

# 調查研究

# 印旛沼を原水とした次亜塩素酸ナトリウム処理及び粉末活性炭処理の効果

○吉田 岳己 (千葉県企業局) 浅川 達志 (千葉県企業局)  
 豊田 真一 (千葉県企業局) 石井 栄勇 (千葉県企業局)  
 川名 夏未 (千葉県企業局) 唐澤 達也 (千葉県企業局)

## 1 はじめに

当局の水源のひとつである印旛沼は富栄養化により水質が悪化し、植物プランクトンも繁殖していることから、トリハロメタン生成能が高く、かび臭物質 (2-MIB、ジェオスミン) 濃度の上昇がみられる。その対策として、印旛沼から取水している柏井浄水場東側施設ではオープン処理と粒状活性炭処理 (以下、「GAC処理」) を組み合わせた高度浄水処理を導入しているが、夏季の植物プランクトン増殖時等にはGAC処理に大きな負荷がかかっている。このことから、GAC処理の負荷を減らすための改善策のひとつとして、印旛沼原水に次亜塩素酸ナトリウムと粉末活性炭を添加した場合の低減効果について、テーブル実験を行い検証した。

## 2 実験方法

印旛沼原水を用いたテーブル実験 (ジャーテスト) を令和元年6、9、12月、令和2年2月の計4回実施した。処理効果の指標としてトリハロメタンとかび臭物質を用い、粉末活性炭による低減状況を比較した。

トリハロメタンについては、ろ過後の値と経時変化を確認するため、2回目以降は室温で48時間後の濃度も測定し比較した。

かび臭物質については、実験時に原水の濃度が低かったことから、12月及び2月の実験については、当局で継代培養を行っている、かび臭物質を産生する植物プランクトン株 (ジェオスミン: *Dolichospermum smithii*、2-MIB: *Phormidium cf. tenue*) を用いて、過去のかび臭発生時の濃度を参考に、添加実験を行った。

実験のフローは図1に示す3種類で比較した。

- ①は凝集沈殿ろ過
- ②は粉末活性炭処理し凝集沈殿ろ過
- ③は次亜塩素酸ナトリウム処理、粉末活性炭処理し凝集沈殿ろ過とした。

## 3 実験結果

### (1) ジャーテストの実施状況

各回の薬品注入率は表1のとおりであった。

粉末活性炭については30mg/L一定とした。

凝集沈殿時の次亜塩素酸ナトリウムとポリ塩化アルミニウム (PAC) は当日の柏井浄水場での注入率を参考に決定した。

実験フロー③については、原水に添加する次亜塩素酸ナトリウムを、一定時間攪拌後、わずかに残留塩素濃度が確認できる注入率とし、凝集沈殿時はその量を差し引いた注入率とした。

また、48時間後のトリハロメタン測定用の処理水は、測定時にすべての実験フローで同程度の残留塩素濃度となるよう調整した。

なお、各処理時間は表1のとおりで、次亜塩素酸ナトリウム及び粉末活性炭との接触時間は、柏井浄水場の最大取水量のときの処理時間を参考とした。

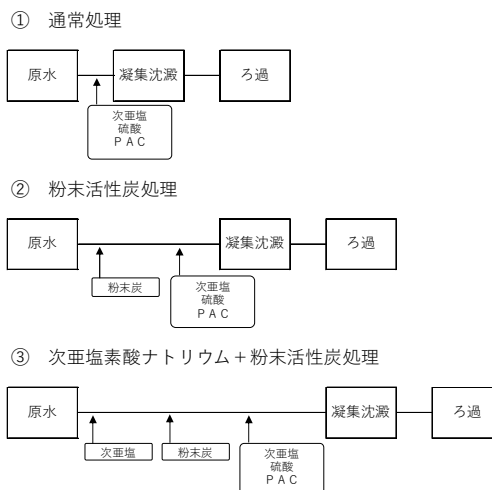


図1 実験フロー

表1 実験毎の薬品注入率

処理時間	薬品	単位	凝集沈殿			48時間後
			次亜	活性炭	次亜	
			硫酸	PAC	次亜	
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
6/19	①	0	0	8	70	実施せず
	②	0	30	8	70	
	③	2	30	6	70	
9/18	①	0	0	9	60	0
	②	0	30	9	60	1
	③	3	30	6	60	1
12/16	①	0	0	6	40	0
	②	0	30	6	40	2.2
	③	2	30	4	40	2.1
2/12	①	0	0	6.5	40	1.1
	②	0	30	6.5	40	1.5
	③	3.5	30	3	40	1.8

## 印旛沼を原水とした次亜塩素酸ナトリウム処理及び 粉末活性炭処理の効果

凝集沈殿は柏井浄水場で実施しているジャーテストの時間を参考にし、沈殿時間は15分とした。

ろ過は、ろ過方法による測定誤差等を避けるため、トリハロメタン測定用試料は孔径1μmのろ紙による加圧ろ過で、溶存態のかび臭測定用試料は保持粒子径1μmのろ紙による自然ろ過で行った。

### (2) トリハロメタンの処理状況

トリハロメタンの結果を表2に示す。

ろ過後及び48時間後ともに、①より粉末活性炭処理を追加した②と③の方が低い濃度となった。

また、先に次亜塩素酸ナトリウムを添加した③は、②より低くなる傾向がみられた。

これは、前段に次亜塩素酸ナトリウムを添加することにより、粉末活性炭に吸着しにくい有機物が吸着しやすい物質に変化したものと推察している。

### (3) かび臭の処理状況

6月、9月は印旛沼原水、12月、2月は印旛沼原水に、かび臭物質を産生する植物プランクトンを添加したもので実験を行った。その結果を表3、4に示す。なお、原水については、植物プランクトンの藻体内のかび臭物質の濃度を把握するため、溶存と総量の両方を測定した。

凝集沈殿後及びろ過後の結果について、6月、9月は原水のかび臭濃度が低かったため、あまり大きな違いは無かったものの、①より、粉末活性炭処理をした②、③の方が、かび臭物質の残留濃度がやや低くなる傾向がみられた。

12月、2月については、①や②より、次亜塩素酸ナトリウム処理と粉末活性炭処理を追加した③の方が、残留濃度が低い結果となった。

これは、前段に次亜塩素酸ナトリウムを添加することにより、植物プランクトンの藻体内のかび臭物質が処理水に放出され、それを粉末活性炭で効果的に吸着させることができたためと推察している。

また、12月、2月の実験から、培養した植物プランクトンを用いてかび臭濃度を調整し、負荷実験が実施できることが分かった。

これにより、今回の実験のような、藻体内からかび臭を放出させ、それを処理するといった、より実状の浄水処理に近づけた実験を行うことができることが分かった。

## 4 まとめ

今回、印旛沼原水を用いたテーブル実験の結果から、以下のことが確認された。

- (1) トリハロメタンについては、①の凝集沈殿ろ過と比較して、②の粉末活性炭処理を追加した場合の低減効果が確認できた。また、②と比較して、③の粉末活性炭注入前に次亜塩素酸ナトリウム処理を追加した場合の方が、一定の低減効果が確認できた。
- (2) かび臭物質については、①の凝集沈殿ろ過と比較して、②の粉末活性炭処理を追加した場合で一定の低減効果が確認できたが、③の粉末活性炭注入前に次亜塩素酸ナトリウム処理を追加した方が、より低減効果が期待できる結果となった。
- (3) 培養した植物プランクトンを添加した、かび臭の負荷実験が実施可能であることが分かった。

以上のことから、印旛沼原水に次亜塩素酸ナトリウムと粉末活性炭を添加することにより、トリハロメタン及びかび臭物質ともに低減できることから、GAC処理への負荷を減らすための改善策のひとつとなることが分かった。

表2 トリハロメタンの結果

		(単位: μg/L)				
		原水	次亜	活性炭	ろ過	48時間後
6/19	①	91			23	
	②				19	
	③		19	7	16	
9/18	①	154			26	68
	②				18	49
	③		22	5	15	39
12/16	①	71			19	51
	②				14	37
	③		5	0	8	33
2/12	①	56			14	50
	②				11	38
	③		12	5	11	35

※ 表中の原水の値は、トリハロメタン生成能

表3 2-MIBの結果

		(単位: ng/L)		
		原水	凝集沈殿	ろ過
6/19	①	4/5	3	3
	②		2	2
	③		2	2
9/18	①	6/7	6	5
	②		4	4
	③		3	3
12/16	①	43/121	108	108
	②		95	94
	③		53	55
2/12	①	141/205	191	159
	②		134	113
	③		115	107

※ 表中の原水の値は、斜線の前が溶存後が総量

表4 ジェオスミンの結果

		(単位: ng/L)		
		原水	凝集沈殿	ろ過
6/19	①	5/5	3	4
	②		1	2
	③		1	2
9/18	①	6/16	14	13
	②		9	10
	③		3	5
12/16	①	37/98	83	80
	②		60	60
	③		21	21
2/12	①	49/269	259	216
	②		193	157
	③		80	74

※ 表中の原水の値は、斜線の前が溶存後が総量

## 水道水の塩素臭を含む臭気強度に関する調査（Ⅲ）

○浅川 達志（千葉県企業局） 小林 真希子（千葉県企業局）  
 古川 大恭（千葉県企業局） 島本 卓弥（千葉県環境生活部）  
 濱口 健太郎（千葉県企業局） 吉田 岳己（千葉県企業局）

### 1. はじめに

千葉県企業局では、水道水を安心しておいしく飲んでいただくことを目的として、平成19年3月に、「おいしい水づくり計画」（計画期間：平成18年度～平成27年度）を策定し、当局独自の水質目標を設定するなど、安全でおいしい水づくりに向けた各施策を推進してきた。一方で、計画の推進に伴う新たな課題や継続すべき事業が残されており、また、お客様の満足度を今後も高いレベルで維持していくため、「第2次おいしい水づくり計画」（計画期間：平成28年度～令和2年度）を策定し、引き続きおいしい水づくりに取り組んでいる。

「第2次おいしい水づくり計画」では、当局独自の水質目標としてカルキ臭を不快と感じない程度の臭気を目安として、「塩素臭を含む臭気強度」（以下「臭気強度」）という新たな指標による目標値の設定を試みている。

平成28年度から調査方法の検討や当局職員で基礎的な調査を実施し、その結果を基に平成29年度及び平成30年度は一般の方を対象に調査を実施した<sup>1)2)</sup>。

本報告では、臭気強度の低減の方策について検討するため、臭気強度と関連する項目について調査を進めたので報告する。

### 2. 調査

#### (1) 浄水場浄水の臭気強度調査

##### (ア) 調査の概要

令和元年度は、各浄水場浄水の臭気強度を測定し、浄水場の薬品注入率を比較して、臭気強度と関連する項目があるか調査を行った。調査の概要は次のとおりである。

試料水：各浄水場浄水（6地点）

調査期間：平成31年4月から令和2年3月まで

試験頻度：各地点3か月に1回

比較項目：試料を採取した当日及び前日の浄水場の薬品注入率

比較方法：臭気強度と薬品注入率が比例関係にあるのか、相関係数(R)、p値<sup>※</sup>により確認

※相関係数(R)とは、二つの項目に関係があるか無いかを示す指標で、数値としては1～-1の間に入る。相関係数が0と  
 いうのは二つの項目に関係が無いことを示し、1あるいは-1は最も関係性が強いことを示す。p値とは、統計的に関係  
 の有無を評価する指標であり、関係があると評価するには一般的にp値が0.05以下であることを確認する。

##### (イ) 臭気試験方法

臭気試験は表1の試験方法により実施した。超純水（においのない水）、試料水を超純水で3、10、30倍に希釈したもの、及び希釈していない試料水をそれぞれ300mL三角フラスコに200mL入れ5本を1セットとした。複数の試験者にこの試料の臭気を超純水、30倍希釈、10倍希釈、3倍希釈、希釈なしの順に嗅いでもらい、臭気を感じた希釈倍率を調査した。

回答結果を基に、試験者毎の臭気強度を算出し、その幾何平均値を試料水の臭気強度とした。

表1 臭気試験方法

	においの ない水	30倍希釈	10倍希釈	3倍希釈	1倍 (希釈なし)	臭気強度
試験者A	×	×	×	×	○	1
試験者B	×	×	×	○	○	3
試験者C	×	×	○	○	○	10
試験者D	×	○	○	○	○	30
.	.	.	.	.	.	↓
.	.	.	.	.	.	
						臭気強度：A

×:におわない ○:わずかにでも感じる(感知)

## 水道水の塩素臭を含む臭気強度に関する調査（Ⅲ）

### （ウ）結果と考察

調査結果として、試料水の臭気強度の平均値等を図1に示す。

次に試料水の臭気強度と薬品注入率の関係の解析の結果、関係を示しているものを表2に示す。

表2から、すべての浄水場で臭気強度と相関がある薬品注入率の項目が確認された。原水水質に応じて薬品注入率が増加すると、臭気強度が増加する傾向が見られた。また、栗山浄水場、柏井浄水場東側、柏井浄水場西側、福増浄水場では塩素注入率と関連することが確認できた。

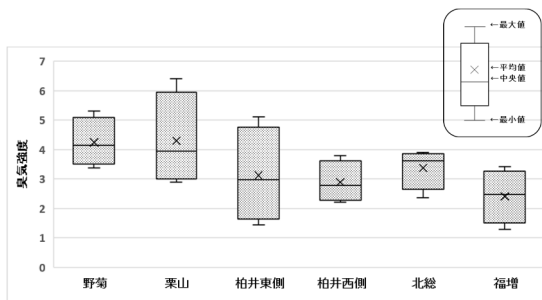


図1 浄水場浄水の臭気強度 (H31.4~R2.3)

表2 臭気強度との相関係数が0.6以上かつp値が0.05以下の項目

試料水	水源	臭気強度と関係のある項目	相関係数	
			当日	前日
ちば野菊の里浄水場	江戸川	後苛性注入率	0.96	0.90
栗山浄水場	江戸川	前塩素注入率 PAC注入率	0.79	0.68
柏井浄水場東側塩素混和池 一柏井東単独の浄水	印旛沼	前塩素注入率	0.93	0.97
		PAC注入率	0.70	
		中塩素注入率	0.98	0.81
		オゾン注入率	0.74	0.91
後塩素注入率	0.93			
柏井浄水場西側	利根川	前塩素注入率 後苛性注入率	0.77 0.71	0.78 0.83
北総浄水場	利根川	PAC注入率	0.67	0.66
		活性炭注入率	0.79	0.75
福増浄水場中間ポンプ 一福増単独の浄水	高滝ダム	前塩素注入率	0.86	0.86
		後オゾン注入率	0.76	0.64

### （2）残留塩素低減化試験に併せた臭気試験

#### （ア）調査の概要

残留塩素は水道水の安全性確保に必要な不可欠なものである一方、残留塩素濃度が高いと、水道水のおいさを損なうため、「第2次おいしい水づくり計画」では、給水栓における残留塩素濃度0.4mg/L以下を目標とし、残留塩素の低減化を進めている。令和元年度は幕張給水場の配水区域を対象に残留塩素低減化試験を行い、臭気試験を行った。なお、臭気試験は2.（1）（イ）と同様の方法で実施した。

#### （イ）結果と考察

調査は令和元年度の夏期と冬期に実施した。その結果を表3に示す。

夏期の調査では、8月14日と23日を比較すると、残留塩素濃度の減少に伴い臭気強度は増加したが、8月23日と28日を比較すると、残留塩素濃度の低減に伴い臭気強度も低下する結果となった。また、冬期の調査では、11月28日と12月5、12日とを比較すると、どちらも残留塩素濃度の減少に伴い、臭気強度も低下する結果となった。

以上のことから、残留塩素濃度を低減化することで一部相反する結果も見られたが、全体的な傾向として臭気強度をある程度抑えられると考えられる。

表3 残留塩素低減化試験に併せた臭気試験

R1夏期	幕張給水場 塩素管理 目標値	幕張給水場		給水栓1		給水栓2		給水栓3	
		残留塩素	臭気強度	残留塩素	臭気強度	残留塩素	臭気強度	残留塩素	臭気強度
8月14日	0.80	0.80	3.05	0.72	3.38	0.68	2.10	0.68	1.44
8月23日	0.70	0.72	4.69	0.68	7.00	0.62	4.21	0.54	4.60
8月28日	0.60	0.62	4.31	0.52	5.70	0.52	3.17	0.52	3.90

R1冬期	幕張給水場 塩素管理 目標値	幕張給水場		給水栓1		給水栓2		給水栓3	
		残留塩素	臭気強度	残留塩素	臭気強度	残留塩素	臭気強度	残留塩素	臭気強度
11月28日	0.70	0.72	4.09	0.66	6.64	0.66	4.09	0.58	4.48
12月5日	0.60	0.58	3.94	0.50	4.82	0.50	3.32	0.50	3.91
12月12日	0.60	0.58	2.28	0.56	2.32	0.52	2.54	0.52	3.11

### 3. まとめ

今回の調査結果から、薬品注入率と臭気強度の関係が見られ、原水水質が改善されれば臭気強度は低減される可能性がある。薬品注入率の中でも栗山浄水場、柏井浄水場東側、柏井浄水場西側、福増浄水場の4浄水場では塩素注入率が臭気強度に影響を与えていた可能性が示唆された。また、幕張給水場の残留塩素低減化試験に併せて行った臭気試験では、残留塩素の低減は臭気強度の低下に一定の効果があると考えられた。

以上の結果から残留塩素の低減は、臭気強度の低減の方策の一つとして考えられる。今後も、残留塩素の低減との関連性検証するため、残留塩素低減化試験に併せた臭気試験を継続していきたいと考えている。

#### 【参考文献】

- 1) 水野俊彦, 石橋美幸, 関桂子, 水道水の塩素臭を含む臭気強度に関する調査, 平成30年度全国会議(水道研究発表会)講演集, pp798-799, 日本水道協会
- 2) 川田裕紀子, 濱口健太郎, 雲岡秀樹, 水野俊彦, 吉田岳己, 水道水の塩素臭を含む臭気強度に関する調査(Ⅱ), 令和元年度全国会議(水道研究発表会)講演集, pp840-841, 日本水道協会