

土壌・地下水汚染浄化の省CO₂を達成する 加温式原位置高速バイオ浄化技術の開発

○株式会社 竹中工務店
株式会社 竹中土木

国立大学法人
国立大学法人
国立大学法人

岡山大学
横浜国立大学
名古屋工業大学

1. 概要

1/14

■背景

国内には莫大な汚染土地が存在、主流対策の掘削除去はCO₂排出量・コストが大きく汚染土地が遊休地（ブラウンフィールド）になる例も散見

低コスト・低環境負荷で安価な浄化技術として原位置浄化があるが、浄化期間が長く土地開発の工程に乗りにくい

地盤が不均質な場合、土着の分解微生物の活性が低い場合に浄化不良となる不確実性が懸念

■課題

低環境負荷・安価かつ短工期な揮発性有機化合物（VOCs）原位置浄化技術の開発と展開

■目的

土壌・地下水汚染浄化の省CO₂を達成する原位置浄化技術を開発・実装し、経済と環境の好循環の実現へ貢献

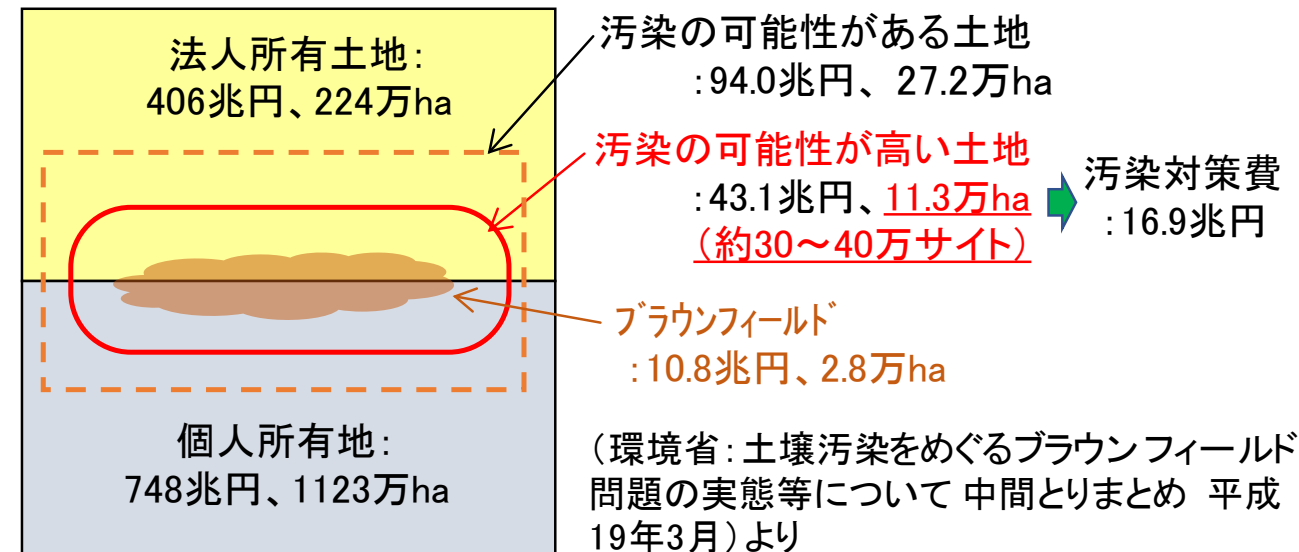


図1 日本国内の汚染土地の推定

2. 開発技術の概要

2/14

- ①地中を微生物分解に最適な25~30℃に温める
ことで分解期間を飛躍的に短縮する地盤加温機能
- ②不均質地盤な土壌でも温水と浄化剤を均一に注入
できる注入制御機能
- ③土着分解菌が存在しない地盤でも適用可能とする
新規高効率VOCs分解菌を活用した浄化

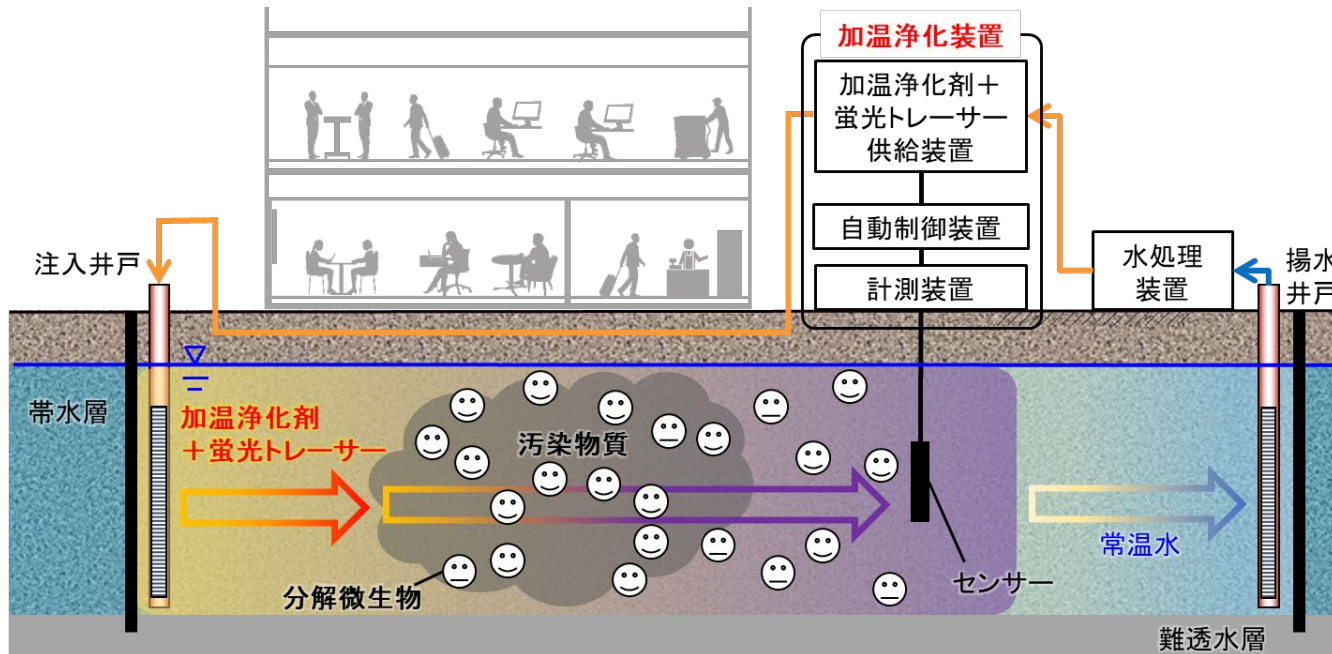


図2 加温式原位置高速バイオ浄化技術の概要

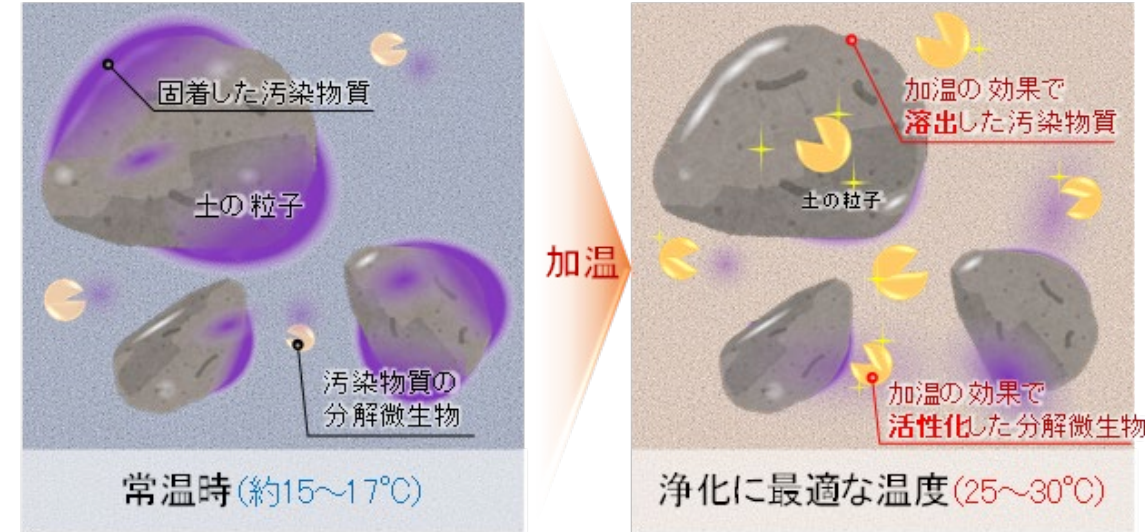


図3 浄化メカニズム

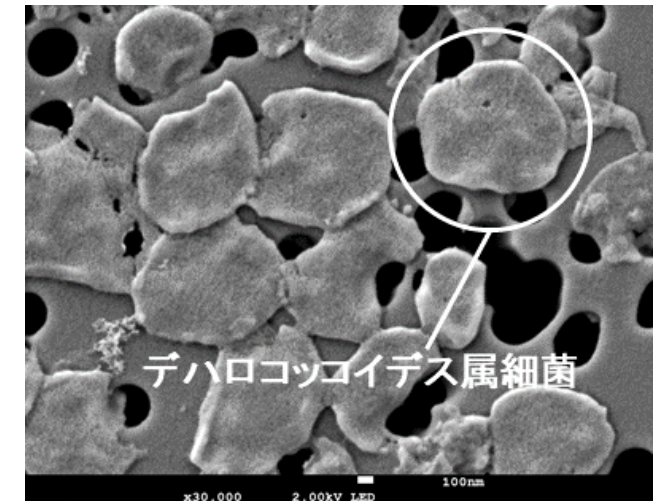


図4 高効率なVOCs分解菌
(*Dehalococcoides mccartyi* NITO1株)

3. 対象

3/14

■主な用途：汚染地盤の浄化

国内で多いVOCsで汚染された砂質土への適用が効果的

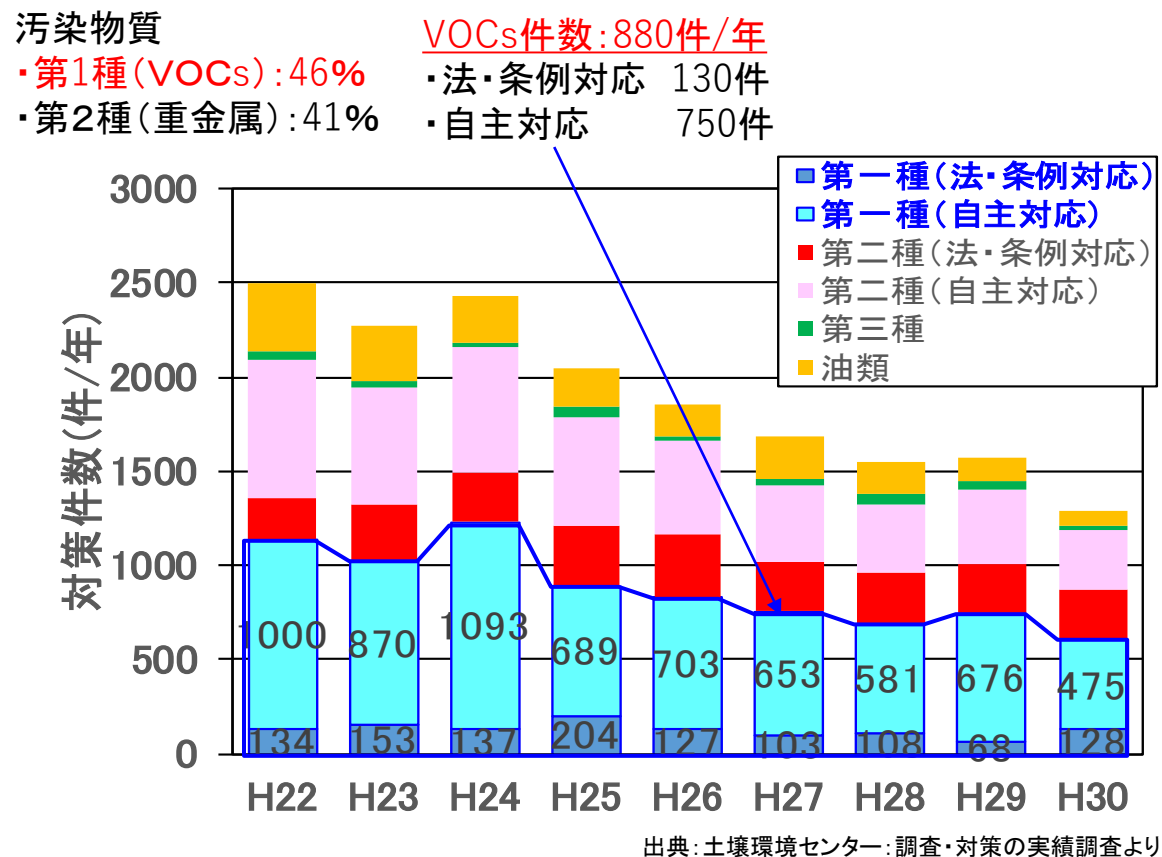


図5 国内の土壤汚染対策の実績件数の推移

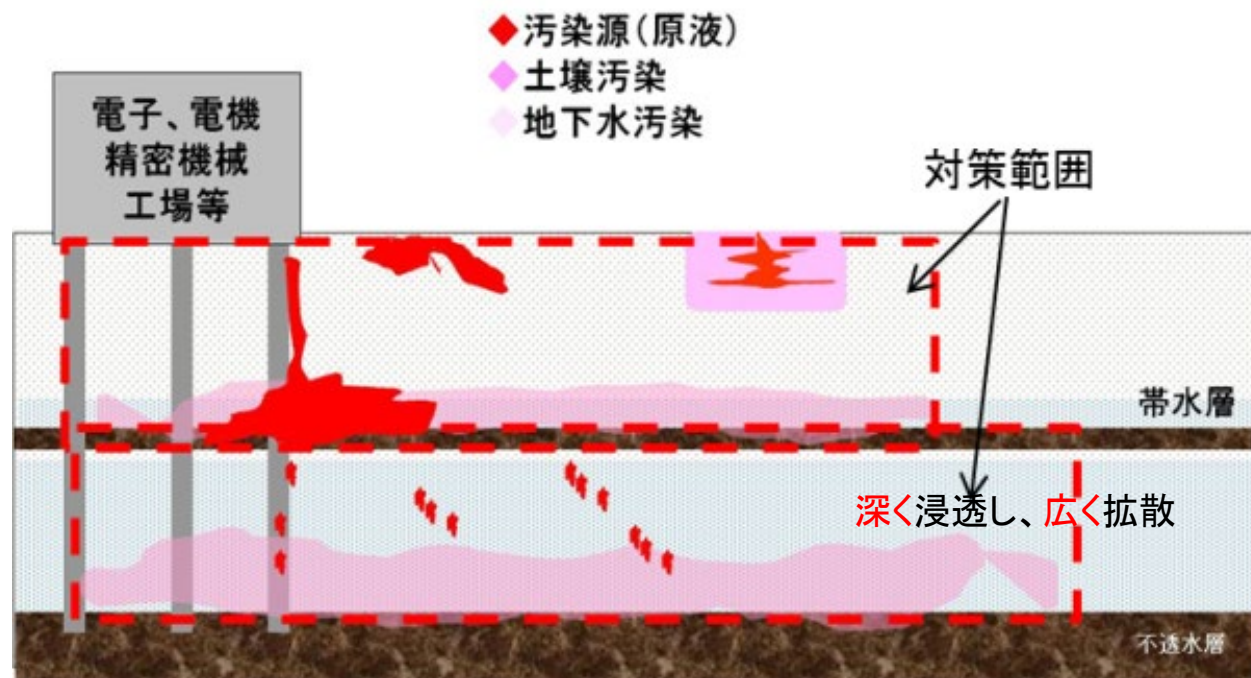


図6 VOCs（揮発性有機塩素系化合物）汚染の特徴

4. 新規性および優位性

4/14

(1) 地盤加温によるVOCs浄化の促進

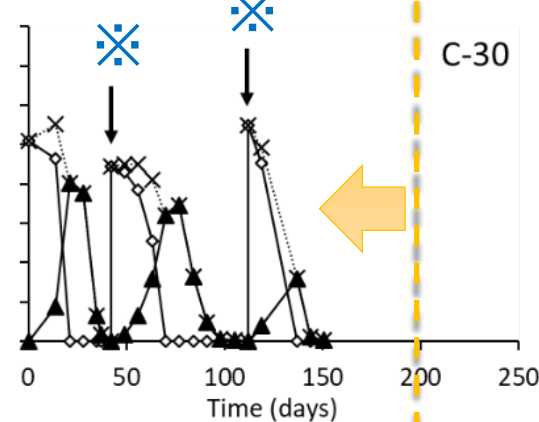
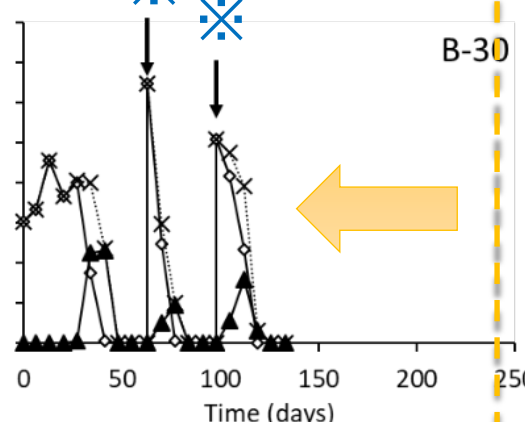
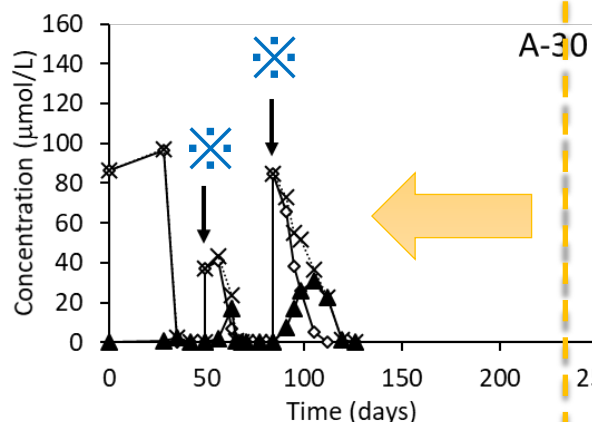
複数の汚染サイトの地下水・土壌を用いた室内試験で、加温による大幅な分解促進を確認

サイトA

サイトB

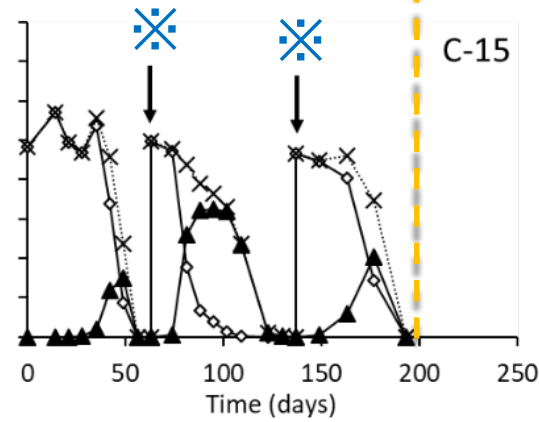
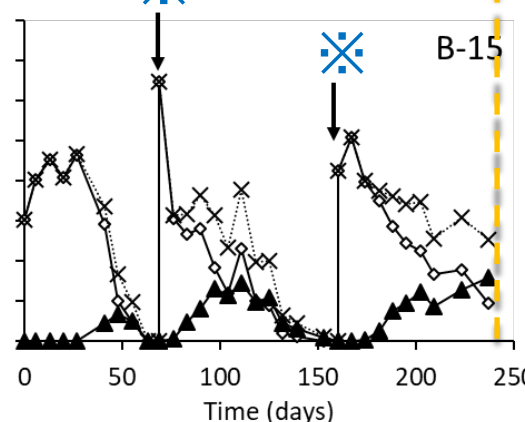
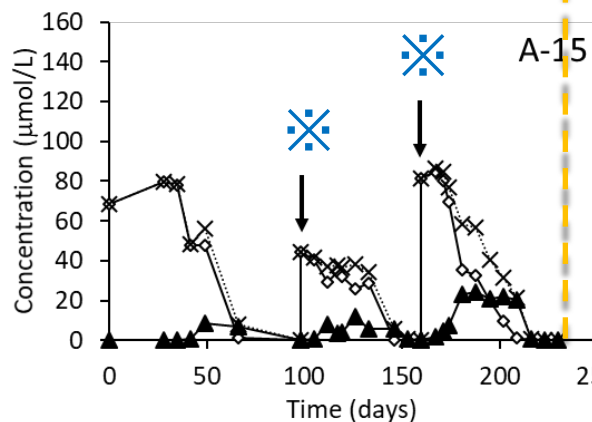
サイトC

加温
(30°C)



試験実施状況

非加温
(15°C)



凡例
—◇— c-DCE
—▲— VC
····×···· Total VOCs

※VOCs再添加(植継)

図7 加温による分解促進効果

4. 新規性および優位性

5/14

(2) 新規VOCs分解微生物を活用したバイオレメディエーション適用範囲の拡大

高いVOCs分解能力をもつ新規分解菌を地盤加温技術と組み合わせ用いる

⇒土着分解菌が存在しない場合や従来の適用限界濃度よりも
5倍程度高濃度の汚染でも省CO₂のバイオ浄化を適用対応

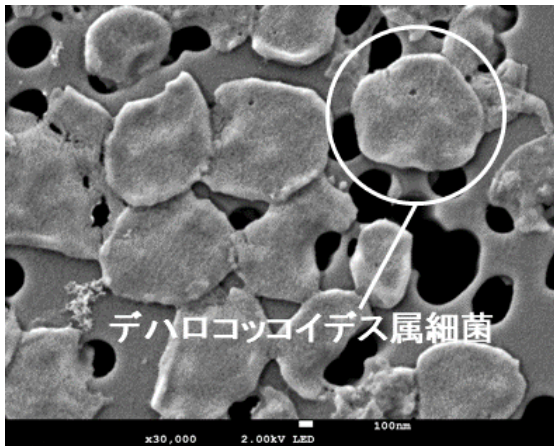


図8 VOCs分解菌

(*Dehalococcoides mccartyi* NIT01株)^{※2}

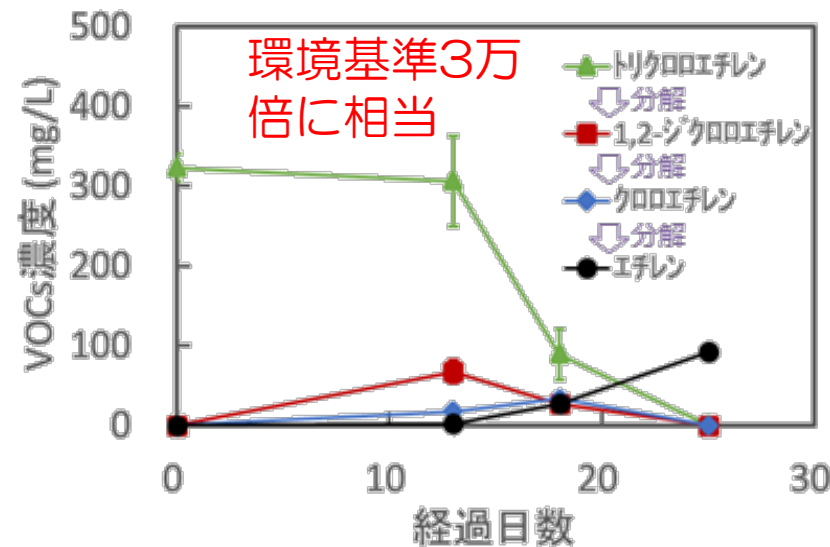


図9 NIT01株の分解能力 (28°C)

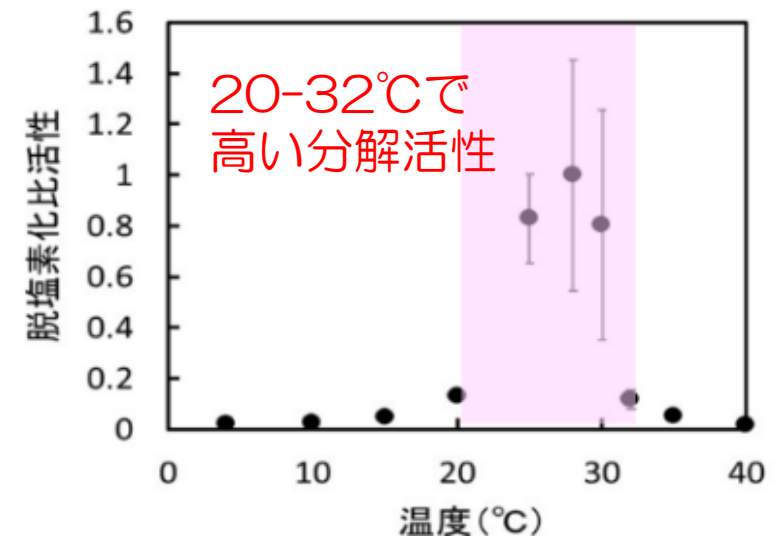


図10 NIT01株の温度別分解活性^{※1}

^{※1} 出典：Asai et al., Environmental Research (2021) 112150

^{※2} 環境省・経産省「微生物によるバイオレメディエーション利用指針」の適合確認を取得

4. 新規性および優位性

6/14

(3) 不均質な地盤へ加温した浄化剤を均一に注入制御する装置

- ① 地盤を約30℃に温める機能
- ② 加温浄化剤を均一に注入する機能

- ・ 現地分析可能な蛍光トレーサーを用いて加温浄化剤の拡散状況を見える化し、**注入量、加温量、注入位置を自動制御**
- ・ **実際の地盤**において20か月間に渡り目標温度帯への加温と目標値以上の浄化剤濃度に維持可能であることを確認

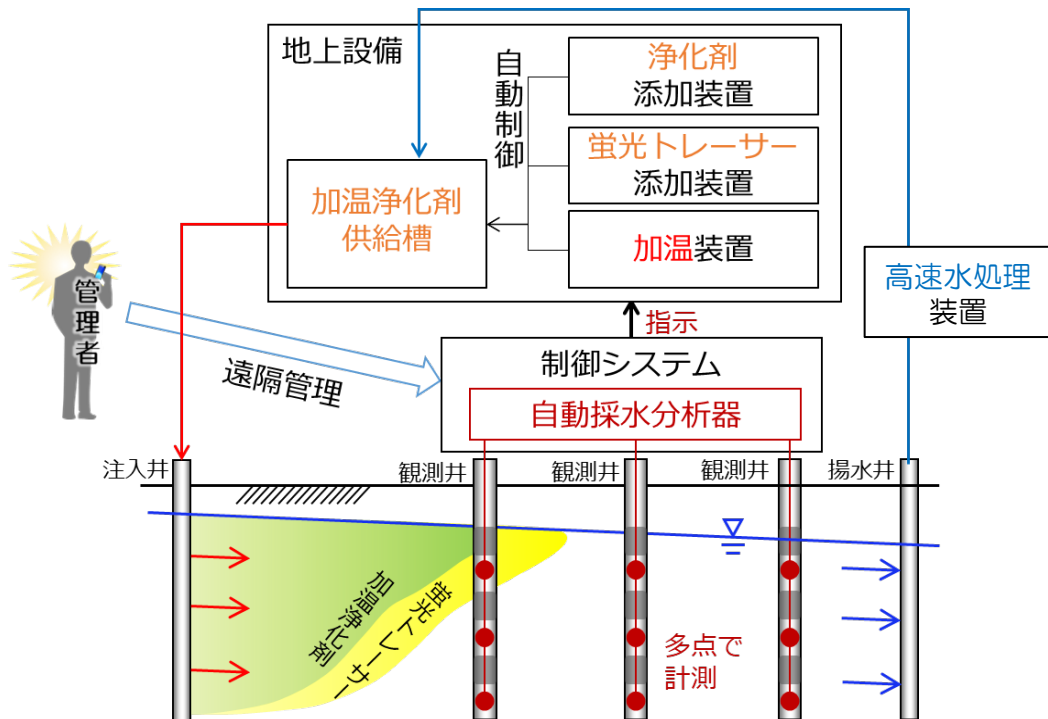
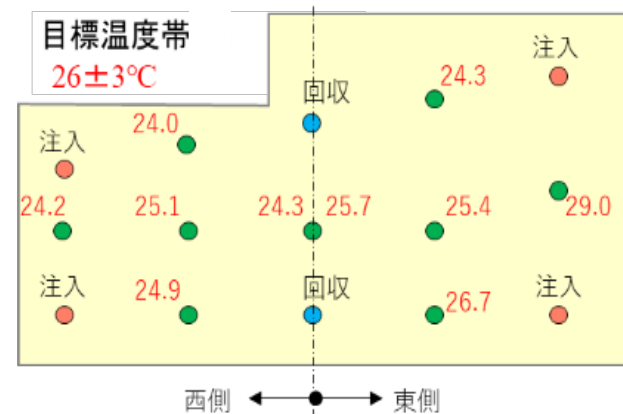


図11 蛍光トレーサーを用いた加温浄化装置の概要

① 地盤温度



② 浄化剤濃度

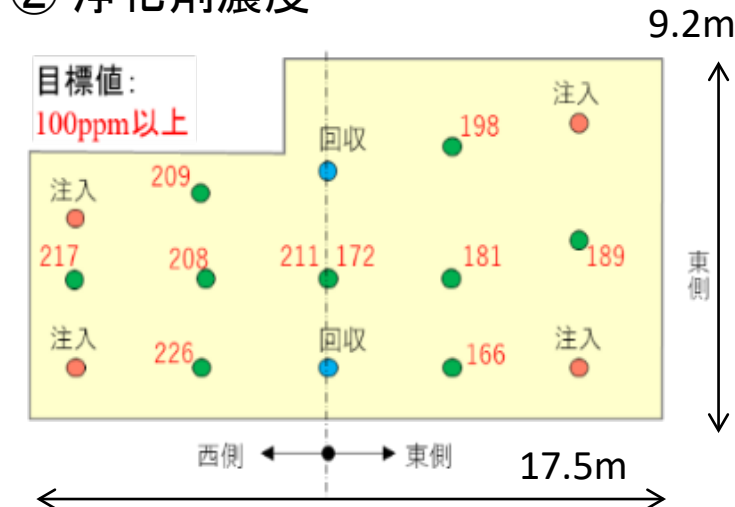


図12 実地盤における加温及び浄化剤注入結果

4. 新規性および優位性

7/14

(4) 省エネルギー型の高速水処理装置

- ① 加温により効率を向上させた曝気処理装置
 - ② 複層ろ過による高速ろ過装置
- ・ 加温およびディスク型微細孔により曝気効率を向上させた曝気装置で水処理に関わる曝気風量を50%以上低減
 - ・ 10 μm 以上の粒子を90%除去して井戸の目詰まり防止

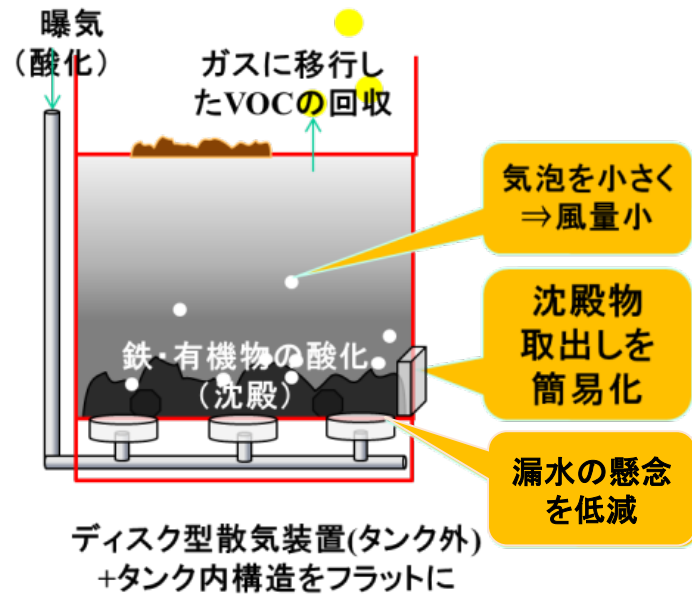


図13 高効率曝気処理装置

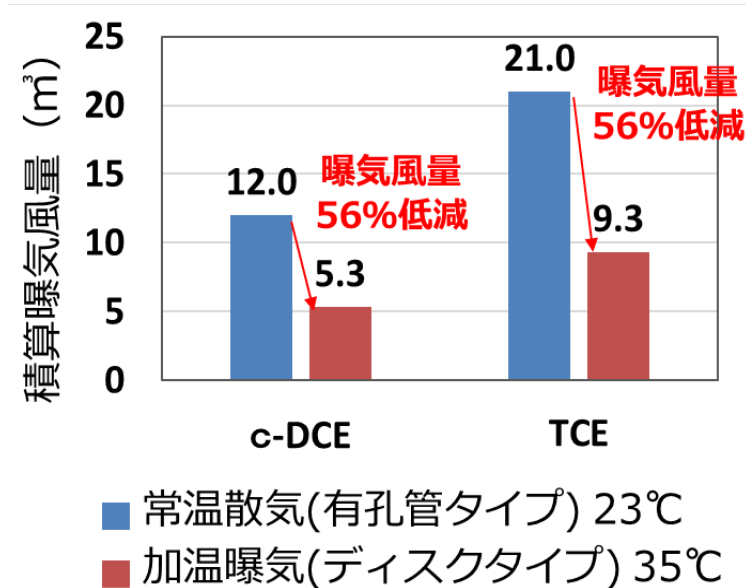


図14 水処理時曝気風量

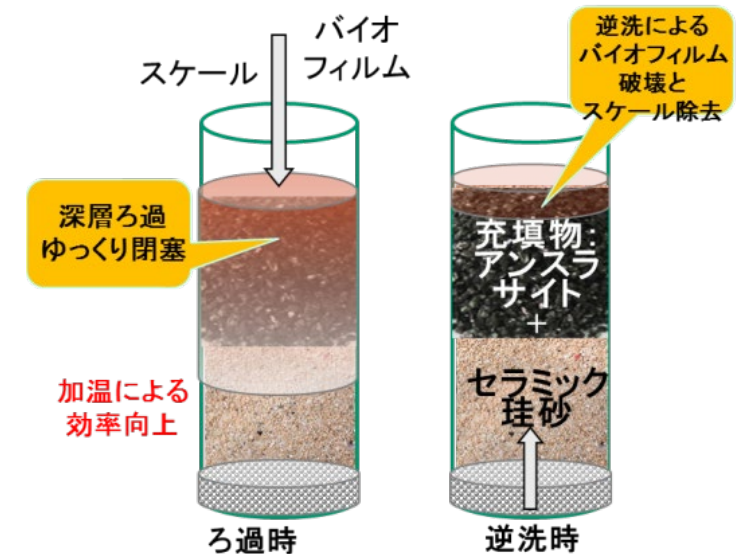


図15 高速ろ過装置

※初期濃度：TCE：1.0mg/L、c-DCE：0.05mg/L
→初期濃度の1/20となる時間（曝気風量の積算）を比較

5. 信頼性・安全性・経済性

8/14

実汚染サイトでの実証試験

(1) 実証実験概要

- ・実汚染サイト1区画 (158m²×5m)
- ・対象地盤：砂層
- ・汚染物質：VOCs
- ・試験期間：20か月

対象範囲に4か所の注入井戸と2か所の揚水井戸を設置
加温浄化剤を行き渡らせて微生物分解に適した条件に制御

【実験中のサイトの状況】

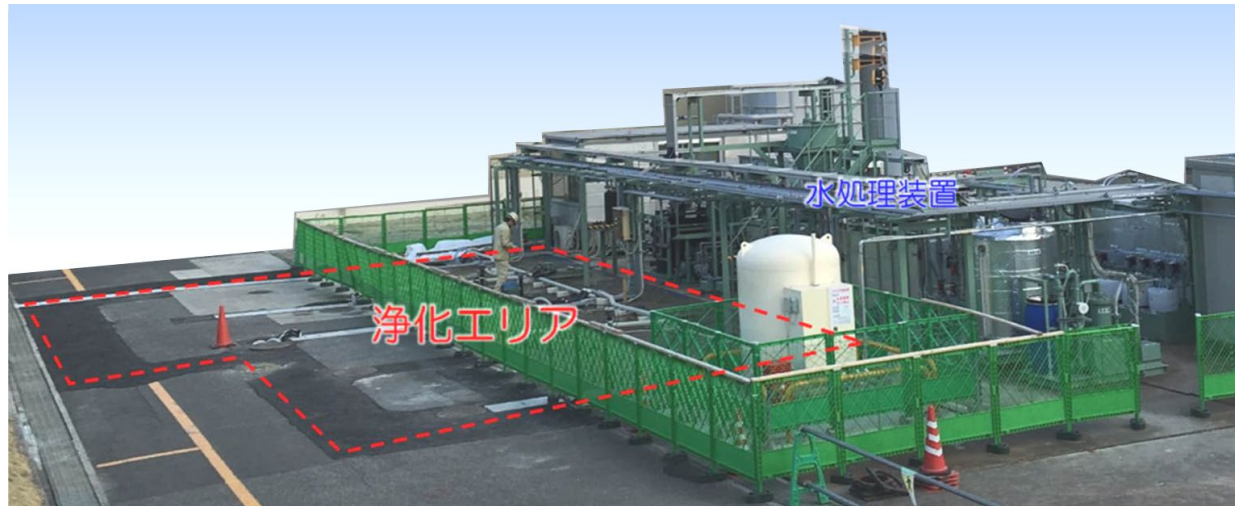


図16 実証実験装置全景

【平面図】

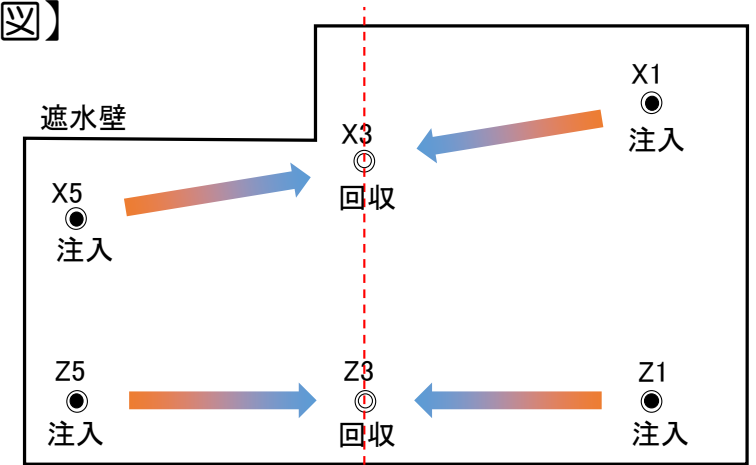


図17 試験サイト平面図

【断面図】

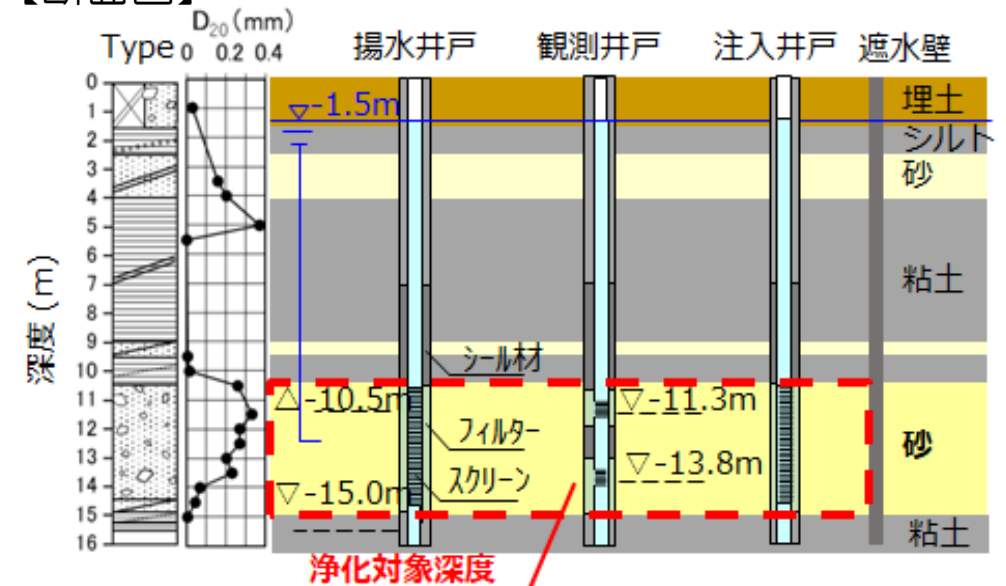


図18 試験サイト断面図

5. 信頼性・安全性・経済性

9/14

実汚染サイトでの実証試験

(2) 地盤内の温度と浄化剤濃度の制御結果

運転方式

東西に2分割し、交互に制御

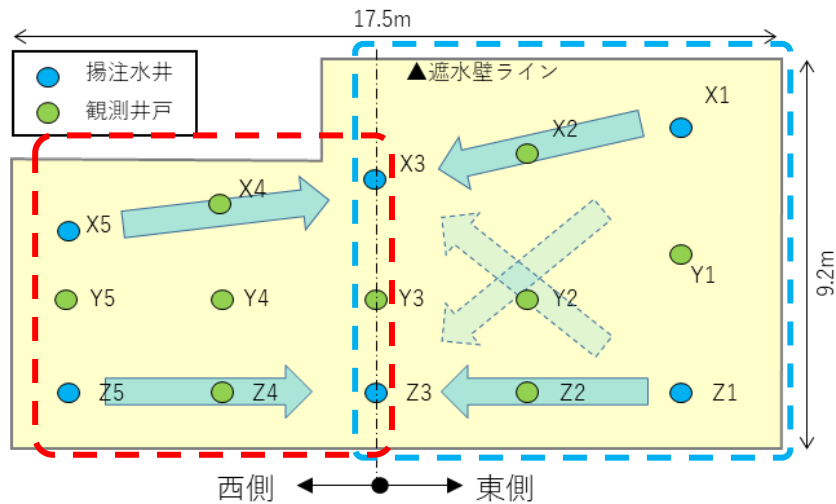


図19 注入・揚水井戸の配置

温度の制御結果

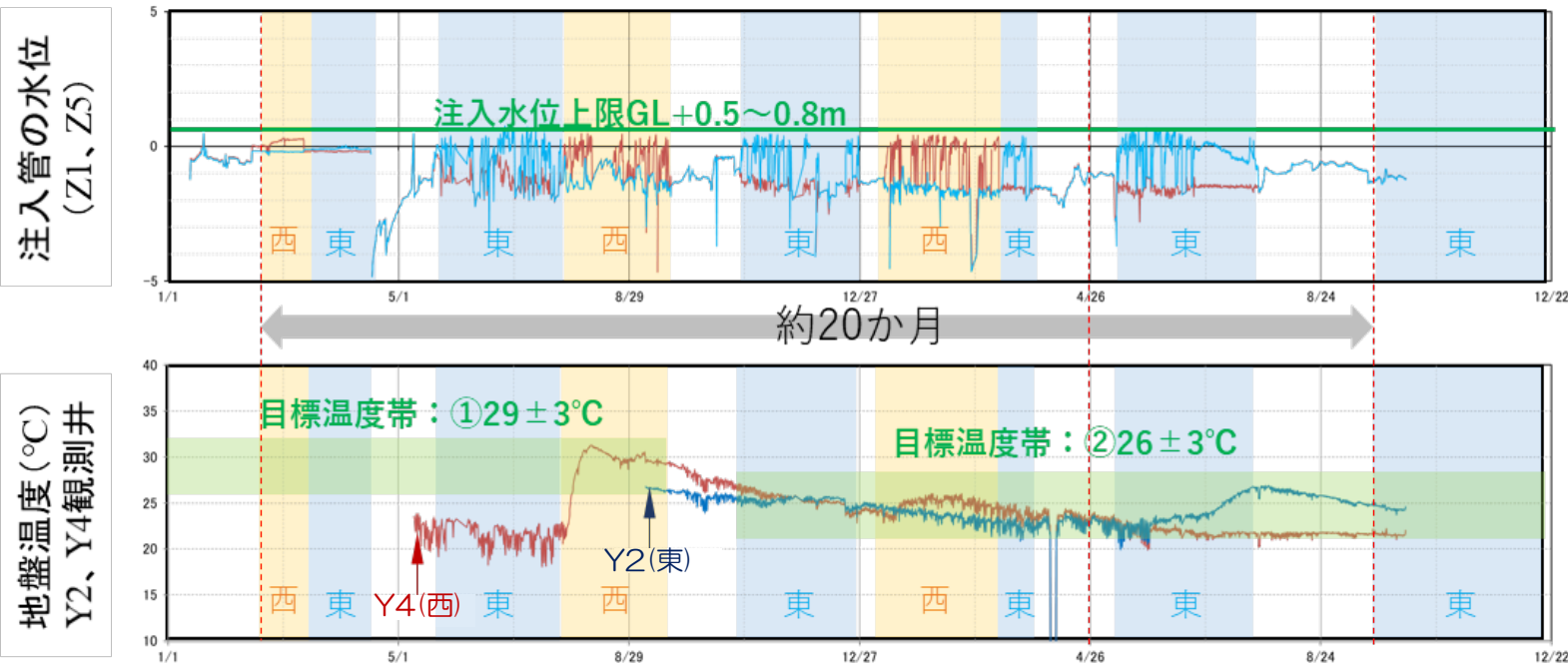


図20 注入井戸の水位および観測井の温度

- 地盤内温度、濃度を20ヶ月間制御し、装置の安定性を確認
- 制御誤差は試験期間を通して目標温度 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ に制御

5. 信頼性・安全性・経済性

実汚染サイトでの実証試験

(3) 試験結果：VOCs濃度

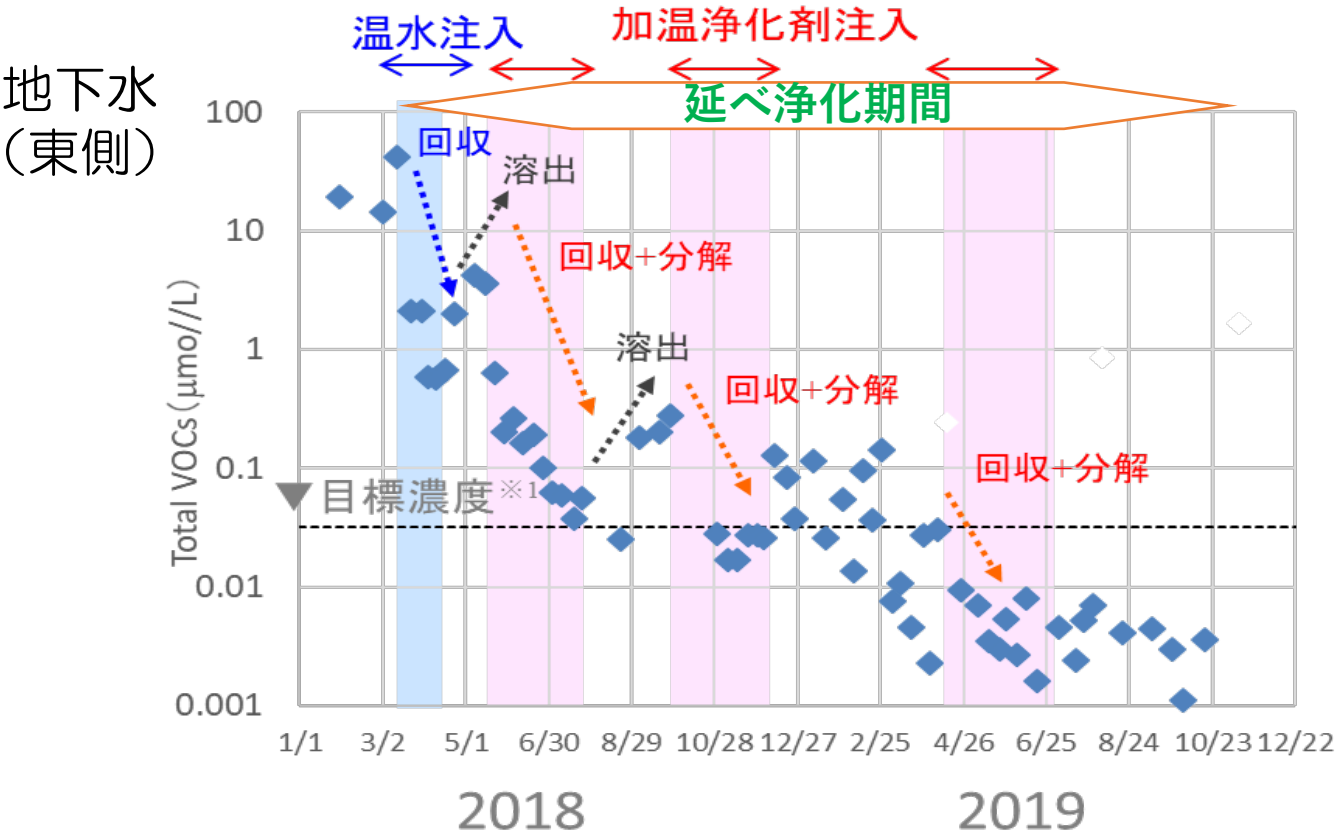
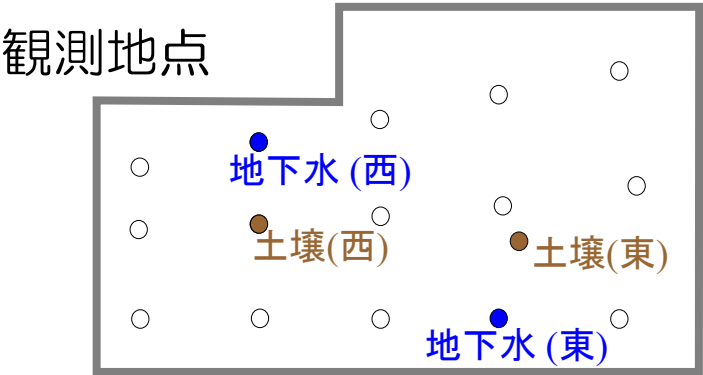


図21 本技術適用によるVOCs分解効果

加温浄化剤の注入・回収と停止（養生期間）を繰り返し、
地下水・土壌ともに浄化完了（環境基準適合）



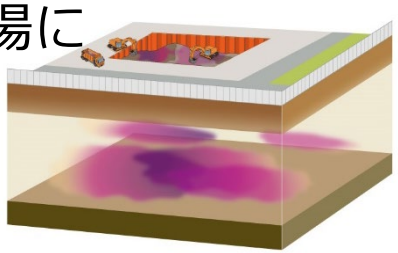
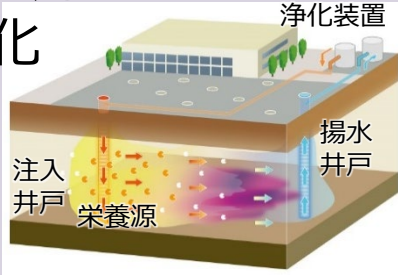
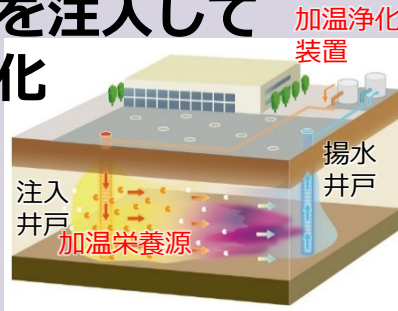
VOCs濃度 [mg/L]

		西側		東側		環境基準値
		開始前 (2018.1)	終了時 (2019.7)	開始前 (2017.8)	終了時 (2019.11)	
地下水	PCE	<0.001	<0.001	0.16	<0.001	0.01
	TCE	<0.001	<0.001	0.17	<0.001	0.01
	DCE	0.018	<0.001	1.6	<0.001	0.04
	VC	0.016	<0.001	0.85	0.002	0.002
土壌※2	PCE	<0.001	<0.001	1.2	0.002	0.01
	TCE	<0.001	<0.001	0.060	<0.001	0.03
	DCE	<0.001	<0.001	0.012	0.001	0.04
	VC	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	0.002

※1 VC地下水環境基準 ※2 土壌溶出量

6. 環境の保全・改善・創造への貢献度

表1 従来技術との比較及び開発技術の優位性

技 術	掘削除去	従来の原位置浄化技術	加温式原位置高速バイオ浄化 (本技術)
概 要	汚染土壌を掘削し、 場外の処理場に 搬出 	栄養源を注入して 原位置で浄化 	加温栄養源を注入して 原位置で浄化 
浄化期間	0.5年	4～10年	2～2.5年 50%以上減
コスト比※	100	46	37 63%減
CO ₂ 排出量※	104.0 kg-CO ₂ /m ³	66.0 kg-CO ₂ /m ³	26.7 kg-CO ₂ /m ³ 74%減
対象土質	全土質対応	砂質土 (透水係数 1×10 ⁻⁶ m/s以上)	砂質土 (透水係数 1×10 ⁻⁶ m/s以上)
高濃度VOCs 汚染への対応	制限なし	目安：～10 mg/L	目安：～50 mg/L

※【算定条件】 対策土量：12,000m³「40m×30m×10m（深さ：5m～15m）」国土交通省：土木工事積算基準、産業環境管理協会：セメント製造に必要な資源、環境省：低コスト・低負荷型土壌汚染調査対策技術検討調査 報告書の一部参考

※ 汚染土壌1m³当たりの処理単価をコスト比で表示・CO₂排出量で表示

6. 環境の保全・改善・創造への貢献度

12/14

■汚染浄化時の経済性・環境貢献

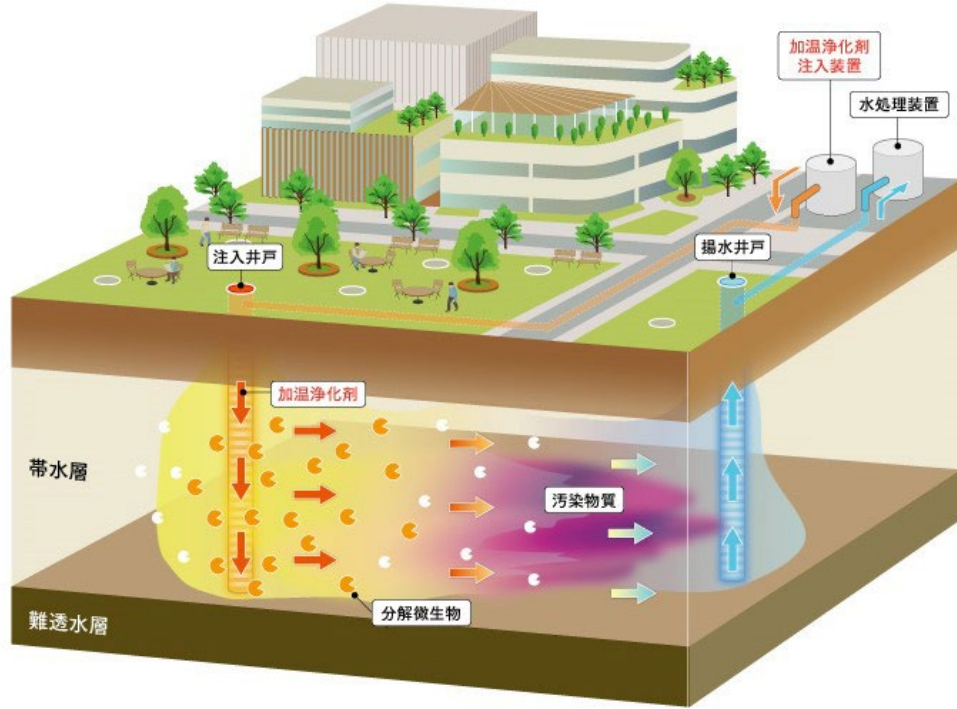


図22 土地を活用しながらの浄化の概念図

SDGs の17 の目標への貢献



■新たな事業創出による経済性

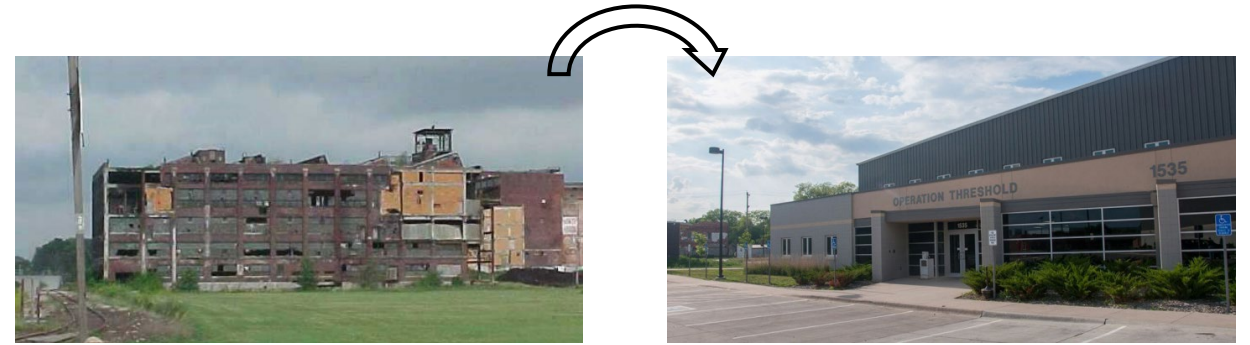


図23 海外のブラウンフィールド再生事例

出典：<https://www.epa.gov/>

■浄化後の地中利用の経済性・環境貢献

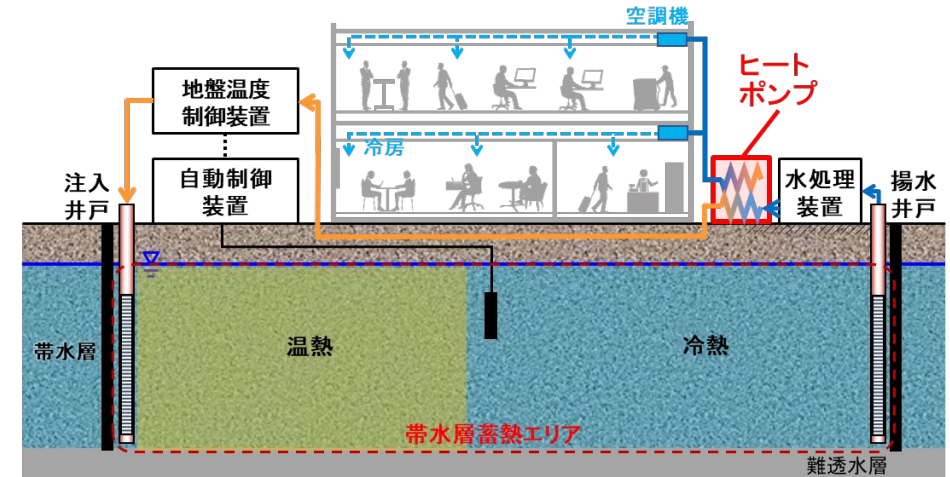


図24 地中熱利用システムへの浄化装置の転用

7. 研究協力体制

13/14

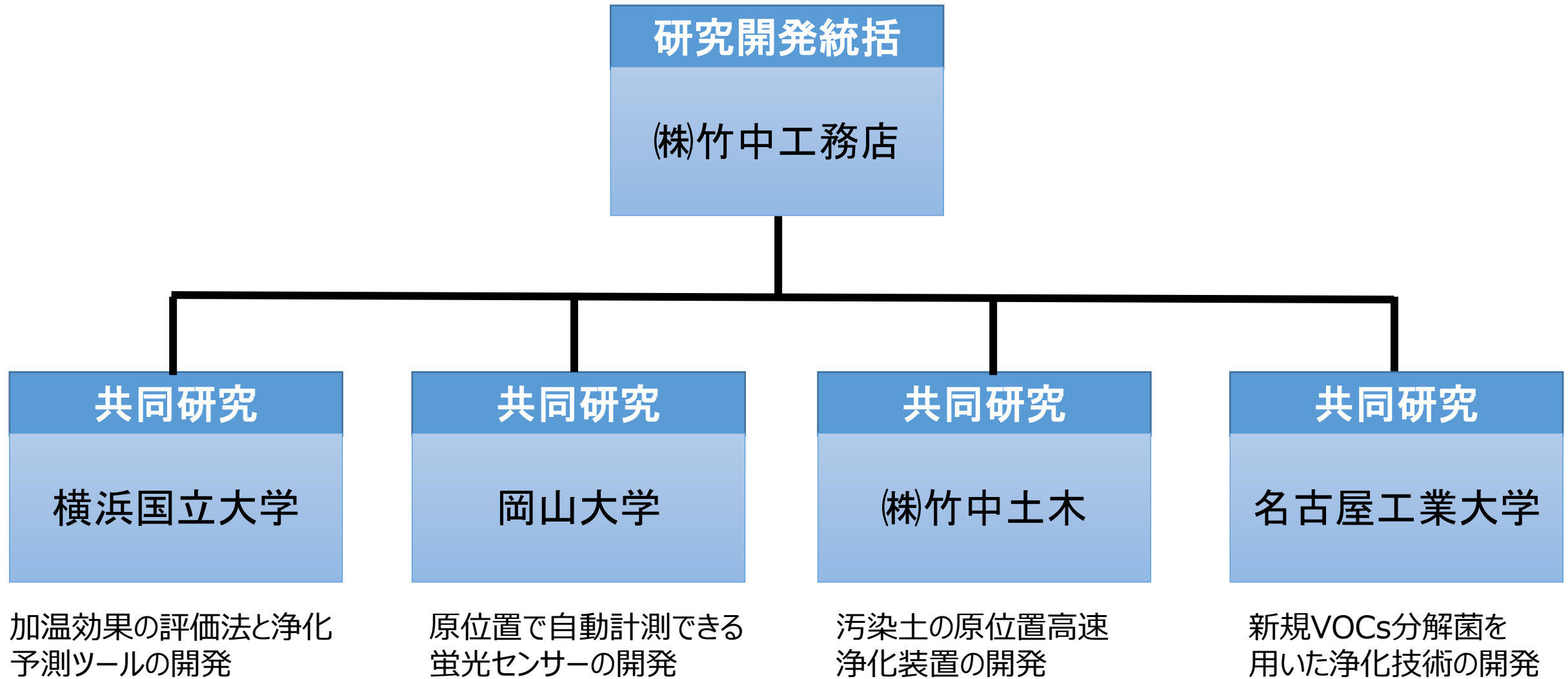


図25 研究協力体制

8. 対象の研究課題で受けた研究費リスト

14/14

■助成事業

助成事業名 戦略的省エネルギー技術革新プログラム

実用化開発 2014年 9月 2日～2017年 3月31日

実証開発 2017年 4月 1日～2020年 2月28日

名称 汚染地盤を掘らずに省エネ浄化できる加温式高速浄化システムの開発



■委託事業

助成事業名 低コスト・低負荷型土壌汚染調査対策技術検討調査

実用化開発 2020年 7月 1日～2021年 3月31日

名称 クロロエチレン類を対象とする加温併用型
バイオオーグメンテーション工法の検証

