

---

# 会場 F

## 領域 9, 12

---

### F-1 第一原理分子動力学法に基づく等温酸化還元反応による水分解機構の解明

熊大院自然<sup>A</sup>, 南カリフォルニア大<sup>B</sup> 三澤賢明<sup>A</sup>, 高良明英<sup>A</sup>, 下條冬樹<sup>A</sup>, Aiichiro NAKANO<sup>B</sup>, Rajiv K. KALIA<sup>B</sup>, Priya VASHISHTA<sup>B</sup>

燃料電池に関する技術の進展とともに、より効率の良い水素の生成手法を開発する重要性が高まっている。現在、効率的に水素を生成する手法の一つとして等温酸化・還元サイクルによる水分解の手法がある。(C. L. Muhich *et.al.*, *Science*, **341**, 540 (2013).) これは高温環境下で金属酸化物の酸化・還元反応を繰り返すことで水分子から水素分子を得る手法である。本研究では手法の効率の向上と更なる低コスト化のため、第一原理分子動力学シミュレーションを用いて酸化・還元反応を再現し、反応機構を解明することを目指している。 **(還元反応過程)** 還元反応過程ではアルミナとコバルトフェライトの熱還元反応  $\text{CoFe}_2\text{O}_4 + 3\text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{CoAl}_2\text{O}_4 + 2\text{FeAl}_2\text{O}_4 + 0.5\text{O}_2$  によって酸素原子が放出される。シミュレーションではこれらの反応物のスラブモデルを構成し温度を上昇させることで反応の再現を試みた。シミュレーションの結果  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CoFe}_2\text{O}_4$  界面において酸素原子間の結合が観測された。これらの結合強度を調べるため酸素原子間の Bond Overlap Population を解析した結果、温度の上昇に伴い結合強度が増大していることがわかった。 **(酸化反応過程)** 酸化反応過程では還元反応過程で得られたコバルトスピネルとヘルシナイトを高温の水蒸気と反応させ、酸化反応  $\text{CoAl}_2\text{O}_4 + 2\text{FeAl}_2\text{O}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CoFe}_2\text{O}_4 + 3\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2$  を起こすことで水素分子を得る。シミュレーションでは  $\text{Co}_5\text{Fe}_{11}\text{Al}_{32}\text{O}_{64}$  クラスタを水分子で取り囲み、温度を上昇させることによって反応の再現を試みた。シミュレーションの結果、温度の上昇に伴いクラスタ表面における水分子の吸着・解離反応が起こり、Grotthus 機構によって水中に  $\text{H}_3\text{O}^+$  と  $\text{OH}^-$  が生じることがわかった。これらの反応が水素分子の生成に関与していることが期待される。

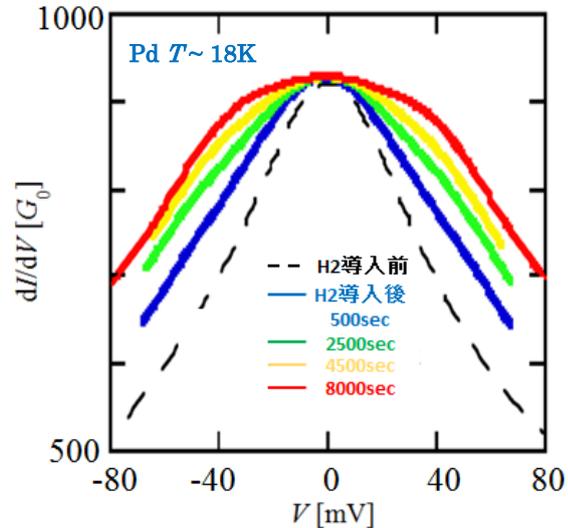
## F-2

### トンネル拡散により生じる金属ナノコンタクトへの水素吸蔵現象の研究

九大院工<sup>A</sup>, 東大物性研<sup>B</sup>, 金沢大教育<sup>C</sup>, 九大院総理工<sup>D</sup> 高田弘樹<sup>A</sup>, 家永紘一郎<sup>B</sup>, 上野裕輔<sup>A</sup>, 稲垣祐次<sup>A</sup>, 辻井宏之<sup>C</sup>, 橋爪健一<sup>D</sup>, 大塚哲平<sup>D</sup>, 河江達也<sup>A</sup>

低温における金属中水素の拡散にはトンネル効果が寄与していると考えられている。我々は、このトンネル拡散による水素吸蔵の進行を直接観測することを目的として、MCBJ法 (Mechanically Controllable Break Junction) により作成したPdナノコンタクトへの、液体水素中における水素吸蔵実験を行ってきた<sup>[1]</sup>。これによってトンネル効果によるPdへの水素の吸蔵・拡散を示唆する結果を得ている。そこで同じく水素吸蔵金属であるV(バナジウム)に対し同様の手法により水素吸蔵実験を行った。図にH<sub>2</sub>導入に伴うPdナノコンタクトの微分伝導特性の経時変化を示す。H<sub>2</sub>の導入に伴いその特性に明瞭な変化が生じている。この結果に対してVではPdの結果とは異なる変化を示す結果が得られた。本講演ではVナノコンタクトへの

水素吸蔵実験で得られた結果について報告する。



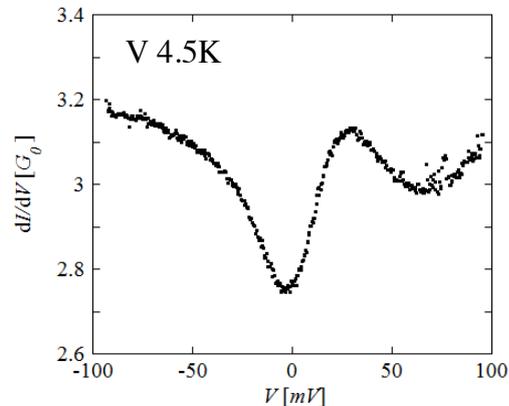
## F-3

### V,Nb ナノコンタクトにおける超伝導特性のサイズ依存性

九大院工<sup>A</sup>, 東大物性研<sup>B</sup>, 金沢大教育<sup>C</sup> 上野友輔<sup>A</sup>, 高田弘樹<sup>A</sup>, 家永紘一郎<sup>B</sup>, 稲垣祐次<sup>A</sup>, 辻井宏之<sup>C</sup>, 河江達也<sup>A</sup>

MCBJ (Mechanical Controllable Break Junction) 法を用いて、超伝導金属ナノコンタクトを作成し、そのコンタクトサイズを変化させながら測定が可能である。我々のグループではこの方法を用いてV(バナジウム)ナノコンタクトについて研究を行ってきた。これまでの研究から超伝導Vの単原子接点においてFanoカーブでよく再現される超伝導とは異なったゼロバイアス異常を観測している(図1)。我々はこの原因をV微小化により磁気モーメントが出現<sup>[1]</sup>したからではないかと考えている。この原因を追究するためにNb(ニオブ)の測定を行った。本講演ではVとNbについて実験によって得ら

れた結果について詳細に報告する。[1]H.Akoh and A.Tasaki, J.Phys.Soc.Jpn.42,791(1977)



## F-4 金属中重水素の量子現象に関する研究

九大工<sup>A</sup>, 九大院工<sup>B</sup>, 東大物性研<sup>C</sup>, 金沢大教育<sup>D</sup>, 九大院総理工<sup>E</sup> 川崎洋輔<sup>A</sup>, 高田弘樹<sup>B</sup>, 上野友輔<sup>B</sup>, 家永紘一郎<sup>C</sup>, 稲垣祐次<sup>B</sup>, 辻井宏之<sup>D</sup>, 橋爪健一<sup>E</sup>, 大塚哲平<sup>E</sup>, 河江達也<sup>B</sup>

低温における金属中水素の拡散にはトンネル効果が寄与していると考えられている。このトンネル過程を研究するため我々は、MCBJ(Mechanically Controllable Break Junction) 法を用いて金属ナノコタクトを作製し、そこで生成される弾道電子を利用することで金属中への水素吸蔵のその場観測実験を行っている。この方法の特徴は、水素の吸蔵量変化が伝導特性に直接的に表れる点である。図1は、 $V$ 、 $T \sim 18\text{K}$ において $\text{H}_2$ を導入した際の微分伝導特性の変化を表す。現在我々は、金属中重水素についても同様の実験を行っており水素の場合と違った結果を得ている。本講演では、重水素を吸蔵させた場合の結果について報告する。

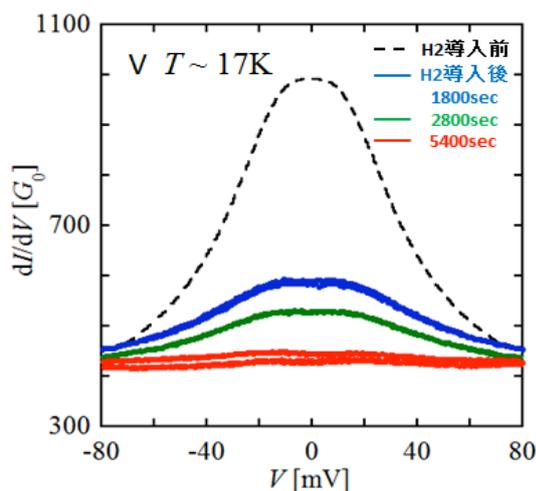


図1.  $V$ 、 $T \sim 17\text{K}$ での $\text{H}_2$ 導入に伴う $dI/dV$ 信号の時間変化

## F-5 Vibrating wire 法を用いた金属内への水素吸蔵現象の研究

九大工<sup>A</sup>, 九大院工<sup>B</sup> 西村充貴<sup>A</sup>, 横王子穂香<sup>A</sup>, 稲垣祐次<sup>B</sup>, 河江達也<sup>B</sup>

Vibrating wire(VW) 法はワイヤの固有振動数を測定することで、その周りを満たしている液体の粘性を調べる方法であり、例えば超低温における超流動  $^3\text{He}$  などの物性を調べる手法として用いられている [1]。

両端を固定したワイヤに交流電流を流し、磁場を印加することでローレンツ力により機械的振動を発生させる。この振動振幅が最大となる固有振動数はワイヤのヤング率と密度に依存する為、水素吸蔵に伴うワイヤ自体の物性変化として金属の水素吸蔵特性の評価に使えるのではないかと我々は考えた。

本手法は超低温から高温までの広い温度範囲に適用でき、特にほとんど手付かずの液体窒素温度以下における金属の水素吸蔵・拡散特性の評価に威力を発揮するものと期待される。

現段階で、Pd や Nb などの細線を用いた真空中の予備実験では温度に対して極めて敏感に固有振動数が変化することを確認している。

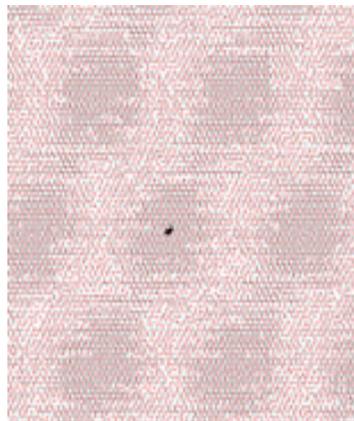
今後、水素雰囲気下での測定を実施し、当日は開発の現状について詳細に紹介する予定である。

[1] Y. Nago et al. Phys.Rev.B82 (2010) 224511.

## F-6 銅表面上におけるグラフェン形成のシミュレーション

福岡教育大学 物理教室<sup>A</sup> 丸谷 雄太<sup>A</sup>, 三谷 尚<sup>A</sup>

単層グラフェンを合成する方法の一つとして銅上蒸着 CVD 法がある。Cu(111) 表面上の合成において、銅基盤に対してグラフェンの被覆率が增大するにつれ、六角形である島が、銅基盤がほぼ完全にグラフェンで覆われた場合、モアレ模様が報告されている。我々は実験の再現を試み、グラフェンは Cu 上で物理吸着すると仮定し、モンテカルロシミュレーション (次の 2 種) を行った。1. グラフェンの成長過程で、炭素原子は Cu(111) 上の炭素原子間の相互作用のみを感じ、六角格子の離散吸着点を移動する。2. シミュレーションにおいて、銅原子のみが、銅原子間の相互作用エネルギーとグラフェンポテンシャルを感じ、連続自由度で移動すると仮定し行った。1. では実験と同様に六角形の島が形成された。2. では図の様にモアレ模様が観察され、その構造因子像では、銅の基本格子のメインピークと、周辺の 6 個のサテライトが現れ、後者はモアレの超格子構造に対応する。



## F-7 イオン液体 [bmim][BF<sub>4</sub>] の NMR

九州大学大学院理学府<sup>A</sup>, 崇城大学工学部<sup>B</sup>, 九州大学理学研究院<sup>C</sup> 松岡良春<sup>A</sup>, 町田光男<sup>B</sup>, 木村康之<sup>C</sup>

イオン液体は、イオン性物質でありながら融点が 373K(100 °C) 以下の物質である。化学的安定性や低蒸気圧などの性質があり、溶媒や潤滑材などへの応用が期待されている。しかしその基礎的な物性には未解明な点も多い。そこで、カチオンが bmim、アニオンが BF<sub>4</sub> のイオン液体 bmimBF<sub>4</sub>(図 1) を試料として選択した。bmimBF<sub>4</sub> は融点が 200K、ガラス転移点が 180K である。本研究では、NMR 分光法を用いて bmimBF<sub>4</sub> のスピン-格子緩和時間 T<sub>1</sub> と二次モーメント M<sub>2</sub>(図 2,3) を測定した。この結果を用いて、液体、過冷却液体、ガラスの各状態におけるプロトンの活性化エネルギーなどを求めた。測定は冷却過程 (305K から 140K まで冷却) と加熱過程 (室温から 130K まで急冷後、135K から 305K まで加熱) の 2 つの過程について 5K 間隔で行った。詳細は当日報告する。

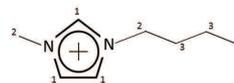


図 1 : bmimBF<sub>4</sub> の構造式

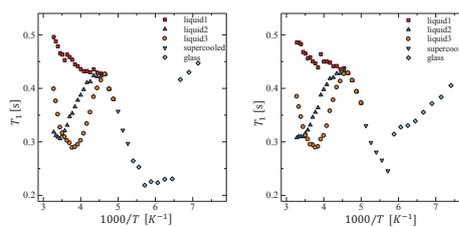


図 2 : スピン-格子緩和時間 T<sub>1</sub>(左 : 冷却過程、右 : 加熱過程)

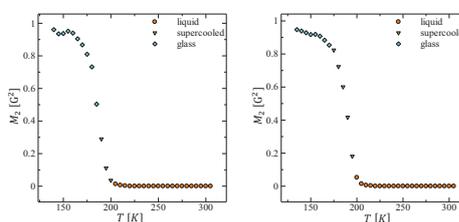


図 3 : 2 次モーメント M<sub>2</sub>(左 : 冷却過程、右 : 加熱過程)

## F-8 低温下における車軸藻原形質顆粒の滑り運動に関する研究

佐世保工業高等専門学校<sup>A</sup>, Durham University<sup>B</sup> 三橋和彦<sup>A</sup>, Chris Saunter<sup>B</sup>, John Girkin<sup>B</sup>

植物細胞の原形質は、一見液体のように見えるが表層の膜状構造には多数のミオシン XI が結合している。そのため細胞壁内側にアクチン束が配向していると、原形質が結合し一方向に滑り運動をする。これが細胞内全域に及ぶ現象を原形質流動と呼ぶ。流動の形成過程では、多数のミオシンが確率的に原形質を駆動していると考えられる。しかし一分子が生ずる力 ( 10 pN ) は熱揺らぎの中で急速に失われる程小さく、個々の駆動力がどのように統合されているかに関しては全く理解されていない。この過程を明らかにするには、流動中の確率過程を詳細を知る必要がある。そこで本研究では、5℃未満の低温下において多数の原形質顆粒の滑り運動を画像計測し速度分布を求めた。車軸藻の一種フラスコモ (Nitella Axilliformis) の原形質は、半径 0.6-0.7 micron 程度の大きな顆粒と半径 0.3-0.4 micron 程度の小さい顆粒を含む。本研究では、大きい顆粒に関しては最大約 4,000 の軌跡を、小さい顆粒に関しては同 10,000 程度の軌跡を解析した。その結果、速度分布は 0-30micron/s の範囲で概ね指数分布に従い、この傾向は粒径に依存しないことが分かった。ただし分布の減衰率は、半径  $0.66 \pm 0.06$  micron に対する減衰率は  $4.17 \pm 0.55$  micron/s、半径  $0.38 \pm 0.04$  micron に対し  $2.90 \pm 0.26$  micron/s が得られ、顆粒の粒径が大きい程大きな値となった。この結果は、流動機構そのものは本速度域で一貫しているが、サイズによるパラメータ依存があることを示唆している。

## F-9 剪断場における MBBA - EBCA 混合液晶の電気対流とレオロジー

大分大学大学院<sup>A</sup>, 別府大学短期大学<sup>B</sup>, 北海道大学大学院<sup>C</sup> 佐藤裕樹<sup>A</sup>, 後藤善友<sup>A,B</sup>, 長屋智之<sup>A</sup>, 折原宏<sup>C</sup>

電気対流 (EC) の存在下での *p*-methoxybenzylidene-*p'*-*n*-butylaniline(MBBA) の見かけの粘性は、低電圧領域では増加し、高電圧領域では減少することが報告されている。これは MBBA の誘電異方性 ( $\Delta\epsilon$ ) が負であることから負の Maxwell 応力が発生し、結果として見かけの粘性が減少したためと考えられている。

この推察を実験的に確認するために、MBBA に  $\Delta\epsilon > 0$  の *p*-ethoxy benzylidene *p'*-cyano aniline(EBCA) を混合し、 $\Delta\epsilon$  を -0.41 から +0.15 まで変化させた試料で見かけの粘性の電圧依存性を測定した。

図 1 に見かけの粘性  $\eta$  の電圧  $V$  変化を示す。高電圧領域での粘性減少は  $\Delta\epsilon$  が正になると観測されなくなり、推察通りの結果となった。また、乱流でありながら周期構造をもった縞模様が観察された。これらの実験結果を詳細に報告する。

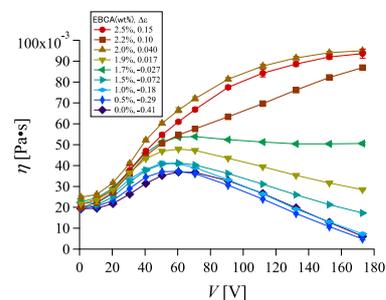


図 1. 誘電異方性を変化させたときの粘性の電圧依存性

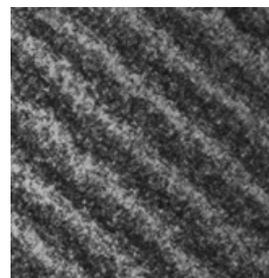


図 2. せん断場における MBBA-EBCA 混合液晶の電気対流

## F-10 コレステリック液晶電気対流中での粒子ダイナミクス

九大院理<sup>A</sup> 高橋健太郎<sup>A</sup>, 岩下靖孝<sup>A</sup>, 木村康之<sup>A</sup>

一般に平衡系溶媒中でのコロイド粒子は、溶媒分子から受ける熱的な揺動によって駆動される。一方で、時空間構造をもった動的な系である非平衡散逸系におけるコロイド粒子は非熱的な揺動によって輸送される。このために粒子は平衡系とは異なるダイナミクスを示し、近年、生物系などの非熱的駆動場を用いて非平衡系の解明を目指した研究が盛んに行われている。我々は、この非平衡場として液晶電気対流系を用いて実験を行った。今回は、ネマチック液晶にキラリティを与えたコレステリック液晶の電気対流による粒子ダイナミクスを報告する。キラリティのため、コレステリック液晶はネマチック液晶とは異なる対流構造を形成する。ここに分散したコロイド粒子は、図に示す様に格子対流に駆動されながら二次元的に輸送・拡散していく様子が見られた。この詳しいダイナミクスは当日報告する。

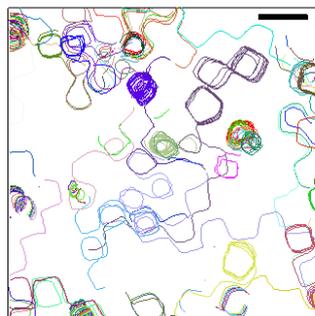
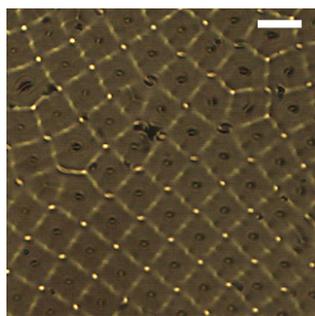


図 コレステリック液晶で閾値電圧 $V_c$ を越えて初めに現れる格子状パターン。上はその偏向顕微鏡写真。下はこの中に分散したコロイド粒子の軌跡。スケールバーはいずれも50 $\mu\text{m}$ 。

## F-11 ネマチックコロイド結晶の作製

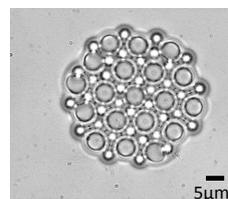
九大理<sup>A</sup>, 九大院理<sup>B</sup> 田村優太<sup>A</sup>, 河村隆弘<sup>B</sup>, 岩下靖孝<sup>B</sup>, 木村康之<sup>B</sup>

ネマチック液晶中にコロイド粒子を分散させると粒子が配向秩序を乱し、粒子近傍に配向欠陥が誘起される。さらに、粒子間には液晶の弾性歪みを介した長距離かつ異方的な力が働く。ことに、粒子表面で液晶が垂直配向するような粒子の場合、粒子間には双極子と同じ形の相互作用が働くことが知られている。

本研究では、この粒子間相互作用を利用して液晶中でコロイド結晶の作製を行った。作製に際して、光ピンセットを用いて粒子位置の操作を行うとともに欠陥形態の制御も行うことで2次元、3次元結晶の作製に成功した。(右図)

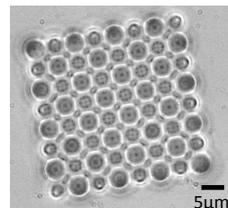
図(a)2次元結晶

直径3 $\mu\text{m}$ と5 $\mu\text{m}$ のシリカ粒子を用いて作製した



(b)3次元結晶

直径3 $\mu\text{m}$ のシリカ粒子を用いて作製した



## F-12 電場下のネマチックコロイド間相互作用

九大院理<sup>A</sup>, 九大理<sup>B</sup> 河村隆弘<sup>A</sup>, 田村優太<sup>B</sup>, 岩下靖孝<sup>A</sup>, 木村康之<sup>A</sup>

ネマチック液晶中にマイクロメートルサイズのコロイド粒子を分散させると、粒子自身が液晶の配向秩序を乱すトポロジカルな欠陥となり、その近傍に新たな配向欠陥が誘起される。このとき、コロイド粒子間には液晶の弾性歪みを介した長距離かつ異方的な力が働く。この力は液晶の配向場の歪みに由来するため、液晶の配向を外場で操作すると粒子間に働く力が変化することが期待できる。

本研究では、コロイド粒子を分散させたネマチック液晶に電場をかけ、粒子同士が引力により接近する様子を撮影し(図1)画像を解析することにより粒子間に働く力を測定した。例として、5CBとシリカ粒子の混合系を封入したセルに電場をかけた場合の粒子間力の距離依存性を測定した結果を図2に示す。詳細は当日発表する。

図1: 2粒子クラスターの偏光顕微鏡像  
(a) 電場なし、(b) 電場あり

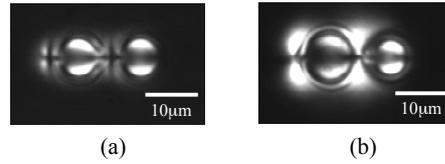
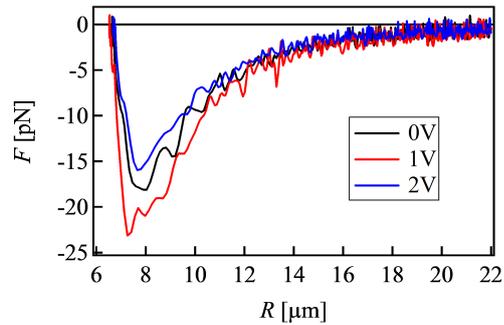


図2: 粒子間力  $F$  の粒子間距離  $R$  に対する依存性



## F-13 様々な軸比の楕円体粒子が作る構造

九大院理<sup>A</sup> 松元大吾<sup>A</sup>, 岩下靖孝<sup>A</sup>, 木村康之<sup>A</sup>

これまでコロイド分散系の研究は主に球状粒子を用いてなされてきた。近年、棒状や円盤状などの形状に異方性のある粒子を用いた研究が盛んに行われている。異方性粒子では等方的な密充填が困難なため、球状粒子と異なる構造が形成されることが期待される。例えば、1成分の楕円粒子はガラス相を示すことが報告されている。本研究では球状ポリスチレン粒子を熱変形させて作成した楕円粒子を用い、軸比や密度を変化させて楕円粒子系の示す構造を調べた。図1(a)に軸比が2の楕円粒子系で観察された構造例を示す。近距離で配向の相関を持って粒子が分散していることがわかる。それに対し軸比が大きい(b)、(c)では配向の揃った比較的大きな領域が観察された。詳細は当日発表する。

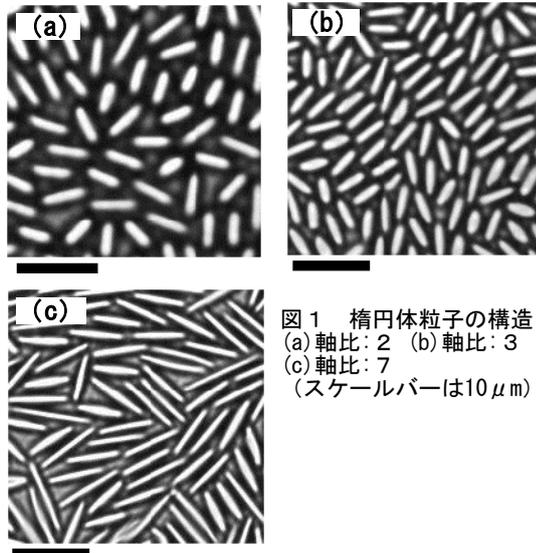


図1 楕円体粒子の構造  
(a) 軸比: 2 (b) 軸比: 3  
(c) 軸比: 7  
(スケールバーは10 μm)

## F-14 相分離リポソームの突起形成

九大院理<sup>A</sup>, 東京農工大<sup>B</sup> 祐下岳志<sup>A</sup>, 岩下靖孝<sup>A</sup>, 木村康之<sup>A</sup>, 柳澤実穂<sup>B</sup>

飽和脂質、不飽和脂質、コレステロールからなる三成分リポソームはある温度以下で相分離し、ドメインを形成する。その際、均一系では取り得ない形状を準安定的かつ自発的にとり得ることが報告されており、相分離と変形の関係に興味が持たれている。本研究では、相分離リポソームを強制変形させ、相分離と変形の様子を調べた。

リポソーム内にシリカ粒子を二個内包させ、それらを光ピンセットで捕捉し内側から引っ張ることによりリポソームを変形させた。その結果二種類の異なる変形パターンが現れることを発見した(図)。(a)の場合、突起を形成するためにはエネルギー障壁を超える必要があるため、突起形成時に  $F_{max}$  が現れる。一方、(b)のようにドメイン間にすでに細くびれが存在する場合、そのくびれから突起が生成される。このため連続的な変形が可能であり、 $F_{max}$  が現れないと考えられる。詳細は当日発表する。

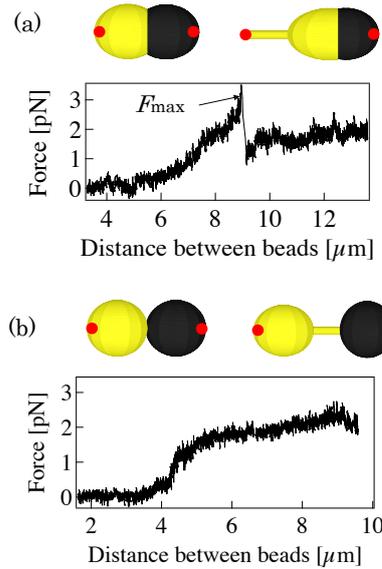


図: 相分離リポソームを強制変形させた時のモデル図とその際の伸び力曲線。

## F-15 動的密度汎関数理論による剛体分子液体の研究

九大院理<sup>A</sup> 岡次聡<sup>A</sup>, 吉森明<sup>A</sup>, 吉田紀生<sup>A</sup>

(目的)

動的密度汎関数理論 (TDDFT) を分子液体に拡張する。TDDFT とは自由エネルギー汎関数から密度場の時間変化を計算する理論であり、単純液体で成功している。分子液体の扱いとして、原子ごとに相互作用を定義した相互作用点モデル (ISM) を用いる。また拡張された理論を 2 原子分子に応用し、理論の妥当性を明らかにする。

(理論)

射影演算子法により ISM に拡張された TDDFT

の式は、

$$\frac{\partial \rho_a(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = \sum_b D \int d\mathbf{r}' [\nabla \cdot \mathbf{M}_{ab}^{tot}(\mathbf{r}, \mathbf{r}') \cdot \nabla'] \frac{\delta \beta F[\rho_a(\mathbf{r}, t)]}{\delta \rho_b(\mathbf{r}', t)}$$

となる<sup>1</sup>。ここで  $\rho_a(\mathbf{r}, t)$  は原子  $a$  の密度場、 $D$  は拡散係数、 $\mathbf{M}_{ab}^{tot}(\mathbf{r}, \mathbf{r}')$  は分子内の拘束条件、 $F[\rho_a(\mathbf{r}, t)]$  は自由エネルギー汎関数を表す。

(応用)

2 原子分子の原子間の相互作用は剛体球を考え、回転運動をしない (回転モーメントが無限) 場合について数値計算を行った (下図)。時刻  $t=0$  での非平衡状態から平衡状態までの密度場の時間変化を計算することができた。

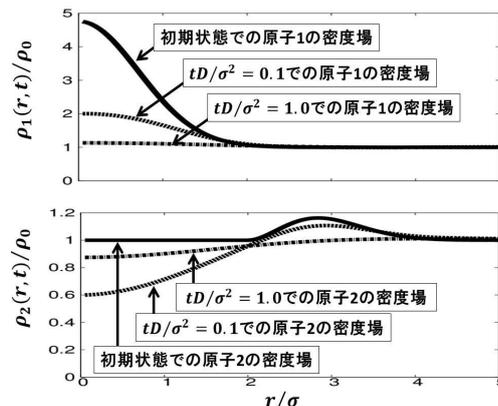


図: 原子1, 2の密度場の時間変化。横軸は原点からの距離。縦軸は密度場の大きさ。 $\sigma$ は原子1, 2の半径の大きさで、 $\rho_0$ は平衡状態での密度である。またボンドの長さは $2\sigma$ である。

<sup>1</sup> Akira Yoshimori: Journal of the Physical Society of Japan 80 (2011) 034801

## F-16 円環上を運動する微粒子の流体相互作用による集団運動

九大院理<sup>A</sup> 大久保省吾<sup>A</sup>, 岩下靖孝<sup>A</sup>, 木村康之<sup>A</sup>

液体中の微小物体には物体間に周りの流体を介した相互作用が強く働き、興味深い運動を示す。これまで、我々は、ホログラフィック光ピンセットにより作製したリング光渦を用いて、水中に分散した複数のコロイド粒子を、同一円環上で周回運動させた系での集団運動の研究を行ってきた。この系は、光による駆動エネルギーの注入と周りの流体へのエネルギー散逸を伴う非平衡開放系であり、粒子数・粒子サイズ・初期配置等のパラメータを変化させることで特徴的な集団運動や動的なクラスター構造が誘起される。

例えば、3つの同径粒子(粒径 $3\mu\text{m}$ )を周回運動させると図1のようなリミットサイクル運動が起こる。一方、大小二つの粒子(粒径 $3\mu\text{m}$ と $2.5\mu\text{m}$ )混合系では図2のようなアクティブクリスタルが形成される。そこで、今回はこの粒径サ

イズ比の違いによる集団運動に注目して、大きい粒子(粒径 $3\mu\text{m}$ )のサイズを固定し、小さい粒子のサイズを変えることによる運動の遷移の様子を、オセーンテンソルを用いたシミュレーション及び実験により調べた。詳細は当日発表する。

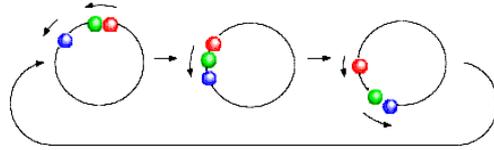


図1: 3個の同径粒子(粒径 $3\mu\text{m}$ )の示すリミットサイクル運動

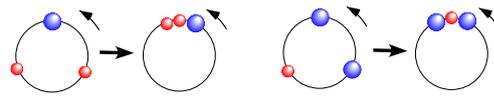


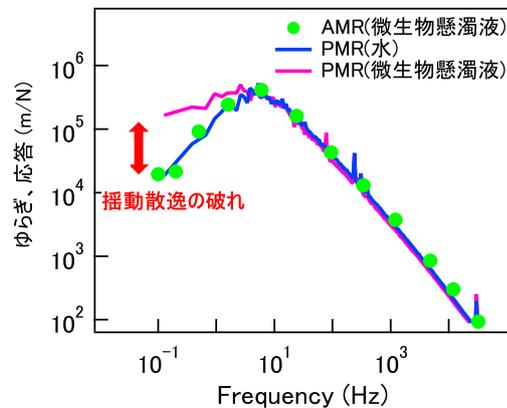
図2: 3個の異径粒子が形成するアクティブクリスタル  
(青: 粒径 $3\mu\text{m}$  赤: 粒径 $2.5\mu\text{m}$ )

## F-18 遊走微生物懸濁液中のゆらぎと力学応答の測定

九州大学大学院理学研究院<sup>A</sup> 諸留寛大<sup>A</sup>, 栗原喬<sup>A</sup>, 水野大介<sup>A</sup>

平衡状態において常に成立する「揺動散逸定理」の破れを観測することで系の非平衡性を特徴付けることができる。本研究では遊走微生物懸濁液中にコロイド粒子を分散させて、そのゆらぎと力学応答の関係を調べた。光捕捉に用いるレーザー光を変位させることで、コロイド粒子に正弦的に振動する力を印加しつつ、別の固定レーザーの回折を利用して同じ粒子の変位応答(active マイクロレオロジー:AMR)や自発的なゆらぎ(passive マイクロレオロジー:PMR)を観測した。その結果、ゆらぎと力学応答が低周波域( $\sim 10\text{Hz}$ )で一致せず、当該周波数域において揺動散逸定理が成立しないことを見出した。この成果は遊走微生物をは

じめとするメソスケールの力生成体により駆動される複雑物質(アクティブソフトマター)の非平衡挙動を究明するための基礎となる。

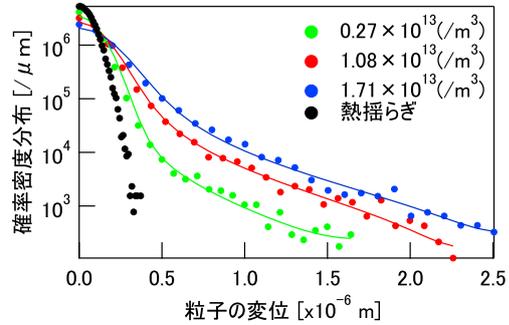


## F-19 遊走微生物が生み出す非平衡揺らぎの統計分布

九大院理<sup>A</sup>, オックスフォード大学<sup>B</sup> 栗原喬<sup>A</sup>, 有留 真人<sup>A</sup>, Heev Ayade<sup>A</sup>, Irwin Zaid<sup>B</sup>, 水野 大介<sup>A</sup>

多くのアクティブマターや生体システムでは、熱的な揺動力とは起源を異にする力生成体の働きによって、力学的に非平衡な状態に駆動されている。本研究では、こうした非平衡な系の単純なモデルである遊走微生物懸濁液中にコロイド粒子を分散させ、その軌跡を観測し、揺らぎの確率分布を求めた。非熱的な揺らぎは揺動散逸定理によって規定されないために、広い裾野を特徴とする Levy に近い非ガウスの分布を示した。厳密には Levy 分布の分散は発散するが、現実の系では、力生成体や粒子のサイズ効果により分布が truncate される。今回我々は、力生成体を有限なサイズを持つ力の双極子としてモデル化することで、Truncate された Levy 分布の理論式を見出した。Truncate された Levy 分布の形状は、コロイド粒子と力生成体の径の和によりスケールされる空間中に存

在する力生成体の数によって主に決定される。そこで力生成体（遊走微生物）の濃度やコロイド粒子の粒径を系統的に変化させて実験を行ったところ、揺らぎの分布が Gauss と Levy の間を連続的に移り変わる様子が確認された。しかも、その分布形状は Truncate された Levy 分布の理論予測と定量的に合致することが示された。

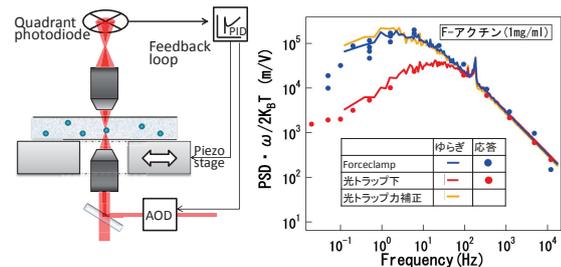


## F-20 フィードバックマイクロレオロジーを用いたソフトマターの力学挙動観測

九大理<sup>A</sup>, 九大院理<sup>B</sup>, 東大生研<sup>C</sup> 本田菜月<sup>A</sup>, 西澤賢治<sup>B</sup>, 有賀隆行<sup>B</sup>, 柳島 大輝<sup>C</sup>, 水野大介<sup>B</sup>

細胞内では、モーターたんぱく質等による力生成のために巨大なゆらぎや流動場が生み出されている。細胞は主に柔らかい物質（ソフトマター）から成っており、わずかな駆動により非平衡状態となり、その特性を大きく変化させる。その詳細なメカニズムを解明するには、メソスケールの緩和挙動を広帯域で計測できる、光ピンセットを用いたマイクロレオロジー法が有効である。特に、外部から制御された力学駆動を加えた環境下でのゆらぎと応答の観測が重要となる。ただし、生体ソフトマターの特性は、光トラップが形成する微弱なポテンシャルによっても影響されてしまう。そこで、本研究では、フィードバックを用い、光捕捉位置をゆらぎに対して高速に追従させた。これにより、実質的に光ポテンシャルが除去され

ていることを確認できた。(force clamp)。当日はアクチン溶液やコロイドガラス溶液内部で、外場によって牽引されるプローブ粒子に現れるゆらぎと応答のふるまいについて議論する。



## F-21 ゼラチン溶液のゲル化と相分離挙動

九大院理<sup>A</sup> 山下祐太郎<sup>A</sup>, 鶴田昌之<sup>A</sup>

我々は、ゼラチン-ポリエチレングリコール (PEG) - 水 3 成分系について研究した。ゼラチンは水に非常に良く溶解する高分子であり、ゼラチン水溶液は熱可逆的なゾル-ゲル転移を示す。一方、PEG 水溶液は室温領域よりも高温の領域で相分離する。我々は、これらを混合したゼラチン-PEG-水系で、室温の領域で相分離とゾル-ゲル転移が同時に起こることを見出した。図1は、ゼラチン-PEG1000-水系の相図である。曇点 (○) とゲルの融点 (●) をゼラチン濃度に対してプロットした。この系では、ゼラチンの低濃度領域では降温に伴い相分離が起こり、ゼラチンの濃度を高くすると相分離よりも先にゲル化が起こる。この系に対して小角光散乱測定を行ったところ、ゲル化が相分離構造の成長に強く影響することが明らかとなった。詳細は当日報告する。

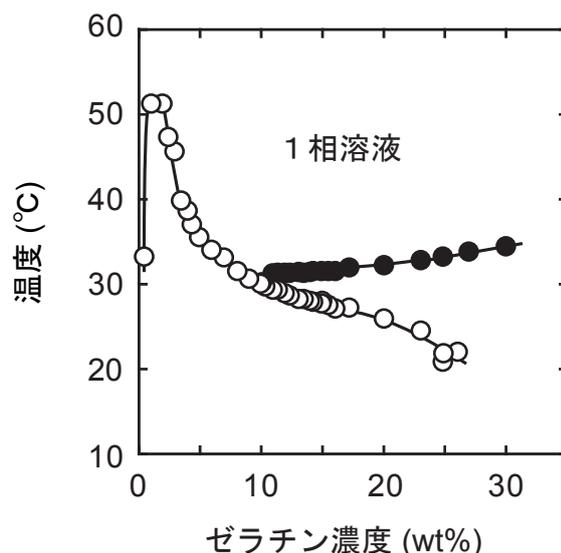


図1：ゼラチン-PEG1000(10wt%)水溶液系の相図。曇点(○)とゲルの融点(●)をゼラチンの濃度に対してプロットした。

## F-22 界面活性剤水溶液の臨界挙動

九大院理<sup>A</sup> 清田翔<sup>A</sup>, 鶴田昌之<sup>A</sup>

界面活性剤は1つの分子内に疎水基と親水基を有する両親媒性物質である。多くの界面活性剤水溶液は、温度上昇に伴い相分離をしめす、いわゆる下部臨界完溶型 (LCST) の相図を示すことが知られている。本研究では、代表的な非イオン性界面活性剤である Triton X-100 の相挙動及び添加塩の効果の解明することを目的に研究を行った。最初に、Triton X-100 水溶液の相図を決定した。まず、濃度の異なる水溶液の温度を上昇させる過程において曇点を決定し、LCST 型の相図が得られた。いくつかの水溶液を曇点以上に昇温し、濃厚相と希薄相の体積比を決定したところ、この測定で得られた相図は二相共存曲線にほぼ一致していることがわかった。このことから、この試料の臨界点は  $T_c = 338.58 \text{ K}$   $\phi_c = 5 \sim 6 \text{ wt} \%$  であることがわかった。また、この臨界点をもとにして求まる臨界指数は、平均場理論に近い値が得られた。さらに本研究では、無機塩および有機塩を添加した場合の相図の変化についても報告する。