

B-18 電解による井戸水中の フッ素の分離除去

○西野 美紀^{*1}・川上 智規¹・宮崎 光¹・長澤 詩織¹・
本山 亜友里²・渋谷 洋平³

¹富山県立大学工学部環境工学科 (〒939-0398富山県射水市黒河5180)

²岐阜大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 (〒501-1193岐阜県岐阜市柳戸1番1)

³北陸コンサルタント株式会社 (〒939-8213富山県富山市黒瀬192番地)

* E-mail: t017023@st.pu-toyama.ac.jp

1. はじめに

スリランカ北部の農村部では、住民が飲料水として井戸水を利用している。しかしながら、その井戸水に地質由来のフッ素が混入しており、多くの住民にフッ素症(斑状歯)の症状がみられる¹⁾。図-1 に地域別 F 濃度を示す。Anuradhapura や Trincomalee, Hambantota の地区では平均 F 濃度が、スリランカの飲料水基準 0.6mg/L を超えていることが分かる。また、Anuradhapura や Trincomalee 地区の地下水は硬度も高く、調理器具にスケールが発生するという問題が生じている。さらに慢性腎臓病が多発しており、その原因としてフッ素や硬度との関連が疑われている。これらのことから、フッ素と硬度の同時除去技術が必要となる。スリランカの一部地域では、フッ素除去法としてアルミ電極電解法が行われている²⁾。これはアルミを電極として電解することにより、溶液中に生成した水酸化アルミとフッ素との共沈によってフッ素を除去するものである。しかし、アルミ電極から溶出したアルミを完全に除去することができないため処理水中にアルミが混入し、一部装置ではスリランカの飲料水基準 200 μ g/L を超えている。スリランカで飲料水の供給に責任のある国家上排水庁(National Water Supply and Drainage Board : NWSDB)はこのアルミ電解法を中止する方向を打ち出したが、代替となる手法が無いことからやむなく運転を継続している。そこで本研究では炭素電極を用いた電解法に着目した。炭素電極電解法はフッ素とマグネシウムとの共沈を利用するため、フッ素イオン(F⁻)濃度だけでなく硬度も下げられる。電解法による飲料水からのフッ素除去は、過去に兵庫県宝塚市高松浄水場で実施例³⁾はあるが、原水に塩化マグネシウムを添加していた。スリランカではもともと地下水中のマグネシウムイオン(Mg²⁺)濃度が高いため、原水のまま利用できる可能性がある。本研究では、炭素電極を用いて電解を行った場合に Mg²⁺濃度がフッ素除去率に及

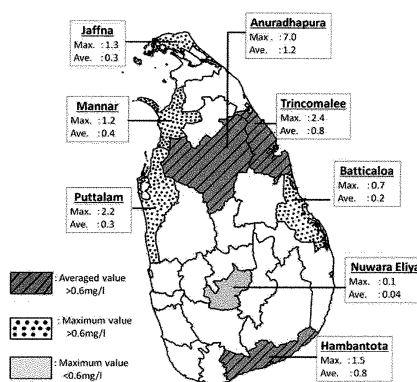


図-1 スリランカの地域別 F 濃度

ぼす影響を評価し、現地における適用性を検討した。

2. 方法

本研究では、Anuradhapura 地区の井戸水の平均の水質を模した合成井戸水を用い、その F 濃度と Mg²⁺濃度を変化させて F 除去効果を確認した。

(1)実験装置

図-2 に電解装置を示す。現地では、安価に入手可能な素焼板を隔膜として用いることを想定しているが、素焼板からのイオン成分の溶出や素焼板への吸着を無くして物質収支を明確にするために本研究では孔径 0.2 μ m のメンブレンフィルターを隔膜として用いた。また、電極には炭素棒を用いた。電極間距離は 9cm で、電源電圧を 15V とした。

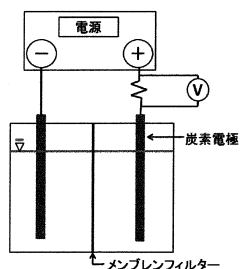


図-2 電解装置

(2)実験操作

陽極側、陰極側それぞれに 300ml の合成井戸水を加え電解を行った。電源と電極の間に抵抗を挿入し、電位差を記録することで電流をモニタリングした。F濃度は約 1, 2, 10mg/L とし、それぞれの F濃度において Mg^{2+} 濃度を約 0, 50, 100, 200mg/L と段階的に変化させ実験を行った。実験の条件を一覧として表-1 にまとめた。

表-1 実験条件一覧

実験番号	F 濃度 (mg/L)	Mg^{2+} 濃度 (mg/L)
RUN-01	1	0
RUN-02	1	50
RUN-03	1	100
RUN-04	1	200
RUN-05	2	0
RUN-06	2	50
RUN-07	2	100
RUN-08	2	200
RUN-09	10	0
RUN-10	10	50
RUN-11	10	100
RUN-12	10	200

(3)分析

電圧を加える前(0分)と電圧を加えた後10分、30分、60分において容器の陰極側と陽極側の人工井戸水をサンプリングした。サンプルを孔径0.45 μ mのメンブレンフィルターでろ過した後、F, Cl, NO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} のイオン成分濃度に関してイオンクロマトグラフを用いて分析した。

3. 結果及び考察

電解開始1時間後には、陰極側ではpHは11程度、陽極側ではpHは2程度となり、 Mg^{2+} 濃度が0mg/Lの時を除き陰極側に沈殿が生成した。図-3, 4に、例としてRUN-12の陰極側における陰イオン並びに陽イオンの電気量に対する濃度変化を示す。図の縦軸は、初期濃度を1とした時の各イオン成分濃度の割合である。図-3より、陰極側では陰イオン濃度が低下するが、特にFが選択的に除去された。また、図-4より陰極側の Mg^{2+} は他の陽イオン

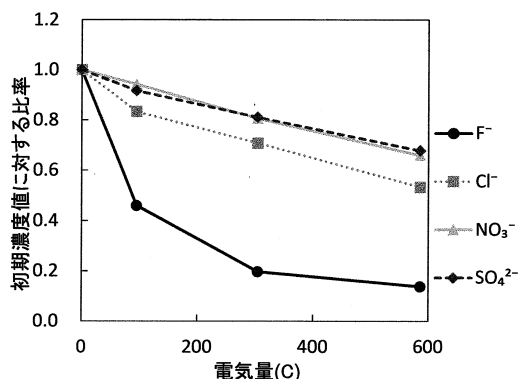


図-3 RUN-12 陰極側の陰イオン経時変化

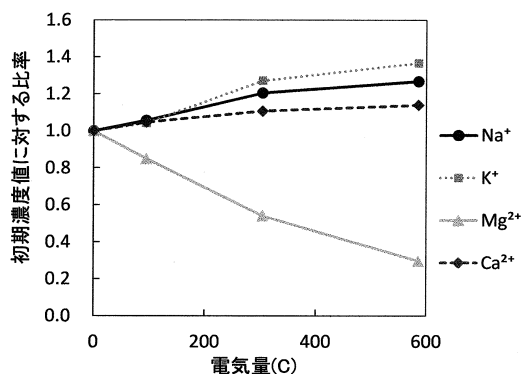


図-4 RUN-12 陰極側の陽イオン経時変化

(Na^+ , K^+ , Ca^{2+})が若干増加する中で大幅に減少したことが分かる。図-5に沈殿物のXRDパターンを示す。このパターンが $Mg(OH)_2$ と一致し、Fと Mg^{2+} の減少については、Fと $Mg(OH)_2$ との共沈によるものと考えられる。

RUN-12では、電気量600CでFを約85%除去することができた。また、 Mg^{2+} は約70%減少していた。図-3に示すように、電気量が360Cを超えると、F濃度の低下が小さくなった。そこで、図-6に、RUN1~12における電気量360Cの時の Mg^{2+} 濃度に対するFの除去率を示す。 Mg^{2+} 濃度が高いとFの除去率が上がる。 Mg^{2+} 濃度が50mg/L以上

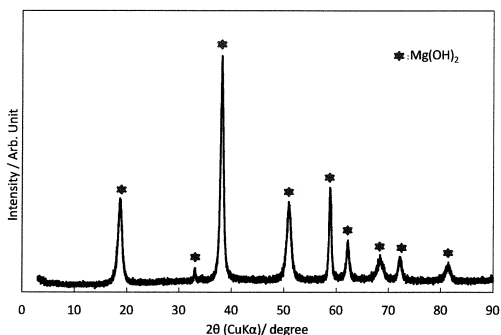


図-5 沈殿物の XRD パターン

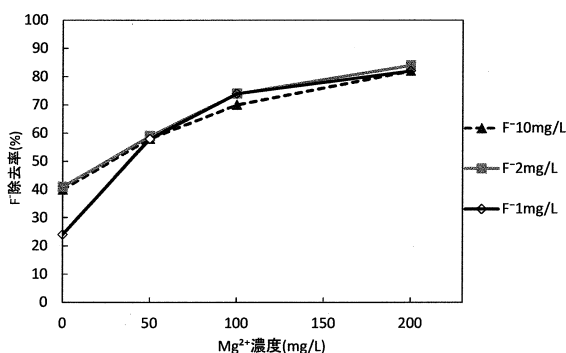


図-6 Mg^{2+} 、F濃度によるFの除去率の変化

ではF濃度によらずFの除去率は同じであった。除去率は最大で82%であった。スリランカのFの飲料水基準は0.6mg/L以下である。この基準を満たすように処理するためには、原水のF濃度が1mg/Lの時は除去率として40%以上、2mg/Lの時は70%以上必要である。この条件の時、図-6より、 Mg^{2+} 濃度は、それぞれ、20、85mg/Lである。一方、除去率は最大82%であるので、 Mg^{2+} 濃度が200mg/Lの時にもF濃度は3.3mg/L以下でないと処理出来ない。この関係を図-7に示した。この図に示す境界線より右側の井戸水ではスリランカの飲料水基準0.6mg/L以下に低下させることが可能である。AnuradhapuraならびにTrincomaleeにおけるF濃度と Mg^{2+} 濃度の分布をそれぞれ図-8と図-9に示し、図中には境界線を書き加えた。表-2に示すように、Anuradhapuraでは全体の85.1%の井戸がフッ素濃度0.6mg/Lを超え、処理が必要であったが、そのうち約56%は電解法で処理可能である。一方、Trincomaleeでは45.5%が処理を必要とするが、そのうち約67%が処理可能であるという結果が得られた。

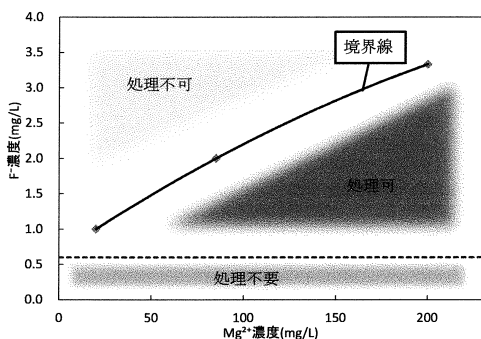


図-7 スリランカの水質基準を満たすFと Mg^{2+} の関係

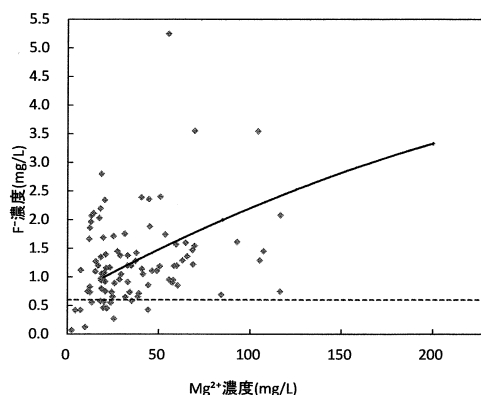


図-8 Anuradhapuraの井戸水への適用

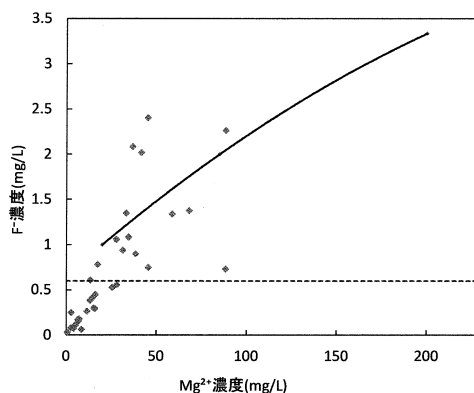


図-9 Trincomaleeの井戸水への適用

表-2 電解法の適用

	Anuradhapura	Trincomalee
処理不要	14.9%	54.5%
飲料水基準まで処理可	47.9(56)%	30.3(67)%
飲料水基準まで処理不可	37.2(44)%	15.2(33)%

() は処理が必要な井戸に対する割合

4. 参考文献

- 1) Tennakoon, T.M.M.H., Prevalence of dental fluorosis in the district of Anuradhapura, Sri Lanka, Proceedings of the 4th International Workshop on Fluorosis Prevention and Defluoridation of Water, 2004
- 2) Padmasiri, J. P. and W. M. Jayawardene, Water purification using electrocoagulation as a viable solution for upgrading rural water supply schemes, Water Resources Research in Sri Lanka, Symposium Proceedings of the water professionals' day, 63-69, 2011
- 3) 水道機工株式会社, わが国浄水技術の軌跡 昭和戦後期～水道発展期 37. フッ素除去, http://www.suiki.co.jp/hensen/jyosui_2/jyosui_37.htm