

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6326419号
(P6326419)

(45) 発行日 平成30年5月16日(2018.5.16)

(24) 登録日 平成30年4月20日(2018.4.20)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 M 3/02 (2006.01) GO 1 M 3/02 F

請求項の数 17 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2015-538062 (P2015-538062)	(73) 特許権者	515106387 ピカッロ 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95054 4・サンタ クララ・パトリック ヘンリー ドライブ 3105
(86) (22) 出願日	平成25年10月18日(2013.10.18)	(74) 代理人	110001379 特許業務法人 大島特許事務所
(65) 公表番号	特表2015-532436 (P2015-532436A)	(72) 発明者	レラ、クリス・ダブリュー アメリカ合衆国カリフォルニア州94087 7・サニーベール・マンゴ アベニュー 1015
(43) 公表日	平成27年11月9日(2015.11.9)	(72) 発明者	クロッソン、エリック・アール アメリカ合衆国カリフォルニア州94551 1・リバモア・メリティジ コモン ユニ ット 201 79
(86) 国際出願番号	PCT/US2013/065709		
(87) 国際公開番号	W02014/063069		
(87) 国際公開日	平成26年4月24日(2014.4.24)		
審査請求日	平成28年10月14日(2016.10.14)		
(31) 優先権主張番号	13/656,080		
(32) 優先日	平成24年10月19日(2012.10.19)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 水平方向解析を用いた人口集中地域におけるガス漏洩検知及びガス漏洩位置特定の方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ガス漏洩検知及びガス漏洩位置特定の方法であって、

1つ以上のガス漏洩の可能性がある位置の近傍に位置する少なくとも1つのプラットフォーム移動経路に沿って進む移動体プラットフォームにおいて1回以上の一次的なガス濃度測定を行うステップと、

前記一次的なガス濃度測定の自動水平方向空間スケール解析を行うステップと、

前記自動水平方向空間スケール解析に基づいて、前記1つ以上のガス漏洩の可能性がある位置のうちの1つ以上におけるガス漏洩の有無を自動的に判定するステップと、

前記ガス漏洩の可能性がある位置における漏洩表示をエンドユーザに提供するステップとを含み、

前記自動水平方向空間スケール解析が、約1～50mの検知範囲ではガス濃度ピーク半値幅に応答し、前記検知範囲外ではガス濃度ピーク半値幅に実質的に応答しないことを特徴とする方法。

【請求項2】

位置xの関数として測定されたガス濃度をf(x)とし、

空間スケールパラメータwを有するカーネル関数をg(x,w)とし、

f(x)とg(x,w)の畳み込みをL(x,w)と定義すると、

候補となるガス濃度ピークが、x及びwの両方に関して

$$F(x, w) = -w \left(\partial^2 L(x, w) / \partial w^2 \right)$$

の1つ以上の極大値を求めることによって特定されることを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記検知範囲に対応するwの範囲にわたってのみF(x, w)が計算されることを特徴とする請求項2に記載の方法。

【請求項4】

前記漏洩表示が、F(x, w)の極大値を所定の閾値と比較することによって得られることを特徴とする請求項2に記載の方法。

10

【請求項5】

前記カーネル関数g(x, w)が、ガウス関数であることを特徴とする請求項2に記載の方法。

【請求項6】

F(x, w)の極大値が、座標

$$\hat{x}$$

及び

$$\hat{w}$$

20

を有し、

対応するピーク位置推定値 x_0 及び幅推定値 w_0 が、それぞれ

$$x_0 = \hat{x}$$

及び

$$w_0 = \sqrt{\hat{w}/2}$$

によって与えられることを特徴とする請求項5に記載の方法。

30

【請求項7】

前記一次的なガス濃度測定が、0.2Hz以上の時間当たり回数で行われ、

前記移動体プラットフォームの位置を0.2Hz以上の時間当たり回数で測定することによって、測定されたプラットフォーム位置を提供するステップと、

前記測定されたプラットフォーム位置を前記一次的なガス濃度測定と組み合わせることによって、前記自動水平方向空間スケール解析のためのガス濃度-位置のデータを提供するステップとをさらに含むことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項8】

前記一次的なガス濃度測定が、前記移動体プラットフォームに配置された機器の光共振キャビティ内で行われる光吸収測定であることを特徴とする請求項1に記載の方法。

40

【請求項9】

前記移動体プラットフォームが前記少なくとも1つのプラットフォーム移動経路に沿って進んでいるときに、前記移動体プラットフォームにおいて1回以上の二次的なトレーサ測定を行うステップをさらに含み、

前記ガス漏洩の可能性のある位置におけるガス漏洩の有無を自動的に判定する前記ステップが、前記二次的なトレーサ測定にも基づいていることを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項10】

前記1回以上の二次的なトレーサ測定が、前記一次的なガス濃度測定によって測定された異なる複数のガス源を互いから区別することができることを特徴とする請求項9に記載

50

の方法。

【請求項 1 1】

前記 1 回以上の二次的なトレーサ測定が、同位体比測定を含むことを特徴とする請求項 1 0 に記載の方法。

【請求項 1 2】

前記移動体プラットフォームが前記少なくとも 1 つのプラットフォーム移動経路に沿って進んでいるときに、前記移動体プラットフォームの 2 つ以上の横方向に離間されている位置において前記 1 回以上の一次的なガス濃度測定のうち 1 回以上を行うステップと、前記一次的なガス濃度測定の自動横方向空間スケール解析を行うステップとをさらに含み、

10

前記ガス漏洩の可能性がある位置におけるガス漏洩の有無を自動的に判定する前記ステップが、前記自動横方向空間スケール解析にも基づいていることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 3】

前記プラットフォームが静止しているときに、1 回以上のガス濃度の静止測定を行うステップをさらに含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 4】

前記漏洩表示が、漏洩の有無を示す二値表示 (y e s / n o) であることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 5】

地図を示す表示部を提供するステップをさらに含み、前記地図上において、複数の検知されたガス漏洩を示す漏洩図形が配置され、

20

前記漏洩図形が、検知されたガス漏洩の位置を示すポイントを含み、

前記漏洩図形の大きさが、前記測定濃度とローカルバックグラウンドレベルとの差に合わせてスケールされることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 6】

地図を示す表示部を提供するステップをさらに含み、前記地図上において、複数の検知されたガス漏洩を示す漏洩図形が配置され、

前記漏洩図形が、検知されたガス漏洩の位置を示すポイントを含み、

前記漏洩図形の大きさが、前記測定濃度に合わせてスケールされることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

30

【請求項 1 7】

地図を示す表示部を提供するステップをさらに含み、前記地図上において、複数の検知されたガス漏洩を示す漏洩図形が配置され、

前記漏洩図形の大きさが、測定されたガス漏洩の空間幅に合わせてスケールされることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、ガス漏洩検知に関する。

40

【背景技術】

【0 0 0 2】

ガス漏洩検知は、重要な現実的問題である。多くの場合、広い領域にわたってガス漏洩を迅速に検査することが望ましい。このような用途のために検討されてきた 1 つの方法は、移動する車両にガス漏洩検知器を搭載することであり、例えば、米国特許第 3, 1 0 7, 5 1 7 号明細書 (特許文献 1)、米国特許第 3, 4 4 4, 7 2 1 号明細書 (特許文献 2) 及び米国特許第 4, 1 6 4, 1 3 8 号明細書 (特許文献 3) において検討されている。しかし、移動体のガス漏洩検知のための従来の方法は、いくつかの重大な欠点を有している。代表的なものを挙げると、これらの欠点には、1) 測定されたガスが、漏洩ガスであるのか、バックグラウンドレベルであるかを区別することが困難であること、2) 漏洩ガ

50

スであるのか、他の可能性があるガス発生源から発生したガスであるのかを区別することが困難であること、3)漏洩源までの距離の推定がなされないことのうちの1つ以上が含まれる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】米国特許第3,107,517号明細書

【特許文献2】米国特許第3,444,721号明細書

【特許文献3】米国特許第4,164,138号明細書

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】J.B. Miller and P.P. Tans, Tellus, 55B, 207-214

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

したがって、これらの困難な課題を解決することは、技術的前進となるであろう。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は、これらの困難を以下のようにして解消する。測定されたガスが漏洩ガスであるのかバックグラウンドレベルであるのかを区別するために、自動水平方向空間スケール解析を行うことができる。測定されたガスが漏洩ガスであるのか他の可能性があるガス発生源から発生したガスであるのかを区別するために、同位体比トレーサ及び/または化学トレーサを用いることによって源を特定することができる。多点測定に多点測定結果の空間解析を組み合わせることで、漏洩源までの距離を推定することができる。これらの方法は、個々にまたは任意の組合せで実施することができる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1a】本発明の複数の実施形態による水平方向解析を概略的に示す。

【図1b】本発明の複数の実施形態による水平方向解析を概略的に示す。

【図2】本発明の複数の実施形態での使用に適した例示的な光吸収器を概略的に示す。

【図3a】本発明の一実施形態から得られた同位体分析結果を示す。

【図3b】本発明の一実施形態から得られた同位体分析結果を示す。

【図4】同位体比測定とともに用いるのに適したガスハンドリング法を示す。

【図5a】本発明の複数の実施形態による多点測定を概略的に示す。

【図5b】本発明の複数の実施形態による多点測定を概略的に示す。

【図5c】本発明の複数の実施形態による多点測定を概略的に示す。

【図6a】多点測定に適したガスハンドリング法を概略的に示す。

【図6b】多点測定に適したガスハンドリング法を概略的に示す。

【図6c】多点測定に適したガスハンドリング法を概略的に示す。

【図7】本発明の複数の実施形態に関連する例示的なユーザインターフェイスを示す。

【発明を実施するための形態】

【0008】

便宜的に、ガス漏洩とは、環境中にバックグラウンド濃度以上のガスが存在する状態であると定義する。ここで定義するガス漏洩には、ガスパイプまたは輸送システムからの漏洩(例えば、天然ガスの漏洩)、ガス処理または取扱施設からの漏洩、ガス発生源から環境中への放出(例えば、埋立処分場からのガス放出、汚染など)が含まれるが、これらに限定されるものではない。

【0009】

ガスルームモデルとは、ガス濃度を空間内の位置と関連付ける数理モデルである。

【0010】

10

20

30

40

50

A) 水平方向解析

A1) 原理

図1 a ~ 図1 b は、本発明の複数の実施形態による水平方向空間スケール解析の例を示している。移動体としてのプラットフォーム102が、少なくとも1つのプラットフォーム移動経路106に沿って進む。プラットフォーム102は、車、トラック、バンまたは自転車など、任意の車両であってよい。プラットフォーム102はまた、人、荷物運搬用動物(駄獣)など、ガス測定器を運搬することができる任意の他の移動体であってもよい。プラットフォーム移動経路106は、1つ以上のガス漏洩の可能性がある位置(例えば108 a, 108 b)の近くに位置している。分かりやすくするために、プラットフォーム移動経路を1つの直線からなる部分として示しているが、実際には、プラットフォーム移動経路は曲線部分及び直線部分の任意の組合せであってよい。この例では、位置108 aにおける漏洩はガスプルーム110を放出し、ガスプルーム110はプラットフォーム移動経路106を横切っている。プラットフォーム上には、ガス測定器104が配置されている。本発明の実施は、ガス測定器104へのガスの取入口の詳細に決定的に依存しているわけではない。1つの実施の形態は、この取入口をプラットフォームの正面において実行可能な限り地表面に近接させて配置することであり、プラットフォーム幅にわたる1つ以上の別々の取入口(または1つの拡散式取入口)が設けられる。ガス測定器104により1回以上の一次的なガス濃度測定が行われる。

10

【0011】

通常、これらの一次的なガス濃度測定は、最初に濃度vs.時間として記録される。プラットフォーム位置vs.時間データ(例えば、全地球測位システム(GPS))を用いて測定される)を濃度vs.時間データと組み合わせることにより、図1 bに概略的に示したような濃度vs.位置データが得られる。図1 bには、ピーク112及びバックグラウンドレベル114が示されている。

20

【0012】

濃度vs.位置データを利用可能であることにより、自動水平方向空間スケール解析が可能になる。水平方向空間スケール解析は、ガス漏洩とバックグラウンドガスレベルとを区別するのに有用である。通常、水平方向空間スケール解析には、ガス漏洩検知のために濃度vs.プラットフォーム位置データを利用する任意の解析法が含まれる。詳細な例を以下に示す。単純な閾値処理(すなわち、何らかの所定の閾値をXとして、測定された濃度がXよりも高ければ漏洩を報告し、測定された濃度がXよりも低ければ漏洩を報告しない処理)は、濃度vs.位置データを利用しないので水平方向空間スケール解析の例ではないことに留意されたい。自動水平方向空間スケール解析の結果をエンドユーザに報告することができる。この報告のための様々な手法については後述する。1つの可能性は、漏洩の有無を示す二値表示y e s / n oを提供することである。

30

【0013】

水平方向空間スケール解析は、近傍点源が、プラットフォームが移動しているときに位置を変えながら速やかに変化するのに対して、遠方源が、放出プルームの空間範囲がより大きいためによりゆっくり変化するという事実依存している。換言すれば、プラットフォームに非常に近接して、わずか数メートル幅の、狭い濃度スパイクが形成される。狭い空間範囲は、漏洩を特定するプロセスにおいて、近傍源に対して偏りを持たせるために用いられる。水平方向空間スケール解析を行うための可能なアルゴリズムはいくつかあり、以下のものが含まれるが、これらに限定されるものではない。

40

【0014】

ピーク検出及び幅解析 - 標準的なピーク位置推定法を用いてデータを解析し、その後、特定した各ピークを(線形または非線形最適化を用いて)中央及び幅に対してフィットすることができる。このフィッティングステップに用いられる関数形は、ガウス型パルスであるか(ガウス型は、大気を通して伝播するプルームがとると期待される関数形である)、またはガウス型及びシステム応答の畳み込み(通常は、指数関数的テールを持つ畳み込まれた狭いガウス型である)であってよい。

50

【 0 0 1 5 】

空間ピークウェーブレット解析 - このアルゴリズムは、幅または空間範囲によってパラメータ化された特別なモデル基底関数（全体の点 - 源システム応答関数の離散二次導関数に関連している）を用いる。この基底関数の集合と測定されたデータとの畳み込みを行う。出力されたウェーブレット解析は、水平位置及び有効幅の両方を与え、これらはガスパルームモデルを介して測定点から放出源までの距離と関連付けられ得る。

【 0 0 1 6 】

自動水平方向空間スケール解析は、約 1 ~ 5 0 m の検知範囲ではガス濃度ピーク半値幅にตอบสนองし、検知範囲外ではガス濃度ピーク半値幅に実質的にตอบสนองしないことが好ましい。この空間的選択性は、ガス漏洩とバックグラウンドガス濃度の変動とを区別するのを助ける。例えば、バックグラウンドガス濃度は、著しく（例えば 2 倍以上）変動する場合があるが、この変動は、上記検知範囲よりも著しく大きな空間長さスケールにわたる傾向にある。このようなバックグラウンド濃度の大きな変動は、ガス漏洩を見つけ出すための単純な閾値処理を著しく妨げることに留意されたい。

10

【 0 0 1 7 】

一次的なガス濃度測定は、迅速に（例えば、0 . 2 H z 以上の、より好適には 1 H z 以上の時間当たり回数で）行うことが好ましい。このことは、通常の平面道路速度（例えば、3 5 M P H (5 6 . 3 k m / h)) で車両プラットフォームを運転しながら有用な濃度 vs. 位置データを集めるという構想を可能にする。ガス濃度測定に時間が掛かりすぎると、データの空間分解能が不必要に低下することになる。プラットフォーム位置測定は、少なくとも一次的なガス濃度測定と同じくらい迅速に行われることが好ましい。

20

【 0 0 1 8 】

一次濃度測定のための重要な属性には、以下のことが含まれる。

1) 一次ガス測定分析物は、本方法が対象にする全ての漏洩に対して多量に存在しているべきである。

2) これらの測定を行う環境（例えば都市）下でのこの分析物の通常のバックグラウンドレベルは、1 0 ~ 3 0 0 メートルの距離において、標的とされる漏洩からのガス濃度変動をローカルバックグラウンドシグナルからはっきりと区別することができるほど十分に低いべきである。

3) 天然ガスの場合、メタンが最も豊富な成分であるが、他の炭化水素または他の種（硫化水素または他の付臭剤）も一次濃度測定にとって実行可能な分析物である。

30

【 0 0 1 9 】

本発明は、使用するガス検知技術に決定的に依存するものではない。一次的なガス濃度測定のために、迅速なトレーサガス濃度測定が可能な任意のガス検知手法を用いることができる。1 つの適切なガス検知手法を図 2 に概略的に示す。ここで、一次的なガス濃度測定は、移動体プラットフォームに配置された機器の光共振キャビティ内で行われる光吸収測定である。より具体的には、図 2 は、分析用ガスサンプルを保持することができる吸収セル 2 0 2 を示している。吸収セル 2 0 2 には、ミラー 2 0 4 , 2 0 6 , 2 0 8 によって画定される光キャビティが含まれる。この例は、リングキャビティ及び該キャビティを時計回り方向に伝播する一方向のキャビティモード 2 0 8 を示している。任意の他の共振キャビティ形状を用いることもできる。出力光 2 1 2 を入力光 2 1 0 と比較することによって、キャビティの吸収度を測定することができる。あるいは、キャビティから放射された光放射の減衰率を測定すること（すなわちキャビティリングダウン分光法 (C R D S)) によって、キャビティの吸収度を測定することができる。

40

【 0 0 2 0 】

漏洩源を特定するために、水平方向空間スケール解析とトレーサ（同位体比トレーサ及び/または化学トレーサ）の使用とを組み合わせることができる。トレーサに関しては、以下のセクション B でさらに詳しく説明する。

【 0 0 2 1 】

水平方向空間スケール解析は、以下のセクション C で説明する多点測定及び解析と組み

50

合わせることもできる。結果として得られる自動横方向空間スケール解析は、漏洩源までの距離を推定することができる。

【0022】

一次的なガス濃度測定はプラットフォームが移動している間に行われるが、追加の濃度測定はプラットフォームが静止している間に行うことができる。このような静止状態でのガス濃度測定は、バックグラウンドガス濃度を検査するのに有用であり得る。

【0023】

リアルタイム測定が好ましいが、より粗くサンプリングされたデータの事後分析（例えば、真空フラスコサンプリングによりサンプリングされ、その後ガスクロマトグラフィーまたは他の方法により分析されること）も、他のバックグラウンド源からの標的放出を正確に特定するために実行可能な方法であり得る。

10

【0024】

任意選択で、本システムは、大気気象情報（特に風向）源を含むことができるが、プラットフォーム上または近傍静止位置のいずれか一方で、風速または大気安定度（stability class）を含むこともできる。「近傍」とは、プラットフォームの位置での大気条件が静止測定と十分に相互に関連付けられるほど近いことを意味している。

【0025】

任意選択で、本システムは、車載ビデオカメラ及びロギングシステムを含むことができ、これらを用いることによって、濃度データとともに収集された局所画像に基づいて、漏洩源である可能性がある場所を漏洩源ではないと判定することができる。例えば、測定中に天然ガス自動車近くを通過した場合には、測定された放出物スパイクを考慮から外すことができる。

20

【0026】

プラットフォーム移動経路は、漏洩源である可能性がある場所に可能な限り近接させるべきである。放出源までの距離が減少するのに伴って、1) 一次濃度シグナルが増加することになり、それによって漏洩源の特定に対するより高い信頼及び/またはより高感度の漏洩検知が可能になり、2) シグナルを隠したり漏洩位置に対して測定位置をシフトさせたりする風の影響が減少し、かつ、3) 漏洩位置からの濃度シグナルの空間範囲が狭くなり、それによって、バックグラウンドシグナルと、それよりもずっとゆっくり変化するシグナルを有するより遠方の（または広範な）源からのブルームとの区別がより容易になる。

30

【0027】

任意選択で、漏洩源である可能性がある場所のさらなる確認（または漏洩源ではないとの判定）を行うために、1つの位置の繰り返し測定を行うことができる。

【0028】

任意選択で、漏洩源のより正確な位置特定を行うために、道路の異なる側または異なるレーンで測定を行うことができる。

【0029】

任意選択で、結果をさらに精密にするために、本手法を、放出された成分を検知するための目視検査及び/またはハンドヘルド測定器での測定などの他の従来の方法と併用することができる。

40

【0030】

任意選択で、位置及び/または源の属性に関する追加情報を提供するために、減速して、または駐車して、または源の近傍で測定を行うことができる。

【0031】

A2) 例

このセクションでは、メタンガス漏洩検知に関連する水平方向空間スケール解析の具体的な例を示す。

【0032】

50

最初に、メタン濃度が時間の関数として測定される。いくつかの初期点からの距離の関数としてのメタン濃度を得るために、時間の関数として測定されたメタン濃度をGPSレシーバの出力と組み合わせる。規則的に離間された複数の点の集合に関するデータの標本を抽出するために、補間法を用いることができる。

【0033】

メタン濃度は通常、位置とともに滑らかに変化し、大部分が、世界的なバックグラウンドレベルである1.8 ppmに、埋立処分場や湿地などの大きくかつ比較的遠方の源からの増大分が加わったものに等しい。これらの増大分は、バックグラウンドレベルを数ppm上昇させ得る。対照的に、通常の天然ガスの漏洩は、空間範囲が極めて狭いメタンのプルームを生成する。プルームは大気安定性の状態によって変化するが、プルームが100m以上伝播するまでその半値幅の大きさが約20mになることはない。

10

【0034】

よって、測定されたメタン濃度の空間プロファイルによるガス漏洩検知の問題として、以下のことが含まれる。

- 1) 大スケール構造に対する感度の低さ。このことは、バックグラウンド変動に起因すると考えられる。
- 2) 半値幅がおおよそ1~20mの範囲内にある複数のピークからなる、バックグラウンドを上回るメタン濃度の局所的な増大の検知。
- 3) 機器の欠陥に起因する測定時のノイズ除外。

【0035】

20

この例示的な手法の基本的な考え方は、パラメータ w （ここでは、 w は、長さの2乗の次元を有する）によって特定される様々なスケールに対して、距離の関数としての入力濃度 $f(x)$ とガウシアンカーネルの集合

$$g(x, w) = \exp(-x^2/2w) / \sqrt{2\pi w} \quad (1)$$

との畳み込みを実行することである。 $f(x)$ 及び $g(x, w)$ の畳み込みを $L(x, w)$ と定義すると、正規化された二次導関数

$$-w(\partial^2 L / \partial x^2) \quad 30$$

は、

$$\sqrt{w}$$

に比例する空間範囲の f の構造に対して高感度を有する。例えば、 $f(x)$ が半値幅のガウス型ピークである場合、すなわち、

$$f(x) = \exp(-x^2/2\sigma^2) / (\sigma\sqrt{2\pi})$$

40

である場合には、

$$-w \left(\frac{\partial^2 L}{\partial x^2} \right) = \frac{w}{\sqrt{2\pi}} \left[\frac{w + \sigma^2 - x^2}{(w + \sigma^2)^{5/2}} \right] \exp \left[-\frac{x^2}{2(w + \sigma^2)} \right] \quad (2)$$

であることが分かった。これは、 $x = 0$ かつ $w = 2\sigma^2$ において極大値を有する。極大値は、 f において元のピークの振幅の約0.385倍である。ピークから離れると、これは滑らかに0まで下がる。

【0036】

上記アルゴリズムの基本は、面

50

$$-w(\partial^2 L/\partial x^2)$$

を計算すること並びに x 及び w の両者に対して極大値の結果を検討することである。各極大値

$$(\hat{x}, \hat{w})$$

に関して、対応するピークの位置 x_0 及び半値幅 w_0 は、

$$x_0 = \hat{x}$$

10

及び

$$w_0 = \sqrt{\hat{w}/2}$$

として報告され、ピーク振幅は、面の極大値からスケールリングされる。漏洩検知において遭遇するブルームの大きさに対応する通常 1 ~ 20 m のピーク半値幅の範囲に対応する w の範囲のみが考慮される。

【0037】

20

いくつかの数学的性質により、上記の空間 - スケール面をより簡便に計算することができる。ガウシアンカーネルは、

$$\partial g/\partial w = \frac{1}{2} \partial^2 g/\partial x^2$$

を満たすので、面を

$$-2w(\partial g/\partial w)$$

と入力関数 $f(x)$ との畳み込みとして計算することが可能である。実際には、幾何学的に離間された有限個の w の値、すなわち、

30

$$w \in \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$$

が用いられる。ここで、 $\lambda > 1$ である場合、

$$w_i = \lambda^{(i-1)} w_1$$

であり得る。 w に対する g の偏導関数は、離散総和として計算された畳み込みと、有限差分とによって近似することもできる。

40

【0038】

空間 - スケール面の計算結果をパイプライン方式で体系化することが可能であるので、 $f(x)$ の標本のストリームが入力として用いられる。どの段階でも、面上の或る点が極大であるか否かを判定するために必要なだけの面の標本が生成されるように、畳み込みをより時間をかけて評価することができる。判定が終われば、もはや必要のない標本は破棄されるので、サイズの限られたメモリにおいて全部の計算をほとんどリアルタイムで行うことができる。

【0039】

候補となるピークの位置、振幅及び幅が得られたら、特定の閾値を上回る（または特定の範囲内の）振幅を選択するさらなるフィルタリングステップを適用することができる。

50

以下のセクションDでより詳細に説明するように、残ったピークはアイコンを用いて漏洩表示として示すことができる。このとき、アイコンの大きさはピークの振幅を示し、地図上でのアイコンの位置は経路に沿ってピークの位置が特定された場所を示す。

【0040】

B) トレーサ

同位体比測定を用いて源の特定を行うことができることが分かった。例えば、メタン源にもよるが、メタン同位体比（標準平均海水（Vienna standard mean ocean water: VSMOW）からの CH_4 の δ （‰）及びペレムナイト（Vienna Pee Dee Belemnite: VPDB）からの CH_4 の $\delta^{13}\text{C}$ （‰））は、固有の範囲内に収まる。地表近くの微生物ガス（例えば、湿地ガス、埋立処分場ガス）の場合、これらの範囲は約 $-350 < \delta < -260$ 及び $-63 < \delta^{13}\text{C} < -40$ である。地下の微生物ガス（例えば、深海堆積物及びドリフトガス）の場合、これらの範囲は約 $-250 < \delta < -170$ 及び $-90 < \delta^{13}\text{C} < -60$ である。発熱性ガス（例えば、天然ガス及び炭層ガス）の場合、これらの範囲は約 $-250 < \delta < -100$ 及び $-57 < \delta^{13}\text{C} < -28$ である。これらの範囲は基本的には重なり合っていないので、メタンに関して、同位体比測定を用いて源を特定することができる。同位体比による源の特定は、一般的に任意のガスの漏洩測定に適用可能であることが期待される。

【0041】

したがって、本発明のこの態様による方法は、上記した移動体プラットフォームにおける一次的なガス濃度測定から開始する（水平方向空間スケール解析は、行ってもよいし、上記の方法から除外してもよい）。移動体プラットフォームにおける1回以上の二次的な同位体比測定も、移動体プラットフォームにおいて行われる。二次的な同位体比測定は源を特定するために用いられるが、一次的なガス濃度測定はガス漏洩の有無を判定するために用いられる。これらの結果は、エンドユーザに提供される。

【0042】

任意選択で、源の特定のために同位体比分析に加えて化学トレーサ分析を行うことができる。例えば、メルカプタンで標識された天然ガスについては、同位体比による源の特定と組み合わせ、他の天然ガス源と区別するための化学トレーサとしてメルカプタンを用いることができる。

【0043】

トレーサ測定（すなわち化学トレーサ及び/または同位体比トレーサ）の重要な属性は、次のとおりである。

- 1) トレーサは、標的測定領域内で全ての起こり得る漏洩の主成分に対して既知の一定の比率で放出ガス中に存在すべきである。この比率は、標的源の「シグニチャ（識別特性）」を表す。
- 2) 標的放出源の比率シグニチャは、標的測定領域に存在し得る他のありふれた主成分源とは異なっておりかつ区別可能であるべきである。
- 3) 標的放出源の比率シグニチャは、大気バックグラウンドの比率シグニチャとも異なっているべきである。

【0044】

例えば、一次濃度測定でのメタンの場合、都市環境における他の一般的なメタン発生源は、下水システム、埋立処分場、石油化学処理施設、または他の産業活動である。メタンのための有用なトレーサの例は、メタンサンプル中の炭素安定同位体比（ $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ）である。天然ガスは石油起源のメタン源の例であり、これは、例えば、下水システム、雨水管渠または埋立処分場から放出される生物起源のガスとは異なる安定同位体比を有する。

【0045】

他のトレーサ種の候補には、ハロゲン安定同位体比 $^2\text{H}/^1\text{H}$ 、硫化水素または天然ガス中の他の付臭剤、あるいはエタン、プロパン、または他の炭化水素が含まれるが、これらに限定されるものではない。

【 0 0 4 6 】

任意選択で、複数のトレーサにより次元の数を増やすと、標的源を他の主成分源から区別するさらにより効果的な方法が可能となる。

【 0 0 4 7 】

同位体比分析を行うための任意の手法を用いることができる。1つの好適な手法は、同位体比vs.濃度の逆数をプロットした図を用いて線形フィットのy切片から源の特定を行うことである(キーリングプロット法として知られている)。そのようなプロットの例を図3a~図3bに示す。図3aの例は、漏洩検知のための典型的なシグナルを示している(y切片はバックグラウンドレベルとは異なる)。図3bの例は、典型的なバックグラウンドシグナルを示している(y切片はバックグラウンドレベルと同じである)。

10

【 0 0 4 8 】

キーリングプロット法による分析の基本原理は、次のとおりである。トレーサが1つである場合、観察される比がバックグラウンドガス及び放出ガスの混合によるものであるという事実のために、この比は、大気におけるバックグラウンド値から、純粋な放出ガスに見られる比にほぼ等しいが当該比には到達しない値まで変化する。(大気中の二酸化炭素に存在する炭素13を分析するためにチャールズ・キーリングが開発した)キーリングプロット法と呼ばれる分析を用いて、トレーサ比を観察された一次濃度の逆数の関数としてプロットすることにより、バックグラウンドと源とを明確に特定することができる。このグラフの切片は、放出源のトレーサ比である。この値と他の可能性がある源と区別することができれば、明白な源を決定することができる。この例では、「区別する」とは、プロットから決定される切片が、統計的に有意な方式で予想される源シグニチャとは異なっていないことを意味する。トレーサが複数ある場合には、キーリングプロット法を複数のトレーサ比に拡張することができる。

20

【 0 0 4 9 】

キーリングプロット法は、トレーサ測定をリアルタイムで行うことができるときに最も良好に適用される。データ点の数がより限定されているフラスコタイプの測定の場合でもやはり、ピークまたはその近傍及びベースライン「近傍」(ここでは、濃度レベルは、大気レベルへと戻っているが、十分に離れていないので、他の一次濃度源またはトレーサが結果に影響を及ぼし続けている)の両方でフラスコサンプルを採取することに注意を払う限り、キーリングプロット法を源の決定に適用することができる。

30

【 0 0 5 0 】

あるいは、J. B. ミラー及びP. P. タンス(J. B. Miller and P. P. Tans)による手法(Tellus, 55B, 207-214(非特許文献1)、全文を引用することを以って本明細書の一部となす)を用いてもよい。この手法では、トレーサ濃度を一次濃度の関数としてプロットし、これらのデータに対して線形回帰を行う。最もフィットする直線の傾きを用いて、ガス漏洩のトレーサ比を推定する。この方法の利点は、トレーサ濃度の不確かさが一次濃度によって変化しないことが多く、そのため、より単純な重み付けなしの線形回帰アルゴリズムを用いることができることである。

【 0 0 5 1 】

場合によっては、二次的な同位体比測定とともにガスハンドリングシステムを用いることができる。例えば、ガスハンドリングシステムを用いることにより、1つ以上のサンプルを獲得しかつ得られたサンプルをオフライン同位体比測定器に供給することができる。ここで、オフラインとは、同位体比測定が通常は上記した一次的なガス濃度測定よりも著しく長い時間をかけて行われることを示している。したがって、同位体比測定は、一次濃度測定の時間スケールに対してオフラインである。しかし、同位体比測定器は、移動体プラットフォーム上に配置されることが好ましい。得られた同位体比サンプルは、車中で分析することができる。図4は、一例を示している。ここで、ガスハンドリングシステム406は、取入口402で得られたサンプルをチャンバ404に蓄えておき、チャンバ404の内容物を機器104(ここで、機器104は同位体比測定器である)に供給することができる。

40

50

【 0 0 5 2 】

二次的な同位体比測定を行うための任意の手法を用いることができる。化学トレーサも測定する場合、化学トレーサ測定のための任意の手法を用いることができる。上記した光吸収分光法を用いることが好ましい。上記したように、一次的なガス濃度測定に加えて、静止測定を用いることもできる。

【 0 0 5 3 】

二次的な同位体比測定は、以下のセクションCで説明する多点測定及び解析と組み合わせることができる。結果として得られる自動横方向空間スケール解析により、漏洩源までの距離を推定することができる。

【 0 0 5 4 】

C) 距離推定のための多点測定

多点測定は、漏洩源までの距離を推定するのに有用であり得ることが分かった。ここで、多点測定は、移動体プラットフォームにおいて互いから横(トランスバース)方向に離間されている2つ以上の点からの任意の測定である。図5 a ~ 図5 c は、横方向に離間されている例を示している。ここで、zをプラットフォームの移動方向とし、yを垂直方向とし、xをy及びzに対して垂直な方向とする。図5 a は、横方向に離間されている測定点5 0 2 及び5 0 4 であって、両者が完全にx方向に離間されているものを示している。図5 b は、横方向に離間されている測定点5 0 2 及び5 0 4 であって、両者が部分的にx方向にかつ部分的にz方向に離間されているものを示している。図5 b の測定点5 0 2 及び5 0 4 は、x方向に0ではない離間が存在するので、横方向に離間されている。図5 c は、横方向に離間されている測定点5 0 2 及び5 0 4 であって、両者が完全にy方向に離間されているものを示している。図5 c では、これらの測定点はマスト5 0 6 に配置されている。

【 0 0 5 5 】

本発明のこの態様による方法は、上記した移動体プラットフォームからの一次的なガス濃度測定から開始する(水平方向空間スケール解析は、行ってもよいし、上記の方法から除外してもよい)。多点測定は、距離の推定を行うために用いられる。より具体的には、プラットフォーム測定位置と漏洩源位置との間の距離が推定される。ここで、プラットフォーム測定位置とは、関連する測定が行われた時点でのプラットフォーム位置である。多点測定の自動空間スケール解析は、この距離推定を行うために用いられる。結果(距離推定を含む)は、様々な方式でエンドユーザに提供することができる。測定点5 0 2 及び5 0 4 は、互いから垂直に(例えば、図5 c の例に示したように)離間されていることが好ましい。空間スケール解析には、ガス漏洩プルームモデルを提供することと、このモデルをインポートすることにより、測定された濃度勾配から源の距離を決定することが含まれ得る。この測定濃度勾配は、ここで考えられているように、多点測定から決定することができることに留意されたい。リアルタイム大気データには、ガスプルームモデルが含まれ得る。

【 0 0 5 6 】

多点測定に関連して、様々なガスハンドリング法を用いることができる。根底にある要求は、同時またはほぼ同時(すなわち、好適には約5秒以内、より好適には約1秒以内)の測定を実現することである。図6 a ~ 図6 c は、様々な二点測定の例を示している。これらの手法は全て、任意の数の横方向に離間されている点における測定に拡張することができる。図6 a の例は、互いから離間されている取入口5 0 2 及び5 0 4 を有する2つの機器1 0 4 a 及び1 0 4 b を示している。このようにすることで、同時測定を行うことができることは明らかであるが、測定器を2つにすることでコストが増加するという欠点を有する。図6 b の例は、スイッチ6 0 2 を介して取入口5 0 2 及び5 0 4 に接続された1つの機器1 0 4 を示している。スイッチ及び機器が十分に高速であれば、この手法により2つの取入口でほぼ同時に測定を行うことができる。図6 c の例は、同時またはほぼ同時に得られたサンプルを1つの機器に順次供給することができるような、互いから離間されている取入口5 0 2 及び5 0 4 を有するガスハンドリングシステム6 0 4 を示している。

10

20

30

40

50

例えば、取入口 5 0 2 及び 5 0 4 において得られたサンプルをそれぞれチャンバ 6 0 6 及び 6 0 8 に蓄えておき、機器 1 0 4 に順次供給することができる。チャンバ 6 0 6 及びチャンバ 6 0 8 の解析時間差は重要ではない。

【 0 0 5 7 】

上記した光吸収分光法で一次的なガス濃度測定を行うことが好ましい。上記したガス濃度の静止測定を用いることもできる。

【 0 0 5 8 】

C 2) 多点測定及び解析の例

測定位置から風上の源の位置までの距離を定量化するためにプルームの垂直多点測定を用いる例を以下で考察する。1959年にギフォード(Gifford)が開発し、有効性が十分に実証された1つの物理的なプルームモデルは、風向に対して横方向の空間次元におけるガウス分布、または(地表の源の場合)

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{\pi V \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (3)$$

としてプルームをモデル化することである。

【 0 0 5 9 】

予想通りに、ガウス分布の大きさは、距離が増加するにつれて水平及び垂直方向(すなわち、それぞれ y 及び z) に増大し、その増大量の推定は、風速、日照、地面の反射率(アルベド)、湿度、並びに地形及び障害物(これらは全て大気の流れ混合に影響を及ぼす)の測定から行うことができる。しかし、距離推定が幾分か不確かであることを容認しても構わない場合には、風速、時刻及び雲量(これらは全て、プラットフォーム上または公開されている気象データベースのいずれかからリアルタイムで入手可能なパラメータである)のみから大気の流れ混合を推定することができる。これらの入手可能なデータを用いて、ガウス幅パラメータの推定値を推定することができる(例えば、パスキル・ギフォード・ターナー(Pasquill-Gifford-Turner)乱流分類スキームまたはこのスキームに変更を加えたものを用いて)。例えば、 y 及び z のための1つの可能な関数形は、

$$\sigma = ax / \sqrt{1 + bx} \quad 30$$

である。ここで、 a 及び b はフィッティングパラメータであり、 x はプルーム軸に沿った距離である。 y 方向及び z 方向に別々のフィットを行ってもよいし、両方向に同じフィットを用いてもよい。

【 0 0 6 0 】

多点垂直方向測定は、垂直方向ガウス幅を推定するために用いることができる。水平方向空間スケール解析から水平方向幅を推定することもできるが、垂直方向解析は、プラットフォーム及び他の近傍プラットフォームの動きによってプルームの垂直方向の広がり、水平方向の大きさほど強く歪められないという利点を有する。水平方向の大きさについては、プルームはプラットフォームの動きによって水平に沿って運ばれることがある。

【 0 0 6 1 】

垂直方向ガウス幅の推定値を与えられれば、利用可能なルックアップテーブルを用いて、ガウス幅と、大気の流れ混合に関する入手可能な情報とを所与として、源からの距離を決定することができる。どのようなものであれ如何なる大気測定を行うことすらなく、大まかな距離推定を決定することができ(路上、道路付近、または遠方など)、それによって、放出源を探している調査員に貴重な追加情報を与えることになる。

【 0 0 6 2 】

プルームモデルを用いる代わりに、他の形式の多点解析を行うこともできる。例えば、路上源の場合、放出源に近接する路面上または路面近く(例えば25cm以内)の測定点は、2~3メートルのマストにおける測定点とは大きく異なる濃度に遭遇することになる

10

20

30

40

50

。この状況では、ガウス型ブルームモデルは正常に機能しなくなり、 $(\text{ピーク高さ}) / (\text{平均ピーク高さ}) > t$ (ここで、閾値 t は約 0.5 である) などの閾値解析により、上記源を特定のローカルな領域 (例えば路上) として明確に特定することができる。

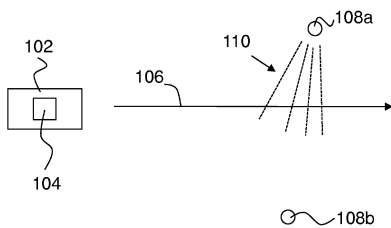
【 0 0 6 3 】

D) ユーザインターフェイス

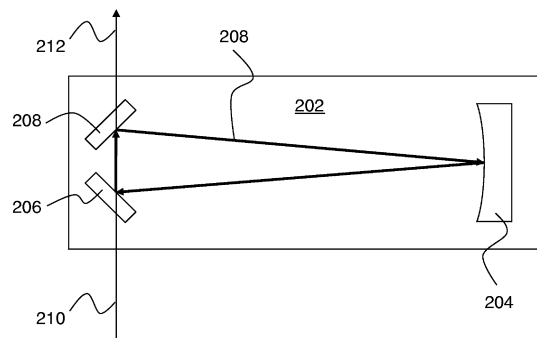
図 7 は、本発明の複数の実施形態に関連する例示的なユーザインターフェイスを示している。ここでは、地図表示部 302 は、該表地図示部上に重ねられた漏洩図形 (例えば、704, 708, 710) を有する。漏洩図形には、検知されたガス漏洩の位置 (すなわち、対応する漏洩濃度が測定されたプラットフォームの位置) を示すポイント (例えば、706) が含まれている。漏洩図形の大きさは、ピーク振幅 (すなわち、ピーク濃度がローカルバックグラウンドを超えた量)、ピーク濃度、または測定されたピークの空間幅 (spatial width) などの量に応じてスケーリングすることができる。漏洩図形の内部に数値パラメータ (振幅、濃度、幅、またはいくつかの規定領域内での漏洩の深刻度ランクなど) を示すことができる。同位体比測定を行う場合、それらを表示部 (例えば 712) に示すこともできる。漏洩図形は、任意の形状を有することができる。漏洩図形上のポイントは、任意の形状を有することができる。

10

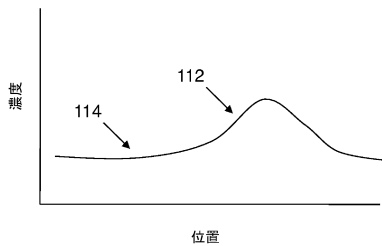
【 図 1 a 】



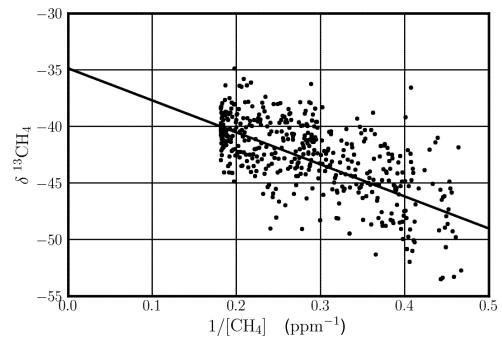
【 図 2 】



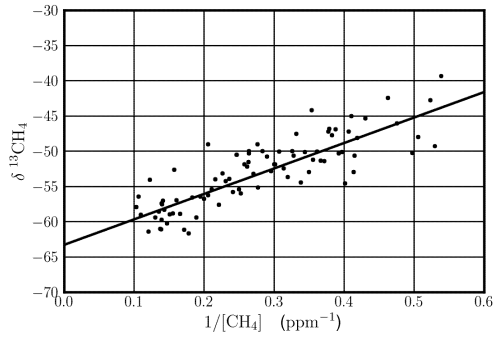
【 図 1 b 】



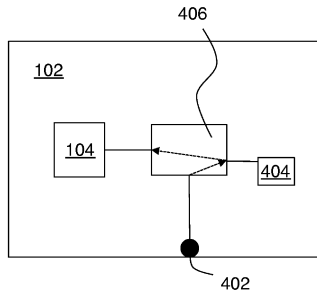
【 図 3 a 】



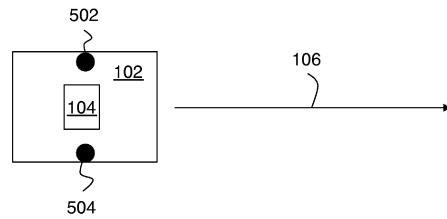
【 3 b 】



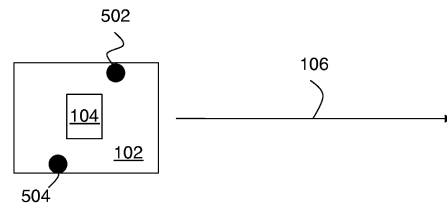
【 4 】



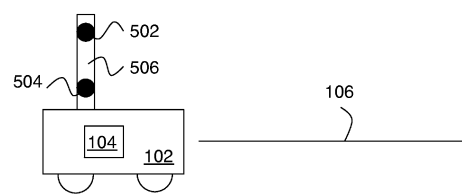
【 5 a 】



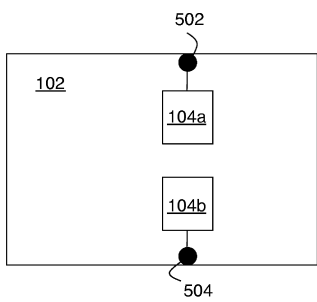
【 5 b 】



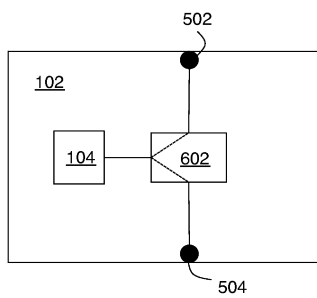
【 5 c 】



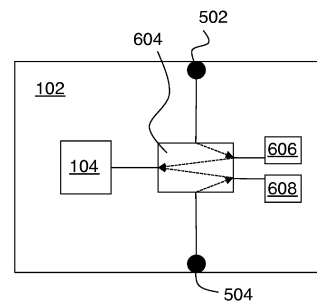
【 6 a 】



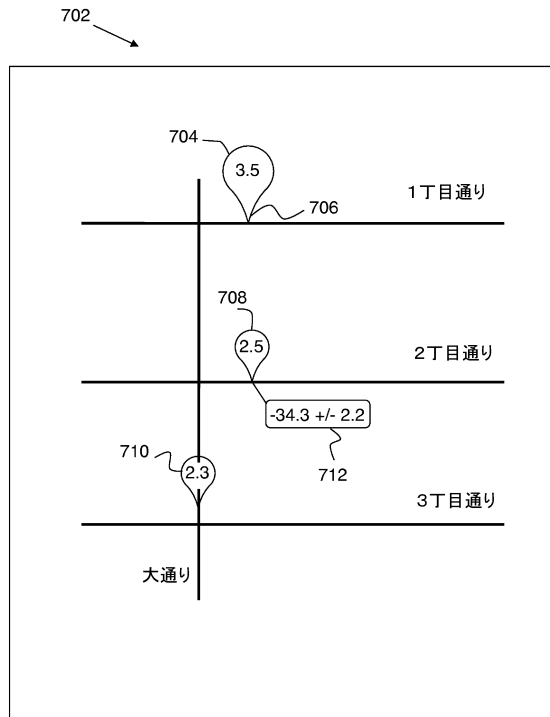
【 6 b 】



【 6 c 】



【図7】



フロントページの続き

- (72)発明者 ウォルク、マイケル・アール
アメリカ合衆国カリフォルニア州94550・リバモア・インブルーネータ コート 2772
- (72)発明者 タン、ジー・メン
アメリカ合衆国カリフォルニア州94087・サニーバール・ロックサンアート ウェイ ナンバ
ー20 160

審査官 素川 慎司

- (56)参考文献 特表2009-508108(JP,A)
特開平07-280697(JP,A)
特開2010-243178(JP,A)
米国特許第07704746(US,B1)
特開平09-236506(JP,A)
特開2009-042965(JP,A)
実開昭56-051065(JP,U)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01M 3/00