

# リン酸塩型界面活性剤で調製した $\alpha$ 型水和結晶の 吸着・潤滑特性評価：高級アルコール添加効果

## Adsorption and Lubrication Properties of $\alpha$ -Form Hydrated Crystals Prepared by Phosphate-type Surfactant: Effect of Higher-Alcohol Addition

東理大・創域理工(学)\*角田 晴彦 東理大・創域理工(非)荒川 京介 東理大・創造理工(非)土屋 好司

東理大・創域理工(非)酒井 秀樹 東理大・創域理工(正)酒井 健一

Haruhiko Tsunoda, Kyosuke Arakawa, Koji Tsuchiya, Hideki Sakai, Kenichi Sakai

Tokyo University of Science

### 1. 目的

$\alpha$ 型水和結晶は界面活性剤/高級アルコール/水の三成分から構成されることが多い。界面活性剤や高級アルコールはラメラ状の二分子膜を形成し、その二分子膜の内部でアルキル鎖がヘキサゴナル（六方晶）状に充填された構造が $\alpha$ 型水和結晶である。 $\alpha$ 型水和結晶の二分子膜の層間には、多量の水を保持できる<sup>1)</sup>（図1）。また、 $\alpha$ 型水和結晶が過剰水（ラメラ状二分子膜間に入り込めなかった水）も抱え込んで増粘した状態は $\alpha$ ゲルとよばれている。 $\alpha$ ゲルには白色、高粘性、高保水性といった特徴がある。これらの特徴から、 $\alpha$ ゲルはシャンプーやヘアコンディショナーなどに応用されている。シャンプーには洗浄効果の高い陰イオン性界面活性剤に加えて、陽イオン性の高分子電解質が配合されている場合もあり、このような系での固体（毛髪）表面に対する吸着・潤滑特性は学術的にも興味深い。そこで本研究では、水との二成分系で $\alpha$ ゲルを形成できるヘキサデシルリン酸アルギニン塩（C16P-Arg）<sup>2)</sup>をモデル物質として用い、固体表面に対する吸着挙動と形成された吸着膜の潤滑特性を評価した。さらに、高級アルコールを添加した三成分系 $\alpha$ ゲルでも同様の評価を行うことで、高級アルコールの添加効果について検討した。

### 2. 実験

ヘキサデシルリン酸（C16P）とアルギニン（Arg）（図2）を物質比1:1で混合し、90 mass%の水を加えた後に湯浴（80℃）、攪拌、静置、遠心分離することで二成分系 $\alpha$ ゲルを調製した。さらに、1-ヘキサデカノール（C16OH）をC16P-Argとの物質比が1:1になるように混合した三成分系 $\alpha$ ゲルも同様に調製した。また、これらの $\alpha$ ゲルを水で希釈し、湯浴（80℃）、超音波照射（プローブ型）することで $\alpha$ ゲルの分散体（二成分系のC16P-Arg濃度：1.0 mmol/kg、三成分系のC16P-Arg濃度0.8 mmol/kg）を調製した。陽イオン性高分子電解質としては、ポリジアリルジメチルアンモニウムクロリド（PDADMAC）（図2）を使用した。シリカ（負に帯電しているダメージ毛のモデル表面）に対する吸着挙動をエネルギー散逸測定機能付きの水晶振動子マイクロバランス（QCM-D）、吸着膜の動摩擦係数をボールオンディスク型の自動摩擦摩耗解析装置で評価した。動摩擦係数の測定には直径3 mmのソーダガラス球を用い、荷重50 g（0.5 N）、しゅう動距離5 mm、しゅう動速度0.1 mm/s、温度25℃の条件下で行った。

### 3. 結果と考察

調製した $\alpha$ ゲル分散体のゼータ電位測定結果を図3に示す。C16OH添加の有無に依らず、ゼータ電位は約-50 mVを示し、本系の $\alpha$ ゲル分散体は大きく負に帯電していることが確認された。

シリカ基板をPDADMAC水溶液（0.1 mass%）に浸漬させた後に純水、 $\alpha$ ゲル分散体、純水の順で溶液を置換し、それぞれの段階で動摩擦係数を測定した。結果を図4示す。C16OH添加の有無に依らず、 $\alpha$ ゲルが分散した液相中では動摩擦係数が小さくなった。また、その小さな動摩擦係数は、しゅう動回数が増加しても維持された。PDADMAC水

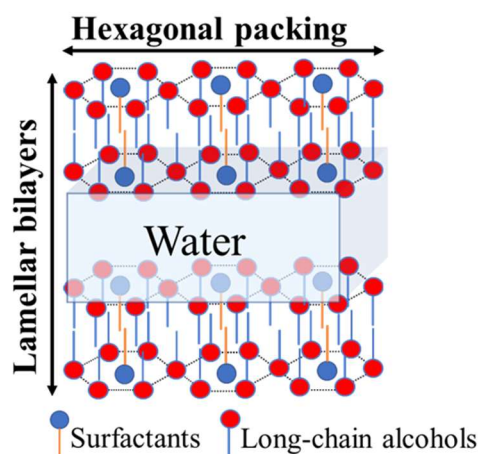


Fig. 1 Schematic figure of  $\alpha$ -form hydrated crystal structure.

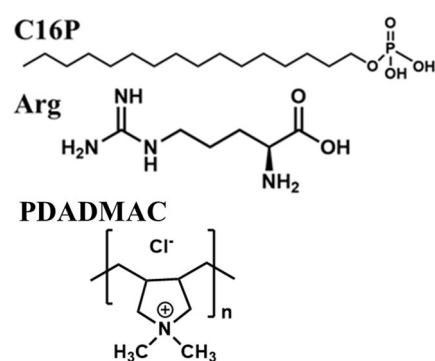


Fig. 2 Chemical structures of C16P, Arg, and PDADMAC.

溶液中での動摩擦係数は約 0.43 であったことから、 $\alpha$  ゲル分散体の吸着によって動摩擦係数が大幅に下がっていることが示された。

その後、純水で置換すると、しゅう動回数の増加に伴い動摩擦係数が大きくなり、しゅう動 10 回程度でおおむね一定値に達した。

C16OH 添加の有無に着目して比較すると、C16OH 混合系（三成分系  $\alpha$  ゲル）の方が動摩擦係数は小さくなった。この傾向は、純水でのリンス前後で同様であった。つまり、C16OH が良好な潤滑性に寄与していると考えられる。

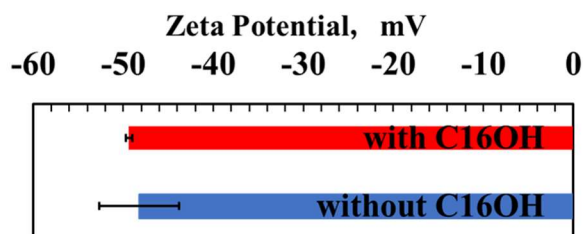


Fig. 3 Zeta potentials of the  $\alpha$ -gel dispersions (n = 3, error bars represent 95 % confidence intervals).

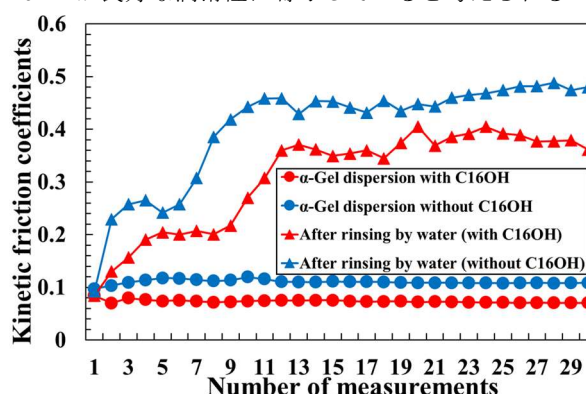


Fig. 4 Kinetic friction coefficients measured in the  $\alpha$ -gel systems dispersed in aqueous media.

動摩擦係数の測定と同様、QCM-D 測定でも PDADMAC 水溶液、純水、 $\alpha$  ゲル分散体、純水の順に通液した。測定条件は流速 0.1 ml/min, 温度 25 °C とした。QCM-D の測定結果を図 5 に示す。PDADMAC の水溶液を流すと吸着量の指標となる振動数 ( $\Delta F_3/3$ ) は減少し、吸着膜の粘性・膜厚の指標となるエネルギー散逸値 ( $\Delta D_3$ ) は増加したことから、PDADMAC のシリカ表面に対する吸着が確認された。続いて純水を流すと、 $\Delta F_3/3$  は変化しなかったが、 $\Delta D_3$  は減少し、吸着膜が弾性優位に変化した。さらに  $\alpha$  ゲル分散体を流すと、C16OH 添加の有無に依らず、 $\Delta F_3/3$  は顕著に減少し、 $\alpha$  ゲル分散体の吸着が確認された。なお、PDADMAC を吸着させず、 $\alpha$  ゲル分散体を最初から通液すると、 $\Delta F_3/3$  は -1 Hz 程度になったため、PDADMAC の添加が  $\alpha$  ゲル分散体の吸着量を大幅に増加させていることがわかった。

C16OH 混合系（三成分系  $\alpha$  ゲル）では、 $\alpha$  ゲル分散体通液時の  $\Delta D_3$  が大きく増加した。この結果は、C16OH の共存により、粘性優位な吸着膜に変化することを示唆しており、動摩擦係数が小さな値になったことにも関係している可能性がある（図 4）。また、C16OH 混合系（三成分系  $\alpha$  ゲル）では純水リンス後の  $\Delta F_3/3$  が負に大きくなっており、シリカ表面に残存しやすいこともわかった。

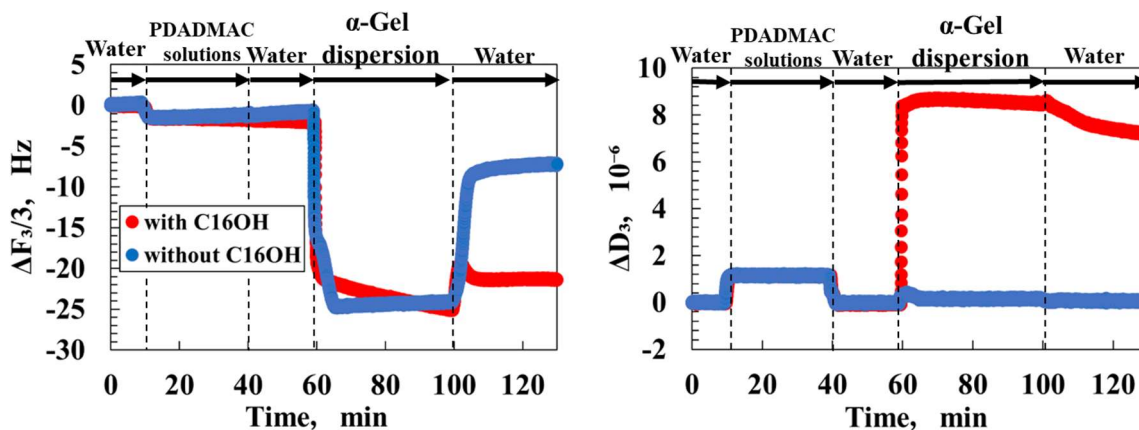


Fig. 5 QCM-D results: (left)  $\Delta F_3/3$  and (right)  $\Delta D_3$ .

#### 4. 今後の展望

高級アルコールの鎖長の違いが吸着・潤滑挙動に及ぼす影響を評価し、 $\alpha$  ゲルによる潤滑性のメカニズムを考察する。

#### 参考文献

- 1) K. Watanabe, *Oleo science*, **2016**, 16, 321-326.
- 2) K. Tanaka, Y. Hirai, T. Suzuki, K. Sakai, H. Sakai, *J. Oleo Sci.* **2018**, 67, 851-857.