

日本 MOT 学会による査読論文 (2007-2)

# オープンイノベーションによるプラットフォーム技術の育成 —光触媒超親水性技術のビジネス展開のケース—

Develop the Platform Technology by Open Innovation  
The case study of super hydrophilic technology business development

吉久保 誠一  
Seiichi YOSHIKUBO

## 要 旨

近年、企業が自社技術のみに頼って新たな事業を完成・推進できるケースは少なく、完全な自社技術主義は有利とはいえないなりつつある。このため企業は積極的に外部技術リソースにアクセスするようになった。本稿では、TOTO が東京大学との共同開発で進めた光触媒技術の開発とそのビジネス展開を取り上げ、光触媒技術の導入及び発展と同時にビジネスが形成されていった過程を分析した。企業サイドが明確な戦略に基づいて取り組んだオープンイノベーションの推進がプラットフォーム・テクノロジー確立につながった点を論じている。

## ABSTRACT

Recently, firms can hardly establish and promote new business depending on only their own technologies and know-how, and such a development seems to be disadvantageous for them no longer. Therefore, they are eager in access to the external technological resource. This paper deals with the technological and business development of photocatalysis which carried out by TOTO Ltd. in collaboration with The University of Tokyo, and studies the process how TOTO Ltd. introduced the photocatalytic technology and expanded the business fields concurrently. The business targets in the firms should be decided specifically and strategically, and then, their promotion of open innovation such as this case will lead to the establishment of new technological platform.

キーワード：ビジネス創出、新事業、技術経営

## 1. はじめに

近年、企業が自社技術のみに頼って新たな事業を完成・推進できるケースは少なく、完全な自社技術主義は有利とはいえないなりつつある。このため企業は積極的に外部技術リソースにアクセスするようになった。Gawer and Cusumano は、複数の企業からなる生態系 (ecosystem) の中で活動し、自社の製品だけでなくそれらと組み合わせることによって機能する一連の補完製品にも急速なイノベーションを仕掛け、相互作用の好循環を生じさせるようなリーダーを“プラットフォーム・リーダー”と呼んでいる [1]。そして、プラットフォーム・テクノロジー（多様な製品を生み出す可能性を持ち汎用性の高いコア技術）こそが競争力の源泉であることを指摘した。一方、Henry Chesbrough らは多様なプレイヤーが参加するイノベーションを“オープンイノベーション”と呼び、そのドライビング・フ

ォースを 1) 高度な経験と技術をもつ人材の流動性の増大、2) ベンチャー・キャピタルのプレゼンスの拡大、3) 新商品の市場投入リードタイムの短縮、に求めている [2]。しかし日本の現在の状況にてらして考えると、人材の流動性は必ずしも高いとは言えず、またベンチャー・キャピタルのプレゼンスにも未だ見るべきものはない。すなわち、米国に比べて様々な制約条件が残る環境下で、どのような戦略をもってオープンイノベーションを進めればよいのであろうか。

本稿では、東京大学と TOTO (東陶機器) における光触媒技術の開発とビジネス展開のプロセスを取り上げ、オープンイノベーション戦略によって光触媒技術がプラットフォーム・テクノロジーに昇華したケースの分析を行う。

## 2. 产学間の接点及び共同研究の開始

TOTO は、自らのビジネスのターゲットを快適な水

まわり生活空間の提供においてきた。その目標を追求するためには、脱臭、抗菌そして防汚に関する技術、すなわち有機物を効率的に分解する技術が必要であることは早くから認識されていた。それゆえ、これらの技術開発は社内でも着手されたのであるが、同時に関連する社外技術情報の調査が行われた。そのような技術調査の中で 1972 年に Nature 誌に掲載された藤嶋らの論文が見出された [3]。最初の発表後しばらくは光触媒関連の研究はあまり活発ではなかったが、1980 年代には再び光触媒により有機物が分解されるという報告が相次いでいた [4][5][6]。TOTO の研究所は、調査で抽出された技術の中で光触媒の強い酸化分解力に注目し、1990 年に技術導入の目的で東京大学の藤嶋研究室を訪問した。製品表面に酸化チタン光触媒の薄膜を形成することにより、脱臭、抗菌、防汚の何れにも応用できる可能性があると考えたためである。TOTO における技術評価の結果セラミック分野においてはタイルへの応用を第一ステップに、さらに金属製品、プラスティックス製品等への応用の可能性が予見できた。タイルビジネスへの応用については商品性能の確保、厳しい価格競争への対応、実生産の可能性についての事前研究で実用化の可能性があるとの結論に達した。その結果、確かな研究シーズと産業ニーズが合致し、共同研究がスタートした。

しかし光触媒タイルの実用化に向けては、限られた時間の中で克服すべき重要な技術課題が残されていた。それは「室内の微弱な紫外線の下で光触媒効果を発現させること」と「タイルへの均質な薄膜形成技術を量産レベルで確立させること」であり、また「開発したタイルを実用条件で評価し、効果を検証すること」であった。これらの課題を短期間で克服するためには、さらに外部の協力を得る必要があった。

### (1) 室内での微弱紫外線下での光触媒効果の発現

酸化チタンは波長 380nm 以下の紫外線により光触媒効果を発現する。屋外の紫外線照度は数 mW/cm<sup>2</sup> で短波長成分を含んでおり光触媒が効果を発現するのに十分な量であるのに対し、屋内の紫外線照度は極めて微弱であり、そのままでほとんど効果発現は期待できない。この課題は、光触媒と抗菌金属（銅や銀）を複合化することにより解決された [7]。東京大学と TOTO 研究所により開発されたこのハイブリット型光触媒は、構造的にも光触媒表面への銀担持が電子顕微鏡で確認され原理的な裏付けを得られており現在産業上重要な技術となっている。

### (2) 光触媒タイルの大量生産技術

タイルの実生産における問題、特に釉薬上のアナターゼ型酸化チタンを安定的に析出させ金属を均一に分布させる技術については、温度とスプレーでの塗布条件、金属担持の方法を中心に TOTO の事業部で検討され、ノウハウとして確立されていった。

### (3) 実使用条件での効果確認

光触媒タイルを商品化するためには、実使用条件下での脱臭、抗菌、防汚効果の検証が不可欠である。そのため、TOTO の社内及び社外で、光触媒タイルを実際に施工し評価を行った。その一環として、等潤病院（東京都足立区）の協力を得て抗菌性の評価が行われた。手術室の床と壁に光触媒タイルを施工し、壁、床での空中浮遊菌数の変化を調べた結果、施工後に空中浮遊菌が著しく減少することが確認され、光触媒の高い抗菌性能が検証された。

光触媒タイルは脱臭、抗菌、防汚機能を備えたタイルとして、1994 年に TOTO より発売された [8]。東京大学と TOTO およびユーザーである病院を含めた産学連携により、室内の微弱紫外線条件下の光触媒性能の確保と製造技術が確立し、事業化に成功した事例である。一方 TOTO 研究所では光触媒を防汚、抗菌、脱臭のためのプラットフォーム技術に育てるためには、更なる技術発展が必要との判断のもと、光触媒の新たな機能を模索、一定期間での評価を行い将来性の見極めを行う段階に進むこととなった [9]。

## 3. 光触媒超親水性技術の発見と

### 新規ビジネスへの展開

光触媒タイルの実用化は理想的な産学連携により実現した。しかし本事例において特筆すべき点は、この後、画期的な科学的発見とそれを基にした広範囲な新規ビジネスの展開が日本型オープンイノベーション的な考え方で実現したことである。それは TOTO の研究者により“光触媒超親水性”が発見され、それに引き続いだ東京大学での理論解明、関連業界を巻き込んだ新規ビジネスの開拓という産学連携が有機的に機能し、短期間で新しいビジネス領域にまで発展したことである。以下、この事例について述べる。

### (1) 光触媒超親水性の発見及び原理の解明

光触媒タイルの開発に一つの区切りを迎えると、TOTO の研究所では、快適な生活空間創出のテーマである脱臭 [10]、抗菌そして防汚 [12] を実現するため、脱臭や

抗菌性の根幹にある汚れ難さの追及に取り組むこととなつた。そのような中で 1995 年、TOTO 研究者が実験中不思議な現象に遭遇した。光触媒が塗布された表面に紫外線を照射すると水の接触角が小さくなつてく現象である。水玉状であった水滴に紫外線を照射すると、一様な水の膜に変化するのである。紫外線照射により水接触角は下がり、ついには 0 度までに達することを確かめた。これまで光触媒に限らずこの現象は報告されていなかつた。従来の光触媒反応とも全く異なるものである。何故このような現象がおきるのか、またこの現象はビジネスとして応用できるのかについて更なる検討・評価が必要であつた。この現象は“光触媒超親水現象”と命名され、現象の理論的解明は東京大学が、また本現象の応用とビジネス展開の可能性の検討は TOTO が担当し、新たな可能性に向けた検討が再び产学研連携体制により推進されることとなつた。

東京大学の藤嶋・橋本教授のグループにより、ルチル型単結晶を用い光触媒超親水性現象の解明が精力的に進められた結果、この現象は酸化チタン表面の欠陥構造に起因するものであり、全く新しい現象であることが確認された。その研究結果は東京大学と TOTO 研究者の共著で、1997 年の Nature 誌に発表された [11]。光触媒超親水性現象が理論的に解明されたことにより、その応用範囲も大幅に広がることが予見された。すなわち、本技術の応用は無機材料、金属材料そして有機材料に対しても可能であり、大きなポテンシャルを有することが予見された。当時想定された主な機能は、①水滴が残らない（流滴性）、②曇らない（防曇性）、③雨水で汚れが落ちる（セルフクリーニング性）[12]、④水洗いで汚れがすぐ落ちる（易水洗性）、などである。これらの機能を持つビジネス・ポテンシャルは極めて広範囲なものであり、TOTO 一社で市場開拓が可能な範囲は限られていることが認識された。すなわち、潜在的市場まで含めて機会を最大限活用するためには、戦略を明確にした上で可能な限り短期間でビジネス展開を進める必要があつた。そこでまず可能な限りのパテント網を構築し、その上で技術を公開してビジネスパートナーを募り、共同開発により新規分野を開拓していく、オープンイノベーション戦略をとつた。

光触媒超親水性効果関連の特許出願については、原理・組成・製法・利用方法・構造まで広範囲なものになるため、出願と権利取得を効果的に進めるようにパテントマップを作製し、網羅性の確保に努めた（図 1）。

TOTO の特許戦略は、技術に対する基本的権利確保と同時に、企業間での連携によるニュービジネスの創

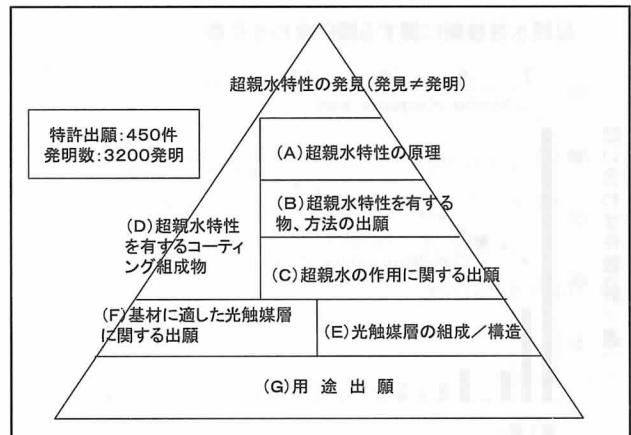


図 1 光触媒超親水性技術に関するパテントマップ

出、ライセンス許諾を前提としている。この結果、特許出願件数は 450 件、発明数は 3,200 項目となった。また、基本特許については米国特許、United States Patent 6,013,372 が登録され、その内容は、“親水可能な表面を備えた複合材であつて、表面を備えた基材と、基材の表面に接合された光触媒を含む光触媒層とからなり、光触媒層の光励起に応じて水との接触角に換算して約 20 度以下の水濡れ性を呈するべく親水性になすものであることを特徴とする複合材” のように極めて範囲の広い内容になっている。国内においても主要特許の権利を取得するに至つた。

## (2) Net Work 型ビジネス展開の検討

新たな技術機会を得たときに企業の取り得る選択肢は、大きく 3 つのカテゴリーに分けられる。すなわち、自社既存事業への適用、他社との共同事業を含む新規事業への展開、あるいはライセンス供与である。このケースでは、自社既存事業に関してはタイル事業を中心とし、一方新規事業については、リードタイム短縮を重視し、他社との共同事業を中心として取り組むことを決定した。このため、広い範囲を対象として本技術を公開する必要から、学会での発表に加えて、インターネット、メディア広告（提携先の募集広告、1996.7.25, 日本経済新聞）を通じ、広くビジネスパートナーを募った。なかでも、新聞広告に対する反響は大変大きく、当日の 220 件をピークに 21 週間で 511 件の問い合わせが寄せられた（図 2）。これは予想をはるかに超える大きな反響であり、本技術に対するビジネス化の大きなポテンシャルが存在することを確認すると同時に、周辺技術開発の必要性が再認識される結果となつた。

TOTO に寄せられた問合せは、建築用・自動車用のガラス、テント、照明、看板、塗料、鋼板、窯業建材

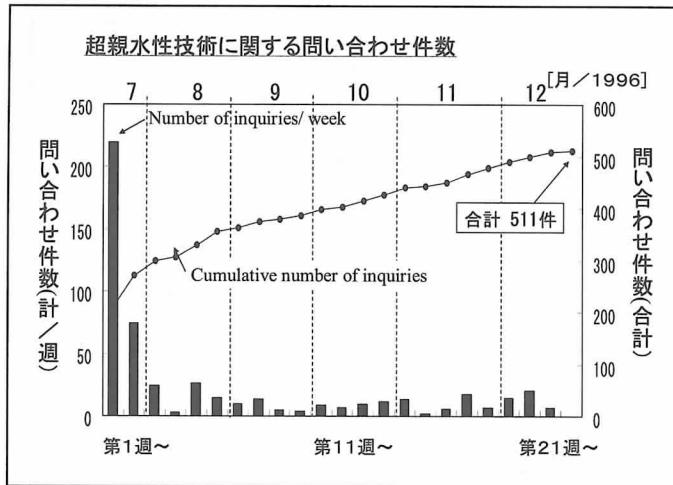


図2 超親水性技術に関する問い合わせ件数

等多岐にわたっており、これらをカバーするための技術開発は大変広いものがあったため、用途別に技術開発の難易度を検討し優先順位を明らかにする必要があった。特に、対象となる基材がプラスティック等の有機物の場合、酸化チタン光触媒の強い酸化分解作用により基材が劣化してしまう現象がおきる。有機質材料の表面に酸化チタンをコーティングし紫外線照射を行うと、表面に付着した有機物の汚れを分解すると同時に徐々に基材まで劣化が進行し、剥離や白化現象が生じた。そこで、基材保護のため、酸化チタン層と基材の間に中間層を設けることとした。しかし、対象となる素材ごとの材料設計を必要とすることから、光触媒性能や耐久性の確認には多くの技術検討と時間を要した。最終的に、約二年の歳月を費やして、中間層を利用した解決策により、無機材料や金属材料だけでなく有機材料も含めた幅広い光触媒超親水性技術の応用の基礎が完成した。このような努力の結果、セルフクリーニング性能を持たせた外装用建材、道路用資材などを中心に応用分野が広がってきてている[12]。

その他、光触媒超親水性技術の新規応用分野として主なものを上げると、①タイルビジネス（防汚、抗菌効果を狙ったハイドロテクトタイル）、②フィルムビジネス（防曇効果を狙った自動車のサイドミラーフィルム）、③ライセンスビジネス（自動車用サイドミラー、店舗用資材（看板）、道路資材（標識、遮音壁等）、建築資材（テント））等、いずれも既に製品化の最終フェーズに入っている。

さらに、Nature誌での発表、米国・日本での特許公開、その他メディアでの発表などにより、国内のみならず海外からもライセンシングに対する多くの引き合いを受け始めた。このため、TOTOは1997年、光触媒超親水性関連特許を中心としたライセンス供与を事業目

的とするTOTOフロンティアリサーチ株式会社を設立し、各分野よりのオファーに対し条件設定を行うビジネスをスタートさせている。

### (3) 普及活動及び標準化活動

本ケースは、光触媒超親水性現象の発見とその原理解明が基礎となっているが、ビジネスとしての応用範囲は極めて広く、新しい研究テーマも次々と生まれている。それらに対応していくためには、より深い大学との連携や光触媒業界団体の設立も必要となってきた。このため、光触媒技術と健全な市場育成のための活動を推進すべく、「光触媒製品フォーラム」が2000年10月に設立され、産業界からTOTOをはじめ約120社が集まり活動を開始した。さらに、2003年9月には経済産業省指導の下に光触媒標準化委員会が発足し、光触媒の性能試験方法のJIS原案の作成が進められている。また、日本発の技術として日本が幹事国となり、国際標準化も進められている[13]。これらの活動は光触媒超親水性技術の普遍性を高めるため有効に作用している。

## 4. おわりに

TOTOが“清潔で快適な水周り空間を創出する”、そのための必要機能として“防汚”と“脱臭”に研究を集中するという明確な目標を設定していたことは[9]、自社技術の限界をはっきりさせ、外部技術の調査を進めた結果、東京大学の光触媒技術に遭遇して、新しい技術分野と事業領域を創出していくことになる。

光触媒技術の導入及び発展のプロセスからは、TOTOと東京大学との双方向的な関係により、光触媒の技術自体が発展していくと同時にビジネスが形成されていったことが明らかになった。すなわち、大学側にとっても原理を追求するべき新たな現象が次々と発見され、研究アジェンダが広がっていったし、TOTO側でも一社では対応できないほどのビジネスチャンスに遭遇した。これは“技術移転”的言葉が象徴するような一方性の活動ではなく、共鳴現象そのものである。

企業が大学から技術を導入し双方向的な関係のもと、自社商品へ応用してきたことは従来型の産学連携の発展形であるが光触媒タイルの発売後、研究者により“光触媒超親水性現象”が発見されたことを契機に、戦略は大きく変化していくことになる。光触媒超親水性によるセルフクリーニング性などの機能は、セラミックスを中心とするTOTOのビジネスフィールドのみならず金属製品、プラスティックス製品等の広い適用

範囲が想定された。

新ビジネスを推進する場合、米国スタイルの人材の流動性を国内に求める事の難しい現状、企業間の連携によるオープンイノベーションを追求し光触媒超親水性技術ビジネス化に取り組むこととした。技術の公開、パートナーの募集について新聞をはじめとする各種メディアを通じ発信した結果、ガラス、照明、テント、鋼板等の企業との連携が新たに生まれ、応用商品が短期間の間に実用化に向かって進行することになった。新しい日本型のオープンイノベーションの創出である。

同時に進められた標準化、普及啓蒙活動も光触媒超親水性技術の企業間、大学間の連携の幅を大きく広げることに有効であると同時にオープンイノベーションを側面より加速させることとなった。

一般的に、研究の進め方と事業化における課題解決との間には、時間的な考え方のスタンスの違いが存在する。特にオープンイノベーション型の開発を行う場合には、異なるプレーヤーあるいは企業間で共通の時間軸と共に目標を設定することが技術開発とビジネスの効率的運営にとって極めて重要である。

光触媒超親水性技術の実用化に向けた開発過程では、“室内の微弱紫外線下での光触媒機能の発現”など、克服すべき技術的な課題が多く存在していた。それらを克服する上で、TOTO が持っていた研究蓄積と開発ポテンシャルが時間軸の設定或いは共通の目標設定の視点から見て大きく寄与したものと考えられる。つまり、同社が基盤的分析・評価技術として、「脱臭や臭いの分析技術」「微生物の評価・制御技術」などを保有していたことが、限られた時間の中で光触媒を実用的な技術に発展させるための原動力となったといえるだろう。また、東京大学における基礎的な原理の解明は、光触媒が抱って立つ技術の信頼性や認知度のレベルを高めるためにも極めて有効であった。

今回のケースの場合、光触媒そのものがビジネスとしてのポテンシャルを持っていたことは当然重要である。しかし TOTO がこの技術の応用を汚物分解あるいは抗菌タイルに留めていたとすれば、今日のような多様な産業領域の創出には至ることはなかった。また企業サイドが企業間連携という明確な戦略に基づいて取り組んだオープンイノベーションの推進が、光触媒技術をプラットフォーム・テクノロジーにまで昇華させたのである。人材の流動性が低く、ベンチャーキャピタルのプレゼンスも未熟な日本にあっては、このような企業間の連携をベースにしたオープンイノベーションの推進がプラットフォーム・テクノロジーの確立に

向けた近道であることが示唆されている。

(よしくぼ せいいち)

#### 《参考文献》

- [1] Annabelle Gawer, Michael A. Cusumano, (2005) “プラットフォーム・リーダーシップ－イノベーションを導く新しい経営戦略” 有斐閣
- [2] Henry Chesbrough, (2004) “Open Innovation” 産業能率出版部
- [3] A. Fujishima, K. Honda, “Electrochemical Photolysis of Water at Semiconductor Electrode”, Nature, Vol.238, 37-38 (1972) .
- [4] K. Hashimoto, T. Kawai and T. Sakata, “Photocatalytic reactions of hydrocarbons and fossil fuels with water. Hydrogen production and oxidation,” J. Phys. Chem. Vol.7, 4083 (1984) .
- [5] K. Hashimoto, T. Kawai, and T. Sakata, “Hydrogen production with visible light by using dye-sensitized TiO<sub>2</sub> powder”, Nowv. J. Chim., Vol. 7, 249 (1983) .
- [6] K. Hashimoto, T. Kawai, and T. Sakata, “Efficient hydrogen production from water by visible light exitation of fluorescein-type dyes in the presence of a redox catalyst and a reducing agent., Chem. Lett., 709 (1983) .
- [7] K. Sunada and K. Hashimoto, “Bactericidal effect using TiO<sub>2</sub> photocatalysis” J. Antbact. Antfung. Agents, Vol.26, No11, 611-620 (1998) .
- [8] 佐伯義光, 小林秀紀, “酸化チタン光触媒を活用した抗菌タイル”, クリーンテクノロジー, 1月号, 50-53(2001)
- [9] 吉久保誠一、辻本将晴、鈴木潤、“企業における商品開発の方向性決定のプロセス”, 開発工学、Vol.24, (2005)
- [10] R. Axel, L. B. Buck, “A novel multigene family may encode odorant receptors: a molecular basis for odor recognition”, Cell, Vol 65, 175-187, April 1991.
- [11] R. Wang, K. Hashimoto, A. Fujishima, M. Chikuni, et al., “Light induced amphiphilic surface”, Nature, Vol.388, 431-432 (1997) .
- [12] 中山千秋, “実用本格化する光触媒技術：セルフクリーニング、抗菌・防かびへの応用”, Vol.8, 43-47, OHM (2003).
- [13] C. Nakayama, “The Tendency toward Standardization about Evaluation Methods of Photocatalysis” J. Odor Research and Engineering, Vol.33, No.6, 339-343 (2002) .