

(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  
2010年8月12日(12.08.2010)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2010/090050 A1

- (51) 国際特許分類:  
H04B 10/02 (2006.01) H04B 10/142 (2006.01)  
H04B 10/04 (2006.01) H04B 10/152 (2006.01)  
H04B 10/06 (2006.01) H04B 10/18 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/050136
- (22) 国際出願日: 2010年1月8日(08.01.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2009-023703 2009年2月4日(04.02.2009) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 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; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 福知 清 (FUKUCHI, Kiyoshi) [JP/JP]; 〒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: 宮崎 昭夫, 外(MIYAZAKI, Teruo et al.); 〒1070052 東京都港区赤坂1丁目9番20号 第16興和ビル8階 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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

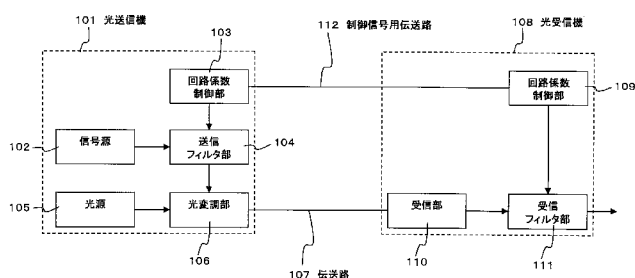
添付公開書類:

- 国際調査報告(条約第21条(3))

(54) Title: OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM AND OPTICAL COMMUNICATION METHOD

(54) 発明の名称: 光通信システム及び光通信方法

[図2]



- 101 OPTICAL TRANSMITTER
- 102 SIGNAL SOURCE
- 103 CIRCUIT COEFFICIENT CONTROL UNIT
- 104 TRANSMISSION FILTER UNIT
- 105 LIGHT SOURCE
- 106 OPTICAL MODULATION UNIT
- 107 TRANSMISSION PATH
- 112 TRANSMISSION PATH FOR CONTROL SIGNAL
- 110 RECEPTION UNIT
- 111 RECEPTION FILTER UNIT
- 109 CIRCUIT COEFFICIENT CONTROL UNIT
- 108 OPTICAL RECEIVER

(57) Abstract: An optical communication system in which an optical transmitter (101) which modulates electric signals to optical signals and transmits the same and an optical receiver which receives the optical signals are connected by a transmission path (107). Once the fluctuation in the dispersion amount from wavelength dispersion generated by the optical signal passing through the transmission path (107) is nearly eliminated, the optical transmitter (101) and the optical receiver (108) maintain, at a constant value, the total value of the transmission side dispersion compensation amount for compensating for the dispersion amount with the optical transmitter (101) and the reception side dispersion compensation amount for compensating for the dispersion amount with the optical receiver (108), while reducing the absolute value of the reception side dispersion compensation amount.

(57) 要約: 電気信号を光信号に変調して送信する光送信機101と、光信号を受信する光受信機108とが伝送路107によって接続された光通信システムであって、光送信機101及び光受信機108は、光信号が伝送路107を通ることによって発生する波長分散の分散量の変化がほぼ無くなると、光送信機101によって分散量を補償

するための送信側分散補償量と、光受信機108によって分散量を補償するための受信側分散補償量との合計値をほぼ一定に保ちながら、受信側分散補償量の絶対値を減少させる。

WO 2010/090050 A1

## 明 細 書

**発明の名称**： 光通信システム及び光通信方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、伝送路で生じる波長分散の分散量を補償する光通信システム及び光通信方法に関する。

### 背景技術

[0002] 光ファイバによる通信システムは、長距離かつ大容量の通信を実現するための重要な技術となっている。この長距離かつ大容量の通信は、送受信に用いられる変復調用のデバイス及び伝送路となる光ファイバの広帯域な特性によって実現されている。

[0003] この特性を生かして近年では、ビットレートが100Gbpsという高速のインターフェース容量を有する光通信システムを可能とする多数の技術が実現されている。

[0004] 100Gbpsという高速のビットレートの光信号を光ファイバの伝送路によって長距離の伝送を行うためには、光ファイバの持つ波長分散による波形歪が問題となる。波長分散とは、光の群遅延が波長によって異なるという性質であり、1.5ミクロン帯のシングルモードファイバでは16~17ps/nm/kmという値を有する。

[0005] この波長分散があることにより、光伝送パルスが広がってしまうため、光信号の長距離伝送が困難になる。例えば10GbpsのNRZ (Non Return to Zero) 信号の場合、50~80km程度の距離までしか光信号を伝送できない。伝送距離は、波長分散によってビットレートの2乗に反比例して短くなるため、より高速なビットレート、例えば100Gbpsの場合、波長分散がある場合の光信号の伝送距離は1km以下となる。

[0006] 高速のビットレートの光信号を長距離伝送するためには、この波長分散による光伝送パルスの広がり、より正確には波長分散によって生じる光信号の波形歪を補正する必要がある。波形歪を補正するために、現在の光通信システ

ムでは、分散補償ファイバ等の分散補償デバイスが用いられている。

- [0007] 分散補償デバイスには、伝送路で生じる波長分散の分散量と絶対値がほぼ等しく符号が逆の分散補償量を持たせる。この結果、分散補償デバイスの伝達関数は、伝送路の伝達関数の逆関数となる。なお、以降、波長分散の分散量のことを単に分散量という。
- [0008] 波長分散によって波形歪が生じるプロセスは線形なプロセスであるので、伝送路と分散補償デバイスとを直列に接続することにより、伝送路で生じた分散量が分散補償デバイスによって付与される分散補償量で補償される。その結果、分散補償デバイスの出力において光信号の波形が復元される。これにより、波長分散が生じる伝送路においても高速のビットレートの光信号の長距離伝送を実現している。
- [0009] 一方、今後広く展開される波長多重光ネットワークでは、柔軟な経路設定を実現するため、光スイッチなどによる経路の切り替えが行われる。このような波長多重光ネットワークでは、経路の切り替えに伴って分散量も変化する。
- [0010] 分散量の変化に対し、分散補償量を可変とすることができるVIPA (Virtually-Imaged Phase Array) というデバイスが実用化されているが、分散補償量を可変とすることのできる伝送距離がビットレート10Gbpsの信号で数10km程度までと短く、大きな距離の変動を伴う経路の切り替えには対応できない。
- [0011] ここで、光信号の送信側の装置内における電気信号の処理により、波長分散の分散量を補償するための技術が例えば、非特許文献1に開示されている。上述したように波長分散によって波形歪が生じるプロセスは線形なプロセスである。そのため、伝送路で生じる分散量を補償する分散補償デバイスは、その伝送路の前であっても後であってもよい。非特許文献1に開示されている技術では、伝送路の前となる光信号の送信側の装置内に分散補償デバイスを設ける。
- [0012] 分散補償デバイスの例としては、図1に示すように構成されたトランスバー

サルフィルタが挙げられる。

- [0013] 図 1 に示すトランスバーサルフィルタ 10 は、複数の遅延素子 11 と、複数の乗算器 12 と、加算器 13 とを備えている。
- [0014] 非特許文献 1 に開示されている技術において、光信号の送信側の装置に入力された電気信号は例えば、図 1 に示すトランスバーサルフィルタによって分散量が補償される。以下に、図 1 に示すトランスバーサルフィルタによって分散量が補償される動作について説明する。
- [0015] 光信号の送信側の装置に入力された電気信号 20 は、図 1 に示すような複数の遅延素子 11 によって異なる遅延を与えられる。
- [0016] そして、各遅延素子 11 からの出力信号は、次段の遅延素子 11 と、乗算器 12 とへ入力される。なお、乗算器 12 へ入力される信号は分岐信号という。
- [0017] 次段の遅延素子 11 に入力された信号は、その遅延素子 11 によってさらに遅延を与えられる。一方、乗算器 12 に入力された分岐信号には、回路係数制御装置 14 から出力されるタップ係数が乗算される。
- [0018] そして、各乗算器 12 によってタップ係数が乗算された信号が加算器 13 に入力され、加算器 13 によって総和が求められる。なお、各遅延素子 11 によって与えられる遅延の遅延間隔は例えば、伝送させたい信号のシンボル時間の半分という値が用いられる。
- [0019] ここで、回路係数制御装置 14 から供給されるタップ係数は、伝達関数のインパルス応答によって求められる値となる。なお、波長分散による伝達関数は、複素関数となるため、このタップ係数は複素数となる。そのため、分散量を補償した後の出力も複素信号となる。
- [0020] そして、分散量を補償した後の複素信号 21 を用いて光信号が変調される。実際には、送信側の装置に内蔵される I Q 変換器が複素信号 21 の実部を光信号の同相成分 (cos 成分) に印加し、複素信号の虚部を光信号の直交成分 (sin 成分) に印加する。なお、I Q 変調器とは、入力された信号を同相 (I) の信号と、それに直角の位相 (Q) の信号とに分割する機器である

- 。
- [0021] 非特許文献 1 に開示されている技術では、回路係数制御装置 14 からトランスバーサルフィルタ 10 へ出力するタップ係数を変化させることにより、伝達関数を自由に変更することができるので、広い範囲の分散量の補償を可変的に行うことができる。
- [0022] 上述した非特許文献 1 に開示されている技術を光信号の受信側の装置に適用することも原理的には可能である。しかしながら、現在広く使われている光受信機では、フォトダイオードによって光信号を電気信号に変換する際、二乗検波によって複素信号の情報が失われてしまう。
- [0023] これに対し、非特許文献 2 に開示されている技術では、コヒーレント光受信を行い、位相ダイバーシチ受信構成をとることによって、受信した光信号の電界の同相成分（ $\cos$  成分）の情報と直交成分（ $\sin$  成分）の情報をそれぞれ抽出している。
- [0024] これらの情報から、受信した光信号の光電界の複素電界信号を得て、この複素電界信号をトランスバーサルフィルタで処理することによって分散量の補償を可能としている。
- [0025] なお、分散量の補償を行う能力は、システムの非線形な効果による劣化が無視できる範囲においては、送信側で行う場合と受信側で行う場合とではほぼ同じとなる。しかし、波長多重光ネットワークにおいて、光スイッチなどによる経路の切り替えによって伝送路の分散量が変わる場合、その分散量の変化によって生じる波形歪は、受信側でのみ検出することが可能であり、送信側で波形歪を検出することはできない。受信側において分散量を補償する場合、受信側で常に波形歪の状態を確認できるため、適応等化によって速やかに受信状態を最適化できる。
- [0026] ここで、トランスバーサルフィルタによる分散量の補償では、光信号のビットレート的高速化が進むと、同じ分散量を補償するのに必要な遅延素子数と、その遅延素子から出力される分岐信号の数（以降、タップ数という）とが大幅に増加する。このため、分散量を補償する回路の規模が非常に大きくな

る。

[0027] 分散量を補償する回路の規模が非常に大きくなることを回避する方法として、分散量の補償を送信側と受信側とに分けて行う方法がある。そのための技術が例えば、非特許文献3に開示されている。

[0028] 非特許文献3には、光ファイバを利用することによって光送信機及び光受信機において分散量を補償するシステムが開示されている。光送信機及び光受信機のそれぞれに分散補償ファイバを配置することにより、光送信機及び光受信機のそれぞれにおける分散補償量を減少させている。これにより、分散量を補償する回路の規模が大きくなることを回避している。

## 先行技術文献

### 非特許文献

[0029] 非特許文献1 : D. McGhan, "Electronic Dispersion Compensation", optical fiber communication conference OFC2006, paper OWK1, 2006

非特許文献2 : Maurice O' Sullivan, "Expanding network applications with coherent detection", optical fibercommunication conference OFC2008, paper NWC3, 2008

非特許文献3 : T. Naito, et al., "Four 5-Gbit/s WDM transmission over 4760-km straight-line using pre- and post-dispersion compensation and FWM cross talk reduction", Optical Fiber Communication Conference, OFC 96, paper WM3, 1996

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0030] しかし、非特許文献3に開示されているシステムでは、光送信機は、光受信機における分散補償量がわからないため、分散量の変化に応じて光送信機における分散補償量を変化させることができない。

[0031] その結果、分散補償量を最適化できるネットワークの大きさが受信側で補償可能な分散補償量の範囲によって限定されるという課題がある。

[0032] 本発明の目的は、上述した課題を解決する光通信システム及び光通信方法を提供することにある。

### 課題を解決するための手段

[0033] 上記目的を達成するために本発明は、

電気信号を光信号に変調して送信する光送信機と、前記光信号を受信する光受信機とが第1の伝送路によって接続された光通信システムであって、

前記光送信機及び前記光受信機は、前記光信号が前記第1の伝送路を通ることによって発生する波長分散の分散量の変化がほぼ無くなると、前記光送信機によって前記分散量を補償するための送信側分散補償量と、前記光受信機によって前記分散量を補償するための受信側分散補償量との合計値をほぼ一定に保ちながら、前記受信側分散補償量の絶対値を減少させる。

[0034] また、電気信号を光信号に変調して送信する光送信機と、前記光信号を受信する光受信機とが第1の伝送路及び第2の伝送路によって接続された光通信システムにおける光通信方法であって、

前記光信号が前記第1の伝送路を通ることによって発生する波長分散の分散量の変化がほぼ無くなると、前記光送信機によって前記分散量を補償するための送信側分散補償量と、前記光受信機によって前記分散量を補償するための受信側分散補償量との合計値をほぼ一定に保ちながら、前記受信側分散補償量の絶対値を減少させる処理を有する。

### 発明の効果

[0035] 本発明によれば、光信号が伝送路を通ることによって発生する波長分散の分散量の変化がほぼ無くなると、光送信機によって分散量を補償するための送信側分散補償量と、光受信機によって分散量を補償するための受信側分散補償量との合計値をほぼ一定に保ちながら、受信側分散補償量の絶対値を減少させる。これにより、受信側分散補償量を変化させることのできる範囲を最大限に確保する。そのため、分散量を補償する回路の規模を大きくすることなく、分散補償量を最適化できるネットワークの大きさが、光受信機で補償可能な分散補償量の範囲によって限定されることを回避できる。

## 図面の簡単な説明

- [0036] [図1] トランスバーサルフィルタの構成の一例を示すブロック図である。
- [図2] 本発明の光通信システムの第1の実施形態の構成を示すブロック図である。
- [図3] 図2に示した伝送路の経路を切り替えることによって伝送路で生じる波長分散の分散量の変化を示すタイムチャートである。
- [図4] 図3に示した分散量の変化に対応する図2に示した送信フィルタ部及び受信フィルタ部における分散補償量の変化を示すタイムチャートである。
- [図5] 図2に示した光通信システムにおいて分散量を補償する動作を説明するためのフローチャートである。
- [図6] 本発明の光通信システムの第2の実施形態の構成を示すブロック図である。
- [図7] 本発明の光通信システムの第3の実施形態の構成を示すブロック図である。
- [図8] ビットレートが10 Gbpsに対してトランスバーサルフィルタの遅延間隔が50 psである場合の各タップにおけるインパルス応答の実部及び虚部の係数の値の一例を示す図である。
- [図9] 本発明の光通信システムの第4の実施形態の構成を示すブロック図である。
- [図10] ビットレートが10 Gbpsに対してトランスバーサルフィルタの遅延間隔が50 psである場合の各タップにおけるインパルス応答の実部及び虚部の係数の値の他の例を示す図である。

## 発明を実施するための形態

- [0037] 以下に、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。
- [0038] (第1の実施形態)
- 図2は、本発明の光通信システムの第1の実施形態の構成を示すブロック図である。
- [0039] 本実施形態の光通信システムは図2に示すように、光送信機101と光受信



機 108 とを備えており、光送信機 101 と光受信機 108 とはデータ信号を送信するための第 1 の伝送路である伝送路 107 及び第 2 の伝送路である制御信号用伝送路 112 で接続されている。

- [0040] 光送信機 101 は、信号源 102 と、第 1 の回路係数制御部である回路係数制御部 103 と、送信フィルタ部 104 と、光源 105 と、光変調部 106 とを備えている。
- [0041] 信号源 102 は、電気信号であるデジタルデータ信号を出力する。なお、ここではデジタルデータ信号のビットレートを 10 Gbps とするが、これは一例であり、このビットレートに限定されるものではない。
- [0042] 送信フィルタ部 104 は、図 1 に示すようなトランスバーサルフィルタである。送信フィルタ部 104 は、回路係数制御部 103 が制御する伝達関数により、信号源 102 から出力されたデジタルデータ信号を線形処理する。そして、 $-10000 \text{ ps/nm} \sim +10000 \text{ ps/nm}$  の可変な分散補償量に相当する信号をデジタルデータ信号に付与して送信信号として出力する。なお、トランスバーサルフィルタを構成する遅延素子（図 1 参照）による遅延間隔は、データのシンボル時間である 100 ps の半分の 50 ps である。この遅延間隔の 50 ps は一例であり、シンボル時間の自然数分の 1 の他、自由な値を取りうる。以降、送信フィルタ部 104 が付与する分散補償量を送信側分散補償量という。
- [0043] 回路係数制御部 103 は、信号源 102 から出力されたデジタルデータ信号を送信フィルタ部 104 が線形処理する際に使用する伝達関数を制御する。なお、制御とは具体的には、送信フィルタ部 104 を構成するトランスバーサルフィルタにおいて、各遅延素子（図 1 参照）から出力される信号の分岐信号に対して乗算するタップ係数を設定して出力することである。補償したい所定の分散量に相当する値にタップ係数を設定することにより、その所定の分散量が補償される。このタップ係数を変化させることにより、送信側分散補償量を変化させることができる。また、回路係数制御部 103 は、送信側分散補償量の変化を開始させるための第 1 の開始指示を制御信号用伝送路

112を介して光受信機108から受信すると、第1の開始指示が示す方向に送信側分散補償量を変化させる。

[0044] 光源105は、DFB (Distributed Feedback) レーザで強度が一定の光を出力する。なお、光源105が出力する光は、光通信に必要な品質を有していればよく、DFBレーザに限定されない。

[0045] 光変調部106は、IQ変調器であり、光源105から出力される光信号を同相成分と直交成分とに分割する。そして、送信フィルタ部104から出力される送信信号に含まれる同相成分の情報を分割された同相成分に印加し、送信フィルタ部104から出力される送信信号に含まれる直交成分の情報を分割された直交成分に印加する。そして、同相成分及び直交成分の情報が印加された光信号を伝送路107を介して光受信機108へ送信する。なお、上述したように光変調部106は、IQ変調器（またはベクトル変調器）と呼ばれる変調器である。IQ変調器は、4相位相シフトキーイング (QPSK) 変調方式等に広く用いられている一般的な変調器であるため、ここでは詳細な説明は省略する。

[0046] 図2に示す光受信機108は、第2の回路係数制御部である回路係数制御部109と、受信部110と、受信フィルタ部111とを備えている。

[0047] 受信部110は、コヒーレント光受信方式を用い、光送信機101から伝送路107を介して送信される光信号を受信して同相成分信号及び直交成分信号を検出する。そして、検出した同相成分信号及び直交成分信号を受信信号として受信フィルタ部111へ出力する。

[0048] 受信フィルタ部111は、送信フィルタ部104と同様に図1に示すようなトランスバーサルフィルタである。受信フィルタ部111は、回路係数制御部109が制御する伝達関数により、受信部110から出力された受信信号を線形処理する。そして、 $-10000\text{ ps/nm} \sim +10000\text{ ps/nm}$ の可変な分散補償量に相当する信号を受信信号に付与して出力する。なお、トランスバーサルフィルタを構成する遅延素子（図1参照）による遅延間隔は、データのシンボル時間 $100\text{ ps}$ の半分の $50\text{ ps}$ である。この遅延

間隔の50 psは一例であり、シンボル時間の自然数分の1の他、自由な値を取りうる。また、受信フィルタ部111は、受信部110から出力された受信信号の分散量を検出し、回路係数制御部109からの指示により、その分散量が最小となるように適応等化する。以降、受信フィルタ部111が付与する分散補償量を受信側分散補償量という。

[0049] 回路係数制御部109は、回路係数制御部103と同様に、受信部110から出力された受信信号を受信フィルタ部111が線形処理する際に使用する伝達関数を制御する。なお、制御とは具体的には、受信フィルタ部111を構成するトランスバーサルフィルタにおいて、各遅延素子（図1参照）から出力される信号の分岐信号に対して乗算するタップ係数を設定して出力することである。補償したい所定の分散量に相当する値にタップ係数を設定することにより、その所定の分散量が補償される。このタップ係数を変化させることにより、受信側分散補償量を変化させることができる。また、回路係数制御部109は、受信フィルタ部111が検出する分散量を監視しており、分散量の変化を検知すると、その分散量の変化の変化量を最小にするため、受信フィルタ部111に適応等化させる。また、回路係数制御部109は、第1の開始指示を制御信号用伝送路112を介して回路係数制御部103へ送信する。

[0050] 以下に、上記のように構成された光通信システムにおいて波長分散の分散量を補償する動作について説明する。

[0051] 図3は、図2に示した伝送路107の経路を切り替えることによって伝送路107で生じる波長分散の分散量の変化を示すタイムチャートである。

[0052] 図4は、図3に示した分散量の変化に対応する図2に示した送信フィルタ部104及び受信フィルタ部111における分散補償量の変化を示すタイムチャートであり、(a)は受信フィルタ部111における受信側分散補償量の変化を示すタイムチャート、(b)は送信フィルタ部104における送信側分散補償量の変化を示すタイムチャート、(c)は送信側分散補償量と受信側分散補償量の合計値の変化を示すタイムチャートである。

- [0053] 図5は、図2に示した光通信システムにおいて分散量を補償する動作を説明するためのフローチャートである。
- [0054] まず、図3及び図4に示す時刻  $t_1$  において経路の切り替えが発生する（ステップS1）。
- [0055] このとき、図3に示すように図2に示した伝送路107で生じる分散量は、 $10000 \text{ ps/nm}$ へ増加する。
- [0056] 回路係数制御部109は、この分散量の変化を検知すると、この分散量の変化の変化量を最小にするための適応等化を受信フィルタ部111に開始させる（ステップS2）。
- [0057] そして、回路係数制御部109は、図4（a）に示すように受信側分散補償量が $-10000 \text{ ps/nm}$ となったところで受信フィルタ部111における適応等化を完了させる（ステップS3）。その結果、図4（c）に示すように送信側分散補償量と受信側分散補償量との合計値が $-10000 \text{ ps/nm}$ で安定する。
- [0058] この安定状態において通信が再開された後の適切な時刻である時刻  $t_{11}$  において、回路係数制御部109は、送信側分散補償量を減少（負の分散補償量で絶対値を増加）させるための第1の開始指示を制御信号用伝送路112を介して回路係数制御部103へ送信する（ステップS4）。
- [0059] 回路係数制御部103は、回路係数制御部109から送信された第1の開始指示を受信すると、送信フィルタ部104における送信側分散補償量を減少させる（ステップS5）。これにより、図4（b）に示すように送信側分散補償量は、 $-10000 \text{ ps}$ となる。また、これと同時に、回路係数制御部109は、受信フィルタ部111における受信側分散補償量の絶対値を減少させる（ステップS6）。具体的には、図4（a）に示すように受信フィルタ部111における分散補償量を $\pm 0 \text{ ps/nm}$ に増加させる。
- [0060] このとき、送信側分散補償量と受信側分散補償量との合計値がほぼ一定に保たれながら、送信側分散補償量及び受信側分散補償量がそれぞれ変化する。具体的には、回路係数制御部109が、受信フィルタ部111が検出する分

散量に応じ、受信フィルタ部 111 における受信側分散補償量を変化させる。

- [0061] これにより、光送信機 101 と光受信機 108 とでそれぞれ分散補償量を変化させている間も、伝送路 107 に波長分散が生じることなく通信が継続できる。
- [0062] 次に、回路係数制御部 109 は、受信側分散補償量の絶対値が最小となったかどうかを判定する（ステップ S7）。
- [0063] ステップ S7 における判定の結果、受信側分散補償量の絶対値が最小となっていない場合、ステップ S5 の動作に遷移し、回路係数制御部 103 は送信フィルタ部 104 に送信側分散補償量の減少を継続させ、回路係数制御部 109 は受信フィルタ部 111 に受信側分散補償量の増加を継続させる。
- [0064] 一方、ステップ S7 における判定の結果、受信側分散補償量の絶対値が最小となっていた場合、回路係数制御部 109 は、送信側分散補償量を変化させるのを停止させるための停止指示を制御信号用伝送路 112 を介して回路係数制御部 103 へ送信する（ステップ S8）。
- [0065] 回路係数制御部 103 は、回路係数制御部 109 から送信された停止指示を受信すると、送信フィルタ部 104 における送信側分散補償量の減少を停止させる（ステップ S9）。
- [0066] そして、回路係数制御部 109 は、受信フィルタ部 111 における受信側分散補償量の増加を停止させる（ステップ S10）。
- [0067] 以上が図 2 に示した光通信システムにおいて、図 3 に示した時刻  $t_1$  において発生した経路の切り替えによって伝送路 107 で生じる波長分散の分散量を補償する動作である。
- [0068] 以下に、図 3 に示す  $t_1$  以降の分散量の変化における波長分散を補償する動作を説明するが、基本的に上述した動作と同様なのでフローチャートは省略する。
- [0069] 図 3 に示すように次の経路の切り替え時刻である時刻  $t_2$  において、図 2 に示した伝送路 107 の分散量は、 $20000 \text{ ps/nm}$  へ増加する。

- [0070] このとき、図4 (b) に示すように送信側分散補償量は既に、 $-10000 \text{ ps/nm}$  となっており、これ以上送信側分散補償量を減少させることはできない。そのため、回路係数制御部109は、受信フィルタ部111に適応等化させ、図4 (a) に示すように受信側分散補償量を $-10000 \text{ ps/nm}$  に変化させる。これにより、通信状態が正常となる。
- [0071] そして、この後、回路係数制御部109は、受信側分散補償量の絶対値を減少させるため、送信側分散補償量を減少させるように回路係数制御部103へ第1の開始指示を送信するが、送信フィルタ部104ではこれ以上の送信側分散補償量の減少ができないため、送信側分散補償量は変化しない。この結果、図4 (a), (b) に示すように、送信側分散補償量と受信側分散補償量とが等しく $-10000 \text{ ps/nm}$  で安定する。
- [0072] 次に、図3に示すように次の経路切り替え時刻である時刻 $t_3$ において、図2に示した伝送路107の分散量が $0 \text{ ps/nm}$  へ減少する。
- [0073] このとき、図4 (b) に示すように、既に送信フィルタ部104における送信側分散補償量が $-10000 \text{ ps/nm}$  となっている。そのため、受信フィルタ部111は、適応等化により、図4 (a) に示すように受信側分散補償量を $+10000 \text{ ps/nm}$  とする。これにより、通信状態が正常となる。
- [0074] また、このとき、回路係数制御部109は、受信側分散補償量の絶対値を減少させるために、送信側分散補償量を増加させるように回路係数制御部103へ第1の開始指示を送信する。
- [0075] 回路係数制御部109から送信された第1の開始指示を受信した回路係数制御部103は、図4 (b) に示すように、送信側分散補償量を $\pm 0 \text{ ps/nm}$  へ増加させる。また、このとき、回路係数制御部109は、受信側分散補償量の絶対値を減少させる。具体的には、図4 (a) に示すように、受信フィルタ部111の分散補償量を $\pm 0 \text{ ps/nm}$  に減少させる。このとき、送信側分散補償量と受信側分散補償量との合計値がほぼ一定に保たれながら、送信側分散補償量及び受信側分散補償量がそれぞれ変化する。

- [0076] 以下、図3に示した時刻  $t_4$  において分散量が  $-10000 \text{ ps/nm}$  へ変化する場合、時刻  $t_5$  において分散量が  $-20000 \text{ ps/nm}$  へ変化する場合、及び時刻  $t_6$  において分散量が  $0 \text{ ps/nm}$  へ変化する場合も、それぞれ同様の動作が行われる。
- [0077] このように本実施形態においては、光信号が伝送路を通ることによって発生する波長分散の分散量の変化がほぼ無くなると、光送信機101によって分散量を補償するための送信側分散補償量と、光受信機108によって分散量を補償するための受信側分散補償量との合計値をほぼ一定に保ちながら、受信側分散補償量の絶対値を減少させる。これにより、受信側分散補償量を変化させることのできる範囲を最大限に確保する。そのため、分散量を補償する回路の規模を大きくすることなく、分散補償量を最適化できるネットワークの大きさが、光受信機108で補償可能な分散補償量の範囲によって限定されることを回避できる。
- [0078] ここで、経路の切り替えによる分散補償が受信側でのみ行われるとした場合、分散補償量の範囲は受信側の分散補償量の範囲である  $-10000 \text{ ps/nm} \sim +10000 \text{ ps/nm}$  に限定される。
- [0079] 以下にこの場合の動作を、図3に示した波長分散の分散量の変化が起こった場合を一例として説明する。
- [0080] まず、時刻  $t_1$  における経路切り替え後に波長分散が  $10000 \text{ ps/nm}$  増加すると、受信側が適応等化することにより、受信側の分散補償量が  $-10000 \text{ ps/nm}$  となったところで安定して通信が再開される。この後、送信側と受信側との間で分散補償量の移動が行われなため、送信側の分散補償量は  $0 \text{ ps/nm}$  のままで変化せず、受信側の分散補償量は  $-10000 \text{ ps/nm}$  のままで変化しない。
- [0081] この状態で、図3に示すように次の経路切り替え時刻  $t_2$  において、経路の分散が  $20000 \text{ ps/nm}$  に増加する。このとき、送信側の分散補償量は  $\pm 0 \text{ ps/nm}$  なので、受信側で適応等化によって波長分散を減少させようとするが、受信側の分散補償量は、既にその限界値である  $-10000 \text{ ps}$

／nmとなっているため、分散補償量を増加させることができない。

[0082] このように、送信側と受信側とで分散補償量の移動が行われない場合、受信側で補償することが可能な分散補償量である $-10000 \sim +10000$  ps/nmの範囲に光通信システム全体の分散補償量が限定されてしまう。

[0083] (第2の実施形態)

上述した第1の実施形態では、伝送路107の経路の切り替えによる分散量の変化に対応して受信側分散補償量を変化させるために、光受信機108における適応等化を利用した。これにより、第1の実施形態では光通信システムの構成をシンプルな構成にすることができた。しかし、適応等化が開始される時点では、伝送路107の分散量が既に変化しており、偏波分散変動等の他の劣化要因の変動に対して通信品質が劣化しやすい状況となる。

[0084] また、適応等化自体に時間がかかってしまうことから、経路の切り替えが短時間で頻繁に生じる場合、送信側分散補償量及び受信側分散補償量を大きく変化させることが難しい。

[0085] 以下に説明する第2の実施形態では、光受信機における適応等化ではなく、受信側分散補償量の変化を指示するための制御開始フレームを送信信号に埋め込んで光受信機へ送信し、光送信機と光受信機とで同期して分散補償量を変化させることによって伝送路107の分散量の変化への対応を行う。

[0086] 図6は、本発明の光通信システムの第2の実施形態の構成を示すブロック図である。

[0087] 図6に示すように本実施形態の光通信システムは、図2に示した第1の実施形態の光通信システムと比べ、光送信機201に制御開始フレーム挿入部207が備えられ、光受信機208に制御開始フレーム検出部212が備えられている点が異なる。

[0088] 制御開始フレーム挿入部207は、回路係数制御部203が送信側分散補償量を変化させる際、信号源202から出力されたデジタルデータ信号に制御開始フレームを挿入する。そして、制御開始フレームが挿入されたデジタルデータ信号と、制御開始フレームを挿入したことを示す挿入情報を入力する



- 。
- [0089] 回路係数制御部 203 は、制御開始フレーム挿入部 207 から出力された挿入情報を受け付けてから所定の時間が経過すると、送信フィルタ部 204 における送信側分散補償量を変化させる。
- [0090] 制御開始フレーム検出部 212 は、受信フィルタ部 211 から出力された受信信号の中に制御開始フレームを検出すると、制御開始フレームを検出したことを通知するための検出情報を回路係数制御部 209 へ出力する。
- [0091] 回路係数制御部 209 は、制御開始フレーム検出部 212 から出力された検出情報を受け付けてから所定の時間が経過すると、受信フィルタ部 211 における受信側分散補償量を変化させる。
- [0092] なお、本実施形態において、制御開始フレームを利用して送信側分散補償量及び受信側分散補償量を同期して変化させることにより、伝送路 107 の分散量を補償し終わると、上述した第 1 の実施形態で説明したように、受信側分散補償量の絶対値が減少するように受信側分散補償量と送信側分散補償量とを同期して変化させる動作が行われる。
- [0093] このように本実施形態においては、光送信機 201 は、受信側分散補償量を変化させることを指示するための制御開始フレームを光受信機 208 へ送信する。そのため、速やかに、かつ、より正確なタイミングで伝送路 107 の分散量を補償することができる。
- [0094] なお、本実施形態において回路係数制御部 203 は、制御開始フレーム挿入部 207 から挿入情報を受け付け、挿入情報を受け付けてから所定の時間が経過すると、送信側分散補償量を変化させた。このような方法ではなく、例えば、回路係数制御部 203 が制御開始フレーム挿入部 207 へ制御開始フレームの挿入を指示し、この指示を行ってから所定の時間が経過すると、送信側分散補償量を変化させるようにしてもよい。
- [0095] (第 3 の実施形態)
- 上述した第 2 の実施形態では、光送信機と光受信機との間で制御開始フレームを利用することにより、送信側分散補償量及び受信側分散補償量を変化さ

せるタイミングを制御した。この場合、送信信号に制御開始フレームを挿入するため、伝送路 107 のビットレートが変化してしまい、既存の伝送速度のコンポーネントを用いることができなくなる可能性がある。

[0096] 以下に説明する第 3 の実施形態においては、光送信機が制御信号用伝送路 112 を用いて受信側分散補償量の変化の開始を光受信機へ指示する。

[0097] 図 7 は、本発明の光通信システムの第 3 の実施形態の構成を示すブロック図である。

[0098] 回路係数制御部 303 は、送信側分散補償量を変化させる際、受信側分散補償量の変化の開始を指示するための第 2 の開始指示を制御信号用伝送路 112 を介して回路係数制御部 309 へ送信する。そして、第 2 の開始指示を送信してから所定の時間が経過すると、送信フィルタ部 304 における送信側分散補償量を変化させる。

[0099] 回路係数制御部 303 から送信された第 2 の開始指示を受信した回路係数制御部 309 は、第 2 の開始指示を受信してから所定の時間が経過すると、受信フィルタ部 311 における受信側分散補償量を変化させる。

[0100] なお、本実施形態において、第 2 の開始指示を利用して送信側分散補償量及び受信側分散補償量を同期して変化させることにより、伝送路 107 の分散量を補償し終わると、上述した第 1 の実施形態で説明したように、受信側分散補償量の絶対値が減少するように受信側分散補償量と送信側分散補償量とを同期して変化させる動作が行われる。

[0101] このように本実施形態においては、光送信機 201 は、制御信号用伝送路 112 を利用して受信側分散補償量を変化させることを光受信機 208 へ指示する。そのため、伝送路 107 のビットレートを変化させることなく、速やかに、かつ、より正確なタイミングで伝送路 107 の分散量を補償することができる。

[0102] ただし、本実施形態においては、制御信号用伝送路 112 と伝送路 107 との伝送遅延がゆらぎ等によって異なる場合、送信フィルタ部 304 における送信側分散補償量を変化させるタイミングと、受信フィルタ部 311 にお

る受信側分散補償量を変化させるタイミングとの間にずれが生じる可能性がある。このずれが生じた場合にも信号の品質の劣化を生じさせないため、例えば、送信側分散補償量及び受信側分散補償量の変化を少しずつ複数に分けて行う等により、信号の品質の劣化を最小に抑える必要がある。

[0103] (第4の実施形態)

上述した第1～第3の実施形態では、受信フィルタにおける受信側分散補償量の変化と、送信フィルタにおける送信側分散補償量の変化とを同時に行っている。この場合、送信フィルタ部と受信フィルタ部を構成するトランスバーサルフィルタのフィルタ係数を同時に変更する必要がある。しかし、送信フィルタ部及び受信フィルタ部のいずれにおいても、それらに入力される信号の同相成分及び直交成分に対するフィルタ処理が必要なため、それぞれのタップ係数の設定量が膨大となる。特に、フィルタ処理による微小な分散補償量の変化に対しても、大きなフィルタ係数の変化が伴う場合、精度の高い制御を行わないと安定して分散補償量を変化させることが難しい。

[0104] 以下に説明する第4の実施形態では、送信フィルタ部及び受信フィルタ部をそれぞれ2つに分け、送信フィルタ部及び受信フィルタ部において補償する分散補償量を2つに分けることにより、タップ係数を更新する量を削減する。

[0105] 送信フィルタ部及び受信フィルタ部を構成するトランスバーサルフィルタでは、伝送路107の伝達関数の逆関数処理を行う。具体的には、逆関数の逆フーリエ変換で得られるインパルス応答の係数の値を各遅延素子の出力の乗算器においてタップ係数値として乗ずればよい。

[0106] このとき、波長分散の分散量 $D$  (ps/nm) が伝送信号のビットレート $B$  (Gbps) に対して以下に示す式(1)で表される関係となる場合、逆伝達関数のインパルス応答の実部の多くの部分が0となる。

[0107]

[数1]

$$D = (2 * n) * \frac{K}{B^2} \quad (1)$$

(n は自然数)

上記の式 (1) においてKは、光信号の波長に依存する定数であり、波長 1500 nm ではおよそ 62500 となる。

[0108] 図8は、ビットレートが 10 Gbps に対してトランスバーサルフィルタの遅延間隔が 50 ps である場合の各タップにおけるインパルス応答の実部及び虚部の係数の値の一例を示す図であり、(a) は分散量が 5000 ps/nm (n=4) の場合の各タップにおけるインパルス応答の実部及び虚部の係数の値を示す図、(b) は分散量が 6250 ps/nm (n=5) の場合の各タップにおけるインパルス応答の実部及び虚部の係数の値を示す図、(c) は分散量が 5350 ps/nm の場合の各タップにおけるインパルス応答の実部及び虚部の係数の値を示す図である。なお、図8において、縦軸が各タップにおけるインパルス応答の実部及び虚部の係数の値を示すが、図中ではそれをタップ係数値と表記している。

[0109] 図8 (a) に示す例において実部の係数値は、中心から 12 タップ目以降でほぼ0となっている。また、図8 (b) に示す例において実部の係数値は、中心から 14 タップ目以降でほぼ0となっている。

[0110] 一方、図8 (c) に示す例において実部の係数値は、中心から 20 タップ目以降でも0よりも大きな値がある。

[0111] このように、トランスバーサルフィルタを上記の式 (1) に従う間隔で変化させることにより、タップ係数値が0であるタップを増やすことが可能となる。この性質を用いて、送信フィルタ部及び受信フィルタ部をそれぞれ2つに分け、一方の送信フィルタ部及び受信フィルタ部では、上記の式 (1) においてnの値を変化させることによって算出される  $2K/B^2$  の定数倍の分散量をステップ的に補償する。そして、もう一方の送信フィルタ部及び受信フ

フィルタ部では、上記の式（１）において $n$ の値を変化させることによって算出される $2K/B^2$ の定数倍の分散量以外の微小な分散量を固定的に補償する。これにより、タップ係数を更新する量を削減することができる。

[0112] 図９は、本発明の光通信システムの第４の実施形態の構成を示すブロック図である。

[0113] 図９に示すように本実施形態の光通信システムは、図２、図６及び図７に示した第１～第３の実施形態の光通信システムと比べると、光送信機４０１において、送信フィルタ部が、第１の送信フィルタ部である送信フィルタ部４０４－１と、第２の送信フィルタ部である送信フィルタ部４０４－２とに分割されており、また、回路係数設定部４０７が備えられている点が異なる。また、光受信機４０８において、受信フィルタ部が、第１の受信フィルタ部である受信フィルタ部４１１－１と、第２の受信フィルタ部である受信フィルタ部４１１－２とに分割されており、また、回路係数設定部４１２が備えられている点が異なる。

[0114] 回路係数設定部４０７は、送信フィルタ部４０４－１、４０４－２が補償を行う際に利用するタップ係数を回路係数制御部４０３及び送信フィルタ部４０４－２へ出力する。

[0115] 送信フィルタ部４０４－１は、上記の式（１）において $n$ の値を変化させることによって算出される $2K/B^2$ の定数倍の分散量をステップ的に補償するための第１の送信側分散補償量に相当する信号を信号源４０２から出力されるデジタルデータ信号に付与する。そして、第１の送信側分散補償量が付与されたデジタルデータ信号を第１の送信側補償済信号として送信フィルタ部４０４－２へ出力する。

[0116] 送信フィルタ部４０４－２は、上記の式（１）において $n$ の値を変化させることによって算出される $2K/B^2$ の定数倍の分散量以外の微小な分散量を固定的に補償するための第２の送信側分散補償量に相当する信号を、送信フィルタ部４０４－１から出力された第１の送信側補償済信号に付与する。そして、第２の送信側分散補償量を付与した第１の送信側補償済信号を送信信号

として光変調部406へ出力する。なお、送信フィルタ部404-2は、微小な分散量を補償するだけなので回路規模は小さい。

- [0117] 回路係数設定部412は、受信フィルタ部411-1、411-2が補償を行う際に利用するタップ係数を回路係数制御部409及び受信フィルタ部411-2へ出力する。
- [0118] 受信フィルタ部411-1は、上記の式(1)において $n$ の値を変化させることによって算出される $2K/B^2$ の定数倍の分散量をステップ的に補償するための第1の受信側分散補償量に相当する信号を受信部410から出力される受信信号に付与する。そして、第1の受信側分散補償量が付与された受信信号を第1の受信側補償済信号として受信フィルタ部411-2へ出力する。
- [0119] 受信フィルタ部411-2は、上記の式(1)において $n$ の値を変化させることによって算出される $2K/B^2$ の定数倍の分散量以外の微小な分散量を固定的に補償するための第2の受信側分散補償量に相当する信号を、受信フィルタ部411-1から出力された第1の受信側補償済信号に付与して出力する。なお、受信フィルタ部411-2は、微小な分散量を補償するだけなので回路規模は小さい。
- [0120] このように本実施形態においては、送信フィルタ部及び受信フィルタ部をそれぞれ2つに分け、送信フィルタ部404-1及び受信フィルタ部411-1では所定の分散量の定数倍の分散量を補償し、送信フィルタ部404-2及び受信フィルタ部411-2では所定の分散量の定数倍以外の分散量を固定的に補償する。そのため、タップ係数を更新する量を削減することができる。
- [0121] なお、本実施形態においては、式(1)において $n$ の値を変化させることによって算出される $2K/B^2$ の定数倍の分散量をステップ的に補償することにより、実部の係数値の多くを0とできた。
- [0122] ここで、以下に示す式(2)のにおいて $n$ の値を変化させることによって算出される $2K/B^2$ の定数倍の分散量をステップ的に補償することにより、上

述した場合とは逆に、虚部の係数値の多くを0とすることができる。

[0123] [数2]

$$D = (2 * n - 1) * \frac{K}{B^2} \quad (2)$$

(n は自然数)

図10は、ビットレートが10 Gbpsに対してトランスバーサルフィルタの遅延間隔が50 psである場合の各タップにおけるインパルス応答の実部及び虚部の係数値の他の例を示す図であり、(a)は分散量が4375 (ps/nm) (n=4)の場合の各タップにおけるインパルス応答の実部及び虚部の係数値を示す図、(b)は分散量が5675 (ps/nm) (n=5)の場合の各タップにおけるインパルス応答の実部及び虚部の係数値を示す図である。なお、図10において、縦軸が各タップにおけるインパルス応答の実部及び虚部の係数値を示すが、図中ではそれをタップ係数値と表記している。

[0124] 図10(a)に示す例では、中心から11タップ目以降で虚部の係数値がほぼ0となっている。また、図10(b)に示す例では、中心から13タップ目以降で虚部の係数値がほぼ0となっている。

[0125] この特性を利用して、上述した場合と同様の効果が得られることは明らかである。

[0126] この出願は、2009年2月4日に出願された日本出願特願2009-023703を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

## 請求の範囲

[請求項1] 電気信号を光信号に変調して送信する光送信機と、前記光信号を受信する光受信機とが第1の伝送路によって接続された光通信システムであって、

前記光送信機及び前記光受信機は、前記光信号が前記第1の伝送路を通ることによって発生する波長分散の分散量の変化がほぼ無くなると、前記光送信機によって前記分散量を補償するための送信側分散補償量と、前記光受信機によって前記分散量を補償するための受信側分散補償量との合計値をほぼ一定に保ちながら、前記受信側分散補償量の絶対値を減少させる光通信システム。

[請求項2] 請求項1に記載の光通信システムにおいて、

前記光送信機と前記光受信機との間を接続する第2の伝送路を有し、

前記光送信機は、

前記送信側分散補償量に相当する信号を前記電気信号に付与して送信信号として出力する送信フィルタ部と、

前記送信側分散補償量を変化させる第1の回路係数制御部と、

前記送信フィルタ部から出力された前記送信信号を変調して前記光信号として前記光受信機へ送信する光変調部と、を有し、

前記光受信機は、

前記光変調部から送信された前記光信号を受信し、該受信した前記光信号を電気信号に変換した受信信号を出力する受信部と、

前記受信部から出力された前記受信信号の前記分散量を検出し、該検出された前記分散量に応じ、前記受信側分散補償量に相当する信号を前記受信信号に付与して出力する受信フィルタ部と、

前記受信フィルタ部が検出する前記分散量を監視し、前記受信側分散補償量を変化させる第2の回路係数制御部と、を有し、

前記第2の回路係数制御部は、前記分散量の変化がほぼ無くなると



、前記受信側分散補償量の絶対値を減少させる方向に前記送信側分散補償量を変化させるための第1の開始指示を前記第2の伝送路を介して前記第1の回路係数制御部へ送信し、前記受信側分散補償量と前記送信側分散補償量との合計値をほぼ一定に保ちながら、前記受信側分散補償量の絶対値を減少させる方向に前記受信側分散補償量を変化させ、

前記第1の回路係数制御部は、前記第2の回路係数制御部から送信された前記第1の開始指示を受信すると、該第1の開始指示が示す方向に前記送信側分散補償量を変化させる光通信システム。

[請求項3]

請求項2に記載の光通信システムにおいて、

前記第2の回路係数制御部は、前記受信側分散補償量の絶対値が最小となったことを検知すると、前記送信側分散補償量を変化させるのを停止させるための停止指示を前記第2の伝送路を介して前記第1の回路係数制御部へ送信するとともに、前記受信側分散補償量を変化させるのを停止し、

前記第1の回路係数制御部は、前記第2の回路係数制御部から送信された前記停止指示を受信すると、前記送信側分散補償量を変化させるのを停止する光通信システム。

[請求項4]

請求項2または請求項3に記載の光通信システムにおいて、

前記第2の回路係数制御部は、前記受信フィルタ部が検出する前記分散量の変化を検知すると、該変化の変化量が最小となるように前記受信側分散補償量を変化させる光通信システム。

[請求項5]

請求項2または請求項3に記載の光通信システムにおいて、

前記光送信機は、前記送信側分散補償量の変化を開始する際、前記受信側分散補償量の変化を開始させるための制御開始フレームを前記電気信号に挿入し、該制御開始フレームを挿入した前記電気信号と、前記制御開始フレームを挿入したことを示す挿入情報を出力する制御開始フレーム挿入部を有し、

前記光受信機は、前記受信部から出力された受信信号から前記制御開始フレームを検出し、該制御開始フレームを検出したことを示す検出情報を出力する制御開始フレーム検出部を有し、

前記第1の回路係数制御部は、前記制御開始フレーム挿入部から出力された前記挿入情報を受け付けてから所定の時間が経過すると、前記送信側分散補償量を変化させ、

前記第2の回路係数制御部は、前記制御開始フレーム検出部から出力された前記検出情報を受け付けてから所定の時間が経過すると、前記受信側分散補償量を変化させる光通信システム。

[請求項6]

請求項2または請求項3に記載の光通信システムにおいて、

前記光送信機は、前記受信側分散補償量の変化を開始させるための制御開始フレームを前記電気信号に挿入して出力する制御開始フレーム挿入部を有し、

前記光受信機は、前記受信部から出力された受信信号から前記制御開始フレームを検出し、該制御開始フレームを検出したことを示す検出情報を出力する制御開始フレーム検出部を有し、

前記第1の回路係数制御部は、前記送信側分散補償量の変化を開始する際、前記制御開始フレーム挿入部に対し、前記制御開始フレームを前記電気信号に挿入する指示をし、該指示をしてから所定の時間が経過すると、前記送信側分散補償量を変化させ、

前記第2の回路係数制御部は、前記制御開始フレーム検出部から出力された前記検出情報を受け付けてから所定の時間が経過すると、前記受信側分散補償量を変化させる光通信システム。

[請求項7]

請求項2または請求項3に記載の光通信システムにおいて、

前記第1の回路係数制御部は、前記送信側分散補償量の変化を開始する際、前記受信側分散補償量の変化を開始させるための第2の開始指示を前記第2の伝送路を介して前記第2の回路係数制御部へ送信し、前記第2の開始指示を送信してから所定の時間が経過すると、前記

送信側分散補償量を変化させ、

前記第2の回路係数制御部は、前記第1の回路係数制御部から送信された前記第2の開始指示を受信してから所定の時間が経過すると、前記受信側分散補償量を変化させる光通信システム。

[請求項8]

請求項2乃至7のいずれか1項に記載の光通信システムにおいて、前記送信フィルタ部は、

所定の分散量の定数倍の前記分散量を補償するための第1の送信側分散補償量に相当する信号を前記電気信号に付与して第1の送信側補償済信号として出力する第1の送信フィルタ部と、

前記所定の分散量の定数倍以外の前記分散量を補償するための第2の送信側分散補償量に相当する信号を前記第1の送信フィルタ部から出力された前記第1の送信側補償済信号に付与して前記送信信号として出力する第2の送信フィルタ部と、に分割され、

前記受信フィルタ部は、

所定の分散量の定数倍の前記分散量を補償するための第1の受信側分散補償量に相当する信号を前記受信信号に付与して第1の受信側補償済信号として出力する第1の受信フィルタ部と、

前記所定の分散量の定数倍以外の前記分散量を補償するための第2の受信側分散補償量に相当する信号を前記第1の受信フィルタ部から出力された前記第1の受信側補償済信号に付与して出力する第2の受信フィルタ部と、に分割された光通信システム。

[請求項9]

請求項2乃至7のいずれか1項に記載の光通信システムにおいて、前記送信フィルタ部は、

所定の値以上の前記分散量を補償するための第1の送信側分散補償量に相当する信号を前記電気信号に付与して第1の送信側補償済信号として出力する第1の送信フィルタ部と、

前記所定の値よりも小さな値の前記分散量を補償するための第2の送信側分散補償量に相当する信号を前記第1の送信フィルタ部から出

力された前記第 1 の送信側補償済信号に付与して前記送信信号として出力する第 2 の送信フィルタ部と、に分割され、

前記受信フィルタ部は、

所定の値以上の前記分散量を補償するための第 1 の受信側分散補償量に相当する信号を前記受信信号に付与して第 1 の受信側補償済信号として出力する第 1 の受信フィルタ部と、

前記所定の値よりも小さな値の前記分散量を補償するための第 2 の受信側分散補償量に相当する信号を前記第 1 の受信フィルタ部から出力された前記第 1 の受信側補償済信号に付与して出力する第 2 の受信フィルタ部と、に分割された光通信システム。

[請求項10]

電気信号を光信号に変調して送信する光送信機と、前記光信号を受信する光受信機とが第 1 の伝送路及び第 2 の伝送路によって接続された光通信システムにおける光通信方法であって、

前記光信号が前記第 1 の伝送路を通ることによって発生する波長分散の分散量の変化がほぼ無くなると、前記光送信機によって前記分散量を補償するための送信側分散補償量と、前記光受信機によって前記分散量を補償するための受信側分散補償量との合計値をほぼ一定に保ちながら、前記受信側分散補償量の絶対値を減少させる処理を有する光通信方法。

[請求項11]

請求項 10 に記載の光通信方法において、

前記光送信機が、

前記送信側分散補償量に相当する信号を前記電気信号に付与して送信信号とする送信側補償処理と、

前記送信信号を変調して前記光信号として前記光受信機へ送信する処理と、

前記光受信機が、

前記光信号を受信し、該受信した前記光信号を電気信号に変換して受信信号とする処理と、

前記受信信号の前記分散量を検出する処理と、  
前記検出された前記分散量に応じ、前記受信側分散補償量に相当する信号を前記受信信号に付与する受信側補償処理と、  
前記分散量の変化がほぼ無くなると、前記受信側分散補償量の絶対値を減少させる方向に前記送信側分散補償量を変化させるための第1の開始指示を前記第2の伝送路を介して前記光送信機へ送信し、前記受信側分散補償量と前記送信側分散補償量との合計値をほぼ一定に保ちながら、前記受信側分散補償量の絶対値を減少させる方向に前記受信側分散補償量を変化させる処理と、  
前記光送信機が、前記第1の開始指示を受信すると、該第1の開始指示が示す方向に前記送信側分散補償量を変化させる処理と、を有する光通信方法。

[請求項12] 請求項11に記載の光通信方法において、  
前記光受信機が、前記受信側分散補償量の絶対値が最小となったことを検知すると、前記送信側分散補償量を変化させるのを停止させるための停止指示を前記第2の伝送路を介して前記光送信機へ送信するとともに、前記受信側分散補償量を変化させるのを停止する処理と、  
前記光送信機が、前記光受信機から送信された前記停止指示を受信すると、前記送信側分散補償量及を変化させるのを停止する処理と、をさらに有する光通信方法。

[請求項13] 請求項11または請求項12に記載の光通信方法において、  
前記光受信機が、前記分散量の変化を検知すると、該変化の変化量が最小となるように前記受信側分散補償量を変化させる処理をさらに有する光通信方法。

[請求項14] 請求項11または請求項12に記載の光通信方法において、  
前記光送信機が、  
前記送信側分散補償量の変化を開始する際、前記受信側分散補償量の変化を開始させるための制御開始フレームを前記電気信号に挿入し

、前記制御開始フレームを挿入したことを示す挿入情報を出力する処理と、

前記挿入情報を受け付けてから所定の時間が経過すると、前記送信側分散補償量を変化させる処理と、

前記光受信機が、

前記受信信号から前記制御開始フレームを検出し、該制御開始フレームを検出したことを示す検出情報を出力する処理と、

前記検出情報を受け付けてから所定の時間が経過すると、前記受信側分散補償量を変化させる処理と、をさらに有する光通信方法。

[請求項15]

請求項 1 1 または請求項 1 2 に記載の光通信方法において、

前記光送信機が、

前記送信側分散補償量の変化を開始する際、前記受信側分散補償量の変化を開始させるための制御開始フレームを前記電気信号に挿入させる指示をする処理と、

前記指示に応じて前記制御開始フレームを前記電気信号へ挿入する処理と、

前記指示をしてから所定の時間が経過すると、前記送信側分散補償量の変化を開始させる処理と、

前記光受信機が、

前記受信信号から前記制御開始フレームを検出し、該制御開始フレームを検出したことを示す検出情報を出力する処理と、

前記検出情報を受け付けてから所定の時間が経過すると、前記受信側分散補償量の変化を開始させる処理と、をさらに有する光通信方法。

[請求項16]

請求項 1 1 または請求項 1 2 に記載の光通信方法において、

前記光送信機が、

前記送信側分散補償量の変化を開始する際、前記受信側分散補償量の変化の開始を指示するための第 2 の開始指示を前記第 2 の伝送路を

介して前記光受信機へ送信する処理と、

前記第 2 の開始指示を送信してから所定の時間が経過すると、前記送信側分散補償量を変化させる処理と、

前記光受信機が、前記第 2 の開始指示を受信してから所定の時間が経過すると、前記受信側分散補償量を変化させる処理と、をさらに有する光通信方法。

[請求項17]

請求項 1 1 乃至 1 6 のいずれか 1 項に記載の光通信方法において、前記送信側補償処理は、

所定の分散量の定数倍の前記分散量を補償するための第 1 の送信側分散補償量に相当する信号を前記電気信号に付与して第 1 の送信側補償済信号とする第 1 の送信側補償処理と、

前記所定の分散量の定数倍以外の前記分散量を補償するための第 2 の送信側分散補償量に相当する信号を前記第 1 の送信側補償済信号に付与して前記送信信号とする第 2 の送信側補償処理と、を含み、

前記受信側補償処理は、

所定の分散量の定数倍の前記分散量を補償するための第 1 の受信側分散補償量に相当する信号を前記受信信号に付与して第 1 の受信側補償済信号とする第 1 の受信側補償処理と、

前記所定の分散量の定数倍以外の前記分散量を補償するための第 2 の受信側分散補償量に相当する信号を前記第 1 の受信側補償済信号に付与する第 2 の受信側補償処理と、を含む光通信方法。

[請求項18]

請求項 1 1 乃至 1 6 のいずれか 1 項に記載の光通信方法において、前記送信側補償処理は、

所定の値以上の前記分散量を補償するための第 1 の送信側分散補償量に相当する信号を前記電気信号に付与して第 1 の送信側補償済信号とする第 1 の送信側補償処理と、

前記所定の値よりも小さな値の前記分散量を補償するための第 2 の送信側分散補償量に相当する信号を前記第 1 の送信側補償済信号に付

与して前記送信信号とする第2の送信側補償処理と、を含み、

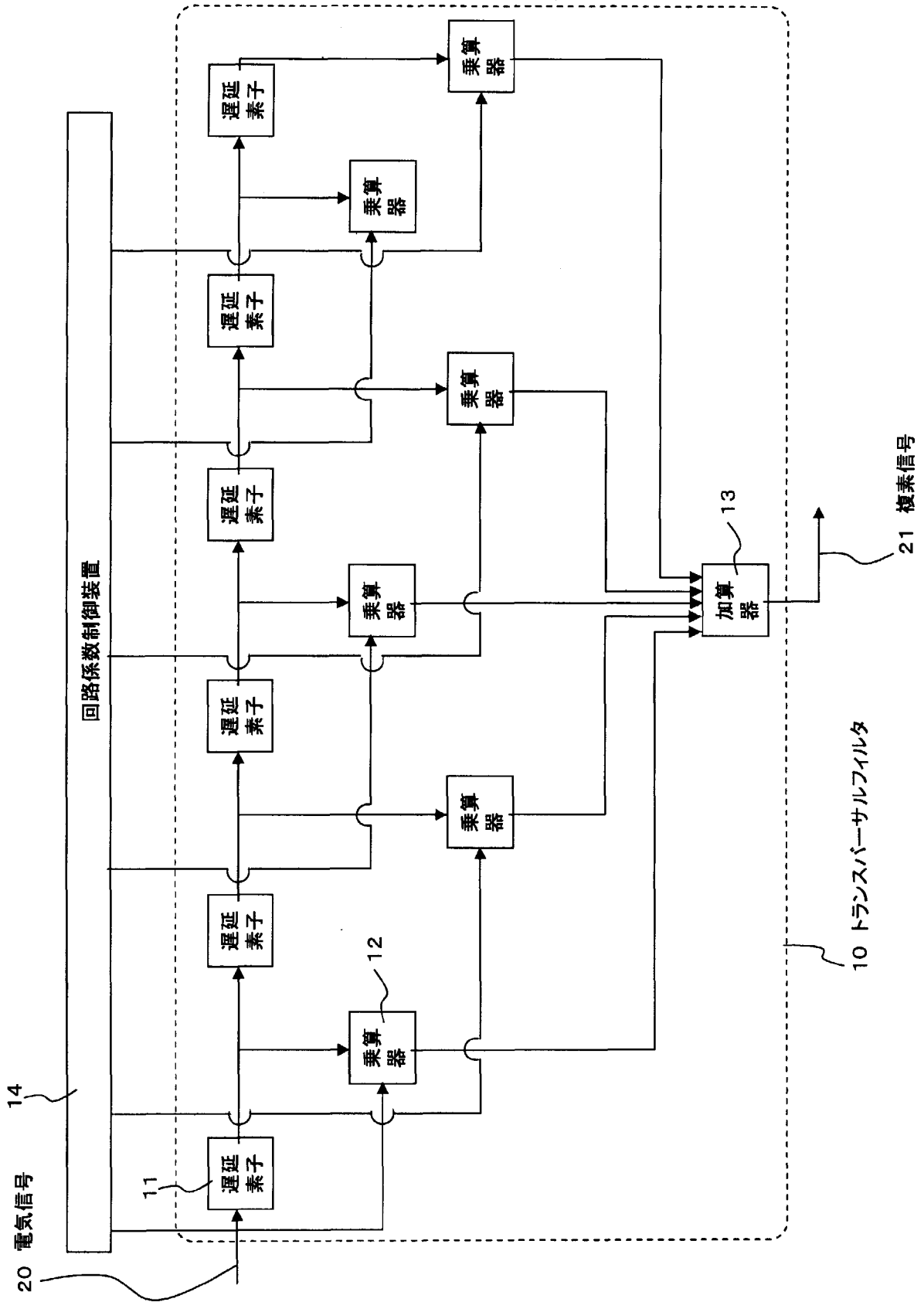
前記受信側補償処理は、

所定の値以上の前記分散量を補償するための第1の受信側分散補償量に相当する信号を前記受信信号に付与して第1の受信側補償済信号とする第1の受信側補償処理と、

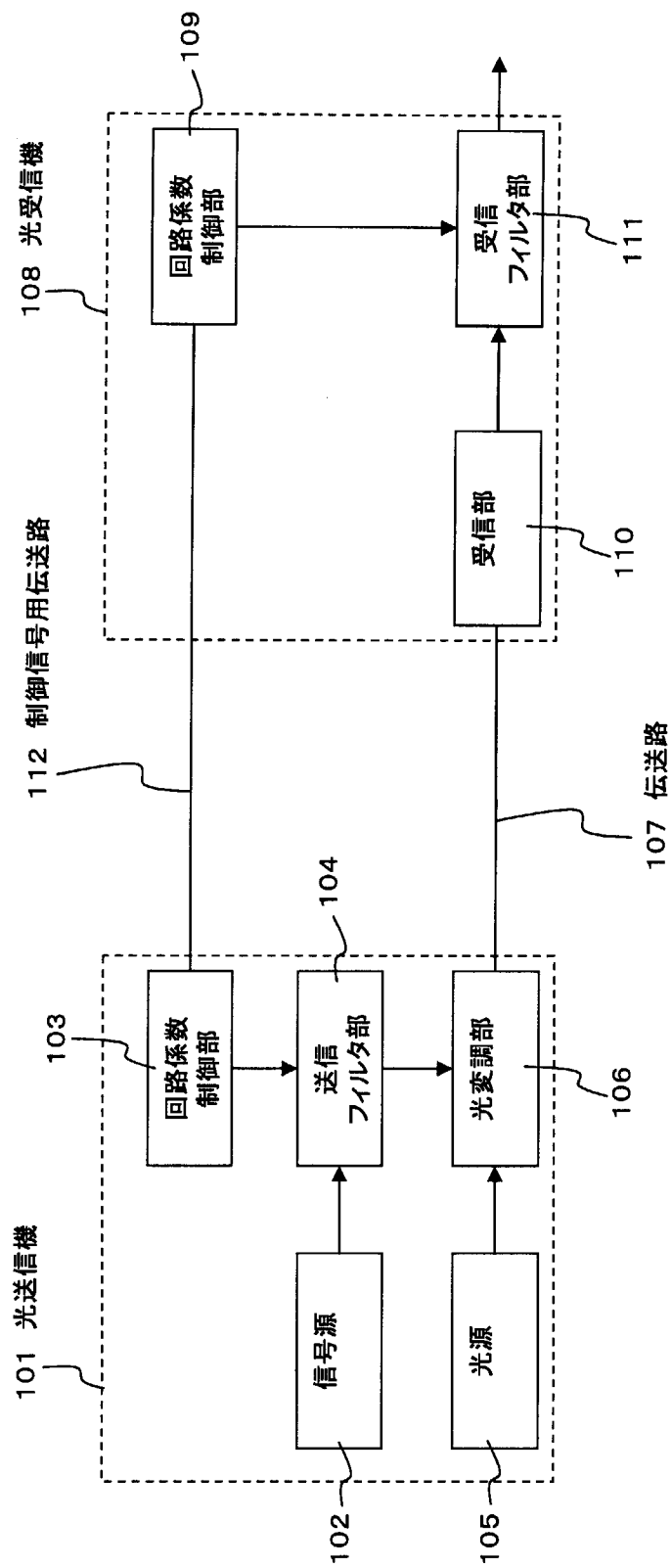
前記所定の値よりも小さな値の前記分散量を補償するための第2の受信側分散補償量に相当する信号を前記第1の受信側補償済信号に付与する第2の受信側補償処理と、を含む光通信方法。



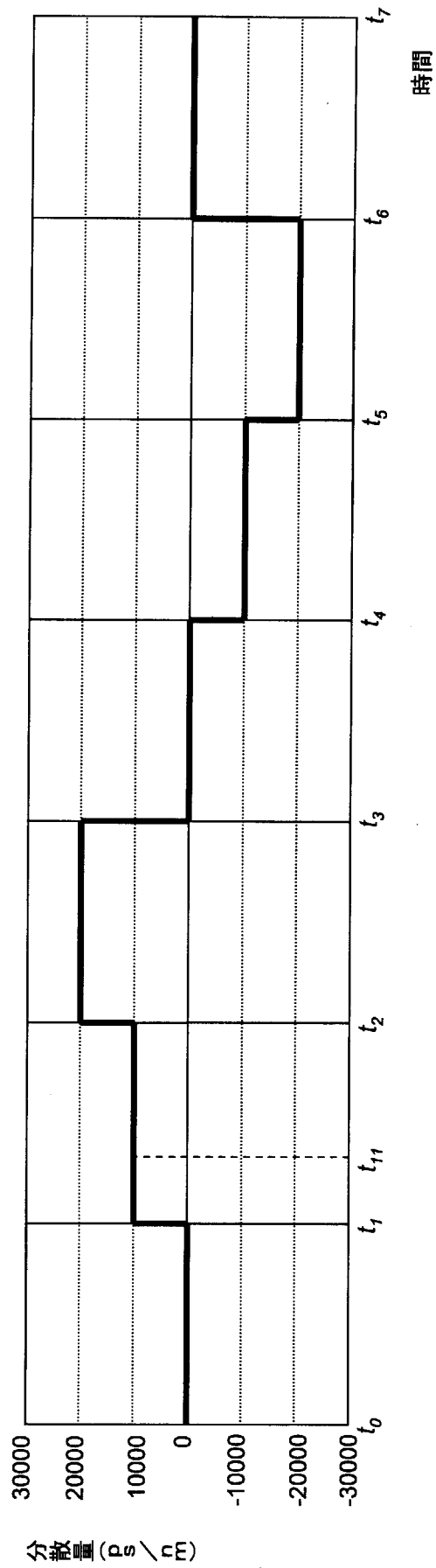
[図1]



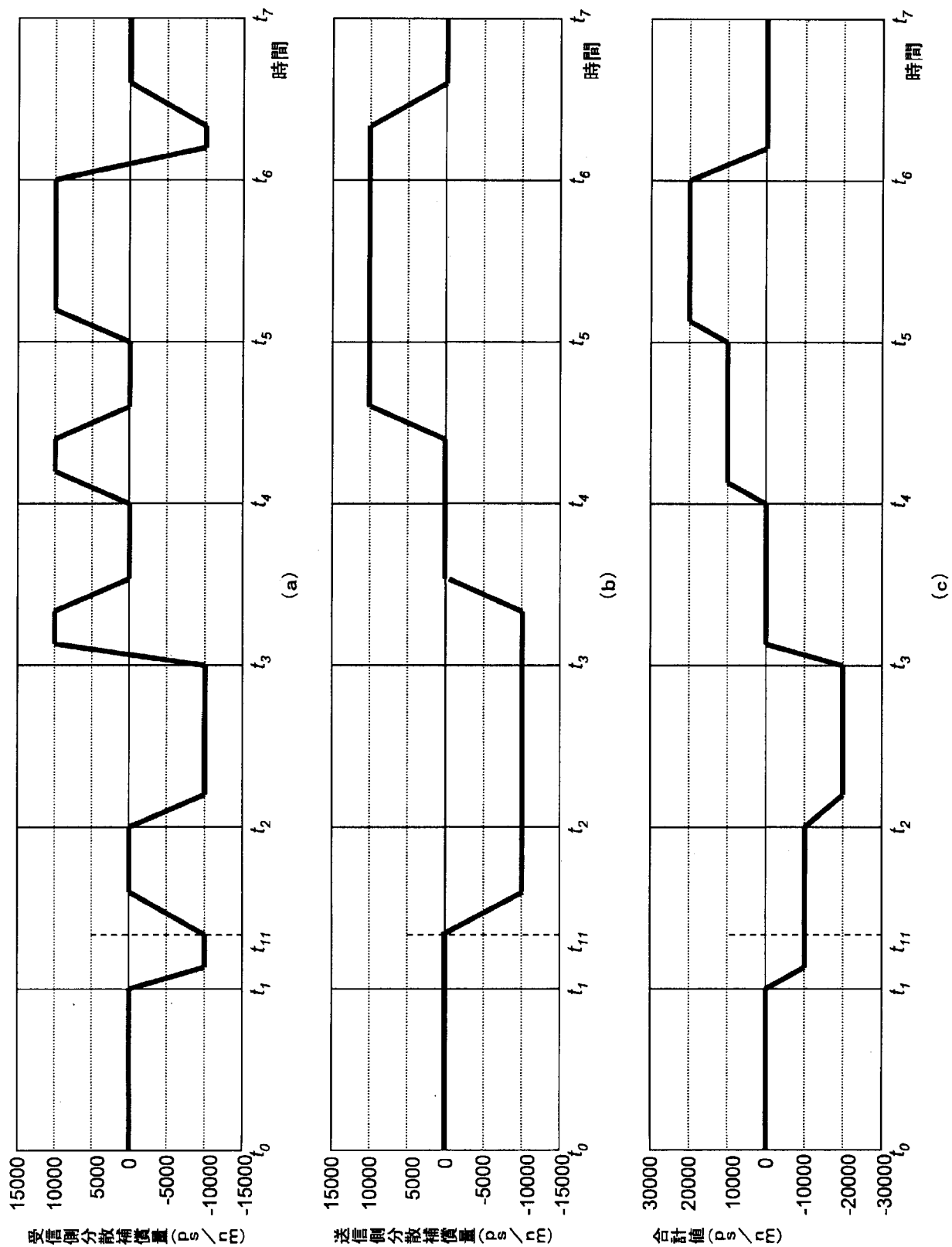
[図2]



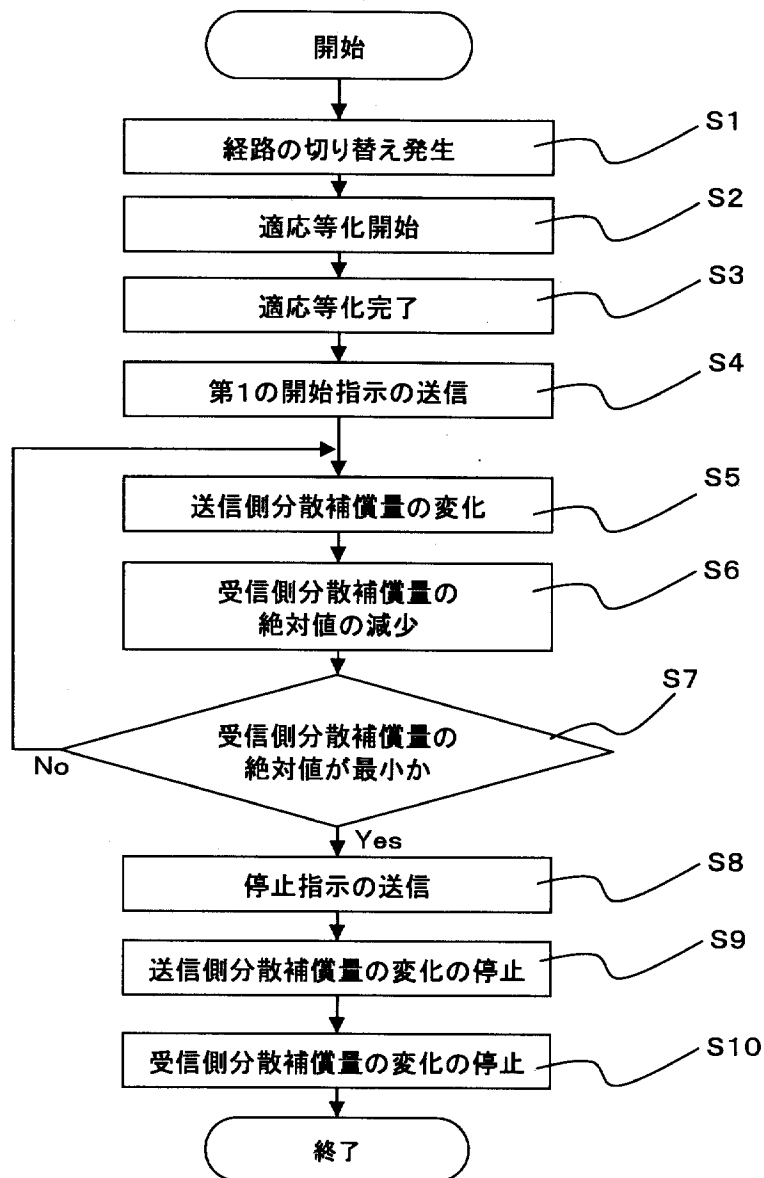
[図3]



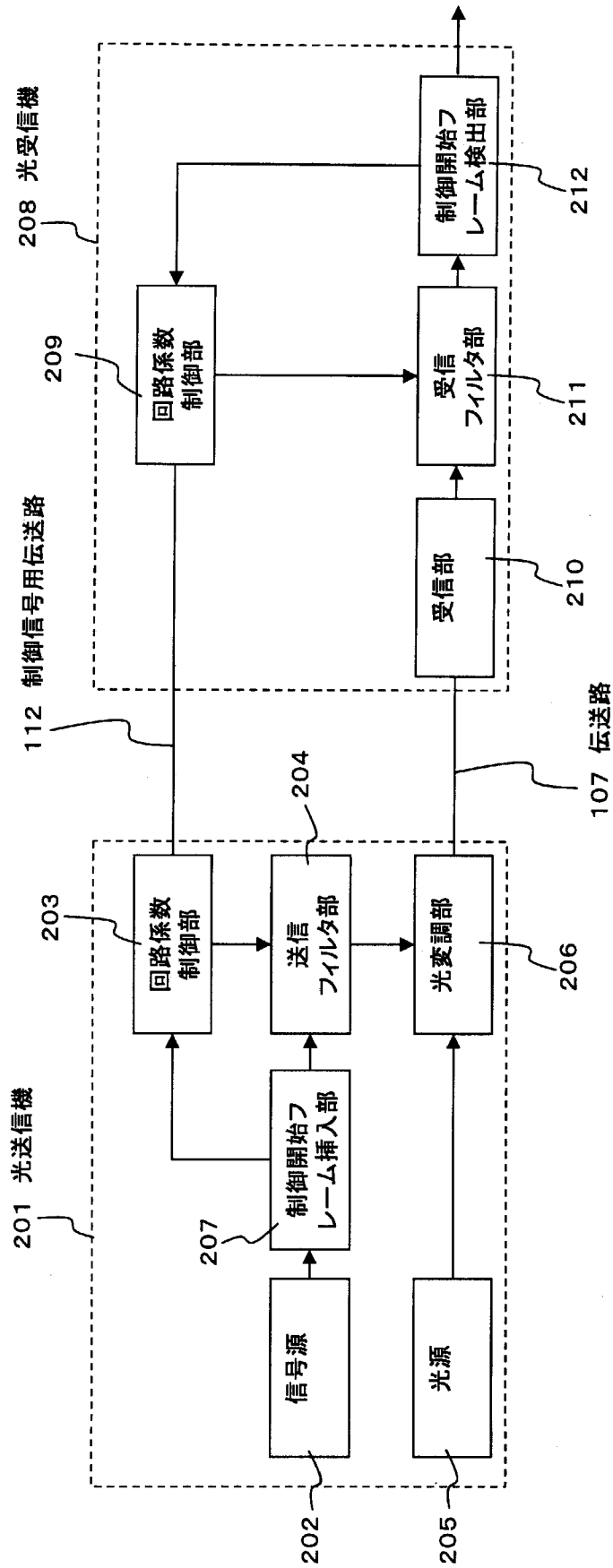
[図4]



[図5]



[図6]



[図7]

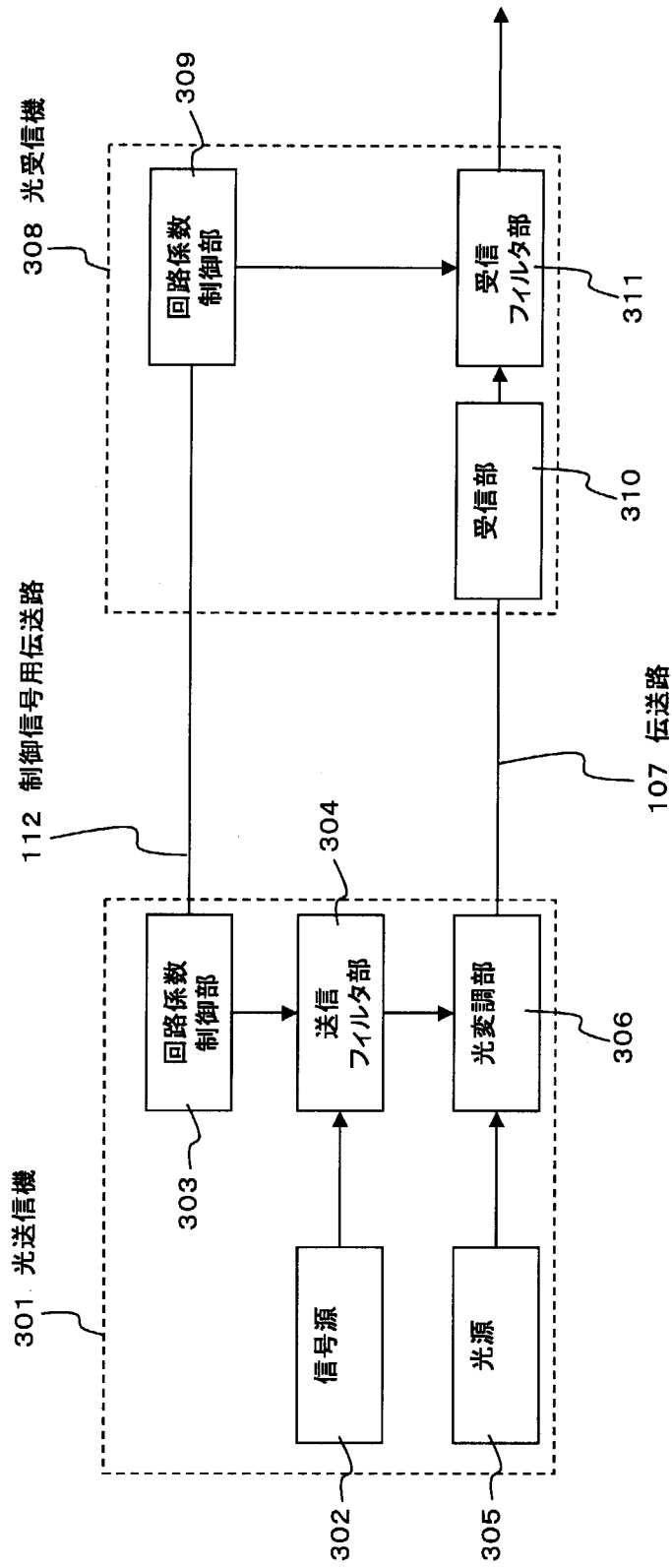
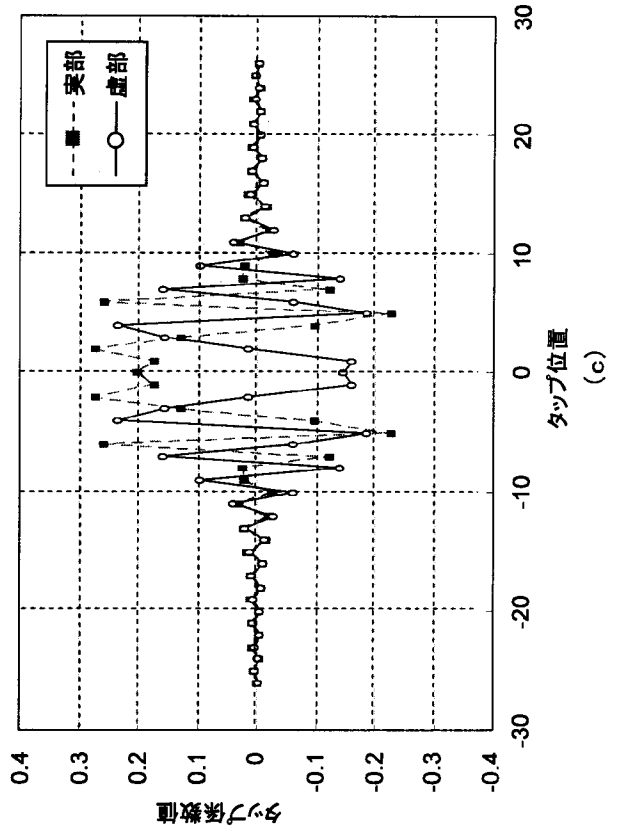
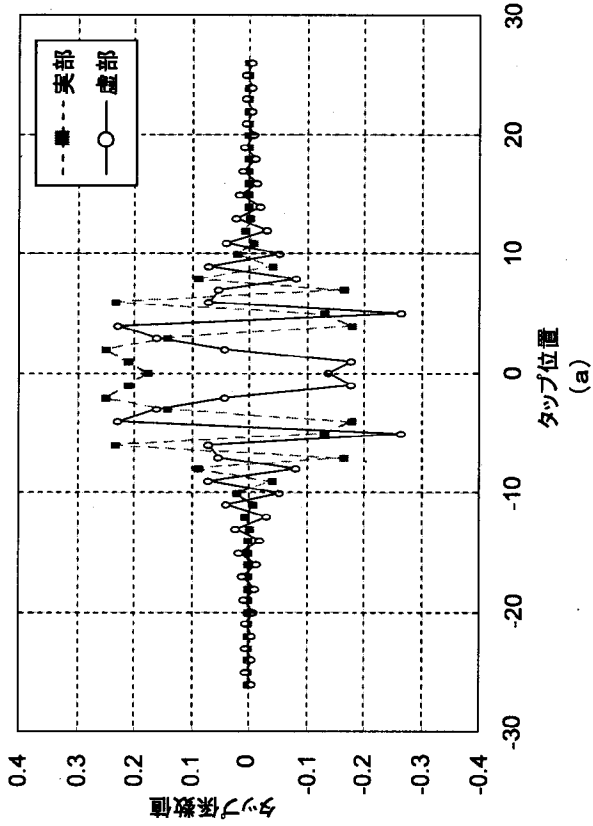
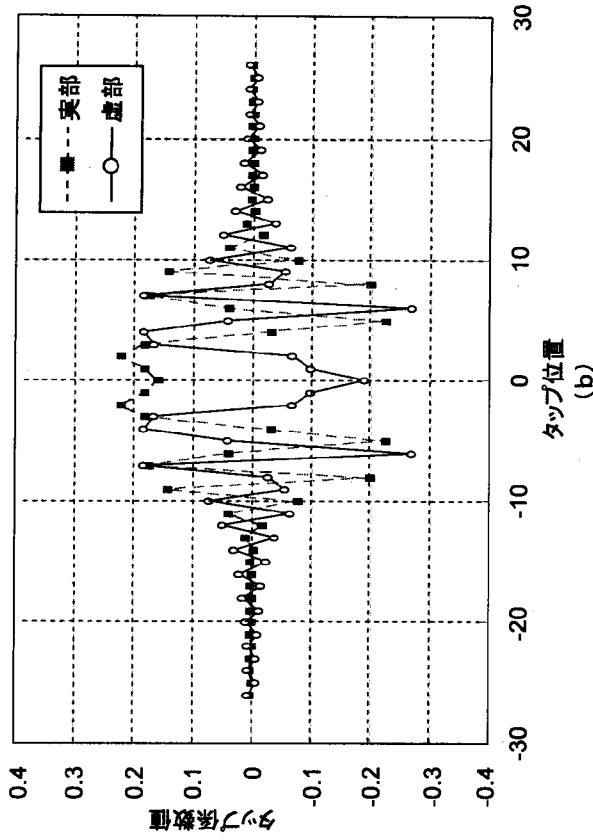
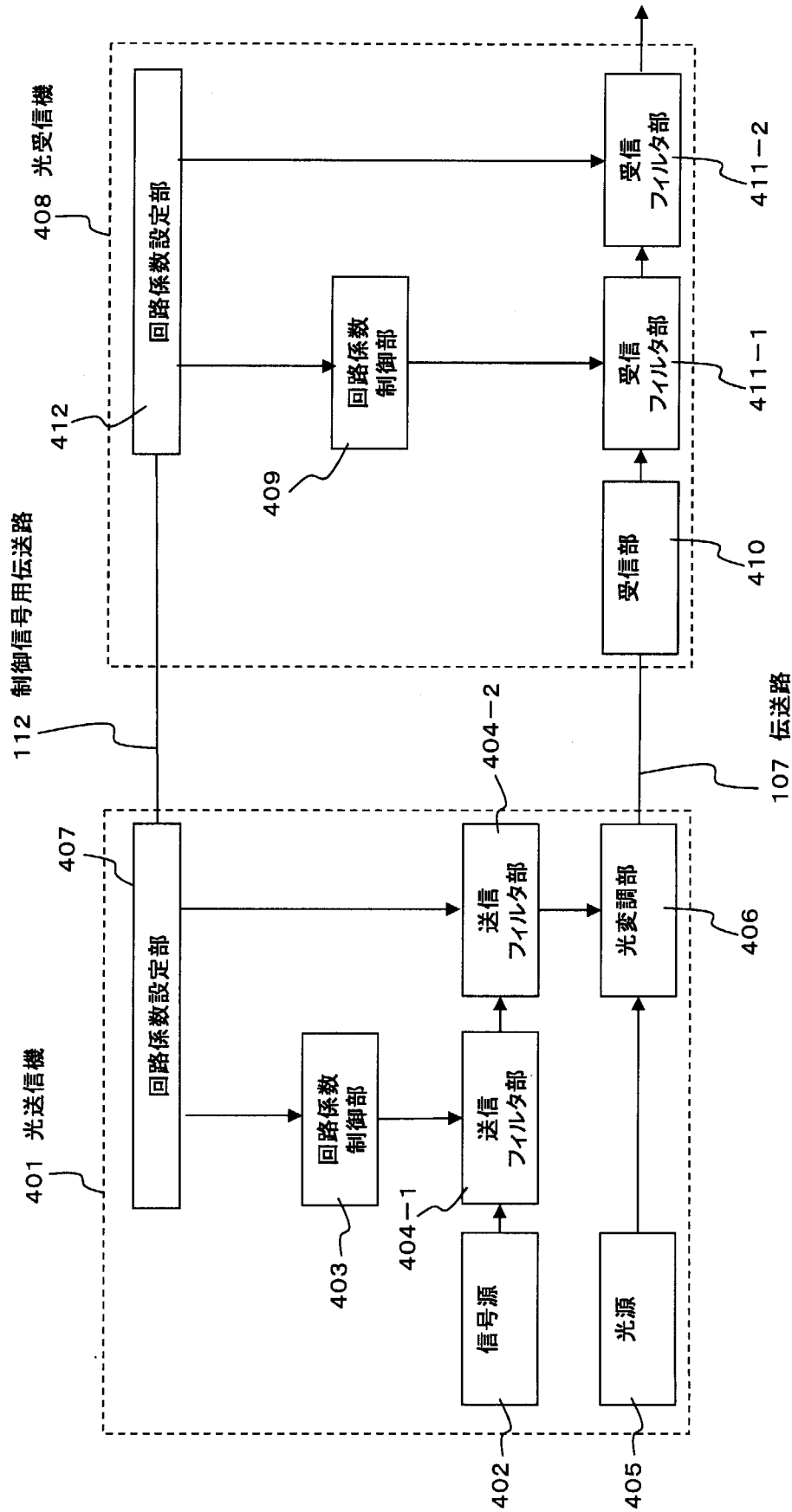


図8

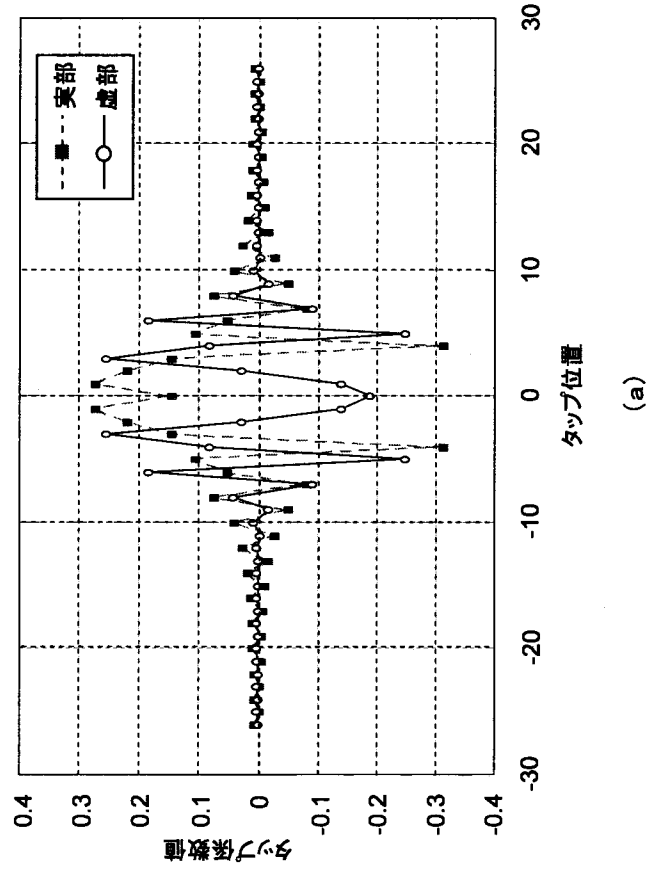
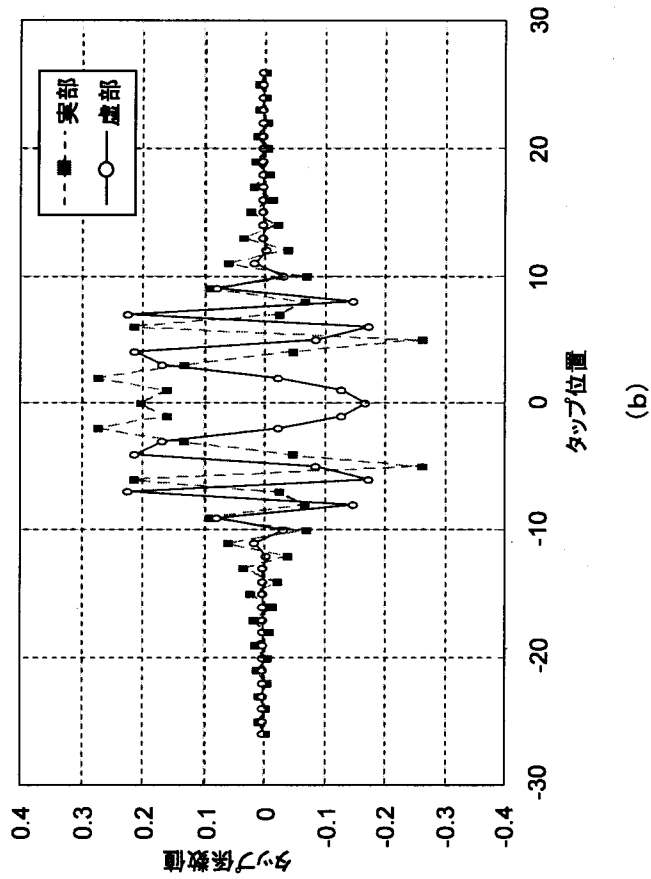




[図9]



[図10]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No. PCT/JP2010/050136
--

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
*H04B10/02(2006.01)i, H04B10/04(2006.01)i, H04B10/06(2006.01)i, H04B10/142(2006.01)i, H04B10/152(2006.01)i, H04B10/18(2006.01)i*

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
 H04B10/00-10/28, H04J14/00-14/08

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	D. McGhan, Electric Dispersion Compensation, Optical Fiber Conference (OFC) 2006, 2006.03.10, OWK1	1,10 2-9,11-18
Y A	JP 1-157112 A (Fujitsu Ltd.), 20 June 1989 (20.06.1989), pages 2 to 3; fig. 1, 2, 5 (Family: none)	1,10 2-9,11-18
A	JP 11-88260 A (Fujitsu Ltd.), 30 March 1999 (30.03.1999), paragraphs [0007], [0016] to [0017]; fig. 17, 24, 25 & US 6320687 B1 column 3; column 7, line 64 to column 9, line 18; fig. 17, 24, 25 & EP 902558 A2 & CN 1211119 A	2-9,11-18

Further documents are listed in the continuation of Box C.       See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 28 January, 2010 (28.01.10)	Date of mailing of the international search report 09 February, 2010 (09.02.10)
--	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/050136

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-208892 A (Fujitsu Ltd.), 26 July 2002 (26.07.2002), paragraphs [0055] to [0056]; fig. 21, 22 & US 2002/0089724 A1 fig. 21, 22 & EP 1223694 A2	2-9, 11-18
A	JP 2003-101478 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 04 April 2003 (04.04.2003), paragraphs [0008], [0029] to [0031]; fig. 1, 3 (Family: none)	2-9, 11-18
A	JP 2007-67698 A (Mitsubishi Electric Corp.), 15 March 2007 (15.03.2007), paragraphs [0022] to [0029]; fig. 4 to 6 (Family: none)	2-9, 11-18

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H04B10/02(2006.01)i, H04B10/04(2006.01)i, H04B10/06(2006.01)i, H04B10/142(2006.01)i, H04B10/152(2006.01)i, H04B10/18(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H04B10/00-10/28, H04J14/00-14/08

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	1971-2010年
日本国実用新案登録公報	1996-2010年
日本国登録実用新案公報	1994-2010年

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

IEEE Xplore

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	D. Mcghan, Electric Dispersion Compensation, Optical Fiber Conference (OFC) 2006, 2006.03.10, OWK1	1, 10 2-9, 11-18
Y A	JP 1-157112 A (富士通株式会社) 1989.06.20, 第2-3頁, 図1, 2, 5 (ファミリーなし)	1, 10 2-9, 11-18

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、一般的な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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

28.01.2010

国際調査報告の発送日

09.02.2010

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)  
 郵便番号100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

東 昌秋

電話番号 03-3581-1101 内線 3534

5 J

3858

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 11-88260 A (富士通株式会社) 1999. 03. 30, 段落[0007], [0016]-[0017], 図 17, 24, 25 & US 6320687 B1, 第 3 欄, 第 7 欄第 64 行-第 9 欄第 18 行, 図 17, 24, 25 & EP 902558 A2 & CN 1211119 A	2-9, 11-18
A	JP 2002-208892 A (富士通株式会社) 2002. 07. 26, 段落[0055]-[0056], 図 21, 22 & US 2002/0089724 A1, 図 21, 22 & EP 1223694 A2	2-9, 11-18
A	JP 2003-101478 A (古河電気工業株式会社) 2003. 04. 04, 段落[0008], [0029]-[0031], 図 1, 3 (ファミリーなし)	2-9, 11-18
A	JP 2007-67698 A (三菱電機株式会社) 2007. 03. 15, 段落[0022]-[0029], 図 4-6 (ファミリーなし)	2-9, 11-18