

科学研究費補助金（特別推進研究）公表用資料
〔研究進捗評価用〕

平成21年度採択分

平成23年5月25日現在

研究課題名（和文） **拡張ナノ空間流体工学の創成**
研究課題名（英文） **Creation of fluid engineering in extended-nano space**



研究代表者
北森 武彦 (KITAMORI TAKEHIKO)
東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究の概要：本研究では、我々が培ってきた基礎的技術を基盤に拡張ナノ空間（10-1000 nm）の研究ツールを創成し、これをもとに単一分子から連続体への遷移領域である拡張ナノ空間で初めて出現する事象を流体および化学の両面から明らかにして、これらに関連付けて最終的に体系化することによって「拡張ナノ空間流体工学」を創成する。具体的には、拡張ナノ空間研究のための基盤（加工、流体制御、計測）の確立、及び拡張ナノ空間の流体物理・化学（基礎物性、反応特性、細胞間拡張ナノ空間の分子輸送）の解明に取り組む。それにより、拡張ナノ空間を利用した将来の革新的デバイスのための基礎を構築することを目的とする。

研究分野：流体工学、マイクロ・ナノデバイス
科研費の分科・細目：機械工学・流体工学
キーワード：拡張ナノ空間、マイクロ化学システム

【研究開始当初の背景および目的】

量子効果や近接場効果が発現する数 nm の空間を利用するナノテクはエレクトロニクスやフォトニクス等における学術と技術に新しい展開をもたらしてきた。一方、我々は数 μm 以上の空間において、ガラス基板上にマイクロ流路を作製し、そこに反応・抽出等の化学操作を集積化するマイクロ化学システムの研究を進めてきた（図1）。小さいが故に、表面の化学的・物理的特性が流体挙動に大きく影響する空間特性を利用し、短時間・高効率に化学プロセスを完了するマイクロ

化学チップの技術を世界に先駆けて開発し、診断分析等に活用してきた。こうした直近の先端技術をサイズスケールで整理すると（図1）、 $10^1\text{--}10^2\text{ nm}$ の空間（拡張ナノ空間と定義）は、ナノテクからマイクロ化学チップへの移行領域であり、また、孤立系の単一分子から凝縮相への過渡的空間であるが、この空間は科学的・技術的に重要であるにもかかわらず、これまで有効な実験ツールがなく、科学としても技術としても比較的未踏の領域といえる。

そこで本研究では、我々が培ってきたマイクロ化学技術を基盤に拡張ナノ空間の研究ツールを創成し、これをもとに拡張ナノ領域で初めて出現する流体の物理と化学を明らかにして、「拡張ナノ空間流体工学」を創成する。それにより、拡張ナノ空間を利用した将来の革新的デバイス創成のための基礎を構築することを目的とする。

【研究の方法】

研究項目 A: 拡張ナノ空間基盤技術の確立

A-1) 拡張ナノ空間極限加工法の開発

拡張ナノ空間特有の原理を利用した表面修飾や構造体のボトムアップ加工法を開発し、トップダウン加工法との組み合わせによる機能性拡張ナノ空間の創出法を確立する。

A-2) 拡張ナノ空間の流体制御法の開発

親水・疎水等、表面濡れ性を空間的に制御

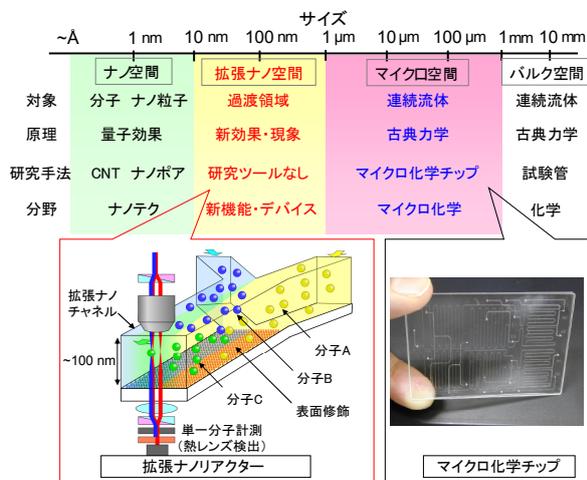


図1 研究の構想

〔研究の方法（続き）〕

することによって、機械的流体制御デバイスを持ち込めない拡張ナノ空間内で高度な流体制御法を提供する。

A-3) 拡張ナノ空間の計測法の開発

拡張ナノ空間における単一分子検出法を、我々独自の非蛍光性分子超高感度検出器・熱レンズ顕微鏡(TLM)を発展させて実現する。

研究項目 B: 拡張ナノ物理・化学特性の解明

B-1) 拡張ナノ空間の基礎物性の解明

拡張ナノ空間基礎物性について、単分子の観点から溶液構造を解明し、連続体の観点から流体特性・伝導度を得ることで、拡張ナノ特有の事象を見出して科学を明らかにする。

B-2) 拡張ナノ空間の化学反応特性の解明

拡張ナノ特異性による化学反応をサイズ依存性に焦点を当てて解明する。

B-3) バイオ拡張ナノ空間の溶液化学の解明

特異性が示唆されている細胞間空間の模倣デバイスを創出し、溶液の挙動を解析する。

【これまでの成果】

当初の研究計画に従い、これまで2年間は、研究項目 A（基盤技術）に注力した。その結果、加工、流体制御、計測いずれにおいても拡張ナノ空間科学のための独自の方法論を世界に先駆けて構築することが出来た。特に、加工技術に関しては、プラズマを用いたガラス基板の常温接合法を開発し、ナノワイヤや単分子膜といった熱に弱い構造体のナノ流路への組み込みによる多機能拡張ナノ流体デバイスの基盤を構築した。

また、当初の予定より研究が加速したことから、研究項目 B（物理・化学の解明）についても着手することができた。その結果、拡張ナノ空間の水・ガラスの系における表面プロトン解離の促進、伝導度の上昇、バルクとは異なる水素結合ネットワークといった、拡張ナノの特異性が明らかになってきた。これらの結果は流体特性へ影響を示唆するため、研究項目 A として新たに拡張ナノの流速分布計測法（ナノ PIV）の開発を追加し、拡張ナノ流体の研究を推進するために「拡張ナノフルイディックセンター」を立ち上げた。現在までに、超解像度顕微鏡を用いて世界ではじめて拡張ナノ空間のプロトン濃度分布を得ることに成功している。

化学反応への展開では、拡張ナノ構造に発生した近接場光による可視光での酸化チタンの励起など、非常にインパクトのある知見が得られはじめた。

更に、バイオへの展開では、拡張ナノ空間にリン脂質を修飾することに成功し、細胞間構造を模擬した系を世界ではじめて構築した。その結果、細胞間に閉じ込められた水のプロトン移動度が上昇していることを初めて明らかにした。これは今後、細胞機能の解

明に重要なモデルになると考えられる。

以上、これまでの2年間は当初の計画以上の成果が得られたといえる。

【今後の計画】

研究期間後半の2年間は、これまでに研究項目 A で構築した拡張ナノ基盤技術をもとに、研究項目 B の拡張ナノ物理・化学の解明に注力する。

B-1) 拡張ナノ空間の基礎物性の解明

拡張ナノ空間の流速・イオンの分布情報を古典的な電気二重奏モデルと比較し拡張ナノの特異性を見出す。見出された拡張ナノ特異性が発現する場において、伝導度、粘性、プロトン移動度、溶液構造について網羅的に実験的知見の上積みを行い、バルクとの違いから我々が提唱するプロトン移動相モデルの実証や機能解明に取り組む。

B-2) 拡張ナノ空間の化学反応特性の解明

プロトン移動性の化学反応について拡張ナノ空間の特異な反応性を見出す。また、表面親和性を利用した溶媒の相分離とこれを利用した新規化学反応操作の確立を目指す。

B-3) バイオ拡張ナノ空間の溶液化学の解明

バイオ拡張ナノ空間において生体内酵素反応・流動解析を行い、プロトン伝導性が生体機能に及ぼす影響を明らかにする。

【これまでの発表論文等（受賞等も含む）】

発表論文・査読付国際会議論文（33件）

1. H. Shimizu, K. Mawatari, T. Kitamori, “Development of Differential Interference Contrast Thermal Lens Microscope (DIC-TLM) for Sensitive Individual Nanoparticle Detection in Liquid”, *Anal. Chem.*, 81, 9802-9806, (2009).
2. K. Morikawa, K. Mawatari, M. Kato, T. Tsukahara, T. Kitamori, “Streaming potential/current measurement system for investigation of liquids confined in extended-nano space”, *Lab Chip*, 10, 871-875, (2010).

受賞（3件）

1. 優秀ポスター賞, 衛門久樹, “溶液物性解析のための拡張ナノ空間内リン脂質二重膜修飾”, 第21回化学とマイクロ・ナノシステム研究会(2010年5月).
2. Student Poster Competition Award, 清水久史, “Detection of non-fluorescent molecules in extended nanochannel using differential interference contrast thermal lens microscope”, *Pacificchem* (2010年12月).

ホームページ等

<http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/kitamori/index.html>