

【学術変革領域研究 (B)】

スマートナノ粒子の光科学

	研究代表者	九州大学・理学研究院・教授 平松 光太郎 (ひらまつ こうたろう) 研究者番号：60783561
	研究課題 情報	課題番号：25B203 研究期間：2025年度～2027年度 キーワード：ナノフォトニクス、分子分光学、バイオイメージング、金ナノ粒子

なぜこの研究を行おうと思ったのか (研究の背景・目的)

●研究の全体像

病気の早期発見や生命の仕組みの解明には、生きた細胞の中で起こる分子的な挙動を“その場で”観察する技術、すなわちバイオイメージングが欠かせない。これまでに、蛍光タンパク質や有機色素、量子ドットなど、さまざまな光応答性物質がイメージングのために用いられてきた。近年のナノテクノロジーの進展により、金属や半導体などで構成された多種多様なナノ粒子が開発され、バイオイメージングへの応用も急速に進んでいる。

しかし、これらのナノ粒子の持つポテンシャル——たとえば、分子サイズでありながら高度な光学機能を持ち、しかも生体適合性に優れるといった性質——は、まだ十分に引き出されているとは言えない。現在主に利用されている蛍光性ナノ粒子は、光を当てると単に発光するという機能にとどまり、その光学応答が周囲の環境とどう関係しているのかを精密に読み取るには限界がある。

本研究領域では、こうした従来型のナノ粒子の限界を超える新しい概念として、「スマートナノ粒子」を提案する。スマートナノ粒子とは、単に光励起により発光するだけの粒子ではなく、近赤外領域で強い光学応答を示し、かつその形状とスペクトル応答の関係性を通じて、粒子の置かれた局所環境の構造や相互作用を“読み取る”ことができる粒子である。

なかでも本研究では、直径が原子数個分程度しかない極細金ナノ構造をスマートナノ粒子の代表として取り上げ、その合成法、計測技術、バイオ応用技術を一体的に開発していく。これらの粒子は、細胞内での構造や分子の動きを、形状変化やプラズモン共鳴のスペクトル変化として可視化できるポテンシャルを持っている。

さらに、近赤外光は生体組織を透過しやすく、かつ光毒性が低いため、生きた細胞や生体組織に対して非侵襲的な計測が可能になる。この性質を活かして、スマートナノ粒子によるバイオイメージングは、がんなどの早期診断、新しい医療技術の開発、さらにはナノスケールの構造生物学にまで応用可能なプラットフォームとなることが期待される (図1)。

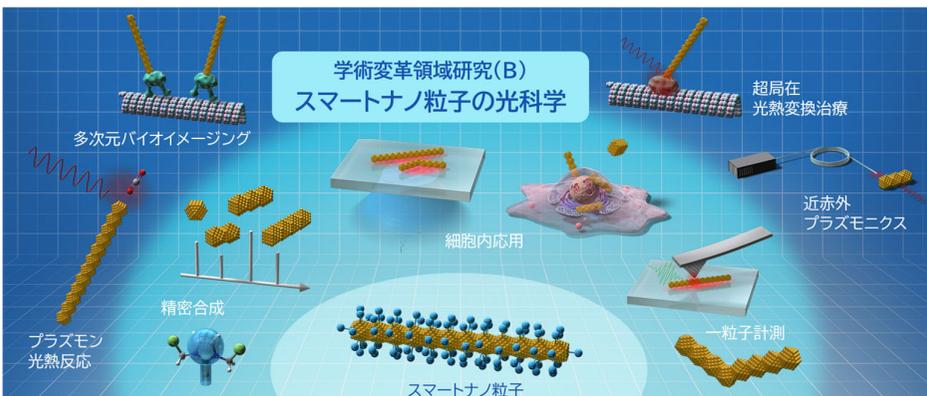


図1：本研究領域で展開するスマートナノ粒子の光科学の概要と将来展望

●研究の将来構想

本研究で基盤を築く「スマートナノ粒子の光科学」は、将来的に医療・生命科学・材料科学を横断する学術と技術のハブとなることが期待される。本研究終了後には、スマートナノ粒子を用いた多次元的バイオイメージングを高度化し、細胞内小器官の構造、分子間相互作用、局所的な力学・電気的環境を同時に可視化するプラットフォームの確立を目指す。また、異なる分子で表面修飾された粒子を組み合わせることで、選択的な光熱治療や細胞操作技術への応用も構想している。さらに、粒子配列制御によるプラズモン導波路や赤外光通信素子などの光デバイス応用、さらには熱エネルギーの光変換によるCO₂還元反応のような環境・エネルギー分野への展開も視野に入れている。将来的には、臨床応用や社会実装に向けたコンソーシアム形成も見据え、産学官連携を通じて広く波及する技術基盤の確立を目指す。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●研究領域の達成目標

本研究が目指すのは、「スマートナノ粒子」と呼ばれる新しい光応答性ナノ構造体を用いた、次世代のバイオイメージング技術の創出である。特に焦点を当てているのは、高いアスペクト比をもった極細金ナノ構造であり、このような高い異方性を持つナノ粒子が持つ独自の光学特性を活用して、これまで捉えることが困難だった細胞内の構造や分子の動きを“光で見る”ことを目指す。

本研究領域は、A01 (合成)、B01 (計測)、C01 (応用) の3つの研究チームで構成される (図2)。A01では、スマートナノ粒子の安定で再現性のある合成法を確立し、サイズや形状の揃った粒子の供給を可能にする。これにより、粒子の形状と光学応答との対応関係を精密に調べることが可能となり、ナノレベルでの構造情報の読み出しに向けた基礎を築く。

B01では、1粒子ごとの近赤外プラズモン共鳴スペクトルを測定するための高分解能分光技術を開発する。これにより、粒子の組成、形状や周囲環境に起因するスペクトル変化をナノスケールで可視化し、スマートナノ粒子を生体内で応用した際に得られる光応答を理解するための基盤を確立する。

C01では、細胞内に導入したスマートナノ粒子を用いて、生きた細胞の中での構造変化や分子間相互作用をリアルタイムで非侵襲的に観察するバイオイメージング技術を構築する。これにより、例えば細胞骨格の変形や分子の動態、局所的な粘性や電場分布といった情報を、1粒子レベルで空間的・時間的に解像することが可能になる。

このように、本領域では、単にターゲット分子の存在を可視化するためにナノ粒子を用いるのではなく、スマートナノ粒子のもつ小ささや異方性といった性質に由来する光学特性を最大限利用することで、多角的な情報取得を可能にするを目指している。その成果は、がんの早期診断や個別化医療、新しい光治療法、さらにはナノスケールの物性科学にまで波及すると期待される。

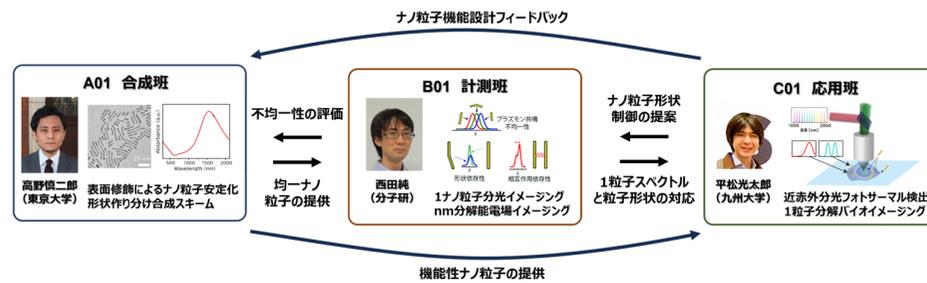


図2. 本領域「スマートナノ粒子の光科学」における3者共同研究体制の概要

ホームページ等

<https://smart-nanoparticles.jp>