

(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
2024年8月29日(29.08.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/176338 A1

- (51) 国際特許分類:
H04B 10/2537 (2013.01) H04J 14/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/006195
- (22) 国際出願日: 2023年2月21日(21.02.2023)
- (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: 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: 広瀬 健太(HIROSE, Kenta); 〒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). 中川 雅弘 (NAKAGAWA, Masahiro); 〒1808585 東京都武

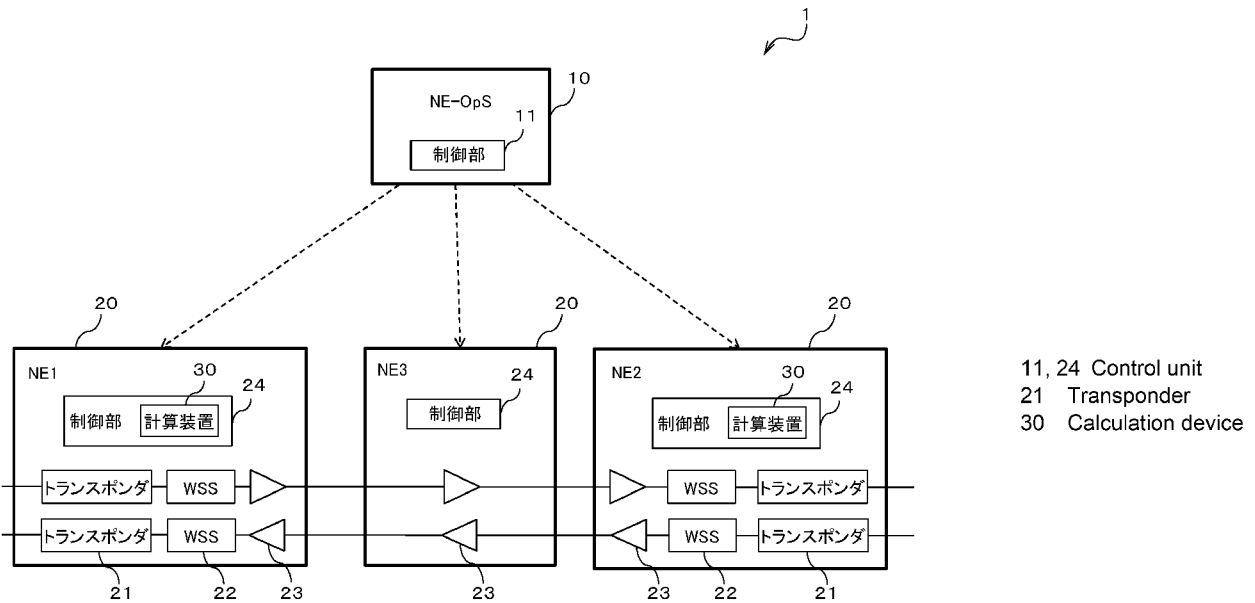
蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 関 剛志(SEKI, Takeshi); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 宮村 崇(MIYAMURA, Takashi); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 弁理士法人磯野国際特許商標事務所 (ISONO INTERNATIONAL PATENT OFFICE, P.C.); 〒1020082 東京都千代田区一番町2-1 一番町東急ビル 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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ,

(54) Title: CALCULATION DEVICE, CALCULATION METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 計算装置、計算方法およびプログラム



(57) Abstract: A calculation device (30) calculates input power to an optical fiber transmission path of each channel in a band having a width of 15 THz or more. The calculation device (30) is characterized by calculating the input power by using a coefficient indicating inclination of an input power spectrum, on the assumption that transition of power in the transmission path influenced by stimulated Raman scattering depends on the number of existing channels in the optical fiber transmission path. The calculation device (30) can calculate the optimal extent to which an input power in a short wavelength band is to be enhanced in advance such that the signal quality and the incoming power are made constant from the short wavelength band to a long wavelength band, on the incoming side.

EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE,
KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR,
LS, LU, LY, MA, MD, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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).

規則4. 17に規定する申立て：

- 一 不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する申立て（規則4. 17(v)）

添付公開書類：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：計算装置（30）は、15 THz 以上の幅を有するバンドにおける各チャネルの光ファイバ伝送路への入力パワーを計算する。計算装置（30）は、誘導ラマン散乱の影響による伝送路中パワーの遷移を光ファイバ伝送路内既存チャネル数に依存するものとし、入力パワースペクトルの傾きを示す係数を用いて、入力パワーを計算することを特徴とする。計算装置（30）は、着信側で、短波長帯から長波長帯まで、信号品質や着信パワーを一定にするために、短波長帯の入力パワーを予めどのくらい持ち上げることが最適であるのかを計算することができる。

明 細 書

発明の名称： 計算装置、計算方法およびプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、計算装置、計算方法およびプログラムに関する。

背景技術

[0002] 波長多重伝送で発生する光ファイバ非線形光学効果の一つとして、誘導ラマン散乱(SRS: Stimulated Raman Scattering)によるチャンネル(波長)間のパワー遷移が知られている(例えば非特許文献1～4参照)。

図8Aは、チャンネル間のパワー遷移の概念図である。第1の横軸は周波数を示し、第2の横軸は波長を示す。ここでは、各チャンネルの入力パワーが等しいものとする。チャンネルの値(チャンネル*i*)は、横軸において右側が小さく左側が大きい。チャンネル*i*から見て高周波数短波長側(右)に隣接するチャンネルはチャンネル*i*-1である。チャンネル*i*から見て低周波数長波長側(左)に隣接するチャンネルはチャンネル*i*+1である。なお、チャンネルに対応する波長の値は、横軸において右側が小さく左側が大きい($\lambda_{i+1} > \lambda_i > \lambda_{i-1}$)。一方、周波数の値は、横軸において右側が大きく左側が小さい($f_{i+1} < f_i < f_{i-1}$)。

[0003] 各チャンネルの光信号は、所定のスパン長に亘って光ファイバを伝送される。このとき、SRSにより、チャンネル*i*よりも高周波数短波長側(右)に隣接するチャンネルのパワー P_{i-1} 等は、チャンネル*i*のパワー P_i の側に遷移する。また、チャンネル*i*のパワー P_i は、低周波数長波長側(左)に隣接するチャンネルのパワー P_{i+1} の側に遷移する。

[0004] そのため、各チャンネルの伝送後パワーは、波長による信号品質のばらつきが生じる。例えば図8Bに示すように、チャンネル*i*よりも高周波数短波長側(右)に隣接するチャンネルの伝送後パワー P_{i-1} 等は、高周波数になるほど損失が大きくなる。また、チャンネル*i*よりも低周波数長波長側(左)に隣接するチャンネルの伝送後パワー P_{i+1} 等は、低周波数になるほど損失が小さくなる。したがって、図8Bに二点鎖線で示すように、各チャンネルの伝送後パワーのスペク

トルには右下がりの傾き（チルト）が生じる。

先行技術文献

非特許文献

[0005] 非特許文献1：広瀬健太，深谷崇文，中川雅弘，関剛志，宮村崇，“マルチバンド波長多重ネットワークにおける波長多重数変化を考慮した誘導ラマン散乱影響の解析，” 信学技報，vol. 121，no. 386，PN2021-57，pp. 29-32，Mar. 2022.

非特許文献2：DANIEL SEMRAU, ROBERT KILLEY, POLINA BAYVEL, “Achievable rate degradation of ultra-wideband coherent fiber communication systems due to stimulated Raman scattering,” Optics Express, vol.25, no.12, 13024-13034, June 2017.

非特許文献3：Hiroki Kawahara, Kohei Saito, Sachio Suda, Takeshi Seki, and Hideki Maeda, “Cancellation of Static and Dynamic Power Transitions induced by inter-band Stimulated Raman Scattering in C+L-band WDM Transmission,” 25th OptoElectronics and Communications Conference, Taipei, Taiwan, Oct. 2020.

非特許文献4：Fukutaro Hamaoka, Kyo Minoguchi, Takeo Sasai, Asuka Matsushita, Masanori Nakamura, Seiji Okamoto, Etsushi Yamazaki, and Yoshiaki Kisaka, “150.3-Tb/s Ultra-Wideband (S, C, and L Bands) Single-Mode Fibre Transmission over 40-km Using >519Gb/s/λ PDM-128QAM Signals,” 44th European Conference on Optical Communication, Rome, Italy, Sept. 2018.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 従来のシングルバンド、すなわち、C 帯（Conventional band）またはL 帯（Long wavelength band）の波長帯域を用いる超高密度波長多重技術（DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing）においては、チャンネル間のパワ

一遷移の影響は無視できる程度であると言える。なお、C 帯の（波長、周波数）は、（1530-1565 nm, 191.56-195.94 THz）である。L 帯の（波長、周波数）は、（1565-1625 nm, 184.49-191.56 THz）である。よって、C 帯またはL 帯の波長帯域は、約 4.8 THz 幅である。

[0007] 一方、C + L 帯（約 10 THz 幅）のようなマルチバンドを用いるDWDMを想定した場合、チャネル間のパワー遷移の影響が顕在化し、波長による信号品質のばらつき等の問題が生じる。例えばC帯のパワーが光伝搬中にL帯側に移ると、C帯に過剰損失が発生し、光到達点において、信号パワーが落ち過ぎてしまう。そこで、従来、パワー遷移が発生する短波長帯の光の入力パワーを強めて、受信側（出力側）で、短波長帯から長波長帯まで、受信パワーを一定にする技術が提案されてきた。しかし、従来技術では、例えば、実験により受信パワーの変化する割合を調べて、その値を基に、波長毎の入力パワー（送信パワー）を調整するなどの対処が必要であった。従来技術では、15 THz 以上の超広帯域 DWDMにおいて伝送時の着信パワーを均一化することができなかった。また、15 THz 以上の超広帯域 DWDMにおいて、伝送時の信号品質を均一化した上で最大化するように光ファイバ伝送路の入力パワーを最適化することもできなかった。

[0008] そこで、本発明では、上記の問題を解決し、15 THz 以上の超広帯域 DWDMにおいて、伝送時の信号品質の傾斜または着信パワーの傾斜を解消する入力パワーを計算することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明に係る計算装置は、15 THz 以上の幅を有するバンドにおける各チャネルの光ファイバ伝送路への入力パワーを計算する計算装置であって、誘導ラマン散乱の影響による伝送路中パワーの遷移を光ファイバ伝送路内既存チャネル数に依存するものとし、入力パワースペクトルの傾きを示す係数を用いて、入力パワーを計算することを特徴とする。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、15 THz 以上の超広帯域 DWDMにおいて伝送時の信号品質

の傾斜または着信パワーの傾斜を解消する入力パワーを計算することができる。

図面の簡単な説明

- [0011] [図1]実施形態に係る計算装置を含むシステムの概略構成図である。
- [図2A]波長多重ネットワークの模式図である。
- [図2B]パワースペクトルの模式図である。
- [図3A]第1実施形態に係る計算装置の処理の流れを示すフローチャートである。
- [図3B]第2実施形態に係る計算装置の処理の流れを示すフローチャートである。
- [図4A]第3実施形態に係る計算装置の処理の流れを示すフローチャートである。
- [図4B]第4実施形態に係る計算装置の処理の流れを示すフローチャートである。
- [図5]実施例および比較例に係る信号品質を示すグラフである。
- [図6]実施例および比較例に係る着信パワーを示すグラフである。
- [図7]実施形態に係る計算装置の機能を実現するコンピュータの一例を示すハードウェア構成図である。
- [図8A]チャネル間のパワー遷移の概念図である。
- [図8B]パワースペクトルの傾斜の概念図である。

発明を実施するための形態

- [0012] 以下、本実施形態に係る計算装置について図面を参照して詳細に説明する。

[システム構成の概要]

図1に示すように、光伝送システム1は、ネットワーク設備監視装置10と、ネットワーク装置20と、を備えている。

ネットワーク設備監視装置10は、例えば、NE-OpS (Network element operation system) で構成される。ネットワーク設備監視装置10は、ネットワ

ーク装置 20 を監視する制御部 11 を備えている。

[0013] ネットワーク装置 20 は、例えば ROAD M (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer) 等の光伝送装置である。ネットワーク装置 20 は、例えば、トランスポンダ 21 と、波長選択スイッチ (Wavelength Selective Switch : WSS) 22 と、光増幅部 23 と、制御部 24 と、を備えている。ネットワーク装置 20 の台数は任意である。図 1 に示す 3 つのネットワーク装置を区別する場合、NE1、NE2、NE3 と表記し、区別しない場合、ネットワーク装置 20 と表記する。

[0014] 例えば外部の通信装置から電気信号が、ネットワーク装置 NE1 のトランスポンダ 21 に入力すると、この電気信号は、トランスポンダ 21 によって光信号に変換され、波長選択スイッチ 22 で合波され、光増幅部 23 で増幅された後に、外部に送信される。この光信号は、例えばネットワーク装置 NE3 の光増幅部 23 で増幅される。この増幅された光信号は、例えばネットワーク装置 NE2 の光増幅部 23 で増幅された後に波長選択スイッチ 22 で分波され、トランスポンダ 21 で受信されて図示しない通信装置へ送信される。なお、この光伝送システム 1 は双方向通信である。また、ネットワーク装置 NE3 は、光信号の増幅に特化した装置である。

[0015] 図 2 A に示すように、複数の建物 B 1 ~ B 6 の間には、光ファイバ伝送路 F 1 ~ F 11 が敷設され、波長多重ネットワークが形成される。各建物 B 1 ~ B 6 には、少なくとも 1 つのネットワーク装置 20 が配置される。

[0016] ネットワーク装置 20 は、計算装置 30 を備えている。ここでは、ROAD M 等の光伝送装置である NE1、NE2 の制御部 24 が、計算装置 30 を備えている (図 1 参照)。

計算装置 30 は、15 THz 以上の幅を有するバンドにおける各チャネルの光ファイバ伝送路への入力パワーを計算する。計算装置 30 は、誘導ラマン散乱の影響による伝送路中パワーの遷移を光ファイバ伝送路内既存チャネル数に依存するものとし、入力パワースペクトルの傾きを示す係数を用いて、入力パワーを計算する。計算装置 30 は、反復計算による最適化を必要としな

い。

[0017] 計算装置30は、伝送路ファイバ入力パワーの関係式に基づいて、各チャネルの入力パワーの計算を実行する。伝送路ファイバ入力パワーの関係式は、隣り合うチャネルの伝送路ファイバ入力パワー比を、入力パワースペクトルの傾きを示す係数として関係づけたものである。伝送路ファイバ入力パワーの関係式は、伝送路ファイバの損失係数およびアンプの雑音指数が周波数に対して均一であると仮定して表される信号品質のパラメータであるOSNRに基づいている。この伝送路ファイバ入力パワーの関係式は、スパンごとの着信パワーを高周波数側チャネルで均一にすることができる。ここで、高周波数側チャネルとは、15 THz 以上の幅を有するマルチバンドの周波数帯域を2つに分けたときに高周波数帯域に配置されるチャネル群を意味する。なお、OSNRは、Optical Signal to Noise Ratioの略である。

[0018] たとえば、計算装置30は、信号品質のパラメータを次の数式(1)で表されるOSNRとして、次の数式(2)に基づいて、各チャネルの入力パワーの計算を実行することができる。

[0019] [数1]

$$\text{OSNR}_i [\text{dB}] = P_i [\text{dBm}] - \text{LOSS}_i [\text{dB}] - F [\text{dB}] - 10 \log(N + 1) - 10 \log(h f_i f_r) \quad \dots (1)$$

$$P_i = \frac{2\alpha(r-1) \ln r}{k f (1 - e^{-\alpha L})} \cdot \frac{r^{\frac{f_1 - f_i}{f}}}{\rho_1 (1 - r^{M-m}) + \rho_2 \left(r^{M-m} - r^{\frac{M}{2}} \right) + \rho_3 \left(r^{\frac{M}{2}} - r^m \right) + \rho_4 (r^m - r^M)} \quad \dots (2)$$

[0020] ここで、i: チャネル番号 (i = 1 が最高周波数)、OSNR_i: チャネル i の OSNR、P_i: チャネル i の伝送路ファイバ入力パワー [W]、LOSS_i: チャネル i のスパン損失 (誘導ラマン散乱による影響を含む)、F: アンプの雑音指数、N: スパン数、h: プランク定数 [mJ s]、f_i: チャネル i の周波数 [THz]、f_r: 雑音帯域幅の周波数 [THz]、α: 伝送路ファイバの損失係数 [km⁻¹]、r: 入力パワースペクトルの傾きを示す係数であって、隣り合うチャネルの伝送路ファイバ入力パワー比、k: ラマン利得係数の傾き [km⁻¹ W⁻¹ THz⁻¹]、f: チャ

ネル間隔 [THz]、L: スパン長 [km]、 ρ_1 : バンド 1 の利用率、 ρ_2 : バンド 2 の利用率、 ρ_3 : バンド 3 の利用率、 ρ_4 : バンド 4 の利用率、M: 最大チャネル数、m: ラマン利得係数によって決まり、これより高周波数側チャネルと低周波数側チャネルとで誘導ラマン散乱の挙動が変化するチャネル番号、とする。なお、単位の接頭語m, T, k は、それぞれ 10^{-3} , 10^{12} , 10^3 を示す。

[0021] 15 THz 以上の幅を有するマルチバンドは、一例として図 2 B に示すように、L帯とC帯とS帯 (Short-wavelength band) で構成されている。チャネル1 (ch 1) はS帯に設定され、チャネルM (ch M) はL帯に設定される。この例では、高周波側から順番に、バンド 1はS帯であり、バンド 2はC帯であり、バンド 3はL帯である。S 帯の (波長、周波数) は、(1460–1530 nm, 195.94–205.34 THz)である。

[0022] なお、マルチバンドは、U帯 (Ultralong wavelength band) とL帯とC帯で構成することもできる。この例では、高周波側から順番に、バンド 1はC帯であり、バンド 2はL帯であり、バンド 3はU帯である。U帯の (波長、周波数) は、(1625–1675 nm, 178.97–184.49 THz)である。

また、マルチバンドは、U帯とL帯とC帯とS帯で構成することもできる。この例では、高周波側から順番に、バンド 1はS帯であり、バンド 2はC帯であり、バンド 3はL帯であり、バンド 4はU帯である。

さらに、マルチバンドは、波長1360–1460nmのE帯 (Extended-band) を含むこともできる。例えば1430nm (209.6THz) の入射光に対して、1530nm (195.9 THz) の光が増幅される誘導ラマン散乱が発生するが、計算装置 30 は、受信信号の品質やパワーを安定させるための入力パワーを計算することができる。

[0023] 光伝送システム 1 において、光ファイバ伝送路の種別は、特に限定されない。光ファイバ伝送路の種別は、例えば、G.652 SMF (single mode optical fiber)、G.653 DSF (Dispersion-shifted fiber)、G.654 CSF (Cut-off shifted fiber) とすることもできる。光伝送システム 1 において、スパン長は、特に限定されない。スパン長は、例えば、0–1000 kmとすることもできる。

[0024] 光伝送システム 1 は、例えば海底システム用光ファイバを用いたり、陸上システム用光ファイバを用いたりすることができる。本実施形態では、光伝送システム 1 は、特に陸上システムで求められる光ファイバ伝送路内既存チャンネル数の変動に対応するように構成される。なお、各バンド内のチャンネル配置は問わない。フレキシブル・グリッドについては、チャンネルをグリッドと読み換えることで対応する。

[0025] 光ファイバ伝送路入力パワーの調整は、例えばネットワーク設備監視装置 10 から、インタフェースを介した制御により、増幅器、減衰器、波長選択スイッチのうちの 1 つまたは全部によって行う。ここで、増幅器、減衰器、波長選択スイッチは、複数バンド対応の機器とすることもできるし、単一バンド対応の機器とすることもできる。複数バンドの合波や分波が必要な場合、カプラおよび波長選択スイッチのいずれか又は両方によって行う。なお、光ファイバ伝送路入力パワーの調整は、図示しない EMS (Element Management System) から、インタフェースを介した制御により、増幅器、減衰器、波長選択スイッチのうちの 1 つまたは全部によって行うように構成することもできる。

[0026] ネットワーク装置 20 は、例えば、アド、ドロップ、クロスコネクトのいずれか、又は全部の機能を有する伝送装置とすることもできる。

ネットワーク装置 NE1, NE2 の制御部 24 が、計算装置 30 を備えていることとしたが、これに限らない。例えばネットワーク装置 NE3 の制御部 24 が、計算装置 30 を備えることもできる。また、ネットワーク設備監視装置 10 の制御部 11 や図示しない EMS が、計算装置 30 を備えることもできる。

[0027] 以下では、光伝送システム 1 において、信号品質の傾斜を解消することを目的として光ファイバ伝送路への入力パワーを計算する形態を第 1 実施形態および第 2 実施形態として説明する。また、光伝送システム 1 において、スパン着信パワーの傾斜を解消することを目的として光ファイバ伝送路への入力パワーを計算する形態を第 3 実施形態および第 4 実施形態として説明する。

[0028] [第1実施形態]

第1実施形態に係る計算装置30は、信号品質の傾斜を解消することを目的とした装置である。計算装置30は、着信OSNRが均一のときのGSNRに基づいて、着信OSNRが均一かつ最高周波数チャンネルが全チャンネル中の最高入力パワーであるときに最高周波数チャンネルのGSNRが最大値となる条件で、入力パワースペクトルの傾きを示す係数を探索し、決定する。計算装置30は、決定した係数を用いて、伝送路ファイバ入力パワーを全チャンネルについて算出する。なお、GSNRは、Generalized signal-to-noise ratioの略である。計算装置30は、着信OSNRが均一のときのGSNRとして、たとえば、次の数式(3)を用いる。ここで、最高周波数チャンネルは、チャンネル1であるものとする。入力パワースペクトルの傾きを示す係数は、伝送路ファイバ入力パワー比 r であるものとする。

[0029]

[数2]

$$GSNR_i = \frac{P_i}{P_{ASE,i} + P_{NLI,i}} \quad \dots (3)$$

where

$$P_{ASE,i} = Fhf_i f e^{\alpha_i L} \quad \dots (4),$$

$$P_{NLI,i} = \eta_i P_i^3 \quad \dots (5),$$

$$\alpha_{0,i} = \begin{cases} \alpha + \frac{kfP_1}{2(1-r)}(\rho_1 R_1 + \rho_2 R_2 + \rho_3 R_3 + \rho_4 R_{4'}), & 1 \leq i \leq M-m \\ \alpha + \frac{kfP_1}{2(1-r)}(\rho_1 R_1 + \rho_2 R_2 + \rho_3 R_3 + \rho_4 R_4), & M-m \leq i \leq m \\ \alpha + \frac{kfP_1}{2(1-r)}(\rho_1 R_{1'} + \rho_2 R_2 + \rho_3 R_3 + \rho_4 R_4), & m \leq i \leq M \end{cases} \quad \dots (6)$$

$$R_1 = -(M-m)r^{M-m} - (1-r^{M-m})\left(i - \frac{1}{1-r}\right) \quad \dots (7a),$$

$$R_2 = (M-m)r^{M-m} - \frac{M}{2}r^{\frac{M}{2}} - \left(r^{M-m} - r^{\frac{M}{2}}\right)\left(i - \frac{1}{1-r}\right) \quad \dots (7b),$$

$$R_3 = \frac{M}{2}r^{\frac{M}{2}} - mr^m - \left(r^{\frac{M}{2}} - r^m\right)\left(i - \frac{1}{1-r}\right) \quad \dots (7c),$$

$$R_4 = mr^m - Mr^M - (r^m - r^M)\left(i - \frac{1}{1-r}\right) \quad \dots (7d),$$

$$R_{1'} = (i-m)r^{i-m} - (M-m)r^{M-m} - (r^{i-m} - r^{M-m})\left(i - \frac{1}{1-r}\right) \quad \dots (7e),$$

$$R_{4'} = mr^m - (i+m)r^{i+m} - (r^m - r^{i+m})\left(i - \frac{1}{1-r}\right) \quad \dots (7f),$$

$$\alpha_i = \frac{(\alpha_{0,i} - \alpha) \frac{1 - e^{-\alpha L}}{\alpha} + \alpha L}{L} \quad \dots (8),$$

$$\eta_i = \frac{8}{27} \gamma^2 \left(\frac{1 - e^{-\alpha_i L}}{\alpha_i} \right)^2 \alpha_i \frac{\frac{\pi^2}{2} |\beta_2| f^2 M^2 \operatorname{asinh} \frac{\alpha_i}{\pi |\beta_2| f^2}}{\pi |\beta_2| f^2} \quad \dots (9)$$

[0030] ここで、 $GSNR_i$: チャネル i の $GSNR$ 、 $P_{ASE,i}$: チャネル i の線形雑音パワー [W]、 $P_{NLI,i}$: チャネル i の非線形雑音パワー [W]、 h : プランク定数 [J s]、 $\alpha_{0,i}$: チャネル i の伝送路ファイバ入力直後の損失係数 [km^{-1}]、 α_i : チャネル i の伝送路ファイバ長手方向で平均した損失係数 [km^{-1}]、 η_i : チャネル i の非線形雑音係数 [W^{-2}]、 γ : 非線形係数 [$\text{km}^{-1} \text{W}^{-1}$]、 β_2 : 群速度分散 [ps^2]

km⁻¹], とする。なお、単位の接頭語p は10⁻¹²を示す。

[0031] 第1実施形態に係る計算装置30は、図3Aに示すように、まず、数式(3)に基づいて、チャンネル1のGSNRが最大となるときの係数rを探索する(ステップS11)。そして、計算装置30は、係数rを固定し、数式(2)に基づいて入力パワーを算出する(ステップS12)。なお、第1実施形態に係る計算装置30は、全チャンネルについて算出した入力パワーを用いて、数式(3)に基づいて、全チャンネルについてのGSNRを算出することもできる。

[0032] [第2実施形態]

第2実施形態に係る計算装置30は、信号品質の傾斜を解消することを目的とした装置である。第2実施形態に係る計算装置30は、第1実施形態に係る計算装置30で算出した入力パワーを調整して、補正された入力パワーを算出する。第2実施形態に係る計算装置30は、探索して決定した係数と、伝送路ファイバ入力パワーの関係式に基づいて算出した全チャンネルについての伝送路ファイバ入力パワーと、着信OSNRが均一のときの全チャンネルについてのGSNRと、を計算に用いる。計算装置30は、最高周波数チャンネルの光ファイバ伝送路入力パワーを固定し、チャンネル間のGSNR差を打ち消すように各チャンネルの光ファイバ伝送路入力パワーを調整することで、補正された入力パワーを算出する。

[0033] たとえば、第2実施形態に係る計算装置30は、第1実施形態に係る計算装置30で決定したrと、数式(2)に基づいて算出した全チャンネルについての伝送路ファイバ入力パワー P_i と、数式(3)に基づいて全チャンネルについて算出したGSNR i とを以下の数式(10)の右辺に代入することによって、補正された入力パワーを算出する。

[0034] [数3]

$$\hat{P}_i = P_i \cdot \left(\frac{\text{GSNR}_1}{\text{GSNR}_i} \right)^{1 - \left(\frac{r}{1-r} - \frac{(\rho_1 - \rho_2)(M-m)r^{M-m} + (\rho_2 - \rho_3)\frac{M}{2}r^{\frac{M}{2}} + (\rho_3 - \rho_4)mr^m + \rho_4Mr^M}{\rho_1(1-r^{M-m}) + \rho_2\left(r^{M-m} - r^{\frac{M}{2}}\right) + \rho_3\left(r^{\frac{M}{2}} - r^m\right) + \rho_4(r^m - r^M)} \right)} \quad \dots (10)$$

[0035] 数式(10)の左辺において P のアクセントはハットである。ハット P_i は、 P_i を補正した入力パワーである。 $\ln r$ は r の自然対数を示す。

[0036] 第2実施形態に係る計算装置30は、図3Bに示すように、ステップS11、S12に続いて、数式(3)に基づいて、GSNRを算出する(ステップS13)。そして、計算装置30は、数式(10)に基づいて入力パワーを補正する(ステップS14)。

計算装置30は、数式(10)を用いることで、誘導ラマン散乱発生量の変化を考慮して、信号品質の傾斜を解消する入力パワーを算出することができる。なお、計算装置30は、全チャネルについて補正した入力パワーを用いて、数式(3)に基づいて、全チャネルについてのGSNRを算出することもできる。

[0037] [第3実施形態]

第3実施形態に係る計算装置30は、スパン着信パワーの傾斜を解消することを目的とした装置である。第3実施形態に係る計算装置30は、入力パワースペクトルの傾きを示す係数を任意の値に決定し、伝送路ファイバ入力パワーの関係式に基づいて、伝送路ファイバ入力パワーを全チャネルについて算出する。計算装置30は、たとえば、伝送路ファイバ入力パワー比 r を任意の値に決定し、数式(2)に基づいて、伝送路ファイバ入力パワー P_i を全チャネルについて算出する。

[0038] r は、等比数列の公比に相当する1未満の値である。 r が仮に0.5のとき、チャンネル番号1の入力パワーが1であるとする、チャンネル番号2, 3, 4, ...の入力パワーは、0.5、0.25、0.125、...となる。最大チャンネル数 M が数百となることを想定した場合、 r は、1に近い値、例えば0.9以上が好ましく、0.99以上がより好ましい。なお、 r の決め方の1つとして、数式(2)において $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3 = \rho_4 = 1$ とした上で、 i が1であるものとして、 P_i を r の関数として表して r を調整することもできる。

[0039] 第3実施形態に係る計算装置30は、図4Aに示すように、まず、係数 r を任意の値に設定する(ステップS21)。そして、計算装置30は、係数

r を固定し、数式 (2) に基づいて入力パワーを算出する (ステップ S 2 2)。

[0040] [第 4 実施形態]

第 4 実施形態に係る計算装置 30 は、スパン着信パワーの傾斜を解消することを目的とした装置である。第 4 実施形態に係る計算装置 30 は、第 3 実施形態に係る計算装置 30 で算出した入力パワーを調整して、補正された入力パワーを算出する。第 4 実施形態に係る計算装置 30 は、探索して決定した係数と、伝送路ファイバ入力パワーの関係式に基づいて算出した全チャンネルについての伝送路ファイバ入力パワーと、を計算に用いる。計算装置 30 は、最高周波数チャンネルの光ファイバ伝送路入力パワーを固定し、チャンネル間の着信パワー差を打ち消すように各チャンネルの光ファイバ伝送路入力パワーを調整することで、補正された入力パワーを算出する。

[0041] たとえば、第 4 実施形態に係る計算装置 30 は、第 3 実施形態に係る計算装置 30 で決定した r と、数式 (2) に基づいて算出した全チャンネルについての伝送路ファイバ入力パワー P_i とを以下の数式 (11) の右辺に代入することによって、補正された入力パワーを算出する。

[0042] [数 4]

$$\check{P}_i = P_i \cdot \left(\frac{\bar{P}_1}{\bar{P}_i} \right)^{1 - \left(\frac{r}{1-r} \frac{(\rho_1 - \rho_2)(M-m)r^{M-m} + (\rho_2 - \rho_3)\frac{M}{2}r^{\frac{M}{2}} + (\rho_3 - \rho_4)mrm + \rho_4Mr^M}{\rho_1(1-r^{M-m}) + \rho_2\left(r^{M-m} - r^{\frac{M}{2}}\right) + \rho_3\left(r^{\frac{M}{2}} - r^m\right) + \rho_4(r^m - r^M)} \right)} \quad \dots (11)$$

where

$$\bar{P}_i = P_i e^{-\alpha_i L} \quad \dots (12)$$

[0043] 数式 (11) の左辺において P のアクセントはハーチェックである。ハーチェック P_i は、 P_i を補正した入力パワーである。数式 (12) の左辺において P のアクセントはオーバーラインである。オーバーライン P_i は、数式 (12) で定義される。なお、数式 (12) において、 α は伝送路ファイバの損失係数 [km^{-1}] を示し、 L はスパン長 [km] を示す。

[0044] 第 4 実施形態に係る計算装置 30 は、図 4 B に示すように、ステップ S 2

1, S 2 2 に続いて、数式 (1 1) に基づいて入力パワーを補正する (ステップ S 2 3)。計算装置 3 0 は、数式 (1 1) を用いることで、誘導ラマン散乱発生量の変化を考慮して、着信パワーの傾斜を解消する入力パワーを算出することができる。

[0045] 次に、計算装置 3 0 の効果を確認するために行った 4 つのシミュレーションについて順次説明する。

(第 1 シミュレーション)

第 1 シミュレーションは、第 1 実施形態に係る計算装置 3 0 による信号品質の傾斜を解消する効果の検証実験である。シミュレーション条件としては、最大チャネル数 M を 4 0 0 とした。なお、最大チャネル数 M は、設定されるチャネル数の最大値である。

S 帯の 195.95~205.00 THz において、中心周波数間隔 $f=50$ [GHz] で、チャネル数 182 (チャネル番号 1~182) の周波数 f_i を設定した。

C 帯の 191.60~195.90 THz において、中心周波数間隔 $f=50$ [GHz] で、チャネル数 87 (チャネル番号 183~269) の周波数 f_i を設定した。

L 帯の 185.05~191.55 THz において、中心周波数間隔 $f=50$ [GHz] で、チャネル数 131 (チャネル番号 270~400) の周波数 f_i を設定した。

[0046] 第 1 実施形態の計算装置 3 0 は、数式 (3) に基づいてチャネル 1 の $GSNR_i$ が最大値となる条件で、伝送路ファイバ入力パワー P_i を全チャネルについて算出した。なお、伝送路ファイバ入力パワー P_i は、短波長帯の入力パワーを予め持ち上げたものであり傾斜がついている。次に、検証のために、この P_i を用いて、あらためて数式 (3) に基づいて、 $GSNR_i$ を全チャネルについて算出した。この結果を実施例 1 とした。一方、入力パワーがフラットな場合について $GSNR$ を算出した結果を比較例 1 とした。

[0047] 図 5 は、第 1 シミュレーションの結果を示すグラフである。グラフの横軸は、周波数を示し、縦軸は $GSNR$ を示す。グラフにおいて、細線が実施例 1 を示し、破線が比較例 1 を示す。

比較例 1 では、例えばチャネル番号 400 (180.50 THz) において、 $GSNR$ は、

19.7 dBであり、チャンネル番号1 (205.00 THz) において、GSNRは、 8.94 dBである。

実施例1では、例えばチャンネル番号400 (180.50 THz) において、GSNRは、13.4 dBであり、チャンネル番号1 (205.00 THz) において、GSNRは、14.4 dBである。

図5に示すように、比較例1では、なんら工夫をしていないので、信号品質の傾斜が発生した。実施例1では、明らかに信号品質の傾斜が解消された。実施例1は、波長による信号品質のばらつきを改善できる良好な結果を示している。

[0048] なお、参考として、オフセット・チルト法の全探索最適化で得られるGSNRを算出した。このときの結果を比較例2とした。図5のグラフにおいて、二点鎖線が比較例2を示す。比較例2では、200~205 THzの信号品質の傾斜が発生した。実施例1のチャンネル番号1のGSNR (14.4 dB) は、比較例2で得られるチャンネル番号1のGSNR (14.7 dB) よりも小さい。このことは、実施例1において着信 OSNR 均一の条件を緩和することで、信号品質を改善する余地があることを示唆している。すなわち、着信 OSNR 均一の条件を緩和した第2実施形態の計算装置30は、信号品質をさらに改善することが予想される。

[0049] (第2シミュレーション)

第2シミュレーションは、第2実施形態に係る計算装置30による信号品質の傾斜を解消する効果の検証実験である。シミュレーション条件は、第1シミュレーションの条件と同様である。第2実施形態の計算装置30は、第1実施形態に係る計算装置30で算出した入力パワーを、数式(10)に基づいて調整し、補正された入力パワーを算出した。次に、検証のために、この補正された入力パワーを用いて、あらためて数式(3)に基づいて、 $GSNR_i$ を全チャンネルについて算出した。この結果を実施例2とした。

[0050] 図5は、第2シミュレーションの結果も示している。グラフにおいて、太線が実施例2を示している。実施例2では、例えばチャンネル番号400 (180.50

THz) において、GSNRは、15.0 dBであり、チャンネル番号1 (205.00 THz) において、GSNRは、14.6 dBである。図5に示すように、実施例2は、信号品質の傾斜が解消され、波長による信号品質のばらつきを改善できる良好な結果を示している。実施例2では、信号品質のスペクトルが、よりフラットになった。

[0051] (第3シミュレーション)

第3シミュレーションは、第3実施形態に係る計算装置30によるスパン着信パワーの傾斜を解消する効果の検証実験である。シミュレーション条件は、第1シミュレーションの条件と同様である。第3実施形態の計算装置30は、 r を任意の値に決定し、数式(2)に基づいて、伝送路ファイバ入力パワー P_i を全チャンネルについて算出した。なお、伝送路ファイバ入力パワー P_i は、短波長帯の入力パワーを予め持ち上げたものであり傾斜がついている。次に、検証のために、この入力パワー P_i を用いて着信パワーを算出した。この結果を実施例3とした。一方、入力パワーがフラットな場合について着信パワーを算出した結果を比較例3とした。なお、着信パワー(誘導ラマン散乱によるパワー遷移)の計算方法は、例えば非特許文献1等に記載された公知の手法を用いることができる。

[0052] 図6は、第3シミュレーションの結果を示すグラフである。グラフの横軸は、周波数を示し、縦軸は着信パワーを示す。グラフにおいて、細線が実施例3を示し、破線は比較例3を示している。比較例3の場合、チャンネル番号400 (180.50 THz) において、着信パワーは、-10.998 dBmであり、チャンネル番号1 (205.00 THz) において、着信パワーは、-27.162 dBmである。実施例3では、例えばチャンネル番号400 (180.50 THz) において、着信パワーは、-23.312 dBmであり、チャンネル番号1 (205.00 THz) において、着信パワーは、-21.010 dBmである。図6に示すように、比較例3では、なんら工夫をしていないので、着信パワーの傾斜が発生した。実施例3では、明らかに着信パワーの傾斜が解消された。

[0053] (第4シミュレーション)

第4シミュレーションは、第4実施形態に係る計算装置30によるスパン着信パワーの傾斜を解消する効果の検証実験である。シミュレーション条件は、第1シミュレーションの条件と同様である。第4実施形態の計算装置30は、第3実施形態に係る計算装置30で算出した入力パワーを、数式(11)に基づいて調整し、補正された入力パワーを算出した。次に、検証のために、この補正された入力パワーを用いて着信パワーを算出した。この結果を実施例4とした。

[0054] 図6は、第4シミュレーションの結果も示している。グラフにおいて、太線が実施例4を示している。実施例4では、例えばチャネル番号400(180.50 THz)において、着信パワーは、-20.029 dBmであり、チャネル番号1(205.0 THz)において、着信パワーは、-21.394 dBmである。図6に示すように、実施例4は、実施例3と同様に着信パワーの傾斜が解消された。加えて実施例4では、着信パワースペクトルが、よりフラットになった。

[0055] [ハードウェア構成]

各実施形態に係る計算装置30は、例えば図7に示すような構成のコンピュータ900によって実現される。図7は、本実施形態に係る計算装置30の機能を実現するコンピュータ900の一例を示すハードウェア構成図である。コンピュータ900は、CPU(Central Processing Unit)901、ROM(Read Only Memory)902、RAM(Random Access Memory)903、HDD(Hard Disk Drive)904、入出力I/F(Interface)905、通信I/F906およびメディアI/F907を有する。

[0056] CPU901は、ROM902またはHDD904に記憶されたプログラムに基づき作動する。ROM902は、コンピュータ900の起動時にCPU901により実行されるブートプログラムや、コンピュータ900のハードウェアに係るプログラム等を記憶する。

[0057] CPU901は、入出力I/F905を介して、マウスやキーボード等の入力装置910、および、ディスプレイやプリンタ等の出力装置911を制御する。CPU901は、入出力I/F905を介して、入力装置910からデータを取

得するとともに、生成したデータを出力装置 911 へ出力する。なお、プロセッサとして CPU 901 とともに、GPU (Graphics Processing Unit) 等を用いても良い。

[0058] HDD 904 は、CPU 901 により実行されるプログラムおよび当該プログラムによって使用されるデータ等を記憶する。通信 I/F 906 は、通信網 920 を介して他の装置からデータを受信して CPU 901 へ出力し、また、CPU 901 が生成したデータを、通信網 920 を介して他の装置へ送信する。

[0059] メディア I/F 907 は、記録媒体 912 に格納されたプログラムまたはデータを読み取り、RAM 903 を介して CPU 901 へ出力する。CPU 901 は、目的の処理に係るプログラムを、メディア I/F 907 を介して記録媒体 912 から RAM 903 上にロードし、ロードしたプログラムを実行する。記録媒体 912 は、DVD (Digital Versatile Disc)、PD (Phase change rewritable Disk) 等の光学記録媒体、MO (Magneto Optical disk) 等の光磁気記録媒体、磁気記録媒体、又は半導体メモリ等である。

[0060] 例えば、コンピュータ 900 が各実施形態に係る計算装置 30 として機能する場合、CPU 901 は、RAM 903 上にロードされたプログラムを実行することにより計算装置 30 の機能を実現する。また、HDD 904 には、RAM 903 内のデータが記憶される。CPU 901 は、目的の処理に係るプログラムを記録媒体 912 から読み取って実行する。この他、CPU 901 は、他の装置から通信網 920 を介して目的の処理に係るプログラムを読み込むこともできる。

[0061] [効果]

以上説明したように、計算装置は、15 THz 以上の幅を有するバンドにおける各チャネルの光ファイバ伝送路への入力パワーを計算する計算装置 30 であって、誘導ラマン散乱の影響による伝送路中パワーの遷移を光ファイバ伝送路内既存チャネル数に依存するものとし、入力パワースペクトルの傾きを示す係数 r を用いて、入力パワーを計算することを特徴とする。

[0062] このようにすることにより、計算装置 30 は、15 THz 以上の幅を有するバ

ンドにおいて各チャネルの入力パワーを計算により求める。したがって、計算装置30は、着信側で、短波長帯から長波長帯まで、信号品質や着信パワーを一定にするために、短波長帯の入力パワーを予めどのくらい持ち上げることが最適であるのかを計算することができる。

[0063] 計算装置30は、伝送路ファイバの損失係数およびアンプの雑音指数が周波数に対して均一であると仮定して表される信号品質のパラメータであるOSNRに基づいてスパンごとの着信パワーを高周波数側チャネルで均一にする伝送路ファイバ入力パワーの関係式であって、隣り合うチャネルの伝送路ファイバ入力パワー比を入力パワースペクトルの傾きを示す係数として関係づけた関係式に基づいて、各チャネルの入力パワーの計算を実行することを特徴とする。

[0064] このようにすることにより、計算装置30は、伝送路ファイバ入力パワーの関係式に基づいて、15 THz 以上の幅を有するバンドにおいて各チャネルの入力パワーを計算する。伝送路ファイバ入力パワーの関係式は、隣り合うチャネルの伝送路ファイバ入力パワー比を入力パワースペクトルの傾きを示す係数として関係づけており、スパンごとの着信パワーを高周波数側チャネルで均一にするので、高周波数側チャネルの着信OSNRを均一にすることができる。計算装置30は、伝送路ファイバ入力パワーの関係式に適切な係数を用いることで、DWDMにおいて信号品質の傾斜を解消する入力パワーやスパン着信パワーの傾斜を解消する入力パワーを計算することができる。

[0065] 計算装置30は、着信 OSNR が均一のときのGSNRに基づいて、着信 OSNR が均一かつ最高周波数チャネルが全チャネル中の最高入力パワーであるときに最高周波数チャネルのGSNRが最大値となる条件で係数を探索して決定し、決定した係数を用いて、伝送路ファイバ入力パワーを全チャネルについて算出することを特徴とする。

[0066] 着信 OSNR が均一かつ最高周波数チャネルが全チャネル中の最高入力パワーであるとき、最高周波数チャネルが受ける非線形影響は常に全チャネル中で最大となる。そのため、着信 OSNR が均一のとき、最高周波数チャネルの

GSNR は、常に全チャンネル中で最小となる。計算装置 30 は、このときに最高周波数チャンネルの GSNR が最大値となる条件で係数を探索するので、信号品質を均一化した上で最大化する。つまり、計算装置 30 は、最低信号品質チャンネルの信号品質を最大化する。このときに決定され係数を用いて関係式に基づいて算出された入力パワーは、信号品質の傾斜を解消する入力パワーとなる。したがって、計算された入力パワーによれば、通常は周波数が低くなるほど、そのチャンネルの GSNR が大きくなるような傾斜を持つ信号品質をフラットにすることができる。

[0067] 計算装置 30 は、係数を任意の値に決定し、関係式に基づいて、伝送路ファイバ入力パワーを全チャンネルについて算出することを特徴とする。

[0068] このようにすることにより、計算装置 30 は、任意の係数を用いて関係式に基づいて入力パワーを算出する。関係式において、係数は、隣り合うチャンネルの伝送路ファイバ入力パワー比であり、等比数列の公比に相当する。このため、計算された入力パワーによれば、通常は周波数が低くなるほど、そのチャンネルの着信パワーが大きくなるような傾斜を持つ着信パワーをフラットにすることができる。したがって、計算装置 30 は、スパン着信パワーの傾斜を解消する入力パワーを算出することができる。

[0069] 計算装置 30 は、決定した係数と、関係式に基づいて算出した全チャンネルについての伝送路ファイバ入力パワーと、着信 OSNR が均一のときの全チャンネルについての GSNR と、を用いて、最高周波数チャンネルの光ファイバ伝送路入力パワーを固定し、チャンネル間の GSNR 差を打ち消すように各チャンネルの光ファイバ伝送路入力パワーを調整することで、補正された入力パワーを算出することを特徴とする。

[0070] このようにすることにより、計算装置 30 は、最高周波数チャンネルの光ファイバ伝送路入力パワーを固定し、チャンネル間の GSNR 差を打ち消すように各チャンネルの光ファイバ伝送路入力パワーを調整する。つまり、計算装置 30 は、GSNR が不足しているチャンネルの入力パワーを上げると共に、GSNR が過剰なチャンネルの入力パワーを下げるることができる。したがって、計算装置 30

は、信号品質を均一化した上で最大化することができる。

[0071] 計算装置30は、決定した係数と、関係式に基づいて算出した全チャンネルについての伝送路ファイバ入力パワーと、を用いて、最高周波数チャンネルの光ファイバ伝送路入力パワーを固定し、チャンネル間の着信パワー差を打ち消すように各チャンネルの光ファイバ伝送路入力パワーを調整することで、補正された入力パワーを算出することを特徴とする。

[0072] このようにすることにより、計算装置30は、最高周波数チャンネルの光ファイバ伝送路入力パワーを固定し、チャンネル間の着信パワー差を打ち消すように各チャンネルの光ファイバ伝送路入力パワーを調整する。つまり、計算装置30は、着信パワーが不足しているチャンネルの入力パワーを上げると共に、着信パワーが過剰なチャンネルの入力パワーを下げるができる。結果的に、計算装置30は、着信パワーの均一化を図ることができる。

[0073] 計算方法は、15 THz 以上の幅を有するバンドにおける各チャンネルの光ファイバ伝送路への入力パワーを計算する計算装置30の計算方法であって、計算装置30は、誘導ラマン散乱の影響による伝送路中パワーの遷移を光ファイバ伝送路内既存チャンネル数に依存するものとし、入力パワースpekトルの傾きを示す係数を用いて、入力パワーを計算することを特徴とする。

[0074] このようにすることにより、計算装置30は、15 THz 以上の幅を有するバンドにおいて各チャンネルの入力パワーを計算により求める。したがって、計算装置30は、着信側で、短波長帯から長波長帯まで、信号品質や着信パワーを一定にするために、短波長帯の入力パワーを予めどのくらい持ち上げることが最適であるのかを計算することができる。

[0075] なお、本発明は、以上説明した実施形態に限定されるものではなく、多くの変形が本発明の技術的思想内で当分野において通常の知識を有する者により可能である。

符号の説明

- [0076] 1 光伝送システム
10 ネットワーク設備監視装置 (NE-OpS)

1 1	制御部
2 0	ネットワーク装置 (NE)
2 1	トランスポンダ
2 2	波長選択スイッチ (WSS)
2 3	光増幅部
2 4	制御部
3 0	計算装置

請求の範囲

- [請求項1] 15 THz 以上の幅を有するバンドにおける各チャネルの光ファイバ伝送路への入力パワーを計算する計算装置であって、
- 誘導ラマン散乱の影響による伝送路中パワーの遷移を光ファイバ伝送路内既存チャネル数に依存するものとし、入力パワースペクトルの傾きを示す係数を用いて、入力パワーを計算することを特徴とする計算装置。
- [請求項2] 伝送路ファイバの損失係数およびアンプの雑音指数が周波数に対して均一であると仮定して表される信号品質のパラメータであるOSNRに基づいてスパンごとの着信パワーを高周波数側チャネルで均一にする伝送路ファイバ入力パワーの関係式であって、隣り合うチャネルの伝送路ファイバ入力パワー比を前記入力パワースペクトルの傾きを示す係数として関係づけた関係式に基づいて、各チャネルの前記入力パワーの計算を実行することを特徴とする請求項 1 に記載の計算装置。
- [請求項3] 着信 OSNR が均一のときのGSNRに基づいて、着信 OSNR が均一かつ最高周波数チャネルが全チャネル中の最高入力パワーであるときに最高周波数チャネルのGSNRが最大値となる条件で前記係数を探索して決定し、決定した係数を用いて、伝送路ファイバ入力パワーを全チャネルについて算出することを特徴とする請求項 2 に記載の計算装置。
- [請求項4] 前記係数を任意の値に決定し、前記関係式に基づいて、伝送路ファイバ入力パワーを全チャネルについて算出することを特徴とする請求項 2 に記載の計算装置。
- [請求項5] 前記決定した係数と、前記関係式に基づいて算出した全チャネルについての伝送路ファイバ入力パワーと、着信 OSNR が均一のときの全チャネルについてのGSNRと、を用いて、最高周波数チャネルの光ファイバ伝送路入力パワーを固定し、チャネル間の GSNR差を打ち消すように各チャネルの光ファイバ伝送路入力パワーを調整することで、補正された入力パワーを算出することを特徴とする請求項 3 に記載の計

算装置。

[請求項6] 前記決定した係数と、前記関係式に基づいて算出した全チャンネルについての伝送路ファイバ入力パワーと、を用いて、最高周波数チャンネルの光ファイバ伝送路入力パワーを固定し、チャンネル間の着信パワー差を打ち消すように各チャンネルの光ファイバ伝送路入力パワーを調整することで、補正された入力パワーを算出することを特徴とする請求項4に記載の計算装置。

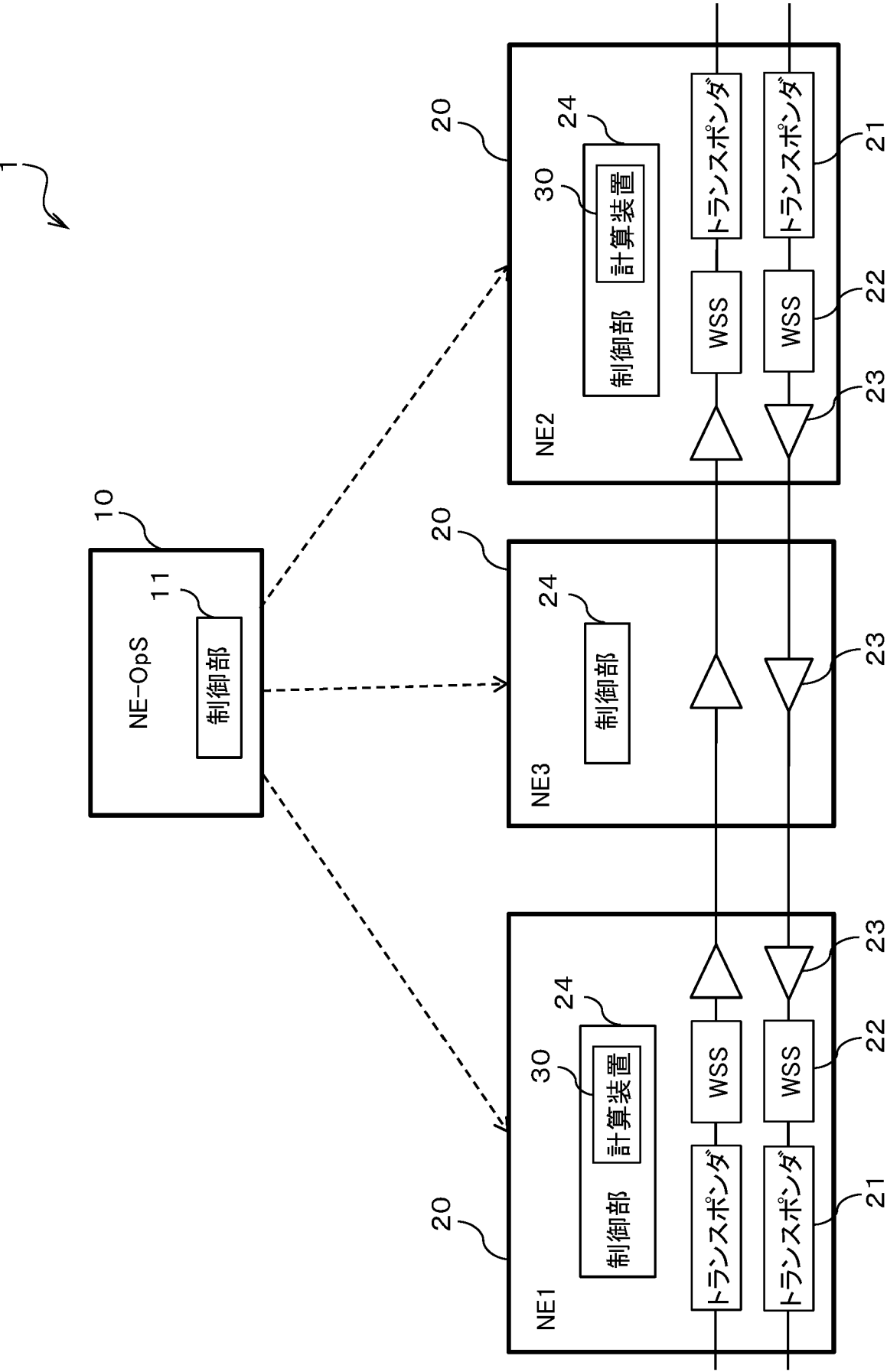
[請求項7] 15 THz 以上の幅を有するバンドにおける各チャンネルの光ファイバ伝送路への入力パワーを計算する計算装置の計算方法であって、

前記計算装置は、

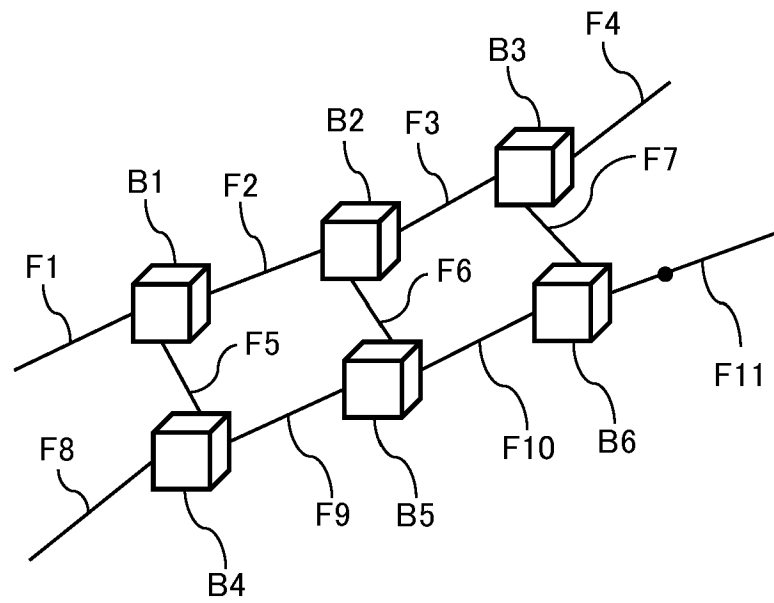
誘導ラマン散乱の影響による伝送路中パワーの遷移を光ファイバ伝送路内既存チャンネル数に依存するものとし、入力パワースペクトルの傾きを示す係数を用いて、入力パワーを計算することを特徴とする計算方法。

[請求項8] コンピュータを、請求項1から請求項6のいずれか一項に記載の計算装置として機能させるためのプログラム。

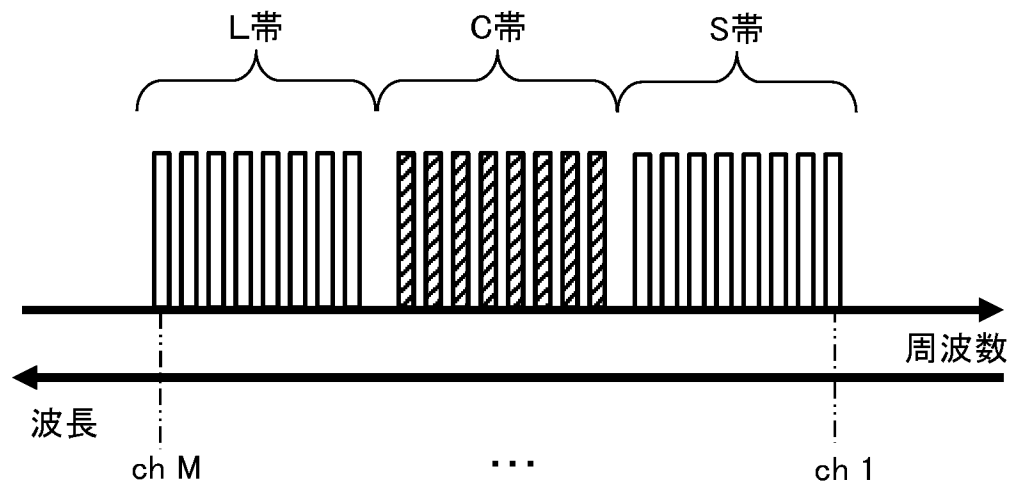
[図1]



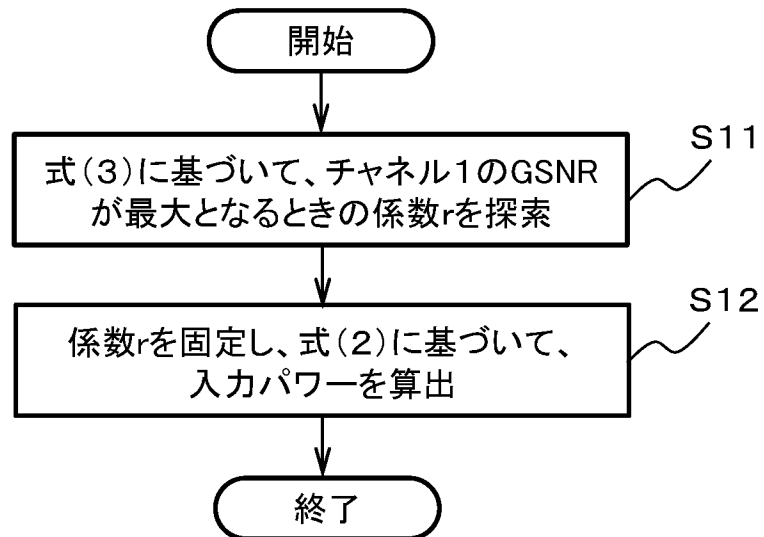
[図2A]



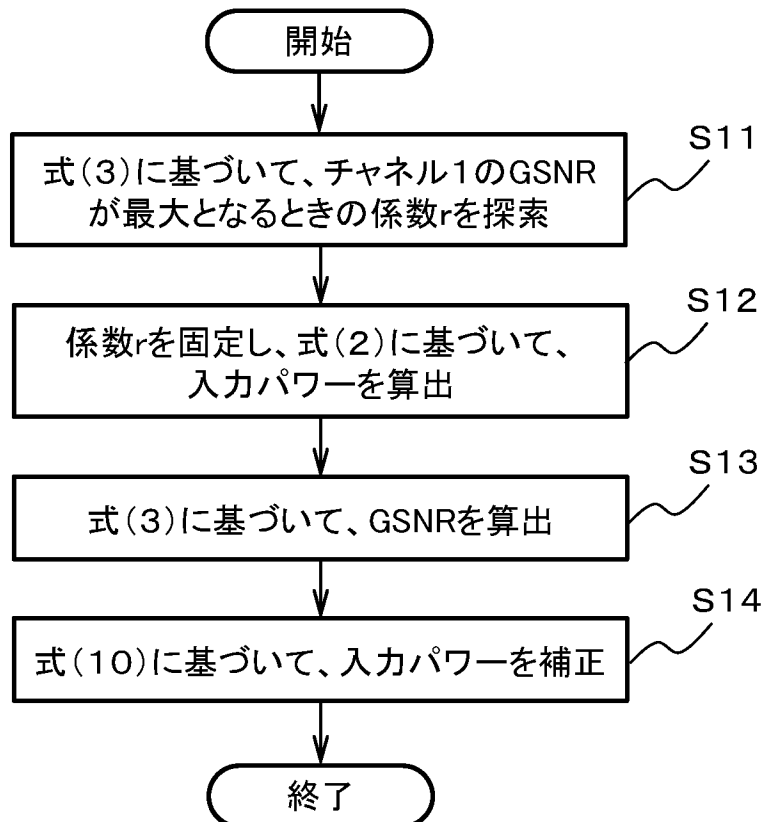
[図2B]



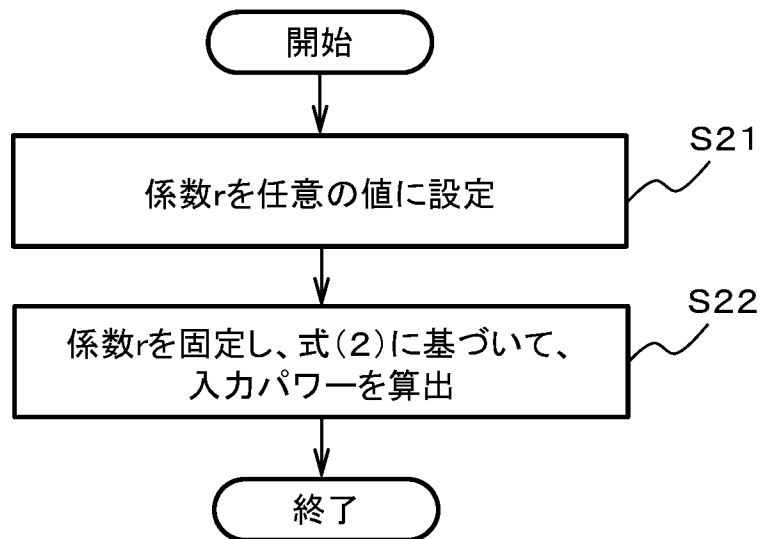
[図3A]



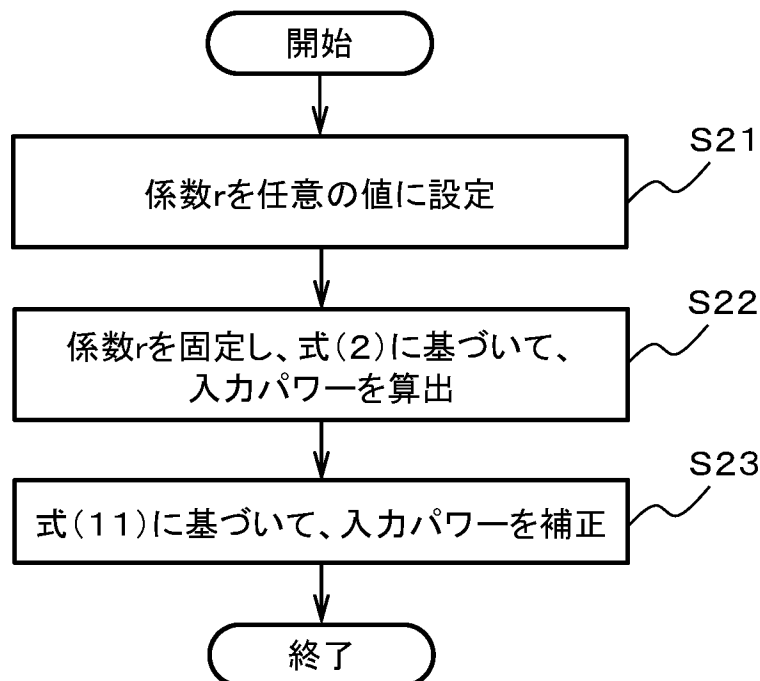
[図3B]



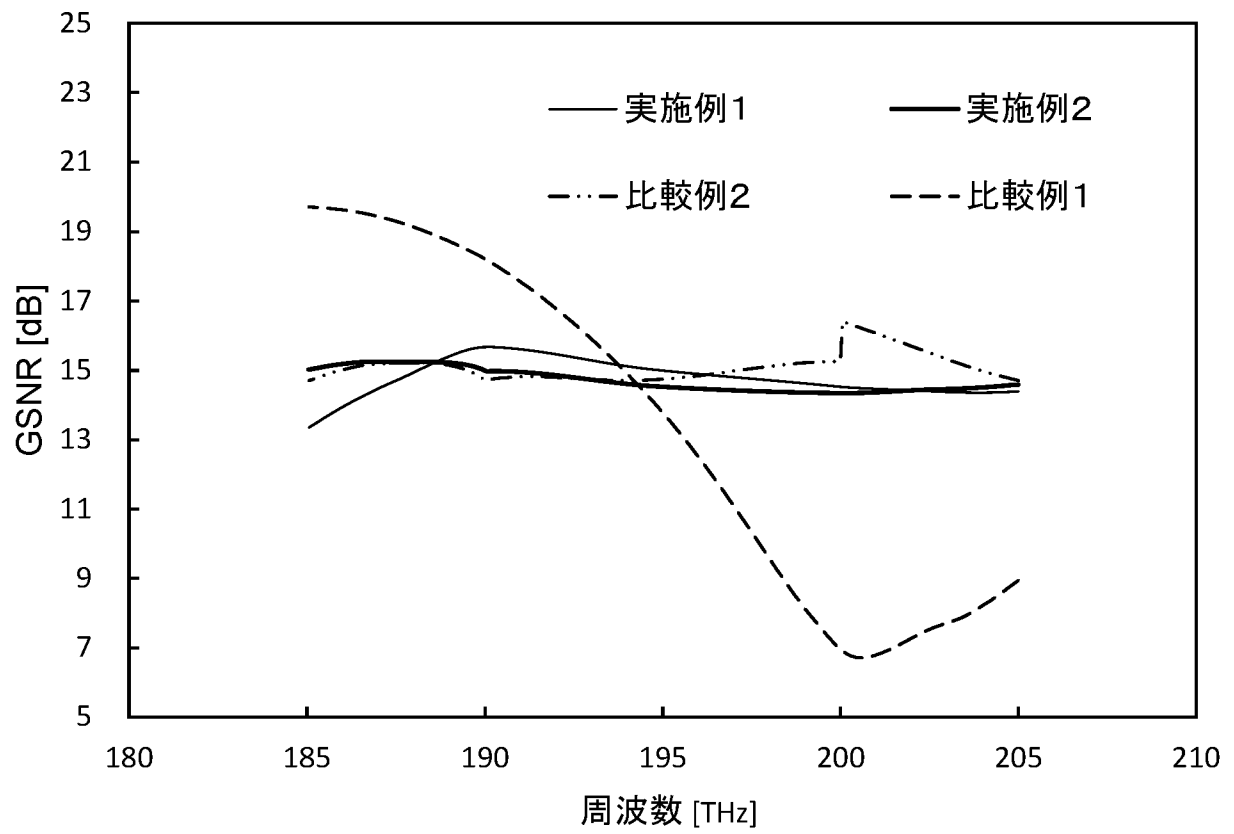
[図4A]



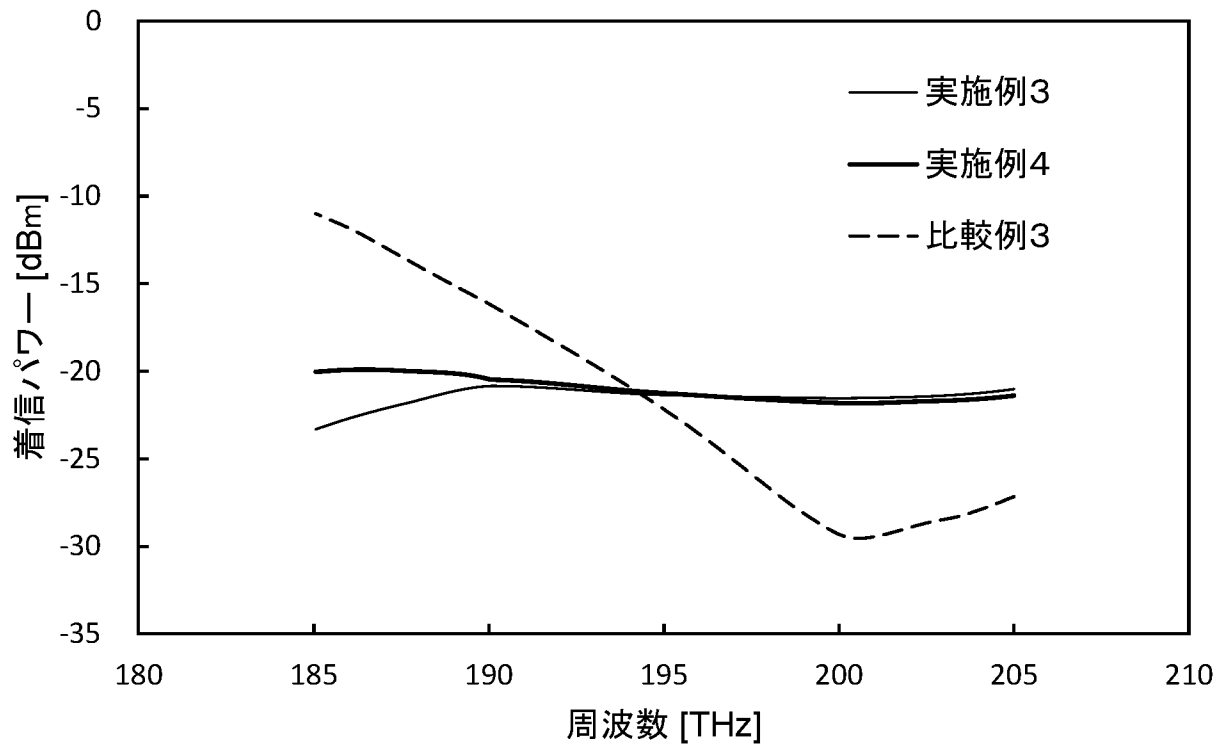
[図4B]



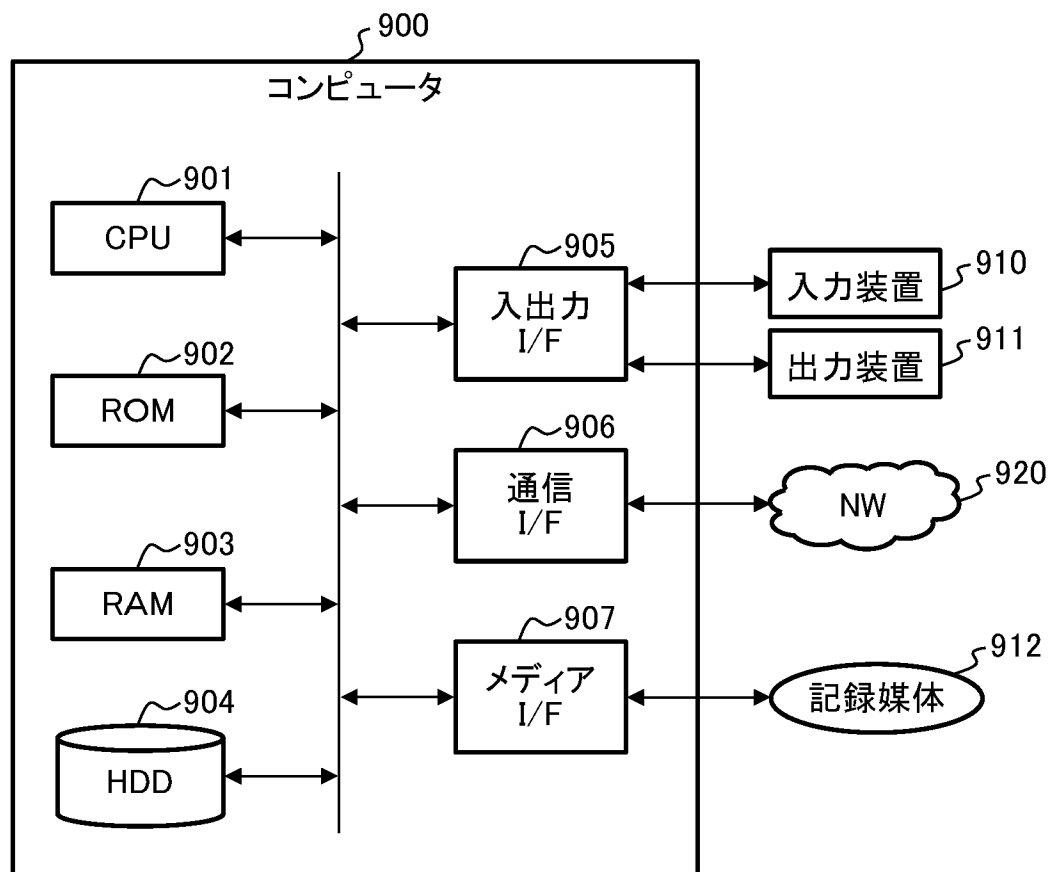
[図5]



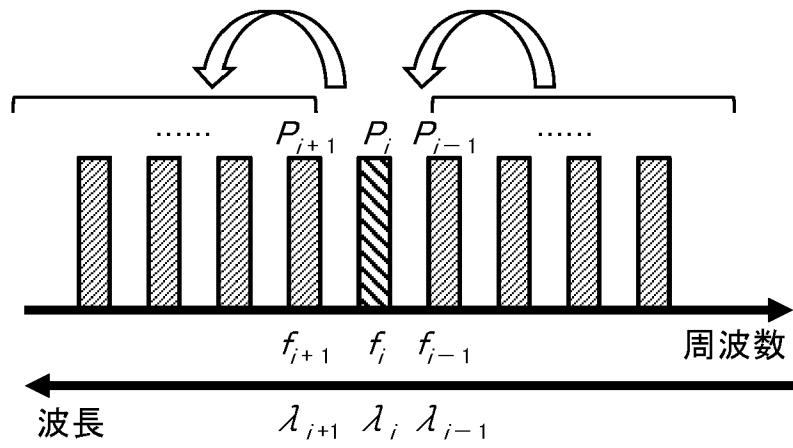
[図6]



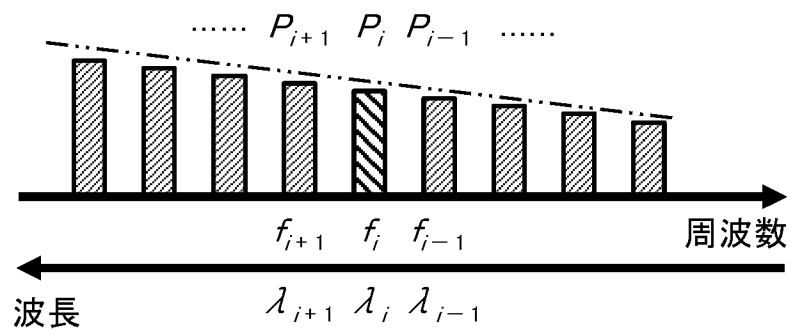
[図7]



[図8A]



[図8B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/006195

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H04B 10/2537**(2013.01)i; **H04J 14/02**(2006.01)i

FI: H04B10/2537; 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)

H04B10/2537; H04J14/02

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 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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.
Y	WO 2019/230480 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 05 December 2019 (2019-12-05) paragraphs [0013]-[0059], fig. 1-4	1, 7, 8
A		2-6
Y	JP 2014-229913 A (HITACHI, LTD.) 08 December 2014 (2014-12-08) paragraphs [0015]-[0039], fig. 4, 5	1, 7, 8
A		2-6
Y	JP 2008-42096 A (FUJITSU LIMITED) 21 February 2008 (2008-02-21) paragraphs [0019]-[0074], fig. 1-12	1, 7, 8
A		2-6
A	JP 2002-368691 A (HITACHI, LTD.) 20 December 2002 (2002-12-20)	1-8
A	US 6859622 B1 (NORTEL NETWORKS LIMITED) 22 February 2005 (2005-02-22)	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

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 “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

12 April 2023

Date of mailing of the international search report

25 April 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/006195

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	濱岡福太郎. 100Tb/s超の大容量化に向けた広帯域WDM光伝送技術. 電子情報通信学会技術研究報告. January 2022, (HAMAOKA, Fukutaro. 100-Tb/s Capacity Wideband WDM Optical Transmission Technologie. IEICE Technical Report.) entire text, all drawings	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/006195

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2019/230480	A1	05 December 2019	US 2021/0211218 A1 paragraphs [0018]-[0065], fig. 1-4	
JP	2014-229913	A	08 December 2014	(Family: none)	
JP	2008-42096	A	21 February 2008	(Family: none)	
JP	2002-368691	A	20 December 2002	US 2002/0181061 A1 US 2007/0166052 A1	
US	6859622	B1	22 February 2005	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H04B 10/2537(2013.01)i; H04J 14/02(2006.01)i FI: H04B10/2537; 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）） H04B10/2537; H04J14/02		
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 1971-2023年 日本国実用新案登録公報 1996-2023年 日本国登録実用新案公報 1994-2023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
Y	WO 2019/230480 A1（日本電信電話株式会社）05.12.2019（2019-12-05） 段落[0013]-[0059]，図1-4	1, 7, 8
A		2-6
Y	JP 2014-229913 A（株式会社日立製作所）08.12.2014（2014-12-08） 段落[0015]-[0039]，図4, 5	1, 7, 8
A		2-6
Y	JP 2008-42096 A（富士通株式会社）21.02.2008（2008-02-21） 段落[0019]-[0074]，図1-12	1, 7, 8
A		2-6
A	JP 2002-368691 A（株式会社日立製作所）20.12.2002（2002-12-20）	1-8
A	US 6859622 B1（NORTEL NETWORKS LIMITED）22.02.2005（2005-02-22）	1-8
A	濱岡 福太郎，100 Tb/s超の大容量化に向けた広帯域WDM光伝送技術，電子情報通信学会技術研究報告，2022.01 全文全図	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。		
* 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 “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 12. 04. 2023	国際調査報告の発送日 25. 04. 2023	
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） 鴨川 学 5K 6307 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/JP2023/006195

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2019/230480	A1	05.12.2019	US 2021/0211218 A1 段落[0018]-[0065], 図1-4	
JP	2014-229913	A	08.12.2014	(ファミリーなし)	
JP	2008-42096	A	21.02.2008	(ファミリーなし)	
JP	2002-368691	A	20.12.2002	US 2002/0181061 A1 US 2007/0166052 A1	
US	6859622	B1	22.02.2005	(ファミリーなし)	