

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-162581

(P2006-162581A)

(43) 公開日 平成18年6月22日(2006.6.22)

(51) Int. Cl.		F I	テーマコード (参考)
GO 1 F 22/00	(2006.01)	GO 1 F 22/00	2 F 0 3 5
GO 1 F 1/56	(2006.01)	GO 1 F 1/56	
GO 1 F 1/74	(2006.01)	GO 1 F 1/74	

審査請求 未請求 請求項の数 6 書面 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2004-382263 (P2004-382263)	(71) 出願人	504268881
(22) 出願日	平成16年12月2日 (2004.12.2)		相原 弘志
			埼玉県熊谷市銀座3-61-1-1104
		(72) 発明者	相原 弘志
			埼玉県熊谷市銀座3-61-1-1104
		Fターム(参考)	2F035 AA04 AB05 HA01 HB07

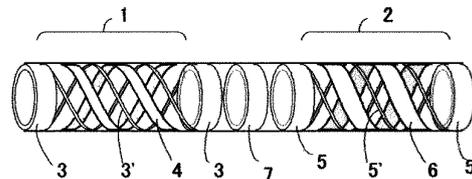
(54) 【発明の名称】 粉粒体計測用静電容量計測装置

(57) 【要約】

【課題】 粉体を搬送させる空気又は気体に加える圧力による比誘電率の影響を除去して粉体量を正確に測定出来るようにすること。

【解決手段】 空気又は気体の圧力が加わる、粉体搬送パイプに測定電極とそのごく近傍に基準電極も取り付け。測定電極と基準電極とが共に空気の圧力変化による、比誘電率の変化を受ける構成にする。そして、測定電極と基準電極の各々の電極は粉体の流路に沿う長さを同じにする。基準電極の電極面積を測定電極の電極面積のN倍とする。さらに、測定電極側から得られる電圧又は電流信号をN倍にして基準電極側から得られる電圧又は電流信号との差を求める。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被測定体の粉体が気体搬送系により対向する電極間に投入及び通過させて電極間の静電容量変化により粉体量を計測する粉体用静電容量計測装置において、

ガード電極を有する測定電極と、ガード電極を有する基準電極とを有して、粉体の搬送パイプに構成されている事を特徴とする粉体用静電容量計測装置

【請求項 2】

請求項 1 記載の粉体用静電容量計測装置において、前記粉体の搬送パイプに接続する前記測定電極と前記基準電極の電極面積比は N 倍で、且つ、各々の電極の長さは同一に構成されている事を特徴とする粉体用静電容量計測装置

10

【請求項 3】

請求項 1 及び請求項 2 記載の粉体用静電容量計測装置において、前記測定電極と基準電極から得られる電圧又は電流信号は測定電極と基準電極の電極面積比の N 倍に増幅して、前記電圧又は電流信号の差を得るように構成されている事を特徴とする粉体用静電容量計測装置

【請求項 4】

請求項 1 から請求項 3 記載の粉体用静電容量計測装置において、前記測定電極と前記基準電極に接続される交流発振器と、

前記測定電極と前記基準電極から得られる電圧信号は入力側に接続され、さらにガード電極及び接続用同軸ケーブルのシールド側が出力側に接続されたボルテージ・フォロワー構成の非反転増幅器と、

20

前記測定電極と前記基準電極は測定電極側の交流電圧と基準電極側の交流電圧を交互に切り替える第 1 スイッチング回路と、

交流発振器の周波数の位相を 90 度進める進相回路と

前記第 1 スイッチング回路の出力が増幅回路を通した信号と前記進相回路を通した信号とを変調または乗算する変調回路または乗算回路と

前記変調回路または乗算回路の出力をスイッチング周波数以下の周波数を通過させる第 1 低域濾過回路と、

前記第 1 低域濾過回路の出力は増幅器を通して接続される第 2 スイッチング回路と

30

前記第 2 スイッチング回路の出力が接続され粉体速度に応じた周波数帯域を有する第 2 低域濾過回路と、

低域濾過回路の出力は計測する粉体の量に応じて増幅する直流増幅器と、所望の直流出力電圧を出力する構成の粉体用静電容量計測装置。

【請求項 5】

請求項 4 記載の粉体用静電容量計測装置において、前記スイッチング周波数は電源周波数の整数分の一の周波数である事を特徴とした粉体用静電容量計測装置。

【請求項 6】

被測定体の粉体が気体搬送系により対向する電極間に投入及び通過させて電極間の静電容量変化により粉体量を計測する粉体用静電容量計測装置において、

40

前記粉体の搬送パイプに構成される第 1 測定電極と第 2 測定電極を有し、前記第 1 測定電極と第 2 測定電極の電極面積比は N 倍で、且つ、各々の電極の長さは同一に構成され、前記第 1 測定電極と第 2 測定電極は共通の基準電極で構成されている事を特徴とする粉体用静電容量計測装置

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は圧縮空気又は圧縮気体により搬送される粉体の流量を静電容量の変化として測定する粉体計測用静電容量計測装置に関し、特に空気又は気体に加える圧力による空気又は気体の比誘電率変化の影響を除去して正確に粉体量を計測する技術に関するものである

50

。

【背景技術】

【0002】

粉体量を電極間に通過させ、その静電容量の変化を測定する粉体計測用静電容量計測装置は、粉体を搬送させる空気又は気体に加える圧力による空気又は気体の比誘電率の変化が大きく、正確に粉体量を計測出来ない問題があり、空気又は気体の圧力に影響されない正確な粉体計測用静電容量計測装置が望まれている。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

粉体量の測定に用いられる静電容量センサーは測定電極と基準電極との静電容量の差を演算する事により粉体量を求めている。図14に示す測定電極と基準電極は交流ブリッジ回路を構成する。測定電極側に粉体が入る事により、静電容量は $C + C$ に変化する。基準電極側の静電容量は変化しない。測定電極と基準電極の静電容量の差は C から粉体量を求める事が出来る。

【0004】

しかしながら、図15に示すように、粉体供給タンクは圧縮空気が導入されており、バルブの開閉により、粉体を搬送する事が多い。その為、基準電極は圧力変化を受けないが、測定電極側には高い空気の圧力が加わり、空気の比誘電率を大きく変化させる。

静電容量センサー内に粉体が入った状態で、粉体の電気分極を考慮して静電容量を厳密に計算するのは非常に困難であり、また、実際的にも厳密な計算は必要としない。

【0005】

図16及び図17は簡単に計算する為の測定電極と基準電極を示す。図16は測定電極に t の長さで示す正方形の柱状の粉体が電極に平行にあるとして各々の静電容量に分けて簡単な計算で合成容量を求める。図中、 t 部分の空気と粉体の各々の静電容量は直列接続になり、 t 部分以外の空気の静電容量とは並列接続として計算する。

また、測定電極側の空気の比誘電率を ϵ_{m1} 、基準電極側の空気の比誘電率を ϵ_{r1} とすると測定電極と基準電極の静電容量の差は

$$\Delta = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{m1} \epsilon_2 dt}{\epsilon_2 d - t(\epsilon_2 - \epsilon_{m1})} - \epsilon_0 \epsilon_{m1} \frac{dt}{d} + \epsilon_0 \epsilon_{m1} \frac{d^2}{d} - \epsilon_0 \epsilon_{r1} \frac{d^2}{d}$$

となる。上式の3項と4項は非常に大きな誤差となる。

空気の圧力変化がない時、上式は $\epsilon_{m1} = \epsilon_{r1} = \epsilon_1$ なので、以下のようなになる。

$$\Delta = \frac{\epsilon_0 \epsilon_1 \epsilon_2 dt}{\epsilon_2 d - t(\epsilon_2 - \epsilon_1)} - \epsilon_0 \epsilon_1 \frac{dt}{d}$$

一般的に粉体による、測定電極の静電容量の変化は数%程度であり、粉体が微小になるとさらに小さい変化となる。

【0006】

電磁気学の文献より、気体中での電束密度 D は、真空の誘電率を ϵ_0 、気体分子の電気分極を P とすると

$$D = \epsilon_0 E + P$$

上式の電気分極 P は

$$P = -Nex = \left(\frac{Ne^2}{m\omega_0^2} \right) E$$

N は電気双極子密度（気体分子密度）、 e は電子の電荷、 x は $+e$ と $-e$ の電荷対間の距離

10

20

30

40

である。 $m\omega_0^2$ は電荷を原子に束縛しているバネ定数、 ω_0 は固有振動数である。従って、

$$D = \epsilon_0 E + \left(\frac{Ne^2}{m\omega_0^2} \right) E = \epsilon_0 \left(1 + \frac{Ne^2}{\epsilon_0 m\omega_0^2} \right) E$$

となり、これを、

$$D = \epsilon_r \epsilon_0 E$$

とすると、比誘電率 ϵ_r は

$$\epsilon_r = 1 + \frac{Ne^2}{\epsilon_0 m\omega_0^2} = 1 + Nk$$

となる。

$$k = \frac{e^2}{\epsilon_0 m\omega_0^2}$$

従って、電気双極子の密度 N が大きいほど比誘電率 ϵ_r は大きくなる。

【0007】

次に圧力 P を気体分子運動の関係式で表すと

$$P = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \left(\frac{1}{2} mv^2 \right)$$

$$N = 1.5 \frac{PV}{U}$$

気体の比誘電率を圧力の関係式で表すと

$$\epsilon_r = 1.5k \frac{PV}{U}$$

となり、気体の比誘電率は圧力に比例して変化する。空気の比誘電率は 20°C 、1気圧で 1.0006 である。

【課題を解決するための手段】

【0008】

測定電極と基準電極とが共に空気の圧力変化による、比誘電率の変化を受ける構成にする。そして、測定電極と基準電極の各々の電極は粉体の流路に沿う長さを同じにする。基準電極の電極面積を測定電極の電極面積の2倍とする。さらに、測定電極側から得られる電圧又は電流信号を2倍にして基準電極側から得られる電圧又は電流信号との差を求める。これにより、空気の圧力変化を受けないで、粉体による静電容量の変化分のみを得る事が出来る。

【0009】

図6を参照して以下に説明する。測定電極の t 部分は、空気の誘電率 ϵ_1 の容量を C_1 、粉体の誘電率 ϵ_2 の容量を C_2 とする。 t 部分以外の容量を C_3 とすると全体の容量 C_0 は

10

20

30

40

$$C_0 = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + C_3$$

$$C_1 = \epsilon_0 \epsilon_1 \frac{dt}{d-t}$$

$$C_2 = \epsilon_0 \epsilon_2 \frac{dt}{t}$$

$$C_3 = \epsilon_0 \epsilon_1 \frac{d(d-t)}{d}$$

10

【0010】

測定電極側の全体の容量を C_{m0} とすると

$$C_{m0} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_1 \epsilon_2 dt}{\epsilon_2 d - t(\epsilon_2 - \epsilon_1)} + \epsilon_0 \epsilon_1 \frac{d(d-t)}{d}$$

基準電極の電極面積は測定電極の電極面積の2倍である。同様に基準電極側の全体の容量を C_{r0} とすると

$$C_{r0} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_1 \epsilon_2 dt}{\epsilon_2 d - t(\epsilon_2 - \epsilon_1)} + \epsilon_0 \epsilon_1 \frac{d(2d-t)}{d}$$

20

となる。

【0011】

測定電極の静電容量 C_{m0} を2倍にして、基準電極の静電容量 C_{r0} との差を計算する。

$$= 2 C_{m0} - C_{r0}$$

$$\Delta = \frac{2\epsilon_0 \epsilon_1 \epsilon_2 dt}{\epsilon_2 d - t(\epsilon_2 - \epsilon_1)} + \epsilon_0 \epsilon_1 \frac{2d(d-t)}{d} - \left\{ \frac{\epsilon_0 \epsilon_1 \epsilon_2 dt}{\epsilon_2 d - t(\epsilon_2 - \epsilon_1)} + \epsilon_0 \epsilon_1 \frac{d(2d-t)}{d} \right\}$$

$$\Delta = \frac{\epsilon_0 \epsilon_1 \epsilon_2 dt}{\epsilon_2 d - t(\epsilon_2 - \epsilon_1)} - \epsilon_0 \epsilon_1 \frac{dt}{d}$$

30

測定電極と基準電極には同じ圧力が加わるので比誘電率 ϵ_1 は同じである。従って、圧力変化のない時と同じとなる。

【発明の効果】

【0012】

この発明によれば、粉体を搬送する空気の圧力変化による、比誘電率変化の影響を無くする事ができる為、粉体を高い空気圧を加えて搬送させても粉体量を安定に測定できる。

【発明を実施するための最良な形態】

40

【実施例1】

【0013】

図1に示すように、粉体搬送パイプに取り付けている測定電極に隣接して基準電極を取り付ける。取り付け間隔は近い方が良い。測定電極と基準電極の各々の電極は粉体の流路に沿う長さを同じにする。測定電極に比べて、基準電極の電極面積を2倍にする。次に、測定電極側の電気信号を2倍にする。

【0014】

図2は螺旋状に形成した静電容量センサーの概略図である。1が測定電極であり、2が基準電極である。これらは測定電極と基準電極に形成された測定電極パターン4、基準電

50

極パターン 6、ガード電極パターン 3、3'、5、5' 及びアース電極 7 を円筒パイプに構成したものである。基準電極のパターン幅は測定電極のパターン幅の 2 倍となっている。粉体が通過する方向の長さは同じである。

【0015】

図 3 は静電容量センサーの回路の概略図である。本例では、測定電極側の抵抗 10 を $2R$ 、基準電極側の抵抗 $10'$ は R とする事により測定電極側の信号電圧を 2 倍にしている。これらの信号電圧から、測定電極と基準電極の差を演算して静電容量の差を求めている。

図 4 に示すような螺旋形状の場合、図 5 に示すように対向する電極パターンは円筒の中心軸を対称にして近似的に菱形の平行平板コンデンサーが連続的に形成されていると考える事が出来る。また、パターン幅が 2 倍になると面積も 2 倍になる事も示す。

10

【0016】

図 6 は螺旋形状パターンを近似的に平行平板コンデンサーに置き換えて電界強度が一樣な平行平板コンデンサーとして計算が簡単に出来るようにしたものである。

静電容量センサーは、円筒パイプに形成する螺旋構造であり、また、一樣な電界強度ではない為、正確な静電容量を製作するのは困難であるが測定電極と基準電極の電極面積の比は概略 2 倍が得られれば良い。電極面積比の製造バラツキ等の誤差は信号電圧の増幅度を調整すれば良い。

【0017】

また、本例では図 2 に示す静電容量センサーの外側は図 7 に示すガード・シールド電極により覆われて、ガード・シールドに接続されている。

20

ガード・シールド電極 3a 及び 5a を円筒パイプの近傍に構成する事によりガード電極パターン 3、3' 及び 5、5' は図 8 に示すように省略する事が出来る。

【0018】

次に、図 3 に示す静電容量センサー回路の動作の概略を説明する。測定電極と基準電極の静電容量は抵抗 10 と $10'$ と各々微分回路を構成している。

交流発振器 19 の出力電圧を $e_{osc} = E_m \sin t$ とすると測定電極側及び基準電極側の前記抵抗 $2R$ と R の電圧降下 e_m と e_r は

$$e_m = \frac{j\omega C_{m0} 2R}{1 + j\omega C_{m0} 2R} e_{osc} = \frac{j\omega C_{m0} 2R}{1 + j\omega C_{m0} 2R} E_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{4})$$

30

$$e_r = \frac{j\omega C_{r0} R}{1 + j\omega C_{r0} R} e_{osc} = \frac{j\omega C_{r0} R}{1 + j\omega C_{r0} R} E_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{4})$$

【0019】

交流発振器 19 の周波数は $\frac{1}{j C_{m0} 2R}$ 、 $\frac{1}{j C_{r0} R}$ となるように設定するので、上式は

$$e_m = j\omega C_{m0} 2R E_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{4})$$

40

$$e_r = j\omega C_{r0} R E_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{4})$$

となる。交流発振器 19 から流れる電流は各々の静電容量インピーダンスに比例する。従って、測定電極側の信号電圧は基準電極側の信号電圧の 2 倍になる。電極面積比の製造バラツキ誤差による静電容量インピーダンスのバラツキ誤差は図示していないが前述の抵抗の 1 部を可変抵抗にする事により調整出来る。

【0020】

信号電圧 e_m と e_r は非反転増幅器 11 と 11' で検出する。これらの出力は測定電極と基準電極のガード電極パターン 3、3' 及び 5、5' に接続される。図示されていない

50

がこれらを接続する同軸ケーブルのシールド側にも接続されている。

非反転増幅器の出力は第1スイッチ回路13に各々接続され、増幅器14にて増幅され、変調器ないしは乗算器15に接続される。変調器ないしは乗算器のもう一方の入力は交流発振器19の交流電圧の位相を90度進める進相回路20を通して接続されている。変調器ないしは乗算器の出力はフィルター&アンプ16により交流発振器19の周波数をカットして増幅される。変調器ないしは乗算器の出力は非反転出力と反転出力を有しているが以下の説明は非反転出力側である。

【0021】

変調器ないしは乗算器の出力は、測定電極側と基準電極側の信号電圧 e_m 、 e_r と交流発振

10

器19の交流電圧の位相を90度、進めた電圧 $e_{osc} = E_m \sin \omega t + \frac{\pi}{4}$ を乗じたものとなる。

$$e_M = \frac{j\omega C_{m0} 2R E_m \times E_m}{2} (\cos 2\omega t + \cos 0)$$

$$e_R = \frac{j\omega C_{r0} R E_m \times E_m}{2} (\cos 2\omega t + \cos 0)$$

上式、 $\cos 2t$ の成分をフィルター&アンプ16でカットすると

$$e_M = j\omega C_{m0} 2R \frac{E_m^2}{2}$$

20

$$e_R = j\omega C_{r0} R \frac{E_m^2}{2}$$

【0022】

第1スイッチ回路13による差信号電圧は上式の e_M と e_R の差となる。

$$e_M - e_R = j\omega C_{m0} 2R \frac{E_m^2}{2} - j\omega C_{r0} R \frac{E_m^2}{2}$$

$$e_M - e_R = (2C_{m0} - C_{r0}) K$$

$$e_M - e_R = K$$

30

$$e_M - e_R = \left\{ \frac{\epsilon_0 \epsilon_1 \epsilon_2 dt}{\epsilon_2 d - t(\epsilon_2 - \epsilon_1)} - \epsilon_0 \epsilon_1 \frac{dt}{d} \right\} K$$

この出力は第2スイッチ回路17とフィルター&アンプ18により同期検波及び増幅されて出力される。第1スイッチ回路13及び第2スイッチ回路17は電源周波数の整数倍の矩形発振器により駆動されている。

【0023】

図9及び図10はスイッチングフィルター回路とその周波数特性を示す。同期検波の動作は図10に示すようにスイッチング周波数の整数倍の周波数において減衰量が無限大となる。一定の減衰曲線はスイッチが無い場合である。

40

第1スイッチ回路13及び第2スイッチ回路17の周波数は電源周波数に同期させてスイッチング周期は電源周波数の整数倍にする。これにより、最も大きな電源からの誘導雑音及びその整数倍の周波数の雑音を除去する事が出来る。

【0024】

次に粉体がバルブ31の開閉により、粉体の流れていく状態を図11に示す。図12に測定電極側と基準電極側の粉体の流れによる各動作のタイミング・チャートを示す。

1 のバルブ31が開くと、高い空気圧力が加わる。空気の比誘電率の変化を斜線部に示す。この変化は時間遅れがなく、測定電極と基準電極に同時に起きる。

2 の測定電極の応答は粉体による変化の少し遅れを示す。黒く塗りつぶした部分が

50

粉体による変化を示す。

3 は測定電極の信号電圧を2倍したもので、空気の圧力による比誘電率の変化は基準電極側と同じになる。粉体による信号電圧2倍となる。

4 基準電極側の応答を示す。

5 は3と4の差を示す。空気の比誘電率の変化は測定電極側も基準電極側も同じなので、その差は零になる。しかし粉体の変化量は測定電極側が基準電極側の2倍となるので、その差は元の1倍の値を得る事が出来る。

6 は測定時間を示す。

【0025】

次にバルブ31が閉じて、両電極を粉体が通過した後に測定時間を終了させる。空気の比誘電率は元に戻る変化をするが、この変化は測定電極と基準電極に同時に起きるので影響を受けない。

測定電極を通過した粉体の総量と基準電極を通過した粉体の総量は同じなので粉体量を求める事が出来る。

【0026】

実際の粉体量は、その流速からも算出しなければならないが、粉体流速の測定方法は本発明には含まない。

本例では測定電極と前記基準電極の電極面積比を2倍が現実的であるが、理論的には1倍以外のN倍とする事ができる。

【実施例2】

【0027】

第2の実施例は、図13に示すように測定電極を第1測定電極と第2測定電極を粉体の搬送パイプに配置して、1個の基準電極で第1と第2の測定電極の差を取り、さらさらの出力の差より粉体量を求める。

第1測定電極に対して第2測定電極の電極面積を2倍とする。基準電極の電極面積は第2測定電極の電極面積と同じでよい。

第1測定電極側の電気信号を2倍にして、第2測定電極側の電気信号は1倍として、各々基準電極の電気信号の差をとり、各々の差の差を取る事により、粉体量を求める。

第1測定電極の静電容量を C_{m1} 、第2測定電極の静電容量を C_{m2} 、基準電極の静電容量を C_r とすると

【0028】

第1測定電極と基準電極との差は $V_1 = C_{m1} - C_r$

第2測定電極と基準電極との差は $V_2 = C_{m2} - C_r$

V_1 と V_2 の差は $V_0 = V_1 - V_2 = (2C_{m1} - C_r) - (C_{m2} - C_r) = 2C_{m1} - C_{m2}$

となる。 C_{m1} と C_{m2} は同じ空気圧力の環境なので、比誘電率の変化がない時と同じである。

また、本例では測定電極と前記基準電極の電極面積比を2倍が現実的であるが、理論的には1倍以外のN倍とする事ができる。

【産業上の利用可能性】

【0029】

以上、図を参照して実施例を説明したところから明らかのように、本発明によれば、粉体を搬送する空気又は気体の圧力による変化を受けず、微小な粉体量を正確に計測出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の粉体搬送系と測定電極と基準電極を示す概略図である。

【図2】本発明の静電容量センサーを示す概略図である。

【図3】本発明の静電容量センサー回路を示す概略図である。

【図4】本発明の測定電極と基準電極を単純化した概略図である。

【図5】本発明の螺旋構造の対向電極を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 6】本発明の測定電極と基準電極を平行平板コンデンサーに簡単化した図を示す。

【図 7】本発明のガード・シールド電極とガード電極パターンを有する構造を示す概略図である。

【図 8】本発明のガード・シールド電極とガード電極パターンを取り除いたの構造を示す概略図である。

【図 9】本発明の同期検波動作を示すスイッチングフィルターの概念図を示す。

【図 10】スイッチングフィルターの周波数特性を示す。

【図 11】バルブを通して粉体が測定電極と基準電極を通過する状況を示す図である。

【図 12】本発明のバルブ開閉及び測定電極と基準電極の信号出力と測定時間の関係を示す図である。

【図 13】本発明の第 3 の実施例を示す概略図である。

【図 14】従来のブリッジ回路を示す図である。

【図 15】従来の粉体搬送系と測定電極と基準電極を示す概略図である。

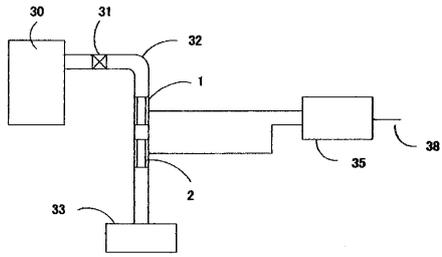
【図 16】測定電極を簡単化した図を示す。

【図 17】基準電極を簡単化した図を示す。

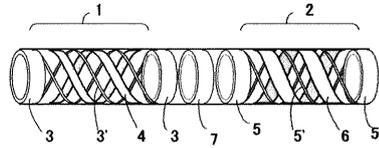
【符号の説明】

1、1'	測定電極	
1 a	第 1 測定電極	
1 b	第 2 測定電極	
2、2'	基準電極	20
3 a	ガード・シールド電極	
3、3'	ガード電極パターン	
4	測定電極パターン	
5、5'	ガード電極パターン	
5 a	ガード・シールド電極	
6	基準電極パターン	
7	アース電極	
10、10'	抵抗	
11、11'	入力増幅器	
12、12'	ガード・シールド	30
13	第 1 スイッチ回路	
14	増幅器	
15	変調器又は乗算器	
16	第 1 低域濾過回路 & 増幅器	
17	第 2 スイッチ回路	
18	第 2 低域濾過回路 & 増幅器	
19	交流発振器	
20	/ 4 進相器	
21	矩形発振器	
30	粉体供給タンク	40
31	バルブ	
32	粉体搬送パイプ	
33	粉体搬送受け	
34	演算回路 1	
35	演算回路 2	
36、36'	演算回路 3	
37	差動増幅器	
38	出力	

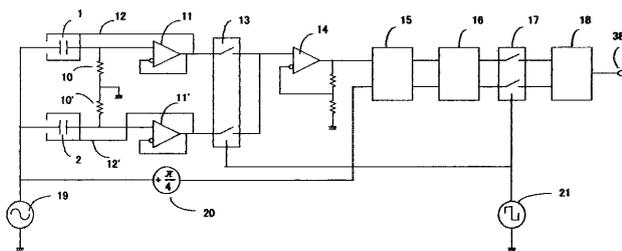
【図 1】



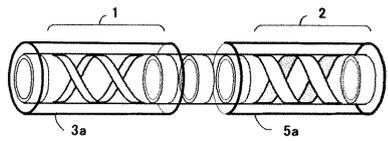
【図 2】



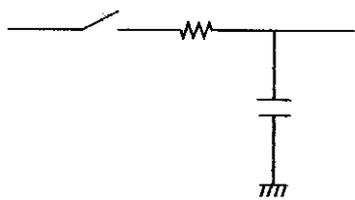
【図 3】



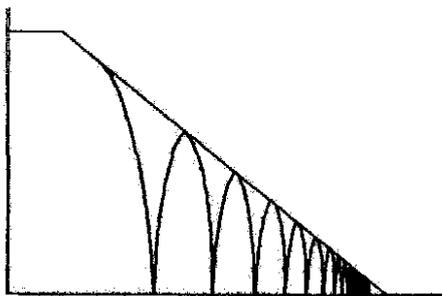
【図 8】



【図 9】



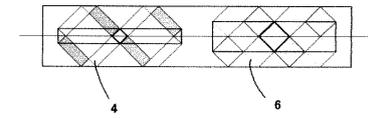
【図 10】



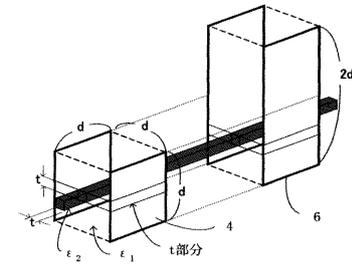
【図 4】



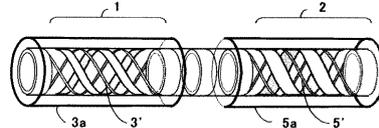
【図 5】



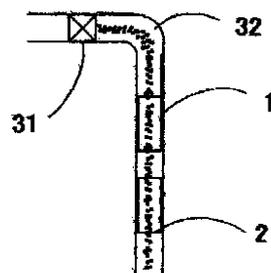
【図 6】



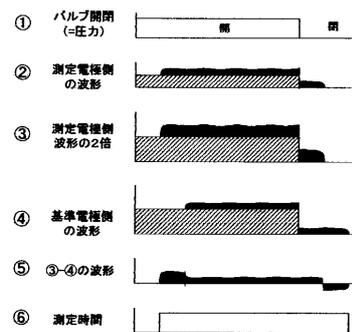
【図 7】



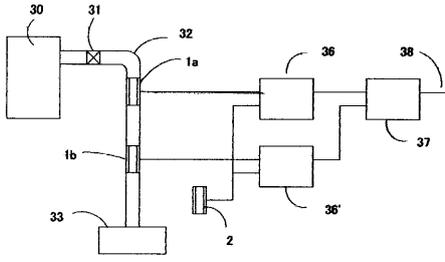
【図 11】



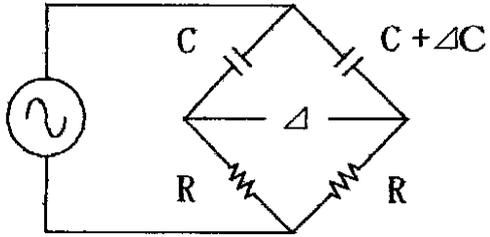
【図 12】



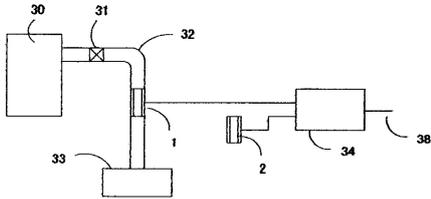
【図 13】



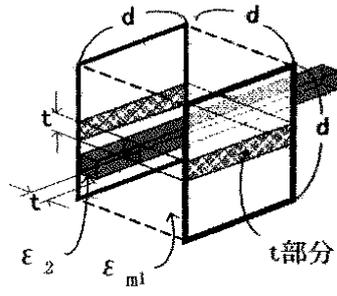
【図 14】



【図 15】



【図 16】



【図 17】

