

土壌による大気浄化システムのNOx, SPM除去性能に関する研究（その2）

池田 穰*・木川田一弥*・山口修一*

車の排気ガスに含まれるNOx（窒素酸化物）やSPM（浮遊粒子状物質）は、沿道の大気汚染の原因とされる。この大気汚染対策のひとつとして、土壌の吸着作用や分解作用を利用して、NOxやSPMを除去するシステムがある。土壌として人工土壌を用いた大気浄化システムは、自然土壌よりも通気速度を高く設定できることから、設置面積を縮減できる特徴がある。これまで人工土壌を用いた大気浄化システムに関し、自動車排気ガスを直接浄化した実験結果について報告した。ここでは、実際の交差点（東京都目黒区大坂橋）で行った通気速度160mm/secの適用結果を報告するとともに、本システムの浄化性能に関する特性をまとめた。

キーワード：大気，土壌，浄化，NOx，SPM，窒素酸化物，浮遊粒子状物質

1. はじめに

交通量の多い道路の近傍では車の排気ガスに含まれる窒素酸化物（NOx）や浮遊粒子状物質（SPM）による大気の汚染が大きな環境問題となっている。これに対して発生源対策としてディーゼル車の排ガス規制の強化が計られたり、都市部における総量削減策としてディーゼル車の乗り入れ規制が検討されている。一方、汚染の激しい大規模交差点等においては、現地において大気を直接浄化する技術の実用化も望まれている。

土壌による大気浄化システムは、土壌の吸着作用や微生物による分解作用を利用して大気を直接浄化する技術である。自然土壌より粒子の粗い人工土壌を用いた大気浄化システムは、通気速度が高められるため、同量の大气を浄化する場合、自然土壌を用いた大気浄化システムよりも設置面積が縮減できる特徴がある。



写真-1 大坂橋交差点

これまでに人工土壌を用いた大気浄化システムにより通気速度135mm/secで、ディーゼルエンジン車の排ガスをNOx除去率90%以上、同様に通気速度120mm/secでSPM除去率90%以上となることを報告した¹⁾²⁾。ここでは、実際の車道近傍に大気浄化システムを設置した場合のNOxやSPMの除去性能を明らかにすることを目的に、東京都目黒区大坂橋の交差点（写真-1）において実験を行った。

2. 手段と方法

2.1 土壌による大気浄化システムの原理

土壌による大気浄化システムでは、図-1に示すようにはじめに大気中の排ガスの成分であるNOを酸化し、水に溶解しやすいNO₂とする。ここではNOのNO₂への酸化に

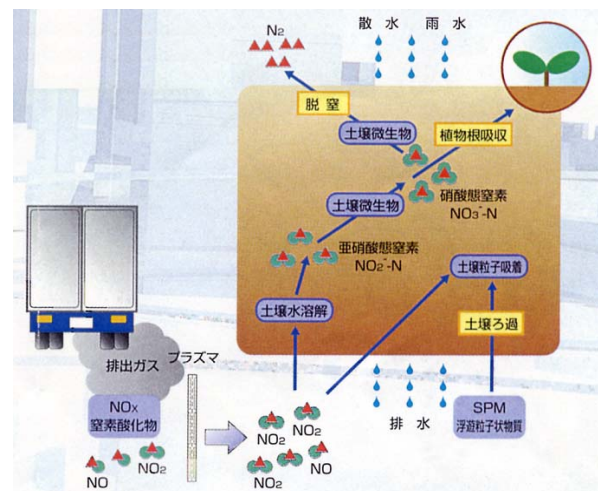


図-1 土壌による大気浄化システムの原理

* 環境事業部

プラズマを利用している。土壤に送り込まれた NO_2 は土壤に吸着され、その後土壤中の硝酸菌の作用により、硝酸塩 (NO_3^-) に変化する。硝酸塩は、降雨や灌水の際に水に溶解し、土壤槽の下に一時的に貯まり、貯まった水は放流される。この時、土壤が硝酸塩を中和するため、放流水の pH の低下は緩和される。また、硝酸塩の一部は土壤中の硝化細菌や脱窒菌の作用を受けて $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$ のように還元され、窒素ガスとして空气中に放出される。このように、土壤に送り込まれた NO_2 は、最終的には、水に溶解するか、窒素ガスとなり土壤から除去される。

一方、SPM のほとんどは、土壤の物理的な吸着作用により除去される。土壤に吸着された SPM の内、易分解性成分は土壤微生物により水や二酸化炭素にまで分解される。また難分解性成分は、吸着されたままであるものの、人工土壤の比表面積や有効空隙が大きいと、吸着性能への影響は少ない。

2.2 実験装置の仕様

実験装置は、図-2 に示すように土壤槽、プラズマ装置、送風機および NO_x 、SPM 計より構成される。土壤槽の面積は 5.2 m^2 、土壤厚は 50 cm である。土壤槽内に投入した人工土壤は活性炭、ゼオライト、ピートモス、黒ボク土から構成される。

プラズマ装置は、電極を配置した通気部（開口寸法 $169 \text{ mm} \times 481 \text{ mm}$ ）と高圧トランス等を塩ビ樹脂製のケーシングに収納している。ケーシングの寸法は $1200 \text{ mmW} \times 800 \text{ mmL} \times 700 \text{ mmH}$ である。送風機は、定格送風量 $57.9 \text{ m}^3/\text{min}$ 、静圧 1.96 kPa (200 mmAq)、モーター出力 3.7 kW (200 V) で防音ボックスに収納している。

また土壤槽表面から深さ 25 cm の中間位置には、点滴灌

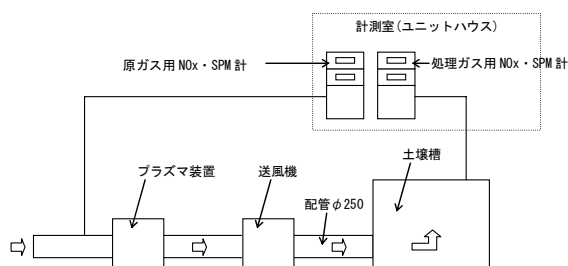


図-2 実験装置の概要

水チューブ（ラム 17、ネタフィルムジャパン社）を敷設し、2時間おきに 4 mm 相当の水を灌水タイマーにより灌水している。これにより、灌水チューブより下の層で NO_2 は水に溶解し、硝化・脱窒される。一方、点滴灌水チューブより上層の比較的乾燥した部分では SPM が土壤に吸着される。

NO_x 、SPM の測定には、東亜ディーケーケー社製の GLN-257 を用いた。これは NO_x 、SPM の測定に化学発光法、ベータ線吸収法をそれぞれ用いるものである。

2.3 原ガス濃度

実験を行った大坂橋交差点の 2003 年 10 月から 2004 年 9 月の平均原ガス濃度は、 NO 、 NO_2 、 NO_x および SPM それぞれ 121 ppb 、 45 ppb 、 163 ppb 、 $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。また同期間中の時間別・月別の NO 、 NO_2 、 NO_x および SPM それぞれの原ガス濃度の推移を図-3～図-6 に示す。 NO 、 NO_x 原ガスでは、年間を通して午前 8 時頃に濃度のピークが見られる。また NO 、 NO_2 、 NO_x とも全体に冬季の方が夏季に比べて濃度が高く、その差は 2 倍以上である。これは夏季には、窒素酸化物が紫外線により光化学反応を起こし、オゾンなどの光化学オキシダントが生成されるためと考えられる。SPM 原ガスでは、午後 2 時頃に年間を通して濃度のピークが見られるものの、季節変動が明確ではない。

2.4 実験方法

2003 年 10 月から 2004 年 9 月まで通気速度 $160 \text{ mm}/\text{sec}$ で実験装置を稼働させ、原ガス濃度、処理ガス濃度をそれぞれ測定し、除去率をもとめた。目標除去率は NO 、 NO_2 、 NO_x および SPM それぞれに関し 70%、90%、70% および 70% とした。その他、各原ガス濃度と除去率との相関を調べた。

また土壤通気速度 $160 \text{ mm}/\text{sec}$ という比較的高い通気速度では、灌水をしてはいるものの、植栽土壤としては乾燥気味で通常の植物は成長しにくいと考えられる。そのため比較的乾燥に強い多肉植物の一種であるセダム類のメキシコマンネングサとキリンソウを土壤槽に植栽して、その適用性を調べた。さらに土壤内で硝化や脱窒が行われる環境にあるか否かを検証するため、土壤の pH や土壤槽上層部と下層部のそれぞれに含まれる硝酸態窒素と亜硝酸態窒素の濃度を調べた。

その他、土壤槽下部から排出される水から有害な重金属が排出されていないかを確認するため、排水中のカドミウム、全シアン、鉛、六価クロム、総水銀の濃度を測定した。

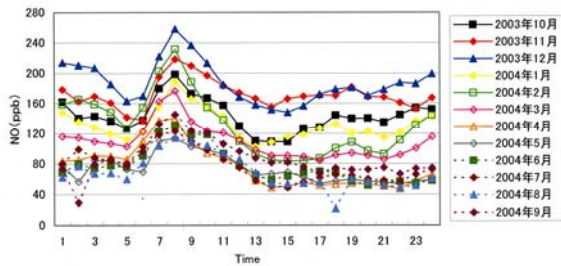


図-3 NOの時間別・月別原ガス濃度

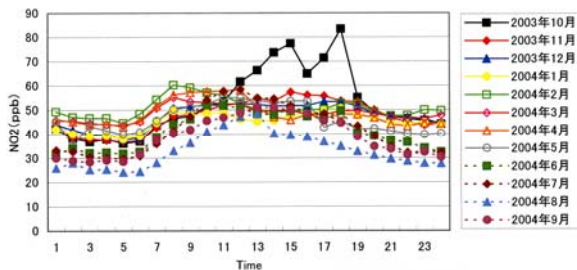


図-4 NO₂の時間別・月別原ガス濃度

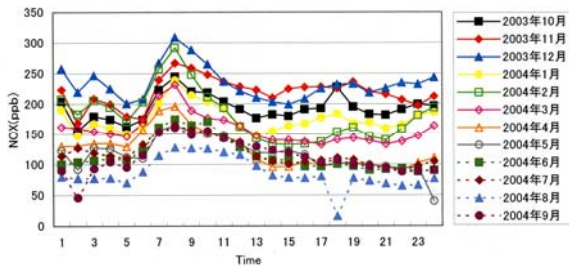


図-5 NO_xの時間別・月別原ガス濃度

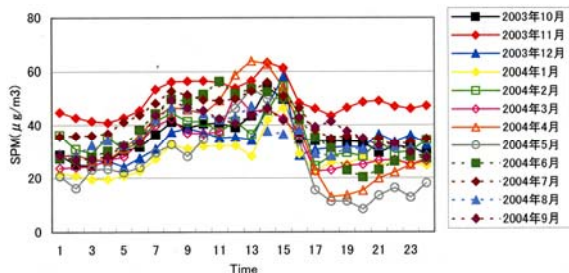


図-6 SPMの時間別・月別原ガス濃度

3. 結果と考察

3.1 除去率

表-1に2003年10月から2004年9月までの原ガス・処理ガス濃度、除去率を示す。平均値では、NO、NO₂、NO_xとも目標除去率をクリアした。しかしSPMは目標除去率を5%ほど下回った。これは東京都のディーゼル車排ガス規制によりSPMの大気への排出量が低減しSPM原ガス濃度が低くなったことが一要因と考えられる。

表-1 原ガス・処理ガス濃度、除去率の平均値

(2003年10月～2004年9月)

項目	NO	NO ₂	NO _x	SPM
平均原ガス濃度	121ppb	45ppb	163ppb	37 μg/m ³
平均処理ガス濃度	36ppb	2ppb	39ppb	13 μg/m ³
除去率	70%	96%	76%	65%

3.2 原ガス濃度と除去率との関係

図-7～図-10にNO、NO₂、NO_x、SPMの原ガス濃度と除去率との関係を散布図で示す。これらのプロット値は2003年10月10日から2004年9月30日の日平均値である。なお、NO₂とSPMに関しては、それぞれの図に大気環境基準値(NO₂:60ppb、SPM:100 μg/m³)を示した。NOに関しては原ガス濃度と除去率との関係を分数関数でカーブフィッティングした。その結果 $y = -2487.2/x + 100$ ($R^2 = 0.114$)となった。これよりNO原ガス濃度が83ppb以上であると除去率が70%以上となることがわかる。またNO原ガス濃度が25ppb以下の場合、NO除去率はマイナスすなわち、原ガス濃度より処理ガス濃度の方が高くなることが示唆される。

一方、NO₂では原ガス濃度の如何に係らず一般的に目標除去率の90%をクリアしていると考えられる。またNO_xではNOと同様にカーブフィッティングすると $y = -3282.5/x + 100$ ($R^2 = 0.220$)となった。この場合NO_x原ガス濃度が109ppb以上であると除去率が70%以上となる。またNO_x原ガス濃度が33ppb以下の場合、NO_x除去率はマイナスすなわち、原ガス濃度より処理ガス濃度の方が高くなることが示唆される。

SPMに関しては、原ガス濃度がほとんど環境基準値を下回っていた。そして目標除去率の70%に届かない場合も多い。さらに原ガス濃度と除去率との相関もほとんどみられない。

3.3 ディーゼルエンジン排ガスの浄化実験

図-10に示すようにSPMについて、原ガス濃度と除去率との相関がほとんどみられなかった。この場合原ガス濃度がほとんど環境基準値を下回っていた。そこで原ガス濃度が環境基準値を上回るような高濃度の場合において、本大気浄化システムのSPM除去性能を確認することとした。2005年1月から2月にかけてディーゼルエンジン排ガスを直接本浄化システムに取り込み(写真-2)、人為的にSPM原ガス濃度を高めた場合の除去率を求めた。結果を図-11に示す。ディーゼルエンジン排ガスのSPM濃度は環境基準値を上回る100～400 μg/m³であり、それら原ガスに対する除去率は、目標除去率70%を平均値でクリアした。これにより本浄化システムのSPMの除去性能は、環境基準値以上で目標除去率である70%をクリアできることが確認できた。

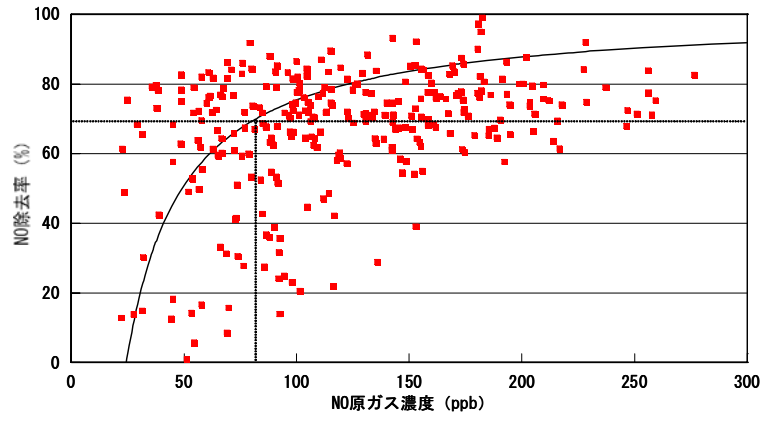


図-7 NO 原ガス濃度と除去率との関係

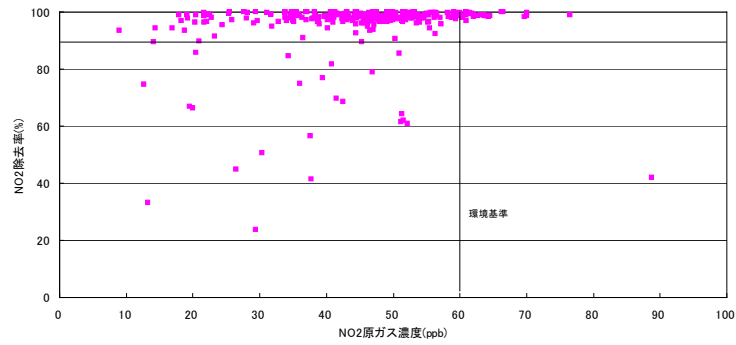


図-8 NO₂ 原ガス濃度と除去率との関係

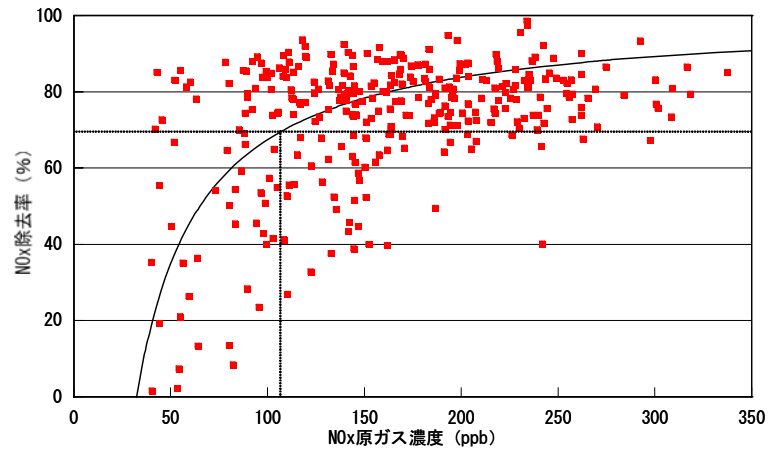


図-9 NO_x 原ガス濃度と除去率との関係

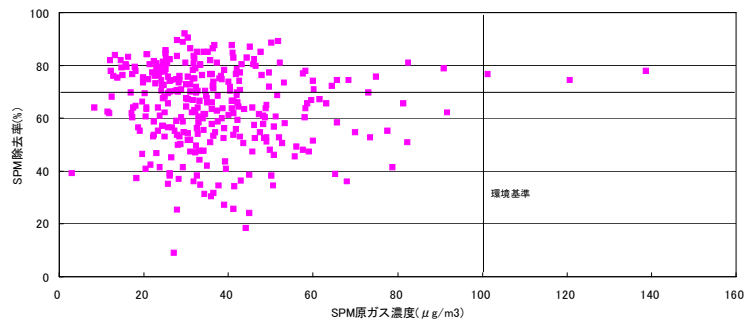


図-10 SPM 原ガス濃度と除去率との関係

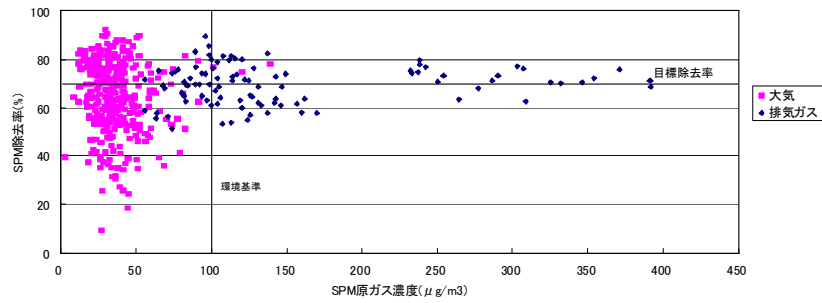


図-11 SPM 原ガス（大気とディーゼルエンジン排ガス）濃度と除去率との関係



写真-2 ディーゼルエンジン排ガスの浄化実験の状況



写真-3 土壌槽に植栽したセダム類の開花

3.4 植栽，土壌・排水分析

比較的乾燥に強い多肉植物の一種であるセダム類のメキシコマンネングサとキリンソウを 2004 年 5 月に土壌槽に植栽した。1 年半以上経過後の状態を観察した結果，特にメキシコマンネングサは根付いている部分も多く，本浄化システムの土壌槽への植栽植物とし適用可能であることが確認できた（写真-3）。

また土壌槽上層部と下層部のそれぞれに含まれる硝酸態窒素と亜硝酸態窒素の濃度については，硝酸態窒素は 210～220mg/kg，亜硝酸態窒素は 2.7～4.6mg/kg であった。これより亜硝酸態窒素から硝酸態窒素への硝化がすすみ，水に溶解して系外へ流出するか脱窒が行われていることが示唆された。一方土壌槽の pH は 6.8～7.8 とほぼ中性であり，植物や細菌の生育に適していることも確認した。土壌槽下部からの排出水中のカドミウム，全シアン，鉛，六価クロム，総水銀の濃度に関しては，いずれも許容限度以下であった（表-2）。これにより排気ガスに起因する有害な重金属等が土壌槽からは排出されていないことが明らかとなった。

4. おわりに

大坂橋交差点での本大気浄化システムによる実験において，以下のことが明らかとなった

- ・ NO, NOx, SPM ともに原ガス濃度が増大すると除去率が増大し，除去率が 70%以上となるのは，原ガス濃度がそれぞれ約 80ppb, 110ppb, 100 μg/m³ 以上のときである。
- ・ NO₂ については，原ガス濃度と除去率との間に，明確な相関が見られないが，環境基準である 60ppb を超える範囲では概ね 90%以上の除去率である。
- ・ 本大気浄化システムの土壌槽にセダム類を植栽することが可能である。
- ・ 排気ガス由来の窒素分については，脱窒により空気中に出て行く部分と水に溶解して排出される部分がある。
- ・ 排気ガスに起因する有害な重金属等が，水に溶解して土壌槽から排出されることはない。

表-2 排水中重金属類の濃度

項目	測定濃度(mg/l)	排水基準による許容限度(mg/l)
カドミウム	0.001	0.1
全シアン	<0.1	1
鉛	<0.005	1
六価クロム	<0.04	0.5
総水銀	<0.0005	公定法による定量限界を下回ること。

以上より、本大気浄化システムは比較的高い原ガス濃度を効率よく安全に浄化できることが確認できた。これより本大気浄化システムは、交差点のような開放系の場所よりも半地下やトンネルのような比較的高濃度の原ガスが発生する場所への設置に適していると考えられる。

本大気浄化システムは、株式会社ニチポーと共同開発した。実験を行うにあたって、株式会社ニチポーの春田一吉氏をはじめ、東京都建設局、日鉄鉱業株式会社の方々には大変お世話になった。ここに感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 山口修一“土壌による大気浄化システムのNOx, SPM除去性能に関する研究”, ハザマ研究年報, pp. 77-86, 2002.
- 2) 山口修一, 春田一吉: 土壌による大気浄化システムの高効率化に関する研究, 土木学会第58回年次学術講演会概要集, VII-257, pp. 511-512, 2003.

Research on NOx and SPM Removal Performance of the Air Purification System using Soil (Part2)

Yutaka IKEDA, Kazuya KIKAWADA and Shuichi YAMAGUCHI

NOx (Nitrogen Oxide) and SPM (Suspended Particulate Matter) discharged from cars are the main cause of the air pollution on the roadside. As one of the measures for this air pollution, the air purification system using soil which adsorbs or decomposes NOx or SPM was developed. In this system, by using artificial soil instead of natural one, the space of the system will be reduced because soil aeration rate can be made much higher. Thus far about the purification system using the artificial soil, the result of direct cleanup of a vehicle emission gas was reported. Here the application result of the system at the actual cross-point in Tokyo is reported, and the purification performance of the system is analyzed.