

II-107

下水汚泥からの重金属の半連続溶出に及ぼすバクテリアリーチングの効果

岩手大学工学部 学生員 ○伊藤歩 佐藤義秋 斎藤紀子
正 員 相沢治郎 海田輝之 大村達夫

1. はじめに

現在、下水処理場から発生する汚泥は、処分地確保等の問題や資源の有効利用の観点から緑農地への還元が求められている。しかし、下水中の微量な重金属は下水の処理過程において汚泥中に蓄積されるため、このような汚泥を直接緑農地に還元することは土壌を重金属で汚染する危険性があると考えられる。これまで行ってきた回分実験の結果から鉄酸化細菌によるリーチングが汚泥からの重金属の溶出に効果的であることが分かっており、連続的な重金属の溶出が可能であると考えられる。本実験では重金属の半連続溶出に及ぼす鉄酸化細菌によるリーチングの効果について検討した。

2. 実験条件及び方法

図-1に実験装置を示す。反応槽は5lのポリエチレン容器を用い、pHはpHコントローラーで調整を行った。表-1に実験条件を示す。実験試料はRun1, 2で蒸留水3lと汚泥525g、Run3で硫酸第一鉄溶液3lと汚泥525gとし、Run2, 3には鉄酸化細菌を100ml添加し、全てのRunでpHを3に調整し、25℃、220rpmで攪拌を行った。汚泥滞留時間は3日とし、1日1回のfill and draw方式で運転を行った。また、鉄酸化細菌は実験初期においてのみ添加し、馴致せずに実験を開始した。実験期間は全てのRunで溶出量が一定になるまでとした。測定項目は各重金属濃度及び Fe^{2+} 濃度とし、各重金属濃度の測定は、原子吸光法により行い、 Fe^{2+} 濃度の測定は過マンガン酸カリウム滴定法またはフェナントロリン法により行った。また、実験に用いた汚泥は岩手県北上川上流流域下水道都南処理区の終末処理場から採取した消化脱水汚泥であり、表-2に実験に用いた汚泥中の重金属含有量を示す。

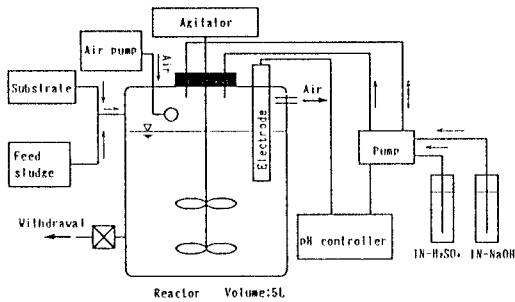


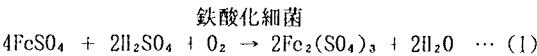
図-1 実験装置

表-1 実験条件

Run. No	pH	実験試料		鉄酸化細菌の添加
		汚泥	溶 液	
1	3	525g (dry:95g)	蒸留水 (0g-Fe/l)	0ml
2			蒸留水 (0g-Fe/l)	100ml(1.47×10^7 cell/l)
3			硫酸第一鉄 (3g-Fe/l)	100ml(1.00×10^7 cell/l)

3. 実験結果及び考察

図-1に Fe^{2+} 濃度の経日変化を示す。pHを3に調整したRun1では Fe^{2+} 濃度がわずかに増加し、鉄酸化細菌を添加したRun2では Fe^{2+} 濃度の増加はほとんど見られなかった。また、鉄酸化細菌と硫酸第一鉄を添加したRun3では Fe^{2+} 濃度の減少が見られ、4日目ではほぼ0となった。Run1における Fe^{2+} 濃度の増加は汚泥中に存在する Fe^{2+} がpHの低下により溶出したものと考えられる。また、Run2における Fe^{2+} 濃度の減少は、Run1で溶出した Fe^{2+} を反応式(1)、



に示すように鉄酸化細菌が酸化したものと考えられる。さらに、Run3における Fe^{2+} 濃度の減少は、Run2と同様な反応によるものと考えられ、4日目以降では硫酸第一鉄を添加した直後の反応槽内における Fe^{2+} 濃度は1000mg/l程度になっていると考えられ、この Fe^{2+} の多くを鉄酸化細菌が1日で酸化したものと考察できる。

次に、図-2～6に各重金属溶出量の経日変化を示す。まず、図-2のCdではpHを3に調整したRun1において溶出が起こり、pHを3に調整した効果が見られた。また、鉄酸化細菌を添加したRun2ではRun1に比べてわずかに溶出量の増加が見られ、鉄酸化細菌添加の効果がわずかに見られた。また、鉄酸化細菌と硫酸第一鉄を添加したRun3では最も溶出が起こり、鉄酸化細菌によるリーチングの効果が見られ、溶出量はほぼ4日目以降に定常となった。次に、図-3のNiではRun1, 2において溶出が起こったが、

表-2 汚泥中重金属含有量

金 属 名	Cd	Ni	Cu	Mn	Zn	Fe
含有量 (mg/kg)	3.1	28	423	728	1623	22311

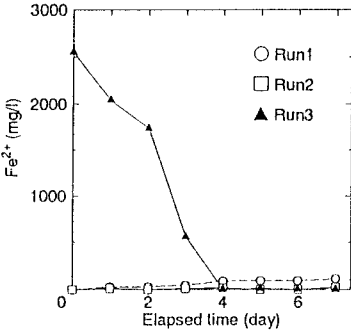


図-1 Fe^{2+} 濃度の経日変化

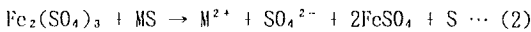
Run2における鉄酸化細菌添加の効果はほとんど見られなかった。また、Run3ではリーチングの効果が見られ、溶出量はほぼ3日目以降に定常となった。次に、図-4、5のMnとZnでは各RunでNiと同様な結果が得られたが、Run3の溶出量はほぼ2日目以降に定常となった。次に、CuではRun1において溶出が起らず、pH低下の効果は見られなかった。また、Run2ではRun1に比べてわずかに溶出が起っており、鉄酸化細菌添加の効果はわずかに見られた。また、Run3ではRun1、2に比べてかなり溶出が起っており、鉄酸化細菌によるリーチングの効果が顕著に見られた。さらに、溶出は初期にlagが生じ、溶出量はほぼ5日目以降に定常となった。

次に、表-3に各重金属の4日目以降における平均溶出量及び溶出率を示す。

Run1ではCu以外の金属でpH低下の効果が見られた。また、Run2ではNi以外の金属において鉄酸化細菌添加の効果はわずかに見られたが、Run3では全ての金属において鉄酸化細菌によるリーチングの効果が見られ、その効果はpH低下のみのRun1に比べ、Cdで約25%、Niで約30%、Mn、Znで約20%、Cuで約50%の溶出率の向上が見られた。Run1のCuにおいてpHを低下させただけでは溶出が起らなかったことは、污泥中に存在するCuの形態の多くが硫化物態であり、CuSの溶解度積が以下に示すように、他の金属硫化物の溶解度積よりも小さいことから考察できる。

$\text{CuS}: 10^{-35.1} < \text{CdS}: 10^{-26.1} < \text{ZnS}: 10^{-21.5} < \text{NiS}: 10^{-20.7} < \text{MnS}: 10^{-11.1}$
 …各金属硫化物の溶解度積 (25℃)

さらに、Run3の全ての金属において、溶出率の向上が見られたことは、反応式(1)によって生じた第二鉄が反応式(2)、



金属硫化物

に示すように污泥中に存在する金属硫化物を酸化し、金属の溶出を促進させたものと考えられ、特にCuの溶出には(2)の反応が非常に効果的であったと考えられる。

表-3 各重金属の平均溶出量及び溶出率

Run. No	Cd		Ni		Mn		Zn		Cu	
	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%
1	1.2	39	12	43	498	68	883	54	4	1
2	1.4	45	12	43	521	71	899	55	16	4
3	2.0	65	20	71	633	87	1191	73	209	45

4. おわりに

本実験結果から鉄酸化細菌による連続的な污泥からの重金属のリーチングが3日の污泥滞留時間で可能であることが分かった。また、CuはpHを3に調整しただけではほとんど溶出しなことから、Cuの溶出には鉄酸化細菌によるリーチングが非常に効果的であることが分かった。今後は污泥濃度等の条件について検討するつもりである。

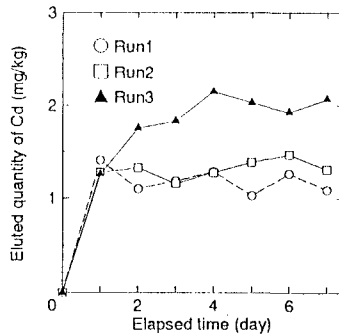


図-2 Cdの溶出量変化

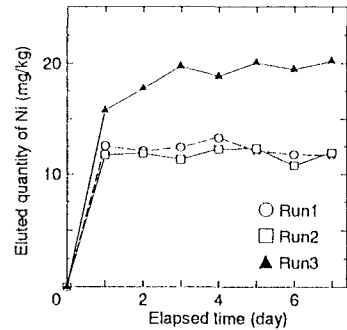


図-3 Niの溶出量変化

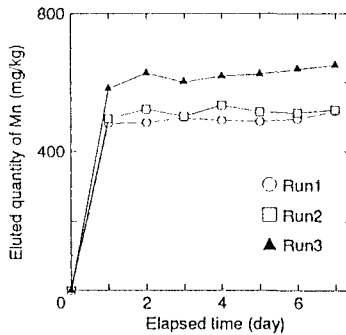


図-4 Mnの溶出量変化

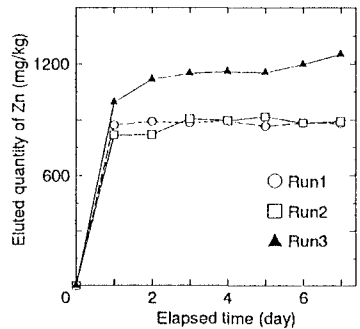


図-5 Znの溶出量変化

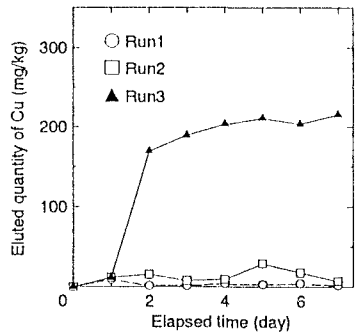


図-6 Cuの溶出量変化