光触媒技術の新展開

光触媒の応用と環境評価

中山千秋* 船本明士**

1. はじめに

酸化チタンなどの光触媒は、紫外線の作用により有機物分解、親水性表面を発現するなどの機能を持つ。その機能に由来し、防汚、防曇、抗菌、空気浄化、水浄化などの性能を発揮することから、環境浄化材料として多方面な用途で注目を集めており、その製品分野は、生活、建築、土木と多岐に渡っている。

光触媒の研究は、1969年の本多-藤嶋効果の発見に端を発するが、1995年に光触媒による超親水性現象が発見されてから、その応用展開に拍車がかかってきている。現在、製品化されているもののほとんどが、ここ5,6年の間に市場に投入されてきたものである。市場規模はまだ大きなものではないが、成長性の高い分野と言える。太陽光という自然のエネルギーにより、環境中の有害物質を分解除去できるという特異的な材料である光触媒は、環境浄化材料として、今後、ますます市場が拡大していくものと期待されている。

また、2000年の10月に光触媒製品を取り扱っている代表的な企業8社が発起人となり、光触媒製品フォーラムが設立され、光触媒の技術と市場の健全な発展を目的とした活動を展開してきている。光触媒製品の市場認知と拡販のための活動や、技術面では光触媒機能・性能の試験方法の標準化や光触媒防汚製品の規格化の作業を進めている。

ここではまず、光触媒製品フォーラムでの集計結果を基に、光触媒の製品分野について紹介する。さらに、光触媒タイルの環境への寄与について、ライフサイクルアセスメント(LCA)手法を用いて評価した結果を紹介し、環境浄化材料としての光触媒の有用性を述べる。

2. 光触媒の製品分野

光触媒の製品分野と応用されている光触媒性能の関係をマトリックスにまとめたものを表1に示す。製品分野としては、外装材、内装材、道路資材、自動車・輸送機器、浄化機器、農業園芸資材、生活用品などに分類される。また、応用されている光触媒性能としては防汚性が最も多く、汚れの負荷の大きい外装用の建材や道路資材が中心である。これは通常のものと比較して、効果が目視で明らかにもあり、その用途が拡大してきている。ここでいう防汚性とは、油汚れ、粉塵などに対するセルフクリーニング性能のことを言っているが、屋外の建築物で問題になるカビや藻類などの微生物汚染に対する防止効果も期待できる。その他、抗微生物性については、銀や銅などの抗菌金属と複合化させることにより効果を高め、紫外線が微弱な屋内用途でも使えるようにされている⁽¹⁾。

空気浄化については、光触媒を担持したフィルターと紫外線ランプを組み合わせたユニットが、空気清浄機やエアコンに应用されているのはよく知られたところである。最近では、大気中の NO_x 、 SO_x に対する浄化性能が注目されている。

次に、光触媒製品フォーラム会員企業のアンケートをもとに算出した分野別の事業規模の割合を図1に示す⁽²⁾。これから明らかなように、外装用、内装用の建築資材が最も大きな市場規模を持っている。その他は、道路資材、浄化機器用のフィルター、生活用品などである。金額ベースでは、1999年で約200億円から300億円程度と推定している。なお、金額を算出するに当たっては、光触媒が応用されている資材や部材のレベルでの集計であり、周辺の機器類などの金額は含

* 東陶機器株式会社基礎研究所主席研究主幹(〒253-8577 茅ヶ崎市本村 2-8-1)

** 東陶機器株式会社基礎研究所材料技術研究部研究主査

Applications and Environmental Assessment of Photocatalysis; Chiaki Nakayama*, Akashi Funamoto** (Basic Research Center, TOTO LTD., Chigasaki)

Keywords: photocatalysis, life cycle assessment (LCA), superhydrophilicity, titanium dioxide, self-cleaning, anti-bacterial, NO_x , SO_x

2001年12月15日受理

表1 光触媒の製品分野と光触媒性能の関連.

製 品 分 類			光 触 媒 性 能						
大 区 分	小 区 分	防汚性	防曇性	抗 微 生 物 性			空 気 浄 化		水浄化
				抗菌性	抗カビ性	抗藻性	脱臭	NO _x 浄化	VOC 分解
原料	一次原料	粉 体							
	二次原料	コート材(TiO ₂ +バインダー), コート材(TiO ₂ 前駆体)							
	中間材料	ラミネート用フィルム, フィルター, 不織布・紙, ビーズ, 板材							
製品	外 装 材	ガラス	○	○				○	
		タイル	○		○	○	○	○	
		塗 料	○		○	○	○	○	
		フィルム	○	○				○	
		建築資材(上記以外)	○		○	○	○	○	
		テント・膜構造体	○		○	○		○	
		看 板	○						
	内 装 材	壁紙・天井材	○		○	○	○		○
		ブラインド	○				○		○
		タイル	○		○	○	○		○
	道路資材	舗装・ブロック	○					○	
		防音壁・遮音壁	○					○	
		照 明	○						
	自動車, 輸送機器	車両塗装	○						
		窓ガラス	○	○					
		ミラー		○					
	浄化機器	空気清浄機・エアコン用フィルター					○		○
		水処理機用フィルター, 他							○
	農業園芸	温室資材	○	○					
		家電(照明など)	○						
	生活用品	消費財(スプレー, フィルム)	○	○	○	○			
		織 維	○		○	○	○		○

図1 光触媒製品の分野別事業規模.

まれていない。これが5,6年前には、ほとんどなかった市場であることを考えれば、今後の市場拡大が大いに期待できる分野であると言える。

3. 外装用建材としての光触媒タイルの応用

外装用の建築材料として、光触媒をコーティングしたタイルや塗料が製品化されている。図2に、光触媒タイルの製造プロセスを示したが、通常タイルの上に酸化チタン光触媒を塗布し、焼成することにより製造している。無機基材の上に酸化チタンを焼き付けているため、タイルの使用壽命と同じ耐久性が得られる。光触媒の作用による油汚れや粉塵に対するセルフクリーニング性や、カビや藻類などの微生物汚染に対する防止効果が利用されている⁽¹⁾。図3は、ビルの外壁に使用した光触媒タイルと通常タイルの防汚性を比較したもの

であるが、汚れが付き易い排気口下で差ははっきりと出ている。また、防汚性以外の機能としては、 NO_x 、 SO_x の浄化性能が期待される。光触媒タイルによる NO_x の浄化については、図4に示すように、光触媒の作用により発生する活性酸素により NO_x が酸化され、 NO_3^- 、 NO_2^- に転換し、最終的には硝酸塩や亜硝酸塩となりタイルの表面に付着し、その後、雨水で洗い流される。中間生成物である NO_2 を気相に離脱させないためには、酸化チタン以外に塩基性酸化物の添加が有効である⁽³⁾。この NO_x 、 SO_x の浄化については、目視で判るものではなく、後述のLCA手法を用いた評価のところで、その効果を明らかにした。

4. 光触媒タイルの環境評価

光触媒タイルの環境への寄与を明らかにするため、通常タイルとの比較の上で、LCA手法を用いてその環境への負荷を評価した。LCAにおける調査範囲は原料採掘から廃棄までとした。

(1) 評価の手順

光触媒タイルおよび通常タイルについて、その製造～輸送～使用～廃棄処分までの各ステージに対し、まずインベントリ分析を行った。次に、インベントリ分析結果を基にインパクト評価を行った。

図2 光触媒タイルの製造プロセス。

図3 ビルの外壁に使用した外装用タイル(排気口下の汚れの比較)。

(2) 計算条件

計算条件を表2にまとめた。市街地の10階建てビルの外装5000 m^2 に使用するタイルを想定し、使用寿命は建物と同じ40年とした。また、タイルの本来の機能は外装材として建物を維持、保護することであるが、光触媒タイルを使用することによる洗浄回数の低減、 NO_x 、 SO_x の除去効果は、タイル本来の機能と同列では評価できないため、環境負荷の中で評価することとした。洗浄は通常のタイルが5年に1回に対し、20年に1回行うとした。また、 NO_x 、 SO_x の除去能力や市街地での NO_x の濃度については、実験結果や文献を参考にし設定した⁽³⁾⁽⁴⁾。なお、計算ソフトには産業環境管理協会のJEMAI-LCAを使用した⁽⁶⁾。

図4 酸化チタン光触媒の NO_x 除去プロセス。

表2 LCA計算条件。

	光触媒タイル	通常タイル	
システム境界	原料採掘から廃棄まで		
使用条件	面積	5000 m ²	
	寿命	40年(建物寿命)	
	洗浄	1 回/20年	1 回/5 年
	NO ₂ 除去能力	40 mg/m ² ・day	—
	SO ₂ 除去能力	1.6 mg/m ² ・day	—
計算ソフト	JEMAI-LCA (社)産業環境管理協会		

表3 各環境カテゴリー毎に統合化した指数.

	合 計		製 造		輸 送		使 用		処 分	
	光触媒	通 常	光触媒	通 常	光触媒	通 常	光触媒	通 常	光触媒	通 常
合 計	-1.40E-07	8.39E-07	6.63E-08	6.22E-08	1.76E-08	1.74E-08	-9.78E-07	5.31E-09	7.54E-07	7.54E-07
資源の消費	5.25E-10	4.93E-10	4.51E-10	4.07E-10	6.50E-11	6.60E-11	2.00E-12	1.40E-11	7.00E-12	6.00E-12
地球温暖化	4.08E-08	4.09E-08	3.81E-08	3.56E-08	2.10E-09	2.00E-09	5.00E-10	3.10E-09	1.00E-10	2.00E-10
酸 性 化	-9.34E-07	4.41E-08	2.77E-08	2.62E-08	1.54E-08	1.53E-08	-9.78E-07	2.20E-09	1.00E-09	4.00E-10
固形排出物	7.53E-07	7.53E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.53E-07	7.53E-07

図5 LCA分析手順.

図6 光触媒タイルの環境負荷.

(3) インベントリー分析

光触媒タイルおよび通常タイルそれぞれについて、原料採掘から廃棄に至るまでの各プロセスでの、資源消費量、大気への排出物量、固形廃棄物量などを算出した。

(4) インパクト評価

インベントリー分析結果をもとに、各負荷量をカテゴリー毎に統合し、環境負荷量として算出した。環境カテゴリーとしては、資源の消費、地球温暖化、酸性化、固形排出物の4つとした。統合化に当たっては、各カテゴリー毎に得られた値を日本全体の年間値で割り正規化した。各カテゴリー毎の重要度は同一と仮定し、単一指標に統合化した。以上の分析手順は図5に示した。

(5) 結果と考察

インパクト評価により、各環境カテゴリー毎に統合化した環境負荷量の指数を表3にまとめた。この結果を、各ステージ、各環境カテゴリー毎に見ると、光触媒タイルと通常タイルの違いは、使用ステージ、酸性化の項で大きな差が現れていることが解る。特に顕著なのは、図6に示したように光触媒タイルの NO_x , SO_x の除去能力により、使用ステージ、酸性化の項が大きなマイナスの環境負荷として数値に現れ、合計としてもマイナスの環境負荷となっている点である。つまり、タイルのように使用寿命の長い製品については、使用期間における NO_x , SO_x 除去の累積の効果が、大きなマイナスの環境負荷、即ち環境への寄与として表れたことになる。太

陽光に含まれる紫外線の作用により、黙々と NO_x , SO_x を除去し続ける光触媒は、植物と類似した優れた環境浄化材料と言える。

5. お わ り に

光触媒製品フォーラムでの集計結果を基に、光触媒の製品分野や市場動向を紹介した。また、光触媒タイルの環境への寄与について、LCA手法を用いて評価した結果を述べた。

光触媒製品は、ここ5,6年の間にその防汚性能を中心として市場を形成してきた。防汚性は目視で効果が判り易いことから、今後も市場拡大が期待されるところである。しかし、ここで述べた NO_x , SO_x の除去性能のように、見た目では判り難いが、意義の深い効果についても、もっと評価されるべきであろうと思われる。そのためには、光触媒の機能や性能を正當に評価するための試験方法を早期に標準化し、その認知を高めていく努力が必要である。

文 献

- (1) 佐伯義光, 小林秀紀: クリーンテクノロジー, 1(2001).
- (2) 能村 卓: 光触媒製品フォーラム第2回講演要旨集, (2000), p. 25.
- (3) 小林秀紀, 辻道万也, 佐伯義光: 建築士学会学術講演会研究発表論文集, (2000).
- (4) 竹内浩士: 光機能材料研究会会報・光触媒, Vol. 1(2000).
- (5) 竹内浩士: 大気環境学会誌, 33(6)(1998).
- (6) 産業界環境管理協会, LCA実務入門, (1998).