

大阪市浄水処理施設の水質中のダイオキシン類について

先山孝則、東條俊樹

Dioxins in water at water purification plants of Osaka city

Takanori SAKIYAMA, Toshiki TOJO

Abstract

We were monitoring the concentration of dioxins in the water at three water purification plants (Kunijima, Niwakubo, Toyono) in the Osaka Municipal Waterworks Bureau in FY.2000-2017. The concentration of dioxins was in the range of 0.031-1.8pg-TEQ/L in raw water and 0.00030-0.0076pg-TEQ/L in purified water. The removal rate of dioxins (TEQs) by the water purification treatment is almost 100% (94-100%) in any water purification plant, and the safety of tap water in Osaka city was confirmed. Furthermore, in order to clarify the elimination degree of dioxins in the water purification process, we also investigated coagulation treated water and rapid sand filtration water. As result, we found that dioxins in untreated water were removed 92% by only coagulation treatment and 97% after rapid sand filtration treatment. In the coagulation treatment process, the removal rate of lower chlorinated isomers was slightly low. In particular, removal rates of tetra- and penta-chlorinated Co-PCBs (IUPAC # 77, 81, 126, 105, 114, 118, 123) were about 75-80%, but there was removed to 93% over after the rapid sand filtration treatment process. In the purification treatment process, the removal rates of 1,2,7,8-TeCDF and 2,3,7,8-TeCDF tended to be lower.

Key words: PCDDs, PCDFs, Co-PCBs, water purification plant, Osaka city

I はじめに

明治 28 年 11 月 13 日に大阪市は、我が国で 4 番目の近代水道による給水を開始した。その後、9 回の拡張事業を経て、現在では、柴島、庭窪、豊野の 3 浄水場により水道水の供給を行っている。これらの 3 浄水場は、いずれも淀川を水道水源とし、それぞれ 1,180,000 m³/日、800,000 m³/日、450,000 m³/日の標準給水能力を有する。また、平成 12 年 3 月には、政令指定都市で初めて全量高度浄水処理を導入している。大阪市内で導入している高度浄水処理は、従来の凝集沈澱処理と急速砂ろ過処理に、オゾン処理と活性炭処理を組み合わせたものである。具体的には、取水した原水を凝集沈澱処理した後に、中オゾン接触処理、急速砂ろ過処理、後オゾン接触処理、粒状活性炭吸着処理を経て、塩素投入を行うものである。これにより、かび臭は 100 %、トリハロメタンは基準値の 1/10 程度にまで低減できるようになった[1]。さらに大阪市内では、「大阪市水道・水質管理計画」に基づき、いずれの浄水場においても、水道水質管理上、安全で安心な水道水を供給できる状態が十分維持されているかを監視している。そして、平成 12 年度からは、水道原水および浄水中のダイオキシン類濃度の監視調査を実施してきている。

水道水質のダイオキシン類に関しては、平成 11 年 12 月 27 日付けの厚生省生活衛生局水道環境部長通知「水道水質に関する基準の制定についての一部改正について」(生衛発第 1818 号)により、監視項目として追加された。そして、浄水中のダイオキシン類濃度の暫定指針値として 1 pg-TEQ/L 以下とすることが指示された。その後、平成 16 年 4 月の水道水質基準の見直しにより、ダイオキシン類は水道水における規制対象項目から削除され、今後の基準見直しにおいて適切な判断ができるように必要な情報や知見を収集すべき「要検討項目」として位置づけられ、暫定指針値は目標値に変更された。

本報では、平成 12~29 年に実施した調査結果をまとめ、大阪市の水道原水及び浄水中のダイオキシン類の濃度と浄水処理工程におけるダイオキシン類の減衰傾向を明らかにする。

II 試料と方法

各試料の採取および分析方法は、「水道原水及び浄水中ダイオキシン類調査マニュアル(厚生省水道環境部水道整備課;平成 11 年 9 月)」に準拠した。



図 1. 大阪市の浄水場

1) 試料

大阪市水道局の三カ所の浄水場(柴島、庭窪、豊野)において調査した。各浄水場の位置を図 1 に示す。また、浄水場での浄水処理工程フローと試料の採取場所を図 2 に示す。

平成 12～21 年度は、全ての浄水場を調査し、平成 22 年度以降は柴島浄水場のみを調査した。平成 12 年度と平成 16 年度以降は、年 1 回、平成 13～15 年度は年 2 回、原水と浄水を採取した。また、平成 15、19、20 年度に、それぞれ柴島、豊能、庭窪浄水場の浄水処理工程水として、凝集沈澱処理水及び急速砂ろ過水を採用した。

原水試料は、柴島浄水場ではポンプ(GRUNDFOS 製、モニタリングポンプ MP-1)を用いて沈砂池から採取し、直接固相濃縮装置(図 3)へ通水した。庭窪浄水場と豊野浄水場では、水質試験所実験室内の原水採取蛇口からバケツに受け、ポンプを用いて固相濃縮装置へと通水した。また、原水試料の採取量は、原則 200 L 以上とし、ガラス繊維ろ紙(GF)が目詰まりが激しいときは GF のみを交換して通水した。

浄水試料は、各浄水場にある水質試験所実験室内に設置されている浄水採取用の蛇口に固相濃縮装置を直接接続して、原則 24 時間以上かけて 2,000 L 以上を通水した。

処理工程水試料は、工程水採取用蛇口から原則 24 時間以上かけて 1,500～2,500L を固相濃縮装置に通水した。

2) 固相濃縮装置

試料採取に用いた固相濃縮装置(図 3)は、ステンレス製の濾紙フォルダー(内径 293mm)と、その下に同じくス

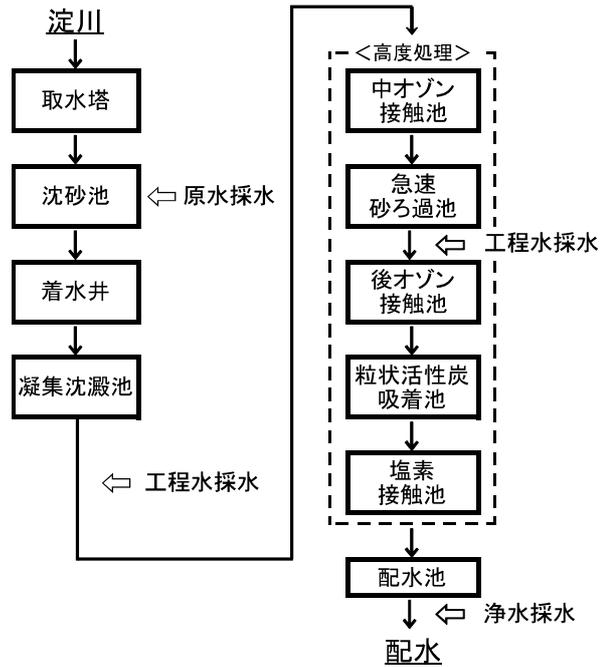


図 2. 浄水処理工程フローと試料採取場所

テンレス製で円筒形のポリウレタンフォームフォルダー(直径 100mm、長さ 150mm)を備え、さらに最終排水経路に瞬時及び積算流量計を有する構造を持つ。試料採取時には、濾紙フォルダーに保留粒子径の異なる 2 種類の GF (ADVANTEC 製、GC50H:保留粒子径 0.5 μm、GA100DX: 保留粒子径 1 μm)を積層し、ポリウレタンフォームフォルダーにあらかじめトルエンで洗浄したポリウレタンフォーム(PUF、柴田科学製、ダイオキシン用ポリウレタン、直径 100mm、高さ 50mm、円筒型)を複数個入れて使用した(原水:2 個、浄水:3 個)。これらの GF とポリウレタンフォーム(PUF)は、それぞれ水中の懸濁(粒子吸着)態と溶存態のダイオキシン類を捕集する目的で用いた。

この装置をポンプまたは蛇口に接続し、GF および PUF に試料水を通わせて、水中のダイオキシン類を固相濃縮した。この時の通水速度及び採水量は装置最後部に取り付けられた瞬時流量計および積算流量計により確認・計測した。試料通水速度は原則 1.5L/分とした。

3) 分析方法

試料の分析操作のフローを図 4 に示す。

試料の固相濃縮に使用した GF と PUF は、各々を乾燥させずにディーンスターク/ソックスレー抽出器に入れ、水分を除去しつつトルエンにて抽出を行った。抽出時間は、水分が除去された後、24 時間以上とした。各試料抽出液は、室温まで温度が低下した後、合わせて ¹³C ラベル化した 29 種の毒性等価係数(TEF)が定められた全てのダイオキシン類成分を含む標準物質溶液をクリーンアップスパイクとして添加した。抽出液は、ロータリーエバ

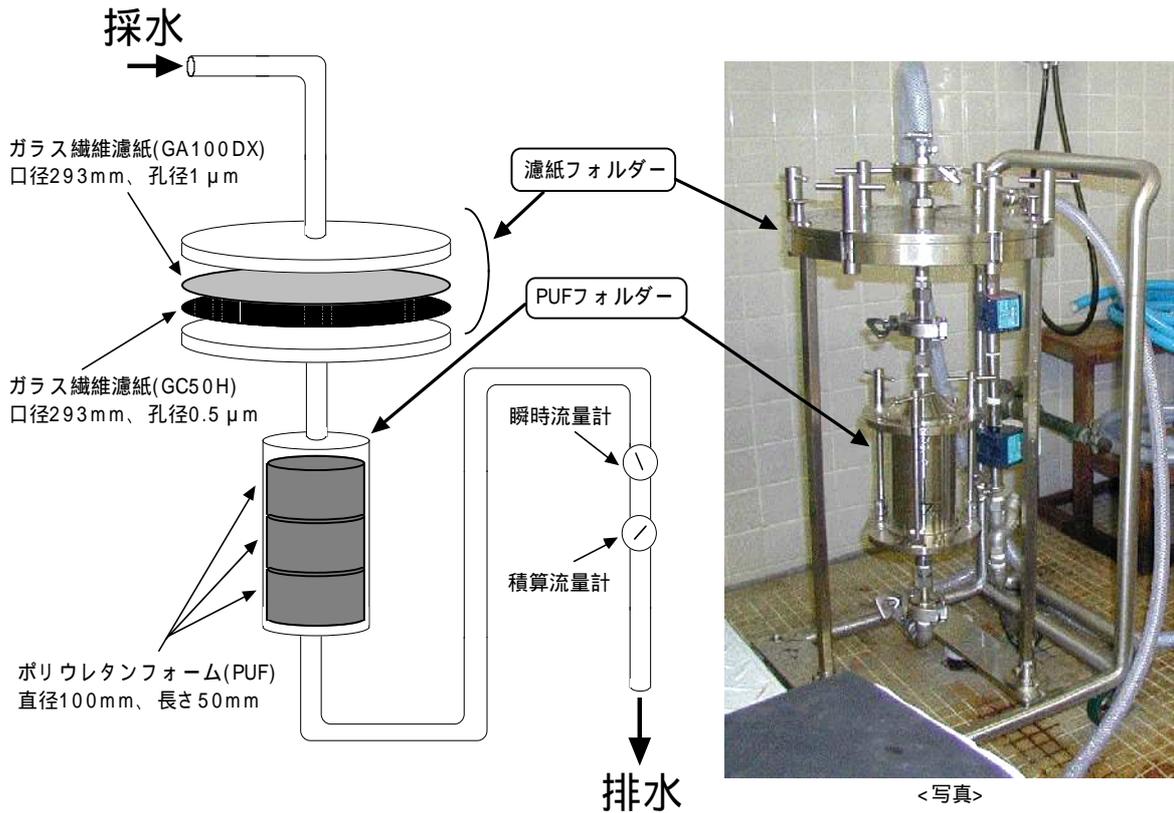


図 3. 固相濃縮装置

ポレータを用いて濃縮し、溶媒をヘキサンに転溶した後、1N-水酸化カリウム/エタノール溶液によるケン化、硫酸処理、多層シリカゲルカラムクロマトグラフィーによる精製を行った。さらに活性炭埋蔵シリカゲルカラムクロマトグラフィーにより、mono-ortho Polychlorinated biphenyls (PCBs) 画分と Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins (PCDDs)、Polychlorinated dibenzofurans (PCDFs)および non-ortho PCBs 画分に分離し、それぞれを濃縮後、ノン溶液に転溶した。これらの濃縮液は、クリーンアップスパイクとは異なる ¹³C ラベル化ダイオキシン類成分を含む標準物質溶液をシリンジスパイクとして添加し、ダイオキシン類測定用試料とした。最終濃縮液量は、50 µL とした。

ダイオキシン類の測定は、高分解能ガスクロマトグラフ質量分析計 (Agilent 社製 6890GC/Micromass 社製 Autospec Ultima または Agilent 社製 7890GC/日本電子社製 JMS-800D) を用いて、分解能 10,000 以上の条件で行った。GC キャピラリーカラムとして、四～六塩化 PCDDs/Fs の分析には SP-2331 (SUPELCO 社製、内径 0.25mm、長さ 60m、膜厚 0.2µm)、七および八塩化 PCDDs/Fs および Co-PCBs には HT-8PCB (SGE 社製、内径 0.25mm、長さ 60m、膜厚未公開) を使用した。

ダイオキシン類の毒性当量 (TEQ) の算出には、平成 12～19 年度は WHO から 1998 年に提案され、当初の

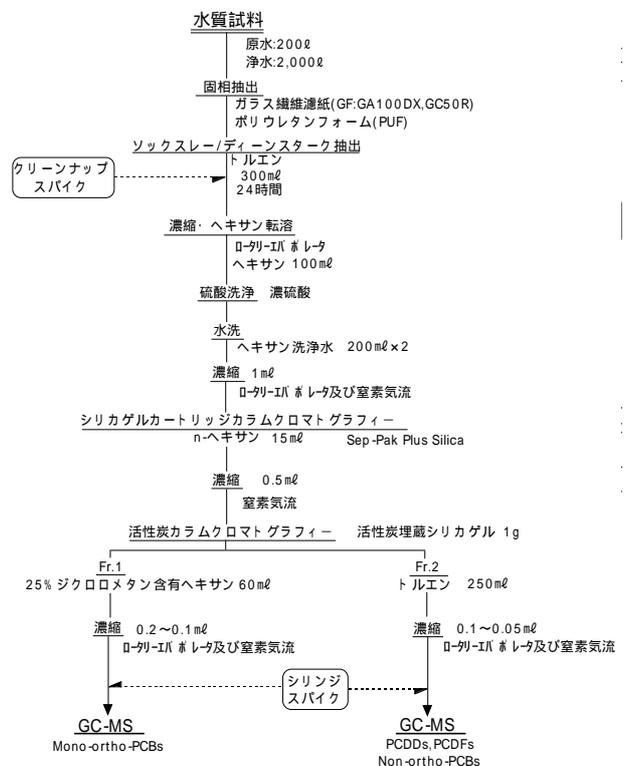


図 4. ダイオキシン類の分析操作フロー

表 1. ダイオキシン類の毒性等価係数 (TEF)

PCDDs	WHO-1998	WHO-2006	PCDFs	WHO-1998	WHO-2006	Co-PCBs	WHO-1998	WHO-2006
2,3,7,8-TeCDD	1	1	2,3,7,8-TeCDF	0.1	0.1	non-ortho PCBs		
1,2,3,7,8-PeCDD	1	1	1,2,3,7,8-PeCDF	0.05	0.03	3,3',4,4'-TeCB (#77)	0.0001	0.0001
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	0.1	2,3,4,7,8-PeCDF	0.5	0.3	3,4,4',5'-TeCB (#81)	0.0001	0.0003
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1	0.1	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1	0.1	3,3',4,4',5'-PeCB (#126)	0.1	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1	0.1	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1	3,3',4,4',5,5'-HxCB (#169)	0.01	0.03
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01	0.01	1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1	0.1	mono-ortho PCBs		
OCDD	0.0001	0.0003	2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1	2,3,3',4,4'-PeCB (#105)	0.0001	0.00003
			1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01	0.01	2,3,4,4',5'-PeCB (#114)	0.0005	0.00003
			1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01	0.01	2,3',4,4',5'-PeCB (#118)	0.0001	0.00003
			OCDF	0.0001	0.0003	2',3,4,4',5'-PeCB (#123)	0.0001	0.00003
						2,3,3',4,4',5'-HxCB (#156)	0.0005	0.00003
						2,3,3',4,4',5'-HxCB (#157)	0.0005	0.00003
						2,3',4,4',5,5'-HxCB (#167)	0.00001	0.00003
						2,3,3',4,4',5,5'-HxCB (#189)	0.0001	0.00003

「ダイオキシン類対策特別措置法(平成 12 年 1 月 15 日施行)」に規定されていた TEF (WHO-1998) [2] を使用し、平成 20 年以降は「ダイオキシン類対策特別措置法施行規則の一部を改正する省令(平成 20 年 4 月 1 日)」に示されている TEF (WHO-2006) [3] を用いて算出した(表 1)。なお、試料中のダイオキシン類濃度は、検出下限値以上で検出された各成分の実測濃度に TEF を乗じて算出した濃度を積算した値である。また、検出下限値未満の成分については、検出下限値の 1/2 に TEF を乗じた値を算出し、前述の濃度に加算した値を最大見積もり濃度として不等号(<)を付けて併記した。

III 結果と考察

1) 水道原水および浄水中のダイオキシン類濃度と浄水処理によるダイオキシン類の除去率

試料中のダイオキシン類の濃度と浄水処理による除去率を表 2-1 および表 2-2 にまとめた。

平成 12～29 年度に調査した原水試料中のダイオキシン類濃度は、柴島浄水場で平均 0.40 pg-TEQ/L (範囲: 0.11～1.8 pg-TEQ/L)、庭窪浄水場で平均 0.34 pg-TEQ/L (範囲: 0.074～1.1 pg-TEQ/L)、豊野浄水場で平均 0.53 pg-TEQ/L (範囲: 0.031～1.1 pg-TEQ/L) であり、大きな濃度変動が見られた。一方、浄水試料中のダイオ

表 2-1. 水道原水および浄水試料中のダイオキシン類濃度

調査年度	平成12年度		平成13年度		平成14年度		平成15年度		平成16年度		平成17年度		平成18年度		平成19年度		平成20年度		平成21年度	
	冬 (1/18～25)	夏 (7/2～13)	冬 (1/8～2/5)	夏 (6/17～28)	冬 (11/25～12/3)	夏 (7/1～10)	冬 (11/27～12/3)	夏 (8/16～24)	冬 (8/22～30)	夏 (8/22～30)	冬 (9/22～30)	夏 (8/21～27)	冬 (8/21～27)	夏 (9/2～9)	冬 (9/2～9)	夏 (9/1～9)	冬 (9/1～9)	夏 (9/1～9)	冬 (9/1～9)	夏 (9/1～9)
原水 (pg-TEQ/L)	柴島 浄水場	0.18	0.31	0.33	0.40	0.15	0.59	0.90	0.24	0.36	0.25	0.17	0.53	0.32						
	庭窪 浄水場	0.15	0.26	0.17	0.56	0.16	0.46	1.1	0.28	0.37	0.20	0.074	0.33	0.27						
	豊野 浄水場	0.031 (<0.033)	0.28	0.32	0.93	0.070	0.98	0.90	1.1	0.24	0.50	0.79	0.52	0.24						
	平均	0.12	0.28	0.27	0.63	0.12	0.68	0.97	0.54	0.32	0.32	0.34	0.46	0.28						
	最大	0.18	0.31	0.33	0.93	0.16	0.98	1.1	1.1	0.37	0.50	0.79	0.53	0.32						
	最小	0.031	0.26	0.17	0.40	0.070	0.46	0.90	0.24	0.24	0.20	0.074	0.33	0.24						
浄水 (pg-TEQ/L)	柴島 浄水場	0.0019 (<0.0024)	0.0035 (<0.0042)	0.0012 (<0.0018)	0.0026 (<0.0037)	0.0016 (<0.0023)	0.0022 (<0.0040)	0.0024 (<0.0031)	0.0028 (<0.0038)	0.0036 (<0.0041)	0.0026 (<0.0031)	0.0030 (<0.0035)	0.0076 (<0.0077)	0.0021 (<0.0035)						
	庭窪 浄水場	0.00044 (<0.0012)	0.00092 (<0.0018)	0.00071 (<0.0014)	0.00018 (<0.0015)	0.00040 (<0.0011)	0.0013 (<0.0030)	0.00017 (<0.0013)	0.00050 (<0.0018)	0.00072 (<0.0014)	0.00075 (<0.0014)	0.00099 (<0.0015)	0.00032 (<0.0012)	0.00016 (<0.0016)						
	豊野 浄水場	0.0012 (<0.0019)	0.0010 (<0.0019)	0.00085 (<0.0013)	0.00055 (<0.0020)	0.00030 (<0.0012)	0.0041 (<0.0046)	0.00059 (<0.0019)	0.0013 (<0.0023)	0.0009 (<0.0015)	0.0019 (<0.0025)	0.0024 (<0.0025)	0.0018 (<0.0021)	0.00048 (<0.0019)						
	平均	0.0012	0.0018	0.00091	0.0011	0.00078	0.0025	0.0011	0.0015	0.0017	0.0018	0.0021	0.0032	0.00091						
	最大	0.0019	0.0035	0.0012	0.0026	0.0016	0.0041	0.0024	0.0028	0.0036	0.0026	0.0030	0.0076	0.0021						
	最小	0.00044	0.00092	0.00071	0.00018	0.00030	0.0013	0.00017	0.00050	0.00072	0.00075	0.00099	0.00032	0.00016						
除去率 (%) *	柴島 浄水場	99	99	99	99	99	99	100	99	99	98	99	99	99						
	庭窪 浄水場	99	99	99	100	99	99	100	99	100	99	98	100	99						
	豊野 浄水場	94	99	100	100	98	100	100	100	99	100	100	100	99						
	平均	97	99	99	100	99	99	100	99	99	99	99	99	99						
	最大	99	99	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100						
	最小	94	99	99	99	98	99	100	98	99	99	98	99	99						

1. 平成19年度までの毒性当量(TEQ)はTEF(WHO,1998)を用い、平成20年度以降はTEF(WHO,2006)を用いて算出した。
2. 括弧内の濃度は、最大見積もり濃度を示す。

表 2-2. 水道原水および浄水試料中のダイオキシン類濃度 (つづき)

調査年度		平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平均 (最小 - 最大)
		夏 (9/13-16)	夏 (9/12-15)	夏 (9/24-27)	夏 (9/5-11)	秋 (10/23-24)	夏 (9/8-9)	夏 (9/27-28)	夏 (9/7-8)	
原水 (pg-TEQ/L)	柴島 浄水場	0.23	0.32	0.46	1.8	0.21	0.24	0.26	0.11	0.40 (0.11 - 1.8)
	庭窪 浄水場	-	-	-	-	-	-	-	-	0.34 (0.074 - 1.1)
	豊野 浄水場	-	-	-	-	-	-	-	-	0.53 (0.031 - 1.1)
	平均	0.23	0.32	0.46	1.8	0.21	0.24	0.26	0.11	
	最大	-	-	-	-	-	-	-	-	
	最小	-	-	-	-	-	-	-	-	
浄水 (pg-TEQ/L)	柴島 浄水場	0.0029 (<0.0038)	0.0023 (<0.0032)	0.0024 (<0.0032)	0.0026 (<0.0033)	0.0026 (<0.0027)	0.0052 (<0.0052)	0.0032 (<0.0036)	0.0026 (<0.0026)	0.0029 (0.0012 - 0.0076)
	庭窪 浄水場	0.00079 (<0.0018)	0.00045 (<0.0013)	0.00023 (<0.0012)	0.0019 (<0.0028)	-	-	-	-	0.00064 (0.00016 - 0.0019)
	豊野 浄水場	0.00053 (<0.0016)	0.00042 (<0.0013)	0.00061 (<0.0016)	0.0031 (<0.0037)	-	-	-	-	0.0013 (0.00030 - 0.0041)
	平均	0.0014	0.0011	0.0011	0.0025	-	-	-	-	
	最大	0.0029	0.0023	0.0024	0.0031	-	-	-	-	
	最小	0.00053	0.00042	0.00023	0.0019	-	-	-	-	
除去率(%) *	柴島 浄水場	98	99	99	100	99	98	99	98	99 (98 - 100)
	庭窪 浄水場	99	100	100	100	-	-	-	-	100 (98 - 100)
	豊野 浄水場	99	100	100	100	-	-	-	-	100 (94 - 100)
	平均	99	99	100	100	-	-	-	-	
	最大	99	100	100	100	-	-	-	-	
	最小	98	99	99	100	-	-	-	-	

1. 平成19年度までの毒性当量(TEQ)はTEF(WHO,1998)を用い、平成20年度以降はTEF(WHO,2006)を用いて算出した。

2. 括弧内の濃度は、最大見積もり濃度を示す。

* 平成22年度以降の除去率は、柴島浄水場の原水と比較して算出した

キシソ類濃度は、柴島浄水場で平均 0.0029 pg-TEQ/L (範囲: 0.0012~0.0076 pg-TEQ/L)、庭窪浄水場で平均 0.00064 pg-TEQ/L (範囲: 0.00016~0.0019 pg-TEQ/L)、豊野浄水場で平均 0.0013 pg-TEQ/L (範囲: 0.00030~0.0041 pg-TEQ/L)であり、非常に低い濃度で推移していた。これらの浄水中のダイオキシン類濃度は、処理工程は異なるものの、大阪市と同様に高度浄水処理を導入している東京都水道局の浄水場(金町、三郷、朝霧、三園、東村山浄水場)における平成 25~27 年度の浄水(0.00051~0.025 pg-TEQ/L) [4]と同程度の結果であった。このことから、大阪市の浄水中のダイオキシン類濃度は、厚生労働省通知の目標値である 1pg-TEQ/L を大きく下回っており、原水濃度の変動に影響されないことが確認できた。

これらの原水および浄水試料中のダイオキシン類濃度を元に各浄水場の浄水処理によるダイオキシン類(TEQs)の除去率を算出した結果(表 2-1、2-2)、柴島浄水場では平均 99% (98~100%)、庭窪浄水場では平均 100% (98~100%)、豊野浄水場では 100% (94~100%)のダイオキシン類が浄水処理により除去されることが分かった。これは、大阪市のいずれの浄水場においても水道水質管理上、安全で安心な水道水を常に供給できる状態であり、平成 12~29 年度の長期間にわたって、この状況が十分維持されていることを示す結果であった。

2) 浄水処理工程における水質中のダイオキシン類の減衰

各浄水場の浄水処理工程におけるダイオキシン類の濃度と除去率を表 3 に示した。また、成分ごとの除去率のグラフを図 5 に示した。

いずれの浄水場においてもダイオキシン類(TEQs)は、高度処理前の段階(凝集沈澱処理のみ)で 92%以上(平均 94%、最大 95%)除去され、高度処理途中の急速砂ろ過処理後には 97%以上(平均 98%、最大 99%)が除去されることが分かった(表 3)。

さらに各処理段階での成分ごとの除去率の違いを見た(図 5)。いずれの浄水場においても、凝集沈澱処理()まででは、低塩素化成分の除去率がやや低くなる傾向があった。特に Co-PCBs の四~五塩素化成分(#77, 81, 126, 105, 114, 118, 123)の除去率が低く、三浄水場の平均で 75~80%程度であった。これらの成分の水溶解度は $2.58 \sim 1.0 \times 10^{-3}$ mg/L [5]であり、他の成分(他の Co-PCBs: $4.10 \times 10^{-4} \sim 3.61 \times 10^{-5}$ mg/L、PCDDs: $3.30 \times 10^{-4} \sim 7.40 \times 10^{-8}$ mg/L、PCDFs: $4.2 \times 10^{-4} \sim 1.16 \times 10^{-6}$ mg/L) [5]と比べて高いことから、凝集沈澱処理による各ダイオキシン類成分の除去効率はそれぞれの水溶解度に大きく影響されていることが示唆された。しかし、急速砂ろ過処理後(×)には、いずれの成分も 93%以上の除

調査年度	試料	実測濃度(pg/L)				毒性当量(pg-TEQ/L)*				除去率(%)					
		PCDDs	PCDFs	Co-PCBs	Total	PCDDs	PCDFs	Co-PCBs	Total	PCDDs TEQs	PCDFs TEQs	Co-PCBs TEQs	Total TEQs		
平成15年度(夏)	柴島浄水場	原水	190	18	170	370	0.33	0.19	0.074	0.59	-	-	-	-	
		凝集沈澱処理水	8.0	0.91	20	29	0.013	0.0079 (<0.0081)	0.0060	0.027	96	96	92	95	
		急速砂ろ過処理水	2.7	0.13	3.4	6.2	0.0092	0.0013 (<0.0017)	0.0011	0.012	97	99	99	98	
		浄水	0.12	0.10	1.2	1.4	0.00050 (<0.0016)	0.0011 (<0.0018)	0.00057	0.0022 (<0.0040)	100	99	99	100	
平成19年度	庭窪浄水場	原水	120	7.5	54	180	0.22	0.087	0.024	0.33 (<0.34)	-	-	-	-	
		凝集沈澱処理水	6.5	0.60	13	20	0.0099	0.0045 (<0.0046)	0.0035	0.018	96	95	85	95	
		急速砂ろ過処理水	4.0	0.21	6.7	11	0.0079	0.0013 (<0.0014)	0.0014	0.011	96	99	94	97	
		浄水	0.11	0.015	0.18	0.30	0.00011 (<0.00069)	0.00014 (<0.00039)	0.000077 (<0.00082)	0.00032 (<0.0012)	100	100	100	100	
平成20年度	豊野浄水場	原水	310	24	220	550	0.49	0.22	0.088	0.79	-	-	-	-	
		凝集沈澱処理水	30	2.0	43	75	0.036	0.016	0.013	0.065	93	93	85	92	
		急速砂ろ過処理水	5.0	0.21	8.2	13	0.0055 (<0.0058)	0.0019 (<0.0020)	0.0023	0.0097 (<0.010)	99	99	97	99	
		浄水	0.41	0.038	0.63	1.1	0.0016 (<0.00069)	0.00058 (<0.00069)	0.00021	0.0024 (<0.0025)	100	100	100	100	
		* 括弧内の濃度は、最大見積もり濃度を示す。		除去率(%)		凝集沈澱処理水		95 (93-96)		94 (93-96)		88 (85-92)		94 (92-95)	
				急速砂ろ過処理水		97 (96-99)		99 (94-99)		97 (94-99)		98 (97-99)			
				平均(最小-最大)		浄水		100 (99-100)		100 (99-100)		100 (99-100)		100 (99-100)	

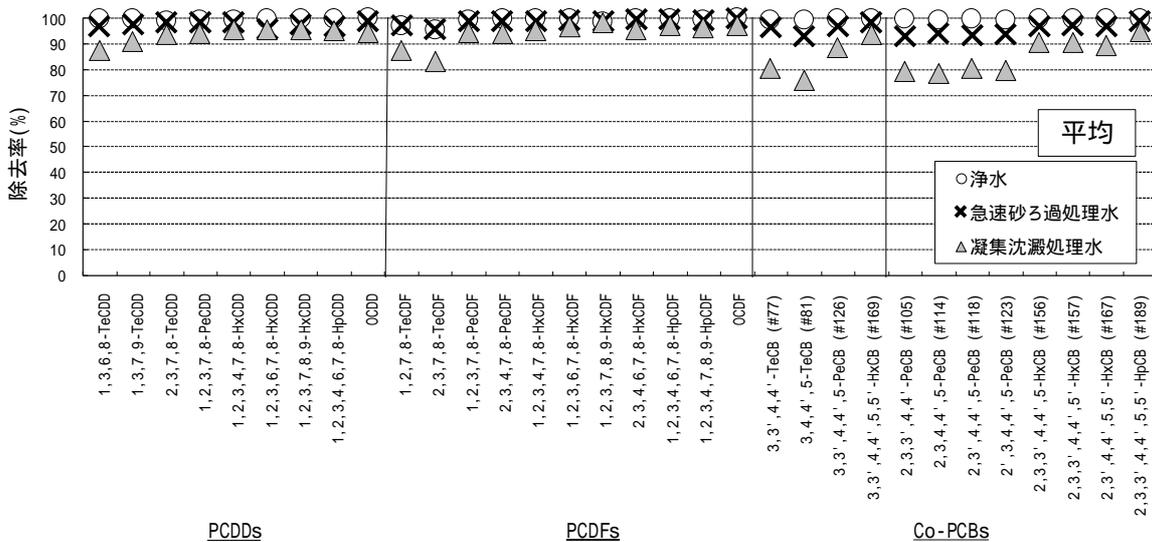


図5. 浄水処理工程におけるダイオキシン類の成分毎の除去率(三浄水場の平均)

除去率が得られており、砂ろ過による吸着除去が水溶解度の低い成分に対しても効果的であることが示唆された。また、浄水()でも1,2,7,8-TeCDFと2,3,7,8-TeCDFの除去率が若干低い傾向があり、これは増田ら[6]の報告と一致するものであった。

IV まとめ

平成12~29年度に大阪市水道局の三カ所の浄水場(柴島、庭窪、豊野)において、水道原水及び浄水中のダイオキシン類の濃度を調査した。さらに浄水処理工程におけるダイオキシン類の減衰傾向を明らかにするため、凝集沈澱処理水と急速砂ろ過水も調査した。各水質試料は、現場でガラス繊維ろ紙(GF)とポリウレタンフォーム(PUF)により固相濃縮し、実験室に持ち帰った後、トルエンでソックスレー抽出と精製処理を行い、高分解能GC/MSでダイオキシン類を測定した。

ダイオキシン類濃度は、原水で 0.031～1.8 pg-TEQ/L、浄水で 0.00030～0.0076 pg-TEQ/L の範囲にあった。また、浄水処理によるダイオキシン類(TEQs)の除去率は、いずれの浄水場においてもほぼ 100% (94～100 %)であり、大阪市では水道水質管理上、安全で安心な水道水を常に供給できる状態が十分維持されていることが確認できた。

浄水処理工程におけるダイオキシン類(TEQs)の除去率を調査した結果、いずれの浄水場においても、高度処理前の段階(凝集沈澱処理まで)で 92%以上(平均 94%、最大 95%)除去され、高度処理途中の急速砂ろ過処理後には 97%以上(平均 98%、最大 99%)が除去されることが分かった。凝集沈澱処理まででは比較的水溶解度の高い低塩素化成分の除去率がやや低く、特に Co-PCBs の四～五塩素化成分 (IUPAC #77, 81, 126, 105, 114, 118, 123)の除去率は 75～80%程度であったが、急速砂ろ過処理後には、いずれの成分も 93%以上の除去率が得られていた。また、浄水でも 1,2,7,8-TeCDF と 2,3,7,8-TeCDF の除去率は、若干低い傾向があった。

謝辞 本研究のデータは、大阪市水道局工務部水質試験所から受託した調査結果によるものである。調査にご協力頂いた関係者の皆さまに御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 大阪市水道局：大阪市の浄水場 . <http://www.city.osaka.lg.jp/suido/page/0000191033.html> (2018年8月2日確認)
- 2) Martin Van den Berg, Linda Birnbaum, Albertus T.C. Bosveld, Björn Brunström, Philip Cook, Mark Feeley *et.al.* Toxic equivalency factors (TEFs) for PCBs, PCDDs, PCDFs for humans and wildlife. *Environmental Health Perspectives* 1998; **106** (12): 775-792.
- 3) Martin Van den Berg, Linda S. Birnbaum, Michael Denison, Mike De Vito, William Farland, Mark Feeley *et.al.* The 2005 World Health Organization Reevaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-Like Compounds. *Toxicol Sci.* 2006; **93**(2): 223-241.
- 4) 東京都水道局: 水源・水質: 要検討項目の結果. <https://www.waterworks.metro.tokyo.jp/suigen/kentou/> (2018年8月2日確認)
- 5) 環境省環境管理局総務課ダイオキシン対策室: ダイオキシン類挙動モデルハンドブック 2004; 64-65
- 6) 増田修一, 松村徹, 金賢求, 正木広志, 真柄泰基. 第10回環境化学討論会講演要旨集 2001; 20-21