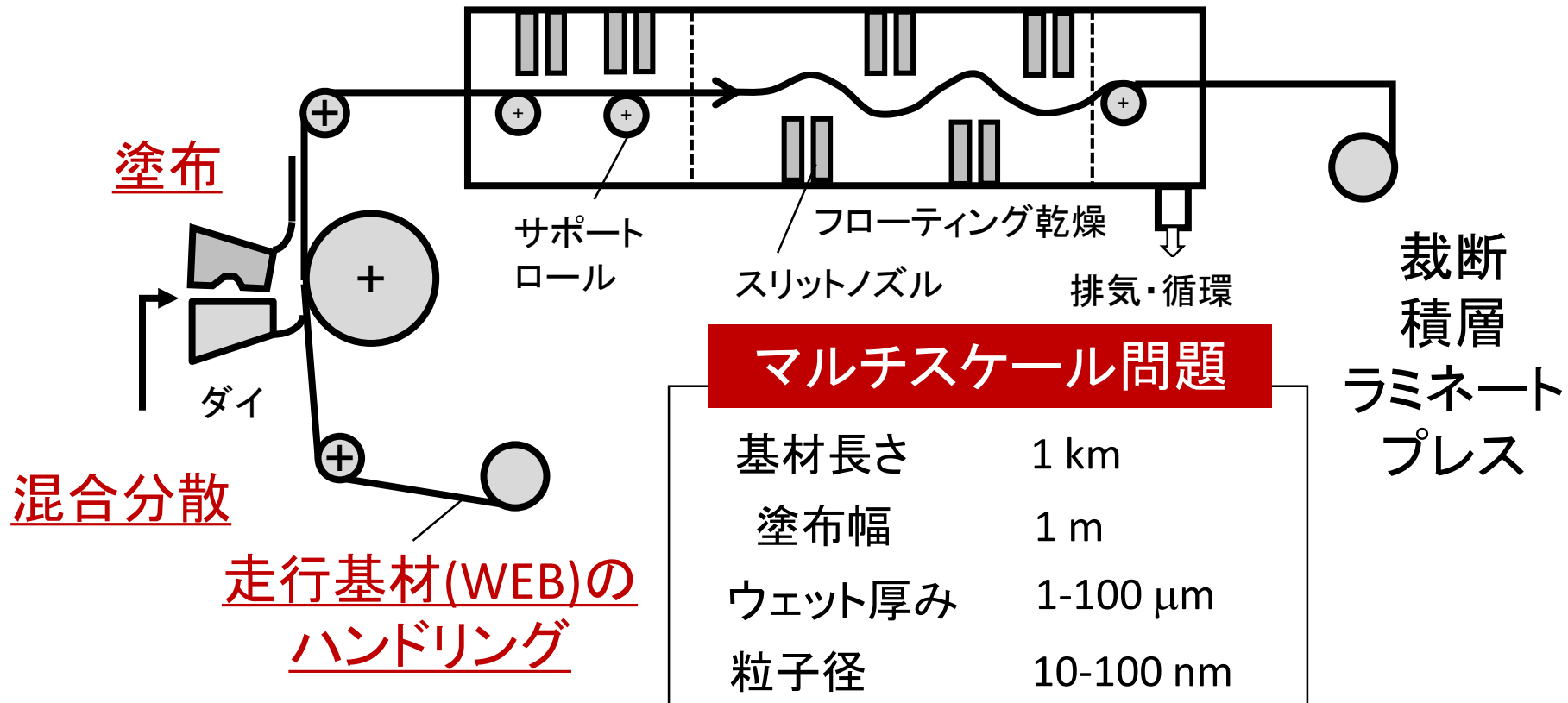


# 電極製造へ向けた大面積塗布乾燥技術の基礎

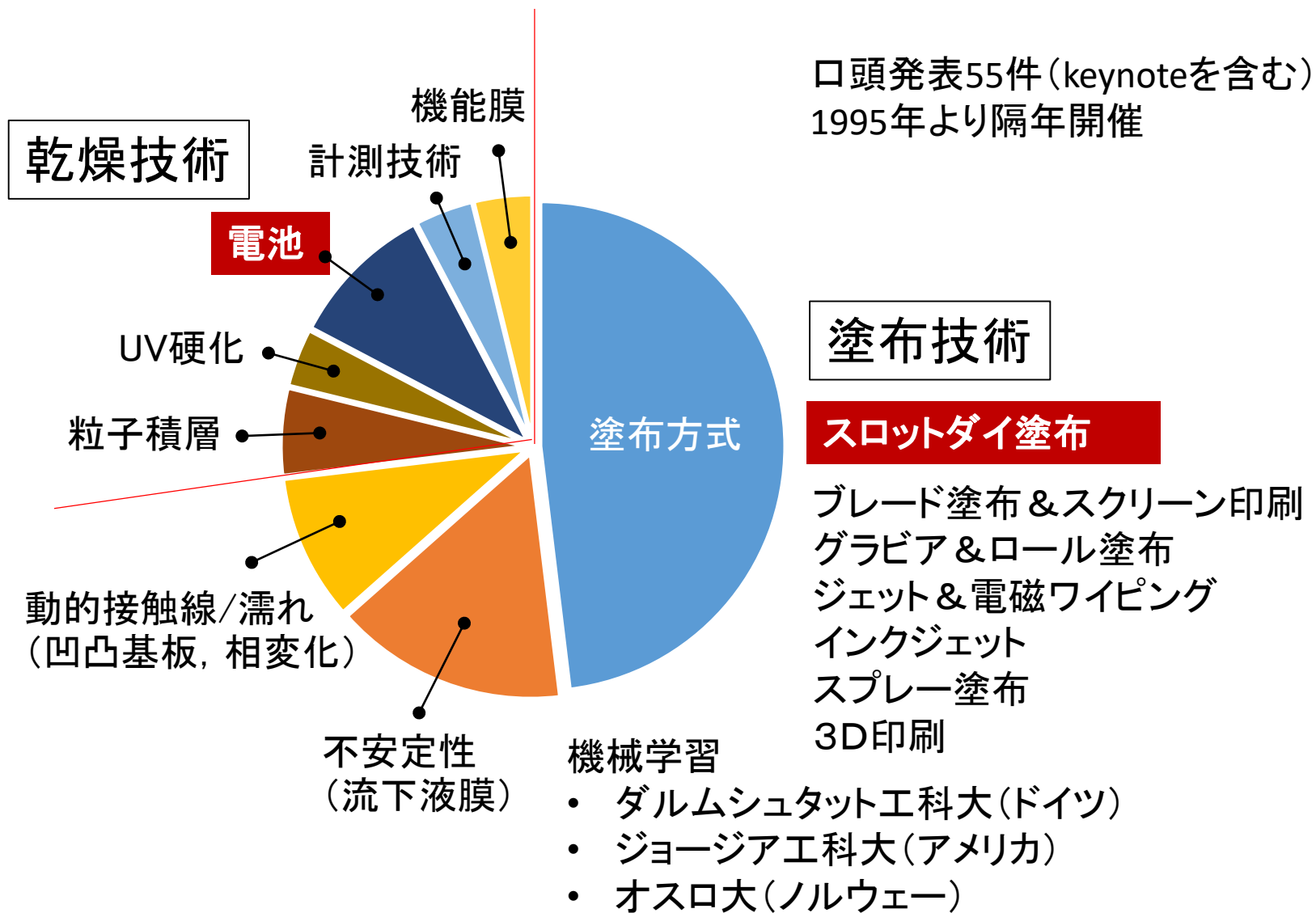
九州工業大学 工学研究院物質工学研究系  
山村 方人

## フィルム部材製造の基盤技術

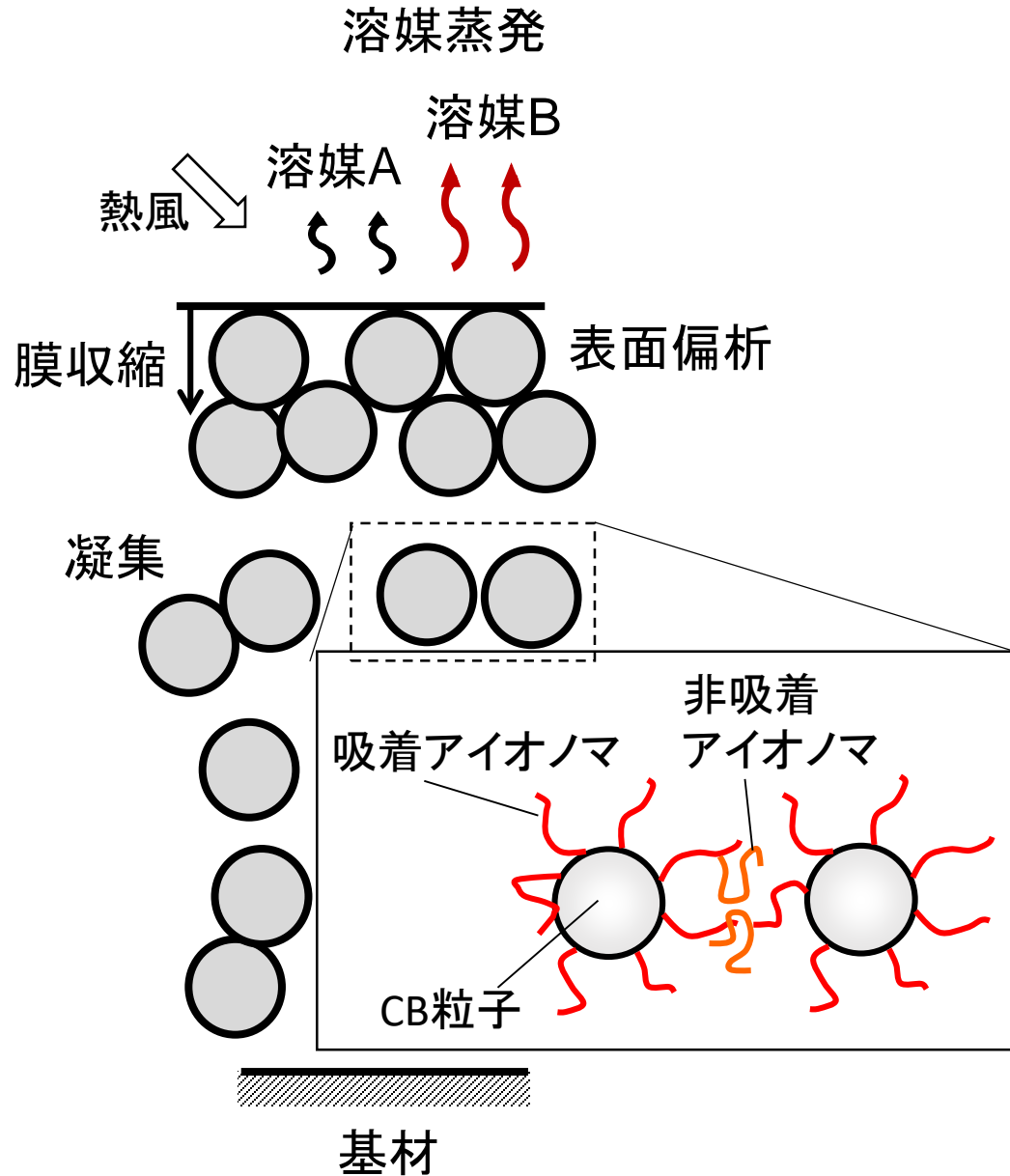
### 乾燥・硬化



# 学術動向：ヨーロッパ塗布シンポジウムECS2021

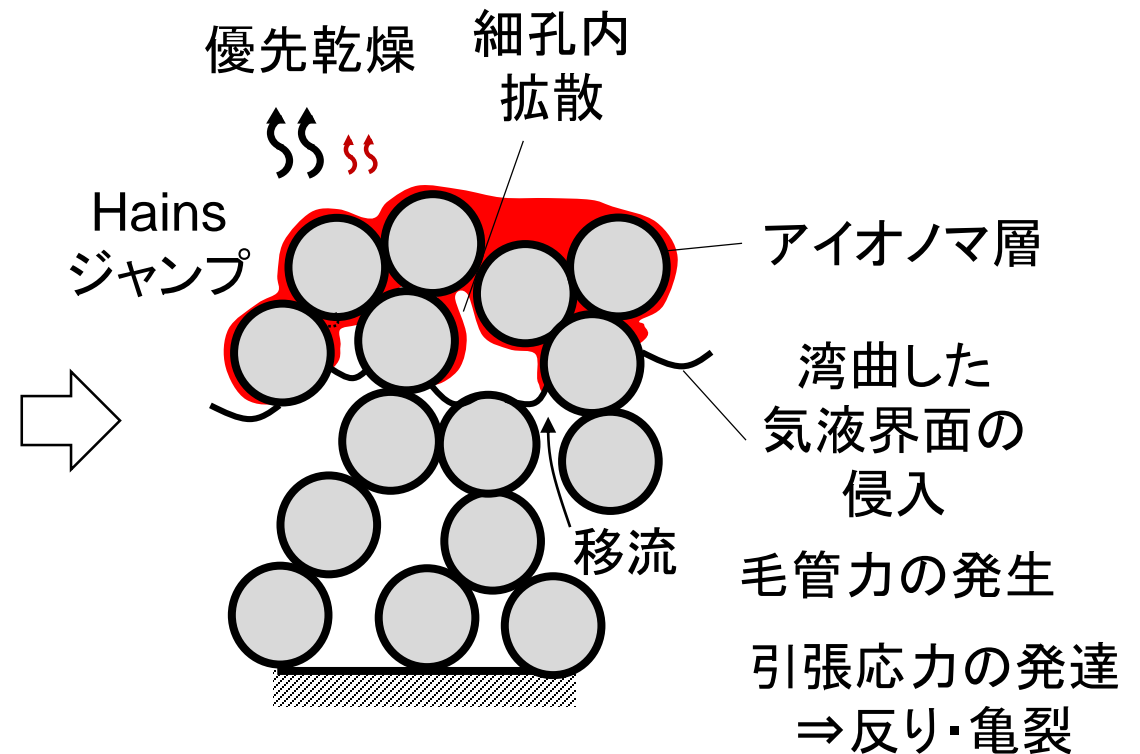


# 触媒インク乾燥中の諸現象

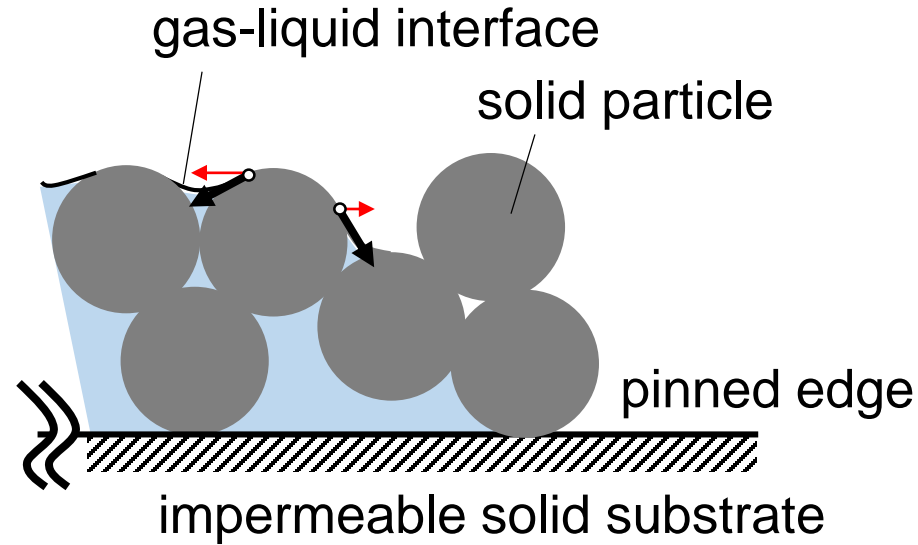


本講演では以下を取り上げる

- ◆ 亀裂を防ぐ インク組成
- ◆ 表面偏析を防ぐ 乾燥条件



# 気液界面の侵入は引張応力を生む



$$\text{毛管圧} \sim \frac{2\gamma}{R} f(\theta, \phi), \quad f = \frac{3}{2} \frac{\phi}{1-\phi} \cos \theta$$

$\gamma$ : surface tension

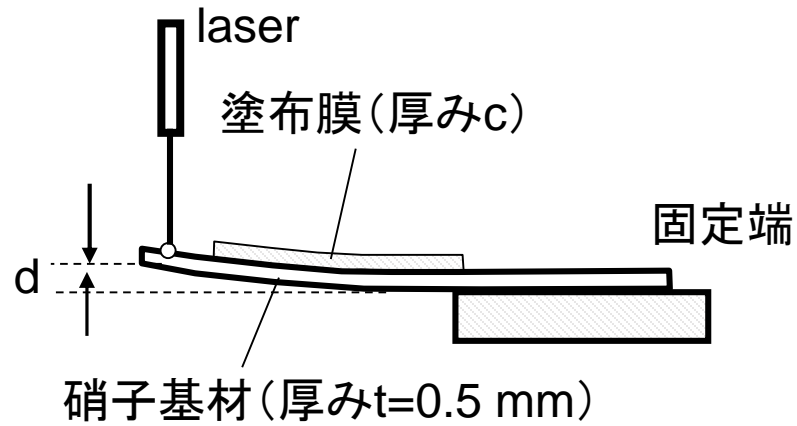
R: particle radius

$\phi$ : particle volume fraction

$\theta$ : contact angle

毛管圧を下げるには  
インクの表面張力を低く

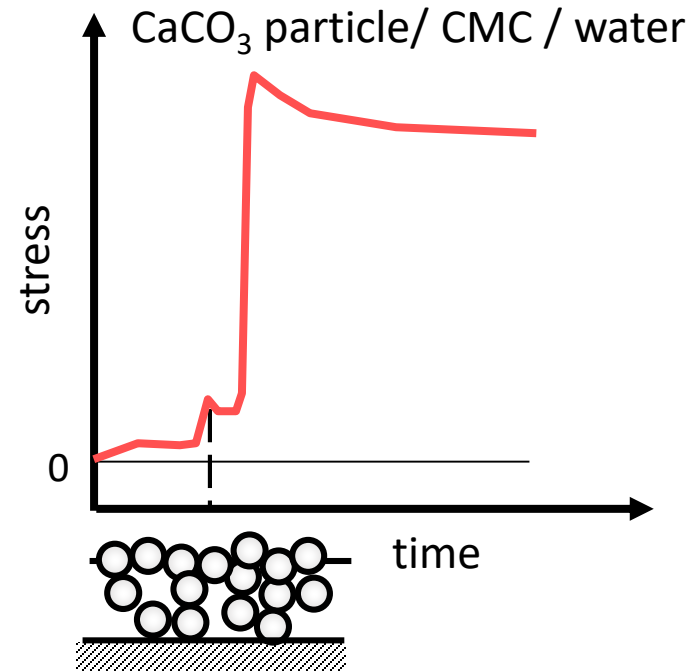
# カンチレバー法による応力測定



Cantilever beam deflection [1]

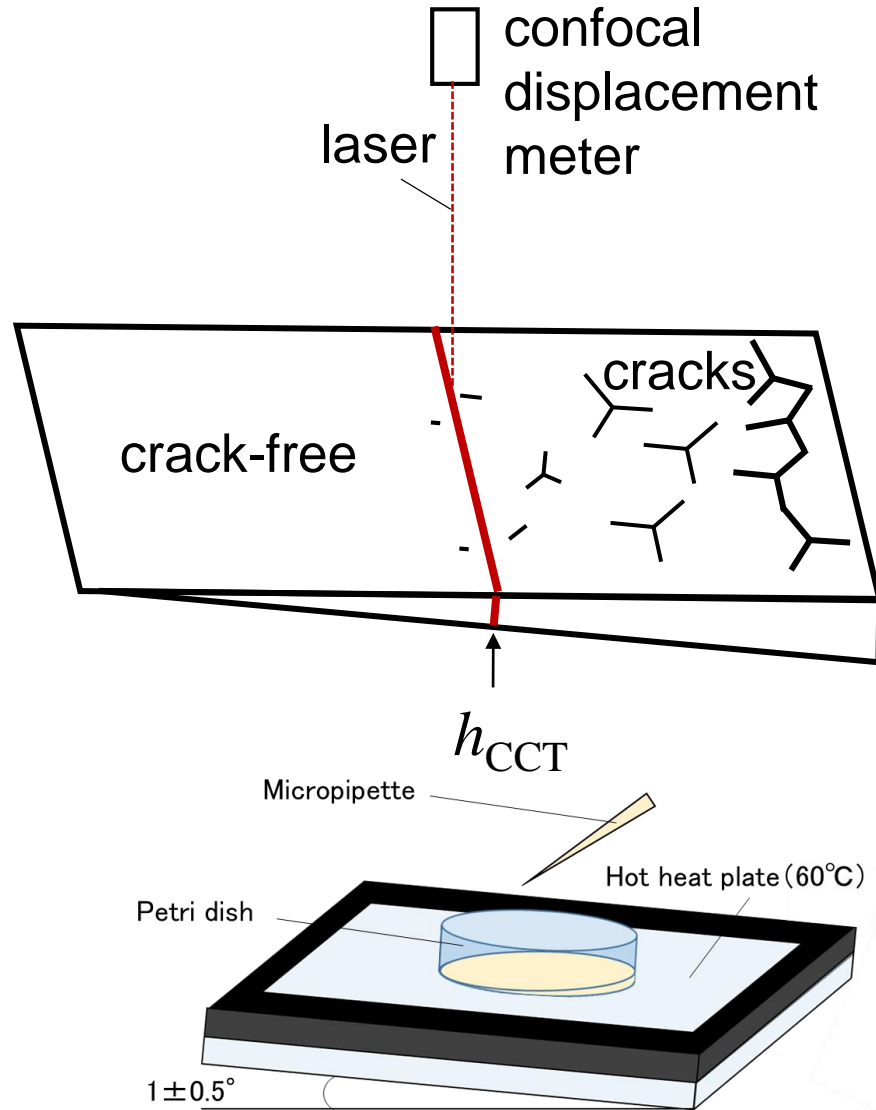
$$\sigma = \frac{Et^3}{3cL^2(t+c)(1-\nu)} d$$

1) E.M. Corcoran, J. Paint Technol. 41 (538) (1969) 635

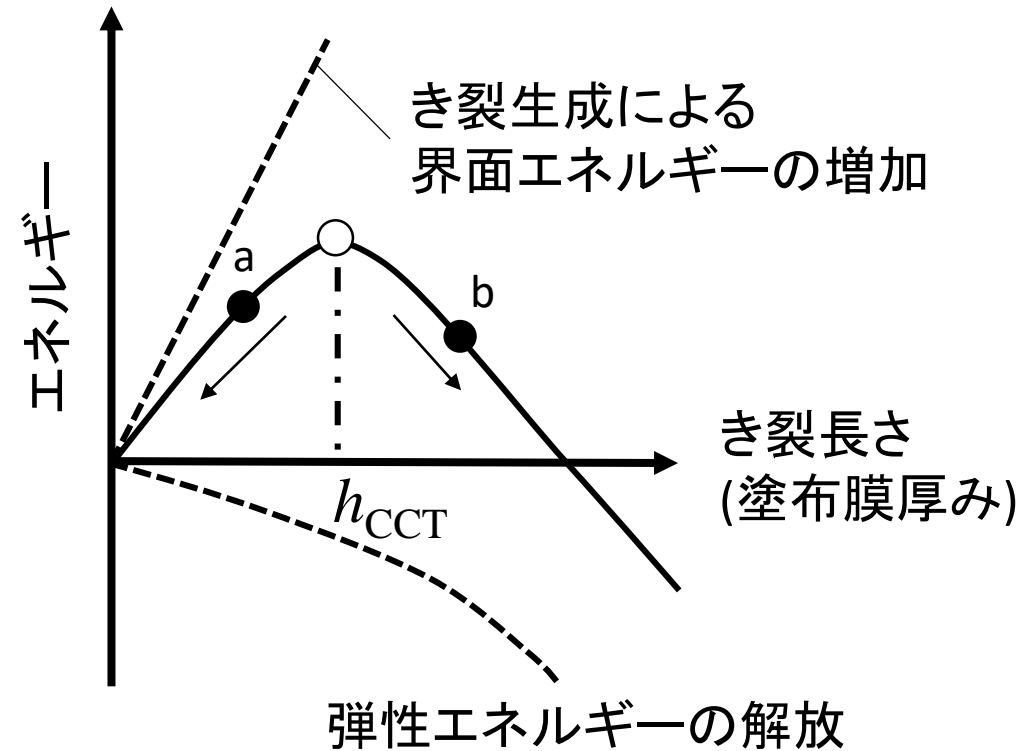


Wedin et al., Journal of Colloid and Interface Science, 272, 1-9 (2004)

# 臨界クラック厚み( $h_{CCT}$ )とは

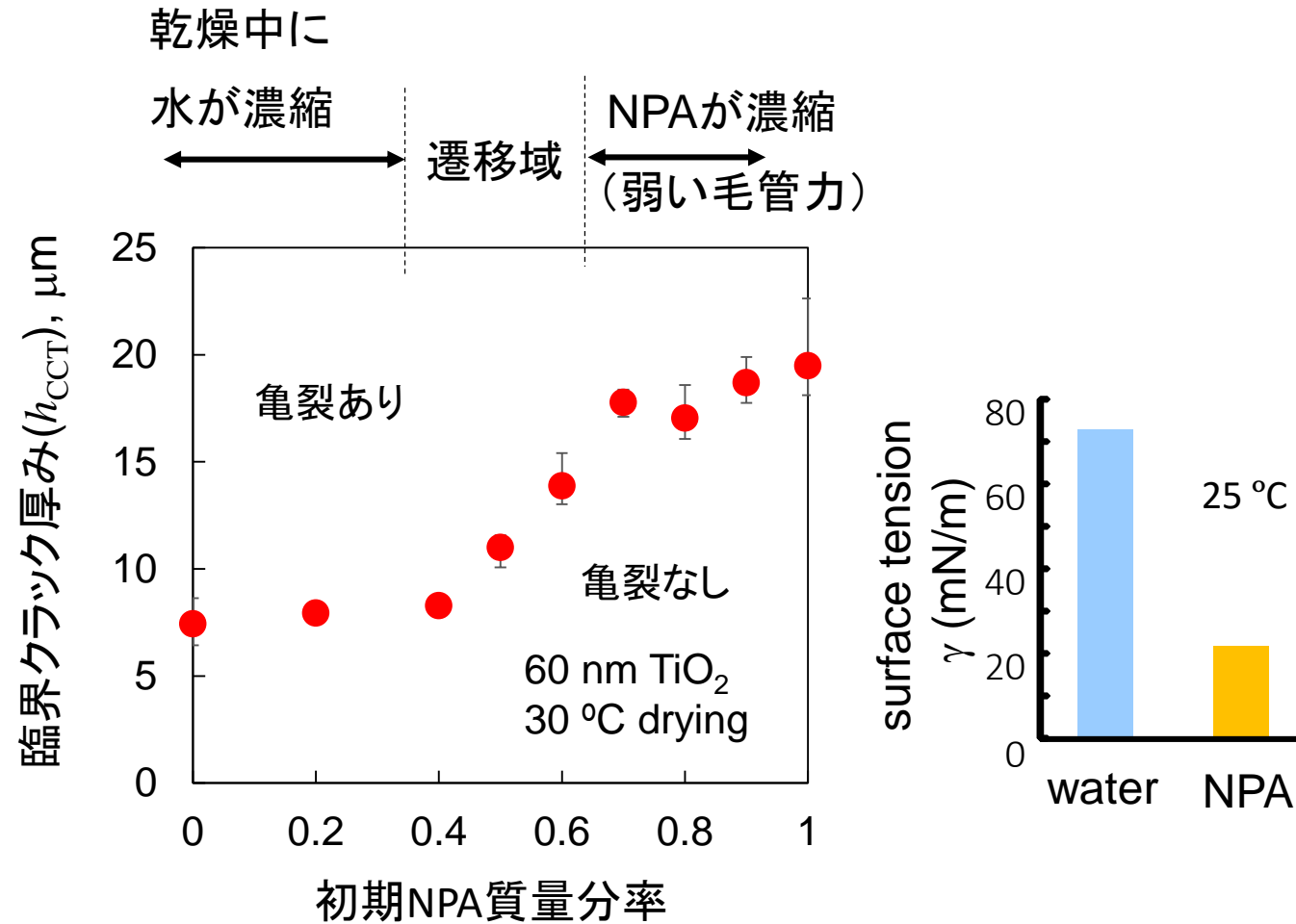


古典的Griffith理論[1]による説明



[1] Griffith, Philosophical Transactions of the Royal Society London A, 221 (1921) 163-198

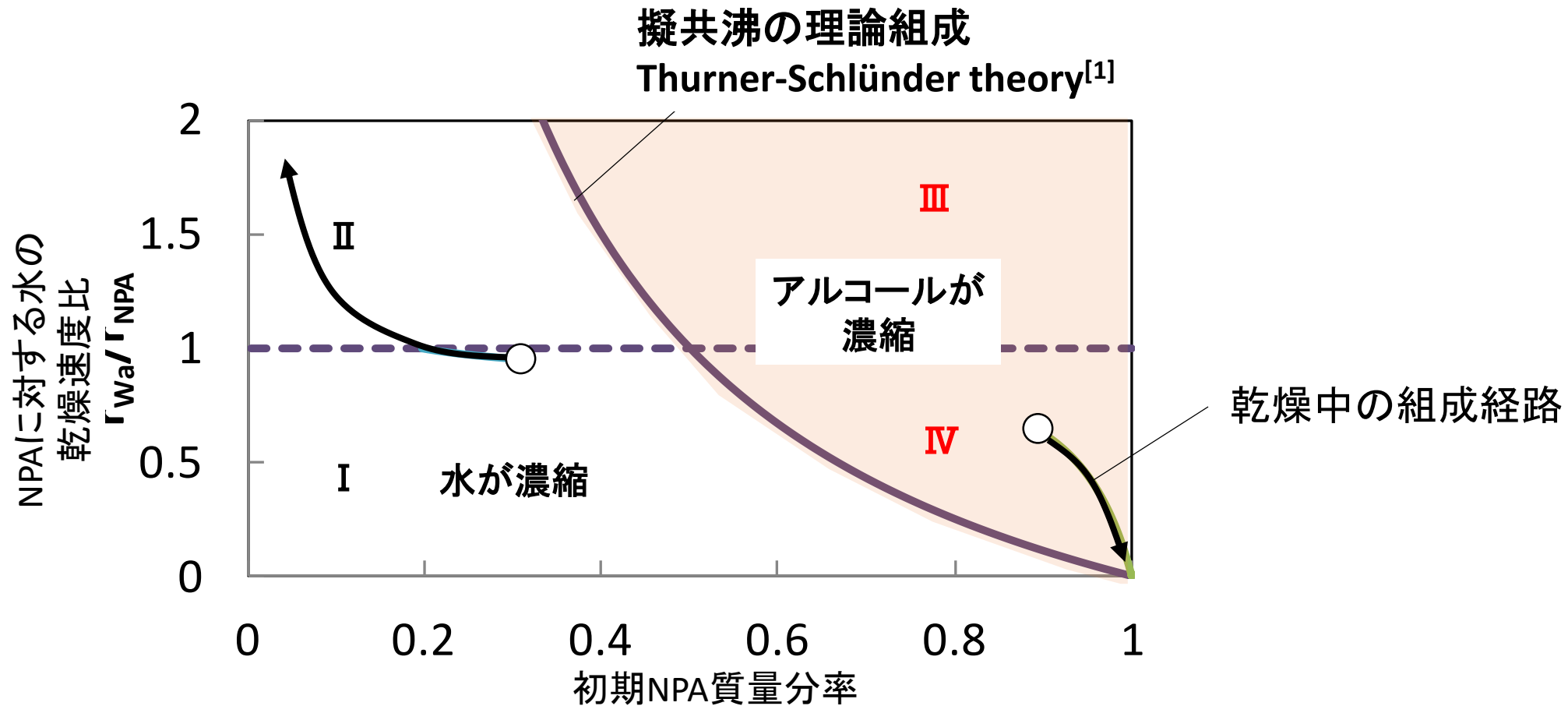
# 臨界クラック厚み( $h_{CCT}$ )を高めるインク組成(溶媒比率)



参考: Nafion/CB/NPA/水系でも定性的に同じ

Scheepers et al., J. Coat. Technol. Res., 16 (5) 1213–1221, 2019

# 混合溶媒系の乾燥(濃縮)マップ



[1] F. Thurner and E. U. Schlünder, Chem. Eng. Process. 20 (1986) 9-25

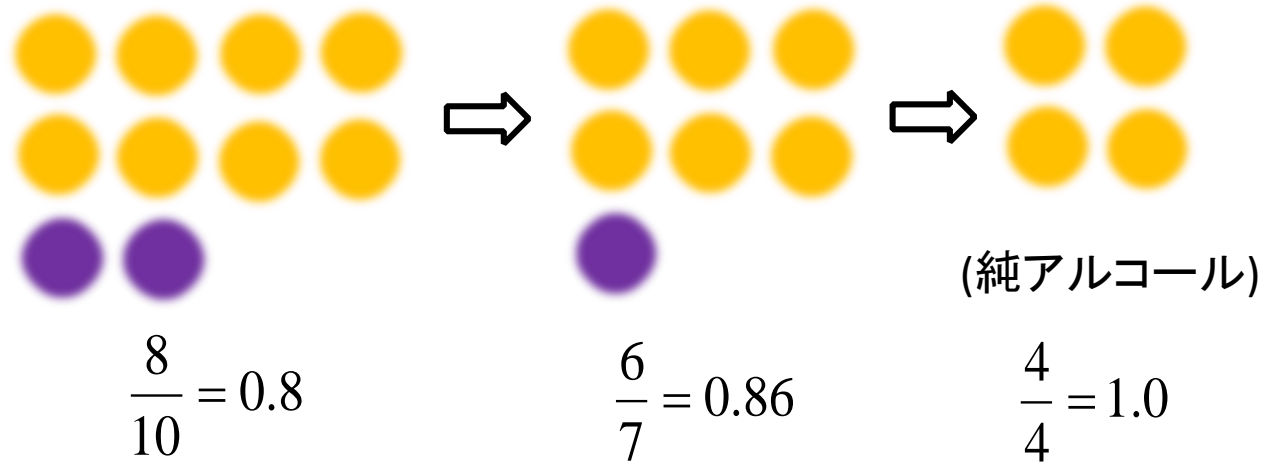


# アルコールはなぜ濃縮するか

● NPA (1)

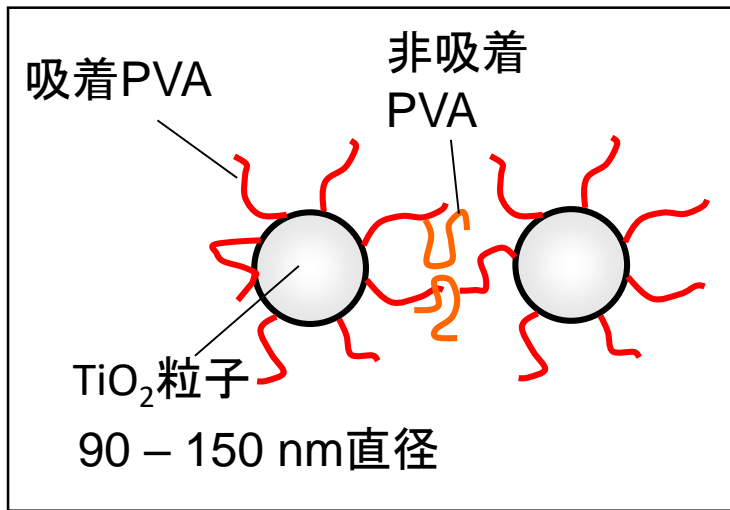
● Water (2)

$$\frac{r_1}{r_2} = 2 \quad (\text{アルコールの乾燥速度が水より2倍速い})$$

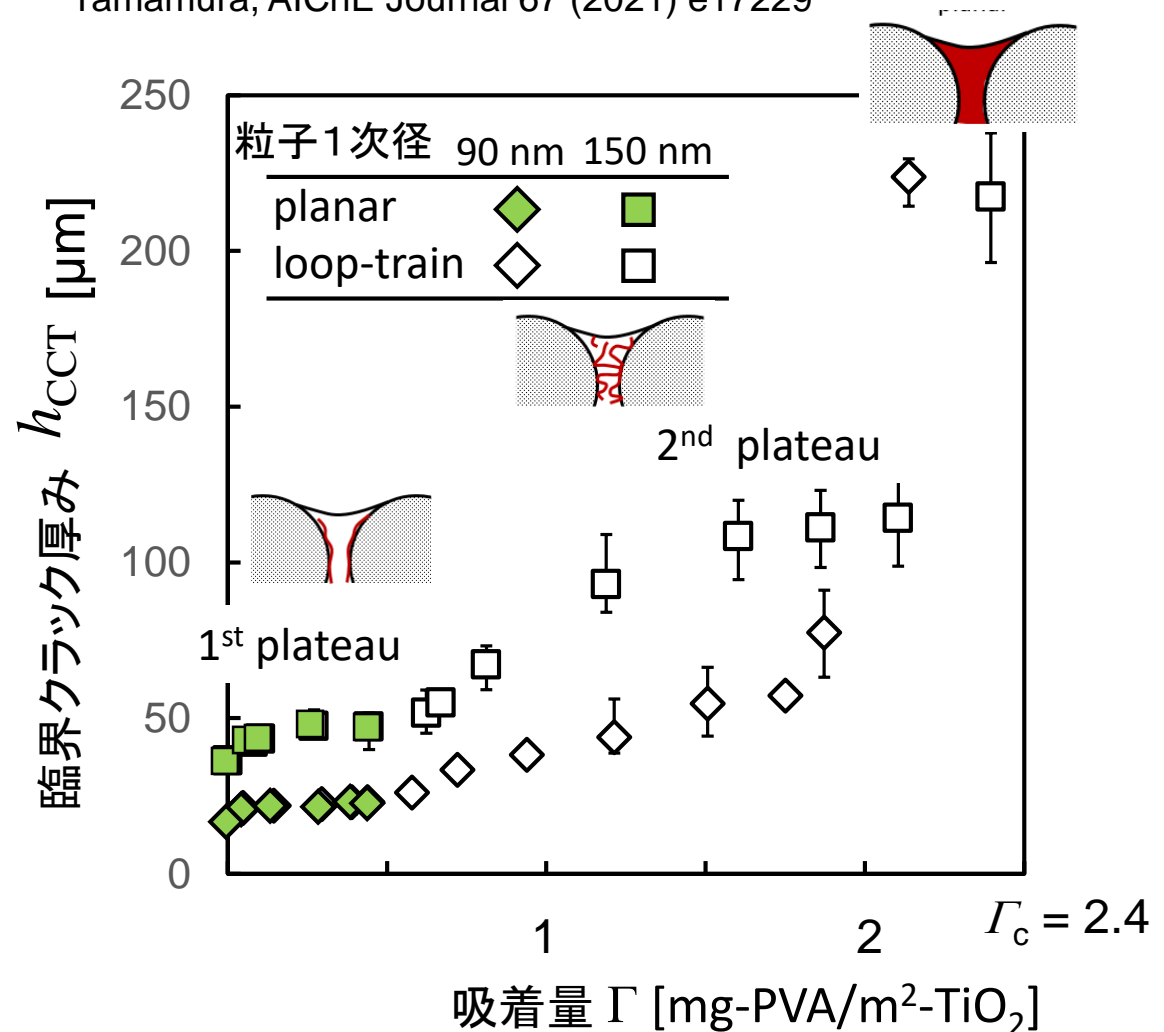


# き裂抑制に粒子表面の高分子吸着を利用

Yamamura, AIChE Journal 67 (2021) e17229

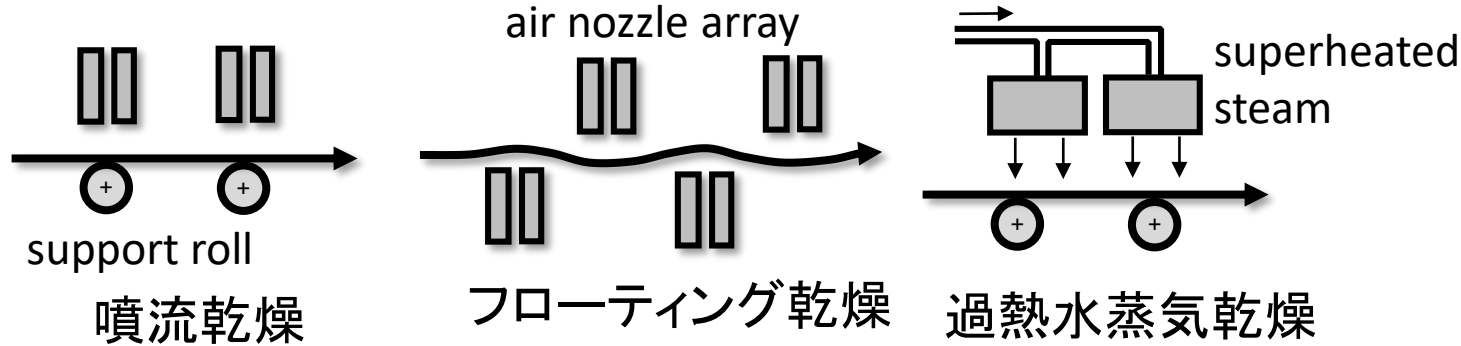


PVA: ポリビニルアルコール

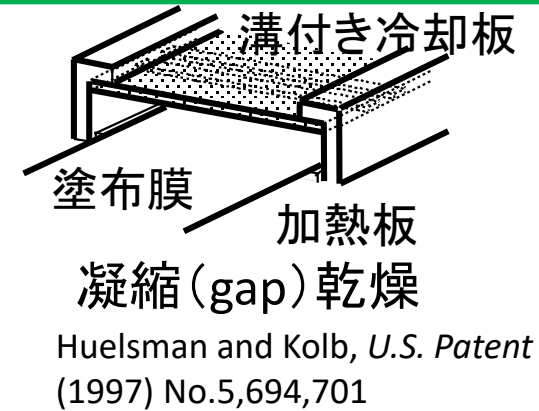
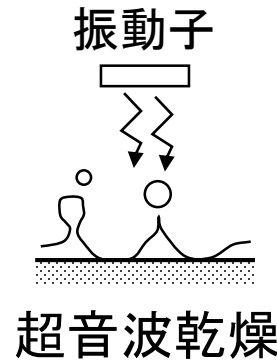
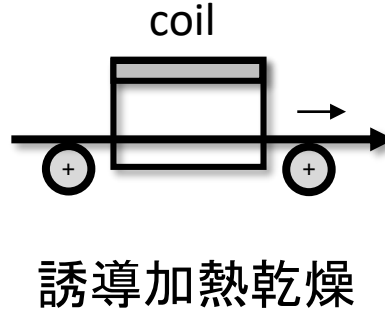
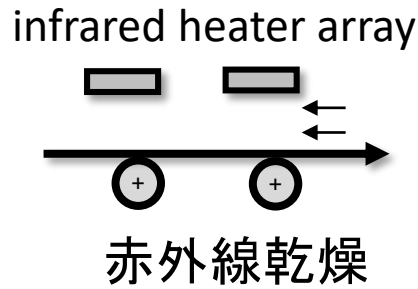


参考: CB/NPA/水系でのNafion吸着による割れ制御  
Kumano et al., Journal of Power Sources, 419 (2019) 219-228

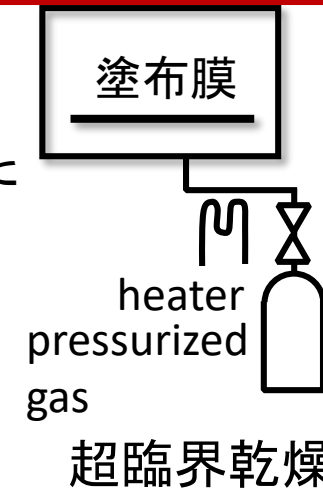
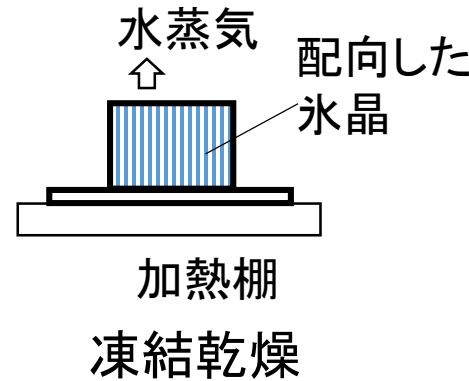
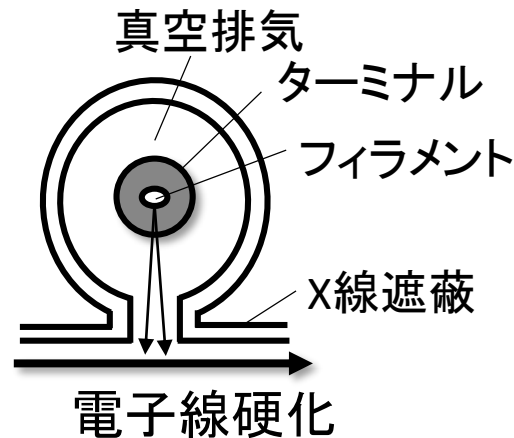
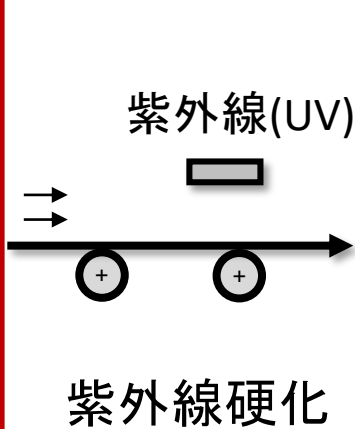
# 様々な乾燥硬化方式



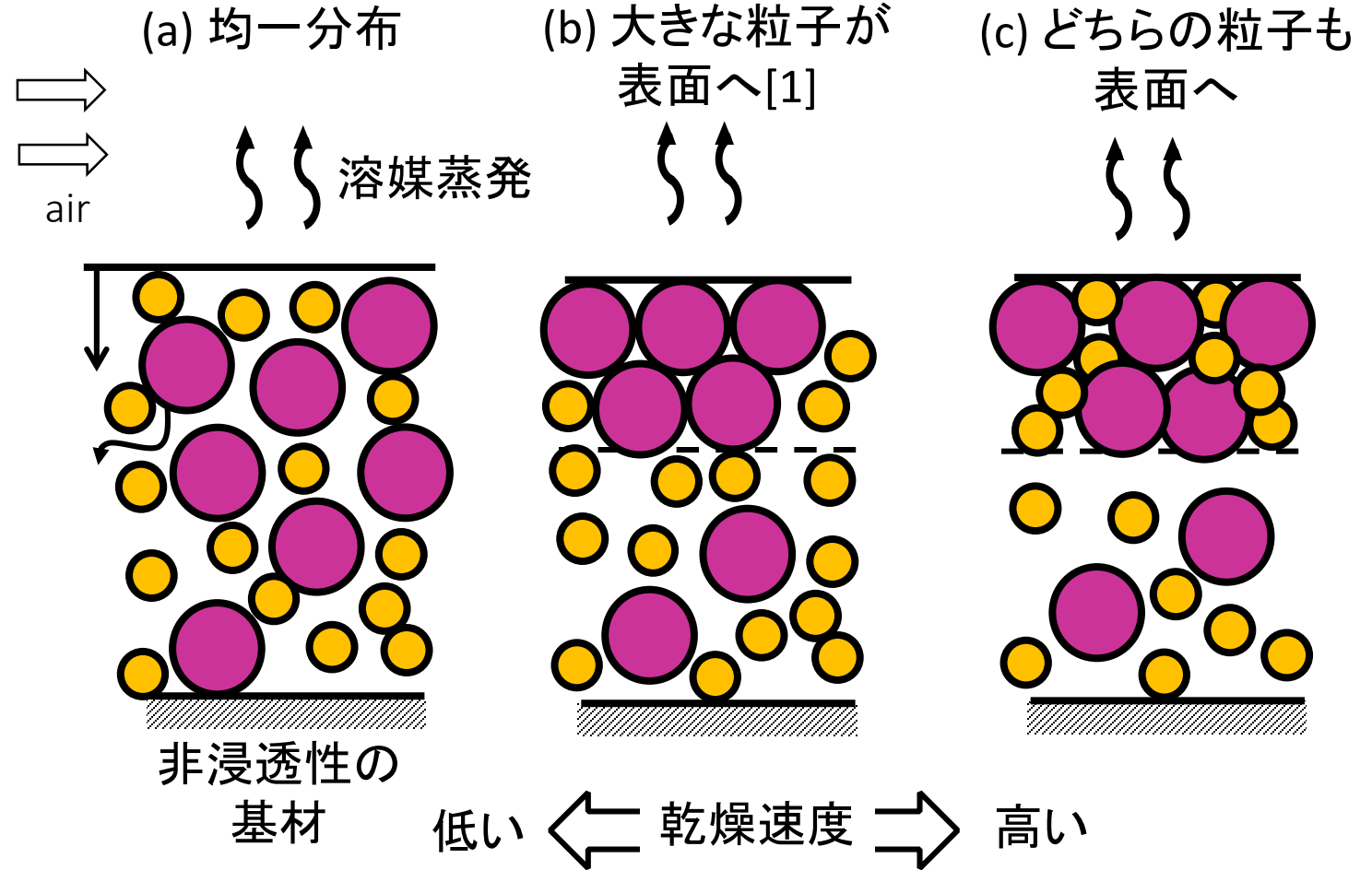
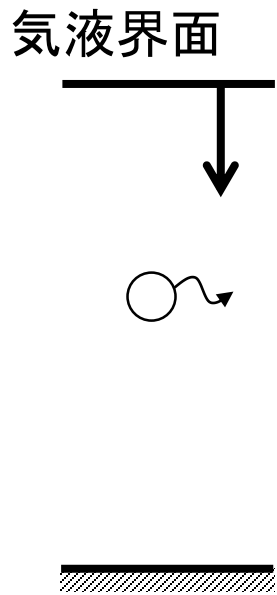
## 熱風を用いない方式



## 毛管圧が作用しない方式

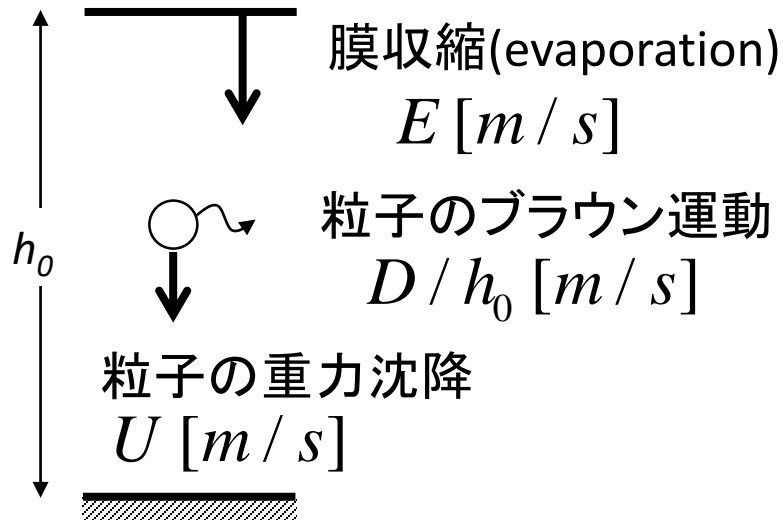


# 膜厚方向の成分分布



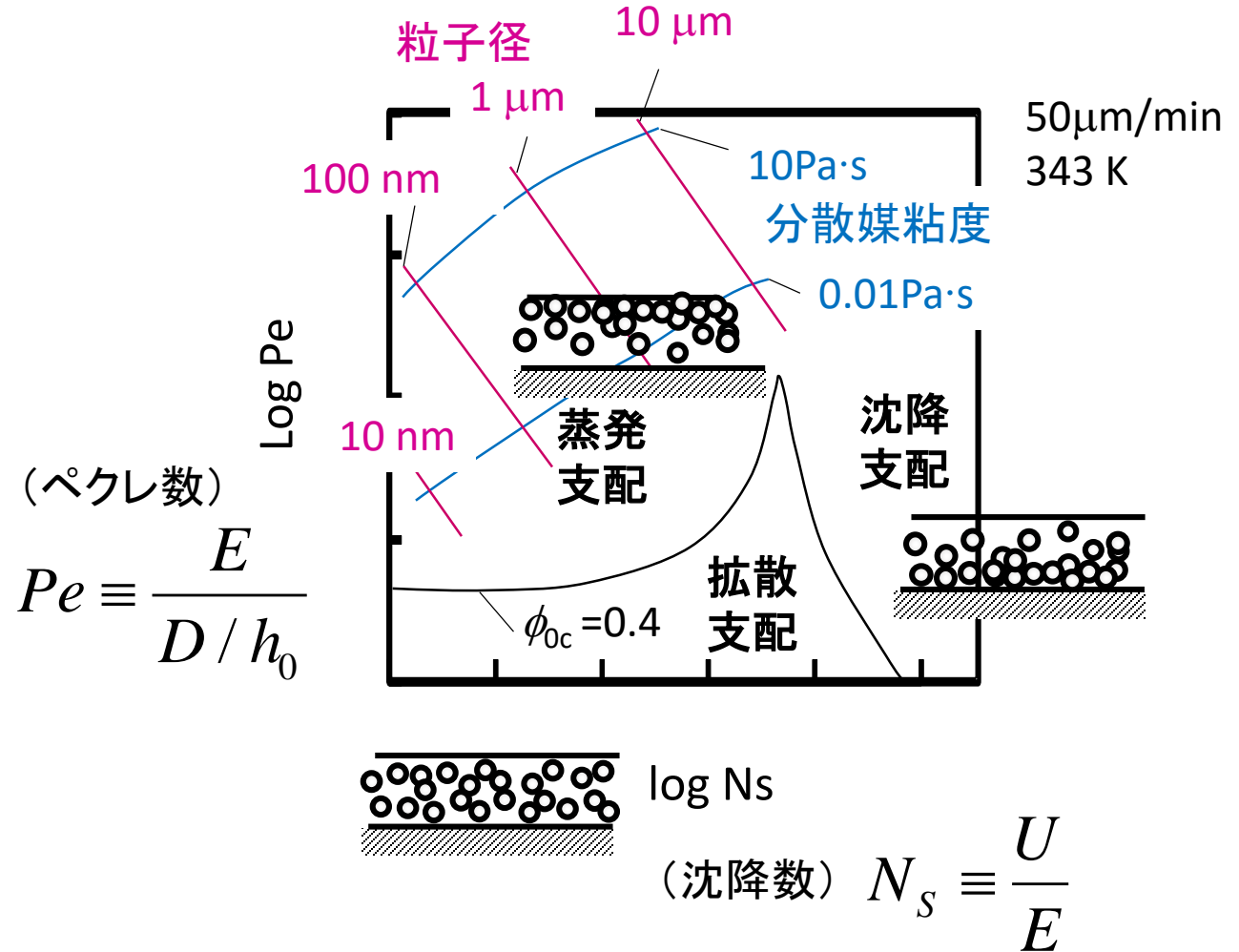
[1] Trueman et al., Langmuir 28 (2012) 3420

# 乾燥領域図(Drying Regime Map)<sup>[1,2]</sup>



$$D = \frac{kT}{6\pi\mu R}$$

$$U = \frac{2(\rho_P - \rho)gR^2}{9\mu}$$



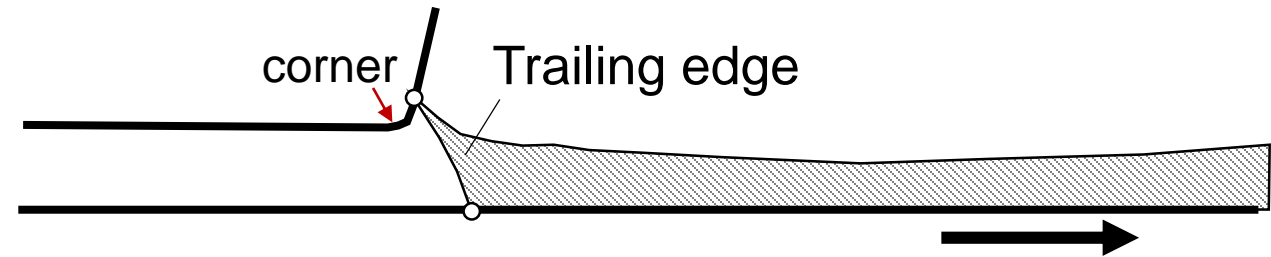
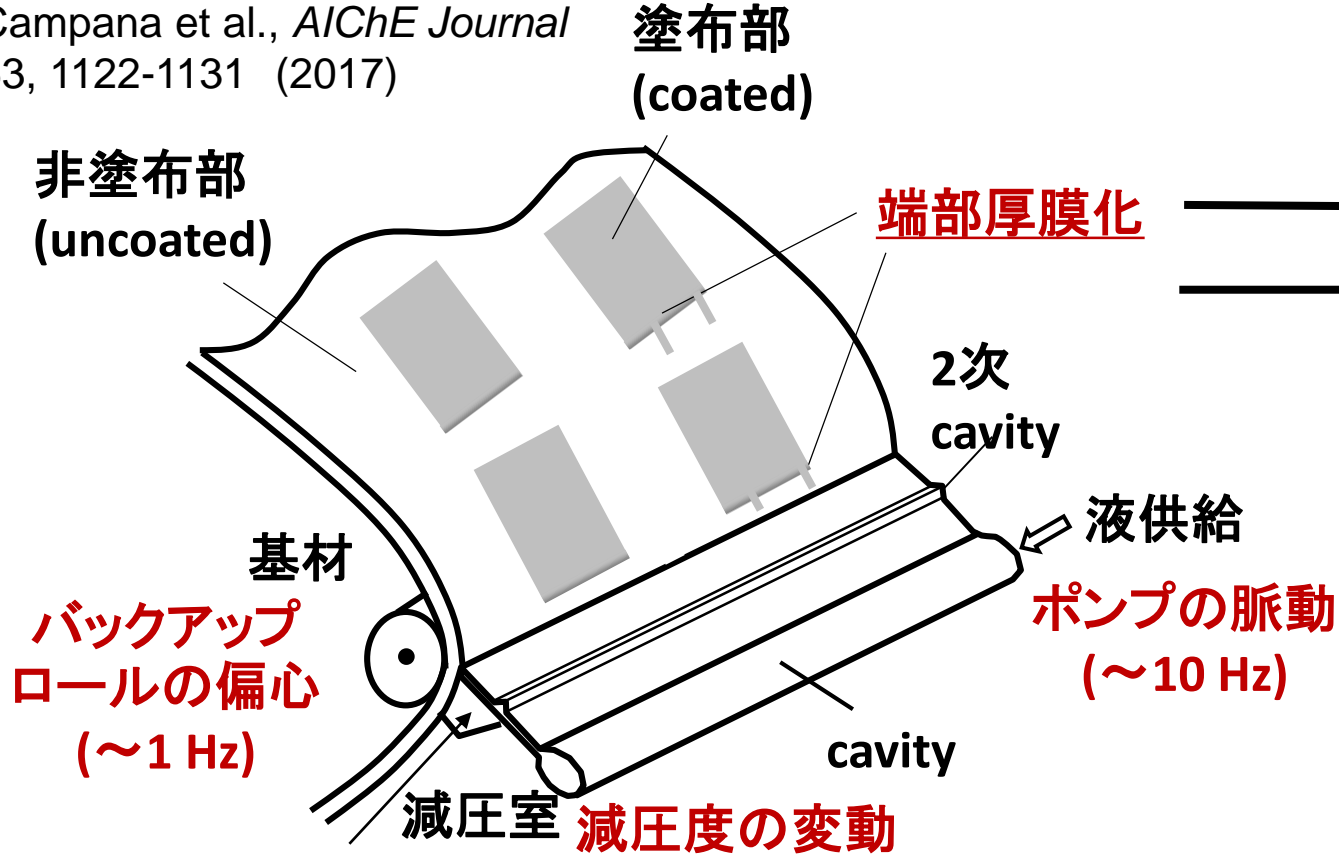
[1] Cardinal et al., *AIChE Journal*, 56 (2010) 2769-2780

[2] Buss et al., *Journal of Colloid and Interface Science* 359 (2011) 112-120

# スロットダイ塗布研究の進展

## 非ブラウン粒子の厚み方向偏析

Campana et al., *AIChE Journal*  
63, 1122-1131 (2017)



Trailing edgeを短くするダイ形状の数値解析

D. Maza, and M. S. Carvalho; *Journal of Coatings Technology and Research*, 14, 1003-1013 (2017)

O.J. Romero, M.S. Carvalho; *Chemical Engineering Science*, 63, 2161-2173 (2008)

# まとめに代えて

大面積・連続塗布乾燥プロセスは

- ◆ 答えが複数ある最適組み合わせ問題: 理論で方向性を
- ◆ 産学共同で深化
- ◆ 異業種の知見がしばしば役立つ

## 塗布技術の情報源

- ◆ International Coating Science and Technology (**ISCST**) Symposium  
September 10-14, 2022, Minneapolis, MN, USA [www.iscst.org](http://www.iscst.org)
- ◆ 分散・塗布・乾燥の基礎と応用, テクノシステム, 600頁 (2014)
- ◆ 化学工学会塗布技術研究会
- ◆ 日本粉体工業技術協会粒子積層分科会