

# 福岡工業大学 学術機関リポジトリ

## 水道水が生活影響に及ぼす影響の基礎研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 福岡工業大学 公開日: 2021-01-25 キーワード: living environment, electrolysis water, oxidation reduction potential, chlorine 作成者: 服部, 毅範, 篠田, 鼎, 保坂, 昌克 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/11478/00001601">http://hdl.handle.net/11478/00001601</a>

## 水道水が生活環境に及ぼす影響の基礎研究

服 部 毅 範 (機能材料工学科)  
篠 田 鼎 (情報工学科)  
保 坂 昌 克 (管理情報工学科)

## Basic Research on the Influence of Tap Water on Living Environment

Takenori HATTORI (Department of Functional Materials Engineering)

Kanae SHINODA (Department of Communication and Computer Engineering)

Masakatsu HOSAKA (Department of Management Engineering)

## Abstract

We electrolyzed pure water, tap water and pond water by adding salt which cannot be lacked in a human life. The followings were found as a result of observing this electrolyte:

- ① Electrical conductivity (EC) is tap water>pure water>pond water, and tap water increases an electrolyte as the salt increases;
- ② In the anode tub, the amount dissolved oxygen (DO) is tap water>pond water>pure water, and oxygen is generated by the electrolysis reaction;
- ③ In the anode tube, hydrogen ion index (pH) is pond water > pure water>tap water and in the cathode tub, it is pure water ≒ tap water>pond water. pH shows a contrastive change in the tubs;
- ④ In the anode tub, oxidation reduction potential (ORP) is tap water>pure water>pond water. And in the cathode tub, it is pure water>tap water>pond water. The two tubs show extreme differences.

As stated above, the tap water with the chlorine has a tendency to show a high measured value compared to other water when it is electrolyzed. However, because we use this tap water with chlorine everyday, we need a further research on the influence that this chlorine may have upon us.

Key words: *living environment, electrolysis water, oxidation reduction potential, chlorine*

## 1. はじめに

水は1 nm以上の原子、分子およびイオン、0.1 $\mu$ m～1 nmの範囲内のコロイド、1 $\mu$ m以下の懸濁粒子から構

成されている。この様な組成からなる水が自然の濾過機を通して名水と呼ばれる地域限定の地下水となるものもある。これが身体内部の細胞の活性化につながる水として重宝がられている。一般生活用水資源は山にあり、山間部の自然の浄化槽を経て来る水である。これを生活飲料水とするには種々の処理過程を経なければならぬ状況にある。しかし、一方で産業廃棄物等

平成15年5月30日受付

の処分場が人里離れた山中に設けられ、有害物質を含んだまま大量に投棄されているという矛盾がある。水は人間が生活するために、空気と同様欠く事のできない物である事は周知の通りである。この様に人間環境の悪化に対応するため古くから知られている電気分解法を用いて水に関する電解質物質の影響を調べる事とした。主として電気伝導度、pH、溶存酸素量および酸化還元電位の変化に関する分析・検討を試みた。

## 2. 水の水素・酸素への分解

水は化学変化によって水素と酸素に分解する事ができる。この変化を起こすには、熱力学的な分解と電気分解がある。これらについて以下に述べる。

### (1) 熱力学的な分解<sup>1)</sup>

反応物質が化学反応を起こす場合には必ず熱の出入りがある。この反応が自発的に起こるかどうかについては、熱力学的に判断する必要がある。この反応の進行を判断するのがGである。このGはギブス自由エネルギー (Gibbs free energy) と呼ばれる。化学反応によってエネルギーが出入りする時のエネルギーの変化量、即ちギブス自由エネルギーの変化量を  $\Delta G$  [J/mol] とする。この  $\Delta G$  の内容を(1)式に示す。

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (1)$$

ここで  $\Delta H$  (J/mol) はエンタルピー (enthalpy) 変化量で反応熱と同等のもの、 $\Delta S$  (J/(mol\*K)) はエントロピー (entropy) 変化量で乱雑さの度合いを表す量である。反応物質に反応を起こさせるためには、何らかの形でエネルギーを外部から供給しなければならない。

25℃において、水素 1 mol が燃焼した場合に水を生成する。この反応式を(2)式に示す。



ここで、(g) は気体、(ℓ) は液体を示す。

水の生成熱は  $\Delta H_{\text{H}_2\text{O}} = -285.8 \text{ kJ/mol}$ 、水素、酸素および水のそれぞれのエントロピーは  $\Delta S_{\text{H}_2} = 130.6 \text{ J/mol}$ 、 $\Delta S_{\text{O}_2} = 205.1 \text{ J/mol}$  および  $\Delta S_{\text{H}_2\text{O}} = -69.9 \text{ J/mol}$  と置くと、エントロピー変化は(3)式となる。

$$\Delta S = -165.2 \text{ J/mol} \quad (3)$$

(1)式より室温 ( $T = 293 \text{ K}$ ) における自由エネルギーは(4)式となる。

$$\Delta G = -237.4 \text{ kJ/mol} \quad (4)$$

(4)式より  $\Delta G$  が負となるので、水素の燃焼は自発的に発熱反応が起こる。しかし、水を分解して水素と酸

素を発生させるためには、(2)式の逆反応となるので、分解反応に必要なエネルギーは水 1 mol 当たり 237.4 kJ 以上を外部より与えなければならない。(1)式により明らかな様に温度が上昇すれば、いずれ  $\Delta G$  は負となる。この事より絶対温度の概算は約 3167 K となる。これ以上の温度を加えると  $\Delta G$  は負に成る。若し、エネルギー源として温度を加え、水を分解し、水素と酸素を得るとするなら高温に耐える材料が必要である。すなわちその様な材料の開発から出発しなければならないので、一般的な用途として更に程遠くなる。また、(2)式より水が分解され、水素と酸素が発生するときの平衡定数 K と(1)式の  $\Delta G$  との関係式を(5)式に示す。

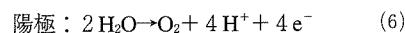
$$\Delta G = -RT \ln K \quad (5)$$

ここで、R: 気体定数 = 8.31 J/(mol \* K),  $T = 293 \text{ K}$  とする。

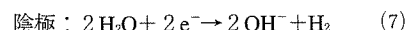
(5)式より、水の熱分解における平衡定数は約  $K = 10^{-42}$  と非常に小さいので、この反応の実現性は低い事になる。

### (2) 電気分解

(4)、(5)式より熱力学的な観点から水を水素と酸素に分解する事は化学的に不可能である。しかし、電気分解装置を用いて、電解質溶液に直流電流を通すと両極で電気分解反応が容易に始まる。陽極では酸化反応が起こる。これを(6)式に示す。



他方、陰極では還元反応が起こる。これを(7)式に示す。



電解質溶液の電気分解反応では、陽極は電子の放出、即ち donor として働くので酸化反応が起こる。陰極は電子の授受、即ち acceptor として働くので還元反応が起こる。陽極・陰極の両極の反応が酸化還元反応である。この反応は電子の生成・消滅を繰り返すことから、sink-source の関係にあると言える。

## 3. 測定項目

水の持つ多くの便利な機構はその分子構造に依存し、2個の水素原子と1個の酸素原子から構成されている。電解質溶液中では、電気陰性度の大きい酸素原子は、正に帯電した陽イオンの方向を向き、また、電気陰性度の小さい水素原子は、負に帯電した陰イオンの方へ配向するので完全な共有結合ではなく極性共有結合をする。最終的に水は、それぞれの電解質イオンを取り

巻く様にして、お互いに coulomb 力を及ぼし合って安定化するため、電解質物質である溶質は水に良く溶ける。よって、電解質物質の溶けた成分の影響を調べるために純水、水道水およびおとめが池の水の電気伝導度、溶存酸素、水素イオン指数および酸化還元電位を測定する。

### 3.1 電気伝導度 (electric conductivity : EC)

電解質に電圧を加えた時、電圧  $V[V]$ 、電流  $I[A]$  および抵抗  $R[\Omega]$  の関係式は、他の導体の場合と同様に ohm の法則が成り立つ。これを(8)式に示す。

$$V=IR \quad (8)$$

電解質中における導体の長さ、即ち電極間の距離  $l$  [cm]、電極の断面積を  $S[cm^2]$ 、比例定数を  $\rho$  と置き、これを(9)式に示す。

$$R=\rho l/S \quad (9)$$

ここで比例定数  $\rho$  を抵抗率、その単位は  $[\Omega cm]$  である。抵抗率の逆数  $\sigma$  を電気伝導度、その単位は  $[S/cm]$  である。この関係式を(10)式に示す。

$$\sigma=1/\rho \quad (10)$$

抵抗率および電気伝導度の値は水中に溶けている電解質の種類、温度、濃度等によって変化する。しかし、イオン電荷を持たない汚濁物質の中の有機物質等には、EC は役に立たない。

### 3.2 溶存酸素量 (dissolved oxygen : DO)

溶存酸素は水の汚れ具合を示す指標の一つになっている。溶存酸素量の測定用電極は隔膜電極の末端に溶存酸素を透過するテフロンを取り付け、内部に陽極(Pt, Au, Ag 等)、電解液(KOH)および陰極(Pb, Zn 等)を納めた構造をしている。この電極を試料中に浸すと溶存酸素量に対応する電流が流れるタイプのものである(ガルバニ電池式)。一般に、室温における飽和溶存酸素量は約  $8 mg/l$  であり、汚染された水は DO が低くなるので、DO は最低  $5 mg/l$  以上あることが望ましいとされている。

### 3.3 水素イオン指数 pH

水  $H_2O$  は安定な分子であるが、わずかに、水素イオン ( $H^+$ ) と水酸化物イオン ( $OH^-$ ) に電離している。これを(11)式に示す。



(11)式の平衡定数を  $K$  と置き、これを(12)式に示す。

$$[H^+][OH^-]/[H_2O]=K \quad (12)$$

水中での両イオンの濃度の積を  $K_w$  と置き、これを(15)式に示す。

$$[H^+][OH^-]=K[H_2O]=K_w \quad (13)$$

$K_w$  は(12)式の電離反応の平衡定数に相当し、室温付近 ( $22^\circ C$ ) で約  $1.0 \times 10^{-14} [mol/l]^2$  である。純水中では、室温における  $H^+$  と  $OH^-$  の濃度については等しく、これを(14)式に示す。

$$[H^+]=[OH^-]=1.0 \times 10^{-7} [mol/l] \quad (14)$$

(11)式より、水  $1 l$ 、即ち  $1 l$  の質量 (約  $1000 g$ )、水の分子量 ( $H_2O=18$ ) から水の電離度を求める。この時、純水  $1 l$  当たり約  $56 mol$  となるので、室温付近における電離度  $\alpha$  は(15)式となる。

$$\alpha=1.79 \times 10^{-9} \quad (15)$$

水は電離して  $H^+$  と  $OH^-$  を出すが、(15)式よりその電離度はきわめて小さく、水中の  $H^+$  と  $OH^-$  は結合して大部分が  $H_2O$  になる。

純水の場合、(14)式の状態を中性 (neutral) という。しかし、電解質が解けた水では、溶質と水 (溶媒) との相互作用により必ずしも  $H^+$  と  $OH^-$  と同濃度になるとは限らない。一般に  $[H^+] > 1.0 \times 10^{-7} [mol/l]$  の溶液の性質を酸性 (acidic)、逆に、 $[OH^-] < 1.0 \times 10^{-7} [mol/l]$  の性質をアルカリ性 (alkaline)、または塩基性 (basic) と呼ぶ。溶液の酸性の度合いを表す尺度として、10を底とする対数を用いて、(16)式のように pH を定義する。

$$pH=-\log[H^+] \quad (16)$$

(16)式は酸性とアルカリ性の指標としてよく知られているが、多くの物質の存在形態に影響している基本的な水質指標である。pH の基準値は  $5.8 \sim 8.6$  にある。

### 3.4 酸化還元電位 (Oxidation Reduction Potential : ORP)<sup>2, 3, 4, 5)</sup>

ORP は水が酸化の状態にあるか、還元の状態にあるのかは、水に含有される酸化剤の量あるいは還元剤の量によって決まる。また、一般的な酸化還元電位を(17)式に表す。

$$E=E_0+RT/nF \ln([Ox]/[Red]) \quad (17)$$

ここで、 $E$  : 試料の酸化還元電位、 $E_0$  : 標準状態における酸化還元電位、 $n$  : 酸化還元反応に関与する電子の mol 数、 $F$  :  $9.65 \times 10^4 C/mol$ 、 $[Ox]$  : 酸化体の mol 濃度、 $[Red]$  : 還元体の mol 濃度を示す。

#### 4. 実験方法

実験を実施するに当たって、電解槽、試料水、電気分解および測定が必要である。

##### ① 電解槽

実験用の電解槽は素焼きの平板2枚(寸法:150mm\*150mm\*3mm)により、3槽に分け、左側の槽を陽極、右側の槽を陰極、中の槽を中間槽とする。電気分解は両側の槽で行い、1槽当たりの容量は約2.5ℓである。

##### ② 試料水

実験に使用する水は純水(純水製造装置:ADVANTEC GS-500)、水道水および池の水(おとめが池の水)を用いる。それぞれの水に対して、食塩無と食塩有(塩分濃度は0.01%、0.05%、0.10%、0.50%および1.0%)の6種類を準備する。これらを試料水とする。

##### ③ 電気分解

電気分解に使用する金属板の寸法は縦3cm、横3cm、厚さ0.75mmのステンレス板である。また、陰極と陽極の間は20cm、この電極間に一定電流40mAをそれぞれ30、60、90、120分間流して電気分解する。

##### ④ 試料水の測定

それぞれの試料水の測定は、食塩無と食塩有に分け、陽極槽、陰極槽および中間槽についてハイドロラボ(多項目水質計測器:Model:DS 4 a)により電気伝導度、溶存酸素量、濁度、塩分、pHおよび酸化還元電位の変化を測定する。

#### 5. 実験結果の検討

試料水を120分で電気分解した場合を選び、電気分解による電気伝導度、溶存酸素量、pH、酸化還元電位について実験結果の検討をする。純水、水道水および池の水の各試料成分は

- ・純水の試料水は純水およびそれに食塩を添加したもの。
- ・水道水の試料水は水道水およびそれに食塩を添加したもの。
- ・池の水の試料水は池の水およびそれに食塩を添加したもの。

ここで塩分は水道水(23.1mg/ℓ)と池の水(21.7mg/ℓ)では大差ないと仮定する<sup>6)</sup>。

図中の記号において、○:食塩無の試料, ●:食塩有の陽極槽, ■:食塩有の陰極槽, ▲:食塩有の中間槽の変化をそれぞれ示す。

#### 5.1 純水

##### 5.1.1 電気伝導度

図1は純水の電気分解による電気伝導度の変化を示す。

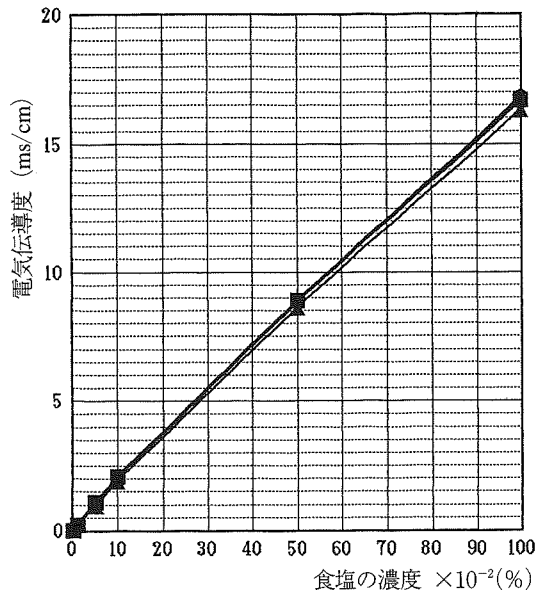


図1. 純水の電気分解による電気伝導度の変化

##### (1) 食塩無の電気分解

食塩無のECは測定不能である。

- ①陽極槽: ECは測定不能である。
- ②陰極槽: ECは測定不能である。
- ③中間槽: 同様にECは測定不能である。

##### (2) 食塩有の電気分解

ECは食塩濃度の増加に伴って0.2mS/cmから16.6mS/cmに増大する。

- ①陽極槽: ECは食塩濃度の増加に伴って0.23mS/cmから16.8mS/cmに増大する。
- ②陰極槽: ECは陽極槽と同様に0.22mS/cmから16.7mS/cmに増大する。
- ③中間槽: 陽極槽および陰極槽と同様なECの変化を示す。

電気分解後の陽極槽、陰極槽および中間槽共に食塩の濃度に依存する事を示す。

5.1.2 溶存酸素量

図2は純水の電気分解による溶存酸素量の変化を示す。

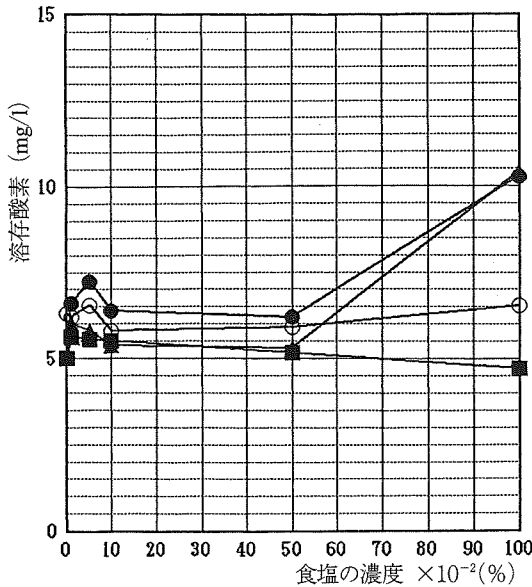


図2. 純水の電気分解による溶存酸素量の変化

(1) 食塩無の電気分解

食塩無の DO は6.3mg/l の値を示す。

- ①陽極槽：DO は6.3mg/l から5.0mg/l に減少する。
- ②陰極槽：DO は陽極槽と同じ値を示す。
- ③中間槽：同様に DO は陽極槽と同じ値を示す。

(2) 食塩有の電気分解

食塩を含む場合の DO は5.8mg/l と6.5mg/l の値を示す。

- ①陽極槽：DO は電気分解前より若干減少するが、食塩1%の時6.5mg/l から10.3mg/l に増加する。
- ②陰極槽：DO は4.7mg/l と5.6mg/l の間の値を示す。
- ③中間槽：同様に DO は陽極槽と同じ値を示す。

食塩の濃度が1.0%になれば DO が10mg/l 以上であるが、陰極槽では DO が5mg/l 以下となる。いずれの場合にも食塩の濃度が低い場合には DO は少ない。

5.1.3 水素イオン指数

図3は純水の電気分解による pH の変化を示す。

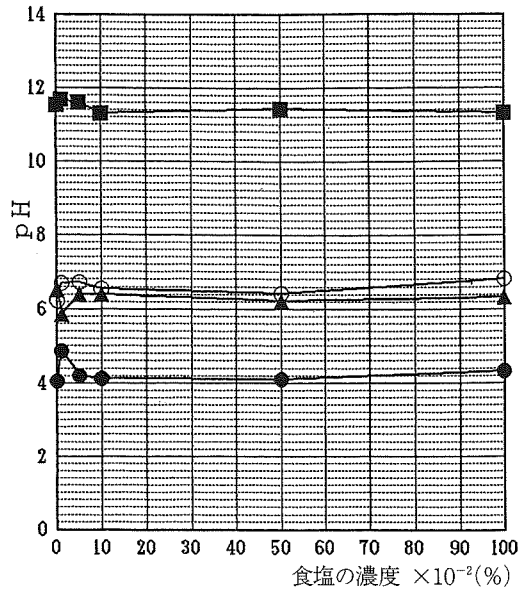


図3. 純水の電気分解による pH の変化

(1) 食塩無の電気分解

食塩無の pH は6.2の値を示す。

- ①陽極槽：pH は6.2から4.0に減少する。
- ②陰極槽：pH が6.2から11.5に増加する。
- ③中間槽：pH は6.2から6.5へと殆ど変化が見られない。

(2) 食塩有の電気分解

食塩を含む場合の pH は6.4から6.8の間の値を示す。

- ①陽極槽：pH は4.1から4.9の間の値を示す。
- ②陰極槽：pH は11.3から11.7の値を示す。
- ③中間槽：pH は5.9から6.4の間の値を示す。

陽極槽では(6)式の陽極反応により H<sup>+</sup>の発生、陰極槽では(7)式の還元反応により OH<sup>-</sup>の発生の影響が顕著に現れた事を示す。また中間槽では食塩の濃度の影響が少ない事を示す。

5.1.4 酸化還元電位

図4は純水の電気分解による酸化還元電位の変化を示す。

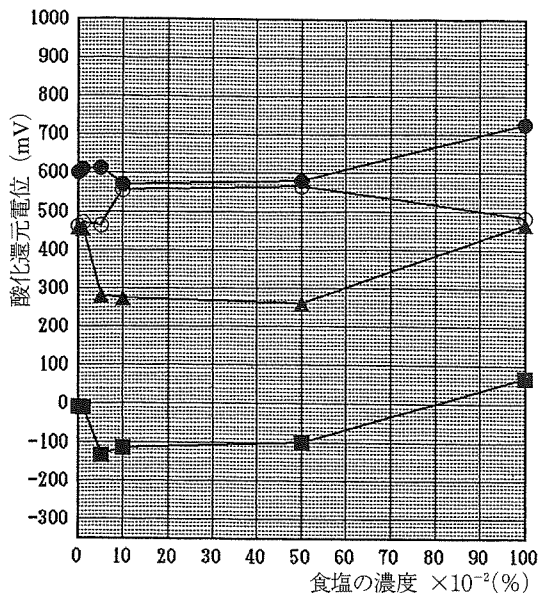


図4. 純水の電気分解による酸化還元電位の変化

(1) 食塩無の電気分解

食塩無の ORP は461mV の値を示す。

- ①陽極槽：ORP は461mV から600mV に増加する。
- ②陰極槽：ORP は461mV から-8mV へ急激に減少する。
- ③中間槽：陽極槽と陰極槽の中間の値となる。

(2) 食塩有の電気分解

食塩を含む場合の ORP は約460mV と560mV の間の値を示す。

- ①陽極槽：ORP は571mV から728mV の間の値を示す。
- ②陰極槽：ORP は-114mV と68mV の間に大幅な変化をする。
- ③中間槽：259mV から465mV へ増加するが、陰極槽のように極端には変化しない。

(17式より陽極槽の ORP は食塩の濃度が低い場合は Ox の濃度が上昇するので ORP も上昇する。逆に、陰極槽では Red の濃度が上昇するので ORP が低下する。食塩の濃度の増加に伴って ORP が上昇する傾向を示す。中間槽の ORP は両極の中間の変化を示す。また、電気分解のない場合の ORP は食塩の濃度の影響は少ない事を示す。

5.2 水道水

5.2.1 電気伝導度

図5は水道水の電気分解による電気伝導度の変化を示す。

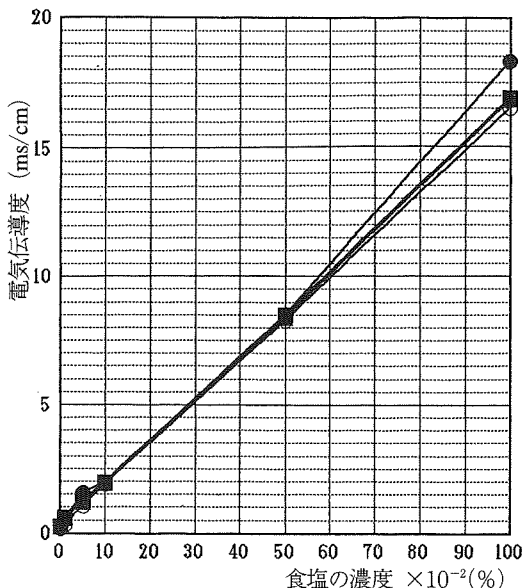


図5. 水道水の電気分解による電気伝導度の変化

(1) 食塩無の電気分解

食塩無の EC は0.15mS/cmの値を示す。

- ①陽極槽：EC は0.15mS/cmから0.19mS/cmへとわずかな変化を示す。
- ②陰極槽：EC は陽極槽と同様に0.15mS/cmから0.23mS/cmへとわずかに変化する。
- ③中間槽：EC は陽極槽および陰極槽と同様な変化を示す。

(2) 食塩有の電気分解

食塩を含む場合の EC は食塩の濃度の増加に伴って EC は0.15mS/cmから16.5mS/cmへと増大する。

- ①陽極槽：EC は食塩の濃度の増加に伴って0.5mS/cmから18.3mS/cmへと増大する。
- ②陰極槽：EC は食塩の濃度の増加に伴って0.59mS/cmから16.9mS/cmへと増大する。
- ③中間槽：EC は陽極槽および陰極槽と同様な変化を示す。

純水の場合の変化と同様な変化を示すが、陽極槽で若干高い値を示す。

5.2.2 溶存酸素量

図6は水道水の電気分解による溶存酸素量の変化を示す。

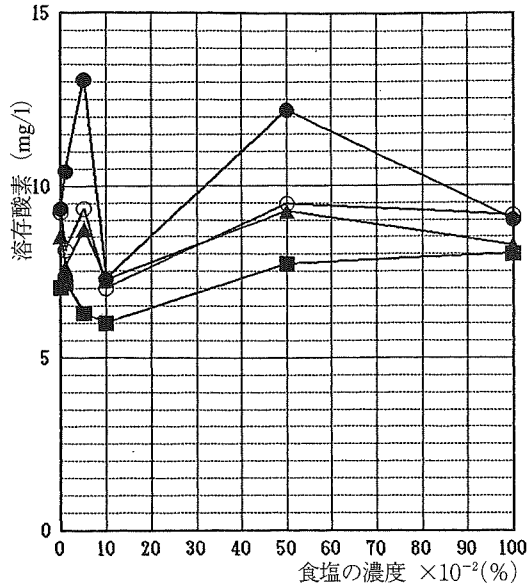


図6. 水道水の電気分解による溶存酸素量の変化

(1) 食塩無の電気分解

食塩無の DO は 9.23mg/l の値を示す。

- ①陽極槽：DO は9.2mg/l から9.3mg/l と殆ど変化を示さない。
- ②陰極槽：DO は9.2mg/l から7.0mg/l へと減少する。
- ③中間槽：DO は9.2mg/l から8.6mg/l と若干の減少を示す。

(2) 食塩有の電気分解

食塩を含む場合の DO は食塩の濃度の違いがあっても大体7.0mg/l と9.5mg/l の間の値を示す。

- ①陽極槽：DO は9.0mg/l と13.0mg/l の間の値を示す。
- ②陰極槽：DO は6.0mg/l と8.0mg/l の間の値を示す。また、電気分解前よりも全体的に DO が減少する。
- ③中間槽：全体的に陰極槽よりも DO が減少しない。

食塩の濃度が低い場合には、純水に比べて(6)式より陽極反応、(7)式より還元反応が顕著に現れた事を示す。いずれにしても 5 mg/l を切る事はない。

5.2.3 水素イオン指数

図7は水道水の電気分解による pH の変化を示す。

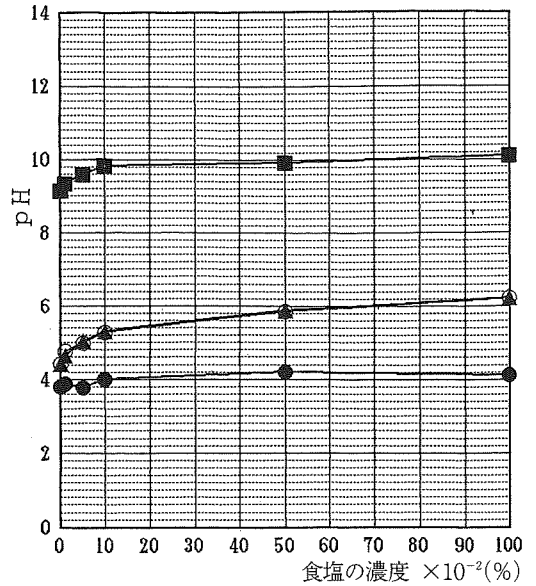


図7. 水道水の電気分解による pH の変化

(1) 食塩無の電気分解

食塩無の pH は4.4の値を示す。

- ①陽極槽：pH は4.4から3.8に減少する。
- ②陰極槽：pH は4.4から9.1に増加する。
- ③中間槽：pH は4.4の値を示す。

(2) 食塩有の電気分解

食塩を含む場合の pH は食塩の添加量に伴い4.8から6.2に増加する。

- ①陽極槽：pH は3.9と4.1の間の値を示す。
- ②陰極槽：pH は9.3と10.1の間の値を示す。
- ③中間槽：pH は4.7と6.2の間の値を示す。

陽極槽および陰極槽では純水の場合より食塩の濃度の影響が明白となる。また、中間槽での変化と電気分解無の変化とは非常に似た傾向を示す。

5.2.4 酸化還元電位

図8は水道水の電気分解による酸化還元電位の変化を示す。

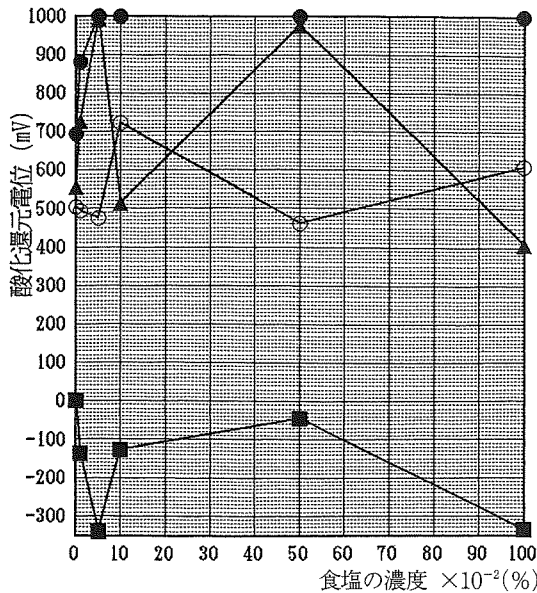


図8. 水道水の電気分解による酸化還元電位の変化

(1) 食塩無の電気分解

食塩無の ORP は 503mV を示す。

- ①陽極槽：ORP は 503mV から 694mV へ増加する。
- ②陰極槽：ORP は 503mV から 1.1mV に急激な減少を示す。
- ③中間槽：ORP は 503mV から 577mV へ増加する。

(2) 食塩有の電気分解

食塩を含む場合の ORP は食塩の濃度の増加に伴って 494mV から 611mV に増す。

- ①陽極槽：ORP は 0.01% で 880mV, それ以降は 1000mV の頭打を示す。
- ②陰極槽：ORP は 0.5% の -44mV と 0.05% の -341mV との間の急激な電位の減少を示す。
- ③中間槽：ORP は 0.01%, 0.05% および 0.5% では陽極槽の ORP と同様な変化を示すが, 0.1% と 1.0% とでは陰極槽の ORP に似た傾向を示す。

陽極槽では純水の場合に比べて急に Ox の濃度が増加し, ORP が 1000mV のシーリング値となる。他方, 陰極槽でも Red の濃度が減少し, ORP が負の値を示す。しかし, 中間槽では, ORP が陽極槽的な振る舞いを示す。電気分解無の ORP がこの様な変化を示さない。

5.3 池の水 (おとめが池)

図9は池の水の電気分解による電気伝導度の変化を示す。

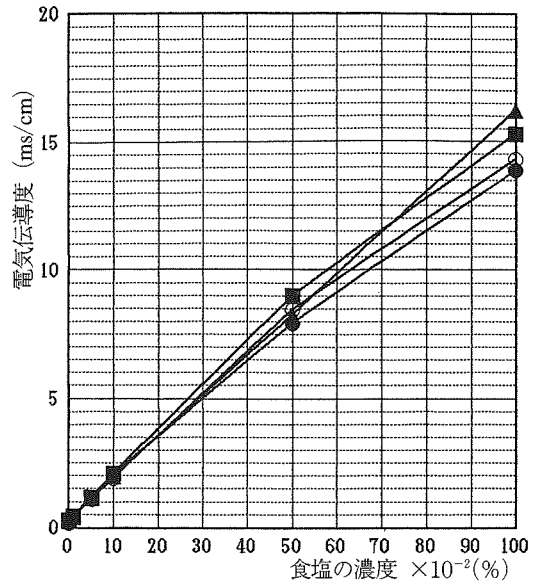


図9. 池の水の電気分解による電気伝導度の変化

5.3.1 電気伝導度

(1) 食塩無の電気分解

食塩無の EC は 0.18mS/cm の値を示す。

- ①陽極槽：EC は殆ど変化を示さない (0.18mS/cm から 0.17mS/cm)。
- ②陰極槽：EC は 0.18mS/cm から 0.26mS/cm へと若干大きくなる。
- ③中間槽：陰極槽に似た傾向を示す。

(2) 食塩有の電気分解

食塩を含む場合の EC は塩分濃度の増加に伴い 0.38mS/cm から 14.3mS/cm に増す。

- ①陽極槽：EC は食塩の濃度の増加に伴い 0.36mS/cm から 13.8mS/cm に増大する。
- ②陰極槽：EC は陽極槽と同様に食塩の濃度の増加に伴い 0.41mS/cm から 15.3mS/cm に増大する。
- ③中間槽：陰極槽の変化と似た傾向を示す。

食塩の濃度と共に電気分解前に比べて陽極槽, 陰極槽および中間槽の EC に若干の差が生じる。

5.3.2 溶存酸素量

図10は池の水の電気分解による溶存酸素量の変化

を示す。

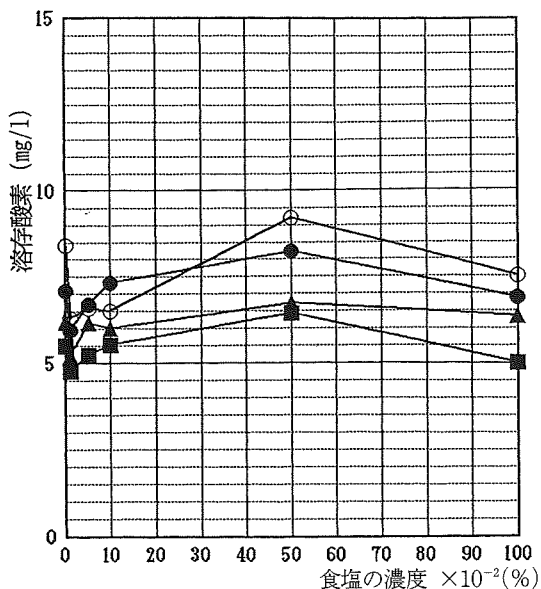


図10. 池の水の電気分解による溶存酸素量の変化

(1) 食塩無の電気分解

食塩無の DO は8.4mg/l を示す。

- ①陽極槽：DO は8.4mg/l から7.1mg/l に減少する。
- ②陰極槽：DO が8.4mg/l から5.5mg/l へ減少する。
- ③中間槽：DO は8.4mg/l から6.2mg/l へ減少する。

(2) 食塩有の電気分解

食塩を含む場合の DO は食塩の添加量の違いはあるが6.3mg/l と9.2mg/l の間の値を示す。

- ①陽極槽：DO は食塩の濃度の違いはあるが6.0mg/l と8.3mg/l の間の値を示す。この事から DO は必ずしも食塩の増加に関連した値を示していない。
- ②陰極槽：DO は電気分解前より相対的に減少する。
- ③中間槽：DO は電気分解前の DO と比べて顕著な差は見られない。

水道水よりも DO が陽極槽、陰極槽および中間槽に比べて全体的に少ない事を示す。

5.3.3 水素イオン指数

図11は池の水の電気分解による pH の変化を示す。

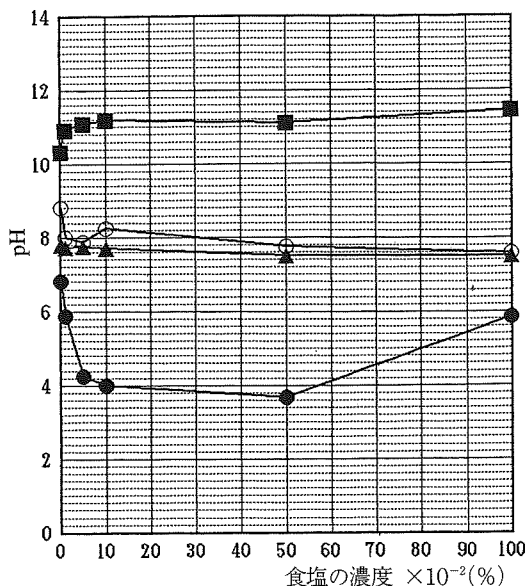


図11. 池の水の電気分解による pH の変化

(1) 食塩無の電気分解

食塩無の pH は8.8の値を示す。

- ①陽極槽：pH は8.8から6.8に低下する。
- ②陰極槽：pH が8.8から10.3へ上昇する。
- ③中間槽：食塩の有無に関係なく pH が7.5前後の値を示す。

(2) 食塩有の電気分解

食塩を含む場合の pH は7.5と8.2との間の値を示す。

- ①陽極槽：pH は電気分解前の値より約2の値の減少を示し、3.7と5.9の間の値を示す。
- ②陰極槽：pH が上がり11前後の値を示す。
- ③中間槽：食塩の有無に関係なく pH が7.5前後の値を示す。

陽極槽では(6)式の陽極反応により H<sup>+</sup>の発生、陰極槽では(7)式の還元反応により OH<sup>-</sup>の発生の影響が塩分濃度の低い時に、顕著に現れる事を示す。食塩濃度の増加に伴って陽極槽では pH がフラットに、陰極槽では徐々に pH が回復する。また、中間槽では食塩濃度の影響が少ない事を示す。

5.3.4 酸化還元電位

図12は池の水の電気分解による酸化還元電位の変化を示す。

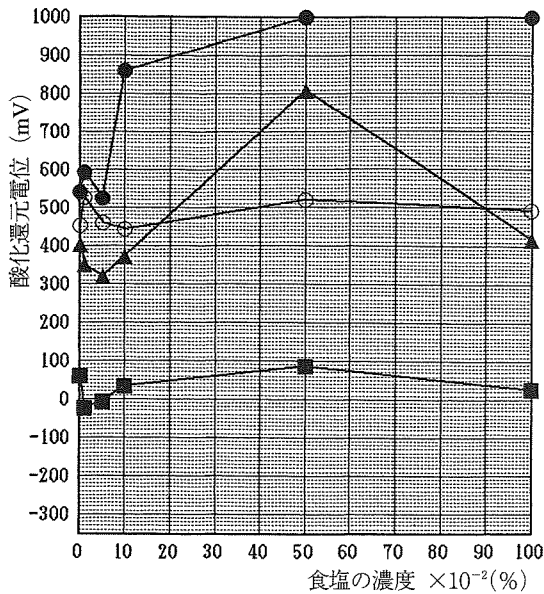


図12. 池の水の電気分解による酸化還元電位の変化

(1) 食塩無の電気分解

食塩無で ORP は415mV の値を示す。

- ①陽極槽：ORP は415mV から540mV へと若干増加する。
- ②陰極槽：ORP は415mV から58mV まで減少する。
- ③中間槽：ORP は415mV から402mV へと殆ど変化しない。

(2) 食塩有の電気分解

食塩を含む場合の ORP は444mV と526mV の間の値を示す。

- ①陽極槽：ORP は523mV から1000mV まで顕著な変化を示す。
- ②陰極槽：ORP は-87mV と85mV の間の値を示し、電気分解前より減少する。
- ③中間槽：ORP は電気分解前に比べて若干減少する傾向を示すが、0.5%の ORP のみが518mV から807mV へと異常な変化を示す。

陽極槽では、食塩濃度が高い場合にシーリング値を示す。他方、陰極槽では、水道水程 ORP が減少しない。中間槽では、陽極槽に似た変化を示すがシーリング値を示す事はない。電気分解前で、ORP は食塩の濃度の影響を受けていない事を示す。

5.4 各試料の比較

純水に食塩を加えた試料水を基準にし、これと同様に食塩を加えた水道水および池の水 (学園内で降った雨が溜り池となったもの) の比較を試みる。

純水の試料を A, 水道水を B, 池の水 (おとめが池) を C とそれぞれ置く。

5.4.1 純水と水道水との比較

- (1) EC は陽極槽が若干高い値 (B>A) を示す。
- (2) DO は初期段階において陽極槽で変動するが、全体的に高い傾向 (B>A) を示す。また、食塩の濃度が高いと電気分解前の DO に近づく事を示す。
- (3) pH は水道水で食塩の濃度が低い段階で陽極槽、中間槽および電気分解前で穏やかな立ち上りを示す。また、陰極槽では低い値 (A>B) を示す。
- (4) ORP は電気分解前では若干の差はあるが平均を取ればほぼ同じ値を示す。陽極槽で極端な増加を示し、シーリング値 (B>A) になる。陰極槽でも同様な変化を示す。いずれにしても大きな違いを示す。

5.4.2 純水と池の水との比較

- (1) EC は食塩濃度の増加と共に若干減少 (A>C) する。しかし、その中で陰極槽がより高い値を (A>C) を示す。
- (2) DO は初期の段階で高い値 (C>A) を示す。
- (3) pH は陽極槽で食塩濃度が高いと C>A となり、C は元の値に回復する特有な変化を示す。陰極槽では A≒C となる。
- (4) ORP は陽極槽では高い値 (C>A) を示す。食塩濃度共に C はシーリング値を示す。陰極槽での値は A>C である。

5.4.3 水道水と池の水との比較

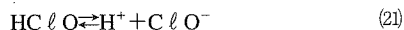
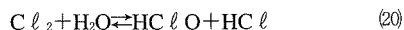
- (1) EC は食塩濃度の増加と共に差が大きくなる (B>C)。
- (2) DO は各槽とも多くなる (B>C)。
- (3) pH は陽極槽で近似的に等しいが、陰極槽では逆に大きくなる (C>B)。
- (4) ORP は各槽とも全体的に大きい値 (B>C) となる。

以上の様な傾向は水の分子がH<sub>2</sub>Oの様に電離

し、食塩も(17)式の様に大部分が電離する。

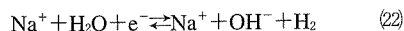


この事から食塩を含んだ溶液が電気分解されると、陽極槽では、(6)式の他に(19)式、(20)式が考えられる。



特に(21)式の反応は pH と密接な関係がある。

他方、陰極槽では(7)式の他に(22)式が考えられる。



この様に電気分解反応の影響が表われる。

#### 5.4.4 電気伝導, 溶存酸素量, 水素イオン指数, 酸化還元電位

##### (1) 電気伝導度

食塩無の電気分解による EC は  $C > B$ ,  $A = 0$  となるので, C には電解質である塩分(ミネラル分)が多く存在する事を示す。食塩有の電気分解による各槽の EC は  $B > A > C$  となる。水道水は電解質が増加する事を示す。これは B が(19)式の反応により生成した塩素と水道水中の消毒用塩素の電気分解による化学反応に依存している事を示唆する。C で EC が減少を伴うのは, 池の水のミネラル成分が電気分解によって, その一部分が析出するためである。

##### (2) 溶存酸素量

食塩無の電気分解による DO は  $B > C > A$  である。陽極槽における食塩有の DO も溶液中の溶存酸素に加えて  $B > C > A$  は変わらない。(6)式の反応の影響が大きい事を示す。

##### (3) 水素イオン指数

食塩無の電気分解前の pH は  $C > A > B$  である。食塩有の pH は陽極槽では  $C > A > B$  となる。これは(6), (20), (21)式の反応によるものである。陰極槽では  $A \approx C > B$  である。これも同様に(7), (22)式の反応によるものである。

##### (4) 酸化還元電位

食塩無の電気分解前の ORP は  $B > A > C$  である。

食塩有の陽極槽の ORP は  $B > C > A$  となる。このことは酸化イオンが(6), (19), (20), (21)式により多く発生する事を示す。また, 陰極槽では ORP が  $B > C > A$  となる。この事は, 還元イオンが(7), (22)式により多く発生する事を示す。

## 6. ま と め

共通の条件として純水, 水道水および池の水に食塩を加えて電気分解を行った。食塩有の電気分解による試料水の EC, DO, pH および ORP は食塩無の電気分解による試料水に比べて大きな変化を示す。その中で殺菌消毒用の塩素を含む水道水の方が, より大きい変化を示す傾向がある。酸化され易い我々の体内の種々の組成と水道水中に存在する遊離残留塩素 ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HClO}$ ,  $\text{ClO}^-$ ) との複合的な反応により, 更に酸化反応が誘発される可能性が十分に考えられる。従って, この様な水道水は日常的に使用している生活用水でもあることから, この塩素成分が我々に与える影響について, 更に追究していく必要がある。

## 参 考 文 献

- 1) Walter J. Moore: Physical Chemistry, Maruzen. Asian Edition (1962), p69-93
- 2) 久保田昌治: 知っておきたい新しい水の基礎知識, オーム社 (2001), p80-85
- 3) Walter J. Moore: Physical Chemistry, Maruzen. Asian Edition (1962), p388-395
- 4) 大塚好治: 分析化学実験, 学芸出版 (1960), p 78-82
- 5) 武田育郎: 水と水質環境知識, オーム社 (2001), p32-41
- 6) 服部, 篠田, 保坂: 電気分解による水質の環境に及ぼす影響について, 福岡工業大学研究論集, 第35巻, 第1号別冊, 2002年10月15日, p127-132