総 説

機能水研究　Vol.12(2), p.29-34, 2017

アルカリイオン整水器の構造と機能について

田中　喜典

パナソニック株式会社 アプライアンス社

2017.3.10 受理

１．緒言

アルカリイオン整水器とは、JIS T 2004 に規定されている家庭用電解水生成器 [1] を指し、飲用適の水（水道法水質基準に関する省令に適合する水道水）を電気分解することにより pH 9～10 の飲用アルカリ性電解水（アルカリイオン水）を生成する。なお、家庭用電解水生成器とは、医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律（以下、薬機等法という）施行令別表第一において「器具器械 83　医療用物質生成器」に分類される家庭用医療機器の呼称である [2]。

2002 年発足の日本機能水学会では、現在の水素水ブームに伴って水素の生理学的効果研究が盛ん [3] になる以前からアルカリイオン水研究者らにより、溶存水素の作用、電解による溶存過程が研究報告 [4-7] されている。近年その成果を鑑み、「アルカリイオン水が、水素を含むこと、水素が効果要因として有力であること、酸化還元電位が低くなること（還元状態）、生成してすぐに飲用すること」を踏まえてアルカリイオン整水器協議会 [8] では、アルカリイオン水の商品名として電解水素水、還元水素水、電解還元水等と呼ぶことを容認するに至っている。

近年の業界全体の総出荷台数は、薬事工業生産動態統計（厚生労働省医政局）によると、年間約 20 万台との報告もあり、広く一般家庭で使用されている。アルカリイオン整水器の主機能となる水電解部分に用いられる電極は白金、または白金族酸化物触媒を電極触媒物質としてチタンに被覆した不溶性の電極であり、ソーダ工業会、電解科学技術委員会主導のもと、工業電解として発展してきた電解技術が B to C への技術展開により、一般家庭を含めた一般消費者に様々な恩恵を与えた一例である。

このように、アルカリイオン整水器は様々な分野の国内研究者の研究に支えられて有効性の研究、電解技術の研究開発が進み、1966 年の医療用具認可より 50 年を経過しており、2016 年に京都で開催された日本機能水学会第 15 回学術大会では記念セッションが組まれた。

アルカリイオン整水器には連続式と貯槽式があるが、本稿では連続式アルカリイオン整水器の構造と機能について解説する。

２．アルカリイオン水の生成原理

連続式アルカリイオン整水器の基本構成は、図 1 に示すように水をきれいに浄化する為の浄水カートリッジと水を電気分解する電解槽から成る。

まず、水道蛇口には水切り替えレバーが取り付けられており、装置を通過させずに水道水を用いる場合（食器洗浄等の飲用外の用途に使用する場合）と装置を通過させて用いる場合に切り替えができるようになっている。

水切り替えレバーを切り替えて装置内に導き入れられた水道水は浄水カートリッジを通過し、その後電解槽に導き入れられ、電解によりアルカリイオン水、還元水素水が生成される。

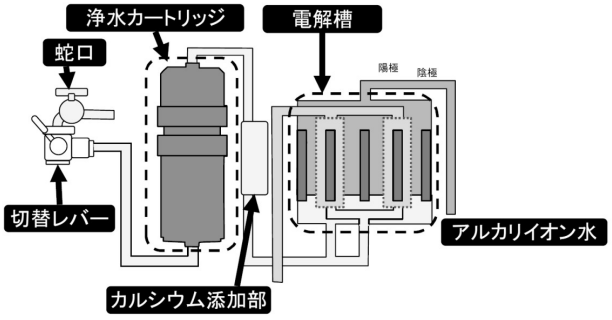


図 1. 連続式家庭用電解水生成器の基本構成

１）浄水部分について

例えば、浄水カートリッジ内は図 2 に示されるように、不織布フィルターや中空糸膜などのろ過膜層と、粒状・粉末活性炭などの活性炭層で、除去対象となる物質に対して有効なろ材を組み合わせて構成されている。図 2 の例では不織布フィルターで粗ゴミが取り除かれた後に、粒状・粉末活性炭部分で水道水の中に含まれる残留塩素やトリハロメタン等の物質が除去され、最終のろ過膜部分で微細なゴミ、赤さび、一般細菌等が除去される。

田中喜典：〒525-8555　滋賀県草津市野路東 2 丁目 3 番 1 -2
Tel: 050-3687-9658　　E-mail: tanaka.yoshinori@jp.panasonic.com

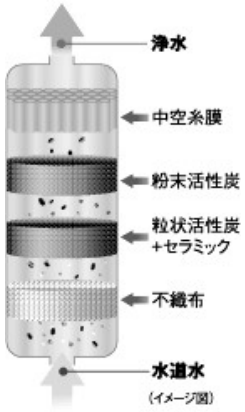


図 2. 浄水カートリッジの内部構造

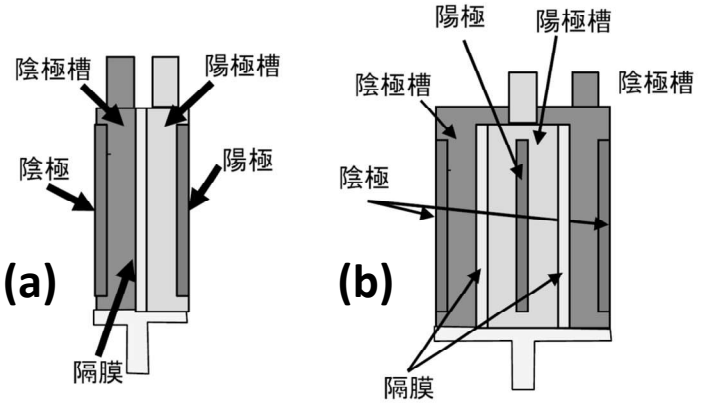


図 3. 電解槽の基本構成

水処理に使用される活性炭には無数の微細孔が存在し、非常に広い表面積を有する。水中の有機系の有害物質等は水に比較的溶けにくく、活性炭表面との分子間力が働くことにより活性炭表面に物理的に吸着されて除去される。一方、残留塩素は有機物と異なり、活性炭に吸着されるだけでなく、吸着残留塩素が活性炭の表面を酸化し、代わりに残留塩素が塩化物イオン（Cl^-）に還元される。つまり、水道水中の遊離塩素が除去された場合は、それに見合う塩化物イオン（Cl^-）が増加していると考えられる。

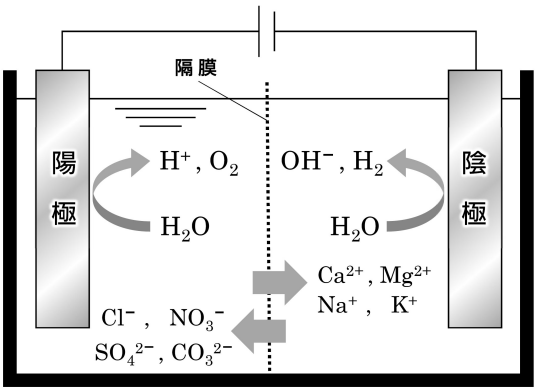
活性炭の後、ろ過膜には、一般的に中空糸膜と呼ばれる膜が用いられる。中空糸膜とはストロー状の繊維である。この繊維の表面には無数の微細な数百ナノメートル程度の孔が開いている。繊維の外側からこの微細な孔を通って中空糸膜の中に染み込むようにろ過された水は両端のストロー状の口から流出する。この部分で一般細菌やカビ類、赤サビなどが取り除かれる。ここでは、活性炭＋中空糸膜を浄化部とする方式を紹介したが、メーカーによっては中空糸膜を使用せず、活性炭を加工すること等で同等のろ過機能を実現させている場合もある。

浄水部分の標準的な除去物質は JIS S 3201 または、浄水器協会自主基準の試験方法を参考に除去性能試験が実施され、各メーカー各々、その試験方法に従った除去能力・寿命の表示がなされる。

２）電解槽について

a) 基本構成

電解槽の基本構成は、図 3（a）のように陽極と陰極およびその間を隔膜で仕切ることで、陽極槽と陰極槽を形成している。浄水カートリッジで水道水が浄化されて陽極槽と陰極槽に分岐流入し、直流電解される。陽極側では主として水（H_2O）が電解されて酸素（O_2）と水素イオン（H^+）が生成し、陰極側では水電解により水素（H_2）と水酸化物イオン（OH^-）が生成する（図 4）。陰極電解反応の結果、水素が溶解したアルカリ性の電解水が生ずる。



陰極反応： $2H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^- + H_2$

陽極反応： $2H_2O \rightarrow 4H^+ + 4e^- + O_2$

図 4. 電解槽における水の電解反応とイオンの動き
糸川嘉則[2]より引用して改変

電極としては、Ti（チタン）を基材とし、Pt（白金）または Pt 族酸化物触媒を被覆した不溶性電極が用いられる。後述するが、アルカリイオン整水器の電極は Ca スケール対策のため、逆電洗浄と呼ばれる正・負双方の電気分解に安定な電極触媒が必要である。Pt は陰極として用いた場合に水素発生過電圧が低く、低電位で水素および水酸化物イオン生成に有利であり水電解の陰極触媒として古くから用いられてきた。同時に陽極触媒としての電解消耗の安定性も確認されておりアルカリイオン整水器に広く使用されている。さらに Pt 族酸化物被覆電極については、高橋らの報告[9]にあるように電解消耗の強さが報告されており、現在でも不溶性電極として様々な電極材料の研究がなされている[10]。

隔膜としては、陽極水電解で生成する酸性水や次亜塩素酸に耐性のあるフッ素系樹脂膜[11]やフッ素系イオン交換膜が用いられており、主として、陰極槽および陽極槽の水の混合を防止する役目がある。しかしながら、電気分解の抵抗となるような材料は好ましくなく、水中のイオン種を通過させ、水そのものの自由な通過を阻害する材料が用いられる[7]。

以上のことはJIS T 2004に反映されており、その規格を満たしたアルカリイオン整水器は認証番号を付与され、市販されている。認証番号を得たアルカリイオン整水器は、性能試験においてpH 9.5±0.3のアルカリイオン水を生成できることになっている。実際の飲用に当たってアルカリイオン水はpH 9～10の性状をもつことが求められている。

平成17年（2005年）の改正薬事法において貯槽式電解水生成器等基準[12]が定められ、貯槽式と連続式の家庭用電解水生成器（アルカリイオン整水器）は「家庭用医療用物質生成器」に分類され、以下のJMDNコード（Japanese Medical Device Nomenclature Code）が与えられている。

・JMDNコード 71024000（連続式家庭用電解水生成器）

b) 電解槽構成

上述の基本構成を陽極面で鏡面対象とすることにより3枚電極を有する電解槽が図3（b）の様に構成される。中央の電極はPt、Pt族酸化物被覆電極を陽極として用い、陽極面に平行になるように2枚の隔膜を配置し、それらを含んで陽極槽をひとつの容器で形成させる。陽極と隔膜で形成された陽極槽容器の隔膜面の外側に、各々内側片面にPt、Pt族酸化物被覆陰極を配置し、すべてを包括する全体を大きな陰極槽として構成する。さらに陽極槽容器や陰極を積層させることにより、5枚電極、7枚電極を有する電解槽が形成される。

電極枚数3～7枚の電解槽の特性として、生成される水酸化物イオン（OH^-）と水素（H_2）の量は、ほぼ電流に依存するため差はない。しかし、同じ電流値であっても一枚あたりの電極面積が同じ場合、3枚に比べて総電極面積は2倍（5枚）、3倍（7枚）となるため、電流密度は異なる。この結果、生成水素の溶解効率は低電流密度になるほど高くなることが知られている[13]。

また、電解生成する水素については、水素過飽和濃度となることが柴田らの研究で報告されており[14]、アルカリイオン水のように流水の水電解で水素の過飽和状態および水素ナノバブルの生成が菊地らによって報告されている[6]。

３．電解によるアルカリイオン水の生成について

１）水の電気分解効率を考慮した電流効率の低下

Pt、Pt族酸化物被覆陰極の場合、流れる電流は、陰極側ではほぼ100%が水（H_2O）の電気分解に用いられ、流れた電流分だけ水酸化物イオン（OH^-）が生成される。すべてpH変化に使用されたとするとわずかな電流でpHは10を超える計算になる。しかしながら、現実そのようにはならない。付与された電気の流れは、陽イオンまたは陰イオンの形で陰極槽、電解隔膜、陽極槽内を移動するため、電流効率を考えるうえで非常に重要である。生成されたOH^-または元から存在するOH^-は、電解槽内を流れる電流成分として陰極槽から電解隔膜を通過し、陽極槽に移動する。他に、Cl^-、NO_3^-、SO_4^{2-}等の陰イオンも同様である。反対に陽極槽から陰極槽に移動するイオンはH^+やCa^{2+}、Mg^{2+}、Na^+、K^+等の陽イオンである。Ca^{2+}、Mg^{2+}、Na^+、K^+等の陽イオンまたはCl^-、NO_3^-、SO_4^{2-}等の陰イオンの移動は、pH値に大きく影響を与えない。しかし、流入するH^+イオンは水の解離平衡を満たすため、陰極槽内のOH^-イオンと結合して陰極水pH値の低下を招き、陰極槽から流出するOH^-も直接pH値の低下を招く。これらにより、pH値変化に対する電流効率は1より小さくなる。

さらに、Ca^{2+}、Mg^{2+}、Na^+、K^+、Cl^-、NO_3^-、SO_4^{2-}のようなイオンはpH値の緩衝作用に直接影響しないが、CO_3^{2-}、PO_4^{3-}等のイオンは緩衝能があるためpH値に大きな影響を与える。例えば、CO_3^{2-}の緩衝作用は次式（1）のように示され、図5のように各pH値での炭酸成分の存在比率が示される。

$$H_2CO_3 + 2H_2O \Leftrightarrow H_3O^+ + HCO_3^- + H_2O \Leftrightarrow 2H_3O^+ + CO_3^{2-} \quad \cdots\cdots (1)$$

つまり、炭酸成分がpH変化に伴い、形態を変化させ、H_3O^+イオンを放出・吸収するため、印加する電解電流の割に想定よりpH変化が起こりにくい。

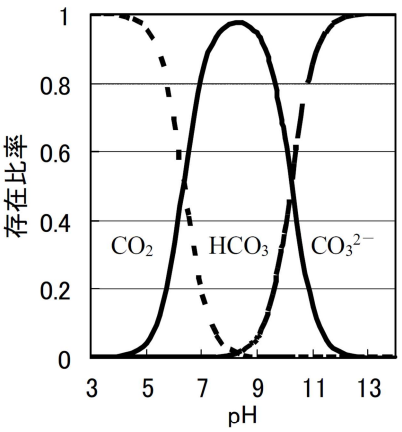


図5. 各pH値での炭酸成分の存在比率

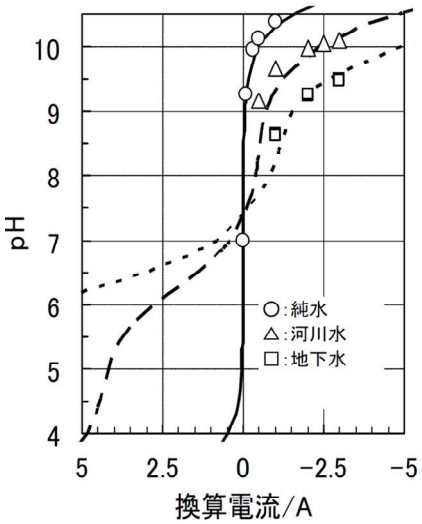


図 6. 原水の違いによる電解電流と pH 値の関係

2）イオンの輸率を考慮した pH 値に関する電流効率

イオンの輸率を考慮した pH 値に関する電流効率を x とし、純水、河川水、地下水を電解した場合の pH 変化をシミュレーションすると、得られた電解電流と pH 値の関係は図6のようになる。ここで、純水（○）、門真市水（△）、当社門真構内地下水（□）は実測値を、曲線は計算結果を示す。ここで純水は、導電率を市水と同じくらいにするため、硫酸 Na を添加している。条件は陰極吐水を 2 L/min、陽極排水を 0.5 L/min としている。今回のシミュレーションでは、電流効率を 0.6 とすることで実測値と計算値が一致した。

これらの結果より、純水の場合には緩衝能がないため電流が 1 A 程度でも pH 値が 10 となるが、国内の通常の水道水では 2.5 A 程度の電流で pH 値が 10 となることが予測される。また、地下水のように非常に高濃度の炭酸成分を含む水では 5 A 程度の電流で pH 値が 10 となると予測される。一方、酸性水の生成については純水の場合には緩衝能がないため電流が 1 A 程度でも pH 値が 4 となるが、国内の通常の水道水では 2.5 A 程度の電流で pH 値が 6 までしか下がらない。また、地下水のように非常に高濃度の炭酸成分を含む水では 5 A 程度の電流でも pH 値が 6 までしか下がらないと予測される。炭酸の影響は酸性水の側で大きくなる。

4．炭酸カルシウムによる電極スケール付着について

前述のように、水道水が pH 9 以上を超えてアルカリ性に変化すると水道水中の炭酸成分は CO_3^{2-} の形態となり、水道水に含まれる Ca^{2+} との化合物 $CaCO_3$（Ca スケール）の溶解度積が低いため析出する。特に陰極表面では水電解により生成する OH^- イオン濃度が高く強アルカリ性となるため、CO_3^{2-} 濃度が高く Ca スケール析出が著しく、Ca スケールが電極表面を覆う事で電解が妨げられてしまう。このため、アルカリイオン整水器では機種により頻度は異なるが正負を入れ替えて通常陰極として用いる電極を Ca スケール洗浄時には陽極として水電解することにより酸性雰囲気に変化させ、生成する pH の低い酸性水で $CaCO_3$ を溶解させ Ca スケールを洗浄する機構を設けている（逆電洗浄と呼ばれる）。逆電洗浄機構を含めると、現在は電極を陽極・陰極の双方として用いる必要があり、電極触媒の劣化に影響を与え、また電解回路の複雑化を招くため、大きな課題となっている。今後、逆電洗浄を減少し、様々な課題解決の要望もあるため、Ca スケール付着に関して電極表面粗さとの関連について検討した結果を報告する。

1）表面粗度を変更した電極を用いた Ca スケール付着試験

焼成メッキ、電解メッキ、スパッタ、純白金で表面粗度を変更した陰極を作成し、陽極を固定した条件で、評価用の平板電解槽を作成する。連続的に通水しながら電解を行うことで陰極表面に付着するカルシウムの度合いに違いがあるか評価を行った[15]。結果を図 7 に示す。

電極表面粗度を表す Ra（算術平均粗さ）が 1.74 の電極に付着した Ca スケール量を基準として、種々の Ra 値の電極に付着した Ca スケール量を整理すると、Ra が少なくなるほど付着量の減少が見られており、今後、逆電回数の削減に電極表面粗度を減少させることが有効である可能性が示唆された。

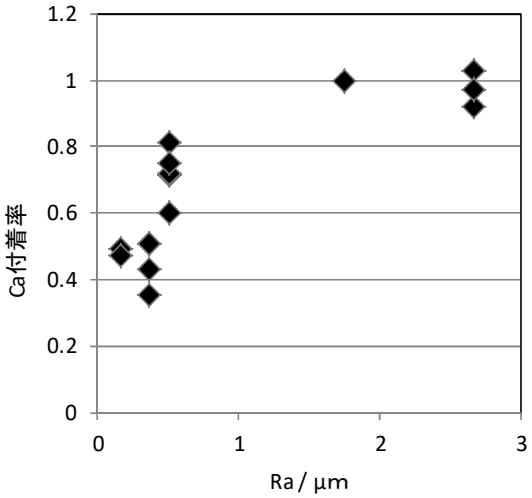


図 7. 表面粗度を変更した電極を用いた Ca スケール付着試験

５．まとめ

連続式アルカリイオン整水器の基本構成として、水を浄化する為の浄水カートリッジと水を電気分解する電解槽から成り、その電解槽を形成する電極、膜の構造を解説した。また水道水の電解よる pH 変化効率および、電極への Ca スケール付着には、溶解する炭酸成分が大きな影響を与えている。電解後の電解水 pH については電解効率を予測し、電流値からの予測を行う事が出来ること、スケールの付着度合いに関しては、電極表面の粗度が影響を与える事を解説した。

文献

1) 日本工業標準調査会審議：JIS T 2004 家庭用電解水生成器. *日本規格協会*、平成 23 年 7 月 29 日改正.
2) 糸川嘉則：飲用アルカリ性電解水（アルカリイオン水）研究の流れ. *機能水研究*、**2(2)**, 59-64, 2004.
3) 独立行政法人国立健康・栄養研究所 「健康食品」の安全性・有効性情報 「水素水」 http://hfnet.nih.go.jp/contents/detail3259lite.html
4) 内藤裕二、高木智久、菊地憲次、ほか：体系的遺伝子発現解析を利用した飲用アルカリ性電解水と水素水の胃粘膜保護効果に関する実験的検討. *第４回日本機能水学会学術大会講演要旨集*、1-2, 2005.
5) S Shirahata, S Kabayama, Y Katakura *et al*.: Electrolyzed-reduced water scavenges active oxygen species and protects DNA from oxidative damage. *BIOCHEM BIOPHYS RES COMMUN*., **234**, 269-274, 1997.
6) K Kikuchi, H Takeda, H Noguchi *et al*.: Hydrogen particles and supersaturation in alkaline water from an Alkali-Ion-Water electrolyzer. *J. Electroanal. Chem*., **506**, 22-27, 2001.
7) 菊地憲次：アルカリイオン水（飲用アルカリ性電解水）の基礎. *機能水研究*、**2(2)**, 65-69, 2004.
8) アルカリイオン整水器協議会ホームページ http://www.3aaa.gr.jp/
9) 高橋正雄、増子昇: *ソーダと塩素*、**53(7・8)**, 171-175, 2002.
10) 山本泰士、田中喜典、才原康弘 ほか： アルカリイオン整水器用電解槽の長寿命・省電力化. *パナソニック電工技報*、**58(2)**, 51-55, 2010.
11) 野田太郎　編集発行: *住友電工グループニュースレター*、**423**, p5, 2012.
12) 別表 3-360 貯槽式電解水生成器等基準. 厚生労働省告示第 112 号、平成 17 年 3 月 25 日.
13) 田中喜典、辻本朋美、西川壽一、ほか： 飲用アルカリ性電解水の pH・水素溶解特性と効率. *松下電工技報*、**56(1)**, 72-77, 2008.
14) S Shibata: *Bull. Chem. Soc. Japan*, **36**, p53, 1963.
15) パナソニック電工株式会社: 電解水生成装置、特許第 5059660 号

Structure and function of alkaline ionized water apparatus

Yoshinori TANAKA
Panasonic Corporation, Appliances Company

Alkaline ionized water refers to water generated from drinkable water (potable water conforming to the directives of the tap water quality standards) by electrolysis using water electrolyzer for home-use called "alkaline ionized water apparatus". The structure of alkaline ionized water apparatus was explained from the viewpoint of the water purification functions and the electrolysis of the water.