

超高感度せん断力測定法による ナノトライボロジー・ナノレオロジー計測

マイクロ・ナノシステム工学専攻 マイクロ・ナノ計測工学グループ
福澤 健二、伊藤 伸太郎

研究開発の概要

先端を球形状(曲率半径数 μm ~ $100\mu\text{m}$)に加工した光ファイバーをプローブとして用いる高感度なせん断力測定法を開発しました(図1). 力感度は 0.1nN オーダを達成しており, プローブ先端と試料面との隙間は 0.1nm の分解能で設定可能です. 本法は分子レベルで摩擦現象や潤滑特性を解明するナノトライボロジー計測や, 高分子表面, 高分子薄膜や固液界面を対象とした高精度なナノレオロジー計測に応用することができます.

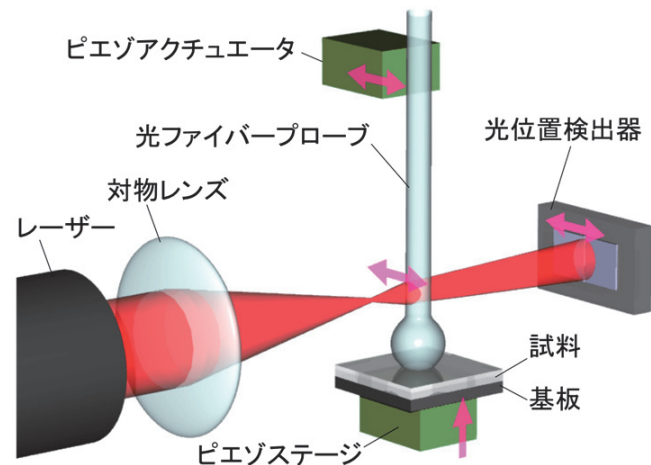


図1 超高感度せん断力測定法の概略図

新規性・独創性

開発した超高感度せん断力測定法は, 先端を球形状に加工した光ファイバーをプローブとして用います(図2(a)). プローブの直径は約 $100\mu\text{m}$, 長さは $2\sim 3\text{mm}$ 程度で, 先端の球の直径は $5\sim 200\mu\text{m}$ 程度です. これを試料面に対して垂直に配置し, その上端をピエゾアクチュエータにより面内方向に加振して, 先端の球で試料表面をしゅう動します. 先端の球に働くせん断力は, ファイバーのたわみを測定することによって定量化が可能となります(図2(b)). プローブのたわみは光学的手法(図1)により 10pm オーダの検出感度で測定可能であり, これは力感度に換算すると 0.1nN オーダに相当します. 試料台は高精度なピエゾステージに搭載されており, プローブ先端と試料表面との隙間は 0.1nm の分解能で調整可能です.

本法は, 基板とプローブ先端との隙間を高精度に規定したせん断力測定を特徴としています. そのため, 表面の接触状態を精確に制御したナノトライボロジー計測や, ナノメートル厚さの高分子膜のレオロジー計測などに応用することができます. 図3はナノメートルオーダの隙間に介在する液体高分子の粘弾性を測定した結果です. 10nm 以下の微小隙間では, 固体表面の影響によって粘弾性が増大することがわかります. このようにナノスケールで現れる特有の力学特性を定量化することができます.

応用例

- 高分子表面, 高分子薄膜のナノレオロジー測定
- 微小隙間における潤滑油の粘弾性測定
- ナノインプリント用レジストの粘弾性測定
- ナノメートルオーダの微小隙間に介在する液体や高分子水溶液の力学特性計測
- 固体表面に吸着した分子レベルの液体薄膜の力学特性計測

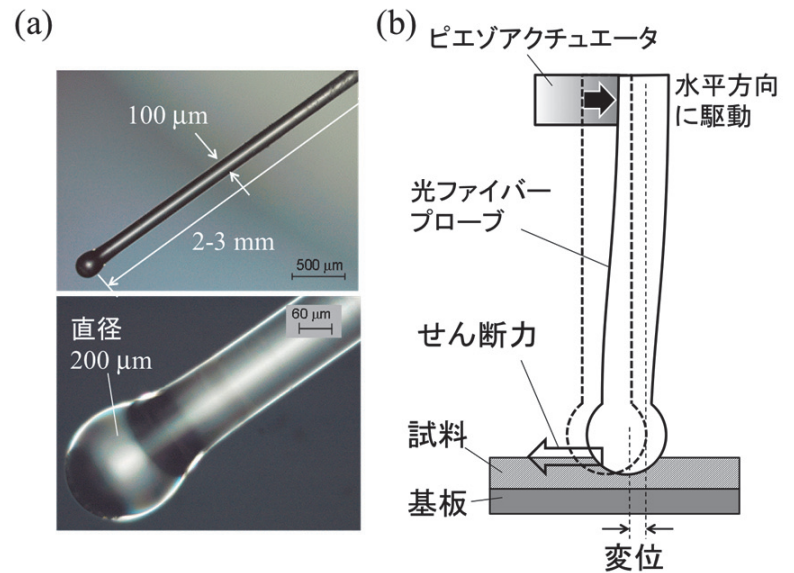


図2 (a)せん断力検出プローブの顕微鏡写真 (b)せん断力測定のコセプト

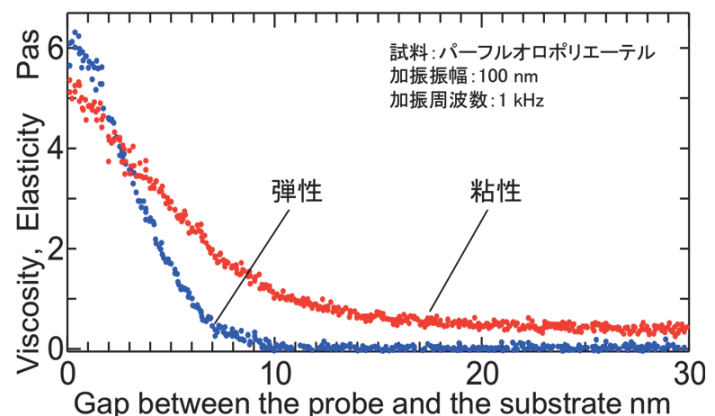


図3 ナノメートル隙間における液体高分子の粘弾性

サイズ排除の原理を用いた電気泳動マイクロチップの開発 (大分子量 DNA のサイズ分離)

マイクロ・ナノシステム工学専攻 マイクロ・ナノ計測工学グループ
 福澤 健二、伊藤 伸太郎

研究開発の概要

DNAサイズ分離は、制限酵素によって断片化したDNA分子を分子サイズ毎に振り分ける技術です。これにより生物の遺伝子型を判別できます。サイズ分離には一般にゲル電気泳動法が用いられます。10kbp(base pairs:DNAのサイズを表す単位)以上の大分子量DNAを対象としたサイズ分離には、パルスフィールドゲル電気泳動法(PFGE)と呼ばれる特殊な電気泳動法が用いられます。PFGEは細菌の遺伝子型判別に用いられ、分子疫学解析に有用な解析法のひとつとして知られています。ただし、PFGEは高精度である一方、分離に数日かかる点が問題であり、高速化が求められています。本研究では、大分子量DNAのサイズ分離の高速化および高精度化を目指し、マイクロ流路内で電気泳動を実現するチップサイズのデバイスを開発しました。

新規性・独創性

開発した電気泳動マイクロチップは、マイクロメートルスケールの障壁配列構造を“分子ふるい”として利用し、サイズ排除クロマトグラフィーの原理に基づくサイズ分離を実現する点に特徴があります。図1には開発したチップの概要を、図2には実際に作成したチップの写真を示します。チップは濃縮部、分離部、検出部からなります。DNAは蛍光標識した後、チップの流路内に導入します。DNAは負電荷をもつため、リザーバに挿入した電極に電圧を印加することで泳動方向を制御できます。まず、流路の十字路まで泳動した後、濃縮部に導入します。濃縮部にはDNAのサイズよりも十分に狭いナノスリットがあり、DNAはこれを通り過ぎないため、濃縮が実現されます。濃縮により検出感度が向上します。その後、泳動方向を反転させて分離部に導入します。分離部にはマイクロメートルスケールの障壁が多数配列されています。DNAが分離部を泳動するとき、サイズの小さいDNAほどブラウン運動により障壁間の隙間に進入しやすい(拡散係数が大きい)ので、分離部を通過する移動度が小さくなります。これがサイズ排除の原理です。すなわち、サイズの大きいDNA分子から順に検出部に到達し、これを蛍光強度のピークとして検出します。時間毎に検出されるピーク分布により、DNAのサイズ分布が同定できます。図3は作成したチップを用いて、大分子量DNAである48.5kbpと166kbpの混合試料を分離した結果です。サイズ排除の原理を用いたマイクロチップにより、初めて大分子量DNAの分離に成功しました。分離に要する時間は約80分であり、従来法(PFGE)と比べて高速な分離を実現しました。

応用例

- 細菌の遺伝子型判別
- 薬剤耐性菌の検出
- 院内感染・集団感染発生時の感染源や感染経路の同定
- 感染症の分子疫学解析

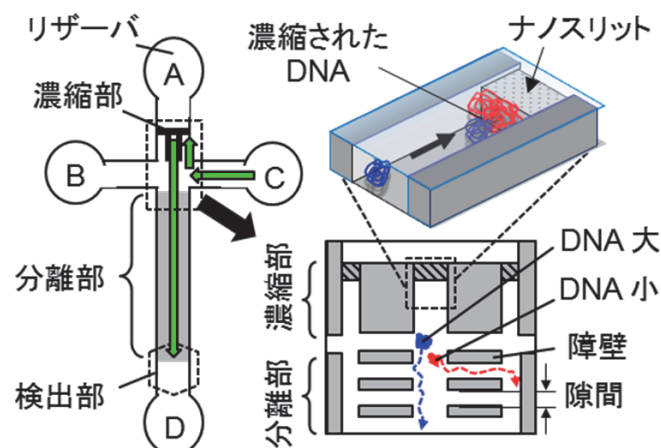


図1. 開発したチップの全体図

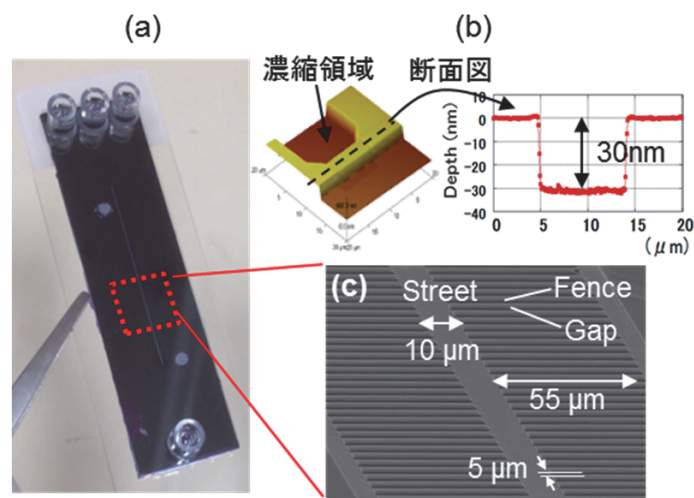


図2. (a) 作製したチップ, (b) ナノスリットのAFM画像, (c) 障壁構造のSEM画像

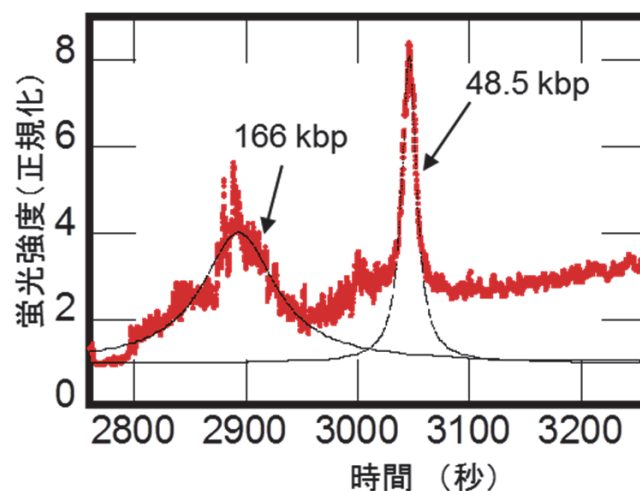


図3. 大分子量DNAの混合試料 (48.5 kbp + 166 kbp) の分離結果