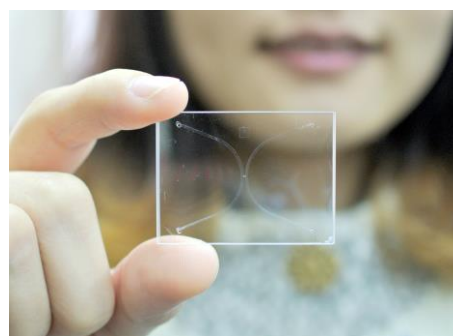


本学教員がマテリアルサイエンスのトップ国際総合科学誌 「Advanced Materials」の招待に応じ、 業界の鳥瞰、研究開発の最前線、および展望を発表 ～ナノ流体チップ：マテリアルサイエンスの新しい舞台～

大阪府立大学（学長：辻 洋）大学院工学研究科の許岩准教授が、近年取り組んできたナノ流体チップとマテリアルサイエンスの融合に関する功績が認められ、業界トップ国際総合科学誌「Advanced Materials」の招待に応じ、業界の鳥瞰、研究開発の最前線、および展望に関する論文を発表しました。

許岩准教授はナノ流体チップ（用語解説 1；右図）とマテリアルサイエンスの融合に取り組んでいます。ナノ流体チップを中核とする革新応用は、化学やバイオ、材料、エネルギー、創薬、臨床医学などの幅広い分野の革新をもたらすと期待されています。上記の論文において許岩准教授は、将来、マテリアルサイエンスとナノ流体チップ技術開発にお互いに重要な役割を果たすことを確信した上で、より多くのマテリアルサイエンスの研究者がこの新しい舞台に参加するよう呼びかけています。



1. 研究の概要

近年、化学・バイオ技術にオーダーシフト革命（用語解説 2）をもたらすナノ流体チップ技術が注目されています。ナノ流体チップを用いることにより、ナノスケールの流体（＝ナノ流体）特有の物理現象と効果が続々と明らかになり、化学やバイオ、材料、エネルギー、創薬、臨床医学などの幅広い分野の革新が期待されます。しかし、応用開発を支える様々な基盤技術が欠如していることから、ナノ流体チップを中核とする革新応用には多くの課題が残っていました。近年、上記の課題を解決するために、大阪府立大学大学院工学研究科の許岩准教授が率いる研究チームは、新しい手法を用いて、ナノ流路加工、およびナノ流体制御、計測、機能集積化等基盤技術を開発し、ナノ流体チップ技術と様々な分野（特にマテリアルサイエンス分野）との融合への道を開拓してきました。

ナノ流体チップ内の制御されたナノ流体環境は、物質の可能性を探求し、新しいマテリアルを創造するための前例のない新しい舞台となることが期待されます。この舞台において、マテリアルの機能をナノ流路におけるユニークなナノ流体の物理現象・効果と巧みに接合し、同時にマテリアルの特性に直接に影響を与えるナノ流路の極微小空間特徴（用語解説 3）を十分に活用することにより様々な創造性をもたらします。これが実現できれば、マテリアル合成の新しいアプローチが開発できるだけでなく、マクロおよびミクロンスケールでは得ることができないマテリアルの機能の飛躍を達成することも期待されます。さらに、ナノ粒子やナノチューブ、高分子などのたくさんのナノマテリアル、およびナノ流体と同じスケールにある DNA やタンパク質、ウイルス、エクソソームなどの数多くの生体物質にナノ流体チップを利用することにより、これまでにない超高の空間的・時間的分解能下でこれらのナノマテリアル・

生体物質（分子でさえも）を 1 個レベルでの分離、検出、操作、組み立て、さらには反応させることが可能になります。これは、新たな機能性材料の合成や DNA の任意合成等を可能とする究極の精密人工合成法の開発、がんや感染症の超早期診断・予測および高精度予後判断が可能な医療技術の開発、精密医療と個別化医療の実現に貢献できます。

このたび、許岩准教授らが取り組んできたナノ流体チップとマテリアルサイエンスの融合に関する功績が認められ、マテリアルサイエンスのトップ国際総合科学誌 *Advanced Materials* の招待に応じて、この新しい分野の開拓者として業界の鳥瞰、研究開発の最前線、および展望に関する論文を発表しました。許岩准教授は、将来マテリアルサイエンスとナノ流体チップ技術開発にお互いに重要な役割を果たすことを確信した上で、より多くのマテリアルサイエンスの研究者がこの新しい舞台に参加するよう呼びかけています。

2. 背景

ナノスケールの流体（以下「ナノ流体」という）は、一般的にあまり知られていませんが、実は自然界や私たちの日常の生活に多く存在し、今後の技術革新に大きなインパクトを与える可能性があります。例えば、木材の吸湿、スポンジの吸水、コルク内ワインの残留、サンゴ内海水の浸透にナノ流体現象があります。フィルタや分離膜を用いた水の浄化や海水淡水化も、ナノ流体現象を利用される場合があります。これまで、私たちはこれらの中のナノ流体がどのように機能するかを解明できていませんでしたが、経験的に多孔質材料の使用法を導きだしてきました。また、世界のエネルギー事情に革命を起こすのではないかと期待されるシェールガスが大変注目されていますが、シェールガスを頁岩（シェール）層から効率的に採取するために、ナノ流体現象の解明と利用が必要不可欠だと言われています。

ただし、ナノ流体の関連研究（Nanofluidics）は、研究ツールが極めて少なく、他のナノの研究領域より大変遅れています。しかし、近年この状況を変えつつある一つの新しいチップ技術が生まれました。それが化学・バイオ技術にオーダーソフト革命（用語解説 2）をもたらすナノ流体チップ技術です。ナノ流体チップ（図 1）とは、内部にナノメートル（10 億分の 1 m）サイズの流路（ナノ流路）が彫り込まれた数センチ四方のガラス板で、ナノ流体の実験プラットフォームと

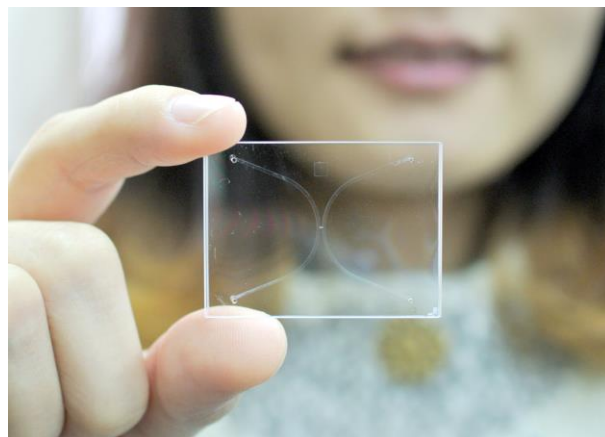


図 1. ナノ流体チップの写真
 (2つの湾曲マイクロ流路を中心のナノ流路が架橋している)

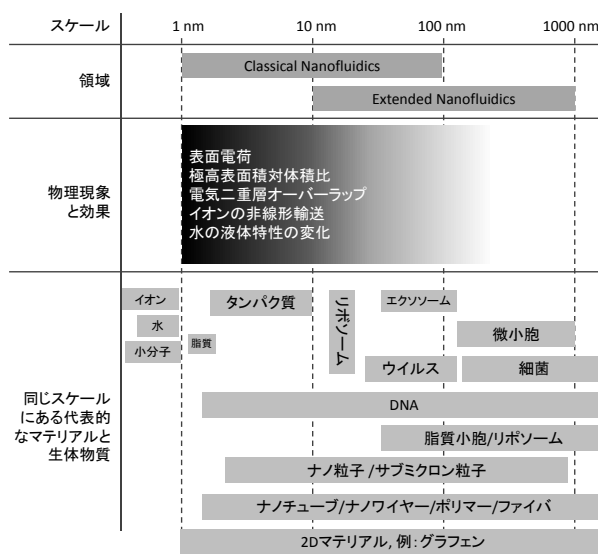


図 2. ナノ流体チップに関するスケール、特有物理現象・効果、および同じスケールにある代表的なマテリアルと生体物質

ナノスケールの極微小化学・バイオ実験環境として近年発展を遂げている最先端デバイスです。ナノ流体チップを用いることにより、ナノ流体特有の物理現象と効果（図 2）が続々と明らかになり、化学やバイオ、材料、エネルギー、創薬、臨床医学などの幅広い分野の革新が期待されます。しかし、応用開発を支える様々な基盤技術が欠如していることから、ナノ流体チップを中核とする革新応用には多くの課題が残っています。近年、上記の課題を解決するために、大阪府立大学大学院工学研究科の許岩准教授が率いる研究チームは、新しい手法（関連論文 5、6、7）を用いて、ナノ流路加工（関連論文 3、4、5）、およびナノ流体制御（関連論文 1）、計測（関連論文 2）、機能集積化（関連論文 3、5）等基盤技術を開発し、ナノ流体チップ技術と様々な分野（特にマテリアルサイエンス分野）との融合への道を開拓してきました。

3. 研究内容

ナノ流体チップ分野の全体を見渡すと、過去 10 年間で関連研究は大きく進歩しましたが、ナノ流体現象の解明を中心とした基礎研究段階から未来の応用指向の研究開発段階にシフトさせるために、一連の大きな課題を克服する必要があります。これらの課題はとても挑戦的ですが、異なる背景を持つ研究者にとって大きな機会でもあります。マテリアルサイエンスがこれまでのようにナノ加工において重要な役割を続けて果たすだけでなく、ナノ流体チップ研究の他の多くの側面において重要な役割を果たすことが期待されます。

例えば、ナノ流体チップ内の制御されたナノ流体環境は、物質の可能性を探求し、新しい材料を創造するための前例のない新しい舞台が提供できると思います。この舞台において、材料の機能を、ナノ流路におけるユニークなナノ流体の物理現象・効果（図 2）と巧みに接合し、同時に材料の特性に直接に影響を与えるナノ流路の極微小空間特徴（用語解説 3）を十分に活用することより様々な創造性をもたらします。これが実現できれば、マテリアル合成の新しいアプローチが開発できるだけでなく、マクロおよびマイクロスケールでは得ることができない材料の機能の飛躍を達成することも期待されます。

さらに、ナノ粒子やナノチューブ、ポリマー、ナノワイヤ、グラフェンなどのたくさんのナノ材料、およびナノ流体と同じスケールにある DNA やタンパク質、脂質、ウイルス、エクソソームなどの数多くの生体物質にナノ流体チップを利用することにより、これまでにない超高の空間的・時間的分解能下で、これらのナノ材料・生体物質（分子でさえも）を 1 個レベルでの分離、検出、操作、組み立て、さらには反応させることが可能になります。これは、様々な新奇な機能性材料の合成や DNA の任意合成等を可能とする究極の精密人工合成法の開発、がんや感染症の超早期診断・予測および高精度予後判断が可能な医療技術の



図 3. ナノ流体チップとマテリアルサイエンスを融合した新しい分野における主要な研究方向とトレンドの模式図

開発、精密医療と個別化医療の実現に貢献できます。

このたび、許岩准教授らが取り組んできたナノ流体チップとマテリアルサイエンスの融合に関する功績が評価され、業界トップ国際総合科学誌、Advanced Materials の招待に応じて、この新しい分野の開拓者として業界の鳥瞰、研究開発の最前線、および展望に関する論文を発表しました。この論文の中で許岩准教授はこのマテリアルサイエンスの新しい舞台における下記の 5 つの重要な研究方向とトレンド (図 3) を示しました：(1) ナノ流体チップの作製のための新材料と新方法、(2) ナノ流体チップ内機能性材料表面の構築、(3) ナノ流体チップ内機能性材料素子の集積化、(4) ナノ流体チップを用いたナノマテリアル・生体物質の操作、(5) ナノ流体チップを用いたナノマテリアルの合成。同時に、この新しい分野が直面する多くの重要な挑戦課題と大きな機会について議論しました。

許岩准教授は、将来マテリアルサイエンスとナノ流体チップ技術開発にお互いに重要な役割を果たすことを確信した上で、より多くのマテリアルサイエンスの研究者がこの新しい舞台に参加するよう、アピールしています。なぜなら、マテリアルサイエンスの研究者たちの参加がなければ、上記の課題を解決することが難しいからです。

4. 研究助成資金等

関連研究は、科学研究補助金 (JP17H05468、JP16K13653、JP26706010、JP26630403、JP26107714 : 研究代表者：許岩)、および中国国家自然科学基金 (21628501) などからの支援を受けて行われました。

5. 発表雑誌

論文名：Nanofluidics: A New Arena for Materials Science

著者：Yan Xu (許 岩)

(大阪府立大学 大学院工学研究科物質・化学系専攻 化学工学分野)

掲載誌：Advanced Materials (IF = 19.791)

doi:10.1002/adma.201505132

論文リンク：<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adma.201702419/full>

6. 関連論文

[1] Yan Xu, et al. Soft matter-regulated active nanovalves locally self-assembled in femtoliter nanofluidic channels, Advanced Materials, 2016, 28, 2209-2216.

[2] Yan Xu, et al. An integrated glass nanofluidic device enabling in situ electrokinetic probing of water confined in a single nanochannel under pressure-driven flow conditions. Small, 2015, 11, 6165-6171. (VIP; Inside Cover)

[3] Yan Xu, et al. Regeneration of glass nanofluidic chips through a multiple-step sequential thermochemical decomposition process at high temperatures. Lab on a Chip, 2015, 15, 3856-3861. (Back Cover)

[4] Yan Xu, et al. Flexible and in situ fabrication of nanochannels with high aspect ratios and nanopillar arrays in fused silica substrates utilizing focused ion beam. RSC Advances, 2015, 5, 50638-50643.

【研究に関するお問い合わせ】 公立大学法人大阪府立大学
大学院工学研究科物質・化学系専攻化学工学分野 准教授 許 岩 (シュウ イェン)
TEL : 072-254-7813 FAX : 072-254-7813
Email : xu [at] chemeng.osakafu-u.ac.jp [at] の部分を@と差し替えてください。

[5] Yan Xu, et al. Site-specific nanopatterning of functional metallic and molecular arbitrary features in nanofluidic channels. *Lab on a Chip*, 2015, 15, 1989–1993. (Back Cover)

[6] Yan Xu, et al. Bonding of glass nanofluidic chips at room temperature by a one-step surface activation using an O₂/CF₄ plasma treatment. *Lab on a Chip*, 2013, 13, 1048–1052.

[7] Yan Xu, et al. Low-temperature direct bonding of glass nanofluidic chips using a two-step plasma surface activation process. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2012, 402, 1011–1018.

[8] Yan Xu, et al. Microchip-based cellular biochemical systems for practical applications and fundamental research: from microfluidics to nanofluidics. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2012, 402, 99–107.

7. 用語解説

用語解説 1 ナノ流体チップ：内部にナノメートル（10 億分の 1 m）サイズの流路（ナノ流路）が彫り込まれた数センチ四方のガラス板で、ナノスケールの流体（ナノ流体）の実験プラットフォームとナノスケールの極微小化学・バイオ実験環境として近年発展を遂げている最先端デバイス。

用語解説 2 オーダーシフト革命：ナノ流体チップは、化学・バイオ技術に従来のセンチメートル（cm = 10⁻²メートル）オーダー（ビーカーやフラスコが代表）およびマイクロメートル（ μm = 10⁻⁶メートル）オーダー（マイクロ流体チップやマイクロリアクターが代表）から、ナノメートル（nm = 10⁻⁹メートル）オーダーへのシフト革命をもたらし、化学・バイオ諸分野で新しい科学を開拓しつつある。

用語解説 3 ナノ流路の極微小空間特徴：極高表面積対体積比、極短拡散距離、極短熱伝達距離など。