

## II-1 土壌の空気浄化能に関する室内実験

### 1. 実験装置概要

室内実験は、(株)フジタ技術研究所(所在地:横浜市港北区大鵬町74番地)内で行われたものである。実験設備の概要は、図1・1に示したように土壌を充填したカラムを設置し温度調節を施した実験室、種々のガス濃度を測定する計測器を設置した計測器室、そして各種のデータを処理、保存するコンピュータ室である。なお、希釈用空気供給のためのエアポンプは、実験室及び計測器室より一階上の屋上テラスに設置した(自動車排ガスの影響回避のため)。

土壌を充填した容器として、図1・2に示したような土壌カラムを作製した。本土壌カラムは透明アクリル

製で内径360mm、断面積は $0.1\text{m}^2$ であり、上下に空気チャンバーを有している。また、下部チャンバー、上部チャンバー、土壌部はフランジによって接合され、さらに土壌部は土壌厚20cmごとに分割されている。したがって、基本土壌厚は40cmであるが、20cmあるいは60cmで実験を行う場合は、適時分割接合した。下部チャンバーには、約7ℓの水の中にヒーターが浸漬され、水を加温することによって土壌温度を調節した。

送気系では、図1・3に示したように室外に設置したエアポンプよりの空気と試験対象ガスを充填したガスボンベよりのガスを混合し、所定のガス濃度にした人工汚染空気を流量調整バルブ付きの流量計により一定流量を下部チャンバー内に送気した。

人工汚染空気は土壌層を通過し、上部チャンバー内に入り排出口より外部に排気した。

本調査研究で用いた土壌は、主体が黒ボク土である。黒ボク土は腐植質火山灰土壌であるが、わが国では、

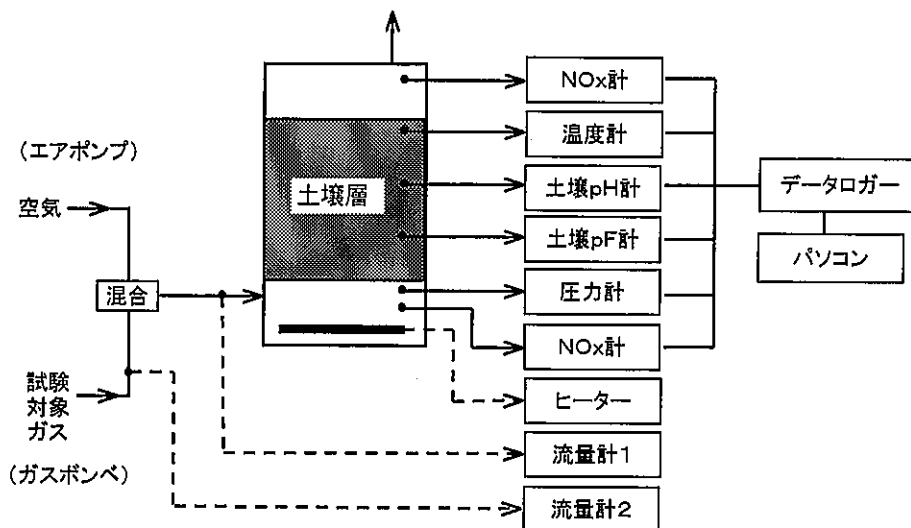


図1・1 実験装置概要

土壌を用いた大気浄化システムの実用性に関する調査

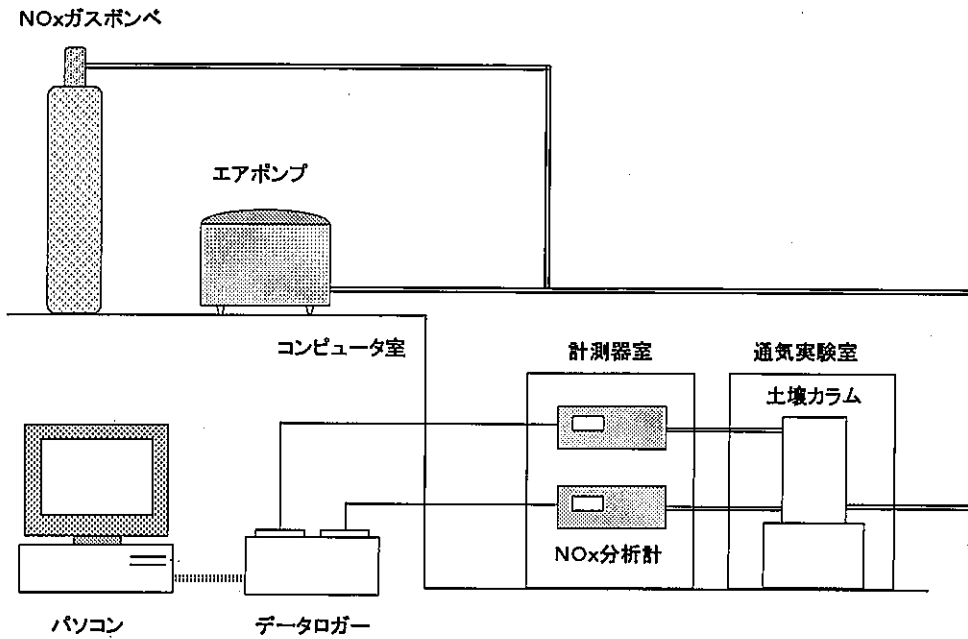


図1-2 土壌カラム概要

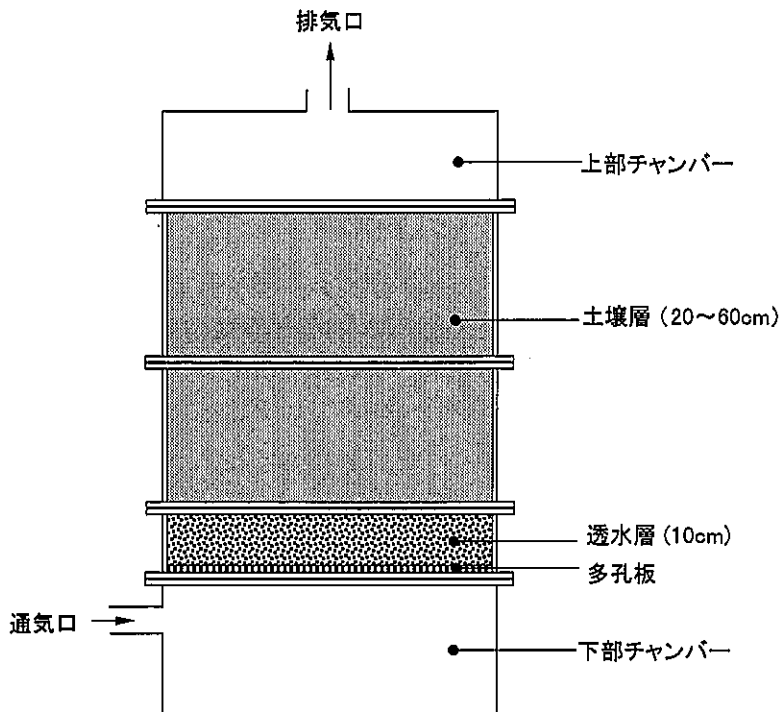


図1-3 実験設備概要

各地で見ることができる。特徴としては、腐植質に富み、仮比重が小さく軽しうで風に飛散しやすいこと、また、粘土鉱物としては非晶質アロフェンに富み、鉄、アルミニウムが多く、リン酸固定力が大きいなどの特徴がある。腐植質の含量は少ない場合でも5%以上、多い場合では20%以上に達する。

以上の特徴を考慮した上で、黒ボク土は窒素酸化物の物理化学的吸着および土壌微生物による吸収に有利

ではないかと考えた。また、造園業者などからの入手のしやすさも重要な点であるとし、黒ボク土を本調査研究における供試土壌の主体とした。

黒ボク土に対して、機能的土壌材料としてパーライト、ピートモス、腐葉土を混合した。

黒ボク土のみでは通気性の悪さから土壌層の圧力損失が高く、かつ土壌表面から散水を行なうと通水性も悪いことが分かり、土壌改良材のパーライトを混合し

て通気性、通水性を改善した。

また、ピートモスと腐葉土については土壤有機物の含量を高め、土壤微生物が繁殖しやすい環境を作る目的で混合した。これら土壤材料と黒ボク土の混合比は表1・1に示した。

表1・2に計測装置一覧を示した。ガスの分析方法については、入口および出口空気をそれぞれ下部チャンバー内および上部チャンバー内よりテフロンチューブで吸引し、高感度NO<sub>x</sub>分析計で濃度測定した。

土壤温度については、土壤層の3ヶ所に計測ポイントを選び、温度センサーを土壤層に直接挿入して計測した。

土壤pH計および土壤水分計は、それぞれ土壤層上部より直接挿入して計測した。

また下部チャンバー内の圧力を土壤層にかかる圧力損失分として微圧インジケータにより計測した。

これらの計測計から出力される信号はデータロガー

表1・1 土壤構成

土壤構成(1)	黒ボク土:パーライト:ピートモス 容量比(3:1:1)
土壤構成(2)	黒ボク土:パーライト:腐葉土 容量比(2:1:2)
透水層	パーライト

表1・2 計測装置一覧

1. ガス分析計	①高感度NO <sub>x</sub> 計 CLM-500 島津製作所(株)製 測定原理 : 化学発光法 測定範囲 : 0~500 ppm 再現性 : フルスケールの±1% ゼロドリフト(8Hr) : フルスケールの±2% スパンドリフト(8Hr) : フルスケールの±2% ②高感度NO <sub>x</sub> 計 MODEL42 サーモエレクトロン社製 測定原理 : 化学発光法 測定範囲 : 0~20 ppm ゼロドリフト(24Hr) : 0.5 ppb スパンドリフト(24Hr) : 0.5 ppb ③N <sub>2</sub> O分析装置 GC-14BPE 島津製作所(株)製 検出器 : ECD 測定範囲 : 0~2 ppm 検出下限 : 50 ppb
2. 温度計	K熱電対 MC-K101 (株)佐藤計量器製作所製 測定範囲(本体) : 0~199.9 °C 測定精度(本体) : ± 0.1 % rdg ± 0.3 °C
3. 土壤pH計	土壤挿入式pH計 PHS-1 (株)藤原製作所製 測定範囲 : 2~12 pH
4. 土壤水分計	土壤挿入式pF計(テンシオメータ) 小糸工業(株)製 測定範囲 : pF 0~2.8
5. 圧力計	微圧インジケータ AA6500 豊田工機(株)製 測定原理: 静電容量形モノリシック圧力センサ方式 定格圧力範囲 : 0~200 mmH <sub>2</sub> O 測定精度 : ± 1.5 % R. O.

(CADAC) に一時蓄積され、最終的にパソコンでデータ処理した。

## 2. 窒素酸化物の除去能

### (1) 窒素酸化物濃度と除去能の関係

土壌による窒素酸化物の基本的な除去能を把握するために、土壌カラムに表 1・1 における土壌構成(1)の土壌を充填し、表 2・1 に示した窒素酸化物濃度の人工汚染空気を各種条件下において通気した。入口ガス、出口ガスは2台のNO<sub>x</sub>分析計を同時計測して、除去率、除去量を算出した。

一酸化窒素NOおよび二酸化窒素NO<sub>2</sub>濃度を表に示したように、それぞれ4段階に調整した人工汚染空気を通気して入口、出口のガス濃度を計測した。

表 2・1 通気中窒素酸化物濃度の設定

調整ガス種	調整濃度 (ppm)			
一酸化窒素(NO)	0.15	0.30	0.60	1.20
二酸化窒素(NO <sub>2</sub> )	0.05	0.10	0.20	0.40

NO通気実験の結果を表 2・2 にまとめ、NO濃度と除去率の関係のグラフを図 2・1 に示した。

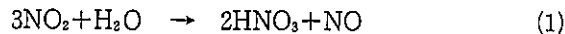
NO除去率についてはいずれのケースにおいても低く10%以下であった。NO濃度と除去率の関係は、濃度が高いほど除去率も高くなるが、ある濃度以下では除去率がマイナスすなわち土壌からのNO放出が認められた。この傾向は通気線速度が高いほど顕著であり、NO放出とNO除去が土ゼロになる点の濃度は、10mm/secで0.3ppm、20mm/secで0.5ppm、30mm/secでは1.2ppmであった。

NO<sub>2</sub>通気実験の結果を表 2・3 にまとめ、NO<sub>2</sub>濃度と除去率の関係を図 2・2 に示した。

NO<sub>2</sub>の除去に関しては、本実験の通気中NO<sub>2</sub>濃度及び通気線速度の範囲内では、ほぼ全量土壌に吸収された。またNO<sub>2</sub>の発生については、本実験においては認められなかった。これは、NO<sub>2</sub>の高い除去率を考え

ると、仮に少量のNO<sub>2</sub>が発生してもただちに土壌へ再吸収されてしまうためと考えられる。

なお、NO<sub>2</sub>と水との反応は(1)式に示した通りである。



3モルのNO<sub>2</sub>吸収によって1モルのNOが発生するが、本実験においては、NO発生が認められるような結果は見出せなかった。これは、NOの土壌吸収が少ない前述の結果と合わせて考えるならば、NO<sub>2</sub>の土壌吸収が上述の式のような単純な水吸収とは異なることを示唆するものと考えられる。

### (2) 処理空気量と除去能の関係

処理空気量については、土壌面積一定の場合、土壌層での通気線速度に比例するが、通気線速度の増大は、土壌の窒素酸化物処理能力、通気抵抗の増大に伴う電力量の増加、土壌の乾燥化に対応できる給水方法の確立等の課題が存在する。

処理空気量の変化が窒素酸化物除去能にどのように影響するかを把握する目的で、土壌層における通気線速度を表 2・4 に示す3段階に設定し、窒素酸化物の除去能との関係を調べた。

実験結果を表 2・5 にまとめた。NO除去能は、図 2・3 に示したように土壌層の通気線速度の増加に伴い、減少の傾向を示した。しかし、前項で示した通り通気中のNO濃度が高い場合、NO除去率が向上したように、処理空気量変化によるNO除去率の影響は、通気中NO濃度に依存することが確かめられた。

また、NO<sub>2</sub>除去能については本実験の通気線速度範囲内での変化がなく全量除去された(表 2・6 および図 2・4)。

### (3) 土壌温度と除去能の関係

窒素酸化物の土壌への物理化学的吸収吸着および土壌微生物の作用については、土壌の温度も大きな影響要因であると考えられる。

一般的には、気体の液体に対する溶解度は低温に向かうほど高まる傾向にあるが、微生物活性においては最適温度範囲が種によって、あるいは各酵素反応によって異なる。

本実験は、土壌温度を変化させた場合の窒素酸化物除去能の短期的な影響を調べるためのものである。表

表2-2 NO濃度と除去能

通気線速度:10(mm/sec.)	通気中				排気中			
NOガス濃度 (ppm)	0.14	0.26	0.60	1.24	0.15	0.26	0.58	1.17
NO除去率 (%)	-	-	-	-	-7	0	3	6
NOガス重量換算 (mg/h)	0.67	1.25	2.89	5.98	0.72	1.25	2.80	5.64

通気線速度:20(mm/sec.)	通気中				排気中			
NOガス濃度 (ppm)	0.18	0.31	0.63	1.21	0.20	0.32	0.62	1.19
NO除去率 (%)	-	-	-	-	-11	-3	2	2
NOガス重量換算 (mg/h)	1.74	2.99	6.07	11.66	1.93	3.08	5.98	11.47

通気線速度:30(mm/sec.)	通気中				排気中			
NOガス濃度 (ppm)	0.14	0.35	0.59	1.23	0.16	0.37	0.61	1.23
NO除去率 (%)	-	-	-	-	-14	-6	-3	0
NOガス重量換算 (mg/h)	2.02	5.06	8.53	17.64	2.31	5.35	8.82	17.79

土壌構成	黒ボク土:ピートモス:パーライト(3:1:1)
土壌温度	11.2 ~ 15.0 °C
土壌pF	0.8 ~ 1.2
土壌pH	6.8 ~ 7.5
土壌層厚	40cm

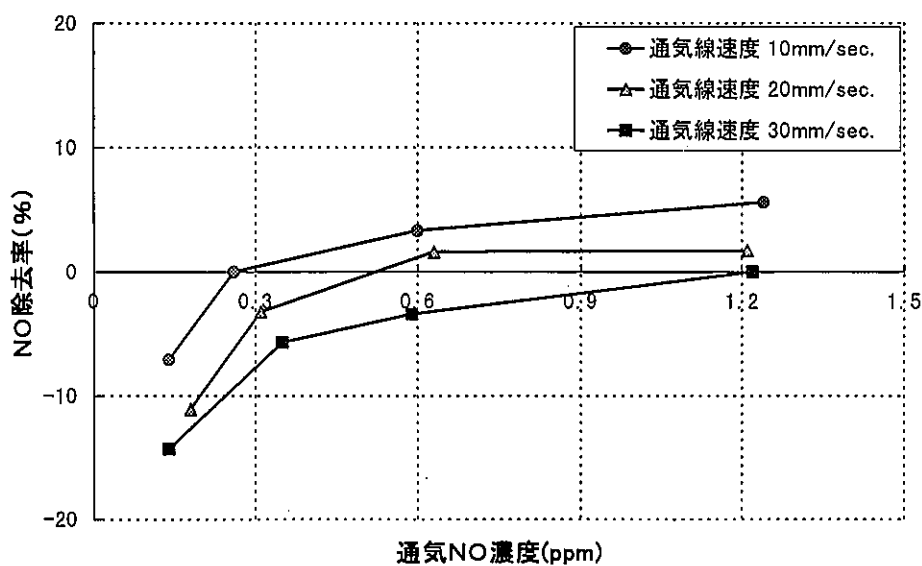


図2-1 NO濃度と除去率の関係

表 2-3 NO<sub>2</sub>濃度と除去能

通気線速度: 10(mm/sec.)	通気中				排気中			
NO <sub>2</sub> ガス濃度 (ppm)	0.06	0.10	0.19	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00
NO <sub>2</sub> 除去率 (%)	—	—	—	—	100	100	100	100
NO <sub>2</sub> ガス重量換算 (mg/h)	0.44	0.74	1.40	2.88	0.00	0.00	0.00	0.00

通気線速度: 20(mm/sec.)	通気中				排気中			
NO <sub>2</sub> ガス濃度 (ppm)	0.05	0.10	0.21	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00
NO <sub>2</sub> 除去率 (%)	—	—	—	—	100	100	100	100
NO <sub>2</sub> ガス重量換算 (mg/h)	0.74	1.48	3.11	5.92	0.00	0.00	0.00	0.00

通気線速度: 30(mm/sec.)	通気中				排気中			
NO <sub>2</sub> ガス濃度 (ppm)	0.05	0.11	0.20	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00
NO <sub>2</sub> 除去率 (%)	—	—	—	—	100	100	100	100
NO <sub>2</sub> ガス重量換算 (mg/h)	1.33	2.44	4.44	9.09	0.00	0.00	0.00	0.00

土壌構成	黒ボク土:ピートモス:パーライト(3:1:1)
土壌温度	11.2 ~ 15.0 °C
土壌pF	0.8 ~ 1.2
土壌pH	6.8 ~ 7.5
土壌層厚	40cm

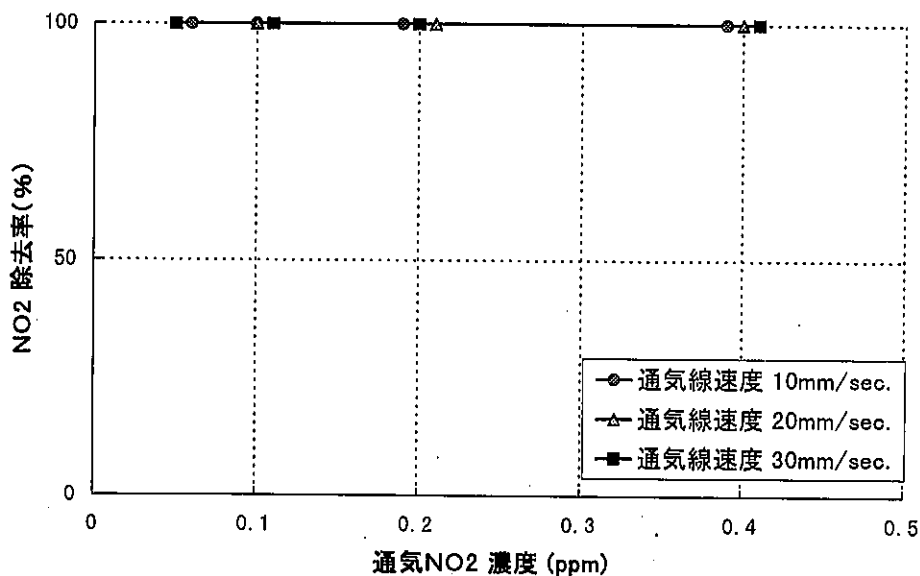


図 2-2 NO<sub>2</sub>濃度と除去率

表2-4 処理空気量設定条件

条件項目	設定値			
処理空気量(L/0.1 m <sup>2</sup> ·min.)	60	120	180	
通気線速度(mm/sec.)	10	20	30	
NO 濃度(ppm)	0.15	0.30	0.60	1.20
NO <sub>2</sub> 濃度(ppm)	0.05	0.10	0.20	0.40
土壌pF値	なりゆき			
土壌温度(°C)	なりゆき			
土壌pH	なりゆき			

表2-5 処理空気量とNO除去能

通気中NO濃度 0.15 ppm	通気中			排気中		
	10	20	30	10	20	30
土壌層通気線速度 (mm/sec.)	10	20	30	10	20	30
NOガス濃度 (ppm)	0.14	0.18	0.14	0.15	0.20	0.15
NO除去率 (%)	—	—	—	-7	-11	-14
NOガス重量換算 (mg/h)	0.67	1.74	2.02	0.72	1.93	2.31

通気中NO濃度 0.30 ppm	通気中			排気中		
	10	20	30	10	20	30
土壌層通気線速度 (mm/sec.)	10	20	30	10	20	30
NOガス濃度 (ppm)	0.26	0.31	0.35	0.26	0.32	0.37
NO除去率 (%)	—	—	—	0	-3	-6
NOガス重量換算 (mg/h)	1.25	2.99	5.06	1.25	3.08	5.35

通気中NO濃度 0.60 ppm	通気中			排気中		
	10	20	30	10	20	30
土壌層通気線速度 (mm/sec.)	10	20	30	10	20	30
NOガス濃度 (ppm)	0.60	0.63	0.59	0.58	0.62	0.61
NO除去率 (%)	—	—	—	3	2	-3
NOガス重量換算 (mg/h)	2.89	6.07	8.53	2.80	5.98	8.82

通気中NO濃度 1.20 ppm	通気中			排気中		
	10	20	30	10	20	30
土壌層通気線速度 (mm/sec.)	10	20	30	10	20	30
NOガス濃度 (ppm)	1.24	1.21	1.22	1.17	1.19	1.23
NO除去率 (%)	—	—	—	6	2	-1
NOガス重量換算 (mg/h)	5.98	11.66	17.79	5.64	11.47	17.79

土壌構成	黒ボク土:ピートモス:パーライト(3:1:1)
土壌温度	11.2 ~ 15.0 °C
土壌pF	0.8 ~ 1.2
土壌pH	6.8 ~ 7.5
土壌層厚	40cm

土壌を用いた大気浄化システムの実用性に関する調査

表2-6 処理空気量とNO<sub>2</sub>除去能

通気中NO <sub>2</sub> 濃度 0.05 ppm	通気中			排気中		
土壌層通気線速度 (mm/sec.)	10	20	30	10	20	30
NO <sub>2</sub> ガス濃度 (ppm)	0.06	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00
NO <sub>2</sub> 除去率 (%)	—	—	—	100	100	100
NO <sub>2</sub> ガス重量換算 (mg/h)	0.44	0.74	1.33	0.00	0.00	0.00

通気中NO <sub>2</sub> 濃度 0.10 ppm	通気中			排気中		
土壌層通気線速度 (mm/sec.)	10	20	30	10	20	30
NO <sub>2</sub> ガス濃度 (ppm)	0.10	0.10	0.11	0.00	0.00	0.00
NO <sub>2</sub> 除去率 (%)	—	—	—	100	100	100
NO <sub>2</sub> ガス重量換算 (mg/h)	0.74	1.48	2.44	0.00	0.00	0.00

通気中NO <sub>2</sub> 濃度 0.20 ppm	通気中			排気中		
土壌層通気線速度 (mm/sec.)	10	20	30	10	20	30
NO <sub>2</sub> ガス濃度 (ppm)	0.19	0.21	0.20	0.00	0.00	0.00
NO <sub>2</sub> 除去率 (%)	—	—	—	100	100	100
NO <sub>2</sub> ガス重量換算 (mg/h)	1.40	3.11	4.44	0.00	0.00	0.00

通気中NO <sub>2</sub> 濃度 0.40 ppm	通気中			排気中		
土壌層通気線速度 (mm/sec.)	10	20	30	10	20	30
NO <sub>2</sub> ガス濃度 (ppm)	0.39	0.40	0.41	0.00	0.00	0.00
NO <sub>2</sub> 除去率 (%)	—	—	—	100	100	100
NO <sub>2</sub> ガス重量換算 (mg/h)	2.88	5.92	9.09	0.00	0.00	0.00

土壌構成	黒ボク土:ピートモス:パーライト(3:1:1)
土壌温度	11.2 ~ 15.0 °C
土壌pF	0.8 ~ 1.2
土壌pH	6.8 ~ 7.5
土壌層厚	40cm



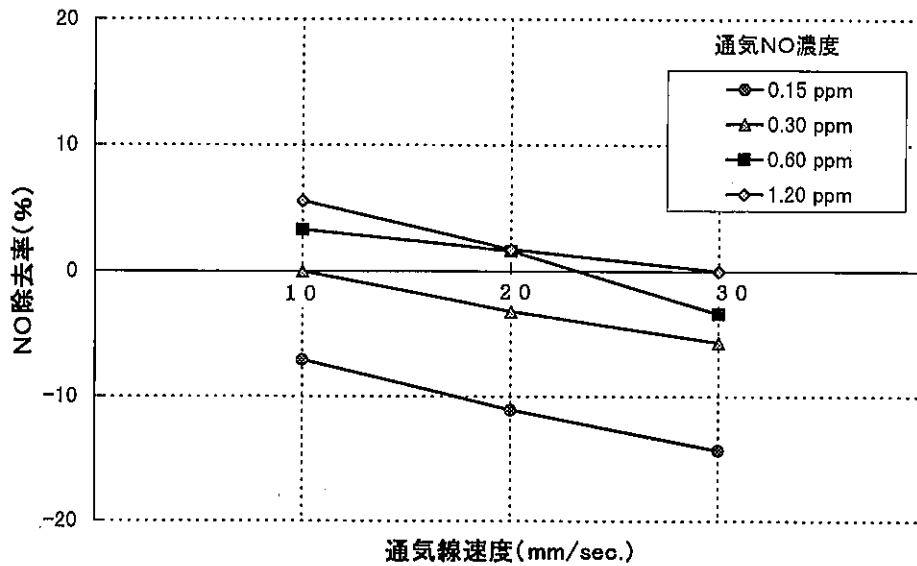


図2・3 処理空気量とNO除去率

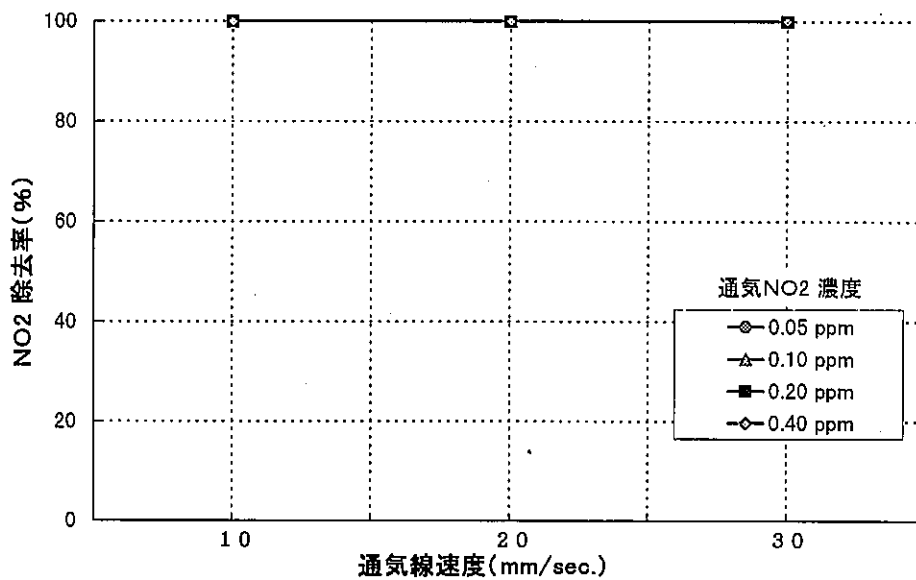


図2・4 処理空気量とNO<sub>2</sub>除去率

2・7に示した土壌温度条件でNO, NO<sub>2</sub>の人工汚染空気を通気して除去率および除去量を調べた。結果を表2・8および表2・9に示した。NOの除去率については、図2・5で示したように土壌温度が10~30℃の範囲内では、高温側で若干の上昇があるものの、大きな変化は認められなかった。また、NO<sub>2</sub>の除去率については、本実験条件下では、すべて除去され温度の影響は判断

されなかった(図2・6)。

土壌温度に関しては、今回のような短期的実験で土壌の物理化学的吸着吸収の傾向は判明できても、生物学的な吸収分解まで踏み込んだ考察はできないと考える。したがって、特定の土壌温度下における長期的除去能の変化を把握する必要がある。

土壌を用いた大気浄化システムの実用性に関する調査

表 2-7 土壌温度設定条件

条件項目	設定値			
	土壌温度(°C)	10	20	30
NO 濃度(ppm)	0.15	0.30	0.60	1.20
NO <sub>2</sub> 濃度(ppm)	0.05	0.10	0.20	0.40
土壌中通気線速度	20 mm/sec.(120 L/min.)			
土壌pF値	なりゆき			
土壌pH	なりゆき			

表 2-8 土壌温度とNO除去能

通気中NO濃度 0.15 ppm	通気中			排気中		
	10	20	30	10	20	30
土壌温度(°C)	10	20	30	10	20	30
NOガス濃度 (ppm)	0.15	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14
NO除去率 (%)	—	—	—	0	6	7
NOガス重量換算 (mg/h)	1.45	1.54	1.45	1.45	1.45	1.35

通気中NO濃度 0.30 ppm	通気中			排気中		
	10	20	30	10	20	30
土壌温度(°C)	10	20	30	10	20	30
NOガス濃度 (ppm)	0.29	0.31	0.32	0.29	0.29	0.30
NO除去率 (%)	—	—	—	0	7	6
NOガス重量換算 (mg/h)	2.80	2.99	3.08	2.80	2.80	2.89

通気中NO濃度 0.60 ppm	通気中			排気中		
	10	20	30	10	20	30
土壌温度(°C)	10	20	30	10	20	30
NOガス濃度 (ppm)	0.61	0.60	0.62	0.59	0.56	0.59
NO除去率 (%)	—	—	—	3	7	5
NOガス重量換算 (mg/h)	5.88	5.78	5.98	5.69	5.40	5.69

通気中NO濃度 1.20 ppm	通気中			排気中		
	10	20	30	10	20	30
土壌温度(°C)	10	20	30	10	20	30
NOガス濃度 (ppm)	1.26	1.21	1.23	1.20	1.15	1.15
NO除去率 (%)	—	—	—	5	5	7
NOガス重量換算 (mg/h)	12.15	11.66	11.86	11.57	11.09	11.09

土壌構成	黒ボク土:ピートモス:パーライト(3:1:1)
土壌pF	1.9 ~ 2.1
土壌層での通気線速度	20mm/sec. (120L/min)
土壌pH	6.8 ~ 7.7
土壌層厚	40cm

表2・9 土壌温度とNO<sub>2</sub>除去能

通気中NO <sub>2</sub> 濃度 0.05 ppm	通気中			排気中		
土壌温度 (°C)	10	20	30	10	20	30
NO <sub>2</sub> ガス濃度 (ppm)	0.06	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00
NO <sub>2</sub> 除去率 (%)	—	—	—	100	100	100
NO <sub>2</sub> ガス重量換算 (mg/h)	0.89	0.74	0.74	0.00	0.00	0.00

通気中NO <sub>2</sub> 濃度 0.10 ppm	通気中			排気中		
土壌温度 (°C)	10	20	30	10	20	30
NO <sub>2</sub> ガス濃度 (ppm)	0.10	0.11	0.11	0.00	0.00	0.00
NO <sub>2</sub> 除去率 (%)	—	—	—	100	100	100
NO <sub>2</sub> ガス重量換算 (mg/h)	1.48	1.63	1.63	0.00	0.00	0.00

通気中NO <sub>2</sub> 濃度 0.20 ppm	通気中			排気中		
土壌温度 (°C)	10	20	30	10	20	30
NO <sub>2</sub> ガス濃度 (ppm)	0.24	0.21	0.21	0.00	0.00	0.00
NO <sub>2</sub> 除去率 (%)	—	—	—	100	100	100
NO <sub>2</sub> ガス重量換算 (mg/h)	3.55	3.11	3.11	0.00	0.00	0.00

通気中NO <sub>2</sub> 濃度 0.40 ppm	通気中			排気中		
土壌温度 (°C)	10	20	30	10	20	30
NO <sub>2</sub> ガス濃度 (ppm)	0.40	0.40	0.41	0.00	0.00	0.00
NO <sub>2</sub> 除去率 (%)	—	—	—	100	100	100
NO <sub>2</sub> ガス重量換算 (mg/h)	5.92	5.92	6.06	0.00	0.00	0.00

土壌構成	黒ボク土:ピートモス:パーライト(3:1:1)
土壌pF	1.9 ~ 2.3
土壌層での通気線速度	20mm/sec. (120L/min)
土壌pH	6.8 ~ 7.5
土壌層厚	40cm

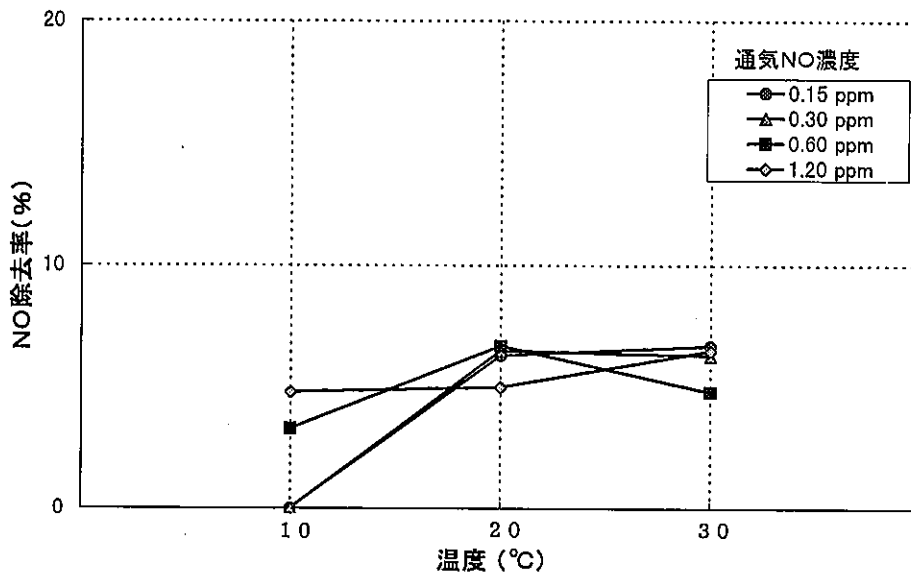


図2-5 土壌温度とNO除去率

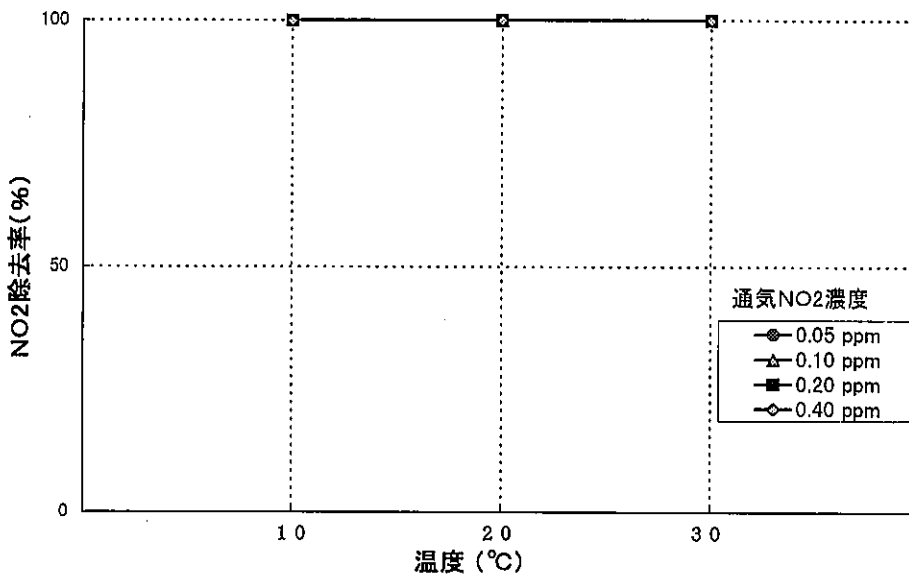


図2-6 土壌温度とNO<sub>2</sub>除去率

(4) 土壌水分と除去能の関係

前項の土壌温度と同様、土壌の水分も窒素酸化物除去に影響を与えられ考えられる。本調査研究の土壌水分の尺度は、pF値を採用した。pF値は土壌内の水が、どれほどの強さで土壌に吸着・保持されているかを表すもので、吸着力を水柱の高さ(cm)として求め、そ

の対数値をその土壌の土壌pF値と称する。

土壌pF値と土壌の状態を表2-10に示したが、本実験での土壌pF値は植物の栽培が可能な範囲内で表2-11に示したように3段階に設定し、窒素酸化物の除去に与える水分の影響を調べた。

実験結果を表2-12にまとめた。本実験条件下でのpF 1.3が、ほ場容水量以下で、重力水が生じている