of $1.14 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$. For adsorption of en ion, the experimental amount in the en-nickel system agreed with amount estimated by the equation obtained in the en system, and there was no appreciable interaction between the two components adsorbed.

液と同密度の粗粒子を含む均一懸濁液の攪拌動力†

高瀬 均・左波一彦*

富山大学工学部 物質工学科††

固体粒子が槽内で均一に懸濁した均一懸濁液の攪拌動力特性は、これまで大きく二つのパターンに分けて検討されてきた。一つは、懸濁粒子の平均径が 0.42 mm 以下のような微粒子懸濁液の場合である (Endo, 1956; Nagata, 1975)。この場合、液中の粒子体積濃度が $15 \text{ vol} \%$ 以下のとき、攪拌動力は液に対する攪拌動力推算式において、液密度の代わりに懸濁液の平均密度を代入することによりほぼ推算できる。これに対し、より粒子径の大きな粗粒子を含む懸濁液の場合には、攪拌動力は上記の方法による推算値よりも大きな値となる (Kagaku Kogaku Kyokai (ed.), 1988)。この原因の一つとしては、粒子径の増大につれて、粒子と攪拌翼面との衝突による抵抗が大きくなることが指摘されている。一方、著者ら (Takase, *et al.*, 1992) は、均一懸濁状態の攪拌槽内での湿式造粒において、平均造粒粒子径が 0.5 mm を超えるようになると、造粒粒子径の増大につれての攪拌動力の増大傾向が顕著になることを示した。このように、均一粗粒子懸濁液の攪拌においては、粒子の懸濁条件の違いが攪拌動力に大きく影響を与えることが指摘されているが、これまで両者の関係についての詳細な検討はほとんど行われていない。

本研究では、均一粗粒子懸濁液の攪拌動力特性についての基礎研究として、密度が液密度に等しく、平均粒子径が $0.46 \sim 2.19 \text{ mm}$ である粗粒子を含む懸濁液を攪拌槽内で攪拌し、その攪拌動力に及ぼす、懸濁粒子の粒子径分布、液中における粒子体積分率および攪拌速度の影響について検討した。

1. 実験装置および方法

実験に用いた攪拌装置**を Fig. 1 に示す。攪拌槽は内

径 10 cm 、高さ 10 cm の円筒槽で、槽壁には幅 1.4 cm の邪魔板が 4 枚設けてある。攪拌翼は翼径 d_i が 6 cm 、翼幅が 1 cm の櫂型 4 枚羽根で、攪拌速度 n を $15, 20, 25 \text{ s}^{-1}$ と変えた。槽内温度を 30°C 一定とした。攪拌動力 P を歪みトルク計 (共和電業製, TP-5 KCE) により測定した。篩分けにより得られた大きさの異なる 5 種類の球形スチロポール粒子 (三菱油化バーディッシュ製) を単独あるいは 2~5 種類の粒子を混合して、同密度の $4.5 \text{ wt}\% \text{-NaCl}$ 水溶液 (30°C , $\rho_t = 1.03 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $\mu_t = 0.863 \text{ mPa} \cdot \text{s}$) 中に懸濁させて、均一粗粒子懸濁液を調整した。スチロポール粒子の物性を Table 1 に示す。以下において、大きさの異なるこれら 5 種類の粒子を成分粒子と呼ぶことにする。各成分粒子の代表径 d_p を、それぞれの粒子中の最大径と最小径との算術平均径とした。成分粒子に、 d_p の小さいほうから順に 1, 2, 3, 4, 5 番と番号を付けた。N 種類の成分粒子を混合した場合には、その代表径を Eq. (1) で求められる体積平均径 d_v とした。

$$d_v = \frac{\sum_{i=1}^N d_{pi} w_i / \rho_p}{\sum_{i=1}^N w_i / \rho_p} = \frac{\sum_{i=1}^N d_{pi} v_i}{\sum_{i=1}^N v_i} \quad (1)$$

ここで、 d_{pi} , v_i , w_i は、 i 番成分粒子の粒子径、体積、および重量である。懸濁液中での粒子体積分率 ϕ を、 $0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ と変えた。懸濁させる粒子のランダム密充填における粒子充填率 ϕ_p を、空気中においてタッピング法 (Kawakita, *et al.*, 1974) により測定した。

2. 実験結果および考察

粒子径分布の異なる各懸濁粒子 I—a—V—b の粒子充填率 ϕ_p の測定結果を、Table 2 に示す。ここで、 x_i は全懸濁粒子中に占める i 番成分粒子の体積分率である。

† 1995 年 9 月 28 日受理

†† 〒930 富山市五福 3190

* 三機工業(株)

** 著者ら (Takase, *et al.*, 1992) が湿式造粒に用いた攪拌槽造粒器とはほぼ同型のものである。

Table 1 Properties of Styropor particle

No.	Size range [mm]	d_p [mm]	ρ_p [kg·m ⁻³]
1	0.42~0.50	0.46	1.03×10^3
2	0.59~0.71	0.65	
3	0.84~1.00	0.92	
4	1.19~1.41	1.30	
5	2.00~2.38	2.19

Fig. 1 Agitation tank

Φ_p は、単一成分粒子系の場合が約 0.63 と最も小さく、最大値は 0.709 となった。

Fig. 2 に、液基準の搅拌レイノルズ数 $N_{Re} (= \rho_l n d_i^2 / \mu_l)$ 一定の下での、動力数 $N_p (= P / (\rho_s n^3 d_i^5))$ と液中の粒子体積分率 Φ との関係を示す。動力数 N_p は、 Φ が大きくなるにつれて増大するが、特に液中に占める粒子体積の割合が大きい範囲での増大割合が大きい。これは、搅拌動力 P が、懸濁粒子の運動可能な領域の大きさに強く影響されることを示している。 Φ の N_p への影響は、粒子径 d_p が大きいほど顕著となった。一方、本研究を通じて、 Φ , d_p がほぼ同じ値でも懸濁粒子の粒子充填率 Φ_p が大きくなるにつれて、 N_p が減少する傾向が見られた。これは、懸濁液単位体積中での粒子のかさ体積 Φ / Φ_p の値が小さくなるにつれて、 N_p が減少することを示している。

懸濁液の搅拌動力は、回転する搅拌翼面が懸濁液から受ける抵抗力に対応する。上記の結果より、均一粗粒子懸濁液中で回転する搅拌翼面が受ける抵抗力は、懸濁液単位体積中での粒子の可動領域の大きさに相当する値 $1 - \Phi / \Phi_p$ 、および懸濁粒子の平均径 d_v により大きく影響されるものと考えられる。これらの結果は、既報 (Endo, 1956; Nagata, 1975) による微粒子懸濁液の搅拌動力特性とは大きく異なっている。なお、本研究での N_{Re} の変化範囲である $6.43 \times 10^4 \leq N_{Re} \leq 1.07 \times 10^5$ では、槽内が 4.5 wt%-NaCl 水溶液のみの場合の動力数 $N_{p0} (= P / (\rho_l n^3 d_i^5))$ は 2.2~2.3 とほぼ一定値を示し、粒子懸濁液に対する動力数 N_p も N_{Re} の違いによる変化は見ら

Table 2 Packing fraction of suspended particles

Suspended particles	x_1 [—]	x_2 [—]	x_3 [—]	x_4 [—]	x_5 [—]	d_v [mm]	Φ_p [—]
I - a	1.0	0	0	0	0	0.46	0.631
I - b	0	1.0	0	0	0	0.65	0.638
I - c	0	0	1.0	0	0	0.92	0.638
I - d	0	0	0	1.0	0	1.30	0.628
I - e	0	0	0	0	1.0	2.19	0.634
II - a	0.8	0	0	0	0.2	0.81	0.654
II - b	0.6	0	0	0	0.4	1.15	0.690
II - c	0.4	0	0	0	0.6	1.50	0.706
II - d	0.265	0	0	0	0.735	1.73	0.709
II - e	0.2	0	0	0	0.8	1.84	0.697
III - a	0.3	0	0.4	0	0.3	1.16	0.681
IV - a	0.4	0.3	0.2	0.1	0	0.69	0.651
IV - b	0	0.1	0.2	0.3	0.4	1.52	0.659
V - a	0.1	0.2	0.4	0.2	0.1	1.02	0.655
V - b	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.10	0.672

Fig. 2 Relationship between power number N_p and volume fraction of particles in suspension Φ at $N_{Re} = 1.07 \times 10^5$

(a): suspension of monocomponent particles
(b): suspension of multicomponent particles

れなかった。

Fig. 3 に、均一粗粒子懸濁液に対する動力数 N_p と液のみの場合の動力数 N_{p0} との比 N_p / N_{p0} と $1 - \Phi / \Phi_p$ との関係を示す。 $1 - \Phi / \Phi_p$ の N_p / N_{p0} への影響は、懸濁粒子径 d_v の大きさにより異なり、また $1 - \Phi / \Phi_p$ が小さくなるにつれて N_p / N_{p0} が増大する傾向が見られる。一方、 $1 - \Phi / \Phi_p$ が 1 に近づくとき N_p / N_{p0} も 1 に漸近し、粒子体積分率 Φ が小さくなるにつれて N_p が N_{p0} に近づくことを示している。このような傾向は他の実験条件においても同様に見られ、これより次式の関係が得られる。

$$N_p / N_{p0} = (1 - \Phi / \Phi_p)^4 \quad (2)$$

Fig. 3 Relationship between N_p/N_{p0} and $1-\Phi/\Phi_p$ at $N_{Re}=1.07 \times 10^5$
 (a) : suspension of monocomponent particles
 (b) : suspension of multicomponent particles

ここで、べき数 A は負の値を持ち、懸濁粒子径 d_v の大きさによりその値が異なる。Fig. 4 に、 $|A|$ と d_v との関係を示す。 $|A|$ は d_v が大きくなるにつれて増大し、両者の関係として Eq.(3) が得られ、Eq.(3) より A と d_v との関係として Eq.(4) が得られる。本研究の範囲内において、

$$|A| = 12.3 d_v^{0.49} \quad (3)$$

$$A = -12.3 d_v^{0.49} \quad (4)$$

動力数の測定値より計算される N_p/N_{p0} の値は、ほぼ Eq.(2) の右辺より求められる計算値 $\times (1 \pm 0.1)$ の範囲内にあることを確認した。

以上の結果より、平均粒子径が 0.46~2.19 mm の液と同密度の粗粒子を含む均一懸濁液の攪拌動力特性は、Eqs.(2), (4) により表される。

Nomenclature

A = variable	[-]
d_i = impeller diameter	[m]
d_p = particle diameter	[m]
d_v = volume mean diameter of particle	[m]

Fig. 4 Relationship between $|A|$ and d_v

N = variable	[-]
N_p = power number $(=P/(\rho_s n^3 d_i^5))$	[-]
N_{p0} = power number $(=P/(\rho_i n^3 d_i^5))$	[-]
N_{Re} = Reynolds number $(=\rho_i n d_i^2/\mu_i)$	[-]
n = impeller speed	[s ⁻¹]
P = power	[W]
v = volume	[m ³]
w = weight	[kg]
x = volume fraction in suspended particles	[-]

μ_i = viscosity of 4.5 wt%-NaCl aqueous solution [Pa·s]

ρ_i = density of 4.5 wt%-NaCl aqueous solution [kg·m⁻³]

ρ_s = density of suspension [kg·m⁻³]

Φ = volume fraction of particles in suspension [-]

Φ_p = packing fraction of suspended particles [-]

<Subscript>

i = number of component particle

Literature cited

- Endo, K.; "Eki·Eki, Ko·Ekikei Kakuhanseyohidouryoku No Suitei", *Kagaku Kogaku*, **20**, 632-633 (1956)
 Kagaku Kogaku Kyokai (ed.); *Kagaku Kogaku Benran*, 5th ed., p. 908, Maruzen, Tokyo, (1988)
 Kawakita, K., M. Koishi and S. Taneya; *Funtai Kogaku* (Kisohen), p. 99, Makishoten, Tokyo, (1974)
 Nagata, S.; *Mixing*, p. 64, Kodansha, Tokyo, (1975)
 Takase, H., K. Sanami and M. Sugimoto; "Change in the Impeller Torque with the Progress of Spherical Agglomeration in an Agitated Vessel", *J. Soc. Powder Tech., Japan*, **29**, 269-275 (1992)

Power Consumption of Agitating Impeller in Uniform Coarse Suspension with No Difference in Density between Particles and Liquid

Hitoshi Takase and Kazuhiko Sanami*

Dept. of Materials Sci. and Eng., Toyama Univ., Toyama 930

Key Words: Agitation, Uniform Coarse Suspension, Power Number, Particle Size Distribution, Volume Fraction, Packing Fraction

The power consumption characteristics of an agitating impeller in a uniform suspension, in which coarse particles with the same density as that of the liquid were suspended, were investigated. Power consumption was measured under various conditions: particle size distribution of suspended particles; volume fraction of particles in suspension; and impeller speed.

It was found that power number increased with increasing mean diameter of particles and volume fraction of particles in suspension, while power number decreased with increasing packing fraction of particles. In the range of Reynolds number N_{Re} , $6.43 \times 10^4 \leq N_{Re} \leq 1.07 \times 10^5$, the power number did not change with N_{Re} . The empirical formula, which shows the relationship between power number and suspending condition of particles, was obtained.

* Sanki Engineering Co., Ltd.

クロマト法による生物活性炭層における微生物活性の評価†

王 建中・迫田章義・鈴木基之

東京大学 生産技術研究所††

緒 言

生物活性炭 (BAC) 処理は高度上水処理方法の一つとして注目されている。BAC 処理は通常の粒状活性炭処理に比べ、層内に繁殖した微生物による有機物の直接的な生物分解や間接的な分解 (生物再生) によって、水処理容量は大きくなり、活性炭の寿命がかなり延びる (Chudyk and Snoeyink, 1984; De Laat, *et al.*, 1985; Speitel, *et al.*, 1989)。さらに、微生物による分解作用と活性炭の吸着作用を組み合わせることにより、トリハロメタン前駆物質等の微量難分解有機物やアンモニア態

窒素の除去が可能で、安定で効率的な処理ができるといふ報告も多い (Kurosawa, *et al.*, 1988a and 1988b), (Wang, *et al.*, 1986)。しかしながら、BAC 処理のメカニズムに関しては、実用化に向けて、これから解明しなければならない点が多く残されている (Sanada, *et al.*, 1992)。BAC 処理の機構の解明もそのひとつであることから、著者らは、BAC 処理における有機物の生物分解と吸着の挙動を別々に分離して解析するために、クロマト法モーメント解析の応用を検討してきた (Suzuki and Sohn, 1989; Wang, *et al.*, 1996)。

BAC 処理における有機物の挙動は、通常の粒状活性炭処理の場合とは基本的に異なるものと考えられる。前報 (Wang, *et al.*, 1996) において、グルコースのパルスを BAC 層に導入した場合、出口でのパルス応答として、グ

† 1995 年 10 月 17 日受理

†† 〒106 港区六本木 7-22-1