

回転接触体生物酸化装置による下水処理の研究

— 硝酸化過程を中心として —

北海道大学 正 寺島 重雄

神戸市役所 正 尾崎 敏之

○ 北海道大学 学 武智 弘明

1. はじめに

回転接触体生物酸化装置は, Bach の可動性水体に端を発し, 1960年に西独の Hartmann と Pöpel によって名付けられた。この装置は, 回転軸の周辺に生物膜の支持体を持ち, 特に曝気装置を持たずとも回転することにより曝気できるもので, 西欧では大規模な下水処理場に用いられている例もある。我が国では, これ迄主として工場廃水の処理に用いられてきた。

従前の研究では処理の効率といった観点からの検討が多かった。しかし最近では高度処理や浄化メカニズムに関する研究も多くなってきた。高度処理としては窒素除去(硝化-脱窒)や SS・BOD 発現物質のより低レベルへの除去といった点で大きな可能性を持つ装置である。また浄化メカニズムとしては, 溶解性物質の拡散現象や浮遊性有機物の除去機構の解明があげられる。

ところで硝酸化とは, 好氣的条件下で微生物がアミノアを硝酸に近酸化するもので, 硝化-脱窒という一連のプロセスの一部である。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 1mg/l を硝化するには約 4.6mg/l の酸素を要し反応条件は非常に厳しいものである。従って高度処理という観点からのみならず, 酸素の移動(拡散)という観点からも考察の対象となる。本論文は, この硝酸化過程に関する一連の実験から, 除去の数式表現及び除去機能の安定性といった点に焦点をあて検討した。

2. 一般的考察

生物による基質除去作用は, (1) の如き Michaelis-Menten 型の式で表現される。

$$\frac{dx}{dt} = \frac{V_{\max} \cdot x}{x + k_m} \quad \text{--- (1)} \quad \begin{array}{l} x: \text{槽内濃度} \\ k_m: \text{飽和定数} \end{array} \quad V_{\max}: \text{最大除去速度}$$

硝化菌による NH_4^+ の除去(すなわち NO_2^- , NO_3^- への酸化)反応も上式で表わされると考えられる。ところで, 遠矢⁽¹⁾によれば, $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度が 200mg/l 以下でかつ pH 6~9 の範囲では, NO_3^- が蓄積される硝化形式であり硝酸菌・亜硝酸菌共に阻害は認められない。従って $k_m \ll x < 200\text{mg/l}$ の範囲で外部条件(pH, 酸素移動量)を一定に保てれば反応は濃度とは無関係に一定の除去速度を示す。

またトレーサ解析から, 回転接触体槽内は完全混合に近いことがわかっているが, 完全混合槽とすると槽内の物質収支は或(2)の如くなる。

$$\frac{dx}{dt} = D(y - x) - \frac{V_{\max} \cdot x}{x + k_m} \quad \text{--- (2)} \quad \begin{array}{l} D: \text{希釈率} \\ y: \text{流入濃度} \end{array}$$

式(2)の定性的性質は, 非線形であり解析解は求まらないこと, 入力の変化に対しては振動することなく, 入力の変化を吸収して定常状態に達するか若しくは入力の変化に対応できず発散してしまうもののいづれかの挙動を示すことである。

酸素・基質の生物膜中への拡散は, 加藤⁽²⁾によれば生物膜内に対して式(3)である。

$$\frac{dx}{dt} = D_L \frac{\partial^2 x}{\partial \ell^2} - U_r \quad \text{--- (3)} \quad \begin{array}{l} D_L: \text{拡散係数} \\ \ell: \text{膜中長さ方向の長さ} \\ U_r: \text{膜中除去(消費)速度} \end{array}$$

これによれば、拡散速度は、拡散係数・濃度勾配・消費（除去）速度の3つの支配因子を持っている。

3. 実験方法

実験装置は右写真及び図-1の如き、半円板の断面を持つ塩ビ板で作った槽に、円板形のベニヤ板の間にはさんだ塩ビのハニカムを可動体とするもので、槽容積は20ℓ、可動体部を入れた実容積は18ℓである。また接触面積は10.29m²である。

この装置を江別市大森処理場のNH₄⁺-Nを20~30mgℓ含む放流水で馴化・実験をした。さらに実験室にて、下記の基質で連続流動培養実験した。いずれも回転数8.7rpm、滞留時間2時間とした。実験時の水温は19℃以上を、pHは6.5~7.5を保った。

人工下水の組成は基質としてNH₄Cl 70mgℓ、バッファーとしてKH₂PO₄ 220mgℓ、K₂HPO₄ 560mgℓ、Na₂HPO₄ 1160mgℓである。

分析方法としては、NH₄⁺はネスラー法、NO₂⁻はGR法、NO₃⁻はUV法を用いた。

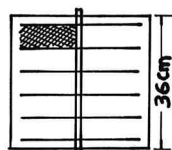
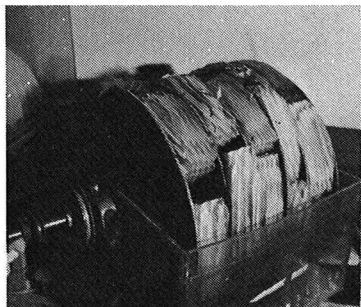
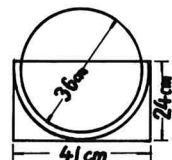


図-1



4. 回分式実験の結果と考察

人工下水により前述の如く馴化しておいた装置に、初期NH₄⁺-N濃度30mgℓとして行なったBatch Testの結果は図-2の如くだった。半減期プロットにより式(4)に於けるV_{max}とk_mは各々V_{max}=34.98mgℓ/hr, k_m=2.53mgℓと求められた。また初期濃度を57mgℓとしたときにはV_{max}=31.74mgℓ, k_m=2.60mgℓと求められ、従ってMichaelis-Menten型の反応であると言える。さて加藤は、有効拡散係数Deを式(4)の如く定義した。

$$De = \frac{D_r}{2C_{sc}} \cdot L^2 \quad \text{---- (4)}$$

C_{sc}: 生物膜側の限界濃度
L: 生物膜厚さ

この結果初期濃度30mgℓに対してDe=0.455×10⁻⁶cm²/secと求められたが、今濃度が30mgℓ程度であれば、実験時80μ程であった生物膜中最深部迄拡散していることとなる。

これに対して酸素の拡散を考えてみる。今基質の有効拡散係数は純水中その値の3%程なので、酸素に関しても同じ割合であるとし、さらに生物膜の酸素消費速度が基質の約千倍であるとする、酸素は70μm程迄拡散していることとなる。実際にはこの深さでの反応は全体に対して無視小であるから、酸素拡散は律速となっていると断定しえない。

ここでアンモニア以外の基質があると、酸素の移動量が不足となると考えられる。拡散係数は液境膜厚の関数でもあるから、回転数を増し液境膜を薄くすると除去速度は増加することとなる。そこでCOD_{cr}として90mgℓの下水処理場放流水を用いて、回転数を变化させたBatch Testを行なった。結果は図-3に示したが、反応速度が10%/min前後迄は（回転数として8.8rpm前後）速度の増加に伴ない除去速度が増加しているので、酸素の移動量が律速因子の一つであったと言える。

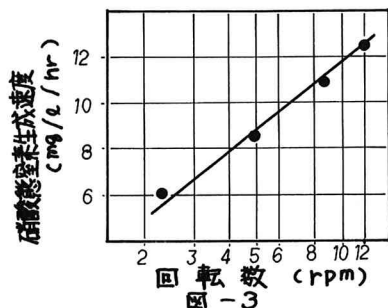
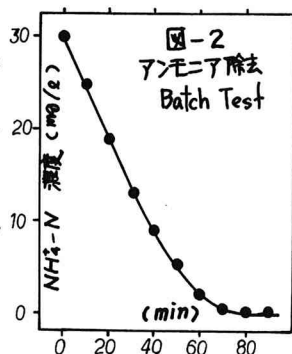


図-3

5, 連続流式実験の結果と考察

連続運転時の流量・濃度の増加に対する除去機能の安定性を検討するため、流量に対して図-4の如く滞留時間 θ を短くし、また濃度に対して図-5の如く濃度 C を増すという変化を与えた。 θ 及び C の値は表-1に示した。

Batch Testより反応はMichaelis-Menten型に合致することかわかったが、連続流状態でもRun5~7(図-10~12)において流入濃度に拘わらず一定の除去速度(NO_x の生成速度)を示すことから式(1)適用の妥当性は知れよう。

さて槽内が完全混合状態であれば負荷の変動に強いが、ここで混合状態を検討した。式(2)より定常状態では $\frac{dx}{dt} = 0$ より下式(5)の如く x の安定値が求められる。

$$x = \frac{1}{2} \left\{ (y - km - \frac{V_{max}}{D}) + \sqrt{(y - km - \frac{V_{max}}{D})^2 + 4ykm} \right\} \quad \text{---- (5)}$$

また、式(2)の各定数がわかれているとき下式(6)は近似的に部分分数として積分で式(7)の如き関数を与える。

$$\frac{(x+km) dx}{x^2 + x(km + \frac{V_{max}}{D} - y) - ykm} = -D dt \quad \text{---- (6)}$$

$$x = \ln \left\{ |x-a| * |x-b|^{(-\alpha)} * \text{Const.} \right\} \quad \text{---- (7)}$$

式(5)より求めた理論値を各々表-2に、また式(7)より求めた理論曲線をRun3とRun6について示した。また表-2には実験結果での安定値と、流入濃度から $\text{NO}_x - \text{N}$ を差し引いた形での安定値を示したが、かなり合致している。Run3及びRun6の理論曲線もまたよく合致しており、全体として式(2)が適用できると言える。さらに定性的観察によれば、短絡流はほとんど無視で

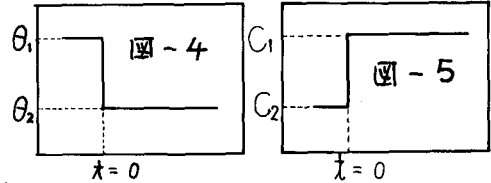
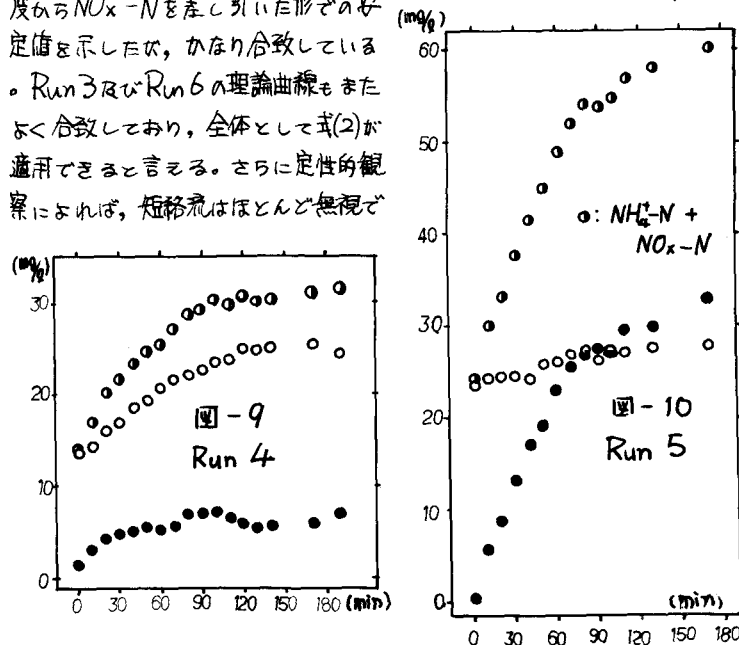
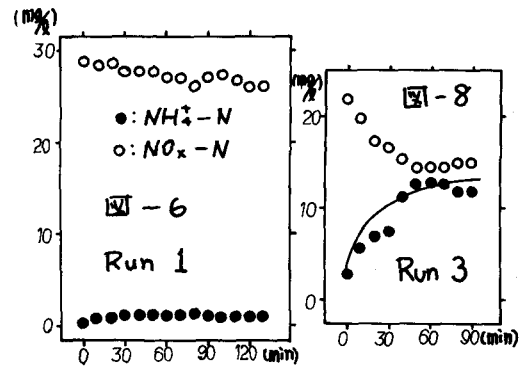


表-1

Run Number	滞留時間 θ_1 $\theta_2^{(min)}$	流入 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度(%) C_1 C_2	図番号
1	6.0 2.0	28.2	6
2	2.0 1.0	28.2	7
3	1.0 0.5	28.2	8
4	0.833	13.1 33.4	9
5	1.0	26.0 60.0	10
6	1.0	60.0 89.8	11
7	0.833	33.4 93.7	12



さる。

特に全体として極めて大きい変化であるに拘らず、その他の条件(pH)を一定に保障すれば、微生物による反応が阻害を受けたり活性が落ちたりといった影響は認められなかったという結果を得たが、このことから非常に安定であると言えよう。

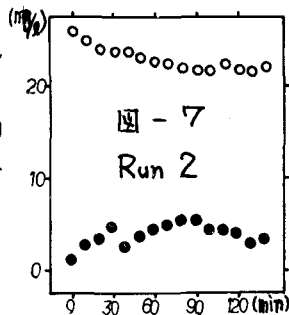
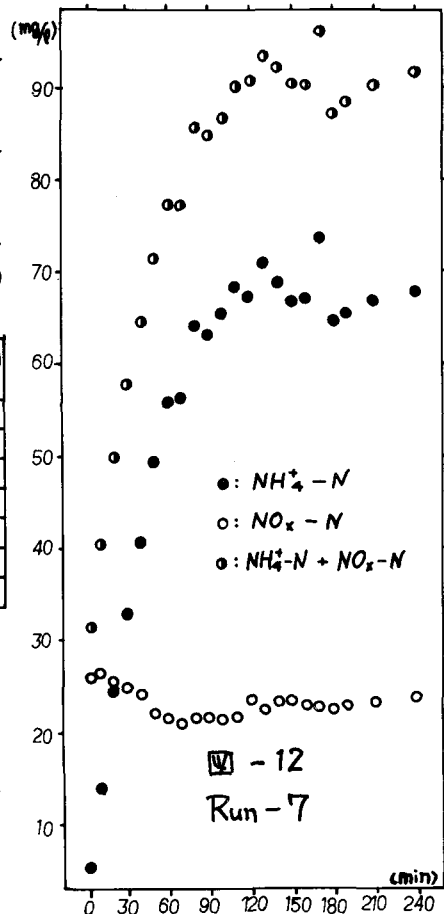


表 - 2

また
表-2
には、
実験結
果より
安定状
態に達
した時

Run Number	NH ₄ -Nの 初値(mg%)	NO _x -Nの 初値(mg%)	理論安 定値(mg%)	安定化時間 (無次元)
1	1.0	1.7	1.56	0.9
2	4.0	6.2	4.99	1.4
3	12.5	13.2	13.48	2.7
4	6.25	8.4	9.15	2.8
5	30.5	32.5	27.93	2.5
6	57.5	62.8	56.32	2.5
7	67.5	70.7	63.92	2.5

間を無次元化したもの(達するに要した時間を滞留時間で除したもの)を示したが、これによれば安定するには、高々滞留時間の3倍でよいことが知れる。今回示した変化は厳しいものであったが、それでもこれほどの安定性を示したことから、実際の下水処理時の変動範囲(30±10 mg%)では安定といえる。特に活性汚泥法での過度の流量増加は汚泥を流出させることがあるが、回転接触体の汚泥(微生物)は本来固着型のものだけであるので、そうした懸念はないという点は大きなメリットである。



6. 結論

- (1) 回転接触体生物酸化装置での硝化反応は、低濃度域から90 mg/lの流入NH₄-Nに対して Michaelis-Menten型の除去式で表現できること、Batch Test・連続流式ではわかった。
- (2) 回転接触体生物酸化装置内は、負荷の変動に対して安定な完全混合状態である。
- (3) (1)(2)より反応は式(2)により表現できる。

7 おわりに

本論文は、尾崎・武智の昭和49年度北大衛生工学科卒業論文をまとめたもので、寺島教授・寺所助今・当時DCの加藤氏及びMCの樽谷氏の御指導を受けました。また江別市大麻下水処理場の洲田場長及び遠藤氏には大いに便宜を計って頂いた。この機会に併せて謝意を表するものである。今後の研究の方向は、システム的考察・スケールアップ・酸素移動を中心にしていきたい。

- 参考文献 1) 遠矢泰典; 下水道協会誌 vol.7 no.74
2) 加藤善益; 昭和50年度北大学位論文(課程)