

特集報文：下水道による都市の水の管理

下水処理場における直鎖アルキルベンゼンスルホン酸 (LAS) の除去特性

小森行也・岡本誠一郎

1. はじめに

直鎖アルキルベンゼンスルホン酸 (LAS) は、平成25年3月27日の環境省告示第30号により水質汚濁に係る環境基準に追加された。LASは、緑藻、珪藻、ミジンコ、メダカ、ニジマス、マダイ等の水生生物に対し毒性を有することが知られている物質である。最も厳しい環境基準の値は淡水域(河川・湖沼)では0.02mg/L以下、海域では0.006mg/L以下である。

LASは界面活性剤としての用途が多く、洗濯や食器洗い洗剤として広く家庭においても使用され、その排水の多くは下水道へ流入することが考えられる。また、LASは排水規制の設定が予想されるが、下水処理場は排水規制の対象となることから、一般的な下水処理による除去特性の把握が重要となる。

このため、我が国で最も多くの下水処理場で採用されている活性汚泥処理法の実験プラントを用いた実験により、下水処理プロセスにおけるLASの除去特性把握を行なった。また、活性汚泥法に加えて種々の処理方式の実下水処理場においてLASの除去に関する調査を行なった。

2. 調査方法

2.1 活性汚泥処理実験装置による調査

2.1.1 分析方法

LASの分析は、要調査項目等調査マニュアル¹⁾の他、佐来ら²⁾、Garciaら³⁾の方法を参考とし、図-1に示す分析フローに従った。試料を孔径1 μ mのガラス繊維ろ紙でろ過したろ液とろ紙残渣(SS)に分けて行なった。ろ液は、固相抽出、精製後、液体クロマトグラフ-タンデム型質量分析計(LC/MS/MS)で測定した。ろ紙残渣(SS)は、メタノールを用いた超音波抽出、定容・分取後、精製水を加え、以降の操作はろ液と同様に行なった。また、他の水質項目は、下水試験方法⁴⁾に従った。

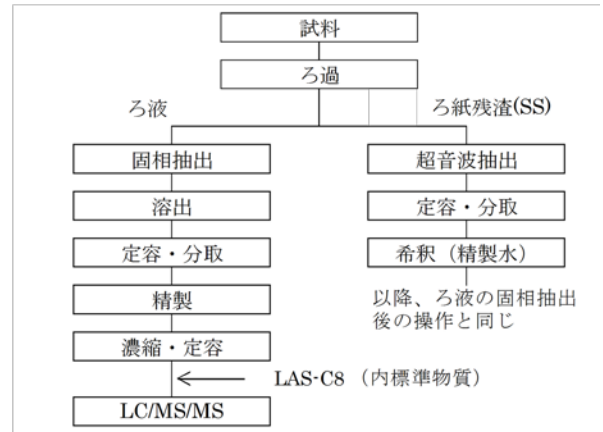


図-1 LASの分析方法

2.1.2 実験装置の概要及び試料採取

調査は、図-2、写真-1に示す有効水深が約2mの最初沈殿池(初沈)、エアレーションタンク(AT1~AT4)、最終沈殿池(終沈)と塩素混和槽、生汚泥貯留槽、余剰汚泥貯留槽で構成される活性汚泥処理実験装置を用いて行った。実下水処理場の流入水をピットに受けた後、定量ポンプを用いて装置に導入した。生汚泥、余剰汚泥の引抜はタイマーコントロールによる間欠運転で行った。また、次亜塩素酸ナトリウム溶液を定量ポンプにより塩素混和槽に注入した。分析試料の採取は、実験装置の運転開始から約4ヶ月が経過した平成25年2月に行った。2時間間隔で採取した各試料を等量混合し分析試料とした。本装置は、流入量6m³/d、汚泥返送率約30%、エアレーションタンクの水理的滞留時間(HRT)約8時間、固形物滞留時間(SRT)約16日で運転した。実験装置

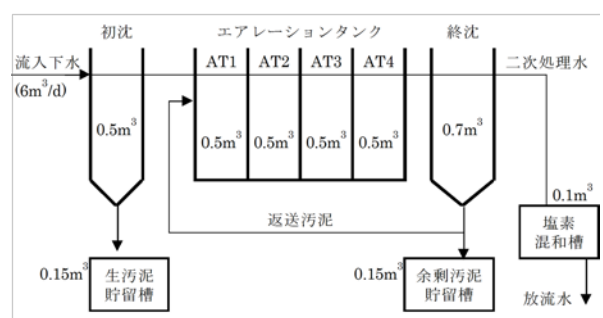


図-2 活性汚泥処理実験装置



写真-1 活性汚泥処理実験装置

表-1 活性汚泥処理実験装置の運転管理状況

	流入下水	初沈 流出水	AT4	二次 処理水	放流水
水温 (°C)	19.6	19.2	18.2	18	17.8
pH (-)	6.8-7.3	6.7-7.2	6.4-6.7	6.4-7.0	6.4-6.9
BOD (mg/L)	150	94	-	5.6	3.4
COD (mg/L)	75	45	-	9.4	9.4
DOC (mg/L)	34	31	-	6.6	6.5
SS・MLSS (mg/L)	140	70	2000	5.7	4.5
残塩(T) (mg/L)	-	-	-	-	0.45

の運転管理状況（平均）を表-1に示す。二次処理水のBOD、COD、SS濃度はそれぞれ5.6mg/L、9.4mg/L、5.7mg/Lで、これらの除去率は96%、87%、96%であった。これらの値は、標準活性汚泥法の実下水処理場と同等であり、本装置の処理水質は実際の下水处理場と同レベルであった。

2.2 実下水処理場における調査

調査は、我が国で最も多く採用されている標準活性汚泥法の処理場4箇所（A, B, C, D）と回転生物接触法（E, F）、嫌気好気ろ床法（G, H）、礫間接触法（I, J）、好気性ろ床法（K, L）、接触酸化法（M, N）、高速散水ろ床法（O, P）の処理場それぞれ2箇所の合計16処理場において実施した。調査処理場の処理能力は240～75,000m³/dと小・中規模の処理場であった。調査試料は、平成25年2～3月の晴天日にスポット

採取し、2.1.1に示す方法によりLASの分析を行った。また、調査試料の分析又は試料採取日に近い定期分析結果より求めたSS、BODの除去率は、いずれの処理場においてもSS 80%以上、BOD 92%以上であり処理は良好であった。

3. 調査結果

3.1 活性汚泥処理実験装置による調査

3.1.1 活性汚泥処理プロセスにおけるLASの濃度変化

分析対象としたLASの各水処理工程及び汚泥の濃度を図-3に示す。流入下水のLAS濃度は、ろ液が1,600µg/L、SSが730µg/L（合計約2,330µg/L）であり、初沈流出水の各LAS濃度も流入下水とほぼ同じ値であった。AT内のLAS濃度は、AT1ではろ液が58µg/L、SSが750µg/L（合計808µg/L）となり、初沈流出水の濃度に対し大きく減少していた。引き続きAT2～AT4でLAS濃度は、ろ液が1.1µg/L、SSが82µg/L（合計83µg/L）まで低下し、流入下水、初沈流出水の濃度の1/20以下となった。二次処理水の各LAS濃度は、ろ液が0.6µg/L、SSは未検出（合計0.6µg/L）であった。放流水の各LAS濃度は、ろ液が1.2µg/L、SSが0.1µg/L（合計1.3µg/L）で二次処理水とほぼ同じ値であり、滞留時間が約30分の塩素混和槽内では殆ど変化しないことがわかった。また、最初沈殿池からの引き抜き汚泥（生污泥）の各LAS濃度は、ろ液が1,100µg/L、SSが1,900µg/L（合計3,000µg/L）で流入下水、初沈流出水の濃度に近い値であった。最終沈殿池からの引き抜き汚泥（余剰汚泥）の各LAS濃度は、ろ液が2.0µg/L、SSが340µg/L（合計342µg/L）であった。返送汚泥の各LAS濃度は、ろ液が1.6µg/L、SSが

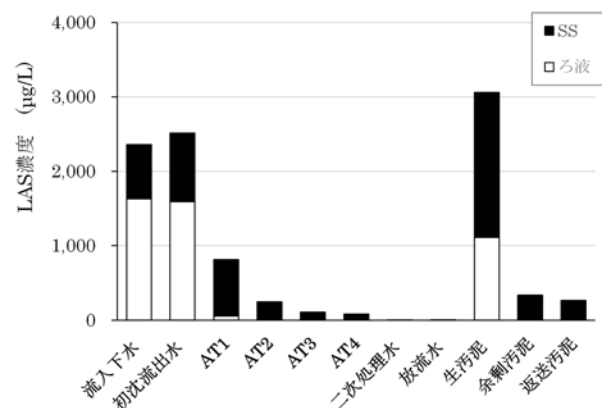


図-3 各処理工程のLAS濃度分析結果

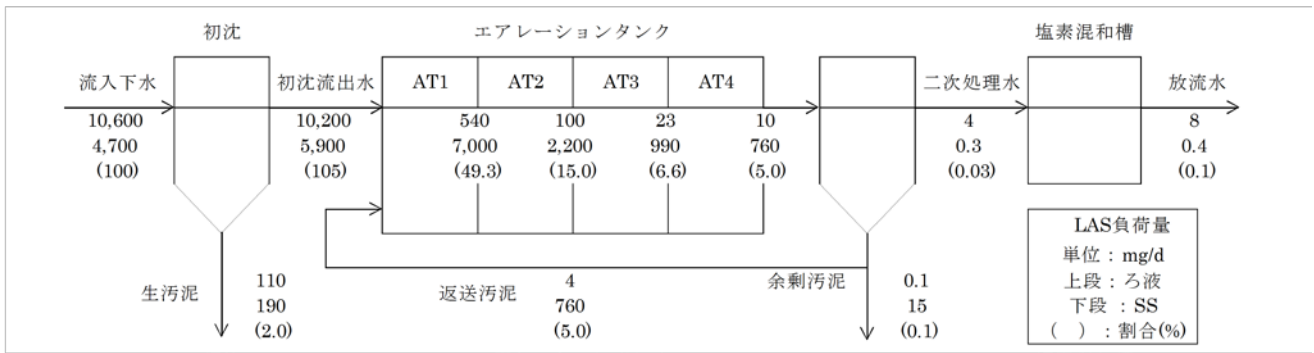


図-4 活性汚泥処理プロセスにおけるLAS負荷量の挙動

270µg/L（合計272µg/L）で余剰汚泥とほぼ同じ値であった。

3.1.2 活性汚泥処理プロセスにおけるLASの挙動

次式より活性汚泥処理プロセスにおけるLAS負荷量を算出し、その挙動を図-4に示す。

$$\text{LAS負荷量 (mg/d)} = \text{LAS濃度 (mg/m}^3\text{)} \times \text{流量 (m}^3\text{/d)}$$

また、流入下水中のLAS（ろ液+SS）負荷量を100%とした各処理工程、各汚泥における負荷割合を括弧内に示した。流入下水と初沈流出水のLAS負荷量は、ほぼ同じ値であり、最初沈殿池におけるLASの除去はみられないが、AT1で49%、AT2で15%、AT3で7%、AT4で5%と処理が進むに従い大きく減少した。二次処理水、放流水では0.03%、0.1%となり活性汚泥処理により99%以上が除去されることがわかった。活性汚泥処理におけるLAS負荷量の挙動より、流入負荷量に対する排出負荷量（放流水、生汚泥、余剰汚泥）の合計は2.2%であった。残りの97.8%は活性汚泥処理により分解・除去されたものと考えられる。

3.2 実下水処理場における調査

本調査で得た16処理場のLAS濃度の分布を相対累積度数分布で図-5に示す。

流入下水のLAS濃度は最大値が5,100µg/L、最小値が13µg/Lであり、データ数が少ない中ではあるが中央値は約2,000µg/Lであった。本調査結果は、宇都宮ら⁵⁾が実施した下水道終末処理場におけるLASの挙動調査の流入水濃度2,430µg/Lと同程度であった。16処理場のうち、2処理場の流入下水のLAS濃度は13µg/L、92µg/Lであり他の処理場のLAS濃度（700～5,100µg/L）に比べ低い値であった。この2処理場はいずれも処理能力が1,000m³/d以下の小規模の処理場であり、処理区域面積も小さく流入水質の時間変動が大きいことが予想される。本調査のLAS濃度が他の処理場に比べ低い値であった原因の一つとして、試料採取方法がスポット採取であったこともあり比較的LAS濃度の低い時間帯に採取したことが考えられる。

放流水のLAS濃度は最大値が860µg/L、最小値が0.5µg/Lであり、データ数が少ない中ではあるが中央値は約10µg/Lであった。これらの値は、

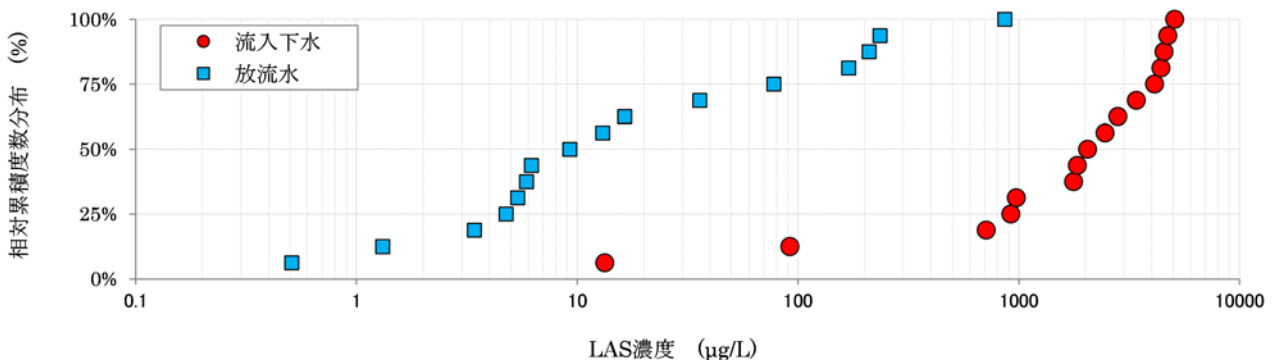


図-5 流入下水及び放流水のLAS濃度分析結果

表-2 各処理場のLAS濃度と除去率

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
	標準	標準	標準	標準	回転	回転	嫌気	嫌気	礫間	礫間	好気	好気	接触	接触	散水	散水
流入下水 (µg/L)	1,800	2,800	2,000	4,400	970	13	920	4,600	4,700	3,400	4,100	5,100	2,500	92	710	1,800
放流水 (µg/L)	1.3	3.4	5.4	6.2	16	0.51	170	860	4.7	13	36	210	5.9	9.2	78	230
除去率 (%)	99.9	99.9	99.7	99.9	98.4	96.1	81.5	81.3	99.9	99.6	99.1	95.9	99.8	90.0	89.0	87.2
<small>標準：標準活性汚泥法 回転：回転生物接触法 嫌気：嫌気好気ろ床法 礫間：礫間接触法 好気：好気性ろ床法 接触：接触酸化法 散水：高速散水ろ床法</small>																

宇都宮ら⁵⁾の調査結果の二次処理水の濃度380µg/Lと同程度であった。

各処理場の流入下水と放流水のLAS濃度から除去率を算出し表-2に示す。我が国で広く採用されている標準活性汚泥法の処理場のLAS除去率は99%以上であり、回転生物接触法、礫間接触酸化法、好気性ろ床法、接触ばつき法、高速散水ろ床法の処理場のLAS除去率は87%以上であった。また、嫌気好気ろ床法の処理場のLAS除去率は約81%であり、他の処理方法に比べ少し低い傾向が見られた。

4. まとめ

実下水を流入水とした活性汚泥処理実験と活性汚泥法に加えて種々の処理方式の実下水処理場においてLASの除去に関する調査を行い、以下の結果を得た。

- ・流入水と初沈流出水のLAS濃度はほぼ同じ値であり、最初沈殿池におけるLASの除去はみられないが、エアレーションタンク内で大きく減少し、二次処理水、放流水では1µg/L以下であった。
- ・LASの流入負荷量に対する排出負荷量（放流水、生汚泥、余剰汚泥）の合計は2.2%であった。残りの97.8%は活性汚泥処理により分解・除去されたものと考えられる。

・種々の処理方式の実下水処理場においてLASの除去特性について調査したところ、各処理方式の下水処理場におけるLAS除去率は、標準活性汚泥法（99%以上）、回転生物接触法、礫間接触酸化法、好気性ろ床法、接触ばつき法、高速散水ろ床法（87%以上）、嫌気好気ろ床法（81%）であった。

参考文献

- 1) 要調査項目等調査マニュアル、平成22年10月、環境省水・大気環境局水環境課
- 2) 佐来栄治、早川修二：直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム(LAS)のLC/MS分析と環境濃度について、三重保環研年報第6号(通巻第49号)、pp.65~70、2004
- 3) M.T. Garcia, E. Campos, J. Sanchez-Leal, I. Ribosa, Effect of linear alkylbenzene sulphonates (LAS) on the anaerobic digestion of sewage sludge, Water Research, 40, pp.2958-2964 (2006)
- 4) 下水試験方法-2012年版、日本下水道協会、2012
- 5) 宇都宮暁子、内藤昭治、富田勲：直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム(LAS)に関する研究(第2報) 下水道終末処理場におけるLASの挙動、衛生化学、Vol.32、No.4、pp.258~266、2004

小森行也



土木研究所水環境研究グループ水質チーム 総括主任研究員
Koya KOMORI

岡本誠一郎



土木研究所水環境研究グループ水質チーム 上席研究員、博(工)
Dr. Seiichiro OKAMOTO