのUL・DLにおけるIFoF伝送周波数の配置例である。図２０（ｃ）、（ｄ）に示すように、エリア外動作モードでは、エリア内ONUの収容に加えて、CO-BでCO-AエリアのONU#1-1’（CO-AでCO-BエリアのONU#1-1）を収容している。エリア外の複数のONUを収容する場合、エリア外の複数のONU向けにまとまった周波数帯を割り当てて、IFoF伝送する。
【０１０２】
なお、実運用では装置監視や制御用の伝送チャネルも必要だが記載は省略するが、装置監視や制御用の伝送チャネルは、低周波数側等に配置して無線IF信号と周波数多重して伝送が可能である。
【０１０３】
収容局CO-Aの基本的な機器構成は、収容局CO-Bと同じ構成である。ただし、収容局CO-Aは、中継局RN-Aと通信を行うため、“From/To RN-A”となる。
【０１０４】
（中継局）
図２１Ａは、第３の実施形態に係る中継局RN-Bの概略構成を示す図である。図２１Ｂは、第３の実施形態に係る中継局RN-Aの概略構成を示す図である。中継局RN-Bおよび中継局RN-Aの構成は同じであるため、図２１Ａを参照しながら、中継局RN-Bの構成について説明する。

【０１０５】
中継局RN-Bは、ONUのほか、隣接するエリアの中継局RN-Aと中継用光ファイバで接続されている。中継局では、下り伝送においては、COから伝送されてきたIFoF信号を電気信号に変換し、IF信号分離機器、周波数変換機器等を用いて、各アンテナサイト向けの無線信号に分けてそれぞれE/Oに入力する。上り伝送においては、各アンテナサイトからのIFoF信号を電気信号に変化し、周波数変換器等で周波数軸上に多重してCO向けのE/Oに入力する。RN間のDLとULのWDM伝送のため、TRx RNの波長が異なる。そこで、例えば、RN-BからRN-Aの光伝送ではO-bandを使い、RN-AからRN-Bの光伝送ではC-bandを使うようにする。
【０１０６】
図２２は、第３の実施形態における中継局（RN-A、RN-B）間のIFoF伝送周波数の配置例を示す図である。図２２（ａ）は、RN-AからRN-BへIFoF伝送する際の周波数配置例であり、図２２（ｂ）は、RN-BからRN-AへIFoF伝送する際の周波数配置例であり、低周波数体にシフトして光伝送する場合の周波数配列例である。装置監視や制御用の伝送チャネルの記載は省略するが、低周波数側等に配置して無線IF信号と周波数多重して伝送が可能である。
【０１０７】
図２３は、第３の実施形態におけるRN-B～ONU／ANTサイト間のIFoF伝送周波数の配置例を示す図である。図２３（ａ）、（ｂ）は、エリア内（通常動作）モードにおけるRN-B～ONU／ANTサイト間のIFoF伝送周波数の配置例であり、低周波数帯にシフトして光伝送する場合のIFoF伝送周波数の配置例を示している。図２３（ａ）、（ｂ）では、CO～RN間伝送の最低IF周波数にシフトしている場合のIFoF伝送周波数の配置例を示す。装置監視や制御用の伝送チャネルの記載は省略するが、低周波数側等に配置して無線IF信号と周波数多重して伝送が可能である。
【０１０８】
図２３（ｃ）、（ｄ）は、エリア外動作モードにおけるRN-B～ONU／ANTサイト間のIFoF伝送周波数の配置例であり、RN-B～ONU/ANTサイト間のIFoF伝送において、低周波数帯にシフトして光伝送、CO-Aに収容されるIF信号も含む場合のIFoF伝送周波数の配置例を示している。装置監視や制御用の伝送チャネルの記載は省略するが、低周波数側等に配置して無線IF信号と周波数多重して伝送が可能である。
【０１０９】
（アンテナサイト）
アンテナサイトは、ONUとANTから構成される。ONUは、WDM-CPL、O/E、E/O、Frequency converters、Circulatorを備え、BSから送信された下りRF（Radio frequency）、上りIFを得るためのLO（Local oscillator）周波数変更の命令を受信する。受信したLO周波数に基づき、自身のLO周波数を変更し、BSと通信を確立する。Circulatorは、上り、下り伝送を分ける部品であり、スイッチ等でもよい。また、Circulatorは、ONUの構成に含めず、外部に設けられていてもよい。
【０１１０】
図２４（ａ）は、通常動作時（エリア外通信なし）の各アンテナサイトの概略構成を示す図である。図２４（ｂ）は、通常動作時（エリア外通信なし）の各アンテナサイトと各UEの位置関係を示すイメージ図である。図２４（ａ）、（ｂ）に示すように、通常動作時の場合、エリア外通信は行われず、同一エリアで通信が行われる。
【０１１１】
例えば、UE#2周辺でかつCO-Bエリアのアンテナサイト（ONU#1-1、ONU#1-2、ONU#1-3、ONU#1-4）と通信を行い、アンテナサイト（ONU#1-1、ONU#1-2、ONU#1-3、ONU#1-4）⇔中継局B⇔収容局Bの通信経路でIFoF伝送が行われるため、下り伝送ではONU#1-1のO/EからIF $f_{d1\text{-}1}$（CO-BエリアのIF）が出力され、上り伝送ではONU#1-1のE/OへのIF $f_{u1\text{-}1}$（CO-BエリアのIF）が入力される。UE#1-1’も同様、UE#1周辺でかつCO-Aエリアのアンテナサイト（ONU#1-1’、ONU#1-2’、ONU#1-3’、ONU#1-4’）

と通信を行い、アンテナサイト（ONU#1-1’、ONU#1-2’、ONU#1-3’、ONU#1-4’）⇔中継局A⇔収容局Aの通信経路でIFoF伝送が行われるため、下り伝送ではONU#1-1’のO/EからIFf_{d1-1}（CO-Aエリアの IF）が出力され、上り伝送ではONU#1-1’のE/OへのIFf_{u1-1}（CO-Aエリアの IF）が入力される。

【０１１２】

図２５（ａ）は、切り替え動作時（エリア外通信あり）の各アンテナサイトの概略構成を示す図である。図２５（ｂ）は、切り替え動作時（エリア外通信あり）の各アンテナサイトと各UEの位置関係を示すイメージ図である。切り替え動作時の場合、エリア外通信が行われる。

【０１１３】

例えば、UE#2がエリアの境界付近に移動すると、UE#2が通信するアンテナサイトが、ONU#1-1、ONU#1-2からONU#1-1’、ONU#1-2’に変更され、エリア外通信が行われる。UE#2は、エリア境界付近のアンテナサイト（ONU#1-1’、ONU#1-2’、ONU#1-3、ONU#1-4）と通信を行う。下り伝送では、Frequency convertersは、入力IFに対して所望のRFとなるようONU（ONU#1-1’、ONU#1-2’）自身のLO周波数を、エリア外用周波数を示すf_{d1-1}’に変更し、上り伝送では、Frequency convertersは、入力RFに対して所望のRFとなるよう自身のLO周波数を、エリア外用周波数を示すf_{u1-1}’に変更し、変更されたアンテナサイト（ONU#1-1’、ONU#1-2’）は、アンテナサイト（ONU#1-1’、ONU#1-2’）⇔中継局A⇔中継局B⇔収容局CO-B⇔基地局Aの通信経路でIFoF伝送が行われることになる。一方、UE#2と通信を行わなくなったONU#1-1、ONU#1-2は、IF信号の入出力を停止する、または ONU#1-1’、ONU#1-2’と同様に、ONU#1-1、ONU#1-2自身のLO周波数を、下り伝送では、エリア外用周波数を示すf_{d1-1}’に変更し、上り伝送では、エリア外用周波数を示すf_{u1-1}’へ変更し、アンテナサイト（ONU#1-1、ONU#1-2）⇔中継局B⇔中継局A⇔収容局CO-A⇔基地局Bの通信経路でIFoF伝送を行ってもよい。

【０１１４】

［IF設定変更手順］

次に、本実施形態における使用アンテナサイトの制御方法について、図１８～図２５を参照しながら説明する。上述した通り、カバレッジが互いに隣接する収容局CO-Aと収容局CO-B配下のエリアにおいて、それぞれ配下のONU向けの周波数帯と隣接エリア配下のONU向けの周波数帯を分けて、IFoF伝送する（例えば、配下のONU向けに周波数帯A、隣接エリアのONU向けに周波数帯Bを利用）。BSの各ポートとONUでは、出力するIFを決めることで、どのようなルートで信号伝送されるか決まるよう設計されている。

【０１１５】

（１）CO-Bのエリアにおいて、まず、UE#2から収容局CO-BのBSやモバイルコアに伝送されるUE#2の位置情報を、BSのIFコントローラへ入力する。UE#2の位置情報を、IFコントローラへ入力する方法として、例えば、以下の２つの方法があるが、これに限定されない。

（ｉ）収容局CO-BのBSで、UE#2からの位置情報を直接読み取り、読み取ったUE#2の位置情報を、IFコントローラへ入力する。

（ｉｉ）上位ネットワーク（Upper Network）内の位置情報管理サーバで、UE#2の位置情報を読み取り、読み取ったUE#2の位置情報を、IFコントローラへ入力する。

【０１１６】

IFコントローラは、UEの位置情報とOLTおよびONUの各ポート出力IFとの対応表を予め保有している。ここで、UEの位置情報とOLTおよびONUの各ポート出力IFとの対応表について、説明する。

【０１１７】

図２６、図２７は、UE位置情報と各ポート出力IFとの対応の一例を示す表である。図２６（ａ）は、CO-B内のBS Port#1-1に出力されるIFの情報をまとめた表であり、図２６（ｂ）は、CO-A内のBS Port#1-1’に出力されるIFの情報をまとめた表である。例えば、図２６（ａ）では、UE#2の位置情報（Location information）が「１」（通常動作モー

ド）の場合、下り伝送で使用するIF（input IF to E/O in CO）は「$f_{d1\text{-}1}$」、上り伝送で使用するIF（Input IF to E/O in ANT site）は「$f_{u1\text{-}1}$’」であることを示し、UE#2の位置情報（Location information）が「１０１」（エリア外動作モード）の場合、下り伝送で使用するIF（input IF to E/O in CO）は「$f_{d1\text{-}1}$’」、上り伝送で使用するIF（Input IF to E/O in ANT site）は「$f_{u1\text{-}1}$’」であることを示している。

【０１１８】

一方、UE#2がエリア外動作モードの場合、CO-AはCO-A配下のONU（ONU#1-1’、ONU #1-2’）へのIFの出力を停止し、通信を中断する。そのため、図２６（ｂ）では、エリア外動作モードの部分において、下り伝送で使用するIF（input IF to E/O in CO）は「No output」、上り伝送で使用するIF（Input IF to E/O in ANT site）は「－」としている。また、リソースを有効利用するために、エリア外動作モード時は、図２７（ｂ）に示すように、CO-AはCO-B配下のONU（ONU#1-1、ONU#1-2）と通信するよう、下り伝送で使用するIF（input IF to E/O in CO）は「$f_{d1\text{-}1}$’」、上り伝送で使用するIF（Input IF to E/O in ANT site）は「$f_{u1\text{-}1}$’」としてもよい。

【０１１９】

（２）UE#2の位置情報をIFコントローラへ入力後、対応表を確認し、収容局CO-Bのエリア外のONU（例えば、CO-AのエリアのONU#1-1’）と通信する場合、OLTは、そのエリア外のONU（ONU#1-1’）を収容するCO-AのエリアのBS（IFコントローラ）に対して、エリア外通信のリクエスト（通信を使用する許可期間・時間（タイミング）変更する通信ポート情報等を含む）を、送信する。

【０１２０】

（３）エリア外通信のリクエストを受けたCO-AのエリアのBS（IFコントローラ）は、対応可否と許可時間（タイミング）を、送信元のBS（CO-BエリアのBS）に返す。対応可否については、例えば、リクエスト先のBSから一定期間内に返信があれば対応可、一定期間内に返信がなければ対応不可とする様なルールを予め決めておいてもよいし、これに限定されない。

【０１２１】

（４）エリア外通信許可を受けたBS（IFコントローラ）は、許可期間（時間）の間、IFコントローラの対応表に基づき、BS Portの出力IFを切り替える。そして、エリア外通信許可を出したBS（CO-AのエリアのBS）は、IFコントローラの対応表に基づき、許可期間中は、自身のIF信号の出力を止める。

【０１２２】

（５）エリア外通信リクエストを出したBS（CO-BのBS）は、自身の出力PortのIF変更とあわせて、そのポート（Port）の新しい通信先となるエリア外ONUに対して所望の下りRF、上りIFを得るためのLO周波数変更命令を送信する。なお、手順（４）（５）において、エリア外通信許可を出したBS（CO-AのBS）から、配下のONU（エリア外通信リクエストを出したBSから見ると、エリア外のONU）にLO周波数変更命令を出す方法をとってもよい。

【０１２３】

（６）LO周波数変更命令を受けたエリア外ONUは、LO周波数変更命令に含まれる情報に基づいて自身のLO周波数をエリア外用周波数（$f_{d1\text{-}1}$’、$f_{u1\text{-}1}$’）に変更し、BS（CO-BのBS）とエリア外ONU（CO-AのエリアのONU#1-1’）との通信が確立される。

【０１２４】

（７）許可期間終了後、エリア外通信のリクエストを出したBS（CO-BのBS）、およびエリア外通信のリクエストを受けたBS（CO-AのBS）は、それぞれリクエスト前の状態に戻る。

【０１２５】

（８）エリア外通信許可を出したBS（CO-AのBS）は、手順（６）でLO周波数変更した自身の配下のONU（ONU#1-1’）に対して、元のLO周波数に戻す命令を送信する。

【０１２６】

このようにUEの位置に応じてIF変更を行い、IFoF伝送することで、UEがエリア境界へ移動しても、無線品質を低下させることなく、通信を行うことができる。

【０１２７】

また、上記手順（４）では、「エリア外通信許可を出したBS（CO-AのエリアのBS）は、IFコントローラの対応表に基づき、許可期間中は、自身のIF信号の出力を止める。」としているが、この場合、エリア外通信許可を出したBSの１ポートとエリア外通信リクエストを出したBS配下にある１つのONUが利用されない状態となる。

【０１２８】

そこで、エリア外通信リクエストをしたBSのポートと同様に、リクエストを許可した側のBSのポートでも、対応表を元にエリア外通信用のIF（$f_{d1\text{-}1}$’、$f_{u1\text{-}1}$’）に周波数変更し、利用されなくなるONUを有効利用することができる。IF調整については、（５）～（８）と同様のプロセスで実現する。

【０１２９】

そして、本実施形態においても、第１の実施形態と同様、ユーザ端末が、収容局CO-AとCO-B両配下のANTと通信する状態から、いずれか一方のCO配下のANTとのみ通信する状態にシフトする際、境界付近で端末が往復を繰り返すと、回線切り替えに伴う経路変更（IF変更）が頻繁に発生し、信号処理負荷が増大する可能性がある。そこで、図１１に示すように、あるANTのエリアに入る時の位置条件に対して、出る時の位置条件を広くとることで経路切り替えが頻繁に発生することを抑制し、信号処理負荷を軽減する。

【０１３０】

また、２つの中継局（RN）間をPtP接続１ルートで接続する場合には、その光ファイバの切断等によりセルエッジでの信号品質改善効果がなくなる懸念がある。その場合、図１２に示すように、中継局からPtP接続２ルートで接続する、または、複数の中継局をリング構成で繋ぐことで、光ファイバの切断等が発生しても信号品質劣化がなく、信頼性の高いネットワークの実現が可能となる。

【０１３１】

［第４の実施形態］

本実施形態における構成パターンは、以下の通りである。

［１］OLTとエリア外ONUとの接続方式：常時接続

［２］PtMPの実現方式：カスケード接続

［３］追加アクセスファイバ構成：PtPファイバ追加構成

【０１３２】

まず、本実施形態に係る光ファイバ通信システムの概要について説明する。図２８は、第４の実施形態に係る光ファイバ通信システムの概要を示す図である。本実施形態においても、第１の実施形態と同様、一例として、図３に示すUEのエリア位置により、UEの接続先ANTが変化する（ビーム形成#1→ビーム形成#2）環境を想定した場合について説明するが、これに限定されない。

【０１３３】

収容局CO-Aと収容局CO-Bに光接続される基地局アンテナ群を、それぞれ１本のアクセスファイバを有効活用してPoint to mult-point（PtMP）収容するために中継局を有する。CO-AエリアおよびCO-Bエリアはいずれも同じIF周波数を用いて通信を行い、中継局では、COから伝送されてきたIFoF信号を電気信号に変換し、IF信号分離機器、周波数変換機器等を用いて、各ANTサイト向けの無線信号に分けてそれぞれをE/Oに入力する。上り伝送においては、各ANTサイトからのIFoF信号を電気信号に変換し、周波数変換器等で周波数軸上に多重してCO向けのE/Oに入力する。

【０１３４】

本実施形態では、COと中継局間のIFoF伝送において、COとエリア内ANT向けのIF信号と、別のエリア向けのIF信号とを周波数多重してIFoF伝送する。中継局間のIFoF伝送において、あるCOのエリア外向け下りIF信号と、そのエリア外COに向かう上りIF信号を周波数多重して、IFoF伝送する。CO-AとCO-Bエリアの境界付近にあるANTサイトに対して、

その２つのエリア向けのIF信号を周波数多重して伝送する。ANTサイトでそれぞれのIF信号を分離して、RFに変換してANTから放射する。上りの場合は、ANTサイトでその２つのエリアからのRF信号を周波数軸上にIF多重して伝送する。以下、各機器の構成について具体的に説明する。

【０１３５】

［光ファイバ通信システムの各機器の構成］

（収容局）

図２９は、第４の実施形態に係る収容局CO-Bの概略構成を示す図である。収容局CO-Bは、CO-BエリアのONU#1-1だけでなく、常時CO-AエリアにあるONU#1-1’とも通信する収容局である。収容局CO-Bは、BSおよびOLTを備える。

【０１３６】

BSは、複数のBSまたはBS機能から構成されるBS poolと、複数のBSまたはBS機能の接続ポート（BS Port）を備える。図２９では、一例として、基地局数（基地局機能数）m、各基地局接続ポート数nを想定した構成を示す。

【０１３７】

本実施形態では、ONU#1-1’との通信用に、CO-B内ONUとの通信とは独立した伝送チャネル（IF周波数）が割り当てられている。そのため、BSには、ONU#1-1’との通信用に、BS Port #1-1’rが設けられ、IFは、$f_{1\text{-}1}$’r、$f_{1\text{-}1}$’rが使用される。ULとDLで、別波長で光伝送するため、上りと下りでIF周波数が同じでもよい。図２９のｆの表記について、「’」が無いものがエリア内（CO-B配下）のONU向け、「’」があるものがエリア外（CO-A配下）のONU向けの周波数（IF）を示す。他の図においても、同様である。ONU#1-1’に加えて、CO-Aエリアの別のONUとも通信する場合は、BS Port#1-1’r相当の機能が追加で必要になる。

【０１３８】

また、本実施形態では、ONU#1-1’との通信用に、CO-B内ONUとの通信とは別の伝送チャネル（IF周波数）が割り当てられている。ULとDLは別波長で光伝送するため、上りと下りでIF周波数が同じでもよい。

【０１３９】

OLTは、Mux、Demux、Transceiver（TRx）、およびWDM CPL（Wavelength division multiplexing Coupler）を備える。WDM CPLはTRxに含まれる形でもよい。Mux、Demuxの機能をBS側の機能の一部としても良い。図２９ではBS各ポートの入出力周波数は他ポートと異なるが、BS側では各ポート間の入力周波数および出力周波数をそれぞれ同一しておき、MuxおよびDemux側で周波数変換機能（Down conv.，Up conv.）を入れる構成でも良い。

【０１４０】

図３０（ａ）、（ｂ）は、第４の実施形態におけるCO～RN間のIFoF伝送周波数の配置例を示す図である。図３０（ａ）、（ｂ）は、エリア内のONUの収容に加えて、CO-BでCO-AのONU#1-1’rを、CO-AでCO-BのONU#1-1rを収容する場合のUL・DLにおけるIFoF伝送周波数の配置例であり、エリア外の複数のONUを収容する場合、エリア外の複数のONU向けにまとまった周波数帯を割り当てる。

【０１４１】

なお、実運用では装置監視や制御用の伝送チャネルも必要だが記載は省略するが、装置監視や制御用の伝送チャネルは、低周波数側等に配置して無線IF信号と周波数多重して伝送が可能である。

【０１４２】

収容局CO-Aの基本的な機器構成は、収容局CO-Bと同じ構成である。ただし、図２９におけるｆの記載に「r」のあるIFは、別のCOエリアのONU向けのIFを表す。また、収容局CO-Aは、中継局RN-Aと通信を行うため、“From/To RN-A”となる。

【０１４３】

（中継局）

図３１Ａは、第４の実施形態に係る中継局RN-Bの概略構成を示す図である。図３１Ｂは、第４の実施形態に係る中継局RN-Aの概略構成を示す図である。中継局RN-Bおよび中継局RN-Aの構成は同じであるため、図３１Ａを参照しながら、中継局RN-Bの構成について説明する。

【０１４４】

中継局RN-Bは、ONUのほか、隣接するエリアの中継局RN-Aと中継用光ファイバで接続されている。中継局では、下り伝送においては、COから伝送されてきたIFoF信号を電気信号に変換し、IF信号分離機器、周波数変換機器等を用いて、各アンテナサイト向けの無線信号に分けてそれぞれE/Oに入力する。上り伝送においては、各アンテナサイトからのIFoF信号を電気信号に変化し、周波数変換器等で周波数軸上に多重してCO向けのE/Oに入力する。

【０１４５】

さらに、本実施形態の中継局では、COと中継局間のIFoF伝送において、COとエリア内アンテナサイト向けのIF信号と、別エリア向けのIF信号とを周波数多重してIFoF伝送する。

【０１４６】

中継局間のIFoF伝送において、あるCOのエリア外向け下りIF信号と、そのエリア外に向かう上りIF信号を周波数多重して、IFoF伝送する。

【０１４７】

CO-AおよびCO-Bエリアの境界付近にあるアンテナサイトに対して、２つのエリア向けのIF信号を周波数多重して伝送する。アンテナサイトでそれぞれのIF信号を分離してRFに変換して、アンテナサイトから放射する。上りの場合は、アンテナサイトでその２つのエリアからRF信号を周波数軸上にIF多重して伝送する。

【０１４８】

RN間のDLとULのWDM伝送のため、TRx RNの波長が異なる。そこで、例えば、RN-BからRN-Aの光伝送ではO-bandを使い、RN-AからRN-Bの光伝送ではC-bandを使うようにする。

【０１４９】

図３２は、第４の実施形態における中継局（RN-A、RN-B）間のIFoF伝送周波数の配置例を示す図である。図３２（ａ）は、RN-AからRN-BへIFoF伝送する際の周波数配置例であり、図３２（ｂ）は、RN-BからRN-AへIFoF伝送する際の周波数配置例であり、低周波数体にシフトして光伝送する場合の周波数配列例である。装置監視や制御用の伝送チャネルの記載は省略するが、低周波数側等に配置して無線IF信号と周波数多重して伝送が可能である。

【０１５０】

図３３は、第４の実施形態におけるRN-B～ONU／ANTサイト間のIFoF伝送周波数の配置例を示す図である。図３３（ａ）、（ｂ）は、エリア内における（他のエリアに収容されるIF信号は含まない）RN-B～ONU／ANTサイト間のIFoF伝送周波数の配置例であり、低周波数帯にシフトして光伝送する場合のIFoF伝送周波数の配置例を示している。図３３（ａ）、（ｂ）では、CO～RN間伝送の最低IF周波数にシフトしている場合のIFoF伝送周波数の配置例を示している。装置監視や制御用の伝送チャネルの記載は省略するが、低周波数側等に配置して無線IF信号と周波数多重して伝送が可能である。

【０１５１】

図３３（ｃ）、（ｄ）は、CO-Aに収容されるIF信号も含む場合のIFoF伝送周波数の配置例を示す図である。装置監視や制御用の伝送チャネルの記載は省略するが、低周波数側等に配置して無線IF信号と周波数多重して伝送が可能である。

【０１５２】

（アンテナサイト）

図３４（ａ）は、第４の実施形態の各アンテナサイトの概略構成を示す図である。図３４（ｂ）は、各アンテナサイトと各UEの位置関係を示すイメージ図である。本実施形態の

アンテナサイトは、エリア境界付近のアンテナサイト（ONU#1-1’、ONU#1-1’r）と、エリア境界から離れたアンテナサイト（ONU#1-1）で構成が異なる。いずれのアンテナサイトもONUとANTから構成され、ONUは、WDM-CPL、O/E、E/O、Frequency converters、Circulatorを備える。

【０１５３】

エリア境界付近のアンテナサイト（ONU#1-1’、ONU#1-1’r）においては、下り伝送では、エリア境界付近アンテナサイトに対し、RNから隣接する２つのエリア向けのIF信号（$f_{d1\text{-}1}$’、$f_{1\text{-}1}$’r）を周波数多重して伝送され、アンテナサイトでそれぞれのIF信号を分離し、RFに変換してANTから放射する。逆に、上り伝送では、アンテナサイトでその２つのエリアからのRF信号を周波数軸上にIF多重（$f_{d1\text{-}1}$’、$f_{1\text{-}1}$’r）してRNへ伝送する。Circulatorは、上り、下り伝送を分ける部品であり、スイッチ等でもよい。また、Circulatorは、ONUの構成に含めず、外部に設けられていてもよい。

【０１５４】

エリア境界から離れたアンテナサイト（ONU#1-1）は、下り伝送では、CO-Bのエリア向けのIF信号（$f_{d1\text{-}1}$）を伝送し、アンテナサイトでRFに変換してANTから放射する。逆に、上り伝送では、アンテナサイトでそのCO-BのエリアからのRF信号をIF信号（$f_{u1\text{-}1}$）に変換してIFoF伝送する。

【０１５５】

このように、エリア境界付近アンテナサイトにおいてIF信号を周波数多重して伝送し、OLTとエリア外ONUを常時接続可能とすることで、UEがエリア境界へ移動しても、収容局（CO）、アンテナサイト（ONU、ANT）のIFを切り替えることなく、かつ無線品質を低下させることなく、通信を行うことができる。

【０１５６】

ただし、1つのANTサイトで複数のエリア向け信号を送受する構成では、異なる無線信号が同じタイミングでANTから放射されたり、ANTで受信されたりすることで、干渉による信号劣化の懸念がある。それぞれの無線信号のビームフォーミング（BF）制御情報を、ネットワークを介して共有し、それを元にBFすることでお互い干渉せずに信号伝送可能となる。

【０１５７】

また、２つの中継局（RN）間をPtP接続１ルートで接続する場合には、その光ファイバの切断等によりセルエッジでの信号品質改善効果がなくなる懸念がある。中継局からPtP接続２ルートで接続する、または、複数の中継局をリング構成で繋ぐことで、光ファイバの切断等が発生しても信号品質劣化がなく、信頼性の高いネットワークの実現が可能となる。

【０１５８】

［第５の実施形態］

本実施形態における構成パターンは、以下の通りである。

［１］OLTとエリア外ONUとの接続方式：切り替え方式（RNでIFを動的に変更）

［２］PtMPの実現方式：カスケード接続

［３］追加アクセスファイバ構成：PtPファイバ追加構成

【０１５９】

まず、本実施形態に係る光ファイバ通信システムの概要について説明する。図３５は、第５の実施形態に係る光ファイバ通信システムの概要を示す図である。本実施形態においても、第１の実施形態と同様、一例として、図３に示すUEのエリア位置により、UEの接続先ANTが変化する（ビーム形成#1→ビーム形成#2）環境を想定した場合について説明するが、これに限定されない。

【０１６０】

収容局CO-Aと収容局CO-Bは、いずれも同じIF周波数を利用し、IFoF（Intermediate frequency over fiber）伝送する。本実施形態に係る光ファイバ通信システムは、RNで、UEの位置情報（UEでの各Antenna（ANT）または基地局からの無線通信品質）に基づ

き、IF（Intermediate frequency）を動的に変更し、COおよびアンテナサイトでは、固定したIF周波数（f_{d1-1}、f_{u1-1}）を利用する。RN向けのIF変更情報を、COのIFコントローラで生成し、無線信号とともにIFoF伝送する。以下、各機器の構成およびIF変更変更手順について具体的に説明する。

【０１６１】

［光ファイバ通信システムの各機器の構成］

本実施形態に係る光ファイバ通信システムを構成する各機器について説明する。

（収容局）

図３６は、第５の実施形態に係る収容局CO-Bの概略構成を示す図である。収容局CO-Bは、CO-BエリアのONU#1-1だけでなく、時刻によってはCO-AエリアにあるONU#1-1’とも通信する。収容局CO-Bは、BS、OLT、およびIFコントローラ（Intermediate frequency）を備える。

【０１６２】

BSは、複数のBSまたはBS機能から構成されるBS poolと、複数のBSまたはBS機能の接続ポート（BS Port）を備える。各BS Portからは固定周波数のIF信号が出力される。図３６では、一例として、基地局数（基地局機能数）m、各基地局接続ポート数nを想定した構成を示す。図１７の周波数ｆの表記について、「’」が無いものがエリア内（CO-B配下）のONU向け、「’」があるものがエリア外（CO-A配下）のONU向けの周波数（IF）を示す。他の図においても、同様である。

【０１６３】

IFコントローラは、UE位置情報と中継局RNでの出力先、出力IFをまとめた表を保持している。IFコントローラは、RN内での周波数変換制御用に、無線通信信号とは別の伝送チャネル（IF周波数）で制御信号を伝送する。他の監視や制御用のチャネルを利用して情報（制御信号）を伝送してもよい。ULとDLは別波長で光伝送するため、上りと下りでIF周波数が同じでもよい。

【０１６４】

OLTは、Mux、Demux、Transceiver（TRx）、およびWDM CPL（Wavelength division multiplexing Coupler）を備える。WDM CPLはTRxに含まれる形でもよい。Mux、Demuxの機能をBS側の機能の一部としても良い。図ではBS各ポートの入出力周波数は他ポートと異なるが、BS側では各ポート間の入力周波数および出力周波数をそれぞれ同一しておき、MuxおよびDemux側で周波数変換機能（Down conv.，Up conv.）を入れる構成でも良い。Mux、Demux、TRx、およびWDM CPLについては、既存のカスケード接続に用いられているものと同じであるため、動作の説明は省略する。

【０１６５】

なお、実運用では装置監視や制御用の伝送チャネルも必要だが記載は省略するが、装置監視や制御用の伝送チャネルは、低周波数側等に配置して無線IF信号と周波数多重して伝送が可能である。

【０１６６】

図３７は、第５の実施形態におけるCO～RN間のIFoF伝送周波数の配置例を示す図であり、エリア内のONUの収容に加えて、CO-BでCO-AエリアのONU#1-1’を、CO-AでCO－BエリアのONU#1-1を収容する場合のIFoF伝送周波数の配置例を示している。ULおよびDLにおいて、エリア外のONUを収容する場合も、エリア内のONUを収容する場合と同じIFでIFoF伝送し、低周波数側にIF control channelを配置する。装置監視や制御用の伝送チャネルの記載は省略してrが、低周波数側等に配置して無線IF信号と一緒に伝送してもよい。

【０１６７】

収容局CO-Aの基本的な機器構成は、収容局CO-Bと同じ構成である。ただし、収容局CO-Aは、中継局RN-Aと通信を行うため、“From/To RN-A”となる。

【０１６８】

（中継局）

図３８Ａは、第５の実施形態に係る中継局RN-Bの概略構成を示す図である。図３８Ｂは、第５の実施形態に係る中継局RN-Aの概略構成を示す図である。中継局RN-Bおよび中継局RN-Aの構成は同じであるため、図３８Ａを参照しながら、中継局RN-Bの構成について説明する。

【０１６９】

中継局RN-Bは、ONUのほか、隣接するエリアの中継局RN-Aと中継用光ファイバで接続されている。中継局RN-Bでは、各IF信号の送信先（ONU、BS、別のRN）、IF周波数を変更する。中継局は、IFコントローラ_rを備え、BSのIFコントローラから制御信号を受信し、IFコントローラ_rが周波数変換器、Mux、Demuxを制御することで、RNサイトでの当該BS portからの出力IF信号の周波数を、BSのIFコントローラ内にある対応表を元に、変更、対向するRNサイト向けおよび配下のONU向けのTRｘへ入力させる。

【０１７０】

図３９は、第５の実施形態における中継局（RN-A、RN-B）間のIFoF伝送周波数の配置例を示す図である。図３９（ａ）は、RN-AからRN-BへIFoF伝送する際の周波数配置例であり、図３９（ｂ）は、RN-BからRN-AへIFoF伝送する際の周波数配置例であり、低周波数体にシフトして光伝送する場合の周波数配列例である。装置監視や制御用の伝送チャネルの記載は省略するが、低周波数側等に配置して無線IF信号と周波数多重して伝送が可能である。

【０１７１】

図４０は、第５の実施形態におけるRN-B～ONU／ANTサイト間のIFoF伝送周波数の配置例を示す図である。図４０（ａ）、（ｂ）は、エリア内（通常動作）モードにおけるRN-B～ONU／ANTサイト間のIFoF伝送周波数の配置例であり、低周波数帯にシフトして光伝送する場合のIFoF伝送周波数の配置例を示している。図４０（ａ）、（ｂ）では、CO～RN間伝送の最低IF周波数にシフトしている場合のIFoF伝送周波数の配置例を示す。

【０１７２】

（アンテナサイト）

アンテナサイトは、ONUとANTから構成される。ONUは、WDM-CPL、O/E、E/O、Frequency converters、Circulatorを備え、BSから送信された下りRF（Radio frequency）、上りIFを得るためのLO（Local oscillator）周波数変更の命令を受信する。受信したLO周波数に基づき、自身のLO周波数を変更し、BSと通信を確立する。Circulatorは、上り、下り伝送を分ける部品であり、スイッチ等でもよい。また、Circulatorは、ONUの構成に含めず、外部に設けられていてもよい。

【０１７３】

図４１（ａ）は、通常動作時（エリア外通信なし）の各アンテナサイトの概略構成を示す図である。図４１（ｂ）は、通常動作時（エリア外通信なし）の各アンテナサイトと各UEの位置関係を示すイメージ図である。図４１（ａ）、（ｂ）に示すように、通常動作時の場合、エリア外通信は行われず、同一エリアで通信が行われる。

【０１７４】

例えば、UE#2は、UE#2周辺でかつCO-Bエリアのアンテナサイト（ONU#1-1、ONU#1-2、ONU#1-3、ONU#1-4）と通信を行い、アンテナサイト（ONU#1-1、ONU#1-2、ONU#1-3、ONU#1-4）⇔中継局B⇔収容局Bの通信経路でIFoF伝送が行われるため、下り伝送ではONU#1-1のO/EからIF $f_{d1\text{-}1}$（CO-BエリアのIF）が出力され、上り伝送ではONU#1-1のE/OへのIF $f_{u1\text{-}1}$（CO-BエリアのIF）が入力される。UE#1-1’も同様、UE#1周辺でかつCO-Aエリアのアンテナサイト（ONU#1-1’、ONU#1-2’、ONU#1-3’、ONU#1-4’）と通信を行い、アンテナサイト（ONU#1-1’、ONU#1-2’、ONU#1-3’、ONU#1-4’）⇔中継局A⇔収容局Aの通信経路でIFoF伝送が行われるため、下り伝送ではONU#1-1’のO/EからIF $f_{d1\text{-}1}$（CO-AエリアのIF）が出力され、上り伝送ではONU#1-1’のE/OへのIF $f_{u1\text{-}1}$（CO-AエリアのIF）が入力される。

【０１７５】

図４２（ａ）は、切り替え動作時（エリア外通信あり）の各アンテナサイトの概略構成

を示す図である。図４２（ｂ）は、切り替え動作時（エリア外通信あり）の各アンテナサイトと各UEの位置関係を示すイメージ図である。切り替え動作時の場合、エリア外通信が行われる。

【０１７６】

例えば、UE#2がエリアの境界付近に移動すると、UE#2が通信するアンテナサイトが、ONU#1-1、ONU#1-2からONU#1-1’、ONU#1-2’に変更され、エリア外通信が行われる。UE#2は、エリア境界付近のアンテナサイト（ONU#1-1’、ONU#1-2’、ONU#1-3、ONU#1-4）と通信を行う。本実施形態では、RNでIFを動的に変更しているため、アンテナサイトでは、固定したIF周波数を利用する。RNでのIF変更に基づき、アンテナサイト（ONU#1-1’、ONU#1-2’）⇔中継局A⇔中継局B⇔収容局CO-B⇔基地局Aの通信経路でIFoF伝送が行われることになる。一方、UE#2と通信を行わなくなったONU#1-1、ONU#1-2は、IFの出力を停止する、またはONU#1-1’、ONU#1-2’と同様に、RNでのIF変更に基づき、アンテナサイト（ONU#1-1、ONU#1-2）⇔中継局B⇔中継局A⇔収容局CO-A⇔基地局Bの通信経路でIFoF伝送を行ってもよい。

【０１７７】

［IF設定変更手順］

次に、本実施形態における使用アンテナサイトの制御方法について、図３５～図４２を参照しながら説明する。カバレッジが互いに隣接する収容局CO-Aと収容局CO-B配下のエリアにおいて、それぞれ配下のONU向けの周波数と隣接エリア配下のONU向けの周波数にRNサイトで変換し、RN～RN間またはRN～ONU間でIFoF伝送を行う（例えば、配下のONU向けに周波数f1、隣接エリアのONU向けには周波数fx（f1 〈 fx）に変換して出力）。変換された周波数によりどのようなルートで信号伝送されるか決まるよう設計されている。

【０１７８】

（１）CO-Bのエリアにおいて、まず、UE#2から収容局CO-BのBSやモバイルコアに伝送されるUE#2の位置情報を、OLTのIFコントローラへ入力する。UE#2の位置情報を、IFコントローラへ入力する方法として、例えば、以下の２つの方法があるが、これに限定されない。

（ｉ）収容局CO-BのBSで、UE#2からの位置情報を直接読み取り、読み取ったUE#2の位置情報を、IFコントローラへ入力する。

（ｉｉ）上位ネットワーク（Upper Network）内の位置情報管理サーバで、UE#2の位置情報を読み取り、読み取ったUE#2の位置情報を、IFコントローラへ入力する。なお、IFコントローラは、UEの位置情報とRNでの出力先（TRx接続先）、RFでの出力IFの対応表を予め保有している。

【０１７９】

ここで、UEの位置情報とRNでの出力先（TRx接続先）、RFでの出力IFとの対応表について、説明する。図４３は、UE位置情報と各TRxでの入出力IFとの対応の一例を示す表である。図４３（ａ）は、CO-B内BS Port#1-1に関係する上り、下り伝送に使用するIFの情報をまとめた表であり、図４３（ｂ）は、CO-A内BS Port#1-1に関係する上り、下り伝送に使用するIFの情報をまとめた表である。

【０１８０】

中継局において、UE#2の位置情報（Location information）が「１」（通常動作モード）の場合、下り伝送ではTRx#1-1に「$f_{d1\text{-}1}$」、上り伝送ではTRxに「$f_{u1\text{-}1}$」のIFを伝送することを示し、UE#2の位置情報（Location information）が「１０１」（エリア外動作モード）の場合、下り伝送ではTRx RNに「$f_{d1\text{-}1_r}$」、上り伝送ではTRxに「$f_{u1\text{-}1_r}$」のIFを伝送することを示している。そして、UE#2がエリア外動作モードの場合、CO-A側では、下り伝送ではTRx RNに「$f_{d1\text{-}1_r}$」、上り伝送ではTRx_RNに「$f_{u1\text{-}1_r}$」のIFを伝送することを示している。CO-B内BS Port#1-1がエリア外動作モードになった時に、CO-A内BS Port#1-1の入出力をオフにし、停止するとしてもよい。

【０１８１】

（２）UE#2の位置情報をOLTのIFコントローラへ入力後、対応表を確認し、収容局CO-Bのエリア外のONU（例えば、CO-AのエリアのONU#1-1’）と通信する場合、OLTは、そのエリア外のONU（ONU#1-1’）向けのBS（IFコントローラ）に対して、エリア外通信のリクエスト（通信を使用する許可期間・時間（タイミング）、変更する通信ポート情報等を含む）を、送信する。

【０１８２】

（３）エリア外通信のリクエストを受けたCO-AのエリアのBSは、対応可否と許可時間（タイミング）を、送信元のBS（CO-BエリアのBS）に返す。対応可否については、例えば、リクエスト先のBSから一定期間内に返信があれば対応可、一定期間内に返信がなければ対応不可とする様なルールを予め決めておいてもよいし、これに限定されない。

【０１８３】

（４）エリア外通信許可を受けたBS（IFコントローラ）は、配下のRN内のIFコントローラ（IF controller_r）に対して制御信号を送信し、そのIFコントローラが周波数変換器、Mux、Demuxを制御することで、許可期間（時間）の間、RNサイトで当該BS portからの出力IF信号の周波数を、対応表を元に、変更、対向するRNサイト向けのTRxへ入力させる。そして、エリア外通信許可を出したBS（CO-AのエリアのBS）は、許可期間中は対応するポートのIF信号出力を停止する。

【０１８４】

（５）エリア外通信許可を出したBS（IFコントローラ）も、（４）の制御に合わせて、配下のRN内のIFコントローラに対して制御信号を送信し、そのIFコントローラが周波数変換器、Mux、Demuxを制御することで、許可期間（時間）の間、エリア外のRNから伝送されてきたIF信号を該当する配下のONU向けのTRxへ入力される。

【０１８５】

（６）許可期間の終わりになったら、RN内のIFコントローラは周波数変換機器、Mux、Demuxを制御前の状態に戻す。エリア外許可通信を出したBSは、停止していたIF信号の出力を開始する。なお、（４）～（６）で一旦制御した状態を元の状態に戻す際に、制御情報をもとに戻すような制御信号をトリガーとしてもよい。

【０１８６】

このようにUEの位置に応じてIF変更を行うことで、UEがエリア境界へ移動しても、無線品質を低下させることなく、通信を行うことができる。

【０１８７】

また、上記手順（４）では、「エリア外通信許可を出したBS（CO-AのエリアのBS）は、許可期間中は対応するポートのIF信号出力を止める。」とした場合に、エリア外通信許可を出したBSの1ポートとエリア外通信リクエストを出したBS配下にある１つのONUが利用されない状態となる。

【０１８８】

そこで、エリア外通信リクエストをしたBSポートと同様に、リクエストを許可した側のBSの１ポートでもIF信号を出力し続け、配下のRNサイトで対向するRN向けのIFに変更して、利用されなくなるONUを有効利用することができる。IF調整については、（４）～（６）と同様のプロセスで実現する。

【０１８９】

また、ユーザ端末が、収容局CO-AとCO-B両配下のANTと通信する状態から、いずれか一方のCO配下のANTとのみ通信する状態にシフトする際、境界付近で端末が往復を繰り返すと、回線切り替えに伴う経路変更（IF変更）が頻繁に発生し、信号処理負荷が増大する可能性がある。そこで、例えば、図１１に示すように、UE#2がANT#1-1’、#1-2’（ONU#1-1’、ONU#1-2’）と接続するときの境界線をB1とし、ANT#1-1、#1-2（ONU#1-1、ONU#1-2）と接続するときの境界線をB2とするなど、あるANTのエリアに入る時の位置条件に対して、出る時の位置条件を広くとることで経路切り替えが頻繁に発生することを抑制し、信号処理負荷を軽減する。

【０１９０】

また、２つの中継局（ＲＮ）間をＰｔＰ接続１ルートで接続する場合には、その光ファイバの切断等によりセルエッジでの信号品質改善効果がなくなる懸念がある。その場合、図１２に示すように、中継局からＰｔＰ接続２ルートで接続する、または、複数の中継局をリング構成で繋ぐことで、光ファイバの切断等が発生しても信号品質劣化がなく、信頼性の高いネットワークの実現が可能となる。

【０１９１】

以上説明したように、本実施形態によれば、エリア境界付近での無線通信の品質を向上させることが可能となる。また、光ファイバコストや光ファイバ敷設置期間を短く抑えたシンプルかつ経済的な構造を有する光ファイバ通信システムを構築することが可能となる。

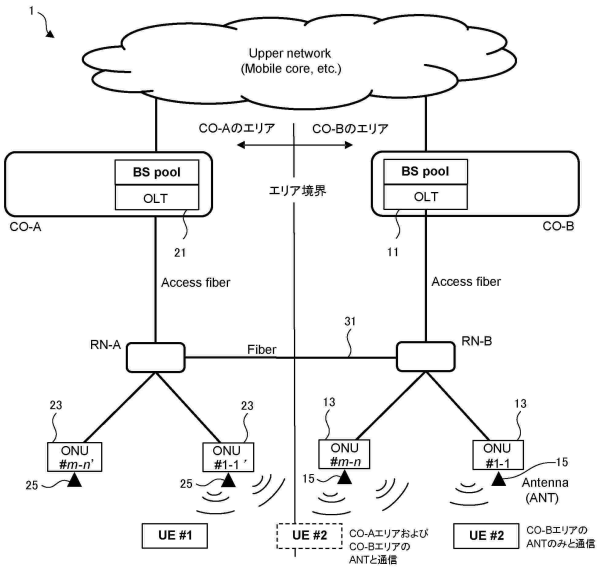
【符号の説明】

【０１９２】

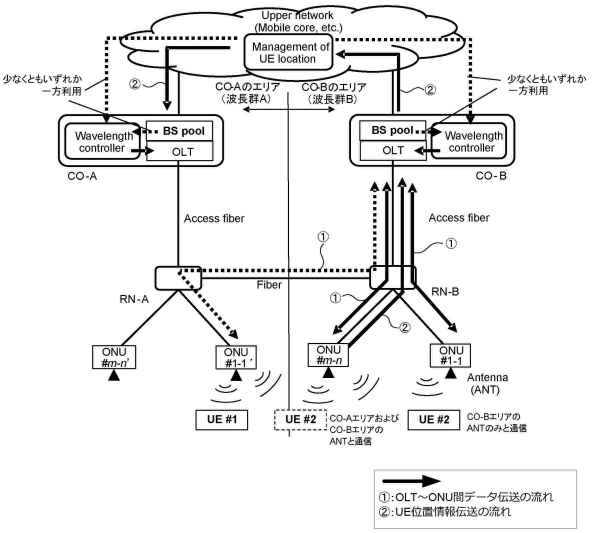
１　光ファイバ通信システム
１１、２１　ＯＬＴ
１３、２３　中継局
１５、２５　ＯＮＵ
１６、２６　ＡＮＴ
１７、２７　波長コントローラ
１９、２９　ＩＦコントローラ
３１　中継用光ファイバ

【図面】

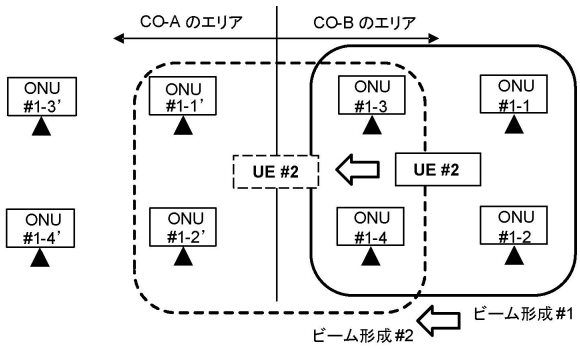
【図１】


1
Upper network
(Mobile core, etc.)
CO-Aのエリア
CO-Bのエリア
エリア境界
BS pool
OLT
CO-A
CO-B
21
11
Access fiber
Access fiber
RN-A
Fiber
31
RN-B
23
23
13
13
ONU
#m-n'
ONU
#1-1'
ONU
#m-n
ONU
#1-1
25
25
15
15
Antenna
(ANT)
UE #1
UE #2
CO-Aエリアおよび
CO-Bエリアの
ANTと通信
UE #2
CO-Bエリアの
ANTのみと通信

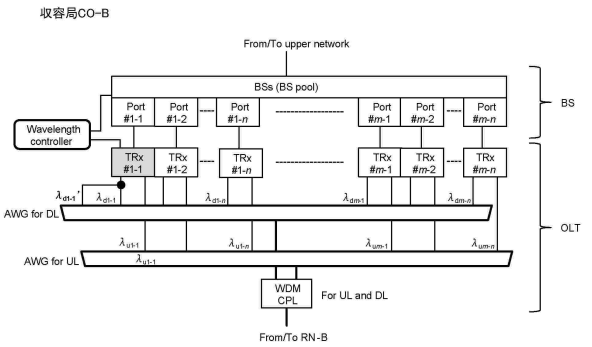
【図２】


Upper network
(Mobile core, etc.)
Management of
UE location
少なくともいずれか
一方利用
②
CO-Aのエリア
（波長群A）
CO-Bのエリア
（波長群B）
②
少なくともいずれか
一方利用
Wavelength
controller
BS pool
OLT
BS pool
OLT
Wavelength
controller
CO-A
CO-B
Access fiber
Access fiber
①
①
Fiber
RN-A
①
RN-B
②
ONU
#m-n'
ONU
#1-1'
ONU
#m-n
ONU
#1-1
Antenna
(ANT)
UE #1
UE #2
CO-Aエリアおよび
CO-Bエリアの
ANTと通信
UE #2
CO-Bエリアの
ANTのみと通信
①:OLT～ONU間データ伝送の流れ
②:UE位置情報伝送の流れ

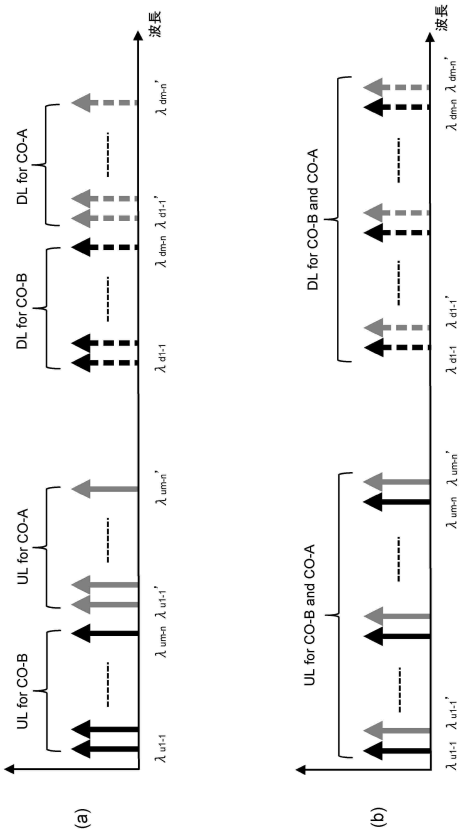
【図３】


CO-A のエリア
CO-B のエリア
ONU
#1-3'
ONU
#1-1'
ONU
#1-3
ONU
#1-1
UE #2
UE #2
ONU
#1-4'
ONU
#1-2'
ONU
#1-4
ONU
#1-2
ビーム形成 #1
ビーム形成 #2

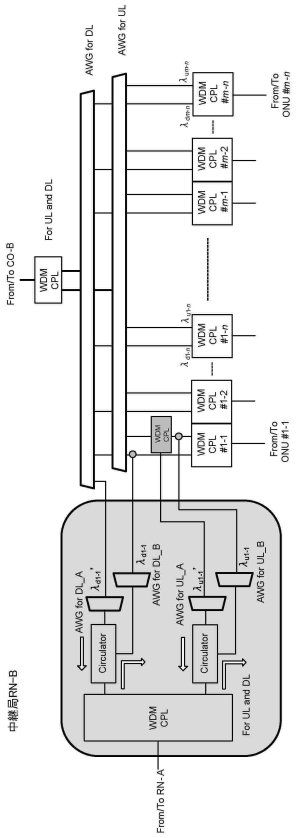
【図４】


収容局CO-B
From/To upper network
BSs (BS pool)
Port
#1-1
Port
#1-2
Port
#1-n
Port
#m-1
Port
#m-2
Port
#m-n
BS
Wavelength
controller
TRx
#1-1
TRx
#1-2
TRx
#1-n
TRx
#m-1
TRx
#m-2
TRx
#m-n
AWG for DL
AWG for UL
OLT
WDM
CPL
For UL and DL
From/To RN-B

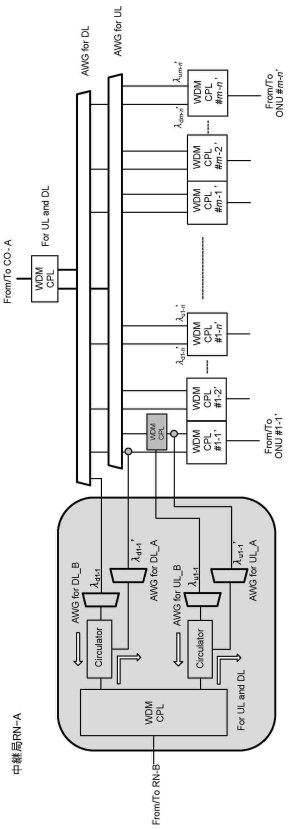
【図５】


波長
DL for CO-A
DL for CO-B
UL for CO-A
UL for CO-B
(a)
DL for CO-B and CO-A
UL for CO-B and CO-A
(b)

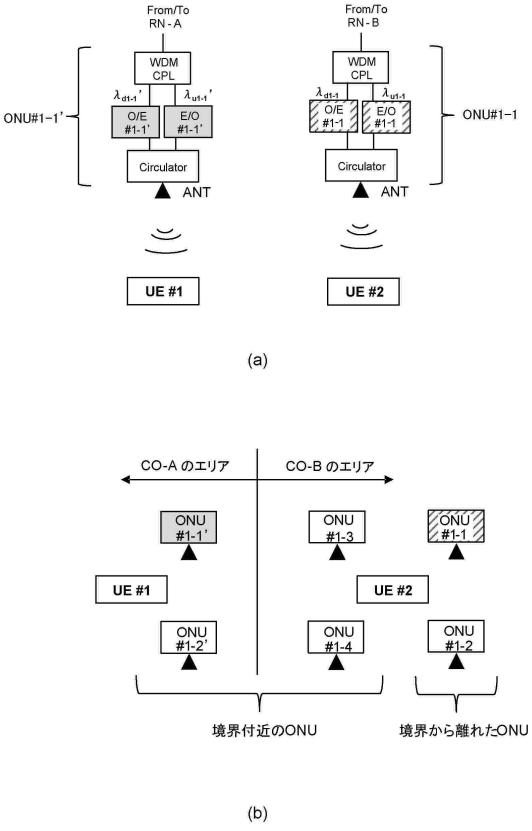
【図６Ａ】


AWG for DL
AWG for UL
From/To CO-B
For UL and DL
WDM CPL
From/To ONU #1-1
From/To ONU #m-n
中継局RN-B
AWG for DL_A
AWG for DL_B
AWG for UL_A
AWG for UL_B
Circulator
From/To RN-A

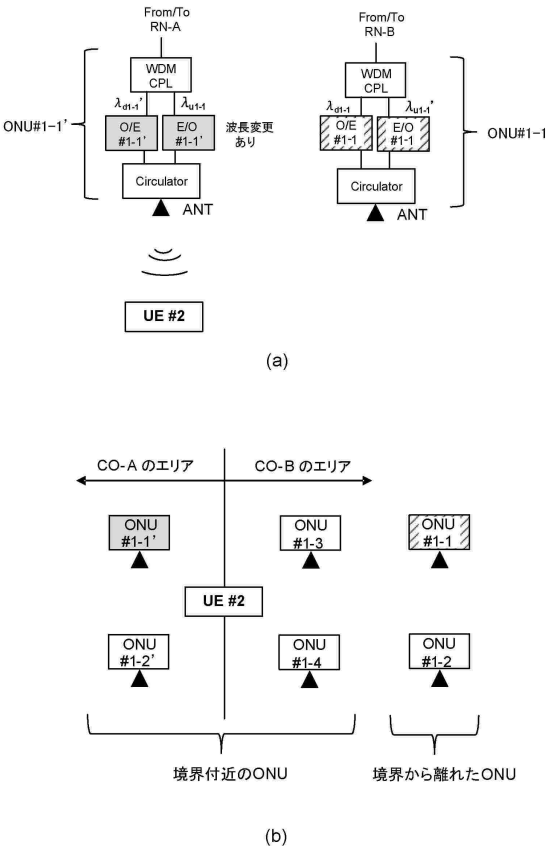
【図６Ｂ】


AWG for DL
AWG for UL
From/To CO-A
For UL and DL
WDM CPL
From/To ONU #1-1
From/To ONU #m-n
中継局RN-A
AWG for DL_A
AWG for DL_B
AWG for UL_A
AWG for UL_B
Circulator
From/To RN-B

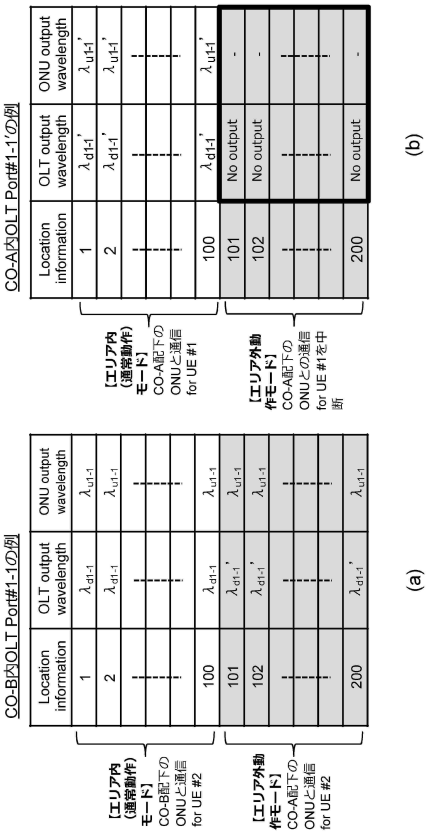
【図７】


From/To RN - A
From/To RN - B
WDM CPL
ONU#1-1'
ONU#1-1
O/E #1-1'
E/O #1-1'
O/E #1-1
E/O #1-1
Circulator
ANT
UE #1
UE #2
(a)
CO-A のエリア
CO-B のエリア
ONU #1-1'
ONU #1-3
ONU #1-1
UE #1
UE #2
ONU #1-2'
ONU #1-4
ONU #1-2
境界付近のONU
境界から離れたONU
(b)

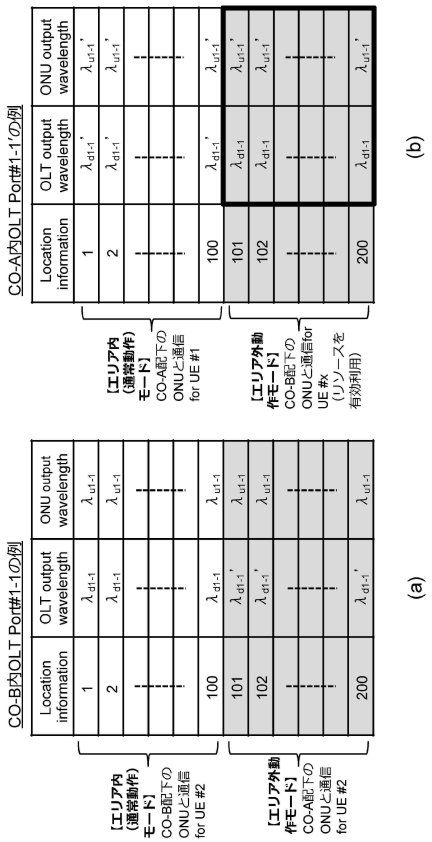
【図８】


From/To RN-A
WDM CPL
O/E #1-1'
E/O #1-1'
Circulator
ANT
ONU#1-1'
波長変更あり
From/To RN-B
WDM CPL
O/E #1-1
E/O #1-1
Circulator
ANT
ONU#1-1
UE #2
(a)
CO-A のエリア
CO-B のエリア
ONU #1-1'
ONU #1-3
ONU #1-1
UE #2
ONU #1-2'
ONU #1-4
ONU #1-2
境界付近のONU
境界から離れたONU
(b)

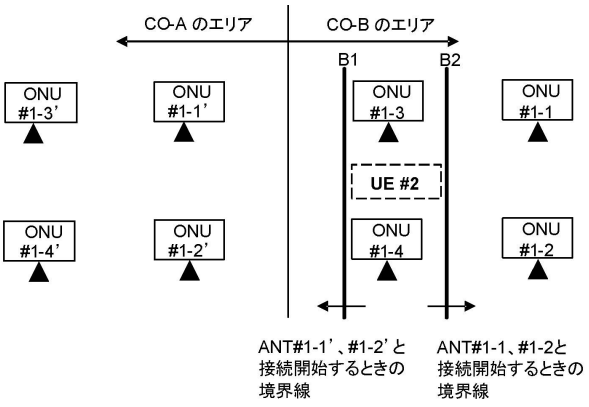
【図９】


CO-A内OLT Port#1-1'の例
Location information
OLT output wavelength
ONU output wavelength
No output
[エリア内(通常動作)モード] CO-A配下のONUと通信 for UE #1
[エリア外動作モード] CO-A配下のONUとの通信 for UE #1を中断
(b)
CO-B内OLT Port#1-1の例
[エリア内(通常動作)モード] CO-B配下のONUと通信 for UE #2
[エリア外動作モード] CO-A配下のONUと通信 for UE #2
(a)

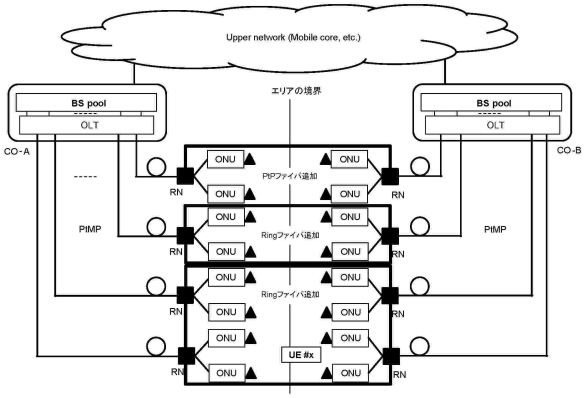
【図１０】


CO-A内OLT Port#1-1'の例
Location information
OLT output wavelength
ONU output wavelength
[エリア内(通常動作)モード] CO-A配下のONUと通信 for UE #1
[エリア外動作モード] CO-B配下のONUと通信for UE #x (リソースを有効利用)
(b)
CO-B内OLT Port#1-1の例
[エリア内(通常動作)モード] CO-B配下のONUと通信 for UE #2
[エリア外動作モード] CO-A配下のONUと通信 for UE #2
(a)

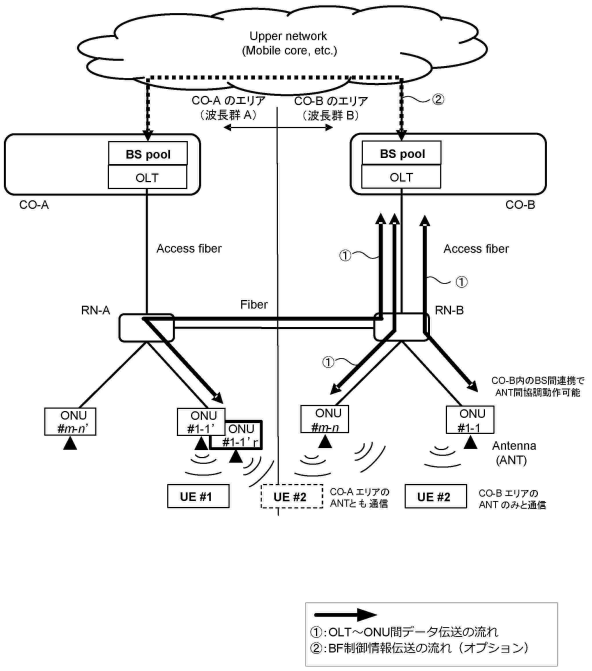
【図１１】


CO-A のエリア
CO-B のエリア
B1
B2
ONU #1-3'
ONU #1-1'
ONU #1-3
ONU #1-1
UE #2
ONU #1-4'
ONU #1-2'
ONU #1-4
ONU #1-2
ANT#1-1'、#1-2'と接続開始するときの境界線
ANT#1-1、#1-2と接続開始するときの境界線

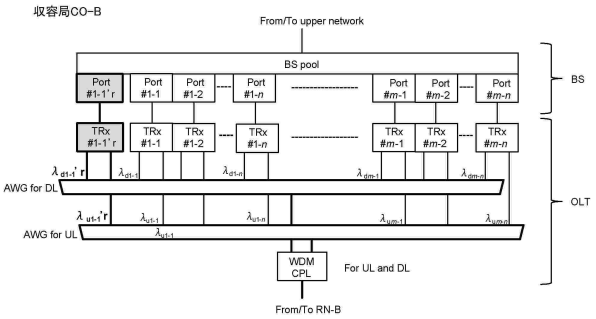
【図１２】



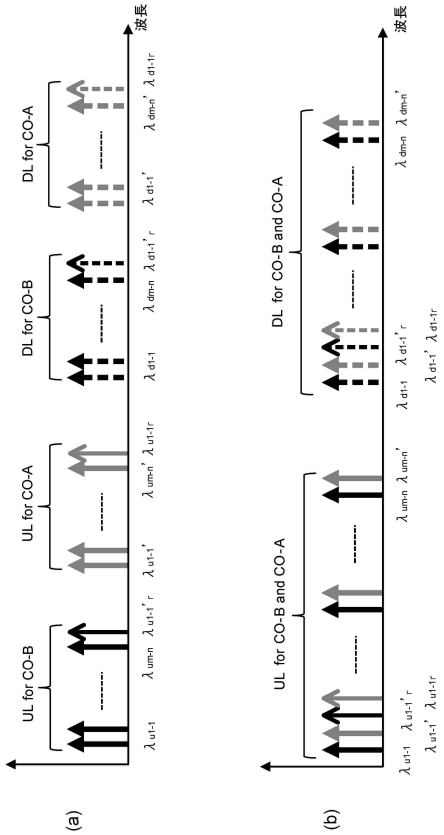
【図１３】



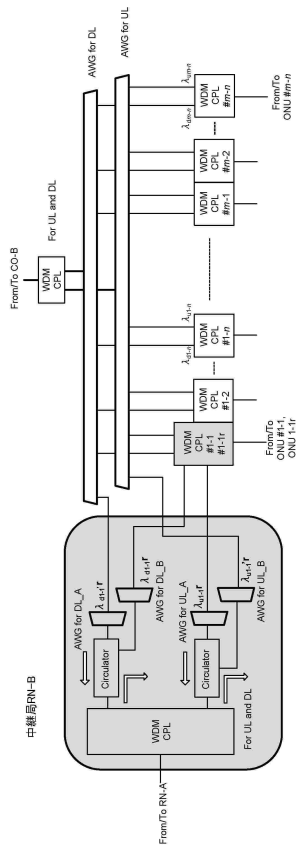
【図１４】



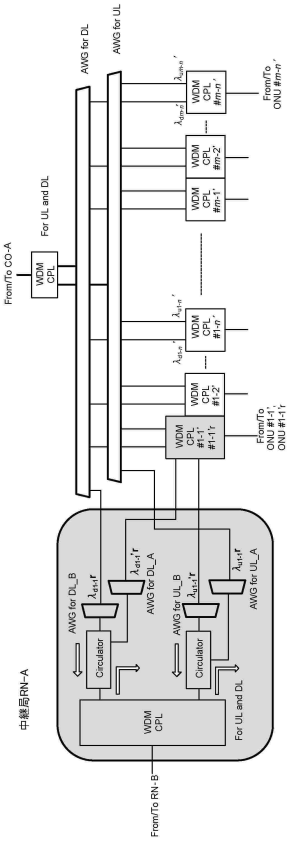
【図１５】



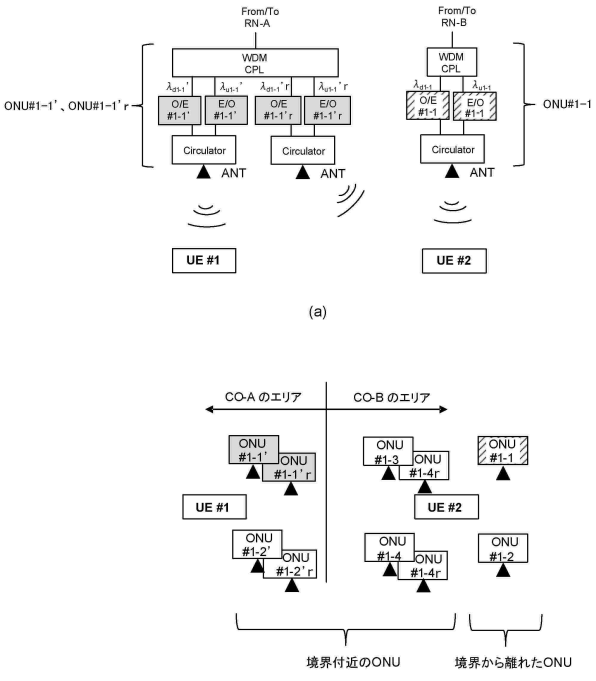
【図１６Ａ】



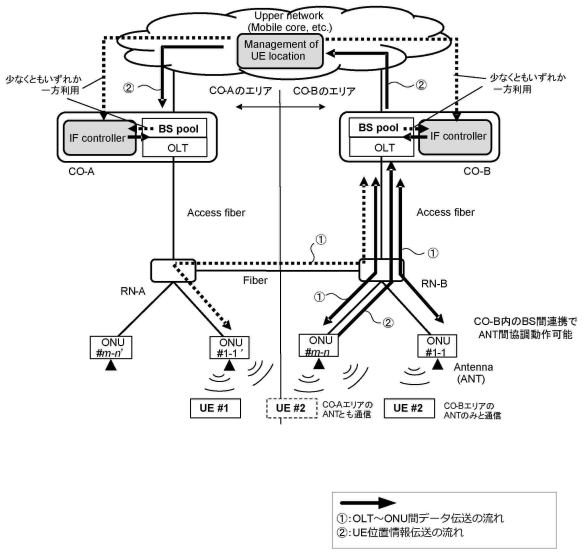
【図１６Ｂ】



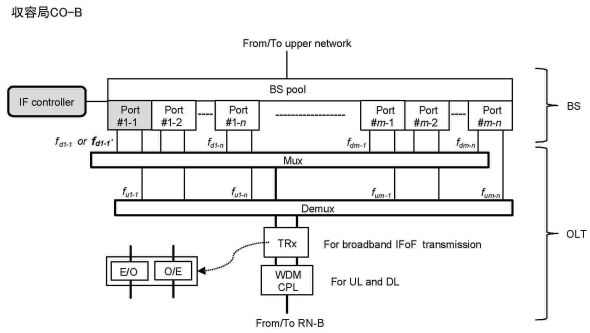
【図１７】



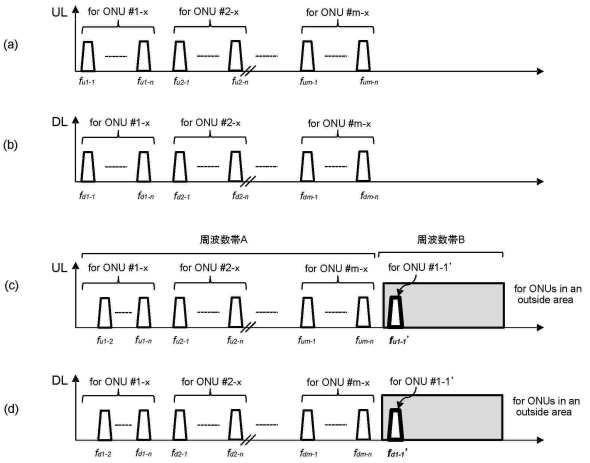
【図１８】



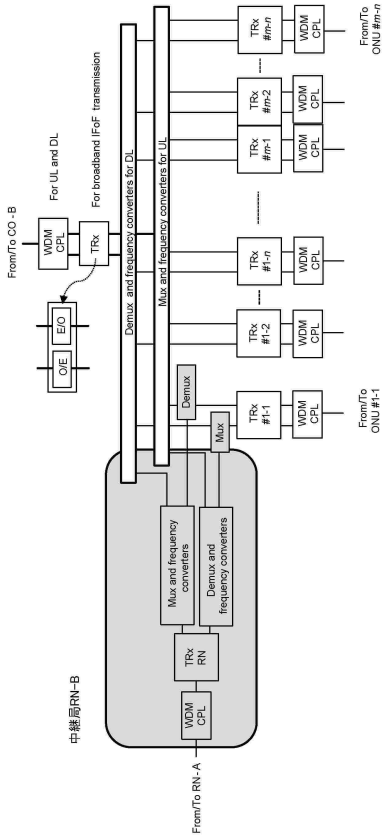
【図１９】



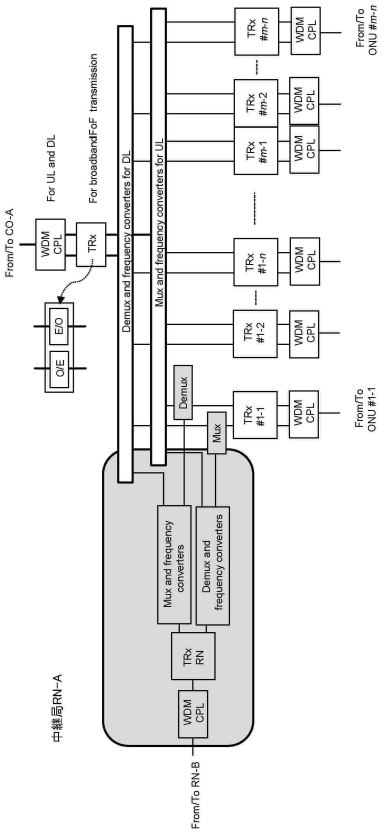
【図２０】



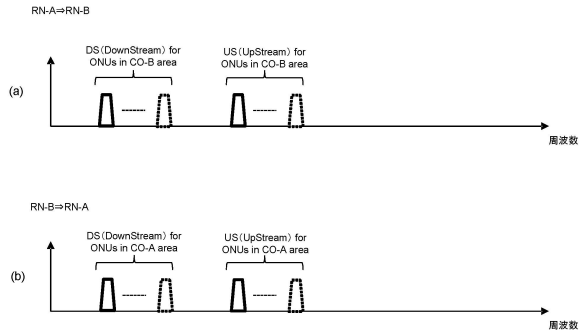
【図２１Ａ】



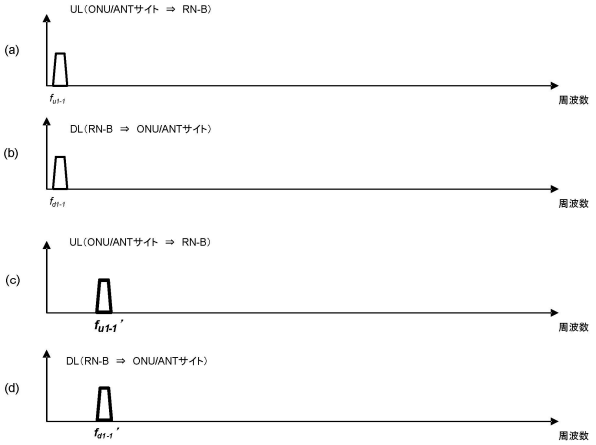
【図２１Ｂ】



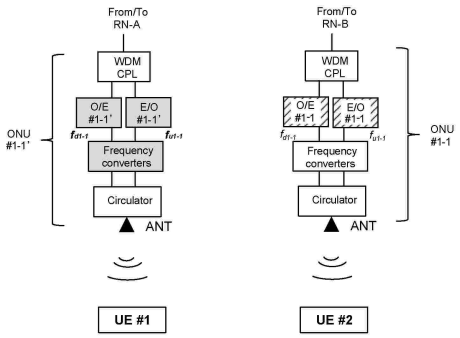
【図２２】



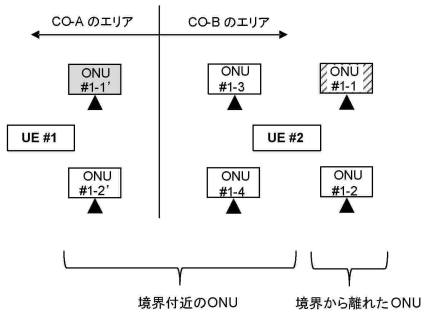
【図２３】



【図２４】

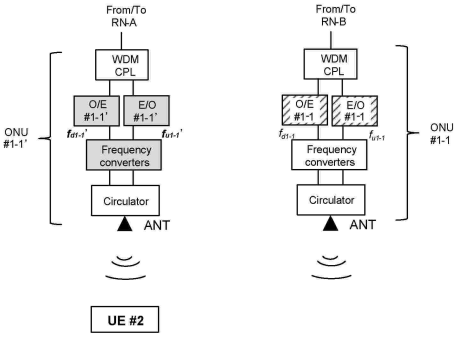


(a)

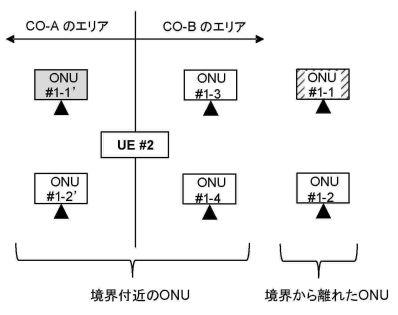


(b)

【図２５】

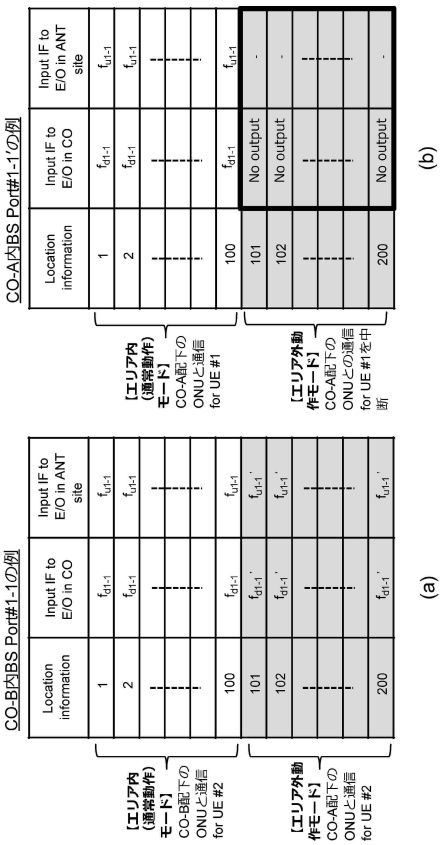


(a)

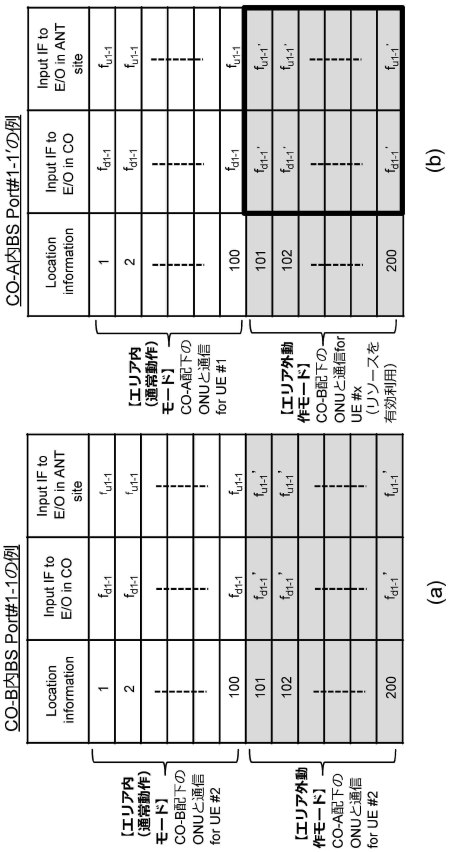


(b)

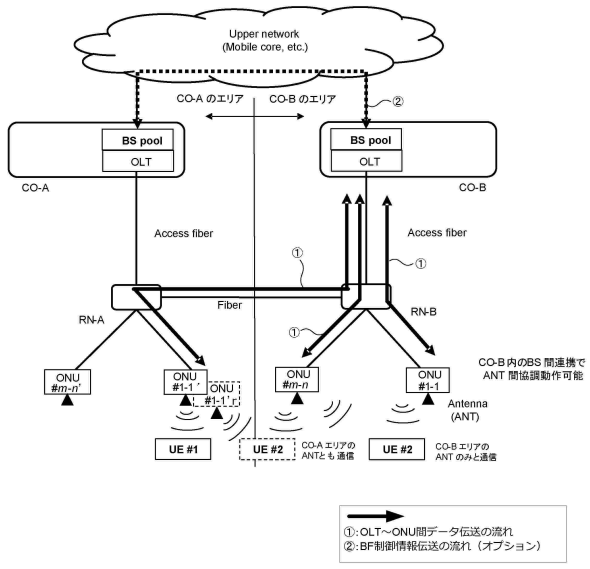
【図２６】



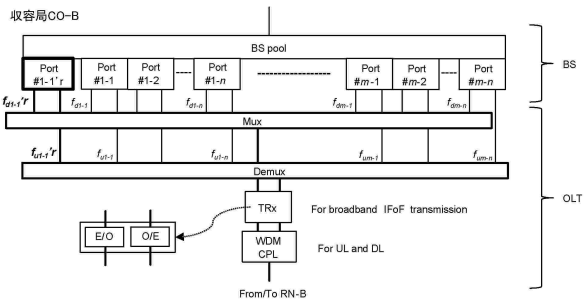
【図２７】



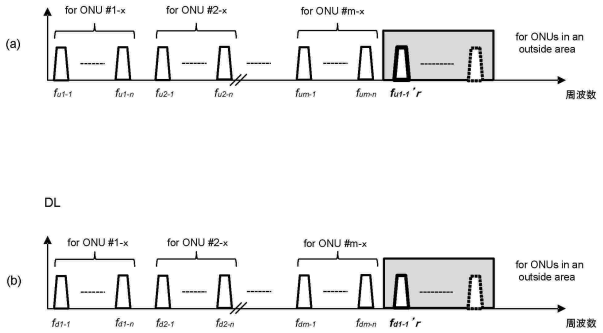
【図２８】



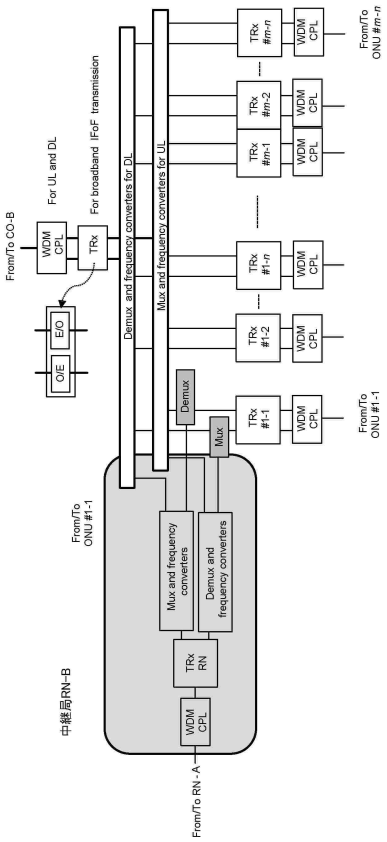
【図２９】



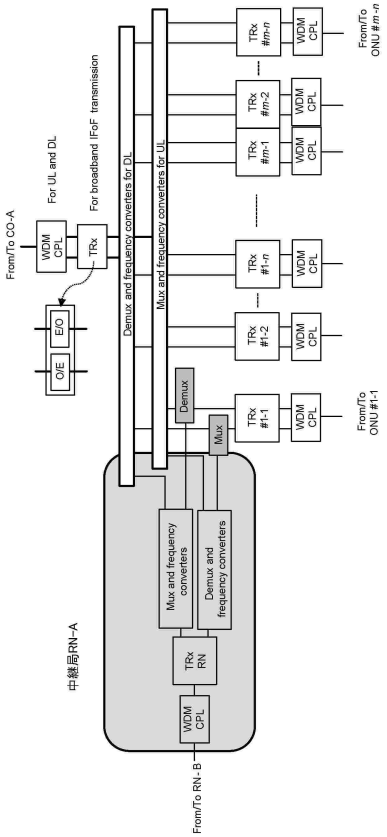
【図３０】



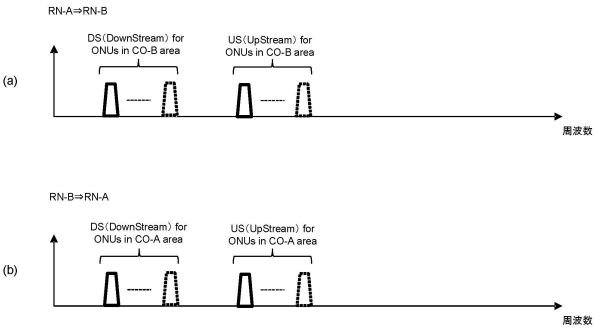
【図３１Ａ】



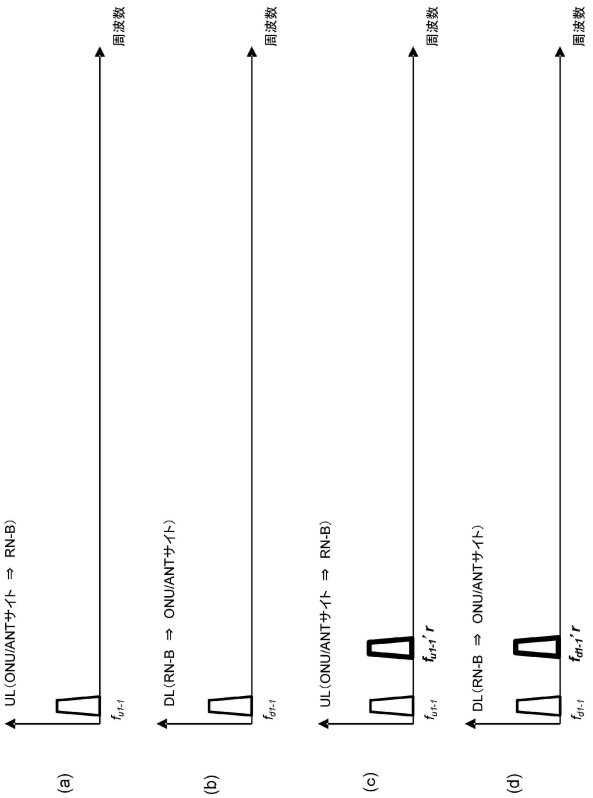
【図３１Ｂ】



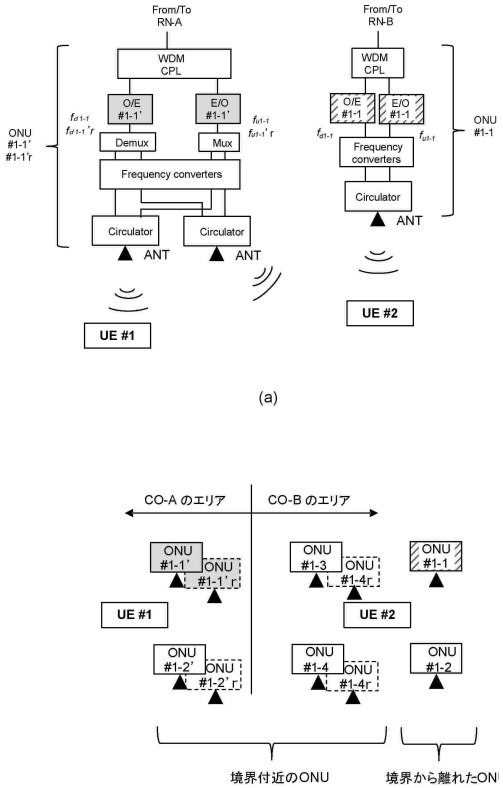
【図３２】



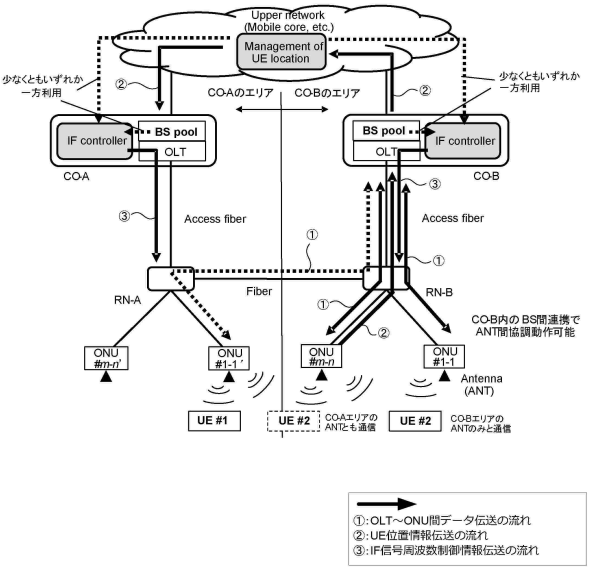
【図３３】



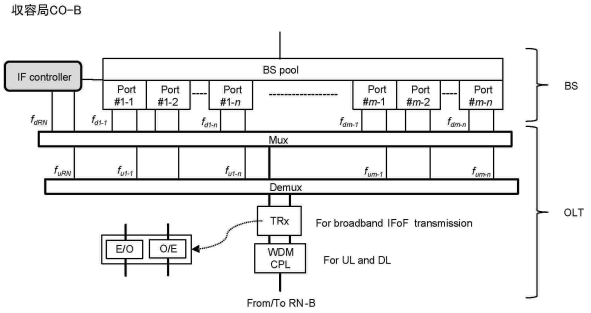
【図３４】



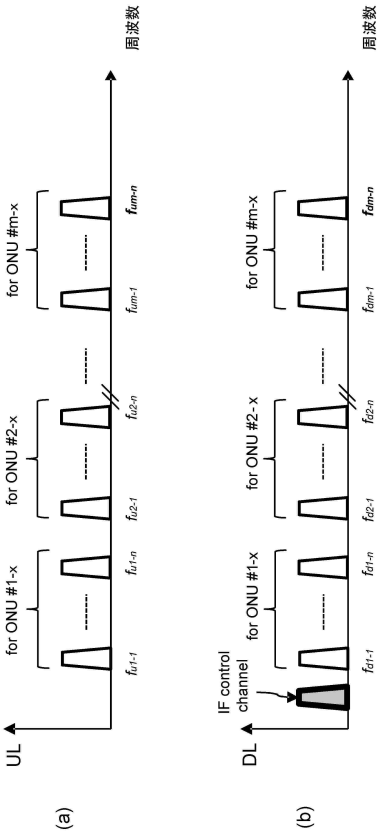
【図３５】



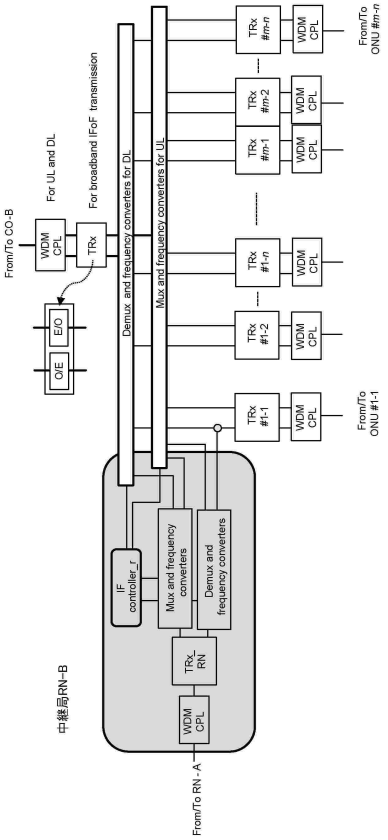
【図３６】



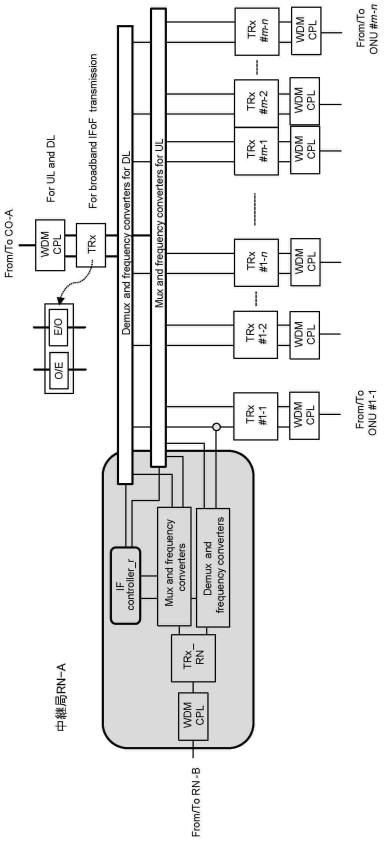
【図３７】



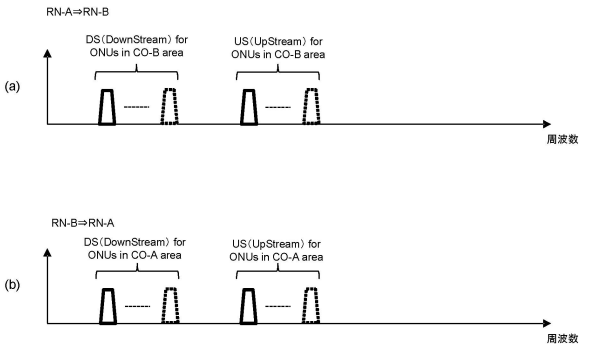
【図３８Ａ】



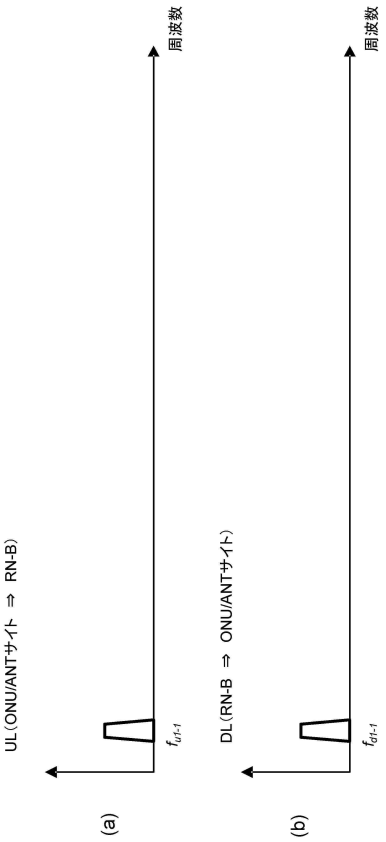
【図３８Ｂ】



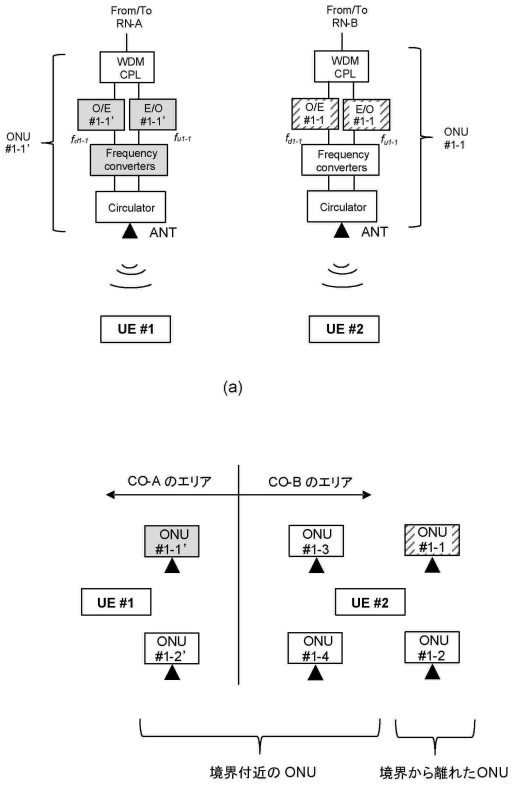
【図３９】



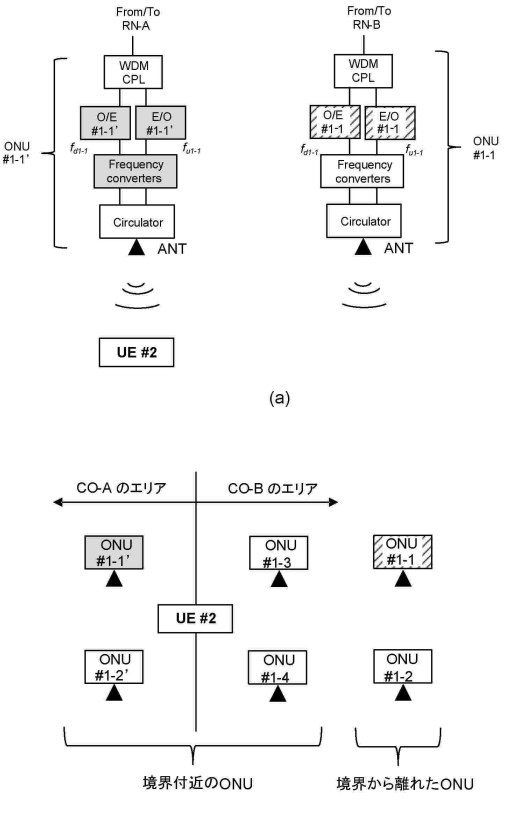
【図４０】



【図４１】



【図４２】



【図４３】

CO-B内BS Port#1-1に関する上り、下り伝送の例

	Location information	Direction for DL	Input IF to TRx for DL	Direction for UL	Input IF to TRx for UL
【エリア内（通常動作）モード】CO-B配下のONUと通信 for UE #2	1	TRx #1-1	$f_{d1\text{-}1}$	TRx	$f_{u1\text{-}1}$
	2	TRx #1-1	$f_{d1\text{-}1}$	TRx	$f_{u1\text{-}1}$
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	100	TRx #1-1	$f_{d1\text{-}1}$	TRx	$f_{u1\text{-}1}$
【エリア外動作モード】CO-A配下のONUと通信 for UE #2	101	TRx_RN	$f_{d1\text{-}1_r}$	TRx_RN	$f_{u1\text{-}1_r}$
	102	TRx_RN	$f_{d1\text{-}1_r}$	TRx_RN	$f_{u1\text{-}1_r}$
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	200	TRx_RN	$f_{d1\text{-}1_r}$	TRx_RN	$f_{u1\text{-}1_r}$

(a)

CO-A内BS Port#1-1に関する上り、下り伝送の例

	Location information	Direction for DL	Input IF to TRx for DL	Direction for UL	Input IF to TRx for UL
【エリア内（通常動作）モード】CO-A配下のONUと通信 for UE #1	1	TRx #1-1	$f_{d1\text{-}1}$	TRx	$f_{u1\text{-}1}$
	2	TRx #1-1	$f_{d1\text{-}1}$	TRx	$f_{u1\text{-}1}$
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	100	TRx #1-1	$f_{d1\text{-}1}$	TRx	$f_{u1\text{-}1}$
【エリア外動作モード】CO-A配下のONUとの通信 for UE #1を中断	101	TRx_RN	$f_{d1\text{-}1_r}$	TRx_RN	$f_{u1\text{-}1_r}$
	102	TRx_RN	$f_{d1\text{-}1_r}$	TRx_RN	$f_{u1\text{-}1_r}$
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	200	TRx_RN	$f_{d1\text{-}1_r}$	TRx_RN	$f_{u1\text{-}1_r}$

(b)

フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第２００８／０７２３５６（WO，Ａ１）
国際公開第２０１７／１０４０７５（WO，Ａ１）
米国特許出願公開第２０１７／０２８８７７７（ＵＳ，Ａ１）
米国特許出願公開第２０１４／０３２１８４５（ＵＳ，Ａ１）
Jun Li et al.，Passive Optical Network Based Mobile Backhaul Enabling Ultra-Low Latency for Communications Among Base Stations，Journal of Optical Communications and Networking (Volume: 9, Issue: 10, October 2017)，2017年10月31日，P.855-863，〈URL〉https://www.researchgate.net/publication/319940938_Passive_Optical_Network_Based_Mobile_Backhaul_Enabling_Ultra-Low_Latency_for_Communications_Among_Base_Stations
I-Shyan Hwang et al.，A Novel Fault-Tolerant Multi-EPON System with Sharing Protection through Bridge ONUs，Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2008 Vol I, IMECS 2008，2008年03月21日，P.1-7，〈URL〉 https://www.researchgate.net/publication/44261560_A_Novel_Fault-Tolerant_Multi-EPON_System_with_Sharing_Protection_through_Bridge_ONUs

(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０４Ｌ １２／４４
Ｈ０４Ｂ １０／２７２
Ｈ０４Ｂ １０／２５７５
Ｈ０４Ｊ １４／０２
Ｈ０４Ｗ ８８／０８