

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7424391号
(P7424391)

(45)発行日 令和6年1月30日(2024.1.30)

(24)登録日 令和6年1月22日(2024.1.22)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 D	5/353(2006.01)	G 0 1 D	5/353	B
G 0 8 C	15/00 (2006.01)	G 0 8 C	15/00	K
G 0 8 C	23/06 (2006.01)	G 0 8 C	23/06	
H 0 4 B	10/071 (2013.01)	H 0 4 B	10/071	
G 0 2 B	6/50 (2006.01)	G 0 2 B	6/50	3 1 1

請求項の数 9 (全23頁)

(21)出願番号 特願2021-562459(P2021-562459)
 (86)(22)出願日 令和2年9月14日(2020.9.14)
 (86)国際出願番号 PCT/JP2020/034644
 (87)国際公開番号 WO2021/111699
 (87)国際公開日 令和3年6月10日(2021.6.10)
 審査請求日 令和4年5月16日(2022.5.16)
 (31)優先権主張番号 特願2019-219922(P2019-219922)
 (32)優先日 令和1年12月4日(2019.12.4)
 (33)優先権主張国・地域又は機関
 日本国(JP)

(73)特許権者 000004237
 日本電気株式会社
 東京都港区芝五丁目7番1号
 (74)代理人 100103894
 弁理士 家入 健
 (72)発明者 矢野 隆
 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気
 株式会社内
 (72)発明者 齋藤 誠
 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気
 株式会社内
 審査官 續山 浩二

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光ファイバセンシングシステム、中継装置及びセンシング方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

光通信ケーブルシステムのケーブルに、光ファイバセンシングの機能を追加した、ケーブルシステムにおける光ファイバセンシングシステムであって、

前記光通信ケーブルシステムは、通信用の光信号を伝搬させる一心以上の光ファイバ心線を含んだ前記ケーブルと、前記ケーブルの伝送損失を補償するために割り入れられた光増幅機能を有する複数の装置を含み、

前記光ファイバセンシングの機能は、インテロゲーターによって、前記ケーブル内の光ファイバ心線にプローブ光を送出し、前記プローブ光の後方散乱光を検波して前記ケーブルの周囲の環境情報をセンシングするものであり、

前記光通信ケーブルシステムに含まれる前記装置において、前記光ファイバセンシングの光である前記プローブ光及び前記後方散乱光が光増幅器を通らずに通過する光配線を備え、

前記ケーブルは、光ファイバセンシングのための第一の光ファイバ心線を備え、

前記光増幅機能を有する装置には、前記光ファイバセンシングの光が当該装置の筐体内を前記光増幅器を通らずに通過するための前記光配線である第二の光ファイバ心線を備え、

前記ケーブル中の前記第一の光ファイバ心線は、前記光増幅機能を有する装置内の前記第二の光ファイバ心線と接続される、

光ファイバセンシングシステム。

【請求項2】

10

20

前記光通信ケーブルシステムは海底通信ケーブルシステムであって、前記装置は海底に設置されるように構造設計された装置であり、

前記光ファイバセンシングの光が前記装置の筐体内を光増幅器を通らずに通過するための第二の光ファイバ心線の配線は、前記光増幅機能を有する装置の製造の際に設けられ、

前記第一の光ファイバ心線を備えた前記ケーブルと、前記第二の光ファイバ心線を備えた前記光増幅機能を有する装置との接続の際に、

前記第一の光ファイバ心線と前記第二の光ファイバ心線がケーブルカップリング部にて接続される、

請求項 1 に記載の光ファイバセンシングシステム。

【請求項 3】

前記ケーブル内の、前記第一の光ファイバ心線は、

前記光ファイバセンシングの光が減衰した箇所に割り入れられた、遠隔励起される光増幅機能を持つ光ファイバ心線区間と、

前記光ファイバセンシングの光が減衰した区間に割り入れられた高散乱ファイバであって、前記第一の光ファイバ心線における前記高散乱ファイバ以外の部分及び前記光ファイバ心線区間以外の部分よりも後方散乱係数の大きな前記高散乱ファイバと、

を含む、

請求項 1 に記載の光ファイバセンシングシステム。

【請求項 4】

前記光ファイバセンシングの光と通信用の光信号は、互いに波長を異ならせており、

前記光ファイバセンシングの光は、前記ケーブル中の前記通信用の光信号を伝搬させる光ファイバ心線のうちの一心にて、波長多重伝送されており、

前記装置は、前記光ファイバセンシングの光と通信用の光信号を波長多重分離する波長合分波器を備え、

前記光増幅器の入力側の前記波長合分波器で分離された光ファイバセンシングの光は、前記光増幅器を迂回して通過したのち、前記光増幅器の出力側の前記波長合分波器で合波され、

前記ケーブル中の第一の光ファイバ心線は、前記装置内の前記光ファイバセンシングの光と通信用の光信号が波長多重されている前記光配線と接続される、

請求項 1 に記載の光ファイバセンシングシステム。

【請求項 5】

前記光通信ケーブルシステムは海底通信ケーブルシステムであって、前記装置は海底に設置されるように構造設計された装置であり、

前記光ファイバセンシングの光が前記装置の筐体内を光増幅器を通らずに通過するための波長合分波器及び迂回用の第二の光ファイバ心線の配線は、前記装置の製造の際に設けられ、

前記第一の光ファイバ心線を備えた前記ケーブルと、前記波長合分波器及び迂回用の前記第二の光ファイバ心線の配線を備えた前記装置との接続の際に、

前記光ファイバセンシングのための第一の光ファイバ心線と前記波長合分波器につながる前記第二の光ファイバ心線がケーブルカップリング部にて接続される、

請求項 4 に記載の光ファイバセンシングシステム。

【請求項 6】

前記光通信ケーブルシステムのケーブルに、光ファイバセンシングの機能を追加した、ケーブルシステムであって、

前記ケーブルを第一の光ファイバ心線を含む分岐ケーブルに分岐する分岐装置をさらに備え、

当該分岐装置内は、前記通信用の光信号を通過させるスルー配線を備えた、

請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の光ファイバセンシングシステム。

【請求項 7】

前記分岐装置は、前記通信用の光信号を増幅する前記光増幅機能を有する装置と統合さ

10

20

30

40

50

れた分岐装置であり、

前記インテロゲーターと当該分岐装置の間の前記ケーブルは、前記第一の光ファイバ心線を備え、

前記分岐装置には、前記光ファイバセンシングの光が前記分岐装置の筐体内を光増幅器を通らずに通過するための第二の光ファイバ心線を備え、

前記分岐ケーブル内の前記第一の光ファイバ心線は、当該分岐装置内の前記第二の光ファイバ心線と接続される、

請求項 6 に記載の光ファイバセンシングシステム。

【請求項 8】

光通信ケーブルシステムにおける通信用の光信号を伝搬させる一心以上の光ファイバ心線を含んだケーブルと接続され、前記ケーブルの伝送損失を補償するために割り入れられた光増幅機能を有する中継装置であって、

10

前記ケーブルには、インテロゲーターによって、前記ケーブル内の光ファイバ心線にプローブ光を送出し、前記プローブ光の後方散乱光を検波して前記ケーブルの周囲の環境情報をセンシングする光ファイバセンシング機能が追加され、

前記光ファイバセンシングの光である前記プローブ光及び前記後方散乱光が光増幅器を通らずに通過する光配線を備え、

前記光増幅器を内部に含む筐体を備え、

前記ケーブルには、光ファイバセンシングのための第一の光ファイバ心線が備えられ、

前記ファイバセンシングの光が前記筐体内を前記光増幅器を通らずに通過するための前記光配線である第二の光ファイバ心線を備え、

20

前記ケーブル中の前記第一の光ファイバ心線は、前記第二の光ファイバ心線と接続される、

中継装置。

【請求項 9】

光通信ケーブルシステムのケーブルに、光ファイバセンシングの機能を追加した、ケーブルシステムにおけるセンシング方法であって、

前記光通信ケーブルシステムは、通信用の光信号を伝搬させる一心以上の光ファイバ心線を含んだ前記ケーブルと、前記ケーブルの伝送損失を補償するために割り入れられた光増幅機能を有する複数の装置を含み、

30

前記ケーブル内の光ファイバ心線にプローブ光を送出し、

前記光通信ケーブルシステムに含まれる前記装置において、前記光ファイバセンシングの光である前記プローブ光及び後方散乱光を光増幅器を通らずに通過させ、

前記プローブ光の前記後方散乱光を検波して前記ケーブルの周囲の環境情報をセンシングし、

前記ケーブルは、光ファイバセンシングのための第一の光ファイバ心線を備え、

前記光増幅機能を有する装置には、前記ファイバセンシングの光が当該装置の筐体内を前記光増幅器を通らずに通過するための光配線である第二の光ファイバ心線を備え、

前記ケーブル中の前記第一の光ファイバ心線を、前記光増幅機能を有する装置内の前記第二の光ファイバ心線と接続させる、

40

センシング方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ファイバセンシングシステム、中継装置及びセンシング方法に関する。

【背景技術】

【0002】

光ファイバをセンサとして用いることによって、光ファイバ上の特定の位置における振動や温度などの環境情報を検知可能な光ファイバセンシング技術がある。光ファイバセンシング技術の中でも D A S (D A S : D i s t r i b u t e d A c o u s t i c S e n

50

s i n g) と呼ばれる方法では、光ファイバを伝搬する光の後方散乱光から環境情報を検知する。

【 0 0 0 3 】

本センシング技術は、パイプライン、鉄道、高速道路、海底光通信ケーブルシステムなどの長尺なインフラのモニタリングにも適している。その理由は、光ファイバそれ自身がセンシング素子あり、かつ、得られた情報の伝達媒体の2つの役目を持っているので、電気配線が不要であり、電気絶縁や電磁誘導ノイズへの考慮が不要であるためである。長尺インフラのような長距離を、電気回路により構成された点状のセンサ素子を多数並べてカバーすることは容易ではないが、光ファイバを沿わせて設置することにより、光ファイバセンシング技術を用いて比較的容易にカバーできる。

10

【 0 0 0 4 】

このような光ファイバセンサ技術のセンシング可能距離は、光ファイバの損失で支配され、典型的には10 kmから60 km程度である。その損失を補償する光増幅器を用いることでセンシング可能距離を広げる技術の開示として例えば文献1がある。文献1で開示されている技術は、通信などセンシング以外の用途も兼ねた光ファイバケーブルシステムにセンシング機能を対応させることまでは考慮されていない。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 5 】

【 文献 】 米国特許第 7 5 9 5 8 6 5 号 明 細 書

20

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 6 】

D A S の 光 信 号 は、プローブ光と後方散乱光であり、それらは一心の光ファイバ中を互いに逆向きに伝送されている。これは一心双方向伝送とも呼ばれる。一方、一般の有線光通信システムでは、光ファイバ2心をペアとした双方向伝送が用いられ、そこで用いられる光増幅器では、信号が通過できるのは一方向のみである。つまりこの光増幅器では、一心双方向伝送はサポートされない。

【 0 0 0 7 】

そのため一般の有線光通信システムに、D A S によるセンシング機能を付加すると、D A S の 光 信 号 の うち の 後 方 散 乱 光 が、光増幅器で阻止され、それより先の光ファイバからの後方散乱光を取得できない。

30

【 0 0 0 8 】

D A S が 持 つ セ ン シ ン グ 可 能 距 離 限 界 より も 近 い 場 所 に、光通信用の増幅中継装置が配置されているケーブルシステムでは、D A S は 増 幅 中 継 装 置 より も 先 を セ ン シ ン グ で き ず、結果としてセンシング可能範囲が狭められてしまう、という課題があった。

【 0 0 0 9 】

本開示の目的は、かかる事情に鑑み、通信などセンシング以外の用途も兼ねた光ファイバケーブルシステムにセンシング機能を付加する際に、光通信用の増幅中継装置によってセンシング可能範囲が制約されることのない、光ファイバセンシングシステム、中継装置及びセンシング方法の提供にある。

40

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 0 】

一実施の形態に係る光ファイバセンシングシステムは、光通信ケーブルシステムのケーブルに、光ファイバセンシングの機能を追加した、ケーブルシステムであって、前記光通信ケーブルシステムは、通信用の光信号を伝搬させる一心以上の光ファイバ心線を含んだ前記ケーブルと、前記ケーブルの伝送損失を補償するために割り入れられた光増幅機能を有する複数の中継装置を含み、前記光ファイバセンシングの機能は、インテロゲーターによって、前記ケーブル内の光ファイバ心線にプローブ光を送出し、前記プローブ光の後方散乱光を検波して前記ケーブルの周囲の環境情報をセンシングするものであり、前記光通

50

信ケーブルシステムに含まれる前記中継装置において、前記光ファイバセンシングの光である前記プローブ光及び前記後方散乱光が光増幅器を通らずに通過する光配線を備える。

【0011】

一実施の形態に係る中継装置は、光通信ケーブルシステムにおける通信用の光信号を伝搬させる一心以上の光ファイバ心線を含んだケーブルと接続され、前記ケーブルの伝送損失を補償するために割り入れられた光増幅機能を有する中継装置であって、前記ケーブルには、インテロゲーターによって、前記ケーブル内の光ファイバ心線にプローブ光を送出し、前記プローブ光の後方散乱光を検波して前記ケーブルの周囲の環境情報をセンシングする光ファイバセンシング機能が追加され、前記光ファイバセンシングの光である前記プローブ光及び前記後方散乱光が光増幅器を通らずに通過する光配線を備える。

10

【0012】

一実施の形態に係るセンシング方法は、光通信ケーブルシステムのケーブルに、光ファイバセンシングの機能を追加した、ケーブルシステムにおけるセンシング方法であって、前記光通信ケーブルシステムは、通信用の光信号を伝搬させる一心以上の光ファイバ心線を含んだ前記ケーブルと、前記ケーブルの伝送損失を補償するために割り入れられた光増幅機能を有する複数の中継装置を含み、

前記ケーブル内の光ファイバ心線にプローブ光を送出し、前記光通信ケーブルシステムに含まれる前記中継装置において、前記光ファイバセンシングの光である前記プローブ光及び後方散乱光を光増幅器を通らずに通過させ、前記プローブ光の前記後方散乱光を検波して前記ケーブルの周囲の環境情報をセンシングする。

20

【発明の効果】

【0013】

一実施の形態によれば、通信などセンシング以外の用途も兼ねた光ファイバケーブルシステムにセンシング機能を付加する際に、光通信用の増幅中継装置によってセンシング可能範囲が制約されることのない、光ファイバセンシングシステム、中継装置及びセンシング方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】実施形態1に係る光通信ケーブルシステムを例示した構成図である。

【図2】実施形態1に係る光通信ケーブルシステムを例示した構成図である。

30

【図3】実施形態2に係る増幅中継装置を例示した断面図である。

【図4】実施形態3に係る光通信ケーブルシステムを例示した構成図である。

【図5】実施形態3に係る光通信ケーブルシステムにおいて、プローブ光の伝送パワー及びレイリー散乱光の受光パワーを例示したグラフであり、横軸は端局からの距離を示し、縦軸は強度を示す。

【図6】実施形態4に係る光通信ケーブルシステムを例示した構成図である。

【図7】実施形態5に係る増幅中継装置を例示した断面図である。

【図8】実施形態6に係る光通信ケーブルシステムを例示した構成図である。

【図9】実施形態6の変形例に係る光通信ケーブルシステムを例示した構成図である。

【図10】実施形態7に係る光通信ケーブルシステムを例示した構成図である。

40

【図11】実施形態7の変形例に係る光通信ケーブルシステムを例示した構成図である。

【図12】一心双方向光増幅器の一例の説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

(実施形態1)

実施形態1に係る光ファイバセンシングシステムを説明する。まず、実施形態1に係る光ファイバセンシングシステムの概要を説明する。図1は、実施形態1に係る光通信ケーブルシステムを例示した構成図である。光通信ケーブルシステム11は、通信システム、及び、測定システムにより構成される。

【0016】

50

本実施形態の光ファイバセンシングシステムは、光通信ケーブルシステム 11 に組み合わされており、センサとなるセンシング用の光ファイバ心線 LF1 は、通信用の光ファイバ心線 LF を含むケーブル CB1 に追加されている。すなわち、光通信ケーブルシステム 11 のケーブル CB1 は、通信用の光ファイバ心線 LF 及びセンシング用の光ファイバ心線 LF1 を含んでいる。

【0017】

光通信ケーブルシステム 11 は、ケーブル CB1、端局 20、複数の中継装置 REPn を備えている。光ファイバセンシングシステムは、光通信ケーブルシステム 11 に加えて、インテロゲーター ITG を備えている。

【0018】

ケーブル CB1 は、中継装置 REPn を介して一方向に延びている。例えば、複数の中継装置 REPn は、ケーブル CB1 において所定の間隔で設けられている。図 1 では、ケーブル CB1 は直線状に示されているが、ケーブル CB1 は湾曲してもよいし、U 字状に敷設されてもよい。

【0019】

光通信ケーブルシステム 11 において、ケーブル CB1 は、内部に、光ファイバ心線 LF が対になった光ファイバ対 FP1 を含んでいる。図 1 では、1 つのペアのみ示しているが、図 2 に示すように、複数のペアを含んでいる。以降では光ファイバ心線対をファイバペア (FP: Fiber Pair) とも呼ぶ。なお、ファイバペアを総称して呼ぶ場合には、ファイバペア FP と呼び、特定のファイバペアを呼ぶ場合には、ファイバペア FP1 と符号を付する。光ファイバ心線 LF も同様に、総称して呼ぶ場合には光ファイバ心線 LF と呼び、特定の光ファイバ心線を呼ぶ場合には、光ファイバ心線 LF1 と符号を付する。

【0020】

ファイバペア FP1 は、通信用の光信号 SG を伝搬させる。ファイバペア FP1 は、端局 20 の通信装置 COM に接続されている。通信装置 COM は、ファイバペア FP1 を介して他の端局 20 との間で、光信号 SG を送信または受信する。ファイバペア FP1 は、端局 20 と図示せぬ対向端局との間の波長多重通信に使用されている。本実施形態では、ファイバペア FP1 を含んだケーブル CB1 の少なくとも端局 20 側に接続された部分に、センシング用の光ファイバ心線 LF1 が含まれている。

【0021】

インテロゲーター ITG は、端局 20 に設けられている。インテロゲーター ITG は、センシング用の光ファイバ心線 LF1 にプローブ光 PL を送出し、プローブ光 PL の後方散乱光 RL を検波して光ファイバ心線 LF1 の周囲、すなわちケーブル CB1 の周囲の環境情報をセンシングする。

【0022】

具体的には、インテロゲーター ITG は、送出部 SE、受信部 RE、検出部 DE を有している。送出部 SE は、光ファイバ心線 LF1 にプローブ光 PL を送出する。プローブ光 PL は、例えば、パルス光である。受信部 RE は、プローブ光 PL から生じた後方散乱光 RL を受信する。検出部 DE は、後方散乱光 RL を検波して光センシング用の光ファイバ心線 LF1 の周囲の環境情報をセンシングする。そして、検波した後方散乱光 RL を分析することにより、センシング範囲にあるケーブル CB1 の各点における環境情報 (振動や温度など) を示すセンシングデータを取得する。

【0023】

中継装置 REPn は、ケーブル CB1 とケーブル CB1 とを中継する。中継装置 REPn は、筐体 40、増幅器 AM、ファイバペア FP2 及び光ファイバ心線 LF2 を含む。中継装置 REPn は、筐体 40 の内部に増幅器 AM を含んでいる。増幅器 AM は、ファイバペア FP2 を中介して、ファイバペア FP1 に接続されている。これにより、増幅器 AM は、端局 20 に配置された通信装置 COM が送信する波長多重通信光を増幅中継する。

【0024】

10

20

30

40

50

一方、中継装置 R E P n 内の光ファイバ心線 L F 2 は、中継装置 R E P n 内でスルー接続されている。光ファイバ心線 L F 2 をスルー接続するとは、光ファイバ心線 L F 2 を中継装置 R E P n の筐体 4 0 を通過させる一方で、中継装置 R E P n 内の部品と光ファイバ心線 L F 2 とを光学的に接続しないことを示す。このように、中継装置 R E P n は、スルー配線となる光ファイバ心線 L F 2 を含んでいる。

【 0 0 2 5 】

前記光ファイバ心線 L F 2 は、中継装置 R E P n の出入り口において、ケーブル C B 1 内のセンシング用の光ファイバ心線 L F 1 と接続されている。結果、光ファイバ心線 L F 2 は光ファイバ心線 L F 1 の一部となっている。具体的には、光ファイバ心線 L F 1 のうちの中継装置 R E P n 内に配置されている部分が、光ファイバ心線 L F 2 である。

10

【 0 0 2 6 】

また、前記ファイバペア F P 2 は、中継装置 R E P n の出入り口において、ケーブル C B 1 内のファイバペア F P 1 と接続されている。結果、ファイバペア F P 2 はファイバペア F P 1 の一部となっている。具体的には、ファイバペア F P 1 のうちの中継装置 R E P n 内に配置されている部分が、ファイバペア F P 2 である。

【 0 0 2 7 】

ファイバペア F P 2 は、増幅器 A M を介して光信号 S G を伝搬させる。一方、光ファイバ心線 L F 2 は、増幅器 A M を介さずにプローブ光 P L および後方散乱光 R L を通過させるスルー配線である。

【 0 0 2 8 】

光ファイバセンシングは、インテロゲーター I T G によって、光ファイバ心線 L F 1 にプローブ光 P L を送出し、プローブ光 P L の後方散乱光 R L を検波して光ファイバ心線 L F 1 の周囲の環境情報をセンシングする。中継装置 R E P n は、増幅器 A M を通らない光ファイバ心線 L F 2 を備えるので、インテロゲーター I T G のセンシング可能範囲は、中継装置 R E P n 内の増幅器 A M により制約を受けることがない。

20

【 0 0 2 9 】

次に、本実施形態の光ファイバセンシングシステムをより具体的に説明する。図 2 は、実施形態 1 に係る光通信ケーブルシステムを例示した構成図である。図 2 に示すように、光通信ケーブルシステム 1 1 において、ケーブル C B 1 は、内部に、複数のファイバペア F P 1 1 ~ F P 1 3 及びセンシング用の光ファイバ心線 L F 1 を含んでいる。ファイバペア F P 1 1 ~ F P 1 3 は端局 2 0 と図示せぬ対向端局との間の波長多重通信に使用されている。

30

【 0 0 3 0 】

端局 2 0 は、複数の波長多重分離器と複数のトランスポンダを主要構成要素として備えるが、図 2 においては、ファイバペア F P 1 1 に接続された波長多重分離器 1 2 1 とトランスポンダ群 1 1 1 のみを図示する。ファイバペア F P 1 2 ~ F P 1 3 に接続された波長多重分離器及びトランスポンダ群は、図の煩雑さを避けるため省略してある。また光増幅器 A M や光ファイバ心線 L F などの符号も同一のシンボルのものは省略している。

【 0 0 3 1 】

図 2 では、ファイバペア F P は 3 対であるが、これより多くても少なくとも構わない。

40

【 0 0 3 2 】

センシング用のプローブ光 P L は、図 2 においては、インテロゲーター I T G に接続された一端から他端に向かって光ファイバ心線 L F 1 に送出される。後方散乱光 R L は、光ファイバ心線 L F 1 の他端側から一端側に進み、インテロゲーター I T G に戻る。プローブ光 P L 及び後方散乱光 R L は、光ファイバセンシングの光とも呼称する。

【 0 0 3 3 】

中継装置 R E P n は、所定の間隔でケーブル C B 1 に設けられている。図 2 では、中継装置 R E P 1 及び R E P 2 のみ示す。中継装置 R E P n は、波長多重通信光を増幅中継する。中継装置 R E P n は、複数の増幅器 A M を含む。ファイバペア F P 1 1 ~ F P 1 3 の相互に反対方向に光信号 S G が進む各光ファイバ心線 L F は、各方向の光信号 S G を増幅

50

する各増幅器 A M に接続されている。

【 0 0 3 4 】

次に、本実施形態の効果を説明する。光ファイバセンシングシステムに用いられるインテロゲーター I T G は、長距離のケーブル C B 1 に渡ってセンシングすることができる。例えば、インテロゲーター I T G のセンシング可能範囲は、インテロゲーター I T G から 8 0 k m 程度までの範囲である。しかしながら、通信システムには、所定の長さ L おきに、通信用の光信号 S G を増幅するための中継装置が設けられている。そして所定の長さ L は、典型的には 6 0 k m 程度である。よって、このような一般的な通信システムでは、後方散乱光 R L が中継装置でブロックされる。したがって、中継装置よりも後段のケーブル C B 1 のうちの 2 0 k m 部分はセンシングできない。

10

【 0 0 3 5 】

これに対して、本実施形態の中継装置 R E P n には、スルー配線が設けられているので、中継装置 R E P n よりも後段のケーブル C B 1 で発生した後方散乱光 R L を、中継装置 R E P n でブロックされずに検出することができる。よって、本実施形態に係る光ファイバセンシングシステムにおいては、インテロゲーター I T G が持つセンシング距離範囲の上限である 8 0 k m 程度までセンシング可能となる。

【 0 0 3 6 】

(実施形態 2)

以上の実施例は、光通信ケーブルシステムにおける一般的な適用例で説明した。光通信ケーブルシステムの中でも海底ケーブルシステムに本技術を適用するときの適用例を、次に説明する。

20

【 0 0 3 7 】

海底ケーブルシステムにおいては、高い水圧と高い給電電圧（地電位との電位差）に耐えるために、ケーブル内の光ファイバ心線と給電線は、耐圧構造および絶縁被覆により厳重に保護されており、品質を維持しつつ、これらにアクセスすることは容易ではない。海底ケーブル内部の光ファイバや給電線にアクセスするには、図 3 に示すような、耐水圧と電気絶縁について十分に設計考慮された筐体（ハウジング）に導いてアクセスする必要がある。海底ケーブルを不用意に分解して内部にアクセスすれば、海水が侵入して給電線に触れて短絡したり、ケーブルの長手方向に水が浸入したりして、実用的な品質はたちまち損なわれてしまう。

30

【 0 0 3 8 】

図 3 は、実施形態 2 に係る、海底ケーブル用の中継装置を例示した断面図である。図 3 に示すように、中継装置 R E P n は、筐体 4 0 及びケーブルカップリング 5 0 を有している。ケーブルカップリング 5 0 は、ケーブル C B 1 と中継装置 R E P n を接続する際に、光ファイバ心線 L F 1 及び光ファイバ心線 L F 2 を接続する。筐体 4 0 は、典型的には円筒状（シリンダ、cylinder）であり、内部に複数の光増幅器 A M 及び複数の光ファイバ心線 L F を含んでいる。筐体 4 0 は、耐圧容器となっており、側面部分のシリンダ 4 1 及び蓋に相当する天板と底板の端面板 4 2 を含んでいる。端面板 4 2 には、フィードスルー（feedthrough）4 3 と呼ばれる光ファイバと給電線を通させるための特殊な部品が貫通している。このフィードスルー 4 3 は、その両側の大きな圧力差に耐えつつ、光ファイバと給電線を通す部品である。

40

【 0 0 3 9 】

耐圧容器は、一般的には金属材料でできており、海水と接していることから地電位である。一方、耐圧容器の中の電気部品は、海底ケーブル内部の給電線同様に、地電位とは十分に絶縁されている。一般にはこの絶縁（耐電圧）は 1 5 k V 以上が求められ、耐圧容器内壁と内部装置との間に設けられた十分な間隙により実現されている。筐体内は一般的には乾燥空気が詰められている。

【 0 0 4 0 】

海底ケーブルは、ケーブルカップリング 5 0 内部で分解され、ケーブル耐張力を実現している鋼線は引き留め具で留められる。また、光ファイバと給電線は、ジョイントチャン

50

バ４５にて、光ファイバコード及び電線（まとめてテイルケーブル４４と呼ばれる）と接続される。テイルケーブル４４は、海底ケーブルと同等の耐水圧と耐電圧性能を備えるが、装置内部の配線材のため強度的な保護は必要最低限である。テイルケーブル４４は、端面板４２に設けられたフィードスルー４３と一体で成型製造された部品である。すなわちジョイントチャンバ４５から耐圧筐体内部に入るまでの間に接続点はない。高水圧および高電圧差の環境下で品質を担保しつつ接続するための最低限の構造体がジョイントチャンバ４５である。

【００４１】

ジョイントチャンバ４５は、光ファイバ同士の融着接続部を水圧やケーブル張力から保護する金属製フレームとその全体をポリエチレンでモールドした構造である。ジョイントチャンバ４５内には発熱する電子部品は配置しないので、ポリエチレンモールドの手法で絶縁できる。

10

【００４２】

製造の各段階を述べる。テイルケーブル４４より内側の部分は工場で製造され、端面板４２は溶接封止されて出荷される。すなわち筐体内の配線はこの製造段階で固定化され、以降の配線追加などは不可能である。次に海底ケーブル工場に運ばれて、ケーブルカップリング５０を介して海底ケーブルと接続される。その後、ケーブル敷設船に積み込まれて海底に敷設される。

【００４３】

船上で海底ケーブル同士を接続する際には、ケーブルカップリング５０と類似の構造のユニバーサルジョイントと呼ばれる接続部品が用いられる。このように陸上のケーブルシステムと異なり、ケーブル内に含まれる光ファイバ心線ＬＦや電線の一部を引き出すようなことは、海底ケーブルシステムでは容易ではなく、耐圧構造・絶縁構造を持った構造体が必要になる。

20

【００４４】

このような海底ケーブル用の中継装置を、センシング光を通過させるための光ファイバ心線ＬＦ２を備える品種と持たない品種の２通りに分けて管理することはやや煩雑で、コスト増の要因となりうる。そこでセンシング光を通過させかどうかには依らず、光ファイバ心線ＬＦ２を備える品種に揃えてしまう方が好適である。センシング光が通過しない部分に本中継装置ＲＥＰｎを適用する際には、ケーブルカップリング５０内のジョイントチャンバ４５内にて当該心線をどこにも接続せずにおけばよい。

30

【００４５】

本実施形態では、海底ケーブル用の中継装置ＲＥＰｎを例に説明したが、中継装置ＲＥＰｎに限らず、通信信号用の増幅機能を備えた装置であれば、同様の工夫が適用可能である。

【００４６】

（実施形態３）

次に、実施形態３に係る光ファイバセンシングシステムを説明する。本実施形態では、分布ラマン増幅、遠隔励起ＥＤＦＡ及び高散乱ファイバを用いることにより、センシング距離範囲を広げる。図４は、実施形態３に係る光通信ケーブルシステムを例示した構成図である。図５は、実施形態３に係る光通信ケーブルシステムにおいて、プローブ光の伝送パワー及びインテロゲーターＩＴＧで受光されるレイリー散乱光の光パワーを例示したグラフであり、横軸は、端局からの距離を示し、縦軸は、強度を示す。

40

【００４７】

図４に示すように、本実施形態の光通信ケーブルシステム１２において、ケーブルＣＢ１内のセンシング用の光ファイバ心線ＬＦ１には、端局２０においてインテロゲーターＩＴＧと励起光源６０が波長選択カプラＣＰＬで接続されている。また、ケーブルＣＢ１内のセンシング用の光ファイバ心線ＬＦ１には、エルビウム添加ファイバ（Ｅｒｂｉｕｍ Ｄoped Fiber）ＥＤＦと、高散乱ファイバ７０がそれぞれ適切な位置に挿入されている。例えば、エルビウム添加ファイバＥＤＦ及び高散乱ファイバ７０の各々は、光

50

ファイバ心線 L F 1 において、光ファイバセンシングの光が減衰した区間に割りいれられる。

【 0 0 4 8 】

励起光源 6 0 は、分布ラマン増幅およびエルビウム添加ファイバ E D F を励起するための励起光を出力する。両方を兼ねる励起光の波長としては、 $1.47 \sim 1.48 \mu\text{m}$ 帯が典型的に使われる。エルビウム添加ファイバ E D F は、エルビウムが添加された光ファイバ心線であり、励起光を吸収して信号光を増幅する機能を有する。高散乱ファイバ 7 0 は、レイリー散乱係数が大きい光ファイバ心線 L F であり、例えば、光ファイバ心線 L F 中に所定の大きさの散乱ドットを多数設けたものである。同じパワーのプローブ光 P L を、通常の光ファイバと、高散乱ファイバ 7 0 に入力したとき、戻ってくるレイリー散乱光の

10

【 0 0 4 9 】

図 5 に示すように、端局 2 0 近傍の位置において、プローブ光 P L および後方散乱光 R L は、励起光源 6 0 により分布ラマン増幅される。また、プローブ光 P L およびレイリー散乱光は、エルビウム添加ファイバ E D F によっても増幅される。これらの光増幅により、プローブ光 P L の到達距離が延び、またインテロゲーター I T G に検知可能なレベルで到達できるレイリー散乱光の発生地点がより遠くに延びる。

20

【 0 0 5 0 】

さらに、高散乱ファイバ 7 0 にプローブ光 P L が入射することにより、レイリー散乱光の発生効率が高まるので、インテロゲーター I T G に検知可能なレベルで到達できるレイリー散乱光の発生地点がさらに遠くに延びる。

【 0 0 5 1 】

これらを組み合わせることにより、センシング可能距離を、例えば、 160 km まで伸ばすことができる。ただしこのような工夫をしたとしても、途中に通信用の中継装置が存在すれば、中継装置より後段で発生した後方散乱光は中継装置でブロックされ、中継装置より先の区間のセンシングはできない。

【 0 0 5 2 】

これに対して、本実施形態の光ファイバセンシングシステムは、実施形態 2 もしくは実施形態 3 のスルー配線を組み込んだ中継装置 R E P n を、ケーブル C B 1 に沿って所定の間隔で並べている。(中継装置 R E P n 内の通信用の部品は図示を省略している。) これにより、インテロゲーター I T G は、長距離に渡って送出されたプローブ光 P L による後方散乱光 R L を各中継装置 R E P n でブロックされずに検出することができる。よって、本実施形態に係る光ファイバセンシングシステムは、センシング距離範囲をさらに広げ、光ケーブル周囲環境情報を広範囲にセンシングすることができる。

30

【 0 0 5 3 】

(実施形態 4)

次に、ケーブルにセンシング専用光ファイバ心線を設けず、通信用光ファイバ心線に波長多重する実施形態について説明する。図 6 は、実施形態 4 に係る光通信ケーブルシステムを例示した構成図である。図 2 との差分のみ説明し、同一部分は説明を省略する。

40

【 0 0 5 4 】

実施形態 1 の構成(図 2)と異なるのは、ケーブル C B 1 には、センシング用光ファイバ心線を備えず、通信システムの光ファイバ心線 L F の一つにセンシング用光信号を波長多重して伝えている点である。光センシング用の光ファイバ心線 L F 1 は、図 6 の例では、ファイバペア F P 1 3 の端局 2 0 に向かって通信用光信号を伝送する光ファイバ心線 L F と共用している。通信用光信号の波長帯とセンシング光の波長は重ならないように十分離してアサインされている。

【 0 0 5 5 】

50

端局 20 において、インテロゲーター I T G の入出力光ファイバは、ファイバペア F P 1 3 の端局 20 に向かって伝送する光ファイバ心線 L F と波長選択型光カプラ C P L にて接続されている。合波されたプローブ光 P L は通信用光信号とは逆向きに中継装置 R E P 1 まで伝送される。またファイバペア F P 1 3 の端局 20 に向かって伝送する光ファイバ心線 L F を通って伝わってきた後方散乱光 R L は波長選択型光カプラ C P L にて波長分離されてインテロゲーター I T G にて受信される。

【 0 0 5 6 】

中継装置 R E P 1 内部においては、センシング光が波長多重されているファイバペア F P 1 3 の光ファイバ心線 L F は、波長選択型光カプラ C P L と接続され、そこで通信用光信号とセンシング光は波長合分波される。センシング光は光ファイバ心線 L F 2 と接続され、伝搬する。また、通信用光信号は光増幅器 A M と接続され、伝搬する。

10

【 0 0 5 7 】

中継装置 R E P 1 の反対側のポートも上記と鏡対称の構成となっている。すなわち、センシング光が波長多重されているファイバペア F P 1 3 の光ファイバ心線 L F は、波長選択型光カプラ C P L と接続され、そこで通信用光信号とセンシング光は波長合分波される。センシング光は光ファイバ心線 L F 2 と接続され、伝搬する。また、通信用光信号は光増幅器と接続され、伝搬する。

【 0 0 5 8 】

この構成により、中継装置 R E P 1 を通過する際、通信用光信号は光増幅器により光増幅され、センシング光は増幅器を迂回して通過することができる。

20

【 0 0 5 9 】

次の中継装置 R E P 2 も同様に、通信用光信号は光増幅され、センシング光は増幅器 A M を迂回して通過することができる。上記の増幅及び迂回は、センシング可能距離内で繰り返される。

【 0 0 6 0 】

次に、本実施形態の効果の説明する。実施形態 1 (図 2) と比較すると分かるように、ケーブル C B 1 にセンシング用の心線を要しない。このことから、本実施形態は、既設の通信ケーブルにセンシング機能を後付けする際に好適である。センシング光を波長多重する光ファイバ心線を定めて、端局 20 ではインテロゲーター I T G の入出力ポートに波長選択型光カプラ C P L を設けて波長合分波し、センシング可能距離内にある中継装置 R E P n 内の一つの光増幅器 A M の出入り口に波長選択型光カプラ C P L と迂回光ファイバ心線 L F 2 を追加すればよい。ケーブル C B 1 を引き直す必要がなく、また通信用光ファイバ心線 L F を減らすこともなく、センシング機能を追加することができる。

30

【 0 0 6 1 】

(実施形態 5)

実施形態 5 は、本技術を光通信ケーブルシステムの中でも海底ケーブルシステムに本技術を適用するときの適用例である。

【 0 0 6 2 】

図 7 は、実施形態 5 に係る光通信ケーブルシステムを例示した構成図である。図 3 との差分のみ説明し、同一部分は説明を省略する。

40

【 0 0 6 3 】

図 7 においては、光ファイバ心線 L F 2 は、波長選択型光カプラ C P L を介してフィードスルー 4 3 と接続され、筐体 4 0 外に通じている。また、波長選択型光カプラ C P L は、通信用光信号とセンシングの光を波長合分波する。

【 0 0 6 4 】

海底ケーブル C B 1 と中継装置 R E P n の筐体 4 0 は、ケーブルカップリング 5 0 にて接続される。

【 0 0 6 5 】

このような海底ケーブル用の中継装置 R E P n を、センシング光を通過させるための光ファイバ心線 L F 2 および波長合分波カプラ C P L を備える品種と、それらを持たない品

50

種の2通りに分けて管理することはやや煩雑である。これは、コスト増の要因となりうる。そこでセンシング光を通過させるかどうかには依らず、光ファイバ心線LF2および波長合分波カプラCPLを備える品種に揃えてしまう方が好適である。本中継装置REPnをセンシング光が通過しない部分に適用しても、センシング光にアサインされた波長に通信信号をアサインできないことの他には支障はない。

【0066】

本実施形態では、海底ケーブル用の中継装置REPnを例に説明したが、中継装置REPnに限らず、通信信号用の増幅機能を備えた装置であれば、同様の工夫が適用可能である。

【0067】

(実施形態6)

次に、実施形態6に係る光ファイバセンシングシステムを説明する。図8は、実施形態6に係る光通信ケーブルシステムを例示した構成図である。図8に示すように、本実施形態に係る光通信ケーブルシステム13は、分岐装置BU1を有している。分岐装置BU1は、端局20と中継装置REPnとの間、または、中継装置REPn間に配置されている。分岐装置BU1は、ケーブルCB1を、ケーブルCB2及びケーブルCB3に分岐する。具体的には、分岐装置BU1は、ファイバペアFP11~FP13及び光ファイバ心線LF1を含むケーブルCB1を、ファイバペアFP11~FP13を含むケーブルCB2と、光ファイバ心線LF1を含むケーブルCB3とに分岐する。

【0068】

分岐装置BU1は、光増幅機能を持たず、電力が不要な装置である。分岐装置BU1の内部では、通信用のファイバペアFP21~FP23はスルー接続である。これにより、通信システムの回線設計において、分岐装置BU1はほとんど影響を及ぼすことなく、設計が複雑にならずに済む。

【0069】

分岐装置BU1に配置された光ファイバ心線LF3は、センシング用のケーブルCB3内の光ファイバ心線LF1に接続されている。本実施形態の光ファイバ心線LF3は、分岐装置BU1内においてスルー配線である。これにより、インテロゲーターITGは、ケーブルCB1中の光ファイバ心線LF1、分岐装置BU2中の光ファイバ心線LF3及びケーブルCB3中の光ファイバ心線LF1にプローブ光PLを送出し、逆の経路で後方散乱光RLを受信することができる。

【0070】

本実施形態はケーブル分岐構成を提供するが、その主な効果はケーブルの役割を分けることである。通信ケーブルは一般に、障害発生リスクの低い、地勢の安定したルートに敷設される。一方センシングケーブルは、必ずしもそのような安定なルートに敷設されるばかりではなく、監視対象によっては地勢が不安定な場所に敷設したい場合もありうる。そのような場合に本実施形態が適する。

【0071】

また通信ケーブルを先に設置し、その後に分岐装置BU1を割り入れて、センシングケーブルを枝分かれさせるような場合にも本実施形態は好適である。なぜなら分岐装置BU1内の通信用光ファイバ心線LFはスルー接続のため、通信システムに与える影響は軽微であるためである。その場合、インテロゲーターITGと分岐装置BU1の間のケーブルには予備の光ファイバ心線LFを予め持たせておく。

【0072】

(変形例)

本実施例では、ケーブル分岐装置BU1は、光増幅器AMを持たない構成、すなわち中継装置REPnの機能を持たない形で説明したが、それらは統合されても良い。図9はそのような変形例である。分岐装置BU2は、複数の通信用の増幅器AM、ファイバペアFP21~FP23及び光ファイバ心線LF3を含む。各増幅器AMは、ケーブルCB1中の各ファイバペアFP11~FP13に、各ファイバペアFP21~FP23を介して接

10

20

30

40

50

続されている。これにより、各増幅器 A M は、端局 2 0 に配置された通信装置 C O M が送信する波長多重通信光を増幅中継する。

【 0 0 7 3 】

さらに、分岐装置 B U 2 は内部に光増幅器 A M を備えているので、電源を有しているため、さらにセンシング用光ファイバ心線 L F 3 のための一心双方向増幅器を備えても良い。図 9 の分岐装置 B U 2 内の光ファイバ心線 L F 3 において、点線で描かれた楕円の部分に一心双方向増幅器 A M M を挿入する。

【 0 0 7 4 】

一心双方向増幅器 A M M の典型的な実現例を図 1 2 に示す。サーキュレータを用いて、互いに逆向きに進行しているプローブ光 P L と後方散乱光 R L を分離して、各々光増幅器 A M で増幅したのち、再びサーキュレータを用いて一心双方向に多重する。光バンドパスフィルタは、センシング光以外の波長帯の光増幅器 A M から生じるノイズ光を除去するためのもので、必要に応じて光増幅器 A M の出力側に挿入される。

10

【 0 0 7 5 】

この増幅器 A M M は、インテロゲーター I T G から送出されたプローブ光 P L を増幅することができるとともに、後方散乱光 R L を増幅できる。そのため端局 2 0 と分岐装置 B U 2 との間の損失を補償することができ、ケーブル C B 3 に沿って、さらに長い距離までセンシングすることができる。

【 0 0 7 6 】

(実施形態 7)

20

次に、実施形態 7 に係る光通信ケーブルシステムを説明する。図 1 0 は、実施形態 7 に係る光通信ケーブルシステムを例示した構成図である。図 1 0 に示すように、本実施形態に係る光通信ケーブルシステム 1 4 は、分岐装置 B U 3 を有している。分岐装置 B U 3 は、ファイバペア F P 1 1 ~ F P 1 3 を含むケーブル C B 1 を、ファイバペア F P 1 1 ~ F P 1 3 を含むケーブル C B 2 及び光ファイバ心線 L F 1 を含むケーブル C B 3 に分岐する。

【 0 0 7 7 】

実施形態 6 の構成と異なるのは、インテロゲーター I T G と分岐装置 B U 3 の間には、センシング用光ファイバ心線 L F 1 を持たず、通信システムの光ファイバ心線 L F の一つに波長多重分離にてセンシング用光信号を伝えている点である。つまり光センシング用の光ファイバ心線 L F 1 は、ファイバペア F P 1 3 のいずれかの光ファイバ心線 L F と共用である。図 1 0 ではファイバペア F P 1 3 の端局 2 0 に向かって伝送する光ファイバ心線 L F を共用している。通信用光信号の波長帯とセンシング光の波長は重ならないように十分分離してアサインされている。

30

【 0 0 7 8 】

端局 2 0 において、インテロゲーター I T G の入出力光ファイバ心線 L F は、ファイバペア F P 1 3 の端局 2 0 に向かって伝送する光ファイバ心線 L F と波長選択型光カプラ C P L にて接続されている。合波されたプローブ光 P L は通信信号とは逆向きに分岐装置 B U 3 まで伝送される。またファイバペア F P 1 3 の端局 2 0 に向かって伝送する光ファイバ心線 L F を通って伝わってきた後方散乱光 R L は波長選択型光カプラ C P L にて波長分離されてインテロゲーター I T G にて受信される。

40

【 0 0 7 9 】

分岐装置 B U 3 内部においては、光ファイバ心線 L F 3 は、ファイバペア F P 2 3 のいずれかの光ファイバ心線 L F から波長選択型光カプラ C P L を介して分離されている。分離された光ファイバ心線 L F 3 は、ケーブル C B 3 の光ファイバ心線 L F 1 に接続されている。本実施形態の光ファイバ心線 L F 3 は、分岐装置 B U 3 内においてスルー配線である。

【 0 0 8 0 】

分岐装置 B U 3 は、光増幅機能を持たず、電力が不要な装置である。分岐装置 B U 3 の内部では、通信用のファイバペア F P 2 1 ~ F P 2 3 はスルー接続である。これにより、通信システムの回線設計において、分岐装置 B U 3 はほとんど影響を及ぼすことなく、

50

設計が複雑にならずに済む。

【 0 0 8 1 】

本実施形態も、実施形態 6 で述べたのと同様にケーブル分岐構成を提供することにより、ケーブルの役割を分けることが主な効果であり、目的である。さらに本構成では、端局 2 0 と分岐装置 B U 3 の間のケーブル C B 1 にセンシング用の光ファイバ心線 L F 1 が予め用意されていなくても、分岐装置 B U 3 を割り入れて、センシングケーブルを枝分かれさせることができることが大きなメリットである。すなわち、ケーブルを引き直す必要なく、また通信用光ファイバ心線 L F を減らすこともなく、センシング機能を追加することを可能にする。

【 0 0 8 2 】

(変形例)

本実施例では、ケーブル分岐装置 B U 3 は、光増幅器 A M を持たない構成、すなわち中継装置 R E P n の機能は持たない形で説明したが、それらは統合されても良い。図 1 1 はそのような変形例である。分岐装置 B U 4 は、複数の通信用の増幅器 A M、ファイバペア F P 2 1 ~ F P 2 3 及び光ファイバ心線 L F 3 を含む。各増幅器 A M は、ケーブル C B 1 中の各ファイバペア F P 1 1 ~ F P 1 3 に、各ファイバペア F P 2 1 ~ F P 2 3 を介して接続されている。これにより、各増幅器 A M は、端局 2 0 に配置された通信装置 C O M が送信する波長多重通信光を増幅中継する。

【 0 0 8 3 】

さらに、分岐装置 B U 4 は内部に光増幅器 A M を備えているので、電源を有しているため、さらにセンシング用心線 L F 3 のための一心双方向増幅器 A M M を備えても良い。図 1 1 の分岐装置 B U 4 内の光ファイバ心線 L F 3 において、点線で描かれた楕円の部分に一心双方向増幅器 A M M を挿入する。

【 0 0 8 4 】

一心双方向増幅器 A M M の典型的な実現例を図 1 2 に示す。その動作説明は省略する。この増幅器 A M M を追加すれば、端局 2 0 と分岐装置 B U 4 との間の損失を補償することができ、ケーブル C B 3 に沿って、さらに長い距離までセンシングすることができる。

【 0 0 8 5 】

以上の実施形態の説明においては、理解を容易にするために、インテロゲーター I T G は通信システムの端局に設置したネットワーク構成で説明した。しかし、インテロゲーター I T G が通信システムの中の端局 2 0 以外の場所に設置されたとしても、例えば中継装置 R E P n や分岐装置 B U 1 ~ B U 4 の中にインテロゲーター I T G が組み込まれるような形態であっても、本開示の工夫は適用可能であり、効果も同じように得ることができる。

【 0 0 8 6 】

本開示技術の実施においては、通信用に用いられるケーブル C B 1 内に含まれるセンシング用の光ファイバ心線 L F 1 の距離は、インテロゲーター I T G のセンシング可能距離の限界を越える距離までは最低でも必要であるが、それ以上の距離を有しても良い。すなわち、中継装置 R E P n もケーブル C B 1 も、センシングとして有効に用いられるかどうかに関わらず、常にセンシング用の光ファイバ心線を備えた形で製造されて構わない。これにより品種が統合でき、故障などに備える予備品の数を半減できてコスト低減できる。ただし追加の光ファイバ心線 L F の分の部材費増があるので、それとの比較で選択してよい。

【 0 0 8 7 】

なお、本発明は、上記実施形態に限られたものではなく、趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更することが可能である。例えば、実施形態 1 ~ 7 の各構成を組み合わせたものも、実施形態の技術的思想の範囲である。また、上記の実施形態の一部又は全部は、以下の付記のようにも記載されうるが、以下には限らない。

【 0 0 8 8 】

(付記 1)

光通信ケーブルシステムにおける通信用の光信号を伝搬させる一心以上の光ファイバ心

10

20

30

40

50

線を含んだケーブルと接続され、前記ケーブルの伝送損失を補償するために割り入れられた光増幅機能を有する中継装置であって、

前記ケーブルには、インテロゲーターによって、前記ケーブル内の光ファイバ心線にプローブ光を送出し、前記プローブ光の後方散乱光を検波して前記ケーブルの周囲の環境情報をセンシングする光ファイバセンシング機能が追加され、

前記光ファイバセンシングの光である前記プローブ光及び前記後方散乱光が光増幅器を通過せずに通過する光配線を備える、

中継装置。

【0089】

(付記2)

前記光増幅器を内部に含む筐体を備え、

前記光ファイバセンシングの光は、前記筐体内を前記光増幅器を通過するための前記光配線である第二の光ファイバ心線を備え、

前記ケーブル中の前記第一の光ファイバ心線は、前記第二の光ファイバ心線と接続される、

付記1に記載の中継装置。

【0090】

(付記3)

前記光通信ケーブルシステムは、海底通信ケーブルシステムであり、

前記中継装置は海底に設置されるように構造設計された装置であり、

前記光ファイバセンシングの光が前記筐体内を前記光増幅器を通過するための第二の光ファイバ心線の配線は、前記中継装置の製造の際に設けられ、

前記第一の光ファイバ心線を備えた前記ケーブルと、前記第二の光ファイバ心線を備えた前記光増幅機能を有する中継装置との接続の際に、

前記第一の光ファイバ心線と前記第二の光ファイバ心線がケーブルカップリング部にて接続される、

付記2に記載の中継装置。

【0091】

(付記4)

前記ケーブル内の、前記第一の光ファイバ心線は、

前記光ファイバセンシングの光が減衰した箇所を割り入れられた、遠隔励起される光増幅機能を持つ光ファイバ心線区間と、

前記光ファイバセンシングの光が減衰した区間に割り入れられた、後方散乱係数の大きな光ファイバと、

を含む、

付記2に記載の中継装置。

【0092】

(付記5)

前記光ファイバセンシングの光と通信用の光信号は、互いに波長を異ならせており、

前記光ファイバセンシングの光は、前記ケーブルの中の前記通信用の光信号を伝搬させる光ファイバ心線のうちの一心にて、波長多重伝送されており、

前記筐体内には、前記光ファイバセンシングの光と通信用の光信号を波長多重分離する波長合分波器を備え、

前記光増幅器の入力側の前記波長合分波器で分離された光ファイバセンシングの光は、前記光増幅器を迂回して通過したのち、前記光増幅器の出力側の前記波長合分波器で合波され、

前記ケーブル中の第一の光ファイバ心線は、前記筐体内の前記光ファイバセンシングの光と通信用の光信号が波長多重されている前記光配線と接続される、

付記1に記載の中継装置。

【0093】

10

20

30

40

50

(付記 6)

前記光通信ケーブルシステムは、海底通信ケーブルシステムであり、

前記筐体は、海底に設置されるように構造設計され、

前記光ファイバセンシングの光が前記中継装置の筐体内を光増幅器を通らずに通過するための波長合分波器及び迂回用の前記第二の光ファイバ心線の配線は、製造の際に設けられ、

前記第一の光ファイバ心線を備えた前記ケーブルと、前記波長合分波器及び迂回用の前記第二の光ファイバ心線の配線を備えた前記中継装置との接続の際に、

前記光ファイバセンシングのための第一の光ファイバ心線と前記波長合分波器につながる前記第二の光ファイバ心線がケーブルカップリング部にて接続される、

付記 5 に記載の中継装置。

【 0 0 9 4 】

(付記 7)

前記ケーブルを前記第一の光ファイバ心線を含む分岐ケーブルに分岐する分岐装置をさらに備え、

当該分岐装置内は、前記通信用の光信号を通過させるスルー配線を備えた、

付記 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の中継装置。

【 0 0 9 5 】

(付記 8)

前記分岐装置は、前記通信用の光信号を増幅する前記光増幅機能を有し、

前記インテロゲーターと当該分岐装置の間の前記ケーブルは、前記第一の光ファイバ心線を備え、

前記分岐装置には、前記光ファイバセンシングの光が前記分岐装置の筐体内を光増幅器を通らずに通過するための第二の光ファイバ心線を備え、

前記分岐ケーブル内の前記第一の光ファイバ心線は、当該分岐装置内の前記第二の光ファイバ心線と接続される、

付記 7 に記載の中継装置。

【 0 0 9 6 】

(付記 9)

前記光ファイバセンシングのための光と通信用の光信号は、互いに波長を異ならせており、

前記インテロゲーターと前記分岐装置の間の前記ケーブルにおいて、前記光ファイバセンシングの光は、前記ケーブルの中の前記通信用の光信号を伝搬させる光ファイバ心線のうちの一心にて、波長多重伝送されており、

前記分岐装置の前記波長合分波器で分離された前記光ファイバセンシングの光は、前記分岐ケーブル内の前記第一の光ファイバ心線と接続される、

付記 7 に記載の中継装置。

【 0 0 9 7 】

(付記 1 0)

前記分岐装置は、前記通信用の光信号を増幅する機能を備えた前記中継装置と統合された分岐装置であり、

前記光ファイバセンシングのための光と通信用の光信号は、互いに波長を異ならせており、

前記インテロゲーターと当該分岐装置の間の前記ケーブルにおいて、前記光ファイバセンシングの光は、前記ケーブル中の前記通信用の光信号を伝搬させる光ファイバ心線のうちの一心にて、波長多重伝送されており、

前記分岐装置の前記波長合分波器で分離された前記光ファイバセンシングの光は、前記光増幅器を通らずに、前記分岐ケーブル内の前記第一の光ファイバ心線と接続される、

付記 7 に記載の中継装置。

【 0 0 9 8 】

10

20

30

40

50

(付記 1 1)

光通信ケーブルシステムのケーブルに、光ファイバセンシングの機能を追加した、ケーブルシステムにおけるセンシング方法であって、

前記光通信ケーブルシステムは、通信用の光信号を伝搬させる一心以上の光ファイバ心線を含んだ前記ケーブルと、前記ケーブルの伝送損失を補償するために割り入れられた光増幅機能を有する複数の装置を含み、

前記ケーブル内の光ファイバ心線にプローブ光を送出し、

前記光通信ケーブルシステムに含まれる前記装置において、前記光ファイバセンシングの光である前記プローブ光及び後方散乱光を光増幅器を通らずに通過させ、

前記プローブ光の前記後方散乱光を検波して前記ケーブルの周囲の環境情報をセンシングする

10

センシング方法

【 0 0 9 9 】

(付記 1 2)

前記ケーブルは、光ファイバセンシングのための第一の光ファイバ心線を備え、

前記光増幅機能を有する装置には、前記光ファイバセンシングの光が当該装置の筐体内を前記光増幅器を通らずに通過するための前記光配線である第二の光ファイバ心線を備え、

前記ケーブル中の前記第一の光ファイバ心線を、前記光増幅機能を有する装置内の前記第二の光ファイバ心線と接続させる、

付記 11 に記載のセンシング方法。

20

【 0 1 0 0 】

(付記 1 3)

前記光通信ケーブルシステムは、海底通信ケーブルシステムであって、前記装置は海底に設置されるように構造設計された装置であり、

前記光ファイバセンシングの光が前記装置の筐体内を光増幅器を通らずに通過するための第二の光ファイバ心線の配線を、前記光増幅機能を有する装置の製造の際に設け、

前記第一の光ファイバ心線を備えた前記ケーブルと、前記第二の光ファイバ心線を備えた前記光増幅機能を有する装置との接続の際に、

前記第一の光ファイバ心線と前記第二の光ファイバ心線がケーブルカップリング部にて接続させる、

30

付記 12 に記載のセンシング方法。

【 0 1 0 1 】

(付記 1 4)

前記ケーブル内の、前記第一の光ファイバ心線を、

前記光ファイバセンシングの光が減衰した箇所には割り入れられた、遠隔励起される光増幅機能を持つ光ファイバ心線区間と、

前記光ファイバセンシングの光が減衰した区間に割り入れられた、後方散乱係数の大きな光ファイバと、

を含むようにする、

付記 12 に記載のセンシング方法。

40

【 0 1 0 2 】

(付記 1 5)

前記光ファイバセンシングの光と通信用の光信号とを、互いに波長を異ならせるようにし、

前記光ファイバセンシングの光を、前記ケーブル中の前記通信用の光信号を伝搬させる光ファイバ心線のうちの一心に、波長多重伝送させ、

前記装置に、前記光ファイバセンシングの光と通信用の光信号を波長多重分離する波長合分波器を備えるようにし、

前記光増幅器の入力側の前記波長合分波器で分離された光ファイバセンシングの光を、前記光増幅器を迂回して通過したのち、前記光増幅器の出力側の前記波長合分波器で合波

50

させ、

前記ケーブル中の第一の光ファイバ心線を、前記装置内の前記光ファイバセンシングの光と通信用の光信号が波長多重されている前記光配線と接続させる、

付記 11 に記載のセンシング方法。

【 0 1 0 3 】

(付記 1 6)

前記光通信ケーブルシステムは、海底通信ケーブルシステムであり、前記装置は海底に設置されるように構造設計された装置であり、

前記光ファイバセンシングの光が前記装置の筐体内を光増幅器を通らずに通過するための波長合分波器及び迂回用の前記第二の光ファイバ心線の配線を、前記装置の製造の際に設け、

前記第一の光ファイバ心線を備えた前記ケーブルと、前記波長合分波器及び迂回用の前記第二の光ファイバ心線の配線を備えた前記装置との接続の際に、

前記光ファイバセンシングのための第一の光ファイバ心線と前記波長合分波器につながる前記第二の光ファイバ心線とをケーブルカップリング部にて接続させる、

付記 15 に記載のセンシング方法。

【 0 1 0 4 】

(付記 1 7)

前記光通信ケーブルシステムのケーブルに、光ファイバセンシングの機能を追加した、ケーブルシステムにおいて、前記ケーブルを前記第一の光ファイバ心線を含む分岐ケーブルに分岐する分岐装置をさらに備えるようにし、

当該分岐装置内に、前記通信用の光信号を通過させるスルー配線を備えるようにする、

付記 11 から 16 のいずれか 1 項に記載のセンシング方法。

【 0 1 0 5 】

(付記 1 8)

前記分岐装置は、前記通信用の光信号を増幅する前記光増幅機能を有する装置と統合された分岐装置であり、

前記インテロゲーターと当該分岐装置の間の前記ケーブルは、前記第一の光ファイバ心線を備えるようにし、

前記分岐装置には、前記光ファイバセンシングの光が前記分岐装置の筐体内を光増幅器を通らずに通過するための第二の光ファイバ心線を備えるようにし、

前記分岐ケーブル内の前記第一の光ファイバ心線を、当該統合分岐装置内の前記第二の光ファイバ心線と接続させる、

付記 17 に記載のセンシング方法。

【 0 1 0 6 】

(付記 1 9)

前記光ファイバセンシングのための光と通信用の光信号を、互いに波長を異ならせ、

前記インテロゲーターと前記分岐装置の間の前記ケーブルにおいて、前記光ファイバセンシングの光を、前記ケーブルの中の前記通信用の光信号を伝搬させる光ファイバ心線のうちの一心にて、波長多重伝送させ、

前記分岐装置の前記波長合分波器で分離された前記光ファイバセンシングの光を、前記分岐ケーブル内の前記第一の光ファイバ心線と接続させる、

付記 17 に記載のセンシング方法。

【 0 1 0 7 】

(付記 2 0)

前記分岐装置は、前記通信用の光信号を増幅する前記光増幅機能を有する装置と統合された分岐装置であり、

前記光ファイバセンシングのための光と通信用の光信号を、互いに波長を異ならせ、

前記インテロゲーターと当該分岐装置の間の前記ケーブルにおいて、前記光ファイバセンシングの光を、前記ケーブル中の前記通信用の光信号を伝搬させる光ファイバ心線のう

10

20

30

40

50

ちの一心にて、波長多重伝送させ、

前記分岐装置の前記波長合分波器で分離された前記光ファイバセンシングの光を、前記光増幅器を通らずに、前記分岐ケーブル内の前記第一の光ファイバ心線と接続させる、付記 17 に記載のセンシング方法。

【0108】

以上、実施の形態を参照して本願発明を説明したが、本願発明は上記によって限定されるものではない。本願発明の構成や詳細には、発明の範囲内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。

【0109】

この出願は、2019年12月4日に出願された日本出願特願2019-219922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。

【符号の説明】

【0110】

11、12、13、13a、14、14a ケーブルシステム

20 端局

40 筐体

43 フィードスルー

44 テイルケーブル

45 ジョイントチャンバ

50 ケーブルカップリング

60 励起光源

70 高散乱ファイバ

111 トランスポンダ群

121 波長多重分離器

AM 増幅器

BU1、BU2、BU3、BU4 分岐装置

CB1、CB2、CB3 ケーブル

COM 通信装置

CPL カプラ

DE 検出部

EDF エルビウム添加ファイバ

FP1、FP2、FP11、FP12、FP13、FP21、FP22、FP23 ファイバペア

ITG インテロゲーター

LF、LF1、LF2、LF3 光ファイバ心線

PL プローブ光

RE 受信部

REPn、REP1、REP2 中継装置

RL 後方散乱光

SE 送出部

SG 光信号

10

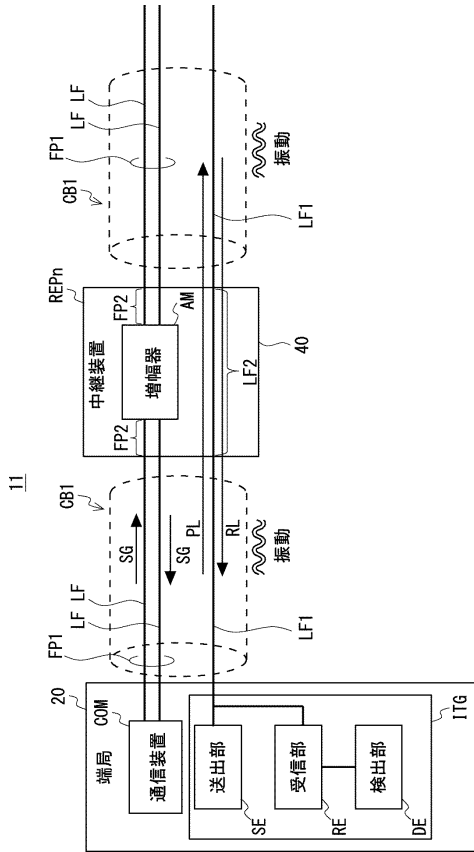
20

30

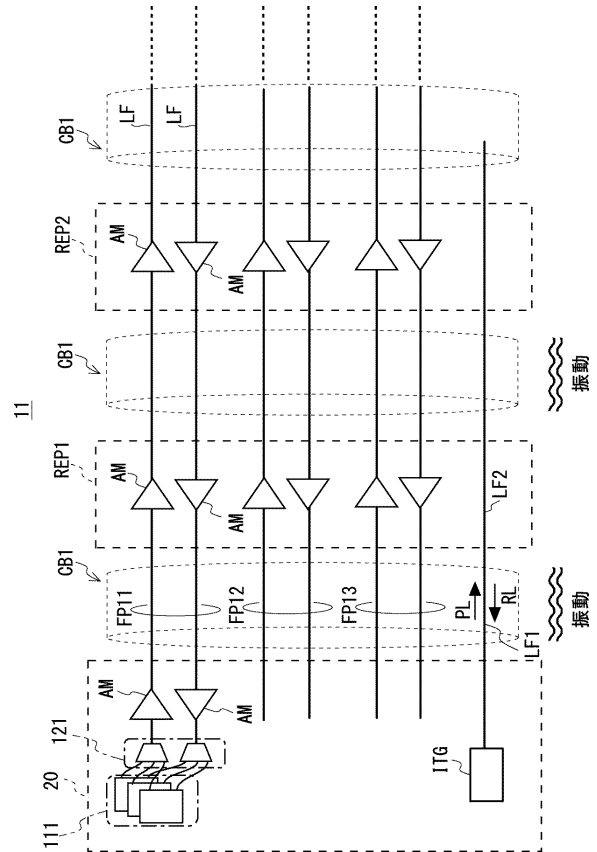
40

50

【図面】
【図 1】



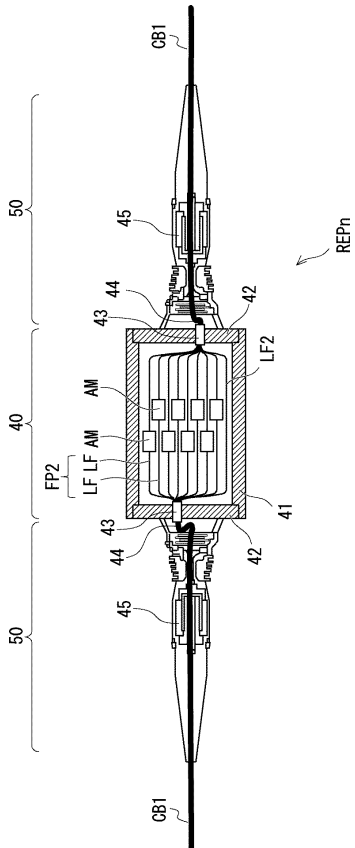
【図 2】



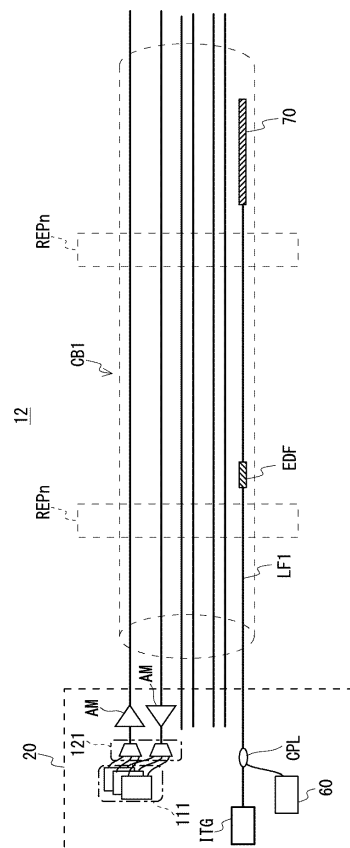
10

20

【図 3】



【図 4】

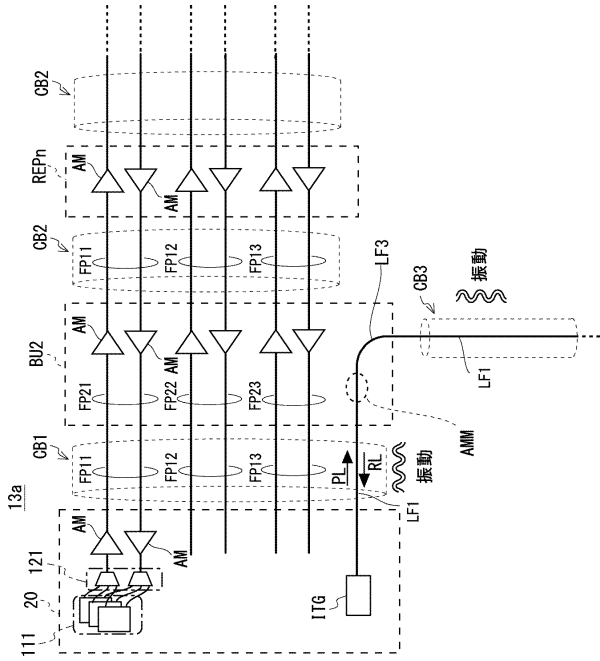


30

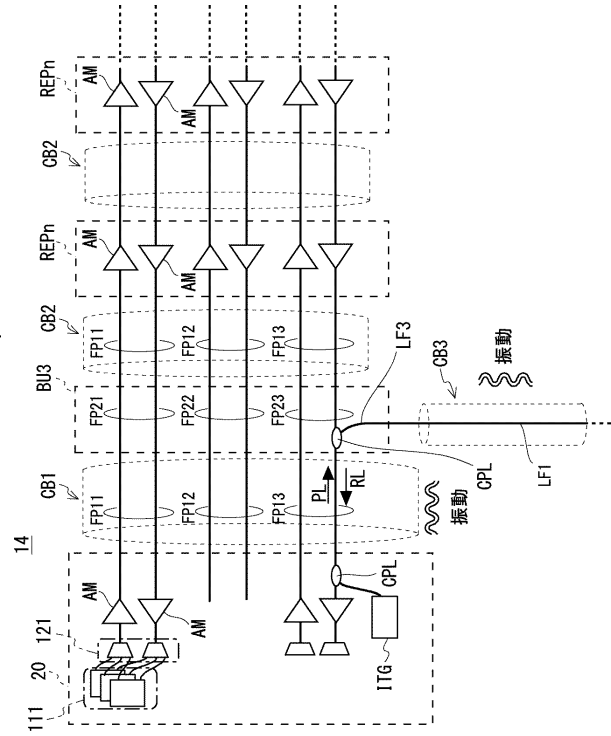
40

50

【図 9】



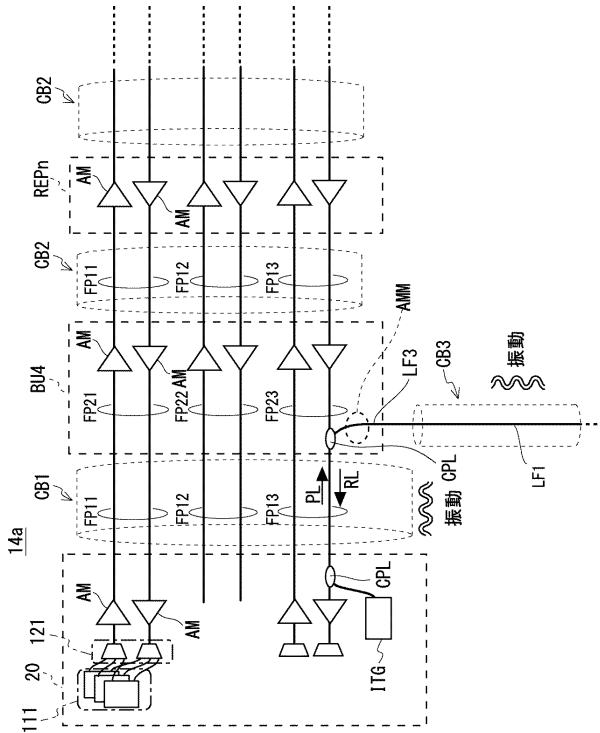
【図 10】



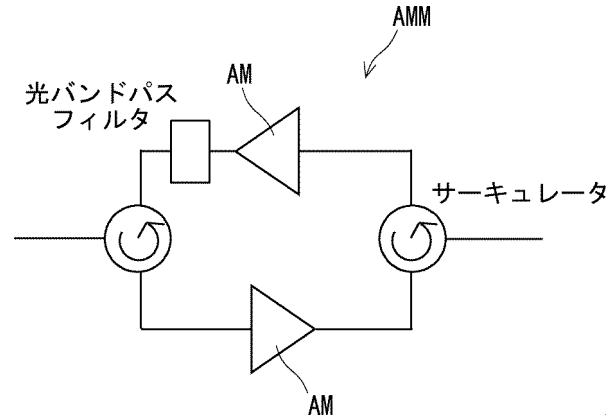
10

20

【図 11】



【図 12】



30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平04 - 285835 (JP, A)
特開昭61 - 061038 (JP, A)
特開平08 - 256106 (JP, A)
特開平05 - 011154 (JP, A)
実開平05 - 046144 (JP, U)
特開平05 - 241030 (JP, A)
特開2011 - 164074 (JP, A)
米国特許出願公開第2003 / 0198425 (US, A1)
特開平09 - 210847 (JP, A)
特開平04 - 051620 (JP, A)
米国特許出願公開第2017 / 0343389 (US, A1)
米国特許出願公開第2015 / 0241302 (US, A1)
欧州特許出願公開第02819321 (EP, A1)
特表2012 - 501124 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01D 5 / 353
G08C 15 / 00
G08C 23 / 06
H04B 10 / 071
G02B 6 / 50