



化学プロセス工学研究室

Research Projects -2024

山村 方人 教授
(Masato Yamamura, Professor)

九州工業大学工学部応用化学科
〒804-8550福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1
TEL:093-884-3344 FAX:093-884-3300

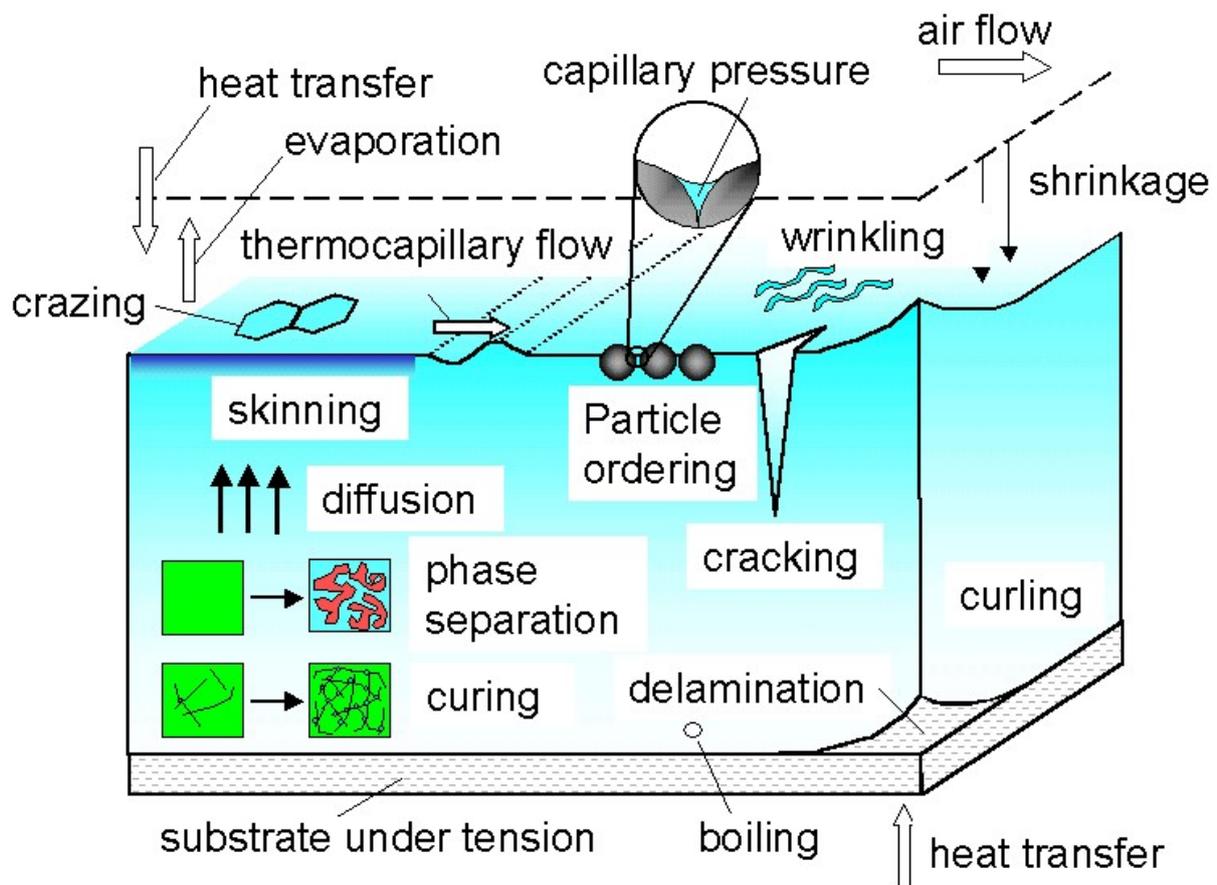


キャンパスマップ

Research Targets

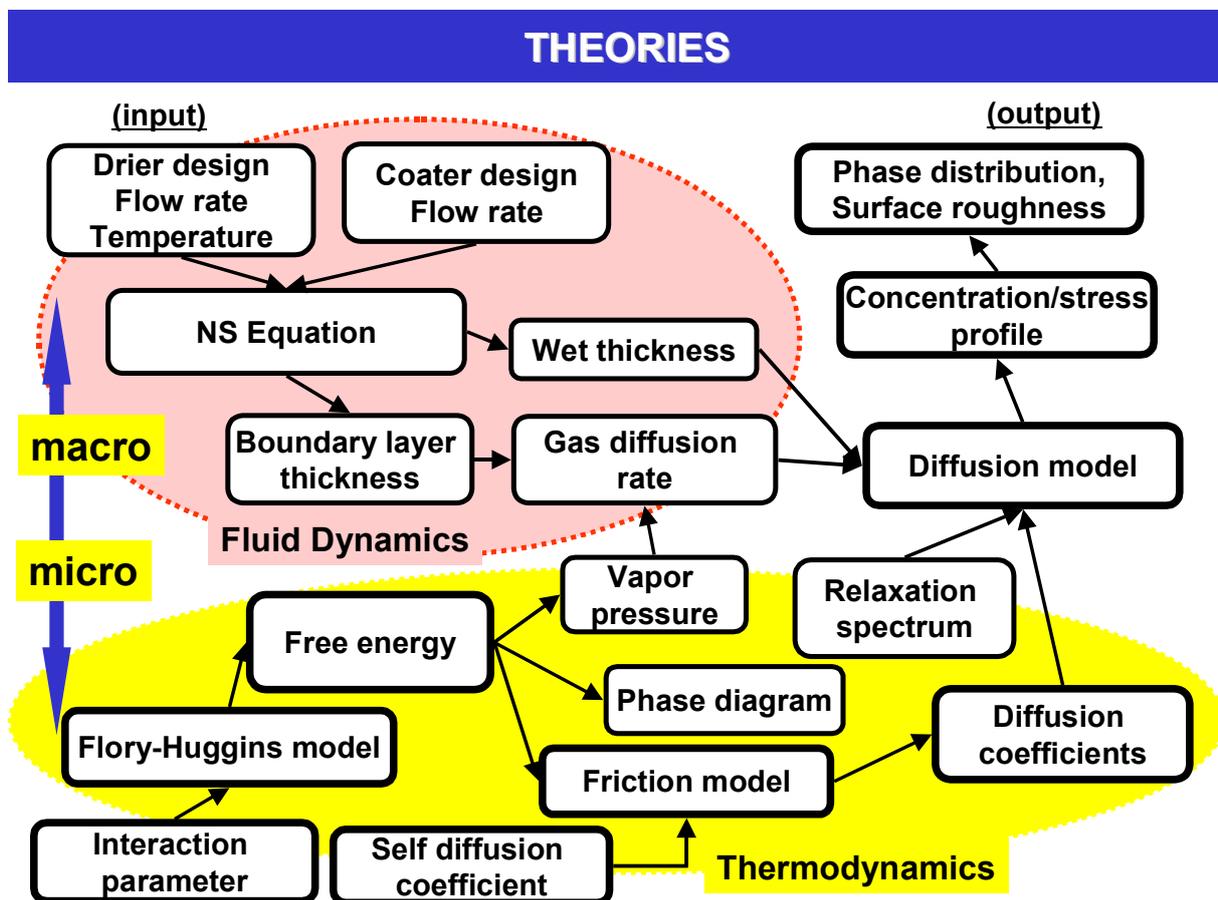
研究分野: ソフトマテリアルプロセッシング (Soft Material Processing)

写真フィルム等に代表されるような薄膜製品を得るためには、液体層の厚みをナノメートルオーダーで制御した精密乾燥技術が必要とされる。ところが高分子やコロイドのような「ソフトマテリアル」を含む液体はそのマイクロ構造に起因して相分離(phase separation)、そり(curling)、発泡(boiling)といった複雑な構造変化を誘起する。本研究ではnm~ μm スケールの微細構造を伴う薄膜をメートル幅の大面積で作成するための基礎学問分野を soft material processing と名付け、その体系化を行っている



Research Strategy

ソフトマテリアルプロセッシング (SMP)には、表面化学、高分子物理、熱力学、流体力学といった個々の学問知識を持つだけでなく、それらを相互に関連(リンク)させて理解していることが望ましい。本研究室では、下に示すようなinputとoutputとの関係を仮定し、それを実験、解析を通じて各自が検証する作業を行っている。この作業に参加した研究室卒業生は、卒業研究の中で得られた知識を、新しいリンク先と新しい矢印として、図の中に書き込む。



クラックの可視化とその発生限界解析

In-situ visualization of cracking in drying particle-polymer composite coatings

目的

Objectives

溶媒に伴う収縮ひずみの局所分布により膜内に発生する引張応力は、フィルムの反りやクラック形成の要因となる。本研究では通気・非通気条件におけるクラック形成過程のその場観察を行い、1次クラックの表面密度と既存クラックから伸びる2次クラックの表面密度との時間変化をそれぞれ実験的に求めることで、高速乾燥時に表面密度が低下する場合があることを明らかにした。

方法

Procedures

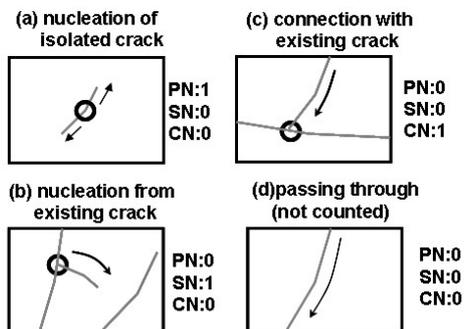
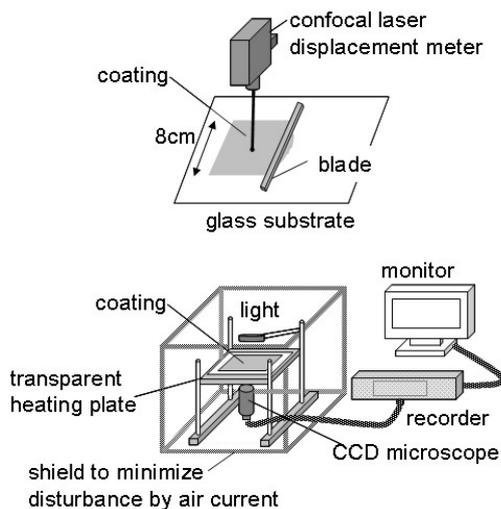
50ミクロン程度で塗布した液体膜を下方から60~100°Cで加熱し、乾燥に伴うクラック発生・進展挙動を下方から顕微鏡下で観察する。透明加熱板の使用により膜上部の気流を乱すことなくin-situ可視化が可能である。

公表

Recent publications

Yamamura M. Ono H., Uchinomiya, T., Mawatari Y., Kage H., Multiple crack nucleation in drying nanoparticle-polymer coatings, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 342 (2009) 65–69

Suppressed cracking in drying nanoparticle-polymer coatings at high Peclet numbers, Journal of Chemical Engineering of Japan 43 (2), 209–213 (2010)



熱流束による乾燥速度測定法

Measuring drying rate using heat-flux method

目的

Objectives

乾燥速度計測には重量法、温度変化法、膜厚法、赤外分光法、共焦点ラマン法、ガスクロマトグラフィー法などがある。本研究では熱流束値から乾燥速度を算出する原理を提案するとともに、原理の妥当性を実験的に検証した。本測定法は振動に対してロバストであり且つ100 μ m以上の厚膜に適用できる局所計測法として有用である。

方法

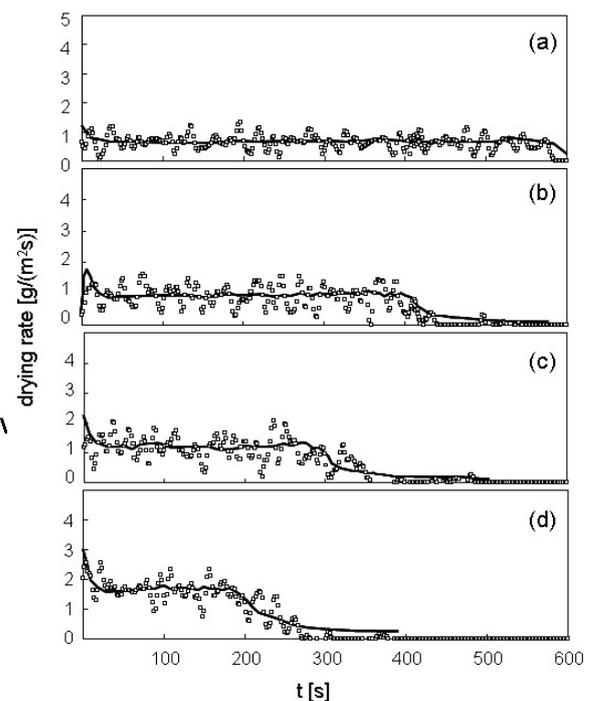
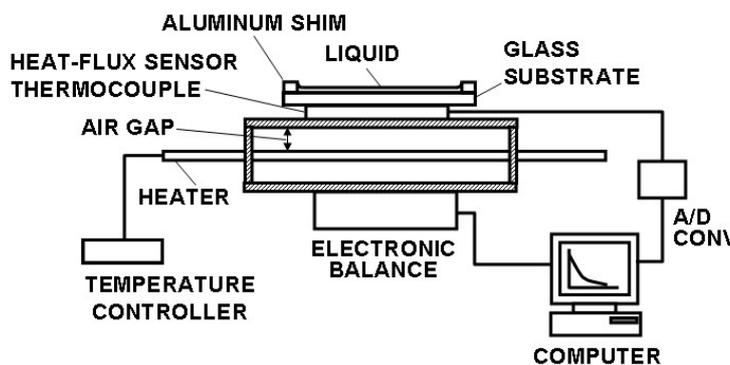
Procedures

溶媒蒸発に伴う潜熱移動量と、対流熱伝達に伴う顕熱移動量の和を基材に接着した熱流束センサで、また同測定点における温度変化を熱電対でそれぞれ計測することにより、熱収支式から単位時間、単位面積当たりの溶媒蒸発質量を求める。

公表

Recent publications

Yamamura M. Ohara K., Mawatari Y., Kage H.,
Measuring the drying rate of liquid film coatings
using heat-flux method, *Drying Technology*, 27,
817-820 (2009)



凝縮（ギャップ）乾燥器内の乾燥挙動解析

Drying behavior in condenser dryer

目的

Objectives

蒸発した溶媒を冷却面上で凝縮させ、液体として回収する凝縮（ギャップ）乾燥は、面内に均一な乾燥速度が得られる低環境負荷型の方式として有用である。本研究ではギャップ乾燥器内の溶媒乾燥速度がある条件下で1次元モデルによる予測値から乖離することを実験的に示した。更にその乖離を小さくするための装置工学的検討を行った。

方法

Procedures

液体塗布膜を下方から加熱し、蒸発した溶媒を上方に設置した溝付き冷却板で凝縮させた場合の乾燥速度を重量法によって測定する。更に凝縮面にナイロンスクリーンを設置し凝縮した溶媒を保持する。

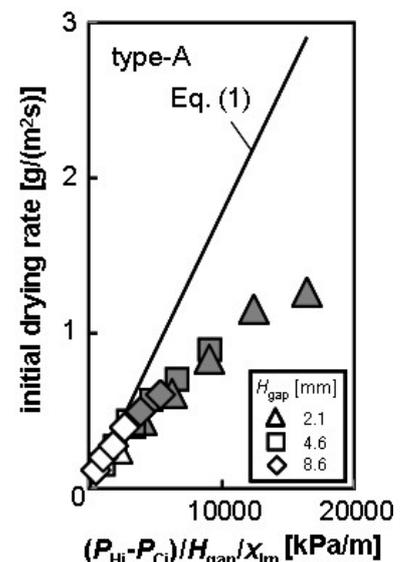
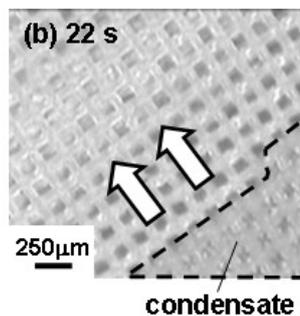
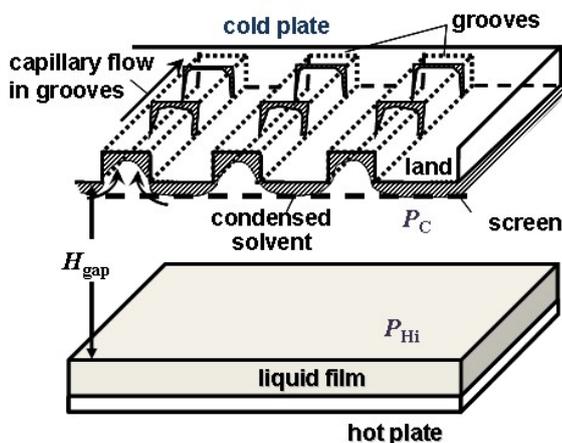
公表

Recent publications

Drying behavior of thin liquid films in a condenser dryer with a solvent-trapping screen, Chemical Engineering and Processing, 48, 1427-1431 (2009)

Yamamura M., Ishimoto, S., Mawatari, Y., Kage, H., Transitions between condenser and airflow dryings of thin film coatings, Drying Technology, 25(6), 993-997, 2007

Yamamura M., Inoue, T., Mawatari, Y., Kage, H., Drying-rate limit in condenser drying of thin film coatings, Journal of Chemical Engineering of Japan, 39(8), 814-817, 2006



紫外線照射による乾燥速度制御

Light-tunable drying in photo-responsive solution coatings

目的

Objectives

光異性化分子であるアゾベンゼンに直線偏光紫外線を照射すると、trans体からcis体へと光異性化すると同時に、偏光方向に対して垂直に配向する。本研究ではこの光異性化および分子配向に因って隣接する溶媒の乾燥速度が変化することを実験的に示した。これは局所的な乾燥速度の制御法として期待される。

方法

Procedures

アゾベンゼンをアセトンに溶解させた塗布膜をガラス基板上に形成し、ガス側拡散律速条件での乾燥速度を重量法によって測定する。紫外線偏光方向、光強度、溶液組成を変化させて、紫外線非照射時との乾燥速度変化を測定する。

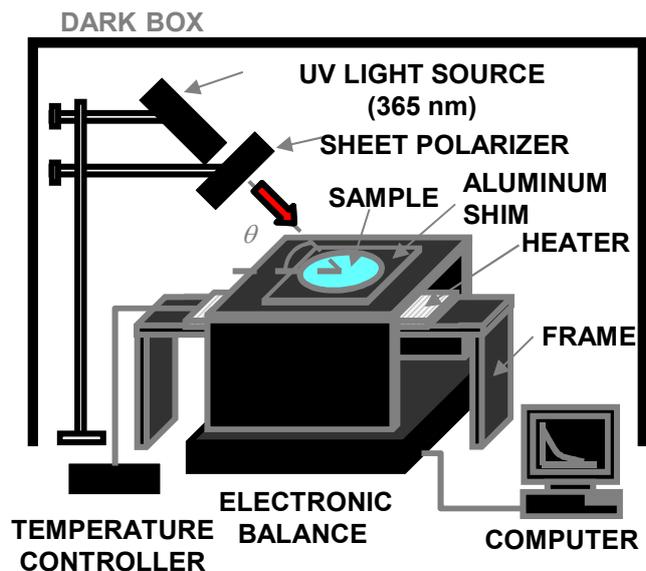
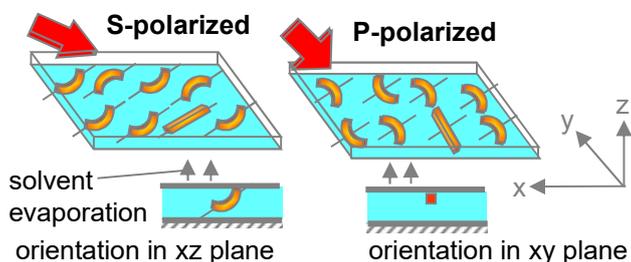
公表

Recent publications

Yamamura M., Orihashi K., Mawatari Y., Kage, H., Light-tunable solvent drying in photo-responsive solution coatings, *Drying Technology*, 26, 97-100 (2008)

“Light-tunable” drying concept

How does the photo-induced molecular motion alter *neighboring solvent* motion at *air/liquid interface*?



Samples: wet thickness 400 μm
AB/Acetone=1/40 (wt/wt)

マランゴニ流れによる表面凹凸形成

Surface roughening via drying-induced Marangoni flow

目的

Objectives

低粘度塗布液を高速で乾燥させると、表面に長波長の凹凸が生じる場合がある。従来の研究は静止した基板上の塗布膜を対象としており、走行している場合の解析はほとんどない。本研究では表面張力勾配によって駆動されるマランゴニ流れに着目し、ノズル直下を一定測定で移動する塗布膜表面における凹凸形成シミュレーションを行った。

方法

Procedures

ノズルからの熱風吹きつけに伴う物質移動係数・伝熱係数の空間分布を実験式を用いて表現し、膜内の温度・濃度分布を解くことで表面張力の局所分布を算出する。潤滑近似した運動方程式を温度・濃度場とカップリングさせて解き、表面形状の時間変化を求める。

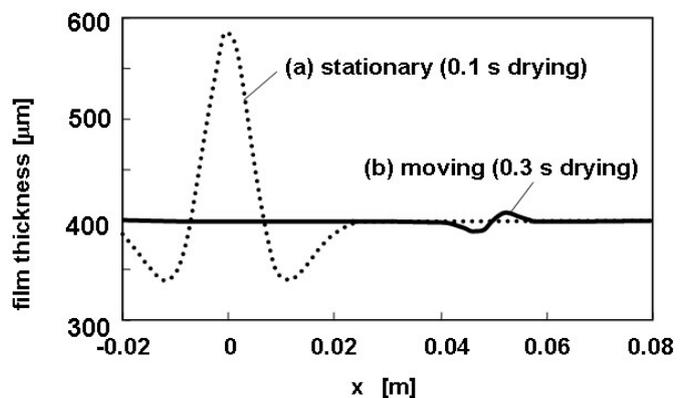
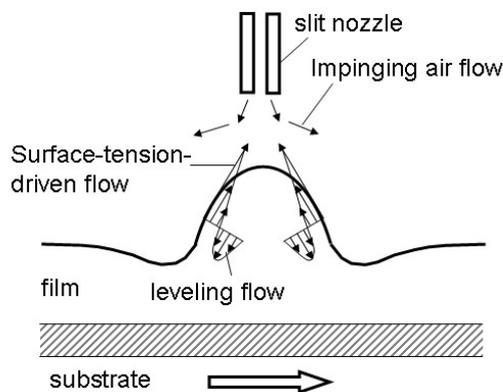
公表

Recent publications

Yamamura M., Uchinomiya, T., Mawatari, Y., Kage, H., Asymmetric surface roughness formation on moving non-isothermal liquid coatings, *International Polymer Processing*, 22(1), 22-26, 2007

Yamamura M. Uchinomiya, T., Mawatari Y., Kage H., Drying-induced Surface Roughening of Polymeric Coating under Periodic Air Blowing, *AIChE Journal*, 55(7), 1648-1658 (2009)

Non-uniform thinning of polymeric coatings under Marangoni stress, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 43(1), 40-45 (2010)



粒子による空気同伴開始の抑制

Postponed air entrainment in dilute suspension coatings

目的

Objectives

塗布速度を増加させるとある臨界速度で気/液/固 3 相界面（動的接触線）が不安定となり、V字型の空気膜が形成され、その先端から気泡が薄膜内部へと同伴されてしまう。本研究では、ある粒子径の球形粒子を塗布液へ添加すると、ある臨界粒子濃度において空気同伴が抑制される“粒子による接触線安定化効果”を新たに見出した。

方法

Procedures

鏡面のステンレス塗布ロール上に粒子分散液を塗布し、接触線を上方からCCDカメラで観察する。粒子径・粒子濃度・塗布液粘度を変化させ、気泡が同伴し始めるロール速度を臨界速度と定義して測定する。

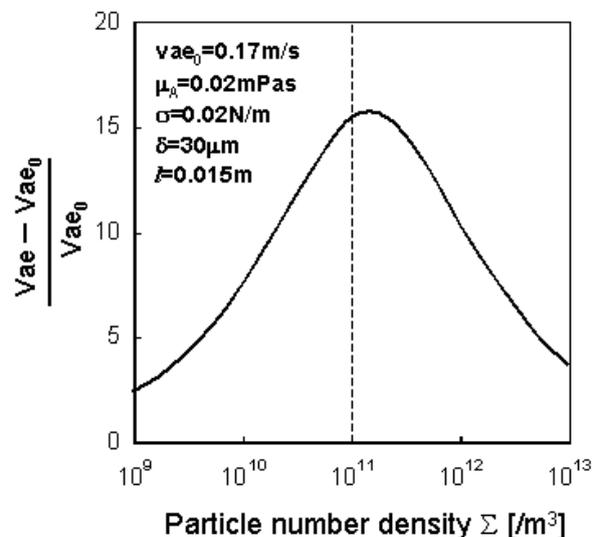
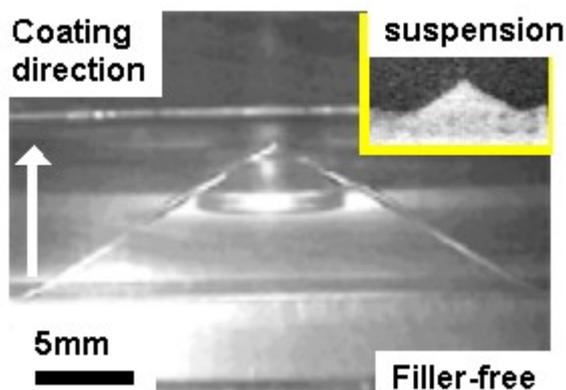
公表

Recent publications

Yamamura, M., Miura, H., Kage, H., Postponed air entrainment in dilute suspension coatings, *AIChE Journal*, 51(8), 2171-2177, 2005

Yamamura M., Matsunaga, A., Mawatari, Y., Adachi, K., Kage, H., Particle-assisted dynamic wetting in a suspension liquid jet impinged onto a moving solid at different flow rates, *Chemical Engineering Science*, 61(16), 5421-5426, 2006

Yamamura M., Assisted dynamic wetting in liquid coatings: a review, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 311 (2007) 55–60



水平温度勾配下での帯状構造形成

Flow-induced stripe pattern formation in phase separating fluids

目的

Objectives

薄膜表面にある臨界値以上の温度勾配が存在すると、3次元らせん流れ（マランゴニ対流）が発生する。このらせん流れの存在下で相分離が生じると、らせん流の軸に沿った方向に多数の液滴のペアが自己配列した規則正しい帯状相構造が形成されるものと期待される。本研究ではこのような帯状構造の形成機構を明らかにすることを目的としている

方法

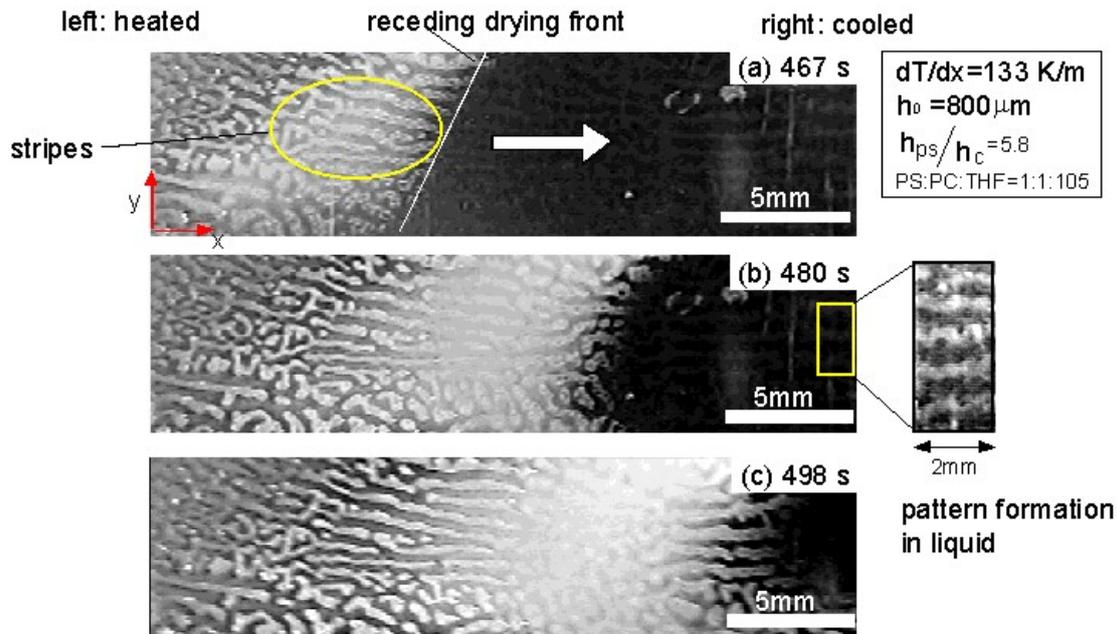
Procedures

温度の異なる2つの水槽の上に、ガラス基板を橋かけ、基板両端間に一定の温度勾配を与える。この基板の上にポリスチレン・ポリカーボネート・テトラヒドロフラン溶液を塗布し、乾燥過程で生じる規則構造を観察する。

公表

Recent publications

Yamamura, M., S. Nakamura, T. Kajiwara and K. Adachi Flow-induced stripe pattern formation in phase-separating fluids, *Polymer* (in press)
Yamamura, M., K. Nagai, T. Kajiwara and K. Adachi, Stripe pattern breakup in evaporating liquid layer on a plane with horizontal temperature gradient, *Chemical Engineering and Processing*, 42, 395-402, 2003



(Yamamura et al., *Polymer*, in press)

雰囲気湿度増加による2次相分離

Humidity-induced secondary phase separation

目的

Objectives

多くの有機溶媒は乾燥雰囲気中の水蒸気を吸収し、夏場と冬場とで異なる製品特性を発現させる要因となる。特にテトラヒドロフラン(THF)は水と無限に可溶であり、雰囲気湿度によって曇り点がシフトすることが知られている。本研究では高分子-THF薄膜のラボ実験から、高湿度乾燥においてしばしば発生する「2次相分離」の形成機構を明らかにすることを目的としている。

方法

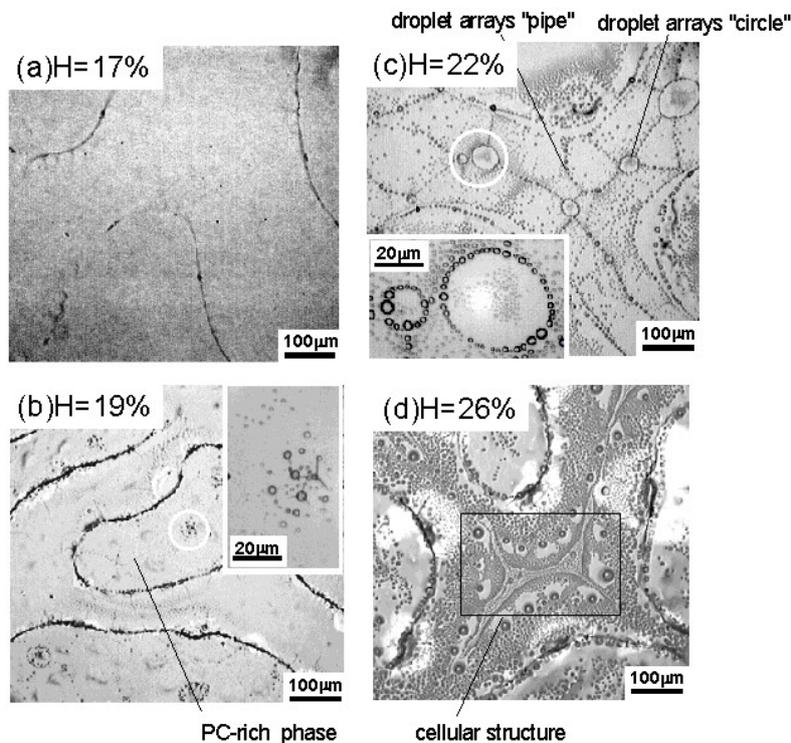
Procedures

風洞入り口に設置した加湿器からの供給ガス流量を調整することによって、乾燥中の雰囲気湿度をステップ的に変化させる。同時に重量法を用いて溶媒乾燥速度を測定する。

公表

Recent publications

Yamamura, M., Mikuriya, T., Kajiwara T. and Adachi, K., Humidity-induced secondary phase separation in a multizone drier, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 41, 4409-4413, 2002
Yamamura, T. Nishio, T. Kajiwara and K. Adachi, Evaporation-induced pattern formation in polymer films via secondary phase separation, *Chemical Engineering Science*, 57, 2901-2905, 2002



(*Chemical Engineering Science*, 57, 2901-2905, 2002)

溶媒乾燥と相分離の競合

Competition between phase separation and evaporation

目的

Objectives

溶媒乾燥に薄膜内に残る微細構造のサイズは、i)溶媒乾燥の時間スケールと、ii)構造形成の時間スケールとの比で決まる。高分子ブレンドでは、乾燥速度が大きくなると相分離が乾燥固化に追いつかず、小さな相分離構造が発現するものと期待される。本研究では「乾燥誘起相分離」を対象として、溶媒乾燥と相分離の競合過程モデリングに必要な基礎実験を行うことを目的としている。

方法

Procedures

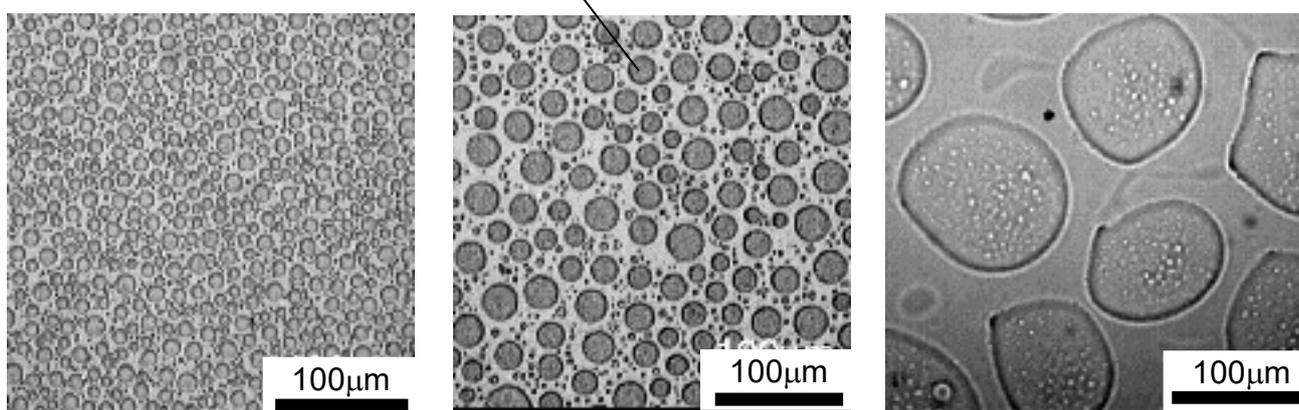
重量法を用いて溶媒乾燥速度を測定する。熱風温度、熱風速度、雰囲気湿度などをステップ的に変化させることにより構造形成に支配的な乾燥領域を特定する。

公表

Recent publications

Yamamura, M., Nishio, T., Kajiwara T. and Adachi, K., Effect of stepwise change of drying rate on microstructure evolution in polymer films, *Drying Technology*, 19(7), 1397-1410, 2001

PC-rich droplet



10

2

1

Reduced evaporation rate

相分離による乾燥速度の低下

Retardation of solvent evaporation due to polymer phase separation

目的

Objectives

熱力学的に安定な薄膜の乾燥挙動はよく理解されており、乾燥初期にはガス側境界膜内拡散律速、乾燥後期には薄膜内拡散律速になることが知られている。これに対して相分離を伴う熱力学的に「不安定」な薄膜の乾燥機構はほとんど理解されていない。本研究では、この乾燥機構を実験的に明らかにすることで、高分子薄膜乾燥のプロセス設計に必要な基礎情報を提供することを目的としている。

方法

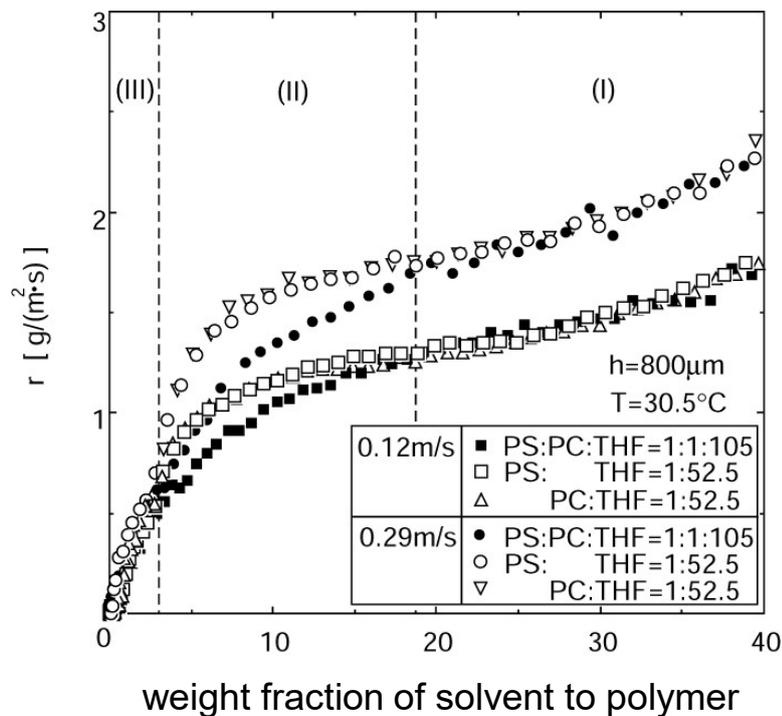
Procedures

重量法を用いて溶媒乾燥速度を測定する。同時に薄膜内に発生する相分離構造の光学顕微鏡観察を行い、構造形成が溶媒拡散に与える影響を評価する。

公表

Recent publications

Yamamura, M., Horiuchi, K., Kajiwara, T., Adachi, K.
Decrease in solvent evaporation rate due to phase separation in polymer films, AIChE Journal, 48, 2711-2714, 2002



(AIChE Journal, 48, 2711-2714, 2002)