

# 微生物を利用した水銀汚染土壌の浄化技術

Remediation Method for a Mercury-polluted Soil with a *Acidithiobacillus ferrooxidans*



根岸敦規 Atsunori NEGISHI \*1

## 研究の目的

水銀に汚染された土壌は、水銀化合物が約360℃から580℃で昇華する性質を持つことを利用し、加熱処理により土壌から分離して浄化する方法が一般的に行われている。処理には加熱のための多大なエネルギーを必要とする。一方、常温での微生物による水銀の還元能力は古くから知られており、水銀還元酵素を持つ多くのグラム陰性菌、グラム陽性菌を利用した水銀の気化処理の研究が続けられている。また、化学合成独立栄養細菌である鉄酸化細菌 (*Acidithiobacillus ferrooxidans*) は水銀耐性に特に優れ、従来の菌とは異なる2価鉄存在下における水銀気化活性が見出されている。本報では、水銀耐性をより高めた鉄酸化細菌 (MON-1株：図-1参照) を用い、浄化機構の解明と水銀汚染土壌浄化へ適用性を検討するために実施した実証試験結果を報告する。

## 研究の概要

鉄酸化細菌は2価の鉄イオン(以下、 $Fe^{2+}$ )を3価の鉄(以下、 $Fe^{3+}$ )に酸化する際に生じる電子をエネルギー源として生育できる化学的独立栄養細菌である。鉄酸化細菌は細胞内の水銀気化機構のほかに、細胞膜で同様な機構を持っている。この機構の解明をチトクロームc酸化酵素の代わりに電子供与体としてTMPDを用いて水銀の気化が生じるかどうかで検討した。

また、以前に実施した小規模、中規模浄化試験の結果を踏まえ、浄化効果の確認と品質管理手法を検討するため、実大規模で水銀汚染土壌の浄化実証試験を実施した。

## 結論

水銀に対して耐性が有り、水銀を気化する能力を持つ鉄酸化細菌を用い、その水銀気化機構の解明を目指し、鉄の酸化還元機構が備わっているチトクロームc酸化酵素に着目して、水銀の還元気化活性を測定することにより確認した。その結果、チトクロームc酸化酵素の働きにより、鉄の酸化に伴う電子が、水銀イオンに渡され、金属水銀に還元されることが明らかになった(図-2)。

この機構を利用した浄化実証試験で用いた水銀汚染土壌は、pH=10程度のアルカリ性の高い土壌を想定した。このような土壌に対しては、10N硫酸と10%硫酸第一鉄を加え、pH=4.0に調整し、12～24時間低速撹拌で反応させることで鉄酸化細菌による浄化が可能になる(図-3)。この硫酸と硫酸第一鉄のプロセスには以下の利点がある。

- ①時間を置くことで、難溶性の水銀化合物の溶出を促進させる効果がある。
- ②硫酸第一鉄のみで、溶出した $Hg^{2+}$ を気化させることができる。鉄酸化細菌による浄化は、MON-1株を添加し、混和するために強めの撹拌をする。その後12～24時間ゆっくり撹拌する。 $Fe^{2+}$ 濃度が減少した場合は、MON-1株と硫酸第一鉄を加える。適宜、 $Hg^0$ をモニタリングして、浄化の確認を行う。

菌体の確保に関しては、電気培養によるMON-1株の大量培養が可能になり、通常の液体培養に比べ100倍以上の菌体量が得られるようになった。さらに、冷蔵保存が可能で、6ヶ月以上にわたり水銀気化活性が低下しないことが確認されている。

本浄化実証試験に用いた鉄酸化細菌は、人畜無害であることがOECDの報告書でも認められており、環境省のバイオレメディエーション指針にも適合すると考えられる。

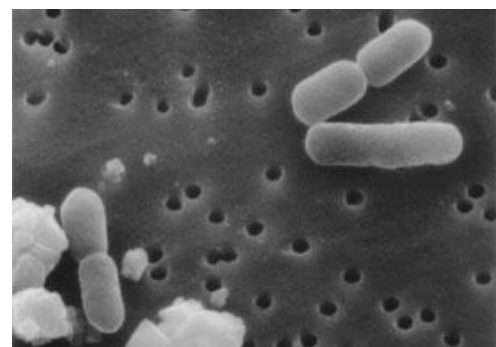


図-1 *A. ferrooxidans* MON-1 株

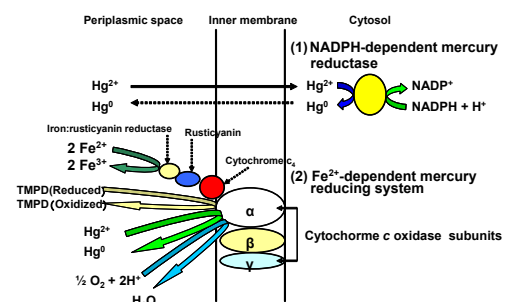


図-2 MON-1 株の水銀還元機構

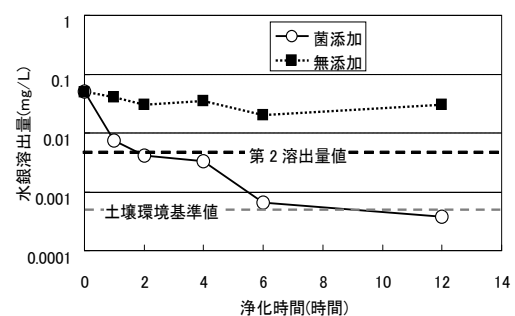


図-3 浄化時間と土壌溶出量の変化