

(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
2020年6月4日(04.06.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/110787 A1

(51) 国際特許分類:

H04L 12/70 (2013.01) **H04B 10/27** (2013.01)
H04B 10/079 (2013.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2019/044972

(22) 国際出願日: 2019年11月15日(15.11.2019)

(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 2018-221023 2018年11月27日(27.11.2018) JP

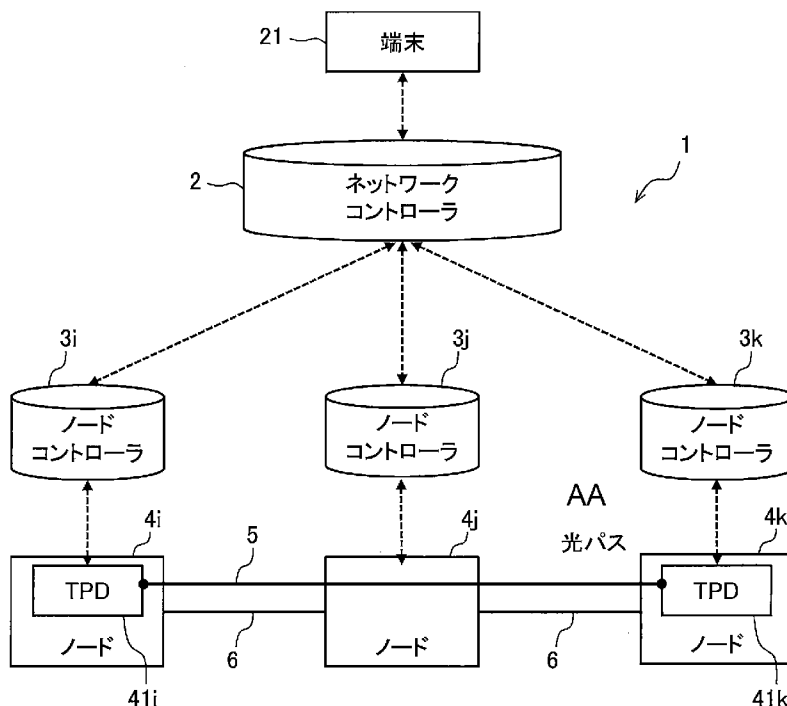
(71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE

CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 河原 光 貴 (KAWAHARA, Hiroki); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 岡 利 幸 (OKA, Toshiyuki); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 関 剛志 (SEKI, Takeshi); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 関 登志彦 (SEKI, Toshihiko); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(54) Title: OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM AND FAILURE DIAGNOSIS METHOD THEREOF

(54) 発明の名称: 光伝送システムおよび光伝送システムの故障診断方法



2 Network controller
21 Terminal
3i, 3j, 3k Node controller
4i, 4j, 4k Node
AA Optical path

(57) Abstract: Problem] To identify the location and cause of a failure in an optical transmission system while avoiding heavy processing on the network controller side. [Solution] An optical transmission system 1 comprises: a plurality of nodes 4i to 4k interconnected via an optical transmission line; a plurality of node controllers 3i to 3k that sense respective degraded signal qualities at the nodes 4i to 4k and determine respective degradation modes correlated with the signal qualities; and a network controller 2 that identifies a node or component in which a failure has occurred on the basis of

[続葉有]

(74) 代理人: 特許業務法人磯野国際特許商標事務所 (ISONO INTERNATIONAL PATENT OFFICE, P.C.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門一丁目1番18号 ヒューリック虎ノ門ビル 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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, 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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

the node of which degraded signal quality is sensed by the node controllers 3i to 3k, the degradation mode, a network topology configured by the nodes, and an optical path provided between the nodes.

(57) 要約: 【課題】光伝送システムにおいて、ネットワークコントローラ側の処理の逼迫を回避しつつ、故障の位置と原因とを特定する。【解決手段】光伝送システム1は、光伝送路によって相互に接続された複数のノード4i~4kと、ノード4i~4kにおける信号品質の劣化をそれぞれ検知し、この信号品質と相関する劣化モードをそれぞれ判定する複数のノードコントローラ3i~3kと、ノードコントローラ3i~3kが信号品質の劣化を検知したノードおよび、劣化モード、各ノードから構成されるネットワークトポロジ、各ノード間に設定される光パスに基づき、故障が発生したノードまたは構成部品を特定するネットワークコントローラ2とを備える。

明 細 書

発明の名称：

光伝送システムおよび光伝送システムの故障診断方法

技術分野

[0001] 本発明は、自身の故障を診断する光伝送システム、および光伝送システムの故障診断方法に関する。

背景技術

[0002] 光伝送システムは、複数のノードがリンクによって相互に接続された光伝送レイヤを備える。この光伝送レイヤでは、光物理特性、および、アナログ制御特性が複雑に相互作用し、故障（異常）位置特定や原因特定が困難な故障（異常）が発生する。

具体的にいうと、光ファイバの非線形特性により、波長チャネル間で相互作用が発生する。また波長選択スイッチ（WSS：Wavelength selective switch）や光増幅器は、全波長チャネルの信号品質を均一化するレベル／利得制御を行うため、波長チャネル間で相互作用が発生する。よって、所定の波長チャネルの異常が他の波長チャネルにおける信号品質に波及し、故障（異常）や性能劣化の位置特定や原因特定が困難となる。光物理特性、および、アナログ制御特性に起因する故障（異常）や性能劣化の位置特定や原因特定を容易に実現するには、光物理特性・アナログ制御特性の監視箇所の増加、監視する性能情報の種類の増加、および、性能情報の時系列データにおける時間分解能の向上などの対策が必要となる。

[0003] 非特許文献1には、光パフォーマンスモニタリングに関する現在および将来の技術が記載されている。

先行技術文献

非特許文献

[0004] 非特許文献1：Zhenhua Dong, Faisal Nadeem Khan, Qi Sui, Kangping Zhong, Chao Lu, and Alan Pak Tao Lau, “Optical Performance Monitoring: A

Review of Current and Future Technologies” , JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, IEEE, JANUARY 15, 2016, VOL. 34, NO. 2

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0005] 光伝送システムのネットワークコントローラは、トランスポンダや各種モニタリングデバイスからの性能情報の統計データを、所定のサンプリング間隔で収集する。例えば、サンプリング間隔は、ネットワークコントローラの処理の逼迫を回避するため、15分程度に制約される。このため、ネットワークコントローラは、このサンプリング間隔よりも短い応答を示す故障（異常）や性能劣化を検知することはできない。

このような短い応答を示す故障（異常）や性能劣化を検知するためにサンプリング間隔を短くすると、ネットワークコントローラの処理が逼迫すると共に、データ通信ネットワーク（DCN:Data Communication Network）の輻輳を招くおそれがある。

- [0006] 一方、従来のネットワークコントローラが収集する性能情報には、光デバイスの入出力での光パワー、光パワーを制御するパラメータ値（例：波長選択スイッチの光減衰量やレーザバイアス電流など）、デバイス温度などがある。この場合、ネットワークコントローラは、光信号パワーにおける時間的変動とデバイス温度における時間的変動を示す故障（異常）や性能劣化しか検知できない。従って、光伝送システムにおいて、光物理特性・アナログ制御特性に起因して発生する故障のうち殆どは、故障位置の特定や原因の特定が困難となる。

そこで、本発明は、光伝送システムにおいて、ネットワークコントローラ側の処理の逼迫やデータ通信ネットワークの輻輳を回避しつつ、故障の位置と原因とを特定することを課題とする。

課題を解決するための手段

- [0007] 前記した課題を解決するため、請求項1に記載の発明では、光伝送路によって相互に接続された複数のノードと、複数の各前記ノードにおける信号品

質の劣化をそれぞれ検知し、前記信号品質の時系列データと相関のある光物理特性の時系列データを特定し、劣化モードをそれぞれ判定する複数の判定手段と、前記判定手段が前記信号品質の劣化を検知したノードおよび、前記劣化モード、複数の各前記ノードから構成されるネットワークトポロジ、各前記ノード間に設定される光パスの情報に基づき、故障または性能劣化が発生したノードまたは構成部品を特定するネットワークコントローラと、を備えることを特徴とする光伝送システムとした。

[0008] このようにすることで、本発明によれば、ネットワークコントローラ側の処理の逼迫やデータ通信ネットワークの輻輳を回避しつつ、故障の位置と原因とを特定することができる。

[0009] 請求項 2 に記載の発明では、前記判定手段は、前記信号品質の劣化を検知すると、検知したタイミングの前後の所定期間における光物理特性と前記信号品質との相関を判定する、ことを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送システムとした。

[0010] このようにすることで、本発明によれば、判定手段の計算量を抑制することができる。

[0011] 請求項 3 に記載の発明では、前記判定手段は、前記信号品質の劣化を検知したノードまたは構成部品を管理するノードコントローラである、ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光伝送システムとした。

[0012] このようにすることで、本発明によれば、各ノードコントローラを介して故障原因を診断するので、トランスポンダの性能によらず分散処理を行わせることができる。

[0013] 請求項 4 に記載の発明では、前記判定手段は、前記信号品質の劣化を検知したノードに設けられたトランスポンダである、ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光伝送システムとした。

[0014] このようにすることで、本発明によれば、ノードコントローラを設けることなく、トランスポンダに分散処理を行わせることができる。

[0015] 請求項 5 に記載の発明では、前記ノードを通過する各光パスを構成する光

信号に付与する光減衰量の時系列データまたは光パワーの時系列データに基づき、前記ノードまたは前記構成部品における故障原因を診断する、ことを特徴とする請求項3または4に記載の光伝送システムとした。

[0016] このようにすることで、本発明によれば、ノードを構成する部品の故障原因を診断することができる。

[0017] 請求項6に記載の発明では、各前記ノードは、複数の周波数スロットの光信号を通過させる光クロスコネクタであり、前記ネットワークコントローラは、各光パスの終端にあたるノードを管理する前記判定手段から光物理特性の時系列データを収集して各光パス間の相関係数行列を計算し、相関係数が閾値を超える光パスの組合せに共通するノードのうち最も上流のものを、故障または性能劣化にかかる被疑箇所として特定する、ことを特徴とする請求項1に記載の光伝送システムとした。

[0018] このようにすることで、本発明によれば、光伝送システムは、故障または性能劣化にかかる被疑箇所のノードを機械的に判定できる。

[0019] 請求項7に記載の発明では、前記信号品質の時系列データと相関のある光物理特性の時系列データは、波長分散補償量の時系列データ、偏波モード分散補償量の時系列データ、SOP (State Of Polarization) の時系列データ、信号対ノイズ比の時系列データ、偏波依存損失の時系列データ、クロストークの時系列データ、ファイバ非線形効果の時系列データ、符号間干渉の時系列データ、コンスタレーション歪みの時系列データ、光源周波数の時系列データ、スペクトル対称性の時系列データうち何れかを少なくとも含む、ことを特徴とする請求項1ないし6のうち何れか1項に記載の光伝送システムとした。

[0020] このようにすることで、本発明によれば、装置や光伝送路の故障を容易に判定することができる。

[0021] 請求項8に記載の発明では、光伝送路によって相互に接続された複数のノード、各前記ノードをそれぞれ管理する管理手段、前記管理手段を統括管理するネットワークコントローラを含む光伝送システムが実行する故障診断方

法であって、前記管理手段は、前記ノードにおける信号品質の劣化をそれぞれ検知し、前記信号品質の時系列データと相関のある光物理特性の時系列データを特定し、劣化モードをそれぞれ判定し、前記ネットワークコントローラは、前記管理手段が前記信号品質の劣化を検知したノードおよび、前記劣化モード、複数の各前記ノードから構成されるネットワークトポロジ、各前記ノード間に設定される光パスの情報に基づき、故障または性能劣化が発生したノードまたは構成部品を特定する、ことを特徴とする故障診断方法とした。

[0022] このようにすることで、本発明によれば、ネットワークコントローラ側の処理の逼迫やデータ通信ネットワークの輻輳を回避しつつ、故障の位置と原因とを特定することができる。

発明の効果

[0023] 本発明によれば、ネットワークコントローラ側の処理の逼迫やデータ通信ネットワークの輻輳を回避しつつ、故障の位置と原因とが特定可能となる。

図面の簡単な説明

[0024] [図1]第1の実施形態における光伝送システムの概念図である。

[図2]故障位置特定と故障原因特定のフローチャートである。

[図3]光伝送システムにて異常が発生していることを示す図である。

[図4]通常時のエラー訂正前ビットエラー率の時系列データとDSPモニタ特徴量の時系列データ、および、それらの相関係数の時系列データを示すグラフである。

[図5]異常時のエラー訂正前ビットエラー率の時系列データとDSPモニタ特徴量の時系列データ、および、それらの相関係数の時系列データを示すグラフである。

[図6]異常／変化検知処理を示すフローチャートである。

[図7]異常／変化検知の再帰処理を示すフローチャートである。

[図8]異常／変化を検知した場合の分析処理を示すフローチャートである。

[図9]多変量相関解析処理を示すフローチャートである。

[図10]故障モード特定処理を示すフローチャートである。

[図11]デジタル信号処理(DSP)チップがモニタする特徴量を示す図である。

[図12]ネットワークコントローラが、光伝送システムで発生した異常情報または劣化モードに関する情報を収集する動作を示す図である。

[図13]光パスの2次元マップである。

[図14]周波数スロット番号と、セクション番号およびOXC番号からなる2次元マップにマークを付与したことを示す図である。

[図15]被疑装置の内部の構成部品を示す図である。

[図16]被疑装置における各光パスの減衰量を示すグラフである。

[図17]被疑装置における各光パスの光パワーを示すグラフである。

[図18]第2の実施形態における光伝送システムの概念図である。

発明を実施するための形態

[0025] 以降、本発明を実施するための形態を、各図を参照して詳細に説明する。

図1は、第1の実施形態における光伝送システム1の概念図である。

光伝送システム1は、複数のノード4*i*～4*k*が、光伝送路である光ファイバ6によって相互に接続されて構成され、更にノードコントローラ3*i*～3*k*と、ネットワークコントローラ2とを備える。

トランスポンダ41*i*、41*k*は、各図において“TPD”と記載している。ノード4*i*が備えるトランスポンダ41*i*と、ノード4*k*が備えるトランスポンダ41*k*とは、光パス5によって通信可能に接続される。光パス5は、物理的な通信路である光ファイバ6とノード4*j*とを介して、トランスポンダ41*i*とトランスポンダ41*k*とを接続する論理的な通信路である。以下、ノード4*i*～4*k*などを区別しないときには、単にノード4と記載する。トランスポンダ41*i*、41*k*などを区別しないときには、単にトランスポンダ41と記載する。

[0026] ノードコントローラ3*i*は、トランスポンダ41*i*を制御し、かつこれを監視して信号品質の劣化をそれぞれ検知し、この信号品質と相関のある劣化モードをそれぞれ判定する。

ノードコントローラ 3 j は、ノード 4 j を制御し、かつこれを監視して信号品質の劣化をそれぞれ検知し、この信号品質と相関する劣化モードをそれぞれ判定する。

ノードコントローラ 3 k は、トランスポンダ 4 1 k を制御し、かつこれを監視して信号品質の劣化をそれぞれ検知し、この信号品質の時系列データと相関のある光物理特性を特定し、劣化モードをそれぞれ判定する。これらノードコントローラ 3 i ~ 3 k は、各ノード 4 i ~ 4 k における信号品質の劣化をそれぞれ検知し、信号品質の時系列データと相関のある光物理特性を特定し、劣化モードをそれぞれ判定する判定手段である。以下、各ノードコントローラ 3 i ~ 3 k などを区別しないときには、単にノードコントローラ 3 と記載する。

[0027] ネットワークコントローラ 2 は、ノードコントローラ 3 i ~ 3 k とデータ通信ネットワークを介して接続される。ネットワークコントローラ 2 は、ノードコントローラ 3 i ~ 3 k を制御し、かつこれらを監視する。ネットワークコントローラ 2 は、ノードコントローラ 3 i ~ 3 k が前記信号品質の劣化を検知したノードおよび、劣化モード、複数の各ノード 4 から構成されるネットワークトポロジ、各ノード 4 間に設定される光パス 5 に基づき、故障（異常）または性能劣化が発生したノードまたは構成部品を特定する。端末 2 1 は、ネットワークコントローラ 2 に接続して、例えば故障位置や原因をユーザに報知する。

[0028] 図 2 は、故障診断処理を示す概略のフローチャートである。

ステップ S 1 0 ~ S 1 2 は、光パス 5 の終端に位置するノードコントローラ 3 が実行する処理である。光パス 5 の終端に位置するノードコントローラ 3 とはとは、図 1 においてはノードコントローラ 3 i , 3 k に相当する。

光パス 5 の終端に位置するノードコントローラ 3 は、監視対象のノード 4 の Pre-FEC BER (Pre-Forward Error Correction Bit Error Rate) の時系列データに対する異常や変化を検知すると (S 1 0)、Pre-FEC BER の時系列データとデジタル信号処理 (DSP) でモニタする光物理特性に関するアナロ

グ情報の時系列データとの相関解析に基づき、その劣化モードを特定する（S 1 1）。以下、この光物理特性に関するアナログ情報のことを、DSP-based OPM (Digital Signal Processing based Optical Performance Monitoring) と記載する。ここでPre-FEC BERの時系列データに対する異常は、光パス5を流れる信号の品質が劣化していることを示している。

[0029] ノードコントローラ3は更に、特定した劣化モードをネットワークコントローラ2へ通知する（S 1 2）。

ステップS 1 3, S 1 4は、この光伝送システム1を統括制御するネットワークコントローラ2が実行する処理である。

ネットワークコントローラ2は、光パス5の終端にあたる各ノードコントローラ3から劣化モードに該当するDSP-based OPMの時系列データを収集すると（S 1 3）、ネットワークトポロジの情報や光パス経路や波長設定情報に基づき、故障または性能劣化が発生しているノード4または光ファイバ6の位置を特定する（S 1 4）。

[0030] ステップS 1 5は、故障が発生している箇所がノード4であった場合、そのノード4を管理するノードコントローラ3が実行する処理である。ノードコントローラ3は、ノード内のトポロジ情報やPM (Performance Monitoring) 情報に基づいて故障を診断し、ノード内の故障構成部品および原因を特定する（S 1 5）。

ステップS 1 6は、ネットワークコントローラ2および端末2 1が実行する処理である。ネットワークコントローラ2は、ノードコントローラ3から特定した故障構成部品情報と原因情報とを収集し、故障構成部品と原因を端末2 1に報知させ（S 1 6）、図2の処理を終了する。

[0031] 以下、図3から図1 7を参照しつつ、光クロスコネクタが備える波長選択スイッチの出力異常により、対象チャネルおよび他チャネルの信号品質に影響が出た故障に対して、迅速な故障位置の特定と原因の特定を実現する具体的手段を説明する。

[0032] 図3は、光伝送システム1 Aにて異常が発生していることを示す図である

。

この光伝送システム 1 A は、光クロスコネクタ 4 a ~ 4 h が、セクション 6 p ~ 6 v の光ファイバによって相互に接続され、ノードコントローラ 3 a ~ 3 h がこれら光クロスコネクタ 4 a ~ 4 h に接続されて構成される。これらセクション 6 p ~ 6 v は、各ノードを相互に接続する光伝送路である。

光クロスコネクタ 4 a は、トランスポンダ 4 1 a, 4 1 b を備え、セクション 6 p の光ファイバによって光クロスコネクタ 4 c と相互に接続される。これら光クロスコネクタ 4 a やトランスポンダ 4 1 a, 4 1 b は、ノード 4 を構成するハードウェアである。第 1 の実施形態のノードコントローラ 3 a は、光クロスコネクタ 4 a やトランスポンダ 4 1 a, 4 1 b を制御するソフトウェアを実行するため、信号品質と DSP-based OPM との相関係数の時系列データを監視し、劣化モードを判定する機能を実現する演算リソースを備えたサーバである。

なお、ネットワークコントローラ 2 やノードコントローラ 3 a は、光クロスコネクタ 4 a を “OXC-A” として識別し、セクション 6 p を “セクション P” として識別する。

[0033] 光クロスコネクタ 4 b は、トランスポンダ 4 1 c を備え、セクション 6 q の光ファイバによって光クロスコネクタ 4 c と相互に接続される。これら光クロスコネクタ 4 b やトランスポンダ 4 1 c は、ノード 4 を構成するハードウェアである。第 1 の実施形態のノードコントローラ 3 b は、光クロスコネクタ 4 b やトランスポンダ 4 1 c を制御するソフトウェアを実行するため、信号品質と DSP-based OPM との相関係数の時系列データを監視し、劣化モードを判定する機能を実現する演算リソースを備えたサーバである。なお、ネットワークコントローラ 2 やノードコントローラ 3 b は、光クロスコネクタ 4 b を “OXC-B” として識別し、セクション 6 q を “セクション Q” として識別する。

光クロスコネクタ 4 c は、セクション 6 p の光ファイバによって光クロスコネクタ 4 a と相互に接続され、セクション 6 q の光ファイバによって光ク

ロスコネクタ4bと相互に接続される。

[0034] 光クロスコネクタ4cは更に、セクション6rの光ファイバによって光クロスコネクタ4dと相互に接続され、セクション6sの光ファイバによって光クロスコネクタ4gと相互に接続される。光クロスコネクタ4dは、ノード4を構成するハードウェアである。第1の実施形態のノードコントローラ3dは、光クロスコネクタ4dを制御するソフトウェアを実行するため、信号品質とDSP-based OPMとの相関係数の時系列データを監視し、劣化モードを判定する機能を実現する演算リソースを備えたサーバである。なお、ネットワークコントローラ2やノードコントローラ3cは、光クロスコネクタ4cを“OXC-C”として識別し、セクション6rを“セクションR”として識別し、セクション6sを“セクションS”として識別する。

光クロスコネクタ4dは、セクション6uの光ファイバによって光クロスコネクタ4eと相互に接続され、セクション6vの光ファイバによって光クロスコネクタ4fと相互に接続される。

[0035] なお、ネットワークコントローラ2やノードコントローラ3dは、光クロスコネクタ4dを“OXC-D”として識別する。更にネットワークコントローラ2やノードコントローラ3dは、セクション6uを“セクションU”として識別し、セクション6vを“セクションV”として識別する。

光クロスコネクタ4eは、トランスポンダ41dを備え、セクション6uの光ファイバによって光クロスコネクタ4dと相互に接続される。これら光クロスコネクタ4eやトランスポンダ41dは、ノード4を構成するハードウェアである。第1の実施形態のノードコントローラ3eは、光クロスコネクタ4eやトランスポンダ41dを制御するソフトウェアを実行するため、信号品質とDSP-based OPMとの相関係数の時系列データを監視し、劣化モードを判定する機能を実現する演算リソースを備えたサーバである。

[0036] なお、ネットワークコントローラ2やノードコントローラ3eは、光クロスコネクタ4eを“OXC-E”として識別する。更にネットワークコントローラ2やノードコントローラ3eは、セクション6uを“セクションU”として

識別する。

光クロスコネクタ4 fは、トランスポンダ4 1 e, 4 1 fを備え、セクション6 vの光ファイバによって光クロスコネクタ4 dと相互に接続される。これら光クロスコネクタ4 fやトランスポンダ4 1 e, 4 1 fは、ノード4を構成するハードウェアである。第1の実施形態のノードコントローラ3 fは、光クロスコネクタ4 fやトランスポンダ4 1 e, 4 1 fを制御するソフトウェアを実行するため、信号品質とDSP-based OPMとの相関係数の時系列データを監視し、劣化モードを判定する機能を実現する演算リソースを備えたサーバである。

なお、ネットワークコントローラ2やノードコントローラ3 fは、光クロスコネクタ4 fを“OXC-F”として識別する。更にネットワークコントローラ2やノードコントローラ3 fは、セクション6 vを“セクションV”として識別する。

[0037] 光クロスコネクタ4 gは、トランスポンダ4 1 gを備え、セクション6 sの光ファイバによって光クロスコネクタ4 cと相互に接続される。これら光クロスコネクタ4 gやトランスポンダ4 1 gは、ノード4を構成するハードウェアである。第1の実施形態のノードコントローラ3 gは、光クロスコネクタ4 gやトランスポンダ4 1 gを制御するソフトウェアを実行するため、信号品質とDSP-based OPMとの相関係数の時系列データを監視し、劣化モードを判定する機能を実現する演算リソースを備えたサーバである。

なお、ネットワークコントローラ2やノードコントローラ3 gは、光クロスコネクタ4 gを“OXC-G”として識別する。更にネットワークコントローラ2やノードコントローラ3 gは、セクション6 sを“セクションS”として識別する。

光クロスコネクタ4 hは、トランスポンダ4 1 hを備え、セクション6 tの光ファイバによって光クロスコネクタ4 dと相互に接続される。これら光クロスコネクタ4 hやトランスポンダ4 1 hは、ノード4を構成するハードウェアである。第1の実施形態のノードコントローラ3 hは、光クロスコネ

クト4 hやトランスポンダ4 1 hを制御するソフトウェアを実行するため、信号品質とDSP-based OPMとの相関係数の時系列データを監視し、劣化モードを判定する機能を実現する演算リソースを備えたサーバである。

[0038] なお、ネットワークコントローラ2やノードコントローラ3 hは、光クロスコネクタ4 hを“OXC-H”として識別する。更にネットワークコントローラ2やノードコントローラ3 hは、セクション6 tを“セクションT”として識別する。

光パス5-1は、光伝送システム1 Aの一端から他端までを繋ぐ論理的な通信路であり、光クロスコネクタ4 aのトランスポンダ4 1 aで終端され、更に光クロスコネクタ4 dのトランスポンダ4 1 dで終端される。光パス5-1は、光クロスコネクタ4 aから、セクション6 pと光クロスコネクタ4 cとセクション6 rを介して光クロスコネクタ4 dに繋がり、更にセクション6 uを介して光クロスコネクタ4 dに繋がる。

[0039] 光パス5-2は、光伝送システム1 Aの一端から他端までを繋ぐ論理的な通信路であり、光クロスコネクタ4 bのトランスポンダ4 1 cで終端され、更に光クロスコネクタ4 fのトランスポンダ4 1 eで終端される。光パス5-2は、光クロスコネクタ4 bから、セクション6 qと光クロスコネクタ4 cとセクション6 rを介して光クロスコネクタ4 dに繋がり、更にセクション6 vを介して光クロスコネクタ4 fに繋がる。

光パス5-1と光パス5-2とは、異なる波長チャネルの通信路であり、光クロスコネクタ4 cとセクション6 rと光クロスコネクタ4 dを共用している。

[0040] 光パス5-3は、光伝送システム1 Aの一端から他端までを繋ぐ論理的な通信路であり、光クロスコネクタ4 aのトランスポンダ4 1 bで終端され、更に光クロスコネクタ4 gのトランスポンダ4 1 gで終端される。光パス5-3は、光クロスコネクタ4 aから、セクション6 pと光クロスコネクタ4 cとセクション6 sを介して、その先の光クロスコネクタ4 gのトランスポンダ4 1に繋がる。

光パス５－１と光パス５－３とは、異なる波長チャネルの通信路であり、光クロスコネクタ４aとセクション６pと光クロスコネクタ４cを共用している。光パス５－２と光パス５－３とは、異なる波長チャネルの通信路であり、光クロスコネクタ４cを共用している。

[0041] 光パス５－４は、光伝送システム１Aの一端から他端までを繋ぐ論理的な通信路であり、光クロスコネクタ４fのトランスポンダ４１fで終端され、更に、光クロスコネクタ４hのトランスポンダ４１hで終端される。光パス５－４は、光クロスコネクタ４fから、セクション６vと光クロスコネクタ４dとセクション６tを介して、その先の光クロスコネクタ４hのトランスポンダ４１hに繋がる。

光パス５－１と光パス５－４とは、異なる波長チャネルの通信路であり、光クロスコネクタ４dを共用している。光パス５－２と光パス５－４とは、異なる波長チャネルの通信路であり、光クロスコネクタ４dとセクション６vと光クロスコネクタ４fを共用している。

[0042] なお、ネットワークコントローラ２やノードコントローラ３（図１参照）は、光パス５－１を“光パス＃１”として認識し、光パス５－２を“光パス＃２”として認識し、光パス５－３を“光パス＃３”として認識し、光パス５－４を“光パス＃４”として認識する。

[0043] 図３に示すように、光クロスコネクタ４cが備える波長選択スイッチの出力パワー異常が発生すると、光パス５－１に対する波長選択スイッチの設定が異常となる。すると、該当する光パス５－１のファイバ入力パワーが増加し、Self Phase Modulation（自己位相変調）による非線形効果の影響が大きくなる。同時に、同一のセクション６rを通過し、かつ、隣接する波長の光パス５－２は、Cross Phase Modulation（相互位相変調）による非線形効果の影響が大きくなる。これにより、光パス５－１と光パス５－２の終端で、それぞれ信号品質の劣化が発生する。

[0044] このような信号品質の劣化を検知し、かつ信号品質の劣化モードを特定するため、各光パス５－１～５－４の終点となるトランスポンダ４１を監視す

るノードコントローラ3は、Pre-FEC BERの時系列データと各種DSP-based OPMの時系列データとの相関係数を監視する。そして、相関係数の大きいDSP-based OPMを抽出して劣化モードを特定する。これらの監視処理は、トランスポンダ41を監視するノードコントローラ3の内部で行われる。これにより、ネットワークコントローラ2側の負荷を下げ、データ通信ネットワークの輻輳を回避することができる。

[0045] 図4は、通常時のエラー訂正前のビットエラー率の時系列データとDSP-based OPMの時系列データ、および、それらの相関係数の時系列データを示すグラフである。

これらグラフのうち左側の3個は、何れもPre-FEC BERの時系列データであり、中間の3個は、各種DSP-based OPMの時系列データである。これらグラフのうち右側の3個は、各行の右側グラフに示したPre-FEC BERの時系列データと、中間グラフに示した各種DSP-based OPMの時系列データとの相関係数を示している。

1行目には、Pre-FEC BERの時系列データとACF (Auto Correlation Function: 自己相関関数) の時系列データと、これらの相関を演算した結果である相関係数の時系列データとが示されている。Pre-FEC BERの時系列データは、所定値のまま変動していない。ACFの時系列データも同様に所定値のまま変動していない。よって、これらの相関係数の時系列データも1のまま変動しない。

[0046] 2行目には、Pre-FEC BERの時系列データとOSNR (Optical Signal to Noise Ratio) の時系列データと、これらの相関を演算した結果である相関係数の時系列データとが示されている。Pre-FEC BERの時系列データは、所定値のまま変動していない。OSNRの時系列データも同様に所定値のまま変動していない。よって、これらの相関係数の時系列データも1のまま変動しない。

3行目には、Pre-FEC BERの時系列データとSpectrum Symmetry (スペクトル対称性) の時系列データと、これらの相関を演算した結果である相関係数の時系列データとが示されている。Pre-FEC BERの時系列データは、所定値の

まま変動していない。Spectrum Symmetryの時系列データも同様に所定値のまま変動していない。よって、これらの相関係数の時系列データも1のまま変動しない。

[0047] 図5は、異常時のエラー訂正前のビットエラー率の時系列データとDSP-based OPMの時系列データ、および、それらの相関係数の時系列データを示すグラフである。

1行目には、Pre-FEC BERの時系列データとACFの時系列データと、これらの相関を演算した結果である相関係数の時系列データとが示されている。Pre-FEC BERの時系列データは、所定タイミングで増加しており、信号品質が劣化していることを示している。ACFの時系列データも、この所定タイミングで増加している。よって、これらの相関係数の時系列データも1のまま変動しない。

[0048] 2行目には、Pre-FEC BERの時系列データとOSNRの時系列データと、これらの相関を演算した結果である相関係数の時系列データとが示されている。Pre-FEC BERの時系列データは、所定タイミングで増加しており、信号品質が劣化していることを示している。OSNRの時系列データは、所定値のまま変動していない。よって、これらの相関係数の時系列データは、所定タイミングの後、1から次第に減少する。

3行目には、Pre-FEC BERの時系列データとSpectrum Symmetryの時系列データと、これらの相関を演算した結果である相関係数の時系列データとが示されている。Pre-FEC BERの時系列データは、所定タイミングで増加しており、信号品質が劣化していることを示している。Spectrum Symmetryの時系列データは、所定値のまま変動していない。よって、これらの相関係数の時系列データは所定タイミングの後、1から次第に減少する。

[0049] ここでは、各種DSP-based OPMの時系列データのうち、異常発生前後においてPre-FEC BERの時系列データとの相関を有しているのは、ACFの時系列データである。よって、故障要因と故障箇所は、ACFの増加に係るものであると特定できる。

[0050] 図6と図7は、異常／変化検知処理を示すフローチャートである。

異常／変化検知処理には様々なアルゴリズムがあるが、ここでは古典的な変化点アルゴリズムである累積和法を記載する。なお、その他のアルゴリズムを適用してもよい。

最初、ノードコントローラ3（図1参照）は、系列全体を処理対象の区間として設定し（S20）、設定した区間に対する累積和法処理を行う（S21）。この累積和法処理は、図7に示される再帰処理である。

[0051] 図7に示すように、ノードコントローラ3は、処理対象である区間内の平均値（標本平均）を計算する（S30）。ノードコントローラ3は、各点について平均値と差を求める、平均値との差の累積和を計算する（S31）。その後、ノードコントローラ3は、累積和の絶対値の最大と、所定値（閾値）とを比較する（S32）。ノードコントローラ3は、累積和の絶対値の最大が所定値以下ならば（No）、この検知処理を終了する。ノードコントローラ3は、累積和の絶対値の最大が所定値を超えていたならば（Yes）、ステップS33の処理に進む。

[0052] ステップS33において、ノードコントローラ3は、累積和の絶対値が最大になる点（タイミング）を新たな変化点とする。

ステップS34において、ノードコントローラ3は、処理対象である区間のうち、ステップS33で検知した変化点によって区切られた前半を新たな区間として、この累積和法処理を再帰的に呼び出す。

ステップS35において、ノードコントローラ3は、処理対象である区間のうち、ステップS33で検知した変化点によって区切られた後半を新たな区間として、この累積和法処理を再帰的に呼び出したのち、図7の処理を終了する。

[0053] 図8は、異常／変化を検知した場合の分析処理を示すフローチャートである。

ノードコントローラ3は、各種DSP-based OPMの時系列データにおいて、検知時間の前後Nサンプルにおける対数変化率（1つ前のサンプルとの差分）を

計算し（S 4 0）、多変量相関解析処理（図 9 参照）を呼び出す（S 4 1）。

[0054] その後、ノードコントローラ 3 は、Pre-FEC BER に対して、有意かつ相関の高い（相関係数の絶対値が基準値以上となる）DSP-based OPM を抽出する（S 4 2）。この抽出処理は、前記した図 5 と図 6 で説明した動作である。これにより、ノードコントローラ 3 は、劣化モードを判定したのち、図 8 の処理を終了する。

[0055] 図 9 は、多変量相関解析処理を示すフローチャートである。

ステップ S 5 0 ～ S 5 4 において、ノードコントローラ 3 は、各種 DSP-based OPM の時系列データの対数変化率について、各処理を繰り返す。

ステップ S 5 1 において、ノードコントローラ 3 は、Pre-FEC BER の時系列データに対する当該 DSP-based OPM の時系列データの対数変化率との相関係数行列を計算する。

ステップ S 5 2 において、ノードコントローラ 3 は、Pre-FEC BER の時系列データに対する当該 DSP-based OPM の時系列データの対数変化率との相関の p 値を計算する。この p 値を有意水準 α と比較することにより、相関が有意かどうかを判断することができる。例えば、有意水準 α が 0.05 の場合、実際には相関が存在しないにもかかわらず相関が存在すると結論付けるリスクが 5 % あることを示す。

[0056] ステップ S 5 3 において、ノードコントローラ 3 は、Pre-FEC BER 時系列データに対する当該 DSP-based OPM の時系列データの偏相関係数行列を計算する。この偏相関係数行列を参照することにより、第三の変数の影響により疑似相関・疑似無相関になることを回避することができる。

ステップ S 5 4 において、ノードコントローラ 3 は、何れかの DSP-based OPM の時系列データについて処理していなかったならば、ステップ S 5 0 に戻る。ノードコントローラ 3 は、全ての DSP-based OPM の時系列データについて処理したならば、図 9 の処理を終了する。

ノードコントローラ 3 は、変化を検知した場合に限り、検知の前後の時間

幅の時系列データを利用して相関係数を算出するので、検知の処理負荷を抑制することができる。

[0057] 図10は、故障位置特定処理を示すフローチャートである。

図1に示したように、ネットワークコントローラ2は、光パス終端にあたるノードを管理する各ノードコントローラから劣化モードに該当するDSP-based OPMの時系列データを収集する(S13)。その後、ネットワークコントローラ2は、各光パス間の相関係数行列を計算し(S60)、相関係数が閾値を超えているか否かを判定する(S61)。相関係数行列の計算例を図13に示す。各セルの数値は、セルの数値は、劣化モードに係るDSP-based OPMの時系列データの、当該行および当該列の光パス間における相関を示している。例えば、閾値を0.8と設定する場合は、光パス#2と光パス#3の相関係数が閾値を超えていると判定される。相関係数が閾値を超えていないならば、図10に記載の処理を終了する。

[0058] 次にネットワークコントローラ2は、セクション・装置情報と周波数スロット番号の2次元マップ上に、相関係数が閾値を超えたと判定された複数の光パスの組合せが設定されている周波数スロット番号、セクション番号およびOXC番号の該当セルにマークを付与する(S62)。2次元マップの例を図14に示す。図14において光パス#2は周波数スロット番号#3に該当し、光パス#3は周波数スロット番号#4に該当すると想定している。ステップS62において、ネットワークコントローラ2は、光パス#2および光パス#3が設定されているセクション番号とOXC番号の該当セルにマーク（この例では“○”）を付与する。

[0059] 更にネットワークコントローラ2は、相関係数が閾値を超えた複数の光パスの組合せで共通するセクション番号またはOXC番号のうち、最も上流側に位置するセクションまたはOXCを故障箇所として特定し(S63)、図10の処理を終了する。

図14の場合、光パス#2と光パス#3で共通するセクション番号はR、OXC番号はC、D、Fである。これらのうち、最も上流側に位置するのはOXC-C

であるため、ネットワークコントローラ 2 は、OXC-C を被疑箇所として特定する。これにより、どのセクションやどのノードで不具合が発生しているかを容易に判定可能である。

[0060] 図 1 1 は、各種 DSP-based OPM を示す図である。

各種 DSP-based OPM は、伝送路特性と装置・デバイス特性とトランスポンダ特性に大別される。これを図の「大分類」の項目に記載している。

「大分類」の項目の右側は、各特性に属する小分類を示している。伝送路特性には、波長分散と偏波モード分散と SOP (偏波状態 : State Of Polarization) の 3 個の小分類が属している。波長分散は、波長分散補償量としてモニタされる。偏波モード分散は、偏波モード分散補償量としてモニタされる。SOP (偏波状態 : State Of Polarization) 変動は、2 行 2 列の Multi-Input Multi-Output の係数行列に基づき算出されるストークスペクトルによりモニタされる。

[0061] 装置・デバイス特性には、OSNR (Optical Signal to Noise Ratio : 光信号対雑音比)、PDL (Polarization Dependent Loss : 偏波依存損失)、反射光を含むクロストーク、ファイバ非線形効果、ISI (Inter-Symbol Interference : 符号間干渉) の小分類が属している。OSNR は、Error Vector Magnitude (EVM : エラー・ベクトル振幅) としてモニタされる。PDL (偏波依存損失) は、X/Y 間の OSNR 差分としてモニタされる。反射光を含むクロストークと ISI は、FIR (Finite Impulse Response) フィルタの Tap 値 (係数) としてモニタされる。ファイバ非線形効果は、シンボル間の Auto Correlation Function (自己相関関数) としてモニタされる。

[0062] トランスポンダ特性には、コンスタレーション歪みと光源周波数と Spectrum Symmetry の 3 個の小分類が属している。コンスタレーション歪みは、コンスタレーションの幾何学的形状に基づく指標値としてモニタされる。光源周波数は、周波数オフセット量としてモニタされる。Spectrum Symmetry は、スペクトル対称性に基づく指標値としてモニタされる。

[0063] 図 1 2 は、ネットワークコントローラ 2 が、光伝送システム 1 A で発生し

た異常情報を収集する動作を示す図である。この図 1 2 は、図 3 に示した光伝送システム 1 A に対してネットワークコントローラ 2 とその動作を追記している。

光パス終端となる光クロスコネクト 4 e を監視するノードコントローラ 3 e は、劣化モードに係わる DSP-based OPM の時系列データをトランスポンダ 4 1 d から抽出して、ネットワークコントローラ 2 に転送する。光パス終端となる光クロスコネクト 4 f を監視するノードコントローラ 3 f は、劣化モードに係わる DSP-based OPM の時系列データをトランスポンダ 4 1 e, 4 1 f から抽出して、ネットワークコントローラ 2 に転送する。

[0064] 更に光クロスコネクト 4 g から外部に接続されるトランスポンダ 4 1 g を監視するノードコントローラ 3 g も同様に、劣化モードに係わる DSP-based OPM の時系列データを抽出して、ネットワークコントローラ 2 に転送する。

ネットワークコントローラ 2 は、自身が管理している、セクション情報、パス経路情報、使用周波数情報と、各ノードコントローラから収集した DSP-based OPM の時系列データに基づき、大きい相関を示したパスが共用するセクション、および、占有する周波数スロット位置を判定する。これにより、ネットワークコントローラ 2 は、光クロスコネクト 4 c でのパワー設定異常によりセクション 6 r でのファイバ非線形効果による影響が変化すると特定できる。

[0065] 以下、ネットワークコントローラ 2 が何れかのノードで不具合が発生していることを判定した場合、故障診断によりノード内の故障構成部品および原因特定について図 1 5 から図 1 7 により説明する。

[0066] 図 1 5 は、ノード 4 の内部の構成部品を示す図である。

ノード 4 は、前段アンプ 7 1 および光検出器 (PD:Photo Detector) 7 0 と、カプラ (CPL:Coupler) 7 2 および波長選択スイッチ 7 3 と、後段アンプ 7 6 および光検出器 7 7 と、選択器 (SEL:Selector) 7 4 と、光チャネルモニタ (OCM:Optical Channel Monitor) 7 5 などの構成部品を備えている。

前段アンプ 7 1 の入力側には、光検出器 7 0 が接続される。この前段アン

プ71の出力側は、カプラ72および波長選択スイッチ73を介して、後段アンプ76の入力側に接続される。選択器74は、前段アンプ71の出力と、カプラ72の出力と、波長選択スイッチ73の出力のうち何れかを選択して光チャネルモニタ75に出力するものである。

[0067] 後段アンプ76の出力側は、光検出器77が接続される。

ノードコントローラ3は、該当ノードからのみPM情報の取得を実施する。これは、従来のように全てのノードのPM情報をネットワークコントローラ2が収集する方法とは異なる。この方法により、ネットワークコントローラ2側の負荷やデータ通信ネットワークの輻輳を回避でき、PM情報の時系列データの取得におけるサンプリング間隔を小さくすることができる。

ノードコントローラ3は、光検出器70, 77から光パワーを取得する。ノードコントローラ3は、前段アンプ71や後段アンプ76から温度やレーザバイアス電流値を取得する。ノードコントローラ3は、光チャネルモニタ75からチャネル単位の光パワーを取得し、波長選択スイッチ73から温度や光減衰量を取得する。

[0068] 図16は、被疑装置における各光パスの光減衰量を示すグラフである。

今回想定するケースでは、所定タイミングにおいて、波長選択スイッチ73の光パス#1の減衰量が異常値になっている。

[0069] 図17は、被疑装置における各光パスの光パワーを示すグラフである。

今回想定するケースでは、上記した所定タイミングにおいて、光チャネルモニタ75でのチャネル単位の光パス#1のパワーも異常値になっている。これら図17や図18を参照することで、ノードコントローラ3は、光クロスコネクタ4c内の波長選択スイッチのパッケージ（構成部品）に異常があることを判定できる。更にネットワークコントローラ2ではなく、各ノードコントローラ3が故障判定することにより、データ分解能を向上させ、かつネットワークコントローラ2の処理の逼迫を回避することができる。

[0070] 図18は、第2の実施形態における光伝送システム1Bの概念図である。

光伝送システム1は、複数のノード4i~4kが、光伝送路である光ファ

イバ6によって相互に接続されて構成され、更にネットワークコントローラ2とを備える。

ノード4 iが備えるトランスポンダ4 1 iと、ノード4 kが備えるトランスポンダ4 1 kとは、光パス5によって通信可能に接続される。光パス5は、物理的な通信路である光ファイバ6とノード4 jとを介して、トランスポンダ4 1 iとトランスポンダ4 1 kとを接続する論理的な通信路である。

[0071] トランスポンダ4 1 i, 4 1 kは、内部にデジタル信号処理(DSP)のチップが含まれており、その余剰リソースを活用して、相関係数の時系列データを監視し故障モードを特定する機能を実現する。トランスポンダ4 1 i, 4 1 kは、ノードを監視するコントローラ機能を具現化するプログラムを実行することで、自身を監視して信号品質の劣化をそれぞれ検知し、この信号品質の時系列データと相関のある光物理特性の時系列データを特定し、劣化モードをそれぞれ判定する。ノード4 jは、自身を監視して信号品質の劣化をそれぞれ検知し、この信号品質の時系列データと相関のある光物理特性の時系列データを特定し、劣化モードをそれぞれ判定する。これらトランスポンダ4 1 i, 4 1 kやノード4 jは、信号品質の劣化をそれぞれ検知し、この信号品質の時系列データと相関のある光物理特性の時系列データを特定し、劣化モードをそれぞれ判定する判定手段として機能する。

ネットワークコントローラ2は、トランスポンダ4 1 i, 4 1 kやノード4 jとデータ通信ネットワークを介して接続される。ネットワークコントローラ2は、トランスポンダ4 1 i, 4 1 kやノード4 jを制御し、かつこれらを監視する。ネットワークコントローラ2は、トランスポンダ4 1 i, 4 1 kやノード4 jが信号品質の劣化を検知したノードおよび、劣化モード、各ノードのトポロジ、各ノード4間に設定される光パスの情報に基づき、故障または性能劣化が発生したノードまたは構成部品を特定する。端末21は、ネットワークコントローラ2に接続して、例えば故障位置や原因をユーザに報知する。

[0072] 第2の実施形態によれば、ハードウェアとしてのノードコントローラを設

けることなく、各トランスポンダ4 1や各ノード4に、ノードコントローラ機能を具現化するプログラムを実行させることで、自律的に信号品質の劣化を検知させることができる。

[0073] (変形例)

本発明は、上記実施形態に限定されることなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で、変更実施が可能であり、例えば、次の(a)～(c)のようなものがある。

(a) 光伝送システムのトポロジは、図3や図12に示したものに限定されない。

(b) 光パスを流れる信号の品質劣化を検知する方法は、Pre-FEC BERの時系列データに対する異常を検知することに限定されず、信号品質をデジタルで測定して異常を検知するものであればよい。

(c) ノードコントローラが検知する特徴量は、実施形態で列挙したものに限定されず、ノード(装置)や光伝送路の故障と相関性を有するものであればよい。

符号の説明

- [0074] 1, 1 A 光伝送システム
2 ネットワークコントローラ
2 1 端末
3, 3 i ~ 3 k ノードコントローラ
4, 4 i ~ 4 k ノード
4 a ~ 4 f 光クロスコネクタ
4 1, 4 1 a ~ 4 1 k トランスポンダ
5, 5 - 1 ~ 5 - 4 光パス
6 光ファイバ
6 p ~ 6 v セクション (光伝送路)

請求の範囲

- [請求項1] 光伝送路によって相互に接続された複数のノードと、
複数の各前記ノードにおける信号品質の劣化をそれぞれ検知し、前記信号品質の時系列データと相関のある光物理特性の時系列データを特定し、劣化モードをそれぞれ判定する複数の判定手段と、
前記判定手段が前記信号品質の劣化を検知したノードおよび、前記劣化モード、複数の各前記ノードから構成されるネットワークポロジ、各前記ノード間に設定される光パスの情報に基づき、故障または性能劣化が発生したノードまたは構成部品を特定するネットワークコントローラと、
を備えることを特徴とする光伝送システム。
- [請求項2] 前記判定手段は、前記信号品質の劣化を検知すると、検知したタイミングの前後の所定期間における光物理特性と前記信号品質との相関を判定する、
ことを特徴とする請求項1に記載の光伝送システム。
- [請求項3] 前記判定手段は、前記信号品質の劣化を検知したノードまたは構成部品を管理するノードコントローラである、
ことを特徴とする請求項1または2に記載の光伝送システム。
- [請求項4] 前記判定手段は、前記信号品質の劣化を検知したノードに設けられたトランスポンダである、
ことを特徴とする請求項1または2に記載の光伝送システム。
- [請求項5] 前記ノードを通過する各光パスを構成する光信号に付与する光減衰量の時系列データまたは光パワーの時系列データに基づき、前記ノードまたは前記構成部品における故障原因を診断する、
ことを特徴とする請求項3または4に記載の光伝送システム。
- [請求項6] 各前記ノードは、複数の周波数スロットの光信号を通過させる光クロスコネクタであり、
前記ネットワークコントローラは、各光パスの終端にあたるノード

を管理する前記判定手段から前記劣化モードに該当する光物理特性の時系列データを収集して各光パス間の相関係数行列を計算し、相関係数が閾値を超える光パスの組合せに共通するノードのうち最も上流のものを、故障または性能劣化にかかる被疑箇所として特定する、

ことを特徴とする請求項1に記載の光伝送システム。

[請求項7]

前記信号品質の時系列データと相関のある光物理特性の時系列データは、波長分散補償量の時系列データ、偏波モード分散補償量の時系列データ、SOP (State Of Polarization) の時系列データ、信号対ノイズ比の時系列データ、偏波依存損失の時系列データ、クロストークの時系列データ、ファイバ非線形効果の時系列データ、符号間干渉の時系列データ、コンスタレーション歪みの時系列データ、光源周波数の時系列データ、スペクトル対称性の時系列データうち何れかを少なくとも含む、

ことを特徴とする請求項1ないし6のうち何れか1項に記載の光伝送システム。

[請求項8]

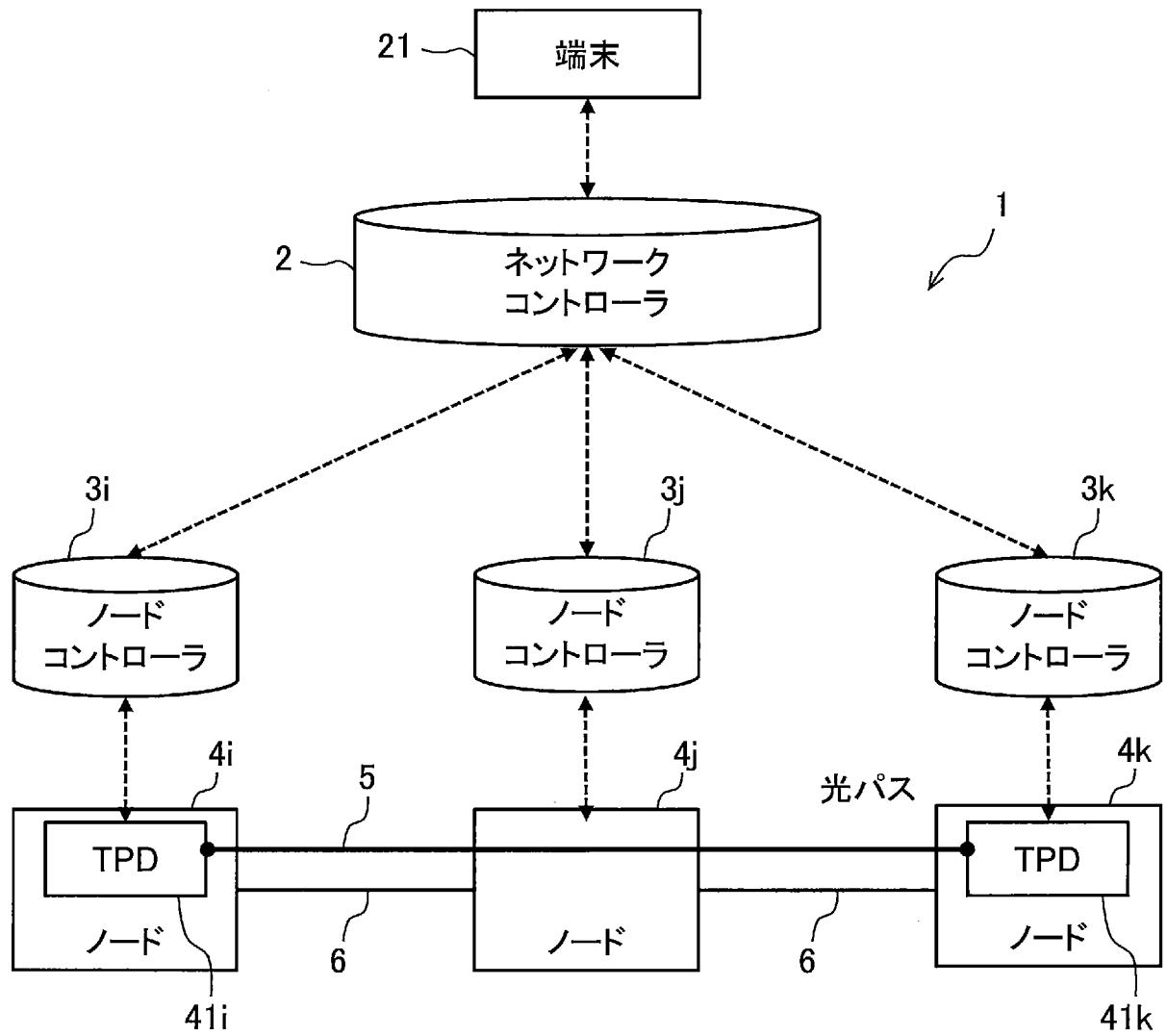
光伝送路によって相互に接続された複数のノード、各前記ノードをそれぞれ管理する管理手段、前記管理手段を統括管理するネットワークコントローラを含む光伝送システムが実行する故障診断方法であって、

前記管理手段は、前記ノードにおける信号品質の劣化をそれぞれ検知し、前記信号品質の時系列データと相関のある光物理特性の時系列データを特定し、劣化モードをそれぞれ判定し、

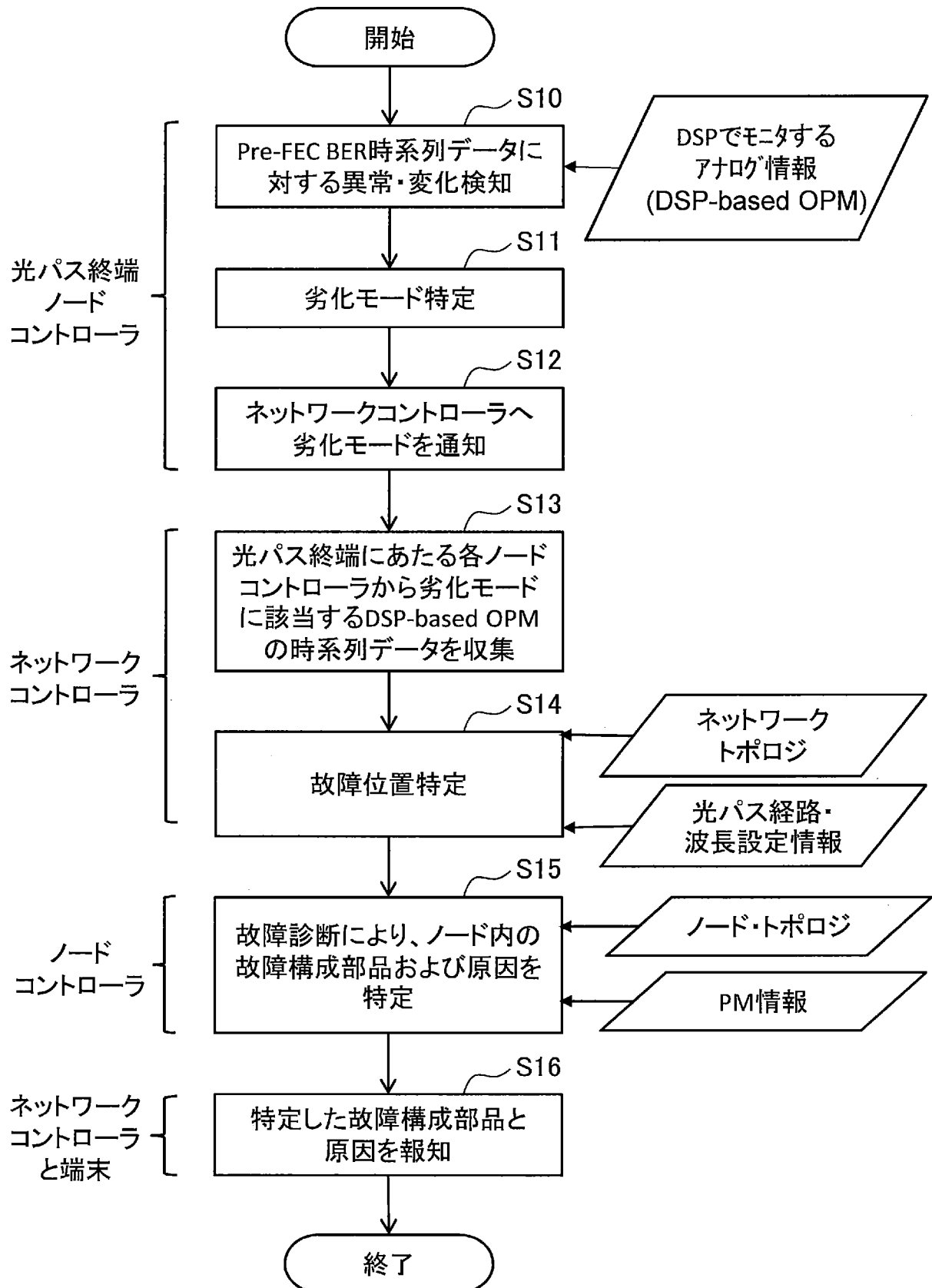
前記ネットワークコントローラは、前記管理手段が前記信号品質の劣化を検知したノードおよび、前記劣化モード、複数の各前記ノードから構成されるネットワークトポロジ、各前記ノード間に設定される光パスの情報に基づき、故障または性能劣化が発生したノードまたは構成部品を特定する、

ことを特徴とする故障診断方法。

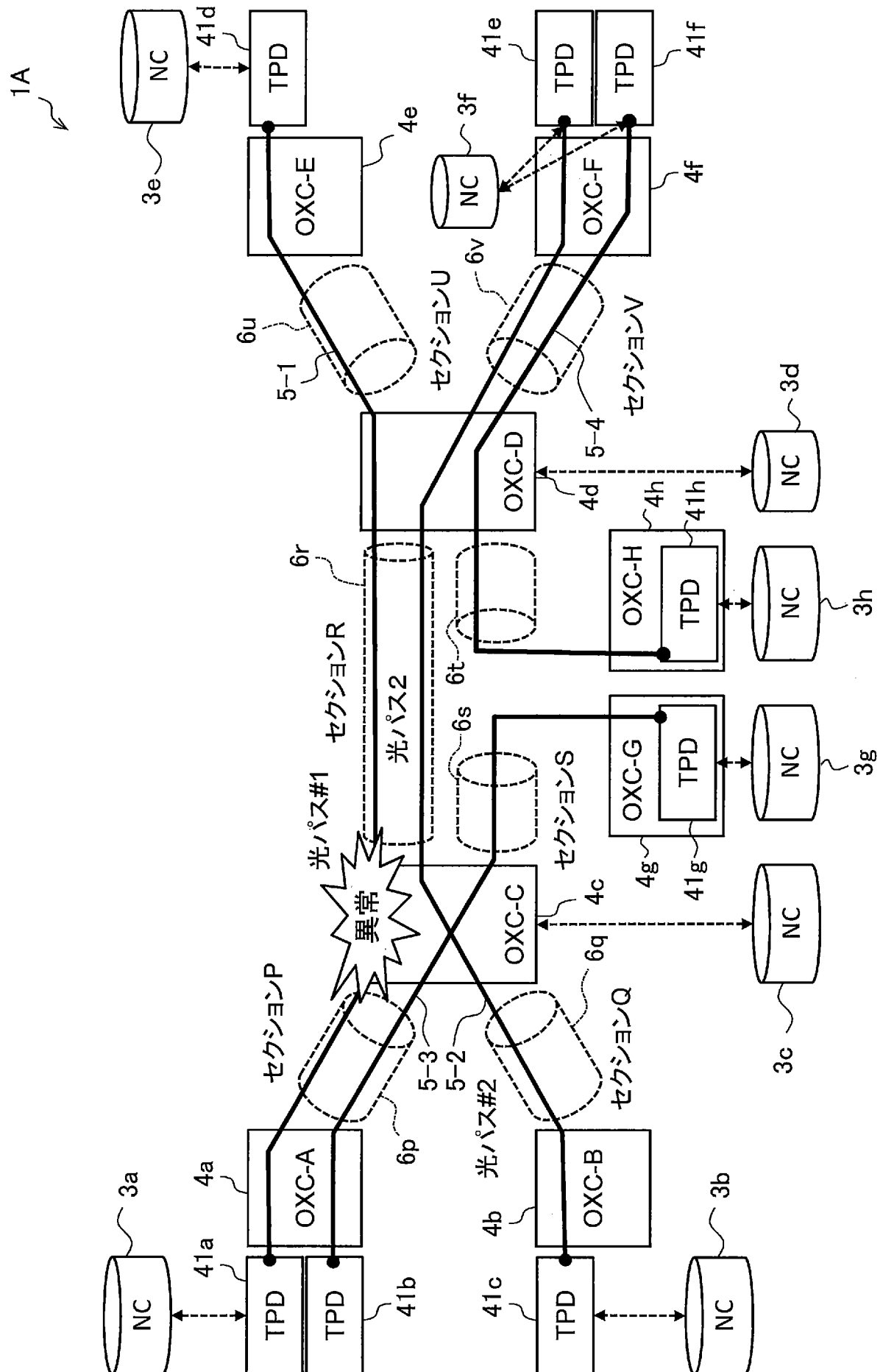
[図1]



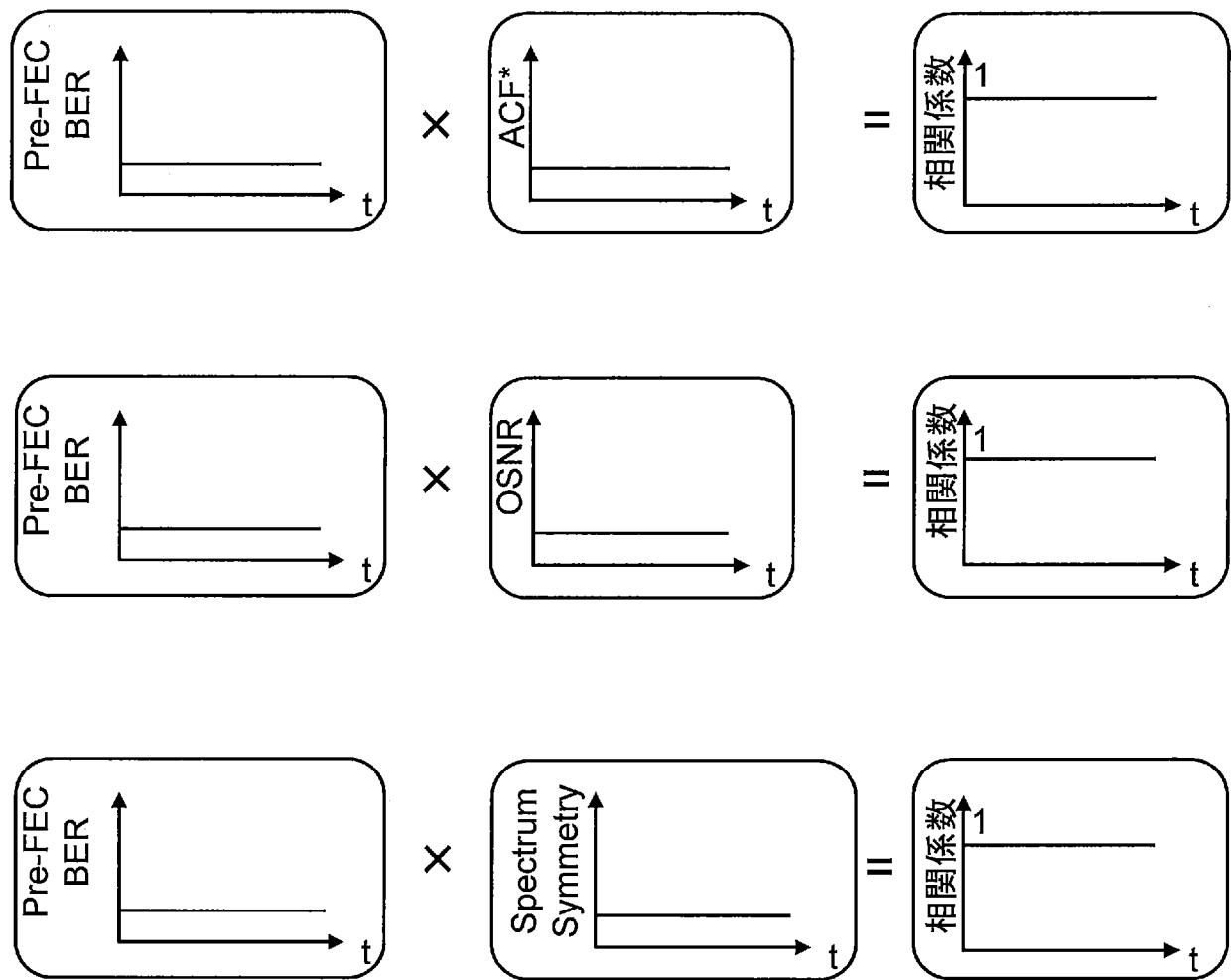
[図2]



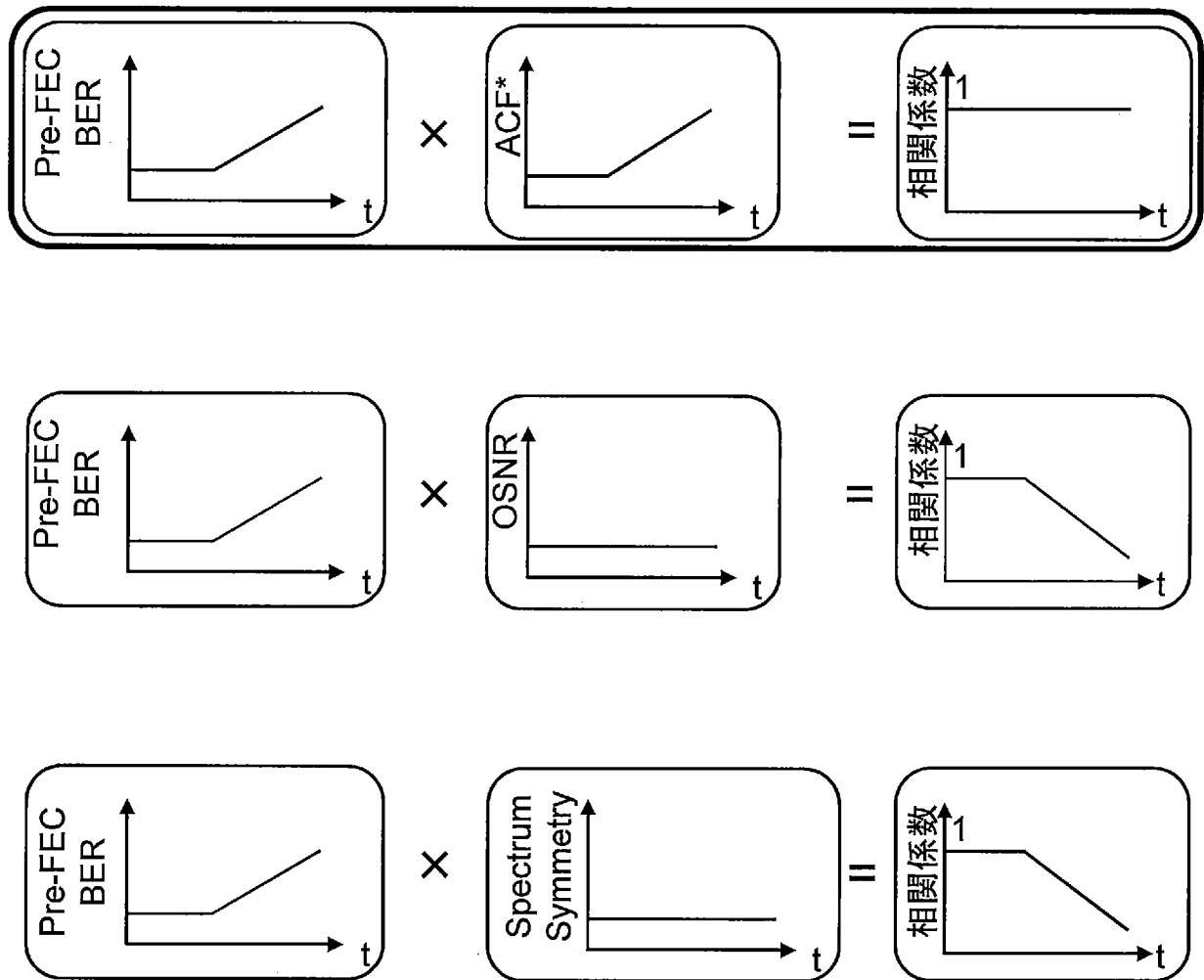
[図3]



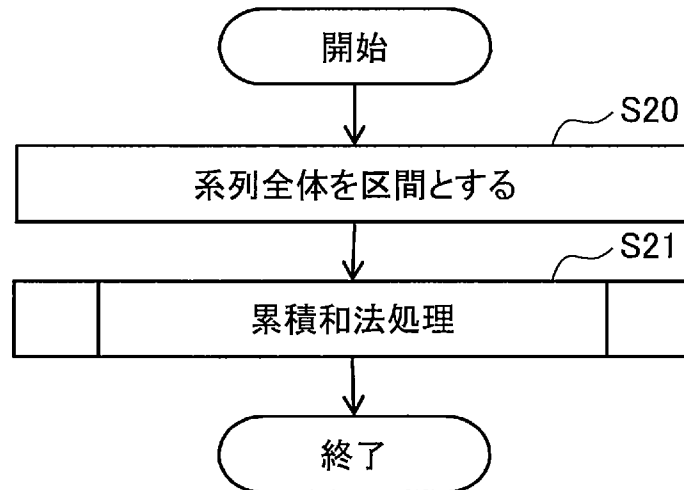
[図4]



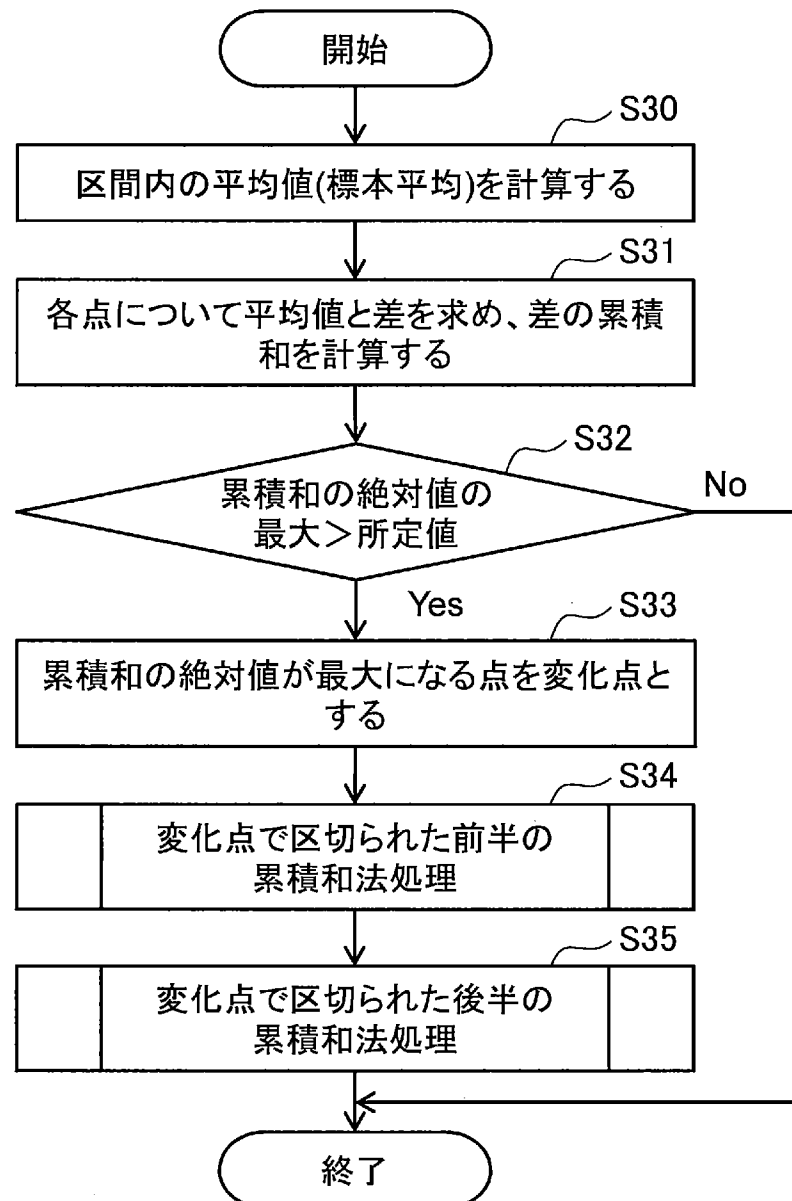
[図5]



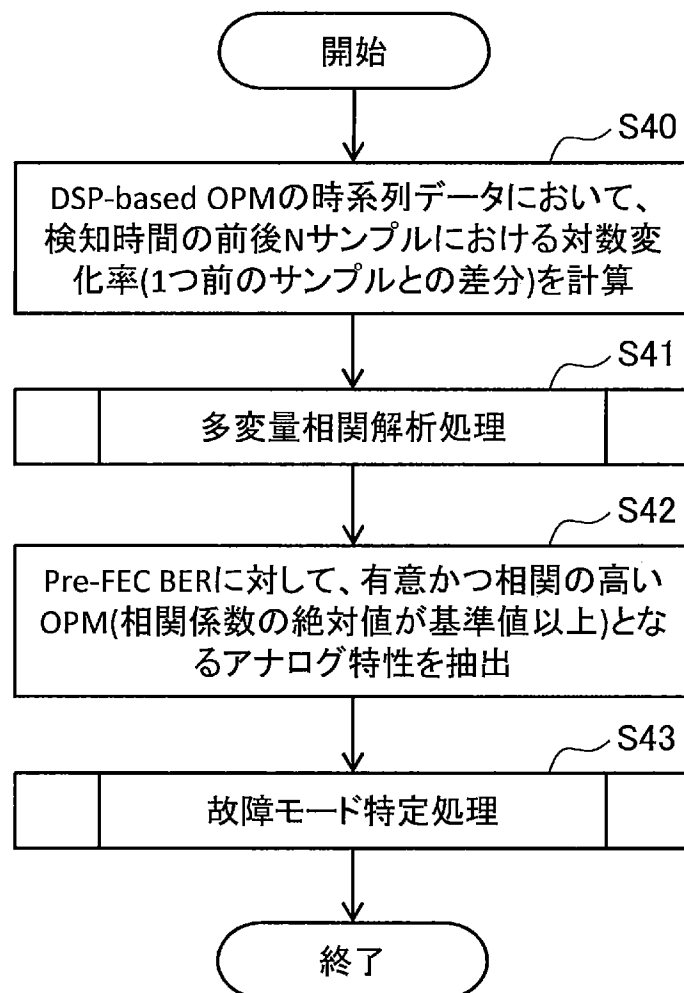
[図6]



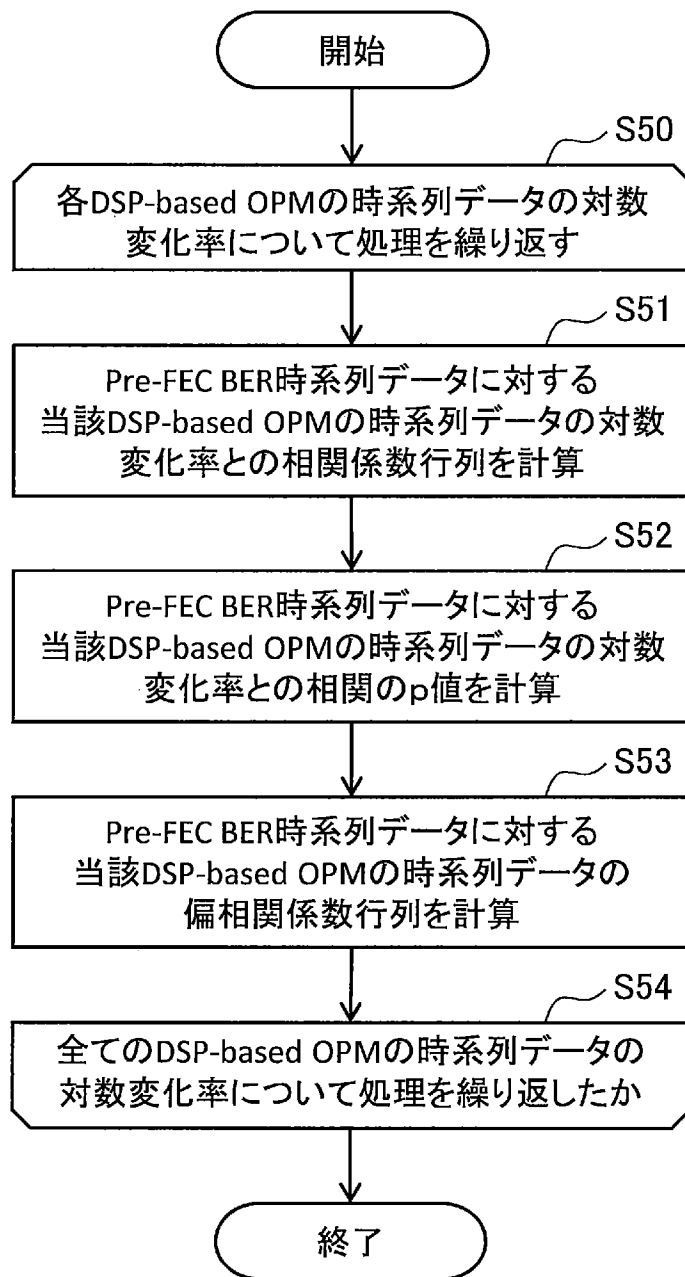
[図7]



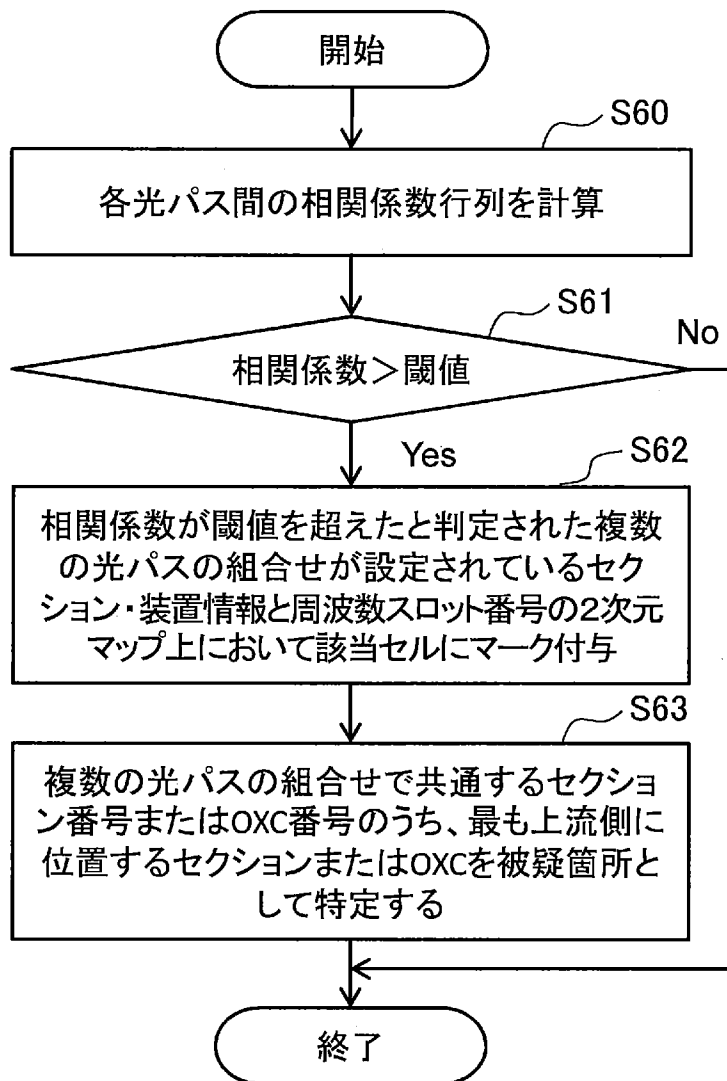
[図8]



[図9]



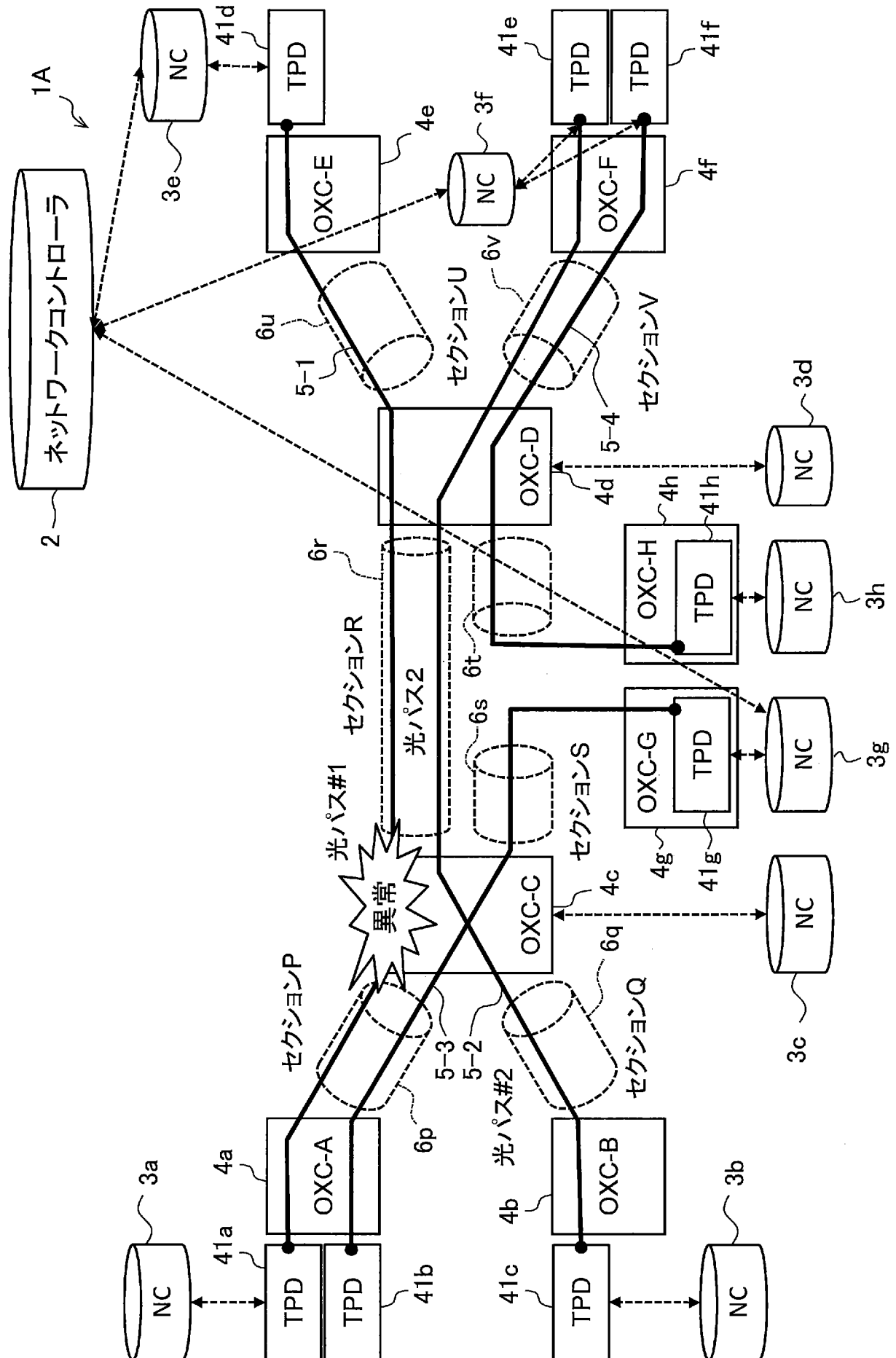
[図10]



[図11]

大分類	小分類	DSP-based OPM
伝送路特性	波長分散	波長分散補償量
	偏波モード分散	偏波モード分散補償量 State Of Polarization変動
	SOP	2x2 MIMOの係数行列から 算出されるストークスベクトル
装置・デバイス特性	OSNR	Error Vector Magnitude(EVM)
	PDL	X/Y間のOSNR差分
	クロストーク (反射光含む)	FIRフィルタのTap値
	ファイバ非線形効果	シンボル間の AutoCorrelationFunction
	ISI	FIRフィルタのTap値
トランスポンダ特性	コンスタレーション歪み	コンスタレーションの 幾何的形狀に基づく指標値
	光源周波数	周波数オフセット量
	Spectrum Symmetry	スペクトル対称性に基づく 指標値

[図12]



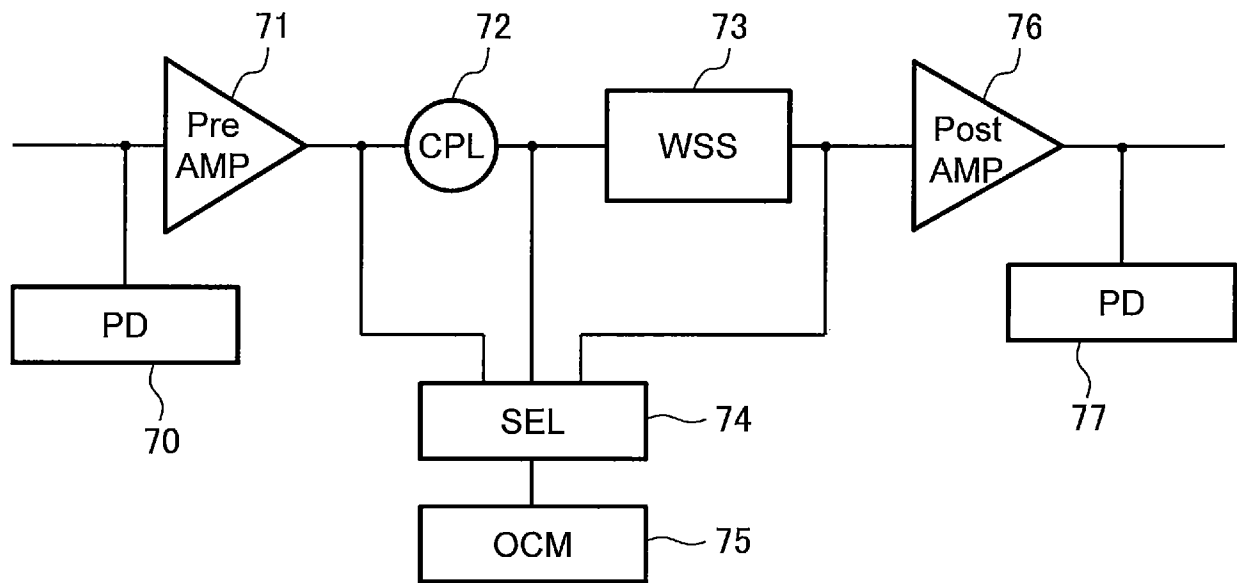
[図13]

	光パス#1	光パス#2	光パス#3	光パス#4	...
光パス#1		0.3	0.2	0.1	...
光パス#2	0.3		0.99	0.25	...
光パス#3	0.2	0.99		0.2	...
光パス#4	0.1	0.25	0.2		...
...					

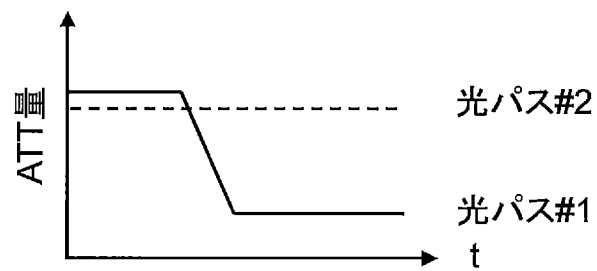
[図14]

		周波数スロット番号					
		#1	#2	#3	#4	#5	...
セクション番号	P	0.6		0.95			
	Q				1		
	R			0.95	1		
	S	0.6					
	T		0.1				
	U			0.95			
	V		0.1		1		
	...						
OXC番号	A			0.95			
	B				1		
	C			0.95	1		
	D			0.95	1		
	E						
	F			0.95	1		
	G			0.95			
	H				1		

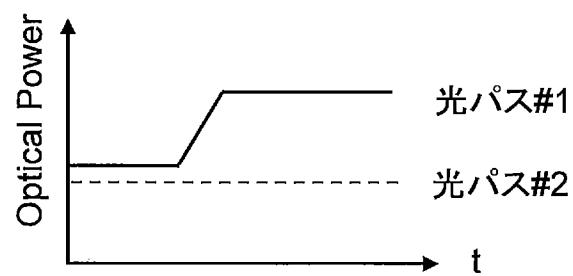
[図15]



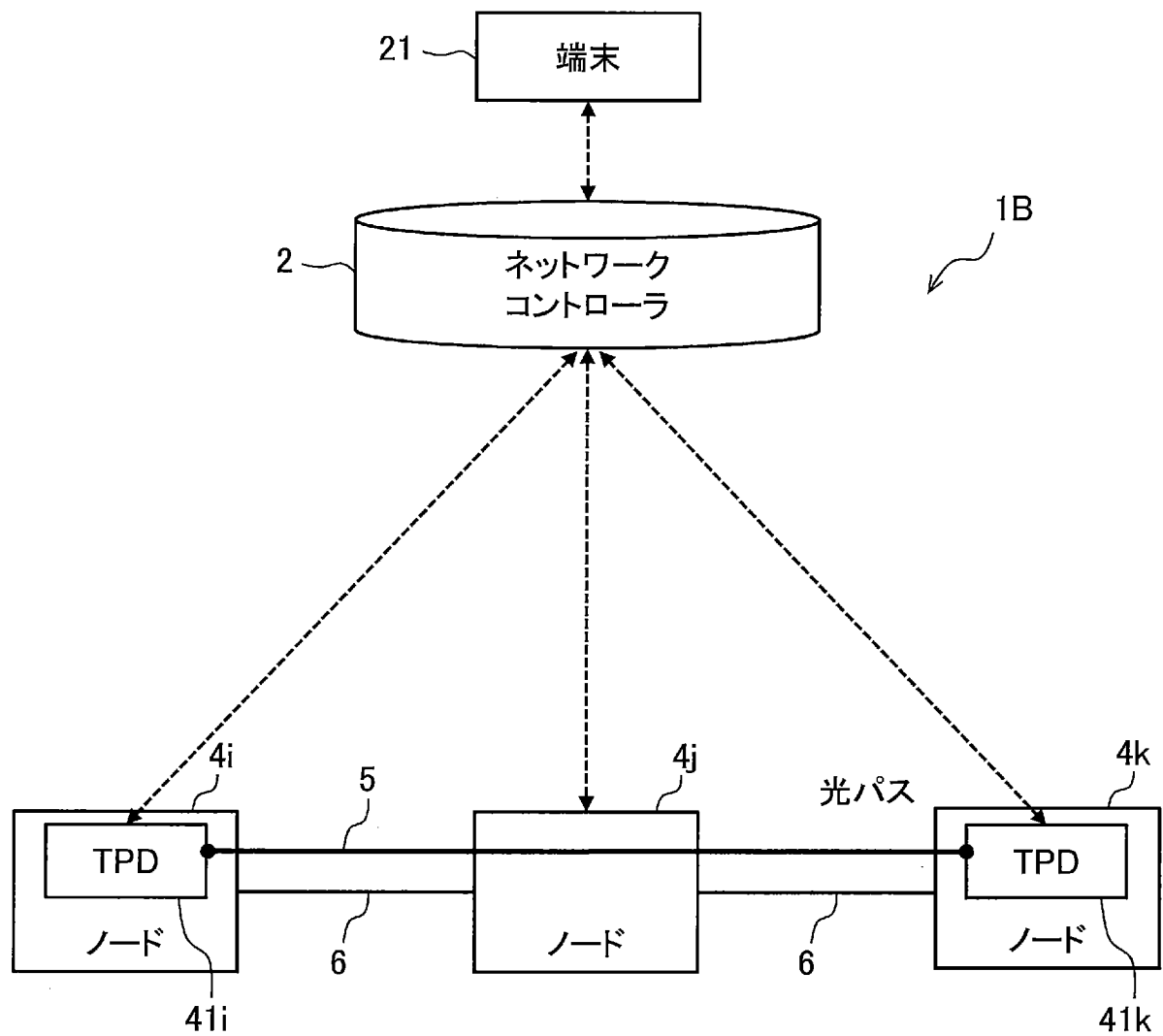
[図16]



[図17]



[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/044972

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04L 12/70(2013.01)i; H04B 10/079(2013.01)i; H04B 10/27(2013.01)i
FI: H04B10/079; H04L12/70100A; H04B10/27

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)

H04L12/70; H04B10/079; H04B10/27

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

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 A	US 2016/0204856 A1 (NEC LABORATORIES INC.) 14.07.2016 (2016-07-14) paragraphs [0015]-[0027], fig. 1-8	1, 3-5, 8 2, 6-7
A	US 2018/0220210 A1 (INFINERA CORPORATION) 02.08.2018 (2018-08-02) paragraphs [0110]-[0113], fig. 9	1-8
A	EP 2854306 A1 (ALCATEL LUCENT) 01.04.2015 (2015- 04-01) paragraphs [0027], [0045], [0054], [0067]	1-8
A	DONG, Zhenhua et al., "Optical Performance Monitoring: A Review of Current and Future Technologies", Journal of Lightwave Technology, 15 January 2016, vol. 34, issue. 2, pp. 525-543, pp. 525-543	1-8

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"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

"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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
07 January 2020 (07.01.2020)

Date of mailing of the international search report
21 January 2020 (21.01.2020)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2019/044972

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
US 2016/0204856 A1	14 Jul. 2016	(Family: none)	
US 2018/0220210 A1	02 Aug. 2018	(Family: none)	
EP 2854306 A1	01 Apr. 2015	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H04L 12/70(2013.01)i; H04B 10/079(2013.01)i; H04B 10/27(2013.01)i FI: H04B10/079; H04L12/70 100A; H04B10/27														
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）） H04L12/70; H04B10/079; H04B10/27														
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														
<table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2020年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2020年	日本国実用新案登録公報	1996-2020年	日本国登録実用新案公報	1994-2020年				
日本国実用新案公報	1922-1996年													
日本国公開実用新案公報	1971-2020年													
日本国実用新案登録公報	1996-2020年													
日本国登録実用新案公報	1994-2020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 請求項の番号												
X	US 2016/0204856 A1 (NEC LABORATORIES INC.) 14.07.2016 (2016-07-14) 段落[0015]-[0027], 図1-8	1, 3-5, 8												
A		2, 6-7												
A	US 2018/0220210 A1 (INFINERA CORPORATION) 02.08.2018 (2018-08-02) 段落[0110]-[0113], 図9	1-8												
A	EP 2854306 A1 (ALCATEL LUCENT) 01.04.2015 (2015-04-01) 段落[0027], [0045], [0054], [0067]	1-8												
A	DONG, Zhenhua et al., Optical Performance Monitoring: A Review of Current and Future Technologies, Journal of Lightwave Technology, 2016.01.15, Vol.34, Issue.2, pp.525-543 pp.525-543	1-8												
☐ 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。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“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	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
* 引用文献のカテゴリー	“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
“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	“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													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“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														
国際調査を完了した日 07.01.2020	国際調査報告の発送日 21.01.2020													
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 前田 典之 5K 9073 電話番号 03-3581-1101 内線 3556													

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2019/044972

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
US	2016/0204856	A1	14.07.2016	(ファミリーなし)	
US	2018/0220210	A1	02.08.2018	(ファミリーなし)	
EP	2854306	A1	01.04.2015	(ファミリーなし)	