



名古屋大学
NAGOYA UNIVERSITY

配布先:文部科学記者会、科学記者会、名古屋教育記者会

報道の解禁日(日本時間)

(テレビ,ラジオ,インターネット) :2026 年 10 月 26 日(月) 13 時

(新聞) :2026 年 10 月 26 日(月) 付夕刊

2026 年 10 月 23 日

報道機関 各位

ナノすき間における液体の「すべり」と力の関係を解明 ～ナノ流体デバイスや精密機械の高性能化へ有用な知見～

【本研究のポイント】

- ・粒子画像流速測定法^{注 1)}を用いて、ナノスケールの極めて小さなすき間内を流れる液体の流動を計測した。
- ・固体表面で生じる「すべり」が場所によって異なることを明らかにし、その局所的な分布から液体が固体表面に及ぼす力を推定した。
- ・従来の力測定から得られる「すべり長さ」が、局所的なすべりの単純平均ではなく、圧力の高い領域のすべりをより強く反映した有効値であることを解明した。
- ・流体デバイスや微小すき間を有する潤滑システムにおける界面流動の定量評価や設計指針の確立につながることで期待される。

【研究概要】

名古屋大学大学院工学研究科の東 直輝 准教授、尾関 秀隆 博士後期課程学生らの研究グループは、固体表面間のナノメートルスケールのすき間(ナノすき間)を流れる液体について、局所的な流れから求めた「すべり長さ」と、流れによって生じるマクロな力から求めた「有効すべり長さ」の関係を明らかにしました。

固体表面に沿って液体が流れるとき、一般には表面上で液体の速度がゼロになると仮定されます。しかし、ナノスケールでは液体が固体表面に対して「すべる」現象が生じることがあります。このすべりの程度は「すべり長さ」によって表され、ナノ流体デバイスや精密機械の潤滑特性を理解する上で重要な指標です。

本研究では、蛍光ナノ粒子を液体中の目印として利用するナノ粒子画像流速測定法により、ナノすき間内部の局所的な流れを測定しました。この測定結果から、場所によって異なる局所的なすべり長さを求め、さらにその分布を用いて液体内部の圧力分布と「スクイーズ力」^{注 2)}を評価しました。さらに、従来の力測定から得られる単一のすべり長さは、実際の局所的なすべり長さの単純な平均ではなく、圧力の高い領域の局所的なすべりをより強く反映した有効な量として理解できることが示されました。

本成果は、ナノスケールの流れにおいて「局所的に起きている現象」と「装置全体で測定される力」との関係を理解する新たな手がかりとなり、流体デバイスや微小すき間を有する潤滑システムにおける界面流動の定量評価につながることで期待されます。

本研究成果は、2026 年 10 月 26 日 13 時(日本時間)付、米国化学会が発行する学術誌『Langmuir』に掲載されます。

【研究背景と内容】

機械のしゅう動部やナノ流体デバイスなどでは、固体表面間のすき間が微小になるにつれて、固体と液体の界面における流動特性が、流れや摩擦などシステム全体の特性に大きな影響を与えるようになります。通常の流体解析では、固体表面に接する液体の速度は固体表面の速度と等しいとする「すべりなし境界条件」が広く用いられています。一方、ナノメートルスケールの流れでは、液体が固体表面に対して相対的な速度を持つ「界面すべり」が生じることが報告されています。このすべりの程度を表す指標が「すべり長さ」であり、ナノスケールの流れを理解・予測するための重要な指標の一つです。

これまで、すべり長さを実験的に評価する方法として、液体を挟んだ二つの固体表面を近づけたときに生じるスクイーズ力を測定する方法が広く用いられてきました。二つの表面が近づくと、その間にある液体が外側へ押し出される「スクイーズ流れ」^{注3)}が生じます。このとき液体内部に圧力が発生し、表面の接近を妨げる方向にスクイーズ力が作用します。界面ですべりが生じると液体が外側へ流れやすくなるため、発生する圧力やスクイーズ力が変化します。この性質を利用して、測定された力と流体力学モデルを比較することにより、すべり長さを間接的に求めることができます。この従来法では、固体表面全体に対して一つのすべり長さを仮定することが一般的です。しかし、ナノすき間内では、すき間の大きさや液体の流速、界面に加わるせん断の状態が場所によって異なります。そのため、界面すべりも場所によって変化し、すべり長さが空間的な分布を持つ可能性があります。このような局所的なすべりの分布と、従来の力測定から得られる一つのすべり長さがどのような関係にあるのかは、これまで十分に明らかになっていませんでした。

本研究では、この関係を明らかにするため、ナノすき間内の局所的な液体の流れと、液体が固体表面に及ぼすスクイーズ力を同一の実験系で測定できる装置を構築しました(図1)。局所流れの測定には、蛍光ナノ粒子を液体中の目印(トレーサ)として利用するナノ粒子画像流速測定法を用いました。二つの固体表面を近づけてスクイーズ流れを発生させ、その際の蛍光ナノ粒子の動きを観察・解析することにより、ナノすき間内の異なる位置における局所的な流速を取得しました。得られた流速結果に基づいて、固体表面における局所的なすべり速度とすべり長さを求めました。その結果、すべり長さは界面上で一定ではなく、局所的な流動条件、特に界面におけるせん断速度に応じて変化し、ナノすき間内に空間

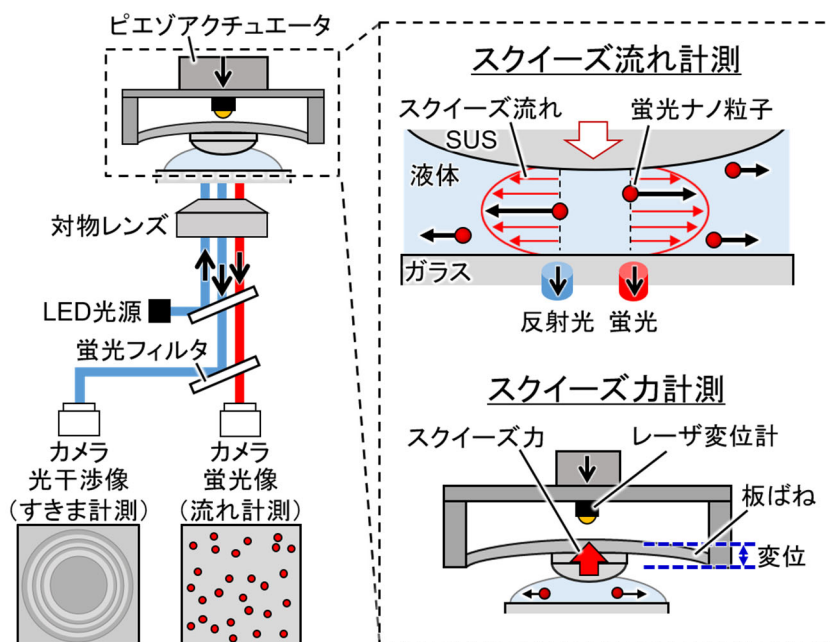


図1 スクイーズ流れとスクイーズ力を計測する実験系

的な分布を形成することが明らかになりました。すなわち、従来の力測定で仮定されてきた一つのすべり長さだけでは、界面上で実際に生じている局所的なすべりの分布を直接表すことはできません(図2)。

さらに、同一の実験系でスクイーズ力を測定し、力の測定から求めたすべり長さと、局所的な流れの測定から求めたすべり長さを比較しました。その結果、従来のスクイーズ力測定から得られる単一のすべり長さは、界面上に分布する局所的なすべり長さを単純に平均した値ではなく、圧力の高い領域における局所的なすべりをより強く反映した値として解釈できることが示されました。つまり、従来の力測定から得られるすべり長さは、界面のある一点におけるすべりを表すものではなく、ナノすき間内に分布する局所的なすべりがスクイーズ力に及ぼす影響を反映した有効値であることが示されました。

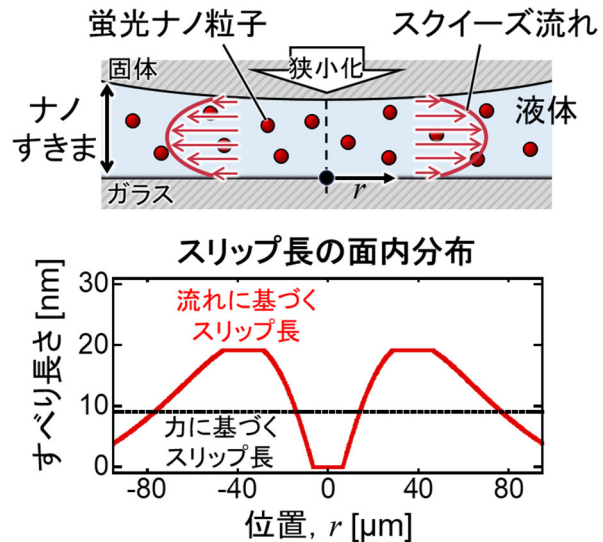


図2 流れ・力計測によって得られたすべり長さの比較

【成果の意義】

これまで広く用いられてきたスクイーズ力によるすべり長さの測定では、ナノすき間内部の流れを、固体表面全体に共通する一つのすべり長さによって表現してきました。しかし、実際には局所的な流動条件に応じてすべり長さが場所ごとに変化するため、力から得られる一つのすべり長さが、界面で実際に起きている局所的なすべりをどのように反映しているのかを理解することが重要でした。

本研究では、ナノすき間内部のスクイーズ流れとスクイーズ力を同一の実験系で測定することで、局所的な界面すべりと巨視的な力との関係を明らかにしました。その結果、力測定から得られる有効すべり長さは、局所すべり長さの単純な平均ではなく、力の発生に大きく寄与する高圧力領域のすべりをより強く反映した値として解釈できることが示されました。この成果は、従来の力測定によって得られてきた「すべり長さ」が持つ物理的な意味を理解するための新たな知見を与えるものです。また、巨視的に得られる一つの有効すべり長さだけでは、その背後にある局所的なすべりの分布を直接把握できないことも示しています。このため、ナノスケールの界面流動を詳細に理解するためには、巨視的な情報と、局所的な流れの情報を組み合わせて評価することが重要です。

近年、機械部品の高精度化・小型化やナノ・マイクロデバイスの発展に伴い、液体が流れるすき間はますます微小化しています。このような微小すき間では、界面におけるすべりが流動抵抗や潤滑特性に与える影響が大きくなります。本研究で得られた知見は、ナノ流体デバイスにおける流動特性の理解や、微小すき間を有する精密機械における潤滑・摩擦特性の適切な評価につながることで期待されます。

本研究は、科学研究費補助金(26K00859、25KJ1419)および創発的研究支援事業(JPMJFR2257)の支援のもとで行われたものです。

【用語説明】

注 1) 粒子画像流速測定法:

液体中に微小な粒子を目印(トレーサー)として分散させ、その粒子の移動を画像から解析することで、液体の流れる速度を測定する方法。本研究では蛍光ナノ粒子を用いることで、ナノすき間内の局所的な流れを測定した。

注 2) スクイズ力:

液体を挟んだ二つの固体表面が互いに近づく際に、液体内部に発生する圧力によって、表面の接近を妨げる方向に作用する力。界面ですべりが生じると液体が外側へ流れやすくなるため、スクイズ力の大きさも変化する。

注 3) スクイズ流れ:

液体を挟んだ二つの固体表面が互いに近づくことによって、間にある液体が外側へ押し出される流れ。

【論文情報】

雑誌名: Langmuir

論文タイトル: Linking Flow-Derived Local Slip Lengths to Force-Derived Effective Slip Lengths in Nanogaps

著者: Hidetaka Ozeki, Naoki Azuma, Kenji Fukuzawa, Kento Shimizu, Yuxi Song, Shintaro Itoh, Hedong Zhang

DOI: [10.1021/acs.langmuir.6c03687](https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.6c03687)



東海国立大学機構は、岐阜大学と名古屋大学を運営する国立大学法人です。
国際的な競争力向上と地域創生への貢献を両輪とした発展を目指します。
東海国立大学機構 HP <https://www.thers.ac.jp/>

