

複合微生物群を用いたトリクロロフェノール嫌氣的脱塩素化カラムの長期性能維持

名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 学生会員 ○清水 陽平

名古屋大学エコトピア科学研究所 正会員 井上 康

名古屋大学エコトピア科学研究所 吉田奈央子

名古屋大学エコトピア科学研究所 正会員 片山 新太

1. はじめに

土壌地下水汚染浄化技術の一つとして、微生物の有機物分解機能を利用したバイオレメディエーションが有望視されている。その中でも、地下水帯中に微生物を担持させた透過性反応壁（バイオバリア）は、通過する汚染地下水を動力無し且つメンテナンスフリーで浄化できる技術、即ち低コスト型技術として期待・注目されている（図 1）。しかし、バイオバリア内における微生物の増殖やガス発生に伴う透水係数の低下が、浄化能力に及ぼす長期的な影響は、これまで十分に評価されておらず、バイオバリアの開発における課題となっている。

そこで本研究では、トリクロロフェノール(TCP)の嫌氣的脱塩素化能力を持つ複合微生物群を用いてバイオバリアを模したカラムを作製し、汚染化学物質の分解能と透水係数の長期的な変化を調べ、その関係からバイオバリアの寿命に対する影響を評価した。

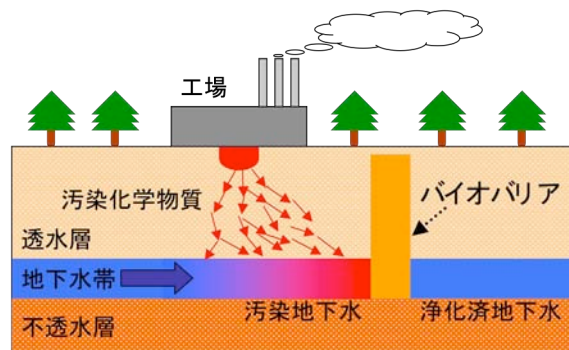


図 1 バイオバリア概念図

2. 実験方法

分解対象物質は芳香族塩素系化合物である 2,4,6-トリクロロフェノール (TCP) とした。TCP は水溶性であり、殺菌剤や木材の防腐剤として利用されたほか、農薬として用いられたペンタクロロフェノール (PCP) の分解代謝産物として、様々な場面で用いられてきた化学物質である。

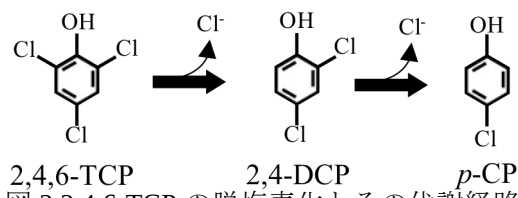


図 2 2,4,6-TCP の脱塩素化とその代謝経路

脱塩素微生物群として、名古屋市内の河川底質から集積したものを使用した。この微生物群は TCP を電子受容体、乳酸を電子供与体とした CPDY 培地（表 1）で活性を維持できる。この微生物群の TCP 脱塩素代謝経路を図 2 に示す。

表 1 CPDY 培地主成分	
成分	濃度
2,4,6-TCP(電子受容体)	100 μM
乳酸(電子供与体)	20mM
NH ₄ Cl	1g/L
CaCl ₂ ・2H ₂ O	0.05g/L
MgCl ₂ ・6H ₂ O	0.1g/L
KH ₂ PO ₄	0.4g/L
NaHCO ₃	2.5g/L
酵母エキス	0.5g/L
Trace elements SL-10	1ml/L
Se/W solution	1ml/L
Resazurin solution	1ml/L

カラムには、外径 80.2mm、内径 73.7mm、高さ 504mm のアクリル製円筒に、微生物群の担持体として平均粒径 0.5mm のガラスビーズを詰めたものを用いた。カラム最下部には、平均粒径 2.0mm のガラスビーズを詰め、流入液を横断方向に分散させた。カラム流入液として、CPDY 培地を用いた。流入液は嫌気パックに用意し、テフロンチューブでカラムと接続し、定流量ポンプ（ペリスタルティックポンプまたはプランジャーポンプ）でカラム下部から流入させ、流れを押し出し流れと見なせるようにした。なお、上端はガラスビーズを充填せずに空間とし



図 3 カラム外観

キーワード バイオレメディエーション、バイオバリア、還元的脱塩素化

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学エコトピア科学研究所片山新太研究室

TEL:052-789-5856 E-mail:a-katayama@esi.nagoya-u.ac.jp

て残し、そこからサンプリングを行った(図3)。カラムは30℃のインキュベータ内に設置する一方、流入液パックは3℃の冷蔵庫に設置し、混入微生物の増殖を抑制した。

流量は最初約10ml/hrに設定したが、33週目からは約6ml/hrで運転した。運転中、カラム上部から定期的にサンプリングを行い、TCPとその代謝物の濃度をGC-MS(島津, GCMS-QP5050)を用いて測定した。カラム上下にマノメータを設置し、その差圧から透水係数を求めた。

運転65週目に、トレーサ試験によってカラム内の間隙率を測定した。CPDY培地の塩濃度を変え、カラム流出側直後に設けたプローブで測定した比電気伝導率の変化から、カラム内の間隙率をCXTFIT解析プログラムの2-Region modelを用いて求めた。

3. 実験結果と考察

図4にカラム上部から採取したサンプルのTCP及びその代謝物質と、これらの物質をすべて足し合わせたものの濃度時間変化を示す。運転初期においては、TCPが一部残留したが、その後、残留量は減少した。28週を過ぎるとTCPは殆ど残留しなくなった。脱塩素代謝産物2,4-DCP(ジクロロフェノール)の残留濃度も減少し、その多くがp-CP(クロロフェノール)まで脱塩素化された。全濃度も減少し、p-CPが更に代謝されていることが、示唆された。42週以降、全濃度は増加したが、TCPからp-CPまでの脱塩素活性は維持された。図5に透水係数と累積流量の時間変化を示す。透水係数は、初期値の1/700程度まで減少したが、その後はほぼ一定の値となった。透水係数の減少は、増殖した微生物の堆積と微生物の代謝活動で発生する気体の捕捉により生じる有効間隙体積の減少によって起きる。透水係数が一定となったことから、33週以降は微生物の増殖量および気泡の発生量と、それらがカラム外に排出される量が釣り合ったものと考えられる。表2にトレーサ試験の結果から求めた有効間隙率と間隙内の線流速を示す。有効間隙率の減少に伴って、線流速は17%大きくなった。線流速が大きくなり、カラムの滞留時間が短くなっているにも関わらず、TCPの脱塩素化活性は安定していたことから、長期運転によって微生物群の能力が向上したと推測される。

4. まとめ

本研究では複合微生物群を用いてTCPの嫌氣的脱塩素化カラムを作製し、長期にわたって脱塩素化活性を維持することに成功した。その間、透水係数は減少したが、初期値の1/700程度で安定し、それ以上は低下しなかった。透水係数の減少によって滞留時間が短くなったにも関わらず、カラム全体での脱塩素化活性は減少せずむしろ向上していることがわかった。

分解対象物質をはじめとした培地組成・濃度、流速などの条件が、カラムの脱塩素化活性、透水係数の低減にどのように影響するか解明することが、今後の課題である。

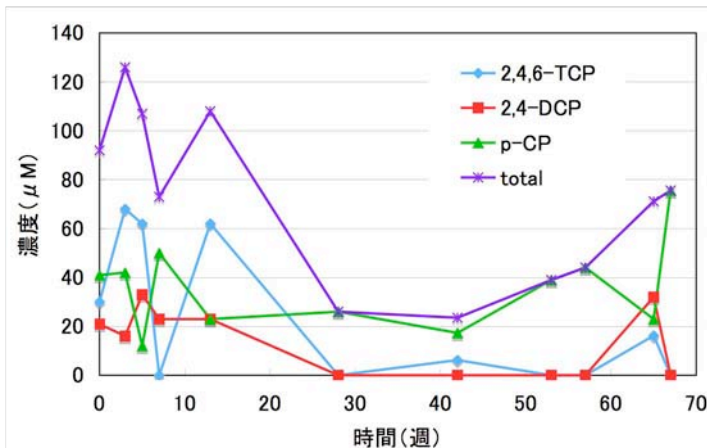


図4 TCP 及びその代謝物質の時間変化

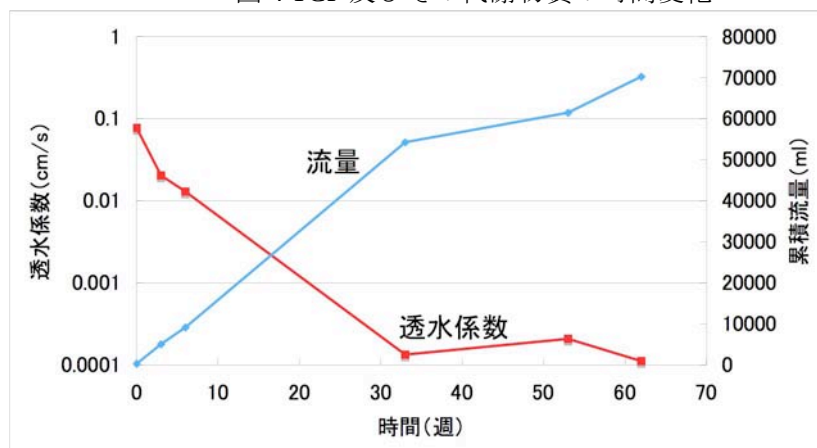


図5 透水係数の時間変化

表2 有効間隙率と線流速の変化

物理量	時間(週)	
	0	65
透水係数(cm/s)	7.68×10^{-2}	1.10×10^{-4}
有効間隙率(-)	0.38	0.33
滞留時間(日)	3.1	2.6
線流速(cm/s)	1.03×10^{-4}	1.20×10^{-4}