

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2019-203879

(P2019-203879A)

(43) 公開日 令和1年11月28日(2019.11.28)

(51) Int.Cl.

GO 1 N 21/3504 (2014.01)

F I

GO 1 N 21/3504

テーマコード(参考)

2GO59

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L 外国語出願 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2019-46716(P2019-46716)
 (22) 出願日 平成31年3月14日(2019.3.14)
 (31) 優先権主張番号 15/942,097
 (32) 優先日 平成30年3月30日(2018.3.30)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 米国(US)

(71) 出願人 507031918
 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
 アメリカ合衆国, カリフォルニア州 9
 4403, スイート 100 サン マ
 テオ, 2855 キャンパス ドライブ
 (74) 代理人 110001254
 特許業務法人光陽国際特許事務所
 (72) 発明者 ワン, レイミン
 アメリカ合衆国, カリフォルニア州 9
 4403, スイート 100 サン マ
 テオ, 2855 キャンパス ドライブ
 , 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
 ド内

最終頁に続く

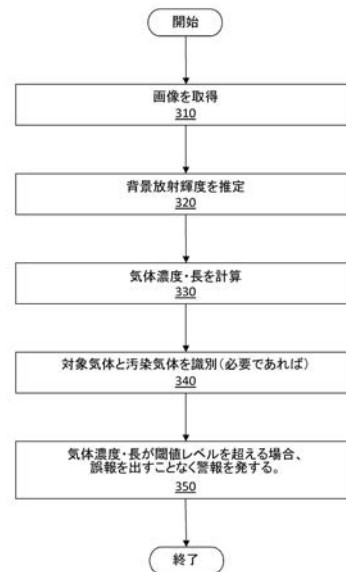
(54) 【発明の名称】 光学式気体撮像カメラ用の気体のマルチスペクトル定量・識別方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 気体漏出の可視化に優れ、検査時間が短く、安全性が高い赤外線画像取得法を提供する。

【解決手段】 複数のピクセルを含む検出放射輝度のマルチスペクトル画像を取得する工程、前記複数のピクセル背景放射輝度を推定する工程、前記検出放射輝度及び前記推された定背景放射輝度に基づいて前記ピクセルの気体濃度・長を計算する工程、及び気体閾値レベルを超えると警報を発する工程を含む。前記マルチスペクトル光学式気体撮像カメラのマルチスペクトル構成は、対象気体の吸収波長範囲の外側にある参照帯域と、前記対象気体の前記吸収波長範囲の少なくとも一部を含む活性帯域とを含む。前記背景放射輝度を推定する工程は、前記活性帯域の検出放射輝度を前記参照帯域の検出放射輝度に関連付けるモデルを決定する工程、及び前記モデルを校正モデルとして用いて、対象気体の存在下、又は不存在下で活性帯域の背景放射輝度を推定する工程を含む。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

気体濃度・長を定量する方法であって、

マルチスペクトル光学式気体撮像カメラを用いて複数のピクセルを含む検出放射輝度のマルチスペクトル画像を取得する工程、

前記複数のピクセルのうちの少なくとも1つの背景放射輝度を推定する工程、

前記検出放射輝度及び前記推定された背景放射輝度に基づいて前記複数のピクセルのうちの前記少なくとも1つの気体濃度・長を計算する工程、及び

気体閾値レベルを超える少なくとも1つのピクセルの気体濃度・長を含む、複数の警報条件の一覧中の各警報条件が満たされる場合に警報を発する工程を含み、

前記マルチスペクトル光学式気体撮像カメラのマルチスペクトル構成は、対象気体の吸収波長範囲の外側にある参照帯域と、前記対象気体の前記吸収波長範囲の少なくとも一部を含む活性帯域とを含み、

前記背景放射輝度を推定する工程は、

前記活性帯域の検出放射輝度を前記参照帯域の検出放射輝度に関連付けるモデルを決定する工程、及び

前記モデルを較正モデルとして用いて、対象気体の存在下、又は不存在下で活性帯域の背景放射輝度を推定する工程を含む、方法。

【請求項 2】

前記画像は、赤外線画像であり、赤外線放射を感知できる前記マルチスペクトル光学式気体撮像カメラにより取得される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記モデルは、回帰及びニューラルネットワークを含む機械学習を用いて決定される解析モデルである、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記マルチスペクトル構成は、複数の活性帯域を含み、

前記複数の活性帯域及び前記参照帯域は、活性帯域の数より1つ多い複数の長波長透過フィルターを用いて決定され、

前記複数の活性帯域のそれぞれは、前記参照帯域を含み、

前記複数の活性帯域は、第1の活性帯域を含み、前記第1の活性帯域は、前記複数の長波長透過フィルターのうちの第1の長波長透過フィルターと参照長波長透過フィルターの第1の差である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

対象気体と汚染気体とを識別する工程、及び

種識別閾値を超える各ピクセルを誤報ピクセルとして記録する工程をさらに含み、

第2の活性帯域は、前記複数の長波長透過フィルターのうちの第2の長波長透過フィルターと前記参照長波長透過フィルターとの第2の差を含み、

対象気体と汚染気体とを識別する工程は、識別特徴パラメータを前記種識別閾値と比較する工程を含み、前記識別特徴パラメータは、比

$L_{1st_active_band} / L_{2nd_active_band}$ であり、 $L_{1st_active_band}$ は前記第1の活性帯域についての L であり、 $L_{2nd_active_band}$ は前記第2の活性帯域についての L であり、 L は、前記複数の活

性帯域のうち1つの活性帯域で推定された背景放射輝度 L_{off} と、気体の存在下で前記1つの活性帯域において検出された放射輝度 L_{on} との差であり、

警報条件の前記一覧は、気体閾値よりも大きな気体濃度・長を有する、誤報ピクセルではない各ピクセルをさらに含む、請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記機械学習は、シミュレーションデータ及び実験測定データのうちの少なくとも1つに対して実行され、

前記シミュレーションデータは、既知の大気温度、背景温度、背景反射性、及びプランクの法則からなる一覧から選択される少なくとも一要素に基づいて行われるシミュレーシ

10

20

30

40

50

ョンに基づき、

前記実験測定データは、背景材料の反射率、背景材料の放射率、背景材料温度、大気温度、前記背景材料と前記大気との温度差、及び日光条件からなる一覧から選択される少なくとも一要素を測定することを含む実験測定に基づく、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 7】

前記対象気体は炭化水素ガスである、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記炭化水素ガスはメタンである、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記汚染気体は水蒸気である、請求項 5 に記載の方法。

10

【請求項 10】

前記スペクトル範囲は $3 \times 10^{-6} \text{ m} \sim 5 \times 10^{-6} \text{ m}$ である、請求項 1 に記載の方法

。

【請求項 11】

前記スペクトル範囲は $7 \times 10^{-6} \text{ m} \sim 14 \times 10^{-6} \text{ m}$ である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 12】

マルチスペクトル光学式気体撮像カメラ、及び

前記マルチスペクトル光学式気体撮像カメラに接続されたプロセッサを含み、

前記プロセッサは、

20

複数のピクセルを含む画像を読み取ること、

前記複数のピクセルのうちの少なくとも 1 つの背景放射輝度を推定すること、

前記画像及び前記背景放射輝度に基づいて前記複数のピクセルのうちの前記少なくとも 1 つの気体濃度・長を計算すること、及び

少なくとも 1 つのピクセルの気体濃度・長が気体閾値レベルを超える場合、警報を発することを、

前記マルチスペクトル光学式気体撮像カメラのマルチスペクトル構成は、対象気体の吸収波長範囲の外側にある参照帯域と、前記対象気体の前記吸収波長範囲の少なくとも一部を含む活性帯域とを含み、

前記背景放射輝度を推定することは、

30

前記活性帯域の検出放射輝度を前記参照帯域の検出放射輝度に関連付けるモデルを決定すること、及び

前記モデルを較正モデルとして用いて、対象気体の存在下、又は不存在下で活性帯域の背景放射輝度を推定することを含む、気体濃度・長定量システム。

【請求項 13】

前記画像は、赤外線画像であり、赤外線放射を感知できる前記マルチスペクトル光学式気体撮像カメラにより取得される、請求項 12 に記載のシステム。

【請求項 14】

前記モデルは、回帰及びニューラルネットワークを含む機械学習を用いて決定される解析モデルである、請求項 12 に記載のシステム。

40

【請求項 15】

前記マルチスペクトル構成は、複数の活性帯域を含み、

前記複数の活性帯域及び前記参照帯域は、活性帯域の数より 1 つ多い複数の長波長透過フィルターを用いて決定され、

前記複数の活性帯域のそれぞれは、前記参照帯域を含み、

前記複数の活性帯域は、第 1 の活性帯域を含み、前記第 1 の活性帯域は、前記複数の長波長透過フィルターのうちの第 1 の長波長透過フィルターと参照長波長透過フィルターの第 1 の差である、請求項 12 に記載のシステム。

【請求項 16】

前記プロセッサはさらに、

50

対象気体と汚染気体とを識別すること、及び

種識別閾値を超える各ピクセルを誤報ピクセルとして記録することを行い、

第2の活性帯域は、前記複数の長波長透過フィルターのうちの第2の長波長透過フィルターと前記参照長波長透過フィルターとの第2の差を含み、

対象気体と汚染気体とを識別することは、識別特徴パラメータを前記種識別閾値と比較することを含み、前記識別特徴パラメータは、比 $L_{1st_active_band} / L_{2nd_active_band}$ であり、

$L_{1st_active_band}$ は前記第1の活性帯域についての L であり、
 $L_{2nd_active_band}$ は前記第2の活性帯域についての L であり、
 L は、前記複数の活性帯域のうち1つの活性帯域で推定された背景放射輝度 L_{off} と、気体の存在下で前記

1つの活性帯域において検出された放射輝度 L_{on} との差であり、

警報条件の一覧は、気体閾値よりも大きな気体濃度・長を有する、誤報ピクセルではない各ピクセルをさらに含む、請求項15に記載のシステム。

【請求項17】

前記機械学習は、シミュレーションデータ及び実験測定データのうちの少なくとも1つに対して実行され、

前記シミュレーションデータは、既知の大気温度、背景温度、背景反射性、及びプランクの法則からなる一覧から選択される少なくとも一要素に基づいて行われるシミュレーションに基づき、

前記実験測定データは、背景材料の反射率、背景材料の放射率、背景材料温度、大気温度、前記背景材料と前記大気との温度差、及び日光条件からなる一覧から選択される少なくとも一要素を測定することを含む実験測定に基づく、請求項14に記載のシステム。

【請求項18】

具現化されるコンピューター可読プログラムコードを内部に記憶する非一時的コンピューター可読媒体であって、前記コンピューター可読プログラムコードは、

複数のピクセルを含む画像を読み取り、

前記複数のピクセルのうち少なくとも1つの背景放射輝度を推定し、

前記画像及び前記背景放射輝度に基づいて前記複数のピクセルのうちの前記少なくとも1つの気体濃度・長を計算し、かつ

少なくとも1つのピクセルの気体濃度・長が気体閾値レベルを超える場合、警報を発し

、

前記マルチスペクトル光学式気体撮像カメラのマルチスペクトル構成は、対象気体の吸収波長範囲の外側にある参照帯域と、前記対象気体の前記吸収波長範囲の少なくとも一部を含む活性帯域とを含み、

前記背景放射輝度を推定することは、

前記活性帯域の検出放射輝度を前記参照帯域の検出放射輝度に関連付けるモデルを決定すること、及び

前記モデルを校正モデルとして用いて、対象気体の存在下、又は不存在下で活性帯域の背景放射輝度を推定することを含む、媒体。

【請求項19】

前記画像は、赤外線画像であり、赤外線放射を感知できる光学式気体撮像カメラにより取得される、請求項18に記載の非一時的コンピューター可読媒体。

【請求項20】

前記モデルは、回帰及びニューラルネットワークを含む機械学習を用いて決定される解析モデルである、請求項18に記載の非一時的コンピューター可読媒体。

【請求項21】

前記マルチスペクトル構成は、複数の活性帯域を含み、

前記複数の活性帯域及び前記参照帯域は、活性帯域の数より1つ多い複数の長波長透過フィルターを用いて決定され、

前記複数の活性帯域のそれぞれは、前記参照帯域を含み、

前記複数の活性帯域は、第1の活性帯域を含み、前記第1の活性帯域は、前記複数の長

10

20

30

40

50

波長透過フィルターのうちの第1の長波長透過フィルターと参照長波長透過フィルターの第1の差である、請求項18に記載の非一時的コンピューター可読媒体。

【請求項22】

前記プログラムコードはさらに、

対象気体と汚染気体とを識別し、かつ

種識別閾値を超える各ピクセルを誤報ピクセルとして記録し、

第2の活性帯域は、前記複数の長波長透過フィルターのうちの第2の長波長透過フィルターと前記参照長波長透過フィルターとの第2の差を含み、

対象気体と汚染気体とを識別することは、識別特徴パラメーターを前記種識別閾値と比較

することを含み、前記識別特徴パラメーターは、比 $L_{1st_active_band} / L_{2nd_active_band}$ であり、 $L_{1st_active_band}$ は前記第1の活性帯域についての L であり、

$L_{2nd_active_band}$ は前記第2の活性帯域についての L であり、 L は、前記複数の活

性帯域のうちの1つの活性帯域で推定された背景放射輝度 L_{off} と、気体の存在下で前記1つの活性帯域において検出された放射輝度 L_{on} との差であり、

警報条件の一覧は、気体閾値よりも大きな気体濃度・長を有する、誤報ピクセルではない各ピクセルをさらに含む、請求項21に記載の非一時的コンピューター可読媒体。

【請求項23】

前記機械学習は、シミュレーションデータ及び実験測定データのうちの少なくとも1つに対して実行され、

前記シミュレーションデータは、既知の大気温度、背景温度、背景反射性、及びプランクの法則からなる一覧から選択される少なくとも一要素に基づいて行われるシミュレーションに基づき、

前記実験測定データは、背景材料の反射率、背景材料の放射率、背景材料温度、大気温度、前記背景材料と前記大気との温度差、及び日光条件からなる一覧から選択される少なくとも一要素を測定することを含む実験測定に基づく、請求項20に記載の非一時的コンピューター可読媒体。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

近年、赤外線 (IR) 光学式気体撮像 (optical gas imaging : OGI) カメラは、従来の気体検出法 (触媒を用いた検出器など) に比べて気体漏出の可視化に優れ、検査時間が短く、安全性が高いことから、気体漏出の検出及び監視に広く用いられる。

【0002】

IR OGI カメラには、実用的な定性用途に加えて定量用途も提案されている。例えば、適切な較正により、撮像されたプルーム (煙流) の気体濃度・長 (濃度を経路長に沿って積分したもので、単位は例えば百万分率・メートル、すなわち ppm・m である) を定量できる。気体濃度・長を気体濃度経路長 (concentration path length : CPL) ともいう。

【0003】

IR OGI は、米国環境保護庁 (Environmental Protection Agency : EPA) が認識している米国の石油・ガス産業の2種類の気体漏出検出・修復 (LDAR) 調査方法の1つであり、もう1つはEPA 21による方法である。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0004】

この概要は、以下の詳細な説明にさらに記載するいくつかの概念を紹介するために提供される。この概要は、特許請求される主題の主要又は本質的特徴を特定することも、特許請求される主題の範囲を限定する一助として用いられることも意図していない。

【0005】

本発明の1つ以上の側面では、気体濃度・長を定量する方法は、マルチスペクトル光学

10

20

30

40

50

式気体撮像カメラを用いて複数のピクセルを含む検出放射輝度のマルチスペクトル画像を取得する工程、複数のピクセルのうちの少なくとも1つの背景放射輝度を推定する工程、検出放射輝度及び推定された背景放射輝度に基づいて複数のピクセルのうちの少なくとも1つの気体濃度・長を計算する工程、及び複数の警報条件の一覧中の各警報条件が満たされる場合に警報を発する工程を含んでもよい。複数の警報条件の一覧は、気体閾値レベルを超える少なくとも1つのピクセルの気体濃度・長を含んでもよい。マルチスペクトル光学式気体撮像カメラのマルチスペクトル構成は、対象気体の吸収波長範囲の外側にある参照帯域と、対象気体の吸収波長範囲の少なくとも一部を含む活性帯域とを含んでもよい。背景放射輝度を推定する工程は、活性帯域の検出放射輝度を参照帯域の検出放射輝度に関連付けるモデルを決定する工程、及びモデルを較正モデルとして用いて、対象気体の存在下、又は不存在下で活性帯域の背景放射輝度を推定する工程を含んでもよい。

10

【0006】

本発明の1つ以上の側面では、気体濃度・長定量システムはマルチスペクトル光学式気体撮像カメラ、及びマルチスペクトル光学式気体撮像カメラに接続されたプロセッサを含んでもよい。プロセッサは、複数のピクセルを含む画像を読み取ること、複数のピクセルのうちの少なくとも1つの背景放射輝度を推定すること、画像及び背景放射輝度に基づいて複数のピクセルのうちの少なくとも1つの気体濃度・長を計算すること、及び少なくとも1つのピクセルの気体濃度・長が気体閾値レベルを超える場合、警報を発することを行ってもよい。マルチスペクトル光学式気体撮像カメラのマルチスペクトル構成は、対象気体の吸収波長範囲の外側にある参照帯域と、対象気体の吸収波長範囲の少なくとも一部を含む活性帯域とを含んでもよい。背景放射輝度を推定することは、活性帯域の検出放射輝度を参照帯域の検出放射輝度に関連付けるモデルを決定すること、及びモデルを較正モデルとして用いて、対象気体の存在下、又は不存在下で活性帯域の背景放射輝度を推定することを含んでもよい。

20

【0007】

本発明の1つ以上の側面では、非一時的コンピューター可読媒体は具現化されるコンピューター可読プログラムコードを内部に記憶し、コンピューター可読プログラムコードは複数のピクセルを含む画像を読み取り、複数のピクセルのうちの少なくとも1つの背景放射輝度を推定し、画像及び背景放射輝度に基づいて複数のピクセルのうちの少なくとも1つの気体濃度・長を計算し、かつ少なくとも1つのピクセルの気体濃度・長が気体閾値レベルを超える場合、警報を発してもよい。マルチスペクトル光学式気体撮像カメラのマルチスペクトル構成は、対象気体の吸収波長範囲の外側にある参照帯域と、対象気体の吸収波長範囲の少なくとも一部を含むことができる活性帯域とを含んでもよい。背景放射輝度を推定することは、活性帯域の検出放射輝度を参照帯域の検出放射輝度に関連付けるモデルを決定すること、及びモデルを較正モデルとして用いて、対象気体の存在下、又は不存在下で活性帯域の背景放射輝度を推定することを含んでもよい。

30

【0008】

その他の側面及び利点については、以下の説明及び添付の特許請求の範囲から明らかである。

【図面の簡単な説明】

40

【0009】

添付の図面を参照し、本発明の側面について説明する。ただし、添付の図面は本発明の1つ以上の実施形態の特定の側面又は実装例のみを例として図示し、特許請求の範囲を限定するものではない。

【0010】

【図1A】本発明の1つ以上の実施形態による気体濃度・長定量システムを示す。

【図1B】本発明の1つ以上の実施形態による気体濃度・長定量システムを示す。

【図1C】本発明の1つ以上の実施形態による気体濃度・長定量システムを示す。

【図2】本発明の1つ以上の実施形態による気体検出及び定量の放射伝達モデル機構を示す概略図である。

50

【図3】本発明の1つ以上の実施形態による気体濃度・長定量方法のフローチャートである。

【図4】本発明の1つ以上の実施形態によるメタン(CH_4)と水蒸気(H_2O)の透過率スペクトルのシミュレーション、及び中赤外線(MWIR)マルチスペクトルOGIシステムに関する例示的な三帯域構成を示す。

【図5A】本発明の1つ以上の実施形態による活性帯域と参照帯域の間の放射輝度比のシミュレーションを示す。

【図5B】本発明の1つ以上の実施形態による活性帯域と参照帯域の間の放射輝度比のシミュレーションを示す。

【図6】参照帯域の放射輝度に基づく2つの活性帯域について解析モデルで推定した放射輝度を示す。本発明の1つの実施形態では、放射輝度の推定値をプランクの法則に基づく数値結果と比較する。

【図7】本発明の1つ以上の実施形態によるメタンと水蒸気の識別特徴信号のシミュレーションを示す。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、添付の図面を参照し、本発明の具体的な実施形態について詳述する。各図で同様の構成要素は、一貫性のため同様の参照番号で示されている。

【0012】

本発明による実施形態の以下の詳細な記載では、本発明の理解を深めるために多くの具体的な詳細を記載する。しかし、当業者にはこれらの詳細を用いずに本発明を実施できることが明らかである。他の例では、記載を不必要に複雑にしないようにするため周知の特徴を記載しない。

【0013】

本願全体で、序数(例えば、第1、第2、第3など)はある構成要素(すなわち本願中の任意の名詞)に対する形容詞として用いられてもよい。序数の使用は構成要素の特定の順序を示唆又は付与するものでもなく、「先(before)」、「後(after)」、「1つの(single)」、及び他のそのような用語の使用などにより明示的に開示されない限り、いかなる構成要素についても1個のみの構成要素だと限定するものでもない。むしろ、序数の使用は構成要素を区別するものである。一例として、第1の構成要素は第2の構成要素とは異なり、第1の構成要素は2個以上の構成要素を包含してもよく、構成要素の順序において第2の要素よりも後(又は先)であってもよい。

【0014】

全体として、本発明の実施形態は、カメラで撮影した画像を用いて、画像のスペクトルの少なくとも1つの活性帯域と1つの参照帯域を用いて推定した背景放射輝度を、測定放射輝度から差し引くことで、気体濃度・長を定量する方法、システム、及び非一時的コンピュータ可読媒体を提供する。スペクトル範囲は、任意の適した範囲の波長を含んでもよい。1つ以上の実施形態では、 $3 \times 10^{-6} \text{ m} \sim 5 \times 10^{-6} \text{ m}$ の範囲の中赤外線(MWIR)を用いてもよい。1つ以上の実施形態では、 $7 \times 10^{-6} \text{ m} \sim 14 \times 10^{-6} \text{ m}$ の範囲の遠赤外線(LWIR)を用いてもよい。中赤外線と遠赤外線は、炭化水素ガス検出の用途に有用である。1つ以上の実施形態では、カメラは赤外線照射を感知できる光学式気体撮像カメラである。

【0015】

本発明の1つ以上の実施形態は、対象気体と汚染気体を区別することで誤報を減らす方法を提供する。

【0016】

図1Aは、本発明の1つ以上の実施形態による気体濃度・長定量システムを示す。光学式気体撮像(OGI)カメラ30は、1つ以上のコンピュータプロセッサ102に接続されていてもよい。1つ以上の実施形態では、OGIカメラ30は、マルチスペクトルOGIカメラである。OGIカメラ30とコンピュータプロセッサ102は、有線接

10

20

30

40

50

続されていてもよいし、無線接続されていてもよい。1つ以上のプロセッサは、コンピュータシステム100に含まれていてもよい。

【0017】

本発明の実施形態は、使用されるプラットフォームに拘わらず、事実上あらゆる種類のコンピュータシステム100を用いて実装されてもよい。例えば、ユーザー演算装置は、本発明の1つ以上の実施形態を実行するための、1つ以上の携帯装置（例えばラップトップコンピューター、スマートフォン、パーソナル・デジタル・アシスタント、タブレットコンピューター、又は他の携帯装置）、デスクトップコンピューター、サーバー、サーバーシャーシ内のブレード、あるいは少なくとも最低限の処理能力とメモリーと入出力装置とを含む任意の他の種類の演算装置であってもよい。例えば、図1Aに示すように、コンピュータシステム100は、1つ以上のプロセッサ102と、関連メモリー104（例えばランダム・アクセス・メモリー（RAM）、キャッシュメモリー、フラッシュメモリーなど）と、1つ以上の記憶装置106（例えばハードディスク、光学式ドライブ（コンパクトディスク（CD）ドライブ又はデジタル多用途ディスク（DVD）ドライブなど）、フラッシュメモリースティックなど）、及び他の多数の構成要素及び機能を含んでいてもよい。プロセッサ102は、命令を処理するための集積回路であってもよい。例えば、プロセッサ102は、プロセッサの1つ以上のコア又はマイクロコアであってもよい。

10

【0018】

コンピュータシステム100はまた、タッチ画面、キーボード、マウス、マイクロフォン、タッチパッド、電子ペン、又は任意の他の種類の入力装置などの1つ以上の入力装置110を含んでいてもよい。また、コンピュータシステム100は、画面（例えば液晶ディスプレイ（LCD）、プラズマディスプレイ、タッチ画面、陰極線（CRT）モニター、プロジェクター、又は他の表示装置）、プリンター、外付け記憶装置、又は任意の他の出力装置などの1つ以上の出力装置108を含んでいてもよい。出力装置108のうち1つ以上は、入力装置と同一であっても異なってもよい。出力装置108は、気体濃度・長が気体閾値レベルを超えた場合に警報として用いることのできるライト（例えば点滅する赤色光）、警音器、ブザーなどを含んでいてもよい。出力装置は、ファクシミリ（ファックス）、電子メール、ショート・メッセージ・サービス（SMS）テキストなどを作成かつ/又は受信してもよい。1つ以上の実施形態では、予め設定した種識別閾値を超え、気体濃度・長測定値を歪めるほどのレベルの汚染気体を示し、誤報を発する場合には警報を控えてもよい。

20

30

【0019】

図1Bは、1つ以上の実施形態に従い、コンピュータシステム100がネットワークインターフェース接続（図示せず）を介してネットワーク112（例えば、ローカル・エリア・ネットワーク（LAN）、インターネットなどのワイド・エリア・ネットワーク（WAN）、モバイルネットワーク、又は任意の他の種類のネットワーク）に接続されていてもよいことを示している。入力装置及び出力装置は、ローカル接続されていてもよいし、（例えば、プロセッサ102、メモリー104、及び記憶装置106に接続されたネットワーク112を介して）リモート接続されていてもよい。OGIカメラ30は、ネットワーク112により1つ以上のコンピュータープロセッサ102に接続されていてもよい。多くの様々な種類のコンピュータシステムが存在しており、上記の入出力装置は他の形態をとってもよい。

40

【0020】

本発明の実施形態を実行するためのコンピューター可読プログラムコードの形態のソフトウェア命令の全体又は一部は、一時的又は永久的に、CD、DVD、記憶装置、フロッピーディスク、テープ、フラッシュメモリー、物理メモリー、又は任意の他のコンピューター可読記憶媒体などの非一時的コンピューター可読媒体に記憶されていてもよい。具体的には、ソフトウェア命令は、プロセッサ102により実行されると本発明の1つ以上の実施形態を実行するコンピューター可読プログラムコードに対応していてもよい。また

50

、ソフトウェア命令を実行するプロセッサにより実行される、記載されたすべての工程は、1つ以上の実施形態では回路などのハードウェアの形態であってもよい。当業者であれば、ハードウェアが特定用途向け集積回路又は他の適切な回路で構成されていてもよいことはよく理解できる。

【0021】

上記コンピュータシステム100の1つ以上の構成要素は、遠隔地に配置されネットワーク112で他の構成要素と接続されていてもよい。さらに、本発明の1つ以上の実施形態は、複数のノードを有する分散型システムで実施されてもよく、本発明の各部分はこの分散型システム内の異なるノードに配置されていてもよい。本発明の1つ以上の実施形態では、ノードは、個別の演算装置に対応する。あるいは、ノードは関連する物理メモリーを有するプロセッサに対応していてもよい。あるいは、ノードは、メモリー及び/又はリソースを共有するプロセッサ又はプロセッサのマイクロコアに対応していてもよい。

10

【0022】

図1Cに、1つ以上の実施形態によるOGIカメラ30を示す。OGIカメラ30は、検出器32に接続されている。この検出器は、居住環境又は産業環境で通常用いられる種類のもの、例えば温度計、湿度計であってもよい。接続は有線又は無線であってもよく、ネットワーク経由の接続を含んでもよい。1つ以上の実施形態では、検出器32はOGIカメラと一体になっていてもよい。1つ以上の実施形態では、OGIカメラ30は集積回路と一体になっていてもよい。

20

【0023】

1つ以上の実施形態では、OGIカメラ30を用いて、特に商業環境、産業環境、海洋環境、居住環境、又は農村環境から気体濃度・長を定量するために画像を取り込んでもよい。

【0024】

図2に、1つ以上の実施形態によるOGIによる気体漏出の撮影と、気体濃度・長（濃度を厚さ又は長さで積分したもので、単位は例えば百万分率・メートル、すなわちppm・m）の定量の物理的根拠（放射伝達モデルとして知られている）の模式図を示す。OGIカメラ30は、対象気体の吸収帯の少なくとも一部を通す、少なくとも1個の長波長透過フィルターを備えていてもよい。OGIカメラ30は、対象気体の吸収帯を通さない参照帯域長波長透過フィルターも装えていてもよい。長波長透過フィルターは、特定の波長を超える光を透過する。1つ以上の実施形態では、OGIカメラ30は、異なる種類のフィルター、例えば短波長透過フィルター又は帯域透過フィルターを備えていてもよい。対象気体は、例えばメタン、六フッ化硫黄、一酸化炭素、及び二酸化炭素であってもよい。これらの対象気体の1つ以上を例えば石油・ガス産業の環境で検出することができる。しかし、本発明の1つ以上の実施形態を例えば住居環境を含む他の環境に応用することもできる。

30

【0025】

図2に示すように、背景10からの放射輝度40、 $L_b(\lambda)$ （ λ は放射波長を示す）は、気体ブルーム20を通過する。背景放射輝度40の強さは、気体吸収により弱まる場合がある。気体ブルーム20による吸収は、透過率係数 $\tau_p(\lambda)$ により特徴づけられてもよく、したがってOGIカメラ30に到達する透過した放射輝度50は、 $L_b(\lambda)\tau_p(\lambda)$ になる。透過率係数 $\tau_p(\lambda)$ は、ランバート・ベールの法則によって気体濃度・長に関連する： $\tau_p(\lambda) = \exp(-\mu(\lambda) \cdot L)$ 。ここで、吸光度スペクトル $\mu(\lambda)$ は、各気体種に固有のものであり既知である。

40

【0026】

一方、本発明の1つ以上の実施形態では、赤外線吸収する気体ブルーム20は、熱エネルギー60も放射する。これは、気体の温度（ T_p ）における黒体放射（プランク関数） $B(T_p, \lambda)$ と、気体の放射率（ $1 - \tau_p$ ）との積により特徴づけられる。したがって、1つ以上の実施形態では、OGIカメラ30は、式（1）で与えられる気体ブルーム

50

20による吸収により調節された背景放射輝度 L_b ()を記録する。

【数1】

$$L_{\text{detected}}(\lambda) = L_b(\lambda)\tau_p(\lambda) + B(T_p, \lambda)(1 - \tau_p(\lambda)) \quad (1)$$

【0027】

気体ブルーム20と背景40の相対的温度差に応じて、気体ブルーム20を画像内の背景40に対して暗コントラスト又は明コントラストとして可視化してもよい。

【0028】

方程式(1)で L_b ()及び $B(T_p, \lambda)$ が分かっていると仮定すると、簡略化された放射伝達方程式(1)により透過率係数 τ_p ()の定量、ひいては気体ブルーム20の濃度・長定量の物理的原理も得ることができる。 $B(T_p, \lambda)$ は、気体ブルーム20の温度を測定しプランク関数を用いて計算することにより容易に求められる。したがって、背景放射輝度 L_b ()を求めることは、光学式気体撮像(OGI)における気体濃度・長定量にとって重要な課題である。

10

【0029】

本発明の1つ以上の実施形態では、光学的気体映像で背景放射輝度を推定する方法は、複数のフィルターと機械学習技術、及びそれに基づく気体濃度・長の定量処理を用いるマルチスペクトルの手法を採用してもよい。この方法では、背景画像を解析的に生成してもよい。

【0030】

したがって、本発明の1つ以上の実施形態は、気体ブルームの存在下で背景放射輝度を推定し、気体濃度・長を定量することができるという利点を有することができる。本発明の1つ以上の実施形態が広範な環境条件下で信頼性の高い背景放射輝度推定を提供できるのは有利である。

20

【0031】

図3は、1つ以上の実施形態によるマルチスペクトル法を用いる背景放射輝度推定に基づく気体濃度・長を定量する方法を記載するフローチャートである。本発明の1つ以上の実施形態では、図3に示す工程の1つ以上を省くか、繰り返してもよいし、追加の工程を行ってもよい。したがって、本発明の範囲が図3に示す特定の順序の工程に限定されるものと考えべきではない。

30

【0032】

工程310では、画像を取得する。この画像は、ブルームを含んでいてもよいし、含まなくてもよい。1つ以上の実施形態では、この画像はOGIカメラにより取得された赤外線画像であってもよい。説明を明確にし、この画像を他の画像と区別するため、以下この画像を赤外線(IR)画像と呼ぶ。ただし、この用語は画像を赤外線に限定することを意図するものではない。他の放射波長の画像が包含されてもよいことは容易にわかる。1つのIR画像が取得されてもよいし、一連のIR画像が取得されてもよいし、一連のビデオ画像フレームも同様である。IR画像の画素の輝度をOGIカメラの既知の校正データを用いて校正し、その場面の温度と放射輝度値のいずれかを示してもよい。

【0033】

工程320では、本方法は、シミュレーションデータ及び/又は実験測定値から導き出した解析モデルを用いて背景放射輝度を推定する。背景放射輝度推定は、既知の大気温度、背景温度、背景反射性、及び類似の環境パラメータの入力に基づいてもよい。背景放射輝度推定のための解析モデルは、様々な背景材料の熱特性及び広範な環境条件についての、背景場面からの個別の帯域積分放射輝度のシミュレーションデータ又は実験測定データに関する機械学習を用いて導き出されてもよい。本明細書の背景場面は、対象気体又は汚染気体がない背景画像を指す。熱特性は、反射率、放射率などを含んでもよい。環境条件は、背景材料の温度、大気温度、背景材料と大気の温度差、日光条件などを含んでもよい。

40

【0034】

50

工程 330 では、本方法は、赤外線画像データと推定背景放射輝度を用いて各ピクセルの気体濃度・長を計算する。1つ以上の実施形態では、気体温度を温度計で測定してもよく、あるいは外気温度と同じであるものと想定してもよい。

【0035】

気体濃度・長の計算は、上記の放射伝達モデルに基づいてもよく、国際特許第 WO 2017104607A1 号に開示される手順を用いてもよい。

【0036】

工程 340 では、本方法は、対象気体と少なくとも 1 つの汚染気体を識別する。

【0037】

1つ以上の実施形態では、図 3 のフローチャートを参照して説明している方法は、映像ストリームで生成することができるものなど、複数の画像を処理するために工程 310 ~ 350 を複数回繰り返してもよい。

10

【0038】

工程 350 では、本方法は、少なくとも 1 つのピクセルの気体濃度・長が気体閾値レベルを超える場合に警報を発する。警報は、多くの形態をとってもよく、複数の形態を含んでもよい。警報の形態の 1 つは、ユーザー制御盤表面の色付きライト（例えば赤色光）であってもよい。このライトは、点灯及び / 又は点滅してもよい。警報は、音によるもの、例えばベル、サイレン、警笛などであってもよい。警報は、電子メール、ファックス、ショートメッセージシステム（SMS）のテキストメッセージ、電話通信などであってもよい。警報をコンピューター画面、携帯装置、携帯電話などに表示してもよい。警報を 1 つ以上の場所及び / 又は一人以上のユーザーに提供してもよい。警報を有線及び / 若しくは無線のシステム若しくはネットワーク経由で送信してもよい。警報の宛先を、ユーザー及び / 又は警報に応答して 1 つ以上の機能を自動的に実行することができる別の装置にしてもよい。

20

【0039】

図 4 ~ 図 6 は、図 3 の工程 320 のように解析モデルを用いる背景放射輝度推定の処理のシミュレーション例を表す。図 4 は、1つ以上の実施形態におけるメタン（CH₄）440 と水蒸気（H₂O）450 の透過率スペクトルのシミュレーションを表す。中赤外線（MWIR）マルチスペクトル OGI の三帯域構成で用いることができる 3 個の長波長透過フィルター 410、420、430 も示す。この場合の三帯域構成は、マルチスペクトル構成の一例である。当業者には、マルチスペクトル構成が 2 つ以上の帯域を含んでもよいことが容易に分かる。3 つの長波長透過フィルターを用いて 3 つの帯域を構成することができる。第 1 の活性帯域は、フィルター 410 で透過する帯域からフィルター 430 で透過する帯域を差し引いた帯域として表すことができる。同様に、第 2 の活性帯域は、フィルター 420 で透過する帯域からフィルター 430 で透過する帯域を差し引いた帯域として表すことができる。参照帯域は、フィルター 430 で透過する帯域である。参照帯域は、対象気体（本例ではメタン 440）の吸収波長範囲の外側にあるものとして表すことができる。本開示では、「吸収波長範囲の外側にある」という用語は、吸収が全くない領域を指すものではなく、比較的少ない量の吸収のみが当該領域で生じる場合がある。当業者は、そのような見解を容易に理解できる。

30

40

1つ以上の実施形態では、図 2 と同様の背景放射輝度を式 (2) で与えられるようにシミュレートすることができる。

$$L_b(\lambda) = \rho_b(\lambda) B(\lambda, T_a) + (1 - \rho_b(\lambda)) B(\lambda, T_b) \quad (2)$$

式中、 ρ_b 、 T_a 、及び T_b は、それぞれ背景材料の反射率、大気温度、及び背景材料温度である。したがって、背景放射輝度は、背景から反射される大気放射輝度及び背景から直接発せられる放射輝度の寄与を含む場合がある。いくつかの例で、背景は、壁若しくは空、又は任意の他の対象であってもよい。

【0040】

単帯域又は多帯域の OGI システムでは、個別の帯域で検出される放射輝度を式 (3) で与えられるように表すことができる。

50

【数 2】

$$L_{\text{detected}} = \int \tau_{\text{filter}}(\lambda) s_{\text{sensor}}(\lambda) L(\lambda) d(\lambda) \quad (3)$$

式中、 τ_{filter} はフィルターの透過率スペクトルであり、 s_{sensor} はセンサーのスペクトル感度であり、積分を帯域の波長範囲全体に行う。検出放射輝度をシミュレートする場合、センサーのスペクトル感度を便宜上 1 に設定してもよい。

【0041】

図 5 A ~ 図 5 B は、背景温度 T_b の範囲、及び外気と背景材料の様々な温度差 $T_{a,b}$ に対する、活性帯域と参照帯域の間の放射輝度比 $L_{\text{off_active}} / L_{\text{off_reference}}$ の例示的なシミュレーションを、背景反射率の 2 つの値 $r_b = 0.1$ (図 5 A) と $r_b = 0.9$ (図 5 B) について提供する。ここで、下付き文字「off」は、気体が存在しないことを意味する。2 つの活性帯域である帯域 1 (510、511) と帯域 2 (520、521) が、温度差 $T_{a,b}$ の範囲に対して示されており、より大きな温度差は、各曲線 510、511、520、及び 521 の上端に現れている。

【0042】

1 つ以上の実施形態では、機械学習を図 5 A 及び図 5 B のようなシミュレーションデータに対して実行して、 n 番目の活性帯域の放射輝度及び参照帯域の放射輝度に関する解析モデルを導き出してもよい。機械学習の例としては、線形回帰を含む回帰及びニューラルネットワークが挙げられる。1 つ以上の実施形態では、解析モデルは式 (4) で与えられてもよい。

$$L_{\text{off_active}(n)} = [C_0 + C_1 \cdot T_b + C_2 \cdot (r_b \cdot T_{ab})] \cdot L_{\text{off_ref}} \quad (4)$$

式中、 C_0 、 C_1 、及び C_2 は、シミュレーションデータの機械学習で求めたモデルパラメータである。

【0043】

図 6 は、学習データで用いられる異なる材料条件及び環境条件の下でブランクの法則に基づいて数値結果と比較される、参照帯域の放射輝度に基づいて、2 つの活性帯域 (帯域 1 (610) 及び帯域 2 (620)) について、1 つ以上の実施形態による解析モデルで推定した背景放射輝度を表す。

【0044】

1 つ以上の実施形態では、気体信号パラメータ L は、各活性帯域に対して、式 (5) に与えられるように規定される。

$$L = L_{\text{off}} - L_{\text{on}} \quad (5)$$

式中、 L_{off} は、各活性帯域で推定された背景放射輝度であり、 L_{on} は、気体の存在下で活性帯域において検出された放射輝度である。2 つの活性帯域の相対的比 L (すなわち $L_{\text{band1}} / L_{\text{band2}}$) を特徴パラメータとして用いて、この特徴パラメータを事前設定した種識別閾値と比較することで、対象気体と誤報種 (すなわち汚染種) を識別してもよい。

【0045】

識別特徴パラメータの種識別閾値を、関連誤報種毎に OGI システムで事前設定する必要がある。これらの種識別閾値を理論的シミュレーション又は実験較正により求めてもよい。

【0046】

図 7 に、広範な気体濃度と環境条件でのメタン 740 と水蒸気 720 のシミュレーション値 $L_{\text{band1}} / L_{\text{band2}}$ を示す。この例では、背景温度は T_b であり、図 4 で選択された三帯域構成に基づく気体種の温度は T であり、これに対応するメタン 740 と水蒸気 720 を識別する例示的な種識別閾値は、2.4 (760) である。

【0047】

本発明の 1 つ以上の実施形態では、気体濃度・長定量システムは、プロセッサ 102 に接続された OGI カメラ 30 を含んでもよい。プロセッサ 102 は、上記の気体濃度・長の定量方法の複数の変形例のうちの 1 つ以上を実行して気体濃度・長を提供し、背景

10

20

30

40

50

放射輝度を推定し、及び/又は誤報を低減してもよい。

【0048】

1つ以上の実施形態では、プロセッサは、演算装置に組み込まれていてもよい。演算装置は、携帯コンピューター装置（例えばスマートフォン、タブレットコンピューター、ラップトップコンピューター、電子書籍端末など）、デスクトップパーソナルコンピューター（PC）、キオスク端末、サーバー、メインフレーム、セットトップボックスなどであってもよい。各演算装置は、ユーザーにより操作されてもよく、1つ以上のグラフィカル・ユーザー・インターフェース（GUI）を用いて、気体濃度・長、背景放射輝度推定値、及び/又は背景温度推定値を計算し、かつ/又は情報をユーザーに表示するようユーザーからの要求を作成してもよい。ユーザーの要求は、計算されたデータの出力場所（例えば表示装置、格納場所、プリンターなど）を指定してもよい。1つ以上の実施形態では、演算装置の様々な要素を組み合わせて一つの要素を作成してもよい。同様に、1つの要素により実行される機能を2つ以上の要素により実行してもよい。

10

【0049】

1つ以上の実施形態では、演算装置は、互いに接続された複数の演算装置を含んでもよい。

【0050】

1つ以上の実施形態では、OGIカメラは、演算装置とも一体になっていてもよい。

【0051】

赤外線（IR）光学式気体撮像（OGI）カメラで取得した1つ以上の画像を処理及び保存するために、複数のユーザー演算装置のうちの少なくとも1つに転送してもよい。

20

【0052】

1つ以上の実施形態では、気体濃度・長定量システムは、所定の背景放射輝度計算モデルを含んでもよい。このモデルをカメラやコンピューターシステムに保存し、モデルにネットワークや入力装置経由でアクセスし、又は任意の他の手段でシステムが利用できるようにしてもよい。

【0053】

1つ以上の実施形態では、気体濃度・長定量システムは、所定の背景放射輝度計算モデルを用いて、環境パラメーター及び/又は背景材料パラメーターと、参照帯域内で測定した放射輝度に基づいて、対象気体の存在下、又は不存在下で活性帯域の背景放射輝度を計算してもよい。ユーザーがパラメーターを入力してもよい。

30

【0054】

本発明の実施形態を実行するためのコンピューター可読プログラムコードの形態のソフトウェア命令の全体又は一部は、一時的又は永久的に、CD、DVD、記憶装置、フロッピーディスク、テープ、フラッシュメモリー、物理メモリー、又は任意の他のコンピューター可読記憶媒体などの非一時的コンピューター可読媒体に記憶されていてもよい。具体的には、ソフトウェア命令は、プロセッサにより実行されると本発明の1つ以上の実施形態を実行するコンピューター可読プログラムコードに対応していてもよい。また、ソフトウェア命令を実行するプロセッサにより実行される、考察したすべての工程は、1つ以上の実施形態では回路などのハードウェアの形態であってもよい。当業者であれば、ハードウェアが特定用途向け集積回路又は他の適切な回路で構成されてもよいことを理解できる。

40

【0055】

さらに、上記演算装置の1つ以上の構成要素は、遠隔地に配置されネットワーク経由で他の構成要素と接続されていてもよい。さらに、本発明の1つ以上の実施形態は、複数のノードを有する分散型システムで実施されてもよく、本発明の各部分は、この分散型システム内の異なるノードに配置されていてもよい。本発明の1つ以上の実施形態では、ノードは、個別の演算装置に対応する。あるいは、ノードは関連する物理メモリーを有するプロセッサに対応していてもよい。あるいは、ノードは、メモリー及び/又はリソースを共有するプロセッサ又はプロセッサのマイクロコアに対応していてもよい。

50

【 0 0 5 6 】

1つ以上の実施形態では、非一時的コンピューター可読媒体（non-transitory computer readable medium、CRM）は、具現化されるコンピューター可読プログラムコードを内部に記憶してもよい。このコンピューター可読プログラムコードは、複数のピクセルを含む画像を読み取り、背景放射輝度を推定し、気体濃度・長を計算し、かつ気体濃度・長が気体閾値レベルを超える場合に警報を発する。背景放射輝度を推定することは、環境パラメーター及び背景材料パラメーターの入力を受信すること、及び非一時的コンピューター可読媒体に保存された背景放射輝度計算モデルを用いて、環境パラメーター及び/又は背景材料パラメーターと、参照帯域内で測定された放射輝度に基づいて、対象気体の存在下、又は不存在下で活性帯域の背景放射輝度を計算することを含む。

10

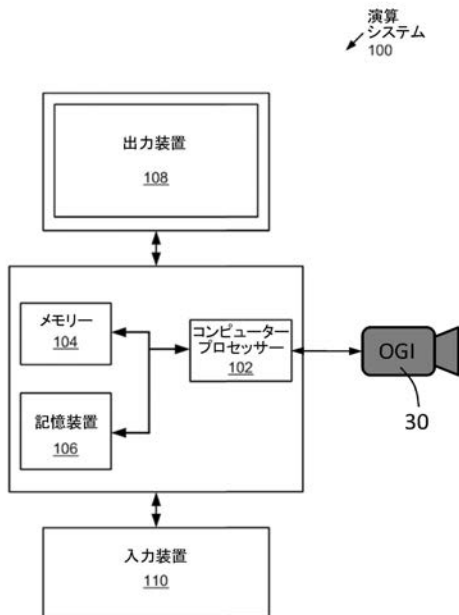
【 0 0 5 7 】

スペクトルのうち赤外線部分に関して本発明の1つ以上の実施形態を記載したが、当業者であれば、本発明に開示された方法を他の波長の放射にも応用できることが容易に分かる。

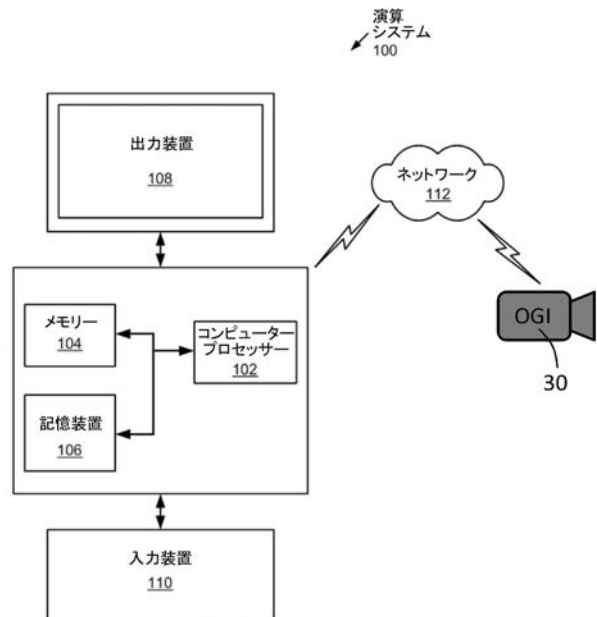
【 0 0 5 8 】

限られた数の実施形態に関して本発明を記載したが、本開示の利益を受ける当業者は、本明細書に開示された発明の範囲から逸脱することなく他の実施形態を考案できることが分かる。したがって、本発明の範囲は添付の特許請求の範囲のみにより限定されるべきである。

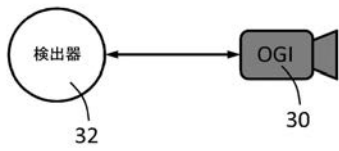
【 図 1 A 】



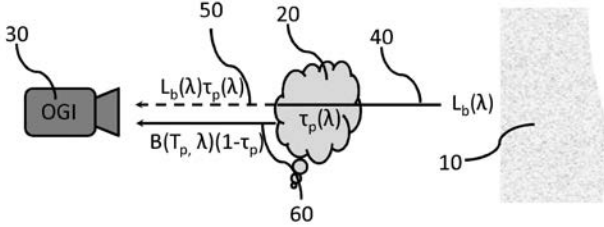
【 図 1 B 】



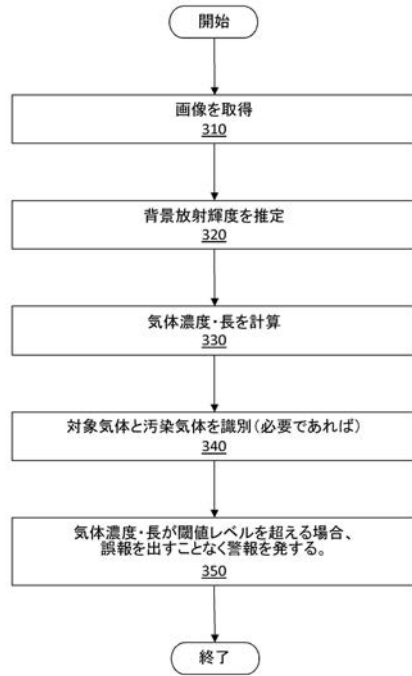
【 図 1 C 】



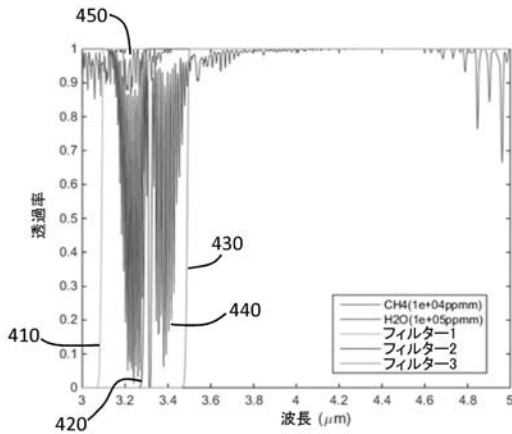
【 図 2 】



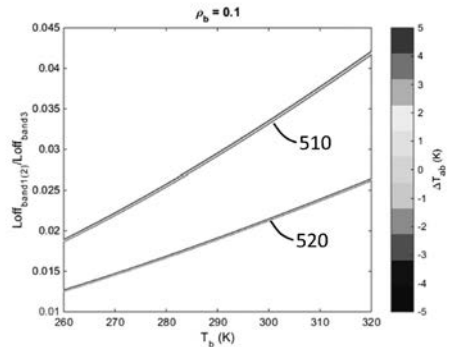
【 図 3 】



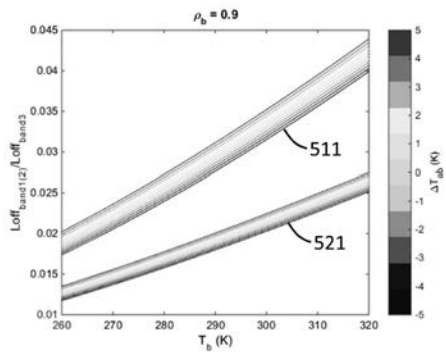
【 図 4 】



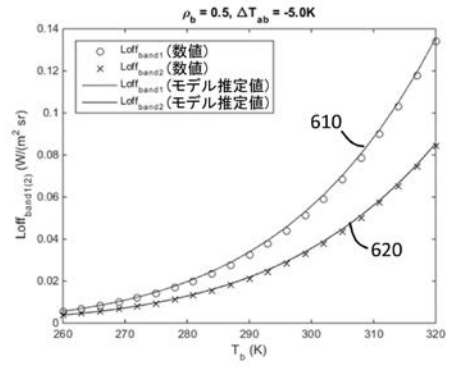
【 図 5 A 】



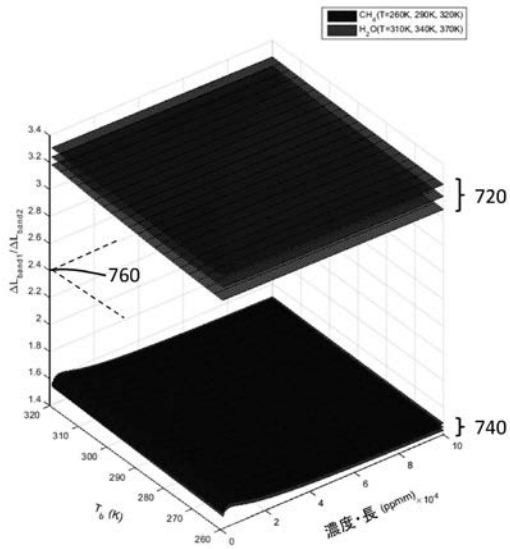
【 図 5 B 】



【 図 6 】



【 図 7 】



【手続補正書】

【提出日】令和1年7月25日(2019.7.25)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

気体濃度・長を定量する方法であって、

マルチスペクトル光学式気体撮像カメラを用いて複数のピクセルを含む検出放射輝度のマルチスペクトル画像を取得する工程、

前記複数のピクセルのうちの少なくとも1つの背景放射輝度を推定する工程、

前記検出放射輝度及び前記推定された背景放射輝度に基づいて前記複数のピクセルのうちの前記少なくとも1つの気体濃度・長を計算する工程、及び

気体閾値レベルを超える少なくとも1つのピクセルの気体濃度・長を含む、複数の警報条件の一覧中の各警報条件が満たされる場合に警報を発する工程を含み、

前記マルチスペクトル光学式気体撮像カメラのマルチスペクトル構成は、対象気体の吸収波長範囲の外側にある参照帯域と、前記対象気体の前記吸収波長範囲の少なくとも一部を含む活性帯域とを含み、

前記背景放射輝度を推定する工程は、

前記活性帯域の検出放射輝度を前記参照帯域の検出放射輝度に関連付けるモデルを決定する工程、及び

前記モデルを較正モデルとして用いて、対象気体の存在下、又は不存在下で活性帯域の背景放射輝度を推定する工程を含む、方法。

【請求項2】

前記画像は、赤外線画像であり、赤外線放射を感知できる前記マルチスペクトル光学式気体撮像カメラにより取得される、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記モデルは、回帰及びニューラルネットワークを含む機械学習を用いて決定される解析モデルである、請求項1又は2に記載の方法。

【請求項4】

前記マルチスペクトル構成は、複数の活性帯域を含み、

前記複数の活性帯域及び前記参照帯域は、活性帯域の数より1つ多い複数の長波長透過フィルターを用いて決定され、

前記複数の活性帯域のそれぞれは、前記参照帯域を含み、

前記複数の活性帯域は、第1の活性帯域を含み、前記第1の活性帯域は、前記複数の長波長透過フィルターのうちの第1の長波長透過フィルターと参照長波長透過フィルターの第1の差である、請求項1～3のいずれか一項に記載の方法。

【請求項5】

対象気体と汚染気体とを識別する工程、及び

種識別閾値を超える各ピクセルを誤報ピクセルとして記録する工程をさらに含み、

前記複数の活性帯域は、第2の活性帯域を含み、前記第2の活性帯域は、前記複数の長波長透過フィルターのうちの第2の長波長透過フィルターと前記参照長波長透過フィルターとの第2の差を含み、

対象気体と汚染気体とを識別する工程は、識別特徴パラメータを前記種識別閾値と比較する工程を含み、前記識別特徴パラメータは、比 $L_{1st_active_band} / L_{2nd_active_band}$ であり、 $L_{1st_active_band}$ は前記第1の活性帯域についての L であり、 $L_{2nd_active_band}$ は前記第2の活性帯域についての L であり、 L は、前記複数の活性帯域のうちの1つの活性帯域で推定された背景放射輝度 L_{off} と、気体の存在下で前記

1つの活性帯域において検出された放射輝度 L_{on} との差であり、

警報条件の前記一覧は、気体閾値よりも大きな気体濃度・長を有する、誤報ピクセルではない各ピクセルをさらに含む、請求項4に記載の方法。

【請求項6】

前記機械学習は、シミュレーションデータ及び実験測定データのうちの少なくとも1つに対して実行され、

前記シミュレーションデータは、既知の大気温度、背景温度、背景反射性、及びプランクの法則からなる一覧から選択される少なくとも一要素に基づいて行われるシミュレーションに基づき、

前記実験測定データは、背景材料の反射率、背景材料の放射率、背景材料温度、大気温度、前記背景材料と前記大気との温度差、及び日光条件からなる一覧から選択される少なくとも一要素を測定することを含む実験測定に基づく、請求項3に記載の方法。

【請求項7】

前記対象気体は炭化水素ガスである、請求項1～6のいずれか一項に記載の方法。

【請求項8】

前記炭化水素ガスはメタンである、請求項7に記載の方法。

【請求項9】

前記汚染気体は水蒸気である、請求項5に記載の方法。

【請求項10】

前記マルチスペクトル画像のスペクトル範囲は $3 \times 10^{-6} \text{ m} \sim 5 \times 10^{-6} \text{ m}$ である、請求項1～9のいずれか一項に記載の方法。

【請求項11】

前記マルチスペクトル画像のスペクトル範囲は $7 \times 10^{-6} \text{ m} \sim 14 \times 10^{-6} \text{ m}$ である、請求項1～9のいずれか一項に記載の方法。

【請求項12】

マルチスペクトル光学式気体撮像カメラ、及び

前記マルチスペクトル光学式気体撮像カメラに接続されたプロセッサを含み、

前記プロセッサは、

複数のピクセルを含む画像を読み取ること、

前記複数のピクセルのうちの少なくとも1つの背景放射輝度を推定すること、

前記画像及び前記背景放射輝度に基づいて前記複数のピクセルのうちの前記少なくとも1つの気体濃度・長を計算すること、及び

少なくとも1つのピクセルの気体濃度・長が気体閾値レベルを超える場合、警報を発することを、

前記マルチスペクトル光学式気体撮像カメラのマルチスペクトル構成は、対象気体の吸収波長範囲の外側にある参照帯域と、前記対象気体の前記吸収波長範囲の少なくとも一部を含む活性帯域とを含み、

前記背景放射輝度を推定することは、

前記活性帯域の検出放射輝度を前記参照帯域の検出放射輝度に関連付けるモデルを決定すること、及び

前記モデルを較正モデルとして用いて、対象気体の存在下、又は不存在下で活性帯域の背景放射輝度を推定することを含む、気体濃度・長定量システム。

【請求項13】

前記画像は、赤外線画像であり、赤外線放射を感知できる前記マルチスペクトル光学式気体撮像カメラにより取得される、請求項12に記載のシステム。

【請求項14】

前記マルチスペクトル構成は、複数の活性帯域を含み、

前記複数の活性帯域及び前記参照帯域は、活性帯域の数より1つ多い複数の長波長透過フィルターを用いて決定され、

前記複数の活性帯域のそれぞれは、前記参照帯域を含み、

前記複数の活性帯域は、第1の活性帯域を含み、前記第1の活性帯域は、前記複数の長波長透過フィルターのうちの第1の長波長透過フィルターと参照長波長透過フィルターの第1の差である、請求項12又は13に記載のシステム。

【請求項15】

前記プロセッサはさらに、

対象気体と汚染気体とを識別すること、及び

種識別閾値を超える各ピクセルを誤報ピクセルとして記録することを行い、

前記複数の活性帯域は、第2の活性帯域を含み、前記第2の活性帯域は、前記複数の長波長透過フィルターのうちの第2の長波長透過フィルターと前記参照長波長透過フィルターとの第2の差を含み、

対象気体と汚染気体とを識別することは、識別特徴パラメータを前記種識別閾値と比較することを含み、前記識別特徴パラメータは、比 $L_{1st_active_band} / L_{2nd_active_band}$ であり、 $L_{1st_active_band}$ は前記第1の活性帯域についての L であり、 $L_{2nd_active_band}$ は前記第2の活性帯域についての L であり、 L は、前記複数の活性帯域のうちの1つの活性帯域で推定された背景放射輝度 L_{off} と、気体の存在下で前記1つの活性帯域において検出された放射輝度 L_{on} との差であり、

警報条件の一覧は、気体閾値よりも大きな気体濃度・長を有する、誤報ピクセルではない各ピクセルをさらに含む、請求項14に記載のシステム。

【請求項16】

前記モデルは、回帰及びニューラルネットワークを含む機械学習を用いて決定される解析モデルであり、

前記機械学習は、シミュレーションデータ及び実験測定データのうちの少なくとも1つに対して実行され、

前記シミュレーションデータは、既知の大気温度、背景温度、背景反射性、及びプランクの法則からなる一覧から選択される少なくとも一要素に基づいて行われるシミュレーションに基づき、

前記実験測定データは、背景材料の反射率、背景材料の放射率、背景材料温度、大気温度、前記背景材料と前記大気との温度差、及び日光条件からなる一覧から選択される少なくとも一要素を測定することを含む実験測定に基づく、請求項12～15のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項17】

コンピューターに所定の処理を実行させるプログラムであって、前記処理は、

マルチスペクトル光学式気体撮像カメラにより撮像された、複数のピクセルを含む画像を読み取ること、

前記複数のピクセルのうちの少なくとも1つの背景放射輝度を推定すること、

前記画像及び前記背景放射輝度に基づいて前記複数のピクセルのうちの前記少なくとも1つの気体濃度・長を計算すること、及び

少なくとも1つのピクセルの気体濃度・長が気体閾値レベルを超える場合、警報を発生することを含み、

前記マルチスペクトル光学式気体撮像カメラのマルチスペクトル構成は、対象気体の吸収波長範囲の外側にある参照帯域と、前記対象気体の前記吸収波長範囲の少なくとも一部を含む活性帯域とを含み、

前記背景放射輝度を推定することは、

前記活性帯域の検出放射輝度を前記参照帯域の検出放射輝度に関連付けるモデルを決定すること、及び

前記モデルを較正モデルとして用いて、対象気体の存在下、又は不存在下で活性帯域の背景放射輝度を推定することを含む、プログラム。

【請求項18】

前記マルチスペクトル構成は、複数の活性帯域を含み、

前記複数の活性帯域及び前記参照帯域は、活性帯域の数より1つ多い複数の長波長透過

フィルターを用いて決定され、

前記複数の活性帯域のそれぞれは、前記参照帯域を含み、

前記複数の活性帯域は、第1の活性帯域を含み、前記第1の活性帯域は、前記複数の長波長透過フィルターのうちの第1の長波長透過フィルターと参照長波長透過フィルターの第1の差である、請求項17に記載のプログラム。

【請求項19】

前記処理はさらに、

対象気体と汚染気体とを識別すること、及び

種識別閾値を超える各ピクセルを誤報ピクセルとして記録することを含み、

前記複数の活性帯域は、第2の活性帯域を含み、前記第2の活性帯域は、前記複数の長波長透過フィルターのうちの第2の長波長透過フィルターと前記参照長波長透過フィルターとの第2の差を含み、

対象気体と汚染気体とを識別することは、識別特徴パラメータを前記種識別閾値と比較することを含み、前記識別特徴パラメータは、比 $L_{1st_active_band} / L_{2nd_active_band}$ であり、 $L_{1st_active_band}$ は前記第1の活性帯域についての L であり、 $L_{2nd_active_band}$ は前記第2の活性帯域についての L であり、 L は、前記複数の活性帯域のうちの1つの活性帯域で推定された背景放射輝度 L_{off} と、気体の存在下で前記1つの活性帯域において検出された放射輝度 L_{on} との差であり、

警報条件の一覧は、気体閾値よりも大きな気体濃度・長を有する、誤報ピクセルではない各ピクセルをさらに含む、請求項18に記載のプログラム。

【請求項20】

前記モデルは、回帰及びニューラルネットワークを含む機械学習を用いて決定される解析モデルであり、

前記機械学習は、シミュレーションデータ及び実験測定データのうちの少なくとも1つに対して実行され、

前記シミュレーションデータは、既知の大気温度、背景温度、背景反射性、及びプランクの法則からなる一覧から選択される少なくとも一要素に基づいて行われるシミュレーションに基づき、

前記実験測定データは、背景材料の反射率、背景材料の放射率、背景材料温度、大気温度、前記背景材料と前記大気との温度差、及び日光条件からなる一覧から選択される少なくとも一要素を測定することを含む実験測定に基づく、請求項17～19のいずれか一項に記載のプログラム。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0007

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0007】

本発明の1つ以上の側面では、コンピューターに所定の処理を実行させるプログラムにおける当該処理は、マルチスペクトル光学式気体撮像カメラにより撮像された、複数のピクセルを含む画像を読み取ること、複数のピクセルのうちの少なくとも1つの背景放射輝度を推定し、画像及び背景放射輝度に基づいて複数のピクセルのうちの少なくとも1つの気体濃度・長を計算すること、及び少なくとも1つのピクセルの気体濃度・長が気体閾値レベルを超える場合、警報を発することを含んでもよい。マルチスペクトル光学式気体撮像カメラのマルチスペクトル構成は、対象気体の吸収波長範囲の外側にある参照帯域と、対象気体の吸収波長範囲の少なくとも一部を含むことができる活性帯域とを含んでもよい。背景放射輝度を推定することは、活性帯域の検出放射輝度を参照帯域の検出放射輝度に関連付けるモデルを決定すること、及びモデルを校正モデルとして用いて、対象気体の存在下、又は不存在下で活性帯域の背景放射輝度を推定することを含んでもよい。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0048

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0048】

1つ以上の実施形態では、プロセッサは、演算装置に組み込まれていてもよい。演算装置は、携帯コンピューター装置（例えばスマートフォン、タブレットコンピューター、ラップトップコンピューター、電子書籍端末など）、デスクトップパーソナルコンピューター（PC）、キオスク（登録商標）端末、サーバー、メインフレーム、セットトップボックスなどであってもよい。各演算装置は、ユーザーにより操作されてもよく、1つ以上のグラフィカル・ユーザー・インターフェース（GUI）を用いて、気体濃度・長、背景放射輝度推定値、及び/又は背景温度推定値を計算し、かつ/又は情報をユーザーに表示するようユーザーからの要求を作成してもよい。ユーザーの要求は、計算されたデータの出力場所（例えば表示装置、格納場所、プリンターなど）を指定してもよい。1つ以上の実施形態では、演算装置の様々な要素を組み合わせて一つの要素を作成してもよい。同様に、1つの要素により実行される機能を2つ以上の要素により実行してもよい。

フロントページの続き

Fターム(参考) 2G059 AA01 AA05 BB02 CC09 CC13 EE01 EE11 FF01 HH01 JJ03
KK04 MM01 MM05 NN01 PP02

【外国語明細書】

2019203879000001.pdf

2019203879000002.pdf

2019203879000003.pdf

2019203879000004.pdf