総　説

機能水研究　Vol. 2(2), p. 59-64, 2004.

飲用アルカリ性電解水（アルカリイオン水）研究の流れ

糸川嘉則

福井県立大学大学院看護福祉学研究科

I. アルカリイオン水とは[1),2)]

アルカリイオン水とは，アルカリイオン整水器と呼ばれる家庭用電解水生成器を用いて，カルシウムイオンを含んだ飲用適の水（水道水に乳酸カルシウムを電解補助剤として添加）を電気分解することにより生成され，かつ飲用pH範囲などの基準を満足するアルカリ性電解水のことである．アルカリイオン整水器の電解部の構造は，隔膜で二槽に仕切られ，それぞれの槽に陰極および陽極となる電極が設けられている．両電極間に電流を流すと，陰イオンは陽極に，陽イオンは陰極に引き寄せられ，電極に接触している水が電極表面において電気分解され，表1に示すように陰極側の水はアルカリ性となり飲用に供せられる．

電解部の概念構造を図1に示した．陽極側から生成される弱酸性電解水は酸性イオン水と称され，飲用目的ではなく洗顔などに用いられるものである．

また電解水の中には，希薄な食塩水を電気分解することで陽極側より生成される電解水は，強酸性電解水と称され，消毒等に用いられる．強酸性電解水は飲用には適さないが，殺菌効果が高く，生体に対する安全性，機器等に対する損傷も少なく，医療現場でも創傷をはじめ，内視鏡や透析装置などの消毒にも広く使用されている．

II. アルカリイオン水の開発の歴史とアルカリイオン整水器検討委員会結成に至る経緯

アルカリイオン水の歴史は古く，昭和6年頃にシンノオル電機の医師，諏訪方季氏が電解水の動植物への影響について研究を開始したことから始まった．昭和27年に最初の水電気分解装置が開発され，当時は農業への応用効果が検討された．昭和33年には医師による臨床実験や利用者による使用体験などの後押しを受け，「シンノオル液製造機」（諏訪氏は「シンノオル液」と命名）として発売された．昭和35年にシンノオル液医学薬学研究会が発足し，医療面での実用化の期待が高まった．「シンノオル液製造機」は昭和37年に内務省衛生局（現在の厚生労働省）に医療用具としての製造承認が申請され，昭和41年に薬事法施行令による家庭用医療用具として承認されるに至った．ここで承認された効能効果は，厚生省薬務局長通知（薬発第763号，昭和40年）にて，「陰極水は消化不良，胃酸過多，慢性下痢，胃腸内異常発酵，制酸に有効である」，「陽極水はアストリンゼン液として用いられる」と通知されている．

昭和54年には水道蛇口に直結できる連続式電解水生成器が開発，医療用具承認され，「アルカリイオン水」との名称が使われ始めた．この頃より社会における飲み水に対する認識や健康志向の高まりを受け，アルカリイオン水は徐々に社会に認知されてきた．平成4年のテレビ報道にてアルカリイオン水は“驚異の水”として紹介され，アルカリイオン水ブームが起こったが，その過熱振りを危惧した国民生活センターが商品テストを実施してアルカリイオン水の効果に対する疑問が提起された．その内容は，①アルカリイオン水はカルシウム栄養の改善に有効か？　②制酸効果はあるのか？　③腹部愁訴の軽減に対して有効なのか？　というものであった．このことは国会での審議を経て，厚生省は業界団体であるアルカリイオン整水器協議会（社団法人日本健康治療機器工業会第2部会を母体に設

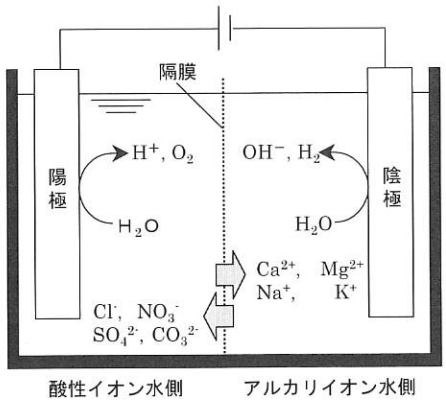


図1　電解部の構造模式図

表1　生成水の性状

	pH	ORP	陽イオン	陰イオン	溶存気体
アルカリイオン水	9～10	低い	増加	減少	水素
酸性イオン水	4～ 6	高い	減少	増加	酸素

立）に対して，品質・有効性・安全性に関する現時点での科学技術の進歩に対応したデータを収集することを指示した．これに対して協議会は，岡崎龍夫氏と今井博三氏の二人が代表し，筆者にこの検討を依頼してきたのである．そのとき，提示された検討項目は，次のとおりであった．

① アルカリイオン水の飲用における安全性の再確認

② 現在承認されている効能効果（胃腸症状の改善）に対する有効性の客観的試験方法による再確認，

③ 国民生活センターが提示した三つの疑問（前掲）に対する回答，

④ その他アルカリイオン水に関する科学的検証を，高い学術的内容を持ったレベルでの研究推進

当時筆者は京都大学医学部衛生学教室において，ビタミンやミネラルの機能や必要量の研究に従事していたが，水に関する研究は水道水中の塩素がビタミン B_1 を分解するという研究だけであった．しかし飲料水の問題は衛生学においても重要な研究分野であるため，とにかく成果はどうなるかわからないが，研究組織を作って検討してみようと回答したことを記憶している．

この研究組織の名称は「アルカリイオン整水器検討委員会」とし，委員の選定が最初の重要課題となった．①に関する研究は最も基本となる物性試験が必要で，最適任者として電気分解に関する権威である京都大学工学部の小久見善八教授にお願いした．動物安全性試験は「医薬品の安全性試験の実施に関する基準」による GLP (Good Laboratory Practice) 適合機関である生活科学研究所の柳本行雄所長にお願いした．この検討委員会の最も重要な課題は，②③の両方にまたがる問題，消化器に関係する課題である．臨床試験も実施する必要があり，関東からは慶応義塾大学の土屋雅春教授，関西からは滋賀医科大学の細田四郎教授という二人の消化器臨床の権威に委員になっていただいた．そして土屋教授は臨床試験を実施する適任者として国立大蔵病院の北洞哲治部長（現国際医療福祉大学附属熱海病院教授）を推薦し，細田教授は滋賀医科大学の藤山佳秀講師（現教授）を指名した．北洞部長はこの話を土屋教授から初めて聞いたとき，寝耳に水の感じであったと後に漏らしていたが，藤山講師も同様な印象ではなかったかと思う．しかしこの二人のおかげで当初筆者も期待していなかったアルカリイオン水の有効性が証明されるのである．このほかに委員として(財)医療機器センターの箭内博行常任理事，京都大学薬学部の横山　陽教授が加わっている．さらに③の国民生活センターが掲げた疑問であるカルシウムに関する検討については，筆者の教室で担当することになり，後に京都大学医学研究科病理系の高橋玲助教授を委員に追認した．そのほかにも，④に対応した研究を行う委員として，岐阜大学農学部の柘植治人教授，京都府立医科大学内科の吉川敏一教授に依嘱した．

III. アルカリイオン整水器検討委員会による研究

1. 物性試験[3]（京都大学，小久見善八教授・滋賀県立大学，菊地憲次助教授）

装置に用いられている材料からのアルカリイオン水中の金属溶出物，ならびに電解による副生成物を中心に，安全性に関して検討された．

整水器の電極材料は，白金被覆チタン電極，フェライト系電極，ステンレス電極を試験対象として，アルカリイオン水中に溶出してくる物質について分析した結果，白金被覆チタン電極では重金属などの溶出は全く認められなかった．フェライト系電極，ステンレス電極を用いた場合でもアルカリイオン水生成時の重金属の溶出は問題とならないが，装置のメンテナンスと洗浄のための極性反転を行い，短時間電気分解を行う逆通電を行った場合では，微量の金属（鉄，ニッケル，クロム）が検出された．この溶出は陽極側における酸化反応によるもので，陰極側（アルカリイオン水生成側）におけるものではないが，協議会に対して，市販装置の対応として通水開始時における初期の捨て水実施を推奨するとともに，白金被覆チタン電極が望ましい旨を勧告した．

アルカリイオン整水器に流入される水に塩化物イオンが含まれていると，これが陽極側で酸化されて次亜塩素酸が発生し，水に含まれる微量な有機物と反応してトリハロメタンなどの有機塩素化合物が生成する可能性がある．そこで検討された結果，通常の場合は陽極側で生成した酸性水がアルカリイオン水側に流入することがないように構成されており，副生成物としてのトリハロメタンなどの発生は起こりえないことが明らかとなった．市販装置では活性炭を用いてろ過処理を行うため，水道水と比較してアルカリイオン水中のトリハロメタン濃度は著しく減少していることも解明された．しかしながら実験的に無理に酸性水をアルカリイオン水側に流入させると，基準値以下ではあるもののトリハロメタンの発生が否定できない結果も見られたので，協議会に対して「トリハロメタンが原水に対して増加しないこと」との基準項目追加を勧告した．

なお，典型的なアルカリイオン水の化学組成は表２に示

表２　アルカリイオン水の化学組成

	$[Ca^{2+}]$	$[Mg^{2+}]$	$[Na^{+}]$	$[K^{+}]$	$[Cl^{-}]$	$[SO_4^{2-}]$	$[H_2]$	酸化還元電位	pH
	mM	mM	mM	mM	mM	mM	mM	mV vs. SCE	
原水（水道水）	0.35	0.19	0.87	0.03	0.82	0.10	0	320	6.8
アルカリイオン水	0.58	0.25	1.09	0.07	0.07	0.01	0.80	−620	9.5

すように原水に比較してカルシウム，マグネシウムの陽イオンは2〜5割増加し，塩素イオンなどの陰イオンは減少する[4),5)]．また水素が高濃度含まれており，これがアルカリイオン水の作用機序に重要な役割をしている可能性も考えられる．

2. 動物安全性試験[3),6)]（生活科学研究所，柳本行雄所長）

この試験は厚生労働省GLP基準，「医薬品の安全性試験の実施に関する基準について」および「医薬品毒性試験法ガイドライン」などの基準に準拠して実施された．

1) ラットにおける短期反復投与試験

ラットに対照群，pH 11およびpH 10のアルカリイオン水を20 ml/kg/日，1〜7回強制投与した．

2) ラットにおける1カ月および6カ月反復投与試験

ラットに対照群，pH 11，pH 10およびpH 9のアルカリイオン水を20 ml/kg/日，連日強制投与した．

3) カニクイザルにおける反復投与毒性試験

カニクイザルに，①pH 11，pH 10およびpH 9.5のアルカリイオン水を20 ml/kg/日，4週間連日強制投与．②pH 11，pH 10およびpH 9.5のアルカリイオン水を50 ml/kg/日，4週間連日強制投与．③1週目pH 8.5，2週目pH 9.5，3週目pH 10，4週目pH 11のアルカリイオン水を20 ml/kg/日，4週間連日強制投与する実験を実施した．当初は2)のみを実施する予定であったが，後述の基礎臨床試験においてpH 11のアルカリイオン水飲用時に一過性の有意な血清カリウムの上昇が見られたため，安全性を確認するために試験項目を追加した．これらの試験すべてを通じて，一般状態，尿検査，血液学的検査，血液生化学的検査および病理学的検査などにおいてアルカリイオン水の毒性的影響は認められず，安全性が証明された．

3. 臨床試験[3),7)〜9)]（国立成育医療センター・北洞哲治部長，滋賀医科大学・藤山佳秀教授）

1) 基礎臨床試験

① 安全性および胃内pHの検討

同意を得た健康成人ボランティア6名に，アルカリイオン水をpH 9，10，11の順に各1000 ml/日，7日間飲用とし，血液，尿，便検査ならびに1日の胃内pH変動などの検査を行った．pH 11のアルカリイオン水飲用時に，症例は少ないながら有意の血清カリウム値の上昇が認められたため，その後pH 11の飲用は中止とした．この血清カリウムの上昇は，その後の追跡検査により正常範囲に復していた．その他の検査値に異常はなく，自覚症状，他覚症状とも異常は認められなかった．制酸効果は，胃内平均pHの上昇および24時間を通じてpH 3以下となる時間(pH 3 holding time)の両指標で判定した結果，pH 9のアルカリイオン水飲用で全例に有意な効果が認められた．pH 10および11飲用でも同様な傾向は見られたが，有意差は認められなかった．

② 短期安全性試験

同意を得た健康成人ボランティア8名に，pH 9.5のアルカリイオン水1000 ml/日，7日間飲用とし，安全性について検討した．副作用としての自覚症状はなく，血液，尿および便検査に異常は認められなかった．

③ 長期安全性試験

同意を得た健康成人ボランティア12名に，pH 9.5のアルカリイオン水1000 ml/日，1年間飲用とし，安全性について検討した．全例に自覚症状は認められず，アルカリイオン水飲用前後において臨床検査値に有意な変動を示す項目はなかった．全試験期間中において血清カリウム値と血清クレアチンフォスフォキナーゼの上昇が少数例で認められたが，いずれも1週間後の検査では正常範囲に復しており，一過性で臨床上問題となる変動とは考えられなかった．なお，後述の比較臨床試験においては浄水飲用としたプラセボ群でも血清カリウム値が一過性に上昇した症例が認められていた．

以上の結果から，pH 9.5のアルカリイオン水は長期飲用しても安全性には問題なしとの結論に至った．なお，pH 11飲用においての血清カリウム値上昇に関する機序は明らかにできなかったが，pH 10を超えない飲用範囲とすることで，アルカリイオン水の飲用は安全であると判断し，協議会に対して従来は「pH 11以下」であったpHの規定を「pH 10を超えない範囲」に変更することを勧告した．

2) 予備臨床試験

同意を得た腹部症状（消化不良，腸内異常発酵，便通異常（慢性下痢・便秘））を有する患者25名に対し，pH 9.5のアルカリイオン水を1000 ml/日，2週間飲用とし，腹部症状の変化について検討した．その結果を図2に示したが，88%の患者が何らかの改善を示していた．便通異常については，慢性下痢と便秘の両方が，アルカリイオン水飲用により改善した．また，便通異常（慢性下痢および便秘）について，飲用前後の排便回数を比較することにより，下痢および便秘のいずれにも有効であるという結果が得られた．

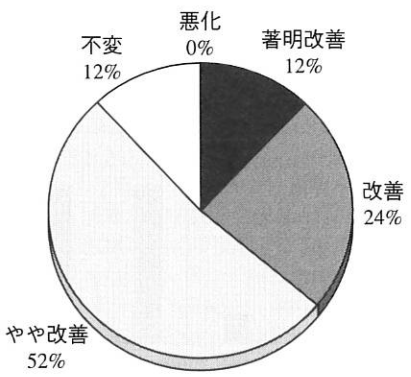


図2　総合改善度

3) 比較臨床試験

前述の予備臨床試験を受けて，二重盲検群間比較法による試験を実施した．対象は腹部症状を有する20歳以上の外来患者で同意を得たものとし，外見上判別不能なアルカリイオン整水器あるいはプラセボ器より生成したpH 9.5のアルカリイオン水または浄水を，500 ml/日，4週間飲用とした．コントローラー（京都大学医学部医療情報部，高橋　隆教授）作成のランダム発生プログラムにより各患者に両機器を割付け，キーコードは試験終了まで密閉保管した．対象症例の患者確保に難航し，当初の試験期間の計画を大幅に延長したが（すべての試験が完了するまで3年半もの期間を要した），最終的には解析可能症例としてアルカリイオン水群84例，プラセボ群79例を確保した．

解析可能症例全体における腹部症状の総合改善度については，アルカリイオン水群とプラセボ群との比較におけるWilcoxon検定の結果，5%有意水準における有意差はないものの，p値は0.22でアルカリイオン水群の方がプラセボ群に比較して有効である方向であった．これを有効群と非有効群に分けてχ^2検定を行った結果を図3に示したが，この検定ではアルカリイオン水飲用群が有意な改善を示していた．

なお，飲用前の症状が軽度であった83例についてWilcoxon検定を行うと，図4に示したとおりアルカリイオン水群はプラセボ群に比較して有意に有効であるという成績が得られた．

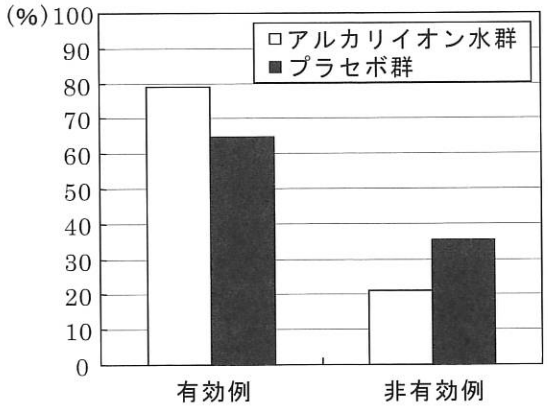


図3　全体における総合改善度

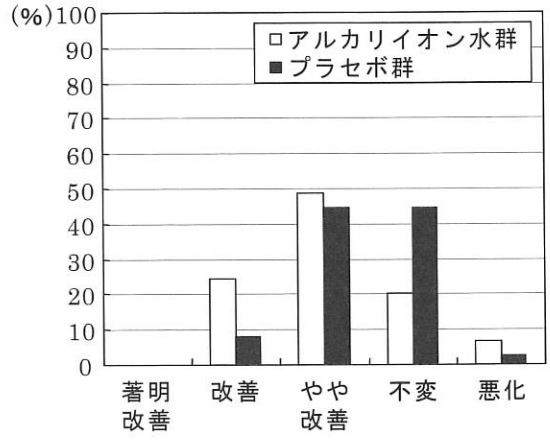


図4　軽症例における総合改善度

また，解析可能症例全体の飲用前後における便性状の変化を図5に示したが，4週後に便性状が「普通」となった症例の割合は明らかにアルカリイオン水群が高かった．

筆者はこれまで，種々の医薬品の開発に際して二重盲検臨床試験のコントローラーを行った経験があり，有意差が認められることがいかに困難かを経験してきた．したがって今回のアルカリイオン水の試験においても，内心では有意な結果が得られるとは予想しておらず，このような成績が得られたことは驚きであった．

以上の試験の結果，厚生労働省から承認されている効能効果を含めた有効性の再確認が達成され，国民生活センターからの疑問にも答えられたものと考える．

また，今回の試験ではプラセボ群でもかなりの改善が認められていた．昔から“便通異常には水を飲むと良い”と言われていたが，実際に臨床的に実証したことはおそらく初めてのことである．

4. 腸内異常発酵に関する検討[3), 10)]（岐阜大学農学部・柘植治人教授，早川享志教授）

ラットによる動物実験で，盲腸内発酵を高く維持できる食餌条件下でアルカリイオン水および水道水を飲用させて8週間飼育した結果，アルカリイオン水投与群で腸内発酵の指標となる盲腸内短鎖脂肪酸含量が有意に低下し，腸内発酵の抑制効果が認められた．効能効果として承認されている「胃腸内異常発酵」の抑制機構の一端を証明した研究である．

5. カルシウムの栄養，骨改善に対する検討[3), 11)]（京都大学・糸川嘉則名誉教授，京都大学医学研究科・高橋玲助教授）

ラットにカルシウム充足食および種々な段階のカルシウム欠乏食を摂取させ，アルカリイオン水および対象としてアルカリイオン水と当量のカルシウムを含む乳酸カルシウ

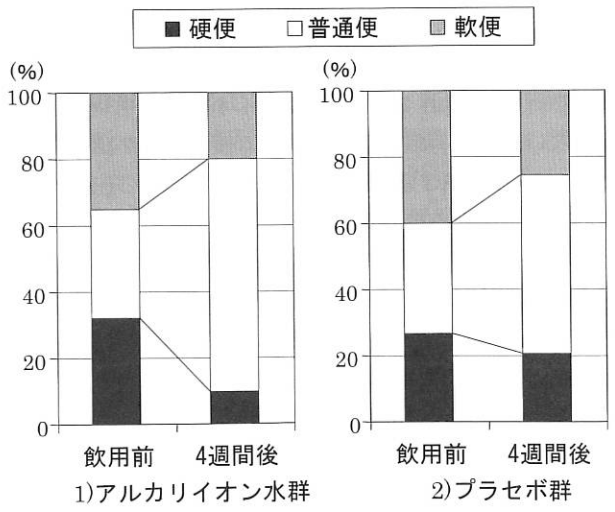


図5　飲用前後における便性状の変化

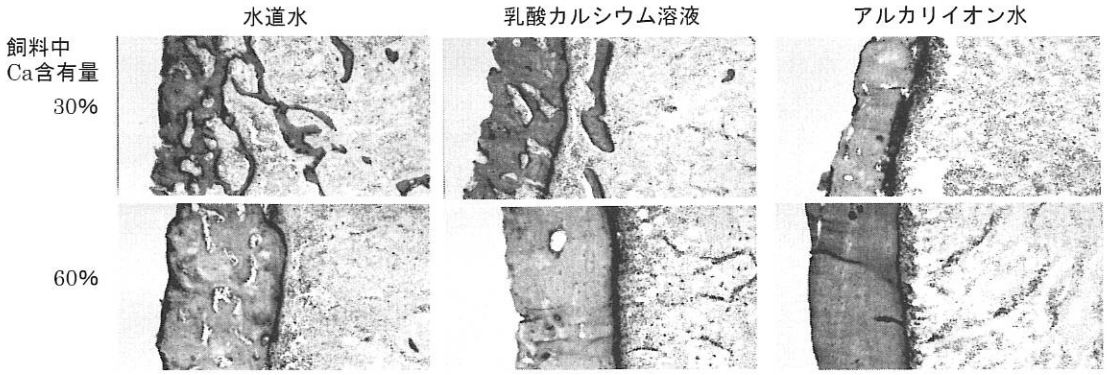


図6　骨形成状態の形態学的評価

ム溶液ならびに水道水を投与し，4週間飼育した結果，カルシウム欠乏食で水道水や乳酸カルシウム溶液投与群で見られた脱毛，活動性の減退，骨折などの外観上の変化が，アルカリイオン水投与群では認められず，脛骨重量と骨中カルシウム濃度がアルカリイオン水投与群で対照群に比較して有意に高値を示した．さらに，骨形成の状態を形態学的に検討した結果，カルシウムが充足した群およびカルシウムが完全に欠乏した群では，アルカリイオン水群と対照群の間に差は認められなかったが，中等度にカルシウムが不足している群（摂取量が通常の30%と60%）では，図6に示したとおり骨形成状態となるテトラサイクリンの取込み帯の増大が確認され，アルカリイオン水は骨形成の改善に役立つことが示唆された．カルシウム栄養の改善については効能効果として認められていないが，国民生活センターから提起された疑問に対する回答になりえるものである．しかしながら，何故このような効果が得られるのか，機序を解明する研究が残されている．

6. 胃の粘膜障害に対する検討[3), 12)]（京都府立医科大学・吉川敏一教授，内藤裕二助教授）

ラットをアルカリイオン水および水道水を2週間投与した後，非ステロイド系抗炎症薬のアスピリンあるいは虚血再灌流による実験的急性胃粘膜障害を惹起させた．その結果，アルカリイオン水投与群で胃粘膜びらんの長さは有意に抑制され，アルカリイオン水の胃粘膜保護作用が示された．この効果は，内因性の粘膜防御機構の誘導が関与している可能性が考えられている．この結果は，承認されている効能効果のうち「胃酸過多」，「制酸」などの胃症状の改善に関連したものである．

IV. おわりに

本総説は「飲用アルカリ性電解水（アルカリイオン水）研究の流れ」と題したが，その研究のひとつのbreak-throughになったと考えられるアルカリイオン整水器検討委員会における研究成果について記載したものである．この研究は産学協同の形で行われ，筆者は予想外の成功を収めたものと考えている．しかしながら効能効果は証明できても，そのメカニズムについてはまだ明確にないものが多く，研究者としては物足りない部分も残されている．平成14年に「日本機能水学会」が設立され，研究者間の情報交換や共同研究も活発になり，アルカリイオン水の作用機構を解明する研究も進展しつつあるように思われる．近い将来，「飲用アルカリ性電解水（アルカリイオン水）研究の流れ」の続編が，若い研究者により書かれることを祈念している．

参考文献

1) 財団法人機能水研究振興財団編：電解水ガイド2001, p. 18–19, 2001.
2) 糸川嘉則：アルカリイオン水の効用．FOOD Style 21, **7**(8): 81–83, 2003.
3) 小久見善八，菊地憲次，田代博一，他：アルカリイオン水の基礎と有効利用．第25回日本医学会総会シンポジウム「医療における電解機能水」要旨集，1999.
4) 菊地憲次：電解アルカリ性水の科学．The Japan Society of BIO/CHEMO-DYNAMIC WATERS, **8**: 1–8, 2001.
5) 菊地憲次：機能水の物性，輸液栄養．The Japanese Journal of Parenteral and Enternal Nutrition, **24**(10): 571–577, 2002.
6) 松尾篤信，山本　仁，柳本行雄：アルカリイオン水の毒性試験評価．機能水研究，**1**(1): 31, 2002.
7) 田代博一，北洞哲治，藤山佳秀 他：慢性下痢に対するアルカリイオン水の有効性の臨床的検討—double blind placebo control studyによる—．日本消化吸収学会「消化と吸収」，**23**(2): 52–56, 2000.
8) 北洞哲治，藤山佳秀：第26回日本医学会総会会誌［I］，アルカリイオン水の効能の科学的評価，第26回日本医学会総会会誌，福岡.
9) 藤山佳秀，北洞哲治，糸川嘉則：消化管機能異常症とアルカリイオン水．機能水研究，**1**(1), 42, 2002.
10) 早川享志：アルカリイオン水の機能と応用．FOOD STYLE 21, 食品化学新聞社，**3**(2): 49–55, 1999.
11) 高橋　玲，糸川嘉則：アルカリ性電解水生理機能の基礎的研究．第26回日本医学会総会会誌［I］，電解機能水の進歩と21世紀の医療における役割，p. 33, 2003, 福岡.
12) Naito Y., Yoshikawa T., *et al*: Chronic administration with electrolyzed alkaline water inhibits aspirin-induced gastric mucosal injury in rats through the inhibition of tumor necrosis factor-α expression. J. Clin. Biochem. Nutr., **32**: 69–81, 2002.

An Overview on Researches of Potable Alkaline Water by Electrolysis

Yoshinori ITOKAWA

Graduate School of of Nursing and Social Welfare Sciences, Fukui Prefecture University

This review article includes a historical sketches on develop a potable alkaline water by electrolysis called alkali-ion-water and results of researches by the examining committee on safety and efficiency of alkaline water in human health.

The researches by the committee were categorized following six studies. (1) Properties of potable alkaline water. (2) Acute and chronic toxicity test on animals. (3) Clinical test. This test was carried out by three different methods. ①pH value in stomach was measured after drinking alkaline water on healthy human volunteer. ②Efficacy test on patients suffured from disorders in digestive tract after administration of alkaline water. ③Efficiency test on patients suffured from disorders in digestive tract by double blind control study on alkaline water and non-electrolyzed water. (4) Effect of alkaline water on abnormal fermentation in intestinal tract in rats. (5) Effect of alkaline water on calcium nutrition and osteogenesis in rats. (6) Effect of alkaline water on gastric erosion in rats.

From these studies, it was proved that potable alkaline water is good to drink and beneficial effect on disorders in digestive tract. In addition, it was suggested that potable alkaline water increased body calcium content and osteogenetic activity.