

## 水素供給剤を用いた揮発性有機化合物による汚染地下水のバイオレメディエーション

国際航業 正会員 中島 誠  
 国際航業 正会員 武 暁峰  
 国際航業 岡田亮介

## 1. はじめに

土壌・地下水汚染の修復において、工学的な浄化技術を駆使しても費用がかさむだけでなかなか浄化目標値を達成できないということから、汚染物質の自然減衰（NA；Natural Attenuation）を利用したアプローチとして、科学的な測定・評価の上でこのメカニズムを地下水汚染浄化手法に組み入れようとする科学的自然減衰（MNA；Monitored Natural Attenuation）が普及しつつあり、酸素や水素を放出する薬剤を用いて好気性あるいは嫌気性の微生物による自然浄化能力を高めようとする方法が多く用いられ始めている。

著者らは、揮発性有機化合物による地下水汚染サイトの地下水汚染流出防止策として、水素供給剤を用いたバイオレメディエーション促進技術の適用を試み、我が国の土壌・地下水環境条件への適合性を検討した。

## 2. 水素供給剤を用いたバイオレメディエーションの原理

使用した水素供給剤は、米国 Regenesis 社製の Hydrogen Release Compound(商品名：HRC)<sup>1,2)</sup>であり、特別に配合されたポリ乳酸エステルからなる食品同等に無毒な化合物である。この HRC から、乳酸の水和反応によりゆっくりと水素が放出され、乳酸からピルビン酸、酢酸へと変化していく。放出された水素は原位置の土壌中に生息している微生物によって使われ、還元脱塩素化プロセスにより汚染物質から塩素が取り除かれる。この還元脱塩素化によりテトラクロロエチレン（PCE）は、トリクロロエチレン（TCE）、ジクロロエチレン（DCE）、塩化ビニル（VC）の順に分解していき、VC についても二酸化炭素と水にゆっくりと分解することがわかっている。これらの反応は、図 - 1 に示すように整理される。

HRC は、約 1 年間に渡って安定して水素を放出し続けるため、短期的な繰り返し注入を必要とせず、注入後に地上施設を必要としない。従って、必要となる費用は、HRC の薬剤費とその注入に伴う費用、および対策効果のモニタリングに係わる費用のみである。今回の適用例では、HRC の注入井を汚染源の下流側に設置し、その中に HRC を圧入する方法を採用した。

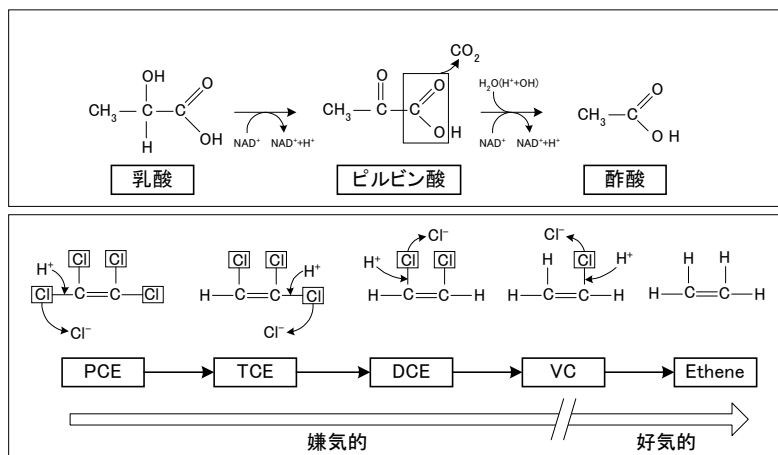


図 - 1 HRC からの乳酸の破過による水素の供給過程と増加した水素による PCE の脱塩素化反応

## 3. サイトの概要と適用

HRC を適用したサイトは、PCE を汚染原因物質とする地下水汚染サイトで、主帯水層が玉石混じり砂礫層から構成される。このサイトでは、下流側敷地境界部に設置した観測井 GW6 において、PCE およびその分解生成物である TCE、cis-1,2-DCE による地下水汚染が確認された。注入井設置前に測定した GW6 における各物質の濃度は、PCE が 0.28mg/l、TCE が 0.10mg/l、cis-1,2-DCE が 0.37mg/l であった。

HRC 注入井の設置概念図を図 - 2 に示す。IW1～IW7 は注入井であり、MW6U は上流側の観測井である。

キーワード：揮発性有機化合物、バイオレメディエーション、水素供給剤、自然減衰

連絡先：〒102-0085 東京都千代田区六番町 2 国際航業（株） 電話 03-3288-5722 FAX 03-3288-9380

浄化対象幅約8mに対して2.5m間隔で3~4本の注入井の並びを2列配置した。各注入井は、小型ロータリーパーカッションマシンで掘削した孔径146mmの掘削孔に肉厚型のPVC管(内径:48.6mm)を挿入し、設置した。スクリーンは、スロット径約2mmのスリット型とし、玉石混じり砂礫層の分布深度に設けた。スクリーン部の周囲には、碎石(径15~20mm)を充填し、上部および下部を遮水した。

HRCは、60の湯せんで粘性を下げた後、グラウトポンプを用いて注入井内に圧入した。HRCの注入量は、サイト条件をもとにRegenesis社の設計ソフトで算定された必要最小量218kgをもとに、272kg(30lbs×20缶)とした。HRCの注入量は、電子受容体として競争する硫酸イオンの濃度(110mg/l)に大きく左右されている。

#### 4. 適用結果

観測井MW6U、GW6における地下水質のモニタリング結果を表-1に示す。HRC注入の36日後の段階で、下流側GW6のPCE、TCEに濃度低下が認められ、分解生成物であるcis-1,2-DCE、トランス(trans)-1,2-DCEの濃度が増加している。PCE、TCEの濃度減衰率は、78日後にはさらに増加しており、PCEは96.8%、TCEは84.2%に達している。cis-1,2-DCE、trans-1,2-DCEの濃度については、今後、増加から減衰に転じるものと予想される。これらの傾向から、HRCの注入によりバイオレメディエーションが促進されていると考えられる。HRCから放出された水素の消費については、硫酸イオンの減少分67~76mg/lだけ硫酸イオンの減少に使用されたことがわかった。

#### 5. おわりに

水素供給剤を用いたバイオレメディエーション促進化技術をPCE等による地下水汚染サイトの地下水汚染流出防止策として適用し、効果を確認した。今後は、モニタリングデータの蓄積により本技術の有効性を評価していくとともに、再度HRC注入が必要となるまでの期間を確認する予定である。

#### 参考文献

- 1)Koenigsberg,S.S., Farone,W.A (1999): The use of hydrogen release compound (HRC™) for CAH bioremediation. (Leeson,A., Alleman,B.C. eds. "Engineered approaches for in situ bioremediation of chlorinated solvent contamination", Battelle Press), Columbus Ohio, 67~72.
- 2)Cornuet,T.S. et al. (2000): Aerobic and anaerobic bioremediation of cis-1,2-dichloroetene and vinyl chloride. (Koenigsberg,S.S. et al. eds. "Accelerated Bioremediation of chlorinated compounds in groundwater", Battelle Press), 41~49.

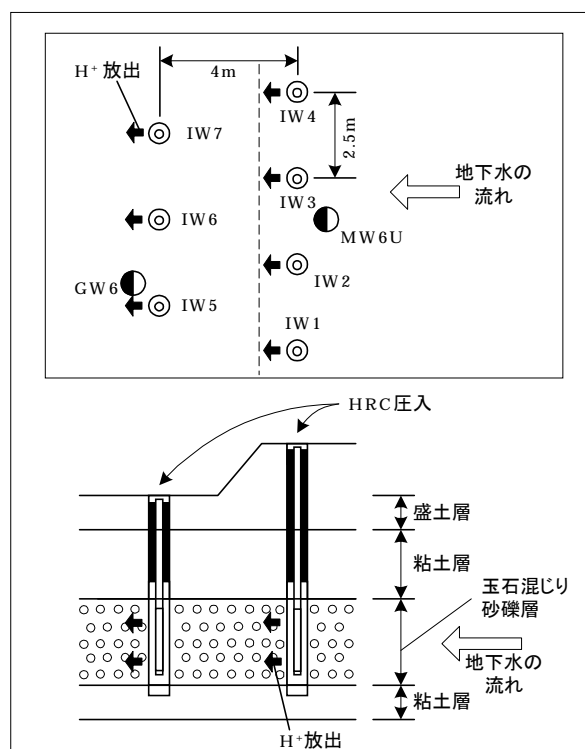


図-2 HRC注入井および観測井の設置概念図

表-1 地下水質モニタリング結果

|                      |         | HRC注入前  |        | HRC注入後 |        |
|----------------------|---------|---------|--------|--------|--------|
|                      |         | Day -76 | Day 0  | Day 36 | Day 78 |
| PCE (mg/l)           | MW-6U   | -       | 0.39   | 0.46   | 0.50   |
|                      | GW-6    | 0.28    | 0.18   | 0.058  | 0.016  |
|                      | 減衰率 (%) | -       | 53.8   | 87.4   | 96.8   |
| TCE (mg/l)           | MW-6U   | -       | 0.05   | 0.13   | 0.095  |
|                      | GW-6    | 0.10    | 0.046  | 0.029  | 0.015  |
|                      | 減衰率 (%) | -       | 8.0    | 77.7   | 84.2   |
| cis-1,2-DCE (mg/l)   | MW-6U   | -       | 0.23   | 0.39   | 0.24   |
|                      | GW-6    | 0.37    | 0.38   | 0.89   | 0.54   |
|                      | 減衰率 (%) | -       | -65.2  | -128.2 | -125.0 |
| trans-1,2-DCE (mg/l) | MW-6U   | -       | <0.004 | 0.004  | -      |
|                      | GW-6    | <0.004  | 0.004  | 0.008  | 0.005  |
|                      | 減衰率 (%) | -       | -      | -100.0 | -      |
| 1,1-DCE (mg/l)       | MW-6U   | -       | <0.002 | <0.002 | -      |
|                      | GW-6    | <0.002  | <0.002 | <0.002 | <0.001 |
|                      | 減衰率 (%) | -       | -      | -      | -      |
| VC (mg/l)            | MW-6U   | -       | 0.008  | 0.009  | -      |
|                      | GW-6    | <0.004  | 0.007  | 0.010  | -      |
|                      | 減衰率 (%) | -       | 12.5   | -11.1  | -      |
| 硫酸イオン (mg/l)         | MW-6U   | -       | 100    | 95     | 85     |
|                      | GW-6    | 110     | 84     | 19     | 18     |
|                      | 減衰率 (%) | -       | 16.0   | 80.0   | 78.8   |