

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化的に構築できれば、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, 西川, 藪^{*1}, Karthaus^{*2}, 西浦^{*2}, 下村)

希薄溶液から高分子を固体基板にキャストする過程で、溶液と固体基板の境界に形成されるフィンガリング不安定性(周期的な溶質の濃縮現象)と、その後の高分子の基板上への析出によって規則的なストライプ構造が形成される。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数理モデルで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。

水滴を鋳型として形成される高分子ハニカム構造(後述)の機械的な伸張によるハニカム構造の変形を、粘弾性体の編み目構造とする数理モデルをたててシミュレーションし、基本となる六角形構造から、伸張方向などを変えることで、矩形、正方形、三角形など多様な構造が形成可能であることを示した。

(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, 松下^{*3}, 居城^{*4}, 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。キャスト過程に形成される散逸構造を利用してナノ微粒子の二次元パターン化を行った。サイズの異なる二種類のナノ微粒子を水分散状態から固体基板にキャストし、二次元メゾスコピックパターンニングを作製した。パターン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、2種の微粒子が相分離してそれぞれにメゾスコピックパターンを形成す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作製するときにナノ微粒子の水溶液を共存させることで、ハニカム構造の細孔中にナノ微粒子が規則

に配列した階層構造が形成されることを見いだした。また、希土類金属イオンに配位する重合性配位子を新たに合成し、コアシェル型ブロックコポリマーを用いた乳化重合により、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, 大藪, 原口^{*4}, 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。湿度一定条件下では、溶媒蒸発時間と水滴の大きさに比例関係があることから、キャスト量によって細孔径を数百ナノメートルから数十ミ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からなる自己支持性のハニカムフィルムの赤外吸収スペクトルには、高分子の官能基由来ではない新たな吸収がみられ、細孔径に応じたシフトすることからフォトニック結晶形成に基づくピークだと推定される。また、超音波照射下でフィルムを作製したところ、ハニカム構造の均一性が向上した。さらに、フォトニクスデバイスを含むハニカムフィルムの工学的な応用性について、企業からの推進委員との議論を行った。

(2) 高分子ハニカムフィルムの組織工學材料への応用(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とともに、多孔性薄膜の組織工學材料としての応用をはかる。ポリ乳酸などの生分解性・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、肝実質細胞を培養したところ、パターンの無い平滑なフィルム上での培養に比べて細胞の厚みが増大し肝機能も発現することを見いだした。また、カプロラクトンなどの伸張性高分子から形成されたハニカムフィルムを延伸変形させることで、矩形などの異方性パターンの作製に成功した。延伸した自己支持性フィルム上にラットの心筋細胞を培養したところ、細胞が矩形の長軸方向に揃って接着し、同期して自己拍動することを見いだした。

^{*1} NEDO ジュニアフェロー, ^{*2} 共同研究者, ^{*3} 基礎科学

特別研究員, *4 フロンティア研究推進委員

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

Dr. Takuya OHZONO

Technical Staffs

Ms. Keiko ARAI

Visiting Members and Postdoctoral Fellows

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

Dr. Kuniharu IJIRO (Hokkaido Univ.)

Dr. Sachiko IKEDA-MATSUSHITA

Prof. Yasumasa NISHIURA (Hokkaido Univ.)

Dr. Kazutoshi HARAGUCHI (Kawamura Riken)

Mr. Hiroshi YABU

誌 上 発 表 Publications

[雑誌]

(その他)

Nishikawa T., Okura R., Nishida J., Sawadaishi T., and Shimomura M.: "Honeycomb film of an amphiphilic copolymer: Fabrication and characterization", *RIKEN Rev.*, No. 37, pp. 43–47 (2001).

口 頭 発 表 Oral Presentations

(国際会議等)

Yoneyama S., Nakamura F., Fukuda K., Hara M., Shimomura M., and Ohno H.: "Non-contact orientation measurements of acridine orange in LB films with optical waveguide spectroscopy", 13th Int. Conf. on Solid-State Ionics (SSI 2001), Cairns, Australia, July (2001).

Kurono N., Shimada R., Ishihara T., and Shimomura M.: "Fabrication and optical property of self-organized honeycomb-patterned films", Korea-Japan Joint Forum on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF2001), (The Polymer Society of Korea, Seoul Na-

tional University), Seoul, Korea, Sept. (2001).

Nishikawa T., Nishikawa K., Okura R., Nishida J., Arai K., Hayashi J., Matsushita M., Todo S., Hara M., and Shimomura M.: "Controlled cell adhesion on honeycomb films of biodegradable polymers", American Vacuum Soc. 48th Int. Symp., San Francisco, USA, Oct.–Nov. (2001).

(国内会議)

新井景子, 林純子, 原正彦, 西川雄大, 下村政嗣: "ハニカム構造を有する自己支持性フィルム上におけるラット心筋細胞の培養", 第 50 回高分子学会年次大会, 大阪, 5 月 (2001).

玉木浩一, 澤田石哲郎, 下村政嗣: "発光性ビーズを導入したハニカムパターン構造薄膜の作製", 第 50 回高分子学会年次大会, 大阪, 5 月 (2001).

西川雄大, 大倉隆介, 西田仁, 西村紳一郎, 下村政嗣: "気-水界面を利用した多孔性高分子薄膜の作製", 第 50 回高分子学会年次大会, 大阪, 5 月 (2001).

西川雄大, 西川和孝, 西田仁, 西村紳一郎, 大久保尚, 蒲池浩文, 松下通明, 藤堂省, 下村政嗣: "ポリ乳酸ハニカムフィルムをマトリックスとする肝組織の再構築", 第 50 回高分子学会年次大会, 大阪, 5 月 (2001).

福田恭子, 米山聡, 中村史夫, 原正彦, 下村政嗣, 大野弘幸: "非接触光導波路分光測定 (XII) 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", 第 62 回分析化学討論会, 松本, 6 月 (2001).

西川雄大, 下村政嗣, 西川和孝, 西田仁, 大倉隆介, 西村紳一郎, 大久保尚, 蒲池浩文, 松下通明, 藤堂省: "ハニカムフィルムをマトリックスに用いた肝細胞の三次元培養", 第 30 回医用高分子シンポジウム, (高分子学会), 東京, 7 月 (2001).

西川雄大, 新井景子, 林純子, 原正彦, 松下通明, 藤堂省, 下村政嗣: "多孔性高分子薄膜による細胞組織への秩序構造の導入", 第 50 回高分子討論会, 東京, 9 月 (2001).

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フィルムの心筋細胞培養基材への応用", 第 50 回高分子討論会, 東京, 9 月 (2001).

松下祥子, 黒野暢仁, 澤田石哲郎, 下村政嗣: "自己組織的に配列する微粒子を利用した微細加工", 日本化学会第 81 秋季年会, 千葉, 9 月 (2001).

西川雄大, 新井景子, 林純子, 原正彦, 松下通明, 藤堂省, 下村政嗣: "多孔性高分子薄膜による細胞挙動の制御", 日本化学会第 80 秋季年会, 千葉, 9 月 (2001).

玉木浩一, 下村政嗣: "希土類錯体を含む発光性ナノ粒子の作製", 日本化学会第 80 秋季年会, 千葉, 9 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形成と光学的性質", 日本化学会第 80 秋季年会, 千葉, 9 月 (2001).

新井景子, 林純子, 原正彦, 西川雄大, 下村政嗣: "自己支持性パターン化フィルム上における心筋細胞の形態制御", 第 23 回日本バイオマテリアル学会, 京都, 10 月 (2001).

玉木浩一, 下村政嗣: "希土類金属イオンを含んだ発光性単分散ナノ粒子の作製", 日本化学会第 81 春季年会, 東京, 3 月 (2002).