

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：82110

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23654139

研究課題名(和文) フレーリッヒの細胞モデルの物理的核心部分の検証

研究課題名(英文) Validation of the physical essence of Frohlich's cell model

研究代表者

村上 洋 (MURAKAMI, HIROSHI)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 量子ビーム応用研究センター・研究員

研究者番号：50291092

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)： フレーリッヒの細胞モデルは、生物機能が示す秩序性や効率の良さについて統一的理解に導くモデルであるが、未だ実証されていない。このモデルの核心部分は、細胞全体に渡るテラ(10の12乗)ヘルツ周波数領域の電氣的振動という動的秩序状態の存在である。本研究の目的は、逆ミセルという細胞類似無生物試料と高強度テラヘルツ波発生及び検出技術を用いたモデル検証である。そのための分光装置の開発を行った。一方、逆ミセルの性質を調べ、逆ミセル内部の状態転移現象や逆ミセルからの水流出現象などを明らかにした。検証実験は現在進行中である。

研究成果の概要(英文)： A model of living cells proposed by Frohlich leads to a unified understanding of the order and high efficiency in biological functions. Nevertheless, the validity of the model has not been verified for several decades. The essence of the model is the existence of a coherent longitudinal electric mode in a terahertz frequency range in living cells. The purpose of this study is to verify the essence by use of generation and detection techniques of intense terahertz electric waves and reverse micelles that are regarded as a model system of cells. To that end, a spectroscopy system has been developed and its application to reverse micelles is in progress. On the other hand, the physical properties of reverse micelles have been studied, and phase transition-like changes and water shedding from the reverse micelle have been found.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・数理物理・物性基礎

キーワード：細胞モデル フレーリッヒ マイクロ波 非平衡 非線形



法を用いた装置の構築を行う。(3)色素分子や色素蛋白質導入逆ミセルを主な対象に適宜構築した装置を組み合わせ実験を行い、コヒーレント電気振動出現に伴う逆ミセル内部の状態変化を調べるため、逆ミセルのTHz分光やプローブ分子の吸収・蛍光分光を行う。

#### 4. 研究成果

(1) Webbらが蛋白質や水などで観測した0.06から0.08THzの吸収スペクトルの構造の存在を実験的に再検討した。逆ミセル溶液を対象にTHz分光を実施した。逆ミセルのサイズ(半径:0.5nm~4nm)を変えて測定を行った結果、逆ミセル内部の水がバルク状態水から束縛水までのどの状態であってもその周波数領域に水や界面活性剤に起因する有意なスペクトル構造は確認できなかった。これまで、水や生体関連分子のTHz分光はおよそ0.1THz以上の領域で測定されてきたが、吸収スペクトルは連続的に広がり、共鳴的なピーク構造は見られない。理論的にもこの周波数領域には多数の振動状態が連続的に存在することが示されている。0.1THz以下でも同じ結果であり、Webbらの結果は再現されなかった。

(2) 逆ミセル中に導入した色素分子の周りのダイナミクスを調べた。逆ミセルの半径1nm程度以下の場合、色素分子の周りの水の拡散的運動が室温で凍結しているという結果を得た。そして、逆ミセルに分子を導入したときの内部の状態が逆ミセルサイズに顕著に依存することが明らかになった。さらに温度を下げていくと、凍結していた拡散運動がある温度で活性化した。これは、色素分子が水と共に逆ミセルから流出することにより起こると考えられる。

(3) 逆ミセル中の水のTHz分光により、半径10nm程度以上の粒径の逆ミセルでは、室温付近で水の流出が起こるとともに、ピコ

秒領域の水の運動が急激にスローダウンすることが分かった。このようなTHz波周波数領域の水の運動と逆ミセルの安定性の関係は、フレイリッヒの細胞モデルの検証実験のための基礎データを与えるだけでなく、細胞崩壊の機構を考えると、重要な情報を与えるかもしれない。

(4) 高強度THz波発生実験において、数百 $\mu$ Wの出力を得た。入射フェムト秒光パルスからの変換効率は、先行研究と同等であった。そして、発生THz波の時間波形計測のための光学系の構築を行い、単一サイクルのTHz波パルスが発生されていることを確認した。また、試料位置での集光スポットサイズは波長程度であり、試料位置までの光学系がほぼ最適化されていることが分かった。一つのレーザー光を二つに分けてそれぞれを、試料へのエネルギー注入と注入後の試料状態計測に用いる。試料計測側のレーザー強度は弱い。そのため、実時間紫外・可視吸収分光用に、白色光パルス発生効率の高い光ファイバー光学系を用いた装置を構築したが、安定な出力は得られなかった(現在光学系再検討中)。水を用い安定な白色光を得ることができたのでそれを利用している。現在、色素分子導入逆ミセルを対象に検証分光実験を行っており、今後は蛋白質逆ミセルなど細胞類似試料を対象にした実験を行い、フレイリッヒの細胞モデルの検証を行う。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

H. Murakami, T. Sada, M. Yamada, M. Harada, "Nanometer-scale water droplet free from the constraint of reverse micelles at low temperatures." *Physical Review E* 88, 2013, pp.052304-1-8、査読有り

H. Murakami, Y. Toyota, T. Nishi, and S. Nashima, "Terahertz Absorption Spectroscopy of

Protein-Containing Reverse Micellar Solution”,  
Chemical Physics Letters 519-520, 2012,  
pp.105-109、査読有り

〔学会発表〕(計 10 件)

村上 洋、逆ミセル中の蛋白質と水のテラヘルツ分光、第2回 Neutrons in Biology 研究会 2014年3月28日、発表場所(茨城県東海村、日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所)

村上 洋、逆ミセルにより空間拘束された水及び蛋白質の分光研究、第10回「生体膜・コロイド研究の最前線」2013年12月19日、発表場所(茨城県東海村、いばらき量子ビーム研究センター)

村上 洋、逆ミセル中ナノ拘束水のテラヘルツダイナミクスの温度依存性 第51回日本生物物理学会、2013年10月28日、発表場所(京都府京都市、国立京都国際会館)

村上 洋、逆ミセル拘束水のテラヘルツダイナミクスの温度変化、第64回コロイドおよび界面化学討論会、2013年9月20日、発表場所(愛知県名古屋市、名古屋工業大学)

村上 洋、佐田 智子、山田真紗子、原田雅史、逆ミセル溶液中の水のダイナミクスの温度変化、第64回コロイドおよび界面化学討論会、2013年9月19日、発表場所(愛知県名古屋市、名古屋工業大学)

村上 洋、ナノ拘束水のテラヘルツダイナミクスの温度変化の異常性、日本物理学会 2013 秋季大会、2013年9月26日、発表場所(徳島県徳島市、徳島大学)

Hiroshi MURAKAMI, Terahertz spectroscopy of nanometer water droplet in a wide temperature range, 7th International Discussion Meetings on Relaxations in Complex systems, 2013年7月24日、発表場所(スペイン、バルセロナ、カタルニア工科大学)

村上洋、ナノ拘束水のテラヘルツ分光の温度変化測定、日本物理学会第68回年次大会

2013年3月27日、発表場所(広島県東広島市、広島大学)

村上洋、佐田 智子、山田真紗子、原田 雅史、逆ミセル内部のダイナミクスの温度変化、日本物理学会 2012 秋季大会、2012年9月20日、発表場所(神奈川県横浜市、横浜国立大学)

Hiroshi Murakami, Terahertz Absorption Spectra of nanometer-confined water at low temperatures, 37<sup>th</sup> International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, 2012年9月25日、発表場所(オーストラリア、ウーロンゴン、ウーロンゴン大学)

〔図書〕(計 1 件)

H. Murakami, “Protein and Water Confined in Nanometer-Scale Reverse Micelles Studied by Near Infrared, Terahertz, and Ultrafast Visible Spectroscopies.” Advances in Protein Chemistry and Structural Biology vol.93, Biomolecular Spectroscopy: Advances from Integrating Experiments and Theory (C.Christov, ed. Elsevier Oxford, 2013), pp. 183-212.

〔産業財産権〕

取得状況(計 2 件)

名称：テラヘルツ測定装置、時間波形取得法及び検査装置

発明者：村上 洋

権利者：独立行政法人日本原子力研究開発機構

種類：特許

番号：特許第 5213167 号

取得年月日：March 8, 2013

国内外の別：国内

名称：テラヘルツ測定法

発明者：村上 洋

権利者：独立行政法人日本原子力研究開発機構

種類：特許

番号：特許第 5510851 号

取得年月日：April 4, 2014

国内外の別：国内

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

村上 洋 (MURAKAMI, Hiroshi)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・原子  
力科学研究部門・量子ビーム応用研究セン  
ター・研究員

研究者番号：50291092