

平成 20 年度戦略目標

1. 戦略目標名

プロセスインテグレーションによる次世代ナノシステムの創製

2. 本戦略目標の具体的な内容

本戦略目標は、ナノテクノロジーを活用したプロセスの高度化と統合化を進めることによって、バイオとエレクトロニクスが融合したナノシステム、ナノ構造による化学反応場を利用したシステム、自律的に機能する分子システムなど、MEMS(NEMS)等を含む次世代ナノシステムの創製を目指す。これまで、様々なデバイスやシステムの高速度化・集積化・小型化等は、トップダウンプロセス技術の発展に支えられてきた。それはシリコン CMOS の高集積化がフォトリソグラフィ技術の微細化によりなされてきたことに顕著に表れている。

フォトリソグラフィ等の加工精度は 2007 年現在で 45 nm レベルに達しているが、上記の革新的な機能をもつナノシステムの創製には、数 nm レベルまで加工精度を高めることが必要である。

また、自己組織化に代表されるボトムアッププロセスでは、1 nm をきる分子サイズレベルでの形成精度も実現可能であるが、現状では分子等を配列させるだけの技術レベルに止まっている。自己組織化の技術を、分子配置、分子構造等を時間的・空間的にダイナミックに制御して自在にナノ構造体を構築することのできるレベルまで高めるとともに、それらナノ構造体を組み合わせることで自律的に機能を創発する自己機能化のレベルまで発展させていくことが必要である。

本戦略では、従来からの技術的蓄積のあるトップダウンプロセスと、今後の発展が大いに期待されるボトムアッププロセスについて、それぞれの高度化を一層推進するとともに、それらプロセス技術の様々な組み合わせを試みることで、上記次世代ナノシステムの創製をはかることを目的とする。

3. 政策上の位置付け

本戦略目標は、社会・産業からの要請が強く、「True Nano」領域における革新的材料開発を伴わなければ解決困難な課題と国際競争の優位を確保する課題の解決を目指すもので、以下の戦略重点科学技術に関係する。

○イノベーションを生む中核となる革新的材料・プロセス技術の創出

○国民の健康と生活の安全・安心を支える革新的ナノテクノロジー・材料技術の創成

4. 当該研究分野における研究振興方策の中での本研究事業の位置づけ、他の関連施策との切り分け、政策効果の違い

本戦略目標と同様に、ナノプロセスに関連するものとして過去に次の三つの戦略目標があるが、いずれもがプロセスの基盤知の蓄積、基本原理・現象の理解、動作理論の解明などを目指しているものである。

- ・異種材料・異種物質状態間の高機能接合界面を実現する革新的ナノ界面技術の創出とその応用
- ・ナノデバイスやナノ材料の高効率製造及びナノスケール科学による製造技術の革新に関する基盤の構築
- ・生命システムの動作原理の解明と活用のための基盤技術の創出

これに対して本戦略目標では、プロセスとしては未だ未成熟なボトムアッププロセスの開発ならびにナノデバイスの構築に不可欠なトップダウンプロセスのより一層の高精細化によって、次世代ナノシステムを創製する研究を対象としており、前者三つとは根本的に異なる。

5. この目標の下、将来実現しうる成果等のイメージ、他の戦略重点科学技術等に比して優先して実施しなければならない理由、緊急性、専門家や産業界のニーズ

本戦略目標の具体的な成果等を挙げれば、以下の様な次世代ナノシステムの創製である。

- ・タンパク質やDNA等の自己組織化を利用した新たな配線構造を有するシステム
- ・ウィルスをテンプレートとして作製した電極からなる高効率イオン電池
- ・トップダウンプロセスとバイオが融合した医療用ナノシステムの構築
- ・自己機能化した有機系材料による人工筋肉
- ・光機能性分子が自己組織化してなるセルフクリーニングシステム

これらのシステムの創製には、トップダウンプロセスを「True Nano」領域にまで発展させることは当然として、生体物質を模倣し、ミクロな素過程に立ち戻って電荷分離・伝導機構を明らかにし、それらの知見に基づいてプログラムされたナノ構造体が自ら機能を創発すべく構造化することを可能とする革新的なボトムアッププロセスを開発することが必要である。このボトムアッププロセスの確立とトップダウンプロセスとの統合は、製造技術分野における日本の優位性をさらに高めるものであり、今まさに喫緊に取り組むべき領域であると言える。

6. 本研究事業実施期間中に達成を目指す研究対象の科学的裏付け

我が国はトップダウンプロセスの代表例のフォトリソグラフィエッチング技術で世界の

最先端を走っている。線源に EUV を使うなどして短波長化させることで、加工分解能の向上が可能になるが、EUV 線源については文部科学省のプロジェクトの 1 つとしての取り組みが始まっている。また、量子相関を有するもつれ合い光子の特異な振る舞いを利用することでも、光の回折限界をはるかに超える加工分解能の実現が可能である。イオンビーム加工では、希ガスをを用いたイオン源の開発によって加工時の損傷を大幅に減少させることが期待される。また球面ならびに色収差補正技術の導入により、加工精度を数 nm レベルまで大幅に向上できると考えられる。この収差補正技術についても、我が国独自のシステムの開発が文部科学省のプロジェクトで進められている。

一方、ボトムアッププロセスの開拓についても日本は優れた要素技術をもっており、特に高分子工学・有機化学は世界の最先端を走っているとされる。本戦略目標に関連するものとして以下のものが挙げられる。

- ・デンドリマー等に代表される高分子ナノ空間制御材料や自己構造化ナノチューブ等の研究
- ・ウイルスを使った金 - 酸化コバルトのハイブリッドワイヤーの室温合成ならびにそれらの二次元制御によって薄く柔軟なリチウムイオン電池を作る研究
- ・人工物と生体分子に代表される異種材料間をハイブリッド接合する研究
- ・ナノサイズ粒子を表面張力等の利用により自己構造化させる研究
- ・ブロックコポリマーのミクロ相分離によるパターンドメディアの加工プロセスの研究

これらの研究に、さらに高度化させたトップダウンプロセスを用いることで、より複雑な構造や高い機能を有する次世代デバイスの創製につながることが期待できる。

7. この目標の下での研究実施にあたり、特に研究開発目標を達成するための留意点

本戦略目標は、単なるプロセス研究ではなく、あくまでも次世代ナノシステムの創製を目指す研究を対象とするものであり、この点を明確に意識した領域運営が求められる。また、一層の科学的探求を要する基盤技術に対する集中的な投資や関係機関との有意義な連携協力体制の構築なども必須である。

本戦略目標では、ナノスケールにおける微細加工、原子分子の挙動の観測、精密な生体分子操作といったハード技術の向上やデータ処理・解析、シミュレーションといったソフト技術の発展のみならず、材料工学、分子工学、界面工学、蛋白工学、流体科学といった既存の科学領域の統合に基づく新規な科学領域の創成が必要となる。このため、大学や独法を中心とした研究体制を前提として、企業が参画した体制がより望ましい。

トップダウンからボトムアップまでのプロセス研究の知見を持つとともに、それらを駆使してナノシステムを構築するまでの広く且つ深い領域全体を俯瞰できる総括の強力なイニシアチブのもと、互いのグループ間の連携を密にし、共通インフラも使いながら、グルー

プ内での明確な役割分担，理論と実験の融合，人材の交流等の研究投資を有効に成果につなげるための具体的な仕組みが必要となる。既存の研究拠点との連携をはかるなどの工夫が考えられるので，十分に留意すること。

（参考）本研究事業実施期間中に達成を目指す政策的な目標

本戦略目標では，バイオとエレクトロニクスが融合したシステム，ナノ構造による化学反応場を利用したシステム，自律的に機能する分子システム等の次世代ナノシステムを創製することを目指しているが，これにはフォトリソグラフィ，イオンビーム加工に代表されるトップダウンプロセスのさらなる高精細化をはかることと，ボトムアッププロセスを単なる自己組織化から自己機能化まで進化させることが不可欠となる。

トップダウンプロセスでは、フォトリソグラフィにおける露光光源の短波長化によって加工精度を数十 nm から 1 nm レベルまで高めることが求められる。また、通常ガリウムイオンの照射により行われるイオンビーム加工は加工精度が 50 nm 程度であるが、ガリウムイオンによる衝撃で加工面が変質し特性劣化が起こり、それを補うための後処理工程が必要になることが多い。加工精度を数 nm レベルまで向上させることに加えて、無損傷での加工が可能なプロセスの開発が必要である。

一方ボトムアッププロセスについては、単なる自己組織化の研究にとどまることなく、ハイスループット・低コスト・省エネルギー生産を可能とする革新的なプロセス技術の開拓によって、最終的には機能の創発するナノシステムの構築に資することを目指す。このためには、多種多様な無機材料ナノ粒子やデンドリマーに代表される様々な構造をもつ有機分子等のナノ構造体を時間的・空間的にダイナミックに制御する技術の確立が不可欠である。また、生体分子の示す自己構造化，自己複製，自己修復等の挙動から得られる定量的な情報の抽出や解析を行い，自己機能化するための設計指針を確立することも重要である。現在の製造産業においては，トップダウンプロセスによる微細加工が中心であるが，より発展したトップダウンプロセスと実用化レベルまで進化したボトムアッププロセスとを統合することは，国内のナノテク産業が国際的に成功をおさめるのに必須要素であると言っても過言ではない。