

領域略称名：光-分子強結合場  
領域番号：470

平成23年度科学研究費補助金  
「特定領域研究」に係る研究成果等の報告書

「光-分子強結合反応場の創成」

(領域設定期間)  
平成19年度～平成22年度

平成23年6月

領域代表者 北海道大学・電子科学研究所・教授・三澤弘明

## 目 次

研究領域の目的及び概要 .....	1
研究領域の設定目的の達成度 .....	2
研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況 .....	3
主な研究成果（発明及び特許を含む） .....	4
研究成果の取りまとめの状況 .....	12
研究成果の公表の状況 .....	13
研究組織と各研究項目の連携状況 .....	23
研究費の使用状況 .....	27
当該学問分野及び関連学問分野への貢献度 .....	28
研究計画に参画した若手研究者の状況 .....	29
総括班評価者による評価の状況 .....	30

### 3. 研究領域の目的及び概要

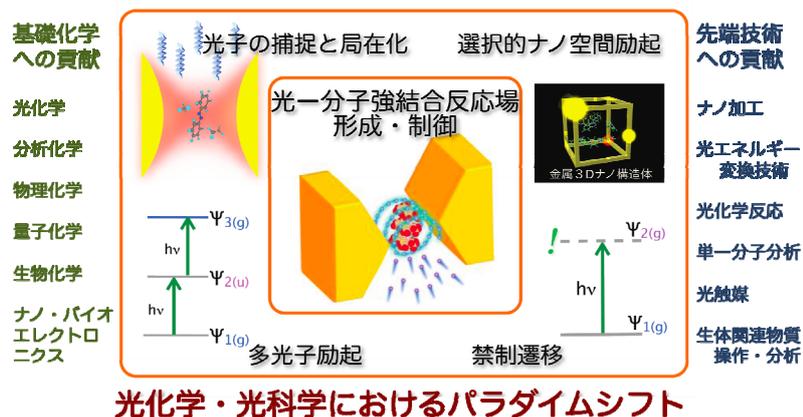
「光-分子強結合反応場の創成」 平成19年度-平成22年度  
 領域代表者 北海道大学電子科学研究所・教授・三澤弘明  
 補助金交付額 1,311,000千円

	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	合計 (円)
計画研究	235,900,000	315,700,000	312,400,000	217,600,000	1,081,600,000
公募研究		80,000,000	74,900,000	74,500,000	229,400,000
合計 (円)	235,900,000	395,700,000	387,300,000	292,100,000	1,311,000,000

銀塩写真の分光増感剤、フトリソグラフィのレジスト材料、有機エレクトロルミネッセンスの発光材料、光触媒、湿式太陽電池、有機太陽電池など、種々の光システムや光デバイスにおいて欠くことのできない光化学プロセスは枚挙に暇がなく、これまでの光科学技術の発展に光化学の学理と技術が果たしてきた役割は大きい。これらの光化学反応の初期過程である光励起の効率は分子が有する吸収断面積により決まり、一般的な分子では、 $\sim 1 \times 10^{-16} \text{ cm}^2$  程度である。この値は、光化学反応でよく利用される可視光の光を1  $\mu\text{m}$ 四方に絞り込んだ時に1つの光子を完全に分子に吸収させるためには、1億にも及ぶ分子が必要であることを示しており、光と分子の相互作用は、元来それほど大きくないといえる。しかし、物質系に投入された光子を極めて少ない分子数によって完全に吸収し、光励起を可能にする「光の有効利用」という概念は、光デバイスの小型化や低コスト化のみならず、デバイス作製に必要となるエネルギーを削減するという観点からも重要である。このような少ない分子数によって効率良く光吸収を可能にするシステムを構築するためには、1) 光の回折限界を越えるナノ空間に光を局在化させること、2) そのようなナノ空間に光をある程度の時間閉じ込めること、すなわち、光を空間的・時間的に閉じ込めて分子と強く結合させるといった新しい概念による「光-分子強結合反応場」が必要である。

光を有効に利用する「光-分子強結合反応場」を構築する上で、金属ナノ微粒子が示す局在プラズモンは極めて有効である。局在プラズモンによって誘起された金属表面の近接場光は、金属ナノ微粒子の形状に依存して限定されたナノ空間に局在するとともに、局在プラズモンが位相緩和するまでの時間、金属ナノ微粒子表面近傍に存在することにより、大きな光電場増強を生み出す。したがって、金属ナノ微粒子近傍に配置された分子は、極めて大きな光電場を感じることになり、高い確率で光励起される。また、最近では、金ナノ構造を配列した酸化チタン電極を用いて、可視から近赤外波長域の光により光電変換可能であることが本特定領域研究内の研究において見出され、局在プラズモンの光電場増強が光励起プロセスのみならず、光誘起電子移動反応といった光化学反応プロセスの効率にも影響を与えることが明らかとなった。

本特定領域研究においては、光子を捕捉・局在化させる機能を有するナノ・マイクロ構造を設計・構築して「光-分子強結合反応場」を創出するとともに、本反応場において新たに出現する光子と分子/物質系の極めて強いエネルギー・空間選択的な相互作用に関する学理の探求とその応用技術への展開を目的としている。本特定領域では上記目標の達成のために、A01班「光-分子強結合反応場による新奇反応の開拓」、A02班「高次機能性構造による光-分子強結合反応場の創成」、A03班「光-分子強結合反応場の素過程ダイナミクス」の3つの研究計画班を組織した。また、緊密な班内・班間の連携のために横断的ミッションである「ナノ加工」「光エネルギー変換デバイス構築」を設定し、共同研究を行った。研究期間は、平成19年度から22年度まで4年間である。初年度平成19年度は計画班のみにて、平成21年度は20年度から引き続き計画班と公募班によって「光-分子強結合反応場」の構築・計測・応用に関する研究を推進した。



#### 4. 研究領域の設定目的の達成度

「光-分子強結合反応場」の創出を目的に3つの研究項目を設定し、研究を推進した。A01班「光-分子強結合反応場による新奇反応の開拓」では、光-分子強結合反応場による新奇反応の発見・応用をターゲットとして、理論・実験両面の検討を通じて、意欲的に新光化学反応の開拓に努めた。その結果、照射された光を高効率に分子に吸収させる「光の有効利用」という新しい概念を光化学の研究に導入することに成功した。具体的には、局在プラズモン共鳴によって高い光電場増強効果を示す金属のナノ構造体を光反応場として用い、分子の光励起を高効率に誘起し、微弱な光によるフォトレジスト材料の空間選択的な2光子重合反応を実現した。また、金ナノ構造を配列した酸化チタン電極を用いた光電気化学測定により、可視・近赤外光を光電変換できることも明らかにした。また、A02班「高次機能性構造による光-分子強結合反応場の構築」では、光-分子強結合反応場の構築を目的に主に反応を具現化するための構造形成手法の確立ならびにそれらの動作原理に基づくデバイス化を視野に入れた検討を行った。その結果、規則細孔配列を有するポーラスアルミナ基板をテンプレートとして有効活用することによって、ナノ・マイクロスケールの光電場増強場の構築に成功した。正方形、長方形、三角形の断面形状を有する金属のナノドットアレーの自在形成手法が確立され、再現性良く大面積で表面増強ラマン散乱(SERS)効果が発現する基板の作成法が確立された。その他、超高空間分解能を有する近接場顕微鏡、細胞観察用増強蛍光基板などの計測系ならびにデバイス素子構築が達成された。A03班「光-分子強結合反応場の素過程ダイナミクス」では、光-分子強結合反応場の素過程ダイナミクスの解明を中心に行い、本現象の根幹的支配原理を極限まで追求し、その本質に迫った。自己組織化、静電吸着、液液界面配列や電気化学的手法などを駆使して、球状の金・銀ナノ粒子、および棒状の金ナノ粒子・ロッド・キューブなどが集積化したナノ構造体と有機色素から成る多種多様な光-分子強結合反応場を構築し、顕微鏡計測、ダイナミクス・振動分光計測などを駆使して増強電場の分布や強度について定量的に評価解析するとともに、局在場に存在する分子との相互作用を定量的に検討することによって、光-分子強結合反応場における物質系の光応答の特徴を明らかとした。また、多彩な分子系の導入と、ナノ構造の高次化により、新規プラズモニック太陽電池や光触媒への展開を実現した。さらに、一分子・一粒子計測などにより光-分子強結合反応場における光と分子の相互作用の実体と当該系を支配する原理を明確にすることに成功した。他方、班内・班間の共同研究を大きく加速させるために、班内・班間の連携ミッションである「ナノ加工」「光エネルギー変換デバイス構築」を設定したが、いずれのミッションにおいても汎用性の高い応用レベルにある、ハイスループットなインプリント型近接場ナノ加工や全く新しい近赤外光応答型の太陽電池技術の創出を達成した。

これら各班内における先導的な研究成果を領域全体で共有することによって、計画班、公募班一体となったより緊密で効果的な協力関係を生み出し、それらを新技術として発展させる原動力とした。その結果、光-分子強結合反応場として機能する金属微小構造などの単位構造の構築法をさらに発展させ、既存の系よりさらに高い電場増強を実現するための指針を得ることに成功し、トップダウン・ボトムアップ的手法それぞれによって優れた光-分子強結合反応場の構築を実現した。また、これらの系に最適な光応答を示す種々の分子を導入することによって、高効率な光散乱、吸収、発光、光反応を誘起させることにも成功した。さらに、独自に開発を進めた高い空間・時間分解能を有する先端計測により、これらの光学特性、光エネルギー変換効率などに関して定量的な評価を行うことにも成功した。これら先導的な実験的検討と連携して、分子の有する波動関数の広がりと同程度のナノ空間に局在した光との相互作用を取扱うことが可能な新理論の検討を同時に推進することにより、光-分子強結合反応場における新奇反応の発見・応用の原理的な知見を深め、より実現が困難とされている禁制励起をはじめとした現象を具現する端緒を開いた。このように当初設定した光-分子強結合反応場の創出のための学理の探求とその応用技術への展開については、その目的を十分達成することができた。加えて連携ミッション「ナノ加工」と「光エネルギー変換デバイス構築」の実施を通じて、従来不可能とされていた空間分解能を有するナノ加工技術の創出、ならびに近赤外光による水の多電子移動酸化反応系の構築を光-分子強結合反応場によって実現する、など領域研究開始時の提案を越える期待以上の成果を挙げることに成功した。以上の成果は、1191報を越える原著論文、1220件以上もの国際会議発表（内337件の招待講演）として公表し、60件を越える特許出願を行った。これらの一部は32件以上のプレス報道として取り上げられた。さらに国内外の学会における公開シンポジウム、広報、チュートリアルなどの波及活動も行った。特にアメリカとベルギーにおいて現地での主催国際シンポジウムを開催し、欧米各国の主要な研究者に本領域の意義をより深く認知される機会を積極的に提供した。これらの結果として、本領域発の光-分子強結合反応場の概念が世界的な潮流となって多くの関連分野の冠国際シンポジウム、研究プロジェクト、研究発表として取り上げられるようになり、新領域として世界的に認知されるようになった。

## 5. 研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況

研究期間全般に渡って計画班と公募班が一体化して研究を推進することで多くの成果が得られるよう常に連携体制が維持できるように留意した。その結果、理論と実験グループの緊密な連携により、光一分子強結合反応場の本質的な理解が深まると同時に、斬新な系の提案が成され、実験的な検証も大きく進んだ。さらには、古典的な光反応系に留まらない物質・バイオ・計測・光科学・エネルギー分野にインパクトを与える反応ならびに現象の提案が成され実現した。領域としては、大きな問題が発生して対応を迫られるようなことは無かったが、この研究領域の広範かつ多様性に富む発展性が維持されるよう組織や連絡体制を堅持することに留意した。

連携ミッション実現に向けた班内・班間連携の緊密化：研究開始時においては、本領域が目標とする光一分子強結合反応場の創成、応用の具現には、各研究グループのそれぞれの発見、成果をさらに有機的に連携することが必要不可欠であると考えた。連携に基づく大きなミッション「ナノ加工」「光エネルギー変換デバイス構築」の2つを合目的なターゲットとして明確化し、より頻繁な研究討論の場を設けて、目的の実現を着実に達成するよう運営体制をさらに強化した。具体的には、各年度4回以上のミッション会議を札幌、東京、大阪にて開催し、連携方針の確認、研究進捗状況、新たな連携体制の構築、などの議論を行った。平成20年度より参画した公募班員とも同様に緊密な連携を図る体制を整えた。そのため、班内・班間連携の内容を公募班員にも告示し、アイデア・試料・技術提供を計画班から提案しつつ、協力参画を積極的に募った。公募時に置いて採択枠40件に対し4倍以上の公募研究の応募が基礎から応用分野にわたる広い領域からされたことや、民間企業から多くのシンポジウムや研究内容に関する問い合わせを受けていることから、多くの分野からの本領域研究実現への期待と要求の高さは明らかとなった。そのため、本領域研究の目的実現のためには、様々な観点から新しい基礎的・原理的な発見を推し進め、理論的な検討と実験的な検証を両輪とした連携によって得られた知見を、再び系の設計にフィードバックする必要がある。広い分野に通用する原理適用の出口を模索する必要があり、そのためには当初計画通りの広い領域からの多くの研究者の参画が必要であり、そのための班会議に加えて連携ミッション会議を年2回以上開催し、連絡、情報共有体制の強化に努めた。

情報共有体制構築と予算措置：平成21年には、ユニークな系を申請提案した11公募研究グループが採択されて新たに計40公募研究グループが研究組織に加わった。そこで、いくつかの重要な応用発展の可能性のある発見については、デバイス化や産業応用を意識した集中開発的な共同プロジェクトとして研究を先の二つの連携ミッションに基づいてさらに推進した。「ナノ加工」連携については、空間分解能を維持しつつ、スループットが維持される手法の開発の集中検討を行った。「光エネルギー変換デバイス構築」連携においては、当初よりいくつかの金属ナノ構造/物質系で探索が行われてきたAu/TiO<sub>2</sub>系において革新的展開の可能性を示す成果が得られたので、この系に注力することとし、これらの集中のためにポストドクを雇用するための人件費を2計画研究グループ間にて移動することを予算策定において行った。他、6計画研究グループ間においてもデバイス評価、構造単位作成、機構検討が可能な様に予算移動を行い、班間ミッションの集中進展を図ることとした。平成22年度からは、ユニークな系を提案した計画・公募研究グループの積極的な参画を改めて要請し、その拡充を図った。「ナノ加工」においては、技術としての拡充を目指してフォトリソグラフィーに使用可能な重合剤や加工対象物質の選択肢を広く検討し、電場を形成する金属ナノ構造についても複数の研究グループからの供与を受けることにより、より広い汎用性をもった技術としての発展を図った。また、「光エネルギー変換デバイス構築」については、プラズモン増強単分子層太陽電池の高機能化を推進すると同時にAu/TiO<sub>2</sub>系にて見出された近赤外光の高効率変換能を積極的に進展させるための理論的、実験的検証をミッションの総力をあげて多面的に推進した。

このような、柔軟な連携体制を維持することによって、領域研究内の各研究グループそれぞれにおいて推進された物質・バイオ・計測・光科学分野など広範な領域にわたる新現象の発見や系の構築、設計に関する情報が共有され、研究領域の総括的なアウトプットとして結実した。「ナノ加工」においては従来の空間分解能を越えるハイスループットの加工手法が確立され、また「光エネルギー変換デバイス構築」においては近赤外光による光電変換、光物質物質変換が実現し、いずれも当該分野において全く新しい光化学反応の応用として注目されている。

## 6. 主な研究成果（発明及び特許を含む）

A0, A01, A03 班それぞれの各研究項目に加えて、班内・班間連携研究として推進された成果を以下に示す。

### A01班 「光一分子強結合反応場による新奇反応の開拓」

班長・三澤弘明（北海道大学電子科学研究所）を中心に、光一分子強結合反応場における新奇反応の発見・応用を目的に、理論・実験両面から検討を行うことによって、高い効率にて多光子励起などの非線形光化学プロセスを実現し、新しい光エネルギー変換システムを提案することに成功した。

平成19年度には、理論検討により、金属ナノギャップ中分子の光学禁制遷移、高効率もつれ合い光子対生成、キラル分子の円偏光レーザーによる輻射力発見、円環状分子配列構造のエネルギー移動、などのエキゾチックな現象が光一分子強結合反応場にて誘起される可能性が示された（石原）。また実験では、局所プラズモンで禁制励起を誘起する系を検証するために、粒径数 nm から 100 nm 程度のサイズ領域において粒径、結晶系、光学特性の制御された金属微粒子構造を用いて超構造を形成するボトムアップ構造形成技術を確認した（寺西）。また、有機-金属ヘテロナノ界面における表面プラズモン励起反応を例証するためのハイブリッドナノ構造体の創成にも成功した（及川）。さらにトップダウン型形成した Au ダイマー・ロッド構造において、ナノ空間選択的に多光子重合反応が進行することが世界で初めて実証された（三澤・図1）。Ag ナノ粒子/酸化チタン界面を利用した多色フォトクロミズム素子、光電気化学アクチュエーターなどの全く新しい光エネルギー変換システムが提案された（立間・図2）。

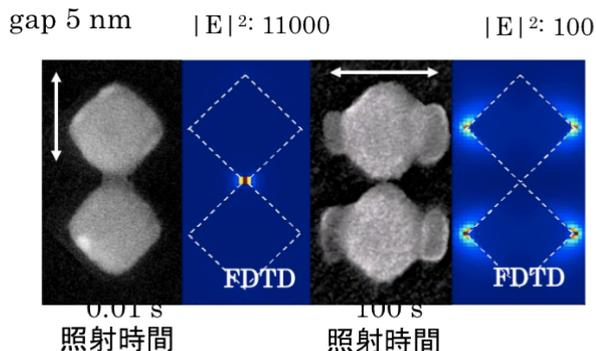


図1. 金属ナノギャップにおけるナノ空間選択的多光子重項反応（三澤）。

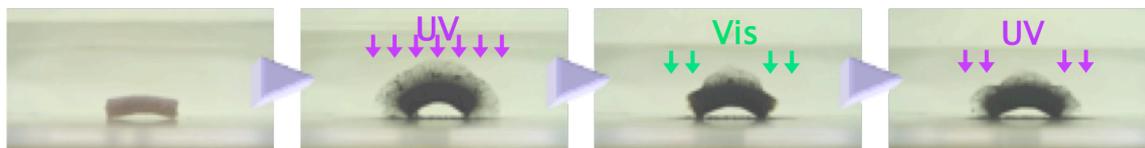


図2. 光電気化学アクチュエーター（立間）。

ついで公募班の参加が開始された平成20年度には、理論検討では、光電磁場、物質波動関数双方の空間構造のインタープレイを考慮することによって、金属ナノギャップ中分子の光学禁制遷移誘起などの新しい現象の取扱が可能となった（石原）。また実験では、粒径数nmから100 nm 程度の非常に広いサイズ領域において粒径、結晶系、光学特性の制御された金属微粒子を単位構造としてボトムアップ型高次構造形成技術が確立された（寺西）。またナノ空間選択的に二光子励起固相重合反応を誘起する銀ナノ粒子-ジアセチレン（DA）結晶ハイブリッドナノ構造体が創出された（及川・図2）。さらにトップダウン型形成したAuダイマー・ロッド構造を用いたナノ空間選択的多光子重合反応系において、パターンのサイズ、形状、或いは空間分布を任意制御することが可能となった（三澤）。金ナノ粒子と酸化チタンからなる積層構造材料を用いたプラズモン誘起光電変換系においては、そのメカニズムが明らかとなった（立間）。これら計画班研究の成果に加えて、公募班によってプラズモニック結晶など新しい構造体が提案、応用される（岡本（隆））と共に、金属プラズモンを利用したテラヘルツ電場増強（萩行）、X線発生（畑中）が検証され、さらに光触媒反応の加速（大谷）、タンパク光誘起結晶化（奥津）などの新しい応用発展例が示された。

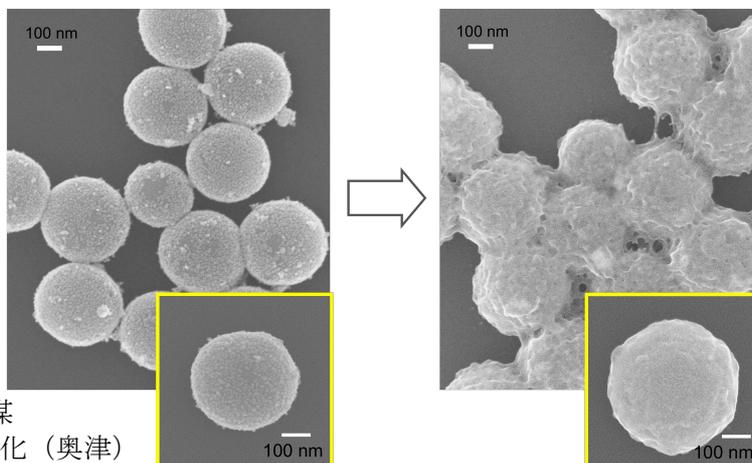


図3. Ag / ジアセチレン結晶ナノハイブリッド構造体間隙におけるナノ空間選択的の固相重合反応（及川）。

次いで平成 21 年度以降において、理論検討においては、光電磁場、物質波動関数双方の空間構造のインタープレイを考慮し、金属ナノギャップ近辺に配置された分子会合体の光学応答を検討した。会合体は通常の光学許容モードの他、光学禁制なモードを有するが、ナノギャップ近辺では配置の条件により全てのモードが同程度の大きさで励起されることが明らかとなった（石原・図 4）。また実験では、トップダウン

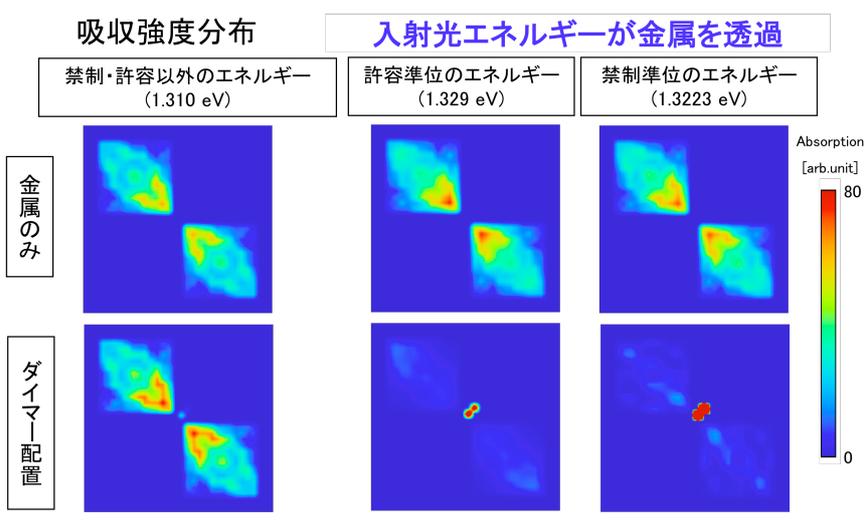


図 4. 金属ナノギャップ近傍における分子会合体の光学応答についての理論計算（石原）.

手法で立体的な金属ナノ多重構造を形成することによって、三光子励起場の構築を達成した（三澤）。粒径 100 nm 程度で粒径が厳密に制御された粒子を電子顕微鏡下にて空間配置することによって、許容・禁制のプラズモンを実験的に観測することに初めて成功した（寺西・図 5）。また二光子励起固相重合反応を誘起する銀ナノ粒子-誘起結晶ハイブリッド系において、反応対象分子を拡張した（及川）。酸化チタン基板表面において金属微粒子のプラズモンモードの選択励起によって光誘起電子過程が制御されることを見出した（立間）。これら計画班研究の成果に加えて、公募班によって表面増強ラマンの電磁場機構の包括的解明が進展（伊藤）し、分子との相互作用を積極的に制御する理論構築の試み（岡本（隆））が成されると同時に、高効率なプラズモニック光電変換（池田）、光誘起タンパク結晶化（奥津）、X線発生（畑中）が検証され、さらに光触媒反応の加速（大谷）、ナノ光加工（橋本、辻）などの新しい応用発展例が示された。

これらの成果は 390 報の原著論文、437 件の国際会議発表、102 件の総説・解説、63 件の著書として公表された。また関連特許を 22 件（国内 16 件、外国 6 件）出願中、2 件（外国 2 件）取得している。

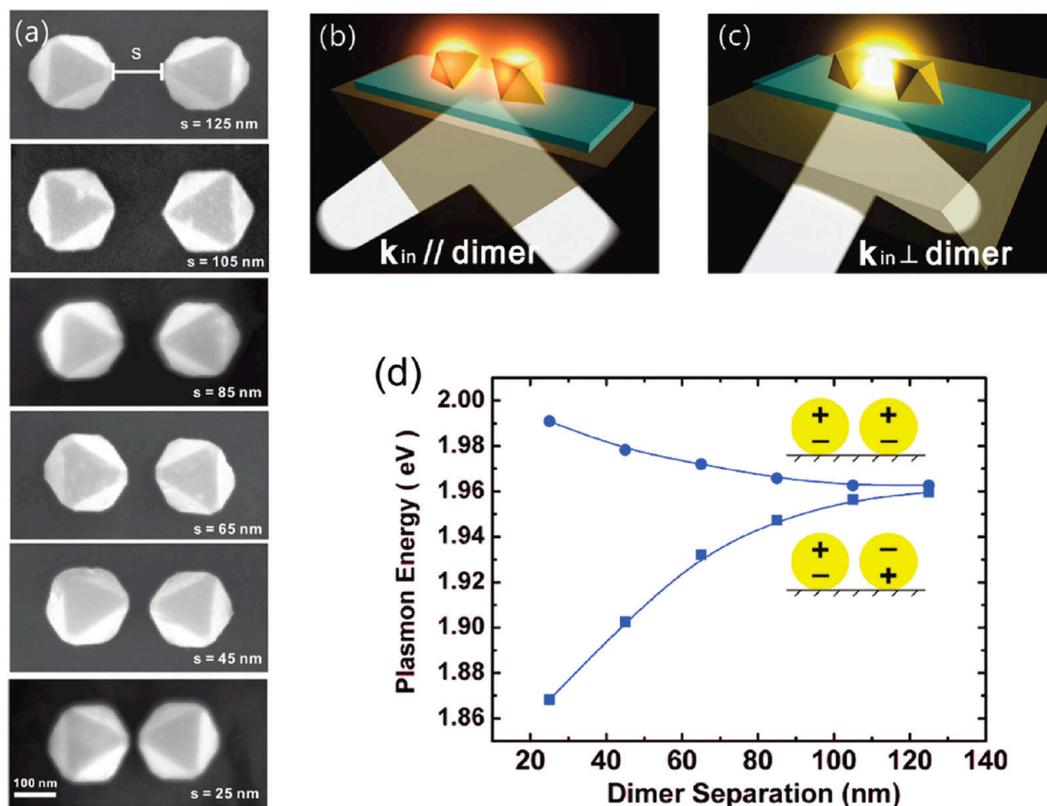


図 5. 配列金属ダイマーによる許容・禁制プラズモンモード観察（寺西）.

## A02 班 「高次機能性構造による光-分子強結合反応場の創成」

班長・益田秀樹（首都大学東京大学院都市環境科学研究科）を中心に研究が推進され、光-分子強結合反応場の自在応用とデバイス化を目的に、高度に幾何学的立体構造が制御された光局在空間を構築する手法を確立し、形成された高次機能構造を利用することにより、光と分子の強結合に基づく反応場をデバイス応用することに成功した。

平成 19 年度では、規則ポーラス構造を利用した 3 次元光電場増強場の構築や、大面積にて数十マイクロメートル以下のサイズ領域での階層構造を有する金属微小構造基板形成に成功した

（益田・図 6）。光強結合場をリソグラフィ技術として確立するために、可視光応答性のある単分子膜レジストの露光特性、ナノプローブ微細加工の空間加工分解能の実験的検証を行った

（杉村・図 7）。また、回折格子結合表面プラズモン共鳴場を用いた蛍光増強に成功し、実用レベルにある顕微蛍光イメージング基板を構築した（西井）。光子と分子

の強結合状態を形成するため、メガヘルツの周波数分解能とサブマイクロメートルの 3 次元空間分解能をあわせ持つ顕微分光システムを開発し、光子あるいは光子と電子がカップリングした状態を微小空間に閉じ込める系の検証を行った（笹木）。単一のナノ粒子近傍におけるフォトクロミック反応の LSPR 光電場増強効果を実証する系の構築に成功した（朝日）。

次いで平成 20 年度では公募班とともに、微小球、金属微細構造体における光局在状態をシミュレーション解析と共に、狭帯域レーザー顕微分光イメージングシステムを拡張して、光閉じ込め状態の詳細な解析を行うとともに、光反応増強効果への適用を検討した（笹木）。ガラス基板上に

固定化した色素・金属ナノ粒子系において単一単位構造レベルでの光異性化過程を顕微分光計測することを可能とした（朝日、図 8）。トップダウン型の微細加工技術に自己組織化過程を組み合わせることで効率的な高分解能空間加工を実現した（杉村）。規則ポーラス構造を利用して二次元、三次元金属超配列構造を形成する技術を確立し、光電場制御が大面積にて高い精度と再現性で可能となることを実証した（益田）。表面プラズモン励起増強蛍光分光を可能とする基板を光インプリントなどによって高精度かつ効率的に形成することに成功した。（西井）。これら計画班研究の成果に加えて、公募班によって非金属ナノ構造による増強場構築（林）、カイラルフォトリック欠陥構造を利用したレーザー発振波長の外場制御（尾崎（雅））、高分子ナノ集積体による SHG 光発生制御（三ツ石）などの新しい系や現象の提案、実証が成されると同時に、アキシコンプリズムを利用した表面プラズモン顕微鏡（川田）、プラズモニック結晶基板による燃料電池電極の活性評価（八木）など応用的価値の高い反応場の利用例が示された。

平成 21 年度以降は、規則ポーラス構造をテンプレートとした立体的金属規則構造形成手法をさらに発展させ、二次元多角格子構造、立体積層構造、ワイヤー構造などを自在に構築する技術を確立した（益田）。また、散乱型近接場顕微鏡を用いたプラズモン光局在場の分光イメージングシステムを構築し、シングルナノメートルオーダーの電場空間分解能を達成

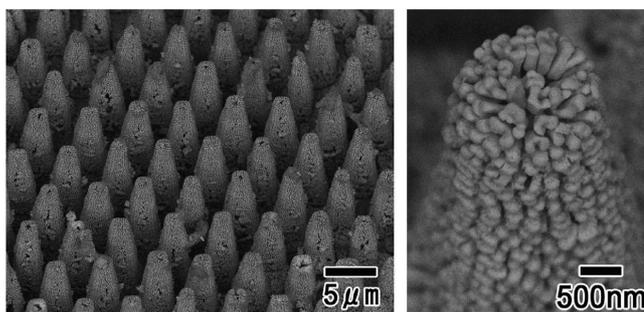


図 6. 階層構造を有する金属微小構造（益田）。

### Au nanoparticle circle $\Phi$ 3 $\mu$ m on ITO

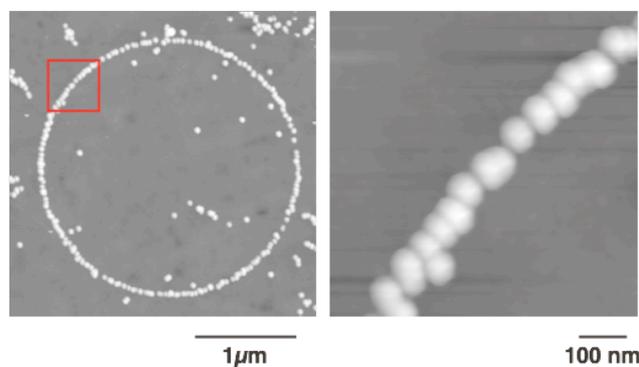
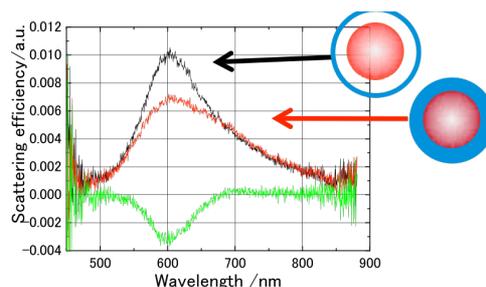
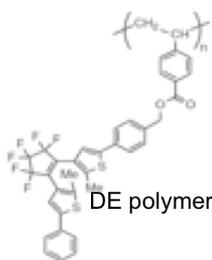


図 7. ナノプローブ微細加工による構造形成（杉村）。



### 単一粒子レベルでの光反応増強効果の解析

図 8. 単一 Au ナノ粒子の LSPR スペクトル（朝日）。

した（笹木・図9）。単一粒子計測が可能な共焦点光散乱分光によって、シングルサイトにおけるフォトクロミック反応の高感度計測に成功した（朝日）。単分子リソグラフィ技術によって光-分子強結合反応場パターンニングの可能性を見出した（杉村）。表面プラズモン励起増強蛍光基板をさらに改良し、背面照射をはじめとした汎用デバイスとしての利用手段を提案した。（西井・図10）。

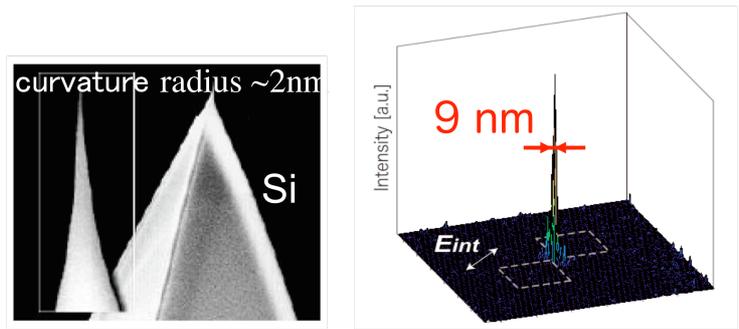


図9. 散乱型近接場顕微鏡プローブと分光イメージ（笹木）。

これら計画班研究の成果に加えて、公募班によって、非金属ナノ構造による高効率蛍光増強場の構築（林）、高分子ナノ集積体によるSHG光発生の高効率化（三ツ石）、干渉リソグラフィによる強結合反応場の効率的形成（瀬川）、プラズモニック結晶基板を用いたd金属SERS活性評価（八木）など新規な拡張的展開研究が進展した。これらの成果は、392報の原著論文、327件の国際会議発表、63件の総説・解説、49件の著書として公表された。また関連特許を28件（国内27件、外国1件）出願中し、1件（国内1件）取得している。

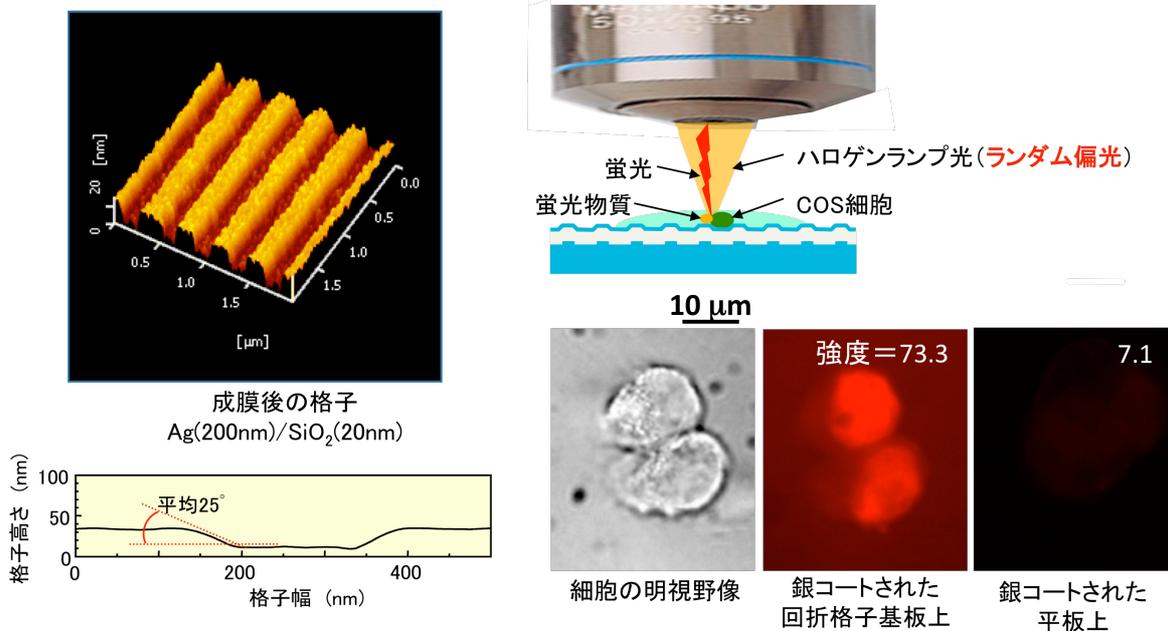


図10. 表面プラズモン励起蛍光増強基板ならびに当該基板を用いて観測した細胞の蛍光像（西井）。

### A03 班 「光-分子強結合反応場の素過程ダイナミクス」

班長・山田 淳（九州大学大学院工学研究院）を中心に研究を推進し、光-分子強結合反応場の素過程ダイナミクスの検討を目的に、強結合場として機能する単位構造の構築法を確立し、高い空間・時間分解能を有する先端計測により、強結合反応場における根幹的支配原理が明らかとなった。

平成19年度では、電場増強ナノ・マイクロ金属電極構造をボトムアップ法で構築する手法を確立し、光電場誘起による電子移動反応における分光特性の精査によって、光電変換特性を支配する要因の一つを明確にした（山田）。近接場光学顕微鏡を用いて球状金微粒子を2次元、単層に配列した集合体について増強電場のイメージングを行い、金属微粒子とその集合体による形成される光電場の空間構造の特徴を高い空間分解能で明らかとした（岡本）。また、金属粒子-半導体粒子複合系を構築し、金属粒子の表面プラズモン励起による光電場増強場によって、半導体ナノ粒子の光励起を高効率に誘起する系を構築した（鳥本）。エアロゾルやマイクロ液滴、ポリマービーズを微小共振器ポリマービーズ微小共振器として、多光子吸収により光化学反応を達成できる系を探索・検証した（坪井）。表面増強ラマン散乱（SERS）強度を微小場における光電場形成の指標として用い、高いSERS活性を有す

る金属ナノ構造基板を形成し、高効率にて二光子光化学反応を実現するとともに（坪井）、室温における分子トラッピングの可能性を検討した（村越）。

平成20年度では公募班とともに、電場増強ナノ・マイクロ金属電極構造をボトムアップ法で構築する手法を進展させ、光電変換デバイスの動作原理の精査を行った（山田・図11）。円形金属ナノディスク配列構造、ナノボイド構造などの増強電場を近接場イメージング計測により高い空間分解能で明らかとした（岡本）。また、金属

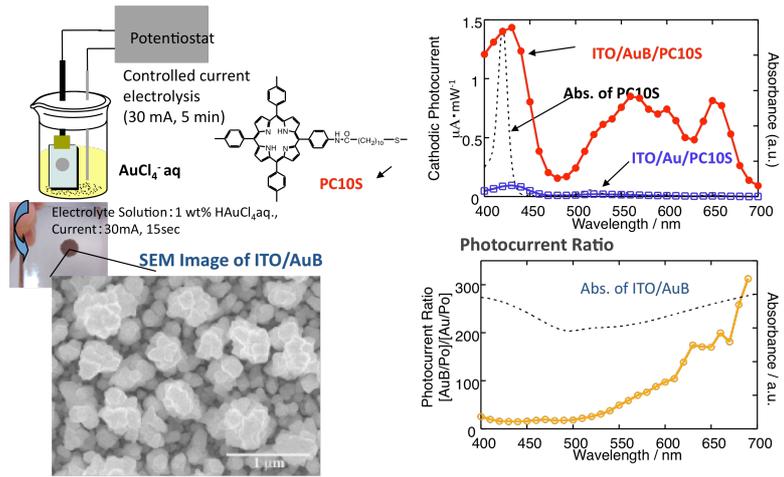


図 11. ボトムアップ構築による光電変換デバイス（山田）。

粒子-半導体コアシェル粒子複合系を構築し、光触媒反応を高効率に誘起する系を構築した（鳥本・図12）。電場集中が高密度に実現できる金属ナノ構造基板を構築し、多光子フォトクロミック反応を誘起することに成功した（坪井・図13）。金属界面構造を分子レベルで制御することによって単一分子ラマン計測を実現し、その光共鳴プロセスの詳細を明らかとした（村越）。これら計画班研究の成果に加えて、公募班によって表面プラズモンが伝播する表面における単一原子レベルの磁気双極子放射の理論的検討（田丸）、新規なプラズモン相互作用を示す異種金属コアシェルナノドット構造の構築（新留）、フェムト秒分光による金ナノドットのプラズモン緩和過程の検討（玉井）やプラズモンによる光誘起電子移動ダイナミクスの検討（古部）、表面増強ラマン散乱活性の支配因子（尾崎（幸））、表面プラズモンによる赤外・ラマン振動増強の相関（大澤）、またプラズモン増強光触媒系の初期過程（野坂）などに関する検討が進められた。

平成21年度以降は、金属ナノ構造と導電性高分子を組み合わせた複合系の構築により、高効率なプラズモン光電変換デバイスに必要な分子レベルでの構造制御の指針が得られた（山田）。また、金属粒子-半導体コアシェル粒子複合系を構築し、光触媒反応を高効率に誘起する系の最適化を達成した（鳥本）。金属ナノ構造基板を最適化することによって、半導体量子ドットのプラズモン場におけるオプティカルトラッピング現象を実験的に検証する

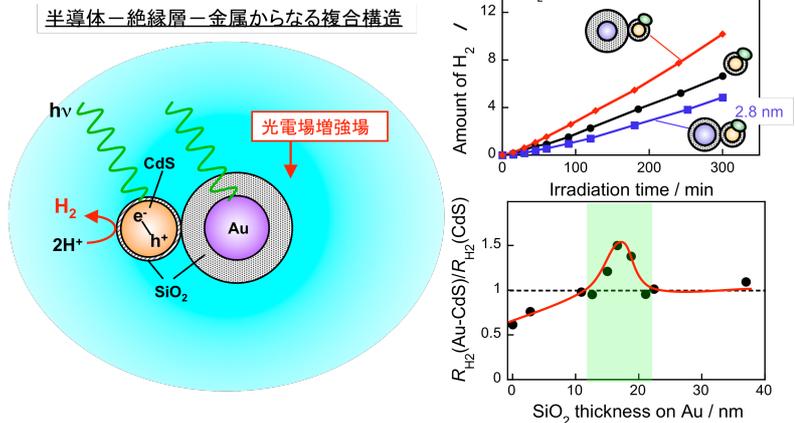


図 12. プラズモン増強光触媒系（鳥本）。

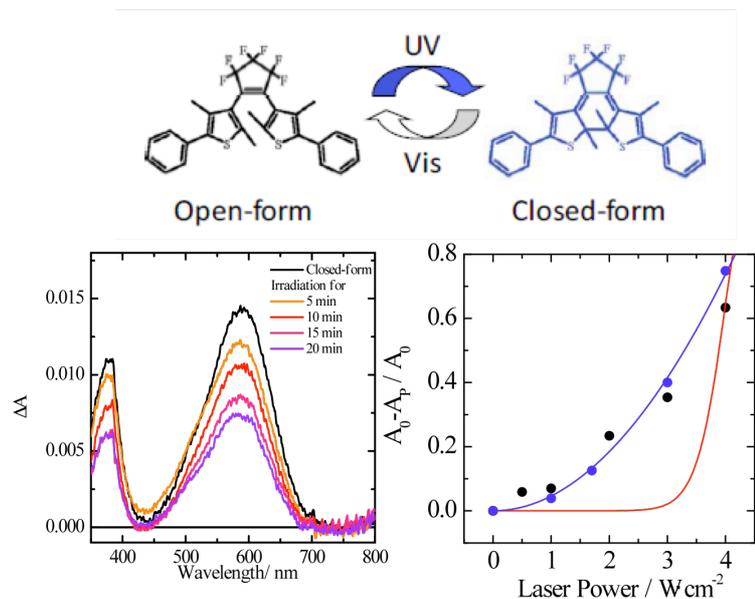


図 13. 金属ナノ構造によって誘起される多光子フォトクロミック反応（坪井）。

ことに成功した（坪井）。表面増強ラマン計測に偏光解消計測を導入することによって、単分子ラマン計測の信頼性を大きく向上させた（村越・図14）。また、近接場顕微鏡により微小開口からの透過光が増強するという現象が新たに見出され、世界中から関心を集めた（岡本・図15）。これら計画班研究の成果に加えて、公募班によって、光電子顕微鏡とフェムト秒レーザーを組み合わせた計測系による金属表面の進行プラズモンのダイナミクス可視化の実現（久保）、プラズモン励起による芳香族環直接官能基化反応の加速（吉田）、近赤外蛍光増強系の確立（長村）、銀ナノシェルを有する異方性の制御された金ナノロッド微粒子の効率合成技術の確立（新留）などが達成された。

これらの成果は、409報の原著論文、456件の国際会議発表、103件の総説・解説、59件の著書として公表された。また20件の特許（国内17件、外国3件）を出願中である。

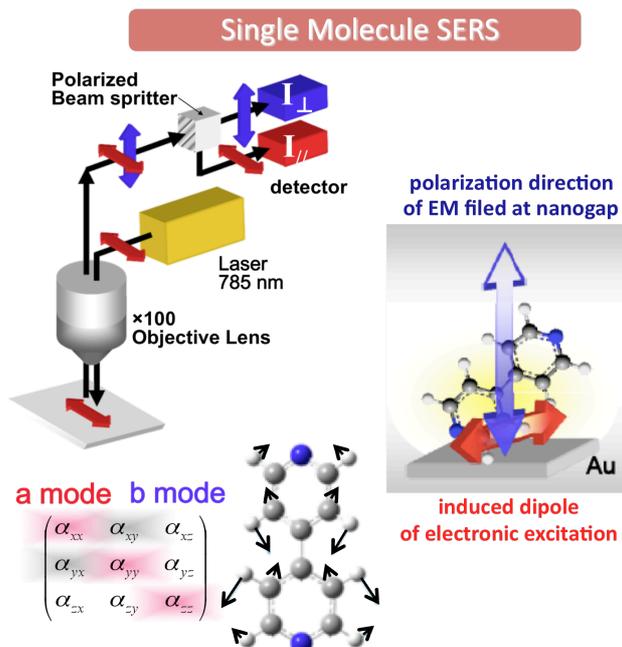


図 14. 偏光表面増強ラマン計測による振動モードの完全帰属（村越）。

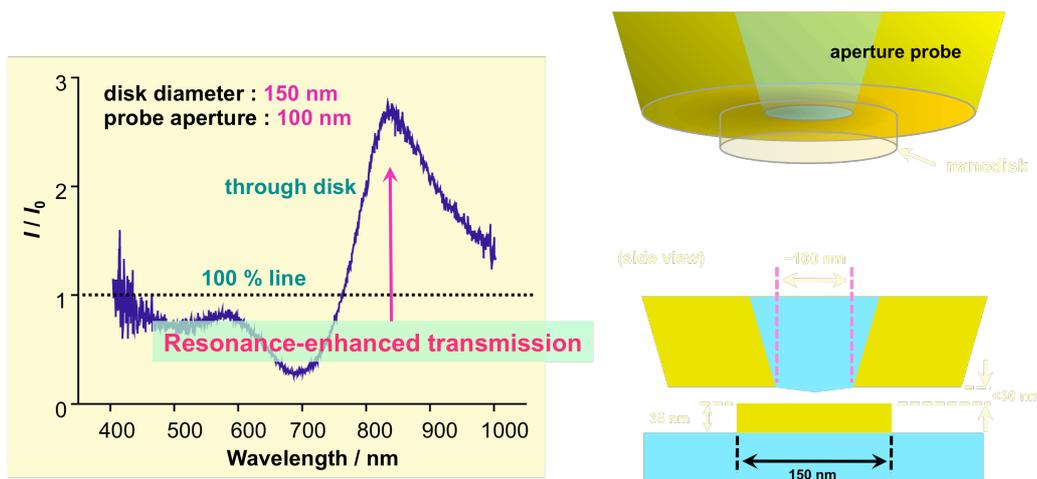


図 15. 金属微小開口における光の異常透過現象の発見（岡本）。

上記の各班にて行われた研究項目に加えて多くの班内・班間連携の研究が推進された。それらの共同研究をその特徴に基づき 3 種類に分類し、その一部を以下に示す。これらの成果の一部は、68 報の共著論文として公表済みである。

### 新規光機能・光エネルギー変換システムの設計・構築

「光—分子強結合反応場を利用したタンパク質の光誘起結晶化」奥津（A01 公募班）やは、三澤（A01 計画班）や西井（A01 計画班）らは、とともに金ナノ構造（A01 計画班・三澤グループ）もしくは金属回折格子（A02 計画班・西井グループ）を用いた光電場増強による非線形励起によりタンパク質の光化学反応を起こさせ、タンパク質の光誘起結晶化を試みた。その結果、タンパク質が光吸収を持たない可視・近赤外域の波長の光照射を行うと結晶化促進が確認された。また、得られた結晶数と励起光の光子密度の関係を解析した結果、光子密度の 3.5 乗を示し、この反応が多光子励起に基づくものであることが明らかとした。また、タンパク質に対してより反応効率の良いナノ構造の構造間距離や結晶化を誘起するために最小限必要なナノ構造の面積や実効的な基板サイズを明らかとした（図 16）。その他、「Au ナノロッド—酸化チタン系による光電変換」立間（A01 計画班）-山田（A03 計画班）、「金

属ギャップ間のホットサイトを利用したプラズモニック非線形光学効果」三澤(A01 計画班)-岡本(敏) (A01 公募班)、「金属ナノ構造を用いた光通信波長帯での光制限機能に関する研究」三澤(A01 計画班)-鎌田(A01 公募班)、「表面プラズモン励起が金属ナノ構造形成に与える影響の解明」三澤(A01 計画班)-辻(A01 公募班)、「金属ナノギャップにおける禁制遷移の観測」石原(A01 計画班)-三澤 (A01 計画班)、「Au-Ag 合金粒子-酸化チタン系による光電変換」立間(A01 計画班)-鳥本(A03 計画班)、「有機系材料から作製した酸化チタンと Au ナノ粒子の組み合わせによる光電変換」立間(A01 計画班)-瀬川 (A02 公募班)、「大面積金ナノ構造を利用した高効率光電変換」笹木(A02 計画班)-山田(A03 計画班)、「ジアリールエテンフォトリソグラフィ反応の金属ナノ粒子によるプラズモン増強効果」朝日(A02 計画班)-小島(A01 協力班)、「金ナノ構造の組み込みによる有機薄膜太陽電池の高効率化」山田(A03 計画班)-尾崎(雅) (A02 公募班)、「金属ナノブロック集積体を用いた光化学反応の高効率化」坪井(A03 計画班)-三澤 (A01 計画班)-村越(A03 計画班)、「Au ナノ構造を有する TiO<sub>2</sub> 単結晶電極を用いたプラズモニック光電変換系の構築」三澤 (A01 計画班)-村越(A03 計画班) (図 17) などが行われた。

### 独創的ナノ構造作成技術に基づく光子捕捉・局在場構築

「テーパファイバ結合トロイド微小共振器を用いた金属ナノ構造への高効率光集光」笹木(A02 計画班)は、西井(A02 計画班)のナノ加工技術を用いて作製したシリカマイクロディスクを CO<sub>2</sub> レーザーで熔融することにより、高 Q 値のトロイド微小共振器の作製を試みた。本トロイド共振器は、高い Q 値と高いモード選択性を兼ね備えた構造であるため、テーパファイバ結合微小共振器構造を利用した高効率プラズモン場励起が実現する微小共振器構造として作用する。作製条件の最適化によりトロイド共振器の性能が改善され、テーパファイバ結合トロイド微小共振器を用いた金属ナノ構造への高効率光集光が可能となった (図 18)。その他、「光一分子強結合場を利用する合成分子用 LDI 基板の構築」三澤(A01 計画班)-米澤(A02 公募班)、「金属ナノギャップにおけるカーボンナノチューブの光学応答」石原 (A01 計画班)-村越 (A03 計画班)、「有機-金属ハイブリッドナノ結晶の光学特性評価」及川(A01 計画班)-朝日(A02 計画班)、「PDA ナノ結晶-金属ナノ粒子交互積層膜の光電変換特性評価」及川(A01 計画班)-山田(A03 計画班)、「PDA コア-金属シェル型ハイブリッドナノ結晶の新規作製法の開拓」及川(A01 計画班)-寺西(A01 計画班)、「PDA-金属ハイブリッドナノ結晶の NSOM-Raman 分光」及川(A01 計画班)-岡本(裕) (A02 計画班)、「金ナノ粒子 LB 単粒子膜を用いたナノ粒子の精密パターンニング」杉村(A01 計画班)-寺西(A01 計画班)、「金属ナノギャップへの大環状  $\pi$  共役分子

### タンパクの光誘起結晶化

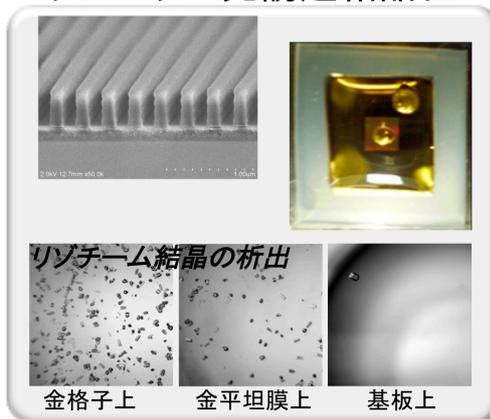


図 16. 金属ナノ構造基板を用いたタンパクの結晶化の光促進 (A01 公募班・奥津, A01 計画班・三澤 G. A02 計画班・西井) .

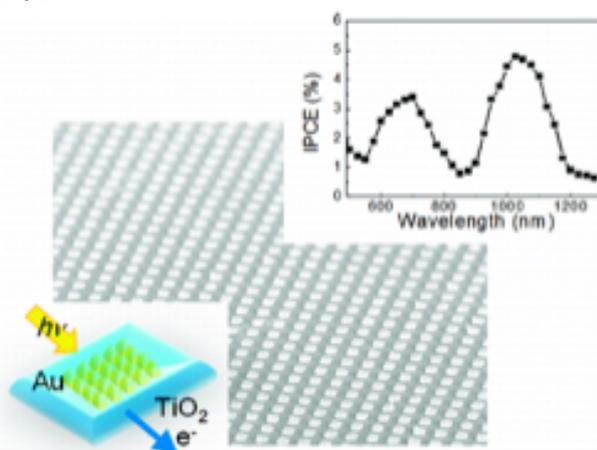


図 17. Au/酸化チタン電極を用いた近赤外光電変換・光物質変換系の構築 (A01 計画班・三澤, A01 計画班・村越) .

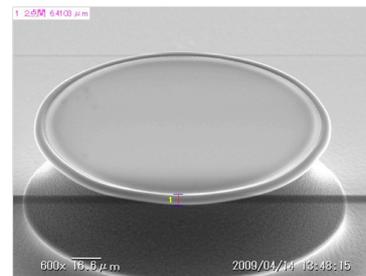


図 18. テーパーファイバ結合微小球とトロイド共振器のイメージ (A02 計画班・笹木, A02 計画班・西井) .

制御導入」寺西 (A01 計画班)-村越 (A03 計画班)、「新奇立体金ナノ構造体の創成」寺西(A01 計画班)-鳥本 (A03 計画班)、「微小球キャビティ効果を利用した色素の2光子蛍光の増強」笹木(A02 計画班)-坪井(A03 計画班)、「ソフトコンタクトフォトマスクの開発」杉村 (A02 計画班)-西井(A02 計画班)、「金ナノ粒子コア-有機薄膜シェル構造における局在増強電場の評価」杉村(A02 計画班)-田丸(A03 公募班)、「局在プラズモン共鳴を用いた有機-無機ハイブリット材料のナノパターンング」三澤(A01 計画班)-瀬川(A02 公募班) (図 19)、などが行われた。

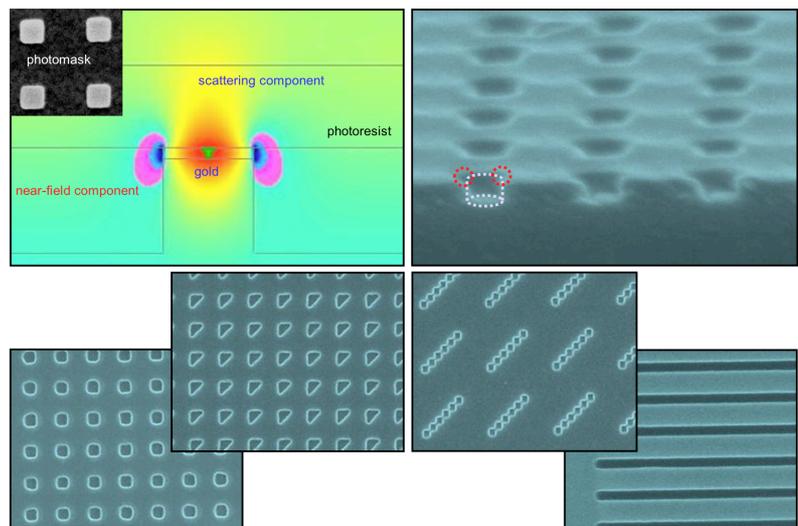


図 18. プラズモニック・ナノ加工 (A01 計画班・三澤, A02 公募班・瀬川) .

### ナノ空間選択的励起を実証する革新的計測技術の開発

「金属ギャップ間のホットサイトを利用したプラズモニック非線形光学効果」三澤 (A01 計画班) は、岡本 (敏) (A01 公募班)とともに金ダイマー構造 (三澤グループ作製) のギャップに生じる光電場増強効果を利用し、微小構造の周りに配置した2次や3次非線形光学材料によって生じる非線形光学特性 (第二高調波 (SHG)、光カー効果) (岡本グループが測定) の低入力パワー動作を目的として研究を行っている。無機の二次非線形光学材料である KTP 基板上に金ナノダイマー構造を三澤グループにより作製し、顕微分光光学系を用いて、数 10 個の金ダイマー近傍の KTP 基板から生じる SH 波を岡本敏グループが観測した。フェムト秒レーザパルス光を照射したときの SH 波強度の入射光波長依存性や、金ダイマー構造のブロックサイズ依存性を解析した結果、金ダイマー構造の局在表面プラズモンが励起される条件で SH 波強度が極大値をとることが明らかとなった。今後は、1 個の金ダイマー構造近傍で生じる SHG を観測し、金ダイマー構造の形状・サイズと SH 波強度の相関関係を詳細に解析することで、SH 波の点光源として動作させるために適した金ナノ構造の設計を検討し、SHG 変換効率の向上を目指す。さらに、光カー媒質の GaAs 基板上に作製した金ダイマーによる光変調動作も観測し、光変調デバイスの低入力動作のための研究に発展させる予定である。その他、「金ナノ粒子配列の顕微光散乱スペクトル測定」朝日(A02 計画班)-杉村(A02 計画班)、「逆ピラミッド型プラズモニック結晶を用いた電気化学界面計測」三澤 (A01 計画班)-八木(A03 公募班)、「フェムト秒近赤外分光法を用いた電場増強ナノ構造体のプラズモンダイナミクスの解明」三澤(A01 計画班)-玉井(A01 公募班)、「電子線リソグラフィ-リフトオフ法で作製した金属ナノ構造における局在電場の近接場イメージング」三澤 (A01 計画班)-岡本(A01 計画班) (図 19)、「高空間分解分光イメージングシステムの構築」笹木(A02 計画班)-三澤(A01 計画班)-村越(A03 計画班)、「電子線描画法で作成した金属ナノ構造における局在電場の近接場イメージング」岡本(A03 計画班)-三澤(A01 計画班)、「金ナノ粒子単粒子膜を被覆した酸化チタン単結晶の電子移動」古部 (A03 公募班)-山田(A03 計画班)、「光照射時の金ナノ粒子近傍ナノ領域の温度計測」坪井 (A03 計画班)-伊藤(A03 公募班)-伊都(A01 協力班)、「」村越(A03 計画班)-三澤(A01 計画班)-池田 (A03 公募班) などが単一分子表面増強ラマン計測行われた。

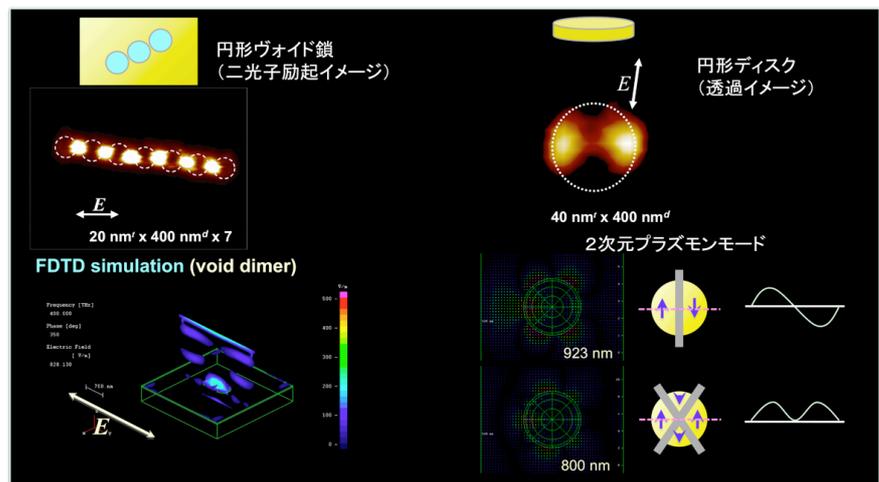


図 19. 近接場イメージング (A03 計画班・岡本, A01 計画班・三澤) .

## 7. 研究成果の取りまとめの状況

### 論文他による成果発表：

次項目に一部リストを掲載してあるように、すでに領域研究開始以来、1190件以上の成果を論文として発表している。そのリストには、最高110回引用された論文を筆頭に、領域研究開始後のこの4年にも満たない期間に50回以上も引用されている複数の論文が含まれている。この事実は、多くの招待講演数、プレス取材回数とあわせて本領域の研究が世界的に認知されており、非常に注目されていることを示している。これまで領域研究開始時の平成19年度より毎年年度末にメンバーの成果発表リストをとりまとめ、各自の代表論文と共に冊子にまとめて発行している。また、冊子体ニュースレターも発行し、国内外の関連シンポジウム開催・参加報告、主要関連論文の紹介などに努めてきた。これら広報誌や冊子体ニュースレターについては、メンバー間で各課題の研究内容および成果を共有し、領域研究の目的に応じた連携が強化する目的を有すると同時に、領域外のメンバーに向けて成果を発信する目的があったが、先の論文の引用回数を始めとした領域研究への注目度より、先の目的が十分果たされていることがうかがえる。これらの他、この分野の世界的な権威であるProf. Mostafa A. El-Sayed (Georgia Institute of Technology)、Prof. George Schatz (Northwestern University)をはじめ領域関連研究の最先端研究者と領域メンバーによる、Elsevier社の学術誌 *J. Photochem. Photobiol. A: Chem*に” Plasmonic Photochemistry”の特集号の編集がすでに終わり間もなく発刊の予定になっている(6月現在 印刷中)。本領域研究の成果を special issue としてとりまとめて世界に向けて発信することによって本領域の存在感がさらに高まることが期待される。

この他、今年度末までにそれぞれの研究課題による研究成果をとりまとめ、成果報告書として発行する科研費予算の申請がすでに採択されている。各研究課題の代表者および分担者による本領域研究に関する論文・著書・国際会議発表・特許などの全リストを業績リストとして発行する予定である。すでに多数の成果が論文化されているが、これから執筆・投稿の予定である共同研究に関する論文等なども数多く予定されている。そのため4年間の研究期間を終えてからも多くの成果が生み出されることが期待される。報告書は、国内外の研究者のみならず企業関係者にも広く配布することを予定しており、成果が社会に広く発信され、本領域が認知されることが期待される。

### 国内外でのシンポジウム開催について：

これまで領域会議の開催を各年2回ずつ行って来た。領域メンバー全員が各自の研究を発表し、領域の目的および各研究課題の研究内容を相互確認するとともに、領域内共同研究を推進してきた。最終年度2011年1月には最終公開シンポジウムを開催し、全研究課題の成果を発表し広く公開した。またPacifichem 2010 でのSymposium #171 The Nanostructure-Enhanced Photochemical Reactionsの開催(2010年12月15日(水)-16日(木))をはじめ、ヨーロッパ、アジアなどの海外でもシンポジウムを主催した。この際、関係分野にてアクティブに活躍する主要な研究者を広い年齢分布にて招待することによって、国内外の関係研究者が集まる環境を形成した。シンポジウムでは、関係分野の最先端研究者と領域メンバーとで最新の研究成果についての情報交換・意見交換を行うとともに本研究領域の現状と展望についての活発な議論を行い、領域研究の推進と広報に努めた。さらに来年2012年6月には、山田財団の支援による Plasmonic Photochemistry 国際シンポジウムの開催が決定済みであり、本領域の総括班が中心現在準備を進めている。本領域研究は、まさに日本発の新しい光化学の研究領域として国際的にも認知されつつあり、これまで得られた数多くの独創的研究成果を世界に向け広く情報発信するための機会とする予定である。この国際シンポジウムに限らず、今後も引き続き種々のシンポジウムを開催することを検討しており、これらによって本領域研究が新しい領域として定着し、日本の光科学研究の優位性を国際的に強くアピール出来ると考えている。

### 「プラズモン化学研究会」発足の準備：

本領域の目的である「プラズモン化学」に関する研究は、今後の重要分野であるが、これを効率的に行い世界に先駆けて真の先進技術とするためには、産・官・学の連携による研究の情報交換が必要不可欠である。領域メンバーが中心となり、各種シンポジウム・プラズモンチュートリアル開催、啓蒙書・専門書の出版、情報ネットワーク共有などを通じて国内外の研究情報交換および産・官・学の共同研究の基礎作りを推進することを目的にプラズモン化学研究会を設立する予定である(本年10月発足予定)。研究会によって上記の情報交換、発信を継続的に行うことにより、本領域研究が日本の先導する新分野としてさらに発展するものと期待される。

## 8. 研究成果の公表の状況 (主な論文等一覧、ホームページ、公開發表等)

### 8-(1) 主な論文等一覧について

研究期間中の領域の発表論文数は、2011年6月17日現在1191件である。そのうち代表論文を以下に挙げる。

【A01 班】

1. Ya-Wei Hao, \*Hai-Yu Wang, Ying Jiang, Qi-Dai Chen, Kosei Ueno, Wen-Quan Wang, Hiroaki Misawa and \*Hong-Bo Sun, "Hybrid states dynamics of gold nanorods/dye J-aggregate under strong coupling", *Angew. Chem. Int. Ed.*, in press 【被引用回数 0】
2. Yukie Yokota, Kosei Ueno, \*Hiroaki Misawa, "Essential Nanogap Effects on Surface-Enhanced Raman Scattering Signals from Closely Spaced Gold Nanoparticles", *Chem. Commun.*, **47**(12), 3505-3507 (2011) 【被引用回数 0】
3. S. Haruta, H. Misawa, K. Ueno, Y. Yokota, H. Uehara, H. Hiratsuka, H. Horiuchi and T. Okutsu, "Protein Crystallization Induced by Strong Photons-molecules Coupling Fields Photochemical Reaction", *J. Photochem. Photobiol. A: Chemistry*, in press (2011) 【レコード無し】
4. Shuyan Gao, Kosei Ueno, and \*Hiroaki Misawa, "Plasmonic Antenna Effects on Photochemical Reactions", *Acc. Chem. Res.*, **44**(4), 251-260 (2011) 【被引用回数 0】
5. Katsuyoshi Ikeda, Kenji Takahashi, Takuya Masuda, \*Kohei Uosaki, "Plasmonic enhancement of photoinduced uphill electron transfer in a molecular monolayer system", *Angew. Chem. Int. Ed.*, **50**, 1280-1284 (2011) 【被引用回数 1】
6. Yukie Yokota, Kosei Ueno, \*Hiroaki Misawa, "Highly Controlled Surface-Enhanced Raman Scattering Analysis Chips Using Nano-Engineered Gold Blocks", *Small*, **7**(2), 252-258 (2010) 【被引用回数 2】
7. Daniel Werner, Akihiro Furube, Toshihiro Okamoto, \*Shuichi Hashimoto, "Femtosecond laser-induced size reduction of aqueous gold nanoparticles: in situ and pump-probe spectroscopy investigations revealing Coulomb explosion", *J. Phys. Chem. C*, **115** (17), 8503-8512 (2011) 【被引用回数 0】
8. \*Takahiro Yokoyama, Akito Masuhara, Tsunenobu Onodera, Hitoshi Kasai, and Hidetoshi Oikawa, "Plasmon-enhanced photopolymerization of SU-8 on rough gold surfaces", *J. Phys. Chem. C*, **114**, 19596-19599 (2010) 【被引用回数 0】
9. \*Motoaki Bamba and Hajime Ishihara, "Entangled-photon generation in nano-to-bulk crossover regime", *Phys. Rev. Lett.*, **105**(12), 123906 (1-4) (2010) 【被引用回数 0】
10. Shu-Chun Yang, Hiromu Kobori, Chieh-Lun He, Meng-Hsien Lin, Hung-Ying Chen, Cuncheng Li, Masayuki Kanehara, Toshiharu Teranishi, and \*Shangjr Gwo, "Plasmon hybridization in individual gold nanocrystal dimers: Direct observation of bright and dark modes", *Nano Lett.*, **10**(2), 632-637 (2010) 【被引用回数 15】
11. Nobuyuki Sakai and \*Tetsu Tatsuma, "Photovoltaic properties of glutathione-protected gold clusters adsorbed on TiO<sub>2</sub> electrodes", *Adv. Mater.*, **22**(29), 3185-3188 (2010) 【被引用回数 5】
12. \*Masayoshi Ichimiya, Masaaki Ashida, Hideki Yasuda, Hajime Ishihara, Tadashi Itoh, "Observation of superradiance by nonlocal wave coupling of light and excitons in CuCl thin films" *Phys. Rev. Lett.*, **103**(25), 257401 (2009) 【被引用回数 5】
13. \*Masayuki Kanehara, Hayato Koike, Taizo Yoshinaga, and \*Toshiharu Teranishi, "Indium tin oxide nanoparticles with compositionally tunable surface plasmon resonance frequencies in the near-IR region", *J. Am. Chem. Soc.*, **131**(49), 17736-17737 (2009) 【被引用回数 11】
14. \*Takayuki Okamoto, Janne Simonen, and Satoshi Kawata, "Plasmonic crystal for efficient energy transfer from fluorescent molecules to long-range surface plasmons", *Opt. Express*, **17**(10), 8294-8301 (2009) 【被引用回数 5】
15. \*Takeshi Tsuji, Takeshi Mizuki, Shogo Ozono, Masaharu Tsuji, "Laser-induced silver nanocrystal formation in polyvinylpyrrolidone solutions", *J. Photochem. Photobiol. A*, **206**(2-3), 134-139 (2009) 【被引用回数 3】
16. \*T. Mitsui, Y. Wakayama, T. Onodera, Y. Takaya, and H. Oikawa, "Light Propagation through Colloidal Crystal Wire Fabricated by Dewetting Process", *Nano Lett.*, **8**, 853-858 (2008) 【被引用回数 17】
17. Kazuki Matsubara and \*Tetsu Tatsuma, "Morphological changes and multicolor photochromism of Ag nanoparticles deposited on single-crystalline TiO<sub>2</sub> surfaces", *Adv. Mater.*, **19**(19), 2802-2806 (2007) 【被引用回数 39】

上記 17 報を含め合計 390 報の論文発表を行った。

【A02 班】

1. "Silver-nanoparticle-assisted photocurrent generation in polythiophen-fullerene thin films", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **50**, 04DK22-1-04DK22-4 (2011) 【被引用回数 0】
2. Arnaud Spangenberg, Rémi Métivier, Julie Gonzalez, \*Keitaro Nakatani, \*Pei Yu, Marion Giraud, Anne Léaustic, Régis Guillot, Takayuki Uwada, \*Tsuyoshi Asahi, "Multiscale approach of photochromism: Synthesis and photochromic properties of a diarylethene in solution, in nanoparticles, and in bulk crystals", *Adv. Mater.*, **21**(3), 309-313 (2009) 【被引用回数17】
3. \*Hiroyo Segawa, Kosei Ueno, Yukie Yokota, Hiroaki Misawa, Tetsuji Yano, Shuichi Shibata, "Nano-Patterning of a TiO<sub>2</sub>-Organic Hybrid Material Assisted by a Localized Surface Plasmon", *J. Am. Ceram. Soc.*, **93** 1634-1638 (2010). 【被引用回数 1】
4. Toshiaki Kondo, Hayato Miyazaki, Kazuyuki Nishio, \*Hideki Masuda, "Surface-enhanced Raman scattering on multilayered nanodot arrays obtained using anodic porous alumina mask", *J. Photochem. Photobiol. A*, in press 【レコード無し】
5. Kazuyuki Nishio, \*Hideki Masuda, "Anodization of gold in oxalate solution to form a nanoporous black film", *Angew. Chem. Int. ed.*, **50**(7), 1603-1607 (2011) 【被引用回数 0】
6. Shahrul Kadri, Hideki Fujiwara, and \*Keiji Sasaki, "Fano-like resonance in an optically driven atomic force microscope cantilever", *Opt. Exp.*, **19**(3), 2317-2324 (2011) 【被引用回数 0】
7. Xiaoqiang Cui, \*Keiko Tawa, Kenji Kintaka, and Junji Nishii, "Enhanced fluorescence microscopic imaging by plasmonic nanostructures: from a 1D grating to a 2D nanohole array", *Adv. Func. Mat.*, **20**, 945-950 (2010) 【被引用回数 3】
8. Hiroyuki Sugimura\*, Sin-ichiro Nanjo, Hikaru Sano and Kuniaki Murase, "Gold nanoparticle arrays fabricated on a silicon substrate covered with a covalently bonded alkyl monolayer by electroless plating combined with scanning probe anodization lithography" *J. Phys. Chem. C*, **113**(27), 11643-11646 (2009) 【被引用回数 0】
9. Toshiaki Kondo, Kazuyuki Nishio, \*Hideki Masuda, "Surface-enhanced Raman scattering in multilayered Au nanoparticles in anodic porous alumina matrix", *Appl. Phys. Express*, **2**, 032001 (2009) 【被引用回数 0】
10. Miki Ishifuji, \*Masaya Mitsuishi, Tokuji Miyashita "Bottom-up design of hybrid polymer nanoassemblies elucidates plasmon-enhanced second harmonic generation from nonlinear optical dyes" *J. Am. Chem. Soc.*, **131**(12), 4418-4424 (2009) 【被引用回数 5】
11. Guillaume Louit, \*Tsuyoshi Asahi, Go Tanaka, Takayuki Uwada, Hiroshi Masuhara, "Spectral and 3-dimensional tracking of single gold nanoparticles in living cells studied by rayleigh light scattering microscopy", *J. Phys. Chem. C*, **113**(27), 11766-11772 (2009) 【被引用回数 7】
12. \*I. Mora-Seró, S. Giménez, F. Fabregat-Santiago, R. Gómez, Q. Shen, \*T. Toyoda, and \*J. Bisquert, "Recombination in quantum dot sensitized solar cells" *Acc. Chem. Res.*, **42**, 1848-1857 (2009) 【被引用回数 52】
13. Hiroshi Imahori,\* Tomokazu Umeyama, and Seigo Ito, "Large  $\pi$  aromatic molecules as potential sensitizers in dye-sensitized solar cells", *Acc. Chem. Res.* **42**, 1809-1818 (2009) 【被引用回数 83】
14. \*Shinji Hayashi, Yohei Takeuchi, Shinichi Hayashi, and Minoru Fujii, "Quenching-free fluorescence enhancement on nonmetallic particle layers: Rhodamine B on GaP particle layers", *Chem. Phys. Lett.*, **480**, 100-104 (2009) 【被引用回数 2】
15. Takashi Yanagishita, Kazuyuki Nishio, \*Hideki Masuda, "Two dimensional photonic crystal composed of ordered polymer nanopillar arrays with high aspect ratios using anodic porous alumina templates", *Appl. Phys. Express*, **1**, 12002 (2008) 【被引用回数 1】
16. \*Keiko Tawa, Hironobu Hori, Kenji Kintaka, Kazuyuki Kiyosue, Yoshiro Tatsu and Junji Nishii, "Optical microscopic observation of fluorescence enhanced by grating-coupled surface plasmon resonance", *Optics Express*, **16**, 9781-9790 (2008) 【被引用回数 15】
17. Om P. Khatrri, Kuniaki Murase, and Hiroyuki Sugimura\*, "Structural Organization of Gold Nanoparticles onto the ITO Surface and Its Optical Properties as a Function of Ensemble Size", *Langmuir*, **24**(8), 3787-3793 (2008) 【被引用回数 19】
18. \*Yoshinao Wada, Takashi Yanagishita, Hideki Masuda, "Ordered porous alumina geometries and surface metals for surface-assisted laser deposition/ionization of biomolecules: possible mechanistic implications of metal surface melting", *Anal. Chem.*, **79**(23), 9122-9127 (2007) 【被引用回数 23】
19. T. Nagata, R. Okamoto, J. O'Brien, Keiji Sasaki and \*S. Takeuchi, "Beating the standard quantum limit with four entangled photons", *Science*, **316**, 726-729 (2007) 【被引用回数 110】

上記 19 報を含めて 392 報の論文発表を行った。

【A03 班】

1. Kohei Imura, Kosei Ueno, Hiroaki Misawa, \*Hiroimi Okamoto, "Anomalous light transmission from plasmonic capped nano-apertures", *Nano Lett.*, **11**, 960-965 (2011) 【被引用回数 0】
2. Fumika Nagasawa, Mai Takase, Hideki Nabika and Kei Murakoshi \*, "Polarization characteristics of surface-enhanced Raman scattering from a small number of molecules at the gap of a metal nano-dimer" *Chem. Commun.*, **47**, 4514-4516 (2011) 【被引用回数 0】
3. Jing You, Taichi Arakawa, Takatoshi Munaoka, Tsuyoshi Akiyama, Yukina Takahashi, and \*Sunao Yamada, "Silver-nanoparticle-assisted photocurrent generation in polythiophen-fullerene thin films", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **50**, 04DK22-1-04DK22-4 (2011) 【被引用回数 0】
4. Tsuyoshi Akiyama, Kenta Aiba, Kazuko Hoashi, Meng Wang, Kosuke Sugawa, \*Sunao Yamada, "Enormous enhancement in photocurrent generation using electrochemically fabricated gold nanostructures", *Chem. Commun.*, **46**(2), 306-308 (2010) 【被引用回数 3】
5. Yoshifumi Okuno, Koji Nishioka, Ayaka Kiya, Naotoshi Nakashima, Ayumu Ishibashi, and Yasuro Niidome\*, "Uniform and Controllable Preparation of Au-Ag Core-Shell Nanorods using Anisotropic Silver Shell Formation on Gold Nanorods", *Nanoscale*, **2**(8), 1489-1494 (2010). 【2】
6. Yuqiang Jiang, Tetsuya Narushima, \*Hiroimi Okamoto, "Nonlinear optical effects in trapping nanoparticles with femtosecond pulses", *Nature Phys.* **6**, 1005-1009 (2010) 【被引用回数 0】
7. Kosuke Sugawa, Tsuyoshi Akiyama, Hirofumi Kawazumi, and \*Sunao Yamada, "Plasmon-enhanced photocurrent generation from self-assembled monolayers of phthalocyanine by using gold nanoparticle films", *Langmuir*, **25**, 3887-3893 (2009) 【被引用回数 11】
8. Taichi Arakawa, Takatoshi Munaoka, Tsuyoshi Akiyama, \*Sunao Yamada, "Effects of silver nanoparticles on photoelectrochemical responses of organic dyes", *J. Phys. Chem. C*, **113** (27), 11830-11835 (2009) 【被引用回数 6】
9. \*Hiroimi Okamoto, Kohei Imura, "Near-field optical imaging of enhanced electric fields and plasmon waves in metal nanostructures", *Prog. Surf. Sci.*, **84**, 199-229 (2009) 【被引用回数 6】
10. Ken-ichi Okazaki, Jun-ichi Yasui, and \*Tsukasa Torimoto, "Electrochemical deposition of gold frame structure on silver nanocubes", *Chem. Commun.*, (20), 2917-2919 (2009) 【被引用回数 2】
11. Baku Takimoto, Hideki Nabika, Kei Murakoshi\*, "Enhanced emission from photoactivated silver clusters coupled with localized surface plasmon resonance", *J. Phys. Chem. C*, **113**(27), 11751-11755 (2009) 【被引用回数 9】
12. \*Yasuyuki Tsuboi, Ryosuke Shimizu, Tatsuya Shoji, and Noboru Kitamura, "Near-Infrared CW Light can Drive 2-Photonic Photochromism with a Great Help from Localized Surface Plasmon", *J. Am. Chem. Soc.* **131**, 12623-12627 (2009) 【被引用回数 11】
13. Li Wang, Yoshiaki Nishijima, Kosei Ueno, Hiroaki Misawa, and \*Naoto Tamai, "Near-IR Vibrational Dynamics of Periodic Gold Single and Pair Nanocuboids", *Appl. Phys. Lett.*, **95**, 053116-1 – 053116-3 (2009). 【被引用回数 2】
14. Luchao Du, Akihiro Furube,\* Kazuhiro Yamamoto, Kohjiro Hara, Ryuzi Katoh, and M. Tachiya, "Plasmon-induced charge separation and recombination dynamics in gold-TiO<sub>2</sub> nanoparticle systems: Dependence on TiO<sub>2</sub> particle size ", *J. Phys. Chem. C*, **113** (16), 6454-6462 (2009) 【被引用回数 12】
15. Ken-ichi Okazaki, Tomonori Kiyama, Kaori Hirahara, Nobuo Tanaka, Susumu Kuwabata and \*Tsukasa Torimoto, "Single-step synthesis of gold-silver alloy nanoparticles in ionic liquids by a sputter deposition technique", *Chem. Commun.*, (6), 691-693 (2008) 【被引用回数 34】
16. Hideki Nabika, Naozumi Iijima, Baku Takimoto, Kosei Ueno, Hiroaki Misawa, and Kei Murakoshi\*, "Segregation of Molecules in Lipid Bilayer Spreading through Metal Nano-gates", *Anal. Chem.*, **81** (2), 699-704 (2008) 【被引用回数 7】
17. Koji Nishioka, Yasuro Niidome, and \*Sunao Yamada, "Photochemical reactions of ketones to synthesize gold nanorods", *Langmuir*, **23**, 10353-10356 (2007) 【被引用回数 24】
18. Ken-ichi Matsuoka, Hidetaka Seo, Tsuyoshi Akiyama, and \*Sunao Yamada, "Fabrication of a novel photoelectric conversion device consisting of a poly-3-dodecylthiophene film and C60 fullerene-ethylenediamine nanoparticles", *Chem. Lett.*, **36** (7), 934-935 (2007) 【被引用回数 2】
19. Luchao Du, Akihiro Furube,\* Kazuhiro Yamamoto, Kohjiro Hara, Ryuzi Katoh, and M. Tachiya "Plasmon-induced charge separation and recombination dynamics in gold-TiO<sub>2</sub> nanoparticle systems: Dependence on TiO<sub>2</sub> particle size ", *J. Phys. Chem. C*, **113**(16), 6454-6462 (2009) 【被引用回数 12】

上記 19 報を含めて 409 報の論文発表を行った。

【共同研究による論文発表】

領域内の班内・班間共同研究により合計61報の論文が投稿済みである。以下、すでに受理済みの論文の抜粋を挙げる。

1. Li Wang, Yoshiaki Nishijima, Kosei Ueno, Hiroaki Misawa, and \*Naoto Tamai, "Plasmon coupling and coherent acoustic phonon dynamics of periodic gold pair nanocuboids by near-IR transient absorption spectroscopy", *J. Photochem. Photobiol. A*, in press (2011) doi:10.1016/j.jphotochem.2011.02.023
2. \*Takeshi Tsuji, Masaharu Tsuji, Shuichi Hashimoto, "Utilization of laser ablation in aqueous solution for observation of photoinduced shape conversion of silver nanoparticles in citrate solutions", *J. Photochem. Photobiol. A*, in press (2011)
3. Hiroyasu Nishi, Tsuyoshi Asahi, \*Seiya Kobatake, "Enhanced photocycloreversion reaction of diarylethene polymers attached to gold nanoparticles in the solid state", *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, in press (2011)
4. Ryohei Yasukuni, Guillaume Laurent, Ken-ichi Okazaki, Makoto Oki, Tsukasa Torimoto, Tsuyoshi Asahi\*, "Modification of Excimer Emission of Perylene Dye Thin Films by Single Silver Nanocubes", *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.* in press (2011)
5. \*Yasuyuki Tsuboi, Ryosuke Shimizu, Tatsuya Shoji, Noboru Kitamura, Mai Takase, Kei Murakoshi, "Acceleration of a Photochromic Ring-Opening Reaction of a Diarylethene Derivatives by Excitation of Localized Surface Plasmon", *J. Photochem. Photobiol. A Chem.* in press (2011)
6. Kohei Imura, Kosei Ueno, Hiroaki Misawa, and \*Hiromi Okamoto, "Anomalous Light Transmission from Plasmonic Capped Nano-apertures", *Nano Lett.*, **11**(3), 960-965 (2011).
7. Y. Tanaka, H. Ishiguro, H. Fujiwara, Y. Yokota, K. Ueno, H. Misawa, K. Sasaki, "Direct Imaging of Nanogap-Mode Plasmon-Resonant Fields", *Opt. Express*, **19**, 8, 7726-7733 (2011).
8. \*Teruki Sugiyama and \*Tsuyoshi Asahi, "Smallest organic nanocolloids fabricated by a top-down method based on laser ablation", *Chem. Rec.*, **11**, 54-58 (2011)
9. Daniel Werner, Akihiro Furube, Toshihiro Okamoto, \*Shuichi Hashimoto, "Femtosecond laser-induced size reduction of aqueous gold nanoparticles: in situ and pump-probe spectroscopy investigations revealing Coulomb explosion", *J. Phys. Chem. C*, **115** (17), 8503-8512 (2011).
10. \*Takeshi Tsuji, Takeshi Mizuki, Masato Yasutomo, Masaharu Tsuji, Hideya Kawasaki, Tetsu Yonezawa, Fumitaka Mafune, "Efficient fabrication of substrates for surface-assisted laser desorption/ionization mass spectrometry using laser ablation in liquids", *Appl. Surf. Sci.*, **257**(6), 2046 - 2050 (2011)
11. Hiroyasu Nishi, Tsuyoshi Asahi, \*Seiya Kobatake, "Enhanced one-photon cycloreversion reaction of diarylethenes near individual gold nanoparticles", *J. Phys. Chem. C*, **115**(11), 4564-4570 (2011).
12. Akiyoshi Kasuya, Yuki Itoh, Tetsuo Okada, Masatoshi Osawa, Yukina Takahashi, Emiko Kazuma, Tetsu Tatsuma, and \*Takeshi Hasegawa, "Anisotropic light absorption by localized surface plasmon resonance in a thin film of gold nanoparticles studied by visible multiple-angle incidence resolution spectrometry", *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **13**, 9691-9696 (2011).
13. Li Wang, Ayaka Kiya, Yoshifumi Okuno, Yasuro Niidome, and \*Naoto Tamai, "Ultrafast Spectroscopy and Coherent Acoustic Phonon of Au-Ag Core-Shell Nanorods", *J. Chem. Phys.*, **134**, 054501-1-054501-6 (2011)
14. \*Takeshi Tsuji, Kosei Ueno, Yukie Yokota, Masaharu Tsuji, Hiroaki Misawa, "Influence of localized surface plasmon resonance on shape changes of nanostructures: Investigation using metal nanoblocks in halide solutions", *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.* **212**(1), 20 - 26 (2010).
15. \*Hiroyo Segawa, Kosei Ueno, Yukie Yokota, Hiroaki Misawa, Tetsuji Yano, and Shuichi Shibata, "Nano-patterning of a TiO<sub>2</sub>-organic Hybrid Material Assisted by Localized Surface Plasmon", *J. Am. Ceram. Soc.*, **93**(6), 1634-1638 (2010).
16. Ken-ichi Yuyama, Teruki Sugiyama, Tsuyoshi Asahi, Sen-ichi Ryo, Isamu Oh, and \*Hiroshi Masuhara, "Nanoparticle preparation of quinacridone and *beta*-carotene using near-infrared laser ablation of their crystals", *Appl. Phys. A*, **101**, 591-596 (2010)
17. \*Yasuyuki Tsuboi, Tatsuya Shoji, Noboru Kitamura, Mai Takase, Kei Murakoshi, Yoshihiko Mizumoto, and Hajime Ishihara, "Optical Trapping of Quantum Dots Based on Gap-Mode Excitation of Localized Surface Plasmon", *J. Phys. Chem. Letters*, Vol. 1, 2327-2333 (2010).
18. \*Yasutaka Kitahama, Yuhei Tanaka, Tamitake Itoh, Yukihiro Ozaki, "Power-law analysis of surface-plasmon-enhanced electromagnetic field dependence of blinking SERS of thiocyanine or thiocarbocyanine adsorbed on single silver nanoaggregates", *Phys. Chem. Chem. Phys.* **13**(16), 7439-7448 (2010).
19. \*Yasutaka Kitahama, Akari Ogawa, Yuhei Tanaka, Safwan Obeidat, Tamitake Itoh, Mitsuru Ishikawa, Yukihiro Ozaki, "Difference in time dependence of surface-enhanced Raman scattering spectra of thiocarbocyanine J- and H-aggregates adsorbed on single silver nanoaggregates" ,

- Chem. Phys. Lett.*, **493**(4-6), 309-313 (2010)
20. Ken-ichi Yoshida, \*Tamitake Itoh, Hiroharu Tamaru, Vasudevanpillai Biju, Mitsuru Ishikawa, Yukihiro Ozaki, "Quantitative evaluation of electromagnetic enhancement in surface-enhanced resonance Raman scattering from plasmonic properties and morphologies of individual Ag nanostructures", *Phys. Rev. B*, **81**(11), 115406 (2010)
  21. Hideki Nabika, Naozumi Iijima, Baku Takimoto, Kosei Ueno, Hiroaki Misawa, \*Kei Murakoshi, "Segregation of Molecules in Lipid Bilayer Spreading through Metal Nanogates", *Anal. Chem.*, **81**, 2, 699-704 (2009).
  22. \*Teruki Sugiyama, Sen-ichi Ryo, Isamu Oh, \*Tsuyoshi Asahi, and Hiroshi Masuhara\*, "Nanosecond laser preparation of C<sub>60</sub> aqueous nanocolloids", *J. Photochem. Photobiol. A: Chemistry*, **207** (1), 7-12 (2009)
  23. Manabu Kiguchi, Takuya Takahashi, Masayuki Kanehara, Toshiharu Teranishi, \*Kei Murakoshi, "Effect of End Group Position on the Formation of a Single Porphyrin Molecular Junction", *J. Phys. Chem. C*, **113**, 9014-9017 (2009)
  24. Hiroyasu Nishi, Tsuyoshi Asahi, \*Seiya Kobatake, "Light-controllable surface plasmon resonance absorption of gold nanoparticles covered with photochromic diarylethene polymers", *J. Phys. Chem. C*, **113**(40), 17359-17366 (2009)
  25. Yoshiaki Nishijima, Kosei Ueno, Saulius Juodkazis, Vygantas Mizeikis, Hideki Fujiwara, Keiji Sasaki, and \*Hiroaki Misawa, "Lasing with well-defined cavity modes in dye-infiltrated silica inverse opals", *Opt. Express*, **17**(4), 2976-2983 (2009)
  26. Ken-ichi Yoshida, \*Tamitake Itoh, Vasudevanpillai Biju, Mitsuru Ishikawa, Yukihiro Ozaki, "Spectral shapes of surface-enhanced resonance Raman scattering sensitive to the refractive index of media around single Ag nanoaggregates", *Appl. Phys. Lett.*, **95**(26), 263104 (2009)
  27. \*Yasutaka Kitahama, Tamitake Itoh, Jun-ichi Aoyama, Kentaro Nishikata, Yukihiro Ozaki, "SERRS fiber probe: fabrication of silver nanoparticles at the aperture of an optical fiber used for SNOM", *Chem. Commun.*, (43), 6563-6565 (2009)
  28. XiaoXia Han, Yasutaka Kitahama, Tamitake Itoh, C.X. Wang, \*Bing Zhao, \*Yukihiro Ozaki, "Protein-mediated sandwich strategy for surface-enhanced Raman scattering: application to versatile protein detection", *Anal. Chem.*, **81**(9), 3350-3355 (2009)
  29. \*Koji Hatanaka, Takahito Ida, Hiroshi Ono, Shin-ichi Matsushima, \*Hiroshi Fukumura, Saulius Juodkazis and Hiroaki Misawa, "Chrip Effect in Hard X-ray Generation from Liquid Target When Irradiated by Femtosecond Pulses", *Opt. Express*, **16**, 17, 12650-12657 (2008).
  30. \*Tsuyoshi Asahi, Teruki Sugiyama, and \*Hiroshi Masuhara, "Laser fabrication and spectroscopy of organic nanoparticles", *Acc. Chem. Res.*, **41** (12), 1790-1798 (2008)
  31. Ryohei Yasukuni, Tsuyoshi Asahi, Teruki Sugiyama, Hiroshi Masuhara, Michel Sliwa, Johan Hofkens, Frans C. De Schryver, Mark Van der Auweraer, A. Herrmann, and Klaus Müllen, "Fabrication of fluorescent nanoparticles of dendronized peryleneimide by laser ablation", *Appl. Phys. A*, **93**, 5-9 (2008)
  32. Kosei Ueno, Saulius Juodkazis, Toshiyuki Shibuya, Yukie Yokota, Vygantas Mizeikis, Keiji Sasaki, and \*Hiroaki Misawa, "Nanoparticle Plasmon-Assisted Two-Photon Polymerization Induced by Incoherent Excitation Source", *J. Am. Chem. Soc.*, **130**(22), 6928-6929 (2008)
  33. Om Prakash Khatri, Kosaku Adachi,; Kuniak Murase, Ken-ichi Okazaki, Tsukasa Torimoto, Nobuo Tanaka, Susumu Kuwabata, and Hiroyuki Sugimura\* , "Self-Assembly of Ionic Liquid (BMI-PF6)-Stabilized Gold Nanoparticles on a Silicon Surface: Chemical and Structural Aspects", *Langmuir*, **24**(15), 7785-7792 (2008)
  34. Syu-ichi Hashimoto\*, Takayuki Uwada, Hiroshi Masuhara, Tsuyoshi Asahi, "Fabrication of gold nanoparticle-doped zeolite L crystals and characterization by optical microscopy: Laser ablation and crystallization inclusion-based approach", *J. Phys. Chem. C*, **112**(39), 15089-15093 (2008)
  35. Fumiaki Amano, Akira Yamakata, Kohei Nogami, Masatoshi Osawa, and \*Bunsho Ohtani, "Visible Light Responsive Pristine Metal Oxide Photocatalyst: Enhancement of Activity by Crystallization under Hydrothermal Treatment", *J. Am. Chem. Soc.*, **130**, 17650-17651 (2008)
  36. \*Kenji Kamada, Yoshihiko Tanamura, Kosei Ueno, Koji Ohta and Hiroaki Misawa, "Enhanced Two-Photon Absorption of Chromophores Confined in Two-dimensional Nanospace", *J. Phys. Chem. C*, **111**, 11193-11198 (2007).
  37. Y. Niidome, K. Honda, K. Higashimoto, H. Kawazumi, S. Yamada, N. Nakashima, Y. Sasaki, Y. Ishida, J. Kikuchi, "Surface Modification of Gold Nanorods with Synthetic Cationic Lipids", *Chem. Commu.*, **36**, 3777-3779 (2007)
  38. K. Nishioka, Y. Niidome, S. Yamada, "Photochemical Reactions of Ketones to Synthesize Gold Nanorods", *Langmuir*, **23**, 10353-10356 (2007)

## 8-(2) ホームページについて

領域のホームページを作成し、研究の成果の公開を行っている。メンバーリストには専門アクティビティや研究キーワードを掲載し、各メンバーの研究内容がわかりやすいようにしている他、領域メンバーの研究内容を広く理解していただくため、全メンバーがWEBニュースレターを執筆し公開している。またメンバーの成果発表リストだけでなく、受賞や新聞掲載情報も掲載し、研究成果を公開した。その結果、2009年9月の公開から2011年6月までに296,800回のページアクセスがあった。特にメンバーページやシンポジウム案内ページ、WEBニュースレターのページのアクセスが多く、メンバーの具体的な研究内容・成果に関する関心の高さがうかがえる。

## 8-(3) 公開發表について

### 8-(3)-1 領域主催公開シンポジウムにおける成果公開

領域メンバー全員による公開の成果発表会を5回開催し、メンバー全員が研究成果を発表した。

#### 第1回公開シンポジウム 参加者数：114名

開催日：2007年10月2日(火) 14:00-17:30 会場：学会館(東京都千代田区神田錦町3-28)

【内容】研究課題に関する口頭発表 | 「領域代表 三澤弘明・北大電子研、A01 班長：三澤弘明(北大)、A02 班長：益田秀樹(首都大)」、A03 班長：山田 淳(九大)、A01：石原 一(阪府大)、A01：立間 徹(東大)、A02 笹木敬司(北大)、A03：岡本裕巳(分子研)

#### 第2回公開シンポジウム 参加者数：130名

開催日：2008年2月2日(土) 14:00-3日(日) 12:50 会場：東京大学生産技術研究所 An 棟コンベンションホール

【内容】研究課題に関する口頭発表 | A01：三澤弘明(北大)『平成19年度 A01 班成果報告』、A01：及川英俊(東北大)、A01：寺西利治(筑波大)、益田秀樹(首都大)『平成19年度 A02 班成果報告』、A02：西井準治(産総研)、A02：杉村博之(京大)、山田 淳(九大)『平成19年度 A03 班成果報告』、A03：鳥本 司(名大)、A03：村越 敬(北大)、 | 全メンバーによる研究課題に関するポスター発表およびポスター発表フラッシュトーク、一般講演申込者からのポスター発表

#### 第4回公開シンポジウム 参加者数：140名

開催日：2009年1月24日(土) 14:00-25日(日) 16:00 会場：名古屋大学野依記念学術交流館

【内容】研究課題に関する口頭発表 | A01：三澤弘明(北大電子研)「A01 班成果説明」、A01：寺西利治(筑波大)、A01：池田勝佳(北大)、A02：益田秀樹(首都大都市環境)「A02 班成果説明」、A02：西井準治(産総研)、A02：尾崎雅則(阪大)、A02：三ツ石方也(東北大)、A03：山田淳(九大院工)「A03 班成果説明」、A03：坪井泰之(北大)、A03：田丸博晴(東大)、A01：奥津哲夫(群馬大)、A03：古部昭広(産総研) | 全メンバーによる研究課題に関するポスター発表およびポスター発表フラッシュトーク、一般講演申込者からのポスター発表

#### 第6回公開シンポジウム 参加者数：122名

開催日：2010年1月29日(金) 13:00-1月30日(土) 16:00 会場：九州大学西新プラザ 参加者数：122名

【内容】口頭発表 | A01：三澤弘明(北大電子研)「A01 班成果説明」、A01：池田勝佳(北大)、A01：小島誠也(阪市大)、A02：益田秀樹(首都大都市環境)「A02 班成果説明」、A02：笹木敬司(北大)、A02：八木一三(産総研)、A03：山田淳(九大院工)「A03 班成果説明」、A03：鳥本 司(名大)、A03：長村利彦(九大)、A01：寺西利治(筑波大院数理)、A02：林 真至(神戸大)、A03：尾崎幸洋(関学大) | 全メンバーによるポスター発表およびポスター発表フラッシュトーク

#### 第8回公開シンポジウム 参加者数：166名

開催日：2011年1月27日(木) 9:00-18:00 / 28日(金) 13:30-18:00 会場：日本科学未来館 みらいCANホール

【内容】研究課題に関する口頭発表 | A01：三澤弘明(北大電子研)「A01 班成果説明」A02：益田秀樹(首都大都市環境)「A02 班成果説明」、A03：山田淳(九大院工)「A03 班成果説明」、A01：小島誠也(阪市大)、A03：玉井尚登(関学大)、A03：岡本裕巳(分子研)」、A01：石原 一(阪府大)、A03：坪井泰之(北大院)、A01：立間徹(東大)、A02：笹木敬司(北大)、A02：西井 準治(北大)、A01：奥津 哲夫(群馬大)、A01：寺西利治(筑波大) その他 | 全メンバーによるポスター発表およびポスター発表フラッシュトーク

### 8-(3)-2 他領域との合同シンポジウム

新学術領域研究「半導体における動的相関電子系の光科学」領域と合同でシンポジウムを開催し、両領域の最新の研究成果についての発表および討論を行い、関連学術分野への発信および研究成果の共有を図った。

#### 特定領域研究「光一分子強結合反応場の創成」領域 および新学術領域研究「半導体における動的相関電子系の光科学」領域との合同でシンポジウム 参加者数：168名

開催日：2010年5月27日(木) 13:00-28日(金) 15:00 会場：日本科学未来館みらいCANホール

【内容】口頭発表 | 本領域研究課題に関する口頭発表：A01:三澤弘明(北大)、「A02:益田秀樹(首都大)、A03:山田 淳(九大)、A01:石原 一(阪府大)、A01:寺西利治(筑波大)、A03:鳥本 司(名大)、A03:村越 敬(北大)」「新学術領域研究「半導体における動的相関電子系の光科学」口頭発表者(敬称略)：五神真(東大院工)、金光義彦(京

大化研)、小川哲生(阪大院理)、鈴木秀勝(北大院工)、田中耕一郎(京大iCeMS)、野村晋太郎(筑波大院数理物質)、秋山英文(東大物性研)、その他|両領域メンバーによるポスター発表

### 8-(3)-3 海外での主催シンポジウム

領域内のシンポジウムに加え、海外での領域主催シンポジウムを行い、国内外の研究者との意見交換を行うとともに海外に向けて領域の研究成果を発信した。

#### International Symposium on Advances in Nanostructure-Enhanced Photochemical Reactions and Photoenergy Conversion 参加者数: 45名

開催日: 2009年7月16日(木)-17日(金) 会場: Faculty Club, ベルギー・ルーバン

【内容】口頭発表|領域口頭発表者:A01: 三澤弘明(北大)、A01: 寺西利治(筑波大)、A01: 及川英俊(東北大)、A01: 石原一(阪府大)、A02: 笹木敬司(北大)、A02: 田和圭子(産総研)、A03: 村越敬(北大)、A02: 朝日剛(愛媛大)、A03: 坪井泰之(北大)、A03: 山田淳(九大)、A03: 鳥本司(名古屋大)、A02: 近藤敏彰(神奈川アカデミー)、A03: 岡本裕巳(分子研)、A01: 橋本修一(徳島大)

領域外講演者(敬称略): Elke Scheer (Germany), Cyriaque Genet (CNRS, France), Frank Jäckel (Ludwig-Maximilians-Universität München, Germany), Paul Mulvaney (University of Melbourne, Australia), Victor V. Moshchalkov (Katholieke Universiteit Leuven, Belgium), Gustaaf Borghs (Katholieke Universiteit Leuven, Belgium), Hiroshi Uji-I (Katholieke Universiteit Leuven, Belgium)

その他|ポスター発表

#### Pacificchem 2010 Symposium #171 The Nanostructure-Enhanced Photochemical Reactions

参加人数: オープンシンポのため人数はカウントせず。100名着席の会場にほぼ常時立ち見あり。

開催日: 2010年12月15日(水)-16日(木)

会場: The Sheraton Waikiki(Oral), Convention Center(Poster), Honolulu, Hawaii, USA

【内容】口頭発表|メンバー口頭発表者 A02 瀬川浩代(物質・材料研究機構)、A02 八木一三(産総研)、A01 三澤弘明(北大)、A02 笹木敬司(北大)、A02 益田秀樹(首都大)、A02 杉村博之(京大)、A03 岡本裕巳(分子研)、A01 奥津哲夫(群馬大)、A01 石原一(阪府大)、A02 西井準治(北大)、A01 伊藤民武(産総研)、A03 村越敬(北大)、A01 辻剛志(九大)、A03 新留康郎(九大)、A03 玉井尚登(関学大)、A01 小島誠也(阪市大)、A03 山田淳(九大)、A01 池田勝佳(北大)、A01 寺西利治(筑波大)、A03 鳥本司(名古屋大)、A03 坪井泰之(北大)、A02 朝日剛(愛媛大)、A01 及川英俊(東北大)

領域外講演者(敬称略): G. C. Schatz (Northwestern University, USA), C. Genet; T. W. Ebbesen (CNRS, France), S. Gwo (National Tsing-Hua University, Taiwan), H. Johan; H. Uji-I (K.U.Leuven, Belgium), H. Masuhara; T. Uwada (National Chiao Tung University, Nara Institute of Science and Technology, Taiwan), K. Ghiggino (University of Melbourne, Australia), J. A. Hutchison; T. W. Ebbesen (Université de Strasbourg, France), C. Mirkin (Northwestern University, USA), M. El-Sayed (Georgia Institute of Technology, USA), M. Meunier; E. Boulais; J. Baumgart; R. Lachaine (Ecole Polytechnique, Canada), P. Mulvaney (University of Melbourne, Australia), T. W. Odom (Northwestern University, USA) G. Scholes; C. Y. Wong; H. Zhong; J. He (University of Toronto, Canada), P. V. Kamat; I. Lightcap; A. Wojcik; K. Vinodgopa (University of Notre Dame, USA), N. J. Halas (Rice University, USA), S. Link (Rice University, USA) その他|ポスター発表

### 8-(3)-4 国内学会でのシンポジウム開催および領域共催シンポジウム

国内学会年次大会が公募するシンポジウムに積極的に申請し、領域に関連した国内学協会会員に向けて領域の成果を発信した。日本化学会、応用物理学会、日本光学会年次学会での本領域メンバーによるシンポジウムを各学会3回開催した。また分子科学研究所等各機関やメンバー主催シンポジウムを共催にて開催した。

共催国際会議: The 2nd Japan-Taiwan Joint Symposium on Organized Nanomaterials and Nanostructures Related to Photoscience 日時: 2008年11月5日(水)-6日(木) 京都大学百周年時計台記念館/The 3rd Taiwan-Japan Joint Symposium on Organized Nanomaterials and Nanostructures Related to Photoscience, 2010年3月21-24日、花蓮、台湾

### 8-(3)-5 国際学会および国際シンポジウムでの発表

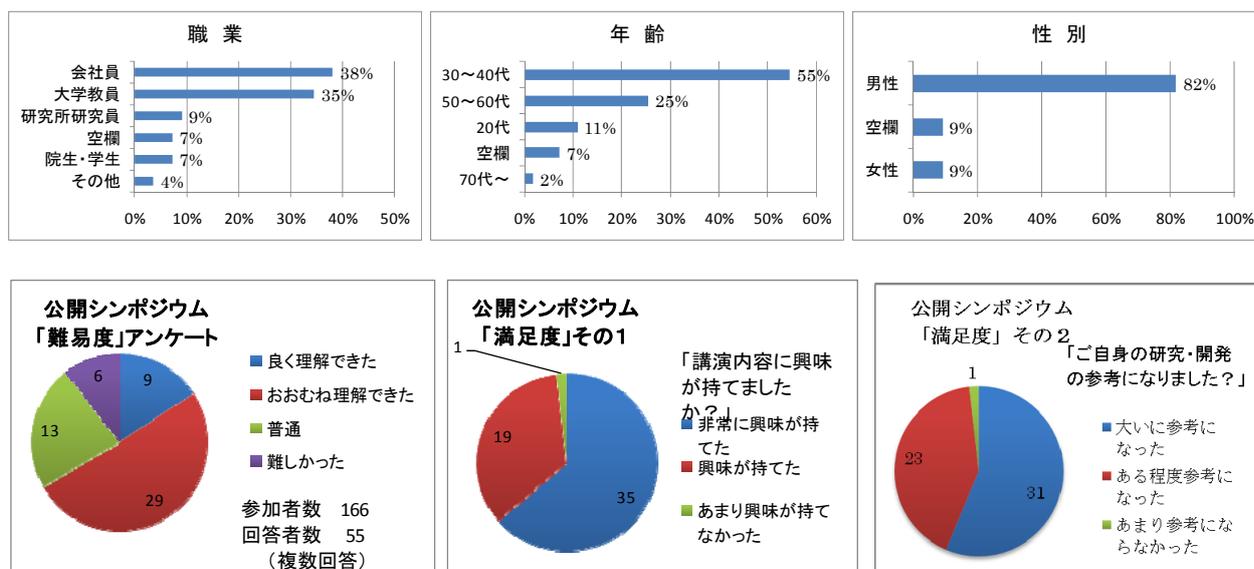
国際学会および国際シンポジウムにおいて、メンバーが1220件の成果発表を行った。そのうち337件(13件はPlenary talk)が招待講演であった。

### 8-(4) 「国民との科学・技術対話」について

#### 8-(4)-1 第8回公開シンポジウムにおけるアンケート調査

前項にて述べた通り、本領域では年に1回公開シンポジウムを開催し、広く一般に領域メンバーの研究成果を公開しているが、本年1月に開催した第8回公開シンポジウムは領域最終シンポジウムと位置付け口頭発表・ポスター発表に加え、成果の展示も行った。

参加者アンケートの集計の結果、発表内容についておおむね理解して頂き、また興味をもっていただいたことがわかる



#### 8-(4)-2 プラズモン化学チュートリアル講座の開催とアンケート調査

本領域では、成果発表シンポジウムとは別に「プラズモン化学チュートリアル」を定期的で開催している。『プラズモン化学』に興味をもつ一般からの参加者を対象に、領域メンバーが『プラズモン化学』の基礎理論・実験・応用までをわかりやすく解説するとともに参加者からの質疑に答える構成で行っている。また、補助資料として予め発表資料（パワーポイント）を印刷・配布し、また質問を受けやすいように質問票を配布するなどの工夫を行ったところ大変好評で、今後の継続して参加したいとの声が寄せられている。

#### 化学者のためのプラズモン講座 — ナノ・マイクロ構造を利用した効率的な光エネルギー変換 —

日時：2009年1月24日(土) 9:30-12:00 会場：名古屋大学野依記念学术交流館 参加者数：84名  
内容：岡本 隆之 (A01 班:理化学研究所)「局在表面プラズモン共鳴の基礎」、石原 一 (A01 班:大阪府立大学)「局所電磁場による分子の励起状態制御」、朝日 剛 (A02 班:大阪大学)「金ナノ粒子近傍の分子の光物理・化学過程—蛍光増強効果に関する最近の研究—」

#### 化学者のためのプラズモン講座 — 光と物質の究極的な相互作用実現に向けて —

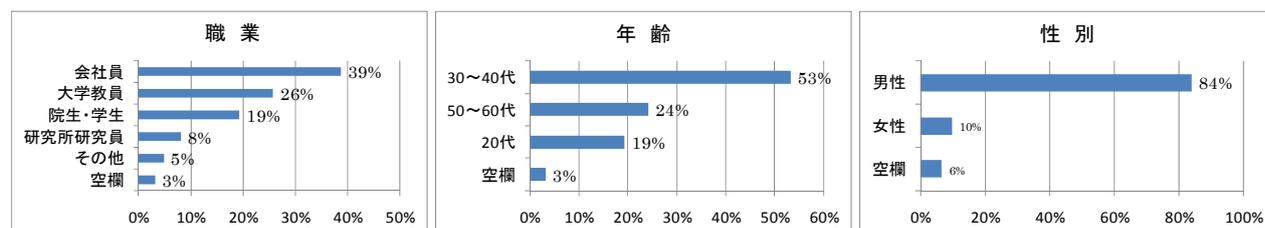
日時：2009年9月12日(土) 13:00-16:30 会場：日本科学未来館 会議室 参加者数：94名  
内容：石原 一 (A01 班:大阪府立大学)「局在光電場と分子の空間インタープレイが引き起こす諸現象」、笹木 敬司 (A02 班:北海道大学)「光局在場におけるフォトンのふるまい」、岡本 裕巳 (A03 班:分子科学研究所)「プラズモンと増強電場の光学イメージング」、西井 準治 (A02 班:北海道大学)「表面プラズモン励起増強蛍光イメージング」、総合討論 —新しい光エネルギー変換に向けて—

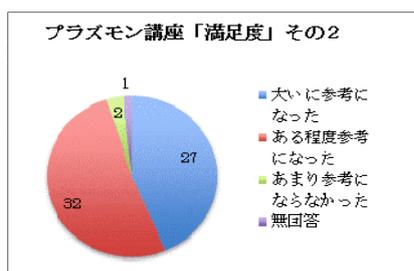
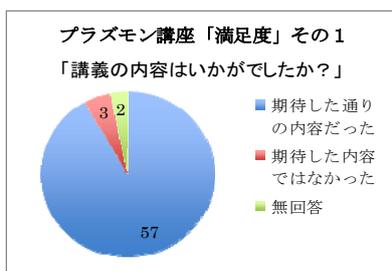
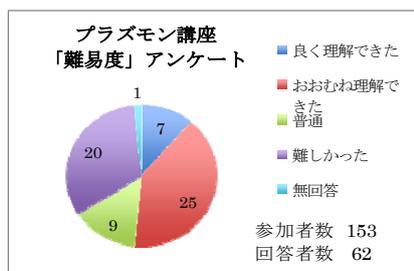
#### 化学者のためのプラズモン講座 — 物質と強く相互作用する光の「場」の創出 —

日時：平成23年1月28日(金) 9:15-12:00 会場：日本科学未来館みらいCAN ホール  
参加者数：166名 (第8回公開シンポジウムと同日開催)  
内容：岡本 隆之 (A01 班:理化学研究所)「発光増強と光取り出し」、村越 敬 (A03 班:北海道大学)「表面増強ラマン 見える分子と見えない分子」、三澤 弘明 (A01 班:北海道大学)「太陽電池などへの応用に向けて」、総合討論

#### 【参加者アンケート】

半数の参加者が「良く理解できた」「ほぼ理解できた」と回答し、またほとんどの参加者が今後の参考になったと回答している。





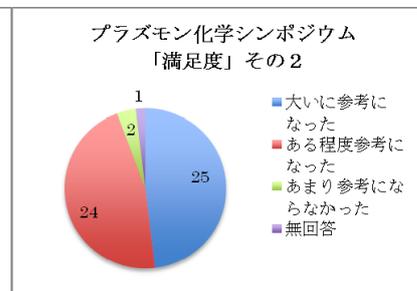
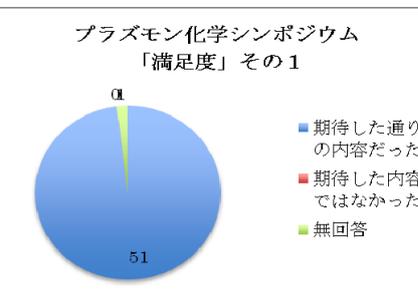
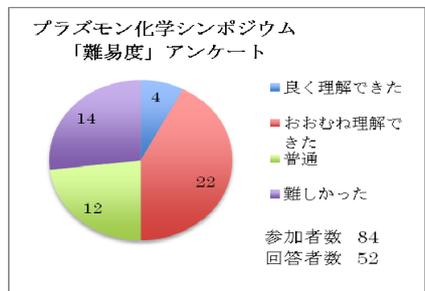
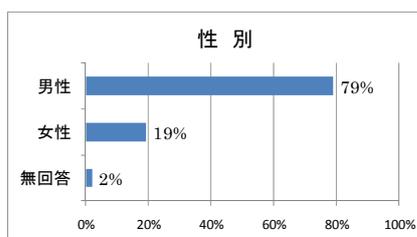
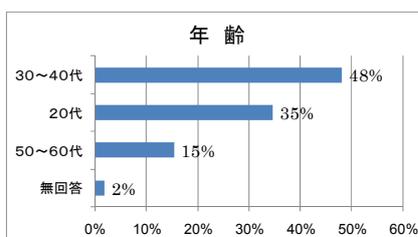
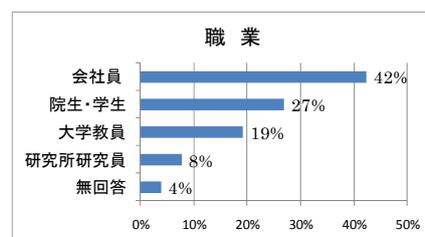
## 第1回プラズモン化学シンポジウム 参加者数：84名

日時：2011年6月1日（水）10:00-17:00 会場：東京大学小柴ホール 参加者数：84名

内容：三澤弘明（A01班：北海道大学）「光ナノアンテナを活用した広波長帯域太陽光エネルギー変換システムの構築」、益田 秀樹（A02班：首都大学東京）「規則ポーラス構造にもとづく局在プラズモンデバイス」、岡本 裕巳（A03班：分子科学研究所）「金属ナノ構造における局在光電場のイメージング」、寺西 利治（A01班：筑波大学）「無機ナノ粒子の構造制御による局在表面プラズモン共鳴波長制御」、高橋 幸奈（A03班：九州大学）「金属ナノ構造の局在表面プラズモン共鳴を用いた光電変換」、石原 一（A01班：大阪府立大学）「局在光電場による非従来型単分子光学応答」、立間 徹（A01班：東京大学）「プラズモン誘起電荷分離とその応用」、村越 敬（A03班：北海道大学）「局在プラズモンによる単分子光励起」

### 【参加者アンケート】

会社員と学生が参加者の全体の約70%を占めているが、半数以上の参加者が内容を理解したと答えている。内容についてもほぼ全員が期待通りの内容で、今後の役に立ったと回答を得た。



## 8-(5) その他

### 8-(5)-1 ニュースレターの発行

NO.1 (2008年3月発行)

巻頭言／寄稿（増原宏氏）／メンバー研究紹介／論文紹介／著書紹介／活動報告／主催共催会議シンポジウム開催報告／国際会議参加報告／国内会議参加報告／新聞掲載記事／受賞一覧／今後の予定／メンバーリスト

NO.2 (2009年3月発行)

巻頭言／寄稿（徳丸克己氏国際会議報告）／メンバー研究紹介／論文紹介／活動報告／シンポジウム開催報告／国際会議参加報告／国内会議参加報告／新聞掲載記事／受賞一覧／今後の予定組織表／メンバーリスト

NO.3 (2010年3月発行)

巻頭言／寄稿（井上晴夫氏）／メンバー研究紹介／論文紹介／活動報告／シンポジウム開催報告／国際会議参加報告／国内会議参加報告／新聞掲載記事／受賞一覧／今後の予定組織表／メンバーリスト

NO.4 (2011年3月発行)

巻頭言／寄稿（徳丸克己氏）／メンバー研究紹介／論文紹介／活動報告／シンポジウム開催報告／国際会議参加報告／国内会議参加報告／新聞掲載記事／受賞一覧／今後の予定／組織表／メンバーリスト

### 8-(5)-2 プレス発表

本領域の成果は、4年間で32件のプレス発表として取り上げられており、社会から高い関心が寄せられていることがわかった。

班	メンバー名	発行日	発行誌(日刊・タ刊の別)	見出し
A01	及川 英俊	2007年10月11日	化学工業日報	フラーレン 結晶形状、制御可能にー東北大 デバイス用材料に有望
A01	三澤 弘明	2008年7月11日	日経産業新聞	危険物の探知容易にー爆薬や麻薬 テラヘルツ波利用ー
A03	鳥本 司	2009年4月8日	中部経済新聞(日刊)	次世代太陽電池増感剤に応用
A02	豊田 太郎	2009年4月24日	日刊工業新聞	量子ドット半導体型太陽電池ーエネ変換効率を向上
A03	山田 淳	2009年6月1日	日経産業新聞	電気変換量14倍にー九大、電極に金微粒子配置
A02	川田 善正	2009年10月28日	日経産業新聞	次世代光ディスク データ読み出し簡単にー静岡大、顕微鏡技術を応用
A02	益田 秀樹	2010年1月23日	日本経済新聞	三菱レイヨン、フィルム開発
A02	益田 秀樹	2010年1月23日	日経新聞	技術ウォッチ 生物の機能活かし環境配慮
A02	今堀 博	2010年2月3日	化学工業日報	ポルフィリン連結フラーレンとCNT
A02	米澤 徹	2010年2月18日	日本工業新聞	北大 水中プラズマ装置を開発
A02	米澤 徹	2010年2月18日	日刊工業新聞(日刊)	金属ナノ粒子容易に合成
A03	山田 淳	2010年3月24日	日刊工業新聞(日刊)	樹状メッキ技術で新型太陽電池セル / 透明電極不要、サイズ自在
A02	齋藤 健一	2010年4月15日	日経産業新聞(日刊)	3色シリコン開発
A02	齋藤 健一	2010年4月15日	日刊工業新聞(日刊)	フルカラーで発光 シリコンナノ結晶生成
A02	齋藤 健一	2010年4月15日	中国新聞(日刊)	多色発光のシリコン結晶
A02	齋藤 健一	2010年4月15日	日経産業新聞(日刊)	3色シリコン開発
A02	齋藤 健一	2010年4月15日	中国新聞(日刊)	多色発光のシリコン結晶
A02	齋藤 健一	2010年4月17日	化学工業日報(日刊)	シリコンナノ粒子 単一手法で三原色発光
A02	齋藤 健一	2010年4月24日	科学新聞(日刊)	光の三原色で発光 シリコンナノ結晶
A03	山田 淳	2010年5月12日	日刊工業新聞(日刊)	有機太陽電池開発へ / 九大など人工光合成技術を活用
A03	山田 淳	2010年5月12日	西日本新聞(タ刊)	フィルム状、光合成で発電 / 厚さ0.2ミリの太陽電池
A03	山田 淳	2010年5月26日	日経産業新聞(日刊)	食品ラップと同じ薄さ / 衣類など接着し使用
A03	山田 淳	2010年6月15日	日経産業新聞(日刊)	軟らかい太陽電池 / 自由に切って傘・衣料に
A01	三澤 弘明	2010年9月29日	日刊工業新聞(日刊)	光電変換システム / 近赤外光で効率4倍 / 北大次世代太陽電池へ応用
A03	岡本 裕巳	2010年10月29日	科学新聞	微粒子をナノレベルで操作 / 超短パルスレーザーで新たな光ピンセット
A01	池田 勝佳	2010年11月23日	日刊工業新聞(日刊)	超薄膜型の光電変換素子 / 光の利用効率向上
A01	三木 一司	2010年11月23日	日本経済新聞	近接場光源を大面積化 / 1cm2基板上に作製
A01 A03	三澤 弘明 岡本 裕巳 共同研究	2011年2月2日	化学工業日報	貴金属ナノ微粒子に光強度を高める性質
A01 A03	三澤 弘明 岡本 裕巳 共同研究	2011年2月2日	日刊工業新聞	ナノサイズの穴にフタ / 通過する光 強くなる
A01 A03	三澤 弘明 岡本 裕巳 共同研究	2011年2月2日	日経産業新聞	微小な穴使う発光素子 / 分子研・早大など 光記録に応用
A01 A03	三澤 弘明 岡本 裕巳 共同研究	2011年2月2日	中部経済新聞	超微細光学性質を発見 / 分子科学研 早稲田、北海道大と
A01 A03	三澤 弘明 岡本 裕巳 共同研究	2011年2月11日	科学新聞	ナノの孔は塞ぐと光がよく通る! ? / 貴金属微粒子の特異な性質 / 近接場光学顕微鏡で発見

## 9. 研究組織と各研究項目の連携状況

平成19年度から平成21年度までの計画研究および公募研究課題一覧

	研究課題名		研究代表者氏名	所属	役職	
【A01班】光一分子強結合反応場による新奇反応の開拓						
計画 研究 課題	金属ナノ構造を用いた光局在場の創製と光化学反応への応用	代表者	三澤 弘明	北海道大学電子科学研究所	教授	
	局在電磁場と分子系の空間的インタープレイによる光反応制御の理論	代表者	石原 一	大阪府立大学大学院工学研究科	教授	
		分担者	安食 博志	大阪大学大学院工学研究科	特任教授	
	有機-金属ヘテロナノ界面光強結合反応場における反応制御	代表者	及川 英俊	東北大学 多元物質科学研究所	教授	
		分担者	増原 陽人	山形大学大学院理工学研究科	助教	
		分担者	小野寺 恒信	東北大学多元物質科学研究所	助教	
ナノ構造界面に基づく光電気化学的エネルギー変換システムの構築	代表者	立間 徹	東京大学生産技術研究所	教授		
ナノ粒子超格子に基づく光電場増強場の創出とその新奇化学反応への展開	代表者	寺西 利治	筑波大学大学院数理物質科学研究科	教授		
平成 21 年度 公募 研究 課題	ボトムアップ型光一分子強結合場における有機超薄膜の高効率光電変換	代表者	池田 勝佳	北海道大学大学院理学研究院	准教授	
	表面プラズモン吸収励起光触媒反応の機構解明と高効率化	代表者	大谷 文章	北海道大学触媒化学研究センター	教授	
	グリーン関数法に基づいた局在電磁場制御に関する研究	代表者	中島 龍也	東北大学理学研究科	助教	
	光一分子強結合反応場を利用したタンパク質の光誘起結晶化	代表者	奥津 哲夫	群馬大学工学研究科	准教授	
	金属ナノ構造と吸着分子の間の電子的相互作用の解明	代表者	二又 政之	埼玉大学大学院理工学研究科	教授	
	ナノ・マイクロ構造化表面と強光子場相互作用によるパルスX線発生	代表者	畑中 耕治	東京大学理学系研究科	准教授	
	可視MAIR分光法による金属ナノ粒子薄膜のフォトニクス化学	代表者	長谷川 健	東京工業大学大学院理工学研究科	准教授	
	光圧と動的液面変形との融合による新奇光一分子強結合反応場の創成	代表者	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	特任准教授	
	透明無機固体材料の光改質・加工の光一分子強結合場による増強	代表者	橋本 修一	徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部	教授	
	光学非線形性を持つ金ダイマーを用いたナノ光源・光変調器の開発	代表者	岡本 敏弘	徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部	助教	
	表面プラズモン励起が金属ナノ構造形成に与える影響の解明	代表者	辻 剛志	九州大学先端物質化学研究所	助教	
	ナノポーラス複合材料における新奇光化学反応の開発	代表者	鍋谷 悠	首都大学東京大学院都市環境科学研究科	特任助教	
	光機能性有機分子ポリマーを被覆した金属ナノ粒子の電場増強光反応	代表者	小畠 誠也	大阪市立大学大学院工学研究科	准教授	
	スイッチング可能な光一分子強結合場のための蛍光性高分子の創製	代表者	松村 有里子	成蹊大学理工学部	助教	
	流体デバイスを用いた光一分子強結合化学反応の直接実証	代表者	三木 一司	物質・材料研究機構ナノ有機センター	グループリーダー	
	蛍光分子と表面プラズモンとの強結合	代表者	岡本 隆之	独立行政法人理化学研究所河田ナノフォトニクス研究室	前任研究員	
	光一分子強結合場におけるプラズモン増強非線形光学応答・光化学反応の定量評価法開発	代表者	伊藤 民武	産業技術総合研究所 健康工学研究センター	主任研究員	
	平成 20 年度 公募 研究 課題	有機超薄膜におけるプラズモン増強光電変換	代表者	池田 勝佳	北海道大学大学院理学研究院	准教授
		プラズモン光増強場支援光エネルギー変換：X線領域への拡張	代表者	畑中 耕治	東京大学大学院理学系研究科	准教授
		表面プラズモン吸収励起光触媒反応の機構解明と高効率化	代表者	大谷 文章	北海道大学触媒化学研究センター	教授
グリーン関数法に基づく局在電磁場及びポテンシャルエネルギー曲面の数値的研究		代表者	中島 龍也	東北大学大学院理学研究科	助教	
光一分子強結合反応場を利用したタンパク質の光誘起結晶化		代表者	奥津 哲夫	群馬大学大学院工学研究科	准教授	
多光子励起による長寿命励起状態材料の開発		代表者	渡辺 敏行	東京農工大学大学院共生科学技術研究院	教授	
複合ナノロッドを用いた光電変換デバイス		代表者	今堀 博	京都大学物質・細胞統合システム拠点	教授	
金属カットワイヤー配列によるテラヘルツ電場増強と高調波発生		代表者	萩行 正憲	大阪大学レーザーエネルギー学研究センター	教授	
表面プラズモン増強電場を利用した透明無機材料光化学エッチングの高光利用効率化		代表者	橋本 修一	徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部	教授	
金属ギャップ間のホットサイトを利用したプラズモニック非線形光学効果		代表者	岡本 敏行	徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部	助教	

	研究課題名	代表者	研究代表者氏名	所属	役職
平成20年度公募研究	表面プラズモン励起が金属ナノ構造形成に与える影響の解明	代表者	辻 剛志	九州大先導物質化学研究所	助教
	傾斜伝導準位を持つ半導体ナノシート/メソポーラスシリカ積層界面での光電子輸送	代表者	高木 克彦	首都大学東京 都市環境科学研究科	客員教授
	ナノポーラス球を利用した光-分子強結合反応場の構築	代表者	鍋谷 悠	首都大学東京都市環境科学研究科	特任助教
	蛍光分子と表面プラズモンとの強結合	代表者	岡本 隆之	独立行政法人理化学研究所河田ナノフォトニクス研究室	先任研究員
	金属ナノ構造を用いた光通信波長帯での光制限機能に関する研究	代表者	鎌田 賢司	産業技術総合研究所光技術研究部門	主任研究員
	SERSの機構解明による光-分子強結合場の定量評価法開発	代表者	伊藤 民武	独立行政法人産業技術総合研究所健康工学研究センター	研究員
	集光レーザーの光圧による新規光-分子強結合場の研究	代表者	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	研究員
【A02班】高次機能性構造による光-分子強結合反応場の構築					
計画研究課題	規則ポーラス構造によるナノ・マイクロ空間の形成と光電場制御	代表者	益田 秀樹	首都大学東京大学院都市環境科学研究科	教授
		分担者	西尾 和之	首都大学東京大学院都市環境科学研究科	准教授
		分担者	柳下 崇	首都大学東京大学院都市環境科学研究科	助教
		分担者	近藤 敏彰	神奈川科学技術アカデミー重点研究室	研究員
	超狭帯域レーザー顕微分光イメージングを用いた高次機能性構造の局在反応解析	代表者	笹木 敬司	北海道大学電子科学研究所	教授
		分担者	藤原 英樹	北海道大学電子科学研究所	准教授
	単分子膜リソグラフィによる微細加工・微細組立	代表者	杉村 博之	京都大学大学院工学研究科	教授
		分担者	邑瀬 邦明	京都大学工学研究科	准教授
		分担者	一井 崇	京都大学工学研究科	助教
		分担者	佐藤 宣夫	京都大学工学研究科	助教
	光-分子強結合反応場のための微細光学素子の創成と集積化	代表者	西井 準治	北海道大学電子科学研究所	教授
		分担者	田和 圭子	産業技術総合研究所健康工学研究部門	主任研究員
分担者		金高 健二	産業技術総合研究所光技術研究部門	主任研究員	
平成21、22年度公募研究課題	有機薄膜を被覆した金属ナノ構造の作製とその光応答の時間・空間分解計測	代表者	朝日 剛	愛媛大学大学院理工学研究科物質生命工学専攻	教授
	高分子ナノ集積体による局在プラズモン場のナノ空間的考察	代表者	三ツ石 方也	東北大学多元物質科学研究所	准教授
	高分子ナノ集積体による局在プラズモン場のナノ空間的考察	代表者	米澤 徹	北海道大学大学院工学研究科	教授
	局在プラズモン共鳴を用いた有機-無機ハイブリッドナノ光デバイスの作製	代表者	瀬川 浩代	物質・材料研究機構ナノスケール物質萌芽ラボ	主任研究員
	多重励起子生成と表面プラズモン効果による光励起キャリアダイナミクスと光電変換特性	代表者	豊田 太郎	電気通信大学大学院情報理工学研究科	教授
	アキシコンプリズムによるプラズモン顕微鏡の開発と自己組織化膜の高分解能観察	代表者	川田 善正	静岡大学工学部	教授
	複合ナノロッドを用いた光電変換デバイス	代表者	今堀 博	京都大学物質-細胞統合システム拠点	教授
	光機能性中心高含有ハイブリッド材料における増強光機能性	代表者	高橋 雅英	大阪府立大学大学院工学研究科	教授
	非金属系ナノ構造による光電場増強機能の創出	代表者	林 真至	神戸大学工学研究科	教授
	光と強結合する無機ハイブリッドナノ構造の光による創製	代表者	齋藤 健一	広島大学自然科学研究支援開発センター	准教授
界面反応計測に最適なプラズモニック結晶型基板の開発と赤外領域への拡張	代表者	八木 一三	産業技術総合研究所ユビキタスエネルギー研究部門	招聘研究員	
平成20年度公募研究	DNAと結合した銀ナノ粒子の作製と発光メカニズムの解明	代表者	松尾 保孝	北海道大学電子科学研究所	助教
	高分子ナノ集積体による高密度局在プラズモン場の構築	代表者	三ツ石 方也	東北大学多元物質科学研究所	准教授
	金属ナノワイヤー集合体を用いた高感度SERSセンシング	代表者	山口 央	東北大学大学院理学研究科	助教
	光-分子強結合場を利用する合成高分子用LDI基板の構築	代表者	米澤 徹	東京大学大学院理学系研究科化学専攻	准教授
	局在プラズモン共鳴による有機-無機ハイブリッド材料のナノパターンニング	代表者	瀬川 浩代	東京工業大学大学院理工学研究科	助教
	アキシコンプリズムを用いた表面プラズモンの局在化励起と自己組織化膜観察への応用	代表者	川田 善正	静岡大学工学部	教授
	FM検出型AFMに基づく超精密プローブ制御による光誘起相互作用力計測	代表者	佐藤 宣夫	京都大学大学院工学研究科	助教
	自己組織化カイラルフォトニック欠陥構造による光-分子強結合場の創成	代表者	尾崎 雅則	大阪大学大学院工学研究科	教授
	非金属系ナノ構造による光電場増強機能の創出	代表者	林 真至	神戸大学大学院工学研究科	教授
	コロイドフォトニック結晶を基盤とした高効率光デバイスの研究開発	代表者	古海 誓一	独立行政法人物質・材料研究機構光材料センター	主任研究員
電気化学界面計測に利用可能なプラズモニック結晶型基板の開発	代表者	八木 一三	産業技術総合研究所固体高分子形燃料電池先端基盤研究センター	研究チーム長	

【A03班】光一分子強結合反応場の素過程ダイナミクス

計画 研究 課題	電場増強ナノ構造を用いる光電変換反応の研究	代表者	山田 淳	九州大学大学院工学研究院	教授
		分担者	桑原 穰	熊本大学大学院自然科学研究科	助教
		分担者	秋山 毅	滋賀県立工学工学部	准教授
		分担者	須川 晃資	日本大学理工学部	助手
	近接場顕微分光に基づく光反応場の動的可視化・制御	代表者	岡本 裕巳	分子科学研究所光子科学研究領域	教授
		分担者	成島 哲也	分子科学研究所光子科学研究領域	助教
		分担者	井村 考平	早稲田大学理工学術院	准教授
		分担者	北島 正弘	防衛大学校応用科学群	教授
	ジングルベル型微粒子のナノ構造制御による新奇光反応場の創成	代表者	鳥本 司	名古屋大学大学院工学研究科	教授
		分担者	岡崎 健一	名古屋大学大学院工学研究科	助教
	光増強場における多光子光化学反応誘起とそのダイナミクス	代表者	坪井 泰之	北海道大学理学研究院	准教授
	金属ナノギャップにおける少数分子の光応答その場追跡	代表者	村越 敬	北海道大学大学院理学研究院	教授
分担者		保田 諭	北海道大学大学院理学研究院	講師	
分担者		並河 英紀	北海道大学大学院理学研究院	助教	
平成 21 年度 公募 研究 課題	表面増強赤外吸収・ラマン散乱の比較による増強機構の検討	代表者	大澤 雅俊	北海道大学触媒化学研究センター	教授
	表面プラズモンポラリトンの顕微鏡的フェムト秒ダイナミクス	代表者	久保 敦	筑波大学大学院数理物質科学研究科	助教
	金属ナノ構造の光学応答の定量解析と設計	代表者	田丸 博晴	東京大学大学院工学系研究科	特任講師
	表面増強光触媒の反応初期過程の解明	代表者	野坂 芳雄	長岡技術科学大学工学部	教授
	光触媒的芳香環直接官能基化反応における表面プラズモン励起の寄与と応用	代表者	吉田 寿雄	名古屋大学大学院工学研究科	准教授
	有機薄膜太陽電池の表面プラズモン共鳴による高効率化に関する研究	代表者	尾崎 雅則	大阪大学大学院工学研究科	教授
	プラズモン増強電場による希土類ナノ結晶の光磁気効果の影響に関する研究	代表者	長谷川 靖哉	北海道大学大学院工学研究院	教授
	ナノ構造・配列制御した光一分子強結合反応場による近赤外蛍光増強と応用	代表者	長村 利彦	九州大学・産学連携センター	学術研究員
	異方性ナノ粒子の局在光電場による光化学反応のマッピング分析	代表者	新留 康郎	九州大学工学研究院	准教授
	レーザーアブレーションによる金ナノロッド-色素複合系でのプラズモン誘起電子移動	代表者	蔵脇 淳一	鹿児島大学大学院理工学研究科	教授
	光捕捉で配向制御した金属ナノ微粒子凝集体と色素分子会合体の光学的相互作用	代表者	尾崎 幸洋	関西学院大学理工学部	教授
	電場増強ナノ構造体のフェムト秒近赤外分光と量子ドットとの相互作用に関する研究	代表者	玉井 尚登	関西学院大学理工学部	助教
フェムト秒分光による界面電子移動反応におけるプラズモン増強効果の機構解明	代表者	古部 昭広	産業技術総合研究所計測フロンティア研究部門	主任研究員	
平成 20 年度 公募 研究 課題	金属および半導体ナノ粒子の外部電場による発光制御	代表者	太田 信廣	北海道大学電子科学研究所	教授
	金属ナノ構造体-分子複合系の赤外分光特性	代表者	大澤 雅俊	北海道大学触媒化学研究センター	教授
	金属ナノ構造の光学応答の定量解析	代表者	田丸 博晴	東京大学先端科学技術研究センター	助教
	表面増強光触媒の反応初期過程の解明	代表者	野坂 芳雄	長岡技術科学大学工学部	教授
	表面プラズモン励起を利用した有機発光トランジスタの作製	代表者	山田 亮	大阪大学大学院基礎工学研究科	准教授
	コアシェル構造を有するナノロッドの組織化とプラズモン制御	代表者	新留 康郎	九州大学大学院工学研究院	准教授
	金ナノロッド-DNA複合体による近赤外色素の蛍光増強と機構解明	代表者	長村 利彦	九州大学大学院工学研究院	教授
	光-分子-電気二重層場の複合強結合系としての電極/金属ナノ粒子界面の分光応答	代表者	相樂 隆正	長崎大学工学部	教授
	プラズモンと光応答性分子のアクティブカップリング	代表者	石田 昭人	京都府立大学大学院生命環境科学研究科	准教授
	銀ナノ微粒子凝集体と色素分子会合体の光一分子結合相互作用による特異な光応答	代表者	尾崎 幸洋	関西学院大学理工学部	教授
	電場増強ナノ構造体のフェムト秒近赤外分光と量子ドットとの相互作用に関する研究	代表者	玉井 尚登	関西学院大学理工学部化学科	教授
	ナノ金属-半導体界面におけるプラズモン誘起電子移動ダイナミクスの研究	代表者	古部 昭広	産業技術総合研究所計測フロンティア研究部門	主任研究員

本領域では6. 主な研究成果)で述べた班間連携プロジェクト(ナノ加工・エネルギー変換)を中心に班内・班間における積極的な共同研究を促進し、合計142件のテーマ(課題)での共同研究を行った。うち58テーマではすでに61本の共著論文が受理・発表済みである。

共同研究件数 (研究テーマ数)

A01班共同研究								A02班共同研究							
	三澤弘明	石原一	及川英俊	立間徹	寺西利治	公募研究		益田秀樹	笹木敬司	杉村博之	西井準治	朝日剛	公募研究		
合計	48件	8	4	3	3	6	24	合計	40件	11	7	4	4	6	8
○推進中	26件	0	3	2	3	3	15	○推進中	31件	11	5	3	3	2	7
◆論文化	22件	8	1	1	0	3	9	◆論文化	9件	0	2	1	1	4	1
A01 三澤弘明						○	◆	A01 三澤弘明	○	◆◆		◆		◆	
A01 立間徹					◆			A01 及川英俊					○		
A01 寺西利治				○		◆		A01 立間徹						○	
A01 池田勝佳					○			A01 寺西利治	○	○	○				
A01 中島龍也		○						A01 中島龍也	○						
A01 畑中耕治	◆							A01 奥津哲夫				○			
A01 橋本修一						◆○		A01 畑中耕治	○					○	
A01 岡本敏弘						◆		A01 杉山輝樹					○		
A01 辻剛志	◆						○	A01 橋本修一					◆		
A01 鎌田賢司	◆							A01 辻剛志	○						
A01 伊都将司							○	A01 小島誠也					◆		
A01 菅原美博							○	A01 菅原美博				○		○	
A02 益田秀樹							○	A02 益田秀樹			○				
A02 笹木敬司	◆							A02 杉村博之	○						
A02 西井準治	◆						○	A02 西井準治	○	○				○	
A02 朝日剛			○			◆◆		A02 三ツ石方也			○				
A02 米澤徹						◆		A02 米澤徹						○	
A02 瀬川浩代	◆							A02 川田善正	○						
A03 山田淳			◆	○		○○		A02 今堀博	○						
A03 岡本裕巳	◆		○			○		A02 林真至						○	
A03 鳥本司		○		○				A03 岡本裕巳			○				
A03 坪井泰之		◆				○		A03 鳥本司		○	◆	◆◆	○		
A03 村越敬	◆	○			◆			A03 坪井泰之		○					
A03 大澤雅俊						◆		A03 村越敬		○					
A03 田丸博晴						○		A03 久保敦	○						
A03 尾崎幸洋						○		A03 長村利彦	○						
A03 玉井尚登					○	◆									
A03 古部昭広					◆	◆○									

A03班共同研究							
	山田淳	岡本裕巳	鳥本司	坪井泰之	村越敬	公募研究	
合計	54件	10	5	5	9	20	
○推進中	27件	6	3	1	1	6	10
◆論文化	27件	4	2	4	4	3	10
A01 三澤弘明		◆◆			◆○	◆○○	
A01 石原一			◆	◆	○		
A01 及川英俊	◆	○					
A01 立間徹	○		○			◆	
A01 寺西利治	○				◆○	○○	
A01 大谷文章						◆	
A01 奥津哲夫		○					
A01 長谷川健						◆	
A01 橋本修一					○	◆	
A01 松村有里子				○			
A01 三木一司		○					
A01 伊藤民武						◆	
A02 笹木敬司	◆				○		
A02 杉村博之			◆				
A02 西井準治	○		◆				
A03 山田淳						◆○○○○	
A03 岡本裕巳							
A03 鳥本司	○			◆	○	○	
A03 坪井泰之			◆		◆	○	
A03 村越敬				◆◆			
A03 尾崎雅則	○						
A03 新留康郎	◆					◆	
A03 蔵脇淳一	◆						
A03 玉井尚登						◆	
A03 古部昭広	○					◆	

	合計	共著論文発表	班内	班間
A01	48	22	18	30
A02	40	9	10	30
A03	54	27	21	33
合計	142	58		

## 10. 研究費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）

### 高額備品の購入・利用による共同研究の促進

既存の実験設備を拡充し研究を円滑に行うために、以下の高額設備備品を導入し、さらに領域内共同研究に効果的に利用した。主な購入備品を以下に挙げる。

(1) コンパクトスパッタ( アルバック製 ACS-4000-C3-HS)

金額： 21,000,000 円 納入年月：平成 19 年 9 月 (A01 班三澤)

コンパクトスパッタ装置は、金属ナノ構造を作製する要の装置の一つになっている。

具体的には、電子線描画により形成したレジストのナノパターンに、金や銀などを本装置により成膜し、最後にリフトオフ操作を行うことにより金属のナノ構造パターンを基板上に精密に作製するために使用している。本研究では、作製した金属ナノ構造を新規ナノ光化学反応場と位置づけ、種々の光化学反応へ適応するとともに、構造設計の最適化から光化学反応の選択率制御を達成する反応場を構築することを目的として研究を推進した。

(2) 走査プローブ顕微鏡

金額： 14,994,000 円 納入年月：平成 21 年 3 月 (A03 班 山田 G)

光電変換機能を有する金属ナノ/半導体基板表面の構造解析に用いている。ナノスケールからサブミクロンスケールでの構造の評価に有効であり共同研究として構築された基板の構造決定にも活用した。

(3) レーザーラマン分光光度計(日本分光(株))

金額： 13,996,500 円, 平成 22 年 2 月(A02 益田).

金属ナノ構造体に吸着させた分子のラマンスペクトルを測定することで、ナノ構造体の S E R S 活性を評価できる。複数の研究グループの共同研究推進に役立てた。

(4) 近赤外蛍光分光測定装置 (ホリバ・ジョバンイボン社製 Fluoro Log-R5509)

金額： 12,681,900 円 平成 21 年 12 月 (A03 班山田 G)

可視～近赤外域の幅広い波長範囲における高感度な発光スペクトルを測定することが可能であり、作製した光電変換素子や近赤外色素、ポリチオフェンなどの導電性高分子の発光の測定に利用した。複数の研究グループと共同で推進しているプラズモニクナノ構造や色素—金属ナノ構造系の評価においても有効に活用された。

(5) 光パラメトリック増幅器 (Light Conversion 社製) 、

金額： 12,484,500 円、納入年月： 平成 20 年 6 月 (A01 班三澤 G)

酸化チタン単結晶表面に金属ナノ構造を高精度に作製し、光エネルギー変換特性について検討を行っている。本装置は、フェムト秒レーザーの波長を可視から赤外に幅広く波長変換することが可能であり、各波長における光電流の入射レーザー光強度依存性の実験を行うために使用している。また、他の連携研究において検討している多種多様な金属ナノ構造の光学特性評価もにおいて有効に活用された。

(6) ベクトル計算機 (SX-8i)システム

金額： 11,928,000 円 納入年月： 平成 20 年 3 月 (A01 班石原)

19 年度研究においては局在電磁場存在下でのダイマー分子、円環状分子の光学応答、キラル分子に対する輻射力、閉じ込め電磁場によるもつれ合い光子対生成の超高効率化の研究を行った。これらの研究では物質系波動関数の空間構造の詳細を適切に取り入れるため輻射場、物質共に多量の自由度を導入した、通常のワークステーションでは不可能な計算を行っており、上記ベクトル計算機での計算が必要不可欠な手段となっている。

その他、9 種類の高額備品 (500 万円以上) を購入し共同研究に活用した。

### 領域の研究推進・共同研究・評価を目的とした総括班経費からの招へい

具体的には、各研究課題の研究進捗状況および領域全体の推進状況評価のために、徳丸克己氏・国武豊喜氏・増原宏氏・井上晴夫氏・本多健一氏を領域主催の国内シンポジウムに、また増原宏氏、井上晴夫氏を領域主催国際シンポジウムに招へいした。また、国際的な視野から領域研究のアドバイスを受けるために、Prof. Frans De Schryver, Prof. Johan Hofkens(ベルギー)を主催海外シンポジウムに招へいするとともに、Prof. Thomas W. Ebbesen (2010 年 12 月に北大訪問)、Prof. Sajeer John (2008 年 8 月および 2010 年 9 月に北大訪問) を日本に招へいした。

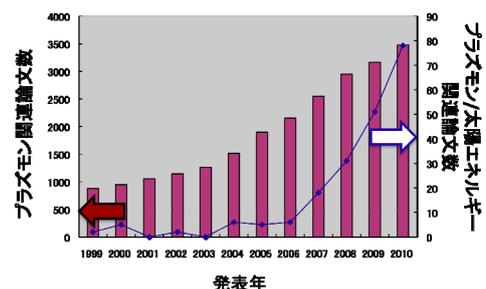
### 領域外からの国内外の研究情報提供および情報交換を目的とした総括班経費からの招へい

関連分野の国内における研究成果に関する情報収集のため、大須賀篤弘氏(京大)、吉原経太郎氏(元分子研)、中西八郎氏(東北大)を主催シンポジウムに特別講演者として招へいし、領域メンバーの研究の理解を深めた。また、海外からは Dr. Elke Scheer (Germany), Dr. Cyriaque Genet (France), Dr. Frank Jäckel (Germany), Prof. Paul Mulvaney (Australia), Prof. Victor V. Moshchalkov (Belgium), Prof. Gustaaf Borghs (Belgium), Dr. Hiroshi Uji-I (Belgium), Prof. George C. Schatz(USA), Prof. Shangir Gwo(台湾)を主催国際会議に招へいし、情報交換をおこなうことで本領域研究の国際的な位置づけを領域メンバーと共有した。

協力班員制度を設け、企業研究者や若手研究者を各班の協力班員としてシンポジウムや班内の会議などに招へいし、領域外からの視点で最新の研究内容に関する情報交換を行った。

## 11. 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度

本領域研究では、光-分子強結合反応場の構築、光化学反応探索、理論解析を通じて、さらに最適な分子と場を新たに探索し、それらを高次化、デバイス化して全く新しい光化学反応系を創出することを目指して研究を推進した。これまでの光化学反応において光エネルギーの捕集過程、およびそれに続く分子/物質系の電子エネルギーへの変換初期過程は、反応制御の観点から極めて重要なキープロセスとなるにもかかわらず、これまで光を精密に制御する方法論や局在する光エネルギー量子と物質系の総合作用についての理論的知見が乏しかったために十分な研究がなされてこなかったが、本研究領域では、新たな光化学反応プロセスの開拓を軸に研究を推進した。その研究成果は先に示した国内外で開催した10件を超える公開シンポジウムにおいて公表したが、聴衆には光化学分野からの出席者のみならず、物理、生物、医療などの異分野からの熱心な参加者がみられた。また、平成22年度5月に開催した新学術領域研究「半導体における動的相関電子系の光科学」(代表:五神真東大教授)との合同シンポジウムにおいては、光物理分野の一線の研究者らと相互それぞれの領域の発展性について可能性に満ちた議論を行うこと出来、本領域が光科学の分野において新しい研究領域として重要な位置を占めることが確認された。さらに、本領域の発展性を広報する過程で海外への発信と情報交換にも努めたが、その過程においても本領域の発展拡大の可能性が示された。2009年にベルギーにて本領域が主催したシンポジウムにおいては、ヨーロッパ諸国のみならずアジア、オセアニア、北米の先端研究者に加えて、ESF-NES program のチェアを担当されているProf. V. V. Mashchakovを始めとした日・欧州・米の科学技術政策に関わる主要メンバーが会場を訪れ、光化学の専門的な議論に加えて、本領域発の技術を光エネルギー変換の新しい技術に発展させるに可能性についての議論も行った。この傾向は、上記のシンポジウムに限らず日本国内、アメリカ、アジアのシンポジウムでも非常に類似しており、大学、研究所、企業などの所属に関わらず、異分野の研究者から多くの問い合わせ、技術供与、共同研究の申し出を受けた。さらに本研究領域のメンバーは、業績発信の過程でこれまで既存の分野以外からも招待講演依頼を受けるようになった。例えば、2011年5月に開催の The 5<sup>th</sup> International Conference on Surface Plasmon Photonics (Busan, Korea)、219<sup>th</sup> Electrochemical Society Meeting (Montreal, Canada)などではプラズモン光変換が大きく取り上げられ、領域代表である三澤をはじめ多くの本領域メンバーが招待講演を行った。本領域の研究成果が光化学・エネルギー分野のみ留まることなく、バイオ、物性物理、医療、センシングなど多方面での学理と実学に資することが、300件を超えるメンバーへの多彩な国際会議からの講演招待により示されている。実際、例えば本領域にて見出された新現象、新技術が、国家戦略として展開を図る国家プロジェクトの立ち上げにおいても寄与することが大いに期待されている。領域代表の三澤は、文部科学省による低炭素社会構築に向けた研究基盤ネットワークの整備事業サテライト拠点「光アンテナ搭載高効率光電変換システム研究拠点の整備構想」に採択され事業推進者代表としてさらに研究を推進している。またこれまでの公開シンポジウムならびにチュートリアルには国内外の大学、研究機関からの参加者に加えて、電気・電子機器産業、システム産業、光学機器産業、IT産業、自動車産業、重機械産業、分析装置産業、医療機器産業、環境関連産業、化学産業、食品産業など、多くの分野における企業からの参加者が数多くみられた。これらの事実は、本領域の発見によって見出された新しい光化学技術が基礎学問を越えて、応用技術へ展開する可能性に大いなる期待が寄せられていることを示している。これらの期待をもとに、産官学の関係者によって構成される「プラズモン化学研究会」の発足に向けたシンポジウムもすでに開催した。これまで光の局在、制御に関する研究は「プラズモニクス・デバイス」の研究として認識されておりは、1990年代後半以降、急速に進展した。Thomson Reuters Web of Knowledge によりプラズモンをキーワードとする論文数がどのように推移しているか調べてみると、1998年に897報であったのが、2005年は1897報、2010年においては3481報と5年ごとにほぼ倍増しており(右図左軸)、これらの数字が重要かつ注目されている研究分野であることを示しているが、多くが光の制御・計測のみの研究に留まり、積極的な光エネルギー変換や光反応にまで展開している研究は非常に限られていた。例えば、プラズモンと太陽エネルギーをキーワードとすると、その数字は2006年まで非常に少ない(右図右軸)。しかし、本領域研究の開始された2007年以降急激に増大していることが示されている。これはもちろん本領域の研究内容を世界的に発信した効果のみによるとは思えないが、少なくとも本領域研究が推進した研究内容には非常に発展性があり、世界をリードして分野融合を先導したと見なすことができる。以上より本領域研究が基礎的な学理から具体的な応用技術、例えば光エネルギー変換などに大きな波及効果をもたらしたことは明らかである。



## 12. 研究計画に参画した若手研究者の成長の状況

研究代表者・分担者のみならず、研究室学生やポスドクなど多くの若手研究者が領域研究に参画した。研究室での研究だけでなく、領域会議やシンポジウムにも積極的に参加を促し、他課題の代表者・分担者との活発なディスカッションを行う機会を多く設けた。また若手研究者が企画・運営する若手研究会も開催し、若手研究者同士のネットワークを図った。その結果、多くの学生が日本学術振興会特別研究員や、研究機関だけでなく企業の研究職として研究を続けている。また若手研究者に関しては、JST 戦略的創造研究推進事業（さきがけ）をはじめとした大型研究費の取得のほか、ポスドクから教員への採用・教員の昇任などが多くみられた。

研究期間中の学生および若手研究者の研究成果は様々な学会等や研究機関から高い評価を受けることとなり、100 件もの受賞を受けたことは特筆に値する。

### 【研究課題代表者の動向】

研究代表者として領域に参画し、期間終了後に飛躍した研究者の例を以下に挙げる。

- 「最先端・次世代研究開発支援プログラム」採択（2011年2月）  
A02 班 公募研究代表者 齋藤 健一（広島大学）・A03 班 計画研究代表者 鳥本 司（名古屋大学）
- 科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業個人研究さきがけ（PRESTO）採択  
A02 班 公募研究代表者 古海 誓一（2010年10月）
- 2011年6月東京工業大学大学院生命理工学研究科特任講師に昇進  
A01 班 松村 有里子（終了時：成蹊大学理工学部・助教）
- 平成22年度科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞受賞  
A02 班 山口 央（平成20年度公募代表者）

### 【研究に参画した若手研究者の動向】

#### 研究終了（卒業）後の就職・昇進

本領域研究に参画した学生のうち、17名が研究機関にポスドクとして、13名が特任助教・講師として就職した。また65名が企業の研究職として研究を行っている。参画した若手研究者に関しては、当初ポスドクとして本領域研究に参画した後、19名が助教・講師・准教授に昇進し、また助教として参画した研究者のうち1名が講師、7名が准教授（特任含む）、1名が教授に昇進した。

#### ◆研究機関への就職および昇進の一例

A01 班 三澤グループ上野 貢生：平成19年助教から北大准教授、A03 班 村越グループ並河 英紀：平成23年助教から山形大准教授として異動、A03 班 尾崎(雅)グループ吉田 浩之：博士課程終了後阪大学院工助教にそれぞれ採用および昇進。

#### 研究期間中の若手研究者の各種受賞 100 件 うち学生による受賞 52 件

##### ◆著名な賞の受賞一例

A01 班 三澤グループ上野 貢生（准教授）平成23年3月第60回日本化学会進歩賞、A01 班 石原グループ飯田 琢也（助教）平成19年井上奨励賞／平成22年文部科学大臣表彰若手科学者賞、A01 班 及川グループ増原 陽人（助教）平成19年度高分子学会高分子研究奨励賞、A03 班 岡本グループ原田 洋介（ポスドク）平成22年7月ナノオプティクス賞（日本光学会ナノオプティクス研究グループ）受賞

##### ◆学生による受賞の一例

A01 班 三澤グループ横田 幸恵（博士課程）平成21年日本化学会第89春季年会学生講演賞、A01 班 及川グループ平石 謙太郎（D3）平成20年応用物理学会 第25回（2008秋季）応用物理学会講演奨励賞、A02 班 齋藤グループ宮崎 聡（大学院生）平成22年度日本化学会中国四国支部支部長賞、A03 班 村越グループ高瀬 舞（D3）平成22年日本化学会第90春季年会学生講演賞、A03 班 長谷川グループ田中 厚（学生）平成21年第89日本化学会春季年会学生講演賞

#### 研究期間中の若手研究者の大型研究費取得 18 件

中でも科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（さきがけ）には以下の9件が採択され、本領域若手研究者の研究のオリジナリティーと将来性が認められた。

A01 班 三澤グループ上野 貢生（助教：准教授）2007年／2010年、A01 班 石原グループ岡 寿樹（博士研究員）2008年／飯田 琢也（助教）2008年、A01 班 寺西グループ江口美陽（助教）2010年、A02 班 笹木グループ藤原 英樹（助教：当時）2007年、A02 班 豊田グループ沈 青（助教）2009年、A02 班 古海 誓一 2010年、A03 班 岡本グループ井村 考平（助教）2008年

#### 領域若手によるシンポジウム開催

研究期間中に若手研究者が企画・運営を行ったシンポジウムは以下のとおりである。

- 分子研研究会「プラズモニック物質と分子科学研究」  
日時：2007年1月23日 場所：自然科学研究機構分子科学研究所
- 第1回「光-分子強結合場」若手シンポジウム  
日時：2010年1月30日-31日 場所：九州大学伊都キャンパス
- 分子研研究会「プラズモン増強光電場の分子科学研究への展開」  
日時：2010年6月18日（金）～19日（土） 場所：岡崎コンファレンスセンター

### 13. 総括班評価者による評価の状況

本領域発足時より国内評価委員4名（徳丸克己氏・筑波大学名誉教授、国武豊喜氏・北九州産業学術推進機構理事長、増原宏氏・奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究科特任教授；台湾国立交通大学応用化学系及び分子科学研究所講座教授、井上晴夫氏（首都大学東京戦略研究センター教授）、ならびに外国人評価委員3名（Prof. Thomas W. Ebbesen・ストラスブール大学（フランス）、Prof. Sajeev John・トロント大学（カナダ）、Prof. Johan Hofkens・ルーバン カトリック大学（ベルギー））に評価を依頼し、領域主催シンポジウム毎に総括班会議を開催し国内評価委員より定期的に評価を受けてきた。また外国人評価委員には年次報告書ならびに領域出版物を送付するとともに国際会議開催や招へい時に進捗状況を報告し、評価を受けてきた。

#### 各計画班のミッションと達成度に対する評価

計画班それぞれのミッションである (1) 光一分子強結合反応場を実現するシステム構築 (A01班)、(2) 高次機能性反応場構築 (A02班)、(3) 反応場の素過程の計測・検討 (A03班) は、各班内の計画研究ならびに公募研究グループそれぞれとそれらの連携によって、本領域研究開始時に掲げた目標がほぼ順調に達成された。例えばナノ空間選択的な多光子反応の実現などの部分は高く評価される。これは、従来、超短パルスレーザーによってのみ可能とされていた多光子励起反応がインコヒーレントな光源で実現できることを初めて示す画期的な成果である。励起空間分解能の向上においては、トップダウン・ボトムアップ手法を組み合わせた金属構造制御技術の飛躍的進展により一分子レベルに迫る増強電場集中を達成しつつある。また、多光子反応の開拓においては電場増強理論と立体構造制御技術の連携によって、増強電場を従来の限界からさらに1桁向上させ、三光子反応場の構築に成功した。金属構造制御によってあらゆるモードの局在・進行波プラズモンを導波・集約・干渉させ得る技術を確立しつつある。これらの知見に基づき超高感度ラマン計測、蛍光増強観測、超高空間分解能近接場顕微計測、フェムト秒表面電子状態計測などが実現した。さらに全く新しい動作原理に基づく多光子光化学反応、太陽電池、光触媒反応の高効率化が達成された。また、これらに加えてタンパク質の光誘起結晶化、X線発生、高調波発生材料、単一分子光源などの革新的な技術や現象の芽が見出されつつあり、他領域の研究者に対しても大きなインパクトを与える概念が提示されたと言える。

また、これらの現象に関する詳細なメカニズムの解明とそれを支える理論が構築された。真に新しい原理的発見についての知見を得るためには、遷移確率や量子収率といった定量的計測などの地道な取組が重要であるが、基礎的な分光実験の連携と理論検討により現象の定量化と理論構築についても具体的な取組が成された。

#### 班内・班間連携の推進に対する評価

上記の各計画班ミッション加えて、さらに班内・班間連携によって達成しようとするグループ縦断的な具体的研究ターゲット（「ナノ加工」、「光エネルギー変換デバイス構築」）を設定した取り組みは高く評価される。公募班も加えた有機的かつ多面的な検討が成されている。機動的な情報交換と研究検討が行われており、以下に示す例の他多くの具体的な成果が得られた。

「ナノ加工」については、新しい大面積規則ナノ構造光形成に関する特許出願などがすでに成されている。数十ナノメートルのサイズ領域にて形状を自在に制御して基板を加工する技術が確立された。今後、さらなる発展が期待される。「光エネルギー変換デバイス構築」については、多彩な分子、材料を用いて電極系を構築することが可能となり、形状にバリエーションを有するプラズモン起電力デバイスが実現した。また電力を発生する太陽電池のみならず水を電気化学的に分解し、光エネルギーを水素・酸素などの化学エネルギーとして貯蔵する手法の端緒も見出ししている。いずれの連携においても、汎用性の高い応用レベルにある、ハイスループットなインプリント型近接場ナノ加工や全く新しい近赤外光応答型の太陽電池技術の創出は、計画と公募班が一体となって班間・班内連携を有機的かつ多面的に推進した結果得られた成果であり、本領域発足時の想定を超える優れた成果といえる。

#### 領域研究の他分野への波及効果に対する評価

多くの原著論文や研究発表に加え、定期的な公開シンポジウム、各学会における冠シンポジウム、また啓蒙的なチュートリアル講座開催、さらに、Web、ニュースレター、業績集の発刊など十分な広報活動が行われている。これらにより領域研究への興味が光化学以外の物理化学、分析化学、生化学などの広い基礎学問分野より寄せられているだけでなく、多くの企業からも注目されている。特にエネルギー・環境分野に関する企業から問い合わせが領域代表のみならず複数の班員に多く寄せられている。シンポジウムでは常に20社以上の企業からの参加者がおり、光メモリー、リソグラフィ、特殊波長センサーなどの新技術の開発を検討するための相談に来ている会社もあり、他分野への十分な波及効果が認められる。さらにこれらの反響が国内にとどまらず、海外からも寄せられていることは、多くの招待講演、著書執筆依頼、共同研究申込みなどからも明らかである。