

酸素吸収に及ぼすMLSS濃度の影響について

荏原イソフィルコ(株) 井出哲夫

○永松定祐

1 序言

汚泥を好気性消化する場合、消化槽のSS濃度は、普通の活性汚泥法のばつ気槽内SS濃度よりも高い。したがって、3,000ppm程度のSS濃度の酸素吸収効率の値を、そのまま好気性消化槽に適用することはできない。

Deindoerfer, Gaden は、SS濃度が高くなると、suspensionはビンガム流体と見なせる挙動をし、例えば、SS濃度が10%になると、0の場合に比し、 $k_L a$ の値は $\frac{1}{5}$ に低下し、その主な原因は、粘性の増大にあると報告している。¹⁾

一方、Robert, Donald は、ばつ気槽のMLSS濃度の増大による高BOD廃水の経済的な処理方式の検討を行なっている。²⁾

二の場合も、SS濃度の増大による酸素吸収率の低下、換言すれば、動力費の増大をも考慮に入れば、経済的に最適なばつ気槽MLSS濃度がある筈である。

このような意味から、MLSS濃度と酸素吸収率の関係を知ることは、非常に重要であると思われる。

本研究では、酸素吸収率の一つの表示法として、酸素移動に関する総括容量係数 $k_L a$ を測定し、各濃度における $k_L a$ の値が、濃度0あるいは3,000ppm程度の場合に比し、どの程度低下するのか、その相対的な比率を求めることと、各濃度のsuspensionの粘度を測定し、 $k_L a$ と粘度との相関関係を求めることを主目的とした。

2 実験方法

1) $k_L a$ の測定 活性汚泥(芝浦下水処理場)を20日間好気性消化したものを試料として、 $HgCl_2$ により汚泥の呼吸を止め、ばつ気しながら、 $CoCl_2$ を触媒として、 Na_2SO_3 によって、ばつ気槽内の溶解酸素をほぼ零にし、DOメータ(ベックマン)により、溶解酸素の経時的変化を測定し、 $k_L a$ を算出した。実験装置はfig.1の通りである。

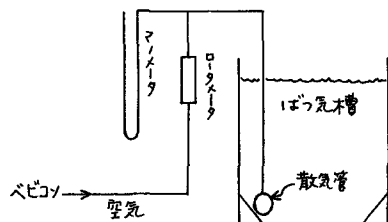


fig.1 $k_L a$ 測定・実験装置

ばつ気槽 : $200 \times 260 \times 200 \text{ mm}^3$ 水深 (液容積10ℓ)

散気管 : 合成樹脂製, パルコンSP35

(新三菱産業製)

なお、SS濃度の調製は、下水処理水を用いて行ない、 $k_L a$ の値はKingの式³⁾にならうて、すべて $20^\circ C$ における値に統一した。散気管前の吹込圧気圧は $400 \sim 500 \text{ mm H}_2O$ であった。

2) 粘度の測定

Suspension は一般にビンガム流体と見なせる。いま管内を流れる場合、中心から r の位置における剪断応力では、定常状態における力の釣り合いから、

$$\tau = \frac{\Delta P}{2L} \cdot r \quad (1)$$

同様に、降伏応力 τ_y 、管壁における応力 τ_w はそれぞれ、

$$\tau_y = \frac{\Delta P}{2L} \cdot r_y, \quad \tau_w = \frac{\Delta P}{2L} \cdot r_w \quad (2)$$

$$\therefore r_y/r_w = \tau_y/\tau_w \equiv \alpha \quad (3)$$

$$\text{式 (2) より} \quad \Delta P = \frac{2L\tau_y}{r_y} = \frac{2L\tau_y}{\alpha \cdot r_w} \quad (4)$$

$$\text{また、式 (1)、(2) より} \quad \tau = \tau_y \left(r/r_y \right) \quad (5)$$

上式を、ビンガムの基本式 $\tau - \tau_y = -\mu_a \frac{du}{dr}$ に代入し、 r と u によって

$$Q = \frac{\pi r_w^3 \tau_y \cdot g_c}{\mu_a} \cdot \alpha \quad \alpha \equiv \frac{a^4 - 4a + 3}{12a} \quad (6)$$

いま、流量 Q_1, Q_2 の時の圧降下を $\Delta P_1, \Delta P_2$ とすると、式 (4)、(6) より

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \frac{r_{y2}}{r_{y1}} = \frac{r_{y2}/r_w}{r_{y1}/r_w} = \frac{a_2}{a_1}, \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \quad (7)$$

試行法によって、式 (7) を満足する a_1 を求める。降伏応力、粘度は次式より求められる。

$$\tau_y = \frac{\Delta P_1}{2L} r_w a_1, \quad \mu_a = \frac{\pi r_w^3 \tau_y g_c}{Q_1} \cdot \alpha_1 \quad (8)$$

われわれが用いた粘度測定装置は fig. 2 の通りである。

ガラス管 : 内径 3.4 mm, 2.9 mm
長さ 300 mm

なお、測定中の液温は $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ であった。

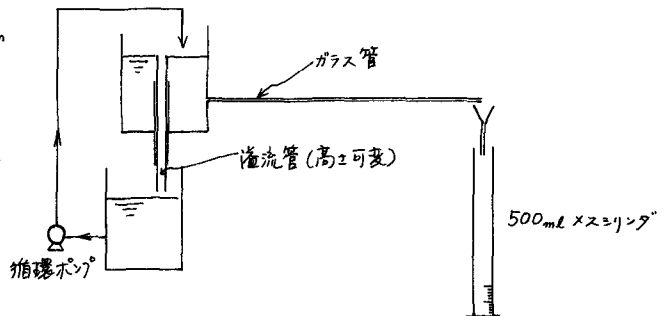


fig. 2 粘度測定装置

3 実験結果

1) 試料の呼吸速度

鼠糞を測定する場合、試料中の汚泥の呼吸を止める必要がある。20日間好気性消化した汚泥と、この汚泥に HgCl_2 を 1% (consolid) 加えたものについてその D.O. の低下を fig. 3 に示す。

すなわち、それぞれの呼吸速度は

$$20 \text{ 日間好気性消化汚泥} : 0.57 \text{ (mg-O}_2\text{/hr.g-ss)}$$

$$\text{HgCl}_2 \text{ 1\% 添加汚泥} : 0.11 \text{ (mg-O}_2\text{/hr.g-ss)}$$

SS 濃度 20 % の場合, $HgCl_2$ も 1 % 添加すると
汚泥の呼吸による酸素消費量は

$$20 \times 0.11 / 60 = 0.035 \text{ (ppm-}O_2/\text{min)}$$

すなわち, 測定誤差範囲として許容される。

2) $k_L a$ の測定結果

21 (%) の汚泥に触媒として $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ を
1 % on solid 加えたあと, Na_2SO_3 (100 % sol) を
8 %/10L 加え, D.O. をほぼ零にし, D.O. の経時的
変化を測定した。

なお, 汚泥の性状, 濃度によっても異なるが,
 $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ の添加量は, この場合, 1 % on solid
以下では, Na_2SO_3 を加えても D.O. を低下させること
は困難であった。

あとの実験は, この汚泥を下水処理水で希釈して,
適当な濃度に調整し, 同様の測定を行なった。

これらの結果を整理して, Table 1 に示した。

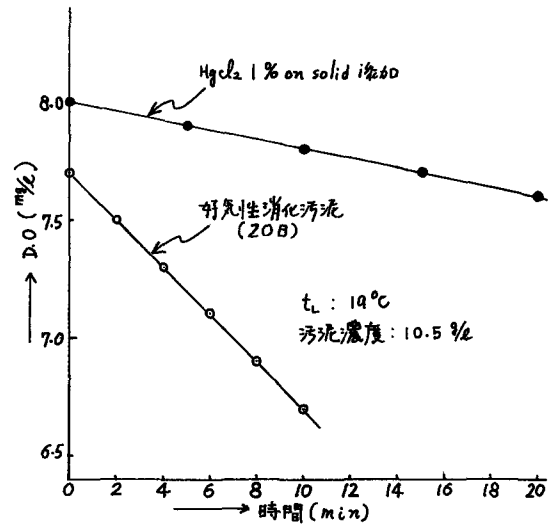


Table 1 $k_L a$ 測定結果

SS 濃度 %	空気量		液温	$k_L a (20)$	α_1	α_2
	l/min	$m^3/m^3 \cdot hr$	$^{\circ}C$	$1/hr$	—	—
水道水	3	1.8	16.0	25.2	1	—
	5	3	16.0	34.5	1	—
	7	4.2	17.0	39.0	1	—
	10	6	17.5	53.6	1	—
下水処理水	5	3	19.0	28.2	0.82	1
	7	4.2	20.0	36.7	0.94	1
	10	6	20.0	49.2	0.90	1
	10	6	20.0	8.4	0.16	0.17
21.0	7	4.2	20.5	6.4	0.16	0.18
	5	3	20.5	4.9	0.14	0.17
	10	6	20.0	11.6	0.22	0.24
	7	4.2	20.0	8.0	0.21	0.22
15.0	5	3	20.0	6.8	0.20	0.24
	10	6	20.0	20.2	0.38	0.41
	7	4.2	19.5	15.1	0.39	0.41
	5	3	19.5	11.3	0.33	0.40
4.25	10	6	17.0	15.8	0.30	0.32
	7	4.2	17.0	11.6	0.30	0.32
	5	3	17.5	8.7	0.25	0.31
	5	3	18.0	10.0	0.29	0.36
7.55	7	4.2	18.5	12.5	0.32	0.34
	10	6	18.5	17.0	0.32	0.35
	10	6	18.0	18.2	0.34	0.37
	7	4.2	18.0	13.9	0.36	0.38
5.15	5	3	18.0	10.3	0.30	0.37

3) 吹込空気量と $k_L a$ の関係

SS 濃度をパラメータとして、吹込空気量 G ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) と $k_L a$ の関係をプロットしたのが fig. 4 である。すなわち、その勾配は SS 濃度に無関係に 0.78 であった。したがって

$$k_L a \propto G^{0.78} \quad (9)$$

なる関係が得られる。

4) α の値について

それぞれの $k_L a$ の値と、水道水についての値を α_1 、
下水処理水の値との比を α_2 とすると、各 SS 濃度
について、ほゞ次のような値が得られた。

Table 2

SS 濃度 g/l	α_1	α_2
下水処理水	0.8~0.9	1.0
4.25	0.3~0.4	0.4
5.15	0.3~0.35	0.37
7.55	0.3	0.35
11.00	0.25~0.3	0.32
15.0	0.2	0.24
21.0	0.15~0.16	0.17

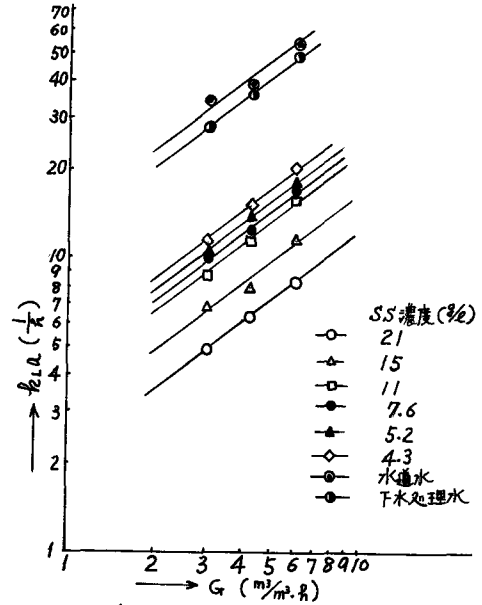


fig. 4 G と $k_L a$ の関係

5) 粘度の測定結果

それぞれの SS 濃度について、粘度 μ_L 、浮力定数 τ_g を測定した結果は、Table 3 の通りであった。

6) 粘度と $k_L a$ の関係

液粘度と $k_L a$ の関係を文献から拾
てみると、次のようになる。

Johnson, 斎藤は、 $k_L a$ について
次の関係式を得ている。³⁾

Table 3

SS 濃度 g/l	液温 °C	μ_L cP	τ_g	
			kg/m^2	dyne/cm^2
21.0	19.0	6.4	0.108	10.6
15.0	19.5	3.0	0.042	4.1
11.0	18.5	2.0	0.035	3.4
7.6	18.0	1.5	0.021	2.1
5.2	18.0	1.4	0.017	1.7
4.3	20.5	1.3	0.017	1.7

$$\left(\frac{k_L a \cdot D^2}{D_L} \right) \propto \left(\frac{\sigma}{V_s \mu_L} \right)^{-0.75} \left(\frac{D^2 N \rho_L}{\mu_L} \right)^{1.67} \left(\frac{\mu_L}{\rho_L \cdot D_L} \right)^{0.33} \quad (10)$$

すなわち、

$$k_L a \propto \mu_L^{-0.59} \quad (11)$$

Calderbank は⁴⁾

$$k_L \left(\frac{\mu_L}{\rho_L \cdot D_L} \right)^{2/3} = 0.31 \left(\frac{\Delta \rho \cdot \mu_L \cdot g}{\rho_L^2} \right)^{1/3} \quad (12)$$

すなわち

$$k_L \propto \mu_L^{-0.334} \quad (13)$$

また, Vermeulen らは, 気液接触面積 a (m^2/m^3) について, 次の関係を得ている。⁵⁾

$$a = \frac{1400 N^{1.5} D \cdot \rho_L^{0.5} \cdot \rho_G^{0.75} \cdot \phi}{\sigma \cdot \mu_L^{0.25} \cdot f \phi} \quad (14)$$

すなわち,

$$a \propto \mu_L^{-0.25} \quad (15)$$

式(13), (15)より

$$k_L a \propto \mu_L^{-0.584} \quad (16)$$

となり, $k_L a$ に及ぼす液粘度の影響は, Johnson, 青藤と, Calderbank らの場合, その結果はよく一致している。

しかるに, IMRE HORVATH によれば⁶⁾

$$\frac{k_L a \cdot d_f}{V_0} \propto \left(\frac{\rho_L}{d_f}\right)^{0.7} \left(\frac{q \cdot d_f}{V_0}\right)^{1.12} \left(\frac{V_0 d_f}{V}\right)^{-1.52} \left(\frac{V}{D}\right)^{-1.825} \quad (17)$$

$$k_L a \propto V_0^{-1.64} \cdot V^{0.27}$$

気泡の上昇速度 V_0 に対する粘度の影響は, 少なくとも

$$V_0 \propto \nu^{-x} \quad x > 0 \quad (18)$$

である筈であり, したがって

$$k_L a \propto \nu^y \quad y > 0 \quad (19)$$

となり, 前二者とは異なる。しかも常識的に考えて, $k_L a$ の値が粘度の増大にもなり, 増大するという結果はおかしい。

この例外は別として, 一般に, $k_L a$ の値は $\mu_L^{-0.58 \sim -0.59}$ 程度に比例するものと考えられる。

さて, われわれが求めた混合液の見かけ粘度 μ_a と $k_L a$ の関係をプロットすると fig. 5 のようになり, 吹込気量に無関係にほぼ直線となり, 次の相関関係が得られた。

$$k_L a \propto \mu_a^{-0.57} \quad (20)$$

この関係は, Johnson, 青藤 および Calderbank らの液粘度との相関式とほぼ一致している。

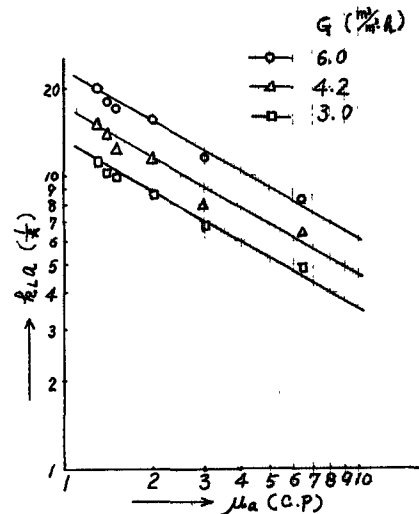


fig. 5 粘度と $k_L a$ の関係

4 結論

- 1) q_{La} (1/日) と吹込空気量 G (1/日) との間は, $MLSS$ 濃度に関連係に, 次の相関式が得られた。

$$h_{LA} \propto G^{0.78}$$

- 2) MLSS濃度が10~20 g/l程度になると、 $k_L a$ の値は、SS濃度が零の場合の0.17~0.3程度に低下する。

- 3) 在LAと混合液の見かけ粘度との関係は, Johnson ら, Calderbank らの液粘度との相関式とほぼ同様の結果が得られ, 次の相関式を得た。

$$k_L a \propto \mu_a^{-0.57}$$

記 号

a : 単位液量当りの気液接触面積 (cm^2/cm^3)

d_f : air grid の径 (cm)

D : 攪拌羽根の径 (cm),

D_L : 液相扩散系数 (cm^2/sec)

f_{ϕ} : ガスの容積百分率の中の場合と10の場合との平均気泡径の比 (—)

g : 重力加速度 (cm/sec^2)

G : 単位流量当りの空気吹込量 ($\frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^3 \cdot \text{sec}}$), ($\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3 \cdot \text{hr}}$)

h_r : air grid の液面からの深さ (cm)

k_L : 物質移動係数 (cm/sec)

k_{LA} : 容量係數 ($1/\text{sec}$), ($1/\text{hr}$)

 l : 管の長さ (cm)

N : 攪拌回転数 (r.p.s)

 ΔP : 圧力差 (G/cm^2)

■ Q : 液流量 (cm^3/sec)

 r_1, r_2, r_w : 管中心からの距離, 栓半径, 管内半径 (cm)

t : 温度 ($^{\circ}\text{C}$)

V_s : 槽断面積当りの平均ガス吹込量 ($\frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^2 \cdot \text{sec}}$)

V_B : 気泡の上昇速度 (cm/sec)

α_1, α_2 : 水道水, F水処理水にこのkLaに於て
3比(-)

$$\mu_a, \mu_L: \text{スラリー, 液の粘度 (g/cm. sec), (c.p)} \quad \gamma: \text{動粘性係数 (cm}^2/\text{sec)}$$

ν : 動粘性係数 (cm^2/sec)

ρ_g, ρ_L : ガス, 液の密度 (g/cm^3)

 $\Delta\rho$: 気液の密度差 (g/cm^3)

σ : 表面張力 (dynes/cm)

7. $\gamma_v, \gamma_y, \gamma_w$: v, y, w に対する剪断応力 (dynes/cm^2), (Kg/cm^2) ϕ : ガスのホールドアツク (-)

文献

- 1) Deindoerfer, Gaden : Appl. Microbio. 3. 253 (1955)
- 2) Robert, Donald : Biotechnology and Bioengineering 8. 379 (1966)
- 3) Johnson, 青藤 : A.I.Ch.E. Journal 3. 411 (1957)
- 4) Calderbank, Moo-young : Chem. Eng. Sci. 16. 39 (1961)
- 5) Vermeulen, Langlois : Chem. Eng. Progr. 51. 85 (1955)
- 6) Imre Horvath : Third International Conf. on Water Poll. Research (1966)
- 7) 伊藤四郎 : "塑性流体の流れ" 新化学工学講座 (日刊工業) (1957)
- 8) King : Sew. Ind. Wastes 27. 1123 (1955)