

疎水性表面微細構造に形成される気液界面に流動特性が及ぼす影響

Effect of Fluid Conditions on Air-Liquid Interface in Hydrophobic Micro Textured 首都大学東京 高橋 智史 小方 聡

(ogata-satoshi@tmu.ac.jp)

研究背景

MEMS技術の発達によりマイクロ流体デバイスが注目
マイクロスケールの流れの解明が重要

表面微細構造
疎水性 → 抵抗減少効果

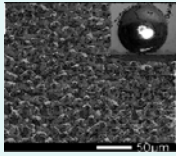


Fig. 1 Image of a hydrophobic structure

研究目的

表面微細構造に形成されるマイクロバブルが抵抗減少効果の要因とされるが、そのメカニズムには不明な点が多い

微細構造を有するマイクロスケール流れにおいて微細孔に形成された気液界面が抵抗低減に及ぼす影響を数値シミュレーションを用いて明らかにする

解析手法

有限要素法

支配方程式

Navier-Stokes の式:

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = \nabla \cdot [-p\mathbf{I} + \mu(\nabla \mathbf{u} + \nabla \mathbf{u}^T)] + \mathbf{F}_{st}$$

連続の式:

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

気液界面形状の決定 → Level Set 法

解析条件

Cavity/パターン表面微細構造を有する疎水性3次元矩形管流路を想定

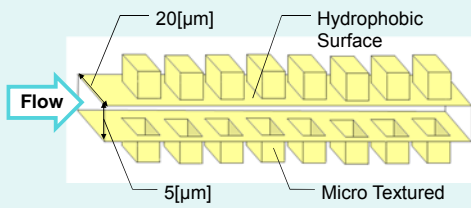


Fig. 2 Image of cavity patterned channel

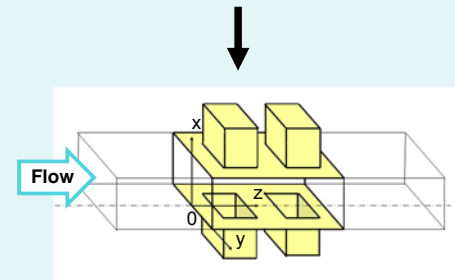


Fig. 3 Image of analytical model

Table 1 Analytical conditions

Inlet condition	Constant flow rate
Outlet condition	Atmospheric pressure
Temperature	293.15[K]
Surface tension	0.073[N/m]
Contact angle	108°
Reynolds number	1

微細構造の面積率

$$A_r = \frac{A_t}{A_o} \times 100 [\%]$$

A_o: 流路底面全体の面積

A_t: 微細構造が占める面積

微細構造の面積率を変化させ、その影響についても数値解析を行った。

気液界面による流動変化

気液界面形状

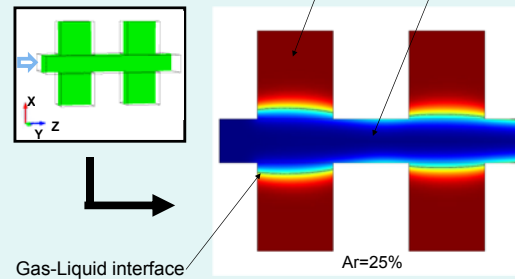


Fig. 4 Shape of air-liquid interface

微細溝内には気体が保持され気液界面が形成される
界面形状は溝内に凸
上流側の表面微細構造よりも下流側の表面微細構造には水が侵入していない

速度分布

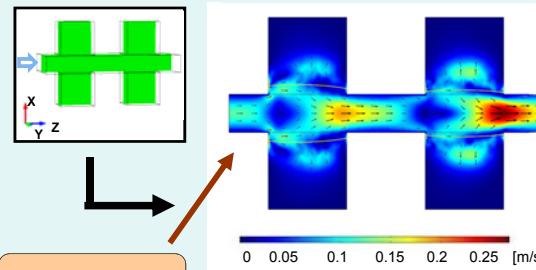
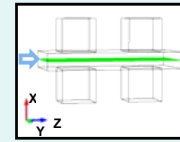


Fig. 5 Velocity profile of X-Z cross section

表面微細構造内の気液界面により流速が増加。



流路中央では流速が増加するが、流路の端では流速が減少する

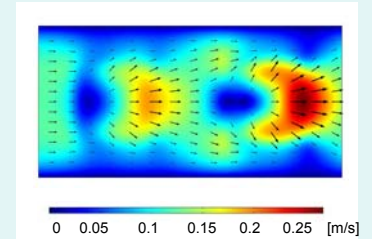


Fig. 6 Velocity profile of Y-Z cross section

気液界面による抵抗低減効果

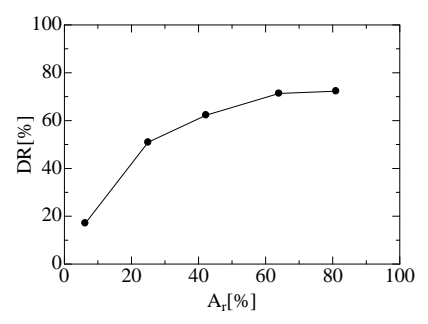


Fig. 7 DR versus Ar

抵抗減少率

$$DR = \frac{f_o - f}{f_o} \times 100 [\%]$$

f_o: 微細構造のない流路での圧力損失

f: 微細構造を有する流路での圧力損失

微細構造の面積率が60%を超えると抵抗低減率はほぼ横ばい最大で約70%の抵抗低減効果を示す

まとめ

微細構造を有する流路に水が流入する場合、溝内の気泡が流れに与える影響を解析した。その結果、微細溝内に気泡は保持され続け、この保持された気泡は主流の流速に影響を与えることがわかった。

微細構造の面積率を変化させて解析を行った。その結果、最大約70%の抵抗減少効果が確認でき、微細構造の面積率の影響を受けることがわかった。