

光触媒

特許審査第三部 審査調査室
安藤 倫世

1. はじめに

光触媒技術は、日本発の革新的技術のひとつであり、光触媒機能を用いた製品開発や環境浄化などの記事が毎日のように新聞紙上ににぎわしています。これは、光触媒製品が居住空間に密着して使用されるもので、その抗菌・防汚・防曇などの性能が目に見え、感覚的に捉えやすいものであるからだと思います。

また、光触媒機能は、太陽光により発現し、抗菌・防汚・水質浄化などの機能を発揮するため、清潔感や環境適合性を求める現代人の意識とよくマッチしています。

さらに、最近では、経済産業省の都市温暖化対策プロジェクトとして、道路舗装やビル外壁などに光触媒機能を付与し、その「光励起超親水性化現象」を利用する方法が検討されるようになってきました。

本稿では、光触媒技術の現状と展望を、平成15年度特許出願技術動向調査分析報告書に基づいてご紹介します。

2. 光触媒の技術俯瞰

まずはじめに、光触媒技術の全体像を表現した俯瞰図を図1に示します。上段は機能面からみた分類ですが、

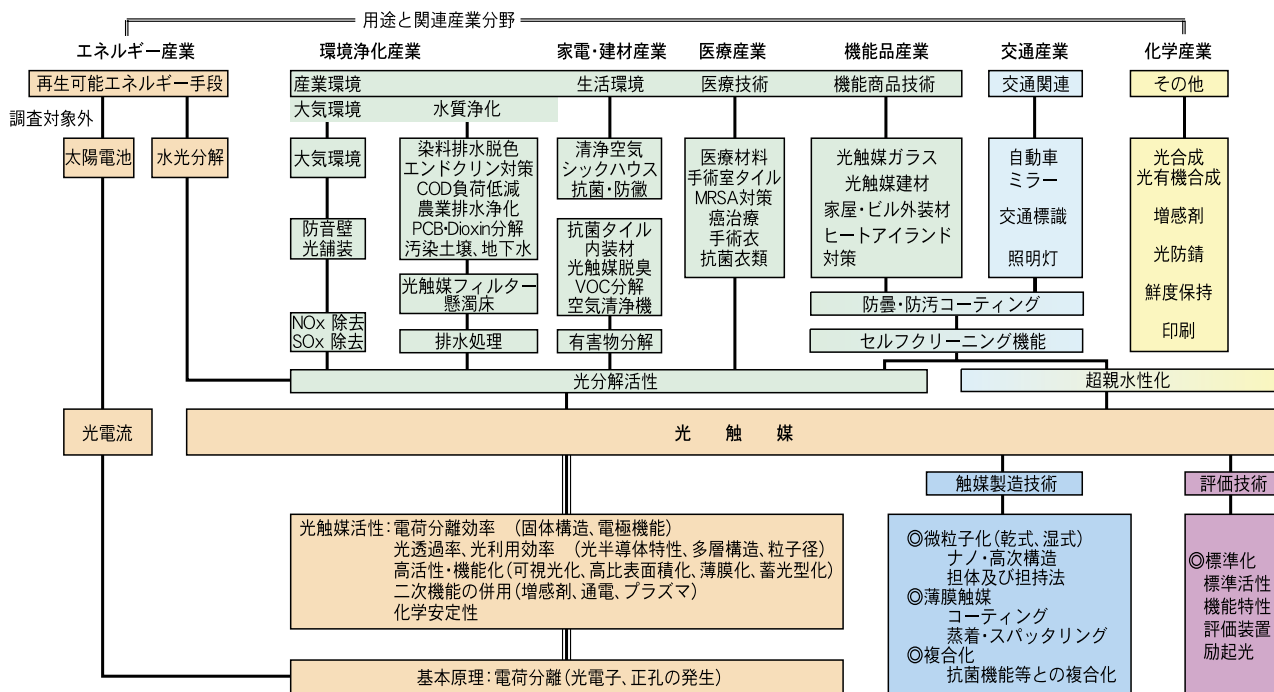


図-1 光触媒技術の技術俯瞰図

これら機能は、図1の下段に記載の基本原則、光触媒活性向上、可視光化、安定化等の基礎的技術、さらに、触媒製造技術、活性評価のための各種技術に支えられています。

光触媒技術は、これまでに抗菌・防汚性タイル、空気清浄機、防曇ミラー、防曇ガラスなどとして実用化され、環境産業分野や生活環境分野で既に十分な実績があります。最近では、医療技術分野や交通産業分野などでも光触媒技術の利用が進み、各種の製品が発表されています。

3. 光触媒の歴史と状況

光触媒の研究は、白色顔料である酸化亜鉛や酸化チタンを、塗料や繊維製品に応用する際に観測されるチョーキング現象の理解と対策を目的として、20世紀に入ってから開始されました。光化学自体については、光の量子説以前の19世紀に開始されていましたが、この成果と光半導体酸化物、光触媒反応が理論で結ばれるには時間が必要でした。1972年にNature誌に発表された「本多・藤嶋効果」は、それまで積み上げられてきた研究成果を結ぶ大きな発見となりました。

1990年頃からは東京大学の研究グループが中心となり、多くの企業との共同研究で酸化チタンを種々の材料にコーティングし、防汚・抗菌、脱臭などの機能を付与

する研究が開発されました。しかしながら、実際に光触媒を用いた製品が上市されるまでには、光触媒作用の制御、耐久性の向上、コストなどの問題を徐々に克服するため、数年の時間を要しました。

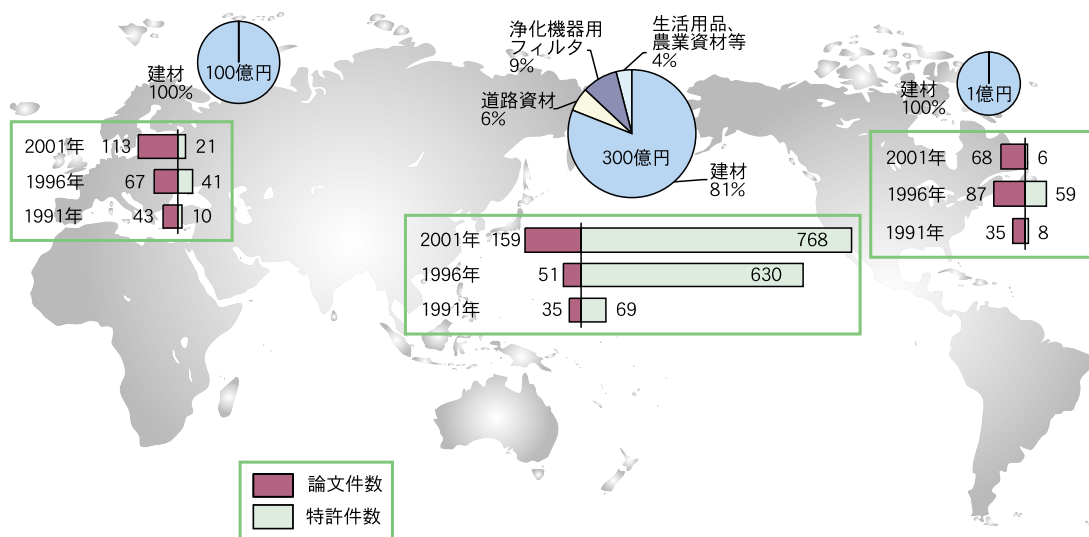
さらに、1994年には、東陶機器と東京大学の研究者により、それまで全く知られていなかった光触媒の「光励起超親水性化現象」が発見されました。この「光励起超親水性化現象」は、学術的にも革新的なものであり1997年にNature誌に発表されています。この現象は、多くの分野で実用化の可能性があるため、東陶機器による強力な特許戦略が実施されました。

光触媒が有する、光分解活性機能及び親水性化機能の両者を用いたセルフクリーニング機能は、既に防曇性の建築用ガラス、防曇ミラー、車窓などに利用され、今後も大きな市場展開が期待されています。

4. 光触媒の市場規模と技術開発の全体像

三極（日本、米国、欧州）の特許及び論文件数（1991、1996、2001年）、光触媒市場の規模（2002年）を比較したのが図2です。

日本では、特許出願件数及び論文発表数ともに、1991～2001年の間に増加傾向がみられ、研究活動が活発に行われています。



光触媒市場規模は光触媒製品フォーラム発表の市場規模などを基にした推定値

図2 光触媒の市場規模と技術開発状況

そして、特許、論文件数及び市場規模のいずれの面でも日本が他を圧倒しており、世界をリードしています。

5. 光触媒の研究開発動向

光触媒研究の歴史の中で、記念碑的な重要論文についての被引用件数調査結果を表3に示します。

特に、光触媒作用の二大原理としてあげられる、「本

多・藤嶋効果」(1969年頃発見、1972年Nature発表)及び「光励起超親水性化現象」(1994年発見、1997年Nature発表)は、記念碑的な論文といえます。

原著論文においては、光触媒技術の基礎となっている「本多・藤嶋効果」を発表した1972年のNature誌の論文が被引用件数1,240件で首位であり、また、「光励起超親水性化現象」を発表した1997年発表のNature誌の論文が被引用件数244件で第7位となっています。これらの論文の重要性が広く世界に認識されていることが理解できます。

表-3 光触媒関係で被引用件数の多い主要論文(論文)

First Author	文献名	引用件数	内容
Fujishima, A	Nature, 238 (1972) p37.	1,240	光電気分解現象の発見
Turchi, C S	J Catal, 122 (1990) p178.	511	水溶液中有機質の光酸化分解
Ollis, D F	Environ Sci Technol, 25 (1991) p1523.	317	水質浄化
Matthews, R W	J Phys Chem, 91 (1987) p3328.	283	薄膜光触媒、排水有機質の分解
Sakata, T	Nature, 286 (1980) p474.	281	水の光分解
Matthews, R W	J Catal, 111 (1988) p264.	275	排水有機質の光触媒分解
Wang, R	Nature, 388 (1997) p431.	244	光誘起超親水性の発見
Lehn, J M	Nouv J Chim, 4 (1980) p623.	199	Ru錯体による水の光分解
Bickley, R I	J Solid State Chem, 92 (1991) p178.	152	TiO ₂ 構造、形状と触媒活性の関係
Arpo, M	J Phys Chem, 89 (1985) p5017.	143	N ₂ O光分解の発見

日本国内研究者では大阪府立大学・安保先生、産業技術総合研究所(AIST)・竹内先生が大気浄化で、東京大学・藤嶋先生、橋本先生は反応ダイナミクスや超親水性、抗菌で、明星大学・日高先生が、文部科学省の国際共同研究プロジェクトで推進する水質浄化分野で、また東京工業大学・堂免先生、AIST・荒川先生が水の光分解で、さらに、AIST・埴田先生が触媒製造で最も論文件数が多くなっています。

また、欧米では、空気浄化、水質浄化に関する研究者が多く、有機合成反応やその機構に関しても研究されています。近年は、中国や韓国の研究者の論文件数が急増しており、中国では空気浄化、水質浄化の他、触媒製造に関する論文が多く、韓国では水質浄化に関する論文が多くなっています。

なお、論文発表数でみると、大阪大学、大阪府立大学、東京大学等の大学、及び、産業技術総合研究所、物質・材料研究機構等の公的研究機関からの発表件数も多く、この分野での日本の活力を反映しています。

6. 光触媒分野での特許出願状況と出願件数の推移

1971年～2001年の日米欧三極の特許出願件数の推移を図4に示しました。

約30年間の全特許出願件数は7,542件ですが、そのうち日本への出願が87%を占めており、米国への出願は7%、欧州への出願は6%に過ぎません。この背景には、光触媒作用の二大原理である「本多・藤嶋効果」(1969年頃発見、1972年Nature発表)及び「光励起超親水性化現象」(1994年発見、1997年Nature発表)が日本で発見されたことが大きく貢献しています。特に後者は、防曇ミラー、セルフクリーニングガラスなど、我々の生活に密着した環境で光触媒の機能を活かした多様な用途が期待されることから、光触媒製品の製造、利用の両面で特許件数の飛躍的増加の原因となりました。

日米欧三極への光触媒関連特許出願件数について、出願人の国籍別に解析したものを図5に、特許出願人別件

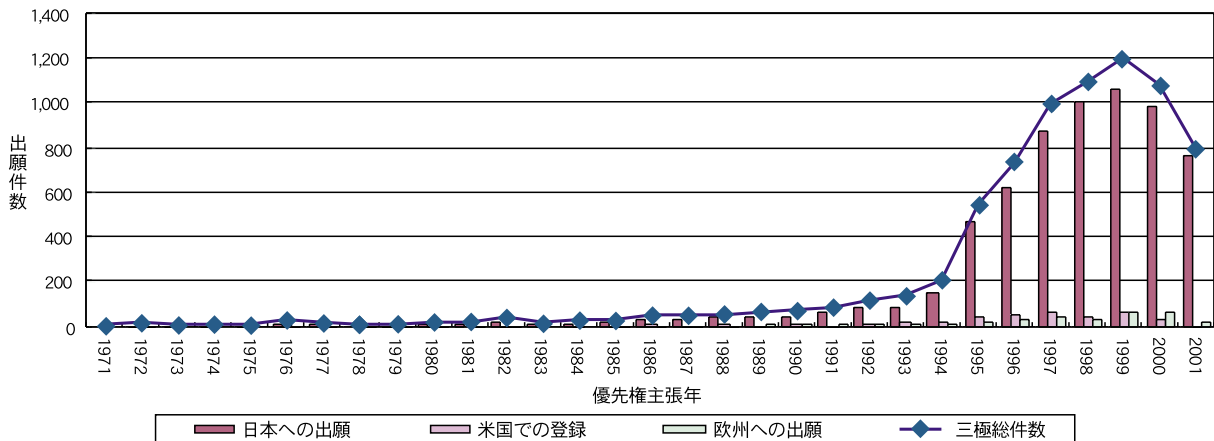


図4 日米欧三極への光触媒関連特許出願件数の推移

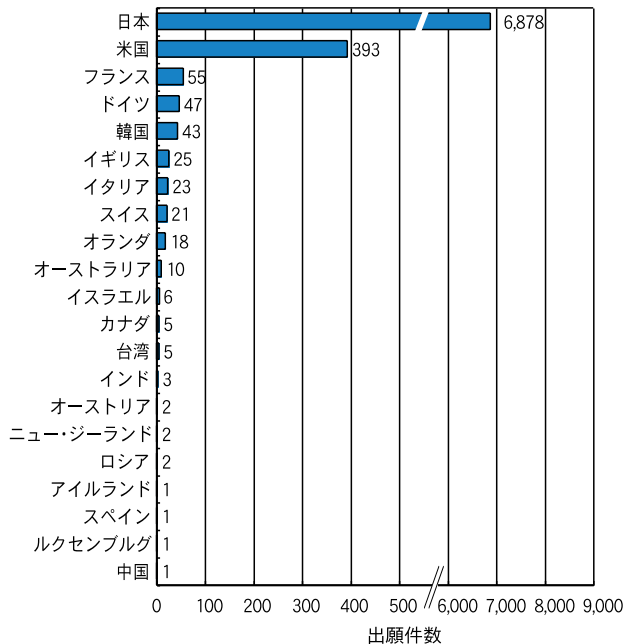


図5 出願人国籍別解析 (1971-2001年)

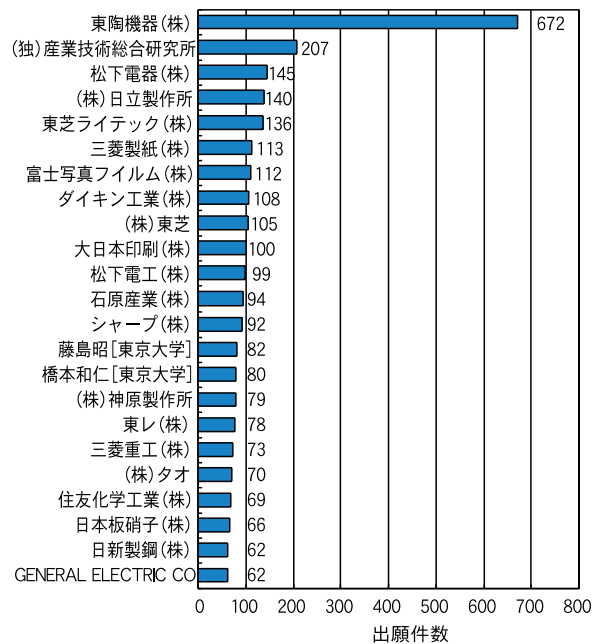


図6 上位出願人と出願件数 (1971-2001年)

数について上位出願人を選んで解析したものを図6に示します。

図6によると、東陶機器が単独企業として突出した出願件数となっています。これは、1994～1997年頃に行われた、「光励起超親水性化現象」に関連する発明を権利化・実用化するための特許戦略の影響と考えられます。

光触媒技術に関する日本国内の特許出願については、「本多・藤嶋効果」及び「光励起超親水性化現象」という重要な発見が大学の研究機関で行われたことから、大学

関連の特許出願件数が多いことも特徴です。

7. 光触媒製品の市場動向

これまで、光触媒機能を用いた種々の製品が開発され上市されてきています。光触媒製品の市場規模については、1999年に三菱総合研究所により発表された1兆円という市場規模がしばしば話題になります。しかしここ数

年間の光触媒製品フォーラムの発表等を総合しますと、現時点でこの予測より1桁以上小さい規模で推移しているようです。

光触媒製品フォーラムの会員企業のうち公表された売上金額と製品別の構成比を、表7に示します。

なお、光触媒製品フォーラム加盟企業以外の企業を含めた国内全体の市場規模は、表7にある数字のおよそ2倍と推定されています。

1994年に初めて光触媒製品が上市されてからの市場規模の推移を図8に示しました。

光触媒製品の市場においては、建築材料がその大部分

を占めている状況ですが、近年は、シックハウス等の対策で空気清浄機の販売が増加しており、着実に市場を形成しつつあるようです。

日本の光触媒製品の上市時期と特許出願件数推移との関係を図9に示します。

特許出願件数と各種光触媒製品の市場投入の関係については、現時点では必ずしも明確にはなっていません。

しかしながら、1994～1997年頃に東陶機器により行われた、「光励起超親水性化現象」に関連する発明を権利化・実用化するための特許戦略や、1994年に開始された抗菌タイルの上市に続く各種光触媒応用製品の上市は、

表7 日本の光触媒関連市場規模

事業分野	売上金額（億円／年）				構成比（％）			
	1999年	2000年	2001年	2002年	1999年	2000年	2001年	2002年
外装材	59.5	81.1	91.3	90.5	63.9	63.7	63.3	60.6
内装材	18.4	28.5	27.3	29.5	19.7	22.4	18.9	19.8
道路資材	6.0	7.8	16.0	9.4	6.5	6.1	11.1	6.3
浄化機器	4.7	7.1	8.1	13.9	5.1	5.6	5.6	9.3
生活用品	4.5	2.8	1.6	5.9	4.8	2.2	1.1	4.0
合計	93.1	127.3	144.3	149.2	100.0	100.0	100.0	100.0

(注1) 光触媒製品フォーラムによる「光触媒事業分野アンケート(2000～2002年度)」の集計結果による。2002年度では、会員企業113社のうち49社から得た売上金額の合計である。

(注2) 事業分野の対象製品

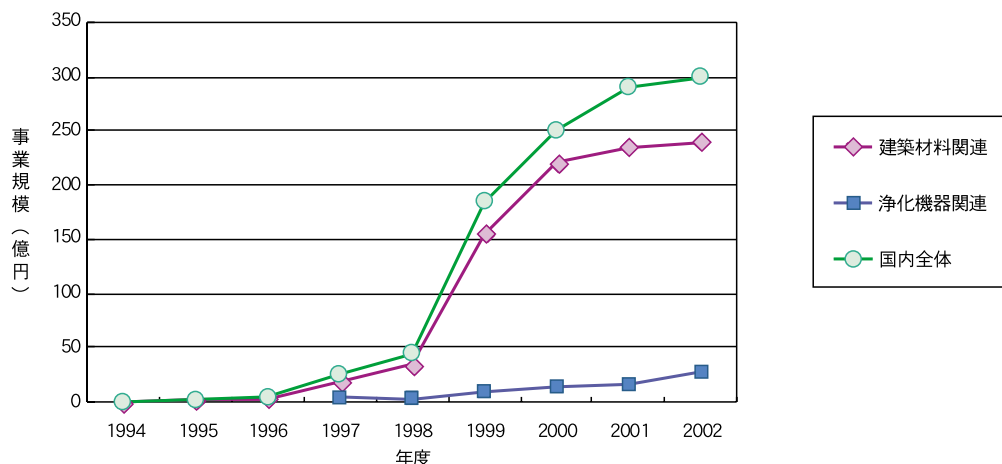
外装材：タイル、ガラス、外装塗料、フィルム、建材（外壁材など）、テント・膜構造体、看板

道路資材：舗装・ブロック、防音壁・遮音壁、照明、標識、反射鏡、道路用塗料、その他

内装材：ブラインド、内装タイル、車窓ガラス、その他

浄化機器：空気清浄機・空調機用フィルター、水処理機用フィルター、ユニット、その他

生活用品：家電（照明など）、消費材（スプレー、防曇フィルムなど）、温室資材、その他



注) 市場規模は光触媒製品フォーラム集計値と東陶機器(株)等のヒアリングに基づき推定

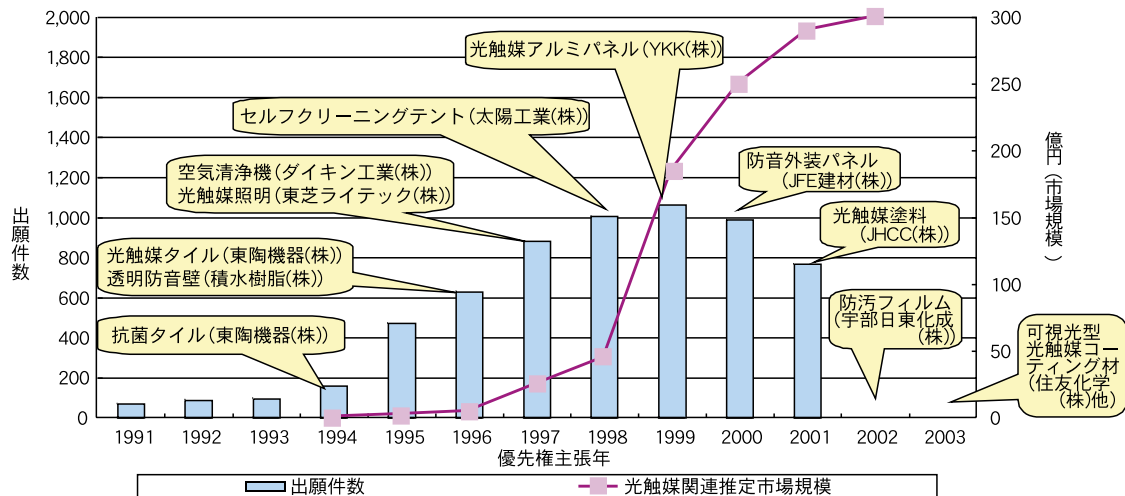
図8 日本の光触媒市場規模の推移

特許出願の動向と何らかの関連があると考えられます。

また、光触媒機能を利用した多くの建材がビルの内外装、道路舗装、交通分野などで使用されるようになっていきます。光触媒の建材用途と関連産業を整理して図-10に示しました。

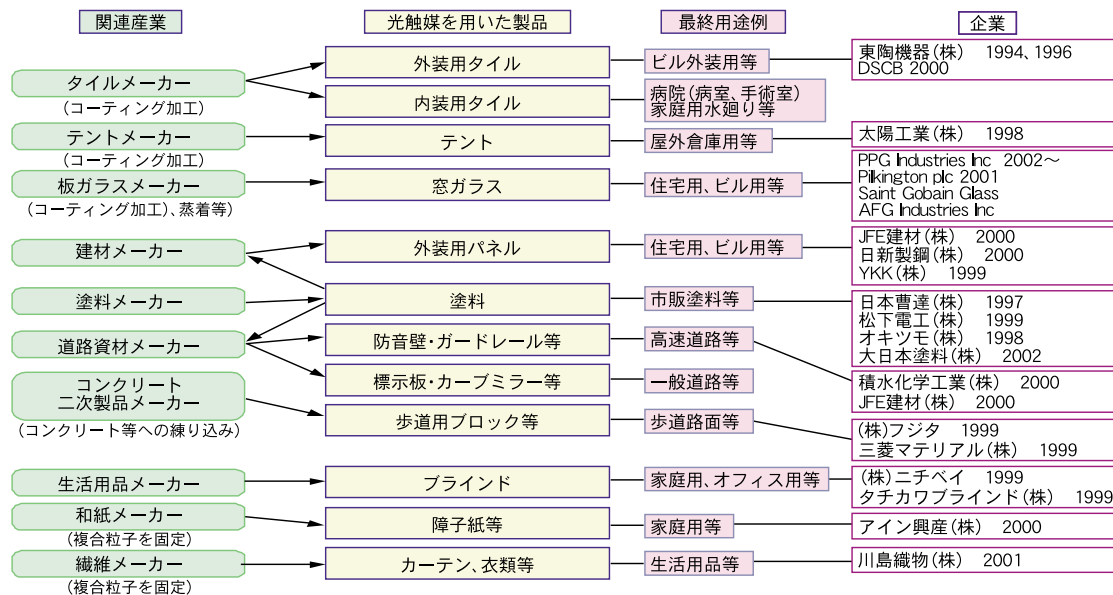
建材分野では、光触媒による防汚・脱臭機能の光触媒タイルが1994年に上市されていますが、これに続いて、大

気浄化機能の防音壁等の交通関係建材、抗菌機能、防曇機能、さらに、セルフクリーニング機能を持たせた建材が相次いで開発されてきました。コンクリート建材、タイル、ガラス、繊維・プラスチック系建材、金属・アルミニウム系建材と、基材別に分けて考えることができます。今までの市場における代表格としてはタイルが、また、今後の発展についてはガラスが、注目されています。



(注)市場規模は光触媒製品フォーラム集計値及び東陶機器(株)等のヒアリングに基づき推定。対象特許は日本特許の光触媒関連出願件数の推移。

図9 日本の光触媒製品の上市時期と特許出願件数推移との関係



注) 市場規模は光触媒製品フォーラム集計値と東陶機器(株)等のヒアリングに基づき推定

図-10触媒の建材用途と関連産業

光触媒の市場は、当面は建材分野を中心として、生活環境改善のための市場が拡大を続けると予想されています。防臭・抗菌関連の内装材、空気清浄機、さらに、セルフクリーニングガラス、防汚建材が順調に増加し、25%/年以上の伸び率が期待できるとしますと、2005年頃には500億円の市場規模になると推定されています。

次の時期は、こうした製品群に加えて、上下水水質浄化や大気環境浄化などの環境浄化技術に関係する公共事業の拡大や、都市型農業等の分野での技術開発が進展し、2010年まで20%/年以上の伸び率で市場が拡大すると期待されています。これにより、市場規模は1,000億円に達すると推定されています。

その後は、各分野で光触媒製品の市場が拡大するとともに、水の光分解による商業的水素製造技術が2020年以降に開発されることで、光触媒全体では、海外展開を含めて2,000億円レベルの市場規模に達すると期待されています。この規模は、自動車・石油精製・化学用・公害用を含む2000年頃の日本国内全触媒市場の規模と同程度の大規模なものです。

8. 政策動向

光触媒は、室温において、太陽光や蛍光灯等の微弱光源で作用するため、大気中や水中などに低濃度で広範囲に拡散している環境汚染物質の浄化にも、顕著な有効性を示します。

光触媒に関する政策は、多くが環境政策に関連しており、経済産業省がNOxの光分解等で環境技術開発を促進している他、最近では新産業技術総合開発機構（NEDO）に委託して都市温暖化対策としてのビル冷却、親水性舗装等の技術開発支援を開始しています。国土交通省は、高速道路、主要道路における光触媒を用いた大気環境改善の実証試験、水質浄化の基礎研究を実施してきました。また、文部科学省は、科学技術推進機構、科学研究費補助金、フロンティア事業等を通して、基礎研究分野の強化を推進しています。

地方自治体レベルでは、農業排水の浄化等、地域密着型環境技術を中心に研究開発が行われています。

表11 光触媒をめぐる政策の俯瞰

政策分野	担当省庁	内 容		光触媒技術との関連
環境政策	国土交通省	大気環境 (NOx) 改良	技術実証試験推進	高速道路、主要道路で実証試験開始
		シックハウス対策	法改訂、業界自主規制	高性能空気清浄機
		水質環境保全 (一次処理) (二次処理)	改良技術実証試験推進	基礎研究段階 (文部科学省) (産総研)
		土壌・地下水汚染防止、対策	法改訂、業界技術開発	
	環境省	排出量抑制 (総量規制)	法規制、改訂	
		地球温暖化防止 (CO ₂)	国際協調	
	経済産業省	技術開発推進 (燃料品質) (クリーンエネルギー導入)	法規制	産業技術総合研究所等の公的機関 (NOx分解等の環境技術開発等)
地球温暖化防止 (CO ₂) 都市温暖化対策		省エネルギー、水素エネルギー 技術開発、実証試験推進	省エネルギー環境技術として推進 NEDO プロジェクトとして推進	
神奈川県	農業排水浄化	県農業総合研究所技術開発	養液栽培水浄化、残留農薬軽減化、 農薬含有水無害化	
研究強化	文部科学省	科学技術推進機構：基礎研究 重点支援	CREST戦略的創造研究 テーマ	水の直接光分解等
		科学研究費補助金・特定領域 研究 領域 417	高感度光触媒の設計と開発 (A02班)、反応機構解明 (A05班) など	酸化チタン光触媒の可視光応答化、 CO ₂ 還元、殺菌・医学応用の学理と 開発など
		フロンティア事業：私学研究 予算	国際共同研究推進	水質浄化関連
国際競争 力強化	経済産業省	標準化 (JIS国内標準, ISO国際 標準)		JFCAに国内委員会体制設置 ISO委員会への提案 EJPACでの共同作業提案

JFCA: 日本ファインセラミックス協会

さらに、経済産業省における光触媒関係の大きな課題として、国際競争力の確保・強化があげられており、2002年度より国内に検討体制を確立して標準化の活動を開始しています。光触媒に関する標準化として、NOxの分解に関するJISは2004年1月に制定されました。光触媒をめぐる政策の俯瞰が表11になります。

日本政府は、社会問題化した公害病や環境汚染に対し、1960年代後半から種々の環境整備施策を開始し、この動きは1980年代、1990年代と継続されてきました。

しかしながら、光触媒技術が環境技術に活用できるのではないかと認識されるようになったのは、1986年に酸化チタン光触媒によるNOxの分解が発表された後のことで、これを実用化可能な触媒の形に仕上げ、高速道路等で大気環境改善技術として試験されるようになるまでには、さらに10年の年月が必要でした。このように、光触媒技術は、1980年代まで環境技術として殆ど活用されるような状況ではありませんでした。

一方、1990年代に入ると、様子が一変します。1992年に光触媒を用いた抗菌・防汚タイルが開発され、海上流出油の光触媒分解、地下汚染水の光触媒を用いた浄化などが内外研究者から発表され、1994年には最初の光触媒製品であるタイルが上市されることとなりました。

相次いで開発されるようになった光触媒建材、防音材、道路舗装について、経済産業省、国土交通省などが光触

媒技術開発の進展を追従するように実証試験を開始し、また、改正建築基準法などの法的規制強化などを検討するようになりました。ダイオキシン、土壤汚染問題に対しても、光触媒技術の有効性が確認されています。

最近では、従来抜本的な解決策は存在しなかった都市温暖化の対策として、「光励起超親水性化現象」を利用したビル外壁への水薄膜形成という画期的な技術が登場しています。この技術による水の気化熱を用いてビルを冷却することの効果については、2003年度より経済産業省が実証試験を開始しています。

このように、光触媒技術の開発は、種々の環境施策に先行してきました。また、文部科学省により、多くの可能性を有する光触媒技術の研究基盤を重点的に強化するための施策が行われてきています。

9. 今後の研究開発の課題

光触媒技術においては、その高活性化が常に課題となっています。高活性化には、吸収波長域（バンドギャップ）、微弱光での作動、光電子、正孔分離状態の安定化など、種々の要因が影響します。それぞれの角度から高活性化をめざして検討が行われているところですが、最近では、光酸化と親水性化とで、要求される励起光強度

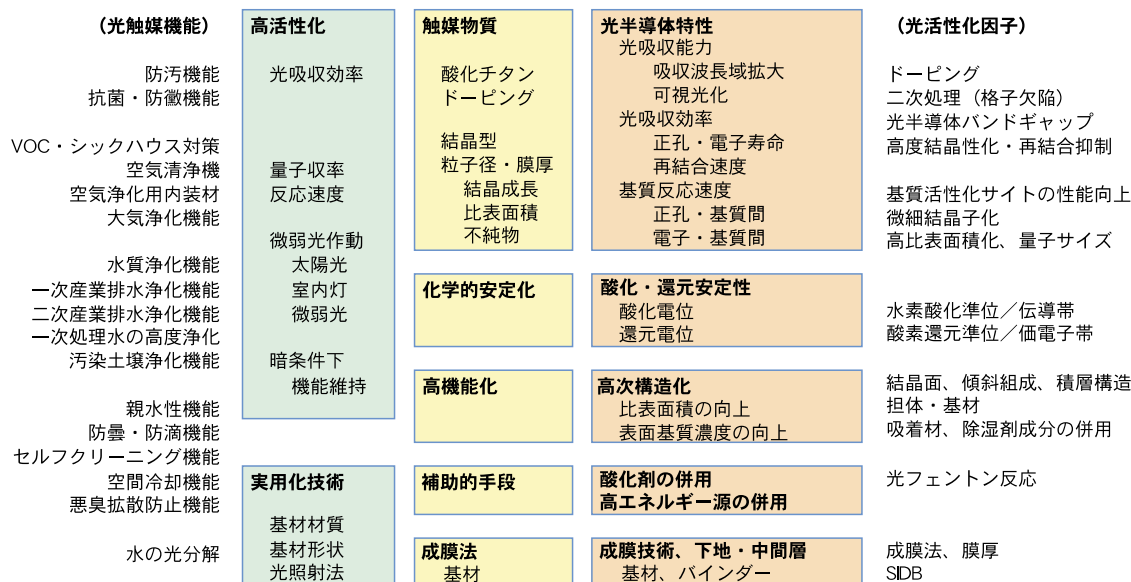


図-12 光触媒高活性化に関する技術の俯瞰図

が異なることから、なお理論的に検討すべき課題があるとされています。図12に光触媒高活性化に関する技術俯瞰図を示しました。

さらに、国内の光触媒技術に関する分野別の状況認識を有識者にアンケート方式で調査し、今後日本がとるべき技術開発、特許戦略、政策支援等をまとめてみますと、技術水準の現状認識は表13に整理したようになっています。

10. おわりに

今回の技術動向調査により、光触媒分野において日本の技術レベルが世界的に高いこと、特許出願、政策面の支援等も十分になされていること、研究開発面で東京大学グループが世界の頂点にあること、ビジネス面で東陶

表-13 光触媒技術の分野別日本の技術水準と研究開発の方向に関する有識者意見

分野	特徴および視点	項目	技術水準		
			劣	平均	優
光触媒活性	光触媒原理の発見、光励起超親水性化現象の発見などで特許面、基礎研究面で優位に立つ日本であるが、光触媒の製造、利用の全領域で光触媒活性は世界（対米、対欧、対中韓）をリードできているでしょうか	防汚・抗菌活性			◎
		空気浄化、大気浄化活性			○
		防曇・親水性化活性			◎
		水質浄化活性			○
		水の直接光分解			○
		可視光化			○
		微弱光励起化			○
光触媒利用用途開発	光触媒の利用で種々の利用分野で製品開発に成功してきましたが、どのような分野で世界レベルでも優位であるか、また日本が遅れている分野はないでしょうか	大気浄化、空気浄化			○
		水質浄化			○
		セルフクリーニング建材			◎
		防曇ガラス、鏡			◎
		防汚標識、看板			○
		水の直接光分解			○
		医療材料			○
用途開発	光触媒の実用化では高活性、長寿命を維持し、かつ基材とのマッチングのよい触媒調製成膜技術が必要となります。この技術関連で日本技術の位置はどうでしょうか	ゾル・ゲル製造			○
		湿式成膜			○
		乾式成膜（PVD）			○
		乾式成膜（CVD）			○
		下地・中間層材料			○
基礎研究評価技術	光触媒の今後の発展のために必要な課題、評価・標準化技術の開発に関し、世界レベルでの日本の遅れはないでしょうか	基礎研究			○
		活性評価（気相反応・表面）			○
		活性評価（液相反応・表面）			○
		評価装置開発			○
		光触媒ランプ			○
特許戦略	現在日本が特許面で先行していますが今後この優位性を維持するために必要なことはないでしょうか	JIS、ISO規格化			○
		特許戦略（三極内）			○
		特許戦略（三極外、中韓）			◎
		海外事業（生産、販売）			○

機器が技術開発、特許、ライセンス等で有力であることが、確認できました。

現在でも、東京大学、産業技術総合研究所などを中心に、産官学を巻き込んだ積極的な技術開発が進められています。これは、光触媒技術の今後の展開をさらに促進し、日本の立場を一層強化する上で極めて有効です。

最後に、平成15年度特許出願技術動向調査分析報告書において行った、光触媒技術の今後についての提言をご紹介し、締めくくりとさせていただきます。

【用途開発の拡大】

今後、光触媒応用製品の上市へ研究開発がシフトするに伴い、世界レベルで過酷な競争状態に突入する。日本においては、東京大学、産業技術総合研究所などを中心に、産・学・官の基礎—応用研究の連携を効果的に行い技術開発で世界をリードする。

【環境技術への応用】

大気中・水中・土壌中の有害物質・細菌等を、太陽光・室内光で分解する環境関連技術、光触媒の「光励起超親水性化現象」を用いた地球環境温暖化防止技術等、光触媒技術と環境関連技術の融合により大市場が展開されると予測できる。

【基礎研究の一層の推進】

新規な光触媒材料の開発、さらに、高活性化、環境関連技術、エネルギー関連分野としての水素製造等の基礎研究を、産・学・官の連携で一層進める。

【評価技術の主導的推進】

光触媒活性について、性能評価に関する試験法の標準化（JIS国内標準及びISO国際標準）を早急に推進し、国際的標準化における主導的役割を果たす。

【特許戦略の構築・強化】

基本特許・応用技術特許の取得による日本の出願人の特許優位、商品開発・産業化の先行による産業優位な立場を活かし、世界的な特許戦略及び事業戦略を構築・強化してゆく。

profile

安藤 倫世（あんどう みちよ）

平成10年 入庁
平成16年1月より 現職