



科学研究費補助金新学術領域研究

「光圧によるナノ物質操作と秩序の創生」

News Letter Vol. 1

November 25, 2016

領域代表挨拶 石原 一（大阪府立大学）

本領域のキーワードである「光」も「力」も、生活の中で良く馴染まれてきた言葉です。しかし、この二つの言葉が組み合わさると意外な、また不思議な印象が生まれてきます。日常に溶け込んだ要素が「非日常」を創り出すことに面白さを感じるからでしょうか。光を当てると物に力が働く、すなわち「光圧」が生じるという興味深い現象に魅せられた本領域メンバーもまた、意外な組み合わせになりました。本領域では、普段参加している学会では会えない、分野の異なるメンバーが集まっています。めざす目標は、光圧でナノ物質を個々に、直接に操り、所望の秩序や機能を創り出せる科学技術を実現することです。これを実現するためには、物理、化学、工学などの様々な分野のエキスパートが日常を超えたシナジー効果を発揮する必要があります。

さて、光が物質に力を及ぼすことは 19 世紀から知られていたのですが、これを技術として利用できることが広く認識されたのは、1980 代年後半、Ashkin らが一本のレーザーでミクロンサイズの誘電体球を捕捉・操作可能であることを示してからです。光ピンセットと呼ばれるこの技術は、例えば誘電体球を生体分子などに結びつけて分子間の力学作用を解明するなどの成功を収めてきました。また、原子の運動制御にも光圧が用いられ、精細な原子線を狙うことによって原子冷却が実現されています。しかし、ミクロンと原子サイズの間を繋ぐ「ナノ物質」の光圧操作は、これらどちらの技術的から見ても困難な課題でした。本学術領域は、この高いハードルへ挑戦する研究者を、分野を超えて結集し、次世代の物質制御技術をめざす新しい学術分野確立へのプロジェクトとして開始されました。光圧を用いて「ナノ物質を、その性質ごとに『個別・選択的』に、また『直接』に運動操作する」技術を実現し、「極微質量の人為的力学操作を通した秩序の創造」に結びつく学理の体系化を行うことが本領域の目的です。

私たちの領域はまだ学会もない新興の学術領域ですが、様々な異分野から参集し組織化された研究者が、今後、10年、100年と発展していく新しい学問分野をここにスタートさせるという気概で活動を行っています。この領域が今後、確かな歩みを進めていくためには、若い世代を含む、もっと多くの研究者の参画が必要です。また基礎、応用、専門、非専門に関わらず、広い分野の皆様の御指導が必要です。是非、これからの本領域を応援いただけましたら幸いです。



本領域が推進する共同研究

光圧を用いて「ナノ物質を、その性質ごとに『個別・選択的』に、また『直接』に運動操作する」技術の実現を目に見えるものにするため、領域全体で取り組む、次のような3つの共同研究を推進します。

[A] 特定ナノ物質の分離と精密配置、及び大面積化

特定の性質を示すナノ物質を選択的に分離、精密配置し、さらにこのような作業をマクロな領域で行えるようにします。

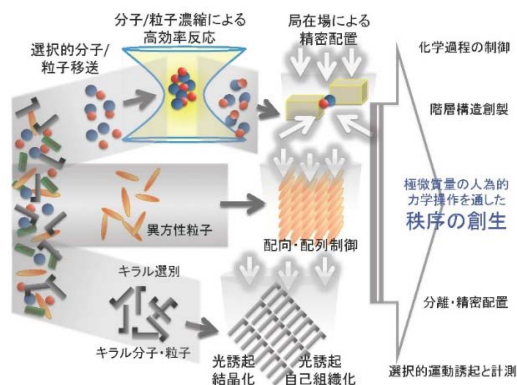
[B] 粒子間相互作用の制御と結晶等の階層構造創製

高濃度溶液における粒子の配向や粒子間の相互作用を光圧により制御し、会合、結晶化等の自己組織化過程を人為的に操る技術を確立します。

[C] 分子の選択的力学操作を通じた化学過程の制御

分子種を選択的に分ける、例えば自然には集まらない異種分子を液-液界面などに配列集合させ、化学過程を物理的に制御する技術を確立します。

本領域では、これらの共同研究を成功させるために、次ページで紹介する4つの計画研究を設定しました。これらの計画研究グループがその先端的知見と技術を相乗させて、初めて上記の共同研究の目標が達成されます。



光圧によるナノ物質操作と秩序の創生のイメージ

領域評価委員・アドバイザー

本領域では、高度な専門的知識・経験に基づき本新学術領域へのコメント・アドバイスをいただく「アドバイザー」と、アドバイザーのコメントを参考に、大所高所から領域の評価をしていただく「評価委員」に評価を依頼して、本領域研究を推進してまいります。

【評価委員】

伊藤 正	大阪大学
梶村 皓二	産業技術総合研究所
栗原 和枝	東北大学
谷田貝 豊彦	宇都宮大学

【アドバイザー】

河田 聡	大阪大学
張 紀久夫	豊田理化学研究所
増原 宏	台湾・国立交通大学
柳田 敏雄	大阪大学



計画研究

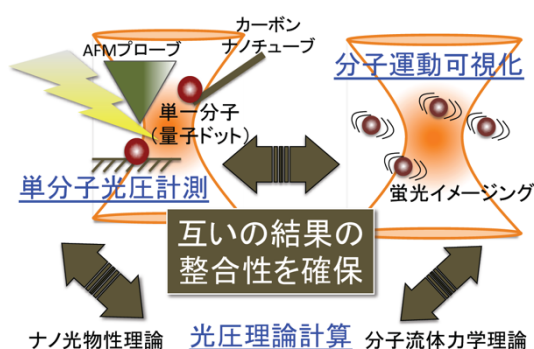
A01 光圧を識る：光圧の理論と計測・観測技術開発による基礎の確立

(代表者 石原 一 大阪府立大学大学院工学研究科 教授)



ミクロンサイズの粒子に働く光圧は理論的にも実験的にも良く研究されてきました。ではナノ粒子に働く光圧の理論値と計測した実験値は一致するのでしょうか。また単一分子の運動解析結果は光圧の理論値と実験値から導き出せるのでしょうか。

ナノ粒子に対する微弱な力や環境との様々な相互作用を考えると容易ではないと予想されます。ナノ粒子に対する光圧操作を可能とするための第一歩はナノ粒子に対する光圧を知ることです。計画研究 A01 では、実際にナノ粒子に対する光圧を計測し、理論値とのズレの原因を解明することで多様な環境中でナノ物質の光圧がどのように決まるかを明らかにします。さらに力測定の結果から運動解析の結果を理解するために、考慮すべき微視的要素を抽出します。



計画研究 A01 では、理論と実際の計測での条件の差異、力計測と運動解析の条件の差異がどこまで要素抽出できるかが課題になります。世界最先端の微視的光学応答理論、分子流体力学、原子分解能力計測、単分子力計測、蛍光イメージング等の手法を駆使し、「光圧と分子流体力学の理論」、「光圧の計測」、さらに「環境中で光圧を受けるナノ物質の運動の観測」の結果を整合させることによって「光圧を識る」へと挑戦し、領域全体の目標達成へ寄与します

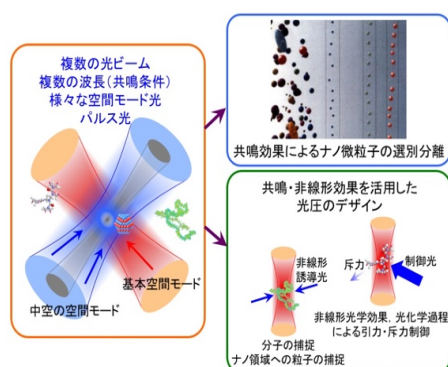
A02 光圧を創る：物質自由度を活用した操作の高度化

(代表者 岡本裕已 分子科学研究所光分子科学研究領域 教授)



光と物質の相互作用は、物質が吸収する波長の光を用いたり、尖頭値の高い強力な時間幅の短いパルス状の光（レーザーを用いて実現できます）を用いると、通常の光を用いた場合とは異なる、特徴的な挙動を示すことがあります。

従来の光圧の実験技術では、これらの特徴的な光-物質相互作用が積極的には用いられてきませんでしたが、それらを取り入れることで、光圧の働き方に広いバリエーションをもたらす可能性が明らかになってきました。例えば用いる光として物質が吸収する光を選択することで、光と物質の「共鳴効果」によって従来よりも非常に強い光圧を得る、通常とは逆向きの力を得る、特定の物質・微粒子のみを取り出す、などが可能となります。また尖頭値の高いパルス光を用いて物質の光に対する応答の「非線形効果」を引き出すことで、物質に対する力の加わり方を変化させたり制御する、従来よりも格段に大きな光圧を得る、いくつかの異なる波長の光、異なる方向から入射する光を用いてさらに様々な制御を行う、などの可能性が指摘されています。



計画研究 A02 では、これらの共鳴・非線形効果に、さらに様々な偏光、レーザービームの空間構造（空間モード）を組み合わせることで、従来の光圧の技術にはなかった、様々な操作の方法を開拓することを目指します。



計画研究

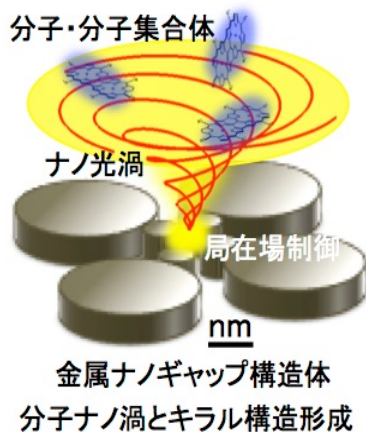
A03 光圧を極める：分子操作の極限化と光制御によるマクロ化

(代表者 笹木敬司 北海道大学電子科学研究所 教授)



計画研究 A03 では、分子や分子集団に働く光圧の強さや方向をナノメートル空間の各点毎に自在に制御することにより、如何に小さい物質を如何に高い精度で光マニピュレーションできるかという極限性能の追究を目指します。

この目的を達成するために、光電場の特性（振幅・位相・偏光）を 10nm 以下のスケールでコントロールして光のナノ形状を作り出す新しい技術を研究開発します。具体的には、高度な微細加工技術で作製した金属ナノ構造に時間・空間特性を制御したレーザー光を照射することにより、アンテナのように



光電場を捕集してナノスポットに絞り込み、自在に光電場を成形します。このナノ光電場を利用して、室温で溶液中の分子を個別かつ選択的に光捕捉し光操作するシステムを構築し、分子の配置・配向・配列を制御する研究に挑戦します。また、角運動量を持つ特異なレーザー光を用いてナノ光渦を形成し、分子集団の回転運動（分子ナノ渦）を誘起して分子集合構造形成におけるキラリティー制御等を試みます。

微細化の一方、金属ナノ構造を集積化した基板を大面積化し、マルチビーム干渉や集光ビーム走査を用いた多様な光制御技術を駆使して分子集合体・ナノ構造体を自在に輸送・分別・捕集するマクロな物質操作技術の開発にも挑戦します。

A04 光圧で拓く：多粒子相互作用の選択的制御による構造と現象の創造

(代表者 尾松孝茂 千葉大学大学院融合科学研究科 教授)



我が国では、光でナノ物質の集団的な運動や構造を制御する技術が台頭しています。例えば、光渦の持つ軌道角運動量と呼ばれる光圧を用いて物質を捻りナノスケールの螺旋構造体を創ること、光圧でアミノ酸分子を局所的に濃縮してアミノ酸結晶の多形を制御すること、プラズモンが創る局所的な光圧によって異なる DNA を個別に分離して固定すること、などの技術が研究されています。

計画研究 A04 では、ミクロン微粒子を操るこれまでの「光ピンセット」とは一線を画するこれらの萌芽研究に立脚して、「光圧によるナノ物質操作と秩序の創生」の理念を具現化します。具体的には、計画

計画研究4「光圧で拓く」が有する個性豊かなオリジナル技術



研究 A01～A03 の研究成果を導入しながら、光圧でなければできないオリジナル技術を開拓するとともに、[1]個性豊かなナノ物質を選択的に拡散・濃縮できる触媒システムの構築、[2]革新的なアミノ酸・タンパク質結晶成長法の確立、[3] ナノ物質の階層構造（選別・分離・固定・二次元パターンニングなど）の創製などを光圧で実現します。

高濃度なナノ物質を扱う計画研究 A04 から、多粒子相互作用に基づく新奇現象が数多く発見されることで、本新学術領域の学術性が加速的に向上することを期待します。



研究組織 (氏名、所属、研究キーワード)

[計画研究 A01]

研究代表者 石原 一 (大阪府立大学大学院工学研究科)

微視的光学応答理論、共鳴光マニピュレーション、非線形光マニピュレーション、超蛍光

研究分担者 川野 聡恭 (大阪大学 大学院基礎工学研究科)

ナノ流動計測、量子分子動力学計算、ハイブリッドシミュレーション、熱泳動

研究分担者 菅原 康弘 (大阪大学 大学院工学研究科)

力計測、原子間力顕微鏡、ナノ力学、ナノテクノロジー、表面科学

研究分担者 秋田 成司 (大阪府立大学 大学院工学研究科)

ナノカーボン、原子層材料、ナノ電気機械システム (NEMS)、超高感度力計測

研究分担者 細川 千絵 (産業技術総合研究所バイオメディカル研究部門)

光ピンセット、ナノ粒子、蛍光解析、ナノバイオ、神経細胞

[計画研究 A02]

研究代表者 岡本 裕巳 (分子科学研究所 光分子科学研究領域)

近接場光学イメージング、キラリティー、共鳴非線形光学効果

研究分担者 芦田 昌明 (大阪大学 大学院基礎工学研究科)

光物性、レーザー分光、微小構造物質、超高速分光、テラヘルツ波技術

研究分担者 伊都 将司 (大阪大学 大学院基礎工学研究科)

光ナノマニピュレーション、ナノ光化学、単一分子検出、超解像イメージング

研究分担者 熊倉 光孝 (福井大学 学術研究院工学系部門)

量子ドット、光学的サイズ選別、孤立ナノ粒子の分光

研究分担者 庄司 暁 (電気通信大学 大学院情報理工学研究科)

3次元レーザー微細加工、非線形光学、フォトニックナノ構造、ナノカーボン材料

[計画研究 A03]

研究代表者 笹木 敬司 (北海道大学 電子科学研究所)

プラズモニクマニピュレーション、ナノ光渦、近接場イメージング

研究分担者 村越 敬 (北海道大学 大学院理学研究院)

金属ナノ構造制御、*in-situ* 電気化学分光計測、表面増強ラマン、電極触媒

研究分担者 森田 隆二 (北海道大学 大学院工学研究院)

超短光渦パルス、精密軌道角運動量分解、精密偏光分布測定、時空間制御

研究分担者 深港 豪 (熊本大学 大学院自然科学研究科)

光機能性物質、フォトクロミズム、蛍光、単一分子計測、キラル

[計画研究 A04]

研究代表者 尾松 孝茂 (千葉大学 大学院融合科学研究科)

光渦、特異点光学、レーザー、非線形光学、レーザープロセッシング

研究分担者 坪井 泰之 (大阪市立大学 大学院理学研究科)

プラズモン、非平衡、ソフトマター、光ピンセット、蛍光顕微鏡

研究分担者 杉山 輝樹 (奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科)

結晶化、キラリティー、多形、光反応

研究分担者 飯田 琢也 (大阪府立大学 大学院理学系研究科)

生体光物理、光物性理論、非平衡物理、ナノフォトニクス、光アセンブリング

研究分担者 鳥本 司 (名古屋大学 大学院工学研究科)

半導体ナノ粒子、量子ドット、金属ナノ構造体、光電気化学



開催報告

領域キックオフシンポジウム

9月21日水曜日の午後1時より、領域キックオフシンポジウムがグランキューブ大阪にて開催されました。本領域の主旨と狙いに研究者が関心を抱いて頂けるか不安の中での開催でしたが、当日は研究者のみならず企業関係者も含め、予想を上回る150名ほどの参加者がありました。

シンポジウムでは、最初に石原 一 領域代表より領域の主旨に関する説明がありました。続いて、大阪大学の柳田 敏雄先生から「単一分子を光で視る・識る・操る」と題した特別講演があり、聴衆は大いに圧倒されました。続いて、4人の計画研究代表者よりそれぞれの計画研究の狙いを紹介し、会場からは本領域の狙いや現状、将来の展開などに関し、熱心な質問や議論が相次ぎました。



会場の様子



特別講演をお願いした柳田敏雄先生

プレスリリース、受賞など

計画研究 A03 森田隆二が、応用物理学会第10回(2016年度)フェロー表彰(「超短光パルスにおけるトポロジーの制御と精密計測」と日本学術振興会科学研究費助成事業審査員表彰(二回目)を受賞しました。

計画研究 A04 尾松孝茂が、双葉電子記念財団衛藤細矢賞を受賞しました。

計画研究 A04 飯田琢也の論文(J. Phys. Chem. Lett., 2016, 7 (18), pp 3652–3658)の成果が、プレスリリースされました。<https://www.osakafu-u.ac.jp/news/publicity-release/pr20160916/>

計画研究 A04 鳥本 司が、第30回光化学協会賞を受賞しました。「半導体ナノ粒子の微細構造制御と光機能材料開発」

告知板

第1回公開シンポジウムを開催します。

日時：2017年1月17日(火)・18日(水)

会場：千葉大学工学系総合研究棟2 コンファレンスルーム

詳しくは領域ホームページをご覧ください(「光圧ナノ物質操作」で検索してください)。

nano tech 2017 に出展します(於 東京ビッグサイト、2017年2月15日～17日)

詳しくは <http://www.nanotechexpo.jp/main/index.html> をご覧ください。

発行 新学術領域研究「光圧ナノ物質操作」総括班
E-mail: secretariat@optical-manipulation.jp