(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2023年6月15日(15.06.2023)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2023/105856 A1

(51) 国際特許分類:
*G01M 3/02* (2006.01) *G01N 21/3504* (2014.01)
*G01M 3/38* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2022/031650

(22) 国際出願日： 2022年8月23日(23.08.2022)

(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 2021-200885 2021年12月10日(10.12.2021) JP

(71) 出願人: コニカミノルタ株式会社 (**KONICA MINOLTA, INC.**) [JP/JP]; 〒1007015 東京都千代田区丸の内二丁目７番２号 Tokyo (JP).

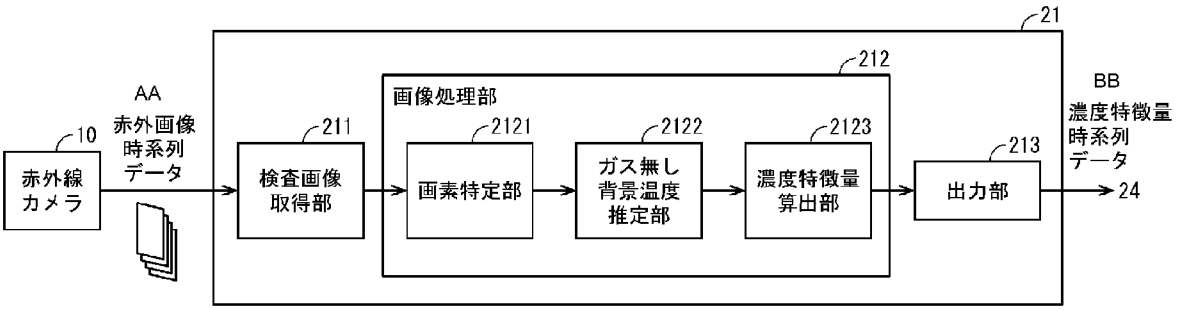
(72) 発明者: 浅野 基広(**ASANO, Motohiro**).

(74) 代理人: 弁理士法人 ナカジマ知的財産綜合事務所 (**NAKAJIMA & ASSOCIATES IP FIRM**); 〒5310072 大阪府大阪市北区豊崎三丁目２番１号淀川５番館６Ｆ Osaka (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE,

(54) **Title:** GAS CONCENTRATION MEASURING DEVICE, GAS CONCENTRATION MEASURING METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称： ガス濃度測定装置、ガス濃度測定方法、およびプログラム




10 Infrared camera
211 Inspection image acquiring unit
212 Image processing unit
213 Output unit
2121 Pixel identifying unit
2122 Gas-free background temperature estimating unit
2123 Concentration feature quantity calculating unit
AA Infrared image time-series data
BB Concentration feature quantity time-series data

(57) **Abstract:** [Problem] To measure a gas concentration in a space precisely by accurately estimating a feature quantity relating to the gas concentration, even if a change in background temperature occurs due to factors other than gas. [Solution] A gas concentration measuring device 20 comprises: an inspection image acquiring unit 211 for acquiring infrared image time-series data captured by means of an infrared camera 10; a pixel identifying unit 2121 for identifying, within the infrared images, a target pixel for measuring the gas concentration, and a reference pixel having a lower gas concentration than the target pixel; a gas-free background temperature estimating unit 2122 for estimating gas-free background temperature time-series infrared data for the target pixel on the basis of target pixel time-series infrared data and reference pixel

WO 2023/105856 A1

[続葉有]

PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(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)）

time-series infrared data in the infrared image time-series data; and a concentration feature quantity calculating unit 2123 for calculating time-series data for a feature quantity relating to the gas concentration of the target pixel, on the basis of the target pixel time-series infrared data and the gas-free background temperature time-series infrared data of the target pixel.

(57) 要約：【課題】ガス以外の要因によって背景温度の変化が生じた場合でも、ガス濃度に関する特徴量を正確に推定して空間のガス濃度を精度よく測定する。【解決手段】ガス濃度測定装置２０において、赤外線カメラに１０より撮像された、赤外画像時系列データを取得する検査画像取得部２１１と、赤外画像中のガス濃度の計測の対象画素と、対象画素よりもガス濃度が低い参照画素とを特定する画素特定部２１２１と、赤外画像の時系列データにおける、対象画素時系列赤外データと、参照画素時系列赤外データとに基づき、対象画素におけるガス無し背景温度時系列赤外データを推定するガス無し背景温度推定部２１２２と、対象画素系列赤外データと対象画素のガス無し背景温度時系列赤外データとに基づき、対象画素のガス濃度に関する特徴量の時系列データを算出する濃度特徴量算出部２１２３とを備えた。

# 明　細　書

## 発明の名称 ：

## ガス濃度測定装置、ガス濃度測定方法、およびプログラム

## 技術分野

[0001] 本開示は、ガス濃度測定装置、ガス濃度測定方法、およびプログラムに関し、赤外線撮像画像を利用したガス濃度測定に関する。

## 背景技術

[0002] 天然ガスや石油を生産する生産施設、ガスを使用して化学製品を生産する生産プラント、ガス送管設備、石油化学プラントや火力発電所、製鉄関連施設等といった、ガスを使用する設備（以下「ガス設備」と記す場合もある）では、施設の経年劣化や運転ミスにより、ガス漏洩の危険性が認識されており、ガス漏洩を最小限にとどめるためガス検知装置が備え付けられている。

[0003] このガス検知において、検知プローブにガス分子が接触することでプローブの電気的特性が変化することを利用したガス検知装置の他、近年では、ガスの赤外線吸光特性を利用して赤外線動画を撮影することにより、検査領域のガス漏れを検出する光学的ガス漏れ検出方法が取り入れられている。

[0004] 赤外線動画によるガス検出方法は、映像によりガスを可視化することができるため、従来の検知プローブ方式と比べて、ガスの流れ等の放出状態や、漏れ位置を容易に検出できるという利点がある。また、漏れたガスの状態が映像として記録されるために、ガス漏れの発生やその修復の証拠としても活用できるという利点がある。

[0005] この種の赤外線ガス検知装置として、例えば、特許文献１には、監視対象を撮影した赤外画像における検査対象となる画素ごとの時系列の輝度変化における振幅の特徴を検出することで、ガスが存在するときの背景温度とガスが存在しないときの背景温度とを特定して、濃度厚み積を推定する技術が開示されている。この技術は、ガスが揺らぐ性質から、検査対象の画素について時系列でみるとガスあり・ガスなしのデータが撮像されることを利用した

ものである。

## 先行技術文献

## 特許文献

[0006] 特許文献1：国際公開第２０１７／１０４６１７号

## 発明の概要

## 発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、特許文献１に記載の測定装置では、例えば、雲の影響など、ガス以外の要因によって背景温度の変化が生じたとき、ガスによる温度変化の方が背景温度の変化よりも小さい場合があり、濃度厚み積等、ガス濃度に関する特徴量を正確に推定して空間のガス濃度を精度よく測定することが難しいといった課題があった。

[0008] 本開示の態様は、上記課題に鑑みてなされたものであり、ガス以外の要因によって背景温度の変化が生じた場合でも、赤外動画像から空間のガス濃度を精度よく測定できるガス濃度測定装置、ガス濃度測定方法、およびプログラムを提供することを目的とする。

## 課題を解決するための手段

[0009] 本開示の一態様に係るガス濃度測定装置は、ガス漏れの監視対象から露出した、空間中のガス濃度の分布を計測するガス濃度測定装置であって、赤外線カメラにより複数の時刻に撮像された、複数の画素により構成される前記空間を撮像した赤外画像を時系列に並べた赤外画像時系列データを取得する検査画像取得部と、前記ガス雲画像中のガス濃度の計測の対象画素と、前記対象画素よりもガス濃度が低い参照画素とを特定する画素特定部と、前記赤外画像の時系列データにおける、前記対象画素の赤外データを時系列に並べた対象画素時系列赤外データと、前記参照画素の赤外データを時系列に並べた参照画素時系列赤外データとに基づき、前記対象画素におけるガス無し背景温度時系列赤外データを推定するガス無し背景温度推定部と、前記対象画素時系列赤外データ、前記対象画素のガス無し背景温度時系列赤外データに

基づき、前記対象画素のガス濃度に関する特徴量の時系列データを算出する濃度特徴量算出部とを備えたことを特徴とする。

## 発明の効果

[0010] 本開示の一態様のガス濃度測定装置、ガス濃度測定方法、およびプログラムによれば、ガス以外の要因による背景温度の変化が生じる影響を低減して、ガスが存在しないときの背景温度をより正確に推定することができる。これより、ガス以外の要因によって背景温度の変化が生じた場合でも、赤外動画像から空間のガス濃度を精度よく測定することができる。

## 図面の簡単な説明

[0011] [図1]赤外線カメラ１０と検査対象物３００との関係を示す概略図である。

[図2]赤外動画像の検査データから領域抽出された赤外データの時系列画素データの態様を示す模式図である。

[図3]実施の形態に係るガス濃度測定システム１の概略構成図である。

[図4]赤外線カメラ１０の構成を示す図である。

[図5]ガス濃度測定装置２０の回路構成を示す図である。

[図6]制御部２１の機能ブロック図である。

[図7]ガス濃度測定装置２０におけるガス濃度測定動作を示すフローチャートである。

[図8]図７におけるステップＳ１における対象画素、参照画素の特定動作を示すフローチャートである。

[図9]（ａ）～（ｄ）は、赤外画像時系列データに基づく、時系列に並んだ複数のフレームの画像の一例である。

[図10]（ａ）～（ｄ）は、ガス雲画像の時系列データに基づく、時系列に並んだ複数のフレームの画像の一例である。

[図11]図１０（ａ）～（ｄ）に示す複数のフレームのガス雲画像を平均化した画像である。

[図12]図７におけるステップＳ２における対象画素のガス無し背景温度推定動作を示すフローチャートである。

[図13]対象画素時系列赤外データ、参照画素時系列赤外データの概要を示す図である。

[図14]対象画素時系列赤外データとの間に挟まれた領域の面積の総和が最小になるように引かれた包絡線の態様を示す図である。

[図15]図７におけるステップＳ３における対象画素の濃度厚み積データ算出動作を示すフローチャートである。

[図16]（ａ）は、ガスあり背景温度データの概要を示す模式図、（ｂ）は、ガス無し背景温度データの概要を示す模式図、（ｃ）は、光吸収率画像データの概要を示す模式図である。

[図17]光吸収率から濃度厚み積算出方法の概要を説明するための模式図である。

## 発明を実施するための形態

[0012] ≪実施の形態≫

本開示の実施の形態は、ガス設備のガス漏れ検査対象となる検査画像からガス漏れを分

析する、赤外線カメラ１０、ガス濃度測定装置を含むガス濃度測定システム１として実現される。

[0013] 図１は、赤外線カメラ１０と検査対象物３００との関係を示す概略図である。図１に示すように、赤外線カメラ１０は、赤外線カメラの視野範囲３１０に検査対象物３００が含まれるように設置される。

[0014] 赤外線カメラ１０は、撮像した画像を所定の映像信号に変換する。本実施の形態では、赤外線カメラによって取得された赤外線画像信号は、映像信号を画像に復元されて、複数のフレームからなる動画像として処理される。得られた赤外画像は、例えば、秒間３０フレームの画像を伝送するための映像信号である。ガス濃度測定システム１では、この赤外動画像が検査対象データとして赤外線カメラ１０からガス濃度測定装置に供給される。

[0015] 図２は、赤外動画像の検査対象データから領域抽出された赤外データの時系列画素データの態様を示す模式図である。画像は監視対象を撮像した赤外

動画像であり、画素値として赤外光の強度を有する。赤外動画像のサイズや動画としてのフレーム数が過大であると測定の演算量が大きくなる。実施の形態では、赤外画像の画素数（ｎ×ｍ）は、例えば、３２０×２５６ピクセルであり、フレーム数（Ｎ）は、例えば１００としてもよい。

[0016] ＜ガス濃度測定システム１の構成＞

ガス濃度測定システム１は、赤外線を用いて監視対象を撮像し、ガスが可視化された赤外線画像を提供する装置またはシステムであって、例えば、赤外線を検知して撮像する赤外線カメラ１０からなる撮像手段、通信ネットワークＮに出力するインターフェイス回路を備える。ガス濃度測定システム１には、赤外線カメラがガス設備等に設置された設置型、赤外線カメラを検査者が持ち運ぶことが可能なポータブル型、赤外線カメラがドローンに搭載される型等の態様がある。

[0017] 以下、実施の形態に係るガス濃度測定システム１について、図面を用いて詳細に説明する。

[0018] 図３は、実施の形態に係るガス濃度測定システム１の概略構成図である。図３に示すように、ガス濃度測定システム１は、通信ネットワークＮに接続された複数の赤外線カメラ１０、ガス濃度測定装置２０、及び記憶手段３０で構成される。

[0019] 通信ネットワークＮは、例えば、インターネットであり、赤外線カメラ１０、ガス濃度測定装置２０、及び記憶手段３０が、互いに情報を交換できるように接続されている。

[0020] ＜各部構成＞

赤外線カメラ１０は、赤外光に基づき赤外画像を生成して赤外画像を外部に出力する赤外線撮像装置である。

[0021] 図４は、赤外線カメラ１０の構成の一例を示す模式構成図である。図４に示すように、赤外線カメラ１０は、外光を集光するレンズ１１、検出対象ガスの吸収波長を含む特定の波長帯域の赤外光のみを通過させるフィルタ１２、赤外光を受光して電気信号に変換する撮像素子１３、信号処理部１４を備

える。

[0022] 赤外線カメラによる画像は、一般に炭化水素系ガスの検出に用いられる。例えば、３μｍ～５μｍの少なくとも一部の赤外光波長に感度波長帯を持つ画像センサを備えたいわゆる赤外線カメラであり、例えば、波長３．２～３．４μｍの赤外光を検知して画像化することで、メタン、エタン、エチレン、プロピレンなど炭化水素系ガスを検知可能である。

あるいは、波長４．５２～４．６７μｍの赤外光を用いることで、一酸化炭素のような異なる種類のガスも検知可能である。

[0023] 赤外線カメラ１０は、絶対温度０（Ｋ）以上の背景物体から放射される電磁波量の変化をとらえることでガスの存在を検知する。電磁波量の変化は、主に赤外線領域の電磁波がガスによって吸収されたり、ガス自身から黒体放射が発生することで生じる。これより、監視対象空間を撮影することで、ガス漏洩を画像としてとらえることができるため、より早期にガス漏洩を検知し、ガスの存在箇所を正確にとらえることができる。

[0024] 赤外画像（検査画像）は、メモリ等に一時的に記憶され、操作入力に基づき、通信ネットワークＮを介して記憶手段３０に転送されて保存される。

[0025] 記憶手段３０は、赤外線カメラ１０から送信される赤外画像を記憶する記憶装置であり、例えばハードディスクなどの不揮発性メモリを含んで構成され、赤外画像を赤外線カメラ１０の識別情報と関連付けた状態で保存する。管理者は、管理端末（不図示）等に用いて記憶手段３０から赤外線画像を読み出して、閲覧対象の赤外線画像の状態を把握することができる。

[0026] ガス濃度測定装置２０は、赤外線カメラ１０から監視対象を撮像した赤外画像を取得し、赤外画像に基づいてガス濃度に関する特徴量（以下、「ガス濃度特徴量」と記す場合がある）の推定を行い、表示器２４を通じてユーザにガス検知を通知する装置である。ガス濃度特徴量としては、濃度厚み積、光吸収率が挙げられる。

[0027] （ガス濃度測定装置２０の構成）

ガス濃度測定装置２０は、例えば、一般的なＣＰＵ(Central Processing U

nit)とＲＡＭ(Random Access Memory)と、これらで実行されるプログラムを備えるコンピュータとして実現される。なお、後述するように、ガス濃度測定装置２０は、演算装置としてのＧＰＵ(Graphics Processing Unit)とＲＡＭをさらに備えてもよい。

[0028] 以下、ガス濃度測定装置２０の構成について説明する。図５は、ガス濃度測定装置２０の回路構成を示す図である。

[0029] ガス濃度測定装置２０は、検査対象となる検査画像として入力される、赤外画像に基づいてガス濃度特徴量の推定するためのサーバーコンピュータである。ガス濃度測定装置２０は、記憶手段３０に保存されている赤外画像を読み出して、あるいは、赤外線カメラ１０から赤外画像の取得を受けて、例えば、赤外画像の濃度厚み積を推定して濃度厚み積画像を生成し、通信ネットワークＮを介して記憶手段３０に出力して保存する。あるいは、赤外画像の光吸収率積を推定して光吸収率画像を生成してもよい。

[0030] 図３は、ガス濃度測定装置２０の回路構成を示す模式構成図である。図３に示すように、ガス濃度測定装置２０は、制御部２１、通信回路２２，記憶装置２３、表示器２４、操作入力部２５を備える。

[0031] 通信回路２２は、赤外線カメラ１０からガス分布動画像を取得する回路である。例えば、画像キャプチャーボード等、画像データをコンピュータ等の処理装置に取り込む装置を用いることができる。

[0032] 記憶装置２３は、赤外線カメラ１０から送信される赤外画像を一時的に記憶する記憶手段であり、例えば半導体メモリを含んで構成され、ガス濃度特徴量が算出されるまでの間、赤外画像を保存する。

[0033] 表示器２４は、例えば液晶パネル等であり、制御部２１の生成した表示画面を表示する。

[0034] 操作入力部２５は、操作者がガス濃度測定装置２０を操作するための入力を行う入力装置である。例えば、キーボード、マウスなどの入力装置、あるいは、表示器２４の前面にタッチセンサを配したタッチパネルなどの、表示装置と入力装置を兼ねた１つの装置として実現されてもよい。

[0035] 制御部２１は、ＣＰＵ、ＲＡＭ、ＲＯＭを含んで構成され、ＣＰＵが、ＲＯＭに記憶されたプログラム（図示せず）を実行することにより、ガス濃度測定装置２０の各機能を実現する。具体的には、制御部２１は、通信回路２２から取得した赤外画像に基づき、ガス分布画像のガス濃度を推定してガス濃度特徴量の分布画像を作成し、ガス濃度測定の画像を通信回路２２に出力する。具体的には、ガス濃度測定として、光吸収率又はガス濃度厚み積を推定して光吸収率画像又はガス濃度厚み積画像を作成し通信回路２２に出力する。

[0036] （制御部２１の機能）

図６は、制御部２１の機能ブロック図である。ガス濃度測定装置２０は、図６に示すように、検査画像取得部２１１、画像処理部２１２、出力部２１３を備える。

[0037] 検査画像取得部２１１は、通信回路２２から、赤外線カメラにより複数の時刻に撮像された、複数の画素により構成される空間の赤外画像を時系列に並べた赤外画像時系列データを取得する回路である。

[0038] また、検査画像取得部２１１は、さらに、空間中のガスの温度を温度センサ等により測定して空間のガス温度値を取得してもよい。

[0039] 画像処理部２１２は、画素特定部２１２１、ガス無し背景温度推定部２１２２、濃度特徴量算出部２１２３を含む。

[0040] 画素特定部２１２１は、赤外画像時系列データ中のガス濃度の計測の対象画素と、対象画素よりもガス濃度が低い参照画素とを特定する回路である。

[0041] 画素特定部２１２１は、赤外画像の時系列データからガス雲の像を抽出したガス雲画像の時系列データを生成し、当該ガス雲画像の時系列データに基づき、対象画素と、参照画素とを特定してもよい。

[0042] ガス雲画像の時系列データの生成は、例えば、公知の文献（例えば、国際公開第２０１７／０７３４３０号、特開２０１２－５８０９３）に記載されるように、ガスの赤外線吸光特性を利用して空気中のガスの赤外線動画を撮影することにより、ガス設備からのガス漏れを可視化する漏洩ガス可視化撮

像装置に用いることができる。

[0043] ガス無し背景温度推定部２１２２は、、赤外画像の時系列データにおける、対象画素の赤外データを時系列に並べた対象画素時系列赤外データと、参照画素の赤外データを時系列に並べた参照画素時系列赤外データとに基づき、対象画素におけるガス無し背景温度時系列赤外データを推定する回路である。濃度特徴量である、光吸収率、濃度厚み積は、公知の文献、例えば、特許文献１に記載されるように、画素ごとに時間変化からガスあり背景温度、ガスなし背景温度を推定して算出できるパラメータである。

[0044] 濃度特徴量算出部２１２３は、対象画素時系列赤外データ、対象画素のガス無し背景温度時系列赤外データに基づき、対象画素のガス濃度特徴量の時系列データを算出する回路である。濃度特徴量としては、光吸収率又はガス濃度厚み積を用いてもよい。光吸収率とは、空間中にガスが存在したときの光の吸収割合であり、ガス無の状態を０としたとき、０～１で表される。なお、光吸収率は、ガスの分光吸収係数により濃度厚み積に変換できる。

[0045] 画像処理部２１２における、画素特定部２１２１、ガス無し背景温度推定部２１２２、濃度特徴量算出部２１２３での処理の詳細については、後述する。

[0046] 出力部２１３は、生成されたガス特徴量の分布画像を通信回路２２に出力する回路である。

[0047] 以上の構成を備えたガス濃度測定装置２０によれば、ガスの薄く見える参照画素（通常、ガスの無い画素）をリファレンスとして、ガス以外の要因による背景温度の変化が生じる影響を低減して、ガスが存在しないときの背景温度をより正確に推定することができる。そのため、ガス以外の要因によって背景温度の変化が生じた場合でも、赤外動画像からガス濃度特徴量を正確に推定して空間のガス濃度を精度よく測定することができる。

[0048] ＜ガス濃度測定装置の動作＞

以下、図面を用いて、本実施の形態におけるガス濃度測定装置２０の動作について説明する。

[0049] 図７は、ガス濃度測定装置２０における制御部２１におけるガス濃度測定動作を示すフローチャートである。以下の説明では、ガス濃度特徴量を推定するガス濃度測定において、ガス濃度特徴量として濃度厚み積を推定する方法を示す。

[0050] 実施の形態に係るガス濃度測定装置２０では、図７に示すように、対象画素、参照画素の特定（ステップＳ１）、対象画素のガス無し背景温度の推定（ステップＳ２）、対象画素の濃度厚み積データの算出（ステップＳ３）を順次行うことにより、ガス濃度測定を行う。

[0051] 以下、ステップＳ１～３までの各動作について説明する。

[0052] （対象画素、参照画素の特定）

次に、ガス濃度の計測の対象画素と、ガスの存在しない（もしくはガスが微小に存在する）参照画素を特定する。

[0053] 図８は、図７におけるステップＳ１における対象画素、参照画素の特定動作を示すフローチャートである。

[0054] 対象画素、参照画素の選択動作では、先ず、赤外線カメラ１０において取得した赤外画像時系列データを取得する（ステップＳ１１）。図９（ａ）～（ｄ）は、赤外画像時系列データに基づく、時系列に並んだ複数のフレームの画像の態様を示す一例である。図９（ａ）～（ｄ）では、ガス雲の移動で地面が陰り、地面の見かけの温度が変化している。赤外画像時系列データは、赤外線カメラ１０が生成す画像の検査データと同一のフォーマットからなる赤外画像であって、複数フレームの時系列データを含む動画像である。赤外画像時系列データは、縦及び横の画素数が所定の値からなるフレーム画素数であることが好ましい。例えば、縦×横の画素数が３２０×２５６、毎秒１０フレーム（ｆｐｓ）で１０秒分、Ｎフレーム（Ｎは自然数）、例えば、Ｎは約１００フレームとしてもよい。

[0055] 次に、例えば、国際公開第２０１７／０７３４３０号公報に記載された公知の方法に基づいて、特定周波数成分画像時系列データを生成し（ステップＳ１２）、赤外線画像時系列データと特定周波数成分画像時系列データとの

差分時系列データを生成する（ステップＳ１３）。

[0056] 赤外線画像時系列データにおけるガス噴出期間に対応するフレームにおいて、差分データの振幅及び波形のばらつきが増加している。

[0057] 次に、差分データの波形のばらつきを示すデータとして、差分時系列データに対し所定数のフレームを単位とする移動標準偏差時系列データを生成、画像化する（ステップＳ１４）。ガス噴出期間に対応するフレームにおいて、移動標準偏差データの振幅のばらつきが顕著に増加し、この移動標準偏差の時系列データがガス噴出期間におけるガス雲画像の変化する。

[0058] なお、ステップＳ１４の処理では、差分時系列データに対し所定数のフレームを単位とする移動標準偏差時系列データ以外に、差分データに対する移動分散データ、差分データの絶対値加算データを、差分データの波形のばらつきを示すデータとして用いてもよい。

[0059] 図１０（ａ）～（ｄ）は、ガス雲画像の時系列データに基づく、時系列に並んだ複数のフレームの画像の一例である。図１０（ａ）～（ｄ）に示すように、ガス雲画像によれば、赤外画像におけるガス雲の部分が強調され、ガス雲が移動している様子を容易に認識することができる。

[0060] 次に、ガス濃度の計測の対象画素を決定するために、移動標準偏差時系列データの平均化処理をする（ステップＳ１５）。図１１は、図１０（ａ）～（ｄ）に示す複数のフレームのガス雲画像を平均化した画像である。図１１に示すように、図１０（ａ）～（ｄ）の各図において、ガス雲の部分が存在した部分が累積的に表示され、ガス雲が移動した範囲を容易に認識することができる。

[0061] 次に、閾値処理により対象画素を選択する（ステップＳ１６）。閾値処理では、図１１に示すような、複数のフレームのガス雲画像を平均化した画像において、画素データが所定の閾値以上である画素の中から、ガス濃度の計測の対象画素を選択する。図１１に示す例では、図中の左側の実線による丸印の画素を対象画素としている。

[0062] ここで、画素データが所定の閾値以上である画素が複数存在する場合には

、候補となる全てを対象画素として選択し、それぞれに対し濃度厚み積を算出してもよい。あるいは、画素データが所定の閾値以上である複数の画素から一部の画素を対象画素として選択してもよい。その場合、候補となる複数の画素の中で、最も画素値が大きい画素を選択してもよい。あるいは、画素値が所定の閾値以上である複数の画素に周囲を囲まれている画素を対象画素として選択する構成としてもよい。

[0063] なお、対象画素の探索方法は、上記した例には限られない。例えば、操作者が画素を見ながら対象画素を指定する方法を採ることも可能である。

[0064] 次に、ガスの存在しない（もしくはガスが微小に存在する）参照画素の選択方法を説明する。

[0065] 本例では、温度差に基づき参照画素を選択する（ステップＳ１７）当該処理では、図１１に示すような、複数のフレームのガス雲画像を平均化した画像において、画素データがステップＳ１において選択された対象画素の画素データに対し、温度差が所定の範囲内である画素の中から、ガス濃度の計測の参照画素を選択する。

[0066] 温度差が所定の範囲内である画素を選択する理由は、対象画素と反射率の近い同じ材質を想定するためである。参照画素において対象画素と反射率の近い同じ材質を想定することにより、後段のステップＳ２４－２５において、参照画素時系列赤外データとに基づき、対象画素におけるガス無し背景温度時系列赤外データを推定する際の精度を向上することができる。本例では、対象画素の温度と±５℃の範囲内にある画素から参照画素を選択する。

[0067] 図１１に示す例では、図１１の画素値が０に近い、図中の右側の破線による丸印の画素を対象画素とし、ガスが殆ど存在しない画素を参照画素として選択している。

[0068] ここで、候補となる参照画素が複数存在する場合には、画素値が０に近い（ガスがないもしくは微小）、対象画素に画像上で近い画素から選ぶなどしても良い。

[0069] なお、参照画素の探索方法は、上記した±５℃の例には限られない。同じ

材質が指定できそうな温度であれば、異なる温度範囲に設定してもよい。あるいは、操作者が画素を見ながら参照画素を指定する方法としてもよい。

[0070] 以上により、対象画素、参照画素の特定動作を終了する。

[0071] さらに、処理をガスの出ているエリアの対象画素に対し、繰り返し行ってもよい。ガスの出ているエリアの対象画素を特定し、対象画素に対する参照画素を特定できる。

[0072] （対象画素のガス無し背景温度の推定）

次に、対象画素の温度変化と参照画素のガスなし背景温度に基づき、対象画素のガスなし背景温度を推定する。

[0073] 図１２は、図６におけるステップＳ２における対象画素のガス無し背景温度推定動作を示すフローチャートである。

[0074] 対象画素のガス無し背景温度推定動作では、先ず、対象画素、参照画素の輝度値時系列データを入力し（ステップＳ２１）、対象画素、参照画素の温度値時系列データに変換する（ステップＳ２２）。輝度値から温度値への変換は、赤外線カメラ１０の輝度値-温度値特性に基づき行う。

[0075] 図１３は、対象画素時系列赤外データ、参照画素時系列赤外データの概要を示す図である。図１３において、横軸はフレーム番号（１～５０）、縦軸は温度値を表し、図１３に示す例では、全フレームにおいて参照画素が対象画素よりも温度が高いことが見て取れる。ガス無し背景温度を示す参照画素が、空間中のガス温度を示す対象画素よりも温度の変化の態様が滑らかであることが見て取れる。

[0076] 次に、ガス温度値データを入力する（ステップＳ２３）。ガス温度値とはガスの平均的な温度であり、監視対象を含む空間内の環境温度を温度センサにより実測した温度の値を用いることができる。本例では、気温は３６．７℃であり、大気中に拡散した画素は気温になじむために、ステップＳ２３で取得するガス温度が３６．７℃と近似したものとなる。

[0077] 次に、参照画素ガスなし背景温度を基に対象画素のガスなし背景温度を推定するために、対象画素の温度値時系列データに対し包絡線処理を行う（ス

テップＳ２４）。

[0078] 図１４は、引かれた包絡線の態様を示す図である。

[0079] 対象画素のガスなし背景温度は、例えば、国際公開第２０１７／１０４６１７号に記載されるように、対象画素時系列赤外データに引き得る２本の包絡線のうち、ガス温度との温度差が大きい包絡線となる。そのため、図１４に示す例では、対象画素のガスなし背景温度は、上側（温度の高い側）の包絡線となる。

[0080] 一方、温度変化は雲などの変化等によるものであるため、参照画素のガス無し背景温度時間変化の形状と、対象画素のガスなし背景の温度の時間変化の形状とは相似すると考えられる。そのため、参照画素のガスなし背景温度の時系列データ（参照画素時系列赤外データ）を基に対象画素のガスなし背景温度の時系列データを推定する。

[0081] 具体的には、対象画素のガスなし背景温度（包絡線）と対象画素時系列赤外データで囲まれた面積が最小になるように、以下の処理を行うことにより、包絡線の時系列データを算出する。

[0082] 参照画素のガスなし背景温度時系列データ（参照画素時系列赤外データ）を対象画素時系列赤外データに近づくように、フレーム０の参照画素の温度値（オフセット係数０）から対象画素の温度値（オフセット係数１）まで、係数ＯＦＴだけオフセットさせ（オフセット係数０≦ＯＦＴ≦１）、かつ参照画素のガスなし背景温度時系列データに対し温度変化量を縮小させる係数Ｋ（０≦Ｋ≦１）を乗じ、対象画素時系列赤外データと、温度変化量が縮小され温度値がオフセットされた参照画素の時系列データとの間に挟まれた領域の面積の総和が最小となるように、オフセット値ＯＦＴと係数Ｋを変化させて、包絡線を算出する。

[0083] 次に、得られた包絡線を、対象画素のガス無し背景温度時系列データと推定して出力する（ステップＳ２５）。

[0084] 以上により、対象画素のガス無し背景温度の推定動作を終了する。

[0085] さらに、処理をガスの出ているエリアの対象画素に対し、繰り返し行って

もよい。ガスの出ているエリアの対象画素のガス無し背景温度を推定できる。

[0086] （対象画素の濃度厚み積データの算出）

次に、対象画素の温度変化と、推定した対象画素のガスなし背景温度を基に、対象画素の濃度厚み積を推定する。

[0087] 図１５は、図７におけるステップＳ３における対象画素の濃度厚み積データ算出動作を示すフローチャートである。

[0088] 対象画素の濃度厚み積データの算出動作では、先ず、対象画素のガスあり背景温度時系列データ（対象画素時系列赤外データ）を入力する（ステップＳ３１）。次に、対象画素のガス無し背景温度時系列データを入力し（ステップＳ３２）、各時刻のガス温度値相当の黒体放射輝度を公知の方法に基づいて、算出する（ステップＳ３３）。

[0089] 次に、対象画素の光吸収率時系列データを算出し（ステップＳ３４）、光吸収率画像の時系列データを生成する。

[0090] 図１６（ａ）は、ガスあり背景温度データの概要を示す模式図、（ｂ）は、ガス無し背景温度データの概要を示す模式図、（ｃ）は、光吸収率画像データの概要を示す模式図である。

[0091] 対象画素の座標（ｘ，ｙ）とし、対象画素のガス無し背景温度での赤外強度をＤＴＩｂａｃｋ（ｘ，ｙ）、ガス温度相当の黒体放射輝度をＩｇａｓ、対象画素の赤外強度をＤＴＩ（ｘ，ｙ）としたとき、対象画素における光吸収率画像の光吸収率の値ＤＴα（ｘ，ｙ）は、例えば、国際公開第２０１７／１０４６０７号に記載された公知の方法に基づいて、式１により算出される。

[0092] [数1]

$$DT\alpha(x,y) = \frac{DTI(x,y) - DTI_{back}(x,y)}{I_{gas} - DTI_{back}(x,y)} \qquad (式1)$$

次に、得られた光吸収率画像の時系列データから対象画素の光吸収率を濃度厚み積データ時系列データに変換する（ステップＳ３５）。

[0093] 図１７は、光吸収率から濃度厚み積算出方法の概要を説明するための模式図である。

[0094] 濃度厚み積は、図１７に示すような、ガス濃度厚み積と光吸収率の関係性を用いて、対象画素（ｘ，ｙ）における光吸収率の値に対応したガス濃度厚み積を算出する。光吸収率は指定されるガス種によって異なり、濃度厚み積の値と光吸収率との関係性データ、例えば、データテーブル等に格納されたガス濃度厚み積に対応する光吸収率の値、あるいは、近似曲線を表す数式等に基づき、光吸収率画像データの光吸収率をガスの光吸収－濃度厚み積特性に基づいて濃度厚み積値画像データに変換する。ガス種ごとのガス濃度厚み積と光吸収率との関係は、予め実測により取得してもよい。

[0095] 以上により、対象画素の濃度厚み積データの算出動作を終了する。

[0096] さらに、処理をガスの出ているエリアの対象画素に対し、繰り返し行ってもよい。ガスの出ているエリアの濃度厚み積を推定できる。

[0097] ＜効　果＞

以上のとおり、実施の形態に係るガス濃度測定装置２０は、赤外線カメラ１０により撮像された、赤外画像時系列データを取得する検査画像取得部２１１と、赤外画像中のガス濃度の計測の対象画素と、対象画素よりもガス濃度が低い参照画素とを特定する画素特定部２１２１と、赤外画像の時系列データにおける、対象画素時系列赤外データと、参照画素時系列赤外データとに基づき、対象画素におけるガス無し背景温度時系列赤外データを推定するガス無し背景温度推定部２１２２と、対象画素時系列赤外データ、対象画素のガス無し背景温度時系列赤外データに基づき、対象画素のガス濃度特徴量の時系列データを算出する濃度特徴量算出部２１２３とを備えたことを特徴とする。

[0098] 係る構成により、ガスの出ていない（あるいはガス濃度が薄い）参照画素の温度の時間変化から、対象画素のガス無し背景温度を推定し、検査対象と

なる対象画素の濃度厚み積を推定することができる。

[0099] これにより、ガスの薄く見える参照画素（通常、ガスの無い画素）における画素データをリファレンスとして対象画素の背景温度変化を推定するため、ガス以外の要因によって背景温度の変化が生じた場合でも、濃度厚み積を精度良く推定することができる。

[0100] その結果、検査対象の画素について時系列でみるとガスあり・ガスなしのデータが撮像されることを利用して対象画素のガス無し背景温度を推定する従来の技術と比べて、ガス以外の要因によって背景温度の変化が生じた場合における濃度厚み積の測定結果の精度を向上できる。

[0101] ≪まとめ≫

本開示の一態様に係るガス濃度測定装置は、ガス漏れの監視対象から露出した、空間中のガス濃度の分布を計測するガス濃度測定装置であって、

赤外線カメラにより複数の時刻に撮像された、複数の画素により構成される前記空間を撮像した赤外画像を時系列に並べた赤外画像時系列データを取得する検査画像取得部と、

前記ガス雲画像中のガス濃度の計測の対象画素と、前記対象画素よりもガス濃度が低い参照画素とを特定する画素特定部と、

前記赤外画像の時系列データにおける、前記対象画素の赤外データを時系列に並べた対象画素時系列赤外データと、前記参照画素の赤外データを時系列に並べた参照画素時系列赤外データとに基づき、前記対象画素におけるガス無し背景温度時系列赤外データを推定するガス無し背景温度推定部と、

前記対象画素時系列赤外データ、前記対象画素のガス無し背景温度時系列赤外データに基づき、前記対象画素のガス濃度に関する特徴量の時系列データを算出する濃度特徴量算出部とを備えた

ガス濃度測定装置。

[0102] 係る構成により、ガス以外の要因による背景温度の変化が生じる影響を低減して、ガスが存在しないときの背景温度をより正確に推定することができる。これより、ガス以外の要因によって背景温度の変化が生じた場合でも、

赤外動画像から空間のガス濃度を精度よく検出することができる。

[0103] また、別の態様では、上記何れかの態様において、前記画素特定部は、前記赤外画像の時系列データからガス雲の像を抽出したガス雲画像の時系列データを生成し、当該ガス雲画像の時系列データに基づき、前記対象画素と、前記参照画素とを特定する構成としてもよい。

[0104] 係る構成により、ガス雲画像によれば、赤外画像におけるガス雲の部分が強調され、ガス濃度の計測の対象画素と、ガスの存在しない（もしくはガスが微小に存在する）参照画素とを容易に特定することができる。

[0105] また、別の態様では、上記何れかの態様において、前記ガス雲画像の時系列データは、前記赤外画像の時系列データから特定周波数成分の時間変化を抽出した画像の時系列データである構成としてもよい。

[0106] 係る構成により、空間中のガスの揺らぎに関する周波数特性を利用して、空間中のガスの存在部分を強調してガス雲画像を生成することができる。

[0107] また、別の態様では、上記何れかの態様において、前記赤外画像は、輝度又は温度を表すデータからなる構成としてもよい。

[0108] 係る構成により、赤外画像として輝度値を用いた場合でも、温度値を用いた場合と同様に、ガス濃度に関する特徴量を推定することができる。

[0109] また、別の態様では、上記何れかの態様において、前記画素特定部は、前記対象画素に対し赤外画像の値が所定の範囲以内にある画素から前記参照画素を選択する構成としてもよい。

[0110] 係る構成により、参照画素において、対象画素と反射率の近い同じ材質を想定することができ、参照画素時系列赤外データに基づき、対象画素におけるガス無し背景温度時系列赤外データを推定する際の精度を向上することができる。

[0111] また、別の態様では、上記何れかの態様において、前記ガス無し背景温度推定部は、前記対象画素時系列赤外データに対し、当該対象画素時系列赤外データとの間に挟まれた領域の面積の総和が最小になるような包絡線を引くことにより、前記対象画素における前記ガス無し背景温度時系列赤外データ

を推定する構成としてもよい。

[0112] 係る構成により、対象画素時系列赤外データと、前記参照画素の赤外データを時系列に並べた参照画素時系列赤外データとに基づき、前記対象画素におけるガス無し背景温度時系列赤外データを推定することができる。

[0113] また、別の態様では、上記何れかの態様において、前記包絡線は、前記参照画素時系列赤外データの変化量及び／又はオフセット値を変更した線である構成としてもよい。

[0114] 係る構成により、前記対象画素時系列赤外データに対し、当該対象画素時系列赤外データとの間に挟まれた領域の面積の総和が最小になるような包絡線を引く処理を行うことができる。

[0115] また、別の態様では、上記何れかの態様において、前記包絡線は、対象画素時系列赤外データに引き得る２本の包絡線のうち、前記空間中のガス温度との温度差が大きい包絡線である構成としてもよい。

[0116] 係る構成により、参照画素時系列赤外データに基づき、対象画素におけるガス無し背景温度時系列赤外データを推定する処理を行うことができる。

[0117] あるいは、本開示の一態様に係るガス濃度測定装置は、監視対象である空間中のガス濃度の分布を計測するガス濃度測定装置であって、赤外線カメラにより複数の時刻に撮像された、複数の画素により構成される前記空間を撮像した赤外画像を時系列に並べた赤外画像時系列データを取得する検査画像取得部と、前記赤外画像中のガス濃度の計測の対象画素と、前記対象画素よりもガス濃度が低い参照画素とを特定する画素特定部と、前記赤外画像の時系列データにおける、前記対象画素の赤外データを時系列に並べた対象画素時系列赤外データの温度変化を含む対象画素温度情報と、前記参照画素の赤外データを時系列に並べた参照画素時系列赤外データの温度変化を含む参照画素温度情報とに基づき、前記対象画素のガス濃度に関する特徴量を算出する濃度特徴量算出部とを備えた構成としてもよい。

[0118] 係る構成により、参照画素の温度変化情報を用いていることによって、背景温度の変化が生じる影響を低減して、ガスが存在しないときの背景温度を

より正確に推定することができる。

[0119] また、別の態様では、ガス漏れの監視対象から露出した、空間中のガス濃度の分布を計測するガス濃度測定方法であって、

赤外線カメラにより複数の時刻に撮像された、複数の画素により構成される前記空間を撮像した赤外画像を時系列に並べた赤外画像時系列データを取得し、

前記赤外画像中のガス濃度の計測の対象画素と、前記対象画素よりもガス濃度が低い参照画素とを特定し、

前記赤外画像の時系列データにおける、前記対象画素の赤外データを時系列に並べた対象画素時系列赤外データと、前記参照画素の赤外データを時系列に並べた参照画素時系列赤外データとに基づき、前記対象画素におけるガス無し背景温度時系列赤外データを推定し、

前記対象画素時系列赤外データ、前記対象画素のガス無し背景温度時系列赤外データに基づき、前記対象画素のガス濃度に関する特徴量の時系列データを算出するガス濃度測定方法としてもよい。

[0120] また、別の態様では、コンピュータにガス漏れの監視対象から露出した、空間中のガス濃度の分布を計測するガス濃度測定処理を行わせるプログラムであって、

前記ガス濃度測定処理は、

赤外線カメラにより複数の時刻に撮像された、複数の画素により構成される前記空間を撮像した赤外画像を時系列に並べた赤外画像時系列データを取得し、

前記赤外画像中のガス濃度の計測の対象画素と、前記対象画素よりもガス濃度が低い参照画素とを特定し、

前記赤外画像の時系列データにおける、前記対象画素の赤外データを時系列に並べた対象画素時系列赤外データと、前記参照画素の赤外データを時系列に並べた参照画素時系列赤外データとに基づき、前記対象画素におけるガス無し背景温度時系列赤外データを推定し、

前記対象画素時系列赤外データ、前記対象画素のガス無し背景温度時系列赤外データに基づき、前記対象画素のガス濃度に関する特徴量の時系列データを算出する

プログラムとしてもよい。

[0121] ≪変形例≫

以上、実施の形態に係るガス濃度測定システム１について説明したが、本開示は、その本質的な特徴的構成要素を除き、以上の実施の形態に何ら限定を受けるものではない。例えば、実施の形態に対して当業者が思いつく各種変形を施して得られる形態や、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で各実施の形態における構成要素及び機能を任意に組み合わせることで実現される形態も本開示に含まれる。以下では、そのような形態の一例として、上記した実施の形態の変形例を説明する。

[0122] （１）上記した実施の形態では、ガス無し背景温度推定部は、対象画素時系列赤外データに対し、当該対象画素時系列赤外データとの間に挟まれた領域の面積の総和が最小になるような包絡線を引くことにより、対象画素における前記ガス無し背景温度時系列赤外データを推定する構成とした。しかしながら、変形例として、ガス無し背景温度推定部は、機械学習モデルを用いて、対象画素におけるガス無し背景温度時系列赤外データの推定する構成としてもよい。

[0123] この場合、ガス無し背景温度推定部において用いられる機械学習モデルは、例えば、参照画素時系列赤外データと対象画素時系列赤外データと正解データとして対象画素のガス無し背景温度時系列赤外データとを教師データとして機械学習させたモデルとしてもよく、機械学習モデルに参照画素時系列赤外データと対象画素時系列赤外データを入力すると、対象画素のガス無し背景温度時系列赤外データが出力される構成としてもよい。

[0124] このとき、対象画素のガス濃度に関する特徴量（濃度厚み積、光吸収率）は、対象画素のガス無し背景温度と対象画素の温度データ(ガスあり背景温度)と気温とで解析的に求められることから、参照画素時系列赤外データと対象

画素時系列赤外データと気温データと、正解データとして対象画素のガス濃度に関する特徴量の時系列データとを教師データとして機械学習モデルを生成し、この機械学習モデルを用いて対象画素のガス濃度に関する特徴量の時系列データを算出してもよい。

[0125] また、算出される対象画素のガス濃度に関する特徴量は時系列データに限らず、平均値でもよい。この場合は、正解データとして対象画素のガス濃度に関する特徴量の時系列データではなく、対象画素のガス濃度に関する特徴量の平均値を正解データとして学習させてもよい。

[0126] （２）上記した実施の形態では、検査対象となる検査画像として、赤外線カメラ１０により撮像された赤外画像を用いる構成を紹介し、赤外画像の画素データとして、温度値を表すデータを用いる例に、実施の形態について説明を行った。

[0127] しかしながら、検査画像である赤外画像を構成する画素データの態様は上記に限定されないことは言うまでもなく、例えば、赤外センサから得られた輝度値のまま、（温度値に変換する前に）処理する方法を採ることが可能である。

[0128] （３）上記した実施の形態では、ガスが存在しない（もしくはガス濃度が低い）参照画素の選択方法について、対象画素の温度と所定の温度の範囲内にある画素から参照画素を選択する構成について説明を行った。

[0129] しかしながら、参照画素を選択するための方法に限定されないことは言うまでもなく、例えば、特開２０１２－５８０９３号公報に記載されるように、輝度変化の絶対値を算出し、次々と加算するような手法を用い方法を採ることが可能である。

[0130] （４）上記した実施の形態では、ガス濃度特徴量を推定するガス濃度測定において、ガス濃度特徴量としてガス濃度厚み積を推定する構成を例に、実施の形態について説明を行った。しかしながら、ガス濃度厚み積に置き換えて、光吸収率をガス濃度測定として推定する構成としてもよい。

[0131] （５）上記した実施の形態では、検査対象となる画像の一例として、ガス

設備としてガスプラントを例示して説明を行った。しかしながら、本開示はこれに限定されるものではなく、ガスを利用する機器、装置、実験室、研究室、工場、事業所における表示画像の生成に適用してもよい。

[0132] （６）本開示を上記実施の形態に基づいて説明してきたが、本開示は、上記の実施の形態に限定されず、以下のような場合も本発明に含まれる。

[0133] 例えば、本発明は、マイクロプロセッサとメモリを備えたコンピュータシステムであって、上記メモリは、上記コンピュータプログラムを記憶しており、上記マイクロプロセッサは、上記コンピュータプログラムにしたがって動作するとしてもよい。例えば、本開示のシステム又はその構成要素における処理のコンピュータプログラムを有しており、このプログラムに従って動作する（又は接続された各部位に動作を指示する）コンピュータシステムであってもよい。

[0134] また、上記システム又はその構成要素における処理の全部、もしくは一部を、マイクロプロセッサ、ＲＯＭ、ＲＡＭ等の記録媒体、ハードディスクユニットなどから構成されるコンピュータシステムで構成した場合も本発明に含まれる。上記ＲＡＭ又はハードディスクユニットには、上記各装置と同様の動作を達成するコンピュータプログラムが記憶されている。上記マイクロプロセッサが、上記コンピュータプログラムにしたがって動作することにより、各装置はその機能を達成する。

[0135] また、上記の各装置を構成する構成要素の一部又は全部は、１つのシステムＬＳＩ（Large scale Integration（大規模集積回路））から構成されているとしてもよい。システムＬＳＩは、複数の構成部を１個のチップ上に集積して製造された超多機能ＬＳＩであり、具体的には、マイクロプロセッサ、ＲＯＭ、ＲＡＭなどを含んで構成されるコンピュータシステムである。これらは個別に１チップ化されてもよいし、一部又は全てを含むように１チップ化されてもよい。上記ＲＡＭには、上記各装置と同様の動作を達成するコンピュータプログラムが記憶されている。上記マイクロプロセッサが、上記コンピュータプログラムにしたがって動作することにより、システムＬＳＩは

、その機能を達成する。例えば、システム又はその構成要素における処理がＬＳＩのプログラムとして格納されており、このＬＳＩがコンピュータ内に挿入され、所定のプログラムを実施する場合も本発明に含まれる。

[0136] なお、集積回路化の手法はＬＳＩに限るものではなく、専用回路または汎用プロセッサで実現してもよい。ＬＳＩ製造後に、プログラムすることが可能なＦＰＧＡ(Field Programmable Gate Array)や、ＬＳＩ内部の回路セルの接続や設定を再構成可能なリコンフィギュラブル・プロセッサー(Reconfigurable Processor)を利用してもよい。

[0137] さらには、半導体技術の進歩または派生する別技術によりＬＳＩに置き換わる集積回路化の技術が登場すれば、当然、その技術を用いて機能ブロックの集積化を行ってもよい。

[0138] また、各実施の形態に係る、システム又はその構成要素の機能の一部又は全てを、ＣＰＵ等のプロセッサがプログラムを実行することにより実現してもよい。システム又はその構成要素の動作を実施させるプログラムが記録された非一時的なコンピュータ読み取り可能な記録媒体であってもよい。プログラムや信号を記録媒体に記録して移送することにより、プログラムを独立した他のコンピュータシステムにより実施するとしてもよい。また、上記プログラムは、インターネット等の伝送媒体を介して流通させることができるのは言うまでもない。

[0139] また、上記実施形態に係るシステム又はその各構成要素は、ＣＰＵやＧＰＵ(Graphics Processing Unit)やプロセッサなどのプログラマブルデバイスとソフトウェアにより実現される構成であってもよい。これらの構成要素は一個の回路部品とすることができるし、複数の回路部品の集合体にすることもできる。また、複数の構成要素を組合せて一個の回路部品とすることができるし、複数の回路部品の集合体にすることもできる。

[0140] （７）機能ブロックの分割は一例であり、複数の機能ブロックを一つの機能ブロックとして実現したり、一つの機能ブロックを複数に分割したり、一部の機能を他の機能ブロックに移してもよい。また、類似する機能を有する

複数の機能ブロックの機能を、単一のハードウェア又はソフトウェアが並列又は時分割に処理してもよい。

[0141] また、上記のステップが実行される順序は、本発明を具体的に説明するために例示するためのものであり、上記以外の順序であってもよい。また、上記ステップの一部が、他のステップと同時（並列）に実行されてもよい。

[0142] また、各実施の形態、及びその変形例の機能のうち少なくとも一部を組み合わせてもよい。更に上記で用いた数字は、全て本発明を具体的に説明するために例示するものであり、本発明は例示された数字に制限されない。

[0143] ≪補足≫

以上で説明した実施の形態は、いずれも本発明の好ましい一具体例を示すものである。実施の形態で示される数値、形状、材料、構成要素、構成要素の配置位置及び接続形態、工程、工程の順序などは一例であり、本発明を限定する主旨ではない。また、実施の形態における構成要素のうち、本発明の最上位概念を示す独立請求項に記載されていない工程については、より好ましい形態を構成する任意の構成要素として説明される。

[0144] また、発明の理解の容易のため、上記各実施の形態で挙げた各図の構成要素の縮尺は実際のものと異なる場合がある。また本発明は上記各実施の形態の記載によって限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において適宜変更可能である。

[0145] さらに、基板上に回路部品、リード線等の部材も存在するが、電気的配線、電気回路について当該技術分野における通常の知識に基づいて様々な態様を実施可能であり、本発明の説明として直接的には無関係のため、説明を省略している。なお、上記に示した各図は模式図であり、必ずしも厳密に図示したものではない。

## 産業上の利用可能性

[0146] 本開示に係るガス濃度測定装置、ガス濃度測定方法、およびプログラムは、赤外線撮像装置を用いたガス濃度の推定に広く適用可能である。

## 符号の説明

[0147] １　ガス濃度測定システム

１０　赤外線カメラ

１１　レンズ

１２　フィルタ

１３　撮像素子

１４　信号処理部

２０　ガス濃度測定装置

２１　制御部

２１１　検査画像取得部

２１２　画像処理部

２１２１　画素特定部

２１２２　ガス無し背景温度推定部

２１２３　濃度特徴量算出部

２１３　出力部

２２　通信回路

２３　記憶装置

２４　表示器

２５　操作入力部

３０　記憶手段

# 請求の範囲

[請求項1] 監視対象である空間中のガス濃度の分布を計測するガス濃度測定装置であって、

赤外線カメラにより複数の時刻に撮像された、複数の画素により構成される前記空間を撮像した赤外画像を時系列に並べた赤外画像時系列データを取得する検査画像取得部と、

前記赤外画像中のガス濃度の計測の対象画素と、前記対象画素よりもガス濃度が低い参照画素とを特定する画素特定部と、

前記赤外画像の時系列データにおける、前記対象画素の赤外データを時系列に並べた対象画素時系列赤外データと、前記参照画素の赤外データを時系列に並べた参照画素時系列赤外データとに基づき、前記対象画素におけるガス無し背景温度時系列赤外データを推定するガス無し背景温度推定部と、

前記対象画素時系列赤外データと前記対象画素のガス無し背景温度時系列赤外データとに基づき、前記対象画素のガス濃度に関する特徴量の時系列データを算出する濃度特徴量算出部とを備えた

ガス濃度測定装置。

[請求項2] 前記画素特定部は、前記赤外画像の時系列データからガス雲の像を抽出したガス雲画像の時系列データを生成し、当該ガス雲画像の時系列データに基づき、前記対象画素と、前記参照画素とを特定する

請求項１に記載のガス濃度測定装置。

[請求項3] 前記ガス雲画像の時系列データは、前記赤外画像の時系列データから特定周波数成分の時間変化を抽出した画像の時系列データである

請求項２に記載のガス濃度測定装置。

[請求項4] 前記赤外画像は、輝度又は温度を表すデータからなる

請求項１に記載のガス濃度測定装置。

[請求項5] 前記画素特定部は、前記対象画素に対し赤外画像の値が所定の範囲以内にある画素から前記参照画素を選択する

請求項１に記載のガス濃度測定装置。

[請求項6] 前記ガス無し背景温度推定部は、前記対象画素時系列赤外データに対し、当該対象画素時系列赤外データとの間に挟まれた領域の面積の総和が最小になるような包絡線を引くことにより、前記対象画素における前記ガス無し背景温度時系列赤外データを推定する

請求項１から５の何れか１項に記載のガス濃度測定装置。

[請求項7] 前記包絡線は、前記参照画素時系列赤外データの変化量及び／又はオフセット値を変更した線である

請求項６項に記載のガス濃度測定装置。

[請求項8] 前記包絡線は、対象画素時系列赤外データに引き得る２本の包絡線のうち、前記空間中のガス温度との温度差が大きい包絡線である

請求項６又は７項に記載のガス濃度測定装置。

[請求項9] 監視対象である空間中のガス濃度の分布を計測するガス濃度測定装置であって、

赤外線カメラにより複数の時刻に撮像された、複数の画素により構成される前記空間を撮像した赤外画像を時系列に並べた赤外画像時系列データを取得する検査画像取得部と、

前記赤外画像中のガス濃度の計測の対象画素と、前記対象画素よりもガス濃度が低い参照画素とを特定する画素特定部と、

前記赤外画像の時系列データにおける、前記対象画素の赤外データを時系列に並べた対象画素時系列赤外データの温度変化を含む対象画素温度情報と、前記参照画素の赤外データを時系列に並べた参照画素時系列赤外データの温度変化を含む参照画素温度情報とに基づき、前記対象画素のガス濃度に関する特徴量を算出する濃度特徴量算出部とを備えた

ガス濃度測定装置。

[請求項10] 監視対象である空間中のガス濃度の分布を計測するガス濃度測定方法であって、

赤外線カメラにより複数の時刻に撮像された、複数の画素により構成される前記空間を撮像した赤外画像を時系列に並べた赤外画像時系列データを取得し、

前記赤外画像中のガス濃度の計測の対象画素と、前記対象画素よりもガス濃度が低い参照画素とを特定し、

前記赤外画像の時系列データにおける、前記対象画素の赤外データを時系列に並べた対象画素時系列赤外データと、前記参照画素の赤外データを時系列に並べた参照画素時系列赤外データとに基づき、前記対象画素におけるガス無し背景温度時系列赤外データを推定し、

対象画素時系列赤外データと前記対象画素のガス無し背景温度時系列赤外データとに基づき、前記対象画素のガス濃度に関する特徴量の時系列データを算出する

ガス濃度測定方法。

[請求項11] 前記対象画素と、前記参照画素との特定では、前記赤外画像の時系列データからガス雲の像を抽出したガス雲画像の時系列データを生成し、当該ガス雲画像の時系列データに基づき、前記対象画素と、前記参照画素とを特定する

請求項１０に記載のガス濃度測定方法。

[請求項12] 前記ガス無し背景温度の推定では、前記対象画素時系列赤外データに対し、当該対象画素時系列赤外データとの間に挟まれた領域の面積の総和が最小になるような包絡線を引くことにより、前記対象画素における前記ガス無し背景温度時系列赤外データを推定する

請求項１０又は１１に記載のガス濃度測定方法。

[請求項13] コンピュータに監視対象である空間中のガス濃度の分布を計測するガス濃度測定処理を行わせるプログラムであって、

前記ガス濃度測定処理は、

赤外線カメラにより複数の時刻に撮像された、複数の画素により構成される前記空間を撮像した赤外画像を時系列に並べた赤外画像時系

列データを取得し、

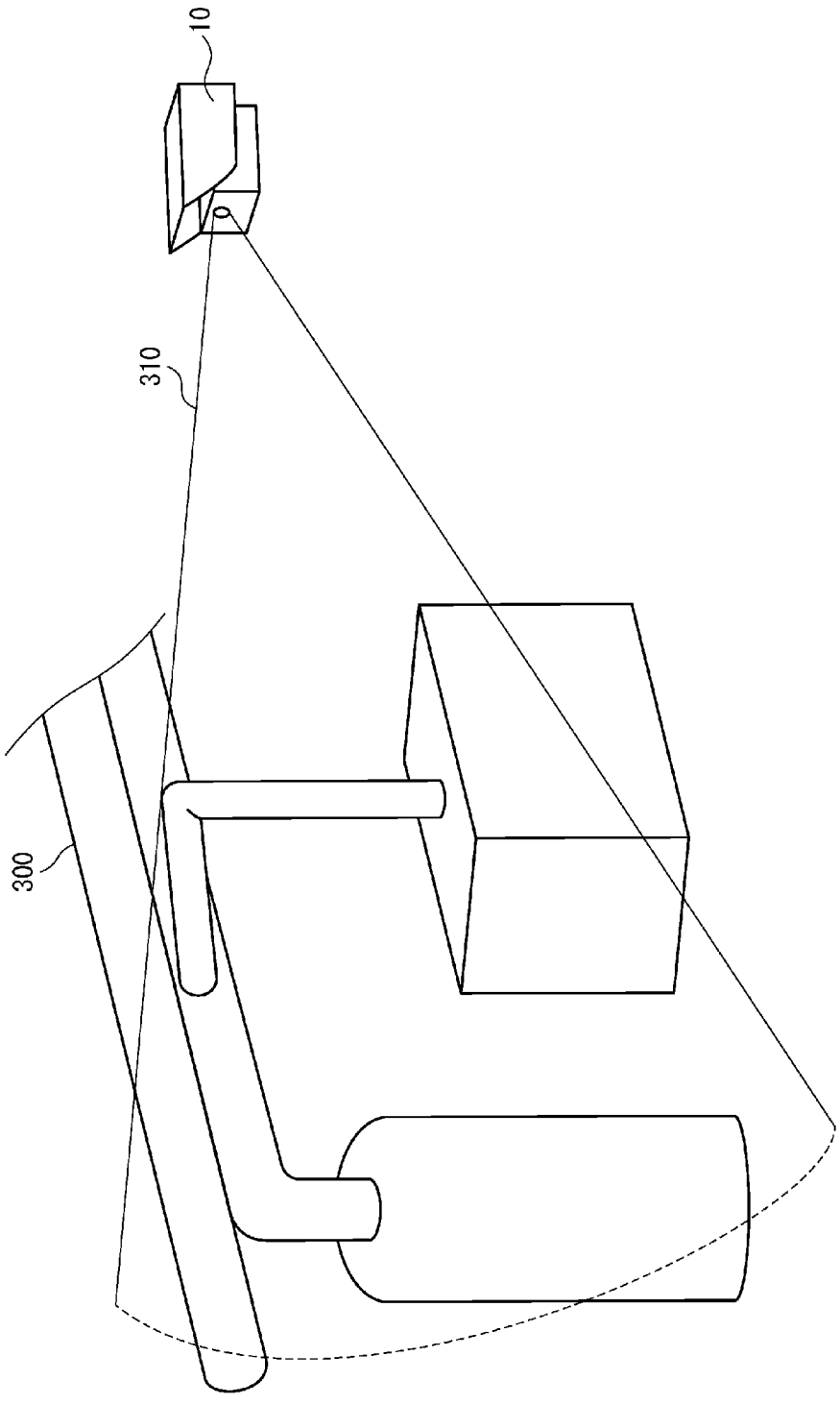
前記赤外画像中のガス濃度の計測の対象画素と、前記対象画素よりもガス濃度が低い参照画素とを特定し、

前記赤外画像の時系列データにおける、前記対象画素の赤外データを時系列に並べた対象画素時系列赤外データと、前記参照画素の赤外データを時系列に並べた参照画素時系列赤外データとに基づき、前記対象画素におけるガス無し背景温度時系列赤外データを推定し、

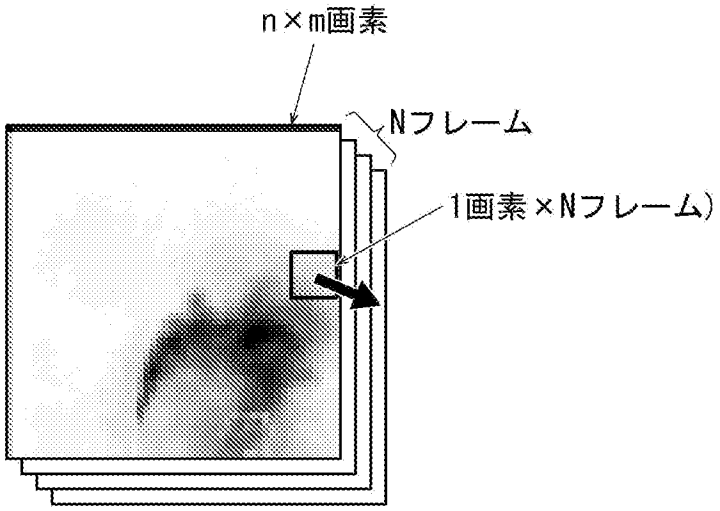
対象画素時系列赤外データと前記対象画素のガス無し背景温度時系列赤外データとに基づき、前記対象画素のガス濃度に関する特徴量の時系列データを算出する

プログラム。

[図1]

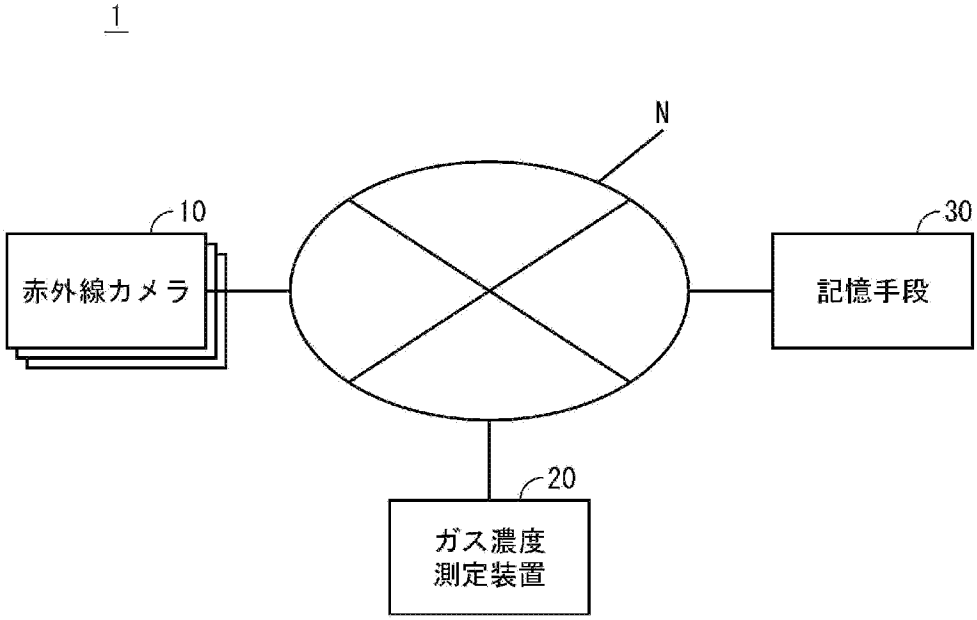


[図2]

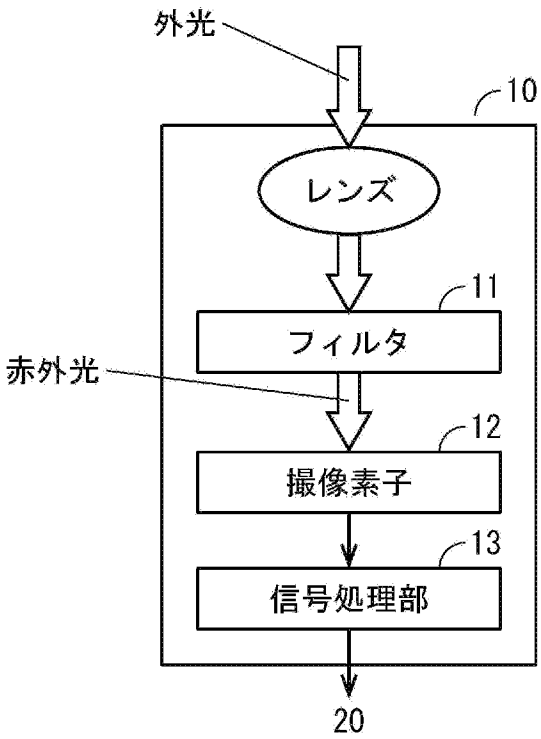



撮像画像

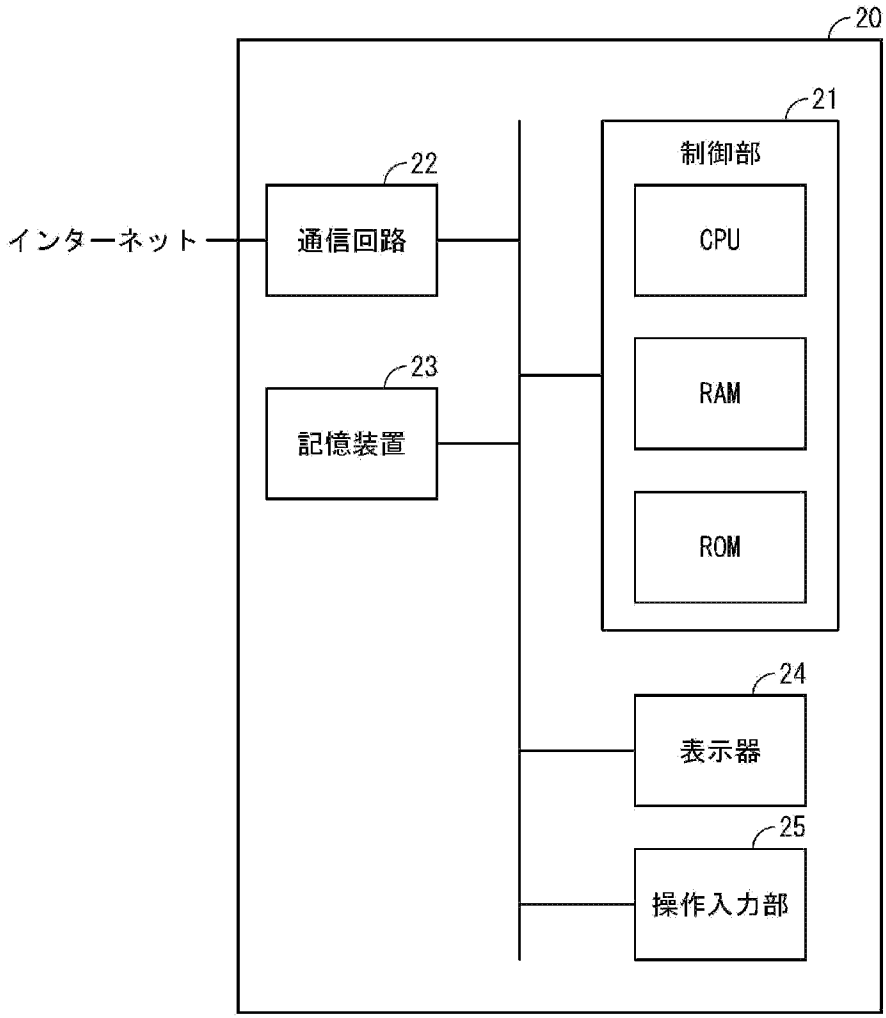
[図3]



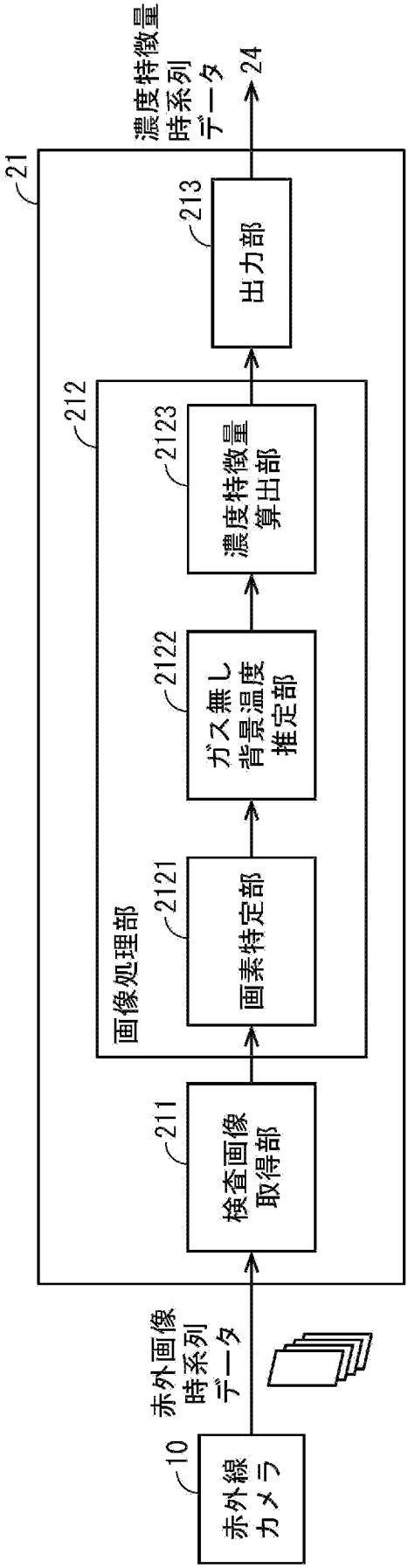
[図4]



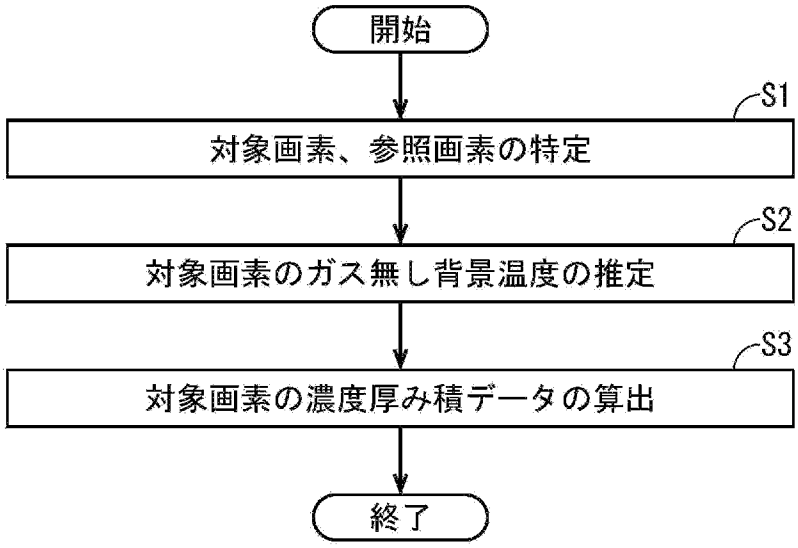
[図5]



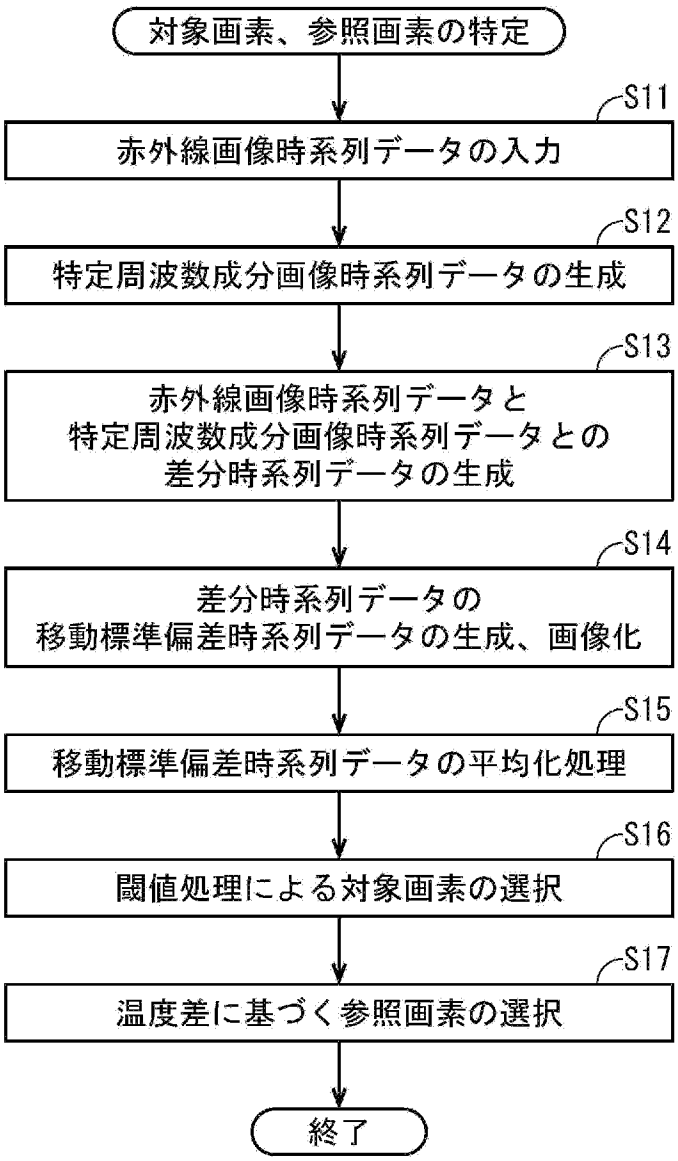
[図6]


10
赤外線カメラ
赤外画像時系列データ
21
211
検査画像取得部
212
画像処理部
2121
画素特定部
2122
ガス無し背景温度推定部
2123
濃度特徴量算出部
213
出力部
濃度特徴量時系列データ
24

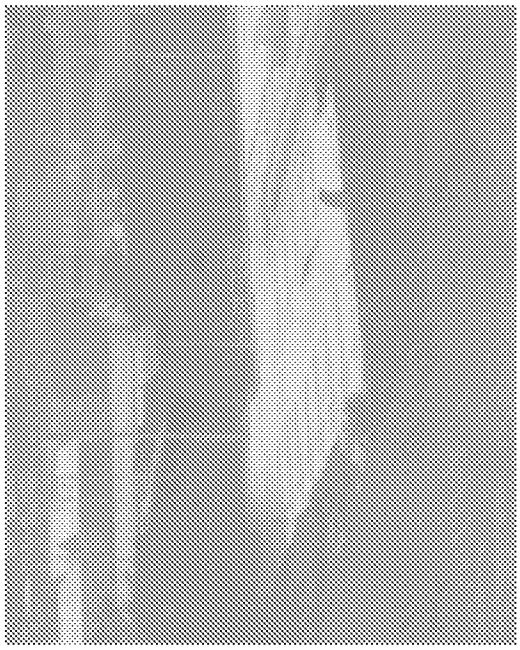
[図7]


開始
S1
対象画素、参照画素の特定
S2
対象画素のガス無し背景温度の推定
S3
対象画素の濃度厚み積データの算出
終了

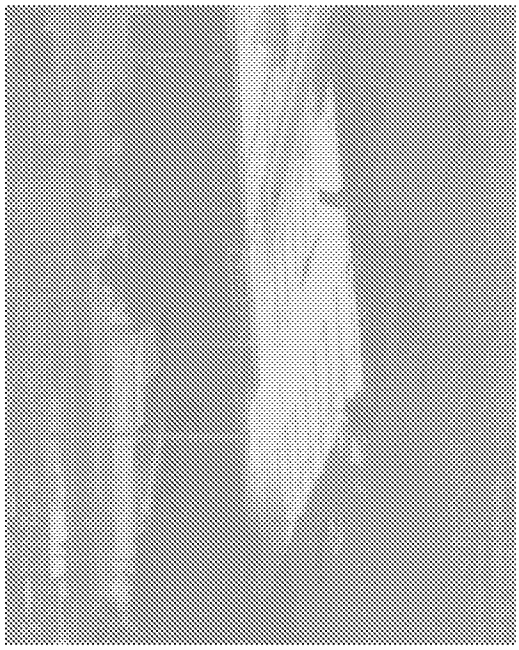
[図8]


対象画素、参照画素の特定
S11
赤外線画像時系列データの入力
S12
特定周波数成分画像時系列データの生成
S13
赤外線画像時系列データと
特定周波数成分画像時系列データとの
差分時系列データの生成
S14
差分時系列データの
移動標準偏差時系列データの生成、画像化
S15
移動標準偏差時系列データの平均化処理
S16
閾値処理による対象画素の選択
S17
温度差に基づく参照画素の選択
終了

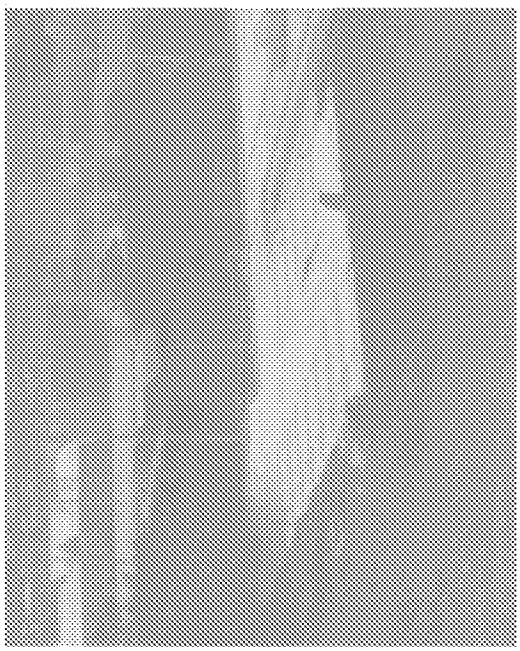
[図9]



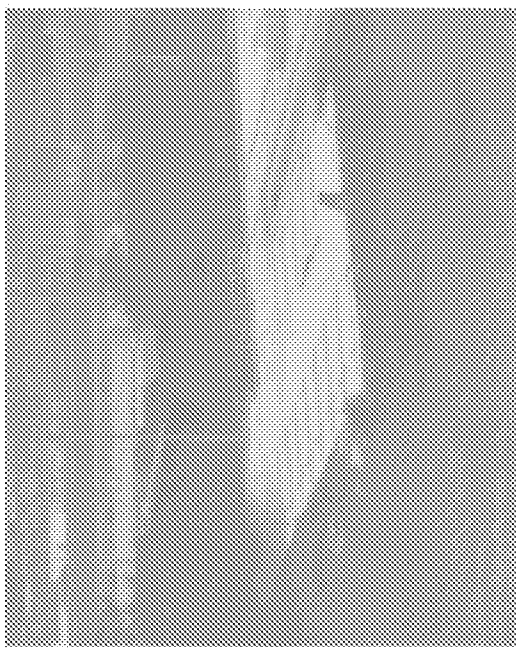
(b)



(d)

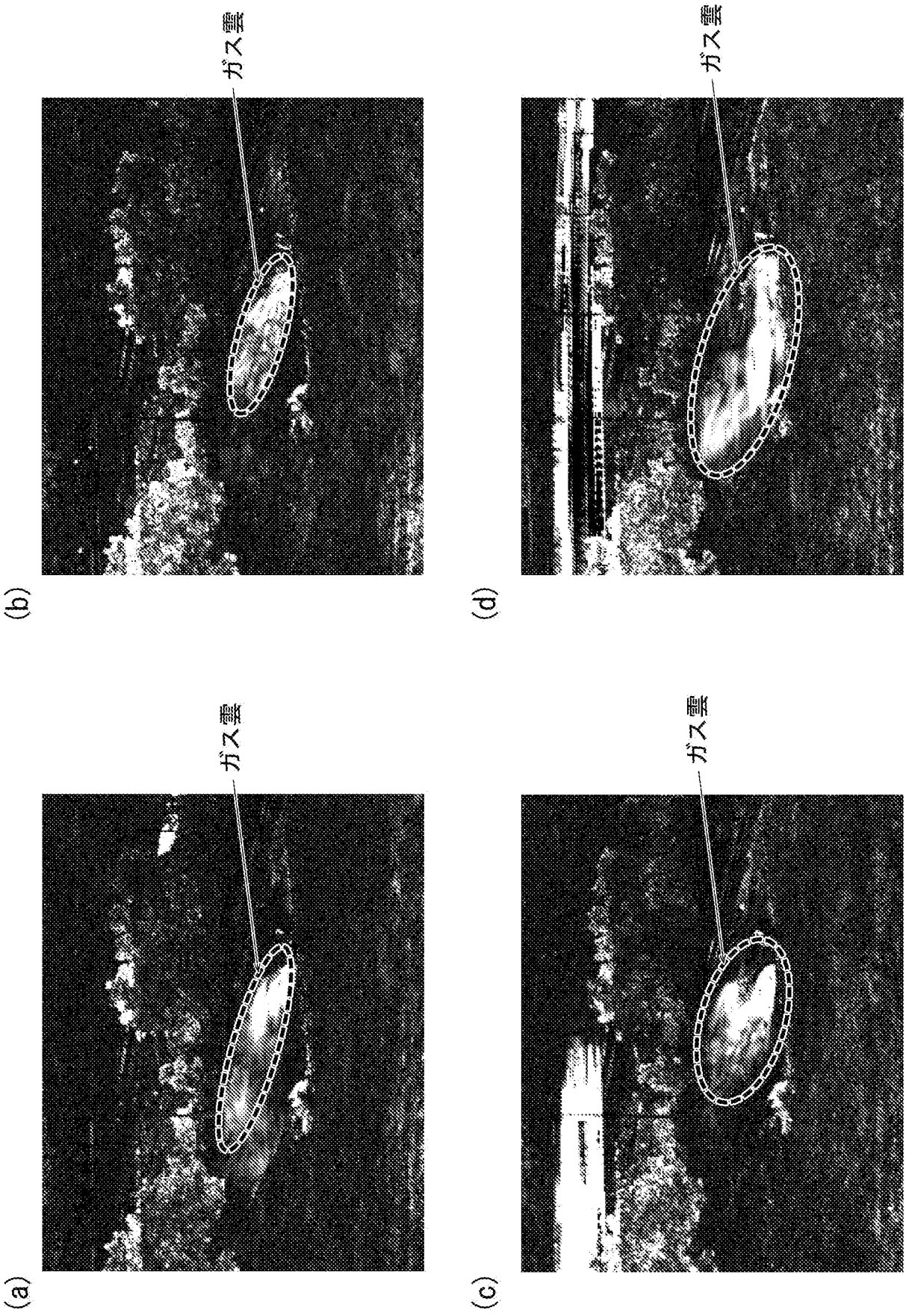


(a)

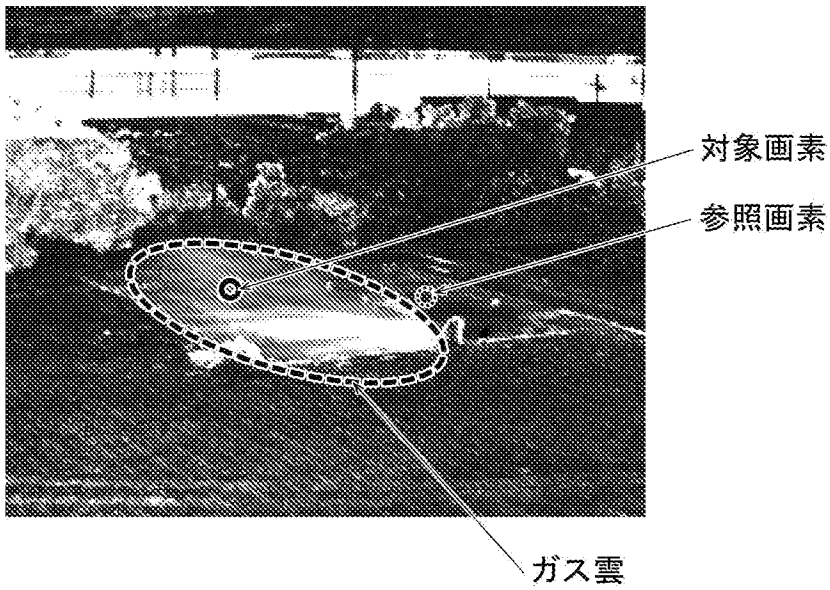


(c)

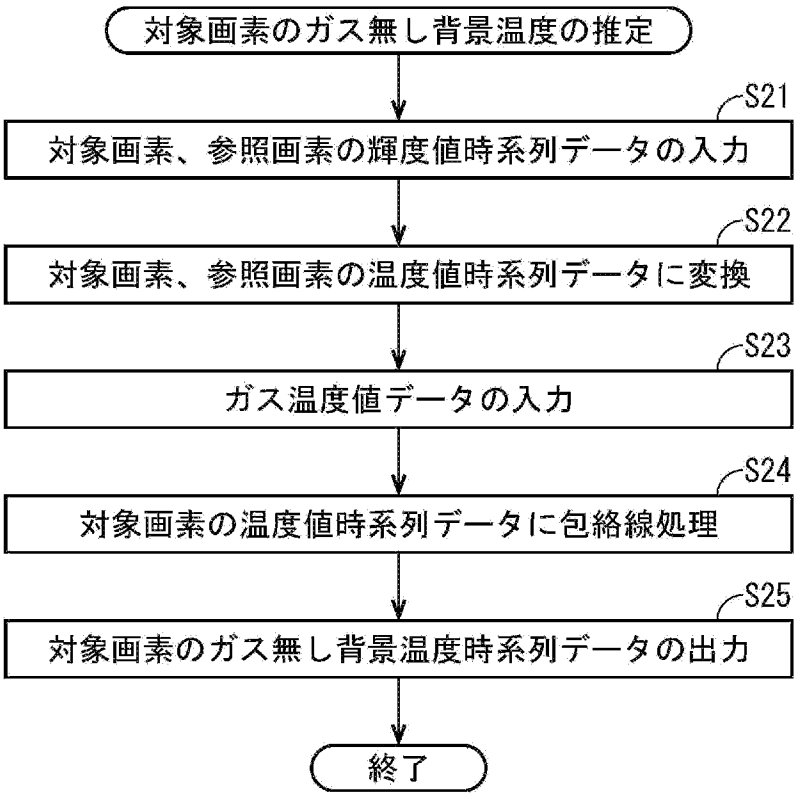
[図10]



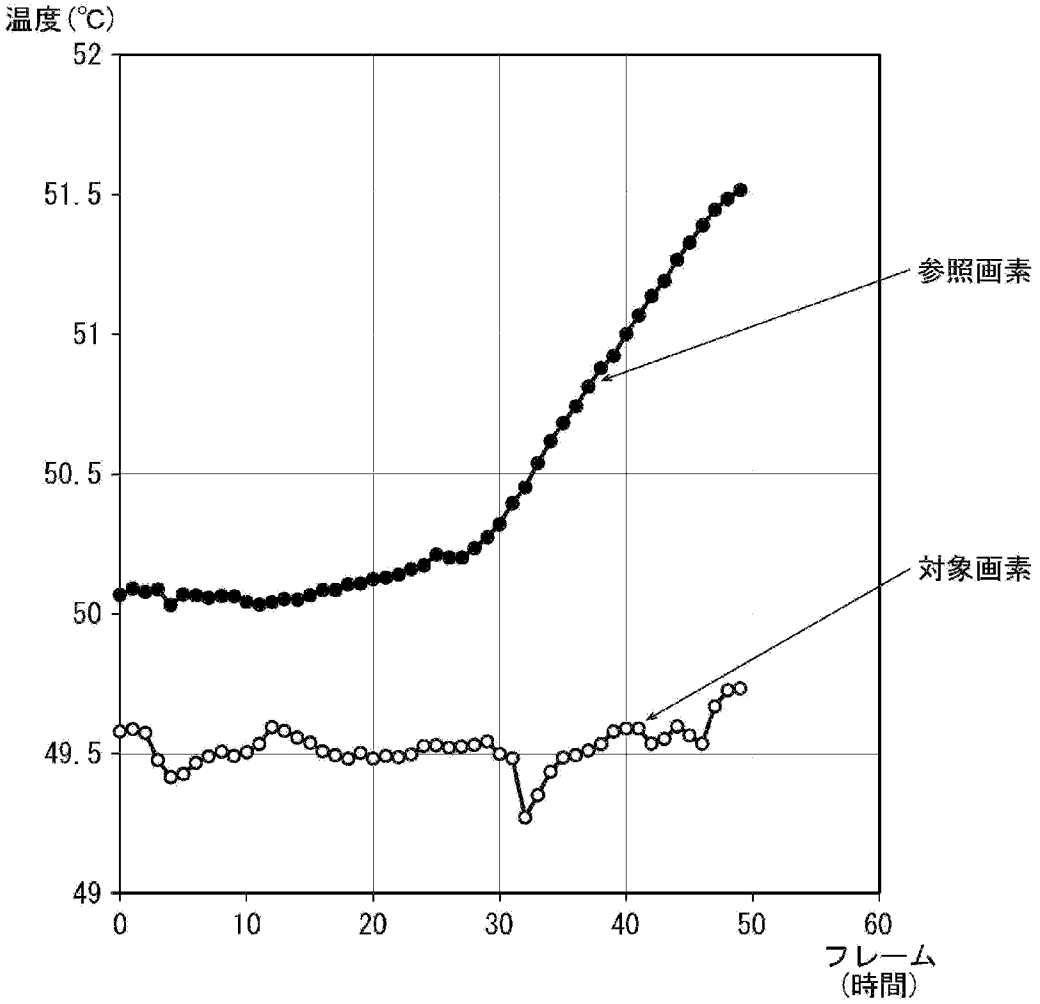
[図11]


対象画素
参照画素
ガス雲

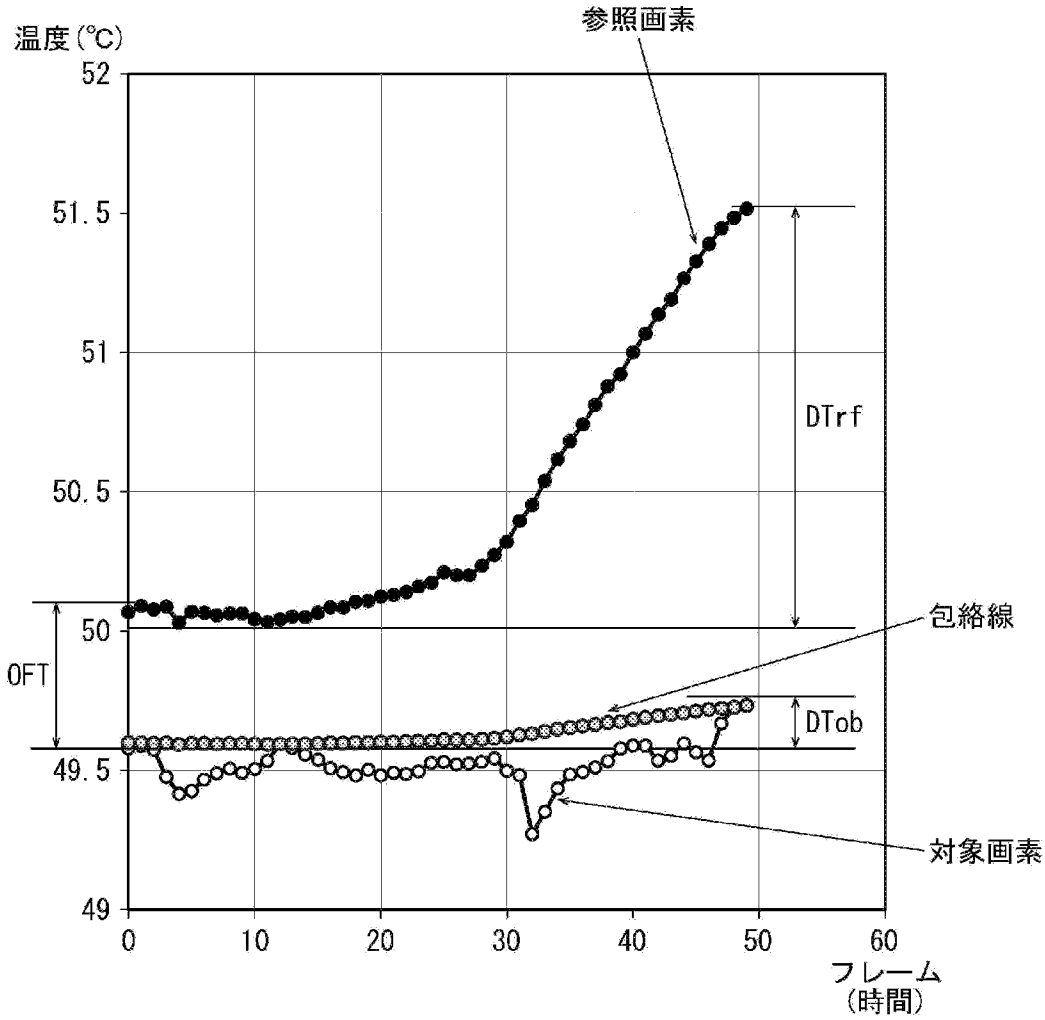
[図12]


対象画素のガス無し背景温度の推定
S21
対象画素、参照画素の輝度値時系列データの入力
S22
対象画素、参照画素の温度値時系列データに変換
S23
ガス温度値データの入力
S24
対象画素の温度値時系列データに包絡線処理
S25
対象画素のガス無し背景温度時系列データの出力
終了

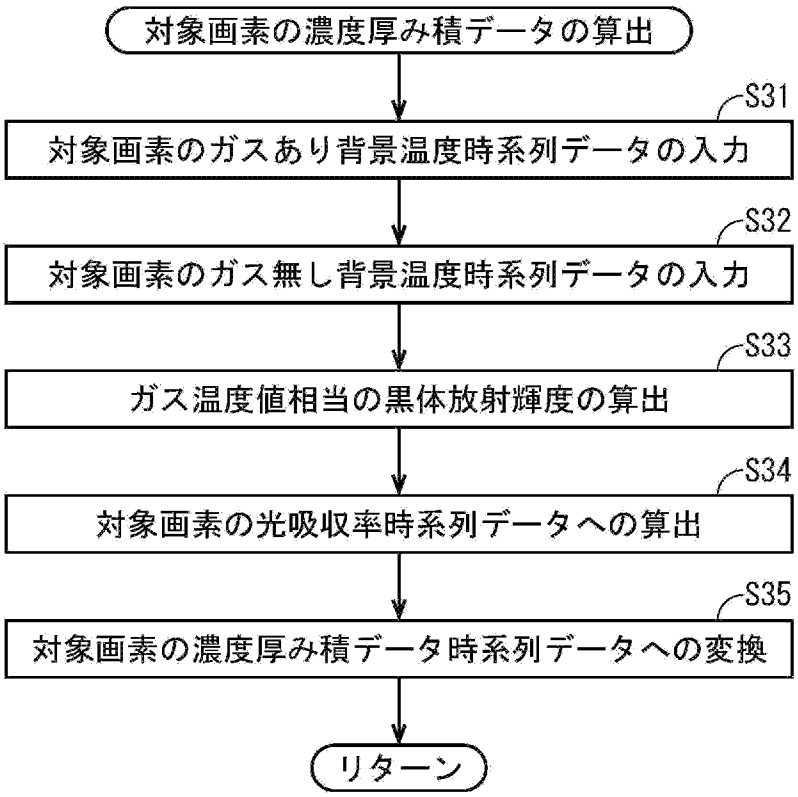
[図13]



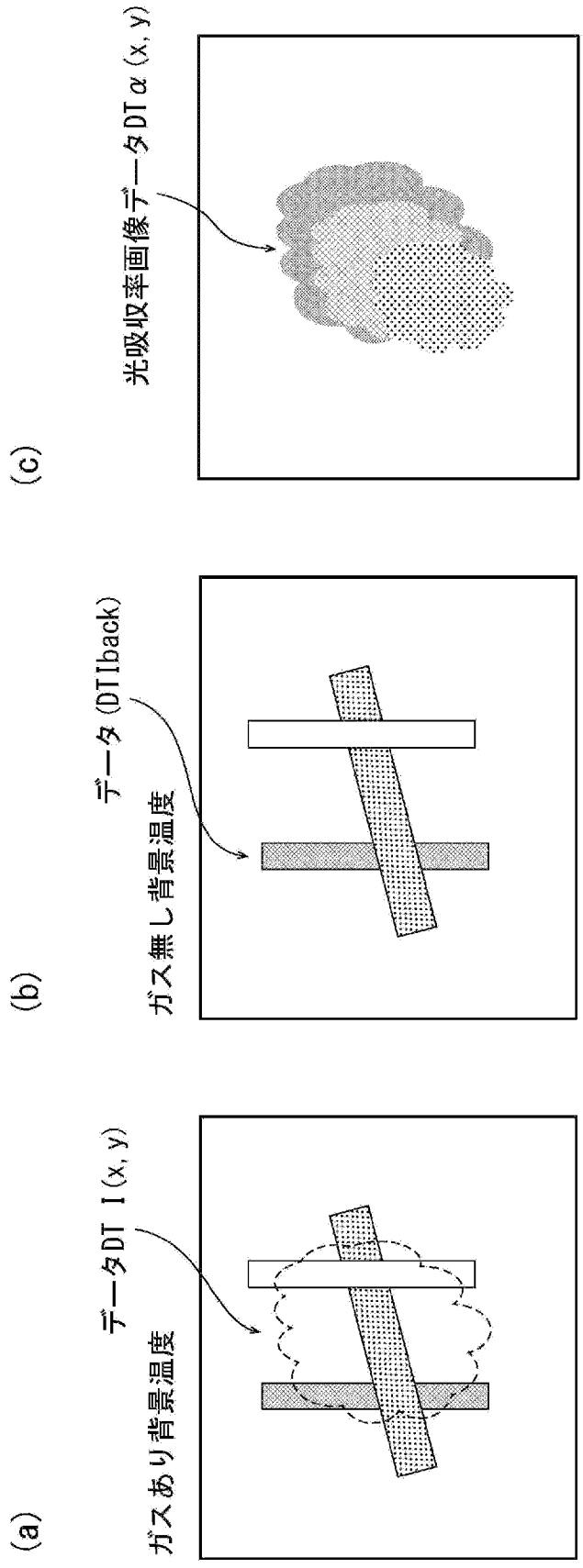
[図14]


温度(℃)
52
51.5
51
50.5
50
49.5
49
0
10
20
30
40
50
60
フレーム
(時間)
参照画素
包絡線
対象画素
DTrf
DTob
OFT

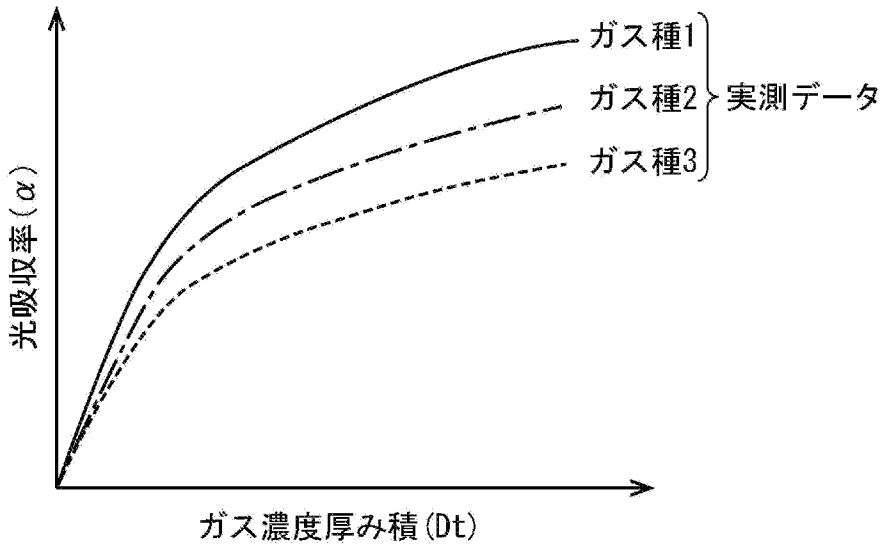
[図15]


対象画素の濃度厚み積データの算出
S31
対象画素のガスあり背景温度時系列データの入力
S32
対象画素のガス無し背景温度時系列データの入力
S33
ガス温度値相当の黒体放射輝度の算出
S34
対象画素の光吸収率時系列データへの算出
S35
対象画素の濃度厚み積データ時系列データへの変換
リターン

[図16]


(a)
データDT I (x, y)
ガスあり背景温度
(b)
データ (DTIback)
ガス無し背景温度
(c)
光吸収率画像データDT α (x, y)

[図17]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
**PCT/JP2022/031650**

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

***G01M 3/02***(2006.01)i; ***G01M 3/38***(2006.01)i; ***G01N 21/3504***(2014.01)i
FI: G01M3/02 M; G01M3/38 H; G01N21/3504

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)

G01M3/02; G01M3/38; G01N21/3504

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022
Registered utility model specifications of Japan 1996-2022
Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|---|---|---|
| X | JP 2019-66465 A (KONICAMINOLTA LABORATORY USA INC) 25 April 2019 (2019-04-25)<br>paragraphs [0035]-[0046], [0055] | 1, 4-5, 9-10, 13 |
| Y | | 2-3, 6, 8, 11-12 |
| A | | 7 |
| Y | WO 2017/073430 A1 (KONICA MINOLTA INC) 04 May 2017 (2017-05-04)<br>paragraph [0028] | 2-3, 6, 8, 11-12 |
| Y | WO 2017/104617 A1 (KONICA MINOLTA INC) 22 June 2017 (2017-06-22)<br>paragraphs [0079]-[0084], [0098], fig. 16 | 6, 8, 12 |
| A | JP 2017-181067 A (HITACHI ADVANCED SYSTEMS CORP) 05 October 2017 (2017-10-05) | 1-13 |
| A | US 2017/0363541 A1 (FLIR SYSTEMS AB) 21 December 2017 (2017-12-21) | 1-13 |

☐ 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 |
|---|---|
| **12 October 2022** | **25 October 2022** |
| Name and mailing address of the ISA/JP<br>**Japan Patent Office (ISA/JP)**<br>**3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915**<br>**Japan** | Authorized officer<br><br>Telephone No. |

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

International application No.
**PCT/JP2022/031650**

| Patent document cited in search report | Publication date (day/month/year) | Patent family member(s) | Publication date (day/month/year) |
|---|---|---|---|
| JP 2019-66465 A | 25 April 2019 | US 2019/0101490 A1<br>paragraphs [0038]-[0049], [0058]<br>US 2019/0162657 A1<br>US 10234380 B1<br>EP 3462413 A1 | |
| WO 2017/073430 A1 | 04 May 2017 | US 2018/0313748 A1<br>paragraph [0065]<br>US 2019/0049371 A1<br>EP 3351916 A1<br>EP 3957969 A1 | |
| WO 2017/104617 A1 | 22 June 2017 | US 2019/0003919 A1<br>paragraphs [0126]-[0131], [0145], fig. 16<br>EP 3392635 A1 | |
| JP 2017-181067 A | 05 October 2017 | (Family: none) | |
| US 2017/0363541 A1 | 21 December 2017 | US 2020/0011789 A1<br>WO 2016/138991 A1<br>CN 107407634 A | |

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2022/031650

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G01M 3/02(2006.01)i; G01M 3/38(2006.01)i; G01N 21/3504(2014.01)i
FI: G01M3/02 M; G01M3/38 H; G01N21/3504

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））

G01M3/02; G01M3/38; G01N21/3504

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 | １９７１－２０２２年 |
| 日本国実用新案登録公報 | １９９６－２０２２年 |
| 日本国登録実用新案公報 | １９９４－２０２２年 |

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

| 引用文献のカテゴリー* | 引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する請求項の番号 |
|---|---|---|
| X | JP 2019-66465 A (コニカ ミノルタ ラボラトリー ユー．エス．エー．，インコーポレイテッド) 25.04.2019 (2019-04-25)<br>[0035]-[0046][0055] | 1,4-5,9-10,13 |
| Y | | 2-3,6,8,11-12 |
| A | | 7 |
| Y | WO 2017/073430 A1 (コニカミノルタ株式会社) 04.05.2017 (2017-05-04)<br>[0028] | 2-3,6,8,11-12 |
| Y | WO 2017/104617 A1 (コニカミノルタ株式会社) 22.06.2017 (2017-06-22)<br>[0079]-[0084][0098],図16 | 6,8,12 |
| A | JP 2017-181067 A (株式会社日立アドバンストシステムズ) 05.10.2017 (2017-10-05) | 1-13 |
| A | US 2017/0363541 A1 (FLIR SYSTEMS AB) 21.12.2017 (2017-12-21) | 1-13 |

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
“&” 同一パテントファミリー文献

| 国際調査を完了した日 | 国際調査報告の発送日 |
|---|---|
| 12.10.2022 | 25.10.2022 |

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
岡村　典子 2J 5557

電話番号 03-3581-1101 内線 3252

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2022/031650

| 引用文献 | 公表日 | パテントファミリー文献 | 公表日 |
|---|---|---|---|
| JP 2019-66465 A | 25.04.2019 | US 2019/0101490 A1<br>[0038]-[0049][0058]<br>US 2019/0162657 A1<br>US 10234380 B1<br>EP 3462413 A1 | |
| WO 2017/073430 A1 | 04.05.2017 | US 2018/0313748 A1<br>[0065]<br>US 2019/0049371 A1<br>EP 3351916 A1<br>EP 3957969 A1 | |
| WO 2017/104617 A1 | 22.06.2017 | US 2019/0003919 A1<br>[0126]-[0131][0145],図16<br>EP 3392635 A1 | |
| JP 2017-181067 A | 05.10.2017 | （ファミリーなし） | |
| US 2017/0363541 A1 | 21.12.2017 | US 2020/0011789 A1<br>WO 2016/138991 A1<br>CN 107407634 A | |