

COMSOL Multiphysics®による スロットダイコーティングの有限要素解析

橋口真宜¹⁾、米大海²⁾

1) 第1技術部部長 (JSME国際上級アナリスト)、2) 第1技術部副部長 (工学博士)

計測エンジニアリングシステム株式会社
東京都千代田区内神田1-9-5 SF内神田ビル
<https://www.kesco.co.jp/>

スロットダイコーティング

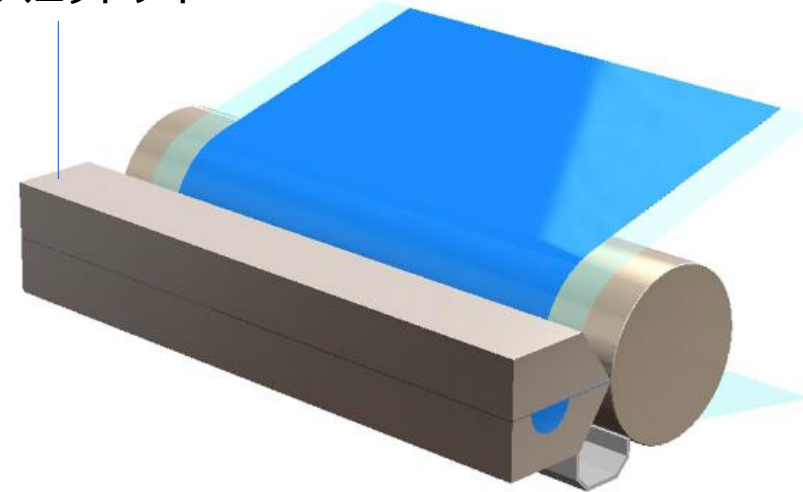
スロットダイ
コーティング工具

応用例
液晶パネル
高機能フィルム
リチウムイオン二次電池など

実際のコーティング風景

<http://www.mmc-slotdie.com/ja>

スロットダイ



https://www.hirano-tec.co.jp/en/manufacturing/equipment_03.html

計算法

仮定

- 1) 気液二相流として取り扱う。
- 2) 2次元的な現象を仮定する。
- 3) 重力の影響は無視できる。

基礎式

流体運動

Navier-Stokes方程式

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho(\mathbf{u} \cdot \nabla)\mathbf{u} = \nabla \cdot [-p\mathbf{I} + \mathbf{K}] + \mathbf{F}$$
$$\rho \nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

構成則

空気：ニュートン流体

ポリマー：非弾性非ニュートン流体

$$\mu_{app2} = m \left(\frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_{ref}} \right)^{n-1}$$

$$\dot{\gamma} = \max(\sqrt{2\mathbf{S}:\mathbf{S}}, \dot{\gamma}_{min}), \quad \mathbf{S} = \frac{1}{2}[\nabla\mathbf{u} + (\nabla\mathbf{u})^T]$$

気相・液相の追跡

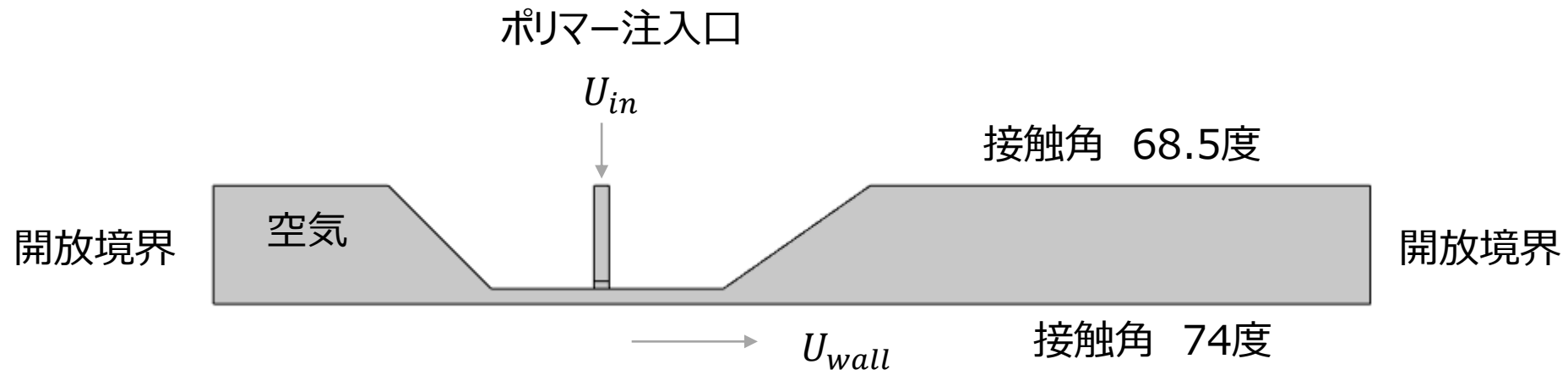
Phase-Field法

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \phi = \nabla \cdot \frac{\gamma \lambda}{\epsilon_{pf}^2} \nabla \psi, \quad \phi = \text{phipf}$$

$$\psi = -\nabla \cdot \epsilon_{pf}^2 \nabla \phi + (\phi^2 - 1)\phi + \frac{\epsilon_{pf}^2}{\lambda} \partial f / \partial \phi, \quad \psi = \text{psi}$$

$$\lambda = \frac{3\epsilon_{pf}\sigma}{\sqrt{8}}, \quad \gamma = \chi \epsilon_{pf}^2$$

計算条件



計算環境

ソフトウェア

COMSOL Multiphysics® Ver.5.6
Polymer Flow Module

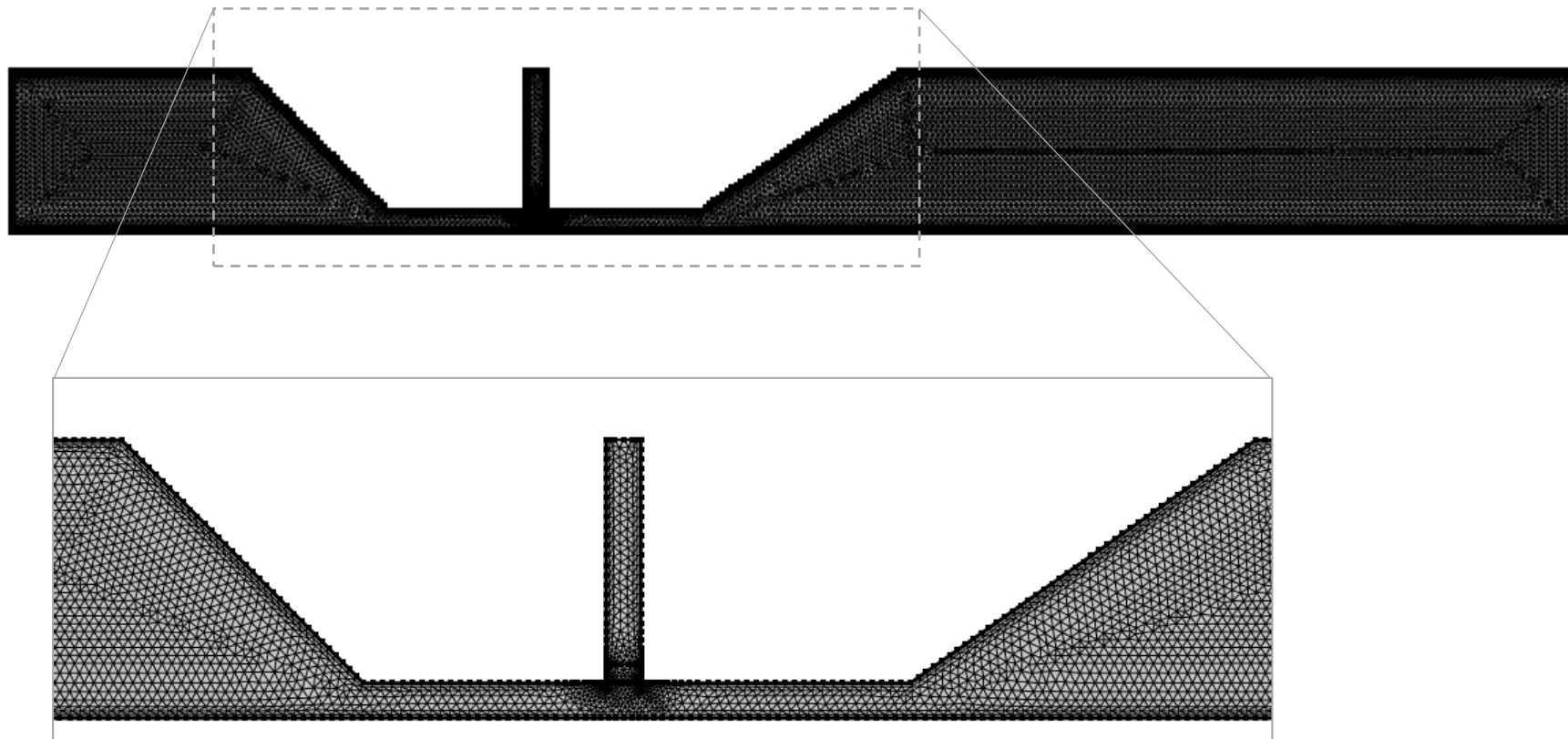
計算機

Windows 10 Pro
64ビット CPU Intel® Core™ i7

計算規模

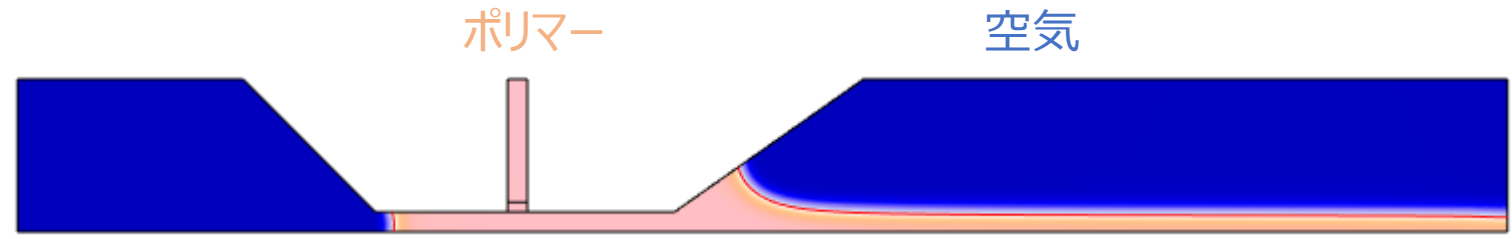
シミュレーション時間 0s~0.25s
CPU時間 15分
メモリ 約2GB

メッシュ

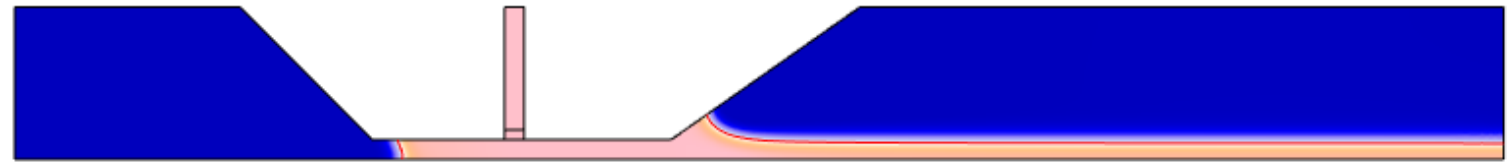


表面張力の影響

$\sigma_s = 0.49 \text{ N/m}$

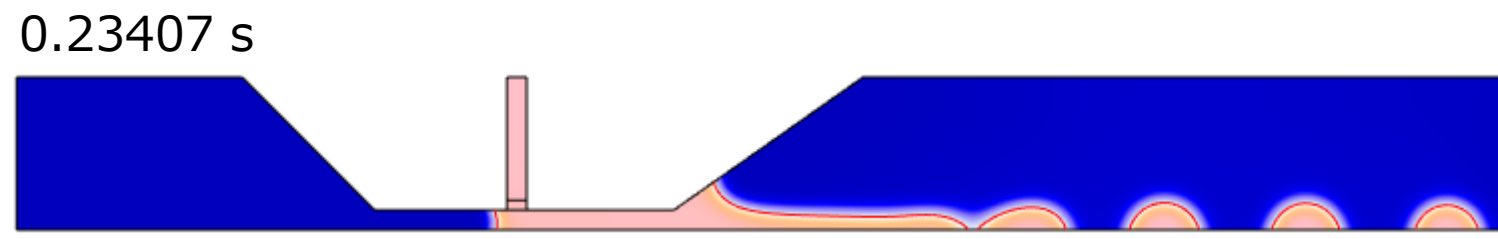
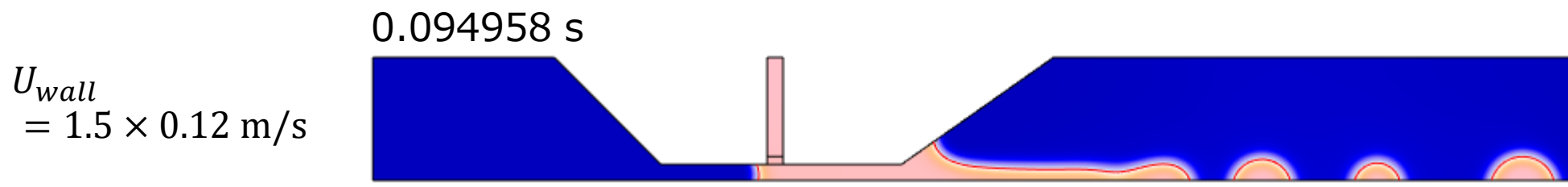
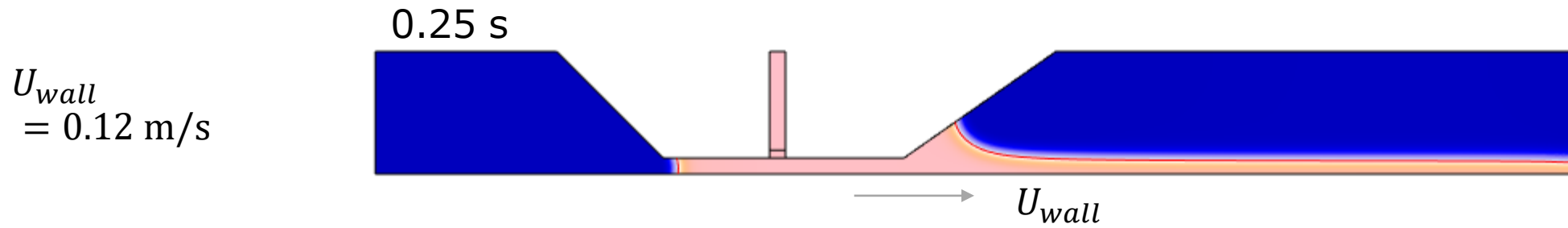


$\sigma_s = 0.049 \text{ N/m}$



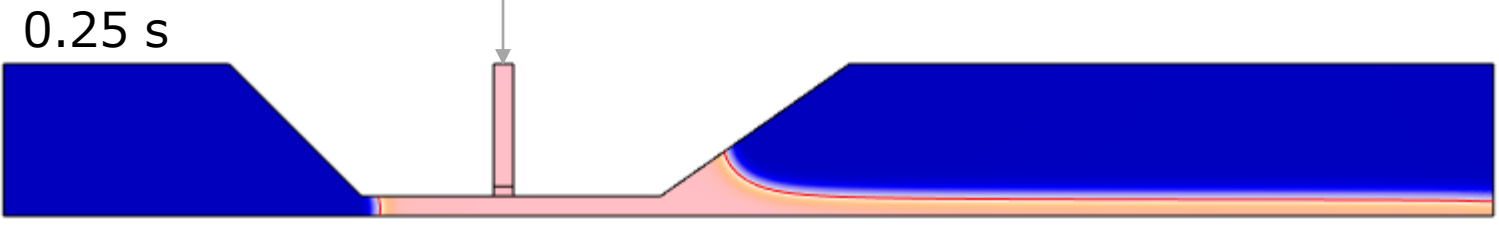
cf. PPA/PBI 0.0475 N/m at 120°C

移動速度の影響

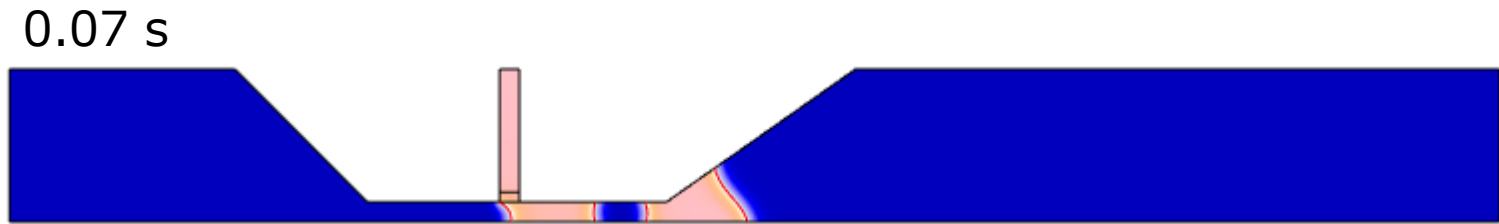


ポリマー流入速度の影響

U_{in}



U_{in}
= 0.1 m/s



空気の巻き込み

U_{in}
= 0.4 × 0.1 m/s

