

# 光触媒による大気からの窒素酸化物除去技術\*

村田 義彦\*\*

## 1 はじめに

人間の活動により生成した物質による環境汚染は拡大してきており、大気環境を修復するため汚染を低減する技術が求められている。そのなかで、自動車排ガスによる大都市地域の大气汚染は深刻な状況にあり、住民による道路管理者、自動車メーカーに対する裁判も行われている。汚染物質を排出しないことがもっとも有効な汚染防止の手段である。このため、発生源に対する対策がもっとも重要と考えられ、すでに各種対策が行われている。しかし、NO<sub>x</sub>汚染は緩和される傾向にない。このような環境汚染に対して排出された汚染物質を環境から取りのぞく試みがなされている。これらの技術の一つとして光触媒によるNO<sub>x</sub>除去技術が検討されてきている<sup>1)</sup>。

酸化チタンに代表される光触媒は各種の用途に使用できるとして、注目をあびている<sup>2)</sup>。そのなかでも環境浄化に対する光触媒の応用は、光エネルギーから化学エネルギーへの直接変換を利用している光半導体の応用方法として効率的な技術である。機構は単純であり、光半導体の特徴をいかしている。光触媒による環境浄化技術は、光触媒反応が知られるようになってから、有望な応用技術として研究され、1990年代になって実用化されてきたものである<sup>3),4)</sup>。

本稿では酸化チタン光触媒によるNO<sub>x</sub>除去技術についてセメント系の材料開発を中心として述べる。

## 2 NO<sub>x</sub>汚染の現状と自治体の実証試験

窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)は大都市の大气汚染物質のなかでもとくに重要視されており、窒素酸化物の中でNOとNO<sub>2</sub>の合計を一般にNO<sub>x</sub>としてあらわしている。NO<sub>x</sub>なかで、NO<sub>2</sub>はNOよりも毒性がつよく、呼吸器に影響を及ぼし、肺機能の低下を生じさせる<sup>5)</sup>。自動車排気ガス中にはNO<sub>x</sub>が多量に含まれ、排出直後

はNOの比率が高いが、NOは大気中に放出されると、酸化されてNO<sub>2</sub>となる。

またNO<sub>x</sub>と炭化水素類は、大気中の光化学反応により光化学オキシダントを生成させ、光化学スモッグの原因となる。光化学オキシダントは強い酸化力を持ち、高濃度では粘膜への刺激や呼吸器へ悪影響を及ぼす。NO<sub>x</sub>は最終的には硝酸にまで酸化され、酸性雨を発生させる。このように、NO<sub>x</sub>汚染は直接的、間接的に健康被害を起こすとともに酸性雨の原因ともなるため削減する必要がある。

汚染を低減するため、日本ではNO<sub>x</sub>の中でNO<sub>2</sub>について、0.04~0.06 ppmまでのゾーン内またはそれ以下との環境基準を設け、対策の目標としている。汚染原因となるNO<sub>x</sub>の発生源は、工場などの固定発生源と自動車などの移動発生源に分けることができる。このなかで、とくに自動車排ガスによる汚染が問題になっている。自動車によるNO<sub>x</sub>汚染を防止するため、1992年には自動車NO<sub>x</sub>法が制定され、NO<sub>x</sub>汚染のひどい東京都、埼玉県、神奈川県、千葉県、大阪府、兵庫県、196市町村を特定地域と定め、環境基準の達成をめざしている。しかし、1996年度の自動車NO<sub>x</sub>法の特定地域の環境基準達成率は、道路周辺における状況を把握するために沿道に設置された自動車排出ガス測定局において33.3%であり、環境基準を満たさない地域が多い<sup>6)</sup>。また1994年の東京都区部の4分の3で、NO<sub>2</sub>濃度が環境基準を超えたことを示す濃度分布図が、東京地裁の裁判に出されたように汚染の状況は改善される傾向にない。

このような汚染の状況に対して自治体や道路管理者は対策の検討を行っている。そのなかで光触媒によるNO<sub>x</sub>の除去技術の調査や評価試験がなされている。図1に示すように、特定地域を中心として調査や試験施工を行っている。大阪府では、先行して実用化調査として、各種の光触媒材料を沿道に暴露する試験を行い、NO<sub>x</sub>の除去性能を総合的に評価している<sup>7),8)</sup>。その結果をもとに新型防音壁の施工を行った。そのほかの自治体も沿道および実験室での調査および評価をしており<sup>9)~11)</sup>、広い面積の施工が開始されているとこ

\* A New Photocatalytic Technology for the Atmospheric NO<sub>x</sub> Removal

\*\* Yoshihiko MURATA

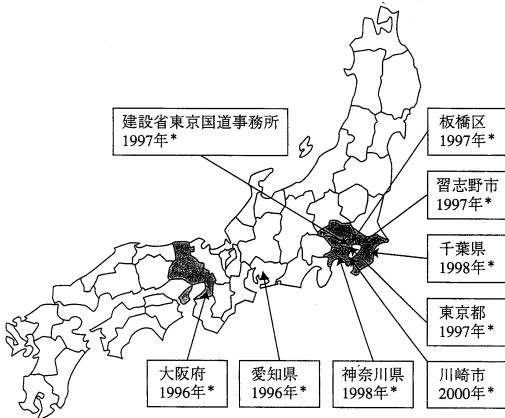


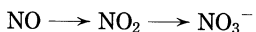
図1 自動車NO<sub>x</sub>法の特定地域と地方自治体などの光触媒によるNO<sub>x</sub>の除去試験, または, 施工  
\* : 試験または施工を開始した時期  
■ : 自動車NO<sub>x</sub>法の特定地域のある都府県

るもある<sup>12)</sup>。図2に川崎市で行われたNO<sub>x</sub>除去インターロッキングブロックの施工写真を示す。

### 3 光触媒によるNO<sub>x</sub>除去とほかの対策との比較

NO<sub>x</sub>の環境濃度は汚染地区でも0.04~0.5 ppm程度である。沿道などの環境中のNO<sub>x</sub>除去技術はきわめて低濃度の汚染物質を効率よく除去することが必要であり, 対策技術の開発が行われている。排出されたNO<sub>x</sub>を環境から取りのぞく対策として, 自治体では, 光触媒, 植物, 土壌, 吸着剤による大気浄化を検討している。

光触媒によるNO<sub>x</sub>除去は, 次の式のように, 紫外線が照射されることにより, 光触媒である酸化チタン表面に発生した活性酸素(O<sub>2</sub><sup>-</sup>, OH)とNO<sub>x</sub>が反応し, 硝酸イオンに酸化されることにより進行する。



太陽光線に紫外線は4%含まれており, 太陽光線によるNO<sub>x</sub>除去反応が可能である。光触媒による対策は, 自動車排ガスを直接浄化するよりも, 太陽光線などの光を利用する低濃度の沿道大気中のNO<sub>x</sub>の除去に向いている。このため, 沿道のNO<sub>x</sub>除去技術として検討されている。

一方, 植物はNO<sub>x</sub>を吸収し, 大気を浄化するが, 場所をとる, 剪定が必要, 落葉するため, 冬は効果が少ないなどの問題がある。土壌脱硝法は, 土壌中大気を通気させることにより, 汚染大気を浄化する方法

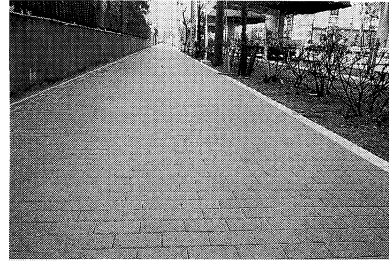


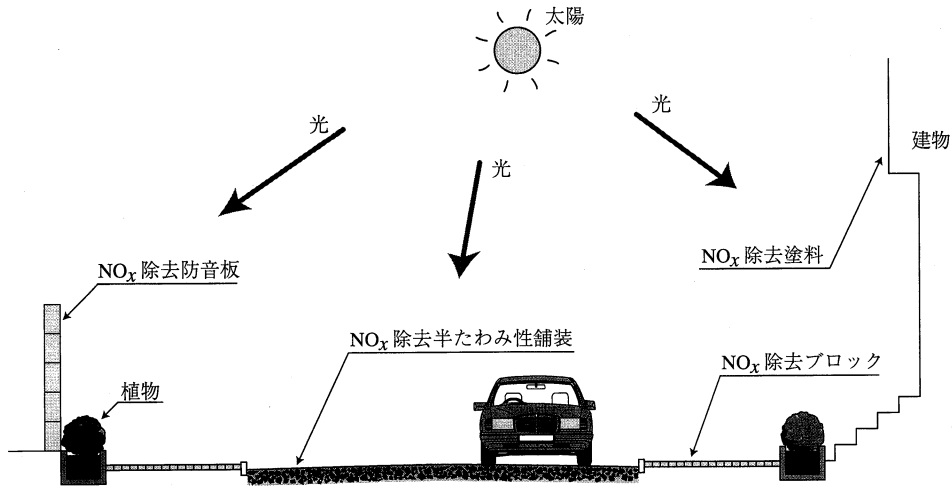
図2 NO<sub>x</sub>除去ブロックの施工例(川崎市)

であり, 高い大気浄化性能をもつが, 土壌を設置するスペースが必要である。高度汚染地区である大都市部においては地価も高く, 環境浄化設備のための必要なスペースが少なく, このため, 樹木や土壌脱硝法は, 必要なスペースの確保が問題となる。また, 吸着剤による大気浄化法は, NO<sub>x</sub>を吸着した材料の後処理が必要であり, メンテナンスのためのエネルギーを使用する。大気中に拡散したNO<sub>x</sub>を濃縮して, 薬品類による化学処理を行えば吸収, 無害化することが可能である。しかし無害化のためのエネルギーが化石燃料の燃焼によっている場合, 二次的な環境汚染を引き起こす可能性もあり, 総合的な検討が必要である。

道路資材や舗装として光触媒材料を適用することにより, 大気を浄化する道路を作ることが可能である。このような方法によれば, 浄化設備が不要になる。光触媒による環境汚染対策は, 太陽エネルギーを直接のエネルギー源とするため, 二次的な環境汚染を引き起こす心配はない。これらの理由から, 光触媒はクリーンな太陽エネルギーを使用した省スペースの浄化技術として期待され, 図3に示すような各種材料として開発が進められている。

### 4 光触媒の固定とバインダーの選択

現在のところ, NO<sub>x</sub>除去のための光触媒は酸化チタンがもっとも適している。NO<sub>x</sub>を除去する光触媒材料とするためには, 何らかの方法によりこの酸化チタンを材料表面に固定する必要がある。固定方法としては, 表面に酸化チタンの薄膜層を作る方法と酸化チタンの粒子をバインダー材料に混入する方法とがある。除去反応のためには, ある程度の触媒層の厚みが必要であり, 厚い触媒層のほうが除去性能が高い。また, 薄い膜ははがれるなどの欠点があり, 性能が低下しやすい。このため, 薄膜よりも酸化チタン粒子をバインダー材料に混入する方法がとられることが多い。

図3 NO<sub>x</sub> 除去製品の用途

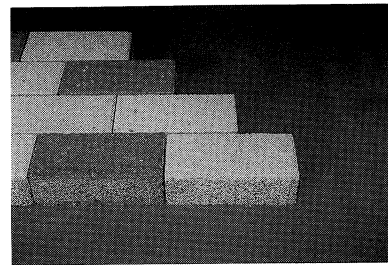
大気浄化のための効率的な光触媒材料の条件として多孔質であることが重要である。多孔質の材料は光触媒の表面にNO<sub>x</sub>が接触する面積を増加させることができ、また光のあたる面積も増やすこともできる。さらに多孔体に多数存在する孔は汚染物質NO<sub>x</sub>の吸着場所としても有効である。

バインダーで固定されたときに、酸化チタンの表面が露出することが必要である。アスファルトなどのように酸化チタン表面を覆ってしまうバインダーはNO<sub>x</sub>除去性能が低い。

また、光触媒作用により酸化チタンを固定するバインダーが分解劣化しないことも重要である。光の照射により活性酸素が発生することにより、光触媒材料はNO<sub>x</sub>を大気より除去する。しかし発生した活性酸素は光触媒を固定しているバインダーも酸化する。このため、酸化されやすい有機物質をバインダーとして使用した場合、バインダーは酸化されて表層から劣化し、はがれる。

セメント硬化体は、セメントの水和物で構成される多孔質であり、酸化劣化しないため光触媒のバインダーとして有利である。そのほかの環境浄化用の光触媒材料も同様に多孔質と酸化劣化しないとの条件を満たしているものが多く、フッ素樹脂系、無機系塗料の材料がある。

また、土木建築資材などの既存の材料に光触媒を担持させることが道路などのNO<sub>x</sub>除去のためには有効な手段となる。その場合、光触媒をバインダーで担持

図4 NO<sub>x</sub> 除去ブロック

したことにより、土木建築資材としての本来の性能を阻害しないことが必要である。

## 5 NO<sub>x</sub> 除去のための光触媒製品

### 5・1 舗装ブロック

セメントを光触媒の固定材料として用いた場合、その水和硬化組織は多孔質であるため、光触媒によるNO<sub>x</sub>除去効果が得られやすいという利点がある。しかしながら、その効果を最大限に引き出すには、製品種の選択が重要であることはいうまでもなく、その意味では舗装材料として用いられているインターロッキングブロックなどは好適といえる。インターロッキングブロックはコンクリートブロックであり、主に歩道の舗装あるいは車道の舗装に使用される。

光触媒を利用したNO<sub>x</sub>除去ブロック<sup>13)</sup>を図4に示す。光触媒用の酸化チタンを含有した6~8mmの厚

みの表層部と50~70 mmの厚みの基層部で構成される。標準的な製品は100×200×60 mmであり、透水性ポーラスコンクリートのブロックである。一般的なブロックと同様に着色と施工が可能である。図5にブロックの施工断面図を示す。

図6にブロックによるNO<sub>x</sub>除去の模式図を示す。路面に設置されたNO<sub>x</sub>除去ブロックに太陽光線に含まれる紫外線が照射され、活性酸素が生成される。大気中のNO<sub>x</sub>は活性酸素と反応して硝酸イオンとなり、ブロック上に固定され、大気からNO<sub>x</sub>を除去することができる。硝酸イオンは硝酸カルシウムのような形態で存在すると考えられる。硝酸が蓄積すると酸化チタンの活性低下により、除去性能が低下するが、雨により洗い流されて活性は回復する。舗装は、屋外の平面であるため、光触媒に必要な太陽光線と雨があたりやすい。また舗装面は、排ガスを出す自動車に近いので、比較的高濃度のNO<sub>x</sub>を処理することができる。図3にNO<sub>x</sub>除去ブロックとほかの光触媒材料の施工場所を示す。図にも明らかのように光触媒材料は道路周辺にある多くの材料に適応可能であると考えられている。とくに光触媒を担持したインターロッキングブロックは歩道および車道の部分に簡単に施工できる。

コンクリート製品を作るための方法には、流し込みによる成形と即脱製品のための振動プレスによる製法などがある。流し込みにより光触媒コンクリート製品を製造するためには、光触媒用の酸化チタン、セメントと水を混合し、型枠に流し込み振動成型後、養生硬化させる。しかし流し込み成形の過程で微粒子の酸化チタンは流動性を低下させる。このため、流し込み成形では光触媒コンクリートの成形がむずかしい。一

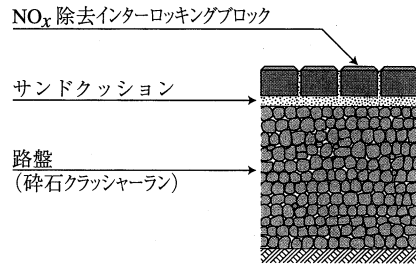


図5 舗装ブロックの施工断面図

方、即脱成形法の場合には、振動プレスにより成形することにより流動性や流動性が保たれる時間を考慮しないで済む。このため、光触媒を担持したブロックを成形するためには振動プレスを使用する。また即脱成型法によれば、光触媒製品を従来のブロック製造設備をそのまま使用して作ることができる利点もある。

### 5・2 光触媒半たわみ性舗装

アスファルトをバインダーとする光触媒材料は、アスファルトが酸化チタン粒子を覆うため、NO<sub>x</sub>の除去性能が低い。NO<sub>x</sub>を除去する舗装としては、光触媒とセメント系の材料が望ましい。一方、アスファルト舗装は安価であるが、耐久性に劣るため重交通地域の道路においては舗装面の損傷が激しい。セメント系の舗装は耐久性が高く、双方の利点を取り入れ、補修間隔を長期化するため、アスファルト舗装にセメント系材料を注入、複合化した半たわみ舗装が使用されている。図7に示すように、セメント系材料と光触媒用酸化チタンとの組み合わせた半たわみ注入材料を開発している。交差点などの重交通地域はNO<sub>x</sub>汚染が激しく、有効な対策となることが期待されている。

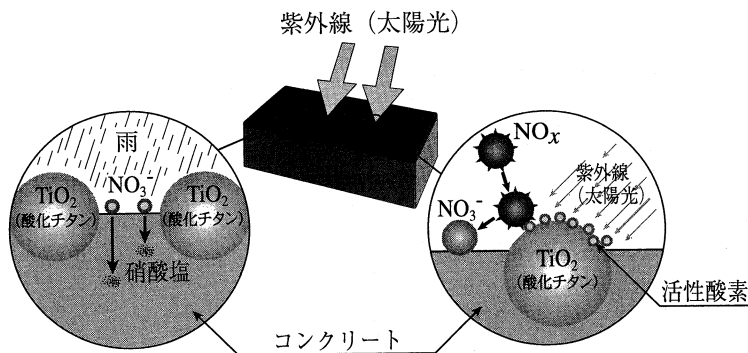


図6 光触媒を担持したブロックによるNO<sub>x</sub>除去の模式図

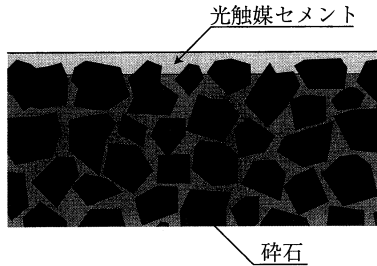


図7 半たわみ性舗装の断面図

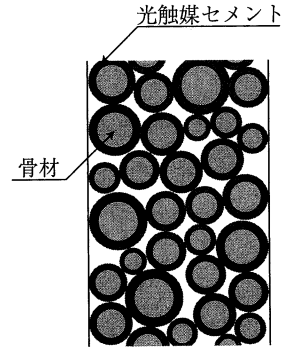


図8 防音板の断面図

### 5・3 防音板

図8に示すように、ポーラスコンクリートは連続空隙を有するため、吸音性能がある。また光や空気が内部まで入るため光触媒をポーラスコンクリートに担持させるとNO<sub>x</sub>除去効率の向上が期待できる。このような光触媒ポーラスコンクリートは自動車排ガスの浄化と騒音の低減のための道路用大気浄化防音板材料として有望である。同様な目的で、金属系の防音板に光触媒塗料を塗布した材料も開発されている。

### 5・4 セメント系塗布剤

セメント、光触媒用酸化チタン、混和剤と水を混合する塗布剤が開発されている<sup>14)</sup>。この塗布材は吹き付けあるいはローラーにより塗布することが可能で、アスファルトの透水性舗装にこの塗布材を吹き付ける工法が提案されている。

### 5・5 無機系塗料

酸化チタン粉末を無機質のバインダーに分散させた大気浄化用の光触媒塗料も開発されている<sup>15),16)</sup>。塗料においても、光触媒による塗膜の劣化を防ぐため無機質を主体として、多孔質の塗膜とする工夫がされている。これらの塗料により、ガードレールや建物などに光触媒塗装をすることが可能である。

### 5・6 フッ素樹脂シート

フッ素樹脂は安定な化合物であり、耐候性の高い物質である。光触媒による劣化も受けにくい。このため、フッ素樹脂と光触媒用の酸化チタンを混合して、シート状の多孔質材料となるように圧延した光触媒材料が開発されている。酸化チタン含有量の多い材料にできるため、高いNO<sub>x</sub>除去性能の材料とすることができる。

## 6 NO<sub>x</sub> 除去効果の測定方法

光触媒材料によるNO<sub>x</sub>除去効果の測定は、NO<sub>x</sub>の除去反応速度を求めることと等価である。反応速度

は、NO<sub>x</sub>の吸着から光触媒反応、硝酸イオンの脱離までの一連の反応ステップの反応速度に関する要因の関数となる。このため普遍性のある有用なデータを得るためには、NO<sub>x</sub>の吸着速度、光強度などの測定条件を適切な一定値に設定できる測定方法が必要である。また、再現性がよく、実際の使用状況を反映できる方法が好ましい。

現在、除去性能の測定に、流通式反応装置あるいはバッチ式の反応装置を使用することが一般的である。バッチ式では、反応容器中に光触媒材料を入れ、NO<sub>x</sub>ガスを注入し、光を照射してNO<sub>x</sub>ガスの減少を測定する。バッチ式は一定のNO<sub>x</sub>濃度での除去性能を連続して測定できない。また光触媒材料表面の風速を調整することがむずかしいなどの欠点がある。さらに、NO<sub>x</sub>の光触媒表面への物質移動が反応の律速段階となる場合には、風速と乱流の発生が反応速度に関係するため、バッチ式の反応装置は再現性のある結果を得にくい。一方、流通式の場合には、一定の物質移動速度と大気組成で連続測定できるため、再現性のあるデータを得やすい。

NO<sub>x</sub>除去ブロックのNO<sub>x</sub>除去性能の測定は流通式の図9に示すような装置を使用する<sup>17)</sup>。100×200×60 mmのブロックを図10に示す反応容器に入れる。フローコントローラーによりNOガスと空気を混合し、模擬汚染ガスを作る。濃度1 ppmの模擬汚染ガスを毎分1.5 lで反応容器内に連続的に流し、ブラックライトにより0.6 mW・cm<sup>-2</sup>の紫外線を試験片に照射する。反応容器入口および出口のNOとNO<sub>x</sub>濃度を化学発光式NO<sub>x</sub>測定機により12時間連続で測定し、このNO濃度とNO<sub>x</sub>濃度からNO除去率とNO<sub>x</sub>除去率の12時間平均値を算出する。

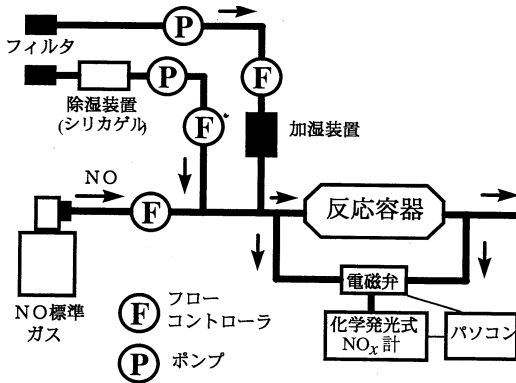


図9 NO<sub>x</sub> 除去性能測定装置

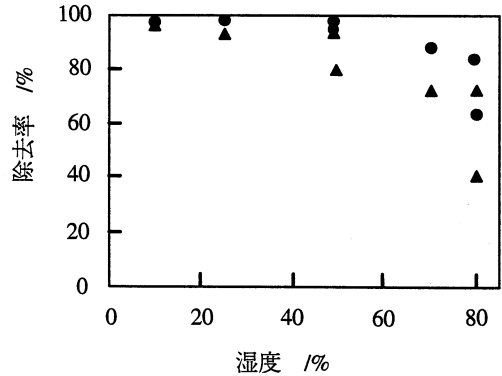


図11 相対湿度と除去率の関係  
▲ : NO<sub>x</sub> 除去率, ● : NO 除去率

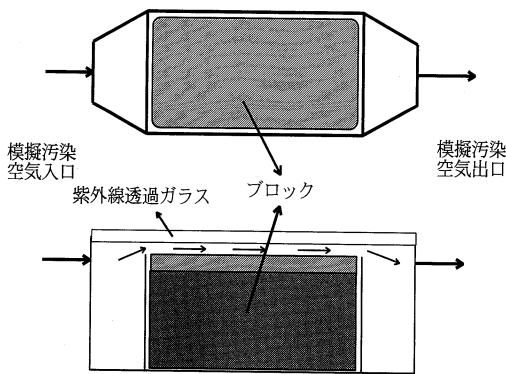


図10 反応容器

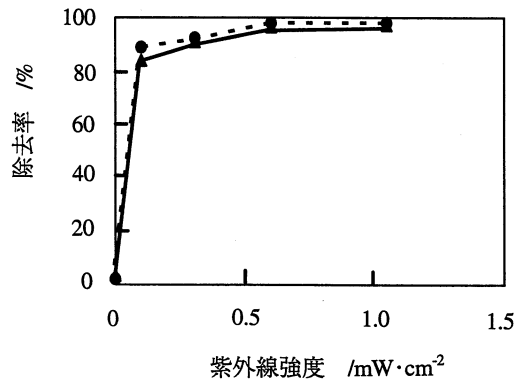


図12 紫外線強度と除去率の関係  
▲ : NO<sub>x</sub> 除去率, ● : NO 除去率

### 7 NO<sub>x</sub> 除去ブロックの性能

相対湿度とNO<sub>x</sub>の除去率の関係は図11に示したようになる。NO<sub>x</sub>の除去率は模擬汚染空気からNO<sub>x</sub>を取り去った割合であり、通常の大気湿度においてNO<sub>x</sub>除去が可能であることを示す。高湿度の場合には除去性能が低下する。酸化チタン表面へ吸着した水分子がNO<sub>x</sub>の吸着を妨害するためと考えられる。

図12に紫外線強度(UV-A：波長315～400 nm)とNO<sub>x</sub>除去率の関係を示す。0.1 mW・cm<sup>-2</sup>以上の紫外線を照射することによりNO<sub>x</sub>を除去した。一方、紫外線を照射しない時にはほとんどNO<sub>x</sub>を除去していない。このためNO<sub>x</sub>の除去反応は、たんに吸着ではなく、光触媒反応により起こっていることを示す。夏の直射日光の中に含まれる紫外線は3～4 mW・cm<sup>-2</sup>である。冬の曇り日の紫外線量は年間で最低の強度であるが、0.1 mW・cm<sup>-2</sup>程度である。このことから光

触媒は年間を通じて除去効果を発揮すると考えられる。

図13にNOの供給濃度と除去率の関係を示した。NOガスの濃度を0.05～5 ppmの間で変化させ除去率をしらべた。0.05～1 ppmの範囲で除去率はほぼ一定であり、現在の沿道における汚染大気中のNO<sub>x</sub>濃度はこの範囲内に入るため環境レベルの低濃度汚染大気の浄化が可能である。NOの光触媒による除去反応はNO<sub>2</sub>に一度酸化されてから硝酸イオンに酸化されると考えられている。このため、NO<sub>x</sub>濃度が高い場合など負荷がかかる場合、中間生成物であるNO<sub>2</sub>が発生する可能性がある。光触媒材料をNO<sub>2</sub>を吸着しやすい多孔質として、NO<sub>2</sub>を放出しにくい材料とする必要がある。活性炭などの吸着剤と酸化チタンを組合わせて発生を防ぐことも行われている。この点、セメント硬化体はNO<sub>2</sub>を吸着しやすく、多孔質であるため

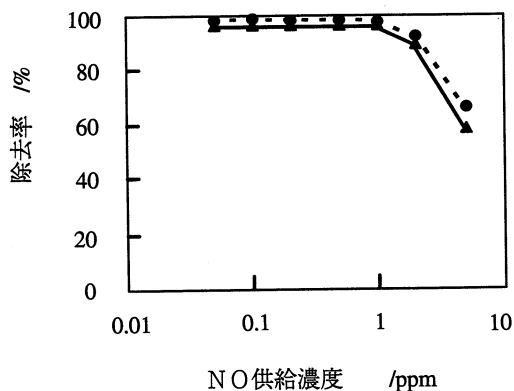


図13 NO 供給濃度と除去率の関係  
▲ : NO<sub>x</sub> 除去率, ● : NO 除去率

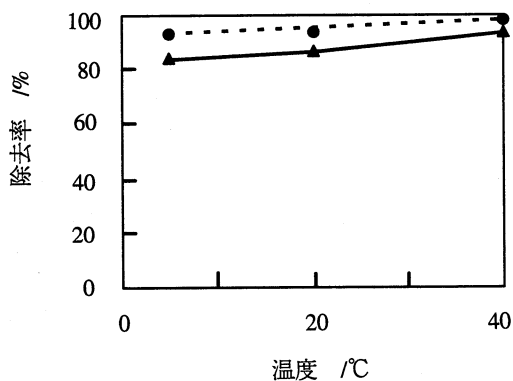


図14 温度と除去率の関係  
▲ : NO<sub>x</sub> 除去率, ● : NO 除去率

有利である。

図14に環境温度と除去率の関係を示す。大きな差はないが、温度が高い条件で除去率は高くなった。高温では反応速度が早くなるためと考えられる。

反応容器を屋外に設置して3日間、模擬汚染ガスを流し、太陽光線による屋外除去試験を行った。図15に示すように太陽光線によっても十分な除去性能が得られた。太陽光線に含まれる紫外線によって浄化したが、太陽光線のあたらぬ夜間には除去性能は示さなかった。

効果の持続性については検証がつけられているところである。原理的には、太陽光線が照射されれば、光触媒材料は消耗する材料がないため効果は持続するはずである。しかしブロックの表面に対する各種の汚れの付着により性能は低下する。このような点につい

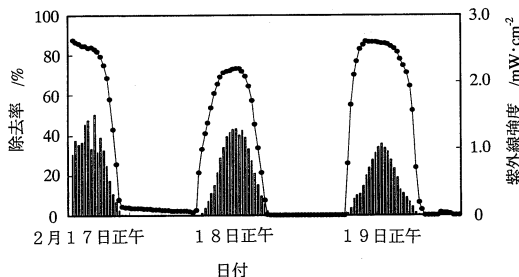


図15 太陽光線によるNO<sub>x</sub>除去実験(大宮市冬期)  
棒グラフ: 紫外線強度, ● : NO<sub>x</sub> 除去率

ては今後とも暴露試験を行うとともに材料の改善をつづける必要がある。また除去性能もさらに向上させる必要がある。

光触媒材料によるNO<sub>x</sub>の除去において生成した硝酸による酸性の洗浄水が排出される懸念があった。しかし自治体などの沿道暴露試験において、光触媒材料の洗浄液はほぼ中性となる結果が得られている<sup>10)</sup>。このため、光触媒材料による酸性排水の心配はいらぬこととなる。この結果はセメント系光触媒材料以外のアルカリ性を示さない光触媒材料について得られている。沿道の大気中にはアルカリ性の粉塵が含まれるため、洗浄液は粉塵により中和されると考えられている。もし粉塵による中和がなくても、沿道大気のNO<sub>x</sub>濃度は比較的低濃度であるため、コンクリートの溶解に大きな影響を及ぼさないと考えられる。現在開発されている光触媒材料の大気からのNO<sub>x</sub>の除去量は0.5~3 mmol·m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>の範囲である。この範囲でNO<sub>x</sub>を除去したとしてブロック表面の溶解量を試算すると、年間で0.1 mm程度となり、粉塵による中和効果と合わせて、ブロックの耐久性は十分にあると考えられる。また、NO<sub>x</sub>除去ブロックの強度、表面性状は通常のインターロッキングブロックと比較して大きな違いはなく、通常の製品と同様に施工できる。

## 8 おわりに

セメント系の材料は安い、つよい、耐久性があるなどの理由から、土木建築分野で多量に使用されている。これらの材料に機能性を付与して、環境浄化の役割を担わせることができれば、環境問題に寄与できるとともにセメント材料の新たな利用分野の開拓につながるものと考えている。光触媒とセメントとの組み合わせは有利な点をもっている。これらの利点をいかして、光触媒による環境浄化技術について沿道の環境に

おける性能, 長期の試験をかさねて, 高性能の製品を開発する必要がある. さらに光触媒浄化技術は太陽光線を利用することから広い面積に施工できるように, 広範囲の製品開発も要求される.  $\text{NO}_x$  の除去技術開発は緊急の課題であり, 光触媒材料は環境製品として期待される.

## 文 献

- 1) 竹内浩士, 大気環境学会誌, **3**, 139 (1998).
- 2) 藤嶋 昭, 橋本和仁, 渡辺俊也, “光クリーン革命”, (1997).
- 3) 竹内浩士, 村澤貞夫, 指宿堯嗣, “光触媒の世界”, (1998).
- 4) 村田義彦, *J. Soc. Inorg. Mater. Japan (Muki-Materiaru)*, **7**, 50 (2000).
- 5) WHO, “窒素酸化物”, (1999).
- 6) 環境庁, “環境白書平成10年版”, (1998).
- 7) 大阪府, “光触媒による  $\text{NO}_x$  浄化建材実用化調査報告書”, (1996).
- 8) 大阪府, “平成10年度環境改善に関する調査研究要旨集”, (1999) p. 16.
- 9) 桜井哲男, 環境管理, **22**, 33 (1998).
- 10) 竹内浩士, 工業材料, **6**, 88 (1999).
- 11) 遠藤正昭, 資源環境対策, **35**, 7 (1999).
- 12) 町井克巳, 土木施工, **12**, 17 (1999).
- 13) Y. Murata, H. Tawara, H. Obata, K. Takeuchi, *Journal of AOTs*, **4**, 227 (1999).
- 14) 野々山登, 資源環境対策, **35**, 539 (1999).
- 15) 久保真治, JETI, **2**, 83 (1999).
- 16) 沢野新吾, JETI, **10**, 78 (1998).
- 17) 田原英男, 村田義彦, 竹内浩士, 指宿堯嗣, “大気環境学会講演要旨集”, (1998) p. 477.

## 筆者紹介

村田義彦 (株)宇部三菱セメント研究所主席研究員

1972年東京工業高等専門学校工業化学科卒, 同年三菱鉱業(株)入社, 1973年三菱鉱業セメント(株)中央研究所, 1990年三菱マテリアル(株)セメント研究所, 1999年(株)宇部三菱セメント研究所, 現在に至る.

連絡先 〒330-0835 埼玉県大宮市北袋町  
1-297(勤務先)

(1999. 12. 10受付)  
(2000. 2. 22受理)

## —第9回表面改質夏季セミナー参加募集—

—21世紀における表面改質技術の展望—

主催 材料技術研究協会  
協賛 無機マテリアル学会  
日時 平成11年7月13日(木)~15日(土)  
会場 松下電器産業(株)セミナーハウス  
(大阪府吹田市青葉丘南10-1)  
参加費 表面改質研究会員 48,000円, 一般  
53,000円(テキスト代, 見学会費, 交流会  
費, 宿泊費などを含む)

申込先 〒114-0005 東京都北区栄町43-12  
材料技術研究協会・表面改質研究会  
Tel 03(3912)7890 Fax 03(3912)7890  
申込方法 申込書を上記へ, 参加費は下記にお振込  
み下さい.  
銀行振込: 第一勧業銀行御徒町支店  
(091) 普通口座 1380552(表面改質研  
究会)