(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
2018年8月2日(02.08.2018)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2018/138766 A1

(51) 国際特許分類:
G01N 21/27 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2017/002282

(22) 国際出願日： 2017年1月24日(24.01.2017)

(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:三菱電機株式会社(**MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 今城 勝治 (**IMAKI, Masaharu**); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 亀山 俊平(**KAMEYAMA, Shumpei**); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

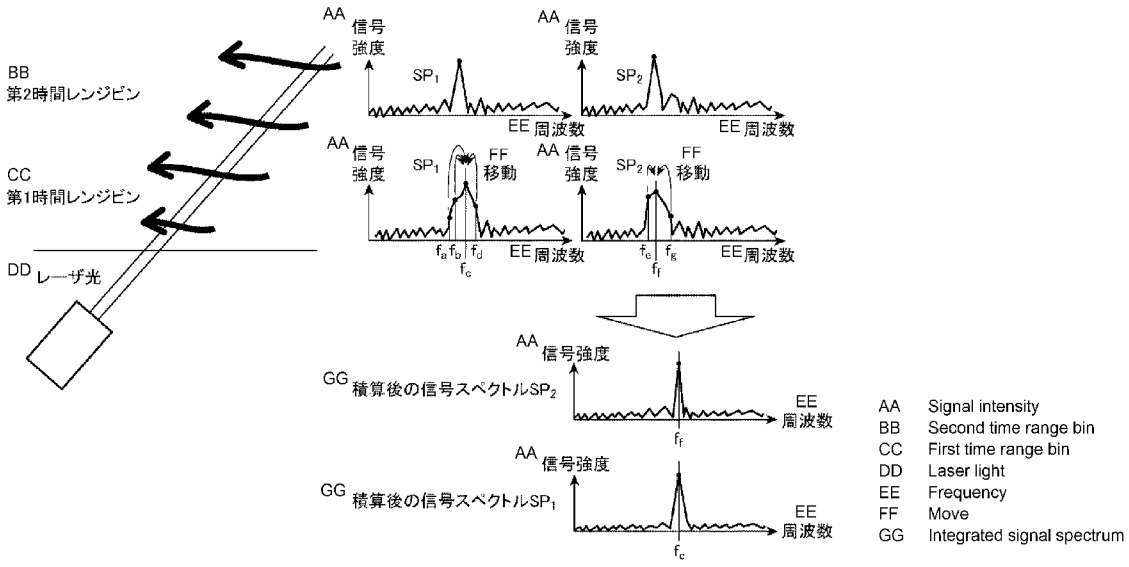
(74) 代理人:田澤 英昭, 外(**TAZAWA, Hideaki** et al.); 〒1000014 東京都千代田区永田町二丁目12番4号 赤坂山王センタービル5階 Tokyo (JP).

(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, DJ, 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, 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,

(54) **Title:** LASER RADAR DEVICE

(54) 発明の名称： レーザレーダ装置

[図13]



(57) **Abstract:** Provided is a laser radar device comprising: a frequency shift correction unit (25) for correcting the shift of the frequencies of a plurality of first signal spectra in the same time range with respect to the frequency of first laser light, and correcting the shift of the frequencies of a plurality of second signal spectra in the same time range with respect to the frequency of second laser light; and a spectrum integration unit (26) for integrating the plurality of first signal spectra corrected by the frequency shift correction unit (25), and integrating the plurality of second signal spectra corrected by the frequency shift correction unit (25). A molecular concentration calculation unit (27) calculates the concentration of molecules in the atmosphere, from the first and second signal spectra integrated by the spectrum integration unit (26).

WO 2018/138766 A1

[続葉有]

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, 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))

(57) 要約: 第１のレーザ光の周波数に対する同一時間レンジ内の複数の第１の信号スペクトルの周波数のシフトを補正するとともに、第２のレーザ光の周波数に対する同一時間レンジ内の複数の第２の信号スペクトルの周波数のシフトを補正する周波数シフト補正部（２５）と、周波数シフト補正部（２５）により補正された複数の第１の信号スペクトルを積算するとともに、周波数シフト補正部（２５）により補正された複数の第２の信号スペクトルを積算するスペクトル積算部（２６）とを設け、分子濃度算出部（２７）が、スペクトル積算部（２６）により積算された第１及び第２の信号スペクトルから大気中の分子の濃度を算出する。

明　細　書

発明の名称 ： レーザレーダ装置

技術分野

[0001] この発明は、大気中の分子の濃度を算出するレーザレーダ装置に関するものである。

背景技術

[0002] 以下の非特許文献１には、大気中の分子の濃度を算出するレーザレーダ装置が開示されている。

このレーザレーダ装置は、大気中の分子に吸収される波長である吸収波長のレーザ光と、大気中の分子に吸収されない波長である非吸収波長のレーザ光とを発生させる光源を有している。大気中の分子は、固有の吸収スペクトルを有しており、吸収波長のレーザ光の波長は、大気中の分子の吸収スペクトルの波長に対応している。

また、このレーザレーダ装置は、光源から発生された吸収波長のレーザ光及び非吸収波長のレーザ光を大気中に放射し、大気中のエアロゾルにより散乱された吸収波長のレーザ光の散乱光及び非吸収波長のレーザ光の散乱光を受信する光アンテナを有している。

以下、吸収波長のレーザ光の散乱光を「吸収波長散乱光」と称し、非吸収波長のレーザ光の散乱光を「非吸収波長散乱光」と称する。

[0003] さらに、このレーザレーダ装置は、光アンテナにより受信された吸収波長散乱光と吸収波長のレーザ光とを合波するとともに、光アンテナにより受信された非吸収波長散乱光と非吸収波長のレーザ光とを合波する光カプラを有している。

この光カプラは、吸収波長散乱光と吸収波長のレーザ光との合波光を出力するとともに、非吸収波長散乱光と非吸収波長のレーザ光との合波光を出力する。

以下、吸収波長散乱光と吸収波長のレーザ光との合波光を「吸収波長合波

光」と称し、非吸収波長散乱光と非吸収波長のレーザ光との合波光を「非吸収波長合波光」と称する。

[0004] このレーザレーダ装置は、光カプラから出力された吸収波長合波光を検波して、吸収波長合波光の受信信号を出力するとともに、光カプラから出力された非吸収波長合波光を検波して、非吸収波長合波光の受信信号を出力する光受信機を有している。

このレーザレーダ装置は、光受信機から出力された吸収波長合波光の受信信号と非吸収波長合波光の受信信号とから大気中の分子の濃度を算出する信号処理器を有している。

[0005] 信号処理器は、光受信機から吸収波長合波光の受信信号が出力されると、吸収波長合波光の受信信号を高速フーリエ変換することで、時間レンジ毎の複数の吸収波長合波光の信号スペクトルを算出する。

信号処理器は、信号対雑音比であるＳＮ比を高めるために、同一時間レンジ内の複数の信号スペクトルにおける同一周波数の信号成分同士を積算することで、複数の信号スペクトルを積算する。

信号処理器は、複数の信号スペクトルを積算すると、積算後の信号スペクトルにおける複数の信号成分を比較し、複数の信号成分の中で、最も大きな信号成分を吸収波長合波光のピーク強度として特定する。

[0006] 信号処理器は、光受信機から非吸収波長合波光の受信信号が出力されると、非吸収波長合波光の受信信号を高速フーリエ変換することで、時間レンジ毎の複数の非吸収波長合波光の信号スペクトルを算出する。

信号処理器は、ＳＮ比を高めるために、同一時間レンジ内の複数の信号スペクトルにおける同一周波数の信号成分同士を積算することで、複数の信号スペクトルを積算する。

信号処理器は、複数の信号スペクトルを積算すると、積算後の信号スペクトルにおける複数の信号成分を比較し、複数の信号成分の中で、最も大きな信号成分を非吸収波長合波光のピーク強度として特定する。

[0007] 信号処理器は、吸収波長合波光のピーク強度と非吸収波長合波光のピーク

強度とから光学的厚さを算出し、光学的厚さから大気中の分子の濃度を算出する。

光学的厚さは、各々の時間レンジにおける吸収波長合波光のピーク強度と非吸収波長合波光のピーク強度との比である。

先行技術文献

非特許文献

[0008] 非特許文献1：Applied Optics vol.49 p1809-1817 (2010).

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 従来のレーザレーダ装置は以上のように構成されているので、大気中における散乱体（例えば、エアロゾルや大気分子）の位置に変化がなければ、複数の信号スペクトルを積算することでＳＮ比が高められる。その結果、吸収波長合波光のピーク強度の特定精度及び非吸収波長合波光のピーク強度の特定精度が向上するため、分子濃度の算出精度も向上する。

しかし、風速あるいは風向の変化に伴って大気中の散乱体の位置が変化している環境下では、レーザ光の散乱光にドップラーシフトが生じる。

ドップラーシフトが生じると、ピーク強度に対応する周波数であるピーク位置が変化するため、複数の信号スペクトルにおける同一周波数の信号成分同士を積算しても、ＳＮ比が高まらなくなる。その結果、吸収波長合波光のピーク強度の特定精度及び非吸収波長合波光のピーク強度の特定精度が劣化するため、分子濃度の算出精度が劣化してしまうという課題があった。

[0010] この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、大気中の散乱体の位置が変化している場合でも、分子濃度の算出精度の劣化を防止することができるレーザレーダ装置を得ることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0011] この発明に係るレーザレーダ装置は、大気中の分子に吸収される波長の第１のレーザ光が大気中の散乱体によって散乱された第１の散乱光と第１のレ

ーザ光との合波光である第１の合波光の信号スペクトルとして、同一時間レンジ内の複数の第１の信号スペクトルを算出するとともに、分子に吸収されない波長の第２のレーザ光が散乱体によって散乱された第２の散乱光と第２のレーザ光との合波光である第２の合波光の信号スペクトルとして、同一時間レンジ内の複数の第２の信号スペクトルを算出するスペクトル算出部と、第１のレーザ光の周波数に対する複数の第１の信号スペクトルの周波数のシフトを補正するとともに、第２のレーザ光の周波数に対する複数の第２の信号スペクトルの周波数のシフトを補正する周波数シフト補正部と、周波数シフト補正部により補正された複数の第１の信号スペクトルを積算するとともに、周波数シフト補正部により補正された複数の第２の信号スペクトルを積算するスペクトル積算部とを設け、分子濃度算出部が、スペクトル積算部により積算された第１及び第２の信号スペクトルから大気中の分子の濃度を算出するようにしたものである。

発明の効果

[0012] この発明によれば、第１のレーザ光の周波数に対する同一時間レンジ内の複数の第１の信号スペクトルの周波数のシフトを補正するとともに、第２のレーザ光の周波数に対する同一時間レンジ内の複数の第２の信号スペクトルの周波数のシフトを補正する周波数シフト補正部と、周波数シフト補正部により補正された複数の第１の信号スペクトルを積算するとともに、周波数シフト補正部により補正された複数の第２の信号スペクトルを積算するスペクトル積算部とを設け、分子濃度算出部が、スペクトル積算部により積算された第１及び第２の信号スペクトルから大気中の分子の濃度を算出するように構成したので、大気中の散乱体の位置が変化している場合でも、分子濃度の算出精度の劣化を防止することができる効果がある。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]この発明の実施の形態１によるレーザレーダ装置を示す構成図である。
[図2]この発明の実施の形態１によるレーザレーダ装置の信号処理器１１を示す構成図である。

[図3]この発明の実施の形態１によるレーザレーダ装置の信号処理器１１を示すハードウェア構成図である。

[図4]信号処理器１１がソフトウェア又はファームウェアで実現される場合のコンピュータのハードウェア構成図である。

[図5]信号処理器１１がソフトウェア又はファームウェアで実現される場合の処理手順を示すフローチャートである。

[図6]信号処理器１１がソフトウェア又はファームウェアで実現される場合の処理手順を示すフローチャートである。

[図7]図７Ａは第１の受信信号R_1の波形例を示す説明図、図７Ｂは第２の受信信号R_2の波形例を示す説明図である。

[図8]図８Ａはフーリエ変換部２２により算出された第１時間レンジビン及び第２時間レンジビンの第１の信号スペクトルSP_1を示す説明図、図８Ｂはフーリエ変換部２２により算出された第１時間レンジビン及び第２時間レンジビンの第２の信号スペクトルSP_2を示す説明図である。

[図9]大気中のエアロゾルの位置が風の影響で変化している状況下で、フーリエ変換部２２により算出された第１の信号スペクトルSP_1及び第２の信号スペクトルSP_2の例を示す説明図である。

[図10]図１０Ａは雑音除去部２４により雑音成分の除去処理が行われる前の信号スペクトル及び雑音スペクトルを示す説明図、図１０Ｂは雑音除去部２４により雑音成分の除去処理が行われた後の信号スペクトルを示す説明図である。

[図11]周波数シフト補正部２５による信号スペクトルの周波数のシフト補正を示す説明図である。

[図12]この発明の実施の形態２によるレーザレーダ装置の信号処理器１１を示す構成図である。

[図13]周波数シフト補正部３０による信号スペクトルの周波数のシフト補正を示す説明図である。

[図14]この発明の実施の形態４によるレーザレーダ装置を示す構成図である

。

[図15]この発明の実施の形態４によるレーザレーダ装置の信号処理器１１を示す構成図である。

[図16]この発明の実施の形態５によるレーザレーダ装置を示す構成図である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、この発明をより詳細に説明するために、この発明を実施するための形態について、添付の図面に従って説明する。

[0015] 実施の形態１．

図１はこの発明の実施の形態１によるレーザレーダ装置を示す構成図である。

図１において、基準光源１は波長切替器２から大気中の分子に吸収される波長のレーザ光である第１のレーザ光Ｌｂ$_1$を出力する旨を示す波長切替信号を受けると、第１のレーザ光Ｌｂ$_1$を光分配器３に出力する光源である。

また、基準光源１は波長切替器２から大気中の分子に吸収されない波長のレーザ光である第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を出力する旨を示す波長切替信号を受けると、第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を光分配器３に出力する。

[0016] 大気中の分子は、固有の吸収スペクトルを有しており、分子に吸収される波長のレーザ光である第１のレーザ光Ｌｂ$_1$は、大気中の分子の吸収スペクトルに対応している。観測対象の分子が異なれば、分子の吸収スペクトルが変わるため、基準光源１から出力される第１のレーザ光Ｌｂ$_1$及び第２のＬｂ$_2$の波長は、観測対象の分子によって設定される。

例えば、観測対象の分子が二酸化炭素であれば、吸収波長は１５７２．１９２ｎｍ、非吸収波長は１５７３．１９３ｎｍなどに設定される。

なお、基準光源１としては、例えば、線幅が数ＭＨｚ以下のレーザ光を出力する半導体レーザ、ファイバレーザ、固体レーザ、あるいは、これらのレーザの組み合わせが用いられる。

[0017] 波長切替器２は基準光源１から第１のレーザ光Ｌｂ$_1$を出力させる場合、第

１のレーザ光Ｌｂ$_1$を出力する旨を示す波長切替信号を基準光源１に出力し、基準光源１から第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を出力させる場合、第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を出力する旨を示す波長切替信号を基準光源１に出力する。

ここでは、波長切替器２から出力される波長切替信号に従って基準光源１が第１のレーザ光Ｌｂ$_1$又は第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を出力する例を示しているが、基準光源１として、第１のレーザ光Ｌｂ$_1$及び第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を同時に出力可能な光源を用いるようにしてもよい。

[0018] 光分配器３は基準光源１と光ファイバケーブルで接続されており、例えばビームスプリッタで構成されている。

光分配器３は基準光源１から出力された第１のレーザ光Ｌｂ$_1$及び第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を所定の比率でパルス変調器４と光カプラ８に分配する。

パルス変調器４は光分配器３と光ファイバケーブルで接続されており、例えば音響光学素子又はニオブ酸リチウム結晶を用いた変調素子で構成されている。

パルス変調器４は光分配器３により分配された第１のレーザ光Ｌｂ$_1$及び第２のレーザ光Ｌｂ$_2$のパルス変調を行う。

[0019] 光増幅器５はパルス変調器４と光ファイバケーブルで接続されており、例えば光ファイバ増幅器又は導波路型増幅器で構成されている。

光増幅器５はパルス変調器４から出力された第１のレーザ光Ｌｂ$_1$及び第２のレーザ光Ｌｂ$_2$の強度を増幅し、強度増幅後の第１のレーザ光Ｌｂ$_1$及び強度増幅後の第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を光サーキュレータ６に出力する。

光サーキュレータ６は光増幅器５と光ファイバケーブルで接続されており、例えば偏光ビームスプリッタ及び波長板で構成されている。

光サーキュレータ６は光増幅器５から出力された強度増幅後の第１のレーザ光Ｌｂ$_1$及び強度増幅後の第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を光アンテナ７に出力し、光アンテナ７から出力された第１のレーザ光Ｌｂ$_1$の散乱光である第１の散乱光Ｓｂ$_1$及び第２のレーザ光Ｌｂ$_2$の散乱光である第２の散乱光Ｓｂ$_2$を光カプラ８に出力する。

[0020] 光アンテナ７は光サーキュレータ６と光ファイバケーブルで接続されており、例えば複数の屈折レンズ又は複数のミラーで構成されている。

光アンテナ７は光サーキュレータ６から出力された第１のレーザ光Ｌｂ$_1$及び第２のレーザ光Ｌｂ$_2$のビーム径を大きくして第１のレーザ光Ｌｂ$_1$及び第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を大気中に放射する。

また、光アンテナ７は大気中のエアロゾル（散乱体）又はハードターゲットにより散乱された第１のレーザ光Ｌｂ$_1$の散乱光である第１の散乱光Ｓｂ$_1$及び第２のレーザ光Ｌｂ$_2$の散乱光である第２の散乱光Ｓｂ$_2$を受信して、第１の散乱光Ｓｂ$_1$及び第２の散乱光Ｓｂ$_2$を光サーキュレータ６に出力する。

[0021] 光カプラ８は光分配器３及び光サーキュレータ６と光ファイバケーブルで接続されており、例えばビームスプリッタで構成されている。

光カプラ８は光サーキュレータ６から第１の散乱光Ｓｂ$_1$が出力されると、第１の散乱光Ｓｂ$_1$と光分配器３により分配された第１のレーザ光Ｌｂ$_1$とを合波し、第１の散乱光Ｓｂ$_1$と第１のレーザ光Ｌｂ$_1$との合波光である第１の合波光Ｃｂ$_1$を５０対５０の比率で２つに分岐して光受信機９に出力する。

光カプラ８は光サーキュレータ６から第２の散乱光Ｓｂ$_2$が出力されると、第２の散乱光Ｓｂ$_2$と光分配器３により分配された第２のレーザ光Ｌｂ$_2$とを合波し、第２の散乱光Ｓｂ$_2$と第２のレーザ光Ｌｂ$_2$との合波光である第２の合波光Ｃｂ$_2$を５０対５０の比率で２つに分岐して光受信機９に出力する。

[0022] 光受信機９は光カプラ８と２本の光ファイバケーブルで接続されており、例えば２つのフォトダイオードを用いて同相雑音を軽減するようなバランスドレシーバで構成されている。

光受信機９は光カプラ８から出力された２つの第１の合波光Ｃｂ$_1$をヘテロダイン検波して、第１の合波光Ｃｂ$_1$の受信信号である第１の受信信号Ｒ$_1$をアナログデジタル変換器であるＡ／Ｄ変換器１０に出力する。

また、光受信機９は光カプラ８から出力された２つの第２の合波光Ｃｂ$_2$をヘテロダイン検波して、第２の合波光Ｃｂ$_2$の受信信号である第２の受信信号Ｒ$_2$をＡ／Ｄ変換器１０に出力する。

第１の受信信号R_1及び第２の受信信号R_2は電気信号である。

[0023] Ａ／Ｄ変換器１０は光受信機９と電気信号ケーブルで接続されており、光受信機９から出力されたアナログの第１の受信信号R_1及び第２の受信信号R_2をデジタル信号に変換し、デジタル信号である受信データDR_1，DR_2を信号処理器１１に出力する。

信号処理器１１はＡ／Ｄ変換器１０と電気信号ケーブルで接続されており、波長切替器２から出力される波長切替信号を制御する。

また、信号処理器１１はＡ／Ｄ変換器１０から出力された受信データDR_1，DR_2に基づいて大気中の分子の濃度Ｃを算出する。

[0024] 図２はこの発明の実施の形態１によるレーザレーダ装置の信号処理器１１を示す構成図である。

図３はこの発明の実施の形態１によるレーザレーダ装置の信号処理器１１を示すハードウェア構成図である。

図２及び図３において、スペクトル算出部２１はフーリエ変換部２２、スペクトル積算処理部２３及び雑音除去部２４を備えている。

スペクトル算出部２１はＡ／Ｄ変換器１０から出力された受信データDR_1の信号スペクトルである第１の信号スペクトルSP_1を算出するとともに、Ａ／Ｄ変換器１０から出力された受信データDR_2の信号スペクトルである第２の信号スペクトルSP_2を算出する。

[0025] フーリエ変換部２２は例えば図３に示すフーリエ変換回路４１によって実現されるものである。

フーリエ変換部２２はＡ／Ｄ変換器１０から出力された受信データDR_1に対する高速フーリエ変換処理であるＦＦＴを実施することで、受信データDR_1の周波数領域の信号として、時間レンジ毎の複数の第１の信号スペクトルSP_1を算出する。

また、フーリエ変換部２２はＡ／Ｄ変換器１０から出力された受信データDR_2に対するＦＦＴを実施することで、受信データDR_2の周波数領域の信号として、時間レンジ毎の複数の第２の信号スペクトルSP_2を算出する。

[0026] スペクトル積算処理部２３は例えば図３に示すスペクトル積算回路４２によって実現されるものである。

スペクトル積算処理部２３はフーリエ変換部２２により算出された同一時間レンジ内の複数の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$を積算して、積算後の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$を雑音除去部２４に出力する処理を実施する。

また、スペクトル積算処理部２３はフーリエ変換部２２により算出された同一時間レンジ内の複数の第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$を積算して、積算後の第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$を雑音除去部２４に出力する処理を実施する。

[0027] 雑音除去部２４は例えば図３に示す雑音除去回路４３によって実現されるものである。

雑音除去部２４はスペクトル積算処理部２３による積算後の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$に含まれている雑音成分を除去して、雑音成分除去後の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$を周波数シフト補正部２５に出力する処理を実施する。

また、雑音除去部２４はスペクトル積算処理部２３による積算後の第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$に含まれている雑音成分を除去して、雑音成分除去後の第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$を周波数シフト補正部２５に出力する処理を実施する。

[0028] 周波数シフト補正部２５は例えば図３に示す周波数シフト補正回路４４によって実現されるものである。

周波数シフト補正部２５は光アンテナ７から放射された第１のレーザ光$Ｌｂ_1$の周波数に対する雑音除去部２４による雑音成分除去後の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$の周波数のシフトを補正する処理を実施する。

また、周波数シフト補正部２５は光アンテナ７から放射された第２のレーザ光$Ｌｂ_2$の周波数に対する雑音除去部２４による雑音成分除去後の第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$の周波数のシフトを補正する処理を実施する。

[0029] スペクトル積算部２６は例えば図３に示すスペクトル積算回路４５によって実現されるものである。

スペクトル積算部２６は周波数シフト補正部２５により周波数のシフトが

補正された複数の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$を積算して、積算後の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$をピーク強度算出部２８に出力する処理を実施する。

周波数シフト補正部２５により周波数のシフトが補正された複数の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$は、同一時間レンジ内の複数の時刻の信号スペクトルが積算された補正後の信号スペクトルである。

なお、スペクトル積算部２６は、周波数シフト補正部２５により周波数のシフトが補正された複数の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$における同一周波数の信号成分同士を積算することで、複数の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$を積算する。

[0030] スペクトル積算部２６は周波数シフト補正部２５により周波数のシフトが補正された複数の第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$を積算して、積算後の第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$をピーク強度算出部２８に出力する処理を実施する。

周波数シフト補正部２５により周波数のシフトが補正された複数の第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$は、同一時間レンジ内の複数の時刻の信号スペクトルが積算された補正後の信号スペクトルである。

なお、スペクトル積算部２６は、周波数シフト補正部２５により周波数のシフトが補正された複数の第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$における同一周波数の信号成分同士を積算することで、複数の第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$を積算する。

[0031] 分子濃度算出部２７はピーク強度算出部２８及び分子濃度算出処理部２９を備えている。

分子濃度算出部２７はスペクトル積算部２６により積算された第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$とスペクトル積算部２６により積算された第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$とから大気中の分子の濃度Ｃを算出する。

ピーク強度算出部２８は例えば図３に示すピーク強度算出回路４６によって実現されるものである。

ピーク強度算出部２８はスペクトル積算部２６による積算後の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$のピーク強度である第１のピーク強度$Ｐ_{on}$を算出する処理を

実施する。

また、ピーク強度算出部２８はスペクトル積算部２６による積算後の第２の信号スペクトルSP_2のピーク強度である第２のピーク強度P_{off}を算出する処理を実施する。

[0032] 分子濃度算出処理部２９は例えば図３に示す分子濃度算出回路４７によって実現されるものである。

分子濃度算出処理部２９はピーク強度算出部２８により算出された第１のピーク強度P_{on}とピーク強度算出部２８により算出された第２のピーク強度P_{off}とから大気中の分子の濃度Ｃを算出する処理を実施する。

[0033] 図２では、信号処理器１１の構成要素であるフーリエ変換部２２、スペクトル積算処理部２３、雑音除去部２４、周波数シフト補正部２５、スペクトル積算部２６、ピーク強度算出部２８及び分子濃度算出処理部２９のそれぞれが、図３に示すような専用のハードウェアで実現されるものを想定している。具体的には、信号処理器１１が、フーリエ変換回路４１、スペクトル積算回路４２、雑音除去回路４３、周波数シフト補正回路４４、スペクトル積算回路４５、ピーク強度算出回路４６及び分子濃度算出回路４７で実現されるものを想定している。

[0034] フーリエ変換回路４１、スペクトル積算回路４２、雑音除去回路４３、周波数シフト補正回路４４、スペクトル積算回路４５、ピーク強度算出回路４６及び分子濃度算出回路４７は、例えば、単一回路、複合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、ＡＳＩＣ（Ａｐｐｌｉｃａｔｉｏｎ Ｓｐｅｃｉｆｉｃ Ｉｎｔｅｇｒａｔｅｄ Ｃｉｒｃｕｉｔ）、ＦＰＧＡ（Ｆｉｅｌｄ－Ｐｒｏｇｒａｍｍａｂｌｅ Ｇａｔｅ Ａｒｒａｙ）、または、これらを組み合わせたものが該当する。

ただし、信号処理器１１の構成要素は、専用のハードウェアで実現されるものに限るものではなく、信号処理器１１がソフトウェア、ファームウェア、または、ソフトウェアとファームウェアとの組み合わせで実現されるものであってもよい。

[0035] ソフトウェア又はファームウェアは、プログラムとして、コンピュータのメモリに格納される。コンピュータは、プログラムを実行するハードウェアを意味し、例えば、ＣＰＵ（Ｃｅｎｔｒａｌ Ｐｒｏｃｅｓｓｉｎｇ Ｕｎｉｔ）、中央処理装置、処理装置、演算装置、マイクロプロセッサ、マイクロコンピュータ、プロセッサ、ＤＳＰ（Ｄｉｇｉｔａｌ Ｓｉｇｎａｌ Ｐｒｏｃｅｓｓｏｒ）などが該当する。

コンピュータのメモリは、例えば、ＲＡＭ（Ｒａｎｄｏｍ Ａｃｃｅｓｓ Ｍｅｍｏｒｙ）、ＲＯＭ（Ｒｅａｄ Ｏｎｌｙ Ｍｅｍｏｒｙ）、フラッシュメモリ、ＥＰＲＯＭ（Ｅｒａｓａｂｌｅ Ｐｒｏｇｒａｍｍａｂｌｅ Ｒｅａｄ Ｏｎｌｙ Ｍｅｍｏｒｙ）、ＥＥＰＲＯＭ（Ｅｌｅｃｔｒｉｃａｌｌｙ Ｅｒａｓａｂｌｅ Ｐｒｏｇｒａｍｍａｂｌｅ Ｒｅａｄ Ｏｎｌｙ Ｍｅｍｏｒｙ）などの不揮発性又は揮発性の半導体メモリ、磁気ディスク、フレキシブルディスク、光ディスク、コンパクトディスク、ミニディスク、ＤＶＤ（Ｄｉｇｉｔａｌ Ｖｅｒｓａｔｉｌｅ Ｄｉｓｃ）などが該当する。

[0036] 図４は信号処理器１１がソフトウェア又はファームウェアで実現される場合のコンピュータのハードウェア構成図である。

信号処理器１１がソフトウェア又はファームウェアで実現される場合、フーリエ変換部２２、スペクトル積算処理部２３、雑音除去部２４、周波数シフト補正部２５、スペクトル積算部２６、ピーク強度算出部２８及び分子濃度算出処理部２９の処理手順をコンピュータに実行させるためのプログラムをメモリ５１に格納し、コンピュータのプロセッサ５２がメモリ５１に格納されているプログラムを実行するようにすればよい。

図５及び図６は信号処理器１１がソフトウェア又はファームウェアで実現される場合の処理手順を示すフローチャートである。

また、図３では、信号処理器１１の構成要素のそれぞれが専用のハードウェアで実現される例を示し、図４では、信号処理器１１がソフトウェア又はファームウェアで実現される例を示しているが、信号処理器１１における一

部の構成要素が専用のハードウェアで実現され、残りの構成要素がソフトウェア又はファームウェアで実現されるものであってもよい。

[0037] 次に動作について説明する。

基準光源１は、波長切替器２から大気中の分子に吸収される波長のレーザ光である第１のレーザ光Ｌｂ$_1$を出力する旨を示す波長切替信号を受けると、第１のレーザ光Ｌｂ$_1$を光分配器３に出力する。

また、基準光源１は、波長切替器２から大気中の分子に吸収されない波長のレーザ光である第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を出力する旨を示す波長切替信号を受けると、第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を光分配器３に出力する。

この実施の形態１では、基準光源１が、第１のレーザ光Ｌｂ$_1$と第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を交互に出力するものとするが、基準光源１が、第１のレーザ光Ｌｂ$_1$と第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を同時に出力するものであってもよい。

[0038] 光分配器３は、基準光源１から第１のレーザ光Ｌｂ$_1$を受けると、第１のレーザ光Ｌｂ$_1$を所定の比率でパルス変調器４と光カプラ８に分配する。

光分配器３は、基準光源１から第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を受けると、第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を所定の比率でパルス変調器４と光カプラ８に分配する。

[0039] パルス変調器４は、光分配器３から第１のレーザ光Ｌｂ$_1$を受けると、第１のレーザ光Ｌｂ$_1$のパルス変調を行う。

パルス変調器４は、光分配器３から第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を受けると、第２のレーザ光Ｌｂ$_2$のパルス変調を行う。

例えば、パルス変調器４は、第１のレーザ光Ｌｂ$_1$及び第２のレーザ光Ｌｂ$_2$のパルス変調として、第１のレーザ光Ｌｂ$_1$及び第２のレーザ光Ｌｂ$_2$の光強度の形状がガウス形状又は矩形形状になるような第１のレーザ光Ｌｂ$_1$及び第２のレーザ光Ｌｂ$_2$の強度変調を行う。

また、パルス変調器４は、第１のレーザ光Ｌｂ$_1$及び第２のレーザ光Ｌｂ$_2$のパルス変調として、第１のレーザ光Ｌｂ$_1$及び第２のレーザ光Ｌｂ$_2$の周波数をシフトさせる周波数シフトを行う。第１のレーザ光Ｌｂ$_1$及び第２のレーザ光Ｌｂ$_2$の周波数シフト量としては、例えば、２０ＭＨｚ～２００ＭＨｚの

範囲である。

これにより、パルス変調器４からパルス変調後の第１のレーザ光Ｌｂ$_1$及びパルス変調後の第２のレーザ光Ｌｂ$_2$が光増幅器５に出力される。

[0040] 光増幅器５は、パルス変調器４からパルス変調後の第１のレーザ光Ｌｂ$_1$を受けると、パルス変調後の第１のレーザ光Ｌｂ$_1$の強度を増幅し、強度増幅後の第１のレーザ光Ｌｂ$_1$を光サーキュレータ６に出力する。

光増幅器５は、パルス変調器４からパルス変調後の第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を受けると、パルス変調後の第２のレーザ光Ｌｂ$_2$の強度を増幅し、強度増幅後の第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を光サーキュレータ６に出力する。

光サーキュレータ６は、光増幅器５から強度増幅後の第１のレーザ光Ｌｂ$_1$を受けると、強度増幅後の第１のレーザ光Ｌｂ$_1$を光アンテナ７に出力する。

光サーキュレータ６は、光増幅器５から強度増幅後の第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を受けると、強度増幅後の第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を光アンテナ７に出力する。

[0041] 光アンテナ７は、光サーキュレータ６から強度増幅後の第１のレーザ光Ｌｂ$_1$を受けると、強度増幅後の第１のレーザ光Ｌｂ$_1$のビーム径を大きくして、強度増幅後の第１のレーザ光Ｌｂ$_1$を大気中に放射する。

光アンテナ７は、光サーキュレータ６から強度増幅後の第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を受けると、強度増幅後の第２のレーザ光Ｌｂ$_2$のビーム径を大きくして、強度増幅後の第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を大気中に放射する。

光アンテナ７は、強度増幅後の第１のレーザ光Ｌｂ$_1$を大気中に放射した後、大気中のエアロゾル又はハードターゲットにより散乱された第１のレーザ光Ｌｂ$_1$の散乱光である第１の散乱光Ｓｂ$_1$を受信して、第１の散乱光Ｓｂ$_1$を光サーキュレータ６に出力する。

光アンテナ７は、強度増幅後の第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を大気中に放射した後、大気中のエアロゾル又はハードターゲットにより散乱された第２のレーザ光Ｌｂ$_2$の散乱光である第２の散乱光Ｓｂ$_2$を受信して、第２の散乱光Ｓｂ$_2$を光サーキュレータ６に出力する。

[0042] 光サーキュレータ６は、光アンテナ７から第１の散乱光Ｓｂ$_1$を受けると、

第１の散乱光Ｓｂ$_1$を光カプラ８に出力し、光アンテナ７から第２の散乱光Ｓｂ$_2$を受けると、第２の散乱光Ｓｂ$_2$を光カプラ８に出力する。

光カプラ８は、光サーキュレータ６から第１の散乱光Ｓｂ$_1$を受けると、第１の散乱光Ｓｂ$_1$と光分配器３から出力された第１のレーザ光Ｌｂ$_1$とを合波し、第１の散乱光Ｓｂ$_1$と第１のレーザ光Ｌｂ$_1$との合波光である第１の合波光Ｃｂ$_1$を５０対５０の比率で２つに分岐して光受信機９に出力する。

光カプラ８は、光サーキュレータ６から第２の散乱光Ｓｂ$_2$を受けると、第２の散乱光Ｓｂ$_2$と光分配器３から出力された第２のレーザ光Ｌｂ$_2$とを合波し、第２の散乱光Ｓｂ$_2$と第２のレーザ光Ｌｂ$_2$との合波光である第２の合波光Ｃｂ$_2$を５０対５０の比率で２つに分岐して光受信機９に出力する。

[0043] 光受信機９は、光カプラ８から５０対５０の比率で分岐された２つの第１の合波光Ｃｂ$_1$を受けると、２つの第１の合波光Ｃｂ$_1$をヘテロダイン検波して、第１の合波光Ｃｂ$_1$の受信信号である第１の受信信号Ｒ$_1$をＡ／Ｄ変換器１０に出力する。

光受信機９は、光カプラ８から５０対５０の比率で分岐された２つの第２の合波光Ｃｂ$_2$を受けると、２つの第２の合波光Ｃｂ$_2$をヘテロダイン検波して、第２の合波光Ｃｂ$_2$の受信信号である第２の受信信号Ｒ$_2$をＡ／Ｄ変換器１０に出力する。

光受信機９による第１の合波光Ｃｂ$_1$及び第２の合波光Ｃｂ$_2$のヘテロダイン検波は、同相雑音を軽減することが可能なバランスド検出である。

ここで、図７は光受信機９から出力される第１の受信信号Ｒ$_1$及び第２の受信信号Ｒ$_2$の波形例を示す説明図である。

図７Ａは第１の受信信号Ｒ$_1$の波形例を示し、図７Ｂは第２の受信信号Ｒ$_2$の波形例を示している。

図７において、横軸は時間、縦軸は受信信号の信号強度である。

図７では、時間レンジをＮに分けて、第１時間レンジビン～第Ｎ時間レンジビンの信号強度を示している。

[0044] Ａ／Ｄ変換器１０は、光受信機９からアナログの第１の受信信号Ｒ$_1$及び第

２の受信信号R_2を受けると、アナログの第１の受信信号R_1及び第２の受信信号R_2をデジタル信号に変換し、デジタル信号である受信データDR_1，DR_2を信号処理器１１に出力する。

信号処理器１１は、波長切替器２から出力される波長切替信号を制御する。

この実施の形態１では、上述したように、基準光源１が、第１のレーザ光Lb_1と第２のレーザ光Lb_2を交互に出力するように、信号処理器１１が波長切替器２から出力される波長切替信号を制御している。

信号処理器１１は、Ａ／Ｄ変換器１０からデジタル信号である受信データDR_1，DR_2を受けると、受信データDR_1，DR_2に基づいて大気中の分子の濃度Ｃを算出する。

以下、信号処理器１１による分子濃度Ｃの算出処理を具体的に説明する。

[0045] 信号処理器１１のフーリエ変換部２２は、Ａ／Ｄ変換器１０から受信データDR_1が出力されると（図５のステップＳＴ１：ＹＥＳの場合）、当該受信データDR_1に対するＦＦＴを実施することで、当該受信データDR_1の周波数領域の信号として、時間レンジ毎の複数の第１の信号スペクトルSP_1を算出する（図５のステップＳＴ２）。

また、フーリエ変換部２２は、Ａ／Ｄ変換器１０から受信データDR_2が出力されると（図５のステップＳＴ３：ＹＥＳの場合）、当該受信データDR_2に対するＦＦＴを実施することで、当該受信データDR_2の周波数領域の信号として、時間レンジ毎の複数の第２の信号スペクトルSP_2を算出する（図５のステップＳＴ４）。

この実施の形態１では、フーリエ変換部２２は、第１時間レンジビン～第Ｎ時間レンジビンの受信データDR_1，DR_2に対するＦＦＴを実施することで、第１時間レンジビン～第Ｎ時間レンジビンにおける複数の第１の信号スペクトルSP_1及び複数の第２の信号スペクトルSP_2を算出している。

なお、フーリエ変換部２２は、Ａ／Ｄ変換器１０から受信データDR_1，DR_2が出力されていないときは（図５のステップＳＴ１，ＳＴ３：ＮＯの場合

）、Ａ／Ｄ変換器１０から受信データＤＲ$_1$又は受信データＤＲ$_2$が出力されるまで待機する。

[0046] 図８はフーリエ変換部２２による第１の信号スペクトルＳＰ$_1$及び第２の信号スペクトルＳＰ$_2$の算出例を示す説明図である。

図８Ａはフーリエ変換部２２により算出された第１時間レンジビン及び第２時間レンジビンの第１の信号スペクトルＳＰ$_1$を示し、図８Ｂはフーリエ変換部２２により算出された第１時間レンジビン及び第２時間レンジビンの第２の信号スペクトルＳＰ$_2$を示している。

図８において、横軸は周波数、縦軸は信号強度である。

図８は、大気中のエアロゾルの位置に変化がない例を示している。

大気中のエアロゾルの位置に変化がない場合、同一時間レンジ内の複数の第１の信号スペクトルＳＰ$_1$のピーク強度Ｐ$_{on}$に対応する周波数であるピーク位置は同じ位置になる。また、時間レンジが異なっていても、図８Ａに示すように、第１の信号スペクトルＳＰ$_1$のピーク強度Ｐ$_{on}$に対応する周波数であるピーク位置は同じ位置となる。

また、大気中のエアロゾルの位置に変化がない場合、同一時間レンジ内の複数の第２の信号スペクトルＳＰ$_2$のピーク強度Ｐ$_{off}$に対応する周波数であるピーク位置は同じ位置になる。また、時間レンジが異なっていても、図８Ｂに示すように、第２の信号スペクトルＳＰ$_2$のピーク強度Ｐ$_{off}$に対応する周波数であるピーク位置は同じ位置となる。

図８Ａ及び図８Ｂの例では、第１時間レンジビン及び第２時間レンジビンのいずれであっても、第１の信号スペクトルＳＰ$_1$のピーク強度Ｐ$_{on}$及び第２の信号スペクトルＳＰ$_2$のピーク強度Ｐ$_{off}$が、全て第６周波数レンジビンに存在している。

[0047] 図９は大気中のエアロゾルの位置が風の影響で変化している状況下で、フーリエ変換部２２により算出された第１の信号スペクトルＳＰ$_1$及び第２の信号スペクトルＳＰ$_2$の例を示す説明図である。

図９に示すように、第１時間レンジビン内の複数の第１の信号スペクトル

SP_1のピーク強度P_{on}に対応する周波数が異なっており、第１時間レンジビン内の複数の第２の信号スペクトルSP_2のピーク強度P_{off}に対応する周波数とが異なっている。

即ち、第１時間レンジビン内の時刻ｔ１の第１の信号スペクトルSP_1（ｔ１）のピーク強度P_{on}に対応する周波数と、時刻ｔ２の第１の信号スペクトルSP_1（ｔ２）のピーク強度P_{on}に対応する周波数とが異なっている。また、第１時間レンジビン内の時刻ｔ１の第２の信号スペクトルSP_2（ｔ１）のピーク強度P_{off}に対応する周波数と、時刻ｔ２の第２の信号スペクトルSP_2（ｔ２）のピーク強度P_{off}に対応する周波数とが異なっている。

図９では、第１時間レンジビンだけを例示しているが、実際には、第２時間レンジビン～第Ｎ時間レンジビンも存在している。Ｎは３以上の整数である。

[0048] 大気中のエアロゾルの位置に変化がない場合、上述したように、複数の第１の信号スペクトルSP_1のピーク強度に対応する周波数であるピーク位置が同じ位置となる。また、複数の第２の信号スペクトルSP_2のピーク強度に対応する周波数であるピーク位置が同じ位置となる。このため、後段のスペクトル積算処理部２３が、同一時間レンジ内の複数の第１の信号スペクトルSP_1を積算するとともに、同一時間レンジ内の複数の第２の信号スペクトルSP_2を積算することで、所望の信号成分であるエアロゾルに対応する信号成分が積み上がり、ＳＮ比が高まる。

一方、大気中のエアロゾルの位置に変化がある場合、図９に示すように、同一時間レンジ内であっても、ピーク強度に対応する周波数であるピーク位置が異なる位置となる。このため、後段のスペクトル積算処理部２３が、同一時間レンジ内の複数の第１の信号スペクトルSP_1及び複数の第２の信号スペクトルSP_2をそれぞれ積算しても、所望の信号成分が積み上がらず、ＳＮ比が高まらない。

[0049] したがって、大気中のエアロゾルの位置に変化がある場合、スペクトル積算処理部２３が、同一時間レンジ内の複数の第１の信号スペクトルSP_1及び

複数の第２の信号スペクトルＳＰ$_2$をそれぞれ長時間積算（例えば１分以上）しても、後段のピーク強度算出部２８による第１のピーク強度Ｐ$_{on}$及び第２のピーク強度Ｐ$_{off}$の特定精度を高めることは困難である。図９の例では、積算後の第１の信号スペクトルＳＰ$_1$及び積算後の第２の信号スペクトルＳＰ$_2$において、所望の信号成分だけでなく、複数の信号成分が大きくなっているため、所望の信号成分に対応する第１のピーク強度Ｐ$_{on}$及び第２のピーク強度Ｐ$_{off}$の特定が困難になっている。

ただし、大気中のエアロゾルの位置に変化がある場合でも、複数の第１の信号スペクトルＳＰ$_1$及び複数の第２の信号スペクトルＳＰ$_2$をそれぞれ短時間積算（例えば４秒）することで、後段の周波数シフト補正部２５において、第１の信号スペクトルＳＰ$_1$及び第２の信号スペクトルＳＰ$_2$の周波数のシフト量ｆｄ$_1$，ｆｄ$_2$を算出することが可能になる程度にはＳＮ比が高まる。

１つの時間レンジの信号スペクトルのみでは、信号強度が小さいため、後段の周波数シフト補正部２５において、第１の信号スペクトルＳＰ$_1$の周波数のシフト量ｆｄ$_1$及び第２の信号スペクトルＳＰ$_2$の周波数のシフト量ｆｄ$_2$を算出することは困難である。

[0050] スペクトル積算処理部２３は、フーリエ変換部２２が時間レンジ毎の複数の第１の信号スペクトルＳＰ$_1$を算出すると、同一時間レンジ内の複数の第１の信号スペクトルＳＰ$_1$を積算し、積算後の第１の信号スペクトルＳＰ$_1$を雑音除去部２４に出力する（図５のステップＳＴ５）。

また、スペクトル積算処理部２３は、フーリエ変換部２２が時間レンジ毎の複数の第２の信号スペクトルＳＰ$_2$を算出すると、同一時間レンジ内の複数の第２の信号スペクトルＳＰ$_2$を積算し、積算後の第２の信号スペクトルＳＰ$_2$を雑音除去部２４に出力する（図５のステップＳＴ６）。

同一時間レンジ内の複数の第１の信号スペクトルＳＰ$_1$の積算処理は、同一時間レンジ内の複数の第１の信号スペクトルＳＰ$_1$における同一周波数の信号成分同士を積算するものである。

また、同一時間レンジ内の複数の第２の信号スペクトルＳＰ$_2$の積算処理は

、同一時間レンジ内の複数の第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$における同一周波数の信号成分同士を積算するものである。

[0051] スペクトル積算処理部２３は、第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$及び第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$の積算回数が事前に設定された回数に到達するまで、あるいは、ＳＮ比が事前に設定されたＳＮ比に到達するまで、第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$及び第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$の積算処理を繰り返し実施する。

なお、大気中のエアロゾルの位置が風の影響で変化している場合、スペクトル積算処理部２３が、同一周波数の信号成分同士を積算しても、ＳＮ比が大きく高まることはないが、後段の周波数シフト補正部２５が、周波数のシフト量$ｆｄ_1$，$ｆｄ_2$を算出することが可能になる程度にはＳＮ比が高まる。

[0052] 雑音除去部２４は、スペクトル積算処理部２３から積算後の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$を受けると、積算後の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$に含まれている雑音成分を除去し、雑音成分除去後の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$を周波数シフト補正部２５に出力する（図５のステップＳＴ７）。

また、雑音除去部２４は、スペクトル積算処理部２３から積算後の第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$を受けると、積算後の第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$に含まれている雑音成分を除去し、雑音成分除去後の第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$を周波数シフト補正部２５に出力する（図５のステップＳＴ８）。

[0053] 図１０は雑音除去部２４により雑音成分の除去処理が行われる前後の信号スペクトルを示す説明図である。

図１０Ａは雑音除去部２４により雑音成分の除去処理が行われる前の信号スペクトル及び雑音スペクトルを示し、図１０Ｂは雑音除去部２４により雑音成分の除去処理が行われた後の信号スペクトルを示している。

以下、雑音除去部２４による雑音成分の除去処理を具体的に説明する。

[0054] 雑音除去部２４により雑音成分の除去処理が行われる前の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$及び第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$は、図１０Ａに示すように、第１のレーザ光$Ｌｂ_1$及び第２のレーザ光$Ｌｂ_2$を散乱させるエアロゾルに対応する信号成分の他に、光受信機９の熱雑音及び光増幅器５から放射される増

幅光雑音などの雑音成分を含んでいる。

雑音除去部２４は、雑音成分の除去処理を行う前に、光受信機９の熱雑音及び光増幅器５から放射される増幅光雑音などの雑音成分を観測して、その雑音成分を示す雑音スペクトルを記録する。

雑音除去部２４は、スペクトル積算処理部２３による積算後の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$から記録している雑音スペクトルを減算することで、第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$に含まれている雑音成分を除去し、図１０Ｂに示すような第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$を周波数シフト補正部２５に出力する。

また、雑音除去部２４は、スペクトル積算処理部２３による積算後の第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$から記録している雑音スペクトルを減算することで、第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$に含まれている雑音成分を除去し、図１０Ｂに示すような第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$を周波数シフト補正部２５に出力する。

[0055] 周波数シフト補正部２５は、雑音除去部２４から雑音成分除去後の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$を受けると、光アンテナ７から放射された第１のレーザ光$Ｌｂ_1$の周波数に対する雑音成分除去後の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$の周波数のシフト量$ｆｄ_1$を算出する。

この周波数のシフト量$ｆｄ_1$は、大気中のエアロゾルの位置の変化に伴う第１の散乱光$Ｓｂ_1$のドップラーシフト量に相当する。

ドップラーシフト量の算出処理自体は公知の技術であるため詳細な説明を省略するが、光アンテナ７から放射された第１のレーザ光$Ｌｂ_1$の周波数と、第１の散乱光$Ｓｂ_1$の周波数との差分からドップラーシフト量を求めることができる。

周波数シフト補正部２５は、周波数のシフト量$ｆｄ_1$を算出すると、雑音成分除去後の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$の周波数をシフト量$ｆｄ_1$だけシフトすることで、雑音成分除去後の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$の周波数をドップラーシフトのないときの周波数と一致させる補正を行う（図５のステップＳＴ９）。

[0056] また、周波数シフト補正部２５は、雑音除去部２４から雑音成分除去後の

第２の信号スペクトルＳＰ$_2$を受けると、光アンテナ７から放射された第２のレーザ光Ｌｂ$_2$の周波数に対する雑音成分除去後の第２の信号スペクトルＳＰ$_2$の周波数のシフト量ｆｄ$_2$を算出する。シフト量ｆｄ$_2$の算出は、光アンテナ７から放射された第２のレーザ光Ｌｂ$_2$の周波数と、第２の散乱光Ｓｂ$_2$の周波数との差分から求めることができる。

周波数シフト補正部２５は、周波数のシフト量ｆｄ$_2$を算出すると、雑音成分除去後の第２の信号スペクトルＳＰ$_2$の周波数をシフト量ｆｄ$_2$だけシフトすることで、雑音成分除去後の第２の信号スペクトルＳＰ$_2$の周波数をドップラーシフトのないときの周波数と一致させる補正を行う（図５のステップＳＴ１０）。

[0057] 図１１は周波数シフト補正部２５による信号スペクトルの周波数のシフト補正を示す説明図である。

図１１は、周波数シフト補正部２５によって同一時間レンジ内の複数の第１の信号スペクトルＳＰ$_1$の周波数がシフトされるとともに、同一時間レンジ内の複数の第２の信号スペクトルＳＰ$_2$の周波数がシフトされることで、エアロゾルに対応する信号成分の周波数が、同じ周波数レンジビンに存在するようになることを表している。

図１１の例では、シフト補正後の複数の第１の信号スペクトルＳＰ$_1$に含まれているエアロゾルに対応する信号成分の周波数はｆ$_1$になっている。また、シフト補正後の複数の第２の信号スペクトルＳＰ$_2$に含まれているエアロゾルに対応する信号成分の周波数はｆ$_2$になっている。

[0058] 図１１では、第１時間レンジビンだけを例示しているが、実際には、第２時間レンジビン～第M時間レンジビンも存在している。Mは３以上の整数である。

ただし、前段のスペクトル積算処理部２３によって積算処理が行われているため、図１１における１つの第１の信号スペクトルＳＰ$_1$は、図９における複数の第１の信号スペクトルＳＰ$_1$と対応している。また、図１１における１つの第２の信号スペクトルＳＰ$_2$は、図９における複数の第２の信号スペクト

ルＳＰ$_2$と対応している。

例えば、スペクトル積算処理部２３における第１の信号スペクトルＳＰ$_1$及び第２の信号スペクトルＳＰ$_2$の積算回数が５回であれば、図１１における第１の信号スペクトルＳＰ$_1$（ｔ１）は、図９における同一時間レンジ内の５つの時刻ｔ＝１～５の第１の信号スペクトルＳＰ$_1$（ｔ１）～ＳＰ$_1$（ｔ５）と対応している。図１１における第２の信号スペクトルＳＰ$_2$（ｔ１）は、図９における同一時間レンジ内の５つの時刻ｔ＝１～５の第２の信号スペクトルＳＰ$_2$（ｔ１）～ＳＰ$_2$（ｔ５）と対応している。

また、図１１における第１の信号スペクトルＳＰ$_1$（ｔ２）は、図９における同一時間レンジ内の５つの時刻ｔ＝６～１０の第１の信号スペクトルＳＰ（ｔ６）～ＳＰ$_1$（ｔ１０）$_1$と対応している。図１１における第２の信号スペクトルＳＰ$_2$（ｔ２）は、図９における同一時間レンジ内の５つの時刻ｔ＝６～１０の第２の信号スペクトルＳＰ$_2$（ｔ６）～ＳＰ$_2$（ｔ１０）と対応している。

[0059] ここでは、周波数シフト補正部２５が、第１の信号スペクトルＳＰ$_1$の周波数を第１のレーザ光Ｌｂ$_1$の周波数と一致させる補正を行うとともに、第２の信号スペクトルＳＰ$_2$の周波数を第２のレーザ光Ｌｂ$_2$の周波数と一致させる補正を行う例を示している。

第１の信号スペクトルＳＰ$_1$及び第２の信号スペクトルＳＰ$_2$の周波数の補正方法は、上記の例に限るものではない。

例えば、周波数シフト補正部２５が、同一時間レンジ内の複数の第１の信号スペクトルＳＰ$_1$の周波数が同じドップラーシフト量となるように、複数の第１の信号スペクトルＳＰ$_1$の周波数を補正するようにしてもよい。また、周波数シフト補正部２５が、同一時間レンジ内の複数の第２の信号スペクトルＳＰ$_2$の周波数が同じドップラーシフト量となるように、複数の第２の信号スペクトルＳＰ$_2$の周波数を補正するようにしてもよい。

具体的には、同一時間レンジ内の複数の第１の信号スペクトルＳＰ$_1$のドップラーシフト量が、同一時間レンジ内の基準とする第１の信号スペクトルＳ

P_1のドップラーシフト量と同じになるように、周波数シフト補正部２５が、同一時間レンジ内の複数の第１の信号スペクトルSP_1の周波数を補正する例が考えられる。同一時間レンジ内の基準とする第１の信号スペクトルSP_1としては、例えば、時刻ｔ１の第１の信号スペクトルSP_1が考えられる。

また、同一時間レンジ内の複数の第２の信号スペクトルSP_2のドップラーシフト量が、同一時間レンジ内の基準とする第２の信号スペクトルSP_2のドップラーシフト量と同じになるように、周波数シフト補正部２５が、同一時間レンジ内の複数の第２の信号スペクトルSP_2の周波数を補正する例が考えられる。

[0060] ステップＳＴ１～ＳＴ１０の処理は、信号処理器１１が処理を開始してからの時間が、事前に設定された観測時間を経過するまで間、繰り返し実施される（ステップＳＴ１１：ＮＯの場合）。

信号処理器１１が処理を開始してからの時間が観測時間を経過すると（ステップＳＴ１１：ＹＥＳの場合）、ステップＳＴ１～ＳＴ１０の繰り返し処理は終了する。

なお、観測時間中、周波数シフト補正部２５によって第１時間レンジビン～第M時間レンジビンにおける複数の第１の信号スペクトルSP_1及び複数の第２の信号スペクトルSP_2の周波数のシフトが補正された場合、周波数のシフトが補正された第１時間レンジビン～第M時間レンジビンにおける複数の第１の信号スペクトルSP_1及び複数の第２の信号スペクトルSP_2が、スペクトル積算部２６に記憶される。

[0061] スペクトル積算部２６は、第１時間レンジビン～第M時間レンジビンにおいて、記憶している同一時間レンジ内の複数の第１の信号スペクトルSP_1を積算し、積算後の第１の信号スペクトルSP_1をピーク強度算出部２８に出力する（図６のステップＳＴ２１）。

また、スペクトル積算部２６は、記憶している同一時間レンジ内の複数の第２の信号スペクトルSP_2を積算し、積算後の第２の信号スペクトルSP_2をピーク強度算出部２８に出力する（図６のステップＳＴ２２）。

同一時間レンジ内の複数の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$の積算処理は、各々の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$における同一周波数の信号成分同士を積算するものである。

また、同一時間レンジ内の複数の第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$の積算処理は、各々の第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$における同一周波数の信号成分同士を積算するものである。

周波数シフト補正部２５によって周波数がシフトされている複数の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$が積算されるとともに、周波数シフト補正部２５によって周波数がシフトされている複数の第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$が積算されているので、大気中のエアロゾルの位置に変化がある場合でも、所望の信号成分であるエアロゾルに対応する信号成分が積み上がり、ＳＮ比が高まる。

[0062] ピーク強度算出部２８は、スペクトル積算部２６による積算後の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$における各々の信号成分を比較して、最も大きな信号成分である第１のピーク強度$Ｐ_{on}$を特定する（図６のステップＳＴ２３）。

また、ピーク強度算出部２８は、スペクトル積算部２６による積算後の第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$における各々の信号成分を比較して、最も大きな信号成分である第２のピーク強度$Ｐ_{off}$を特定する（図６のステップＳＴ２４）。

[0063] 分子濃度算出処理部２９は、ピーク強度算出部２８により特定された第１のピーク強度$Ｐ_{on}$とピーク強度算出部２８により特定された第２のピーク強度$Ｐ_{off}$とから大気中の分子の濃度Ｃを算出する。

以下、分子濃度算出処理部２９による分子濃度Ｃの算出処理を具体的に説明する。

[0064] まず、分子濃度算出処理部２９は、第ｍ（ｍ＝２，３，・・・，Ｍ）時間レンジビンにおける分子濃度Ｃの算出処理を行う場合、第ｍ時間レンジビンの第１のピーク強度$Ｐ_{on}$であるピーク強度$Ｐ_{on(m)}$と、第ｍ時間レンジビンの第２のピーク強度$Ｐ_{off}$であるピーク強度$Ｐ_{off(m)}$とを取得する。

また、分子濃度算出処理部２９は、第（ｍ－１）時間レンジビンの第１の

ピーク強度P_{on}であるピーク強度$P_{on(m-1)}$と、第（ｍ－１）時間レンジビンの第２のピーク強度P_{off}であるピーク強度$P_{off(m-1)}$とを取得する。

[0065] 次に、分子濃度算出処理部２９は、以下の式（１）に示すように、第ｍ時間レンジビンのピーク強度$P_{on(m)}$及びピーク強度$P_{off(m)}$と、第（ｍ－１）時間レンジビンのピーク強度$P_{on(m-1)}$及びピーク強度$P_{off(m-1)}$とを用いて、光学的厚さＯＤを算出する（図６のステップＳＴ２５）。

$$OD = \frac{P_{on(m)}}{P_{off(m)}} \times \frac{P_{off(m-1)}}{P_{on(m-1)}} \qquad (1)$$

光学的厚さＯＤは、第ｍ時間レンジビンにおけるピーク強度$P_{on(m)}$とピーク強度$P_{off(m)}$との比である。

式（１）において、$P_{off(m-1)}$／$P_{on(m-1)}$は、光学的厚さＯＤを規格化するために、$P_{on(m)}$／$P_{off(m)}$に乗算している。

[0066] 次に、分子濃度算出処理部２９は、以下の式（２）に示すように、光学的厚さＯＤと、第ｍ時間レンジビンに対応するエアロゾルの位置と光アンテナ７との間の距離ｚと、吸収波長の吸収係数k_{on}と、非吸収波長の吸収係数k_{off}とを用いて、大気中の分子の濃度Ｃを算出する（図６のステップＳＴ２６）。吸収係数k_{on}及び吸収係数k_{off}は既知の係数である。

$$C = \frac{OD}{z(k_{on}-k_{off})} \qquad (2)$$

[0067] 以上で明らかなように、この実施の形態１によれば、第１のレーザ光Lb_1の周波数に対する同一時間レンジ内の複数の第１の信号スペクトルSP_1の周波数のシフトを補正するとともに、第２のレーザ光Lb_2の周波数に対する同一時間レンジ内の複数の第２の信号スペクトルSP_2の周波数のシフトを補正する周波数シフト補正部２５と、周波数シフト補正部２５により補正された複数の第１の信号スペクトルSP_1を積算するとともに、周波数シフト補正部２５により補正された複数の第２の信号スペクトルSP_2を積算するスペクトル積算部２６とを設け、分子濃度算出部２７が、スペクトル積算部２６により積算された第１の信号スペクトルSP_1とスペクトル積算部２６により積算

された第２の信号スペクトルＳＰ$_2$とから大気中の分子の濃度Ｃを算出するように構成したので、大気中のエアロゾルの位置に変化が生じる場合でも、分子濃度Ｃの算出精度の劣化を防止することができる効果を奏する。

特に、大気分子が水蒸気で、波長１．５ｕｍ帯での吸収スペクトル強度が小さい場合において分子濃度計測の精度を上げる場合には、吸収波長と非吸収波長のピーク強度を高いＳＮ比で計測して、差分を算出する必要がある。この場合、数分から数十分といった長時間の積算が必要となるが、この実施の形態１によって、大気中のエアロゾルの位置に変化が生じる場合でも、分子濃度の算出精度の劣化を防止することができる効果を奏する。

[0068] 実施の形態２．

上記実施の形態１では、同一時間レンジ内の複数の第１の信号スペクトルＳＰ$_1$及び同一時間レンジ内の複数の第２の信号スペクトルＳＰ$_2$の積算処理として、スペクトル積算処理部２３が、複数の第１の信号スペクトルＳＰ$_1$及び複数の第２の信号スペクトルＳＰ$_2$における同一周波数の信号成分同士を積算する例を示している。

この実施の形態２では、スペクトル積算処理部２３が、複数の第１の信号スペクトルＳＰ$_1$及び複数の第２の信号スペクトルＳＰ$_2$における異なる周波数の信号成分同士を積算する例を説明する。

具体的には、以下の通りである。

[0069] ここでは、スペクトル積算処理部２３における第１の信号スペクトルＳＰ$_1$及び第２の信号スペクトルＳＰ$_2$の積算回数が６回である例を説明する。

スペクトル積算処理部２３には、予め、同一時間レンジ内の時刻ｔ１～ｔ６の第１の信号スペクトルＳＰ$_1$及び第２の信号スペクトルＳＰ$_2$における信号成分の積算を行う周波数の組み合わせが複数用意されている。

例えば、同一時間レンジ内の時刻ｔ１～ｔ６の信号スペクトルの積算を行う際の周波数の組み合わせについてのパターンとして、組み合わせパターンＡと、組み合わせパターンＢと、組み合わせパターンＣとを例示する。

[0070] ［組み合わせパターンＡ］

積算後の信号スペクトルの第ｍ周波数レンジビンにおける信号成分
＝時刻ｔ１の第ｍ周波数レンジビンにおける信号成分
＋時刻ｔ２の第ｍ周波数レンジビンにおける信号成分
＋時刻ｔ３の第ｍ周波数レンジビンにおける信号成分
＋時刻ｔ４の第（ｍ＋１）周波数レンジビンにおける信号成分
＋時刻ｔ５の第（ｍ＋１）周波数レンジビンにおける信号成分
＋時刻ｔ６の第（ｍ＋１）周波数レンジビンにおける信号成分

[0071] ［組み合わせパターンＢ］

積算後の信号スペクトルの第ｍ周波数レンジビンにおける信号成分
＝時刻ｔ１の第ｍ周波数レンジビンにおける信号成分
＋時刻ｔ２の第ｍ周波数レンジビンにおける信号成分
＋時刻ｔ３の第（ｍ＋１）周波数レンジビンにおける信号成分
＋時刻ｔ４の第（ｍ＋１）周波数レンジビンにおける信号成分
＋時刻ｔ５の第（ｍ＋２）周波数レンジビンにおける信号成分
＋時刻ｔ６の第（ｍ＋２）周波数レンジビンにおける信号成分

[0072] ［組み合わせパターンＣ］

積算後の信号スペクトルの第ｍ周波数レンジビンにおける信号成分
＝時刻ｔ１の第ｍ周波数レンジビンにおける信号成分
＋時刻ｔ２の第（ｍ＋１）周波数レンジビンにおける信号成分
＋時刻ｔ３の第（ｍ＋２）周波数レンジビンにおける信号成分
＋時刻ｔ４の第（ｍ＋３）周波数レンジビンにおける信号成分
＋時刻ｔ５の第（ｍ＋４）周波数レンジビンにおける信号成分
＋時刻ｔ６の第（ｍ＋５）周波数レンジビンにおける信号成分

[0073] スペクトル積算処理部２３は、組み合わせパターンＡに従って時刻ｔ１～時刻ｔ６における第１の信号スペクトルSP_1及び第２の信号スペクトルSP_2をそれぞれ積算し、組み合わせパターンＢに従って時刻ｔ１～時刻ｔ６における第１の信号スペクトルSP_1及び第２の信号スペクトルSP_2をそれぞれ積算する。

また、スペクトル積算処理部２３は、組み合わせパターンＣに従って時刻ｔ１～時刻ｔ６における第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$及び第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$をそれぞれ積算する。

[0074] スペクトル積算処理部２３は、組み合わせパターンＡ，Ｂ，Ｃに従ってそれぞれ積算した第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$における最大の信号成分を比較し、積算後の３つの第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$の中から、最大の信号成分が最も大きい第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$を選択する。

スペクトル積算処理部２３は、選択した第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$を積算後の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$として、ピーク強度算出部２８に出力する。

また、スペクトル積算処理部２３は、組み合わせパターンＡ，Ｂ，Ｃに従ってそれぞれ積算した第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$における最大の信号成分を比較し、積算後の３つの第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$の中から、最大の信号成分が最も大きい第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$を選択する。

スペクトル積算処理部２３は、選択した第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$を積算後の第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$として、ピーク強度算出部２８に出力する。

[0075] 以上で明らかなように、この実施の形態２によれば、スペクトル積算処理部２３が、複数の組み合わせに対応する積算後の信号スペクトルの中から、いずれか１つの信号スペクトルを積算後の信号スペクトルとして選択するように構成したので、上記実施の形態１よりも更にＳＮ比を高めることができる。

[0076] 実施の形態３．

上記実施の形態１では、周波数シフト補正部２５が、第１のレーザ光$Ｌｂ_1$の周波数に対する第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$の周波数のシフトを補正するとともに、第２のレーザ光$Ｌｂ_2$の周波数に対する第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$の周波数のシフトを補正する例を説明している。

これにより、大気中のエアロゾルの位置に変化が生じる場合でも、分子濃度Ｃの算出精度の劣化を防止することができる。

しかし、乱流のように時間的に風速又は風向が変化する環境下では、フー

リエ変換部２２により算出される第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$及び第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$に含まれているエアロゾルに対応する信号成分の周波数帯域が広がることがある。

エアロゾルに対応する信号成分の周波数帯域が広がることで、エアロゾルに対応する信号成分が複数の周波数レンジビンに存在し、第１のピーク強度$Ｐ_{on}$の特定精度及び第２のピーク強度$Ｐ_{off}$の特定精度が劣化することがある。

この実施の形態３では、時間的に風速又は風向が変化する環境下でも、第１のピーク強度$Ｐ_{on}$の特定精度及び第２のピーク強度$Ｐ_{off}$の特定精度の劣化を防止して、分子濃度の算出精度の劣化を防止する例を説明する。

[0077] この実施の形態３におけるレーザレーダ装置の構成図は、上記実施の形態１と同様に、図１の構成図である。

図１２はこの発明の実施の形態３によるレーザレーダ装置の信号処理器１１を示す構成図である。図１２において、図２と同一符号は同一または相当部分を示すので説明を省略する。

周波数シフト補正部３０は、図２の周波数シフト補正部２５と同様に、例えば図３に示す周波数シフト補正回路４４によって実現されるものである。

周波数シフト補正部３０は、図２の周波数シフト補正部２５と同様に、第１のレーザ光$Ｌｂ_1$の周波数に対する雑音成分除去後の複数の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$の周波数のシフトを補正するとともに、第２のレーザ光$Ｌｂ_2$の周波数に対する雑音成分除去後の複数の第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$の周波数のシフトを補正する処理を実施する。

[0078] ただし、周波数シフト補正部３０は、図２の周波数シフト補正部２５と異なり、第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$及び第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$の周波数のシフトを補正する処理を実施する前に、以下に示す第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$及び第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$の波形を補正する処理を実施する。

周波数シフト補正部３０は雑音除去部２４による雑音成分除去後の第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$及び第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$のそれぞれにおいて、

閾値Ｔｈ以上の信号成分を有する１つ以上の周波数の中から、いずれか１つの周波数を選択し、選択していない残りの周波数の信号成分を選択した周波数に移動させることで、選択した周波数の信号成分を閾値Ｔｈ以上の信号成分の総和とする波形の補正処理を行う。

以下、周波数シフト補正部３０による波形の補正処理を具体的に説明する。

[0079] 図１３は周波数シフト補正部３０による信号スペクトルの周波数のシフト補正を示す説明図である。

図１３では、第１時間レンジビン及び第２時間レンジビンのそれぞれにおいて、１つの第１の信号スペクトルSP_1だけを代表的に図示している。また、第１時間レンジビン及び第２時間レンジビンのそれぞれにおいて、１つの第２の信号スペクトルSP_2だけを代表的に図示している。

周波数シフト補正部３０は、雑音除去部２４による雑音成分除去後の第１の信号スペクトルSP_1及び雑音成分除去後の第２の信号スペクトルSP_2における各々の信号成分と事前に設定された閾値Ｔｈとを比較して、閾値Ｔｈ以上の信号成分を有する周波数を特定する。事前に設定された閾値Ｔｈとして、エアロゾルに対応する信号成分の想定される信号強度の半分程度の値が周波数シフト補正部３０に設定されている。

[0080] 図１３の例では、第２時間レンジビンにおける第１の信号スペクトルSP_1及び第２の信号スペクトルSP_2については、閾値Ｔｈ以上の信号成分を有する周波数は１つである。このため、第２時間レンジビンにおける第１の信号スペクトルSP_1及び第２の信号スペクトルSP_2については、周波数シフト補正部３０による波形の補正処理は行われない。

一方、第１時間レンジビンにおける第１の信号スペクトルSP_1については、閾値Ｔｈ以上の信号成分を有する周波数は４つである。このため、第１時間レンジビンにおける第１の信号スペクトルSP_1については、周波数シフト補正部３０によって波形の補正処理が行われる。

また、第１時間レンジビンにおける第２の信号スペクトルSP_2については

、閾値Ｔｈ以上の信号成分を有する周波数は３つである。このため、第１時間レンジビンにおける第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$については、周波数シフト補正部３０によって波形の補正処理が行われる。

[0081] 周波数シフト補正部３０は、第１時間レンジビンにおける第１の信号スペクトル$ＳＰ_1$において、閾値Ｔｈ以上の信号成分を有する４つの周波数$ｆ_a$，$ｆ_b$，$ｆ_c$，$ｆ_d$の中から、例えば、１つの周波数$ｆ_c$を選択する。

周波数シフト補正部３０は、例えば、１つの周波数$ｆ_c$を選択すると、残り３つの周波数$ｆ_a$，$ｆ_b$，$ｆ_d$の信号成分を周波数$ｆ_c$に移動させることで、周波数$ｆ_c$の信号成分を４つの周波数$ｆ_a$，$ｆ_b$，$ｆ_c$，$ｆ_d$の信号成分の総和とする。

ここでは、周波数$ｆ_c$を選択しているが、これは一例に過ぎず、周波数$ｆ_a$，$ｆ_b$，$ｆ_d$のいずれかを選択してもよい。

また、周波数$ｆ_a$～$ｆ_d$の範囲内の周波数を選択し、その選択した周波数に４つの周波数$ｆ_a$，$ｆ_b$，$ｆ_c$，$ｆ_d$の信号成分を移動させることで、その選択した周波数の信号成分を４つの周波数$ｆ_a$，$ｆ_b$，$ｆ_c$，$ｆ_d$の信号成分の総和とするようにしてもよい。

[0082] 周波数シフト補正部３０は、第１時間レンジビンにおける第２の信号スペクトル$ＳＰ_2$において、閾値Ｔｈ以上の信号成分を有する３つの周波数$ｆ_e$，$ｆ_f$，$ｆ_g$の中から、例えば、１つの周波数$ｆ_f$を選択する。

周波数シフト補正部３０は、例えば、１つの周波数$ｆ_f$を選択すると、残り２つの周波数$ｆ_e$，$ｆ_g$の信号成分を周波数$ｆ_f$に移動させることで、周波数$ｆ_f$の信号成分を３つの周波数$ｆ_e$，$ｆ_f$，$ｆ_g$の信号成分の総和とする。

ここでは、周波数$ｆ_f$を選択しているが、これは一例に過ぎず、周波数$ｆ_e$又は周波数$ｆ_g$のいずれかを選択してもよい。

また、周波数$ｆ_e$～$ｆ_g$の範囲内の周波数を選択し、その選択した周波数に３つの周波数$ｆ_e$，$ｆ_f$，$ｆ_g$の信号成分を移動させることで、その選択した周波数の信号成分を３つの周波数$ｆ_e$，$ｆ_f$，$ｆ_g$の信号成分の総和とするようにしてもよい。

[0083] 周波数シフト補正部３０が波形の補正処理を行うことで、エアロゾルに対応する信号成分が１つの周波数レンジビンだけに存在するようになるため、第１のピーク強度P_{on}の特定精度及び第２のピーク強度P_{off}の特定精度が向上する。

周波数シフト補正部３０は、波形の補正処理を実施した後、図２の周波数シフト補正部２５と同様に、複数の第１の信号スペクトルSP_1の周波数のシフトを補正する処理及び複数の第２の信号スペクトルSP_2の周波数のシフトを補正する処理を実施する。

この実施の形態３では、乱流のように時間的に風速又は風向が変化する環境下でも、第１のピーク強度P_{on}の特定精度及び第２のピーク強度P_{off}の特定精度が向上するため、分子濃度の算出精度の劣化を防止することができる。

[0084] 実施の形態４．

上記実施の形態１～３では、分子濃度算出部２７が、大気中の分子の濃度Ｃを算出する例を示しているが、この実施の形態４では、分子濃度算出部２７が、分子濃度Ｃの分布を求める例を説明する。

[0085] 図１４はこの発明の実施の形態４によるレーザレーダ装置を示す構成図である。図１４において、図１と同一符号は同一または相当部分を示すので説明を省略する。

方向切替器１２は例えばミラーなどを備えており、信号処理器１１から出力される制御信号に従って光アンテナ７からレーザ光が放射される方向を切り替える切替器である。

[0086] 図１５はこの発明の実施の形態４によるレーザレーダ装置の信号処理器１１を示す構成図である。図１５において、図２と同一符号は同一または相当部分を示すので説明を省略する。

分子濃度算出部３１はピーク強度算出部２８及び分子濃度算出処理部３２を備えている。

分子濃度算出部３１は、図２の分子濃度算出部２７と同様に、スペクトル

積算部２６により積算された第１の信号スペクトルＳＰ$_1$とスペクトル積算部２６により積算された第２の信号スペクトルＳＰ$_2$とから大気中の分子の濃度Ｃを算出する処理を実施する。

分子濃度算出部３１は、図２の分子濃度算出部２７と異なり、光アンテナ７からレーザ光が放射される方向を切り替える旨を示す制御信号を方向切替器１２に出力し、方向切替器１２によりレーザ光が放射される方向が切り替えられる毎に、大気中の分子の濃度Ｃを算出することで、分子濃度Ｃの分布を求める処理を実施する。

[0087] 分子濃度算出処理部３２は、図２の分子濃度算出処理部２９と同様に、例えば図３に示す分子濃度算出回路４７によって実現されるものである。

分子濃度算出処理部３２は、図２の分子濃度算出処理部２９と同様に、ピーク強度算出部２８により算出された第１のピーク強度Ｐ$_{on}$とピーク強度算出部２８により算出された第２のピーク強度Ｐ$_{off}$とから大気中の分子の濃度Ｃを算出する処理を実施する。

分子濃度算出処理部３２は、図２の分子濃度算出処理部２９と異なり、光アンテナ７からレーザ光が放射される方向を切り替える旨を示す制御信号を方向切替器１２に出力する。

また、分子濃度算出処理部３２は、方向切替器１２によりレーザ光が放射される方向が切り替えられる毎に、大気中の分子の濃度Ｃを算出することで、分子濃度Ｃの分布を求める処理を実施する。

[0088] 次に動作について説明する。

方向切替器１２及び分子濃度算出処理部３２以外は、上記実施の形態１と同様であるため、ここでは方向切替器１２及び分子濃度算出処理部３２の動作だけを説明する。

分子濃度算出処理部３２は、光アンテナ７からレーザ光が放射される方向を示す制御信号を方向切替器１２に出力する。

方向切替器１２は、光アンテナ７から放射されたレーザ光を分子濃度算出処理部３２から出力された制御信号が示す方向に設定する。

[0089] 分子濃度算出処理部３２は、図２の分子濃度算出処理部２９と同様に、ピーク強度算出部２８により算出された第１のピーク強度P_{on}とピーク強度算出部２８により算出された第２のピーク強度P_{off}とから大気中の分子の濃度Ｃを算出する。

分子濃度算出処理部３２は、大気中の分子の濃度Ｃを算出すると、光アンテナ７からレーザ光が放射される方向を切り替える旨を示す制御信号を方向切替器１２に出力する。

方向切替器１２は、分子濃度算出処理部３２から出力された制御信号に従って光アンテナ７からレーザ光が放射される方向を切り替える。

方向切替器１２と分子濃度算出処理部３２が、上記の処理を繰り返し実施することで、分子濃度算出処理部３２は、複数の放射方向に対応する分子の濃度Ｃを算出する。これにより、大気中の分子濃度Ｃの分布が求められる。

[0090] 実施の形態５．

上記実施の形態１～４では、基準光源１が、第１のレーザ光Lb_1と第２のレーザ光Lb_2とを出力する機能を有するものについて示したが、第１のレーザ光Lb_1を出力する基準光源１ａと、第２のレーザ光Lb_2を出力する基準光源１ｂとを別個に設けるようにしてもよい。

[0091] 図１６はこの発明の実施の形態５によるレーザレーダ装置を示す構成図である。図１６において、図１と同一符号は同一または相当部分を示すので説明を省略する。

基準光源１ａは第１のレーザ光Lb_1を出力する光源である。

基準光源１ｂは第２のレーザ光Lb_2を出力する光源である。

光スイッチドライバ１３は波長切替器２から第１のレーザ光Lb_1を出力する旨を示す波長切替信号を受けると、基準光源１ａと光分配器３を接続する旨を示す制御信号を光スイッチ１４に出力する。

また、光スイッチドライバ１３は波長切替器２から第２のレーザ光Lb_2を出力する旨を示す波長切替信号を受けると、基準光源１ｂと光分配器３を接続する旨を示す制御信号を光スイッチ１４に出力する。

[0092] 光スイッチ１４は光スイッチドライバ１３から基準光源１ａと光分配器３を接続する旨を示す制御信号を受けると、基準光源１ａと光分配器３を接続する。

また、光スイッチ１４は光スイッチドライバ１３から基準光源１ｂと光分配器３を接続する旨を示す制御信号を受けると、基準光源１ｂと光分配器３を接続する。

図１６は、基準光源１ａ，１ｂ、光スイッチドライバ１３及び光スイッチ１４を図１のレーザレーダ装置に適用している例を示しているが、基準光源１ａ，１ｂ、光スイッチドライバ１３及び光スイッチ１４を図１４のレーザレーダ装置に適用するようにしてもよい。

[0093] この実施の形態５では、第１のレーザ光Ｌｂ$_1$を出力する基準光源１ａと、第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を出力する基準光源１ｂとを別個に設け、光スイッチドライバ１３及び光スイッチ１４によって、第１のレーザ光Ｌｂ$_1$又は第２のレーザ光Ｌｂ$_2$を選択的に大気中に放射する点で、上記実施の形態１～４と相違している。

その他の点では、上記実施の形態１～４と同様であるため詳細な説明を省略する。

この実施の形態５でも、上記実施の形態１と同様に、大気中のエアロゾルの位置に変化が生じる場合でも、分子濃度Ｃの算出精度の劣化を防止することができる効果を奏する。

[0094] なお、本願発明はその発明の範囲内において、各実施の形態の自由な組み合わせ、あるいは各実施の形態の任意の構成要素の変形、もしくは各実施の形態において任意の構成要素の省略が可能である。

産業上の利用可能性

[0095] この発明は、大気中の分子の濃度を算出するレーザレーダ装置に適している。

符号の説明

[0096] １，１ａ，１ｂ　基準光源、２　波長切替器、３　光分配器、４　パルス

変調器、５　光増幅器、６　光サーキュレータ、７　光アンテナ、８　光カプラ、９　光受信機、１０　Ａ／Ｄ変換器、１１　信号処理器、１２　方向切替器、１３　光スイッチドライバ、１４　光スイッチ、２１　スペクトル算出部、２２　フーリエ変換部、２３　スペクトル積算処理部、２４　雑音除去部、２５，３０　周波数シフト補正部、２６　スペクトル積算部、２７，３１　分子濃度算出部、２８　ピーク強度算出部、２９，３２　分子濃度算出処理部、４１　フーリエ変換回路、４２　スペクトル積算回路、４３　雑音除去回路、４４　周波数シフト補正回路、４５　スペクトル積算回路、４６　ピーク強度算出回路、４７　分子濃度算出回路、５１　メモリ、５２　プロセッサ。

請求の範囲

[請求項1] 大気中の分子に吸収される波長の第１のレーザ光が大気中の散乱体によって散乱された第１の散乱光と前記第１のレーザ光との合波光である第１の合波光の信号スペクトルとして、同一時間レンジ内の複数の第１の信号スペクトルを算出するとともに、前記分子に吸収されない波長の第２のレーザ光が前記散乱体によって散乱された第２の散乱光と前記第２のレーザ光との合波光である第２の合波光の信号スペクトルとして、同一時間レンジ内の複数の第２の信号スペクトルを算出するスペクトル算出部と、

前記第１のレーザ光の周波数に対する前記複数の第１の信号スペクトルの周波数のシフトを補正するとともに、前記第２のレーザ光の周波数に対する前記複数の第２の信号スペクトルの周波数のシフトを補正する周波数シフト補正部と、

前記周波数シフト補正部により補正された複数の第１の信号スペクトルを積算するとともに、前記周波数シフト補正部により補正された複数の第２の信号スペクトルを積算するスペクトル積算部と、

前記スペクトル積算部により積算された第１及び第２の信号スペクトルから大気中の分子の濃度を算出する分子濃度算出部と

を備えたレーザレーダ装置。

[請求項2] 前記スペクトル算出部は、

前記第１及び第２の合波光を検波する光受信機から前記第１の合波光の受信信号である第１の受信信号をフーリエ変換することで、前記第１の受信信号における時間レンジ毎の複数の第１の信号スペクトルを算出するとともに、前記光受信機から前記第２の合波光の受信信号である第２の受信信号をフーリエ変換することで、前記第２の受信信号における時間レンジ毎の複数の第２の信号スペクトルを算出するフーリエ変換部と、

前記フーリエ変換部により算出された同一時間レンジ内の複数の第

１の信号スペクトルを積算するとともに、前記フーリエ変換部により算出された同一時間レンジ内の複数の第２の信号スペクトルを積算するスペクトル積算処理部とを備え、

前記周波数シフト補正部は、前記第１のレーザ光の周波数に対する前記スペクトル積算処理部により積算された第１の信号スペクトルの周波数のシフトを補正するとともに、前記第２のレーザ光の周波数に対する前記スペクトル積算処理部により積算された第２の信号スペクトルの周波数のシフトを補正することを特徴とする請求項１記載のレーザレーダ装置。

[請求項3] 前記スペクトル算出部は、

前記スペクトル積算処理部により積算された第１の信号スペクトルに含まれている雑音成分を除去して、雑音成分除去後の第１の信号スペクトルを前記周波数シフト補正部に出力するとともに、前記スペクトル積算処理部により積算された第２の信号スペクトルに含まれている雑音成分を除去して、雑音成分除去後の第２の信号スペクトルを前記周波数シフト補正部に出力する雑音除去部を備えたことを特徴とする請求項２記載のレーザレーダ装置。

[請求項4] 前記スペクトル積算処理部は、前記フーリエ変換部により算出された同一時間レンジ内の複数の第１の信号スペクトルにおける同一周波数の信号成分同士を積算することで、前記複数の第１の信号スペクトルを積算し、前記フーリエ変換部により算出された同一時間レンジ内の複数の第２の信号スペクトルにおける同一周波数の信号成分同士を積算することで、前記複数の第２の信号スペクトルを積算することを特徴とする請求項２記載のレーザレーダ装置。

[請求項5] 複数の信号スペクトルにおける信号成分の積算を行う周波数の組み合わせが複数用意されており、

前記スペクトル積算処理部は、用意されている周波数の組み合わせ毎に、前記フーリエ変換部により算出された同一時間レンジ内の複数

の第１の信号スペクトルにおける当該組み合わせが示す周波数の信号成分を積算し、複数の組み合わせに対応する積算後の信号スペクトルの中から、いずれか１つの信号スペクトルを積算後の第１の信号スペクトルとして選択し、用意されている周波数の組み合わせ毎に、前記フーリエ変換部により算出された同一時間レンジ内の複数の第２の信号スペクトルにおける当該組み合わせが示す周波数の信号成分を積算し、複数の組み合わせに対応する積算後の信号スペクトルの中から、いずれか１つの信号スペクトルを積算後の第２の信号スペクトルとして選択することを特徴とする請求項２記載のレーザレーダ装置。

[請求項6] 前記分子濃度算出部は、

前記スペクトル積算部により積算された第１の信号スペクトルのピーク強度である第１のピーク強度を算出するとともに、前記スペクトル積算部により積算された第２の信号スペクトルのピーク強度である第２のピーク強度を算出するピーク強度算出部と、

前記ピーク強度算出部により算出された第１のピーク強度と前記ピーク強度算出部により算出された第２のピーク強度とから大気中の分子の濃度を算出する分子濃度算出処理部とを備えたことを特徴とする請求項１記載のレーザレーダ装置。

[請求項7] 前記分子濃度算出処理部は、前記ピーク強度算出部により算出された第１のピーク強度と前記ピーク強度算出部により算出された第２のピーク強度との比を算出し、前記第１のピーク強度と前記第２のピーク強度との比から大気中の分子の濃度を算出することを特徴とする請求項６記載のレーザレーダ装置。

[請求項8] 前記周波数シフト補正部は、

前記第１及び第２の信号スペクトルの周波数のシフトを補正する前に、

前記第１及び第２の信号スペクトルのそれぞれにおいて、信号成分が閾値以上である１つ以上の周波数の中から、いずれか１つの周波数

を選択し、選択していない周波数の信号成分を前記選択した周波数に移動させることで、前記選択した周波数の信号成分を、前記１つ以上の周波数の信号成分の総和とする補正処理を行うことを特徴とする請求項１記載のレーザレーダ装置。

[請求項9] 前記第１のレーザ光及び前記第２のレーザ光を出力する光源と、

前記光源から出力された第１及び第２のレーザ光を大気中にそれぞれ放射し、前記散乱体により散乱された前記第１及び第２のレーザ光の散乱光である第１及び第２の散乱光をそれぞれ受信する光アンテナと、

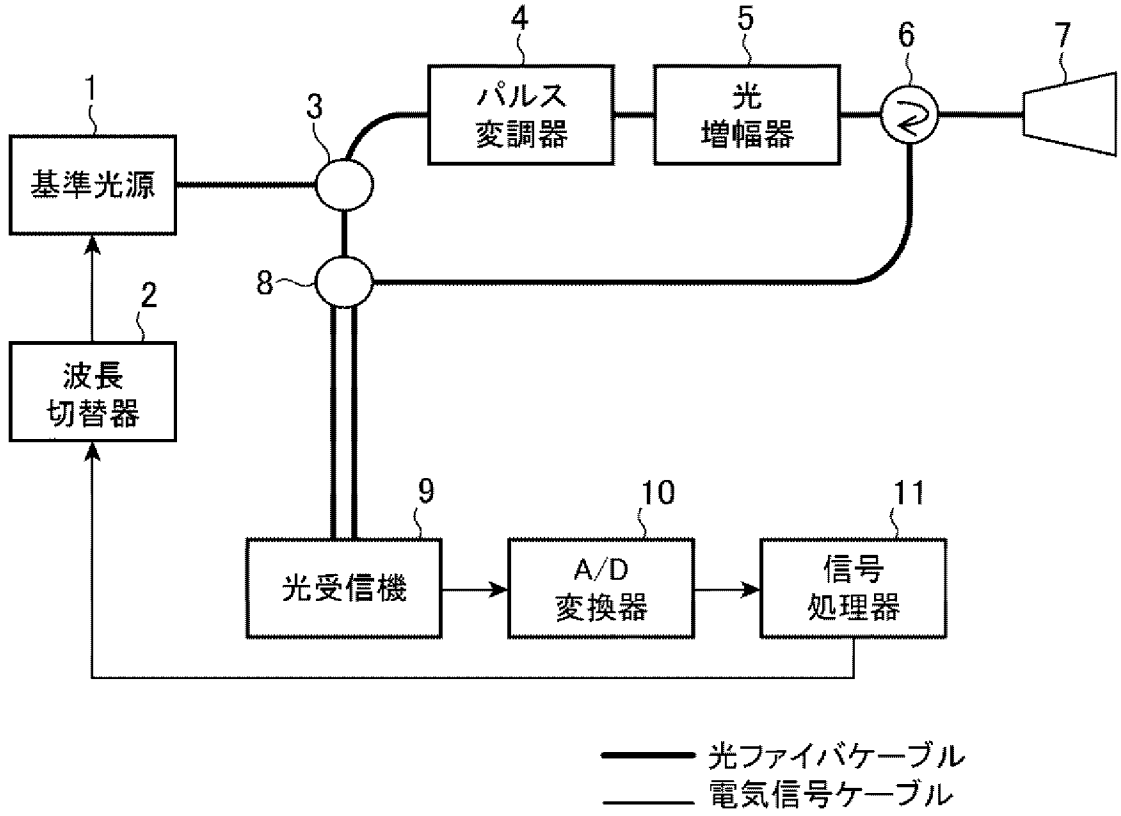
前記光アンテナにより受信された第１の散乱光と前記第１のレーザ光を合波して、前記第１の散乱光と前記第１のレーザ光との合波光である第１の合波光を出力するとともに、前記光アンテナにより受信された第２の散乱光と前記第２のレーザ光を合波して、前記第２の散乱光と前記第２のレーザ光との合波光である第２の合波光を出力する光カプラと、

前記光カプラから出力された第１の合波光を検波して、前記第１の合波光を前記スペクトル算出部に出力するとともに、前記光カプラから出力された第２の合波光を検波して、前記第２の合波光を前記スペクトル算出部に出力する光受信機とを備えたことを特徴とする請求項１記載のレーザレーダ装置。

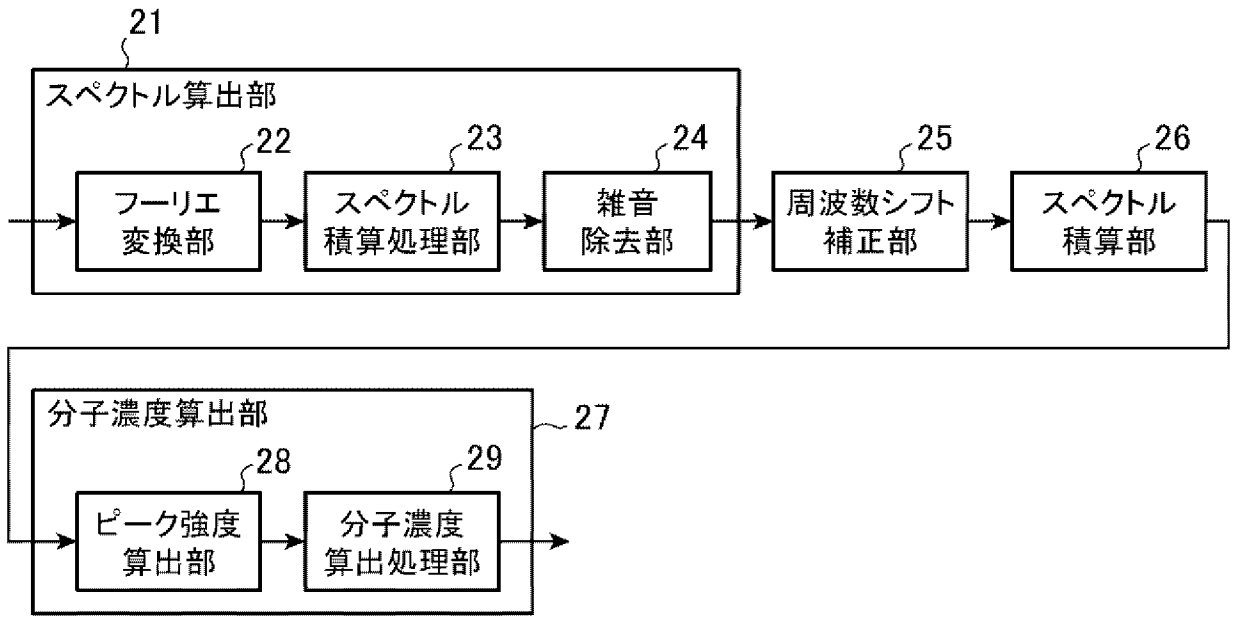
[請求項10] 前記光アンテナから前記第１及び第２のレーザ光が放射される方向を切り替える方向切替器を備え、

前記分子濃度算出部は、前記方向切替器により第１及び第２のレーザ光が放射される方向が切り替えられる毎に、大気中の分子の濃度を算出することで、分子濃度の分布を求めることを特徴とする請求項９記載のレーザレーダ装置。

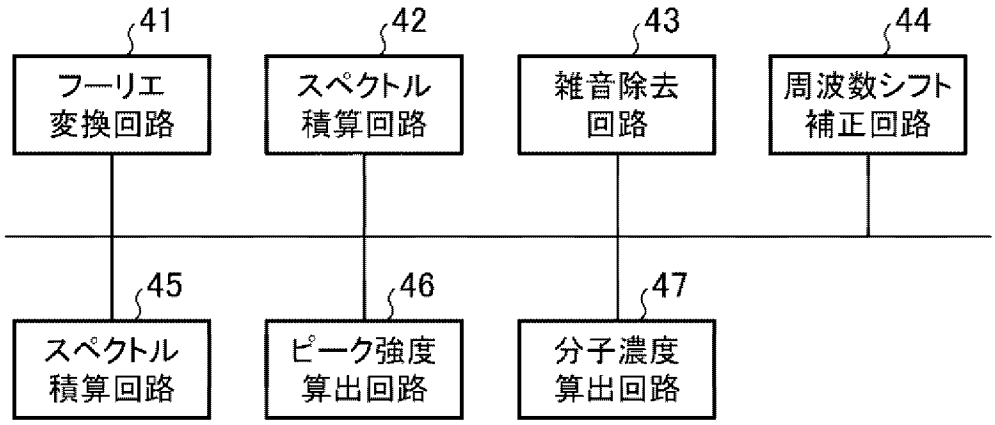
[図1]


1
基準光源
2
波長
切替器
3
4
パルス
変調器
5
光
増幅器
6
7
8
9
光受信機
10
A/D
変換器
11
信号
処理器
光ファイバケーブル
電気信号ケーブル

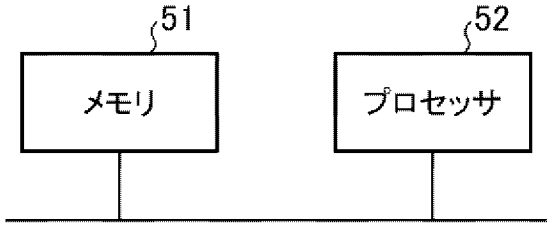
[図2]


21
スペクトル算出部
22
フーリエ
変換部
23
スペクトル
積算処理部
24
雑音
除去部
25
周波数シフト
補正部
26
スペクトル
積算部
分子濃度算出部
27
28
ピーク強度
算出部
29
分子濃度
算出処理部

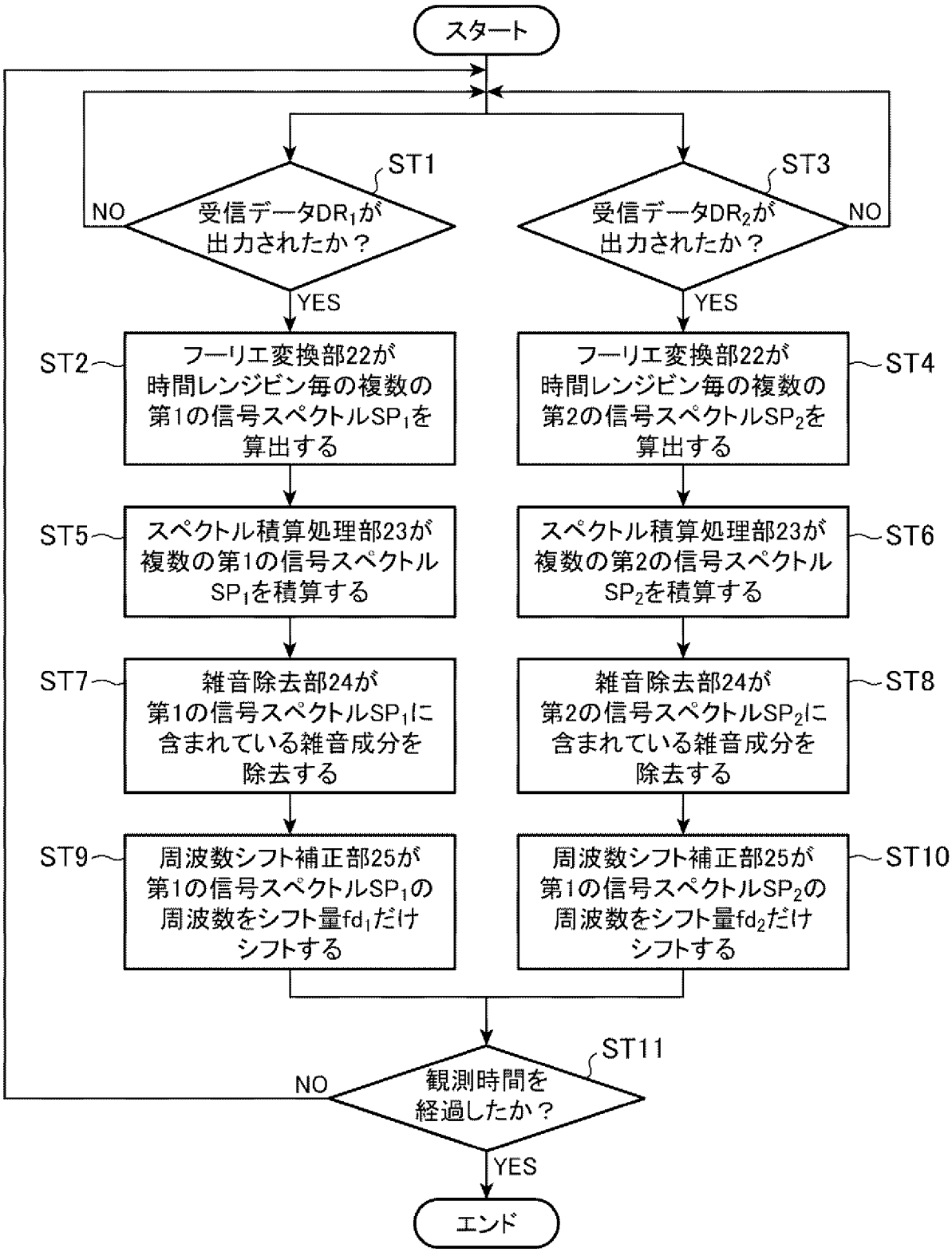
[図3]


41
フーリエ
変換回路
42
スペクトル
積算回路
43
雑音除去
回路
44
周波数シフト
補正回路
45
スペクトル
積算回路
46
ピーク強度
算出回路
47
分子濃度
算出回路

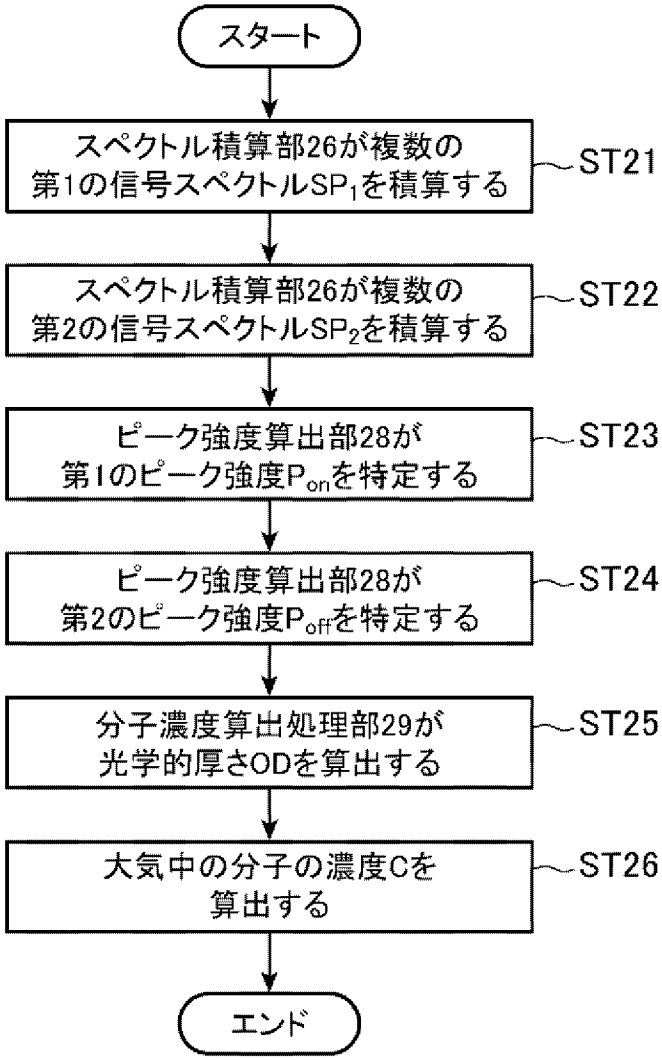
[図4]


51
メモリ
52
プロセッサ

[図5]


スタート
ST1
受信データDR1が出力されたか？
NO
YES
ST3
受信データDR2が出力されたか？
NO
YES
ST2
フーリエ変換部22が時間レンジビン毎の複数の第1の信号スペクトルSP1を算出する
ST4
フーリエ変換部22が時間レンジビン毎の複数の第2の信号スペクトルSP2を算出する
ST5
スペクトル積算処理部23が複数の第1の信号スペクトルSP1を積算する
ST6
スペクトル積算処理部23が複数の第2の信号スペクトルSP2を積算する
ST7
雑音除去部24が第1の信号スペクトルSP1に含まれている雑音成分を除去する
ST8
雑音除去部24が第2の信号スペクトルSP2に含まれている雑音成分を除去する
ST9
周波数シフト補正部25が第1の信号スペクトルSP1の周波数をシフト量fd1だけシフトする
ST10
周波数シフト補正部25が第1の信号スペクトルSP2の周波数をシフト量fd2だけシフトする
ST11
観測時間を経過したか？
NO
YES
エンド

[図6]


スタート
スペクトル積算部26が複数の第1の信号スペクトルSP1を積算する
ST21
スペクトル積算部26が複数の第2の信号スペクトルSP2を積算する
ST22
ピーク強度算出部28が第1のピーク強度Ponを特定する
ST23
ピーク強度算出部28が第2のピーク強度Poffを特定する
ST24
分子濃度算出処理部29が光学的厚さODを算出する
ST25
大気中の分子の濃度Cを算出する
ST26
エンド

[図7]

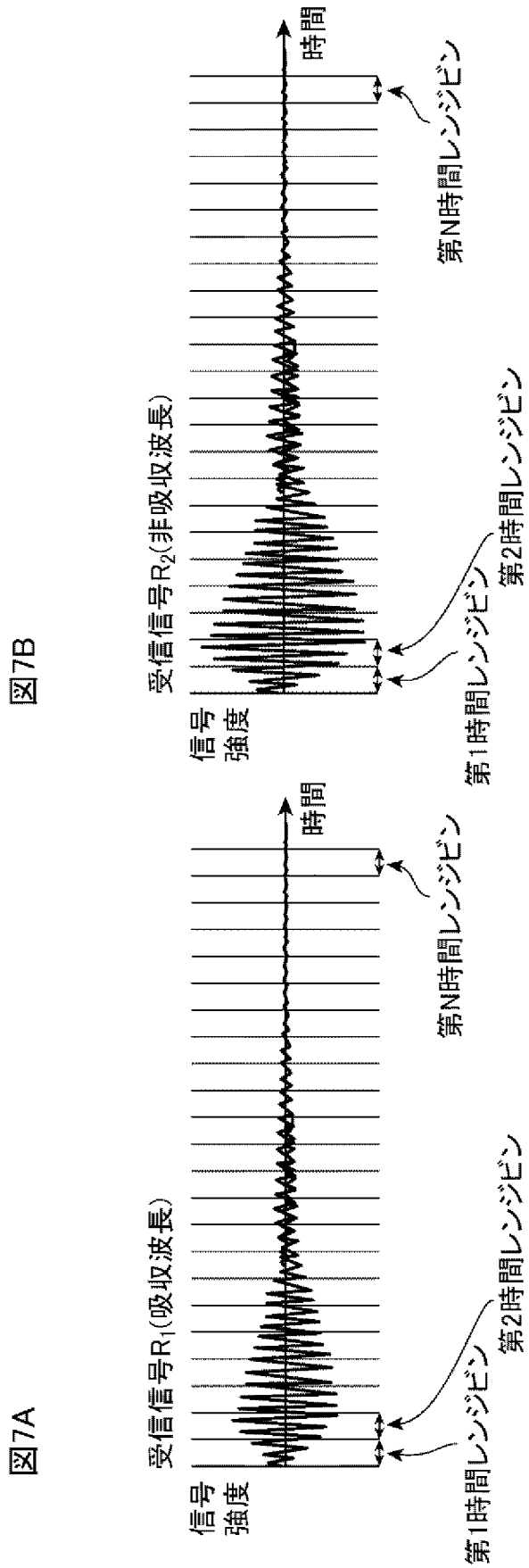


図7A
受信信号R_1(吸収波長)
信号強度
時間
第1時間レンジビン
第2時間レンジビン
第N時間レンジビン
図7B
受信信号R_2(非吸収波長)
信号強度
時間
第1時間レンジビン
第2時間レンジビン
第N時間レンジビン

[図8]

図8B

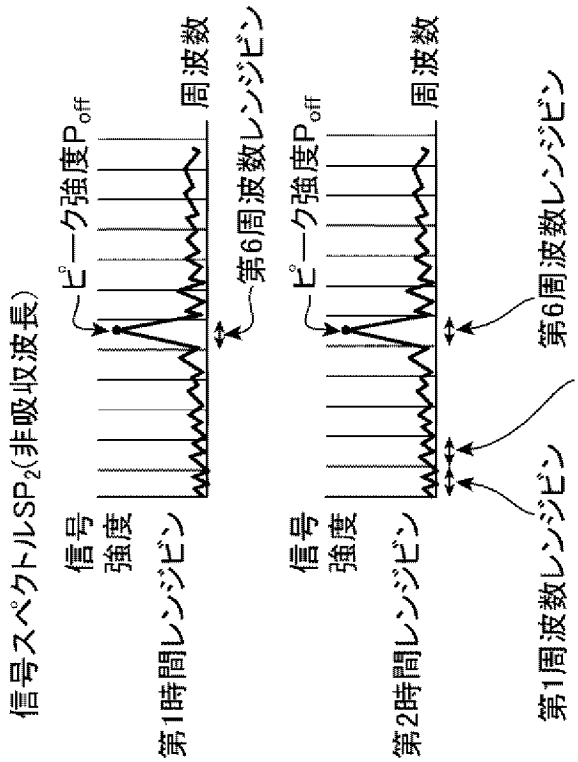
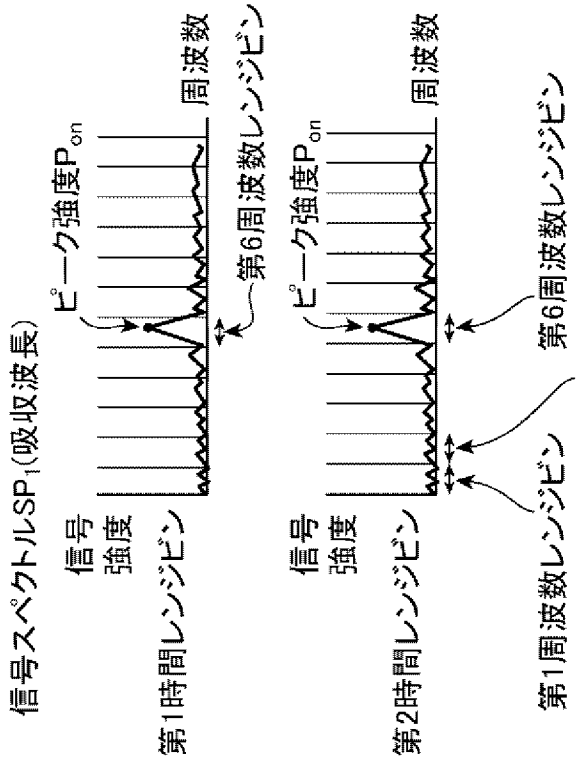
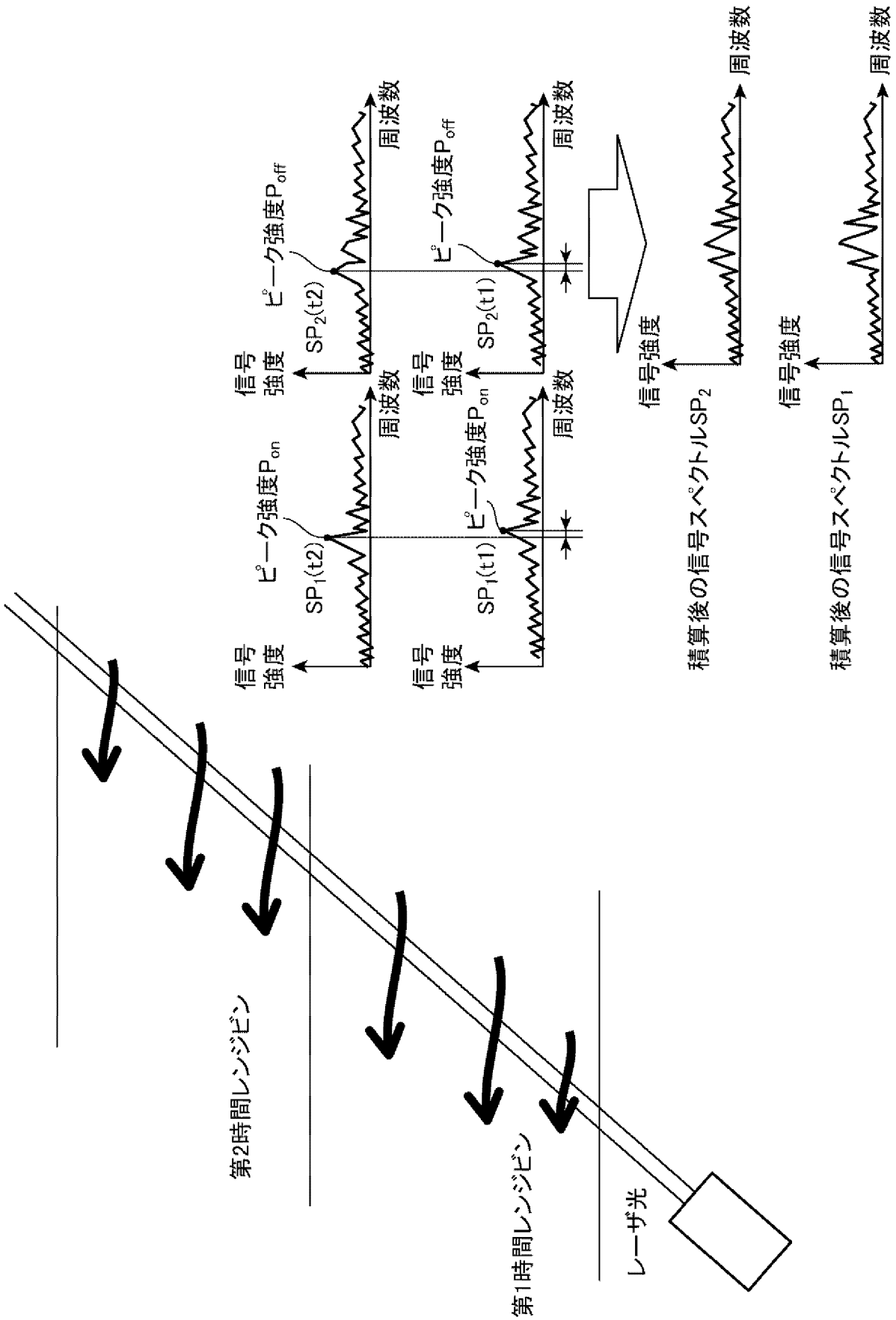

信号スペクトルSP2(非吸収波長)
ピーク強度Poff
信号強度
第1時間レンジビン
第6周波数レンジビン
周波数
信号強度
第2時間レンジビン
第1周波数レンジビン
第2周波数レンジビン
第6周波数レンジビン
周波数

図8A


信号スペクトルSP1(吸収波長)
ピーク強度Pon
信号強度
第1時間レンジビン
第6周波数レンジビン
周波数
信号強度
第2時間レンジビン
第1周波数レンジビン
第2周波数レンジビン
第6周波数レンジビン
周波数

[図9]


第2時間レンジビン
第1時間レンジビン
レーザ光
信号強度
周波数
ピーク強度P_{on}
ピーク強度P_{off}
$SP_1(t2)$
$SP_1(t1)$
$SP_2(t2)$
$SP_2(t1)$
積算後の信号スペクトルSP_2
積算後の信号スペクトルSP_1

[図10]

図10A

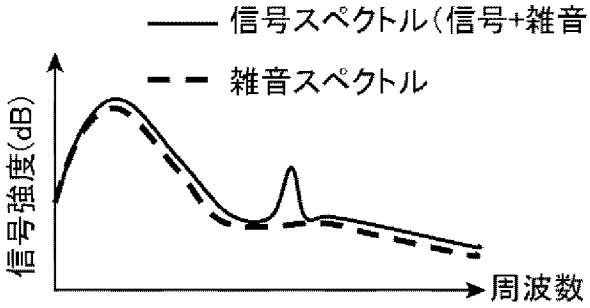
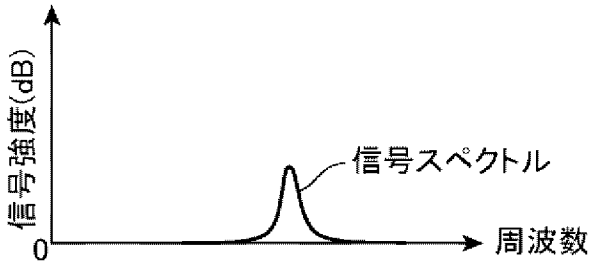
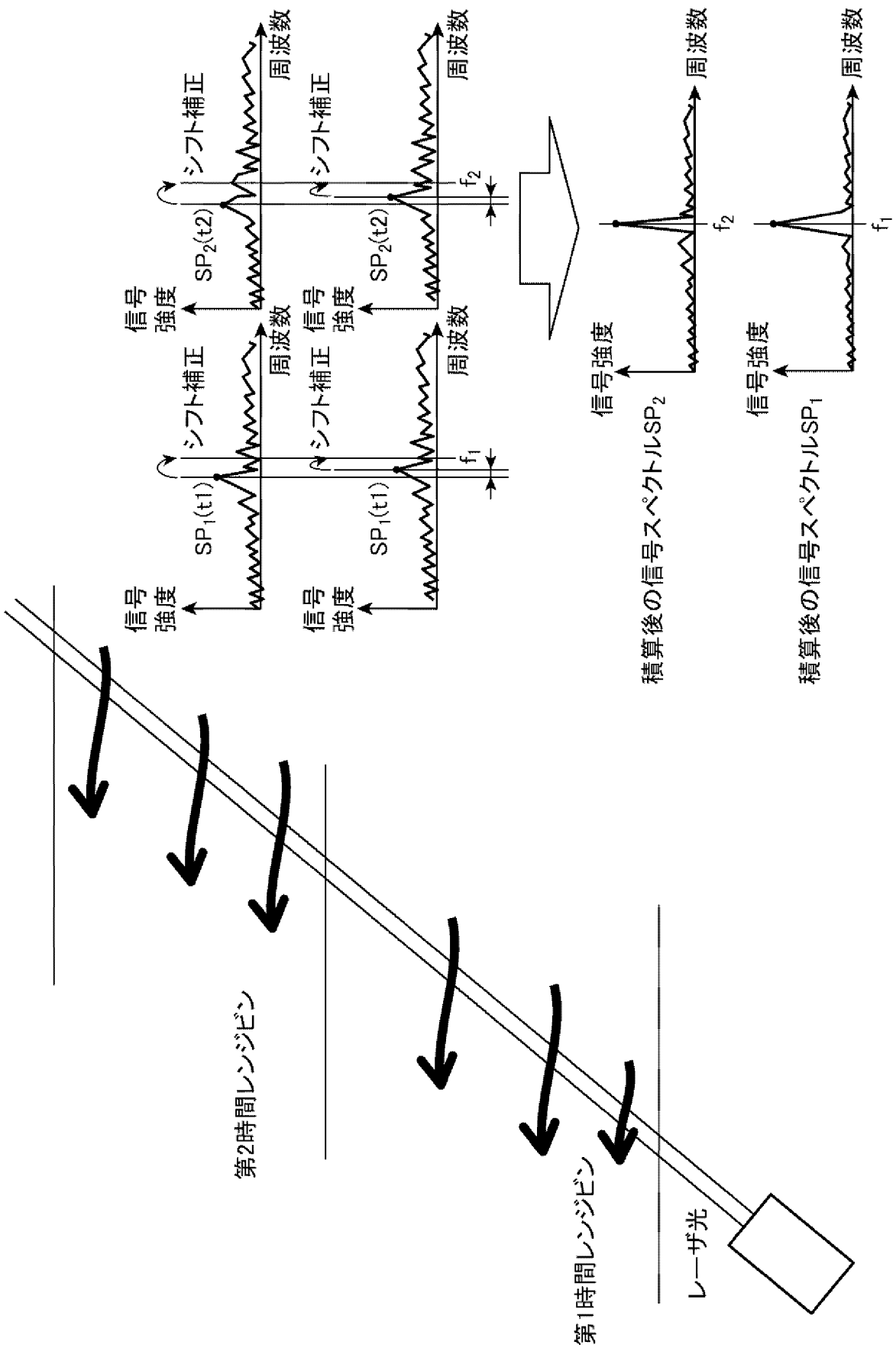


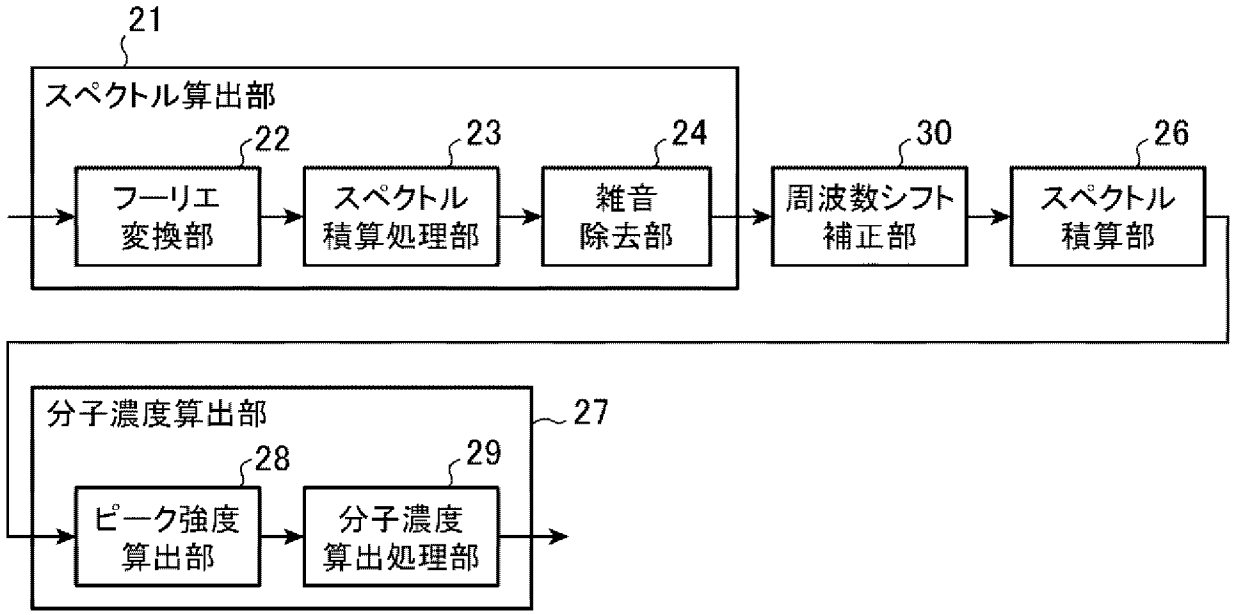
図10B



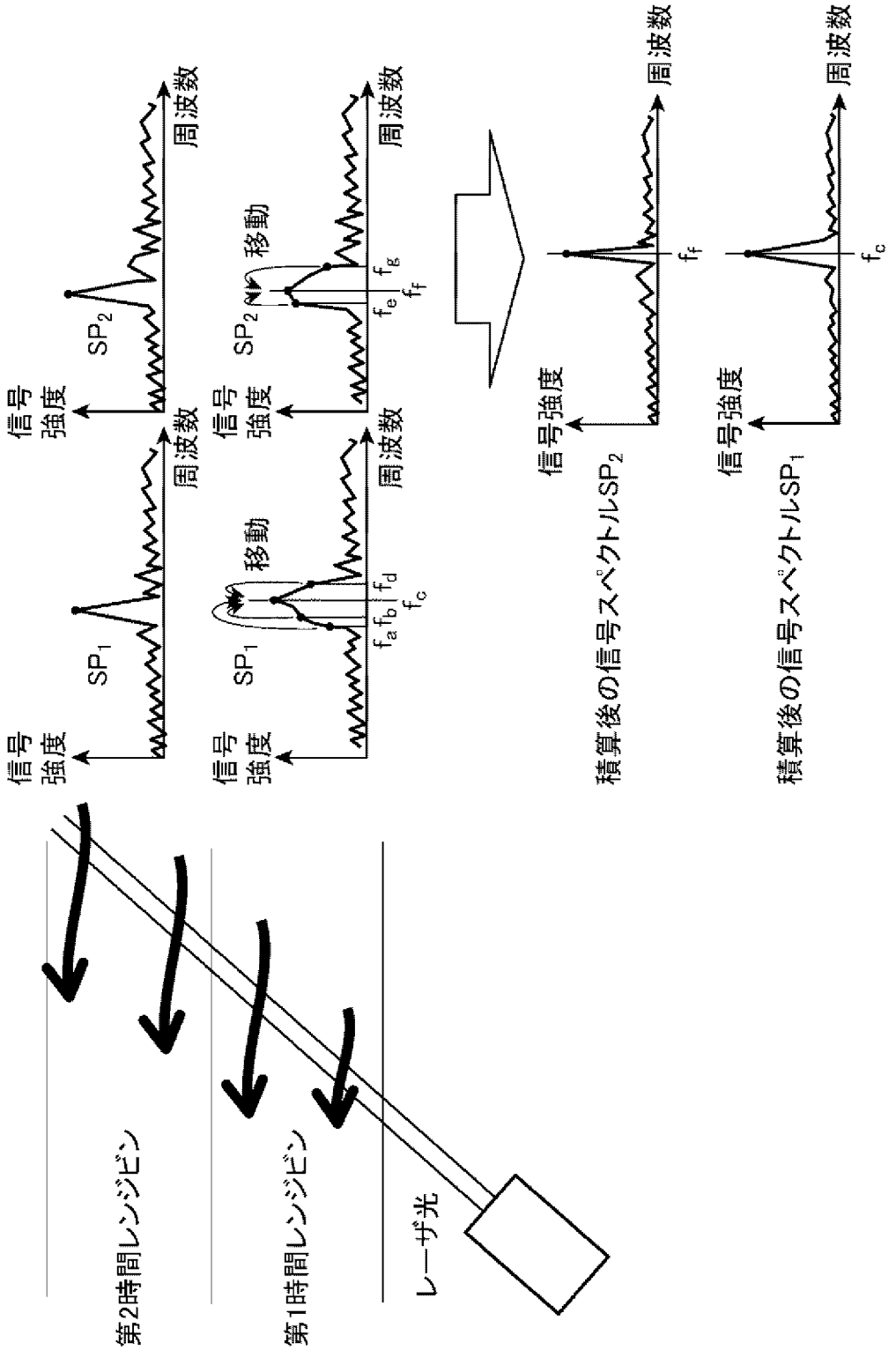
[図11]


信号強度
周波数
シフト補正
$SP_1(t1)$
$SP_2(t2)$
f_1
f_2
積算後の信号スペクトルSP2
積算後の信号スペクトルSP1
第2時間レンジビン
第1時間レンジビン
レーザ光

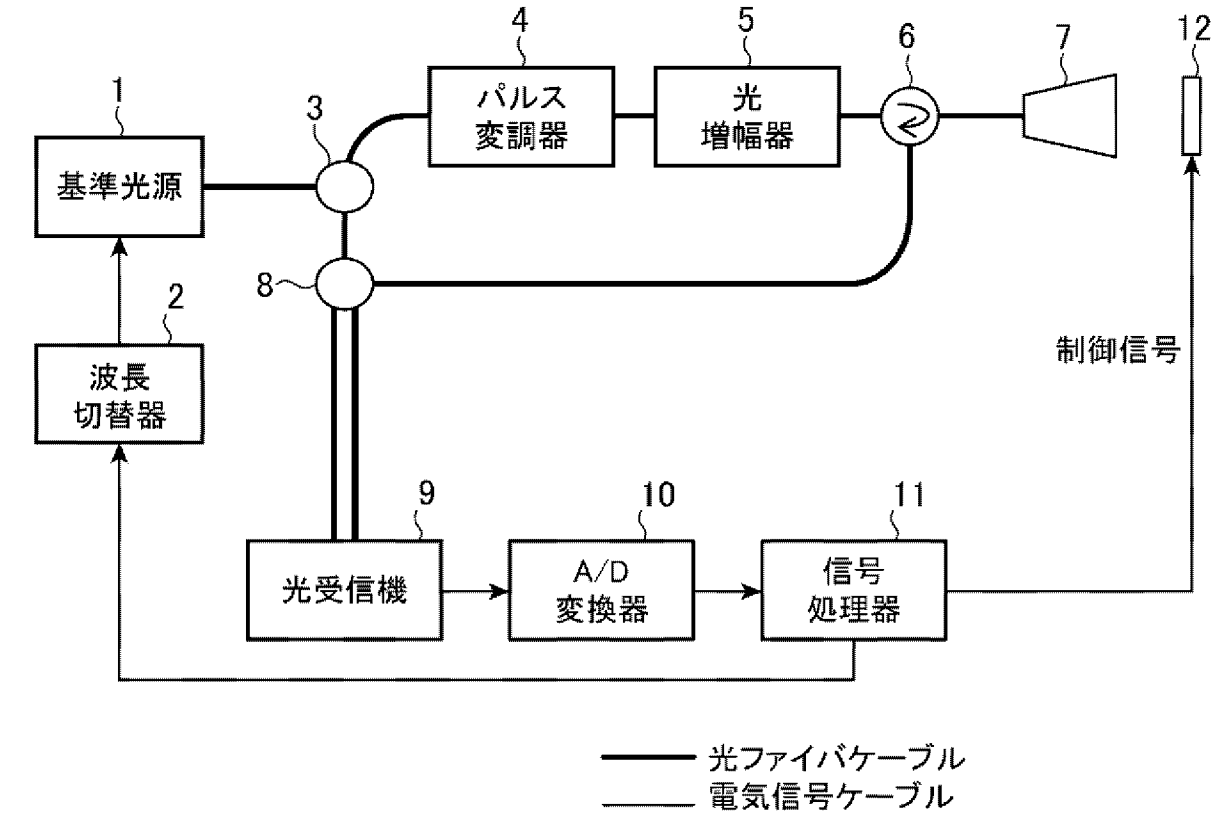
[図12]


21
スペクトル算出部
22
フーリエ
変換部
23
スペクトル
積算処理部
24
雑音
除去部
30
周波数シフト
補正部
26
スペクトル
積算部
分子濃度算出部
27
28
ピーク強度
算出部
29
分子濃度
算出処理部

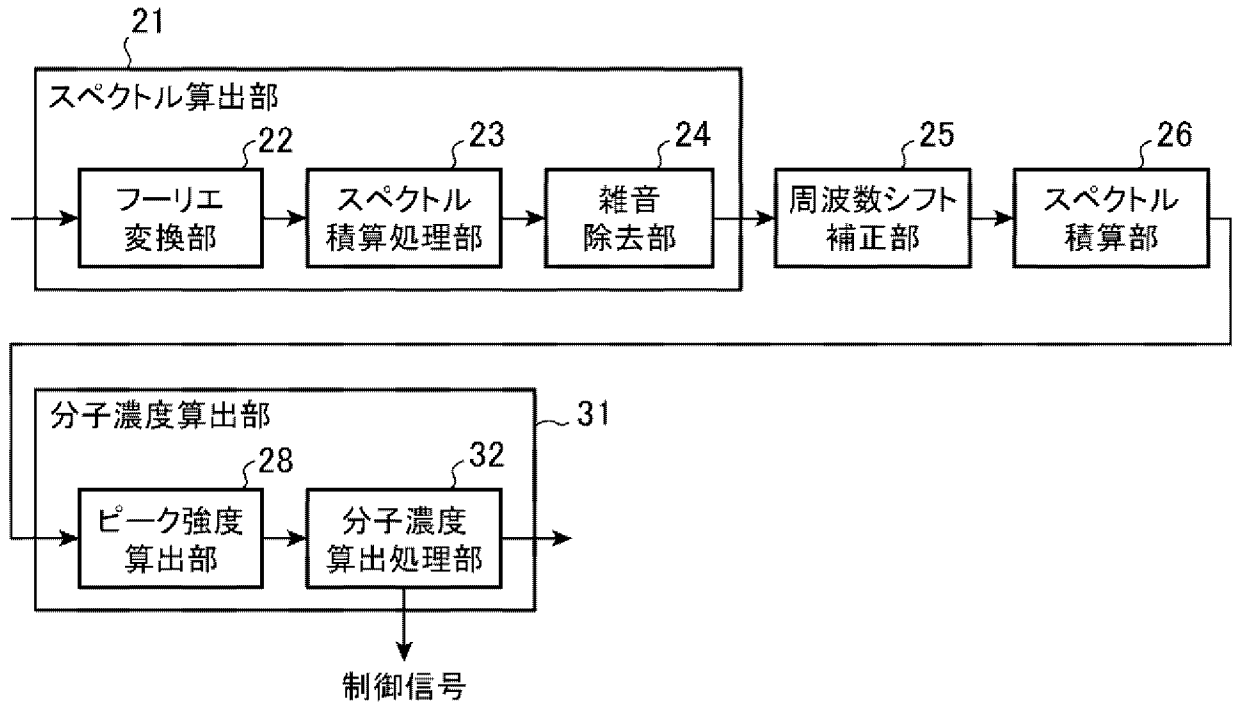
[図13]


信号強度
周波数
SP1
SP2
移動
fa fb fd fc
fe fg ff
積算後の信号スペクトルSP2
積算後の信号スペクトルSP1
第2時間レンジビン
第1時間レンジビン
レーザ光

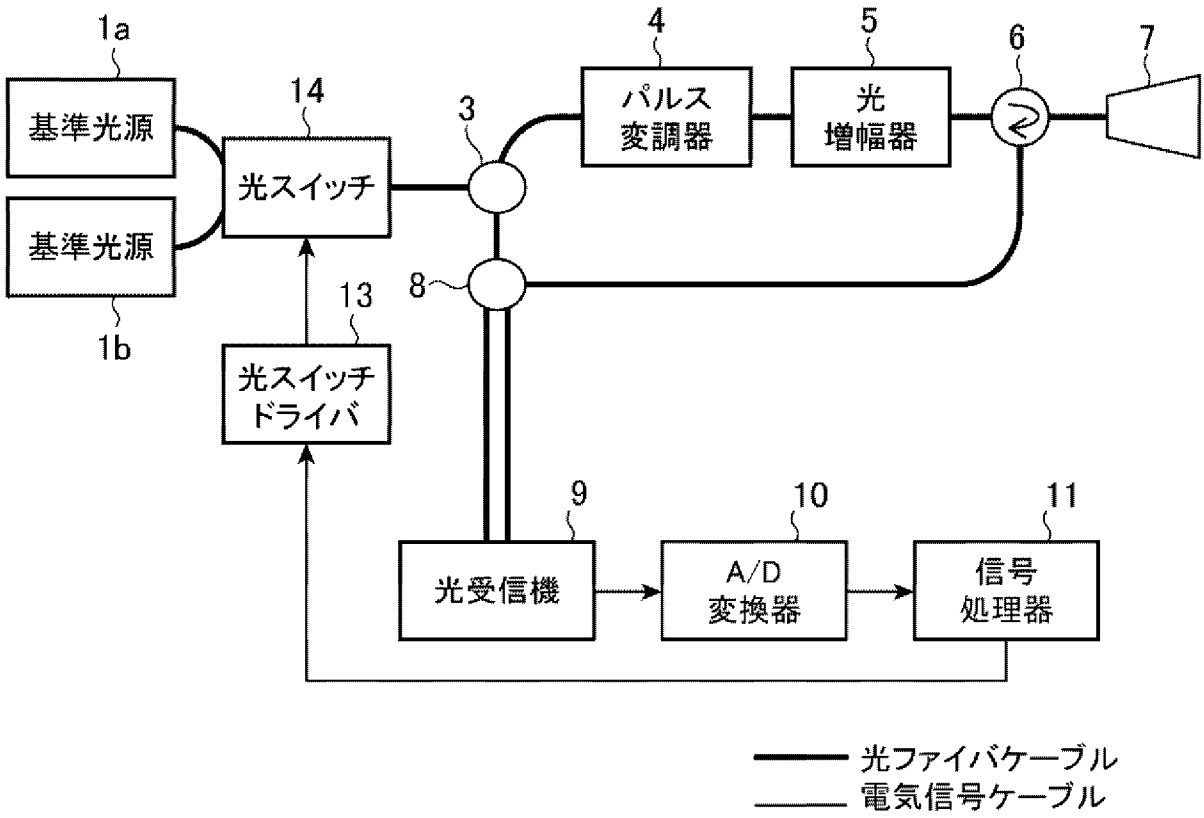
[図14]


1
基準光源
2
波長
切替器
3
4
パルス
変調器
5
光
増幅器
6
7
12
8
制御信号
9
光受信機
10
A/D
変換器
11
信号
処理器
光ファイバケーブル
電気信号ケーブル

[図15]


21
スペクトル算出部
22
フーリエ
変換部
23
スペクトル
積算処理部
24
雑音
除去部
25
周波数シフト
補正部
26
スペクトル
積算部
分子濃度算出部
31
28
ピーク強度
算出部
32
分子濃度
算出処理部
制御信号

[図16]


1a
基準光源
基準光源
1b
14
光スイッチ
13
光スイッチ
ドライバ
3
8
4
パルス
変調器
5
光
増幅器
6
7
9
光受信機
10
A/D
変換器
11
信号
処理器
光ファイバケーブル
電気信号ケーブル

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/002282

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01N21/27(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)
G01N21/00-21/61, G01J3/00-9/04, G01P5/00-5/26, G01S7/48-7/51,
G01S17/00-17/95, G01W1/00-1/18, B64B1/00-B64G99/00

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 1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2017 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII), Science Direct, Scitation

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 11-083629 A (Sumitomo Heavy Industries, Ltd.), 26 March 1999 (26.03.1999), paragraphs [0001] to [0014]; fig. 1, 7 to 9 (Family: none)	1-4,6,7,9,10 5,8
Y A	JP 2009-503486 A (Qinetiq Ltd.), 29 January 2009 (29.01.2009), paragraphs [0001] to [0064]; fig. 1 to 8 & US 2008/0210881 A1 paragraphs [0001] to [0074]; fig. 1 to 8 & WO 2007/012878 A1 & GB 515605 D0	1-4,6,7,9,10 5,8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
10 April 2017 (10.04.17)	25 April 2017 (25.04.17)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/002282

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	WO 2014/024508 A1 (Mitsubishi Electric Corp.), 13 February 2014 (13.02.2014), paragraphs [0002] to [0013]; fig. 15 to 17 & US 2015/0146191 A1 paragraphs [0002] to [0015]; fig. 15 to 17 & EP 2884306 A1	1-4,6,7,9 5,8
Y A	WO 2014/041852 A1 (Mitsubishi Electric Corp.), 20 March 2014 (20.03.2014), paragraphs [0002] to [0018]; fig. 14 to 18 & US 2015/0185328 A1 paragraphs [0002] to [0024]; fig. 14 to 18 & EP 2896972 A1	1-4,6,7,9 5,8
Y A	JP 2015-108557 A (Mitsubishi Electric Corp.), 11 June 2015 (11.06.2015), paragraphs [0015] to [0045]; fig. 1, 2 (Family: none)	1-4,6,7,9,10 5,8
Y	JP 2013-083467 A (Japan Aerospace Exploration Agency), 09 May 2013 (09.05.2013), paragraphs [0023] to [0027]; fig. 5 to 7 & US 2013/0088705 A1 paragraphs [0046] to [0052]; fig. 5 to 7 & EP 2579061 A1	3

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１７／００２２８２

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01N21/27(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.　G01N21/00-21/61,
G01J3/00-9/04, G01P5/00-5/26, G01S7/48-7/51, G01S17/00-17/95, G01W1/00-1/18,
B64B1/00-B64G99/00

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	１９７１－２０１７年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１７年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１７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/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)
Science Direct,
Scitation

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	JP 11-083629 A（住友重機械工業）1999.03.26, ［０００１］－［００１４］，図１，図７－図９（ファミリーなし）	1-4, 6, 7, 9, 10
A		5, 8
Y	JP 2009-503486 A（キネテイツク・リミテツド）2009.01.29, ［０００１］－［００６４］，図１－８ & US 2008/0210881 A1, [0001]-[0074], FIG.1-8	1-4, 6, 7, 9, 10
A	& WO 2007/012878 A1 & GB 515605 D0	5, 8

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と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	国際調査報告の発送日
１０．０４．２０１７	２５．０４．２０１７

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　２Ｗ　８３５３
立澤　正樹
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２５８

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
Y	WO 2014/024508 A1（三菱電機株式会社）2014.02.13, ［０００２］－［００１３］，図１５－１７	1-4, 6, 7, 9
A	& US 2015/0146191 A1, [0002]-[0015], FIG.15-17 & EP 2884306 A1	5, 8
Y	WO 2014/041852 A1（三菱電機株式会社）2014.03.20, ［０００２］－［００１８］，図１４－１８	1-4, 6, 7, 9
A	& US 2015/0185328 A1, [0002]-[0024], FIG.14-18 & EP 2896972 A1	5, 8
Y	JP 2015-108557 A（三菱電機株式会社）2015.06.11, ［００１５］－［００４５］，図１，図２（ファミリーなし）	1-4, 6, 7, 9, 10
A		5, 8
Y	JP 2013-083467 A（独立行政法人　宇宙航空研究開発機構） 2013.05.09,［００２３］－［００２７］，図５－７ & US 2013/0088705 A1, [0046]-[0052], FIG.5-7 & EP 2579061 A1	3