

実地下水を用いた DHS 反応槽によるヒ素除去

岩手大学 学生会員 ○本間 奈央

岩手大学 正会員 石川 奈緒 伊藤 歩 海田 輝之

岩手大学 笹本 誠

1.はじめに

インドやバングラデシュなどアジア地域において、ヒ素を含んだ地下水が生活用水として使用され、多くの人に健康被害が起きている。ヒ素は主に亜ヒ酸(As(III))、ヒ酸(As(V))の形態で存在し、As(III)は Fe や Al による凝集沈殿や吸着処理による除去効率が As(V)よりも低く、毒性も高い。そのため、前処理として酸化処理が必要であるが、コスト面の問題がある。そこで、経済的な地下水中のヒ素除去方法の開発を目的として、DHS (Down-flow Hanging Sponge) に亜ヒ酸酸化能を有する細菌群を固定したバイオリアクターによる As(III)の酸化とヒ素除去について検討した。実験は盛岡市内で採取した地下水に As(III)を添加して行った。

2.実験材料と方法

2.1 亜ヒ酸酸化細菌

As(III)をAs(V)に酸化させるために亜ヒ酸酸化細菌を利用した。培地はWeegerら¹⁾の培地成分から有機炭素源である乳酸ナトリウムを除いたものを用いた。宮城県仙台市の秋保温泉浄化センターから採取した活性汚泥を培地500 mLに植種し、増殖した細菌を二週間間隔で植え継ぎした。また、集積した細菌を連続培養の植種源とした。

2.2 地下水

地下水は盛岡市内にある「御田屋清水」「賢治清水」「青龍水」「大慈清水」の4か所から採取し、ICP発光分析装置(Shimadzu, ICPE-9000)とICP質量分析装置(ICP-MS,Thermo, iCAP Qc)で元素分析を、オートアナライザー(BLTEC, AutoAnalyzer II)で水質分析を行った。

2.3 回分酸化実験

採取した4か所の地下水にAs(III)を100 µg/Lとなるように添加後、pHを7に調整した。この溶液300 mLに亜ヒ酸酸化細菌を添加し、振とうを行った。サンプルは約6時間ごとに採取し、As(III)とAs(V)の濃度を測定した。試料は孔径0.22 µmのメンブレンフィルターでろ過し、高速液体クロマトグラフ-ICP-MSで測定した。また、実験は恒温恒湿室にて、室温は25℃、湿度60%に設定して行った。

2.4 連続除去実験

亜ヒ酸酸化細菌群の付着担体として、円筒形のスポンジ(図-1)を用いた。スポンジは直径約3 cm、長さは約3 cm、体積は約21.2 cm³、空隙率は約0.98であり、これを10個(以降10連)と20個(以降20連)つり下げた(図-2)。流入水は定量ポンプとシリコンチューブを用いてリアクター上部から流下させた。

細菌群をスポンジ内に付着させるため、リアクター上部から細菌を添加した上記の培地(As(III) 100 mg/L)を滞留時間(RT) 2 hで流入させ、循環させた。連続実験には賢治清水を用い、As(III)2 mg/LとFe(II)20 mg/Lの2種類の溶液を作成した。これらを上部から同時に流入させ、As(III)1 mg/L、Fe(II)10 mg/L、RT 2 hとなるように設定した。Fe(II)溶液は20 Lの密閉タンクに作成し、pHを6.5に調整し窒素曝気を行った。タンクには窒素で満たしたアナリティックバリアバックをつなぎ鉄の酸化を防いだ。

サンプルは流入部と流出部から毎日採取し、As(III)およびAs(V)の濃度とFe(II)およびFe(III)の濃度を測定した。Asの測定については上記の回分実験と同様に行い、Feはフェナントロリン吸光光度法により分光光度計を用いて測定した。また、室温と湿度は回分実験と同様に設定した。



図-1 スポンジ

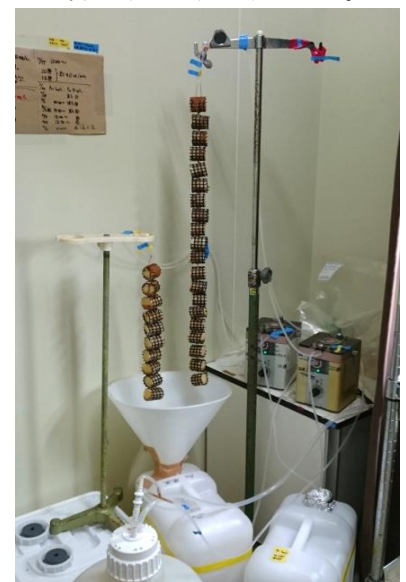


図-2 DHSリアクター

キーワード: 亜ヒ酸 地下水 亜ヒ酸酸化細菌 DHS

連絡先: 岩手大学(盛岡市上田4-3-5 TEL・FAX 019-621-6449)

3. 結果

3.1 地下水の水質分析

地下水の水質分析の結果を表-1に示す。NO₃-N濃度は高かったものの、それ以外の濃度は低濃度であった。

表-1 地下水の水質分析

	pH	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	亜硫酸酸化速度 (μg/(min・cell))
御田屋清水	7.79	0.019	0.0005	5.64	0.011	1.04×10^{-10}
賢治清水	6.34	0.014	0.0000	0.99	0.008	2.20×10^{-10}
青龍水	6.03	0.019	0.0002	7.48	0.003	1.75×10^{-10}
大慈清水	5.88	0.013	0.0002	5.03	0.006	1.06×10^{-10}

3.2 回分実験における酸化反応と酸化速度

例として、賢治清水を用いた場合のAs濃度の変化を図-3に示す。図より約3日でAs(III)の約8割がAs(V)に酸化されたことがわかる。またこの測定結果と添加した細菌数から亜硫酸酸化細菌による酸化速度を求めたものを表-1に示す。従来の培養液における最大酸化速度が 4.7×10^{-10} μg/(min・cell)²⁾であることと比較し、速度は落ちるものの地下水中でも十分な酸化反応速度を示した。このことから栄養塩類等を添加しなくとも、亜硫酸酸化細菌が地下水中で酸化反応を示すことがわかった。

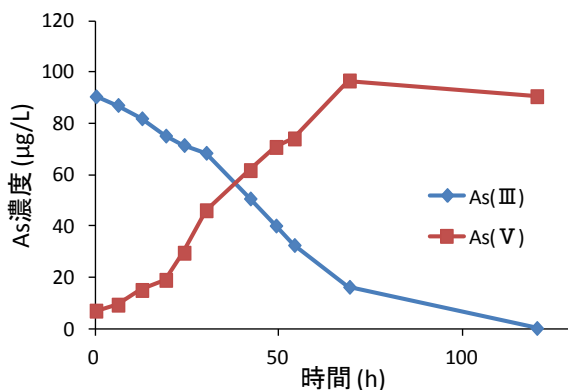


図-3 賢治清水におけるAs濃度変化

3.3 連続実験におけるAsの濃度変化

20連のリアクターにおける実験結果を図-4に示す。図からAs(III)はAs(V)にすべて酸化され、その9割以上が除去されていることがわかる。流出水中のAs(V)は一貫して0.2 mg/L以下であったが、水道水水質基準である0.01 mg/Lは満たさなかった。また、10連においても20連と変わらない除去率を示し、スポンジ数が半分であっても20連リアクターと同様のAsの酸化と除去が行われることがわかった。

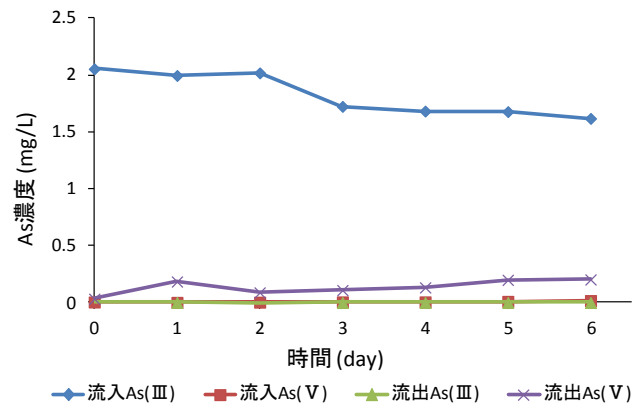


図-4 20連におけるAs濃度変化

3.4 連続実験におけるFeの濃度変化

20連における実験結果を図-5に示す。時間の経過につれ流入水中のFe(II)が酸化されているものの、流出においては全量除去されており、水道水水質基準0.3 mg/Lを満たしている。また、10連においても同様の結果が得られた。

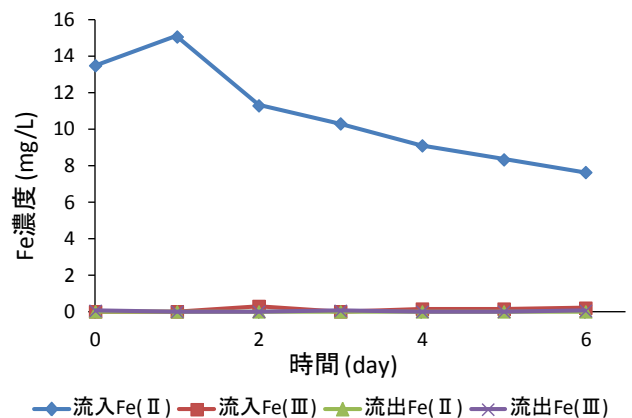


図-5 20連におけるFe濃度変化

4. まとめ

実際の地下水中でも亜硫酸酸化細菌によるAs(III)の酸化反応が栄養塩類等を添加せずとも行われ、Feを加えFeと共沈することでAsが除去されることがわかった。今後はRTを短くした場合を検討していく予定である。

参考文献

- 1) Wegger et al. *Biometals*, Vol.12, pp.141-149, 1999.
- 2) 瀬川ら, 土木学会論文集 G(環境), Vol.69, III_1-III_8, 2013.