

植物による窒素酸化物の除去効果について

東京工業大学大学院情報理工学研究所教授 藤井修二



1 はじめに

建築物周辺の緑化は、温熱環境や大気中汚染物質の低減効果に寄与することが注目され、壁面緑化、屋上緑化などの必要性、重要性が取り上げられている。建物周辺の植栽には、熱・風・音・大気環境負荷の低減に寄与し、特に日射遮蔽による熱負荷の低減に有効である。

植物による、大気汚染物質の除去能力については、植物内への固定化²⁾、植物表面への吸着、土中菌による汚染物質分解作用³⁾等の報告が行われている。植物と大気汚染の関係につ

ついて報告している。しかしながら、植物表面への吸着を含めた窒素酸化物除去効果についての研究は必ずしも十分なものとはいえない。

本報告においては、筆者らが行った植物による窒素酸化物の除去効果についての一連の研究の概要を報告する。

2 チャンバー法による除去効果の比較実験

2.1 実験方法

植物の有無によりチャンバー内汚染物質濃度の変化を比較し、大気汚染物質除去効果を検証した。図1に実験チャンバーを示し、実験手順を図2に示す。NO₂標準ガス（約5ppm）を導入し、チャンバー内

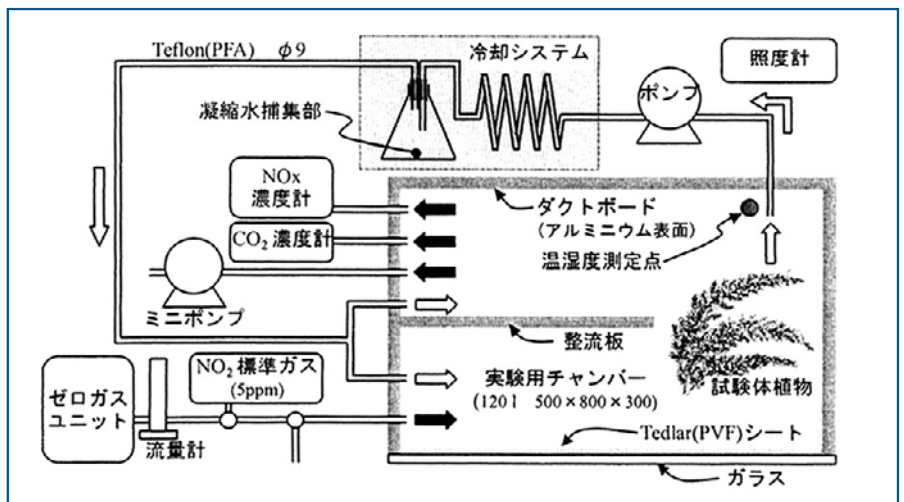


図1 除去効果実験チャンバー

いては、森林などを対象とした植物葉表面における吸収作用及びNH₄⁺、NO₃などの沈着に対する耐性等についての報告が多い。大気中のNOxの土壌、建物外装材への吸着は、H.S. Judekis et.al.⁴⁾により、報告されている。宮崎⁵⁾もチャンバー実験を用い、各種建築材料のNOxの吸着性状

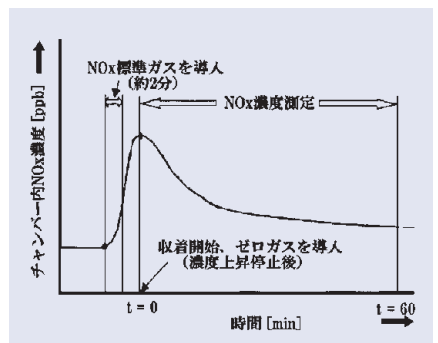


図2 濃度減衰実験

著者略歴

- 1978年 東京工業大学大学院理工学研究所博士課程修了
工学博士
- 1991年 社団法人日本空気清浄協会会長賞
- 1994年 東京工業大学大学院理工学研究所教授
- 1996年 日本エアロソル学会井伊谷賞
- 1997年 東京都感謝状
- 1998年 社団法人日本空気清浄協会会長奨励賞
- 1999年 //
- 2000年 //
- 2004年 日本国経済産業大臣表彰
- 2008年 ビル管理教育センター会長表彰
- 現在 東京工業大学大学院情報理工学研究所教授
ISO/TC209委員 (1993年~現在)

主な著書

- 「建築概論改定2版(分担)」彰国社(1994)
- 「コンタミネーションコントロール便覧(分担)」オーム社(1996)
- 「クリーンルーム環境の計画と設計(分担)」オーム社(2000)
- 「空調調和衛生工学便覧(分担)」(空調調和衛生工学会編)(2001)
- 「建築環境のデザインと設備(分担)」市ヶ谷出版(2004)

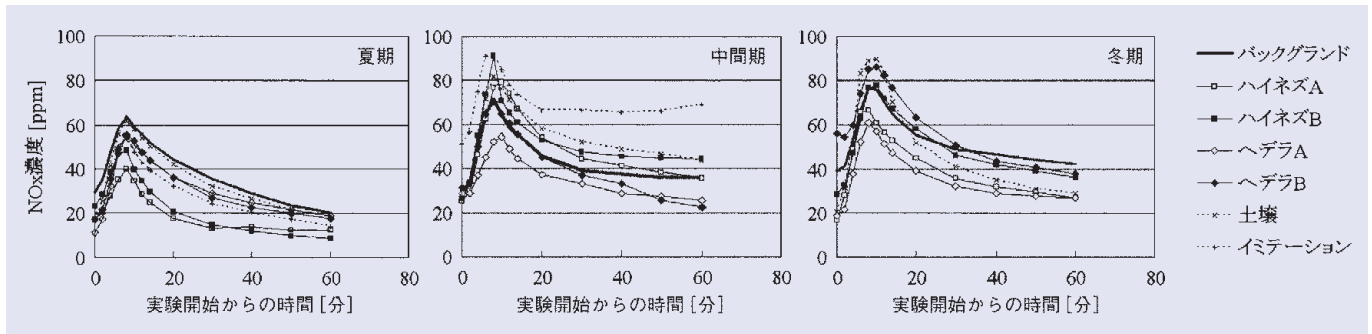


図3 NOx浄化能力の実験結果

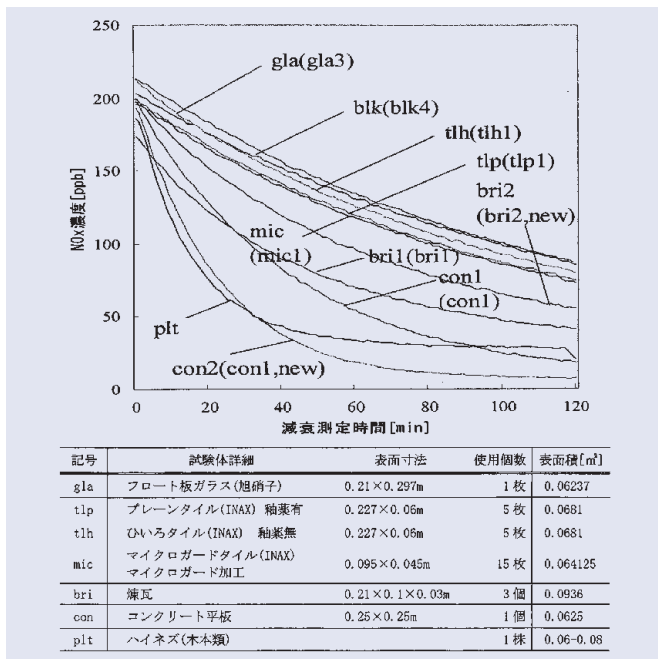


図4 建築材料の吸着効果

NOx濃度を約100ppb程度まで上昇させ、その後約60分濃度変化を測定した。NOx除去効果は、試験体を入れない場合のブランク値との比較により評価した。

2.2 実験装置

実験用チャンバーは、内寸が500(W)～800(D)～300(H)mm、内部容積0.12m³で、南面及び上面は普通板6mmガラス、その他の面はアルミニウムフィルムで構成されている。日射や植物の蒸散作用を考慮し、チャンバー内空気を冷却・除湿する冷却系を設けている。

測定装置としては、NO-NO₂自動分析計（日本サーモエレクトロン（株）製MODEL42C）、一酸化炭素・炭酸ガス測定器（（株）ガステック製CMCD-10, CMCD-11）を、デジタル照度計（東京光電（株）製ANA・F11）を用いた。

2.3 実験結果

NOx濃度測定の実験結果を図3に示す。ハイネズやヘデラの場合が「バックグラウンド」「土壌」の場合に比べてNOx濃度の減少が大きい。また、同様の実験を建築材料で行った場合の結果を図4に示す。単位表

表1 植物によるNOx収着量

項目	夏期	中間期	冬期
葉面積 [cm ²]	800	763	796
CO ₂ 吸収量 [mg/min/m ²]	46.69	13.89	4.87
NO _x 収着量 [μgN/min/m ²]	4.42	2.94	3.25

面積あたりの吸着量は、コンクリートと植物であるハイネズが大きく、それぞれタイル（4.0-6.0×10³cm/s）の10-20倍程度、15倍程度である。

各季節別のハイネズの平均CO₂吸収量及びNOx収着量を表1に示す。CO₂は、60分間の平均吸収量を、NOxはt=60時点での理論値と実験により得られたチャンバー内NOx濃度差を求め、N換算値の収着量として示した。

3 チャンバーにおけるNOx収支測定

3.1 葉表面へのNOxガス暴露実験手順

NOx暴露による植物への表面吸着量を測定する実験を行った。NOxガス暴露実験の手順としては、試験体植物の地上部分を超純水洗浄による前処理を行い、チャンバー内に試験体植物を挿入した後、チャンバー内部にゼロガスユニットからゼロガスをポンプにより15L/minで導入し、

表2 植物の有無による物質収支の相違 [%]

物質収支の構成		植物存在時	非存在時
実験前	N ₁ : NO _x 初期存在量	2.10	5.59
	N ₂ : 導入 NO _x 量	97.90	94.41
実験後	N ₃ : 植物表面への吸着量	56.89	0
	N ₄ : チャンバー壁面への吸着量	8.35	30.58
	N ₅ : 凝縮水中溶解量	12.05	0
	N ₆ : 排出 NO _x 量	17.51	65.85
	N ₇ : 誤差項	5.20	3.57

表3 試験体植物

植物名	学名	利用形態	葉面積 [cm ²]	
			A	B
キヅタ (フユヅタ)	<i>Hedera rhombea</i>	壁面緑化	240	300
ツタ (ナツツタ)	<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	壁面緑化	150	190
カナリエンシス	<i>Hedera canariensis</i>	壁面・屋上緑化	910	930
テイカカズラ	<i>Trachelospermum asiaticum</i>	壁面・屋上緑化	250	260
ゴールドハート	<i>Hedera 'Gold Heart'</i>	壁面・屋上緑化	200	220
ムベ	<i>Stauntonia hexaphylla</i>	壁面緑化	540	630
ヒサカキ	<i>Eurya japonica</i>	屋上緑化	480	590
ハイネズ	<i>Juniperus conferta</i>	壁面緑化	900	1200
クロベ	<i>Thuja standishii</i>	壁面緑化	600	750

内部NO_x濃度を低下させた。60分経過後NO₂標準ガス(濃度4.83 ppm)を0.5L/minで20分間導入し、チャンバー内部NO_x濃度を約100~120ppb程度まで上昇させた。その後、試験体植物の吸着・吸収作用により60分間NO_x濃度を減衰させ、内部NO_x濃度変化を測定した。その後、再び試験体植物の地上部分を超純水により洗浄した。

暴露前後の洗浄水成分をイオンクロマトグラフにより分析し、暴露前の洗浄水中N量をN_{A1}、暴露後の洗浄水中N量をN_{A2}とし、内部溶出量と表面吸着量の和をN_AとしN_A=N_{A2}-N_{A1}として算出した。植物内部からの溶出分を測定するためNO₂標準ガス導入を行わず、試験体植物を挿入したチャンバー内にゼロガスを140分間導入する。測定前後で同様に洗い流し水を分析した。暴露前の洗浄水中N量をN_{B1}、暴露後の洗浄水中N量をN_{B2}とし、ゼロガス導入時の内部溶出量N_B

をN_B=N_{B2}-N_{B1}として算出した。表面吸着量Nは、N=N_A-N_Bとした。

3.2 物質収支について

試験体植物を挿入したチャンバー内部へNO_x標準ガスを導入した際のNO_x量の物質収支について検討した結果を表2に示す。植物存在時には導入NO_x量の50-60%が植物表面に、7~15%がチャンバー表面に吸着した。植物が存在しない場合には導入NO_xの25~30%がチャンバー表面に吸着した。植物に吸収されたN量についてはN₇の誤差項に含まれ、初期存在量と導入量の合計に対して5~10%であった。戸塚・三宅(1991)⁹⁾の植物の総光合成速度からNO_xの吸収量を計算すると1.07μgになり、N₇の誤差項、1.39μgに相当している。植物のNO_x除去効果は、吸収よりも吸着が大きく寄与している。

表4 植物別季節別吸着量の結果

	単位 [μmol/m ² /day]								
	キヅタ	ツタ	カナリエ ンシス	テイカ カズラ	ゴールド ハート	ムベ	ヒサ カキ	ハイ ネズ	クロベ
10月	38.80	40.39	33.57	40.26	46.11	39.55	48.17	94.42	68.39
11月	31.25	39.35	37.15	42.3	44.27	34.18	52.85	81.41	60.62
12月	35.62	31.74	30.2	44.27	35.36	31.77	40.50	64.29	73.58
1月	31.56	34.3	34.21	34.61	29.44	24.39	22.63	60.62	40.02
2月	22.19	30.18	27.11	25.16	24.39	28.16	24.57	48.97	40.7
3月	32.81	33.51	40.18	22.47	28.33	35.10	33.09	67.96	57.75
4月	22.60	30.83	28.66	31.43	20.36	30.17	26.30	60.62	41.85
5月	30.64	21.19	25.16	35.12	33.70	32.18	22.05	75.07	54.29
6月	27.31	30.25	27.40	32.26	40.09	37.33	32.27	88.08	73.58
7月	40.36	39.11	44.83	37.55	66.27	30.52	60.44	119.19	94.42
8月	52.26	38.2	55.64	30.29	53.11	50.69	62.20	137.31	111.77
9月	50.07	45.23	71.27	35.80	50.06	42.33	75.26	141.03	107.35

4 植物の違いによる吸着量の相違

実験方法としては、試験体植物の植物部を超純水に浸し、植物表面を清浄状態にした後、試験体植物を大気中に7日間曝露する。その後、試験体植物の植物部に超純水による噴霧洗浄を行い、洗浄水を回収し、それぞれイオンクロマトグラフを用いて硝酸イオン(NO₃⁻)として分析し濃度に換算し、評価した。測定期間は2003年10月から2004年9月までである。試験体を表3に、吸着量の結果を表4に示す。NO_x吸着量は、夏季の方が多く、また針葉樹が広葉樹の約2倍とより多い。

5 植物表面NO_x吸着量の雨水による洗い流し評価

植物表面のNO_x吸着量が雨により洗い流される量を把握するために模擬雨水を用いて噴霧洗浄を行い、洗浄した水を回収し分析した。模擬雨水は実降雨を想定したNO₃⁻濃度を設定し、降雨強度も変化させて行った。

模擬雨水のNO₃⁻濃度を考慮して、植物表面から洗い流された分のNO₃⁻濃度を求めたところ、図5に示すよ

うに噴霧量の指数関数で表され、模擬雨水の初期濃度は洗い流し後のNO₃⁻濃度にほとんど影響がなかった。雨の洗い流し効果と噴霧量を図6に示す。降雨強度が大きくなるほど雨の洗い流し効果が高くなる傾向が見られた。

2002年度の降雨データを基に、雨により洗い流されるNOx量を求め、雨の影響を考慮した植物表面のNOx吸着量[mol]を算出し表5に示す。ハイネズの1日のNOx吸着量は、吸着量測定実験での値を基に、夏季(5-10月) 98.9, 冬季(11-4月) 73.2 μmol/m²dayと仮定し、1週間以上の大気曝露が続いた場合はそれ以降の吸着量の増加はないものとした。雨の影響を考慮したNOx吸着量は、冬季に比べて夏季に多いこととなる。無降水時を仮定したNOx吸着量に対する雨の影響を考慮したNOx吸着量の割合を求めると、年間で3.0を示し、特に降水日数の多い夏季に大きくなる傾向を示した。また雨の影響を考慮したハイネズの吸

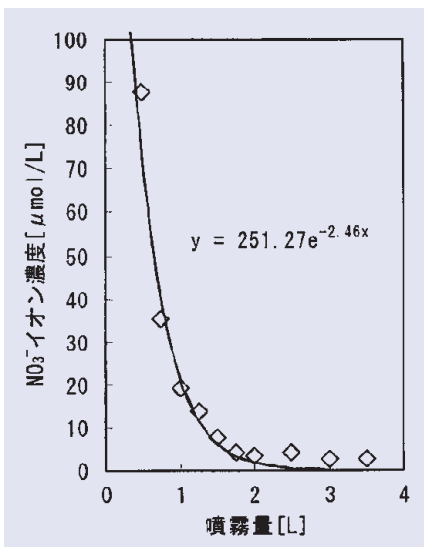


図5 降雨強度と洗い流し後のNO₃⁻濃度の関係

着によるNOx除去効果を算出した結果、1.39/m²yearとなる。

6 おわりに

本報告では、筆者らが行った植物による窒素酸化物の除去効果についての一連の研究として、チャンバー法による除去効果の比較実験、チャンバーにおけるNOx収支測定、植物の違いによる吸着量の相違、植物表面NOx吸着量の雨水による洗い流し評価について報告した。その結果、以下の知見が得られた

- (1) 植物のNOx除去効果は、主として吸着による。
- (2) 植物のNOx除去効果は、建築材料と比較しても多い。
- (3) 針葉樹も広葉樹も吸着量のオーダーは同じだが針葉樹のほうが吸着量は多い。
- (4) 吸着したNOxは、雨水により洗い流される。

(5) ハイネズの吸着によるNOx除去効果を算出した結果、1.3g/m²year程度である。

文献

- 1) 梅干野晃: 都市の緑とアメニティー 都市の緑と環境物理, 日本建築学会環境工学部門研究協議会資料, pp.1~26, 1993
- 2) H, ビーヴァース・赤沢堯: 植物の代謝生理, 岩波書店, pp.175~177, 1986
- 3) 金子和己・島田幸司・高見勝重: 土壌を用いた大気浄化システムの実施例と今後の展開, 環境資源対策, pp.542~550, 1999
- 4) H.S. Judekis, et.al.: Laboratory Measurements of NO and NO₂ Depositions onto Soil and Cement Surfaces, Atmospheric Environment, vol.12, p.2315, 1978
- 5) 宮崎竹二: 各種建築材料のNOx吸着性状について, 日本建築学会論文報告集第333号, pp.92-99, 1984
- 6) 藤井修二, 車熙運他: チャンバー法による植物の窒素酸化物除去効果, 日本建築学会環境系論文報告集第582号, pp.61-66, 2004
- 7) 藤井修二, 車熙運他: 植物による大気中窒素酸化物の吸着除去効果及び雨水の影響, 日本建築学会環境系論文報告集第589号, pp.31-36, 2005
- 8) 藤井修二, 車熙運他: 乾性沈着による植物の大気窒素酸化物除去効果, 第23回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, pp.202-203, 2004
- 9) 戸塚績, 三宅博: 緑地の大気浄化機能, 大気汚染学会誌, 26(4), A71-A80, 1991

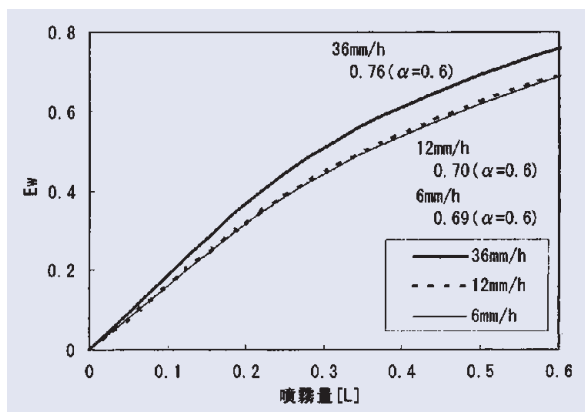


図6 噴霧強度(降雨強度)と洗い流し効果

表5 月別NOx吸着量

測定時期	無降水時のNOx吸着量 (N ₀) [μmol / m ² month]	雨の影響を考慮したNOx吸着量 (N ₁) [μmol / m ² month]	N ₁ / N ₀
夏期 (5月~10月)	692.0	2360	3.4
冬期 (11月~4月)	512.7	1267	2.4
年間	602.4	1813	3.0