

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2004 年 11 月 18 日 (18.11.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/100409 A1

(51) 国際特許分類: H04B 10/18, H04J 14/02

(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/005769

(22) 国際出願日: 2003 年 5 月 8 日 (08.05.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 富士通株式会社 (FUJITSU LIMITED) [JP/JP]; 〒211-8588 神奈川県 川崎市 中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 Kanagawa (JP).

1 番 1 号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP). 片桐 徹 (KATAGIRI, Toru) [JP/JP]; 〒211-8588 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 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 伊東 忠彦 (ITO, Tadahiko); 〒150-6032 東京都 渋谷区 恵比寿 4 丁目 2 0 番 3 号 恵比寿ガーデンプレスタワー 3 2 階 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): JP, US.

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

(72) 発明者; および

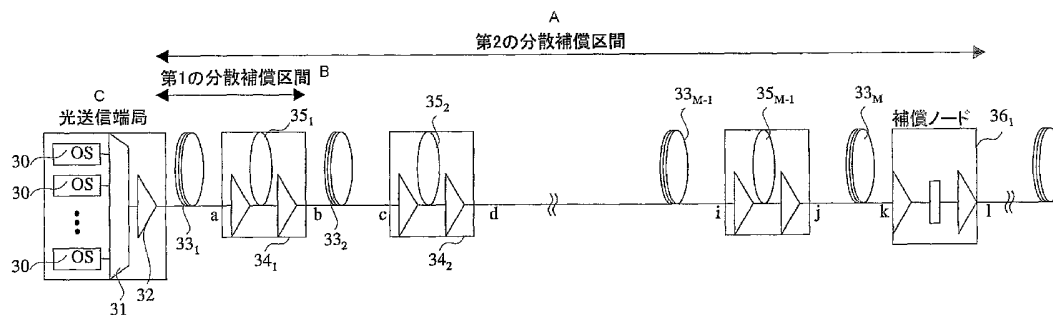
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 雨宮 宏一郎 (AMEMIYA, Kouichiro) [JP/JP]; 〒211-8588 神奈川県 川崎市 中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP). 内藤 崇男 (NAITO, Takao) [JP/JP]; 〒211-8588 神奈川県 川崎市 中原区上小田中 4 丁目

添付公開書類:
— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: METHOD FOR COMPENSATING WAVELENGTH DISPERSION AND WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEX TRANSMISSION SYSTEM USING IT

(54) 発明の名称: 波長分散補償方法及びそれを用いた波長分割多重伝送システム



A...SECOND DISPERSION COMPENSATING SECTION
B...FIRST DISPERSION COMPENSATING SECTION
C...OPTICAL TRANSMISSION END OFFICE
36_1...COMPENSATION NODE

(57) Abstract: A method for compensating wavelength dispersion of an optical transmission line in which a dispersion compensator provided for each optical transmission line of a specified length is set such that the residual dispersion slope becomes positive in a first dispersion compensating section, and a dispersion slope compensator provided for each of a specified number of first dispersion compensating sections is set with a negative dispersion slope such that the residual dispersion slope becomes 0 in a second dispersion compensating section, thus suppressing optical loss in a dispersion slope compensator at a compensation node.

(57) 要約: 本発明は、光伝送路の波長分散を補償する波長分散補償方法において、所定長の光伝送路毎に分散補償器を設けた第 1 分散補償区間で残留分散スロープが正となるよう前記分散補償器を設定し、所定数の第 1 分散補償区間毎に分散スロープ補償器を設けた第 2 分散補償区間で残留分散スロープが 0 となるよう前記分散スロープ補償器に負の分散スロープを設定するよう構成することにより、補償ノードの分散スロープ補償器における光損失を抑えることができる。



WO 2004/100409 A1

明細書

波長分散補償方法及びそれを用いた波長分割多重伝送システム

5 技術分野

本発明は、波長分散補償方法及びそれを用いた波長分割多重伝送システムに関し、光伝送システムで生じる波長分散を補償するための波長分散補償方法及びそれを用いた波長分割多重伝送システムに関する。

10 背景技術

I P トラフィックの爆発的な増大により、大容量かつ低コストの伝送システムに対する要求が急増している。そのような要求に対して、波長分割多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexer) 伝送システムの更なる大容量化及び低コスト化が図られている。

- 15 通常、波長分割多重されて伝送される光信号は、伝送路である光ファイバ中を伝搬するときに波長分散をとまなう。波長分散とは光ファイバの屈折率が波長に依存するために、わずかに異なった波長で伝送速度に差が生じることである。光変調によってある帯域幅を有する光信号が、波長分散を有する光ファイバ中を伝搬するときに、パルス波形の広がりを起こし、波形歪みによる伝送品質の劣化など
- 20 を引き起し、WDM伝送システムにおける伝送距離を制限する。

- 特に、EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier: エルビウム添加光ファイバ増幅器) や近年研究開発が盛んに行われているDRA (Distributed Raman Amplifier: 分布ラマン光増幅器) に代表される光増幅器を用いた長距離WDM伝送システムの場合、信号光は送信端局から受信端局まで光のまま伝送されるため、伝送路前の波長分散
- 25 が累積してしまう。

前述の波形歪みを抑えるために、累積波長分散を所定値内にする必要があり、そのために、適当な間隔で分散補償ファイバ (DCF: Dispersion Compensation Fiber) などの波長分散補償器が伝送路中に任意

の間隔で挿入される。

また、WDM伝送システムにおいては、伝送路の分散スロープの影響により累積波長分散が信号光波長毎に異なってくるという問題がある。そこで、伝送路の波長分散及び分散スロープの両方を補償するスロープ補償型分散補償ファイバを

- 5 WDM伝送システムに用いる構成が提案されている(例えば、特許文献1参照。)

ここで、分散及び分散スロープ補償器についての議論を簡単に行うためにいくつかの概念を導入する。図1は、仮想のファイバまたは分散補償器について、縦軸に分散値、横軸に波長をとった特性図を示す。 λ_s は想定するバンドの最短波長、 λ_L は最長波長、 λ_M は中心波長、 $BW (= \lambda_L - \lambda_s)$ は波長幅である。トータル

- 10 タルの分散値 D_t [ps/nm] については

$$D_t = D(\lambda_M) \times l \quad \dots (1)$$

とする。ここで、 $D(\lambda)$ [$\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$] は分散、 l はファイバの長さである。そして分散スロープに起因する最長波長の分散値と最短波長の分散値との差 D_s [ps/nm] については

- 15 $D_s = [D(\lambda_L) - D(\lambda_s)] \times l \quad \dots (2)$

と定義することにする。 D_s については分散カーブを1次関数で近似する場合、

$$D_s = S(\lambda_M) \times BW \quad \dots (3)$$

とも記述できる。 $S(\lambda)$ [$\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$] は分散スロープである。また、一般的に良く使用される $RDS = S/D$ [$1/\text{nm}$] という値があるが、この R

- 20 DS は D_t 、 D_s 及び BW を用いて

$$RDS = D_s / (D_t \times BW) \quad \dots (4)$$

と記述できる。

伝送路の D_t 値、 D_s 値を D_{td} 、 D_{sd} とし、その伝送路を補償する分散補償ファイバの D_t 値、 D_s 値を D_{tc} 、 D_{sc} とすると、分散補償率、分散スロ

- 25 ープ補償率を以下の式で定義する。

$$\text{分散補償率} = (D_{tc} / D_{td}) \times 100 [\%] \quad \dots (5)$$

$$\begin{aligned} \text{分散スロープ補償率} = & [(D_{sc} / D_{tc}) / (D_{sd} / D_{td})] \\ & \times 100 [\%] \quad \dots (6) \end{aligned}$$

図2 (A), (B) に、伝送路の波長分散及び分散スロープの両方を補償するス

ロープ補償型分散補償ファイバを用いた従来のWDM伝送システムの一例のブロック図と、その累積波長分散対伝送距離特性図（分散マップ）を示す。

図2（A）において、各波長の光送信機（OS）10から出力された光信号は、光合波器11により波長多重され、光増幅器12で光のまま信号増幅された後、

5 伝送路に送出される。

WDM信号は伝送路光ファイバの波長分散及び分散スロープの影響を受けながら伝搬するので、図2（B）のa, c, e, g, ..., z点に示す伝送路出力において各波長の累積分散が異なる。光増幅中継ノード14₁～14_nそれぞれはスロープ補償型分散補償器（DCM）15₁～15_nを備えており、伝送路光ファイバ13₁～13_nそれぞれの累積波長分散と分散スロープを共に補償する。そ

10 して、分散補償率100%、分散スロープ補償率100%とし、図2（B）のb, d, f, h点に示されるように、光増幅中継ノード毎に各波長の累積分散が0（零）となるようなシステムを目標としている。

しかし、分散補償率及び分散スロープ補償率は常に100%に設定することは

15 困難であり、実際のシステムでは分散補償率及び分散スロープ補償率が100±β（β>0）%という補償ずれを持つ。そして超長距離の伝送システムを想定した場合、光増幅中継ノード数が増加するため、光伝送路及び分散補償器における分散及び分散スロープのずれの影響が顕著になる。

また、伝送路長がばらつくことも補償ずれの原因となる。そのため、超長距離

20 伝送システムでは数個の光増幅中継ノード毎に分散及び分散スロープを補償する補償ノードを挿入することが必要となる（例えば、特許文献2, 3, 4参照。）。補償ノードを含めた場合の分散及び分散スロープ補償器配置構成として、光増幅中継ノードには分散補償器（スロープ補償型分散補償器）のみを設け、補償ノードには分散補償器と分散スロープ補償器を設ける場合がある。分散スロープ補償

25 器は、波長帯域の中心波長での分散値、すなわちD_tの値が0 [ps/nm]で、D_sが正または負の有限の値を持つようなものと定める。

この伝送システム構成及び累積波長分散対伝送距離特性を示したのが図3（A）,（B）である。図3（A）において、所定長の伝送路（例えば13₁）及びその伝送路の分散を補償する分散補償器を含む1つの光増幅中継ノード（例えば14

1_1) から構成される分散補償区間を第1分散補償区間とし、所定数Mの第1分散補償区間及び補償ノード（例えば16₁）からなる分散補償区間を第2分散補償区間とする。つまり、M番目の第1分散補償区間では光増幅中継ノードが補償ノードに置き換えられている。

- 5 第1分散補償区間においては、分散と同時に分散スロープも補償するスロープ補償型分散補償器（例えば15₁）のみを配置し、 $D_t = 0$ で D_s が有限の値を持つような分散スロープ補償器は配置しない。

そして、第2分散補償区間においては、分散補償すると同時に分散スロープ補償ずれにより生じた残留分散スロープについても補償ノード（例えば16₁）内の分散補償器17、分散スロープ補償器18を用いて補償する。なお、19、20は光増幅器である。

特許文献1：

特開平6-11620号公報

特許文献2

- 15 特開2000-261377号公報

特許文献3

特開2001-94510号公報

特許文献4

特開2002-280959号公報

- 20 超長距離の伝送システムにおいて、第2分散補償区間毎に累積した分散及び分散スロープ補償ずれを補償ノード（例えば16₁）にて補償する場合、補償ノードは光増幅中継ノードに比べ、より多くの構成要素を持つことになり、結果として補償ノードで生じる損失が大きくなる。その結果、補償ノードにおける光SN比が劣化する。この光SN比の劣化を防ぐには、光増幅器の利得を高くするとい
- 25 うことが考えられる。しかし、この場合には他の光増幅中継ノードに配置されている光増幅器とは異なる高利得の光増幅器を導入する必要があり、高コスト化につながってしまうという問題があった。

光SN比の劣化を最小限に留め、かつ、コストも低くするためには補償ノードに配置された分散及び分散スロープ補償器の損失を低く抑え、光増幅中継ノード

における損失と同程度にすることが必要となる。また、分散及び分散スロープ補償器を伝送システムに組み込むことを考えると収納スペースが限られる。従って、分散及び分散スロープ補償器の少スペース化も問題であった。

5 発明の開示

本発明は、補償ノードにおける光損失を抑えることができ、また、少スペース化を実現できる波長分散補償方法及びそれを用いた波長分割多重伝送システムを提供することを総括的な目的とする。

- この目的を達成するため、本発明は、光伝送路の波長分散を補償する波長分散
- 10 補償方法において、所定長の光伝送路毎に分散補償器を設けた第1分散補償区間で残留分散スロープが正となるよう前記分散補償器を設定し、所定数の第1分散補償区間毎に分散スロープ補償器を設けた第2分散補償区間で残留分散スロープが0となるよう前記分散スロープ補償器に負の分散スロープを設定するよう構成する。
- 15 このような波長分散補償方法によれば、補償ノードの分散スロープ補償器における光損失を抑えることができる。

図面の簡単な説明

- 図1は、仮想のファイバまたは分散補償器について、縦軸に分散値、横軸に波
- 20 長をとった特性図である。

図2は、従来のWDM伝送システムの一例のブロック図及び累積波長分散対伝送距離特性図である。

図3は、従来のWDM伝送システムの他の一例のブロック図及び累積波長分散対伝送距離特性図である。

- 25 図4は、正の分散スロープを持つ分散スロープ補償器を説明するための図である。

図5は、負の分散スロープを持つ分散スロープ補償器を説明するための図である。

図6は、本発明のWDM伝送システムの一実施例のブロック図である。

図7は、本発明のWDM伝送システムの累積波長分散対伝送距離特性図である。

図8は、本発明のWDM伝送システムの各点の分散スロープを示す図である。

図9は、補償ノードの構成図である。

図10は、本発明のWDM伝送システムの累積波長分散対伝送距離特性図であ

5 る。

図11は、本発明のWDM伝送システムの各点の分散スロープを示す図である。

発明を実施するための最良の形態

まず、本発明の原理について説明する。

- 10 分散スロープを一括補償する分散スロープ補償器としては、ファイバタイプのものが代表的である。ファイバタイプ分散スロープ補償器は、各種ファイバを組み合わせることで希望する分散スロープを持つ分散スロープ補償器を実現している。C-band（帯域36nm）において、既存のファイバを用いて実現可能な分散スロープ補償器を、正の分散スロープを持つものを図4に示し、負の分散
- 15 スロープを持つものを図5に示す。比較のため各分散スロープ補償器の D_s 値の絶対値は100に統一してある。

- 図4、図5において、 D_s は図1にて定義した最長波長の分散値と最短波長の分散値との差であり、 $D_s/Loss$ は光損失1dB当たりの最長波長の分散値と最短波長の分散値との差であり、分散スロープ補償量と関連付けられる。従っ
- 20 て、 $D_s/Loss$ の絶対値が大きいほど少ない損失で多くの分散スロープ補償が可能な性能の良い分散スロープ補償器と考えることができる。

- その $D_s/Loss$ 値が大きい組み合わせを、正の分散スロープを持つものと負の分散スロープを持つものについて、それぞれ4通りずつ挙げている。 $D_s/Loss$ 値を比較すると、図4に示した負の分散スロープを持つ分散スロープ補
- 25 償器の方が、図5に示した正の分散スロープを持つ分散スロープ補償器よりも $D_s/Loss$ の絶対値が比較的大きいことがわかる。

従って、補償ノードにて分散スロープ補償を行う場合、正の分散スロープ値を持つ分散スロープ補償器を使用するよりも、負の分散スロープ値を持つ分散スロープ補償器を使用する方が、補償ノードにおける損失値を抑えることができるこ

とになる。

- 次に、収納スペースの観点で議論する。負の分散スロープを持つ分散スロープ補償器は、図4のA欄に示す $D_s/Loss$ の数値が高いもので、約13 kmのファイバ長を持ち、そのうち2.4 kmがE-LEAF (Corning社製の
5 ノンゼロ分散シフトファイバ (NZ-DSF)) のDCFで、10.5 kmがSMF (シングルモードファイバ) である ($D_s = -100 \text{ ps/nm}$ の場合)。

- 一方で、正の分散スロープを持つ分散スロープ補償器は、図5のC欄に示す $D_s/Loss$ の数値が高いもので、約30 kmのファイバ長を持ち、そのうち約1 kmがSMFを用い、約29 kmがold-LEAF (Corning社製の
10 ノンゼロ分散シフトファイバ) である ($D_s = +100 \text{ ps/nm}$ の場合)。なお、図4、図5における、TW-RSは旧ルーセント社製のノンゼロ分散シフトファイバであり、old-LEAFはCorning社製のノンゼロ分散シフトファイバであり、TeraLightはAlcatel社製のノンゼロ分散シフトファイバである。

- 15 また、ファイバ長の差に加え、old-LEAFはSMFに比べて曲げ損失が大きく、SMFと同じファイバ長であっても収納に要するスペースは大きい。従って、収納スペースの観点からも負の分散スロープを持つ分散スロープ補償器の方が有利である。また、製造のしやすさという面でも分散値が負で分散スロープ値が負であるような分散補償器の方が優れている。

- 20 以上の分散補償器の性質を利用し、低損失な補償ノードを実現する。その方法を以下に示す。

(A) 第1分散補償区間における分散スロープ不足補償

- 現在の光分割多重伝送システムでは分散スロープ補償率の目標値は100%に設定されている。そして統計的ゆらぎを考慮した場合には伝送後の分散スロープ
25 補償率は $100 \pm \beta$ ($\beta > 0$) %となる。分散スロープ補償率が $100 - \beta$ %となった場合には負の分散スロープを持つ分散スロープ補償器を用いることで損失を低く抑えつつ、分散スロープを補償することが可能である。

一方で分散スロープ補償率が $100 + \beta$ %となった場合には正の分散スロープを持つ分散スロープ補償器を必要とする。その場合スロープ補償器の損失が大き

くなり、結果として光SN比が劣化する。

そこで本発明では、波長分割多重伝送システムにおいて、正の波長分散を有する複数の光伝送路と、その光伝送路の分散及び分散スロープを共に補償する複数のスロープ補償型分散補償器から構成される第1分散補償区間では分散スロープ補償を不足補償とし（但し、分散補償は100%）、複数の第1分散補償区間から構成される第2分散補償区間に配置された補償ノードでは低損失な負の分散スロープを持つ分散スロープ補償器を用いてスロープ補償を行うことにより、補償ノードにおける損失を低減し光SN比劣化を抑えながら、分散スロープ補償率を高めたシステムを実現する。

- 10 図6は、本発明のWDM伝送システムの一実施例のブロック図を示す。図7に、その累積波長分散対伝送距離特性（分散マップ）を示し、図8（A）～（D）に、図6の各点の分散スロープを示す。

図6において、各波長の光送信機（OS）30から出力された光信号は、光合波器31により波長多重され、光増幅器32で光のまま信号増幅された後、伝送路に送出される。

伝送路には、所定長の伝送路光ファイバ33₁～33_n毎に光増幅中継ノード34₁～34_nが設けられている。光増幅中継ノード34₁～34_nそれぞれはスロープ補償型分散補償器（DCM）35₁～35_nを備えており、伝送路光ファイバ33₁～33_nそれぞれの波長分散と分散スロープを共に補償する。

- 20 また、正の波長分散を有する所定長の伝送路（例えば33₁）と、その伝送路の分散及び分散スロープを共に補償するスロープ補償型分散補償器を含む1つの光増幅中継ノード（例えば34₁）から構成される分散補償区間を第1分散補償区間としたとき、所定数Mの第1分散補償区間毎に補償ノード（例えば36₁）が設けられている。つまり、M番目の第1分散補償区間では光増幅中継ノードが補償ノードに置き換えられている。この所定数の第1分散補償区間と補償ノードとからなる分散補償区間を第2分散補償区間とする。ところで、第1分散補償区間内には光増幅中継ノードの他に、光増幅器（分散補償器を含まない）が設けられている場合もある。

補償ノード36₁は図9（A）に示すように、分散補償器40と分散スロープ

補償器 4 1 と、分散補償器 4 0 に入力光信号を増幅して供給する光増幅器 4 3 と、分散スロープ補償器 4 1 から供給される光信号を増幅して出力する光増幅器 4 4 から構成されている。

- 正の波長分散を有する光伝送路 3 3₁ ~ 3 3_n と光増幅中継ノード 3 4₁ ~ 3 4_n から構成される第 1 分散補償区間においては、伝送距離に対して残留分散スロープが正となるように分散スロープ補償目標を設定する（残留分散は 0）。すなわち、分散スロープ補償率の目標値を $100 - \alpha$ ($\alpha > 0$) % とする。その結果、第 1 分散補償区間を繰り返すに従って分散スロープが図 7 に示すように累積する。図 6 における b, d, j 点それぞれの分散スロープを図 8 (A), (B), (C) に示す。なお、図 7 において、細い実線は最短波長 λ_s を示し、細い実線は中心波長 λ_m を示し、破線は最長波長 λ_L を示す。

そして、所定数の第 1 分散補償区間からなる第 2 分散補償区間においては、分散スロープ補償率が 100 % となるように分散スロープ補償目標を設定する。図 6 における 1 点の分散スロープを図 8 (D) に示す。

- 統計的ゆらぎを考慮して分散スロープ補償率が $100 - \alpha \pm \beta$ % となった場合でも、第 1 分散補償区間での分散スロープ補償率目標値を $100 - \alpha$ ($\alpha \geq \beta$) % と設定すると、分散スロープ補償率は $100 - \alpha \pm 10$ ($\alpha \geq \beta$) % < 100 % となり、第 2 分散補償区間では常に分散スロープは不足補償であるため、正の分散スロープを補償する必要がなくなる。第 1 分散補償区間における分散スロープ不足補償を第 2 分散補償区間で行うことにより、比較的損失の大きい、正の分散スロープを持つ分散スロープ補償器の使用を回避し、補償ノードにおける損失を低減できる。

(B) 分散及び分散スロープの一括補償

- 補償ノード 3 6₁ として、負の分散スロープを持つ分散スロープ補償器を挿入するだけでは損失が大きすぎる場合には、分散及び分散スロープを 1 つのスロープ補償型分散補償器で補償する。つまり、図 9 (A) に示すように分散補償器 4 0 と分散スロープ補償器 4 1 で分散と分散スロープを別々に補償するのではなく、図 9 (B) に示すようにファイバを組み合わせで構成したスロープ補償型分散補償器 4 2 で分散値及び分散スロープを一括で補償する。まず、補償ファイバの組

み合わせを検討する必要がある。伝送路として正の分散値及び正の分散スロープを持つものとする。

伝送路の D_t 値を D_{td} 、 D_s 値を D_{sd} 、 RDS 値を RDS_d 、補償ノードに挿入される分散及び分散スロープ一括補償型分散補償器の D_t 値を $D_{t_{CN}}$ 、 D_s 値を $D_{s_{CN}}$ 、 RDS 値を RDS_{CN} とする。第1分散補償区間での分散補償率を100%、分散スロープ補償率を $100 - \alpha$ %とし、補償ノードは M スパン（スパンは第1分散補償区間）毎に挿入するものとする。この場合 $D_{t_{CN}}$ 、 $D_{s_{CN}}$ 、 RDS_{CN} は、

$$D_{t_{CN}} = D_{td} \quad [p_s / nm] \quad \dots (7a)$$

$$D_{s_{CN}} = D_{sd} \times (\alpha / 100) \times (M - 1) + D_{sd} \quad [p_s / nm] \quad \dots (7b)$$

$$RDS_{CN} = [D_{sd} / (D_{td} \cdot BW)] \times [1 + \alpha (M - 1) / 100] \quad [1 / nm] \quad \dots (7c)$$

となる。

$\alpha > 0$ のため、式(7c)より補償ノードの分散及び分散スロープ補償器に必要とされる RDS_{CN} は伝送路の RDS_d よりも大きいものとなる。この RDS_{CN} を実現するために、1種もしくは2種のファイバを使用する。1種のファイバを使用する場合、その RDS は RDS_{CN} と等しく（もしくは、ほぼ同等で）なければならない。

2種のファイバを使用する際、それぞれの RDS を RDS_1 、 RDS_2 （ $RDS_1 > RDS_2$ と仮定）とすると、

$$RDS_1 \geq RDS_{CN} \geq RDS_2 \quad \dots (8)$$

を満足し、かつ損失の少ないものを選択することが必要である。

補償ノード361にて補償すべき D_t 、 D_s 値が判明し、組み合わせる2種のファイバを決定した後、下式より各ファイバの長さを決定する。

$$-D_t = D_1 \times l_1 + D_2 \times l_2 \quad \dots (9a)$$

$$\begin{aligned} -D_s &= D_{s1} + D_{s2} \\ &= [D_1 (\lambda_L) - D_1 (\lambda_s)] \times l_1 + [D_2 (\lambda_L) - D_2 (\lambda_s)] \times l_2 \\ &= S_1 \times BW \times l_1 + S_2 \times BW \times l_2 \quad \dots (9b) \end{aligned}$$

D_i ($i=1, 2$) [$p_s/nm/km$] は組み合わせるファイバの分散値、 l_i ($i=1, 2$) は各ファイバの長さ、 S_i ($i=1, 2$) は分散スロープ、 BW は波長帯域である。

(C) 補償ノードにおける損失の各中継器への分配

- 5 方法 (A) では光増幅中継ノード $34_1 \sim 34_n$ における分散補償は 100% であったが、補償ノード 36_1 の低損失化を行うために、光増幅中継ノードでの分散補償率を $100 + \gamma$ ($\gamma > 0$) % に設定する。これにより、補償ノード 36_1 を M スパン毎に挿入するシステムの場合、補償ノード 36_1 での分散補償率は $100 - \gamma (M - 1)$ % にすることが可能となる。
- 10 補償ノード 36_1 での分散補償量を減らすことで、光増幅中継ノード $34_1 \sim 34_n$ の分散補償器における損失は $1 + \gamma / 100$ (> 1) 倍に増加するものの、補償ノード 36_1 における分散補償器の損失は $1 - \gamma (M - 1) / 100$ (< 1) 倍に削減できる。

- 15 この場合の分散スロープの累積を図 10 に示す。なお、図 10 において、細い実線は最短波長 λ_S を示し、細い実線は中心波長 λ_M を示し、破線は最長波長 λ_L を示す。また、図 6 における b, d, j 点それぞれの分散スロープを図 11 (A), (B), (C) に示す。ここでは、 b, d, j 点それぞれにおける中心波長 λ_M の分散は負の値となっている。

- 20 そして、複数の第 1 分散補償区間を含む第 2 分散補償区間においては、分散補償率が 100% 、かつ、分散スロープ補償率が 100% となるように分散補償率及び分散スロープ補償目標を設定する。図 6 における 1 点の分散スロープを図 11 (D) に示す。

- 25 これにより、光増幅中継ノード $34_1 \sim 34_n$ に配置された分散補償器の損失と補償ノード 36_1 に配置された分散及び分散スロープ補償器の損失とを同程度に設定することができ、システム全体で同じ性能の光増幅器を使用することができる。

ここで、具体的に光波長分割多重伝送システムを想定して、本発明方法を説明する。

光波長分割多重伝送システムとして、SMF $100 km \times 30$ スパンを想定し、

6 スパン毎に補償ノード 36_1 が挿入されているものとする。C-band (帯域 36 nm) で、SMF 100 km を伝送路とする場合、分散値 $D = 1609 \text{ ps/nm}$ 、 $D_s = 205.2 \text{ ps/nm}$ となる。

- 5 これに対して分散補償率 100% 、分散スロープ補償率 90% のスロープ補償型分散補償器を光増幅中継ノード $34_1 \sim 34_n$ として適用した場合には、第1分散補償区間後の残留分散は $D = 0 \text{ ps/nm}$ 、 $D_s = 20.52 \text{ ps/nm}$ となる。

- 10 そして、6 スパン伝送後では $D = 0 \text{ ps/nm}$ 、 $D_s = 123.12 \text{ ps/nm}$ となる。補償ノード 36_1 では $D_s = 123.12 \text{ ps/nm}$ を SMF と E-LEAF の DCF とを組み合わせた分散スロープ補償器 41 で補償する。なお、分散補償器 40 は光増幅中継ノードのスロープ補償型分散補償器と同一である。

- 15 この場合は、SMF 13.1 km と E-LEAF の DCF 3.0 km の組み合わせにより、 D_s 値 -124.42 ps/nm を実現でき、残留 D_s 値は -1.3 ps/nm となる。この場合、補償ノード 36_1 内での損失は分散補償器 40 の分散 -1609 ps/nm に相当する分の 6.44 dB と、分散スロープ補償器 41 の損失 4.56 dB とで 11 dB となる。全ファイバ長は分散補償器 40 部分で SMF の DCF が 20 km 、分散スロープ補償器 41 部分は 16.1 km で、このうち 13 km は SMF である。

- 20 これに対して、従来の分散補償方式を採用して、統計的ゆらぎを考慮し、分散スロープ補償率が $100 + 10\%$ となった場合、6 スパン伝送後で $D = 0 \text{ ps/nm}$ 、 $D_s = -123.12 \text{ ps/nm}$ となる。この時に残留分散スロープを 0 ps/nm に設定したい場合、SMF の DCF 1.6 km と old-LEAF 36.4 km を組み合わせて補償することで残留分散 0 ps/nm 、残留分散スロープ 2.6 ps/nm を実現できる。

- 25 しかし、このスロープ補償型分散補償器の損失は 14.22 dB となり、負の分散スロープを補償するスロープ補償型分散補償器よりも約 3.2 dB 余計に損失することになる。そして、全ファイバ長は分散スロープ補償部分のみで 38 km になり、そのうち 36.4 km が old-LEAF であるため収納スペースを多く取るという点でも負の分散スロープを持つ分散スロープ補償器に劣る。

次に、分散補償率100%、分散スロープ補償率80%の場合、6スパン伝送後に $D=0\text{ ps/nm}$ 、 $D_s=246.24\text{ ps/nm}$ となる。この場合、SMF 25.7km、E-LEAF用DCF 5.9kmを用いて $D_s=-244.69\text{ ps/nm}$ を実現でき、残留する D_s は 1.55 ps/nm である。但し、この場合、分散スロープ補償器41における損失は8.97dBであり、分散補償器40の -1609 ps/nm に相当する損失6.44dBと合わせて15.41dBとなる。この場合は補償ノード36₁における損失が比較的大きくなるため方法(B)を用いる。

すなわち、補償ノード36₁で補償すべき値は $D_t=1609\text{ ps/nm}$ 、 $D_s=410.4\text{ ps/nm}$ である。この値をSMFのDCF及びE-LEAFのDCFを用いて補償することを考える。方法(B)にて示した式(9a)、(9b)より、

$$-1609 = -80 \times 11 + (-70) \times 12$$

$$-410.4 = (-0.227 \times 11 - 1.4 \times 12) \times 36$$

となる。上記2つの式を解いて、 $l_1=15.11\text{ km}$ 、 $l_2=5.71\text{ km}$ を得る。これより補償ノード36₁での損失は8.55dBとなる。そして全ファイバ長は20kmである。

このように、SMFを伝送路とする伝送システムにおいて、第1分散補償区間にて分散スロープ補償率を不足補償に設定すると、補償ノードにて既存ファイバを組み合わせ実現される分散スロープ補償器を使用することで、分散スロープ補償率の高いシステムを実現することができる。

さらに、光増幅中継ノード34₁~34_nにおける損失と補償ノード36₁における損失との差が大きくなる場合には、方法(C)を適用して回避する。第1分散補償区間における分散補償率を $100+10\%$ ($\gamma=10\%$) とする。すると、光増幅中継ノード34₁~34_nにて補償すべき D_t 値は $1609 \times 1.1 = 1769.6\text{ ps/nm}$ で、損失は7.08dBとなる。補償ノード36₁の分散補償器40にて補償すべき D_t 値は $1609 \times 0.5 = 804.5\text{ ps/nm}$ で、損失は3.22dBである。この補償ノード34₁~34_nに方法(A)で使

る分散スロープ補償率が90%)の場合、分散スロープ補償器41の損失は4.56 dBであり、分散補償器40の損失と合わせて7.78 dBとなる(ファイバ長は分散補償器40で10 km、分散スロープ補償器41で16.1 km)。

- この設定により光増幅中継ノード34₁~34_nにおける損失と補償ノード36₁における損失の差が1 dB以下となり、補償ノード36₁用に高利得の光増幅器を導入する必要がなくなる。また $\alpha=20\%$ の場合には方法(B)を併用し、分散及び分散スロープ補償器をSMFのDCF 3.5 km、E-LEAFのDCF 7.5 km(ファイバ長は分散及び分散スロープ補償器:11 km)を用いて構成し、分散及び分散スロープを補償する。この場合の補償ノード36₁における損失は6 dBとなり、光増幅中継ノード34₁~34_nにおける損失との差は約1 dBになる。

以上の説明より、本発明によれば長距離光伝送システムにおいて良好な伝送特性を実現できる。さらに光SN比劣化を補う高利得光増幅器を必要としないため低コストでシステムを構成できる。そして収納スペースの削減も実現できる。

- 15 上述の如く、請求項1, 2に記載の発明によれば、補償ノードの分散スロープ補償器における光損失を抑えることができる。

請求の範囲

1. 光伝送路の波長分散を補償する波長分散補償方法において、
所定長の光伝送路毎に分散補償器を設けた第1分散補償区間で残留分散スロー
5 プが正となるよう前記分散補償器を設定し、
所定数の第1分散補償区間毎に分散スロープ補償器を設けた第2分散補償区間
で残留分散スロープが0となるよう前記分散スロープ補償器に負の分散スロープ
を設定する波長分散補償方法。
- 10 2. 光伝送路の波長分散を補償して伝送する波長分割多重伝送システムにお
いて、
所定長の光伝送路毎に残留分散スロープが正となるよう分散補償を行って第1
分散補償区間を構成する分散補償器と、
所定数の第1分散補償区間毎に残留分散スロープが0となるよう分散スロープ
15 補償を行って第2分散補償区間を構成する分散スロープ補償器を
有する波長分割多重伝送システム。
- 20 3. 請求項2記載の波長分割多重伝送システムにおいて、
前記分散スロープ補償器は、分散及び分散スロープの比率が異なる複数の分散
補償器を組み合わせたスロープ補償型分散補償器を
有する波長分割多重伝送システム。
- 25 4. 請求項3記載の波長分割多重伝送システムにおいて、
前記分散スロープ補償器は、前記スロープ補償型分散補償器の他に、前記第1
分散補償区間に設けた分散補償器と同程度の分散補償を行う分散補償器を
有する波長分割多重伝送システム。
5. 請求項3記載の波長分割多重伝送システムにおいて、
前記スロープ補償型分散補償器は、前記第1分散補償区間に設けた分散補償器

と同程度の分散補償量を持つ波長分割多重伝送システム。

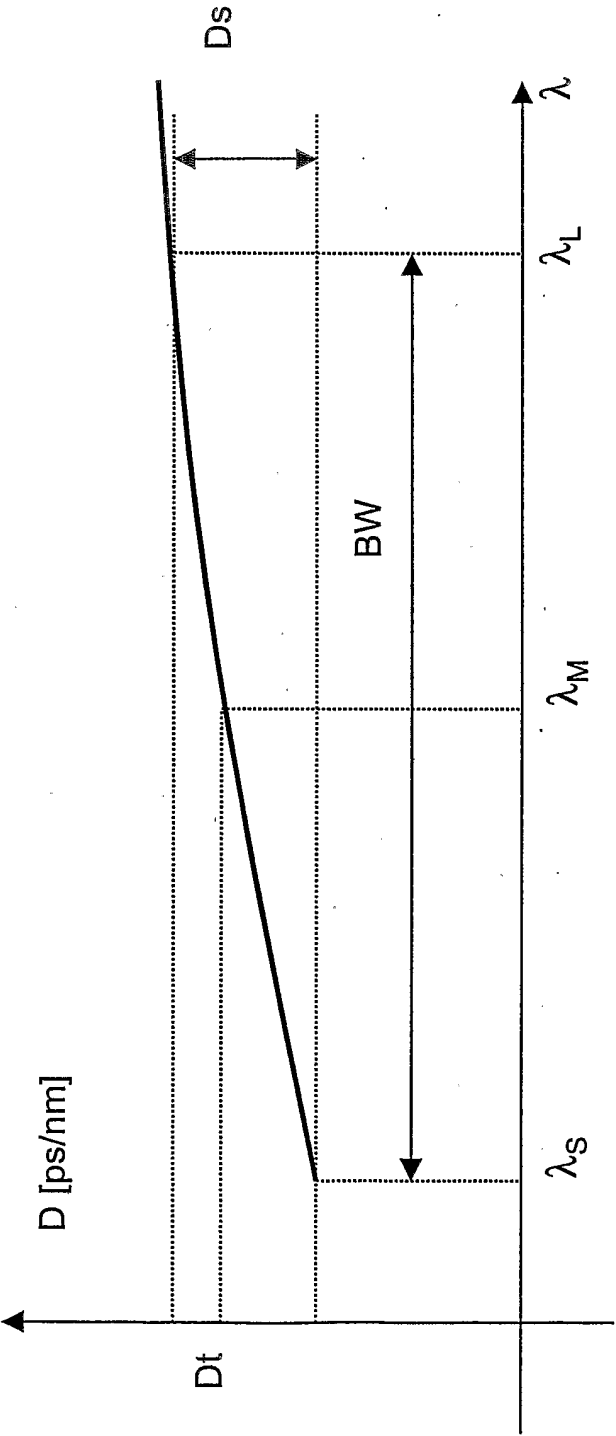
6. 請求項 2 乃至 5 のいずれか記載の波長分割多重伝送システムにおいて、
各第 1 分散補償区間の前記分散スロープ補償器は、残留分散が 0 となるよう分
5 散補償を行う波長分割多重伝送システム。

7. 請求項 2 乃至 5 のいずれか記載の波長分割多重伝送システムにおいて、
各第 1 分散補償区間の前記分散スロープ補償器は、残留分散が負となるよう分
散補償を行う波長分割多重伝送システム。

10

8. 請求項 3 記載の波長分割多重伝送システムにおいて、
前記分散及び分散スロープの比率が異なる複数の分散補償器は、ノンゼロ分散
シフトファイバとシングルモードファイバである波長分割多重伝送システム。

FIG.1



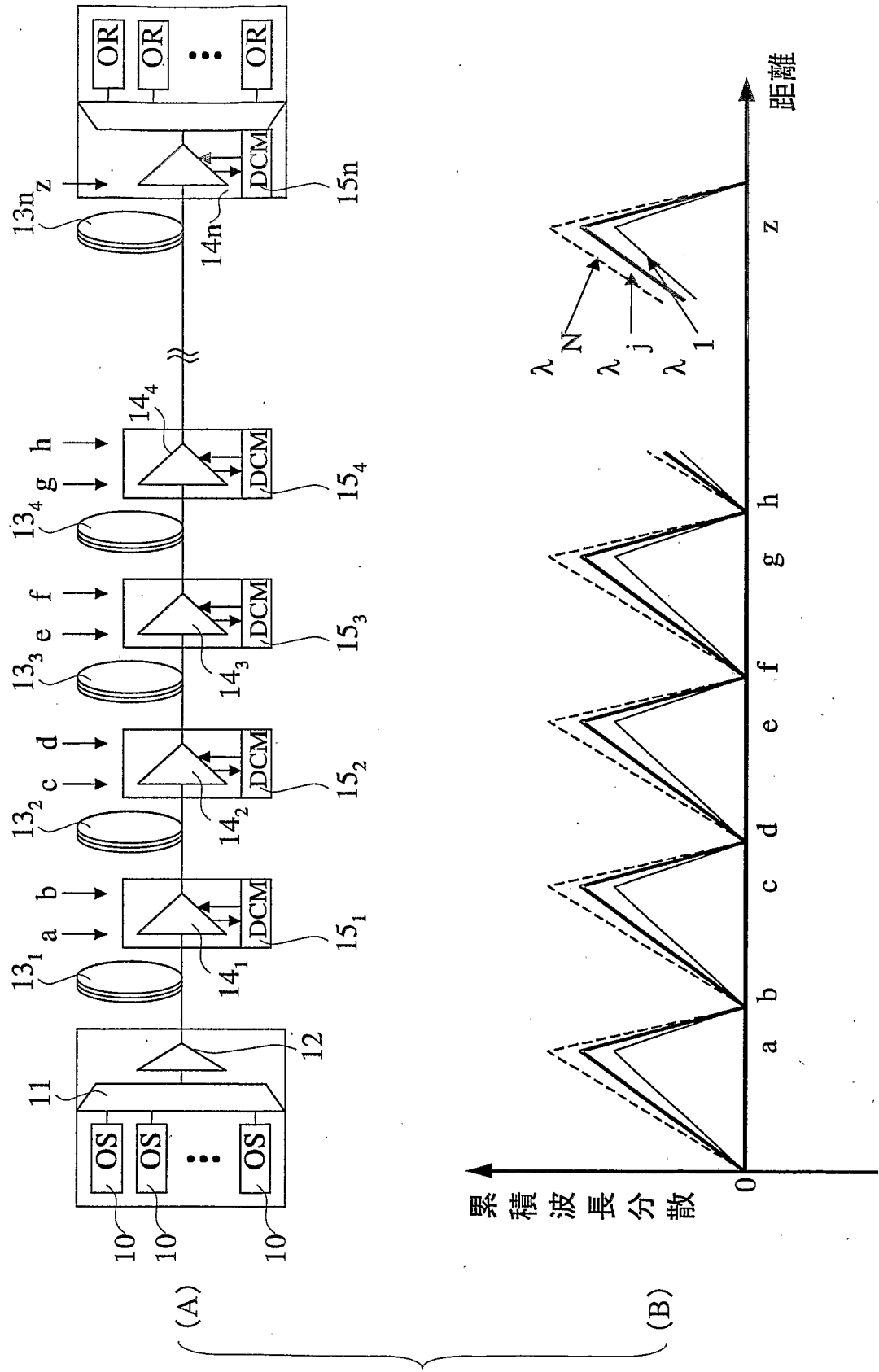


FIG.2

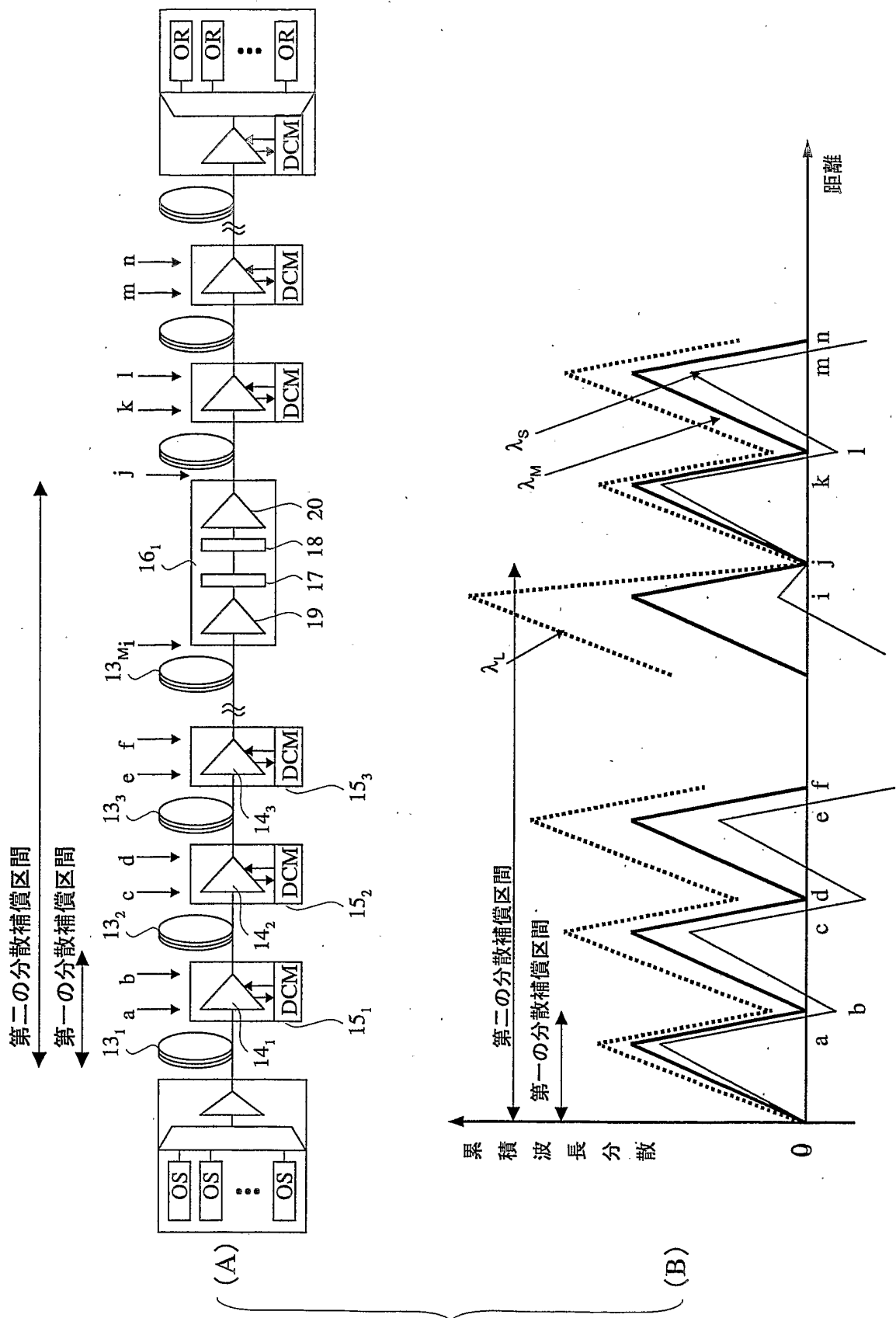


FIG.3

4/11

FIG.4

	構成	Loss [dB/km]	D [ps/nm/km]	S [ps/nm ² /km]	Length [km]	Ds [ps/nm]	total loss [dB]	Ds/Loss [ps/nm/dB]
A	DCF for E-LEAF (1)	0.65	-70.00	-1.400	2.4	-121.526	1.57	
	SMF	0.20	16.09	0.057	10.5	21.526	2.10	
					total	-100.000	3.67	-27.28
B	DCF for TW-RS (1)	0.35	-70.00	-0.700	6.1	-154.860	2.15	
	SMF	0.20	16.09	0.057	26.7	54.860	5.35	
					total	-100.000	7.50	-13.34
C	DCF for E-LEAF (2)	0.34	-80.00	-0.84	5.0	-150.918	1.70	
	SMF	0.20	16.09	0.057	24.8	50.918	4.96	
					total	-100.000	6.66	-15.02
D	DCF for E-LEAF (3)	0.45	-45	-0.810	4.3	-124.503	1.92	
	SMF	0.20	16.09	0.057	11.9	24.503	2.39	
					total	-100.000	4.31	-23.20

5/11

FIG.5

	構成	Loss [dB/km]	D [ps/nm/km]	S [ps/nm ² /km]	Length [km]	Ds [ps/nm]	total loss [dB]	Ds/Loss [ps/nm/dB]
A	DCF for SMF (1)	0.32	-80.00	-0.272	2.0	-19.714	0.64	
	Enh-LEAF	0.21	4.02	0.083	40.1	119.714	8.41	
						100.000	9.06	11.04
B	DCF for SMF (1)	0.32	-80.00	-0.272	1.3	-12.463	0.41	
	old-LEAF	0.20	3.52	0.108	28.9	112.463	5.79	
						100.000	6.19	16.15
C	DCF for TeraLight (1)	0.34	-70.00	-0.455	1.6	-26.880	0.56	
	old-LEAF	0.20	3.52	0.108	32.6	126.880	6.53	
						100.000	7.08	14.11
D	DCF for TW-RS (1)	0.35	-70.00	-0.700	1.9	-48.352	0.67	
	old-LEAF	0.20	3.52	0.108	38.2	148.352	7.63	
						100.000	8.30	12.04

FIG.6

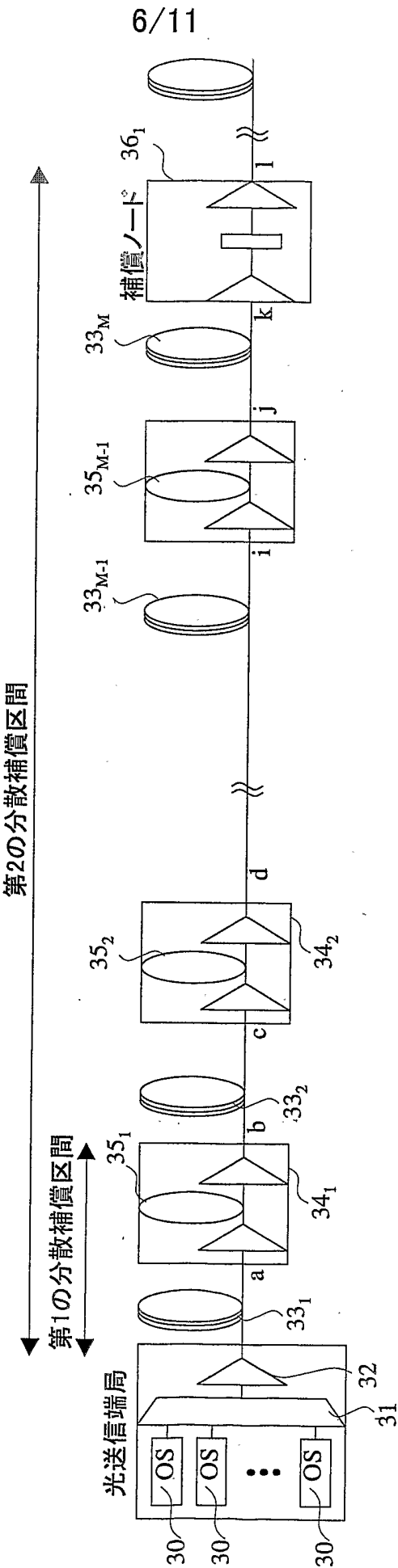
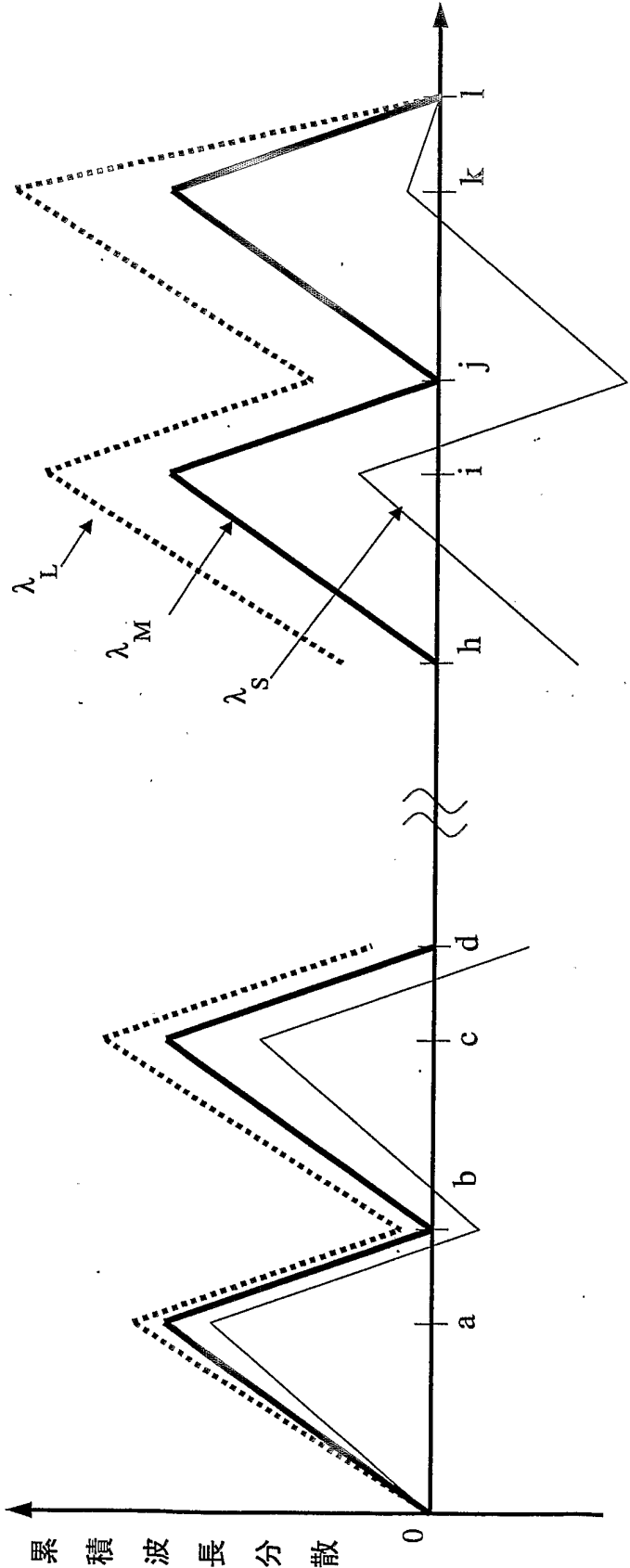


FIG.7



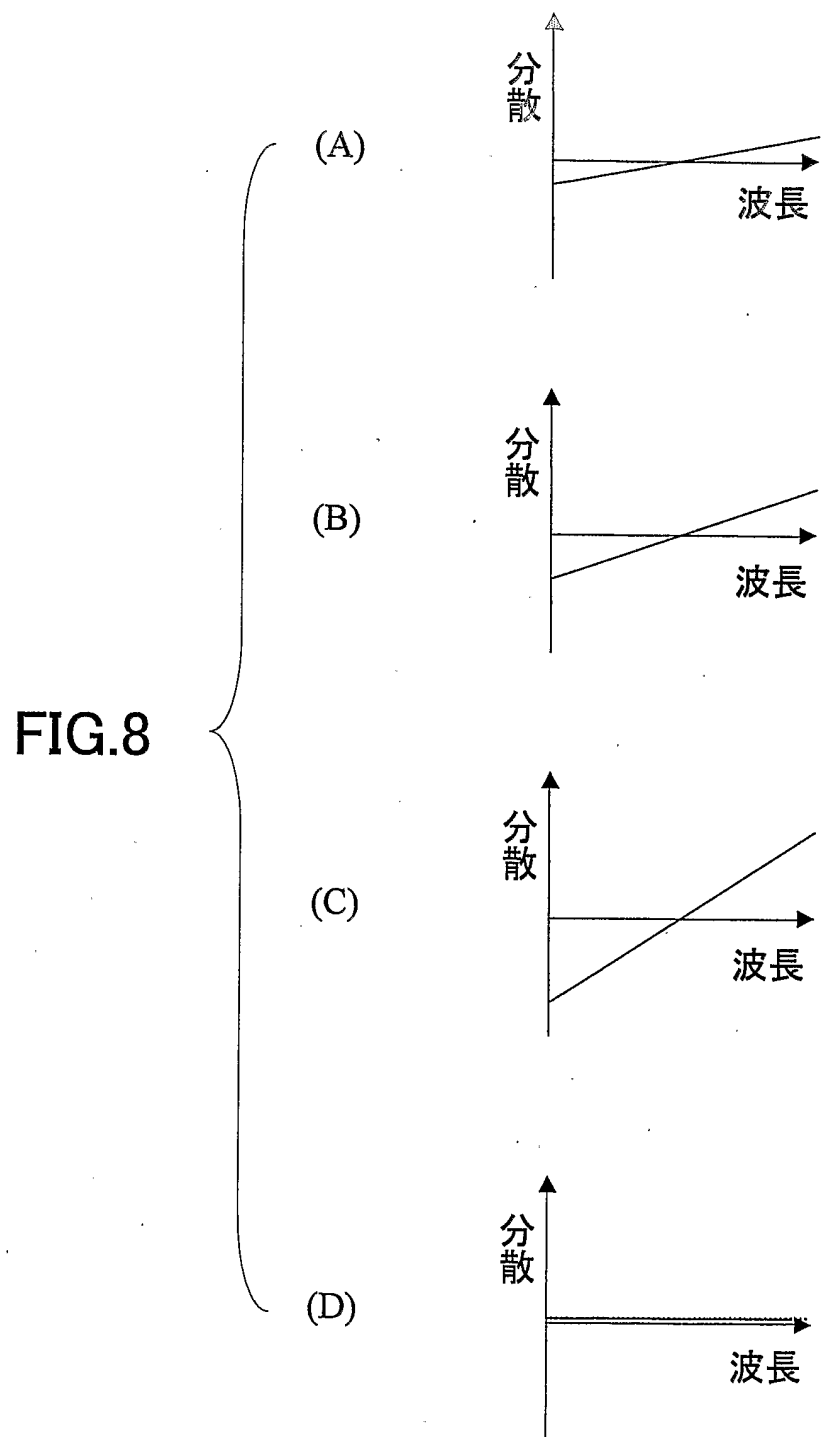


FIG.9

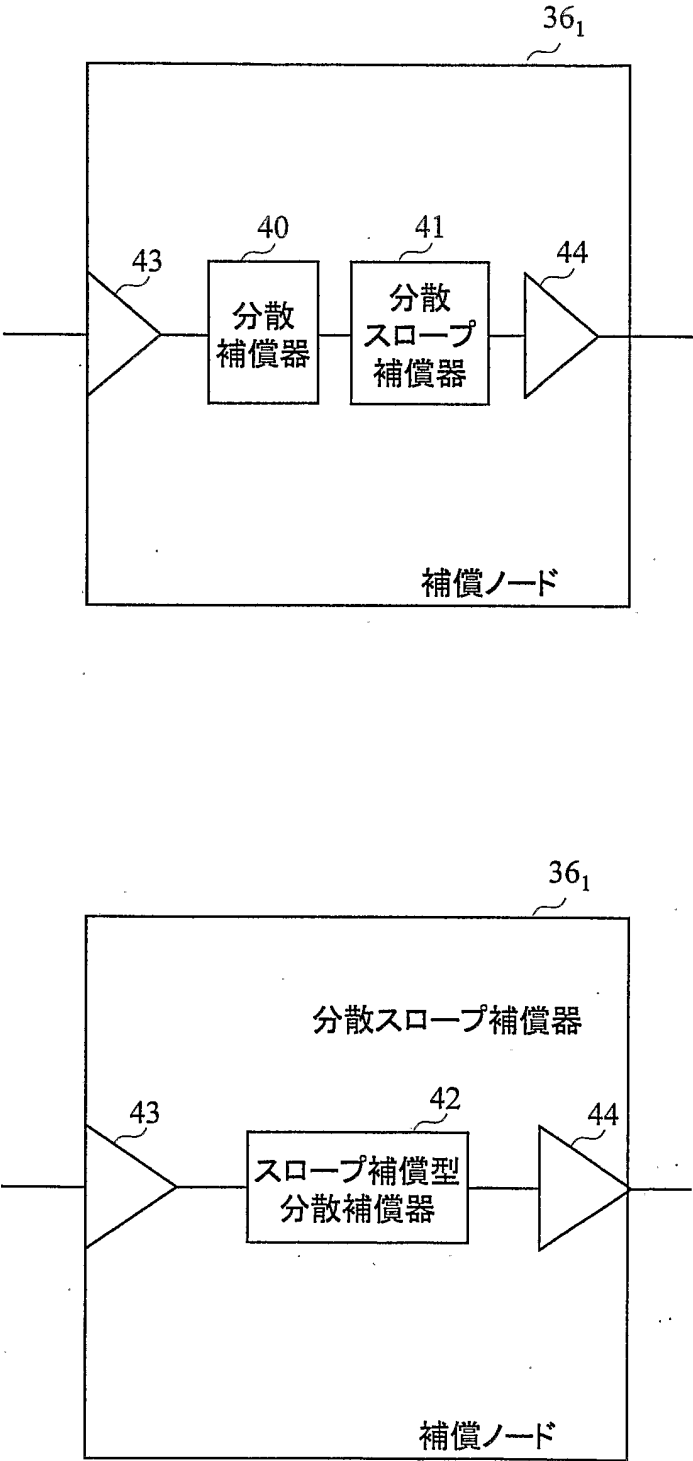


FIG.10

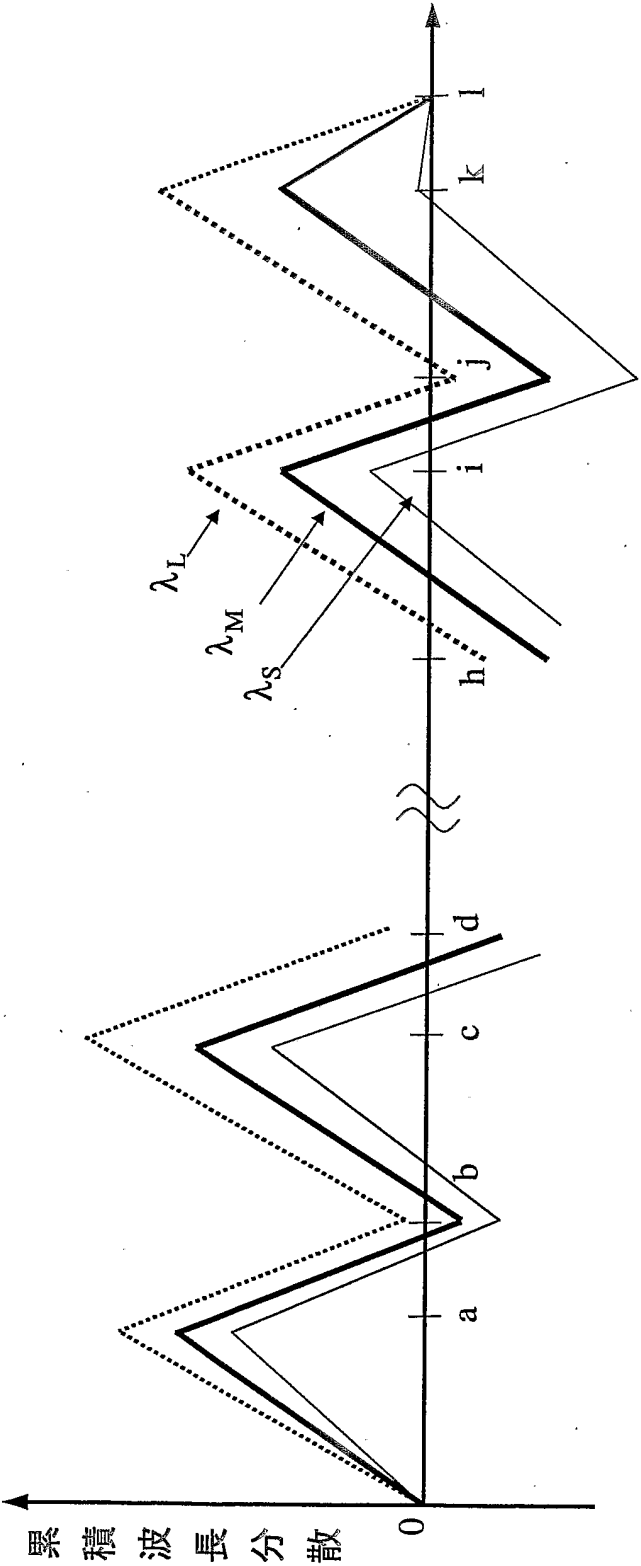
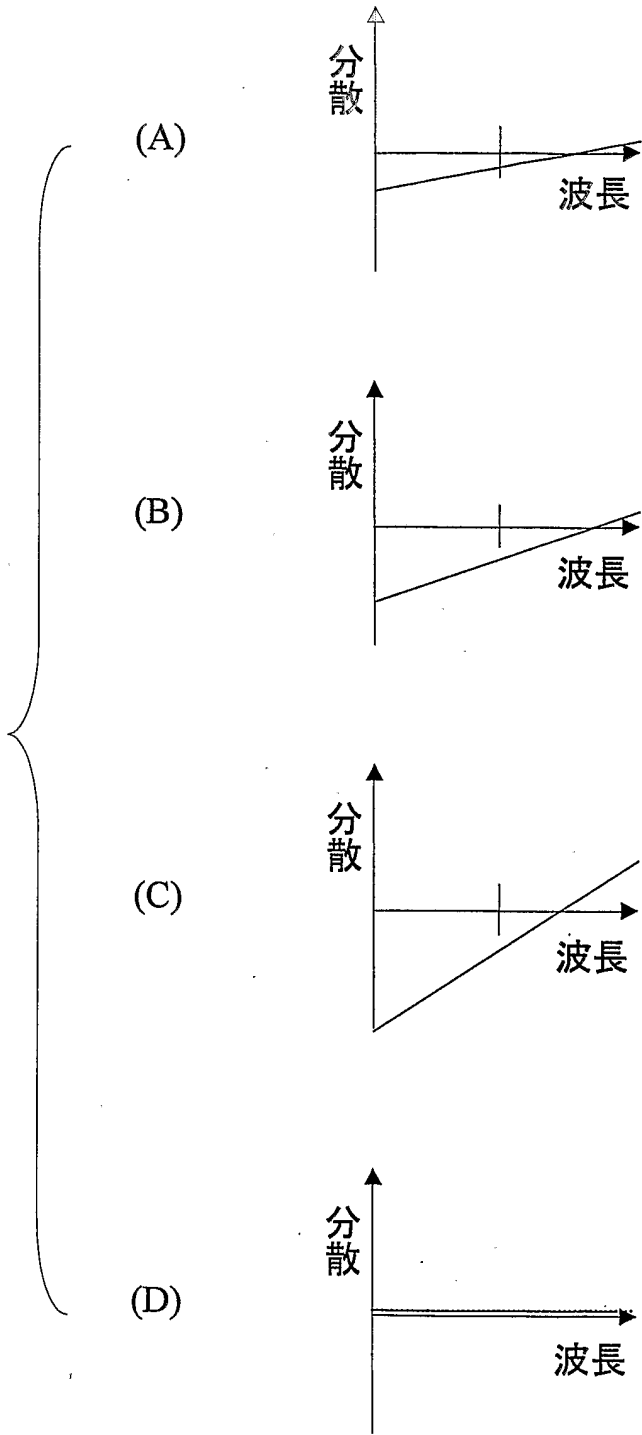


FIG.11



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/05769

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H04B10/18, H04J14/02

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)

Int.Cl⁷ 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	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2000-261376 A (Fujitsu Ltd.), 22 September, 2000 (22.09.00), Par. Nos. [0002] to [0009]; Fig. 16 & US 6324317 B1	1-2 3-8
Y	JP 2002-341170 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 27 November, 2002 (27.11.02), Par. Nos. [0067] to [0074]; Fig. 4 (Family: none)	3-5, 8
Y	JP 2000-261377 A (KDD Kabushiki Kaisha), 22 September, 2000 (22.09.00), Par. Nos. [0033] to [0038]; Fig. 5 & EP 1035671 A2	6-7

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

* Special categories of cited documents:	"I" 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 document 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
02 June, 2003 (02.06.03)

Date of mailing of the international search report
17 June, 2003 (17.06.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ H04B10/18, H04J14/02

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. Cl⁷ H04B 10/00-10/28
H04J 14/00-14/08

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 1971-2003年
日本国登録実用新案公報 1994-2003年
日本国実用新案登録公報 1996-2003年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	JP 2000-261376 A (富士通株式会社) 200 0.09.22, 第2-9段落目, 第16図 & US 6324 317 B1	1-2 3-8
Y	JP 2002-341170 A (古河電気工業株式会社) 2 002.11.27, 第67-74段落目, 第4図 (ファミリーな し)	3-5, 8

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と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 02.06.03

国際調査報告の発送日

17.06.03

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁 (ISA/JP)
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)
遠山 敬彦



5 J 3138

電話番号 03-3581-1101 内線 3535

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 請求の範囲の番号
Y	JP 2000-261377 A (ケイディディ株式会社) 2 000. 09. 22, 第33-38段落目, 第5図 & EP 1 035671 A2	6-7