

光反応制御・光機能材料分野

(H9年度～H18年度、H14年度予算額：40百万円(3.6億円))

研究機関名：(独)産業技術総合研究所(旧：通産省工技院物質工学工業技術研究所)

研究の概要・目標	諸外国の現状等	研究進展・成果がもたらす利点
<p>1. 研究の目標 エネルギー問題と環境問題の解決のための<u>光反応制御技術</u>の確立</p> <p>2. 研究の内容 (1) <u>光電子移動</u>や<u>エネルギー移動</u>の機構の解明と、レーザーを用いた<u>反応のコヒーレント制御</u>の実現 (2) 太陽光エネルギーの有効利用のための<u>人工光合成システム</u>と<u>光合成模倣型太陽電池</u>の開発 (3) レーザーによる<u>選択的物質合成</u>と<u>材料の高機能化技術</u>の開発 (4) 大容量情報の高速処理・高速伝送のための<u>光機能材料</u>の開発</p> <p>3. 何が新しいか 光反応制御技術の基本原理を開拓し、それを用いて高効率光エネルギー変換や、レーザーによる材料の高機能化技術を、統合した体制で開発。</p>	<p>1. 現状 光反応制御技術は個別の課題毎に別々に研究されている。先進国各國は、個別の課題に、それぞれ固有のポテンシャルを有しており、互いに競争しあいながら研究開発を進めている。しかし、このプロジェクトのように、個別の課題を統合して、基礎から応用まで一貫して研究開発を進めている例はない。</p> <p>2. 我が国の水準 我が国は欧米各國(特に米、英、独、仏)と並んで、光化学の研究が最も活発な国の1つであり、世界の最先端を行く研究も少なくない。光化学の基礎現象の発見・解明や大型装置利用技術のみならず、光触媒や光機能材料の分野でも世界のトップクラスである。</p>	<p>1. 世界の水準との関係 光反応制御技術の基本原理を開拓し、それを用いて、高効率光エネルギー変換や、レーザーによる材料の高機能化技術、新しい原理に基づく光機能材料を開発することによって、この分野でのCOEとして世界的に認知される。それによって、優秀な人材や豊富な研究資金の確保がより容易になり、研究がさらに発展する。</p> <p>2. 波及効果 光反応制御技術の確立により、太陽光エネルギーの有効利用や不要な副生成物を出さない反応プロセスの開発が可能になり、エネルギー問題や環境問題の解決に寄与できる。また、光機能材料の開発により、高度情報化社会を支える技術として期待される、光情報処理技術の発展を促す。</p>

1. 研究概要

(1) COE 育成機関名

独立行政法人 産業技術総合研究所

(2) 目的、意義、必要性

エネルギー問題の究極的な解決策は太陽光エネルギーの有効利用であり、環境問題の解決策の1つは不要な副生成物を出さない反応プロセスの開発である。これらを解決する手段として期待されているのが光反応制御技術の確立である。光反応制御とは、光を用いて反応を原子・分子レベルで制御することによって、高効率な人工光合成システムの開発や物質の高選択的合成を目指すものである。またマルチメディア時代の到来と共に、大容量情報の高速処理・高速伝送の必要性が高まっている。これを解決する手段として期待されているのが光情報処理であり、その実現のためにには光機能材料の開発が不可欠である。

(3) 研究概要

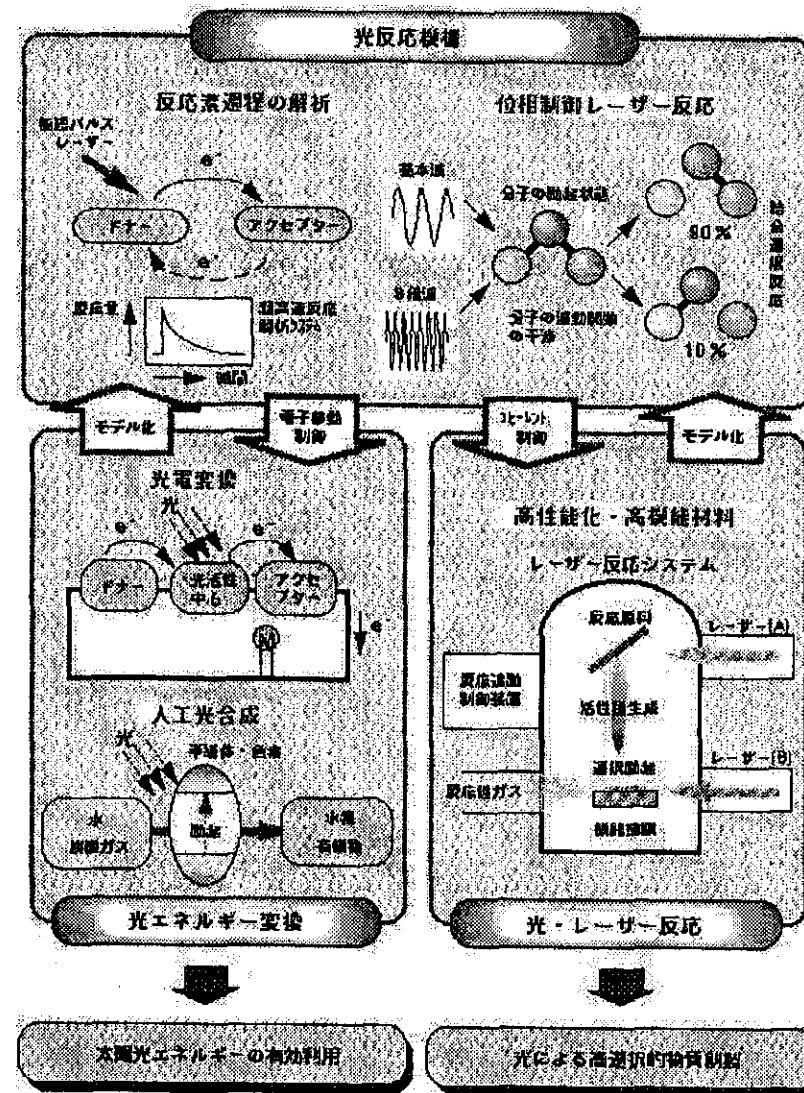
光反応制御領域（調整費充当領域）は、光反応制御の基礎となる光電子移動やエネルギー移動の機構の解明と、レーザーを用いた反応のコヒーレント制御を目指す「光反応機構」班と、光合成模倣型の新規な太陽電池や、太陽光による水素直接製造光触媒を開発する「光エネルギー変換」、さらにはレーザー光を用いて付加価値の高い物質合成法の開発を目指す「光・レーザー反応」班から構成される。光機能材料領域（自己努力領域）は、有機非線形光学材料や新規な光電子機能材料の開発を目指す「光電子材料」班、光情報変換分子デバイスを開発する「光反応性材料」班、光やレーザーを用いた材料の計測技術を開発する「光材料計測」班から構成される。これら6つの班は有機的な連携のもとに研究開発を進める。5年間で個々の課題の基礎的研究がほぼ終了し、10年後には実用化を考慮できる段階に達することを目指す。

(4) 研究総括責任者 立矢 正典 (産業技術総合研究所 フェロー)

(5) 研究期間

平成9年～平成18年度

調整費充当領域「光反応制御」の研究概要



2. 所用経費一覧表

(1) 研究費の配分一覧 (サブテーマ毎)

研究総括責任者名：立矢正典 ((独)産業技術総合研究所 フェロー)

(単位：千円)

サブテーマ名	サブテーマリーダー	12年度予算	13年度予算	14年度予算
1.光反応機構の研究	中永 泰介	115,469	116,056	5,500
2.光エネルギー変換の研究	荒川 裕則	133,433	107,126	5,500
3.光レーザー反応の研究	新納 弘之	69,704	55,900	2,000
4. 成果の発信		49,537	49,928	23,365
一般管理費		0	32,901	3,447
合計額		368,143	361,911	39,812

3. 研究成果の概要

1. 光反応制御領域

1-1. 光反応機構の研究

均一系及び不均一系での電子移動の機構を実験及び理論の両面から研究した。均一系についてはドナーとアクセプターの距離が非常に短いときには Marcus の理論とは異なる機構で電子移動が起こることを明らかにした。また、光エネルギー変換の研究を基礎的な面からサポートするために、色素増感半導体ナノ微結晶における電子移動を実験及び理論の両面から研究し、色素から半導体への電荷注入及びその逆過程に対して新しい理論を構築した。レーザーによるコヒーレント反応制御は非常に難しい課題であるが、試行錯誤を重ねた結果、高強度レーザーパルス光を用いることで、1光子・2光子の同時吸収でも量子干渉により分解効率が変化することを示すことに成功した。

1-2. 光エネルギー変換の研究

新しい太陽光エネルギー利用技術の開発を目指して、色素増感太陽電池の高性能化の研究を行った。高性能色素、酸化物半導体、レドックス電解質系の探索・設計研究を行ない、世界最高水準の性能をもつ色素増感太陽電池の開発に成功した。また、太陽光による水からの水素製造に関しては、可視光応答が可能な酸化物半導体光触媒系の探索・設計を行い、インジウム・タンタル酸化物にニッケルをドープした光触媒や、光合成のメカニズムを利用した2段階光触媒法を開発し、世界で初めて可視光による水の完全分解に成功した。前者の成果は Nature に掲載された。

1-3. 光・レーザー反応の研究

溶液中の芳香族分子がレーザーの繰り返し吸収により極度に加熱される現象を発見し、この現象を応用して石英ガラス等の透明光学材料を微細加工する技術を開発した。また、新物質創製や新材料プロセスのために重要であるが、生成や観測が困難な反応活性種を高強度紫外光パルスと極低温マトリックス場を用いて生成・捕捉する方法を開発し、それを用いてベンズジン、ナイトレン等の生成・捕捉に成功した。これらの活性種の発見は基礎化学的にも非常に重要な発見であり、世界的に高く評価されている。

2. 光機能材料領域

2-1. 光電子材料の研究

○または π 共役有機・高分子材料における分子配向を制御することにより以下のことを実現した。①キャピラリー・フィリング法を用いて液晶性オリゴシランの配向膜の作製技術を開発し、高い電荷移動度を持つ材料を開発した。②摩擦転写法により○または π 共役高分子の一軸配向膜を作製し、その上に π 共役オリゴマーを真空蒸着することによって、一方向に成長した薄膜結晶を作製し、高い光学的異方性（偏光吸収、PLおよびEL）を示す材料を開発した。③アゾ色素を側鎖基として有する高融点ポリマーを用いて、光照射により可逆的に表面レリーフグレーティングが形成できることを示した。

2-2. 光反応性材料の研究

両親媒性アゾベンゼン LB 膜は光異性化に伴い、可逆的に形態が変化することを明らかにした。また、アゾベンゼンと色素混合 LB 膜において、光異性化をトリガーとして色素の会合状態を制御できることを示した。さらに、脂質二分子膜のイオン透過性や、ミセル状集合体への物質の取り込み・放出を光で制御することが出来ることを示した。

2-3. 光材料計測の研究

ITOや石英ガラス薄板を導波路に用いた光スラブ導波路分光により、固液界面における吸着現象や電気化学反応等をその場で秒レベルの高速で測定する技術を開発した。また、シンクロトロン放射光を用いた波長可変X線光電子分光法（XPS）を用いて、酸化層の厚さを制御した試料について、低エネルギー電子の有効減衰長を精密測定することにより、非破壊的に深さ方向分析をする技術を開発した。さらに、独自に開発した高圧下における赤外振動測定技術を用いて、高圧下における氷中のプロトン拡散の測定に成功した。この研究成果は *Science* に掲載された。

4. 研究成果公表等の状況

研究機関名：(独) 産業技術総合研究所

課題名（研究総括責任者）：光反応制御・光機能材料（立矢 正典）

【研究成果発表等】

	原著論文による発表	左記以外の誌上発表	口頭発表	合計
国内	41件	35件	331件	407件
国際	214件	9件	280件	503件
合計	255件	44件	611件	910件

【特許等出願等】

67件（うち国内 42件、国外 25件）

【受賞等】

6件（うち国内 5件、国外 1件）

【主要雑誌への研究成果発表】

Journal 名	I F 値	光反応機構の研究	光エネルギー変換の研究	光・レーザー反応の研究	光電子材料の研究	光反応性材料の研究	光材料計測の研究	合計
Nature	25.814		1				1	1
Science	23.812					1	1	1
Chem Rev	20.036		1					1
Angew. Chem. Int. Ed	8.547				1			1
J Am Chem Soc	6.025	1						1
Adv. Mater	5.522				3			3
Biophys J	4.462	2						2
Appl. Phys. Lett.	3.906				2			2
Macromolecules	3.697				1			1
Chem. Commun.	6.695		3	2		1		6
Chem. Mater	3.580		1		2			3
J. Phys. Chem. B	3.386	3	2	1	2	1		9
J. Chem. Phys.	3.301	10						10
Phys. Rev. B	3.065	1			1		1	3
Langmuir	3.045	1	1		1	1		4

Liq. Cryst.	3.045			2			2	
J. Catal.	3.030					1	1	
New. J. Chem.	3.009		2				2	
Opt. Lett.	2.989					1	1	
J. Comput. Chem.	2.900			1			1	
J. Phys. Chem.A	2.754	2		1	1	1	5	
Inorg. Chem.	2.712		1				1	
Tetrahedron Lett.	2.558		1				1	
J. Chromatography A	2.551				1		1	
J. Chem. Soc.Dalton T	2.502		2				2	
Adv. Colloid Interfac.	2.500	1			1		2	
Chem. Phys. Lett.	2.379	5	4		1		10	
J Appl Phys	2.364				2		2	
Tetrahedron	2.356					1	1	
Biochem.Biophys.Acta	2.324					1	1	
J. Appl. Phys.	2.180			2			2	
主要雑誌小計		26	19	7	18	8	5	83
発表論文合計		55	69	50	62	36	27	299

IF 値は 2000 年版

【主な原著論文による発表の内訳】

- 1) 国内 [発表題名、発表者名、発表誌名等 (雑誌名、巻、号、頁、年 等)]
 1. "Dual electron injection from charge-transfer excited state of TiO₂-anchored R(II)-4,4'-dicarboxy-2,2'-biquinoline complex", A. Islam, K. Hara, L. P. Singh, R. Katoh, M. Yanagida, S. Murata, Y. Takahashi, H. Sugihara, H. Arakawa, *Chem. Lett.* 2000, 490-491 (2000)
 2. "Preparation of PbTiO₃ thin films using a coating photolysis process with ArF excimer laser", T. Tsuchiya, A. Watanabe, Y. Imai, H. Niino, I. Yamaguchi, T. Manabe, T. Kumagai, S. Mizuta, *Jpn. J. Appl. Phys.* 39, L8666-L868 (2000)

(計 41 件)
- 2) 国外 [発表題名、発表者名、発表誌名等 (雑誌名、巻、号、頁、年 等)]
 1. "Electric field effects on fluorescence quenching due to electron transfer", M. Hilczer, S. Traytak, M. Tachiya, *J. Chem. Phys.*, 115, 11249-11253 (2001)
 2. "Ultrafast charge separation and exciplex formation induced by strong interaction between electron donor and acceptor at short distances", S. Iwai, S. Murata, R. Katoh, M. Tachiya,

- K. Kikuchi, Y. Takahashi, *J. Chem. Phys.*, 112, 7111-7117 (2000)
3. "The interference effects induced by two-color excitation in the photodissociation of IBr", H. Ohmura, T. Nakanaga, H. Arakawa, M. Tachiya, *Chem. Phys. Lett.* 363, 559-566 (2002)
 4. "Direct Splitting of water under visible light irradiation with an oxide semiconductor photocatalyst", Z. Zhou, J. Ye, K. Sayama, H. Arakawa, *Nature*, 414, 626 (2001)
 5. "Benzdiynes (1, 2, 4, 5-tetradehydrobenzenes): direct observation in wavelength-selective photolysis of benzenetetracarboxylic dianhydrides in low temperature nitrogen matrixes", T. Sato, S. Arulmoshiraja, H. Niino, S. Sasaki, T. Matsuura, A. Yabe, *J. Am. Chem. Soc.* 124, 4512-4521 (2002)

(計 214件)

【シンポジウム等の開催状況】(主催したシンポジウム等の年次別開催テーマ等)

年 次	開催テーマ名	概 要	開 催 日 数	参加人数の累計	
				うち 外 国	
12	4 th NIMC International Symposium on Photoreaction Control and Photofunctional Materials (PCPM2001)	産総研のCOE化対象領域の研究成果の発信と光反応および材料に関する討論と研究交流を目的とするシンポジウムで、国内および国外の著名な研究者の招待講演24件とポスター発表97件が行われた。	3日	276名	46名
13	産総研・光技術研究センター 第1回研究発表講演会－21世紀をひらく光反応制御技術－	新たに発足した産総研の光反応制御研究センターの目的と研究成果の紹介のために、招待講演2件、職員による成果発表2件からなる講演会を開催した。	1日	124名	4名
13	5 th AIST International Symposium on Photoreaction Control and Photofunctional Materials (PCPM2002)	産総研のCOE化対象領域の研究成果の発信と光反応および材料に関する討論と研究交流を目的とするシンポジウムで、国内および国外の著名な研究者の招待講演23件とポスター発表105件が行われた。	3日	252名	36名