

II-552

ステップ・フィード嫌気好気活性汚泥法の最適ステップ率の理論及び数値解析

立命館大学理工学部 正会員 藤井 滋穂

1. はじめに 既存施設で窒素(N)除去可能なステップ・フィード嫌気好気活性汚泥法では、嫌気槽への配分率が重要な操作因子である。筆者らはすでに化学量論に基づく最適値を報告¹⁾したが、今回、浄化槽による数値計算で、その理論値の有効な条件を検討したので報告する。

2. 解析及び計算条件 本研究では、平均的な処理場流入水のCOD, BOD, SS, VSS値を各々500, 240, 220, 165mg/Lと想定し、最初沈殿池浮遊物除去率を有機物40%, 無機物70%として、表1の水質値を設定した。これが図1の P° に流入する際の第2脱窒槽DN2への配分率 r (以下ステップ率と呼ぶ)の影響を、表2の操作条件(返送率 R_t , 循環率 R_c は各25, 125%で固定)の場合について検討した。

3. 理論値の算出 理論計算では、まず脱 N 反応, 生物同化の影響を計算し、硝化脱窒のみに寄与する Al カリ度 $\cdot \text{NH}_4\text{-N}$ ・基質量(COD)濃度を算出する。既報の方法²⁾でこれらを計算し($\text{BOD}/\text{COD}=0.7$, 収率 $=0.5$, 菌体 $\text{N}/\text{COD}=0.06$ で算出)、さらに Al カリ度の利用可能量をモデル計算の限界値12mg/Lで補正すると、各々123, 28.5, 148mg/Lとなる。これらを当量比に変換すると、 Al カリ度当量比 a は1.18、基質当量比 b は1.77となる(各々 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度との比 $\times 0.28, 0.35$)。既報¹⁾では、ステップ・フィード嫌気好気法では4槽の律速水質の違いで表3に示す16ケースがあり、ケースがステップ比 r の変化で8種類の P° に遷移することを示した(この a, b 値と返送+循環率, $R(=R_t+R_c)$ は固定)。今回の $a, b, R(=1.5)$ 値では r の増大によりケース $8 \rightarrow 6 \rightarrow 14$ に遷移する P° となる(既報のZone D)。これは、 r が小さい間は第2脱窒槽DN2で基質律速となるが(ケース8)、31%を越えると十分となり(ケース6)、さらに79%以上では、逆にDN1で基質律速(ケース14)となる P° である。好気槽はN1, N2とも Al カリ度不足である。表4に処理水質の計算式を図2にその図を示す。理論的最大N除去は、ケース $6 \rightarrow 8$ への遷移時に生じ、本条件では $r=31\%$, 放流 $\text{In-N}=5.4\text{mg/L}$ となる。なお、 $\text{NH}_4\text{-N}, \text{NO}_x\text{-N}$ ともこの最大N除去時に最低となる。

表1 想定曝気槽流入水質(mg/L)

水質指標値	モデル変数値
S-COD 256	S難分解COD 30
P-COD 146	S易分解COD 226
T-COD 402	P難分解COD 48
S-BOD 158	P易分解COD 74
P-BOD 49	他栄養性菌 24
T-BOD 207	自栄養性菌 0.2
VSS 98	DO 0.1
SS 115	$\text{NO}_x\text{-N}$ 0
T-N 118	$\text{NH}_4\text{-N}$ 25
$\text{NH}_4\text{-N}$ 25	Al カリ度 120
Al カリ度 120	無機SS 17

S=溶解性, P=浮遊性, T=全

表2 モデル計算条件

条件	設定値
第1脱窒槽	500m ³ ×1
第1好気槽	500m ³ ×2
第2脱窒槽	500m ³ ×2
第2好気槽	500m ³ ×3
返送率	25 %
循環率	125 %
槽端 MLVSS	3000mg/L
好気槽DO	2 mg/L
最終沈殿池滞留時間	3 hr

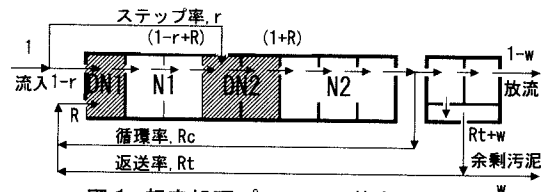


図1 想定処理プロセスの基本フロー (DN1(DN2):第1(2)脱窒槽, N1(N2):第1(2)好気槽)

表3 各ケースの律速水質

	ケース															
	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	14	16				
第1脱窒槽				N($\text{NO}_3\text{-N}$)							他(基質)					
第1好気槽	N($\text{NH}_4\text{-N}$)			他(Al カリ度)				N($\text{NH}_4\text{-N}$)			他(Al カリ度)					
第2脱窒槽	N	他	N	他	N	他	N	他	N	他	N	他				
第2好気槽	N	他	N	他	N	他	N	他	N	他	N	他	N	他	N	他

■は理論的に起こり得ないケース。□は窒素以外が律速。

表4 Zone Dでのケース変化とその放流水質値(流入 $\text{NH}_4\text{-N}$ 比)

Case	r条件	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_x\text{-N}$	無機態窒素
6	$r < r_1$	$1 - \frac{aR_1 + br}{2+R}$	$\frac{a-br}{2+R}$	$1 - \frac{aR+2br}{2+R}$
6/8	$r = r_1$	$1 - \frac{a(a+3b)R_1}{a+b+(a+3b)R_1}$	$\frac{(a+b)a}{a+b+(a+3b)R_1}$	$1 - \frac{a(2b+(a+3b)R)}{a+b+(a+3b)R_1}$
8	$r_1 < r < r_2$	$1 - \frac{a(3R_1-r)}{4+3R}$	$\frac{(1+r)a}{4+3R}$	$1 - \frac{(3R+2r_1)a}{4+3R}$
8/14	$r = r_2$	$1 - \frac{a(aR+2b+3bR)}{aR+4b+3bR}$	$\frac{2ab}{aR+4b+3bR}$	$1 - \frac{a(aR+3bR)}{aR+4b+3bR}$
14	$r_2 < r$	$1 - \frac{2aR_1+(a+b)r_1}{4+2R}$	$\frac{a(1+r)-br_1}{4+2R}$	$1 - \frac{aR+(a+b)r_1}{2+R}$

注 $R_1=1+R$ $r_1=1-r$ $r_1=\frac{2aR_1}{a+b+(a+3b)R_1}$ $r_2=\frac{-aR+4b+3bR}{aR+4b+3bR}$

4. 数値計算 数値計算

は、有機物除去と硝化脱窒反応を考慮した筆者らのモデル^{3, 4)}（表1の11変数の予測モデル）に、表1の流入水質、図1、表2の7つの条件を適用して連立微分方程式（槽数は11）を立て、RKG法で解を得た（水温20℃）。モデルで基質等の制限条件はMonod型で、D0の影響はステップ関数で与えた。図1の曝気槽、終沈各槽は完全混合槽列とし、表1の水質を流入させ定

常となった時の値を算出した。余剰汚泥引抜率 w は曝気槽終端MLVSS

を3000mg/Lに、好気槽の曝気強度 K_1a はD0を2mg/Lに維持するように調整設定した。流入量は曝気槽HRT(=Q/V)が8, 10, 16hrの3通りで検討したが、最終沈殿池容量はそのHRTがつねに3hrとなるように増減させた。

この条件で r が0-100%の場合の放流水N濃度の変化図を、循環法A0（曝気槽流入端3槽が嫌気、ステップ流入なし）と比較して図3に示す。ステップ法のN除去は r 値に関わらず、常にA0を上回った。最適な r 値は、滞留時間HRT(=Q/V)が16hrの低負荷時には理論値と付近の30-40%となったが、HRT12 hrでは40-50%、8hrでは100%と負荷の増大で r が高い方にシフトした。理論値と最も類似性の高いHRT8hrのケースでも、 $r=0$ で低め、最適値で高めのIn-N濃度となり、その変化を小さくする方向で若干相違している。HRT8hrの場合NH₄-N, NO₃-Nも $r=30\%$ 付近で最低であり、理論値とパターンは一致している。理論解析は律速因子濃度が0までの反応進行を仮定しているので、高負荷でパターンが異なるのは、反応の進行が不十分なためと考えられる。また同図よりステップフィード法の硝化脱窒のためにはHRTが12hr程度が必要ことがわかる。

HRTが短い場合、どこでの反応が不十分かを検討するため、 $r=30\%$ を例に水質の流下方向変化を図4に示した。各ケースとも両嫌気槽流出水のNO_x-Nはほぼ0であり、脱窒反応が律速ではないことがわかる。一方好気槽での硝化は高負荷時にきわめて少なく、これが全体のN除去を低下させた原因である。なお、HRT8hrは R が高い方が硝化菌の保持量が増加し、これが窒素除去の高い理由である。

6. まとめ 本研究では、ステップフィード嫌気好気活性汚泥法の最適ステップ率 r を理論解析及び数値計算で検討し、以下の成果を得た。①循環+返送率150%の運転では通常の下水の場合、 r の値に関わらず両好気槽の硝化は R 加度律速となる。②最適 r は表4の式で与えられ、曝気槽流入NH₄-N, T-N, BOD, VSSが各25, 38, 158, 98mg/Lの時、 $r=30\%$ で最大N除去が期待できる。③MLVSS3000mg/Lの条件で数値計算すると、効率的N除去のためにはHRTが12hr以上が望ましく、十分なHRTの場合、最適な r は理論値とほぼ一致する。

参考文献 1) 藤井ら, 水環境講, Vol. 28, p266-267(1994)
2) 藤井ら, 土木年譜, Vol. 49, p1118-1119(1994)
3) 藤井ら, 下水協, Vol. 32(1995), 4) S. FUJII et al, Preprint of posterpapers in WPRC, p8036-806(1990)

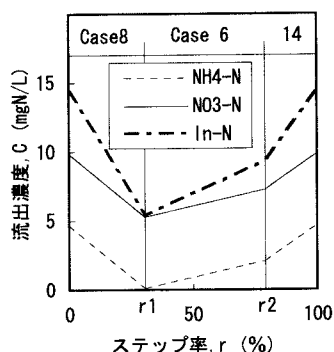


図2 理論解析による処理水質濃度

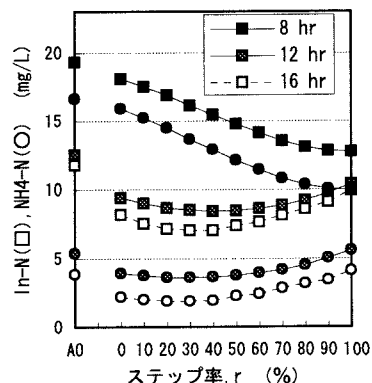


図3 滞留時間及びステップ率の処理水質への影響(数値計算)

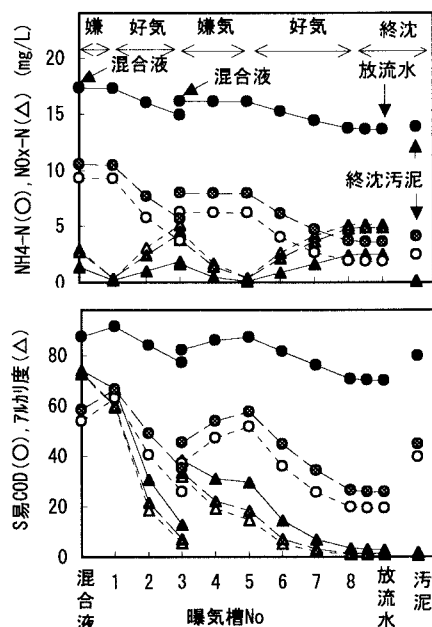


図4 流下方向への水質変化(数値計算)
[滞留時間(hr): ■(8), ●(12), □(16)]