煙道・パイプを通過する煤塵・塵埃の質量流量の計測

渡 辺 嘉二郎*・高 橋 雄一郎**・萱 原 富士生***

Measurement of the Soot and Dust Discharged from Incinerators and Industry Plants

Kajiro WATANABE*, Yuichiro TAKAHASHI** and Fujio KAYAHARA***

This paper describes an environmental monitor method. Here we describe a method for measuring the amount of soot and dust discharged from the plant and incinerator. The method is based on the electrostatics engineering.

When the soot and dust pass through the strong electric field, these contact to the ionized air and are charged. These induce the change in the electrostatic field near the electrode in the downstream when passing through near it and the small current occurs in the electrode. The current is proportional to the amount of electric charge of the soot and dust, and the amount of soot and dust is proportional to the charge. Thus, the soot and dust amount can be estimated from the current.

In this paper, a mathematical model that relates the current (voltage) detected by the sensor and the mass flow rate of the soot and dust is constructed, and a new measurement method based on the model is presented. The validity of the method is experimentally examined.

Key Words: environmental monitoring, soot and dust, mass flow meter, triboelectricity

1. はじめに

環境問題は 20 世紀の負の遺産であり、人類が取り組むべき 21 世紀の最大の課題である。各機関は大気汚染防止への対策は当然のこととして取り組み始めた。また、環境への影響に関する基準を規定した ISO14000 の認定・取得は、企業にとって経営倫理上当然のことと認識され、今や大企業から中小企業へと広がりつつある。ISO14000 認定・取得のためには常時、環境に関するデータの記録と分析・評価が必要不可欠なものとなっている¹⁾。

本研究では、このための一方策として、煙道排ガス中の煤塵や工場から排出される塵埃の瞬時質量流量をオンラインで連続計測できる方法について検討する。

従来、煙道排ガス中の煤塵のような管内固気二相流における煤塵質量流量を計測する手法には、光透過式、帯電量式などがある²⁾。光透過式は、現在のところ、最も一般的な計測方法で、管路内に発光部と受光部を設け、煤塵粒子に遮蔽され減衰する光の強度から質量流量を計測する手法である。この方法は、煤塵材質の種類や湿度の変化による影響を受けに

くいと利点はあるものの、発光部や受光部に煤塵が付着すると精度が著しく低下することや、光源である電球が球切れを起こすことから、メンテナンスを頻繁におこなう必要がある、維持費がかさむといった問題がある。帯電量式は、粒子の帯電現象を利用した方法である。煙道内で摩擦帯電した煤塵粒子が検出体に衝突することで移動する電荷量を計測する手法である。この方法は、光透過式に比べ、メンテナンスによる作業が軽減できるといった利点が挙げられる。しかし、場所により粒子の帯電量が異なったり、粒子が検出体に衝突しなかった場合、計測できなくなるといった問題がある。環境や運用条件の変化による影響を顕著に受け、昨日と今日のデータは全く別なものといつてよいほど再現性が得られない。また、現在のところ管内固気二相流における摩擦による粒子の帯電現象を正確に予測することは難しく、それぞれの環境において、その都度、キャリブレーションしなければならない^{3)~9)}。

本論で取り扱う計測方法も帯電現象を利用するものである。従来の帯電量式が抱える諸問題を解決し、環境や運用条件の変化による影響を少なくすることを目的とし、理論的考察を行なうとともに、その理論の妥当性を簡単な実験で確認する。具体的には、帯電粒子の引き起こす静電誘導現象と煤塵質量流量との関係を明らかにし、数式モデルを構築することで従来の方式に対してキャリブレーションを軽減し、再現性及び精度を大幅に改善する方策について述べる。

* 法政大学工学部 小金井市梶野町 3-7-2

** 法政大学大学院工学研究科 小金井市梶野町 3-7-2

*** 関西オートメーション株式会社 大阪北区兎我野町 2-14

* Faculty of Engineering, Hosei University, Koganei

** Graduate School of Engineering, Hosei University, Koganei

*** Kansai Automation Co., Ltd, Kita-ku, Osaka

(Received March 26, 1999)

(Revised July 21, 1999)

2. 仮定と問題の記述

Fig. 1 に煙道内の煤塵が移動の様子を示す。煙道内の一つの煤塵粒子は、煙道や別の粒子との衝突を繰り返し摩擦帯電するか電気集塵器における電界で帯電している。いまこの粒子は球状としその直径を D_p とする。また、質量を m 、速さを v とする。ある時刻でこの粒子の帯電量を q_0 とする。帯電した煤塵粒子は多数存在し群れを作る。この帯電粒子群を帯電雲と呼び、帯電粒子数密度（煤塵粒子群中の単位体積当たりで帯電した粒子の個数）を n 、注目する空間の体積 V_s とする。ここで、周りの帯電粒子群と比較して高い帯電量を持つ粒子が混在した場合を考える。その粒子は移動中に逆符号に帯電した粒子と衝突することで中和され帯電量を失っていく。この現象を再結合と呼び、その時定数を T_L とする。また、煙道内空間の比誘電率は ϵ_1 とする。

Fig. 1 The behavior of the soot particle in the flue

この煤塵粒子に関して次の仮定を設ける。

- (A1) 煤塵は同一素材から作られ、その粒子径は同じとする。
- (A2) 煤塵粒子密度は帯電粒子数密度 n に比例するものとする。
- (A3) 煤塵粒子の流れは一樣である。
- (A4) 帯電雲の帯電粒子数密度 n は一定で、再結合・拡散時定数 T_L も一定である。

- (A5) 注目する空間の比誘電率 ϵ_1 は一定である。

いま、Fig. 1 および仮定 (A1)～(A5) のような状況になる煤塵の質量流量を高精度計測する方法について検討する。具体的には、次の課題について検討する。

- (P1) 高精度な流速、質量流量計測方式について考える。
- (P2) 簡易なキャリブレーション方式を考える。
- (P3) 実験によりこの方式の妥当性を検証する。
- (P4) 他の流量計測への応用の可能性を検討する。

3. 計測システム

はじめに (P1) の問題を考える。この問題の解答となる計測システムの概要を Fig. 2 に示す。

このシステムでは、煤塵粒子群を人工的に帯電させ（荷電

Fig. 2 Measurement system

し)、その帯電雲の引き起こす静電誘導により電極内に発生する微小電流をとらえ、演算により煤塵の質量流量を計測するものである。従ってこのシステムは①粒子荷電部、②静電誘導検出部および③演算部から構成されている。このシステムで粒子荷電部は上流側に、静電誘導検出部は下流側に設置し、それらの間隔は L である。演算部では粒子荷電部への制御信号を発生させ荷電のタイミングを制御する。また静電誘導検出部からの検出信号を計算機に取り込み、簡単な演算より煤塵の流速と濃度を推定し、そのときの瞬時質量流量をオンラインで計算する。

3.1 粒子荷電部

粒子荷電部の一例を Fig. 3 に示す。

Fig. 3 Structure of particle charging part and the principle

これは線対平板電極であり線電極は面電極に平行におかれている。線電極の半径を r 、線電極と面電極の間の距離を h とする。両電極間に V_c の電圧を加えると、この間に電界が現れ、その強度 E は次のように与えられる¹⁰⁾。

$$E = \frac{V_c}{2.30r \log(2h/r)} \quad (1)$$

いま、真空の誘電率を ϵ_0 とし、電極間の空間の比誘電率を ϵ_1 とする。このとき、この電界荷電により直径 D_p の粒子が帯電できる飽和帯電量 q_∞ は次のように与えられる¹⁰⁾。

$$q_\infty = \left\{ 1 + 2 \frac{\epsilon_1 - 1}{\epsilon_1 + 2} \right\} \pi \epsilon_0 E D_p^2 \quad (2)$$

また τ を荷電時定数とすると、 t_1 時間だけこの電界空間に存在したときの帯電量 q_0 は次のように与えられる¹⁰⁾。

$$q_0 = q_\infty \times \frac{t_1}{t_1 + \tau} \quad (3)$$

$t_1 \gg \tau$ のとき、電荷 q_0 は $q_0 = q_\infty$ となる。 q_∞ は電界強度 E に比例する。粒子は衝突等により自然帯電しており、均一に帯電させるためには自然帯電が無視できるほど大きな荷電が必要である。電界強度を強くすると電極でコロナ放電が起きる。このコロナ放電はイオンを大量に生成し、イオン化した空気と煤塵粒子の接触頻度が増え、粒子の帯電量を急激に増加させる。従って、電極間電圧 V_c はコロナ放電が発生する程度の電界値でなければならない。電界荷電の方式は、Fig. 3 の線対平板電極以外にも多くあり、電気集塵機やイオナイザーとして製品化されている。この設置環境や運用条件により適正なものを選べる^{11)~13)}。

3.2 静電誘導検出部

静電誘導検出部の構造と原理を Fig. 4 に示す。

Fig. 4 Structure of electrostatic induction detecting element and the principle

このセンサの構造はシリンダ型ファラデーゲージ¹⁴⁾と同様で、センサから回路に至るまで全体がシールドされている。帯電粒子の存在と運動により引き起こされる静電誘導は、センサ内で平衡状態にあった自由電子に作用し、電極およびセンサ回路内で電子を移動させ電流を発生させる。この電流を検出する。電流は電流-電圧変換回路で電圧としてとらえられる。この回路は、帰還抵抗 R_f の値が大きくなっても負帰還の効果により入力インピーダンスが十分に小さくなり、特別のOPアンプを選ばなくても高感度・低雑音の特性をもつ。¹⁵⁾

3.3 演算部

(1) 流速の計測

Fig. 5 Estimation of the flow speed by the delay time T

粒子荷電部を通過した粒子群は、電極で生成されたイオンと衝突し飽和帯電し一定でかつ自然帯電に比較して高い電荷を帯びた帯電雲をつくる。この帯電雲を利用して流速を求める。この演算システムを Fig. 5 に示す。

電極間にコロナ発生電圧を一定の周期でパルス状に加える。これに伴い電極間では周期的でパルス状の電界が生じる。これに同期して管路内には人工帯電と自然帯電による帯電雲の層が交互に現れる。人工帯電させた時刻と L だけ下流の静電誘導検出部で検出した電流発生の上立ちがり時刻の差 T (遅延時間) から、煤塵粒子の平均流速 v を次のように求めることができる。

$$v = \frac{L}{T} \quad (4)$$

(2) 質量流量の計測

問題 (P2) について検討する。すなわち、仮定に基づき煤塵質量流量を計測するためのモデルを考え、静電誘導検出部から得られる出力のパルス発生遅延時間と振幅ピーク値から質量流量を推定する。この演算システムを Fig. 6 に示す。

Fig. 6 Estimation of the mass flow

静電誘導検出部で帯電雲の影響を受ける煙道内の注目している空間を考える。はじめこの空間が粒子荷電部にあるとす

る。このとき、空間内の粒子は帯電し粒子一つにつき、(3) 式(あるいは(2) 式)の q_0 だけ帯電される。この空間内の粒子全体の帯電量 Q_0 は仮定(A1), (A2)より、

$$Q_0 = nq_0V_s \quad (5)$$

で与えられる。またこのとき、仮定(A2)より、煤塵粒子密度が帯電粒子数密度 n に比例することより、この比例定数を k として、この体積 V_s 中の煤塵質量 M は次のように与えられる。

$$M = knmV_s \quad (6)$$

この空間内には帯電していない粒子も存在し、比例定数 k はその分を補正する無次元の補正係数である。仮定(A3)より、注目する空間の煤塵粒子は、かたちを変えずに煙道にそって流れる。帯電雲の電荷量は、時間の経過とともにイオンの再結合や拡散現象によって減少していく。この帯電雲が粒子荷電部を離れた時刻を0として、それ以降について帯電雲の電荷量 q は、再結合・拡散時定数を T_L とすると次のようになる。

$$\begin{cases} \frac{dq}{dt} = -\frac{1}{T_L}q \\ q(0) = Q_0 \end{cases} \quad (7)$$

この方程式の解は、次のように求まる。

$$q(t) = Q_0 e^{-\frac{t}{T_L}} \quad (8)$$

静電誘導検出部の電流-電圧変換回路の出力電圧は、帯電雲がこの検出部に到達する時刻 $T = L/v$ でピーク電圧が現れる。質量流量を $\dot{M}$ とすると、その値 V_p は(5), (6), (8)式より次のようになる。

$$\begin{aligned} V_p &= -R_f \frac{dq(T)}{dt} \\ &= \frac{R_f q_0}{km} \frac{M}{T_L} e^{-\frac{T}{T_L}} \\ &= \frac{R_f q_0}{km} \dot{M} e^{-\frac{T}{T_L}} \end{aligned} \quad (9)$$

仮定(A1)より粒子の質量 m および直径 D_p は一定、仮定(A3), (A4)より比例定数 k は一定、また粒子荷電部と静電誘導検出部の間隔 L は一定であり、さらに仮定(A5)より比誘電率 ϵ_1 は一定である。従って次の係数 C も一定となる。

$$C = \frac{km}{R_f q_0} \quad (10)$$

この定数と一定である再結合時定数 T_L を用いて、(9)式より単位時間当たりの煤煙質量 $\dot{M}$ は次のようになる。

$$\dot{M} = CV_p e^{\frac{T}{T_L}} \quad (11)$$

定数 C と時定数 T_L は理論的に求めにくい。従って、キャリブレーション実験で求める必要がある。これらの係数を一度もとめておけば、煤煙質量流量は(11)式に静電誘導検出部で計測する電圧のピーク値 V_p とむだ時間 T を代入することで求められる。

4. 実験による検証

(P3)の問題を考える。

4.1 実験条件

線香の煙の質量流量を計測する。線香は燃え方が一樣になるように灰を落とし、できるだけ一定量の煤塵粒子を出すようにした。線香の煙は微粒子の集合体であり、同じ環境のもとで複数の線香を同時に燃やした場合、一定の割合で灰となり同時に燃え尽きる。このことから、発生する煙の煤塵発生量はどの線香も均一であるといえる。線香による煤塵発生量の精密計測は困難であったため、ここでは、線香が燃えるときに発生する二酸化炭素・水蒸気などのガス、煙の微粒子など灰以外のものを全てを含める。従って煤塵発生量(質量流量)はもとの線香の質量から燃え尽きて残った灰を差し引き、その量を燃え尽きるまでの時間で割って求めた。実験は、湿度32.1%, 温度19.1℃の実験室でおこなった。

4.2 実験システム

実験システムを Fig. 7 に示す。

Fig. 7 Experiment system

あらかじめ風速計を用いて DC ファンモータの入力電圧と管内を流れる風速との関係を導いておき、ファンモータの入力電圧を操作することで管内の風速を決定できるようにしてある。煤塵は、外部に漏れないよう上戸を覆い被せて吸引し管内に導く。粒子荷電部には計測システムで示した線対平板電極を使用する。電極間の電圧 $V_c=16000V$ (モジュールの絶対定格による)、電極間の距離 $h=29mm$, 放電極の半径 $r=0.04mm$, 電極の長さ $l=21.5cm$ である。従って、(1)式より電界強度は $E=5.5kV/cm$ となる。帯電のタイミングはファンクションジェネレータのパルス周波数により調整する。検出器の帰還抵抗 R_f は、 $10M\Omega$ を使用し、検出器出力とタイミングパルスは A/D コンバータを介してコンピュータに取り込まれる。実験は、線香の本数を1~9本まで増やしていき、それぞれの本数において管内の流速を1.3m/s~5.9m/sまで約0.23m/s間隔で20流速において計測する。そのときの出力電圧、タイミングパルス、線香の本数、ファンモータ入力電圧を測定し演算処理をおこなった。

4.3 線香の煙の煤塵計測結果

Fig. 8(a)に線香が5本で流速が1.3m/s, 3.5m/s, 5.9m/sの場合の入力パルスと出力電圧を示す。明らかに、流速に反比例して遅延時間が短くなっている。また、Fig. 8(b)は流速

Fig. 8 Sensor output signal for various amount and speed of soot and dusts flow

3.5m/s のときで、線香の本数が 1 本、4 本、9 本の場合の入出力電圧を示す。明らかに、線香の本数に比例して出力振幅が増加している。

測定した線香の本数と検出器の出力電圧と算出した遅延時間 T から提案したモデル (11) 式の定数 C と時定数 T_L を最小二乗法により決定する。このとき、実験条件より線香の本数は煤塵質量に比例する。 $C = 0.44 \text{ kg/sV}$, $T_L = 0.18 \text{ s}$ と推定された。従って、線香から出る煙の煤塵質量流量は、次式に検出器の出力と遅延時間を代入することで計算できる。

いま検量式

$$\dot{M} = 0.44V_p e^{\frac{T}{0.18}} \quad (12)$$

より、煤塵質量流量 0.2mg/s (線香 1 本) から 1.8mg/s (線香 9 本) において、それぞれの推定煤塵質量流量 $\dot{M}$ を求める。Fig. 9 には、それぞれの流速で求める $\dot{M}$ の平均値と標準偏差を示す。図より幅広い流速範囲で計測値の標準偏差が小さく、精度良く煤塵質量流量を求めることができる。従来の煙道内での摩擦帯電を利用する帯電量式では流速によって大幅に出力が異なったり、数分の時間の違いで出力が変化し再現性が確認できなかった。しかし、Fig. 9 に示すように、本方式ではこれらの問題が大幅に改善された。

5. ガス流量計・パーティクルカウンタへの応用

5.1 ガス流量計への応用

検出器の感度をあげる (R_f を大きくする) と、計測システムの変更なしにイオン化された空気分子を検出することができる。そこで、本計測システムをガス流量計へと応用した場合の可能性を探るため空気を対象とした流量計測をおこなった。実験は、煤塵の実験と同じで、煤塵の代わりに空気だけを通過させ、そのときの風速計の値と算出した流速との関係を調べた。なお、検出器の帰還抵抗 R_f は、200M Ω を使

Fig. 9 Real vs. Estimated soot quantity under various flow speed

Fig. 10 Gas flow measured by the same system

用した。実験結果を Fig. 10 に示す。

誤差範囲の縦軸方向は 95% 信頼区間、横軸方向は風速計の最小分解能を示している。直線は最小二乗法を適用した線形回帰直線である。算出した流速は風速計の値と比例関係にあることがわかる。算出した流速の値が風速の値と一致しない理由として、風速計の計測範囲が狭いことがあげられる。管路の側面と中央では流速が異なり、どこを計測するかによって値が相対的にずれてしまうことに起因していると考えられる。この結果から、本計測システムは、ガス流量計としても応用可能であることが確認できた。

5.2 パーティクルカウンタとしての応用

このシステムにおいて煙道の代わりにパイプを用い、一定電圧で帯電させたプラスチックペレット大の粒子を通過させると大きなパルス上の出力が表れる。直径 6mm のプラスチック球を 4 個通過させた場合 Fig. 11 (a) のような出力波形が得られる。この波形に適当な重み係数をもつ移動平均型フィルターを施すことで、Fig. 11 (b) のようなシャープなパルス状の波形が得られる。このシャープなパルス状波形はプラスチック球通過時を示し、プラスチック球がバラバラに疎な状態で通過する場合、1 個 1 個をカウントできる。直径

Fig. 11 Sensor output when plastic balls pass near the electrode

50mm のパイプで、検出電極の厚みを薄くすることで、およそ長さ 1cm に対し 1 個程度の密度で輸送されるプラスチック球を分離してカウントすることができる。

6. 考 察

(A1), (A3) の仮定は、本方式の理論的な展開を厳密にするために設けた。しかし、実際には粒子径の大きさにはばらつきがあり、ある程度の分散を持つものとするのが自然である。そこで、粒子径に分散を持たせた場合とそうでない場合とのセンサ出力電圧の違いを考察した。粒子径のばらつきが正規分布するとして、分散の値が出力電圧に及ぼす影響をシミュレーションする。出力電圧は、ある分散を持った粒子群がリング状のセンサ内に一様分布していると想定し、(1), (2), (3), (9) 式を用いて統計的に処理する。シミュレーションした結果を Fig. 12 に示す。

Fig. 12 Output deviation when the diameter of dust particle has some distribution.

横軸方向は、分散を粒子径で割り百分率で表したものである。100%は、粒子径と同じ大きさの分散をもつことを示す。縦軸方向は、分散を持つ場合と持たない場合との出力電圧の比を表したものである。縦軸の 2 は、分散を持たない場合に比べて 2 倍の出力電圧を持つことを示す。

Fig. 12 から、分散が 0%~20% の範囲では出力電圧にほとんど変化が見られないのに対し、100% のときは約 2 倍の出力電圧を持つことが分かる。また、出力電圧は (2) 式より

粒子径の二乗に比例する。シミュレーションによると粒子径が分布する場合も同様二乗に比例した。以上のことより、平均粒子径及び分布があらかじめ分かれば、これらを用いて補正が可能である。また、粒子の素材から定まる帯電特性がどのように出力に影響を与えるかは (1) ~ (3) 式の理論式からは説明できない。

7. む す び

帯電量式による煤塵の瞬時質量流量計を新たに提案した。この方式は煤塵粒子を上流側で人工的に帯電させ、煤塵の移動に伴う静電誘導で検出電極に発生する微小電流（電圧）を下流側で検出し煤塵質量流量を計測する方法である。上流側の人工的な帯電と下流側の遅延時間より流れの速さを計測できる。また検出電極に発生する電流（電圧）の大きさと遅延時間から煤塵質量流量が推定できる。本論文では以下のことを明らかにした。

- (1) 検出電極に現れる電流（電圧）と煤塵質量流量の関係は簡単なモデルで表せる。
- (2) このモデルを利用し、二つのパラメータをキャリブレーションで求めることで、検出信号から容易に正確に煤塵質量流量が計測できる。線香の煙を用いた実験よりこの方法の妥当性が確認された。
- (3) この流量計をそのまま用いて、ガス（空気）の流量が計測できた。また疎な状態で流れるプラスチックペレットサイズの粒子では、個々の粒子の流れる様子を確認できる。

本論文では、幾つかの厳しい仮定のもとで計測のためのモデル式を導出したが、実験では、これらの仮定を満たしているとは思えない。しかし、結果を見るがきり再現性のよい結果が得られた。これは煤塵粒子全体としての平均挙動としては、これらの仮定を満たしているからと推測できる。このことについては、径が正規分布に従う粒子についてシミュレーションを行ない確認した。

本手法が現実にはどのような状況で適用できるか考察する。本手法は、従来の摩擦帯電量式に対して再現性・精度において大幅にすぐれている。従って、従来型の帯電量式で対応できてきた煙道の煤塵・塵埃の計測に適用した場合、大幅に精度・精度が向上する。シミュレーションによると、出力は粒子径や分布の影響を受ける。従って、これらが比較的安定した粉粒体に対しては、一度のキャリブレーションにより精度良く適用できる。しかし、粒子径や分布が時間とともにランダムかつ大幅に変動する場合においては、精度の高い結果を得ることは難しい。また、帯電特性については大きく変化しないことが必要であろう。粒子径、分布、帯電特性の異なる粉粒体で異なる環境において実験を重ね、これらによる影響を明らかにすることが今後の課題である。

参 考 文 献

- 1) 矢部昭一：新トリボエレクトリック方式—粉塵濃度計，科学装置，7，112/115（1998）
- 2) 最新 粉粒体プロセス技術集成編集委員会：最新 粉粒体プロセ

- ス技術集成 基礎編, 産業技術センター, 237/261 (1974)
- 3) 増田弘昭: 粉体機器・装置選定ガイドブック, 日刊工業新聞社, **34**, 81/87 (1990)
 - 4) 増田弘昭, 松坂修二, 秋葉聡, 下村祐明: 管内固気二相流における微粉対の帯電現象, 粉体工学会誌, **34**, 91/96 (1997)
 - 5) 増田弘昭, 松坂修二, 下村祐明: 静電気を利用した高分子系粉体の質量流量計測, 粉体工学会誌, **34**, 919/923 (1997)
 - 6) 綿野哲, 伊藤義弘, 鈴木輝夫, 宮南啓: 流動層造粒・乾燥操作における静電界強度のオンライン計測, 粉体工学会誌, **34**, 778/784 (1997)
 - 7) 鈴木輝夫, 綿野哲, 沼徹哉, 平敏成, 宮南啓: 粉体の空気輸送プロセスにおける静電界強度のオンライン計測, 粉体工学会誌, **35**, 846/855 (1998)
 - 8) 橋本清隆, 足立宣良: 静電気とその産業技術 (1969)
 - 9) 松山達: 粒子の衝突帯電機構に関する研究, 粉体工学会誌, **33**, 51/53 (1996)
 - 10) 静電気学会編: 静電気ハンドブック (1981)
 - 11) カタログ: センサ制御機器ハンドブック, 株式会社キーエンス, 470/475 (1998)
 - 12) カタログ: 直流式除電器 MODEL KD-110SI, 春日電機株式会社 (1998)
 - 13) カタログ: Products of SSD, シシド静電気株式会社 (1998)
 - 14) 橘高重義: プラスチックの帯電防止 (1967)
 - 15) 遠坂俊昭: 計測のためのアナログ回路設計 (1997)

=====

[著 者 紹 介]

渡 辺 嘉二郎 (正会員)

1972年東京工業大学大学院理工学研究科博士課程(電気工学専攻)修了。75年法政大学工学部計測制御専攻助教授, 81年テキサス州立テキサス大学オースチン研究員, 83年法政大学工学部システム制御工学科教授, 現在に至る。計測理論, 自動制御の研究に従事(工学博士)。

高 橋 雄一郎

1997年法政大学工学部システム制御工学科卒業。99年法政大学大学院理工学研究科修士課程(システム工学専攻)終了。横河電機(株)入社

萱 原 富士生

1969年大阪経済大学経済学部卒業。関西オートメーション(株)入社。レベル計を主とした計測器の開発・販売および海外製品の導入に従事。取締役営業部長。

=====