

大気を浄化する機能を持つ光触媒舗装 「フォトロード工法」

野々山 登

都市部での大気汚染は一時期よりも改善の兆しを示しているが、道路周辺での自動車排気ガスにより二酸化窒素濃度は環境基準を上回っているところもあり更なる低減が求められている。

光触媒材料は自然エネルギーである太陽光を受けることにより、大気汚染物質を処理する機能を持つため環境技術として応用技術の開発が期待されている。光触媒建材による処理はパッシブであり単位面積当たりの除去量が比較的小さいため広大な面積の活用が必要である。フォトロード工法は自動車排気ガスの発生源に近い舗装面が無機化合物であるセメントと光触媒混合物により効果的にNO_xを処理する工法である。

キーワード：光触媒，舗装，窒素酸化物，大気浄化，ヒートアイランド，遮熱

1. はじめに

走行する自動車から排出される排気ガス中に含まれている大気汚染物質である窒素酸化物（NO_x）の主体は一酸化窒素（NO）であるが、排出後拡散に伴って太陽光等の作用で酸化されて環境基準が定められている二酸化窒素（NO₂）に変化する。

本工法は舗装表面に固定した光触媒の強い酸化作用でNO_x（NOおよびNO₂）を酸化して最終的に硝酸カルシウムとして固定させて処理するものである。

本工法は安価で物性・施工性などが優れているため一般的に用いられているセメントおよび光触媒を主体としNO_x処理性能も高いため、光触媒を活用した環境改善技術の先駆的な事例として期待されている。

本工法はゼネコンの(株)フジタおよびセメントメーカーの太平洋セメント(株)、光触媒メーカーの石原産業(株)、道路施工会社であるフジタ道路(株)の異業種4社による共同技術開発により事業化したものである。

フォトロード工法の技術開発・事業化の経緯は以下のようなものである。

- ① 1999年：技術開発に関するプレス発表を行った。また、千葉県発注工事でわが国初の光触媒舗装を施工した。
- ② 2004年：フォトロード工法の開発・事業化に関して、日経BP技術賞建設部門賞および第一回エコプロダクツ大賞推進協議会会長賞を受賞した。
- ③ 2007年：太陽光の赤外線を反射して遮熱機能を持た

せた表面温度低減型フォトロード工法を開発した。

- ④ 2008年：フォトロード工法開発4社と三菱マテリアル(株)、東京舗装工業(株)グループとの間で現場施工の光触媒舗装に関する無償クロスライセンス契約を締結した。

2. 技術の概要

(1) NO_x 処理

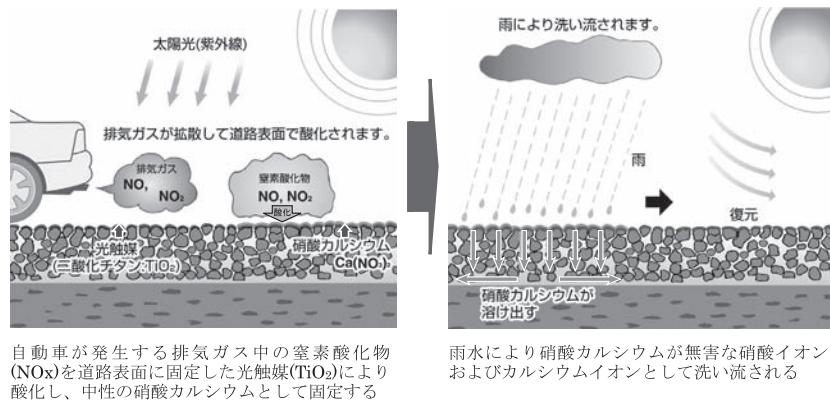
本工法は舗装の表面に光触媒（二酸化チタン：TiO₂）を含む塗布材を塗布しているため、自動車排気ガスが拡散により希釈する前に効率的にNO_xを処理することができる。

舗装表面は走行するタイヤによる磨耗があるため、空隙率の大きい排水性（或は低騒音）舗装を対象とし、塗布後、ゴムレーキを使用して凹部に流し込むことによりNO_x処理性能の耐久性改善を行うなどの工夫を行っている。

太陽光エネルギーを受けた光触媒により酸化した大気中のNO_xは、塗布材のセメント成分であるカルシウムと化合して無害で有益な肥料成分である硝酸カルシウムとなる。

硝酸カルシウムは降雨時に雨水に溶けて硝酸イオンおよびカルシウムイオンとして流出する。

図—1にフォトロード工法による大気中のNO_x処理のメカニズムを示す。



図一 フォトリード工法による NOx 処理メカニズム

(2) 表面温度低減

近年、都市部での環境問題として夏季の昼間に太陽光を受けて舗装表面温度が高くなることにより、ヒートアイランド現象の原因の一つとなっているため対策が求められている。

このようなニーズに対応して、NOx 処理機能に加えて表面温度を低減する工法を開発した。表面温度低減型フォトリード工法は以下の二つのタイプがある。

- ①遮熱タイプ：遮熱顔料を使用して太陽光中の熱エネルギーを効率的に反射することにより表面温度を低減するものである。
- ②保水性舗装との組合せ：保水性舗装の表面にフォトリード工法を施工するものである。低騒音性、排水性を確保するために、保水材の充填率を抑えて表面に空隙を残す施工を行う場合に適用可能な工法である。

(3) 施工方法

フォトリード工法は舗装のセンターラインおよび車線ラインなどを養生テープ等で養生して、本工法用に開発した施工プラントを使用して光触媒含有塗布材 (ST-PR) を塗布することにより施工する。施工状況を写真一に示す。

施工プラントは光触媒、珪砂、無機顔料等を含む早強セメント (主剤) に水および流動性など物性をコントロール



写真一 フォトリード工法施工状況

する助剤を混合槽により混合した後、ローラー付支持台のノズルから噴霧して舗装表面に塗布するものである。

本施工プラントの施工能力は約 200~300 m²/h であり、塗布材料混合部分 (写真一) はトラックに搭載して舗装の塗布作業の進行に伴って移動しながら施工を行う。

道路を通行止めにした夜間から翌朝までの道路改修工事に適応できるように、塗布後約 5 時間で硬化して自動車の走行が可能となる。



写真二 フォトリード工法施工プラント (トラック搭載部分)

(4) 適用領域

フォトリード工法は本来、排水性 (低騒音) 舗装を下地として開発したが、耐重荷重舗装への適用を目指して施工技術を改良することにより半たわみ性舗装への適用が可能となった。

半たわみ性舗装は空隙率の大きい開粒度アスファルト混合物に浸透用セメントミルクを注入することによりアスファルト舗装のたわみ性とコンクリート舗装の剛性を兼ね備えた耐久性を持つ舗装である。

標準フォトリード工法は、黒色顔料を数%添加して灰色としているが、表面温度低減型フォトリード工法は、太陽光のうち赤外線を反射させるため遮熱顔料を使用している。

表面温度低減型フォトリード工法は白、オレンジ、青の 3 色のカラー舗装であり適用領域は主に歩道の舗

表一 各種フォトロード工法の適用範囲

技術の種類	適用舗装の種類	適用領域	色
標準 フォトロード	・排水性舗装 ・半たわみ性舗装 (耐重荷重舗装) ・保水性舗装	車道 歩道 駐車場	灰色
遮熱性 フォトロード	・排水 (或は透水) 性舗装 ・半たわみ性舗装 ・保水性舗装	歩道 駐車場	白 オレンジ 青

装用である。表一に標準タイプおよび遮熱性フォトロードの対象となる下地舗装，適用領域等を示す。

3. 試験結果

(1) NOx 処理性能

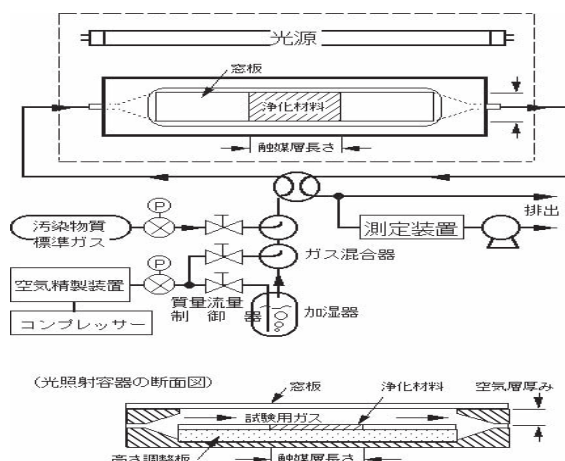
①流通式処理試験 (JIS 法)

光触媒材料による NOx 処理性能の試験法としては，JIS R 1701-1「光触媒材料の空気浄化性能試験方法—第一部:窒素酸化物の除去性能」(2004.1 制定)がある。

これは光触媒材料の性能評価法として最初に制定した JIS 法である。

本試験方法は一定の大きさ (5 cm×10 cm) にカットした供試体をセルに入れ，UV ランプにより紫外線を照射して一酸化窒素 (1 ppm) を含む空気を一定の流速で流し，入口および出口の NOx 濃度を測定することにより光触媒材料の NOx 処理性能を求めらるものである。図一に試験装置の概要を示す。

本法によるフォトロード工法塗布材の試験結果 (表一) は，除去率 35～38%，除去量 14～15 μmol である。この値は一般的な光触媒を含有する有機ポリマー系塗料と比較して，非常に高く優



図一 JIS 法光触媒材料による NOx 処理性能試験装置の概要

表一 JIS 法による NOx 処理性能試験結果

試料の種類	除去率 (%)	除去量 (μ mol)
フォトロード塗布材	35～38	14～15

試験条件：

- (1) 供試体寸法：50×100 mm
- (2) NO 供給濃度：1 ppm
- (3) 紫外線強度：1mw/cm² (4) 相対湿度：50%
- (5) 流速：3L/min (6) 測定時間：5 h

れた NOx 処理性能を持つことを示している。

②硝酸イオン量より求める方法

大気中の NOx を光触媒により処理する場合，硝酸が生成しセメント系材料では硝酸カルシウムとして固定されるため，舗装表面降雨水或は洗浄水中の硝酸イオン量より処理量を測定する方法である。

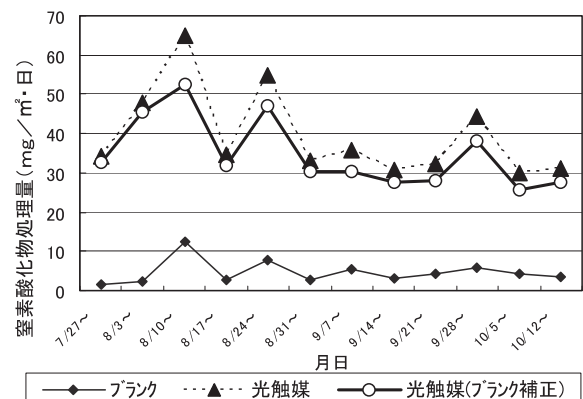
都市部の高速道路横にフォトロード工法およびブランク測定用供試体を設置して (写真一)，1 週間ごとにこの間の降雨水および洗浄水を採取して測定した結果を図一に示す。

3 か月間の測定結果 (二酸化窒素換算値の平均値) は 35 mg/m²・日であった。また，NOx 処理性能測定場所周辺での大気中の NOx 測定値を表一に示す。

また，交通量が非常に多く大気汚染の激しい都内環状 7 号線 (中央分離帯に供試体を設置，大気中の NOx 測定値 1.2～1.5 ppm) での NOx 処理量測定



写真一 高速道における NOx 処理量測定状況



図一 現地における NOx 処理量測定結果 [場所：高速道路]

表一三 高速道路近傍での窒素酸化物濃度測定結果

測定場所	NO 濃度 (ppm)	NO ₂ 濃度 (ppm)	NO _x 濃度 (ppm)
道路舗装面	0.170	0.044	0.215
試験体架台	0.153	0.044	0.197
道路側壁	0.088	0.038	0.126

値(二酸化窒素換算値)は 60 ~ 70 mg/m²・日であった。

この値(平均値 65 mg/m²・日)は、ガソリン乗用車が 40 km/h の速度で走行することにより発生する NO_x 量が 0.0401 g/km (「道路環境影響評価の技術手法」(財)道路環境研究所, 平成 12 年)であるため、一車線(幅 5 m)あたり約 8,100 台/日の乗用車が排出する量に相当する。

(2) 物性

排水性舗装表面に光触媒塗布材を塗布した供試体の物性値を表一四に示す。

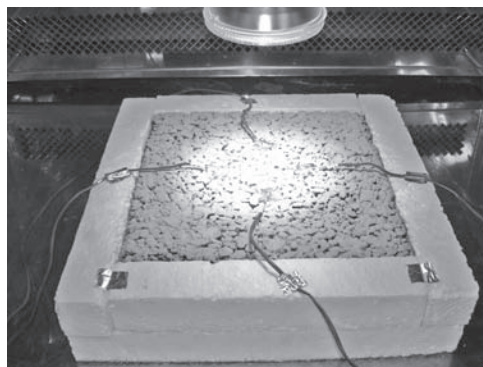
本試験に使用した供試体下地となる排水性舗装は基準密度 1.900 g/cm³, 目標空隙率 20%, 厚さ 50 mm である。本工法の標準塗布量は 900 g/m² であり, No.2 が標準仕様, No.1 は半分, No.3 は 2 倍塗布した場合の測定結果である。

排水機能を示す透水試験結果は未塗布および塗布後においていずれも 4 秒台であり, 目標値 10 秒以内をクリアしている。また, すべり抵抗試験(BPN)も車道の目標値である 60 以上に対していずれも 80 以上であった。

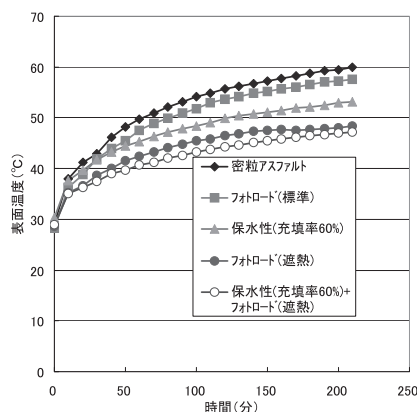
磨耗量(ラベリング試験)は塗布量が増えるにしたがって減少しており, 舗装表面の物性改善効果が期待できることを示す結果であった。

(3) 表面温度低減性能

恒温恒湿装置内で太陽光模擬ランプにより光を照射



写真一四 室内光照射試験による表面温度測定状況



図一四 室内光照射試験による表面温度測定結果

して, 一定時間ごとに供試体の表面温度を測定する室内光照射試験(写真一四)の測定結果を図一四および表一五に示す。

表面温度低減型(遮熱タイプ)フォトロードは, 一般的な舗装である密粒アスファルト舗装(60℃到達時点)と比較して約 10℃の温度低減効果がある。また, 保水性舗装との組合せにより最大 -12.8℃の低減効果があった。

夏季屋外に供試体を暴露して表面温度を測定した結果もほぼ同じ程度(約 10℃)の温度低減効果が測定されている。

当社での試算によると東京都区部面積 621 km² のう

表一四 舗装試験体の物性測定結果

試験体 No.		1	2	3	目標値
塗布前	密度 (g/cm ³)	1.954	1.975	1.964	1.900 以上
	空隙率 (%)	21.4	20.6	21.0	20
	透水試験 (秒)	4.5	4.4	4.4	10 以内
光触媒塗布後	光触媒塗布量※1 (g/m ²)	422	884	2,103	
	密度 (g/cm ³)	1.962	1.993	2.006	1.900 以上
	透水試験 (秒)	4.3	4.5	4.6	10 以内
	すべり抵抗試験 (BPN)	96	80	82	60 以上
	磨耗量※2 (cm ²)	1.83	1.19	0.39	

※1: 光触媒固定剤を含む

※2: ラベリング試験による値

表一5 室内光照射試験表面温度測定結果

項目	密粒 アスファルト 舗装	遮断タイプ 「フォトロード」	保水性舗装 (充填率 60%)	保水性舗装 (充填 率 60%) + 遮断タ イプ「フォトロード」
表面温度 (°C)	60	48.4	53.2	47.2
温度差 (°C)	-	- 11.6	- 6.8	- 12.8

試験条件：

- (1) 室温：30°C (2) 相対湿度：50%
- (3) ランプ：白熱電球 (120w)
- (4) ランプ高さ：19 cm
- (5) 供試体寸法：300×300×(厚さ) 50 mm
- (6) 供試体養生：測定直前まで水浸 (30°C)

ち道路面積は 15.9% (約 99 km²) であり、すべて表面温度低減型フォトロード工法を採用すると舗装上数 m の高さでの平均気温の低下は約 0.25°C となる。

これは電力エネルギー削減量 (東京電力 2004 年度実績値 0.381 kg-CO₂/kWh 換算) から、夏季 1 カ月 (8 月) に二酸化炭素排出量を 2,000 t 削減したことに相当する。

また、森林による炭素吸収量 0.86 t/ha・y (農林水産研究情報センター「日本の森林炭素吸収量とその分布」資料より) から森林面積に換算すると 7,600 ha (東京都区部面積の 12%) となる。

4. 適用事例・施工実績

フォトロード工法は千葉県、さいたま市、東京都、兵庫県などの自治体発注による都心部の道路 (写真—5) および集合住宅、物流施設等の外構道路・駐車場などに適用されている。

これまでの施工数は 20 件以上、合計施工面積は約 28,000 m² である。

近年、建物の環境性能を総合的に評価するためのツールである CASBEE (建築環境総合性能評価システム) などの制定および環境技術に関する民間企業の意識の高まりを背景として、建物計画において積極的な対応を望む例が多く、環境技術としてフォトロード工法の提案および採用が増えてきている。



写真—5 施工後の状況 (都内)

5. おわりに

光触媒材料による道路舗装面等での大気汚染物質 (NO_x 等) の処理は無尽蔵のクリーンな太陽光エネルギーを活用しているため人工のエネルギーを使用せず、特別な維持管理が不要など多くの利点がある。

反面、パッシブな環境技術であり太陽光照射量、周辺大気中 NO_x 濃度などにより処理量の変動することおよび単位面積あたりの処理量が限られるなどの制約がある。

セメントと光触媒との組合せ材料は、①ポーラスであり表面積が大きい、②無機材料であり光触媒による酸化による劣化がない、③カルシウム成分を多く含みアルカリ性であり NO_x 酸化物をよく補足できるなどの特徴がある。

光触媒は本多・藤嶋効果と言われ我が国の研究者により発見されたものであり、商品化開発も積極的に行われ世界をリードしている分野であり、今後も本技術の普及拡大を目指していく予定である。

JICMA

《参考文献》

- 1) 野々山登他, 「光触媒舗装による大気中窒素酸化物処理特性に関する調査」日本環境化学会主催第 10 回環境化学討論会 (2001.5.24) p160 ~ 161
- 2) 野々山登: 「光触媒コーティング舗装の施工技術および窒素酸化物処理」, 環境管理, Vol.40, No.9 (2004) p39 ~ 45
- 3) 野々山登: 「表面温度低減型フォトロード工法」, 建設機械, Vol.44, No.2 (2008) p42 ~ 46
- 4) フォトロード: 建設資材情報・別冊, 特集 2009 年版 NETIS 登録資材工法紹介 (2009.4.1) p148

【筆者紹介】

野々山 登 (ののやま のぼる)

(株)フジタ

技術センター カスタマープロジェクト室

主席コンサルタント

