

(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  
2014年7月17日(17.07.2014)



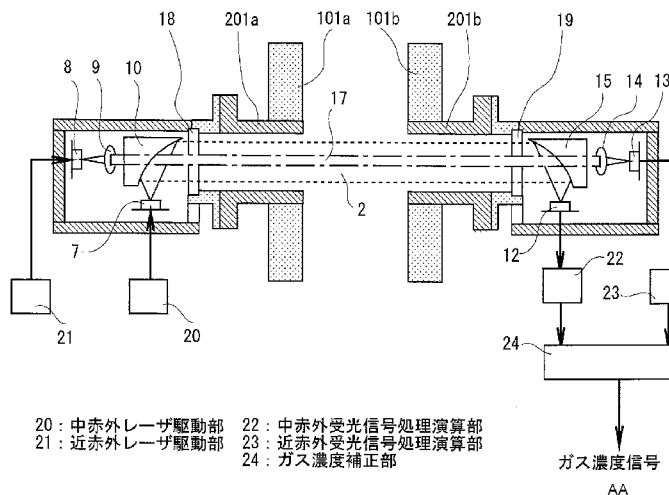
(10) 国際公開番号  
WO 2014/109126 A1

- (51) 国際特許分類:  
G01N 21/39 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/080634
- (22) 国際出願日: 2013年11月13日(13.11.2013)
- (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 2013-003511 2013年1月11日(11.01.2013) JP
- (71) 出願人: 富士電機株式会社(FUJI ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 田原 雅哉(TABARU Masaya); 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内 Kanagawa (JP). 小泉 和裕(KOIZUMI Kazuhiro); 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内 Kanagawa (JP). 小西 英之(KONISHI Hideyuki); 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内 Kanagawa (JP). 乾 貴誌
- (INUI Takashi); 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 森田 雄一(MORITA YUICHI); 〒1010051 東京都千代田区神田神保町3-19-7 ダイナミック・アート九段下ビル6階 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ

[続葉有]

(54) Title: LASER-TYPE GAS ANALYZER

(54) 発明の名称: レーザ式ガス分析計

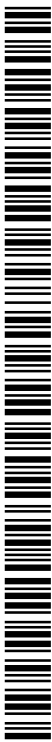


(57) Abstract: Provided is a laser-type gas analyzer capable of measuring, with a high degree of precision using one device, the gas concentration of a first gas to be measured in a mid-infrared range and the gas concentration of a second gas to be measured in a near-infrared range, even in a measurement environment where dust and a high concentration of water are present. A laser-type gas analyzer comprises: a processing and calculating unit for received mid-infrared light signals (22) that calculates, from a received mid-infrared light signal, the gas concentration of a first gas to be measured; a processing and calculating unit for received near-infrared light signals (23) that detects by time, from a received near-infrared light signal, the gas concentration of a second gas to be measured, water concentration in the air, and amount of light reduction due to dust; and a gas concentration correcting unit (24) that corrects the gas concentrations for each of the first and the second gases to be measured using the water concentration and amount of light reduction.

(57) 要約:

[続葉有]

- 20 Mid-infrared laser driving unit
- 21 Near-infrared laser driving unit
- 22 Processing and calculating unit for received mid-infrared light signal
- 23 Processing and calculating unit for received near-infrared light signal
- 24 Gas concentration correcting unit
- AA Gas concentration signal



WO 2014/109126 A1



(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))

---

ダストおよび高濃度の水分が存在する測定環境であっても、中赤外領域の第 1 の測定対象ガスのガス濃度と、近赤外領域の第 2 の測定対象ガスのガス濃度と、を 1 台の装置で高精度に測定可能としたレーザ式ガス分析計を提供する。中赤外受光信号から第 1 の測定対象ガスのガス濃度を演算する中赤外受光信号処理演算部 2 2 と、近赤外受光信号から第 2 の測定対象ガスのガス濃度、空間の水分濃度、および、ダストによる光量減少量を時間別に検出する近赤外受光信号処理演算部 2 3 と、水分濃度・光量減少量を用いて、第 1、第 2 の測定対象ガスのガス濃度を、それぞれ補正するガス濃度補正部 2 4 と、を備えるレーザ式ガス分析計とした。

## 明 細 書

発明の名称： レーザ式ガス分析計

### 技術分野

[0001] 本発明は、煙道内の各種ガスのガス濃度をレーザ光により測定するレーザ式ガス分析計に関するものである。

### 背景技術

[0002] ガスの分子・原子には、それぞれ固有の光吸収スペクトルがあることが知られている。例えば、図20はアンモニア（ $\text{NH}_3$ ）の光吸収スペクトルの例であり、グラフの横軸は波長を示し、縦軸は光吸収強度を示している。

このような光吸収スペクトルを利用して各種ガス濃度を検出するガス分析計として、レーザ式ガス分析計が知られている。この分析計は、測定対象ガスの光吸収スペクトルと同じ発光波長領域を有するレーザ光源からの出射光を測定対象ガスに照射し、測定対象ガスの分子・原子によるレーザ光の吸収を利用してガス濃度を計測するものである。

[0003] レーザ光を用いたガス分析計は、特定波長の光吸収強度がガスの濃度に比例する原理に基づいて、ガス濃度を測定する。吸収線の中心波長 $\lambda_0$ における減衰量は、ガスの濃度に比例する。したがって、 $\lambda_0$ の発振波長をもつ半導体レーザ光をガスに照射し、その減衰量を測定し適当な係数を掛けることでガスの濃度を推定することができる。

[0004] このようにレーザ光を用いたガス分析による濃度計測方法は、大きく差分吸収方式と周波数変調方式がある。通常、差分吸収方式では、比較的簡単な構成でガス濃度の測定が可能である。一方、周波数変調方式では、信号処理が複雑になるが高感度なガス濃度測定が可能である。

[0005] 差分吸収方式によりガス濃度を測定する装置は、例えば特許文献1（特開平7-151681号公報、発明の名称「ガス濃度測定装置」）に記載されている。このガス濃度測定装置は、特許文献1の図8で示すように、2波長式半導体レーザ、ガスセル、受光レンズ、受光部、ガス濃度測定装置を備え

た装置である。

[0006] そして、図21の差分吸収方式による濃度測定原理でも示すように、吸収線の中心波長 $\lambda_0$ を発振波長とするレーザ光と、吸収線の無い中心波長 $\lambda_r$ を発振波長とするレーザ光と、という2種のレーザ光をガスに照射し、それぞれの受光部が出力する信号の強度を差分して得た信号強度差に適当な比例定数を掛けて濃度に換算する、というものである。

[0007] また、周波数変調方式によりガス濃度を測定する装置も、例えば先に述べた特許文献1に記載されている。このガス濃度測定装置は、特許文献1の図7で示すように、周波数変調式半導体レーザ、ガスセル、受光レンズ、受光部、ガス濃度測定装置を備えた装置である。

[0008] そして、図22の周波数変調方式による濃度測定原理で示すように、中心波長 $\lambda_0$ 、変調周波数 $f_m$ で半導体レーザの出力を周波数変調し、対象となる測定対象ガスに照射する。ガスの吸収線は周波数に対してほぼ2次関数となっているので、この吸収線が弁別器の役割を果たし受光部では変調周波数 $f_m$ の2倍の周波数の信号（2倍波信号）が得られる。そして、受光部でエンベロープ検波を行うことで振幅変調による基本波を推定でき、この基本波の振幅と前記2倍波の振幅の比を位相同期させることでガス濃度に比例した値を得る、というものである。

[0009] そして、レーザ光を用いたガス分析計の従来技術としては、例えば、図23に示すレーザ式ガス分析計が知られている。なお、このレーザ式ガス分析計は、特許文献2（特開2009-47677号公報、発明の名称「レーザ式ガス分析計」）に記載されているものである。

[0010] 図23において、101a、101bは測定対象ガスが流れる煙道壁である。これらの煙道壁101a、101bには、発光部フランジ201a、受光部フランジ201bが対向した位置にそれぞれ配置されている。

[0011] 発光部フランジ201aには、取付金具202aを介して発光部筐体203aが取り付けられている。この発光部筐体203aには、レーザ光源204とコリメートレンズ205等の光学部品が内蔵されている。受光部フラン

ジ 2 0 1 b には、取付金具 2 0 2 b を介して受光部筐体 2 0 3 b が取り付けられている。この受光部筐体 2 0 3 b には、レンズ 2 0 6、受光素子 2 0 7、および、受光素子 2 0 7 の出力信号を処理する受光部回路基板 2 0 8 が内蔵されている。

[0012] 上記構成において、レーザ光源 2 0 4 から出射されたレーザ光は測定対象空間である煙道内部に照射され、レーザ光源 2 0 4 に対向して配置された受光部筐体 2 0 3 b 内の受光素子 2 0 7 により受光される。

この受光により、煙道内部に測定対象ガスが存在する場合にはレーザ光が吸収されるので、この光吸収が測定対象ガスの濃度と関連性を有することを利用して、受光部回路基板 2 0 8 上の受光信号処理回路が測定対象ガス濃度を演算するものである。

## 先行技術文献

## 特許文献

[0013] 特許文献1：特開平 7 - 1 5 1 6 8 1 号公報（発明の名称「ガス濃度測定装置」、段落[0004]、[0030]、図7、図8等）

特許文献2：特開 2 0 0 9 - 4 7 6 7 7 号公報（発明の名称「レーザ式ガス分析計」、段落[0029]~[0038]、図1~図7等）

## 発明の概要

## 発明が解決しようとする課題

[0014] 近年、船舶の排ガスに対する規制が強化されている。具体的には、SO<sub>x</sub>の規制があり、排ガスのSO<sub>2</sub>ガスとCO<sub>2</sub>ガスとの濃度を測定し、以下の数1の基準を満たすことが求められている。

[0015] [数1]

$$\text{SO}_2\text{ガス濃度 (ppm)} \div \text{CO}_2\text{ガス濃度 (vol\%)} < 4.3$$

[0016] SO<sub>2</sub>ガスやCO<sub>2</sub>ガスの濃度を測定する手段として、上記のようなレーザ式ガス分析計を採用することができる。しかしながら、従来のほとんどのレーザ式ガス分析計は、測定が可能な測定対象ガスの種類は1台あたり1種類

であり、2種類以上のガス濃度を検出できるレーザ式ガス分析計は、CO + CO<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O、HCl + H<sub>2</sub>Oなどのように、ガス種が限定されていた。船舶排ガスのようにSO<sub>2</sub>ガスとCO<sub>2</sub>ガスの濃度を測定する場合は、従来では2台のレーザ式ガス分析計が必要になっていた。

[0017] この理由について説明する。

SO<sub>2</sub>ガスは、中赤外領域に光吸収スペクトルが存在する。例えば、図24はSO<sub>2</sub>の光吸収スペクトルであり、このような光吸収スペクトルを検出するためには、レーザ光源として中赤外領域の波長のレーザ光を出射する量子カスケードレーザ等を用いることが想定される。

[0018] また、CO<sub>2</sub>ガスは近赤外領域に光吸収スペクトルが存在する。例えば、図25はCO<sub>2</sub>の光吸収スペクトルであり、このような光吸収スペクトルを検出するためには、レーザ光源として、近赤外領域の波長のレーザ光を出射する半導体レーザ等を用いることが想定される。

[0019] このようにレーザ光源が異なる2台のレーザ式ガス分析計が必要となる。従って、分析計のコストや施工コストが上昇してしまう。さらには装置の大型化も問題となる。一台でSO<sub>2</sub>ガスやCO<sub>2</sub>ガスの濃度を共に測定するコンパクトなレーザ式ガス分析計が必要であった。

[0020] また、船舶の排ガス中には、水分や煤塵（ダスト）が存在する。ダストによる光量減衰の影響は特許文献2に記載された従来技術によって補正することが可能であり、仮に煙道内にダストが存在しても、ガス濃度を正確に測定することができる。

[0021] 例えば、図25に示すようなスペクトルをもつCO<sub>2</sub>ガスは、使用する近赤外レーザ素子が走査できる波長範囲に、CO<sub>2</sub>ガスの吸収を受けない波長の光を含めることが可能である。そのため、特許文献2の従来技術を用いて、測定対象ガス成分の吸収を受けない波長の光を利用して受光光量補正を行うことで正確なガス濃度測定が可能である。

[0022] ところが、図26に示すようなスペクトルをもつSO<sub>2</sub>ガスは、使用中赤外レーザ素子の発光可能な波長範囲にSO<sub>2</sub>ガスの吸収を受けないような波

長の光が含まれていない。そのため、測定対象ガスによってDC的な吸収が発生する。ダストによる光量減少はDC的であり、SO<sub>2</sub>のようなガスを中赤外光で測定する場合は、測定対象ガスによる吸収なのか、ダストによる光量減衰なのかを判別し、受光光量補正を行い正確なガス濃度測定を行うことが困難であるという問題があった。

[0023] そして、排ガス中に水分が多く存在する場合はさらに問題がある。SO<sub>2</sub>ガスを測定するための中赤外領域（図24）には、測定対象ガスであるSO<sub>2</sub>ガスの光吸収スペクトル以外に、水分の光吸収スペクトルが多数存在している。図27は水分の光吸収スペクトルを示しているが、SO<sub>2</sub>ガスと同様に中赤外領域に光吸収スペクトルが存在しており、この光吸収スペクトルを外してSO<sub>2</sub>ガス濃度を測定することは非常に困難である。

すなわち、測定対象空間の水分の濃度が高い場合、レーザ光源としての量子カスケードレーザから出射されるレーザ光は測定対象ガス以外に水分の影響を受ける。

[0024] この影響により受光光量が減衰するという問題がある。この点について説明する。ここにSO<sub>2</sub>ガスの光吸収スペクトル波長を約7.2 μmとして検出するものとし、水分による吸収の影響を実験的に調べた場合の受光信号（言い換えれば受光光量）のレベルを図28に示す。

[0025] 受光光量の減衰がダストによる影響だけであれば、特許文献2に記載された方法により補正が可能であるが、図28によれば、水分濃度（体積濃度）が高くなるにつれて受光光量が減衰することがわかる。このため、従来のレーザ式ガス分析計では、測定対象空間に水分が存在すると測定対象ガスの測定値が減衰してしまい、ガス濃度を正確に測定できないという問題があった。

このように船舶の排ガス中のSO<sub>2</sub>ガス濃度とCO<sub>2</sub>ガス濃度とを分析するためにはダストによる影響や、水分による影響を、ともに除去する必要があった。

[0026] そして、SO<sub>2</sub>ガスのように中赤外領域の第1の測定対象ガスのガス濃度と

、CO<sub>2</sub>ガスのように近赤外領域の第2の測定対象ガスのガス濃度と、を測定する場合には同様の問題が生じるため、ダストによる影響や、水分による影響を除去する必要があった。

[0027] そこで本発明の解決課題は、ダストおよび高濃度の水分が存在する測定環境であっても、中赤外領域の第1の測定対象ガスのガス濃度と、近赤外領域の第2の測定対象ガスのガス濃度と、を1台の装置で高精度に測定可能としたレーザ式ガス分析計を提供することにある。

### 課題を解決するための手段

[0028] 上記課題を解決するため、請求項1に係る発明は、  
第1の測定対象ガスの光吸収スペクトルを含む中赤外領域の波長帯域のレーザ光を出射する中赤外レーザ発光部と、  
前記中赤外レーザ発光部を駆動する中赤外レーザ駆動部と、  
前記中赤外レーザ発光部から出射されたレーザ光をコリメートして第1の測定対象ガスが存在する測定対象空間に照射する中赤外レーザ光学部と、  
前記中赤外レーザ光学部から照射されたレーザ光を受光して電気的な中赤外受光信号として出力する中赤外受光部と、  
前記中赤外受光信号から第1の測定対象ガスによる光吸収の影響を受けた信号成分を抽出してこの信号成分の変化量から第1の測定対象ガスのガス濃度を演算する中赤外受光信号処理演算部と、  
第2の測定対象ガスの光吸収スペクトルを含む近赤外領域の波長帯域の第1のレーザ光、水分の光吸収スペクトルを含む近赤外領域の波長帯域の第2のレーザ光、および、水分と第1の測定対象ガスと第2の測定対象ガスの光吸収スペクトルが所定量以下である近赤外領域の波長帯域の第3のレーザ光を時間別に出射する近赤外レーザ発光部と、  
前記近赤外レーザ発光部を駆動する近赤外レーザ駆動部と、  
前記近赤外レーザ発光部から出射された第1、第2、第3のレーザ光を時間別にコリメートして測定対象空間に照射する近赤外レーザ光学部と、  
前記近赤外レーザ光学部から照射された第1、第2、第3のレーザ光を時

間別に受光して電氣的な近赤外受光信号として出力する近赤外受光部と、

第1のレーザ光の近赤外受光信号から第2の測定対象ガスによる光吸収の影響を受けた信号成分を抽出してこの信号成分の変化量から第2の測定対象ガスのガス濃度を演算し、第2のレーザ光の近赤外受光信号から前記空間の水分濃度を演算し、また、第3のレーザ光の近赤外受光信号からダストによる光量減少量を演算するという処理を時間別に行う近赤外受光信号処理演算部と、

前記近赤外受光信号処理演算部により求めた水分濃度および光量減少量を用いて、前記中赤外受光信号処理演算部により求めた第1の測定対象ガスのガス濃度および前記近赤外受光信号処理演算部により求めた第2の測定対象ガスのガス濃度を、それぞれ補正するガス濃度補正部と、  
を備えたことを特徴とする。

[0029] 請求項2に係る発明は、  
請求項1に記載のレーザ式ガス分析計において、  
前記第1の測定対象ガスはSO<sub>2</sub>ガスであり、かつ前記第2の測定対象ガスはCO<sub>2</sub>ガスであることを特徴とする。

[0030] 請求項3に係る発明は、  
請求項2に記載のレーザ式ガス分析計において、  
前記中赤外レーザ発光部から出射される中赤外領域のレーザ光の波長が3～10μmであり、前記近赤外レーザ発光部から出射される近赤外領域のレーザ光の波長が0.7～3μmであることを特徴とする。

### 発明の効果

[0031] 本発明によれば、ダストおよび高濃度の水分が存在する測定環境であっても、中赤外領域の第1の測定対象ガスのガス濃度と、近赤外領域の第2の測定対象ガスのガス濃度と、を1台の装置で高精度に測定可能としたレーザ式ガス分析計を提供することができる。

### 図面の簡単な説明

[0032] [図1]本発明の実施形態に係るレーザ式ガス分析計の構成図である。

- [図2]本発明の実施形態に係るレーザ式ガス分析計の回路ブロック図である。
- [図3]レーザ発光部およびレーザ駆動部の回路ブロック図である。
- [図4]発光波長の説明図であり、図4（a）はレーザ素子の発光波長と電流との関係を示す特性図、図4（b）はレーザ素子の発光波長と温度との関係を示す特性図である。
- [図5]波長走査駆動信号を示す図である。
- [図6]レーザ素子に対する駆動信号を示す図である。
- [図7]中赤外受光信号処理演算部および近赤外受光信号処理演算部のブロック図である。
- [図8]波長領域1.99  $\mu\text{m}$ 付近の $\text{CO}_2$ と水（ $\text{H}_2\text{O}$ ）の光吸収スペクトルを示す図である。
- [図9]ダストがない環境下での受光信号波形図である。
- [図10]ダストがある環境下での受光信号波形図である。
- [図11]ダストがない環境下で吸収があったときの出力波形図である。
- [図12]ダストがある環境下で吸収があったときの出力波形図である。
- [図13]レーザ素子の発光波長と検出波長との関係の説明図である。
- [図14]受光光量レベルとガス吸収波形の振幅レベルとの関係を示す特性図である。
- [図15]ダストがない環境下で吸収がないときの出力波形図である。
- [図16]ダストがある環境下で吸収がないときの出力波形図である。
- [図17]ダスト量に対する近赤外光の受光光量と中赤外光の受光光量との関係を示す特性図である。
- [図18]近赤外光の受光光量減少量と中赤外光の受光光量減少量との関係を示す特性図である。
- [図19]レーザ素子の発光波長と検出波長との他の関係の説明図である。
- [図20]アンモニア（ $\text{NH}_3$ ）の光吸収スペクトルを示す図である。
- [図21]差分吸収方式による濃度測定原理を示す図である。
- [図22]周波数変調方式による濃度測定原理を示す図である。

[図23]特許文献2に記載された従来のレーザ式ガス分析計の構成図である。

[図24]二酸化硫黄 ( $\text{SO}_2$ ) の光吸収スペクトルを示す図である。

[図25] $\text{CO}_2$ ガスの分光特性を示す図である。

[図26] $\text{SO}_2$ ガスの分光特性を示す図である。

[図27]波長領域7.1~7.7 $\mu\text{m}$ の水 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) の光吸収スペクトルを示す図である。

[図28]中赤外領域における水による吸収の影響がある場合の受光信号レベルを示す図である。

### 発明を実施するための形態

[0033] 以下、図に沿って本発明の実施形態を説明する。本形態のレーザ式ガス分析計では、具体例として、船舶の排ガス中の $\text{SO}_2$ ガス濃度と $\text{CO}_2$ ガス濃度を分析する装置であり、第1の測定対象ガスとして $\text{SO}_2$ ガスを、また、第2の測定対象ガスとして $\text{CO}_2$ ガスをそれぞれ分析するものとした。レーザ式ガス分析計は、船舶の排ガスという高濃度の水分およびダストが存在する環境において、測定対象空間に存在する水分の影響、および、測定対象空間に存在するダストの影響を除去しつつ、中赤外レーザ発光部を用いて $\text{SO}_2$ ガス濃度を測定し、かつ、近赤外レーザ発光部を用いて $\text{CO}_2$ ガス濃度を測定することができ、目的とするガス濃度を高精度に測定するものである。

[0034] まず、図1はこの実施形態に係るレーザ式ガス分析計の全体的な構成を示している。図1において、発光部フランジ201a、受光部フランジ201bは、例えば、測定対象ガスが内部を通過する煙道等の煙道壁101a、101bに、溶接等によってそれぞれ固定されている。

[0035] 発光部フランジ201aには発光部筐体203aが取り付けられており、発光部筐体203aには発光部ケース3が取り付けられている。発光部筐体203aの内部には、中赤外レーザ光を出射する中赤外レーザ発光部7、近赤外レーザ光を出射する近赤外レーザ発光部8、レンズ9、凹面ミラー10が気密に配置されている。そして、使用する波長の光を透過するウィンドウ18を配置することにより、発光部筐体203a内部の気密が確保されている。

- 。
- [0036] 発光部筐体 203 a には発光部ケース 3 が取り付けられていると共に、その内部の発光部回路基板 4 には、詳しくは図 2 のブロック図で示すように、中赤外レーザ駆動部 20 及び近赤外レーザ駆動部 21 が搭載されている。これらの中赤外レーザ駆動部 20 及び近赤外レーザ駆動部 21 から中赤外レーザ発光部 7 及び近赤外レーザ発光部 8 に電気信号が送られて中赤外レーザ発光部 7 が中赤外光のレーザを、また、近赤外レーザ発光部 8 が近赤外光のレーザをそれぞれ出射するように構成されている。
- [0037] ここで、中赤外レーザ発光部 7 は、第 1 の測定対象ガスである  $\text{SO}_2$  ガスの光吸収スペクトルを含む中赤外領域の波長 3 ~ 10  $\mu\text{m}$  の中赤外レーザ光を出射する量子カスケードレーザ等の素子であり、中赤外レーザ駆動部 20 では、上記の中赤外領域の波長を掃引するようなレーザ駆動信号を生成して中赤外レーザ発光部 7 を発光させる。
- [0038] 一方、近赤外レーザ発光部 8 は、第 2 の測定対象ガスである  $\text{CO}_2$  ガスの光吸収スペクトルを含む近赤外領域の波長 1.5 ~ 2.1  $\mu\text{m}$  の近赤外レーザ光を出射するレーザ素子であり、近赤外レーザ駆動部 21 では、上記の近赤外領域の波長を掃引するようなレーザ駆動信号を生成して近赤外レーザ発光部 8 を発光させる。
- [0039] 中赤外レーザ発光部 7 からの出射光は、本発明の中赤外レーザ光学部としての凹面ミラー 10 によりコリメートされて平行光となり、発光部フランジ 201 a の中心を通過して中赤外レーザ光 2 として煙道内部 1 に照射される。この中赤外レーザ光 2 は、煙道内部 1 に存在する第 1 の測定対象ガスである  $\text{SO}_2$  ガスによる光吸収の影響を受ける。また、同時に存在するダストによる光散乱の影響を受ける。また、特に中赤外領域では水分による影響を受ける。
- 。
- [0040] また、近赤外レーザ発光部 8 からの出射光は、レンズ 9 によって平行光となり、近赤外レーザ光 17 として、凹面ミラー 10 の中央部付近に形成された開口部 11 から発光部フランジ 201 a の中心を通過して煙道内部 1 に照射

される。なお、レンズ9及び開口部11は、本発明の近赤外レーザ光学部を構成している。上記のように、近赤外レーザ光17は中赤外レーザ光2の内部を同軸上に出射されることになり、この近赤外レーザ光17は、煙道内部1の第2の測定対象ガスであるCO<sub>2</sub>ガスによる光吸収の影響を受ける。また、同時に存在するダストによる光散乱の影響を受ける。なお、近赤外領域では水分による影響を受けない波長があり、この波長を利用する。

[0041] 一方、受光部フランジ201bには、受光部筐体203bが取り付けられている。煙道内部1を通過した中赤外レーザ光2は、受光部筐体203bの内部に気密に配置された凹面ミラー15より集光されて中赤外受光素子12により受光される。そして、使用する波長の光を透過するウィンドウ19を配置することにより、発光部筐体203a内部の気密が確保されている。なお、凹面ミラー15及び中赤外受光素子12は、本発明の中赤外受光部を構成している。

[0042] 中赤外受光素子12は中赤外領域の波長に感度を持つMCT (Mercury Cadmium Tellurium) 光導電素子等であり、中赤外受光素子12の出力信号は、受光部ケース5内の受光部回路基板6に搭載される中赤外受光信号処理演算部22 (図2参照)へ入力される。中赤外受光信号処理演算部22は、中赤外光受光素子12からの中赤外受光信号を信号処理し、SO<sub>2</sub>ガスの光吸収による信号変化成分が抽出されてSO<sub>2</sub>ガスのガス濃度信号として得るものであり、水分の影響や光量減衰を補正しないときのSO<sub>2</sub>ガスのガス濃度を測定する。

[0043] また、近赤外レーザ光17は、凹面ミラー15の中央部付近に形成された開口部16を通過してレンズ14により集光され、近赤外受光素子13により受光される。なお、開口部16、レンズ14及び近赤外受光素子13は、本発明における近赤外受光部を構成している。

[0044] 近赤外受光素子13は、近赤外領域の波長に感度を持つフォトダイオード等の素子であり、近赤外受光素子13の出力信号は、受光部回路基板6の近赤外受光信号処理演算部23 (図2参照)へ入力される。近赤外受光信号処

理演算部 23 は、近赤外光受光素子 13 の信号を信号処理することで、光量減衰を補正しないときの  $\text{CO}_2$  ガスのガス濃度と、水分の濃度と、ダストに衝突したときの散乱による光量減少と、を測定する。

- [0045] 中赤外受光信号処理演算部 22 および近赤外受光信号処理演算部 23 は、ガス濃度補正部 24 に接続されており、補正を行って、水分の濃度、および、ダストによる光量減少が考慮された正確なガス濃度を算出する。
- [0046] 続いて各部の動作について説明する。まずは、第 1 の測定対象ガスの測定を行う中赤外受光信号処理系の各部から説明していく。詳しくは図 3 で示すように、中赤外レーザ駆動部 20 として、さらに波長走査駆動信号発生部 20a、高周波変調信号発生部 20b、レーザ駆動信号発生部 20c、温度制御部 20d を備える。また、中赤外レーザ発光部 7 として、さらに中赤外レーザ素子 7a、温度検出部（サーミスタ）7b、温度調節部（ペルチェ素子）7c を備える。
- [0047] 中赤外レーザ素子 7a は、発光波長が第 1 の測定対象ガスの吸光特性に一致する波長およびその周辺領域にて発光が可能であり、さらに、図 4 (a) に示したようにドライブ電流により発光波長を可変とすることができ、また、図 4 (b) に示したように温度によって発光波長を可変とすることができる。本形態では第 1 の測定対象ガスとして二酸化硫黄ガス ( $\text{SO}_2$  ガス) を測定するものとし、波長も二酸化硫黄ガス ( $\text{SO}_2$  ガス) を吸収する波長を採用するものとする。
- [0048] 図 3 において、中赤外レーザ素子 7a の温度は、サーミスタ等の温度検出部 7b を用いて検出される。この温度検出部 7b は、中赤外レーザ駆動部 20 の温度制御部 20d に接続されている。この温度制御部 20d は、中赤外レーザ素子 7a の発光波長の安定化および波長の調節のため、サーミスタ等の温度検出部 7b から得られる抵抗値が一定になるように PID 制御等を行ってペルチェ素子等の温度調節部 7c の温度制御を行い、中赤外レーザ素子 7a の温度を調節する。
- [0049] また、 $\text{SO}_2$  ガスの吸収波長をスキャンするようにレーザの発光波長を変化

させる波長走査駆動信号発生部20aの出力信号と、SO<sub>2</sub>ガスの吸収波形を検出するための例えば10kHz程度の正弦波で発光波長を周波数変調させるための高周波変調信号発生部20bの出力信号とを、駆動信号発生部20cへ入力すると、駆動信号発生部20cがこれら出力信号を合成して駆動信号を生成し、この駆動信号をV-I変換して中赤外レーザ素子7aに供給する。

[0050] ここで、レーザ光の変調について説明する。図5は、波長走査駆動信号発生部20aの出力信号を示している。SO<sub>2</sub>ガスの吸光特性を走査する波長走査駆動信号S<sub>1</sub>は、中赤外レーザ素子7aの駆動電流値を直線的に変化させて中赤外レーザ素子7aの発光波長を徐々に変化させ、例えば、20nm程度の吸光特性を走査する。一方、信号S<sub>2</sub>は、駆動電流値を中赤外レーザ素子7aが安定するスレッシュホールドカレント以上に保ち、一定波長で発光させるためのものである。さらに、信号S<sub>3</sub>では、駆動電流値を0mAにしておく。

[0051] 図3の高周波変調信号発生部20bの下側には高周波変調信号発生部20bから出力される変調信号の波形図が図示されているが、この変調信号は、例えば周波数が10kHzの正弦波であり、波長幅が0.2nm程度である。

[0052] 図6は、図3のレーザ駆動信号発生部20cから出力される駆動信号（波長走査駆動信号発生部20aの出力信号と高周波変調信号発生部20bの出力信号との合成信号）の波形図である。この駆動信号は、一定周期で繰り返される台形形状である。レーザ駆動信号発生部20cが、この駆動信号を中赤外レーザ素子7aに供給すると、中赤外レーザ素子7aからは、測定対象ガスの20nm程度の吸光特性を波長幅0.2nm程度で検出可能な変調光が出力される。

[0053] これにより、中赤外レーザ素子7aからは、SO<sub>2</sub>ガスの吸光特性を走査するための、周波数変調された所定波長のレーザ光が出射される。図1で示すように、中赤外レーザ素子7aから出射したレーザ光は凹面ミラー10により平行な中赤外レーザ光2として出射される。中赤外レーザ素子7aの温度

は、事前に波長走査駆動信号の中心部分で $\text{SO}_2$ ガスが計測されるように温度が調整される。

[0054] このような中赤外レーザ光2は、煙道壁101a, 101bの内部区間（測定対象ガスが流通する空間）である煙道内部を伝播し、この間を透過する際に $\text{SO}_2$ ガスによるガス吸収を受ける。本発明の中赤外レーザ駆動部、中赤外レーザ発光部、中赤外レーザ光学部の動作・機能はこのようになる。

[0055] 続いて、本発明の中赤外受光部について説明する。

$\text{SO}_2$ ガス、 $\text{CO}_2$ ガス、水分やダストが存在する空間を介して伝播され、そのうちの $\text{SO}_2$ ガス吸収を受けた検出光は凹面ミラー15により集光されてから中赤外受光素子12により受光される。中赤外受光素子12は、受光量に応じて電気信号による検出信号を出力する。中赤外受光素子12は、例えばフォトダイオードであり、レーザの発光波長に感度を持つ素子を適用する。

[0056] 続いて、中赤外受光信号処理演算部22について説明する。中赤外受光信号処理演算部22は、図7で示すように、I/V変換部22a、同期検波部22b、参照信号発生部（発振器）22c、フィルタ22d、演算部22eを備える。中赤外受光素子12からガス濃度演算部22へ入力された検出信号は、I/V変換部22aによって電流信号から電圧信号に変換される。この電圧信号は、図9に示すような出力波形を有する。この電圧信号が同期検波部22bへ入力される。また、参照信号発生部（発振器）22cは、高周波変調信号発生部20b（図3参照）による高周波変調信号の2倍周波数の信号を参照信号として同期検波部22bへ出力する。同期検波部22bでは、変調信号の2倍周波数成分の振幅のみを取り出す。

[0057] これは先に説明した図22の周波数変調方式による濃度測定原理で示すように、中心波長 $\lambda_0$ 、変調周波数 $f_m$ で中赤外レーザ素子7aの出力が周波数変調されており、対象となる $\text{SO}_2$ ガスに照射すると、ガスの吸収線は周波数に対してほぼ2次関数となっているので、この吸収線が弁別器の役割を果たし変調周波数 $f_m$ の2倍の周波数の信号（2倍波）が得られ、この信号は、S

O<sub>2</sub>ガス濃度に比例した値を得る。この信号はフィルタ部22dでノイズを除去後に演算部22eに入力されるとともに、この演算部22eにおいてSO<sub>2</sub>ガスの濃度が演算されることになる。

[0058] 次に、周波数変調方式によるSO<sub>2</sub>ガスの濃度算出について説明する。SO<sub>2</sub>ガスにより吸光された場合、フィルタ部22dを経て図11のような信号が演算部22eへ出力される。このピーク値がガス濃度となるために、演算部22eは、ピーク振幅を計測しても良いし、信号変化を積分しても良い。

[0059] 一例を挙げれば、演算部22eは、図11のようなピーク振幅W<sub>A</sub>に対してあるSO<sub>2</sub>ガス濃度用のスパン校正值G<sub>A</sub>およびガス温度補正係数α<sub>A</sub>を掛けることでガス濃度を検出できる。

[0060] [数2]

$$\text{SO}_2 \text{ガスのガス濃度} = \alpha_A \times G_A \times W_A$$

[0061] ガス温度補正係数α<sub>A</sub>は、SO<sub>2</sub>ガスのガス温度に対して一意に決まる係数であればよく、関数形式やテーブル形式などという形式は限定されない。

[0062] なお、SO<sub>2</sub>ガス濃度は、水分による影響およびダストによる光量減少の影響を受けており、補正が必要である。演算部22eは、この水分による影響およびダストによる光量減少の影響を受けているSO<sub>2</sub>ガス濃度をガス濃度補正部24へ送る。なお、ガス濃度補正部24による処理は後述する。中赤外光によるSO<sub>2</sub>ガス濃度検出はこのように行われる。

[0063] 続いて、近赤外レーザ駆動部および近赤外受光信号処理演算部について説明する。近赤外レーザ駆動部21では、図8で示すように、第1、第2の波長掃引帯域をスキャンするように駆動される。まず、第1の波長掃引帯域として水分の濃度を計測するようなレーザ光（本発明の第2のレーザ光）を発光するための走査が行われ、そして第2の波長掃引帯域としてCO<sub>2</sub>ガスのガス濃度検出を行うようなレーザ光（本発明の第1のレーザ光）に続いて光量減少量を計測するようなレーザ光（本発明の第3のレーザ光）を発光するための走査が行われる。第1、第2の波長掃引帯域は時間別に続けて行われるものであり、例えば、第1の波長掃引帯域のスキャンを所定期間行い、続け

て第2の波長掃引帯域のスキャンを所定期間行うというものである。

[0064] まず、近赤外レーザ駆動部21は、第1の波長掃引帯域（図8参照）のスキャン、つまりCO<sub>2</sub>ガスによる光吸収は受けないが水分の光吸収スペクトルを含む近赤外領域の波長帯域の第2のレーザ光を出射するためのスキャンを行う。

[0065] 水分の光吸収スペクトルは、図27に示したように中赤外領域に広く分布している。測定対象空間に水分が存在する場合には、SO<sub>2</sub>による光吸収と水分による光吸収とが干渉するので、SO<sub>2</sub>濃度を正確に測定することが困難になる。水分による光吸収の影響を除去するためには、水分の光吸収スペクトルとSO<sub>2</sub>ガスの光吸収スペクトルとを比較して、水分の光吸収スペクトルができるだけ存在しない波長を選定することが考えられる。この対策によれば、ある程度の水分濃度までは対応可能であるが、例えば水分濃度が10vol%（体積濃度）以上の高濃度の環境では水分による光吸収が非常に強く、SO<sub>2</sub>ガスのガス濃度測定値が減少するためSO<sub>2</sub>ガスのガス濃度を高精度に測定することができない。そこで、SO<sub>2</sub>ガスのガス濃度を正確に測定するためには、水分濃度に応じてSO<sub>2</sub>ガスのガス濃度を補正する必要がある。

[0066] 水分の光吸収スペクトルは、中赤外領域の他には近赤外領域に存在する。波長1.99μm付近のCO<sub>2</sub>と水の光吸収スペクトルを図8に示す。これに対し、SO<sub>2</sub>ガスの光吸収スペクトルは、2μm以下の近赤外領域には存在しない。そこで、CO<sub>2</sub>ガスのガス濃度と水分濃度を測定するための近赤外レーザ素子8として、例えば波長1.99μm付近のレーザ光を出射する半導体レーザ素子を選定する。波長1.99μm付近では、CO<sub>2</sub>ガスと水分の吸収線が近接しているが共に含まれており、例えば、図8に示す第1の波長掃引領域で水分を測定し、また、第2の波長掃引領域でCO<sub>2</sub>を測定することができる。

[0067] 近赤外レーザ駆動部21は中赤外レーザ駆動部20と同じ構成であり、先の図3を参照しつつ説明する。本発明の近赤外レーザ駆動部21として、図3で示すように、波長走査駆動信号発生部20a、高周波変調信号発生部2

0 b、レーザ駆動信号発生部 2 0 c、温度制御部 2 0 d を備え、また、近赤外レーザ発光部 8 として、さらに近赤外レーザ素子 8 a、温度検出部（サーミスタ） 7 b、温度調節部（ペルチェ素子） 7 c を備え、近赤外レーザ光学部は、レンズ 9、開口部 1 1 を備える。

[0068] 近赤外レーザ素子 8 a は、発光波長が  $\text{CO}_2$  ガスの吸光特性に一致する波長およびその周辺領域（水分の吸光波長、および、 $\text{CO}_2$  ガスや水分がほとんど吸光しない波長を含む）にて発光が可能であり、ドライブ電流により発光波長を可変とすることができ、また、温度によって発光波長を可変とすることができる。

[0069] 図 3 において、近赤外レーザ素子 8 a の温度は、サーミスタ等の温度検出部 7 b を用いて検出される。この温度検出部 7 b は、近赤外レーザ駆動部 2 1 の温度制御部 2 0 d に接続されている。この温度制御部 2 0 d は、近赤外レーザ素子 8 a の発光波長の安定化および波長の調節のため、サーミスタ等の温度検出部 7 b から得られる抵抗値が一定になるように P I D 制御等を行ってペルチェ素子等の温度調節部 7 c の温度制御を行い、近赤外レーザ素子 8 a の温度を調節する。

[0070] まず、近赤外レーザ駆動部 2 1 は、 $\text{CO}_2$  ガスによる光吸収は受けませんが水分の光吸収スペクトルを含むような近赤外領域の波長の第 2 のレーザ光を出射するための第 1 の波長掃引帯域をスキャンする。第 1 の波長掃引帯域をスキャンするようにレーザの発光波長を変化させる波長走査駆動信号発生部 2 0 a の出力信号と、水分の吸収波形を検出するための例えば 2 0 k H z 程度の正弦波で発光波長を周波数変調させるための高周波変調信号発生部 2 0 b の出力信号とを、駆動信号発生部 2 0 c へ入力すると、駆動信号発生部 2 0 c がこれら出力信号を合成して駆動信号を生成し、この駆動信号を V - I 変換して近赤外レーザ素子 8 a に供給する。

[0071] 近赤外レーザ光の変調は、中赤外光レーザの変調と同様であり、図 1 3 の波長走査駆動信号発生部 2 0 a の出力信号を用いる。また、図 3 の高周波変調信号発生部 2 0 b の下側には高周波変調信号発生部 2 0 b から出力される

変調信号の波形図が図示されているが、この変調信号は、例えば周波数が20 kHzの正弦波であり、波長幅が0.2 nm程度であり、このような出力信号を用いる。

[0072] そして、レーザ駆動信号発生部20cから出力される駆動信号（波長走査駆動信号発生部20aの出力信号と高周波変調信号発生部20bの出力信号との合成信号）を、レーザ駆動信号発生部20cが、この駆動信号を近赤外レーザ素子8aに供給すると、近赤外レーザ素子8aからは、水分の20 nm程度の吸光特性を波長幅0.2 nm程度で検出可能な変調光が出力される。

[0073] これにより、近赤外レーザ素子8aからは、水分の吸光特性を走査するための、周波数変調された所定波長のレーザ光が出射される。このレーザ光は、図13の(a)で示すように、水分の吸光スペクトルを走査するように波長が設定されている。図1で示すように、近赤外レーザ素子8aから出射したレーザ光は凹面ミラー10の中央穴と通過して平行な近赤外レーザ光17として出射される。近赤外レーザ素子8aの温度は、事前に波長走査駆動信号の中心部分で水分が計測されるように温度が調整される。これにより水分の光吸収スペクトルを含む近赤外領域の波長のレーザ光が出射される。このような近赤外レーザ光17は、煙道壁101a, 101bの内部区間（測定対象ガスが流通する空間）である煙道内部を伝播し、この間を透過する際に水分によるガス吸収を受ける。

[0074] 続いて、本発明の近赤外受光部について説明する。

SO<sub>2</sub>ガス、CO<sub>2</sub>ガス、水分やダストが存在する空間を介して伝播された検出光は、そのうちの水分の光吸収スペクトルを含む近赤外領域の波長のレーザ光が吸収を受ける。この検出光は凹面ミラー15の開口部16を通過してからレンズ14で集光されてから近赤外受光素子13により受光される。近赤外受光素子13は、受光量に応じて電気信号による検出信号を出力する。近赤外受光素子13は、例えばフォトダイオードであり、レーザの発光波長に感度を持つ素子を適用する。

- [0075] 続いて、近赤外受光信号処理演算部 23 について説明する。近赤外受光信号処理演算部 23 は、その内部には中赤外受光信号処理演算部 22 と同じ構成を有するものであり、図 7 で示すように、I/V 変換部 22 a、同期検波部 22 b、発振器 22 c、フィルタ 22 d、演算部 22 e を備える。
- [0076] 水分による吸収を受けた場合、近赤外受光素子 13 から近赤外受光信号処理演算部 23 へ入力された検出信号は、I/V 変換部 22 a によって電流信号から電圧信号に変換される。この電圧信号も、図 9 に示すような出力波形を有する。この電圧信号が同期検波部 22 b へ入力される。また、参照信号発生部（発振器）22 c は、高周波変調信号発生部 20 b（図 3 参照）による高周波変調信号の 2 倍周波数の信号を参照信号として同期検波部 22 b へ出力する。同期検波部 22 b では、変調信号の 2 倍周波数成分の振幅のみを取り出す。
- [0077] これは先に説明した図 22 の周波数変調方式による濃度測定原理で示すように、中心波長  $\lambda_0$ 、変調周波数  $f_m$  で近赤外レーザ素子 8 a の出力が周波数変調されており、ガスの吸収線は周波数に対してほぼ 2 次関数となっているので、この吸収線が弁別器の役割を果たし変調周波数  $f_m$  の 2 倍の周波数の信号（2 倍波）が得られ、この信号は、水分濃度に比例した値を得る。同期検波部 22 b からの出力をフィルタ部 22 d でノイズを除去後に図 11 のようなピーク値を抽出する。
- [0078] この信号は演算部 22 e に入力され、演算部 22 e において水分の濃度が演算されることになる。そして、このピーク値が濃度となるために、演算部 22 e は、ピーク振幅を計測しても良いし、信号変化を積分しても良い。
- [0079] 一例を挙げれば、演算部 22 e は、図 11 のようなピーク値の振幅  $W_B$  に対してある水分濃度用のスパン校正值  $G_B$  および温度補正係数  $\alpha_B$  を掛けることで水分濃度を検出できる。
- [0080] [数 3]
- $$\text{水分濃度} = \alpha_B \times G_B \times W_B$$
- [0081] 温度補正係数  $\alpha_B$  は、水分の温度に対して一意に決まる係数であればよく、

関数形式やテーブル形式などという形式は限定されない。

- [0082] なお、この水分濃度は補正に用いられるため、演算部 22 e は、この水分濃度をガス濃度補正部 24 へ送る。なお、ガス濃度補正部 24 による処理は後述する。
- [0083] 続いて、近赤外レーザ駆動部 21 は、第 2 の波長帯域をスキャン、つまり  $\text{CO}_2$  ガスの光吸収スペクトルを含む近赤外領域の波長帯域の第 1 のレーザ光、および、水分と第 1 の測定対象ガス ( $\text{SO}_2$  ガス) と第 2 の測定対象ガス ( $\text{CO}_2$  ガス) の光吸収スペクトルを少ししか含まない、つまり所定量以下だけ含む近赤外領域の波長帯域の第 3 のレーザ光を時間別に出射するためのスキャンを行う。
- [0084] このうち第 1 のレーザ光は  $\text{CO}_2$  ガスによる光吸収を利用して  $\text{CO}_2$  ガスの濃度を検出するものであるが、第 3 のレーザ光は、近赤外光を用いるダストによる光量減少量の算出に用いられる。この光量減少量の検出原理について先に説明する。ダストの影響によってレーザ光が遮られると、受光光量が減少する。受光光量が減少すると、検出されるガス吸収波形の振幅も減少するので、ガス濃度を正確に測定することができない。
- [0085] 例えば、ダストが無い環境下で図 9、図 11 のような受光信号及びピーク値が得られたとすると、この波形の振幅  $W (=W_A)$  を検出することでガス濃度を測定することができる。一方、ダストがある環境下では、図 10、図 12 のように受光信号レベルが低下し、ピーク値の振幅  $W (=W_D)$  も小さくなり、正確なガス濃度検出ができない。
- [0086] そこで、図 14 に示すように受光光量レベルとガス吸収波形の振幅レベルがほぼ比例関係にあることに着目し、近赤外受光信号処理演算部 23 において補正係数を算出するための受光量を算出し、ガス濃度補正部 24 で補正することにより、ダスト等が存在する環境下においても正確なガス濃度検出を可能としている。
- [0087] 近赤外レーザ駆動部 21 が第 2 の波長帯域をスキャンするとは、 $\text{CO}_2$  ガスの吸収波長のスキャンと光量減少量検出用のスキャンを続けて行うようにす

るものである。近赤外レーザ光の変調は、中赤外光レーザの変調と同様であり、図13の(b)の波長走査駆動信号発生部20aの出力信号を用いる。a点の波長でCO<sub>2</sub>ガスを、b点の波長で光量減少量を検出できるように波長帯域を設定している。(a点は、図25の特性の白地状の領域のピーク点であり、b点は、図25の特性の砂地状の領域の最底点である。)

[0088] このように調整されたレーザの発光波長を変化させる波長走査駆動信号発生部20aの出力信号と、CO<sub>2</sub>ガスの吸収波形を検出するための例えば20kHz程度の正弦波で発光波長を周波数変調させるための高周波変調信号発生部20bの出力信号とを、駆動信号発生部20cへ入力すると、駆動信号発生部20cがこれら出力信号を合成して駆動信号を生成する。そして、図6のレーザ駆動信号発生部20cから出力される駆動信号(波長走査駆動信号発生部20aの出力信号と高周波変調信号発生部20bの出力信号との合成信号)の波形図のような駆動信号を、レーザ駆動信号発生部20cが、この駆動信号をV-I変換して近赤外レーザ素子8aに供給する。

[0089] これにより、近赤外レーザ素子8aからは、第2の測定対象ガス(CO<sub>2</sub>ガス)の数nm程度の吸光特性を波長幅0.2nm程度で走査される周波数変調された所定波長帯域の第1のレーザ光が出力され、また、光量減少量検出用の信号を取得するための所定波長帯域の第3のレーザ光が出射される。図1で示すように、近赤外レーザ素子8aから出射したレーザ光は凹面ミラー10の中央穴と通過して平行な近赤外レーザ光17として出射される。近赤外レーザ素子8aの温度は、事前に波長走査駆動信号の中心部分でガスが計測されるように温度が調整される。これによりCO<sub>2</sub>ガスの光吸収スペクトルおよび光量減少量検出用の波長を含む近赤外領域の波長のレーザ光が出射される。

[0090] このような近赤外レーザ光17は、煙道壁101a, 101bの内部区間(測定対象ガスが流通する空間)である煙道内部を伝播し、この間を透過する際にCO<sub>2</sub>ガスによるガス吸収や光量減少を受ける。本発明の近赤外レーザ駆動部、近赤外レーザ発光部、近赤外レーザ光学部の動作・機能はこのように

なる。

[0091] 続いて、本発明の近赤外受光部について説明する。第2の波長帯域については第1、第3のレーザ光を連続して出力し、信号処理も連続して行われるものであるが説明の明瞭化のため、まず、第1のレーザ光を受光した際の信号処理について説明する。

SO<sub>2</sub>ガス、CO<sub>2</sub>ガス、水分やダストが存在する空間を介して伝播された検出光は、第1のレーザ光によりCO<sub>2</sub>ガスの光吸収スペクトルを含む近赤外領域の波長のレーザ光がCO<sub>2</sub>ガス吸収を受ける。この検出光は凹面ミラー15の開口部16を通過してからレンズ14で集光されてから近赤外受光素子13により受光される。近赤外受光素子13は、受光量に応じて電気信号による検出信号を出力する。近赤外受光素子13は、例えばフォトダイオードであり、レーザの発光波長に感度を持つ素子を適用する。

[0092] 続いて、近赤外受光信号処理演算部23では、まず、最初にCO<sub>2</sub>ガスによる吸収を受けた場合、近赤外受光素子13から近赤外受光信号処理演算部23へ入力された検出信号は、I/V変換部22aによって電流信号から電圧信号に変換される。この電圧信号も、図9に示すような出力波形を有する。この電圧信号が同期検波部22bへ入力される。また、参照信号発生部（発振器）22cは、高周波変調信号発生部20b（図3参照）による高周波変調信号の2倍周波数の信号を参照信号として同期検波部22bへ出力する。同期検波部22bでは、変調信号の2倍周波数成分の振幅のみを取り出す。これは先に説明した図22の周波数変調方式による濃度測定原理により測定される。

[0093] この信号はフィルタ部22dでノイズを除去後に演算部22eに入力される。演算部22eは、この信号を用いてCO<sub>2</sub>ガスのガス濃度を演算する。この信号は、CO<sub>2</sub>ガスのガス濃度に比例した値であり、図11で示すようなピーク値である。このピーク値からガス濃度を演算するために、演算部22eは、ピーク振幅を計測しても良いし、信号変化を積分しても良い。

[0094] 一例を挙げれば、演算部22eは、図11のような同期検波信号の振幅W<sub>c</sub>

に対してあるCO<sub>2</sub>ガス濃度用のスパン校正値G<sub>C</sub>およびガス温度補正係数α<sub>C</sub>を掛けることでガス濃度を検出できる。

[0095] [数4]

$$\text{CO}_2 \text{ガスのガス濃度} = \alpha_C \times G_C \times W_A$$

[0096] ガス温度補正係数α<sub>C</sub>は、CO<sub>2</sub>ガスのガス温度に対して一意に決まる係数であればよく、関数形式やテーブル形式などという形式は限定されない。

[0097] なお、なお、CO<sub>2</sub>ガス濃度は、水分による影響は少ないがダストによる光量減少の影響を受けており、補正が必要である。演算部22eは、このCO<sub>2</sub>ガス濃度をガス濃度補正部24へ送る。なお、ガス濃度補正部24による処理は後述する。

[0098] 続いて、第2の波長帯域について第3のレーザ光を受光した際の信号処理について説明する。SO<sub>2</sub>ガス、CO<sub>2</sub>ガス、水分やダストが存在する空間を介して伝播された検出光は、CO<sub>2</sub>ガスとSO<sub>2</sub>ガスとの光吸収スペクトルを含まない近赤外領域の波長帯域の第3レーザ光はガス吸収がなくダストによる光量減少のみを受ける。この検出光は凹面ミラー15の開口部16を通過してからレンズ14で集光されてから近赤外受光素子13により受光される。近赤外受光素子13は、受光量に応じて電気信号による検出信号を出力する。近赤外受光素子13は、例えばフォトダイオードであり、レーザの発光波長に感度を持つ素子を適用する。

[0099] 続いて、ダストによる光量減少を受けた場合、近赤外受光素子13から近赤外受光信号処理演算部23へ入力された検出信号は、近赤外受光信号処理演算部23のI/V変換部22aによって電流信号から電圧信号に変換される。この電圧信号は、図10に示すような出力波形を有する。この電圧信号が同期検波部22bへ入力される。また、参照信号発生部（発振器）22cは、高周波変調信号発生部20b（図3参照）による高周波変調信号の2倍周波数の信号を参照信号として同期検波部22bへ出力する。同期検波部22bでは、変調信号の2倍周波数成分の振幅のみを取り出す。これは先に説明した図22の周波数変調方式による濃度測定原理により測定される。

[0100] この信号はフィルタ部22dでノイズを除去後に演算部22eに入力される。この信号は、ガスや水分の吸収は受けてないがダストで散乱された光量減少に比例した値であり、図16のような波形である。この演算部22eにおいて時間15における光量減少量Pが演算されることになる。演算部22eは、この光量減少量をガス濃度補正部24へ送る。なお、ガス濃度補正部24による処理は後述する。

[0101] 続いて、ガス濃度補正部24による補正処理について説明する。ガス濃度補正部24は、近赤外受光信号処理演算部23により求めた水分濃度および光量減少量を用いて、中赤外受光信号処理演算部22により求めた第1の測定対象ガス（SO<sub>2</sub>ガス）のガス濃度および近赤外受光信号処理演算部23により求めた第2の測定対象ガス（CO<sub>2</sub>ガス）のガス濃度を、それぞれ補正する。詳しくは、SO<sub>2</sub>ガスのガス濃度についての水分濃度および光量減少量による補正を行い、また、CO<sub>2</sub>ガスのガス濃度についての光量減少量による補正を行う。

[0102] まず、光量補正の詳細について述べる。近赤外光と中赤外光のダスト量に対する受光光量の変化は図17で示すようになる。特に近赤外光ではダスト量が増大するに連れて受光光量が大きく減少する。この値から次式により光量減少量を計算する。

[0103] [数5]

$$\text{光量減少量} = -\log(\text{受光光量相対値})$$

[0104] そして、近赤外光光量減少量と中赤外光光量減少量の相関をとると、図18のようなグラフになり、ダストに対する近赤外光と中赤外光の光量減少の特性は強い相関があることが分かる。そこで、ダストにより減少する中赤外光の受光光量は、ダストにより減少する近赤外光受光光量に基づいて推定することが可能である。

[0105] 光量減少量を検出する場合、図9、図10に示した受光信号を近赤外受光信号処理演算部23の同期検波部22bやフィルタ22dを経て波長走査駆動信号成分を取り出すと、図15、図16のような波形が得られる。図15

はダストがなく受光光量が低下していない場合、図16はダストがあつて受光光量が低下している場合である。なお、図15、図16において、この近赤外光の時間15の位置では図13(b)のb点のようにCO<sub>2</sub>ガスによる影響を受けないため、ダストの影響による減少のみを検出することができる。

[0106] 図15のように、工場出荷時や校正時というある時点において、ダストが無く受光光量が最大であるときの受光信号のレベル $P_{max}$ を受光光量設定値として演算部22eに予め設定しておく。演算部22eは、図16のようにダストがある場合（先の第3のレーザ光により求めた光量が減少した場合）の受光信号レベル $P_s$ を検出し、光量減少量としてガス濃度補正部24へ出力する。ガス濃度補正部24は、この $P_s$ と同一時点の $P_{max}$ との比を、受光光量補正係数 $\beta$ として、数式6により算出する。

[0107] [数6]

$$\beta = P_{max} / P_s$$

[0108] ガス濃度補正部24は、この受光光量補正係数 $\beta$ を、ガス濃度に乗算または除算することにより、数式7のように、ダストに起因する受光光量の変動分を補正したガス濃度を得ることができる。

[0109] [数7]

$$\begin{aligned} \text{測定対象ガス濃度（補正後）} &= \beta \times \text{測定対象ガス濃度（補正前）} \\ &= P_{max} / P_s \times \text{測定対象ガス濃度（補正前）} \end{aligned}$$

[0110] そして、先に説明した数2、数4により次式のように表される。

[0111] [数8]

$$SO_2 \text{ ガスのガス濃度（補正後）} = \alpha_A \times G_A \times W_A \times P_{max} / P_s$$

[0112] [数9]

$$CO_2 \text{ ガスのガス濃度（補正後）} = \alpha_B \times G_B \times W_B \times P_{max} / P_s$$

[0113] ガス濃度補正部24は、SO<sub>2</sub>ガスのガス濃度、CO<sub>2</sub>ガスのガス濃度それぞれに対して上記の補正を行う。続いて水分濃度に基づき、先に求めたSO<sub>2</sub>ガスのガス濃度測定値を補正する。この補正方法としては、測定対象空間の水分濃度に応じてガス濃度測定値がどの程度減少するかは予め測定可能であ

るから、水分濃度による光量減少量に応じた既知のガス濃度測定値減少量を用いて、先に求めたSO<sub>2</sub>ガスのガス濃度測定値を補正すればよい。水分濃度による光量減少量はダストによる光量減少量と同じ手法で算出することができる。

[0114] 例えば、水分濃度に関してある関数 f の中赤外光の光量が変動していたとする。

[0115] [数 1 0]

$$\gamma = f(\text{水分濃度})$$

[0116] ここで  $\gamma$  は水分による受光光量補正係数である。

近赤外受光信号処理演算部 23 から出力された水分濃度を用い、ガス濃度補正部 24 は、この受光光量補正係数  $\gamma$  を算出する。ガス濃度補正部 24 は、この受光光量補正係数  $\gamma$  を、SO<sub>2</sub>ガスのガス濃度（補正後）に乗算または除算することにより、次式のように、水分に起因する受光光量の変動分を補正したガス濃度を得ることができる。

[0117] [数 1 1]

$$\text{SO}_2\text{ガスのガス濃度（補正後）} = \alpha_A \times G_A \times W_A \times \gamma \times P_{\text{max}} / P_s$$

[0118] このような補正を行った後のSO<sub>2</sub>ガスのガス濃度（前記数 1 1 参照）、CO<sub>2</sub>ガスのガス濃度（前記数 9 参照）を後段の出力部へ送る。出力部は、例えば、ディスプレイ装置や警報装置などであり、あるいは、他のコンピュータへ送信する送信装置などである。周波数変調方式による測定対象ガスの濃度の検出はこのように行われる。このように光量の減少分が補正されたガス濃度を算出することで、ダストにより受光光量の変動する環境下においてもSO<sub>2</sub>とCO<sub>2</sub>の正確なガス濃度測定が可能となる。

[0119] 以上本発明について説明したが、本発明は各種の変形形態が可能である。例えば、先の説明では図 13 の (b) で示すようなタイミングで検出するものとして第 2 の波長掃引帯域を設定したが、例えば、図 19 の (a) で示すように波長の両側の a, c 点でCO<sub>2</sub>ガスを検出し、波長中央の b 点で光量減少量を検出するもの、図 19 の (b) で示すように波長の中央の e 点でCO<sub>2</sub>

ガスを検出し、波長の両側の d, f 点で光量減少量を検出するもの、図 19 の (c) で示すように波長の一方の側の h 点で CO<sub>2</sub> ガスを検出し、波長の他方の側の g 点で光量減少量を検出するものなど、各種タイミングで検出するように波長帯域を設定することが可能である。

[0120] また、中赤外領域で SO<sub>2</sub> ガスを、近赤外領域で CO<sub>2</sub> ガスを測定するものとしたが、中赤外領域では NO ガス、NO<sub>2</sub> ガス等の測定が可能であり、近赤外領域では NH<sub>3</sub> ガス、HCL ガスの測定が可能である。船舶の排ガスの分析用途でなければ、第 1, 第 2 の測定対象ガスとしてこれらガスを選択・組み合わせたレーザ式ガス分析計としても良い。レーザ光の波長についても中赤外領域の 3 ~ 10 μm から第 1 の測定対象ガスに応じた最適な波長が選択され、また、近赤外領域のレーザ光の波長についても 0.7 ~ 3 μm から第 2 の測定対象ガスに応じた最適な波長が選択される。

[0121] また、測定タイミングとして、中赤外領域で SO<sub>2</sub> ガスを、近赤外領域で CO<sub>2</sub> ガスを同時のタイミングで測定するようにして時間的に同一であって煙道内のダスト・水分の分布条件を一致させるようにしても良い。

[0122] また、本発明のレーザ式ガス分析計によれば、図 5, 図 6 で示すように S<sub>3</sub> 信号が 1 周期ごとに出力される信号である点に着目し、S<sub>3</sub> 信号を検出してから所定時間経過したときに同期検波部出力波形のピーク値が登場するため、このタイミングで濃度を算出すると良い。

また、濃度を測定するものとしたが、濃度がほぼ 0 の時には測定対象ガスが存在しないものと判定することで測定対象ガスの有無を検出することもできる。

[0123] また、本形態では中赤外光と近赤外光とで光路が一致しているが、光路が分かれた構成としても良い。しかしながら、煙道内のダスト・水分の分布が一様とは限らないため、ガス分析を行う光路とダストによる光量減少を測定する光路は一致していることが望ましい。

[0124] なお、この実施形態では、中赤外レーザ光 2 の内部を近赤外レーザ光 1 7 が同軸上に通過するようにすれば良く、例えば中赤外レーザ発光部 7 と近赤

外レーザ発光部 8 との配置を逆にすることにより、近赤外レーザ光 17 の内部を中赤外レーザ光 2 が同軸上に通過するようにしてもよい。

これらのレーザ発光部 7, 8 の配置以外に関しても、本発明は上述の実施形態に限定されず、その本質から逸脱しない範囲で更に多くの変更を含むものである。

[0125] また、本発明では各自がタイミングを合わせて発光および検出するものとして説明したが、図示しない CPU 部を中赤外レーザ駆動部 20、近赤外レーザ駆動部 21、中赤外受光信号処理演算部 22、近赤外受光信号処理演算部 23、ガス濃度補正部 24 と接続し、この CPU 部がタイミングを調整しつつ発光・検出についての動作制御や演算を行うものとしても良い。

[0126] 本発明によれば、CO<sub>2</sub>ガスによる吸収がある波長のレーザ光と、SO<sub>2</sub>ガスによる吸収がある波長のレーザ光と、を同軸上に出射させる光学系により、ガス濃度測定する光路上の光量減少量を同条件で測定することが可能となり、レーザ光波長走査範囲全域にわたって吸収スペクトルを持つ SO<sub>2</sub>ガスの濃度を正確に測定するとともに、CO<sub>2</sub>ガスを同時に測定することが可能となる。

[0127] また、煙道内部等の測定対象空間に水分が高濃度で存在する場合でも、近赤外レーザ光 17 を用いて水分濃度を測定することによりガス濃度測定値を補正することができるため、測定対象ガスの濃度を高精度に測定することができる。

### 産業上の利用可能性

[0128] 本発明のレーザ式ガス分析計は、ボイラ、ゴミ焼却等の燃焼排ガス測定用として最適である。その他、鉄鋼用ガス分析〔高炉、転炉、熱処理炉、焼結（ペレット設備）、コークス炉〕、青果貯蔵及び熟成、生化学（微生物）〔発酵〕、大気汚染〔焼却炉、排煙脱硫・脱硝〕、自動車排ガス（除テスト）、防災〔爆発性ガス検知、有毒ガス検知、新建築材燃焼ガス分析〕、植物育成用、化学用分析〔石油精製プラント、石油化学プラント、ガス発生プラント〕、環境用〔着地濃度、トンネル内濃度、駐車場、ビル管理〕、理化学各

種実験用などの分析計としても有用である。

## 符号の説明

- [0129] 1 : 煙道内部 (測定対象空間)
- 2 : 中赤外レーザー光
- 3 : 発光部ケース
- 4 : 発光部回路基板
- 5 : 受光部ケース
- 6 : 受光部回路基板
- 7 : 中赤外レーザー発光部
- 7 a : 中赤外レーザー素子
- 7 b : 温度検出部 (サーミスタ)
- 7 c : 温度調節部 (ペルチェ素子)
- 8 : 近赤外レーザー発光部
- 8 a : 近赤外レーザー素子
- 9, 14 : レンズ
- 10, 15 : 凹面ミラー
- 11, 16 : 開口部
- 12 : 中赤外受光素子
- 13 : 近赤外受光素子
- 17 : 近赤外レーザー光
- 18, 19 : ウィンドウ
- 20 : 中赤外レーザー駆動部
- 20 a : 波長走査駆動信号発生部
- 20 b : 高周波変調信号発生部
- 20 c : レーザ駆動信号発生部
- 20 d : 温度制御部
- 21 : 近赤外レーザー駆動部
- 22 : 中赤外受光信号処理演算部

23 : 近赤外受光信号処理演算部

24 : ガス濃度補正部

101a, 101b : 煙道壁

201a : 発光部フランジ

201b : 受光部フランジ

203a : 発光部筐体

203b : 受光部筐体

## 請求の範囲

[請求項1]

第1の測定対象ガスの光吸収スペクトルを含む中赤外領域の波長帯域のレーザ光を出射する中赤外レーザ発光部と、

前記中赤外レーザ発光部を駆動する中赤外レーザ駆動部と、

前記中赤外レーザ発光部から出射されたレーザ光をコリメートして第1の測定対象ガスが存在する測定対象空間に照射する中赤外レーザ光学部と、

前記中赤外レーザ光学部から照射されたレーザ光を受光して電気的な中赤外受光信号として出力する中赤外受光部と、

前記中赤外受光信号から第1の測定対象ガスによる光吸収の影響を受けた信号成分を抽出してこの信号成分の変化量から第1の測定対象ガスのガス濃度を演算する中赤外受光信号処理演算部と、

第2の測定対象ガスの光吸収スペクトルを含む近赤外領域の波長帯域の第1のレーザ光、水分の光吸収スペクトルを含む近赤外領域の波長帯域の第2のレーザ光、および、水分と第1の測定対象ガスと第2の測定対象ガスの光吸収スペクトルが所定量以下である近赤外領域の波長帯域の第3のレーザ光を時間別に出射する近赤外レーザ発光部と、

前記近赤外レーザ発光部を駆動する近赤外レーザ駆動部と、

前記近赤外レーザ発光部から出射された第1、第2、第3のレーザ光を時間別にコリメートして測定対象空間に照射する近赤外レーザ光学部と、

前記近赤外レーザ光学部から照射された第1、第2、第3のレーザ光を時間別に受光して電気的な近赤外受光信号として出力する近赤外受光部と、

第1のレーザ光の近赤外受光信号から第2の測定対象ガスによる光吸収の影響を受けた信号成分を抽出してこの信号成分の変化量から第2の測定対象ガスのガス濃度を演算し、第2のレーザ光の近赤外受光

信号から前記空間の水分濃度を演算し、また、第3のレーザ光の近赤外受光信号からダストによる光量減少量を演算するという処理を時間別に行う近赤外受光信号処理演算部と、

前記近赤外受光信号処理演算部により求めた水分濃度および光量減少量を用いて、前記中赤外受光信号処理演算部により求めた第1の測定対象ガスのガス濃度および前記近赤外受光信号処理演算部により求めた第2の測定対象ガスのガス濃度を、それぞれ補正するガス濃度補正部と、

を備えたことを特徴とするレーザ式ガス分析計。

[請求項2]

請求項1に記載のレーザ式ガス分析計において、

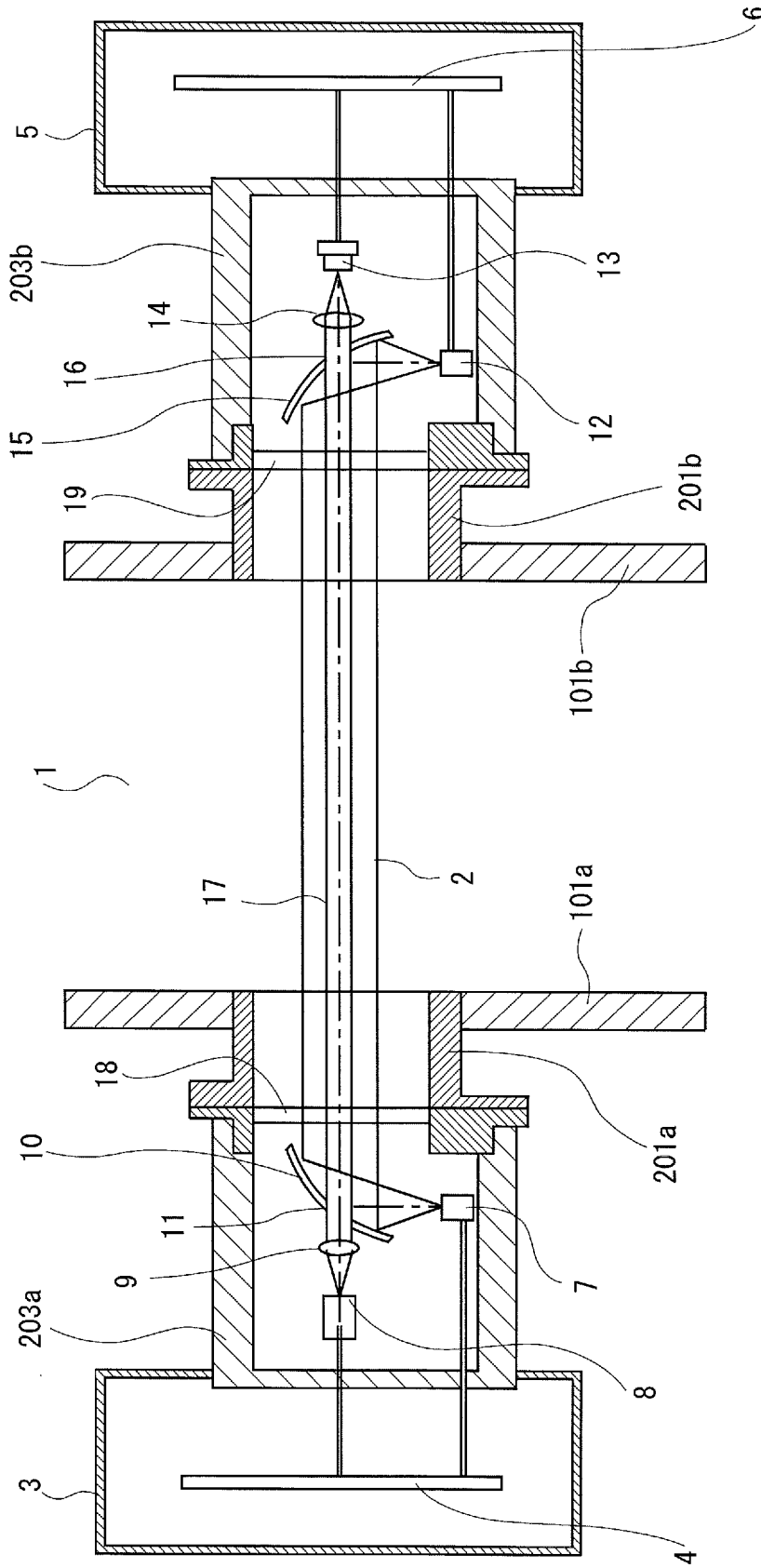
前記第1の測定対象ガスはSO<sub>2</sub>ガスであり、かつ前記第2の測定対象ガスはCO<sub>2</sub>ガスであることを特徴とするレーザ式ガス分析計。

[請求項3]

請求項2に記載のレーザ式ガス分析計において、

前記中赤外レーザ発光部から出射される中赤外領域のレーザ光の波長が3～10μmであり、前記近赤外レーザ発光部から出射される近赤外領域のレーザ光の波長が0.7～3μmであることを特徴とするレーザ式ガス分析計。

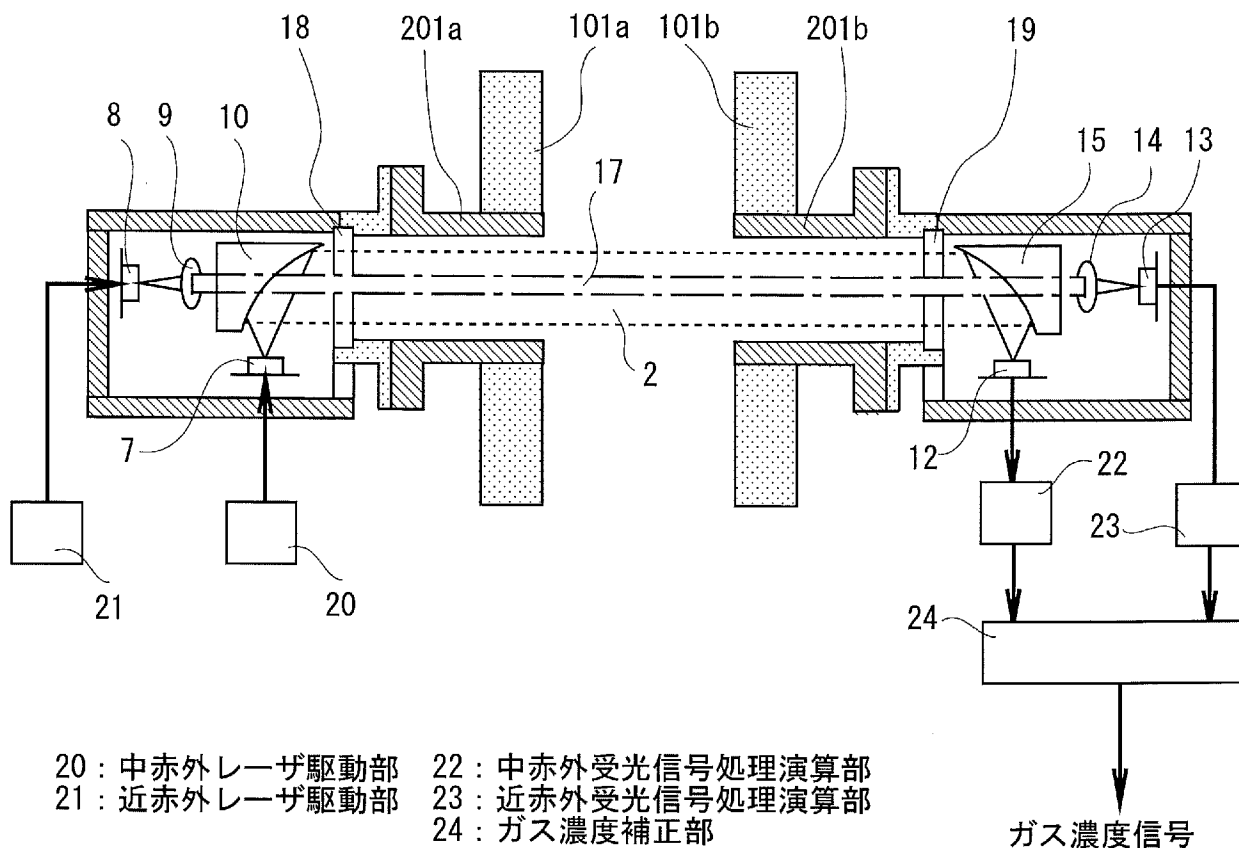
[図1]



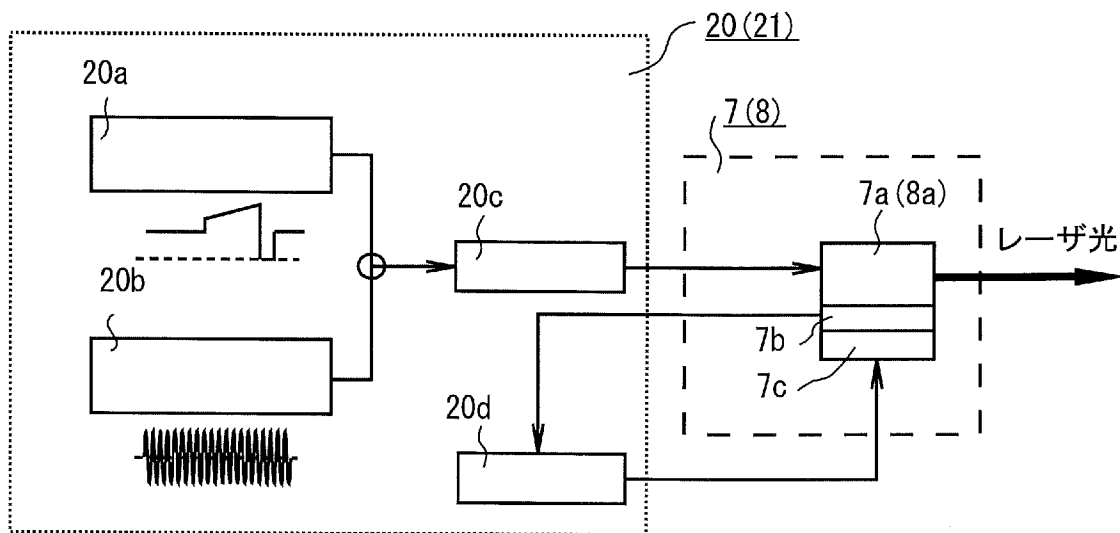
- 1: 煙道内部(測定対象空間)
- 2: 中赤外レーザー光
- 3: 発光部回路基板
- 4: 発光部回路基板
- 5: 受光部回路基板
- 6: 受光部回路基板
- 7: 中赤外レーザー発光部
- 8: 近赤外レーザー発光部
- 9: レンズ
- 10: 凹面ミラー
- 11: 開口部
- 12: 中赤外受光素子
- 13: 近赤外受光素子
- 14: レンズ
- 15: 凹面ミラー
- 16: 開口部
- 17: 近赤外レーザー光
- 18, 19: ウィンドウ
- 101a, 101b: 煙道壁
- 201a: 発光部フランジ
- 201b: 受光部フランジ
- 203a: 発光部筒体
- 203b: 受光部筒体

100 レーザ式ガス分析計

[図2]



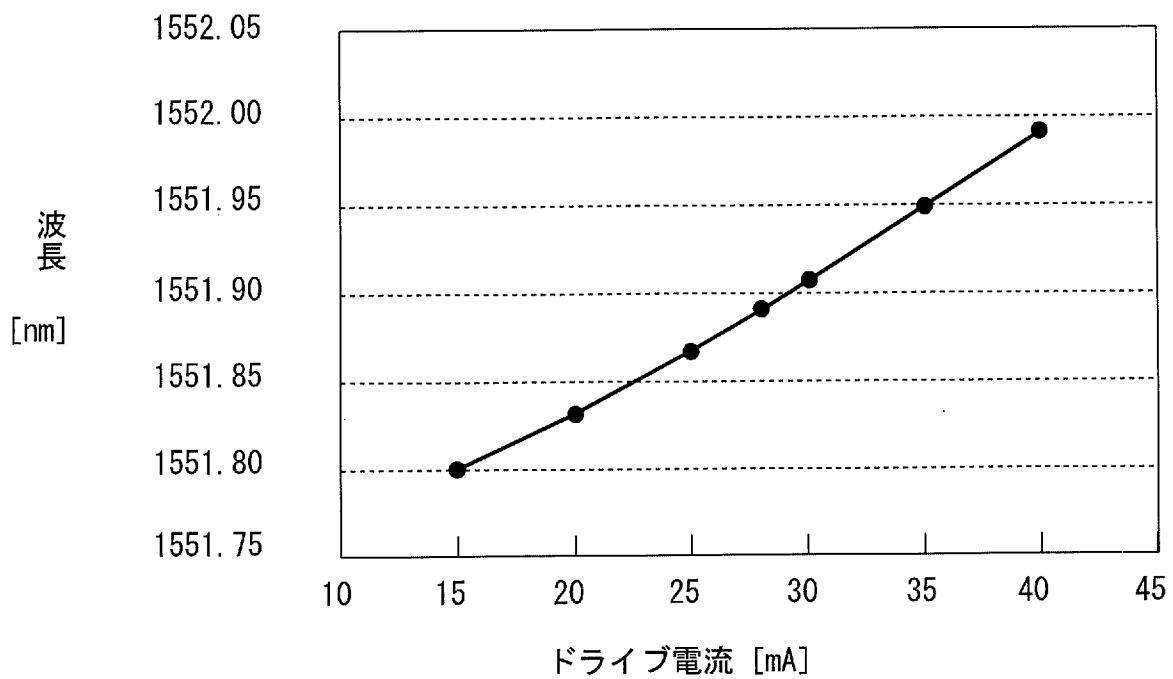
[図3]



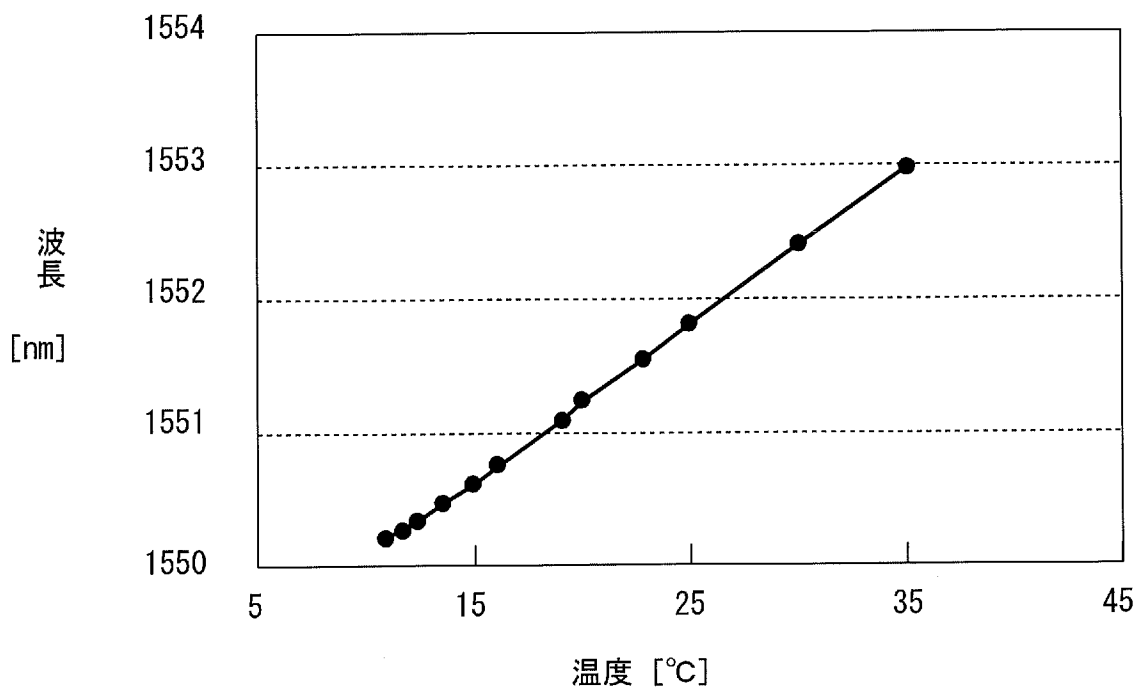
- |                   |                     |
|-------------------|---------------------|
| 7 : 中赤外レーザー発光部    | 20c : レーザ駆動信号発生部    |
| 8 : 近赤外レーザー発光部    | 20d : 温度制御部         |
| 20 : 中赤外レーザー駆動部   | 7a : 中赤外レーザー素子      |
| 21 : 近赤外レーザー駆動部   | 8a : 近赤外レーザー素子      |
| 20a : 波長走査駆動信号発生部 | 7b : 温度検出部 (サーミスタ)  |
| 20b : 高周波変調信号発生部  | 7c : 温度調節部 (ペルチェ素子) |

[図4]

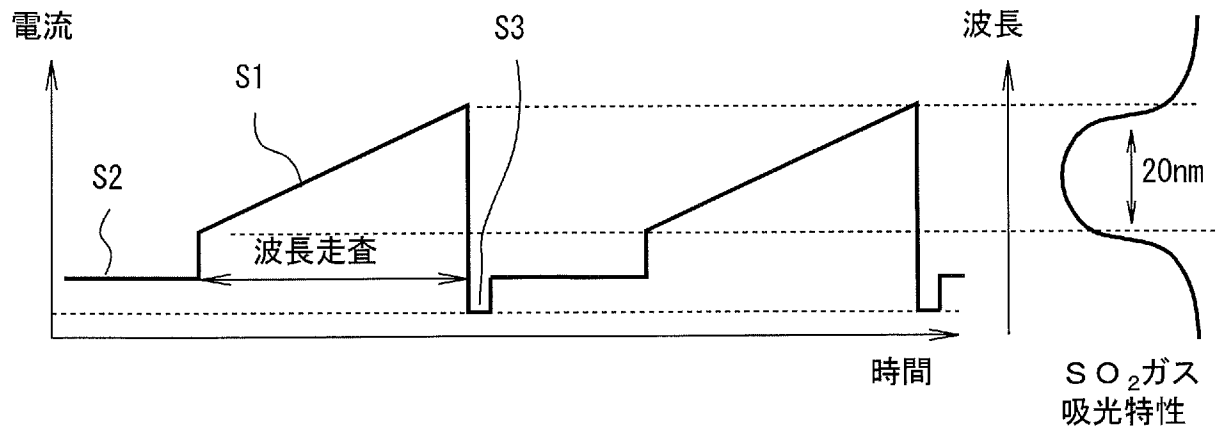
(a)



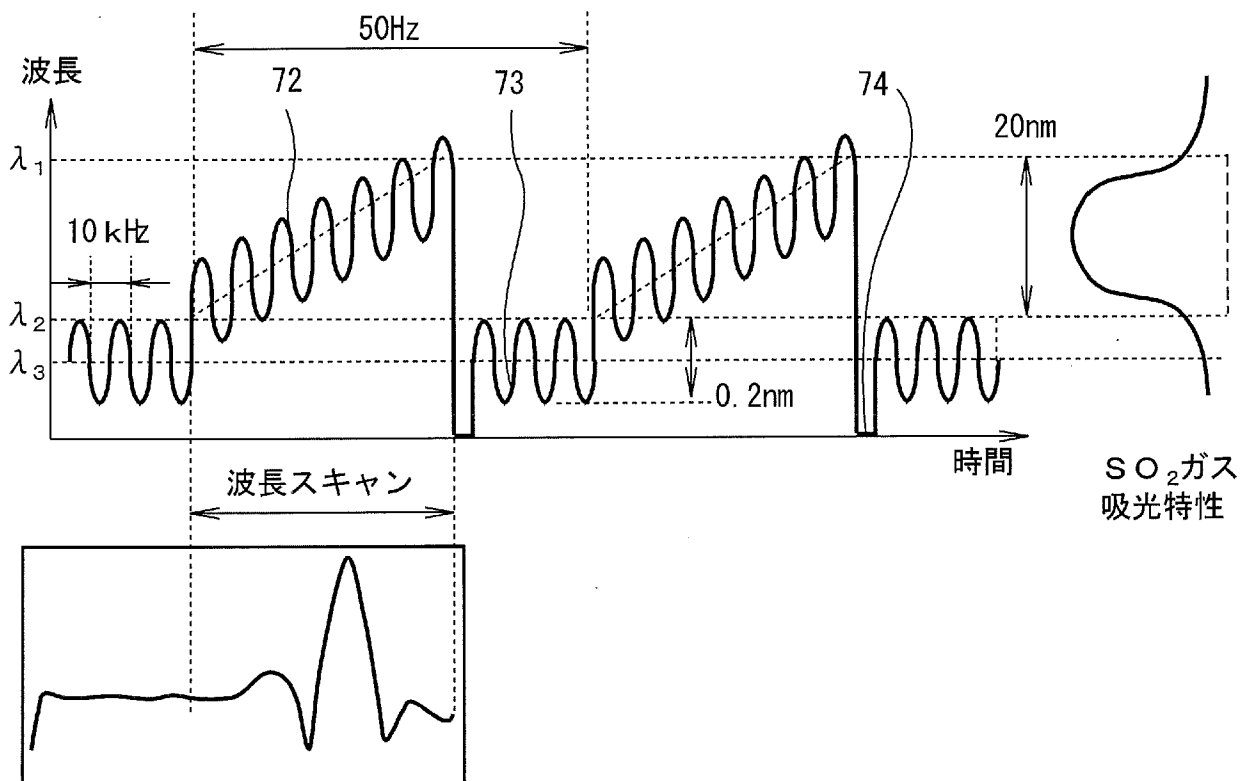
(b)



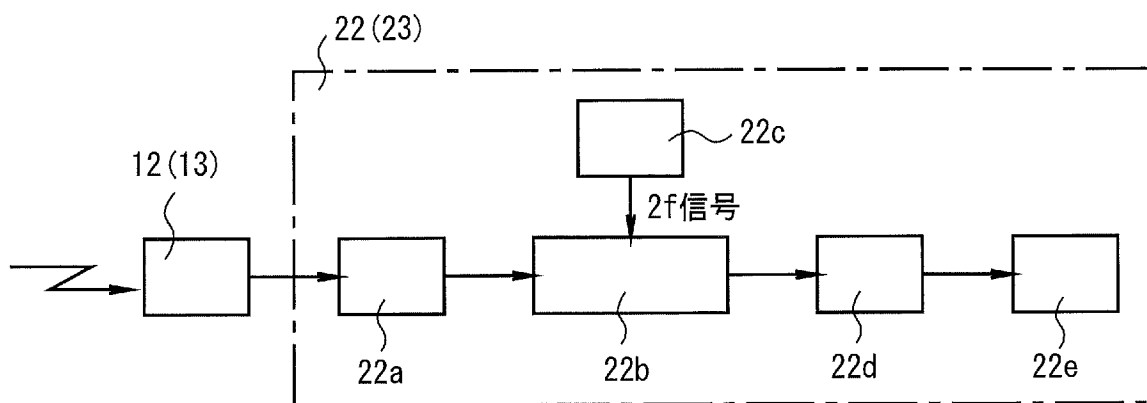
[図5]



[図6]

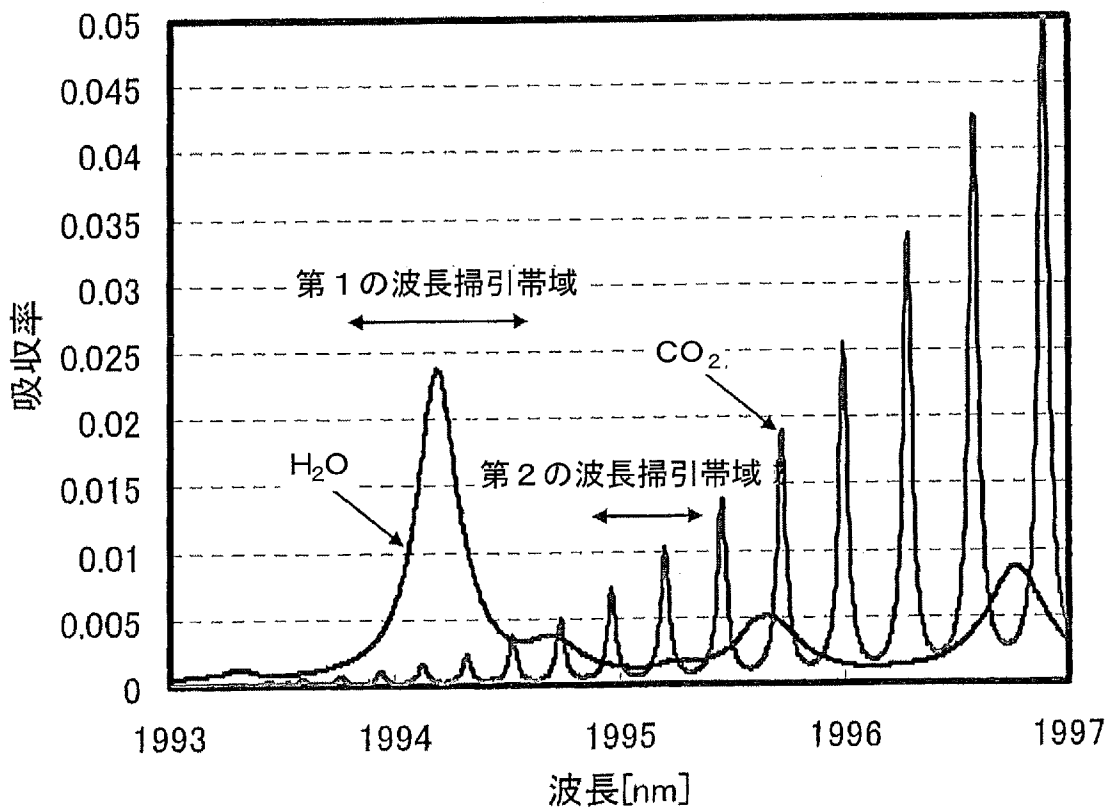


[図7]

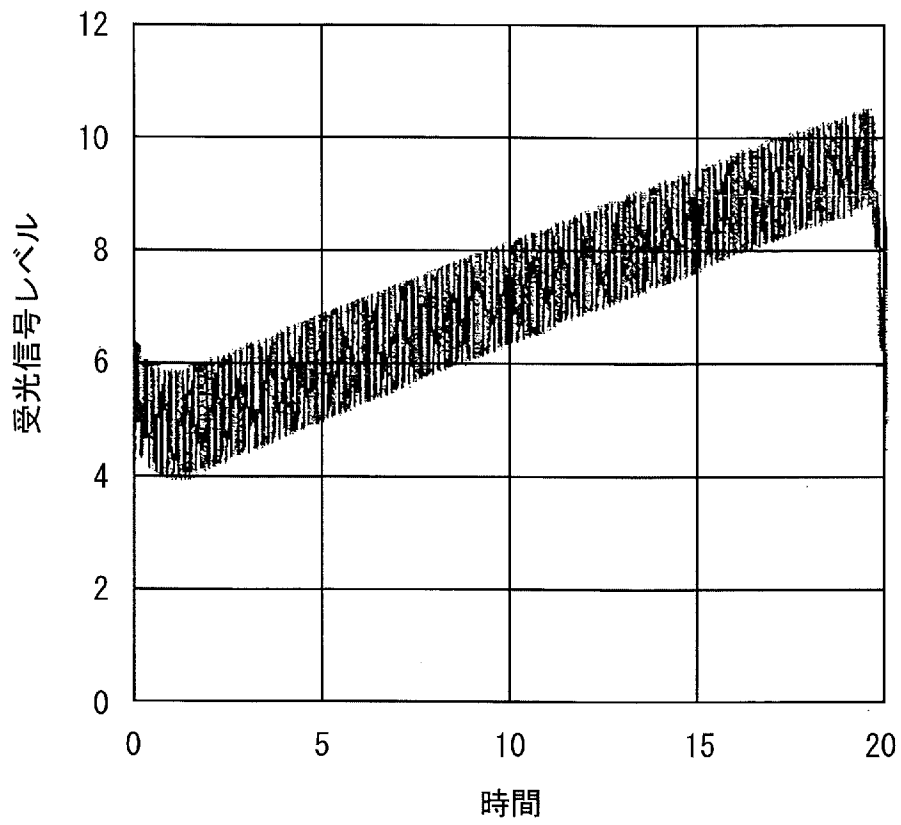


- |                   |                     |
|-------------------|---------------------|
| 12 : 中赤外光受光素子     | 22a : I / V 変換部     |
| 13 : 近赤外光受光素子     | 22b : 同期検波部         |
| 22 : 中赤外受光信号処理演算部 | 22c : 参照信号発生部 (発振器) |
| 23 : 近赤外受光信号処理演算部 | 22d : フィルタ部         |
|                   | 22e : 演算部           |

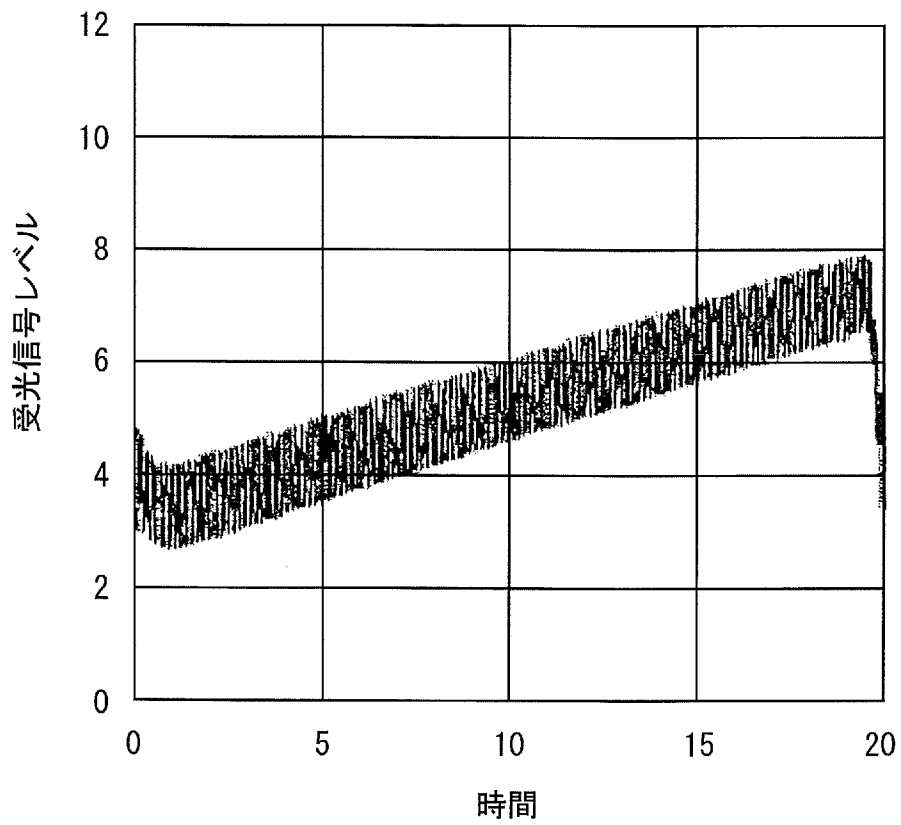
[図8]



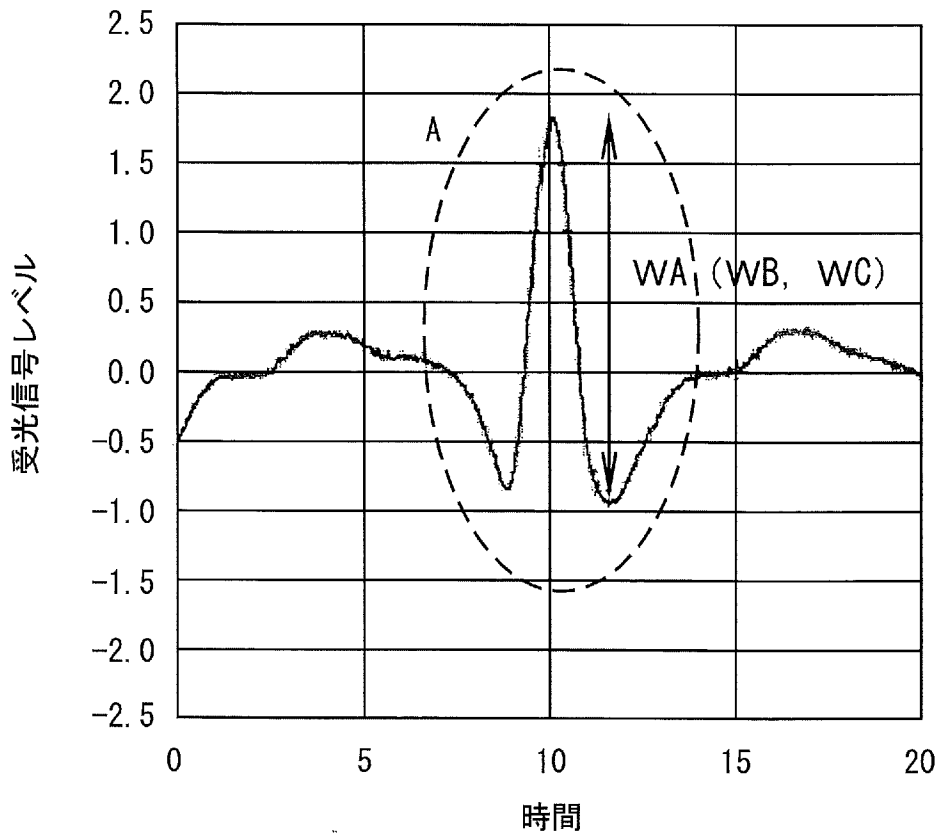
[図9]



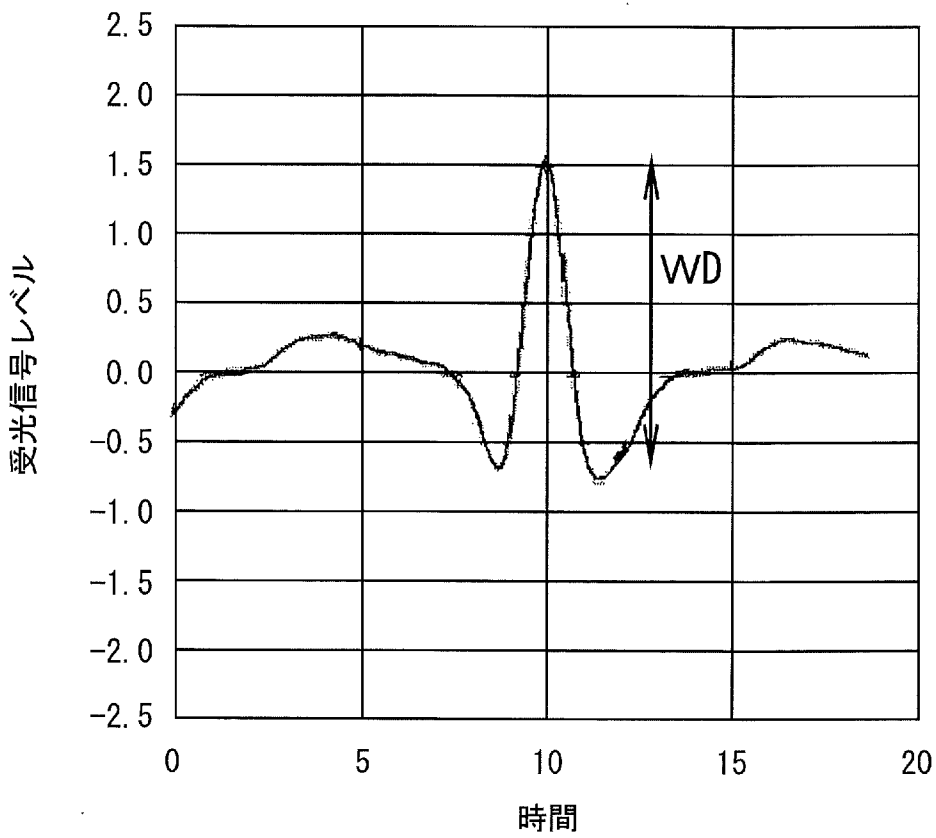
[図10]



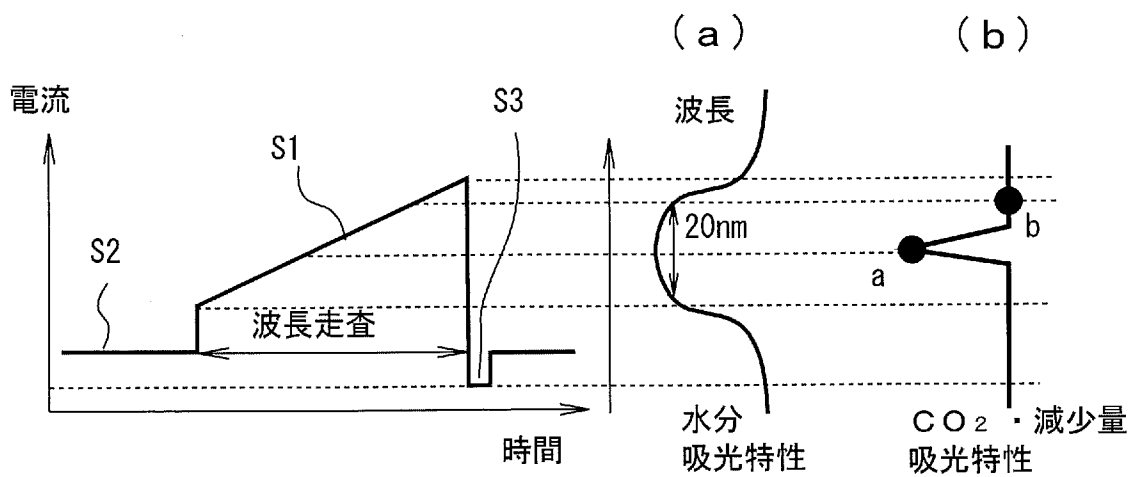
[図11]



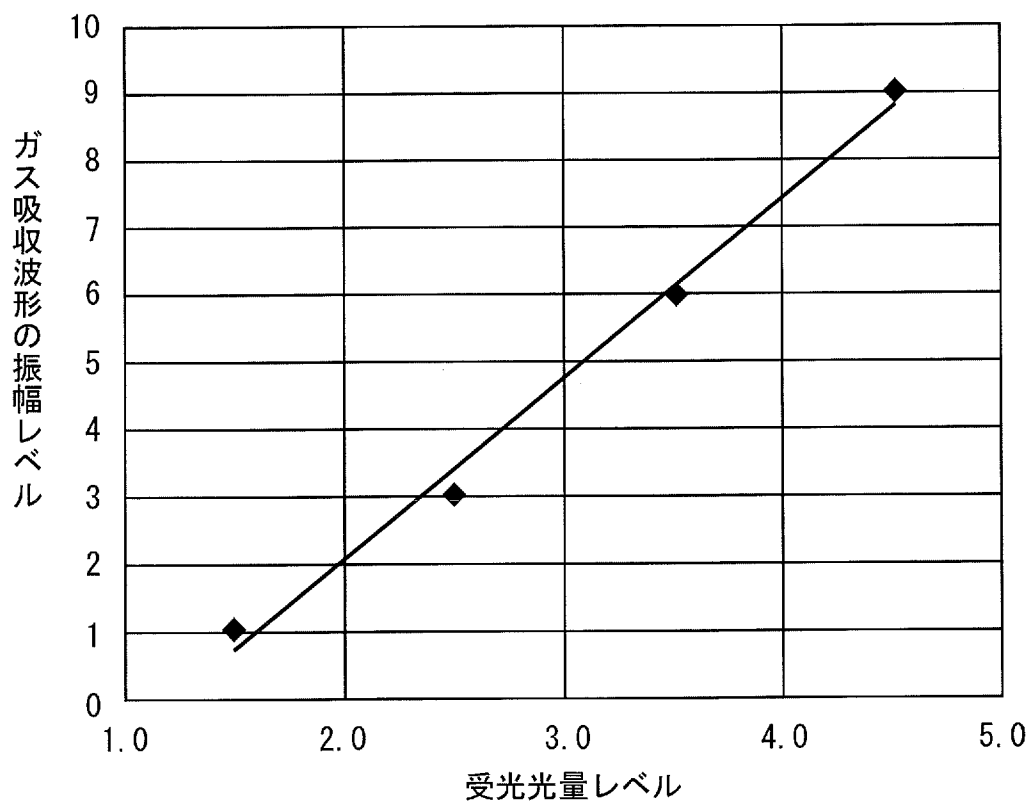
[図12]



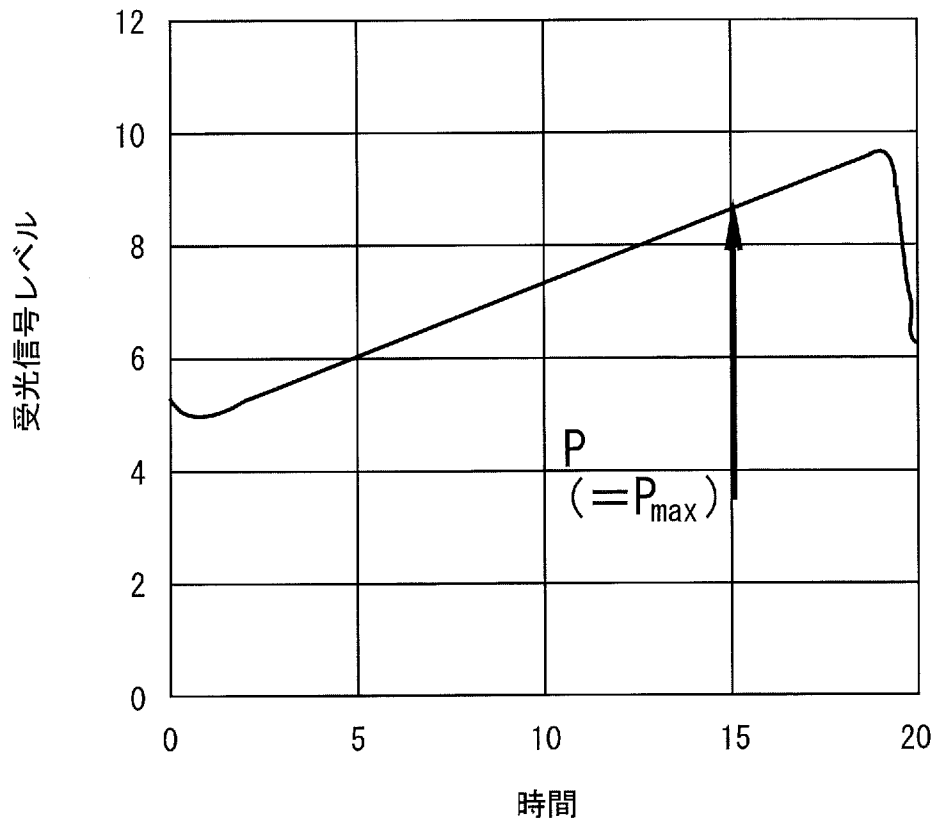
[図13]



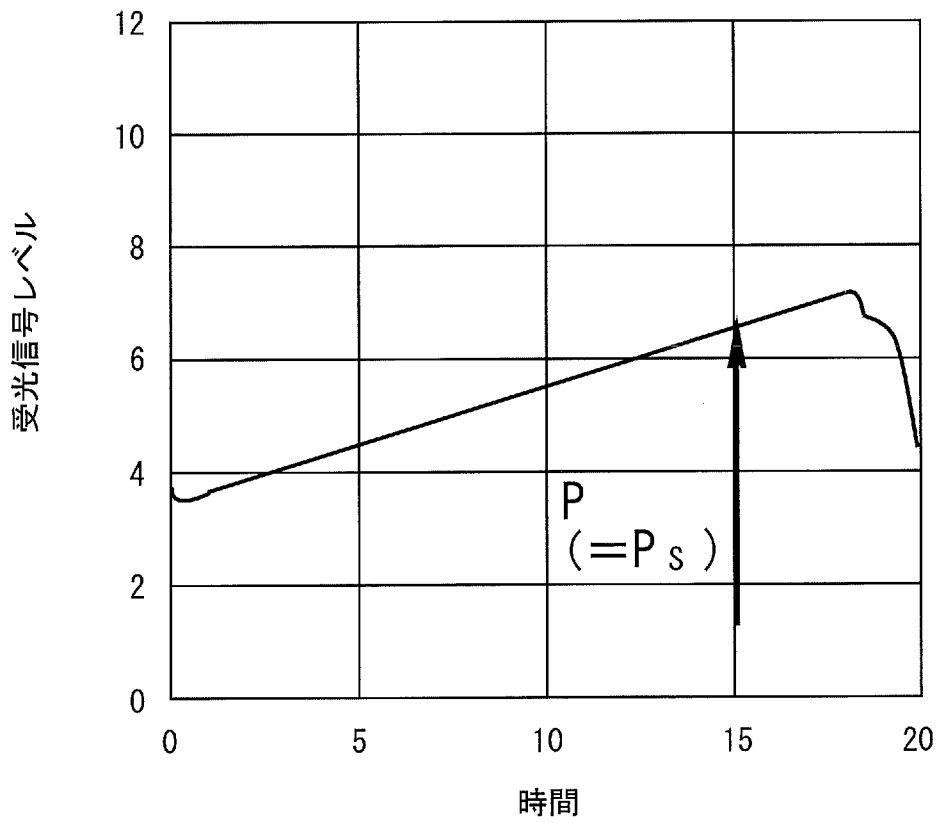
[図14]



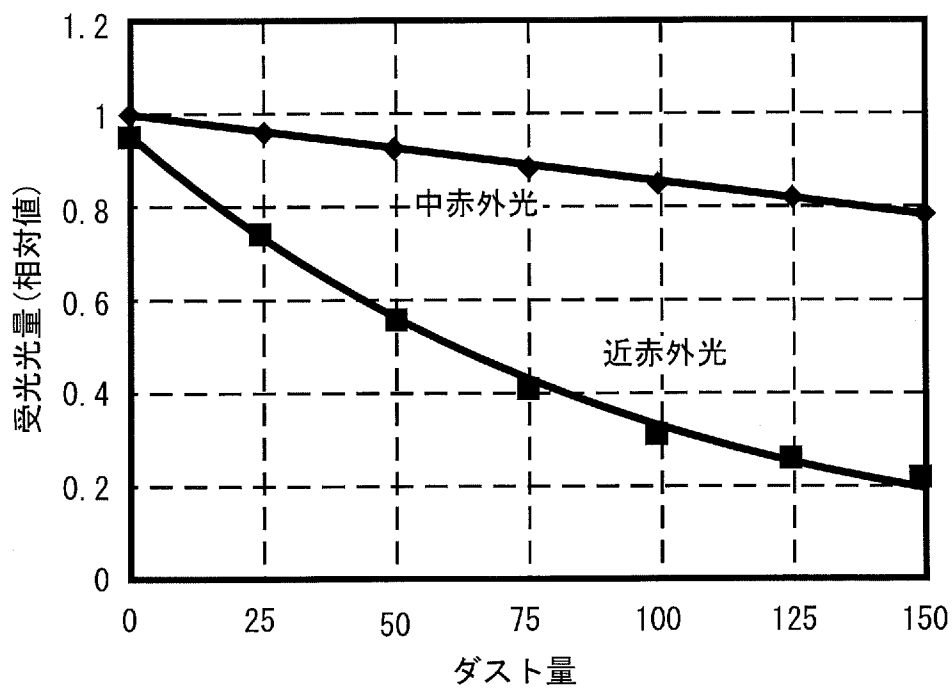
[図15]



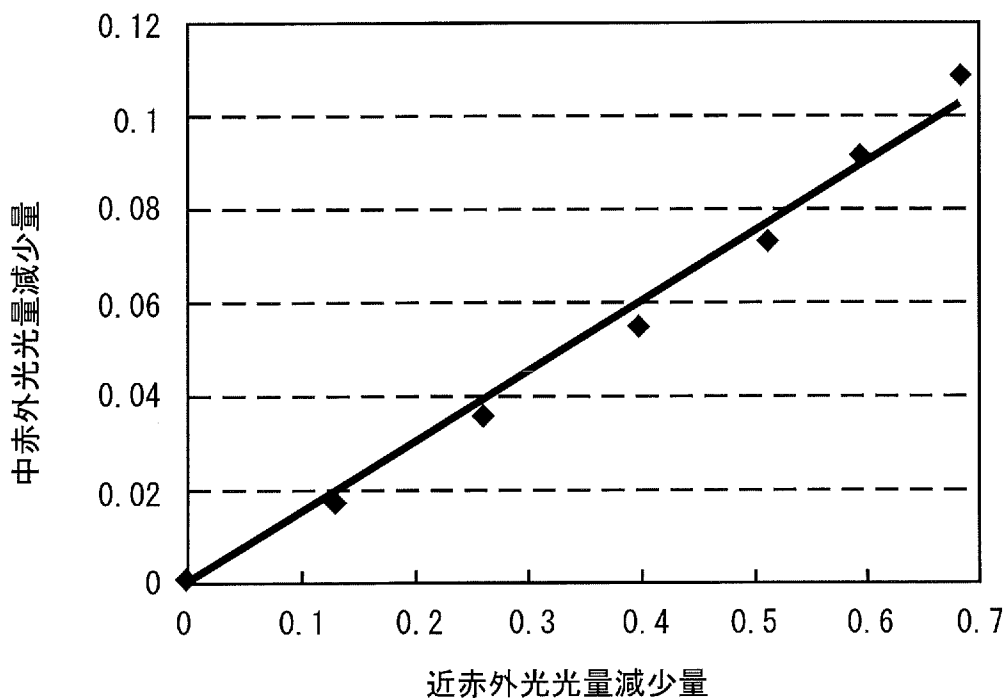
[図16]



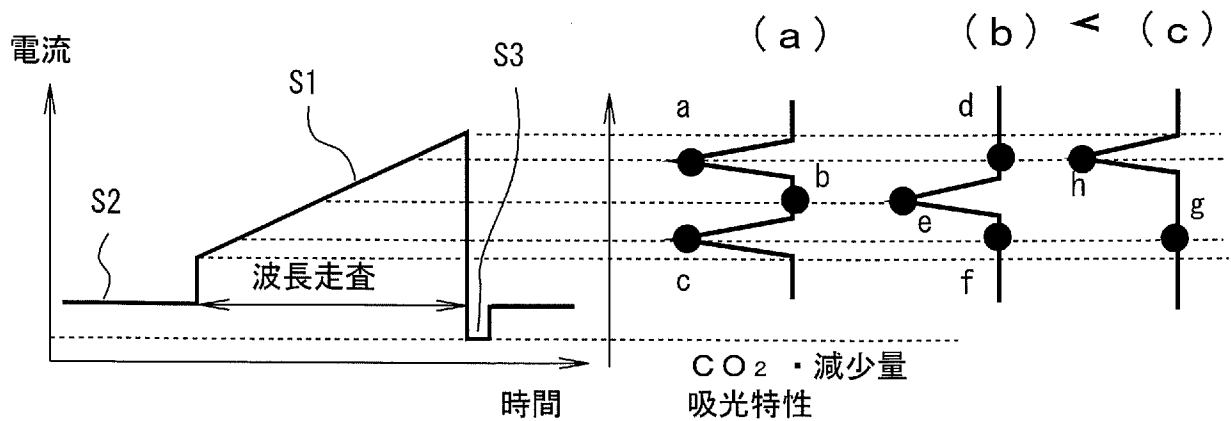
[図17]



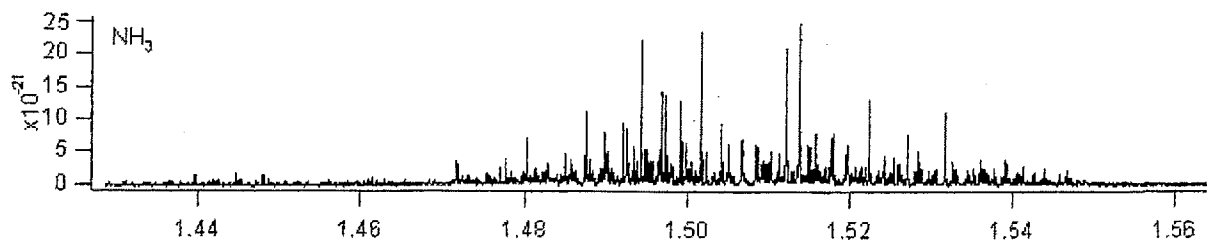
[図18]



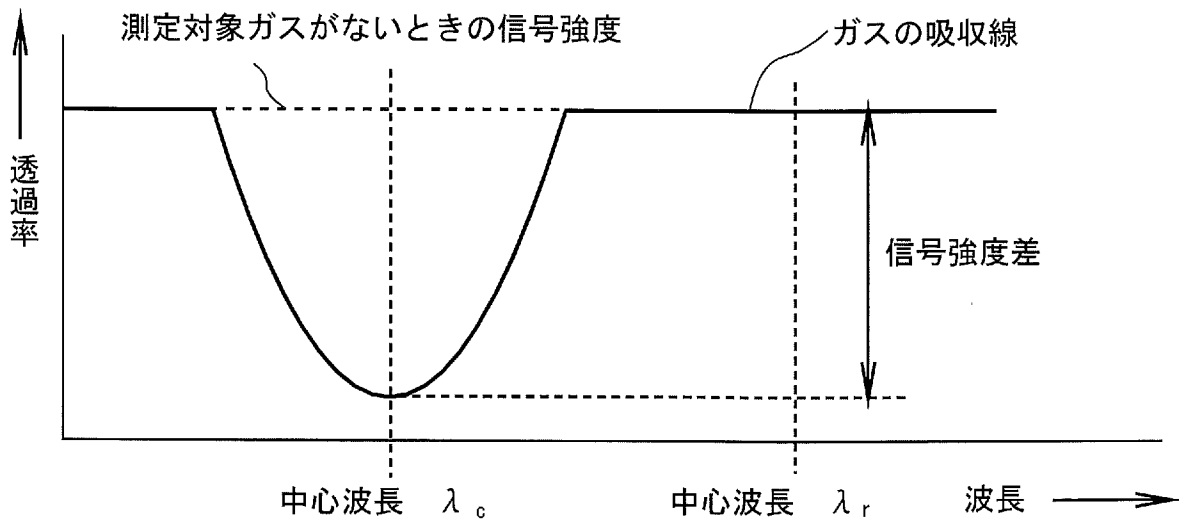
[図19]



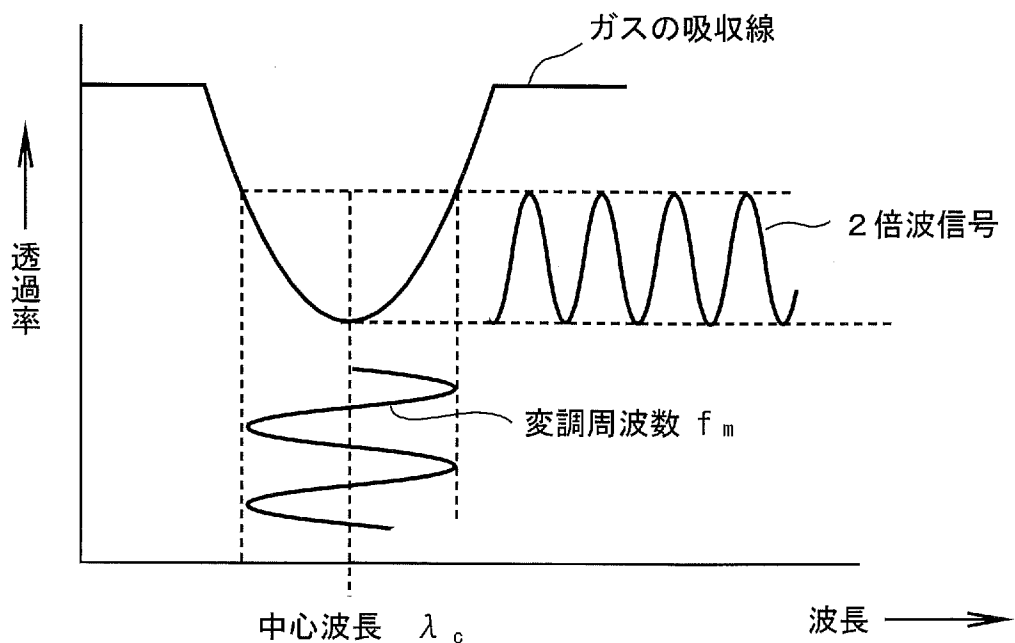
[図20]



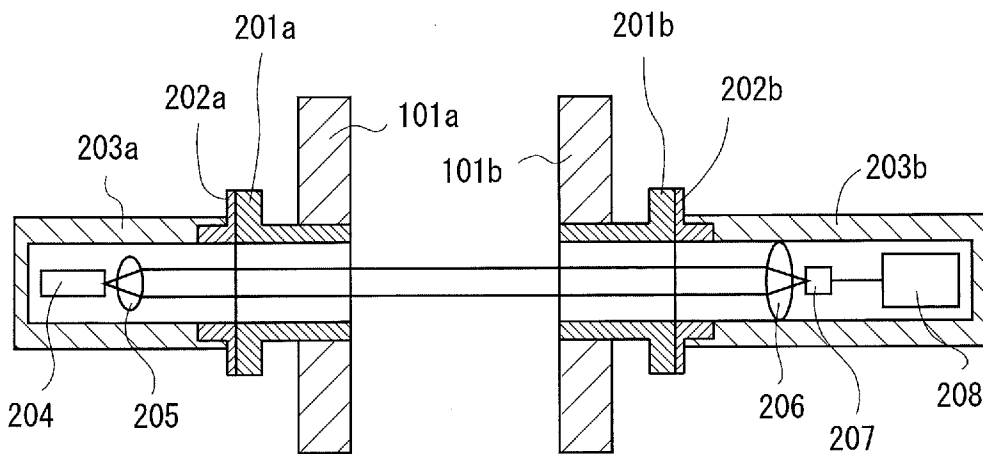
[図21]



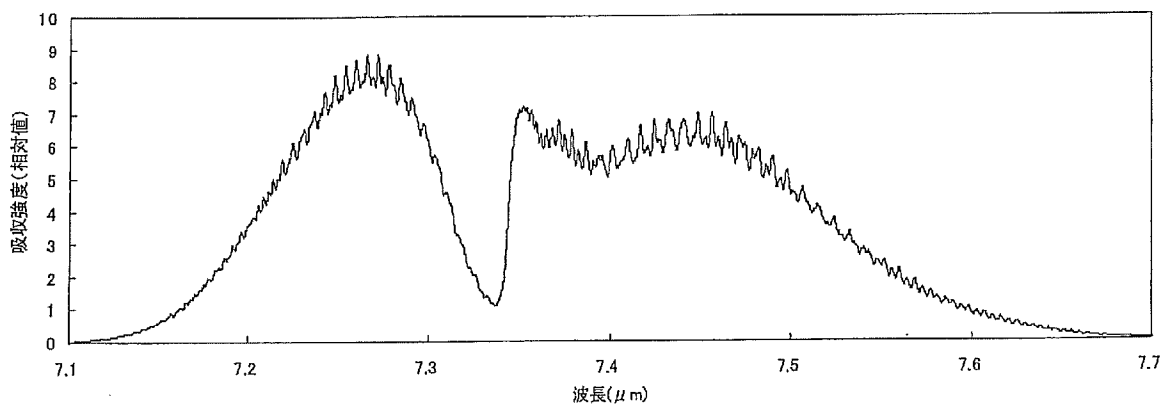
[図22]



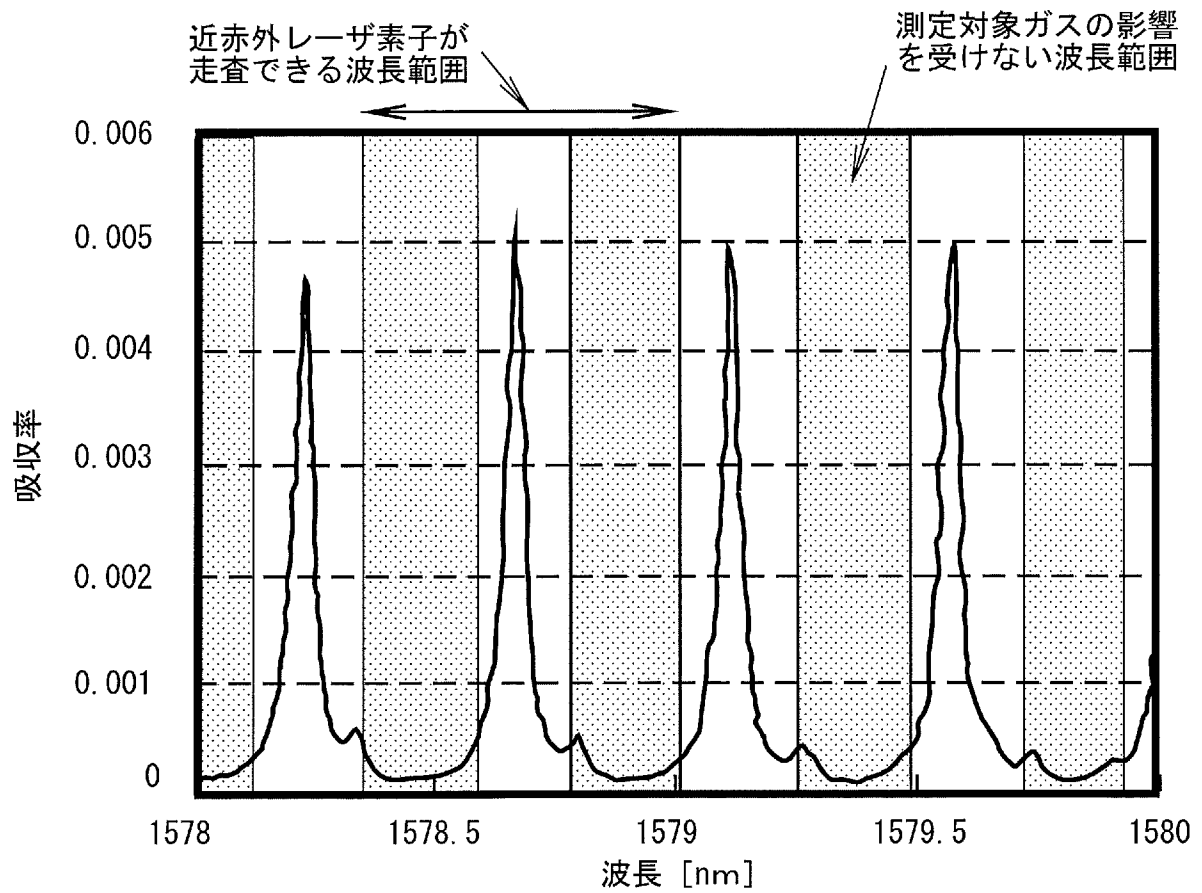
[図23]



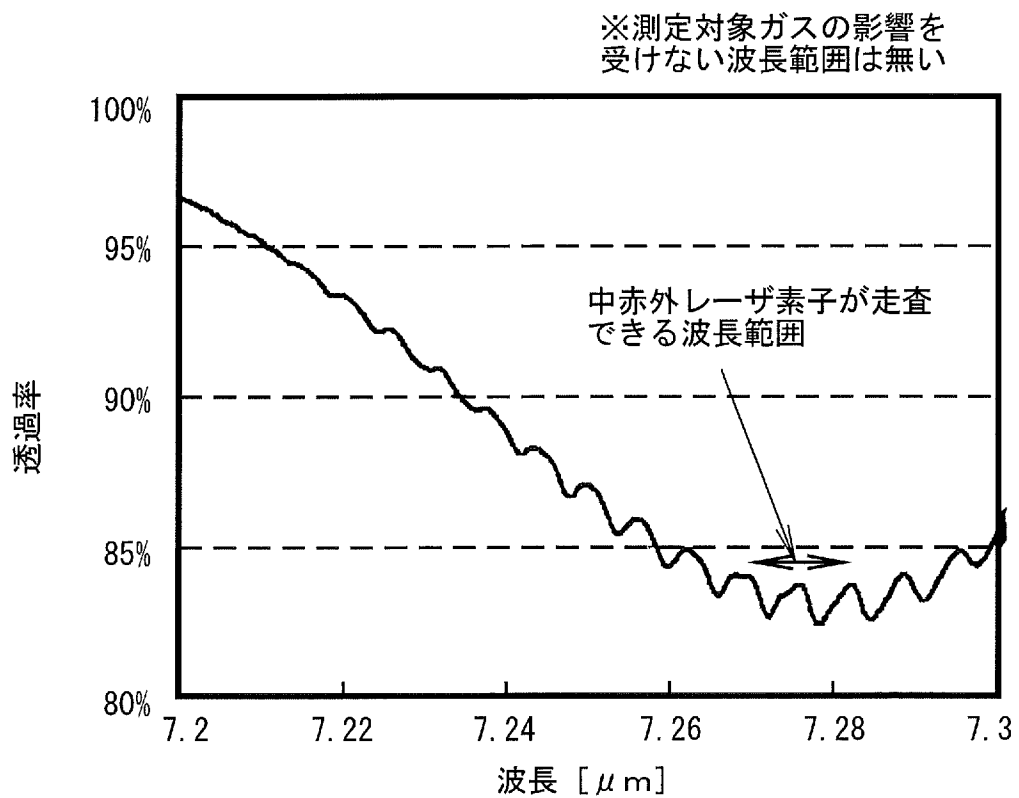
[図24]



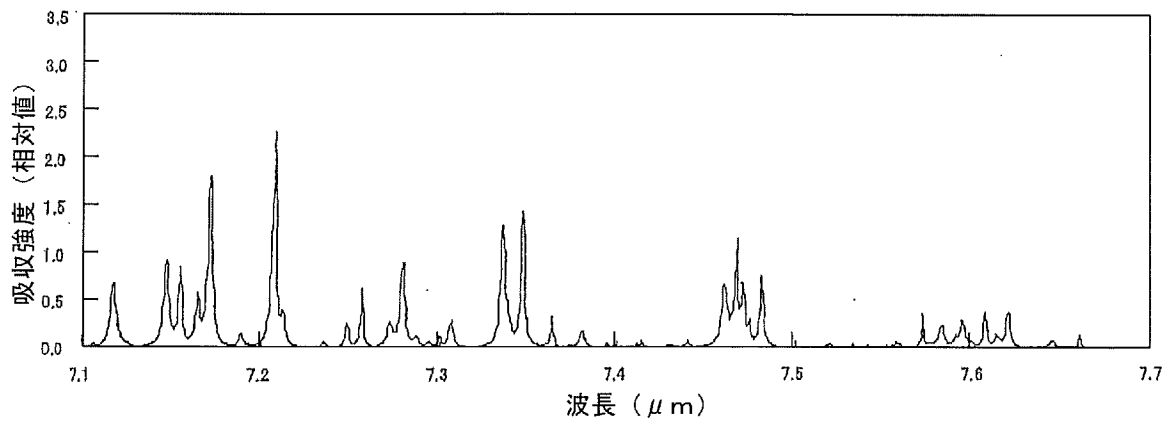
[図25]



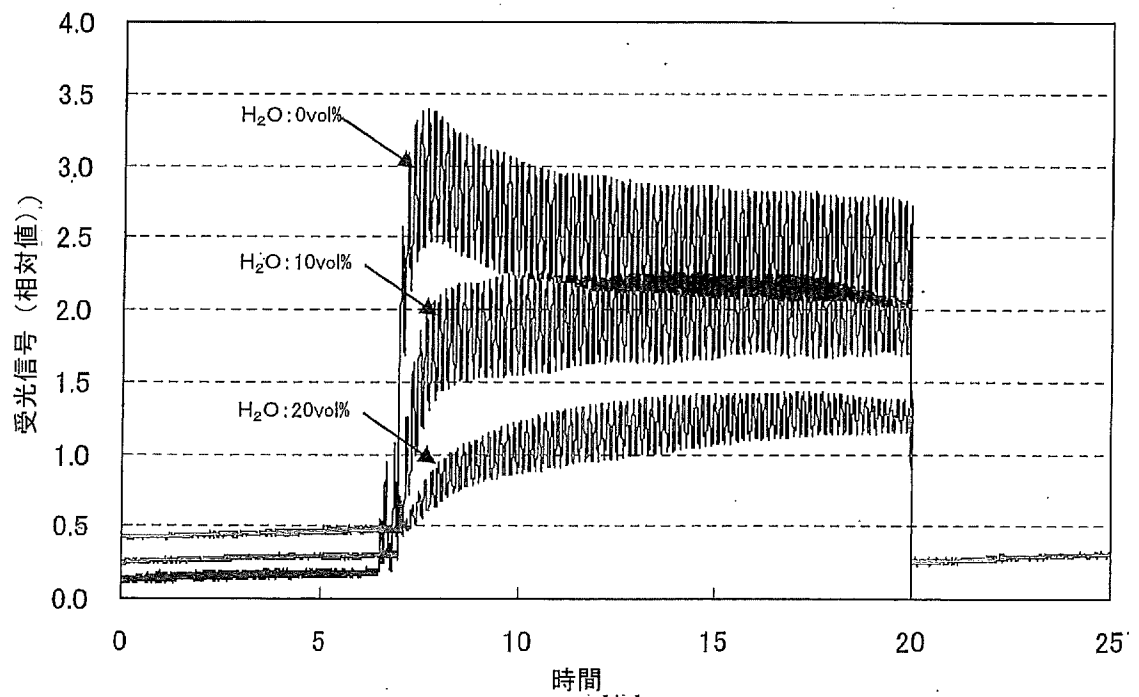
[図26]



[図27]



[図28]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/080634

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01N21/39(2006.01) i		
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) G01N21/00-G01N21/01, G01N21/17-G01N21/61		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2014 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2014 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2014		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus (JDreamIII)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 52-106777 A (Sumitomo Metal Industries, Ltd.), 07 September 1977 (07.09.1977), entire text; all drawings (Family: none)	1-3
A	JP 60-29642 A (Showa Denko Kabushiki Kaisha), 15 February 1985 (15.02.1985), entire text; all drawings & US 4567366 A	1-3
A	JP 2010-185694 A (Central Research Institute of Electric Power Industry), 26 August 2010 (26.08.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-3
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 31 January, 2014 (31.01.14)		Date of mailing of the international search report 10 February, 2014 (10.02.14)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/080634

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2005-24251 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 27 January 2005 (27.01.2005), entire text; all drawings (Family: none)	1-3
A	JP 2-159559 A (Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd.), 19 June 1990 (19.06.1990), entire text; all drawings (Family: none)	1-3
A	JP 7-151681 A (Anritsu Corp.), 16 June 1995 (16.06.1995), entire text; all drawings (Family: none)	1-3
A	JP 2009-47677 A (Fuji Electric Systems Co., Ltd.), 05 March 2009 (05.03.2009), entire text; all drawings & EP 2133686 A1 & WO 2008/096524 A1	1-3
P,A	JP 2013-117517 A (Fuji Electric Co., Ltd.), 13 June 2013 (13.06.2013), entire text; all drawings (Family: none)	1-3

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01N21/39(2006.01)i		
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)) Int.Cl. G01N21/00-G01N21/01, G01N21/17-G01N21/61		
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 1971-2014年 日本国実用新案登録公報 1996-2014年 日本国登録実用新案公報 1994-2014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) JSTPlus(JDreamIII)		
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
A	JP 52-106777 A (住友金属工業株式会社) 1977.09.07, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-3
A	JP 60-29642 A (昭和電工株式会社) 1985.02.15, 全文, 全図 & US 4567366 A	1-3
A	JP 2010-185694 A (財団法人電力中央研究所) 2010.08.26, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-3
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input 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 「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矛盾するものではなく、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 31.01.2014	国際調査報告の発送日 10.02.2014	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 比嘉 翔一 電話番号 03-3581-1101 内線 3292	2W 4005

C (続き) . 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
A	JP 2005-24251 A (三菱重工業株式会社) 2005.01.27, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-3
A	JP 2-159559 A (三井造船株式会社) 1990.06.19, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-3
A	JP 7-151681 A (アンリツ株式会社) 1995.06.16, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-3
A	JP 2009-47677 A (富士電機システムズ株式会社) 2009.03.05, 全文, 全図 & EP 2133686 A1 & WO 2008/096524 A1	1-3
P, A	JP 2013-117517 A (富士電機株式会社) 2013.06.13, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-3