

## 220. P. V. A. フィルターの実用化に関する研究

(第3報) 粒径と捕集機構および捕集効率について

○江 角 新一郎・芦 田 敬 三

(科研化学株式会社)

## 目 的

P. V. A. フィルターを実用化するための基礎研究として、従来 *Bacillus cereus* の孢子を使用し、第1報<sup>1)</sup>では空気線速と圧力損失および捕集効率との関係、第2報<sup>2)</sup>ではフィルターの孔径および厚さの影響について検討した結果を報告した。今回は捕集する粒子の直径  $d_p$  を変化させた場合の影響を調べるため、*B. cereus* の孢子以外に酵母菌体および麹菌の孢子など、大きさの異なる三種類の微生物を用いて、粒子の大きさと捕集機構、捕集効率および再飛散の現象などの関係について検討した。

## 方 法

実験に使用した微生物の種類と大きさは、つぎの通りである。

細菌：*Bacillus cereus* の孢子 粒径  $d_p=0.5\sim 1\mu$   
 麹菌：*Aspergillus oryzae* の孢子 "  $d_p=7\sim 8\mu$   
 酵母：*Saccharomyces cerevisiae* "  $d_p=5\mu$

## 1. 菌液調整法

1) *B. cereus*

孢子懸濁液の調整法は第1報と同じ。

2) *Sacch. cerevisiae*

培地組成	グルコース	5%	} pH 5.0
	ペプトン	2 "	
	肉エキス	2 "	
	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.5 "	
	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.1%	

この培地 100ml に slant から1白金耳接種し、28°Cで7日間振盪培養した菌体を使用する。菌液は遠心分離し、生理食塩水で洗滌後稀釈して、トーマの血球計および平板培養法によりあらかじめ菌濃度を測定してから使用する。

3) *Asp. oryzae*

醸造試験所の米麹を使用し、Tween-80 の0.1%水

溶液に懸濁稀釈して用いる。孢子濃度は酵母の場合と同様に血球計および平板培養であらかじめ計測しておく。

2. 捕集効率  $\bar{\eta}$  の測定

測定装置は前報(第2報)と同様で、P. V. A. 沪材の孔径  $d_e$  は  $60\sim 80\mu$  と  $150\sim 200\mu$  の2種類のものを使用し、空気流の見かけの線速  $V_s$  を  $2\sim 200$  cm/sec の間で種々変化させて、大きさの異なる前記3種類の菌の捕集効率を測定した。沪材の厚さ  $L$  は  $d_e=60\sim 80\mu$  の場合 3mm,  $d_e=150\sim 200\mu$  の場合 2mm のものを使用した。

酵母の場合、フィルターの二次側に出て来た菌を衝突法によって捕集するシャーレの中の培地は、グルコース1, ペプトン0.5, 肉エキス0.5%の寒天培地である。捕集した後28°Cで36~40時間培養して生育して来るコロニーの数を計測することにより、捕集効率を計算する。

麹菌の場合、シャーレには Czapek 寒天培地を使用し、30°C, 40時間後のコロニー数を計測する。

## 結 果

沪材の孔径  $d_e=150\sim 200\mu$  の場合、三種類の菌について空気線速  $V_s$  と捕集効率  $\bar{\eta}$  の関係を Fig. 1 に示した。この図から明らかなように、線速  $V_s$  の低い所でも孔径  $d_e$  が大きいため、拡散捕集効果は全く認められない。接触附着領域での捕集効率は、 $d_p=0.5\sim 1\mu$  の *B. cereus* では約40%,  $5\mu$  の酵母では70~80%,  $7\sim 8\mu$  の麹菌孢子では85~90%と、粒径  $d_p$  が大きくなるほど、捕集効率は良くなっている。慣性捕集の効果も、 $d_p$  の増大とともに著しくなり、max. の値も高く、また再飛散の現象も比較的遅い線速の所から始まるようである。したがって peak の位置も  $d_p$  の増加とともに図の左の方にずれて来ている。

つぎに  $d_e=60\sim 80\mu$  の場合、*B. cereus* と酵母の二種類の菌について、 $V_s$  と  $\bar{\eta}$  の関係を検討した結果を

Fig. 2 に示した. *B. cereus* の場合, 低速で拡散捕集の効果が認められるのに対し, 酵母ではこの効果は全く認められず, ほとんど大部分が慣性捕集のみのものである.  $d_p$  の増大によって,  $\bar{\eta}$  が上昇すること, および peak が左にずれることは前の場合と同様であるが,  $\bar{\eta}$  の値が 99.9999% 付近では, 効率が良過ぎて二次側の菌数は多くの場合, ほとんど零になり正確な  $\bar{\eta}$  を測定することが困難であるから, max. の値は不明確である.

考 察

以上粒径  $d_p$  の異なる三種類の菌について線速  $V_s$  を変えた場合の捕集効率  $\bar{\eta}$  の値の変化から, P.V.A. フィルターの捕集機構<sup>9)</sup>について考察して見たい.

1. 拡散捕集

拡散による捕集は 線速  $V_s$  が遅い場合, 粒子が濾材層を通過する際, Brown 運動によって移動して濾材に接触し捕集される機構である. したがって粒子の Brown 運動による移動距離  $Z$  が大きいほど, 接触捕集される確率も大きくなり拡散捕集効率は良くなるはずである. Brown 運動による粒子の移動距離  $Z(\text{cm})$  は, 大気圧下において次式で表わされる.

$$Z = (2\theta D)^{\frac{1}{2}} = \left( \frac{2\theta RT}{3\pi\mu N d_p} \right) C^{\frac{1}{2}}$$

ただし  $\theta$  : 時間 (sec)

$D$  : 拡散定数

$R$  : 気体定数

$T$  : 絶対温度 ( $^{\circ}\text{K}$ )

$\mu$  : 気体の粘度 ( $\text{g}/\text{cm}\cdot\text{sec}$ )

$N$  : Avogadro 数 ( $1/\text{mol}$ )

$d_p$  : 粒径 (cm)

$C$  : Cunningham の補正係数

この式から粒径  $d_p$  と Brown 運動による移動距離  $Z$  を求め, さらに各空気線速の場合の濾材層通過所要時間中における Brown 運動による移動距離  $Z'$  を求めた結果が, Table 1 である. この表から  $d_p = 1\mu$  の粒子の場合,  $V_s = 3\text{ cm}/\text{sec}$  で濾材層通過時間中における  $Z' = 2.2\mu$  となり,  $d_e = 60\sim 80\mu$  の P.V.A. 濾材では, この附近から拡散捕集効果が現われ始めるようである. したがって同じく  $d_p = 1\mu$ ,  $V_s = 3\text{ cm}/\text{sec}$

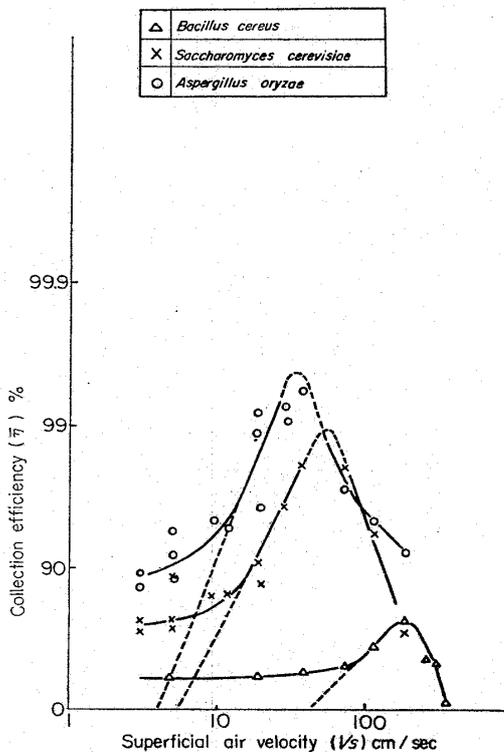


Fig. 1. Effect of  $d_p$  on  $\bar{\eta}$  ( $d_e = 150\sim 200\mu$ ,  $L = 2\text{mm}$ ).

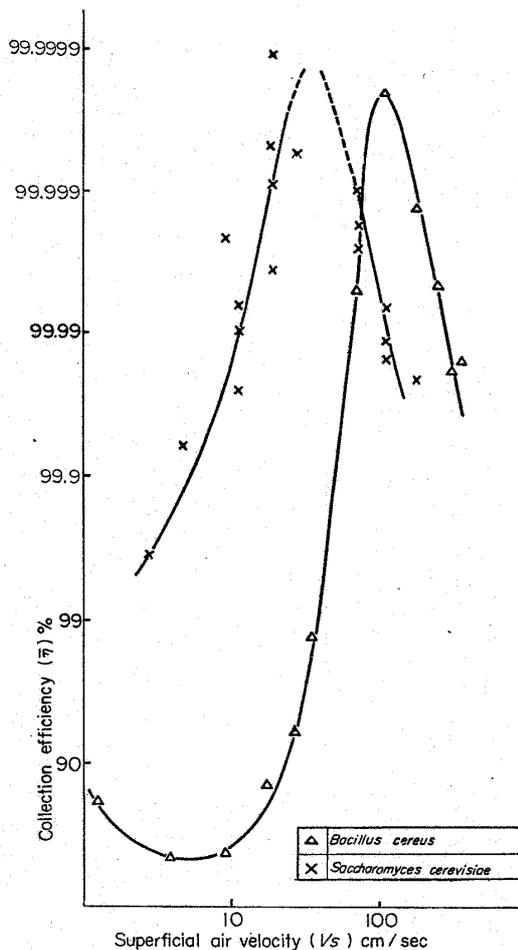


Fig. 2. Effect of  $d_e$  on  $\bar{\eta}$  ( $d_e = 60\sim 80\mu$ ,  $L = 3\text{mm}$ ).

(130)

Table 1. 粒径  $d_p$  と Brown 運動による移動距離  $Z$  との関係.

粒 径 $d_p(\mu)$		0.1	0.5	1.0	2.5	5.0	1.0
Cunningham の補正係数 $C(\text{at } 20^\circ\text{C})$		2.86	1.32	1.16	1.06	1.03	1.02
Brown 運動による移動距離 $Z(\mu/\text{sec})$		37	11.2	7.5	4.5	3.1	2.2
沪材層 (厚さ 2.5mm) 通過 所要時間中 における Brown 運動による移 動距離 $Z'(\mu)$	空気線速 (cm/sec)						
	沪材層通過 時間 (sec)						
	10	5.9	1.8	1.2	0.7	0.5	0.35
	3	10.7	3.2	2.2	1.3	0.9	0.6
1	18.5	5.6	3.75	2.25	1.55	1.1	
0.5	26.2	7.9	5.3	3.2	2.2	1.6	

でも,  $d_c=150\sim 200\mu$  の場合には拡散捕集効果は現われなくなり, また酵母のように  $d_p=5\mu$  と大きくなれば,  $V_s=3\text{ cm/sec}$  の場合でも  $Z'=0.9\mu$  程度にしかならないので, 拡散捕集効果が現われないのは当然であろう.

## 2. 慣性捕集

慣性による捕集は, 粒子が慣性力で直進し, 空気の流線から外れて衝突分離される機構であって, 粒径  $d_p$  が大きくまた線速  $V_s$  が早いほど, 顕著に現われてくる. この効果が現われ始める限界の流速を  $V_c$  とすれば, 繊維質沪材の場合には

$$V_c = 1.125 \frac{\mu d_f}{C \rho_p d_p^2} \quad \text{ただし } d_f: \text{繊維の直径} \\ \rho_p: \text{粒子の密度}$$

なる関係<sup>4)</sup>がある. また木村, 井伊谷<sup>5)</sup>らは実験的に

$$V_c = \frac{18\mu}{C \rho_p d_p}$$

なる関係式を得ている. この式は  $d_f$  を含まないので, 今この式を用いて粒径  $d_p$  と慣性捕集限界流速  $V_c$  との関係を求めると Table 2 のようになる. ただし  $\rho_p=1$  として計算した. Fig. 1 において, 慣性捕集領域の直線部分を延長した点線が, 横軸と交わる点における  $V_s$  の値が, それぞれの  $d_p$  の場合の  $V_c$  の値を示すことになり, これら三つの値は Table 2 の計算値とかなり良く一致している.

## 3. 接触附着

Table 2. 粒径  $d_p$  と慣性捕集限界流速  $V_c$  との関係.

粒 径 $d_p(\mu)$	0.5	1	5	7	10
慣性捕集限界流速 $V_c(\text{cm/sec})$	49.1	27.9	6.3	4.5	3.2

接触による捕集は, 線速  $V_s$  の影響を余り受けないので前記二つの効果の現われない中間的な線速の範囲で, 比較的顕著な効果を示し, しかも粒径  $d_p$  が大きいほどこの効果も大きくなるのは当然であろう.

## 4. 再飛散

この現象はいったん捕集された粒子が空気流によってふたたび飛散するのか, あるいは初めから捕集されないのか, いずれであるかは断定できないが, この現象も粒径  $d_p$  が大きいほど, 比較的低い線速から始まる現象であることは Fig. 1 および Fig. 2 から, 明らかである. また孔径  $d_c=60\sim 80\mu$  以下の沪材では, 線速  $V_s=100\text{cm/sec}$  以下の場合,  $\eta$  の値は,  $d_p=5\mu$  の酵母の場合でも 99.99% 以上を示しているのので, 実用上の線速 80cm/sec 附近以下では, いかなる菌の場合にも安全と考えられる.

終りに御指導を賜った東大藪田貞次郎名誉教授, 東大応用微生物研究所合葉修一教授, 科研化学(株)開発部長久保秀雄取締役, 研究部長中山弘美取締役, ならびに藤田重雄研究部次長に厚く感謝の意を表す. 本研究の発表を許可された科研化学(株)長谷川長治社長に厚く御礼申上げる. また麹菌を分与して戴いた醸造試験所菅間誠之助技官に深謝する.

## 文 献

- 1) 江角, 芦田: 本誌, **43**, 547 (1965).
- 2) 江角, 芦田: 本誌, **44**, 529 (1966).
- 3) 合葉: 「醗酵工学」続新化学工学講座 24 (日刊工業新聞社) (1960).
- 4) Aiba, S., Humphrey, A. E., Millis, N. F.: "Bioc-  
hemical Engineering", p. 225,  
University of Tokyo Press (1965).
- 5) 木村, 井伊谷: 化学工学, **29**, 539 (1965).