

1. はじめに

都市内の河川は工場废水、都市下水により汚染され、悪臭も放つ死の川と化している。そこでわれわれは汚濁河川へ酸素ガスを溶かし、悪臭を防止する実験を昭和42年から2年間にわたって行なってきた。今回は酸素溶解装置について報告する。

この実験に際して終始要らぬ協力を頂いた東京都公害研究所、東京都立大学化学工学教授、日本酸素株式会社の方々に、厚甚の謝意を表す。

2. 予備実験

ガスの溶解は古くから、シャワー法、充填筒法などによる酸素含有ガス溶法がある。この溶法という形で行なわれてきた。しかし河川へ適用する場合、装置が大きくなり過ぎる懸念がある。

2-1. 曝気による方法

装置の概略を図-1に示す。水槽の水をあらかじめ酸素ガスで曝気し、DOを零にした。実験は空気または酸素ガスをを用いて行ない、DOはベーマンDOメーターで測定した。初め空気をを用いて実験を行なった。DOは指数函数で増加し、溶解初率は0.5% (酸素換算) を得た。次に酸素を用い、流量0.5, 2.17 $\frac{\text{g}}{\text{min}}$ で曝気した。結果を図-2に示す。酸素の流量の差

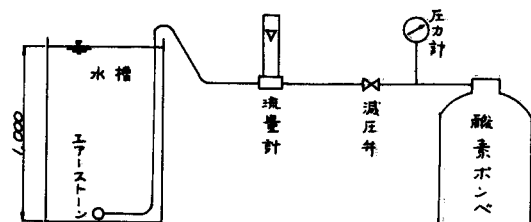


図-1 フローシート

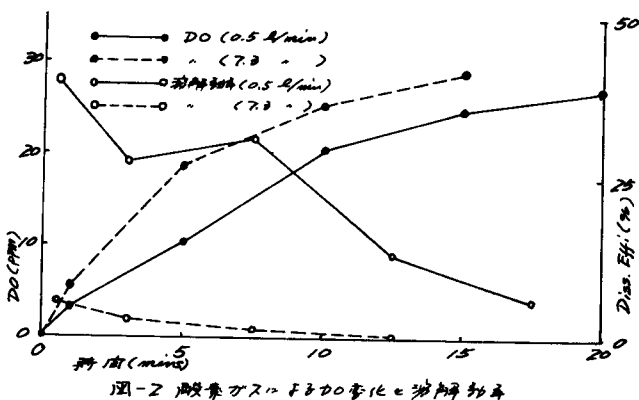


図-2 酸素ガスの流量変化と溶解効率

が大きければよいから、DOの変化には大きな差が認められず、これは水深が1mで浅いため、接触時間が十分与えられず、ガスが一定量を越すと溶解せず、そのため水中へ散逸するからと推測される。

2-2. ポンプによる方法

図-3に示すように装置で酸素ガスをポンプの吸込側へ注入し、ポンプ内の攪拌力で溶解させた。

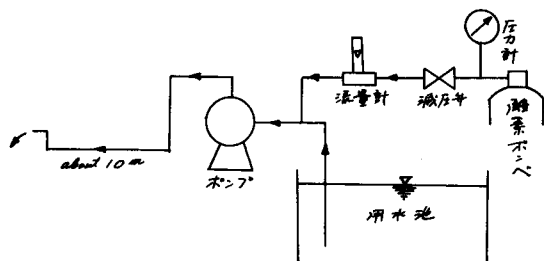


図-3 フローシート

10mの移送管を面した汚濁水とし、DOを測定した。実験の結果は図-4に示した。

曝気による方法と比較して、ポンプによる方法が非常に効率的なことがわかった。すなわち20 ppm

の酸素水を得る。30%の溶解効率が必要
 である。河川水を対象とする場合には装置
 を簡単にする必要があるから、この方法も
 実用化し得ると思われる。

2-3. エジェクターポンプによる方法
 ポンプによる方法もよいが、ガス量を多
 くした場合、ポンプにキャビテーションを生
 じ運転が不可能になる。酸素はポン
 プ内の腐蝕防止の問題がある。そこでこ
 れにエジェクターと気液分離器を組合せ、不
 溶解ガスの再利用を考えた。図-5に
 示す7つの型式を考えた。それぞれを溶
 解効率と比較した。実験結果は表-1
 に示す。表-1 比較実験結果

型式	酸素量 L/min	水量 L/min	流入水 °C	流出水 PPM	流入水 DO PPM	電流 A	効率 %
I	0.5	0.92	6.0	9.4	20.0	2.0	23
	0.2	0.79	6.2	10.9	13.5	1.9	13
II	0.5	0.92	6.0	9.4	23.0	2.0	51
	0.2	0.79	6.2	10.9	14.4	1.9	17
III	キャビテーションを生じ、ポンプ運転が不可能						
IV	0.5	0.92	6.0	9.4	21.8	2.0	28
	0.2	0.92	6.2	10.9	11.8	2.0	5
V	0.5	0.92	6.0	9.4	24.5	2.0	34
	0.2	0.92	6.2	10.9	13.9	2.0	17
VI	0.5	0.92	6.2	10.9	14.0	2.0	17
	0.2	0.39	6.2	10.9	18.3	2.0	17

から、溶解効率は5%程度よくなる。型式Iと型式IIではDO、効率とも差が大きい。しかし河川
 へ適用する場合はキャビテーション、腐蝕等の理由から型式IVが優れている。この実験では原水のDOが
 10PPMであったため、溶解効率が低かったが、河川の場合はDOはほとんどゼロと考えられるので効
 率はもっとよくなると思う。

3. プラント実験

予備実験の結果から、図-6に示すフローシートでプラントを山形河川に設置し、実験を行った。
 エジェクターと気液分離器を組合せた場合、分離ガスを循環する場合としない場合を検討し、さらにエ
 ジェクターのノズルに単孔と多孔のものを用いて比較検討した。装置の諸元、結果は表-2~5に示す。

分離ガスの酸素濃度は酸素ガスの流量に比例するから、溶解装置に循環する分離ガスの濃度と処理
 水DOの比を飽和度と定義し、次式で表わす。さらにこれは装置の溶解限界率とも考えられる。

$$\alpha = \frac{D_e}{C \times D_s} \times 10^2 \dots\dots\dots (1)$$

α; 飽和度(溶解限界率) D_e; 流出水のDO (PPM)
 C; 分離ガスの酸素濃度(%) D_s; 飽和溶解酸素濃度(純酸素中)(PPM)

この式に測定値を与えて計算した結果を図-7に示す。エジェクター出口と気液分離器出口の2箇所での

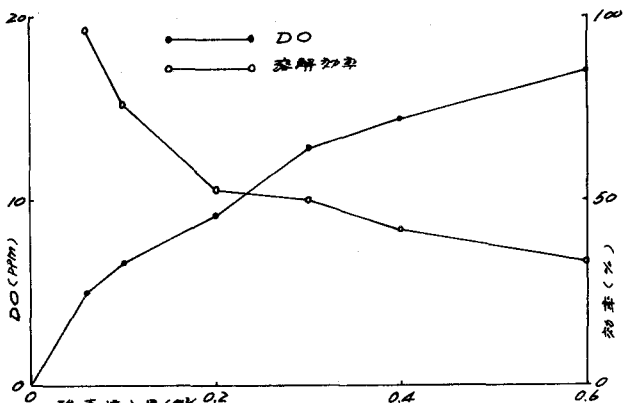


図-4 ポンプ内攪拌法によるDOと溶解効率

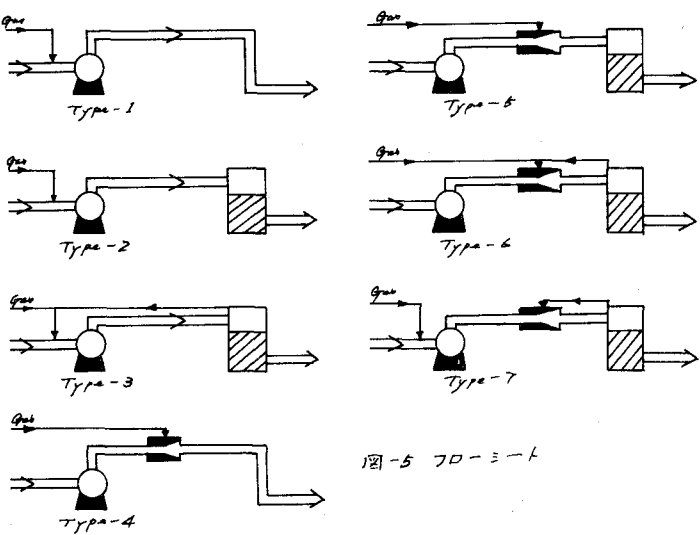


図-5 フローシート

- 1 揚水ポンプ
- 2 圧力計
- 3 フードバルブ
- 4 バルブ
- 5 ジェットポンプ(エジェクター)
- 6 吐出管
- 7 排水口
- 8 気液分離器
- 9 吐出口
- 10 液体酸素貯留槽
- 11 気化器
- 12 流量計
- 13 バルブ
- 14 酸素ガス注入管
- 15 分離酸素ガス管

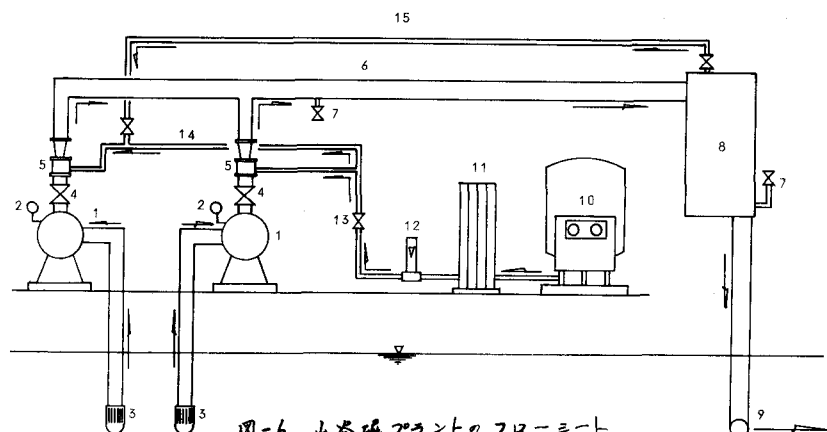


図-6 山本線プラントのフローシート

表-2 主要部装置の諸元

ポンプ	型式	獨逸ポンゾ
	吸入側口径	200mm
	吐出側 "	150 "
	電力	22kW
ジェットポンプ	型式	エジェ79-
	吸入側口径	150mm
	一次電力	1.8kW
気液分離器	高さ	1.4m
	容積	0.57m³
液体酸素貯留槽	容量	1,500L
	重量	3,795
気化器	気化能力	50m³/hr

測定した α 値はそれぞれ0.50と0.67であり。この差は気液分離器の効率と若えられるから、分離器も溶解に役立つ。またこの循環流量のものも溶解限界まで考えなくてはならない。

22. この注入ガス量と処理水の流量の関係を指数函数で表わせば(2)式で示される。

$$\alpha D_s - D_a = \exp(-\lambda \omega Q (\alpha D_s - D_i)) \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 D_i ; 流入水のDO (PPM), λ ; 溶解係数 (hr/kg)
 ω ; 酸素流量換算係数 (kg/m³) = 1.429, Q ; 酸素注入流量 (m³/hr)
 この $\alpha = 0.67$ とし、循環ガスの T_{Fi} の場合を計算すると、単孔1"は、多孔1"の入口それぞれ0.0292, 0.0330を得る。

表-3 単孔1"で循環ガスの T_{Fi} の場合

項目		30	20	15	10	5	2.5
供給酸素量 m³/hr		30	20	15	10	5	2.5
酸素濃度 %		93	88	77	65	48	38
水温 °C		22.0	-	22.0	-	-	22.0
流入水 PPM		2.6	-	-	-	-	2.6
DO 入口出口 "		19.2	18.5	15.5	13.6	10.5	11.2
分離器出口 "		25.1	24.5	21.7	18.0	12.9	11.4
揚水量 m³/hr		150					
吐出圧 kg/cm²		2.3	-	2.2	-	-	2.2
電流 A		78	-	77	78	-	78

この両者の間に若干の差はあるが、有意差は認められず。したがって1"の孔の数は溶解に影響しなくと若えられる。

表-4 多孔1"で循環ガスの T_{Fi} の場合

項目		30	20	15	10	5	2.5
供給酸素量 m³/hr		30	20	15	10	5	2.5
酸素濃度 %		-	-	-	-	-	-
水温 °C		-	22.0	-	-	-	22.0
流入水 PPM		-	2.6	-	-	-	2.6
DO 入口出口 "		-	22.3	19.8	17.4	12.4	8.8
分離器出口 "		-	24.0	23.2	18.7	13.7	10.5
揚水量 m³/hr		150					
吐出圧 kg/cm²		-	2.2	-	-	-	2.2
電流 A		-	78	-	-	-	78

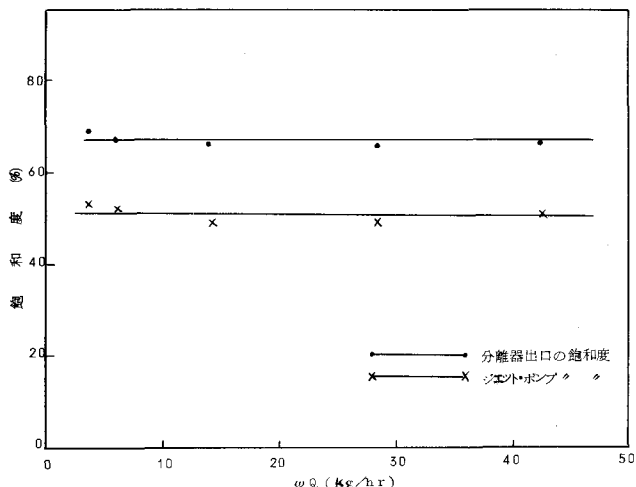


図-7 単孔1"に於ける循環ガスの T_{Fi} の場合の飽和度

分離ガスの濃度と酸素注入量の関係は指数関係で表わせば(3)式となる。

$$C = \{1 - \exp(-\beta \omega Q)\} \times 10^2 \text{ ----- (3)}$$

ここに、C；分離ガスの酸素濃度(%)

β ；係数(hr/kg)

実験値から β を求めると0.0298を得る。

次に分離ガスを循環して再利用する場合を考え、ガス注入量に比例した気流分離器の容量とエジワターの真空度によって常に一定のガス量が循環すると仮定すれば

(4)式となる。

$$\alpha D_2 - D_2 = \exp(-\lambda \omega Q_0) \{1 - \exp(-\beta \omega Q)\} (\alpha D_2 - D_2) + D_1$$

ここに、 Q_0 ；単位時間当りの循環ガス量(m^3/hr)

(4)式に実験値を与えて Q_0 を求めると43.07%となる。図-8は実験値と計算値を比較したものである。

溶解初年は(5)式で計算した(図-9参照)。

$$E = \frac{D_0 \times L \times 10^2}{\omega Q} \times 10^2 \text{ ----- (5)}$$

E；溶解初年(%), L；ポンプ流量(%)

以上の結果をまとめると、オ1に気流分離器はガスの溶解に有効である。オ2に分離ガスを循環すると、上記の場合に比べて溶解初年がよくなり、酸素注入量が少なり、同時にその効果は大きい。

4. 結論

汚泥河川の悪臭を防止する際、酸素ガスを利用した方が、空気を使うより経済的に有利である。すなわち、装置が小さく、かつ酸素水の濃度の高いものが得られる。装置はエジワターと気流分離器を組合せるのがよく、高溶解初年が得られ、ポンプのキャパシティや腐蝕の心配もない。注入酸素流量はポンプ流量の2~4 vol%がよく、水温により変化する。例えば40%程度の溶解初年が得られる。

表-5 単孔ノズルで循環ガスのある場合

項 目	30	20	15	10	5	2.5
供給酸素量 m^3/hr	93	91	(89)	(85)	(72)	(48)
酸素濃度 %	93	91	(89)	(85)	(72)	(48)
水 温 $^{\circ}\text{C}$	22.0	-	-	-	-	22.0
流入水 ppm	2.8	-	-	-	-	2.8
DO 溶解初年	18.5	21.9	20.8 (17.7)	18.7 (16.7)	19.6 (12.0)	17.2 (11.1)
分離器出口	27.0	26.4	24.0 (23.4)	21.0 (24.3)	20.6 (17.5)	23.4 (16.3)
ポンプ流量 m^3/hr	150					
吐出圧 kg/cm^2	2.2	2.3	2.3	-	-	2.3
電 流 A	80	78	78	-	-	78

()は濃度測定のため、分離ガス量と19%の場合

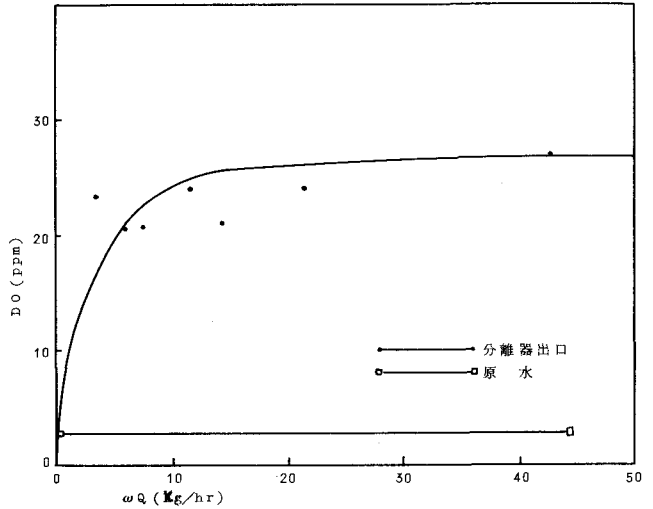


図-8 単孔ノズルにおける分離ガス循環の場合のDO

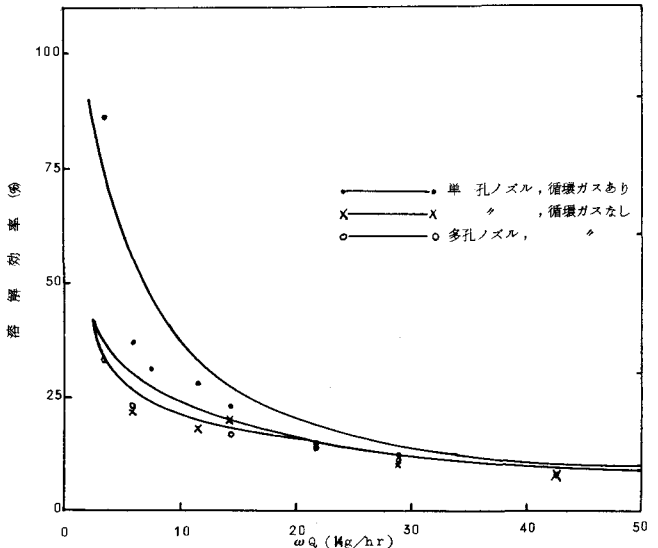


図-9 酸素の溶解初年