

脱硫剤を用いた下水汚泥からの生物学的重金属除去に関する基礎的研究

岩手大学工学部 学生員 ○北田久美子 山田浩司
正 員 相沢治郎 海田輝之

1. はじめに

下水汚泥は将来処分地の不足が予想されることや、資源リサイクルの立場から、肥料として再利用されることが望ましい。下水汚泥の緑農地還元における土壌及び地下水の重金属汚染を防止するために、下水汚泥中の重金属濃度の低減は必要不可欠である。下水汚泥中の重金属は、汚泥の化学的または生物学的酸性化・酸化により溶出することが明らかになっているが¹⁾、実用化に際しては使用する薬剤のコストが問題になると考えられる。そこで本研究では、下水汚泥に元素硫黄培地と汚泥を混合し、汚泥中の硫黄酸化細菌の存在を確認した。さらに硫黄酸化細菌の基質として嫌気性消化ガスの湿式脱硫過程で生成される硫黄廃棄物（以下、廃棄硫黄と称する）に着目し、下水汚泥にこの廃棄硫黄を添加し、汚泥中に存在する硫黄酸化細菌の増殖とそれに伴うpHの低下による重金属の溶出除去特性を検討した。

2. 実験方法

2.1) 下水汚泥中の硫黄酸化細菌の確認

本研究で用いた汚泥は、岩手県内の下水処理場から採取

した消化脱水汚泥である。乾熱滅菌した振とうフラスコを用いて、硫黄酸化細菌の培地であるONM培地1Lと表-1に示した量の汚泥を混合し、初期pHを7.0に調整し、25℃で振とうした。経日的に採水し、pHを測定した。

2.2) 廃棄硫黄の利用可能性

表-2に実験条件を示す。硫黄以外の栄養塩を含むONM培地に、廃棄硫黄を20g/Lとなるように添加し、Run4には硫黄酸化細菌の植種液を添加した。廃棄硫黄は含水率48.7%、硫黄含有率32.1%の粘土状物質であり、不純物としてNaを2%程度含む。また、植種液は2.1のRun2の条件で得られた硫黄酸化細菌を実験室で継代培養したものを用い、植種液の細菌数は 2.47×10^8 cell/mLであった。実験は振とうフラスコを用いた回分式とし、初期pHを7.0に調整し、25℃、120rpmで振とうを行い、経日的にpH及び硫酸イオン濃度を測定した。

2.3) 汚泥中の硫黄酸化細菌による下水汚泥からの重金属の溶出

表-3に実験条件を示す。蒸留水で2%に希釈した汚泥に、廃棄硫黄を20g/Lとなるように添加し、Run5には硫黄酸化細菌の阻害剤としてNEM（N-エチルマレイミド）を 10^{-3} Mとなるように添加した。初期pHを7.0に調整し、経日的に採水し、pH、硫酸イオン濃度及び溶出した重金属の濃度を測定した。振とう条件は2.2と同様である。表-4に溶出実験に用いた汚泥の重金属含有量を示す。

3. 実験結果及び考察

3.1) 下水汚泥中の硫黄酸化細菌の確認

図-1にpHの経日変化を示す。汚泥を添加しないRun1ではpHの低下は見られなかったが、汚泥を添加したRun2では3日目以降pHが低下した。このことから、下水消化汚泥中には硫黄酸化細菌が存在し、硫黄の添加とDOの供給により増殖し、溶液のpHを低下させ

表-1 培養条件

Run No	汚泥量(湿潤:g)	溶液	初期pH
1	0	ONM培地1L (10g-S/L)	7.0
2	50.0		

表-2 実験条件

Run No	条件	廃棄硫黄	植種液	初期pH
3	ONM培地(硫黄を除く)1L	20g(湿潤)/L	無添加	7.0
4			添加(20mL)	

表-3 実験条件

Run No	条件	廃棄硫黄	阻害剤	初期pH
5	汚泥濃度2%	20g(湿潤)/L	添加	7.0
6			無添加	

表-4 重金属含有量

金属	Na	Al	Ca	Cr	Mn	Fe
含有量(mg/kg)	570	23600	30200	42.4	597	20200
金属	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
含有量(mg/kg)	50.1	410	1290	9.83	3.82	66.1

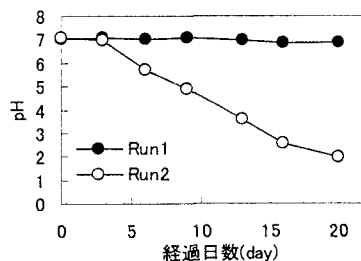


図-1 pHの経日変化

ることが明らかとなった。

3.2) 廃棄硫黄の利用可能性

図-2にpHの経日変化を示す。硫酸酸化細菌を植種しないRun3ではpHの低下は見られなかったが、植種したRun4では4日目以降pHが低下した。このことから、汚泥から分離した硫酸酸化細菌は、廃棄硫黄を基質として利用し、溶液のpHを低下させることが明らかとなった。

3.3) 汚泥中の硫酸酸化細菌による下水汚泥からの重金属の溶出

図-3にpHと硫酸イオン濃度の経日変化を示す。阻害剤を添加したRun5ではpHの低下と硫酸イオンの増加は殆ど見られなかったが、阻害剤を添加しないRun6では硫酸イオンの増加に伴うpHの低下が見られた。このことから、汚泥に廃棄硫黄を添加することにより、汚泥中の硫酸酸化細菌が増殖し、硫酸イオンの生成に伴うpHの低下が起こることが明らかとなった。

図-4～6に重金属の溶出率の経日変化を示す。溶出率は2%汚泥と廃棄硫黄中の重金属含有量の合計を用いて算出した。pHが低下しないRun5では、Naを除く全ての金属で殆ど溶出は見られなかった。pHが低下したRun6では、Ca、Mn、Zn、Cdで70%以上、Na、Al、Fe、Ni、Cu、Asで40～50%程度の溶出率が得られたが、Cr、Pbでは10%程度の溶出率であった。廃棄硫黄は、単位重量あたり汚泥の約72倍のNa、約2倍のNi及び汚泥と同等のCrを含むが、Run6の混合条件では、溶出実験後のNa、Ni以外の重金属含有量はもとの汚泥より減少し、Niでは実験前後で含有量は殆ど変化せず、Naでは増加した。しかしながら、添加する廃棄硫黄の量を減らすことによってNa及びNiの汚泥への蓄積を最小限にすることができると考えられ、廃棄硫黄添加による下水汚泥からの重金属除去の可能性が示された。

4. おわりに

本研究で得られた結論を以下にまとめる。

- (1) 下水汚泥中には硫酸酸化細菌が存在し、基質の添加とDOの供給により増殖し、溶液のpHを低下させる。
- (2) 下水汚泥中の硫酸酸化細菌は脱硫過程で生成する硫黄廃棄物を基質として用いることができ、汚泥に廃棄硫黄を添加することにより、汚泥中の硫酸酸化細菌が増殖して汚泥のpHを低下させ、重金属を溶出させる。

今後は、pHを低下させるのに必要最低限の廃棄硫黄の量を求め、廃棄硫黄を利用した下水汚泥からの連続的な重金属のリーチングを検討する予定である。なお、本研究の一部は、科学技術振興事業団、戦略的基礎研究推進事業の補助を受けた。ここに謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 森永、大村、海田、相沢、伊藤、バクテリアリーチング法による下水消化汚泥からの重金属の溶出に及ぼす第二鉄添加の効果、下水道協会誌論文集、Vol.31、No.379、pp.82-94、1994

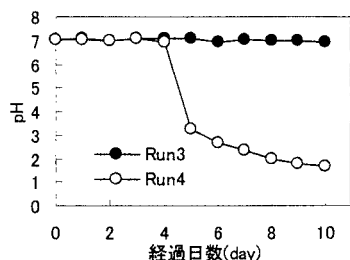


図-2 pHの経日変化

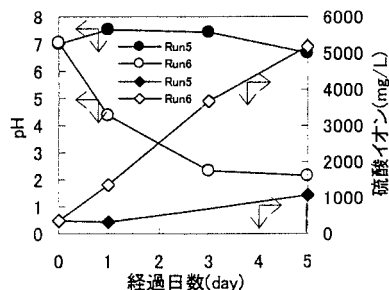


図-3 pHと硫酸イオンの経日変化

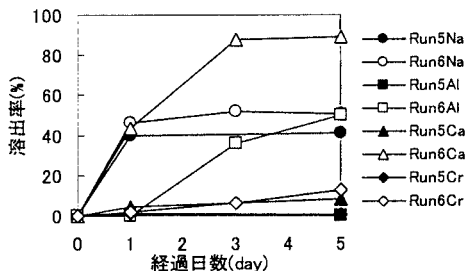


図-4 溶出率の経日変化

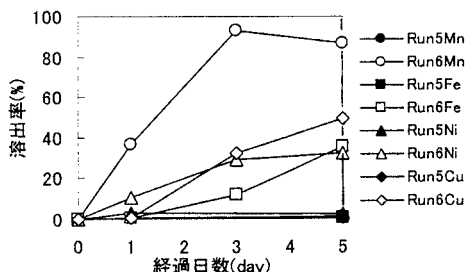


図-5 溶出率の経日変化

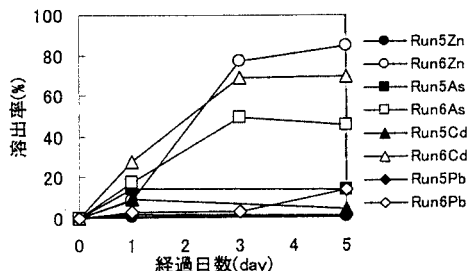


図-6 溶出率の経日変化