

令和 6 年 4 月 16 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04754

研究課題名（和文）マイクロ波照射中の屈折率で迫るミセルの分子スケールダイナミクス

研究課題名（英文）Molecular scale dynamics of micelles through refractive index during microwave irradiation

研究代表者

朝熊 裕介（ASAKUMA, Yusuke）

兵庫県立大学・工学研究科・准教授

研究者番号：40364038

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：初年度にマイクロ波照射中の液体の屈折率測定装置を完成させ、純水の測定から、2年目は食塩水、エタノール水と測定を行い、最終年度は、大きい分子の溶液に挑戦できた。水分子だけでなく、水和を構成する極性の溶質にもマイクロ波は影響を及ぼすことを明らかにし、新たな知見を得た。また、初年度の結果が英文誌に掲載され、次年度以降の結果も投稿中である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大きな分子を含む溶液にマイクロ波を照射した場合、その効果が小さい場合が考えられる。例えば、極性置換基をもつ分子は水溶液中では凝集していく。この凝集を分散させるためには、高出力の照射が必要になる。一方で、高出力の長時間照射は沸騰を引き起こすため、対策が必要になると考えられる。そのため、今後の課題として、マイクロ波連続照射だけでなく、パルス照射を行いエネルギーの分散を図り、高出力照射を可能にする。連続照射のみならずパルス照射で比較検証することで、高分子の分子集合特性を把握し、複雑系の現象の理論構築につなげる。

研究成果の概要（英文）：In the first year, we completed a device to measure the refractive index of liquids during microwave irradiation, and began measuring of refractive index of pure water. In the second year, refractive index of saline and ethanol water were measured, and in the final year, refractive index of solution with large molecule solutions were measured. New findings were obtained by revealing that microwaves affect not only water molecules but also polar solutes that make up hydration. Additionally, the first year's results have been published in an English journal, and results from the following years are currently being submitted.

研究分野：伝熱工学

キーワード：microwave refractive index hydration

## 1. 研究開始当初の背景

ソフトマターとは、高分子、液晶、生体分子(蛋白質、DNA など)などの柔らかい物質の総称であり、これらの物質では、分子クラスターレベルで複雑な構造を持ち、その自由度も大きい特徴がある。このため、分子間・分子内の結合が複雑であることから安定性の予測などダイナミクス(動的挙動)の測定は困難であった。

## 2. 研究の目的

水中のソフトマターの挙動を測定できる新たな手法として、外場印加によってその構造を崩壊させた後の経時変化の測定を考えた。今回、界面活性剤の分子集合体であるミセルに注目した。本研究では、マイクロ波照射によって水分子や溶質の極性部位を強制的に回転させ、水中の鎖状や球状の高次構造を崩壊させる。その後、再構築していく過程も観測する。今回、溶液の構造と関係がある屈折率を照射中・照射後で測定し、そのダイナミクスを解明する。

## 3. 研究の方法

本研究では、ソフトマターのクラスター分子の高次構造の安定性を解明するため、電場が1秒間に24億回入れ替わるマイクロ波に注目した。まず、不均一構造をマイクロ波によって変化(崩壊)させる。今回、このクラスターが崩壊後、再構築する過程の観察には、屈折率と分光スペクトルの経時変化を想定している。例えば、分子鎖の長さが異なれば、崩壊・回復過程が大きく異なると考えられる。

まず、屈折の原理として、媒質中では光が進む時に抵抗となる力が働いているため、光の屈折は媒質中の光速の差により生じる。例えば、電荷を帯びた電子や陽子、イオン、分子、分子クラスターが作る電場と電磁波である光が反発し合う。クラスター構造の崩壊時によりその反発が弱くなると考えられ、媒質中の光の速度は速くなり、屈折率は減少すると予想される。その後、ゆっくりと再構築される過程で、屈折率は時間経過とともに徐々に回復すると考えられる。今回、水溶液の屈折率測定が可能な光ファイバー法は、後述の内部構造のように電磁波中でも放電の心配はないことから、マイクロ波照射中での屈折率測定が可能であり、そのシステムの展開を目指す。

## 4. 研究成果

1年目の成果として、研究目的を達成するための装置であるマイクロ波照射中の液体の屈折率測定装置を完成させ、水の屈折率を測定した(Figure 1)。2年目は、食塩水やエタノール水に対して、各マイクロ波出力おける照射中、照射後の屈折率を算出できた。最終年は、溶質として、小さい分子から分子量の大きな溶質を添加し、種々の溶液の屈折率測定を行うことに挑戦した。例えば、グルコース水では、低濃度では純水と同じようなマイクロ波挙動を示した。一方で、グルコース高濃度水では、特異的な現象がみられた。具体的には、低濃度では、マイクロ波照射中に屈折率は低下した。水素結合ネットワークの崩壊が支配的であると考えられる。また、高濃度では、マイクロ波照射中屈折率は増加した。これはグルコース分子周囲に水和を構成する水分子が、マイクロ波の照射によって脱離し、グルコース分子の分子間相互作用を促進させ、結合性が強くなったことが考えられる。このグルコース水に食塩を添加し電解液水溶液中のグルコース分子の挙動をマイクロ波照射中で観察したところ、より低濃度のグルコースでも照射中の屈折率は増加し分子間相互作用を促進させることがわかった。を食塩水のマイクロ波照射中、照射後の屈折率の経時変化によると、純水よりもマイクロ波による屈折率低減効果が小さくなることがわかった。このように、マイクロ波照射は溶媒分子の回転により水和を構成する分子の分子間挙動に影響を与えることがわかった。最終的に、当初の目標を達成できた。

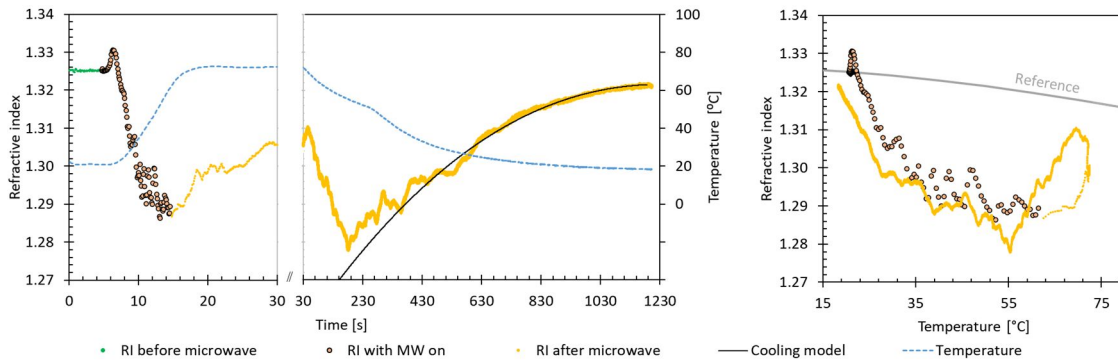


Figure 1: Changes to the refractive index of water when irradiated by microwaves at 400 W for 10 s. (a) Change in RI and temperature as the experiment progresses, showing the measured refractive index (RI), with data sampled 10 times per second. The temperature was sampled once per second and interpolated using polynomial fits. The timescale on the left is enlarged to show the rate of change during heating, and the second panel includes the cooling model for comparison. (b) The change in RI is shown with respect to temperature.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0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 Asakuma Yusuke, Maeda Tomoisa, Takai Takahiro, Hyde Anita, Phan Chi, Ito Shinya, Taue Shuji	4. 巻 12
2. 論文標題 Microwaves reduce water refractive index	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 11562
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-15853-9	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24件（うち招待講演 0件/うち国際学会 8件）

1. 発表者名 高井 貴宏、前田 知勇、朝熊裕介、位頭 信哉、田上 周路、Anita Hyde, Chi Phan
2. 発表標題 マイクロ波パルス照射中の屈折率測定による非熱効果の検証
3. 学会等名 2022年第87回化学工学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 前田 知勇、朝熊 裕介、位頭 信哉、田上 周路、Anita Hyde, Chi Phan
2. 発表標題 マイクロ波照射中の屈折率からみる水和構造の安定性の予測
3. 学会等名 2022年第24回化学工学学生大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 是枝壮太、前田 知勇、朝熊 裕介、田上 周路、Anita Hyde, Chi Phan
2. 発表標題 水溶液中での光速はマイクロ波照射中でどうなる？
3. 学会等名 2022年 化学工学会第53回秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高井貴宏、朝熊 裕介、田上 周路、Anita Hyde, Chi Phan
2. 発表標題 マイクロ波パルス照射中の食塩水の屈折率からの溶媒和の予測
3. 学会等名 2022年 第16回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 是枝壮太、前田 知勇、朝熊 裕介、田上 周路、Anita Hyde, Chi Phan
2. 発表標題 マイクロ波照射中のエタノール水溶液の屈折率測定
3. 学会等名 2022年 第16回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡邊悠介、朝熊裕介、田上 周路、Anita Hyde, Chi Phan
2. 発表標題 マイクロ波照射中の屈折率からの非熱効果の維持
3. 学会等名 2022年 第43回日本熱物性シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 是枝壮太、高井貴宏、朝熊 裕介、田上 周路、Anita Hyde, Chi Phan
2. 発表標題 マイクロ波照射中の水溶液の屈折率からの溶質分散性の予測
3. 学会等名 2022年 第11回潜熱工学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高井貴宏、朝熊 裕介、田上 周路、Anita Hyde, Chi Phan
2. 発表標題 マイクロ波パルス照射中のグルコース水溶液の屈折率の特異性
3. 学会等名 2022年 化学工学会岡山大会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 是枝壮太、朝熊 裕介、田上 周路、Anita Hyde, Chi Phan
2. 発表標題 マイクロ波照射中のグルコース水溶液の分散性の予測
3. 学会等名 2022年 化学工学会岡山大会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡邊悠介、朝熊 裕介、田上 周路、Anita Hyde, Chi Phan
2. 発表標題 マイクロ波2段照射による非熱効果維持法の探索
3. 学会等名 2022年 化学工学会岡山大会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 是枝壮太
2. 発表標題 マイクロ波照射による水溶液中の各糖分子の分散性
3. 学会等名 2022年 第5回ナノバイオ交流会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高井貴宏
2. 発表標題 マイクロ波パルス照射による均一溶液の生成
3. 学会等名 2022年 第5回ナノバイオ交流会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T.Maeda, Y.Asakuma
2. 発表標題 Study for hydration structure in sodium chloride solution through refractive index during microwave irradiation
3. 学会等名 The Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering (APCChE) 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T.Takai, Y.Asakuma
2. 発表標題 Non-thermal effect for refractive index of water during pulse microwave irradiation
3. 学会等名 The Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering (APCChE) 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S.Koreeda, Y.Asakuma
2. 発表標題 Refractive index measurement of glucose aqueous solution during microwave irradiation
3. 学会等名 The Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering (APCChE) 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 S. Koreeda, T. Maeda, Y.Asakuma, S.Taue, A.Hyde, C.Phan
2 . 発表標題 Microwave makes faster light speed in aqueous solution
3 . 学会等名 The 13th Asian Thermophysical Properties Conference (ATPC2022) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 S. Koreeda, T. Maeda, Y.Asakuma, S.Taue, A.Hyde, C.Phan
2 . 発表標題 Refractive index of NaCl aqueous solution during microwave irradiation
3 . 学会等名 The 13th Asian Thermophysical Properties Conference ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Y.Watanabe, Y.Asakuma, S.Taue, A.Hyde, C.Phan
2 . 発表標題 Refractive index of water during two-stage microwave irradiation
3 . 学会等名 The 13th Asian Thermophysical Properties Conference ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 T.Takai, Y.Asakuma, S.Taue, A.Hyde, C.Phan
2 . 発表標題 Stability of molecular cluster in solution through refractive index during microwave irradiation
3 . 学会等名 The 13th Asian Thermophysical Properties Conference ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年



1. 発表者名 T.Maeda, Y.Asakuma, S.Ito, S.Taue, A.Hyde, C.Phan
2. 発表標題 Study for hydration structure through the refractive index during microwave irradiation
3. 学会等名 9th International Symposium on Molecular Thermodynamics and Molecular Simulation (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田知勇、朝熊裕介、田上周路
2. 発表標題 マイクロ波照射中の光物性からみるソフトマター分子制御の可能性
3. 学会等名 2021年 化学工学会第52回秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田知勇, 田上周路, Anita Hyde, Chi Phan, 朝熊裕介
2. 発表標題 マイクロ波照射中の屈折率測定からの非熱効果検証
3. 学会等名 2021年 第15回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田知勇, 朝熊裕介, 位頭信哉, 田上周路, Anita Hyde, Chi Phan
2. 発表標題 マイクロ波照射中の屈折率からみる水和構造変化
3. 学会等名 2021年 第42回日本熱物性シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田知勇, 朝熊裕介, 位頭信哉, 田上周路, Anita Hyde, Chi Phan
2. 発表標題 マイクロ波照射中の水和構造変化からの非熱効果の検証
3. 学会等名 2021年 化学工学会関西大会2021
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------