

トイレ機器の衛生管理に用いる水道電解水の水質安全性

石井克典¹、佐藤基和¹、梅本 歩¹、林 香里²

¹TOTO 株式会社、²一般財団法人岐阜県公衆衛生検査センター

2016.3.4 受付、2016.8.6 受理

温水洗浄便座に組み込まれ、洗浄ノズルや便器内壁の衛生管理に活用されている電解システムは、水道水質を維持しながら低濃度 (<5 mg/L) 有効塩素を含有する水道電解水を生成することを特徴とする。この水道電解水の水質を担保するために、その原水となる水道水について全国 (47 都道府県) の水質データを調査し、電解によって水質変化し得る要因として pH、塩化物イオン、有機物について解析した。その結果、全国の水道水の 90%以上が pH6.9~7.7 (基準値 5.8~8.6)、塩化物イオン (Cl⁻) 50 mg/L 以下 (基準値 200 mg/L)、有機物 1 mg/L 以下 (基準値 3 mg/L) の限局された範囲に分布することが明らかとなった。これらの範囲から最も逸脱した水道水および範囲内の水道水を選択して水道電解水を作製し分析した結果、有効塩素濃度の変化 (上昇) 以外の水質変化はわずかで、いずれも日本の水道水質基準および WHO 飲料水水質ガイドラインに適合していた。したがって、本電解システムは、全国の水道水を用いて水道水質基準を維持する安全な水道電解水を安定して生成・供給できると判断された。

キーワード： 温水洗浄便座、水道電解水、水質安全性

1. 緒言

水道水に塩化物イオン (Cl⁻) を添加して電気分解すると陽極反応により次亜塩素酸などの有効塩素を含む殺菌性電解水 (次亜塩素酸水や電解次亜水) が生成することが知られている¹⁾。また、水道水そのものを電解して生成し、歯科用チェアの水路管の衛生管理に使われている有効塩素濃度<5 mg/L の水道電解水 (Poseidon-S ; 株式会社セルフメディカル) も存在する²⁾。

こうした中、TOTO株式会社では、温水洗浄便座 (ウォッシュレット®) に組み込んだ無隔膜一室型電解槽を用いて生成する水道電解水 (きれい除菌水®) によって洗浄ノズルと便器内壁の洗浄除菌を実現した製品を市販している³⁾。この水道電解水は、我が国や WHO の水道水質基準を維持しながら低濃度 (<5 mg/L) 有効塩素を含有することを特徴とする。その殺菌効果は、トイレの主な汚染菌 (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Methylobacterium extorquens*) に対して、水道水の pH 範囲 (pH5.8~8.6) で有効塩素濃度 0.3 mg/L 以上であれば十分に発揮され、pH 9 では全ての菌に対して低下することが報告されている⁴⁾。また、本電解システムとは別に、水道水の残留塩素レベルを 0.2~0.4 mg/L にコントロール

する電解システムにより水道水質を維持した状態で水道水を長期保存できることが報告されている⁵⁾。

本研究対象の水道電解水が、全国各地の水道水を使用しても確実に生成され、安全性 (水道水性状) を維持しつつ殺菌効果を発揮することを担保するためには全国の水道水の性状の安定性が重要である。そこで、全国の水道水について、水質データを収集し、電解による水質変動要因となり得るパラメータとして pH、塩化物イオン、有機物および消毒副生成物に着目して解析を行うこととした。次いで、解析結果に基づいて、異なる水質や条件を持つ 8ヶ所の水道水を選択して水道電解水を作製し、電解に伴う水質の変化を解析した。それらの結果についてここに報告する。

2. 方法

1) 全国水道水の水質調査解析

公益社団法人日本水道協会が公開している全国浄水場の「水道水質データベース (平成 19 年度)⁶⁾」中の 47 都道府県計 5,805ヶ所に関する膨大なデータから調査対象パラメータについて抽出し分布を調べた。すなわち、殺菌効果や消毒副生成物の生成に影響を及ぼす可能性のあ

表 1. 水道電解水の原水に使用した水源

検体	採水地	採水日	pH	塩化物イオン	有機物
A	朝霞浄水場 (埼玉県朝霞市)	2014年11月5日	7.4	12.1 mg/L	0.5 mg/L
B	庭窪浄水場 (大阪府守口市)	2014年11月4日	7.4	15.5 mg/L	0.8 mg/L
C	春日井浄水場 (愛知県春日井市)	2014年9月16日	7.1	3.5 mg/L	0.6 mg/L
D	高宮浄水場 (福岡県福岡市)	2014年10月14日	7.2	12.2 mg/L	0.8 mg/L
E	大子山配水池 (静岡県御殿場市)	2014年10月20日	8.4	2.5 mg/L	ND
F	柏台配水池 (岩手県八幡平市)	2014年11月4日	6.3	3.5 mg/L	ND
G	桃田配水池 (熊本県玉名市)	2014年12月10日	7.7	104.0 mg/L	ND
H	横渚浄水場 (千葉県鴨川市)	2014年10月20日	7.4	27.5 mg/L	2.3 mg/L

A~D: 人口集中区域の水源、E: 最高pHの水源、F: 最低pHの水源、G: 最高塩化物イオン濃度の水源、H: 最高有機物量濃度の水源
ND: 不検出

る3つのパラメータ (pH、塩化物イオン、有機物) に関して調べ、その結果に基づいて全体分布から最も数値が離れた4ヶ所の水道水と大都市人口集中区域4ヶ所の計8ヶ所(表1)の水道水を選択し、水道電解水作製に供した。

2) 水道電解水の作製

水道電解水の作製に用いた無隔膜一室型電解槽を用いる電気分解システムを図1に示す。電解槽には、厚さ0.5 mm および有効面積 695 mm² に加工したイリジウム系 (IrO₂) の電極板2枚を0.4 mmの間隔で平行に配置し、その電極間を通水させる構造とした。供試した各水道水をポンプによって0.25 L/minの流量で通水させながら電気分解した。通水時の電解条件は、直流電源で24 V定電圧制御とした。なお、電流値が0.5 Aを超過する水質に関しては、0.5 A定電流制御とした。

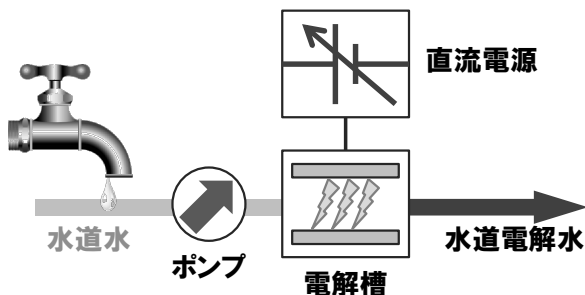


図1. 水道電解水作製システム

3) 水質検査

水道電解水作製前後の水について、日本の水道法に基づく「水質基準に関する省令(平成15年厚生労働省第101号)」に規定される水質基準51項目の検査を実施した。また、世界の水質基準ベースとなるWHO (World Health Organization 世界保健機関) の飲料水水質ガイドライン⁷⁾に記載されている96項目について検査を行った。WHOの水質基準は、日本の水質基準とオーバーラップする27

項目(大腸菌などの微生物、カドミウムや銅などの無機化合物、クロロホルムなどの消毒副生成物)の他に、日本の基準にはないニッケルやバリウムなどの無機化合物、亜塩素酸などの消毒副生成物、有機化合物、農薬類など計69項目が含まれている。これらの中で、ジクロロイソシアヌル酸ナトリウムは水中ではシアヌル酸となるため、シアヌル酸として分析を行った。なお、放射性物質については分析を行わなかった。

WHOの飲料水水質ガイドラインに基づく調査は、海外で実用されている水道水で評価することが好ましいが、搬送に時間を要し、採水後の有効塩素濃度の変化およびその他水質への影響が懸念されたため、水質検査機関である一般財団法人岐阜県公衆衛生検査センター施設内の水道水を原水として水道電解水を作製し、水質検査を実施した。

3. 結果

1) 全国の水道水の水質分布

有効塩素や消毒副生成物の電解生成に影響し得るパラメータとしてpH、塩化物イオン、有機物に関する分布を図2に示した。pH(基準値5.8~8.6)については、約90%がpH6.9~7.7の範囲に分布しており、高低の限界基準値に近いものは極めて限られていた。最高値はpH8.4(大子山配水池:検体E)、最低値はpH6.3(柏台配水池:検体F)であった。塩化物イオン(基準値200 mg/L)に関しては10 mg/L前後に分布ピークがあり、50 mg/L以下の範囲に約99%がカバーされていた。最高値は104 mg/L(桃田配水池:検体G)であった。有機物(基準値3 mg/L)については、95%以上の浄水が1.0 mg/L以下で、分布ピークは0.5~0.6 mg/Lにあり、最高値は2.3 mg/L(横渚浄水場:検体H)であった。データは示さないが、その他の項目に関しても全国の水道水はゆとりを持って基準値をクリアしていることが認められた。

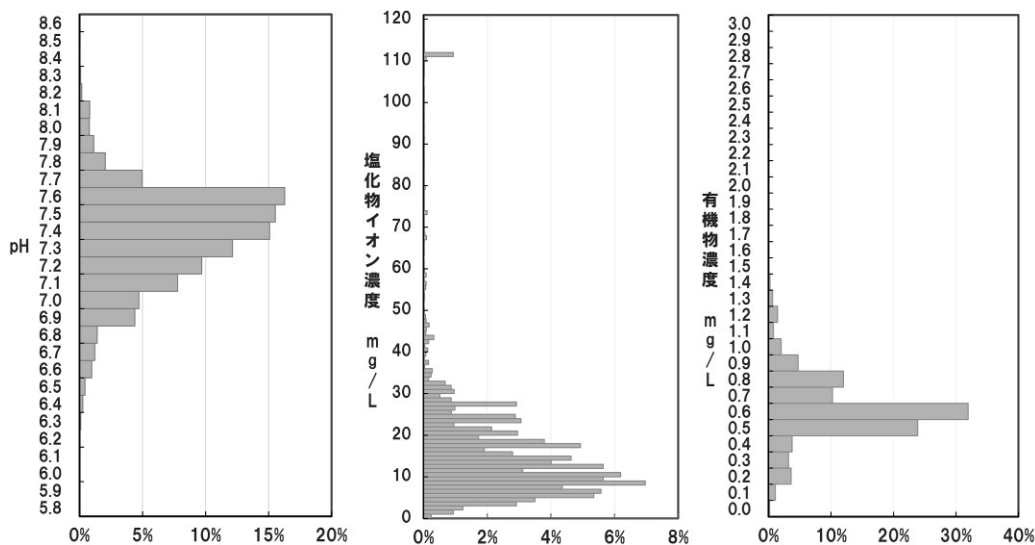


図2. 全国の水道水の水質パラメータ (pH、塩化物イオン、有機物) の分布

表2. 異なる水源の水道水から生成した水道電解水の水質

項目	基準値 *	検体A		検体B		検体C		検体D	
		水道水	水道電解水	水道水	水道電解水	水道水	水道電解水	水道水	水道電解水
有効塩素	0.1~5	0.2	2.0	0.1	2.0	0.5	1.3	0.4	2.5
pH	5.8~8.6	7.4	7.8	7.4	7.5	7.1	7.1	7.2	7.1
塩化物イオン	200	12.1	11.8	15.5	14.3	3.5	3.3	12.2	11.5
有機物	3	0.5	0.6	0.8	0.9	0.6	0.6	0.8	0.8
消毒副生成物	シアン化物イオン 及び塩化シアン	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	塩素酸	0.6	ND	ND	ND	0.05	0.05	0.07	0.07
	クロロ酢酸	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	クロロホルム	0.06	0.002	0.002	0.001	0.002	0.006	0.007	0.006
	ジクロロ酢酸	0.04	ND	ND	ND	ND	0.005	0.006	0.004
	ジブロモクロロメタン	0.1	0.004	0.004	0.006	0.005	ND	ND	0.003
	臭素酸	0.01	ND	ND	0.002	0.002	ND	ND	ND
	総トリハロメタン	0.1	0.010	0.011	0.014	0.012	0.009	0.010	0.015
	トリクロロ酢酸	0.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ブロモジクロロメタン	0.03	0.002	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.006
	ブロモホルム	0.09	0.002	0.002	0.003	0.002	ND	ND	ND
	ホルムアルデヒド	0.08	0.001	0.002	0.001	0.003	ND	0.002	0.003
水道水質適合性 (全51項目)			適合		適合		適合		適合

項目	基準値 *	検体E		検体F		検体G		検体H	
		水道水	水道電解水	水道水	水道電解水	水道水	水道電解水	水道水	水道電解水
有効塩素	0.1~5	0.2	0.9	0.2	0.7	0.2	4.5	0.2	2.8
pH	5.8~8.6	8.4	8.2	6.3	6.3	7.7	8.0	7.4	7.6
塩化物イオン	200	2.5	2.2	3.5	3.4	104.0	102.0	27.5	25.6
有機物	3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.3	2.3
消毒副生成物	シアン化物イオン および塩化シアン	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	塩素酸	0.6	ND	ND	ND	ND	0.06	0.10	0.11
	クロロ酢酸	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	0.002	0.002
	クロロホルム	0.06	ND	ND	ND	ND	ND	0.028	0.025
	ジクロロ酢酸	0.04	ND	ND	ND	ND	ND	0.018	0.019
	ジブロモクロロメタン	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	0.007	0.007
	臭素酸	0.01	ND	ND	ND	ND	0.002	0.005	ND
	総トリハロメタン	0.1	ND	ND	ND	ND	0.003	0.003	0.054
	トリクロロ酢酸	0.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ブロモジクロロメタン	0.03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.019
	ブロモホルム	0.09	ND	ND	ND	ND	0.003	0.003	ND
	ホルムアルデヒド	0.08	ND	ND	ND	ND	0.002	ND	0.006
水道水質適合性 (全51項目)			適合		適合		適合		適合

*2015年3月時点の基準値。数値の単位はpHを除いてすべてmg/L。ND：不検出。

2) 水道電解水作製前後の水質変化

8ヶ所の水道水（検体A～H）から作製した水道電解水の水質を表2に示す。いずれの検体においても電解前後の水質は、有効塩素濃度が上昇したことを除いてpH、塩化物イオン、有機物、消毒副生成物の数値の変動は僅かであった。表2に示さない項目についても同様に数値の変動は僅かで、16検体のすべてが水質基準51項目に適合する結果となった。

電解前後で顕著な変化のあった有効塩素濃度は、原水の塩化物イオン濃度に比例して上昇することが明らかとなった（図3）。すなわち、原水で0.1～0.5 mg/Lであった有効塩素濃度は水道電解水では0.7～4.5 mg/Lで、殺菌効果を確保する0.3 mg/Lを上回る値であった。最高値（4.5 mg/L）を示した検体Gは原水の塩化物イオン濃度も最高値（104 mg/L）であった。有効塩素生成のもとになった塩化物イオンの変化は0.2～3 mg/Lに留まっていた（表2）。pHの変化はほとんどの検体でわずかで、0.3～0.4上昇があった検体AとGにおいてもpH値は8.0以下であった。また、原水のpHが最高値（pH8.4）であった検体Eの水道電解水では8.2とむしろ低下し、最低値（pH6.3）の検体Fでは変動しなかった。一方、消毒副生成物に関してもすべての検体で電解による変動はほとんど認められなかった。

3) WHO 飲料水水質ガイドラインに対する水質適合性

表3にWHO飲料水水質ガイドラインに基づく水質検査を実施した検体の電解前後の結果を示した。当ガイドラインには、日本の水質基準51項目に規定されていない消毒副生成物が5物質（亜塩素酸、ジクロロアセトニトリル、ジブロモアセトニトリル、N-ニトロソジメチルアミン、2,4,6-トリクロロフェノール）含まれているが、電解によるこれらの水質変化は認められず、測定しなかった放射性物質2項目（総α線量、総β線量）を除くその他すべての項目がガイドライン値と適合性を示す結果となった。

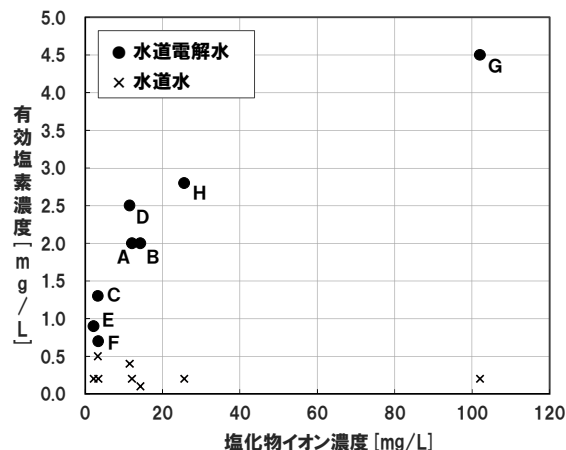


図3. 水道電解水の有効塩素濃度と原水の塩化物イオン濃度の相関

表3. WHO 飲料水水質ガイドライン項目に対する水道電解水の水質

項目		ガイドライン値	水道水	水道電解水
微生物 (2項目)				
1	大腸菌 *1	検出されないこと	陰性	陰性
2	大腸菌群	検出されないこと	陰性	陰性
無機化合物 (17項目)				
1	硝酸態窒素 *1	11 mg/L	0.4 mg/L	0.5 mg/L
2	硝酸イオン	50	2.1	2.1
3	カドミウム及びその化合物 *1	0.003		
4	水銀及びその化合物 *1	0.006		
5	セレン及びその化合物 *1	0.04		
6	鉛及びその化合物 *1	0.01		
7	銅及びその化合物 *1	2		
8	ヒ素及びその化合物 *1	0.01		
9	六価クロム化合物 *1	0.05		
10	ニッケル	0.07	ND *2	ND *2
11	アンチモン	0.02		
12	バリウム	0.7		
13	ウラン	0.03		
14	亜硝酸態窒素 *1	0.9		
15	フッ素及びその化合物 *1	1.5		
16	ホウ素及びその化合物 *1	2.4		
17	亜硝酸イオン	3		
消毒剤および消毒副生成物 (18項目)				
1	有効塩素	5 mg/L	0.2 mg/L	1.5 mg/L
2	ジクロロイソシアヌル酸ナトリウム*3	50	—	—
3	クロラミン	3		
4	シアヌル酸	40		
5	塩素酸 *1	0.7		
6	クロロ酢酸 *1	0.02		
7	クロロホルム*1	0.3		
8	ジクロロ酢酸 *1	0.05		
9	ジブロモクロロメタン*1	0.1		
10	臭素酸 *1	0.01		
11	トリクロロ酢酸 *1	0.2	ND *2	ND *2
12	プロモジクロロメタン*1	0.06		
13	プロモホルム*1	0.1		
14	亜塩素酸	0.7		
15	ジクロロアセトニトリル	0.02		
16	ジブロモアセトニトリル	0.07		
17	N-ニトロソジメチルアミン	0.0001		
18	2,4,6-トリクロロフェノール	0.2		
有機化合物 (24項目)			ND *2	ND *2
農薬 (33項目)			ND *2	ND *2
WHO 飲料水水質ガイドライン適合性 (全96項目) *4				適合

*1 日本の水道水質基準51項目にも含まれる項目、*2 不検出、*3 シアヌル酸として測定

*4 放射性物質2項目は未測定

4. 考察

全国 5,805 ヶ所の水道水の水質データを調べた結果、ほとんどすべての水道水は水質基準値を余裕をもってクリアしていることが明らかとなった。これらの中から選択した水質や条件の異なる 8 ヶ所の水道水を用いて水道電解水を作製した結果、電解によって顕著な変動が認められたのは有効塩素濃度の上昇だけで、水道電解水の水質に影響すると思われたその他のパラメータ（pH、有機物、塩化物イオン、消毒副生成物）の変動は僅かであった。また、いずれの場合も、日本の水道水質基準や WHO 飲料水水質ガイドラインに適合する水質を維持しつつ、殺菌活性を担保する 0.3 mg/L 超の有効塩素濃度に達していることが明らかになった。

また、塩化物イオン濃度が最高値（104 mg/L）であった検体 G については、電解によって消毒副生成物が増加するのではないかと思われたが、塩素酸や臭素酸は極微量の増加傾向があったことを除いて、シアン化物イオン及び塩化シアン、クロロ酢酸、クロロホルム、ジクロロ酢酸、ジブロモクロロメタン、総トリハロメタン、トリクロロ酢酸、ブロモジクロロメタン、ブロモホルム、ホルムアルデヒドなどに変化は認められなかった。これらの結果は、浄水場では塩素を添加する場合、次亜塩素酸ナトリウムというアルカリ性領域で塩素添加されるため消毒副生成物が比較的生成されやすい⁹⁾のに対し、水道電解水では電解過程を通じて中性領域を維持しているために消毒副生成物の生成が抑制傾向にあったことを反映していると考えられる。

今回の研究により、温水洗浄便座に組込んだ電解システムは、全国の水道水から十分な安全性（水道水質維持）と殺菌活性をもつ水道電解水を安定して供給できると判

断された。実際、実使用トイレ機器において本電解システムによって長期にわたり清潔状態を保持できることが認められている。また今後、本水道電解水はトイレ機器のみならず水まわり全体の機器や空間の衛生の維持・管理における安全で有効な手段としてのポテンシャルを十分有していると思われる。

参考文献

- 1) 日本機能水学会編：「次亜塩素酸水生成装置に関する指針 第2版-追補」。財団法人機能水研究振興財団。2013.
- 2) Fujita M, Mashima I and Nakazawa F: Monitoring the decontamination efficacy of the novel Poseidon-S disinfectant system in dental unit water lines. *ScienceDirect* <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmml.2015.05.006>.
- 3) TOTO 株式会社 ホームページ <http://www.toto.co.jp/products/toilet/index.htm>
- 4) 児玉佑希子、渡辺瑞希、竹下朱美 ほか：水道水の電解水による環境微生物の殺菌効果. *防菌防黴*, **39** : 279-283, 2011.
- 5) 石塚章斤、堀田国元：飲料水の大容量長期保存技術. *BMSA 会誌*, **13** : 30-34, 2001.
- 6) 公益社団法人日本水道協会：水道水質データベース <http://www.jwwa.or.jp/mizu/>
- 7) 国立保健医療科学院：飲料水水質ガイドライン 第4版（日本語版）。2012.
- 8) 新谷浩敏：アルカリ塩素法によるシアン化物分解時におけるトリハロメタン類の発生. *日本化学会誌*, **48** : 402-406, 1995.

Safety of the Tap Water Derived Electrolyzed Water for the Toilet Appliance Hygiene.

Katsunori ISHII¹, Motokazu SATO¹, Ayumu UMEMOTO¹ and Kaori HAYASHI²

¹TOTO LTD and ²Gifu Research Center for Public Health

An electrolyzing system integrated into a warm water bidet system (Washlet®) is characterized by producing the Japanese tap water quality-keeping electrolyzed water with elevated available chlorine concentration (ACC: <5mg/L). As a prerequisite to ensure the steady production of this electrolyzed water, we surveyed the qualities of large numbers of tap waters nationwide (5,805 waterworks covering 47 prefectures). Consequently it turned out that over 90% of them showed the restricted ranges of scores in terms of pH, chloride ion (Cl⁻) and organic substance: *i.e.* pH6.9-7.7 (standard range 5.8-8.6), Cl⁻ concentration of <50 mg/L (standard range <200mg/L), organic substance concentration of <1 mg/L (standard range <3 mg/L). Since these factors may influence the quality of the electrolyzed water produced, we analyzed the qualities of the electrolyzed waters made from 8 selected tap waters including ones with the highest as well as average levels of pH, Cl⁻ and organic substance. It turned out that all of the resulting electrolyzed waters with specific ACC elevation kept the water quality of Japanese standards as well as WHO guideline. Therefore, it was conclusive that the electrolyzing system would work steadily to produce the electrolyzed tap water with domestic and international tap water qualities as well as good bacteria-killing activity.