

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-114259

(P2015-114259A)

(43) 公開日 平成27年6月22日(2015.6.22)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
GO 1 N 21/3504 (2014.01)	GO 1 N 21/35	1 O 1
GO 1 N 21/39 (2006.01)	GO 1 N 21/39	2 G O 5 9

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2013-257942 (P2013-257942)	(71) 出願人	514030104
(22) 出願日	平成25年12月13日 (2013.12.13)		三菱日立パワーシステムズ株式会社
			神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号
		(74) 代理人	110000785
			誠真 I P 特許業務法人
		(72) 発明者	窪田 隆博
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
		(72) 発明者	岡 裕貴
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
		(72) 発明者	川添 浩平
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

最終頁に続く

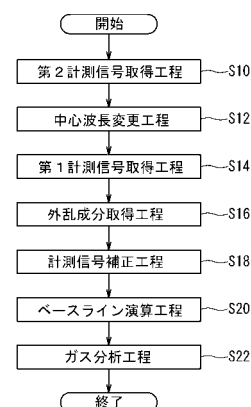
(54) 【発明の名称】 ガス分析方法及びガス分析装置

(57) 【要約】

【課題】外乱による誤差が低減されるガス分析方法及びガス分析装置を提供する。

【解決手段】ガス分析方法は、分析対象ガスの吸収線を含む第1計測波長範囲で波長可変ダイオードレーザの発振波長を繰り返し掃引しながら、受光素子により第1計測信号を繰り返し取得する工程と、第1計測信号を繰り返し取得する工程において取得された複数の第1計測信号の各々の最大値に基づいて、複数の第1計測信号のうち少なくとも1つの第1計測信号に含まれる外乱に起因する外乱成分を求める工程と、少なくとも1つの第1計測信号に対応するベースラインを求める工程と、少なくとも1つの第1計測信号、該少なくとも1つの第1計測信号に含まれる外乱成分、及び、ベースラインに基づいて、分析対象ガスを分析する工程とを有する。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光路の始端に、中心波長を含む波長範囲で発振波長が可変であり且つ前記中心波長が可変に構成された波長可変ダイオードレーザを配置する工程と、

前記光路の終端に、受光素子を配置する工程と、

前記分析対象ガスの吸収線を含む第 1 計測波長範囲で前記波長可変ダイオードレーザの発振波長を繰り返し掃引しながら、前記受光素子により第 1 計測信号を繰り返し取得する工程と、

前記第 1 計測信号を繰り返し取得する工程において取得された複数の前記第 1 計測信号の各々の最大値に基づいて、前記複数の第 1 計測信号のうち少なくとも 1 つの第 1 計測信号に含まれる外乱に起因する外乱成分を求める工程と、

10

前記少なくとも 1 つの第 1 計測信号に対応するベースラインを求める工程と、

前記少なくとも 1 つの第 1 計測信号、該少なくとも 1 つの第 1 計測信号に含まれる前記外乱成分、及び、前記ベースラインに基づいて、前記分析対象ガスを分析する工程とを備えることを特徴とするガス分析方法。

【請求項 2】

前記複数の第 1 計測信号の各々の最小値に基づいて、前記少なくとも 1 つの第 1 計測信号に含まれる迷光に起因する迷光成分を求める工程を更に備え、

前記分析対象ガスを分析する工程において、前記少なくとも 1 つの第 1 計測信号、該少なくとも 1 つの第 1 計測信号に含まれる前記外乱成分及び前記迷光成分、並びに、前記ベースラインに基づいて、前記分析対象ガスを分析することを特徴とする請求項 1 に記載のガス分析方法。

20

【請求項 3】

前記第 1 計測信号を繰り返し取得する工程において、前記第 1 計測波長範囲での前記発振波長の掃引をインターバルを置いて繰り返すことを特徴とする請求項 2 に記載のガス分析方法。

【請求項 4】

前記ベースラインを求める工程は、

前記分析対象ガスの吸収線を含まない第 2 計測波長範囲で前記波長可変ダイオードレーザの発振波長を掃引し、前記受光素子により第 2 計測信号を取得する工程と、

30

前記第 2 計測信号に基づいて前記ベースラインを求める工程とを含むことを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れか一項に記載のガス分析方法。

【請求項 5】

前記第 2 計測信号を取得する工程において、前記第 2 計測波長範囲での前記発振波長の掃引を繰り返ししながら、複数の前記第 2 計測信号を取得し、

前記ベースラインを求める工程は、前記複数の第 2 計測信号の各々の最大値に基づいて、前記複数の第 2 計測信号うち少なくとも 1 つの第 2 計測信号に含まれる外乱に起因する外乱成分を求める工程を更に含み、

前記ベースラインを求める工程において、前記少なくとも 1 つの第 2 計測信号、及び、該少なくとも 1 つの第 2 計測信号に含まれる前記外乱成分に基づいて、前記ベースラインを求める

40

ことを特徴とする請求項 4 に記載のガス分析方法。

【請求項 6】

前記第 2 計測信号を取得する工程において、前記第 2 計測波長範囲での前記発振波長の掃引を繰り返ししながら、複数の前記第 2 計測信号を取得し、

前記ベースラインを求める工程は、前記複数の第 2 計測信号の各々の最小値に基づいて、前記複数の第 2 計測信号のうち少なくとも 1 つの第 2 計測信号に含まれる迷光に起因する迷光成分を求める工程を更に含み、

前記ベースラインを求める工程において、前記少なくとも 1 つの第 2 計測信号、及び、該少なくとも 1 つの第 2 計測信号に含まれる前記迷光成分に基づいて、前記ベースライン

50

を求める

ことを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載のガス分析方法。

【請求項 7】

前記第 2 計測信号を取得する工程において、前記第 2 計測波長範囲での前記発振波長の掃引をインターバルを置いて繰り返すことを特徴とする請求項 6 に記載のガス分析方法。

【請求項 8】

光路の始端に配置され、中心波長を含む波長範囲で発振波長が可変であり且つ前記中心波長が可変に構成された波長可変ダイオードレーザと、

前記光路の終端に配置される受光素子と、

前記受光素子の出力信号に基づいて、分析対象ガスを分析するように構成された計測器とを備え、

前記計測器は、

前記分析対象ガスの吸収線を含む第 1 計測波長範囲で前記波長可変ダイオードレーザの発振波長が繰り返し掃引されている間に前記受光素子により第 1 計測信号を繰り返し取得し、

繰り返し取得された複数の前記第 1 計測信号の各々の最大値に基づいて、前記複数の第 1 計測信号のうち少なくとも 1 つの第 1 計測信号に含まれる外乱に起因する外乱成分を求め、

前記少なくとも 1 つの第 1 計測信号、該少なくとも 1 つの第 1 計測信号に含まれる外乱成分、及び、前記ベースラインに基づいて、前記分析対象ガスを分析するように構成されていることを特徴とするガス分析装置。

【請求項 9】

前記計測器は、

前記複数の第 1 計測信号の各々の最小値に基づいて、前記少なくとも 1 つの第 1 計測信号に含まれる迷光に起因する迷光成分を求め、

前記少なくとも 1 つの第 1 計測信号、該少なくとも 1 つの第 1 計測信号に含まれる前記外乱成分及び前記迷光成分、並びに、前記ベースラインに基づいて、前記分析対象ガスを分析する

ように構成されていることを特徴とする請求項 8 に記載のガス分析装置。

【請求項 10】

前記計測器は、前記第 1 計測波長範囲での前記発振波長の掃引がインターバルを置いて繰り返されている間における複数の前記第 1 計測信号を取得するように構成されていることを特徴とする請求項 9 に記載のガス分析装置。

【請求項 11】

前記計測器は、

前記分析対象ガスの吸収線を含まない第 2 計測波長範囲で前記波長可変ダイオードレーザの発振波長が掃引されている間に前記受光素子により第 2 計測信号を取得し、

前記第 2 計測信号に基づいて前記ベースラインを求める

ように構成されていることを特徴とする請求項 8 乃至 10 の何れか一項に記載のガス分析装置。

【請求項 12】

前記計測器は、

前記第 2 計測波長範囲での前記発振波長の掃引が繰り返されている間における複数の前記第 2 計測信号を取得し、

前記複数の第 2 計測信号の各々の最大値に基づいて、前記複数の第 2 計測信号のうち少なくとも 1 つの第 2 計測信号に含まれる外乱に起因する外乱成分を求め、

前記少なくとも 1 つの第 2 計測信号、及び、該少なくとも 1 つの第 2 計測信号に含まれる前記外乱成分に基づいて、前記ベースラインを求める

ように構成されている

ことを特徴とする請求項 11 に記載のガス分析装置。

【請求項 1 3】

前記計測器は、

前記第 2 計測波長範囲での前記発振波長の掃引が繰り返されている間における複数の前記第 2 計測信号を取得し、

前記複数の第 2 計測信号の各々の最小値に基づいて、前記複数の第 2 計測信号のうち少なくとも 1 つの第 2 計測信号に含まれる迷光に起因する迷光成分を求め、

前記少なくとも 1 つの第 2 計測信号、及び、該少なくとも 1 つの第 2 計測信号に含まれる前記迷光成分に基づいて、前記ベースラインを求める

ように構成されていることを特徴とする請求項 1 1 又は 1 2 に記載のガス分析装置。

【請求項 1 4】

前記計測器は、前記第 2 計測波長範囲での前記発振波長の掃引がインターバルを置いて繰り返されている間における複数の前記第 2 計測信号を取得するように構成されていることを特徴とする請求項 1 3 に記載のガス分析装置。

【請求項 1 5】

分析対象ガスを前記光路上に除去可能に導入するように構成されたガス導入装置を更に備え、

前記計測器は、前記光路上から前記分析対象ガスが除去された状態で、前記第 1 計測波長範囲で前記波長可変ダイオードレーザの発振波長が掃引されている間に前記受光素子により第 2 計測信号を取得し、

前記第 2 計測信号に基づいて前記ベースラインを求める

ように構成されている

ことを特徴とする請求項 8 乃至 1 4 の何れか一項に記載のガス分析装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示はガス分析方法及びガス分析装置に関する。

【背景技術】

【0002】

赤外吸収分光法及び赤外吸収分光装置は、赤外線領域での光の吸収を調べることにより、分析対象のガスに含まれる成分の濃度等を分析するのに用いられる。

一般的に、赤外吸収分光法では、計測信号用及びリファレンス信号用の 2 つの受光素子が用意される。光源から出射した光は 2 つに分配され、一方の光が、分析対象のガスを通過してから計測信号用の受光素子に入射させられ、他方の光が、ガスを透過せずにリファレンス信号用受光素子に入射させられる。ガスの分析には、計測信号とリファレンス信号の差が用いられる。

【0003】

かかる従来の方法に対し、特許文献 1 は、赤外線吸光スペクトルのベースライン補正方法を開示しており、該方法により得られる補正されたベースラインを用いれば、リファレンス信号の測定が不要になるものと考えられる。より詳しくは、特許文献 1 に記載された方法では、電氣的スペクトルにおいてピークが検出され、該ピークに対応する領域のデータが消去され、そして、消去された領域の両側の 2 点を基準にしてデータが補間される。

【0004】

一方、赤外吸収分光装置には、光源として、波長可変ダイオードレーザを用いるものがある。この種の赤外吸収分光装置として、例えば特許文献 2 に記載されたレーザ計測装置では、光源から出射するレーザ光の波長及び強度が掃引される。このレーザ計測装置では、計測信号とリファレンス信号の両方が測定されており、レーザ光の強度が三角波状に掃引されていても、計測信号とリファレンス信号の差をとることで、掃引の影響を除去することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2001-343324号公報

【特許文献2】特開2012-137429号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ガス分析にとっての外乱として、分析対象のガスに含まれる塵埃をあげることができる。分析対象のガスが塵埃を含んでいる場合、レーザ光が塵埃によって散乱されたり遮光され、レーザ光の透過率が低下してしまう。この結果として、計測信号が誤差を含み、分析精度が低下してしまう。

10

このような問題は、特許文献2のように計測信号用及びリファレンス信号用の2つの受光素子を用いた場合でも、特許文献1のように1つの受光素子を用いた場合でも発生する。

【0007】

そこで、本発明の少なくとも一実施形態の目的は、外乱による誤差が低減されるガス分析方法及びガス分析装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の幾つかの実施形態に係るガス分析方法は、
光路の始端に、中心波長を含む波長範囲で発振波長が可変であり且つ前記中心波長が可変に構成された波長可変ダイオードレーザを配置する工程と、

20

前記光路の終端に、受光素子を配置する工程と、

前記分析対象ガスの吸収線を含む第1計測波長範囲で前記波長可変ダイオードレーザの発振波長を繰り返し掃引しながら、前記受光素子により第1計測信号を繰り返し取得する工程と、

前記第1計測信号を繰り返し取得する工程において取得された複数の前記第1計測信号の各々の最大値に基づいて、前記複数の第1計測信号のうち少なくとも1つの第1計測信号に含まれる外乱に起因する外乱成分を求める工程と、

前記少なくとも1つの第1計測信号に対応するベースラインを求める工程と、

30

前記少なくとも1つの第1計測信号、該少なくとも1つの第1計測信号に含まれる前記外乱成分、及び、前記ベースラインに基づいて、前記分析対象ガスを分析する工程とを備える。

【0009】

この構成によれば、外乱による外乱成分が、複数の第1計測信号の各々の最大値に基づいて求められる。そして、外乱成分を考慮して分析対象ガスが分析されるので、外乱の影響が低減され、高精度に分析が行われる。

【0010】

幾つかの実施形態では、

前記複数の第1計測信号の各々の最小値に基づいて、前記少なくとも1つの第1計測信号に含まれる迷光に起因する迷光成分を求める工程を更に備え、

40

前記分析対象ガスを分析する工程において、前記少なくとも1つの第1計測信号、該少なくとも1つの第1計測信号に含まれる前記外乱成分及び前記迷光成分、並びに、前記ベースラインに基づいて、前記分析対象ガスを分析する。

【0011】

受光素子に輻射光等の迷光が入射する場合、第1計測信号が増加してしまう。この点、この構成によれば、第1計測信号が最小値であるときに受光素子に入射するのは迷光のみであり、迷光成分が、複数の第1計測信号の各々の最小値に基づいて求められる。そして、迷光成分を考慮して分析対象ガスが分析されているので、迷光の影響が低減され、高精度に分析が行われる。

50

【0012】

幾つかの実施形態では、

前記第1計測信号を繰り返し取得する工程において、前記第1計測波長範囲での前記発振波長の掃引をインターバルを置いて繰り返す。

【0013】

この構成によれば、インターバルに対応して、第1計測信号の最小値が一定時間現れるようにすることで、迷光成分をより正確に求めることができる。この結果として、ガスの分析がより高精度に行われる。

【0014】

幾つかの実施形態では、

前記ベースラインを求める工程は、

前記分析対象ガスの吸収線を含まない第2計測波長範囲で前記波長可変ダイオードレーザの発振波長を掃引し、前記受光素子により第2計測信号を取得する工程と、

前記第2計測信号に基づいて前記ベースラインを求める工程とを含む。

【0015】

この構成によれば、第1計測信号及び第2計測信号が、同じ受光素子を用いて取得される。このため、第1計測信号と第2計測信号を取得するための光学系が全く同一になり、光学系の相違に起因する誤差が取り除かれる。

一方、この構成によれば、第2計測波長範囲には分析対象ガスの吸収線が含まれておらず、第2計測信号の形状を、略そのままベースラインとして用いることができる。このため、1つの受光素子を用いても、ベースラインを求める際に生じる誤差が殆ど無い。

これらの結果、この構成によれば、第1計測信号及びベースラインに基づいて、分析対象ガスを高精度に分析することができる。

【0016】

幾つかの実施形態では、

前記第2計測信号を取得する工程において、前記第2計測波長範囲での前記発振波長の掃引を繰り返しながら、複数の前記第2計測信号を取得し、

前記ベースラインを求める工程は、前記複数の第2計測信号の各々の最大値に基づいて、前記複数の第2計測信号のうち少なくとも1つの第2計測信号に含まれる外乱に起因する外乱成分を求める工程を更に含み、

前記ベースラインを求める工程において、前記少なくとも1つの第2計測信号、及び、該少なくとも1つの第2計測信号に含まれる前記外乱成分に基づいて、前記ベースラインを求める。

【0017】

この構成によれば、第2計測信号に含まれる外乱による外乱成分が、複数の第2計測信号の各々の最大値に基づいて求められる。そして、第2計測信号に含まれる外乱成分を考慮して分析対象ガスが分析されるので、外乱の影響が低減され、高精度に分析が行われる。

【0018】

幾つかの実施形態では、

前記第2計測信号を取得する工程において、前記第2計測波長範囲での前記発振波長の掃引を繰り返しながら、複数の前記第2計測信号を取得し、

前記ベースラインを求める工程は、前記複数の第2計測信号の各々の最小値に基づいて、前記複数の第2計測信号のうち少なくとも1つの第2計測信号に含まれる迷光に起因する迷光成分を求める工程を更に含み、

前記ベースラインを求める工程において、前記少なくとも1つの第2計測信号、及び、該少なくとも1つの第2計測信号に含まれる前記迷光成分に基づいて、前記ベースラインを求める。

【0019】

受光素子に輻射光等の迷光が入射する場合、第2計測信号が増加してしまう。この点、

10

20

30

40

50

この構成によれば、第2計測信号が最小値であるときに受光素子に入射するのは迷光のみであり、第2計測信号に含まれる迷光成分が、複数の第2計測信号の各々の最小値に基づいて求められる。そして、迷光成分を考慮して分析対象ガスが分析されているので、迷光の影響が低減され、高精度に分析が行われる。

【0020】

幾つかの実施形態では、

前記第2計測信号を取得する工程において、前記第2計測波長範囲での前記発振波長の掃引をインターバルを置いて繰り返す。

【0021】

この構成によれば、インターバルに対応して、第2計測信号の最小値が一定時間現れるようにすることで、迷光成分をより正確に求めることができる。この結果として、ガスの分析がより高精度に行われる。

【0022】

本発明の幾つかの実施形態に係るガス分析装置は、

光路の始端に配置され、中心波長を含む波長範囲で発振波長が可変であり且つ前記中心波長が可変に構成された波長可変ダイオードレーザと、

前記光路の終端に配置される受光素子と、

前記受光素子の出力信号に基づいて、分析対象ガスを分析するように構成された計測器とを備え、

前記計測器は、

前記分析対象ガスの吸収線を含む第1計測波長範囲で前記波長可変ダイオードレーザの発振波長が繰り返し掃引されている間に前記受光素子により第1計測信号を繰り返し取得し、

繰り返し取得された複数の前記第1計測信号の各々の最大値に基づいて、前記複数の第1計測信号のうち少なくとも1つの第1計測信号に含まれる外乱に起因する外乱成分を求め、

前記少なくとも1つの第1計測信号、該少なくとも1つの第1計測信号に含まれる外乱成分、及び、前記ベースラインに基づいて、前記分析対象ガスを分析するように構成されている。

【0023】

この構成によれば、外乱による外乱成分が、複数の第1計測信号の各々の最大値に基づいて求められる。そして、外乱成分を考慮して分析対象ガスが分析されるので、外乱の影響が低減され、高精度に分析が行われる。

【0024】

幾つかの実施形態では、

前記計測器は、

前記複数の第1計測信号の各々の最小値に基づいて、前記少なくとも1つの第1計測信号に含まれる迷光に起因する迷光成分を求め、

前記少なくとも1つの第1計測信号、該少なくとも1つの第1計測信号に含まれる前記外乱成分及び前記迷光成分、並びに、前記ベースラインに基づいて、前記分析対象ガスを分析する

ように構成されている。

【0025】

受光素子に輻射光等の迷光が入射する場合、第1計測信号が増加してしまう。この点、この構成によれば、第1計測信号が最小値であるときに受光素子に入射するのは迷光のみであり、迷光成分が、複数の第1計測信号の各々の最小値に基づいて求められる。そして、迷光成分を考慮して分析対象ガスが分析されているので、迷光の影響が低減され、高精度に分析が行われる。

【0026】

幾つかの実施形態では、

前記計測器は、前記第1計測波長範囲での前記発振波長の掃引がインターバルを置いて繰り返されている間における複数の前記第1計測信号を取得するように構成されている。

【0027】

この構成によれば、インターバルに対応して、第1計測信号の最小値が一定時間現れるようにすることで、迷光成分をより正確に求めることができる。この結果として、ガスの分析がより高精度に行われる。

【0028】

幾つかの実施形態では、

前記計測器は、

前記分析対象ガスの吸収線を含まない第2計測波長範囲で前記波長可変ダイオードレーザの発振波長が掃引されている間に前記受光素子により第2計測信号を取得し、

前記第2計測信号に基づいて前記ベースラインを求めるように構成されている。

【0029】

この構成によれば、第1計測信号及び第2計測信号が、同じ受光素子を用いて取得される。このため、第1計測信号と第2計測信号を取得するための光学系が全く同一になり、光学系の相違に起因する誤差が取り除かれる。

一方、この構成によれば、第2計測波長範囲には分析対象ガスの吸収線が含まれておらず、第2計測信号の形状を、略そのままベースラインとして用いることができる。このため、1つの受光素子を用いても、ベースラインを求める際に生じる誤差が殆ど無い。

これらの結果、この構成によれば、第1計測信号及びベースラインに基づいて、分析対象ガスを高精度に分析することができる。

【0030】

幾つかの実施形態では、

前記計測器は、

前記第2計測波長範囲での前記発振波長の掃引が繰り返されている間における複数の前記第2計測信号を取得し、

前記複数の第2計測信号の各々の最大値に基づいて、前記複数の第2計測信号のうち少なくとも1つの第2計測信号に含まれる外乱に起因する外乱成分を求め、

前記少なくとも1つの第2計測信号、及び、該少なくとも1つの第2計測信号に含まれる前記外乱成分に基づいて、前記ベースラインを求めるように構成されている。

【0031】

この構成によれば、第2計測信号に含まれる外乱による外乱成分が、複数の第2計測信号の各々の最大値に基づいて求められる。そして、第2計測信号に含まれる外乱成分を考慮して分析対象ガスが分析されるので、外乱の影響が低減され、高精度に分析が行われる。

【0032】

幾つかの実施形態では、

前記計測器は、

前記第2計測波長範囲での前記発振波長の掃引が繰り返されている間における複数の前記第2計測信号を取得し、

前記複数の第2計測信号の各々の最小値に基づいて、前記複数の第2計測信号のうち少なくとも1つの第2計測信号に含まれる迷光に起因する迷光成分を求め、

前記少なくとも1つの第2計測信号、及び、該少なくとも1つの第2計測信号に含まれる前記迷光成分に基づいて、前記ベースラインを求めるように構成されている。

【0033】

受光素子に輻射光等の迷光が入射する場合、第2計測信号が増加してしまう。この点、この構成によれば、第2計測信号が最小値であるときに受光素子に入射するのは迷光のみ

10

20

30

40

50

であり、第2計測信号に含まれる迷光成分が、複数の第2計測信号の各々の最小値に基づいて求められる。そして、迷光成分を考慮して分析対象ガスが分析されているので、迷光の影響が低減され、高精度に分析が行われる。

【0034】

幾つかの実施形態では、

前記計測器は、前記第2計測波長範囲での前記発振波長の掃引がインターバルを置いて繰り返されている間における複数の前記第2計測信号を取得するように構成されている。

【0035】

この構成によれば、インターバルに対応して、第2計測信号の最小値が一定時間現れるようにすることで、迷光成分をより正確に求めることができる。この結果として、ガスの分析がより高精度に行われる。

10

【0036】

幾つかの実施形態では、

分析対象ガスを前記光路上に除去可能に導入するように構成されたガス導入装置を更に備え、

前記計測器は、前記光路上から前記分析対象ガスが除去された状態で、前記第1計測波長範囲で前記波長可変ダイオードレーザの発振波長が掃引されている間に前記受光素子により第2計測信号を取得し、

前記第2計測信号に基づいて前記ベースラインを求めるように構成されている。

20

【0037】

この構成によれば、第1計測信号及び第2計測信号が、同じ受光素子を用いて取得される。このため、第1計測信号と第2計測信号を取得するための光学系が全く同一になり、光学系の相違に起因する誤差が取り除かれる。

【発明の効果】

【0038】

本発明の少なくとも一実施形態によれば、外乱による誤差が低減されるガス分析方法及びガス分析装置が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0039】

30

【図1】ボイラの概略構成を示す図である。

【図2】本発明の一実施形態に係るガス分析装置の概略的な構成を示す図である。

【図3】TDLから出射するレーザ光の強度及び波長と時間との関係を概略的に示す図である。

【図4】幾つかの実施形態に係るガス分析方法の手順を概略的に示すフローチャートである。

【図5】レーザ光の波長と、ガスによるレーザ光の吸収率との関係を、ガスの吸収線とともに概略的に示すグラフである。

【図6】外乱成分取得工程を説明するための図である。

【図7】TDLの波長、出射光強度、補正された第1計測信号、第2計測信号及びベースラインと、時間の関係を概略的に示す図である。

40

【図8】第2計測信号に基づいて求められたベースラインと補正された第1計測信号との差を概略的に示すグラフである。

【図9】幾つかの実施形態に係るガス分析方法の手順を概略的に示すフローチャートである。

【図10】迷光成分取得工程を説明するための図である。

【図11】幾つかの実施形態に係るガス分析方法における、TDLの出射光強度と時間の関係を概略的に示すグラフである。

【図12】図11のグラフに対応する、第1計測信号と時間の関係を概略的に示す図である。

50

【図 1 3】幾つかの実施形態に係るガス分析装置の概略的な構成を示す図である。

【図 1 4】幾つかの実施形態に係るガス分析方法の手順を概略的に示すフローチャートである。

【図 1 5】幾つかの実施形態に係るガス分析装置の概略的な構成を示す図である。

【図 1 6】幾つかの実施形態に係るガス分析方法の手順を概略的に示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0040】

以下、添付図面を参照して、本発明の実施形態について説明する。ただし、この実施形態に記載されている又は図面に示されている構成部品の寸法、材質、形状及びその相対的配置等は、本発明の範囲をこれに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。

10

【0041】

図 1 は、ボイラ 10 の概略構成を示す図である。

ボイラ 10 は、燃焼炉 12 と、燃焼炉 12 に連なる煙道 14 とを有する。

燃焼炉 12 の火路壁 16 は水を加熱するための蒸発管を含み、燃焼炉 12 の上部には、蒸気を過熱するための過熱器 18 が配置されている。煙道 14 の下部には、水を予備加熱するための節炭器 20 が配置されている。また、煙道 14 の上部には、蒸気を再加熱するための再熱器 22 が配置されている。

【0042】

燃焼炉 12 には、バーナ 24 が取り付けられ、バーナ 24 には、送風機 26 から空気が供給されるとともに石炭粉砕機 28 から微粉炭が供給可能である。また、燃焼炉 12 には、空気供給管 30 が取り付けられ、空気供給管 30 には送風機 26 から空気が供給可能である。

20

【0043】

バーナ 24 から噴出する微粉炭が燃焼することにより生じた高温の排ガスは、燃焼炉 12 内を上昇し、煙道 14 に流入する。燃焼により生じた熱は、火路壁 16 の蒸発管に伝えられ、これにより水が加熱される。排ガスの熱は、過熱器 18 での蒸気の過熱、再熱器 22 での蒸気の再加熱、及び、節炭器 20 での水の予熱に利用される。低温になった排ガスは、例えばボイラ 10 の下流に設けられた脱硝装置に流入し、浄化される。

過熱器 18 で過熱された蒸気（主蒸気）は、例えば、蒸気タービン 32 に供給され、発電等に利用される。

30

【0044】

ボイラ 10 の制御装置 34 は、例えば、発電量に基づいてガバナ弁 36 を制御する一方、主蒸気の圧力に基づいて、ボイラ 10 における燃焼状態を制御するように構成されている。すなわち、ボイラ 10 の制御装置 34 は、燃焼炉 12 に供給される燃料及び空気の量や、節炭器 20 を通じて蒸発管に供給される水の量を制御するように構成されている。

【0045】

図 2 は、本発明の一実施形態に係るガス分析装置の概略的な構成を示している。ガス分析装置は、煙道 14 を流れる排ガスの分析を行うことができる。本実施形態では、ガス分析装置は、図 1 中に一点鎖線 L1 で示した位置で、排ガスの分析を行うことができる。すなわち、ガス分析装置は、過熱器 18 と節炭器 20 の間で、排ガスの分析を行うことができる。ただし、ガス分析装置は、図 1 中に一点鎖線 L2、L3 で示した位置で、排ガスの分析を行ってもよい。つまり、ガス分析装置は、燃焼炉 12 内で排ガスの分析を行ってもよい。

40

【0046】

ガス分析装置は、波長可変ダイオードレーザ 40 と、受光素子 42 と、計測器 44 とを有する。以下では、波長可変ダイオードレーザ 40 を TDL (Tunable Diode LASER) とも称する。

【0047】

TDL 40 は、光路 46 の始端に配置され、レーザ光を出射するように構成されている

50

。図 3 は、T D L 4 0 から出射するレーザ光の強度及び波長と時間との関係を示している。図 3 に示すように、T D L 4 0 は、T D L 4 0 に供給する電流を変化させることにより、中心波長 $\lambda_c 1$ を含む波長範囲 $\Delta \lambda$ で発振波長が可変である。本実施形態では、出射光強度が三角波形状（鋸刃形状）に変化させられる。ただし、出射光強度の変調パターンはこれに限定されることはない。

【0048】

また、図 3 に示すように、T D L 4 0 は、T D L 4 0 の温度を変化させることにより、波長範囲 $\Delta \lambda$ を超えて、中心波長 $\lambda_c 1$ を例えば中心波長 $\lambda_c 2$ に変化させることができる。なお、温度変化により中心波長を変化させても、供給電流の変調パターンを同一のままにしておけば、波長範囲 $\Delta \lambda$ の大きさ及び出射光強度の変調パターンを同一に維持することができる。

10

【0049】

受光素子 4 2 は、光路 4 6 の終端に配置され、T D L 4 0 が出射したレーザ光を受光する。受光素子 4 2 は、例えばフォトダイオードからなる。受光素子 4 2 は、入射したレーザ光の強度に対応する信号を出力するように構成されている。

【0050】

光路 4 6 の少なくとも一部は、煙道 1 4 内、すなわち排ガス流路内を延びている。なお、光路 4 6 を規定する光学系の構成は特に限定されることはない。本実施形態では、T D L 4 0 は、カプラ 4 8 によって光ファイバ 5 0 の一端に接続され、光ファイバ 5 0 の他端には送光用コリメータ 5 2 が取り付けられている。送光用コリメータ 5 2 から出射したレーザ光は、煙道 1 4 内を横断してから、受光用コリメータ 5 4 に入射する。受光素子 4 2 は、受光用コリメータ 5 4 に取り付けられ、受光用コリメータ 5 4 によって収束されたレーザ光が受光素子 4 2 に入射する。

20

【0051】

計測器 4 4 は、例えばコンピュータによって構成され、受光素子 4 2 の出力に基づいて、分析対象のガスを分析するように構成されている。なお、ガスの分析には、例えば、ガスに含まれる成分の濃度分析や、温度の分析が含まれる。

【0052】

図 4 は、幾つかの実施形態に係るガス分析方法の手順を概略的に示すフローチャートである。ガス分析方法は、上述したガス分析装置を用いたガス分析に用いることができる。

30

図 4 に示したように、ガス分析方法は、第 2 計測信号取得工程 S 1 0 と、中心波長変更工程 S 1 2 と、第 1 計測信号取得工程 S 1 4 と、外乱成分取得工程 S 1 6 と、計測信号補正工程 S 1 8 と、ベースライン演算工程 S 2 0 と、ガス分析工程 S 2 2 とを有する。なお、計測器 4 4 は、これらの工程 S 1 0 ～ S 2 2 を実行可能なように構成されている。

【0053】

図 5 は、レーザ光の波長と、ガスによるレーザ光の吸収率との関係を、ガスの吸収線とともに示すグラフである。図 5 に示すように、ガスは成分に応じて複数の吸収線 5 6 を有し、レーザ光は、吸収線 5 6 及びその近傍の波長において吸収される。

第 2 計測信号取得工程 S 1 0 では、吸収線 5 6 を含まない第 2 計測波長範囲 $\Delta \lambda 2$ で T D L 4 0 の発振波長が掃引される。そして、発振波長が掃引されている間、受光素子 4 2 の出力（第 2 計測信号）が取得される。なお、発振波長の掃引は、T D L 4 0 への供給電流を変調することにより行われる。

40

【0054】

中心波長変更工程 S 1 2 では、分析に用いられる吸収線 5 6 が、発振波長が掃引される波長範囲に含まれるように、T D L 4 0 の中心波長が変更される。中心波長の変更は、T D L 4 0 の温度を調整することにより行われる。なお、T D L 4 0 への供給電流の変調パターンは変更されず、中心波長を変更した後の波長範囲（第 1 計測波長範囲 $\Delta \lambda 1$ ）の大きさは第 2 計測波長範囲 $\Delta \lambda 2$ の大きさと同じであり、出射光強度の変調パターンも変更されない。

【0055】

50

なお、第2計測波長範囲 $\Delta\lambda_2$ は、分析対象の吸収線56を含んでおらず、吸収が殆どない実質的に透明な範囲であればよく、一部において、第1計測波長範囲 $\Delta\lambda_1$ と重なっていてもよい。一般的に、波長可変ダイオードレーザにあっては、その組成等に応じて発振波長の可変範囲が異なるが、その中から、分析対象のガス種、分析対象の吸収線56、第1計測波長範囲 $\Delta\lambda_1$ 及び第2計測波長範囲 $\Delta\lambda_2$ を考慮して、適当な可変範囲を有するものがTDL40として選択される。

【0056】

第1計測信号取得工程S14では、吸収線56を含む第1計測波長範囲 $\Delta\lambda_1$ でTDL40の発振波長が掃引される。そして、発振波長が掃引されている間に、受光素子42の出力（第1計測信号）が取得される。

10

【0057】

外乱成分取得工程S16では、第1計測信号に含まれる外乱成分が取得される。

計測信号補正工程S18では、第1計測信号が、外乱成分取得工程S16で求められた外乱成分に基づいて補正される。

ベースライン演算工程S20では、計測信号補正工程S18で補正された第1計測信号と第2計測信号に基づいて、ベースラインが求められる。

【0058】

ガス分析工程S22では、補正された第1計測信号及びベースラインに基づいて、分析対象ガスが分析される。

分析対象ガスに含まれるガス種の濃度（モル分率）Cや温度は、Lambert-Beer則により、次式（1）及び（2）により求められる。

20

$$I/I_0 = \exp(-K(\lambda) \cdot L) \quad \dots (1)$$

$$K(\lambda) = P \cdot C \cdot S(T) \cdot \phi(\lambda) \quad \dots (2)$$

【0059】

なお、式（1）及び（2）中、Iは透過光強度、 I_0 は入射光強度（ベースラインの光強度）、 I/I_0 は透過率、 $K(\lambda)$ は吸収係数、 λ は吸収線56の波長、Lは光路長、Pは場の静圧、 $S(T)$ は吸収強度温度依存係数、Tはガス種の温度、 $\phi(\lambda)$ は吸収線形状関数である。

【0060】

以下、外乱成分取得工程S16及び計測信号補正工程S18について説明する。図6は、外乱成分取得工程S16及び計測信号補正工程S18を説明するための図である。

30

図6に示すように、第1計測信号を繰り返し測定した場合、複数の第1計測信号の最大値 I_{1max1} 、 I_{1max2} 、 I_{1max3} 、 $\dots$ が取得される。外乱成分取得工程S16では、複数の第1計測信号の最大値 I_{1max1} 、 I_{1max2} 、 I_{1max3} 、 $\dots$ を滑らかに繋ぐ関数 $f(t)$ が求められる。

そして、計測信号補正工程S18では、第1計測信号を関数 $f(t)$ で割算することにより補正する。

【0061】

以下、ベースライン演算工程S20について詳細に説明する。

図7は、TDL40の波長、出射光強度、計測信号補正工程S18で補正された第1計測信号、第2計測信号及びベースラインと、時間の関係を概略的に示している。なお、図7の下段のグラフ中、二点鎖線は、リファレンス信号測定用の受光素子を用意して測定されたリファレンス信号を示している。後述するように、リファレンス信号測定用の受光素子は、煙道14の手前で光路46から分岐された光路の終端に配置される。

40

【0062】

図7の下段のグラフに示すように、計測信号補正工程S18で補正された第1計測信号の最大値 I_{1max} と、第2計測信号の最大値 I_{2max} の間には差がある。ベースラインは、最大値 I_{1max} と最大値 I_{2max} とが一致するように、第2計測信号に係数を乗算することにより求められる。

なお、ベースラインは、時間を変数とする近似多項式を用いて近似することができる。

50

そこで、第 2 計測信号に係数を演算して求められた値を、近似多項式で近似し、得られた近似多項式をベースラインとして用いてもよい。

【0063】

図 8 は、第 2 計測信号に基づいて求められたベースラインと補正された第 1 計測信号との差（差分信号）を示すグラフである。なお、図 8 中の二点鎖線は、リファレンス信号に基づくベースラインと第 1 計測信号との差を示している。リファレンス信号に基づくベースラインは、リファレンス信号の最大値 I_{rmax} が、計測信号補正工程 S 1 8 で補正された第 1 計測信号の最大値 I_{lmax} に一致するように、リファレンス信号に係数を乗算して求められる。

図 8 に示すように、差分信号の形状は、第 2 計測信号に基づいて求められたベースラインを用いた場合と、リファレンス信号に基づいて求められたベースラインを用いた場合とではほぼ同じであるが、一部に違いがある。

【0064】

光路 4 6 上に塵埃等が存在する場合、塵埃等によって光が散乱され、第 1 計測信号が減衰してしまう。つまり、塵埃等が外乱となって、第 1 計測信号が減衰してしまう。この点、この構成によれば、外乱による外乱成分が、複数の第 1 計測信号の各々の最大値に基づいて求められ、外乱成分を考慮して分析対象ガスが分析されているので、外乱の影響が低減され、高精度に分析が行われる。

【0065】

なお、図 6 に拡大して概略的に示すように、関数 $f(t)$ は、第 1 計測信号の最大値と最大値の間における外乱成分も表しており、各時間 t_1 、 t_2 、 $t_3 \dots$ の第 1 計測信号を、対応する値 $f(t_1)$ 、 $f(t_2)$ 、 $f(t_3) \dots$ で割算するより、第 1 計測信号を時間ごとに正確に補正することができる。ただし、図 6 では、説明のために時間のステップが粗いが、実際には連続的に補正することができる。

【0066】

また、上述した構成によれば、第 1 計測信号及び第 2 計測信号が、同じ受光素子 4 2 を用いて取得される。このため、第 1 計測信号と第 2 計測信号を取得するための光学系が全く同一になり、光学系の相違に起因する誤差が取り除かれる。

一方、この構成によれば、第 2 計測波長範囲 $\Delta\lambda_2$ には分析対象ガスの吸収線 5 6 が含まれておらず、第 2 計測信号の形状を、係数を乗算するとしても、略そのままベースラインとして用いることができる。このため、1つの受光素子 4 2 を用いても、ベースラインを求める際に生じる誤差が殆ど無い。

これらの結果、この構成によれば、第 1 計測信号及びベースラインに基づいて、分析対象ガスを高精度に分析することができる。

【0067】

図 9 は、幾つかの実施形態に係るガス分析方法の手順を概略的に示すフローチャートである。ガス分析方法は、上述したガス分析装置を用いたガス分析に用いることができる。

図 9 に示すガス分析方法では、TDL 4 0 の出射光強度が、零を最小値として変調される。その上で、図 9 に示すガス分析方法は、第 1 計測信号に含まれる迷光成分を取得する迷光成分取得工程 S 2 4 を更に有する。そして、計測信号補正工程 S 2 6 では、第 1 計測信号が、外乱成分及び迷光成分に基づいて補正される。

【0068】

図 10 は、迷光成分取得工程 S 2 4 を説明するための図である。

図 10 に示すように、第 1 計測信号を繰り返し測定した場合、複数の第 1 計測信号の最小値 I_{lmin1} 、 I_{lmin2} 、 I_{lmin3} 、 $\dots$ が取得される。そして、迷光成分取得工程 S 2 4 では、複数の第 1 計測信号の最小値 I_{lmin1} 、 I_{lmin2} 、 I_{lmin3} 、 $\dots$ を滑らかに繋ぐ関数 $g(t)$ が求められる。

計測信号補正工程 S 2 6 では、第 1 計測信号から関数 $g(t)$ を引算した値を、関数 $f(t)$ で割算することにより、補正された第 1 計測信号が得られる。

【0069】

10

20

30

40

50

受光素子 4 2 に環境光や輻射光等の迷光が入射する場合、第 1 計測信号が増加してしまう。この点、この構成によれば、TDL 4 0 の出射光強度が零を最小値として変調されており、出射光強度が零のときに受光素子 4 2 に入射するのは迷光のみであり、迷光成分が、複数の第 1 計測信号の各々の最小値に基づいて求められる。そして、迷光成分を考慮して分析対象ガスが分析されているので、迷光の影響が低減され、高精度に分析が行われる。

【0070】

なお、図 1 0 に拡大して概略的に示すように、 $g(t)$ は、第 1 計測信号の最小値と最小値の間における迷光成分も表しており、各時間 t_1 、 t_2 、 $t_3 \cdots$ の第 1 計測信号から、対応する $g(t_1)$ 、 $g(t_2)$ 、 $g(t_3) \cdots$ を引算することより、第 1 計測信号を時間ごとに正確に補正することができる。ただし、図 1 0 では、説明のために時間のステップが粗いが、実際には連続的に補正することができる。

10

【0071】

図 1 1 及び図 1 2 は、幾つかの実施形態に係るガス分析方法を説明するための図である。

図 1 1 に示すように、幾つかの実施形態では、TDL 4 0 の出射光強度が一定時間零になるインターバルを置いて、TDL 4 0 の出射光強度が変調される。このような変調によれば、図 1 2 に示すように、第 1 計測信号にも、インターバルに対応して一定時間最小値が出現する。

このように、第 1 計測信号の最小値が一定時間現れるようにすることで、迷光成分を表す関数 $g(t)$ をより正確に求めることができる。この結果として、ガスの分析がより高精度に行われる。

20

【0072】

図 1 3 は、幾つかの実施形態に係るガス分析装置の光学系を説明するための図である。

図 1 3 に示すように、ガス分析装置は、送光用コリメータ 5 2 と受光用コリメータ 5 4 の間を延びる光路 4 6 上に配置されるチャンバ 6 0 を有していてもよい。

チャンバ 6 0 は、光路 4 6 上に分析対象ガスを除去可能に導入するように構成されたガス導入装置を構成している。チャンバ 6 0 には、分析対象ガスを充填可能であるとともに、分析対象ガスに代えてパージガスを充填可能である。ガスの置換のために、チャンバ 6 0 には排気ポンプ 6 2 が接続されていてもよい。なお、パージガスは、分析対象ガスを含まないガスである。

30

【0073】

図 1 4 は、幾つかの実施形態に係るガス分析方法の手順を概略的に示すフローチャートである。図 1 4 のガス分析方法は、図 1 3 のガス分析装置を用いたガス分析に用いられる。

図 1 4 に示すガス分析方法は、図 4 のガス分析方法に、パージガス充填工程 S 2 8 と分析対象ガス充填工程 S 3 0 を追加し、中心波長変更工程 S 1 2 を除いたものである。

【0074】

具体的には、パージガス充填工程 S 2 8 では、チャンバ 6 0 にパージガスが充填される。そして、第 2 計測信号取得工程 S 1 0 では、チャンバ 6 0 内のパージガスを通じたレーザ光の強度が測定される。

40

一方、分析対象ガス充填工程 S 3 0 では、チャンバ 6 0 に分析対象ガスが充填される。そして、第 1 計測信号取得工程 S 1 4 では、チャンバ 6 0 内の分析対象ガスを通じたレーザ光の強度が測定される。

【0075】

この構成によれば、第 1 計測信号及び第 2 計測信号が、同じ受光素子 4 2 を用いて取得される。このため、第 1 計測信号と第 2 計測信号を取得するための光学系が全く同一になり、光学系の相違に起因する誤差が取り除かれる。

なお、この構成では、第 2 計測信号取得工程 S 1 0 において、チャンバ 6 0 には分析対象ガスが充填されていないので、第 1 計測波長範囲 $\Delta \lambda 1$ で発振波長を掃引しながら、第

50

2 計測信号を取得することができる。

【0076】

図15は、幾つかの実施形態に係るガス分析装置の光学系を説明するための図である。

図15に示すように、ガス分析装置は、リファレンス信号測定用の受光素子64を更に有する。受光素子64は、例えば、光路46から光分配器66によって分岐された光路68の終端に配置される。なお、光路68は、光ファイバ70によって規定される。

【0077】

図16は、幾つかの実施形態に係るガス分析方法の手順を概略的に示すフローチャートである。図16のガス分析方法は、図15のガス分析装置を用いたガス分析に用いられる。

図16に示すガス分析方法は、図4のガス分析方法の第2計測信号取得工程S10をリファレンス信号取得工程S32に代え、中心波長変更工程S12を除いたものである。

【0078】

リファレンス信号取得工程S32では、受光素子64によって、リファレンス信号が取得される。そして、ベースライン演算工程S34では、リファレンス信号の最大値 I_{rm_max} が、補正された第1計測信号の最大値 I_{1max} に一致するようにリファレンス信号に係数が乗算され、これによりベースラインが求められる。

【0079】

この構成においても、第1計測信号に含まれる外乱による外乱成分が、複数の第1計測信号の各々の最大値に基づいて求められ、外乱成分を考慮して分析対象ガスが分析されているので、外乱の影響が低減され、高精度に分析が行われる。

【0080】

幾つかの実施形態では、TDL40の出射光強度の変調周波数は、外乱成分や迷光成分の変動周波数よりも高く設定されるが、外乱成分や迷光成分の変動周波数の10倍程度に設定される。例えば、TDL40の出射光強度の変調周波数は、100Hz以上20kHz以下に設定され、好ましくは、100Hz以上1kHz以下に設定される。

この構成によれば、TDL40の出射光強度の変調周波数を低めに抑えることで、第1計測信号や第2計測信号の最大値や最小値に基づいて、外乱成分や迷光成分の変動を正確に求めることができる。また、変調周波数を低めに抑えることで、TDL40、受光素子42及び計測器44として安価なものを用いることができる。

【0081】

本発明は上述した幾つかの実施形態に限定されることはなく、上述した幾つかの実施形態に変更を加えた形態や、これらの形態を適宜組み合わせた形態も含む。

例えば、上述した幾つかの実施形態では、第1計測信号についてのみ外乱成分の関数 $f(t)$ を求めて補正を行ったが、第2計測信号についても同様の方法により外乱成分の関数 $f(t)$ を求めて補正を行ってもよい。

上述した幾つかの実施形態では、第1計測信号についてのみ迷光成分の関数 $g(t)$ を求めて補正を行ったが、第2計測信号についても同様の方法により迷光成分の関数 $g(t)$ を求めて補正を行ってもよい。

【0082】

上述した幾つかの実施形態では、迷光成分を演算により補正したが、光学系に迷光除去フィルタを設け、迷光成分を光学的に除去してもよい。

上述した幾つかの実施形態では、第2計測信号を取得した後に第1計測信号を測定したが、第1計測信号を取得した後に、第2計測信号を取得してもよい。

【0083】

上述した幾つかの実施形態において、ガス分析装置による分析結果を制御装置34に入力し、制御装置34が、発電量や主蒸気圧力に加え、ガス分析装置による分析結果に基づいて、ボイラ10への燃料、空気及び水の供給を制御するように構成されていてもよい。

上述した幾つかの実施形態では、ガス分析装置及びガス分析方法は、煙道14を流れる排ガスの分析に適用されていたが、分析対象ガスは、排ガスに限定されることはない。

10

20

30

40

50

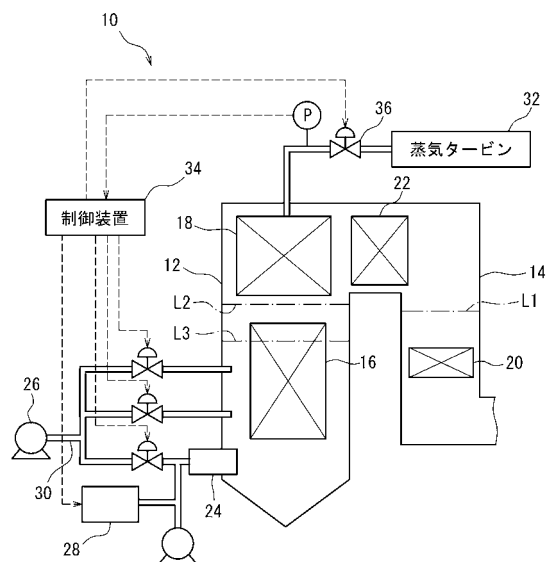
【符号の説明】

【 0 0 8 4 】

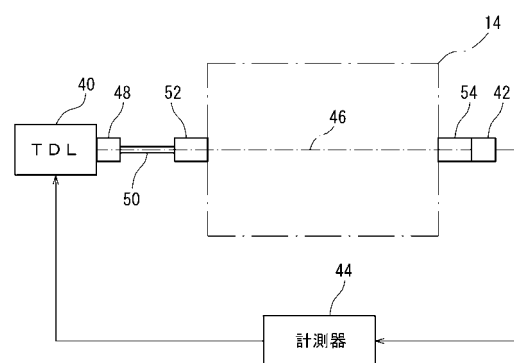
- | | |
|-----|------------------------|
| 4 0 | 波長可変ダイオードレーザ (T D L) |
| 4 2 | 受光素子 |
| 4 4 | 計測器 |
| 4 6 | 光路 |
| 4 8 | カップラ |
| 5 0 | 光ファイバ |
| 5 2 | 送光用コリメータ |
| 5 4 | 受光用コリメータ |
| 5 6 | 吸収線 |

10

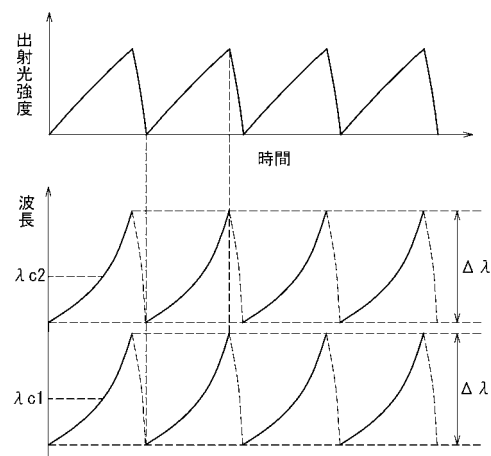
【图 1】



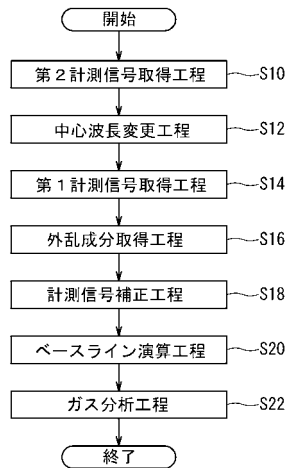
【图 2】



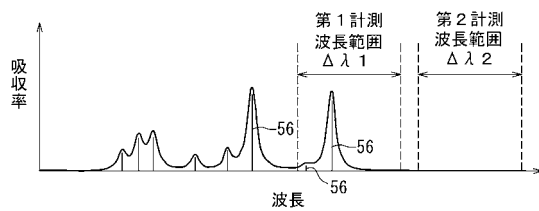
【图 3】



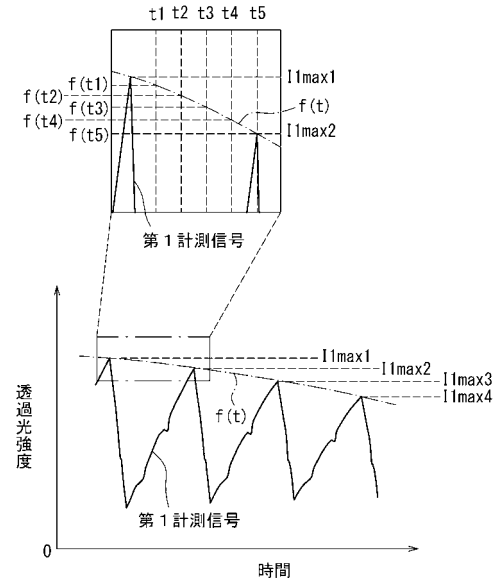
【図 4】



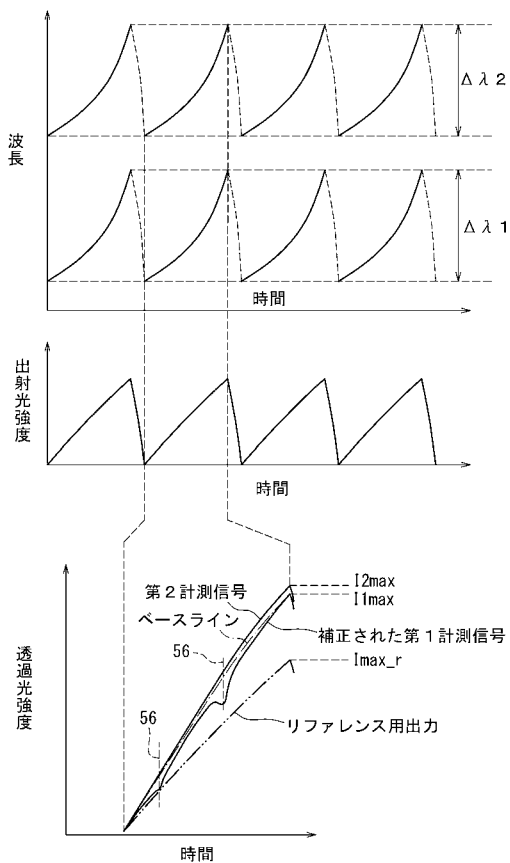
【図 5】



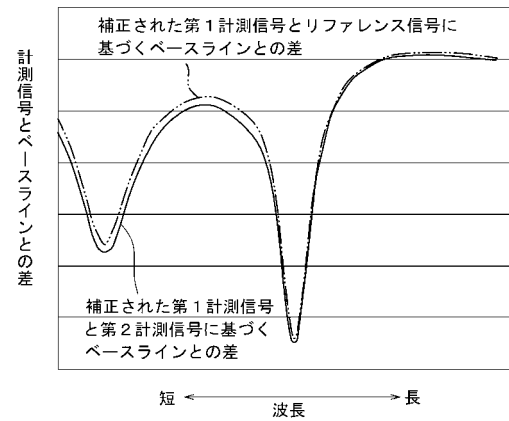
【図 6】



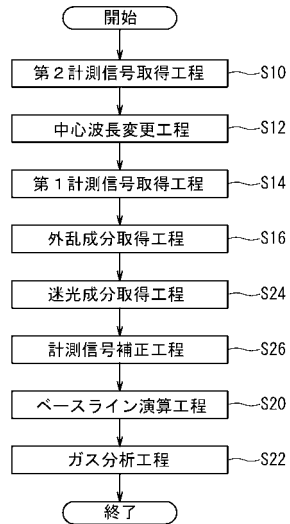
【図 7】



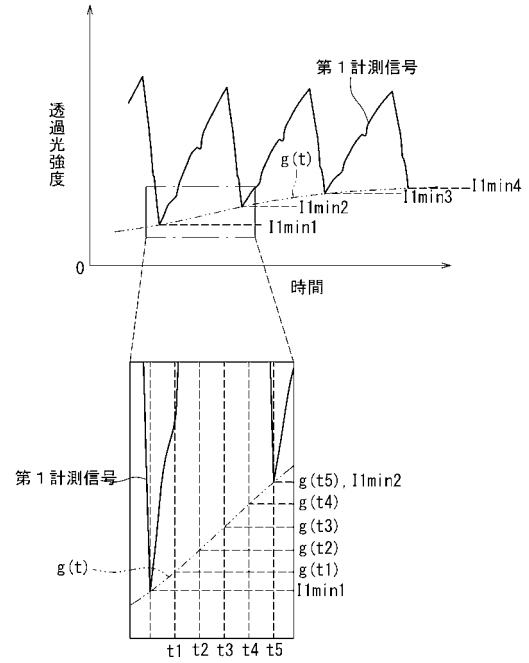
【図 8】



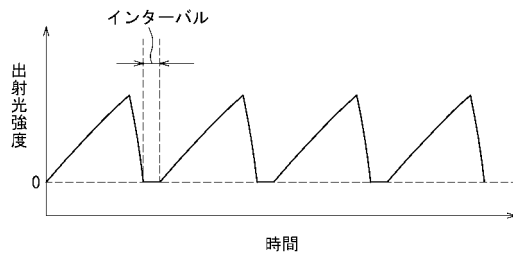
【図 9】



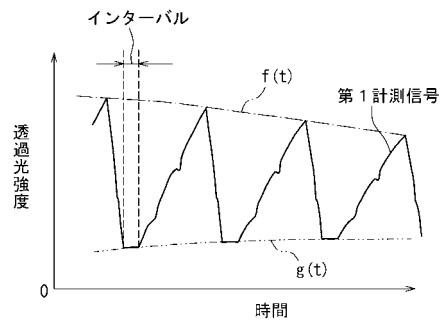
【図 10】



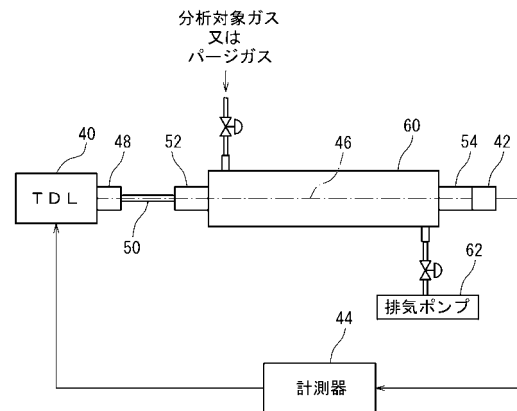
【図 11】



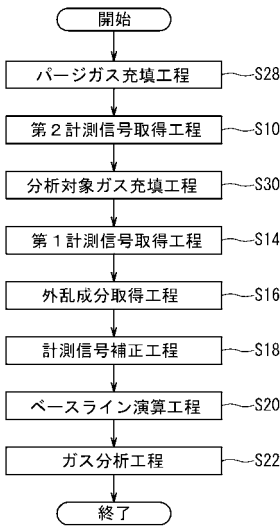
【図 12】



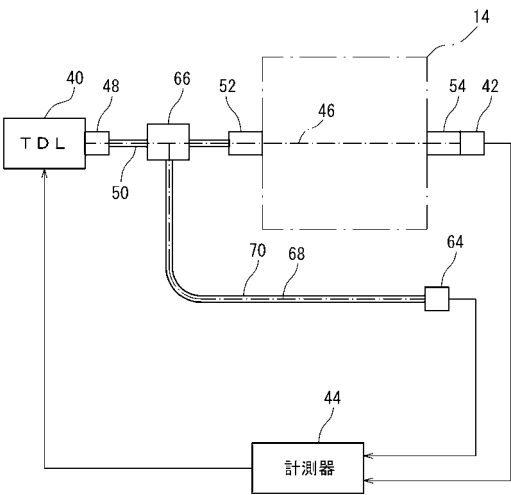
【図 13】



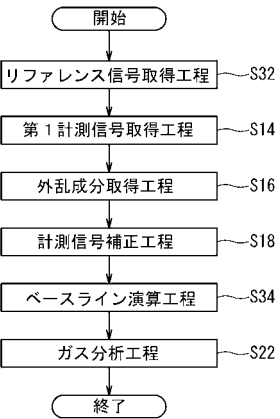
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 6】



フロントページの続き

(72)発明者 西宮 立享

東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内

Fターム(参考) 2G059 AA01 AA10 BB01 EE01 GG01 GG09 HH01 JJ11 JJ17 KK01
LL04 MM01 MM17 NN01 NN10