

# 活性汚泥一時貯蔵物質 PHA の実態調査 および活性汚泥処理における挙動について

横浜市 ○ 坂本 俊彦  
工藤 優子  
下田 穰史

## 1 はじめに

ポリヒドロキシ脂肪酸 (PHA) は、グリコーゲンとともに高度処理法のりん除去に深く関わる活性汚泥一時貯蔵物質であり、近年、PHA の一時貯蔵プロセスが IWA 活性汚泥モデル (ASM) No.3 へ記述されるようになってきている。

従って、水再生センターの下水、汚泥、反応タンク各処理過程の PHA の実態、挙動を把握しておくことは、高度処理法でのりん除去のみならず活性汚泥法での良好で安定した下水処理のためには重要であると考えられる。

しかし、実際の水再生センター各処理過程の PHA の実態、挙動の報告は極めて限られているのが現状である。

このため、下水、汚泥、活性汚泥の各試料、さらに高度処理法の実施設反応タンク流下方向について PHA、その構成物質であるポリヒドロキシ酪酸 (PHB)、ポリヒドロキシ吉草酸 (PHV) の挙動を調査したので報告する。

## 2 調査内容

### (1) 下水、汚泥、活性汚泥各試料の PHA の実態調査

活性汚泥処理では、増殖した活性汚泥は余剰汚泥として引き抜かれ、直接、単独処理されることは少なく、一旦、濃縮槽、沈砂池、最初沈殿池流入部等へ投入されることがほとんどである。このため、活性汚泥試料のみならず下水試料、汚泥試料に余剰汚泥由来の PHA が測定されることが想定される。

このため、下水試料として流入下水、最初沈殿池流出水 (沈後水)、汚泥試料として最初沈殿池汚泥 (生汚泥)、濃縮汚泥 (調整汚泥)、調整槽分離液 (越流水) および活性汚泥試料として反応タンク出口活性汚泥 (活性汚泥)、返送汚泥について PHA を測定し、実態を調査した。下水試料、汚泥試料、活性汚泥は本市 11 か所の水再生センターを対象とし、返送汚泥は 6 か所の水再生センターを対象とした。測定頻度は月 1 回程度行った。

### (2) 高度処理反応タンク内の PHA の挙動

嫌気・無酸素・好気法 (A<sub>2</sub>O 法)、嫌気・好気法 (AO 法) の実施設反応タンク流下方向の PHA、PO<sub>4</sub>-P 等の挙動を調査した。A<sub>2</sub>O 法反応タンクは、容量 6,300 m<sup>3</sup>、水深 10m の 2 水路 8 セル分割構造で 1 セルが嫌気槽、2、3 セルが無酸素槽、4~8 セルが好気槽で、硝化液は反応タンク末端 8 セルから 2 セルへ循環されている。調査時の運転は、処理水量 10,400 m<sup>3</sup>/日・池、平均 MLSS 2,920mg/l、循環率 100%、返送率 50% である。AO 法反応タンクは、容量 6,900 m<sup>3</sup>、水深 10m の 1 水路 8 セル分割構造で 1、2 セルが嫌気槽、3~5 セルが兼用槽 (微好気)、6~8 セルが好気槽である。調査時の運転は、処理水量 12,000 m<sup>3</sup>/日・池、平均 MLSS 2,160mg/l、返送率 70% である。

### (3) 測定方法

PHA はアルカリ分解・UV 検出器による液体クロマトグラフ (LC/UV) 分析法により測定した。

PHA は、通常、ヒドロキシ酪酸 (3HB) とヒドロキシ吉草酸 (3HV) がランダムに脱水縮重合した PHB と PHV の混合ポリマー (P(3HB-co-3HV)) として扱えるため、PHA は PHB と PHV の含量として求めることができる。

すなわち、アルカリ分解して PHB から生成する 2-ブテン酸 (2BE)、PHV から生成する 2-ペンテン酸 (2PE) の濃度にそれぞれ生成係数 2.63、2.41 を乗じて PHB、PHV を求め、下記に示す式により PHA (mg/l)、炭素換算 PHA (mg-C/l) を算出した。以下、本文中の PHA、PHB、PHV の単位は炭素換算した mg-C/l である。

$$\text{PHA}(\text{mg/l}) = \text{PHB}(\text{mg/l}) + \text{PHV}(\text{mg/l}) = 2.63 \times 2\text{BE}(\text{mg/l}) + 2.41 \times 2\text{PE}(\text{mg/l})$$

$$\text{PHA}(\text{mg-C/l}) = 1.46 \times 2\text{BE}(\text{mg/l}) + 1.44 \times 2\text{PE}(\text{mg/l})$$

PO<sub>4</sub>-P 等イオンはイオンクロマトグラフ法(Dionex 120)、SS、MLSS は下水試験方法ガラス繊維ろ紙法、TS は下水試験方法(2012) 第5編第1章第6節(磁器蒸発皿)を用いて測定した。

### 3 結果および考察

#### (1) 下水試料の PHA

表-1 にその結果を示す。

流入下水 PHA は、平均 2.13、最小でも 0.38 と全て測定された。余剰汚泥の影響がない流入下水でも 1.03～2.04 mg-C/l で測定され、常時、PHA を細胞内に貯蔵する細菌が水再生センターに流入していることが窺えた。

PHV/PHB は平均 0.26 と PHB が 80%程度を占めていた。これは、PHB が酢酸 2 分子から生成される 3HB をモノマーとするため、試料中に有機酸としての酢酸が多いことを反映している結果と考えられる。

沈後水 PHA は、平均 1.63 と最初沈殿池で生汚泥として除去される PHA の割合は 25%程度であった。PHV/PHB は 0.27 とほぼ流入下水と同じで、最初沈殿池では新たに PHA の生成がない結果だと考えられる。

#### (2) 汚泥試料の PHA

表-2 にその結果を示す。

生汚泥 PHA は、平均 TS(%)0.67 で 34.1 であった。PHV/PHB は 0.30 と流入下水の 0.26 と比べて若干高く、最初沈殿池底部で若干 PHV が生成された結果であると推察される。

これは、PHV が酢酸、プロピオン酸から生成される 3HV をモノマーとするため、最初沈殿池底部での嫌気状態で、細胞内貯蔵物質グリコーゲンの解糖による PHA 生成に必要な還元力の供給とともに 3HV が供給されたことに因るものと考えられる。

調整汚泥 PHA は、平均 TS(%)1.70 で 107 であった。これは生汚泥を TS(%) 1.70 まで濃縮した場合の PHA86.5 に比べても高く、PHV/PHB も生汚泥 0.30 に対して 0.65 と 2 倍以上高くなっていた。

これは、上記と同様、調整槽底部での強い嫌気状態のため、PHV がより多く生成された結果と考えられる。

越流水 PHA は、平均 SS(mg/l) 108 で 6.26、PHV/PHB は調整汚泥とほぼ同じ 0.62 であった。

#### (3) 活性汚泥試料の PHA

表-3 にその結果を示す。

活性汚泥 PHA は、平均 MLSS(mg/l) 2,000 で 3.82、含有率(%) 0.19、PHV/PHB 0.43 であった。活性汚泥 PHA 含有率(%)は最大で 0.33 であり、反応タンク出口での活性汚泥 PHA 含有率(%)は 0.1～0.3 程度と考えられる。

返送汚泥 PHA は、平均 RSSS(mg/l) 5,230 で 13.7、含有率(%)0.25、PHV/PHB 0.80 と活性汚泥 PHA に対して含有率、PHV/PHB ともに高く、これは、生汚泥、調整汚泥と同様の理由によるものと考えられる。

#### (4) 高度処理反応タンク内の PHA の挙動

図-1 に A<sub>2</sub>O 法反応タンク内の PHA、PO<sub>4</sub>-P の挙動を示す。

嫌気槽 1セルでは PHA4.16 の生成、PO<sub>4</sub>-P(mg/l)4.12 の放出が認められた。無酸素槽 2、3セルで硝化液循環により両方ともにほぼ循環率に相当する減少があり、無酸素槽 3セル以降、ともにほぼ直線的に減少し、りんは好気槽 5セルでほぼ除去され、りん除去は良好であった。PHA 含有率(%)は嫌気槽 0.37 から好気槽 8セル 0.18 まで減少していた。嫌気槽での PO<sub>4</sub>-P(mg/l)の増加量 4.12 に対する PHA の増加量 4.16 の比は 1.00、無酸素槽 3セル～好気槽 5セルでの PO<sub>4</sub>-P(mg/l)の吸収量 3.29 に対する PHA の減少量 1.95 の比は 0.59 であった。

流入部、嫌気槽、反応タンク出口の PHV/PHB は各々 0.68、1.04、0.65、嫌気槽から好気槽 8セルでの減少量

試料		PHB	PHV	PHA	PHV / PHB	n
		(mg-C/l)	(mg-C/l)	(mg-C/l)		
流入下水	平均	1.71	0.42	2.13	0.26	73
	最大	4.06	1.53	5.13	0.73	
	最小	0.31	0.07	0.38	0.09	
沈後水	平均	1.27	0.36	1.63	0.27	73
	最大	3.39	1.11	4.51	0.68	
	最小	0.28	0.03	0.32	0.09	

表二 汚泥試料(生汚泥、調整汚泥、越流水)の PHA

試料		TS	PHB	PHV	PHA	PHV / PHB	n
		(%)	(mg-C/l)	(mg-C/l)	(mg-C/l)		
生汚泥	平均	0.67	26.6	7.49	34.1	0.30	107
	最大	1.89	73.1	28.4	88.5	0.93	
	最小	0.15	2.18	0.44	2.63	0.16	
調整汚泥	平均	1.70	64.5	42.2	107	0.65	101
	最大	2.68	112	114	194	1.48	
	最小	0.84	25.5	10.5	36.0	0.25	
越流水	平均	108	3.68	2.58	6.26	0.62	89
	最大	680	9.88	9.64	18.7	1.35	
	最小	25	0.20	0.05	0.25	0.13	

※ 生汚泥、調整汚泥はTS(%), 越流水はSS(mg/l)である。

表三 活性汚泥試料(活性汚泥、返送汚泥)の PHA

試料		MLSS	PHB	PHV	PHA	PHV / PHB	n
		(RSSS)	(mg-C/l)	(mg-C/l)	(mg-C/l)	(%)	
活性汚泥	平均	2,000	2.68	1.15	3.82	0.19	73
	最大	3,030	4.93	3.55	8.49	0.33	
	最小	1,120	1.14	0.27	1.85	0.09	
返送汚泥	平均	5,230	7.50	6.24	13.7	0.25	141
	最大	8,380	18.7	15.1	33.7	0.42	
	最小	2,130	1.95	0.62	2.83	0.07	

は PHB 2.03、PHV 3.38 であり、PHV は嫌気槽で PHB より多く生成され、好気槽で PHB より多く分解された結果であった。これは、活性汚泥が嫌気槽で分解利用したグロブリンを再合成するには 3HV が利用しやすいため、PHB より PHV をより多く分解利用していると考えられる。

しかし、活性汚泥が PHB、PHV をえり好みすることなく分解利用しているとの報告<sup>2)</sup>もあり、さらなる調査・検討が必要であると考えられる。

図-2 に AO 法反応タンク内の PHA、PO<sub>4</sub>-P の挙動を示す。

PHA、PO<sub>4</sub>-P は A<sub>2</sub>O 法と同様の挙動を示し、PHA 含有率(%)は嫌気槽 2セル 0.83 から好気槽 8セル 0.21 まで減少していた。嫌気槽での PO<sub>4</sub>-P(mg/l)の増加量 9.17 に対する PHA の増加量 14.1 の比は 1.36、嫌気槽 2セル~好気槽 7セルでの PO<sub>4</sub>-P(mg/l)の吸収量 10.0 に対する PHA の減少量 12.8 の比は 1.28 であった。嫌気槽では A<sub>2</sub>O 法より PHA が多く生成され、りん放出が多いものの、好気槽でのりんの吸収効率が A<sub>2</sub>O 法の半分程度であり、A<sub>2</sub>O 法では好気槽 5セルでりんがほぼ除去されているのに対し、AO 法では好気槽 8セルでもりんが 1mg/l 残存していた。

図-3 に図-2 の AO 法反応タンク内 PHB、PHV の挙動を示す。

嫌気槽での PHB、PHV の増加量はほぼ同じであった。

嫌気槽、反応タンク出口の PHV/PHB は各々 0.90、0.46 であり、嫌気槽から好気槽 7セルでの減少量は、PHB 5.94、PHV 6.91 であり、A<sub>2</sub>O 法と同様に活性汚泥が PHB より PHV をより多く分解利用していた。

#### 4 まとめ

下記に水再生センター処理過程試料 PHA の実態調査、高度処理反応タンク内 PHA の挙動調査の結果を示す。

- (1) 活性汚泥試料のみならず下水試料、汚泥試料に余剰汚泥由来の PHA が測定され、また、沈殿した汚泥では、嫌気により PHV がより多く生成されている結果が得られた。
- (2) PHA の生成、りん放出が少なくても、りん除去としては良好であり、PHA の生成、りん放出が多くても、りん除去としては低下する場合があることが確認できた。
- (3) 好気槽では活性汚泥が PHB より PHV をより多く分解利用していることが示唆された。

#### 5 今後の予定

種々の高度処理方式についての挙動調査、様々な条件設定での机上実験を行い、PHA と PO<sub>4</sub>-P 等との多くの関係データを収集し、高度処理法での良好で安定したりん除去の達成を目指していく予定である。

(参考文献)

- 1) 坂本俊彦, 工藤優子: アルカリ分解を用いた活性汚泥一時貯蔵物質 PHA の測定法、  
第 50 回下水道研究発表会講演集, pp. 1072-1074, 2013
- 2) 前島裕樹, 松尾吉高: 生物脱リン法の活性汚泥における PHA の挙動、  
環境工学研究論文集, Vol. 34, pp. 183-190, 1997

問い合わせ先: 横浜市環境創造局下水道水質課 TEL 045(621)4343 E-mail ks-suishitsu@city.yokohama.jp

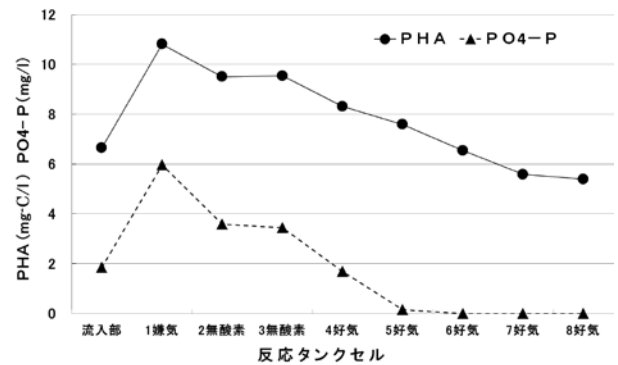


図-1 A<sub>2</sub>O法反応タンク内PHA、PO<sub>4</sub>-Pの挙動

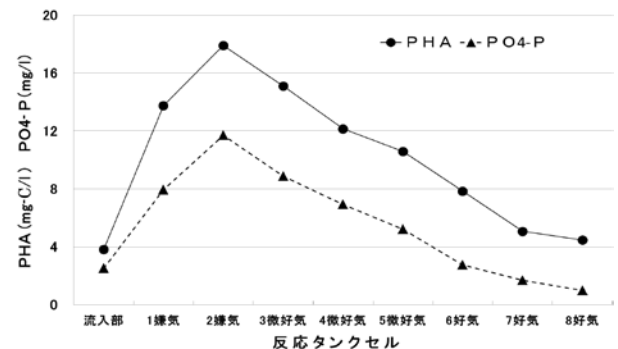


図-2 AO法反応タンク内PHA、PO<sub>4</sub>-Pの挙動

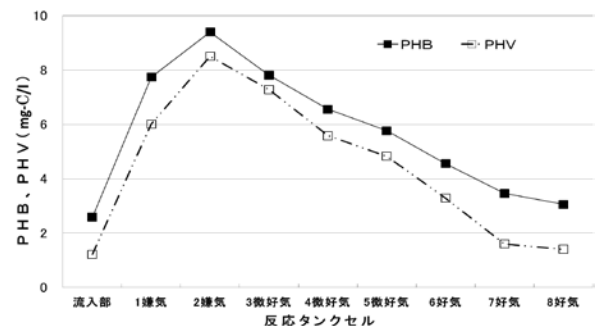


図-3 AO法反応タンク内PHB、PHVの挙動