

ヒ素汚染水浄化のための 独立栄養亜ヒ酸酸化細菌の集積と分離

清 和成・グエン アイ レ・小嶋菜津子・佐藤 彰子・井上 大介・惣田 訓・池 道彦
大阪大学大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 電話: 06-6879-7673
Fax: 06-6879-7675 E-mail: sei@see.eng.osaka-u.ac.jp

東南アジアを中心として、凝集沈殿や吸着によって容易に除去することのできない亜ヒ酸 (As (III)) を高濃度を含む地下水の摂取による健康被害が深刻な問題となっており、水中からのヒ素除去技術開発が必要とされている。As (III) はヒ酸 (As (V)) に酸化することで吸着除去が容易となるが、現状では実用的な As (III) の酸化プロセスは構築されていない。我々は、低コストかつ効率的なヒ素除去システムとして、有機物の添加が不要な独立栄養亜ヒ酸酸化細菌 (CAOs) を用いたプロセスの構築を目的として研究を行っている。

1. はじめに

ヒ素は生体に対し急性および慢性毒性を有する上、発がん性も認められている物質である。近年、東南アジアを中心として、世界各地の地下水から飲料水質基準 (0.01 mg/L) を超える高濃度のヒ素が検出され、大規模な健康被害が深刻な問題となっている[1, 2, 3]。

これらのヒ素汚染地域においては、ヒ素が常法である凝集沈殿や吸着などによって容易に除去できない亜ヒ酸 (As (III)) の形態で存在しており、効率的なヒ素除去のためには As (III) を吸着性の高いヒ酸 (As (V)) に酸化する必要がある[4]。

現在は主に化学酸化と凝集沈殿等を組み合わせた物理化学的処理が行われているが、高コスト、高環境負荷であるという問題がある。一方、環境中には、As (III) を As (V) に酸化する細菌 (亜ヒ酸酸化細菌) が存在しており[5]、これを用いることで低コストかつ低環境負荷型ヒ素除去プロセスの構築の可能性がある。

本研究では、その増殖に外部炭素源の添加を必要としない独立栄養亜ヒ酸酸化細菌 (Chemolithoautotrophic Arsenite Oxidizing bacteria; CAOs) を用いたヒ素除去技術に着目し、実用技術開発に向けた検討を行っている。

ここでは、CAOs 集積系を構築して、生物学的見地から集積系の特徴を明らかにするとともに、それを用いた亜ヒ酸酸化およびヒ素除去特性を明らかにすることを目的とした各種検討の結果について、紹介する。

2. 方法

CAOs 集積系は、As (III) 含有無機塩培地にヒ素汚染土壌を植種源として添加し、これを約 1 週間に 1 回継代培養することで構築した。初期添加 As (III) 濃度を 1 mM とし、As (III) の酸化を確認しながら 10 mM まで段階的に変化させて約 700 日間にわたる長期の集積を行った。この集積過程における集積系の As (III) 酸化能力を評価するとともに、微生物群集構造の変遷を T-RFLP 法によって解析し、集積系内で特に重要な役割を果たしていると考えられる優占菌の挙動を明らかにした。また、集積系から CAOs を分離して、各分離菌株の生理特性の調査、同定を行うとともに、これらの分離菌が与える T-RF を調査し、As (III) 酸化能力を評価した上で、それらの情報を総合的に解釈することによって、個々の分離菌が CAOs 集積系内で As (III) の酸化に果たす役割を考察した。

3. 結果と考察、将来展望

集積培養を繰り返すことで As (III) 酸化能力の向上が確認され、約 60 回 (700 日間) の集積の結果、10 mM の As (III) を 1 週間以内に全量酸化可能な、高い As (III) 酸化能力を安定的に発揮する CAOs 集積系を構築できた。また、微生物群集構造解析により、CAOs 集積系で優占となる CAOs が添加 As (III) 濃度によって異なっ

ていたことが示された。CAOs 集積系からは、CAOs と推定される 10 菌株 (A、B1、B2、C、D、E1、E2、F、G、H 株) が分離され、そのうち 6 菌株 (B1、B2、C、D、E1、E2 株) が 1 mM の As (III) を 1 週間以内に全量酸化可能であった。6 菌株はいずれも β -proteobacteria に属し、既存の亜ヒ酸酸化細菌と比較的高い相同性を有することが確かめられた。B1、C、D、E1、F 株を用いて、1、5、10 mM の As (III) 酸化試験を行ったところ、1 および 5 mM の系では C、D、E1 株が、10 mM の系では B1 および E1 株が高い As (III) 酸化能力を示した

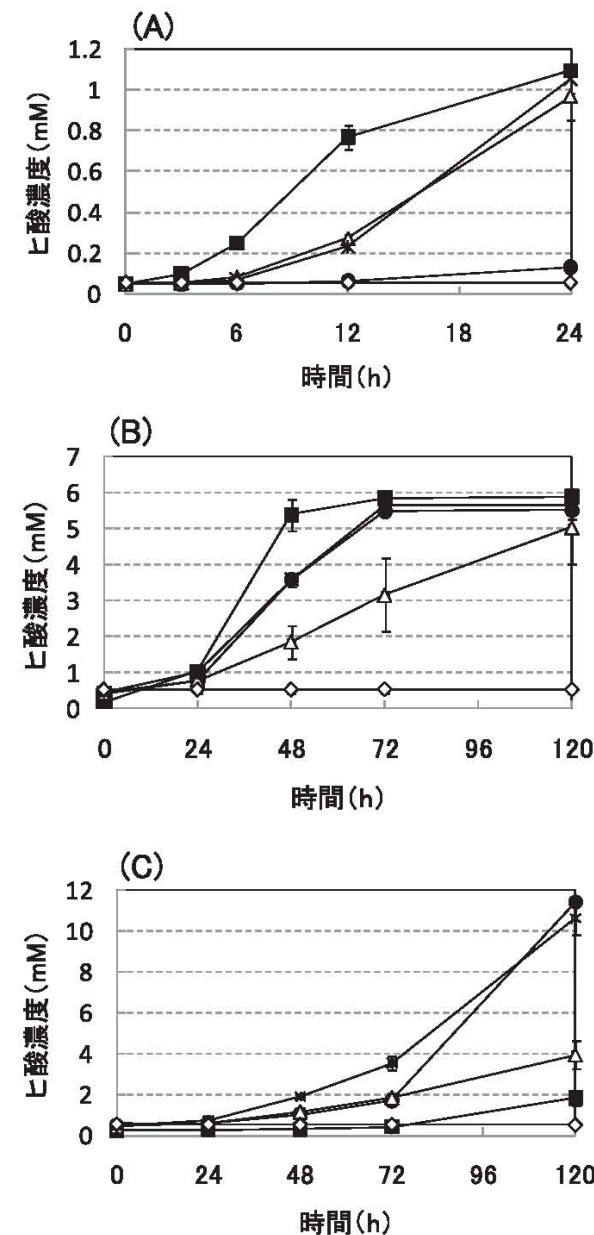


図1 CAOs 集積系から分離した亜ヒ酸酸化細菌の As (III) 酸化試験結果
(A) 1 mM、(B) 5 mM、(C) 10 mM
●…B1 株、■…C 株、△…D 株、*…E1 株、◇…F 株

(図 1)。

この結果と各菌株のコロニーの特徴、および遺伝子解析の結果を総合し、B1 もしくは B2 株が最終的な集積系の優占種となっていることが示された。一方で、添加 As (III) 濃度を 10 mM で固定した後も、長期間にわたって優占種以外の、特に低濃度の As (III) 存在下で高い As (III) 酸化活性を有していた CAOs の存在が確認されたことは、非常に興味深い結果であるといえる。集積系内では、10 mM 程度の高濃度の As (III) 存在下では、この濃度の As (III) 酸化速度の速い菌株が優占して As (III) 濃度を低下させる一方で、As (III) 濃度が低くなると、系内に存在していた低濃度の As (III) 酸化速度の速い菌株がこれを酸化するという役割分担ができており、結果として幅広い As (III) 濃度に対して適応可能な CAOs 集積系が構築できたものと考えている。これを適用することにより、As (III) を高濃度を含む地下水の低コストな実用的処理技術の開発につながるものと期待している。将来的には、独立栄養性の鉄酸化菌との共生系によって、曝気のみで水中からヒ素を除去する技術へのステップアップを目指している (図 2)。

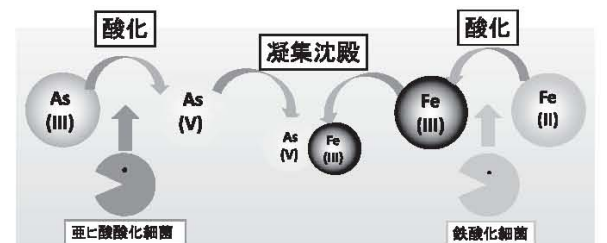


図2 CAOs と鉄酸化菌を利用した低コストヒ素汚染水浄化技術の将来展望

参考文献

- [1] 貝瀬利一: 環境資源対策, Vol.37 No.7, 667-671 (2001)
- [2] World health Organization (WHO): Arsenic, Drinking-water and Health Risk Substitution in Arsenic Mitigation; a Discussion Paper. (http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/arsenic/en/) (2003)
- [3] Lièvremon D, et al.: Biochimie, 91(10), 1229-1237 (2009)
- [4] Lin T. F. and Wu J. K.: Water Research, 35(8), 2049-2057 (2001)
- [5] Oremland R. S. and Stolz J. F.: Science, 300(5621), 939-944 (2003)