

# 動的運動下における化粧用エマルションの摩擦ダイナミクス

## Friction dynamics of cosmetic emulsions under dynamic motion

山形大・工（学）\*鈴木 朝陽

山形大・工（非）菊地 莉緒

山形大・工（正）野々村 美宗

Asahi Suzuki, Rio Kikuchi, Yoshimune Nonomura

Yamagata University

### 1. 緒言

化粧品のテクスチャーは製品の魅力を高め、継続的な使用を促すために重要である。一般的にテクスチャーを評価する方法として官能評価が行われるが、この手法は時間とコストがかかる。そこで、物理的特性からテクスチャーを予測することが求められている。今まで様々な摩擦実験が行われてきたが、それらはいずれも線形運動下によるもので、人が化粧品を塗る際の現象とはかけ離れていた。そこで、常に速度が変化する動的条件下で摩擦を測定する正弦運動摩擦評価装置が開発され、注目されている。この装置を用いるとヒトの動きを模倣することができるためである。本研究では、エマルション製剤の相状態と動的な挙動の関係を明らかにするために、水/ミリスチン酸イソプロピル (IPM)/ポリエチレングリコールモノステアレート ( $C_{18}EO_{10}$ )三成分系を正弦運動摩擦評価装置を用いて評価した。

### 2. 実験方法

水、IPM および  $C_{18}EO_{10}$  の混合物を加熱し、ボルテックスミキサーで 30 秒、超音波ホモジナイザーで 2 分間混合して三成分系を調製した。

摩擦特性は正弦運動摩擦評価装置を用いて評価した (Fig. 1)。測定条件は以下の通りである：移動幅 =10 mm、往復回数 =11 回、垂直荷重 =0.98 N、円板の回転速度 =2.1  $\text{rad s}^{-1}$  (最高速度 =10  $\text{mm s}^{-1}$ )。

### 3. 結果

#### 3.1 O/W エマルションの摩擦プロファイル

Fig.2 に組成が 63:30:7 の O/W エマルションを人工皮膚の上に塗布し、垂直荷重 0.98 N、移動幅 10 mm で摩擦評価したときの摩擦係数および速度の経時変化のプロファイルを示す。速度が正の領域は接触子の往復運動における往路、負の領域は復路を示している。速度の増加とともに摩擦係数は大きくなり、減速過程で摩擦係数には振動が生じた。このときの摩擦係数は 0.83 だった。また、接触子の動きに対して摩擦力が遅れて応答した。この時間差  $\Delta t$  を 1 往復にかかる時間  $T_0$  で割ることで規格化した遅れ時間  $\delta$  は 0.057 だった。

#### 3.2 相挙動と摩擦特性

水/IPM/ $C_{18}EO_{10}$  三成分系では O/W エマルション、逆ミセル ( $O_m$ )、Organized state ( $O_s$ )およびディスページョンが観察された (Fig. 3)。O/W エマルションおよび  $O_m$  領域の摩擦係数は 0.2~1.3 で、静摩擦過程における接触子の動きに対して摩擦力が応答するまでの時間である遅れ時間  $\delta$  は 0.02~0.07 だった。速度依存性を確認できる粘性係数

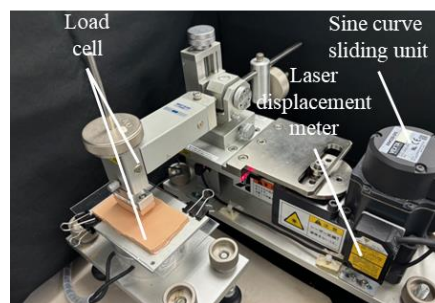


Fig. 1 Sinusoidal motion friction evaluation system.

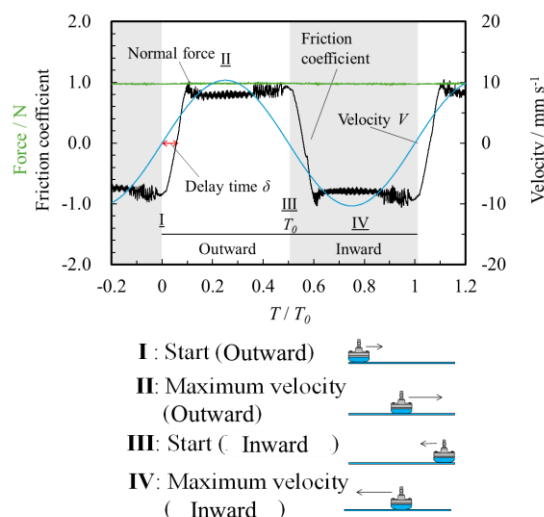


Fig. 2 Temporal profile of the friction coefficient (black line) and velocity (blue line) for the O/W emulsion state (O/W, Water /  $C_{18}EO_{10}$  / Isopropyl myristate = 63:30:7) at  $\omega = 2.1 \text{ rad s}^{-1}$ ,  $W = 0.98 \text{ N}$  and  $d = 10 \text{ mm}$ .

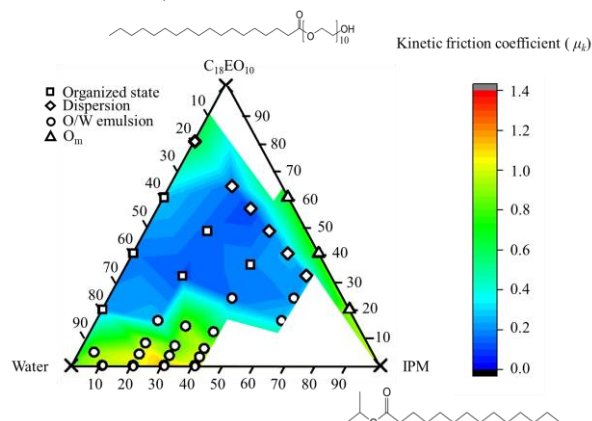


Fig. 3 Kinetic friction coefficient of Water / Isopropyl myristate /  $C_{18}EO_{10}$  ternary systems.

$C$  は多くの系で負の値であり、速度の増加にともなって摩擦係数が減少することが確認された。また、動摩擦過程においては振動現象が観察された。 $O_s$  および Dispersion 領域の摩擦係数は  $0.1 \sim 0.61$ 、 $\delta$  は  $0.02 \sim 0.04$  で、 $O/W$  エマルションや  $O_m$  領域よりも小さかった。 $C$  は正の値で速度の増加にともなって摩擦係数は増加した。さらに、動摩擦過程における振動現象は観察されなかった。摩擦係数と三成分系の粘度の間には明確な相関が観察された (Fig. 4)。粘度の低い領域では摩擦係数が高く、粘度の高い領域では摩擦係数が低かった。

#### 4. 考察

三成分系の摩擦特性は相の状態によって変化することが明らかになった。今回得られた摩擦特性、粘度と各相のテクスチャーの関係を考察する。

##### ・ $O/W$ エマルション状態：

$O/W$  エマルションでは、さらさらかつ滑らかなテクスチャーが発現した。 $O/W$  エマルションの粘度は  $1.5 \sim 3790$   $\text{mPa} \cdot \text{s}$  で比較的低く、境界潤滑状態であることが予想される。さらに、この相では高せん断条件下において、摩擦振動の発現が抑制され、速度の増加に伴って摩擦係数が減少する負の速度依存性が確認された。Kamikawa らは、境界潤滑特性値が「さらさら」「すべすべ」と高い相関があることを明らかにした<sup>2)</sup>。Ding らは、摩擦振動の振幅が減少することが「滑らか」感につながることを報告している<sup>3)</sup>。

##### ・逆ミセル状態：

逆ミセルでは、引っかかりのある滑りづらいテクスチャーが発現し、摩擦係数は  $0.72 \sim 0.91$  で比較的大きかった。さらに、 $O/W$  エマルションとは異なり、高せん断条件下でも振動が発現した (Fig. 5)。

##### ・Organized state、ディスパージョン状態：

この相のテクスチャーは、重たく、かつ滑らかであった。 $O_s$  およびディスパージョン状態の摩擦係数は小さく、振動が発現しないことが確認された (Fig. 5)。さらに粘度が高いために液膜が安定し、流体潤滑状態であることが予想される。また、粘性係数が正の値で速度の増加に伴って摩擦係数が上昇することが抵抗感を引き起こす。Kamikawa らは、流体潤滑特性が「べたべた」「しっとり」「ぬるぬる」と高い相関があることを明らかにしている<sup>2)</sup>。

#### 5. 結言

本研究では水/ミリスチン酸イソプロピル/  $C_{18}\text{EO}_{10}$  三成分系の相挙動を明らかにした。次に各相における摩擦特性を明らかにし、それぞれの特徴的なテクスチャーについて考察した。 $O/W$  エマルションはさらさらと滑らかなテクスチャー、逆ミセルは引っかかりのある滑りづらいテクスチャー、Organized state と Dispersion は滑らかで少し重たいテクスチャーが発現すると予想した。この知見はスキンケア製品の設計、評価する上で重要である。

#### 文献

- 1) Aita, Y, Asanuma, N, Takahashi, A, Mayama, H, & Nonomura, Y: Nonlinear friction dynamics on polymer surface under accelerated movement, AIP Adv, 7, 4 (2017).
- 2) 神川康久・野々村美宗・前野隆司: 皮膚上塗布物のトライボロジ特性と触感の関係, 日本機械学会論文集 C 編, 73, 730 (2007) 1827-1833.
- 3) Ding, S, & Bhushan, B: Tactile perception of skin and skin cream by friction induced vibrations, J. Colloid Interface Sci, 481, (2016) 131-143.

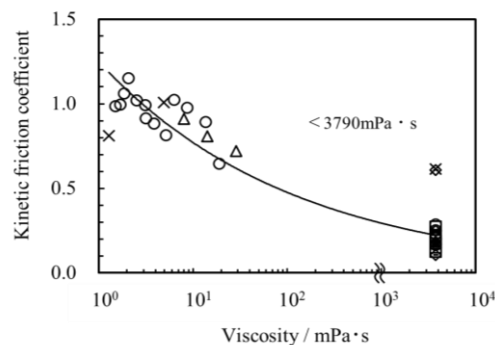


Fig. 4 Relationship between friction coefficient and viscosity .  $\circ$  =  $O/W$  emulsion ,  $\triangle$  =  $O_m$ ,  $\square$  = organized state,  $\diamond$  = dispersion,  $\times$  = ingredient.

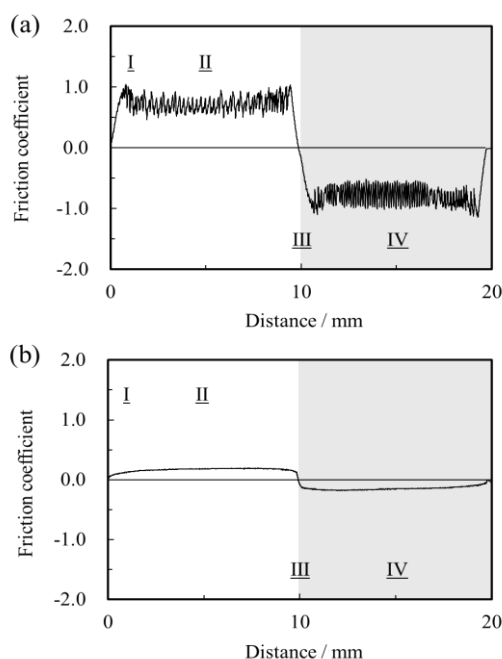


Fig. 5 Temporal profile of the friction coefficient for the  $O_m$  state ( $O_m$ , Water /  $C_{18}\text{EO}_{10}$  / Isopropyl myristate = 0:60:40) and lamellar liquid crystalline ( $O_s$ , Water /  $C_{18}\text{EO}_{10}$  / Isopropyl myristate = 32:20:48) at  $\omega = 2.1$   $\text{rad s}^{-1}$  and  $W = 0.98$  N and  $d = 10$  mm.