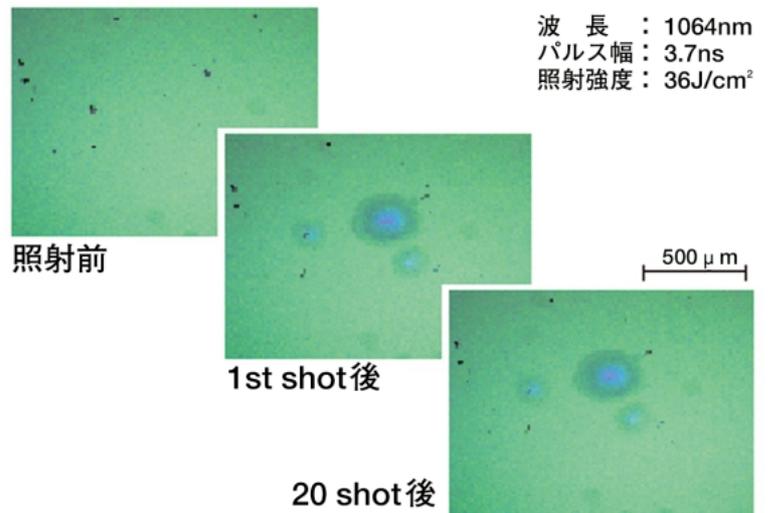


2005, Mar.

No. 204

## CONTENTS

- 動き始める「レーザー技術開発室」
- 亜鉛クロロフィルを持つ光合成細菌  
～反応中心の光初期反応～
- 『光と蔭』「年々歳々花相似たり、歳々年々人同じからず」
- レーザー学会研究業績賞・進歩賞受賞



【表紙図】波長1 μm用ミラーに対して繰返しレーザー照射を行った時の表面の損傷

## 動き始める「レーザー技術開発室」

レーザー技術開発室 本越伸二

## ■レーザー装置、光学部品の相談に対応

当研究所では、「技術相談窓口」を設け、産業界からさまざまなニーズのご相談にお応えしつつ、われわれのシーズとの連携に取り組んでいる。おかげさまで、ここ2年は、30件を超えるご相談を頂き、有益な情報交換が進み、新しい技術が生まれている。その中で、レーザー応用だけでなく、レーザー装置および光学部品への問い合わせが年々多くなっている。この理由は、レーザーの応用範囲が広がり、これまでにない応用をするためにレーザー装置への要求が高くなったものと思われる。それらレーザー装置および光学部品に対する相談に対応するため、これまでの研究チームと独立して、「レーザー技術開発室」を立ち上げ準備を進めてきた。

## ■損傷評価の標準化

レーザーシステムには多くの光学部品が使用されている。レーザーを用いてさまざまな応用をする場合においても、どの

ような光学部品を使用するかはシステム全体の仕様を大きく左右する。しかし、その光学部品がレーザー光により損傷し、システムが止まってしまったことは多くのユーザーが経験している。つまり、それら光学部品の耐光性(損傷耐力)を向上することが、レーザー応用をする上で重要である。そのため、光学材料、加工技術、コーティング技術など広い範囲にわたり、光学部品の損傷耐力を向上する開発研究することが望まれている。

光学部品のレーザー損傷については、国際標準化として、ISO-10110-17、ISO-11254-1および-2が提唱されている。また最近では、市販の光学部品にも耐光性が標記されているものもある。しかしながら、実際の使用では損傷を起してしまう。これは、ユーザーが使用するレーザーの特性や品質に大きく依存しているところもあるが、もう一方で、ユーザー側で確認するすべがないことが原因である。光学部品の透過率や波面については、ユーザー側で評価することは可能であるが、損傷耐力

次ページへつづく▶

については実際に使用する以外になく、その損傷の要因も明らかにならないのが現状である。そのため、標準化可能な損傷評価システムを確立し、広く提供することは重要な課題である。

現在、さまざまな光学部品の耐光性の評価に対応するレーザーシステムの準備を進めている。波長やパルス幅をはじめ、繰り返し照射、寿命評価など、有益な装置に仕上がりがつつある。

#### ■損傷機構の解明と高耐力化

損傷の評価システムの確立とともに重要なことは、高耐力化への指針を広く提供することである。そのために、損傷の物理機構を明らかにすることが必要である。特に近年では、使用レーザーエネルギー限界を示す損傷閾値に加え、使用可能期間(寿命)の情報が要求されている。そのため、ISO規格においても、S-on-1という定義が示され、同じ個所に一定のエネルギーでS回照射した場合についても標準化されようとしている。しかし、この繰り返し照射においても、異なった損傷の振る舞いを起こす。表紙の図は、波長1 $\mu$ m用ミラーに対して繰り返し

レーザー照射を行ったときの表面の損傷を示している。照射強度36 J/cm<sup>2</sup>、1ショット目で入った損傷も、その後同一照射強度で20ショット照射しても損傷は拡大していない。つまり、光学部品の損傷においてもシステムの寿命を制限するもの(損傷が拡大するもの)と、そうでないものが存在すると考えられる。また反対に、損傷を起こさないが光学特性が影響する場合もある。これら長寿命化についても研究し、開発をする必要がある。

#### ■レーザー技術の中核へ

「レーザー技術開発室」の役割は、基礎研究、技術支援、情報発信、の大きく3点が挙げられる。他の研究チームの受託、自主研究のレーザー開発部門を担当するとともに、産業界のニーズに応えるレーザー技術の開発をすることである。その多くがレーザー技術の中核として、広く貢献できるように、今後多くの方にご協力を得ながら進めていく。

## 亜鉛クロロフィルを持つ光合成細菌

### ～反応中心の光初期反応～

レーザーバイオ科学研究チーム

コスロービアン・ハイク、谷口誠治

#### ■人工光合成システムの実現のための研究

生体内で行われる光合成は、光エネルギーを化学的なエネルギーへ高効率で変換する反応として、古くからそのメカニズムの解明と人工光合成システムの実現のための数多くの研究が行われてきた。光合成は多くの反応が連続して起こる多段階反応であるが、とりわけ注目されるのは反応初期で起こる光捕集(エネルギー移動)とその光エネルギーによる電子放出(電子移動)過程である。これらの反応には図-1(a)に示すような(バクテリア)クロロフィルと呼ばれる分子が深く関与しており、生体内で巧みに配置されているこれらの分子群が光吸収とエネルギー移動、電子移動の担体として効率良く機能することが分かってきた。この結果を受け、クロロフィルと基本構造が類似したポルフィリン分子(図-1(b))を光吸収とエネルギー移動、および電子移動の素子として用い、人工的に光エネルギーを制御しようとする研究が行われるようになってきた。ただしここで注意すべきは、図で分かるように生体内に存在するBChlは中心にマグネシウム(Mg)が配位しているのに対し、これらの研究では主に中心金属として亜鉛(Zn)が配位する分子が用いられている点である。これについては、過去にマグネシウム配位型のポルフィリンを用いた研究が行われていたものの、電子移動の能力が亜鉛ポルフィリンと同等であることが明らかとなったことや、亜鉛ポルフィリンに比べて実験上取り扱いが難

しい(光に対する安定性等)こと等の理由から用いられなくなったものである。現在では、関連研究には亜鉛ポルフィリンが主として用いられている。しかし一方で、「自然界で機能しているMg配位分子を用いるべきではないか」という意見はやはり存在し、また逆に「天然ではなぜ亜鉛ではなくマグネシウムを選んだのか」という疑問も同時に浮かび上がってくる。

#### ■亜鉛クロロフィルを持つ光合成細菌

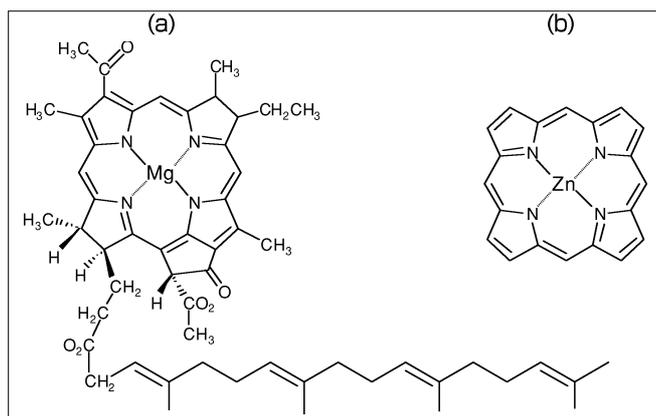
このような疑問に対して最近、ある光合成細菌(*Acidiphilium rubrum*、以下*A. rubrum*)が発見され注目を集めている。*A. rubrum*は好気性紅色光合成細菌に属し、pH3.5以下の酸性条件下で生息するが、最大の特徴はMgではなくZnが配位したBchlからなるアンテナ-反応中心複合体を持っている点である。この発見により、中心金属にZnを配した分子を用いることの有効性が示されたと考えられることもできるが、その一方で自然界ではやはりMg配位型分子を用いているものがほとんどであり、自然界でMgが選択された理由についての十分な解答とはなっていないと思われる。この理由に対しては多くの要因があり一概に議論することは困難ではあるものの、われわれは、これらの問題に対するアプローチの一つとして、*A. rubrum*の光合成反応中心の初期反応を、Mg配位型クロロフィルを持つ紅色光合成細菌(*R. sphaeroides*)のそれと比較することとした。この研究により反応中心分子の光反応性に違いを見いだすことができ

れば、自然界におけるMg選択の積極的な理由となりうると考えられる。図2に光合成細菌(*R.sphaeroides*)が持つ光合成反応中心の模式図を示す。光捕集アンテナにより集められた光エネルギーは、バクテリオクロフィル2量体(P)へとエネルギー移動し、そのエネルギーにより電子が放出される。放出された電子はバクテリオクロフィル単量体(BL)、バクテリオフェオフィチン(HL)を經由してメナキノン(Q<sub>A</sub>、Q<sub>B</sub>)へと送られその後の反応に使われる。*A. rubrum*では、PおよびB(B<sub>L</sub>、B<sub>H</sub>)の中心金属がMgからZnに置き換わった形となっていると考えられる。

### ■フェムト秒蛍光計測による光合成反応中心の初期反応過程

フェムト秒レーザーパルスを励起光として用いた蛍光計測により、*A. rubrum*、*R.sphaeroides*のそれぞれから抽出した光合成反応中心の初期反応を観測した。励起波長は815nmであり、主としてバクテリオクロフィル単量体(B)を励起する。観測波長は947nmで、Pの光励起状態からの蛍光減衰を観測する。この観測から、Pからの電子移動等、初期反応に関する有益な情報を得ることが可能である。

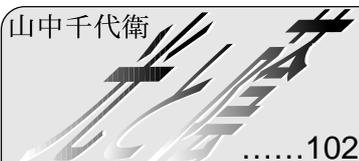
実験の結果、蛍光減衰は互いに類似したものとなり(図3)反応性は似通ったものであると予想できる。数値解析の結果、*R.sphaeroides*では、蛍光は寿命160fsの蛍光の立ち上がり(48%)、3ps(46%)、19.8ps(6%)の3成分指数関数による減衰



【図1】(a)バクテリオクロロフィルa(BChl-a)  
(b)亜鉛ポルフィリンの分子構造

成分からなり、*A. rubrum*では、寿命160fsの蛍光の立ち上がり(34%)、3.3ps(53%)、15.7ps(13%)の減衰成分からなることが分かった。蛍光減衰はPからHL(またはBL)への電子移動速度を反映しており、各寿命成分および前指数因子比に顕著な相違は見られない。このことは、生体内においても亜鉛(Zn)置換型分子の電子移動速度はMg型とほぼ同じであることを示している。一方、蛍光の立ち上がりはB(B<sub>L</sub>、B<sub>H</sub>)からPへのエネルギー移動速度に対応しているが、この寿命についても相違は見られない。また、蛍光異方性の観測から求めた*A. rubrum*

山中千代衛



.....102

## 「年々歳々花相似たり、歳々年々人同じからず」

今年も早春の季を迎える。一年中で最も明らかに万物が息を吹き返す生命に満ちた時季である。大学で言うと入学、新学期である。希望に胸をふくらませた新入生が門をくぐる日々が続く。年間を通じ筆者の最も気に入る季節である。この新陳代謝こそ大学の活力の源泉なのだ。

毎年春が来れば花は咲き、木は緑に、水ぬるみ、大気は生気に満ち溢れる。一方で白頭の翁の詩、まさに歳々年々人同じからずである。

先日も大阪大学レーザー核融合研究センターで井澤靖和教授の最終講義「レーザー同位体分離の30年」を聞き、ウラン年300gの制約下での研究の苦勞をしみじみ思い出し、ラムダロケットに半導体レーザーを搭載しエアロゾルの観測をした70年代を回想させてもらった。レーザー計測とプロセッシングで活躍した井澤君の足跡はまことに貴重なものがある。ご本人の結言「慎みて努め行えや、その希望ならぬことなし」はずしりと聞こえた。

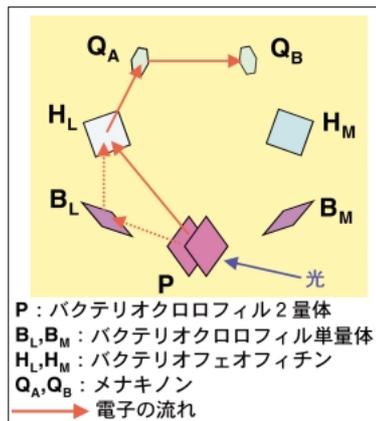
文科省、経産省研究開発プロジェクトのEUV光源開発事業はまだ継続中である。なお数年は特任教授としてご尽力を願わなければならない。それでもセンター長役は離れるのだから、時間も出来るので(財)レーザー技術総合研究所の運営に力を貸して頂きたいと願っている。三間園興君が再びセンター長を努める。阪大レーザーエネルギー学研究中心はいよいよ正念場だ。

レーザー総研のレーザービーム伝送チームのリーダー内田成明主任研究員は東京工業大学の矢部 孝教授のチームに助教授として赴任することになった。レーザー推進関連の研究で理論と実験が密接に連携した研究組織を、まさに阪大レーザー研流に構成したいとのことである。積極的に応援したいものだ。

レーザービーム伝送チームは島田義則副主任研究員と(山中龍彦名誉教授)がリーダー役となり、レーザーリモートセンシングは島田義則、コチャエフ オレグが担当し、EUV光源開発は山浦道照、橋本和久が担当となり、宇宙関係ビーム技術は今崎一夫主席研究員が取り扱うことになった。大学院生、学生は従来通りのテーマ研究に専念してもらおう。時は3月、希望に満ちて前進しよう。

年々歳々花相似、歳々年々人不同

【(財)レーザー技術総合研究所 研究所長】

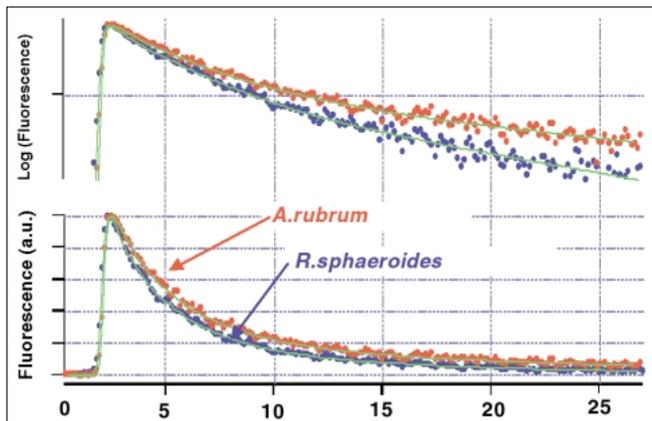


【図2】光合成反応中心  
 (*R. sphaeroides*)の模式図

てZn配位型の分子を用いることが有効であることを改めて示した形となったが、一方自然界におけるMg選択については現時点では他の理由(生息環境等)に起因すると考えるほかはない。しかしながら、このような研究は、人工光合成システムに関する基礎的な情報を与えるだけでなく、光合成生物の進化の

におけるP、BのQ<sub>y</sub>遷移双極子間の角度は36°であり、P-B間の配向についても*R. sphaeroides* (32°)とほぼ同様であることが分かった。

この研究から、反応中心分子におけるエネルギー移動、および電子移動の能力はMg型とZn型で同等であることはほぼ明らかである。これにより、光化学的見地から見



【図3】*A. rubrum*、*R. sphaeroides*の各光合成反応中心のフェムト秒蛍光データ(励起波長815nm、観測波長947nm)

過程を解き明かすという側面からも興味深いものと考えられる。

本研究は名古屋大学大学院理学研究科伊藤研究室(柴田穰助手、富井哲雄氏ら)との共同研究により行われた。ご協力に深く感謝する。

NEWS

# レーザー学会研究業績賞・進歩賞受賞

京都大学化学研究所 先端ビームナノ科学センター 橋田昌樹  
 (元(財)レーザー技術総合研究所 研究員)

平成16年5月28日に授賞式が行われ(財)レーザー技術総合研究所在籍中の研究題目「フェムト秒レーザーアブレーションによる新加工領域の特徴とナノ構造形成」に対してレーザー学会研究業績賞・進歩賞が贈られた。受賞者は筆者の他に古河裕之氏((財)レーザー技術総合研究所)、塚本雅裕氏(大阪大学接合科学研究所)、藤田雅之氏((財)レーザー技術総合研究所)、井澤靖和氏(大阪大学レーザーエネルギー学研究センター)が連名である。

レーザー学会業績賞は、社団法人レーザー学会が会誌「レーザー研究」に掲載された論文、年次大会および研究会などで発表された研究成果から、特に優秀な論文に論文賞を、また顕著な成果に対して進歩賞を贈るもので、本年が第28回目。受賞理由は、レーザー波長に制限されない原子レベルの微細加工(ナノ加工)を行えるアブレーション領域の存在を明らかにした点にある。フェムト秒レーザーによるナノ加工は、ナノ秒やピコ秒にはみられない低アブレーション率を示すだけでなく、波長に制限されないナノ周期構造物を形成できることを特徴としている。現在、この物理機構を明らかにするための基礎研究およびナノ構造を使った応用研究が行われている。具体的な応用として、ナノ周期構造物がしゅう動面の摩擦

低減やタンパク質凝集過程の解明<sup>1)</sup>、質量分析の高性能化<sup>2)</sup>において有用性が指摘され、その効果が示され始めている。

最後に、受賞研究の遂行にあたり御支援して戴きました山中千代衛氏(大阪大学名誉教授)、阪部周二氏(京都大学化学研究所)に深く感謝いたします。また、研究成果に関してご討論、ご協力していただきましたA.F., Semerok氏(フランス原子力研究所)、G. Petite氏(フランス原子力研究所)、村井健介氏(産業技術総合研究所)、松谷貴臣氏(産業技術総合研究所)、レーザー総研の皆様には謝意を表します。

参考文献 1) 松本周三、屋根晃、後藤祐児、橋田昌樹、藤田雅之他: 第42回日本生物物理学会(2004)。2) 清水政二: 日刊工業新聞2004年11月26日科学技術面掲載。

