

# 空気浄化ユニットの開発

NO<sub>x</sub>除去性能への環境条件の影響

万字 角英<sup>\*1</sup>・生天目 泰<sup>\*1</sup>・長瀬 公一<sup>\*1</sup>

*Keywords : NO<sub>x</sub>, photocatalyst, low-pressure loss*

NO<sub>x</sub>, 光触媒, 低圧力損失

## 1. はじめに

交通量の多い都市部の道路や高速道路沿いでは、NO<sub>2</sub>などの環境基準の達成が困難な地域がある。全国の観測地点は、一般環境大気の汚染状況を常時観測する一般環境大気測定局（一般局）と、自動車走行による排出物質に起因する大気汚染の汚染状況を常時観測する自動車排出ガス測定局（自排局）からなる。自排局全体のNO<sub>2</sub>の環境基準達成状況は、平成18年度において90.7%であり、特に自動車NO<sub>x</sub>・PM法の対策地域では、83.7%と十分ではない<sup>1)</sup>。図-1に過去10年間の一般局と自排局のNO<sub>x</sub>の年平均値の推移を示す<sup>1)</sup>。本報でNO<sub>x</sub>と記す場合には、全窒素酸化物のうちNOとNO<sub>2</sub>の総称を意味する。NO<sub>x</sub>移動発生源では大部分がNOとして排出され、大気中で酸化されてNO<sub>2</sub>となるため、自排局ではNO濃度が高い値を示す。一般的には環境基準や健康影響などの観点からNO<sub>2</sub>への対策が優先されるが、特に自排局ではNO<sub>2</sub>とともにNO除

去の対策を講じる必要がある。このような環境下にあるオフィスビルでは、外気を建物内に取り込む際にNOおよびNO<sub>2</sub>などに汚染された空気を清浄化する技術が必要となる。従来のNO<sub>x</sub>フィルタは、NO<sub>2</sub>の除去が中心で、圧力損失が高く材料のリユースが困難であった。そこで筆者らは、リユース可能でNOおよびNO<sub>2</sub>を同時に除去できる光触媒塗布基板を内部に配置した空気浄化ユニットを用いて、省エネルギー・低環境負荷で汚染空気を清浄化する手法を検討した。本報では、光触媒塗布基板の有効な配置方法を見出し、さらに除去性能に与える環境条件について検討した結果を報告する。

## 2. 光触媒塗布基板のNO<sub>x</sub>除去機構

酸化チタン光触媒に380nm以下の紫外線が吸収されると、電子が価電子帯から伝導帯に励起し正孔が形成される。励起した電子は空気中の酸素を還元してスーパーオキシドアニオンを、正孔は吸着水を酸化してヒドロキシラジカルを生成する。大気中のNO<sub>x</sub>がこれらの活性物質と反応し、NO<sub>2</sub>を経て最終的には硝酸イオンにまで酸化される。本研究開発で用いた光触媒は、セメント材料と混合した塗材として基板に塗布されているため、硝酸イオンはセメント中のアルカリ成分と反応し硝酸カルシウムとして固定される。酸化チタン表面が硝酸カルシウムで覆われると光触媒機能が低下するが、硝酸カルシウムは溶解度が高く水洗により容易に除去されるため、リユースが可能である。

## 3. 空気浄化ユニットの性能設定

NO<sub>2</sub>に関する環境基準は、1時間値の1日平均値が0.04ppm～0.06ppmのゾーン内またはそれ以下であると

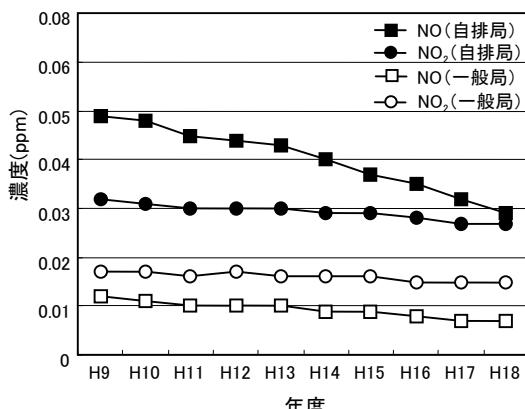


図-1 NO<sub>x</sub>濃度の経年変化  
Fig.1 Changes in NO<sub>x</sub> concentrations

\*1 技術センター建築技術開発部建築生産技術開発室

定められている<sup>2)</sup>。環境基準を設定する過程で、次の指針<sup>3)</sup>が考慮された。

(1) 短期曝露については、1時間曝露として0.1~0.2ppm。

(2) 長期曝露については、年平均値として0.02~0.03ppm。

このようなことから、空気浄化ユニットの性能として、次のような目標を設定した。

(1) 1時間値の1日平均値が環境基準(0.06ppm)を超える場合には、環境基準を達成する。

(2) 1時間値の1日平均値が0.03ppm~0.06ppmのゾーン内の場合には、0.03ppm以下に低減する。

平成17年度の自排局のNO<sub>2</sub>年間値測定結果<sup>2)</sup>から、1時間値が0.1ppm以上であった時間数が1年間で100時間を超過した測定局は、全437測定局のうち7ヶ所であり、最大でも186時間(東京都世田谷区の玉川通り上馬測定局)であった。このことから、NO<sub>2</sub>濃度が環境基準(0.06ppm)を超える場合であっても、0.1ppmを超える割合は低いことがわかる。

以上の内容を考慮して、NO<sub>2</sub>除去率の目標設定を40~50%程度とし、NO除去率もこれに準じることにした。

#### 4. 空気浄化ユニット試作器によるNO<sub>x</sub>除去試験

##### 4.1 試験装置の概要

図-2に空気浄化ユニット試作器の概要を示す。本体はNO<sub>x</sub>吸着の少ないアクリル樹脂で作製した角形のダクト形状で、天板には紫外線透過性の硼珪酸ガラスを着脱自在に設置した。また天板部には所定の位置に観測口を設け、風速計およびNO<sub>x</sub>測定用チューブの設置を可能にした。本体内部には、長手方向が300mmで断面の形状がT型、U型、W型のアクリル樹脂製固定部材の底面および側面に光触媒塗布净化材を固定した部材を、4ブロックずつ直列に配置した(例えば、U型→W型→U型→W型と配置した場合、UWUW配置と称する)。光触媒機能発現のための光源としては、省エネルギーおよび低廃棄物の観点から、ブラックライトなどを設置せず、太陽光のみを利用することにした。温湿度計は本体の入口底部に設置し、紫外線強度計のプローブは天板部に載置した。NO<sub>x</sub>濃度は、天板部に設けた観測口から常時サンプリングしながら連続的に測定できるようにした。

図-3に空気浄化ユニット試作器の試験区への設置状況を示す。本体前後には断面が同形状で長さ1mの

SUS製ダクトを連結し、入口側には風雨による雨水の浸入を防ぐための角ダクト45度エルボを、出口側には通風量を調節するためのインバータ制御ファンを接続した。

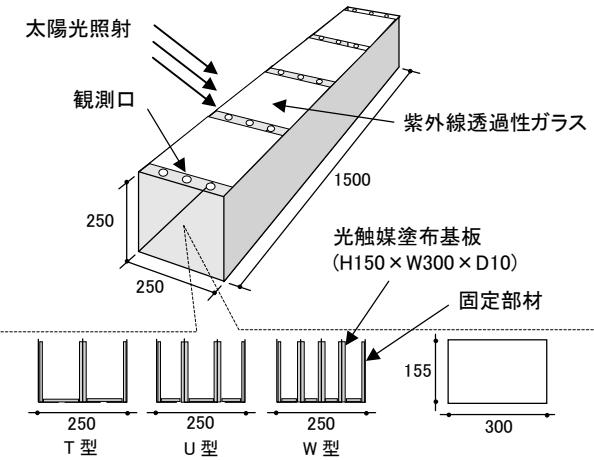


図-2 空気浄化ユニット試験器の概要  
Fig.2 Air cleaning experimental apparatus



図-3 NO<sub>x</sub>除去試験状況  
Fig.3 NO<sub>x</sub> removal test situation

##### 4.2 試験区の状況

試験区としては、当社技術センター内で交通量の多い道路(横浜新道)に最も近い場所(約18m)を選定した。横浜新道(川上IC~終点)における平日の12時間(7~19時)の交通量は、51159台(大型車混入率16.7%)となっていた<sup>4)</sup>。

##### 4.3 試験方法

本研究開発では、空気浄化ユニット試作器によるNO<sub>x</sub>除去率に与える環境条件の影響を検討した。各種データの取得は、出入口のNO<sub>x</sub>濃度、温湿度、風速(基本条件: 0.5m/s), 紫外線強度を常時モニタリングすることにより行った。データの比較は、毎分1回ずつ測定した値の1時間平均値で行った。このようにすることにより、時間とともに変化する各種環境条件が

複合した場合の  $\text{NO}_x$  除去率への影響に関する知見を得ることができる。複数の 1 時間平均値をさらに平均して得られた値を用いたグラフには、標準偏差をエラーバーで表示した。

#### 4.4 試験結果および考察

##### 4.4.1 湿湿度の影響

屋外試験で取得した多数のデータから、 $\text{NO}_x$  除去率に与える温湿度の影響について以下の知見が得られた。

$\text{NO}_x$  除去率に対する測定範囲内の温度の影響は、ほとんどみられなかった。一般に温度が高くなるほど化学反応は速く進む（10°C上昇で約 2 倍）が、ラジカル反応は温度の影響をほとんど受けない。物理吸着は温度が高くなるほど抑制されるが、化学吸着は促進する。空気浄化ユニットによる  $\text{NO}_x$  除去反応は、光触媒による化学反応およびラジカル反応が混在しており、また多孔質のセメント材料への物理吸着やアルカリ成分との反応による化学吸着などが複合的に作用するため、見かけ上は温度による影響がみられなかつたと推測される。

一方、相対湿度の影響はみられ、高湿度条件で  $\text{NO}_2$  除去率がわずかに低下した。光触媒反応の主たる活性物質であるヒドロキシラジカルは、紫外線の吸収により生じた正孔が吸着水と反応して生成されるため、湿度が上昇して吸着水が増加することにより、多く生成されると考えられる。しがしながら、高湿度条件で光触媒表面が過剰な吸着水で覆われると、紫外線受光量の低下、 $\text{NO}_2$  吸着量や反応性の低下など除去率に負の影響を与える可能性がある。

##### 4.4.2 紫外線強度の影響

屋外試験で取得した多数のデータから、 $\text{NO}_x$  除去率に与える紫外線強度の影響について以下の知見が得られた。

紫外線強度の増減と  $\text{NO}_x$  除去率の増減には概ね相関があったが、夏季には過剰となり、冬季にはやや不足する傾向がみられた。ただし、同じ紫外線強度の条件であっても（例えば朝と夕方）、 $\text{NO}_x$  除去率への影響が異なる場合があった。その条件に至までの紫外線受光量、受光時間が影響するものと考えられる。空気浄化ユニットとして機能を発揮するためには、概ね 4W/m<sup>2</sup> 以上の紫外線照射が必要であることがわかった。この値は必要十分ではなく、またこれ以下では大幅に性能が低下する場合があった。

##### 4.4.3 光触媒塗布基板の配置方法の影響

図-4 に 6 種類の基板配置における  $\text{NO}_x$  除去率の比較を示す。基板面積は W 型 > U 型 > T 型の関係にある

が、 $\text{NO}_x$  除去率は UTUT > UUUU であり、 $\text{NO}$  除去率は UWUW > WWWWW であった。このことから、基板面積が大きいほど除去率が高いとは限らず、流通空気の基板に接触する形態によっては、逆転する場合があることが明らかとなった。即ち、入口から 1 ブロック目の基板間を通過した未反応の汚染空気が、2 ブロック目の基板に接触するような配置の場合に、高い  $\text{NO}_x$  除去率が得られる傾向にあった。6 種類の中で最も効率的な  $\text{NO}_x$  除去率を示す配置は、UWUW 配置であることを見出し、以下の試験ではこの配置を用いることにした。

##### 4.4.4 風速の影響

$\text{NO}_x$  除去率に対する風速の影響を図-5 に示す。風速の上昇とともに  $\text{NO}_x$  除去率は低下するが、その傾向は  $\text{NO}_2$  に比べて  $\text{NO}$  が顕著であった。これは吸着性が低い  $\text{NO}$  の特性が影響していると推測される。また、0.5m/s および 1m/s の風速時の圧力損失は 0.8Pa と 2.1Pa であり、フィルタタイプに比べて極めて低いことを確認した。

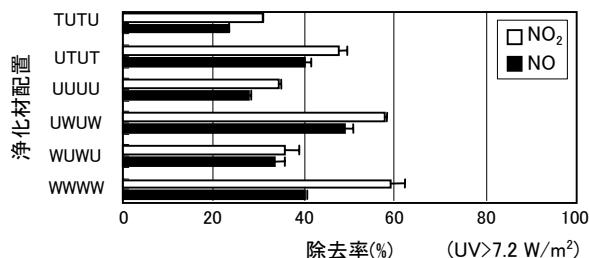


図-4 光触媒塗布净化材の配置と  $\text{NO}_x$  除去率の関係

Fig.4 Relationships between distribution of photocatalytic coating materials and  $\text{NO}_x$  removal rate

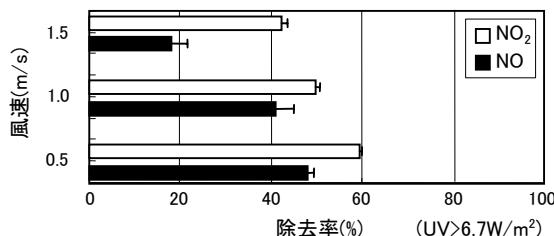
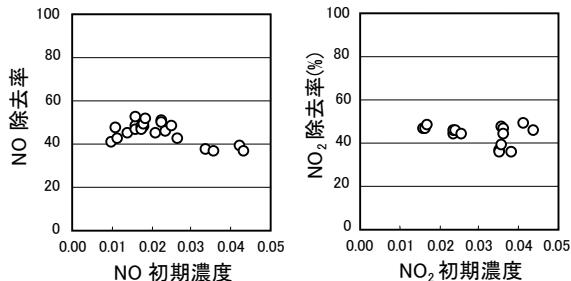


図-5 風速の  $\text{NO}_x$  除去率に与える影響

Fig.5 Influence of wind speed on  $\text{NO}_x$  removal rate

##### 4.4.5 $\text{NO}_x$ 初期濃度の影響

図-6 に  $\text{NO}_x$  初期濃度と  $\text{NO}_x$  除去率の関係を示す。 $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$  とも測定範囲内の濃度（0.05ppm 以下）では、除去率に大きな影響を与えなかった。さらに高濃度になるとこの傾向が変化する可能性はあるが、その他の環境条件が異なったため、図に示す範囲内での検討に留まった。

図-6 NO<sub>x</sub>初期濃度のNO<sub>x</sub>除去率に与える影響Fig.6 Influence of NO<sub>x</sub> initial concentration on NO<sub>x</sub> removal rate

#### 4.4.6 時間帯、天候の影響および経日変化

図-7には、初日が晴れ（昼夜）2日目が曇り（昼）の条件における、NO<sub>x</sub>除去率と各種環境条件の経時変化を示す。曇りにより紫外線強度が低下したため、NO<sub>2</sub>除去率は低下したが、NOはほとんど変化しなかった。また、他の環境条件によるNO<sub>x</sub>除去率への影響は、ほとんどみられなかった。夜間はNO<sub>2</sub>の吸着による減少がみられた。

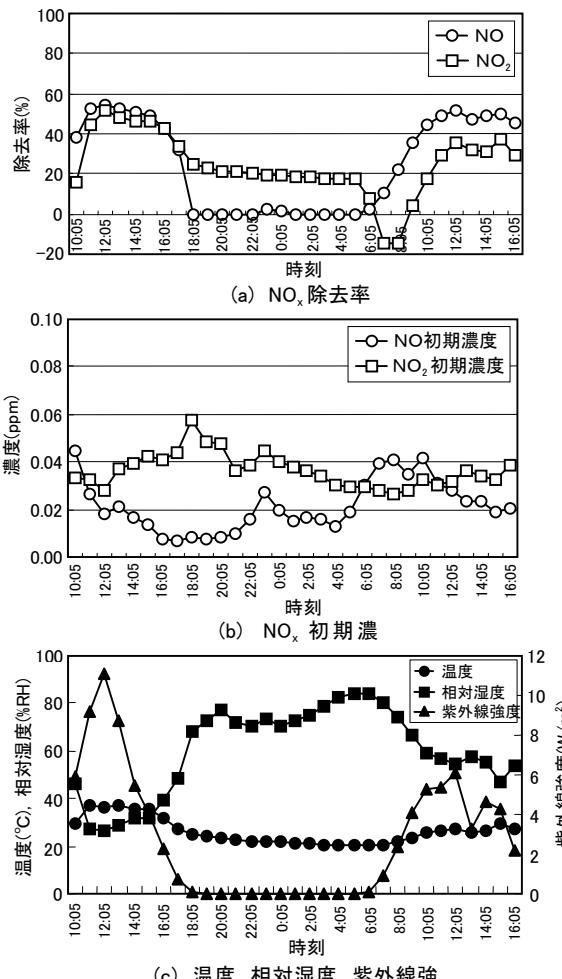
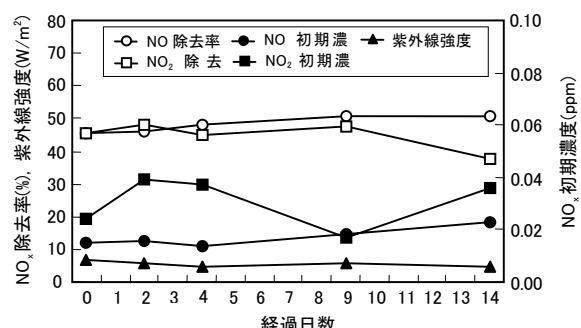
NO<sub>x</sub>除去率の2週間の経日変化を調べたところ、図-8に示すように、NO<sub>2</sub>のわずかな減少はみられるものの、NO<sub>x</sub>除去率を概ね維持することがわかった。

## 5. まとめ

空気浄化ユニットの性能を発揮するために、光触媒塗布基板の効率的な配置方法を見出し、圧力損失が極めて低いことを明らかにした。NO<sub>x</sub>除去性能に与える環境条件として温度、相対湿度、紫外線強度、風速、NO<sub>x</sub>初期濃度について検討した結果、紫外線強度および風速の影響が大きいことを明らかにした。

## 参考文献

- 1) 環境省報道発表資料：平成18年度大気汚染状況について，  
<http://www.env.go.jp/air/osen/index.html>
- 2) 大気汚染法令研究会：平成18年版日本の大気汚染状況，  
2007
- 3) 環境庁：昭和54年版環境白書，1979
- 4) 国土交通省：平成17年度道路交通センサス，  
[http://www.ktr.mlit.go.jp/kyoku/road/ir/census\\_h17/index.htm](http://www.ktr.mlit.go.jp/kyoku/road/ir/census_h17/index.htm)

図-7 NO<sub>x</sub>除去率と各種環境条件の経時変化Fig.7 Changes in NO<sub>x</sub> removal rate and environmental conditions図-8 NO<sub>x</sub>除去率、NO<sub>x</sub>初期濃度、紫外線強度の経日変化Fig.8 Changes in NO<sub>x</sub> removal rate, NO<sub>x</sub> initial concentration and intensity of ultraviolet light