

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-208310

(P2016-208310A)

(43) 公開日 平成28年12月8日(2016.12.8)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO4B 10/294 (2013.01)	HO4B 9/00 294	5K102
HO4B 10/075 (2013.01)	HO4B 9/00 175	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2015-88611 (P2015-88611)
 (22) 出願日 平成27年4月23日 (2015. 4. 23)

(71) 出願人 000005223
 富士通株式会社
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
 (74) 代理人 100074099
 弁理士 大菅 義之
 (74) 代理人 100133570
 弁理士 ▲徳▼永 民雄
 (72) 発明者 續木 達也
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
 Fターム(参考) 5K102 AA01 AA55 AD01 KA12 KA42
 LA08 LA11 MA03 MB06 MB09
 MC13 MC14 MH04 MH12 MH21
 PH13 PH42 RB12

(54) 【発明の名称】 光伝送システムおよび光伝送装置

(57) 【要約】

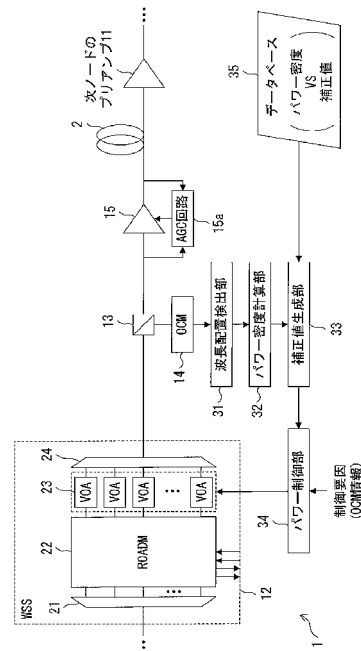
【課題】 WDM信号の波長配置の変化に伴う利得リップルの変化を抑制する。

【解決手段】

光伝送装置は、波長多重光信号に多重化されている光信号の配置を表す波長配置を検出する波長配置検出部と、波長多重光信号に多重化されている光信号のパワーを調整するパワー調整器と、パワー調整器から出力される波長多重光信号を増幅する光アンプと、波長多重光信号が指定された波長特性を有するようにパワー調整器を制御するパワー制御信号を生成するパワー制御部と、波長配置に基づいてパワー制御信号を補正する補正值を生成する補正值生成部と、を備える。パワー制御部は、補正值で前記パワー制御信号を補正する。パワー調整器は、補正されたパワー制御信号に応じて波長多重光信号に多重化されている光信号のパワーを調整する。

【選択図】 図6

第1の実施形態の光伝送装置および光伝送システムの一例を示す図



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

第 1 の光伝送装置および前記第 1 の光伝送装置から送信される波長多重光信号を受信する第 2 の光伝送装置を含む光伝送システムであって、

前記第 1 の光伝送装置または前記第 2 の光伝送装置に設けられ、前記波長多重光信号に多重化されている光信号の配置を表す波長配置を検出する波長配置検出部と、

前記第 1 の光伝送装置に設けられ、前記波長多重光信号に多重化されている光信号のパワーを調整するパワー調整器と、

前記第 1 の光伝送装置に設けられ、前記パワー調整器から出力される波長多重光信号を増幅する光アンプと、

前記波長多重光信号が指定された波長特性を有するように前記パワー調整器を制御するパワー制御信号を生成するパワー制御部と、

前記波長配置に基づいて前記パワー制御信号を補正する補正値を生成する補正値生成部と、を備え、

前記パワー制御部は、前記補正値で前記パワー制御信号を補正し、

前記パワー調整器は、補正されたパワー制御信号に応じて前記波長多重光信号に多重化されている光信号のパワーを調整する

ことを特徴とする光伝送システム。

【請求項 2】

前記パワー制御部は、前記第 1 の光伝送装置に設けられ、

前記波長配置検出部および前記補正値生成部は、前記第 2 の光伝送装置に設けられ、

前記パワー制御部は、前記第 2 の光伝送装置から前記補正値を受信し、受信した補正値で前記パワー制御信号を補正する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送システム。

【請求項 3】

前記第 2 の光伝送装置は、前記第 1 の光伝送装置から受信する波長多重光信号を増幅する光プリアンプを備え、

前記波長配置検出部は、前記光プリアンプにより増幅された波長多重光信号の波長配置を検出する

ことを特徴とする請求項 2 に記載の光伝送システム。

【請求項 4】

波長多重光信号に多重化されている光信号の配置を表す波長配置を検出する波長配置検出部と、

前記波長多重光信号に多重化されている光信号のパワーを調整するパワー調整器と、

前記パワー調整器から出力される波長多重光信号を増幅する光アンプと、

前記波長多重光信号が指定された波長特性を有するように前記パワー調整器を制御するパワー制御信号を生成するパワー制御部と、

前記波長配置に基づいて前記パワー制御信号を補正する補正値を生成する補正値生成部と、を備え、

前記パワー制御部は、前記補正値で前記パワー制御信号を補正し、

前記パワー調整器は、補正されたパワー制御信号に応じて前記波長多重光信号に多重化されている光信号のパワーを調整する

ことを特徴とする光伝送装置。

【請求項 5】

前記波長配置に基づいて、前記波長多重光信号に多重化されている光信号が配置されている波長におけるパワー密度を計算するパワー密度計算部をさらに備え、

前記補正値生成部は、前記パワー密度に基づいて前記補正値を生成する

ことを特徴とする請求項 4 に記載の光伝送装置。

【請求項 6】

前記パワー密度計算部は、前記波長多重光信号に多重化されている各光信号について、

10

20

30

40

50

隣接光信号までの間隔に基づいてパワー密度を計算することを特徴とする請求項5に記載の光伝送装置。

【請求項7】

前記補正值生成部は、パワー密度が高い波長領域に配置されている光信号のパワーに対して、パワー密度が低い波長領域に配置されている光信号のパワーを相対的に高くする補正值を生成する

ことを特徴とする請求項5に記載の光伝送システム。

【請求項8】

前記パワー密度と前記補正值との間の対応関係を表す情報を格納するメモリをさらに備え、

前記パワー密度計算部は、前記波長多重光信号に多重化されている各光信号についてパワー密度を計算し、

前記補正值生成部は、前記波長多重光信号に多重化されている各光信号について、前記メモリに格納されている情報を参照してパワー密度に対応する補正值を生成する

ことを特徴とする請求項5に記載の光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、波長多重光信号を伝送する光伝送装置および光伝送システムに係わる。

【背景技術】

【0002】

近年、波長分割多重(WDM:Wavelength Division Multiplexing)を利用するWDM伝送システムが普及してきている。WDMは、波長の異なる複数の光信号を多重化して伝送することができる。WDM伝送システムにおいては、各ノードに光分岐挿入装置(ROADM:Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexer)が設けられる。ROADMは、WDM信号から所望の波長の光信号を分岐することができ、また、WDM信号の空チャンネルに光信号を挿入することができる。

【0003】

WDM伝送システムにおいては、伝送路ファイバ及びROADMにおける損失を補償するために、各ノードに光アンプが設けられる。WDM信号を増幅する光アンプとしては、例えば、希土類添加ファイバ増幅器(EDFA:Erbium Doped Fiber Amplifier)が使用される。

【0004】

WDM信号に対する光利得および光損失の波長特性は、WDM信号の波長配置に依存する。よって、WDM伝送システムは、WDM信号の波長配置に基づいて、各波長チャンネルの光パワーを調整する機能を備える。この機能は、例えば、各波長チャンネルの光パワーを検出する光チャンネルモニタ(OCM:Optical Channel Monitor)および各波長チャンネルの光パワーを調整する波長選択スイッチ(WSS:Wavelength Selective Switch)により実現される。この場合、受信ノードに到着する光信号のパワーが光受信機の受信可能パワー範囲内に保持されるように、各波長チャンネルの光パワーが制御される。

【0005】

ところが、光チャンネルモニタによる光パワーの検出および/または波長選択スイッチによる光パワーの調整には、数100ミリ秒~数秒を要する。このため、WDM信号の波長配置が変化したときは、一時的に、各波長チャンネルの光パワーが大きく変動することがある。そして、受信ノードに到着する光信号のパワーが光受信機の受信可能パワー範囲から外れると、信号エラーが発生してしまう。

【0006】

この問題は、WDM信号の波長配置の変化に起因する光利得波長特性の変化が大きいつきに発生する。そして、定常状態におけるWDM信号に対する利得リップルが大きいつきに、WDM信号の波長配置の変化に起因する光利得波長特性の変化が大きくなる。すなわ

10

20

30

40

50

ち、定常状態におけるWDM信号に対する利得リップルを小さくできれば、WDM信号の波長配置の変化に起因する光利得波長特性の変化は小さくなる。この場合、WDM信号の波長配置が変化しても、各波長チャンネルの光パワーの変動は抑制され、光受信機における信号エラーも抑制される。なお、利得リップルは、波長に対する光利得の変動を表す。

【0007】

EDFAの利得リップルを引き起こす要因の1つは、スペクトルホールバーニング(SHB: Spectrum Hole Burning)現象である。スペクトルホールバーニング現象は、光信号がEDFAを通過するときに生じる。具体的には、光信号がEDFAを通過するときに、光信号の波長およびその近傍の波長の利得が低下する。

【0008】

従って、スペクトルホールバーニング現象に起因する利得リップルを小さくすれば、WDM信号の波長配置が変化したときであっても、各波長チャンネルの光パワーの変動は抑制される。

【0009】

なお、利得リップルの変化を抑制する構成の1つとして、信号光に用いられない波長帯に擬似光を挿入する光伝送装置が提案されている(例えば、特許文献1)。また、関連する技術として、WDM通信システムにおいて光信号の強度を正確に測定する方法が提案されている(例えば、特許文献2)。さらに、下記の非特許文献1、2は、EDFAのモデル化およびスペクトルホールバーニング現象について記載している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】特開2008-091995号公報

【特許文献2】特開2008-139073号公報

【非特許文献】

【0011】

【非特許文献1】C. Randy Giles and Emmanuel Desurvire, Modeling Erbium-Doped Fiber Amplifiers, Journal of Lightwave Technology, Vol.9, No.2. 271-283 (1991)

【非特許文献2】Maxim Bolshtyansky, Spectral Hole Burning in Erbium-Doped Fiber Amplifiers, Journal of Lightwave Technology, Vol.21, No. 4. 1032-1038 (2003)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

従来の技術では、スペクトルホールバーニング現象に起因する利得リップルを効果的に抑制することは困難である。このため、WDM信号の波長配置の変化に伴う利得リップルの変化を抑制することも困難である。なお、信号光に用いられない波長帯に擬似光を挿入する方法においては、WDM信号の幾つかの波長チャンネルは、データ伝送のために使用できないおそれがある。

【0013】

本発明の1つの側面に係わる目的は、WDM信号の波長配置の変化に伴う利得リップルの変化を抑制することである。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明の1つの態様の光伝送装置は、波長多重光信号に多重化されている光信号の配置を表す波長配置を検出する波長配置検出部と、前記波長多重光信号に多重化されている光信号のパワーを調整するパワー調整器と、前記パワー調整器から出力される波長多重光信号を増幅する光アンプと、前記波長多重光信号が指定された波長特性を有するように前記パワー調整器を制御するパワー制御信号を生成するパワー制御部と、前記波長配置に基づいて前記パワー制御信号を補正する補正值を生成する補正值生成部と、を備える。前記パワー制御部は、前記補正值で前記パワー制御信号を補正する。前記パワー調整器は、補正

10

20

30

40

50

されたパワー制御信号に応じて前記波長多重光信号に多重化されている光信号のパワーを調整する。

【発明の効果】

【0015】

上述の態様によれば、WDM信号の波長配置の変化に伴う利得リップルの変化が抑制される。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】WDM伝送システムの一例および受信光信号のパワーを示す図である。

【図2】1つの光信号に起因するスペクトルホールバーニング現象のスペクトルを示す図である。

【図3】複数の光信号に起因するスペクトルホールバーニング現象について説明する図(その1)である。

【図4】複数の光信号に起因するスペクトルホールバーニング現象について説明する図(その2)である。

【図5】光伝送システムの一例を示す図である。

【図6】第1の実施形態の光伝送装置および光伝送システムの一例を示す図である。

【図7】WDM信号の波長配置の例を示す図である。

【図8】パワー密度/補正值変換テーブルの一例を示す図である。

【図9】コントローラの処理の一例を示すフローチャートである。

【図10】補正が行われなかったときのWDM信号の状態および利得リップルを示す図である。

【図11】補正が行われるときのWDM信号の状態および利得リップルを示す図である。

【図12】利得の平坦化について説明する図である。

【図13】補正による効果を示す図である。

【図14】第2の実施形態の光伝送システムの一例を示す図である。

【図15】第3の実施形態の光伝送システムの一例を示す図である。

【図16】第4の実施形態の光伝送システムの一例を示す図である。

【図17】第5の実施形態の光伝送システムの一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

本発明の実施形態に係わる光伝送装置および光伝送システムは、スペクトルホールバーニング現象に起因する利得リップルを抑制する。したがって、光伝送装置の構成および動作について記載する前に、スペクトルホールバーニング現象に起因する利得リップルについて簡単に説明する。

【0018】

以下の説明では、88個の波長チャネル(ch1~ch88)がWDM信号に多重化され得るものとする。なお、波長チャネルchxに配置される光信号を「光信号chx」と呼ぶことがある。

【0019】

WDM信号を伝送する光伝送システムの各ノードには、図1(a)に示すように、ROADMが設けられている。送信機Tx1は、受信機Rxへ光信号ch11~ch19を送信する。また、送信機Tx2は、受信機Rxへ光信号ch1、ch39を送信する。光信号ch1、ch11~19、ch39は、WDM信号に多重化されて伝送される。

【0020】

各ノードに設けられているROADMは、WDM信号に多重化されている各光信号のパワーを調整することができる。一例としては、ROADMは、WDM信号に多重化されている複数の光信号のパワーを等化する。「等化」は、複数の光信号のパワーが実質的に同じまたはほぼ同じになるように各光信号のパワーを制御することを意味する。また、ROADMは、WDM信号を増幅する光アンプを備える。光アンプは、この実施例では、ED

10

20

30

40

50

F Aにより実現される。そして、ROADMは、図1(b)に示すように、受信機Rxにおける受信光パワーが受信可能範囲内に保持されるように、EDFAを用いてWDM信号のパワーを制御する。

【0021】

スペクトルホールバーニング現象は、光信号がEDFAを通過するときに生じる。具体的には、光信号がEDFAを通過するときに、光信号の波長およびその近傍の波長の利得が低下する。

【0022】

図2は、スペクトルホールバーニング現象のスペクトルを示す。図2(a)は、光信号ch1($\lambda_1 = 1528.77\text{nm}$)がEDFAを通過するときの利得スペクトルを示す。光信号ch1がEDFAを通過するときは、図2(a)に示すように、 λ_1 およびその近傍の波長領域の利得が低下する。同様に、光信号ch11($\lambda_{11} = 1532.68\text{nm}$)がEDFAを通過するときは、図2(b)に示すように、 λ_{11} およびその近傍の波長領域の利得が低下する。光信号ch19($\lambda_{19} = 1535.82\text{nm}$)がEDFAを通過するときは、図2(c)に示すように、 λ_{19} およびその近傍の波長領域の利得が低下する。光信号ch39($\lambda_{39} = 1543.87\text{nm}$)がEDFAを通過するときは、図2(d)に示すように、 λ_{39} およびその近傍の波長領域の利得が低下する。なお、スペクトルの「ホール」は、他の波長領域と比較して利得が低い状態に相当する。

【0023】

複数の光信号がEDFAを通過するときのスペクトルホールバーニング現象は、近似的に、各光信号のスペクトルホールバーニング現象の加重平均で表すことが可能である。加重平均の重みは、各光信号のパワーに依存する。すなわち、パワーの高い光信号の重みは大きく、パワーの低い光信号の重みは小さい。図3(a)は、光信号ch1、ch11~ch19、ch39が伝送されているときのスペクトルホールバーニング現象のスペクトルを示す。図3(b)は、図3(a)に示す複数のスペクトルの加重平均を示す。このように、複数の光信号が伝送される場合は、複数の光信号(ch11~ch19)が密集して配置されている波長領域(約1530~1540nm)において「ホール」が形成されやすい。

【0024】

各ノードに設けられるEDFAは、例えば、AGC(Automatic Gain Control)モードで制御される。AGCにおいては、平均利得が指定された目標値に保持される。この場合、例えば、EDFAの入力WDM信号のトータル光パワーとそのEDFAの出力WDM信号のトータル光パワーとの比が目標値に近づくように、EDFAの励起パワーが制御される。

【0025】

図3(c)は、光信号ch1、ch11~ch19、ch39が伝送されているときのEDFAの利得特性を示す。破線は、AGCで保持される平均利得を表す。図3(c)に示すように、光信号の配置が「密」である波長領域(すなわち、ch11~ch19が配置されている波長領域)の利得は、AGCで保持される平均利得よりも低くなっている。一方、光信号の配置が「疎」である波長領域(すなわち、ch1、ch39が配置されている波長領域)の利得は、AGCで保持される平均利得よりも高くなっている。このように、スペクトルホールバーニング現象に起因する利得の変動(即ち、利得リップル)は、WDM信号の波長配置に依存する。具体的には、パワー密度が高い波長領域の利得は、スペクトルホールバーニング現象に起因して平均利得よりも低くなる傾向があり、パワー密度が低い波長領域の利得は、スペクトルホールバーニング現象に起因して平均利得よりも高くなる傾向がある。

【0026】

ここで、WDM信号の波長配置が変化したときの利得リップルの変化について検討する。一例として、光信号ch1、ch11~ch19、ch39が伝送されている定常状態において、光信号ch11~ch19が停止するケースについて考える。このようなケースは、例えば、図1(a)に示す光伝送システムにおいては、以下のときに発生する。

10

20

30

40

50

- (1) 送信機 Tx 1 が光信号 ch 1 1 ~ ch 1 9 の送信を停止する。
 (2) 光信号 ch 1 1 ~ ch 1 9 の宛先が変更される。
 (3) ノード A と ノード B との間の光ファイバが切断される。

【0027】

光信号 ch 1 1 ~ ch 1 9 が停止した後のスペクトルホールバーニング現象は、近似的に、光信号 ch 1 のスペクトルホールバーニング現象および光信号 ch 3 9 のスペクトルホールバーニング現象の加重平均で表される。図 4 (a) は、光信号 ch 1 および ch 3 9 のみが伝送されているときのスペクトルホールバーニング現象のスペクトルを示す。図 4 (b) は、図 4 (a) に示すスペクトルの加重平均を示す。

【0028】

光信号 ch 1、ch 1 1 ~ ch 1 9、ch 3 9 が伝送されている定常状態において、光信号 ch 1 1 ~ ch 1 9 が停止すると、EDFA の利得は、図 3 (c) に示す状態から図 4 (c) に示す状態に遷移する。このとき、WDM 信号中に残る光信号 ch 1、ch 3 9 に対する利得は大きく変化する。特に、このシミュレーションでは、光信号 ch 1 に対する利得が大きく低下する。この結果、光信号 ch 1 のパワーは、光信号 ch 1 1 ~ ch 1 9 が停止した直後に、大きく低下することになる。

【0029】

WDM 信号の波長配置の変化に起因する EDFA の利得の変化は、各ノードにおいて発生する。そして、WDM 信号が複数のノードを経由して伝送される場合（即ち、WDM 信号の伝送経路が複数の OMS (Optical Multiplex Section) で構成される場合）、各ノードで発生する利得変動は累積する。この結果、WDM 信号の波長配置が変化した直後には、受信機 Rx に到着する WDM 信号中に残る光信号のパワーは大きく変動する。そして、場合によっては、受信光信号のパワーが、受信機 Rx の受信可能パワー範囲から外れてしまう。図 1 (c) に示す例では、受信機 Rx における光信号 ch 1 の受信パワーが、受信機 Rx の最低受信可能レベルよりも低くなっている。

【0030】

上述の問題は、定常状態における利得リップルが大きいときに、発生しやすい。換言すれば、定常状態における利得リップルを小さくすれば、WDM 信号の波長配置の変化に起因する光利得波長特性の変化は小さくなる。そこで、本発明の実施形態に係わる光伝送装置は、定常状態における利得リップルを小さくする機能を備える。すなわち、本発明の実施形態に係わる光伝送装置は、定常状態において波長に対して利得を平坦化する機能を備える。

【0031】

なお、EDFA の利得 G は、例えば、下記のモデルで表される。

【数 1】

$$G(\lambda, z) = S(\lambda, z) - \frac{\frac{1}{\xi} \sum_j \left[M(\lambda_j, z) \cdot \{ S(\lambda_j, z) \cdot H(\lambda_j, \lambda) \} \right]}{1 + \frac{1}{\xi} \sum_j \left[M(\lambda_j, z) \right]}$$

は、波長を表す。 z は、光ファイバ中の位置を表す。 S は、スペクトルホールバーニング現象を考慮しないときの EDFA の利得を表す。なお、 H は、光パワーおよび利得に依存しないパラメータを表す。 M は、加重平均の重みを表す。 j は、光信号 ch j の波長を表す。

【0032】

このモデルでは、「 $S(\lambda_j, z) H(\lambda_j, \lambda)$ 」は、光信号 ch j に起因するスペクトルホールバーニング現象を表す。即ち、EDFA により複数の光信号が増幅されるときは、各光信号に起因するスペクトルホールバーニング現象について M で加重平均を計算することにより、EDFA の利得が得られる。ここで、光信号 ch j の重み $M(\lambda_j, z)$ は、光信号

10

20

30

40

50

c h j のパワーに依存する。したがって、光信号 c h j のパワーが変化すると、E D F A の利得のスペクトルも変化する。

【 0 0 3 3 】

図 5 は、本発明の実施形態に係わる光伝送システムの一例を示す。なお、図 5 は、光伝送システムの一部を示している。

【 0 0 3 4 】

光伝送システムの各ノードには、R O A D M を含む光伝送装置が設けられている。ノード間は、伝送路ファイバで接続されている。すなわち、あるノードに設けられている光伝送装置から送信される W D M 信号は、伝送路ファイバを介して伝送され、隣りのノードに設けられている光伝送装置により受信される。図 5 に示す例では、光伝送装置 1 A から送信される W D M 信号は、伝送路ファイバ 2 を介して伝送され、光伝送装置 1 B により受信される。なお、以下の記載では、各ノードに設けられる光伝送装置の構成は、実質的に同じであるものとする。

【 0 0 3 5 】

光伝送装置 1 (1 A 、 1 B) は、プリアンプ 1 1 、波長選択スイッチ (W S S) 1 2 、光スプリッタ 1 3 、光チャンネルモニタ (O C M) 1 4 、ポストアンプ 1 5 を備える。プリアンプ 1 1 は、他のノードから受信する W D M 信号を増幅する。プリアンプ 1 1 は、例えば、A G C モードで受信 W D M 信号を増幅する。なお、プリアンプ 1 1 は、E D F A により実現される。

【 0 0 3 6 】

波長選択スイッチ 1 2 は、図 5 に示すように、分波器 2 1 、R O A D M 2 2 、可変光減衰器 (V O A : Variable Optical Attenuator) 2 3 、合波器 2 4 、コントローラ 2 5 、メモリ 2 6 を含み、プリアンプ 1 1 により増幅された W D M 信号を処理する。ただし、光伝送装置 1 は、波長選択スイッチ 1 2 の代わりに波長プロックを備える構成であってもよい。

【 0 0 3 7 】

分波器 2 1 は、プリアンプ 1 1 により増幅された W D M 信号を波長ごとに分離する。すなわち、各波長チャンネルの光信号が互いに分離される。R O A D M 2 2 は、パス情報に従って、各波長チャンネルの光信号を処理する。パス情報は、例えば、ユーザまたはネットワーク管理者から与えられる。例えば、R O A D M 2 2 は、パス情報により指定される光信号を W D M 信号から分岐する。分岐された光信号は、例えば、クライアントに導かれる。また、R O A D M 2 2 は、未使用の波長チャンネルにアド光信号を挿入することができる。アド光信号は、例えば、クライアントにより生成される。そして、R O A D M 2 2 から出力される光信号は、それぞれ対応する可変光減衰器 2 3 に導かれる。

【 0 0 3 8 】

可変光減衰器 2 3 は、W D M 信号の各波長チャンネルに対する減衰量を調整することができる。例えば、W D M 伝送システムが波長チャンネル 1 ~ 8 8 を伝送する構成においては、波長選択スイッチ 1 2 は、8 8 個の可変光減衰器 2 3 を備えるようにしてもよい。可変光減衰器 2 3 は、コントローラ 2 5 から与えられる制御信号に従って、光信号のパワーを調整する。この制御信号は、例えば、減衰量を指示する。合波器 2 4 は、複数の可変光減衰器 2 3 から出力される複数の光信号を合波して W D M 信号を生成する。

【 0 0 3 9 】

コントローラ 2 5 は、可変光減衰器 2 3 を制御する制御信号を生成する。このとき、コントローラ 2 5 は、光チャンネルモニタ 1 4 により検出される各波長チャンネルの光パワーに基づいて、波長選択スイッチ 1 2 から出力される W D M 信号が指定された波長特性を有するように制御信号を生成する。一例としては、コントローラ 2 5 は、波長選択スイッチ 1 2 から出力される W D M 信号の光パワーを等化する制御信号を生成する。また、コントローラ 2 5 は、W D M 信号の波長配置に基づいて上述の補正信号を補正してもよい。なお、制御信号が補正されたときは、可変光減衰器 2 3 は、補正された制御信号に従って光信号のパワーを調整する。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 0 】

メモリ 2 6 には、制御信号を補正するための補正情報が格納されている。補正情報は、後で詳しく説明するが、スペクトルホールバーニング現象に起因する利得リップルを抑制するために使用される。したがって、コントローラ 2 5 は、必要に応じて、メモリ 2 6 に格納されている補正情報を参照して、制御信号を補正することができる。

【 0 0 4 1 】

コントローラ 2 5 は、例えば、与えられたプログラムを実行することにより、各光信号のパワーを調整する機能を提供する。この場合、コントローラ 2 5 は、プロセッサにより実現される。ただし、コントローラ 2 5 は、ハードウェア回路を含んでいてもよい。すなわち、各光信号のパワーを調整する機能は、ソフトウェア処理およびハードウェア回路の組合せで実現してもよい。なお、プロセッサにより実行されるプログラムは、メモリ 2 6 に格納されるようにしてもよい。

10

【 0 0 4 2 】

光スプリッタ 1 3 は、波長選択スイッチ 1 2 から出力される WDM 信号を分岐して光チャネルモニタ 1 4 に導く。光スプリッタ 1 3 は、たとえば、光カプラにより実現される。光チャネルモニタ 1 4 は、波長選択スイッチ 1 2 から出力される WDM 信号に多重化されている各光信号のパワーを検出する。すなわち、光チャネルモニタ 1 4 により各波長チャネルの光パワーが検出される。そして、各波長チャネルの光パワーを表す OCM 情報は、コントローラ 2 5 に与えられる。

【 0 0 4 3 】

ポストアンプ 1 5 は、波長選択スイッチ 1 2 から出力される WDM 信号を増幅する。この実施例では、ポストアンプ 1 5 は、AGC モードで WDM 信号を増幅する。AGC においては、WDM 信号の平均利得が指定された目標値に保持される。なお、ポストアンプ 1 5 は、EDFA により実現される。

20

【 0 0 4 4 】

上記構成の光伝送システムにおいて、本発明の実施形態に係わる動作は、各光伝送装置において実現される。ただし、本発明の実施形態に係わる動作は、2 台の光伝送装置によって実現されるようにしてもよい。この場合、本発明の実施形態に係わる動作は、送信側の光伝送装置の波長選択スイッチ 1 2、光チャネルモニタ 1 4、ポスト 1 5、および受信側の光伝送装置のプリアンプ 1 1 を含む OMS において実現される。

30

【 0 0 4 5 】

< 第 1 の実施形態 >

図 6 は、第 1 の実施形態の光伝送装置および光伝送システムの一例を示す。第 1 の実施形態では、光伝送装置 1 は、波長配置検出部 3 1、パワー密度計算部 3 2、補正值生成部 3 3、パワー制御部 3 4 を備える。波長配置検出部 3 1、パワー密度計算部 3 2、補正值生成部 3 3、パワー制御部 3 4 の機能は、例えば、図 5 に示すコントローラ 2 5 により提供される。コントローラ 2 5 がプロセッサシステムにより実現されるときは、波長配置検出部 3 1、パワー密度計算部 3 2、補正值生成部 3 3、パワー制御部 3 4 の機能は、プロセッサが制御プログラムを実行することにより提供される。

【 0 0 4 6 】

波長配置検出部 3 1 は、光チャネルモニタ 1 4 から出力される OCM 情報に基づいて、波長選択スイッチ 1 2 から出力される WDM 信号（すなわち、ポストアンプ 1 5 に入力される WDM 信号）の波長配置を検出する。ここで、光チャネルモニタ 1 4 は、WDM 信号の各波長チャネルの光パワーを検出する。そして、波長配置検出部 3 1 は、検出された光パワーが所定の閾値レベルよりも高い波長チャネルを特定することにより、WDM 信号の波長配置を検出する。図 7 (a) に示す例では、波長チャネル ch 1、ch 1 1 ~ ch 1 9、ch 3 9 の光パワーが閾値レベルよりも高く、WDM 信号に光信号 ch 1、ch 1 1 ~ ch 1 9、ch 3 9 が多重化されていると判定される。図 7 (b) に示す例では、波長チャネル ch 1、ch 3 9 の光パワーが閾値レベルよりも高く、WDM 信号に光信号 ch 1、ch 3 9 が多重化されていると判定される。

40

50

【 0 0 4 7 】

パワー密度計算部 3 2 は、波長配置検出部 3 1 により検出される波長配置に基づいて、波長方向におけるパワー密度を計算する。パワー密度は、WDM 信号に多重化されている各光信号について計算される。また、パワー密度は、波長軸上の配置される光信号の密集の程度を表す。よって、パワー密度は、例えば、最も近くに配置されている光信号までの間のブランクチャンネル数（すなわち、空チャンネル数）で表される。この場合、図 7（a）に示す例では、各光信号のパワー密度は、以下の通りである。

【 0 0 4 8 】

光信号 c h 1 の最も近くに配置されている光信号は、c h 1 1 である。ここで、c h 1 と c h 1 1 との間には、9 個の空チャンネル（c h 2 ~ c h 1 0）が存在する。よって、光信号 c h 1 のパワー密度は「9」である。また、光信号 c h 1 1 の最も近くに配置されている光信号は、c h 1 2 である。ここで、c h 1 2 と c h 1 2 との間には、空チャンネルは存在しない。よって、光信号 c h 1 1 のパワー密度は「0」である。従って、図 7（a）に示す例では、WDM 信号に多重化されている各光信号に対して下記のパワー密度が得られる。

c h 1 : 9
c h 1 1 ~ c h 1 9 : ゼロ
c h 3 9 : 1 9

【 0 0 4 9 】

同様に、図 7（b）に示す例では、WDM 信号に多重化されている各光信号に対して下記のパワー密度が得られる。

c h 1 : 3 7
c h 3 9 : 3 7

【 0 0 5 0 】

補正值生成部 3 3 は、各光信号のパワー密度に基づいて、各光信号に対する信号パワー補正值を生成する。この実施例では、補正值生成部 3 3 は、データベース 3 5 に格納されているパワー密度 / 補正值変換テーブルを参照して、各光信号に対する信号パワー補正值を取得する。なお、データベース 3 5 は、例えば、図 5 に示すメモリ 2 6 を使用して構成される。

【 0 0 5 1 】

図 8 は、パワー密度 / 補正值変換テーブルの一例を示す。この実施例では、パワー密度 / 補正值変換テーブルには、パワー密度を表すブランクチャンネル数に対して信号パワー補正值が格納されている。パワー密度 / 補正值変換テーブルは、予め作成されてデータベース 3 5 に格納される。なお、信号パワー補正值は、光信号のパワー密度が高い波長領域に配置されている光信号のパワーに対して、光信号のパワー密度が低い波長領域に配置されている光信号のパワーを相対的に高くするように決定される。

【 0 0 5 2 】

図 8 に示すパワー密度 / 補正值変換テーブルにおいて、「補正值 = 0」は、補正により光信号のパワーが変化しないことを意味する。また、「補正值 = 3.5dB」は、補正により光信号のパワーを 3.5dB だけ高くすることを意味する。

【 0 0 5 3 】

なお、パワー密度と信号パワー補正值との対応関係は、予めシミュレーションまたは測定により決定される。例えば、定常状態における EDF A の利得リップルの幅が小さくなるように（即ち、定常状態において波長に対して利得が平坦化されるように）、パワー密度に対して信号パワー補正值が決定される。或いは、WDM 信号の波長配置が変化したときに、WDM 信号中に残る光信号のパワーの変化が小さくなるように、パワー密度に対して信号パワー補正值を決定してもよい。

【 0 0 5 4 】

図 7（a）に示す例では、WDM 信号に多重化されている各光信号に対して下記の信号パワー補正值が得られる。

10

20

30

40

50

c h 1 : +3.5dB

c h 1 1 ~ c h 1 9 : 0dB

c h 3 9 : +3.5dB

【 0 0 5 5 】

また、図 7 (b) に示す例では、W D M 信号に多重化されている各光信号に対して下記の信号パワー補正値が得られる。

c h 1 : +3.5dB

c h 3 9 : +3.5dB

【 0 0 5 6 】

パワー制御部 3 4 は、W D M 信号が指定された波長特性を有するように可変光減衰器 2 3 を制御するパワー制御信号を生成する。この実施例では、パワー制御部 3 4 は、波長選択スイッチ 1 2 から出力される W D M 信号 (即ち、ポストアンプ 1 5 に入力される W D M 信号) を等化するためのパワー制御信号を生成する。このとき、パワー制御部 3 4 は、例えば、光チャネルモニタ 1 4 により生成される O C M 情報を利用して、W D M 信号に多重化されている複数の光信号のパワーを実質的に同じにするためのパワー制御信号を生成する。なお、パワー制御信号は、W D M 信号に多重化されている複数の光信号のパワーを個々に調整する指示を含む。この指示は、例えば、対応する可変光減衰器 2 3 の減衰量を表す。

【 0 0 5 7 】

更に、パワー制御部 3 4 は、上述のようにして生成したパワー制御信号を、補正値生成部 3 3 により生成される信号パワー補正値で補正する。このとき、パワー制御部 3 4 は、例えば、各光信号に対して生成されたパワー制御信号に対して、補正値生成部 3 3 により生成された対応する信号パワー補正値をそれぞれ加算する。ただし、パワー制御信号が可変光減衰器 2 3 の減衰量を表すときは、パワー制御部 3 4 は、各光信号に対して生成されたパワー制御信号から、補正値生成部 3 3 により生成された対応する信号パワー補正値を減算することで、パワー制御信号を補正してもよい。

【 0 0 5 8 】

例えば、図 7 (a) に示す実施例において、光信号 c h 1 、 c h 1 1 ~ c h 1 9 、 c h 3 9 のパワーを等化するために、パワー制御信号として下記の減衰量が計算されているものとする。

c h 1 : 4.5dB

c h 1 1 : 4.3dB

c h 1 2 : 4.3dB

...

c h 1 9 : 4.2dB

c h 3 9 : 4.1dB

【 0 0 5 9 】

また、上述の信号パワー補正値が得られているものとする。そうすると、各光信号の減衰量は下記の値に補正される。

c h 1 : 1.0dB (= 4.5dB - 3.5dB)

c h 1 1 : 4.3dB (= 4.3dB - 0dB)

c h 1 2 : 4.3dB (= 4.3dB - 0dB)

...

c h 1 9 : 4.2dB (= 4.2dB - 0dB)

c h 3 9 : 0.6dB (= 4.1dB - 3.5dB)

【 0 0 6 0 】

パワー制御部 3 4 は、光信号ごとに補正されたパワー制御信号をそれぞれ対応する可変光減衰器 2 3 に与える。そうすると、可変光減衰器 2 3 は、補正されたパワー制御信号に従って光信号のパワーを調整する。上述の実施例では、光信号 c h 1 は 1.0dB だけ減衰させられ、光信号 c h 1 1 は 4.3dB だけ減衰させられる。このように、光信号 c h 1 1 ~ c

10

20

30

40

50

h 1 9と比較して、光信号 c h 1、c h 3 9のパワーが相対的に高くなるように、可変光減衰器 2 3の減衰量が補正される。

【 0 0 6 1 】

波長選択スイッチ 1 2の合波器 2 4は、可変光減衰器 2 3の出力信号を合波して W D M信号を生成する。そして、ポストアンプ 1 5は、波長選択スイッチ 1 2から出力される W D M信号を増幅する。この例では、ポストアンプ 1 5は、A G Cモードで W D M信号を増幅する。A G Cにおいては、W D M信号の平均利得が指定された目標値に保持される。よって、光伝送装置 1は、A G Cを実現するために、A G C回路 1 5 aを備える。A G C回路 1 5 aは、ポストアンプ 1 5の入力 W D M信号のトータル光パワーとポストアンプ 1 5の出力 W D M信号のトータル光パワーとの比が目標値に近づくように、ポストアンプ 1 5の励起パワーを制御する。

10

【 0 0 6 2 】

図 9は、コントローラ 2 5の処理の一例を示すフローチャートである。このフローチャートの処理は、例えば、W D M信号の波長配置の変化が検出されたときに実行される。W D M信号の波長配置は、例えば、W D M信号から光信号が分岐されたとき、W D M信号に多重化されている光信号が停止したとき、W D M信号に光信号が追加されたときに変化する。なお、コントローラ 2 5は、光チャンネルモニタ 1 4により生成される O C M情報に基づいて、W D M信号の波長配置の変化を検出できる。光チャンネルモニタ 1 4は、常時、W D M信号の各光信号のパワーをモニタしている。

20

【 0 0 6 3 】

S 1において、コントローラ 2 5は、光チャンネルモニタ 1 4により生成される O C M情報に基づいて、W D M信号の各光信号のパワーを検出する。S 2において、パワー制御部 3 4は、W D M信号の各光信号のパワーに基づいて、複数の光信号のパワーを実質的に同じにするためのパワー制御信号を生成する。パワー制御信号は、例えば、各光信号に対する減衰量を表す。

【 0 0 6 4 】

S 3において、波長配置検出部 3 1は、各光信号のパワーに基づいて W D M信号の波長配置を検出する。S 4において、パワー密度計算部 3 2は、波長配置検出部 3 1により検出された W D M信号の波長配置に基づいて、波長方向におけるパワー密度を計算する。パワー密度は、各光信号について計算される。この実施例では、パワー密度は、隣接する光信号までの間隔で表される。隣接する光信号までの間隔は、上述の例では、ブランクチャンネル数で表されるが、他の指標で表してもよい。例えば、隣接する光信号までの間隔は、波長差または周波数差で表してもよい。S 5において、補正值生成部 3 3は、各光信号のパワー密度に基づいて、それぞれ対応する信号パワー補正值を生成する。

30

【 0 0 6 5 】

S 6において、パワー制御部 3 4は、S 2で生成したパワー制御信号を、S 5で生成された信号パワー補正值で補正する。そして、S 7において、コントローラ 2 5は、補正されたパワー制御信号を可変光減衰器 2 3に与える。

【 0 0 6 6 】

次に、図 1 0 ~ 図 1 3を参照しながら本発明の実施形態による効果について記載する。すなわち、W D M信号の波長配置に応じてパワー制御信号を補正することによる効果について記載する。

40

【 0 0 6 7 】

以下では、W D M信号の波長配置が、図 7 (a)に示す定常状態から図 7 (b)に示す遷移状態に変化するものとする。すなわち、W D M信号は、光信号 c h 1、c h 1 1 ~ c h 1 9、c h 3 9が伝送される状態から光信号 c h 1、c h 3 9のみが伝送される状態へ遷移する。なお、図 1 0 (b)、図 1 0 (c)、図 1 1 (b)、図 1 1 (c)において、「1 波」は、光信号 c h 1、c h 1 1 ~ c h 1 9、c h 3 9が伝送される定常状態を表し、「2 波」は、光信号 c h 1、c h 3 9のみが伝送される遷移状態を表す。

【 0 0 6 8 】

50

まず、図10を参照しながら、WDM信号の波長配置に対応する補正が行われなかったときのWDM信号の状態および利得リップルについて記載する。図10(a)は、ポストアンプ15の入力光パワーを示す。ポストアンプ15に入力される光信号のパワーは、パワー制御部34により生成されるパワー制御信号に応じて制御される。なお、ポストアンプ15の入力光パワーは、定常状態および遷移状態においてほぼ同じである。ただし、遷移状態においては、光信号ch11~ch19は存在しない。

【0069】

図10(b)は、次ノードに設けられている光伝送装置のプリアンプ11の出力光パワーを示す。すなわち、図10(b)は、図10(a)に示す光信号が、ポストアンプ15および次ノードのプリアンプ11で増幅された後の状態を示す。なお、図10(b)においても、遷移状態においては、光信号ch11~ch19は存在しない。

10

【0070】

光信号ch1、ch39の出力光パワーは、定常状態および遷移状態において互いに異なっている。具体的には、定常状態において光信号ch11~ch19が停止すると、光信号ch1、ch39の出力光パワーは低下する。特に、光信号ch1の光パワーは、光信号ch11~ch19が停止したときに、大きく低下する。この理由は、WDM信号の波長配置の変化に応じてEDFAの利得リップルが変化することに起因する。

【0071】

図10(c)は、1つのOMSにおける利得リップルの変化を示す。OMSは、図5に示すように、ポストアンプ15および次ノードのプリアンプ11を含む。ここで、定常状態において光信号ch11~ch19が停止すると、EDFAの利得は、図3(c)に示す状態から図4(c)に示す状態に変化する。この結果、この実施例では、光信号ch1の利得は約2.0dB低下し、光信号ch39の利得は約0.2dB低下している。この場合、光信号ch11~ch19が停止すると、光信号ch1の光パワーは一時的に約2.0dBだけ低下するおそれがあり、また、光信号ch39の光パワーは一時的に約0.2dBだけ低下するおそれがある。

20

【0072】

図11は、第1の実施形態による補正が行われるときのWDM信号の状態および利得リップルを示す。なお、図10に示す例と同様に、光信号ch1、ch11~ch19、ch39が配置されている定常状態、および光信号ch1、ch39のみが配置されている遷移状態について説明する。

30

【0073】

図11(a)は、ポストアンプ15の入力光パワーを示す。ここで、第1の実施形態においては、パワー制御信号は、パワー密度に応じて生成される信号パワー補正值で補正される。すなわち、パワー密度の高い波長領域に配置されている光信号と比較して、パワー密度の低い波長領域に配置されている光信号のパワーを相対的に高くするように、パワー制御信号が補正される。この実施例では、各光信号のパワーは、図8に示す変換テーブルに従って補正される。すなわち、光信号ch1、ch39に対してそれぞれ信号パワー補正值=3.5dBが生成される。したがって、図10(a)に示す状態と比較すると、定常状態における光信号ch1、ch39のパワーは、補正によりそれぞれ3.5dBだけ高く制御される。一方、光信号ch11~ch19に対しては、それぞれ信号パワー補正值=ゼロが生成される。したがって、定常状態における光信号ch11~ch19のパワーは、図10(a)および図11(a)において実質的に同じである。

40

【0074】

ここで、光信号のパワーが高くなると、スペクトルホールバーニング現象のスペクトルの「ホール」が深くなる。即ち、パワー制御信号を補正することにより光信号ch1、ch39のパワーが増加すると、光信号ch1、ch39の波長領域の利得が低下する。例えば、パワー制御信号が補正されないときのEDFAの利得リップルは、図12において実線で表される。なお、図12に示す実線のカーブは、図4(a)に示す利得特性と同じである。これに対して、上述のようにしてパワー制御信号が補正されると、他の波長領域

50

と比較して、光信号 $ch1$ 、 $ch39$ が配置されている波長領域の利得が相対的に低下する。この結果、図 1 2 において破線で示すように、EDFA の利得リップルの幅は小さくなる（或いは、「ホール」が浅くなる）。すなわち、パワー制御信号を補正することにより、波長に対する EDFA の利得は平坦化される。

【0075】

図 1 1 (b) は、次ノードに設けられている光伝送装置のプリアンプ 1 1 の出力光パワーを示す。図 1 1 (b) に示すように、パワー制御信号が補正される場合であっても、光信号 $ch11 \sim ch19$ が停止すると、光信号 $ch1$ 、 $ch39$ の出力光パワーは低下する。ただし、パワー制御信号が補正されないときと比較して、パワー制御信号が補正されるときには、光信号 $ch11 \sim ch19$ が停止したことに起因する光信号 $ch1$ 、 $ch39$ の出力光パワーの変化は小さい。即ち、パワー制御信号が補正されないケースでは、図 1 0 (b) に示すように、光信号 $ch11 \sim ch19$ が停止したことに起因して、光信号 $ch1$ のパワーは約 2.0dB 低下する。一方、パワー制御信号が補正されるケースでは、図 1 1 (b) に示すように、光信号 $ch11 \sim ch19$ が停止したことに起因して、光信号 $ch1$ のパワーは約 1.3dB 低下する。

10

【0076】

図 1 1 (c) は、1 つの OMS における利得リップルの変化を示す。この例では、定常状態において光信号 $ch11 \sim ch19$ が停止すると、光信号 $ch1$ の利得は約 1.3dB 低下し、光信号 $ch39$ の利得は約 0.2dB 低下している。このように、パワー制御信号が補正されないケースと比較して、パワー制御信号が補正されると、WDM 信号の波長配置の変化に起因する利得リップルの変化は小さくなる。

20

【0077】

上述のように、WDM 信号の波長配置が変化すると、EDFA（ここでは、ポストアンプ 1 5 および次ノードのプリアンプ 1 1）の利得リップルが変化する。ここで、WDM 信号が複数の中継ノードを経由して伝送されるときは、利得リップルの変化は累積する。図 1 3 は、中継ノード数に対する累積利得リップルの変化を表す。この実施例では、中継ノード数が増加すると、累積利得リップルの変化が大きくなっている。なお、中継ノード数は、WDM 信号が通過する OMS の数に相当する。

【0078】

図 1 3 に示すように、各ノードにおいてパワー制御信号が補正されない光伝送システムと比較して、各ノードにおいてパワー制御信号が補正される光伝送システムにおいては、波長配置の変化に起因する累積利得リップルの変化は小さくなる。したがって、パワー制御信号が補正される光伝送システムにおいては、光信号 $ch11 \sim ch19$ が停止することに起因する光信号 $ch1$ 、 $ch39$ （特に、 $ch1$ ）のパワーの低下は小さい。

30

【0079】

一例として、WDM 信号のホップ数が 1 5 ノードであるものとする。この場合、パワー制御信号が補正されない光伝送システムにおいて、光信号 $ch11 \sim ch19$ が停止すると、受信ノードにおける光信号 $ch1$ のパワーは、一時的に約 14dB 低下する。これに対して、パワー制御信号が補正される光伝送システムにおいては、光信号 $ch11 \sim ch19$ が停止したときに、受信ノードにおける光信号 $ch1$ のパワーは、一時的に約 10dB 低下する。すなわち、WDM 信号の波長配置に基づいてパワー制御信号を補正することにより、受信光パワーが 4dB 改善する。

40

【0080】

このように、第 1 の実施形態によれば、WDM 信号の波長配置の変化に起因する残留光信号のパワー変化量が抑制される。したがって、光受信機における信号エラーが抑制される。

【0081】

< 第 2 の実施形態 >

図 1 4 は、第 2 の実施形態の光伝送システムの一例を示す。第 2 の実施形態では、次ノードにおいて検出される WDM 信号の波長配置に基づいて、WDM 信号に多重化されてい

50

る各光信号のパワーが制御される。

【0082】

次ノードにおいて、プリアンプ11は、伝送路ファイバ2を介して伝送されるWDM信号を増幅する。光スプリッタ41は、プリアンプ11により増幅されるWDM信号を分岐して光チャンネルモニタ(OCM)42に導く。光チャンネルモニタ42は、プリアンプ11により増幅されたWDM信号に多重化されている各光信号のパワーを検出する。

【0083】

波長配置検出部31、パワー密度計算部32、補正值生成部33、およびデータベース35は、第1および第2の実施形態において実質的に同じである。ただし、波長配置検出部31は、光チャンネルモニタ42により生成されるOCM情報に基づいて、プリアンプ11により増幅されたWDM信号の波長配置を検出する。パワー密度計算部32は、波長配置検出部31により検出された波長配置に基づいて、波長方向におけるパワー密度を計算する。補正值生成部33、各光信号のパワー密度に基づいて、各光信号に対する信号パワー補正值を生成する。このとき、補正值生成部33は、データベース35に格納されているパワー密度/補正值変換テーブルを参照して、各光信号に対する信号パワー補正值を取得することができる。なお、波長配置検出部31、パワー密度計算部32、補正值生成部33の機能は、次ノードに設けられているコントローラ25により実現される。

【0084】

次ノードのコントローラ25は、上述のようにして生成した信号パワー補正值を上流側ノードに送信する。また、コントローラ25は、光チャンネルモニタ42により生成されるOCM情報も上流側ノードへ送信する。このOCM情報は、次ノードのプリアンプ11から出力されるWDM信号に多重化されている各光信号のパワーを表す。

【0085】

パワー制御部34の動作は、第1および第2の実施形態において実質的に同じである。但し、第2の実施形態では、パワー制御部34は、次ノードから受信するOCM情報に基づいて、可変光減衰器23を制御するためのパワー制御信号を生成する。このとき、パワー制御部34は、次ノードのプリアンプ11から出力されるWDM信号に多重化されている光信号のパワーを等化するパワー制御信号を生成する。そして、パワー制御部34は、生成したパワー制御信号を、次ノードから受信する信号パワー補正值で補正する。

【0086】

< 第3の実施形態 >

図15は、第3の実施形態の光伝送システムの一例を示す。第3の実施形態は、第1の実施形態および第2の実施形態の組合せに相当する。すなわち、第3の実施形態では、光チャンネルモニタ14を利用してポストアンプ15に入力されるWDM信号について第1のOCM情報が生成され、次ノードの光チャンネルモニタ42を利用して次ノードのプリアンプ11から出力されるWDM信号について第2のOCM情報が生成される。そして、第1のOCM情報または第2のOSM情報の一方または双方を利用して、WDM信号の波長配置が検出され、信号パワー補正值が生成される。また、第3の実施形態では、ポストアンプ15から出力されるWDM信号の波長特性と、次ノードのプリアンプ11から出力されるWDM信号の波長特性とが互いに逆特性となるように、各光伝送装置が構成されるようにしてもよい。

【0087】

< 第4の実施形態 >

図16は、第4の実施形態の光伝送システムの一例を示す。第4の実施形態の光伝送システムにおいては、ノード間にインラインアンプ51が設けられている。すなわち、光伝送装置1から出力されるWDM信号は、1または複数のインラインアンプ51により増幅されて次ノードまで伝送される。

【0088】

< 第5の実施形態 >

上述の実施形態では、各ノードにROADMを含む光伝送装置1(1A、1B)が設け

10

20

30

40

50

られているが、本発明に係る光伝送システムはこの構成に限定されるものではない。例えば、光伝送システム内の幾つかのノードには、ROADMを含まない光伝送装置が設けられるようにしてもよい。

【0089】

図17は、第5の実施形態に係わる光伝送システムの一例を示す。図17に示す実施例では、ROADMを含む光伝送装置1A、1B間に、ROADMを含まない光伝送装置3が設けられている。光伝送装置3の構成は、光伝送装置1A、1Bと類似している。ただし、光伝送装置3は、ROADM22を備えていない。即ち、光伝送装置3は、波長選択スイッチ(WSS)22の代わりに、波長ブロック(WB:Wavelength Blocker)61を備える。波長ブロック61は、光信号を分岐および挿入する機能は備えていないが、各光信号のパワーを調整する機能は備えている。

10

【0090】

光伝送装置3においてWDM信号の各光信号のパワーを調整する動作は、光伝送装置1A、1Bと実質的に同じである。すなわち、光伝送装置3において、光チャンネルモニタ14は、波長ブロック61から出力されるWDM信号の各光信号のパワーを検出する。そして、コントローラ25は、光チャンネルモニタ14に基づいて、パワー制御信号を生成する処理、信号パワー補正値を生成する処理、パワー制御信号を信号パワー補正値で補正する処理などを実行する。

【0091】

なお、第1～第4の実施形態では、各OMS(Optical Multiplex Section)に対して利得リップルを抑制するための補正が行われる。すなわち、ROADMごとに利得リップルを抑制するための補正が行われる。これに対して、第5の実施形態では、ROADMが設けられていない区間においても利得リップルを抑制するための補正が行われる。図17に示す例では、例えば、光伝送装置1Aと光伝送装置3との間で利得リップルを抑制するための補正が行われ、また、光伝送装置3と光伝送装置1Bとの間で利得リップルを抑制するための補正が行われる。

20

【0092】

<他の実施形態>

信号パワー補正値を生成する方法として、様々なバリエーションが考えられる。たとえば、最もパワー密度が高い波長領域に配置されている光信号に対して「補正値=所定の最小値」を与え、他の光信号に対して「補正値=最小値に対する相対値」を与えるようにしてもよい。最小値は、例えば、0dBである。図7(a)に示すWDM信号が伝送される場合、最もパワー密度が高い波長領域には光信号ch11～ch19が配置されている。このケースでは、光信号ch11～ch19に対して「補正値=0dB」が与えられる。光信号ch1、ch39は、光信号ch11～ch19を基準として3.5dBだけ高い補正値が与えられる。すなわち、光信号ch1、ch39に対して「補正値=3.5dB」が与えられる。

30

【0093】

信号パワー補正値は、負の値であってもよい。信号パワー補正値が負であるときは、この実施例では、光信号のパワーを小さくする制御が行われる。一例として、図8に示すテーブルにおいて「ブランクチャンネル数=3」に対して「補正値=0dB」が与えられるものとする、「ブランクチャンネル数=1以下」に対して「補正値=-1.5dB」が与えられ、「ブランクチャンネル数=9以上」に対して「補正値=2.0dB」が与えられる。なお、補正値は、正の値に限定されるようにしてもよい。

40

【0094】

光信号のパワーが高すぎると、伝送路ファイバにおいて非線形劣化(自己位相変調、相互位相変調など)が生じるおそれがある。一方、光信号のパワーが低すぎると、光信号対雑音比が劣化するおそれがある。よって、信号パワー補正値は、所定の上限および下限の間で決定するようにしてもよい。例えば、上限が3dBであり、下限が-1dBである場合、図7(a)に示すWDM信号の各光信号に対して下記の補正値が生成される。

50

c h 1 : +3.0dB

c h 1 1 ~ c h 1 9 : 0dB

c h 3 9 : +3.0dB

【 0 0 9 5 】

各光信号に与えられる補正値の平均がゼロになるように各補正値を決定してもよい。一例として、上限が3dBであり、下限が-1dBであり、補正値の平均がゼロである場合、図7 (a) に示すWDM信号の各光信号に対して下記の補正値が生成される。

c h 1 : +2.7dB

c h 1 1 ~ c h 1 9 : -0.6dB

c h 3 9 : +2.7dB

【 0 0 9 6 】

上述の実施例では、補正値生成部33は、図8に示すテーブルを利用してパワー密度に対応する補正値を取得するが、本発明はこの構成に限定されるものではない。すなわち、補正値生成部33は、パワー密度に基づいて補正値を計算してもよい。この場合、計算式において使用される定数などは、例えば、メモリ26に格納される。一例として、下式で補正値を計算してもよい。なお、Bは、ブランクチャンネル数を表す。

補正値 = $5 * \log_{10}[(B+1)/2]$

【 0 0 9 7 】

上述の実施例では、各光信号に対応するパワー密度は、隣接する光信号までの間隔で表されるが、本発明はこの方法に限定されるものではない。たとえば、WDM信号中のある1つの注目光信号のパワー密度を計算する際に、「WDM信号中の他のすべての光信号に起因して、注目光信号に作用する波長特性」を決定してもよい。この場合、この波長特性で、信号波長配置を畳み込み積分することで、パワー密度が算出される。畳み込み積分で使用する波長特性は、簡易的に、正規分布 (: 約2nm) であってもよい。

【 符号の説明 】

【 0 0 9 8 】

1 (1 A、1 B) 光伝送装置

2 伝送路ファイバ

1 1 プリアンプ

1 2 波長選択スイッチ (W S S)

1 4、4 2 光チャンネルモニタ (O C M)

1 5 ポストアンプ

2 2 光分岐挿入装置 (R O A D M)

2 3 可変光減衰器 (V O A)

2 5 コントローラ

2 6 メモリ

3 1 波長配置検出部

3 2 パワー密度計算部

3 3 補正値生成部

3 4 パワー制御部

3 5 データベース

10

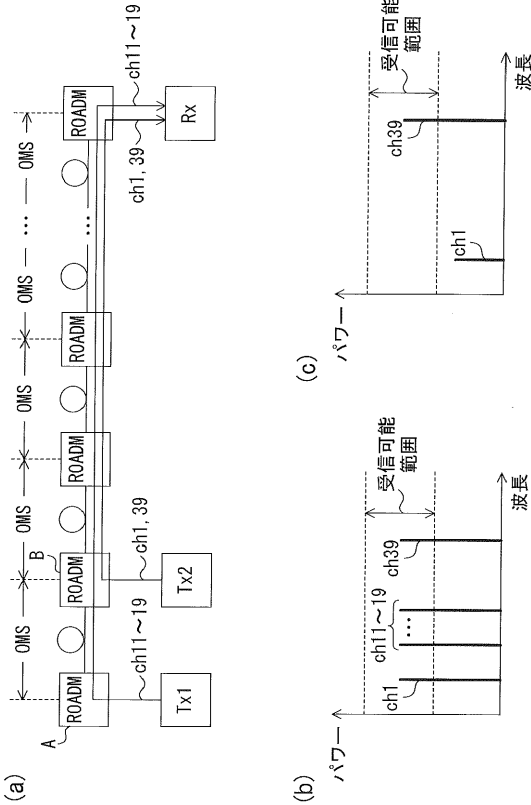
20

30

40

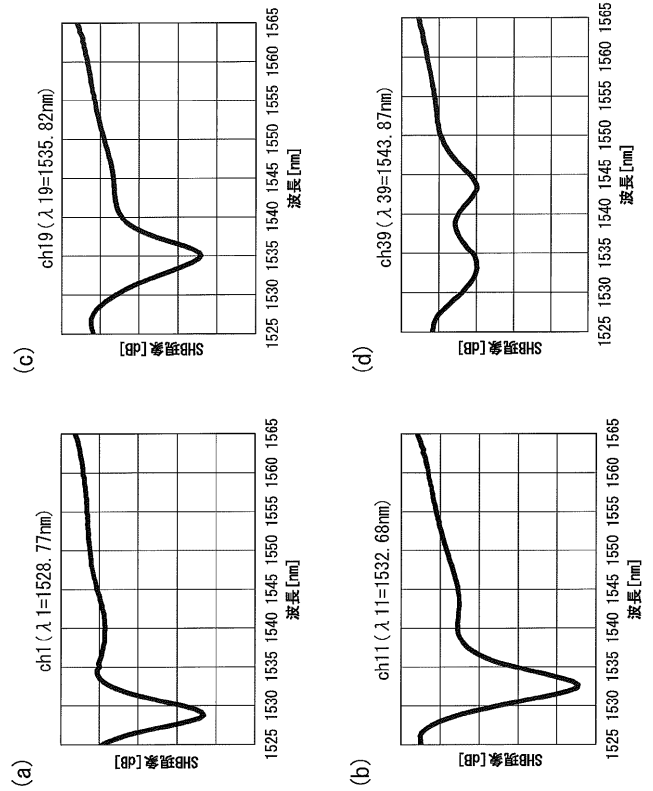
【 図 1 】

WDM伝送システムの一例および
受信光信号のパワーを示す図



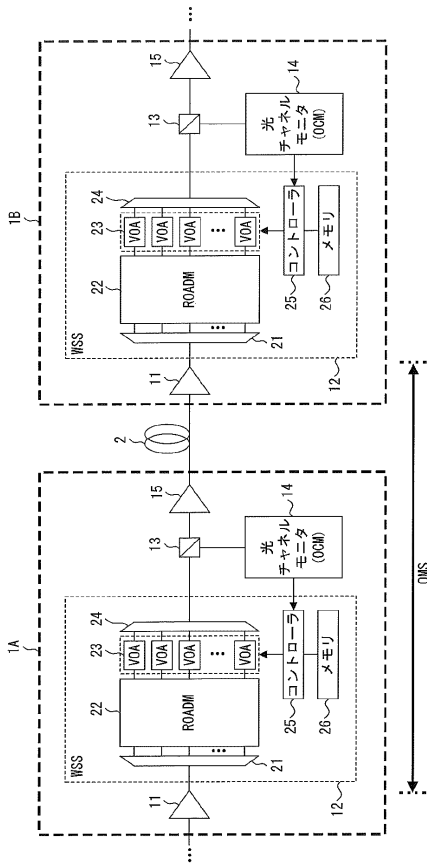
【 図 2 】

1つの光信号に起因するスペクトルホール
バーニング現象のスペクトルを示す図



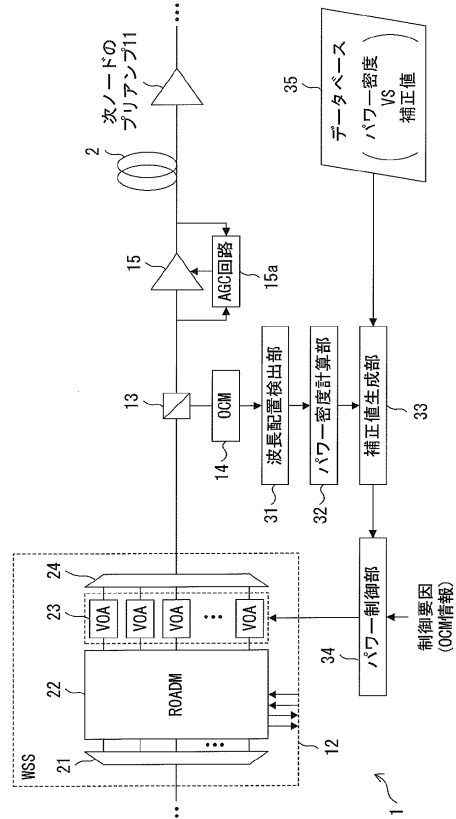
【 図 5 】

光伝送システムの一例を示す図



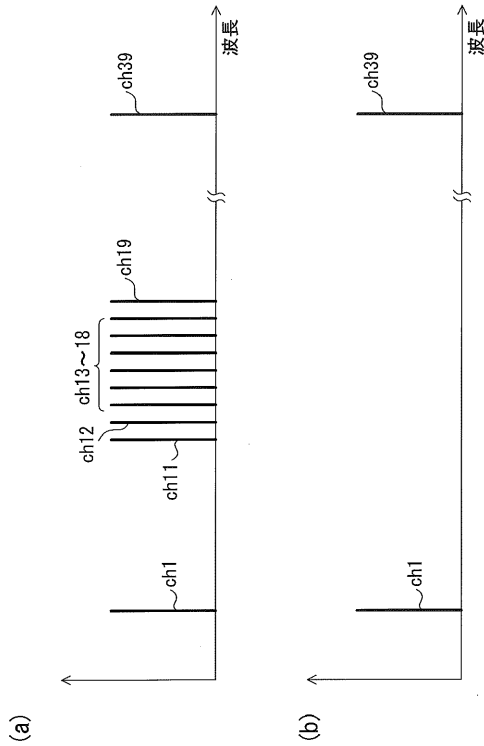
【 図 6 】

第1の実施形態の光伝送装置および
光伝送システムの一例を示す図



【 図 7 】

WDM信号の波長配置の例を示す図



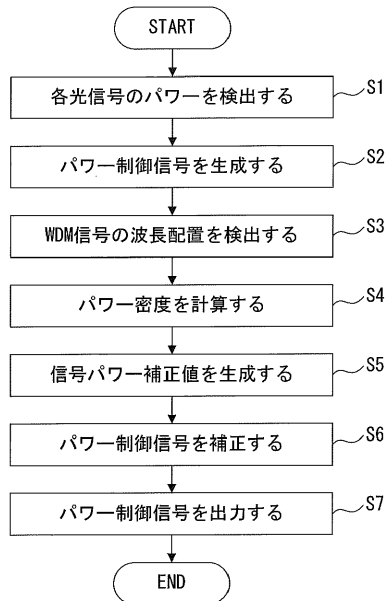
【 図 8 】

パワー密度／補正值変換テーブルの一例を示す図

パワー密度 (プランクチャンネル数)	信号パワー 補正值 (dB)
1以下	0
2	0.9
3	1.5
4	2.0
5	2.4
6	2.7
7	3.0
8	3.25
9以上	3.5

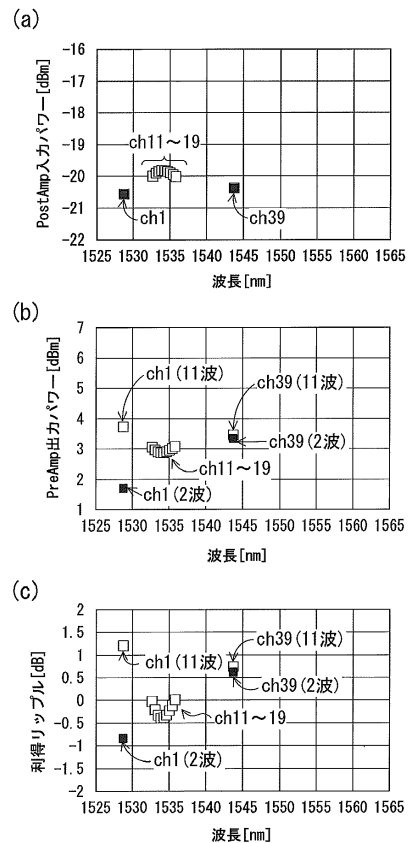
【 図 9 】

コントローラの処理の一例を示すフローチャート



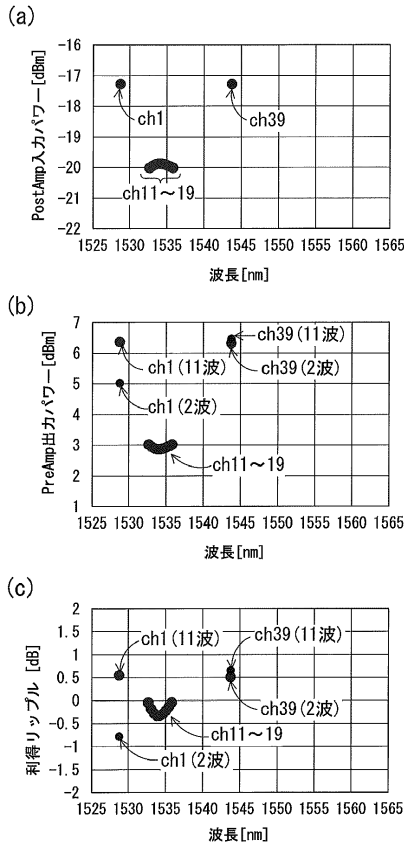
【 図 10 】

補正が行われなときのWDM信号の状態および利得リップルを示す図



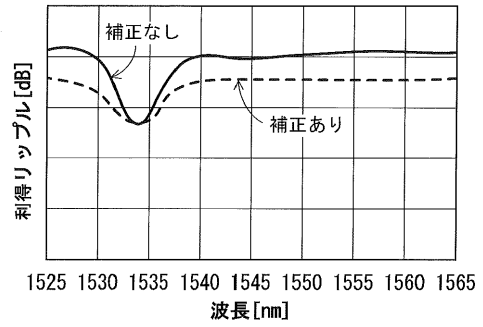
【 図 1 1 】

補正が行われるときのWDM信号の状態
および利得リップルを示す図



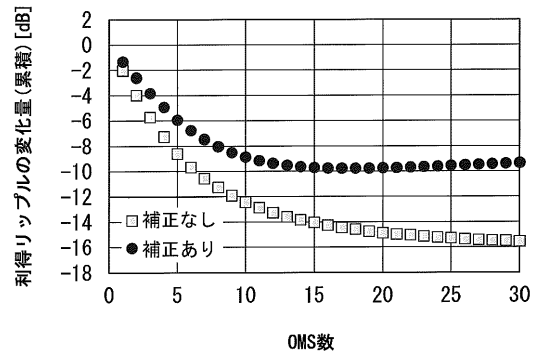
【 図 1 2 】

利得の平坦化について説明する図



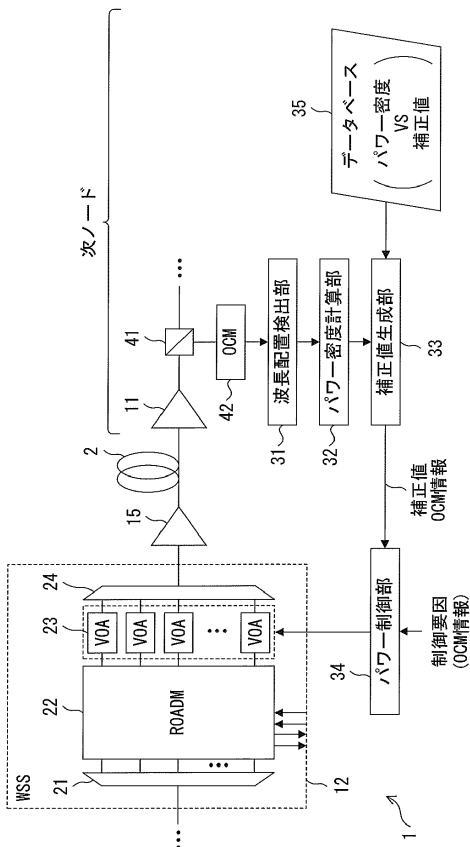
【 図 1 3 】

補正による効果を示す図



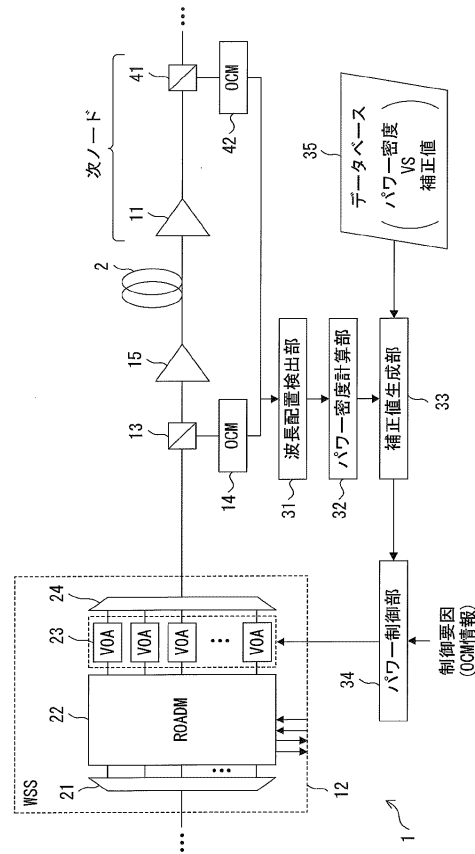
【 図 1 4 】

第2の実施形態の光伝送システムの一例を示す図



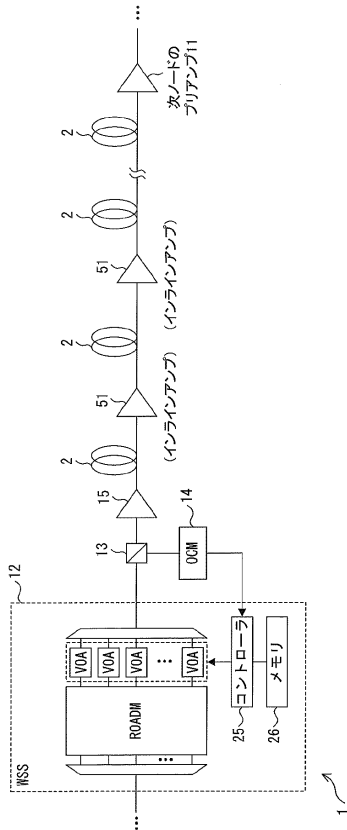
【 図 1 5 】

第3の実施形態の光伝送システムの一例を示す図



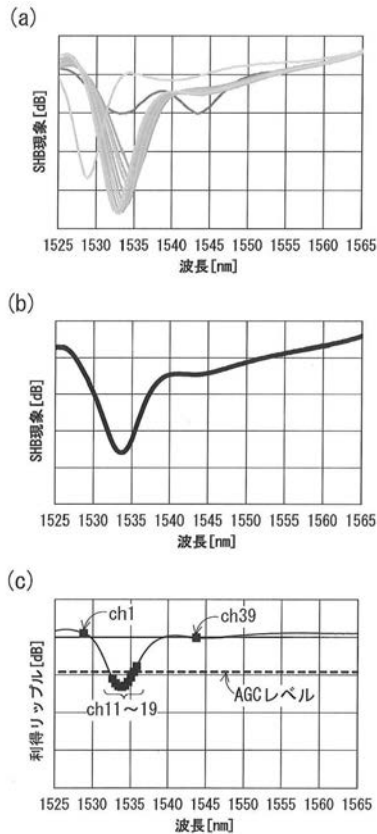
【 図 1 6 】

第 4 の実施形態の
光伝送システムの一例を示す図



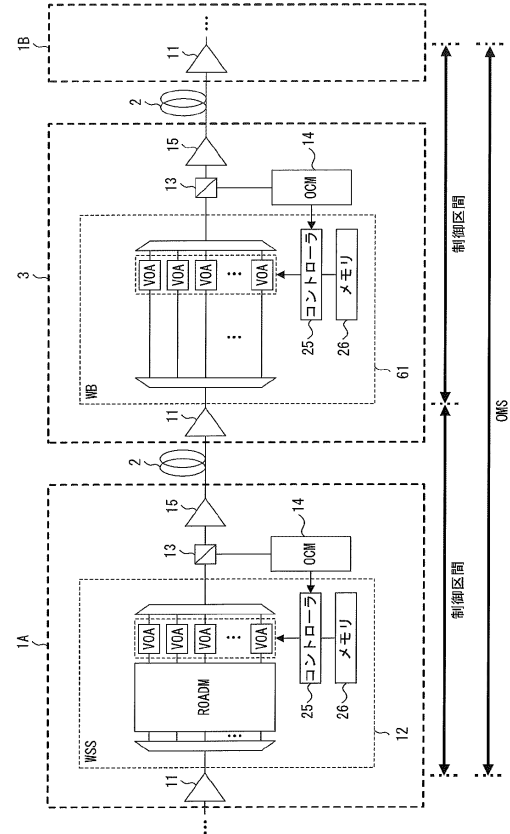
【 図 3 】

複数の光信号に起因するスペクトルホール
バーニング現象について説明する図(その1)



【 図 1 7 】

第 5 の実施形態の光伝送システムの一例を示す図



【 図 4 】

複数の光信号に起因するスペクトルホール
バーニング現象について説明する図(その2)

