

充填塔型生物脱臭法におけるH₂S除去の 動力学モデル

樋口能士*・西田耕之助**・松井三郎***
大迫政浩****

事業場の悪臭対策技術として現在注目されている、充填塔型の生物脱臭装置について、臭気成分の除去機構を検討し、モデル式を提案した。気相の臭気成分は、充填層に到着された後、生物的に分解される。モデル式では、吸着速度と分解速度が互いに影響を及ぼすことを考慮した。また数値解析により、土壌（火山性灰土）カラムを用いたH₂S除去実験のデータを再現し、モデル式における動力学定数を再現した。

Keywords: H₂S, Ando soil, sorption rate equation, acclimation rate equation, numerical calculation

1. 序 文

生物代謝反応を利用したガス状臭気成分の除去に関しては、現在各種の方法が考案され、主にし尿および下水処理の事業場で利用されている。また代表的な臭気物質(H₂S, CH₃SH, (CH₃)₂S, NH₃等)の除去については、各方面で実験的に検討がなされ、数々の有用な知見が得られている。またその結果についての動力学的考察も、一部で試みられている。これらの解説では、定常状態における臭気成分の除去速度を、回帰式として表現¹⁾したり、あるいは、気液接触装置におけるガス吸収と同等に扱われている²⁾。

一方、充填塔型生物脱臭法における臭気成分の除去機構は、気相の臭気成分の物理化学的な吸着(sorption)と、充填層に吸着された臭気成分の生物化学的な分解反応の2つに分けられると考えられる。したがって、生物反応の存在する充填層内における、吸着速度と分解速度との関係を明らかにすることによって、負荷の変動や、充填層の物理化学的特性の変化に対する臭気成分の除去特性を、より明確にすることができると考えられる。

そこで本報では、土壌やピート(繊維質泥炭)のような基材を充填した生物脱臭装置を対象に、臭気成分の除去機構に関する基礎式(マクロモデル)を提案した。さらに、土壌によるH₂S除去実験の結果を例に、数値解析を用いて、基礎式中の定数の概算値を導出した。

2. 基 礎 式

充填塔型生物脱臭法において、気相の臭気成分は、充

填層を通過する際、基材表面上への吸着により除去される。さらに、基材上に棲息する分解微生物が、エネルギー獲得のために、捕捉された臭気成分を酵素反応により分解する。したがって、基材表面上の臭気成分は飽和状態に達することがなく、気相の臭気成分は、長期にわたって基材上に吸着され続ける。生物脱臭法は、この点で吸収、吸着のみによる脱臭法と性質が異なる。

以下では、充填塔型生物脱臭装置を対象として、充填層内における物質収支、吸着、分解の3点についての基礎式を、新たに提案するモデル式を含めて述べる。

(1) 物質収支

充填層内で、臭気成分を含む気体は一定の流速で通過し、流れ方向の臭気成分の拡散は、移流に対して無視でき、また、流れに垂直な方向に完全な混合状態が存在すると仮定する。このとき、(層断面積A)×(微小高さdz)の単位容積内に、dt時間当りに流入した臭気物質は、Fig.1に示すように気相や基材表面上への蓄積、分解による除去が行われた後、残りは容積外へ流出する。したがって、脱臭塔内における物質収支式は、

$$-u \frac{\partial C}{\partial z} - \varepsilon \frac{\partial C}{\partial t} = \gamma \left(\frac{\partial Q}{\partial t} + R \right) \dots \dots \dots (1)$$

C(z, t): (z, t)における臭気成分濃度 [g-odor/cm³]

Q(z, t): (z, t)における基材表面吸着量
[g-odor/g-P. M.]

R(z, t): (z, t)における基材表面上
臭気成分の分解速度
[g-odor/g-P. M./sec]

P. M. = packing material

z: 臭気成分入口側の層端を基準とした流れ方向長さ [cm]

t: 経過時間 [sec]

u: 通気線速度 [cm/sec]

ε: 空隙率 [-]

* 学生会員 京都大学大学院博士過程 衛生工学専攻 (〒606 京都市左京区吉田本町)

** 正会員 工博 京都大学助教授 環境微量汚染制御実験施設

*** 正会員 工博 京都大学教授 環境微量汚染制御実験施設

**** 正会員 工博 国立公衆衛生院 衛生工学科

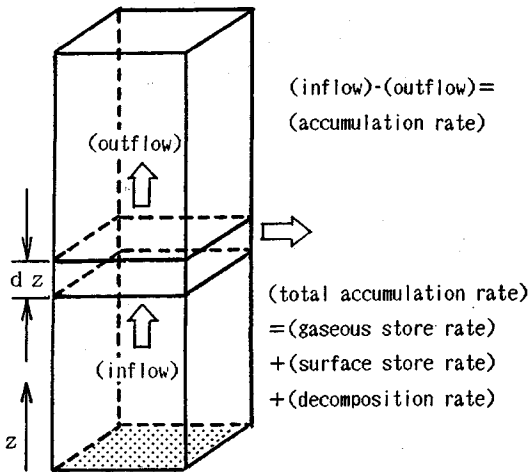


Fig.1 Mass balance of odor gas in the packed-tower type deodorization plant

γ : 充填密度 [g-P. M. / cm³]

で表される。

(2) 吸着

充填層内の臭気成分は、基材や微生物表面への吸着、あるいは基材表層水への溶解により気層から除去される。ここではこれらを総じて吸着 (sorption) と呼ぶ。

基材表面上において吸着成分の分解反応が存在しない場合、臭気成分の吸着速度 $\partial q / \partial t$ は、一般に

$$\gamma \frac{\partial q}{\partial t} = K_f a_v (Q_e - Q)$$

$K_f a_v$: 総括移動容量係数 [g-P. M. / cm³/sec]

Q_e : 気相濃度 C と平衡状態にある吸着量 [g-odor/g-P. M.]

で表される。気相濃度 C に対する平衡吸着量 Q_e とは、基材上に微生物分解が存在しない状態における基材表面への動的平衡吸着量のこと、実測値より得られる破過曲線 (後述) を図積分することにより得られる³⁾。したがって、充填層内に臭気成分の分解速度が存在する場合、基材表面吸着量の時間変化 $\partial Q / \partial t$ は、吸着速度と分解速度の差により、

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial q}{\partial t} - R = K(Q_e - Q) - R \dots \dots \dots (2)$$

K : 定数 ($= K_f a_v / \gamma$) [1/sec]

で表現される。ここで、 R は基材上での分解速度を意味するもので、上式は、表面吸着量の増加速度 $\partial Q / \partial t$ が、吸着量 Q と生物化学的な分解速度 R の双方に依存することを示している。ただし生物脱臭装置では、微生物増殖や分解生成物の蓄積に伴う基材表面の吸着容量の変化、あるいは表層水の pH の変化による吸収速度の変動などが十分に予想される。吸着速度式におけるこれらの因子の扱い方については後述する。

(3) 分解

基材表面、表層水および微生物表面に捕捉された臭気成分は、化学的あるいは生物的に分解除去されるが、通常の生物脱臭装置では、臭気成分の分解の大半が後者により促されていると考えられる。すなわち、臭気成分が定常的に通過する条件下で、微生物が十分に増殖した充填層内では、気相臭気成分の基材表面上への吸着速度が微生物代謝に伴う分解速度とほぼ等しい、という平衡状態が保たれていると考えられる。しかし、臭気成分の負荷が広範囲に変動する場合には、吸着速度と分解速度が常に等しいという保証はない。すなわち、吸着速度が変化した場合、生物的な分解速度が速やかに吸着速度と等しくなるのではなく、一定の時間を必要とする。そこで、充填層内における臭気成分の分解速度について、吸着速度との関連性から考察し、モデル式を誘導する。

一般に、空間や基質が一定の環境下で、生物の増殖は永久に対数増殖するわけではなく、シグモイド形をとってある一定値で止まる。この曲線は、ロジスティック曲線と呼ばれ、次の微分方程式により表現される⁴⁾。

$$\frac{dN}{dt} = hN \left(1 - \frac{N}{\mu}\right)$$

N : 個体数

μ, h : 定数 (μ : 飽和密度あるいは環境収容力)

一方、O₂ や CO₂、その他必要な栄養源が十分に存在する条件下では (還元型硫黄の酸化あるいは NH₃ の硝化に関与する微生物は、その多くが好気性の独立栄養細菌である)、臭気成分の分解により得られるエネルギーが多いほど、微生物個体数の増加は促進される。したがって、これに付随して臭気成分の分解速度の増加が生じると考えられる。しかし微生物個体数の増殖と同様、分解速度にも上限がある。

ここで、生物的な分解速度の上限を規定する要因として、以下の2つを考える。

① 最大吸着速度 $\partial q / \partial t_{max}$ に等しい分解速度が得られるまで分解微生物が増殖すると想定した時に、その時の微生物個体数が飽和密度を下回る場合、分解速度 R は $\partial q / \partial t_{max}$ まで増加することができる。ここで最大吸着速度とは、気相の臭気成分濃度に対する最大の吸着速度のことであるが、吸着速度 $\partial q / \partial t$ が式 (2) のように表現される場合、 C が一定の時における $\partial q / \partial t$ の最大値は、式 (2) で $Q=0$ を代入することにより得られる²⁾。すなわち、

$$\frac{\partial q}{\partial t_{max}} = K Q_e \dots \dots \dots (3)$$

で与えられると考える。

② 最大吸着速度 $\partial q / \partial t_{max}$ に等しい分解速度を得るために、飽和密度を上回る微生物個体数が必要である場合、 R は $\partial q / \partial t_{max}$ まで増加することなく、最大分解速度

R_{max} で止まる。 R_{max} に達した状態では、飽和密度に達した微生物群が、その生命、個体数を維持するために必要な一定の臭気成分分解速度を持っていると考えられる。分解微生物が飽和状態となる要因については、基材が持つ分解微生物の収容空間が飽和状態となる場合、あるいは O_2 、 CO_2 などの供給が律速となる場合などが挙げられるが、いずれにせよ R_{max} は、基材上における分解微生物の収容能力に関する値であって、 C 、 Q に無関係な定数であると考えられる。

このような基本的概念を導入して、分解速度の時間変化を以下のようなロジスティック曲線と同型の式で表現し、馴養速度方程式 (Acclimation rate equation) と呼ぶ。

$$\frac{\partial q}{\partial t_{max}} < R_{max} \text{ の時}$$

$$\frac{\partial R}{\partial t} = hR \left(1 - \left(R / \frac{\partial q}{\partial t_{max}} \right) \right) \dots\dots\dots (4)-1$$

$$\frac{\partial q}{\partial t_{max}} > R_{max} \text{ の時}$$

$$\frac{\partial R}{\partial t} = hR (1 - (R/R_{max})) \dots\dots\dots (4)-2$$

ただし、基材自身への吸着速度に比べ、微生物表面への吸着速度が非常に高い場合、気相濃度 C に対する最大吸着速度が、微生物増殖に伴って大きく増減することも考えられる。このような場合には、 $\partial q / \partial t_{max}$ を C のみの関数で表現することが不合理になる。

3. 数値解析による基礎式中の定数の決定

充填塔型生物脱臭装置により臭気成分の除去を行うと、生物分解による定常的な除去が行われる以前に、以下の段階が存在する。

① 基材上に臭気成分の生物学的な分解がほとんど存在しない状態で通気を開始すると、一般に行われる吸着除去操作と同様に、基材表面への臭気成分の吸着は、平衡吸着量に達した時点で停止する。したがって、(出口濃度 C) / (入口濃度 C_0) の経時変化は、一般にFig.2.1に示すような曲線 (破過曲線, Break-through curve) で表わされる。以下ではこの段階を初期吸着過程 (Initial sorption state) と呼ぶ。

② ①の段階が終了した後にも通気を継続すると、かなりの時間が経過した後、基材上の分解微生物の増殖により (あるいは、既存の分解能力を持たない微生物群が、遺伝情報の移送などにより分解能力を獲得する⁹⁾ことにより)、基材表面上の臭気成分の分解速度が増加し始め、次第に基材表面上の臭気成分が平衡状態より少なくなるために、気相臭気成分の吸着速度が徐々に増加し始める。以下ではこの段階を馴養過程 (Acclimating state) と呼び、 C/C_0 の経時変化は、一般にFig.2.2に示すような曲線 (以下馴養曲線 Acclimation curve と呼ぶ) で表わ

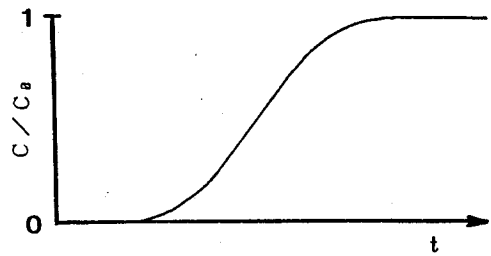


Fig.2.1 Outline of break-through curve

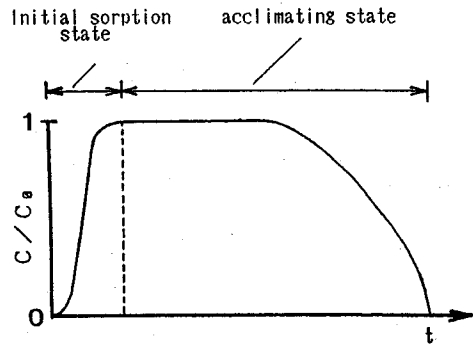


Fig.2.2 Outline of acclimation curve

される。

上記の2つの段階における実測データを、先に挙げた基礎式に基づく数値解析を用いて再現することにより、基礎式中の定数値を決定する。すなわち、実測データより決定可能な定数 (動的平衡吸着量 Q_e など) を算出した後、データから得られる曲線 (破過曲線と馴養曲線) に対して、基礎式中の未知な定数に様々な値を代入した数値解析により、理論曲線を複数算出し、実測データに最も適合する理論曲線を得た定数値を採用する。その数値計算の手法の概要は Appendix に示す通りである (式 (7)-1 については後述)。

著者らは、土壌を用いた H_2S の除去について若干の検討を行ってきた^{9),7)}。その実験結果に対して、上記の手順に従って基礎式中の定数を順次同定した。

(1) 吸着速度定数 K の決定

含水率 40% の黒ボク土 (火山性灰土) を充填したカラム中に、一定濃度、一定流速で H_2S を通気させた。土壌の性状と実験の操作条件は、それぞれ Table 1, Table 2 に示す通りである。初期吸着過程における実験結果を Fig.3 中に示す (□, △, ○が実測値)。図中のいずれの曲線についても、 $C/C_0=1$ に達する前に定常状態になる。その理由としては、次のことが考えられる。

① 土壌への吸着現象が、土壌水への溶解→土壌粒子への吸着という段階的のプロセスを持っていて、そのうちのいずれかが律速となっている。

② 土壌水への溶解速度あるいは土壌粒子表面への吸

Table 1 Characteristics of sample soil

packing density	0.64
net density	2.22
void fraction (at packed)	0.67

Table 2 Operation conditions in the experiment of initial sorption

column No.	mark	superficial velocity [cm/sec]	Inlet H ₂ S Conc.	
			[ppm]	[g-S/cm ³]
1	□	0.57	65.3	9.33 × 10 ⁻⁸
2	△	0.55	410	5.86 × 10 ⁻⁷
3	○	1.07	391	5.59 × 10 ⁻⁷

Packing height ; 12 cm, Temp. ; 19°C

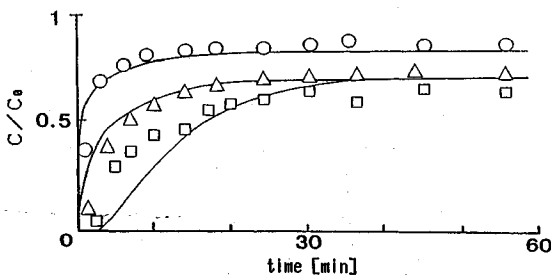


Fig. 3 Break-through curve (The curves are simulated for the purpose of the estimation of the *K* value.)

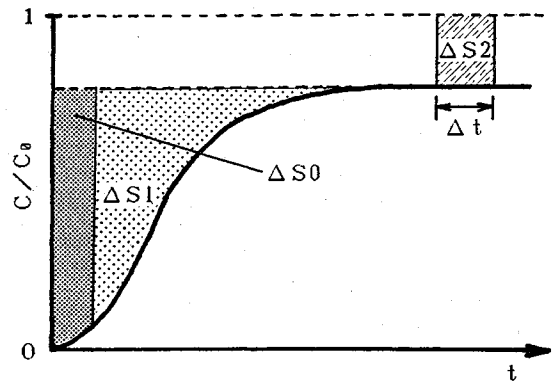
着速度に比べ、細孔部への拡散速度が小さいために、土壌表層部で到着平衡に達した後、およそ一定の速度で細孔部に拡散していく現象がみられる。

③ 到着された H₂S が、土壌表面上で一定速度で固形硫黄、あるいは硫酸イオン (SO₄²⁻) などに酸化されることにより、一定の到着速度が保たれる。

著者らの測定では、この期間において、土壌層が H₂S で完全な飽和になる状態、すなわち、C/C₀=1 となる状態は観測されなかった。また土壌層中の SO₄²⁻ の増加も認められなかった。したがって、この定常状態には、速度の遅い到着現象、あるいは SO₄²⁻ 以外の物質への酸化などの存在が考えられる。ここでは、C/C₀ が定常状態になった時点におけるこの一定の除去速度を、初期除去速度 (Initial removal rate) と呼び、R₀ で表現する。

そこでこの R₀ および Q_e を実測値より算出した。その方法を Fig. 4 に示す。平衡到着量 Q_e については、R₀ による到着量を除く定常状態までの総到着量であると仮定して、各破過曲線に対して図中の斜線部分を図積分して求めた。計算結果を Table 3 に示す。表より、R₀、Q_e は共に通気速度にはほぼ無関係であり、C の関係としておおよそ

$$R_0 = kC = 0.025C \text{ [g-S/g-P.M./sec]} \dots\dots\dots (5)$$



$\Delta S_0 = \frac{\text{void capacity [cm}^3\text{]}}{\text{gas flow rate [cm}^3\text{/sec]}}$
 $Q_e \text{ [g-S/g-P.M.]} = \Delta S_1 \times \text{Load of H}_2\text{S/weight of the packed soil}$
 $R_0 \text{ [g-S/g-P.M./sec]} = \Delta S_2 / \Delta t \times \text{Load of H}_2\text{S/weight of the packed soil}$
Fig. 4 Calculation method of *Q_e* and *R₀* using break-through curve

Table 3 Relationship among C_E, R₀ and Q_e (C_E is mean concentration of H₂S in the packed column at the end of initial sorption state)

mark (See Tab-2.)	□	△	○
<i>u</i> [cm/sec]	0.57	0.55	1.07
<i>C_E</i> [ppm]	56.6	352	362
[× 10 ⁻⁸ g-S/cm ³]	8.65	53.8	55.3
<i>R₀</i> [× 10 ⁻⁹ g-S/g-P.M./sec]	2.10	13.8	13.1
<i>Q_e</i> [× 10 ⁻⁶ g-S/g-P.M.]	5.74	13.6	14.2

$$Q_e = \alpha C^n = 0.014 C^{0.48} \text{ [g-S/g-P.M.]} \dots\dots\dots (6)$$

(Freundlich 式への回帰)

で表された。

ここで、到着速度定数 *K* を決定するために数値解析を行った。なお、この実験の間に (約 1 時間) 微生物増殖による臭気成分の分解速度の大きな変化はないと考えられるため、実験期間内における分解速度の増加を考慮しないという意味で、式 (4) における *h* を 0 とした。*K* を変化させて計算を行い、得られた理論破過曲線と実測値とを比較検討することにより、おおよそ *K* = 0.0025 程度が妥当であると判断された。*K* = 0.0025 で計算した結果得られた理論破過曲線は、Fig. 3 中の曲線である。

(2) 馴養速度式における定数 *h* の決定

著者らは、先の到着実験に用いたものと同じ黒ボク土を用いて、さらに長期間 H₂S を一定濃度、一定流速で通気させ、H₂S の分解に関与する微生物群を馴養させる実験を行った。実験の操作条件は Table 4 に示す通りである。また、実験期間中の C/C₀ の変化は Fig. 5 に示

Table 4 Operation conditions in the experiment of acclimation

column No.	mark	superficial velocity [cm/sec]	Inlet H ₂ S Conc.	
			[ppm]	[g-S/cm ³]
4	●	0.42	3.9	5.57×10 ⁻⁶
5	▲	0.42	8.7	1.24×10 ⁻⁶
6	■	0.42	25.4	3.63×10 ⁻⁶

Packing height ; 30 cm, Temp. ; 17°C (mean)

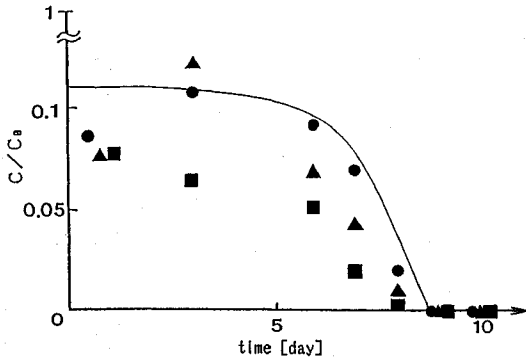


Fig.5 Acclimation curve (The curve is simulated for the purpose of the estimation of the *h* and β values.)

す通りである (●, ▲, ■が実測値)。

初期除去速度 R_0 は若干増加して、おおよそ 0.045 C となった。これは、充填層に植種のためにし尿汚泥を散布し、また微生物群の馴養を促進するために、pH 緩衝を兼ねた硫酸酸化細菌の培養液を散布した後、水分調整を行ったためである。

そこで、馴養速度式における定数 h を決定するために数値解析を行った。なお、 Q_e に関しては先に導入した回帰式式 (6) を、 K については先の解析結果 (0.0025) を用いた。

馴養過程初期、すなわち初期収着過程終了直後において、初期除去速度 R_0 で表現した基材表面上臭気成分の除去には、さきに述べたように複数の機構が考えられる。したがってこの時点では、この除去速度の中に一定の比率で生物学的な分解速度が存在する、とする考えが適当であると思われる。このような考え方を適用するとき、式 (4) は以下のように書き改められる。

$$\frac{\partial q}{\partial t_{\max}} < R_{\max} \text{ の時}$$

$$\frac{\partial R_{\text{bio}}}{\partial t} = hR_{\text{bio}} \left(1 - \left(\frac{R}{\frac{\partial q}{\partial t_{\max}}} \right) \right) \dots\dots\dots (7)-1$$

$$\frac{\partial q}{\partial t_{\max}} > R_{\max} \text{ の時}$$

$$\frac{\partial R_{\text{bio}}}{\partial t} = hR_{\text{bio}} \left(1 - \left(\frac{R}{R_{\max}} \right) \right) \dots\dots\dots (7)-2$$

$R_{\text{bio}}(z, t)$: (z, t) における基材表面上臭気成分の生物分解速度 [g-S/g-P. M./sec]

また、初期収着過程終了直後においては、 R_0 のなかの R_{bio} の比率を β として、

$$R_{\text{bio}}/R_0 = \beta \dots\dots\dots (8)$$

であるとする。ただし、滅菌処理土壌と未処理土壌との比較では、 R_0 に有意な差異は認められず、実験結果より R_{bio} を求めることが困難であるため、 β の値についても数値解析の結果より推定する。

そこでまず、 $\partial q/\partial t_{\max} \ll R_{\max}$ であると仮定して、式 (7)-2 を用いずに計算を行った。 h および β をそれぞれ広範囲に変動させて計算を行った結果、 h に関してはおおよそ 1×10^{-5} 程度、 β はおおよそ 5×10^{-4} 程度で実測値との適合性が高かった。 $\beta = 5 \times 10^{-4}$ ということは、初期除去速度 R_0 の中に含まれる生物分解速度は、0.05% にすぎないということの意味する。

$h = 1 \times 10^{-5}$ 、 $\beta = 5 \times 10^{-4}$ で得られる理論馴養曲線は、Fig.3 中の曲線である (計算では、臭気成分の濃度のみが異なる場合、馴養曲線は一致する)。

次に、本事件の操作条件の中で $\partial q/\partial t_{\max} > R_{\max}$ となる状態が存在するかを検討するために、本実験の操作条件の範囲において $\partial q/\partial t_{\max} > R_{\max}$ なる状態が存在するような R_{\max} を設定して、式 (7)-2 を含めた計算を行った。しかしこのような設定を行うと、馴養時の濃度が高いほど、生物分解により除去率が増加するまでの時間が長くなる傾向が生じてくる。しかし馴養にかかる時間に大差はなかったことから、本実験の操作条件の中では微生物が飽和密度に達していることはない判断した。

本解析は、各基礎式における定数を決定する目的で行われ、臭気物質に H₂S を、充填基材には火山性灰土を用いた実験を例に挙げて、実験値と理論値との適合性から各定数のおおよその値を決定した。土壌層による H₂S の除去実験に対して、これまでに得られた基礎式中の定数値は、Table 5 に示す通りである。

(3) H₂S 除去に必要な馴養土壌の層高

これまで述べてきた土壌を用いた実験で、収着速度あるいは平衡収着量について、初期収着過程と同様の関係式が馴養過程後の定常状態においても成立すると仮定すれば式 (1) などから、

$$-u \frac{\partial C}{\partial z} = K_r a_v (Q_e - Q)$$

と表され、さらに $\partial q/\partial t_{\max} < R_{\max}$ の条件下では $Q = 0$ と考えられるため²⁾、上式は解析的に解くことができ、臭気成分が完全に除去されるために必要な層高 L を

$$L = \frac{u C_0^{1-n}}{K_r a_v \alpha (1-n)} = \frac{u C_0^{1-n}}{K_r \alpha (1-n)}$$

C_0 : 入口臭気成分濃度 [g-odor/cm³]

で求めることができる。そこで上式に従って L を求めた結果を Table 6 に示す。本実験では、充填層高を変えた上での検討を行っていないため、上式に基づいて算出

Table 5 Values of coefficients given by getting the simulation curve that is most suitable to the experimental values

coefficient	equation No.	value
K	(2), (3)	0.0025
h	(7)	1×10^{-5}
β	(8)	5×10^{-4}
R_{\max}	(7)-2	$>9.4 \times 10^{-9}$

Table 6 Height of soil layer required to remove H₂S gas completely at acclimated state

C_0 [g-S/cm ³]	L [cm]
5.57×10^{-9}	1.84
1.24×10^{-8}	2.79
3.63×10^{-8}	4.88

した必要層高の妥当性について十分議論できないが、初期収着過程の収着速度（定数 K ）が、馴養過程終了以後においても不変であるかについて、今後検討が必要である。初期収着過程と馴養過程終了以後で、収着速度（定数 K ）に大きな差が生じると考えられる場合、微生物の増殖が基材表面にどのような変化を生じさせるのか（例えば、比表面積のような物理的特性の変化や、生物膜の発達などによる基材表面の化学的性質の変化）を把握し、その変化を定量的に検出しなければならない。

4. 脱臭操作への適用へ向けての課題

この一連の基礎式を用いた解析は、現時点では、脱臭操作が次に挙げる限られた範囲で行われていることを前提とする。

① 温度、pH、基材中の水分量の変化など、収着や生物分解に栄養を与えるような因子に、経時変化が存在しない。

② 微生物の増殖や分解生成物の蓄積は、平衡収着量あるいは収着速度に変化を与えない。

③ 微生物個体、分解酵素、あるいは分解生成物が、通気や水分の補給により移動することがない。

今回例に挙げた実験は、低負荷、無散水など、これらの影響がほとんど生じないと考えられる条件下で行われたものである。しかし、実際の脱臭操作はこのような理想状態で行われているわけではない。

長期にわたる脱臭操作では、充填層内の物理化学的特性の変化によって、収着速度や平衡収着量が大きく変化する可能性がある。このような状態に基礎式を適用するためには、平衡収着量を変動する因子の関数として捉える必要がある。例えば、基材表層水 pH は平衡収着量を変化させる⁸⁾。そこで、平衡収着量を表層 pH の関数 Q_e (pH) として表現した上で、これを以下のような形で収着速度に関する基礎式にそのまま用いることが可能ではないかと考えている。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = K(Q_e(\text{pH}) - Q) - R$$

$$\frac{\partial q}{\partial t_{\max}} = KQ_e(\text{pH})$$

$$R_{\max} = R_{\max}(\text{pH})$$

分解生成物の蓄積による平衡収着量の変化が存在する場合にも、同様の考え方が可能であると思われる。生成物阻害は、装置寿命を考える上で重要な問題であり、今後、例えば阻害の規則性を上式のような形で定式化し、生成物質の蓄積量あるいは生成速度を考慮にいたった収着速度式、分解速度式を提案する必要がある。

また収着速度式を表層水 pH、分解生成物蓄積量などの関数として把握することは、複合系臭気の除去における至適条件を考える上でもきわめて重要な資料となる。

さらに、充填層内の臭気成分の拡散状態に関して、また、臭気成分の除去に影響を及ぼすと考えられる物質の、通気、散水による移動の状態についても考慮する必要があると思われる。

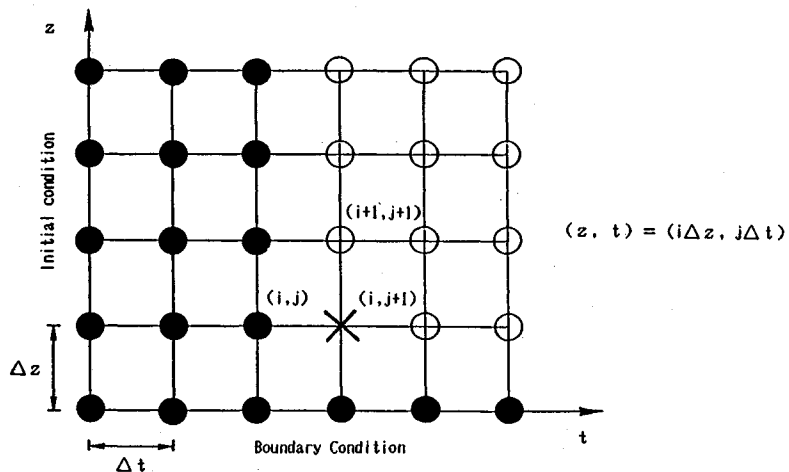
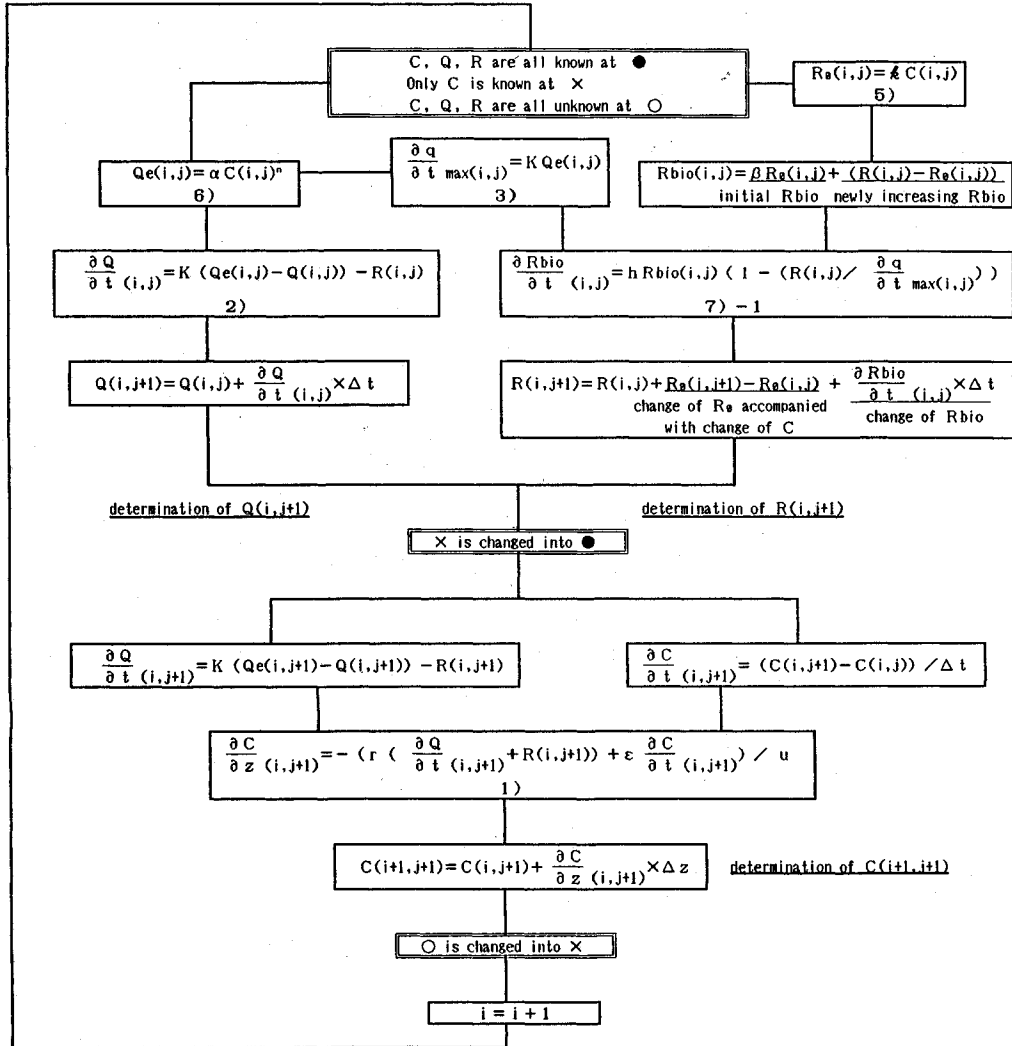
5. 結 語

ここまで、臭気成分の除去機構に関する基礎式を提案し、基材に土壌を、臭気成分に H₂S を用いた実験を例に挙げて、基礎式を用いた数値計算により得られる理論値との比較検討を試みた。本報の目的は、脱臭操作に関する規則性を多少なりとも把握し、今後の実験的検討に対する考察の手法を確立することであり、その発端として十分な知見が得られたと考える。

したがって、得られた定数値等はいずれもおおよその値として参考にして頂きたい。この解析手法は、必要な動力学定数を簡便に求めることができる他、馴養時における生物的な分解速度の変化、あるいは基材上における分解微生物の飽和状態について、おおよその理解を可能にすると思われる。さらに今後、境界条件を変化させた解析を行うことにより、負荷変動に対する除去特性の予測も可能になると考えられる。また本解析は、H₂S 以外の臭気、土壌以外の充填基材にも充分応用可能であると考えられ、特に、広範囲な負荷変動に対する除去特性を把握する上で有用であると考えられるが、今後さらに実験データとの比較検討を試みる必要がある。

また先に述べたように、実際の脱臭操作は多くの因子を持ち、これらのごく簡潔な基礎式で解説できない場合も生じてくる。したがって、今後これらの項目を検討し、その結果を考慮することにより、基礎式を、実際の脱臭操作に対して適用可能な形に改善していく必要がある。

Appendix Summary of numerical calculation



参 考 文 献

- 1) 久保田宏：微生物を用いる脱臭操作，研究課題番号 57470081，昭和 58 年度科学研究費補助金（一般研究 B）研究成果報告書，1984 年 9 月。
- 2) 藤江幸一・O.A. サディロフ・平井光代・久保田宏：気・液接触方式による生物脱臭装置の特性評価，臭気の研究，19（5），pp.14~21，1988。
- 3) 末高透・池端孝之・宗森信：吸着脱臭法の研究（第 1 報），悪臭の研究，Vol.15，No.70，pp.29~33，1986。
- 4) R. H. Whittaker：宝月欣二訳，生態学概説，培風館，1990。
- 5) 須藤隆一：環境浄化のための微生物学，講談社，1983。
- 6) 井上仁：土壌による悪臭物質の除去機構に関する基礎的研究，京都大学衛生工学修士論文，1985。
- 7) 樋口能士：土壌による硫化水素の生物学的脱臭機構に関する基礎的研究，京都大学衛生工学卒業論文，1990。
- 8) 西田耕之助・大迫政浩・日名清也：水中溶存臭気物質の測定法に関する研究，日本衛生学雑誌，44（2），pp.631~638，1989。

(1991.6.17 受付)

A H₂S REMOVAL MODEL IN THE PACKED-TOWER TYPE BIOLOGICAL DEODORIZATION

Takashi HIGUCHI, Konosuke NISHIDA, Saburo MATSUI and Masahiro OSAKO

Removal kinetics of gaseous H₂S in a packed-tower type deodorization plant was studied. Deodorization in this type had two processes ; sorption of gaseous H₂S and biological decomposition of adsorbed (absorbed) H₂S. The sorption rate and the decomposition rate interacted each other, and the proposed kinetic model included the interaction. In order to estimate the coefficients of the model equations, some experimental data were simulated by the numerical calculation. This model and the coefficient estimating method are very useful to evaluate the optimal conditions of the biological deodorization packed-tower and to estimate the removal characteristics of the complex of odor components.