



抗菌のテクノロジー

目に見えない脅威と闘う技術

抗生物質の発見は、人と細菌との闘いという場面で華々しい成果をもたらしてきた。

それは現代の科学技術が獲得した勝利の一側面でもあったはずだった。

ところが昨年日本を震撼させたO-157ショックをはじめ、

さまざまな菌の逆襲ともいえるべき現象が、

ここへきて鮮明になってきている。

中世欧州のペスト流行が都市化と関連していたように、

新たな菌の脅威も、現代の生活様式と関連している。

さまざまな工業製品に適用可能な抗菌技術は、

都市環境への適材適所な導入により、

快適で安心な生活環境づくりに役立つ技術であると考えられるだろう。

写真：O-157の菌体
(イメージ加工)

生活空間全般に広がる抗菌化の波、 リスク軽減に 食品関連産業なども積極化

新たな細菌による感染症や、すでに克服したはずの病原菌のリバイバルなど、細菌に対する脅威が、ここへきて強く意識されるようになってきた。脅威は経済的な実態をともなった現象へと結びついてもある。そんな中、あらゆる生活関連品の抗菌化が進んでいるという。抗菌技術とはどんなものなのか。また抗菌技術をどうとらえていくべきなのだろうか。その全体像を抽出してみる。

相次ぐ細菌の逆襲に、抗菌ブームが本格化

O-157という名称が強烈なインパクトとともに知れ渡ったのは昨年春から夏にかけてのことだった。従来の菌種であればさほど問題にならないほど少量の菌数で激烈な毒素を出す未知の大腸菌は、大阪府堺市、岡山県邑久町をはじめとする全国45都道府県で1万人に迫る中毒患者を出し、子供を中心に11人の命を奪った。その後今年に入ってからもうすでに被害が続出している。

感染元のわからない伝染性の細菌は、「O-157パニック」ともいべき混乱をもたらした。感染への不安から寿司屋や焼き肉屋などから人々の足が遠のくなど、外食は大打撃を受け、カイワレをはじめとする生野菜の売り上げも激減した。外食産業の売上減少率は阪神大震災による影響を上回る規模だというから、この「目に見えない敵」の脅威は半端なものではない。

レジオネラ菌による肺炎患者頻出という事件も昨年来のトピックスとなった。耳慣れない名前の菌だが、24時間風呂やビルの空調ダクトなどで繁殖し、水蒸気とともに人の肺に入り込むという。菌種そのものは以前から土中などに生存してきたが、密閉度の高い住宅様式の普及によって、より人の体内に入りやすい場所で繁殖するようになったということらしい。

衛生のお手本であるはずの病院という場所で起こった院内感染というニュースも、大きな衝撃となった。おもに主役となったのは、抗生物質に対する抵抗力を獲得したメチシリン耐性黄色ブドウ球菌（MRSA）である。黄色ブドウ球菌そのものは人の鼻孔などに日常的に住み着いている菌だが病院などの抗生物質を大量に扱う環境内では、まれに突然変異によって耐性を獲得してしまう。メチシリンとはペニシリン耐性を獲得したぶどう球菌を駆逐するために開発された抗生物質だが、使用するうちにメチシリンとともにその他のさまざまな抗生物質に強い（多剤耐性）ぶどう球菌が生まれてしまった。MRSA自体の感染力は弱く、健康な者では発病することはめったにないが、

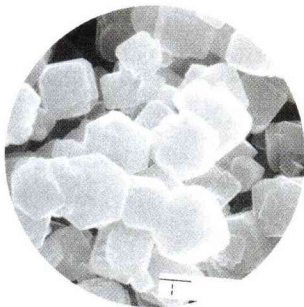
乳幼児、高齢者、術後患者、抗癌剤や免疫抑制剤などの投与者が多い病院という場所では感染が起こりやすくなるというわけだ。従来の抗生物質が効かないため致死率が高くなる。

食品流通網に乗って波及するO-157、空調に住み着くレジオネラ、現代医療の中核で活力を得ているMRSAなど、いずれも文明に対する菌の逆襲というか、何かの皮肉のような現象となっている点が興味深い。これら「新興」の感染症に加え、すでに人類が克服したと信じていたコレラ、マラリアなども、その復活がWHOによって告げられた。また英国の狂牛病や台湾などで大流行した口蹄疫（豚）など、家畜の疫病のニュースも絶えない。

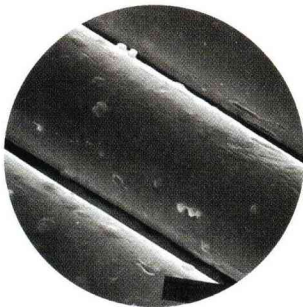
O-157騒ぎをはじめとする菌の恐怖は、産業の分野では抗菌製品のブームという形で現れるようになった。以前から消費者の衛生意識の高まりとともにというか、潔癖症ニーズに応えていべきか、さまざまな「抗菌グッズ」が登場していたが、とりわけO-157という、きわめて少ない菌数で激烈な食中毒を引き起こす菌の登場は、食品関連メーカーなどに大きな危機意識を呼び、抗菌製品への期待が一気に高まったと考えられそう。ごく身近なところを見渡しただけでも、コンビニのテイクアウト用食品容器が抗菌化されたり、ファーストフードのレタス流通用包装材にワサビエキス系天然抗菌剤が混入されるなど、抗菌への具体的な動きを目にすることができる。

身のまわり品に多用されている無機系抗菌剤

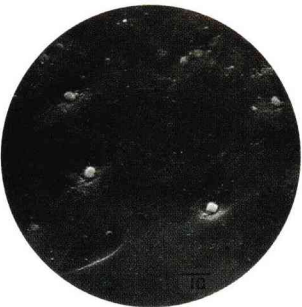
製品を抗菌仕様にするための、いわゆる抗菌剤には大きく分けて無機系と有機系がある。無機系は、銀、銅、亜鉛などの金属イオンの殺菌力を利用するもので、特徴としては揮発性がなく生体への毒性もほぼゼロということ。対する有機系は揮発性の高いものが多く、強力に速効性があり比較的安価だが、毒性が高いものもある。とくに細菌だけでなくカビを抑制したい場合には有機系が多く使われるようだ。ワサビやヒノキチオールなどの天然系のものも後者に入る。身近な有機系剤とし



銀系抗菌剤



繊維加工品



樹脂成型品

※粒に見えているのが練り込まれた抗菌剤

銀系抗菌剤が使われている抗菌製品の数々（写真提供シナネン）
安全性が高いことから多用されている銀、銅系・無機系抗菌剤が菌を破壊するメカニズムは、はっきりと解明されているわけではないが、1) 金属の触媒作用で空気や水の中にある酸素が活性酸素に変わり、菌の表面に損傷を与える 2) 微量の金属イオンが菌の体内で酵素障害を起こさせる——などによって考えられている。

ではシャンプーなどに使われるジंकピリチオンや、クレゾールなどといったものがあげられるが、その他にもかなりの多種が用途に応じて使い分けられている。

身のまわりの抗菌製品には、安全性や効果の持続性などのメリットから無機系の抗菌剤がおもに使われている。現状、抗菌剤の約80%が無機系ともいわれているから、以下は無機系を中心に話を進めたい。

無機系抗菌剤の主流になっているのは銀系のもので、担持

体となる無機酸化物（リン酸カルシウム、シリカゲル、ゼオライトなど）の孔や結晶格子の中に銀をイオンや化合物の形で閉じ込め粉末状に加工してある。こうした銀系抗菌剤は現在10社以上が製造しており、担持体の種類や銀の様態などに各社オリジナリティがあるようだ。

この種の銀系抗菌剤は樹脂との相性もよいため、ありとあらゆる生活用品に使われるようになってきた。キッチン用品、家電部品、文具などにはじまり、衣類やカーペットなどの繊維製

銀系抗菌剤（抗菌性銀ゼオライト）が適用されている分野と製品例

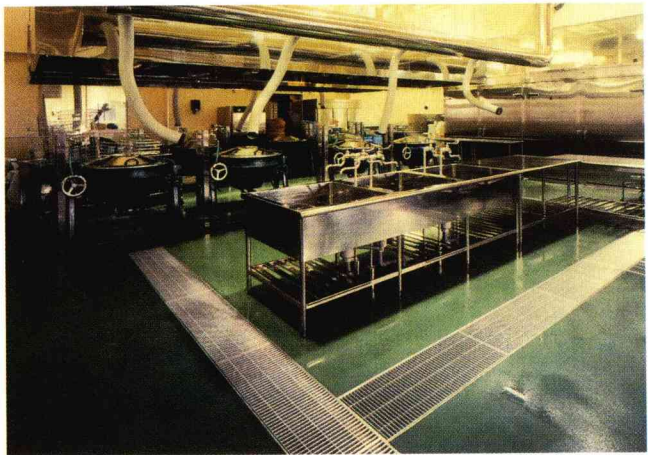
家庭電気製品他	食品関係	日用品他	建材	繊維製品	文房具その他
冷蔵庫 （自動製水器 内箱 野菜室） 冷蔵ショーケース 食器乾燥機 電気ポット 浄水器 自動販売機 温水便座	フィルム包装材料 ホース まな板 しゃもじ	風呂・台所用品（桶・洗面器） （三角コーナー） スポンジ類 歯ブラシ・ヘアブラシ シェーバー・体重計 旅行カバン	床材 （塩ビ 木質系 壁紙 木質系） 壁材 塗料 銅板 パーテーション 塗り床 天井	衣類（看護服） 診察衣 タオル・フキン カーテン カーペット ナイロン ポリエステル	筆記用具 紙 ノート 下敷・定規・消しゴム おもちゃ 抗菌砂 電卓 自動車 吊り輪 カラオケマイク 切り花保存材

院内の抗菌化（東京医科大）
で対象とされた製品の例

衣類	スリッパ 予防衣
家具類	ストレッチャーガード 手摺 洗浄式便座 便座カバー 陶器・大小便器
	塗料 焼付
	スライディングドア パーテーション ファンコイルカバー
	天井 塗料
壁	塗料 クロス
床	巾木 タイル 長尺シート
	タイル
	カーペット



抗菌仕様を徹底的に盛り込んだ業務用冷蔵庫
（松下冷機）



コーティング式抗菌床材の給食センターへの施工例（住友ゴム工業）

品、床材や壁紙などの建材にも採用されている。

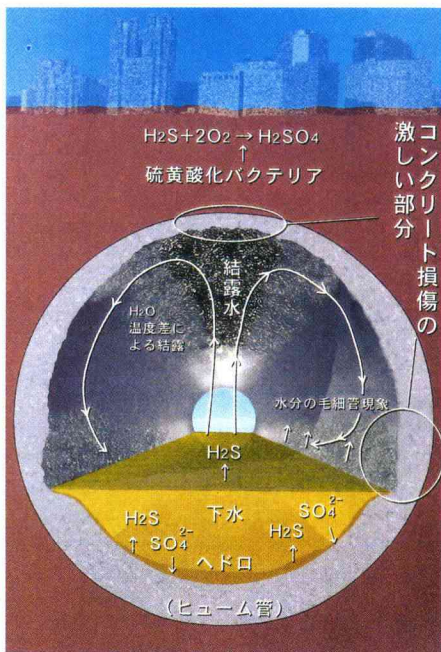
東京医科大学（東京都新宿区）ではこうした銀系抗菌剤を中心に、床、壁をはじめ内装すべてを抗菌仕様とした抗菌病棟をつくった（上表参照）。先にふれたMRSAによる院内感染の新たな予防法を模索する試みである。

住友ゴム工業は銀系抗菌剤を、食品工場や給食センター向けのコーティング式床材に添加した抗菌床材を開発し、この春から販売を始めた。エポキシ樹脂や樹脂モルタルに銀系抗菌剤を練り込んだものだ。外食産業が「弁当や外食は危ない」という消費者の不審感から打撃を受けたことは述べたが、コーティング式抗菌床材は信頼を回復したい食品施設のニーズに応えたものといえるだろう。その他さまざまな食品メーカーの生産ラインに銀系抗菌剤で抗菌処理された設備が導入されているようだ。

期を同じくして松下冷機は銀系抗菌材で徹底的に抗菌処理をほどこした業務用の冷蔵庫を発売した。ドア、手すり、内箱はもちろん、棚網や機械室のグリルなどのステンレスにも樹脂に混ぜた抗菌剤をコーティングしてある。家庭向け冷蔵庫の自動製水器部分を抗菌仕様としたものなどはあったが、ほとんどまるごと抗菌仕様としたのは、やはりO-157騒ぎを意識したもののだろう。

過大な期待は禁物、正しい認識が重要な抗菌性能

銀系抗菌剤を世界で始めて開発し、現在もシェアの60%をもつシナネンでは、こうした抗菌ブームが抗菌剤の新たな需要増につながることを肯定しながらも、抗菌剤に対する「過大な期待」は禁物であり正しい認識を持つことが不可欠であることを指摘する。「抗菌剤は殺菌剤ではありません。銀イオンが菌を抑制することができるのは分子レベルでの表面部分だけです。表面に汚れがついてしまえば、汚れそのものに厚みがありますから抗菌性能は働きません」（シナネン ゼオミック事業部長 吉成彪氏）という。例えば銀系抗菌剤を用いた抗菌仕様のまな板でも刃跡に汚れがたまった状態では、十分な効果が期待できない。わずかにコンマ数ミリのヨゴレが細菌たちには広大な豪邸になってしまうからだ。床材などにしても、油などの有機物が表面に付着してしまえば、有機物の被膜の中で菌は増殖してしまう。無機系抗菌剤の抗菌機能を発揮させるためには、常に表面をきれいにしておかなければならないのである。いずれにせよ、人の手で十分に清掃をし、清潔を保ったうえでの抗菌ということになる。製造メーカーとしてはPL問題を意識すればそのあたりは十分にアピールしておきたいポイントなのかもしれない。

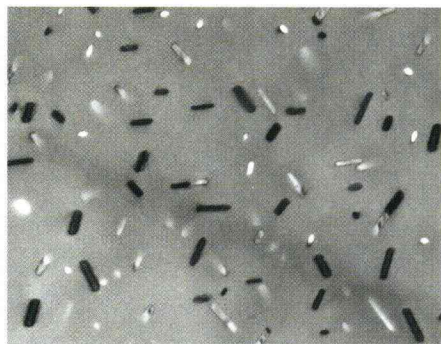


細菌によるコンクリート腐食のメカニズム

菌の抑制技術で、腐食や汚れをコントロール

細菌の人体への感染予防という使い道以外にも、無機系抗菌剤の用途は広がっている。シナネンが開発したコンクリート用抗菌剤などもこれにあたる。コンクリート用抗菌剤の目的は大口径の下水道管の腐食を防止し、寿命を延ばすことにある。下水には硫化水素ガスが日常的に発生するが、硫酸化細菌（チオパチルス菌）がこれを硫酸に変えてしまう。この硫酸によって下水管の内側が腐食し崩壊へと向かう。従来からの対策として内側に耐酸性の樹脂コーティングを施す方法が考案されていたが、コスト負担が大きすぎるという欠点があった。そこでシナネンではコンクリートに1%ほどの抗菌剤を混入し、チオパチルス菌を抑制することでコンクリートの浸蝕を防ぐ方法を考案し、この5月からコンクリート用の抗菌剤を販売開始した。従来からの銀系抗菌剤の技術を活かした製品だが土木用という大量使用を前提とした分野で使われることからコストを抑えるために銀の比率を減らし代わりに銅を多用したという。

「水まわりまるごと抗菌計画」を全社キャンペーンで実施したINAXの場合も、便器をはじめとする衛生陶器の汚れ対策として抗菌仕様に取り組んだ。昨年6月にトイレから抗菌化に取組みはじめ、洗面、キッチンと進めてきた。この6月に浴槽をはじめとする浴室空間の抗菌化が終了し、INAXの商品は一部を除き抗菌が標準仕様になった。価格は従来そのままである。「たしかにO-157騒ぎで抗菌に注目が集まっていますが、当社の場合菌の増殖を防ぐことで汚れや臭いを減らしメンテナンスを楽にすることが元来の目的でした。抗菌製品は菌の増殖を抑えますが、それで感染症がパーフェクトに予防できるという



抗菌ステンレス鋼の微視組織。(黒白の粒子はε-Cu相)

うものではありませんね」(INAX基礎研究所素材工学研究室チーフ今井茂雄氏)。すでに述べたように揮発性がない無機系抗菌剤では材料と菌が触れていなくては効果が出ない。「菌が増殖するには水と栄養と温度の3つの要素が揃えばいいわけです。例えば感染者の便の小さな飛沫が飛んだというような場合、そこにその要素が成立してしまう。抗菌の効果がとどくのは抗菌材料と付着物の境目だけです」

無機系抗菌剤の場合、菌数が減るまでに比較的長い時間を必要とすることも留意しておくべき点だ。その抗菌効果の発現する時間は3～6時間程度。試験は24時間を標準として行われることが多い。それだけ時間がかかると頻繁に人の手が触れるような場所では、あっという間に菌に感染してしまう。O-157はきわめて少ない菌数で中毒症状が出るのがひとつの特徴となっているから、抗菌仕様への過信は禁物といえよう。

そういういつも菌の怖さはやはりその増殖力にある。大腸菌では条件が揃えば20分に1回の割合で分裂を続ける。1個の菌が9時間で1億になってしまう計算だ。長時間にわたって効力を発揮し、菌を除いていく抗菌は、人為によって清潔を維持することを前提としてはいるものの、やはり意味がないわけではない。けっきょく、あらゆる複合的な防衛手段のひとつとして抗菌は有効であると考えるべきなのだろう。

「安全性を重視したものを抗菌剤、速効性を重視したものを殺菌剤というようにはっきりとわけて考えるべき」(前出・吉成事業部長)という意見もある。

銅の殺菌力を活かした抗菌ステンレス

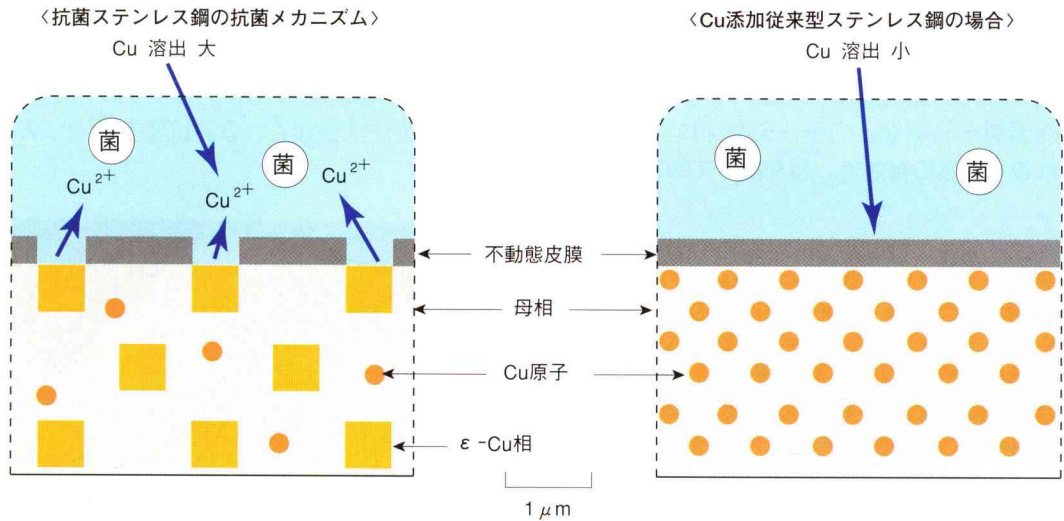
抗菌志向の波は鉄鋼分野にも波及している。日新製鋼が商品化した抗菌ステンレス鋼が代表格といえるだろうか。抗菌のメカニズムは無機系抗菌剤でも使われている銅イオンの殺菌力を利用する。銅を添加したステンレス鋼は高耐食用、高加工用などとして用いられてきたが、従来型のものはステンレス鋼表面に形成される不動態被膜が銅の溶出を抑制してしまうため銅の抗菌効果は充分に発揮されていなかった。

抗菌ステンレス鋼では、製造過程での特殊な熱処理によって、銅を微小な粒子(ε-Cu層)に変化させて析出させている。

抗菌ステンレスと一般ステンレスの比較（減菌率は黄色ぶどう球菌を用い抗菌ステンレスを100％として比較）

鋼種	区分・材料名	Cu量（％）	試験開始時生菌量	24時間後生菌量	減菌率（％）
フェライト系 （一般耐食、加工用途）	抗菌ステンレス（Fe/17％Cr）	1.5	4.8×10^5	10未満	100
	比較鋼（SUS430J1L相当）	0.5	3.1×10^5	1.9×10^5	39
オーステナイト系 （高耐食、高加工用途） （刃物用途）	抗菌ステンレス（Fe/18％Cr/9.5％Ni）	3.7	2.3×10^5	10未満	100
	比較鋼（SUS304J1相当）	2.0	1.5×10^5	1.4×10^4	91
	（SUSXM7相当）	3.2	1.5×10^5	1.2×10^4	92
マルテンサイト系	抗菌ステンレス（Fe/0.3％C/13％Cr）	3.0	4.2×10^5	10未満	100

試験依頼先：（財）日本食品分析センター



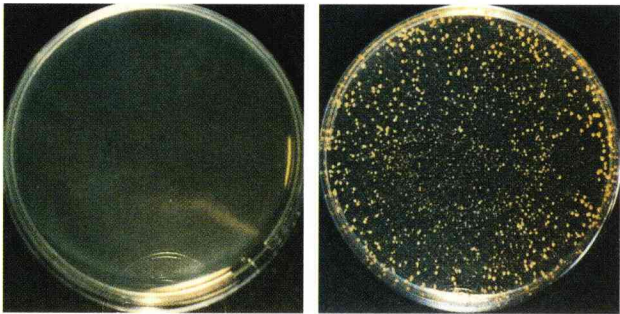
この微小粒子となった銅の上には不動態被膜が形成されず、銅が直接外面に露出する形になる。それによって銅溶出量が多くなり、銅イオンによって表面の菌が抑制されるというわけだ。1mlの菌液を付着させ24℃で、24時間放置する試験では、従来のステンレス鋼と比較して数1000～10000倍の減菌効果が得られたという（上表参照）。

すでに、家庭用品では洗濯機やシステムキッチン、台所用用品、包丁などに使われはじめており、さらに今後、医療用器具や食品加工用製造設備への使用が期待されている。

細菌との共存という思想

中世ヨーロッパでのペスト大流行による死者の数は、今日でいえば、都市に核爆弾が落ちたのに匹敵するインパクトがあったと分析する歴史研究家がいる。菌との闘いは、人類にとってきわめて古くから続いてきたサバイバルゲームだったのである。近年では米国でHIV（エイズ）による死者数がベトナム戦争による死者数をこえたといった例もある。伝染病は時として戦争以上の破壊力を発揮するということだ。

しかし微生物を単純に「敵」とみなしてしまうことはあまりに性急にすぎるという見方もある。人間の体にはひとまとめにとするとハンドボール1個分の大きさに相当するほどの微生物がいるといわれるが、そのうちあるものは、腸内有用細菌のように人にとってなくてはならない機能を担っている。微生物を毛嫌いするだけでは、人は生存していけない。森林を育てる土



菌を付着させ保存24時間後の生菌数を測定したもの（培養平板）。抗菌ステンレス（左）と従来のステンレス（右）ではっきりと差が出た

壤の生産力も微生物に負うところは大きい。どうやって微生物と共存していくかという視点が、ポスト現代の発想として必要なのではないだろうか。

その意味で抗菌のテクノロジーは、潔癖症の都会人のためというよりは、こうした微生物との好適な共存関係を結んでいくために使われるべきなのかもしれない。健康な人の気管支には繊毛運動によって外部から結核菌が落ち込まないようにしくみがあたえられている。住居まわりに大量の殺菌・消毒剤をまくのではなく、さまざまな抗菌技術を適材適所で使いわけて、住環境内の菌をやわらかくコントロールし、その中で最低限必要な消毒剤や抗生物質を使うなど、微生物との共存を図っていく——という選択が求められているのかもしれない。

取材協力・写真提供：INAX、シナネン、住友ゴム工業、日新製鋼、松下冷機

抗菌から環境浄化へ 二酸化チタンの画期的な 光クリーニング効果

従来からの無機系抗菌剤とは一線を画する光触媒による抗菌技術が実用化されつつある。その効果は超抗菌といえるほど高い。しかもこの光触媒技術は抗菌というくくりにとどまらず、大気や水の浄化という環境浄化や汚れをセルフクリーニングできる素材・塗料などのキーテクノロジーとして大きな期待がかけられている。抗菌をひとつの足がかりに、画期的といわれる光触媒の可能性に目を向けてみる。

光触媒機能で菌を分解、ヨゴレ・ニオイも抑制

昨年8月、衛生陶器メーカーであるTOTOは、光触媒薄膜（二酸化チタン）と抗菌金属（銅）をタイル表面に焼成・固定化することで超抗菌・防汚・防臭などの機能をもたせた「多機能タイル『スコルト』」を発売した。世界初の技術だという。

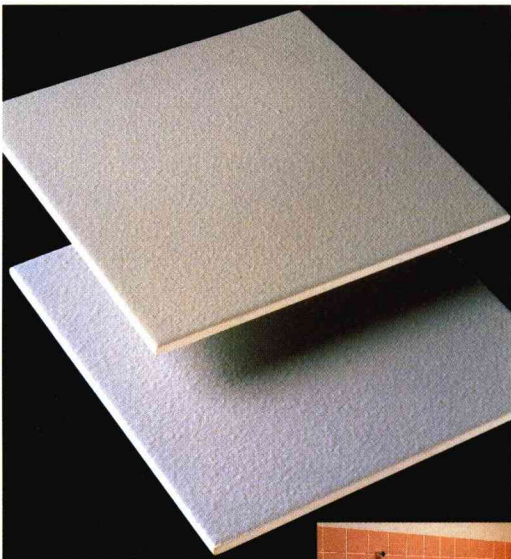
二酸化チタン光触媒は、太陽光や照明などの紫外線を受けると表面に活性酸素（ $\cdot\text{OH}$ 、 O_2^- ）を生じる。その酸化作用で菌が分解され死滅するというのがその抗菌メカニズムである。従来の無機系抗菌剤などと比較してめざましいのは、その速効性だ。約1000ルクスという机の上程度の光を当てた実験では1時間で99.9%の菌が死滅したという。

病院の手術室に光触媒タイルを施工して行った実験では、手術室の壁面の雑菌がほぼゼロになったうえ、空中浮遊菌も減少した。手術室では通常大量の殺菌剤をまいて滅菌をするが、菌がゼロになることはないという。

さらに二酸化チタン光触媒は菌を殺すだけでなく、その死骸も分解してしまう。活性酸素が有機物に作用し水や炭酸ガスに変えてしまうからだ。同様に細菌が出す毒素も分解する。従来の無機系抗菌剤では細菌が死んだ後にしばらく菌の死骸と毒素が残される。また脂肪の付着などがあると金属イオンが表面に出にくくなって効果が落ちてしまうという欠点があったが、光触媒タイルでは表面に付着した脂肪そのものも分解できる。

表面付着物を分解してしまう酸化チタンは菌を殺すにとどまらず、自然に付着する汚れをどんどん分解していく性質がある。つまり汚れをセルフクリーニングしてしまうのである。光触媒タイルをトイレに使えば、菌による臭いが発生しにくくなり、清掃も楽になるという。浴室やキッチンなどでは付着面の油脂分を分解するため、汚れが簡単に落とせるようになる。

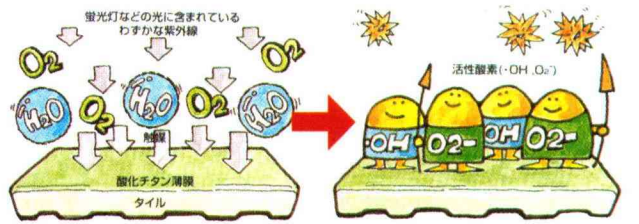
画期的といえる光触媒技術だが、欠点は光が当たらない場合にある。光触媒作用が期待できないと菌や有機物を分解する機能も当然低下するからだ。TOTOのタイルでは暗室状態



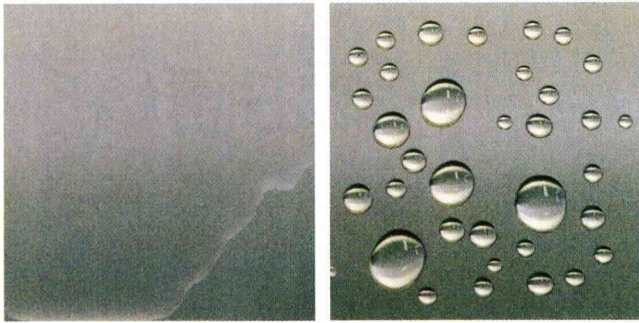
製品化された光触媒タイルとその施工適用例



光触媒タイルの抗菌メカニズム



でも抗菌効果が得られるように、二酸化チタン膜の上から金属イオン（銅）をスプレーし、その殺菌作用と併用することでこの問題をクリアーした。これにより光が当たった場合の約3倍の時間がかかるものの、暗室でも同様に菌が駆除できるという。



シリコン樹脂のぬれ方比較実験。光触媒超親水薄膜コーティングをほどこしたものの（左）とコーティングなしのもの（右）。超親水では水滴ができない



超親水コーティングをほどこした面（右半分）では、鏡が曇らない

TOTOのほかにも何社かの企業がこの光触媒技術の実用化にのり出している。いすゞはこの光触媒技術を冷蔵トラックに応用し、抗菌・防臭トラックを発売した。また神戸製鋼所と竹中工務店はチタン材そのものの表面を光触媒化した抗菌チタン材を開発し、販売を始めた。

曇らない鏡、ワックスがけのいらぬ車が可能に？

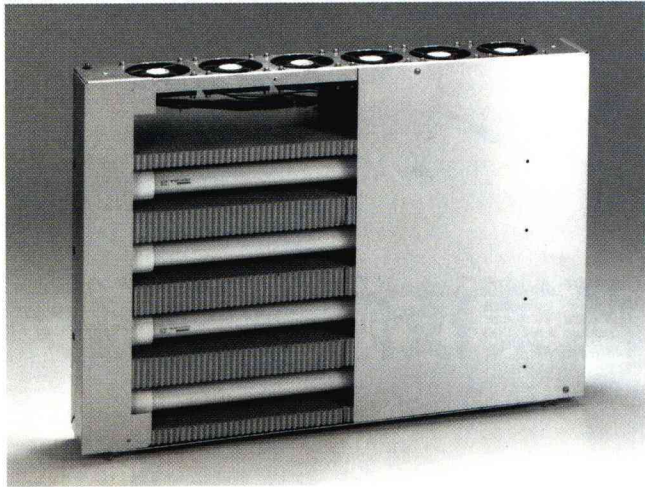
酸化チタン光触媒は、接触面だけとはいえきわめて強力な分解作用を発揮するため、従来は陶器やガラスなどにしか適用しにくいという欠点があった。ところがTOTOでは、酸化チタンを蓄水性のシリコン系材料（シリカ）に組み込むことで、樹脂などの材料にも適用できるようにした。

蓄水性物質と酸化チタンを組み合わせたことは、光触媒のもうひとつの可能性「超親水性」という効果を引き出した。この素材表面の水酸基に結びついている疎水物質が光触媒作用で分解されると、その後に空気中の水が結びつくが、その一部が蓄水性物質に取り込まれ完全に水になじんだ状態ができるという。こうなると全く水を弾かないし、水が表面になじんでいるため、よごれが付着できなくなるという。

それは「超親水性」が曇ることのない鏡を可能にし、ワックスがけのいらぬ車を実現できるかもしれないということを意味している。ガラスの表面に付着させれば、「窓ふき」が不要な窓ができるという。また太陽電池を広大な面積で設置する場



一定期間雨にさらしておいた光触媒タイルと通常タイル。ヨゴレに歴然とした差が出ていることが分かる



いすゞと日本発条の共同開発による光触媒反応を利用したトラック冷蔵庫用装置。脱臭効果によって、臭い移りを防止することができる。

合、ガラス面のメンテナンスは大きな問題だったが、この技術を用いればメンテナンスフリーにできる可能性も出てきたわけだ。高層ビルの窓清掃もほとんど不要にできるだろう。

大気や水の浄化にも有望な光触媒技術

抗菌、超親水性にめざましい性能を見せる光触媒技術だが、その可能性はさらに広がる。たとえば光触媒反応は、大気から窒素酸化物（NO_x）や二酸化硫黄（SO₂）を除くこともできるという。光触媒作用を受けた窒素酸化物はいくつもの段階を経て最終的に硝酸として触媒表面に固定される。固定された硝酸は雨で徐々に洗い流されるため、エネルギーも清掃コストも使わず大気浄化が行える。大阪府では光触媒を使った窒素酸化物削減の実験を開始しており、すでに実用化への道が模索され始めているといえよう。同様に有機廃水の処理にも光触媒技術は適用され始めている。光触媒技術は抗菌を皮切りに、空気や水の浄化という技術へとつながる気配をみせている。

[取材協力・写真提供：TOTO、いすゞ自動車]