

機能水の物理化学特性と利用に関する研究
(Study on properties and utilization
for food manufacturing of functional water)

楫田 優希

2018

SUPERVISORS :

主査：弘中和憲教授

副査：平良英三准教授

紙谷喜則准教授

MEMBERS OF THE EXAMINATION COMMITTEE :

中村真也教授

田中宗浩教授

1	目次	
2	第1章 序論	7
3	第1節 緒言	8
4	第2節 機能水とは	11
5	第3節 各種機能水とその効能	12
6	1 機能水の種類	12
7	第4節 機能水中の電解水	15
8	1 電解水の種類	15
9	2 電解水生成の原理	16
10	3 電解水の特徴	19
11	4 循環式電解水	23
12	第5節 機能水中の銀イオン水	25
13	第6節 機能水中のファインバブル水	27
14	第7節 本研究の目的	30
15		
16	第2章 電解水の機能水としての評価	31
17	第1節 電解水の特性 1 表面張力	32
18	1 背景及び目的	32
19	2 材料及び方法	33
20	3 結果及び考察	35
21	4 要約	36

1	第 2 節	電 解 水 の 特 性 2	浸 透 力	4 6
2	1	背 景 及 び 目 的		4 6
3	2	材 料 及 び 方 法		4 6
4	3	結 果 及 び 考 察		4 8
5	第 3 節	電 解 水 の 特 性 3	飽 和 溶 解 度	5 3
6	1	背 景 及 び 目 的		5 3
7	2	材 料 及 び 方 法		5 3
8	3	結 果 及 び 考 察		5 5
9	第 4 節	電 解 水 の 特 性 4	解 離 度	5 8
10	1	背 景 及 び 目 的		5 8
11	2	材 料 及 び 方 法		5 9
12	3	結 果 及 び 考 察		6 1
13				
14	第 3 章	ア ル カ リ 性 電 解 水 の 有 効 利 用		7 0
15	第 1 節	ア ル カ リ 性 電 解 水 に よ る 芋 脂 の 洗 浄		7 1
16	1	背 景 及 び 目 的		7 1
17	2	材 料 及 び 方 法		7 3
18	3	結 果 及 び 考 察		7 7
19	4	要 約		7 9
20				
21	第 4 章	銀 イ オ ン 水 の 有 効 利 用		8 7

1	第 1 節	銀イオン水及び銀イオン氷を用いた	
2		大腸菌と黒黴の殺菌・抗菌効果・・・・・・・・	88
3	1	背景及び目的・・・・・・・・	88
4	2	材料及び方法・・・・・・・・	90
5	3	結果及び考察・・・・・・・・	95
6	4	要約・・・・・・・・	97
7			
8	第 5 章	銀イオン水及び循環式電解水の有効利用	105
9	第 1 節	大豆加工工程における銀イオン水及び	
10		循環式電解水の利用・・・・・・・・	106
11	1	背景及び目的・・・・・・・・	106
12	2	材料及び方法・・・・・・・・	108
13	3	結果及び考察・・・・・・・・	113
14	4	要約・・・・・・・・	117
15	第 2 節	銀イオン水及び循環式電解水を用いた	
16		植物栽培・・・・・・・・	128
17	1	背景及び目的・・・・・・・・	128
18	2	材料及び方法・・・・・・・・	128
19	3	結果及び考察・・・・・・・・	131
20			
21	第 6 章	総括・・・・・・・・	139

1	謝 辞	1 4 4
2	参 考 文 献	1 4 5
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
1 0		
1 1		
1 2		
1 3		
1 4		
1 5		
1 6		
1 7		

1

2

3

4

5

6

7

第 1 章 序 論

1 第 1 節 緒 言

2 地球上には有り余るほどの水が存在しているが，そ
3 の 97.5%は海水であり，淡水は水全体の 2.5%程度しか
4 存在しない．さらに，その 2.5%の淡水の大部分は南極
5 や北極などの氷や地下の深層水で，実際に私たち人間
6 が利用しやすい淡水は，地球上に存在する水のわずか
7 0.01%でしかない¹⁾．

8 世界各国において，人口爆発による水の利用量増大
9 による水不足，安全な飲料水の絶対的な不足のみなら
10 ず，適切な処理をしないことに起因する水源の汚染進
11 行，食中毒・疫病・感染症などといった悪循環に陥っ
12 ている国が少なくない．また，地球温暖化による気候
13 の変動は水資源の分布に多大なる影響を与え，乾燥地
14 ではさらなる干ばつが進んでいる．日本においても，
15 近年，工場排水や家庭排水による河川，海洋の汚染な
16 どにより，水環境が急激に悪化しつつあり，安全な水
17 供給問題は質・量ともに深刻化の一途を辿っている．
18 水資源の有効利用は大きな課題である．

19 また，経済社会の発展に伴い国民の食生活が豊かに
20 なる一方，我が国の食生活を取り巻く環境は近年大き
21 く変化し，国民の食に対する関心が高まってきている．

1 口蹄疫や鶏インフルエンザ，中国製冷凍ぎょうぎ事件
2 や，食品偽装事件などといった食品に関する事件・事
3 故が目立っており，食品の安心安全に対する要求が高
4 まっている．

5 そこで，多くの食品工場では食品衛生 7S が用いられ
6 ている．食品衛生 7S とは整理・整頓・清掃・清潔・し
7 つけ・洗淨・殺菌のことである²⁾．その中でも，洗淨・
8 殺菌は水を多量に使用している．また，洗淨・殺菌の
9 ために多くの薬剤を用いている．これら薬剤の使用は，
10 環境や人体へ悪影響を及ぼすと懸念される．

11 上記の課題を解決する方法として，近年，機能水に
12 関する研究が活発に行われている．機能水とは「水を
13 人為的な処理によって再現性の有る有益な機能を付加
14 された水溶液の中で，処理と機能に関して科学的根拠
15 が明らかなもの，及びされようとしているもの」³⁾と機
16 能水学会から定義されている．機能水の中でも，電気
17 分解して得られる電解水は古くから研究が進んでいる
18 分野であり，殺菌や洗淨に用いられている⁴⁻⁹⁾．また，
19 銀イオン水，ファインバブル水は，近年，研究が進め
20 られている分野である¹⁰⁻¹³⁾．

21 機能水を用いることによって，薬剤の使用を抑え，

1 環境・人体への影響を減少させることができ、水資源
2 の有効利用にも繋がると考えられる。しかし一方、機
3 能水の持つ有益な機能とその物理化学特性の関連性は
4 ほとんど証明されておらず、解明すべき課題である。
5

第 2 節 機能水とは

前述のように，機能水とは「水を人為的な処理によって再現性の有る有益な機能を付加された水溶液の中で，処理と機能に関して科学的根拠が明らかなもの，及びされようとしているもの」³⁾と機能水学会から定義されている．一般的には水を電気分解，磁気，電磁波，金属，機械的，放射線，音波，超音波，遠赤外線，ガス溶解，天然石・セラミックス，ミネラル還元処理などといった物理化学的処理を行うことにより特殊な機能を付与された水を機能水として扱っている．しかし，商業的に使用されている機能水の中には，日本機能水学会が定義している科学的根拠が確立したものは少ない．機能水を科学的特性で評価する研究は行われてはいるが^{14,15)}，測定値とその効能が一致していないため，機能が現れる原理を科学的に明らかにすることが必要とされている．

1 第 3 節 各種機能水とその効能

2 1 機能水の種類

3 機能水の種類及び効能を表 1-1 に示す．機能を持たせ
4 ることで変化する可能性のある科学的測定項目及び生物
5 的効果を図 1-1 に示す．機能水の目的はそれぞれ違うも
6 のの，水に機能を持たせるために何らかの処理を行うこ
7 とで，現在世の中にある問題点の解決，薬品の代替とな
8 り，低コスト，環境に優しい等の効果がある．

9

1 表 1-1 機能水の種類と効能

処 理 法	一 般 名 称	効 能 ・ 効 果
磁 場	磁 化 水 , 磁 場 水 , 電 磁 水	ス ケ ー ル 付 着 防 止 防 錆 (水 道 管 赤 水 防 止)
電 場	電 子 水 , 電 場 水	ス ケ ー ル 付 着 防 止 防 錆 (水 道 管 赤 水 防 止) 殺 菌 (微 生 物 増 殖 抑 制)
超 音 波	ソ ニ ッ ク 水 , 超 音 波 活 性 水	発 芽 促 進 植 物 生 育 促 進 生 鮮 物 鮮 度 保 持
無 機 物	麦 飯 石 パ イ セ ラ ミ ッ ク ゼ オ ラ イ ト	殺 菌 (微 生 物 増 殖 抑 制) 腐 敗 遅 延 殺 菌 (微 生 物 増 殖 抑 制) 酵 素 作 用
共 鳴 場	共 鳴 磁 場 水	害 虫 駆 除
遠 赤 外 線	遠 赤 水	熟 成 促 進 (発 酵 過 程)
電 気 分 解 (ミ ネ ラ ル 添 加)	ア ル カ リ イ オ ン 水 (還 元 水)	整 腸 作 用 ア ス ト リ ン ゼ ン ト
電 気 分 解 (ハ ロ ゲ ン 添 加)	電 解 酸 化 水 ・ 電 解 ア ル カ リ 水 強 酸 性 水 ・ 強 ア ル カ リ 水	乳 化 , 剥 離 殺 菌 (微 生 物 増 殖 抑 制)

2

3

科学的測定

- ・ pH
- ・ 酸化還元電位 (ORP)
- ・ 有効塩素濃度
- ・ 蒸発速度
- ・ 膜透過性
- ・ 溶存酸素濃度
- ・ NMR半値幅
- ・ 比熱
- ・ 光散乱特性
- ・ 表面張力



生物的效果

- ・ 動植物の成長
促進・抑制
- ・ 鮮度保持
- ・ 発芽促進
- ・ 微生物増殖制御
- ・ 酵素活性化
(作用促進)
- ・ 消化促進
(整腸作用)
- ・ 界面活性化作用
- ・ 洗浄力増大
- ・ 活性酸素消去能
(抗酸化)

図 1-1 機能水の科学検証と生物的效果

岩本睦夫 ホシザキ電機 招待講演要旨：水の科学
と「機能水」への期待（2003）より抜粋：一部改

第 4 節 機能水中の電解水

1 電解水の種類

水を電気分解すると陽極に陰イオンが泳動し，陰極に陽イオンが泳動する．さらに電極付近で電子の授受が行われ，水に含まれるイオンの種類によりガス化，溶解し電解水の溶液に特長が現れる．電解水はその製法により大きく 3 つに分類される．

① 強酸性電解水，強アルカリ性電解水：隔膜あり，塩化物イオンを添加し生成する．

② アルカリイオン水：隔膜あり，カルシウムイオンを添加し生成する．

③ 中性電解水：隔膜無し，塩化物イオンを添加し生成する．

添加物の違いや膜の材質などの違いにより，その種類は 20 以上にもなる．しかし，実際に実用化され，かつ周知のものは，強酸性電解水，強アルカリ性電解水，微酸性水，アルカリイオン水など比較的少ない．

2 電解水の生成原理

薄い食塩あるいは水道水を電気分解（一般に直流）して得られる水を電解水と呼び，電解水は電解補助材や pH により，強酸性電解水，強アルカリ性電解水，弱酸性電解水，アルカリイオン水などに分類されるが，ここでは主に強酸性電解水と強アルカリ性電解水について述べる．

強酸性電解水は NaCl などの約 0.02～0.2% 電解原液中に陽極と陰極を平行に設置し，その間に隔膜を置いたものに，直流電流を流し，電解して陽極から得られる．強酸性電解水（pH 2.3～2.7）は酸化還元電位が 1.1～1.15 V，有効塩素濃度が 7～50 ppm であるが，これらの値は製造機器，生成条件によって変動する．強酸性電解水の生成と同時に，陰極側に生成する水溶液が強アルカリ性電解水（pH 11～12.5）であり，酸化還元電位 $-0.5 \sim -1.2$ V，有効塩素濃度 0.1 ppm 以下の物性を持つ¹⁶⁾．

Pt 電極を用いて電解すると，陽極では NaCl の電離により生じる Cl^- が，水の電離で生じる OH^- よりも放電しやすいので Cl_2 が発生する．陽極では全電流が塩素の発生の上に消費されるのではなく，酸素ガスや炭酸ガスの発生， ClO^- ， ClO_3^- などの生成にも費やされ，その分だけ H^+ を生じる．また H^+ は溶存塩素の加水分解でも生じ

1 るので、陽極水は酸性化する。しかし陽極側の H^+ は一
2 部が陰極側に引かれ隔膜を通過して移動する。塩類濃度が
3 低下すると陽極での塩素発生の電流効率が低下するので、
4 陽極側で発生する H^+ が増加し、すべて陰極に移動する
5 ため陰極の電流効率も低下する。また陰極面では電流量
6 に相当するだけの OH^- を生じるので、陰極水はアルカリ
7 性となる。隔膜式の電解の際、電極の表面でおこる反応
8 は図 1-2 のように表される。

9

10

11

12

13

14

15

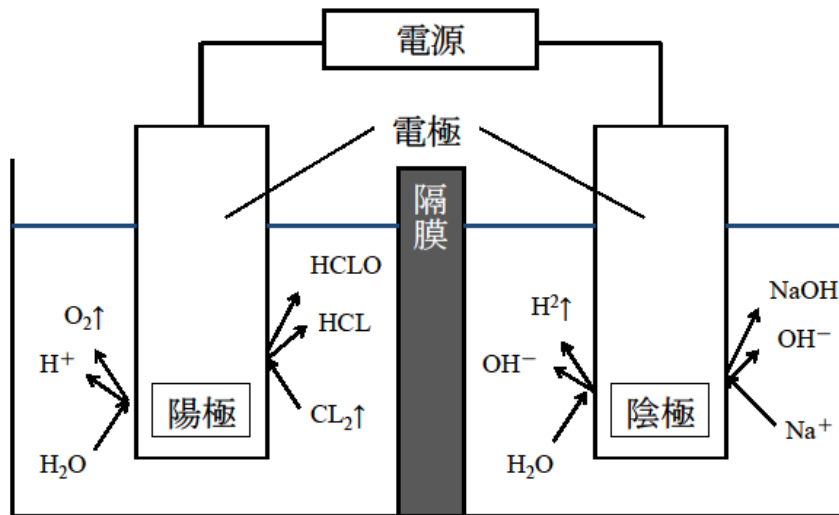
16

17

18

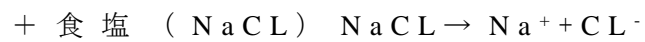
19

20



1

2



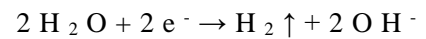
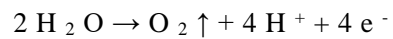
3

4

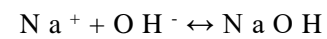
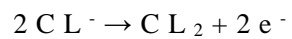
〈陽極〉

〈陰極〉

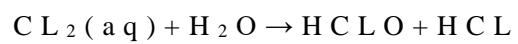
5



6



7



8

9

10 図 1-2 電解水の生成原理

11

12

3 電 解 水 の 特 長

< 陽 極 電 解 水 >

海外では 1885 年に D'Arsonval 氏により電解水生成装置の実用機が考案され，国内では，1987 年三浦電子株式会社からアクア酸性水生成装置オキシライザーとして始めて製造・販売された．1980 年代後半から猛威をふるっていた MRSA を瞬時に殺菌できることから^{17,18)} 大きな注目を浴び，我が国で独自に開発，発展，普及してきた．1994 年には国連のルワンダ PKO 派遣部隊において，感染予防の衛生管理に使用された¹⁹⁾．

医療分野では，1996 年「手指の洗浄・消毒」における薬事法認可（医療用具認可）を取得し，近年では「内視鏡洗の洗浄消毒」，環境清掃や血液透析装置の洗浄，創傷部の洗浄用途にも使用が検討されている²⁰⁻²²⁾．

食品分野においては，1999 年米国で次亜塩素酸水として食品の洗浄除菌に使用認可を受け，国内でも 2002 年 6 月に食品添加物（殺菌料）として新規に指定されたことより，直接食材を消毒することが許可された²³⁾．現在では食品加工や厨房の衛生管理²⁴⁾のほか，畜産，農業²⁵⁻²⁹⁾などその有用性は高く，多くの分野で使用されている．

これまでの研究から，強酸性電解水の殺菌作用につい

1 て様々な検討がなされており，殺菌主体は次亜塩素酸と
2 考えられている．各化学消毒薬の微生物に対する殺菌メ
3 カニズムは，微生物の種類，生存状態（栄養型や芽胞）
4 により異なるが，栄養型細菌に対する作用機構は以下の
5 ものとされている．

6 ① 原形質中のタンパク質と結合し細胞機能を阻害するも
7 の： HgCl_2

8 ② 酸化により細胞機能を阻害するもの： H_2O_2 ， NaOCl ，
9 さらに粉， HOCl

10 ③ 細胞成分を加水分解し機能を阻害するもの：強酸，強
11 アルカリ

12 ④ 原形質を溶解して機能を阻害するもの：メタノール，
13 エタノール

14 ⑤ タンパク質を凝固または変性して細胞機能を阻害する
15 もの：クレゾール，石炭酸，ホルマリン，イソプロパノ
16 ール

17 ⑥ 酵素系を阻害するもの：逆性石鹼（陽性石鹼，演歌ベ
18 ルザルコニウムなど）

19 強酸性の殺菌主体が次亜塩素酸であるとする，その
20 殺菌メカニズムは上記②ということになるが，同じ次亜
21 塩素酸を有効成分とする次亜塩素酸ナトリウムと殺菌効

1 果を比較したところ，強酸性電解水の殺菌効果は 0.1%
2 (=有効塩素濃度 1000ppm) 次亜塩素酸ナトリウムとほ
3 ぼ同等であったという報告がある．このように，有効塩
4 素濃度に大きな差があるにもかかわらず，同等の殺菌効
5 果が得られたことから，強酸性電解水は一般的な次亜塩
6 素酸ナトリウムと異なる作用・効果があるのではないか
7 と考えられている．強酸性電解水についての解析は現在
8 も行われており，次亜塩素酸は酸性電解水の中ではおも
9 に分子の形で溶けており，次亜塩素酸ナトリウム水溶液
10 中ではおもにイオン形で存在するなどの報告がされてい
11 る．

12 このように，強酸性電解水の利用や応用が先行してい
13 るなか，科学的根拠が充分とはいえない現状がある．

14

15 < 陰極電解水 >

16 1931 年頃，諏訪方季氏（シンノオル電機）は水と電
17 気との関係に着目し，電解水の植物への影響について研
18 究を始め，1965 年にはアルカリイオン水（弱電解水）
19 が，当時の厚生省から医療用具としての胃腸に対する効
20 果効能が承認されている（厚生省薬務局長通知「薬発第
21 763 号」）．しかし，その後，効果効能に対する疑問が高
22 まり，二重盲検試験を含む臨床試験により検討が行なわ

れた結果，慢性下痢・消化不良・胃腸内異常発酵・制
酸・胃酸過多に対する効果が科学的に証明された³⁰⁾。
³⁵⁾。近年では，2005年4月1日改正薬事法により，法
的には「医療物質生成器」であるアルカリイオン製水器
は，安全性の高さからも，医療用具から家庭用の管理医
療機器として新たに位置付けられた。また，食品加工に
用いた場合に抽出効果が高い^{36,37)}などの報告もあり，
使用用途の拡大や新しい機能の発現が期待されている。
アルカリイオン水（弱電解水）は普通の水道水のみを電
解して生成される水をいい，強電解水との違いは一般的
に，電解補助財，とくに塩化物・塩酸等を添加しない
（Ca剤などの少量添加は可，水道水はわずかにNaClを
含む）ことにより区別している。

従来の電解水の研究は，ほとんどが強酸性電解水とア
ルカリイオン水に関するもので，医療・衛生の分野でも
強アルカリ性電解水の利用についての関心が薄く，その
まま廃棄される場合が多かった。しかし，強酸性電解水
生成時に同時に陰極側に生成する強アルカリ性電解水に
特有な特性は多く潜在しており，例えば細胞や免疫機能
の活性化，酵素活性の向上，農産物や食品の品質向上・

1 改質など，その作用メカニズム，利用面の研究が今後の
2 重要課題である．

3 4 循環式電解水

4 今回の研究で，循環式電解水生成装置は，鹿児島大学
5 試作品を用いた（図 1-3）．酸性電解水は次亜塩素酸の含
6 有率が上昇するため殺菌速度が速くなる．陽極入り口か
7 ら水を給水し，その後，陰極に戻して電気分解する装置
8 とした．この装置では，陽極での反応の為に一旦，強酸
9 性電解水を生成し，その後陰極で等量の電気泳動により
10 中性に戻る（図 1-4）．陽極で生成した強酸性電解水は配
11 管内で原水中に含まれる微生物と接触し殺菌作用を示す．
12 本循環式電解水生成装置を用いることで無菌水の製造が
13 期待できる．

14

15

16

17

18

19

20

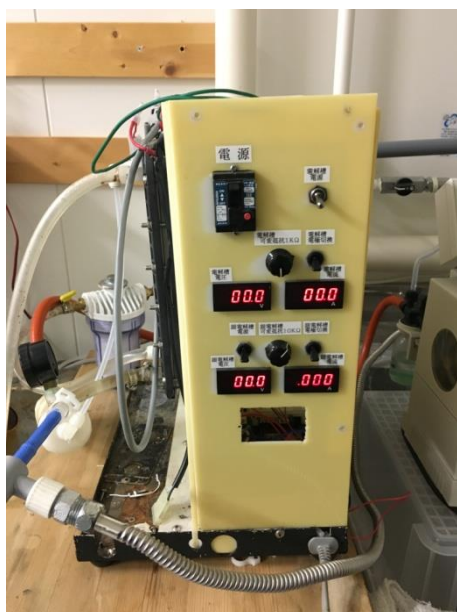


図 1-3 循環式電解水生成装置

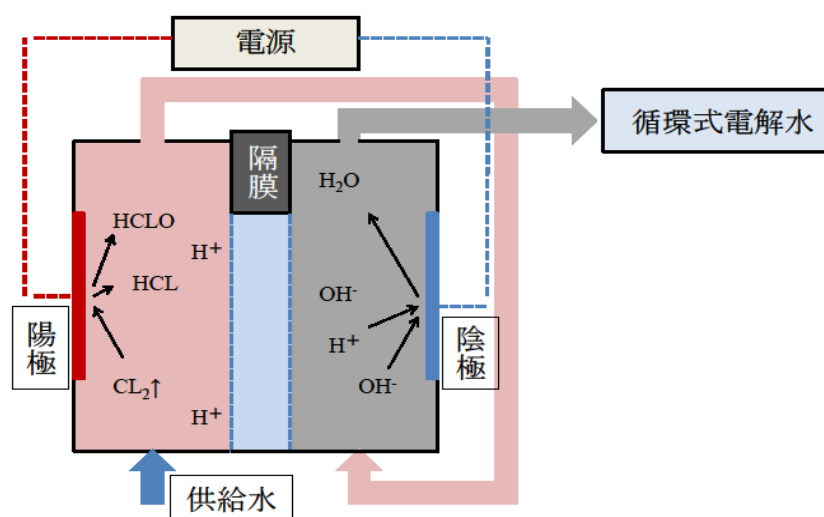


図 1-4 循環式電解装置概要図

1 第 5 節 機能水中の銀イオン水

2 銀は無機系抗菌剤として，古代エジプトの時代から抗
3 菌性があるとされており，人や環境にやさしい抗菌成分
4 「銀イオン」を含んだ機能水を銀イオン水という．

5 銀イオン水の生成方法には担持法，電気分解法がある
6 ³⁸⁾．担持法はゼオライト（多孔質鉱物）に硝酸銀を高
7 温にて焼付け，それに水を透過させることにより微量な
8 銀イオンを徐々に放出させる方法である．電気分解法は
9 水中に純銀電極を入れ，これに通電することにより銀イ
10 オンを発生させる方法である．今回の研究では，電気分
11 解法により生成された電解銀イオン水を用いることにし
12 た．

13 銀イオン水はランニングコストが低く，無臭で長時間
14 の抗菌・殺菌効果があり，低濃度であれば人体にも負荷
15 がなく，環境にも優しいとされている．世界保健機構
16 (WHO)によっても，銀化合物による発癌性，急性暴露，
17 慢性暴露による人体への影響はなく， 0.1 mg/L の銀の含
18 まれた水を70年間，2L飲料してもNOAEL(害にならな
19 い最大量)に満たず害はないとされている³⁹⁾．しかし，
20 未だにその生成方法や殺菌に使われた銀イオン水の濃

1 度，殺菌時間など，詳細は明らかにされておらず，実用
2 化が困難であるのが現状である．

3 本研究で供試した電解銀イオン水は銀イオン水生成装
4 置（図 1-5）を用いて作成した．一井の修士論文

5 （2015）⁴⁰⁾より，純水に重曹（ NaHCO_3 ）を加え，電気
6 伝導度（EC）を $300\mu\text{S}/\text{cm}$ に調整した重曹水を，銀イオ
7 ン水生成装置を用いて，純銀電極（図 1-6）にて電気分
8 解を行うことで得た．

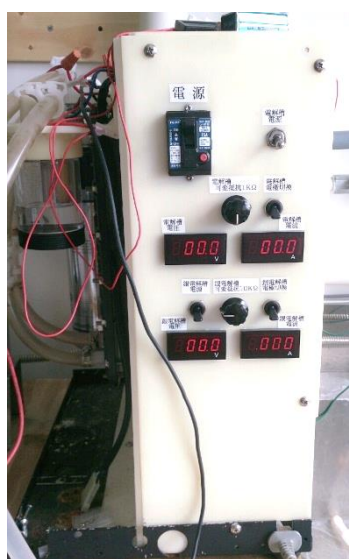


図 1-5 銀イオン水生成装置

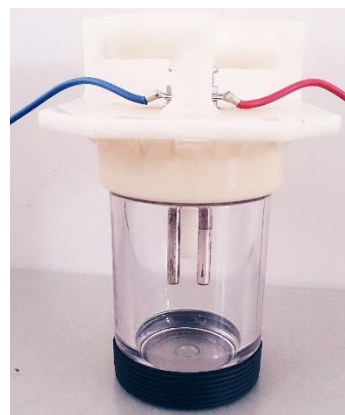


図 1-6 純銀電極

第 6 節 機能水中のファインバブル水

1 マイクロバブル水

マイクロバブルは，一般的には泡発生時の気泡の直径が数マイクロメートル～約 50 マイクロメートル以下の小さな気泡のことを言う．本研究では，せん断法を用いたマイクロバブルを用いた．せん断法とは水圧を利用し，取入れた水をサイクロン流（回転流）に変え特殊な形状をしたユニットを通過させる（図 1-7）．このユニットの菱形柱に次々と衝突が繰り返され，水が細分化される．さらに，攪拌混合する事でバブルを発生させる方法である．（図 1-8）

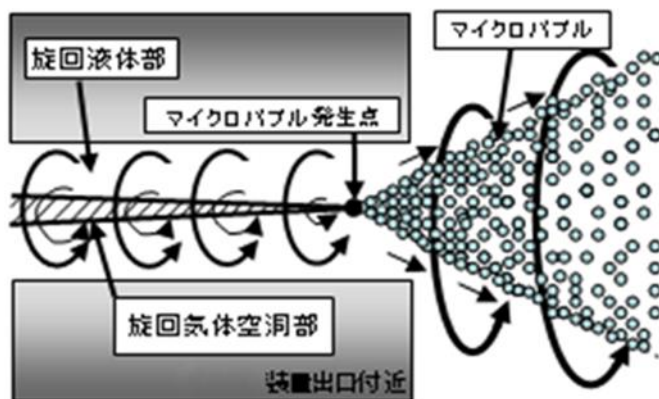


図 1-7 バブル発生機構⁶

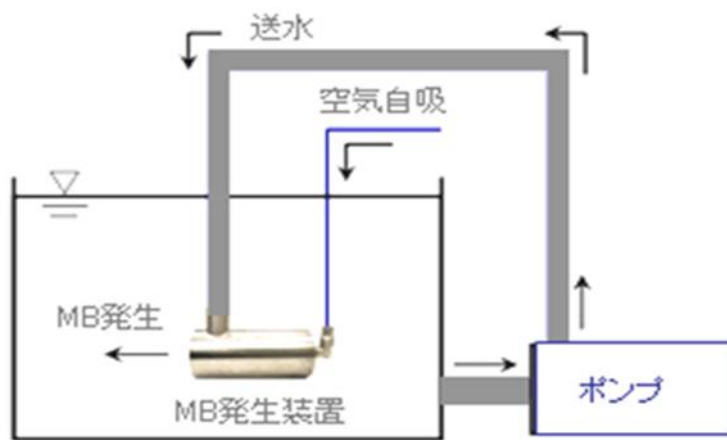


図 1-8 マイクロバブル生成方法ⁱ

1 2 ナノバブル水

2 ナノバブルは，一般的には1マイクロメートル以下の
3 ナノ単位の泡がナノバブルと呼ばれている．本研究では，
4 せん断法で生成したナノバブルを用いた(図1-9,1-10)．

5



6

7 図1-9 使用したせん断型バブル生成装置

8



9

10 図1-10 せん断部拡大図

11

12

第 7 節 本研究の目的

本研究では，機能水の中でも特にアルカリ性電解水，循環式電解水，銀イオン水，ファインバブル水を対象に，基本特性から機能水としての科学的測定を把握し，応用事例として既存法と比較することで，代替の可能性を明らかにすることを目的に研究をおこなった．本論文は，この章を第 1 章として，全 7 章から構成されており，次章以降では以下のような事項が取り扱われている．第 2 章では，アルカリ性電解水の表面張力，浸透圧，飽和溶解度，解離度の計測を行い，機能水の評価を行った．第 3 章では，強アルカリ性電解水の有効利用とし，芋脂の洗浄効果を既存の薬剤と比較し，その差異から洗浄の機序について考察した．第 4 章では，銀イオン水の殺菌・抗菌効果及び製氷機に有効利用する方法について検証した．第 5 章には銀イオン水及び循環式電解水の有効利用について検証した．大豆加工工程における銀イオン水・循環式電解水の利用や，この銀イオン水・循環式電解水を用いた植物栽培について検討した．第 7 章を総括とした．

1

2

3

4

5

6

7

8

第 2 章 電解水の機能水としての評価

9

10

11

12

13

14

15

16

第 1 節 電解水の特性 1 表面張力

背景及び目的

近年，環境汚染の問題から環境負荷が少なく有用な水として機能水の研究が盛んである^{41,42)}．機能水とは，人為的な処理によって再現性のある有用な機能を獲得した水溶液の中で，処理と機能に関して科学的根拠が明かにされたもの，及び明かにされようとしているもの，と日本機能水学会は定義している．機能水には様々な効果が報告されているが，これらの研究は供用事例に関する報告が主で，その現象を理論的にアプローチされていないものが多い．強酸性電解水の殺菌メカニズムに関しては多くの理論的な検証が行われ，その殺菌メカニズムが次亜塩素酸（ HClO ）によるものであることが証明された^{43,44)}．また，同時に生成される強アルカリ性電解水（以下，AIEW）に関しては，油脂やタンパク質の洗浄に関する事例から，洗浄メカニズムの主因が水酸化物イオンによるものであることが示されている^{45,46)}．先の研究報告により，我々は AIEW にてバイオフィilm や芋脂の洗浄効果のメカニズムを現象から検討するために，AIEW の特徴である塩基性，バブルの含有を擬似的に作製し，その洗浄効果について実験を行った．結果は純水 \leq バブル水 \leq 塩基性水

1 \leq 疑似水 \leq AIEW となり，繰り返して行っても平均では

2 AIEW の洗浄効果が最も高い傾向にあった⁴⁷⁾.

そこで本研究では，一般に表面張力が下がると界面活性効果が上がり，洗浄効果が向上することが知られていることから，AIEWの表面張力の測定及び水酸化ナトリウム水，ナノバブル水，水酸化ナトリウム水をバブル化した水溶液との比較を行った。

材料及び方法

1. 供試水

本実験を行うために，AIEWの特徴である塩基性，気泡含有（バブル）から，供試水には水酸化ナトリウム水，ナノバブル水，水酸化ナトリウム水をバブル化した水溶液を用いた．

強アルカリ性電解水はホシザキ電機（株）製有隔膜式電解水生成装置 ROX-20TA を用いて生成した．被電解水には鹿児島大学が管理する簡易上水，電解補助剤には（公財）塩事業センター製塩化ナトリウムを用いた．電解条件 $14\text{ A} \cdot 16\text{ V}$ ， $10\text{ A} \cdot 12\text{ V}$ ， $6\text{ A} \cdot 8\text{ V}$ にて生成して用いた．水酸化ナトリウム水はナカライテスク（株）製を用いて pH10，11，12 に調製した．ナノバブル水はせん断器（図

2-1, 図 2-2) を用いて作製した。また, ナノバブル水は
純水及び水酸化ナトリウム水で作製した。全ての供試水
の温度はタイテック(株)製の THERMO MINDER を用い
て 25℃ に設定した。

2. 供試水の物性

供試水の物性値を表 2-1 に示した。酸化還元電位(ORP)
は AIEW のみマイナスを示した。電気伝導度(EC)は純
水とナノバブル水において, $2\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下を示した。溶
存水素(DH)は水素バブルが発生する AIEW のみ見ら
れた。温度は全ての供試水で $25\pm 2^\circ\text{C}$ であった。

3. 表面張力の測定

表面張力の測定法には種々の方法があるが, ここでは
比較的迅速で正確に測定できる吊環法⁴⁸⁾を用いた。不
動工業(株)製レオメーターに接続した環(直径 3cm)
を, シャーレに入れた試料水(30mL)中より一定速度
(2cm/min)で引き上げる時の引上力及び変位量を日置
電機(株)製データロガーで同時に記録した。最大引上
力 P_{max} 及びそのときの変位量 h より次式により表面張
力 T を求めた。

$$T = \{ P_{\text{max}} / 2\pi(r_1 + r_2) - (r_1 - r_2)\rho gh / 2 \} \times 10^{-5}$$

ただし, r_1 , r_2 は環の外半径及び内半径, ρ は水の密度,

1 g は重力加速度， π は円周率である⁴⁹⁾．なお，測定時に
2 は室温を $25 \pm 1^\circ\text{C}$ に保ち試料水の温度を一定に保った．

3 4. 統計処理

4 実験はそれぞれの条件で 15 回繰り返し行った．統計
5 処理として，一元配置分散分析及び Tukey-Kramer の多
6 重比較検定を用いた．有意水準は 5% とした ($p < 0.05$)．

7

8 結果及び考察

9 1. 各供試水の表面張力

10 純水，水道水，AIEW の表面張力を図 2-3 (a) に示し
11 た．純水，水道水よりも AIEW の方が，表面張力が低か
12 った．また，電流及び電圧を上げると，表面張力が低下
13 した．このことより，AIEW の低い表面張力が洗浄力の高
14 さの一つの要因であると考えられる．

15 異なる生成時間によるナノバブル水の表面張力の変
16 化を図 2-3 (b) に示した．生成時間は 15 分，30 分，45
17 分，60 分とした．15 分から 60 分まで全て表面張力は同
18 等であった．また，純水とも表面張力は同等であった．
19 このことから，バブルは表面張力の変化の要因ではない
20 と言える．また，次回からのナノバブル水における表面
21 張力は生成時間 15 分で計測することとした．

異なる pH による水酸化ナトリウム水の表面張力を図 2-3(c) に示した。水酸化ナトリウム水は pH10~12 の間で、どの pH でも同等の表面張力であった。また、純水とも同等の表面張力であった。このことから、10~12 の範囲では、pH の違いは表面張力変化の要因ではないと言える。

水酸化ナトリウム水、ナノバブル水、水酸化ナトリウム水にナノバブルを発生させた水溶液、そして AIEW の表面張力を図 2-4 に示した。AIEW が最も低い表面張力を示した。このことから、AIEW の表面張力の低下はバブルや pH 以外からも影響を受けていると分かる。バブルや pH 以外から影響を受けているとなると、水の構造が変化したと推察できる⁵⁰⁾。水の構造に関する成書は多い^{51,52)}が、電気分解した時の強アルカリ性電解水の物性変化のメカニズムについては、現在のところ不明な点が多い。今後、アルカリ性電解水の効果と物性の関係をもより明確にし、食品工業及び農業分野への利用について検討する必要がある。

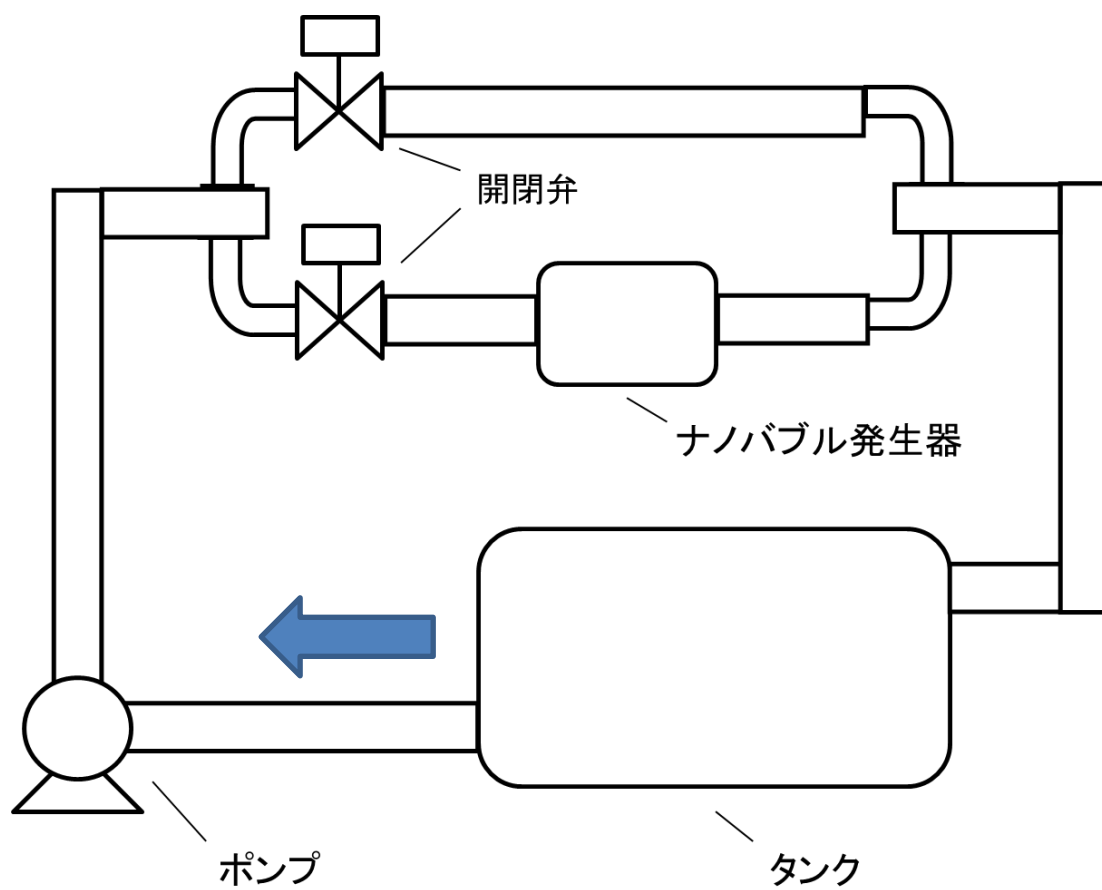
要約

AIEW の表面張力の測定及び水酸化ナトリウム水、ナノバブル水、水酸化ナトリウム水にナノバブルを発生さ

1 せた水溶液との比較を行った．これは，我々の過去の研
2 究で，環境に低負荷である AIEW がバイオフィルムや黒
3 カビ，焼酎の芋脂の洗浄に効果があることを証明し，ま
4 た，油脂やタンパク質に対する洗浄効果があると報告さ
5 れているが，このような現象に対する理論的解析・影響
6 因子についての体系的な報告がなかったからである．
7 まず，純水，AIEW の表面張力を測定した．純水よりも
8 AIEW の方が，表面張力が低かった．また，電流・電圧を
9 上げると，表面張力が低下した．このことより，AIEW の
10 低い表面張力が洗浄力の高さの一つの要因であると言え
11 る．次に，異なる生成時間によるナノバブル水の表面張
12 力を測定した．15 分から 60 分まで全て表面張力は同等
13 であり，純水とも表面張力は同等であった．このことか
14 ら，バブルは表面張力の変化の要因ではないと言える．
15 次に，異なる pH による水酸化ナトリウム水の表面張力
16 を測定した．水酸化ナトリウム水はどの pH でも同等の
17 表面張力であり，純水とも同等の表面張力であった．こ
18 のことから，pH の違いは表面張力変化の要因ではないと
19 言える．最後に，水酸化ナトリウム水，ナノバブル水，
20 水酸化ナトリウム水にナノバブルを発生させた水溶液，
21 そして AIEW の表面張力を測定した．AIEW が最も低い表

1 面張力を示した。

2



3

4

5 図 2-1 循環型ナノバブル発生装置

6

7

8

9

10

11

1

2



3

4

5 図 2-2 ナノバブル発生器

6

7

8

9

10

11

12

13

1 表 2-1 各 供 試 水 の 物 性

	pH	ORP	EC	DO	DH	温度
純 水	-	440 ±21	1.8± 0.97	5.7± 0.58	0	24± 0.58
水 道 水	6.4± 0.20	510 ±31	270± 6.1	7.9± 0.16	0	25± 1.1
ナノバブル水 15 分	-	450 ±20	1.1± 0.22	7.5± 0.51	0	25± 1.6
ナノバブル水 30 分	-	460 ±19	0.94± 0.067	7.6± 0.49	0	26± 1.7
ナノバブル水 45 分	-	466 ±20	1.1± 0.16	7.7± 0.42	0	25± 1.8
ナノバブル水 60 分	-	477 ±12	0.99± 0.1	7.8± 0.28	0	26± 1.7
水 酸 化 ナトリウ ム 水 pH10	10± 0.46	230 ±9.5	21± 2.4	7.9± 0.55	0	24± 2.2
水 酸 化 ナトリウ ム 水 pH11	11± 0.39	165 ±11	227± 3.6	8.2± 0.15	0	24± 2.3
水 酸 化 ナトリウ ム 水 pH12	12± 0.49	83± 6.1	2300± 40	8.5± 0.08	0	24± 1.9
アルカリ性 電 解 水 6A・8V	11± 0.13	-820 ±5.6	1700± 21	6.6± 0.26	0.41± 0.06	25± 1.1
アルカリ性 電 解 水 10A・12V	11± 0.23	- 850 ±13	1800± 130	5.9± 0.19	0.81± 0.75	25± 1.2
アルカリ性 電 解 水 14A・16V	12± 0.33	- 867 ±16	1900± 250	5.6± 0.33	0.78± 0.75	25± 0.87

擬 似 水 p H 1 0	9.9 ±	2 2 0	1 8 ±	7.4 ±	0	2 5 ±
	0.2 6	± 1 9	1.6	0.7 9		1.3
擬 似 水 p H 1 1	1 1 ±	1 5 0	2 2 0 ±	7.6 ±	0	2 5 ±
	0.3 8	± 6.5	2.6	0.5 7		0.9 6
擬 似 水 p H 1 2	1 2 ±	1 0 0	1 7 0 0 ±	8.0 ±	0	2 5 ±
	0.1 1	± 2 7	1 2 0 0	0.4 3		0.8 8

1

2 O R P : 酸 化 還 元 電 位 , E C : 電 気 伝 導 度 , D O : 溶 存 酸 素 ,
3 D H : 溶 存 水 素

4 擬 似 水 と は 水 酸 化 ナ ト リ ウ ム 水 に ナ ノ バ ブ ル を 発 生 さ せ
5 た 水 溶 液 で あ る

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

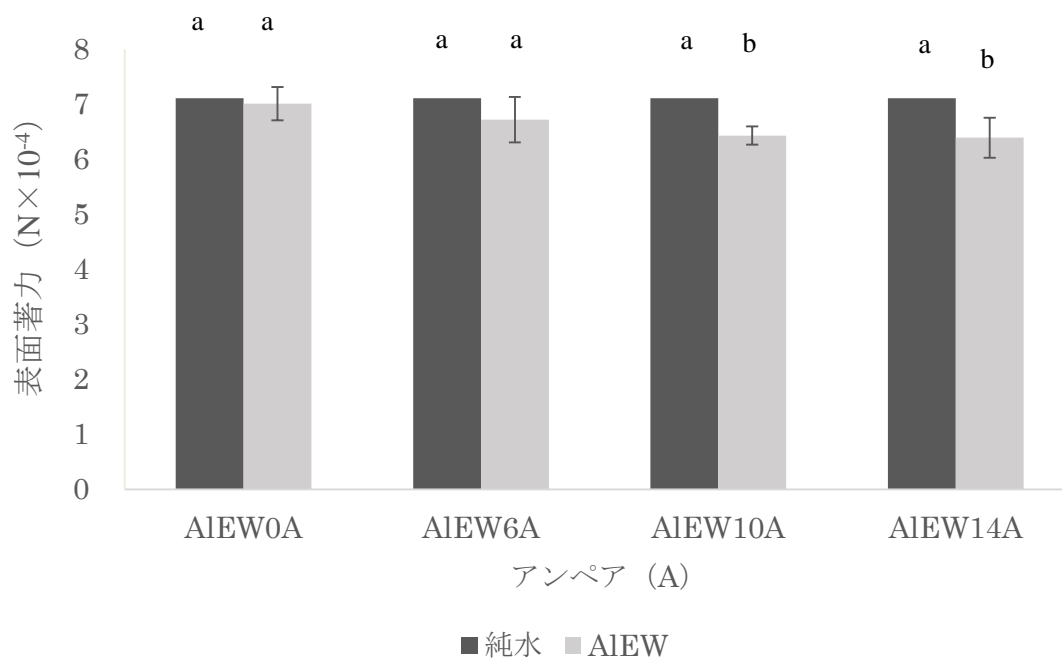


図 2-3 (a) 強アルカリ性電解水の電流と表面張力の関係

縦線は標準偏差を示す。

異なるアルファベットは Tukey の多重検定により 5%水準で有意差があることを示す。

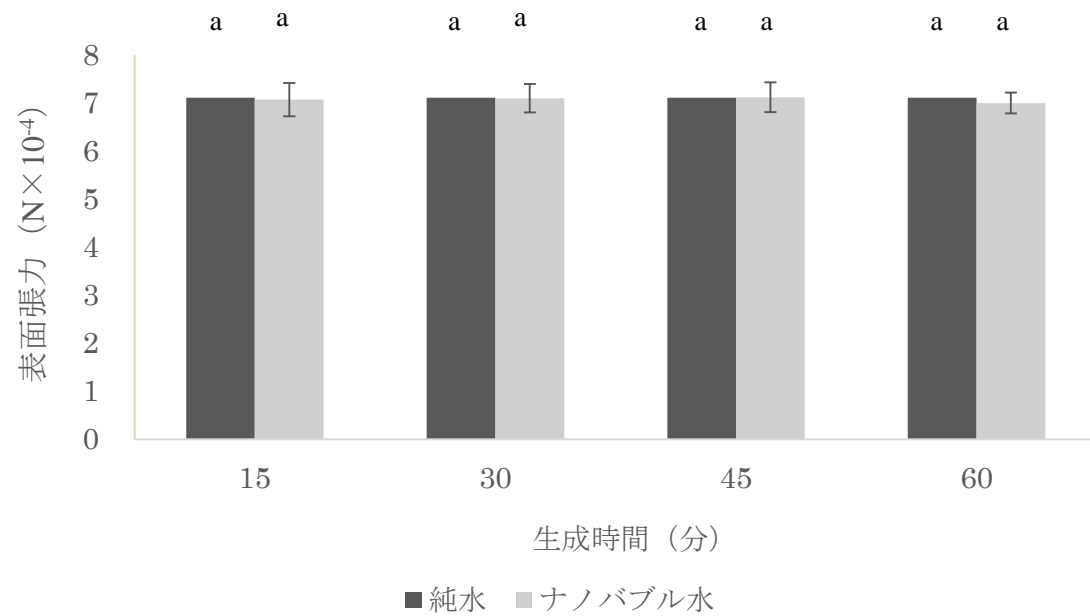


図 2-3 (b) ナノバブル水の生成時間と表面張力の関係

縦線は標準偏差を示す。

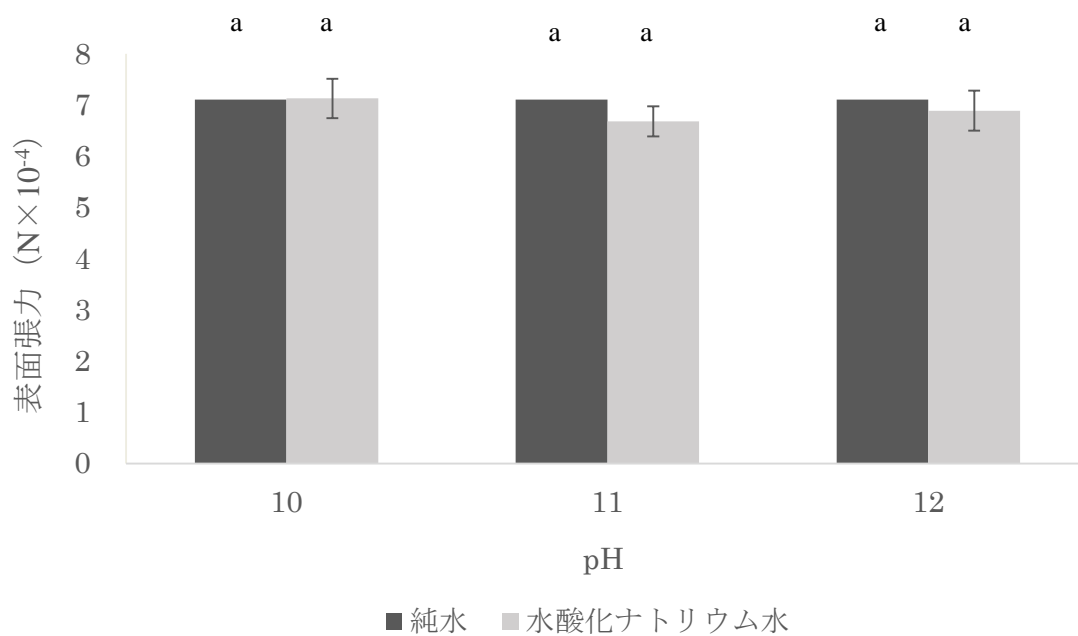


図 2-3 (c) 水酸化ナトリウム水の pH と表面張力の関係

縦線は標準偏差を示す。

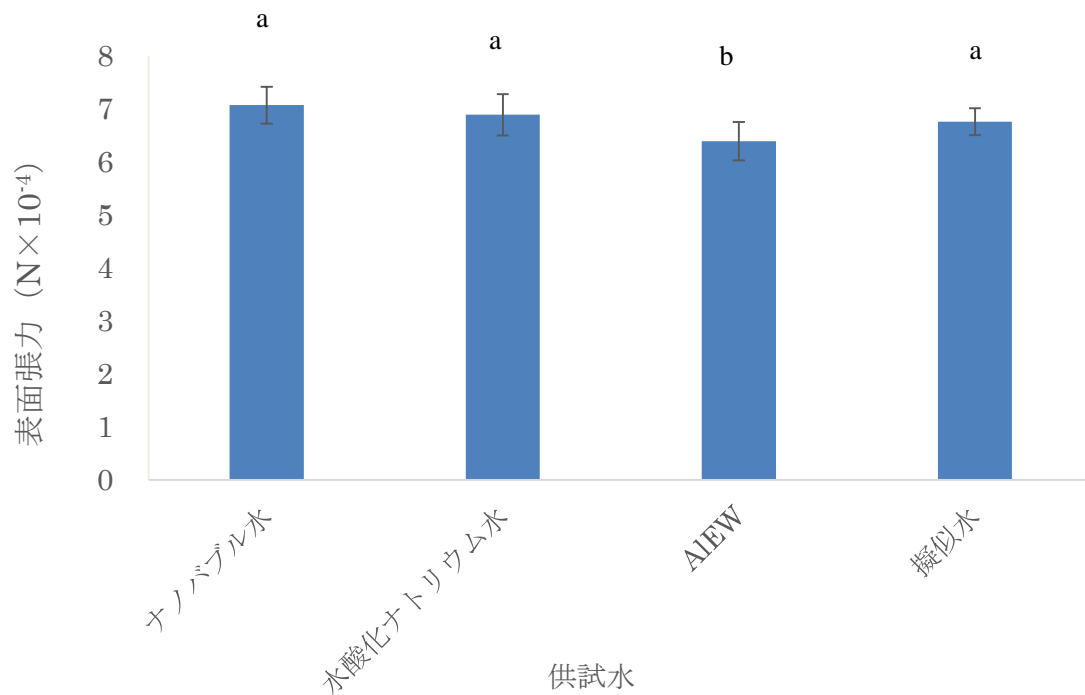


図 2-4 ナノバブル水，水酸化ナトリウム水，水酸化ナトリウム水にナノバブルを発生させた水溶液，AIEW の表面張力の比較

縦線は標準偏差を示す．

異なるアルファベットは Tukey の多重検定により 5% 水準で有意差があることを示す．

擬似水は水酸化ナトリウム水にナノバブルを発生させた水溶液である．

第 2 節 電 解 水 の 特 性 2 浸 透 圧

背 景 及 び 目 的

近年，環境汚染の問題から環境負荷が少なく有用な水として機能水の研究が盛んである^{21,22)}．機能水には様々な効果が報告されているが，これらの研究は供用事例に関する報告が主で，その現象を理論的にアプローチされていないものが多い．

そこで，本実験では半透膜を用いた透析用セルを使って，低分子物質・イオンを透過させることにより各試料水の浸透圧を測定し，他の試料水との比較によって AIEW の浸透圧について，各種試料と比較検討した．

材 料 及 び 方 法

1. 供 試 水

供試水は AIEW，水酸化ナトリウム水，マイクロバブル水，AIEW 疑似水を用いた．AIEW は電解水生成装置（ホシザキ電機株式会社，ROX-20TA）によりそれぞれ 6，10，14A で生成した．水酸化ナトリウム水は，純水に 0.1mol/L 水酸化ナトリウム水溶液（ナカライテスク株式会社）を加え，pH を 10，11 に調製した．マイクロバブル水は，

1 ポンプ旋回せん断式バブル生成装置を用いて，純水中に
2 空気を $0.8\text{L}/\text{min}$ 流入させ，30 分間循環して生成した．
3 AIEW 擬似水として，マイクロバブル水に $0.1\text{mol}/\text{L}$ 水酸
4 化ナトリウム水溶液を加え，pH を 10，11 に調製して生
5 成した．

6

7 2. 浸透圧の測定方法

8 生成した試料水を 0.1mL ずつフナコシ株式会社製，浸
9 透計測容器 Slide-A-Lyzer MINI Dialysis Units 0695-50 に
10 入れ（図 2-5），この「試料水+測定容器」の質量を，電子
11 天秤で計測した．計測し終えたものを，純水を 500mL 入
12 れた 1000mL ビーカーに浮かせ，風・振動のない場所で
13 室温を 25°C に保った状態で 5 時間放置した（図 2-6）．そ
14 の後，再度「試料水+測定容器」の質量を計測した．各試
15 料水の浸透圧によって移動した水を
16 放置後の質量（mg）－放置前の質量（mg）
17 の計算式より求め，この式から算出される純水の移動量
18 を以て各試料水の浸透圧とした．

19

20 3. 統計処理

21 実験はそれぞれの条件で 15 回繰り返し行った．一元

1 配置分散分析及び Tukey-Kramer の多重比較検定を用い、
2 有意水準は 5% とした ($p < 0.05$) .

3

4 結果及び考察

5 1. AIEW の各電解電流における浸透圧

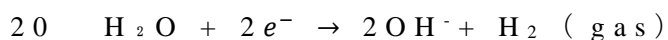
6 6A, 10A, 14A の 3 つの電解電流で生成した AIEW にお
7 いて、移動した水の量を図 2-7 に示す。結果として、3 つ
8 の AIEW に有意差は見られなかった。

9

10 2. 各供試水の浸透圧

11 全ての試料水の浸透圧測定結果を図 2-8 に示す。AIEW
12 は、アルカリ水、マイクロバブル水、AIEW 擬似水と比較
13 して浸透圧が高かった。このことから、電気分解を行う
14 ことによって浸透圧が高まった。したがって、AIEW は他
15 の試料水と比較して汚れに対して浸透しにくいという事
16 が分かった。

17 浸透圧はイオン濃度の差によって引き起こされるもの
18 であり、2 つの溶液中のイオン濃度差が高くなるに伴っ
19 て浸透圧も高くなる。電気分解によって、陰極では



21 という反応が起こっている⁵³⁾ ため、水酸化物イオンが

1 増加しており，さらには NaCl も含まれるため，OH⁻のみ
2 を含む NaOH 水や，AIEW 擬似水と比較して高い浸透圧
3 を有していると考えられる．

4 AIEW が高い浸透圧を有し，純水を引き込んだという
5 ことは，AIEW は汚れに対して浸透しにくいと言える．し
6 たがって，AIEW の高い洗浄効果は浸透圧によるもので
7 はなく，その他の要因によって引き起こされているもの
8 と考えられる．

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

1

2



3

4 図 2-5 透析用半透膜セル

5



6

7 図 2-6 セル放置時

8

9

10

11

12

13

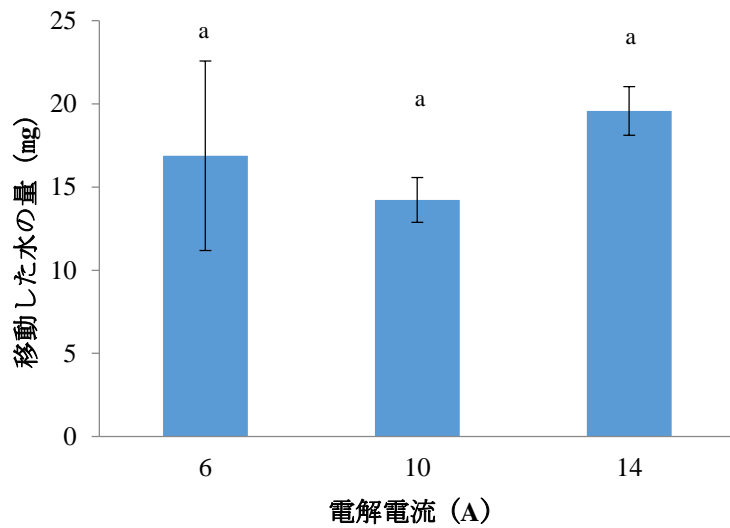


図 2-7 各電解電流（6，10，14A）で生成した試料水における移動した水の量

A1EW 6A：pH 11.00 ± 0.26 A1EW 10A：pH 11.50 ± 0.18

A1EW 14A：pH 11.63 ± 0.02

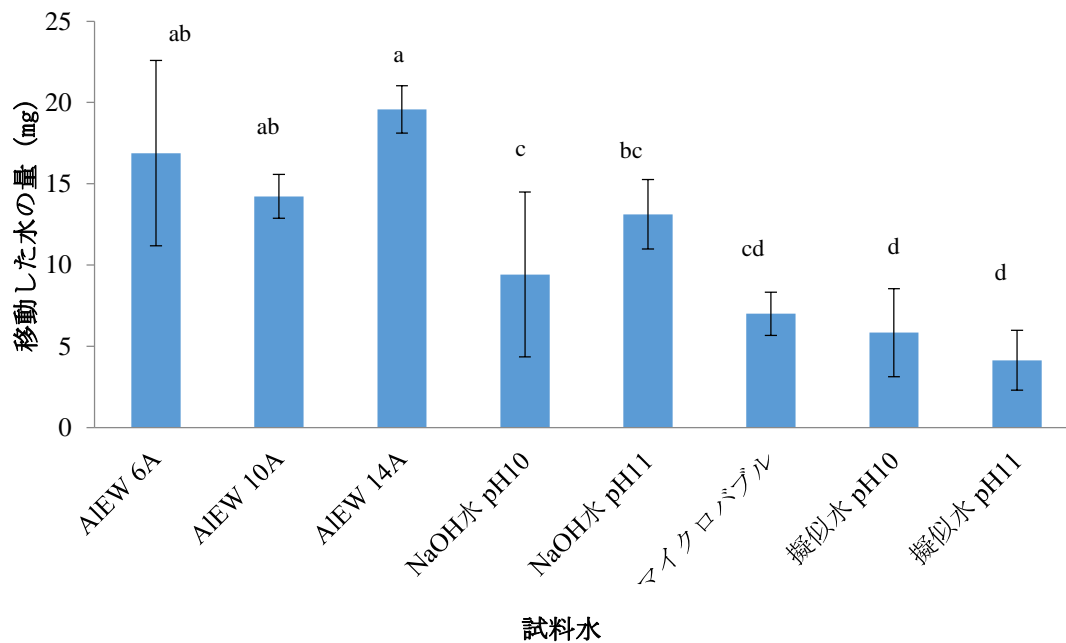


図 2-8 アルカリ性電解水，水酸化ナトリウム水，マイクロバブル水，AI EW 擬似水における移動した水の量

AI EW 6A : $\text{pH}11.00 \pm 0.26$ AI EW 10A : $\text{pH}11.50 \pm 0.18$

AI EW 14A : $\text{pH}11.63 \pm 0.02$ NaOH 水 pH10 : $\text{pH}9.97 \pm 0.05$

NaOH 水 pH11 : $\text{pH}11.05 \pm 0.02$

AI EW 擬似水 pH10 : $\text{pH}10.00 \pm 0.05$

AI EW 擬似水 pH11 : $\text{pH}11.02 \pm 0.04$

マイクロバブル水 : $\text{pH}6.92 \pm 0.80$

第 3 節 電解水の特 性 3 飽和溶解度

背景及び目的

近年，環境汚染の問題から環境負荷が少なく有用な水として機能水の研究が盛んである^{21,22)}．機能水には様々な効果が報告されているが，これらの研究は供用事例に関する報告が主で，その現象を理論的にアプローチされていないものが多い．

そこで，塩化ナトリウムを溶質として用い，AIEW の飽和溶解度について他の試料水と比較検討した．

材料及び方法

1. 供試水

供試水は AIEW，水酸化ナトリウム水，マイクロバブル水，AIEW 疑似水を用いた．AIEW は電解水生成装置（ホシザキ電機株式会社，ROX-20TA）によりそれぞれ 6A，10A，14A で生成した．水酸化ナトリウム水は，純水に 0.1mol/L 水酸化ナトリウム水溶液（ナカライテスク株式会社）を加え，pH を 11 に調製した．マイクロバブル水は，ポンプ旋回せん断式バブル生成装置を用いて，純水中に空気を 0.8L/min 流入させ，30 分間循環して生成し

1 た． AIEW 擬似水として， マイクロバブル水に 0.1 mol/L
2 水酸化ナトリウム水溶液を加え， pH を 11 に調製して生
3 成した．

4

5 2. 飽和溶解度の測定方法

6 500 mL 三角フラスコに各試料水を 150 mL 入れたもの
7 を，それぞれの試料水につき 2 本用意した．その試料水
8 の片方に，飽和するまで塩化ナトリウムを溶解させた．
9 塩化ナトリウムが飽和した試料水と，もう片方の試料水
10 の 2 つを 25°C に保ったウォーターバスに入れ，30 分間
11 放置した（図 2-9）．その後，それぞれの試料水をピペッ
12 トで 10 mL 採取し，その質量を電子天秤で測定した．飽
13 和溶解度の計算式は，
14 食塩を溶解させた試料水の 10 mL あたりの質量（g）－試
15 料水の 10 mL あたりの質量（g）
16 である．

17

18 3. 統計処理

19 実験はそれぞれの条件で 15 回繰り返し行った．統計
20 処理として一元配置分散分析及び Tukey-Kramer の多重
21 比較検定を用い，有意水準は 5% とした（ $p < 0.05$ ）．

結果及び考察

1. AIEW の電解電流の違いによる食塩飽和溶解度

6 A, 10 A, 14 A の電解電流で生成した AIEW の食塩飽和溶解度を図 2-10 に示す．今回の実験では，電解電流と飽和溶解度との間に相関関係はなかった．また，純水との差も見られなかった．

2. 各供試水の食塩飽和溶解度

純水，AIEW，NaOH 水，AIEW 擬似水の食塩飽和溶解度を図 2-11 に示す．今回の実験では，AIEW は純水と比較して，若干高い飽和溶解度をもち，同じ構成要素を持つ AIEW 擬似水とは大きな差が見られることが分かった．したがって，AIEW は高い飽和溶解度を持つことから，肥料や薬品を溶かしやすい溶媒であり，使用範囲の拡大が考えられる．



図 2-9 食塩溶解

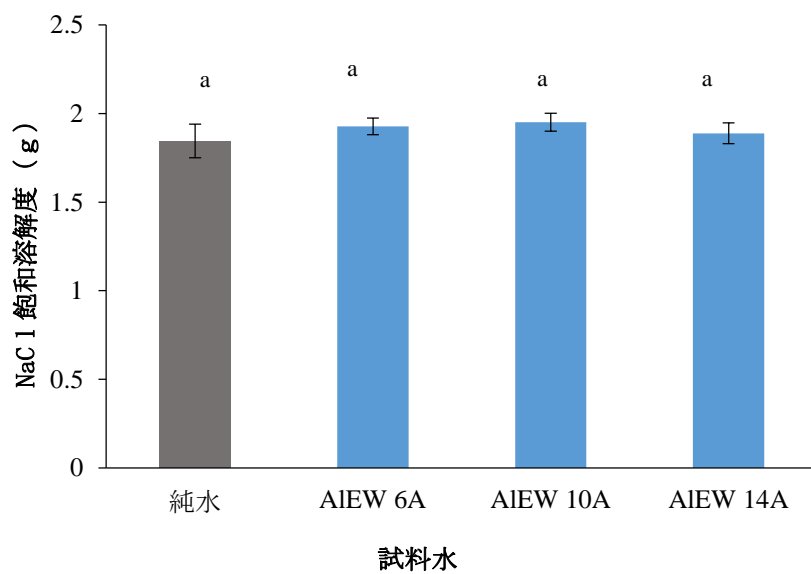


図 2-10 電解強度の違いによる NaCl 飽和溶解度
 AI EW 6A : $\text{pH} 10.77 \pm 0.04$ AI EW 10A : $\text{pH} 11.36 \pm 0.22$
 AI EW 14A : $\text{pH} 11.63 \pm 0.11$

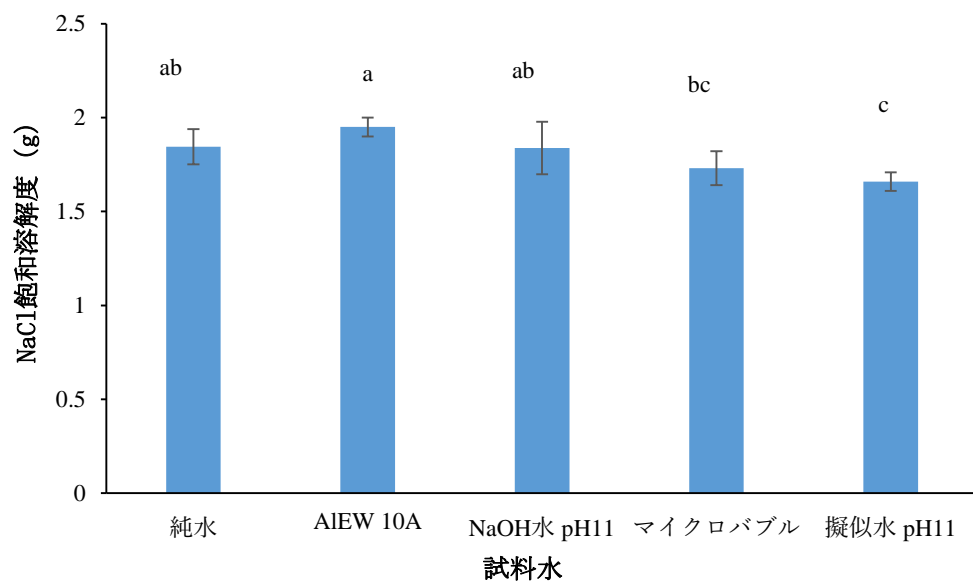


図 2-11 純水，アルカリ性電解水，水酸化ナトリウム水，マイクロバブル水，AI EW 擬似水の NaCl 飽和溶解度

AI EW 10A : $\text{pH } 11.36 \pm 0.22$ NaOH 水 $\text{pH } 11 : \text{pH } 11.25 \pm 0.40$
 マイクロバブル水 : $\text{pH } 8.17 \pm 0.94$
 AI EW 擬似水 $\text{pH } 11 : 11.14 \pm 0.42$

第 4 節 電 解 水 の 特 性 4 解 離 度

背 景 及 び 目 的

自然界における水は，極めて弱い電解質であり，低い濃度で水のイオンへの解離平衡をしている⁵⁴⁾．ただし， H^+ は不安定であるため実際には単独ではなく水和した H_3O^+ (ヒドロニウムイオン)として存在している⁵⁴⁾． $25^{\circ}C$ では $[H^+]=[OH^-]=10^{-7} \text{ mol/L}$ であり，イオン積は $[H^+][OH^-]=10^{-14} \text{ mol/L}$ となる．このイオン積は温度上昇に伴い増加し， $99^{\circ}C$ では $7.2 \times 10^{-13} M^2$ となる⁵⁴⁾．現在ほとんどのガラス電極 pH 計には，温度補償機能がついており，この補正ができるようになっている．しかし，この温度補正は水のイオン積が $25^{\circ}C$ で 10^{-14} であるということに基づいて校正するため，水のイオン積自体の変化は考慮していない．

そこで本実験では，ガラス電極 pH 計の温度誤差を利用して，電気分解を行った水の解離について調べた．具体的には，中和滴定を行い 2 点の解離点における pH の差 (ΔpH) を求めることにより，純水，水酸化ナトリウム水，AIEW 擬似水，バブル水，電気分解処理により生成した AIEW においてイオン積の違いについて以下の様に

1 検討した。

2 1, NaOH を添加した純水の温度による第 1・第 2 解離点
3 (ΔpH) と, $\text{pH}4.9$ 標準液指示値の ΔpH の関係
4 2, 各機能水の ΔpH による水の特性変化

5

6 材料及び方法

7 1. 供試水

8 1) 純水

9 逆浸透膜と連続イオン交換による純水生成装置
10 (Merck Millipore, Elix Essential UV3) を用いて生成し
11 た。

12 2) マイクロバブル水

13 ポンプ旋回せん断式バブル生成装置を用いて, 純水中
14 に空気を 0.8 L/min 流入させ, 30 分間循環して生成した。

15 3) アルカリ性電解水 (AIEW)

16 電解水生成装置 (ホシザキ電機株式会社, ROX) によ
17 りそれぞれ 6 A , 10 A , 13 A で生成した。

18 4) 水酸化ナトリウム水

19 純水に水酸化ナトリウム水溶液 (ナカライテスク株式
20 会社) を加え, 先述したそれぞれのアンペアで生成した
21 AIEW と同等の pH に調製した。

1 5) AIEW 疑似水

2 マイクロバブル水に水酸化ナトリウム水溶液を加え、
3 pH を AIEW と同等にして作製した。

4 2. 解離点間 Δ pH の持つ意味の確認と温度誤差検量モデ 5 ルの作成

6 500 mL 三角フラスコに純水 270 mL と水酸化ナトリウム
7 水溶液を混合したものと重曹 1.26 g (試料水 100 mL あた
8 り 4.2 g) を入れ、ウォーターバスに 30 分間浸し (図 2-
9 12), 温度管理を行った。その後、対象の温度になってい
10 ることを温度計で確認し、ビーカーに試料水を 50 mL 採
11 り、HCl で滴定を行った。中和滴定は京都電子工業株式
12 会社製自動電位差測定滴定器 AT710 を用いた (図 2-13)。
13 温度管理のため、滴定中も試料水を入れたビーカーをウ
14 ォーターバスに浸したまま行った (図 2-14)。この実験を
15 3 回行い、第 1 解離点と第 2 解離点 (図 2-15) を求め、
16 その間の pH 差 (Δ pH) を 25, 30, 35, 40 °C において求
17 めた。その温度帯での Δ pH を、JIS が定める pH4, 9 の
18 標準液の各温度における Δ pH (表 2-2) と比較した。

19 3. 各機能水の Δ pH による水の特性変化

20 各試料水を生成し、20, 25, 30, 35, 40, 50 °C におい
21 て中和滴定を行った。ただし、AIEW については、水酸化

1 ナトリウム水溶液は加えず，電解水 300 mL に重曹を 1.26
2 g 入れたものを試料水とした．

3 4. 統計処理

4 実験は 3 回繰り返し行い，一元配置分散分析及び
5 Tukey-Kramer の多重比較検定を用い，有意水準は 5% と
6 した ($p < 0.05$) .

7

8 結果及び考察

9 1. 純水による検量モデル

10 20℃ から 40℃ における pH4,9 付近の標準液の Δ pH と，
11 純水の 2 つの解離点間 Δ pH の比較結果を図 2-16 に示す．
12 この結果から，pH 標準液と今回測定した純水の Δ pH の
13 温度変化グラフはほぼ平行であることから，純水の解離
14 点間 Δ pH は各温度帯において標準液の Δ pH と同じ挙動
15 を示すことが確認できた．

16 純水における温度誤差は，図 2-16 のグラフの傾きがほ
17 ぼ同じであることから，標準液と同等の差であることが
18 分かる．ガラス電極 pH 計の温度誤差は NaHCO_3 の第 1・
19 第 2 解離点差 (Δ pH) から示されていることから，他
20 供試水でも同様の滴定方法で機能水の挙動変化を確認す
21 ることとした．

2. 電解電流の違いによる AIEW の解離点間 Δ pH

6, 10, 13A の電解強度で生成した AIEW を塩酸で中和滴定した際の 2 つの解離点間 Δ pH を図 2-17 に示す. 電解強度による差は見られなかったが, 純水と比較すると 30℃ において Δ pH が有意に小さいという結果が得られた. しかし, 35℃ では Δ pH は 25℃ とほぼ同等の値を示し, 40℃, 50℃ では Δ pH は再度若干低下する傾向が見られた.

通常, 水のイオン積は温度上昇に伴い増加することから, 温度上昇に伴って水の解離が進む. しかし, その原理に沿わず, 30℃ において AIEW の Δ pH が大きく下がったことは, 30℃ において AIEW が大きなエネルギーを持ち, 水の解離がより進んだと考えられる.

3. AIEW (13A), 水酸化ナトリウム水, マイクロバブル水, AIEW 擬似水の解離点間 Δ pH

AIEW(13A), 水酸化ナトリウム水, マイクロバブル水, AIEW 擬似水の解離点間 Δ pH を図 2-18 に示す. AIEW 以外は先述の通り, 温度上昇に伴って水のイオン積は大きくなり, 水の解離が上昇した. そのため, どの試料水についても温度による解離点間 Δ pH は温度の上昇に従って低下する傾向が見られたが, 大きな差は見られなかつ

1 た．

2 AIEW (13A) は 30℃ において解離点間 ΔpH が小さい
3 ため，電気分解エネルギーが与えられたことで，電解し
4 た 30℃ の水は図 2-16 の直線の式から約 113.22℃ の純水
5 と同等の解離を示すと考えられる．この活性は pH 計の
6 測定理論からすると，水の温度変化に応じた解離度の変
7 化による誤差である可能性があり，100℃ の水のイオン積
8 12.26 をさらに下回ると想定される．

9 また，純水，AIEW，水酸化ナトリウム水，ナノバブル
10 水，AIEW 擬似水の試料水の各温度における中和点間 Δ
11 pH 散布図を図 2-19 に示す．この結果から，30℃ におい
12 て AIEW はどの電解電流でも他の試料水と比較して ΔpH
13 が有意に小さい，つまり解離が進んでいることが分かる．
14 40℃ においても AIEW の ΔpH は他の試料水と比較して小
15 さいことから，30℃ ～ 40℃ にかけて AIEW の解離がより
16 進んでいることが示唆された．

17

18

19

20

21



1

2

3 図 2 - 12 滴 定 前 の 試 料 水 温 度 管 理

4

5



6

7

8 図 2 - 13 中 和 滴 定 装 置

9

10

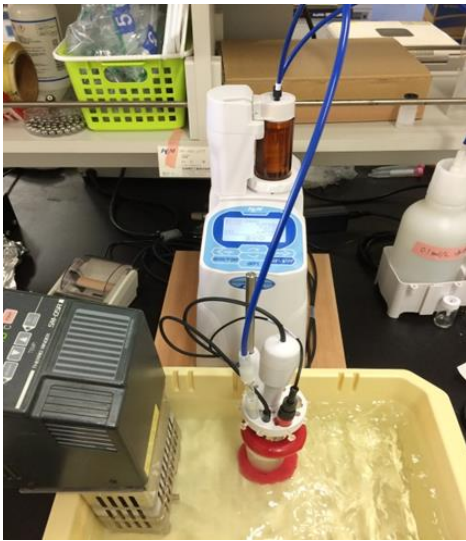


図 2 - 1 4 中 和 滴 定

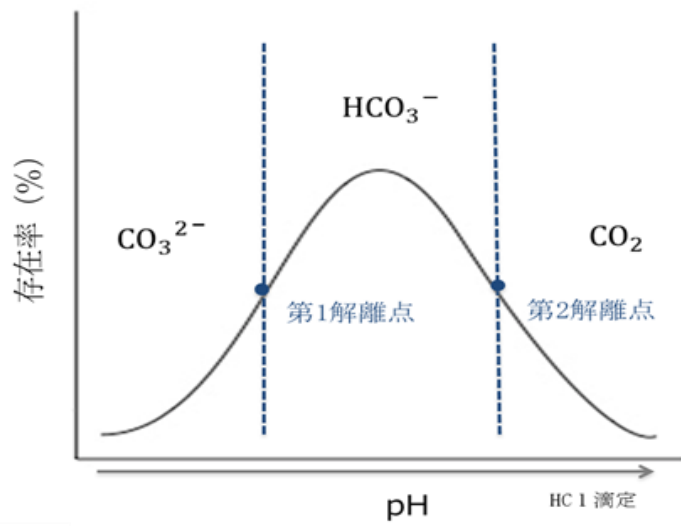


図 2 - 1 5 重 曹 の 解 離 変 化

1 表 2-2 JIS (日 本 工 業 規 格) が 定 め る pH 標 準 液 の 各 温

2 度 に お け る pH 値

3

温 度 (° C)	シ ュ ウ 酸 塩 (pH 4)	ホ ウ 酸 塩 (pH 9)	△ pH
0	4.003	9.464	5.461
5	3.999	9.395	5.396
10	3.998	9.332	5.334
15	3.999	9.276	5.227
20	4.002	9.225	5.223
25	4.008	9.18	5.172
30	4.015	9.139	5.124
35	4.024	9.102	5.078
40	4.035	9.068	5.033
45	4.047	9.038	4.991
50	4.06	9.011	4.951

4

5

6

7

8

9

10

11

12

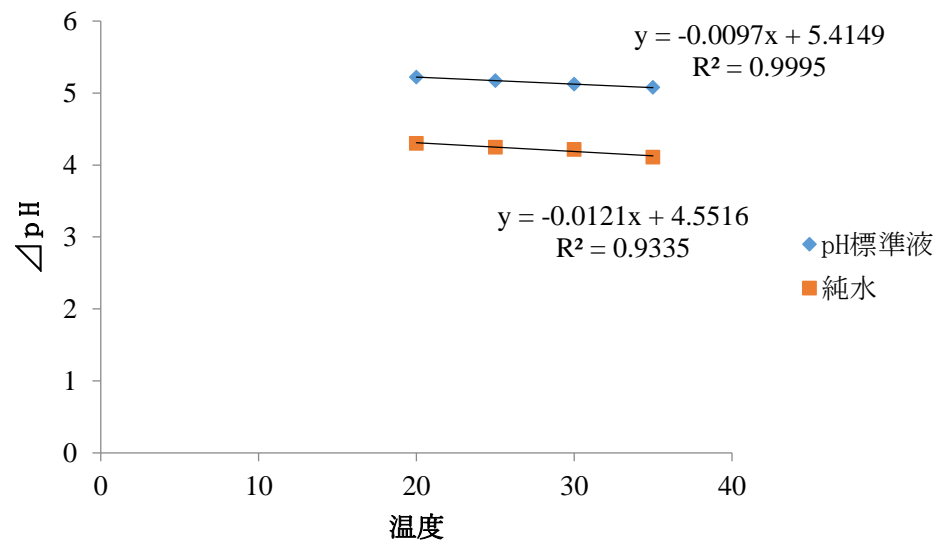


図 2-16 pH4, 9 の標準液の ΔpH , 純水の解離点における ΔpH と温度の関係

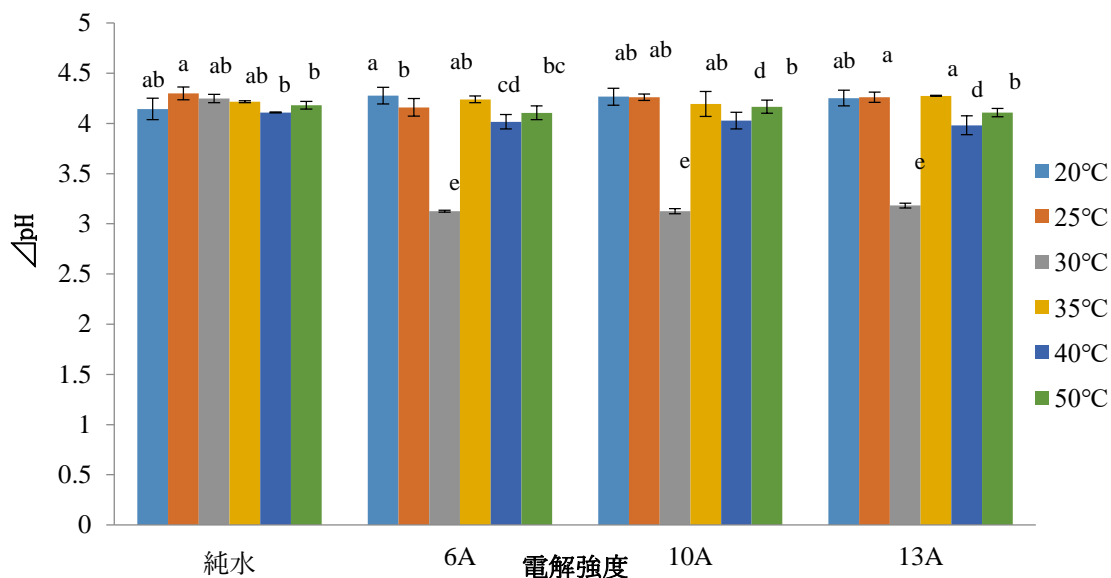


図 2-17 各電解強度（6，10，13A）で生成したアルカリ性電解水の解離点間 Δ pH

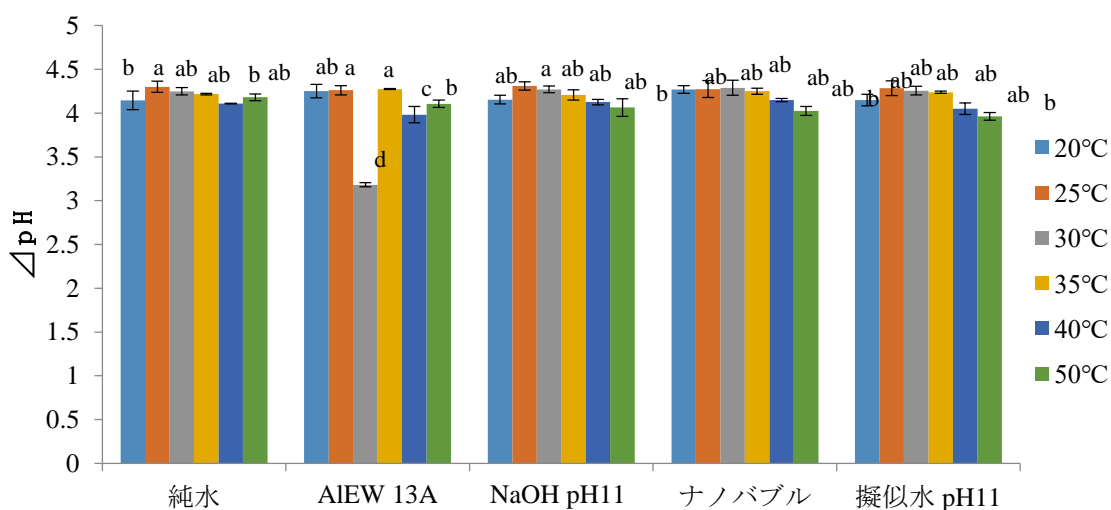


図 2-18 アルカリ性電解水，水酸化ナトリウム水，マイクロバブル水，AI EW 擬似水の解離点間 Δ pH

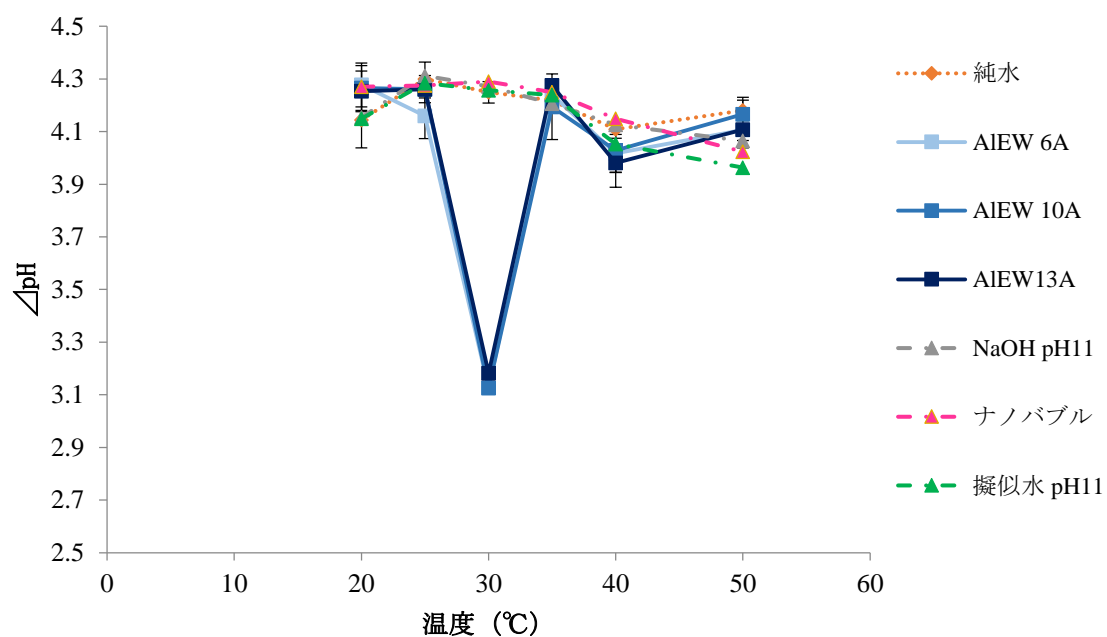


図 2-19 純水，アルカリ性電解水，水酸化ナトリウム水，
ナノバブル水，AIEW 擬似水の各温度における中和点間
 Δ pH 散布

AIEW 6A : $\text{pH} 10.35 \pm 0.21$ AIEW 10A : $\text{pH} 11.00 \pm 0.32$
AIEW 13A : $\text{pH} 11.32 \pm 0.09$ NaOH 水 pH11 : $\text{pH} 11.01 \pm 0.04$
ナノバブル水 : $\text{pH} 7.44 \pm 0.94$
AIEW 擬似水 pH11 : $\text{pH} 10.99 \pm 0.03$

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10 第 3 章 アルカリ性電解水の有効利用

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

第 1 節 アルカリ性電解水による芋脂の洗浄

背景及び目的

鹿児島県の伝統的アルコール飲料である芋焼酎は、2000年代にブームになった後、2004年をピークに醸造量が減少を続けている。各醸造所は販路を拡大するため、海外への輸出を検討し、世界貿易機関（WTO）のトリプス協定で薩摩焼酎として国際的な産地指定の表示が認められるなど、その準備が進められている⁵⁵⁾。

しかし、世界的な食品の流通には Hazard Analysis and Critical Control Point（HACCP）を基軸とした衛生管理とその開示が求められている。芋焼酎製造は経験と勘で代々受け継がれている蔵元が多く、衛生管理に関するマニュアルが存在していない蔵元も多い。その結果、清浄度を目視や指先で確認するといった、科学的根拠や数値に基づかない評価を行っている。蒸留工程で使用する施設設備や機械器具は使用終了後に洗浄するが、これも洗浄確認は目視や指先で確認となっている。食品が直接接触する機器表面の清浄度は、製品の二次汚染と密接に関係しており、清浄度を維持することが要求されている⁵⁶⁾。特に、二次発酵の際に生じる強い粘着性を持つ芋脂に対

1 して使用する洗浄剤の希釈を目安で行っており，それが
2 原因で日によって芋脂洗浄効果の差異が生じ，風味変化
3 などの問題が起きている．その結果，多くの蔵元で発酵
4 槽表面に付着した芋脂の洗浄に悩まされ，多くの時間を
5 費やしているのが現状である．

6 さらに，現場で使用されている洗剤の種類によっては
7 生物化学的酸素要求量（BOD）や化学的酸素要求量（COD），
8 全窒素（T-N）が高く，環境影響があると示されている⁵⁷⁾
9 ことから，使用済みの洗浄剤の垂れ流しによる環境汚染
10 も懸念されている．

11 このような背景から，環境に低負荷である，機能水の
12 一つであるアルカリ性電解水（以下 AIEW）による洗浄を
13 行った．AIEW は油脂や蛋白質に対する洗浄効果がある
14 と報告されている⁵⁸⁾．しかし，AIEW の何によって洗浄
15 効果が発現しているかについては触れていない．

16 本研究では，第一に，吸光度によるクリスタルバイオ
17 レットを用いた芋脂の検量モデルの作成を行った．第二
18 に，ステンレスボールとステンレスプレートに対する芋
19 脂付着の比較を行った．第三に，環境に低負荷で安全性
20 の高いことで注目されている電解水の一つであるアルカ
21 リ性電解水⁵⁹⁾の芋脂に対する洗浄効果について検討し

た．これは，通常の洗浄に用いられている洗剤（ケイポール SL）2～3％に対して，1％，2％，3％にて洗浄効果を検討した．第四に，アルカリ性電解水の洗浄メカニズムについて，pHの影響を調べるために同 pHの水酸化ナトリウム水と比較した．また，水素バブルの影響を調べるためにマイクロバブル水を用いて検討した．加えて，pHを調整した水酸化ナトリウム水にマイクロバブルを発生した水をアルカリ性電解水の疑似水として用いて，比較・検討したので報告する．

材料及び方法

1. 供試材料

芋脂を洗浄対象とした．芋脂とは焼酎製造工程の二次仕込みでタンクの壁面に付着するものである．主成分はヤラピンであり，非常に強い粘着性を持つ油脂の一種である⁶⁰⁾．八千代伝酒造株式会社（鹿児島県垂水市）から入手し，常温で保存して用いた．

2. 供試水

AIEWはホシザキ電機（株）製有隔膜式電解水生成装置 ROX-20TAを用いて生成した．電解原水には当実験室水道水，添加電解質には（公財）塩事業センター製塩化ナ

トリウムを用いた．電解条件 18A, 12V にて生成して得られた AIEW を用いた．水酸化ナトリウム水はナカライテスク（株）製を使用した．マイクロバブル水は三相電機（株）製マグネットポンプを使用して生成し用いた．マイクロバブル水は純水及び水酸化ナトリウム水で作製した．ケイポール SL はケイセイ化学工業（株）製であり，1%，2%，3%に希釈して用いた．これは，食品工場用中性洗剤で，成分は陰イオン界面活性剤，非イオン系界面活性剤，キレート剤，pH 調整剤，水からなる．ケイポール SL は，一般的に使用されている工業用洗剤の代表として他供試水との比較・検討の為に使用した．全ての供試水の温度はタイテック（株）製の THERMO MINDER を用いて 25℃ に設定した．

14 3. 芋脂溶液の作製方法

芋脂をエタノール(99.5%)に飽和状態になるまで溶解させ，3000rpm で 5 分間遠心分離した後に上澄み液を採取した．その後上澄み液を純水で 80%に希釈し，再び 3000rpm で 5 分間遠心分離を行い，芋脂溶液を作製した．

19 4. 芋脂の付着方法

芋脂の付着方法は 2 通り行った．被付着物の材質は，どちらも二次仕込みの際に使われるステンレスを用いた．

一つ目は，ステンレスプレートを使用するもので，80%芋脂溶液を噴霧器に入れ，ステンレスプレート 33 個に噴霧した．ステンレスプレートと噴口の幅は，前実験を行い目視で最も均一に付着したのが 4cm であったため，4 cm に保ち，約 1mg 噴霧した（図 3-1）．これをインキュベーターで 38℃，60 分乾燥させた．二つ目はステンレス球（図 3-2）を使用するものである．ステンレスプレートの場合，手作業による塗布となるため，付着量・均一性による誤差が大きく生じた．ステンレス球は機械的に行うことで誤差が少なくなるため，ステンレス球で実験を行った．80%芋脂溶液にステンレス球を浸漬させた後，シャーレに移した．そのシャーレを BIOSAN LTD. 製ミニシェーカー 3D に移し，180rpm で 5 分間振とうさせながら乾燥させた．再び 80%芋脂溶液にステンレス球を浸漬させた後，シャーレに移した．そのシャーレを振とう器に移し，220rpm で 5 分間振とうさせた．

5. 芋脂の定量方法

先行論文で，クリスタルバイオレット濃度＝バイオフィルム濃度とされている^{61,62)}．洗浄効果を観る上で相対的な濃度で構わず，濃度が直接測れない芋脂も，クリスタルバイオレット濃度に置き換えて相対的な濃度とした．

1 そこで，芋脂がクリスタルバイオレットの色素に影響を
2 与えていないことを調べた．まず，芋脂溶液を純水で
3 1000倍，10000倍希釈した．0.001%クリスタルバイオレ
4 ット溶液及び希釈した芋脂溶液をプラスチックセルに
5 1.5mLずつ入れ，(株)島津製作所製の吸光光度計UV-1800
6 で400～700nmの吸光度を測定した．

7 6. 芋脂の洗浄方法及び清浄度の定量方法

8 芋脂の付着サンプルの違いによって洗浄及び定量方法
9 を変えた．ステンレスプレートでは，ケイポール1～3%，
10 アルカリ性電解水それぞれをスポンジに3mL含ませ，乾
11 燥後のプレートを電子天秤の上に水平に置き，スポンジ
12 を $200 \pm 50 \text{ mN}$ の力で押しつけ⁶³⁾20往復させて，ステン
13 レスプレート上の芋脂を拭き取った．芋脂を拭き取った
14 ステンレスプレートを，インキュベーターで表面の水気
15 がなくなるまで38℃，60分乾燥させた．乾燥させた芋脂
16 を付着させたプレートをシャーレに入れた状態で，10mL
17 の0.1%クリスタルバイオレット溶液を滴下させ，5分間
18 置いた．その後，純水でステンレスプレート両面の染色
19 されなかったクリスタルバイオレットを洗い流した．シ
20 ャーレを変え，10mLの70%エタノールを，芋脂を付着さ
21 せたプレートに滴下させ，ステンレスプレートに付いた

1 の定量化

2 図 3-3 に示すように，583nm がピーク波長となり，芋
3 脂は吸光度に影響を与えていなかった．そこで，583nm の
4 クリスタルバイオレット量を芋脂付着量と定めた．

5 2. 芋脂付着方法の決定

6 ステンレス球はステンレスプレートに比べて誤差が
7 小さかったので，今回はステンレス球を用いて実験を行
8 った．これは，誤差が小さいほうが，再現性が高いと判
9 断したからである．また，ステンレス球の誤差が小さか
10 った原因は，球の方が機械的に付着できたからであると
11 考える．

12 3. 芋脂に対する AIEW の洗浄効果の検討

13 ステンレス球のケイポール 1%，2%，3% 及び AIEW に
14 よる芋脂除去効果を図 3-4 に示した．AIEW の物性値は
15 pH11.52～11.71，ORP－866～－881，EC3.13～4.57，
16 DO3.35～3.75，DH0.25～0.28，温度 25.9～26.3 であった．
17 ケイポールと AIEW の洗浄効果を比較すると，AIEW はケ
18 イポール 1%，2% 希釈よりも洗浄効果が高かった．AIEW
19 とケイポール 3% 希釈は同等の洗浄効果を有していた．こ
20 れらの結果より，AIEW は現状使用されているケイポー
21 ルの代替洗浄液となり得ることが示された．

4. 芋脂に対する AIEW の洗浄メカニズムの検討

ステンレス球に付着した芋脂に対する AIEW, マイクロバブル水, 水酸化ナトリウム水, 水酸化ナトリウム水にマイクロバブルを発生させた水による除去効果を図 3-5 に示した. 各供試水の物性値を表 3-1 に示す. マイクロバブル水のみ洗浄力が弱く, 他供試水の洗浄力は同等であった. つまり, 洗浄力のほとんどが水溶液のアルカリ性によるものであると示された. しかし, 有意差はないものの平均では, 水酸化ナトリウム水とマイクロバブルの相乗効果も見られた.

要約

食品製造環境下で汚染原因となっている芋脂に対する, 環境に低負荷で安全性の高いことで注目されている AIEW の洗浄効果の評価及び, そのメカニズムの検討を目的に研究を行った. まず, 吸光度によるクリスタルバイオレットを用いた芋脂の定量化では, 583nm のクリスタルバイオレット量を芋脂付着量と定めた. 次に, AIEW の洗浄効果は, 現状使用されている洗浄剤であるケイポールと同等もしくはそれ以上であった. AIEW には低いランニングコスト, 高い安全性, 環境に低負荷という利

点があるため，十分に代替できる可能性がある．最後に，
AIEW の洗浄メカニズムは，pH を調製した水酸化ナトリ
ウム水と洗浄力が同等であったことから，洗浄効果のほ
とんどは塩基性によるものであることが示された．しか
し，有意差はないものの平均では，水酸化ナトリウム水
をバブル化した疑似水の洗浄効果が高い傾向が見られた
ため，AIEW 内の水素バブルも洗浄に起因している可能
性が見られた．



1

2

3 図 3-1 ステンレスプレートサンプル

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14



1

2

3 図 3-2 ステンレスボールサンプル

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

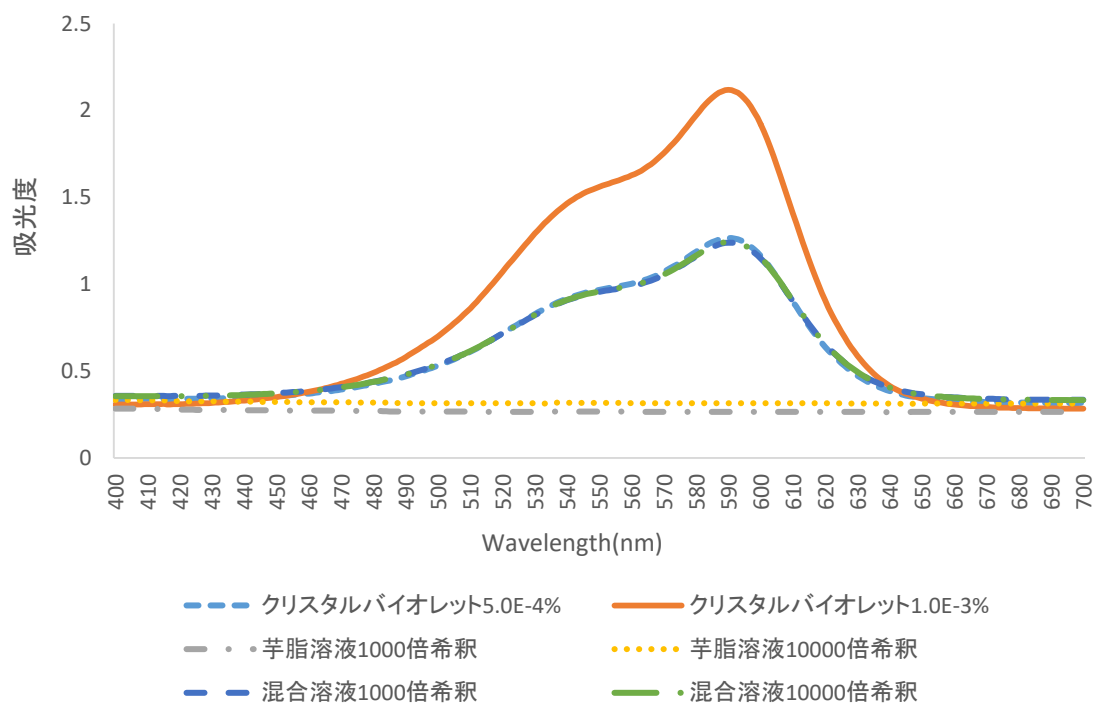


図 3-3 芋脂溶液，クリスタルバイオレット溶液，芋脂とクリスタルバイオレットの混合液の吸光度

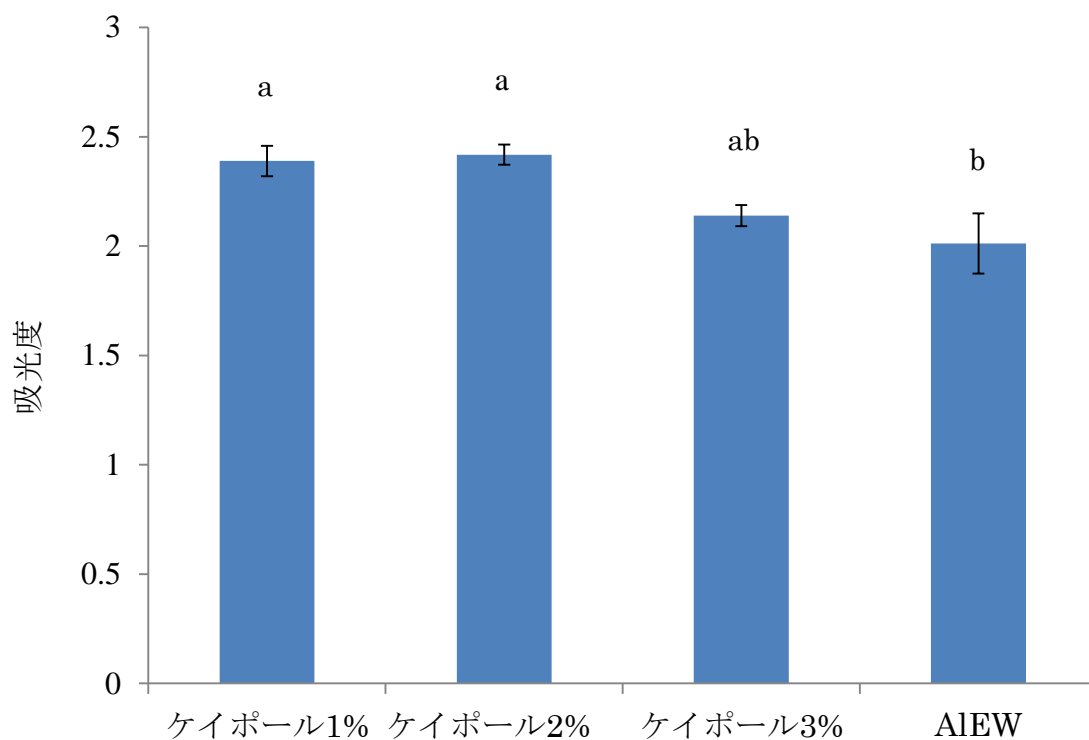


図 3-4 化学洗剤 ケイポール 及び アルカリ性電解水 (ALEW) による芋脂の除去効果

縦線は標準偏差を示す。

異なるアルファベットは Tukey の多重検定により 5%水準で有意差があることを示す。

表 3-1 アルカリ性電解水（AIEW）、水酸化ナトリウム水、マイクロバブル水、AIEW 疑似水の物性値

	pH	ORP (mV)	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	DO (mg/L)	DH (ppm)	温度 ($^{\circ}\text{C}$)
AIEW	11.6	-872	3837	3.59	0.26	26.1
水酸化ナトリウム水	11.6	110	1299	8.21	0	25.2
マイクロバブル水	6.9	304	1.2	12.7	0	25.1
AIEW 疑似水	11.6	374	1314	14.4	0	24.1

ORP：酸化還元電位，EC：電気伝導度，DO：溶存酸素，DH：溶存水素．

AIEW 疑似水とは水酸化ナトリウム水にマイクロバブルを発生させた溶液である．

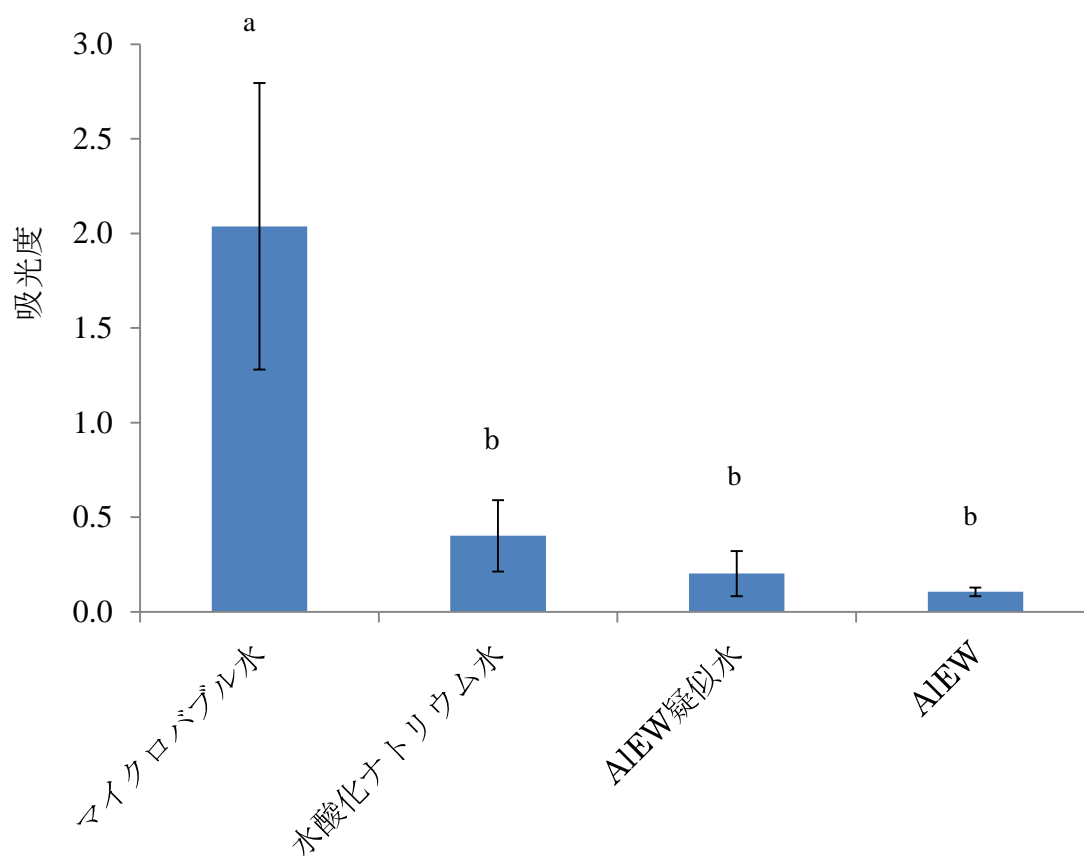


図 3-5 アルカリ性電解水 (AIEW), 水酸化ナトリウム水, マイクロバブル水による芋脂の除去効果

AIEW 疑似水とは水酸化ナトリウム水にマイクロバブルを発生させた溶液である。

縦線は標準偏差を示す。

異なるアルファベットは Tukey の多重検定により 5%水準で有意差があることを示す。

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10 第 4 章 銀イオン水の有効利用

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

第 1 節 銀イオン水・銀イオン氷を用いた

大腸菌・黒黴の殺菌抗菌効果

背景及び目的

近年，食中毒や輸入品の異物混入などによる食品事故の発生が後を絶たないことから⁶⁴⁾，国民の食に対する安全性への関心が高まり，安全な食品供給に対する消費者の要求が強まっている．これらの要求に対して，食品の事故防止を目的に，厚生労働省や農林水産省など各政府機関は各種の法規制や衛生対策，ガイドラインなどを示してきた^{65,66)}．これらの層的な規制や企業の自主衛生管理の推進により，過去 10 年間の微生物による食中毒発生件数は以前とは大きく変化し，1998 年をピークにおおむね減少傾向を示している．

しかし，減少傾向の中でも，発生事例は後を絶たない．2011 年に大規模な腸管出血性大腸菌食中毒が発生し⁶⁷⁾，2016 年だけでもおよそ 1100 件の食中毒事件が起きている⁶⁸⁾．それらの食中毒は，飲食店や食品加工現場などの大量調理施設で多く見られ，実際に，農林水産省が消費者を対象に実施したアンケート調査⁶⁹⁾によると，およそ 75% の人が製造工場や外食店舗での加工工程に不安

1 を抱えている．

2 このように，多くの消費者は日常の食生活に不安を抱
3 いており，食の安心・安全に対する要求は高い．したが
4 って，このような状況を踏まえ，近年，安心・安全な食
5 を提供するためのシステムとして，HACCP・ISO22000等
6 を導入する企業が増加している⁷⁰⁾．HACCP導入の前提
7 として，食品事業者は作業環境を衛生的に確保する必要
8 がある．作業環境の衛生的な確保は重要であるが，それ
9 らにおける過度な殺菌剤・洗浄剤の使用は環境への負荷
10 増大や，食品従事者の手荒れなどを引き起こしている
11 ^{71,72)}．

12 また，消費者にとって食品摂取の最も身近となる飲食
13 店においても，使用製氷機は衛生管理が行きとどいてい
14 ない所が見受けられる．そのため，環境や人に優しく，
15 安全を保障できる衛生管理技術の確立が望まれている．

16 そこで，本研究では，殺菌・抗菌作用のある銀イオン
17 を含む銀イオン水，銀イオン氷を用いることを検討した．
18 銀イオン水は機能水の一種である．機能水とは「人為的
19 な処理によって再現性のある有用な機能を獲得した水溶
20 液の中で，処理と機能に関して科学的根拠が明かにされ
21 たもの，及び明かにされようとしているもの」と定義さ

1 れている.

本研究では，化学薬品を使用せず，無臭で，環境や人に低負荷で安全性が高いとされる銀イオン水に着目し，大腸菌や黒黴に対する殺菌・抗菌効果を検証した．また，実際に飲食店に設置されている製氷機庫内の拭き取り検査を行い，一般生菌混入の有無を確認した．さらに，製氷機内に故意に大腸菌を混入させ，その製氷機庫内の衛生状態の変化についても検討した．

材料及び方法

1. 菌液の作製

独立行政法人製品評価技術基盤機構より入手した非病原性の大腸菌 *Escherichia coli* NBRC3972，黒黴 *Aspergillus niger* NBRC105649 を用いて菌液作成を行った．大腸菌は，シャーレー一枚分の菌を白金耳で取り，滅菌した 9ml の生理食塩水に入れ攪拌し，遠心分離した（1500rpm，10分）．下方より 1ml とり，9ml の滅菌生理食塩水に滴下して，菌液を作製した．

黒黴胞子懸濁液の作製は JIS2911 かび抵抗性試験方法を参考にした。すなわち，スルホコハク酸ジオクチルナトリウム 50 mg を純水に溶かして 1000 mL とし，そのう

1 ちの 10 mL を 50 mL 三角フラスコに入れ，高圧蒸気滅菌
2 し湿潤添加滅菌水とした．黒黴胞子を約 10^6 個/mL と
3 るようにとり，作製した湿潤添加滅菌水に加え，栓をし
4 た後，激しく振り動かして十分に分散させた．内容物を
5 ガーゼでろ過し，ろ液を黒黴胞子懸濁液とした．

6 2. 供試水

7 1) 電解銀イオン水

8 当研究室試作品である銀イオン水生成装置を用いて作
9 製した（図 4-1）．純水に重曹（ NaHCO_3 ）を加え，電気伝
10 導度（EC）を $300\mu\text{S}/\text{cm}$ に調整した重曹水を，銀イオン
11 水生成装置に流量 $1.2\text{L}/\text{min}$ で 1 分間通過させ，電気分解
12 を行って，銀イオン水の生成を図った．供試液に塩素が
13 含まれると銀イオンの生成が阻害されるので⁷³⁾，供試液
14 には塩素が含まれない重曹水を用いた．銀イオン水の銀
15 イオン濃度は 50，100 及び 200ppb に設定し，その装置操
16 作条件を表 4-1 に示す．なお，銀イオンの濃度測定は，
17 銀イオン測定器を用いて行った．

18 2) 純水（対照区）

19 メルク株式会社製の Elix Essential UV3 を用いて作製
20 した．EC が $2\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下のものを用いた．

21 3. 銀イオン水の作製と大腸菌付着プレートの設置

1 1)銀イオン水の作製

2 前述の銀イオン水生成装置を用いて作製した．供試液
3 は，銀イオンの生成速度が落ちるものの，水道水を用い
4 た．水道水の流入量を $1.2\text{L}/\text{min}$ に設定し，電流と電圧は
5 $3.5\text{mA} \cdot 2.8\text{V}$ とした．

6 2)銀イオン氷の作製

7 銀イオン氷作製のための製氷機には，株式会社ネスタ
8 ー製を用いた．1)の銀イオン水を用いて氷を作製した．
9 銀イオン氷の融氷水の銀イオン濃度は 60ppb であった．

10 3)大腸菌付着プレートの設置

11 銀イオン氷の実験のための試験片には，食品加工装置
12 に用いられているプラスチック（ABS： $30.0\text{mm} \times 30.0\text{mm}$
13 $\times t1.0\text{mm}$ ）を用いた．プラスチックプレートに，大腸菌
14 液を，スプレーを用いて 5cm の高さから，1プッシュ（ 0.2
15 $\pm 0.05\text{mL}$ ）噴きかけ大腸菌付着プレートを作製した．

16 4. 銀イオン濃度測定

17 日本イオン（株）製銀イオン濃度測定器 AGT-131 を使
18 用した．供試水の染色に日本イオン（株）製の R-1 試薬，
19 R-2 試薬及び R-3 試薬を用いた．銀イオン測定器の校正
20 にナカライテスク（株）製銀イオン標準液を用いた．

21 5. 銀イオン水による大腸菌及び黒黴の殺菌

1 1)殺菌方法

2 10mL試験管に，電解銀イオン水 50, 100, 200ppb と，
3 対照区としての純水を 9ml ずつ入れ，それらに 1ml の大
4 腸菌液または黒黴液を滴下し，攪拌した．その後，大腸
5 菌は 2, 4, 6, 12, 24 及び 48 時間，黒黴は 4, 8, 12,
6 24 及び 48 時間 25℃で静置し，殺菌効果を検証した．銀
7 イオンは感光性を持っており，供試電解銀イオン水の銀
8 イオン濃度低下を防ぐため，液が外光に触れないようア
9 ルミホイルで試験管の周りを覆った．

10 2)残存大腸菌数の測定

11 上記殺菌後の大腸菌数のカウントを行った．1)の殺菌
12 後 0.1mL を X-GAL 寒天培地に滴下し平板培養を行った．
13 インキュベーターにより， $36 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ で 20 ± 2 時間培養後，
14 コロニーを目視にてカウントした．

15 3)残存黒黴数の測定

16 銀イオン水による殺菌後，黒黴数のカウントを行った．
17 ポテトデキストロース寒天培地末を用い，pH 調整のため
18 に 0.1M 酒石酸を加え pH を 3.5 に調整した．この培地に
19 供試液を 1mL 滴下し，混釈培養を行い，インキュベータ
20 ーを用いて， $26 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$ で 60 ± 12 時間培養後，コロニーを
21 目視にてカウントした．

1 6. 飲食店製氷機庫内の拭き取り検査

2 実際に鹿児島市内の3軒の飲食店を訪問し，滅菌綿棒
3 で拭き取り検査を行った．製氷機庫の5箇所（両側面，
4 奥，手前，底）で行い，各箇所，縦，横，斜めに各5往
5 復拭き取った．拭き取った綿棒は滅菌生理食塩水1mLの
6 入った試験管に入れ，試験管ミキサーにて攪拌を行った
7 後，標準寒天培地に0.1mL滴下し平板培養を行った．イ
8 ンキュベーターを使用し， $35 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ で 48 ± 3 時間培養後，
9 コロニーを目視で確認した．

10 7. 銀イオン氷製氷機庫内に設置した大腸菌付着プレー 11 トの拭き取り検査

12 上記の「飲食店製氷機庫内の拭き取り検査」と同じ手
13 法で行った．銀イオン氷製氷機では，構造上手前の拭き
14 取りが不可能であったので，4か所で拭き取り検査を行
15 った．図4-2に示すように，製氷機庫内の底，両側面，
16 上（氷の触れない高さ）の計4か所に大腸菌付着プレー
17 トを貼り付けた．対照区として大腸菌付着プレートを，
18 銀イオン氷に触れることの無いようシャーレに入れ，製
19 氷機内底に保管した．2，6及び24時間後に，それぞれ
20 の箇所からプレートを取り出し，滅菌綿棒を用いて拭き
21 取り検査を行った．滅菌生理食塩水1mLの入った試験管

1 に拭き取った綿棒を入れ，試験管ミキサーにて攪拌した．
2 希釈による培養は行わず，X-GAL 寒天培地に供試水を
3 0.1 mL 滴下し平板培養を行った．

4 8. 統計処理

5 実験はそれぞれの実験区画で3回繰り返し行った．統
6 計処理には，一元配置分散分析及び Tukey-Kramer の多
7 重比較検定を用いた．有意水準は5%とした．

8

9 結果及び考察

10 1. 銀イオン水による大腸菌の殺菌・抗菌効果

11 大腸菌に対する電解銀イオン水の殺菌・抗菌効果を図
12 4-3 に示す．銀イオン濃度 200ppb の電解銀イオン水は 2
13 時間の時点でほぼ大腸菌を殺菌できた．50 及び 100ppb
14 の電解銀イオン水は 24 時間の時点で 200ppb と同様に，
15 ほぼ大腸菌を殺菌できた．この結果より，電解銀イオン
16 水は大腸菌を殺菌する効果があり，銀イオン濃度が高い
17 ほど殺菌効果が得られる時間を短縮できることが分かっ
18 た．

19 2. 銀イオン水による黒黴の殺菌・抗菌効果

20 黒黴に対する電解銀イオン水の殺菌・抗菌効果を図 4-
21 4 に示す．この図のように，12 時間までは対照区の純水

1 とほぼ同等であったが，24 時間暴露では銀イオン水殺菌
2 の効果が表れた．48 時間暴露の試験区においては銀イオ
3 ン水のどの濃度も対照区に対して 5%水準で有意差が認
4 められた．長時間暴露した時に，銀イオン水は黒黴に対
5 して殺菌効果を有することが分かった．

6 3. 飲食店製氷機庫内の拭き取り検査

7 飲食店の製氷機庫内の拭き取り検査の結果を表 4-2 に
8 示す．この表のように，店舗①の製氷機では，製氷機内
9 のすべての個所から一般生菌の検出が確認された．店舗
10 ②の製氷機は清潔に保たれていたが，店舗③の製氷機に
11 においては，右側面から多くの一般生菌が検出され，他の
12 個所からもわずかではあるが一般生菌が検出された．一
13 方，定期的な洗浄殺菌を行っていなかったにも関わらず，
14 研究室設置の銀イオン水製氷機は，菌は検出されなかつ
15 た．今回の結果から，現状では，サンプル数が 3 店舗と
16 少なかったにも関わらず，2 店舗で基準値以上の菌が確
17 認され，清潔な状態で水を消費者に提供できているとは
18 言い難く，製氷機は定期的に洗浄殺菌を行う必要があり，
19 怠ると一般生菌の混入の可能性があることが分かった．

20 4. 銀イオン水製氷機庫内の大腸菌付着プレートの拭き 21 取り検査

大腸菌付着プレート of 拭き取り検査の結果を表 4-3 に示す。銀イオン氷に直接接触させた試験区（底，両側面）において，24 時間後には菌は検出されなかった。これらの区では，2，6 時間後においても，対照区と比較すると検出された菌は微量なものであった。このことから，大腸菌は低温環境下（ $0 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ ）だけでは死滅せず（対照区），銀イオン氷との接触により死滅したと考えられる。また，銀イオン氷が触れる箇所（底，両側面）とそうでない箇所（上）どちらも死滅が確認された。これは，銀イオン氷が装置内で落ち，衝撃で氷に含まれる銀イオンがミスト状になり拡散し，上に付着したためであると考えられる。

また，銀イオン氷の融氷水の銀イオン濃度は 60 ppb であり，この濃度は，アメリカ環境保護局規格（EPA）が定めた水道水基準値以下であるため，人体にも影響がないと言える。

要 約

この研究は，銀イオン水及び銀イオン氷の殺菌・抗菌効果を検証するために行われた。実験では大腸菌及び黒黴を供試菌として用いた。また，飲食店の製氷機内の微生物の存在の調査も行った。結果として，銀イオン水及

1 び銀イオン氷は殺菌効果を有していることが証明された。
2 200ppbの銀イオン水では、大腸菌を2時間で死滅させる
3 ことができた。50ppb及び100ppbの銀イオン水では、24
4 時間で大腸菌を死滅されることができた。黒黴に関して
5 は、50、100、200ppbの銀イオン水は、48時間で純水に
6 比べて1~2log cfu/mL抑制することができた。さらに、
7 飲食店の製氷機内に微生物が存在していることを確認し
8 た。しかし、60ppbの銀イオン氷を生成する製氷機では、
9 微生物は検出されなかった。これらのことから、銀イオ
10 ン水は殺菌剤の代替として用いられることができると考
11 えられる。また、銀イオン氷は製氷機の衛生管理を向上
12 できると示唆された。

表 4-1 銀イオン水作製条件及び物性

銀イオン濃度 (ppb)	50	100	200
電流 (mA)	2.8	3.5	8
電圧 (V)	2.3	2.8	6.5
pH	6.8	6.9	6.7
電気伝導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	302	307	308
酸化還元電位 (mV)	418	402	443

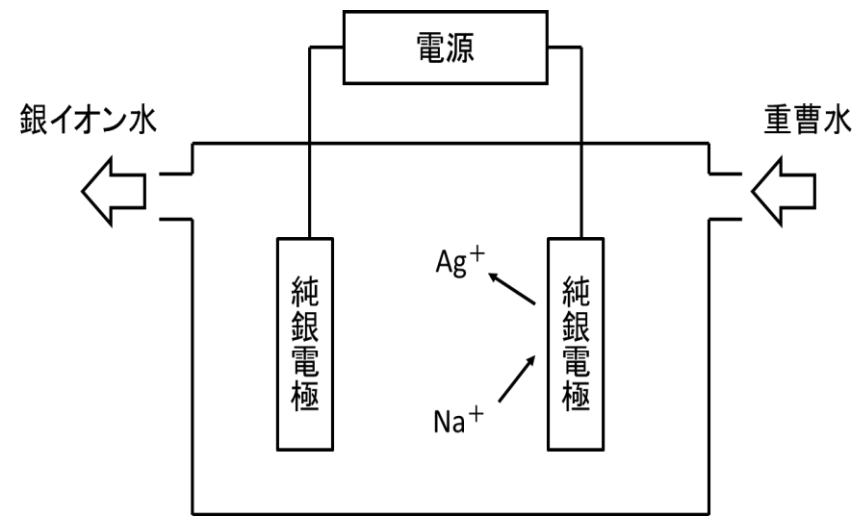
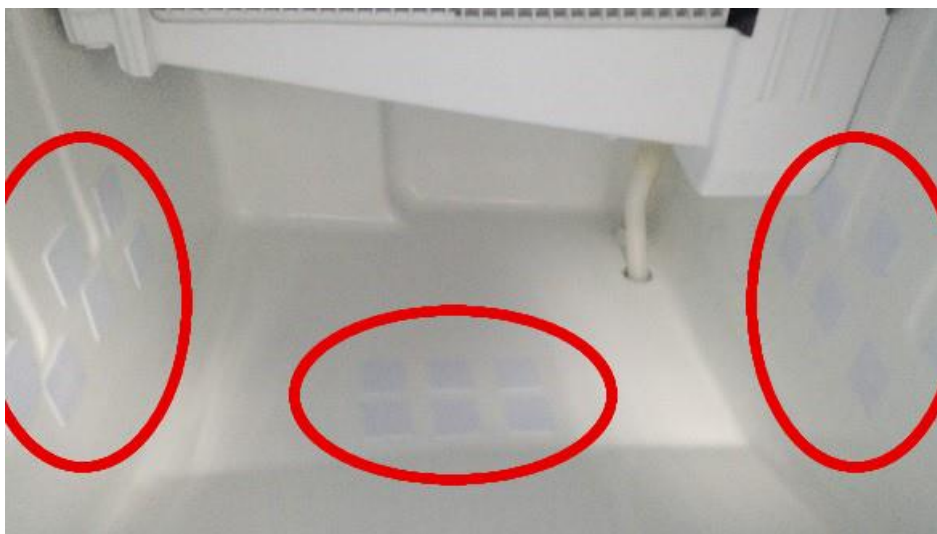


図 4-1 銀イオン水生成装置

1



8

9 図 4-2 製氷機内の大腸菌付着プレート

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

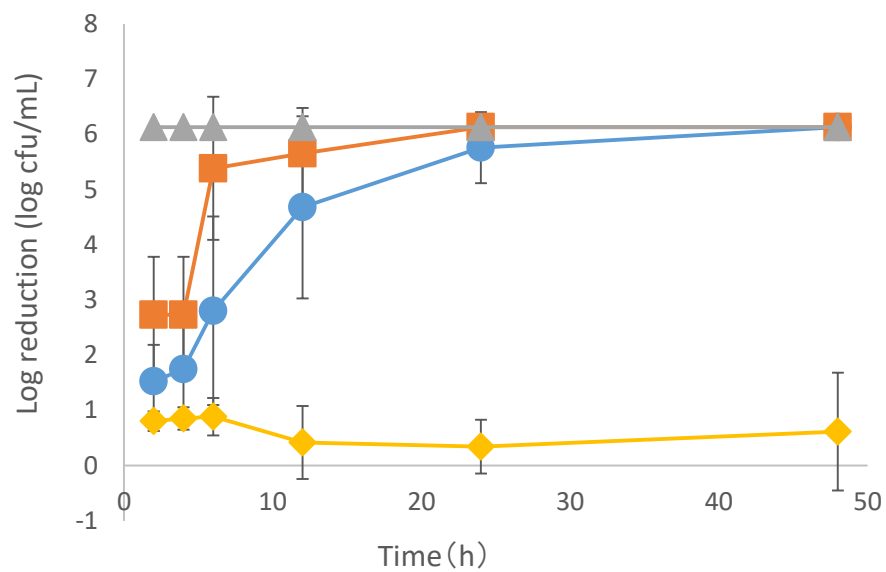


図 4-3 銀イオン水中の大腸菌数の変化

Symbols : ♦, 純水 ; ●, 銀イオン水 50 ppb ; ■, 銀イオン水 100 ppb ; ▲, 銀イオン水 200 ppb.

初発菌 : 10^6 cfu/mL

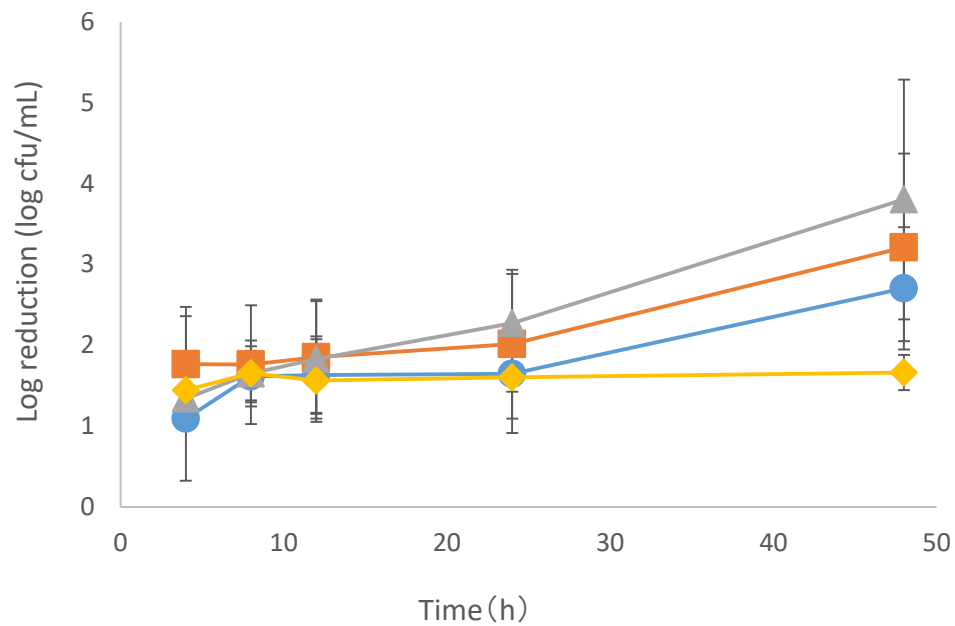


図 4-4 銀イオン水中の黒黴数の変化

Symbols : ◆, 純水 ; ●, 銀イオン水 50 ppb ; ■, 銀イオン水 100 ppb ; ▲, 銀イオン水 200 ppb.

初発菌 : 10^6 cfu/mL

表 4-2 製氷機内一般生菌の拭き取り検査

	店舗①	店舗②	店舗③
底	++	-	+
左側面	++	-	++
右側面	++	-	-
奥	++	-	+
手前	++	-	+

++ : 微生物数 10^2 cfu/mL 以上

+ : 微生物数 10^1 cfu/mL

- : 微生物未検出

表 4-3 銀イオン製氷機内の大腸菌数の変化

	2 h	6 h	24 h
底	+	+	-
左側面	+	-	-
右側面	+	+	-
上	-	-	-
対照区	++	++	++

++ : 微生物数 10^2 cfu/mL 以上

+: 微生物数 10^1 cfu/mL

- : 微生物未検出

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20

第 5 章 銀イオン水及び
循環式電解水の有効利用

第 1 節 大豆加工工程における銀イオン水

及び循環式電解水の利用

背景及び目的

近年，食中毒や輸入品の異物混入などによる食品事故の発生が後を絶たないことから⁷⁴⁾，国民の食に対する安全性への関心が高まり，安全な食品の供給に対する消費者の要求が強まっている⁷⁵⁾．食品の事故には，食中毒以外にも殺菌不良による袋の膨張など，健康被害には至らない品質の異常がある．そのような事故は，根菜類，豆類の加工食品に多く発生している．

大豆はタンパク質，脂質に富み，特に，昔からタンパク質源として重要な食べ物である⁷⁶⁾．大豆は今でも給食，病院食などによく取り入れられているが，それらの場合には，小児，病人等の易感染者にとって菌を抑えることが重要である⁷⁷⁾．大豆製品の豆腐は，大豆を加工する際に加熱を行うが⁷⁸⁾，それでも豆腐の腐敗による事故が報告されている．豆腐製造工程での加熱殺菌時間が十分に取られていないことによると考えられている．また，殺菌を目的として過剰な加熱を行うと，豆腐に含まれる栄養の損失・破壊や，食味低下が起き，品質劣化が問題と

1 なっている．

2 大豆は，乾燥状態で流通し，加工時には水で浸漬し膨
3 潤したものが豆腐製造には用いられる．この浸漬処理は
4 重要な工程である．浸漬処理により，大豆の吸水が進み，
5 芯のない大豆となり，加工品の食感が良くなったり，火
6 の通りが均一になり調理しやすくなったり，浸漬工程の
7 次の工程である磨砕が簡易になるなどの利点をもたらす
8 ⁷⁸⁾．しかし，この浸漬工程で，大豆に付着していた菌が
9 大豆の栄養により時間が経つにつれ増殖する．したがっ
10 て，大豆の初期付着菌数を減らすために，大豆浸漬液に
11 ついて身体に害を及ぼす可能性が低く，環境にも低負荷
12 な機能水 ⁷⁹⁾ を用いることを検討した．

13 機能水とは，「人為的な処理によって再現性のある有能
14 な機能を付与された水溶液の中で，処理と機能に関して
15 科学的根拠が明らかにされたもの，及びされようとして
16 いるもの」と定義されている．銀イオン水は殺菌効果が
17 証明されており ⁸⁰⁾，循環式電解水は様々な農業分野で利
18 用されているが ⁸¹⁾，大豆加工工程で利用されている事例
19 はない．また，銀イオン水及び循環式電解水は殺菌効果
20 が証明されているだけでなく，他の機能水と比較して pH
21 が中性であり，飲用水としても適しているため，大豆加

1 工工程に使用できると考えた．

2 本研究では，銀イオン水，循環式電解水を浸漬水とし
3 て利用し，大豆付着菌及び浸漬水浮遊菌を減らすことが
4 可能であるか検証を行った．また，浸漬処理後，大豆に
5 十分な水が含有されているかを質量，硬度の観点から判
6 断し，品質面からも機能水が浸漬水として有効であるか
7 を検討したので報告する．

8

9 材料及び方法

10 1. 供試材料

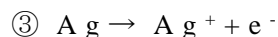
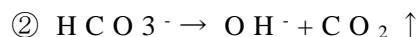
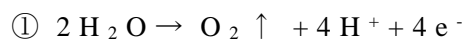
11 大豆は（株）竹之下の佐賀県産のフクユタカを使用し
12 た．大豆は大きさが様々であったため，大きさによる誤
13 差があまり出ないように平均的な大きさの大豆の選別を
14 行った．平均的な大豆の大きさの選別は，まず，大豆を
15 袋からランダムに100粒取り出し，1粒ずつ重さを量っ
16 た．平均及び標準偏差を出し，平均±標準偏差以内のも
17 のを使用した．これにより最小値は0.29g，最大値は0.35g
18 となり，本研究では0.29g～0.35gのものを使用した．

19 2. 供試水とその特性

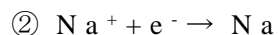
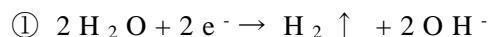
20 1) 銀イオン水

21 当研究室試作品である銀イオン水生成装置を用いて作

製した（図 5-1）。被電解液に塩素が含まれると銀イオンの生成が阻害される⁸²⁾。そこで，被電解液には塩素が含まれない重曹水を用いた。純水 10L に重曹（ NaHCO_3 ）2.66g を加え，電気伝導度（EC）を $300\mu\text{S}/\text{cm}$ に調整した重曹水を，銀イオン水生成装置に 1 分間通過させ，純銀電極による電気分解を行って銀イオン水を得た。重曹水の電解槽への流入量は $1.2\text{L}/\text{min}$ に設定した。作製時の温度は 25°C とした。銀イオン水生成の陽極側の反応は，



陰極側の反応は，



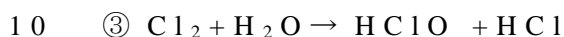
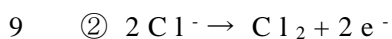
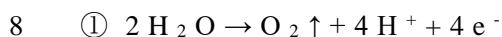
である。↑ は気体発生を意味する。

銀イオン水の銀イオン濃度は 100ppb 及び 200ppb に設定した。 100ppb の銀イオン水の作製では，電流： 3.5mA ，電圧： 2.8V ， pH ： 6.9 ， EC ： $307\mu\text{S}/\text{cm}$ ，酸化還元電位（ORP）： 402mV であった。一方， 200ppb では，設定電流・電圧は 8mA ， 6.5V であり，同じく電解液の pH は 6.7 ， EC は $308\mu\text{S}/\text{cm}$ ，ORP は 443mV であった。

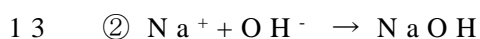
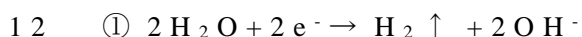
1 2) 循環式電解水

2 当研究室試作品である循環式電解水生成装置を用いて
3 作製した (図 5-2). 陽極入り口から水道水を給水し, そ
4 の後, 陰極に戻して水道水を電気分解する装置とした.

5 この装置では, 陽極側で, 酸性電解水が生成し, その後
6 陰極側で等量のアルカリにより中性に戻る. 陽極側の反
7 応は



11 陰極側の反応は



15 である. 電解条件は電流 3A, 電圧 51.6V とした. 電源を
16 入れ, 電解水が流れ出してから 3 分後のものを使用した.
17 電解槽への水道水流入量は 1.0L/min に設定した. 作製時
18 の温度は 25℃とした. 得られた循環式電解水の pH は 6.5,
19 有効塩素濃度 (ACC) は 0.47mg/L, EC は 268μS/cm, ORP
20 は 138mV であった.

21 3) 純水 (対照区)

1 メルク株式会社製の Elix Essential UV3 を用いて作製
2 した。EC が $5\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下のものを用いた。

3 3. 銀イオン濃度測定

4 日本イオン（株）製銀イオン濃度測定器 AGT-131 を使
5 用した。銀イオン測定器の校正にナカライテスク（株）
6 製銀イオン標準液を用いた。

7 4. 供試水の物性値測定

8 pH は METTLER TOLEDO（株）製 Seven2Go, EC は
9 METTLER TOLEDO（株）製 SevenGo, ORP は（株）東興
10 化学研究所製 TRX-90 を用いて測定した。ACC は（株）
11 HACH 製 DR4000 SPECTRO PHOTOMETER を用いた DPD
12 （N,N-diethyl-p-phenylenediamine）法によって測定し
13 た。

14 5. 大豆の機能水への浸漬方法

15 大豆 10 粒の質量を秤で測定し、それらの大豆 10 粒を
16 水きりネットに入れ、銀イオン水または循環式電解水が
17 50 mL 入ったビーカーに水切りネットごと浸漬し、ビーカー
18 一ひとつひとつにアルミホイルで蓋をし、25℃で静置し
19 た。

20 6. 機能水浸漬による大豆付着菌及び浸漬水浮遊菌の殺 21 菌・抗菌効果

1 浸漬は 2, 6, 12 時間行った。浸漬後、大豆を取り出し、
2 10 mL の滅菌生理食塩水と共にストマッカー袋に入れ、2
3 分間、IUL, S. A. 社製ストマッカーのマスティケーター
4 ーS 型で破碎した。その後、ストマッカー袋内の液を希
5 釈し、0.1 mL ずつ日水製薬（株）製標準寒天培地に塗抹
6 後、35℃で 48 時間平板培養した。また、大豆を取り出し
7 た後のビーカー内の浸漬水を振とう機で攪拌・希釈を行
8 い、0.1 mL ずつ標準寒天培地に塗抹し、35℃で 48 時間平
9 板培養した。菌数は log CFU/mL で表した。

10 7. 大豆浸漬水の銀イオン濃度、EC 及び ACC の経時的変 11 化

12 浸漬時間は 2, 4, 6, 12 時間に設定した。浸漬時間経
13 過後、浸漬水の銀イオン濃度、EC 及び ACC を測定した。

14 8. 機能水浸漬による大豆の水分含有量の変化

15 浸漬時間は 2, 4, 6, 8, 10, 12 時間に設定した。規定
16 浸漬時間経過後、浸漬水から大豆を取り出し、水を切り、
17 水気をキムワイプで軽く拭き取り、大豆 10 粒の質量を
18 秤で測定した。

19 9. 機能水浸漬による大豆の硬度変化

20 浸漬時間は 4, 6, 8, 10, 12 時間に設定した。規定浸
21 漬時間経過後、浸漬水から大豆を取り出し、水を切り、

1 付着水分をキムワイプで拭き取り，供試サンプルとした．
2 供試サンプルを不動工業（株）製レオメーター NRM-
3 2010J-CW で潰し硬度を測った．この時，図 5-3 に示すよ
4 うに，大豆を横向き，胚軸を奥向きにし，プローブ（ス
5 テンレス SUS304 製，円形，直径 5mm）と大豆を接触さ
6 せたが，押さえつけないように注意し，固定した．また，
7 レオメーターはレンジを 2V，速度を 2cm/min に設定し
8 た．大豆が割れるか，もしくはひびが入るまで潰し，そ
9 の時の降伏点の応力で硬度を求めた．

10 10. 統計処理

11 実験は殺菌・抗菌効果の検証及び水分含有量変化の測
12 定で 6 回繰り返した．硬度変化の実験は 9 回繰り返
13 した．統計処理として，一元配置分散分析及び Tukey-
14 Kramer の多重比較検定を行った．有意差検定の比較は異
15 なる機能水間で行った．有意水準は 5% とした．

16

17 結果及び考察

18 1. 機能水浸漬による大豆付着菌及び浸漬水浮遊菌の殺 19 菌・抗菌効果

20 機能水浸漬による大豆付着菌数の変化を図 5-4 に示す．
21 純水の初発菌数は $2.45 \log \text{ CFU/mL}$ であった．銀イオン

1 水，循環式電解水による処理は2，6，12時間で純水と比較
2 較して，5%水準で，有意に生菌数が抑制されたことが分
3 かった．12時間による機能水処理では，純水による処理
4 に比べて，どの機能水も，90%以上菌の増殖を抑制するこ
5 とができた．

6 機能水浸漬による浸漬水浮遊菌の変化を図5-5に示す．
7 純水の初発菌数は $2.94 \log \text{ CFU/mL}$ であった．銀イオン
8 水，循環式電解水による処理は6，12時間で純水と比較
9 して，菌数が99%以上増殖抑制されたことが分かった．
10 現場での大豆浸漬はおよそ6～12時間ほどなので，銀イ
11 オン水，循環式電解水は大豆浸漬で殺菌・抗菌効果が期
12 待される．

13 2. 銀イオン濃度，EC及びACCの経時的变化

14 銀イオン水の銀イオン濃度100及び200ppbともに，4
15 時間までは銀イオン濃度は減少していったが，6時間を
16 過ぎると，銀イオン濃度が増加していった．銀イオン水
17 を静置した状態にしておくと，銀イオン濃度は減少する
18 はずであるが⁸³⁾，増加したのは大豆の成分の溶出が考え
19 られる．大豆成分が，用いた銀イオン測定試薬と反応し
20 呈色したため高めに出的ものと考えた．そこで，大豆成
21 分の溶出が起きているかを確かめるため，純水及び銀イ

1 オン水の EC の経時的変化を測定した．純水，銀イオン
2 水ともに EC の値が時間とともに上昇した．これは，大
3 豆の成分が溶出した裏付けとなる．大豆には多くのタン
4 パク質が含まれているが，これらのタンパク質はほとん
5 ど溶出しない⁸⁴⁾．大豆にはカリウム，カルシウム，マグ
6 ネシウム等の灰分も多く含まれている⁸⁵⁾．これらの灰分
7 が溶出し，EC の値が上昇したものと考えられる．

8 上記のことから，銀イオン水の銀イオン濃度から純水
9 の銀イオン濃度を差し引いた経時的変化の値を図 5-6 に
10 示す．純水の銀イオン濃度は，2 時間浸漬で 14ppb，4 時
11 間浸漬で 16ppb，6 時間浸漬で 26ppb，12 時間浸漬で
12 126ppb であった．100ppb の銀イオン水は 2 時間まで，
13 200ppb の銀イオン水は 6 時間まで，銀イオンが水中に含
14 まれていた．銀イオン水は，銀イオン濃度以外，純水と
15 物性がほぼ変わらないため，液中に残存している銀イオ
16 ンが大豆浸漬水中の微生物の殺菌・抗菌を行ったものと
17 考えられる⁵⁹⁾．

18 次に，循環式電解水の ACC の経時的変化を図 5-7 に示
19 す．初期の ACC は 0.36mg/L であったが，2 時間後には
20 0.02mg/L まで下がっていた．一般病原菌は ACC: 0.2mg/L
21 で 10 分，0.1mg/L では 1 時間で完全殺菌される⁶⁰⁾．初

1 期 ACC が 0.36 mg/L であったため、循環式電解水では ACC
2 により殺菌作用があったと考えられる。また、2 時間後
3 には ACC が 0.02 mg/L まで下がっていたことから、循環
4 式電解水による殺菌は 2 時間以内に行われ、それ以後、
5 抗菌効果は無かったと考えられる。

6 3. 機能水浸漬による大豆の水分含有量の変化

7 各機能水浸漬における大豆の水分含有量の変化を図
8 5-8 に示す。図 5-8 より、純水と銀イオン水、循環式電解
9 水をそれぞれ比較してみると、両機能水も純水とほとん
10 ど差がない。各機能水において大豆の水分吸収量・水分
11 吸収速度に 5%水準で有意差がみられないことから、銀イ
12 オン水、循環式電解水ともに純水と同様な吸水効果が得
13 られることが分かった。

14 4. 機能水浸漬による大豆の硬度変化

15 各機能水浸漬における大豆の硬度変化を表 5-1 に示す。
16 時間ごとに有意差検定を行ったところ、銀イオン水区、
17 循環式電解水区と純水区で、5%水準で有意差はみられな
18 かった。このことより、硬度変化において、銀イオン水、
19 循環式電解水ともに、純水と同様な硬度が得られること
20 が分かった。大豆のような乾燥物が水分を吸収すると、
21 時間経過とともに硬度は小さくなると考えられるが、今

1 回の結果から、時間とともに硬度が高まった、あるいは
2 一定となる供試水もあった。これは、乾燥状態と膨潤状
3 態の脆性の違いによるものであると言える。乾燥状態で
4 は脆性が高いため、見かけの破壊応力が低くなったと考
5 えられる。一方、膨潤状態では脆性が低く展延性が高い
6 ため、破壊応力が高くなったと考えられる。

7

8 要 約

9 大豆加工の浸漬工程で微生物は増殖し、食中毒事件に
10 繋がる恐れがある。そこで、大豆加工の浸漬工程におけ
11 る銀イオン水及び循環式電解水の抗菌効果を調査した。
12 また、それらの機能水への浸漬で大豆の品質劣化が起こ
13 るかを調査するために、大豆の質量及び硬度を測定した。
14 大豆 10 粒を 50 mL の機能水及び純水に浸漬させた。抗菌
15 効果の調査では、浸漬時間は 2、6、12 時間に設定した。
16 結果として、銀イオン水及び循環式電解水は 12 時間の
17 浸漬で、純水と比較して、大豆付着菌と浸漬水浮遊菌を
18 90%以上増殖抑制した。また、銀イオン水及び循環式電解
19 水は、2 時間と 6 時間の浸漬で、純水と比較して、大豆
20 付着菌をわずかではあるが増殖抑制した（70%）。機能水
21 に浸漬させた大豆の質量と硬度は、純水に浸漬させた大

1 豆の質量，硬度と同等であった．これらの結果から，銀
2 イオン水及び循環式電解水は，微生物を増殖抑制させる
3 観点から，純水よりも効果があることが示され，大豆加
4 工工程の浸漬水として利用できることが明らかとなった．

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

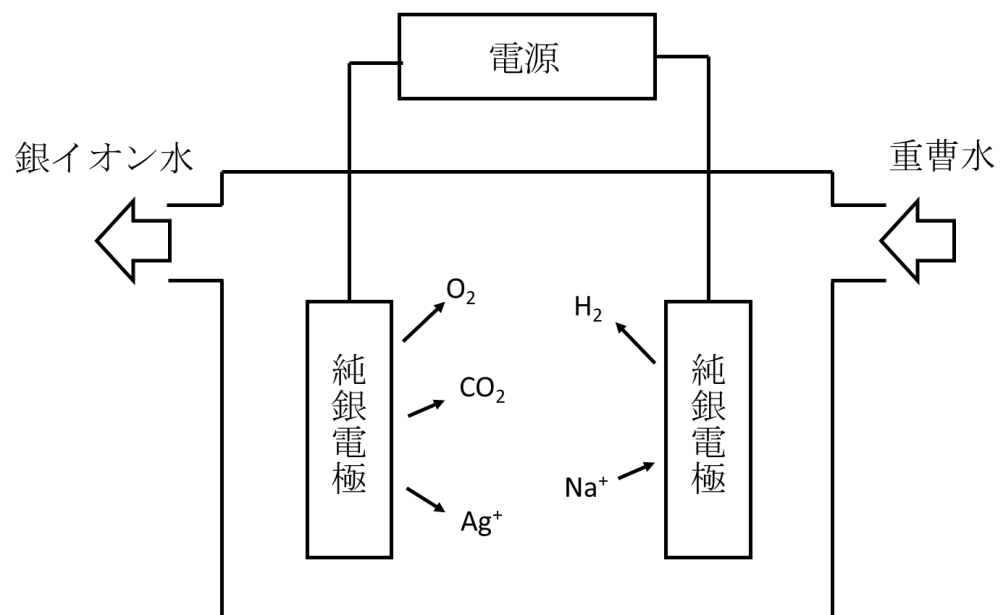


図 5 - 1 銀 イ オ ン 水 の 生 成 法

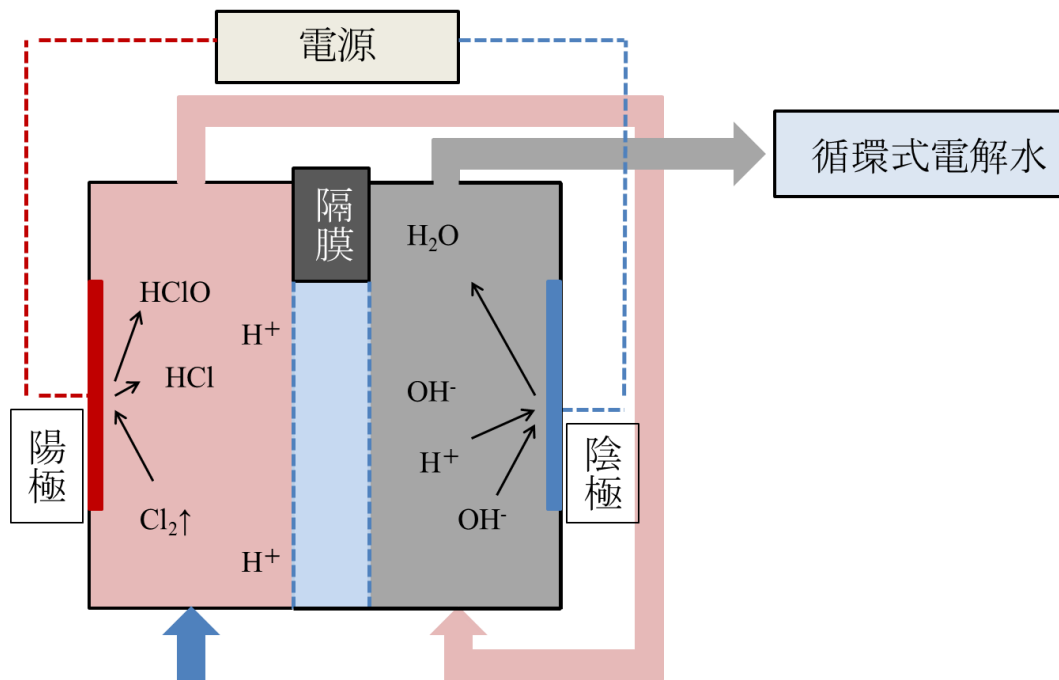


図 5-2 循環式電解水の概略図



図 5-3 硬度測定時の大豆の測定姿勢

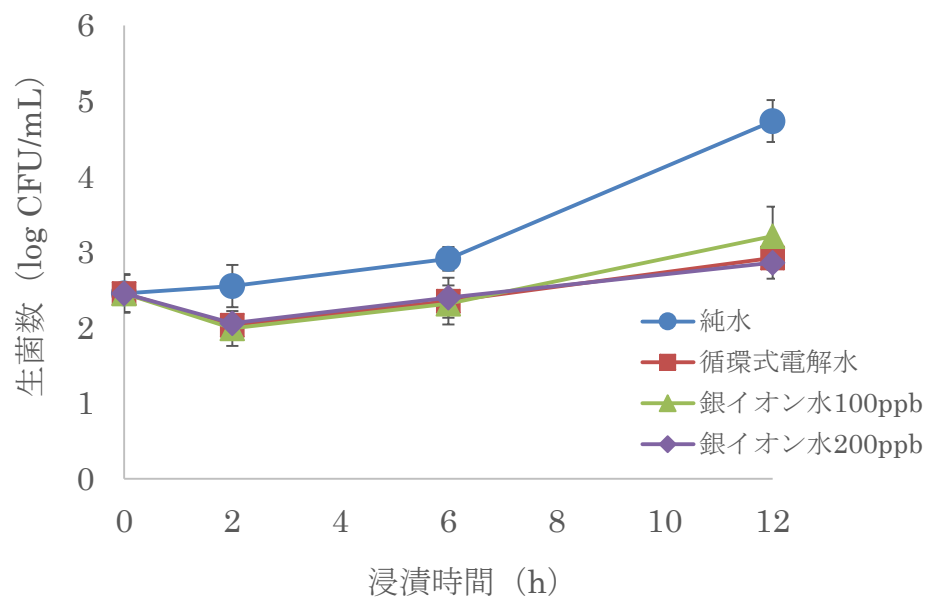


図 5-4 大豆付着菌数の経時的变化

縦線は標準偏差を示す。(n=6)

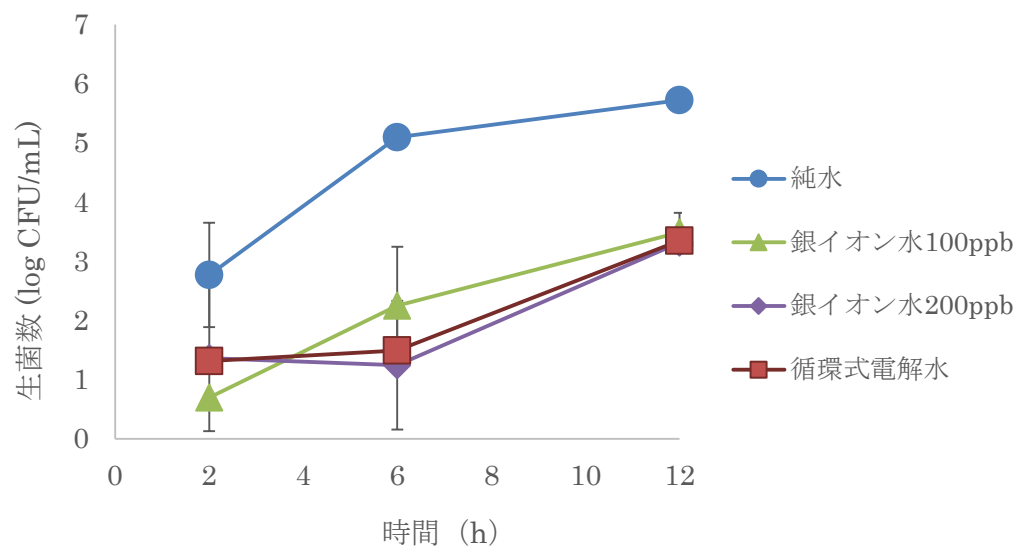


図 5-5 浸漬水浮遊菌数の経時的変化

縦線は標準偏差を示す。(n=6)

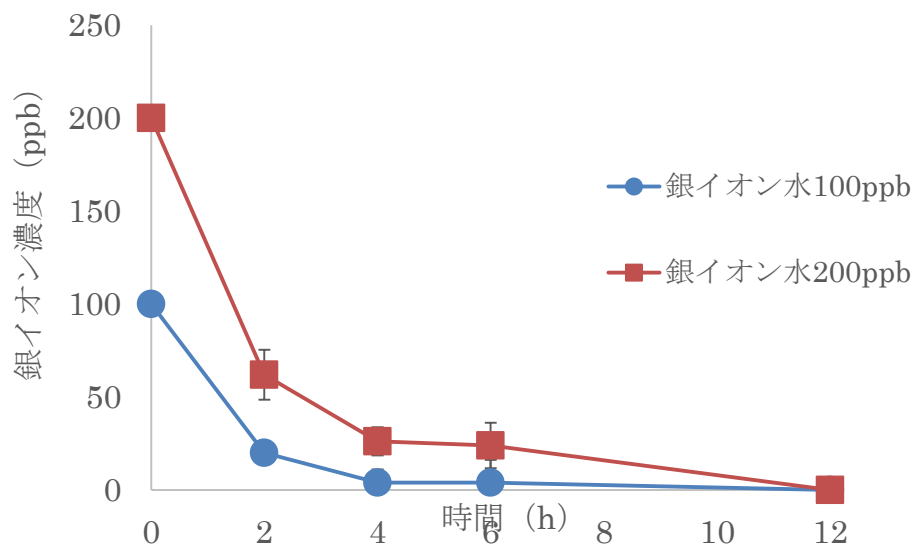


図 5-6 大豆浸漬時の銀イオン濃度の経時的変化

縦線は標準偏差を示す。(n=3)

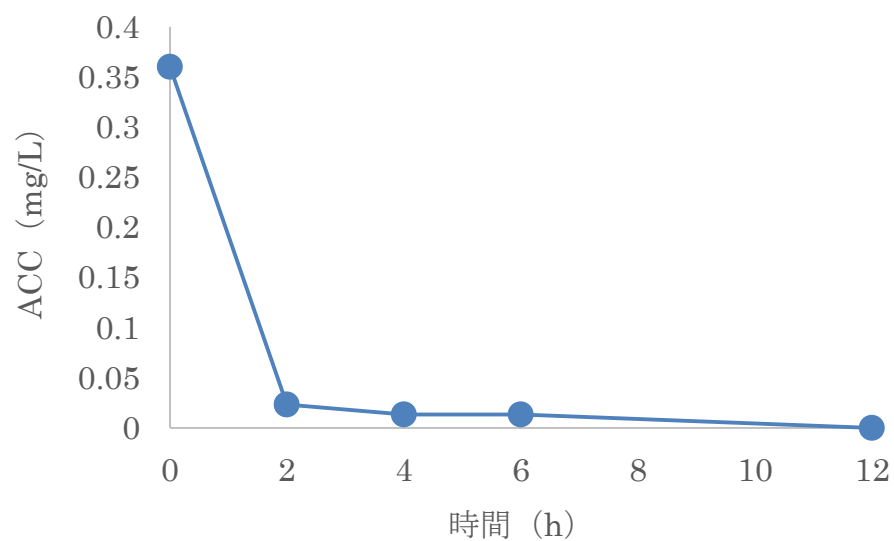


図 5-7 循環式電解水中の有効塩素濃度（ACC）の経時的変化

縦線は標準偏差を示す。（ $n=3$ ）

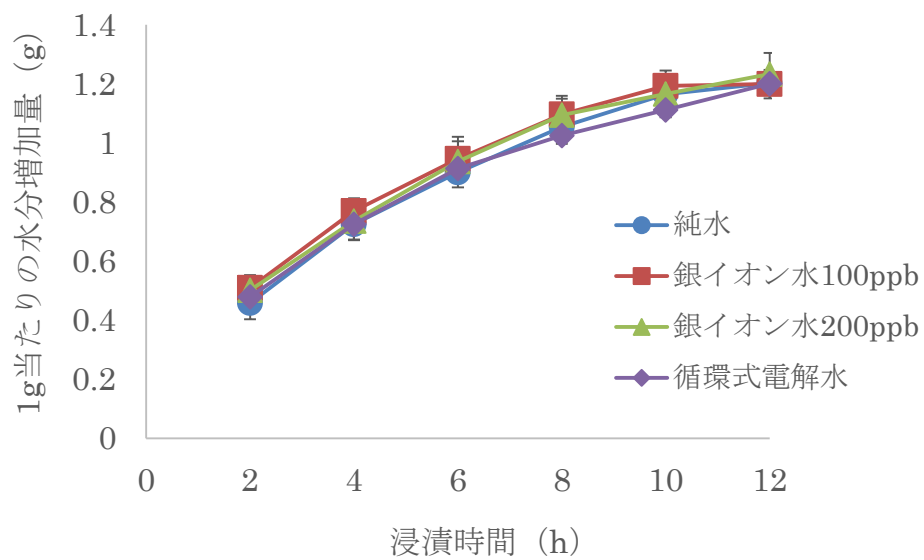


図 5-8 機能水浸漬による大豆の水分増加量と時間の関係

縦線は標準偏差を示す。(n=6)

1 表 5-1 機能水浸漬による大豆の硬度と時間の関係 (n=9)

2

		硬 度 (k g / c m ²)				
浸 漬 時 間		4 時 間	6 時 間	8 時 間	10 時 間	12 時 間
純 水		1 7 7 . 5	2 1 1 . 2	2 1 7 . 7	2 5 0 . 4	2 2 9 . 8
		± 2 7 . 2	± 3 8 . 5	± 3 8 . 6	± 4 9 . 4	± 3 1 . 6
銀 イ オ ン 水 1 0 0 p p b		2 2 4 . 7	2 2 4 . 2	2 8 9 . 9	2 8 0 . 5	2 5 4 . 5
		± 3 0 . 4	± 3 4 . 4	± 3 7 . 7	± 4 1 . 3	± 5 5 . 1
銀 イ オ ン 水 2 0 0 p p b		2 1 9 . 4	2 3 2 . 6	2 7 5 . 1	2 5 6 . 6	2 8 7 . 9
		± 2 8 . 4	± 3 2 . 7	± 4 0 . 3	± 3 5 . 6	± 5 1 . 1
循 環 式 電 解 水		2 1 4	2 3 8 . 9	2 5 6 . 9	2 5 7 . 9	2 9 6 . 2
		± 3 3 . 3	± 4 3	± 4 4 . 7	± 3 7 . 9	± 5 0 . 9

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

第 2 節 銀イオン水・循環式電解水を用いた植物栽培

背景及び目的

本実験では，農薬などの化学薬品を使用せず，環境に低負荷で安全性の高いことで注目されている循環式電解水，銀イオン水を用いた植物工場における有効な利用手法の開発を検討した．循環式電解水及び銀イオン水は pH が中性であり，機能水の中でも植物に悪影響を及ぼさないことから使用した．循環式電解水は，以前の研究において栽培液中の大腸菌の殺菌および藻類の殺藻が可能であることが確認されている^{86,87)}．銀イオン水は本論文第 4 章，第 5 章で殺菌・抗菌効果が証明されている．本実験では，これらの機能水を用いて，植物栽培実験を行い，植物生育に与える影響について検討した．コマツナを栽培し，栽培液の物理的特性の経時変化と栽培したコマツナの葉数，葉長，葉丈，根長，生体重，乾物重，水分含有率の観点から評価した．

材料及び方法

1. 供試材料

供試作物にはコマツナ（株式会社アタリヤ農園製，

1 *Brassica rapa* var. *perviridis*) を使用した.

2 2. 供試水及びその特性

3 水道水 (鹿児島市水), 循環式電解水, 銀イオン水を用
4 いた.

5 1) 銀イオン水

6 当研究室試作品である銀イオン水生成装置を用いて作
7 製した (図 5-1). 水道水を銀イオン水生成装置に 1 分間
8 通過させ, 純銀電極による電気分解を行って銀イオン水
9 を得た. 水道水の電解槽への流入量は 1.0 L/min に設定し
10 た. 作製時の温度は 25°C とした.

11 2) 循環式電解水

12 当研究室試作品である循環式電解水生成装置を用いて
13 作製した (図 5-2). 陽極入り口から水道水を給水し, そ
14 の後, 陰極に戻して水道水を電気分解する装置とした.
15 この装置では, 陽極側で, 酸性電解水が生成し, その後
16 陰極側で等量のアルカリにより中性に戻る.

17 3. 栽培溶液の調製

18 栽培液の肥料成分として用いた大塚 A 処方溶液は水
19 道水 1L に大塚ハウス 1 号, 2 号をそれぞれ 22.5 g , 15 g
20 を入れ, 溶解して生成した. この大塚 A 処方溶液を水道
21 水区 (対照区) 2L に添加し, EC 値を $1200\mu\text{S/cm}$ (大塚 A

1 処方 の 作 製 法 通 り) に 調 整 す る こ と で 水 道 水 区 の 栽 培 養
2 液 を 作 製 し た . 各 試 験 区 に お い て 肥 料 量 に よ る 生 育 の 差
3 が 出 る こ と を 懸 念 し て , 水 道 水 区 に 添 加 し た 量 と 同 じ 量
4 の 大 塚 A 処 方 溶 液 を 各 試 験 区 に 添 加 し て 栽 培 養 液 を 作 製
5 し た .

6 ま た , 作 製 し た 栽 培 養 液 は 栽 培 に 用 い る 2L と は 別 に
7 全 試 験 区 で 各 4L ず つ 冷 暗 所 に 保 存 し , コ マ ツ ナ の 生 育
8 に よ っ て 減 少 す る 栽 培 養 液 の 補 給 に 用 い た .

9 4. 栽 培 装 置

10 株 式 会 社 ユ ー イ ン グ 製 Green Farm Cube, 全 水 量 2L,
11 幅 225mm×奥 行 225mm×高 さ 285.5mm (図 5-9) を 用 い
12 た .

13 5. コ マ ツ ナ 栽 培 及 び 生 育 量 の 測 定

14 コ マ ツ ナ 種 子 発 芽 後 , 苗 を 全 試 験 区 に 3 株 ず つ 栽 培 装
15 置 に 定 植 し た . 定 植 日 を 0 日 目 と し , 栽 培 開 始 0 日 目 ,
16 5 日 目 , 10 日 目 , 15 日 目 , 20 日 目 , 25 日 目 に 栽 培 養 液
17 の 物 理 的 特 性 値 : pH, EC, 酸 化 還 元 電 位 (ORP), 溶 存 酸
18 素 (DO), 有 効 塩 素 濃 度 (ACC) を 測 定 し た . 10 日 目 以
19 降 は , 物 理 的 特 性 値 の 測 定 後 に 栽 培 養 液 の 補 給 を 行 い ,
20 栽 培 装 置 内 の 養 液 を 2L ま で 補 水 し た . 試 験 区 は 水 道 水
21 区 (対 照 区), 電 解 電 流 1A, 2A, 3A の 循 環 電 解 水 の 3 試

1 験区，銀イオン濃度が 50ppb である銀イオン水区の計 5
2 試験区を設けた．栽培は 25℃，明暗周期 16L：8D の条件
3 下で行った．光強度は 1 万 500LUX とした．定植から 25
4 日後にコマツナの収穫を行い，葉数，葉長，葉丈，根長，
5 生体重，乾物重，水分含有率を測定した．乾物重，水分
6 含有率はコマツナを 100℃の乾燥機に入れ 48 時間後に測
7 定，計測を行った．

8 6. 統計処理

9 統計処理として，一元配置分散分析及び Tukey-Kramer
10 の多重比較検定を行った．有意水準は 5% とした．

11

12 結果及び考察

13 1. 栽培液の物理的特性の経時変化

14 栽培溶液の物理的特性を表 5-2 に示す．pH 及び EC は，
15 どの供試水も日数による大きな変化は見られなかった．
16 ORP は，水道水区及び銀イオン水区で日数と共に減少し
17 た．循環式電解水区でも，5 日目以降は ORP が減少した．
18 これは溶液中の酸素が揮発したためであると考えられる．
19 循環式電解水区の 0 日目の ORP が低かった原因は，
20 DO 及び ACC は，どの供試水でも日数と共に減少した．
21 これは，溶液中の酸素及び塩素が揮発したためと考えら

れる。

2. コマツナ の 生育 量 変 化

コマツナ の 生育 量 変 化 を 表 5-3 に 示 す 。 葉 数 ， 葉 長 ，
葉 丈 ， 根 長 ， 生 体 重 ， 乾 物 重 ， 水 分 含 有 率 ， 全 て に お い
て ， 供 試 水 間 に 有 意 差 は な か っ た 。 循 環 式 電 解 水 及 び 銀
イ オン 水 栽 培 に お い て ， コ マ ツ ナ の 生 育 阻 害 は 認 め ら れ
な か っ た 。 第 4 章 ・ 第 5 章 1 節 よ り ， 微 生 物 の 殺 菌 ・ 抗
菌 効 果 が あ る こ と が 分 か っ て い る 。 ま た ， 先 行 研 究 よ り ，
植 物 工 場 栽 培 の 藻 類 に 対 し て も 殺 藻 の 効 果 が あ る こ と が
証 明 さ れ て い る 。 し た が っ て ， 微 生 物 の 殺 菌 ・ 抗 菌 作 用
や 殺 藻 の 効 果 が 期 待 さ れ る こ と か ら ， 植 物 工 場 栽 培 の 溶
液 と し て ， 代 替 の 可 能 性 が あ る と 考 え ら れ る 。

1 表 5-2 (a) p H の 経 時 的 変 化

2

	0 日	5 日	10 日	15 日	20 日	25 日
	目	目	目	目	目	目
水 道 水	6.30 ± 0.08	6.70 ± 0.17	6.46 ± 0.28	6.33 ± 0.17	6.35 ± 0.22	6.33 ± 0.16
循 環 電 解	6.24 ±	6.74 ±	6.47 ±	6.31 ±	6.49 ±	6.79 ±
水 1 A	0.05	0.06	0.16	0.05	0.17	0.47
循 環 電 解	6.26 ±	6.75 ±	6.45 ±	6.31 ±	6.55 ±	6.68 ±
水 2 A	0.04	0.04	0.17	0.04	0.08	0.38
循 環 電 解	6.27 ±	6.70 ±	6.52 ±	6.38 ±	6.51 ±	6.69 ±
水 3 A	0.04	0.20	0.15	0.06	0.01	0.23
銀 イオン水	6.31 ±	6.83 ±	6.48 ±	6.38 ±	6.45 ±	6.59 ±
50 p p b	0.20	0.28	0.30	0.10	0.15	0.21

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

1 表 5-2 (b) 電 気 伝 導 度 (E C) の 経 時 的 変 化

2

	0 日	5 日	10 日	15 日	20 日	25 日
	目	目	目	目	目	目
水 道 水	1 2 0 6	1 2 1 7	1 2 6 0	1 1 9 7	1 1 8 3	1 2 1 3
	± 3 0	± 7	± 3 0	± 1 4	± 3 9	± 4 7
循 環 電 解	1 1 7 8	1 1 9 0	1 2 3 2	1 2 0 3	1 1 7 6	1 2 1 2
水 1 A	± 1 7	± 3 4	± 2 2	± 5 2	± 5 9	± 6 7
循 環 電 解	1 1 7 8	1 2 0 5	1 2 5 4	1 2 0 3	1 1 9 1	1 2 2 9
水 2 A	± 3 0	± 4 8	± 2 1	± 5 6	± 5 7	± 5 5
循 環 電 解	1 1 6 8	1 1 8 4	1 2 5 5	1 2 1 8	1 1 6 7	1 1 7 1
水 3 A	± 2 0	± 2 0	± 4	± 2 5	± 4 9	± 8 6
銀 イオン水	1 1 8 9	1 2 2 5	1 2 3 1	1 2 0 0	1 2 1 7	1 2 2 3
5 0 p p b	± 3	± 2 3	± 3 6	± 2 0	± 2 7	± 9 7

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

1 表 5-2 (c) 酸化還元電位 (ORP) の経時的変化

2

	0 日	5 日	10 日	15 日	20 日	25 日
	目	目	目	目	目	目
水道水	454	344	349	351	336	309
	±17	±17	±3	±9	±26	±13
循環電解水	85	348	344	344	325	318
1A	±75	±11	±1	±8	±19	±13
循環電解水	38	345	341	336	319	315
2A	±81	±14	±2	±7	±25	±13
循環電解水	39	337	342	335	311	307
3A	±99	±10	±8	±7	±23	±8
銀イオン水	399	330	325	294	250	252
50ppb	±41	±2	±13	±22	±42	±73

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

1 表 5-2 (d) 溶 存 酸 素 (D O) の 経 時 的 変 化

2

	0 日	5 日	10 日	15 日	20 日	25 日
	目	目	目	目	目	目
水 道 水	7.99 ± 0.56	7.28 ± 0.27	3.23 ± 0.31	1.86 ± 0.20	2.23 ± 0.80	2.48 ± 0.79
循 環 電 解	9.05 ±	7.36 ±	3.36 ±	2.59 ±	2.32 ±	2.49 ±
水 1 A	0.27	0.29	1.18	0.35	0.41	0.85
循 環 電 解	9.73 ±	7.32 ±	3.08 ±	2.10 ±	2.41 ±	2.01 ±
水 2 A	0.85	0.47	1.30	0.74	0.54	0.30
循 環 電 解	9.99 ±	7.56 ±	3.71 ±	2.80 ±	2.00 ±	2.74 ±
水 3 A	1.47	0.35	1.54	0.12	0.81	0.53
銀 イオン水	8.19 ±	7.31 ±	2.84 ±	2.64 ±	1.72 ±	2.46 ±
50 p p b	0.26	0.14	1.15	0.76	0.48	0.77

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

1 表 5-2 (e) 有 効 塩 素 濃 度 (A C C) の 経 時 的 変 化

2

	0 日	5 日	10 日	15 日	20 日	25 日
	目	目	目	目	目	目
水 道 水	0.34	0.03	0.03	0.02	0.02	0.10
	± 0.06	± 0.01	± 0.02	± 0.01	± 0.01	± 0.08
循 環 電 解	0.33	0.05	0.02	0.03	0.03	0.03
水 1 A	± 0.02	± 0.04	± 0	± 0.01	± 0.01	± 0.02
循 環 電 解	0.38	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03
水 2 A	± 0.01	± 0.03	± 0.01	± 0.01	± 0.02	± 0.01
循 環 電 解	0.40	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03
水 3 A	± 0.04	± 0.01	± 0	± 0.01	± 0.01	± 0.02
銀 イオン水	0.10 ±	0.02 ±	0.02 ±	0.02 ±	0.02 ±	0.04 ±
50 p p b	0.06	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

1 表 5-3 コマツナの生育量変化

2

	葉 数 (枚)	葉 長 (c m)	葉 丈 (c m)	根 長 (c m)	生 体 重 (g)	乾 物 重 (g)	水 分 含 有 率 (%)
水 道 水	11.8 ± 0.7	10.9 ± 1.7	18.4 ± 2.1	26.3 ± 4.0	14.3 ± 2.9	1.42 ± 0	89.9 ± 1.77
循 環 電 解 水 1 A	11.7 ± 0.7	10.2 ± 0.9	17.8 ± 2.1	32.8 ± 8.7	14.1 ± 2.6	1.40 ± 0	90.0 ± 1.53
循 環 電 解 水 2 A	11.7 ± 1.9	10.6 ± 1.0	18.3 ± 2.1	25.3 ± 6.6	15.0 ± 2.3	1.49 ± 0	90.0 ± 1.20
循 環 電 解 水 3 A	11.2 ± 1.2	11.3 ± 1.7	19.9 ± 1.9	31.5 ± 8.9	15.6 ± 4.2	1.47 ± 0.2	90.5 ± 0.66
銀 イオン 水 50 p p b	12.1 ± 1.8	9.8 ± 1.2	18.8 ± 2.1	28.6 ± 11	14.9 ± 4.9	1.88 ± 0.3	87.1 ± 1.54

3

4

5

6

7

8

1

2

3

4

5

6

7

8

9

第 6 章 総括

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

1 本研究は，電解して得られる機能水の変化と効能を結
2 び付けるため，機能水の特性を理化学的に測定するとと
3 もに，アルカリ性電解水，銀イオン水，循環式電解水を
4 微生物の殺菌や大豆加工工程に応用し，その影響につい
5 て考察したものである．本研究成果の要約は以下の通り
6 である．

7 1,電気分解して得られる電解水の特性について理化学的
8 評価を行った．機能水として一般的に用いられている表
9 面張力，浸透力，飽和溶解度，解離度を測定し，非電解
10 水（薬剤等による調整水）と比較した．

11 表面張力は純水，水酸化ナトリウム水，ナノバブル水，
12 水酸化ナトリウム水にナノバブルを発生させた水溶液
13 （AIEW 疑似水）よりもアルカリ性電解水（AIEW）の方
14 が低かった．また，電流・電圧を上げると，AIEW の表面
15 張力が低下した．このことより，電気分解により表面張
16 力が低下したことで，洗浄力の要因の一つである濡れ性
17 が高くなった可能性が示唆された．

18 浸透圧は水酸化ナトリウム水，マイクロバブル水，水
19 酸化ナトリウム水にマイクロバブルを発生させた水溶液
20 （AIEW 疑似水）よりも，AIEW の方が高かった．このこ
21 とから，電気分解を行うことによって浸透圧が高まった．

1 AIEW が高い浸透圧を有し，純水を引き込んだというこ
2 とは，AIEW は汚れに対して浸透しにくいと言える．した
3 がって，AIEW の高い洗浄効果は浸透圧によるものでは
4 なく，その他の要因によって引き起こされていることが
5 分かった．

6 飽和溶解度は，純水よりも AIEW の方が若干高く，同
7 じ構成要素を持つ，水酸化ナトリウム水にマイクロバブ
8 ルを発生させた水溶液（AIEW 疑似水）とは大きな差が見
9 られることが分かった．したがって，AIEW は高い飽和溶
10 解度を持つことから，肥料や薬品を溶かしやすい溶媒で
11 あり，使用範囲の拡大が考えられる．

12 2, 強アルカリ性電解水の物理化学特性から洗浄剤の代替
13 使用の可能性について，芋脂を用いて検討した．洗浄効
14 果は通常使用されている洗浄剤と比べて遜色なく，強ア
15 ルカリ性電解水は芋脂の洗浄に使用できることが実験的
16 に証明された．この結果は物理化学特性の表面張力と一
17 致した．

18 3, 銀イオン水及び銀イオン氷の殺菌・抗菌効果を検証し
19 た．200ppb の銀イオン水では，大腸菌を2時間で死滅さ
20 せることができた．50ppb 及び 100ppb の銀イオン水では，
21 24時間で大腸菌を死滅されることができた．黒黴に関し

1 ては， 50， 100， 200ppb の銀イオン水は， 48 時間で純水
2 に比べて 1~2log CFU/mL 抑制することができた．さらに，
3 飲食店の製氷機内に微生物が存在していることを確認し
4 た．しかし， 60ppb の銀イオン氷を生成する製氷機では，
5 微生物は検出されなかった．これらのことから，銀イオ
6 ン水は殺菌剤の代替として用いられることができると考
7 えられる．また，銀イオン氷は製氷機の衛生管理を向上
8 できることが示唆された．

9 4,大豆加工の浸漬工程における銀イオン水及び循環式電
10 解水の抗菌効果を調査した．また，それらの機能水への
11 浸漬で大豆の品質劣化が起こるかを調査するために，大
12 豆の質量及び硬度を測定した．銀イオン水及び循環式電
13 解水は 12 時間の浸漬で，純水と比較して，大豆付着菌と
14 浸漬水浮遊菌を 90%以上増殖抑制した．また，銀イオン
15 水及び循環式電解水は，2 時間と 6 時間の浸漬で，純水
16 と比較して，大豆付着菌をわずかではあるが増殖抑制し
17 た（70%）．機能水に浸漬させた大豆の質量と硬度は，純
18 水に浸漬させた大豆の質量，硬度と同等であった．これ
19 らの結果から，銀イオン水及び循環式電解水は，微生物
20 を増殖抑制させる観点から，純水よりも効果があること
21 が示され，大豆加工工程の浸漬水として利用できること

1 が明らかとなった．

2 5,環境に低負荷で安全性の高いことで注目されている循
3 環式電解水,銀イオン水を用いた植物工場における有効
4 な利用手法の開発を検討した．葉数,葉長,葉丈,根長,
5 生体重,乾物重,水分含有率,全てにおいて,供試水間
6 に有意差はなかった．循環式電解水及び銀イオン水によ
7 るコマツナの生育阻害は認められず,第4章・第5章1
8 節より,微生物の殺菌・抗菌効果があることが分かって
9 いる．また,先行研究より,植物工場栽培の藻類に対し
10 ても殺藻の効果があることが証明されている．したがっ
11 て,循環式電解水及び銀イオン水は,微生物の殺菌・抗
12 菌作用や殺藻の効果が期待されることから,植物工場栽
13 培の溶液として,代替の可能性があると考えられる．

1 謝 辞

2 本研究を進行するにあたり，御多忙中にも関わらず有
3 益な御助言や御指導を頂いたほか，研究に従事できるよ
4 う，数々のお力添えを頂いた弘中和憲教授，紙谷喜則准
5 教授，平良英三准教授に深く感謝致します．紙谷喜則准
6 教授には学部時代から親身に面倒を見てくださり，非常
7 に感謝しております．

8 有益かつ親身な御助力を下さった食料環境システム学
9 研究室のOB・OGの皆様，また充実した学生生活を送る
10 ために御協力頂いた研究室の同輩，後輩の皆様に心から
11 御礼申し上げます．

12 また，私を今まで支え続けてきてくれた家族にも感謝
13 致します．

14 そして最後に，私に公私ともに関わった全ての皆様に
15 深く感謝致します．

16 本研究はこれら各位の多大なる御指導，御協力のもと
17 に進めることができたものであり，ここに改めて感謝申
18 し上げます．

19

20

21

1 参考文献

- 2 1) 国土交通省．2008．水資源 世界の水資源．
- 3 2) 米虫節夫，角野久史．2013．やさしい食品衛生 7S 入
- 4 門．日本規格協会．東京．
- 5 3) 強酸性電解水企業協議会編纂．2000．強酸性電解水
- 6 マニュアルー医療編 2000ー．4
- 7 4) 小関成樹，伊藤和彦．2000．カット野菜の電解水殺菌
- 8 における強アルカリ性電解水の前処理効果．日本食品科
- 9 学工学会誌．47(12)．907-913．
- 10 5) 岩沢篤郎，中村良子，丹羽友和，西本右子．2002．強
- 11 酸性電解水の殺菌効果に対する pH の影響．日本防菌防
- 12 黴学会誌．30(10)．635-643．
- 13 6) 小関成樹，伊藤和彦．2000．強酸性電解水を用いたカ
- 14 ット野菜の殺菌．日本食品科学工学会誌．47(9)．722-726．
- 15 7) 上田成子，桑原祥浩．1999．生食用野菜の種々の洗浄・
- 16 殺菌法による除菌・殺菌効果と強酸化電解水の腸管病原
- 17 菌に対する殺菌作用．日本防菌防黴学会誌．27(5)．301-
- 18 307．
- 19 8) 岩沢篤郎，中村良子．1998．酸性電解水の腸管出血性
- 20 大腸菌 O157:H7 に対する殺菌効果．環境感染．13(2)．
- 21 118-123．

- 1 9) 小関成樹, 伊藤和彦. 2000. 強酸性電解水の有効塩素
2 濃度がカット野菜の殺菌効果に及ぼす影響. 日本食品科
3 学工学会誌. 47(12). 888-898.
- 4 10) 山口庸子, 中村弥生. 2014. マイクロ・ナノバブル
5 水の洗浄に関わる基本性能. 共立女子短期大学生活科学
6 科紀要. 57. 15-21.
- 7 11) 高橋正好. 2005. マイクロバブルを利用した環境浄
8 化と食の安全確保. 日本海水学会誌. 59(1). 17-22.
- 9 12) 高橋正好. 2008. マイクロバブルを用いたウイルス
10 不活性化技術. マリンエンジニアリング. 43(1). 64-69.
- 11 13) 野田衛, 上間匡. 2011. ノロウイルスの不活性化に
12 関する研究の現状. 国立医薬品食品衛生研究所報告.
- 13 14) 花岡孝吉. 1999. 電解機能水の物理化学的特性とそ
14 の応用. フレグランスジャーナル. 27(3). 18-22.
- 15 15) 西本右子, 森下裕子, 貝塚美保子. 1996. いわゆる
16 機能水と呼ばれる強酸性電解水の評価. 分析科学. 45(7).
17 701-706.
- 18 16) 松尾昌樹. 2000. 電解水の基礎と利用技術. p111.
19 技報堂出版株式会社. 東京.
- 20 17) ヒュー, ケルシ, ムーア. 1900. 塩化アルカリ電気
21 分析装置. 日本国特許. 第4717号

- 1 18) 岩沢篤郎, 中村良子, 水野徳次. 1993. 臨床分離株
2 に対するアクア酸化水の効果. 日本環境感染学会
3 誌. 8(2):11-16.
- 4 19) 岩沢篤郎. 1993. アクア酸化水の抗微生物効果. 臨
5 床検査. 37:918-919
- 6 20) 塩見洋一. 1996. ルワンダにおける超酸化水の使用
7 実態について. ウォーター研究会会報. 3:31.
- 8 21) 阿部富爾, 田仲紀陽. 1999. 強酸性電解水による人工
9 透析機器の洗浄消毒. 第25回日本医学会総会小冊子強
10 酸性電解水の基礎と有効利用. 日本機能水研究振興財団
11 監修: 14-15
- 12 22) 滝井正子, 下脇ひとみ, 川上千英子. 1999. 強酸性水洗
13 浄による創傷ケアの効果. 日本褥創学会誌. 1(1)104
- 14 23) 鎌田真彦. 1999. 強酸性による褥創. 日本褥創学会
15 誌. 1(1): 184
- 16 24) 官報. 2002. 厚生労働省告示第212号. 財務省印刷
17 局第3378号, 8
- 18 25) 佐藤久聡, 前原信利, 井川房欣, 齋藤洋介, 阿知波
19 信夫, 松井英則, 小宮山寛機. 2000. 厨房内の消毒にお
20 ける電解水の有効性. 日本化学療法学会雑誌. 48:768-774.
- 21 26) 富士原和宏, 飯本光雄, 藤原樹子. 1998. 電気分解

1 強酸性水噴霧による作物病害防除に関する基礎研究 (1)
2 水素イオン濃度指数および遊離型有効塩素濃度がキュウ
3 リうどんこ病の発病抑制に及ぼす影響. 生物環境調節.
4 36:137-143.
5 27) 富士原和宏, 土井龍太, 飯本光雄, 史慶春. 1998.
6 電気分解強酸性水噴霧による作物病害防除に関する基礎
7 研究(2)キュウリべと病の発病抑制と生理障害の発生. 生
8 物環境調節. 38:245-249.
9 28) 富士原和宏, 土井龍太, 飯本光雄, 谷野章. 2000.
10 電気分解陽極水噴霧による作物病害防除に関する基礎研
11 究(3) - 電気分解陽極水および葉やけ様生理障害発生葉
12 率に及ぼす影響 -. 生物環境調節. 38:33-38.
13 29) 富士原和宏, 土井龍太, 飯本光雄, 藤井琢哉. 2000.
14 電気分解陽極水噴霧による作物病害防除に関する基礎研
15 究(4) - pHおよび有効塩素濃度がトマトうどんこ病発
16 病および葉やけ様生理障害発生葉率に及ぼす影響 -. 生
17 物環境調節. 38:263-271
18 30) 田代博一, 北洞哲治, 藤山佳秀, 馬場忠雄. 2000.
19 慢性下痢におけるアルカリイオン水の有効性の臨床的検
20 討 -double blind placebo control study による -. 日本消化
21 吸収学会「消化と吸収」. 23(2). 52-56.

- 1 31) 鈴木正彦, 仁科正美, 倉持知也, 山川由紀子, 鈴木
2 政美. 1995. アルカリイオン水を引用させた高血圧自然
3 発症ラットにおけるエナラプリルの降圧作用. 医学と生
4 物学. 131(6). 281-286.
- 5 32) 鈴木政美, 鈴木正彦, 仁科正美, 富永信子. 2000.
6 アルカリ性水長期飲用によるマウス成長過程への影響.
7 第7回機能水シンポジウム2000東京大会プログラム.
- 8 33) 早川享志. 1999. アルカリイオン水の機能と応用.
9 FOOD STYLE21. 食品化学新聞社. 3(2). 49-55.
- 10 34) 吉川敏一, 内藤裕二, 近藤元治. 1999. アルカリイ
11 オン水の胃機能に及ぼす影響と胃粘膜障害抑制作用.
12 FRAGRANCE JOURNAL 3月号. 14-17.
- 13 35) 内藤裕二, 吉川敏一, 高木智久, 八木信明, 松本希
14 一, 吉田憲正, 近藤元治. 1999. アルカリイオン水の胃
15 粘膜保護作用と胃酸分泌. 胃分泌研究会誌. 31. p69-72.
- 16 36) 雁野勝宣, 齋藤洋介, 林茂彦, 鹿沼隆宏. 2000. 電
17 解機能水を用いた果菜類防除技術の開発. 農作業研究.
18 35別号1 平成12年度春季大会号: 71-72.
- 19 37) 小林健治, 山崎幸一, 土佐典照, 原安夫, 堀江修二.
20 1997. 電解水によるかつお節エキスの抽出効果. 日
21 本食品科学工業会誌. 44(7): 508-511

- 1 38) 堀 秀 生 .2008.透 析 用 消 毒 剤 と し て の 銀 イ オ ン 水 の 可
2 能 性
- 3 39) 新 日 本 空 調 (株) 技 術 開 発 研 究 所 .銀 イ オ ン 水 の 安 全
4 性 に つ い て
- 5 40) 一 井 翔 太 郎 .2015.電 解 銀 イ オ ン 水 の 有 効 利 用 に 関 す
6 る 基 礎 研 究 修 士 論 文
- 7 41) 浅 見 真 理 ・ 小 坂 浩 司 ・ 島 崎 大 ・ 武 井 佳 奈 子 . 2014.
8 塩 水 電 解 に よ る 塩 素 酸 及 び 過 塩 素 酸 の 生 成 特 性 と 電 極 材
9 質 に 関 す る 検 討 . 水 環 境 学 会 誌 . 37(5) : 189-195
- 10 42) 甲 斐 穂 高 ・ 大 田 政 史 ・ 中 道 隆 広 ・ 森 美 由 貴 ・ 吉 嚇 哲 ・
11 竹 下 哲 史 ・ 石 橋 康 弘 . 2015. 臭 素 酸 電 解 水 の 殺 菌 効 果 に
12 関 す る 研 究 . 環 境 と 安 全 . 6(3) : 181-188
- 13 43) Len, S.-V., Y.-C. Hung, M. Erickson and C. Kim. 2000.
14 Ultraviolet Spectrophotometric Characterization and
15 Bactericidal Properties of Electrolyzed Oxidizing Water
16 as Influenced by Amperage and pH. Journal of Food
17 Protection. 63(11):1534-1537.
- 18 44) Kim, C., Y.-C. Hung and R.E. Brackett. 2000. Efficacy
19 of Electrolyzed Oxidizing(EO) and Chemically Modified
20 Water on Food-Borne Pathogens. Int J Food Microbiol.
21 61(2-3):199-207.

- 1 45) 竹ノ内敏一・田中博志・若林信一．2003．アルカリ
2 性電解水による金属表面の洗浄．表面技術．54(11)：818-
3 822．
- 4 46) 佐藤運海・竹ノ内敏一・若林信一・佐藤元太郎．2005．
5 電解水を用いたシリコンウエハーの超精密洗浄．精密工
6 学会誌論文集．71(6)：756-761．
- 7 47) 一井翔太郎・内田圭一・楫田優希・下田卓弥・榎木
8 里真・紙谷喜則．2013．食品工場における機能水の有用
9 性の研究シリーズ．FOOMA JAPAN 2013 アカデミックプ
10 ラザ研究発表要旨集 Vol.20：301-304．
- 11 48) 池本義夫編．1973．物理実験辞典．p68．講談社．東
12 京．
- 13 49) 松岡孝尚・岩元睦夫．1991．電気石により処理した
14 水の表面張力及び膜透過性．日本食品工業学会誌．38(5)：
15 422-424
- 16 50) 久保哲次郎．1989．電気石が作る水の界面活性．固
17 体物理．24(12)：1055．
- 18 51) 岩田和佳・佐野洋．2006．水～基礎・ヘルスケア・
19 環境浄化・先端応用技術～．P31-38．株式会社エヌ・テ
20 ィー・エス．東京．
- 21 52) 花岡孝吉．2009．新しい「水の力」の発見．P43-78．

1 株式会社イースト・プレス．東京．

2 53) ウォーター研究会編．1997．強酸性電解水の基礎知
3 識．p29．オーム社．東京．

4 54) 大森豊明，岩田和佳，佐野洋．2006．水～基礎・ヘ
5 ルスケア・環境浄化・先端応用技術～．p41．株式会社エ
6 ス・ティー・エス．東京．

7 55) 馬場武・市川英孝．2013．薩摩焼酎のターゲットイン
8 グ戦略：消費者の味覚知覚分析とイメージ分析を中心に．
9 Journal of Economics and Sociology, Kagoshima
10 University. 80 : 103-114.

11 56) 浦野博水・大村宏之・福崎智司．2010．ステンレス
12 鋼に付着したタンパク質含量の定量評価におけるふき取
13 り法の操作条件と有効性．日本防菌防黴学会誌．38(4) :
14 211-218．

15 57) 紙谷喜則．2013．機能水による洗浄効果と有効利用
16 に向けて．Foods & food ingredients journal of Japan.
17 218 : 129-136．

18 58) 福崎智司・竹原淳彦・浦野博水・高橋和宏．2004．
19 タンパク質汚れに対する電解水の洗浄作用．平成16年
20 度岡山県工業技術センター報告．15-17．

21 59) 松尾昌樹．2000．電解水の基礎と利用技術．p. 2-8．

- 1 技報堂出版．東京．
- 2 60) 高峯和則・安藤義則・児玉剛・原健二郎・亀澤浩幸・
- 3 間世田春作．2000．本格いも焼酎用原料甘藷の特性に関
- 4 する研究－ヤニおよびタンパク質含量の酒質の関係．鹿
- 5 児島県工業技術センター研究報告．14：25-30．
- 6 61) Pedersen, K. 1982. Method for studying microbial
- 7 biofilms in flowing water systems. Applied and
- 8 Environmental Microbiology. 43: 6-13.
- 9 62) 森松和也・田中那奈・濱中大介・内野敏剛・田中史
- 10 彦．2014．バイオフィルムを形成した *Pseudomonas putida*
- 11 に対する次亜塩素酸ナトリウムの除去及び殺菌効果．日
- 12 本防菌防黴学会誌．42：647-650．
- 13 63) 柏木明久・八木健太郎・内田圭一・紙谷喜則・河野
- 14 澄夫．2011．焼酎製造工程における衛生管理方法に関す
- 15 る一考察－芋脂成分の拭き取りによる残留量評価法の検
- 16 討－．農業機械学会九州支部誌．60：19-23．
- 17 64) 厚生労働省（2017）食中毒統計資料 平成28年食中
- 18 毒発生状況．
- 19 65) 厚生労働省医薬食品局食品安全部（2013）食品の安
- 20 全確保に向けた取組，p7．
- 21 66) 農林水産省（2013）平成24年度食料・農業・農村

- 1 白書， p127-131.
- 2 67) 磯部 順子 (2012) 焼肉チェーン店を原因施設とする
3 腸管出血性大腸菌による集団食中毒の概要．日本食品微
4 生物学会雑誌， 29， 94-97.
- 5 68) 厚生労働省 (2017) 食中毒統計資料 平成 28 年食中
6 毒発生状況．
- 7 69) 農林水産省 (2014) 食料品消費モニター調査結果．
- 8 70) 農林水産省 (2015) 平成 27 年度食品製造業における
9 HACCP の導入状況実態調査．
- 10 71) 紙谷 喜則 (2013) 機能水による洗浄効果と有効利用
11 に向けて．FOODS & FOOD INGREDIENTS JOURNAL OF
12 JAPAN， 218， 129-136.
- 13 72) 瀧澤 敬美，新井 清一，林 照次，近藤 光男，大田 昌勝，
14 徳永 和信，福田 吉宏，三村 邦雄 (1992) 「手あれ」現象の
15 解析と新規な手あれ予防化粧品の開発．日本化粧品技術
16 者会誌， 25， 254-263.
- 17 73) 楫田 優希，金子 健誠，田原 千成，勝目 一成，紙谷 喜
18 則 (2016) 農業食料工学会九州支部例会発表要旨集，p.32.
- 19 74) 厚生労働省．2017．食中毒統計資料 平成 28 年食中
20 毒発生状況．
- 21 75) 金澤 一郎・祖田 修・上野 民夫・佐藤 文彦・森口 文雄・

1 新山陽子・唐木英明．2010．食の安全を求めて―食の安
 2 全と科学―．P13-17．（財）日本学術協力財団．東京．
 3 76）斎藤正隆・大久保隆弘・橋本鋼二・西入恵二・砂田
 4 喜代志・熊野誠一・大庭寅雄．1980．大豆の生態と栽培
 5 技術．P15．（社）農山漁村文化協会．東京．
 6 77）荒川修・伊藤武・井部明広・植村興・斎藤和夫・西
 7 島基弘・野口玉雄・廣末トシ子・細貝祐太郎・松本昌雄．
 8 2001．食品安全性セミナー1 食中毒．P43-44．中央法規
 9 出版株式会社．東京．
 10 78）大村芳正．2000．地域資源活用 食品加工総覧 第
 11 5巻 加工品編．P165-173．（社）農山漁村文化協会．東
 12 京．
 13 79）紙谷喜則．2013．機能水による洗浄効果と有効利用
 14 に向けて．FOODS & FOOD INGREDIENTS JOURNAL OF
 15 JAPAN．218：129-136．
 16 80）Pathak, S.P and K. Gopal. 2012. Evaluation of
 17 bactericidal efficacy of silver ions on Escherichia coli
 18 for drinking water disinfection. Environmental Science
 19 and Pollution Research. 19:2285-2290
 20 81）松尾昌樹．2000．電解水の基礎と利用技術．P140,
 21 p191-221．技報堂出版（株）．東京．

- 1 82) 楫田優希・金子健誠・田原千成・勝目一成・紙谷喜
2 則．2016．電解銀イオン水生成の基礎的研究－Clイオン
3 による生成阻害の検討－．第70回農業食料工学会九州
4 支部例会発表要旨集．P32．
- 5 83) Chou, K.S. , Y.C. Lu and H.H. Lee. 2005. Effect of
6 alkaline ion on the mechanism and kinetics of chemical
7 reduction of silver. Materials Chemistry and Physics.
8 94:429-433
- 9 84) 浅野三夫・大久保一良・山内文男．1989．大豆から
10 のしんしゅつ成分挙動に及ぼす浸漬温度の影響．日本食
11 品工業学会誌．36(8)：636-642．
- 12 85) 小野伴忠・下山田真・村本光二．2012．大豆の機能
13 と科学．P27-54．(株)朝倉書店．東京．
- 14 86) 平田悠達・下田卓弥・河野澄夫・紙谷喜則．2014．
15 電解技術を用いた無菌栽培溶液の作成方法の検討．第73
16 回農業食料工学会講演要旨集．P248
- 17 87) 勝目一成・金子健誠・田原千成・中村嘉孝・楫田優
18 希・紙谷喜則．2016．電解技術を用いた栽培液の管理
19 手法の開発－藻類のコントロール法の検討－．第70回
20 農業食料工学会九州支部例会発表要旨集．P7
-