

【特別推進研究】

理工系（数物系科学）



研究課題名 時空階層性の物理学:単純液体からソフトマターまで

東京大学・生産技術研究所・教授 たなか はじめ
田中 肇

研究分野： 化学物理・生物物理

キーワード： ガラス転移、液体・液体転移、水の異常、結晶化、ソフトマター、非線形流動

【研究の背景・目的】

液体状態は、気体・固体状態とならび、我々人類にとって最も重要な物質の存在様式である。しかしながら、液体状態、そしてそれが凍結した状態であるガラス状態の理解は、気体・結晶状態に比べて著しく遅れているのが現状である。一方、液体状態には物質輸送・反応の場として極めて重要な機能が備わっており、工業的な輸送プロセス、マイクロfluidics、生命活動など、多くの場面で極めて本質的かつ重要な役割を果たしている。特に、ソフトマターの動的挙動が流体の存在によりどのような影響を受けるかという問題は、「生体における水の動的側面での役割」という未解明問題を明らかにする上でも避けては通れない基本問題である。

本研究では、単純液体ならびにソフトマターを対象として、液体の基本的性質にかかわる以下に示す6つの未解明問題について、これらの系が共に内包する時空階層性(図1参照)に焦点を当て研究を行う：(1)水型液体の熱力学・運動学的異常の解明、(2)単一成分液体の液体・液体転移現象の起源の解明とその応用、(3)ガラス転移現象の解明、(4)液体の階層性と結晶化の素過程(結晶核形成)の

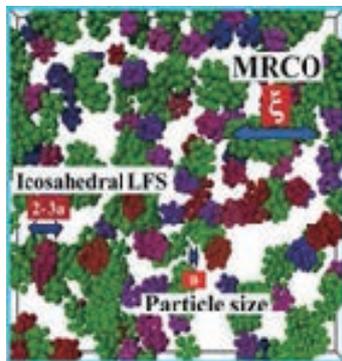


図1 剛体球液体の階層構造

の関心の解明、(5)液体・ガラス状物質の非線形流動・破壊現象の解明と制御、(6)液体が流体力学的相互作用を介してソフトマター・生体系の動的な挙動に及ぼす影響の解明。これらの研究を通して、現象を支配する統一的な物理描像を描くとともに、単純液体・ソフトマターの物理学に新しい展開をもたらすことを目指す。

【研究の方法】

理論的研究、分子動力学等の粒子レベルシミュレーション、粗視化モデルを用いた数値的研究、コロイド分散系の一粒子レベル3次元観察、各種熱・構造・ダイナミクス解析手法を用いた実験的研究の有機的な連携により、液体、ソフトマターについて、【多体相関】【時空階層性】【動的対称性の破れ】という

基本概念を柱とし、新たな物理描像を定量的レベルで確立することを目指す。

【期待される成果と意義】

液体状態は物質の基本状態の1つであり、その基礎的な理解の進展の意義は計り知れない。特に、液体における上記の未解明問題は物性科学分野の長年にわたる基本問題であり、それらが解明されれば化学、材料科学、生物学を含めた他分野への波及効果も極めて大きいと考えられる。応用面でも、生命現象、化学反応、多くの工業的なプロセスにおいて水に代表される液体が不可欠であることは言うまでもない。ソフトマター分野では、本研究により「異なる階層の自由度が、液体の階層性・流れの自由度等を介し如何に動的に結合し協同的な機能の発現に至るか」という自然界における階層的自己組織化の動的側面の理解が進み、のろまでありながら極めて多様な機能を効率よく発現するたんぱく質に代表される生体物質の機能発現機構の理解の深化につながると期待される。このような非平衡の問題は、ソフトマターの分野で最も深く研究されてきた問題であるが、この研究を通し、マントル流動に関連した地球科学を始め、絶縁破壊現象や電子系の非線形電導現象など異分野へも貢献できると考えている。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ A. Furukawa and H. Tanaka, Inhomogeneous flow and fracture of glassy materials, *Nature Mater.* **8**, 601-609 (2009).
- ・ H. Tanaka et al., Critical-like behaviour of glass-forming liquids, *Nature Mater.* **9**, 324-331 (2010).
- ・ K. Murata and H. Tanaka, Liquid-liquid transition without macroscopic phase separation in a water-glycerol mixture, *Nature Mater.* **11**, 436-443 (2012).

【研究期間と研究経費】

平成25年度-29年度
368,800千円

【ホームページ等】

<http://tanakalab.iis.u-tokyo.ac.jp/>

【特別推進研究】

理工系（数物系科学）



研究課題名 イオントロニクス学理の構築

東京大学・大学院工学系研究科・教授

いわさ よしひろ
岩佐 義宏

研究分野： 固体物理学

キーワード： 表面・界面物性、強相関エレクトロニクス、先端機能デバイス、超伝導材料・素子

【研究の背景・目的】

近年、低環境負荷・省エネルギーエレクトロニクスの実現を目指し、有機材料や酸化物材料など、従来の半導体とは異なる新材料を用いたエレクトロニクスが進展し、実用化段階を迎えている。一方、これらの電子デバイスの電源となるエネルギー貯蔵デバイス、バッテリーやキャパシタは、現在でもその性能向上を目指し日夜研究が進行中である。このように成熟し始めたテクノロジーには、量子力学の発見の例を見るまでもなく新しいサイエンスの芽が隠れていることがしばしばみられる。本研究は、新規材料によるエレクトロニクスと、エネルギー貯蔵デバイスの概念を組み合わせ、新しい融合学理『イオントロニクス』を創成しようという試みである。

【研究の方法】

本研究の根幹となる着眼点は、電子伝導体-イオン伝導体界面において電気化学反応の前段階に形成される電気二重層 (EDL、図1) であり、EDLに蓄積された電荷によって電子伝導体 (固体) の電子状態が変化する様子を、その場観察することである。EDLの原理を用いた電界効果トランジスタ、電気二重層トランジスタ (EDLT) を開発することで、従来の全固体型の MOS 型電界効果トランジスタでは実現不可能な強電界の発生および大電荷密度蓄積を可能となった。これにより、EDLを用いて新しい物質相を電圧によって創製・制御することが可能となり、電界誘起超伝導、電界誘起強磁性、電界誘起モット転移など、従来の全固体型デバイスでは実現不可能であった数々の電界誘起相転移現象が EDLT によって実証された。

本研究では、物理分野から材料・科学分野に至る広いディシプリンの専門家が参画することにより、戦略的な共同研究を展開することで、電子相制御、物質化学、機能デバイスの3つの課題を展開する。

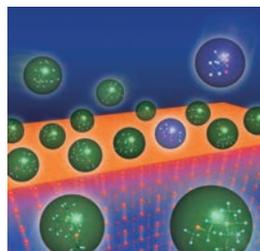


図1 電子伝導体-イオン伝導体界面における電気二重層 (EDL)

【期待される成果と意義】

電気化学と固体物理学は、遠くて近い関係にある

物質化学ディシプリンの典型例で、類似の物質を扱っているにもかかわらず、その間の共同研究は非常に少ない。そのようななかで、本研究は、学際領域『イオントロニクス』の学理を進化させるとともに応用への可能性を切り開くものである。具体的には、以下の成果が期待される。①高温超伝導体をはじめとする、新規電子相が発見される。あるいはその探索法が確立する。②現実の電子伝導体-イオン伝導体界面の構造とデバイスの動作機構が解明される。③物質展開やプロセス開拓による、イオントロニクス機能デバイスの高度化が達成される (図2)。これらは、ほとんど EDL における強電界を用いて実現されるものであり、イオン伝導体や従来型の固体デバイスのみでの研究では実現不可能なものである。

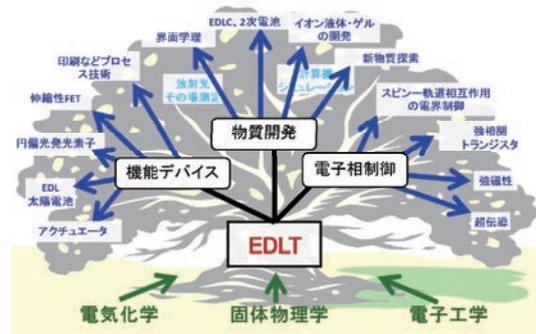


図2 本研究の概念図

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・“Superconducting Dome in a Gate Tuned Band Insulator”, J. T. Ye, Y. J. Zhang, R. Akashi, M. S. Bahramy, R. Arita, Y. Iwasa, Science 388, 1193-1196 (2012).
- ・“Collective bulk carrier delocalization driven by electrostatic surface charge accumulation”, M. Nakano, K. Shibuya, D. Okuyama, T. Hatano, S. Ono, M. Kawasaki, Y. Iwasa, Y. Tokura, Nature 487, 459-462 (2012).

【研究期間と研究経費】

平成 25 年度 - 29 年度
472,400 千円

【ホームページ等】

<http://iwasa.t.u-tokyo.ac.jp>
iwasa@ap.t.u-tokyo.ac.jp

【特別推進研究】

理工系（数物系科学）



研究課題名 最高強度ミュオンビームによる
ミュオン・レプトンフレーバー非保存探索の新展開

大阪大学・大学院理学研究科・教授 くの よしたか
久野 良孝

研究分野：高エネルギー物理学、素粒子物理学実験

キーワード：ミュオン、稀過程

【研究の背景・目的】

本研究の目的は、大強度陽子加速器施設 J-PARC において、荷電レプトンフレーバー保存則を破るミュオン電子(μ -e)転換過程(μ -N \rightarrow e-N)を従来の上限値の100倍以上の実験精度で探索し、標準理論を超える新しい物理現象を発見することである。この研究では、J-PARC E21 として採択されている COMET (Coherent Muon to Electron Transformation search)実験の第1段階に相当する「COMET Phase-I」を平成25年度から5年間で推進する。

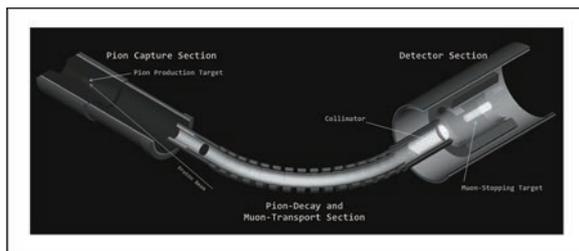


図1 COMET Phase-I

【研究の方法】

本研究計画は、COMET Phase-I 実験の測定器を製作し、その後 μ -e 転換過程探索実験を遂行することである。COMET-Phase-I の測定器は円筒ドリフトガスチェンバー(cylindrical drift chamber=CDC)を採用し、その中心にミュオン静止標的を置く。ミュオン静止標的の材質としては、ミュオン原子の寿命が長いアルミニウム(Al)を使う。CDC は、約1.0T の磁場を発生する超伝導の測定器ソレノイド磁石の中心に置かれる。CDC の長さは1.5m で、内半径が540mm で外半径が840mm である。CDC の P_T カットは約70MeV/c になっており、ミュオン崩壊からのほとんどの電子は CDC に到達しない。CDC 設計は、主に Belle-II の CDC 仕様を基礎としている。測定器ソレノイド磁石は鉄ヨークを備えており、宇宙線バックグラウンドの減少にも貢献する。また、静止したミュオン総量をモニターするために、Al のミュオン原子からの原子 X 線を CDC の横に置いた半導体検出器で測定する。

【期待される成果と意義】

本研究の COMET Phase-I では、これまでの探索

上限値を100倍以上に改善し、 μ -e 転換過程の発見を目指す。更に、10,000倍の実験改善を目標とする次段階の COMET Phase-II を推進する上で非常に重要なステップとなる。もし μ -e 転換過程が観測されれば、疑いなく新しい物理の発見であり、これは素粒子物理学の新しいパラダイム転換を形成するきっかけとなる。

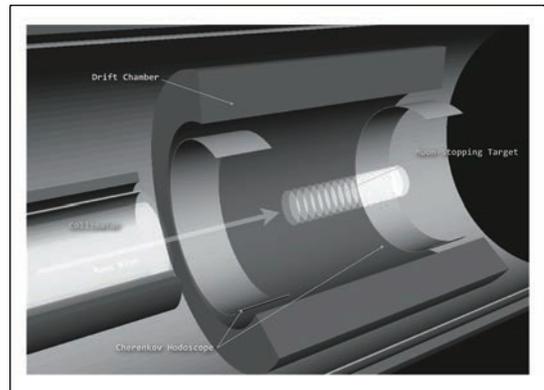


図2 CDC 測定器

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ Y. Kuno, “A Search for Muon-to-electron Conversion at J-PARC: The COMET Experiment”, PTEP 2013 (2013) 022C01, DOI : 10.1093/ptep/pts089
- ・ Y. Kuno and Y. Okada, “Muon Decay and Physics beyond the Standard Model”, Rev. Mod. Phys. 73 (2001) 151-202, DOI : 10.1103/Rev/ModPhys.73.151

【研究期間と研究経費】

平成25年度-29年度
433,000千円

【ホームページ等】

<http://mlfv.hep.sci.osaka-u.ac.jp>

【特別推進研究】

理工系（化学）



研究課題名 物理的摂動を用いる巨視スケールにおよぶ構造異方性の制御と特異物性発現

東京大学・大学院工学研究科・教授
あいだ たくぞう
相田 卓三

研究分野：化学

キーワード：超分子化学、複合材料・物性、物理的摂動

【研究の背景・目的】

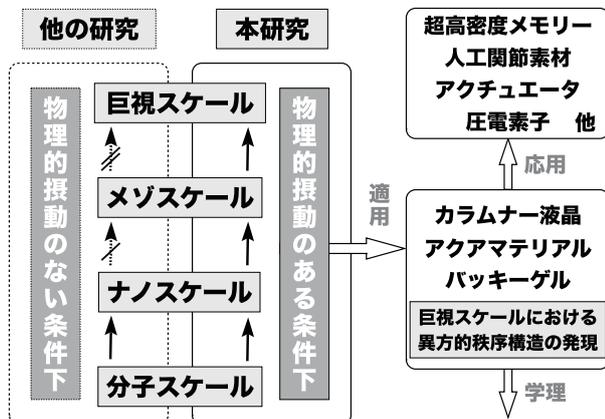
生体組織は、構造的に著しく異方的である。より厳密にいうと、分子からナノスケールを超え、メゾ・巨視スケールにいたる「階層的異方構造」からなり、この特異構造が、多様かつ特異な物性・機能の発現を担う。この「階層的異方構造」の形成プロセスは、「熱力学平衡支配の組織化」とは本質的に異なり、イオン勾配、浸透圧、流束、剪断力といった生体内の様々な「物理的摂動」を巧みに利用している。

超分子化学の目覚ましい発展により、ナノスケールまでの分子組織化は、今や化学の標準的ツールになっている。しかし、ナノ構造がさらに組織化してできる巨視スケール構造の予測・制御は、組織化の階層があがるにつれて可逆的な熱力学平衡支配から不可逆的な速度論支配に移行するため、一般に不可能である。これはボトムアップ材料設計の Missing Link であり、超分子化学の応用展開を著しく妨げている。

本プロジェクトでは、生体内の組織化に学び、「物理的摂動下での組織構造の形成」に焦点をあて、分子スケールからナノ・メゾスケールを超え、巨視スケールにいたる高度に制御された階層的異方構造からなるソフトマテリアルを設計するとともに、その異方性に由来する格別な物性・機能の開拓をめざす。

【研究の方法】

物理的摂動として電場・磁場などを用いた配向制御材料はすでに知られている。しかし、本研究プロジェクトでは、工学的・物理的側面の強いそれらの研究とは一線を画し、研究代表者がこれまでに独自



開拓してきた「メッセージ性の強い」モチーフを投入し、「化学と物理を橋渡しする学際的な材料科学研究」を展開する。具体的には、(1) 強誘電性コラムナー液晶、(2) ナノシートを架橋点とするネットワークからなるアクアマテリアル、(3) かつてない濃厚カーボンナノマテリアル懸濁液などを対象とする。

【期待される成果と意義】

本研究で開拓される新学理は、基礎科学的な重要性に加え、人々の生活を一変させる応用技術にも直結する。(1) 強誘電性コラムナー液晶の開拓は、「動的性質を有するソフトな組織体中で如何に極性構造を発現させ、操るか」という基礎科学の大きな挑戦であると同時に、光微細加工の呪縛から解放された「低コスト・低電圧駆動・超高密度の次世代メモリー素子」の開発に繋がる。(2) 架橋点となるナノシートが一次元配向したアクアマテリアルは、伝統的な構造材料の分野に大きな一石を投じるものであり、今なお当該分野の夢である「人工関節・人工筋肉」をより現実的なものにする。(3) かつてない濃厚なカーボンナノマテリアル分散液への物理的摂動の印加は、金属フリーの電子素子・電子デバイスの開拓・実用化を大きく促進する基盤技術を生み出すものと期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ D. Miyajima *et al.* Ferroelectric columnar liquid crystal featuring confined polar groups within core-shell architecture, *Science* **336**, 209–213 (2012).
- ・ Q. Wang *et al.* High-water-content mouldable hydrogels by mixing clay and a dendritic molecular binder, *Nature* **463**, 339–343 (2010).
- ・ T. Fukushima *et al.* Molecular ordering of organic molten salts triggered by single-walled carbon nanotubes, *Science* **300**, 2072–2075 (2003).

【研究期間と研究経費】

平成 25 年度–29 年度
464,500 千円

【ホームページ等】

<http://macro.chem.t.u-tokyo.ac.jp/>
aida@macro.t.u-tokyo.ac.jp

【特別推進研究】

理工系（化学）



研究課題名 脳内に核酸医薬を送達する高分子ミセルの創製と脳神経系難病の標的治療への展開

東京大学・大学院工学系研究科・教授 かたおか かずのり
片岡 一則

研究分野： ナノバイオテクノロジー、高分子化学

キーワード： 薬物送達システム、ナノバイオ材料、高分子ミセル、脳ターゲティング

【研究の背景・目的】

患者数が20万人を超えて増加の一途を辿っている脳神経系疾患の中で、アルツハイマー病等の分子メカニズムが解明されている疾患に対しては、核酸医薬による分子治療が特に有効であると考えられている。しかし、この治療法の実現のためには、ニューロン等の標的細胞内へ核酸分子を導入し、機能発現させることのできる核酸キャリアが必要不可欠である。一方、標的となる細胞が存在する脳は、高度に発達した生体バリアに守られているため、薬剤の送達が極めて困難な部位であることが知られている。

この様な背景を鑑み、本研究課題の目的は、強固な生体バリアを克服して脳神経系に核酸医薬を送達するナノサイズの核酸キャリアを構築すること、およびアルツハイマー病などの脳神経系疾患の分子治療に対する核酸キャリアの有効性を実証することである。具体的には、両親媒性ブロック共重合体の自己組織化により形成される高分子ミセル（図1）をプラットフォームとし、「生体適合性」「標的指向性」「環境応答性」を完備した人工ウイルスとも言うべき多機能性核酸キャリアの開発に向け、研究を推進する。

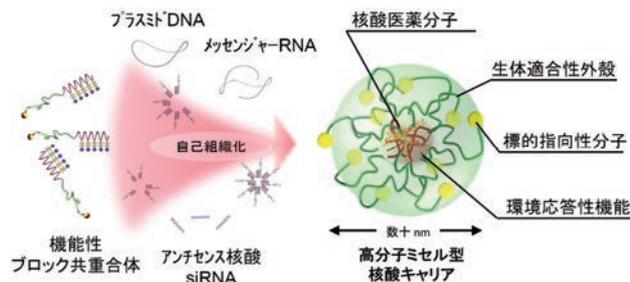


図1 機能性ブロック共重合体と核酸分子の自己組織化により形成される高分子ミセル型核酸キャリア

【研究の方法】

本研究課題は、研究代表者の統括のもと、分子設計グループ（東大）・機能評価グループ（東大/東工大）・展開研究グループ（東大/東医歯大）を組織し、緊密に連携・情報共有しながら研究を推進する。分子設計グループは、血中滞留性と組織浸透性に優れた高分子ミセルの創製（生体適合性）、脳神経系細胞ターゲティング機能の創り込み（標的指向性）、細胞内バリアを克服して高い薬理活性を発揮する機能の創り込み（環境応答性）に注力して研究を進める。

機能評価グループは、分子設計グループより供給された高分子ミセルを用いて、培養細胞に対する核酸送達能の詳細な評価を行うと共に、実験動物（マウス）を用いた基礎検討（血中滞留性評価や脳神経系への集積性評価など）を行う。展開研究グループは、治療用核酸構造の最適化と脳神経系細胞に特異的に結合する新規ペプチドリガンドの探索、高分子ミセルを用いた脳神経系への核酸医薬導入と疾患モデル動物に対する治療効果の検討、さらには安全性試験を行う。以上の取り込みを通じて、脳神経系への核酸送達に必要なとされる分子機能および材料設計指針を明らかにし、脳神経系疾患の分子治療に向けた核酸送達技術を確立する。

【期待される成果と意義】

我が国では、65歳以上のアルツハイマー病に代表される神経変性疾患の有病率は3～9%と極めて高く、日本社会を経済的に圧迫している。本研究課題の目的の達成は、有効な治療法が未だ確立していないこれらの神経難病に対して、核酸医薬送達に基づく分子治療という新たな根本治療解決策を提供するものであり、極めて大きな意義を有している。さらに、脳神経系の生体バリアを克服する方法論の確立は、神経変性疾患に留まらず、脳腫瘍やアミノ酸代謝異常など、広範な脳神経系疾患の治療に大きく貢献するものと期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

1. S. Uchida, K. Kataoka, et al. In vivo messenger RNA introduction into the central nervous system using polyplex nanomicelle. *PLoS One* 8, e56220 (2013)
2. R. J. Christie, K. Kataoka, et al. Targeted polymeric micelles for siRNA treatment of experimental cancer by intravenous injection. *ACS Nano* 6, 5174-5189 (2012)

【研究期間と研究経費】

平成25年度～29年度
427,600千円

【ホームページ等】

<http://www.bmw.t.u-tokyo.ac.jp/>
kataoka@bmw.t.u-tokyo.ac.jp

【特別推進研究】

理工系（化学）

研究課題名 階層的配位空間の化学



京都大学・物質-細胞統合システム拠点・教授

きたがわ すすむ
北川 進

研究分野： 錯体化学

キーワード： 多孔性結晶、合理的合成、分離・貯蔵・変換

【研究の背景・目的】

多孔性材料は古代エジプトの時代（活性炭）から現代（ゼオライトなど）に至る 3500 年にわたって人類の生活に不可欠のものとして利用されてきた。もし、活性炭やゼオライトが担ってきた貯蔵、分離、変換などの機能について、それらを凌駕する、もしくは全く新しい多孔性機能を有する材料が創製されれば、人類の生活に革新的な変化をもたらす事が期待される。そのためには、微小空間を持つ物質の合成、構造、性質についての新しいサイエンスの開拓が必要である。

我々は、世界に先駆けて多孔性配位高分子（PCP）と呼ばれる新たな多孔性材料の開発を行って来た。その中で結晶でありながらソフトな特性を持つ PCP の合成に成功し、従来材料での吸着機構とは全く異なる協同効果機構に基づいた機能を示す様々な多孔性材料を創出して来た。ソフトな細孔機能（貯蔵、分離、変換）を最大限に深化、発展させるためには、分子やイオンの認識を空間のみならず時間軸をも含めた (spatiotemporal) 座標軸で総括的にとらえる化学の進展が必要となる。本研究では、PCP における構造（空間）および時間の階層性に着目し、「階層的配位空間」として捉え、多彩な「階層的配位空間物質」を創製するとともに、「階層的配位空間における新現象」を発見し、この空間に特有の法則を見出し、新しい空間の学問領域を築き上げる。

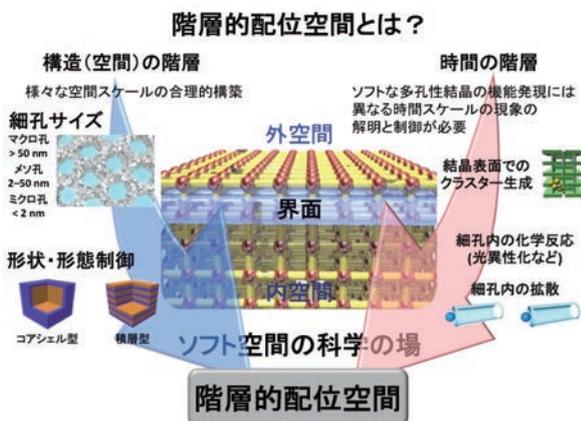


図1 階層的配位空間

【研究の方法】

研究項目 A：超精密分離貯蔵細孔

外的刺激により構造や機能を変化させるソフトな PCP をサイズや形状、集積化様式を制御しながら合成し、超精密吸脱着制御を行うための機能性細孔を作り上げる。例えば、(1) 気体分子の室温常圧分離、(2) 同位体分離 (H_2O と D_2O など)、(3) 微量ガスの選択分離に挑戦する。

研究項目 B：物質変換細孔

PCP の構成成分である有機配位子や金属イオンを活性化サイトとして用いた変換システムに加え、ナノ・メゾサイズ結晶のコア/シェル化や多層化、金属ナノクラスターなど他の材料との複合化により、物質変換細孔の創製を行う。

研究項目 C：異方的物質輸送細孔

PCP 結晶のサイズや形態を制御しながら結晶表面を様々に修飾することで結晶同士の集積化を行う。また、PCP 結晶の脂質二重膜や表面への固定化、PCP 結晶そのものの集積化による膜合成を行い、メゾ、マクロ領域での異方的物質輸送細孔を目指す。

【期待される成果と意義】

本研究により得られる成果は、人類がつくる物質という意味で最高の効果を示す分子認識、捕捉、変換に至る機能の基礎研究として革新的であるだけでなく、喫緊の環境問題やエネルギー問題を解決し、人類の健全な暮らしに貢献する次世代の物質およびその合成技術を獲得するものである。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ Y. Sakata *et al.* Shape-Memory Nanopores Induced in Coordination Frameworks by Crystal Downsizing, *Science*, 339, 193–196 (2013).
- ・ H. Sato *et al.* Photoactivation of a Nanoporous Crystal for On-demand Guest Trapping and Conversion, *Nature Mater.* 9, 661–666 (2010).

【研究期間と研究経費】

平成 25 年度 – 29 年度
440,600 千円

【ホームページ等】

<http://www.icems.kyoto-u.ac.jp/j/ppl/grp/kitagawa.html>

【特別推進研究】

理工系（工学）



研究課題名 統合ナノバイオメカニクスの創成

東北大学・大学院医工学研究科・名誉教授

やまぐち たかみ
山口 隆美

研究分野： 人間医工学

キーワード： バイオメカニクス、計算生体力学、実験生体力学、理論生体力学、医工学

【研究の背景・目的】

生体は分子、細胞、組織、臓器からなる階層構造をしており、各種疾患を含む生命現象を理解するためには分子から臓器レベルまでの階層間相互作用を明らかにする必要がある。

本研究では、分子スケールから臓器スケールまで生命現象の連続性に基づく、新しい生命現象の探求手法として、計算・理論・実験の三者を統合した総合的な手段である「統合ナノバイオメカニクス」を創成する。これを先導的原理として、細胞・組織・臓器における生命現象を再現・解析するためのヒト生命現象解析プラットフォームを構築し、マラリアなどの感染症、がん、原発性線毛機能不全症等の疾患を含む病態生理現象を解明し、新しい診断・治療方法を創出する。

【研究の方法】

本研究では分子スケールからのボトムアップアプローチによって、統合ナノバイオメカニクスを構築する（図1）。

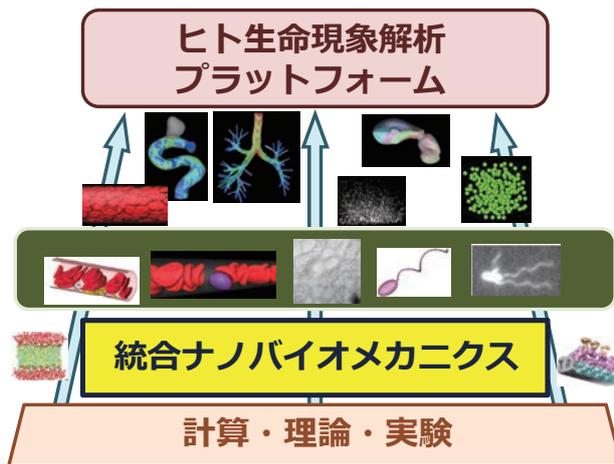


図1. 統合ナノバイオメカニクス

分子スケールでは、血管内皮細胞とマラリア感染赤血球に発現するタンパク間のリガンドレセプタ結合を、原子間力顕微鏡による実験結果に基づき数理・計算モデルを構築する。またクライオ電子線トモグラフィ法により気管繊毛の三次元構造を解明し、繊毛運動を数理・計算モデル化する。

次に、これら分子スケールのモデルおよび細胞の力学特性の実験結果に基づき、細胞スケールの数理・計算モデルを構築する。さらに多数の細胞からなる組織・臓器スケールのモデルへとスケールアップし、マラリア感染赤血球の接着現象や血栓形成、繊毛細胞による流れ場などのシミュレーション技術を構築する。

これに基づき、ヒト生命現象解析プラットフォームを構築し、マラリア、がんの血行性転移、原発性線毛機能不全症、嚥下障害、消化不良などの疾患を解析する。

【期待される成果と意義】

統合ナノバイオメカニクスの創成により、感染症を始めとする様々な疾患を力学的観点から再構成することが期待できる。これにより疾患を計算機上で再現することができるようになり、疾患の進行や薬効の定量的予測に基づく新しい診断・治療方法が創出される。さらに医療用 MEMS デバイスの設計に応用することができ、例えば、がん細胞や病原性バクテリアを分離・検出するバイオチップの開発などに貢献できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ Ueno H, Ishikawa T, Bui KH, Gonda K, Ishikawa T, Yamaguchi T, “Mouse respiratory cilia with the asymmetric axonemal structure on sparsely distributed ciliary cells can generate overall directional flow”, *Nanomedicine*, 8, 1081-1087 (2012).
- ・ Imai Y, Kobayashi I, Ishida S, Ishikawa T, Buist M, Yamaguchi T, “Antral recirculation in the stomach during gastric mixing”, *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol*, 304, G536-G542 (2013).

【研究期間と研究経費】

平成 25 年度－29 年度
448,900 千円

【ホームページ等】

<http://www.pfsl.mech.tohoku.ac.jp/nanobiomech/index.html>
takami@nanobme.org

【特別推進研究】

理工系（工学）

研究課題名 地殻エネルギー・フロンティアの科学と技術



東北大学・大学院環境科学研究科・教授

つちや のりよし
土屋 範芳

研究分野： 工学、総合工学、地球・資源システム工学

キーワード： 地熱エネルギー、脆性-延性遷移、超臨界地殻流体

【研究の背景・目的】

東日本大震災や福島第一原発事故以降、本邦においては再生可能エネルギーに大きな関心が寄せられ、とくに地熱エネルギーに対しては、安定的な再生可能エネルギーとして期待が寄せられている。しかしながら、従来型の地熱エネルギー開発では、地熱開発と誘発地震との因果関係が充分につかめないなどの科学的な課題が残されており、さらに実作業上の問題としては、地熱貯留層内の流体流動特性の把握が充分にできていないため、持続的な蒸気生産量が設計できない、流体と岩石の相互作用が未解明のため、貯留層内での鉱物の析出や流路閉塞が生じ、所定の流体の生産や還元ができないなどの問題が生じている。これらの問題を解決するための未来技術として、流体との相互作用が極端に弱くなる 400℃以上の温度環境、および岩石の流動性が増して誘発地震が発生しづらくなる延性領域を利用する必要がある。

本研究では、地殻エネルギーのフロンティアを開拓すべく、未来技術として、流体との相互作用が極端に弱くなる 400℃以上の温度環境、および岩石の流動性が増して誘発地震が発生しづらくなる延性領域を利用する必要がある。岩石の力学挙動は複雑なため、脆性領域から遷移領域を経て延性領域にいたる領域を一意的に示すことはできないが、花崗岩質岩の場合にはおおざっぱには 400℃以上で脆性的環境から離脱し始めると考えられる。

本研究は、従来型地熱の開発対象領域である脆性環境を通り越した、その向こう側にあるより熱エネルギー環境が高い（400～500℃以上の）延性領域の開発を目的とした研究を学術の観点から行う。

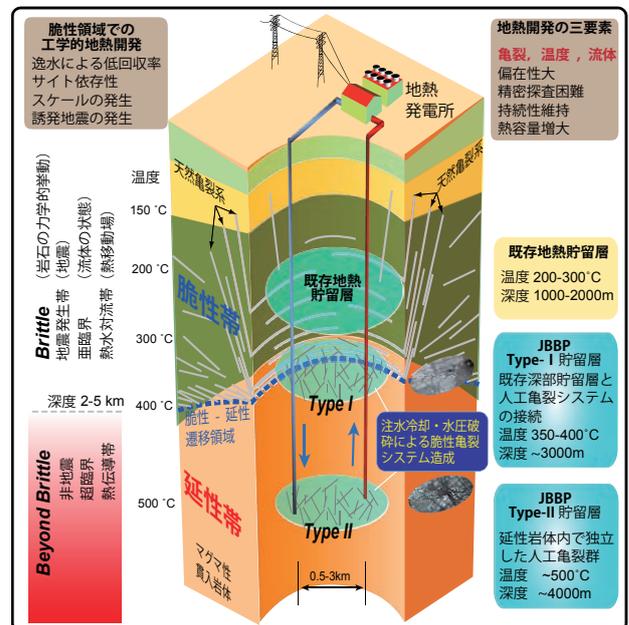
【研究の方法】

新たに設計製作する地球環境も模擬する実験装置により、延性領域よりもさらに高温側も岩石の破壊挙動、流体と岩石の相互作用、き裂の発生と進展のモニタリング手法、ならびにこれらの研究を統合化させたシミュレーターを新たに開発し、地殻エネルギー・フロンティアの理解と利用に関する知識と技術を開発する。

【期待される成果と意義】

本研究により、350-500℃の領域における地熱エネルギーの賦存状態や、エネルギーの抽出方法、増回収方法についての具体的技術が示されるであろう。

さらに地球科学的には、延性領域における地殻破壊のメカニズムの解明につながると考えられる。すなわち延性領域の高温環境下でのマグマの貫入（火山爆発）や、地震の発生のメカニズムの解明につながると期待される。



【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ Tsuchiya, N. and Hirano, N. (2007), ISLAND ARC, 16, 6-15.
- ・ Okamoto, A. *, Saishu, H., Hirano, N. & Tsuchiya, N. (2010) *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 74, 3692-3706.
- ・ Majer, E.L., Baria, R., Stark, M., Oates, S., Bonner, J. Smith, B. & Asanuma H., (2007) *Geothermics*, 36, 185-222.
- ・ Watanabe, N. *, Hirano, N. Tsuchiya, N. (2009) *Journal of Geophysical Research B: Solid Earth*, 114(4), B04208.

【研究期間と研究経費】

平成 25 年度 - 29 年度
420,200 千円

【ホームページ等】

<http://geo.kankyo.tohoku.ac.jp/gmel/>
tsuchiya@mail.kankyo.tohoku.ac.jp

【特別推進研究】

理工系（工学）



研究課題名 MEMS 多軸力センサを用いた生物の運動計測

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授

しもやま いさお
下山 勲

研究分野： 工学

キーワード： MEMS・NEMS、バイオメカニクス

【研究の背景・目的】

生物は周囲の環境に力を及ぼし、その反力を得ることで環境中を移動している。生物の持つ安定的な運動は、人工物の動きを安定して制御する方法を考える上で、非常に示唆に富むものであり、その解明は学術的に意義深い。生物は自らの表面を介して外界に力を及ぼしており、この表面に作用する力を計測することが、モデル構築上で重要である。しかし、面の力学環境を乱さずに働く力を計測することが困難なため、正確な力学モデル構築ができない問題が従来存在した。

そこで、本研究では、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems 微小電気機械システム) 多軸力センサによって、生物が移動時に発生する力のベクトル分布を、周囲の力学環境を乱すことなく、計測することを目的とする。MEMS の微小さを生かし、表面の力学環境を乱さずに力ベクトルの計測が可能となる。

【研究の方法】

生物が移動時に発生する力のベクトルを計測するために、はじめに計測対象に適したサイズ、形状、感度のセンサを作製する。これにより、生体と環境との界面に作用する力を計測し、生物の運動メカニズムの解明に必要な正確な力学モデルを構築する。解析対象として、生体を形成する細胞、微小生物である昆虫、2足歩行を行う人間の計測対象とする。これらは、生物表面を介した環境との相互作用により、特徴的な動きをなす代表例ともいえ、実証研究として適切と考えている。細胞から人まで、様々なスケ

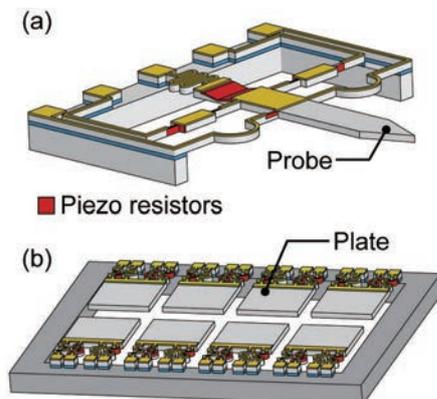


図1 本研究で提案する MEMS 多軸力センサ

(a)プローブ型多軸力センサ、(b)平面型多軸力センサ

ールの運動メカニズムを解析することで、生物の運動を引き起こす要因となる力、その動作により生じる力を計測し、生体が持つ優れた機能や運動制御能力を解明する。

【期待される成果と意義】

本申請のキーである MEMS 多軸力センサにより、 μm オーダサイズの単一細胞に加わる力から、 mm オーダの昆虫、人が生じる大きな力まで、広いレンジの力計測が可能となる。

本研究の成果によって、細胞移動時の接地面と細胞膜の界面での力分布のリアルタイム解析、昆虫の目まぐるしく行われる飛翔形態の遷移の力学モデルの構築、人間の2足歩行時のすべりの解析等、生物の運動における力学モデルが包括的に解析できることが期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ H. Takahashi, I. Shimoyama *et al.*, "A triaxial tactile sensor without crosstalk using pairs of piezoresistive beams with sidewall doping," *Sens. Actuator A-Phys.*, vol. 199, pp. 43-48, 2013.
- ・ T. Kan, I. Shimoyama *et al.*, "Design of a piezoresistive triaxial force sensor probe using the sidewall doping method," *J. Micromech. Microeng.*, vol. 23, no. 3, pp. 035027, 2013.
- ・ T. Itabashi, I. Shimoyama, S. Ishiwata *et al.*, "Mechanical impulses can control metaphase progression in a mammalian cell," *PNAS*, vol. 109, no. 19, pp. 7320-7325, 2012.

【研究期間と研究経費】

平成 25 年度－28 年度
368,900 千円

【ホームページ等】

<http://www.leopard.t.u-tokyo.ac.jp/>

【特別推進研究】

理工系（工学）



研究課題名 分極を有する半導体の物理構築と 深紫外発光素子への展開

名古屋大学・大学院工学研究科・教授

あまの ひろし
天野 浩

研究分野：電気電子工学

キーワード：電気・電子材料

【研究の背景・目的】

白色 LED や高周波パワーデバイス用材料として知られる AlGaInN 系半導体は、Si や GaAs など従来の半導体と比較して大きな分極を有することが特徴である。これまで半導体物理は半導体テキスト、分極は誘電体テキストに記述されており、両方を同時に取り扱うテキストが無かった。

本研究では、まず AlGaInN 系結晶の高品質化、次に透明電極材料として期待されるグラフェンと半導体との異材料融合、更に大きな分極を積極的に利用した新しいバンドエンジニアリングにより、出力 1 ワット/チップ以上と性能を飛躍的に向上させる。

一方、これら次世代デバイスの実現には、III 族窒化物半導体の特徴である分極を考慮した新しいデバイス設計指針が必須である。そのため、本研究ではその基礎として分極を有する半導体発光デバイス物理基盤の構築を目的とする。

【研究の方法】

図 1 に示す通り、まず①デバイスシミュレータ開発とデバイス試作を同時並行して実施することにより、分極半導体物理を構築する。次に、②針状結晶の太径化と不純物フリーのハロゲン気相成長の融合による AlN 完全結晶創成を目指す。更に、これまで深紫外発光素子の最大の課題であった光取り出し技術に関して、③グラフェンを用い、ナノ粒子担持による仕事関数制御により、深紫外透明で且つ接触抵抗の小さい p 型電極形成技術を構築する。

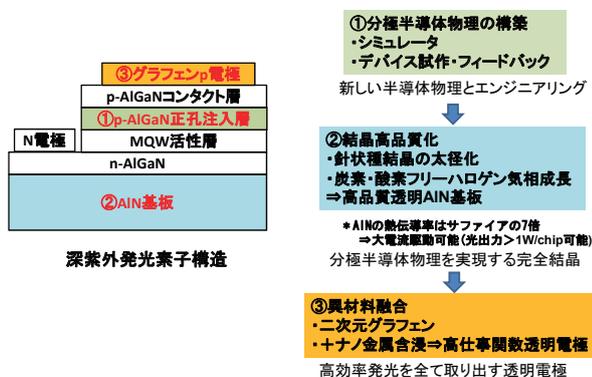


図 1 本研究の実施項目

【期待される成果と意義】

本研究の成果は、水や空気の浄化、殺菌などに大変革をもたらす。更に深紫外 LED 以外、超高感度真空紫外受光デバイスへの展開も期待できる。学術的意義として、分極を考慮して AlGaInN 混晶の組成・歪を制御する新しいエピタキシー概念の構築が期待される。波及効果として、下図に示す通り、殺菌、光触媒、浄化、レーザーナイフなど医療・環境分野の発展が期待される。

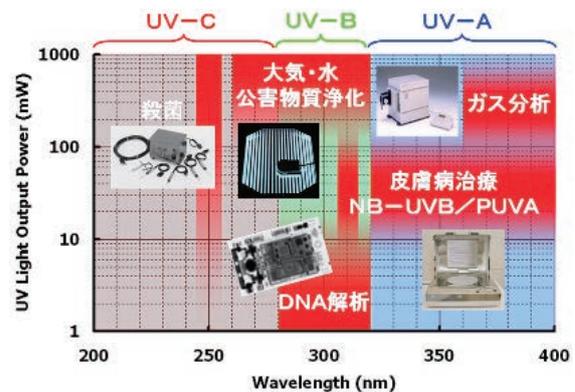


図 2 期待される深紫外素子の応用分野

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ T. Takeuchi, S. Sota, H. Amano et al., "Quantum-Confined Stark Effect due to Piezoelectric Fields in GaInN Strained Quantum Wells", Jpn. J. Appl. Phys., 36, L382-L385(1997).
- ・ C. Pernot, M. Kim, H. Amano et al., "Improved Efficiency of 255-280 nm AlGaInN-Based Light-Emitting Diodes", Appl. Phys. Exp., 3, 061004-1-3(2010)

【研究期間と研究経費】

平成 25 年度 - 27 年度
280,400 千円

【ホームページ等】

<http://www.semicond.nuee.nagoya-u.ac.jp/index.html>
amano@nuee.nagoya-u.ac.jp

【特別推進研究】

理工系（工学）

研究課題名 single digit ナノスケール場の破壊力学



京都大学・大学院工学研究科・教授 **きたむら 北村** **たかゆき 隆行**

研究分野：工学

キーワード：破壊、ナノマイクロ材料力学、材料設計・プロセス・物性・評価

【研究の背景・目的】

高度な機能を生み出す微小なデバイスの発展は著しく、ナノスケールの精密な構造体が工業応用の対象となりつつある。それらの破壊現象の力学を解明することは、工学における喫緊の重要学術課題である。

マクロ構造体の破壊現象は、多くの実験よりき裂先端近傍の応力やひずみの集中場（特異場）の強さに着目した破壊力学が有効であることが実証されている。しかし、その力学においては、平均化して取り扱うことができる充分多数の原子が破壊局所領域内に存在することを前提としている。一方、破壊進行域が single digit ナノスケール（1 nm ~10 nm）に縮小すると、その前提が成立しなくなるため、そのままではマクロの力学は使えない。

single digit ナノスケール（1 nm~10 nm）場によって発生する破壊現象に関する実験知見はない。これは、single digit ナノスケールの局所の力学場を正確に制御した強度実験手法が存在しないためである。

本研究では、(1)single digit ナノスケールの変形集中場を制御できる強度実験方法を開発すること、(2)その実験結果に基づき、局部ナノ破壊現象を支配する力学を確立すること、を目的とする。

【研究の方法】

ナノスケールにおける破壊の力学的評価実験の困難さは、(a) 試験片の製作とハンドリング、(b) 荷重・変位の計測と制御（そのための実験装置開発）、(c) 破壊の判定、の難しさにある。申請者らは、10 nm ~ 1000 nm スケールの構造体に対して荷重と変位を精密に制御した破壊実験方法を確立し、世界におけるナノ材料強度評価をリードしてきた。この正確なナノ力学実験技術を深化させ、各項目の精度を格段に向上して single digit ナノスケールの不均質力学場における破壊実験に挑戦する（図1）。

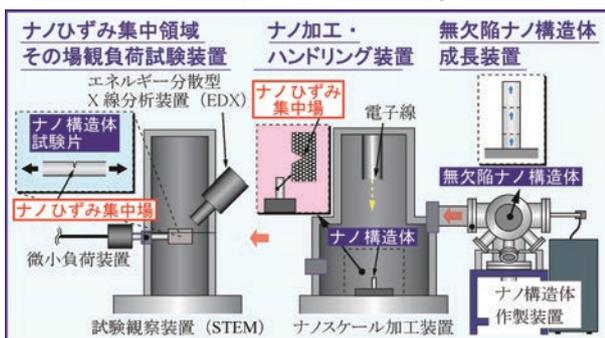


図1 single digit ナノ変形場その場観察システム

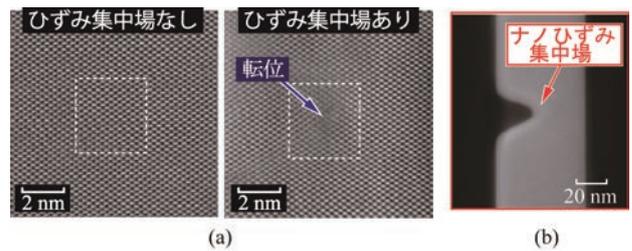


図2 (a)転位周りのひずみ集中場（HAADF像）と(b)切り欠きを有するナノ材料

とくに、single digit ナノスケールのひずみ集中場を精密に観察することが、破壊力学の検討に重要であるため、とくに留意して実験を行うとともに、原子スケールの精密な解析を実行する（図2）。

【期待される成果と意義】

本研究によってナノスケールで「力学場を制御」した世界初の強度実験を実現できれば、局所に発生する「破壊を検知・観察する」ための実験技術基盤を確立することができる。また、新しい学術領域「原子スケール破壊力学」を開拓することができる。すなわち、本研究の学術的意義は、ナノ構造体の破壊に関する学理体系の構築にあり、その社会的意義は、高機能化とともに使用条件が過酷になるナノデバイスの信頼性確保に貢献することである。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ T. Kitamura, H. Hirakata, T. Sumigawa, T. Shimada, "Fracture Nanomechanics" (ISBN: 978-9814241830), Pan Stanford Publishing Pte. Ltd., 297 pages (2011).
- ・ T. Sumigawa and T. Kitamura, Chapter 20 "In-Situ Mechanical Testing of Nano-Component in TEM", "The Transmission Electron Microscope", Dr. Khan Maaz (Ed.) (ISBN 978-953-51-0450-6), Intech, pp.355-380 (2012).

【研究期間と研究経費】

平成 25 年度－29 年度
457,100 千円

【ホームページ等】

<http://kitamura-lab.p1.bindsite.jp/kyoto-u/>