



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. 4

November 30, 2017

新学術の意味は？

張 紀久夫(豊田理化学研究所)

人間が光を認識し利用してきた長い歴史のうち（これ自身も十分に長い）直近の 150 年ほどがマクスウェル方程式(M-eqs) によって開かれた精密な理解と応用の時代である。電気・磁気に関する巨視的な法則をまとめた M-eqs とその後に現れた量子力学とによって、物質と電磁場の相互作用が生み出す多種多様な電磁現象をマイクロなレベルから追求できるようになり、さまざまな応用や発明が生み続けられているのが今の姿である。その研究対象は物理・化学・工学・生物・医学等々の広大な領域に広がっているが、解析に用いられる電磁気学には精密な相対論的 QED からマクロな現象論までさまざまな形があり、それぞれの研究者の守備範囲も多様に分かれている。

長い歴史と広い応用分野をもつ物質の電磁気学に対して「新しい学術領域を切り拓く」意味を改めて考えてみよう。基礎となる量子力学や電磁気学はそれぞれ完成された学問で、そこに新しい学術領域を創ることは考えにくい。目指す新しさの本質は物質の側にあり、さまざまな nm スケールの物質に対して従来の μm 以上の系にはない物質操作の手法を実験・理論の両面からさまざまな実例によって確立するところに当研究班の目的がある。

その際新しい物質系の創出と共に光圧下での挙動を適正に記述する電磁応答理論の選択が重要である。電磁応答理論は物質の扱いが相対論的か非相対論的か、マイクロかマクロかまた電磁場の扱いが量子的か古典的かという近似の選択に依り、①相対論的 QED、②非相対論的 QED、③微視的半古典論、④巨視的半古典論に分かれる。それらは①を頂点とする単一の階層構造を成していて、問題に応じて近似条件に合う理論形式を選ぶ必要がある。当研究班に関係の深いのは③と④である。④という簡略化した形が許されるのは長波長近似が成り立つときであり、成り立たなければ④ではなく③で解析する必要がある。ナノ物質を対象にするということはサイズ・形状で量子化された励起準位の共鳴を適正に扱うことなので、金属ナノ構造のプラズモンといえども単純な④で扱うのは適当ではない。多くの問題では共鳴準位に伴う分極と非共鳴準位による背景分極が混在するので、両者を考慮した解析が必要であるが、そのような研究は歴史が浅く今後の目標の一つであろう。

歴史的には電磁気学が④から始まったため「④の形として対称性の要請を満たした現象論でもよい」といった特別の自由度を許す風潮があるが、電磁気学は一つしかないのだから上述の単一階層構造に当



てはまらない理論形式は信頼に足りない。また、メタマテリアルの研究者の中には量子力学は要らないと公言する人も珍しくないが、これはナノ系を対象とする当研究班の取るべき対応ではない。電磁応答理論の最先端の形式では、線形過程でも非線形過程でも、またどんなゲージに対しても、電気・磁気・キラル分極の全てを含む「誘起電流密度」を「(横電磁場+外部電荷による縦電場を成分とする)電磁場」と関係付ける構成方程式で、即ち単一感受率理論として、一般的に定式化される。

さまざまな時間空間軸上で新奇なサイズ・形状・構造を持った物質系が創出され、その挙動を正しく記述する電磁応答の理論形式が確立されることを大いに期待している。

(2017年7月受稿)

共同研究概要説明

共同研究C：分子の選択的力学操作を通じた化学過程の制御

コーディネーター 鳥本 司 名古屋大学大学院工学研究科・教授



生体に代表されるような異種分子が混在する反応系において、特定の分子種を選択的に分離あるいは空間的に濃縮することができれば、熱平衡下とは異なる化学過程を進行させることができると期待されます。本共同研究ではこれを、光圧による分子・ナノ粒子の直接操作や、さらには偏光や光の角運動量により特殊な励起状態となった分子・ナノ粒子の選択的な物質操作によって達成し、化学反応の反応性・選択性の向上や新規反応の開拓を目指します。

具体的には、様々な化学反応場の中でも、化学種の分離や生体における化学反応に非常に重要である液-液界面を、本共同研究の主要な反応場として選びました。界面における化学反応性や液-液界面を通過する物質移動は、化学反応の自在な制御のための非常に重要な因子であり、本研究ではこれを光により制御することを目指します。図1に模式的に示すように、光マニピュレーション技術を駆使し、各溶液層から特定の分子種を選択的に分離して液-液界面に濃縮させ、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ることで化学過程を物理的に制御する技術の確立を目指します。これによって、新規な界面触媒粒子の開発や、液-液界面の化学反応・光化学反応の高効率化、新規界面反応の開拓を行っていきます。

これらの目的を達成するためには、分子・ナノ粒子の自在な光マニピュレーション技術、すなわち、共鳴・非線形光学による分子の単離、光輸送と拡散制御、単分子濃縮、光圧下での対流・熱泳動制御のための諸因子を、共同研究を通して明らかにしていきます。さらに、液-液界面における高効率な触媒設計指針の確立と化学反応メカニズムの解明を目指します。計画研究の各班・分担者や公募研究により得られる知見と技術を余すことなく利用できるように、密接な共同研究を行っていきます。

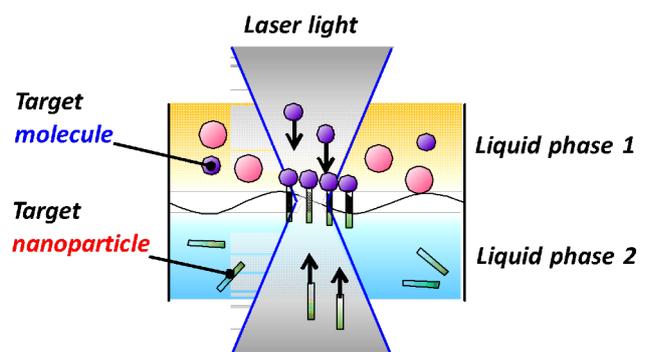


図1. 光圧を用いる分子/粒子の選択的濃縮と、それを用いる液-液界面での異方性形状粒子の作製。



若手国際活動報告

大阪府立大学 大学院工学研究科 電子数物系専攻
(A01 班：石原 一 グループ)

申請課題	微視的理論による金属ナノ構造の局在電場設計
期間	2017年1月6日 - 3月5日
訪問先研究者	Professor Thomas Garm Pedersen Aalborg University, Denmark

本国際活動では研究計画 A01「光圧を識る」への貢献を目指し、2017年1月6日から3月5日の約二ヶ月間に渡り国際共同研究を実施した。受け入れ研究者である Aalborg 大学ナノ物理工学分野の Thomas Garm Pedersen 教授は、ヨーロッパを代表する理論物理学者であり、最近では特に低次元材料系のプラズモニクスに関して精力的に研究を行っている。私はこれまで蓄積してきた固体光物性の知識と、受け入れ先での研究ノウハウとを結びつけ、「金属ナノ構造に誘起される光圧デザイン」の定式化を行った。

➤ 研究活動

Pedersen 教授との最初の打ち合わせにおいて、これまでの自身の研究内容の説明と今回の研究提案を行い、共同研究を始めることに賛同頂いた。その後は、定期的に進捗状況を教授に報告し、理論的なアドバイスや参考資料を提示して頂いた。また、関連する研究を行う Thomas Søndergaard 講師に話を聞きに行き、有意義な意見交換を行うことができた。

本期間中には自身の研究だけでなく、受け入れ先の研究内容についても積極的に吸収するように努めた。周りの Ph.D 学生とも積極的に意見交換を行い、お互いにアドバイスし合った。留学後半には、三日間かけて行われる短期講座に自主的に参加させて頂き、周りの Ph.D 学生とともに数値計算ソフトウェアを用いた低次元材料の電子状態の解析手法などを学ぶことができた。

➤ 成果

本期間中の研究成果として、金属ナノ構造における電子集団運動の非局所性を考慮した応答理論を定式化した。この理論により、従来多くの解析で用いられてきた古典モデルの妥当性と適用可能範囲を定量的に評価できる。さらに本理論を応用すれば、古典モデルでは議論できない金属のミクロな性質を反映した新たな光圧デザインやそれに基づく新奇現象の予測が可能となる。これらを踏まえ今後さらに理論を拡張することで、ナノ物質の任意配置・配向・操作を実現するための金属構造を提案し、実験グループを巻き込んだ検証に結び付けたい。Pedersen 教授との話し合いの結果、帰国後も共同研究を続けていくことが決定した。

また、滞在先研究室内外の学生やスタッフに対して自身の研究内容や成果を発信し、その重要性を積極的にアピールした結果、本学術領域のヨーロッパにおける拠点づくりに結びつく貢献ができたと感じている。今後、研究者間のネットワークをさらに広げ、リーダーシップを取って本研究を推進していきたい。

➤ 研究生活に関して

大学施設内の雰囲気は透明性が高い印象で、各部屋の扉は外から中の様子が見えるように常に解放されていた。研究室には教授の他に2名のポストドクターと4名の Ph.D 学生が在籍しており、主に低次元材料に対する静電場効果やプラズモニクスに関する理論的研究が行われていた。主言語はデンマーク語であるが、留学生や海外出身のポストドクも在籍していたため、多くの場合、英語で会話することがで



きた。毎週金曜日の午前中には各研究室のスタッフを交えたコーヒブレイクの時間が設けられており、研究室以外のスタッフや学生とも打ち解ける良いきっかけとなった。

➤ 謝辞

研究室以外でもウェルカムパーティーやバドミントン大会、帰国直前には Farewell パーティーを開いてもらうなど、大変親切にして頂き充実した研究生活を送ることができた。本国際活動を快く受け入れて頂いた Pedersen 教授や Aalborg 大学のスタッフの皆様、仲良くして頂いた学生の皆様に感謝致します。また、新学術領域研究「光圧によるナノ物質操作と秩序の創生」の領域代表である大阪府立大学の石原一教授、国際活動として採択して頂いた千葉大学の尾松孝茂教授ならびに、ご支援頂いたスタッフの皆様にご心より感謝申し上げます。



開催報告

増原塾・Summer Course・Workshop (2017年7月2-5日 台湾国立交通大学)

7月2日(日)に台湾・国立交通大学増原研究室において「光圧ナノ物質操作」主催の増原塾を開催しました。また7月3日(月)から5日(水)まで台湾交通大学と本領域の共催で Summer Course と Workshop を開催いたしました。本領域から Summer Course 講師として領域メンバー4名が講義を行い、また Workshop 講師としてさらに2名が講演いたしました。また増原塾・Summer Course・Workshop には領域メンバーの研究室から学生24名が参加しました。(報告書は別冊で発行)

企業道場開催及びアウトリーチ企画会 (2017年7月26-27日 シグマ光機東京本社)

7月26日(水)にシグマ光機東京本社において企業道場を開催いたしました。領域のアウトリーチ活動で使用する顕微鏡の実習を目的に若手研究者6名が参加しました。また2日目(27日(木))の午後には参加者6名でアウトリーチ活動の目的や今後の企画についてディスカッションを行いました。(参加者レポートは別冊発行予定)

◆実習内容：

- 1) CU-education を用いたレンズ結像の実習 (レンズ結像)
- 2) CU-mini または CU-standard を用いた光ピンセット系の構築実習 (トラップ構築)
- 3) 光ピンセットデータからトラップ弾性力を解析する実習 (弾性率計算)

アウトリーチ活動 (2017年8月8日 大阪大学基礎工学研究科)

8月8日(火)の大阪大学基礎工学研究科高大連携物理・化学教育セミナーに合わせて、本領域の光ピンセットの体験実験を行いました。企業道場に参加した若手研究者が中心となって企画し、高校の先生方に実際に光ピンセット装置を触っていただき、マイクロビーズをトラップしていただきました。

告知板

2018年1月22日(月)-23日(火)に大阪大学基礎工学研究科において本領域第2回公開シンポジウムを開催いたします。

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