

## 2-2-2 水再生センターにおける直鎖アルキルベンゼンスルホン酸 及びその塩（LAS）の実態調査

施設管理部 環境管理課  
檜原 慎久、森谷 典子

### 1. 調査背景

#### 1.1 LASの物性や用途

直鎖アルキルベンゼンスルホン酸及びその塩（以下「LAS」という）は、界面活性剤の一種であり、常温で白色または黄色の水溶性の固体である。直鎖部分の炭素数は10から14である（図1）<sup>1)</sup>。

LASは生分解性が低く河川での環境汚染の原因となった分岐鎖アルキルベンゼンスルホン酸（ABS）に代わる生分解性の高い界面活性剤として1960年代後半に

開発された。主な使用用途は家庭用の洗濯用洗剤であり、生産量（平成21年度で約55,000t）の約8割を占める<sup>1)</sup>。残り約2割が業務用洗浄剤としてクリーニングや車両洗浄などに使用されており、繊維を染色加工する際の分散剤や農薬などの乳化剤にもわずかに使用されている<sup>2)</sup>。

#### 1.2 LASの環境基準設定の経緯

平成15年に環境基本法に基づく水質汚濁に係る環境基準が一部改正された際、既存の「人の健康の保護に関する環境基準」「生活環境の保全に関する環境基準」に加え、新たに公共用水域における水生生物の生息及び生息環境の保全を目的に「水生生物保全に係る水質環境基準」が創設された。

現在までに亜鉛、ノニルフエノール、そしてLASの3物質について、水生生物の生息状況等に応じて区分した類型ごとに基準が定められている（表1）。また、要監視項目として、クロロホルム、フェノール、ホルムアルデヒド、4-*t*-オクチルフエノール、アニリン、2,4-ジクロロフェノールの6物質に指針値が定められている。

環境基準の定められた3物質のうち、水質汚濁防止法に排水基準が定められているのは亜鉛のみであり、他の2物質については平成27年現在定められていない。これらについて

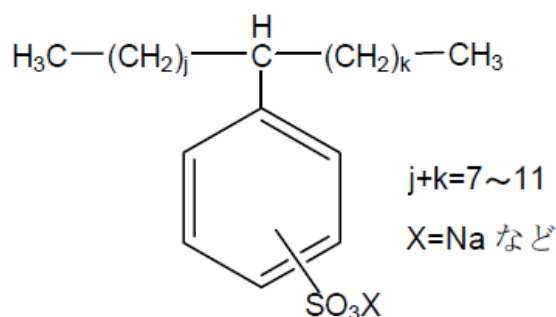


図1 LASの構造式

表1 水生生物の保全に係る水質環境基準

類 型		環境基準（年間平均値）		
		亜鉛	ノニルフエノール	LAS
環境基準設定時期		平成15年 11月	平成24年 8月	平成25年 3月
河 川	生物A	30	1	30
	生物特A	30	0.6	20
	生物B	30	2	50
	生物特B	30	2	40
海 域	生物A	20	1	10
	生物特A	10	0.7	6
排水基準		2,000	-	-

※単位は  $\mu\text{g/L}$

も将来的な排水基準値の設定に向けて現在環境省で検討がなされているが、LAS については、その使用用途より発生源の中心は生活排水（ノンポイント）となるため、新たな基準設定の考え方や排出規制手法が取り入れられることも考えられる。

以上の動きをうけ、区部水再生センターにおける LAS の流入・放流状況及び反応槽内処理状況を把握する実態調査を平成 25 年度、平成 26 年度の 2 か年で行った。なお、国土交通省でも排水基準設定を視野に入れ、平成 25 年 6 月に全国の終末処理場を対象とした実態調査を行っている（結果は未公表）。

## 2. 調査内容と方法

### 2.1 流入水・放流水実態調査

これまで東京都水再生センターへの流入水中の LAS 濃度や水再生センターからの放流水の LAS 濃度について調査が行われておらず、その実態が不明であることから、平成 25 年度に東京都区部にある全 13 水再生センターにおいて夏季、冬季の 2 回、午前 10 時にスポット採水（処理系列が複数ある場合は、そのうち 1 系列を代表系列として採水）した流入水及び放流水の LAS 濃度を測定した。

これに引き続き平成 26 年度は、平成 25 年度の調査において流入水、放流水それぞれで最も高い値を示した三河島、有明の 2 水再生センターを対象として、流入水及び放流水の時間変動を調査した。調査は、夏季、冬季の 2 回、午前 9 時から翌朝午前 9 時まで 2 時間毎に 24 時間、計 12 回流入水及び放流水を採水し、LAS 濃度を測定した。

なお、LAS 濃度は環境基準対象物質である C10～C14-LAS の濃度の合計値とし、分析方法は環境省告示第 30 号（平成 25 年 3 月 27 日）付表 12 に準拠し、固相カラムを用いて濃縮処理した試料を、高速液体クロマトグラフ・タンデム質量分析計（LC/MS/MS）を用いて分析した。当局は本機器を保有していないため委託した。

LAS 濃度測定は、次の 3 点に注意して行った。

- ① 試料採取容器、試料瓶等を水で洗浄し、更にアセトン及びメタノールで洗浄した後使用する。
- ② 試料瓶はガラス製とする。
- ③ 採取した試料は冷暗所に保存し、速やかに分析する。

### 2.2 生物反応槽内での LAS 処理状況調査

平成 26 年度には、生物反応槽内での LAS の処理状況を把握するため、三河島、有明の 2 水再生センターを対象として、夏季、冬季の 2 回、反応槽流入水及び反応槽各回路末端の処理水を採水し LAS 濃度を測定した。反応槽流入水は午前 10 時に採水し、反応槽各回路末端の処理水はその予想流達時間に採水した。

各回路末端で採取した試料は活性汚泥を除去するため、JIS P 3801 のろ紙 5 種 C でろ過したのち LAS 濃度を測定した。

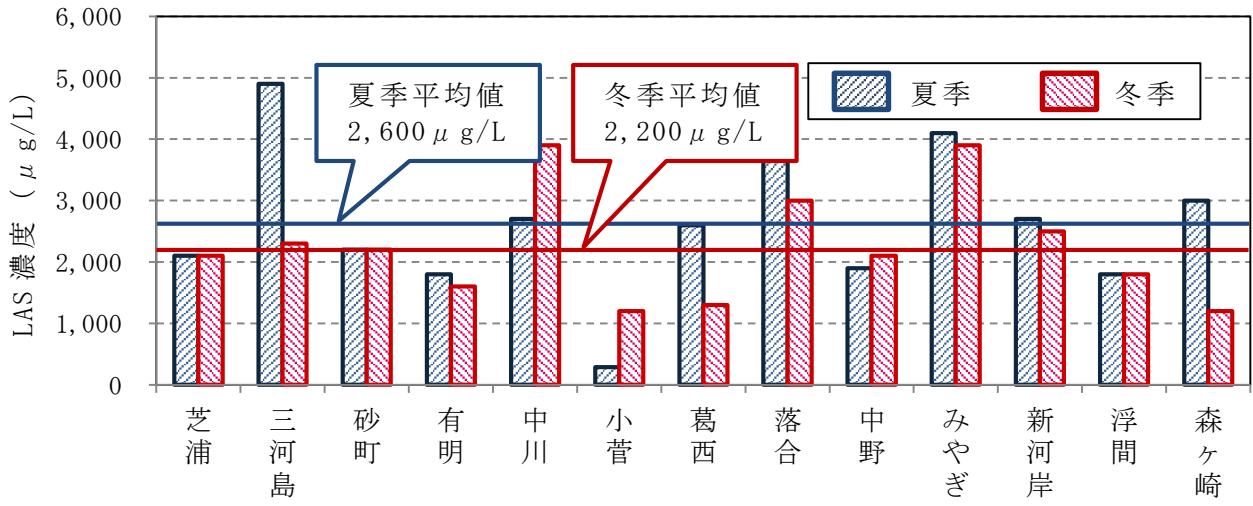
## 3. 結果と考察

### 3.1 流入水・放流水実態調査

#### 3.1.1 スポット採水による調査

全 13 水再生センターにおけるスポット採水による流入水実態調査の結果を図 2 に示す。図上部において測定結果をグラフに、図下部において測定値を表にまとめている。（図 3 以降も同様のまとめ方になっている。）

流入水中の LAS 濃度は、多くのセンターにおいて夏季と冬季でほとんど変わらなかった。その中で三河島、小菅、葛西、森ヶ崎の 4センターでは、夏季と冬季で LAS 濃度が 2 倍以上変化していた。スポット採水で調査を行っているため、日内変動や季節変動、天候等が影響し、このような濃度差が生じた可能性があると考えられる。



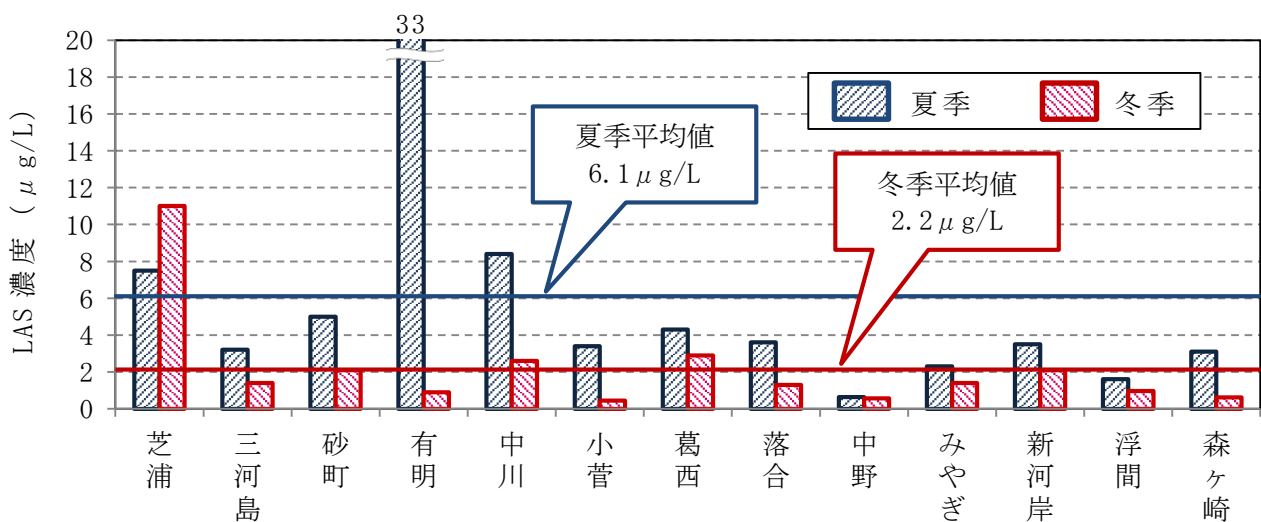
※単位は μg/L

	芝浦	三河島	砂町	有明	中川	小菅	葛西	落合	中野	みやぎ	新河岸	浮間	森ヶ崎
夏季	2,100	4,900	2,200	1,800	2,700	290	2,600	3,900	1,900	4,100	2,700	1,800	3,000
冬季	2,100	2,300	2,200	1,600	3,900	1,200	1,300	3,000	2,100	3,900	2,500	1,800	1,200

図 2 各センターにおける流入水中 LAS 濃度 (平成 25 年度)

スポット採水による放流水実態調査の結果を図 3 に示す。

放流水中の LAS 濃度は、ほとんどのセンターで東京都区部の環境基準で最も厳しい値の 10 μg/L (海域・生物 A) よりも低い値であったが、有明水再生センターにおいては、流入水 LAS 濃度は夏季、冬季でほとんど変わらなかったものの、放流水 LAS 濃度は夏季と冬季で大きく異なり、夏季の値は 10 μg/L を大きく上回っていた。



※単位は μg/L

	芝浦	三河島	砂町	有明	中川	小菅	葛西	落合	中野	みやぎ	新河岸	浮間	森ヶ崎
夏季	7.5	3.2	5.0	33	8.4	3.4	4.3	3.6	0.63	2.3	3.5	1.6	3.1
冬季	11	1.4	2.1	0.9	2.6	0.45	2.9	1.3	0.56	1.4	2.1	0.96	0.61

図 3 各センターにおける放流水中 LAS 濃度 (平成 25 年度)

流入水、放流水実態調査における区部平均 LAS 濃度及びその除去率を表 2 に示す。

区部平均の LAS 除去率は、夏季、冬季ともに平均で 99% 以上であり、流入水中の LAS のほとんどが、活性汚泥処理によって除去できていることが分かった。また、ほとんどの試料について夏季よりも冬季のほうが LAS 濃度は低く、除去率は冬季のほうが高かった。

表 2 各試料での区部平均 LAS 濃度と除去率

試料	夏 季		冬 季	
	区部平均	範 囲	区部平均	範 囲
流入水	2,600	290 ~ 4,900	2,200	1,200 ~ 3,900
放流水	6.1	0.63 ~ 33	2.2	0.45 ~ 11
除去率	99.8%	98.2%~99.9%以上	99.9%以上	99.5%~99.9%以上

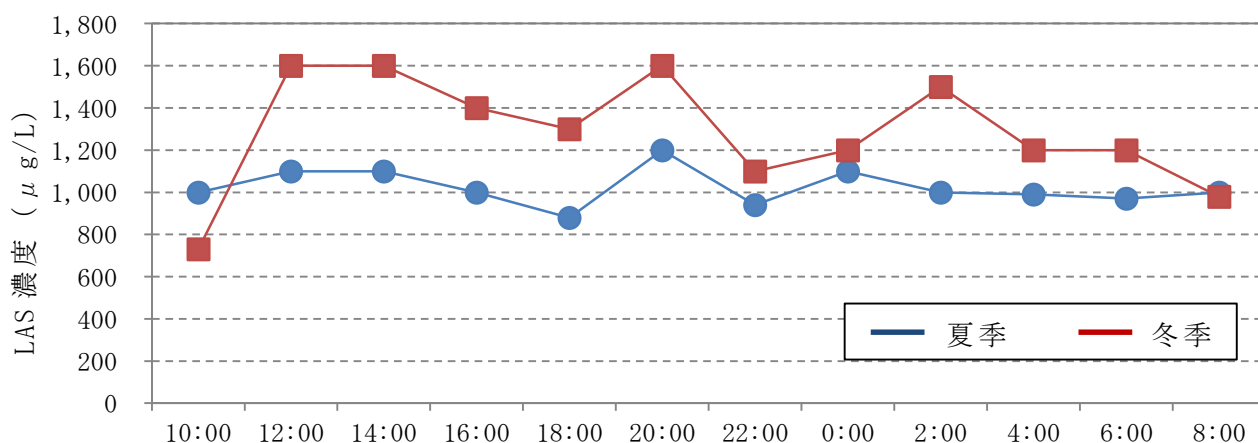
※濃度の単位は  $\mu\text{g/L}$

### 3.1.2 時間変動調査

流入水、放流水それぞれで最も高い値を示した三河島、有明の 2 センターを調査対象センターとして平成 26 年度の調査を実施した。流入水中の LAS 濃度の時間変動調査の結果を図 4 及び図 5 に示す。

両センターとも時間により 2 倍程度の幅で変動した。また、平成 25 年度のような高い濃度の流入は観測されず、季節による流入水質の大きな差異も見られなかった。

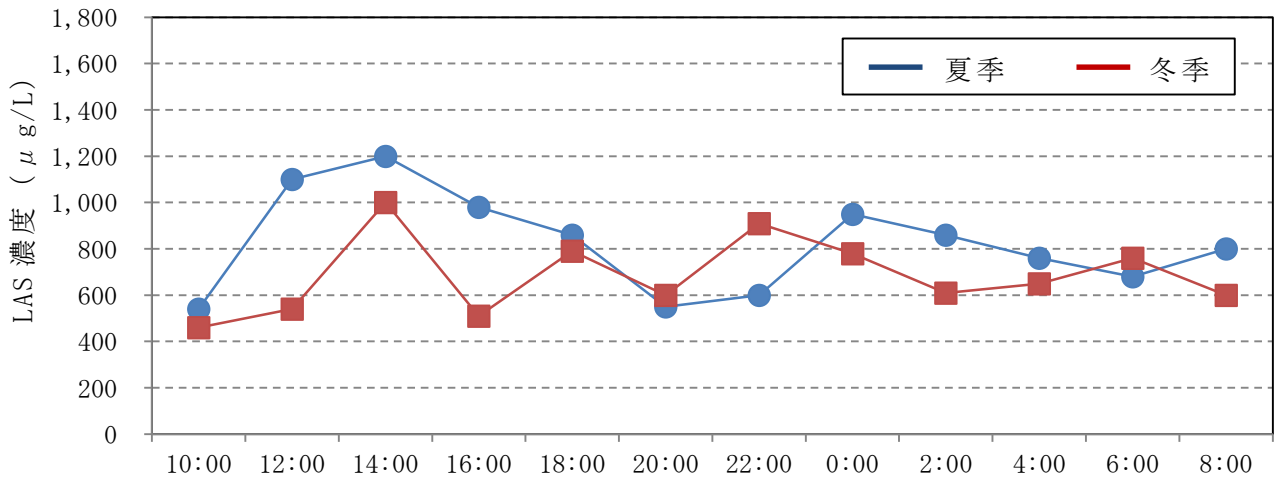
立野ら<sup>3)</sup>が 2014 年 1 月 8 日に京都市鳥羽水環境保全センターで行った調査でも、流入水は 820~2400  $\mu\text{g/L}$  で変動しており、両センターと同程度の結果であった。しかし、時間変動を見ると、京都市の調査では流入水 LAS 濃度が午前 10 時頃から 18 時頃まで高く、それ以降の夜間は相対的に低下しており、LAS は生活系排水に由来する可能性が高いことが考えられるとしているのに対し、本調査では 12 時、14 時頃に流入水 LAS 濃度が高いものの京都市のような夜間の大きな濃度低下は見られなかった (図 6)。夜間に活動する人口が多いこと等により、東京都区部では昼夜の濃度差が小さかったものと考えられる。



※単位は  $\mu\text{g/L}$

	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00
夏季	1,000	1,100	1,100	1,000	880	1,200	940	1,100	1,000	990	970	1,000
冬季	730	1,600	1,600	1,400	1,300	1,600	1,100	1,200	1,500	1,200	1,200	980

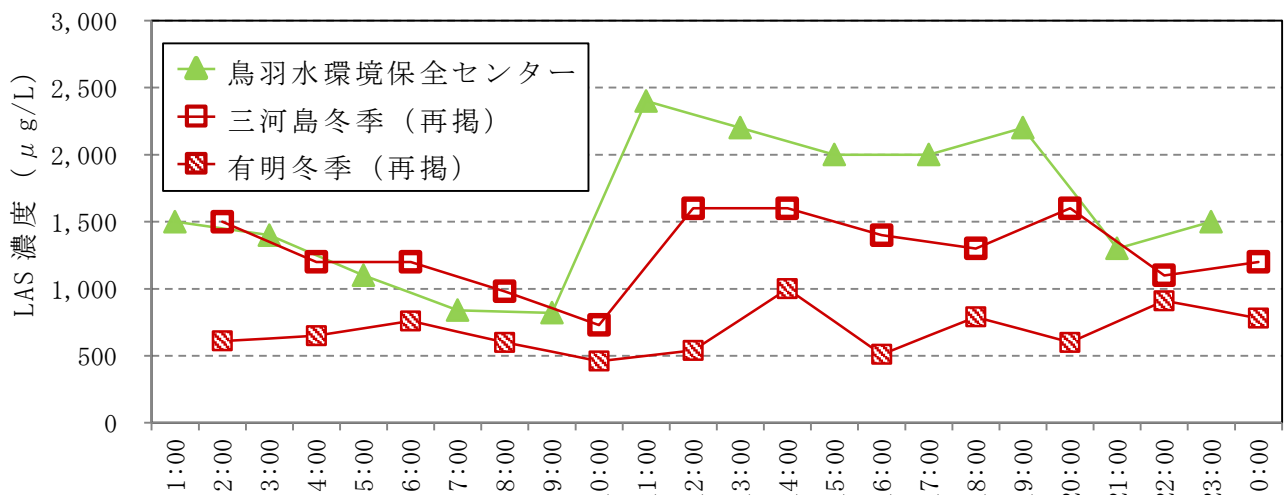
図 4 三河島水再生センターにおける流入水中 LAS 濃度の時間変動



※単位は  $\mu\text{g/L}$

	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00
夏季	540	1,100	1,200	980	860	550	600	950	860	760	680	800
冬季	460	540	1,000	510	790	600	910	780	610	650	760	600

図5 有明水再生センターにおける流入水中 LAS 濃度の時間変動



※鳥羽水環境保全センターは奇数時刻、前後 1 時間のコンポジット試料である。

三河島・有明両センターは偶数時刻、スポット試料である。

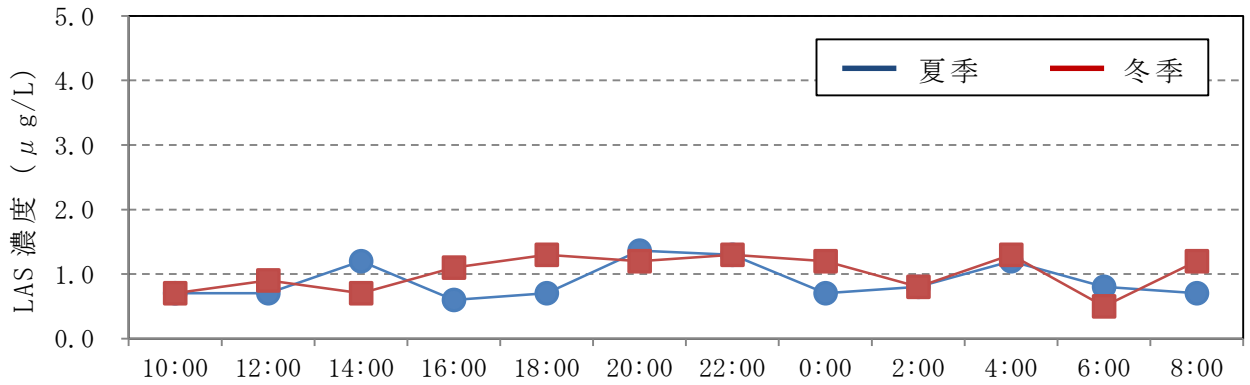
※単位は  $\mu\text{g/L}$

時間	1:00 ~ 2:00	2:00 ~ 4:00	4:00 ~ 6:00	6:00 ~ 8:00	8:00 ~ 10:00	10:00 ~ 12:00	12:00 ~ 14:00	14:00 ~ 16:00	16:00 ~ 18:00	18:00 ~ 20:00	20:00 ~ 22:00	22:00 ~ 0:00
濃度 (μg/L)	1,500	1,400	1,100	840	820	2,400	2,200	2,000	2,000	2,200	1,300	1,500

図6 鳥羽水環境保全センター（京都市）における流入水中 LAS 濃度の時間変動

放流水中の LAS 濃度の時間変動調査の結果を図 7 及び図 8 に示す。

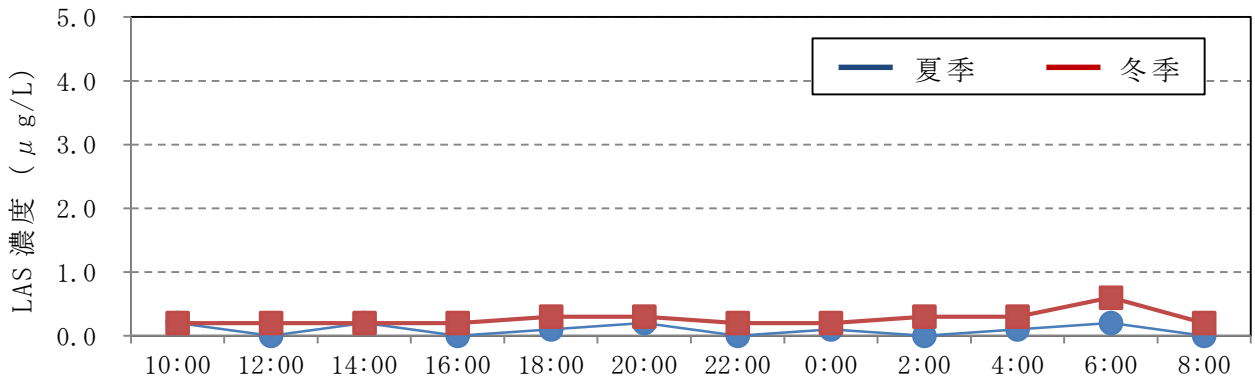
両センターとも環境基準のうちもっとも厳しい値である  $6\mu\text{g/L}$ （海域・生物特 A）を下回り、平均値は三河島水再生センターが  $1.0\mu\text{g/L}$ 、有明水再生センターが  $0.2\mu\text{g/L}$ であった。また、平成 25 年度のような高い濃度の放流は観測されず、季節による差異もほとんど見られなかった。鳥羽水環境保全センターにおける測定結果とも大きな差は見られなかった。



※単位は  $\mu\text{g/L}$

	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00
夏季	0.7	0.7	1.2	0.6	0.7	1.4	1.3	0.7	0.8	1.2	0.8	0.7
冬季	0.7	0.9	0.7	1.1	1.3	1.2	1.3	1.2	0.8	1.3	0.5	1.2

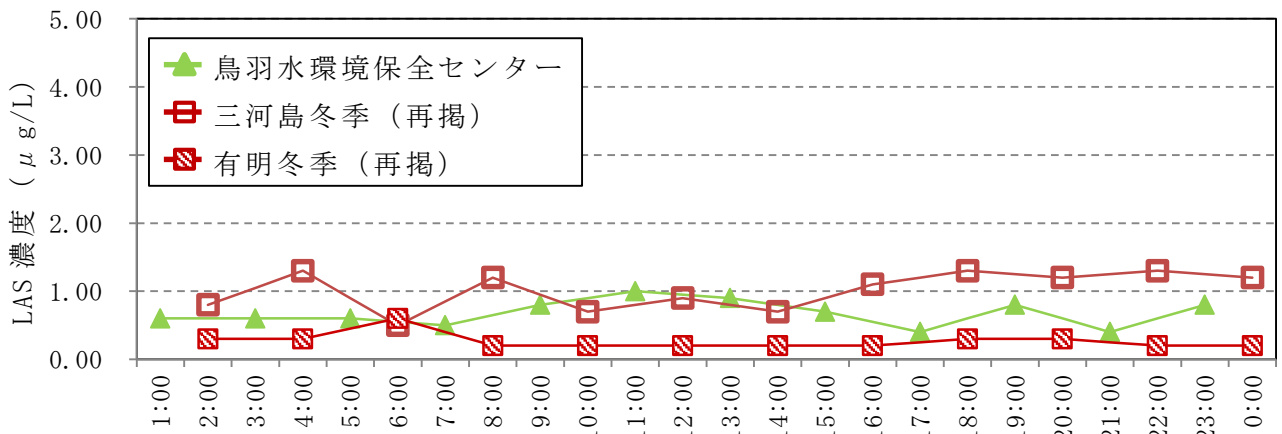
図7 三河島水再生センターにおける放流水中LAS濃度の時間変動



※単位は  $\mu\text{g/L}$

	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00
夏季	0.2	0.0	0.2	0.0	0.1	0.2	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0
冬季	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.6	0.2

図8 有明水再生センターにおける放流水中LAS濃度の時間変動



※鳥羽水環境保全センターは奇数時刻、前後1時間のコンポジット試料である。

三河島・有明両センターは偶数時刻、スポット試料である。

※単位は  $\mu\text{g/L}$

0:00 ~ 2:00	2:00 ~ 4:00	4:00 ~ 6:00	6:00 ~ 8:00	8:00 ~ 10:00	10:00 ~ 12:00	12:00 ~ 14:00	14:00 ~ 16:00	16:00 ~ 18:00	18:00 ~ 20:00	20:00 ~ 22:00	22:00 ~ 0:00
0.6	0.6	0.6	0.5	0.8	1.0	0.9	0.7	0.4	0.8	0.4	0.8

図9 鳥羽水環境保全センター（京都市）における放流水中LAS濃度の時間変動

流入水・放流水中 LAS 濃度の時間変動調査結果を夏季、冬季の結果をあわせた年間データとして表 3 にまとめる。

両センターとも LAS の年間平均除去率は 99.9% 以上であり、夏季、冬季を問わず LAS が良好に除去されていることが明らかになった。

表 3 流入水・放流水中 LAS 濃度の時間変動調査結果まとめ

		年間範囲	年間平均	年間平均除去率
三河島水再生センター	流入水	730～1,600	1,200	99.9%以上
	放流水	0.5～1.3	1.0	
有明水再生センター	流入水	460～1,200	750	99.9%以上
	放流水	0.1 未満～0.6	0.2	

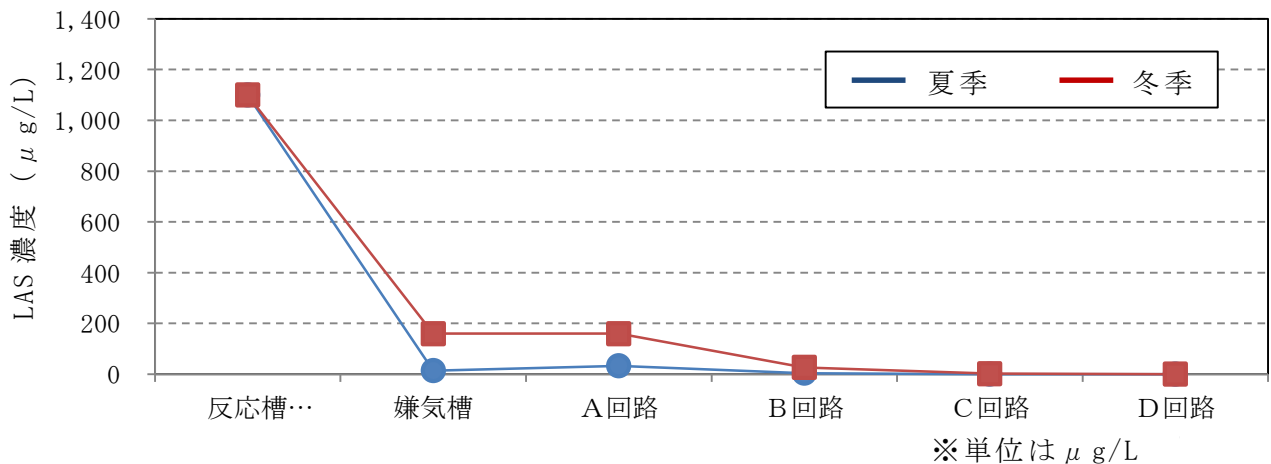
※単位は  $\mu\text{g/L}$

### 3.2 三河島・有明水再生センターで行った生物反応槽内での LAS 処理状況調査

生物反応槽内での LAS 処理状況調査結果を図 10 及び図 11 に示す。

両センターとも夏季、冬季を問わず生物反応槽に流入した LAS は流入直後の嫌気槽でそのほとんどが水中から除去された。これは生物反応槽に流入した LAS が生物反応槽内の活性汚泥に吸着し水中から除去されたためと考えられる。

その後、好気槽を通じて LAS 濃度は徐々に減少し、生物反応槽での LAS の除去率は 99.9% 以上、生物反応槽末端では環境基準以下となった（表 4）。国内外の報告においても下水処理場での LAS の除去率は 97～99.9% であることが確認されており<sup>4)</sup>、両センターにおいてもこれらと同様に汚水処理過程において LAS が良好に除去されていることが明らかになった。



	反応槽 流入水	嫌気槽	A回路	B回路	C回路	D回路
夏季	1,100	14	33	4.1	0.6	0.5
冬季	1,100	160	160	27	2.3	0.6

図 10 三河島水再生センター生物反応槽内における LAS 処理状況

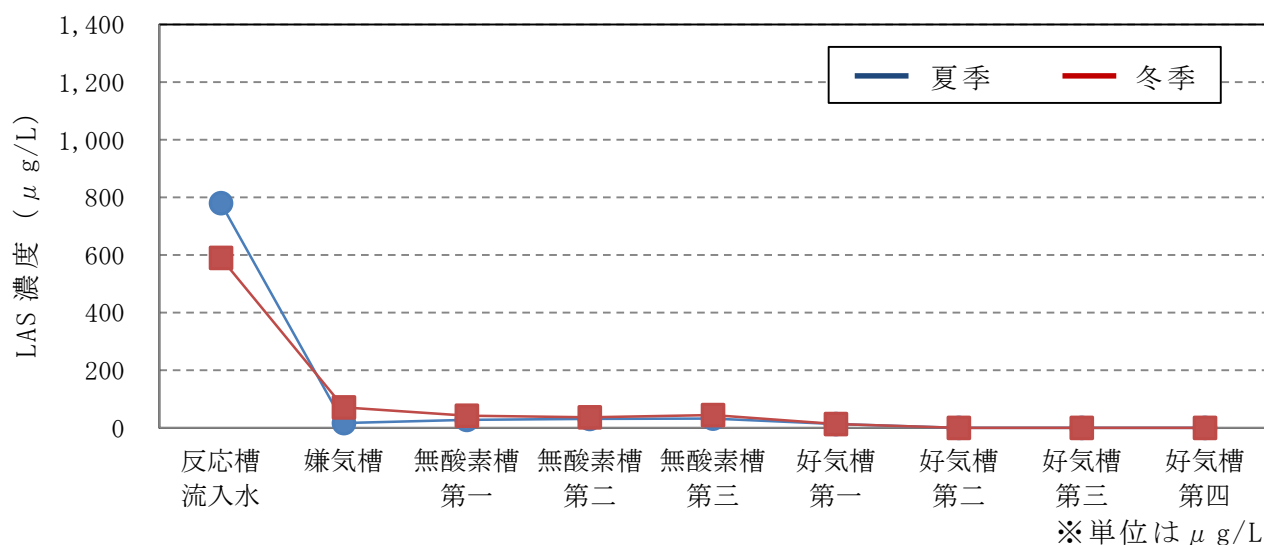


図 11 有明水再生センター生物反応槽内における LAS 処理状況

表 4 生物反応槽内での LAS 処理状況調査結果まとめ

		反応槽処理状況		除去率
三河島水再生センター	夏季	1,100	⇒ 0.5	99.9%以上
	冬季	1,100	⇒ 0.6	99.9%以上
有明水再生センター	夏季	780	⇒ 0.1	99.9%以上
	冬季	590	⇒ 0.2	99.9%以上

※単位は μg/L

#### 4. まとめ

- (1) 流入水 LAS 濃度は 1,000~5,000 μg/L と高かった。
- (2) ほとんどの水再生センターの放流水 LAS 濃度は、環境基準のうち東京都区部で最も厳しい値の 10 μg/L を下回った。
- (3) LAS は水再生センターの通常運転で 99%以上除去できる。
- (4) 反応槽流入直後に LAS 濃度は大幅に減少していることから、そのほとんどが反応槽内の活性汚泥に吸着し水中から除去されたと考えられる。
- (5) 流入水や放流水中の LAS 濃度や生物反応槽内の処理状況に季節による大きな変動は見られなかった。

今後も国における排水基準の検討状況を注視しながら、必要な調査を行っていく。



## 参考文献

- 1) 環境省「化学物質の環境リスク評価 第6巻」  
<http://www.env.go.jp/chemi/report/h19-03/index.html>
- 2) 経済産業省「経済産業省生産動態統計年報 化学工業統計編 2013年版」  
<http://www.env.go.jp/chemi/report/h19-03/index.html>
- 3) 今川智章、立野信也 下水処処理における直鎖アルキルベンゼンスルホン酸及びその塩の実態調査について 第51回下水道研究発表会講演集 p301-303
- 4) 山本昭子、西山直宏、吉田浩介、山根雅之、石川百合子、三浦千明(2010) 直鎖アルキルベンゼンスルホン酸塩(LAS)の水圏生態リスク評価 水環境学会誌 Vol.33 No.1 pp.1-10