

(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2007-202009

(P2007-202009A)

(43) 公開日 平成19年8月9日(2007.8.9)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
H04B 10/02 (2006.01)	H04B 9/00 M	5K102
H04B 10/18 (2006.01)	H04B 9/00 E	
H04J 14/00 (2006.01)		
H04J 14/02 (2006.01)		

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2006-20529 (P2006-20529)	(71) 出願人	000153465
(22) 出願日	平成18年1月30日 (2006.1.30)		株式会社日立コミュニケーションテクノ ロジー
		(74) 代理人	100107010
			弁理士 橋爪 健
		(72) 発明者	関根 賢郎
			東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
			株式会社日立製作所中央研究所内
		Fターム(参考)	5K102 AA01 AD01 KA02 KA32 PD13

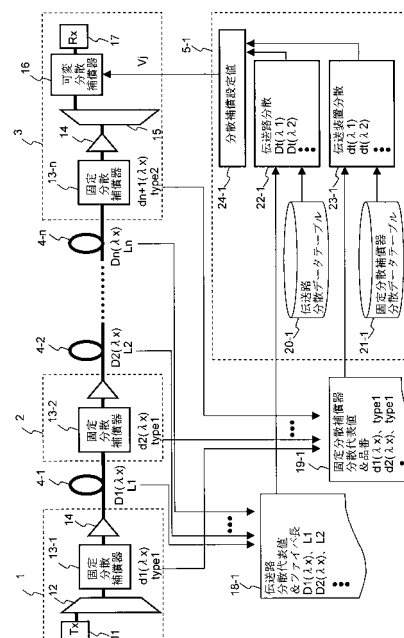
(54) 【発明の名称】 WDM伝送システム

(57) 【要約】

【課題】長距離高速WDM伝送システム中の、伝送ファイバ、及び固定分散補償器の波長依存性に伴う、波長依存の累積分散を補償する可変分散補償器において、可変分散補償器を安価な構成で、かつ、高速に制御する。

【解決手段】可変分散補償器16の分散制御回路5-1～3中に、あらかじめ、伝送ファイバ4-1～nの波長依存代表特性及びDCF13-1～nの波長依存代表特性を記録保持しておき、伝送ファイバの代表波長における分散量及びファイバ長、DCFの代表波長における分散量を入力として、あらかじめ記録保持しておいた波長依存代表特性から累積分散補償量を算出して、これを基準に可変分散補償器16の分散量を決定する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

分散量が固定の複数の固定分散補償器と、
 前記固定分散補償器間を接続するための複数の光伝送路と
 複数の前記固定分散補償器及び複数の前記光伝送路を経て受信した光信号に対して分散量を制御するための、分散量が可変の可変分散補償器と、
 前記光伝送路の分散波長依存特性の情報を記憶した伝送路分散テーブルと、前記固定分散補償器の分散波長依存特性の情報を記憶した補償器分散テーブルとを有し、前記可変分散補償器の分散量を制御する制御回路と
 を備え、

10

前記制御回路は、
 各々の前記光伝送路の情報と、各々の前記固定分散補償器の情報を取得し、
 前記伝送路分散テーブル及び補償器分散テーブルを参照して、波長毎の前記光伝送路及び前記固定分散補償器による累積分散量を算出し、
 算出された累積分散量に基づき、前記可変分散補償器の波長毎の分散量を制御する WDM 伝送システム。

【請求項 2】

分散量が固定の複数の固定分散補償器と、
 前記固定分散補償器間を接続するための複数の光伝送路と
 複数の前記固定分散補償器及び複数の前記光伝送路を経て受信した光信号に対して分散量を制御するための、分散量が可変の可変分散補償器と、
 前記光伝送路の分散スロープ値を記憶した伝送路分散テーブルと、特定波長を含む複数の波長の波長毎の前記固定分散補償器の規格化分散量を記憶した補償器分散テーブルとを有し、前記可変分散補償器の分散量を制御する制御回路と
 を備え、

20

前記制御回路は、
 各々の前記光伝送路の特定波長における分散量及びファイバ長を取得し、
 前記伝送路分散テーブルより分散スロープ値を求め、
 分散スロープ値及び特定波長における分散量に基づき、各前記光伝送路について波長毎の伝送路分散量を算出し、

30

前記固定分散補償器の特定波長における特定分散量を取得し、
 前記補償器分散テーブルより波長毎の規格化分散量を求め、特定分散量及び規格分散量に基づき、波長毎での補償器分散量を算出し、

送信側から受信側の間の全て又は所定の若しくは所定間の複数の前記光伝送路について前記伝送路分散量を波長毎に加算して、波長毎の伝送路累積分散量を算出し、

送信側から受信側の間の全て又は所定の若しくは所定間の複数の前記固定分散補償器について前記補償器分散量を波長毎に加算して、補償器累積分散量を算出し、

波長毎の、伝送路累積分散量と補償器累積分散量との和の値又はこの値を補正した値に従い、前記可変分散補償器の波長毎の分散設定量を算出し、該分散設定量に従い前記可変分散補償器により波長毎の分散量を制御する

40

WDM 伝送システム。

【請求項 3】

所望波長を λ_j 、特定波長を λ_x 、特定波長での伝送路分散量を $D_i(\lambda_x)$ 、分散スロープを Δ 、ファイバ長を L_i とそれぞれしたときに、所望波長での伝送路分散量 $D_i(\lambda_j)$ を、

$$D_i(\lambda_j) = \{ \Delta \times (\lambda_j - \lambda_x) + D_i(\lambda_x) / L_i \} \times L_i$$

により算出することを特徴とする請求項 2 に記載の WDM 伝送システム。

【請求項 4】

所望波長を λ_j 、光伝送路のゼロ分散波長を λ_{0i} 、分散スロープを Δ 、ファイバ長を L_i とそれぞれしたときに、所望波長での伝送路分散量 $D_i(\lambda_j)$ を、

50

$$D_i(\lambda_j) = \{\Delta \times (\lambda_j - \lambda_0)\} \times L_i$$

により算出することを特徴とする請求項2に記載のWDM伝送システム。

【請求項5】

前記補償器分散テーブルは、前記固定分散補償器の品種に対応して、特定波長を含む波長毎の規格化分散量を記録し、

前記制御回路は、特定分散量に加えて、前記品種を取得し、前記補償器分散テーブルを検索し、該品種に対応して該当する規格化分散量の値を取得することを特徴とする請求項2に記載のWDM伝送システム。

【請求項6】

特定波長での分散量を $d_i(\lambda_x)$ 、所望波長での規格化分散量を $d_s(\lambda_j)$ 、特定波長での規格化分散量を $d_s(\lambda_x)$ としたときに、所望波長での補償器分散量 $d_i(\lambda_j)$ を、 $d_i(\lambda_j) = d_i(\lambda_x) / d_s(\lambda_x) \times d_s(\lambda_j)$

により算出することを特徴とする請求項2に記載のWDM伝送システム。

【請求項7】

分散量が固定の複数の固定分散補償器と、

前記固定分散補償器間を接続するための複数の光伝送路と

複数の前記固定分散補償器及び複数の前記光伝送路を経て受信した光信号に対して分散量を制御するための、分散量が可変の可変分散補償器と、

前記光伝送路の識別情報に対して波長毎の分散量を記憶した伝送路分散テーブルと、前記固定分散補償器の識別情報に対して、波長毎の分散量を記憶した補償器分散テーブルとを有し、前記可変分散補償器の分散量を制御する制御回路とを備え、

前記制御回路は、

各々の前記光伝送路の識別情報を取得し、各前記光伝送路について、該識別情報に基づき前記伝送路分散テーブルを検索し、波長毎の伝送路分散量を取得し、

各々の前記固定分散補償器の識別情報を取得し、各前記固定分散補償器について、該識別情報に基づき、前記補償器分散データテーブルを検索し、波長毎の補償器分散量を取得し、

伝送路分散量を波長毎に送信側から受信側の間の全て又は所定の若しくは所定間の複数の前記光伝送路に対して加算して、波長毎の伝送路累積分散量を算出し、

補償器分散量を波長毎に送信側から受信側の間の全て又は所定の若しくは所定間の複数の前記固定分散補償器に対して加算して、波長毎の補償器累積分散量を算出し、

波長毎の、伝送路累積分散量と補償器累積分散量との和の値又はこの値を補正した値に従い、前記可変分散補償器の波長毎の分散設定量を算出し、該分散設定量に従い前記可変分散補償器により波長毎の分散量を制御する

WDM伝送システム。

【請求項8】

伝送路中に設けられ、WDM信号中の一部あるいは全部の波長を交換又は分岐若しくは挿入する光スイッチと、

前記光スイッチの切替前後の送信側から受信側の間の全て又は所定間について複数の前記光伝送路の識別情報及び複数の前記固定分散補償器の識別情報を記憶した経路情報テーブルを有し、前記経路情報テーブルを検索して、ルート切替後の新規伝送ルートにおける、前記光伝送路の新規識別情報及び前記固定分散補償器の新規識別情報を取得し、前記光スイッチを制御するスイッチ制御装置とをさらに備え、

前記制御回路は、前記光伝送路の新規識別情報及び前記固定分散補償器の新規識別情報を前記スイッチ制御装置から取得し、これら新規識別情報に基づき、伝送路累積分散量及び補償器累積分散量を算出し、さらに新規の分散設定量を算出し、

前記制御回路は、前記可変分散補償器に新規の分散設定量を与えて分散量を制御し、それと同時に又はその後に、前記スイッチ制御回路は、前記光スイッチの切替を行うことを特

徴とする請求項 7 に記載の WDM 伝送システム。

【請求項 9】

前記スイッチ制御回路は、さらに、ルート切替の対象となる波長を示す波長情報を取得し、

前記制御回路は、さらに、前記波長情報を前記光スイッチ制御回路から取得し、前記光伝送路の新規識別情報、前記固定分散補償器の新規識別情報及び波長情報に基づき、伝送路累積分散量及び補償器累積分散量を算出し、さらに新規の分散設定量を算出することを特徴とする請求項 8 に記載の WDM 伝送システム。

【請求項 10】

前記可変分散補償器からの光出力信号結果を用いて、あるいはその光出力信号を光電変換した電気出力信号結果を用いて、前記可変分散補償器を適応制御する帰還型制御回路をさらに備え、前記制御回路が設定する分散設定量を前記可変分散補償器の初期値として、前記帰還型制御回路を運用することを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の WDM システム。 10

【請求項 11】

変調方式として光デュオバイナリ変調方式を用いることを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の WDM システム。

【請求項 12】

変調方式として 3 値以上の多値位相変調方式を用いることを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の WDM システム。 20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、波長分割多重 (WDM: Wavelength Division Multiplex) 伝送システムに係り、特に、固定分散補償器にて伝送ファイバの分散を補償した際に波長依存の残留分散が発生した場合に、これらの残留分散を可変分散補償器にて補償することができる WDM 伝送システムに関する。

【背景技術】

【0002】

高速光ファイバ通信においては、ファイバ中の波長分散という特性によって、光波形が劣化し、伝送速度や伝送距離が制限されてしまう場合がある。波長分散 (以下、分散と称する。) とは、光ファイバ中で信号が伝播する群速度の波長依存性のことである。光波形は厳密には複数の波長成分を持ち (スペクトル広がりを持ち)、群速度に波長依存性があると、ファイバ中をゆっくり進む成分と早く進む成分が現れて、その結果として波形が広がることになり、分散の値が無視できない場合には、波形歪みが発生して受信特性が劣化してしまう。分散の量はファイバ長に比例するので、結果として、伝送距離が制限されてしまう。 30

一般に、分散量は光ファイバの種類や距離に依存する。数値例を挙げると、敷設済み光ファイバとして最も一般的な通常分散ファイバ (SMF: Single Mode Fiber) の場合、例えば、1 km あたりの分散量は、およそ 17 ps/nm/km 程度である。 40

10 Gbit/s の伝送システムでは、光信号の分散耐力は 1000 ps/nm 程度であり、伝送路長が 60 km 以上となると波形歪みの影響で受信が不可能となってしまうことがある。分散の影響は信号ビットレートの 2 乗に反比例するので、例えば、 40 Gbit/s の伝送システムでは前述の値の $1/16$ となってしまう、分散への対策無しには数 km の伝送しか達成できなくなってしまう場合がある。

従来より、分散による波形歪みの影響を回避する手法としては、分散補償器の適用が一般的である。分散補償器とは、伝送路中の光ファイバの分散量と逆の分散量を持つ光デバイスであり、この分散補償器によって光ファイバ中の分散を打ち消して、分散による波形歪みを抑制することが可能となる。

【0003】

分散補償器としては、分散補償ファイバ（D C F：Dispersion Compensation Fiber）が最も多用されているデバイスのひとつである。D C Fとはファイバの材料と構造に工夫を加えることにより、伝送路の光ファイバと逆の分散特性を保持するようにしたものである。分散補償器にはある特定波長での分散を打ち消すタイプの他に、伝送路の光ファイバの分散波長依存性（分散スロープ値）をも打ち消すようなタイプもある。また、一般に、D C Fの分散補償量はD C Fの長さによって決定される。従って、この場合、いったん長さを決定してファイバ長を固定すると、分散の補償量も固定となる。こうした分散補償器は、分散量が固定という意味で、固定分散補償器と称される。

固定分散補償器としては、前述のD C Fのほか、例えば、ファイバグレーティングも一般的である。ファイバグレーティングとは、光ファイバに紫外線を照射して、光ファイバ内部に光の波長オーダでの屈折率変化構造を形成したものであり、屈折率変化構造がグレーティング（回折格子）のように振る舞い、特定波長において反射ミラーとして作用する。この屈折率変化構造を、光ファイバの軸方向に対して周期が狭く（あるいは広く）なっていくように形成することにより、波長毎に反射時の遅延量を調整可能となる。従って、適切にこの周期を設計することにより、伝送路の光ファイバの分散特性を打ち消すことが可能となる。こうした、分散補償可能なファイバグレーティングは、チャープトファイバグレーティング（C F B G：Chirped Fiber Grating）と称される。

【0004】

しかしながら、40 G b i t / s システムのような超高速伝送においては、前述のように分散耐力が、例えば、100 p s / n m 以下と非常に狭いので、固定分散補償器では伝送ファイバの長さに応じた細かい分散補償の調整が通常困難であるという課題がある。また、WDM伝送システムを考えた場合には、分散量のみならず、分散スロープ値と称される分散量自身の波長依存性（WDM信号中での信号波長毎の分散量の違い）を考慮する必要がある。このように波長毎に補償する分散量を固定分散補償器で調整しようとした場合には、様々な補償量の固定分散補償器を多数あらかじめ準備しておく必要があり、コストの面で課題がある。前述したように、この分散スロープ値をも補償するD C Fも存在するが、完全に分散スロープ値を補償することは通常困難である。例えば、40 G b i t / s システムのような分散耐力が厳しい伝送装置においては、やはり波長毎の分散調整が必要となり、固定分散補償器では分散補償の実現がむずかしい。

一方、分散量が可変な可変分散補償器としては、前述のC F B Gの軸方向に温度勾配を形成する手法が知られている。この温度勾配を制御することによって分散量が可変となる。

【0005】

図18に、従来における可変分散補償器の制御構成を示す。

可変分散補償器の分散量を最適値に制御するためには、適応制御回路が必要となるが、この制御回路の例としては、例えば特許文献1にあるように、図示のような構成が考えられる。この適応制御回路は、可変分散補償器（101）、可変分散補償器（102）、光フィルタ（103）、O E（104）、データクロックの回復部（105）、エラー検出部（106）、エラー率計算部（107）、制御回路（108）及び制御回路（109）を備える。

同構成では、光データは可変分散補償器（101）、可変分散補償器（102）を経て、O E（104）で電気信号に変換される。エラー検出部（106）にて信号誤りを検出して、エラー率計算部（107）にて現在受信している電気信号のエラー率を算出する。このエラー率の変化より、新規制御値を制御回路（108）及び制御回路（109）にて算出し、前述の可変分散補償器（101）あるいは可変分散補償器（102）を制御する仕組みとなっている。

また、その他の可変分散補償器としては、後述するように非特許文献2及び3等に記載されている。

【特許文献1】ベンジャミン ジョン エグルトン 発明、「自動分散補償モジュールを備えた光通信システム」、特開2000-244394

10

20

30

40

50

【非特許文献1】R. I. Laming “A Dispersion Tunable Grating in a 10-Gb/s 100-220km-Step Index Fiber Link”, IEEE Photonics Technology Letters, Vol.8, No.3, pp428-430 (1996)

【非特許文献2】Shirasaki “Compensation of chromatic dispersion and dispersion slope using a virtually imaged phased array”, Optical Fiber Conference (OFC) '95, paper TuS1 (1995)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、図18に示すような従来の分散補償器では、信号劣化が激しい場合には、誤り数が急増するため、カウンタのオーバーフローを回避するためには測定周期を短くする必要があるが、測定時間を短くすると、今度は誤り数が低い場合の精度が低下するために、測定周期をあまり短くすることはほとんど不可能であり、結果として、10の-4乗や-3乗といった大きな誤り率を測定することがむずかしくなり、信号劣化が激しい場合には十分に動作しない場合があるという課題がある。 10

また、可変分散補償器の立ち上げ時には、可変分散補償器の分散初期値が適切な分散量になっているとは限らず、むしろ適切な分散量からはずれている可能性の方が少なくない。前述したように、信号劣化が激しい場合には、図18のような従来の構成では動作が通常困難であるために、分散量をスweepしたりする等により、ある程度粗調整をあらかじめ行う必要性がある。従って起動時間が長くなるという課題がある。 20

また、信号波長毎に誤り率を計測する機構が必要となり、光受信器の高コスト化をまねく恐れがある。図18の構成以外の従来例で、帰還型の適応制御を行う場合には、電気信号からクロック振幅やデータ振幅、データ波形などを解析して適切な分散量に制御する手法が提案されているが、いずれの場合でも、高価な高速電気部品が必要になる等、コストの面から課題が残されている。

本発明は、以上の点に鑑み、長距離高速WDM伝送システム中の、伝送ファイバ、及び固定分散補償器の波長依存性に伴う、波長依存の累積分散を補償する可変分散補償器において、可変分散補償器を安価な構成で、かつ、高速に制御することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

かかる課題に対して本発明が提供するひとつの構成は、特に、分散量が固定の分散補償器と、分散量が可変の分散補償器と、前記可変分散補償器の分散量を制御する分散補償器制御回路とを備えたWDM伝送システムにおいて、前記分散補償制御回路は、伝送ファイバの平均的な分散スロープ値を管理するテーブルと、代表波長での所定の分散量に対応した前期固定分散補償器の分散量波長依存性データを管理するテーブルの双方を内部に備え、さらに、前記分散補償制御回路は、伝送ファイバの代表波長における分散量測定値及びファイバ長測定値と、固定分散補償器の代表波長における分散量設定値を入力として、前記2種類のテーブルを用いて、各波長毎の累積分散量を算出し、この累積分散量を基準に、前記可変分散補償器の制御することを特徴とするWDM伝送システムである。 30

【0008】

また、本発明が提供する他の構成は、特に、分散量が固定の分散補償器と、分散量が可変の分散補償器と、前記可変分散補償器の分散量を制御する分散補償器制御回路とを備えたWDM伝送システムにおいて、前記分散補償制御回路は、伝送ファイバのID番号と同ID番号毎の分散量波長依存性データを管理するテーブルと、固定分散補償器のID番号と同ID番号毎の分散量波長依存性データを管理するテーブル、の双方を内部に備え、さらに、前記分散補償制御回路は、伝送ファイバのID番号と前記固定分散補償器のID番号を入力として、前記2種類のテーブルを用いて、各波長毎の累積分散量を算出し、この累積分散量を基準に、前記可変分散補償器の制御することを特徴とするWDM伝送システムである。 40

また、本発明が提供するさらに他の構成は、特に、WDM信号中の一部、あるいは全部 50

の信号波長を交換する光クロスコネクタ装置、あるいは光アドドロップ装置を伝送路中に備え、光クロスコネクタ装置あるいは光アドドロップ装置内部の光スイッチを切り替える直前に、前述の本発明の構成に記載の要領にて、交換後の新規ルートでの累積分散量をあらかじめ算出しておき、前記光スイッチを切り替えると同時にあるいはその直前に、新規分散量設定値を前記可変分散補償器に設定することを特徴とするWDM伝送システムである。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、伝送路及びDCFの代表波長における分散特性及び伝送路のファイバ長を入力として、あらかじめ制御回路中に記録された分散波長依存特性と併用して分散補償量を算出し、可変分散補償器を制御することにより、固定分散補償器でも補償しきれない残留分散の波長依存性を、安価な構成で、かつ高速に制御することが可能となる。

10

また、本発明によれば、伝送路及びDCFのID情報をインデックスとして、あらかじめ制御回路中に記録された分散波長依存特性を検索・抽出し、分散補償量を算出し、可変分散補償器を制御することにより、固定分散補償器でも補償しきれない残留分散の波長依存性を、安価な構成で、かつ高速に制御することが可能となる。

また、本発明によれば、伝送路及びDCFのID情報をインデックスとして、あらかじめ制御回路中に記録された分散波長依存特性を検索・抽出し、分散補償量を算出し、光クロスコネクタ装置あるいは光アドドロップ装置と、可変分散補償器とを協調制御することにより、固定分散補償器でも補償しきれない残留分散の波長依存性を、安価な構成で、かつ高速に制御することが可能となる。また、光クロスコネクタ装置あるいは光アドドロップ装置でのルート切替時間中における、分散補償量の制御時間を高速化することが可能となり、つまり、光クロスコネクタ装置あるいは光アドドロップ装置でのルート切替に伴う通信断時間を短縮化することが可能となる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

1. 第1の実施の形態

(1) WDM伝送システム

図1に、WDM伝送システムの第1の実施の形態の構成図を示す。

以下に、本発明の第1の実施の形態を説明する。

30

提案するWDM伝送システムは、WDM送信器(1)と、WDM中継器(2)と、WDM受信器(3)と、制御回路(5-1)と、夫々ファイバ(4-1、2、...)とを備える。WDM送信器(1)は、変調された光信号を送出する光送信器(11)、光送信器からの各信号波長を多重する合波器(12)、固定量の分散を補償する固定分散補償器(13-1)、光増幅器(14)を備える。WDM中継器(2)は、固定分散補償器(13-2、3、...)、及び光増幅器(14)を備える。WDM受信器(3)は、固定分散補償器(13-n)、光増幅器(14)、WDM信号を夫々個別の信号波長に分離する分波器(15)、分散量が可変である可変分散補償器(16)、そして光信号を電気信号に変換する光受信器(17)を備える。各光増幅器(14)は、光ファイバ中で減衰したWDM信号を一括増幅して、信号レベルを復元する働きをする。

40

【0011】

可変分散補償器(16)として実際に使用されるデバイスのひとつとしては、前述したように、チャープトファイバグレーティングがある。例えば、非特許文献1にあるように、均一な光ファイバグレーティングの長手方向に温度勾配を作ることにより、チャープトグレーティングを生成し、分散補償伝送を行う方式が記載されている。この場合、温度勾配を制御することにより可変量の分散補償を行うことが可能となる。また、温度勾配ではなく、ファイバグレーティングに物理的な機構により、強度的に応力勾配を加え、チャープトグレーティングを生成し、この応力勾配を制御することにより可変分散補償を行う手法も多く提案されている。ファイバグレーティング以外にも、ガラス導波路によって波長成分毎の光路長差を設けて分散補償を行い、この光路長差をヒータ等によって調整するこ

50

とによっても、可変分散補償器は実現可能である。また、エタロン共振器の共振器長を調整することによっても、可変分散補償器は実現可能である。さらに、非特許文献2にあるように、薄板の両面に反射膜をコーティングした波長分散素子と3次元反射ミラーにより構成した、いわゆるVIPA (virtually imaged phased array) 型の可変分散補償器も一般的である。

【0012】

いずれの分散補償器においても、デバイスの利便性を高めるために、外部より電圧、あるいは電流を調整することによって分散補償器内部の分散量を各波長毎に調整する電圧制御型（あるいは電流制御型）のデバイス構造とするのが一般的である。以下の説明では、この外部より印加する分散調整用の電圧を、分散制御信号と称する。

10

可変光分散補償器(16)は、制御回路(5-1)によって分散量を制御されている。制御回路(5-1)の内部には伝送路の分散量を算出するプロセッサ(22-1)と固定分散補償器の分散量を算出するプロセッサ(23-1)が搭載される。夫々のプロセッサ(22-1)及び(23-1)には記録領域が接続されており、夫々の記録領域にて、伝送路の分散データテーブル(20-1)、及び固定分散補償器の分散データテーブル(21-1)が管理されている。

プロセッサ(22-1)では、例えば、伝送路の分散代表値及びファイバ長(18-1)を入力として、伝送路の分散データテーブル(20-1)を併用することにより、WDM信号の各波長毎に伝送路の分散量を算出する。同様に、プロセッサ(23-1)では、例えば、固定分散補償器の分散代表値(19-1)を入力として、固定分散補償器の分散データテーブル(21-1)を併用することにより、WDM信号の各波長毎に固定分散補償器の分散量を算出する。なお、算出方法の詳細は後述する。

20

【0013】

ここで、図2に、分散補償器に送出される分散制御信号を説明する図を示す。

分散補償量設定回路(24-1)では、プロセッサ(22-1)において得られた伝送路の累積分散及びプロセッサ(23-1)において得られた固定分散補償器の累積分散を基に、可変分散補償器(16)の分散設定量をWDM信号の各波長毎に算出し、実際に可変分散補償器(16)の分散量が算出された分散設定量となるように、図2に示すような分散制御信号(制御電圧)を各波長毎に、可変分散補償器(16)に向けて送出する。

【0014】

30

(2) 累積分散算出の概要

つぎに、プロセッサ(22-1)及びプロセッサ(23-1)における伝送路の分散量、及び固定分散補償器の分散量の算出手順について説明する。

図3は、伝送路の分散算出方法を説明する図である。

図3(a)は1kmあたりのファイバ分散量を意味する分散係数についてその波長依存性を表す図である。この例では、伝送ファイバの例として分散シフトファイバ(DSF: Dispersion shifted Fiber)を用いている。分散シフトファイバは前述したシングルモードファイバ(SMF)とともに敷設されているファイバとしては一般に用いられるファイバである。一般にファイバ分散は長波長側で値が大きくなる特性がある。また、WDM伝送帯域内では、直線で近似することが可能である。分散又は分散係数がゼロとなる波長はゼロ分散波長(λ_0)と一般的に称される。例えば、図3(a)又は(b)の例では、それぞれの直線がX軸と交わる波長がゼロ分散波長であり、ファイバA、及びファイバBのゼロ分散波長はそれぞれ1550nm、及び1560nmである。この例で示されるように、分散シフトファイバのゼロ分散波長は一定ではなく、実際に敷設されている分散シフトファイバのゼロ分散波長も、ルート毎にばらついている。分散特性を表す直線の傾きは分散スロープ値と称されるが、この分散スロープ値はほぼ一定であり、一般に、 $0.06 \sim 0.09 \text{ ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ 程度の値となる。図3(a)の例では、分散スロープ値は $0.07 \text{ ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ である。

40

【0015】

図3(b)は、ファイバ長60kmのファイバA、及びファイバ長100kmのファイ

50

バBのファイバ全体での分散量を示す図である。

敷設されているファイバのゼロ分散波長にばらつきがあり、またファイバ長も当然ばらつきがあるので、実際のファイバ分散量は様々な値となり、図3(b)に示すように、その波長依存性も一様ではなくなる。しかしながら、前述した分散スロープ値がほぼ一様であることから、任意の分散シフトファイバの分散量は、ある一つの波長での分散量とファイバ長で一意に表すことが可能である。つまり、ある一つの波長での分散量とファイバ長が与えられると、他の全信号波長での分散量を算出可能である。以降では、この分散量が既知となっている「ある一つの波長」を「代表波長」（特定波長）と称する。

代表波長を1590nmとした場合に、信号波長1570nmでの分散量を算出する例を以下に示す。ファイバAの代表波長(1590nm)での分散量は図3(b)中の黒丸の点で表されるように、168ps/nmであり、ファイバ長は60kmであることが事前に判明しているものとする。これらの情報より、ファイバAの分散係数は図3(a)に示されるように、 $168[\text{ps}/\text{nm}] / 60[\text{km}] = 2.8\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ と算出される。分散スロープ値が $0.07\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ であることが既知であるものとして、分散係数は、

一次関数 $y = 0.07[\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}] \times (x - 1590[\text{nm}]) + 2.8[\text{ps}/\text{nm}/\text{km}]$

と表すことが可能であり、信号波長(1570nm)での分散係数は $0.07[\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}] \times (1570[\text{nm}] - 1590[\text{nm}]) + 2.8[\text{ps}/\text{nm}/\text{km}] = 1.4\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ であると算出される。また、ファイバ長が60kmであるので、信号波長(1570nm)での分散量は、図3(b)の白丸の点で表されるように、 $1.4[\text{ps}/\text{nm}/\text{km}] \times 60[\text{km}] = 84\text{ps}/\text{nm}$ と算出することが可能となる。1570nm以外の波長でも同様に容易に算出可能である。

また、ファイバBについても同様に、代表波長(1590nm)での分散量は210ps/nmであり、ファイバ長は100kmであることが事前に判明しているものとする。これらの情報より、分散係数を求め、一次関数($y = 0.07[\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}] \times (x - 1590[\text{nm}]) + 2.1[\text{ps}/\text{nm}/\text{km}]$)によって信号波長($x = 1570\text{nm}$)での分散係数(この例では $0.7\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$)を求め、最終的に信号波長(1570nm)での分散量は70ps/nm($= 0.7[\text{ps}/\text{nm}/\text{km}] \times 100[\text{km}]$)と算出することが可能である。

【0016】

図4は、固定分散補償器の分散算出方法を説明する図である。

この例では固定分散補償器として前述した分散補償ファイバ(DCF)を用いているが、これに限られない。例えば、分散補償器としては、前述したチャープトファイバグレーティング(CFBG: Chirped Fiber Grating)も一般的である。また、可変分散補償器と同様に、エタロン型やガラス導波路型など、固定分散補償器にも様々な形態があるが、DCFが最も一般的に用いられているもののひとつである。なお、図4の例では、DCFとして分散スロープ値も補償するタイプを用いている。

図4(a)は、1kmあたりの伝送路の分散係数特性の図であり、図3(a)と同様に、分散係数の特性指標を表す図である。

また、図4(b)は、DCFの分散特性例を示す図である。このDCFは分散スロープ値を考慮して、全信号波長での分散を補償するように設計されている。例えば、ファイバA用のDCFとしては、代表波長(1590nm)での分散補償量を $-100\text{ps}/\text{nm}$ とした場合に、 $100[\text{ps}/\text{nm}] / 2.8[\text{ps}/\text{nm}/\text{km}] = 35.7\text{km}$ 分のファイバAの分散を補償したことになる。従って、1570nmでは、 $1.4[\text{ps}/\text{nm}/\text{km}] \times 35.7[\text{km}] = -50\text{ps}/\text{nm}$ の分散補償量となるような特性が、ファイバA用のDCFには要求される。同様にファイバB用のDCFとしては、代表波長(1590nm)での分散補償量を $-100\text{ps}/\text{nm}$ とした場合に、 $47.6\text{km} (= 100[\text{ps}/\text{nm}] / 2.1[\text{ps}/\text{nm}/\text{km}])$ 分のファイバBの分散を補償したことになる。従って、1570nmでは、 $-33\text{ps}/\text{nm} (= 0.7[\text{ps}/\text{nm}/\text{km}] \times 47.6\text{km})$

10

20

30

40

50

〕×47.6[km]) の分散補償量となるような特性が、ファイバB用のDCFには要求される。

【0017】

実際には製造上の誤差が生じるので、こうした理想的な特性からは数ps/nm程度のずれを許容せざるを得ないかもしれない。一般的には、図4(b)のファイバA用DCF(実際)の特性のように、上に凸のカーブとなることが想定される。

図4(b)に示すように、対象の伝送ファイバのゼロ分散波長が異なると、それに対応したDCFの特性も異なってくる。前述したように、伝送ファイバのゼロ分散波長はばらついているので、伝送ファイバのゼロ分散波長のばらつきに対応して、DCFもスロープ又はカーブの形状を変えて多品種準備するのが理想であるが、実際のシステム運用を考えると、多品種準備するのはコスト的に採算が取れにくいので、スロープとしては1品種、あるいは数品種にとどめ、後はDCF長で分散量を調整するのが現実的であろう。

【0018】

DCFの品種が1品種(スロープが1種類)、あるいはその品種が数種類の中のいずれか1つであることが識別され、DCFのスロープ又はカーブの形状が既知である場合には、伝送ファイバと同様に代表波長での分散量から、全信号波長でのDCFの分散量を算出することが可能である。例えば、DCFのスロープ形状(図4(b)中のファイバ用DCF(実際)のカーブ特性)を事前に別途記録しておく。例えば、各波長毎の分散量や、スロープの形状を表す関数等を適宜の記憶装置に記憶しておき、プロセッサ(22-1)等がこのデータを読み取り、計算処理に利用するようにしてもよい。図4(c)のように、代表波長(1590nm)での分散量が-150ps/nmであったとすると、この別途記録保持しておいたカーブ特性を参照し、信号波長(1570nm)及び代表波長(1590nm)での分散量、それぞれ-60ps/nm、及び-100ps/nmを取得する。これらの値で分散を線形換算することにより、信号波長(1570nm)での分散量は-150[ps/nm]/100[ps/nm]×60[ps/nm]=-90ps/nmと算出可能である。1570nm以外の波長でも同様に容易に算出可能である。

以上説明した手順を経て、プロセッサ(22-1)では、伝送路の代表波長における分散量を表す分散代表値及びファイバ長(18-1)を入力として、伝送路の分散データテーブル(20-1)(例えば、分散スロープ値)を併用することにより、WDM信号の各波長毎に伝送路の分散量を算出する。同様に、プロセッサ(23-1)では、固定分散補償器の分散代表値(19-1)を入力として、固定分散補償器の分散データテーブル(21-1)(例えば、分散波長依存特性、分散量のスロープ形状)を併用することにより、WDM信号の各波長毎に固定分散補償器の分散量を算出する。

図5は、可変分散補償器の分散補償量の算出方法を説明する図である。

以上のようにして算出した、各伝送ファイバの分散量、及び各DCFの分散量をそれぞれ積算すると、図5(a)のように、全伝送ファイバでの波長λ毎の累積分散量Dt(λ)、及び全DCFでの波長λ毎の累積分散量dt(λ)が算出される。これらの全伝送ファイバでの累積分散量と全DCFでの累積分散量の波長λ毎の和が全累積分散量となり、100%の分散補償を行う場合にはこの全累積分散量を打ち消す値、即ち、-{Dt(λ)+dt(λ)}が可変分散補償器の補償量となる。言い換えると、全伝送ファイバ累積分散量の正負反転特性から、全DCFでの累積分散量を差し引いた値が、-Dt(λ)-dt(λ)となり、この値が100%分散補償する場合の可変分散補償器の補償量となる。この可変分散補償器の補償量は図5(b)のように表される。

【0019】

(3) 分散データテーブル

図6に、伝送路の分散データテーブル(20-1)及び固定分散補償器の分散データテーブル(21-1)の説明図の一例を示す。図6(a)に示すように、伝送路の分散データテーブル(20-1)には、敷設されている伝送ファイバの分散スロープ値として、0.07ps/nm²/kmの値が記録されている。この分散スロープ値としては設計仕様値を用いてもよいし、実際のフィールドでの実測値を平均化した値を用いてもよい。

10

20

30

40

50

また、図6(b)に示すように、固定分散補償器の分散データテーブル(21-1)には、固定分散補償器の品種(type 1、2、...)をインデックスとして、各信号波長毎(λ_1 、 λ_2 、...)の分散量が記録されている。同時に代表波長(λ_x)での分散量も記録されている。この例では代表波長での分散量が -100 ps/nm になるように、分散量が規格化されているが、これに限らず、1 kmあたりの分散量である分散係数を用いてもよく、要は固定分散補償器の波長依存性を表すデータが記録されていればよい。本テーブルでは1570.42 nmから1609.19 nmの間でのITUグリッド波長での値について分散量を記録しているが、1570 nm、1571 nm、...と言ったようにWDM信号波長とは異なるグリッドを用いてもよく、線形補間により、分散量を容易に推定可能である。例えば、1570 nmでの分散量 -60 ps/nm 、1571 nmでの分散量 -61 ps/nm がテーブルに登録されている場合、波長 λ_1 (1570.42 nm)での分散量は、線形補間により、 -60.42 ps/nm と換算可能である。

また、図6(b)にあるように固定分散補償器の分散データテーブルでは、固定分散補償器の品種に応じて、type 1、type 2、...とテーブルのエントリが増えていくが、前述したように、DCFの管理・製造コストの点等を考慮すると、DCFの品種は少ない方が望ましく、DCFの品種が1種類の場合には、このテーブルのエントリも1品種(1行)のみで足りることになる。

【0020】

(4) 分散補償量の算出処理

図7に、以上説明してきた、分散補償量(分散設定量)算出の手順をフローチャートを示す。

図7は、制御回路(5-1)が実行する波長 λ_j における分散補償量の算出手順フローであり、このフローを全波長 λ_1 、 λ_2 、...、 λ_N と繰り返すことにより、全波長での分散補償量(分散設定量)が算出され、可変分散補償器(16)に波長 j ($j=1, 2, \dots$)毎に適切な分散制御信号 V_j が送信される。

まず、制御回路(5-1)のプロセッサ(22-1)は、伝送ファイバ i ($i=1, 2, \dots$)を識別する情報として初期値(例えば、 $i=1$)を設定する(S101)。さらに、プロセッサ(22-1)は、伝送ファイバの代表波長(λ_x)における分散代表値 $D_i(\lambda_x)$ 、ファイバ長 L_i をそれぞれ取得する(S103)。これらの情報の取得方法としては、WDM装置(WDM伝送システム)インストール前のファイバ毎の仕様データや、インストール時に実際に測定した値を、制御回路(5-1)に手入力したり、メモリや通信経路を用いて間接的に入力することによって得られる。また、WDM装置内部に分散測定手段を設けて、WDM装置運用直前や運用中に自動的に計測して、管理系通信路を経て装置に入力してもよい。

つぎに、ステップS103でプロセッサ(22-1)が取得した伝送ファイバの代表波長(λ_x)における分散代表値 $D_i(\lambda_x)$ 及びファイバ長 L_i により、伝送ファイバ i のファイバ分散量 $D_i(\lambda_j)$ を算出する(S105)。(詳細は後述する)

さらに、プロセッサ(22-1)は、全ての伝送ファイバ i ($i=1, 2, \dots$)(4-1、2、...)に対応する分散量の情報の取得が終了したか否かを判断し(S107)、終了していない場合は i の値を加算(例えば、 $i=i+1$)し(S108)、全ての各波長毎の伝送ファイバの分散量 $D_i(\lambda_j)$ ($(i=1, 2, \dots)$ 、($j=1, 2, \dots$))をステップS103、S105により取得する。

【0021】

つぎに、制御回路(5-1)のプロセッサ(23-1)は、DCF i ($i=1, 2, \dots$)を識別する情報として初期値(例えば、 $i=1$)を設定する(S109)。さらに、プロセッサ(23-1)は、DCFについても分散代表値 $d_i(\lambda_x)$ の取得を行う(S111)。これらの情報の取得方法としては、インストールしたDCFの実際の分散代表値を、制御回路(5-1)に手入力したり、メモリや通信回路を用いて間接的に入力することによって得られる。また、DCFモジュール自身に分散代表値を記憶させ、DCFモジュールを装置架にアドオンした際に、管理系を通じて自動的に制御回路に通知しても

よい。また、DCFの品種が複数ある場合には、分散代表値 $d_i(\lambda_x)$ に加えて、このDCF品種(type 1、2、...)を制御回路(5-1)に通知する。品種が1種のみである場合には、DCF品種を通知する必要はない。

【0022】

つぎに、ステップS111でプロセッサ(23-1)が取得した分散代表値 $d_i(\lambda_x)$ により、DCF分散量 $d_i(\lambda_j)$ を算出する(S113)。(詳細は後述する)

さらに、プロセッサ(23-1)は、全てのDCF $i(i=1, 2, \dots)$ (13-1、2、...)に対応する分散量の情報の取得が終了したか否かを判断し(S115)、終了していない場合は i の値を加算(例えば、 $i=i+1$)し(S116)、全てDCFの各波長毎の分散量 $d_i(\lambda_j)$ ($i=1, 2, \dots$)、($j=1, 2, \dots$)をステップS111、S113により取得する。続いて、分散補償設定回路(24-1)は、ファイバ分散量 $D_1(\lambda_j)$ 、 $D_2(\lambda_j)$ 、 $D_3(\lambda_j)$ 、...を全ファイバで波長 λ_j 毎に加算して、伝送ファイバの波長 λ_j 毎の累積分散量 $D_t(\lambda_j)$ を算出する。同様に、DCF分散量 $d_1(\lambda_j)$ 、 $d_2(\lambda_j)$ 、 $d_3(\lambda_j)$ 、...を全DCFで波長 λ_j 毎に加算して、DCFの波長 λ_j 毎の累積分散量 $d_t(\lambda_j)$ を算出する(S117)。100%補償する場合には $-D_t(\lambda_j) - d_t(\lambda_j)$ により可変分散補償器(16)の分散設定量 $D_s(\lambda_j)$ を算出する(S119)。場合に応じて、伝送特性を向上させるために、これに補正值を加えて、過小補償あるいは過大補償を施してもよい。以上の分散の算出は基本的な四則演算のみで可能である為、計算に要する時間は非常に高速であり、また、データのエントリ数や項目もたかだかWDM信号波長数の数倍程度であるので、検索に要する時間もごく僅かであり、いずれも可変分散補償器の制御時定数と比較すると、無視できるほどの処理時間である。従って、制御時間は可変分散補償器の制御時定数が支配的であり、非常に高速な制御が可能である。

つぎに、分散補償設定回路(24-1)は、算出された波長 λ_j の分散設定量 $D_s(\lambda_j)$ に対応した分散制御信号 V_j を可変分散補償器(16)に送信し、可変分散補償器(16)の分散量が $D_s(\lambda_j)$ になるように制御する(S121)。

【0023】

図8は、分散補償量算出のためのサブルーチンのフローチャートである。

図8(a)は、ファイバ分散量を求めるためのフローチャートである。

プロセッサ(22-1)は、分散データテーブル(20-1)より、伝送ファイバ $i(i=1, 2, \dots)$ に対応する分散スロープ値を取得し(S1051)、分散量 $D_i(\lambda_j)$ を算出する。この手順は、所望波長(nm)を λ_j 、代表波長(nm)を λ_x 、所望波長でのファイバ分散量(ps/nm)を $D_i(\lambda_j)$ 、代表波長でのファイバ分散量(ps/nm)を $D_i(\lambda_x)$ 、分散スロープ値($ps/nm/nm/km$)を Δ 、ファイバ長(km)を L_i とそれぞれした時に、次式にて与えられる(S1053)。

$$D_i(\lambda_j) = \{ \Delta \times (\lambda_j - \lambda_x) + D_i(\lambda_x) / L_i \} \times L_i$$

上述の説明では、伝送ファイバを識別する情報として、伝送ファイバの代表波長(λ_x)における分散代表値 $D_i(\lambda_x)$ 、ファイバ長 L_i を用いたが、伝送ファイバの代表波長(λ_x)における分散代表値 $D_i(\lambda_x)$ の代わりに、伝送ファイバのゼロ分散波長(λ_{0i})を用いても、所望波長でのファイバ分散量 $D_i(\lambda_j)$ は算出可能である。この場合には、所望波長(nm)を λ_j 、伝送ファイバのゼロ分散波長(nm)を λ_{0i} 、所望波長でのファイバ分散量(ps/nm)を $D_i(\lambda_j)$ 、分散スロープ値($ps/nm/nm/km$)を Δ 、ファイバ長(km)を L_i とそれぞれした時に、次式にて与えられる。

$$D_i(\lambda_j) = \{ \Delta \times (\lambda_j - \lambda_{0i}) \} \times L_i$$

つぎに、図8(b)は、DCF分散量を求めるためのフローチャートである。

プロセッサ(23-1)は、分散データテーブル(21-1)より、DCF $i(i=1, 2, \dots)$ に対応する各信号波長毎の規格化分散量の値を取得する(S1131)。また、DCFの品種が複数ある場合には、分散データテーブル(21-1)は品種番号をインデックスに追加して、分散データテーブル(21-1)を検索し、該当する規格化分

10

20

30

40

50

散量の値をプロセッサ (23-1) が取得する。この手順は、所望波長 (nm) を λ_j 、代表波長 (nm) を λ_x 、所望波長での分散量 (ps/nm) を $d_i(\lambda_j)$ 、代表波長での分散量 (ps/nm) を $d_i(\lambda_x)$ 、所望波長での規格化分散量 (ps/nm) を $d_s(\lambda_j)$ 、代表波長での規格化分散量 (ps/nm) を $d_s(\lambda_x)$ とした時に、次式にて与えられる (S1133)。

$$d_i(\lambda_j) = d_i(\lambda_x) / d_s(\lambda_x) \times d_s(\lambda_j)$$

【0024】

以上のように、波長 λ_j について説明したフローを全波長 (λ_1 、 λ_2 、...) にて繰り返すことによって、全ての可変分散補償器が適切な分散量に設定される。

【0025】

10

(5) モデル例

図9に、WDM伝送システムモデル例を示す。

以下に図示のモデルを用いて、実際に分散補償量を算出した。

図示の計算モデルでは、送信波長 1570.42 nm から 1609.19 nm で 100 GHz 間隔で WDM 信号を配置し、代表波長は帯域の中心である 1550 nm とした。4 スパン伝送での各ファイバの分散代表値 (D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4)、ファイバ長 (L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4) は図9中に示す通りである。複数の WDM 中継器 (2) 及び WDM 受信器 (3) には DCF (13) を設置してある。DCF の品種は 1 品種のみであり、DCF の長さを調整することにより、分散代表値をそれぞれ、250、150、100、及び 50 ps/nm に設定してある。制御回路中の分散データテーブルには、図6に記載の

20

図10に、WDM伝送システムモデルにおける分散補償量の算出例を示す。

前述の手順によって、図10(a)に示す伝送ファイバの波長毎の分散量、図10(b)に示す DCF の波長毎の分散量を導出し、最後に図10(c)に示す波長毎の可変分散補償器の設定値を導出している。この設定値は 100% 補償の場合の値である。分散設定値は約 -40 ps/nm から約 +40 ps/nm の間で波長に応じて変化し、DCF による分散スロープ値の補償誤差を、この制御によって補償可能となっていることがわかる。

以上説明してきたように、伝送路及び DCF の代表波長における分散特性及び伝送路のファイバ長を入力として、あらかじめ制御回路中に記録された分散波長依存特性と併用して分散補償量を算出し、可変分散補償器を制御することにより、固定分散補償器でも補償しきれない残留分散の波長依存性を、安価な構成で、かつ高速に制御することが可能となる。

30

【0026】

2. 第2の実施の形態

(1) WDM伝送システム

図11に、WDM伝送システムの第2の実施の形態の構成図を示す。

以下に、本発明の第2の実施の形態を説明する。

提案する WDM 伝送システムは、WDM 送信器 (1) と、WDM 中継器 (2) と、WDM 受信器 (3) と、制御回路 (5-2) と、夫々ファイバ (4-1、2、...n) とを備える。WDM 送信器 (1)、WDM 中継器 (2)、WDM 受信器 (3) の構成は第1の実施の形態と同様である。制御回路 (5-2) は、伝送路の分散量を算出するプロセッサ (22-2) 及び固定分散補償器の分散量を算出するプロセッサ (23-2) が搭載される。夫々のプロセッサ (22-2) 及び (23-2) には記録領域が接続されており、夫々の記録領域にて、伝送路の分散データテーブル (20-2) 及び固定分散補償器の分散データテーブル (21-2) が管理されている。

40

第2の実施の形態では、伝送路の識別情報 (18-2) として、伝送路 (4-1、2、...) の ID 情報 (ID1、ID2、...) を使用し、また、固定分散補償器の識別情報 (19-2) として、固定分散補償器の ID 情報 (id1、id2、...) を使用する。

プロセッサ (22-2) では、伝送路 (4-1、2、...) の ID 情報 (ID1、I

50

D 2、・・・)を入力として、伝送路の分散データテーブル(20-2)(例えば、分散波長依存特性)を併用することにより、WDM信号の各波長毎に伝送路(4-1、2、・・・)の分散量を算出する。同様に、プロセッサ(23-2)では、固定分散補償器(13-1、2、・・・)のID情報(id1、id2、・・・)を入力として、固定分散補償器の分散データテーブル(21-2)(例えば、分散波長依存特性)を併用することにより、WDM信号の各波長毎に固定分散補償器(13-1、2、・・・)の分散量を算出する。

分散補償量設定回路(24-2)では、実施の形態1と同様に、プロセッサ(22-2)及びプロセッサ(23-2)において得られた分散量を基に、可変分散補償器(16)の分散設定量をWDM信号の各波長毎に算出する。さらに、実際に可変分散補償器(16)の分散量が算出された分散設定量となるように、図2に示すような分散制御信号(制御電圧)を各波長毎に、可変分散補償器(16)に向けて送出する制御を行う。なお、累積分散量の算出方法は後述する。

【0027】

(2) 分散データテーブル

図12に、実施の形態2における、伝送路の分散データテーブル(20-2)及び固定分散補償器の分散データテーブル(21-2)の説明図の一例を示す。

図12(a)に示すように、伝送路の分散テーブル(20-2)には、伝送ファイバのID情報(ID1、ID2、・・・)をインデックスとして、各信号波長毎(λ_1 、 λ_2 、・・・)の分散量が記録されている。本テーブルには、さらに、参考データとして、ゼロ分散波長とファイバ長を記憶してもよいが、本テーブル中に分散量そのものが記憶されているこの例の場合、これらの項目は必須でなくてもよい。

また、図12(b)に示すように、固定分散補償器の分散データテーブル(21-2)には、固定分散補償器のID情報(id1、id2、・・・)をインデックスとして、各信号波長毎(λ_1 、 λ_2 、・・・)の分散量が記録されている。本テーブルでは、一例として、1570.42nmから1609.19nmの間でのITUグリッド波長での値について分散量を記録しているが、1570nm、1571nm、・・・といったようにWDM信号波長とは異なるグリッドを用いてもよく、線形補間により、分散量を容易に推定可能である。例えば、1570nmでの分散量 -60 ps/nm 、1571nmでの分散量 -61 ps/nm がテーブルに登録されている場合、波長 λ_1 (1570.42nm)での分散量は、線形補間により、 -60.42 ps/nm と換算可能である。

【0028】

(3) 分散補償量の算出処理

図13に、第2の実施の形態における分散補償量(分散設定量)算出の手順のフローチャートを示す。

まず、制御回路(5-2)のプロセッサ(22-2)は、伝送ファイバ i ($i=1, 2, \dots$)を識別する情報として、初期値(例えば、 $i=1$)を設定する(S201)。さらに、プロセッサ(22-2)は、伝送ファイバ i のID情報ID i を取得する(S203)。これら情報の取得方法としては、実際のID情報を制御回路(5-2)に手入力したり、メモリや通信経路を用いて間接的に入力することによって得られる。また、WDM伝送システム管理系において、ファイバの接続状況を管理するマップを設け、そこからID情報を制御回路(5-2)に転送してもよい。また、WDM中継器(2)側で接続されているファイバのID情報を管理し、WDM中継器(2)から管理系通信路や通信網等を経て制御回路(5-2)に転送してもよい。

つぎに、ステップS203でプロセッサ(22-2)が取得した伝送ファイバ i のID情報ID i をインデックスとして、分散データテーブル(20-2)を検索し、各信号波長 λ_j (λ_1 、 λ_2 、・・・)毎の伝送ファイバ i の分散量 $D_i(\lambda_j)$ ($j=1, 2, \dots$)を取得する(S205)。

【0029】

さらに、プロセッサ(22-2)は、全ての伝送ファイバ i ($i=1, 2, \dots$)

10

20

30

40

50

(4-1、2、...)に対応する分散量の情報の取得が終了したか否かを判断し(S207)、終了していない場合はiの値を加算(例えば、 $i = i + 1$)し(S208)、全ての伝送ファイバの各波長毎の分散量 $D_i(\lambda_j)$ ($(i = 1, 2, \dots)$ 、($j = 1, 2, \dots$))をステップS203、S205により取得する。

つぎに、制御回路(5-2)のプロセッサ(23-2)は、 DCF_i ($i = 1, 2, \dots$)を識別する情報として、初期値(例えば、 $i = 1$)を設定する(S209)。さらに、プロセッサ(23-2)は、 DCF_i のID情報 id_i を取得する(S211)。これら情報の取得方法としては、インストールしたDCFの実際の分散代表値を、制御回路(5-2)に手入力したり、メモリや通信回路を用いて間接的に入力することによって得られる。また、DCFモジュール自身に分散代表値を記憶させ、DCFモジュールを装置架にアドオンした際に、管理系を通じて自動的に制御回路(5-2)に通知してもよい。また伝送ファイバと同様に、WDM伝送システム管理系において、DCFの配置状況を管理するマップを儲け、そこからID情報を制御回路(5-2)に転送してもよい。

つぎに、ステップS211でプロセッサ(23-2)が取得した DCF_i のID情報 id_i をインデックスとして、分散データテーブル(20-2)を検索し、各信号波長 λ ($\lambda_1, \lambda_2, \dots$)毎の DCF_i の分散量 $d_i(\lambda_j)$ ($j = 1, 2, \dots$)を取得する(S213)。

【0030】

さらに、プロセッサ(23-2)は、全ての DCF_i ($i = 1, 2, \dots$)(13-1、2、...)に対応する分散量の情報の取得が終了したか否かを判断し(S215)、終了していない場合はiの値を加算(例えば、 $i = i + 1$)し(S216)、全てのDCFの各波長毎の分散量 $D_i(\lambda_j)$ ($(i = 1, 2, \dots)$ 、($j = 1, 2, \dots$))をステップS203、S205により取得する。

続いて、実施の形態1と同様に、分散補償設置回路(24-2)は、ファイバ分散量 $D_1(\lambda_j)$ 、 $D_2(\lambda_j)$ 、 $D_3(\lambda_j)$...を全ファイバで波長 λ_j 毎に加算して、伝送ファイバの波長 λ_j 毎の累積分散量 $D_t(\lambda_j)$ を算出する。同様に、分散補償設置回路(24-2)は、DCF分散量 $d_1(\lambda_j)$ 、 $d_2(\lambda_j)$ 、 $d_3(\lambda_j)$...を全DCFで波長 λ_j 毎に加算して、DCFの波長 λ_j 毎の累積分散量 $d_t(\lambda_j)$ を算出する(S217)。100%補償する場合には $-D_t(\lambda_j) - d_t(\lambda_j)$ により可変分散補償器(16)の分散設定量 $D_s(\lambda_j)$ を算出する(S219)。場合に応じて、伝送特性を向上させるために、これに補正值を加えて、過小補償あるいは過大補償を施してもよい。

つぎに、分散補償設定回路(24-2)は、算出された分散設定量 $D_s(\lambda_j)$ に対応した分散制御信号 V_j を可変分散補償器(16)に送信し、可変分散補償器(16)の分散量が $D_s(\lambda_j)$ になるように制御する(S221)。

以上のように波長 λ_j について説明したフローを全波長($\lambda = 1, 2, \dots$)にて繰り返すことによって、全ての可変分散補償器が適切な分散量に設定される。

以上説明してきたように、伝送路及びDCFのID情報をインデックスとして、あらかじめ制御回路中に記録された分散波長依存特性を検索・抽出し、分散補償量(分散設定量)を算出し、可変分散補償器を制御することにより、固定分散補償器でも補償しきれない残留分散の波長依存性を、安価な構成で、かつ高速に制御することが可能となる。

【0031】

3. 第3の実施の形態

(1) WDM伝送システム

図14に、WDM伝送システムの第3の実施の形態の構成図を示す。

以下に、本発明の第3の実施の形態を説明する。

WDM伝送システムは、WDM送信器(1)及びWDM送信器(51-3)と、WDM中継器(2)及びWDM中継器(52)と、光クロスコネクタ装置(31)と、WDM受信器(3)と、制御回路(5-3)と、スイッチ制御装置(27)と夫々ファイバ(4-1、2、...)及び(4-51)を備える。WDM送信器(1)、WDM中継器(2)

、WDM受信器（３）の構成は、第１及び第２の実施の形態と同様である。WDM送信器（５１－３）は、光送信器（１１）、合波器（１２）、固定分散補償器（１３－５１）、光増幅器（１４）を備える。制御回路（５－３）は、伝送路の分散量を算出するプロセッサ（２２－３）及び固定分散補償器の分散量を算出するプロセッサ（２３－３）が搭載される。夫々のプロセッサ（２２－３）及び（２３－３）には記録領域が接続されており、夫々の記録領域にて、伝送路の分散データテーブル（２０－３）及び固定分散補償器の分散データテーブル（２１－３）が管理されている。

光クロスコネクタ装置（３１）は、分波器（３２）と、合波器（３３）及び光スイッチ（３４）を備える。光クロスコネクタ装置（３１）は、WDM送信器（１）、光ファイバ（４－１）、WDM中継器（２）を経てきたWDM信号と、WDM送信器（５１－３）、光ファイバ（４－５１）、WDM中継器（５２）を経たWDM信号を内部で、波長単位でクロスコネクタする。詳細には、例えば、２つのWDM信号は、分波器（３２）にて各波長毎（この例では、 $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 、 $\lambda 3$ ）に各々分波され、光スイッチ（３４）に達する。光スイッチ（３４）は、WDM送信器（１）、光ファイバ（４－１）、WDM中継器（２）を経た信号 $\lambda 1$ 又は、WDM送信器（５１－３）、光ファイバ（４－５１）、WDM中継器（５２）を経た信号 $\lambda 1$ を選択する。光スイッチ（３４）にて選択された信号 $\lambda 1$ は、再び合波器（３３）でWDM信号となり、ファイバ（４－２）に送出される。光クロスコネクタ装置（３１）の内部構成としては様々な形態が考えられ、図１４に示される構成はその一例にすぎない。図１４に示される光クロスコネクタ装置の構成は、本実施の形態の構成を制限するものではなく、本実施の形態は、光クロスコネクタ装置の構成に依存せず適応可能である。また、光クロスコネクタ装置（３１）は、スイッチ制御装置（２７）によって制御されている。

スイッチ制御装置（２７）は、スイッチ制御回路（２６）、経路管理装置（３６）、経路情報テーブル（２８－３）を備える。経路管理装置（３６）は、SW制御回路（２６）を経由して光スイッチ（３４）の状態を制御する。また、経路管理装置（３６）は、光スイッチ（３４）切替前後の経路情報をテーブル（２８－３）として管理する。

第３の実施の形態では、伝送路の識別情報（１８－３）として、光スイッチ（３４）切替後には、新伝送ルートに対応した伝送路新規ID情報（この例では、ID 51、ID 2、ID 3、ID 4、・・・）を使用し、また、固定分散補償器の識別情報（１９－３）として、光スイッチ（３４）切替後には、新伝送ルートに対応した固定分散補償器の新規ID情報（この例では、id 51、id 52、id 3、id 4、・・・）を使用する。

【００３２】

図１５に、経路情報テーブルの説明図の一例を示す。

経路情報テーブル（２８－３）は、例えば、図示のようなテーブルである。光スイッチ（３４）切替前の経路情報テーブル（２８－３）には、伝送ファイバとして、ID 1、ID 2、・・・、ID nが、また、DCFとして、id 1、id 2、id 3、・・・、id n+1が経路上にあることが記憶されている。一方、光スイッチ（３４）切替後の経路情報テーブル（２８－３）には、伝送ファイバとして、ID 51、ID 2、・・・、ID nが、DCFとして、id 51、id 52、id 3、・・・、id n+1が経路上にあることが記憶されている。

経路管理装置（３６）は、この経路情報テーブル（２８－３）の経路情報より、光スイッチ（３４）切替後の新伝送ルートに対応した伝送路新規ID情報（１８－３）と、新伝送ルートに対応した固定分散補償器の新規ID情報（１９－３）と、光スイッチ（３４）で切替が行われる信号の波長情報（２５）を取得する。これらの情報は、可変分散補償器の制御回路（５－３）に転送され、可変分散補償器（１６）の適切な分散設定量を算出するために用いられる。

【００３３】

（２）ルート切替の制御処理

図１６に、第３の実施の形態における制御の手順のフローチャートを示す。

前提として、ルート切替前（図の例では、光スイッチ（３４）の入力は上側に接続）で

10

20

30

40

50

あり、第2の実施の形態に従い、制御回路(5-3)の分散補償設定回路(24-3)は、可変分散補償器(16)の分散設定量を制御している状態であるものとする。この状態で、スイッチ制御装置(27)が所定時間又は所定指示等によりルートを切替える際、まず、経路管理装置(36)は、伝送路・伝送装置の経路情報テーブル(28-3)を検索して、ルート切替後の新規伝送ルートにおける伝送ファイバの新規ID情報(18-3)を取得する(S301)。同様に、経路管理装置(36)は、ルート切替後の新規伝送ルートにおける固定分散補償器の新規ID情報(19-3)を取得する(S303)。さらに、経路管理装置(36)は、ルート切替の対象となる信号波長情報(25)(この例では、信号波長情報は $\lambda 1$)を取得する(S305)。経路管理装置(36)は、これらの、伝送ファイバの新規ID情報(18-3)、固定分散補償器の新規ID情報(19-3)及び信号波長情報(25)を可変分散補償器の制御回路(5-3)に転送する。 10

可変分散補償器の制御回路(5-3)は、与えられた信号波長情報が定める波長について、第2の実施の形態で説明したフローチャート(図13)に従い、伝送路の累積分散及び伝送装置の累積分散を算出し、新規分散設定量を算出する(S307)。この例では、それぞれ、 $D_t(\lambda 1)$ 、 $d_t(\lambda 1)$ 、 $D_s(\lambda 1)$ を算出する。

【0034】

可変分散補償器の制御回路(5-3)とスイッチ制御装置(27)は、協調制御を行い、制御回路(5-3)の分散補償設定回路(24-3)が可変分散補償器(16)に新規分散設定量 $D_s(\lambda 1)$ を設定すると同時に、あるいはその後(直後を含む)に、スイッチ制御装置(27)の経路管理装置(36)は、SW制御回路(26)により光スイッチ(34)の切替を行う(S309)。 20

以上説明してきたように、伝送路及びDCFのID情報をインデックスとして、あらかじめ制御回路中に記録された分散波長依存特性を検索・抽出し、分散補償量(分散設定量)を算出し、光クロスコネクタ装置と可変分散補償器を協調制御することにより、固定分散補償器でも補償しきれない残留分散の波長依存性を、安価な構成で、かつ高速に制御することが可能となる。また、光クロスコネクタ装置でのルート切替時間中における、分散補償量(分散設定量)の制御時間を高速化することが可能となり、つまり、光クロスコネクタ装置でのルート切替に伴う通信断時間を短縮化することが可能となる。

【0035】

4. 第4の実施の形態 30

(1) WDM伝送システム

図17に、WDM伝送システムの第4の実施の形態の構成図を示す。以下に、本発明の第4の実施の形態を説明する。

WDMシステムは、WDM送信器(1)及びWDM送信器(51-4)と、WDM中継器(2)と、光アドドロップ装置(35)と、WDM受信器(3)と、制御回路(5-3)と、スイッチ制御装置(27)と夫々ファイバ(4-1、2、...)を備える。WDM送信器(1)、WDM中継器(2)、WDM受信器(3)の構成は、第1、第2及び第3の実施の形態と同様である。WDM送信器(51-4)は、光送信器(11)、固定分散補償器(13-51)を備える。

【0036】 40

制御回路(5-3)は、第3の実施の形態と同様である。

光アドドロップ装置(35)は、分波器(32)と、合波器(33)及び光スイッチ(34)を備える。光アドドロップ装置(35)は、WDM送信器(1)、光ファイバ(4-1)、WDM中継器(2)を経てきたWDM信号中に、WDM送信器(51-4)からの信号を、内部でアドする。光アドドロップ装置(35)の内部構成としては様々な形態が考えられ、図17に示される構成はその一例にすぎない。図17に示される光アドドロップ装置の構成は、本実施の形態の構成を制限するものではなく、本実施の形態は、光アドドロップ装置の構成に依存せず適応可能である。また、光アドドロップ装置(35)は、スイッチ制御装置(27)によって制御されている。

スイッチ制御装置(27)は、スイッチ制御回路(26)、経路管理装置(36)、経 50

路情報テーブル（２８－４）を備える。スイッチ制御装置（２７）の構成は、第３の実施の形態と同様であるが、経路情報テーブル（２８－４）に記憶されているデータが異なる。経路管理装置（３６）は、ＳＷ制御回路（２６）を経由して光スイッチ（３４）の状態を制御する。また、経路管理装置（３６）は、光スイッチ（３４）切替前後の経路情報をテーブル（２８－４）として管理する。経路管理装置（３６）は、この経路情報テーブル（２８）の経路情報より、光スイッチ（３４）切替後の新伝送ルートに対応した伝送路新規ＩＤ情報（１８－４）と、新伝送ルートに対応した固定分散補償器の新規ＩＤ情報（１９－４）と、光スイッチ（３４）で切替が行われる信号の波長情報（２５）を取得する。

第４の実施の形態では、第３の実施の形態と同様に、伝送路の識別情報（１８－４）として、光スイッチ（３４）切替後には、新伝送ルートに対応した伝送路新規ＩＤ情報（この例では、ＩＤ２、ＩＤ３、ＩＤ４、・・・）を使用し、また、固定分散補償器の識別情報（１９－４）として、光スイッチ（３４）切替後には、新伝送ルートに対応した固定分散補償器の新規ＩＤ情報（この例では、ｉｄ５１、ｉｄ３、ｉｄ４、・・・）を使用する。

10

【００３７】

（２）ルート切替の制御処理

実施の形態４の構成においても、実施の形態３の構成及び実施の形態３のフローチャートと同様にして、可変分散補償器（１６）が制御される。

前提として、第２の実施の形態に従い、制御回路（５－３）の分散補償設定回路（２４－３）は、可変分散補償器（１６）の分散設定量を制御している状態であるものとする。この状態で、スイッチ制御装置（２７）が所定時間又は所定指示等によりルートを切替える際、まず、経路管理装置（３６）は、伝送路・伝送装置の経路情報テーブル（２８）を検索して、ルート切替後の新規伝送ルートにおける伝送ファイバの新規ＩＤ情報（１８－４）を取得する。同様に、経路管理装置（３６）は、ルート切替後の新規伝送ルートにおける固定分散補償器の新規ＩＤ情報（１９－４）を取得する。さらに、経路管理装置（３６）は、ルート切替の対象となる、信号波長情報（２５）（この例では、信号波長情報λ１）を取得する。経路管理装置（３６）は、これらの、伝送ファイバの新規ＩＤ情報（１８－４）、固定分散補償器の新規ＩＤ情報（１９－４）及び信号波長情報（２５）を可変分散補償器（１６）の制御回路（５－３）に転送する。

20

可変分散補償器の制御回路（５－３）は、与えられた信号波長情報が定める波長について、第２の実施の形態で説明したフローチャート（図１３）に従い、伝送路の累積分散及び伝送装置の累積分散を算出し、新規分散設定量を算出する。この例では、それぞれ、 $D_t(\lambda_1)$ 、 $d_t(\lambda_1)$ 、 $D_s(\lambda_1)$ を算出する。

30

【００３８】

可変分散補償器の制御回路（５－３）とスイッチ制御装置（２７）は、協調制御を行い、制御回路（５－３）の分散補償設定回路（２４－３）が可変分散補償器（１６）に新規分散設定量 $D_s(\lambda_1)$ を設定すると同時に、あるいはその後（直後を含む）に、スイッチ制御装置（２７）の経路管理装置（３６）は、光スイッチ（３４）の切替を行う。

以上説明してきたように、伝送路及びＤＣＦのＩＤ情報をインデックスとして、あらかじめ制御回路中に記録された分散波長依存特性を検索・抽出し、分散補償量（分散設定量）を算出し、光アドドロップ装置と可変分散補償器を協調制御することにより、固定分散補償器でも補償しきれない残留分散の波長依存性を、安価な構成で、かつ高速に制御することが可能となる。また、光アドドロップ装置でのルート切替時間中における、分散補償量（分散設定量）の制御時間を高速化することが可能となり、つまり、光アドドロップ装置でのルート切替に伴う通信断時間を短縮化することが可能となる。

40

【００３９】

５．各実施の形態の変形例

第３及び第４の実施の形態について、信号波長情報（２５）として、複数の波長を含むことができる。この場合、光スイッチ（３４）は、これら複数の波長についてルート切替を行う。この場合、経路情報テーブル（２８－３）又は（２８－４）は、各波長λ１、λ

50

2、・・・に対する切替前後の経路情報（ID情報）をそれぞれ記憶する。経路管理装置（36）は、これらの経路情報（ID情報）を制御回路（5-3）に転送する。制御回路（5-3）は、ステップS307において、複数の波長 λ_1 、 λ_2 、・・・について、伝送路の累積分散 $D_t(\lambda_1)$ 、 $D_t(\lambda_2)$ 、・・・及び伝送装置の累積分散 $d_t(\lambda_1)$ 、 $d_t(\lambda_2)$ 、・・・を算出し、新規分散設定量 $D_s(\lambda_1)$ 、 $D_s(\lambda_2)$ 、・・・を算出し、これら複数の波長について可変分散補償器（16）を制御する。

また、複数の波長としては、全ての波長を含むようにしてもよい。

光スイッチ（34）又は光アドドロップ装置（35）が、全ての波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 ・・・を切替える構成である場合、信号波長情報（25）を用いなくてもよい。その場合は、ステップS305を省略し、ステップS307において、伝送路のID情報と固定分散補償器のID情報に従って、第2の実施の形態で説明したフローチャート（図13）に従い、伝送路の累積分散及び伝送装置の累積分散を算出する。 10

さらに、上述の実施の形態では、送信側から受信側への伝送路に設けられた全ての光ファイバ及びDCFを対象として補償量の累積を計算したが、全てに限らず、予め定めた所定の若しくは所定間の光ファイバ及びDCFのみを対象として補償量の累積を計算してもよい。その場合、例えば、制御回路（5-1）～（5-3）又はスイッチ制御装置（27）に、予め所定の若しくは所定間を定めるデータを入力又は記憶し、制御回路（5-1）～（5-3）が累積計算するとき、そのデータを用いればよい。

【0040】

また、本実施の形態における高速制御という利点を生かして、図18に示すような従来の帰還型適応制御と、本実施の形態における制御を併用することも有効である。つまり、本実施の形態における手順によって得られた分散補償の設定量を、可変分散補償器の制御初期値とし、以降は帰還型適応制御を行うことにより従来の帰還型適応制御において立上げ時間がかかるという課題が解決される。この場合、例えば、可変分散補償器（16）からの光出力信号結果を用いて、あるいはその光出力信号を光電変換した電気出力信号結果を用いて、可変分散補償器（16）を適応制御する帰還型制御回路を別途備え、制御回路（5-1）～（5-3）が設定する分散量を可変分散補償器（16）の初期値として、帰還型制御回路を運用するようにしてもよい。 20

また、本実施の形態は、光デュオバイナリや、3値以上の多値位相変調等の分散耐力の広い変調方式と組み合わせることが有効である。つまり、本実施の形態によって、静的な100%分散補償が簡易に実現される為、ファイバの温度変動にともなう分散変動や波長ゆらぎ等にとともなう動的な分散変動を、変調方式側の分散耐力によって吸収することにより、受信側での適応制御を不要とする、安価なシステムを構築することが可能となる。 30

【産業上の利用可能性】

【0041】

本発明は、様々な形態や網の波長分割多重（WDM）を用いた伝送システムに利用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0042】

【図1】 WDM伝送システムの第1の実施の形態の構成図。 40

【図2】 分散補償器に送出される分散制御信号を説明する図。

【図3】 伝送路の分散算出方法を説明する図。

【図4】 固定分散補償器の分散算出方法を説明する図。

【図5】 可変分散補償器の分散補償量の算出方法を説明する図。

【図6】 伝送路及び固定分散補償器の分散データテーブルの説明図の一例。

【図7】 分散補償量算出手順のフローチャート。

【図8】 分散補償量算出のためのサブルーチンのフローチャート。

【図9】 WDM伝送システムモデル例。

【図10】 WDM伝送システムモデルにおける分散補償量の算出例。

【図11】 WDM伝送システムの第2の実施の形態の構成図。 50

【図 1 2】第 2 の実施の形態における伝送路及び固定分散補償器の分散データテーブルの説明図。

【図 1 3】第 2 の実施の形態における分散補償量算出手順のフローチャート。

【図 1 4】WDM 伝送システムの第 3 の実施の形態の構成図。

【図 1 5】実施の形態 3 の経路情報テーブルの説明図。

【図 1 6】第 3 の実施の形態における制御手順のフローチャート。

【図 1 7】WDM 伝送システムの第 4 の実施の形態の構成図。

【図 1 8】従来における可変分散補償器の制御構成図。

【符号の説明】

【0 0 4 3】

10

1：WDM 送信器

2：WDM 中継器

3：WDM 受信器

4：光ファイバ

5－1～3：可変分散補償器の制御回路

1 1：光送信器

1 2：合波器

1 3：固定分散補償器

1 4：光増幅器

1 5：分波器

20

1 6：可変分散補償器

1 7：受信器

1 8－1～4：伝送路の識別情報

1 9－1～4：固定分散補償器の識別情報

2 0－1～3：伝送路の分散データテーブル

2 1－1～3：固定分散補償器の分散データテーブル

2 2－1～3：伝送路の分散計算プロセッサ

2 3－1～3：伝送装置の分散計算プロセッサ

2 4－1～3：分散補償量設定回路

2 5：波長情報

30

2 6：SW 制御回路

2 7：スイッチ制御装置

2 8－3～4：経路情報テーブル

3 1：光クロスコネクタ装置

3 2：分波器

3 3：合波器

3 4：光スイッチ

3 5：光アドドロップ装置

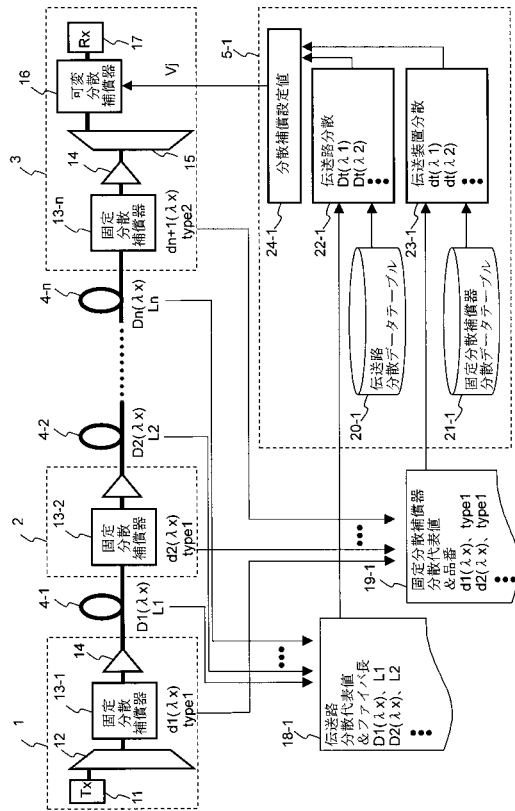
3 6：経路管理装置

5 1－3～4：WDM 送信器

40

5 2：WDM 中継器

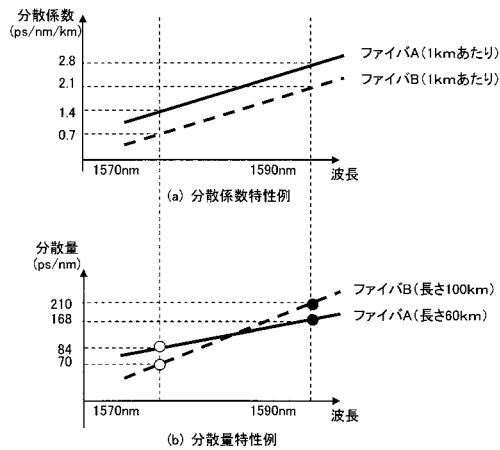
【図 1】



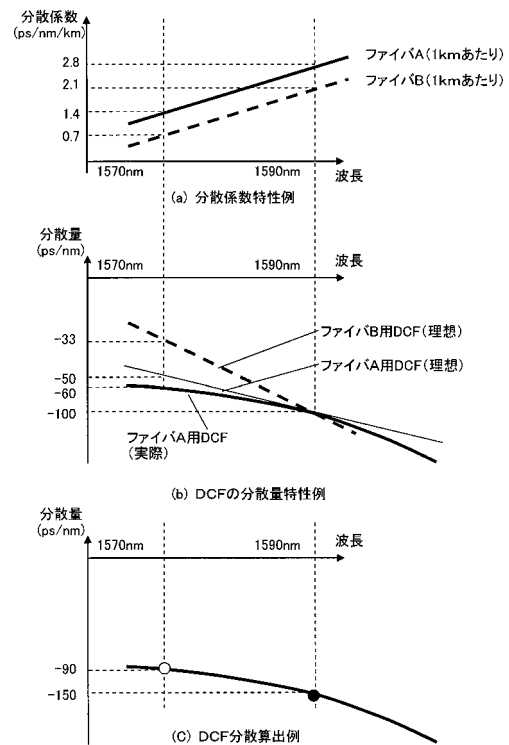
【図 2】

波長 #	分散補償信号	V1	V2	V3	Vn	2.N	VN
1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24	24	24
25	25	25	25	25	25	25	25
26	26	26	26	26	26	26	26
27	27	27	27	27	27	27	27
28	28	28	28	28	28	28	28
29	29	29	29	29	29	29	29
30	30	30	30	30	30	30	30
31	31	31	31	31	31	31	31
32	32	32	32	32	32	32	32
33	33	33	33	33	33	33	33
34	34	34	34	34	34	34	34
35	35	35	35	35	35	35	35
36	36	36	36	36	36	36	36
37	37	37	37	37	37	37	37
38	38	38	38	38	38	38	38
39	39	39	39	39	39	39	39
40	40	40	40	40	40	40	40
41	41	41	41	41	41	41	41
42	42	42	42	42	42	42	42
43	43	43	43	43	43	43	43
44	44	44	44	44	44	44	44
45	45	45	45	45	45	45	45
46	46	46	46	46	46	46	46
47	47	47	47	47	47	47	47
48	48	48	48	48	48	48	48
49	49	49	49	49	49	49	49
50	50	50	50	50	50	50	50
51	51	51	51	51	51	51	51
52	52	52	52	52	52	52	52
53	53	53	53	53	53	53	53
54	54	54	54	54	54	54	54
55	55	55	55	55	55	55	55
56	56	56	56	56	56	56	56
57	57	57	57	57	57	57	57
58	58	58	58	58	58	58	58
59	59	59	59	59	59	59	59
60	60	60	60	60	60	60	60
61	61	61	61	61	61	61	61
62	62	62	62	62	62	62	62
63	63	63	63	63	63	63	63
64	64	64	64	64	64	64	64
65	65	65	65	65	65	65	65
66	66	66	66	66	66	66	66
67	67	67	67	67	67	67	67
68	68	68	68	68	68	68	68
69	69	69	69	69	69	69	69
70	70	70	70	70	70	70	70
71	71	71	71	71	71	71	71
72	72	72	72	72	72	72	72
73	73	73	73	73	73	73	73
74	74	74	74	74	74	74	74
75	75	75	75	75	75	75	75
76	76	76	76	76	76	76	76
77	77	77	77	77	77	77	77
78	78	78	78	78	78	78	78
79	79	79	79	79	79	79	79
80	80	80	80	80	80	80	80
81	81	81	81	81	81	81	81
82	82	82	82	82	82	82	82
83	83	83	83	83	83	83	83
84	84	84	84	84	84	84	84
85	85	85	85	85	85	85	85
86	86	86	86	86	86	86	86
87	87	87	87	87	87	87	87
88	88	88	88	88	88	88	88
89	89	89	89	89	89	89	89
90	90	90	90	90	90	90	90
91	91	91	91	91	91	91	91
92	92	92	92	92	92	92	92
93	93	93	93	93	93	93	93
94	94	94	94	94	94	94	94
95	95	95	95	95	95	95	95
96	96	96	96	96	96	96	96
97	97	97	97	97	97	97	97
98	98	98	98	98	98	98	98
99	99	99	99	99	99	99	99
100	100	100	100	100	100	100	100

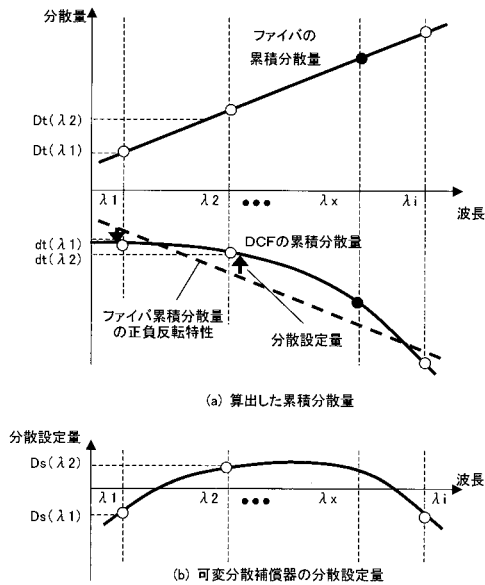
【図 3】



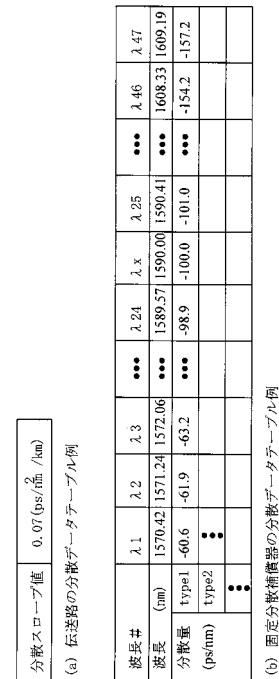
【図 4】



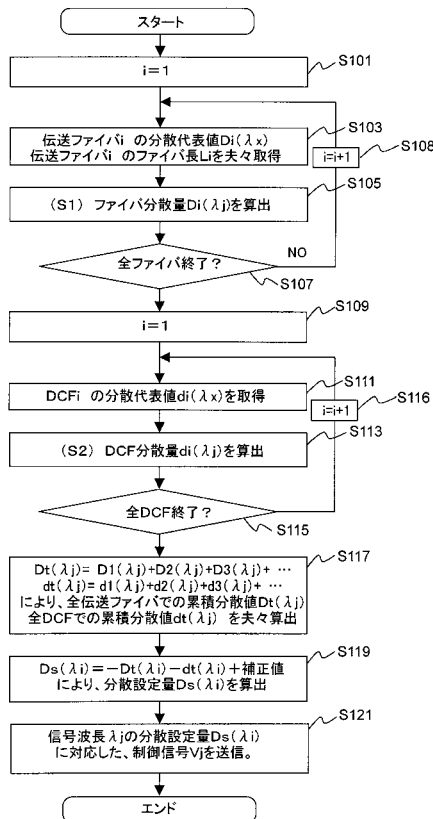
【図 5】



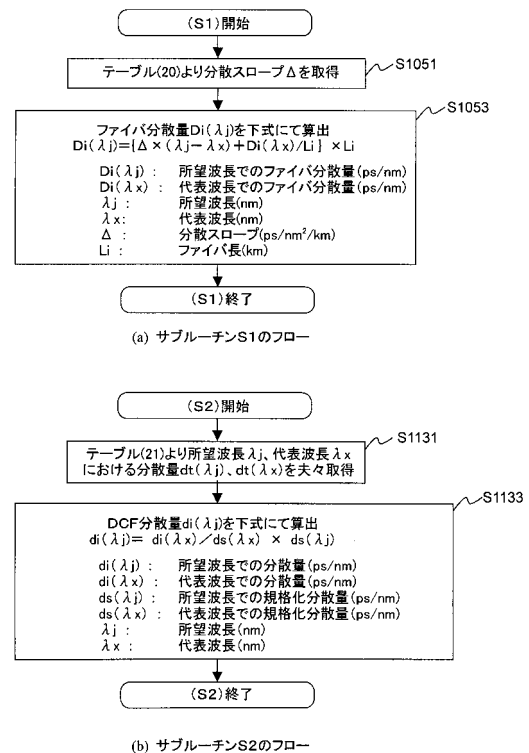
【図 6】



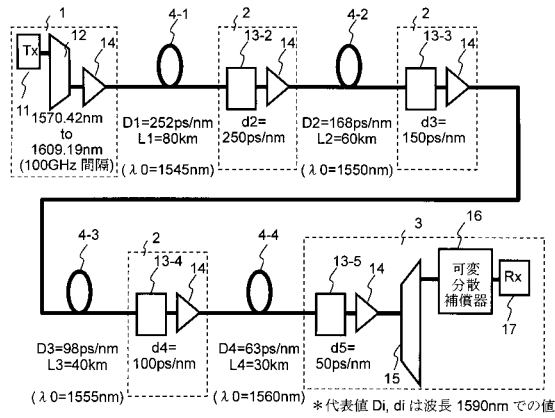
【図 7】



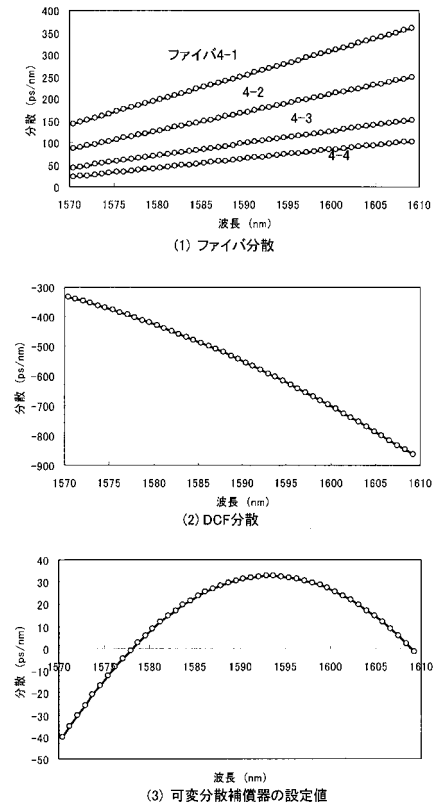
【図 8】



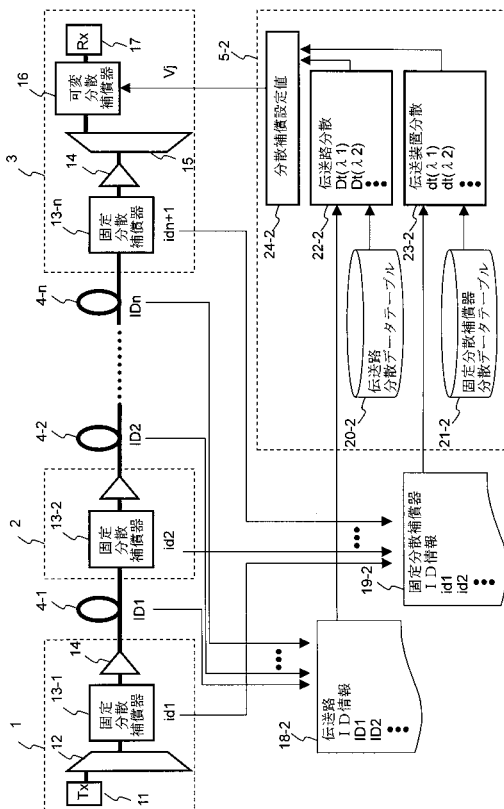
【図 9】



【図 10】



【図 11】



【図 12】

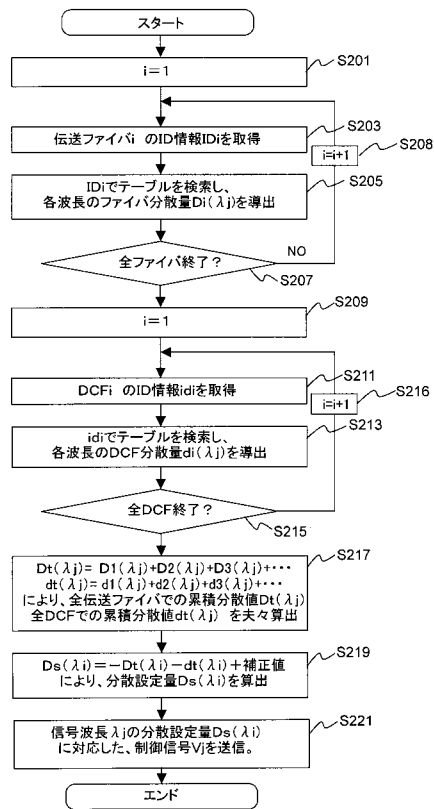
波長 #	λ 1	λ 2	λ 3	λ 24	λ 25	λ 46	λ 47
波長 (nm)	1570.42	1571.24	1572.06	1589.57	1590.41	1608.33	1609.19
分散値 ID1 (ps/nm)	142.4	146.9	151.5	249.6	254.3	354.6	359.5
分散値 ID2 (ps/nm)	85.8	89.2	92.7	166.2	169.7	245.0	248.6
分散値 ID3 (ps/nm)	43.2	45.5	47.8	96.8	99.1	149.3	151.7
分散値 ID4 (ps/nm)	21.9	23.6	25.3	62.1	63.9	101.5	103.3

(a) 伝送路の分散データテーブル例

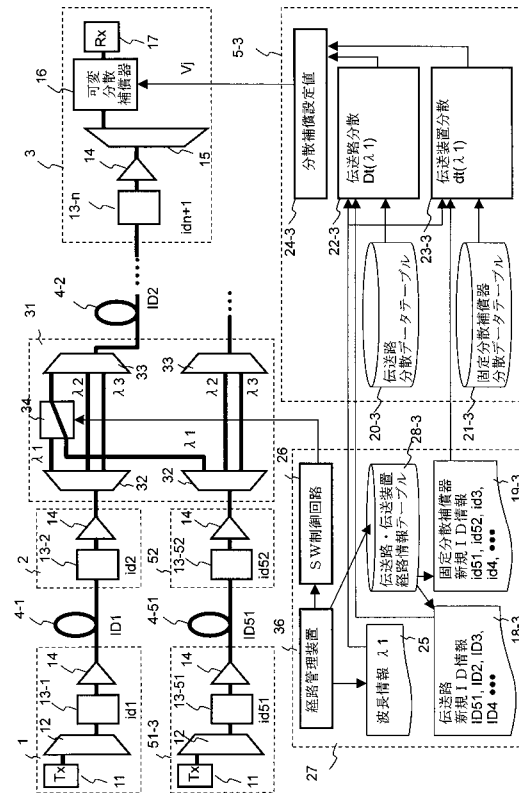
波長 #	λ 1	λ 2	λ 3	λ 24	λ 25	λ 46	λ 47
波長 (nm)	1570.42	1571.24	1572.06	1589.57	1590.41	1608.33	1609.19
分散値 id1 (ps/nm)	-151.6	-154.7	-158.0	-247.3	-252.6	-385.6	-393.0
分散値 id2 (ps/nm)	-91.0	-92.8	-94.8	-148.4	-151.5	-231.3	-235.8
分散値 id3 (ps/nm)	-60.6	-61.9	-63.2	-98.9	-101.0	-154.2	-157.2
分散値 id4 (ps/nm)	-30.3	-30.9	-31.6	-49.5	-50.5	-77.1	-78.6

(b) 固定分散補償器の分散データテーブル例

【図 13】



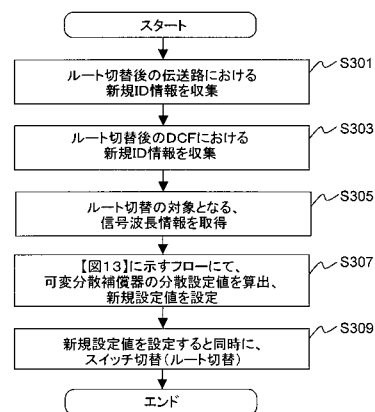
【図 14】



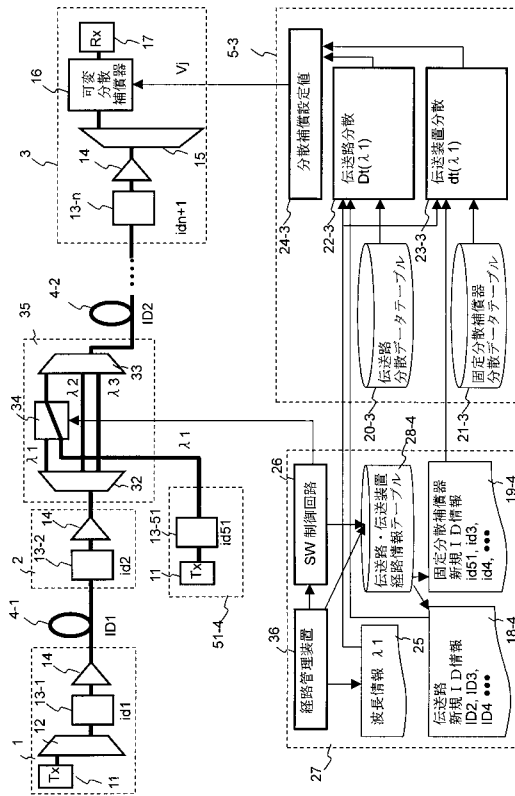
【図 15】

切替前	ID1	ID2	IDn	...	IDn	ID1	ID2	ID3	...	IDn+1
分散後	ID51	ID2	ID2	ID51	ID52	ID3	ID3	ID3	...	IDn+1

【図 16】



【図 17】



【図 18】

