

自己造粒型バイオリタクタによる都市下水処理（第2報）

北海道大学 ○井上雄三 太田まゆみ 森 美景 神山 桂一

1. はじめに

筆者らは、一昨年来、微生物の自己造粒機能を利用した上向流カラムリタクタの開発を進めてきた¹⁾。昨年の報告では、本リタクタを用いた都市下水の処理実験から、概略的な処理特性、ペレット汚泥の性状および構造、およびペレット汚泥の生成条件を明らかにした。しかしながら、本リタクタの機能、有機物除去機構、或いはペレット生成機構に関しては、その詳細はほとんど未知である。本報告では、ペレットリタクタの処理特性およびペレット生成機構について更に検討を加えた。

2. 実験方法・条件

本リタクタの特徴は、図1に示したようなカラム状リタクタに上向流で5～10分程度の極めて短い滞留時間で都市下水を通水し、微生物の自己造粒機能および吸着・付着機能を利用して有機物を除去するところにある。カラムリタクタ本体の容積は、2ℓ（内径5cm、カラム高さ1m）あり、上部に約2ℓ（内径10.4cm、高さ20cm）の上向流沈殿部を持っている。

実験条件を表1に示す。リタクタは三

表1 実験条件

	実験期間	流量 ml/min	接触時間 min	impeller 枚数	搅拌 rpm	スラッジ引 抜高 cm
予備運転	9/29～11/12	100	18	10	5	90
実験Ⅰ	11/12～12/27	R1 100	18	10	5	90
		R2 100	14	10	5	70
		R3 100	10	10	5	50
実験Ⅱ	1/10～1/24	R1 100	14	7	5	70
		R2 100	14	7	#	70
		R3 100	14	1*	5	70

#：10分ごとに1分間5rpm回転 *：最下部

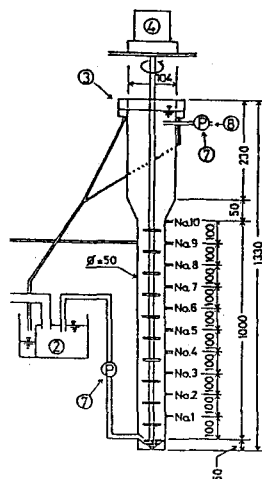


図1 実験装置の概略図

系列準備された。実験は、ペレットリタクタに対するSRTの影響を調べた実験Ⅰおよび攪拌の影響を検討した実験Ⅱの二つのシリーズが行われた。ペレット内の好気性一般細菌、嫌気性細菌および硫酸塩還元細菌の数を測定した。培地としては、それぞれⅠ培地²⁾、ⅤL培地³⁾およびm-ⅠSA培地⁴⁾を使用した。平板混和法を用い、温度25℃、嫌気条件は嫌気ジャー、真空脱気後6:1の窒素水素雰囲気中で培養を行い、一定数となったのコロニー数をもって細菌数とした。

3. 結果と考察

(1) 処理特性 表2に実験Ⅰ、Ⅱの処理結果を示す。実験Ⅰにおける平均的な除去率は、リタクタR1、R2、R3においてDOC；-0.3、-2.0、1.6%、TOC；17、17、15%、SS；49、46、47%とリタクタ間で

表2 実験Ⅰ、Ⅱの処理成績

		SRT(d) Set Avr.	TOC (a)	DOC (a)	SS (a)	NH ₄ ⁺ -N (b1)	SO ₄ ²⁻ (a)	VFA (b2)	SVI (ml/g)
Exp. - I	R1	6 5.5	16.8	-0.3	48.6	12.8	17.9	16.4	32
	R2	4 5.7	17.4	-2.0	46.4	11.2	17.7	17.7	32
	R3	2 6.4	15.3	1.6	46.9	5.5	19.4	15.6	33
Exp. - II	R1	4 6.2	24.8	12.7	50.4	10.6	24.2	11.6	40
	R2	4 5.5	16.1	1.3	36.6	6.5	16.3	7.6	38
	R3	4 6.7	21.9	8.8	50.0	10.5	22.8	7.2	36

(a): Removal coefficient (%), (b1): Ammonium nitrogen yield coefficient (%)

(b2): VFA yield coefficient (% DOC base)

の処理性の違いは全く見られなかった。また、硫酸塩還元率では、18、18、19%、VFA生成率では、8、8、8%と全く同様な結果を示した。このような結果になったのは、SRTを見れば明かである。ペレット汚泥床の引き抜き高さをそれぞれ90、70、50cmにしてSRTを変化させようとしたが、結果的には汚泥引き抜き濃度が一定とならず、表に示したようにSRTがほとんど一定となったからである。

攪拌の影響を検討した実験Ⅱにおいては、処理水質に僅かながら影響が現れている。しかし、その影響は攪拌の影響というよりはむしろ、攪拌不足によるカラム底部の汚泥のボール化（カラム径に近い大きなもの）によって噴流が発達し、リタクタ内汚泥が著しく乱されたためと思われる。したがって、攪拌はカラム底部において汚泥の巨大ボール化を防ぐ程度で十分と考えられ、処理水質には直接の影響は現れないものと思われる。

本システムは、ペレットへの有機物の取込み（吸着・付着・凝集、溶存酸素による酸化分解）とペレットからの溶存有機物の放出（加水分解、酸発酵）の相反する二つの反応が同時に進行する系である。DOC除去量は酸化された有機物量によって決まる。そこで流入下水中のDOとDOC除去率との関係を調べたが、これらの間に密接な関係は見いだせなかった。図2にリタクタ温度とVFA（揮発性脂肪酸）生成率の関係を示した。低水温（10℃程度）になると、ほとんど生成されなくなる。10～14℃ではVFA生成率は温度とともに増加し、それ以上の温度では飽和する。以上のように温度とVFA生成率の間には何らかの関係が窺える。次に、図3にリタクタ温度とDOC除去率の関係を

を示す。この図は温度とVFA生成率の関係と逆の関係にあることを示している。そこでDOC除去率とVFA生成率との関係を図4に示す。両者の間には負の相関関係が存在していることがわかる。回帰直線を求めると、 $R_{DOC} = 17.9 - 1.03 P_{VFA}$ （相関係数： -0.758 ）となり、図中破線で示した直線が得られた。VFAが全く生成されないときのDOC除去率は回帰直線からは約18%となるが、実際には種々の要因により変化する。また、予備曝気によりVFAを生物的に分解しておけばVFA生成率は負となり、除去率は更に向上する。いずれにしても、溶解性有機物即ちVFA生成率がDOC除去率に直接影響し、それがDOC除去率にも大きく影響する。また水温が高いときの酸発酵をどのように抑えるかが一つの課題にもなる。

(2)ペレット汚泥の性状 図5に槽内MLSS濃度および図6にSVIの経日変化を示す。SVIからも予想されることであるが、ペレット汚泥の濃度は実験Ⅰ、Ⅱを通じて10 g/l以上の高濃度を維持できた。一方、運転初期の馴養期間においては、高いSVI値を示すが、ペレットが生成されるようになると、20～40 ml/g程度の値を示している。図中SVIが比較的高くなる場所は、測定用汚泥濃度が低くSV30が大きく見積もられたためである。以上のように、SVIは極めて低く、沈降性の良好なペレットが安定して生成されていることを示している。

実験Ⅰでは、前述の通りSVIのリタクタ間の違いはほとんどなく、それぞれ32, 32, 33 ml/gとなった。一方、実験Ⅱでは、40, 38, 35 ml/gとなり、攪拌がペレット生成に影響を与える傾向を示している。ここで、実験Ⅱにおけるペレットの形状を観察すると、R1；不定形で細かい（1mm以下）、R2；球状（1～2mm程度）、R3；不定形で最も大きい（3mm程度）あったが、昨年報告したペレットに比べて細かく、不定形で

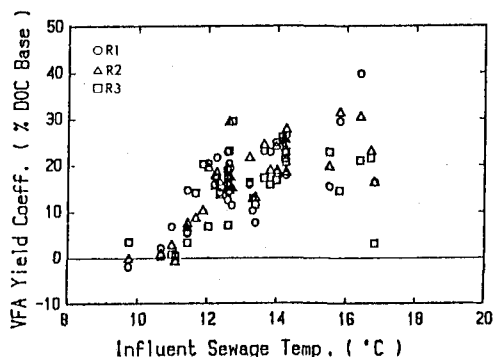


図2 槽内水温とVFA生成率との関係

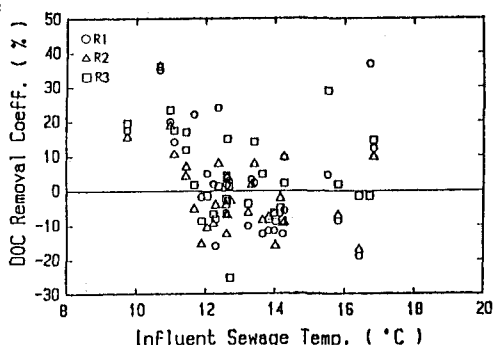


図3 槽内水温とDOC除去率との関係

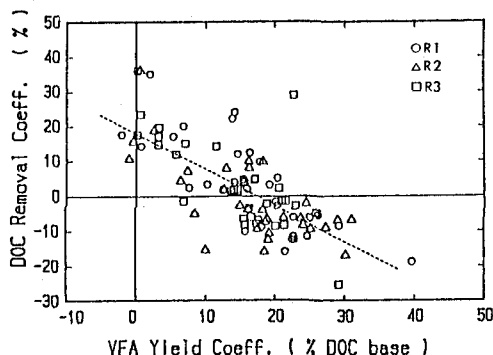


図4 VFA生成率とDOC除去率との関係

あることが特徴である。本実験ではこのようなペレットが生成された原因を明らかにすることはできなかったが、ペレット表面の生物相を観察することによってこのことを間接的に明らかにした。即ち、本実験条件で生成されたペレットは、昨年報告したものに比較して著しく表面の糸状性微生物が少なく、ほとんど裸の状態であった。即ち、ペレット表面に糸状性微生物が一面に増殖・被覆ことによって、ペレットが丸く、滑らかにそして強度が増すものと推察される。

(3) ペレット汚泥の生物相 顕微鏡による観察、グラム染色およびナイセル染色により、確認できた糸状性微生物の種類は12種類に及んだ。しかし、Eikelboom⁵⁾の検索表によって同定できた種類は、Type 021N, *Thiothrix* sp., Type 1851, *Beggiatoa* sp., Type 0411 および Type 1863, の6種類であった。表3は、同定された糸状性微生物の出現頻度を顕微鏡観察により求めたものである。その結果、優先微生物は、Type 021N および *Thiothrix* sp. の2種類であった。MBRで報告された⁶⁾ *Beggiatoa* sp. は、優先種にはならなかった。ところで、ペレット表面の糸状性微生物の生物相は表に示されているようにかなりの変動を示している。特に実験Ⅰでは優先種の変動が著しい。実験Ⅰは11月中旬から12月中旬に行われたが、この間、秋から冬にかけての気候変動の激しいときにあたり、下水の水質は変動の激しいのが特徴である。特に水温の低下(16→11℃)、変動が著しい。このため生物相の変化が著しいものと思われるが、明確な原因は不明である。但し、1月になって水温、水質が安定してくると優先種はType 021Nで比較的安定していた。なお、平板計数法によれば、一般好気性細菌数は 10^{10} cfu/gVSS、嫌気性細菌は 10^{10} cfu/g-VSS、硫酸塩還元菌は $10^8 \sim 10^9$ cfu/g-VSSとなり、水温や攪拌条件によって変動しなかった。

参考文献 1)井上、神山：第25回衛生工学研究討論会講演集 pp.91-93(1989) 2)Eikelboom, D.H. : Water Research 9, pp.365-388 (1975) 3)長谷川：微生物の分類と同定<下>、学会出版センター、pp.170-171(1985) 4)竹内、田口、佐竹、森：水質汚濁研究、11, pp.38-49(1988) ⁵⁾ Eikelboom, D.H.:Prog. Wat.Tech. 8, No.6, pp.153-161(1977) ⁶⁾ 高橋：衛生工学研究論文集、25, pp.171-178 (1989)

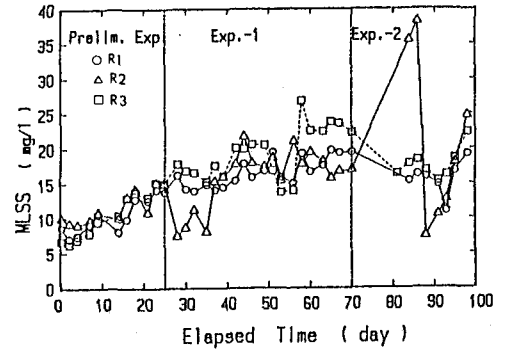


図5 槽内MLSS濃度の経日変化

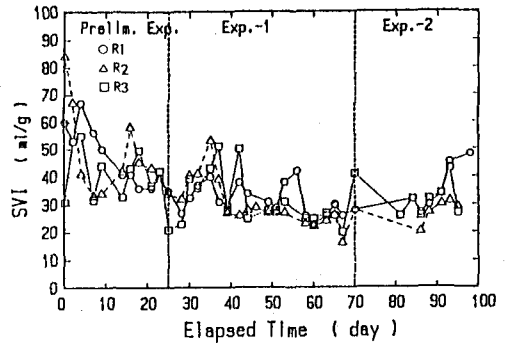


図6 ペレット汚泥のSVIの経日変化

表3 ペレット表面の糸状性微生物の出現頻度

Sampling date	Type 021N	<i>Thiothrix</i> sp.	Type 1851	<i>Beggiatoa</i> sp.	Type 0411	Type 1863
'88, 10, 27	R1	+	+++	+	-	-
	R2	++	++	+	-	-
	R3	+	+++	+	+	+
11, 3	R1	+++	+++	++	+	++
	R2	+	++	-	+	-
	R3	+	++	-	++	+
11, 17	R1	+	+++	+	+	++
	R2	+	+	+	+	+
	R3	+	+++	-	+	++
11, 24	R1	+	+++	-	-	-
	R2	++	+++	-	-	+
	R3	+++	+++	++	+	+
12, 1	R1	+	+	+++	-	-
	R2	+++	++	+	+	-
	R3	-	+	+	-	+
12, 8	R1	+++	++	+	-	-
	R2	+++	+++	+	-	+
	R3	+++	++	+	-	-
12, 10	R1	+	+	-	-	-
	R2	++	+	-	-	-
	R3	+++	+	+	-	-
12, 15	R1	+++	+	+	-	-
	R2	-	+	-	-	-
	R3	+	++	++	-	-
12, 22	R1	+++	+++	-	++	+
	R2	+++	+++	-	+	+
	R3	+++	+++	+	+	-
'89, 1, 12	R1	+++	+	+	+	++
	R2	+++	+	+	+	++
	R3	+++	-	+	++	++
1, 19	R1	+++	++	-	+	++
	R2	+++	-	-	++	++
	R3	+++	++	+	+	-

-: null, +: poor, ++: good, +++: excellent