

機関番号：17102

研究種目：特定領域研究

研究期間：2006～2010

課題番号：18068015

研究課題名（和文） ソフトマターのメソスコピック界面ダイナミクスとその応用

研究課題名（英文） Dynamics of mesoscopic interface in soft matter and its application

研究代表者

木村 康之（KIMURA YASUYUKI）

九州大学・大学院理学研究院・教授

研究者番号：00225070

研究成果の概要（和文）：

ソフトマター複合系にはさまざまなスケールでの階層的な構造が存在し、異種のソフトマターが接するメソスコピックスケールの界面が存在する典型的な複雑系である。我々はこのようなソフトマター界面のうち、液晶コロイド系、ベシクル系、導電性ナノファイバー系の構造やダイナミクスに焦点をあて、その特徴的な物性研究ならびに応用を視野に入れた新たな材料開発および制御法の開発を目指した。得られた成果は、生命現象の理解やソフトマターの自己組織化を用いた構造制御や新材料開発のための有用な知見を与えるものと考えている。

研究成果の概要（英文）：

Soft matter complex system is a typical complex system which has hierarchical structure with various spatial scales and mesoscopic interfaces where different kinds of soft matter meet. In this project, we focused on the structure and dynamics of soft matter interfaces. We have especially studied nematic colloidal system, vesicular system and conductive nano-fibers in this project. We studied their characteristic properties, and developed new materials and their control method for applications. The obtained results give important insight for understanding of life, structure control via self-organization of soft matter and development of new materials using soft matter.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	34,000,000	0	34,000,000
2007年度	16,400,000	0	16,400,000
2008年度	20,800,000	0	20,800,000
2009年度	5,300,000	0	5,300,000
2010年度	5,500,000	0	5,500,000
総計	82,000,000	0	82,000,000

研究分野：ソフトマター物理学

科研費の分科・細目：物理学・化学物理・生物物理

キーワード：ソフトマター、ナノ材料、光ピンセット

1. 研究開始当初の背景

生体系に代表されるソフトマターの複合系は、その内部にメソスコピックサイズの階層的構造が存在し、その界面および界面により囲まれた微小空間において、特徴的な物質輸送をはじめとした種々の非平衡現象やそれに基づく高度な機能が発現する。このようなメソスコピックスケールでのソフトマ

ターの構造やダイナミクスを理解し、利用するためには、系を構成する個々の分子の示す物性がメソスコピックスケールにおけるシステムの機能へと、いかに集約・制御・統合されるかを理解することが必要不可欠である。近年、ナノテクノロジーの発展を支える基盤技術として、メソスコピック構造を観測するためのさまざまな方法が開発されているが、

3次元構造中におけるナノスケールでの局所輸送現象をはじめとした局所ダイナミクスを3次元的にその場観測する測定法の開発、およびこれを用いたソフトマター複合系の局所界面の構造(トポロジー)とダイナミクスとの関連性を明らかにする研究は、これまでほとんど行なわれてこなかった。しかし、このような研究は生命現象の本質に迫ろうとする基礎的重要性に加え、ソフトマターの自己組織化を利用したメソスコピック機能性材料の創生を行なう際の設計指針を与える点で、今後さらに重要性が増すと考えられる。本研究ではこのような状況を踏まえて、新しいソフトマター複合材料設計のために基礎となるメソスコピック物性評価のための汎用的な方法論の確立と、それに基いた新しい液晶・高分子複合材料設計とその実現を目的としている。

2. 研究の目的

ソフトマター複合系にはさまざまなスケールでの階層的な構造が存在し、異種のソフトマターが接するメソスコピックスケールの界面が存在する典型的な複雑系である。我々はこのようなソフトマター界面の構造やダイナミクスに焦点をあて、その特徴的な物性研究ならびに応用を視野に入れた新たな材料開発および制御法の開発を目指した。

3. 研究の方法

本研究課題では、[1]ソフトマターメソスコピック界面の局所的静的・動的構造ならびにそのダイナミクスをその場観測するための実験的方法論の実現およびそのソフトマター複合系への応用を行なった。

また、[2]開発されたシステムを用いて生体系に普遍的に存在する2分子膜で構成された階層的高次構造ならびに環境刺激による巨視的構造変化のダイナミクスとその局所ダイナミクスとの関係を明らかにした。

さらに、[3]メソスコピックレベルで構造制御された導電性高分子からなる構造体を作成し、その自己組織化を用いた新しい電気的・光学的特性を有した自己組織化材料の開発、評価を行なった。

これらの研究によりソフトマター界面が形作る様々な特徴なメソスコピック物性を明らかに、それらを用いた新しいナノ材料開発の可能性を模索した。

4. 研究成果

本研究で得られた代表的な成果について以下に列挙する。

(1) ネマチックコロイドの相互作用と構造形成

水などの液体中に分散したコロイド粒子間にはファンデルワールス力や遮蔽クーロ

ン力が働き、これらのバランスにより分散状態が決定されている。これに対して液晶などの構造流体中では、その内部構造に起因した特徴的な相互作用が働き、コロイド系の安定性に重要な役割を果たす。本研究では、方向秩序を有する液体であるネマチック液晶中に分散したコロイド粒子(ネマチックコロイド)間相互作用を調べた。

同じサイズの粒子間に働く粒子間力

同一サイズの2つの粒子 - 欠陥対が平行かつ同方向を向く場合、粒子間に働く力 F は粒子間距離 R が大きい場合には引力でかつ R^{-4} に比例する。一方、 R が小さい場合、点欠陥が粒子間に存在するため、粒子は互いに接近できず、粒子間力に斥力成分が発生することがわかった。このとき、粒子間力の距離依存性から算出された粒子間引力ポテンシャルは数ミクロンの距離で数万 $k_B T$ であり、通常のコロイド粒子間力に比べて桁違いに強いことがわかった。さらに、福田グループ(A02班)との共同研究により、実験で得られた粒子間力の距離依存性と液晶の弾性理論を用いた理論シミュレーションの結果が広い粒子間距離範囲にわたり極めてよく一致することが明らかにした。

拘束された空間での粒子間力

セルによる空間的閉じ込めが粒子間力に与える影響を楔形のセルを用いて測定した。セル厚 L が減少すると粒子間力は減少し、かつ短距離になることが明らかとなった。このとき、種々の L で得られた結果をスケールすると単一のマスター曲線に従うことがわかり、かつ液晶の弾性理論を用いた理論曲線と極めてよい一致を示した。

異なるサイズの粒子間に働く粒子間力

通常液体中と異なり、粒径の異なる粒子間に働く力は、粒子の配置に依存して力の大きさが異なることが見出した。この現象を理解するために福田グループ(A02班)と共同でさまざまな粒径を持つ粒子間での粒子間力のシミュレーションを行い、実測された粒子間力概形の再現に成功した。

高分子液滴分散液晶系における構造形成

異方性流体である液晶と等方流体である高分子液体を少量添加した混合系の相分離に関する研究は少ない。この系では、等方相の低温で安定なN相が出現し、N相から混合系を急冷すると高分子液滴がN液晶中に相分離して析出する。この際、相分離した高分子液滴間には液晶の弾性ひずみを介した異方的な長距離相互作用が働き、さまざまな特異な高次構造を自己組織的に形成する。このとき、得られる自己組織化パターンは相分離の動力学的経路に強く依存することが明らかとなった。本研究では相分離過程を詳細に観察し、出現するさまざまな凝集構造形成の動力学的経路の解明に成功した。

(2) ジャイアントベシクルの物性測定

中性 - 荷電脂質混合ベシクルの光ピンセットを用いた力学応答測定

両親媒性分子であるリン脂質は水中で会合し、2分子膜を形成する。我々は細胞膜のモデル系として、脂質ベシクルの力学的性質を光ピンセットにより測定した。

測定では中性脂質 DOPC と荷電脂質 DOPG からなる混合脂質ベシクルをその中に閉じ込めた2個のコロイド粒子を光ピンセットで操作することでベシクルを変形させた。ベシクルは球形、レモン型、管状部分の生成といった形態転移を示し、これに伴いベシクルにかかる力が変化することが明らかとなった。測定により得られた力曲線から脂質膜の曲げ弾性および表面張力などの力学物性に関する情報を得ることに成功した。

多成分ベシクル相分離構造の電場制御

飽和リン脂質 DOPC と飽和リン脂質 DPPE および無秩序相のみに局在する蛍光色素付きリン脂質 Texas Red DHPE を用いて、2成分巨大ベシクルを調製した。均一相状態のベシクルに周波数 100 Hz の交流電場を印加し、ベシクルを楕円体状に変形させ、変形したベシクルを速やかに2相領域まで冷却することで、膜変形下での相分離ダイナミクスを直接観察した。DPPE が豊富なドメインは相分離が開始した直後は均一に配置するが、時間経過とともに曲率の小さい赤道領域に集結した特異な相分離構造が現れた。

(3) 導電性高分子ナノファイバーの構造制御と電気物性

導電性高分子 poly(3-alkylthiophene) (P3AT) は適当な溶媒から析出させると、幅が数 10nm 程度、長さが数 μm 程度のウィスカー状ナノファイバーを形成する。析出溶媒を変えると、その厚さを 2nm (1分子層) から 10nm まで制御することができ、このときの電気伝導の温度依存性を測定し、可変長ホッピングに関する関係式から輸送現象の次元を算出したところ、厚さが薄くなるにつれて、わずかではあるが次元が低くなっている様子を観察することができた。

次に、ウィスカー形成時に分子量 17,500 の P3AT に分子量 87,000 の P3AT を 0.002w% 添加し、ナノファイバーを形成させたところ、T 字分岐が随所に観察された。添加する長い P3AT の量により、分岐構造のトポロジーの制御が可能になると考えられる。また、スターポリマーを加えた場合にも同様の分岐構造が実現した。この分岐構造の電気伝導の温度依存性を測定したところ、ドーピングしたもので次元が大きくなる様子が観測された。

(4) 光ピンセットを用いたソフトマターの各種局所制御法の開発

ソフトマター研究は化学工業や医療への応用が期待できるという側面も持っている。

本研究は高分子溶液中に分散させた DNA を集光レーザーを用いて操作する事に成功した。レーザーによって作成した μm スケールの局所加熱が生成する対流場と温度勾配場が高分子溶液中の DNA に力学的な力を与える。これを応用する事で DNA 1 分子の伸張が可能である事を示した。レーザーの操作によって伸張する場所をコントロール可能であり、DNA のその場解析等に有用である。またその一方で、細胞の向きを光ピンセットによって効率的に操作する手法の提案も行っている。ひとつの細胞の操作から、その中の個々の DNA の操作まで、バイオメディカル研究の発展に多面的に貢献している。

(5) 2分子膜系における空間拘束効果の実験的研究

メソスコピックスケールの界面が作る構造の例として界面活性剤 2 分子膜と水層が交互に 1 次元配列したラメラ構造がある。我々はこれまでにラメラ構造中のナノ粒子の輸送現象に階層的空間構造に起因した時間的階層構造が存在することを報告してきたが、本研究では特に長時間スケールでの粒子輸送のダイナミクスの研究を行った。このような長時間での輸送現象には構造欠陥が深く関わっていると予想されるが、実際、ガラス系で特徴的に観測されるトラップ - ジャンプ型の運動が観測された。また、粒子の平均 2 乗変位の時間依存性には、長時間で異常拡散から通常の拡散へのクロスオーバーが観測された。さらに、このような能動的測定に加えて、光ピンセットを用いた粘性測定を行ったところ、欠陥構造の緩和に起因すると思われる非線形挙動 (shear thinning および降伏応力の存在) が観測された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

(雑誌論文)(計 24 件)すべて査読有

1. Takeshi Shimomura*, Tomoyuki Takahashi, Yasutaka Ichimura, Shino Nakagawa, Keiichi Noguchi, Seiji Heike, and Tomihiro Hashizume
“Relationship between Structural Coherence and Intrinsic Carrier Transport in an Isolated Poly(3-hexylthiophene) Nanofiber”, Phys.Rev.B, Vol. 83(11), 115314-1 - 115314-10 (2011).
2. 下村武史*
“導電性高分子ナノファイバーのトポロジー制御と電子性キャリアの輸送特性”, 機能材料, Vol. 30, 44-49 (2010).
3. Sadaki Samitsu*, Takeshi Shimomura, Seiji Heike, Tomihiro Hashizume, and Kohzo Ito
“Field-Effect Carrier Transport in Poly(3-

- alkylthiophene) Nanofiber Networks and Isolated Nanofibers”,
Macromolecules, Vol. 43, 7891-7894 (2010).
4. Naoki Yamamoto, Masatoshi Ichikawa, and Yasuyuki Kimura*
“Local Mechanical Properties of a Hyperswollen Lyotropic Lamellar Phase”,
Phys. Rev. E, Vol. 82, 021506-1 - 021506-8 (2010).
 5. Noboru Kondo, Yasutaka Iwashita, and Yasuyuki Kimura*
“Dependence of Interparticle Force on Temperature and Cell Thickness in Nematic Colloids”,
Phys. Rev. E, Vol. 82, 020701(R)-1 - 020701(R)-4 (2010).
 6. Hitoshi Uemura, Masatoshi Ichikawa, and Yasuyuki Kimura*
“Crossover Behavior in Static and Dynamics Properties of a Single DNA Molecule from Three to Quasi-two Dimensions”,
Phys. Rev. E, Vol. 81, 051801-1 - 051801-7 (2010).
 7. Takahiro Kishita, Kenji Takahashi, Masatoshi Ichikawa, Jun-ichi Fukuda, and Yasuyuki Kimura*
“Arrangement Dependence of Interparticle Force in Nematic Colloids”,
Phys. Rev. E, Vol. 81, 010701-1 - 010701-4 (2010).
 8. Kiyoshi Minoura, Yusuke Akama, Jun Morita, Takuma Yasuda, Takashi Kato, and Takeshi Shimomura*,
“Supramolecular Structure of Columnar Liquid Crystalline Pi-conjugated Oligothiophenes with Highly Polarized Photoluminescence Properties”,
J. Appl. Phys., Vol. 105, 113513-1 - 113513-6 (2009).
 9. Hideki Ichihara*, Takeshi Shimomura, and Kohzo Ito,
“Conductivity Measurement of Single Nanowire Obtained by Dehydrofluorination of Nanofibrils of PVdF”,
Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 48, 030213-1 - 030213-2 (2009).
 10. Yoko Shitamichi, Masatoshi Ichikawa, and Yasuyuki Kimura*
“Mechanical Properties of a Giant Liposome Studied Using Optical Tweezers”,
Chem. Phys. Lett., Vol. 479, 274-278 (2009).
 11. Yusuke Yoshida and Yasuyuki Kimura*
“Synchronization of Two Target Patterns”,
J. Phys. Soc. Jpn., Vol. 78, 084801-1 - 084801-4 (2009).
 12. Yasuyuki Kimura*
“Microrheology of Soft Matter”,
J. Phys. Soc. Jpn., Vol. 78, 041005-1 - 041005-8 (2009).
 13. Sadaki Samitsu*, Takeshi Shimomura, and Kohzo Ito,
“Nanofiber Preparation by Whisker Method using Solvent-solubleconducting Polymers”,
Thin Solid Films, Vol. 516, 2478-2486 (2008).
 14. Sadaki Samitsu*, Takeshi Shimomura, Seiji Heike, Tomihiro Hashizume, and Kohzo Ito,
“Effective Production of Poly (3-alkylthiophene) Nanofibers by means of Whisker Method using Anisole Solvent: Structural, Optical, and Electrical Properties”,
Macromolecules, Vol. 41, 8000-8010 (2008).
 15. Masatoshi Ichikawa, Koji Kubo, Kenichi Yoshikawa and Yasuyuki Kimura,
“Tilt control in optical tweezers”,
Journal of Biomedical Optics, 13 (1), pp. 010503-1 ~ -3 (2008).
 16. Kosuke Kita, Masatoshi Ichikawa, and Yasuyuki Kimura*
“Self-assembly of Polymer Droplets in a Nematic Liquid Crystal at Phase Separation”
Phys. Rev. E, Vol. 77, 041702-1 - 041702-4 (2008).
 17. Kenji Takahashi, Masatoshi Ichikawa, and Yasuyuki Kimura*
“Force between Colloidal Particles in a Nematic Liquid Crystal Studied by Optical Tweezers”
Phys. Rev. E , Vol. 77, 020703(R)-1 - 020703(R)-4 (2008).
 18. Kenji Takahashi, Masatoshi Ichikawa, and Yasuyuki Kimura*
“Direct Measurement of Force between Colloidal Particles in Nematic Liquid Crystal”
Journal of Physics: Condensed Matter, Vol. 20, 075106-1 - 075106-5 (2008).
 19. Kenji Takahashi, Masatoshi Ichikawa, and Yasuyuki Kimura*
“Direct Measurement of Interaction between Colloidal Particles in Nematic Liquid Crystals”
Molecular Crystals and Liquid Crystals, Vol. 475, 183-192 (2008).
 20. 下村武史*
“導電性高分子ナノワイヤー”
化学と教育, Vol. 55, 122-123 (2007).
 21. 下村武史*, 佐光貞樹, 伊藤耕三
“高分子1本の導電性を測る”,
現代化学, Vol. 441, 17-23 (2007).
 22. Yasuyuki Kimura* and Daisuke Mizuno

- “Microrheology of a Swollen Lyotropic Lamellar Phase”,
Molecular Crystals and Liquid Crystals, Vol. 478, 3-13 (2007).
23. Masatoshi Ichikawa*, Hiroki Ichikawa, Kenichi Yoshikawa, and Yasuyuki Kimura “Extension of a DNA Molecule by Local Heating with a Laser”,
Phys. Rev. Lett., Vol. 99, 148104-1 - 148104-4 (2007).
 24. 木村康之* “ソフトマターのマイクロレオロジー”,
液晶, Vol. 10(3), 238-250 (2006).
- [学会発表] (計 25 件)
1. 下村武史
「導電性ナノファイバー」 日本化学会技術開発フォーラム 2010 年 11 月 18 日 化学会館 (東京都) .
 2. 木村康之
「電気泳動光散乱法の基礎」第 2 2 回散乱研究会 2010 年 11 月 4 日 日本薬学会館 (東京都) .
 3. Yasuyuki Kimura
“Nematic colloids-their specific interaction & exotic structures” The 3rd International Kyushu Colloid Colloquium (September.23, 2010), Fukuoka, Japan.
 4. 下村武史
「導電性高分子ナノファイバーでつくる分子エレクトロニクス」 日本化学会関東支部大会 2010 年 8 月 31 日 筑波大学 (つくば市) .
 5. Yasuyuki Kimura, Naoki Yamamoto, and Masatoshi Ichikawa
“Local mechanical property of defective lyotropic lamellar phase” Fifth Pacific Rim Conference on Rheology (August 5, 2010), Sapporo, Japan.
 6. Masatoshi Ichikawa, Hitoshi Uemura and Yasuyuki Kimura
“Crossover behavior of a single DNA molecule in a quasi-two dimensional system” Fifth Pacific Rim Conference on Rheology (August 5, 2010), Sapporo, Japan.
 7. Noboru Kondo, Yasutaka Iwashita and Yasuyuki Kimura
“Temperature and confinement effect on the interparticle force in nematic colloids” 23rd International Liquid Crystal Conference (July.13, 2010), Krakow, Poland.
 8. Yasuyuki Kimura, Kenji Takahashi, Jun-ichi Fukuda and Masatoshi Ichikawa
“Interparticle Force in Nematic Colloids - Comparison between Experiment & Theory” 23rd International Liquid Crystal Conference (July.13, 2010), Krakow, Poland.
 9. Masatoshi Ichikawa, Hitoshi Uemura and Yasuyuki Kimura
“Crossover behavior of a single DNA molecule in a quasi-two dimensional system” International Soft Matter Conference 2010 (July.6, 2010), Granada, Spain.
 10. 下村武史, 高橋智之, 平家誠嗣, 橋詰富博
「ポリチオフェンナノファイバー 1 本レベルでの F E T 特性」 第 57 回応用物理学関連連合講演会 2010 年 3 月 17 日 東海大学 (平塚市) .
 11. 下村武史
「高分子 1 本レベルの電気物性と分子エレクトロニクスへの応用」高分子エレクトロニクス研究会講座, 2008 年 11 月 6 日, 上智大学 (東京都) .
 12. Yasuyuki Kimura, Kenji Takahashi, Jun-ichi Fukuda and Masatoshi Ichikawa
“Interparticle Force between Colloidal Particles in Nematic Liquid Crystal -Experiments and Simulation” 22th International Liquid Crystal Conference (July.4, 2008), Juju, Korea.
 13. Takeshi Shimomura
“Relation between Chromism and Whisker Formation of Conducting Polymer in Solution” The International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals 2006 (ICSM-2006) (Jul. 2-7, 2008), Dublin, Ireland.
 14. Naoki Yamamoto, Masatoshi Ichikawa and Yasuyuki Kimura
“Dynamics of Colloidal Particles in Lyotropic Lamellar Phase” 22th International Liquid Crystal Conference (June.28, 2008), Juju, Korea.
 15. 木村康之
「光ピンセットを用いたソフトマターの力学測定」2007 年度日本液晶学会ソフトマターフォーラム研究会 2007 年 11 月 30 日, 京都市 (京都府) .
 16. Yoko Shitamichi, Masatoshi Ichikawa, and Yasuyuki Kimura
“Measurement of Mechanical Property of Liposomes with Optical Tweezers” International Soft Matter Conference 2007 (Oct. 1-5, 2007), Aachen, Germany.
 17. Yasuyuki Kimura, Daisuke Mizuno, and Masatoshi Ichikawa
“Microrheology of a Hyper-Swollen Lyotropic Lamellar Phase” International Soft Matter Conference 2007 (Oct. 1-5, 2007), Aachen, Germany.
 18. Yasuyuki Kimura, Kosuke Kita, and Masatoshi Ichikawa

- “Pattern Formation at Phase Separation in a Mixture of Polymer and Liquid Crystal”
International Soft Matter Conference 2007 (Oct. 1-5, 2007), Aachen, Germany.
19. Yasuyuki Kimura, Kenji Takahashi, and Masatoshi Ichikawa
“Interparticle Force between Colloidal Particles in Nematic Liquid Crystal Studied by Optical Tweezers”
International Soft Matter Conference 2007 (Oct. 1-5, 2007), Aachen, Germany.
20. 木村康之
ソフトマターを光で「見る」、「測る」、「操る」第1回ソフトマター物理若手勉強会 2007年8月28日, 廿日市市(広島).
21. Kosuke Kita, Masatoshi Ichikawa, and Yasuyuki Kimura
“Kinetic Process of Novel Pattern Formation Polymer-liquid Crystal Mixture at Phase Separation”
ECLC 2007 - 9th European Conference on Liquid Crystals (Jul. 2-6, 2007), Lisbon, Portugal.
22. Yasuyuki Kimura, Daisuke Mizuno, and Masatoshi Ichikawa
“Local Rheological Property of a Swollen Lyotropic Lamellar Phase”
ECLC 2007 - 9th European Conference on Liquid Crystals (Jul. 2-6, 2007), Lisbon, Portugal.
23. Yasuyuki Kimura, Kenji Takahashi, and Masatoshi Ichikawa
“Measurement of Interparticle Force between Colloidal Particles in Nematic Liquid Crystal by Optical Tweezers”
ECLC 2007 - 9th European Conference on Liquid Crystals (Jul. 2-6, 2007), Lisbon, Portugal.
24. K. Takahashi, Y. Fujiwara, M. Ichikawa, and Y. Kimura
“Dynamics of Colloidal Particles in Nematic Liquid Crystals”
21st International Liquid Crystal Conference (ILCC2006) (Jul. 2-7, 2006), Keystone, USA
25. Yasuyuki Kimura
“Microrheology of a Swollen Lyotropic Lamellar Phase”
21st International Liquid Crystal Conference (ILCC2006) (Jul. 2-7, 2006), Keystone, USA

【著書】

〔図書〕(計4件)

1. 下村武史
最新 導電性高分子 全集「分子配線材料としての導電性高分子の要求特性と実用例」(200-208) 技術情報協会, 2007/12/01

2. 下村武史
有機エレクトロニクスにおける分子配向技術「分子被覆導線の電子機能と集積化」(353-359) シーエムシー, 2007/04/01
3. Yasuyuki Kimura and Reinosuke Hayakawa
Molecular and colloidal electro-optics Chapter 21, Frequency-domain electro-optic response of chiral smectic liquid crystals (pp.525-549)
Taylor & Francis CRC Press, Stoyl P. Stoylov and Mariyka V. Stoimenova, 2006/08/01
4. 早川禮之助, 伊藤耕三, 木村康之, 岡野光治
非平衡系のダイナミクス入門: 動的物性の物理 培風館, 2006/04/01

〔その他〕

ホームページ等

<http://mag.phys.kyushu-u.ac.jp/>

<http://www.tuat.ac.jp/~simo/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木村康之 (KIMURA YASUYUKI)
九州大学・大学院理学研究院・教授
研究者番号: 00225070

(2) 研究分担者

下村武史 (SHIMOMURA TAKESHI)
東京農工大学・大学院共生科学技術部・准教授
研究者番号: 40292768

市川正敏 (ICHIKAWA MASATOSHI)
京都大学・大学院理学研究科・講師
研究者番号: 40403919

(3) 連携研究者

岩下靖孝 (IWASHITA YASUTAKA)
九州大学・大学院理学研究院・助教
研究者番号: 50552494