

## 嫌気性微生物による塩素化エチレン類脱塩素化に伴う地下水温度の影響

大成建設（株） 正会員 ○伊藤 雅子  
 大成建設（株） 正会員 渡邊 竜麻  
 大成建設（株） 正会員 高畑 陽

## 1. 目的

近年、原位置浄化技術として地盤のシルト層や粘土層などの難透水層に含浸したトリクロロエチレン(TCE)などの塩素化エチレン類を加熱により強制的に溶脱させて浄化する技術が実用化されている<sup>1)</sup>。著者らも、塩素化エチレン類の電気発熱法による加熱脱着とバイオレメディエーションを併用した浄化技術について検討している<sup>2) 3)</sup>。土壌の温度が高くなるほど塩素化エチレン類の溶出効果が高いため<sup>4)</sup>、土壌の温度は浄化菌が死滅しない範囲でできるだけ高くして浄化を行う場面が想定される。そこで、本報では地盤を加熱して難透水層から帯水層に移行した高濃度の塩素化エチレン類を含む地下水を採取して、地下水温度による生物学的脱塩素化の影響について室内培養試験で検討した結果について報告する。

## 2. 試験方法

## 1 試験に供した地下水性状

地下水は浄化材の供給から65日後の嫌気状態となった汚染地下水を採取した。採取時の地下水水質を表-1に示す。採取時の水温は30℃であり、浄化菌による脱塩素化を促進するための有機資材を先行して注入していた影響により溶存性有機炭素濃度が高く、塩素化エチレン類の脱塩素化の指標となる有用遺伝子数(*Dehalococcoides*属細菌, *vcrA*遺伝子)も多く検出された。

## 2.2 室内培養試験方法

全量120 mlのガラスバイアル瓶に地下水100 mlを分注し、有機資材0.5 ml(100 mg-C/L相当)を追加してテフロン加工済みのブチルゴム栓で密栓した。培養は15, 20, 25, 30, 35, 40℃の温度に設定した恒温槽を6台用いて静置培養した。各条件のバイアル瓶を複数本作成し、定期的に試料を採取して分析に供した。地下水の塩素化エチレン類濃度は、ガスクロマトグラフ質量分析計(GCMS-QP2010 Ultra:島津製作所)、イオン組成はイオンクロマトグラフ(Alliance 2695XC Separations Module:日本ウォーターズ)、遺伝子数は定量PCR(Quant Studio6 Flex:ライフテクノロジーズ)により測定した。

## 3. 試験の結果

## 3.1 地下水温度(15~40℃)による脱塩素化の影響

各温度条件のVCM, 1,2-DCE, TCEのモル濃度の合算値( $\mu\text{mol/L}$ )の推移を図-1に示す。バイアル瓶中の塩素化エチレン類は高濃度であったが、30℃では培養21日目、25℃では培養28日目にはほぼ全量の塩素化エチレ

表-1 地下水水質(地下水採取時)

項目	測定値	単位
クロロエチレン(VCM)	6.68	mg/L
1,2-ジクロロエチレン(1,2-DCE)	21.0	mg/L
トリクロロエチレン(TCE)	0.50	mg/L
溶存性有機炭素(DOC)	105	mg/L
溶存性窒素(T-N)	9.2	mg/L
塩化物イオン(Cl <sup>-</sup> )	136	mg/L
硫酸イオン(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	0.9	mg/L
pH	6.6	-
酸化還元電位(ORP)	-126	mV
<i>Dehalococcoides</i> 属細菌(16S rRNA)	$1.5 \times 10^6$	copies/ml
<i>vcrA</i> 遺伝子	$3.7 \times 10^5$	copies/ml

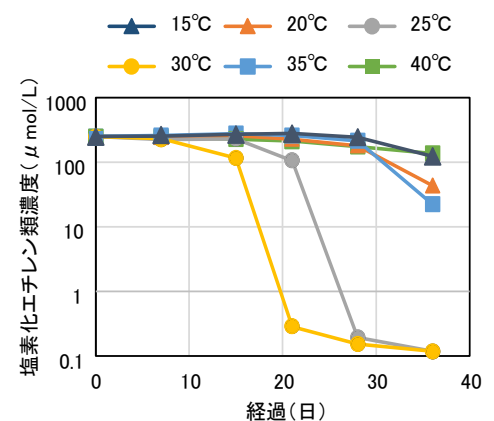


図-1 温度条件による脱塩素化の推移

キーワード 塩素化エチレン類, 原位置浄化, *Dehalococcoides*属細菌, バイオレメディエーション, 温度  
 連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成建設(株)技術センター TEL045-814-7224

ン類が脱塩素化した。その他の温度条件でも脱塩素化は進行したが、培養から36日後も塩素化エチレン類は残存した。各温度条件の有用遺伝子コピー数の推移を図-2に示す。培養開始から全ての温度条件で双方の遺伝子コピー数は高い水準で検出されたが、最も速く脱塩素化した30°Cの温度条件は、塩素化エチレン類の濃度低下に伴い遺伝子コピー数は減少する傾向が示された。また35°Cの温度条件では、一定期間経過後に *Dehalococcoides* 属細菌が増加し、塩素化エチレン類が減少する傾向との相関性が確認できた。

一方、40°Cの温度条件も遺伝子コピー数が一定期間検出されたが、培養36日目には *Dehalococcoides* 属細菌の16S rRNA 遺伝子コピー数は非検出となった。

### 3.2 40°Cでの培養による脱塩素化の影響

前節の結果から、40°Cでは脱塩素化が生じなかったが、有用遺伝子数は一定期間維持されていた。そこで、40°Cの培養期間による影響を調べるために、40°Cで1日培養した後に30°Cに移行する条件と40°Cで継続的に培養した条件を比較した。塩素化エチレン類の濃度と有用遺伝子コピー数の推移を図-3に示す。40°Cで継続的に培養した条件では脱塩素化は殆ど進行しなかったが、40°Cに晒される期間が1日であれば *Dehalococcoides* 属細菌は完全には死滅せず、その後の脱塩素化は良好に進行することが示された。

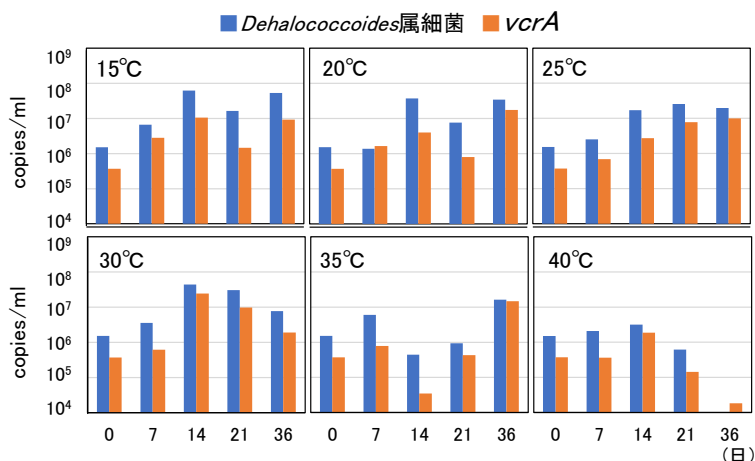


図-2 温度条件による有用遺伝子数の推移

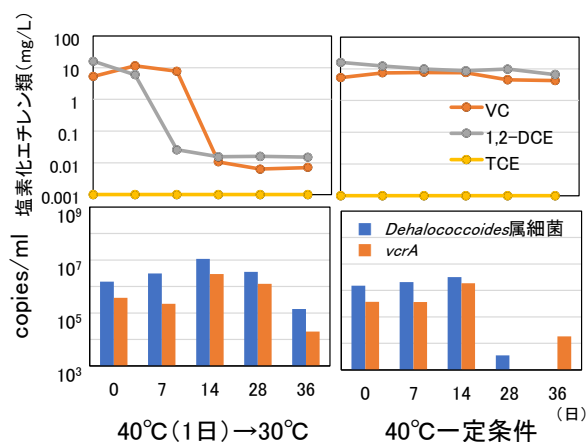


図-3 40°Cの培養時間による影響

## 4. まとめ

本試験の結果、加熱処理により高濃度の塩素化エチレン類が溶出していた地下水を25~30°Cに維持すれば速やかに脱塩素化が進行することを確認した。また、40°Cの温度条件は、その期間が短時間であれば、脱塩素化活性は維持されることが示された。加熱処理にバイオレメディエーションを併用した場合には、加熱処理の温度を30°C前後に設定することが望ましいが、難透水層から帯水層中の地下水への塩素化エチレン類の溶出が律速となる汚染サイトでは、帯水層の温度を一時的に30°C以上にすることで浄化期間を短縮できる可能性が示された。

## 参考文献

- 1) 佐藤徹朗, 瀬野光太, 長曾哲夫: 第23回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, pp. 634-639, 2017.
- 2) 高畑陽, 須網功二: 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会, VII-19, 2019.
- 3) 伊藤雅子, 高畑陽, 内野佳仁, 山副敦司: 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会, VII-18, 2019.
- 4) 須網功二, 高畑陽, 大久保英也, 樋口雄一: 第26回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, 2019.