

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6637077号
(P6637077)

(45) 発行日 令和2年1月29日(2020.1.29)

(24) 登録日 令和1年12月27日(2019.12.27)

(51) Int.Cl.

GO 1 N 15/02 (2006.01)

F 1

GO 1 N 15/02

A

請求項の数 15 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2017-564371 (P2017-564371)
 (86) (22) 出願日 平成28年6月6日(2016.6.6)
 (65) 公表番号 特表2018-521315 (P2018-521315A)
 (43) 公表日 平成30年8月2日(2018.8.2)
 (86) 國際出願番号 PCT/EP2016/062815
 (87) 國際公開番号 WO2016/198360
 (87) 國際公開日 平成28年12月15日(2016.12.15)
 審査請求日 令和1年6月3日(2019.6.3)
 (31) 優先権主張番号 15171916.8
 (32) 優先日 平成27年6月12日(2015.6.12)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
歐州特許庁(EP)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 590000248
コーニンクレッカ フィリップス エヌ
ヴェ
KONINKLIJKE PHILIPS
N. V.
オランダ国 5656 アーネー アイン
ドーフェン ハイテック キャンパス 5,
High Tech Campus 5,
NL-5656 AE Eindhoven
(74) 代理人 100107766
弁理士 伊東 忠重
(74) 代理人 100070150
弁理士 伊東 忠彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】光学式粒子センサとセンシング方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

センサ信号を発生する光センサであって、前記センサ信号または前記センサ信号の分析が閾値設定を適用することにより制御可能であり、前記閾値設定が前記センサ信号によりキャプチャされる粒径検出範囲を決定する、光センサと、

コントローラであって、

相異なる少なくとも第1の閾値設定と第2の閾値設定を適用し、単位時間あたりの粒子カウントまたは低パルス占有率を示す、対応する第1の光センサ読み取り値と第2の光センサ読み取り値を受け取り、

前記第1の光センサ読み取り値と第2の光センサ読み取り値を比較して、汚染イベントのタイプに依存するパラメータを決定し、それにより前記汚染イベントを特定し、

特定された汚染イベントに関する粒径プロファイルを用いて、前記第1の光センサ読み取り値と第2の光センサ読み取り値のうちの少なくとも1つから、第1の粒径未満の全粒子の質量を決定する、コントローラとを有する

光学式粒子センサ。

【請求項 2】

前記光センサは第2の粒径より大きく第1の粒径より小さい粒子にのみ感度を有する、
請求項1に記載のセンサ。

【請求項 3】

前記光センサは、比較器によるアナログ信号のデジタル化後の低パルス占有率の大きさ

10

20

を提供する場合、低パルス占有率の大きさを提供するため、前記光センサは、光源と、散乱信号パルスを測定する光検出器とを有し、

前記コントローラは、高さ閾値を越える散乱信号パルスのカウントを提供し、前記高さ閾値を越える検出がある時間の割合を決定するように適応される、

請求項 1 に記載のセンサ。

【請求項 4】

前記コントローラは、前記第 1 の光センサ読み取り値と第 2 の光センサ読み取り値を比較するように適応され、前記比較は、

前記第 1 の閾値設定の場合の単位時間当たりの粒子カウントと、前記第 2 の閾値設定の場合の低パルス占有率とを組み合わせること、又は

10

前記第 1 の閾値設定の場合の単位時間当たりの粒子カウントと、前記第 2 の閾値設定の場合の単位時間当たりの粒子カウントとを組み合わせることにより行われる、

請求項 3 に記載のセンサ。

【請求項 5】

前記第 1 の閾値設定は前記第 2 の閾値設定よりも、広い範囲の粒径を検出するものである、請求項 1 に記載のセンサ。

【請求項 6】

前記コントローラは、前記パラメータに基づいて、前記第 1 の光センサ読み取り値と第 2 の光センサ読み取り値のうち一つを修正し、前記第 1 の粒径未満のすべての粒子の検知質量を求めるように適応された、

20

請求項 1 に記載のセンサ。

【請求項 7】

前記第 1 の粒径未満のすべての粒子の質量を示す情報を表示するディスプレイを有し、

前記コントローラは第 1 の質量信号と、第 2 の質量信号とを生成するように適応され、

前記第 1 の質量信号はリアルタイムセンサ信号であるか、又は第 2 の質量信号より短い持続時間にわたって平均された移動平均信号であり、プロセッサは前記第 1 の質量信号と第 2 の質量信号のうち一つを含む表示用の出力を提供するように適応される、

請求項 1 に記載のセンサ。

【請求項 8】

前記コントローラは前記第 1 の質量信号と第 2 の質量信号の一つを、それらの差分に応じて選択するように適応される、請求項 7 に記載のセンサ。

30

【請求項 9】

光センサを作動してセンサ信号を生成することと、

相異なる少なくとも第 1 の閾値設定と第 2 の閾値設定を適用することにより、前記光センサを制御または生成されたセンサ信号を分析し、単位時間あたりの粒子カウントまたは低パルス占有率を示す、第 1 の光センサ読み取り値と第 2 の光センサ読み取り値を取得することであって、閾値設定が前記センサ信号によりキャプチャされる粒径検出範囲を決めることと、

前記第 1 の光センサ読み取り値と第 2 の光センサ読み取り値を比較して、汚染イベントのタイプに依存するパラメータを決定し、それにより汚染イベントのタイプを特定することと、

40

特定された汚染イベントに関する粒径プロファイルを用いて、前記第 1 の光センサ読み取り値と第 2 の光センサ読み取り値のうちの少なくとも 1 つから、第 1 の粒径未満の全粒子の質量を決定することとを含む、

光学式粒子センシング方法。

【請求項 10】

前記第 1 の閾値設定の単位時間当たりの粒子カウントと、前記第 2 の閾値設定の低パルス占有率とを組み合わせることにより、前記第 1 の光センサ読み取り値と第 2 の光センサ読み取り値を比較すること、又は

前記第 1 の閾値設定の単位時間当たりの粒子カウントと、前記第 2 の閾値設定の単位時

50

間当たりの粒子カウントとを組み合わせることにより、前記第1の光センサ読み取り値と第2の光センサ読み取り値を比較することを含む

請求項9に記載の方法。

【請求項11】

前記第1の閾値設定は前記第2の閾値設定よりも、広い範囲の粒径を検出するものである、請求項9に記載の方法。

【請求項12】

前記パラメータに基づいて前記第1の光センサ読み取り値と第2の光センサ読み取り値のうちの1つを修正することと、それにより前記第1の粒径未満のすべての粒子の質量を求めるることとを含む、

請求項9に記載の方法。

【請求項13】

前記第1の粒径未満のすべての粒子の質量を示す情報を表示することを含み、

方法は、第1の質量信号と、第2の質量信号とを生成することであって、前記第1の質量信号はリアルタイムセンサ信号であるか、又は第2の質量信号より短い持続時間にわたり平均化された移動平均信号である、ことと、

リアルタイム質量信号と前記移動平均信号とのうち1つを表示することとを含む、

請求項9に記載の方法。

【請求項14】

前記第1の光センサ読み取り値と第2の光センサ読み取り値は、同じセンサ位置において順次的に、又は異なるセンサ位置において同時に取られる、

請求項9に記載の方法。

【請求項15】

コンピュータで実行されると、請求項9に記載の方法を実施するように適応されたコンピュータコード手段を含むコンピュータプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は光学式粒子センサとセンシング方法とに関する。

【背景技術】

【0002】

粒子センサは、例えば、空気中の汚染レベルを測定するために使用される。

【0003】

低コストのシステムがあるが、これはセンサ内の検出ボリュームを通る空気流と一緒に通過する粒子で散乱された光の測定に基づくものである。この空気流は、例えば、ファンまたはヒーターによって駆動される。各粒子は、連続的な光源によって照射され、検出ボリュームを通る粒子の通過時間によって決定される持続時間を有する光パルスを発生する。

【0004】

これらのパルスは、エレクトロニクスシステムにおいて増幅され、フィルタリングされ、計数される。粒子濃度レベルを示すことに加えて、このような検出器を使用して、空気清浄装置の動作を駆動することができる。

光学式粒子センサは、一般的に、センサ出力として粒子数を与え、これらの数値は質量濃度に変換される。しかし、この変換は現実から逸脱することがあり、それはエアロゾルのタイプが異なれば、密度も異なるからである。これは、すべての光学式粒子センサにとっての一般的な問題である。

【0005】

さらに、低コストの光センサは、一般的には、一定粒径（例えば、700nm）を超える粒子に対してのみ敏感である。しかしながら、いわゆるPM2.5標準は、2.5μm未満のサイズの全ての粒子の質量を提供する必要がある。実際には、700nm未満の粒

10

20

30

40

50

子はこの質量に寄与するが、センサによって検出されない。したがって、検出器によって計数された粒子数の全粒子質量への変換は、PM2.5レベル全体に対するこれらの小さな粒子の相対的な寄与の影響を受ける。この寄与は、大気中の粒径の分布に依存し、それは汚染イベントのタイプに依存する。

【発明の概要】

【0006】

したがって、低成本の光センサを使用することができるが、特定の粒径（例えば、2.5 μm ）未満の全粒子質量の正確な読み取り値を提供することができる粒子センサが必要とされている。本発明は独立請求項に記載されている。従属請求項は有利な実施形態を記載している。

10

【0007】

本発明の一態様による例では、光学式粒子センサが提供される。これは、センサ信号を発生する光センサであって、前記センサ信号または前記センサ信号の分析が閾値設定を適用することにより制御可能であり、前記閾値設定が前記センサ信号によりキャプチャされる粒径検出範囲を決定する、光センサと、コントローラであって、前記コントローラは、相異なる少なくとも第1と第2の閾値設定を適用し、対応する第1と第2の光センサ読み取り値を受け取り、前記第1と第2の光センサ読み取り値を処理して、汚染イベントのタイプに依存するパラメータを決定し、前記パラメータを用いて、前記第1および第2の光センサ読み取り値のうちの少なくとも1つから、第1の粒径未満の全粒子の質量を決定するように適応されたコントローラとを有する。

20

【0008】

少なくとも2つの異なる閾値設定で光センサ読み取り値（別個の検出信号として、または単一の検出信号を処理することによって導出された読み取り値として）を取得することにより、少なくとも2つの異なる粒径範囲に対するセンサ応答が得られる。次いで、異なる光センサ読み取り値を処理して、特定のパラメータによって特徴付けられる汚染イベントの性質を決定することができる。例えば、異なる汚染イベントは異なる特徴的な粒径プロファイルを有し、その結果、異なるセンサ信号ペアが得られる。例として、汚染イベント（汚染として知覚されるエアロゾルを発生する様々なイベント）は、異なる温度における異なる種類の成分での調理、タバコの煙、都市の大気汚染、ろうそくの燃焼などである。異なる種類の汚染イベントの既知の特徴的な粒径プロファイルにより、光センサ読み取り値の一方または両方を再スケーリングまたは他の方法で処理して、全粒子の光センサ読み取り値から第1の粒径（particle size）までの正確な質量変換を得ることができる。この粒子範囲には、光センサの検出下限未満の粒子が含まれ、粒子分布を測定できない。これは、例えば、PM2.5質量濃度値について $\mu\text{g}/\text{m}^3$ などと計算することができる。

30

【0009】

汚染イベントのタイプを考慮することにより、光センサの測定範囲外の小さな粒子からの全体的な粒子質量の寄与について、より正確な評価が可能である。したがって、正確な質量濃度は、粒子カウント情報から質量分布情報への変換に使用される動的（すなわち時間的にマルチレベルで）較正／補正スキームに基づいて決定される。

40

【0010】

少なくとも2つの異なる種類の汚染イベントがあり、したがって少なくとも2つの異なるパラメータが得られる。好ましくは、より多くの、例えば5以上の異なる汚染イベントがある。

【0011】

一組の実施例では、センサは閾値設定を受け取る入力を有する。次に、コントローラは、異なるセンサ読み取り値を発生させるために、閾値設定入力に適用された信号を適応させる。他の一組の例では、広帯域信号がセンサから受信され、閾値の適用はセンサレベルではなく信号処理レベルで適用される。

【0012】

50

従って、本発明は、光検出器の信号から、粒径分布 (particle size distribution) の形状を示すパラメータを求める目的とする。したがって、このパラメータは、汚染イベントのタイプに依存する。すなわち、支配的な寄与がより大きな粒子（例えば、調理またはろうそく消しイベントからのもの）によるイベントと、支配的な寄与が小さな粒子（屋外の汚染やたばこの煙）によるイベントとを区別する。そのイベントの特徴を用いて、PM2.5のような全質量測定に変換するための較正係数を選択することができる。

【0013】

光センサは、例えば、第2の粒径より大きく第1の粒径より小さい粒子にのみ感度を有する、センサは、最小の粒子に対する光センサの感度のギャップを補償すること可能にする。10

【0014】

光センサは、単位時間当たりのカウントの尺度を提供し、任意的に、比較器による前記アナログ信号のデジタル化後の低パルス占有率割合の尺度も提供してもよい。低コストの光センサは、カウントおよび／または低パルス占有率 (LPO%) を提供することができる。したがって、本発明は、例えば光センサによって粒子が見られる時間に基づく、低コストの光センサによって実施することができる。より大きい粒子はセンサによりより長く見られ、従って（光センサが検出された信号を積分するので）振幅においても、時間軸上でもより大きな信号を与える。閾値が信号振幅に適用され、あるサイズを超える粒子のみが閾値に達する。閾値に達するパルスのカウントは、粒子カウントを測定すること可能にする。LPO測定は、閾値を満たす粒子が検出される時間の割合に基づいている。したがって、単一の低コストのセンサが、LPOと、粒子カウント情報との両方を生成することができる。20

【0015】

前記コントローラは、前記第1と第2の光センサ読み取り値を処理するように適応されてもよく、前記処理は、前記第1の閾値設定の場合の単位時間当たりの粒子カウントと、前記第2の閾値設定の場合の低パルス占有率とを組み合わせること、又は前記第1の閾値設定の場合の単位時間当たりの粒子カウントと、前記第2の閾値設定の場合の単位時間当たりの粒子カウントとを組み合わせることにより行われてもよい。

【0016】

これは、イベントのタイプを特徴付ける2つの異なる方法を提供する。この組み合わせは、例えば、2つの値の間の比を求めることを含む。30

【0017】

前記第1の閾値設定は前記第2の閾値競ってよりも、広い範囲の粒径を検出するものであってもよい。第1の閾値設定は、例えば、より低い閾値であり、検出される粒子の範囲は、第2の閾値設定の検出される粒子の範囲よりも小さい粒子を含む。

【0018】

コントローラは、前記パラメータに基づいて、前記第1と第2の光センサ読み取り値のうち一つを修正し、前記第1の粒径未満のすべての粒子の検知質量を求めるように適応されていてもよい。40

【0019】

修正は、パラメータと修正係数との間の予め記憶された関係に基づくことができる。センサは、好ましくは、このような関係を記憶するためのメモリを有する。修正係数は、ルックアップテーブルのような異なるイベントにそれぞれ関連付けられた個々の値のセットとして格納することができる。あるいは、パラメータと修正係数との間のマッピングは関数であってもよい。後者の場合、汚染イベントのタイプはそのように識別される必要はない。その代わりに、（イベントを特徴付ける）パラメータから修正係数への変換は、イベントを具体的に特定する必要なくイベントのタイプを考慮する。

【0020】

センサは、前記第1の粒径未満のすべての粒子の質量を示す情報を表示するディスプレ50

イを有し、前記コントローラは第1の質量信号と、第2の移動平均質量信号とを生成するように適応され、前記第1の質量信号はリアルタイムセンサ信号であるか、又は前記第2の質量信号より短い持続時間にわたり平均化された移動平均信号であり、プロセッサは、第1および第2の質量信号のうちの1つを含む、表示のための出力を提供するように適応されてもよい。ゆっくり変化するデータの場合、移動点平均信号はより正確な読み取りを提供するが、急速に変化するデータの場合、リアルタイム信号（すなわち、可能な最短平均ウィンドウを有するもの）または第2の信号より短い平均化ウィンドウを有する信号は、汚染スパイクのようなイベントが発生する実際の時間に関するより多くの情報を提供する。

【0021】

10

コントローラは、それらの間の差に応じてリアルタイム質量信号および移動点平均質量信号のうちの1つを選択するように適合されてもよい。この差により、センサは、リアルタイム情報がより重要であるか、平均情報が、より正確であるが時間的には性格でないが、より重要であるかを判断することが可能になる。

【0022】

本発明の他の一態様によると、光学式粒子センシング方法は、光センサを作動してセンサ信号を生成することと、少なくとも第1と第2の閾値設定を適用することにより、前記センサを制御または生成されたセンサ信号を分析し、第1と第2のセンサ読み取り値を取得することであって、前記閾値設定が前記センサ信号によりキャプチャされる粒径検出範囲を決めることと、前記第1と第2の光センサ読み取り値を処理して、汚染イベントのタイプに依存するパラメータを決定することと、前記パラメータを用いて、前記第1および第2の光センサ読み取り値のうちの少なくとも1つから、第1の粒径未満の全粒子の質量を決定することとを含む。

20

【0023】

本方法は、前記第1の閾値設定の単位時間当たりの粒子カウントと、前記第2の閾値設定の低パルス占有率とを組み合わせることにより、前記第1と第2の光センサ読み取り値を処理すること、又は前記第1の閾値設定の単位時間当たりの粒子カウントと、前記第2の閾値設定の単位時間当たりの粒子カウントとを組み合わせることにより、前記第1と第2の光センサ読み取り値を処理することを含んでもよい。

【0024】

30

本方法は、前記第1の粒径未満のすべての粒子の質量を示す情報を表示することを含み、前記方法は、さらに、第1の質量信号および第2の移動平均質量信号を生成することと、第1および第2の質量信号のうちの1つを表示することとを含む。

【図面の簡単な説明】

【0025】

添付した図面を参照して、本発明の実施例を詳細に説明する。

【図1】本発明を適用可能な光センサの一例を示す図である。

【図2】家庭内の様々な夕食イベントを監視した結果を示す。

【図3】朝食イベントにおける図2と同様の結果を示す。

40

【図4】夜間イベントにおける図2と同様の結果を示す。

【図5】ろうそく消しイベントにおける図2と同様の結果を示す。

【図6】専門家の質量濃度の読み取りと低コストのセンサの読み取りとの間の様々な可能な関係を示す。

【図7】第1の閾値におけるカウントと第2の閾値におけるLPO%との間の比に対する較正係数のプロット上の異なるイベントを示す。

【図8】図7と同じ実験結果を、低コストセンサおよびプロフェッショナルセンサの伝達関数のモデル化の結果である関数曲線と共に示す。

【図9】第1および第2の閾値における毎秒カウント(counts/s)の比と、第1の閾値における毎秒カウントおよび第2の閾値におけるLPO%の比との関係を示す。

50

【図10】1分間にわたって平均化されたデータについて、基準機器と比較したセンサデータの第1の回帰分析を示す。

【図11】10分間にわたって平均化されたデータについて、基準機器と比較したセンサデータの第2の回帰分析を示す。

【図12】1時間にわたって平均化されたデータについて、基準機器と比較したセンサデータの第3の回帰分析を示す。

【図13】PM2.5測定について、表されたセンサ値に移動データ平均化を適用する効果を示す第1のグラフである。

【図14】PM2.5測定について、表されたセンサ値に移動データ平均化を適用する効果を示す第2のグラフである。

【図15】表示するデータを選択する方法を示す図である。

【図16】3つの異なる出力データストリームを示し、それぞれがカウント/秒である。

【図17】本発明の一般的な粒子センシング方法を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0026】

本発明は、少なくとも第1および第2の閾値設定が光センサまたはセンサ信号に適用されて、第1および第2の光センサ読み取り値を取得する光学式粒子センサを提供する。それらを処理して、汚染イベントのタイプに依存するパラメータを決定する。このパラメータを用いて、第1および第2の光センサ読み取り値のうちの少なくとも1つから、第1の粒径未満の全粒子の質量を決定する。このようにして、たとえ光センサが最小の粒子に応答しなくとも、所望サイズ未満の全ての粒子の質量を評価することができる。

【0027】

図1は、本発明を適用可能な光センサの一例を示す。センサ装置全体の入口11から出口12へのガス流10がある。赤外線LED14(λ = 890 nm)を使用してガス流を照射し、散乱の光学的測定に基づいて同伴粒子の光学的検出を可能にする。LEDは検出ボリュームの一方の側にあり、検出は反対側で行われる。別の設計では、光の反射を利用することができる。

【0028】

光センサ16は、フォトダイオードセンサ18と、散乱光が収集される集束レンズ20とを備える。

【0029】

ヒーター22は、センサ装置を通る対流を誘導するために使用される。結果として生じる浮力によって、空気は、検出器の頂部に向かって流れ、検出ボリュームを通って粒子を運ぶ。

【0030】

コントローラ24は、センサ信号の処理と、ヒーターおよび光源の動作とを制御する。

【0031】

検出ボリュームは、粒子による信号をカウントに変換する電子回路を有するプリント回路基板上に配置されたハウジングの一部である。ハウジングの内部形状は、バックグラウンド信号を与えるだろうフォトダイオードセンサに向かうLED光の直接的な漏れが最小になるようになっている。残りのDC信号を電子的にフィルタリング(filtering out)することにより、パルス状の粒子信号が残る。

【0032】

この信号は増幅され、閾値電圧と比較される。一定の粒径より上では、ピーク高さは閾値を通過するのに十分である。したがって、閾値は、帯域通過フィルタリング機能を実現する。パルスがカウントされ、パルス長が測定され、結果として低パルス占有時間(LPO%)が得られる。

【0033】

したがって、2つの基本的な出力がある。1つは単純な粒子カウントであり、これは閾値セットを超える検出ピークの数のカウントである。もう1つは、しきい値を超える検出

がある時間の割合である。したがって、ある閾値レベルについて、信号が閾値以上である合計時間が、1秒のウィンドウ内で700msである場合、低パルス占有時間は70%である。低パルス占有率測定は、経時的なセンサ出力の単純なバイナリ符号化を可能にする。例えば、検出された信号が閾値を上回っている場合には2進ゼロ出力、検出された信号が閾値未満である場合には2進1である。デジタルゼロ期間の合計持続時間が、低パルス占有時間に対応する。デジタルゼロ期間の合計時間（一定単位時間あたり）は、アナログ出力信号に比例する。

【0034】

このタイプのセンサでは、アナログ信号の振幅は、粒子カウントまたは低パルス占有測定を使用するかどうかにかかわらず、粒径に比例する。閾値は、センサシステムの粒径感度を制御する比較器に印加される閾値電圧として実施される。10

【0035】

より大きい粒子は、より多くの光を散乱させ、したがって、光検出器においてより大きな信号振幅を発生する。このアナログ信号は（適切なフィルタリング段階および増幅段階の後に）、比較器に供給される。

【0036】

比較器に供給される閾値電圧は、このアナログ信号の境界限界を設定する。例えば、1V閾値は、1Vを超えるすべての信号が検出信号として登録され、したがって、1Vを超えるアナログ信号を発生するすべての粒径に対応することを意味する。同様に、2V閾値は、より大きなサイズの粒子のみが出力を生成することを可能にするために、境界を上げる。20

【0037】

簡略化のために、1V閾値電圧は、1μm以上の粒子について生成される信号に対応してもよく、2V閾値は2μm以上の粒子に対応してもよい。1μmと2μmとの間の粒径範囲について、ある粒径範囲（「サイズビン」としても知られている）についての粒子計数情報を生成するために、これらの閾値電圧で生成される信号の数が減算される。

【0038】

アナログ信号をデジタル化されたバイナリ出力に変換するために、3つ以上の閾値電圧を使用することができる。

【0039】

上記のセンサは基本的に、入口と出口とを有し、その間にガス流を有するハウジングと、検出ボリューム中で光散乱測定を行う、光源及び検出器信号が粒径と相關する（たとえば比例する）光検出器と、前記検出器信号を、調整可能な閾値と比較する信号プロセッサとを有する。30

【0040】

信号処理の比較部分の実施は、調整可能な基準電圧入力を有するコンパレータを用いて簡単に実施することができる。

【0041】

最も単純な実施形態では、本発明は、可能な限り多くの粒径が検出されるように、低い閾値電圧（第1の閾値設定値）で検出器信号を測定することを含む。検出器信号はまた、より大きな粒子のみが測定されるように、より大きな閾値電圧（第2の閾値設定値）を用いて測定される。これらの信号を比較すること（例えば、2つの信号の比を決定すること）によって、より大きい粒子の総粒子質量への寄与に対する尺度が得られる。これは、粒径分布の形状、したがってイベントのタイプに関する情報を提供する。40

【0042】

このイベントタイプの知識を用いて、第1の信号のPM2.5（またはPM5またはPM10などの他のPM値）の値への変換を推定することができる。この変換は、センサの感度の下限を下回る粒径分布の推定を実施するが、それらの小粒径での測定を必要としない。

【0043】

10

20

30

40

50

本発明者らは、粒径分布 (particle size distributions) が屋外条件と屋内条件とで著しく異なることがあると判断した。さらに、屋内条件では、粒径分布は、室内で起こるイベントのタイプに大きく依存する。

【0044】

これを示すいくつかの結果を以下に示す。結果は、正確な絶対 PM 2.5 値を提供することができる基準としてプロフェッショナル検出システムを使用して粒子分布を測定することによって得られた。

【0045】

しかしながら、図 1 の低コスト光センサは、より限定された範囲の粒径（典型的には約 700 乃至 3000 nm）に対して主に感度があり、その範囲も上記の通り閾値電圧設定に依存する。例えば、たばこの煙の場合、PM 2.5 マス (mass) の多くは、700 nm 未満のサイズの粒子からなる。10

【0046】

したがって、実際の PM 2.5 値と図 1 のセンサからの信号との間の比は、イベントのタイプに依存する。

【0047】

図 2 は、家庭内の様々な屋内イベントを監視した結果を示す。測定は、図 1 に示されたタイプの様々なセンサおよびプロフェッショナル基準検出器を用いて行われた。

【0048】

図 2において、PM 1、PM 2.5 および PM 10 の結果は、4 つの異なる日の夕食イベントに対して与えられている。20

【0049】

x 軸は時間をプロットし、y 軸は $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 単位の粒子密度をプロットする。縦線は、主要な汚染（例えば、夕食の調理）が行われている時間を示す。これらのイベントウィンドウ内の平均値は、さらなる分析に使用される。

【0050】

図 3 では、2 つの朝食イベントについても同様の結果が示されている。

【0051】

最後に、夜間イベントが図 4 に示され、夜間の監視が含まれ、ろうそくを消すイベントが図 5 に示されている。30

【0052】

図 2 の夕食イベントでは、PM 10 の値が PM 1 の値よりもはるかに大きく、この種のイベント中には大気中に存在する大きな粒子の寄与が大きいことを示している。図 3 の朝食イベントでは、PM 1、PM 2.5、および PM 10 の値がはるかに近くなり、このイベント中には小さな粒子の寄与が支配的であることを示している。これは、図 4 の午後 9 時から夜中までを監視する場合にも当てはまる。

【0053】

図 5 のろうそくイベントでは、数 μm サイズの粒子の寄与が比較的大きい。

【0054】

上に示したようなイベントウィンドウを用いて、プロフェッショナル検出器の読み取り値と低コストの光センサの読み取り値の平均値を取る。40

【0055】

プロフェッショナル質量濃度測定値と低コストセンサの測定値との間の様々な可能な関係を分析することができる。図 6 ないし 9 は、異なるパラメータ間の関係を示す様々なプロットを示す。それぞれの場合において、シンボル 6 0 は夕食イベントを示し、シンボル 6 2 はろうそくイベントを示し、シンボル 6 4 は長い夜間イベントを示し、シンボル 6 6 は朝食イベントを示す。

【0056】

図 6 (a) は、プロット上の様々なイベントを示し、y 軸は、第 1 の（例えば、0.6 V）閾値設定での較正係数 b（これは $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 単位でのプロフェッショナル PM 2.5 50

質量測定値と、低コストセンサのカウント／秒単位の読み取り値との比である)である)であり、 x 軸は、プロフェッショナル基準計器によって測定される、 $1 \mu\text{m}$ ないし $2.5 \mu\text{m}$ サイズのPM2.5粒子質量の割合である。

【0057】

較正パラメータ b の重要性は、それが決定できれば、(第1の閾値での)低コストセンサ読み取り値から所望の実際のPM2.5値への変換を提供されることである。

【0058】

図6(b)は、プロット上の様々なイベントを示し、 y 軸は、低コストセンサの第1の閾値(0.6V)におけるカウント値と第2の閾値(1.0V)におけるカウントとの間の比を示し、 x 軸は、プロフェッショナル基準計器によって測定される、 $1 \mu\text{m}$ ないし $2.5 \mu\text{m}$ サイズのPM2.5粒子質量の割合である。
10

【0059】

図6(c)は、プロット上の様々なイベントを示し、 y 軸は、第1の閾値(0.6V)におけるカウント値と、第2の閾値(1.0V)におけるLPO%との間の比を示し、 x 軸は、プロフェッショナル基準計器によって測定される、 $1 \mu\text{m}$ ないし $2.5 \mu\text{m}$ サイズのPM2.5粒子質量の割合である。

【0060】

図6(a)は、特に小さな粒子の寄与が大きい朝食イベントが夕食イベントに比べてより大きな b 値を示すことを示している。これは、低コストのセンサが敏感である $1 \mu\text{m}$ ないし $2.5 \mu\text{m}$ の粒径の存在が比較的低いことから理解でき、感度の低下、したがって b の値が大きくなることにつながる。
20

【0061】

この効果は、図6(b)のように 1.0V 閾値設定での結果を使用するとさらに強くなる。 0.6V での測定カウント／秒と 1.0V での測定カウント／秒との比を、 $1.0 \mu\text{m}$ ないし $2.5 \mu\text{m}$ の相対粒子質量の関数としてプロットした。この比率は、夕食イベントと朝食イベントの間で非常に異なる。これは、 1.0V では、低コストのセンサが、 0.6V よりも多くの小粒子を除外するという事実と一致している。

【0062】

図6(c)では、 0.6V でのカウント数／秒と、 1.0V でのLPO%値との比を用いて、パラメータを形成する。夕食及び朝食イベント間の違いは、 1.0V におけるカウントよりさらに強い。
30

【0063】

これらの結果は、測定カウント／秒(0.6V)のLPO%(1.0V)に対する比を、関心パラメータとして、それゆえイベントタイプのフィンガープリントとして用いてもよいことを示唆している。このマッピングは、小粒子が支配的なイベントの場合に、又は大粒子が支配的なイベントの場合に機能する。

【0064】

図7は、プロット上の様々なイベントを示し、 y 軸は、第1の(例えば、 0.6V)閾値設定での較正係数 b (これは $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 単位でのプロフェッショナルPM2.5質量測定値と、低コストセンサのカウント／秒単位の読み取り値との比である)であり、 x 軸は、第1の閾値(0.6V)におけるカウント値と、第2の閾値(1.0V)におけるLPO%との間の比を示す。
40

【0065】

図7は、(2つの閾値での)結合された2つの低コストセンサ読み取り値と、所望の較正値 b との間をマッピングする関数(例えば、図7に示す最良適合線)が存在することを示す。

【0066】

図7の例を用いて、第1の閾値(0.6V)でのカウントと、第2の閾値(1.0V)でのLPO%との比を「パラメータ」として定義することができる。このパラメータは汚染イベントのタイプに依存する。図示したように、イベントが異なれば、 x 軸に沿って異
50

なる値を生じるからである。次いで、このパラメータを使用して、第1の粒径未満の全ての粒子の質量を決定することができる。これは、(図7の最良の適合線を使用して)パラメータを較正值 b に変換することによって実行され、較正值 b は、より低い閾値の低コストセンサ読み取り値を所望のPM値にマッピングする。したがって、較正值 b を使用して、第1の光センサ読み取り値を修正して、第1の粒径(例えば、 $2.5\mu m$)未満の全ての粒子の検出質量を導き出すことができる。

【0067】

この例では、第1の閾値設定の単位時間当たりの粒子数は、第2の閾値設定の低いバルス占有率と組み合わされる。

【0068】

しかしながら、例えば、第1の閾値設定の単位時間当たりの粒子カウントと、第2の閾値設定の単位時間当たりの粒子カウントとを組み合わせることによって、較正值 b にマッピングすることができる他のパラメータも可能である。これはまた、図6(b)から分かるように可能なマッピングを提供する。

【0069】

次に、(選択されたパラメータによって具体化される)イベントの種類の知識を使用して、第1の閾値設定でのカウント/秒データを総質量濃度データに変換する b の絶対値を求める。

【0070】

本発明は、本質的に、センサデバイスのコントローラ24において、または部分的にセンサデバイスに(例えば、異なる閾値の適用を制御するために)おいて、部分的に遠隔的に(例えばセンサデータを処理するために)、または閾値が生データのデータ処理としてのみ適用可能な場合には完全に遠隔的に、好適なソフトウェアを動作させることにより、実施できる。

【0071】

本発明の方法は、プロフェッショナル検出器および低コスト光センサの伝達関数モデルを導出し、次いで異なる理論的な粒子質量分布を処理することによって、試験された。

【0072】

図8は、図7と同じ実験結果を示す。また、低コストセンサとプロフェッショナルセンサの伝達関数のモデル化の結果であるラインを示す。したがって、測定されたパラメータ(この場合、第1の閾値でのカウント/秒の、第2の閾値でのLPO%に対する比)を較正值 b にマッピングするために使用される関数は、最適なラインではないかもしれないが、非線形関数であってもよい。

【0073】

結論として、一例では、汚染のタイプは、0.6Vにおけるカウント/秒と、1.0VにおけるLPO%との測定された比であるパラメータから見出すことができる。図8の関係を用いて、このイベントの対応する較正係数 b を決定することができる。

【0074】

あるいは、0.6Vにおけるカウント/秒の、1.0Vにおけるカウント/秒の測定された比であるパラメータも用いて、イベントのタイプを求めることができる。

【0075】

図9に示すように、図8で用いたのと同じ伝達関数モデリングに基づいて、(i)第1および第2の閾値におけるカウント/秒の比と、(ii)第1の閾値におけるカウント/秒と第2の閾値におけるLPO%との比との間に関係がある。実線はモデル化から導き出された関係(直線ではない)であり、実験結果は良好な適合を示す。

【0076】

従って、カウント/秒の測定のみに基づいて、図9の関係を使用して、0.6Vにおけるカウント/秒および1.0VにおけるLPO%の対応する比を導き出すことができる。次に、図8を使用して、このイベントの、対応する較正因子 b を決定できる。

【0077】

10

20

30

40

50

もちろん、実際には、すべての計算はソフトウェアで行われるので、図 9 の関係から図 8 にマッピングする必要はない。代わりに、カウント／秒の比と較正値 b との間の直接的な関数であってもよい。

【 0 0 7 8 】

また、第 3 の閾値またはさらに別の閾値（例えば、1 . 0 V より大きいもの）における閾値電圧において測定されるカウント／秒または L P O % 値を用いることも可能である。追加的測定によりこのタイプのイベントに対してさらに敏感な測定が与えられ得るが、これらの測定はノイズの影響をより強く受けるかも知れない（例えば、これらの大きな閾値電圧における低粒子数カウントによるショットノイズなど）。

【 0 0 7 9 】

2 つ以上の異なる閾値設定における測定は、センサの 2 つ以上の異なる検出ポートで同時に行われても良いし、同じポートで順次に行われてもよい。

【 0 0 8 0 】

閾値は、閾値のスイープに基づき、例えば、センサ信号などすべての関連するセンサ情報の取得後に、ソフトウェアにおいて適用されてもよい。

【 0 0 8 1 】

本発明の関心は、光学的光散乱による、屋内の空気清浄システムの一部の構成など、粒子濃度検出器である。しかし、空気（又はその他の気体）中の粒子の測定と同様に、同様の方法を流体中の粒子センサに適応することができる。

【 0 0 8 2 】

この発明の他の態様は、センサ装置のユーザに対して表示される情報の選択に関する。これらのセンサの読み取り値を通信する高度なユーザインターフェースは、機器の一部とすることができる、そうでなければ、機器が遠隔機器にデータを送り、指定されたアプリケーションを介して携帯電話やタブレットなどの表示をすることができる。

【 0 0 8 3 】

センサとの通信、センサの読み取り値のユーザへの表示、および他のソースからの他の関連データの表示をするさまざまなプラットフォームに対し、多数のアプリケーション設計が利用できる。ローカル情報および他の関連情報を含むこのようなアプリケーションの一例は、Philips（登録商標）空気清浄機のユーザインターフェースである。このアプリケーションでは、機器のセンサで測定されたローカル空気質指標と、公に利用可能なソースから取得した屋外空気質指標が表示される。これは、データリッチなユーザインターフェースの典型的な例である。

【 0 0 8 4 】

粒子センサは、一般的には、始動中または濃度が劇的に変化する期間中に安定化時間を必要とする。この間、センサの読みは、安定した状態にある時ほど安定しない。

【 0 0 8 5 】

この問題の一例を図 10 ないし 12 に示す。これらは、同じ環境における実際の濃度をそれぞれ 1 分、10 分および 1 時間のサンプリング時間で予測するための、同じセンサユニットの精度を示す。

【 0 0 8 6 】

図 10 ないし図 12 のそれぞれは、参照機器と比較したセンサデータの回帰分析を示す。各プロットは実際の濃度対センサ信号（任意の単位）である。破線 100 は 90 % 予測区間を示す。センサと基準機器との間の線形関係の成功率は、1 分データで 59 . 9 %、10 分データで 79 . 1 %、1 時間データで 93 . 6 % である。

【 0 0 8 7 】

図 10 ないし図 12 から分かるように、センサの成功率は、平均化時間を長くすれば劇的に向上する。同じことが異なるタイプのセンサにも当てはまる。これは、積分時間がより長くなること、及びデータ平均期間がより長くなることによる利益である。

【 0 0 8 8 】

図 13 及び図 14 は、PM 2 . 5 測定について、表されたセンサ値に移動データ平均化

10

20

30

40

50

を適用する効果を示す。3つのプロットが示されているが、1分間、10分間、および1時間の平均化窓に対応するものである。y軸は表示されたPM2.5の値を示し、x軸は時間を示す。

【0089】

図13では、20:30に大きな検出イベントがある。平均化時間ウィンドウが長いほど、ピーク値に達するまでに時間がかかり、ピーク値は抑制される。

【0090】

図14には、より小さい検出イベントのシーケンスがある。マイナーピークは、センサデータの長期（例えば、1時間）移動平均化の結果として、センサ読み取り値では失われる。

10

【0091】

データが長い平均化時間（すなわち積分時間またはサンプリング時間）で表される場合、データは静的条件ではより正確である。しかしながら、これは、センサ応答の刺激があるときに急激な濃度変化の間にユーザに誤った通信をもたらす結果となる。表示されるデータが平均時間の終わりにのみイベントの効果を示し、それはイベントが発生してからずっと後のことだからである。例えば、粒子センサの場合、時間平均を使用することは、図10ないし図12に示すように、より高い信頼性でデータを提供する利点を有する。しかし、図13及び14に示すように、濃度のピークを発生する短期イベントの可視性およびレベルは、長期データ平均によって有意に影響されるであろう。この平均化はまた、図14に示されるように、センサ読み取り値におけるいくつかの小さなピークの完全な消失をもたらす可能性がある。

20

【0092】

これらのミスマッチは、ユーザの知覚に悪影響を及ぼし、時々、センサの読み取り値のエラーとして認識することがあるので、消費者にとって誤解を招くことさえある。

【0093】

センサは、一般的に、得られた質量データの記憶、平均化、およびフィルタリングを実施する。処理されたデータは、センサデバイスによって表示されるか、または遠隔ユーザインターフェースおよび/または外部データ記憶施設に、有線または無線リンクによって送信され得る。

30

【0094】

センサ情報が（センサまたは遠隔のいずれかの）ユーザに表示されるとき、データ平均化の挙動は、本発明のこの追加の特徴に従って、ユーザ体験を最適化するように制御される。

【0095】

特に、第1質量信号および第2移動平均質量信号が用意され、第1および第2の質量信号のうちの1つを含む出力が表示のため提供される。第1の質量信号は、センサが提供することができる最も即時の出力であってもよいが、これは依然として時間、例えば10秒にわたる積分を含んでもよい。従って、センサが生成することができるだけリアルタイムであってもよい。

40

【0096】

第1の質量信号は、少なくとも、使用される最も長い平均化時間の間は記憶される。メモリはまた、必要なデータ処理、フィルタリングおよび平均化のアルゴリズム/コードなどを記憶する。

【0097】

図15は、2つのデータの選択のみを有する簡略化されたアプローチに基づいて、表示されるデータを選択する方法を示す。

【0098】

リアルタイムデータはステップ150で取得され、ステップ152で記憶される。

【0099】

1つまたは複数の移動点平均がステップ154で取得される。生データが他のデータ選

50

択である場合、1つの移動点平均のみが必要である。2つの平均が取られた場合、それらは異なる平均化ウィンドウを有し、2つのデータ選択肢を提供する。

【0100】

ステップ156において、より短い平均化ウィンドウ（すなわち、リアルタイムデータまたはより短いウィンドウを有する移動平均データ）を有する移動平均が、より長い平均化時間を有するデータと大きく異なるかどうかが判定される。より短い平均化データが異なる場合、これは、より長い平均化データにおいて平均化された局所ピークが存在することを意味する。次に、ステップ158で、より短い平均データが表示され、ステップ160で、処理が終了する。データが近い場合は、ステップ162でより長い平均データが表示され、ステップ164でプロセスは終了する。このようにして、ピーク検出品質は表示機能にリンクされている。実時間データのレベルが平均値と大きく異なる場合には、測定された変数に正または負のピークが存在することを示す。10

【0101】

このプロセスは、3つ以上のデータ選択肢に拡張することができる。

【0102】

図16は、3つの異なる出力データストリームを示し、それぞれがカウント／秒単位である。生データはプロット170であり（しかし、これは例えば10秒の平均化時間を持つ）、プロット172は短いウィンドウ（ $n = 6$ サンプル、すなわち1分）にわたり平均化されたデータであり、プロット174は、より長いウィンドウ（ $n = 60$ 、すなわち10分）にわたり平均化されたデータである。20

【0103】

プロット176は比較結果である。2つの移動平均の差が0.4カウント／秒の閾値を超える場合は1であり、0.4カウント／秒の閾値未満の移動平均の差である場合は0である。

【0104】

比較される2つの信号は両方とも（異なる時間にわたって）平均化されているので、比較結果にはスパイクがあってはならない。表示モードにある程度の短時間の変化があっても、表示モードの間に連続性がある場合、これらはユーザにとって不快ではない。

【0105】

プロット178は、0.8カウント／秒のより高い閾値を有する比較結果である。30

【0106】

比較結果は表示される情報を制御する。比較が1である時間の間、プロット172（または170も）がユーザに提示される一方、比較が0である時間の間、プロット174がユーザに提示される。

【0107】

一般に、ディスプレイは、より正確なより長く平均化されたデータが表示される定常データと、正確ではないがより応答性の高いデータが表示される移動データとを区別する。

【0108】

他の表示オプションもある。例えば、移動データがある場合、点滅している、フェードしている、または色が異なる出力を使用して、検出イベントが起こっているという警告を出すことができる。移動データおよび定常データは、両方ともディスプレイ上に同時に表示されて、追加情報を提供することができる。40

【0109】

図17は、本発明の一般的な粒子センシング方法を示すフローチャートである。

【0110】

ステップ180では、光センサを動作させてセンサ信号を生成する。

【0111】

第1および第2の閾値の設定は、第1および第2のセンサ読み取り値を得るために、検知中またはその後のデータ処理中に適用される。上述のように、閾値設定は、センサ信号によって捕捉された粒径検出範囲を決定する。50

【 0 1 1 2 】

ステップ 182において、第1および第2の光センサ読み取り値が処理され、そこから汚染イベントのタイプに依存するパラメータが決定される。

【 0 1 1 3 】

ステップ 184において、このパラメータを用いて、第1および第2の光センサ読み取り値のうちの少なくとも1つから、第1の粒径未満の全粒子の質量を決定する。

【 0 1 1 4 】

上述のように、実施形態は、コントローラを使用してセンサ情報の処理を実施する。コントローラは、必要な様々な機能を実行する、多くの方法で、ソフトウェアおよび／またはハードウェアで実施することができる。プロセッサは、ソフトウェア（例えば、マイクロコード）を使用してプログラムして必要な機能を実行することができる—以上のマイクロプロセッサを使用するコントローラの一例である。しかしながら、コントローラは、プロセッサを使用しても使用しなくても実装することができ、いくつかの機能を実行する専用ハードウェアと、他の機能を実行するプロセッサ（例えば、1つまたは複数のプログラムされたマイクロプロセッサおよび関連回路）との組み合わせとして実装してもよい。

10

【 0 1 1 5 】

本開示の様々な実施形態で使用され得るコントローラコンポーネントの例には、従来のマイクロプロセッサ、特定用途向け集積回路（A S I C）、およびフィールドプログラマブルゲートアレイ（F P G A）が含まれるが、これらに限定されない。

20

【 0 1 1 6 】

様々な実施形態において、プロセッサまたはコントローラは、R A M、P R O M、E P R O M、およびE E P R O Mなどの揮発性および不揮発性コンピュータメモリなどの1つまたは複数の記憶媒体に関連付けられてもよい。記憶媒体は、1つまたは複数のプロセッサおよび／またはコントローラ上で実行されたときに、必要な機能を実行する1つまたは複数のプログラムでエンコードすることができる。様々な記憶媒体は、プロセッサまたはコントローラ内に固定されてもよく、移動可能であってもよく、そこに記憶された1つまたは複数のプログラムがプロセッサまたはコントローラにロードされるようになっていてもよい。

【 0 1 1 7 】

請求項に記載した発明を実施する際、図面、本開示、及び添付した特許請求の範囲を研究して、開示した実施形態のその他のバリエーションを、当業者は理解して実施することができるであろう。請求項において、「有する（c o m p r i s i n g）」という用語は他の要素やステップを排除するものではなく、「1つの（「a」又は「a n」）」という表現は複数ある場合を排除するものではない。相異なる從属クレームに手段が記載されているからといって、その手段を組み合わせて有利に使用することができないということではない。請求項に含まれる参照符号は、その請求項の範囲を限定するものと解してはならない。

30

【図1】

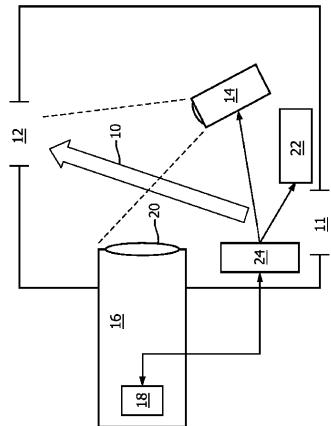


FIG. 1

【図2 b】

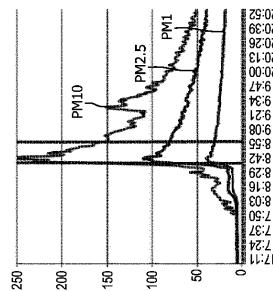


FIG. 2b

【図2 c】

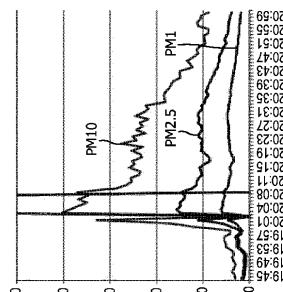


FIG. 2c

【図2 a】

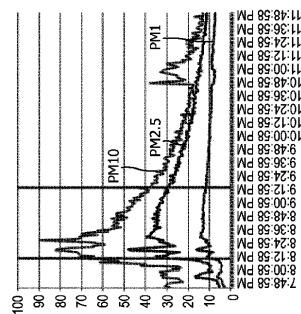


FIG. 2a

【図2 d】

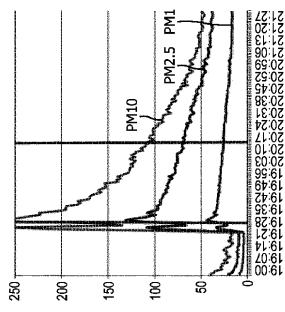


FIG. 2d

【図3 b】

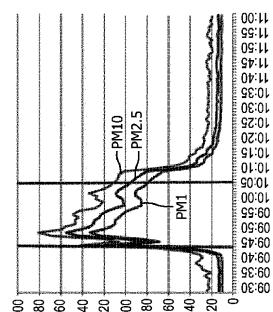


FIG. 3b

【図3 a】

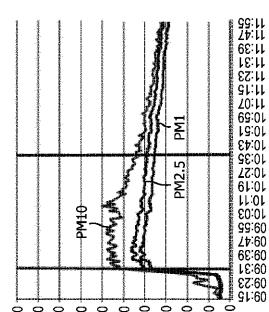


FIG. 3a

【図4】

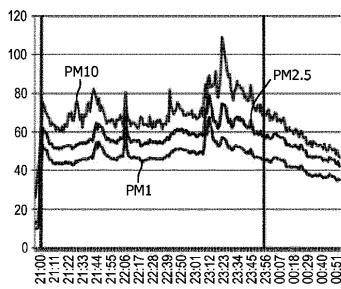


FIG. 4

【図5】

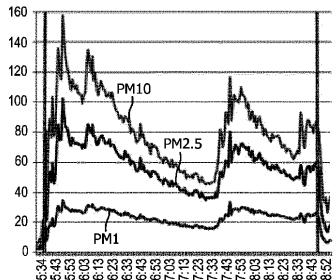


FIG. 5

【図6 a】

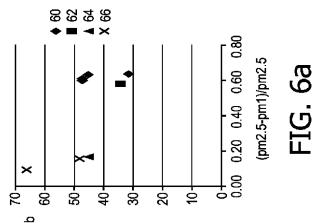


FIG. 6a

【図6 c】

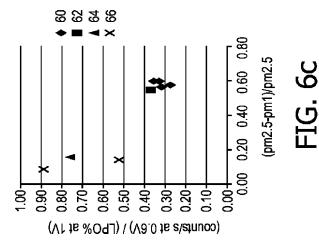


FIG. 6c

【図7】

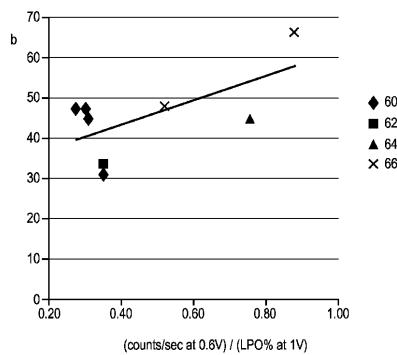


FIG. 7

【図9】

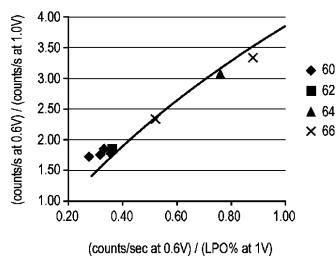


FIG. 9

【図10】

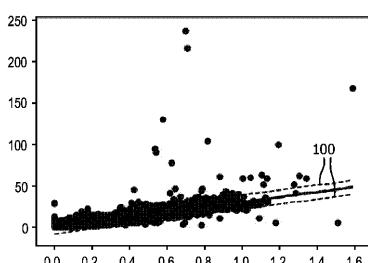


FIG. 10

【図8】

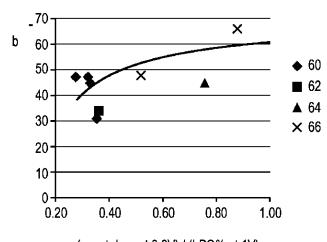


FIG. 8

【図 1 1】

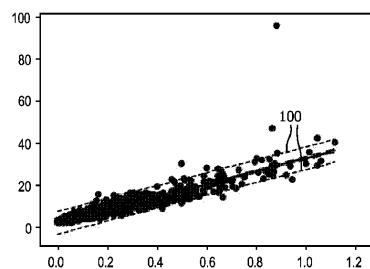


FIG. 11

【図 1 3】

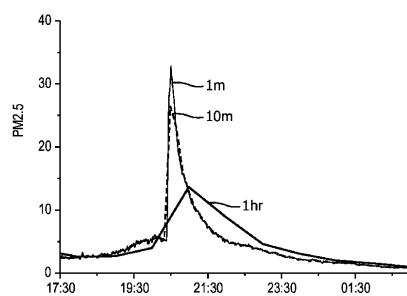


FIG. 13

【図 1 2】

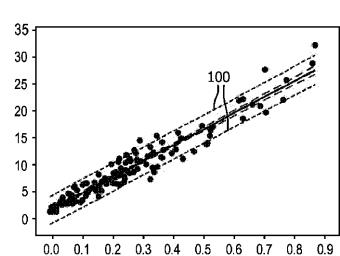


FIG. 12

【図 1 4】

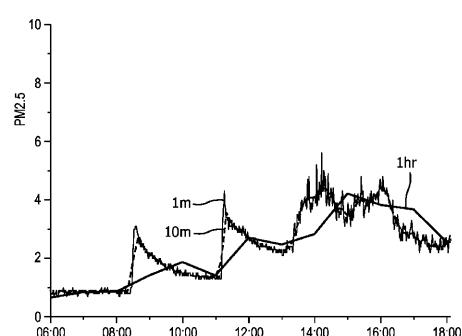


FIG. 14

【図 1 5】

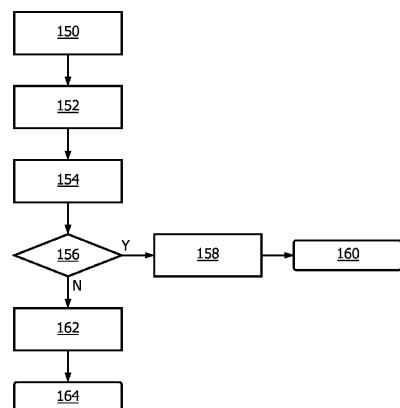


FIG. 15

【図 1 6】

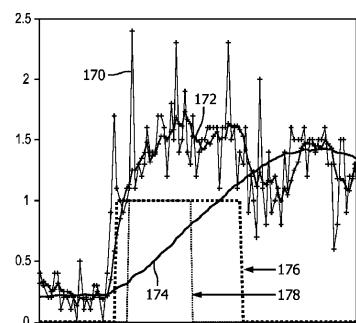


FIG. 16

【図17】

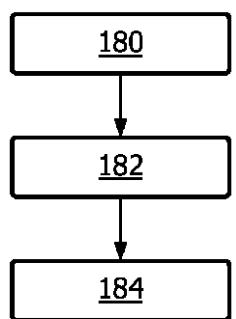


FIG. 17

フロントページの続き

(74)代理人 100091214

弁理士 大貫 進介

(72)発明者 ヨンヘリユス , ミシール ヨーハネス

オランダ国 5 6 5 6 アーエー アンドーフェン ハイテック キャンパス 5

(72)発明者 コーイマン , ヘルベン

オランダ国 5 6 5 6 アーエー アンドーフェン ハイテック キャンパス 5

(72)発明者 カラカヤ , コライ

オランダ国 5 6 5 6 アーエー アンドーフェン ハイテック キャンパス 5

(72)発明者 アウウェルチエス , オッケ

オランダ国 5 6 5 6 アーエー アンドーフェン ハイテック キャンパス 5

審査官 北条 弥作子

(56)参考文献 米国特許出願公開第 2 0 0 9 / 0 0 3 9 2 4 9 (U S , A 1)

特開昭 5 1 - 0 4 1 5 8 9 (J P , A)

国際公開第 2 0 0 8 / 1 4 0 8 1 6 (W O , A 1)

D. M. HOLSTIUS , Field calibrations of a low-cost aerosol sensor at a regulatory monitoring site in California , Atmospheric Measurement Techniques , 2 0 1 4 年 , vol.7 no.1 , 1 121-1131

Tracy Allen , De-construction of the Shinyei PPD42NS dust sensor. , インターネット , U R L , http://takingspace.org/wp-content/uploads/ShinyeiPPD42NS_Deconstruction_TracyAllen.pdf

(58)調査した分野(Int.CI. , D B 名)

G 0 1 N 1 5 / 0 0 ~ 1 5 / 0 6