説 総

粉体計測に応用しうる諸現象

Various Phenomena for Measurement of Particulate Process

增田弘昭*

Hiroaki Masuda

井伊谷 鋼 一*

Koichi Inoya

Table 1 粉体計測の諸原理

1. はじめに

粉体の多様性とその応用範囲の広さから、将来いかなる現象や原理が粉体計測に応用されて行くのかを予想することはむずかしい。新しい技術が開発されると粉体計測技術の分野も少しづつ拡大されて行く。レーザー光線の応用はその典型的な例といえよう。現在用いられている計測法の原理の多くは他の分野、たとえば物理、電気、電子、光学から得られているようである。

本文では、筆者らの知る限りにおいて、今までに報告されている測定法、開発中の測定技術を述べ、その他の原理・現象で粉体計測に応用しうると考えられるものをあげてみる。

2. 粉体計測法とその原理

直感的に身近かに感じられる原理としては、物体によってエネルギーが吸収されることを利用するものである。物体を熱すると温度が上がる。すなわち熱の一部はその物体にくわれている。弾丸は、もし重力がないとしても無限には飛ばない。というのは、空気分子という小さな粒子と衝突し、いわゆる粘性抵抗を受けて運動エネルギーを失って行くからである。気流中の微粒子を扱う場合によく用いられる慣性パラメー

現 象	計 測 器 ・ 計 測 法	備 考
1. エネルギー吸収	熱流速付加式流量計 熱線式粒度計 光透過式粉じん濃度計 放射線透過式濃度計 放射線式レベル計 超音波式レベル計 中性子透過式水分計 マイクロ波吸収式水分計 高周波吸収式水分計 グロー放電管式粒度計	熱伝導度の良い粉体 ミスト 吸収 高速中性子を検出 放電電流変化
2. 散 乱, 反 射 (回折)	中性子反射式水分計 赤外線反射式水分計 超音波式レベル計 超音波散乱粒度計 光散乱粒度計 ライダー; ミー散乱 誘導ラマン散乱 レーザー回折式粒度計 光学的流量計 電磁パルス式レベル計	反射時間 超音波流量計 濃度, 粒度の測定 成分測定 粉体層断面積の測定 電磁波反射時間
3. 電 磁 気 現 象	静電容量式濃度計 静電容量式レベル計 電気伝導度式水分計 静電容量式水分計 NMR 速度計 電気抵抗式レベル計	ホールドアップ濃度 電気抵抗 ($R-C$) 変化 水の誘電率 $\epsilon=80 \sim 10$ 多くの粉体は $\epsilon_p=1 \sim 10 \sim 100$ ラーモア電磁現象 スラリー用
4. 流体圧力損失	空気圧式レベル計 ガスパージ式流量計 差圧式流量計 空気透過式粒度計	ノズル背圧 背圧 Kozeny-Carman 式
5. 帯 電 現 象	ユニテスト (商品名) IKOR 粉じんモニター (商品名) 荷電式液滴カウンタープローブ	粉じん濃度測定 液滴径, 個数濃度
6. 圧 電 現 象	ピエゾバランス (商品名) 圧電式粒度センサー 圧電式粉体流量計	粉じん濃度 (質量測定) 衝撃力 衝撃力, 個数流量
7. ドップラー効果	超音波流量計 レーザー流速計	流体流速 (粒度) 粒子速度

昭和52年1月8日受理

* 京都大学工学部 (〒606 京都市左京区吉田本町) TEL 075-751-2111

8. 化学反応	塩化コバルト水分計	
吸着熱	吸着熱粒度計	
9. 確率現象	統計的粒度計	乱れのスケール
	統計的流速計	相互相関
	統計的濃度計	自己相関
	音響式流量計	雑音
10. 核磁気共鳴現象	NMR 水分計	H原子
11. ホログラフィー	ホログラフィーによる速度、粒度濃度計測	3次元写真
		ダブルパルス
12. 音響現象	空洞に高速粒子を放出したとき生じる圧力パルスから粒度を測定	粒度、個数濃度
13. 応力、荷重現象	サウンディング式レベル計	
	往復運動式レベル計	ベルトスケール
	回転翼式レベル計	ホップスケール
	ダイヤフラム式レベル計	ロス・イン・ウェイト
	揺動式レベル計	ユリオリカ検出式流量計 (Massometer)
	ボール式レベル計	インパクトライン流量計

<応力・荷重検出>

逆磁歪効果 (Villari 効果), ホール効果……ロードセル
電磁誘導……差動トランス
電気抵抗……ストレインゲージ

<温度検出>

ゼーベック効果……熱電対
電気抵抗………測温抵抗体・サーミスター
光電効果………光高温計, 二色高温計など
熔融(相変化), 色変化

タや粒子停止距離, 粒子緩和時間はその効果を表わしている。ある種の放射線は人体も突きぬけるが, 出てきたときにはエネルギーを幾分か失なって弱くなっている。ごく当り前の現象ではあるが, この種の原理は粉体計測にも広く用いられている。Table 1 の第1項にその例を示す。熱エネルギーの吸収は, 粉体流量計に利用されており, その原理図を Fig. 1 に示す。ただし, 現状では金属粉のように熱伝導度の良い粉体に限られているようである¹⁾。同様に, 熱線を用いて液滴径を計測する方法もあり, 液滴が熱線に衝突して熱エネルギーをうばうときに生じる電圧パルスの波高値を用いて測定する²⁾。一方, 放射線の吸収は粉じん濃度の計測³⁾やレベル測定⁴⁾に用いられている。レベル計測のために帯状放射線源を

用いた場合を Fig. 2 に示す。超音波の吸収もレベル計測に用いられるが, ダストによる吸収に注意する必要がある。超音波吸収法はレベルだけでなく, 種々の周波数で吸収量を求めることにより浮遊粉じんの濃度と平均粒度を求めることも検討されている⁵⁾。また, 水分の計測には中性子(透過した高速中性子の量を検出), マイクロ波, 高周波などの吸収が用いられる⁷⁾。さらに Fig. 3 に示すようにグロー放電管の中にオリフィスを設け, 粒子がそのオリフィスを通過するときの放電電流の減少(パルス状)を求めると, パルス高さが粒子径に比例するという実験結果がえられている⁸⁾。実際にはコールターカウンターと同様の測定器となるが, 気中分散状態での粒度と個数濃度が求められる。

以上のようにエネルギーの吸収は粉体の計測において広く用いられている原理であり, しかもその計測対象は粉体の粒度, 濃度, 流量, 水分, レベルなど広範囲にわたっている。

次に, 光の散乱, 反射に代表されるような測定法があげられる。むかし古井戸に石を落してその深さの見当をつけたのと同じように, 測定対象に物を当てその応答を見て性質を知ろうとするのは, 測定の一つの原理といえよう。超音波(反射)レベル計はその代表的な測定器であり, 海底探査のソナーと同じ原理である⁹⁾。同様に電磁波の反射も利用されている¹⁰⁾。ただし, 赤外線反射による水分測定および中性子反射による水分測定

Fig. 1 熱流付加による流量測定 (Union Carbide Corp.)

Fig. 2 帯状放射線源を用いた連続的レベル測定

Fig. 3 グロー放電管式粒度計 (Fedrick ら)

(高エネルギーの中性子が水素原子と衝突して運動エネルギーを失ない熱中中性子となるのでこれを検出する)では本質的にはエネルギーの吸収を利用している⁷⁾。

この散乱・反射原理の特長の一つは、うまく行けば遠距離から測定できる点であり、レーザー光線を用いたライダー (レーザー・レーダー) は排煙の濃度や粒度、成分までもわかる可能性のある測定器として開発されている^{10,11)}。最近では、強力なパルスレーザーとビデオテープを組み合わせる煙道中の粉じんの粒度と濃度を計測する方法も検討されている⁴⁶⁾。

さらに、超音波散乱を用いて液流中粒子の粒度を計測する方法も検討されており¹²⁾、この原理の応用範囲も広いようである。なお、素朴な例としては、ベルト上の粉体層 (染料) の断面積を求めるために光の反射を用いたものがある¹³⁾。

次によく用いられるのは電磁気現象である。電極間の静電容量が電極間の空間にある粉体濃度によって変化する現象は粉体ホールドアップ濃度^{14,15)}、レベル計測¹⁶⁾、水分計測¹⁷⁾ (誘電率の差を利用) に用いられている。粉体の電気抵抗の変化も粉体レベル、粉体水分の計測に用いられる⁷⁾。なお、粉体レベル計測では、粉体層中に粉体圧が加わると電気抵抗の変化するような物を挿入しておく方法もある。また、円運動する電子に磁場を加えたときにみられるラーモアの歳差運動と呼ばれる現象は流体速度測定に用いられ、スラリー中の粒子に対しても利用できると考えられている¹⁸⁾。一方いわゆる電磁流量計もスラリーの流量計測に広く用いられている。粒子を帯電させて強い磁界をかければ、気流中の粒子も幾分か曲げられて対流電流が検出されるはずであり、粒子の慣性効果の大きい場合は無理としても微粒子系では検討の余地があるかも知れない。ただしこの場合は粒子の帯電現

象が同時に関与するので問題は複雑である。なお、帯電微粒子に静電界を加えて分級し、粒度分布を求めるものはすでに市販されている。静電界中での粒子の運動はかなり詳しく調べられており、なかでもミリカンが油滴を使って電荷素量を求めた実験は有名である¹⁹⁾。

このように、電磁気現象は粒子の大きさや粒子流量などを測定するために用いられているが、さらに広い応用範囲のある現象と思われる。

Table 1 の第4項には流体の圧力損失 (降下) を利用する方法を示した

が、それには二通りの方法がある。その一つは、ノズルから一定流量のガスを噴出するとき近くに物体があるときとないときでは必要圧 (背圧) が異なる現象を利用するものである。物体があるかないかの判定を行なうことに利用したのが空気圧式レベル計であり、背圧と粉体流量 (粉体流とガス流を対向させている) との関係を利用するガスバージ式粉体流量計が考案されている²⁰⁾。その構成を Fig. 4 に示す。粉体は上から整流器を通して落下し、それに対向してガスが下から噴出される。

これらの方法に対し、ガス中に粉体を含む、いわゆるサスペンションの流れによる圧損が粉体含有量によって変化することを利用すれば粉体流量の計測ができる²¹⁾。一方、粉体充てん層に空気を透過させて圧損を測定すると Kozeny-Carman の式によって比表面積が求められる。いわゆる比表面積径 ($D_p=6/S_v$) は粒度の代表値となりうるのでセメント工業などではこの方法を自動化す

Fig. 4 ガスバージ式流量計 (鏡ら)

Fig. 5 荷電式液滴カウンタープローブ (Keily-Millen)

る検討が行なわれている^{22,23)}。なお、比表面積を求め
るには、次に述べる帯電現象を利用する方が簡単かも知
れない。さらに、流体の流速を求めるピトー管では粒子
が混入すると誤差が生じるので注意せねばならないが^{24,}
²⁵⁾、これを逆に利用すれば流速と粉じん濃度の両方を求
められる可能性もある。

この種の原理は粉体工学の範囲にあり、今後さらに発

展するものと期待される。

次に粉体の帯電現象は Xerox などにも
応用されており、粉体工学とも関連が深
い。含じん気流の帯電を利用したものには
コーンテスト粉じん濃度計と IKOR 粉じ
んモニターと呼ばれるものがあり、いずれ
も粉じん濃度の瞬間値を求めるのに利用さ
れている。含じん気流の帯電によって連続
的な電流が発生するが、未解決の部分も多
く基礎的な検討が必要である^{26,27)}。帯電現
象は含じん気流だけでなく、粉体一相流が
何らかの物体に衝突する場合にも生じるの
で、今後、粉体流量、粉体成分、粉体粒
度、滞留時間分布などの計測法として発展
する可能性がある。なお、自然な帯電だ
けでなく強制的な荷電の利用も検討されて
おり、エアロゾルの粒径測定に利用されて
いる²⁸⁾。荷電法は液滴径の測定にも用い
られており測定器および原理を Fig. 5 に示
す²⁹⁾。

圧電現象には二種類あるが、そのいずれ
も粉体計測に利用されている。その一つ
は、圧電素子に電界をかけると固有振動数
で振動するが、これに粉じんが付着すると
振動子の質量が変化するので固有振動数が
変化することを利用するものである^{30,31)}。
したがって粉じんをうまく付着させること
ができ、電界も変化しないなら微量の付着
粉じん量が測定できる。この種の測定器は
すでに粉じん濃度計 (ピエゾバランス) と
して市販されている。

もう一つは、圧電素子に衝撃力が加わると結晶の歪によって電圧パルスが生じる現象で、固気あるいは固液二相流における粒子の運動量 mv および粒子数濃度を求める方法が検討されている^{32,33)}。製作上は素子に直接粒子をあてないようにする必要がある (感度が変わってしまう)。検出器の一

例を Fig. 6 に示す。

また、ベルト輸送される粉体層に、簡単なセンサーを挿入し、センサーの振動を圧電素子で検出することにより粒度を求めるものもある³⁴⁾。

次にドップラー効果は音の発生源が移動する場合に生じる現象としてよく知られているが、この現象は媒体が移動 (流動) しているときにも生じ、超音波流量計とし

Fig. 6 圧電現象による粒子運動量の測定 (Patureauxら)

て用いられている。粒子が混入した二相流では、信号の振幅から粒度の計測もできるようである¹²⁾。レーザー光線についても同様な現象が生じ、その測定器はレーザー・ドップラー流速計 (LDV) と呼ばれている。この場合は粒子 (100 μ m の粒子を用いている) の影響と流体と同一挙動をすると思われる微小粒子 (2 μ m 以下の粒子を用いている) による効果とが信号のレベルによって区別できるため、粒子と流体の各流速が求められるといわれている^{35,36)}。この方法が簡便に用いられれば良いが、現状では光学系や信号処理が複雑な点が問題である。

化学反応や吸着熱など、化学工学の分野にその基礎があると思われる現象の利用はあまり活発とはいえないが、塩化コバルト水分計、吸着熱粒度計がある。前者は水分と塩化コバルトの反応で色が変わることを利用する。後者は、空気透過法の変形といった感じがするが、溶媒(*n*-heptane) と粉体粒子との吸着熱をサーミスターで測定するというものである³⁷⁾。この種の原理はサンプリングを必要とするので、時間遅れが大きくなる。しかし、プロセスの変化がゆっくりしている場合には使えるので今後の研究開発が望まれる。

次に、データーの統計的処理を行なって、目的とする粒度や流速などを求める方法がある。固気・固液二相流では混入している粒子の大きさによって乱れのスケールが変化する。固液二相流において、この現象を電導度を用いて確めた報告がある。流速が一定であればオイラー積分時間スケール*は粒径とともに大きくなるので、こ

* $u(t)$ を変動速度、 $u' = \sqrt{u^2}$ (intensity) とするとき

$$R_E(t) = \frac{u(t')u(t'-t)}{u'^2} \quad (t' \text{ 为平均})$$

をオイラー時間相関 (Eulerian time scale) といい、

$$T_E = \int_0^\infty R_E(t) dt$$

をオイラー積分時間スケール (Eulerian integral scale) という。

の関係を求めておけば粒度計として利用できるといわれている³⁸⁾。一方、自己相関 (固気二相流では、たとえば静電容量や発生電流を信号として用いる) の $t=0$ の値あるいは相互相関のピーク値はホールドアップ粉体量に正比例するという報告もあり³⁹⁾、両者を組み合わせると濃度と粒度が同時に求められることになる。さらに、流れに沿って適当な間隔をおいた2点での信号の相互相関をとれば、ピークの出現する時間から流速 (粒子クラウドの) が求められる^{39,40)}。したがって粉体の流量 (クラウドの流量) が推定できることになる。

また、粉体一相流について、粉体が進むときに粒子同志が衝突して生じる雑音から流量を推定しようという試みもある⁴¹⁾。その他ステレオロジーと呼ばれている統計的方法もあり⁴²⁾、粒度計測に応用しうるものと思われる。

以上のように確率現象の統計的処理によって粉体計測を行なう方法は、流れを阻害しないという特長を持つ有力な方法であるが、現状では精度が充分でないようである。

その他、核磁気共鳴現象は水分測定に用いられているし、前に述べたラーモアの電磁現象を利用した流体速度の検出にもこの方法が用いられている¹⁸⁾。また、ホログラフィーは粒子の3次元運動速度や粒径、濃度の計測に用いられるが⁴⁷⁾、データー処理が複雑 (処理装置は高価である) であるし、十分発達しているとはいえないようである。

もっとも粉体計測器らしいものの多くは、単純な力学的関係を用いたものであって、Table 1 では応力・荷重現象の利用としてみた。この中にはサウンジング式レベル計、ボール式レベル計など多くのレベル計やベルトスケール、ホッパースケールなどの流量計がある。これらの計器が粉じんや粒子の堆積、かみ込みが起こりうるような苛酷な条件のもとで正しく作動するためにはできるだけ単純で強固であることが必要であり、種々の工夫がなされている。インパクトライン流量計 (商品名) は粉体流を傾斜板に当ててその反作用力を検出するものであるが⁴⁸⁾、実際の測定には水平分力を用いている。これは板上に堆積する粉体の影響を逃げる方法として興味深い。一方、コリオリの力を検出する方式もあるが^{44,45)}、コリオリの力は $2\omega \vec{r}$ で、粉体ホールドアップ w は $W/\dot{r}$ (W は粉体流量) に正比例するために結局速度 $\dot{r}$ が消えてしまうことが原理として重要である。このように粉体速度が消えない限りは、速度を別に求めるか検定定数を用いなければならない。力が粉体流量だけに比例し、粉体速度を含まないという性質を持つものはコリオリの力

以外にはないようである。ただし、粉体流に既知の一定速度を与えてやる方法はあろう。問題はこの力をいかにして検出するか、あるいはいかにして一定速度を与えるかであって、下手をすると粉体がつまってしまってプロセス自体に悪影響をおよぼすことになる。

応力・荷重の測定には逆磁歪効果、ホール効果、電磁誘導、電気抵抗効果などが用いられているが粉体プロセスの測定に特有というわけではない。

同様に温度検出にはゼーベック効果、電気抵抗変化、光電効果、相変化（熔融）、色変化などが用いられ、粉体の温度計測にも用いられている。ただし熱電対や測温抵抗体などでは粉体自身の温度が求められないという悩みも聞かれる。

以上、現在粉体計測に用いられている原理や開発中の原理をあげてみたが、これらはさらに改良の余地もある。また、新しい原理によるのではなく、これらの計器の適用範囲の拡大など地道な努力によって粉体プロセスの計装が進展するものと思う。

3. その他の原理・現象

最後に、前節で述べた原理・現象以外に粉体計測に適用しうるものがあるかどうかを考えてみよう。粉体の応用分野は広いので予測はむずかしいが、他の分野で今までに知られている現象のうち粉体測定に適用できそうなものはすでにほぼ検討されているといえそうである。もちろん粉体にかかわる現象がすべて解明されているわけではないし、すべて見つけられているわけでもなからう。したがって、いろいろな粉体現象の研究を通して計測原理も拡大されて行くものと思う。

二、三の物理現象をあげてみると次のようなものがある。まず、放電現象について、それ自体よくわかっていないようであるが、放電空間に粒子が入ると放電電流が変化する。特に粒子の表面積が重要な役割を果たすと思

われ、したがって濃度や粒度の計測に用いられるのではなからうか。

磁界を利用する場合に現われる現象として、ヴィーデマン効果（強磁性体の円筒の軸方向に電流を流し、これに平行に磁場を加えるとねじれが生じる現象、逆ヴィーデマン効果によって偶力が測れる）、磁気抵抗効果（磁場によって電気抵抗が変化する現象、帯電粒子の流れの検出に使えるかも知れない）、熱流磁気効果（熱が流れている導体または半導体に磁場をかけたとき電位差あるいは温度差を生じる現象、ギールデック効果、ネルンスト効果）、光電磁効果（磁場を加えた半導体に磁場と垂直な方向に光をあてると磁場および光に垂直な方向に電圧が生じる現象）などがある。これらの現象の一部はすでに計測に用いられているようである。また、磁歪と同様の意味で電歪、電歪振動も用いられるであろう。

流体力学的な現象としては、エオルス音といってカルマン渦の発生による振動音があるが、粒子が混入した場合については検討されていないようである。一般に微粒子が混入すると流れの安定性はその粒径によって変化するといわれており、粒径測定に応用しうるのではないかと思われる。

4. おわりに

個々の計器に立入らないで現象のみを述べたが、たとえば静電容量式粉じん濃度計でも粉体流湍全体を測定する場合と流動層内の気泡を測定する場合では検出端の形状は当然異なるし、また別の問題もでてくるであろう。さらに、現象そのものについても、それぞれ多くの研究が行なわれており、詳しく説明すればきりがなく、筆者らもそれぞれの現象を知りつくしているわけではない。重要なことは、どのような現象が自分の目的とする測定に使えるそうかを知り、それを自分なりに活かして行くことであろう。

引用文献

- 1) Union Carbide Corp. : *Instr. Tech.*, 21, 50(May, 1974)
- 2) 下浦, 金川, 筒井 : 化学工学, 35, 577 (1971)
- 3) Sem, G.J. and J.A. Borgos : *Staub*, 35, 5 (1975)
- 4) Rowe, S. and H.L. Cook, Jr. : *Chem. Eng.*, 76, 160 (1969—1/27)
- 5) Liptak, B.G. and R.K. Kaminski : *Instr. Tech.*, 21, 49 (Sep., 1974)
- 6) Mitchell, R.I. and R.B. Engdahl : *J. APCA*, 13, 558 (1963)
- 7) Roth, M. : *Chem. Eng.*, 73, [16], 83 (1966)
- 8) Fedrick, N.A., A.T. Bell and D.N. Hanson : *Env. Sci. Tech.*, 6, 1117 (1972)
- 9) Fuchs, W. and P.M. Yavorsky : *Chem. Eng.*, 81, [13], 145 (1974)
- 10) Freeman, F.S. : *Process Eng.*, p. 97 (Apr, 1975)
- 11) 寺尾, 竹内 : 計測と制御, 15, 151 (1976)
- 12) Pfau, B. : *Verfahrenstechnik*, 8, 258 (1974)
- 13) Brit. Pat. Spec., No. 712, 421 (1954)
- 14) Dotson, J.M. et al. : *Chem. Eng.*, 56, [10], 129 (1949)
- 15) 中島, 後藤, 田中 : 化学工学, 31, 504 (1967)

- 16) 奥津：計装，14，[12]，32 (1971)
- 17) 中島，倉前，田中：粉碎，No. 17，3 (1972)
- 18) Garroway, A.N. : *J. Phys. D*, 7, L159 (1974)
- 19) Millikan, R.A. : "Electrons, Protons, Photones, Neutrons, and Cosmic Rays", Univ. of Chicago Press, Chicago (1934)
- 20) 鏡，前田，八木：化学工学論文集，1，327 (1975)
- 21) 井伊谷，後藤：化学工学，27，80 (1963)
- 22) Blanc, J.P. : Zement Kalk Gips, [8], 344 (1968)
- 23) 小浜，村上，田宮，鍛冶：粉体工学研究会誌，13, 197 (1976)
- 24) Dussourd, J.L. and A.H. Shapiro : *Jet Propulsion*, 28, 24 (1958)
- 25) 湯，内山，横山，井伊谷：化学工学，38，237 (1974)
- 26) Masuda, H., T.Komatsu and K. Iinoya : *AIChE Journal*, 22, 558 (1976)
- 27) 増田，小松，井伊谷：化学工学論文集，2，512(1976)
- 28) Liu, B.Y.H. and D.Y.H. Pui : *J. Aerosol Sci.*, 6, 249 (1975)
- 29) Keily, D.P. and S.G. Millen : *J. Meteorology*, 17, 349 (1960)
- 30) Olin, J.G., G.J. Sem and D.L. Christenson : *AIHA Journal*, 32, 209 (1971)
- 31) Daley, P. S. and D.A. Lundgren : *AIHA Journal*, 36, 518 (1975)
- 32) Heertjes, P.M. *et al.* : *Powder Technol.*, 4, 38 (1970/71)
- 33) Patureaux, T. *et al.* : *ibid*, 8, 101 (1973)
- 34) Heinemann, O. : Zement Kalk Gips, [3], 137 (1972)
- 35) Einav, S.L. Lee : *Rev. Sci. Instrum.*, 44, 1478 (1973)
- 36) Carlson, C.R. and R.L. Peskin : *Int. J. Multi-phase Flow*, 2, 67 (1975)
- 37) Allen, T. and R.M. Patel : *Powder Technol.*, 2, 111 (1968/69)
- 38) Beck, M.S., K.T. Lee and N.G. Stanley-Wood : *ibid.*, 8, 85 (1973)
- 39) Beek, M.S. *et al* : *ibid.*, 2, 269 (1968/69)
- 40) Arundel, P.A. : *Chem. Processing*, 18, [11], 77 (1972)
- 41) 堀内：計測と制御，14，547 (1975)
- 42) 渡辺：粉体工学研究会誌，8，195 (1971)
- 43) 井伊谷ら：化学工学，29，88 (1965)
- 44) Li, Y.T. and S.Y. Lee : *Trans. ASME*, 75, 835 (1953)
- 45) 西見ら，粉体工学研究会誌，11，413 (1974)
- 46) Tipton, D.F. : *Powder Technol.*, 14, 245 (1976)
- 47) Thompson, B.J., J.H. Ward, and W.R. Zinky : *Appl. Opt.*, 6, 519 (1967)

参 考 書

- 1) 井伊谷，増田：『粉粒体プロセスの自動化』，第2章，日刊工業新聞社 (1975)
- 2) Colijn, H. : "Weighing and Proportioning of Bulk Solids", Trans Tech Publications (1975)
- 3) Considine, D.M. : "Process Instruments and Controls Handbook", Mc Graw Hill (1974)

正 誤 表

Vol. 14 No. 1 “シラスのろ過特性”の中で下記の誤りがありましたので，訂正致します。

訂正箇所	誤	正
p. 13 Fig. 6 中	0.578×10^{-3}	$\rightarrow 0.578 \times 10^{-1}$
p. 17 Abstract 中	0.578	$\rightarrow 0.578 \times 10^{-1}$
	0.337	$\rightarrow 0.337 \times 10^6$