

基板の支えを必要としない高分子ナノシートを開発

～極限の薄さからマクロスケールまで～

広範囲の膜厚でナノ精密制御可能な次世代型薄膜作製技術を確立

ナノスケールの周期構造を有する自己支持性高分子ナノ薄膜の作製

(東北大多元研) 遠藤洋史、○三ツ石方也、宮下徳治

[2V15]

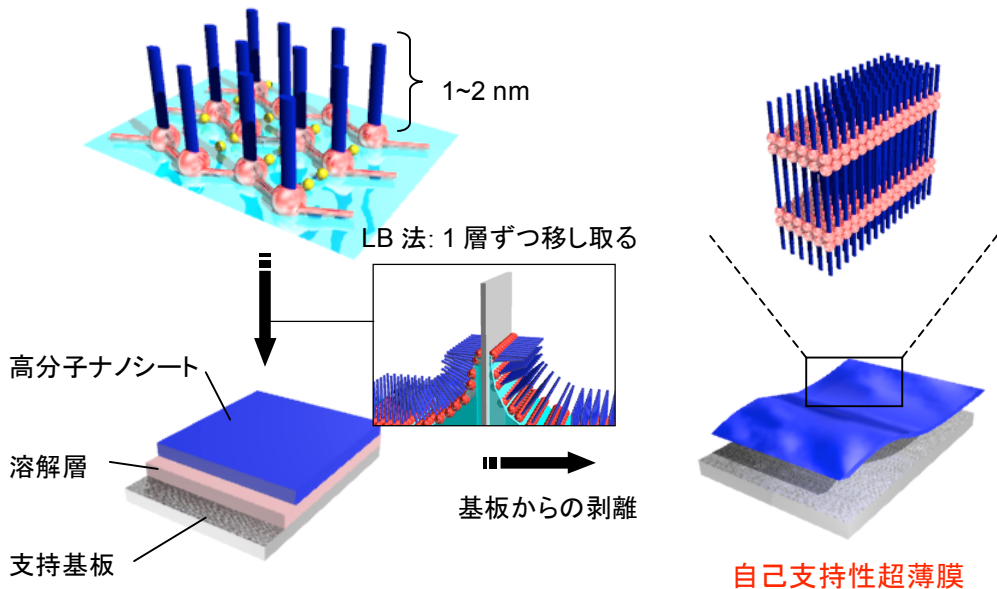
(Tel: 022-217-5638)

東北大学多元物質科学研究所大学院生の遠藤洋史、三ツ石方也助教授、宮下徳治教授らの研究グループは、ナノメートルの厚みでセルフスタンディング（自己支持）性を有する丈夫な高分子ナノシートを開発した。この薄膜は Langmuir-Blodgett 法(LB 法)というナノスケールの精度で膜厚を自在に制御可能な手法で作製されている。従来のナノ薄膜は固体基板の支えを必要としたが、開発した高分子超薄膜はそのような支持基板を必要とせず、ナノレベルでの高安定性・秩序性・平滑性を維持した積層構造を有している。次世代型ナノ薄膜作製方法の基盤技術となりうる成果であり、エネルギー関連から環境・バイオ分野まで様々な分野において展開されることが期待できる。

高安定性・秩序性を兼ね備えた自己支持性超薄膜の創製

高分子超薄膜: 水面上に配列するナノネットワーク

構造制御された三次元ナノ集積体



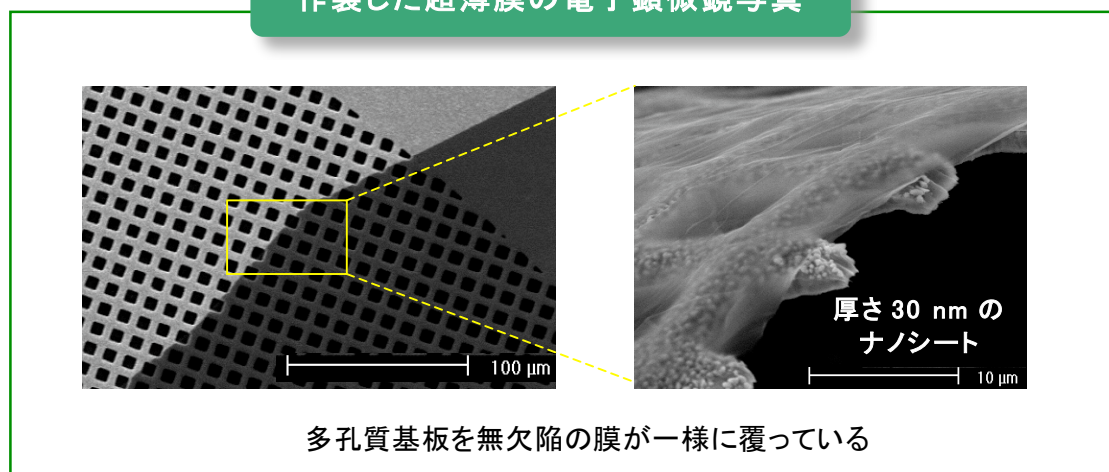
日常生活において「膜」の存在は必要不可欠なものとなっている。例えば工業用水や生活污水を浄化するための分離膜は環境問題という観点から重要であり、あらゆる工業プロセスにおいて、省エネルギーのグリーンプロセスの材料開発には分離膜の機能性向上が急務となっている。生体を構成する細胞においても生体膜が様々な機能発現に大きな役割を果たしている。驚くべきことにこのような脂質二分子膜からなる生体膜の厚さはわずか数ナノメートルであり、柔らかく流動性を持つ生体膜は生命を担う重要な存在である。この

ような生体系に見られる分離・捕集・化学反応などの高効率なプロセスを実現するために、柔軟で自己支持性を有する高機能ナノ薄膜の作製およびその要素技術の進展が求められている。これまで、シャボン玉に見られるように低分子材料と水による人工生体膜の研究が盛んに行われてきた。最近では光架橋材やフィラー材を添加した高分子材料によるナノフィルムの作製が試みられている。我々の研究グループは今回、アミド基の水素結合による2次元ネットワーク形成力を利用し、LB法を応用した薄膜作製技術を駆使し、支持基板を必要としない丈夫な高分子ナノ薄膜の作製法を見出した。ナノからマイクロスケールの幅広い膜厚領域において精密に構造制御されたナノシートを簡便に作製できる。

開発した膜はタンパク質に似た構造を有するアクリルアミド系ポリマーで構成されている。このポリマーを水面上に展開しテフロン板で静かに圧縮することで、ポリマーを構成するくしの部分が一方に配列した構造体を形成することができる。アミド結合を有するポリマー鎖間では水素結合ネットワークが形成されていることが、わずか1~2 nmの高分子超薄膜の安定性に重要であることが指摘されている。高分子超薄膜が形成された水面を横切るように基板を浸漬することでこの膜を1層ずつ移し取る方法をLB法と呼ぶが、基板に溶解層を形成させておき、その上から高分子超薄膜を逐次累積した。基板を汎用の有機溶剤に浸すと溶解層が溶け出し、透明な高分子ナノシートとしてとり出すことができる。膜厚が3.4 nm、大きさ100 μm 四方におよぶ生体膜と同じ2層構造をした膜の構築に成功し、極限的な薄さの人工膜を実現した。超高真空下においても安定に存在でき、丈夫な膜であることが確認されている。また表面の凹凸は2層から1000層近くにおいても1 nm程度と非常に平滑であり、いずれの層数(膜厚がナノからマイクロオーダーに相当)においてもこの膜は1.7 nmというナノスケールの周期構造を維持した積層構造をしている。

この高分子ナノシートには様々な物質を容易に導入できるという特長もある。現在、光学分野から生体分野まで幅広い応用研究が進められている無機ナノ粒子とのハイブリッド化にも着手しており、センサー膜としての応用が期待できるとともに、導電性高分子と組み合わせることで電気・電子材料分野にも貢献できる材料開発を行っている。基板を必要としないことで、高分子が有する柔軟性が生かされフレキシブルデバイスへの応用、さらには究極の薄さの自立膜という外部刺激に迅速に応答できる超極薄素子への展開が期待できる。今後も様々な機能性ナノ材料と組み合わせ、ソフト系ナノデバイス構築の基盤技術の確立を進める。

作製した超薄膜の電子顕微鏡写真



多孔質基板を無欠陥の膜が一様に覆っている

<適用分野> 逆浸透膜、気体選択透過膜、アクチュエーター、化学センサー、圧力センサー、スイッチング素子、光学デバイス、生体模倣膜