

京都大学工学部 正員 工博 の合 田 健
 同 正員 工修 泉 宮 功
 同 学生員 李 錦 栄

1. 緒 言

わが國の汚水処理では、活性汚泥法の応用がますます盛んになろうとしているが、つぎのような指向が重要なこととして指摘される。すなわち、1) 用地の高度利用、施設の集約化をめざし、施設単位容積あたりの浄化能力の高いシステムをとる、2) 明らかにされた物質収支の理論に従い、操作方法をより合理的、高度なものにする、3) 将来、処理水の還元利用に際して後段処理にスムーズに結びつくようにする、等である。

この発表は、昨年の土木学会第21回年次学術講演会、ならびに11月の第3回衛生工学研究討論会に発表した研究をさらに進めて、パイロットプラント実験によるデータと、理論的検討の追加により、高負荷運転の技術的な地位やそのありかたを具体的に示したものである。しかし今の段階では、上記1), 2)の指向には沿っているが、3)についての位置づけは十分ではない。

2. これまでの考えかた

次の頁の説明図に示すとおり、以下つぎの記号を用いて論を進める。すなわち Q : 流入汚水量 (m^3/hr)、 L_i : 流入水中の溶解性基質濃度 (ppm)、 S_i : 同じく浮遊物質濃度 (ppm)、 r : 返送汚泥流量比、 L_f : ばつ気槽流出水中の溶解性基質濃度 (ppm)、 L_b : ばつ気槽流入端での溶解性基質濃度 (ppm)、 L および S : それぞればつ気行程の時刻 t での溶解性基質・浮遊物質濃度 (ppm)、 S_r および L_r : それぞれ返送汚泥中での L , S の値 (ppm)、 V_a : ばつ気槽有効容量 (m^3)、 A : 流通方向のばつ気断面積 (m^2)、 l : ばつ気水路の長さ (m)、 $t_a := V_a/(1+r)Q$ で標準式運転におけるばつ気時間 (hr)、 k_1 : 溶解性基質除去反応における速度定数 ($ppm \cdot hr$) $^{-1}$ 、 k_2 : 自己酸化における S の変化に関する速度定数 (hr) $^{-1}$ 、 a, b : 汚泥量と基質濃度間の擬定数、 q : 基質負荷がばつ気槽に分散添加されたときの分散率 ($Q=2\theta$)。

これまでの筆者らの研究では、溶解性基質の添加がすべてばつ気始端で行なわれる標準型の操作で基質量および SS の収支の基礎式は次式で示される (第3回討論会論文1~4頁)。

$$dL/dt = -k_1 L S / (k_m + L), \quad dS/dt = -a dL/dt - k_2 S \quad \dots\dots (1)$$

基質濃度の高くない段階で、 $L_b = (L_i + r L_r) / (1+r)$ を使い、 $dL/dt = -k_1 S L$ とし、 S を一定 (S_0) とすれば取扱いは簡単になり

$$dL/dt = -k_1 S_0 L + k_2 b \exp. [-k_2 t]$$

を解くことに帰し、 $L_f/L_b = \eta$ 、すなわち基質除去効率をつぎのように表わすことができる。

$$\eta = \exp. [-k_1 S_0 t_a] + \frac{b k_2 S_0}{k_1 S_0 - k_2} \{ \exp. [-k_2 t_a] - \exp. [-k_1 S_0 t_a] \}, \quad \text{または} \quad \dots\dots (2)$$

$$\text{近似式} \quad \eta = \alpha + (1-\alpha) \exp. [-\tau], \quad \alpha = b k_2 / k_1 L_b, \quad \tau = k_1 S_0 t_a$$

この結果は種々の仮定によるものとはいえ、標準式操作、ひいては活性汚泥法による下水浄化の特性を示している。無次元量 α の構成因子は、操作法というよりむしろ操作の結果維持されている活性度や、厚度の性質などに支配される。これに対しては、操作条件に直接支配される。これは S_0 が一定でない、より複雑な操作の場合にも注意すべき点である。われわれが対象とする高負荷運転とは、このてを標準的運転と同等かそれ以上の成果の期待されるレベルに保持し、かつ施設の建設、運転の経済性などの点でより合理的なものを見出そうとして行なうもので、結果的にBOD/日/MLSSはあまり変えず、BOD/m³/日の高負荷を大幅に上昇させる。その実際の成績や理論的意義は3.4.に述べる。

3. 東大阪におけるパイロット・プラントによる高負荷運転

上の考えによる高負荷運転の予備的実験は、1974年京都市鳥羽処理場において短期間試み、その可能性を摸したのち、昨年11月東大阪八尾市内の竜華浄水場で、特別都市下水路である長瀬川水を原水として正規に処理実験を開始した。この原水は、図-1、図-2にも示すとおり変動がきわめて激しく、工場排水と雨水および下水の混合物である。実験装置は、これまで用いてきたと同じで、長さ16m、断面0.25m×0.75mのばつ渡橋の前後に、同じ断面で長さ4mの最初・最終沈殿槽、および付着設備、試験室から成る。実験は最初標準方式、のち高負荷および準高負荷に切りかえ、今日に到った。図-1、2はそれぞれ代表的な高負荷条件を共にして、これに応ずる水質応答を示したものであるが、連続的試験の結果(図-1、2)からわかるように、BOD、CODの除去率(トータル)、溶解性BODの除去率、水質・ヨウ素変化に対する応答などの諸点で先ず予期の成果を収めた。しかし中スケールの装置で最終沈殿槽が過負荷となった点、および高濃度時の酸素供給について問題が残っている。これに関しては著者の一人が別の機会に論ずる。

4. 高負荷運転の根拠と理論的な補足

2.で述べた支配因子 α のうち、 α に比例する S_0 の値は、操作が標準法と同様なものであるかぎり、 L/S 比、すなわち流入BOD₅(kg)/日/MLSS(kg)を0.2~0.4の範囲にしておいて、 S_0 または MLS を上昇させ、 t_a を短くすることの可能性を示唆している。このことは一応3の実績によって裏付けられただけであるが、さらにイ) α の限界値がどの辺か、ロ) 酸素の供給率と伝達方法に制約はないか、ハ) 基質に活性汚泥との混合比率はどうか操作すれば最善か、が内題である。イ)とロ)とは相互に関係があり、実際操作の便宜や経済性がよりよく検討される必要がある。以下ハ)についての検討の基礎式を述べるが、これはバッチ・エアレーションやバイオソープレーション等の操作に関係が深い。

説明図により一般の場合を考えると、流れが一過式であれば始端から x の断面における、混合液の実流過時間 T_x は、 $Q(x) = rQ + \int_0^x q(x) dx$ であるから、

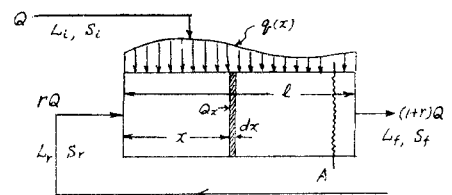
$$\frac{dx}{dt} = \frac{dx}{dt} = v_r + \frac{1}{A} \int_0^x q(x) dx \quad \dots\dots (3)$$

$$T_x = \int_0^x ds / (v_r + \frac{1}{A} \int_0^s q ds) \quad \dots\dots (4)$$

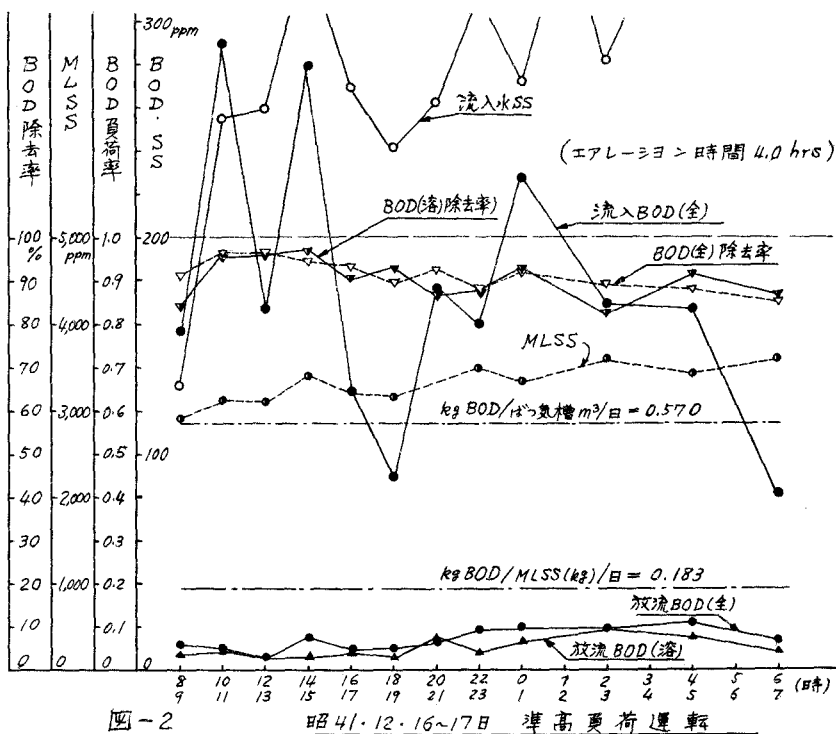
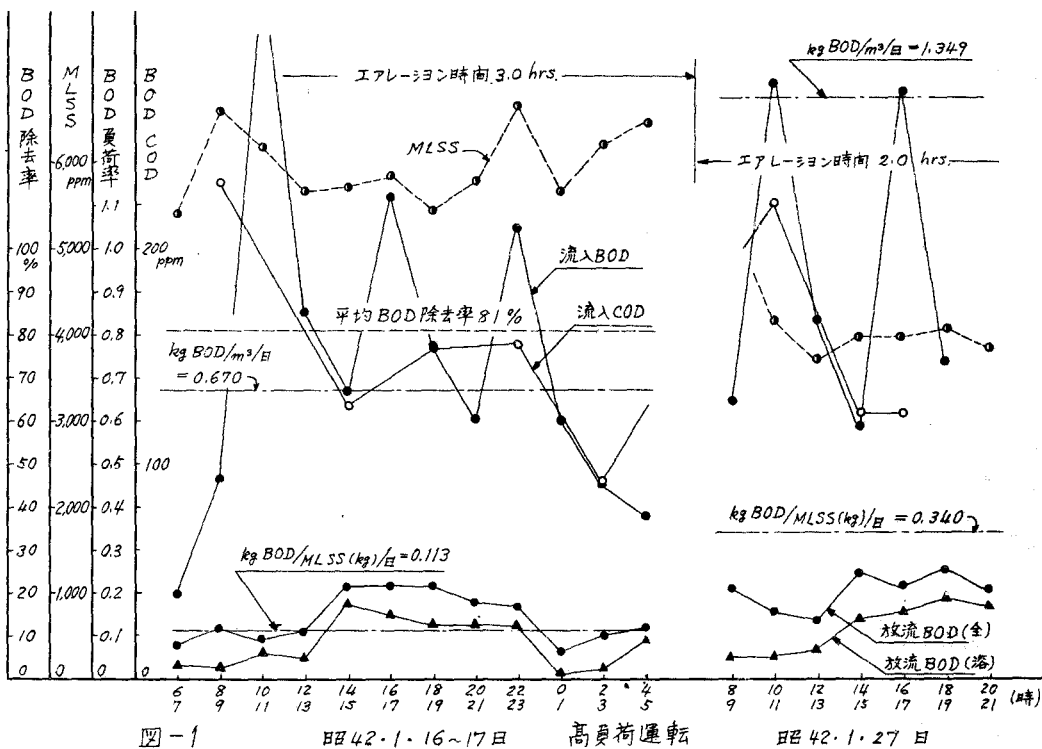
$$(v_r = Q/A)$$

つまり、 x におけるMLSS S_x は(3)式であらわされる。

$$S_x = (rQ \cdot S_r + Qx \cdot S_i) / (rQ + Qx) \quad \dots\dots (5)$$



説明図 (一般の場合)



一方、溶解性基質濃度は分散添加により単位時間、単位体積の混合液あたり平均 $Li x/A$ である。
これは基礎式 $dL/dt = -k_1SL$ の右辺に付加されるべき量であり、自家呼吸の影響を無視すれば、

$$dL/dt = -k_1L(rQ \cdot S_r + Q_x \cdot S_i)/(rQ + Q_x) + Li x/A \quad \text{----- (6)}$$

ステップ・エアレーションやバイオソープション等は、この式か、または(6)に自家呼吸の影響を加味した基礎式からその浄化機構を説明することができる。次に1例として基質添加が一様な場合を示す。

[例] $q(x) = \text{const.} = q_0$ の場合 T_x および T_d はつぎのようにあらわされる。

$$T_x = \int_0^x dx/v_x(r+x/r) = t_a(1+r) \log_e(1+x/r), \quad T_d = t_a(1+r) \log_e(1+r/r) \quad \text{----- (7)}$$

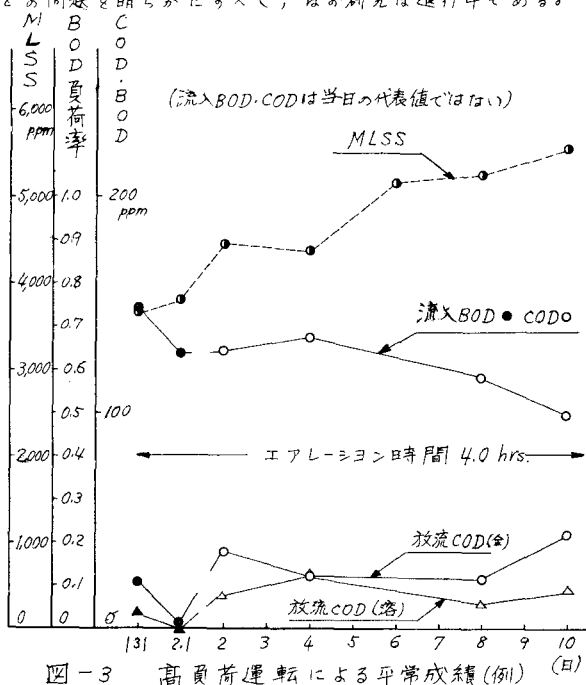
$r=0.25$ とすれば、 $T_d = 1.25 t_a \log_e(5.0) \cong 2.01 t_a$ となる。この時基質の平均ばつ気時間は $0.748 t_a$ 、つぎに S_x および(6)式はつぎのように表現される。

$$S_x = (S_r - S_i) e^{-t/t_a(1+r)} + S_i, \quad \text{----- (8)}$$

$$dL/dt = -k_1L(S_r - S_i) \exp[-t/t_a(1+r)] + k_1S_iL + v_0Li/r \quad \text{----- (9)}$$

5. 結び

高負荷運転が浄化機能、容積負荷などの点で適切な操作法、または有利な方法と考える根拠がある。それは標準的操作と類似の基質添加をやる場合、理論的にも妥当で、東大阪での総合排水による実験でかなりの成果が得られた。一般的な操作の場合を検討する基礎式も得られたが、酸素伝達や最適濃度などの問題を明らかにすべく、なお研究は進行中である。



長瀬川(特別都市下水路)

(ppm)	含有物濃度(例)	
	全	溶解性
全窒素	17.0	14.1
NH ₃ -N	4.2	4.1
Alb-N	8.1	4.7
有機性N	12.8	10.0
NO ₂ -N	—	—
NO ₃ -N	—	痕跡
炭水化物	134.0	8.6
カルシウム	—	101.9
マグネシウム	—	11.9
酸可溶性F ₂	5.3	—
溶剤性F ₂	—	0.4
Cl ⁻	—	229.0
SO ₄ ²⁻	—	124.0
PO ₄ ³⁻	—	17.1
SiO ₂	—	27.0