粉・粒体中の水分測定用電極

—特殊同心円筒電極—

新井 智一・一条 文二郎

静岡大学工学部 浜松市城北 3-5-1

(昭和42年3月20日受付)

On The Measuring Electrodes for Moisture Content in Powdery and Granular Materials

—Special Concentric Cylinder Electrodes—

Tomokazu ARAI and Bunjiro ICHIJO

(Faculty of Engineering, Shizuoka University, Hamamatsu)

(Received March 20, 1967)

The dielectric method for accurate and rapid measurement of moisture content in powdery and granular materials has been developed as a substitute for a resistance method. By this method is measured the capacitance variation which has a direct relation to specimens inserted in a measuring electrode. In that case, the special concentric cylinder electrode is used, instead of the concentric circle type grid electrode in the previous paper.

This paper deals with the construction of the special concentric cylinder electrode and describes experimental results of both the effect of sampling weight, and the interrelation among length of electrode, dielectric constant and capacitance variation in electrodes with various geometrical constructions.

The performances of various electrodes, in which are inserted glassbeads, granulated sugar, wheat and tablets, are investigated by comparing the dispersions of measured values of capacitance.

Finally, moisture content in granulated sugar and wheat, measured by this method, are described.

1. ま え が き

前報¹⁾においては、穀類その他の粉・粒状物質中の含有水分（以下水分）を迅速かつ精密に測定するために、試料を直接電極に充てんして、電極の静電容量（以下容量）変化を置換法によって求めることを試みた。そのさい、測定用電極としては大形円環格子電極を用いた。この電極では、水分を測定しようとする試料のサンプリング量として数 kg 程度を必要とし、測定値は全体の平均を示すことになる。しかしながら被測定物によっては、サンプリング量として常に数 kg を得ることが困難な場合も多い。

今回は従来の電気抵抗式水分計などと同じように数 g～数百 g 程度のサンプリング量で、その中の水分を精密に測定するための電極として特殊同心円筒電極を

考案したので、この電極の特性を中心にしてその詳細を報告する。

2. 特殊同心円筒電極

2.1 構造

普通の同心円筒電極は Fig. 1 (a) に示すように内

Fig. 1 Concentric cylinder electrodes

* 電気四学会連合大会で発表（昭 41.4, 昭 42.5）

外の電極間に試料を充てんし、内側を高圧 (H. T.) 端子とし、外側を接地 (E.) 端子として用いる。これに対して粉・粒体中の水分測定用電極として考案した特殊同心円筒電極は Fig. 1 (b) に示すような構造のものである。図から明らかなように、普通の同心円筒電極との大きな相異点は (i) 外側電極は絶縁円筒の外側につけられ、試料と直接接触しない。(ii) 外側電極の長さ (l) は内側電極より短い。(iii) 内側電極を E 側、外側電極を H. T. 側として用いる。このようにした理由は、まず第一に試料が液体であれば、普通の同心円筒電極でも適当なシールド板²⁾を用いることによって、電極間に充てんする液体量の影響を除くことができるが、粉・粒体の場合はこのようなシールド板の使用が不可能であるため充てん量の影響を除くことができない。第二には粉・粒体の容量を測定するさい、その測定値のバラツキを極力減少させるためである。

2.2 特性

2.2.1 電極容量 Fig. 1 (b) のように内側電極の外径、絶縁筒の内径、外側電極の内径をそれぞれ r_1 , r_2 , r_3 とし、試料および絶縁筒の比誘電率をそれぞれ ϵ_1 , ϵ_2 、電極の長さを l とすれば、この電極の容量 C は次のようである³⁾。

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\frac{1}{\epsilon_1} \log_e \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\epsilon_2} \log_e \frac{r_3}{r_2}} \quad \dots\dots (1)$$

ただし ϵ_0 は空気の誘電率で 8.855×10^{-12} である。したがって、電極の寸法および絶縁筒の材質がきまれば、(1) 式の分母の第 2 項は定数となり、第 1 項の ϵ_1 の変化を C の変化として検出することができる。絶縁筒の材質として必要な条件は、水を吸収しないこと、高周波損失が小さいこと、室温中で変形しないこと、加工が容易で入手しやすいことなどである。これらの条件に多少の不満はあったが、実験には手軽に加工できる硬質塩化ビニール管を用いた。

電極容量は (1) 式において $\epsilon_1=1$ として求められる。そのさい

Name of electrodes	r_1 [mm]	r_2 [mm]	r_3 [mm]	r_2/r_1	r_3/r_2	l [mm]	L' [mm]	weight of sampling [g]
A	4.7	20.25	24	4.31	1.19	30	70	70
E	5.85	26.0	30	4.45	1.15	〃	〃	115
B	7.65	20.25	24	2.65	1.19	〃	〃	60
F	9.5	26.0	30	2.74	1.15	〃	〃	100
D	6.7	14.0	17	2.09	1.21	〃	〃	20
C	9.5	20.25	24	2.13	1.19	〃	〃	50
G	11.85	26.0	30	2.20	1.15	〃	〃	90

Table 1 Kinds of electrodes

$$\log_e(r_2/r_1) \gg (1/\epsilon_2) \log_e(r_3/r_2) \quad \dots\dots (2)$$

であれば、電極容量は直径比 r_2/r_1 で決まるが、粉・粒体を充てんしたときその容量増加は r_2/r_1 のみでなく、 r_1 および r_2 の大きさによって相異なるから、Table 1 に示すような 7 種類の幾何学的構造の異なる電極を試作し、実験的にその性能を比較検討した。ただし特性については後記のようにこれらのうちの数種のものをあげるにとどめた。表から明らかなように、ビニール管の大きさで決まる r_3/r_2 は 1.15~1.21 の範囲になっているが、各電極によってあまり大きな変化のない寸法のものを選んだ。なお以下に述べる実験結果において、電極名のアルファベットにダッシュを付けたものは、電極を測定回路に接続するさいに内側電極を高圧側、外側電極を接地側にした場合であり、特殊同心円筒電極と容易に比較できるので参考のために実験した。

Fig. 2 は

Table 1 のおのの電極容量を高周波 (2 Mc) の共振回路および低周波 (1000 c/s) の微小容量ブリッジで測定した結果をまとめたものである。共振法の場合は浮遊容量がはいってくるため、ブリッジ法での測定値に比べて数

Fig. 2 Capacities of electrodes

pF 程度増加しているが、いずれの場合も r_2/r_1 によって Table 1 の各電極を次の 3 グループに分けることができる。すなわち A, E 電極 (簡単にグループ I)、B, F 電極 (グループ II) および C, D, G 電極 (グループ III) である。

2.2.2 サンプル量による影響

電極に充てんする試料のサンプル量によって、測定値に大きな相異がでることは実用上好ましくない。そこで、粉・粒体のかわりに均一と考えられる 2 種類の液体 (比誘電率の大きなちがいのあるベンゼン $\epsilon_1=2.28$, 水 $\epsilon_1=80$) を使って電極のサンプル量による影響を調べた

Fig. 3 Effect of liquid-level (1)

Fig. 4 Effect of liquid-level (2)

のが Fig. 3 および Fig. 4 である。Fig. 3 は電極 A の高圧側電極の長さ l と位置のみを図のように変えた場合 ($l=10$ mm), 液面高さ h と容量変化 ΔC_x との関係を示したもので、電極 (A) では $h=30$ mm 以上になれば ΔC_x は飽和するが、電極 (A)' では飽和現象は認められない。電極名に括弧を付けたのは Table 1 のものと l およびその配置が異なるからである。すなわち、特殊同心円筒電極であれば、底面から電極長の 3 倍程度より高く試料を充てんすることにより、サンプリング量の変動の影響をまぬがれることがわかる。なお電極 (A)' では、高圧端子となる内側電極が長いので h と ΔC_x との関係が飽和しないとも考えられる。そこで電極 (A) と同じように、高圧端子の内側電極長を 10 mm とし、接地端子になる外側電極を長くした場合の実験結果が Fig. 4 である。比誘電率の小さい液体では、その傾向がよくわからないが、比誘電率

Fig. 5 Relation between ΔC_x and l

の大きい水 ($\epsilon_1=80$) では、この場合でも ΔC_x の飽和性は認められない。したがって特殊同心円筒電極を使うことによって、ある程度以上のサンプリング量があれば、その影響をさけることができる。

2.2.3 電極長および誘電率と容量変化 特殊同心円筒電極の電極長 l と容量変化 ΔC_x との関係を比誘電率をパラメータとして求めたのが Fig. 5 である。(1) 式の関係から明らかなように、 l にほぼ比例して ΔC_x は増加している。したがって、試料を充てんしたときの容量を増すだけならば、電極長を大きくすればよい。しかしバラツキについては、後に述べるように電極長を大きくするほど増加する傾向が得られている。

Fig. 6 Relation between ΔC_x and ϵ_1

Fig. 6 は試料の比誘電率 ϵ_1 と容量変化 ΔC_x との関係の一例を電極 C および C' (電極 C の極性のみを変えたもの) について液体を使って求めたものである。図から明らかなように $\log \epsilon_1$ と ΔC_x とは比例的関係になっている。この結果は (1) 式を使ってつぎのように説明できる。すなわち、(1) 式を $k_1 \equiv 2\pi\epsilon_0 l$,

$k_2 \equiv \log_e r_2/r_1$, $k_3 \equiv (1/\epsilon_2) \log_e (r_3/r_2)$ とおいて書きなおせば

$$C = \frac{k_1}{\frac{1}{\epsilon_1} k_2 + k_3} \quad \dots\dots (3)$$

となる。したがって ΔC_x は

$$\Delta C_x = \frac{k_1}{\frac{1}{\epsilon_1} k_2 + k_3} - \frac{k_1}{k_2 + k_3} = \frac{k_1 k_2 (\epsilon_1 - 1)}{(k_2 + k_3 \epsilon_1) (k_2 + k_3)} \quad \dots\dots (4)$$

$k_2 \gg k_3$ とすれば

$$\Delta C_x \approx \frac{k_1 (\epsilon_1 - 1)}{k_2 + k_3 \epsilon_1} \quad \dots\dots (5)$$

となる。すなわち、(4) 式あるいは (5) 式が Fig. 6 の関係を示すものである。いま電極 C については、 $k_1 = 1.67$ [pF], $k_2 = 0.755$, $k_3 = 0.0348$ となる。ただし $\epsilon_2 = 5$ とした。これらから ΔC_x を求めると図の細線のようになり、 $\epsilon_1 = 20$ 以下では実測値と完全に一致する。なお $\epsilon_1 = 20$ 以上の比誘電率が大きい場合に実測値と理論値との間に大きな差がでていますが、これは (1) 式の条件としては $l \gg r_1, r_2, r_3$ を満足しなければならないが電極 C についてはこの関係がない。また絶縁円筒として実験では塩化ビニールを用いたが、その比誘電率を $\epsilon_2 = 5$ としたが実測していない。などのためと思われる。また水分を含んだ粉・粒体の見掛けの比誘電率は、高水分の場合をのぞいては 20 以上になることは考えられないから、電極設計にあたっては (4) 式あるいは (5) 式を使って十分である。

3. 容量測定値のバラツキ

3.1 バラツキの定義および極小値

前報¹⁾にも述べたように、粉・粒体中の水分を精密に測定するためには、避けることのできない測定値のバラツキを極力小さくするくふうがなされなければならない。しかし、バラツキを定義しないと比較検討ができないのでつぎのように定義した。いま測定回数 n のコンデンサ・ダイヤル目盛の読みを $x_1, x_2, \dots, x_n$ とした場合、平均値を $\bar{x} = (1/n) \sum_{i=1}^n x_i$ とすれば、標準偏差 σ は

$$\sigma = \sqrt{(1/n) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \dots\dots (6)$$

となる。つぎに偏差容量 $\Delta C_x'$ はダイヤル 1 目盛の容量を a とすれば $\Delta C_x' = \sigma a$, 容量測定誤差 [%] は $\Delta C_x' / C_x$ と粉・粒体の容量 $\Delta C_x = \{x_0 - \bar{x}\} a$ との比 $(\Delta C_x' / \Delta C_x) \times 100$ から求められる。ただし x_0 は粉・粒体を充てんする前のダイヤル目盛である。かように決めれば、測定値の精度を論議するには σ か $\Delta C_x'$ を、

誤差を論議するには $\Delta C_x' / \Delta C_x$ を取りあげればよい。

electrode A, Benzen, $\Delta C_x' = 0.001597$ pF,

$\Delta C_x = 1.9612$ pF, $\Delta C_x' / C_x = 0.0814\%$, $\sigma = 0.644$

Fig. 7 Dispersion of measuring values of capacitance for benzen

被測定試料として粉・粒体を対象とする以上はバラツキは避けられないものであるが、それでは液体ならバラツキはどの程度になるか参考のため調べたのが Fig. 7 である。なお、これから述べる粉・粒体の場合も含めて、その容量測定は筆者らの開発した微小容量測定回路¹⁾を用いた。図から明らかなように、液体としては比誘電率の小さなベンゼンを対象とし、測定電極は電極 A を使った。なお容量測定値が小さいので置換用標準コンデンサとしては津上製作所製のマイクロメータコンデンサ (置換容量 5 pF, 0.0025 pF/deg) を用いた。図の横軸は測定回数、縦軸はマイクロメータコンデンサのダイヤル目盛を示してある。これらの測定値から $\sigma = 0.644$, $\Delta C_x' = 0.001597$ [pF], $\Delta C_x = 1.9612$ [pF], $\Delta C_x' / \Delta C_x = 0.0814$ [%] がえられた。これらの値の中 σ と $\Delta C_x' / \Delta C_x$ は粉・粒体の粒径が無限に細くなったときに液体であると単純に考えれば、これらの値は粉・粒体を対象とする容量測定値から求められるバラツキの極小値であるといえる。

3.2 粉・粒体のバラツキ

この実験の対象した粉・粒体は、ガラスビーズ、グラニュー糖、小麦および糖衣錠などである。このうちガラスビーズは東芝製のもので 1 粒 1 粒は完全球状である。購入したものは GB 103 T, GB 201 M, GB 402 T, GB 404 K, GB 503 K などで、材質は同じであるが、粒径はそれぞれ幅をもっているから、実験に先だちふるい分けを行なって粒径をそろえた。小麦はカナダ産のマントバ 3 号である。糖衣錠は直径が約 11 mm の大粒のものである。

測定にあたっては、粉・粒体を電極に充てん後、台に取り付けた電極ごと 30 sec 程度の時間振動してからその容量値を置換法で求めた。その振動源としてはマッサージ用のバイブレータ (松下電器製 SV-1 形) を使い、振動を与える時間は実験的に決めたものである。

ガラスビーズを実験の対象にえらんだのは、粒子が

glass beads (diameter : 200 μ m)					
name of electrodes	weight of sampling [g]	σ	$\Delta C_x'$ [pF]	ΔC_x [pF]	$\Delta C_x'/\Delta C_x$ [%]
D	45	0.369	0.0284	4.706	0.604
D'	〃	0.260	0.0198	5.198	0.380
C	105	0.022	0.0017	5.191	0.033
C'	〃	0.198	0.0152	5.929	0.256
G	165	0.081	0.0062	5.452	0.114
G'	〃	0.328	0.0252	6.271	0.402
B	115	0.134	0.0103	4.629	0.223
B'	〃	0.259	0.0199	5.206	0.382
F	180	0.059	0.0045	4.760	0.096
F'	〃	0.100	0.0077	5.283	0.146
A	120	0.107	0.0082	3.545	0.233
A'	〃	0.203	0.0156	4.037	0.386
E	195	0.110	0.0084	3.783	0.223
E'	〃	0.067	0.0052	4.167	0.124
concentric circle type grid electrodes	200	0.231	0.0177	1.976	0.894
cylindrical distributed electrodes	210	0.126	0.0020	0.363	0.548
cylindrical grid electrodes	2.0	0.245	0.0039	0.451	0.854

Table 2 Dispersion of measuring values of capacitance for glass beads

glass beads (diameter : 5 mm)					
name of electrodes	weight of sampling [g]	σ	$\Delta C_x'$ [pF]	ΔC_x [pF]	$\Delta C_x'/\Delta C_x$ [%]
D	35	0.333	0.0260	3.138	0.829
D'	〃	0.422	0.0324	3.537	0.917
C	100	0.184	0.0142	4.191	0.338
C'	〃	0.198	0.0152	4.760	0.319
G	165	0.143	0.0110	4.837	0.228
G'	〃	0.191	0.0147	5.468	0.269
B	110	0.180	0.0139	4.083	0.340
B'	〃	0.238	0.0183	4.652	0.393
F	180	0.170	0.0131	4.445	0.295
F'	〃	0.173	0.0133	4.968	0.268
A	120	0.163	0.0125	3.053	0.410
A'	〃	0.328	0.0252	3.522	0.716
E	210	0.192	0.0148	3.522	0.420
E'	〃	0.251	0.0193	3.945	0.489

Table 3 Dispersion of measuring values of Capacitance for glass beads.

完全な球状であり、形状からみた場合の理想的粉・粒体と考えられ、化学工学分野⁴⁾で古くから取り扱われているため、直接水分測定の対象にしたわけではない。このようなガラスビーズのうち粒径の最も小さい 200 mesh と最も大きい直径 5 mm のものを、各

種電極で測定した結果を表にしたのが Table 2 および Table 3 である。これは粒径によって適した電極があると考えたからである。いずれの場合も測定回数は 20 回であり、置換用コンデンサとしては微動ダイヤル付のミゼットコンデンサ (0.077 pF/deg) を用いた。Table 2 から総括的にいえることは、ダッシュの付かない電極すなわち、特殊同心円筒電極のほうが σ および $\Delta C_x'/\Delta C_x$ が小さく、同じ電極グループのものではサンプリング量の多いほうがバラツキは小さくなる。しかし、サンプリング量のあまり変わらない電極 C, B, A や電極 G, F, E の間のバラツキの相異はほとんど認められない。あえて優劣をつけるならば電極容量の小さい電極 A, E が粒径の小さいものの測定に適している。なお欄外には参考のため円環格子電極¹⁾, 円筒分布電極²⁾, 円筒格子電極³⁾ を使用して測定した場合の結果を示してある。これらは、いずれもサンプリング量が同じ同心円筒電極にくらべて多いにもかかわらず、 σ の値は円筒分布電極を除いて大きいし、また $\Delta C_x'/\Delta C_x$ については 3 種の電極とも大きな値になっている。したがって、特殊同心円筒電極はこれら 3 種類の電極に比べて、バラツキが小さくすぐれていることがわかる。Table 3 は手もとにあるガラスビーズ中で粒径が最も大きい試料の結果である。 σ についてはダッシュの付かない電極のほうが小さな値になっているが、 $\Delta C_x'/\Delta C_x$ については、 ΔC_x がダッシュの付かない電極のほうが小さいので電極 C と C', 電極 F と F' とではダッシュの付いた電極 (特殊同心円筒電極) のほうがわずかに小さくなっている。同じ電極グループでは 200 mesh の場合と同じように、サンプリング量の多いほうがバラツキは小さくなっている。しかし、電極グループ間では電極 C, B, A および電極 G, F, E の順にバラツキが大きくなっており、200 mesh の場合とは相異している。したがって粒径の大きなものの測定には電極 C, G が適している。なお Table 2 の σ と比較すると、この表の σ の値のほうがいずれも大きくなっており、また ΔC_x は粒径が大きいと小さくなるので、 $\Delta C_x'/\Delta C_x$ の値についても Table 2 の場合より大きくなっている。すなわち、粒径が大きくなると標準偏差および容量測定誤差は大きくなる。しかしながら、Fig. 8 に示すように、粒径と $\Delta C_x'$ および $\Delta C_x'/\Delta C_x$ との間には明確な関係は認められず、ただ粒径と ΔC_x との間に図示のような関係があるだけである。すなわち、粒径が大きいと充てん率が小さいので粉・粒体の容量 ΔC_x は小さいが、粒径が小さくなるにしたがって充てん率が大きくなり、 ΔC_x は増加する。しかし、粒径が 100 mesh 以下にな

electrode A Glass beads

○ : AC_x' [pF], △ : AC_x [pF], × : AC_x'/AC_x [%]Fig. 8 Relation between AC_x' , AC_x , AC_x'/AC_x and diameter for glass beads

ると充てん率がほとんど変化しなくなるので AC_x は一定値に近づくものと考えられる。

グラニュー糖については同じ程度の大きさのガラスビーズとほぼ同じようなバラツキを示した。

小麦については、見掛けの比誘電率がガラスビーズの比誘電率より大きいために標準コンデンサの置換容量が不足して Table 3 の半分程度の結果しか得られなかったため、それらからは 200 mesh のガラスビーズに似た傾向がわずかに認められたにすぎなかった。

Fig. 9 は小麦の測定に適している電極 A において、その外側電極長 l を変化したときの AC_x , σ および AC_x'/AC_x の変化を実測した例である。この場合は置換コンデンサとしてマイクロメータコンデンサを用いたので σ として大きな数字になっている。図から明らかのように AC_x については、液体で調べた Fig. 5 と同じように l の変化に比例するが、 σ については、 l の短いうちは比例的であるが、ある程度長くなると急増する。したがって、 AC_x'/AC_x も l があまり長くなると急増するようになる。それゆえ、 l をあまり長くすることは σ および AC_x'/AC_x が大きくなるから好ましくなく適当な長さが存在する。

糖衣錠のような粒径が大きく、特殊な形状のものについてのバラツキを求めたのが Table 4 である。参考のために円環格子電極を使用した場合のバラツキを

electrode A, Wheat

Fig. 9 Relation between AC_x , σ , AC_x'/AC_x and l

name of electrodes	weight of sampling [g]	σ	AC_x' [pF]	AC_x [pF]	AC_x'/AC_x [%]
D	25	0.755	0.0581	2.864	2.024
D'	〃	0.660	0.0507	3.230	1.571
C	60	0.392	0.0301	3.068	0.982
C'	〃	0.255	0.0196	3.630	0.540
G	95	0.779	0.0599	3.330	1.800
G'	〃	0.988	0.0760	3.753	2.025
B	65	1.709	0.1314	2.445	5.375
B'	〃	1.744	0.1341	2.945	4.553
F	120	0.314	0.0241	3.168	0.761
F'	〃	0.350	0.0269	3.676	0.732
A	75	0.198	0.0152	2.322	0.655
A'	〃	0.301	0.0232	2.715	0.855
E	135	0.420	0.0323	2.437	1.368
E'	〃	0.505	0.0388	2.753	1.411
concentric circle type grid electrodes	195	1.097	0.0264	0.675	3.918

Table 4 Dispersion of measuring values of capacitance for tablets.

Fig. 10 Histogram for tablets

下欄に示した。なおこの実験に用いた糖衣錠の大きさは直径が約 11 mm, 最大厚さ約 6 mm であり, 100 個の粒子についての重量分布は Fig. 10 に示すようなものであった。電極 B および B' (電極 B の極性のみ異なるもの) 以外は σ も AC_x'/AC_x も円環格子電極より小さい値になっているが, しかし Table 3 の球状粒子に比べると σ および AC_x'/AC_x は数倍程度大きくなっている。また同じ電極グループについては, サンプルング量の多い電極のほうがバラツキは大きく球状粒子の場合と逆の傾向が認められる。これらの点を考慮すると, この電極はこのような大粒の糖衣錠中の水分測定には適当でないと考えられる。

4. 水分測定例

まえがきに記したように, この報告は電極の特性を

主として述べてきたが、1, 2 の粉・粒体について、水分変化を与え、その容量変化を測定した。水分変化は 5 種類の湿度の異なる恒湿槽を用意し、その中に粉・粒体を長期間放置して、それぞれの湿度における平衡水分を与え、水分量は加熱乾燥法によって求めた。また置換コンデンサは 3・1 で用いたマイクロメータコンデンサである。また以下の実験に用いた電極は測定対象に対してバラツキの小さいものを選んだ。Fig. 11 はグラニュー糖についての ΔC_x と水分との関係を示したものである。この試料は水分変化を広く与えることができないので、狭い範囲内であるが、 ΔC_x と水分とは比例している。しかし、 σ (0.00248 pF/deg) が 5.36 あるから測定精度はあまりよくない。円環格子電極Ⅲを用いたときは、 ΔC_x と水分との関係は曲線になった¹⁾。

electrode E, Granulated sugar

Fig. 11 Relation between ΔC_x and moisture content for granulated sugar

Fig. 12 Relation between ΔC_x and moisture content for wheat

Fig. 12 は小麦についての ΔC_x と水分との関係を示した。電極 A と E ではサンプリング量がそれぞれ 70 g と 115 g というように違うが、水分 1 % の変化に対する容量変化はほとんど同じである。ただバラツキの σ および $\Delta C_x'/\Delta C_x$ については電極 E のほうが

A より少し小さな値である。円環格子電極Ⅲでは、電極の定数である $k=0.6$ の場合に 0.216 pF/% という値が得られており、特殊同心円筒電極よりほんの少し感度が高いが、 σ および $\Delta C_x'/\Delta C_x$ はほとんど同じである。したがって小麦の場合は特殊同心円筒電極を用いることによって、大形円環格子電極の 1/10 程度のサンプリング量で、ほぼ同じような測定結果が得られた。

5. あとがき

この研究によって、粉体および粒径の小さな粒体の水分測定用電極としては、特殊同心円筒電極のほうが円環格子電極よりもサンプリング量が少なく、かつバラツキも小さいなどの点ですぐれている。

特殊同心円筒電極であっても、その幾何学的寸法によって、つぎの諸点が相異なる。

(1) 電極容量は電極長 l 、絶縁円筒長 L' が一定であれば r_2/r_1 できまるが、サンプリング量については r_2/r_1 が同じであっても、 r_1, r_2 の小さいほど少なくなる。

(2) 容量測定値のバラツキは、試料の粒径によって適した寸法の電極がある。すなわち、試料が球状粒子の場合は、粒径の小さいものの測定には r_2/r_1 の大きな寸法の電極が、粒径の大きなものの測定には r_2/r_1 の小さな寸法の電極がそれぞれバラツキが小さい。

なお電極の極性については、サンプリング量の影響をのぞくためと、バラツキを小さくするうえから普通の同心円筒電極に行なっているやり方と異なり、外側電極を高圧側、内側電極を接地側にして使用する。

終わりに実験に協力された飯尾元秀君、試料の提供をうけた日清製粉㈱名古屋工場、フジ製糖㈱および第一製糖㈱に謝意を表わす次第である。なお、この研究は昭和 41 年度文部省試験研究費による補助を受けた。

文 献

- 1) 新井・一条：置換法による粒体中の水分の誘電的測定，計測制御学会論文集，3-1，54/61 (昭 42)
- 2) 新井・一条：抽出法を利用した微量水分の誘電的測定，計測と制御，3-3，195/208 (昭 39)
- 3) Kautsch : Kapazitive Meßgrößenumformung Teil II, ATM, 362, 61/66 (März 1966)
- 4) たとえば 森芳郎：粉体工学 (新化学工学講座 IV-1) (1959)
- 5) 新井・一条：粒体水分測定用電極について，電気四学会連合大会，1755 (昭 41)