

交流電界の作用による油中粒子の凝集 (凝集機構についての検討)

Coagulation of Particles in Oil under an A.C. Electric Field (Examination of Coagulation Mechanism)

正 柳田秀記 (豊橋技科大)

○ 学 今川智哲 (豊橋技科大)

Hideki YANADA, Toyohashi University of Technology, Tempaku-cho, Toyohashi
Tomoaki IMAGAWA, Toyohashi University of TechnologyKey Words : Electrostatic Filtration, A.C. Electric Field, Coagulation, Contaminant Particle,
Electrical Double Layer, Zeta Potential

1. 緒 言

著者らは、より高性能な静電フィルタを開発するための一つの方法として、交流電界を利用して微細な汚染粒子を凝集・粗大化させることを検討しており、凝集促進に及ぼす交流電界の強さと周波数、速度勾配などの影響を調べてきた^{(1)~(4)}。凝集促進には速度勾配の存在が重要であり⁽¹⁾⁽²⁾、凝集に適した速度勾配の範囲が存在する⁽⁴⁾、凝集は粒子の振動振幅に依存する⁽²⁾⁽³⁾、また、高電界の印加は凝集促進には必ずしも有利ではない⁽⁴⁾、などの結果を得ている。しかしながら、実験条件が限られており、凝集の振動振幅への依存性や凝集と電界強度との関係についてはまだ因果関係が明白ではなく、凝集の機構を解明するには至っていない。

そこで本研究では、凝集の機構を解明することを目的として、電界強度や液体の粘度などを変化させて実験し、凝集の機構について検討した。

2. 実験装置と方法

2.1 実験装置 図1は本研究で用いた実験装置の概略を示したものである。内側円筒は鋼製で、表面をバフ研磨した後メッキ処理を施した。外側円筒はアクリル製であり、その内面に透明導電性フィルムを密着させた。両円筒表面の間隔は1.9mmである。テラー渦の発生を防ぐため、外側円筒をDCモータにより回転させて、円筒間にジェット流を形成する。本実験では速度勾配を $4s^{-1}$ で一定とした。

2.2 実験方法 表1に示す市販の作動油2種類に直径 $4\mu m$ のシリカ粒子を $0.5g/l$ の濃度で混入した試料油を円筒間に注入し、DCモータの回転速度を所定の値に設定した後、交流高電圧電源(60Hz)により所定の電圧を円筒電極間に印加した。CCDカメラを内蔵した顕微鏡とVTRを用いて、電界印加後所定の時間間隔で粒子の凝集状況を記録した。電界強度、液体の粘度、粒子のゼータ電位を変えて実験を行った。

Table 1 Physical properties of test oils at 305K

Test oil	μ (Pas)	σ (S/m)	ζ_m (mV)
Oil 1	4.75×10^{-3}	8.2×10^{-12}	181, 103, 71
Oil 2	9.81×10^{-3}	1.0×10^{-11}	141, 87, 50

3. 実験結果と考察

図2は試料油2について凝集の進行状況を示した実験結果である。 N_t/N_0 は電界印加 t 時間後と電界印加前の凝集体個数濃度の比を示している。時間の経過とともに凝集体の個数

濃度が減少しており、凝集が進行していくことがわかる。図中には4種類の交流電界強度 E での実験結果が示してあるが、電界強度が高くなると逆に凝集の進行が遅くなるという結果が得られた。

図3は $t=4min$ における凝集の進行状況を用いて、凝集に及ぼす電界強度の影響を示したものである。油1では $E=1 \sim 1.5kV/mm$ 付近で凝集が最も促進され、油2では凝集進行のピークは $E=1.5kV/mm$ 以上にあることがわかる。

図4は、図3の結果を粒子の平均振動振幅 $\bar{x}_p$ を用いて整理したものである。油1では $\bar{x}_p$ が大体 $2 \sim 4\mu m$ で、油2では $2\mu m$ 前後で凝集が促進されやすいことがわかる。電気二重層厚さの明確な算定は困難であるが、油中に存在するイオンの半径を $2nm$ と見積もれば油1で約 $7.5\mu m$ 、油2で約 $4.7\mu m$ と概算される。二重層厚さ κ^{-1} が相対的に大きい油1では凝集を促進する振動振幅が油2の場合よりも大きくなっている。

図5は、以上の結果を基に凝集の機構を説明するモデルを示したものである。二重層に対する粒子の相対的な振動による粒子表面の電荷と二重層中の電荷との分極の程度が大きいと、粒子間に作用する引力も大きくなるため凝集が進行しやすいが、粒子の一部あるいはすべてが二重層から飛び出すほど大きく振動すると、粒子間には反発力が作用する状況も生じるようになり、凝集の進行速度が低下すると思われる。

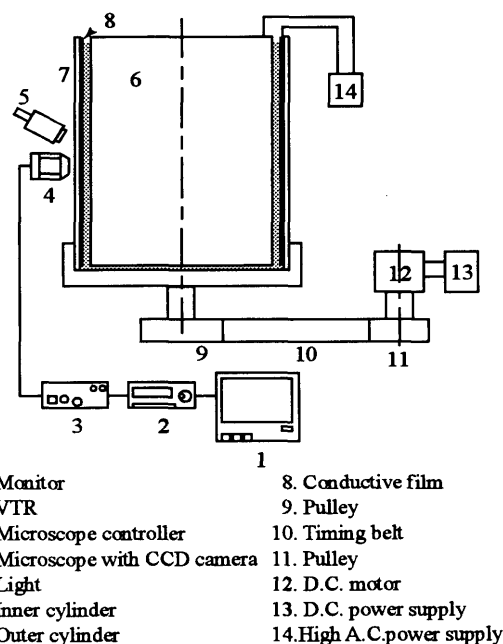
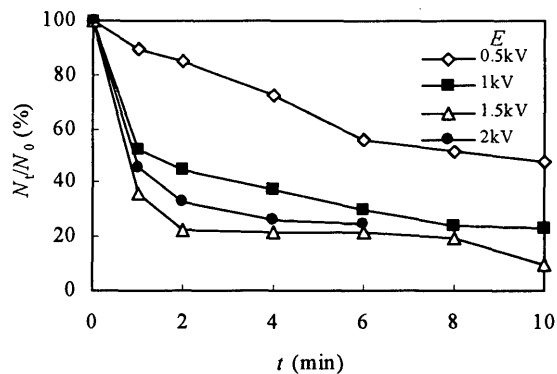
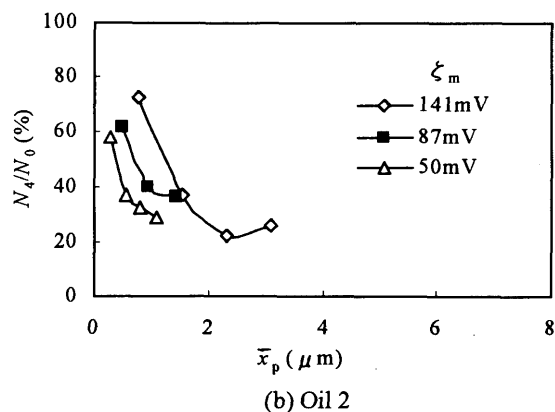
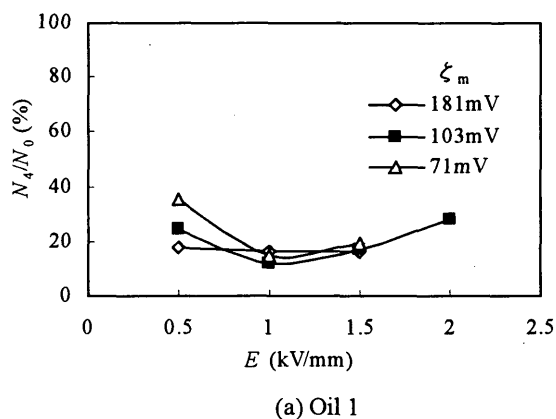
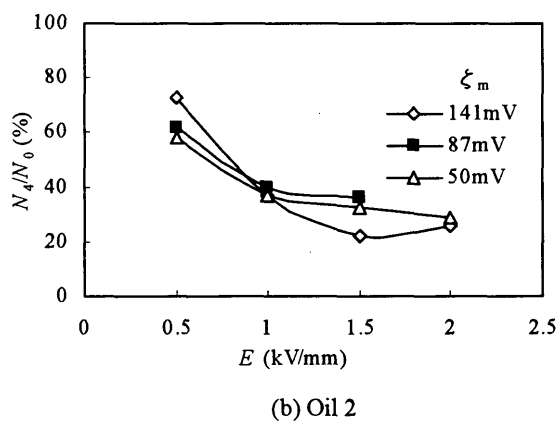


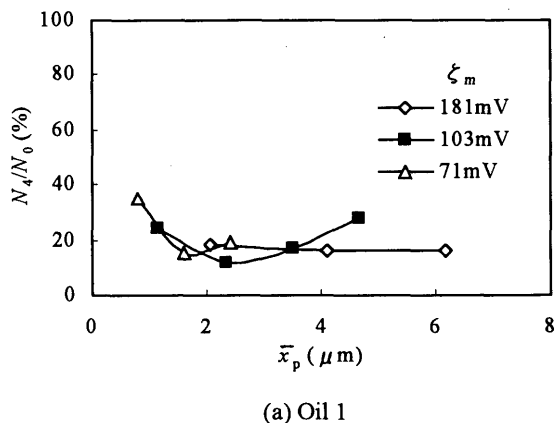
Fig.1 Schematic of experimental apparatus


Fig.2 Progress of coagulation (Oil 2 $\zeta_m=141\text{mV}$)

Fig.4 N_4/N_0 v.s. $\bar{x}_p$


(a) Oil 1



(b) Oil 2

Fig.3 N_4/N_0 v.s. E


(a) Oil 1

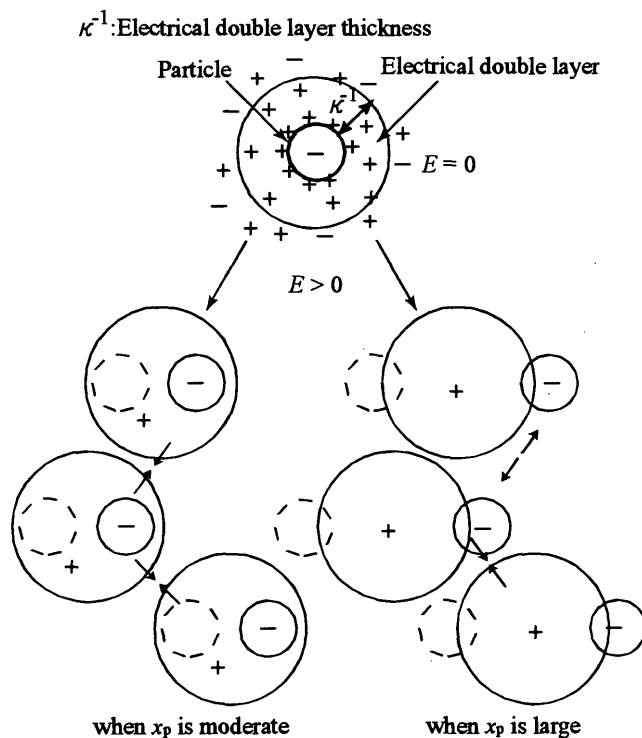
Fig.4 N_4/N_0 v.s. $\bar{x}_p$


Fig.5 A model of coagulation

4. 結 言

凝集の程度が粒子の振動振幅に依存し、二重層厚さに応じて凝集を促進する振幅の大きさが異なるという結果が得られた。これより、電気二重層内の電荷と粒子の表面電荷との分極の大きさにより凝集の程度が決まるものと思われる。

本研究の費用の一部は、文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(C),課題番号 12650163)を受けたものであることを記し、謝意を表する。

文 献

- (1) Yanada, H. and Okumura, R., *Proc. Instn. Mech. Engrs., Part C*, 211-C6(1997), 451/461.
- (2) Yanada, H., Kikuchi, M. and Nishimura, N., *Proc. Instn. Mech. Engrs., Part C*, 215-C2(2001), 201/209.
- (3) 西村・柳田, 機構論, No.005-1(2000), 121/122.
- (4) 今川・柳田, 機構論, No.014-1(2001), 8-11/8-12.