(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10月24日(24.10.2024)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2024/218904 A1

(51) 国際特許分類:
H04B 10/293 (2013.01) *G02F 1/39* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/015621

(22) 国際出願日： 2023年4月19日(19.04.2023)

(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).

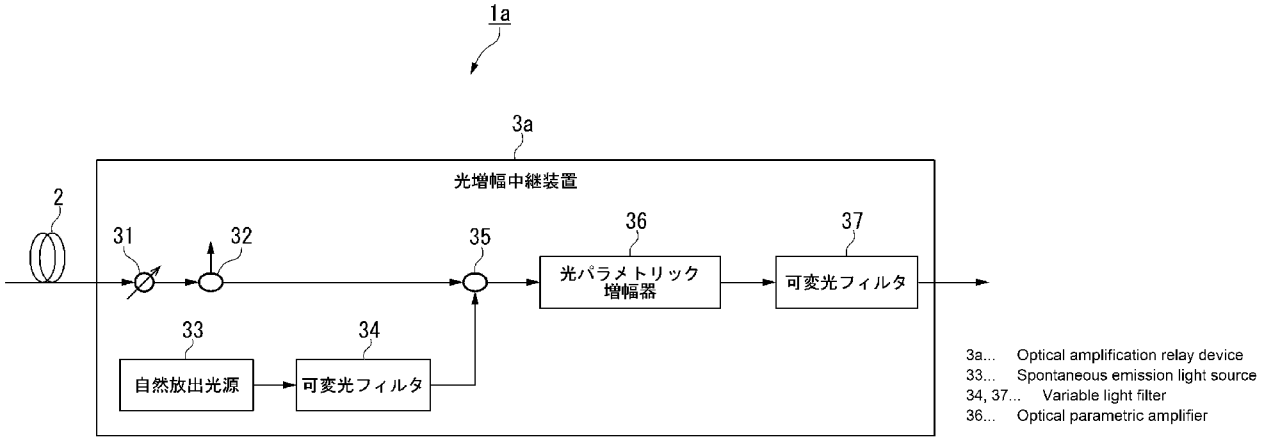
(72) 発明者: 清水 新平 (**SHIMIZU Shimpei**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ知的財産センタ内 Tokyo (JP). 小林 孝行 (**KOBAYASHI Takayuki**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ知的財産センタ内 Tokyo (JP). 宮本 裕 (**MIYAMOTO Yutaka**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ知的財産センタ内 Tokyo (JP). 川合 暁 (**KAWAI Akira**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 弁理士法人志賀国際特許事務所 (**SHIGA INTERNATIONAL PATENT OFFICE**); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目９番２号 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, 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, MU, 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,

(54) **Title:** OPTICAL AMPLIFICATION RELAY DEVICE AND OPTICAL AMPLIFICATION RELAY METHOD

(54) 発明の名称： 光増幅中継装置及び光増幅中継方法



(57) **Abstract:** This optical amplification relay device comprises: a variable attenuator for attenuating the light intensity of an input optical signal; a multiplexing unit for multiplexing the input optical signal with the attenuated light intensity and a background optical signal of the input optical signal; and a first optical amplifier for performing optical parametric amplification on the multiplexed input optical signal and the background optical signal. The background optical signal has a predetermined frequency component in a band in which a frequency component of the input optical signal does not exist. A second optical amplifier performs, on the input optical signal with the attenuated light intensity, optical parametric amplification with a predetermined low gain, and inputs into the multiplexing unit the input optical signal on which the low gain optical parametric amplification has been performed.

WO 2024/218904 A1

［続葉有］

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).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

(57) 要約:光増幅中継装置は、入力光信号の光強度を減衰させる可変減衰器と、光強度が減衰された入力光信号と、入力光信号の背景光信号とを合波する合波部と、合波された入力光信号及び背景光信号に対して、光パラメトリック増幅を実行する第1光増幅器とを備える。背景光信号は、入力光信号の周波数成分が存在しない帯域に予め定められた周波数成分を有する信号である。第2光増幅器は、光強度が減衰された入力光信号に対して、予め定められた低利得で光パラメトリック増幅を実行し、低利得で光パラメトリック増幅が実行された入力光信号を合波部に入力する。

明　細　書

発明の名称 ： 光増幅中継装置及び光増幅中継方法

技術分野

[0001] 本発明は、光増幅中継装置及び光増幅中継方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、第５世代移動通信システム（5th Generation Mobile Communication System）の運用開始と、高解像動画像等のリッチコンテンツの普及とに伴い、通信トラフィックが指数関数的に増大している。このため、光伝送システムの通信容量を継続的に大容量化することが求められている。光伝送では、光信号の伝送帯域が広帯域化されることによって、１本の光ファイバあたりの伝送容量を向上させることができることから、超広帯域の波長分割多重信号の伝送を実現することに向けた様々な検討がなされている。

[0003] 長距離の光ファイバを用いた伝送方式では、光ファイバを伝送された光信号に生じた光損失を補償する目的で、光増幅器が用いられる。このような伝送方式では、光伝送システムの伝送帯域が、光増幅器の増幅帯域に応じて制限される。

[0004] 希土類元素が添加された光ファイバを用いる光増幅器がある。例えば、エルビウム添加光ファイバ増幅器（EDFA: Erbium-doped fiber amplifier）は、代表的な希土類添加型光増幅器である。エルビウム添加光ファイバ増幅器の増幅帯域は、光ファイバ内の伝送損失が小さいＣ帯（C-band）又はＬ帯（L-band）における、約４ＴＨｚの帯域である。この帯域は、長距離の光ファイバが用いられた光伝送において、一般的に使用される波長（周波数）の帯域である。

[0005] 光ファイバに添加される希土類元素の変更によって、増幅帯域がシフトされてもよい。また、増幅帯域がシフトされた異種増幅器が互いに並列に配置されることによって、伝送帯域が拡張されてもよい。しかしながら、これらの場合、Ｃ帯及びＬ帯以外の帯域において、利得が低くなり、かつ、雑音が

増加してしまう。また、光伝送システムのコストと、光伝送システムのオペレーションと、光信号の帯域を多数の帯域成分に分割することによって光損失が過剰になることとを考慮すると、単一の光増幅器によって光信号が広帯域に増幅されることが望ましい。

[0006] そこで、光パラメトリック増幅器（OPA: Optical parametric amplifier）が注目されている。光パラメトリック増幅器は、２次非線形光学媒質又は３次非線形光学媒質の非線形光学効果を利用して、入力光信号を増幅する。２次非線形光学媒質は、例えば、ニオブ酸リチウムである。３次非線形光学媒質は、例えば、光ファイバである。

[0007] 光パラメトリック増幅器の増幅帯域は、増幅媒体として用いられた非線形光学媒質の位相整合特性に依存する。増幅媒体が設計されることによって広帯域な位相整合特性が実現された場合、エルビウム添加光ファイバ増幅器の増幅帯域を上回る広帯域の光信号の増幅が可能となる。

[0008] また、増幅媒体が設計されることによって、Ｃ帯及びＬ帯以外の様々な波長帯域の光信号を増幅することが可能である。光パラメトリック増幅の過程のための励起光に２次高調波が必要とされる２次非線形光学媒質では、増幅される光信号の周波数と励起光の周波数との差は大きい。このため、各帯域成分に対する実効屈折率の差が大きくなるので、広い周波数にわたって位相整合の条件が満たされる設計は容易でない。

[0009] しかしながら、疑似位相整合（QPM: quasi-phase matching）と呼ばれる手法によって、広帯域な位相整合特性を実現することができる。疑似位相整合では、周期分極反転構造が用いられる。周期分極反転構造とは、非線形感受率の符号が反転された領域が、非線形光学媒質の伝搬軸方向に周期的に交互に形成された構造である。

[0010] 周期分極反転ニオブ酸リチウム（PPLN: Periodically poled lithium niobate）では、不要な非線形光学効果が生じ難い。このため、広帯域性及び利得と、低雑音性とを両立させるためには、周期分極反転ニオブ酸リチウムを増幅媒体とする構成が有望である。非特許文献１には、１０ＴＨｚを超える広

帯域と１５ｄＢの増幅利得との増幅中継伝送を実現させる可能性が示されている。非特許文献１では、周期分極反転ニオブ酸リチウム導波路を用いた光パラメトリック増幅器が用いられている。

[0011] 光パラメトリック増幅器では、増幅帯域の中心周波数を境として対称的な周波数に、増幅後の光信号の位相共役光（アイドラ光）が生じる。光信号を伝送するためには、元の光信号（増幅前の光信号）と、アイドラ光とのうちの少なくとも一方が伝送されればよい。このため、伝送に用いられない光成分は、光信号の増幅後に、帯域通過フィルタ（BPF: band-pass filter）によって抽出されずに除去される。

[0012] 伝送に用いられる光信号としてアイドラ光が抽出された場合には、光パラメトリック増幅器は、光位相共役変換器（非特許文献２参照）、又は、波長変換器（特許文献１参照）としても機能する。このように、単なる光増幅器としてだけでなく様々な光信号処理部として機能することも、光パラメトリック増幅器の特徴の一つである。

先行技術文献

特許文献

[0013] 特許文献1：特開２０２０－０８６０３１号公報

非特許文献

[0014] 非特許文献1：T. Kobayashi et al., “Wide-band Inline-amplified WDM Transmission Using PPLN-based Optical Parametric Amplifier,” IEEE J. Lightwave Technol., vol. 39, no. 3, pp. 787-794, Feb. 2021.

非特許文献2：T. Umeki et al., “Simultaneous nonlinearity mitigation in 92 × 180-Gbit/s PDM-16QAM transmission over 3840 km using PPLN-based guard-band-less optical phase conjugation,” Optics Express, 24, 15, 16945-16951 (2016).

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0015] 光パラメトリック増幅器の課題の一つとして、利得飽和がある。飽和を生じさせる入力光信号の光強度の領域は、「飽和領域」と呼ばれる。光パラメトリック増幅の過程の高速応答性によって、動的な波長チャネルの合波及び分波に対して利得が変動しないので、チャネル当たりの出力光強度を光パラメトリック増幅器は一定に保つことができる。しかしながら、光パラメトリック増幅の過程の高速応答性は、利得の飽和領域において光パラメトリック増幅が動作する際、非線形な信号歪みを光信号に生じさせる。

[0016] 光パラメトリック増幅の過程では、入力光信号の光強度に対して励起光の光強度が十分に強い場合、入力光信号の光強度に対して利得が一定となり、出力光信号の光強度は、入力光信号の光強度に対して線形に応答する。また、入力光信号の増幅に励起光が使用されて、励起光が減衰することによって、増幅利得が低くなる。

[0017] 更に、光パラメトリック増幅器の高速応答性に起因して、変調された入力光信号の光強度の時間的な変化に追従してしまい、増幅利得の増減が発生する。このため、出力光信号の光強度は、入力光信号の光強度に対して非線形な応答を示す。このような現象が、利得飽和である。

[0018] 低速応答性を有する増幅器（例えば、エルビウム添加光ファイバ増幅器）では、増幅器が飽和領域において動作しても、光信号の光強度の時間平均に対して増幅利得が生じる。そのため、入力光信号に対する増幅利得の時間変化がないので、入力光信号は線形に増幅される。したがって、低速応答性を有する増幅器における利得飽和とは出力光信号の光強度の制限のみを指すことが、一般的である。

[0019] これに対して、高速応答性を有する光パラメトリック増幅器が飽和領域において動作した場合、入力光信号の光強度の時間変化に応じて、増幅利得が非線形に変化する。そのため、振幅方向に変調された光信号では、変調シンボルの振幅レベルに応じた利得が生じるので、非線形な振幅歪みが光信号に生じる。したがって、出力光信号の光強度の上限が考慮されるだけでなく、利得飽和による非線形歪みに起因する信号劣化が考慮された上で、光パラメ

トリック増幅器の動作範囲（入出力レンジ）が決定される必要がある。

[0020] 入力光信号の光強度の時間変動が大きい場合、すなわち、入力光信号のピーク対平均光強度比（PAPR: peak-to-average power ratio）が大きい場合、増幅利得の非線形性は顕著になる。入力光信号のピーク対平均光強度比を変化させるパラメータ（信号劣化の要因）として、例えば、入力光信号の変調フォーマット、及び、光ファイバを伝送されたことによる波長分散の付加等がある。したがって、これらのパラメータに基づいて、光パラメトリック増幅器の動作範囲（入出力レンジ）が決定される必要がある。

[0021] 入力光信号が光パラメトリック増幅器を通過する場合における、信号劣化のもう一つの要因として、不要な波長変換効果によるチャネル間クロストークがある。チャネル間クロストークは、チャネル当たりの入力光強度と、チャネル間の周波数の間隔とに依存する。このため、波長分割多重信号に基づく入力光信号の光強度の合計が同じであっても、波長分割多重信号のチャネル数（ＷＤＭチャネル数）に応じて、チャネル間クロストークの影響が異なる。このように、光パラメトリック増幅器を備える光伝送システムの設計では、単に入力光強度のみに基づいて光パラメトリック増幅器の動作範囲を決定することができない。

[0022] しかしながら、より簡易な光伝送システムを設計するためには、上述のような種々のパラメータに依存せずに、一元的な指標に基づいて光伝送システムを設計できることが望ましい。このように、利得飽和による増幅利得が光強度の時間変化によって非線形となる可能性を低減することなく、光信号を増幅することができないという問題がある。

[0023] 上記事情に鑑み、本発明は、利得飽和による増幅利得が光強度の時間変化によって非線形となる可能性を低減した上で、光信号を増幅することが可能である光増幅中継装置及び光増幅中継方法を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0024] 本発明の一態様は、入力光信号の光強度を減衰させる可変減衰器と、前記

光強度が減衰された前記入力光信号と、前記入力光信号の背景光信号とを合波する合波部と、合波された前記入力光信号及び前記背景光信号に対して、光パラメトリック増幅を実行する第１光増幅器とを備える光増幅中継装置である。

[0025] 本発明の一態様は、光増幅中継装置が実行する光増幅中継方法であって、入力光信号の光強度を減衰させるステップと、前記光強度が減衰された前記入力光信号と、前記入力光信号の背景光信号とを合波するステップと、合波された前記入力光信号及び前記背景光信号に対して、光パラメトリック増幅を実行するステップとを含む光増幅中継方法である。

発明の効果

[0026] 本発明により、利得飽和による増幅利得が光強度の時間変化によって非線形となる可能性を低減した上で、光信号を増幅することが可能である。

図面の簡単な説明

[0027] [図1]第１実施形態における、光伝送システムの構成例を示す図である。

[図2]第１実施形態における、光パラメトリック増幅器の構成例を示す図である。

[図3]第１実施形態における、光増幅中継装置の動作例を示すフローチャートである。

[図4]第１実施形態における、波長分散量と信号対雑音比との関係例、及び、波長分散量とピーク電力対平均電力比との関係例を示す図である。

[図5]第１実施形態における、ＷＤＭチャネル数と信号対雑音比との関係例を示す図である。

[図6]第２実施形態における、光伝送システムの構成例を示す図である。

[図7]各実施形態における、光増幅中継装置の制御装置のハードウェア構成例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0028] 本発明の実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。

（第１実施形態）

図１は、第１実施形態における、光伝送システム１ａの構成例を示す図である。光伝送システム１ａは、光信号を伝送するシステムである。光信号は、例えば、波長分割多重信号に基づいて生成される。光伝送システム１ａは、伝送路２と、光増幅中継装置３ａとを備える。伝送路２は、例えば、光ファイバを備える。光増幅中継装置３ａは、可変減衰器３１と、分岐部３２と、自然放出光源３３と、可変光フィルタ３４と、信号合波部３５と、光パラメトリック増幅器３６とを備える。

[0029] 伝送路２は、光信号を光増幅中継装置３ａに伝送する。可変減衰器３１は、分岐部３２によって入力光信号から分岐されたモニタ光の光強度の測定結果に基づいて、分岐部３２の前段において入力光信号の光強度を減衰（可変減衰）させる。ここで、可変減衰器３１は、利得飽和及びチャネル間クロストークによる信号歪みが光パラメトリック増幅器３６において入力光信号に生じないように調整された光強度まで、入力光信号の光強度を減衰させる。可変減衰器３１は、光強度が減衰された入力光信号を、分岐部３２に出力する。

[0030] 分岐部３２（モニタ部）は、可変減衰器３１によって光強度が減衰された入力光信号から、モニタ光を分岐（抽出）する。分岐部３２は、光強度が減衰された入力光信号を、信号合波部３５に出力する。分岐部３２は、モニタ光の光強度を測定する。分岐部３２は、モニタ光の光強度に基づいて、信号合波部３５に入力される入力光信号の光強度を測定する。分岐部３２は、モニタ光のスペクトルを測定してもよい。分岐部３２は、各測定結果を制御装置（不図示）に出力する。制御装置（不図示）は、各測定結果に基づいて、可変減衰器３１による入力光信号の光強度の減衰量を制御する。

[0031] 自然放出光源３３は、自然放出（ASE: amplified spontaneous emission）光増幅器である。自然放出光増幅器は、光パラメトリック増幅器３６において使用される帯域に対応した光増幅器である。例えば、自然放出光増幅器は、希土類添加型ファイバ増幅器（例えば、エルビウム添加光ファイバ増幅器）である。自然放出光源３３は、増幅された自然放出光を、可変光フィルタ

３４に出力する。

[0032] 可変光フィルタ３４は、増幅された自然放出光を用いて、入力光信号の背景光信号を生成する。背景光信号は、入力光信号の周波数成分が存在しない帯域（背景）に、予め定められた周波数成分（疑似的な波長分割多重信号）を有する信号である。可変光フィルタ３４は、疑似的な波長分割多重信号としての背景光信号を、信号合波部３５に出力する。

[0033] 信号合波部３５（合波部）は、光強度が減衰された入力光信号と、背景光信号とを合波する。信号合波部３５は、光強度が減衰された入力光信号と背景光信号との合波結果を、光パラメトリック増幅器３６に出力する。これによって、光パラメトリック増幅器３６への入力光信号の帯域におけるチャネル間の周波数の間隔が一定となる。可変減衰器３１によって光強度が減衰されることによって、光強度が一定に保たれるので、入力光信号の変調フォーマット（種類）及び状態に依らずに信号歪みを抑制することが可能である。

[0034] 信号歪み量は、光パラメトリック増幅における利得の非線形性と、チャネルごとの時間波形との相関が低くなるので、入力光信号の変調フォーマット及び波長分散等のパラメータに依存しなくなる。そのため、入力光信号の変調フォーマット及び波長分散等のパラメータに依存せずに、光パラメトリック増幅器３６における入力光信号の光強度（入力光強度）の許容値を規定することが可能である。

[0035] 光パラメトリック増幅器３６（光増幅器）は、光強度が調整された光信号と、背景光信号との合波結果に対して、光パラメトリック増幅を実行する。可変光フィルタ３７は、光パラメトリック増幅又は波長変換された光信号に対して、利得等化処理を実行する。また、可変光フィルタ３７は、利得等化処理が実行された光信号から、背景光信号を分波する。可変光フィルタ３７は、利得等化処理が実行された光信号を、受信装置（不図示）に出力する。これによって、光信号が受信装置（不図示）に中継される。

[0036] 図２は、第１実施形態における、光パラメトリック増幅器３６の構成例を示す図である。光パラメトリック増幅器３６は、帯域分波部３６１と、複数

の偏波分波部３６２と、複数の励起光合波部３６３と、複数の非線形光学媒体３６４と、複数の励起光分波部３６５と、複数の偏波合波部３６６と、帯域合波部３６７とを備える。

[0037] 励起光合波部３６３は、例えば、波長多重フィルタ等の光学デバイスを備える。励起光合波部３６３は、例えば、ダイクロイックミラー等の光学デバイスを備えてもよい。非線形光学媒体３６４（光増幅器）は、周期分極反転ニオブ酸リチウム（PPLN）導波路を、増幅媒体として備える。励起光分波部３６５は、例えば、波長多重フィルタ等の光学デバイスを備える。励起光分波部３６５は、例えば、ダイクロイックミラー等の光学デバイスを備えてもよい。

[0038] 帯域分波部３６１は、光パラメトリック増幅器３６に入力された光信号の帯域を、増幅帯域の中心周波数を境として対称的な帯域（第１帯域及び第２帯域）に分割する。非線形光学媒体３６４におけるパラメトリック増幅に伴って、非線形光学媒体３６４から出力された光信号と、アイドラ光とが発生するからである。帯域分波部３６１は、第１帯域の光信号を、偏波分波部３６２－１に出力する。帯域分波部３６１は、第２帯域の光信号を、偏波分波部３６２－２に出力する。

[0039] 偏波分波部３６２－１は、第１帯域の光信号を、互いに直交する偏波成分（第１偏波成分及び第２偏波成分）に分離する。非線形光学媒体３６４－１における光パラメトリック増幅の過程には、偏波依存性があるからである。偏波分波部３６２－１は、第１偏波成分を励起光合波部３６３－１－１に出力する。偏波分波部３６２－２は、第２偏波成分を励起光合波部３６３－１－２に出力する。

[0040] 励起光合波部３６３－１－１は、励起光源（不図示）からの第１励起光と、第１偏波成分とを合波する。励起光合波部３６３－１－２は、励起光源（不図示）からの第２励起光と、第２偏波成分とを合波する。

[0041] 非線形光学媒体３６４－１－１は、第１偏波成分と第１励起光との合波結果に対して、パラメトリック増幅を実行する。非線形光学媒体３６４－１－

２は、第２偏波成分と第２励起光との合波結果に対して、パラメトリック増幅を実行する。非線形光学媒体３６４は、増幅後の光信号と、パラメトリック増幅に伴って生じたアイドラ光とを、後段の励起光分波部３６５に出力する。

[0042] 励起光分波部３６５－１－１は、第１偏波成分と第１励起光との合波結果に対するパラメトリック増幅の実行結果から、第１励起光を分離する。励起光分波部３６５－１－１は、第１偏波成分を偏波合波部３６６－１に出力する。励起光分波部３６５－１－２は、第２偏波成分と第２励起光との合波結果に対するパラメトリック増幅の実行結果から、第２励起光を分離する。励起光分波部３６５－１－２は、第２偏波成分を偏波合波部３６６－１に出力する。

[0043] 偏波合波部３６６－１には、第１偏波成分が励起光分波部３６５－１－１から入力される。偏波合波部３６６－１には、第２偏波成分が励起光分波部３６５－１－２から入力される。偏波合波部３６６－１は、第１偏波成分と第２偏波成分とを合波する。

[0044] 偏波分波部３６２－２は、偏波分波部３６２－１と同様に動作する。この動作の結果、偏波分波部３６２－２は、第３偏波成分を励起光合波部３６３－２－１に出力する。また、偏波分波部３６２－２は、第４偏波成分を励起光合波部３６３－２－２に出力する。

[0045] 励起光合波部３６３－２－１は、励起光合波部３６３－１－１と同様に動作する。励起光合波部３６３－２－２は、励起光合波部３６３－１－２と同様に動作する。非線形光学媒体３６４－２－１は、非線形光学媒体３６４－１－１と同様に動作する。非線形光学媒体３６４－２－２は、非線形光学媒体３６４－１－２と同様に動作する。励起光分波部３６５－２－１は、励起光分波部３６５－１－１と同様に動作する。励起光分波部３６５－２－２は、励起光分波部３６５－１－２と同様に動作する。

[0046] 偏波合波部３６６－２は、偏波合波部３６６－１と同様に動作する。この動作の結果、偏波合波部３６６－２は、第３偏波成分と第４偏波成分との合

波結果を、帯域合波部３６７に出力する。

[0047] 帯域合波部３６７には、第１偏波成分と第２偏波成分との合波結果が、偏波合波部３６６－１から入力される。帯域合波部３６７には、第３偏波成分と第４偏波成分との合波結果が、偏波合波部３６６－２から入力される。帯域合波部３６７は、第１偏波成分と第２偏波成分との合波結果と、第３偏波成分と第４偏波成分との合波結果とを、更に合波する。

[0048] ここで、帯域合波部３６７は、偏波成分の合波結果における光信号の帯域とアイドラ光の帯域とのうち、伝送されない帯域を、帯域合波部３６７のフィルタで除去する。例えば、帯域合波部３６７は、偏波成分の合波結果における光信号及びアイドラ光のうちから光信号を抽出し、伝送されないアイドラ光を帯域合波部３６７のフィルタで除去する。帯域合波部３６７は、偏波成分の合波結果における光信号及びアイドラ光のうちからアイドラ光を抽出し、伝送されない光信号を帯域合波部３６７のフィルタで除去してもよい。アイドラ光が抽出されることよって、光パラメトリック増幅器３６は、位相共役変換器又は波長変換器として機能することが可能である。

[0049] 次に、光増幅中継装置３ａの動作例を説明する。

図３は、第１実施形態における、光増幅中継装置３ａの動作例を示すフローチャートである。可変減衰器３１は、利得飽和及びチャネル間クロストークによる信号歪みが光パラメトリック増幅器３６において入力光信号に生じないように、分岐部３２によって入力光信号から分岐されたモニタ光の光強度の測定結果に基づいて、入力光信号の光強度を減衰させる（ステップＳ１０１）。

[0050] 分岐部３２は、可変減衰器３１によって光強度が減衰された入力光信号から、モニタ光を分岐（抽出）する（ステップＳ１０２）。信号合波部３５は、光強度が減衰された入力光信号と、背景光信号とを合波する（ステップＳ１０３）。光パラメトリック増幅器３６は、光強度が調整された光信号と、背景光信号との合波結果に対して、光パラメトリック増幅を実行する（ステップＳ１０４）。

[0051] 以上のように、可変減衰器３１は、入力光信号の光強度を減衰させる。信号合波部３５（合波部）は、光強度が減衰された入力光信号と、入力光信号の背景光信号とを合波する。光パラメトリック増幅器３６－１（第１光増幅器）は、合波された入力光信号及び背景光信号に対して、光パラメトリック増幅を実行する。

[0052] このように、光増幅中継装置３ａは、入力光信号の光強度を予め減衰させる。これによって、利得飽和及びチャネル間クロストークによる信号歪みが光パラメトリック増幅の過程において入力光信号に生じないようにすることができる。光増幅中継装置３ａは、光強度が減衰された入力光信号（波長分割多重信号）と、背景光信号（疑似的な波長分割多重信号）とを合波する。これによって、光パラメトリック増幅器３６への入力光信号の帯域におけるチャネル間の周波数の間隔が一定となる。波長分割多重信号のチャネル数が多くなるほど、チャネル当たりの時間波形が波長分割多重信号の全体の時間波形に寄与する割合は、相対的に小さくなる。そのため、利得飽和による増幅利得の非線形性がチャネルごとの光強度の時間変化に依存しなくなるので、光信号の時間波形に対してランダムに利得が変化するようになる。また、光信号の増幅（波長変換）による信号歪みが生じにくくなる。光パラメトリック増幅を用いた光増幅中継方法（波長変換方法）において、光増幅中継装置３ａは、入力光信号と背景光信号との合波結果を、光パラメトリック増幅過程によって一括増幅する。

[0053] これによって、利得飽和による増幅利得が光強度の時間変化によって非線形となる可能性を低減した上で、光信号を増幅（波長変換）することが可能である。また、変調方式、波長分散量又はＷＤＭチャネル数に依存せずに、光伝送システムにおいて用いられるパラメータをチャネル当たりの光強度に基づいて設計することが可能である。

[0054] 図４は、第１実施形態における、波長分散量と信号対雑音比との関係例、及び、波長分散量とピーク電力対平均電力比との関係例を示す図である。図４では、光パラメトリック増幅器３６は、１チャネルの波長分割多重信号に

基づく入力光信号を増幅した。入力光信号の変調フォーマットは、一例として、６４Ｇｂａｕｄの６４ＱＡＭ（直交位相振幅変調）である。入力光信号の増幅利得は、一例として、約１０ｄＢである。入力光信号の光強度は、一例として、１２ｄＢｍである。波長分散は、入力光信号のピーク対平均光強度比を変化させる要因の一つである。このため、入力光信号に波長分散が付加された。

[0055] 波長分散量が多いほど、入力光信号のピーク対平均光強度比は大きくなる。波長分散量が一定量以上となった場合、ピーク対平均光強度比は飽和する。

[0056] 信号対雑音比（SNR: signal-to-noise ratio）は、入力光信号の品質を表す。波長分散量が多いほど、入力光信号において非線形な歪みが増加するので、入力光信号の信号対雑音比は小さくなる。波長分散量が一定量以上となった場合、信号対雑音比は飽和する。

[0057] このように、波長分散の付加によるピーク対平均光強度比の変化と、波長分散の付加による信号対雑音比の変化との間には、相関がある。すなわち、ピーク対平均光強度比が大きくなるほど、利得飽和による非線形な信号歪みが大きくなり、入力光信号の品質が劣化する。

[0058] 図５は、第１実施形態における、ＷＤＭチャネル数と信号対雑音比との関係例を示す図である。波長分割多重信号のチャネル（ＷＤＭチャネル）の間隔は、７５ＧＨｚである。ＷＤＭチャネル数が多いほど、信号対雑音比の低下は抑制される。すなわち、波長分割多重信号のチャネル数が多くなるほど、チャネル当たりの時間波形が波長分割多重信号の全体の時間波形に寄与する割合が相対的に小さくなるので、信号対雑音比の低下は抑制される。

[0059] したがって、入力光信号が光パラメトリック増幅される前に、背景光信号（疑似的な波長分割多重信号）と入力光信号とが帯域ごとに合波されることによって、帯域ごとに光強度が一定となった入力光信号が、光パラメトリック増幅器３６に入力される。これによって、チャネル当たりのピーク対平均光強度比に対する信号歪みの依存度を小さくすることが可能である。

[0060] ここで、入力光信号の歪み量は、光パラメトリック増幅器３６への入力光信号の光強度の平均値のみに依存する。これによって、入力光信号の変調フォーマット及び波長分散等のパラメータに依存せずに、入力光強度の許容値を規定することが可能である。また、一定のチャネル数に相当する光信号が光パラメトリック増幅器３６に入力されるので、チャネル間クロストークの発生量も一定となり、光パラメトリック増幅器３６への入力光信号の光強度をチャネル当たりの入力光信号の光強度に基づいて設計することが可能である。

[0061] （第２実施形態）

第２実施形態では、第１光パラメトリック増幅器が信号合波部の後段に備えられるだけでなく、第２光パラメトリック増幅器が信号合波部の前段に備えられる点が、第１実施形態との主な差分である。第２実施形態では、第１実施形態との差分を中心に説明する。

[0062] 図６は、第２実施形態における、光伝送システム１ｂの構成例を示す図である。光伝送システム１ｂは、光信号を伝送するシステムである。光伝送システム１ｂは、伝送路２と、光増幅中継装置３ｂとを備える。光増幅中継装置３ｂは、分岐部３２と、自然放出光源３３と、可変光フィルタ３４と、信号合波部３５と、光パラメトリック増幅器３６－１と、光パラメトリック増幅器３６－２とを備える。光増幅中継装置３ｂは、可変減衰器３１を備えてもよい。

[0063] 信号合波部３５において光信号に光損失が生じるので、増幅器としての信号合波部３５の雑音指数が劣化することが考えられる。そこで、光増幅中継装置３ｂは、信号合波部３５の後段に光パラメトリック増幅器３６－１を備えるだけでなく、信号合波部３５の前段に光パラメトリック増幅器３６－２を備える。

[0064] 光パラメトリック増幅器３６－２は、光パラメトリック増幅器３６－２に分岐部３２から入力された第１光信号の光強度を増幅する。光パラメトリック増幅器３６－２は、光強度が増幅された第１光信号を、信号合波部３５に

出力する。ここで、増幅利得は、利得飽和が生じないように低い利得で十分である。増幅利得は、例えば、信号合波部３５において第１光信号に生じる光損失以上でもよい。

[0065] 以上のように、光パラメトリック増幅器３６－２（第２光増幅器）は、光強度が減衰された入力光信号に対して、予め定められた低利得で光パラメトリック増幅を実行する。光パラメトリック増幅器３６－２は、低利得で光パラメトリック増幅が実行された入力光信号を、信号合波部３５に入力する。

[0066] これによって、利得飽和による増幅利得が光強度の時間変化によって非線形となる可能性を更に低減した上で、光信号を増幅（波長変換）することが可能である。また、信号合波部３５において第１光信号に生じる光損失によって光信号対雑音比（Optical Signal to Noise Ratio）が劣化することを抑制することが可能である。

[0067] （ハードウェア構成）

図７は、各実施形態における、光増幅中継装置の制御装置１００のハードウェア構成例を示す図である。制御装置１００のハードウェア構成例は、各実施形態における、光増幅中継装置の制御装置のハードウェア構成例に相当する。制御装置１００は、例えば、光増幅中継装置のパラメータ設計を実行する。制御装置１００は、例えば、光増幅中継装置の温度を調整する。

[0068] 制御装置１００は、ＣＰＵ（Central Processing Unit）等のプロセッサ１０１が、不揮発性の記録媒体（非一時的な記録媒体）を有する記憶装置１０３とメモリ１０２とに記憶されたプログラムを実行することにより、ソフトウェアとして実現される。プログラムは、コンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録されてもよい。コンピュータ読み取り可能な記録媒体とは、例えばフレキシブルディスク、光磁気ディスク、ＲＯＭ（Read Only Memory）、ＣＤ－ＲＯＭ（Compact Disc Read Only Memory）等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク又はソリッド・ステート・ドライブ（SSD : Solid State Drive）等の記憶装置などの非一時的な記録媒体である。通信部１０４は、所定の通信処理を実行する。

[0069] 制御装置１００は、例えば、ＬＳＩ（Large Scale Integrated circuit）、ＡＳＩＣ（Application Specific Integrated Circuit）、ＰＬＤ（Programmable Logic Device）又はＦＰＧＡ（Field Programmable Gate Array）等を用いた電子回路（electronic circuit又はcircuitry）を含むハードウェア（アクセラレータ）を用いて実現されてもよい。

[0070] 以上、この発明の実施形態について図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計等も含まれる。

産業上の利用可能性

[0071] 本発明は、光伝送システムに適用可能である。

符号の説明

[0072] １ａ，１ｂ…光伝送システム、２…伝送路、３ａ，３ｂ…光増幅中継装置、３１…可変減衰器、３２…分岐部、３３…自然放出光源、３４…可変光フィルタ、３５…信号合波部、３６…光パラメトリック増幅器、１０１…プロセッサ、１０２…メモリ、１０３…記憶装置、１０４…通信部、３６１…帯域分波部、３６２…偏波分波部、３６３…励起光合波部、３６４…非線形光学媒体、３６５…励起光分波部、３６６…偏波合波部、３６７…帯域合波部

請求の範囲

[請求項1] 入力光信号の光強度を減衰させる可変減衰器と、

前記光強度が減衰された前記入力光信号と、前記入力光信号の背景光信号とを合波する合波部と、

合波された前記入力光信号及び前記背景光信号に対して、光パラメトリック増幅を実行する第１光増幅器と

を備える光増幅中継装置。

[請求項2] 前記背景光信号は、前記入力光信号の周波数成分が存在しない帯域に予め定められた周波数成分を有する信号である、請求項１に記載の光増幅中継装置。

[請求項3] 前記光強度が減衰された前記入力光信号に対して、予め定められた低利得で光パラメトリック増幅を実行し、前記低利得で光パラメトリック増幅が実行された前記入力光信号を前記合波部に入力する第２光増幅器を備える、請求項１又は請求項２に記載の光増幅中継装置。

[請求項4] 光増幅中継装置が実行する光増幅中継方法であって、

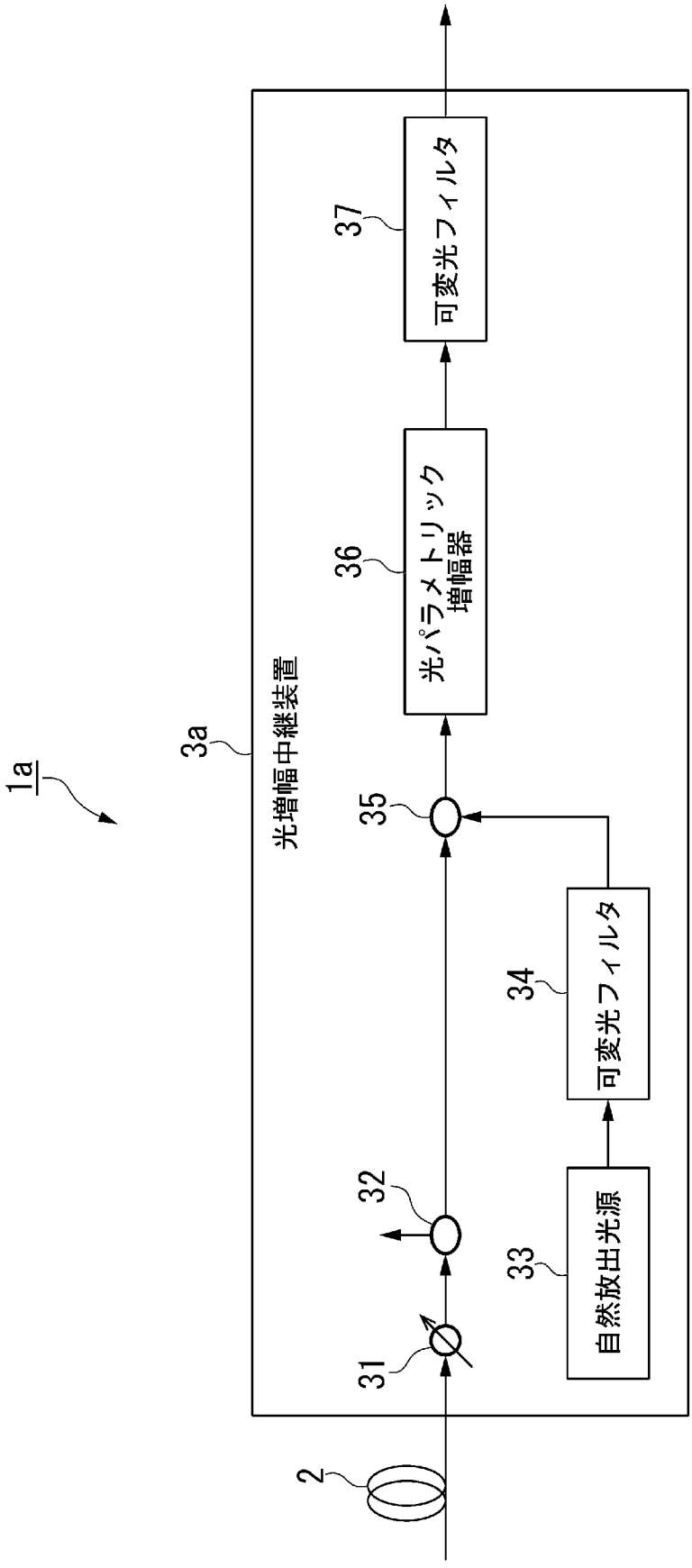
入力光信号の光強度を減衰させるステップと、

前記光強度が減衰された前記入力光信号と、前記入力光信号の背景光信号とを合波するステップと、

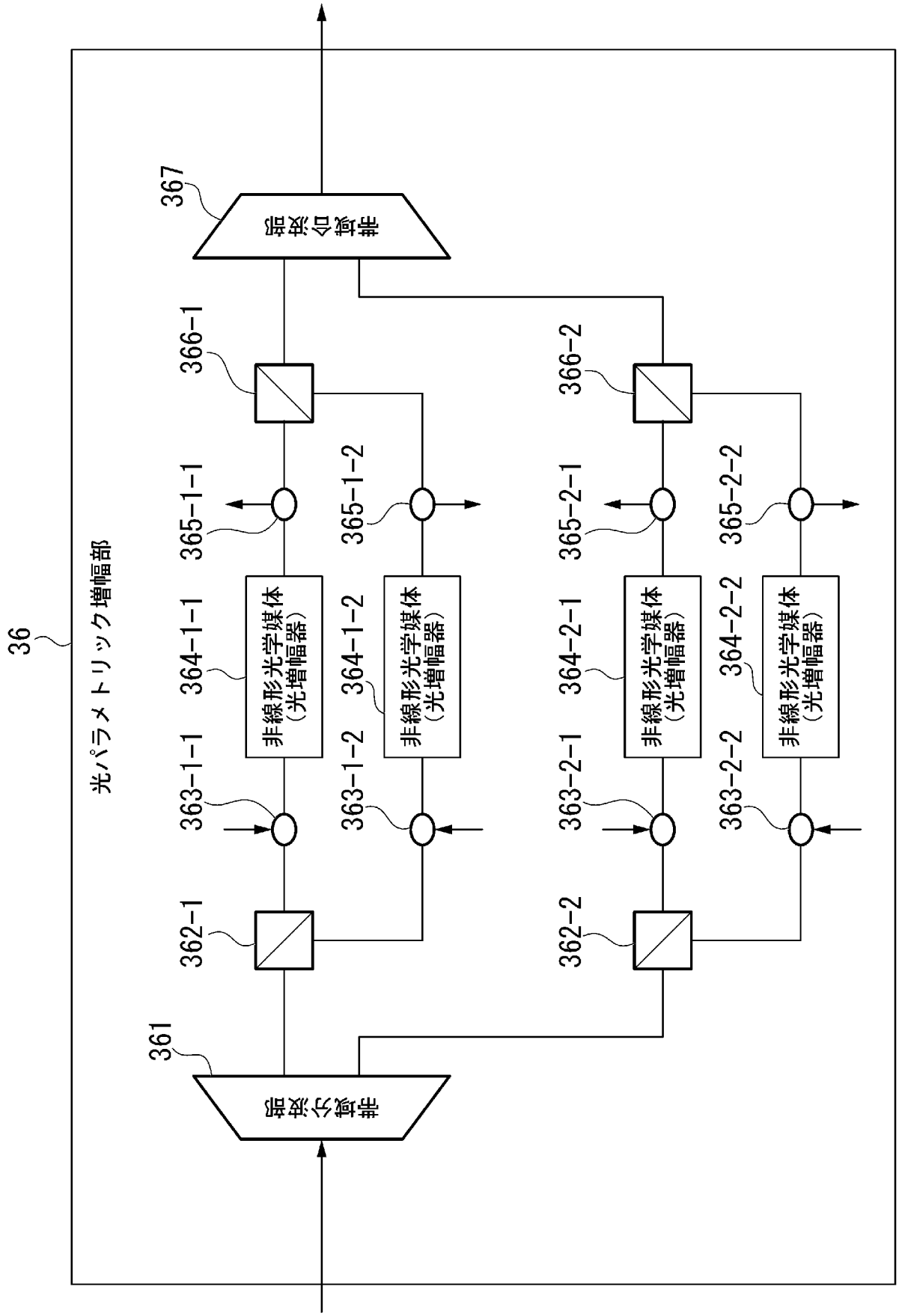
合波された前記入力光信号及び前記背景光信号に対して、光パラメトリック増幅を実行するステップと

を含む光増幅中継方法。

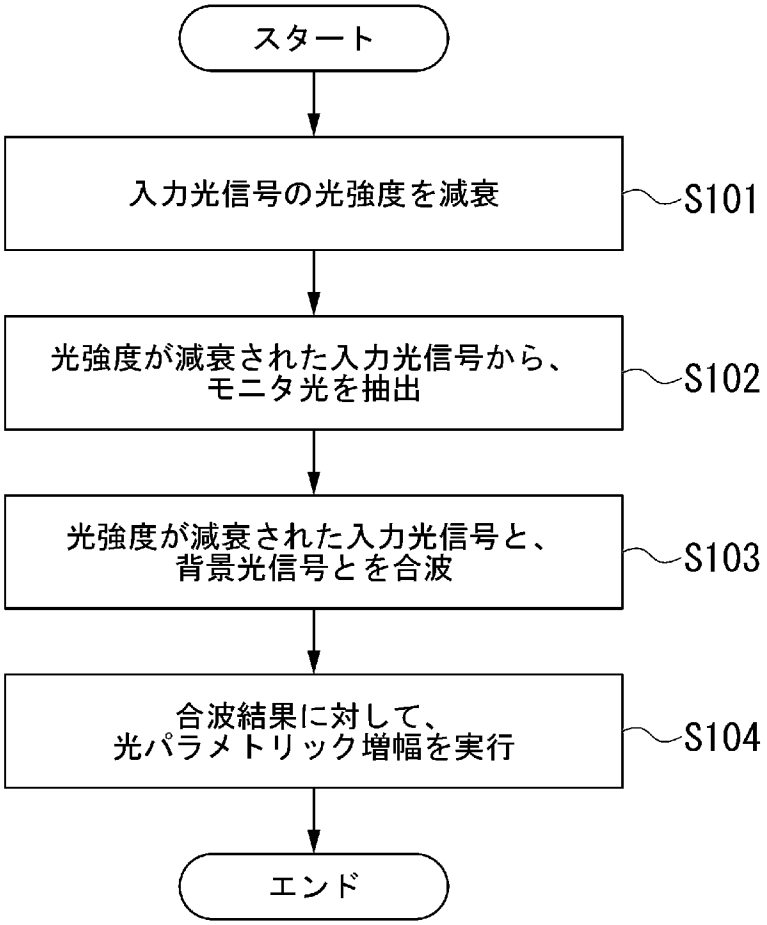
[図1]


1a
3a
光増幅中継装置
2
31
32
33
自然放出光源
34
可変光フィルタ
35
36
光パラメトリック
増幅器
37
可変光フィルタ

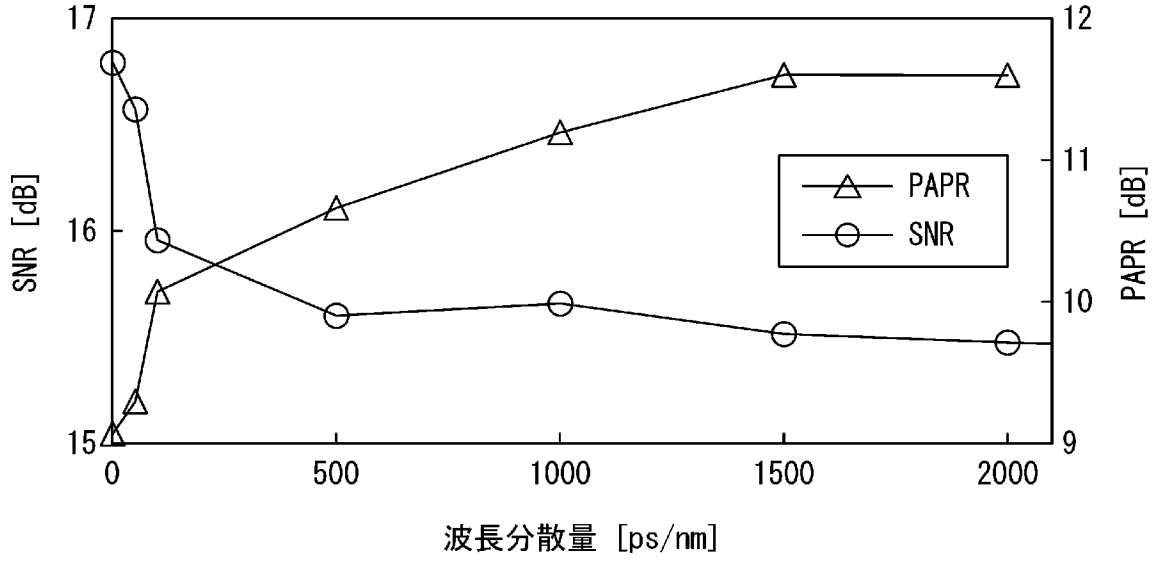
[図2]


36
光パラメトリック増幅部
361
非線形分波部
362-1
362-2
363-1-1
363-1-2
363-2-1
363-2-2
364-1-1
非線形光学媒体
（光増幅器）
364-1-2
非線形光学媒体
（光増幅器）
364-2-1
非線形光学媒体
（光増幅器）
364-2-2
非線形光学媒体
（光増幅器）
365-1-1
365-1-2
365-2-1
365-2-2
366-1
366-2
367
非線形合波部

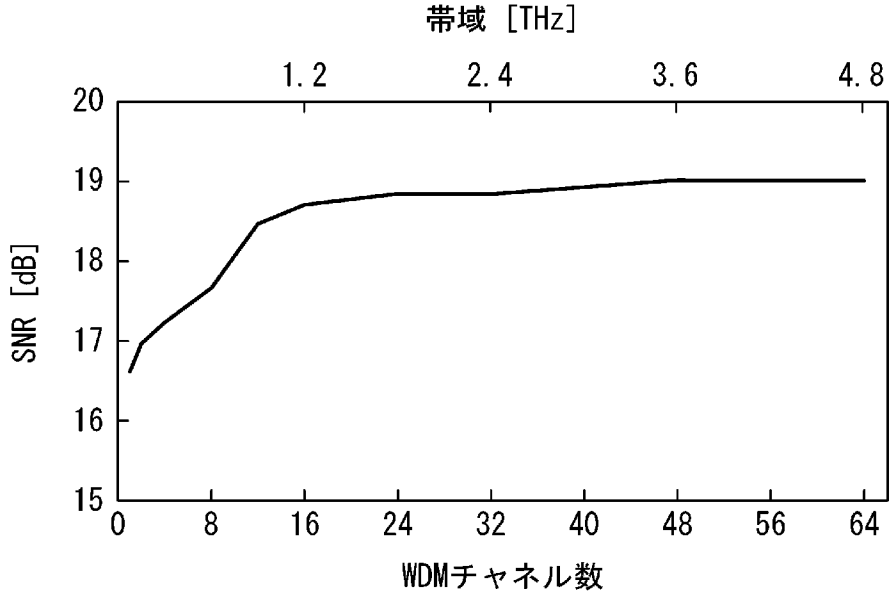
[図3]


スタート
入力光信号の光強度を減衰
S101
光強度が減衰された入力光信号から、
モニタ光を抽出
S102
光強度が減衰された入力光信号と、
背景光信号とを合波
S103
合波結果に対して、
光パラメトリック増幅を実行
S104
エンド

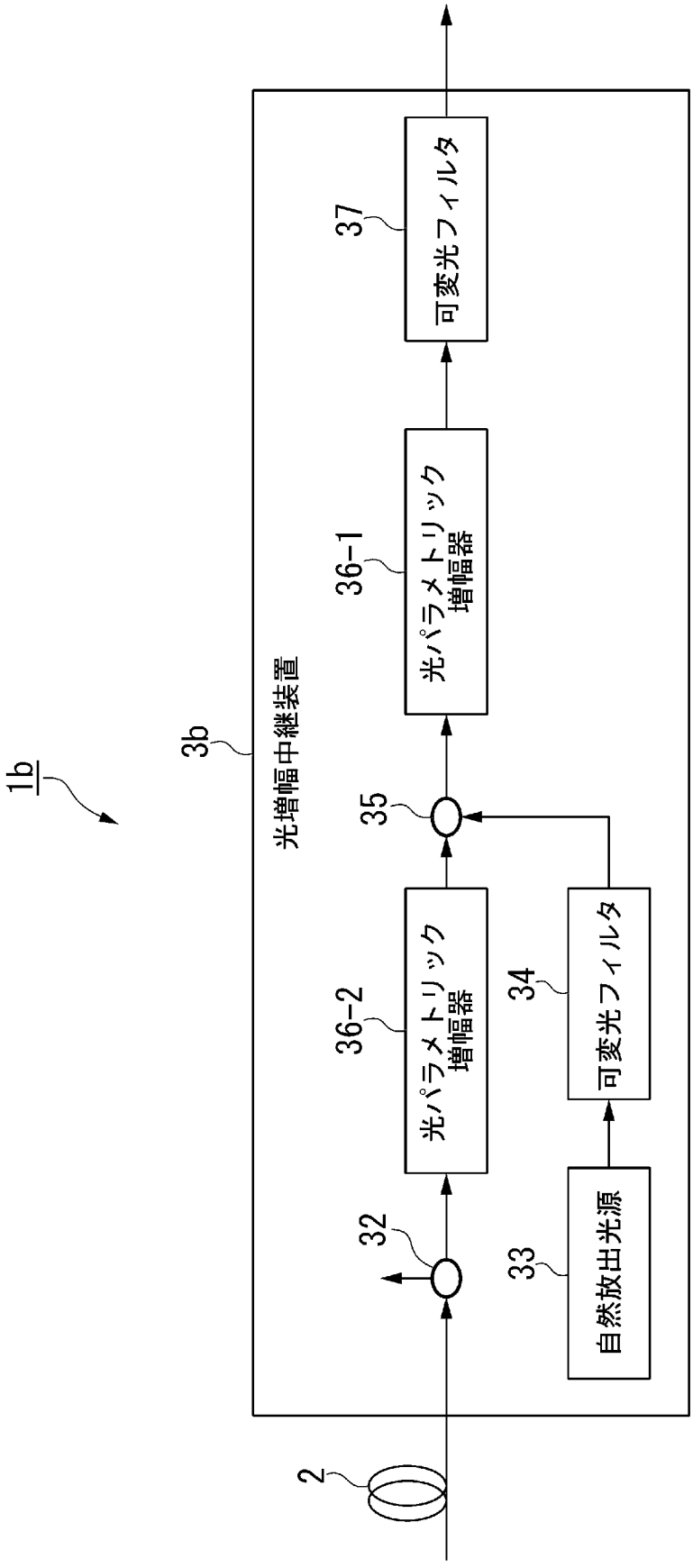
[図4]


17
16
15
SNR [dB]
12
11
10
9
PAPR [dB]
0
500
1000
1500
2000
波長分散量 [ps/nm]
PAPR
SNR

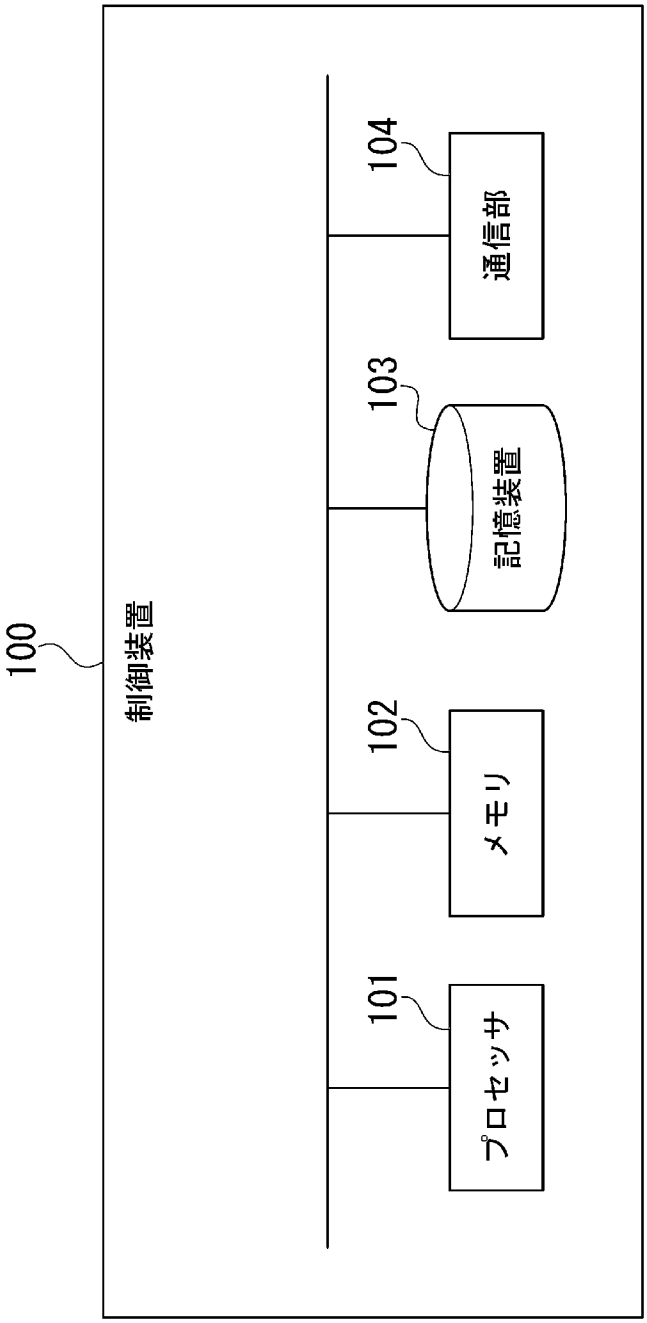
[図5]


帯域 [THz]
1.2
2.4
3.6
4.8
20
19
18
17
16
15
SNR [dB]
0
8
16
24
32
40
48
56
64
WDMチャネル数

[図6]


1b
3b
光増幅中継装置
2
32
33
35
36-1
光パラメトリック増幅器
36-2
光パラメトリック増幅器
34
可変光フィルタ
37
可変光フィルタ
自然放出光源

[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/015621

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B 10/293(2013.01)i; ***G02F 1/39***(2006.01)i
FI: H04B10/293; G02F1/39

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)

H04B10/293; G02F1/39

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.
X	JP 2001-305595 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 31 October 2001 (2001-10-31) paragraphs [0011]-[0019], fig. 1-3	1, 2, 4
A		3
X	WO 2011/033645 A1 (FUJITSU LIMITED) 24 March 2011 (2011-03-24) paragraphs [0027]-[0053], fig. 1-4	1, 2, 4
A		3
X	JP 2018-19350 A (OKI ELECTRIC INDUSTRY CO., LTD.) 01 February 2018 (2018-02-01) paragraphs [0032]-[0084], fig. 1-3	1, 2, 4
A		3
A	JP 2019-179182 A (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) 17 October 2019 (2019-10-17)	1-4
A	WO 2015/030251 A1 (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) 05 March 2015 (2015-03-05)	1-4

☐ 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	Date of mailing of the international search report
30 May 2023	**06 June 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
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/015621

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2001-305595 A	31 October 2001	(Family: none)	
WO 2011/033645 A1	24 March 2011	(Family: none)	
JP 2018-19350 A	01 February 2018	(Family: none)	
JP 2019-179182 A	17 October 2019	(Family: none)	
WO 2015/030251 A1	05 March 2015	US 2016/0172818 A1	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/015621

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H04B 10/293(2013.01)i; G02F 1/39(2006.01)i
FI: H04B10/293; G02F1/39

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））

H04B10/293; G02F1/39

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
X	JP 2001-305595 A (日本電信電話株式会社) 31.10.2001 (2001-10-31) 段落[0011]-[0019], 図1-3	1,2,4
A		3
X	WO 2011/033645 A1 (富士通株式会社) 24.03.2011 (2011-03-24) 段落[0027]-[0053], 図1-4	1,2,4
A		3
X	JP 2018-19350 A (沖電気工業株式会社) 01.02.2018 (2018-02-01) 段落[0032]-[0084], 図1-3	1,2,4
A		3
A	JP 2019-179182 A (古河電気工業株式会社) 17.10.2019 (2019-10-17)	1-4
A	WO 2015/030251 A1 (古河電気工業株式会社) 05.03.2015 (2015-03-05)	1-4

☐ 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	国際調査報告の発送日
30.05.2023	06.06.2023

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/JP2023/015621

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2001-305595 A	31.10.2001	（ファミリーなし）	
WO 2011/033645 A1	24.03.2011	（ファミリーなし）	
JP 2018-19350 A	01.02.2018	（ファミリーなし）	
JP 2019-179182 A	17.10.2019	（ファミリーなし）	
WO 2015/030251 A1	05.03.2015	US 2016/0172818 A1	