

物理吸着系摩擦調整剤の摩擦低減メカニズムに関する検討 (第1報：吸着層構造と摩擦特性の関係性)

Mechanism of Friction Reduction by Physisorbed Friction Modifiers

-1st Report: Relationship between Adsorbed Layer Structure and Friction Properties-

京大院（正）*蒲 順也 京大（正）平山 朋子 京大（正）山下 直輝

Junya Kaba*, Tomoko Hirayama*, Naoki Yamashita*

* Kyoto University

1. 緒言

有機摩擦調整剤は油中において形成する分子膜によってしゅう動面を保護し摩擦低減効果を発揮する。ゆえにさらなる摩擦低減を実現するためには、摩擦低減に最適な分子膜構造を解明する必要がある。本研究では分子膜構造の中でも、充填密度および膜の相状態が摩擦低減効果に及ぼす影響の解明を行った。充填密度は分子膜中の炭素鎖の稠密度を表し、過去の研究では充填密度が高く密な膜で低摩擦となった研究が多い^{1,2}。相状態は過去の気水界面の分子膜に関する研究によって分類がなされているため、それらに従い膜の状態を規定できるが、相状態と摩擦特性の関係に関する研究はほとんどなく、理解が不十分であるといえる。本研究では先行研究に従い²、pressure-area isotherms (π -A等温線)によりLB膜の充填密度や相状態をそれぞれ既知とした単分子膜を基板上に作製し、摩擦測定を原子間力顕微鏡 (AFM) で行うことで分子膜の充填密度と摩擦低減効果および相の状態と摩擦低減効果との関係を調査した。

2. 実験方法

2.1 実験試料の作製

分子膜の充填密度および相状態という膜物性と摩擦低減効果の関係を調査するために、膜物性が既知である膜分子試料が必要である。ゆえにそのような試料作製を行った。試料作製には Langmuir-Blodgett 法 (LB 法) によって作製できる Langmuir-Blodgett 膜 (LB 膜) を試料とした。LB 膜の充填密度や相状態は π -A 等温線の測定によって推定を行った。

膜作製では、LB 膜を構成する分子として両親媒性分子 23 種類を用い充填密度や膜の相の状態が異なる分子膜を作製した。本実験ではまず π -A 等温線をそれぞれの分子に関して測定し、LB 膜を一定の表面圧 (surface pressure) 下にて作製した。次に測定した π -A 等温線上で、LB 膜を作製した際の表面圧を参照した。参考値での π -A 等温線の横軸の値から LB 膜の分子専有面積を測定し、分子専有面積の値から充填密度を計算した。また参考値における π -A 等温線の形状 (曲線の傾き、屈曲や水平領域の有無) から、膜の相状態を推定した。23 種類の LB 膜の相状態としては、液体膨張膜 (LE 相) と液体凝集膜 (LC 相) のほかに固体膜 (S 相) が存在した。

Figure 1 に π -A 等温線の例を示す。Fig 1 の π -A 等温線は炭素鎖長が異なる 1,2-dialkyl-sn-glycero-3-phosphocholine (PC) 分子に関する π -A 等温線である。PC 分子の LB 膜はすべて表面圧 40 mN/m において採取したため、40 mN/m を参考し横軸の値を読み取り、充填密度を算出した。また π -A 等温線の形状から、PC12 と PC14 は液体膨張膜 (LE 相) であり、PC16 と PC18 は液体凝集膜 (LC 相) となることが明らかとなった。

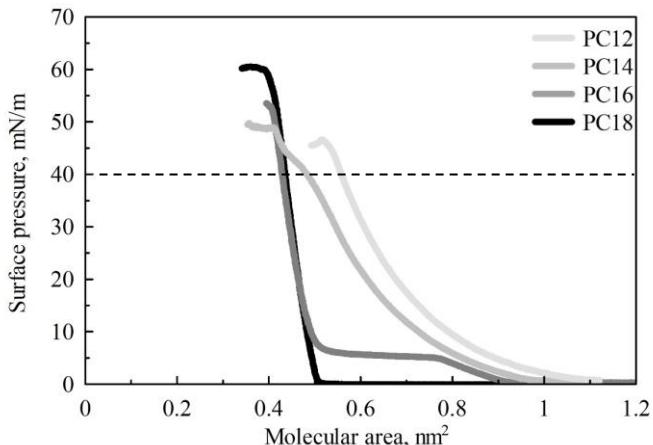


Fig.1 Pressure-area isotherms (π -A isotherms) for PC films

2.2 原子間力顕微鏡 (AFM) による摩擦測定

LB 膜の摩擦測定では、AFM によって試料表面を走査し摩擦係数を測定した。摩擦係数は接触面圧を変化させながら測定した。AFM の走査探針には、球形で直径が 8 μm のコロイドプローブを用いた。本研究では有機摩擦調整剤の摩擦低減効果の調査を念頭においているため、潤滑油中を模した n-ドデカン中において摩擦測定を行った。

3. 結果と考察

3.1 相状態と摩擦係数の関係

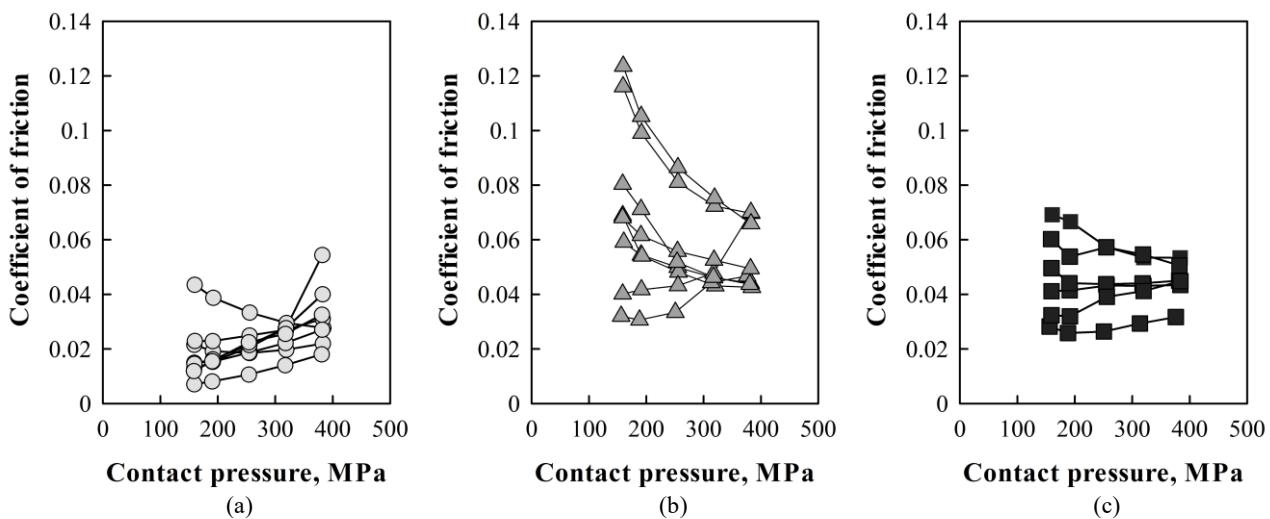


Fig. 2 Coefficients of friction for (a) LE phase films, (b) LC phase films and (c) S phase films

Figure 2 に摩擦係数の測定結果を相状態ごとに分けて示す。同一の膜から得られたプロットは線で結んだ。摩擦測定結果として液体膨張膜 (LE 相, Fig 2 左) の膜は、比較的低い摩擦係数を示し、摩擦係数が面圧上昇とともに増加した。液体凝集膜 (LC 相, Fig 2 中央) の膜では、低面圧下では高摩擦である膜が比較的多いが、面圧上昇とともに摩擦が減少する傾向があった。固体膜 (S 相, Fig 2 右) は低面圧下では液体膨張膜 (LE 相) と液体凝集膜 (LC 相) の中間の摩擦係数となり、面圧に対して変動が小さかった。このように低面圧下の摩擦係数の大小と面圧に対する摩擦係数の変動が相ごとに特徴を持った。

また高面圧下では、液体膨張膜 (LE 相) では摩擦係数が上昇し液体凝集膜 (LC 相) では摩擦係数が減少することで、相ごとの摩擦係数の差が小さくなつた。

3.2 充填密度と摩擦係数の関係

Figure 3 に最も低い面圧下 (1.6×10^2 MPa 下) で測定された摩擦係数を、それぞれの膜の充填密度を横軸として示す。Fig 3 では 1 つのプロットが 1 種類の膜の摩擦係数を示す。グラフから、低充填密度な膜は摩擦係数の低い膜が多くた。しかし、充填密度の低い膜には摩擦係数が高い膜もあり、充填密度のみでは、摩擦係数の特徴を捉えることはできなかつた。一方、相状態で分類した場合には摩擦係数の大小関係がみられるため、相状態の違いが摩擦係数を左右していると考えられる。

4. 結言

充填密度および相状態と摩擦特性の関係を調査した結果以下のことが明らかとなつた。

- 相状態は摩擦特性を左右した。相状態ごとに低面圧下では摩擦係数の絶対値が異なり、面圧に対する摩擦係数の変動も特徴を持った。
- 高面圧下では、相状態の差が小さかつた。
- 充填密度は摩擦係数を左右しなかつた。

参考文献

- Shon, Y.-S.; Lee, S.; Colorado, R.; Perry, S. S.; Lee, T. R. Spiroalkanedithiol-Based SAMs Reveal Unique Insight into the Wettabilities and Frictional Properties of Organic Thin Films. *J. Am. Chem. Soc.* **2000**, *122* (31), 7556–7563.
- Goertz, M. P.; Stotrup, B. L.; Houston, J. E.; Zhu, X.-Y. Density Dependent Friction of Lipid Monolayers. *J. Phys. Chem. A* **2007**, *111* (49), 12423–12426.

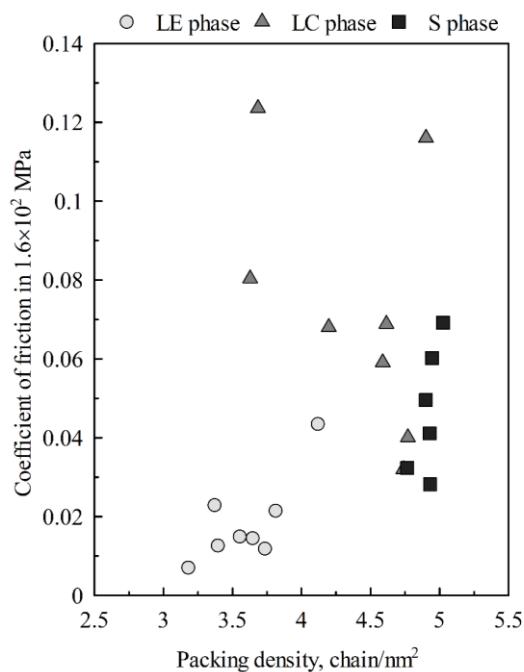


Fig. 3 Relation between coefficient of friction and packing density