

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6858135号  
(P6858135)

(45) 発行日 令和3年4月14日(2021.4.14)

(24) 登録日 令和3年3月25日(2021.3.25)

(51) Int.Cl.		F I			
GO 1 N 15/06	(2006.01)	GO 1 N	15/06		D
GO 1 N 27/60	(2006.01)	GO 1 N	27/60		C

請求項の数 14 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2017-562247 (P2017-562247)	(73) 特許権者	590000248
(86) (22) 出願日	平成28年5月31日 (2016.5.31)		コーニンクレッカ フィリップス エヌ ヴェ
(65) 公表番号	特表2018-522224 (P2018-522224A)		KONINKLIJKE PHILIPS N. V.
(43) 公表日	平成30年8月9日 (2018.8.9)		オランダ国 5656 アーヘー アイン ドーフエン ハイテック キャンパス 5 2
(86) 国際出願番号	PCT/EP2016/062231	(74) 代理人	110001690
(87) 国際公開番号	W02016/193246		特許業務法人M&Sパートナーズ
(87) 国際公開日	平成28年12月8日 (2016.12.8)	(72) 発明者	マルラ ヨハン
審査請求日	令和1年5月30日 (2019.5.30)		オランダ国 5656 アーヘー アイン ドーフエン ハイ テック キャンパス 5
(31) 優先権主張番号	15170755.1		
(32) 優先日	平成27年6月5日 (2015.6.5)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁 (EP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 粒子センサ及び検知方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ガス流を同伴された粒子と共に受け入れる入力部と、  
静電気粒子帯電セクションと、  
平行板粒子集塵セクションと、  
集塵された粒子を検出してセンサ信号を生成するためのセンサとを備える粒子センサであって、

前記センサ信号  $I_{sensor}$  は、 $I_{sensor} = f(N_{app}, S_1)$  になるように較正定数  $S_1$  によって、前記静電気粒子帯電セクションに入る前記ガス流中の前記粒子の見かけ粒子数濃度  $N_{app}$  と関係付けられ、前記較正定数  $S_1$  は、第1の関係すなわち

$$S_1 = f_1(d_p, a_{v(c_s)})$$

に従って、前記静電気粒子帯電セクションに入る前記ガス流中の前記粒子の集計平均直径  $d_p, a_{v(c_s)}$  に依存し、

前記粒子センサは、前記静電気粒子帯電セクションの上流に配置された前置フィルタを備え、前記前置フィルタは、前記前置フィルタに入る前記ガス流から前記粒子の一部をフィルタリングすることができ、前記粒子フィルタリングの割合は、第2の関係すなわち、

$$= f_2(d_p, a_v)$$

に従って、前記前置フィルタに入る前記粒子の集計平均粒径  $d_p, a_v$  に依存し、

10

20

前置フィルタ特性は、前記前置フィルタによってフィルタ除去されていない前記同伴された粒子に応じて生成された前記センサ信号が、較正定数  $S$  によって、前記前置フィルタに入る前記粒子の前記見かけ粒子数濃度  $N_{a,p,p}$  と関係付けられるような特性であり、前記較正定数  $S$  は、第 3 の関係すなわち、

$$S = f_3(d_{p,av})$$

に従って、前記前置フィルタに入る前記粒子の前記集計平均直径  $d_{p,av}$  に依存し、

前記第 3 の関係は、25 nm から 100 nm の集計平均直径の範囲について、前記それぞれの集計平均直径への依存が前記第 1 の関係よりも少なく、したがって、前記平行板粒子集塵セクションから得られた前記センサ信号の、その入力部における粒子サイズ分布との依存関係が少なくとも部分的に相殺され、それにより、前記センサ信号は、前記粒子センサの前記入力部における粒子サイズ分布に依存することが少なくなる、

粒子センサ。

【請求項 2】

前記第 1 の関係は、線形関係すなわち、

$$S_1 = A_1 \cdot d_{p,av}(cs) + B_1$$

で近似することができ、 $A_1$  及び  $B_1$  は、ガス流量、付与された粒子の集塵電圧、及び前記平行板粒子集塵セクションの設計に依存する正の定数である、請求項 1 に記載の粒子センサ。

【請求項 3】

前記前置フィルタは活性炭フィルタを含む、請求項 1 又は 2 に記載の粒子センサ。

【請求項 4】

前記前置フィルタはサンプリングガス流の 0.1 リットル / 分当たり少なくとも 1 ml のボリュームを有する、請求項 3 に記載の粒子センサ。

【請求項 5】

前記第 2 の関係は、累乗関係すなわち、

【数 1 3】

$$\eta = \frac{A_2}{(d_{p,av})^{B_2}}$$

に従って近似することができ、 $A_2$  及び  $B_2$  は、前記前置フィルタの前記特性及び前記前置フィルタを通るガス流の速度に依存する正の定数である、請求項 2、3、又は 4 に記載の粒子センサ。

【請求項 6】

前記平行板粒子集塵セクション、前記前置フィルタ設計及び動作ガス流速度は、近似関数すなわち、

【数 1 4】

$$S = \frac{A_1 d_{p,av} + B_1}{1 - \frac{A_2}{(d_{p,av})^{B_2}}}$$

に従って前記第 3 の関係により与えられる前記較正定数  $S$  が 25 nm  $d_{p,av}$  50 nm の範囲内の最小値に達するように設計される、請求項 5 に記載の粒子センサ。

10

20

30

40

50

## 【請求項 7】

静電気粒子帯電セクション及び平行板粒子集塵セクションを設計するステップと、  
集塵された粒子を検出してセンサ信号を生成するためのセンサを選択するステップであ  
って、前記センサ信号は、 $I_{\text{s e n s o r}} = f(N_{\text{a p p}}, S_1)$ となるように較正定数  
 $S_1$ によって、前記静電気粒子帯電セクションに入る粒子の前記見かけ粒子数濃度  $N_{\text{a p}}$   
 $p$  と関係付けられ、前記較正定数  $S_1$  が第 1 の関係すなわち、

$$S_1 = f_1(d_{p, av}(cs))$$

に従って、前記静電気粒子帯電セクションに入るガス流中の前記粒子の集計平均直径  $d_{p, av}(cs)$  に依存する、ステップと、

前記静電気粒子帯電セクションの上流に配置するための前置フィルタを設計するステッ  
プとを有し、前記前置フィルタは、前記前置フィルタ内の粒子堆積の割合 と、前記前置  
フィルタに入る前記ガス流中の前記粒子の前記集計平均直径  $d_{p, av}$  との間に第 2 の関  
係、すなわち

$$= f_2(d_{p, av})$$

を有し、

前記方法は、前記前置フィルタによってフィルタ除去されていない同伴された粒子に応  
じた前記センサ信号が、較正定数  $S$  によって、前記前置フィルタに入る前記粒子の前記見  
かけ粒子数濃度  $N_{\text{a p p}}$  と関係付けられるように前置フィルタ特性を選択するステップを  
有し、前記較正定数  $S$  は、第 3 の関係すなわち、

$$S = f_3(d_{p, av})$$

に従って、前記前置フィルタに入る前記粒子の前記集計平均直径  $d_{p, av}$  に依存し、

前記第 3 の関係は、25 nm から 100 nm の集計平均半径の範囲について、前記それ  
ぞれの集計平均直径への依存が前記第 1 の関係よりも少なく、したがって、前記平行板粒  
子集塵セクションから得られた前記センサ信号の、その入力部における粒子サイズ分布と  
の依存関係が少なくとも部分的に相殺され、それにより、前記センサ信号は、前記粒子セ  
ンサの前記入力部における粒子サイズ分布に依存することが少なくなる、

粒子センサを設計する方法。

## 【請求項 8】

前記第 1 の関係は、線形関係すなわち、

$$S_1 = A_1 \cdot d_{p, av}(cs) + B_1$$

で近似することができ、 $A_1$  及び  $B_1$  は、流量、集塵電圧、及び前記平行板粒子集塵セク  
ションの設計に依存する正の定数である、請求項 7 に記載の方法。

## 【請求項 9】

前記第 2 の関係は、累乗関係すなわち、

【数 15】

$$\eta = \frac{A_2}{(d_{p, av})^{B_2}}$$

によって近似することができ、 $A_2$  及び  $B_2$  は、前記前置フィルタの前記特性及び前記前  
置フィルタを通る空気流の速度に依存する正の定数である、請求項 7 又は 8 に記載の方法  
。

## 【請求項 10】

前記平行板粒子集塵セクション、前記前置フィルタ設計及び動作空気流速度は、近似関  
数すなわち、

10

20

30

40

【数 16】

$$S = \frac{A_1 d_{p,av} + B_1}{1 - \frac{A_2}{(d_{p,av})^{B_2}}}$$

10

で前記第3の関係により与えられる前記較正定数  $S$  が  $25 \text{ nm} < d_{p,av} < 50 \text{ nm}$  の範囲内の最小値に達するように設計される、請求項9に記載の方法。

【請求項11】

同伴された粒子を伴うガス流を受け入れるステップと、

前記ガス流を前置フィルタに通すステップとを有する粒子検知方法であり、前記前置フィルタは、前記前置フィルタ内の粒子堆積の割合と、前記前置フィルタに入る前記ガス流中の前記粒子の集計平均粒径  $d_{p,av}$  との間に、第2の関係すなわち、

$$= f_2(d_{p,av})$$

に従う前置フィルタ関係を有し、

前記前置フィルタでフィルタリングされた前記ガス流を静電粒子帯電セクションに通すステップと、

20

平行板粒子集塵セクションを使用し、集塵された粒子の電荷を検出してセンサ信号を生成するステップとを有し、

前記センサ信号は、 $I_{\text{sensor}} = f(N_{\text{app}}, S_1)$  となるように較正定数  $S_1$  によって、前記静電粒子帯電セクションに入る前記粒子の前記見かけ粒子数濃度  $N_{\text{app}}$  と関係付けられ、この較正定数は、第1の関係すなわち、

$$S_1 = f_1(d_{p,av}(c_s))$$

に従って、前記静電粒子帯電セクションに入る前記粒子の前記集計平均粒径  $d_{p,av}(c_s)$  に依存し、

前記前置フィルタによってフィルタ除去されていない前記同伴された粒子に応じる前記センサ信号が、較正定数  $S$  によって、前記前置フィルタに入る前記粒子の前記見かけ粒子数濃度  $N_{\text{app}}$  と関係付けられ、前記較正定数  $S$  は、第3の関係すなわち、

30

$$S = f_3(d_{p,av})$$

に従って、前記前置フィルタに入る前記粒子の集計平均直径  $d_{p,av}$  への依存が少なく、

前記第3の関係は、 $25 \text{ nm}$  から  $100 \text{ nm}$  の集計平均直径の範囲について、前記それぞれの集計平均直径への依存が前記第1の関係よりも少なく、したがって、前記平行板粒子集塵セクションから得られた前記センサ信号の、その入力部における粒子サイズ分布との依存関係が少なくとも部分的に相殺され、それにより、前記センサ信号は、前記粒子センサの前記入力部における粒子サイズ分布に依存することが少なくなる、

40

粒子検知方法。

【請求項12】

前記第1の関係は、線形関係すなわち、

$$S_1 = A_1 \cdot d_{p,av}(c_s) + B_1$$

で近似することができ、 $A_1$  及び  $B_1$  は、流量、集塵電圧、及び前記平行板粒子集塵セクションの設計に依存する正の定数である、請求項11に記載の方法。

【請求項13】

前記第2の関係は、累乗関係すなわち、

【数 17】

$$\eta = \frac{A_2}{(d_{p,av})^{B_2}}$$

に従って近似することができ、 $A_2$  及び  $B_2$  は、前記前置フィルタの特性及び前記前置フィルタを通る空気流の速度に依存する正の定数である、請求項 11 又は 12 に記載の方法。

10

【請求項 14】

前記平行板粒子集塵セクション、前記前置フィルタ設計及び動作空気流速度は、近似関数すなわち、

【数 18】

$$S = \frac{A_1 d_{p,av} + B_1}{1 - \frac{A_2}{(d_{p,av})^{B_2}}}$$

20

で前記第 3 の関係により与えられる前記較正定数  $S$  が  $2.5 \text{ nm} < d_{p,av} < 50 \text{ nm}$  の範囲内の最小値に達するように設計される、請求項 13 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、特に空中浮遊超微粒子（「UFP」）の見かけ粒子数濃度（すなわち、単位ボリューム当たりの粒子の見かけ数）を決定するための、粒子センサに関する。

30

【背景技術】

【0002】

このタイプの知られている粒子センサは通常、センサを通る空気流を確立するための手段（たとえば換気装置又はポンプ）を備える。次に空気流は、空中浮遊粒子を帯電させるためのイオン化電極を有する粒子帯電セクションと、実質的にすべての空中浮遊粒子を流れから取り除くための粒子集塵セクションとを通過する。

【0003】

センサはさらに粒子測定セクションを備え、これは、粒子集塵セクションにおける単位時間当たりの粒子結合電荷の堆積として得られる電流（ $I_{\text{sensor}}$ ）を測定するための電流計を有する。

40

【0004】

測定された電流（ $I_{\text{sensor}}$ ）から、いわゆる見かけ超微粒子数密度（ $N_{\text{app}}$ ）を次式により計算することができる。

$$N_{\text{app}} = S \cdot I_{\text{sensor}} \quad (1)$$

【0005】

上式で、 $S$  は較正定数である。見かけ超微粒子数濃度（ $N_{\text{app}}$ ）は、粒子長さ濃度（すなわち、空気単位ボリューム中の全空中浮遊 UFP がその中で 1 本の紐として整列したときの紐の全長）と所定の平均粒径すなわち、

【数 1】

$$d_{p,av}^*$$

の比に等しい。ここで、平均粒径は算術平均粒径であり、集計平均粒径としても知られている。UFPに関し、式(1)は、実質的にすべての帯電空中浮遊粒子が粒子集塵セクション内に堆積した場合には、

【数 2】

$$d_{p,av}^*$$

10

の値に依存することなく有効である。

【0006】

粒子集塵セクションは、ファラデーケージの中に配置された機械式粒子フィルタ、又は平行板静電粒子集塵機を備える。製造可能性の観点から、後者の方が前者よりも好まれる。寸法が小さいセンサ設計を使用することもまた望ましい。しかし、こうして選択されたものでは、全帯電空中浮遊UFPのうちの一部しか集塵できず、特にUFPサイズが大きくなるとそうなる。特に、サンプリング空気流から実質的にすべての帯電空中浮遊粒子が取り除かれることを保証するのは困難である。その理由は、そうするには高い粒子集塵電圧(100Vを超える、電子工学的な観点から魅力的ではない電圧)を加えること、流量が小さいこと(毎分0.3リットル未満であり、そのため感度が低下する)、及び/又は粒子集塵機の中の集塵長さが長いこと(そのためデバイスサイズが大きくなる)が必要になるからである。

20

【0007】

その結果、平行板静電集塵機が使用される場合には、サンプリング空気流からすべての帯電空中浮遊粒子が取り除かれられない可能性があることになり、これにより $N_{app}$ に関して曖昧さのない $I_{sensor}$ の解釈が妨げられ、サンプリング粒子の計数平均直径 $d_{p,av}$ が分かっていないときには特に妨げられる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0008】

したがって、サンプリング空気流からたとえ全帯電粒子をセンサの粒子集塵セクションにおいて集塵しなくても、センサ電流を粒子長さ濃度に関してより正確に解釈することができる粒子センサ設計が必要とされている。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明は、特許請求の範囲によって定義される。

【0010】

本発明の一態様による諸例によれば、

ガス流を同伴された粒子と共に受け入れる入力部と、

静電気粒子帯電セクションと、

平行板粒子集塵セクションと、

集塵された粒子を検出してセンサ信号を生成するためのセンサとを備える粒子センサが提供され、

40

センサ信号 $I_{sensor}$ は、 $I_{sensor} = f(N_{app}, S_1)$ になるように較正定数 $S_1$ によって、帯電セクションに入るガス流中の粒子の見かけ粒子数濃度 $N_{app}$ と関係付けられ、この較正定数 $S_1$ は、第1の関係すなわち、

$$S_1 = f_1(d_{p,av}(cs))$$

に従って、帯電セクションに入るガス流中の粒子の集計平均直径 $d_{p,av}(cs)$ に依存し、

50

粒子センサは、帯電セクションの上流に配置された前置フィルタを備え、この前置フィルタは、前置フィルタに入るガス流から粒子の一部をフィルタリングすることができ、粒子フィルタリングの割合は、第2の関係すなわち、

$$= f_2(d_{p,av})$$

に従って、前置フィルタに入る粒子の集計平均粒径  $d_{p,av}$  に依存し、

前置フィルタ特性は、前置フィルタによってフィルタ除去されていない同伴された粒子に応じる生成センサ信号が、較正定数  $S$  によって、前置フィルタに入る粒子の見かけ粒子数濃度  $N_{ap}$  と関係付けられるような特性であり、この較正定数  $S$  は、第3の関係すなわち、

$$S = f_3(d_{p,av})$$

に従って、前置フィルタに入る粒子の集計平均直径  $d_{p,av}$  に依存し、

この第3の関係は、それぞれの集計平均直径への依存が第1の関係よりも少ない。

#### 【0011】

このセンサ設計では前置フィルタを利用して、センサデバイス全体（すなわち、前置フィルタ、粒子帯電セクション及び平行板粒子集塵セクション）の応答が粒子サイズ分布の特性によりいっそう依存しないようにする。というのは、このサイズ分布情報は通常知られていないからである。このようにして、平行板集塵機において集塵された帯電粒子から得られたセンサ信号の、その入力部における粒子サイズ分布との望ましくない依存関係が少なくとも部分的に相殺され、それにより、センサ信号は、センサデバイス全体の入力部における粒子サイズ分布に依存することが少なくなる（又は全く依存しなくなる）。この場合、較正定数を使用してセンサ信号を、センサデバイス全体の入力部に入るサンプリングガス流中の見かけ粒子数濃度と相関させることができる。「依存することが少ない」とは、集計平均粒径に関する較正值  $S$  の関数に対して最良適合ラインの勾配がより浅くなることと理解される。

#### 【0012】

サンプリングガス流中の粒子長さ濃度のどんな値の集計平均粒径ともセンサ信号の依存関係を少なくとも部分的に取り除こうとするには、近似を用いて前置フィルタ及びセンサ応答を特徴付けなければならない。したがって、その依存関係は一般に完全には取り除かれない。好ましくは、最も関心のある集計平均粒径  $d_{p,av}$  の範囲（たとえば、25 nm から 100 nm）にわたって、センサ換算係数のある一定値（先に較正定数  $S$  と定義）からの最大偏差は 25% 未満であり、より好ましくは 15% 未満である。依存関係は、前置フィルタがないときに存在する第1の関係におけるよりも少なく、その目的は、 $d_{p,av}$  に対するこの依存関係を、前置フィルタ及び粒子集塵セクションの挙動に依存する物理的制限内で可能な限り取り除くことである。

#### 【0013】

第1の関係は、たとえば線形関係すなわち、

$$S_1 = A_1 \cdot d_{p,av}(cs) + B_1 \quad (3)$$

で近似することができ、ここで  $A_1$  及び  $B_1$  は、流量、集塵電圧、及び平行板粒子集塵セクションの設計に依存する正の定数である。

#### 【0014】

平行板集塵セクションの実際の設計を試験し、次にこの線形関数を当てはめることによって、パラメータ  $A_1$  及び  $B_1$  が実験によって見いだされる。

#### 【0015】

前置フィルタは活性炭フィルタを含み、サンプリング空気流 0.1 リットル/分当たり少なくとも 1 ml のボリュームを有する。

#### 【0016】

第2の関係は、たとえば累乗関係すなわち、

10

20

30

40

【数3】

$$\eta = \frac{A_2}{(d_{p,av})^{B_2}} \quad (4)$$

によって近似することができ、ここで $A_2$ 及び $B_2$ は、前置フィルタの特性及び前置フィルタを通る空気流の速度に依存する正の定数である。前置フィルタ設計を試験又はモデル化し、次にその結果をこの累乗関係に当てはめることによって、パラメータ $A_2$ 及び $B_2$ が、前置フィルタの選択された設計選択肢に基づいて決定される。

10

【0017】

平行板粒子集塵セクション、前置フィルタ設計及び動作空気流速度は、好ましくは、近似関数すなわち、

【数4】

$$S = \frac{A_1 d_{p,av} + B_1}{1 - (A_2 / d_{p,av}^{B_2})} \quad (8)$$

で与えられる較正定数 $S$ が $25 \text{ nm} < d_{p,av} < 50 \text{ nm}$ の範囲内の最小値に達するように設計される。

20

【0018】

このようにして、前置フィルタが存在することにより、全体較正定数 $S$ は、 $d_{p,av}$ への依存が較正定数 $S_1$ よりも少なくなる。実現された依存関係低減は、平行板粒子集塵セクションの設計及び適用される処理条件と組み合わせた前置フィルタの設計仕様からもたらされる。

【0019】

本発明の別の態様によれば、粒子センサを設計する方法が提供され、この方法は、静電気粒子帯電セクション及び平行板粒子集塵セクションを設計するステップと、集塵された粒子を検出してセンサ信号を生成するためのセンサを選択するステップであって、センサ信号は、 $I_{\text{sensor}} = f(N_{\text{app}}, S_1)$ となるように較正定数 $S_1$ によって、静電帯電セクションに入る粒子の見かけ粒子数濃度 $N_{\text{app}}$ と関係付けられ、この較正定数 $S_1$ が第1の関係すなわち、

30

$$S_1 = f_1(d_{p,av}(cs))$$

に従って、帯電セクションに入るガス流中の粒子の集計平均直径 $d_{p,av}(cs)$ に依存する、ステップと、

帯電セクションの上流に配置するための前置フィルタを設計するステップとを有し、この前置フィルタは、前置フィルタ内の粒子堆積の割合と、前置フィルタに入るガス流中の粒子の集計平均直径 $d_{p,av}$ との間に第2の関係、すなわち

$$= f_2(d_{p,av})$$

40

を有し、

この方法は、前置フィルタによってフィルタ除去されていない同伴された粒子に応じるセンサ信号が、較正定数 $S$ によって、前置フィルタに入る粒子の見かけ粒子数濃度 $N_{\text{app}}$ と関係付けられるように前置フィルタ特性を選択するステップを有し、この較正定数 $S$ は、第3の関係すなわち、

$$S = f_3(d_{p,av})$$

に従って、前置フィルタに入る粒子の集計平均直径 $d_{p,av}$ に依存し、

この第3の関係は、それぞれの集計平均直径への依存が第1の関係よりも少ない。

【0020】

上記で説明したように、この設計手法により、平行板集塵セクションにおいて堆積帯電

50



粒子から得られたセンサ信号が、好ましくは許容できる精度内で、粒子サイズ分布の詳細を考慮に入れる必要がない程度に、センサデバイス全体の入力部において粒子サイズ分布への依存が少ないセンサが生成される。

【0021】

本発明の別の態様によれば、

同伴された粒子を伴うガス流を受け入れるステップと、

ガス流を前置フィルタに通すステップとを有する粒子検知方法が提供され、前置フィルタは、前置フィルタ内の粒子堆積の割合と、前置フィルタに入るガス流中の粒子の集計平均粒径  $d_{p,av}$  との間に、第2の関係すなわち、

$$= f_2(d_{p,av})$$

10

に従って、前置フィルタ関係を有し、この方法はさらに、

前置フィルタでフィルタリングされたガス流を静電粒子帯電セクションに通すステップと、

平行板粒子集塵セクションを使用し、集塵された粒子の電荷を検出してセンサ信号を生成するステップとを有し、

センサ信号は、 $I_{sensor} = f(N_{app}, S_1)$  となるように較正定数  $S_1$  によって、帯電セクションに入る粒子の見かけ粒子数濃度  $N_{app}$  と関係付けられ、この較正定数は、第1の関係すなわち、

$$S_1 = f_1(d_{p,av}(cs))$$

に従って、静電帯電セクションに入る粒子の集計平均粒径  $d_{p,av}(cs)$  に依存し、前置フィルタによってフィルタ除去されていない同伴された粒子に応じるセンサ信号が、較正定数  $S$  によって、前置フィルタに入る粒子の見かけ粒子数濃度  $N_{app}$  と関係付けられ、この較正定数  $S$  は、第3の関係すなわち、

20

$$S = f_3(d_{p,av})$$

に従って、前置フィルタに入る粒子の集計平均直径  $d_{p,av}$  への依存が少なく、

この第3の関係は、それぞれの集計平均直径への依存が第1の関係よりも少ない。

【0022】

次に、本発明の諸例について添付の図面を参照して詳細に説明する。

【図面の簡単な説明】

【0023】

30

【図1】知られている粒子センサの第1の例を示す図である。

【図2】知られている粒子センサの第2の例を示す図である。

【図3】図2の設計においてセンサ信号を入射粒子濃度と相関させる較正值  $S_1$  が、入射粒子の集計平均直径  $d_{p,av}$  にどれだけ依存するかを示す図である。

【図4】本発明による粒子センサの第1の例を示す図である。

【図5】図4の粒子センサにおいて前置フィルタによって満たされるべきフィルタリング関係の例を示す図である。

【図6】図4の粒子センサ設計においてセンサ信号を粒子センサに入るガス流中の粒子の濃度と相関させる較正定数  $S$  は、粒子センサに備えられる前置フィルタの設計に関して、粒子センサに入る粒子の集計平均直径  $d_{p,av}$  への依存がどれだけ少なくなるかの例を示す図である。

40

【発明を実施するための形態】

【0024】

本発明は、静電粒子帯電セクション及び平行板粒子集塵セクションと、集塵された粒子を検出してセンサ信号を生成するためのセンサとを備える粒子センサを提供する。前置フィルタが帯電セクションの前に置かれる。前置フィルタ特性は、前置フィルタによってフィルタ除去されていない同伴された粒子に応じるセンサ信号が、較正定数  $S$  によって、粒子センサ入力部における見かけ粒子数濃度  $N_{app}$  と関係付けられるような特性である。この較正定数  $S$  は、粒子センサに入るガス流中の粒子の集計平均直径  $d_{p,av}$  への依存が、前置フィルタが存在しないときにおけるよりも少ない。したがって、集塵セクション

50

において集塵された粒子に由来するセンサ信号の粒子サイズ分布への依存（異なる粒子サイズにおいて粒子集塵の程度が異なることによる）が、粒子サイズへの粒子フィルタリング機能の適切な依存関係を保有する前置フィルタによって、少なくとも部分的に相殺される。

【 0 0 2 5 】

知られている電気式超微粒子（UFP）センサの設計及び動作についてまず、より詳細に説明する。これらのセンサは、たとえば約10nmから500nmの間の粒子サイズ範囲の粒子を測定する。

【 0 0 2 6 】

最も基本的なセンサ実施態様が図1に示されている。

10

【 0 0 2 7 】

センサは、流量  $Q_c$  の空気を受け入れるための入口10を備える。

【 0 0 2 8 】

UFP帯電セクション12は、多孔質スクリーン電極16で取り囲まれた空気イオン化高圧電極14を備える。

【 0 0 2 9 】

さらに下流に、粒子フィルタを含むファラデーケージ20を備えるUFP集塵セクション18があり、この粒子フィルタは、UFPセンサを通過するサンプリング空気流からすべての空中浮遊粒子を実質的にフィルタリングすることができる。

【 0 0 3 0 】

20

電流計22がファラデーケージに接続される。電流計は、ファラデーケージの内部に単位時間当たりに堆積する粒子結合電荷の量を電流  $I_{sensor}$  として測定する。 $I_{sensor}$  はセンサ信号を構成する。

【 0 0 3 1 】

空中浮遊UFPを含むサンプリング空気流をセンサ中に通すための手段24がある。この手段は換気扇、ポンプ、又はイオン風とすることができる。流量  $Q_c$  で空気を排出する空気流出口26がある。

【 0 0 3 2 】

上述のように、サンプリング空気流中の推測される見かけUFP数濃度  $N_{app}$  は、

$$N_{app} = S \cdot I_{sensor} \quad (1)$$

30

によって、測定された  $I_{sensor}$  と関係付けられる。

【 0 0 3 3 】

これは、一般的に  $I_{sensor} = f(N_{app}, S)$  であることを意味する。

【 0 0 3 4 】

$S$  は較正定数であり、粒子サイズ分布特性に実質的に依存せず、したがって集計平均UFP直径  $d_{p,av}$  に実質的に依存しない。さらに、見かけ粒子数濃度  $N_{app}$  は

【数5】

$$N_{app} = \frac{N d_{p,av}}{d_{p,av}^*} \quad (2)$$

40

と定義され、 $N$  は総合UFP数濃度であり、 $d_{p,av}$  は集計平均粒径であり、

【数6】

$$d_{p,av}^*$$

は、任意の事前選択デフォルト平均粒径とすることができる（通常は、

【数7】

$$d_{p,av}^* = 50 \text{ nm}$$

である)。

【0035】

すなわち、 $N_{app}$  は  $N$  と  $d_{p,av}$  の積に比例する。積  $N d_{p,av}$  は粒子長さ濃度 ( $m/m^3$ ) を示す。 $N_{app}$  が分かっているだけで、UFPに関連した大気汚染レベルの相対的深刻さを評価するのに十分である。その目的には、 $N$  と  $d_{p,av}$  の両方が個別に分かっている必要がない。

10

【0036】

式2は、平均UFP粒子サイズ範囲25nm  $d_{p,av}$  120nmについて有効である。この範囲は、通常に遭遇するUFP直径範囲10nm  $d_p$  500nm全体にわたるUFPサイズ分布を包含する。

【0037】

図1に示されたUFPセンサ実施形態の代わりに、図2の代替実施形態を使用することができる。

【0038】

図1と同じ参照番号が同じ構成要素に対し使用されている。ファラデーケージ20の代わりに、平行板静電粒子集塵機30が設けられ、電流計22が、帯電粒子が集塵される板電極に取り付けられる。平行板集塵機は、たとえば、2つの平行平板電極として、又は外側電極に取り囲まれている内側電極を含む同心電極組として具現化することができる。いくつかの代替実施形態が当業者には明らかであろう。

20

【0039】

すべての空中浮遊帯電UFPが集塵されるとすれば、上記の式、式1及び式2がなお当てはまる。

【0040】

図1の実施形態の代わりに図2の実施形態を使用することが、UFPセンサが低コスト及び小さいサイズで大量生産される場合には、組立てが容易という理由で好ましい。

【0041】

上述のように、平行板静電集塵機が使用される場合には、サンプリング空気流からすべての空中浮遊粒子が取り除かれられない可能性があることになり、これにより  $N_{app}$  に関して曖昧さのない  $I_{sensor}$  の解釈が妨げられる。

30

【0042】

図3は、空中浮遊UFPの一部だけがセンサ集塵セクション内で集塵される場合に、式1の較正值  $S_1$  と  $d_{p,av}$  の間の関係の例を異なる  $c$  及び  $V_{prec}$  の値において示す。 $V_{prec}$  は、互いに向かい合う2つの平行板電極間に加えられる電圧である。

【0043】

図3(a)のすべてのグラフは、流量が  $c = 0.6$  リットル/分であるが、図示のように  $V_{prec}$  が3つの異なる値である。 $V_{prec}$  の無限値は、完全な粒子集塵が行われると共にそれが  $d_{p,av}$  に依存しない  $S_1$  の所望の一定値を与える、理想の(しかし非実際の)状態と関係付けられる。図3(a)及び図3(b)の実線は、サイズ分布の幅の標準偏差  $= 1.7$  である正規対数型の粒子サイズ分布に当てはまる。破線は、標準偏差  $= 2.1$  である正規対数型の粒子サイズ分布に当てはまり、点線は、標準偏差  $= 1.3$  である正規対数型の粒子サイズ分布に当てはまる。図3(a)から、 $S_1$  が主として  $d_{p,av}$  の関数であり、 $c$  には実質的に依存しないことが明らかである。

40

【0044】

図3(b)のすべてのグラフは、流量が  $c = 0.3$  リットル/分であるが、図示のように  $V_{prec}$  が3つの異なる値である。

【0045】

50

図3(a)及び図3(b)の有限 $V_{pre}$ 値における $S_1$ の値は、平行板集塵機の実際的な設計ではもはや一定ではないことが分かる。これは、帯電粒子の不完全な集塵に起因する。

【0046】

本発明は、不完全な粒子の集塵の結果として、較正定数( $S_1$ )が線形関係すなわち、

$$S_1 = A_1 \cdot d_{p,av} + B_1 \quad (3)$$

に従って、集計平均粒径( $d_{p,av}$ )による粒子サイズ分布の特性に主として依存するようになることを示した調査に基づいている。

【0047】

集計平均粒径( $d_{p,av}$ )は、センサ、すなわちセンサの帯電セクションに入る粒子についてのものである。したがって、空気入口とセンサの間に他の構成要素がある場合について特徴付けるために、帯電セクションの入口に入るときの集計平均粒径( $d_{p,av}(cs)$ )が、センサだけに較正定数が関係付けられるように定義される。

10

【0048】

その場合、

$$S_1 = A_1 \cdot d_{p,av}(cs) + B_1 \quad (3a)$$

となる。

【0049】

一般的には、センサ性能に関連して第1の関係、すなわち $S_1 = f_1(d_{p,av}(cs))$ がある。

20

【0050】

この線形関係は、図3の例に見られる。この式は、少なくとも $25 \text{ nm} < d_{p,av} < 100 \text{ nm}$ の範囲において有効であることが実証された。

【0051】

正の定数 $A_1$ 及び $B_1$ の数値は、流量、集塵電圧、及び平行板集塵機の設計仕様に依存する。これらは計算すること、又は実験的に決定することができる。

【0052】

したがって、平行板集塵セクションの実際の挙動は式3によって近似することができる。

【0053】

30

サンプリング空気流中に同伴する粒子について、その集計平均粒径( $d_{p,av}$ )は通常未知であるので、 $A_1$ 及び $B_1$ が分かっているときでも較正定数( $S_1$ )は未知である。また見かけ超微粒子数濃度( $N_{app}$ )は、平行板静粒子電集塵機における単位時間当たりの粒子結合電荷の堆積として得られる電流( $I_{sensor}$ )を単に測定することによっては、確実に決定することができない。

【0054】

本発明は、上記で説明した効果を、粒子帯電セクションの上流にフィルタを含むことによって少なくとも部分的に相殺することに基づいており、このフィルタは、サンプリング空気流から粒子の一部分を取り除くように構成される。

【0055】

40

本発明によるセンサの一例が図4に示されている。その設計は図2に示されたものと同じであるが、センサの入口10に活性炭フィルタ40が備わる。

【0056】

適切に設計された活性炭(AC)フィルタ40をセンサ帯電セクション12の上流に設置すると、以下で説明するように、(一般に未知の)集計平均粒径への較正定数の依存を少なくする助けになる。

【0057】

物理的な吸着によって、ACフィルタは、サンプリング空気流からシリコン含有ガスを、それがセンサの帯電セクション内のイオン化電極に到達する前に、取り除くことができる。加えて、ACフィルタは、サンプリング空気流から空中浮遊UFPの一部を、AC

50

材料への拡散UFP堆積によって取り除く。粒状AC材料へのUFP堆積の割合は、形状の累乗関係、すなわち

【数8】

$$\eta = \frac{A_2}{(d_{p,av})^{B_2}} \quad (4)$$

に従って、(フィルタに入る粒子の)集計平均UFP直径 $d_{p,av}$ が増大すると共に減少することが見いだされた。

10

【0058】

一般的には、第2の関係  $\eta = f_2(d_{p,av})$  がある。

【0059】

上式において、 $\eta$  は粒子長さ濃度の、フィルタによって取り除かれる割合を、フィルタに入る粒子の集計平均直径の関数として示す。

【0060】

正の定数 $A_2$ 及び $B_2$ の数値はフィルタの特性に依存し、実験的に決定することができる。

【0061】

式4では、 $A_2$ 及び $B_2$ は正の定数であり、その値はACフィルタの顆粒サイズ、AC

20

フィルタを通り抜ける表面空気流速 $v_s$ 、及びACフィルタの長さに依存する。

【0062】

式4は、 $d_{p,av} < 0.8$ の値に対し、 $25 \text{ nm} < d_{p,av} < 100 \text{ nm}$ の範囲において有効であることが見いだされた。

【0063】

ACフィルタにおける部分粒子長さ堆積値の組に対する累乗適合の2つの例が、図5に対 $d_{p,av}$ のグラフとして示されている。

【0064】

グラフ50は、16mmの活性炭ベッド長さをを用いて表面空気流速 $0.025 \text{ m/s}$ で得られた実験的フィルタリングデータのものであり、活性炭ベッドは直径が2mmの円筒形炭素顆粒を含む。

30

【0065】

グラフ52は、32mmの活性炭ベッド長さをを用いて表面空気流速 $0.025 \text{ m/s}$ において得られた実験的フィルタリングデータのものであり、この活性炭ベッドは直径が2mmの円筒形炭素顆粒を含む。

【0066】

サンプリング空気からの適切で長続きするシリコン含有気体除去を可能にするために、顆粒ACフィルタは、サンプリングされる $0.1$ リットル/分の空気流当たり少なくとも $1 \text{ ml}$ のボリュームを好ましくは有すべきである。したがって、サンプリングされる空気流が $0.4$ リットル/分である場合、活性炭フィルタは少なくとも $4 \text{ ml}$ のボリューム

40

を有すべきである。顆粒ACベッドの典型的な密度 $\rho_c = 0.5 \text{ g/cm}^3$ では、 $4 \text{ ml}$ のACベッドが約2グラムの顆粒AC材料を含む。

【0067】

ACフィルタ直径を変えることによって、ACフィルタ長さ及び/又はACフィルタ内のAC顆粒サイズ、ACフィルタ内のUFP粒子の拡散堆積を、要件に合わせて調整することができる。

【0068】

ACフィルタ内の拡散UFP堆積は式4に従うので、ACフィルタを出てからUFP帯電セクションに入る見かけUFP数濃度 $N_{app,down}$ は、

【数 9】

$$N_{app,down} = N_{app} \cdot (1 - \eta) = N_{app} \cdot \left[ 1 - \frac{A_2}{(d_{p,av})^{B_2}} \right] \quad (5)$$

によって、サンプリング空気中の、デバイス全体の入力部における U F P 濃度  $N_{app}$  と関係付けられる。

【0069】

続いて、センサ集塵セクションに入る濃度  $N_{app,down}$  によりセンサ信号  $I_{sensor}$  が、

$N_{app,down} = (A_1 d_{p,av}(cs) + B_1) \cdot I_{sensor}$  (6) に従って生成される。

式(5)と式(6)を組み合わせると、

【数 10】

$$N_{app} = \left[ \frac{A_1 d_{p,av}(cs) + B_1}{1 - \frac{A_2}{(d_{p,av})^{B_2}}} \right] \cdot I_{sensor} \quad (7) \quad 20$$

が得られる。

【0070】

適切に設計された前置フィルタ(たとえば、直径が少なくとも 2 mm である円筒形活性炭顆粒)を用いると、 $d_{p,av}(cs)$  と  $d_{p,av}$  の間にはわずかな差しか残らず、それにより、 $d_{p,av}(cs)$  を近似的に  $d_{p,av}$  に置き換えることができることに留意されたい。こうすることにより、

【数 11】

$$N_{app} = \left[ \frac{A_1 d_{p,av} + B_1}{1 - \frac{A_2}{(d_{p,av})^{B_2}}} \right] \cdot I_{sensor} \quad (7a) \quad 30$$

が得られる。

【0071】

大括弧内の部分は、第 3 の関係  $S = f_3(d_{p,av})$  によって定義される有効較正定数を表す。

【0072】

図 4 の A C フィルタの設計を、有効較正定数すなわち、

40

【数 1 2】

$$S = \frac{A_1 d_{p,av} + B_1}{1 - \frac{A_2}{(d_{p,av})^{B_2}}} \quad (8)$$

が 25 nm  $d_{p,av}$  50 nm の範囲の最小値に達するように調整することによって、式 8 の校正定数  $S$  は  $d_{p,av}$  への依存が、式 3 a による  $S_1$  の  $d_{p,av}$  ( $c_s$ ) への依存よりも少なくなる。

10

【0073】

上記の式 (3 a) の第 1 の関係は、帯電セクションに入る粒子の値  $d_{p,av}$  ( $c_s$ ) と関係付けられる。前置フィルタが存在しないとするなら、値  $d_{p,av}$  ( $c_s$ ) は、第 2 及び第 3 の関係における値  $d_{p,av}$  と等値になる。

【0074】

本発明の利点は、前置フィルタが存在するときの  $d_{p,av}$  への  $S$  の依存が、前置フィルタが不在のときと比較して改善することに基づいている。

【0075】

$d_{p,av}$  への  $S$  の依存に対する、異なるフィルタが存在することの効果を図 6 に示されている。グラフ 60 は、AC フィルタが存在しないときの  $d_{p,av}$  への  $S$  の依存関係を示す。この場合、 $S$  は式 3 で表すことができる。グラフ 60 と比較して、グラフ 61 は、粒子帯電セクションの上流に AC フィルタを 16 mm の活性炭ベッド長さを用いて設置したときに  $S$  に起きた変化を示す。表面空気流速 0.025 m/s のサンプリング空気が、直径が 2 mm の円筒形炭素顆粒を含むこの AC フィルタを通る。グラフ 61 から、 $d_{p,av} = 25$  nm において  $S$  が最小値に達することが認められる。グラフ 62 は、AC フィルタの長さが 32 mm まで増大され、他のすべてのパラメータがグラフ 60 及び 61 のものと同じままであるときに得られた。グラフ 62 では、 $d_{p,av} = 35$  nm において  $S$  が最小値に達する。粒子センサを  $d_{p,av} = 50$  nm である UFP 粒子の試験エアロゾルを用いて校正したとき、それによって得られる、32 mm AC フィルタが存在するときの  $S$  の (固定) 値は、粒子センサが続いて、25 nm から 100 nm の範囲の  $d_{p,av}$  値を有する UFP サイズ分布の見かけ粒子数濃度  $N_{app}$  を決定するために使用されたときに、誤差が 20% 未満になる。これにより、粒子帯電セクションの上流にフィルタが存在しない図 6 のグラフ 60 で表された状態と比較すると、広い範囲の  $d_{p,av}$  値にわたってより信頼できる  $N_{app}$  の推定値が得られる。

20

30

【0076】

したがって、 $d_{p,av}$  への  $S$  の依存低減は、UFP センサの設計及び UFP センサに存在する処理条件と組み合わせた AC ベッドの設計に基づいて達成することができ、 $d_{p,av}$  への  $S$  の相対的な依存は、25 nm  $d_{p,av}$  50 nm の範囲内で  $S$  の最小値が実現されたときに最少になる。

40

【0077】

$d_{p,av}$  への  $S$  の依存が十分に低減されると、式 1 が再び、UFP の一部分だけがセンサの集塵セクションで集塵される状況においても、 $I_{sensor}$  と  $N_{app}$  の間の関係に近似的に当てはまる。

【0078】

最終結果は、前置フィルタが、デバイス全体の入力部における粒子サイズ分布 (集計平均粒径で表される) に実質的に依存しないセンサデバイス全体 (すなわち、前置フィルタ、帯電セクション及び平行板集塵セクション) に対応することである。そうして、その入力部における粒子サイズ分布に対するセンサ信号の望ましくない依存関係が大部分は相殺される。その場合、単一の校正定数を使用してセンサ信号を、センサデバイス全体の入力

50

部における見かけ粒子数濃度と相関させることができる。

【0079】

$A_1$  及び  $B_1$  の数値は、流量、集塵電圧、及び平行板集塵機の設計仕様に依存し、 $A_2$  及び  $B_2$  の数値は、前置フィルタの特性に依存する。

【0080】

本発明の手法はまた、別の問題にも対処する。図2に示されたようなUFPセンサ設計では、センサの帯電セクション内のHVイオン化電極のイオン化先端部は、ケイ素含有ガスのシランをサンプリング空気を含む場合に、白色  $SiO_2$  で徐々に被覆される。これらのガスは、イオン化電極先端部まわりのプラズマ領域内で酸化され、それによって  $SiO_2$  残留物が電極の上に堆積する。 $SiO_2$  材料が絶縁性であるので、電極のイオン化挙動が最終的に妨害されて、センサ機能不良になる。

10

【0081】

活性炭材料を備える前置フィルタが、空気流からガス成分を、それがイオン化電極に到達する前に取り除く。特に、シリコン含有ガスを取り除くことが、防止しなければ電極機能が次第に低下することになる、イオン化電極上に電気絶縁二酸化ケイ素残留物が形成することを防止する。

【0082】

したがって、イオン化電極への  $SiO_2$  堆積によって誘発される擾乱に対するUFPセンサの感受性が、前置フィルタ中の活性炭によって行われるときの事前フィルタリングによって、大幅に低減される。前置フィルタ中の活性炭材料は、顆粒として、繊維として、発泡体支持材料にコーティングされた粒子として、又は支持シート材料にコーティングされた微粒子として存在することができる。

20

【0083】

他の適切な前置フィルタ、たとえば機械的繊維性フィルタもまた存在する。数平均粒径に対する所望の相殺機能、すなわち図5に示された関係を生成するように設計できる任意の粒子フィルタを使用することができる。

【0084】

本発明は、上記で説明したように設計された粒子センサと、上記で説明した設計方法と、粒子センサを使用する粒子検知方法とを提供する。

【0085】

開示された実施形態に対する他の変形形態は、特許請求された本発明を實踐するにおいて、図面、開示、及び添付の特許請求の範囲を検討することにより、当業者によって理解され、もたらされ得る。特許請求の範囲で、「備える」という語は他の要素又はステップを除外せず、また不定冠詞「a」又は「an」は複数を除外しない。いくつかの方策が互いに異なる従属項に列挙されているにすぎないことは、これらの方策の組合せを有利に使用できないことを示すものではない。特許請求の範囲におけるいかなる参照符号も、その範囲を限定するものと解釈されるべきではない。

30



【 図 1 】

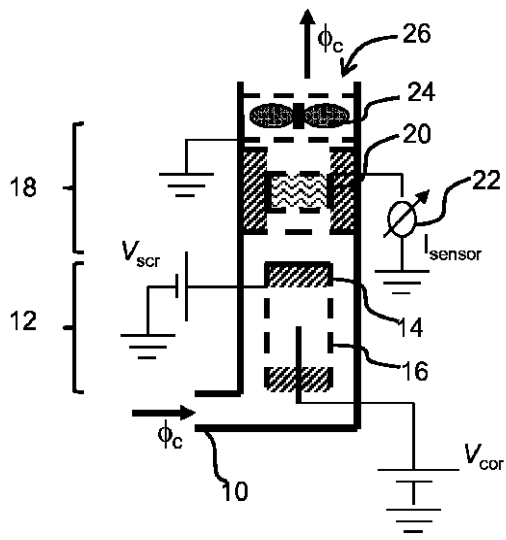


FIG. 1

【 図 2 】

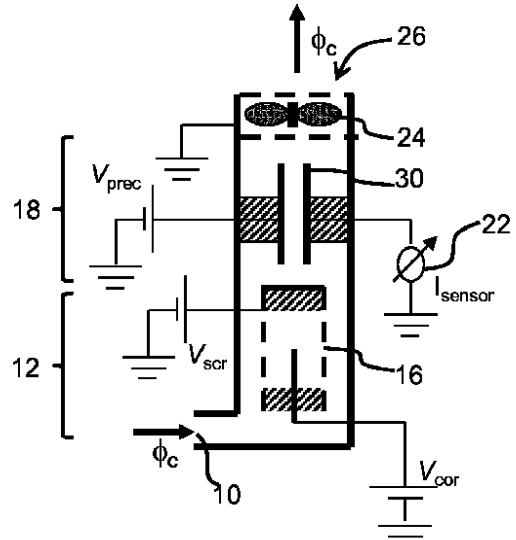
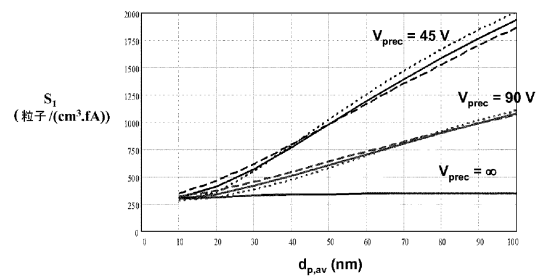
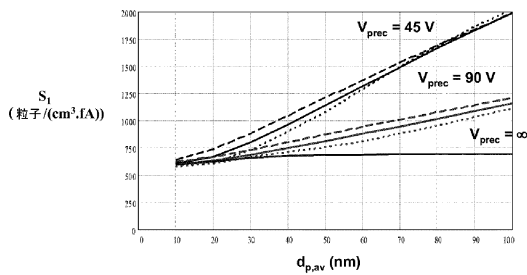


FIG. 2

【 図 3 】



(a)



(b)

図 3

【 図 4 】

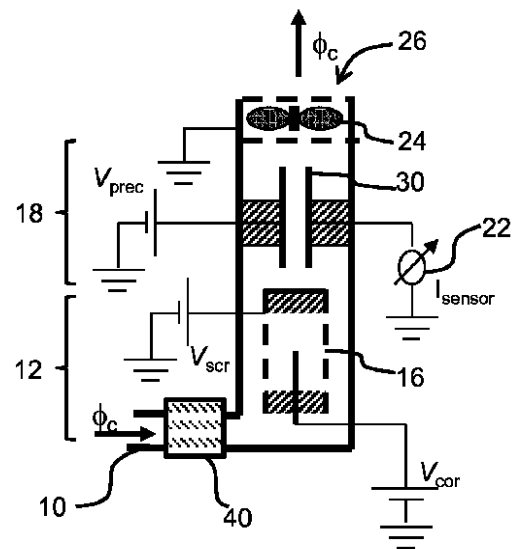


FIG. 4

【 図 5 】

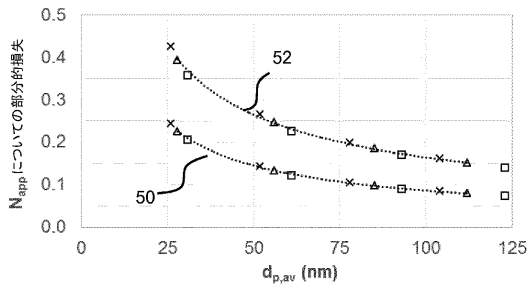


図 5

【 図 6 】

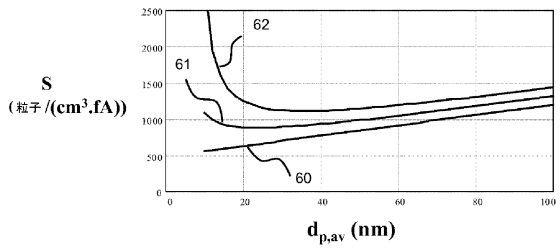


図 6

---

フロントページの続き

審査官 野田 華代

- (56)参考文献 特表2008-509802(JP,A)  
国際公開第2013/132154(WO,A1)  
特開2007-318122(JP,A)  
特開2002-219324(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01N 15/00 - 15/14  
G01N 27/60