

(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  
2023年9月7日(07.09.2023)



(10) 国際公開番号  
**WO 2023/166590 A1**

- (51) 国際特許分類:  
**H04B 10/291** (2013.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/008781
- (22) 国際出願日: 2022年3月2日(02.03.2022)
- (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: 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). 中村 政則 (NAKAMURA Masanori); 〒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). 清水 新平 (SHIMIZU Shimpei); 〒1808585

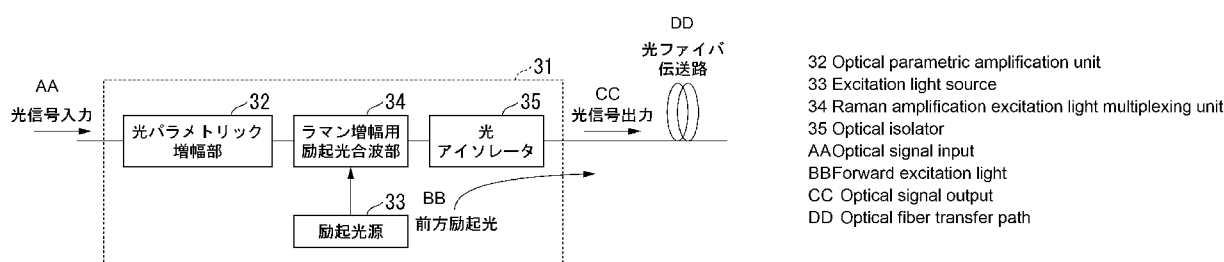
東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 梅木 毅伺 (UMEKI Takeshi); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人 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, 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, IT, JM, JO, JP, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: OPTICAL AMPLIFIER AND OPTICAL AMPLIFICATION METHOD

(54) 発明の名称: 光増幅器及び光増幅方法



(57) Abstract: This optical amplifier for performing optical amplification/relay of an optical signal transferred along an optical fiber transfer path comprises: an optical parametric amplification unit that performs an optical parametric amplification of an input optical signal; and a Raman amplification unit that controls the gain of the optical parametric amplification unit in such a manner that power-shifts the optimum input optical power in the optical fiber transfer path to a region in which the output of the optical parametric amplification unit is of a linear amplification.

(57) 要約: 光ファイバ伝送路で伝送される光信号を光増幅中継する光増幅器であって、入力された光信号に光パラメトリック増幅を行う光パラメトリック増幅部と、光ファイバ伝送路における最適入力光パワーを、光パラメトリック増幅部の出力が線形増幅となる領域にパワーシフトさせるよう利得を制御するラマン増幅部と、を備える光増幅器。



WO 2023/166590 A1

(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, 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, 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))

## 明 細 書

発明の名称：光増幅器及び光増幅方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、光増幅器及び光増幅方法に関する。

### 背景技術

[0002] 現在の一般的な波長多重光増幅中継伝送システムは、単一の波長帯の4～5 THzのC帯もしくはL帯を用いて構成されており、送受信機の高度化により、システムあたりの伝送容量の拡大をはかってきた（例えば、非特許文献1参照）。しかしながら、デジタルコヒーレント技術が成熟し送受信機の高度化による大容量化が難しい領域に差し掛かっており、波長多重可能な光帯域を増やすこと（広帯域化）が重要になっている。

[0003] 従来の光増幅中継伝送システムの広帯域化は、利用したい光帯域に対応した希土類添加光ファイバ型増幅器（EDFA（Erbium Doped Fiber Amplifier）、BDF A（Bithmus Doped Fiber Amplifier）など）や半導体光増幅器（SOA：Semiconductor Optical Amplifier）を複数使い、場合によっては、伝送路自体を増幅媒体として用いる励起光波長で増幅帯域の制御が可能な後方励起分布ラマン増幅との組み合わせで実現されている。従来方式では、使用する増幅器ごとに利得や雑音指数の波長依存性が異なるため、光増幅中継器の構成や伝送システム設計が複雑になる課題があった。

[0004] 希土類添加光ファイバ型増幅器や半導体光増幅器は、入力光信号パワーの急激な変動に対して光サージが生じて信号品質の低下や光部品へのダメージが懸念されるため、波長数の増減が想定される波長資源を豊富に活用する将来的な光ネットワークへの適用に課題があった。そのような背景から、偏波多重信号の増幅が可能で、広帯域性や高速応答性に優れる光パラメトリック増幅の光増幅中継器への適用が検討されている（例えば、非特許文献2参照）。

### 先行技術文献

## 非特許文献

[0005] 非特許文献1：川崎 他，“Beyond 100G オプティカルクロスコネクト（B100G-0XC）システムの実用化”，NTT技術ジャーナル，<https://journal.ntt.co.jp/article/14780>

非特許文献2：Takayuki Kobayashi et al.，“Wide-Band Inline-Amplified WDM Transmission Using PPLN-Based Optical Parametric Amplifier”，J. Lightwave Technol. 39, 787-794 (2021)

非特許文献3：T. Kobayashi et al.，“13.4-Tb/s WDM Transmission over 1,280 km Repeated only with PPLN-based Optical Parametric Inline Amplifier”，2021 European Conference on Optical Communication (ECOC), 2021, Tu4C1.3, doi: 10.1109/ECOC52684.2021.9605912.

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0006] 従来のEDFAでは、利得が飽和する動作領域において光信号に歪みは生じないが、光パラメトリック増幅器（OPA：Optical Parametric Amplifier）では、利得飽和が発生する領域においては、その高速応答性から光信号の振幅成分の大きさに応じて利得が変動し、信号に歪みが生じる。そのため、光パラメトリック増幅器は高利得化と高出力化の両立が難しい。従来の光パラメトリック増幅器のみを適用した光増幅中継伝送では、伝送路ファイバへの入力パワーを高くして信号対雑音比を向上させようとする、光パラメトリック増幅器における利得飽和のために信号が歪み、信号品質が低下する。そのため、光パラメトリック増幅器がカバーする広帯域な増幅帯域において、増幅後の信号品質が制限されてしまうという問題があった。

[0007] 上記事情に鑑み、本発明は、光パラメトリック増幅を用いた光増幅中継において、広帯域かつ高品質な光増幅中継を行うことができる技術の提供を目的としている。

### 課題を解決するための手段

[0008] 本発明の一態様は、光ファイバ伝送路で伝送される光信号を光増幅中継する光増幅器であって、入力された光信号に光パラメトリック増幅を行う光パラメトリック増幅部と、前記光ファイバ伝送路における最適入力光パワーを、前記光パラメトリック増幅部の出力が線形増幅となる領域にパワーシフトさせるよう利得を制御するラマン増幅部と、を備える光増幅器である。

[0009] 本発明の一態様は、光ファイバ伝送路で伝送される光信号を光増幅中継する光増幅器における光増幅方法であって、光パラメトリック増幅部が、入力された光信号に光パラメトリック増幅を行い、前記光ファイバ伝送路における最適入力光パワーを、前記光パラメトリック増幅部の出力が線形増幅となる領域にパワーシフトさせるよう利得を制御する、光増幅方法である。

### 発明の効果

[0010] 本発明により、光パラメトリック増幅を用いた光増幅中継において、広帯域かつ高品質な光増幅中継を行うことが可能となる。

### 図面の簡単な説明

[0011] [図1]本発明における光伝送システムの構成例を示す図である。

[図2]本発明における光増幅器の基本構成例を説明するための図である。

[図3]光パラメトリック増幅と前方励起のラマン増幅とを組み合わせた場合の効果の説明するための図である。

[図4]光パラメトリック増幅と前方励起のラマン増幅とを組み合わせた場合の効果の説明するための図である。

[図5]第1の実施形態における光増幅器の構成例を示す図である。

[図6]第1の実施形態における光増幅器が行う処理の流れを示すフローチャートである。

[図7]第2の実施形態における光増幅器の構成例を示す図である。

[図8]第2の実施形態における光増幅器が行う処理の流れを示すフローチャートである。

[図9]第1の実施形態及び第2の実施形態における効果の説明するための図である。

[図10]第3の実施形態における光増幅器の構成例を示す図である。

### 発明を実施するための形態

[0012] 以下、本発明の一実施形態を、図面を参照しながら説明する。

[0013] 図1は、本発明における光伝送システム100の構成例を示す図である。光伝送システム100は、複数の光送信機10-1~10-N（Nは2以上の整数）と、光合分波器20と、光増幅中継伝送路30と、光合分波器40と、複数の光受信機50-1~50-Nとを備える。光増幅中継伝送路30は、1以上の光増幅器31と光ファイバ伝送路とを用いて構成される。

[0014] 光送信機10-1~10-Nは、異なる波長の光信号を送信する。例えば、光送信機10-1は波長1の光信号を送信し、光送信機10-Nは波長Nの光信号を送信する。

[0015] 光合分波器20は、光送信機10-1~10-Nから送信された異なる波長の光信号を波長分割多重により合波してWDM信号を生成する。光合分波器20は、生成したWDM信号を光増幅中継伝送路30に出力する。

[0016] 光増幅器31は、光合分波器20から出力されたWDM信号を増幅して伝送する。より具体的には、光増幅器31は、WDM信号に対して、光パラメトリック増幅及びラマン増幅を行う。

[0017] 光合分波器40は、光増幅器31により増幅されたWDM信号を分波する。例えば、光合分波器40は、WDM信号を波長1~波長Nの光信号に分波して光受信機50-1~50-Nに出力する。

[0018] 光受信機50-1~50-Nは、光合分波器40により分波された光信号を受信する。例えば、光受信機50-1は波長1の光信号を受信し、光受信機50-Nは波長Nの光信号を受信する。

[0019] 図2は、本発明における光増幅器31の基本構成例を説明するための図である。光増幅器31は、光パラメトリック増幅部32と、励起光源33と、ラマン増幅用励起光合波部34と、光アイソレータ35とを備える。

[0020] 光パラメトリック増幅部32は、例えば高非線形ファイバ及び周期分極反転ニオブ酸リチウム(PPLN: Periodically Poled Lithium Niobate)導波

路で構成される。光パラメトリック増幅部32は、非線形光学効果を利用して、入力された光信号を増幅する。

[0021] 励起光源33は、予め定められた波長と強度の励起光を出力する。励起光源33が出力する励起光の波長は、光増幅器31に入力される光信号の波長に基づいて設定される。

[0022] ラマン増幅用励起光合波部34は、光パラメトリック増幅部32により増幅された光信号と、励起光源33から出力された励起光とに基づいて前方励起のラマン増幅を行う。ラマン増幅用励起光合波部34は、光ファイバ伝送路における最適入力光パワーを、光パラメトリック増幅部32の出力が線形増幅となる領域にパワーシフトさせるよう利得を制御する。

[0023] 光アイソレータ35は、順方向に進む光を透過し、逆方向の光を遮断する。例えば、光アイソレータ35は、光ファイバ伝送路に進む光を透過し、ラマン増幅用励起光合波部34の方向への光の入力を遮断する。

[0024] 以上が、本発明における光増幅器31の基本的な構成に関する説明する。このように、光パラメトリック増幅と前方励起のラマン増幅とを組み合わせた場合の効果について説明する。図3及び図4は、光パラメトリック増幅と前方励起のラマン増幅とを組み合わせた場合の効果の説明するための図である。図3には、凡例に示す増幅器の構成で2,000km光増幅中継伝送したときの光信号の品質(SNR)と光ファイバ入力パワーの関係の測定例を示している。図4には、利得・雑音指数、入力波長数(パワー)変動特性及び広帯域性に関する従来構成と、本発明の比較結果を示している。

[0025] 図3に示すように、増幅器(EDFA)に、前方励起のラマン増幅(前方励起の分布ラマン増幅)の適用により、信号品質の上限値は略同等であるが、最適入力パワーは低い領域にシフトする。この最適パワーのシフト量は、前方励起のラマン増幅の利得により制御することが出来る。前方励起のラマン増幅による最適パワーシフトの特性を利用して、本発明のように光パラメトリック増幅器の線形増幅領域まで、前方励起のラマン増幅の利得を制御することで、光パラメトリック増幅の広帯域性と高速応答性を損なうことなく、

高い信号品質で広帯域光増幅中継が可能になる。下記参考文献1に記載されているように、コヒーレンシーの高い励起光源を前方励起分布ラマン増幅に用いると、一定以上のラマン利得ではRINトランスファの影響で信号品質が大きく劣化してしまうため、実施形態によっては光スペクトルが広がったインコヒーレント光源を前方励起光源として用いることが望ましい。

[0026] (参考文献1: Takayuki Kobayashi, Masahito Morimoto, Haruki Ogoshi, Shigehiro Takasaka, Junji Yoshida, Yutaka Miyamoto, "2nd-order forward-pumped distributed Raman amplification employing SOA-based incoherent light source in PDM-16QAM WDM transmission system", IEICE Communications Express, Vol.8, No. 5, p. 166-171, 2019.)

[0027] 図2に示した構成は、1波長の光信号を増幅中継可能な光増幅器31の構成であり、上述した原理を利用して、波長多重された複数の光信号を増幅中継可能な光増幅器31の構成について説明する。

[0028] (第1の実施形態)

図5は、第1の実施形態における光増幅器31の構成例を示す図である。光増幅器31は、光アイソレータ311と、帯域分割フィルタ312と、複数の可変減衰部313-1, 313-2と、複数のOPA314-1, 314-2と、複数のモニタ315-1, 315-2と、帯域合成/利得等化部316と、可変減衰部317と、複数の励起光源318-1~318-n (nは2以上の整数)と、励起光合波部319と、光アイソレータ320とを備える。光増幅器31には、WDM信号が入力される。図5に示す構成は、光増幅中継部及びポストアンプとして適用できる。

[0029] 光アイソレータ311は、順方向に進む光を透過し、逆方向の光を遮断する。例えば、光アイソレータ311は、帯域分割フィルタ312に進む光を透過し、光ファイバ伝送路に向かう方向への光の入力を遮断する。

[0030] 帯域分割フィルタ312は、入力されたWDM信号を2つの帯域に分割する。具体的には、帯域分割フィルタ312は、例えば、帯域分割フィルタ312は、基本波長 $\lambda_F$ を基準にしてWDM信号を長波長帯の光信号と、短波長

帯の光信号とに分割する。帯域分割フィルタ 3 1 2 により、長波長帯の光信号は可変減衰部 3 1 3 - 1 に出力され、短波長帯の光信号は可変減衰部 3 1 3 - 2 に出力される。

- [0031] OPA で入力信号を増幅する場合は、光パラメトリック増幅の過程で基本波長  $\lambda_F$  を中心にして発生する位相共役光(アイドラ光)が不要であるため、帯域分割フィルタ 3 1 2 により WDM 信号を 2 つの帯域に分けて、OPA 3 1 4 - 1 及び 3 1 4 - 2 で増幅する。なお、分布ラマン増幅用の励起光が入力信号 (WDM 信号) に含まれている場合、図 5 の帯域分割フィルタ 3 1 2、励起光除去フィルタを別途、光増幅器 3 1 の入力側に配置して、前方ラマン増幅用励起光を WDM 信号から分離・除去する。
- [0032] 可変減衰部 3 1 3 - 1 は、長波長帯の光信号のパワーを調整する。可変減衰部 3 1 3 - 1 においては、モニタ 3 1 5 - 1 による OPA 3 1 4 - 1 の出力パワーのモニタ結果に基づいて可変減衰部 3 1 3 - 1 による減衰量が設定され、OPA 3 1 4 - 1 へ入力される長波長帯の光信号のパワーが調整される。
- [0033] 可変減衰部 3 1 3 - 2 は、短波長帯の光信号のパワーを調整する。可変減衰部 3 1 3 - 2 においては、モニタ 3 1 5 - 2 による OPA 3 1 4 - 2 の出力パワーのモニタ結果に基づいて可変減衰部 3 1 3 - 2 による減衰量が設定され、OPA 3 1 4 - 2 へ入力される短波長帯の光信号のパワーが調整される。
- [0034] OPA 3 1 4 - 1 は、例えば高非線形ファイバ及び周期分極反転ニオブ酸リチウム (PPLN : Periodically Poled Lithium Niobate) 導波路で構成される。OPA 3 1 4 - 1 は、非線形光学効果を利用して、入力された光信号を増幅する。例えば、OPA 3 1 4 - 1 は、長波長帯の WDM 信号を増幅する。OPA 3 1 4 - 1 は、モニタ 3 1 5 - 1 による OPA 3 1 4 - 1 の出力パワーのモニタ結果に基づいて OPA 3 1 4 - 1 の励起光レベルが設定され、設定された励起光レベルで増幅を行う。
- [0035] OPA 3 1 4 - 2 は、例えば高非線形ファイバ及び周期分極反転ニオブ酸

リチウム導波路で構成される。OPA314-2は、非線形光学効果を利用して、入力された光信号を増幅する。例えば、OPA314-2は、短波長帯のWDM信号を増幅する。OPA314-2は、モニタ315-2によるOPA314-2の出力パワーのモニタ結果に基づいてOPA314-2の励起光レベルが設定され、設定された励起光レベルで増幅を行う。

[0036] モニタ315-1, 315-2は、OPA314-1, 314-2の利得飽和制御を行うために、OPA314-1, 314-2の出力パワーをモニタする。OPA314-1, 314-2の励起光や入力信号パワーに対する利得飽和の発生するオペレーション領域は、事前に測定しておくか、光伝送システムの受信機でひずみを検知するなどして、得ることができる。

[0037] 帯域合成／利得等化部316は、OPA314-1により光パワーが増幅された長波長帯のWDM信号と、OPA314-2により光パワーが増幅された短波長帯のWDM信号とを合成する。その後、帯域合成／利得等化部316は、利得等化を行う。

[0038] 可変減衰部317は、帯域合成／利得等化部316から出力されたWDM信号の入力パワーを調整する。

[0039] 励起光源318-1~318-nは、異なる波長の励起光を出力する。励起光源318-1~318-nは、WDM信号に対して100nm程度短波長側にシフトした波長帯のものが用いられる。RINトランスファーによる信号品質劣化を避けるために、多中継伝送や高いラマン増幅利得の領域では、インコヒーレント光源を用いることが好ましい。偏波多重や2次励起用の光源を含めて複数波長を束ねてもよい。前方励起のラマン増幅利得は、最適な光ファイバ入力パワーがOPA314-1及び314-2の非利得飽和領域に含まれるように励起光源の出力を設定される。

[0040] 励起光合波部319は、励起光源318-1~318-nそれぞれから出力された励起光と、WDM信号とを合波する。

[0041] 光アイソレータ320は、順方向に進む光を透過し、逆方向の光を遮断する。例えば、光アイソレータ320は、光ファイバ伝送路に進む光を透過し

、励起光合波部 319 に向かう方向への光の入力を遮断する。

[0042] 本光増幅中継器の利得は、前方ラマン利得 G R F と O P A による利得 G O P A の和が、中継する伝送路の損失と等しくなるように設定される。

[0043] 図 6 は、第 1 の実施形態における光増幅器 31 が行う処理の流れを示すフローチャートである。

帯域分割フィルタ 312 は、入力された WDM 信号を 2 つの帯域に分割する (ステップ S 101)。帯域分割フィルタ 312 により分割された長波長帯の光信号は可変減衰部 313-1 に出力され、短波長帯の光信号は可変減衰部 313-2 に出力される。可変減衰部 313-1 は、長波長帯の光信号のパワーを調整する (ステップ S 102)。可変減衰部 313-1 は、パワー調整後の長波長帯の光信号を O P A 314-1 に出力する。O P A 314-1 は、長波長帯の WDM 信号を増幅する (ステップ S 103)。O P A 314-1 は、増幅後の長波長帯の WDM 信号を、モニタ 315-1 を介して帯域合成/利得等化部 316 に出力する。

[0044] なお、モニタ 315-1 では、O P A 314-1 から出力された増幅後の長波長帯の WDM 信号の出力パワーをモニタする。モニタ 315-1 によるモニタ結果に基づく可変減衰部 313-1 及び O P A 314-1 に対するフィードバック制御は、モニタ結果が得られる度に実行される。

[0045] 可変減衰部 313-2 は、短波長帯の光信号のパワーを調整する (ステップ S 104)。可変減衰部 313-2 は、パワー調整後の短波長帯の光信号を O P A 314-2 に出力する。O P A 314-2 は、短波長帯の WDM 信号を増幅する (ステップ S 105)。O P A 314-2 は、増幅後の短波長帯の WDM 信号を、モニタ 315-1 を介して帯域合成/利得等化部 316 に出力する。

[0046] なお、モニタ 315-2 では、O P A 314-2 から出力された増幅後の長波長帯の WDM 信号の出力パワーをモニタする。モニタ 315-2 によるモニタ結果に基づく可変減衰部 313-2 及び O P A 314-2 に対するフィードバック制御は、モニタ結果が得られる度に実行される。

- [0047] 帯域合成／利得等化部316は、OPA314-1により光パワーが増幅された長波長帯のWDM信号と、OPA314-2により光パワーが増幅された短波長帯のWDM信号とを合成及び利得等化する（ステップS106）。帯域合成／利得等化部316により合成されて利得等化されたWDM信号は、可変減衰部317に入力される。可変減衰部317は、WDM信号の入力パワーを調整する（ステップS107）。可変減衰部317は、入力パワー調整後のWDM信号を励起光合波部319に出力する。
- [0048] 励起光合波部319は、励起光源318-1～318-nそれぞれから出力された励起光と、WDM信号とを合波することで前方励起のラマン増幅を行う（ステップS108）。励起光合波部319によりラマン増幅されたWDM信号は、光ファイバ伝送路に出力される。
- [0049] 以上のように構成された光増幅器31によれば、光パラメトリック増幅を用いた光増幅中継において、広帯域かつ高品質な光増幅中継を行うことが可能になる。具体的には、光増幅器31では、入力された光信号に光パラメトリック増幅を行い、光ファイバ伝送路における最適入力光パワーを、光パラメトリック増幅部の出力が線形増幅となる領域にパワーシフトさせるよう利得を制御する。このように、光増幅器31では、ラマン増幅を適用し、光パラメトリック増幅器が線形増幅出力可能な領域にシフトさせること（分布ラマン増幅の場合）で、光パラメトリック増幅を用いた光増幅中継器で、広帯域かつ高品質な波長多重信号の光増幅中継伝送を実現することができる。
- [0050] （第2の実施形態）
- 第2の実施形態では、第1の実施形態を光増幅中継器として光伝送システムに適用する構成について説明する。この場合、光増幅器は、第1の実施形態の構成に加えて、光増幅器の入力側に接続される光ファイバ伝送路を増幅媒体とする後方励起ラマン増幅用の構成を備える。
- [0051] 図7は、第2の実施形態における光増幅器31aの構成例を示す図である。光増幅器31aは、光アイソレータ311と、帯域分割フィルタ312と、複数の可変減衰部313-1, 313-2と、複数のOPA314-1,

314-2と、複数のモニタ315-1, 315-2と、帯域合成/利得等化部316と、可変減衰部317と、複数の励起光源318-1~318-n (nは2以上の整数)と、励起光合波部319と、光アイソレータ320と、複数の励起光源321-1~321-nと、励起光合波部322とを備える。

[0052] 光増幅器31aは、複数の励起光源321-1~321-nと、励起光合波部322とを新たに備える点で光増幅器31と構成が異なる。光増幅器31aのその他の構成については、光増幅器31と同様である。そのため、複数の励起光源321-1~321-nと、励起光合波部322を踏まえた相違点について説明する。

[0053] 第2の実施形態において、基本的な動作は第1の実施形態と同等であるが、後方励起のラマン増幅では、RINトランスファーが非常に小さい。そのため、励起光源321-1~321-nとして、WDM信号に対して100nm程度短波長側にシフトした波長帯のものを、コヒーレント光源及びインコヒーレント光源どちらも適用することができる。偏波多重や2次励起用の光源を含めて複数波長の光源を束ねてもよい。

[0054] 前方励起のラマン増幅利得は、最適な光ファイバ入力パワーがOPA314-1及び314-2の非利得飽和領域に含まれるように励起光源の出力を設定される。可変減衰部317により、伝送路光ファイバへのWDM信号の入力パワーが調整される。

[0055] 励起光合波部322は、励起光源321-1~321-nそれぞれから出力された励起光と、WDM信号とを合波する。

[0056] 本光増幅中継器の利得は、前方ラマン利得GRF、OPAによる利得GOPA、および後方ラマン利得GRBの和が、中継する伝送路の損失と等しくなるように設定される。

[0057] 図8は、第2の実施形態における光増幅器31aが行う処理の流れを示すフローチャートである。図8において、図6と同様の処理においては図6と同様の符号を付して説明を省略する。

励起光合波部 3 2 2 は、励起光源 3 2 1 - 1 ~ 3 2 1 - n それぞれから出力された励起光と、入力された WDM 信号とを合波することで後方励起のラマン増幅を行う（ステップ S 2 0 1）。励起光合波部 3 2 2 によりラマン増幅された WDM 信号は、光アイソレータ 3 1 1 を介して、帯域分割フィルタ 3 1 2 に出力される。その後、ステップ S 1 0 1 以降の処理が実行される。

[0058] 以上のように構成された光増幅器 3 1 b によれば、光増幅器 3 1 b では、双方向励起のラマン増幅を適用した場合においても、第 1 の実施形態と同様の効果を得ることができる。

[0059] 光増幅器 3 1 b によれば、第 1 の実施形態の構成に後方励起のラマン増幅を適用することにより、第 1 の実施形態と比較して伝送後の S N R を改善することができる。

[0060] 図 9 は、第 1 の実施形態及び第 2 の実施形態における効果を説明するための図である。図 9 に示すように、光パラメトリック増幅器のみで、従来の E D F A に代表される希土類添加ファイバ光増幅中継器と同等のファイバ入力パワーを実現しようとする、利得飽和のために信号が歪むため、O P A がカバーする広帯域な増幅帯域において、増幅後の信号品質が制限される。波長多重光伝送システムにおいて、従来の希土類添加ファイバ光増幅中継器と比較して、第 1 の実施形態及び第 2 の実施形態に示す構成により、広帯域かつ高品質な WDM 信号の光増幅中継伝送が可能になることがわかる。

[0061] （第 3 の実施形態）

第 1 の実施形態及び第 2 の実施形態では、2 つの帯域に分割して光パラメトリック増幅を行う構成について説明した。第 3 の実施形態では、3 つ以上の帯域において光パラメトリック増幅を行う構成について説明する。なお、第 3 の実施形態では、3 つの帯域の場合について、光中継ノードとして適用する構成について説明する。

[0062] 図 1 0 は、第 3 の実施形態における光増幅器 3 1 b の構成例を示す図である。光増幅器 3 1 b は、制御部 3 3 0 と、SW 3 3 1 と、複数の O P A 3 1 4 - 1 ~ 3 1 4 - 3 と、波長選択性スイッチ 3 3 2 と、ラマン増幅部 3 3 3

とを備える。

[0063] 図10では、別々の方路1～3から中継ノードである光増幅器31bに光信号が入力された例を示している。光増幅器31bに入力された光信号は、方路1がC帯、方路2がC帯、方路3がS帯の波長を用いているものとする。

[0064] OPA314-1～314-3は、設定された周波数帯を増幅可能な光パラメトリック増幅器である。例えば、OPA314-1は、C帯とL帯が増幅可能であり、OPA314-2は、S帯とC帯が増幅可能であり、OPA314-3は、S帯とC帯が増幅可能であるとする。

[0065] 制御部330は、SW331及び波長選択性スイッチ332を制御する。SW331及び波長選択性スイッチ332の制御とは、経路の切替である。

[0066] SW331は、複数の入力ポートと、複数の出力ポートとを備える。SW331における入力ポートと、出力ポートとの接続関係は、制御部330により制御される。SW331では、それぞれの帯域を増幅可能なOPA314に信号を割り振るように、入力ポートと出力ポートとを接続する経路が制御される。例えば、方路1から入力された光信号は、C帯の光信号であるため、C帯とL帯が増幅可能なOPA314-1に入力され、方路2から入力された光信号はC帯の光信号であるため、C帯とS帯が増幅可能なOPA314-2に入力され、方路3から入力された光信号はS帯の光信号であるため、C帯とS帯が増幅可能なOPA314-3に入力されるように、制御部330により入力ポートと出力ポートとを接続する経路が制御される。

[0067] 波長選択性スイッチ332は、各OPA314-1～314-3で増幅された帯域が衝突しないように帯域を選択する。図10に示す例では、波長選択性スイッチ332は、OPA314-1の出力からはL帯の光信号を選択し、OPA314-2の出力からはC帯の光信号を選択し、OPA314-3の出力からはS帯域の光信号を選択する。波長選択性スイッチ332は、選択した各帯域の光信号を合波する。

[0068] ラマン増幅部333は、波長選択性スイッチ332により合波された光信

号と、適切な波長の励起光とを合波し、伝送路ファイバ入力最適入力パワーまで光信号を増幅する。これにより、OPAが飽和パワー以下の出力領域で動作している場合において、広帯域かつ高品質な光中継増幅が実現することができる。なお、増幅用ファイバが用いられてもよい。

[0069] 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

[0070] 本発明は、光伝送システムにおける光中継器に適用できる。

### 符号の説明

[0071] 10-1～10-N…光送信機， 20…光合分波器， 30…光増幅中継伝送路， 40…光合分波器， 50-1～50-N…光受信機， 31…光増幅器， 32…光パラメトリック増幅部， 33、318-1～318-n、321-1～321-n…励起光源， 34…ラマン増幅用励起光合波部， 35、311、320…光アイソレータ， 312…帯域分割フィルタ， 313-1、313-2、317…可変減衰部， 314-1、314-2…OPA， 315-1、315-2…モニタ， 316…帯域合成／利得等化部， 319、322…励起光合波部， 330…制御部， 331…SW， 332…波長選択性スイッチ， 333…ラマン増幅部

## 請求の範囲

- [請求項1] 光ファイバ伝送路で伝送される光信号を光増幅中継する光増幅器であって、
- 入力された光信号に光パラメトリック増幅を行う光パラメトリック増幅部と、
- 前記光ファイバ伝送路における最適入力光パワーを、前記光パラメトリック増幅部の出力が線形増幅となる領域にパワーシフトさせるよう利得を制御するラマン増幅部と、
- を備える光増幅器。
- [請求項2] 前記光増幅器には、波長多重された多重信号が入力され、
- 前記光パラメトリック増幅部は、第1の光パラメトリック増幅部及び第2の光パラメトリック増幅部であり、
- 入力された前記多重信号を、基本波長を基準にして長波長帯の光信号と、短波長帯の光信号とに分割する帯域分割フィルタと、
- 前記長波長帯の光信号の光強度を調整する第1の可変減衰部と、
- 前記短波長帯の光信号の光強度を調整する第2の可変減衰部と、
- 増幅後の前記長波長帯の光信号と、増幅後の前記短波長帯の光信号とを合波する合波と、
- をさらに備え、
- 前記第1の光パラメトリック増幅部は、前記第1の可変減衰部により光強度が調整された前記長波長帯の光信号に光パラメトリック増幅を行い、
- 第2の光パラメトリック増幅部は、前記第2の可変減衰部により光強度が調整された前記短波長帯の光信号に光パラメトリック増幅を行う、
- 請求項1に記載の光増幅器。
- [請求項3] 前記帯域分割フィルタの前段に備えられ、前記光ファイバ伝送路を増幅媒体とする後方励起のラマン増幅を行う後方ラマン増幅部、

をさらに備える請求項2に記載の光増幅器。

[請求項4]

前記第1の光パラメトリック増幅部の出力パワーをモニタし、モニタ結果を前記第1の可変減衰部及び前記第1の光パラメトリック増幅部に出力する第1のモニタと、

前記第2の光パラメトリック増幅部の出力パワーをモニタし、モニタ結果を前記第2の可変減衰部及び前記第2の光パラメトリック増幅部に出力する第2のモニタと、

をさらに備え、

前記第1の可変減衰部は、前記第1のモニタから出力された前記モニタ結果に基づいて減衰量を調整し、

前記第1の光パラメトリック増幅部は、前記第1のモニタから出力された前記モニタ結果に基づいて励起光レベルを制御し、

前記第2の可変減衰部は、前記第2のモニタから出力された前記モニタ結果に基づいて減衰量を調整し、

前記第2の光パラメトリック増幅部は、前記第2のモニタから出力された前記モニタ結果に基づいて励起光レベルを制御する、

請求項2又は3に記載の光増幅器。

[請求項5]

前記光パラメトリック増幅部は、複数の光パラメトリック増幅部であり、

複数の入力ポートと、複数の出力ポートとを備えるスイッチと、

前記複数の光パラメトリック増幅部それぞれから出力された光信号の周波数帯のうち、合波する周波数帯を選択する波長選択性スイッチと、

をさらに備え、

前記スイッチの出力ポートには、各光パラメトリック増幅部が接続され、

前記スイッチは、各入力ポートに入力された光信号毎に、前記光信号の周波数帯が増幅可能な光パラメトリック増幅部が接続されている

出力ポートに光信号を出力する、

請求項 1 に記載の光増幅器。

[請求項6]

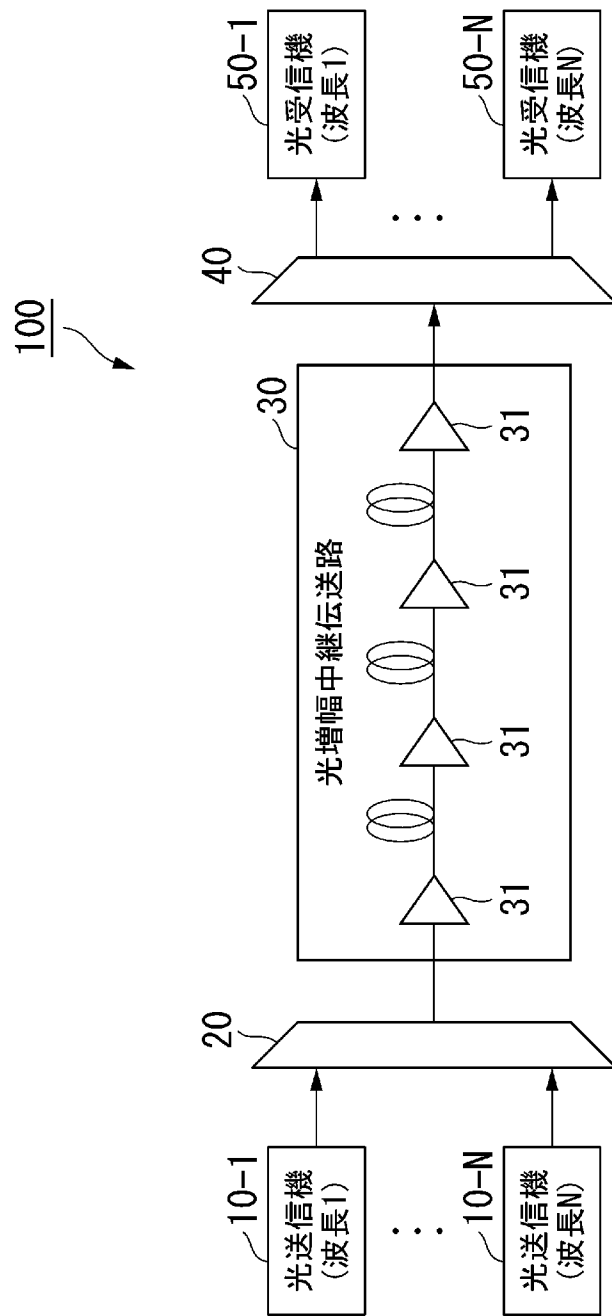
光ファイバ伝送路で伝送される光信号を光増幅中継する光増幅器における光増幅方法であって、

光パラメトリック増幅部が、入力された光信号に光パラメトリック増幅を行い、

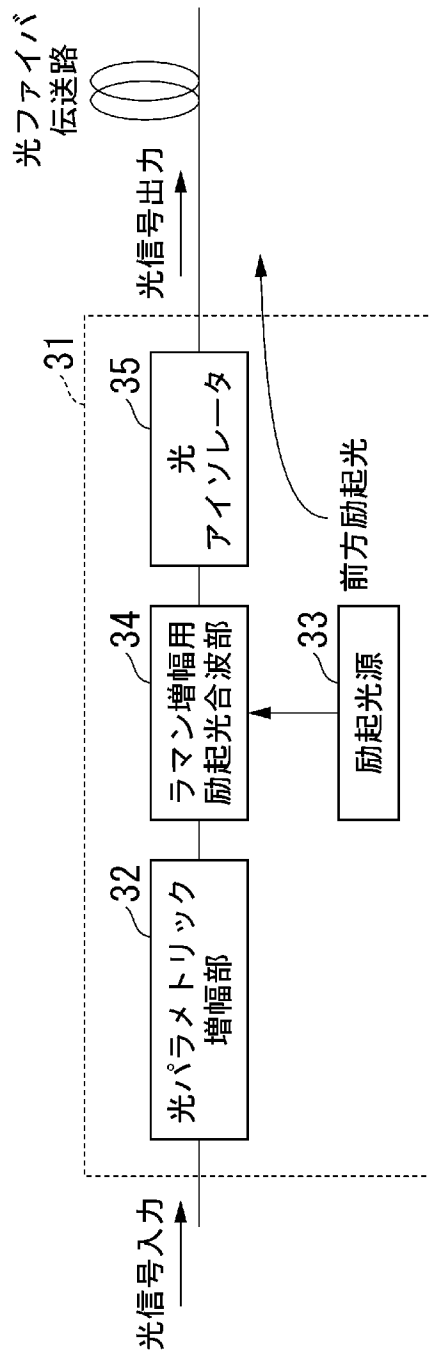
前記光ファイバ伝送路における最適入力光パワーを、前記光パラメトリック増幅部の出力が線形増幅となる領域にパワーシフトさせるよう利得を制御する、

光増幅方法。

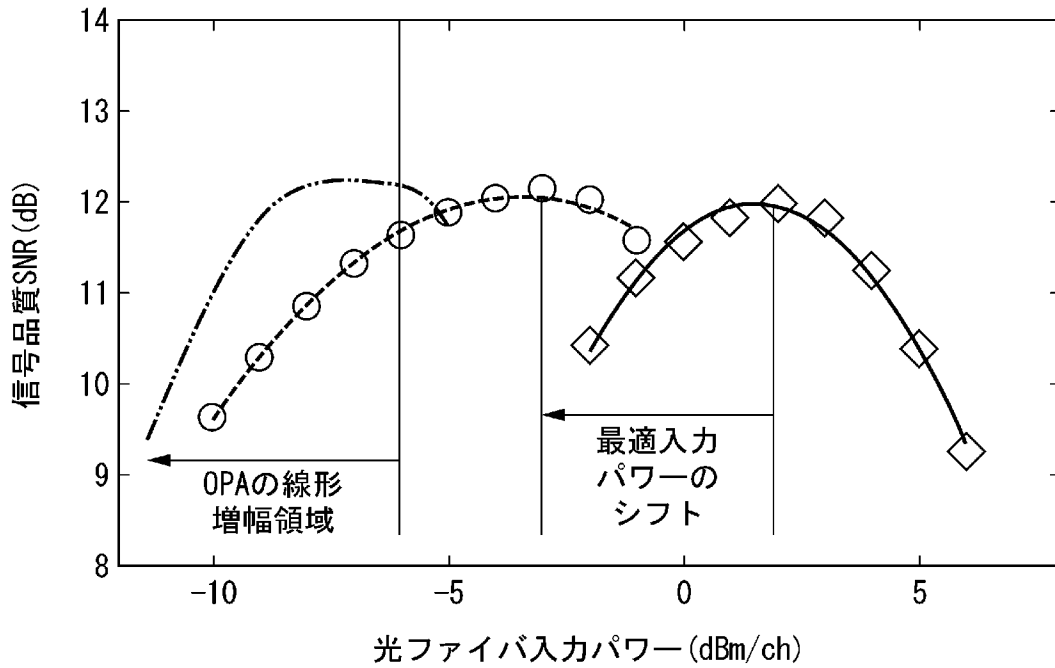
[図1]



[図2]



[図3]

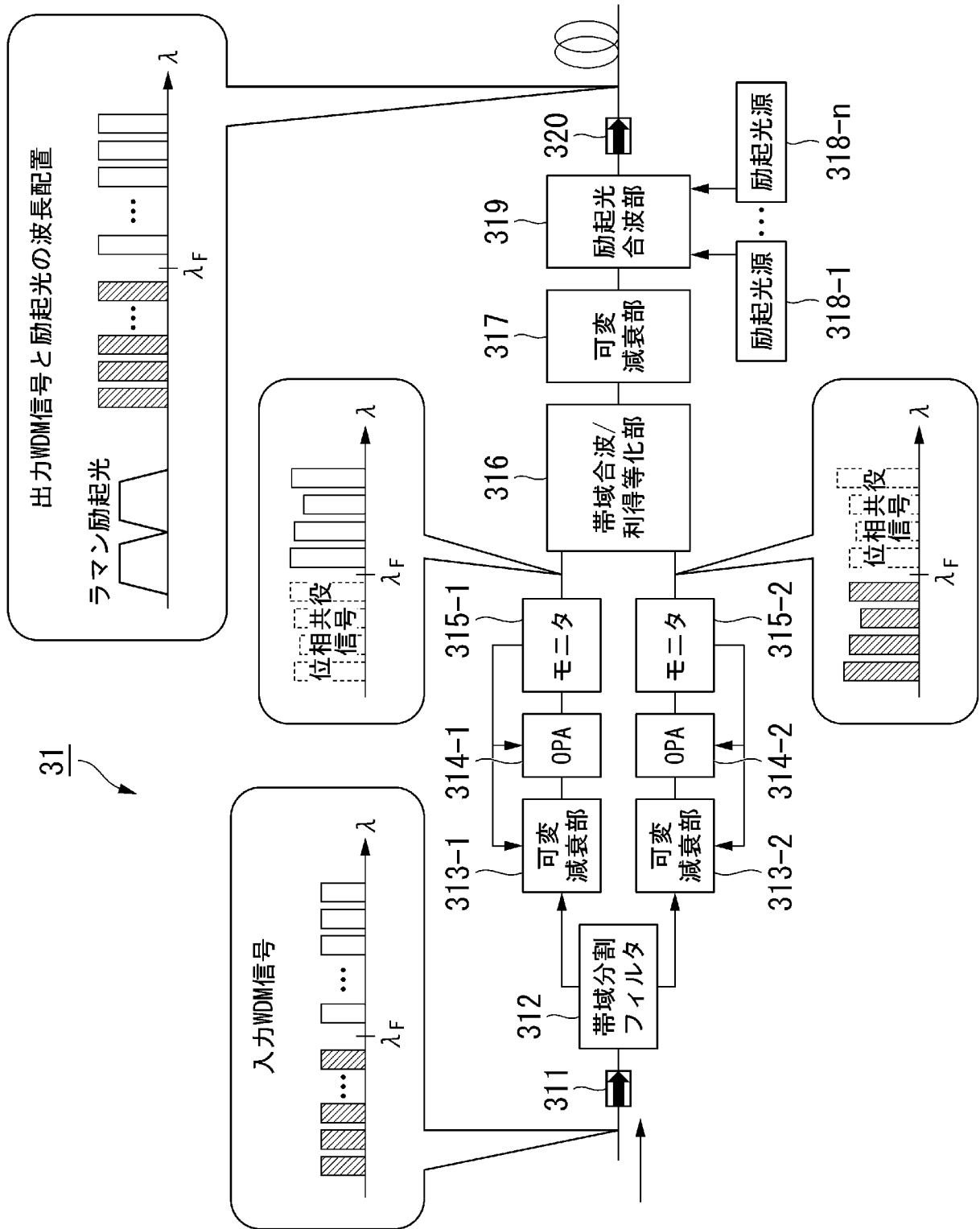


| 凡例    |                       |
|-------|-----------------------|
| ..... | : OPA+前方励起のラマン増幅      |
| -○-○- | : EDFA+前方励起のラマン増幅     |
| -◇-◇- | : EDFA (前方励起のラマン増幅なし) |

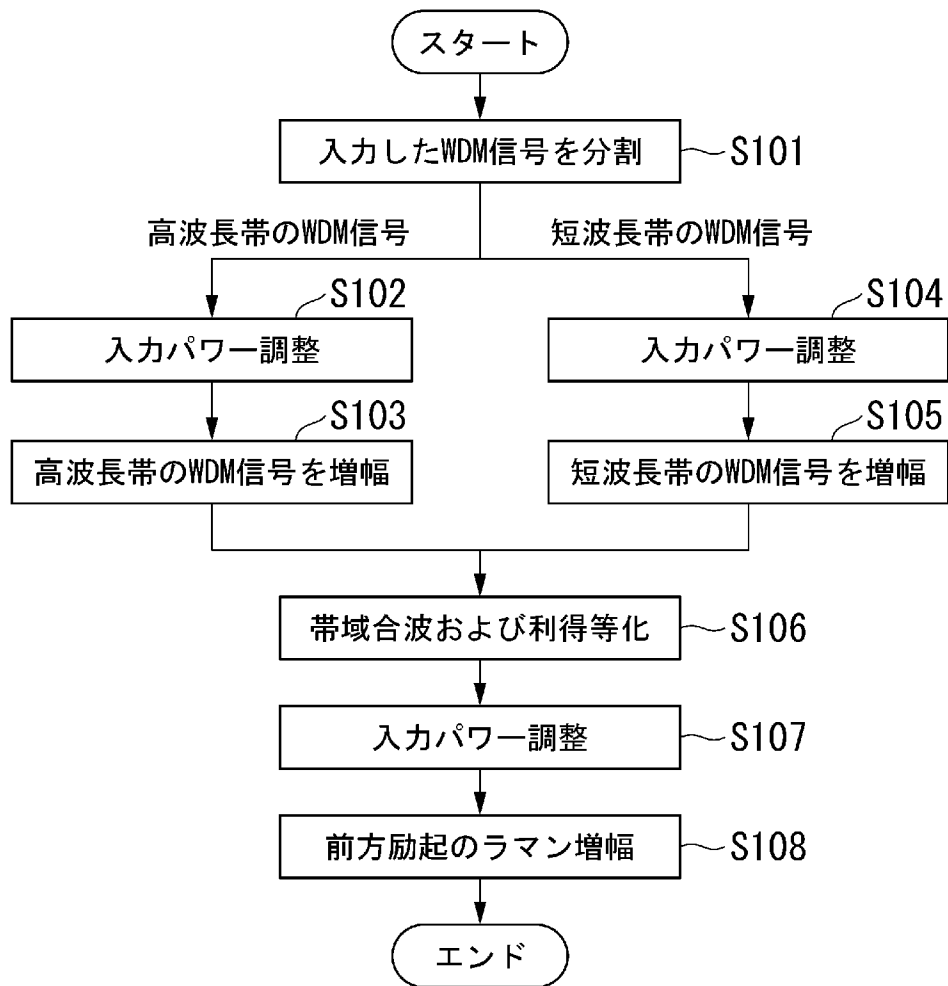
[図4]

|                                 | 利得・雑音指数                   | 入力波長数<br>(パワー)<br>変動特性 | 広帯域性                               |
|---------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------------------|
| 従来構成<br>(希土類添加ファイバ<br>増幅器, SOA) | 増幅帯域と<br>増幅器種別で<br>大きく異なる | 光サージ発生                 | 複数種別の<br>組合せが必須、<br>構成が複雑化 4THz    |
| 本発明<br>(OPA+前方ラマン)              | ほぼ一定                      | 高速応答のため<br>低サージ        | 基本構成で10THz以上の<br>広帯域性を有し、<br>単純な構成 |

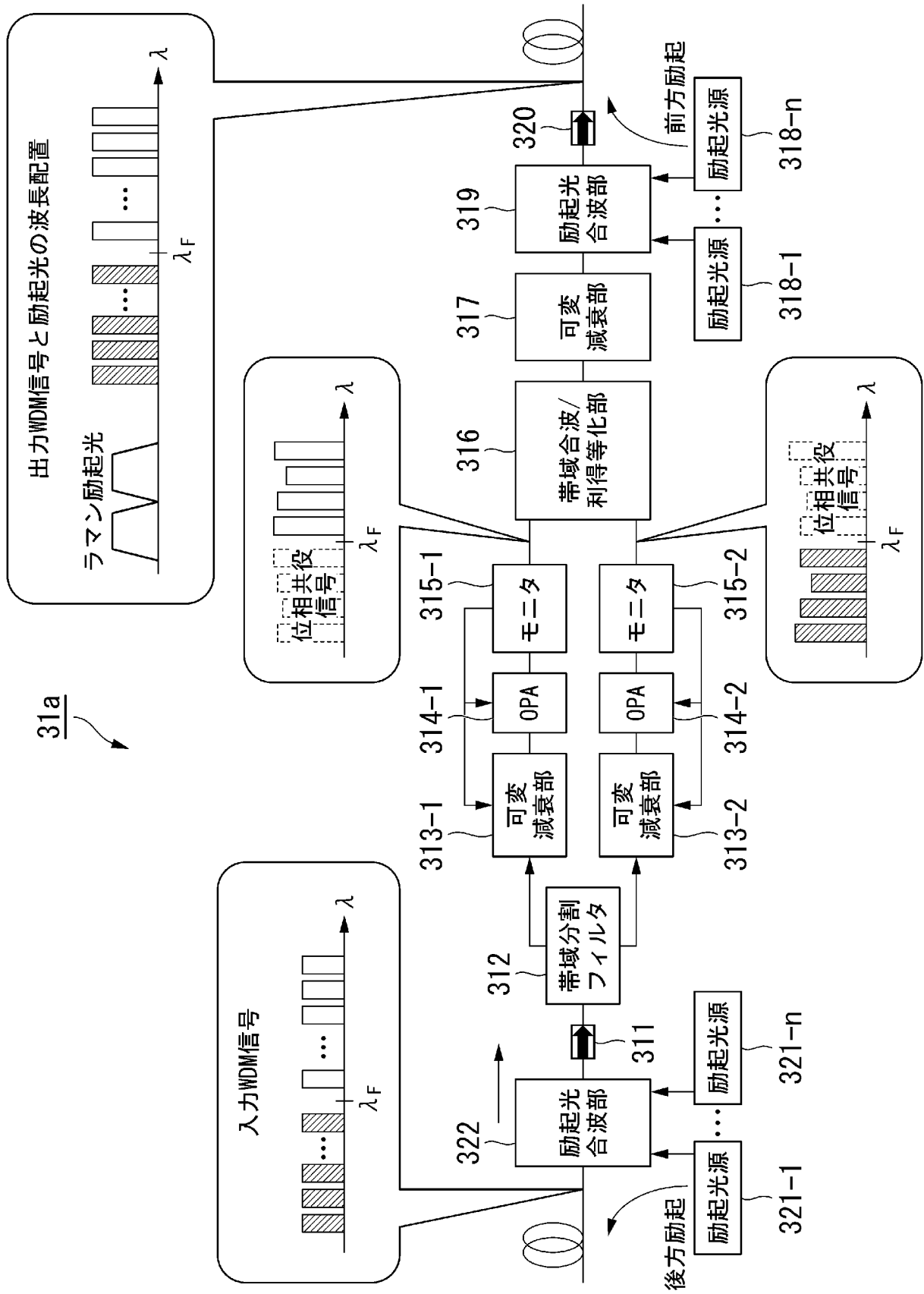
[図5]



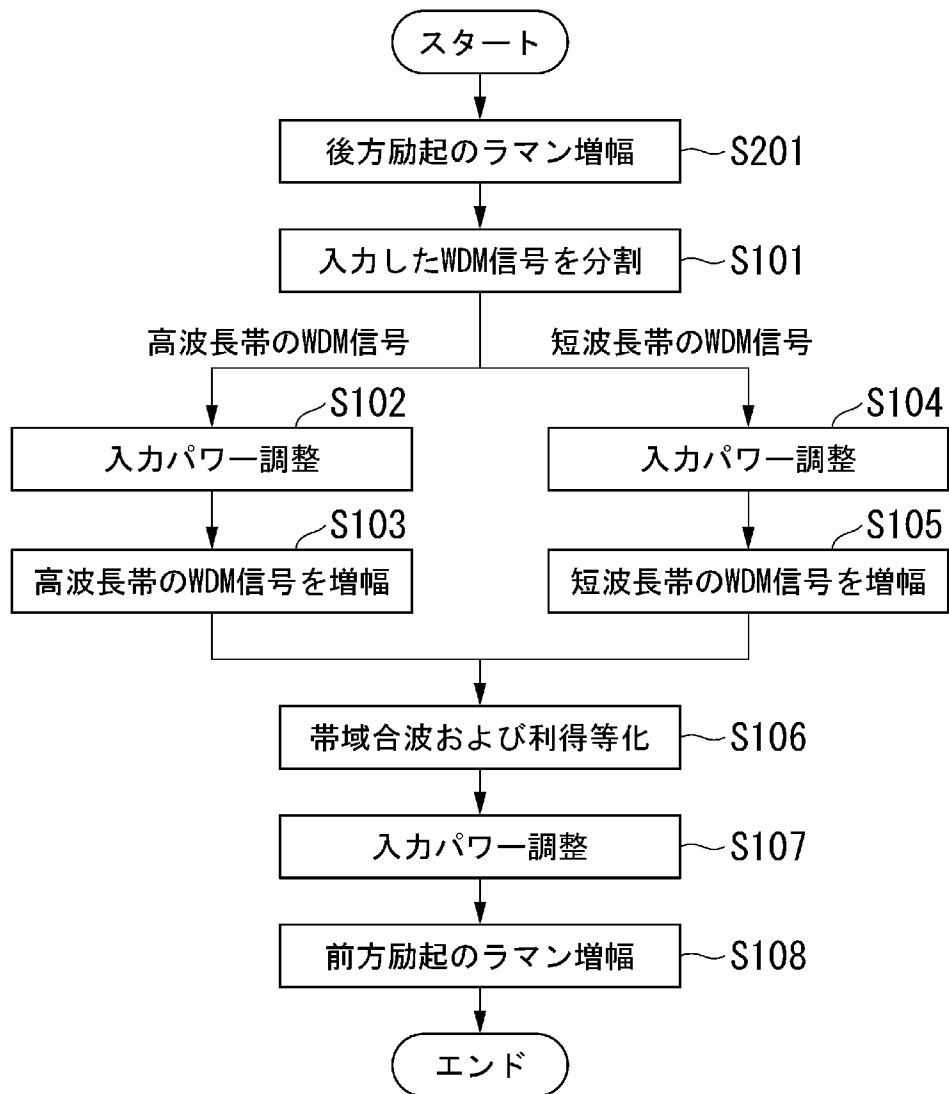
[図6]



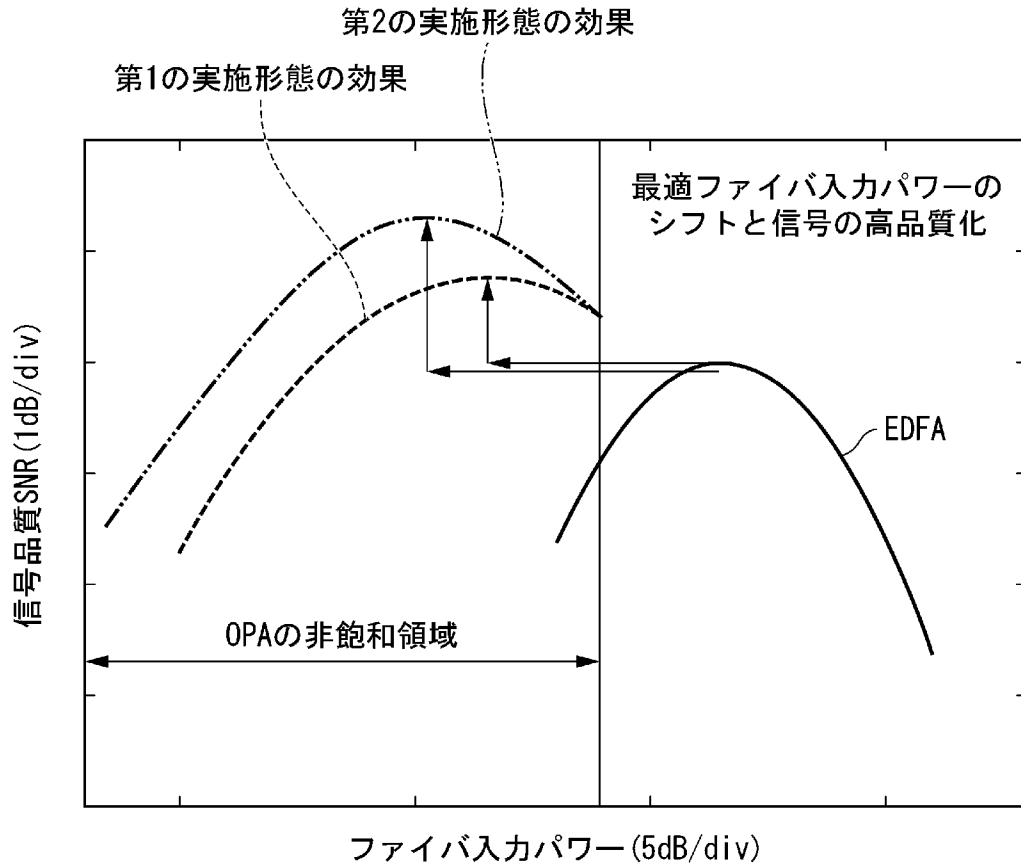
[図7]



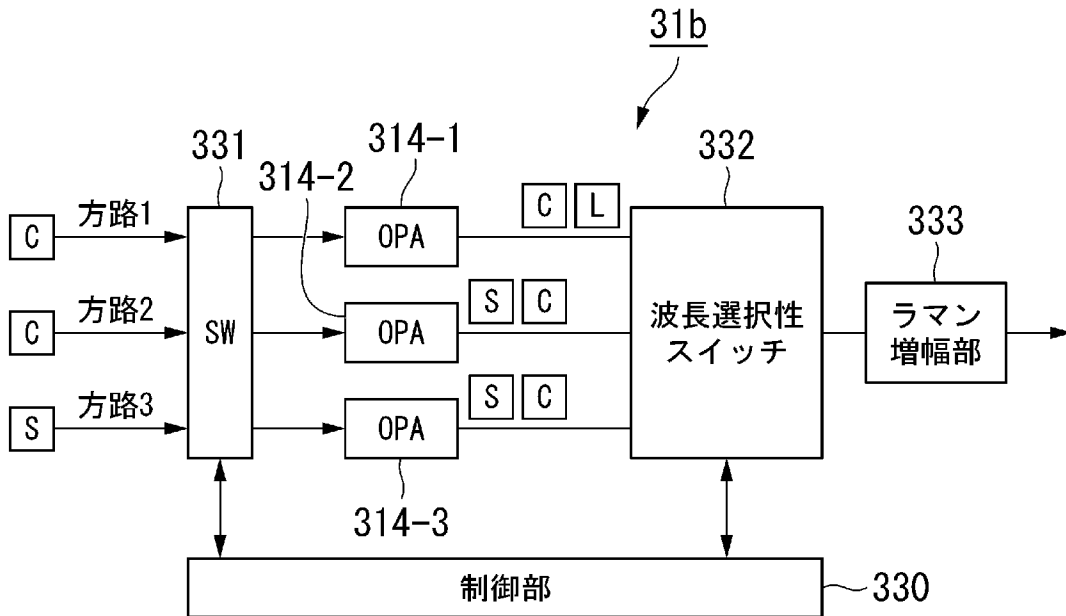
[図8]



[図9]



[図10]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/008781

| <b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>   |  |  |
|--|--|--|
| <i>H04B 10/291</i> (2013.01)i<br>FI: H04B10/291  |  |  |
| According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC  |  |  |
| <b>B. FIELDS SEARCHED</b>  |  |  |
| Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)<br>H04B10/291  |  |  |
| Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched<br>Published examined utility model applications of Japan 1922-1996<br>Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022<br>Registered utility model specifications of Japan 1996-2022<br>Published registered utility model applications of Japan 1994-2022  |  |  |
| Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)   |  |  |
| <b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>  |  |  |
| Category*  | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages   | Relevant to claim No.  |
| X  | GUO, Xiaojie. Cross-Gain Modulation Suppression in a Raman-Assisted Fiber Optical Parametric Amplifier. IEEE Photonics Technology Letters. 16 May 2014, vol. 26, issue 13, pp. 1360-1363 | 1, 6   |
| Y  | pp. 1360-1363  | 2-4  |
| A  | pp. 1360-1363  | 5  |
| Y  | JP 2018-019350 A (OKI ELECTRIC IND CO LTD) 01 February 2018 (2018-02-01)<br>paragraphs [0032]-[0071], fig. 1-3   | 2-4  |
| A  | paragraphs [0032]-[0071], fig. 1-3   | 5  |
| Y  | JP 2003-298516 A (FUJITSU LTD) 17 October 2003 (2003-10-17)<br>paragraphs [0083]-[0087], fig. 22-23  | 2-4  |
| A  | paragraphs [0083]-[0087], fig. 22-23   | 5  |
| <input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.   |  |  |
| * Special categories of cited documents:<br>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance<br>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date<br>"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)<br>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means<br>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed<br>"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<br>"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<br>"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<br>"&" document member of the same patent family |  |  |
| Date of the actual completion of the international search<br><b>18 May 2022</b>  |  | Date of mailing of the international search report<br><b>31 May 2022</b> |
| Name and mailing address of the ISA/JP<br><b>Japan Patent Office (ISA/JP)<br/>3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915<br/>Japan</b>   |  | Authorized officer<br><br>Telephone No.                                  |

**Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Claim 5 refers to claim 1, but claim 1 lacks novelty in light of document 1. The matter specified in claim 5 is a special technical matter, but claims 1-4 and 6 do not have the same or corresponding special technical features of claim 5. The international application is considered to include two inventions below.

Invention 1: claims 1-4, 6

Invention 2: claim 5

1.  As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2.  As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3.  As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4.  No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

- Remark on Protest**
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
  - The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
  - No protest accompanied the payment of additional search fees.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

|   |
|---|
| International application No.<br><b>PCT/JP2022/008781</b> |
|---|

| Patent document cited in search report | Publication date (day/month/year) | Patent family member(s)   | Publication date (day/month/year) |
|--|-----------------------------------|---|-----------------------------------|
| JP 2018-019350                         | A 01 February 2018                | (Family: none)  |                                   |
| JP 2003-298516                         | A 17 October 2003                 | US 2009/0080894 A1<br>paragraphs [0167]-[0169], fig. 31-32<br>EP 1696590 A2<br>CN 1744474 A |                                   |

| A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））<br>H04B 10/291(2013.01)i<br>FI: H04B10/291  |  |                |
|---|--|----------------|
| B. 調査を行った分野<br>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））<br>H04B10/291<br>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<br>日本国実用新案公報 1922 - 1996年<br>日本国公開実用新案公報 1971 - 2022年<br>日本国実用新案登録公報 1996 - 2022年<br>日本国登録実用新案公報 1994 - 2022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<br>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<br>請求項の番号 |
| X   | GUO, Xiaojie, Cross-Gain Modulation Suppression in a Raman-Assisted Fiber Optical Parametric Amplifier, IEEE Photonics Technology Letters, 2014.05.16, Vol.26, Issue 13, pages 1360-1363                       | 1,6            |
| Y   | pages 1360-1363  | 2-4            |
| A   | pages 1360-1363  | 5              |
| Y   | JP 2018-019350 A (沖電気工業株式会社) 01.02.2018 (2018 - 02 - 01)<br>[0032]-[0071], 図1-3  | 2-4            |
| A   | [0032]-[0071], 図1-3  | 5              |
| Y   | JP 2003-298516 A (富士通株式会社) 17.10.2003 (2003 - 10 - 17)<br>[0083]-[0087], 図22-23  | 2-4            |
| A   | [0083]-[0087], 図22-23  | 5              |
| <input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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  | “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<br>“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<br>“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<br>“&” 同一パテントファミリー文献 |                |
| “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  |  |                |
| 国際調査を完了した日  | 国際調査報告の発送日   |                |
| 18.05.2022  | 31.05.2022   |                |
| 名称及びあて先<br>日本国特許庁(ISA/JP)<br>〒100-8915<br>日本国<br>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）<br><br>前田 典之 5K 9073<br><br>電話番号 03-3581-1101 内線 3556  |                |

## 第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

請求項5は請求項1を引用しているが、請求項1は文献1から新規性を有さない。請求項5に特定された事項は特別な技術的事項であるが、請求項1-4, 6は、請求項5の特別な技術的特徴と同一のまたは対応する特別な技術的特徴を有していない。この国際出願には、次のとおり二つの発明を認める。

発明1：請求項1-4, 6

発明2：請求項5

1.  出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2.  追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3.  出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4.  出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

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/JP2022/008781

| 引用文献             | 公表日        | パテントファミリー文献  | 公表日 |
|------------------|------------|--|-----|
| JP 2018-019350 A | 01.02.2018 | (ファミリーなし)  |     |
| JP 2003-298516 A | 17.10.2003 | US 2009/0080894 A1<br>[0167]-[0169], 図31-32<br>EP 1696590 A2<br>CN 1744474 A |     |