

金沢大学工学部
金沢大学大学院工学研究科○森田康之・谷川孝宏
金沢大学工学部 4年
池本良子・小森友明
浅井政嗣

1. はじめに

テトラクロロエチレン (PCE)・トリクロロエチレン (TCE)・1,1,1-トリクロロエタン等の揮発性有機塩素化合物による地下水汚染が深刻化しており、これを生物的に分解除去する方法の開発が急がれている。筆者らは、活性汚泥による有機塩素化合物の分解性を検討した結果、嫌気好気条件で馴養された活性汚泥は TCE, DCE を短時間で分解することを確認した。しかし、馴養条件の異なる活性汚泥では TCE 分解能が大きく異なった。そこで本研究では馴養条件の異なる活性汚泥を用いた TCE 分解実験を行い、TCE 分解能を有する活性汚泥の特徴を調べた。

2. 実験方法

2.1 実験に用いた活性汚泥

実験には恒温室 (20℃) において嫌気好気法で馴養した汚泥 (Sludge L1, L3)・標準法で馴養した汚泥 (Sludge L2)・回分式装置を用い硝酸を添加して無酸素好気条件で馴養した汚泥 (Sludge L4) の四種類の汚泥を使用した。人工排水成分を表 1 に示す。

2.2 TCE 分解実験

TCE 分解実験はバイアル瓶による回分実験を行った。内容積 25ml のバイアル瓶に活性汚泥と基質 (表 1 の無機質) を合わせて 20ml になるように添加後密栓し、マイクロシリンジを用いて TCE を初期濃度 (0.5 or 1.0mg/L) になるように注入了。20℃の恒温室で直接振とう培養を行い、経時的に TCE 濃度をヘッドスペースガスクロマトグラフにより測定した。別に活性汚泥を添加しないバイアル瓶をブランクとし TCE 除去速度定数 (1/g・MLSS・hr) を求めた。

2.3 装置内水質分析

リン酸・硫酸・硝酸はイオンクロマトグラフ、硫酸塩還元細菌は MPN 法、糸状体長は顕微鏡ビデオモニターを用いた測定を行った。

2.4 硝化速度の測定

硝化細菌の活動指標として好気条件の回分実験より硝化速度を求めた。塩化アンモニウム (NH₄Cl 60mg/L) を含む

表 1 人工下水成分

	L1	L2	L3	L4
<有機物>				
CH ₃ COOK	200.0	66.7	66.7	-
Polypepton	400.0	133.3	133.3	-
Yeast Extrat	40.0	13.3	13.3	-
Glucose	200.0	-	-	533
Etanol	-	-	-	333
<無機物>				
NaHCO ₃	71.0	23.7	23.7	200
KCL	174.0	58.0	58.0	-
MgSO ₄ ・7H ₂ O	158.0	52.5	52.5	77
CaCl ₂ ・7H ₂ O	92.0	17.3	17.3	-
KH ₂ PO ₄	92.0	30.7	30.7	66
NH ₄ HCO ₃	-	-	-	731
NaNO ₃	-	-	-	500

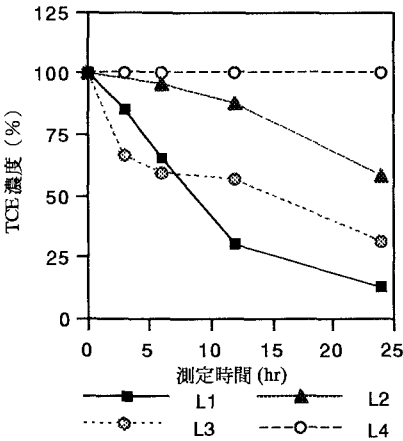


図1 TCE 分解実験

だ基質を活性汚泥に添加し、恒温室（20℃）で好氣的に三角フラスコ中で攪拌培養し、経時的に亜硝酸・硝酸を測定した。亜硝酸はほとんど検出されなかったため、硝酸の増加速度を0次反応と仮定して硝化速度（ $\text{mg NO}_3/\text{g-MLSS} \cdot \text{hr}$ ）として求めた。

2.5 硫酸塩還元速度の測定

硫酸塩還元細菌の活動指標として嫌気条件の回分実験により硫酸塩還元速度を求めた。馴養に用いた基質（表1）と活性汚泥を腐卵瓶に満し、空気が入らないように密栓した後、嫌氣的に恒温室（20℃）で攪拌培養し、経時的に硫酸塩濃度を測定した。硫酸塩の減少は硫酸塩還元菌の活動によるものと判断できるので、硫酸塩の減少を0次反応と仮定して硫酸塩還元速度（ $\text{mg SO}_4/\text{g-MLSS} \cdot \text{hr}$ ）として求めた。

2.6 硫黄酸化速度の測定

硫黄酸化細菌の活性指標として好気条件の回分実験より硫黄酸化速度を求めた。硫酸塩を含まない無機物基質と Na_2S 100mg/L を活性汚泥に添加し、恒温室（20℃）で好氣的に三角フラスコ中で攪拌培養し、経時的に硫酸塩濃度を測定した。3時間までの硫酸塩の増加速度を0次反応と仮定して硫黄酸化速度（ $\text{mg SO}_4/\text{g-MLSS} \cdot \text{hr}$ ）として求めた。

3. 実験結果と考察

図1は実験室で馴養した4種類の汚泥のTCE分解実験の結果を示したものである。標準法で馴養した活性汚泥（L2）よりも嫌気好気法で馴養した活性汚泥（L1, L3）の方がTCE分解能が高く、同じ嫌気好気法でも馴養条件の違いによってTCE分解能に違いがあることが分かった。また、無酸素好気条件で馴養した活性汚泥（L4）にはTCE分解能が認められなかった。

図2は実験装置内の水質分析の一例としてSludge L1のTCE分解能力があったとき（95/11/7）と、なかったとき（95/8/11）の装置内の硫酸塩・硝酸塩・リン酸塩の濃度変化を示したものである。TCE分解能力のあるとき（95/11/7）は嫌気槽において硫酸が減少しており、硝酸は検出されなかった。これに対して、TCE分解能のないとき（95/8/11）は嫌気槽において硫酸は減少しておらず、硝酸は増加しているのが分かる。両汚泥には硫黄および窒素の酸化還元サイクルに違いがあると考えられる。また、両汚泥ともリンの除去能があり、差は認められなかった。

アンモニア酸化細菌（硝化細菌）の *Nitrosomomas europaea* がTCEを分解することが報告されている¹⁾。そこで硝化細菌とTCE分解性との関連性を検討した。図3は硝化速度とTCE除去速度との関係を示したものであるが、両者の間には関連性は認められなかった。また、TCE添加により硝化抑制が認

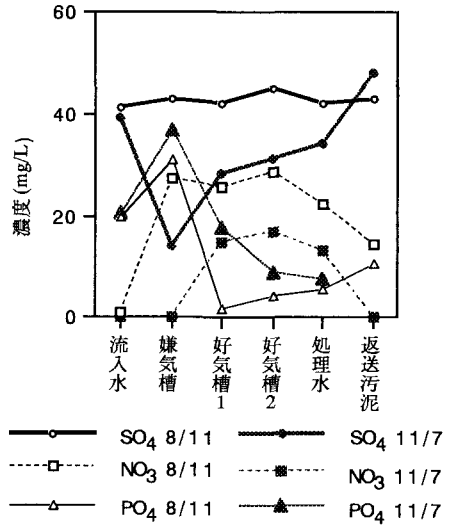


図2 実験装置内水質分析結果の一例 (Sludge L1 95.8.11, 95.11.7)

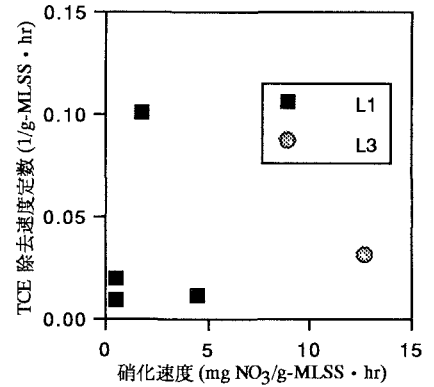


図3 硝化速度との関係

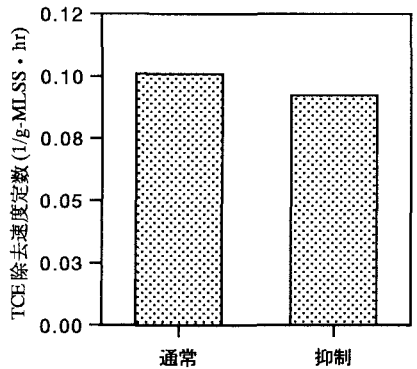


図4 硝化細菌の抑制

められた。さらに、硝化細菌の抑制剤であるアリルチオ尿素を添加してTCE分解実験を行ったが、TCE分解能に影響は見られなかった(図4)。以上のことより、TCE分解に硝化細菌は直接関与していないと考えられる。

図5は硫酸塩還元速度とTCE除去速度の関係を示したものである。活性汚泥によってバラツキはあるが、全体を見ると硫酸塩還元速度が高いときにはTCE除去速度定数も高いことが分かる。特にTCE除去能が全くなかった活性汚泥(L4)の硫酸塩還元速度は0.014 (mg SO₄/g-MLSS・hr)と非常に遅く、汚泥中の硫酸塩還元細菌数(10⁶ MPN/g-MLSS)は他の汚泥(10⁸)と比較して2オーダー低かった。このことより、硫酸塩還元細菌の活性が高い場合にTCE分解能が高くなる傾向にあることが分かった。しかし、硫酸塩還元細菌の呼吸阻害剤であるモリブデン(Mo, NaMo・2H₂O 960mg/L)を添加してTCE分解実験を行ったが、TCE分解性に明確な影響は見られなかった(図6)。

TCE分解は好気条件で起こるため、硫黄酸化速度とTCE除去速度との関係を調べた。図7はその結果を示したものである。このことより、TCE分解能の高い活性汚泥では硫黄酸化が活発に起こっていることが分かる。以上のことにより、TCE分解性の高い活性汚泥では、硫酸塩還元・硫黄酸化を主体とした硫黄のサイクルが活発に起こっていると考えられる。

4. まとめ

- 1) 標準法で馴養した活性汚泥よりも嫌気好気法で馴養した活性汚泥の方がTCE分解能が高かった。また、同じ嫌気好気法で馴養した活性汚泥でも馴養条件の違いによって、TCE分解能に大きな違いが認められた。
- 2) 硝化細菌はTCE分解に直接関与していなかった。
- 3) TCE分解性の高い活性汚泥では、硫酸塩還元菌・硫黄酸化細菌の活性が高いことが認められた。しかし、モリブデンを添加し硫酸塩還元菌の活動を抑制してもTCE分解能に影響は見られなかった。

<参考文献>

- 1) Rasche, M.E., Hicks, R.E., Hyman, M.R. and Arp, D.L. (1990) Oxidation of monohalogenated ethanes and n-chlorinated alkanes by whole cells of *Nitrosomonas europaea*, J. Bacteriol., **172**, 5368-5373
- 2) 池本良子、小森友明、松井義弘：嫌気好気活性汚泥による難分解性物質の除去に関する基礎的研究- トリクロロエチレンの分解-、環境技術、VOL.24, NO.4, 1995.
- 3) 池本良子、小森友明、松井義弘、谷川孝弘、森田康之：嫌気好気活性汚泥によるトリクロロエチレンの分解に関する基礎的研究2 - 塩素イオン放出と基礎的研究-、土木学会第51回年次学術講演会講演概要集 第7部、VII-24, 1996.

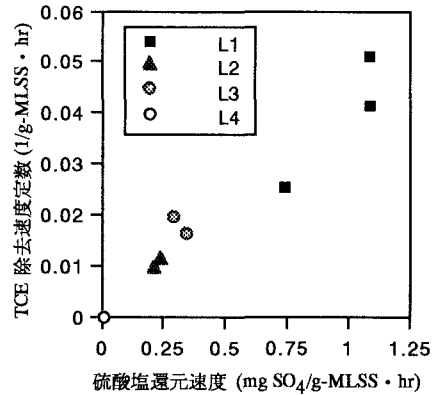


図5 硫酸塩還元速度との関係

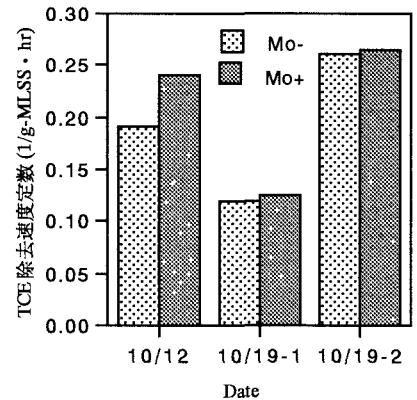


図6 モリブデンの添加

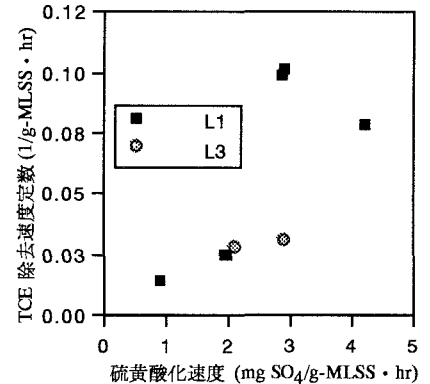


図7 硫黄酸化速度との関係