

粉体の化学(6)粉体の見掛け容積, 空隙率および破壊初期の球粉表面

TSUTSUMI, Yuhbun / KAWAKITA, Kimio / IKEDA, Chihiro /
津々見, 雄文 / 川北, 公夫 / 池田, 千尋 / YAGHI, Hiroyuki
/ 八木, 啓之

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

Bulletin of the Faculty of Engineering, Hosei University / 法政大学工学部
研究集報

(巻 / Volume)

2

(開始ページ / Start Page)

47

(終了ページ / End Page)

53

(発行年 / Year)

1965-05

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00004277>

粉 体 の 化 学

第6報 粉体の見掛け容積, 空隙率および破壊初期の球粉表面

教 授 川 北 公 夫, 助教授 津々見雄文

助 手 池 田 千 尋, 助 手 八 木 啓 之

Chemistry of Powders

[VI] Apparent volume, porosity of powder and the surface observation of initial breakage stage.

Kimio Kawakita, *Professor*

Yuhbun Tsutsumi, *Assistant Professor*

Chihiro Ikeda, *Assistant*

Hiroyuki Yaghi, *Assistant*

1. ま え が き

粉体が粒子の集合体として表わすいろいろな性質のうち, 最も簡単に測定でき, しかも基本的
に重要な性質として見掛け容積と空隙率がある. これらは粉体の性質を記述する際に広く一般に
使用されている.

しかしながら, これらの基本的な性質は測定する条件によっては再現性のある値が得られな
かったり, また一般には条件が異なれば得られる測定値も異なる場合が多い.

現状ではこれらの測定値に及ぼす測定条件の影響, あるいは粉体個々の粒子の物性による影響
などについて未解決の点が多い.

2. 初期見掛け容積

粉体を加圧したり, 衝撃を与えたりすれば, 容積が変化するが, その変化現象を定量的に取扱
う際にまず初期の容積が基準となる. 粉体の初期容積は容積目盛りを施した容器に入れてその目
盛りを読めば測定されるわけであるが, 実際には容器に充てんする方法によって測定値が非常に
変動し, しかも再現性のある測定値が得られないことが多い.

粉体の容積変化における初期の容積を測定する方法は, 粉体を漏斗などにより一定の条件で容
器に流し込む方法や, 粉体を棒でつき固める方法もあるが, これらの方法は再現性に乏しい¹⁾.
また粉体をタッピング圧縮して一定容積に達したときの目盛りを読む方法²⁾, あるいは容器に入
れた粉体を容器ごといったん逆さにする方法³⁾ などが提案されているが, いずれの場合もどの程
度の再現性をもつかの検討はなされていない.

このような問題を解決するために、一定容器にいろいろな粉体をいろいろな方法で充てんし、それぞれ繰返して見掛け容積を測定し、測定値のバラツキの程度を調べた。使用した容器は底面積 1.4 cm^2 、内容約 5 cm^3 のものである。得られた結果の一部は第1表のごときものである。

Table 1. Dispersion of Initial Apparent Volume

Sample	Mark	Mean Value of Specific Initial Apparent Volume (cm^3/g)	Standard Deviation	Coefficient of Variation (%)
Plaster ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) diameter: smaller than $44\ \mu$	A	2.528	0.117	4.61
	B	1.502	0.039	2.60
	C	1.942	0.056	2.89
	D	1.631	0.015	0.94
	E	1.551	0.015	0.99
Plaster ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) diameter: $297 \sim 420\ \mu$	A	1.859	0.010	0.52
	B	1.666	0.014	0.86
	C	1.844	0.017	0.93
	D	1.827	0.009	0.48
	E	1.811	0.014	0.76
Copper (spherical powder) diameter: $88 \sim 125\ \mu$	A	0.192	0.0011	0.59
	B	0.180	0.0011	0.64
	C	0.186	0.0010	0.51
	D	0.185	0.0009	0.48
	E	0.185	0.0009	0.48

Mark A: No load. B: Tapped until constant volume. C: Loaded 10.9 g/cm^2 .

D: Loaded 45.1 g/cm^2 . E: Loaded 80.9 g/cm^2 .

Each datum is obtained from 10 times measurements.

この表よりわかることは、一般に球形の粒子は見掛け容積の測定値にバラツキが少ない。また粒子径の大きい粉体は一般にバラツキが少ないといえる。測定方法によるバラツキの相違は特に「ふわふわ」した粉体の場合に顕著であり、このような場合でも 40 g/cm^2 程度以上の荷重をかければバラツキは比較的少ない。

われわれが粉体の容積変化を問題にする場合に、初期の容積は次の条件をみたす方法で測定すべきであると考える。第1に再現性ある値を得るような方法であること。第2にできるだけ自然におかれた状態に近い値を測定すること、すなわちあまりに加圧充てんされた状態は粉体の初期状態といえない。

それ故に現状では、粉体の初期容積の測定はこの場合 40 g/cm^2 程度の荷重の下で行なわれるのが最も望ましいと考えられる。

3. 粒子形状と空隙率

粉体の初期見掛け容積は粒子形状によって大きく変る。第1報⁴⁾で述べたように粒子が球形で

ある場合にその初期充てんにおける実測の空隙率は 39~40% である^{4),5)}。この値と、任意の粉体の空隙との比をとり、この比の値が1より小さくなる度合いによってその粉体の粒子形状の不規則性の目安にすることができる。

第5報に報告した粉体の錠剤圧縮の実験に際しても、以上の関係がほぼ確認された。その結果を第2表に示す。ただし表中の mesh の数は Tyler mesh による。

Table 2. [A] Porosity of Spherical or Nearly Spherical Powder

Material	Average Particle Diameter (mesh)	Porosity (%)	P_s/P_{obs} ($P_s=39.5\%$)
Copper	60~65	38.5	1.03
	80~100	39.1	1.01
	325~	39.9	0.99
Gun metal	60~65	38.6	1.02
	100~115	38.3	1.03
	150~170	38.1	1.04
	250~270	39.7	1.00
	325~	39.8	0.99
Glass	12~16	40.6	0.97
	16~20	39.6	1.00
	20~24	39.5	1.00
	24~28	39.8	0.99
	28~32	39.8	0.99
	32~35	38.0	1.04
	35~42	40.6	0.97
	42~48	39.4	1.00
	48~60	39.9	0.99
	80~100	39.4	1.00
	170~200	43.9	0.90
	325~	45.2	0.87
Sand	14~20	40.7	0.97
	48~65	46.5	0.85

Table 2. [B] Porosity of Non-spherical Powder

Material	Average Particle Diameter (mesh)	Porosity (%)	P_s/P_{obs} ($P_s=39.5\%$)
NaHCO ₃	115~150	64.0	0.62
	150~200	65.2	0.61
	200~250	66.9	0.59
	250~325	69.0	0.57
	325~	66.8	0.59
Naphthalin	20~48	46.9	0.84
	65~115	53.3	0.74
	150~200	63.3	0.62

Material	Average Particle Diameter (mesh)	Porosity (%)	P_s/P_{obs} ($P_s=39.5\%$)
Stearic acid	65~100	47.3	0.84
	150~200	48.0	0.82
Plaster	100~150	77.3	0.51
	150~200	71.0	0.56
	200~270	68.7	0.58
Crushed glass	20~28	46.5	0.85
	28~35	48.7	0.81
	35~48	51.9	0.76
	48~65	53.4	0.74
	100~150	61.5	0.64
	150~200	61.6	0.64
Boric acid	28~35	44.8	0.88
	65~100	43.9	0.90
	200~270	42.2	0.94
Borax	48~65	54.0	0.73
	150~200	53.3	0.74
	270~	59.3	0.67
Copper	200~250	74.9	0.53
	325~	71.2	0.55
Iron	35~48	66.6	0.59
	100~150	72.9	0.54
	325~	74.6	0.53
Sulphur	170~250	70.3	0.56
Colloidal Silica	325~	96.6	0.41
TiO ₂	325~	79.9	0.49
CaCO ₃	325~	81.5	0.48
Talc	325~	75.5	0.52
ZnO	65~	88.1	0.45
Na-glutamic acid		51.3	0.77
Sugar		59.8	0.66
Lactose	65~	53.0	0.74
Starch (potato)	65~	46.7	0.85

ここで多少問題になるのは [B] 中の Boric acid である。この空隙率比は 1 にかなり近い。すなわち球形粉体の場合に近い。この粒子の顕微鏡観察によれば球に近い塊状の粒子であった。

4. 粒子径と空隙率

等大の球を充てんした場合に、その空隙率は充てん構造に依るもので、理論的には粒子径に無関係のはずである。しかし Roller⁵⁾ や Shapiro⁶⁾ の実験によれば粒子径が小さくなると僅かに空隙率が増加することを認めている。

第2表に示したわれわれの測定では上記の関係がほぼ成立することができる。しかしながら、例えば Plaster のように逆の関係を示す現象もあり、なお今後の検討を必要とすると考えられる。

5. 混合充てんの空隙率

等大の球の充てんによって生じた空隙の中に、より小さな球を充てんすれば、もっと密な充てんを得るはずである。このような大粒径のものと小粒径のものを混合充てんした場合の、混合比率と空隙率変化との関係は Westman⁷⁾ らによって砂の混合充てんの場合が報告されている。彼は粗粉体の容積混合率が約 70% の附近で最も密な充てんが得られると報告している。

著者らの行なった完全に近い球形の銅粉体およびガラス粉体についての結果は、第1図に示すように Westman の結果とはほぼ同様に、粗粉体の容積混合率が約 70% 附近で最も密な充てんとなる。実験は内径 1.5 cm のガラスシリンダーに約 20 cc の乾燥した混合粉体をとったもので、

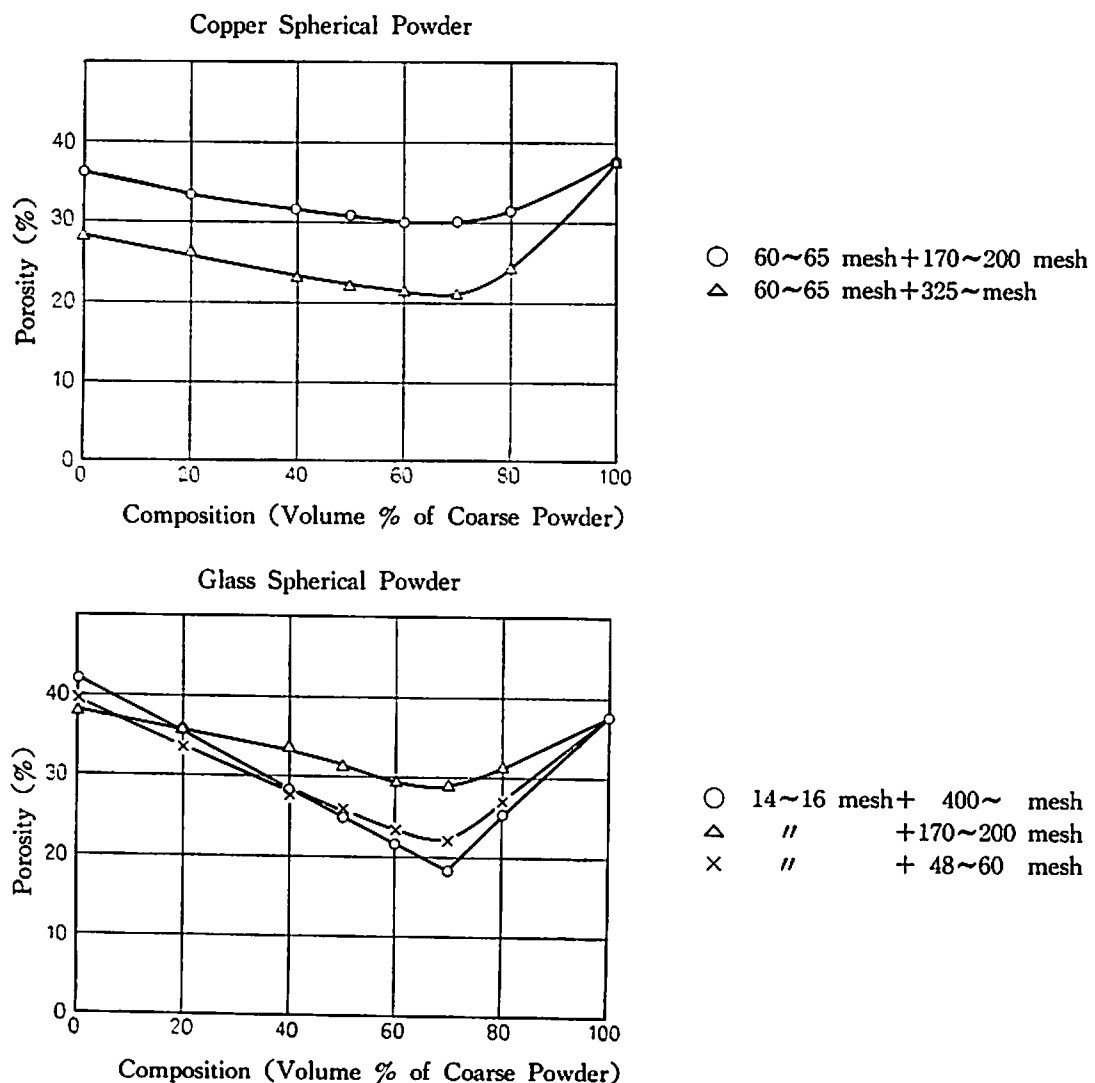


Fig. 1. Packing in the system of large and small spherical powders.

体積一定になるまでタッピングした場合の空隙率を測定した。

6. ガラス球粉の破壊点と空隙率

球形の粒子よりなる粉体の初期充てんにおける空隙率は 40% 附近であることを前に述べたが、球形のガラス粉体を加圧した場合に、破壊をおこす直前の最も密に充てんした状態もほぼ一定の空隙率を示すことがわかった。第 3 表に示したように球形ガラス粉体は、粒子径が小さくなれば破壊に達する圧力は次第に増加する。しかしその際の均衡を保った充てん状態はいずれの場合もほぼ一定の 37% 附近の空隙率を示す。

Table 3. Porosity of Spherical Glass Powder at Breakage Point

Average Diameter (mm)	Breakage Pressure (kg/cm ²)	Porosity at Breakagepoint (%)
1.205	350	36.8
0.920	375	37.3
0.775	360	37.3
0.650	390	37.8
0.545	400	36.0
0.460	435	35.2
0.385	540	37.1
0.324	650	35.7

7. 破壊初期現象における球状粉体の表面

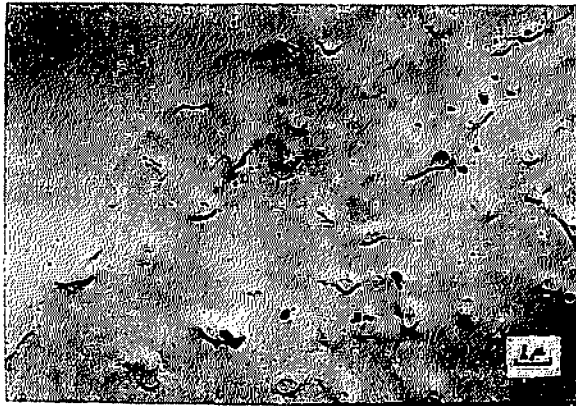
球状粉体の粒子が加圧により破壊する際の表面の電子顕微鏡写真を第 2 図に示す。

図に見られるように、ガラス球粉では先ず表面に星印の斑点割れ (Spot fissure) ができ、これが数多く増加していくことが観察される。一方、砲金あるいは銅球粉では一種の溝割れ (Ditch fissure) が観察される。

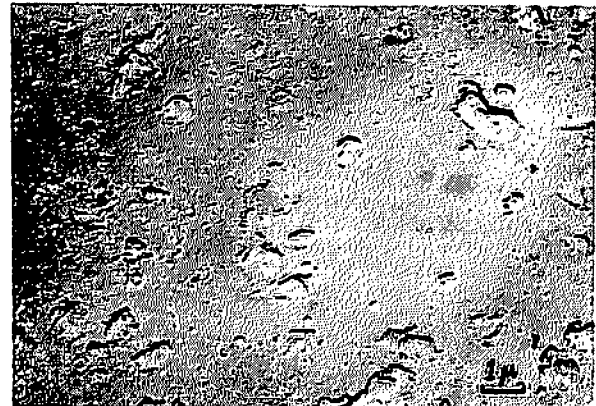
電子顕微鏡写真は日本電子 K. K. の御好意で撮影して頂いた。ここに記して感謝の意を表する。

文 献

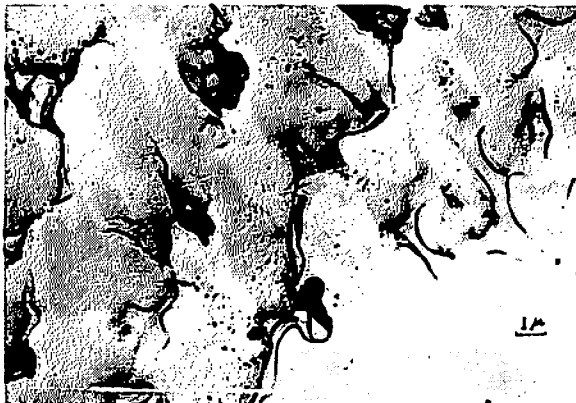
- 1) 久保輝一郎 他共編; 粉体 (理論と応用) p. 212 (1962) 丸善刊.
- 2) H. Kuno, Y. Hayashi; Proc. Fac. Eng. Keio Univ., **6**, No. 22, 6 (1953).
- 3) 種谷真一, 曾根敏磨; 応用物理, **31**, No. 6, 483 (1962).
- 4) 川北公夫; 法政大学工学部研究集報 第 1 号, 22 (1964).
- 5) Paul S. Roller; Ind. Eng. Chem., **22**, 1206 (1930).
- 6) I. Shapiro, I. M. Kolthoff; J. Phys. Colloid Chem., **52**, 1020 (1948).
- 7) A. E. R. Westman, H. R. Hugill; J. Am. Ceramic Soc., **13**, 767 (1930).



Copper (before breakage)



Glass (before breakage)



Copper (breakage point)



Glass (breakage point)

Fig. 2. Electronmicrophotographs of Particles.