(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
2023年6月15日(15.06.2023)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2023/105625 A1

(51) 国際特許分類:
H04B 10/293 (2013.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2021/044904

(22) 国際出願日： 2021年12月7日(07.12.2021)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(71) 出願人: 日本電気株式会社 (**NEC CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目７番１号 Tokyo (JP).

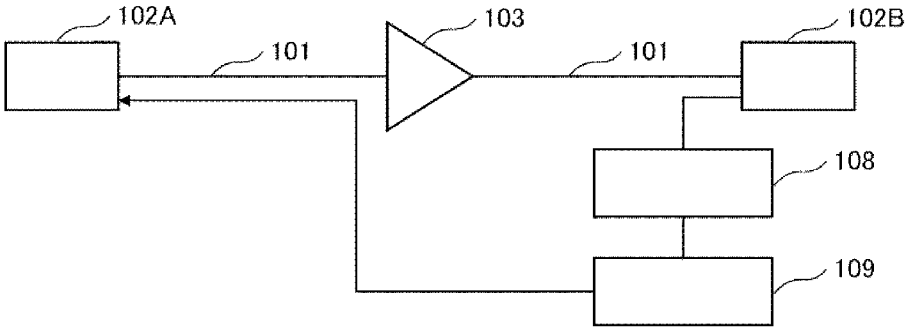
(72) 発明者: 松本 恵一 (**MATSUMOTO Keiichi**); 〒1088001 東京都港区芝五丁目７番１号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 細川 晃平 (**HOSOKAWA Kohei**); 〒1088001 東京都港区芝五丁目７番１号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 北嶋 啓至, 外 (**KITAJIMA Hiroshi** et al.); 〒1088001 東京都港区芝五丁目７番１号 日本電気株式会社 知的財産本部 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, 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,

(54) **Title:** OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM AND METHOD FOR CONTROLLING OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM

(54) 発明の名称： 光伝送システム、および光伝送システムの制御方法



(57) **Abstract:** The present invention provides an optical transmission system with a small gain variation in broadband and a control method therefor. Provided is an optical transmission system including a pair of end stations that transmit and receive wavelength division multiplexed (WDM) signal light to and from each other, an optical fiber through which the wavelength division multiplexed signal light transmitted and received by the pair of end stations propagates, and at least one repeater inserted in the optical fiber. The repeater includes an optical amplifier that divides the wavelength division multiplexed signal light into multiple subbands including signal beams in multiple wavelength bands, amplifies the multiple subbands with the corresponding optical amplification units, and then multiplexes the amplified subbands, the multiple subbands obtained by the division including a first subband on a relatively shorter wavelength side and a second subband on a relatively longer wavelength side. There are also included: a monitoring unit that monitors the output power of a channel with the longest wavelength in the first subband and the output power of a channel with the shortest wavelength in the second subband, the channels being received by a receiving end station in the pair of end stations; and a control unit that transmits a control signal to a transmitting end station, which transmits the wavelength division multiplexed signal light, so that a gap between the output power of the channel with the longest wavelength in the first

WO 2023/105625 A1

［続葉有］

NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

subband and the output power of the channel with the shortest wavelength in the second subband is reduced.

(57) 要約:広帯域で利得ばらつきが小さい光伝送システム、及びその制御方法を提供する。光伝送システムは、波長多重(ＷＤＭ)信号光をお互いに送受信する一対の端局と、上記一対の端局が送受信する上記波長多重信号光を伝搬する光ファイバと、上記光ファイバに挿入された少なくとも１つの中継器とを含む光伝送システムであり、上記中継器は、上記波長多重信号光を複数の波長帯域の信号光を含む複数のサブバンドに区分し、この区分された上記複数のサブバンドを対応する複数の光増幅部で増幅した後に、増幅された上記複数のサブバンドを合波する光増幅器を含み、上記区分された複数の複数のサブバンドは、相対的に短波長側の第１のサブバンドと、相対的に長波長側の第２のサブバンドとを含み、上記一対の端局のうち受信側の端局が受信した、上記第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとをモニタするモニタ部と、上記第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとのギャップが小さくなるように、上記波長多重信号光を送信する送信側の端局に対して、制御信号を送信する制御部とを、含む。

明　細　書

発明の名称 ： 光伝送システム、および光伝送システムの制御方法

技術分野

[0001] 本発明は、光伝送システム等に関し、特に伝送路として光ファイバを用いた光伝送システム等に関する。

背景技術

[0002] 伝送路として光ファイバを用いた光伝送システムが、知られている。この光伝送システムでは、光ファイバの伝送損失などを考慮して、特にＣ－ｂａｎｄ（Conventional Band）やＬ－ｂａｎｄ（Long Wave Band）といった波長帯域が光通信波長帯として用いられる。ここで、Ｃ－ｂａｎｄの波長帯域は１５３０ｎｍ～１５６５ｎｍであり、Ｌ－ｂａｎｄの波長帯域は１５６５ｎｍ～１６２５ｎｍである。Ｃ－ｂａｎｄの波長帯域は、光ファイバの光透過率が高い。これを言い換えると、Ｃ－ｂａｎｄの波長帯域は、光ファイバの伝送損失が低い。このため、Ｃ－ｂａｎｄの波長帯域は長距離伝送に適している。

[0003] このような光伝送システムは例えば、送受信を行う一対の端局と、この一対の端局間を結ぶ伝送路としての光ファイバと、この光ファイバを中継する複数の中継器と、を含んで構成される。複数の中継器のそれぞれは、長距離の光ファイバを伝播するうちに減衰していく信号光を増幅する光増幅部を含む。この光増幅部としては、信号光そのものを増幅する不純物添加光ファイバ増幅器が用いられている。この不純物添加光ファイバ増幅器としては、不純物として希土類イオンの一例としてのエルビウム（Ｅｒ）イオンが光ファイバに添加されたＥＤＦＡ（Erbium-Doped optical Fiber Amplifier）などがある。

[0004] 不純物添加光ファイバ増幅器は、増幅特性の傾向として、一般的に、増幅される信号光の波長帯域において長い波長の信号光の利得が大きく、短い波長の信号光の利得が小さい。光ファイバに挿入される中継器では、この増幅

特性の傾向を考慮して、入力され増幅される信号光の波長帯域のうち短い波長の信号光の出力レベルが所定レベルを越えるように不純物添加光ファイバ増幅器の利得が調整される。そして不純物添加光ファイバ増幅器の次段に接続される等化器によって上記所定レベルを越えた部分をカットすることにより、一つの不純物添加光ファイバ増幅器で増幅される信号光の波長帯域の各チャネルにおいて、出力レベルを揃える等化処理が行われる。この等化器の等化処理によってカットされる部分は、光ファイバによる光伝送に寄与しないため、エネルギー損失となる。このエネルギー損失を低減することができる光伝送システムが望まれる。

[0005] 特許文献１は、波長多重（ＷＤＭ：Wavelength Division Multiplexing）信号光の増幅方法に関するものである。この特許文献１では、波長多重信号光を分波器で複数の波長帯域の信号光に分割し、この分割された各波長帯域の信号光を各々に対応した光増幅部で増幅した後に、増幅された各波長帯域の信号光を合波器で合波する増幅方法が提案されている。また、特許文献１では、光増幅部で増幅された各波長帯域の信号光の一部を分岐し、この分岐された光のパワーを測定し、この測定結果をもとに光増幅部の利得を個々に調整すること、これによって光増幅部でそれぞれ発生する光出力レベルの波長間偏差が予め設定した範囲内となるように設計することが提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開２００６－０６６８６２号公報

特許文献2：国際公開第２０２０／２０９１７０号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] ここで、光伝送システムの中継器に含まれる光増幅部と、等化器の等化処理によるエネルギー損失とについて考える。例えば、特許文献１が提案する

ような、波長多重信号光を分波デバイスで複数の波長帯域の信号光に分割し、この分割された各波長帯域の信号光を各々に対応した光増幅部で増幅した後に、増幅された各波長帯域の信号光を合波デバイスで合波する構成を適用した場合の等化器の等化処理によるエネルギー損失を考える（図１３Ｂ）。

[0008] このような構成を採用した場合、図１３Ａに示されるような一つの光増幅部で波長多重信号光をそのまま増幅する場合と比べて、各々の光増幅部が増幅する波長帯域の信号光の波長帯域の幅が狭くなる。これにより、各々の光増幅部で増幅される信号光の波長帯域において、長い波長の信号光の利得と短い波長の信号光の利得との差が小さくなる。その結果、各々の光増幅部で入力され増幅される信号光の波長帯域のうち短い波長の信号光の出力レベルが所定レベルを越えるように光増幅部の利得を調整しても、上記所定レベルを越えた部分が小さくなる。これにより、上記所定レベルを越えた部分をカットし、光増幅部で増幅される信号光の波長帯域の各チャネルの出力レベルを揃える等化処理を行ったときでも、カットする部分が小さくなり、等化器の等化処理によるエネルギー損失が小さくなることが期待される。

[0009] ところで、特許文献１が提案するような、波長多重信号光を分波デバイスで複数の波長帯域の信号光に分割し、この分割された各波長帯域の信号光を各々に対応した光増幅部で増幅した後に、増幅された各波長帯域の信号光を合波デバイスで合波する構成の新たな課題について検討する。

[0010] 広帯域の波長多重信号光の光増幅にて生じる利得ばらつきに起因するエネルギー損失は、特許文献１が提案するような、波長多重信号光を分波デバイスで複数の波長帯域の信号光に分割し、この分割された各波長帯域の信号光を各々に対応した光増幅部で増幅した後に、増幅された各波長帯域の信号光を合波デバイスで合波する構成を採用することによって小さくなることが期待される。

[0011] 分割された各波長帯域の信号光を各々に対応した光増幅部で増幅する構成の場合、光増幅部の励起光源の経年劣化で励起光出力が低下してくると、受信信号のサブバンド間の境界に出力強度のギャップが生ずる（図１４）。

[0012] 経年劣化による出力強度の標準偏差変動は増幅器１台あたり約０．０３ｄＢが許容範囲であることから、ギャップは０．０３ｄＢ以内に抑える必要がある。よって、経年劣化で生じた出力強度のギャップを埋めることが課題となる。

[0013] 本発明の目的は、上述した課題に鑑み、広帯域で利得ばらつきが小さい光伝送システム、及びその制御方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0014] 前記目的を達成するため、本発明に係る光伝送システムは、波長多重（ＷＤＭ）信号光をお互いに送受信する一対の端局と、上記一対の端局が送受信する上記波長多重信号光を伝搬する光ファイバと、上記光ファイバに挿入された少なくとも１つの中継器とを含む光伝送システムであり、

上記中継器は、上記波長多重信号光を複数の波長帯域の信号光を含む複数のサブバンドに区分し、この区分された上記複数のサブバンドを対応する複数の光増幅部で増幅した後に、増幅された上記複数のサブバンドを合波する光増幅器を含み、

上記区分された複数の複数のサブバンドは、相対的に短波長側の第１のサブバンドと、相対的に長波長側の第２のサブバンドとを含み、

上記一対の端局のうち受信側の端局が受信した、

上記第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとをモニタするモニタ部と、

上記第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとのギャップが小さくなるように、上記波長多重信号光を送信する送信側の端局に対して、制御信号を送信する制御部とを、含む。

[0015] 光伝送システムの制御方法は、波長多重（ＷＤＭ）信号光をお互いに送受信する一対の端局と、上記一対の端局が送受信する上記波長多重信号光を伝搬する光ファイバと、上記光ファイバに挿入された少なくとも１つの中継器

とを含む光伝送システムの制御方法であり、

上記中継器は、上記波長多重信号光を複数の波長帯域の信号光を含む複数のサブバンドに区分し、この区分された上記複数のサブバンドを対応する複数の光増幅部で増幅した後に、増幅された上記複数のサブバンドを合波し、

上記区分された複数の複数のサブバンドは、相対的に短波長側の第１のサブバンドと、相対的に長波長側の第２のサブバンドとを含み、

上記一対の端局のうち受信側の端局が受信した、

上記第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとをモニタし、

上記第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとのギャップが小さくなるように、上記波長多重信号光を送信する送信側の端局に対して、制御信号を送信する。

発明の効果

[0016] 本発明は、広帯域で利得ばらつきが小さい光伝送システム、及びその制御方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1A]本発明の上位概念の実施形態による光伝送システムを説明するブロック図である。

[図1B]図１Ａの中継器の構成を説明するためのブロック図である。

[図2A]本発明の第１実施形態による光伝送システムを説明するブロック図である。

[図2B]図２Ａの中継器の構成、及び増幅特性を説明するためのブロック図である。

[図2C]光増幅器の増幅特性に関する基本原理を説明するためのグラフである。

[図3]図２Ａの光伝送システムの、より具体的な構成を説明するためのブロッ

ク図である。

[図4]図２Ｂに含まれる光増幅部の増幅特性を説明するためのグラフである。

[図5A]本発明の第２実施形態による光伝送システムの制御方法を説明するためのグラフである。

[図5B]本発明の第２実施形態による光伝送システムの制御方法の変形例を説明するためのグラフである。

[図6]本発明の実施形態による効果を説明するためのグラフである。

[図7A]本発明の第２実施形態による光伝送システムの制御方法を説明するためのグラフである。

[図7B]本発明の第２実施形態による光伝送システムの制御方法を説明するためのグラフである。

[図7C]本発明の第２実施形態による光伝送システムの制御方法を説明するためのグラフである。

[図8]本発明の第３実施形態による光伝送システムの制御方法を説明するためのグラフである。

[図9]本発明の第４実施形態による光伝送システムの制御方法を説明するためのグラフである。

[図10]本発明の第５実施形態による光伝送システムの制御方法を説明するためのグラフである。

[図11A]本発明の第５実施形態による光伝送システムによる光増幅器の増幅特性を説明するためのグラフである。

[図11B]本発明の第５実施形態による光伝送システムによる光増幅器の増幅特性を説明するためのグラフである。

[図12]本発明の第６実施形態による光伝送システムの制御方法を説明するためのグラフである。

[図13A]背景技術の光増幅器の増幅特性と、等化処理によるエネルギー損失を説明するための概念図である。

[図13B]特許文献１が提案する構成を適用した場合を想定した、背景技術の光

増幅器の増幅特性と、等化処理によるエネルギー損失を説明するための概念図である。

[図14]図１３Ｂの光増幅器に経時変化が生じたことを想定したときの、増幅特性を説明するためのグラフである。

発明を実施するための形態

[0018] 本発明の具体的な実施形態を説明する前に、本発明の上位概念による実施形態について説明する。図１Ａは、本発明の上位概念の実施形態による光伝送システムを説明するブロック図である。図１Ｂは、図１Ａの中継器の構成を説明するためのブロック図である。図１Ａの光伝送システムは、例えば、陸上の端局と、この端局間を結び波長多重信号光を伝搬する光ファイバとを含むシステムである。この光ファイバとして海底ケーブルを用いるような海底ケーブルシステムなどが想定される。

[0019] 図１Ａの光伝送システムは、波長多重（ＷＤＭ）信号光をお互いに送受信する一対の端局の一例としての端局１０２Ａ、１０２Ｂと、この端局１０２Ａ、１０２Ｂが送受信する波長多重信号光を伝搬する光ファイバ１０１と、この光ファイバ１０１に挿入された少なくとも１つの中継器１０３と、を含む。図１Ａの中継器１０３は、図１Ｂに示すように、分波器１０４と、複数の光増幅部105_1～105_m（ここで、ｍは２以上の整数）と、合波器１０６と、を含む。

[0020] 分波器１０４は、中継器１０３に入力される波長多重信号光を複数の波長帯域の信号光を含む複数のサブバンドに分ける。複数の光増幅部105_1～105_mは、複数のサブバンドに分けられた波長多重信号光を各々に増幅する。この複数の光増幅部105_1～105_mは、ＥＤＦＡ（エルビウム添加光ファイバ増幅器）に代表される光増幅器であり、励起光によって光信号を増幅して出力する光増幅器である。合波器１０６は、各光増幅部105_1～105_mで増幅された波長多重信号光を合波して出力する。

[0021] 図１Ａの光伝送システムでは、上記複数のサブバンドは、相対的に短波長側の第１のサブバンドと、相対的に長波長側の第２のサブバンドと、を少な

くとも含む。

[0022] 図１Ａの光伝送システムはさらに、前記一対の端局のうち受信側の端局が受信した、上記第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとをモニタするモニタ部１０８を含む。

[0023] 図１Ａの光伝送システムはさらに、上記第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとのギャップが小さくなるように、上記波長多重信号光を送信する送信側の端局に対して、制御信号を送信する制御部１０９を含む。

[0024] 図１Ａの光伝送システムでは、モニタ部１０８が、相対的に短波長側の第１のサブバンドのうち最も波長が長いチャネルの出力パワーをモニタすると共に、相対的に長波長側の第２のサブバンドのうち最も波長が短いチャネルの出力パワーとをモニタする。

[0025] さらに制御部１０９が、第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとのギャップが小さくなるように、制御信号を送信する。このギャップが小さくなるような制御信号は、上記波長多重信号光を送信する送信側の端局に対して送信される。

[0026] この制御信号によって、送信側の端局は波長多重（ＷＤＭ）信号光の送信に関して状態を変化させる。その結果、第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとのギャップが小さくなる。区分されたサブバンドごとの光増幅に起因して、増幅特性のギャップが小さくなることによって、等化処理によるエネルギー損失を小さくすることができる。その結果、エネルギー利用効率を向上させた光伝送システムを実現すると共に、光伝送システムの性能を維持することができる。

[0027] 図１Ａの光伝送システムでは、運用を開始した後に中継器１０３に含まれ

る光増幅器などに経時変化が生じた場合でも、第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとのギャップを小さくするような制御により、中継器１０３に含まれる光増幅器の増幅特性のばらつきを低減し、エネルギー利用効率を向上させた光伝送システムを実現すると共に、光伝送システムの性能を維持することができる。以下、より具体的な光伝送システム、及びその制御方法について説明する。

[0028] 〔第１実施形態〕

本発明の第１実施形態による光伝送システム、及びその制御方法について、説明する。図２Ａは、本発明の第１実施形態による光伝送システムを説明するブロック図である。図２Ｂは、図２Ａの中継器の構成、及び増幅特性を説明するためのブロック図である。図２Ｃは、光増幅器の増幅特性に関する基本原理を説明するためのグラフである。図４は、図２Ｂに含まれる光増幅部の増幅特性を説明するためのグラフである。

[0029] 図２Ａの光伝送システムは、波長多重（ＷＤＭ）信号光を送信する端局１２Ａ（送信側の端局Ｔｘ）と、波長多重信号光を受信する端局１２Ｂ（送信側の端局Ｒｘ）と、端局１２Ａ、１２Ｂが送受信する波長多重信号光を伝搬する光ファイバ１１と、を含む。さらに図２Ａの光伝送システムは、この光ファイバ１１に挿入された少なくとも１つの中継器１３と、を含む。なお図２Ａでは、光ファイバ１１に７つの中継器１３が挿入された場合を一例として示している。

[0030] 図２Ａの中継器１３は、図２Ｂに示すように、分波器１４と、複数の光増幅部15_1～15_m（ここで、ｍは２以上の整数）と、合波器１６と、を含む。分波器１４は、中継器１３に入力される波長多重信号光を複数の波長帯域の信号光を含む複数のサブバンドに分ける。複数の光増幅部15_1～15_mは、複数のサブバンドに分けられた波長多重信号光を各々に増幅する。この複数の光増幅部15_1～15_mは、ＥＤＦＡ（エルビウム添加光ファイバ増幅器）に代表される光増幅器であり、励起光によって光信号を増幅して出力する

光増幅器である。合波器１６は、各光増幅部１５$_1$～１５$_m$で増幅された波長多重信号光を合波して出力する。

[0031] 図２Ａの光伝送システムでは、上記複数のサブバンドは、相対的に短波長側の第１のサブバンドと、相対的に長波長側の第２のサブバンドと、を少なくとも含む。

[0032] 図２Ａの光伝送システムはさらに、受信側の端局Ｒｘが受信した、上記第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとをモニタする出力ギャップモニタ２１を含む。

[0033] 図２Ａの光伝送システムはさらに、上記第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとのギャップが小さくなるように、送信側の端局Ｔｘに対して、制御信号を送信するローディング制御装置２２を含む。

[0034] 図２Ａの光伝送システムでは、出力ギャップモニタ２１が、相対的に短波長側の第１のサブバンドのうち最も波長が長いチャネルの出力パワーをモニタすると共に、相対的に長波長側の第２のサブバンドのうち最も波長が短いチャネルの出力パワーとをモニタする。

[0035] さらにローディング制御装置２２が、第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとのギャップが小さくなるように、制御信号を送信する。このギャップが小さくなるような制御信号は、送信側の端局Ｔｘに対して送信される。

[0036] この制御信号によって、送信側の端局Ｔｘは波長多重信号光の送信に関して状態を変化させる。その結果、第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとのギャップが小さくなる。こうして、区分されたサブバンドごとの光増幅に起因して、増幅特性のギャップが小さくなることによって、等化処理によるエネルギー損失を小さくすることができる。その結果、エ

ネルギー利用効率を向上させた光伝送システムを実現すると共に、光伝送システムの性能を維持することができる。

[0037] 図３は、図２Ａの光伝送システムの、より具体的な構成を説明するためのブロック図である。図３の光伝送システムは、図２Ａに示す端局１２Ａ（送信側の端局Ｔｘ）、端局１２Ｂ（送信側の端局Ｒｘ）と、波長多重信号光を伝搬する光ファイバ１１とを含み、さらにネットワークマネジメントシステム３０と、を含む。ネットワークマネジメントシステム３０は、図２Ａの光伝送システムの全体を統括しており、特に本実施形態では出力ギャップモニタ２１の出力に基づいてローディング制御装置２２を制御する構成を示している。なお図３では、光ファイバ１１に挿入される中継器１３については図示を省略している。

[0038] 図３の光伝送システムでは、送信側の端局Ｔｘは、送信される信号光、ローディングに関わるダミー光を波長多重する構成と、ローディング制御装置２２とを含んで、構成されている。送信側の端局Ｔｘは、チャネル＃１～チャネル＃Ｋ－１の信号光（Sig.1～Sig.K-1）を波長多重する合波部１２１と、チャネル＃Ｋ～チャネル＃Ｎの信号光（Sig.K～Sig.N）を波長多重する合波部１２２と、を含む。なおここでＮ及びＫは例えば、Ｎ＞Ｋ≧２を満たすような整数である。またここで説明の便宜上、チャネル＃１～チャネル＃Ｎのチャネル番号は、波長が短い側から波長が長い側への順に付与されているものとする。送信側の端局Ｔｘはさらに、＃１～＃ｎのダミー光（Rod.1～Rod.n）を波長多重する合波部１２３と、合波部１２１、１２２、１２３の出力を合波する合波手段１２４と、入力される制御信号に応じて合波部１２３を制御するローディング制御装置２２と、を含む。ローディング制御装置２２は、入力される制御信号に応じて、＃１～＃ｎのダミー光の出力又は停止、或いは＃１～＃ｎのダミー光の光パワーの減衰などを合波部１２３に対して指示する。

[0039] 図３の光伝送システムでは、受信側の端局Ｒｘは、受信した信号光、ローディングに関わるダミー光を分波する構成と、出力ギャップモニタ２１とを

含んで、構成されている。受信側の端局Ｒｘは、光ファイバ１１を伝搬した波長多重信号光を分波する分波手段１２５と、チャネル＃１～チャネル＃Ｋ－１の信号光（Sig.1～Sig.K-1）に分波する分波部１２６と、チャネル＃Ｋ～チャネル＃Ｎの信号光（Sig.K～Sig.N）に分波する分波部１２７と、を含む。さらに受信側の端局Ｒｘは、＃１～＃ｎのダミー光に分波する分波部１２８と、出力ギャップモニタ２１と、を含む。

[0040] 出力ギャップモニタ２１は、分波部１２６が出力する、チャネル＃Ｋ－１の信号光（Sig.K-1）の出力パワーと、分波部１２７が出力する、チャネル＃Ｋの信号光（Sig.K）の出力パワーとをモニタする。出力ギャップモニタ２１は例えば、チャネル＃Ｋ－１の信号光（Sig.K-1）の出力パワーと、チャネル＃Ｋの信号光（Sig.K）の出力パワーとのギャップ量を監視する。なおここで、チャネル＃Ｋ－１の信号光（Sig.K-1）は第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルに相当し、チャネル＃Ｋの信号光（Sig.K）は第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルに相当する。

[0041] 送信側の端局Ｔｘは、＃１～＃ｎのダミー光（Rod.1～Rod.n）を波長多重する合波部１２３と、合波部１２１、１２２、１２３の出力を合波する合波手段１２４と、入力される制御信号に応じて合波部１２３を制御するローディング制御装置２２と、を含む。

[0042] ローディング制御装置２２は、入力される制御信号に応じて合波部１２３に対して、合波部１２３の＃１～＃ｎのダミー光（Rod.1～Rod.n）の出力又は停止、或いはダミー光の減衰を指示する。これによって、ローディング制御装置２２は光伝送システムにおけるローディング量を制御する。

[0043] （実施形態の動作）

次に、本実施形態の光伝送システムの動作について説明する。図２Ａや図３に示す光伝送システムは、端局１２Ａが送信する波長多重（ＷＤＭ）信号光が光ファイバ１１を伝搬し、端局１２Ｂで受信される。長距離の光ファイバ１１を伝搬するうちに減衰する波長多重信号光は、光ファイバ１１に挿入された中継器１３によって増幅され、所定レベルの利得が維持される。中継

器１３では、上記波長多重信号光を複数の波長帯域の信号光を含む複数のサブバンドに区分される。図２Ｂの中継器１３ではこの波長多重信号光を区分する手段として分波器１４が設けられており、分波器１４によって波長多重信号光は複数のサブバンドに分割される。複数のサブバンドは、例えば第１～第ｍのサブバンドである（なおここで、ｍは２以上の整数）。光増幅器では、波長多重信号光が励起光の導入を受けて光信号の形態で増幅される。光増幅器の特性として図２Ｃに示すように、導入される励起光を同一としても、狭帯域の入力信号に対して増幅量が多くなり、広帯域の入力信号では増幅量が少なくなるという傾向がある。

[0044] 中継器１３では、区分された複数のサブバンドを各々に対応する光増幅部１５$_1$～１５$_m$で増幅した後に、増幅された前記複数のサブバンドを合波器１６で合波する。光伝送システムは運用を開始した後、時間の経過と共に特性の変化（経時変化）が発生することが想定される。

[0045] 本実施形態の光伝送システムは、特に複数の光増幅部１５$_1$～１５$_m$の増幅特性に関わる経時変化へ対処するものであり、例えば複数の複数のサブバンドを相対的に短波長側の第１のサブバンドと、相対的に長波長側の第２のサブバンドとを含むように区分した場合を想定する。第１のサブバンドは例えば、チャネル＃１～チャネル＃Ｋ－１の信号光（Sig.1～Sig.K-1）を含むようなサブバンドであり、第２のサブバンドは例えば、チャネル＃Ｋ～チャネル＃Ｎの信号光（Sig.K～Sig.N）を含むようなサブバンドである。この場合、中継器１３ではチャネル＃１～チャネル＃Ｋ－１の信号光（Sig.1～Sig.K-1）は光増幅部１５$_1$で増幅され、チャネル＃Ｋ～チャネル＃Ｎの信号光（Sig.K～Sig.N）は光増幅部１５$_2$で増幅され、合波器１６で合波される。

[0046] この波長多重信号光は光ファイバ１１を伝搬し、端局１２Ｂで受信される。端局１２Ｂでは、分波手段１２５、分波部１２６、分波部１２７で波長多重信号光が分波される。出力ギャップモニタ２１は、第１のサブバンドのうち中で最も波長が長いチャネルであるチャネル＃Ｋ－１の信号光（Sig.K-1）の出力パワーと、第２のサブバンドのうち中で最も波長が短いチャネルであ

るチャネル＃Ｋの信号光（Sig.K）の出力パワーと、をモニタする。そしてチャネル＃Ｋ－１の信号光（Sig.K-1）の出力パワーと、第２のサブバンドのうち中で最も波長が短いチャネルであるチャネル＃Ｋの信号光（Sig.K）の出力パワーとの間にギャップがある場合には、このギャップが小さくなるように制御を行う。図２Ａでは、チャネル＃Ｋ－１の信号光（Sig.K-1）の出力パワーと、第２のサブバンドのうち中で最も波長が短いチャネルであるチャネル＃Ｋの信号光（Sig.K）の出力パワーとにギャップがある場合には、波長多重信号光を送信する送信側の端局１２Ａに対して、制御信号を送信する。図２Ａでは、出力ギャップモニタ２１がローディング制御装置２２に対して制御信号を送信し、図３では出力ギャップモニタ２１がモニタ結果をネットワークマネジメントシステム３０に送信し、ネットワークマネジメントシステム３０がこのモニタ結果に基づいてローディング制御装置２２に対して制御信号を送信する態様を示している。

[0047] ローディング制御装置２２では、＃１～＃ｎのダミー光（Rod.1～Rod.n）の出力又は停止、或いはダミー光の減衰を指示する。光増幅器では図２Ｃに示すような増幅特性があるので、ダミー光を出力から停止、停止から出力、出力から減衰といった変更をローディング制御装置２２に対して指示することによって、中継器１３の光増幅部15_1、15_2の利得を個別に端局１２Ａから変更することができる。

[0048] （実施形態の効果）

図２Ａ、図３の光伝送システムでは、出力ギャップモニタ２１が、相対的に短波長側の第１のサブバンドのうち最も波長が長いチャネルであるチャネル＃Ｋ－１の信号光（Sig.K-1）の出力パワーをモニタすると共に、相対的に長波長側の第２のサブバンドのうち最も波長が短いチャネルであるチャネル＃Ｋの信号光（Sig.K）の出力パワーとをモニタする。さらに図２Ａの出力ギャップモニタ２１や図３のネットワークマネジメントシステム３０が、チャネル＃Ｋ－１の信号光（Sig.K-1）の出力パワーと、チャネル＃Ｋの信号光（Sig.K）の出力パワーとのギャップが小さくなるように、制御信号を送信する

。このギャップが小さくなるような制御信号は、上記波長多重信号光を送信する送信側の端局１２Ａ（送信側の端局Ｔｘ）に対して送信される。特にこの制御信号は、上記波長多重信号光を送信する送信側の端局１２Ａのローディング制御装置２２に対して送信される。

[0049] この制御信号によって、送信側の端局は波長多重（ＷＤＭ）信号光の送信に関して状態を変化させる。その結果、チャネル＃Ｋ－１の信号光（Sig.K-1）の出力パワーと、チャネル＃Ｋの信号光（Sig.K）の信号光（Sig.K）の出力パワーとのギャップが小さくなる。こうして、区分されたサブバンドごとの光増幅に起因して、増幅特性のギャップが小さくなることによって、等化処理によるエネルギー損失を小さくすることができる。その結果、エネルギー利用効率を向上させた光伝送システムを実現すると共に、光伝送システムの性能を維持することができる。

[0050] 図２Ａや図３の光伝送システムでは、運用を開始した後に中継器１３に含まれる光増幅部15_1～15_mなどに経時変化が生じた場合でも、第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとのギャップを小さくするような制御により、中継器１３に含まれる光増幅部15_1～15_mの増幅特性のばらつきを低減し、エネルギー利用効率を向上させた光伝送システムを実現すると共に、光伝送システムの性能を維持することができる。

[0051] 以下、制御の具体的内容について順番に説明する。ここでは、第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、前記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとの間のギャップを小さくする。

[0052] 〔第２実施形態〕

本発明の第２実施形態による光伝送システム、及びその制御方法について、説明する。図５Ａは、本発明の第２実施形態による光伝送システムの制御方法を説明するためのグラフである。図７Ａ乃至図７Ｃは、本発明の第２実施形態による光伝送システムの制御方法を説明するためのグラフである。本

実施形態は、上述した図２Ａや図３に示す光伝送システムの構成を用いた実施形態であり、光伝送システムの動作や、光伝送システムの制御方法に特徴がある。本実施形態では、上述した図２Ａや図３に示す光伝送システムの構成を用いるものとして、構成についての説明を省略することとする。

[0053] 本明細書では、実施形態の光伝送システムにおいて、「波長多重信号光の伝送に利用される周波数帯」を「使用バンド」と称し、「Ｃバンド全域」（波長帯域：１５３０ｎｍ～１５６５ｎｍ）を「Ｆｕｌｌ　Ｃバンド」と称する、こととする。Ｆｕｌｌ　Ｃバンドには、図４に示すように波長多重信号光の伝送に利用される複数のサブバンド（第１のサブバンド、第２のサブバンド）が含まれると共に、より短波長側の第１のサブバンドよりも波長が短い帯域や、より長波長側の第２のサブバンドよりも波長が長い帯域をも含まれる。

[0054] 光伝送システムでは、運用開始時に利用する複数のチャネルを含むと共に、将来の増強を想定して運用開始時には未使用状態にある複数のチャネル（ダークチャネル）をも含むように設計される。図２Ｃに示される、中継器の増幅部の増幅特性を考慮して、未使用状態にあるチャネルにはダミー光を出力するなど制御される。そして運用開始後に未使用状態にあるチャネルにおいて、信号光を供給すると共に、ダミー光を停止するといった変更が行われる。

[0055] 図５Ａでは、Ｆｕｌｌ　Ｃバンドのうち、第１のサブバンドよりも波長が短い帯域にダミー光が出力されており、また第２のサブバンドよりも波長が短い帯域にダミー光が出力されている状態を示している。

[0056] 本実施形態の光伝送システム、及びその制御方法では、上述した実施形態と同様に、相対的に短波長側の第１のサブバンドのうち最も波長が長いチャネルの出力パワーをモニタすると共に、相対的に長波長側の第２のサブバンドのうち最も波長が短いチャネルの出力パワーとをモニタする。さらに、第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとのギャップが小さ

くなるように、制御信号を送信する。

[0057] この制御信号として、本実施形態の光伝送システム、及びその制御方法では、図７Ａに二箇所の矢印で示すように、ローディング量を変更するような制御を想定する。より具体的には、例えば図７Ａに示す状態から図７Ｂに示す状態への変更のように、第２のサブバンドよりも長波長のローディング量を減少させるような制御である。この第２のサブバンドよりも長波長のローディング量を減少させる制御は、例えば図３のローディング制御装置２２による制御であり、ローディング制御装置２２が第２のサブバンドよりも長波長の１本以上のダミー光を停止することによって実現される。図２Ｃに示す増幅特性から理解されるように、入力信号の帯域が狭くなることによって光増幅部の増幅量は多くなり、光増幅部の利得は上昇する。これによって、第２のサブバンドの波長多重信号光の各信号光の出力パワーが上昇し、第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとのギャップを小さくすることができる。

[0058] ローディング制御装置２２による制御によって、第２のサブバンドよりも長波長の１本以上のダミー光を停止することによって、上記出力パワーのギャップを小さくすることができる。この第２のサブバンドよりも長波長のダミー光を停止することによって出力パワーのギャップを小さくする制御では、出力状態にあるダミー光を停止させる制御であり全てのダミー光を停止させるまで制御を行うことができる。

[0059] 第２のサブバンドよりも長波長のダミー光を停止する制御でも出力パワーのギャップを小さくできないような場合には、例えば図７Ｂに示す状態から図７Ｃに示す状態への変更のように、第１のサブバンドよりも短波長のローディング量を増加させるような制御を行うことも考えられる。この第１のサブバンドよりも短波長のローディング量を増加させる制御は、例えば図３のローディング制御装置２２による制御であり、ローディング制御装置２２が第１のサブバンドよりも短波長の１本以上のダミー光を追加して出力させる

ことによって実現される。

[0060] （実施形態の効果）

本実施形態の光伝送システム、及びその制御方法によれば、上述した実施形態と同様に区分されたサブバンドごとの光増幅に起因して、増幅特性のギャップが小さくなることによって、等化処理によるエネルギー損失を小さくすることができる。その結果、エネルギー利用効率を向上させた光伝送システムを実現すると共に、光伝送システムの性能を維持することができる。

[0061] さらに本実施形態によれば、長波長側の第２のサブバンドよりも長波長のローディング量を減少させる制御によって、出力パワーのギャップを小さくしている。ダミー光を停止するといった手法によって、第２のサブバンドよりも長波長のローディング量を減少させているので、ダミー光に関わる消費電力を減少させることができ、よりエネルギー利用効率を向上させた光伝送システムを実現すると共に、光伝送システムの性能を維持することができる。

[0062] また本実施形態では、長波長側の第２のサブバンドよりも長波長のローディング量を減少させる制御に加えて、短波長側の第１のサブバンドよりも短波長のローディング量を増加させる制御を併用することによって、出力パワーのギャップをより小さくすることができる。

[0063] 図６は、本発明の実施形態による効果を説明するためのグラフである。横軸に波長を示し、縦軸に相対スペクトル強度を示す。光増幅部の励起光源の出力が１００％の場合に、第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとにギャップ（ＧＡＰ）が生まれないように、光伝送システムが設計される。光増幅部の励起光源の出力が１００％から８２％まで低下した場合、第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとでは、等化器を通過した後の出力波形には、図６に示すように約０．４ｄＢのギャップ（ＧＡＰ）が生じる。

[0064] これに対し、本実施形態のような、第２のサブバンドよりも長波長のローディング量を減少させるような制御、図６の図示の場合にはローディング波長を４波減らすことでギャップ（ＧＡＰ）を埋めることができている。言い換えると、第２のサブバンドよりも長波長側のダミー光Ｌ４４、Ｌ４３、Ｌ４２、Ｌ４１の計４波を停止することによって、ギャップ（ＧＡＰ）を埋めることができる。また図６の図示の場合、長波長側のダミー光Ｌ４０、Ｌ３９、Ｌ３８、Ｌ３７、Ｌ３６の停止によって、長波長側の第２のサブバンドの相対スペクトル強度が増加することが理解される。

[0065] 〔第３実施形態〕

次に、本発明の第３実施形態による光伝送システム、及びその制御方法について、説明する。図８は、本発明の第３実施形態による光伝送システムの制御方法を説明するためのグラフである。本実施形態は、第２実施形態と同様に、上述した図２Ａや図３に示す光伝送システムの構成を用いた実施形態であり、光伝送システムの動作や、光伝送システムの制御方法に特徴がある。本実施形態では、上述した図２Ａや図３に示す光伝送システムの構成を用いるものとして、構成についての説明を省略することとする。

[0066] 光伝送システムでは、上述したように、運用開始時に利用する複数のチャネルを含むと共に、将来の増強を想定して運用開始時には未使用状態にある複数のチャネル（ダークチャネル）をも含むように設計される。運用開始後に未使用状態にあるチャネルにおいて、信号光を供給すると共に、ダミー光を停止するといった変更が行われる。このように未使用状態にあるチャネルを使用状態に転換していくと、上述した第２実施形態のような第２のサブバンドよりも長波長のローディング量を減少させるような制御によって、出力パワーとのギャップを小さくするような制御が困難になることが想定される。

[0067] 言い換えると、光伝送システムを長年運用するにつれて図８の使用バンドは次第にＦｕｌｌ　Ｃバンドに近づいて、ローディング量そのものが減少し、Ｆｕｌｌ　Ｃバンド内だけのローディング量の制御では出力パワーとのギ

ャップを小さくするような制御が困難になることが想定される。

[0068] 本実施形態では、図８に示すように短波長側の第１のサブバンドよりも短波長のローディング量を増加させる制御によって、第１のサブバンドの光増幅に関し入力信号の帯域が広くなることによって光増幅部の増幅量が少なくなり、第１のサブバンドの光増幅部の利得は低下する。これによって出力パワーとのギャップを小さくすることができる。

[0069] なお本実施形態では、短波長側の第１のサブバンドよりも短波長のローディング量を増加させる制御は、図８に示すようにＦｕｌｌ Ｃバンドよりも短い波長帯にローディング量を追加するものを示している。このようなＦｕｌｌ Ｃバンドよりも外側の帯域にローディングを追加することによっても、第１のサブバンドの光増幅に関し入力信号の帯域が広くなることによって光増幅部の増幅量を少なくすることができ、第１のサブバンドの光増幅部の利得を低下させることができる。

[0070] （実施形態の効果）

本実施形態の光伝送システム、及びその制御方法によれば、上述した実施形態と同様に区分されたサブバンドごとの光増幅に起因して、増幅特性のギャップが小さくなることによって、等化処理によるエネルギー損失を小さくすることができる。その結果、エネルギー利用効率を向上させた光伝送システムを実現すると共に、光伝送システムの性能を維持することができる。

[0071] さらに本実施形態では、短波長側の第１のサブバンドよりも短波長のローディング量を増加させる制御によって、出力パワーのギャップをより小さくすることができる。その際に本実施形態では、Ｆｕｌｌ Ｃバンド外に追加のローディングを行っている。具体的には、Ｆｕｌｌ Ｃバンドよりも短い波長帯にローディング量を追加することによって、第１のサブバンドの光増幅に関し光増幅部の増幅量を少なくすることができ、第１のサブバンドの光増幅部の利得を低下させることができる。その結果、出力パワーのギャップをより小さくすることができる。

[0072] 〔第４実施形態〕

次に、本発明の第４実施形態による光伝送システム、及びその制御方法について、説明する。図９は、本発明の第４実施形態による光伝送システムの制御方法を説明するためのグラフである。本実施形態は、第２実施形態及び第３実施形態と同様に、上述した図２Ａや図３に示す光伝送システムの構成を用いた実施形態であり、光伝送システムの動作や、光伝送システムの制御方法に特徴がある。本実施形態では、上述した図２Ａや図３に示す光伝送システムの構成を用いるものとして、構成についての説明を省略することとする。

[0073] 上述した第２実施形態や第３実施形態では、区分された複数のサブバンドより長波長のローディング量を制御することや、短波長のローディング量を制御することによって、出力パワーのギャップをより小さくすることについて説明したが、本発明の実施形態によるローディング量の制御はこれらには限られない。例えば、第１のサブバンドと第２のサブバンドとの間の帯域のローディング量を制御することによって、出力パワーのギャップを小さくすることも考えられる。

[0074] 本実施形態では、使用バンドをより短い波長帯の第１のサブバンドと、より長い波長帯の第２のサブバンドとに区分する。そして本実施形態では図９に示すような、第１のサブバンドと第２のサブバンドとの間の帯域のローディング量を制御する。

[0075] 相対的に短波長側の第１のサブバンドのうち最も波長が長いチャネルの出力パワーをモニタすると共に、相対的に長波長側の第２のサブバンドのうち最も波長が短いチャネルの出力パワーとをモニタする。そして第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとのギャップが小さくなるように、制御信号を送信する。

[0076] 例えば、第１のサブバンドと第２のサブバンドとの間の帯域のローディング量のうち、第２のサブバンドに近い帯域のローディング量を減少させるといった制御によって、第２のサブバンドの波長多重信号光の各信号光の出力

パワーを上昇させることができる。また第１のサブバンドと第２のサブバンドとの間の帯域のローディング量のうち、第１のサブバンドに近い帯域のローディング量を増加させるといった制御によって、第１のサブバンドの波長多重信号光の各信号光の出力パワーを低下させることができる。このような第１のサブバンドと第２のサブバンドとの間の帯域のローディング量の制御によって、出力パワーとのギャップを小さくすることができる。

[0077] （実施形態の効果）

本実施形態の光伝送システム、及びその制御方法によれば、上述した実施形態と同様に区分されたサブバンドごとの光増幅に起因して、増幅特性のギャップが小さくなることによって、等化処理によるエネルギー損失を小さくすることができる。その結果、エネルギー利用効率を向上させた光伝送システムを実現すると共に、光伝送システムの性能を維持することができる。

[0078] さらに本実施形態では、第１のサブバンドと第２のサブバンドとの間の帯域のローディング量を制御することによって、出力パワーのギャップをより小さくすることができる。

[0079] 〔第５実施形態〕

次に、本発明の第５実施形態による光伝送システム、及びその制御方法について、説明する。本実施形態は、第２実施形態乃至第４実施形態と同様に、上述した図２Ａや図３に示す光伝送システムの構成を用いた実施形態であり、光伝送システムの動作や、光伝送システムの制御方法に特徴がある。本実施形態では、上述した図２Ａや図３に示す光伝送システムの構成を用いるものとして、構成についての説明を省略することとする。

[0080] 本実施形態では、上述した第２実施形態乃至第４実施形態のような特定の帯域のダミー光の出力、停止といったローディング量の制御に加えて、送信側の端局の送信波形の制御をも行うものである。図１０は、本発明の第５実施形態による光伝送システムの制御方法を説明するためのグラフである。

[0081] 本実施形態の光伝送システムでは、端局１２Ａ（送信側の端局Ｔｘ）においてＦｕｌｌ　Ｃバンドに対し波長多重信号光及びダミー光の出力パワーを

増加させておく。図１０では、Ｆｕｌｌ　Ｃバンドのうち、第１のサブバンドよりも波長が短い帯域にダミー光が出力されており、また第２のサブバンドよりも波長が短い帯域にダミー光が出力されている状態を示しており、図１０ではダミー光についても出力パワーが増加した状態にある。

[0082] 本実施形態の光伝送システム、及びその制御方法では、上述した実施形態と同様に、相対的に短波長側の第１のサブバンドのうち最も波長が長いチャネルの出力パワーをモニタすると共に、相対的に長波長側の第２のサブバンドのうち最も波長が短いチャネルの出力パワーとをモニタする。さらに、第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとのギャップが小さくなるように、制御信号を送信する。

[0083] 本実施形態の光伝送システム、及びその制御方法では、図１０の矢印で示すように、ローディング量を変更するような制御を想定する。より具体的には、第２のサブバンドよりも長波長のローディング量を減少させるような制御であり、ローディング量を減少させる制御として、第２のサブバンドよりも長波長のダミー光の出力パワーを減衰させるような制御を行う。この制御によって、第２のサブバンドのための光増幅部の増幅量は多くなり、光増幅部の利得は上昇する。これによって、第２のサブバンドの波長多重信号光の各信号光の出力パワーが上昇し、第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとのギャップを小さくすることができる。

[0084] 図１１Ａは、本発明の第５実施形態による光伝送システムによる光増幅器の増幅特性を説明するためのグラフである。横軸に波長を示し、縦軸に相対スペクトル強度を示す。光増幅部の励起光源の出力が１００％の場合に、第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとにギャップ（ＧＡＰ）が生まれないように、光伝送システムが設計される。光増幅部の励起光源の出力が１００％から８２％まで低下した場合、第１のサブバンドの中で最も

波長が長いチャネルの出力パワーと、第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとでは、等化器を通過した後の出力波形には、図１１Ａに示すように約０．４ｄＢのギャップ（ＧＡＰ）が生じる。

[0085] これに対し、本実施形態のような、第２のサブバンドよりも長波長のローディング量を減少させるような制御、具体的には第２のサブバンドよりも長波長のダミー光を減衰させるような制御によって、図１１Ａの図示の場合にはダミー光のうち８波を減衰させる制御によって、ギャップ（ＧＡＰ）を埋めることができている。

[0086] 図１１Ｂは、本発明の第５実施形態による光伝送システムによる光増幅器の増幅特性を説明するためのグラフである。端局１２Ａ（送信側の端局Ｔｘ）においてローディング波長に施した減衰はそのままの波長特性を維持して出力される。そのため、直列接続された複数の中継器１３においては、後段の中継器１３の光増幅部にも１段目の中継器１３の光増幅部と同じ入力波形が入射される。これにより、端局１２Ａ（送信側の端局Ｔｘ）においてダミー光を減衰させる制御を行えば、直列接続された複数の中継器１３への入力信号を一括して制御することができる。言い換えると、直列接続された複数の中継器１３の一段一段がギャップを埋めつつ、光増幅することができる。

[0087] （実施形態の効果）

本実施形態の光伝送システム、及びその制御方法によれば、上述した実施形態と同様に区分されたサブバンドごとの光増幅に起因して、増幅特性のギャップが小さくなることによって、等化処理によるエネルギー損失を小さくすることができる。その結果、エネルギー利用効率を向上させた光伝送システムを実現すると共に、光伝送システムの性能を維持することができる。

[0088] さらに本実施形態では、第２のサブバンドよりも長波長のローディング量を減少させるような制御、具体的には第２のサブバンドよりも長波長のダミー光を減衰させるような制御によって、出力パワーのギャップを小さくすることができる。

[0089] 上述した第２乃至第４実施形態によるローディング量の制御と、第５実施

形態によるローディング量の制御とは、併用することができる。例えば、第２実施形態のような第２のサブバンドよりも長波長のダミー光を停止する制御と、本実施形態のような第２のサブバンドよりも長波長のダミー光を減衰させる制御とを、併用することができる。第２実施形態のような第２のサブバンドよりも長波長のダミー光を停止する制御は、粗調整に対応する。言い換えると第２のサブバンドよりも長波長のローディング本数を削減する制御は、粗調整に対応する。本実施形態のような第２のサブバンドよりも長波長のダミー光を減衰させる制御は、微調整に対応する。

[0090] 本実施形態のような第２のサブバンドよりも長波長のダミー光を減衰させる制御を併用することによって、図６に示される飛び飛びのギャップ量の調整（粗調整）に対してその中間のギャップ量の調整（微調整）が可能になる。

[0091] 〔第６実施形態〕

次に、本発明の第６実施形態による光伝送システム、及びその制御方法について、説明する。本実施形態は、第２実施形態乃至第４実施形態と同様に、上述した図２Ａや図３に示す光伝送システムの構成を用いた実施形態であり、光伝送システムの動作や、光伝送システムの制御方法に特徴がある。本実施形態では、上述した図２Ａや図３に示す光伝送システムの構成を用いるものとして、構成についての説明を省略することとする。

[0092] 本実施形態では、上述した第５実施形態と同様に、送信側の端局の送信波形の制御をも行うものである。図１２は、本発明の第６実施形態による光伝送システムの制御方法を説明するためのグラフである。

[0093] 本実施形態の光伝送システムでは、第５実施形態と同様に、端局１２Ａ（送信側の端局Ｔｘ）においてＦｕｌｌ　Ｃバンドに対し波長多重信号光及びダミー光の出力パワーを増加させておく。図１２では、Ｆｕｌｌ　Ｃバンドのうち、第１のサブバンドよりも波長が短い帯域にダミー光が出力されており、また第２のサブバンドよりも波長が短い帯域にダミー光が出力されている状態を示しており、図１２ではダミー光についても出力パワーが増加した

状態にある。

[0094] 本実施形態の光伝送システム、及びその制御方法では、上述した実施形態と同様に、相対的に短波長側の第１のサブバンドのうち最も波長が長いチャネルの出力パワーをモニタすると共に、相対的に長波長側の第２のサブバンドのうち最も波長が短いチャネルの出力パワーとをモニタする。さらに、第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとのギャップが小さくなるように、制御信号を送信する。

[0095] 本実施形態の光伝送システム、及びその制御方法では、図１２の矢印で示すように、第２のサブバンドの波長多重信号光を減衰させると共に、ローディング量を変更するような制御を想定する。より具体的には、第５実施形態のような第２のサブバンドよりも長波長のローディング量を減少させるような制御に加えて、端局１２Ａ（送信側の端局Ｔｘ）が送信する波長多重信号光のうち、より長波長側の第２のサブバンドの波長多重信号光を全体的に減衰させるような制御を行う。この制御によって、第２のサブバンドのための光増幅部の増幅量は多くなり、光増幅部の利得は上昇する。これによって、第２のサブバンドの波長多重信号光の各信号光の出力パワーが上昇し、第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとのギャップを小さくすることができる。

[0096] （実施形態の効果）

本実施形態の光伝送システム、及びその制御方法によれば、上述した実施形態と同様に区分されたサブバンドごとの光増幅に起因して、増幅特性のギャップが小さくなることによって、等化処理によるエネルギー損失を小さくすることができる。その結果、エネルギー利用効率を向上させた光伝送システムを実現すると共に、光伝送システムの性能を維持することができる。

[0097] さらに本実施形態では、第５実施形態と同様に、第２のサブバンドよりも長波長のローディング量を減少させるような制御、具体的には第２のサブバ

ンドよりも長波長のダミー光を減衰させるような制御によって、出力パワーのギャップを小さくすることができる。

[0098] さらに本実施形態では、端局１２Ａ（送信側の端局Ｔｘ）が送信する波長多重信号光のうち、より長波長側の第２のサブバンドの波長多重信号光を全体的に減衰させるような制御を行っている。第２のサブバンドよりも長波長のローディング量を調整するだけでなく、第２のサブバンドの入力信号強度を全体的に調整する制御によって、第２のサブバンドのための光増幅部の増幅量は多くなり、光増幅部の利得は上昇する。その結果、出力パワーのギャップをより小さくすることができる。

[0099] なお本実施形態においても、上述した第２乃至第４実施形態によるローディング量の制御と併用することができる。例えば、第２実施形態のような第２のサブバンドよりも長波長のダミー光を停止する制御と、本実施形態のような第２のサブバンドの波長多重信号光を全体的に減衰させるような制御とを、併用することができる。本実施形態のような第２のサブバンドの波長多重信号光を全体的に減衰させるような制御を併用することによって、図６に示される飛び飛びのギャップ量の調整（粗調整）に対してその中間のギャップ量の調整（微調整）が可能になる。

[0100] 〔その他の実施形態〕

以上、本発明の好ましい実施形態を説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。図５Ｂは、本発明の第２実施形態による光伝送システムの制御方法の変形例を説明するためのグラフである。例えば、上述した第２実施形態において、複数のサブバンドのうち、より長波長側の第２のサブバンドについて経時変化が大きいことが確定していれば、光伝送システムの運用開始時から使用バンドをＦｕｌｌ　Ｃバンドの短波長側に寄せて、ローディングは長波長側に設けるような設計も考えられる。図５Ａでは、第１のサブバンドの短波長側にローディングを設けると共に第２のサブバンドの長波長側にローディングを設けているのに対し、図５Ｂでは第２のサブバンドの長波長側にのみローディングを設けている点で相違している。第２のサブバン

ドについて経時変化が大きいことが確定しているときには、このように第２のサブバンドの長波長側にのみローディングを設けておき、徐々にローディング量を減らすような制御が考えられる。このように長波長側の第２のサブバンドについて経時変化が大きいことが確定していれば、使用バンドをＦｕｌｌ　Ｃバンドの短波長側に寄せて設計することにより、減らせるローディング量が枯渇してしまうといった課題を解決することができる。長期間の運用においても、出力パワーのギャップを小さくできる余力を維持することができる。

[0101] 上述した中継器１３内の複数の光増幅部15_1～15_mには、２台以上のＳＣ－ＥＤＦＡ（Single Core-Erbium doped Optical Fiber Amplifier）を用いることができる。また、上述した中継器１３内の複数の光増幅部15_1～15_mには、１台以上のコア個別励起型のＭＣ－ＥＤＦＡ（Multi-Core-Erbium doped Optical Fiber Amplifier）を用いることができる。また、上述した中継器１３内の複数の光増幅部15_1～15_mには、１台以上のクラッド一括励起及びコア個別励起を併用したハイブリッド型のＭＣ－ＥＤＦＡを用いることができる。この２台以上のＳＣ－ＥＤＦＡ、１台以上のコア個別励起型のＭＣ－ＥＤＦＡ、１台以上のクラッド一括励起及びコア個別励起を併用したハイブリッド型のＭＣ－ＥＤＦＡとしては、既存の技術を本発明に適用することができる。例えば、特許文献２の図８などでは、複数のシングルコア光ファイバを用いた光増幅器が提案されている。この複数のシングルコア光ファイバのそれぞれは、希土類イオンが添加された単一のコアと、この単一のコアを囲むクラッドとを備える構成である。また特許文献２の図４や図６などでは、マルチコア光ファイバを用いた光増幅器が提案されている。このマルチコア光ファイバは、希土類イオンが添加された複数のコアと、この複数のコアを囲むクラッドとを備える構成である。特許請求の範囲に記載した発明の範囲内で、種々の変形が可能であり、それらも本発明の範囲に含まれることはいうまでもない。

[0102] 上記の実施形態の一部又は全部は、以下の付記のようにも記載されうるが

、以下には限られない。

（付記１）波長多重（ＷＤＭ）信号光をお互いに送受信する一対の端局と、前記一対の端局が送受信する前記波長多重信号光を伝搬する光ファイバと、前記光ファイバに挿入された少なくとも１つの中継器とを含む光伝送システムであり、

前記中継器は、前記波長多重信号光を複数の波長帯域の信号光を含む複数のサブバンドに区分し、この区分された前記複数のサブバンドを対応する複数の光増幅部で増幅した後に、増幅された前記複数のサブバンドを合波する光増幅器を含み、

前記区分された複数の複数のサブバンドは、相対的に短波長側の第１のサブバンドと、相対的に長波長側の第２のサブバンドとを含み、

前記一対の端局のうち受信側の端局が受信した前記第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、前記一対の端局のうち受信側の端局が受信した前記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとをモニタするモニタ部と、

前記モニタ部がモニタした前記第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、前記モニタ部がモニタした前記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとのギャップが小さくなるように、前記波長多重信号光を送信する送信側の端局に対して、制御信号を送信する制御部とを、含む

光伝送システム。

（付記２）前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、ローディング量を変化させるように指示するものである、

付記１に記載の光伝送システム。

（付記３）前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、前記第２のサブバンドよりも長い波長のローディング量を減らすように指示するものである、

付記２に記載の光伝送システム。

（付記４）前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、前記第２のサブバ

ンドよりも長い波長のローディング量を減らすように指示するものであり、この長い波長のローディング量を減らすことによっても前記ギャップが十分に小さくならないときには、さらに前記送信側の端局に対して、前記第１のサブバンドよりも短い波長のローディング量を増やすように指示するものである、

付記３に記載の光伝送システム。

（付記５）前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、前記第２のサブバンドよりも長い波長のダミー光のパワーを減らすように指示するものである、

付記２に記載の光伝送システム。

（付記６）前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、前記第２のサブバンドに区分された波長帯域の信号光のパワーを減らすように指示するものである、

付記５に記載の光伝送システム。

（付記７）前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、前記第１のサブバンドよりも短い波長のローディング量を増やすように指示するものである、

付記２に記載の光伝送システム。

（付記８）前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、前記第１のサブバンドと、前記第２のサブバンドとの間の帯域のローディング量を変化させるように指示するものである、

付記２に記載の光伝送システム。

（付記９）前記送信側の端局は、信号光とダミー光とを波長多重することによって前記波長多重信号光を生成し、

前記ローディング量の制御は、前記送信側の端局において前記ダミー光のチャネルを増減することによって行われる、

付記２乃至８のいずれか一つに記載の光伝送システム。

（付記１０）前記複数のサブバンドのうち最も波長が短いチャネルを使用バンドの波長が短い側に寄せておくことによって、

前記第２のサブバンドよりも長い波長のローディング量が多めに確保されている、

付記３に記載の光伝送システム。

（付記１１）前記複数の光増幅部は、２台以上のシングルコア不純物添加光ファイバ増幅器である、

付記１乃至付記１０のいずれか一つに記載の光伝送システム。

（付記１２）前記複数の光増幅部は、１台以上のマルチコア不純物添加光ファイバ増幅器である、

付記１乃至付記１０のいずれか一つに記載の光伝送システム。

（付記１３）前記複数の光増幅部は、１台以上のクラッド一括励起及びコア個別励起を併用したハイブリッド型マルチコア不純物添加光ファイバ増幅器である、

付記１乃至付記１０のいずれか一つに記載の光伝送システム。

（付記１４）波長多重（ＷＤＭ）信号光をお互いに送受信する一対の端局と、上記一対の端局が送受信する上記波長多重信号光を伝搬する光ファイバと、上記光ファイバに挿入された少なくとも１つの中継器とを含む光伝送システムの制御方法であり、

上記中継器は、上記波長多重信号光を複数の波長帯域の信号光を含む複数のサブバンドに区分し、この区分された上記複数のサブバンドを対応する複数の光増幅部で増幅した後に、増幅された上記複数のサブバンドを合波し、

上記区分された複数の複数のサブバンドは、相対的に短波長側の第１のサブバンドと、相対的に長波長側の第２のサブバンドとを含み、

上記一対の端局のうち受信側の端局が受信した、

上記第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとをモニタし、

上記第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、上記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとのギャップ

が小さくなるように、上記波長多重信号光を送信する送信側の端局に対して、制御信号を送信する、

光伝送システムの制御方法。

（付記１５）前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、ローディング量を変化させるように指示するものである、

付記１４に記載の光伝送システムの制御方法。

（付記１６）前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、前記第２のサブバンドよりも長い波長のローディング量を減らすように指示するものである、

付記１５に記載の光伝送システムの制御方法。

（付記１７）前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、前記第２のサブバンドよりも長い波長のローディング量を減らすように指示するものであり、

この長い波長のローディング量を減らすことによっても前記ギャップが十分に小さくならないときには、さらに前記送信側の端局に対して、前記第１のサブバンドよりも短い波長のローディング量を増やすように指示するものである、

付記１６に記載の光伝送システムの制御方法。

（付記１８）前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、前記第２のサブバンドよりも長い波長のダミー光のパワーを減らすように指示するものである、

付記１５に記載の光伝送システムの制御方法。

（付記１９）前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、前記第２のサブバンドに区分された波長帯域の信号光のパワーを減らすように指示するものである、

付記１８に記載の光伝送システムの制御方法。

（付記２０）前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、前記第１のサブバンドよりも短い波長のローディング量を増やすように指示するものである

、

付記１５に記載の光伝送システムの制御方法。

（付記２１）前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、前記第１のサブバンドと、前記第２のサブバンドとの間の帯域のローディング量を変化させるように指示するものである、

付記１５に記載の光伝送システムの制御方法。

（付記２２）前記送信側の端局は、信号光とダミー光とを波長多重することによって前記波長多重信号光を生成し、

前記ローディング量の制御は、前記送信側の端局において前記ダミー光のチャネルを増減することによって行われる、

付記１５乃至２１のいずれか一つに記載の光伝送システムの制御方法。

（付記２３）前記複数のサブバンドのうち最も波長が短いチャネルを使用バンドの波長が短い側に寄せておくことによって、

前記第２のサブバンドよりも長い波長のローディング量が多めに確保されている、

付記１６に記載の光伝送システムの制御方法。

符号の説明

[0103] １１、光ファイバ

１２Ａ、１２Ｂ、１０２Ａ、１０２Ｂ　端局

１３、１０３　中継器

１４、１０４　分波器

15_1～15_m、105_1～105_m　光増幅部

１６、１０６　合波器

１２１、１２１、１２３　合波部

１２４　合波手段

１２５　分波手段

１２６、１２７、１２８　分波部

２１　出力ギャップモニタ

２２　　ローディング制御装置

３０　　ネットワークマネジメントシステム

１０８　　モニタ部

１０９　　制御部

請求の範囲

[請求項1] 波長多重（ＷＤＭ）信号光を互いに送受信する一対の端局と、前記一対の端局が送受信する前記波長多重信号光を伝搬する光ファイバと、前記光ファイバを中継する少なくとも１つの中継器とを含む光伝送システムであり、

前記中継器は、前記波長多重信号光を複数の波長帯域の信号光を含む複数のサブバンドに区分し、この区分された前記複数のサブバンドを対応する複数の光増幅部で増幅した後に、増幅された前記複数のサブバンドを合波する光増幅器を含み、

前記区分された複数の複数のサブバンドは、相対的に短波長側の第１のサブバンドと、相対的に長波長側の第２のサブバンドとを含み、

前記一対の端局のうち受信側の端局が受信した前記第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、前記一対の端局のうち受信側の端局が受信した前記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとをモニタするモニタ部と、

前記モニタ部がモニタした前記第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、前記モニタ部がモニタした前記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとのギャップが小さくなるように、前記波長多重信号光を送信する送信側の端局に対して、制御信号を送信する制御部とを、含む

光伝送システム。

[請求項2] 前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、ローディング量を変化させるように指示するものである、

請求項１に記載の光伝送システム。

[請求項3] 前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、前記第２のサブバンドよりも長い波長のローディング量を減らすように指示するものである、

請求項２に記載の光伝送システム。

[請求項4] 前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、前記第２のサブバンドよりも長い波長のローディング量を減らすように指示するものであり、

この長い波長のローディング量を減らすことによっても前記ギャップが十分に小さくならないときには、さらに前記送信側の端局に対して、前記第１のサブバンドよりも短い波長のローディング量を増やすように指示するものである、

請求項３に記載の光伝送システム。

[請求項5] 前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、前記第２のサブバンドよりも長い波長のダミー光のパワーを減らすように指示するものである、

請求項２に記載の光伝送システム。

[請求項6] 前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、前記第２のサブバンドに区分された波長帯域の信号光のパワーを減らすように指示するものである、

請求項５に記載の光伝送システム。

[請求項7] 前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、前記第１のサブバンドよりも短い波長のローディング量を増やすように指示するものである、

請求項２に記載の光伝送システム。

[請求項8] 前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、前記第１のサブバンドと、前記第２のサブバンドとの間の帯域のローディング量を変化させるように指示するものである、

請求項２に記載の光伝送システム。

[請求項9] 前記送信側の端局は、信号光とダミー光とを波長多重することによって前記波長多重信号光を生成し、

前記ローディング量の制御は、前記送信側の端局において前記ダミー光のチャネルを増減することによって行われる、

請求項２乃至８のいずれか一項に記載の光伝送システム。

[請求項10] 前記複数のサブバンドのうち最も波長が短いチャネルを使用バンドの波長が短い側に寄せておくことによって、

前記第２のサブバンドよりも長い波長のローディング量が多めに確保されている、

請求項３に記載の光伝送システム。

[請求項11] 前記複数の光増幅部は、２台以上のシングルコア不純物添加光ファイバ増幅器である、

請求項１乃至請求項１０のいずれか一項に記載の光伝送システム。

[請求項12] 前記複数の光増幅部は、１台以上のマルチコア不純物添加光ファイバ増幅器である、

請求項１乃至請求項１０のいずれか一項に記載の光伝送システム。

[請求項13] 前記複数の光増幅部は、１台以上のクラッド一括励起及びコア個別励起を併用したハイブリッド型マルチコア不純物添加光ファイバ増幅器である、

請求項１乃至請求項１０のいずれか一項に記載の光伝送システム。

[請求項14] 波長多重（ＷＤＭ）信号光をお互いに送受信する一対の端局と、前記一対の端局が送受信する前記波長多重信号光を伝搬する光ファイバと、前記光ファイバに挿入された少なくとも１つの中継器とを含む光伝送システムの制御方法であり、

前記中継器は、前記波長多重信号光を複数の波長帯域の信号光を含む複数のサブバンドに区分し、この区分された前記複数のサブバンドを対応する複数の光増幅部で増幅した後に、増幅された前記複数のサブバンドを合波し、

前記区分された複数の複数のサブバンドは、相対的に短波長側の第１のサブバンドと、相対的に長波長側の第２のサブバンドとを含み、

前記一対の端局のうち受信側の端局が受信した、

前記第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワー

と、前記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとをモニタし、

前記第１のサブバンドの中で最も波長が長いチャネルの出力パワーと、前記第２のサブバンドの中で最も波長が短いチャネルの出力パワーとのギャップが小さくなるように、前記波長多重信号光を送信する送信側の端局に対して、制御信号を送信する、

光伝送システムの制御方法。

[請求項15] 前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、ローディング量を変化させるように指示するものである、

請求項１４に記載の光伝送システムの制御方法。

[請求項16] 前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、前記第２のサブバンドよりも長い波長のローディング量を減らすように指示するものである、

請求項１５に記載の光伝送システムの制御方法。

[請求項17] 前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、前記第２のサブバンドよりも長い波長のローディング量を減らすように指示するものであり、

この長い波長のローディング量を減らすことによっても前記ギャップが十分に小さくならないときには、さらに前記送信側の端局に対して、前記第１のサブバンドよりも短い波長のローディング量を増やすように指示するものである、

請求項１６に記載の光伝送システムの制御方法。

[請求項18] 前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、前記第２のサブバンドよりも長い波長のダミー光のパワーを減らすように指示するものである、

請求項１５に記載の光伝送システムの制御方法。

[請求項19] 前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、前記第２のサブバンドに区分された波長帯域の信号光のパワーを減らすように指示するも

のである、

請求項１８に記載の光伝送システムの制御方法。

[請求項20] 前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、前記第１のサブバンドよりも短い波長のローディング量を増やすように指示するものである、

請求項１５に記載の光伝送システムの制御方法。

[請求項21] 前記制御信号は、前記送信側の端局に対して、前記第１のサブバンドと、前記第２のサブバンドとの間の帯域のローディング量を変化させるように指示するものである、

請求項１５に記載の光伝送システムの制御方法。

[請求項22] 前記送信側の端局は、信号光とダミー光とを波長多重することによって前記波長多重信号光を生成し、

前記ローディング量の制御は、前記送信側の端局において前記ダミー光のチャネルを増減することによって行われる、

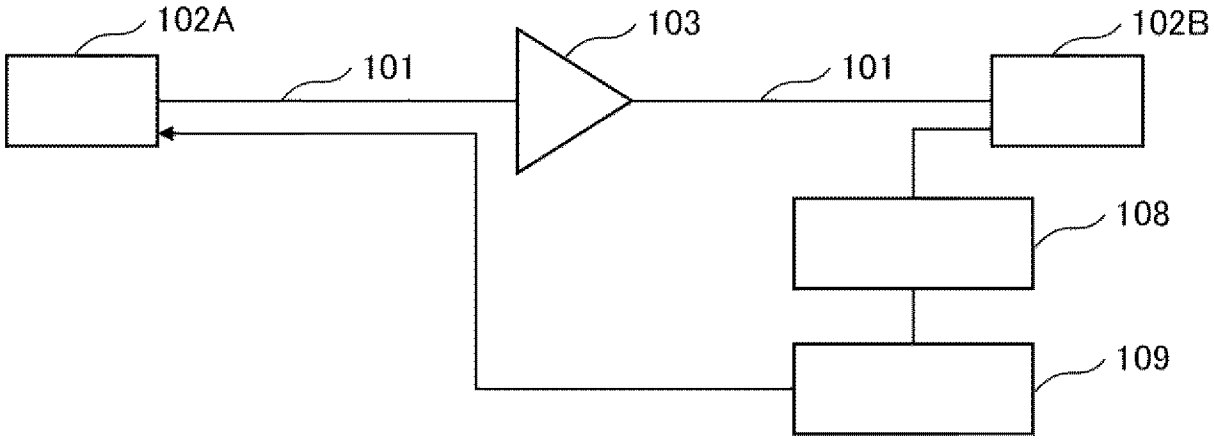
請求項１５乃至２１のいずれか一項に記載の光伝送システムの制御方法。

[請求項23] 前記複数のサブバンドのうち最も波長が短いチャネルを使用バンドの波長が短い側に寄せておくことによって、

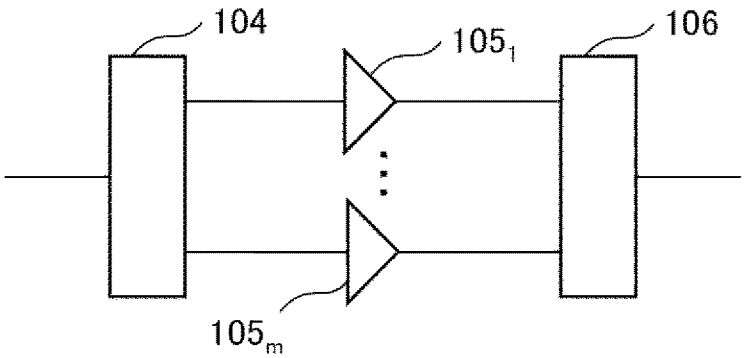
前記第２のサブバンドよりも長い波長のローディング量が多めに確保されている、

請求項１６に記載の光伝送システムの制御方法。

[図1A]

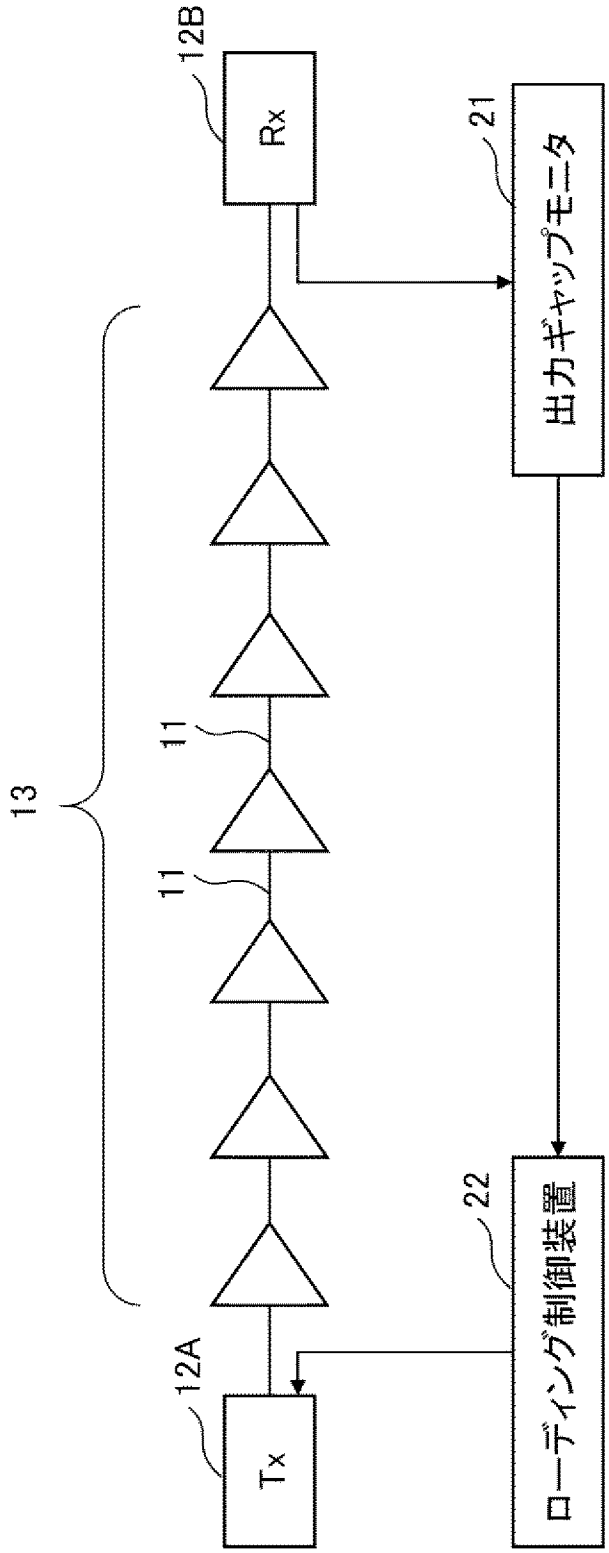


[図1B]

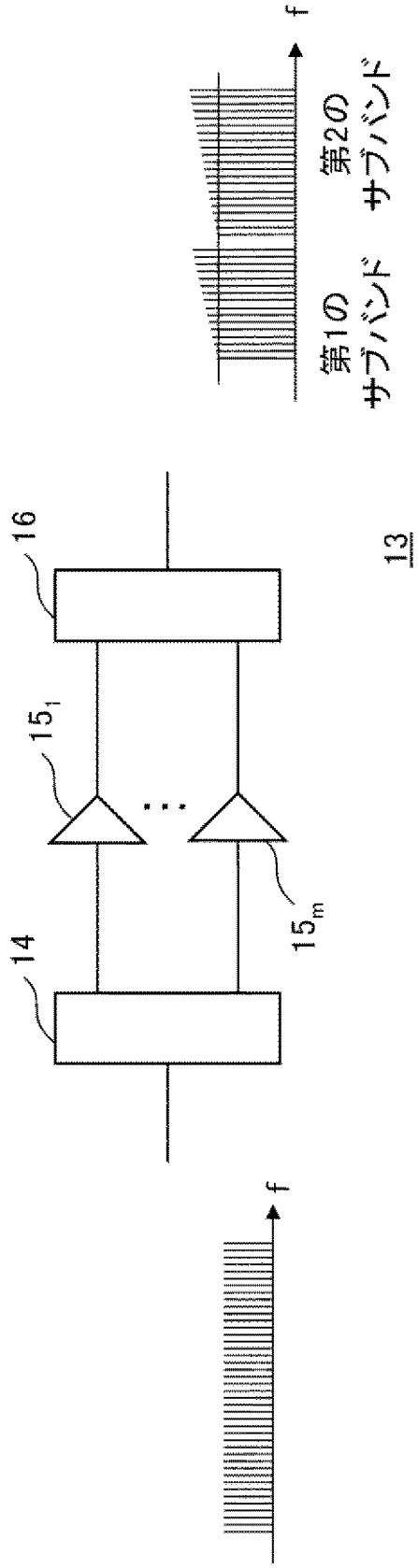


103

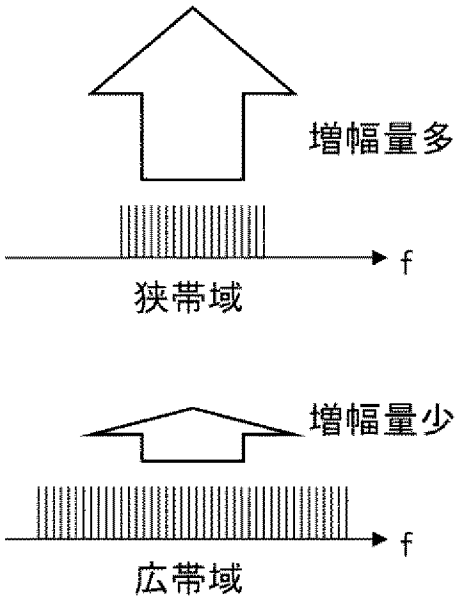
[図2A]



[図2B]

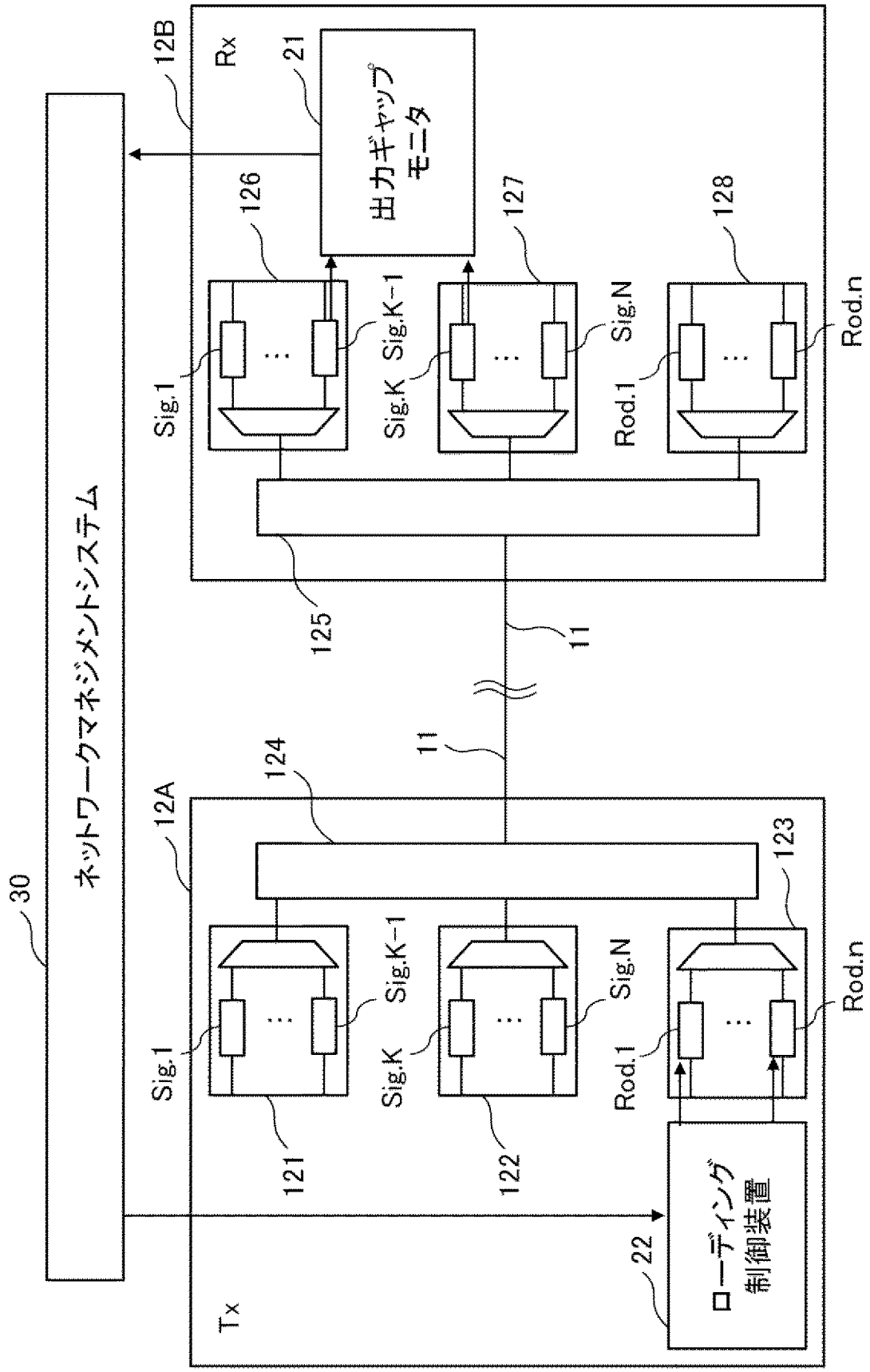


[図2C]

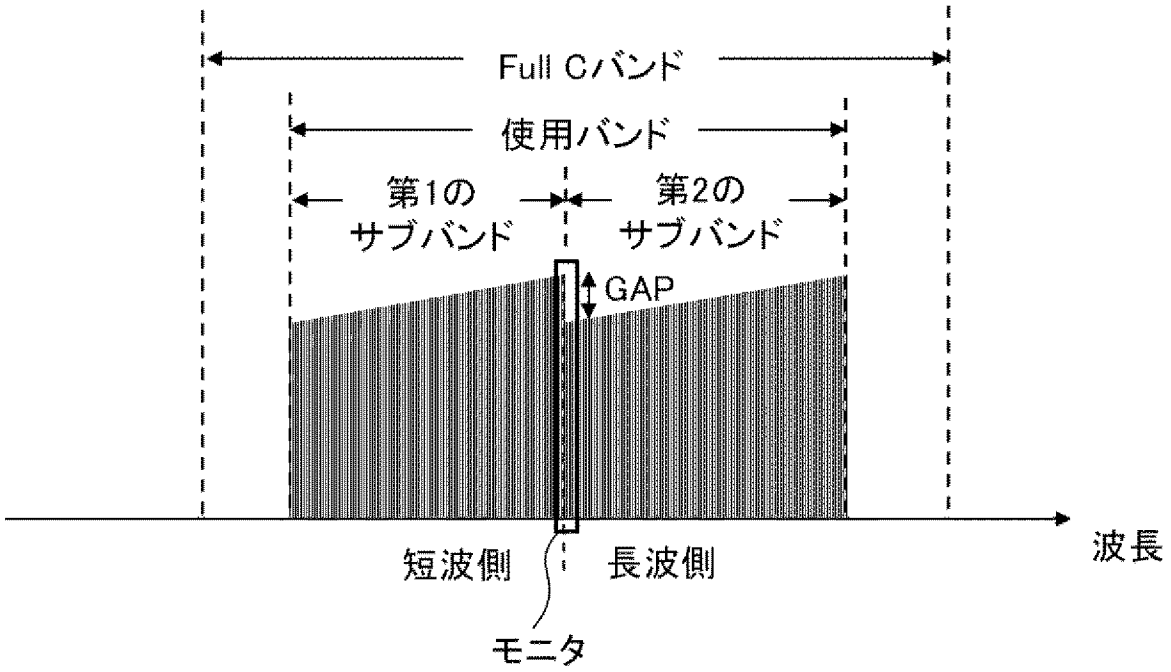


基本原理

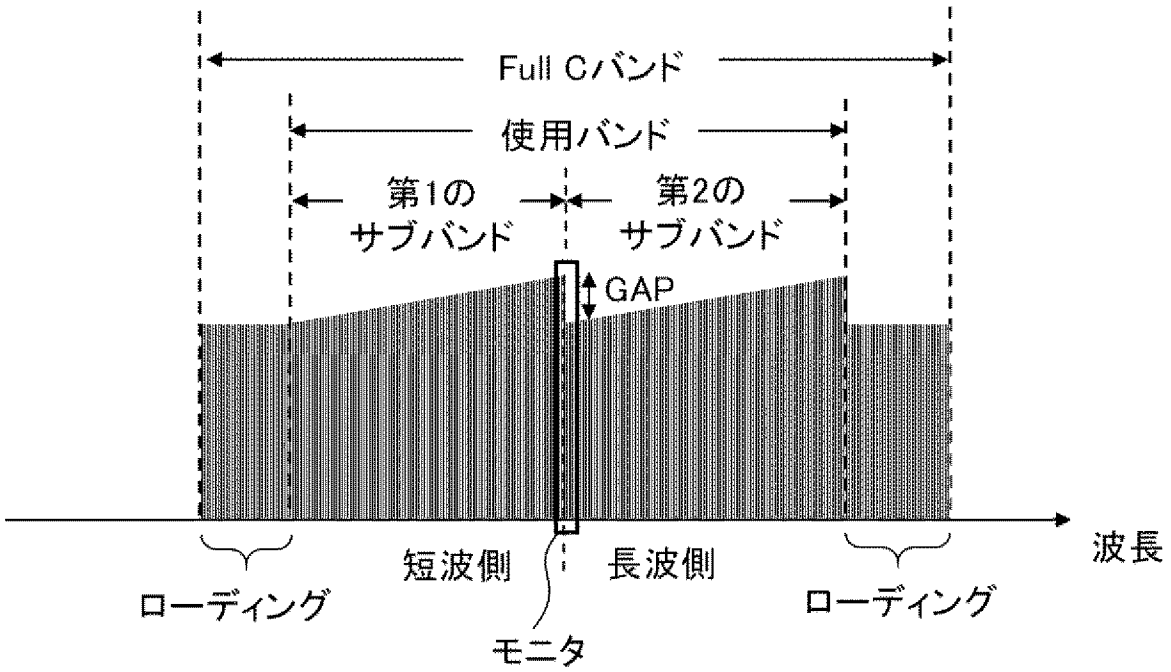
[図3]


30
ネットワークマネジメントシステム
12B
Rx
21
出力ギャップ
モニタ
126
127
128
Sig.1
Sig.K-1
Sig.K
Sig.N
Rod.1
Rod.n
125
11
11
124
12A
123
Sig.1
Sig.K-1
Sig.K
Sig.N
Rod.1
Rod.n
121
122
22
ローディング
制御装置
Tx

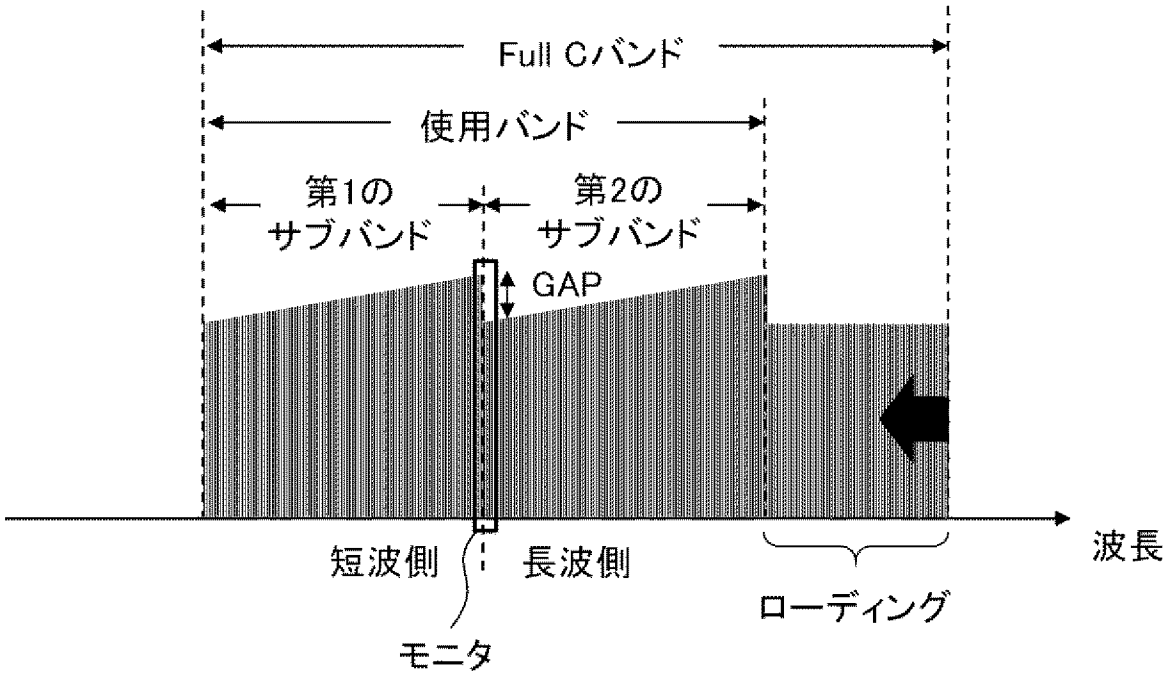
[図4]


Full Cバンド
使用バンド
第1の
サブバンド
第2の
サブバンド
GAP
短波側
長波側
波長
モニタ

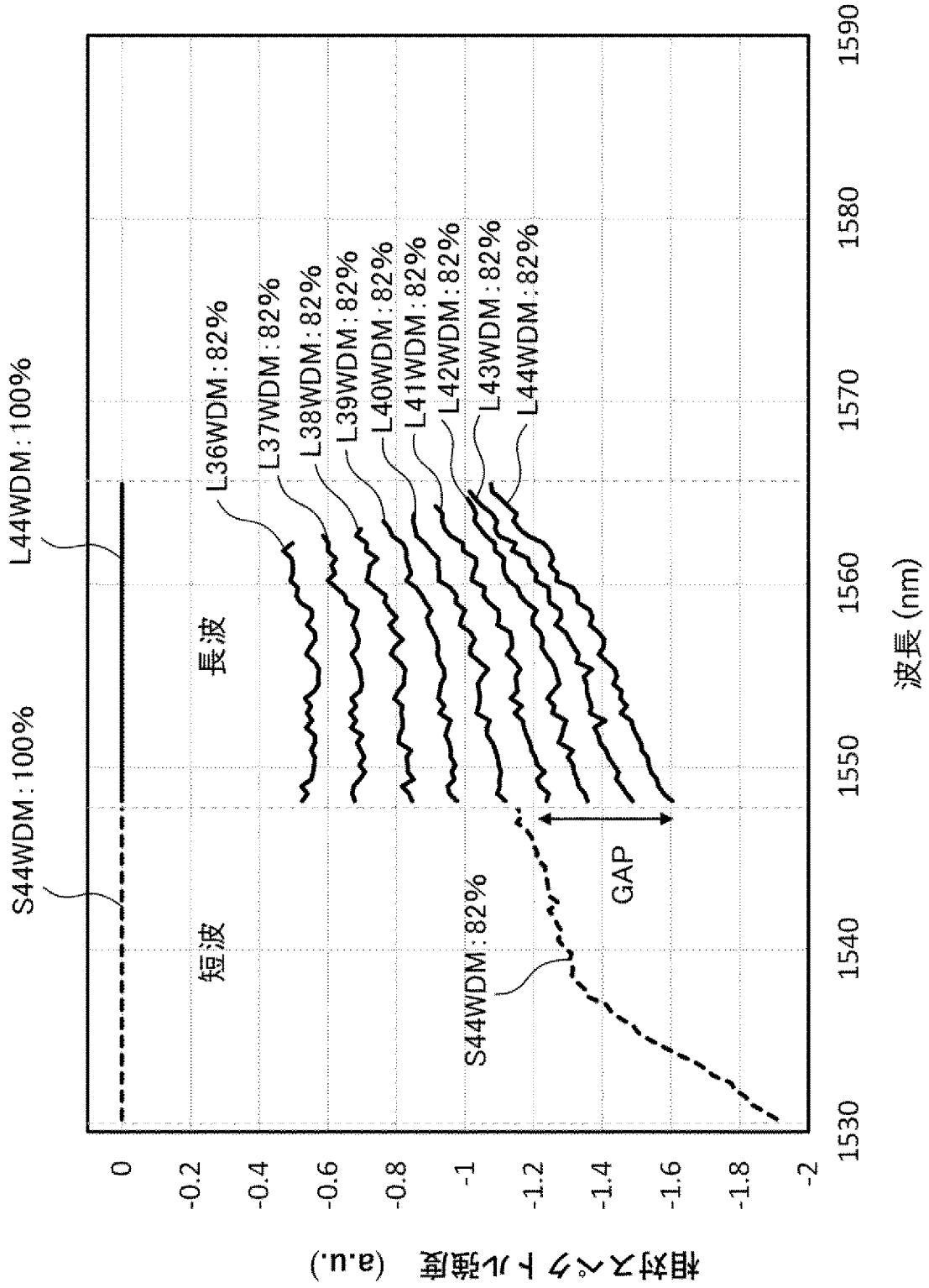
[図5A]


Full Cバンド
使用バンド
第1の
サブバンド
第2の
サブバンド
GAP
短波側
長波側
波長
ローディング
ローディング
モニタ

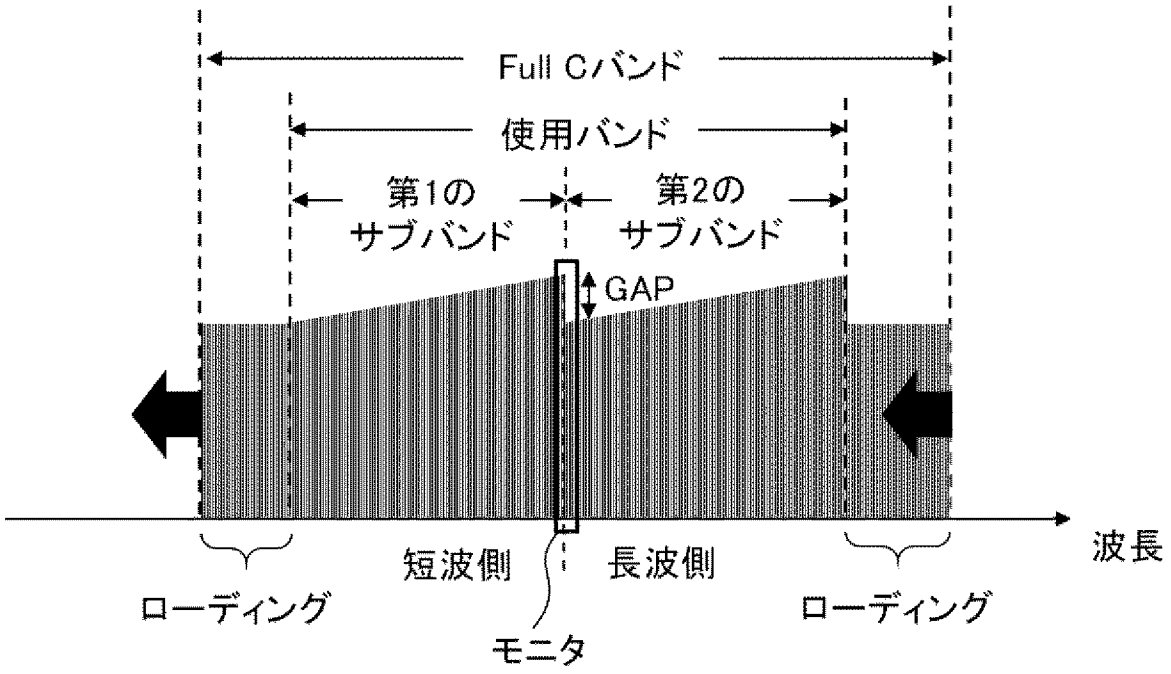
[図5B]



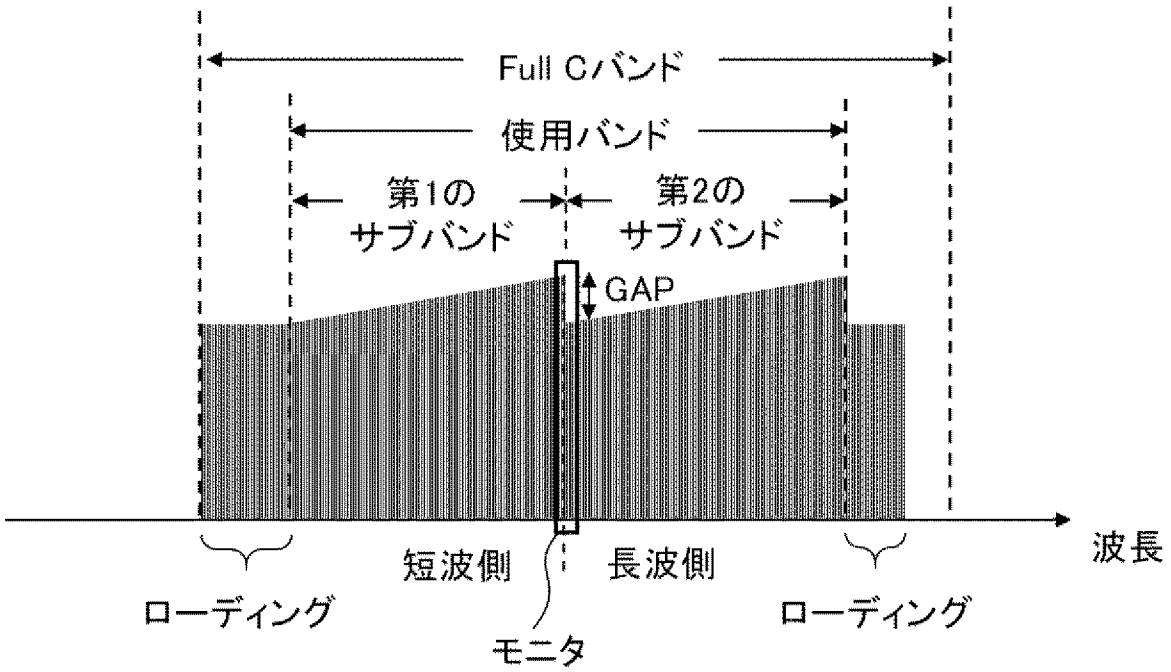
[図6]


L44WDM:100%
S44WDM:100%
短波
長波
L36WDM:82%
L37WDM:82%
L38WDM:82%
L39WDM:82%
L40WDM:82%
L41WDM:82%
L42WDM:82%
L43WDM:82%
L44WDM:82%
S44WDM:82%
GAP
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
-1.2
-1.4
-1.6
-1.8
-2
1530
1540
1550
1560
1570
1580
1590
波長(nm)
相対スペクトル強度 (a.u.)

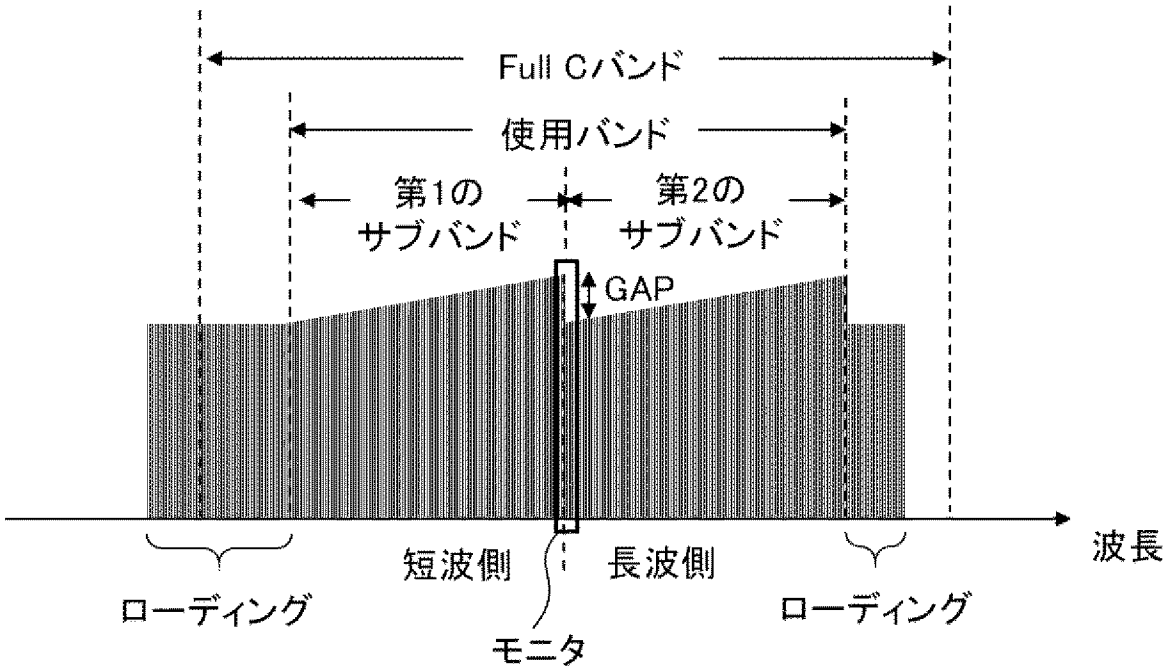
[図7A]


Full Cバンド
使用バンド
第1の
サブバンド
第2の
サブバンド
GAP
波長
短波側
長波側
ローディング
ローディング
モニタ

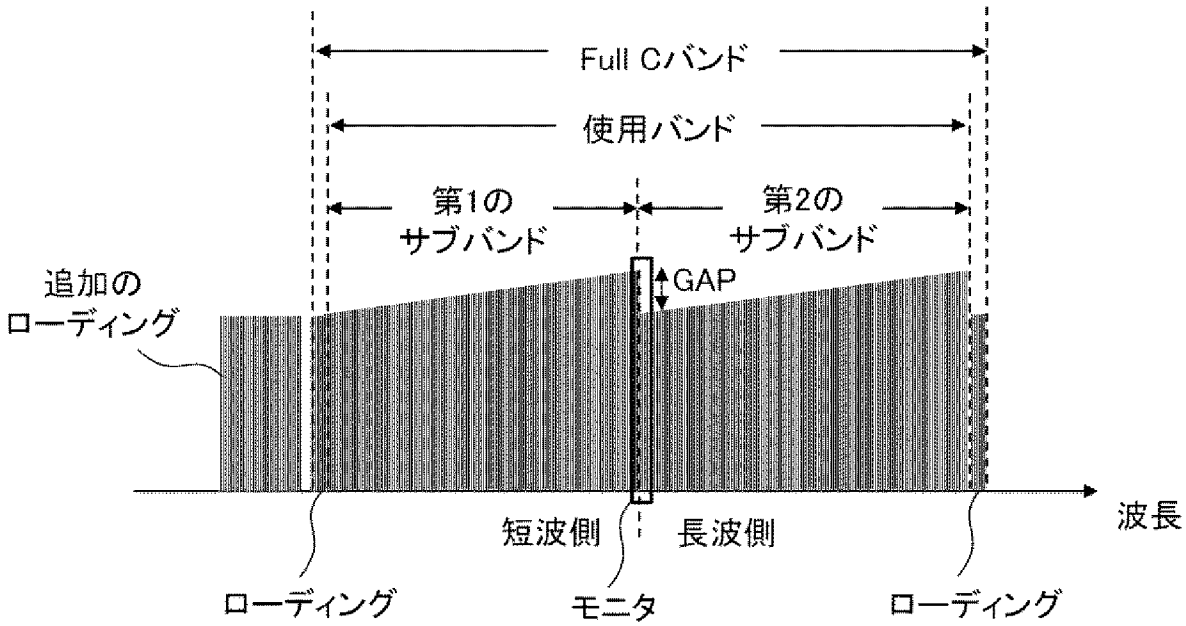
[図7B]


Full Cバンド
使用バンド
第1の
サブバンド
第2の
サブバンド
GAP
波長
短波側
長波側
ローディング
ローディング
モニタ

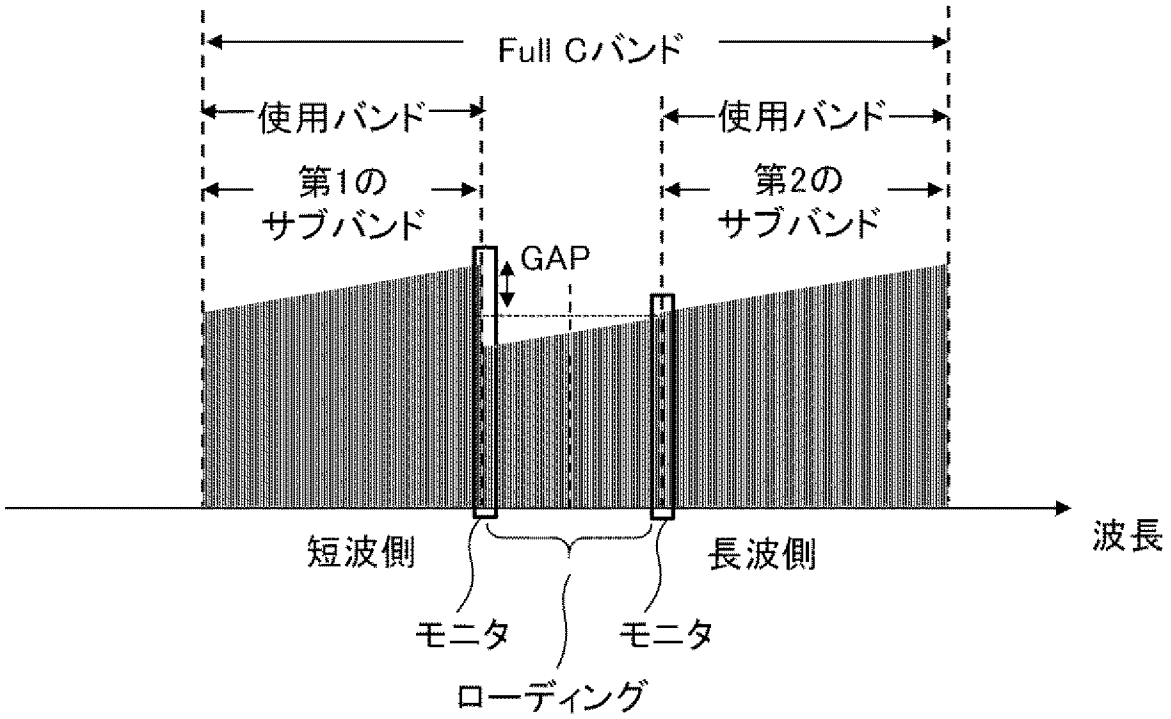
[図7C]


Full Cバンド
使用バンド
第1の
サブバンド
第2の
サブバンド
GAP
波長
短波側
長波側
ローディング
ローディング
モニタ

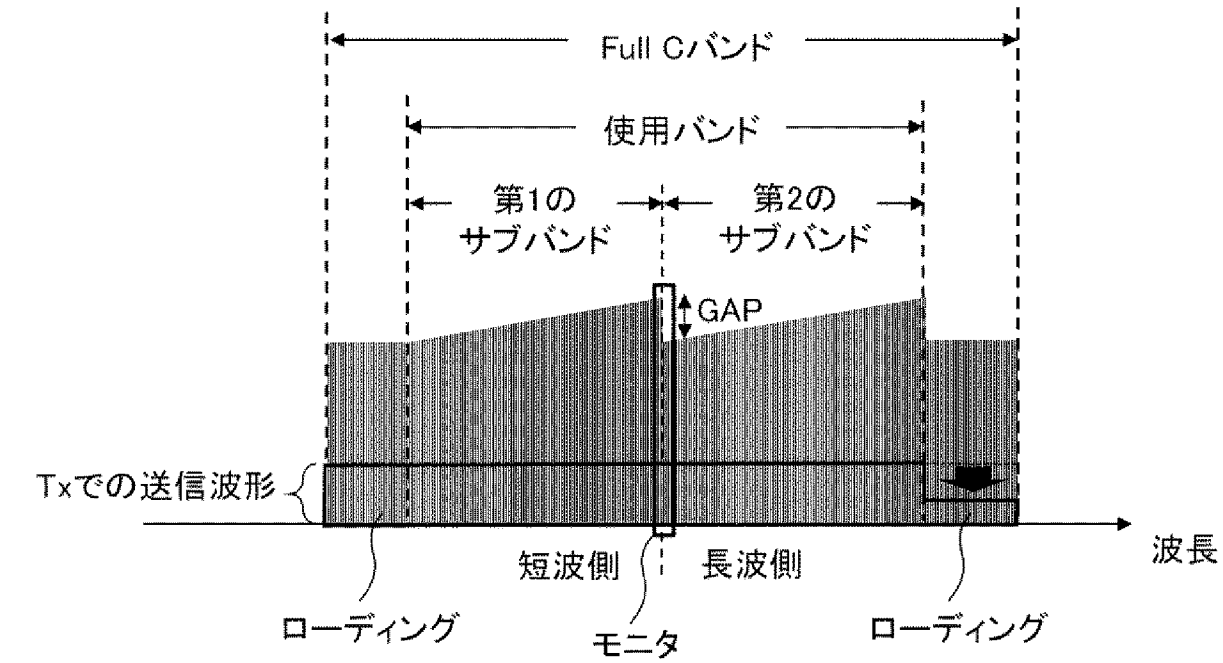
[図8]


Full Cバンド
使用バンド
第1の
サブバンド
第2の
サブバンド
GAP
追加の
ローディング
波長
短波側
長波側
ローディング
モニタ
ローディング

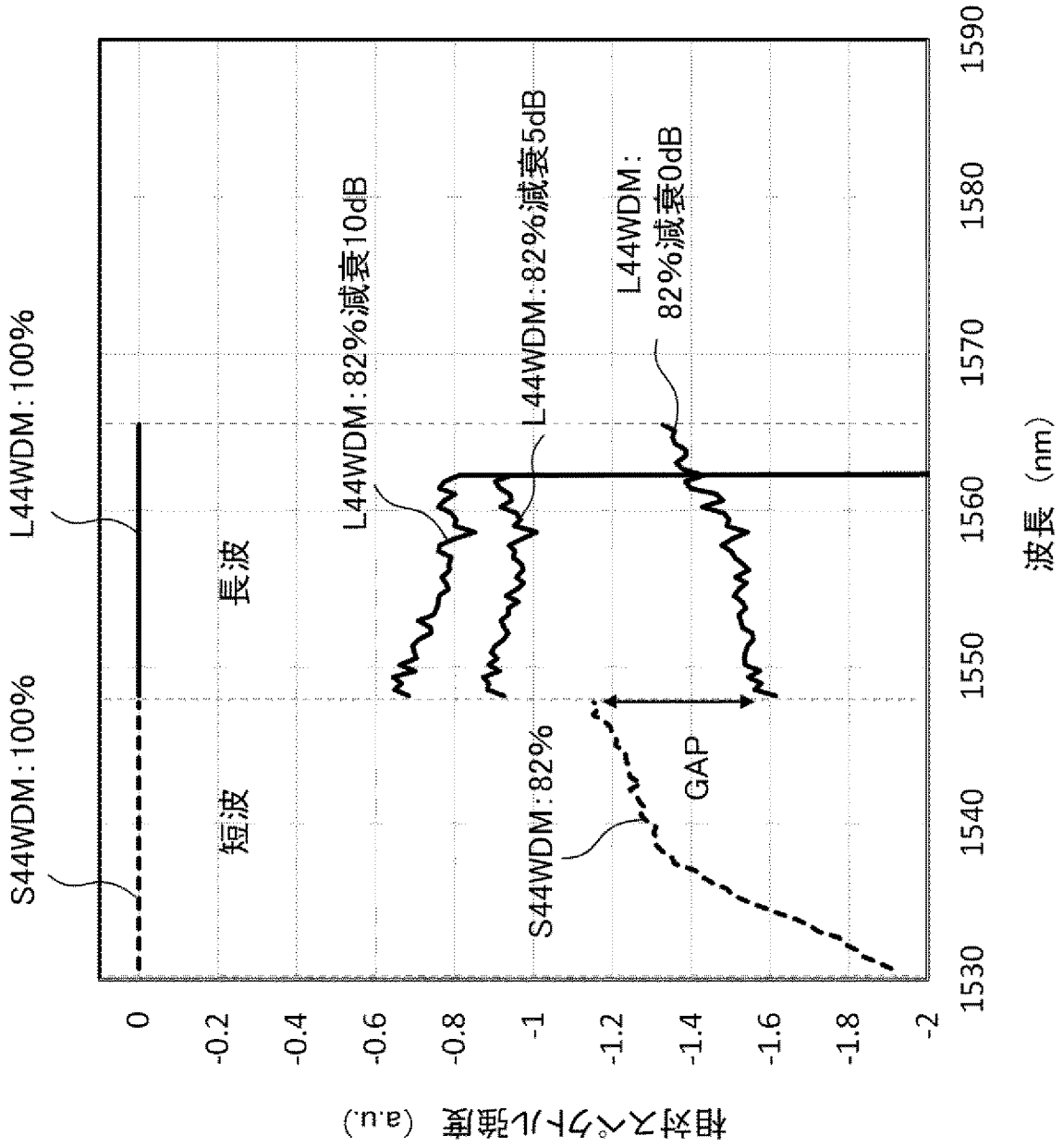
[図9]


Full Cバンド
使用バンド
使用バンド
第1の
サブバンド
第2の
サブバンド
GAP
短波側
長波側
波長
モニタ
モニタ
ローディング

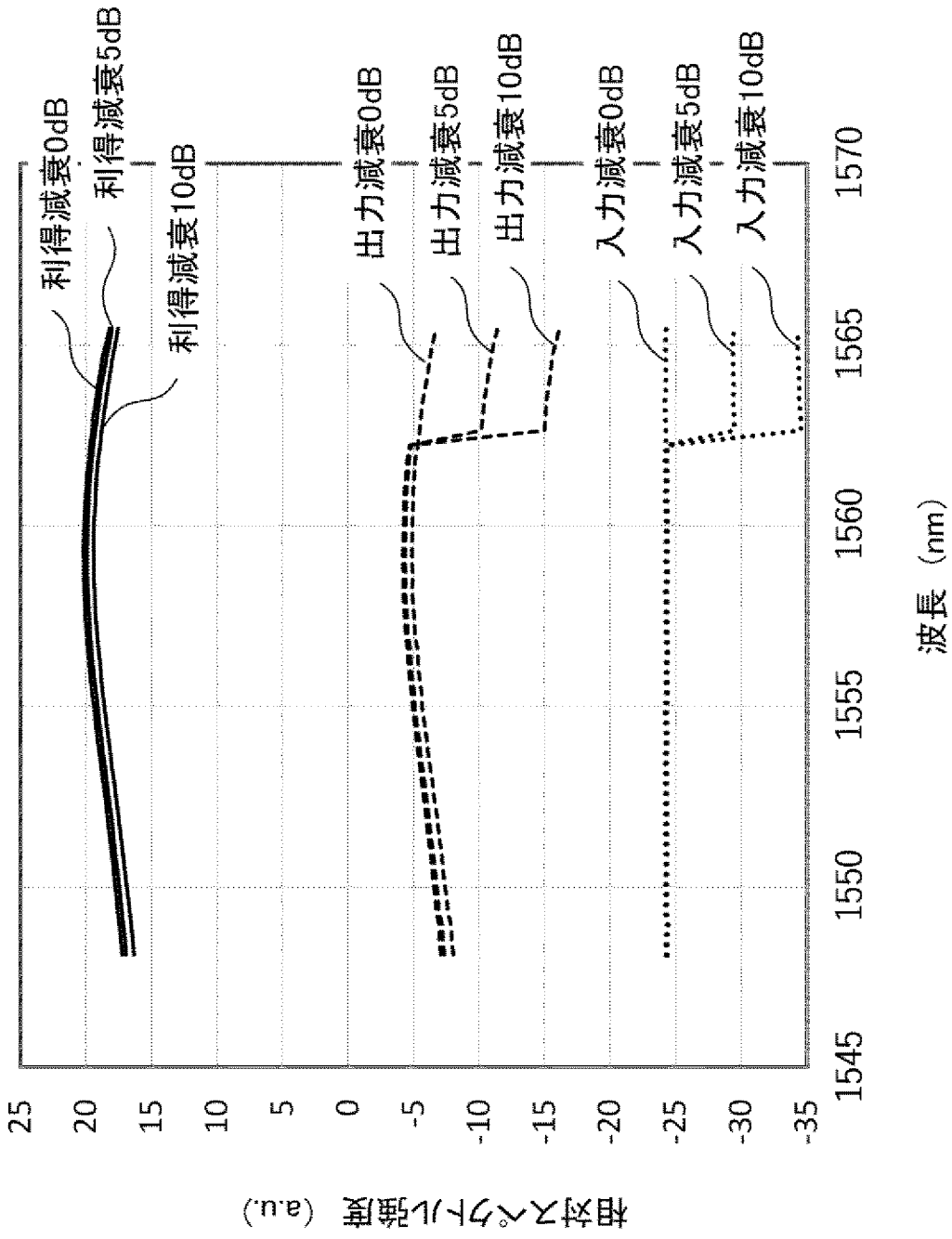
[図10]


Full Cバンド
使用バンド
第1の
サブバンド
第2の
サブバンド
GAP
Txでの送信波形
短波側
長波側
波長
ローディング
モニタ
ローディング

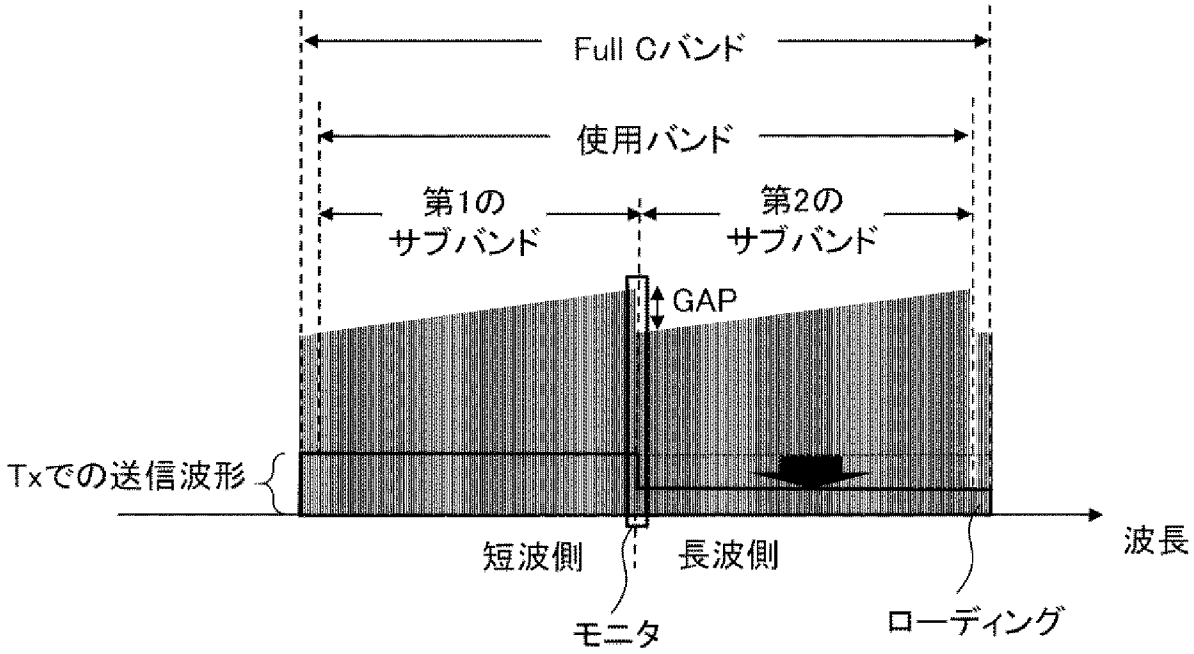
[図11A]


L44WDM:100%
S44WDM:100%
長波
短波
L44WDM:82%減衰10dB
L44WDM:82%減衰5dB
L44WDM:
82%減衰0dB
S44WDM:82%
GAP
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
-1.2
-1.4
-1.6
-1.8
-2
相対スペクトル強度 (a.u.)
1530
1540
1550
1560
1570
1580
1590
波長（nm）

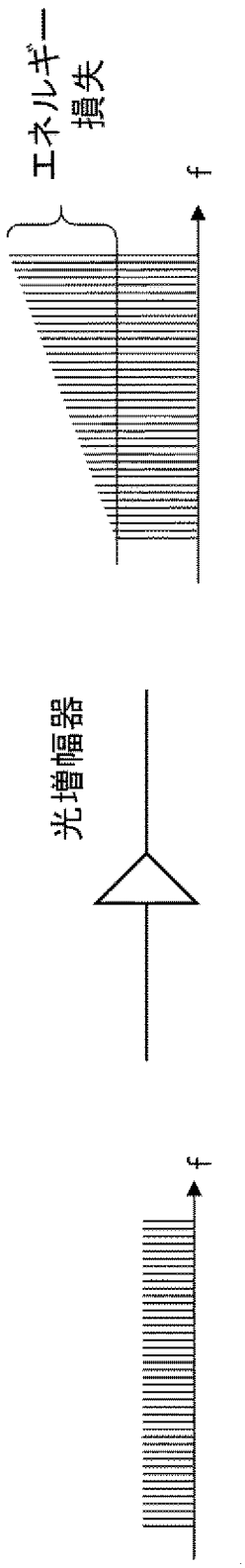
[図11B]


利得減衰0dB
利得減衰5dB
利得減衰10dB
出力減衰0dB
出力減衰5dB
出力減衰10dB
入力減衰0dB
入力減衰5dB
入力減衰10dB
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
1545
1550
1555
1560
1565
1570
相対スペクトル強度 (a.u.)
波長 (nm)

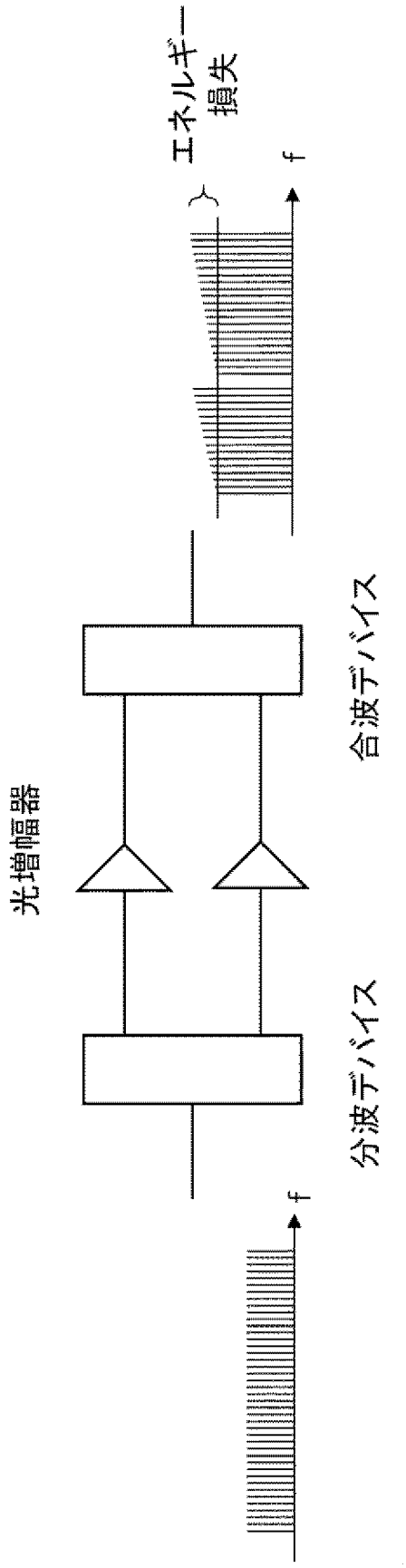
[図12]


Full Cバンド
使用バンド
第1の
サブバンド
第2の
サブバンド
GAP
Txでの送信波形
短波側
長波側
波長
モニタ
ローディング

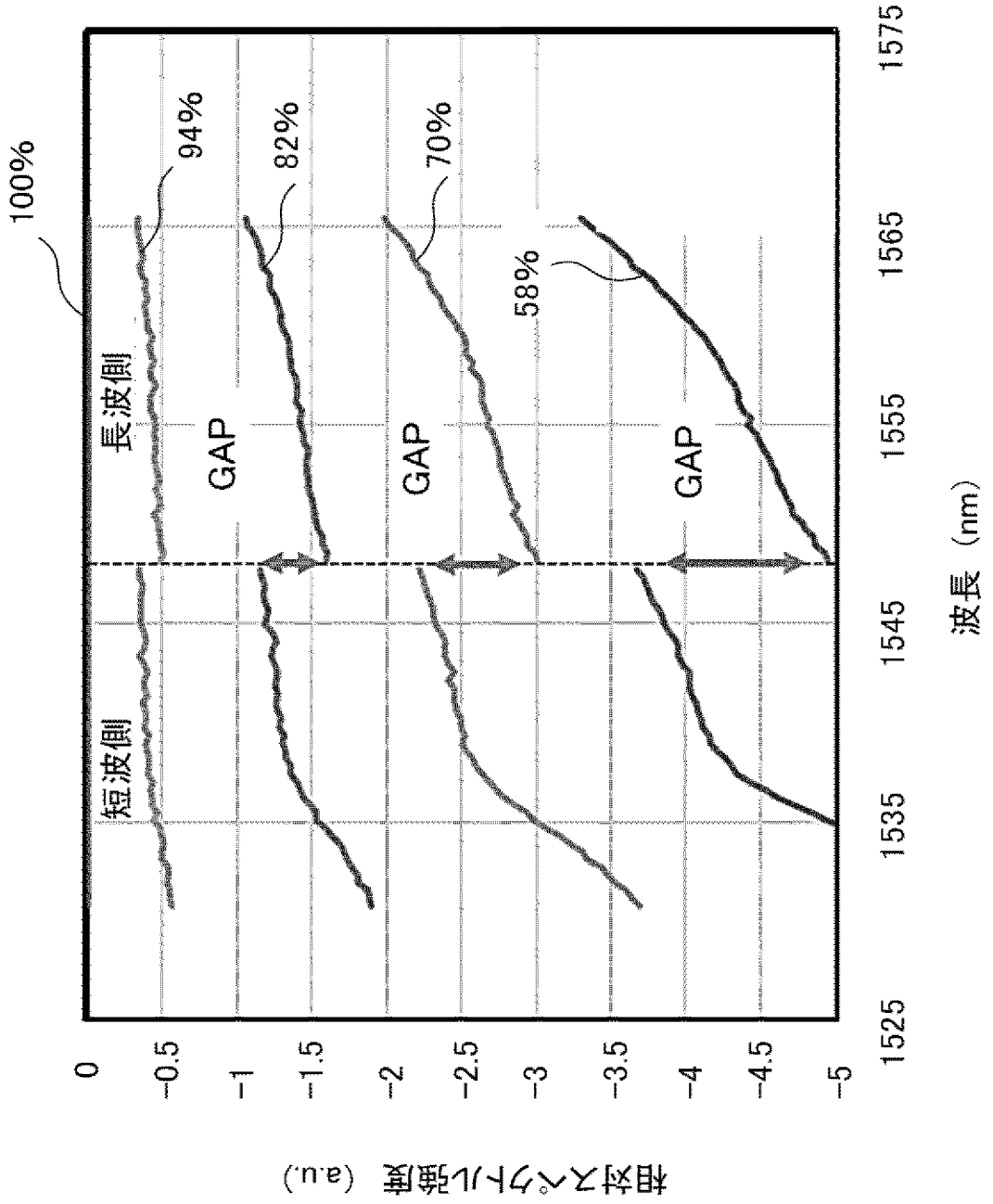
[図13A]



[図13B]



[図14]


100%
94%
82%
70%
58%
長波側
短波側
GAP
GAP
GAP
0
−0.5
−1
−1.5
−2
−2.5
−3
−3.5
−4
−4.5
−5
相対スペクトル強度 (a.u.)
1525
1535
1545
1555
1565
1575
波長（nm）

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2021/044904

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B 10/293(2013.01)i
FI: H04B10/293

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)

H04B10/293

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 1971-2022
Registered utility model specifications of Japan 1996-2022
Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-53686 A (FUJITSU LTD.) 23 February 2001 (2001-02-23) entire text, all drawings	1-23
A	WO 2017/170008 A1 (NEC CORP.) 05 October 2017 (2017-10-05) entire text, all drawings	1-23
A	JP 2002-9707 A (SUMITOMO ELECTRIC IND., LTD.) 11 January 2002 (2002-01-11) entire text, all drawings	1-23
A	JP 2006-66862 A (FUJITSU LTD.) 09 March 2006 (2006-03-09) entire text, all drawings	1-23
A	WO 2020/137820 A1 (NEC CORP.) 02 July 2020 (2020-07-02) entire text, all drawings	1-23

☐ 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	Date of mailing of the international search report
25 February 2022	**08 March 2022**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2021/044904

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2001-53686 A	23 February 2001	US 6885499 B1 entire text, all drawings EP 1076434 A2 CN 1288172 A	
WO 2017/170008 A1	05 October 2017	US 2019/0089117 A1 entire text, all drawings EP 3438735 A1 CN 108885382 A	
JP 2002-9707 A	11 January 2002	(Family: none)	
JP 2006-66862 A	09 March 2006	US 2006/0023298 A1 entire text, all drawings	
WO 2020/137820 A1	02 July 2020	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2021/044904

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H04B 10/293(2013.01)i
FI: H04B10/293

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））

H04B10/293

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	１９７１－２０２２年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２２年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２２年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2001-53686 A (富士通株式会社) 23.02.2001 (2001-02-23) 全文,全図	1-23
A	WO 2017/170008 A1 (日本電気株式会社) 05.10.2017 (2017-10-05) 全文,全図	1-23
A	JP 2002-9707 A (住友電気工業株式会社) 11.01.2002 (2002-01-11) 全文,全図	1-23
A	JP 2006-66862 A (富士通株式会社) 09.03.2006 (2006-03-09) 全文,全図	1-23
A	WO 2020/137820 A1 (日本電気株式会社) 02.07.2020 (2020-07-02) 全文,全図	1-23

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
"E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
"L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、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	国際調査報告の発送日
25.02.2022	08.03.2022

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
対馬　英明 5K 1211
電話番号 03-3581-1101 内線 3556

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2021/044904

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2001-53686 A	23.02.2001	US 6885499 B1 全文,全図 EP 1076434 A2 CN 1288172 A	
WO 2017/170008 A1	05.10.2017	US 2019/0089117 A1 全文,全図 EP 3438735 A1 CN 108885382 A	
JP 2002-9707 A	11.01.2002	（ファミリーなし）	
JP 2006-66862 A	09.03.2006	US 2006/0023298 A1 全文,全図	
WO 2020/137820 A1	02.07.2020	（ファミリーなし）	