

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6353555号
(P6353555)

(45) 発行日 平成30年7月4日 (2018.7.4)

(24) 登録日 平成30年6月15日 (2018.6.15)

(51) Int. Cl.

F I

GO 1 N 15/02 (2006.01)

GO 1 N 15/02 A

GO 1 N 15/06 (2006.01)

GO 1 N 15/06 D

GO 1 N 5/02 (2006.01)

GO 1 N 5/02 C

GO 1 N 5/02 A

請求項の数 15 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2016-568041 (P2016-568041)
 (86) (22) 出願日 平成27年6月4日 (2015.6.4)
 (65) 公表番号 特表2017-521646 (P2017-521646A)
 (43) 公表日 平成29年8月3日 (2017.8.3)
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2015/062480
 (87) 国際公開番号 W02015/189089
 (87) 国際公開日 平成27年12月17日 (2015.12.17)
 審査請求日 平成30年3月6日 (2018.3.6)
 (31) 優先権主張番号 14171789.2
 (32) 優先日 平成26年6月10日 (2014.6.10)
 (33) 優先権主張国 欧州特許庁 (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 アーエー 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 100122769
 弁理士 笛田 秀仙
 (74) 代理人 100171701
 弁理士 浅村 敬一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 エアロゾルセンサ及びセンサ方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

エアロゾルにおける粒子濃度及び質量濃度を測定するためのセンサシステムであって、
 粒子濃度、及び、粒子サイズ分布を測定するための光学センサと、
 収集された粒子の質量を測定するための機械的センサと、
前記光学センサにより、粒子濃度及び粒子サイズ範囲情報の特定の組み合わせに対応する粒子生成イベントが検出されるまで、前記エアロゾルにおける前記粒子濃度、及び、前記粒子サイズ分布をモニタし、前記機械的センサにより、前記粒子生成イベントの検出のみに応じて質量測定を実行し、前記質量測定を用いて、前記光学センサを校正するように構成されたコントローラと、
 を有する、センサシステム。

【請求項 2】

前記機械的センサが、
 センサ素子と、
 前記センサ素子を共鳴駆動させるとともに前記センサ素子の共振周波数を検出するように構成されたトランスデューサと、
 を有し、

前記共振周波数が、前記センサ素子上に堆積した粒子の質量に依存している、請求項 1 記載のセンサシステム。

【請求項 3】

前記コントローラが、前記質量測定の際にサンプリングされたエアロゾルの体積と、単位体積当たりの粒子濃度と、を導出するように構成される、請求項 1 に記載のセンサシステム。

【請求項 4】

前記コントローラが、安定したポストイベント粒子濃度が記録されるまで前記光学センサにより前記エアロゾルをモニタするように構成され、前記校正が、ポストイベント光学センサ測定をポストイベント質量測定と結合することを有する、請求項 1 に記載のセンサシステム。

【請求項 5】

モニタされる前記エアロゾルを前記機械的センサのセンサ素子に向かって運ぶため、前記センササイクルの間に動作するサンプル吸入装置を更に有する、請求項 1 に記載のセンサシステム。

10

【請求項 6】

前記粒子濃度が測定される、及び、前記質量測定が実行される粒子サイズの範囲を選択するための粒子フィルタ構成を更に有する、請求項 1 に記載のセンサシステム。

【請求項 7】

前記粒子生成イベントについての情報を供給するための化学センサを更に有する、請求項 1 に記載のセンサシステム。

【請求項 8】

前記コントローラが、過去の光学センサ測定と対応する過去の機械的センサ測定との間のマッピングを格納するメモリを有する、請求項 1 に記載のセンサシステム。

20

【請求項 9】

請求項 1 に記載のセンサシステムを有する、空気処理装置。

【請求項 10】

エアロゾル粒子濃度及び質量濃度を測定する方法であって、
コントローラ及び光学センサにより、粒子濃度と粒子サイズ分布とを測定することによって、前記エアロゾルをモニタするステップと、

前記コントローラにより、前記測定された粒子濃度と前記粒子サイズ分布とに基づいて、粒子生成イベントを検出するステップであって、前記粒子生成イベントは、粒子濃度と粒子サイズ範囲情報との特定の組み合わせに対応している前記ステップと、

30

前記コントローラ及び機械的センサにより、前記粒子生成イベントの検出のみに応答して、収集された粒子の質量測定を実行するステップと、

前記コントローラ及び前記質量測定の使用により、前記光学センサを校正するステップと、
を有する、方法。

【請求項 11】

前記機械的センサが、共振周波数ベースの機械的センサ素子を有し、前記共振周波数が、前記センサ素子上に堆積された粒子の質量に依存する、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

前記コントローラ及び光学センサにより、安定したポストイベント粒子濃度が記録されるまで前記エアロゾルをモニタするステップを更に有し、前記校正が、ポストイベント光学センサ測定をポストイベント質量測定と結合することを有する、請求項 10 に記載の方法。

40

【請求項 13】

メモリにより、過去の光学センサ測定と対応する過去の機械的センサ測定との間のマッピングを格納するステップを有する、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 14】

過去の機械的センサ測定に対するマッピングがある場合、粒子生成イベントの検出後の質量測定の実行を禁止するために、前記格納されたマッピングを使用する、請求項 13 に記載の方法。

50

【請求項 15】

質量表示を供給するために前記光学センサ測定を用いて格納された過去の質量測定をスケールリングするステップを有する、請求項 14 記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、エアロゾル内の粒子濃度及び質量濃度の測定に関する。

【背景技術】

【0002】

空中の粒子汚染、特に、 $2.5\text{ }\mu\text{m}$ の直径範囲より小さいサイズの粒子状物質（いわゆる「PM_{2.5}」）が、工業化の速度が規制上の要件を伸長している中国などの国で大きな関心を集めている。

10

【0003】

増加している消費者の権限の結果として、居住空間の空気品質についての情報に対する要求が増している。特に、中国では、この10年で、過度のPM_{2.5}汚染が一般的な問題になっている。また、この問題は、様々な中国の都市における継続的な測定によって検証されている。データは、公的に利用可能であり、携帯電話アプリケーション又はウェブを通じて同時にモニタされることができる。

【0004】

このデータの利用可能性、並びに、継続的な国内的及び国際的メディアの関心が、この問題についての強い消費者の関心を引き起こしている。

20

【0005】

公的な屋外空気品質基準は、単位体積当たりの質量濃度（例えば、 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）として、粒子状物質濃度を規定している。中国本土における平均的なPM_{2.5}汚染濃度は、衛星データに基づいて計算されており、国の大半で、世界保健機関（WHO）の限度である $10\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えており、いくつかの地域では、 $100\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ のPM_{2.5}濃度さえ超えていることが分かっている。

【0006】

標準化された基準測定方法は、水晶振動子マイクロバランス、テーパ状共鳴装置、衝突体、又は、計量フィルタ及び篩などを用いた、空気サンプル体積当たりの堆積又は収集された粒子の質量測定に基づいている。

30

【0007】

しかしながら、これらのシステムは、測定（フィルタ及び篩による計量など）の手動部分を扱うために、及び／又は、累積した質量の清掃のための周期的なメンテナンスや、様々なシステムコンポーネント及び校正の維持のために、専門的な動作ガイドラインを必要とする。

【0008】

エアロゾル汚染モニタリングのための共振ベースの質量センシングが提案されている。例えば、個人被爆モニタリングのためのピコグラムレベルの質量分解能を有する微小シリコンカンチレバー装置の使用が提案されている。フィルタが、大きな粒子を除去するために使用され、静電気サンプラーが、カンチレバー上の堆積したナノ粒子のために供給され得る。例えば、国際公開第2013/064157号は、空気フローストリームにおけるエアロゾルナノ粒子を測定するために設計されたMEMSベースの共振粒子測定装置を開示している。

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

共振に基づいて動作する機械的センサは、加えられた質量が初期の共振器質量に比べて小さい範囲で動作する。しかしながら、センサの寿命の間の継続的な質量の累積は避けられない。この問題は、少なくとも消費者向けアプリケーションに関しては、累積された質

50

量の機械的及び／又は化学的清掃が可能でないMEMSスケール装置にとってより顕著である。これは、センサ寿命を限定する。

【0010】

光学センサも既知である。光学センサは、限定的な寿命の上記欠点を苦としていない。しかしながら、粒子質量に関する情報をあまり付与することができない。

【0011】

従って、より長い寿命を有するとともに、正確な質量読み取りを与えるように設計され得る個人向け質量センサに対するニーズがある。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明は、請求項に規定されている。

【0013】

本発明の一実施形態によれば、エアロゾルにおける粒子濃度及び質量濃度を測定するためのセンサシステムであって、

粒子濃度、及び、オプションで粒子サイズ分布を測定するための光学センサと、

収集された粒子の質量を測定するための機械的センサと、

粒子生成イベントの検出まで、前記光学センサを用いて前記エアロゾルにおける前記粒子濃度、及び、オプションで前記粒子サイズ分布をモニタし、粒子生成イベントが検出されると、前記機械的センサを用いて質量測定を実行し、前記光学センサを校正するために前記質量測定を用いる、ように構成されたコントローラと、を有する、センサシステムが提供される。

【0014】

エアロゾルは、同伴粒子を有する空気又は他の気体であってもよい。

【0015】

このセンサシステムは、例えば、共振周波数における変化を検出する機械的センサなどの機械的センサを用いた正確な質量測定を可能にする。しかしながら、このセンサの動作は、寿命が延ばされ得るように継続的ではない。代わりに、機械的センサによる質量測定が、粒子生成イベントの検出によってトリガされる。このイベントは、粒子濃度における急速な増加を引き起こすことができる、又は、特定の粒子サイズの検出を生じさせることができる。例えば、粒子生成イベントは、喫煙、調理、燃焼プロセス、窓を開けた場合における外部エアロゾルの拡散などを有していてもよい。このようにして、機械的センサは、低いデューティサイクルで使用されることができ、機械的センサを用いたセンサ動作の間、微粒子エアロゾルに対してのみ晒される。このため、機械的センサを清掃する必要が回避され得る。光学センサの精度におけるドリフトは、質量測定が実行される毎に校正することにより回避され得る。

【0016】

本発明の一実施形態では、機械的センサが、

センサ素子と、

前記センサ素子を共鳴駆動させるとともに前記センサ素子の共振周波数を検出するように構成されたトランスデューサと、を有していてもよく、前記共振周波数が、前記センサ素子上に堆積した粒子の質量に依存している。

【0017】

この場合における機械的センサは、共振周波数における変化を検出する共振質量センサである。これは、例えば、微小電気機械システム(MEMS: micro electro mechanical system)センサを有していてもよい。

【0018】

コントローラが、前記質量測定の間にはサンプリングされたエアロゾルの体積を導出するように構成されてもよく、これにより、単位体積当たりの粒子濃度を導出してよい。

【0019】

このことは、感知された質量を質量濃度に変換することを可能にする。

10

20

30

40

50

【0020】

コントローラが、安定したポストイベント粒子濃度が記録されるまで前記光学センサを用いて前記エアロゾルをモニタするように構成されてもよく、機械的センサからの質量情報を用いてポストイベントベースラインを形成するように光学センサを校正してもよい。例えば、上記校正は、質量測定をトリガしたイベントの後、光学センサ及び機械的センサを再調整するため、ポストイベント光学センサ測定とポストイベント質量測定とを使用してもよい。

【0021】

これは、光学センサが、より正確な粒子質量情報が機械的センサによって取得される複数の粒子生成イベント間で、より正確な読み取りを供給することを可能にする。

10

【0022】

そして、光学センサが機械的センサの代わりに用いられていても、粒子濃度情報が、粒子の質量濃度を示すために、より正確に用いられることができる。

【0023】

光学センサは、好ましくは、比濁計などの光散乱に基づく光検出システムを有する。

【0024】

これは、システム全体において使用され得る容易に利用可能なコンポーネントである。または、特別に設計された光学ユニットが用いられてもよい。粒子サイズ推定から主に生じる測定精度の問題、及び、粒子濃度を質量濃度に変換する際に生じる問題が、実際に測定された質量に基づく周期的な校正によって、解決される。

20

【0025】

或る実施形態では、モニタされるエアロゾルをセンサ素子の方向に運ぶため、サンプル吸入装置が、機械的センサのセンササイクルの間に動作するために供給されてもよい。サンプル吸入装置は、ファン又は静電気引力構成を有していてもよく、あるいは、熱泳動又は引力ベースのシステムが用いられてもよい。

【0026】

或る実施形態では、粒子フィルタ構成が、エアロゾル粒子濃度及び質量濃度が測定される粒子サイズの範囲を選択するために供給されてもよい。これは、分析が、関心のある粒子サイズの範囲のためにのみ実行されることを意味する。例えば、フィルタ構成は、大きい粒子が機械的センサに到達することを防止することを保証し得る。例えば、フィルタ構成は、PM_{2.5}測定のために、2.5 µmなどのサイズ閾値よりも大きい粒子を捉えてもよい。

30

【0027】

機械的センサの最低解像度は、例えば、ピコグラム乃至マイクログラムの範囲にあってもよい。

【0028】

或る実施形態では、周囲の化学的情報を供給するセンサが、粒子生成イベントについての追加的な情報を供給するために使用されてもよい。例えば、特定の揮発性有機化合物の急激な増加が、調理、喫煙などのような特定のイベントと関連付けられてもよい。これは、機械的センサを用いた正確な質量測定をトリガするための他の方法を供給する。

40

【0029】

コントローラは、光学センサから抽出される過去の測定と機械的センサから抽出される対応する過去の質量測定との間のマッピングを格納するメモリを有していてもよい。このマッピングは、例えば、特定の粒子サイズ分布が特定のイベントに対応することが知られていることを認識することによって、機械的センサの不要な動作を回避するために使用され得る。これは、特に、調理イベントなどのイベントの繰り返しが存在する場合に興味深い。

【0030】

本発明の或る実施形態では、エアロゾル粒子濃度及び質量濃度を測定する方法であって、

50

粒子濃度とオプションで粒子サイズ分布とを測定することによって、光学センサを用いて前記エアロゾルをモニタするステップと、

前記測定された粒子濃度とオプションで前記サイズ分布とに基づいて、粒子生成イベントを検出するステップと、

前記粒子生成イベントの検出に応じて、機械的センサを用いて収集された粒子の質量測定を実行するステップと、

前記光学センサを校正するために前記質量測定を用いるステップと、を有する方法も提供される。

【0031】

この方法は、上述のように長寿命化された機械的センサを用いた正確な質量測定を可能にする。

【0032】

上記のように、エアロゾルは、安定したポストイベント粒子濃度が記録されるまで、光学センサを用いてモニタされてもよく、光学センサは、安定したベースラインを形成するように校正され得る。当該校正は、光学センサからの粒子濃度情報を機械的センサからの質量情報と相関付けるステップを有していてもよい。これは、イベントが完了した後の安定し値に基づく校正を供給する。

【0033】

光学センサによる過去の粒子濃度測定と機械的センサによる対応する過去の質量測定との間のマッピングが、格納され得る。これは、使用可能なデータが既に格納済みである場合に質量測定が回避され得ることを意味する。このため、格納されたマッピングは、過去の質量測定に対するマッピングがある場合、粒子生成イベントの検出後に質量測定を実行することを禁止するために使用されてもよい。これは、機械的センサの寿命を更に延ばすことができる。

【0034】

格納された過去の質量測定は、質量表示を供給するために、光学センサ測定を用いてスケーリングされてもよい。このため、マッピングは、絶対濃度よりもむしろ粒子分布特性に関連していてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0035】

本発明の例が、添付の図面を参照して、詳細に説明される。

【図1】図1は、共振センサの質量が共振周波数に影響を与えるばね質量系により説明される、共振ベースの質量検出の基本的な態様を示している。

【図2】図2は、本発明の方法の一実施形態を示している。

【図3】図3は、本発明のセンサの一実施形態を示している。

【図4】図4は、粒子サイズ分布関数を示している。

【図5】図5は、図4の関数がどのようにして別個のセクションに分割されるのかを示している。

【図6】図6は、3つの異なる食品の調理に関する粒子密度分布関数を示している。

【図7】図7は、3つの異なる食品の調理に関する経時的な粒子質量濃度関数を示している。

【図8】図8は、粒子密度分布関数がどのようにして粒子の異なる光学特性に関して異なって測定され得るのかを示している。

【図9】図9は、必要とされる質量測定の数を減少させるために以前の質量測定から学習する方法を示している。

【発明を実施するための形態】

【0036】

本発明は、エアロゾルにおける粒子濃度及び質量濃度を測定するためのセンサシステムを提供する。光学センサが、粒子濃度、及び、オプションでサイズ分布を測定するために用いられ、機械的センサが、収集された粒子の質量を測定するために用いられる。エアロ

10

20

30

40

50

ゾルにおける粒子濃度（及び、オプションでサイズ分布）が、粒子生成イベントの検出まで、光学センサを用いてモニタされる。粒子生成イベントが検出されると、機械的センサを用いた質量測定が実行され、当該質量測定は、光学センサを校正するために用いられる。この手法は、機械的センサの寿命を延ばすことを可能にする。イベントが検出される場合にのみ機械的センサが使用されるためである。一般的に、質量濃度の決定には精度に乏しい光学センサは、機械的センサによって校正される。

【 0 0 3 7 】

共振装置を用いた直接的な質量測定が知られている。当該測定は、図 1 に示されるように、共振周波数（ f_0 ）と共振器の質量との間の関係に基づいている。

【 0 0 3 8 】

図 1 では、質量 m 及びばね定数 k を有する共振器 1 0 が、概略的に示されている。グラフは、周波数（ x 軸）の関数として、共振振動の振幅（ y 軸）を示している。プロット 1 2 は、基準共振器に関するものである。追加的な質量 1 4 が加えられた（ m ）場合、振動曲線は、周波数シフト f を有するプロット 1 6 へと、周波数において下方向にシフトする。

【 0 0 3 9 】

共振振動を支配する等式は、以下のとおりである。

【 数 1 】

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

【 数 2 】

$$\Delta f = -\frac{1}{2} \frac{\Delta m}{m} f_0 \quad (2)$$

【 数 3 】

$$\Delta m_{min} \propto \frac{m}{Q} \quad (3)$$

【 0 0 4 0 】

式 1 は、基本共振周波数と共振器特性との間の関係を示している。式 2 は、質量における変化によって引き起こされる周波数変化を示しており、式 3 は、検出可能な最小質量（ m_{min} ）を示している。最小値は、共振器の機械的品質係数 Q に依存する。

【 0 0 4 1 】

当該技術分野において、エアロゾル汚染モニタリングのための共振器ベースの質量センシングの幾つかの例がある。例えば、個人被爆モニタリングのためのピコグラムレベルの質量解像度を有する微小シリコンカンチレバー装置の使用が提案されている。フィルタが、大きい粒子を除去するために使用されてもよく、カンチレバー上に堆積するナノ粒子のために静電気引力サンプラーが供給されてもよい。

【 0 0 4 2 】

例えば、国際公開第 2 0 1 3 / 0 6 4 1 5 7 号は、空気フローストリームにおけるエアロゾルナノ粒子を測定するために設計された MEMS ベースの共振粒子測定装置を開示している。

【 0 0 4 3 】

大まかに、共振周波数における変化をモニタすることにより動作する機械的センサは、初期共振器質量に比して追加された質量が小さい範囲で動作する。しかしながら、センサの寿命の間、継続的な質量累積が避けられない。この問題は、累積した質量の機械的及び／又は化学的清掃が少なくとも消費者アプリケーションにおいて不可能なMEMSスケール装置に関してより顕著である。従って、MEMSセンサの寿命は、初期質量と測定サイクル毎のおおよその質量堆積とを考慮することによって大まかに推定され得る。

【 0 0 4 4 】

シリコンMEMSカンチレバーのための一例として、簡単な計算が以下に与えられる。

寸法：幅 $100\ \mu\text{m}$ 、長さ $1000\ \mu\text{m}$ 、厚さ $10\ \mu\text{m}$

堆積： $10^6\ \mu\text{m}^3$

質量： $2650\ \text{ng}$ （シリコン密度： $2.65\ \text{g}/\text{cm}^3$ ）

【 0 0 4 5 】

$10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ （年間平均濃度に関する世界保健機関の限度）の最小粒子濃度検出限度、及び、1リットルのサンプル空気体積（1リットル/分の空気吸入に関して1分のサンプリング）、共振器上への $10\ \text{ng}$ の質量堆積は、合理的な見積もりである。増加している濃度に関して、質量堆積は、比例的に増加する。以下に要約されるように、これは、濃度範囲に依存する共振器の本来の質量を2倍にする複数の測定サイクルにつながる。

【表 1】

PM2.5濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1リットルのサンプル体積当たりの 絶対質量 (ng)	サイクル数 (#)
10	10	265
20	20	132
50	50	53
100	100	26

【 0 0 4 6 】

PM_{2.5}濃度は、数百 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ （例えば、2013年1月13日の北京では、 $700\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）に到達し得る。結果、消費者レベルアプリケーションにおけるかかるシステムの使用に適切でないより短い寿命にさえつながり得る。共振器上の粒子累積が、センサ共振周波数を駆動又は読み出し回路帯域幅の外へ押し出す場合、センサは、その寿命を終える。

【 0 0 4 7 】

また、この質量累積は、共振周波数を品質係数がより低い値へ押し出す。結果、質量累積も、徐々に経年的に減少する。また、質量累積は、粒子堆積特性が経時的に変化するように、共振器の表面構造を変化させる。連続層が形成される場合、これは、共振器の剛性をも変え、従って、共振周波数を変化させる。また、センサの伝導性も変化し、静電気粒子収集の場合における沈着効率を妨げる可能性がある。

【 0 0 4 8 】

限られた寿命につながる質量の収集に加えて、限られた寿命につながり得る共振ベースの質量測定に関する複数の他の問題がある。例えば、サンプリングサブシステムにおけるフィルタは、詰まることがあり、そのフィルタ効率は、経時的に、劣化する。

【 0 0 4 9 】

また、（PM_{2.5}のための）光学センシング技術が、空気清浄機に関して消費者レベルアプリケーションで提案されている。消費者レベルアプリケーションのための主な技術は、空気中に浮遊している粒子による光散乱に基づいている（例えば、比濁計

は、光源及び光検出器を用いる。当該方法は、本質的に、空気（又は、他のキャリアガス）中を浮遊している粒子によって散乱された光強度を測定することに基づいている。

【0050】

光散乱は、確立した粒子測定技術であるが、本質的限界も有する。光散乱に基づく光センサは、エアロゾルタイプ及び組成の特定のタイプに関して校正され、その精度は、粒子形状、粒子の光学特性、粒子密度などを含む複数の要因に依存して、劇的に変化し得る。出力は、検出される粒子サイズの範囲に関する粒子密度情報を付与するが、（以下に議論されるような更なる信号分析なしには）粒子質量情報又は粒子分布情報を付与しない。

【0051】

粒子サイズ範囲は、一般的に、直径で、200 nmから最大で50 μ mである。この大きい粒子範囲は、測定精度における大きな偏差を生じさせ得る。粒子の大小により反射率が著しく異なるためである。

【0052】

また、反射光強度も粒子サイズに影響され得る。結果、粒子形状における大きな違い（例えば、球状に対して針状など）は、正確な測定からのずれを生じさせ得る。さらに、特に、粒子濃度から質量濃度に変換する場合（また、その逆も然り）、粒子密度も精度に影響を与え得る。一般的に、規制限度は、質量濃度値に基づいているため、粒子質量情報が所望される。

【0053】

粒子の化学的性質もセンサ応答に影響を及ぼす。屋内周囲環境では、調理から生じる汚染物質、蠟燭の炎、煙草の煙、屋外汚染物質の拡散、アレルゲンなどの、様々な粒子タイプが存在し得る。比濁法は、浮遊粒子の性質についての情報を付与しない。粒子の化学的性質は、粒子の物理的特性（色、粗さなど）とともに、粒子表面を通る光の反射/吸収に影響を与え、また、測定精度に影響を及ぼし得ることに留意すべきである。

【0054】

サンプリング体積、即ち、濃度が、測定区画における空気フローによって決定される。小型の比濁計は、サンプル空気を運ぶための煙突効果を利用するためのヒータを用いるが、幾つかのモデルもサンプル空気を運ぶためのファンを使用する。全ての可能な変化が、空気フローレートに影響を与え、また、粒子濃度における読み取り誤差につながる。

【0055】

従って、光学システムにもデメリットがあるように、共振周波数の測定に基づく機械的センサにはデメリットがある。例えば、光学システムは、屋内空気品質標準において用いられる単位である、質量変換に対する粒子数と同様、粒子数検出に対する不確かさを付与する。

【0056】

本発明は、2つの技術の利点を組み合わせたハイブリッドな解決法を提供する。2つのシステムは、より大きな信頼性を付与するとともに、メンテナンス不要又は低メンテナンス頻度、並びに、低コストな粒子分析を可能にする方法で結合される。これにより、センサシステムは、空気清浄機、スタンドアロン型空気センサ、又は、空気品質感知機能を有するエアコンなどの他の空気処理装置などの消費者レベルアプリケーションに適したものとなる。

【0057】

特に、異なるタイプのセンサの同時的及び/又は連続的な動作を結合することによって、2つの主要な問題が解決され得る。機械的センサの寿命が、デューティサイクリングにより延命され得る一方、比濁計により粒子濃度情報が供給される。より正確な粒子特性を供給するため、比濁計タイプのセンサのイベントベースの校正が可能になる。

【0058】

高寿命化の観点において、機械的センサのデューティサイクリングの利点は、明らかである。連続的な動作の代わりに、センサシステムは、調理、蠟燭及びお香の燃焼、様々なエアロゾルスプレー（家庭用化粧品など）の動作、屋外からの粒子など、様々なタイプの

10

20

30

40

50

粒子を生成する様々なイベントに対してのみ応答できる。

【0059】

図2は、本発明の方法の一例を示している。

【0060】

ステップ20において、光センサ（例えば、比濁計）が、粒子濃度、及び、オプションで粒子サイズ分布をモニタする。これは、測定された粒子濃度に基づいて、粒子生成イベントが検出されるまで継続する。このイベントは、殆どの単純な場合において、粒子濃度における急激な増加を引き起こすものである。しかしながら、VOCレベルにおける急激な増加を検出する揮発性有機化合物（VOC：volatile organic compound）センサ、及び/又は、トリガ表示を供給する任意の他の関連センサ又は関連データソースなどの、他のインジケータが粒子生成イベントを認識するために使用されてもよい。例えば、気象情報、場所及び交通データ、及び、（開いている、又は、閉じているなどの）窓センサ状態がある。

10

【0061】

粒子生成イベントの検出に応じて、収集された粒子の質量測定が、共振周波数における変化を検出することにより動作する機械的センサを用いて、ステップ22において実行される。これは、機械的センサが、サンプリングを開始するとともに、質量濃度を測定することを含む。

【0062】

プロセスは、ステップ22の後、（モニタを継続する）光センサ又は外部入力によって決定されるように、イベントの終了まで待機する。

20

【0063】

イベントの終了後、光センサは、ステップ24において、ポストイベント濃度値を測定するために用いられ得る。これは、オプションであり、その点で、最後の光読み取り値が代わりに用いられてもよい。

【0064】

また、イベントの終了後、機械的センサが、ステップ26において、ポストイベント質量値を測定するために使用され得る。

【0065】

ステップ26の質量測定は、光センサを校正するため、ステップ24の光センサ測定からの粒子濃度と関連している。この校正は、ステップ28において実行される。これは、後続の光測定のために、光センサの精度が維持されることを意味する。

30

【0066】

光センサにより測定された濃度と対応する質量との間の関係をリセットすることによって、直接質量測定は、光センサの校正を可能にする。

【0067】

光センサは、一般的に、体積当たりの粒子数として、粒子濃度測定を供給する。これは、例えば、個々の粒子を検出することによって達成され得る。結果、各信号は、単一の粒子を表している。分析されるサンプルの体積は、従って、粒子濃度図に寄与する。光センサは、例えば、様々な粒子に関する信号を区別することによって、粒子サイズ情報を付与することができる。或る例では、光センサは、様々な粒子サイズを区別するために、散乱光強度差を使用できる光散乱に基づいている。このため、光センサは、粒子数（即ち、既知のサンプル体積に関する濃度）及び粒子サイズについての情報を付与することができる。

40

【0068】

このサイズ情報を瓶形式で供給することによって、粒子サイズのバンドのための粒子濃度が、導出され得る。しかしながら、光センサは、質量濃度（即ち、単位体積当たりの粒子質量）を測定しない。直接的な質量測定なしに、光測定から質量濃度の計算が推定される。イベントを識別することによって、及び、それらのイベントに関して直接的な質量測定を供給することによって、上記推定は、実際の測定に基づいていてもよい。

50

【 0 0 6 9 】

光センサ測定は、散乱光に基づいており、その精度は、散乱光強度に直接比例する。経時的に、光センサによって用いられる光源（例えば、LED）の明るさは、減少し、これは、センサドリフトを生じさせる。また、汚染による問題がある。屋内エアロゾルに関して、特に、システムの様々な光コンポーネント（レンズ、LED表面など）上に層を形成し得る油を含むエアロゾルに関して、より顕著である。これは、光強度における減少につながり、従って、誤った測定につながる。

【 0 0 7 0 】

光センサは、上述のように、濃度及びサイズ範囲情報を付与してもよく、これは、特定のイベントのための独特なプロファイルを供給する。

10

【 0 0 7 1 】

校正の目的は、粒子質量濃度変換に対する粒子濃度の精度を改善することである。

【 0 0 7 2 】

このようにして、機械的センサは、極めて限られた時間でのみ動作し、継続的な測定が、光センサによって実行される。さらに、光センサ測定の不正確な質量濃度変換に対する粒子濃度が、光センサ測定のためのイベントベースの校正を供給することによって回避される。

【 0 0 7 3 】

屋外動作の場合では、センサデータは、適切なセンサを用いることによって、及び／又は、センサ動作を他の公共利用可能なデータと結合することによって、交通イベント（例えば、ピーク時間及び交通量の少ない時間）、社会的イベント（例えば、花火）、気象条件（例えば、雨、風向き、季節）、環境要因（例えば、砂漠の砂塵）、又は、他の都会のローカル情報（例えば、建物及び道路建設）に関して収集されることができる。

20

【 0 0 7 4 】

センサの詳細な設計は、アプリケーション状況に依存するであろう。

【 0 0 7 5 】

一般的に、図3に示されるように、センサシステムは、粒子事前クラス分けユニットと、吸入サンプリング装置30（例えば、フィルタスタック）と、この例ではMEMS共振器32（下記参照）を有する機械的センサ32と、この例では比濁計を有する光センサ33と、を有する。電子回路34が、センサ及び他のシステムコンポーネントを駆動及び読み出すために供給され、コントローラ36が、データ処理及び格納のために供給される。センサユニット（即ち、吸入サンプリング）に対する空気フローが、ファン及び／又は熱対流を用いることによって操作され得る。

30

【 0 0 7 6 】

サンプル吸入及び調整ユニット30が、目標の粒子範囲を考慮して設計される。より大きな粒子を除去するために、特定の粒子状物質範囲（例えば、PM1、PM2.5、PM10）が、例えば、メッシュ又は線維フィルタの組み合わせ、又は、慣性／空気力学分離などの、適切な粒子サイズ事前フィルタリングを用いることによってターゲットにされ得る。このタイプの事前フィルタリング動作を供給することによって、特に、大きな粒子が機械的センサに到達することを回避し得る。これにより、機械的センサが、長寿命化される。

40

【 0 0 7 7 】

粒子の堆積が、接地された、又は、反対にバイアスされた共振器上への荷電粒子の静電気又は電気泳動沈降により制御され得る。代わりに、共振器とカウンタ表面との間に温度差を作ることとを有する熱泳動沈降が、使用されてもよい。または、堆積は、ランダムな粒子移動に基づいていてもよい。サンプリングされた空気体積を運ぶためのファン又はポンプが使用されてもよい。

【 0 0 7 8 】

上記選択は、最小検出可能質量、「清浄な空気」（即ち、ベースラインレベル）における平均粒子濃度、サンプリングサブシステムにおける粒子フィルタを通過する粒子の比、

50

及び、結局は、最小粒子濃度検出に関するユーザ要件に依存する。

【0079】

MEMS共振器が、機械的センサ32として使用されてもよい。当該共振器は、要求される検出限度を供給すべく所望の共振周波数を達成するために適切な寸法で設計及び製造され得る。

【0080】

可能な共振器構造の例は、ダブルクランプ又は薄膜タイプの共振器の他、（一旦がクランプされ、他端がフリーである）カンチレバー構造である。

【0081】

カンチレバー設計は、特に、静電気引力による粒子収集の場合、カンチレバー先端において十分な電場密度を供給するために興味深い。カンチレバー構造は、単純な四角形状であってもよいし、（より大きなクランプ領域のために）三角形形状であってもよいし、又は、クランプされる端部における低い領域を維持しつつ表面積を増加させるためにハンマーヘッドのような形状であってもよい。

【0082】

これらのパラメータは、全て、システムの共振器の挙動に影響を及ぼすため、基本的な共振器設計原理が用いられ得る。

【0083】

共振周波数を駆動及び読み出すための回路34も共振器のQ値、トランスデューサの選択（例えば、圧電性、熱的、piezo抵抗、光学的、容量性など）に依存する。最小検出可能質量のための要件に依存して、Q補償メカニズムが、システムの質量解像度を増加させるために実装され得る。電子領域における共振周波数の検出は、作動法に適するように選択される。かかる共振器のための回路設計の基本は、当該技術分野において既知である。

【0084】

例えば、圧電作動及びセンシングの場合では、共振器の電気インピーダンスを組み込む発振回路が用いられる。静電性/容量性作動及びセンシングの場合は、電圧制御される発振回路が用いられる。

【0085】

また、データ処理及び操作のためのコントローラ36が、データサンプリングレート、計算のための処理負荷、データ処理アルゴリズムの実装などのアプリケーション要件に依存して、選択及び設計され得る。

【0086】

上述のように、上記アルゴリズムは、所与の世帯のための様々なイベントのタイムスタンプを組み込むことで学習メカニズムによって更に向上され得る。

【0087】

図3は、コントローラが、学習プロセスのために用いられるルックアップテーブル37を含むことを示している。ルックアップテーブルは、光センサ出力（又は、システムに供給される他のトリガ入力）から認識され得るイベントと対応する質量値との間のマッピングを供給する。このようにして、機械的センサ測定が、以前の測定から既に既知である場合、回避され得る。

【0088】

例えば、夕方頃に繰り返し起きるイベントの周期的なセットが、調理及び調理由来の粒子ソースと関連付けられ得る。一旦、調理のために矛盾のないデータ相関が確立されると、共振器のサンプリング周波数は、増加された動作寿命であっても、更に減少され得る。

【0089】

学習メカニズムの一例が、以下、より詳細に議論される。

【0090】

機械的センサが用いられる場合にその回数を更に減少させる目的は、例えば、異なる時間における同一イベントのための不要な繰り返しを回避するためである。しかしながら、類似のイベント（例えば、調理）が、それでもなお、（例えば、異なる調理材料に基づく

10

20

30

40

50

異なる構成の粒子を持つことがある。従って、同一の粒子濃度が、質量測定を用いる校正がなお必要であるように、同一の質量に対応しないこともある。

【0091】

また、学習メカニズムは、光測定の品質を改善することもできる。また、エアロゾルの様々な光学特性が、光読み取りの精度に影響を及ぼす。例えば、著しく異なる光学特性（即ち、屈折率）を具備するエアロゾルは、測定される粒子サイズ分布において異なるであろう。粒子の光学特性における変化は、通常、粒子濃度測定全体に影響しないが、サイズ推定に影響する。

【0092】

再調整プロセスにより、光センサ及び機械的センサの出力を結合する自己学習システムが、以下、説明される。

【0093】

光センサは、一般的に、（粒子数に基づく）粒子濃度のみを付与する。一方、光散乱信号の分析が、上述のように、粒子サイズ情報を導出するために用いられ得る。また、例えば、異なる粒子特性を検出するための複数のセンサを用いて、同一サイズの粒子の特性を区別することも可能である。

【0094】

また、光散乱信号から粒子サイズ分布を決定し、これにより、サイズ（例えば、PM_{2.5}）に従って粒子を分類するため、より進化した信号処理技術が提案されている。

【0095】

一例として、（マクスウェル方程式のミー解法に基づく）ミー理論が、浮遊粒子の光散乱を特徴付けるために用いられる。

【0096】

小さい粒子が大きい角度の散乱を供給し、大きい粒子が小さい角度の散乱を供給する特性に基づいて、光回折粒子サイジングが、サイズ分布情報を供給するために用いられ得る。粒子サイズに依存して散乱光の強度が経時的に変化する動的散乱が、使用されてもよい。この手法は、浮遊粒子のブラウン運動の速度に基づいている。

【0097】

従って、粒子濃度を導出するための様々な既知の光学技術がある。また、光センサ情報から粒子サイズ分布を抽出するためのデータ処理技術が、よく知られている。

【0098】

或る手法は、固定の散乱角度（例えば、光源、検出器、及び、光散乱体積の固定光学位置）を供給するとともに、粒子サイズの関数として光散乱強度の比較を供給する。これは、散乱角度を掃引するためのいかなる可動部（ゴニオメータ）も有さない測定システムを可能にする。

【0099】

しかしながら、粒子材料の知識なしに、これらの手法は、質量情報を供給しない。

【0100】

以下に説明される手法は、対応する機械的センサ値とともに、（サイズ分布、及び、オプションで他の特性などの）粒子の特性を格納することに基づいている。機械的センサが使用される毎に、瞬時値だけでなくオプションで前後の経時的な変化、及び/又は、時間窓に亘る平均値を含む特性が記録される。

【0101】

一旦、測定のセットが記録されると、システムが質量測定を実行するようにトリガされた場合、システムは、最初に、光センサからの現在の粒子プロファイルを格納値と比較する。それらの整合がある場合、システムは、現在の質量値を決定するために、機械的センサの格納値を使用する。

【0102】

このようにして、質量測定が、光センサ情報単独からのイベント、及び、対応するイベントのために以前に行なわれた質量測定の認識に基づいて、回避され得る。

10

20

30

40

50

【 0 1 0 3 】

このため、もしあれば、光粒子特性（サイズ分布及び他の特性）が、対応する事前格納された質量測定を識別するために使用され得る。次いで、粒子濃度及び特性に基づいて、質量測定が、決定され得る。

【 0 1 0 4 】

質量は、光読み取りに応じてスケールリングされ得る。例えば、光測定により決定されるような粒子特性が格納されたデータのセットに整合するが粒子濃度が格納データの記録の半分である場合、質量測定は、格納値を半分にスケールリングする。

【 0 1 0 5 】

図 4 は、光学的に測定され得る可能な粒子サイズ分布の一例を示している。

10

【 0 1 0 6 】

正確な粒子サイズ分布は必要ではない。同一タイプのイベントが、分布における変化を付与するためである。粒子分布情報を取得するためのより実際の手法は、一種の平均粒子サイズ分布として機能する、カテゴリにおける粒子濃度を収集することである。

【 0 1 0 7 】

離散関数への連続関数の変換が、図 5 に示されている。

【 0 1 0 8 】

上述のようにイベントが検出される場合、システムは、まず、離散形式で粒子サイズ分布を決定し、格納されたテーブルを参照する。整合がある場合、システムは、格納値から質量を決定することができる。

20

【 0 1 0 9 】

実際の粒子濃度と格納テーブルと関連付けられた格納された粒子濃度とが、実際の結果を付与するために格納された質量値をスケールリングするために使用される。

【 0 1 1 0 】

例えば、粒子サイズ分布が、（特定の許容誤差範囲内で）テーブル内のエントリと整合する場合、システムは、記録された粒子濃度と記録された質量とを検索することができる。これに基づいて、実際の粒子濃度が、実際の質量を決定するために使用される。このように、テーブルにおける値がスケールリング可能である。例えば、記録された質量が $30 \mu\text{g} / \text{m}^3$ であり、記録された粒子濃度が 120 であり、測定された粒子濃度が 80 である場合、実際の質量は、 $20 \mu\text{g} / \text{m}^3$ と計算される。

30

【 0 1 1 1 】

上述のように、測定された粒子サイズ分布は、正確に整合するようにはなっていないが、妥当な誤差レベルの範囲内にある。この誤差レベルは、予め設定されるか、複数の機械的センサ測定から決定され得る。測定された実際の質量が特定の誤差ずれている場合、測定された粒子サイズ分布は、異なるカテゴリを規定していると考えられ、テーブルにおいて別個のエントリとして格納され得る。

【 0 1 1 2 】

各サイズカテゴリにおける粒子濃度から粒子質量濃度を導出するため、それぞれ検出されるイベントタイプが、各サイズカテゴリに対して質量濃度値を割り当てる。

【 0 1 1 3 】

例えば、特定のイベントに関し、瓶 A に関する質量濃度は、 $M_A \text{ g} / \text{m}^3$ であってもよい。

40

$$M_A \text{ g} / \text{m}^3 = [\text{瓶 A 数 (数} / \text{m}^3 \text{)}] \times [\text{瓶 A 平均粒子体積 (m}^3 \text{)}] \times [\text{瓶 A 平均粒子濃度}_A \text{ (g} / \text{m}^3 \text{)}]$$

【 0 1 1 4 】

平均密度は、各瓶及び各エアロゾルソースで異なる。エアロゾルソースは、その特徴的な粒子サイズ分布などにより決定される。

【 0 1 1 5 】

全体の質量濃度は、全ての瓶に関する質量濃度の合計である。

【 0 1 1 6 】

50

図 6 は、全体のパーセントとして、3つの調理イベントに関する実際の粒子サイズ分布情報を示している。

【0117】

これらの調理イベントは、エシャロットとともに肉を強火で素早く炒めたもの（プロット60）、海老を強火で素早く炒めたもの（プロット62）、及び、野菜を強火で素早く炒めたもの（プロット64）である。y軸は、特定の粒子サイズに関する体積分率をプロットしている。

【0118】

x軸は、 μm で粒子サイズ（ $0.5\mu\text{m}$ 刻み）を示している。y軸は、正規化された粒子数を供給するために、そのサイズを有する粒子の総数の割合である。

【0119】

以下の表は、ガスクロマトグラフィー - 質量分析により定量化された、上述の3つの調理状況により生成された特定の有機物における有機化合物の重量パーセントを示している。

【表2】

	野菜を炒めた場合	海老を炒めた場合	エシャロットとともに肉を炒めた場合	3つの料理を混合したもの
n-アルカン	0.30±0.11	0.44±0.14	0.33±0.07	0.44±0.47
PAH (多環芳香族炭化水素)	0.01±0.00	0.03±0.03	0.01±0.00	0.01±0.00
飽和脂肪酸	11.56±1.74	13.7±1.68	12.9±2.49	13.51±0.34
不飽和脂肪酸	85.62±1.92	74.46±4.68	73.29±6.48	67.84±0.68
二塩基酸	0.02±0.01	0.01±0.01	0.03±0.04	0.01±0.01
9-オキシノナン酸	0.06±0.03	0.02±0.01	0.02±0.01	0.01±0.00
ノナール	0.06±0.07	0.04±0.03	0.05±0.05	0.02±0.00
単配糖体	0.02±0.01	0.05±0.04	0.17±0.15	0.05±0.02
ステロイド	2.21±0.22	10.38±2.87	11.6±3.27	14.07±1.03
ビタミンE	0.15±0.06	0.88±0.28	1.60±0.77	4.03±0.47

【0120】

この表から、3つの料理の粒子状物質の組成が異なっており、従って、実際の重量測定が異なる調理イベントによって異なることが期待されることが分かる。同様に、（異なる粒子密度分布プロファイルを有する）他のイベントは、異なる粒子組成、ひいては、異なる質量測定（同一の粒子濃度を有する場合であっても）を持つ。

【0121】

図7は、3つの調理イベントに関する経時的な質量濃度を示している。

【0122】

プロット70は、エシャロットとともに肉を炒めたものに関し、プロット72は、海老

を炒めたものに関し、プロット 7 4 は、野菜を炒めたものに関する。経時的な質量発展に関する情報も異なるイベントと関連付けられ得ることが分かる。

【 0 1 2 3 】

空気処理動作が、検出された粒子のタイプに従って最適化され得る。

【 0 1 2 4 】

図 8 は、光学粒子サイズ分布測定の精度についての粒子の様々な光学特性の効果を示している。屈折率における変化の結果として、粒子は、校正のベースとなる基準システムよりも多かれ少なかれ光を散乱し得る。この状態は、図 8 に示されるように、所与のイベントに関して、粒子サイズ分布のシフトとしてそれ自体を示している。矢印 8 0 は、粒子濃度情報についてのより低い反射性の効果を示しており、矢印 8 2 は、粒子濃度情報について 10 のより高い反射性の効果を示している。

【 0 1 2 5 】

上述のように、粒子サイズ分布は、様々なケースを区別し、実際の質量測定とリンク付けるために用いられる。粒子サイズ分布が粒子特性によってもたらされるという事実は、図 8 に示されるように、問題ではない。イベント特有の粒子サイズ分布パターンが維持される限り、正確な粒子サイズ分布情報は必要ではなく、様々なイベントと粒子特性（そのうちの 1 つは粒子の屈折率）とを区別するためのみに使用される。

【 0 1 2 6 】

図 9 は、上述の学習プロセスを利用する本発明の方法の一例を示している。

【 0 1 2 7 】

ステップ 9 0 において、イベントが検出されるまで、光センサ測定が行なわれる。イベントは、光センサ自体によって検出され得るか、又は、外部トリガとして受信され得る。

【 0 1 2 8 】

ステップ 9 2 において、光センサによって供給される粒子分布特性が、ルックアップテーブルにおけるデータと比較される。整合があれば、質量測定は、ルックアップテーブルから供給される（必要であれば適切なスケールリングが行なわれる）ことができ、光センシングが、機械的な質量測定を必要とせずに継続できる。

【 0 1 2 9 】

分布特性が整合しない場合、機械的な質量測定が、ステップ 9 4 において、実行される。ルックアップテーブルは、ステップ 9 6 において、新たなイベント特性により更新され、処理は、光センシングに戻る。

【 0 1 3 0 】

様々なイベントに関する粒子サイズ分布が、大まかに知られている。例えば、燃焼プロセス（蠟燭、煙草の煙など）は、PM₁、PM_{2.5}、及び、PM₁₀に関する同じ増加傾向としてそれ自体を示す、かなり均一な粒子サイズ分布からなる。反対に、塵に関連するイベント（例えば、ホコリ取り、真空掃除、ベッド交換、アイロンがけなど）は、PM₁₀において急激な増加を有するが、PM₁及びPM_{2.5}においては変化がない顕著な特徴を有する。

【 0 1 3 1 】

校正は、質量濃度変換係数に対して粒子濃度を校正することを含む。様々なイベントが、様々な光学特性、及び、質量濃度変換に対する粒子濃度に関する誤差を誘引する密度を有する粒子を生成する。

【 0 1 3 2 】

一旦、イベント（例えば、喫煙）が識別されると、所与の周囲雰囲気（即ち、センサが配置される空間）に関して、以前に格納（学習）された質量濃度変換係数に対する粒子濃度が当該イベントのために使用され得る。従って、校正は、特定の検出イベントについては、粒子濃度と質量濃度との間のマッピングの更新を含む。

【 0 1 3 3 】

様々なイベントが、極めて様々な特性の粒子を生じさせる。例えば、すす及び砂のように、たとえ粒子が同じサイズ範囲を有するとしても、極めて異なる光学特性を有し得る。

10

20

30

40

50

粒子濃度は、同じであり得るが、極めて異なる質量濃度を有する。イベントの特性を格納された値にマッピングすることによって、粒子濃度（数／ m^3 ）が質量濃度（ mg / m^3 ）に正確に変換されるように適切な変換係数を特徴付けることが可能になる。校正係数は、本質的に、粒子数（数）から質量に変換する。即ち、校正係数は、様々なタイプの粒子生成イベントに関して粒子当たりの質量の係数を供給する。

【0134】

上述のように、校正は、検出されるイベントに基づいて実行される。しかしながら、イベントがない場合であっても、校正は、周期的に（例えば、毎日）実行されてもよい。

【0135】

校正は、機械的センサの寿命を維持するために極めて頻繁に実行されるべきではない。寿命全体は、1年乃至3年などの保証期間を超えるべきである。

10

【0136】

光センサのために粒子濃度を質量濃度に変換することは、様々なイベントのために失敗する。例えば、煙草の煙に対して用いられる変換係数は、交通に起因するエアロゾルのための変換係数に対して有用ではないであろう。上述の自己学習システムは、様々なエアロゾル生成イベントと関連付けられた変化する環境要因に適合することができる。

【0137】

光源の経年によって引き起こされるドリフトは、幾らか予測可能であるが、光コンポーネントの汚染によるドリフトは、ランダムである。ハイブリッドアプローチは、正しい測定が全ての時間において利用可能であることを意味する。

20

【0138】

本発明は、質量測定をトリガするために、粒子生成イベントを利用する。これは、特定の粒子濃度の検出、又は、特定の粒子サイズの検出であってもよい。好ましくは、粒子生成イベントは、光センサによって検出可能なイベントである。さらに、質量測定は、特定の期間、イベントが検出されない場合であっても、周期的に実行されてもよい。結果、光センサは、イベントが検出される前であっても、周期的に校正されることができ、このことは、より正確な質量センシング動作をトリガする。

【0139】

本発明は、空気清浄機、スタンドアロン型粒子センサユニット、個人被爆モニタリング装置、車内粒子測定センサ、（スタンドアロン型センサユニット、又は、例えば、街管理のための街頭用センサとしての）屋外使用のための粒子センサ、排気ユニット、建物環境管理システムの様々な部分、及び、一般的には、共振周波数における変化を検出することによって動作する様々なタイプの機械的センサに適用可能である。また、呼吸サポート及び薬剤輸送アプリケーションにおける医療用アプリケーションがある。

30

【0140】

上述の例は、 $\text{PM}_{2.5}$ の検出に基づいているが、本発明は、 PM_{10} 粒子、 PM_{10} 粒子、又は、他のカテゴリの超微細粒子に適用可能である。

【0141】

上記の例は、MEMS共振器に基づいている。しかしながら、当該手法は、例えば、（容量性微小機械超音波トランスデューサと同様の）薄膜装置又は水晶振動子マイクロバランス（QCM：quartz crystal microbalance）などの他の微小共振器に基づいていてもよい。共振器は、バルク超音波（BAW：bulk acoustic wave）共振器であってもよいし、又は、表面音響波（SAW：surface acoustic wave）共振器であってもよい。

40

【0142】

センサシステムは、粒子生成イベントについての情報を供給するための化学センサを更に有していてもよい。これは、例えば、機械的センサ読み取りを促進するためのイベントトリガを供給するためのVOCセンサであってもよい。当該イベントトリガは、化学センサ、外部入力、及び、光センサを含む複数の可能な入力に基づいていてもよい。

【0143】

上記システムは、コントローラを利用する。コントローラのために採用され得るコンボ

50

ーネットは、従来のマイクロフォン、特定用途向け集積回路（ＡＳＩＣｓ）、及び、フィールドプログラマブルゲートアレイ（ＦＰＧＡ：Field-Programmable Gate Array）を含むが、これらに限定されない。

【０１４４】

様々な実施形態において、プロセッサ又はコントローラは、ＲＡＭ、ＰＲＯＭ、ＥＰＲＯＭ、及び、ＥＥＰＲＯＭなどの揮発性及び不揮発性のコンピュータメモリなどの、１又は複数のストレージ媒体と関連付けられていてもよい。ストレージ媒体は、１又は複数のプロセッサ及び／又はコントローラ上で実行された場合に、必要な機能を実行する１又は複数のプログラムで符号化されていてもよい。様々なストレージ媒体は、プロセッサ又はコントローラの内部に固定されていてもよく、又は、記録された１又は複数のプログラムが、ここで議論される本発明の様々な態様を実施できるように、プロセッサ又はコントローラの中に読み込まれることができるように、移送可能であってもよい。

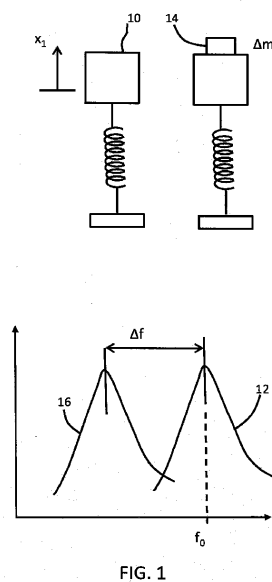
10

【０１４５】

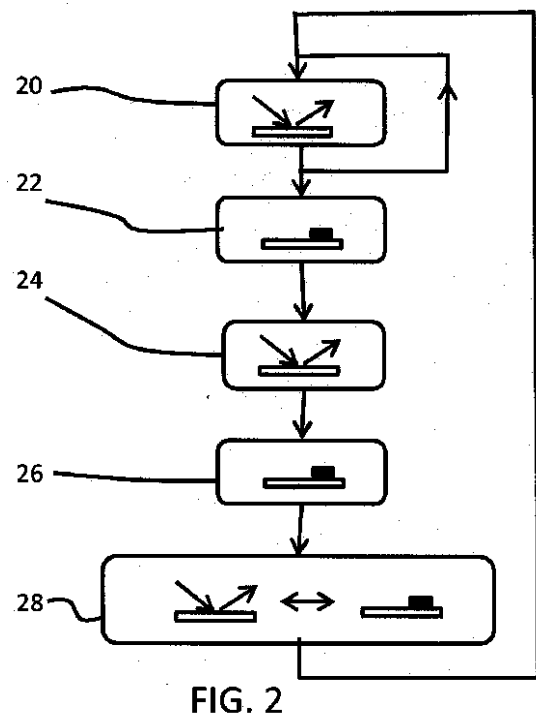
本発明を実施する際、図面、開示、及び、添付の請求項の研究から、開示の実施形態に対する他の変形が、当該技術分野における当業者によって、理解及び実施され得る。請求項中、「有する」なる用語は、他の要素又はステップを除外せず、単数形は、複数であることを除外しない。特定の手段が相互に異なる従属項において言及されているという単なる事実は、これらの手段の組み合わせが好適に用いられないということを示すものではない。請求項中の任意の参照符号は、本発明の範囲を限定するものとして解釈されるべきではない。

20

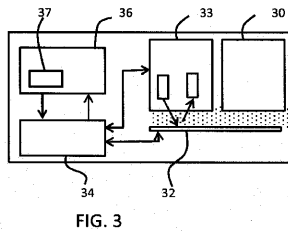
【図１】



【図２】



【図 3】



【図 4】

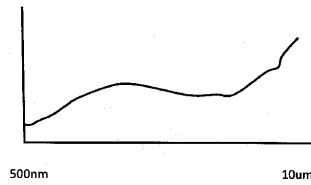


FIG. 4

【図 5】

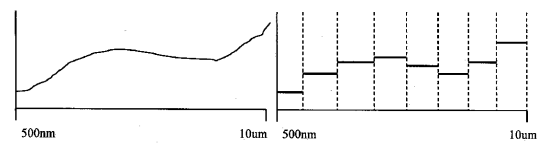


FIG. 5

【図 8】

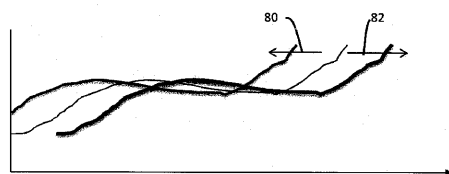


FIG. 8

【図 6】

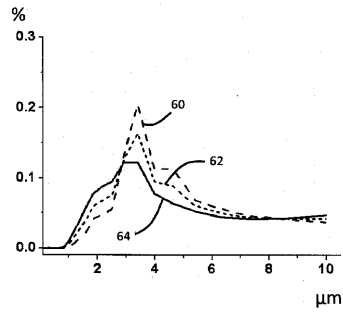


FIG. 6

【図 7】

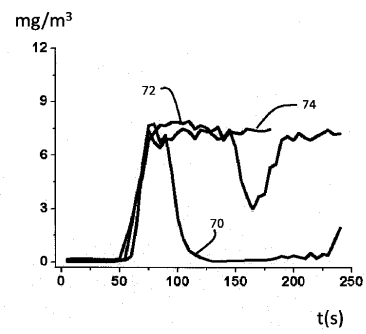


FIG. 7

【図 9】

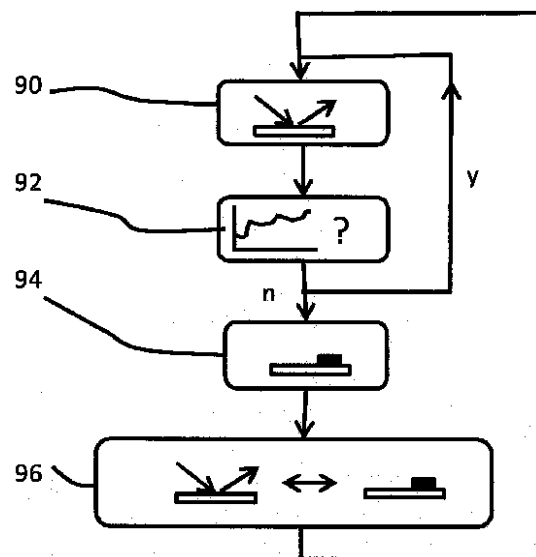


FIG. 9

フロントページの続き

- (72)発明者 カラカヤ コレイ
オランダ国 5656 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス 5
- (72)発明者 ケリー デクラン パトリック
オランダ国 5656 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス 5

審査官 素川 慎司

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2010/0315638 (US, A1)
特開2007-278942 (JP, A)
特開昭56-129840 (JP, A)
特開2003-161698 (JP, A)
特開2001-116681 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01N 15/00 - 15/14