

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 5 月 9 日現在

機関番号：33919

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05437

研究課題名(和文) ライン光ピンセットによる粒子間相互作用と粒子表面構造の理解

研究課題名(英文) Understanding interaction between particles and its surface structure by line optical tweezers

研究代表者

天野 健一 (Amano, Ken-ichi)

名城大学・農学部・准教授

研究者番号：30634191

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では光ピンセットから測定されるデータから(1)従来よりも正確に粒子の中心位置を決める画像解析アルゴリズムを構築・開発した。(2)従来よりも正確なコロイド粒子-コロイド粒子間の平均力ポテンシャルを求める逆解析理論を構築した。(3)また、独自にライン光ピンセットを構築・開発した。(4)拘束ライン内でパラボラ型の外部ポテンシャルをガルバノミラで作成するための式(電位vs時間曲線)を作成した。(5)平均力ポテンシャルを用いてコロイド粒子の表面に修飾された高分子の密度分布を求める方法の検討を行った。またさらに、(6)三体ポテンシャルを求める逆解析法も開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでライン光ピンセットやダブルビーム型光ピンセットで観察画像解析を通して統計力学理論からコロイド粒子-コロイド粒子間の平均力ポテンシャルを求める場合、平均力ポテンシャルが遠方で右肩上がりになり、平均力ポテンシャルの近傍と遠方における正しい形が分からなかった。そのため、経験的な関数を用いて補正を行っていた。しかし、本研究で理論的補正法を提案した事で従来よりも正確に平均力ポテンシャルが求められる様になった。これにより平均力ポテンシャルを次のステップの逆解析にかけられる様になった。社会的意義としては、例えばとある抗がん剤の研究開発に役立てられると考えられる(arXiv:2304.08194)。

研究成果の概要(英文)：In this research, using the data measured by the optical tweezers, (1) we constructed and developed an image analysis algorithm that determines the center position of the colloidal particle more accurately than before. (2) We constructed an inverse analysis theory to obtain the potential of mean force between colloidal particles more accurately than before. (3) We also built and developed our own machine of line optical tweezers. (4) An equation (potential vs. time curve) for creating a parabolic external potential with a Galvano mirror within the trap line was created. (5) A method for determining the density distribution of polymers modified on the surface of the colloidal particle using the potential of mean force was investigated. In addition, we also developed an inverse analysis method for (6) determining the three-body potential.

研究分野：統計力学

キーワード：ライン光ピンセット 液体の統計力学 逆解析 平均力ポテンシャル 保存力 高分子の統計力学 複雑液体 ダブルビーム型光ピンセット

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

従来、コロイド粒子の中心点を画像解析から求める場合、ニュートンリング様の縞模様の影響を省くために反転法などの方法で画像修正し中心点を決めていた。しかし、従来の方法には欠点があったためそれを解決する必要がある。

これまでライン光ピンセットで観察画像解析を通して統計力学理論からコロイド粒子—コロイド粒子間の平均力ポテンシャルを求める場合、平均力ポテンシャルが遠方で右肩上がりになり、平均力ポテンシャルの近傍と遠方における正しい形状が不明瞭だった。そのため、従来、経験的な関数を用いて補正を行っていた。そのため、理論的補正法を提案する必要がある。

コロイド粒子の表面には高分子が修飾されている事があり、この高分子の密度分布を求める事は計測限界の突破という意味で研究提案者には魅力的な研究テーマであった。そのため、研究提案者は高分子の密度分布を求める逆解析理論の開発に着手した。

2. 研究の目的

本研究の主目的は、(1) 光ピンセットの観察画像からコロイド粒子の中心位置を光学顕微鏡の分解能を超えるレベルで求める事、(2) 観察画像からコロイド粒子—コロイド粒子間の平均力ポテンシャルを経験的補正法無しで求める事、(3) コロイド粒子の表面に修飾された高分子の密度分布を求める事である。また、(4) ライン光ピンセットを構築開発する事、(5) ライン光ピンセットでパラボラ型トラップポテンシャルを構築するための電位 VS 時間曲線を求める事、(6) 三体相互作用を求める事も目的とした。

3. 研究の方法

研究の方法としてはまずライン光ピンセットの構築開発を行った (図1～図3参照)。またそれと並行してコロイド粒子の中心位置を決める画像解析アルゴリズムの提案とそのプログラムの作成、さらに、平均力ポテンシャルの逆解析理論の導出とそのプログラムの作成などを行った。基本的に(1)～(6)全ての目的に対する取り組みを行った。主に利用した方法は、液体の統計力学である。また、高分子の統計力学も利用した。プログラムの開発は、適宜 Python、Mathematica、Fortran を用いた。

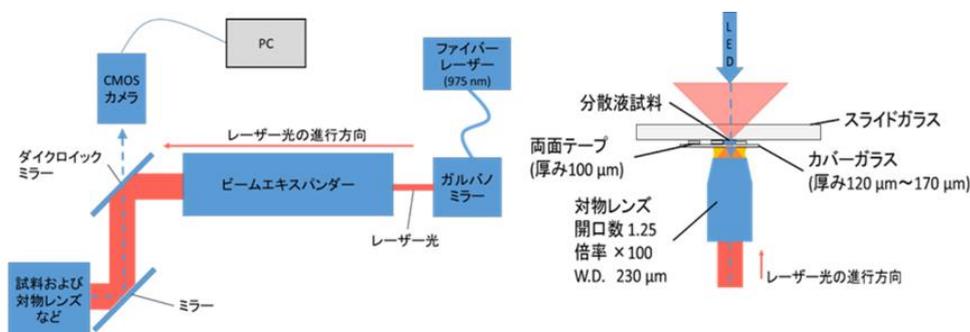


図1 ライン光ピンセットのセットアップ図

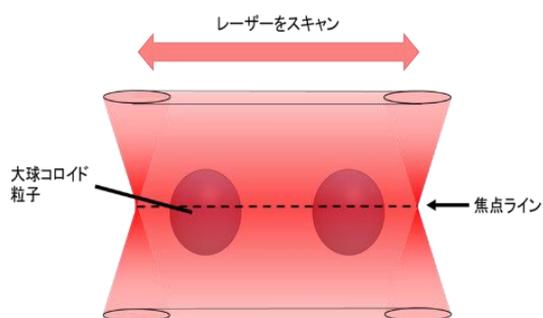


図2 ライン光ピンセットの粒子トラップ図

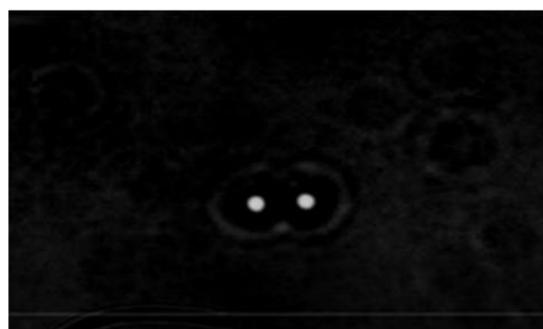


図3 動画中の画像

4. 研究成果

(A) 従来よりも正確に粒子の中心位置を決める画像解析アルゴリズムを構築・開発できた。
(B) 従来よりも正確なコロイド粒子-コロイド粒子間の平均力ポテンシャルを求める逆解析理論を構築できた (図4)。(C) また、独自にライン光ピンセットを構築・開発できた。(D) 拘束ライン内でパラボラ型の外部ポテンシャルをガルバノミラーで作成するための式 (電位 vs 時間曲線) を作成できた。(E) 平均力ポテンシャルを用いてコロイド粒子の表面に修飾された高分子の密度分布を求める方法の検討を行った。またさらに、(F) 三体ポテンシャルを求める逆解析法も開発できた。(G) 本研究をきっかけにスウェーデンの海外研究グループのダブルビーム型光ピンセットと研究提案者独自のダブルビーム型光ピンセット用逆解析理論を組み合わせた共同研究も出来た。これにより臨界カシミール相互作用のエントロピー成分とエンタルピー成分の可視化が出来た。

研究成果の公表として、論文の出版と学会発表も行った。また、論文の出版に関しては自身のホームページとリサーチマップへの記録も行った。学会参加時には、研究成果の発表以外にも情報収集も積極的に行った。

本研究に対する期間と科研費のお陰で、ドラッグデリバリーシステム用の抗がん剤に対する研究も出来た。この研究を行う事で新しいドラッグデリバリー戦略やコンセプトを提案する事もできた [arXiv:2304.08194]。これは机上の論であるが、一部の偶発的発見を省き、研究というのはまず戦略やコンセプトありきでスタートし、成果が実る。戦略やコンセプトの無い研究は正しい方向に進みにくとも言える。研究提案者自身は、本研究を通して抗がん剤の研究提案にまで結び付けたので、本研究に対する期間と科研費に大変感謝する。

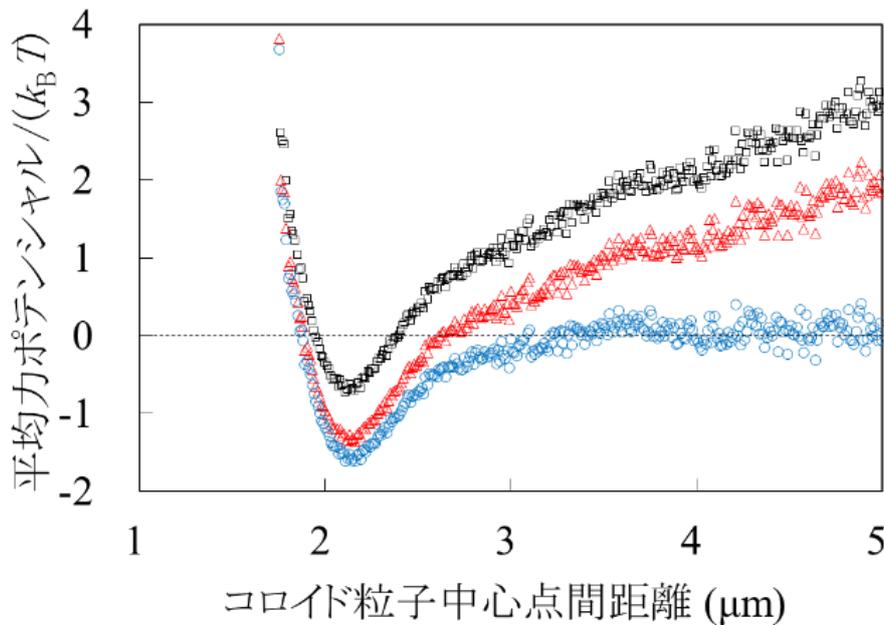


図4 コロイド粒子-コロイド粒子間の平均力ポテンシャル。

□は従来の方法、△はトラップポテンシャルを井戸型ポテンシャルとした場合の方法、

○はトラップポテンシャルをパラボラ型ポテンシャルとした最新の方法。

k_B はボルツマン定数、 T は絶対温度。

天野健一「光ピンセットを用いたコロイド粒子間の平均力ポテンシャル測定：複雑な溶液から由来する微弱な相互作用の理解に向けて」溶液化学研究会誌, 1, 44-49 (2022) より一部修正し抜粋。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ken-ichi Amano, Rikako Suzuki, Madoka Takasu, and Mitsuhiro Iwaki	4. 巻 20
2. 論文標題 Theoretical correction methods for optical tweezers: Acquisition of potentials of mean forces between colloidal particles in a bulk and on a substrate surface	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Research Institute of Meijo University	6. 最初と最後の頁 17-26
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 天野健一, 古川暁之, 石井里奈, 橋本康汰, 西直哉, 作花哲夫	4. 巻 57
2. 論文標題 非加算性を取り入れた朝倉-大沢理論による基板近傍における粒子のコンタクト密度の考察	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 名城大学農学部学術報告	6. 最初と最後の頁 9-16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 天野健一	4. 巻 1
2. 論文標題 光ピンセットを用いたコロイド粒子間の平均力ポテンシャル測定：複雑な溶液から由来する微弱な相互作用の理解に向けて	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 溶液化学研究会誌	6. 最初と最後の頁 44-49
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 天野健一
2. 発表標題 コロイド分散系におけるナノ力学とナノ構造の 関係性解明と逆解析理論の開発
3. 学会等名 第72回コロイドおよび界面化学討論会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ken-ichi Amano, Agnese Callegari, and Giovanni Volpe
2. 発表標題 New analysis method for double-beam optical tweezers to obtain interactions between particles: Inverse analysis theory and its demonstrations
3. 学会等名 43rd Symposium on Solution Chemistry of Japan
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ken-ichi Amano and Masahiro Maebayashi
2. 発表標題 Asakura-Oosawa theory incorporating non-additivities of particle sizes: Study of adsorption properties of biopolymers on a wall
3. 学会等名 第59回 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ken-ichi Amano
2. 発表標題 Non-additive-Asakura-Oosawa theory and non-additivities of the particle sizes hidden in model pair potentials
3. 学会等名 第44回溶液化学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 内田 隆也, 前林 正弘, 天野 健一
2. 発表標題 コロイド抗がん剤 - 細胞膜間相互作用の取得と理解に向けたAFM用逆解析理論の有用性の検討
3. 学会等名 第73回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高木 理子, 天野 健一, 一井 崇
2. 発表標題 液体金属ガリウム中におけるコロイド粒子間の平均力ポテンシャルの検討: AFMと液体統計力学理論による研究
3. 学会等名 第73回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮川 晶広, 今井 宏起, 前林 正弘, 天野 健一
2. 発表標題 食用高分子の含侵によるコロイド結晶の固定: 新しい菓子の見せ方を目指して
3. 学会等名 第73回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 左近 優弥, 天野 健一, 岩城 光宏
2. 発表標題 光ピンセットを用いたコロイド粒子間の平均力ポテンシャルの取得: 実験から理論までの構築
3. 学会等名 第73回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 梶田 龍希, 天野 健一, 松本 拓也, 松下 結衣, 手老 龍吾, 平山 朋子, 大西 洋
2. 発表標題 潤滑油中におけるガラス基板近傍の蛍光一分子観察: 反応速度論による考察
3. 学会等名 第73回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Home page
<http://nnmubpc.meijo-u.ac.jp/amano/amano.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	岩城 光弘 (Iwaki Mitsuhiro)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------