

No. PREA-EDC100126

有機塩素化合物(VOC)土壤汚染用



土壤・地下水汚染を自然の力で浄化

EDC
Electron Donor Compound

<開発・製造元>

 **エコサイクル株式会社**

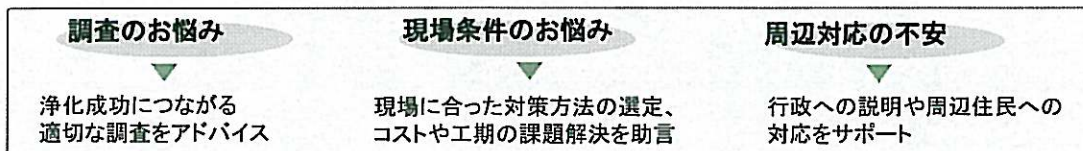
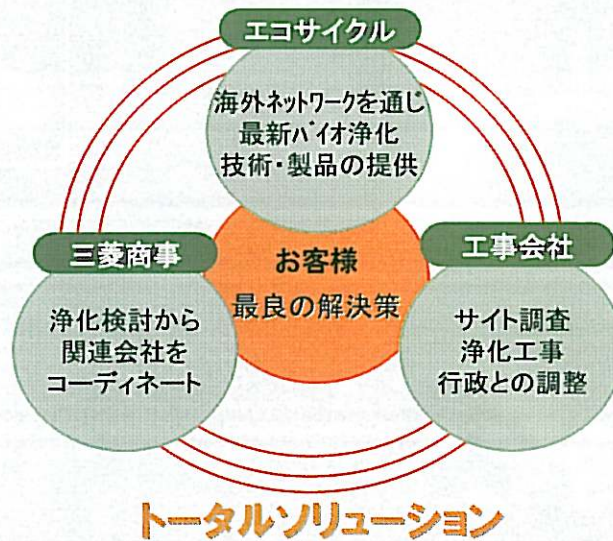
<総販売代理店>

 **三菱商事株式会社**

土壌・地下水汚染でお悩みのお客様

親身に全力でお手伝い致します

土壌・地下水汚染に関する豊富な経験とネットワークを活かし、様々な場面でお客をサポートします。



EDCのコンセプト



VOC汚染土壌・地下水は、100年単位の時間をかければ自然界に棲む微生物によって分解・浄化されていきます。



EDCは自然浄化を促進する微生物の栄養源です。



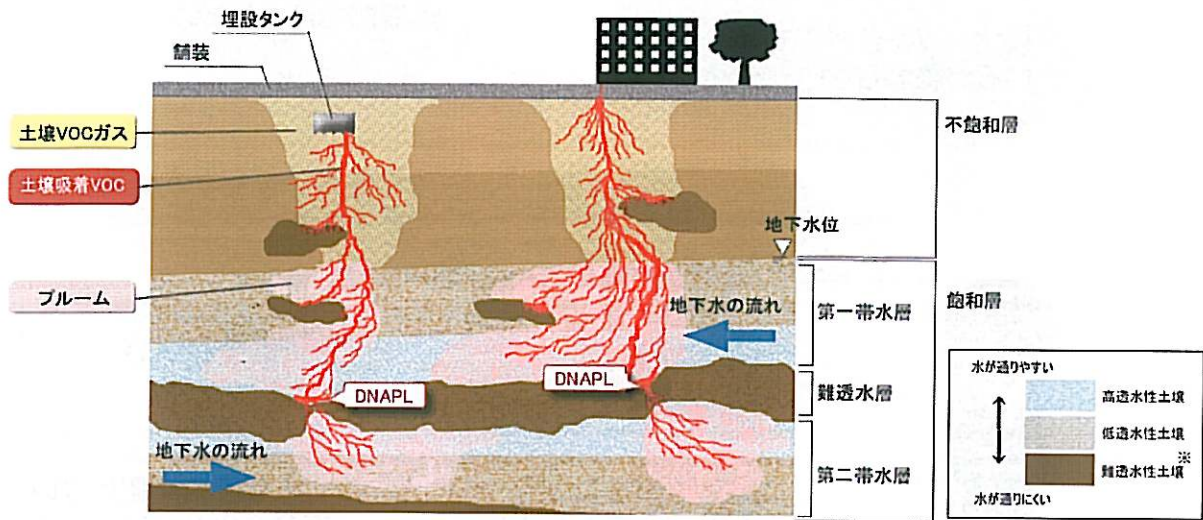
EDCを水に溶かして汚染地に添加すると、土中の微生物が増殖・活性化し、VOC汚染を浄化することができます。



EDC

(Electron Donor Compound) = 電子供与体

VOC汚染メカニズム



※ 難透水性土壌・・・水の通りが悪く、汚染溜まり(DNAPL)を形成しやすい

対策・浄化方法の種類

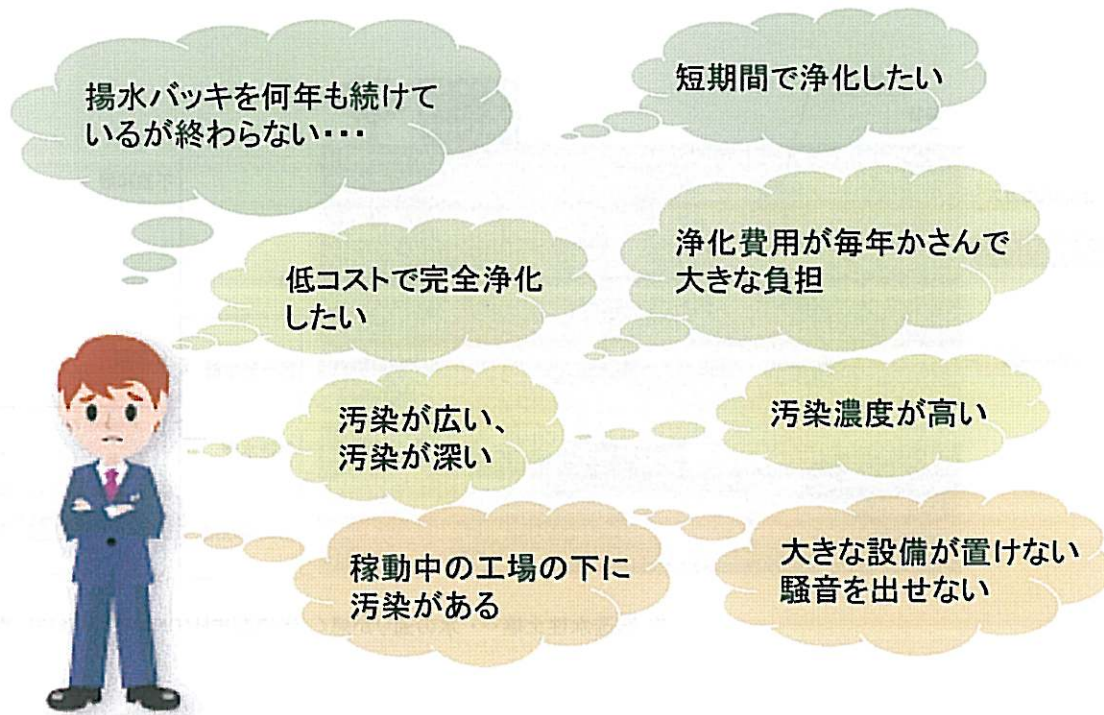
現場の汚染状態、地質、予算、浄化目標、行政対策等の状況に応じて最適な方法(もしくは組み合わせ)を選択し、低コスト・短期間・完全浄化につなげるのが大切です

コスト・時間などは目安であり、地質・現場の状態・汚染濃度等によって変わります。

分類	方法	浄化コスト (1㎡あたり)	浄化期間	稼働中 の 工場下	シルト・ 粘土質 対応	高濃度 汚染	不飽和	地下水 浄化	課題
バイオ	EDC	0.5~1.5万円	約3~12ヶ月	○	○	○: ~150mg/L ▲: 150mg/L~	▲	○	濃度が300mg/L以上、 酸性・アルカリ性に強く傾い ている場合は難しい
物理	掘削除去	4~6万円	短期間	×	○	○	○	×	高コスト
	揚水処理 (※1)		数年~数十年	○	×	○	掘削	○	低濃度が下がりにくい・ メンテナンスコストが高い
	ホットソイル	1.5~4.0万円	短期間	×	○	○	○	×	微生物に殺菌効果
	ガス吸引	0.5~1.5万円	数ヶ月~3年	○	×	○	○	×	地下水汚染を浄化でき ない
化学	鉄粉	約3万円	数ヶ月	×	○	▲	○	○	地盤に影響
	酸化剤	0.5~2.0万円	数ヶ月~3年	○	×	▲	▲	○	六価クロム等発生の可能 性・有機物が多い場合難 しい・微生物に殺菌効果

※1: 浄化期間が長い為、トータルコスト算出が困難

VOC土壌・地下水汚染に関する様々なお悩み



EDCを使用した浄化法の特長

短工期(3~12ヶ月)

EDCは水に溶解し易く、土壌・地下水中にスピーディに拡散します。また、EDCは微生物により取り込まれ易く、分解し易い性質です。速く嫌気性雰囲気形成され、短期間で浄化できます。

高濃度汚染も対応

EDCは高濃度汚染中に生息する微生物も活性化できます。(トリクロロエチレン数100mg/L※の高濃度汚染を浄化した実績) 土壌に吸着した汚染溜り(DNAPLs)を溶出する効果も持ちます。

※環境基準値1万倍レベル

高い安全性

EDC原料は食品材料です。EDCの減少により微生物も減少し、最後はEDC自身も分解して残りません(生分解性試験確認済)。また、EDCの拡散・到達状況はTOC(全有機炭素)を観測する事で把握できます。

低コスト

掘削除去工法に比べ1/3以下の低コスト。

簡易な設備で可能

工場・店舗操業中でも浄化工事の施工が可能です。

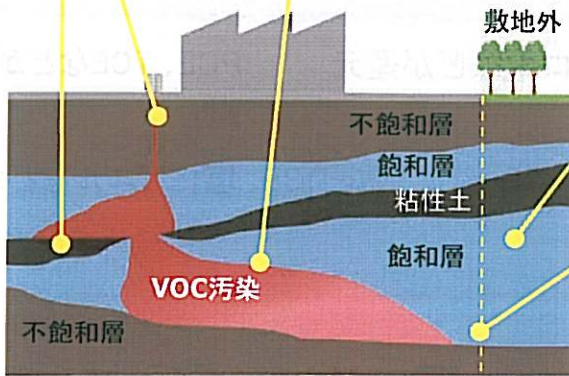
※ EDCIは様々なケースに浄化実績があります

**不飽和層・
粘土質の汚染**

- ・不飽和層の汚染はバイオ浄化で困難とされていましたが、EDCでは浄化可能となりました。
- ・砂礫～粘性土まで様々な地質で浄化実績があります。

建屋下・広い・深い

- ・「建屋下」「広い」「深い」汚染はEDCの得意分野です。状況によっては、少しずつ浄化を進めていく方法も。
- ・対象土量 最大700万㎡の実績があります



地下水

- ・地下水浄化はEDCの得意分野です。

域外流出対策

- ・EDC-Eを併用し、EDCバリア(微生物による浄化ゾーン)を作り、敷地外流出対策を行うこともできます。

EDC使用イメージ

EDCを水に溶かし、汚染土壌・汚染地下水に送り込んで使用します。
一般的には、直径80mm程度の注入井戸から地下水へ自然注入する方法をとります。



EDC溶解タンク



注入設備



注入井戸



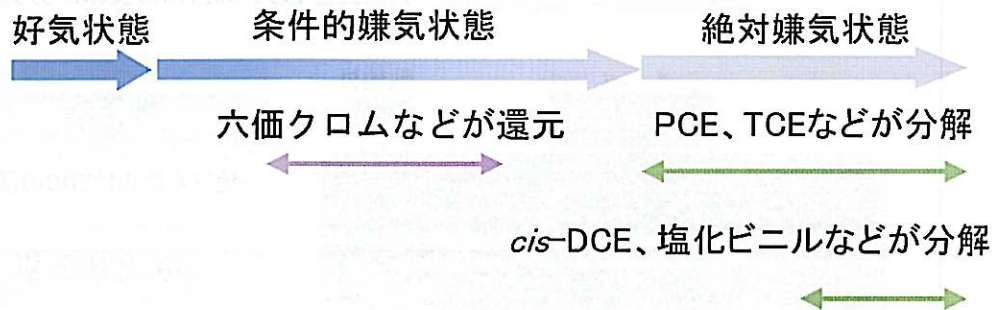
簡易な設備で注入する方法もあります



写真提供:
日立プラント建設サービス株式会社

酸化還元電位に対応した電子受容体

段階	I	II	III	IV	V	VI
電子受容体	酸素	硝酸イオン	マンガン (IV)	鉄(III)	硫酸イオン	二酸化炭素
酸化還元電位 (ORP mV)	+820	+740	+520	-50	-220	-240

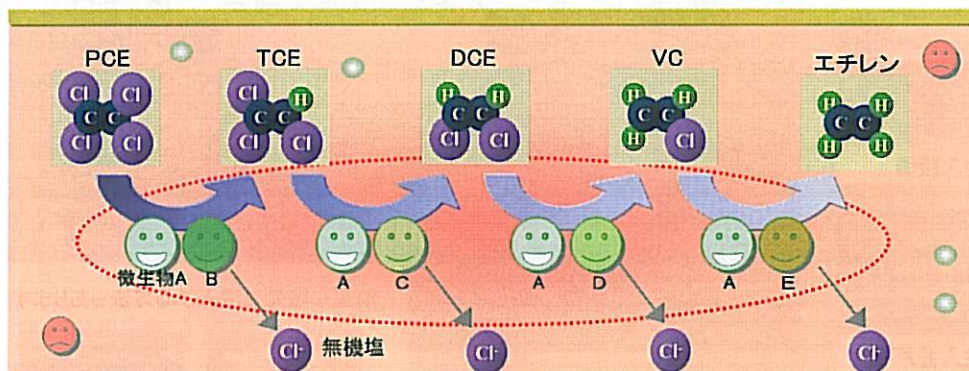


Point

EDCIによる浄化法は絶対嫌気状態をスムーズに形成し、無害なエチレンまで分解することができます。

EDCIによる浄化メカニズム

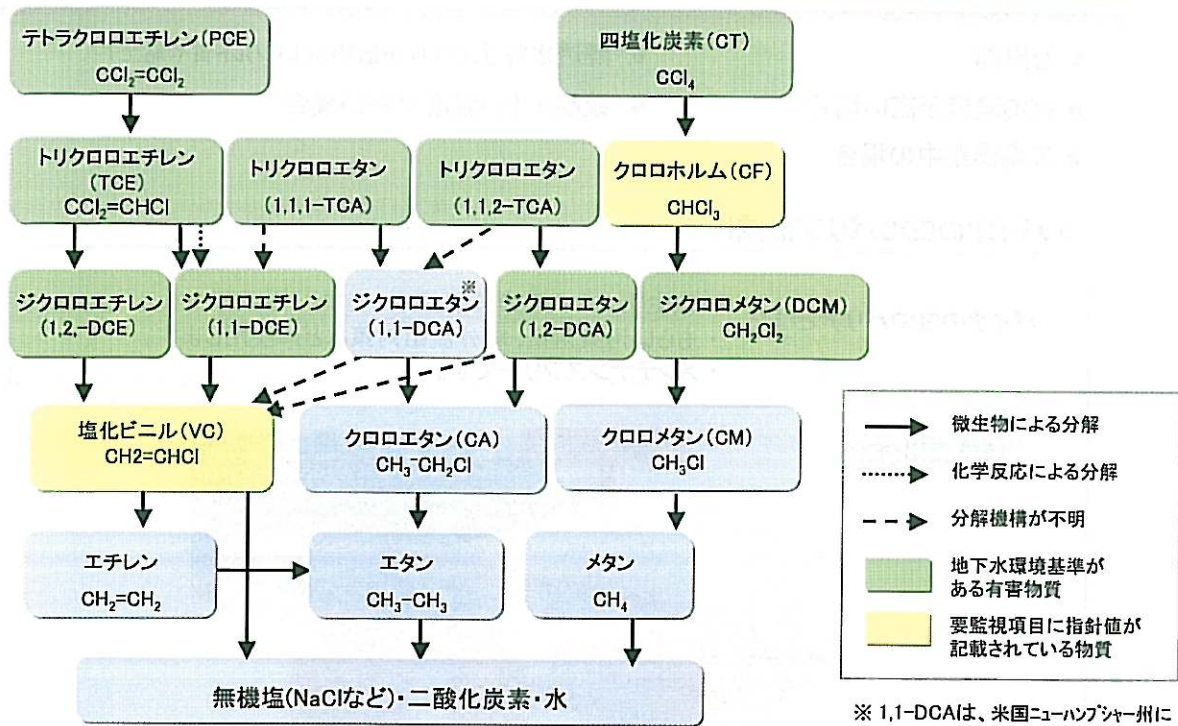
- 1 EDCIが好気性微生物を活性化
- ↓
- 2 酸素の少ない嫌気性環境へ
- ↓
- 3 嫌気性微生物がVOCを分解



Point

EDCIは分解に関わる全ての微生物を増殖・活性化できるため、スピーディに分解が進みます。

塩素化合物の分解工程



Point 上記工程中に発生する物質は、全てEDCで浄化することができます。

汚染状況に応じ、EDC-Eも併用します

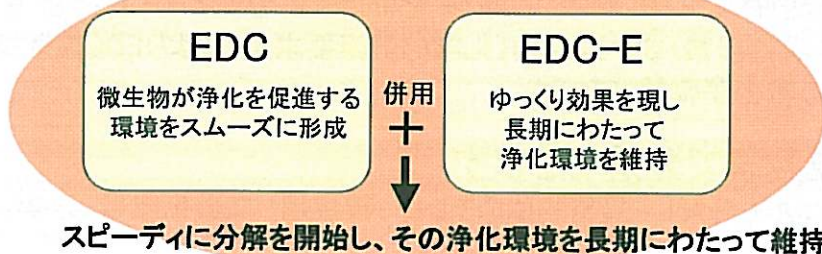
EDC-Eは、EDCと同様、VOC汚染の自然浄化を促進する微生物の栄養源です（エコサイクル社特許製品）。
EDC-Eを併用することにより、より多様な汚染状況に対応することができます。

EDC-Eの特長

- ・ EDCと同様、食品材料で構成され、安全です。
- ・ エマルジョン状で、水と混合しやすく、土壌によく浸透します。
- ・ ゆっくりと長期にわたり浄化効果を維持します。



[EDC-EはEDCとの相性を考えて設計されています]



EDC-E併用が特におすすめる場面

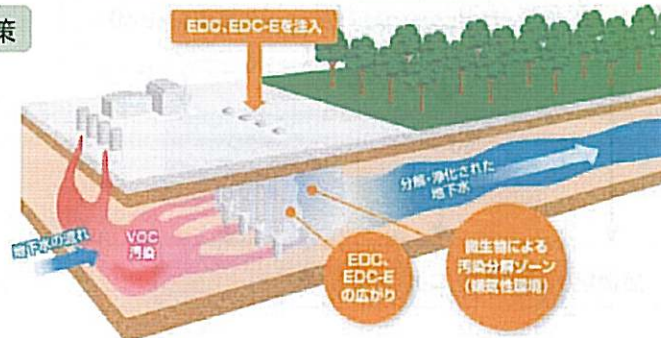
- 沿岸部
- VOC濃度が高い場合
- 工場操業中の場合
- 難透水性土壌(水が通りにくいシルト質や粘土)
- 硫酸イオン濃度が高い場合

● バイオのEDCバリア形成に

バイオのEDCバリアとは？

- ・ 微生物による汚染分解ゾーンです。
- ・ もらい汚染対策、域外流出対策などに使用します。
- ・ メンテナンスフリーです。

域外流出対策



※詳しくはエコサイクルまでお問合せください。

EDC(EDC-E)使用の安全性

EDCの安全性は？

食品材料で構成されています

全ての成分は、食品材料或いは食品添加物

環境中の生分解性が高い

化審法対応分解度試験において良分解性であることを確認済

重金属を不純物として含みません

環境計量証明機関によるEDCの含有重金属分析により確認済

EDCによる浄化法の安全性は？

EDCの地中での拡散量、減少を確認することができます

TOC(全有機炭素)或いはCOD(化学的酸素要求量)によりEDC拡散度合・EDC量の減少が確認できます。

副生成物まで分解できます

塩化ビニルも分解し、最終的にエチレン、無機塩、二酸化炭素、水等になります。

EDC工法と浄化実績

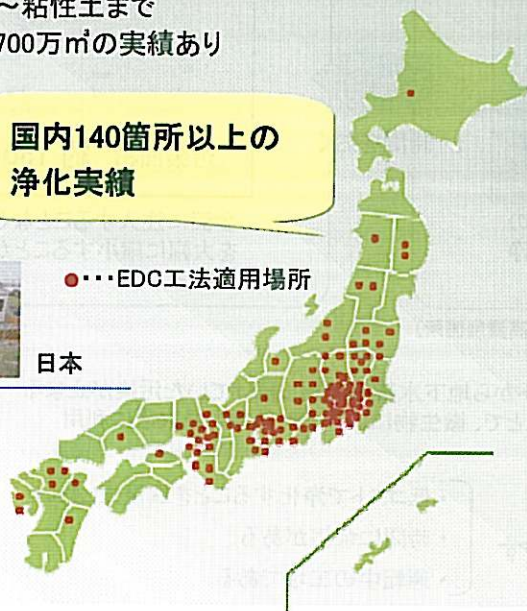
- 対象物質:テトラクロエチレン、トリクロエチレン、四塩化炭素、ジクロロメタン、トリクロエタンなどの有機塩素化合物
- 日本、海外でも実績(アメリカ、インド、東南アジア)
- 濃度:トリクロエチレン数100mg/L
- 土質:砂礫～粘性土まで
- 規模:最大700万㎡の実績あり

国内140箇所以上の
浄化実績



日本

●●●EDC工法適用場所



アメリカ



台湾



インド



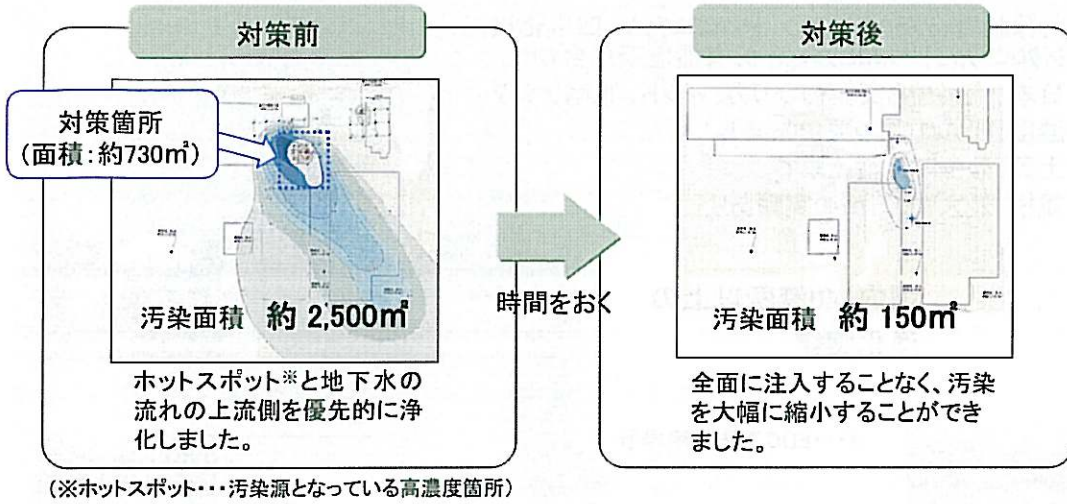
【官公庁関連のEDC採用実績】

- 環境省「平成16年度低コスト・低負荷型土壤汚染対策技術検討調査」
対象技術に採択 (評価結果公報 H17.11)
- 福岡北九州高速道路公社「花畑地区土壤地下水汚染対策工事」竣工 (H18.06)
- 環境省「土壤汚染対策基金による助成金」交付第一号案件採用 (H19.12)
※ 2008年6月25日環境新聞 記事掲載
- 岩手・青森「県境不法投棄現場における土壤汚染対策」採用決定 (H21.03)
※ 2009年4月15日環境新聞 記事掲載

他、入札等による施工有

コストを優先した事例

資料提供: 株式会社高田地研



- ・ホットスポットから地下水帯へ溶出し続けていた汚染が止まる
- ・時間をおくことで、微生物による浄化効果を最大限に利用

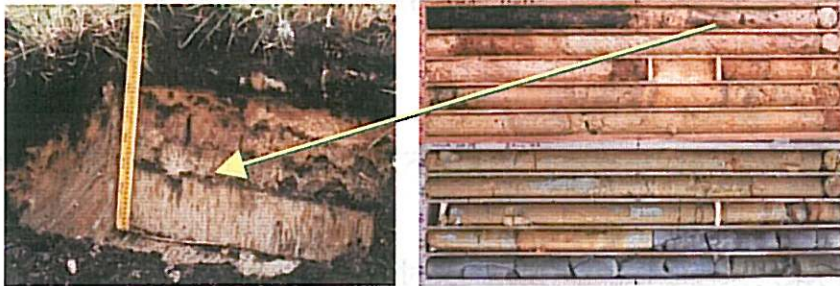
この方法は
このような場合おすすめです

- ・低コストで浄化することを最優先したい
- ・時間に余裕がある
- ・運転中の工場である

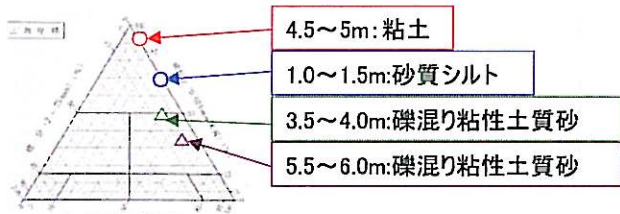
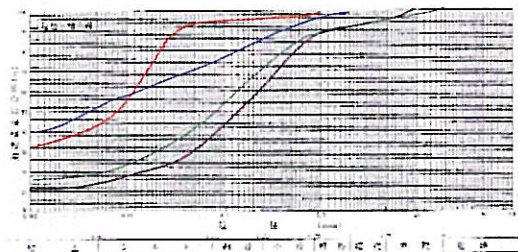
透水係数が低いサイトでの浄化事例①

資料提供: 新日本グラウト工業株式会社

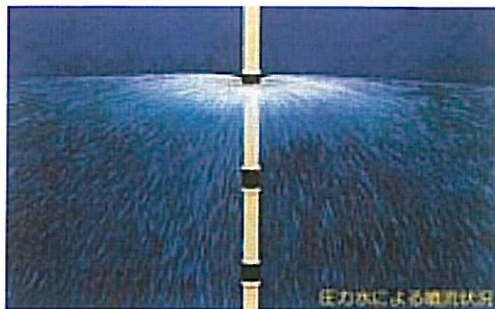
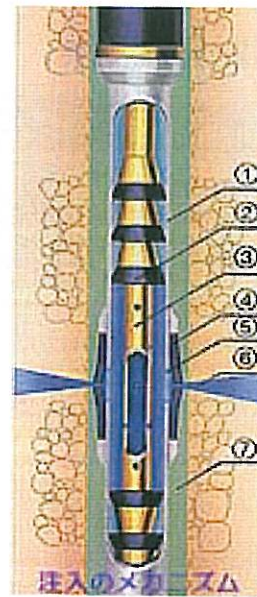
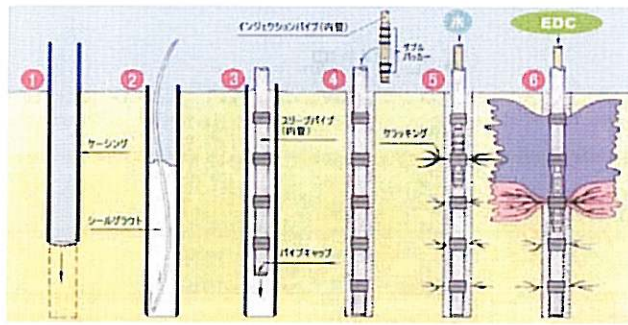
● 土質状況



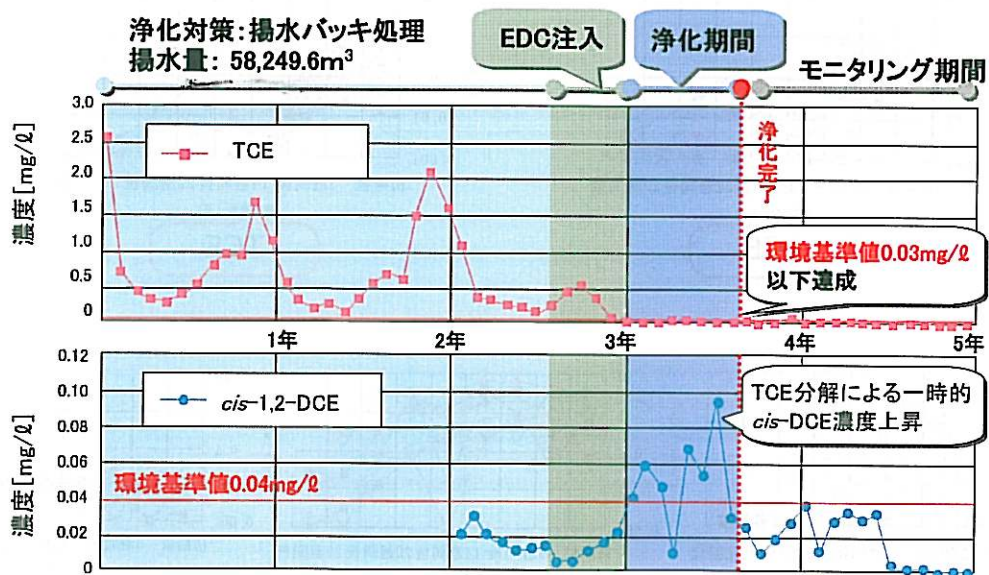
● 粒度試験結果



ダブルパッカー工法



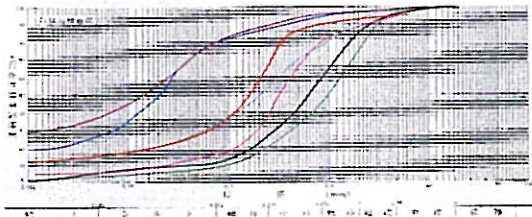
揚水バッキからEDCに切り替えて浄化達成



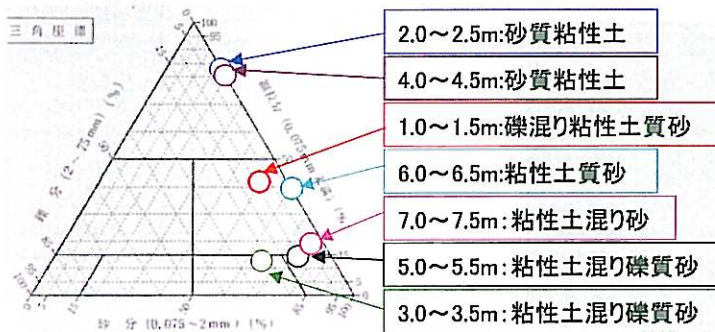
透水係数が低いサイトでの浄化事例②

資料提供： 新日本グラウト工業株式会社／福岡北九州度高速道路公社

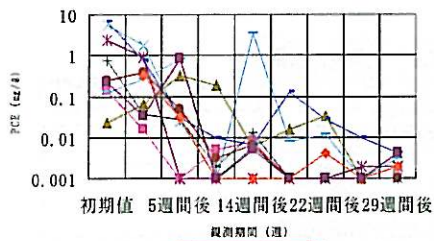
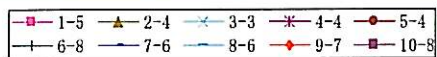
● 粒度試験結果



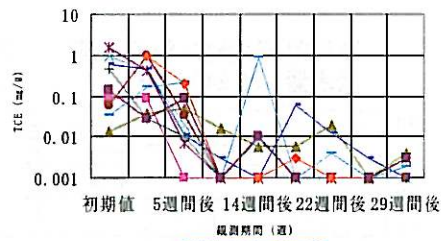
● 土質状況



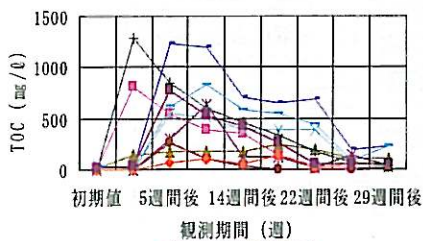
モニタリング経過結果



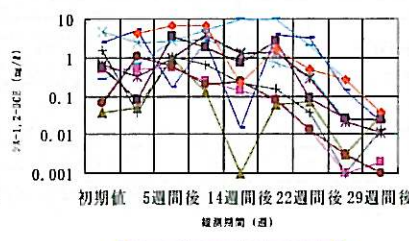
PCE



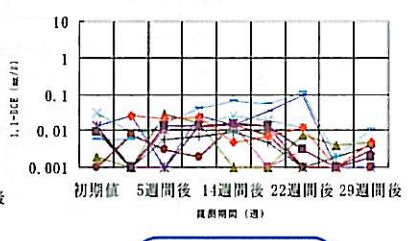
TCE



TOC



cis-1,2-DCE



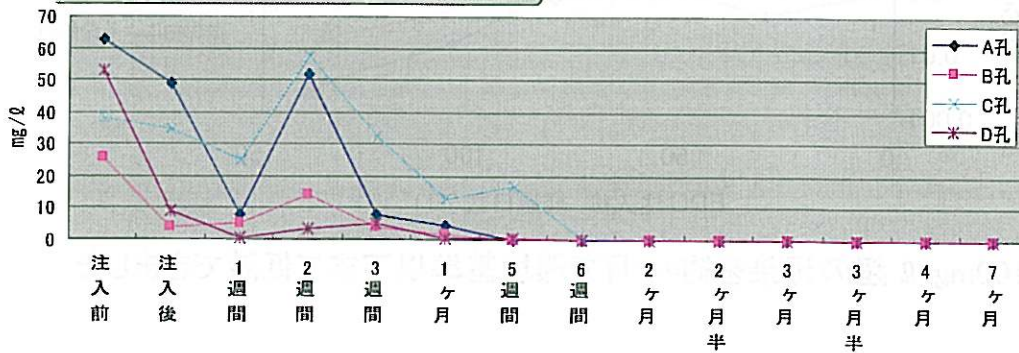
1,1-DCE

透水係数が低く、汚染濃度が高いサイトでの浄化事例

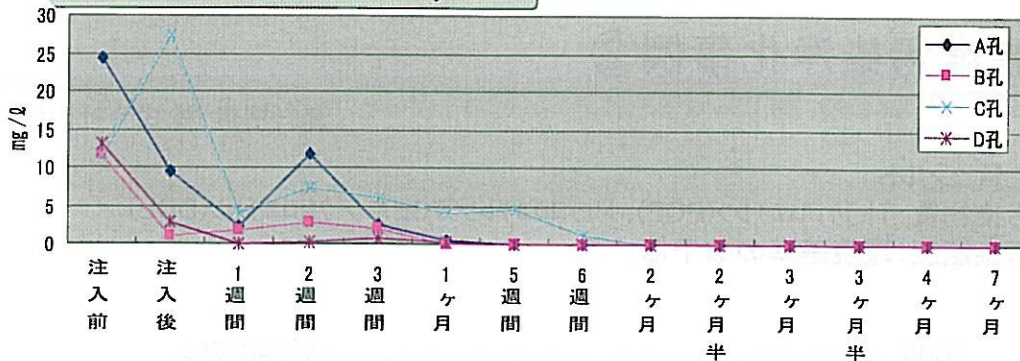
資料提供: 三井住友建設株式会社

- 透水係数は 10^{-5} cm/s以下(ダブルパッカーを使用して施工)
- DNAPL(汚染溜まり)がありました

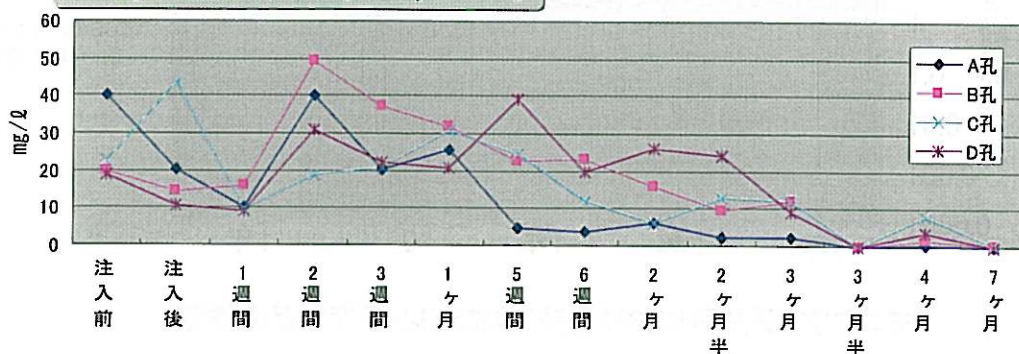
テトラクロロエチレン (PCE)



トリクロロエチレン (TCE)



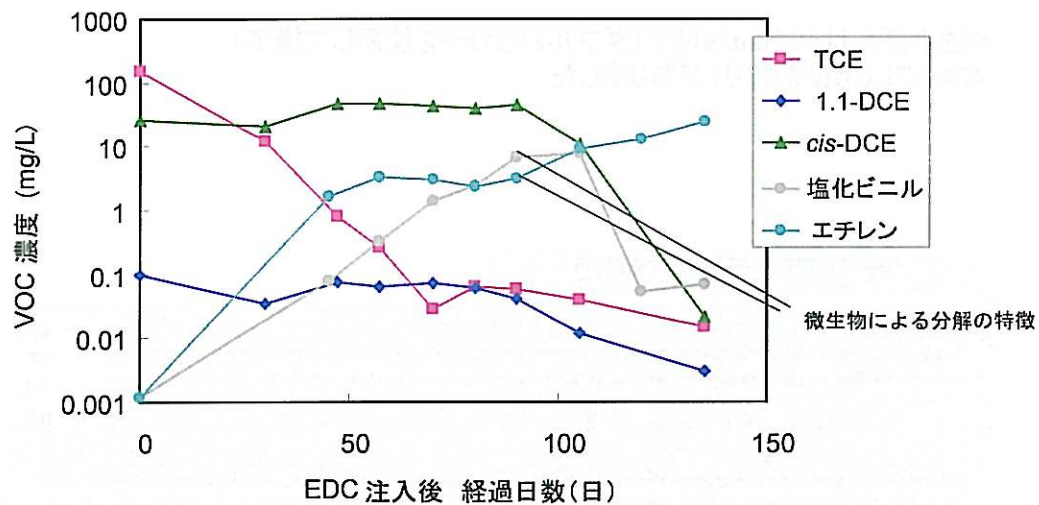
シス-1,2-ジクロロエチレン (シス-1,2-DCE)



高濃度汚染浄化事例①

- 加熱吸引適用後、EDCを井戸から定期的に注入
- 土質は粘性土

資料提供: MINDECO

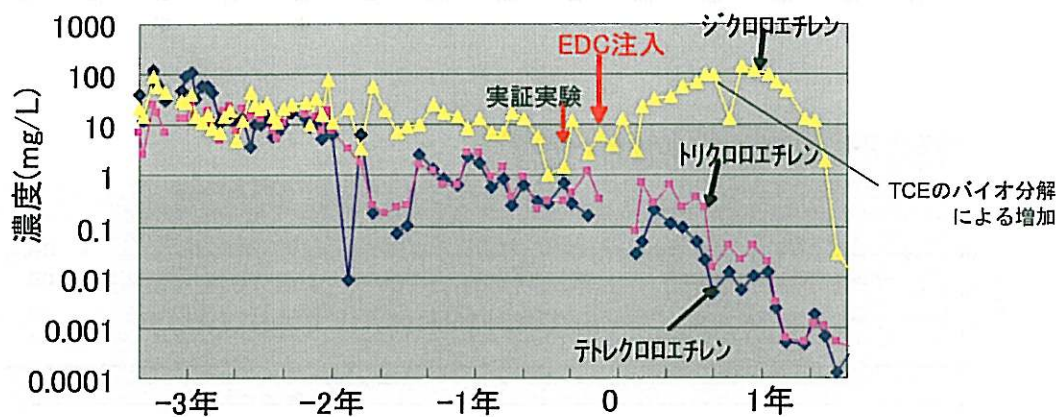


★100mg/l 超の汚染を約4ヶ月で環境基準以下まで低減できました

高濃度汚染浄化事例②

- 土質:シルト
- 汚染物質:テトラクロロエチレン(PCE)、トリクロロエチレン(TCE)、ジクロロエチレン(DCE)
- 汚染濃度:環境基準の数千倍

資料提供: 株式会社鴻池組



モニタリング井戸におけるテトラクロロエチレン濃度などの推移

EDCバリアによる域外流出対策事例 ① - (1) 概要

資料提供：株式会社テルム

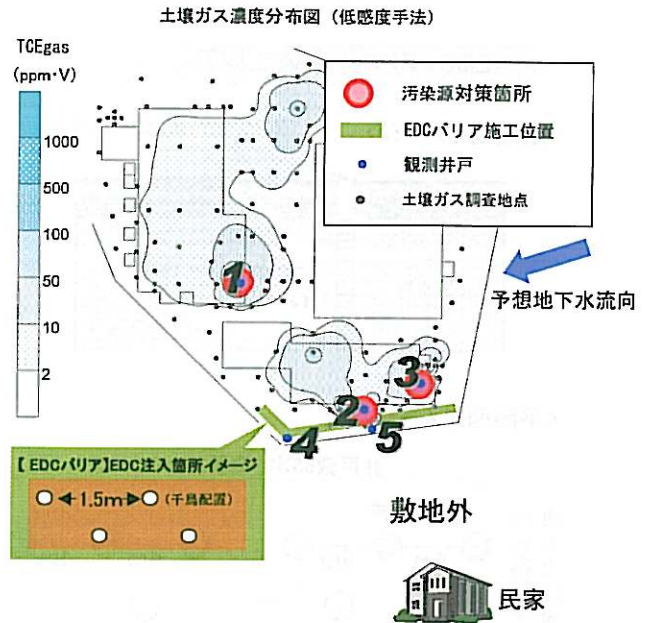
● 敷地外への汚染流出防止を最優先

【井戸番号1、2、3】
汚染源のVOC濃度低下を目的

200～300倍に希釈したEDC及びEDC水溶液を井戸から注入

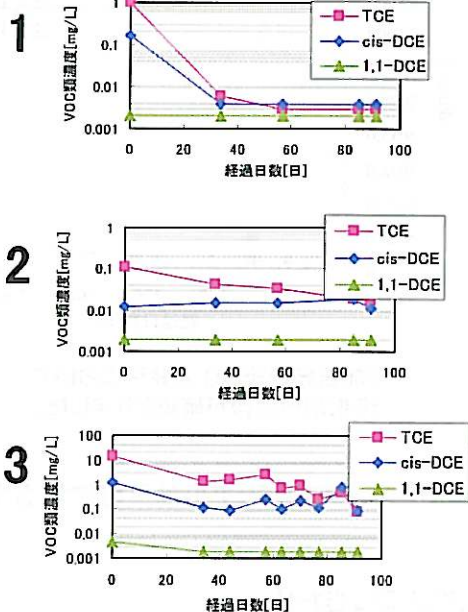
【井戸番号4、5】
EDCバリアを形成

3～5倍に希釈したEDC及びEDC-E水溶液を注入(削孔注入法)



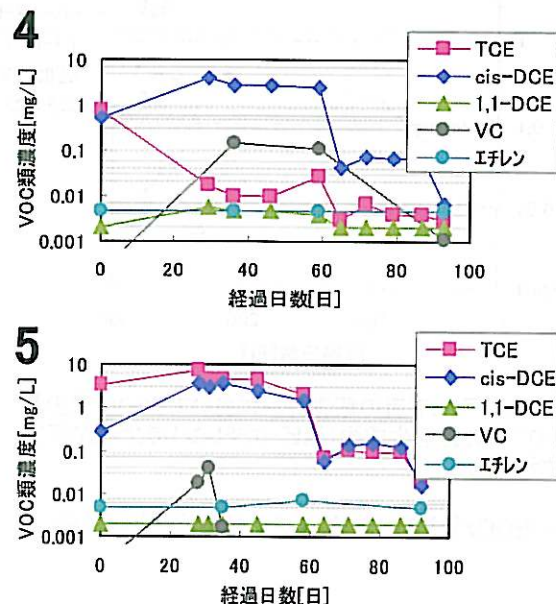
EDCバリアによる域外流出対策事例 ① - (2) 結果

汚染源へEDC注入



→ 汚染源の濃度低減を確認

EDCバリア



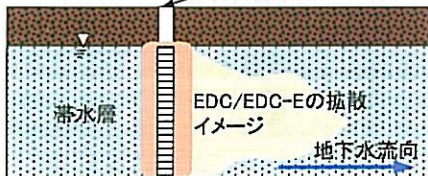
→ 敷地外への汚染流出を防止
(環境基準値以下確認)

EDCバリアによる域外流出対策事例 ② - (1) 概要

- 目的: 敷地外への汚染流出対策 (敷地内は浄化施工中)
- 施工概要: 敷地境界近傍に、EDCバリア(全長約400m、深度8~9m)を設けました。

EDCバリア井戸施工概要

<断面図イメージ> タンク等からEDC/EDC-Eを自然注入



<平面図イメージ>

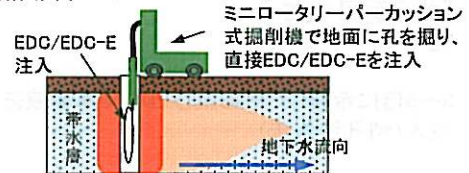


【参考】

注入方法として、通常の井戸注入(左図)と削孔注入法を併用しています。削孔注入法は井戸のように再注入できませんが、低コストで抑えられるメリットがあります。

EDCバリア 削孔注入法概要

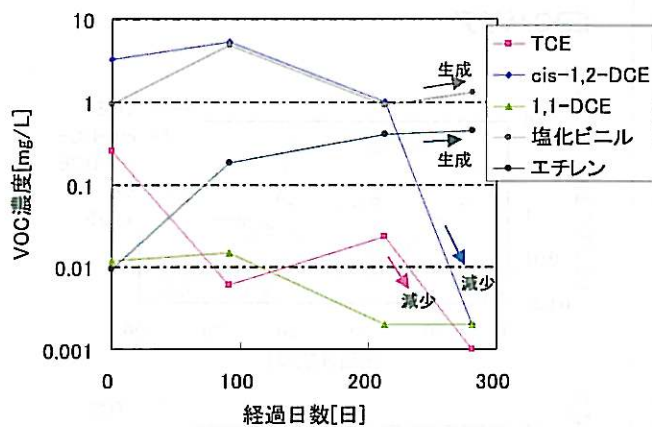
<断面図イメージ>



<平面図イメージ>

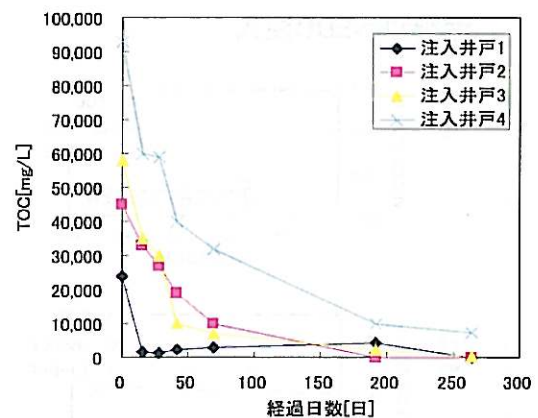


EDCバリアによる域外流出対策事例 ② - (2) 結果



注入井戸2m下流の観測井戸においてVOCの減少とVOC類の分解生成物(塩ビ・エチレン)の生成が観測されました。

→EDCバリアによるバイオ分解効果を確認



250日経過後も注入井戸において浄化剤の残留が確認されました。

→ EDCバリアの効果保持能力を確認

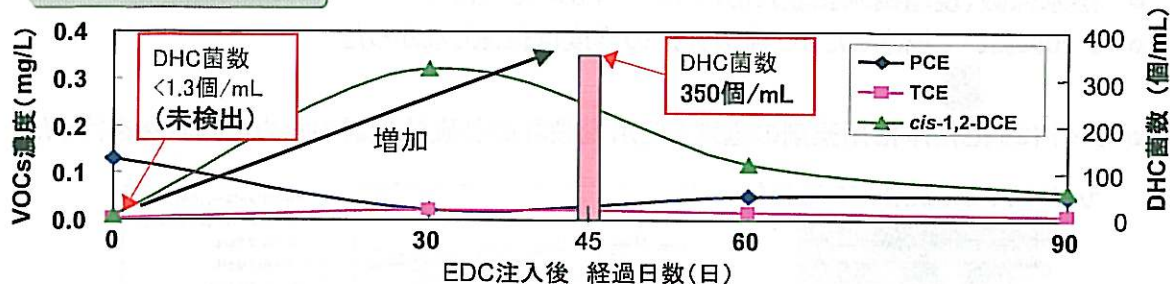
敷地内のVOC汚染を数年単位の工期で段階的に進めるに当たり、
 施工中の汚染域外流出対策として、EDCバリアの有効性を確認することができました。

DHC菌※が少ない場合での浄化事例

※DHC菌(デハロココイデス属菌)

…VOCを分解する酵素を持つ代表的な微生物で、バイオ浄化の適用性を計る指標とされています

サイトA



サイトB,C

EDC注入後のDHC菌数の変化

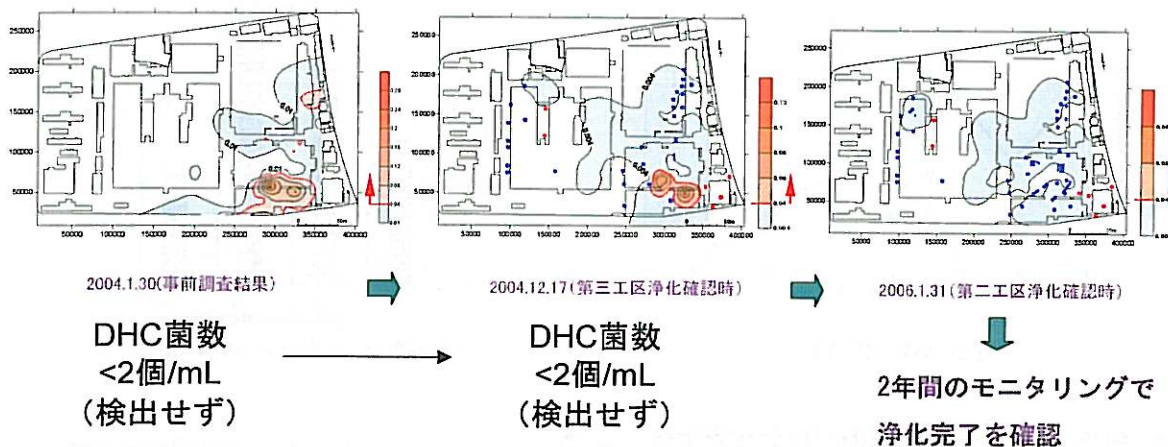
	0日後	45日後	60日後	90日後	
サイトB	<40個/mL	200個/mL	-	-	→ 5倍以上増殖
サイトC	<70個/mL	<70個/mL	450個/mL	<70個/mL	→ 6倍以上増殖

★DHC菌定量法(リアルタイムPCRによる16srDNA遺伝子定量)の下限の問題により少数のDHC菌を定量することができない

DHC菌が検出されない場合での浄化事例

資料提供: 興亜開発株式会社

● cis-DCE濃度変化



★DHC菌以外のVOCs分解菌が浄化に寄与した可能性
(人類が把握している微生物は全体のわずか5%)

室内試験による栄養源の性能比較テスト

概要

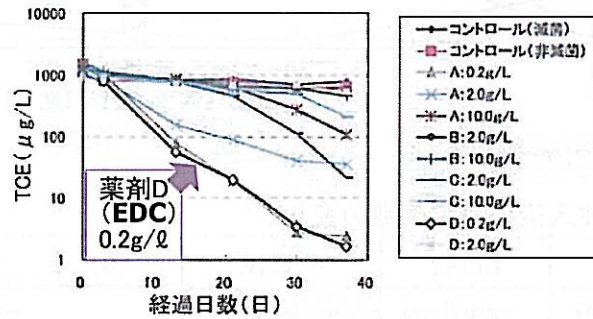
資料提供：株式会社竹中工務店

- 汚染原因:PCE(洗浄液として過去使用)
- 透水係数(現場揚水試験): $5.0 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-2} \text{cm/s}$
- I-20において揚水したが、周辺井戸の濃度は低減しなかった



- サイトに適した浄化用薬剤の選別と使用量設計の基礎的検討のため室内試験を行った

サイト地下水、薬剤、TCEを添加

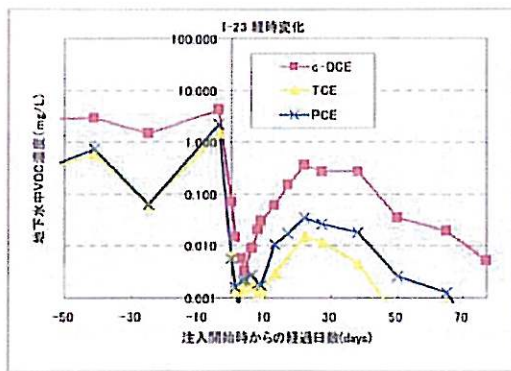


- TCEの速やかな減少
- *cis*-DCE濃度の減少を確認

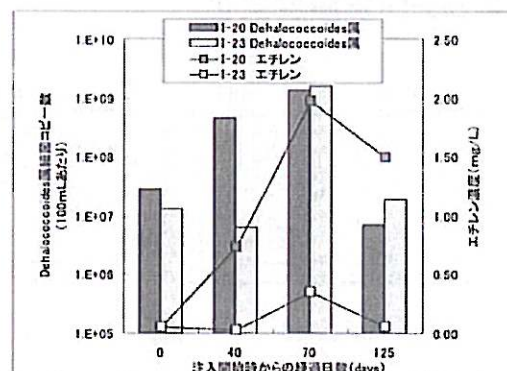


薬剤D(EDC)をサイト浄化試験に使用

サイト浄化試験結果



I-23 VOC濃度変化



エチレン濃度・Dehalococcoides属細菌数変化

- PCE→TCE→*cis*-DCEの脱塩素化を確認
- Dehalococcoides属細菌数の増加を確認 ($1 \times 10^5 \rightarrow >1 \times 10^9 \text{copy}/100\text{mL}$)



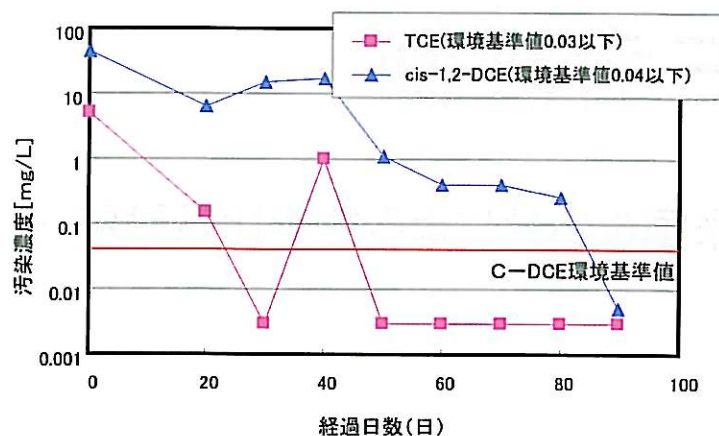
EDC注入による浄化効果を確認

EDCその他実績のご紹介

資料提供： 日立プラント建設サービス株式会社

概要

- 稼働中の工場において、EDCは注入井戸より120m下流まで到達し浄化に成功しました。
- 修復工事面積は30,000㎡です。



★エコサイクルホームページでも実績を多数ご紹介しております

2007土壌地下水浄化技術展発表資料: http://www.ecocycle.co.jp/topics/01_07dojyotikasuiten_EC.pdf

2008土壌地下水環境展発表資料: <http://www.ecocycle.co.jp/topics/08dojyotikasuiten.pdf>

EDCと 米国R社製品Hの 第三者評価

— 米国GZA社による性能比較試験 —

試験1 ニューハンプシャー州ニューポート

サイト情報

- 1860年代から続く繊維工場で、2004年以降は火器保管所
- 面積 110,000 m² (建屋 17棟)
- 水文地質データ:
 - 透水係数: 10⁻⁴ to 10⁻⁵ cm/sec
 - 地下水位: -2m
 - 土質
 - ・砂質埋土: 0~1m
 - ・シルト混じり細砂: 1~7m
 - ・シルト質粘土: 7~9m
 - ・氷河性礫: 9~23m
 - ・岩床: 23m~

↑ -2~8m
VOC汚染
範囲

試験方法

- 2006年10月、2種類のバイオ浄化剤を汚染源にある既存井戸周辺に其々ジオプローブで注入
- エコサイクル社製 EDC 試験場所:
 - EDC (380kg)を観測井GZ-101A付近に注入
 - (観測井の上流部×1箇所、側流部×2箇所、各1.5~2.5m間隔)
 - 地下-2~8m間に注入(21kg/m)
- 米国R社製品H 試験場所:
 - 製品H(380kg)を観測井GZ-304付近に注入
 - (観測井の上流部×1箇所、側流部×2箇所、各1.5~2.5m間隔)
 - 地下-2~8m間に注入(21kg/m)



バイオ浄化剤の注入プログラム

ジオプローブ 500

EDC

米国R社製品H



結果 (VOC)

井戸名 浄化剤	変化率				
	TCE	DCEs	VC	総親VOCs	親VOC モル比
井戸:GZ-304, 浄化剤: HRC-A	47 %減少	1,580 %増加	変化無し	41 %減少	14 %減少
井戸:GZ-101A, 浄化剤:EDC	100 %減少	460 %増加	462 %増加	98 %減少	99 %減少

注目すべき指標

試験2 マサチューセッツ州グラフトンでの試験

サイト情報

- 航空産業向けの金属鍛造メーカー
- 面積: 937,000 m² (工場: 97,550 m²)
- 地下水: 1,1-DCA, 1,1-DCE, 1,1,1-TCA, PCEを検出
- 水文地質データ:
 - 透水係数: 10-4 cm/sec
 - 土質
 - ・埋土: 0~4m
 - ・シルト質砂又は砂質シルト: 4~21m
 - ・砂質礫: 21~29m
 - ・水河性礫: 29~36m
 - ・岩床: 36m~

↑ ↓
-2~8m
VOC汚染
範囲

試験方法

- 2006年10月、2種類のバイオ浄化剤を汚染源にある既存井戸周辺に其々ジオプローブで注入
- エコサイクル社製 EDC 試験場所:
 - EDC (163.3 kg) を観測井GZ-N1S付近に注入 (観測井の上流部×1箇所、側流部×2箇所、各1.5~2.5m間隔)
 - 地下-2~8m間に注入 (10kg/m)
 - 透水係数が低く、EDC (68kg) の注入が困難
- 米国R社製品H 試験場所:
 - 製品H (231.3 kg) を観測井GZ-N4付近に注入 (上流部×1箇所、側流部×2箇所、各1.5~2.5m間隔)
 - 地下-2~8m間に注入 (13kg/m)

結果 (VOC)

(COV) 結果

井戸名 浄化剤	変化率				
	PCE	DCEs	VC	総親VOCs	親VOC モル比
井戸:GZ-4S-U, 浄化剤:HRC-A	59 %減少	4,080 %増加	変化無し	38 %減少	74 %減少
井戸:GZ-N1-S, 浄化剤:EDC	100 %減少	350 %増加	124 %減少	98 %減少	93 %減少

註: サンプルは当初予定のGZ-N4で不可能であったので、井戸GZ-4S-U(GZ-N4の2~3m下流)でサンプル実施