

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： バイオのナノテクノロジーを用いたナノ集積プロセス
2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名(研究機関名・職名は研究参加期間終了時点)

研究代表者

山下 一郎 (松下電器産業株式会社 先端技術研究所 主幹研究員 兼
奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科 教授)

主たる共同研究者

Jeremy Tame (横浜市立大学 大学院総合科学研究科 教授)

3. 研究内容及び成果

3 - 1 研究課題全体

本研究は、生物の持つ、ナノメートルサイズの生体超分子の機能性ナノ構造を自動的に作製する自己組織化能や、その表面の性質を利用して無機材料を析出させるなどの能力に注目して、有機・無機のナノ構造を作製し、ナノデバイス作製に資する技術を作成することを目指し、(1)ナノ構造作製のテンプレートとなるタンパク質超分子の設計・作製と高次構造作製、(2)バイオミネラリゼーションに関する研究を進めた。

タンパク質の設計・作製と高次構造作製では、既存タンパク質の利用と、繰りかえしと対称性を利用する戦略を取り、中心にナノドットを持ち、その周辺に電極となるナノワイヤの合成が可能なロッドを生やした構造を設計し、中心にナノドットを持つ大型タンパク質を作製した。また、リング状タンパク質、TRPを積み重ねた筒状構造を設計し、チューブ構造を有するタンパク質を作製した。このタンパク質を用いて、リング状態でのナノ粒子固定、電子デバイス作製にも成功した。高次構造作製法として、外表面にカーボン材料認識ペプチドを付加したフェリチンを用いる方法で、フェリチンの2次元規則配列をアルカリフリーで行えることを見いだした。このフェリチンの単層配置を繰り返すことにより3次元構造の作製ができることも見いだした。

バイオミネラリゼーションでは、球殻状タンパク質、フェリチン、リステリアフェリチンの内部空間を利用したナノ粒子合成、メカニズム解明を行った。バイオミネラリゼーションメカニズムの解明として、フェリチンの外表面を化学修飾する実験を行い、フェリチン外部表面に無機材料の析出防止効果があることを検証した。また、無機材料イオンの通り道となるフェリチンの3回対称チャンネルを改変することで、チャンネルの親水性の強さが核形成に影響していることを確認した。また、内部表面のアミノ酸を改変し、核形成部位の果たす役割を明かした。さらに、ナノ粒子合成において、化合物半導体ナノ粒子合成に適した化学反応溶液の設計、反応順序を明かした。また、リステリアフェリチンを用いた小型ナノ粒子の合成、タバコモザイクウイルスを用いたナノワイヤの合成にも成功した。このナノワイヤ合成には超音波照射が重要であることも見いだしている。また、べん毛繊維を用いた場合に、外側に1列に並んだナノドットの配列が得られることも見いだしている。

これら5年間で得られた成果を要素技術として、松下電器、奈良先端大、東北大、東工大、阪大と共同して、次世代半導体技術であるフローティングメモリの作製に応用し、プロトタイプの試作動作に成功した。

3 - 2 グループ毎

(1) バイオミネラルナノ構造グループ

このグループでは、バイオミネラリゼーションと超分子ナノ構造作製を担当した。

タンパク質の設計・作製と高次構造作製では、既存タンパク質の利用と、繰りかえしと対称性を利用する戦略を取り、中心にナノドットを持ち、その周辺に電極となるナノワイヤの合成が可能なロッドを生やした構造を設計し、中心にナノドットを持つ大型タンパク質を作製した。高次構造作製法として、外表面にカーボン材料

認識ペプチドを付加したフェリチンを用いる方法で、フェリチンの2次元規則配列をアルカリフリーで行えることを見いだした。このフェリチンの単層配置を繰り返すことにより3次元構造の作製ができることも見いだした。

バイオミネラリゼーションでは、球殻状タンパク質、フェリチン、リステリアフェリチンの内部空間を利用したナノ粒子合成、メカニズム解明を行った。バイオミネラリゼーションメカニズムの解明として、フェリチンの外表面を化学修飾する実験を行い、フェリチン外部表面に無機材料の析出防止効果があることを検証した。また、無機材料イオンの通り道となるフェリチンの3回対称チャンネルを改変することで、チャンネルの親水性の強さが核形成に影響していることを確認した。また、内部表面のアミノ酸を改変し、核形成部位の果たす役割を明かとした。さらに、ナノ粒子合成において、化合物半導体ナノ粒子合成に適した化学反応溶液の設計、反応順序を明かとした。また、リステリアフェリチンを用いた小型ナノ粒子の合成、タバコモザイクウイルスを用いたナノワイヤの合成にも成功した。このナノワイヤ合成には超音波照射が重要であることも見いだしている。また、べん毛繊維を用いた場合に、外側に1列に並んだナノドットの配列が得られることも見いだしている。

(2) プロテインナノチューブグループ

このグループでは、タンパク質チューブ構造設計・作製を担当している。

リング状タンパク質、TRPを積み重ねた筒状構造を設計し、チューブ構造を有するタンパク質を作製した。このタンパク質を用いて、リング状態でのナノ粒子固定、電子デバイス作製にも成功した。

4. 事後評価結果

4 - 1. 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

論文 (原著)		口頭 (ポスター)		招待講演		その他 (著作など)	特許出願	
国際	国内	国際	国内	国際	国内	国際&国内	国際	国内
38	1	40	56	13	11	12	3	4

論文、口頭発表数は妥当である。招待講演数、特許出願数が少ない。

中心にナノドットを持ち、その周辺に電極となるナノワイヤの合成が可能な、ロッドを生やした構造をもつ大型タンパク質を作製した論文内容が奈良先端大からプレス発表されている。

フェリチンを遺伝子工学的改変や化学修飾により、2次元規則配列をアルカリフリーで行えることを見いだしたこと(芝チームとの共同研究)、バイオミネラリゼーションメカニズムを解明し、フェリチン内部に化合物半導体のナノ粒子を合成することに成功したことは特筆できる。

4 - 2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献

生体材料の自己組織化とバイオミネラリゼーションを利用して、半導体プロセスに使用可能なタンパク質を設計・作製し、実際にナノ粒子・ナノワイヤを実現した上、デバイスに使えることを実証した。「バイオナノプロセス」と呼ばれるこのユニークな技術で新分野を切り開いたことは、この分野に与えるインパクトが大きい。

フェリチンの2次元規則配列をアルカリフリーで行える技術は、蛋白質をエンジニアリング材料として利用する基盤を与えると期待される。

また、この技術を次世代半導体技術であるフローティングメモリの作製に応用し、プロトタイプを試作動作に成功しているなど、半導体プロセスへの展開が期待できる。

4 - 3. その他特記事項(受賞歴など)

(1)主な受賞

2007年 日本表面科学会 技術賞 受賞 山下一郎 主幹研究員

2007年 HFSP(ヒューマン・フロンティア・サイエンス・プログラム) 受賞
山下一郎 主幹研究員

(2)今後の展開

本研究の成果は、松下電器内でのデバイス作製のための基礎的情報を与えるものとして利用され、デバイス作製へ展開されている。