

ベトナムにおける鉄バクテリア法による地下水中砒素等除去の現状と課題

大阪産業大 ○岩崎 元 杉本 裕亮 橋口 亜由未 濱崎 竜英 菅原 正孝
 京都大 藤川 陽子 東洋濾水機(株) 谷 外司 ベトナム国立環境技術研 Phan Do Hung

1. 研究の背景と目的

地下水は自然地層由来の無機砒素を含むことがある。アジア圏途上国で管井戸から地下水をえている住民が、無機砒素の経口摂取による各種の炎症症状から癌に至る慢性砒素中毒により、甚大な健康被害を受けるケースが報告されている。無機砒素の処理方法としては、鉄系の凝集剤と塩素等の酸化剤を用いた凝集沈殿ろ過法や膜処理法、吸着法等があるが、設備費やランニングコストが高くこれらの地域での適用は困難である。著者らは、大部分の地下水は鉄を含んでいることを利用し、安価な除鉄・除マンガン技術である鉄バクテリア法（以下鉄バク法）の砒素除去への適用を目ざし、研究を行ってきた。鉄バク法においては、地下水をろ層に連続通水することで、地下水中に自生する鉄・マンガン酸化細菌をろ過層上に定着・繁殖させる。原水中の鉄はバクテリアの生物酸化作用と物理ろ過によって、砒素はろ過層上に形成された鉄等の氧化物への吸着によって、除去される。鉄バク法については、地下水の揚水・地下水の生物ろ過塔への通水・逆流洗浄（タイマーにより実施）のためのポンプの動力として電気を使用している。しかし、現場においては、電力供給の不安定により通水が停止するという事態が起こりえるため、手動化して電気を使用しないシステムとすること、若しくは最低限の電力を常時得られるような条件を整えることなどの対応が求められている。本研究の最終目的は不安定な電力供給下でも機能する鉄バク法砒素除去システムを構築することであり、今回はそのためにベトナムにおける地下水砒素汚染状況ならびに著者らの設置した鉄バク法砒素除去施設の稼働状況を調査した。

2. 日本における鉄バク法パイロット試験

2007年10月より、直径300mmの大口徑カラムに軽石ろ材を充填し、LV 150m/day, ろ材高を1.5mとして、原水を連続的に通水するパイロット試験を開始した。パイロット試験での全鉄・全砒素の除去率の推移を図1に示す。平均除去率は、全鉄で $96.5 \pm 3.9\%$ 、全砒素で $70.7 \pm 10.5\%$ という結果となった。処理水中には、水道水質基準値である $10 \mu\text{g/L}$ を超える砒素が検出されることもあるが、鉄バク法における砒素除去は概ね成立している。また、ろ材高、ろ過速度などの運転条件を変更し、除去率の変動を確認したが、著しく大きな変動はみられなかった。

ただし鉄バクの菌種によっては、溶存酸素濃度が変動すると十分な鉄酸化が起こらず、鉄除去、砒素除去の低下が起こる。

3. ベトナムにおける地下水の砒素汚染状況

2008年8月及び2009年3月にベトナムのハノイにおいて、現地の研究機関の協力を得て民家・公共施設の井戸水を20ヶ所程度サンプリングし、全砒素、3価砒素、全鉄、マンガン、ORP等の測定を行った。サンプリングした地下水の全砒素濃度、全鉄(mg/L)/全砒素(mg/L)値の比(砒鉄比)を図2に示す。これらの地点では、ベトナムの水質基準である $10 \mu\text{g/L}$ を超える砒素濃度が検出されている地点が多数存在することが判

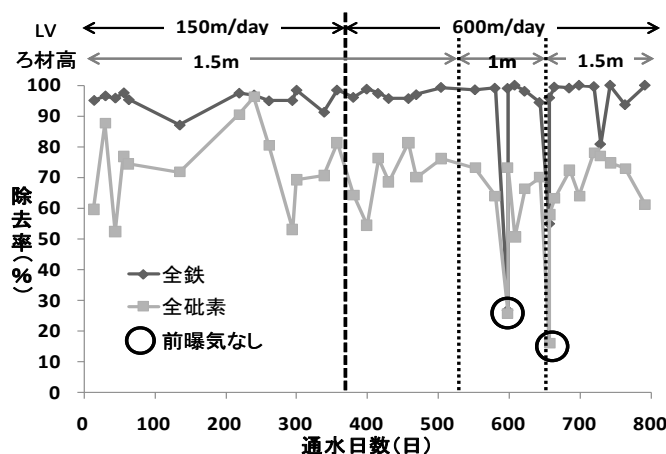


図1 全鉄・全砒素の除去率の推移

キーワード 鉄バクテリア, 生物処理, 砒素除去, 地下水, ベトナム

連絡先 〒574-8530 大阪府大東市中垣内3-1-1 大阪産業大学 新産業研究開発センター TEL 072-875-3001(7824)

る。また、測定地点の大部分が還元的雰囲気では ORP 値 30～150mV 程度 (Eh 値) であり、全砒素のほとんどが 3 価砒素であった。一方、全体的に数十 ppm から二十 ppm と鉄の濃度も非常に高く、鉄バク法を実施するのに十分な条件である。幼稚園等の公共施設では鉄の除去のために砂ろ過を導入しているところも見受けられた。それらの施設では、3 カ月に一度程度の砂交換で、しかも無薬注である。鉄の多い原水処理する砂ろ過施設は、塩素などを添加せず、頻繁な洗浄を避けられ、多くは自然に鉄バク法に転化することが我が国の経験でよく知られている。これらの施設では自然発生的な鉄バク法により原水中の砒素が除去されていることが判る。

4. ベトナムにおける鉄バク法の適用と課題

ベトナムにおける地下水調査の結果より、サイト番号 37 の地点において、ほぼ日本と同様なパイロット試験プラントを現地で製造して設置、2009 年 11 月より運転を開始するに至った。原水の平均水質は、全鉄、全砒素、マンガン、アンモニア性窒素についてそれぞれ 10.4、0.060、0.20、2.3 mg/L であった。ろ材には、周辺地域で産するレンガを粉砕して粒径 2-3mm となるようにふるったものを使用し、ろ材高は約 1m、原水を落水曝気後 (溶存酸素濃度 平均 4.2mg/L) LV150m/day で通水した。パイロット試験の原水・処理水の全砒素濃度及び全砒素除去率と砒鉄比を図 3 に示す。全砒素の平均除去率は、87.5 ± 3.1% という結果となり、ベトナムにおいても砒素除去のための鉄バク法が有効であることが判る。ただし、実際に運転・点検を開始してみると、2009 年 11 月 4 日から 2009 年 12 月 16 日までの通水期間 45 日のうち、停電により通水が停止していた期間は約 17 日あり、全運転期間の 3 分の 1 程度は運転が停止する状況であった。その他にも、高濃度の鉄による目詰まりが起りやすく、また、ろ材比重が重い為、逆洗時のろ材展開が不十分となる傾向がみられた。

5. 結論

地下水の砒素汚染に悩む発展途上国において、砒素除去としての鉄バク法の適用は有効であると示唆されるが、実際に現地でパイロット試験を稼働すると予測されていた停電時の電力供給の問題や、用いるろ材によってはろ材重量が重く、逆洗が不十分となる傾向がみられることなど、様々な課題が浮き彫りとなった。

6. 今後の展開

ベトナム側の研究者の要望もあり、地域内でバイオガス発電により停電時の電気を賄い、その中で上水処理なども円滑に行うシステムを構想している。実際に現地の畜産業者は、家畜糞尿を用いたバイオガス発電により、停電時の電力供給に充てている例が見られる。しかし、バイオガスの脱硫が行われていないため、腐食による発電機寿命短縮が問題である。バイオガスの精製に鉄バクの生成する水酸化鉄もしくは簡易的な生物脱硫を適用することで解決が期待できる。今後のベトナムでの展開は、エネルギー供給と上水供給をセットで考え、農村部においては大規模水道よりは村落単位・農場単位での簡易水道の適用が有効と考える。

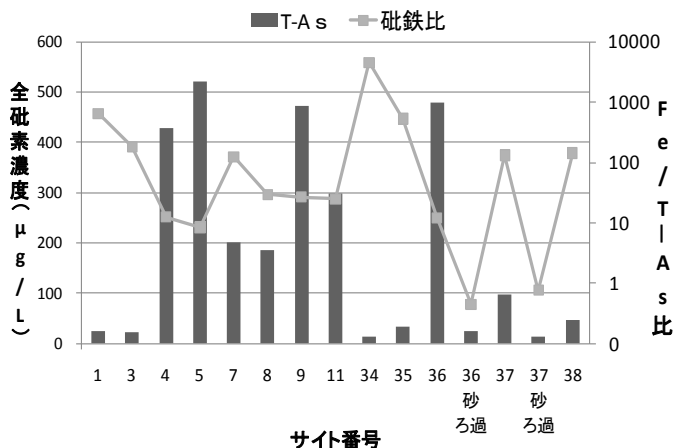


図 2 サンプルングした地下水の全砒素濃度及び砒鉄比

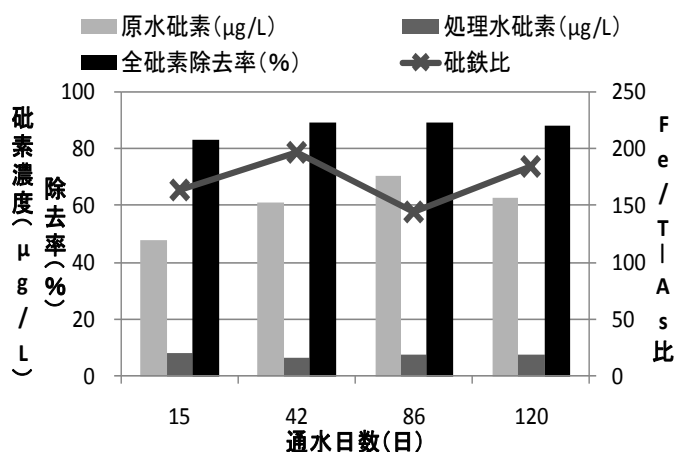


図 3 原水・処理水の全砒素濃度及び全砒素除去率と砒鉄比