

散逸階層構造研究チーム

Dissipative-Hierarchy Structures Laboratory

チームリーダー 下村 政嗣

SHIMOMURA, Masatsugu

当研究チームでは、散逸構造を利用して様々な物質をナノメートルからミリメートルにいたる幅広いスケールで自己組織化的に階層化し、その階層構造とパターンに特徴的な機能を有する新規な材料の開発を目指している。我々の身の回りには、散逸構造と呼ばれる非平衡現象に基づくダイナミックな時空間構造が、様々なスケールにおいて形成されている。当研究チームでは、散逸構造の形成が複雑なパラメーターに支配されているもの、きわめて一般的な物理現象であることに着目して、材料の組織化に応用している。微細加工の手法にたよることなく、複雑な工程や多大なエネルギーを必要とせずに多様な物質系から様々な構造を自己組織的に構築できれば、応用範囲の広い新しい時空間材料技術が期待される。

1. 散逸構造を利用したパターン形成と機能化に関する研究

(1) パターン形成の数理モデル化と計算機シミュレーション(野々村, 下村, Karthaus^{*1}, 西浦^{*2})

希薄溶液から高分子を固体基板にキャストする過程を顕微鏡によってその場観察した結果、溶液と固体基板の境界に形成されるフィンギリングと溶液内部に発生したベナールセルを捉えることに成功した。さらに、溶液界面の後退とともにフィンギリングが成長してライン状に発達し溶媒蒸発後には規則的なストライプ構造が形成されること、また、ストライプの内部の高分子が基板上ではじかれ大きさのそろったポリマー会合体がドット状に規則配列する有様を観察した。規則的なパターンの形成には3相境界におけるフィンギリング不安定性と界面の振動的な動きの2つが重要な役割を果たしていると考えられる。そこで、界面が動くことによって溶質が溜まる効果と界面での対流効果を取り入れた簡単な数理モデルを考えた。このモデルを計算機シミュレーションすると、実験で見られるようなドットパターン、界面に垂直なストライプパターンが得られた。

(2) 散逸構造を利用した機能性ナノ微粒子の二次元配列(沢田石, 玉木, 居城^{*3}, 下村)

規則的に配列化されたナノ微粒子は、フォトニック材料や高密度記憶デバイス、バイオセンサーなどさまざまな応用への観点から興味深い。散逸構造を利用してナノ微粒子を二次元パターン化し、パターン内における微粒子の配列状態とパターン化による新機能の発現を目指すとともに、機能性ナノ微粒子の新規化学合成を行う。サイズや材質の異なるナノ微粒子を用いてキャスト法によるパターンニングを行い、その微細構造を電子顕微鏡(TEMおよびSEM)や走査プローブ顕微鏡等を用いて調べた結果、散逸構造による規則的なパターン形成は温度と濃度によって支配されることを見いだした。基板被覆率がきわめて低い濃度では、

溶媒蒸発方向に平行または垂直なストライプが形成された。連続膜を得る高濃度条件では、高温におけるキャスト条件で規則的なひび割れが溶液界面と垂直方向に形成されることを見いだした。また、ハニカム構造の高分子フィルムを基板とした場合、ナノ微粒子が自発的に細孔中に規則配列することを見いだした。また、ナノ微粒子とハニカム構造フィルムからなる複合体に光機能性を付与するために、発光性部位を有するサイズのそろったナノ微粒子の合成を行った。

2. 水滴を鋳型とする高分子ハニカム構造の作製と機能化に関する研究

(1) 自己組織化ハニカムフィルムの作製とフォトニック結晶への展開(黒野, 西川, 下村)

界面活性能を持つ高分子をベンゼンやクロロホルムなどの水と混ざらない溶媒に溶かし、高い湿度条件下でキャストすると、ハニカム状の二次元ポリマーネットワークが形成される。これらのパターンは溶媒蒸発時に高分子溶液界面に形成される微小水滴を鋳型として作られるものであり、溶媒蒸発速度、湿度などによりその細孔径を数百ナノメートルから数十マイクロンにかけて制御することができた。ハニカムフィルムは周期的な屈折率変化を有する構造体であることから、フォトニック結晶としての機能が期待される。ポリアクリルアミドを骨格とする両親媒性高分子を新たに合成し、水面上キャスト法により自己支持性のハニカムフィルムを作製した。平均孔径が3から5 μm になるように制御した数種のハニカムフィルムを作製し、FTIRを用いて垂直入射による吸収測定を行ったところ、細孔径に応じて3000から2000 cm^{-1} にかけてブロードではあるが高分子の特性吸収とは異なる、バンドギャップに基づくピークを観測した。

(2) 高分子ハニカムフィルムの組織工学材料への応用(西川, 新井, 下村)

両親媒性高分子の溶液キャスト法により作製した多孔性薄膜の細胞培養基材としての特性を明らかにし、バイオマテリアルの表面設計における表面モルフォロジーの制御の重要性を示す。さらには、多孔性薄膜の組織工学材料としての可能性を探る。溶液キャスト法により生分解性・生体吸収性ポリマーを用いた自己支持性ハニカム状多孔性高分子薄膜を作製し、その構造制御を試みた。この薄膜上で肝実質細胞を培養し、スフェロイド組織の形成と肝機能発現を確認した。また、生体適合性物質から成る自己支持性ハニカムフィルムは、両面接着かつ両面の細胞間コミュニケーションが可能であり、三次元的組織形成と機能発現によって組織工学への応用が期待できる。そこで、ポリ乳酸と両親媒性ポリアクリルアミドから成る自己支持性ハニカムフィルムを作製し、ラットの心筋細胞を培養した。24時間後に

は心筋細胞がフィルム上に接着、伸展し、48 時間後には多くの細胞が連結し、同期して自己拍動することを見いだした。さらに、自己支持性ハニカムフィルム上において細胞が同期して収縮をすると、フィルムも細胞の収縮に同期して収縮する様子が観察された。

*¹ フロンティア非常勤研究員, *² 共同研究員, *³ フロンティア研究推進委員

誌上発表 Publications

(総説)

西川雄大, 西川和孝, 大倉隆介, 西田仁, 大久保尚, 蒲池浩文, 松下通明, 藤堂省, 下村政嗣: “両親媒性高分子の自己組織化による人工細胞外マトリックスの構築”, 高分子加工 50, 10–15 (2001).

(その他)

Nishikawa T., Nishida J., Nishikawa K., Okura R., Ohkubo H., Kamachi H., Matsushita M., Todo S., and Shimomura M.: “Novel cell culture substrates based on micro-porous films of amphiphilic polymers”, Stud. Surf. Sci. Catal. 132, 509–512 (2001).

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議等)

Kimura-Suda H., Nakamura F., Hara M., Wada T., Shimomura M., and Sasabe H.: “Orientation of DNA thin film fabrication on substrates”, Korea-Japan Joint Forum 2000 (KJF2000), (The Japanese Society of Applied Physics), Kyoto, Oct. (2000).

Nishikawa T., Nishida J., Nishikawa K., Okura R., Nishimura S., Wada S., Karino T., Ookubo H., Kamachi H., Matsushita M., Todo S., and Shimomura M.: “Novel cell culture substrates based on micro-porous films of amphiphilic polymers”, Int. Conf. on Colloid and Surface Science, (The Chemical Society of Japan), Tokyo, Nov. (2000).

Nonomura M., Sawadaishi T., Shimomura M., Yanagita T., Kobayashi R., and Nishiura Y.: “Two-dimensional pattern formation of nanoparticle”, Int. Chemical Congr. of Pacific Basin Soc. (PACIFICHEM 2000), Honolulu, USA, Dec. (2000).

(国内会議)

西川雄大, 大倉隆介, 西川和孝, 西田仁, 西村紳一郎, 蒲池浩文, 松下通明, 藤堂省: “ポリ乳酸を用いた自己支持性ハニカムフィルムの人工細胞外マトリックスとしての応用”, 第 49 回高分子学会年次大会, 名古屋, 5 月 (2000).

西川雄大, 大倉隆介, 西村紳一郎: “ミクロスコピックハニカム構造を有するポリ乳酸フィルムの作製”, 第 10 回バイオ・高分子シンポジウム, (高分子学会), 東京, 7 月 (2000).

西川雄大, 西川和孝, 大倉隆介, 西田仁, 西村紳一郎, 大久保尚, 蒲池浩文, 松下通明, 藤堂省: “ハニカム状多孔性フィルムを用いた肝細胞の接着制御”, 第 29 回医

用高分子シンポジウム, (高分子学会), 東京, 7 月 (2000).

西川雄大: “ポリ乳酸多孔性薄膜の組織工学への応用”, 第 48 回高分子夏季大学, (高分子学会), 札幌, 7 月 (2000).

木村-須田廣美, 中村史夫, 保刈宏文, 原正彦, 下村政嗣, 和田達夫, 雀部博之: “光機能化 DNA[II]: 薄膜形成と光学特性”, 第 49 回高分子討論会, 仙台, 9 月 (2000).

野々村真規子, 小林亮, 西浦廉政, 下村政嗣: “液滴の蒸発による固体基板上的パターン形成”, 第 10 回非線形反応と協同現象研究会, 山口, 11 月 (2000).

西川雄大, 西川和孝, 大倉隆介, 西田仁, 西村紳一郎, 蒲池浩文, 松下通明, 藤堂省, 下村政嗣: “ハニカム状多孔性高分子薄膜の組織工学材料への応用”, 日本バイオマテリアル学会シンポジウム 2000, 横浜, 11 月 (2000).

新井景子, 林純子, 原正彦, 西川雄大, 下村政嗣: “自己支持性ハニカム構造フィルム上におけるラット心筋細胞培養”, 日本バイオマテリアル学会シンポジウム 2000, 横浜, 11 月 (2000).

米山聡, 中村史夫, 福田恭子, 原正彦, 下村政嗣, 大野弘幸: “光導波路分光法を用いた LB 膜中のアクリジンオレンジの可視吸収スペクトル測定”, 日本化学会第 79 春季年会, 神戸, 3 月 (2001).

黒野暢仁, 島田良子, 石原照也, 下村政嗣: “自己組織化ハニカムフィルムの光学的性質”, 日本化学会第 79 春季年会, 神戸, 3 月 (2001).

Research Subjects and Members of Dissipative-Hierarchy Structures Laboratory

1. Preparation and Materialization of Mesoscopic Polymer Patterns Based on Dissipative Structures
2. Preparation and Materialization of Honeycomb Patterned Polymer Films

Head

Dr. Masatsugu SHIMOMURA

Research Scientists

Dr. Takehiro NISHIKAWA

Dr. Tetsuro SAWADAISHI

Dr. Koichi TAMAKI

Dr. Nobuhito KURONO

Dr. Makiko NONOMURA

Technical Staffs

Ms. Keiko ARAI

Visiting Members and Postdoctoral Fellows

Dr. Olaf KARTHAUS (Chitose Inst. Sci. Technol.)

Dr. Kuniharu IJIRO (Hokkaido Univ.)

Prof. Yasumasa NISHIURA (Hokkaido Univ.)