

# 生体表面を模倣したハイドロゲル上の流れ

## Flow on a Hydrogel mimicked a surface of living skin

- 菊地謙次, 東洋大学共生ロボット研究センター, 埼玉県川越市鯨井 2100, kenji@toyonet.toyo.ac.jp  
市川誠司, 東洋大学大学院工学研究科, 埼玉県川越市鯨井 2100  
望月修, 東洋大学生体医工学科, 埼玉県川越市鯨井 2100

Kenji KIKUCHI, Symbiotic robot Research Center Toyo University, 2100, Kujirai, Kawagoe, Saitama, Japan

Seiji ICHIKAWA, Toyo University, 2100, Kujirai, Kawagoe, Saitama, Japan

Kenji KIKUCHI, Toyo University, 2100, Kujirai, Kawagoe, Saitama, Japan

The purpose of our study is to know the interaction between a flow and a surface of hydro gel. Tissue of living organ like blood vessel, cartilage and eyeball is a hydro gel. It contains water, so that the surface of hydro gel is considered to be water. Thus, it is a hydrophilic material. We expect it to show good reduction of friction if we use it the wall of a conduit. To check the concept, we measured velocity profile of a film flow on the hydro gel by a micro PIV method, estimating wall share stress from the velocity gradient at the wall. We confirmed slip-velocity depending on degree of swelling of hydro gel.

### 1. はじめに

もし壁面がハイドロゲルのようなほとんどが水であるような壁面であるとき、壁面表面における流体の「すべり」の効果が大きいと期待される。生体内組織では、血管内壁やまぶたと眼球、関節軟骨などはたん白質と水分子で構成されたハイドロゲルであり、摩擦抵抗低減が予想される。そこで本研究では、壁面が作動流体と同一の物質を含むハイドロゲルとその表面を流れる流体との干渉に着目し、固体表面や含水率の異なるハイドロゲル上での流れの速度分布を比較し、壁面表面における「すべり」からハイドロゲルの摩擦抵抗低減の可能性を検証することが目的である。

### 2. 実験装置および方法

本実験では、長さ 400mm, 幅 20mm, 高さ 17mm のアクリル製流路を用い、流路底面上の液膜流れを流路側面より速度分布を PIV(Particle Image Velocimetry)法を用いて計測した。平板上を流れる液膜流れの理論解<sup>7)</sup>と壁面におけるすべり速度を考慮した式は以下のように得られる。

$$u = \frac{\rho g \delta^2 \sin \theta}{2\mu} \left\{ 2 \left( \frac{y}{\delta} \right) - \left( \frac{y}{\delta} \right)^2 \right\} + u_s \quad (1)$$

ここに  $u$  は液膜内における流体の速度,  $g$  は重力加速度,  $\delta$  は液膜厚さ,  $\theta$  は流路の水平からの傾き角,  $\mu$  は流体の粘性係数,  $y$  は液膜の底面から垂直方向の位置そして  $u_s$  は壁面におけるすべり速度を示している。液膜内の速度分布は、Fig.1 に示すように自由表面において最大流速となる放物分布となる。また、流量一定条件で流路底面においてすべり速度  $u_s$  が生じると、自由表面における最大流速に影響を与える。流路底面材料であるハイドロゲルおよび膨潤度(含水度)を変えそれぞれの速度分布を計測する。寒天ゲルの膨潤度(含水度)が 100 から 350 の 50 刻みで増やした 6 通りと、カラギーナンゲルの膨潤度が 100 から 200 の 50 刻みで増やした 3 通りの計 2 種類 9 通りのハイドロゲルを実験に使用した。膨潤度の異なるゲル表面上の速度分布を比較し、それぞれの表面に作用する壁面せん断応力を見積もった。

### 3. 結果および考察

ハイドロゲル上を流れる液膜流れの速度分布を計測し、実験により得られた寒天ゲル上での速度分布計測結果から、壁面近傍における速度勾配を見積もり、ゲル壁面に作用する壁面せん断応力を見積もった。膨潤度とすべり速度および壁面せん断応力の関係を

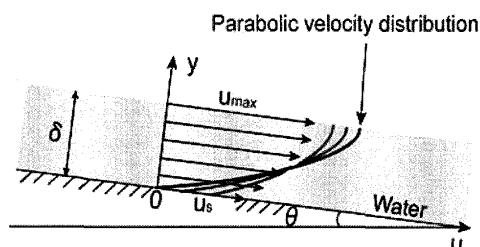


Fig. 1 Estimated velocity profiles of a film flow with slip at the wall.

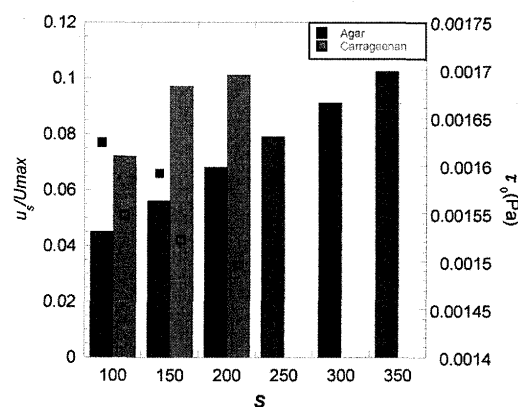


Fig. 2 Effect of swelling of hydro gel on slip velocity and wall shear stress.

Fig.2 に示す。縦左軸には壁面でのすべり速度を最大流速で無次元化したものを表し、棒グラフで示してあり、縦右軸は壁面せん断応力を表しプロットしている。横軸はハイドロゲルの膨潤度  $S$  を表している。壁面においてすべりのない流れである場合、同流量における壁面せん断応力は、0.0017 となる。寒天ゲル、カラギーナンゲル共に膨潤度の増加に伴い、ハイドロゲル表面上におけるすべり速度の増加が確認できる。また、すべり速度の増加とは反比例して壁面せん断応力が減少している。

### 4. 結論

本実験で、層流域におけるゲル上での流れでの「すべり」から生ずる抵抗低減を見出すことができた。層流域での新しい抵抗低減の方法として、ゲルの膨潤構造に着目し、高含水率ゲル壁面上でのすべりを利用した抵抗低減の可能性を示唆することができた。