

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2010

課題番号：19340076

研究課題名（和文）励起状態の振動制御による光合成系エネルギー伝達過程の高効率化の研究

研究課題名（英文）Efficient energy transfer in primary process of photosynthesis by controlling coherent vibrations of excited states

研究代表者

吉澤 雅幸（YOSHIZAWA MASAYUKI）

東北大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：60183993

研究代表者の専門分野：光物性

科研費の分科・細目：物理学・物性 I

キーワード：光物性

1. 研究計画の概要

（1）光合成系の光アンテナ色素蛋白複合体における超高速エネルギー伝達過程を、フェムト秒分光法により振動状態を含めて明らかにする。試料には自然由来のものだけでなく、カロテノイドを再会合した人工の色素蛋白複合体を系統的に用いる。

（2）パルス波形を制御した超短パルス励起光を用いて励起状態の振動準位を選択的に励起し、色素蛋白複合体における緩和過程およびエネルギー伝達過程への影響を明らかにする。

2. 研究の進捗状況

（1）試料として光合成細菌 *Rhodospirillum rubrum* S1 の LH1 複合体を用いて、エネルギー移動過程の詳細な評価を行っている。抽出した天然の複合体だけでなく、再会合により人工的に単一のカロテノイド（スピリロキササンおよびスフェロイデン）とした試料を用いた系統的な測定を行っている。

波長可変励起光を用いることで、エネルギー伝達のドナーであるカロテノイドの S_2 励起状態とアクセプターであるバクテリオクロフィルの Q_x 励起状態を出発点とするエネルギー伝達過程の評価を行った。この結果、光捕集作用であるカロテノイドからバクテリオクロフィルへのエネルギー移動だけでなく、逆方向のエネルギー移動も存在することが明らかにされた。

マルチパルス励起光による測定では、バクテリオクロフィルをあらかじめ励起状態とすることで、カロテノイドからのエネルギー伝達過程を制御することに成功している。

データ解析法として観測波長と遅延時間を2次元的に評価するグローバルフィッテ

ィングを用いることで、振動を含めた動的過程の詳細な評価を可能とした。

（2）光位相制御器を用いて超短光パルスの波形整形器を製作した。これにより、任意の時間波形をもつ励起光の発生が可能となり、実際に数 10 フェムト秒間隔のパルス列の発生を確認した。特徴的な振動をもつ色素分子であるナイルブルーと β -カロテンをテスト試料として、コヒーレント振動の生成を達成した。さらに、波長の異なる2つの励起光を用いたマルチパルス光励起を行うことで、励起状態の振動を効率的に制御できることを実証した。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

実験装置の開発はすでに終了し、研究に必要な性能が得られていることをテスト試料を用いた実験により確認している。試料となる人工の色素蛋白複合体についても作成法を確立し、すでに時間分解吸収分光による系統的な測定が順調に進んでいる。

4. 今後の研究の推進方策

（1）カロテノイドだけでなくバクテリオクロフィルの中心金属を換えた複合体も含めて、詳細にエネルギー伝達過程を測定する。これにより、アクセプターとドナーのエネルギー準位の違いがエネルギー伝達効率にどのように影響するかを評価し、その機構を解明する。

（2）マルチパルス光励起による振動制御を色素蛋白複合体に応用する。カロテノイド励起状態のコヒーレント制御を行い、エネルギー伝達過程への影響を調べる。効率的なエネ

ルギー伝達に重要な振動状態を明らかにし、その制御を試みる。

5. 代表的な研究成果

(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 14 件)

1. D. Kosumi, K. Abe, H. Karasawa, M. Fujiwara, R.J. Cogdell, H. Hashimoto, and M. Yoshizawa, "Ultrafast Relaxation Kinetics of the Dark S₁ State in All-trans- β -Carotene Explored by One- and Two-Photon Pump-Probe Spectroscopy", Chem. Phys. 査読有, (2010) 印刷中.

2. D. Kosumi, M. Fujiwara, H. Hashimoto, and M. Yoshizawa, "Ultrafast Nonlinear Optical Responses Induced by Multiphoton Excitation in All-trans- β -Carotene: Nonresonant Excitation to the Optically Allowed S₂ State", J. Phys. Soc. Jpn., 査読有, 78(10), (2009) 104715 (5 ページ).

3. D. Kosumi, M. Fujiwara, R. Fujii, R.J. Cogdell, H. Hashimoto, and M. Yoshizawa, "The dependence of the ultrafast relaxation kinetics of the S₂ and S₁ states in β -carotene homologs and lycopene on conjugation length studied by femtosecond time-resolved absorption and Kerr-gate fluorescence spectroscopies", J. Chem. Phys., 査読有, 130(21), (2009) 214506-214513.

4. K. Abe, D. Kosumi, K. Yanagi, Y. Miyata, H. Kataura, and M. Yoshizawa, "Light-harvesting function of β -carotene inside carbon nanotubes explored by femtosecond absorption spectroscopy", Phys. Rev. B, 査読有, 77(16), (2008) 165436 (6 ページ).

5. M. Yoshizawa, K. Abe, D. Kosumi, K. Yanagi, Y. Miyata, and H. Kataura, "Ultrafast dynamics of light-harvesting function of β -carotene in carbon nanotube", Ultrafast Phenomena XVI, Springer Series in Chemical Physics 92, 査読無, (2009) 610-612.

[学会発表] (計 34 件)

1. 阿部健太、中村亮介、橋本秀樹、吉澤雅幸: マルチパルス光励起による励起状態の分子振動制御、日本物理学会第 65 回年次大会、2010 年 3 月 22 日、岡山大学.

2. 吉澤雅幸: 光合成初期反応のマルチパルス光励起による制御、ワークショップ「超高速過程における量子コヒーレンスの観測と制御」、2009 年 12 月 3 日、東北大学.

3. M. Yoshizawa, K. Abe, D. Kosumi, K. Yanagi, M. Miyata, and H. Kataura, "Ultrafast excited energy transfer of β -carotene in single-walled carbon nanotubes", The 15th International Conference on Carotenoids, 2008 年 6 月 25 日, 沖縄.

4. D. Kosumi, K. Abe, H. Karasawa, M. Fujiwara H. Hashimoto, and M. Yoshizawa, "Excitation energy dependence of the S₁ relaxation kinetics of all-trans- β -carotene explored by the two-photon excitation", The 15th International Conference on Carotenoids, 2008 年 6 月 25 日, 沖縄.

5. M. Yoshizawa, K. Abe, D. Kosumi, K. Yanagi, M. Miyata, H. Kataura, "Ultrafast dynamics of light-harvesting function of β -carotene in carbon nanotubes", The 16th International Conference on Ultrafast Phenomena, 2008 年 6 月 11 日, Stresa, Italy.

[図書] (計 1 件)

1. 杉崎満、橋本秀樹、吉澤雅幸、シーエムシー社、「カロテノイドの科学と最新応用技術」、2009、78-89 ページ.

[その他]

ホームページ

<http://sspp.phys.tohoku.ac.jp/yoshizawa>