

戦略的省エネルギー技術革新プログラム
フェーズ名：実証開発

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『温促バイオ™』を開発

プロジェクト実施者： 株式会社竹中工務店

プロジェクト実施期間： 2014～2019年度



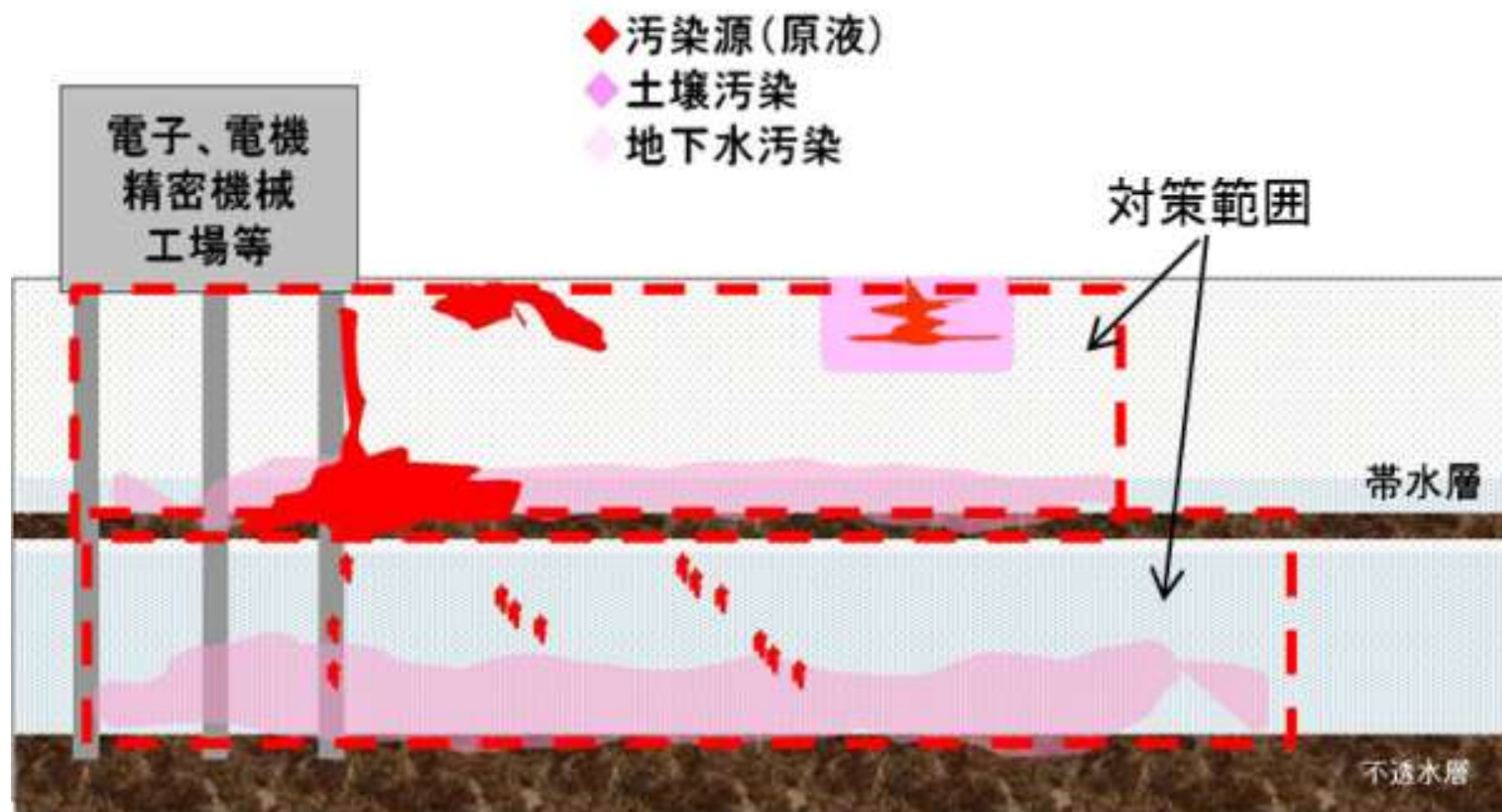
1-1.研究開発の背景

■VOCs(揮発性有機塩素系化合物)汚染の特徴

- 脱脂洗浄剤として半導体製造工場や機械製造工場で使用
- ドライクリーニングの溶剤



毒性(発がん性等)が明らかとなり、
1990年代よりVOCsによる**土壌・地下水汚染**が社会問題に



■土壌対策の実績

✓ 汚染物質の種類

第1種(VOCs): 46%

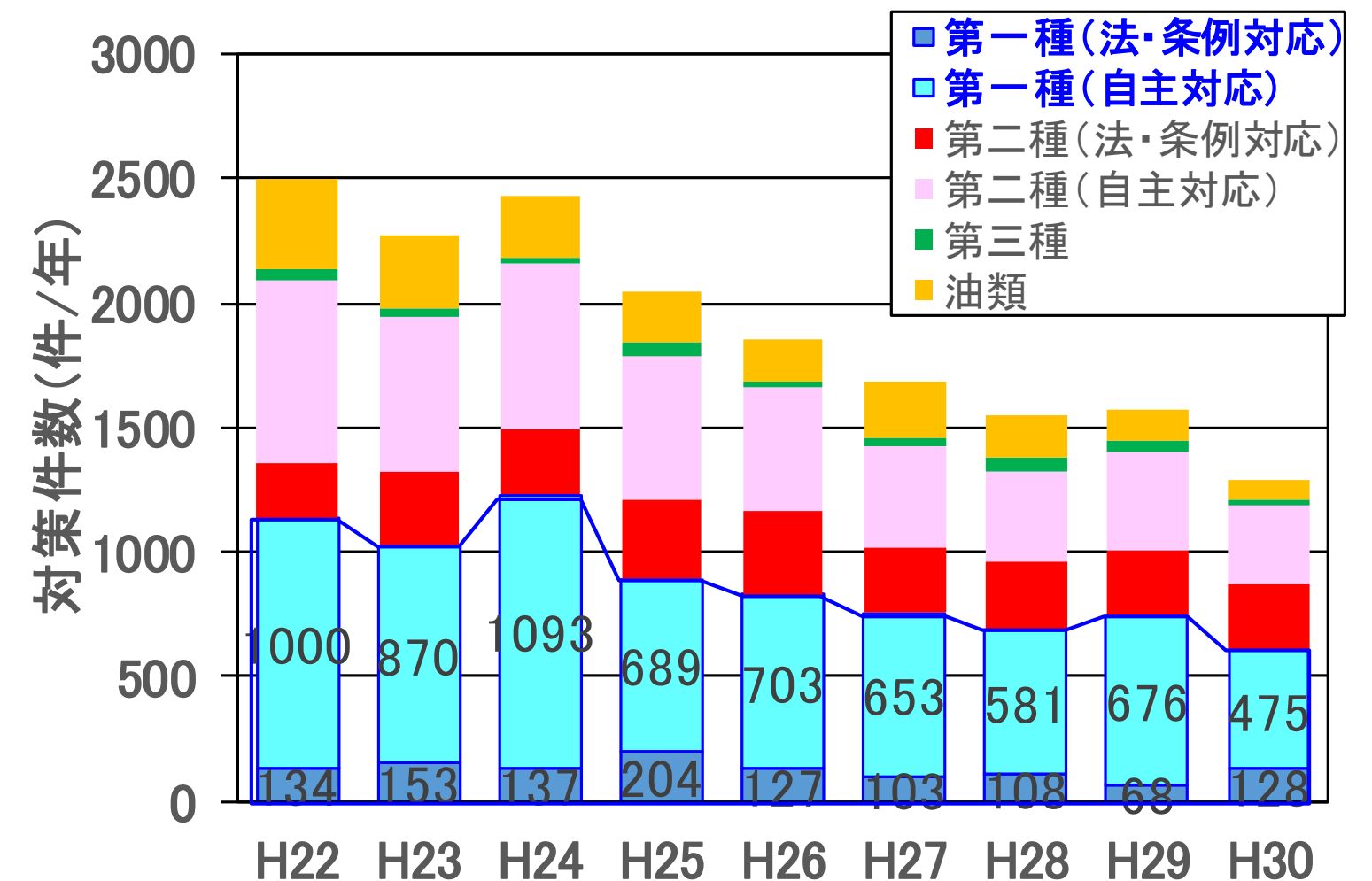
第2種(重金属): 41%

✓ VOCs対策件数: 880件/年

法・条例対応 130件

自主対応 750件

➤汚染土壌対策実施件数の推移



出典:(一社)土壌環境センター:調査・対策の実績調査より

■VOCs対策技術の問題点

①掘削除去・場外搬出処理



- 短工期だが高コスト
- 処理や運搬に関わるエネルギー大

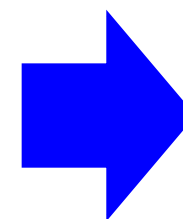
対策を断念し、土地の有効利用が停滞
(ブラウンフィールド化の懸念)
国内の潜在的なブラウンフィールド
: 約2.8万ha(資産規模 10.8兆円)

②原位置浄化処理



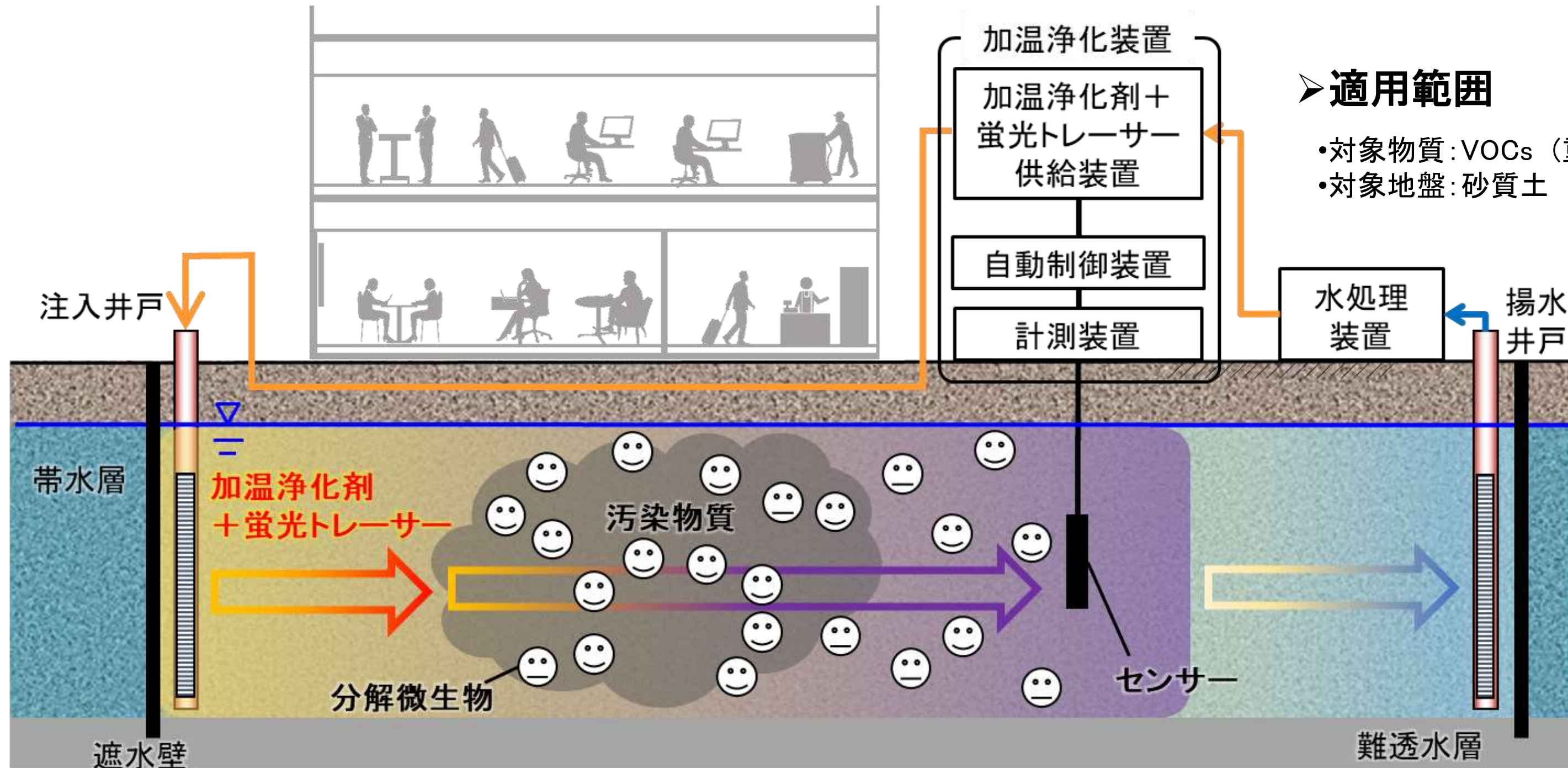
- 低コストだが、工期が長い
- 土地開発のスケジュールに乗りにくい

低コスト・低環境負荷で、工期が短い
原位置浄化技術が求められている



1-3. 加温式高速浄化システム(温促バイオ™)の概要

地盤を約30℃に温める機能と、加温浄化剤を均一に注入する機能を持った、
分解微生物の浄化力を活用した当社独自の原位置浄化システム



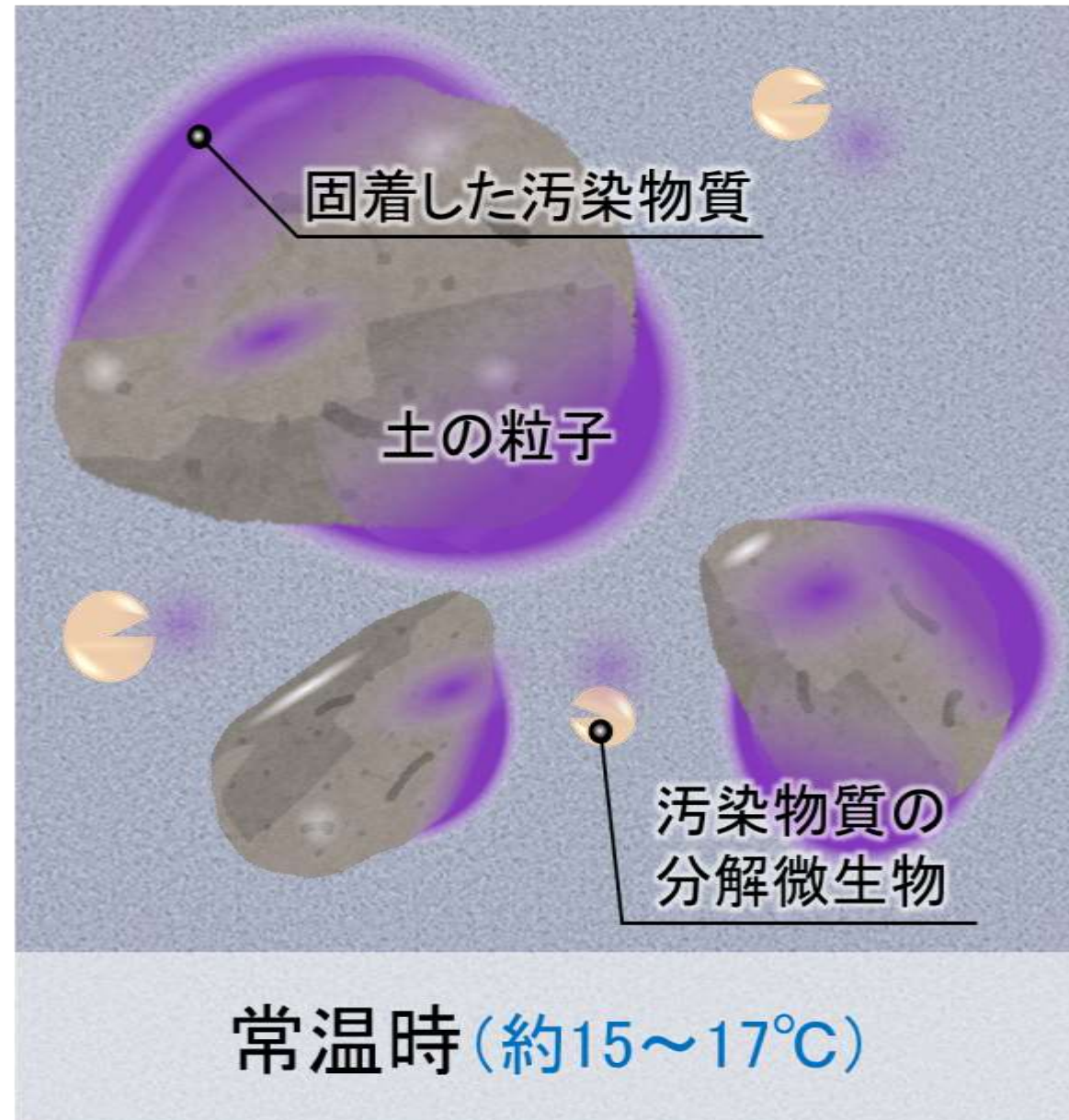
➤適用範囲

- 対象物質: VOCs (重金属汚染は対象外)
- 対象地盤: 砂質土 (透水係数 1×10^{-6} m/s以上)

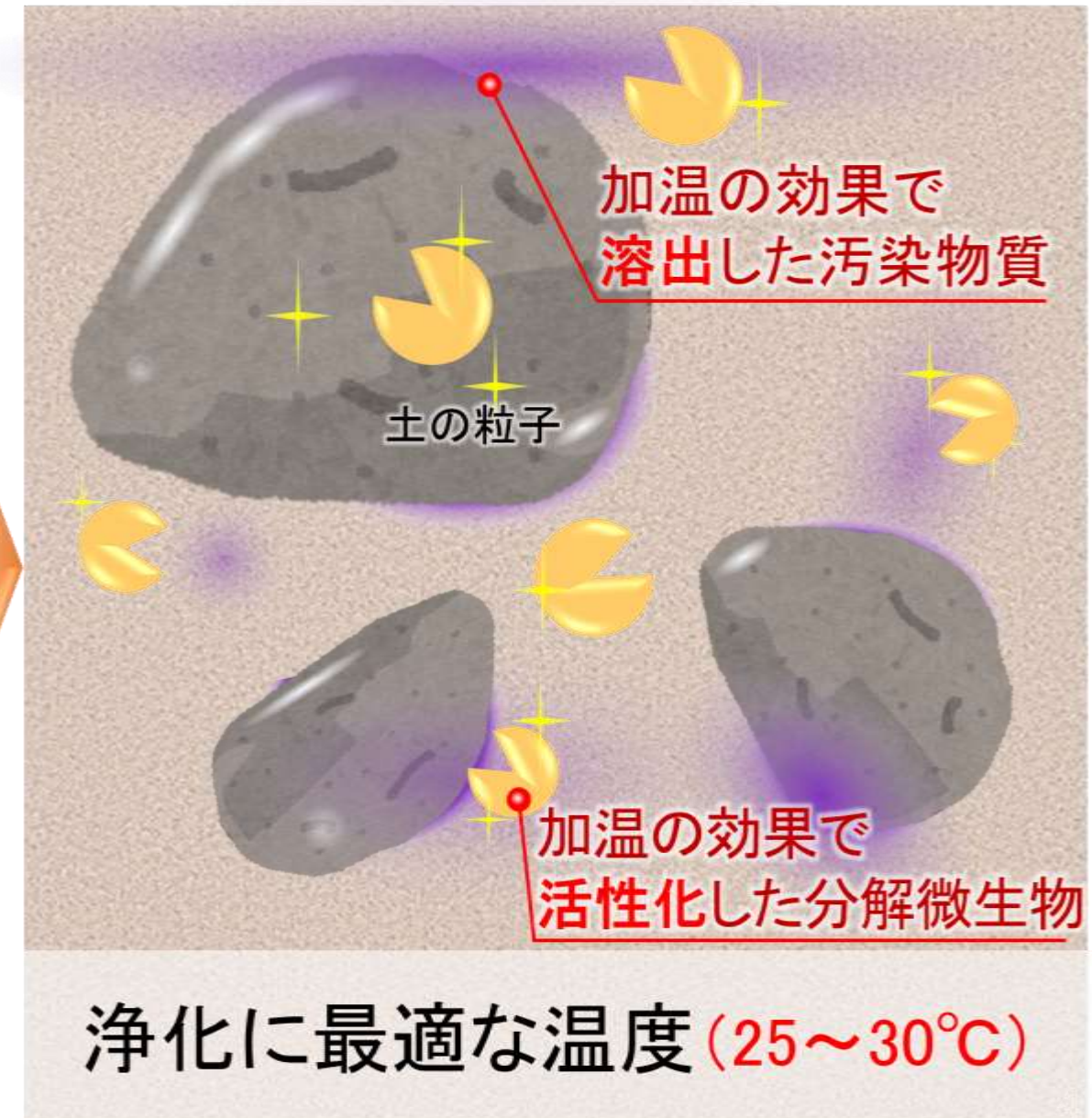
1-4. 浄化促進のメカニズム

地盤を加温することで、分解微生物の能力が高まり、VOCsの汚染浄化を促進
従来より、地中の汚染物質の浄化期間が大幅に短縮

➤ 浄化促進のメカニズム



加温



研究開発責任者

(株)竹中工務店

目標：

加温浄化剤を地盤内に循環させて汚染物質の溶出回収、微生物分解を促進させる高速原位置浄化工法の開発

共同研究

横浜国立大学

加温効果の評価法と浄化予測ツールの開発

共同研究

岡山大学

原位置で自動計測できる蛍光センサーの開発

共同研究

(株)竹中土木

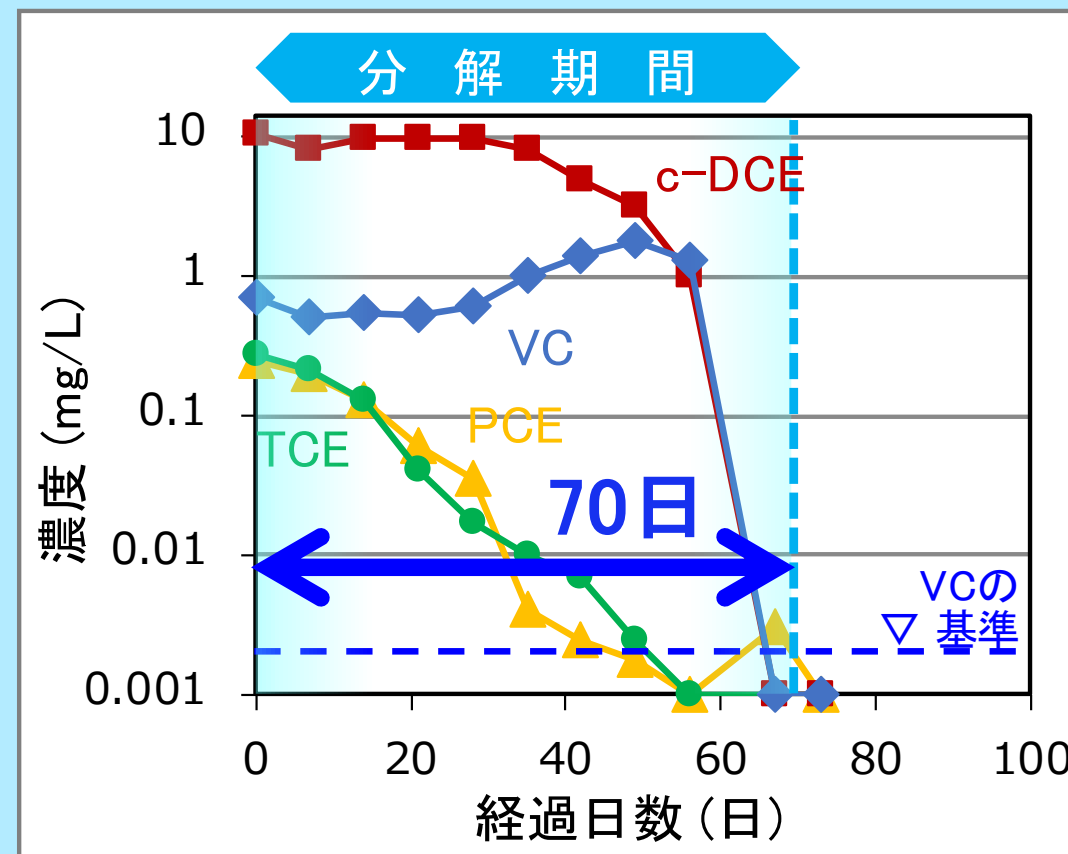
汚染土の原位置高速浄化装置の開発

1-6. 加温によるVOCs分解促進の一例

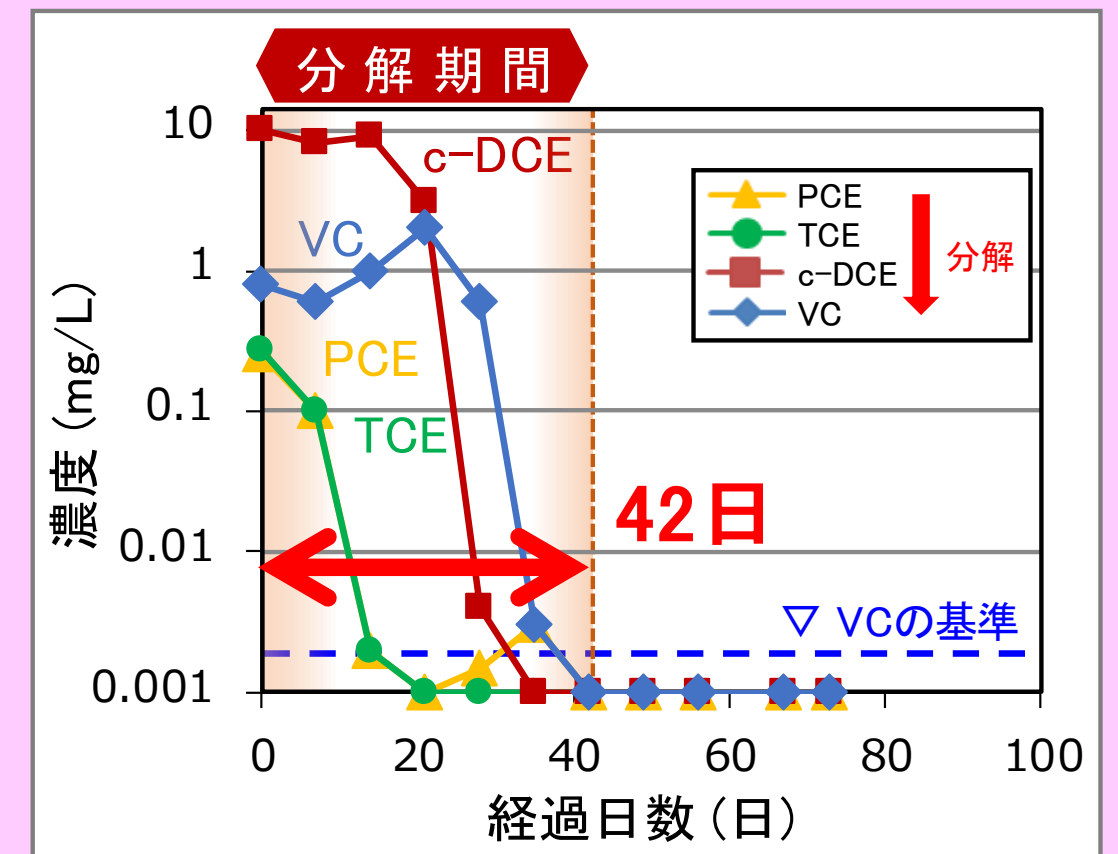
地盤を加温することで、分解微生物の能力が向上しVOCsの汚染浄化を促進することにより、従来より浄化期間が大幅に短縮

➤ 室内試験の結果の一例

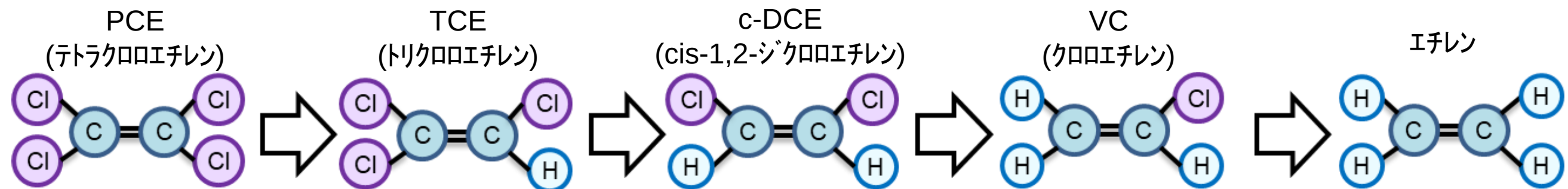
◆ 常温時: 15°C



◆ 加温時: 25°C



➤ VOCsの分解経路

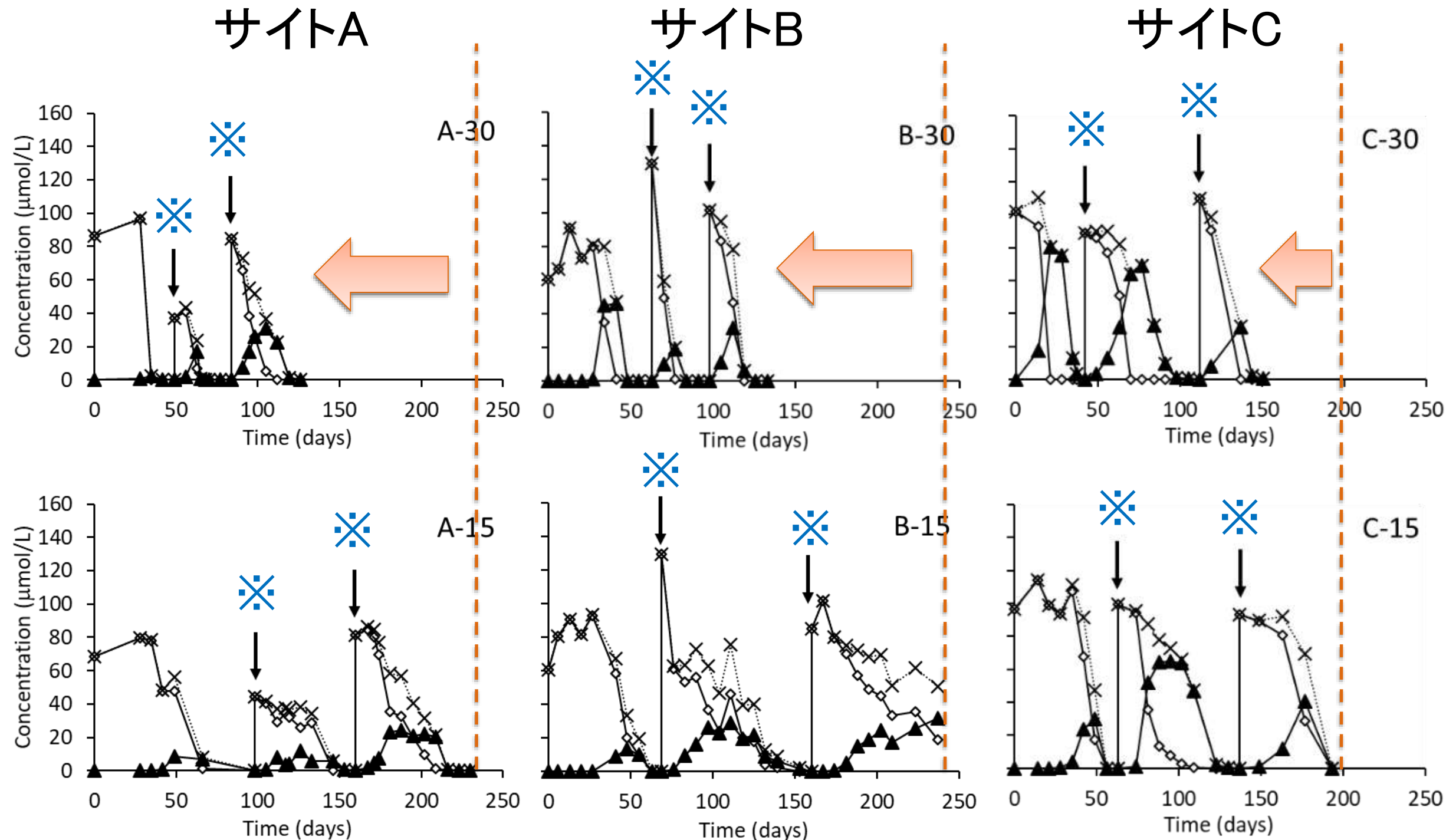


1-7. 加温によるVOCs分解促進の一例 その2

複数の汚染サイトの地下水・土壌を用いた室内試験で、いずれも大幅な浄化促進効果を確認

加温時
(30°C)

常温時
(15°C)



試験実施状況

凡例

- ◇— c-DCE
- ▲— VC
-×..... Total VOCs

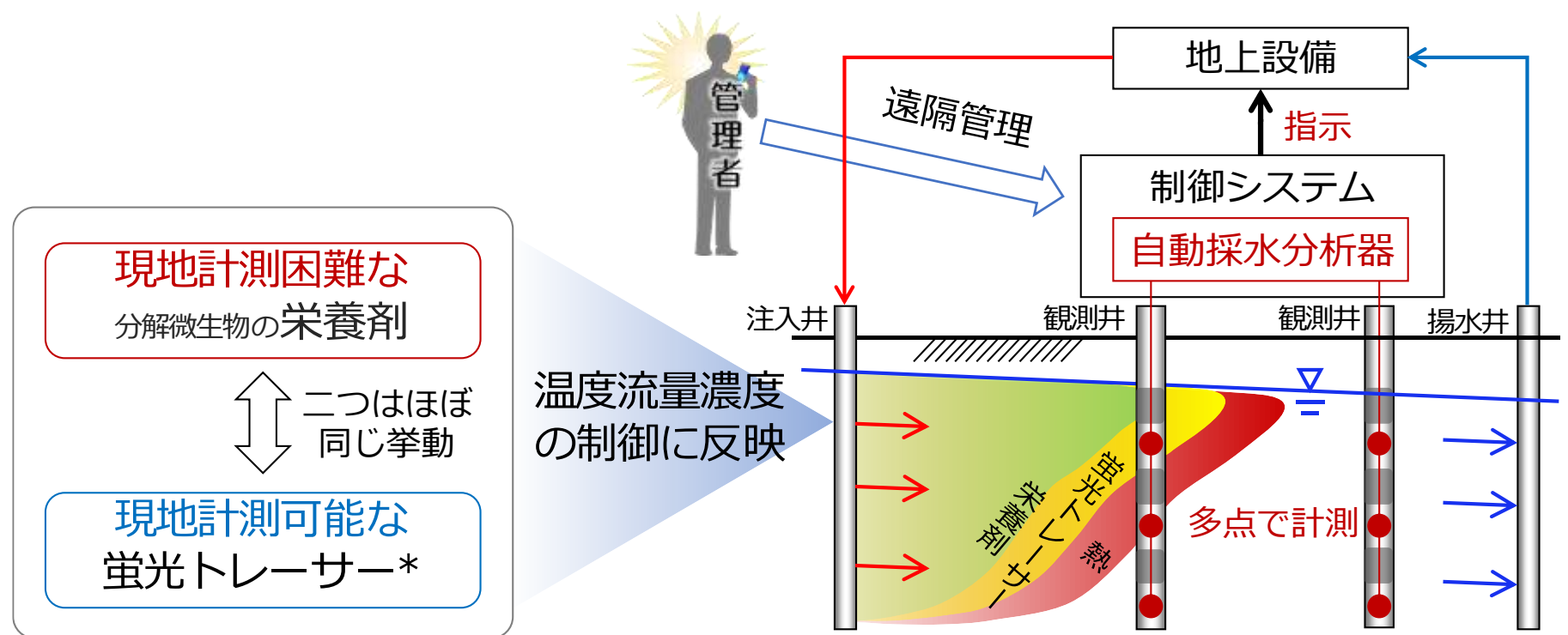
※VOCs再添加 (植継)

■不均質な地盤へ加温した浄化剤を均一に注入制御

- 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

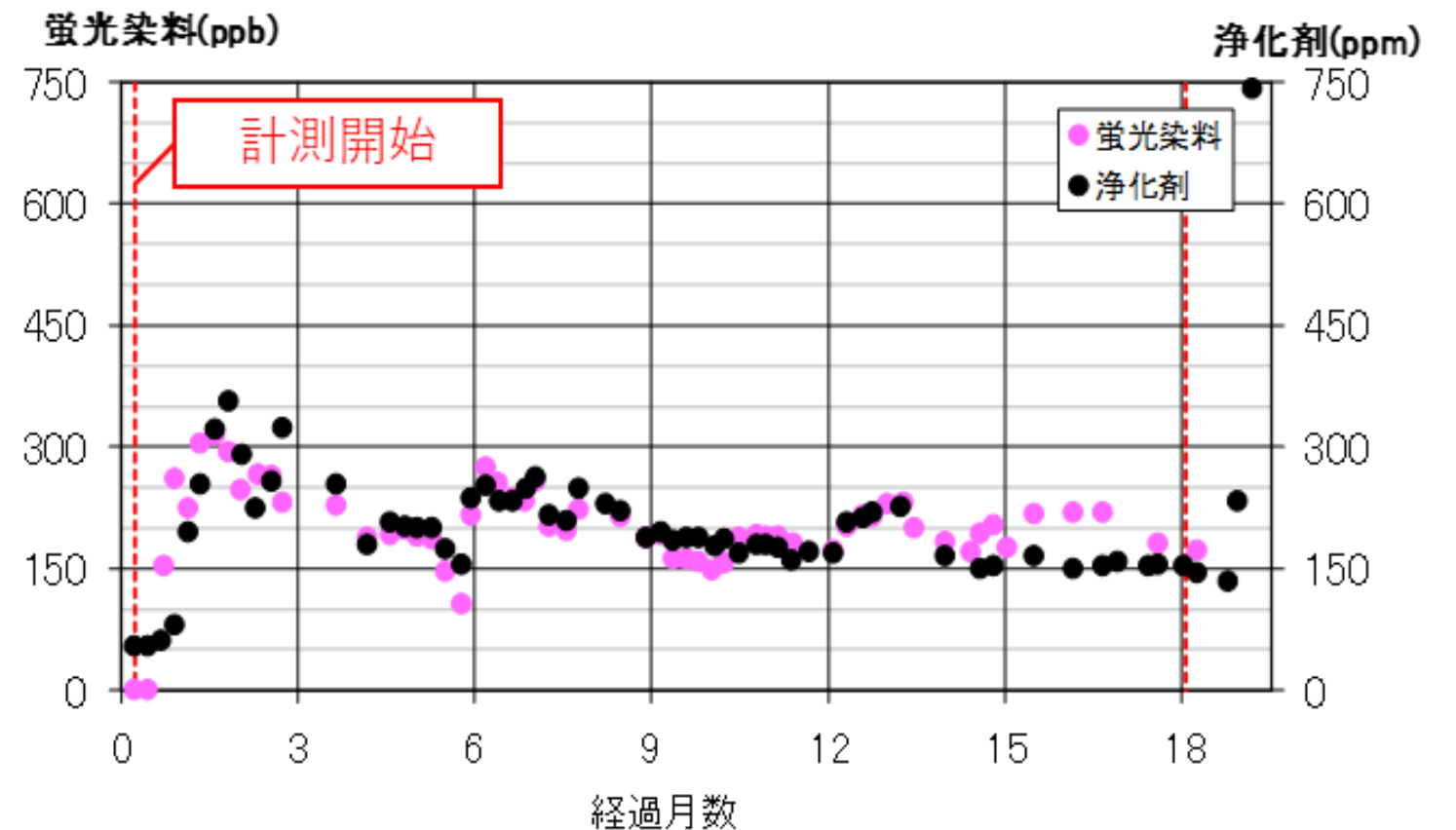
現地分析可能な蛍光トレーサーを用いて加温浄化剤の拡散状況を見える化し、加温浄化剤の温度や注入量、注入位置や揚水位置等を自動制御

蛍光トレーサーを用いた加温浄化装置の概要



* 地下水流動調査でのトレーサー剤として実績がある環境負荷が低い物質

トレーサーと浄化剤の地盤内挙動

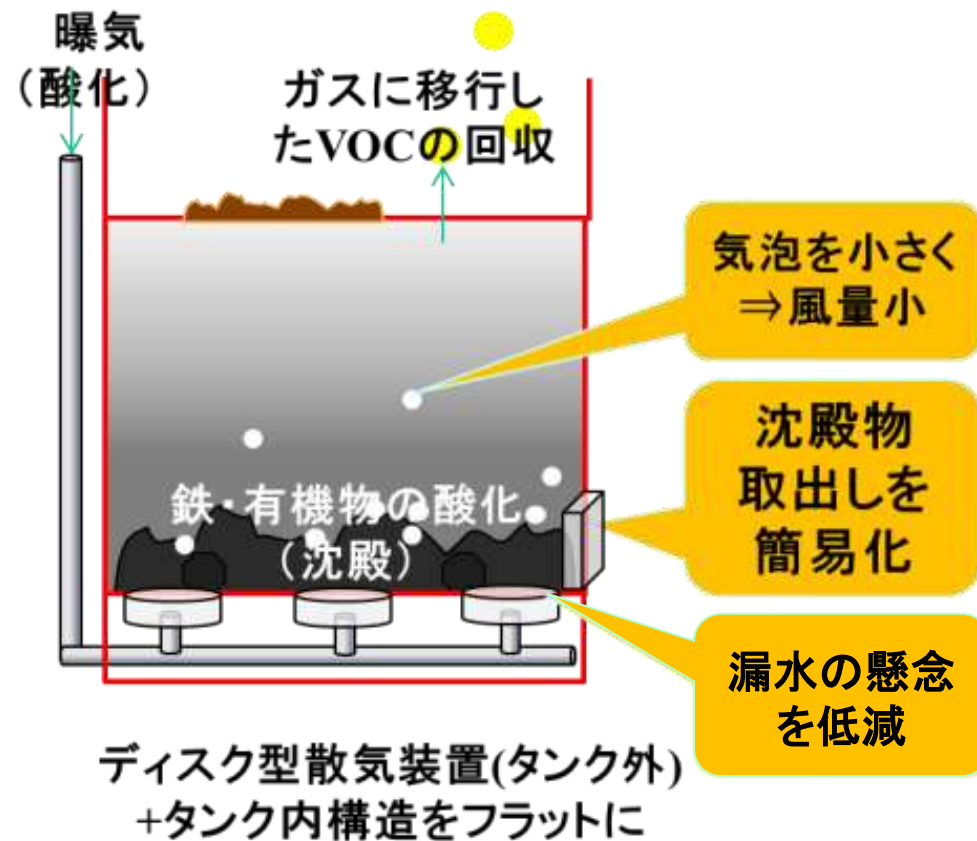


■高効率な水処理装置で揚水した地下水を処理して注入水として再利用

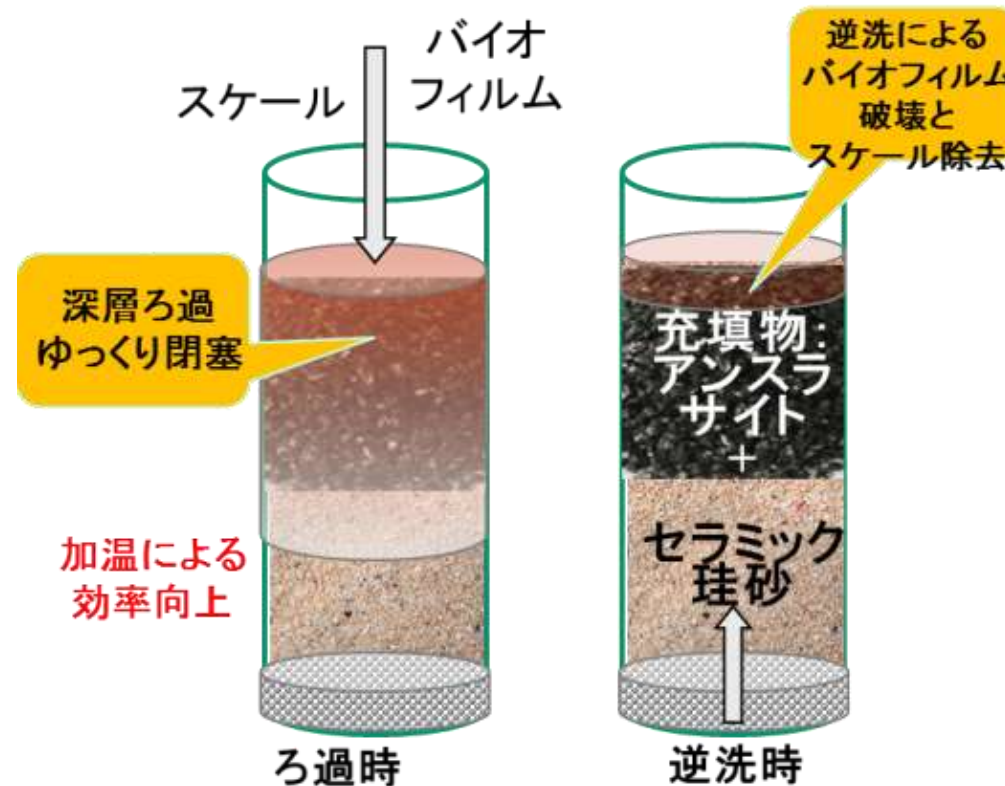
- ① 加温により効率を向上させた曝気処理装置
- ② 複層ろ過による高速ろ過装置

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

加温曝気装置

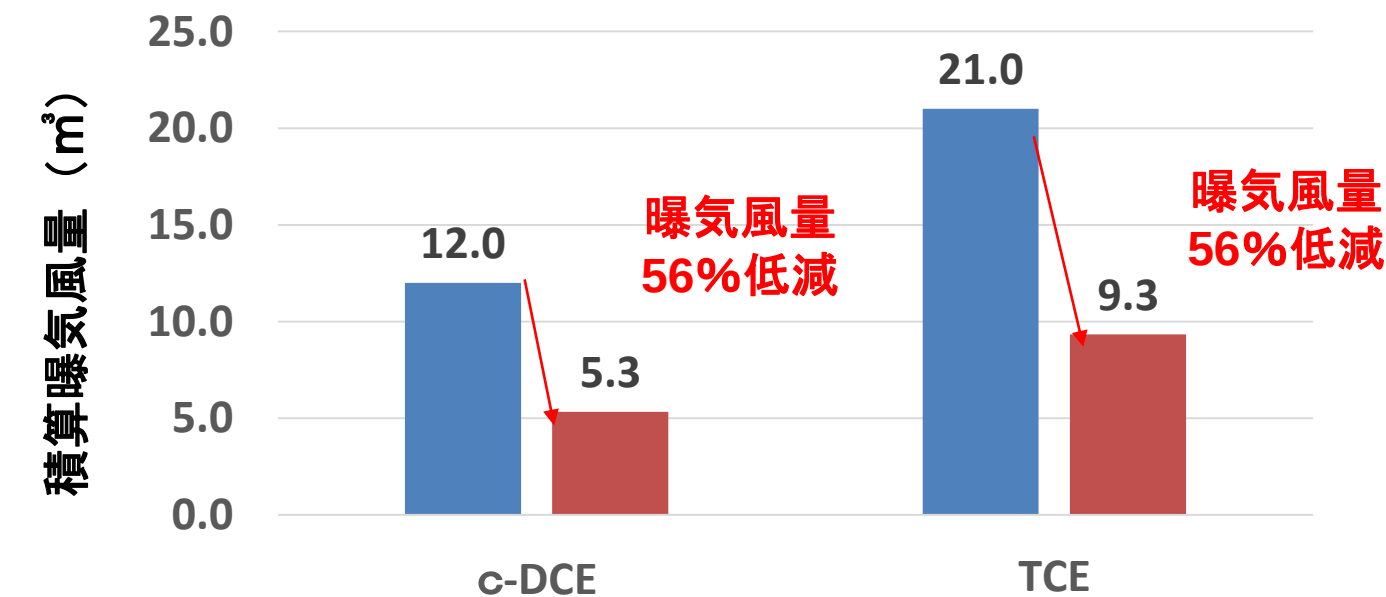


高速ろ過装置



VOCs除去に必要な曝気風量

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



■ 常温散気(有孔管タイプ) 23°C

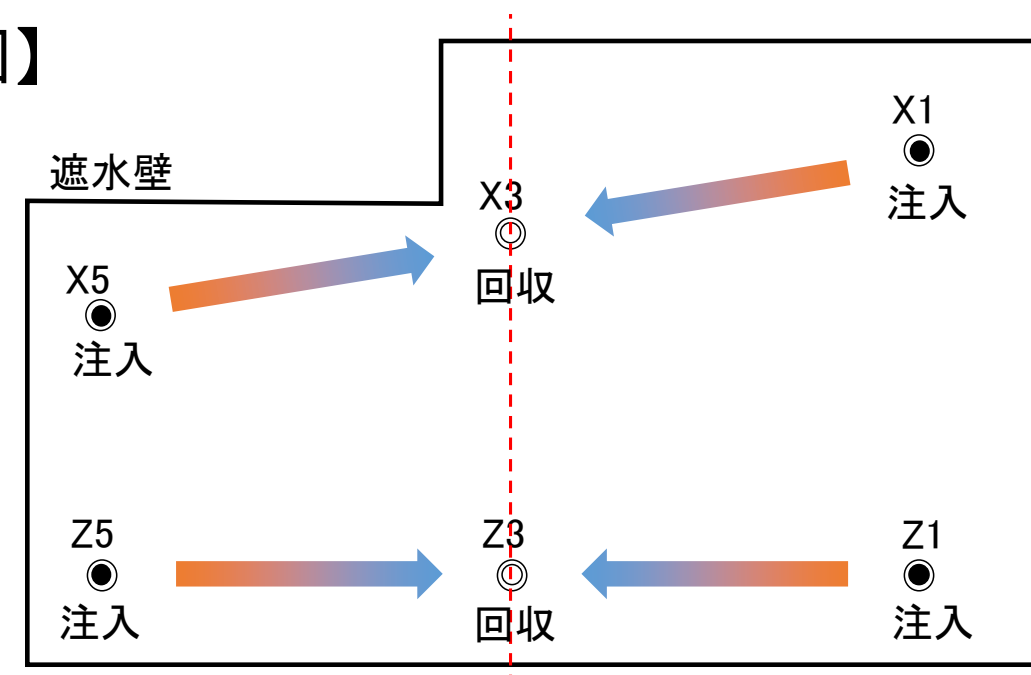
2-1. 実汚染サイトでの実証試験の概要

■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

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

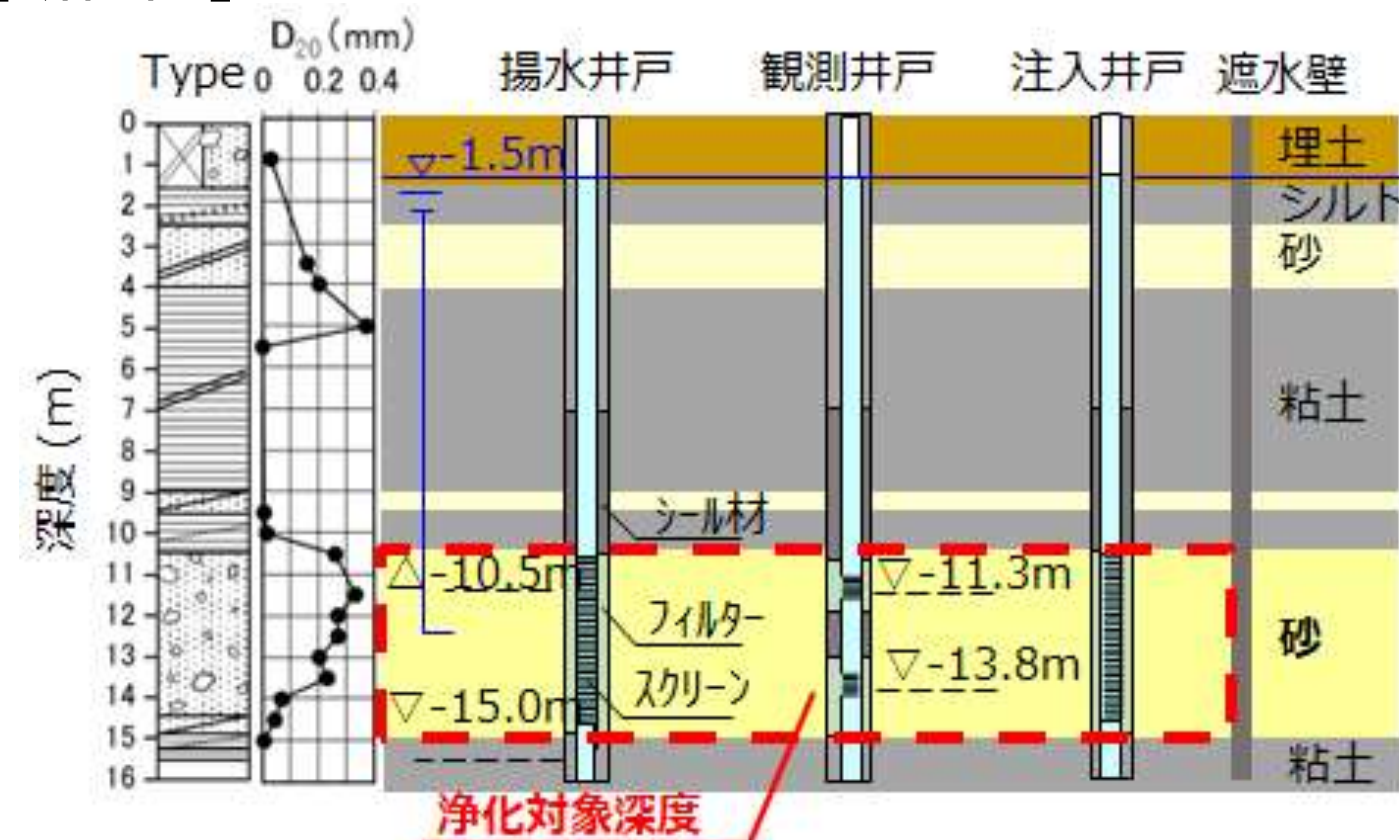
【平面図】



【実験中のサイトの状況】

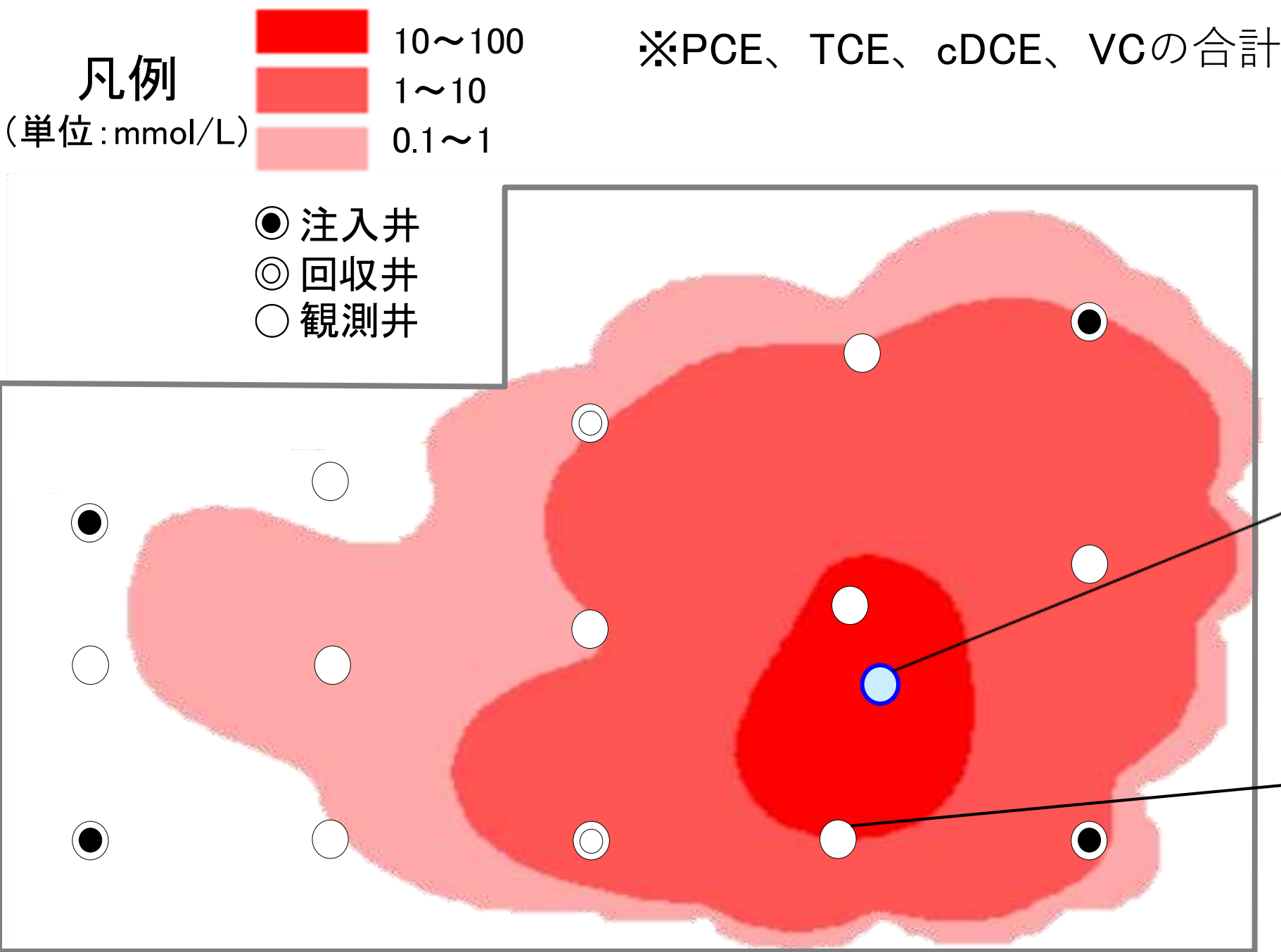


【断面図】



2-2. 実証試験サイトの概要（汚染状況）

➤試験前の地下水汚染の状況（汚染濃度の分布（Total VOCs※））



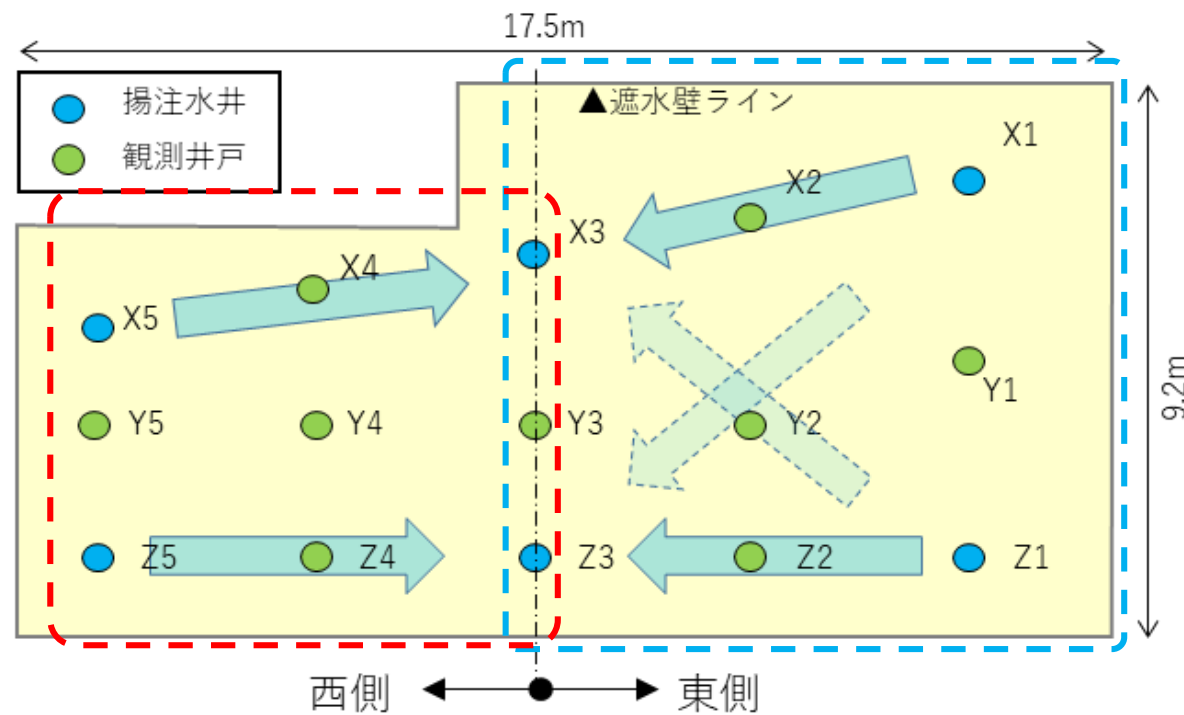
主な箇所汚染濃度(単位:mg/L)

		西側	東側	環境基準値
土壌	PCE	<0.001	1.2	0.01
	TCE	<0.001	0.060	0.03
	DCE	<0.001	0.012	0.04
	VC	<0.001	0.002	0.002
地下水	PCE	<0.001	0.16	0.01
	TCE	<0.001	0.17	0.01
	DCE	0.018	1.6	0.04
	VC	0.016	0.85	0.002

1) 地盤内の温度と浄化剤濃度の制御結果

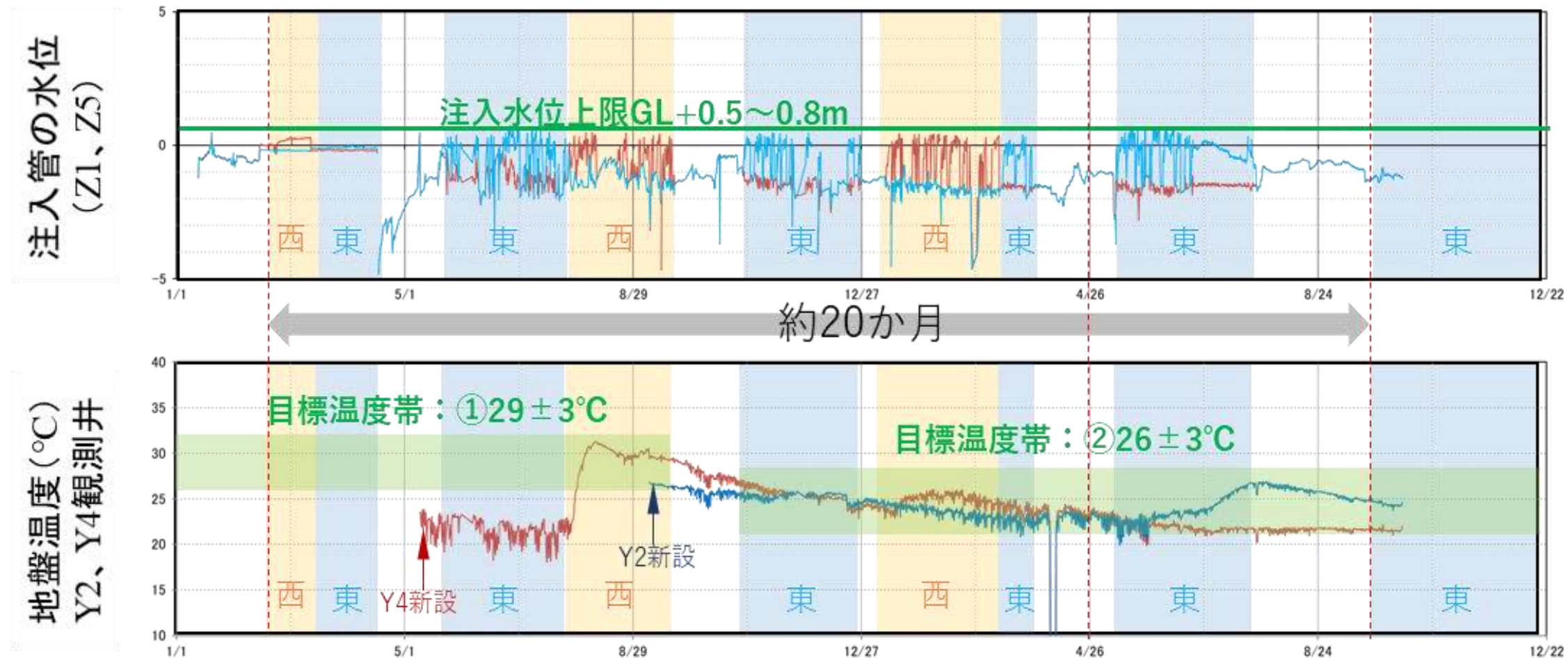
運転方式

東西に2分割し、交互に制御



温度の制御結果

注入管の水位および観測井の温度

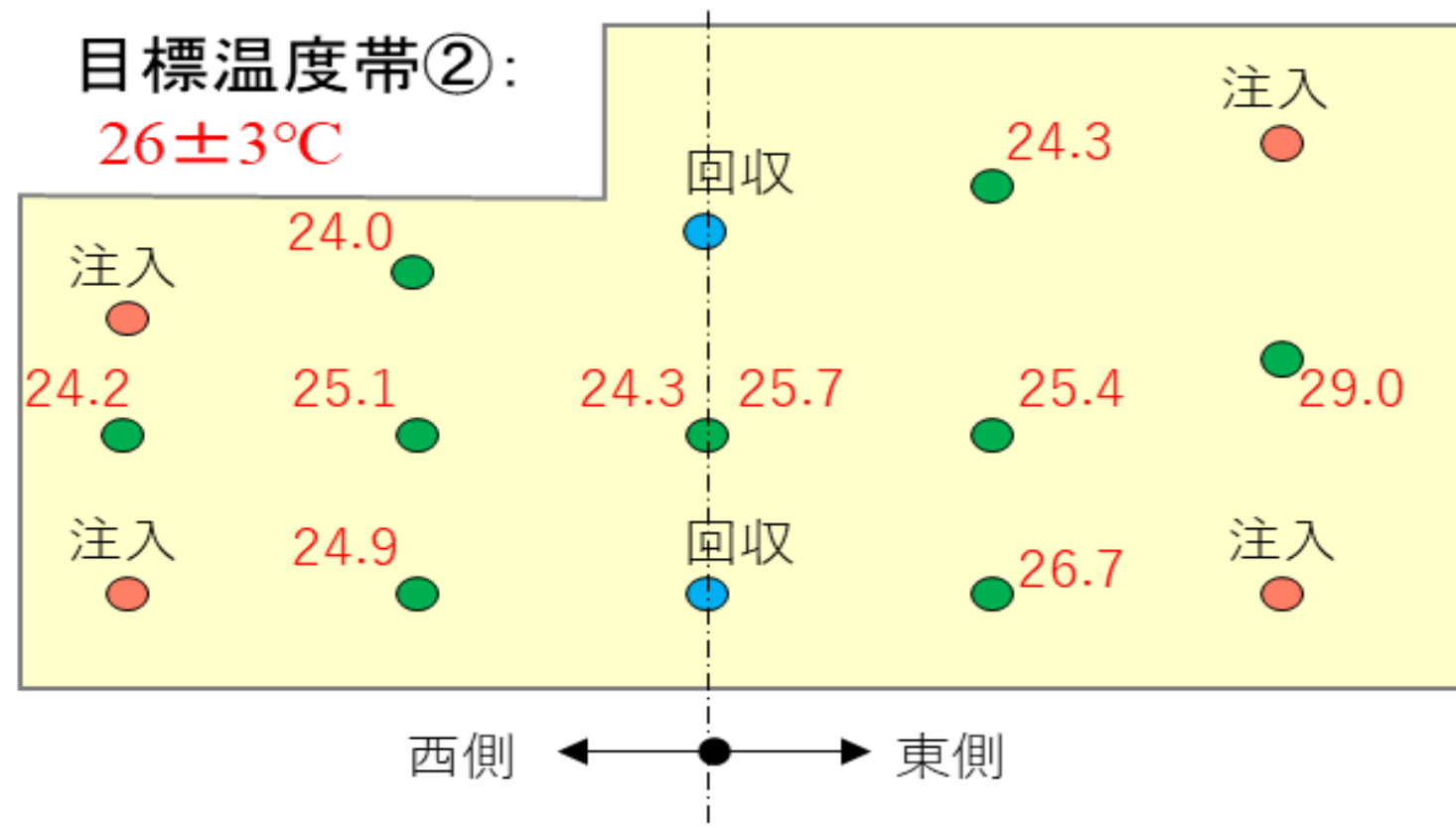


- 地盤内温度、濃度を20ヶ月間制御し、装置の安定性を確認
- 制御誤差は試験期間を通して目標温度の $\pm 10\%$ 以内に制御

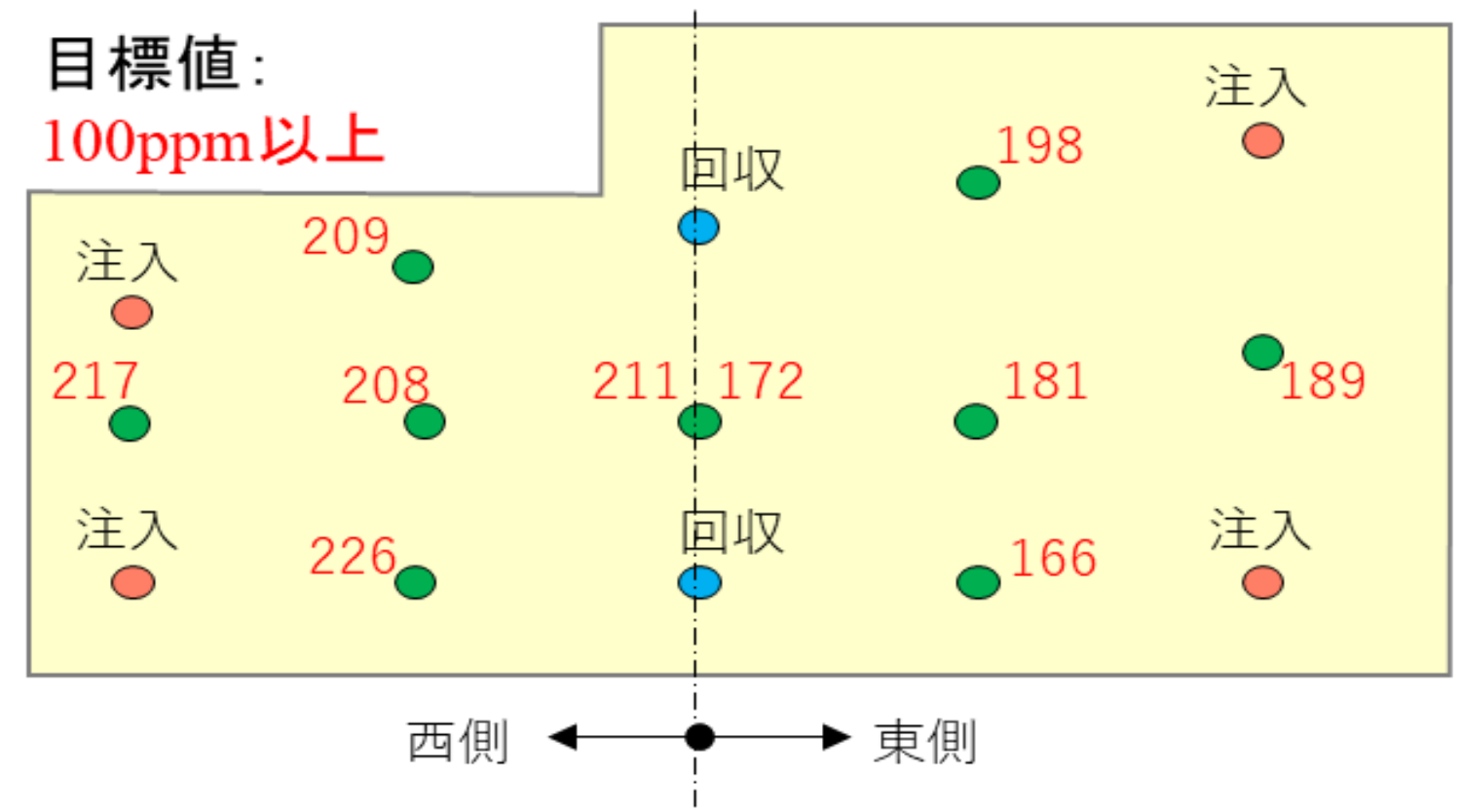
2-4. 実証試験結果 温度・浄化剤濃度

1) 地盤内の温度と浄化剤濃度の制御結果

平面 温度分布(°C)



平面 浄化剤濃度分布

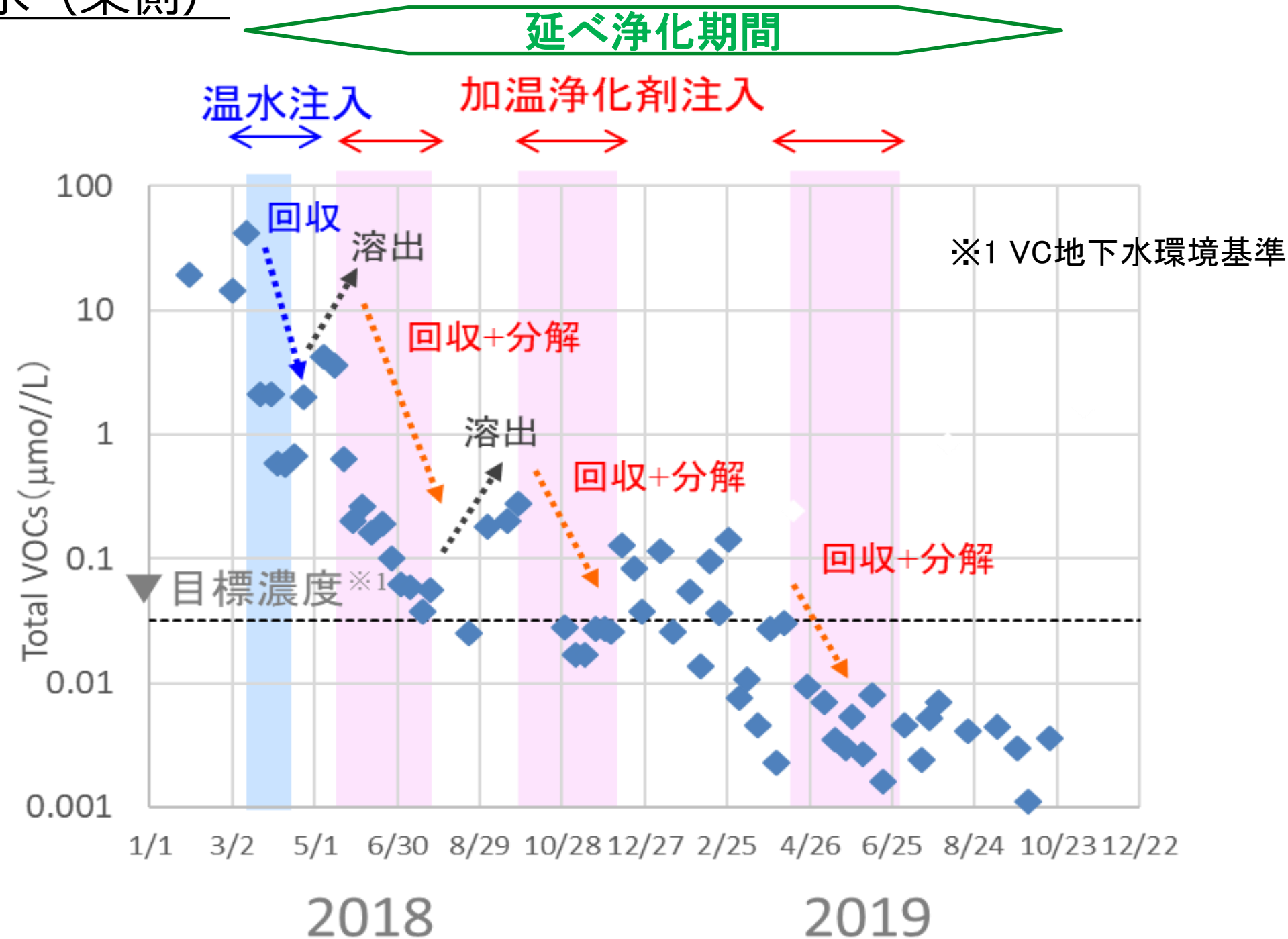


東側

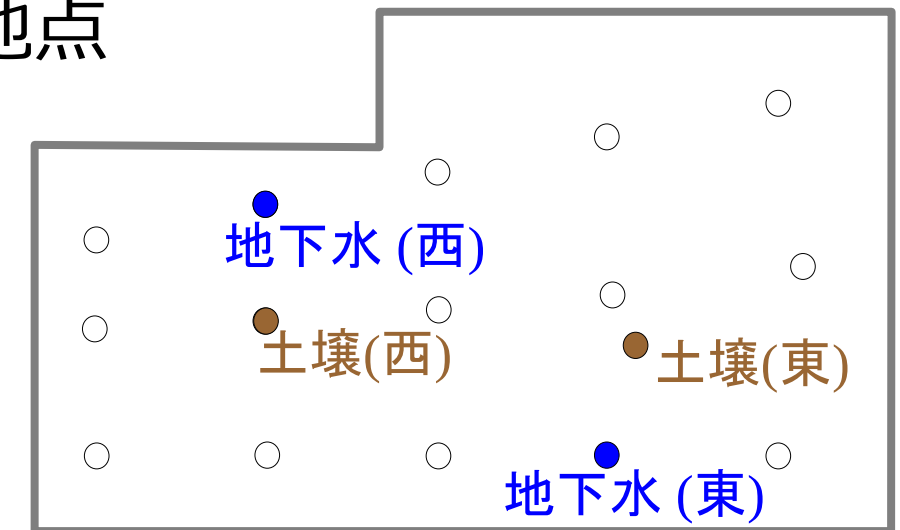
- 地盤内温度の平面分布は、浄化対象エリア全域を目標温度に制御
- 蛍光トレーサーで拡散状況を見える化し、浄化剤の地盤内濃度を目標値以上に制御
→これまでになかった地盤内の均一な注入制御が可能な高精度な浄化システムを構築できた

2-5. 実証試験結果 VOCs濃度

地下水（東側）



観測地点

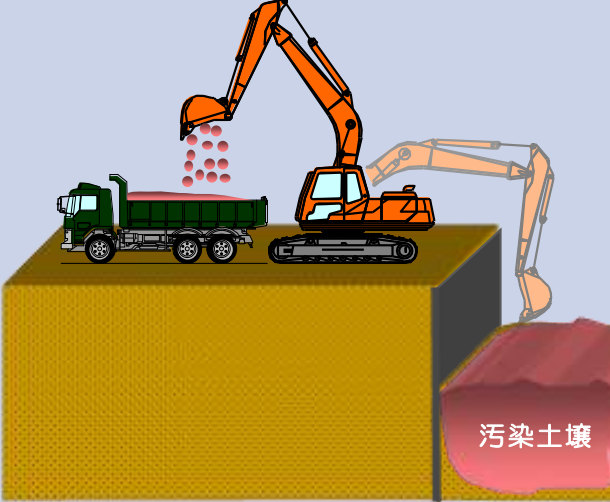
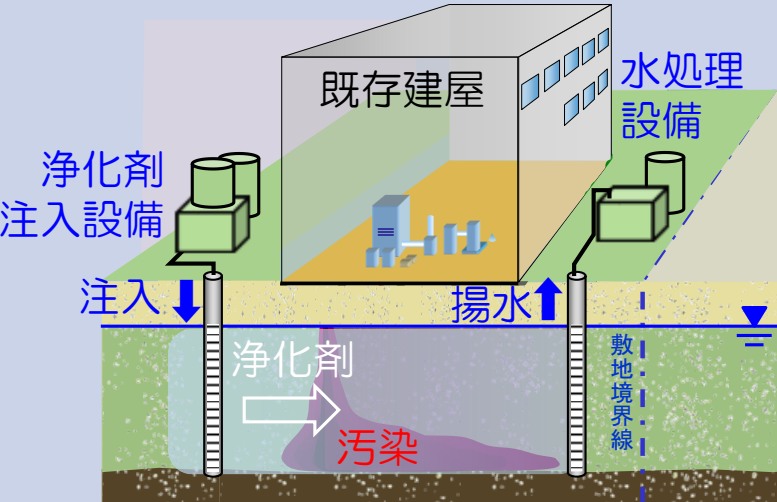
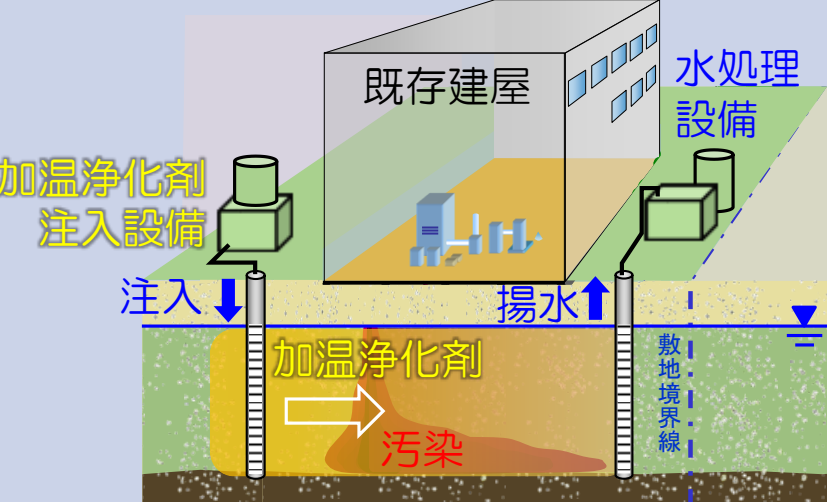


VOCs濃度 [mg/L] ※2 土壌溶出量

		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

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）

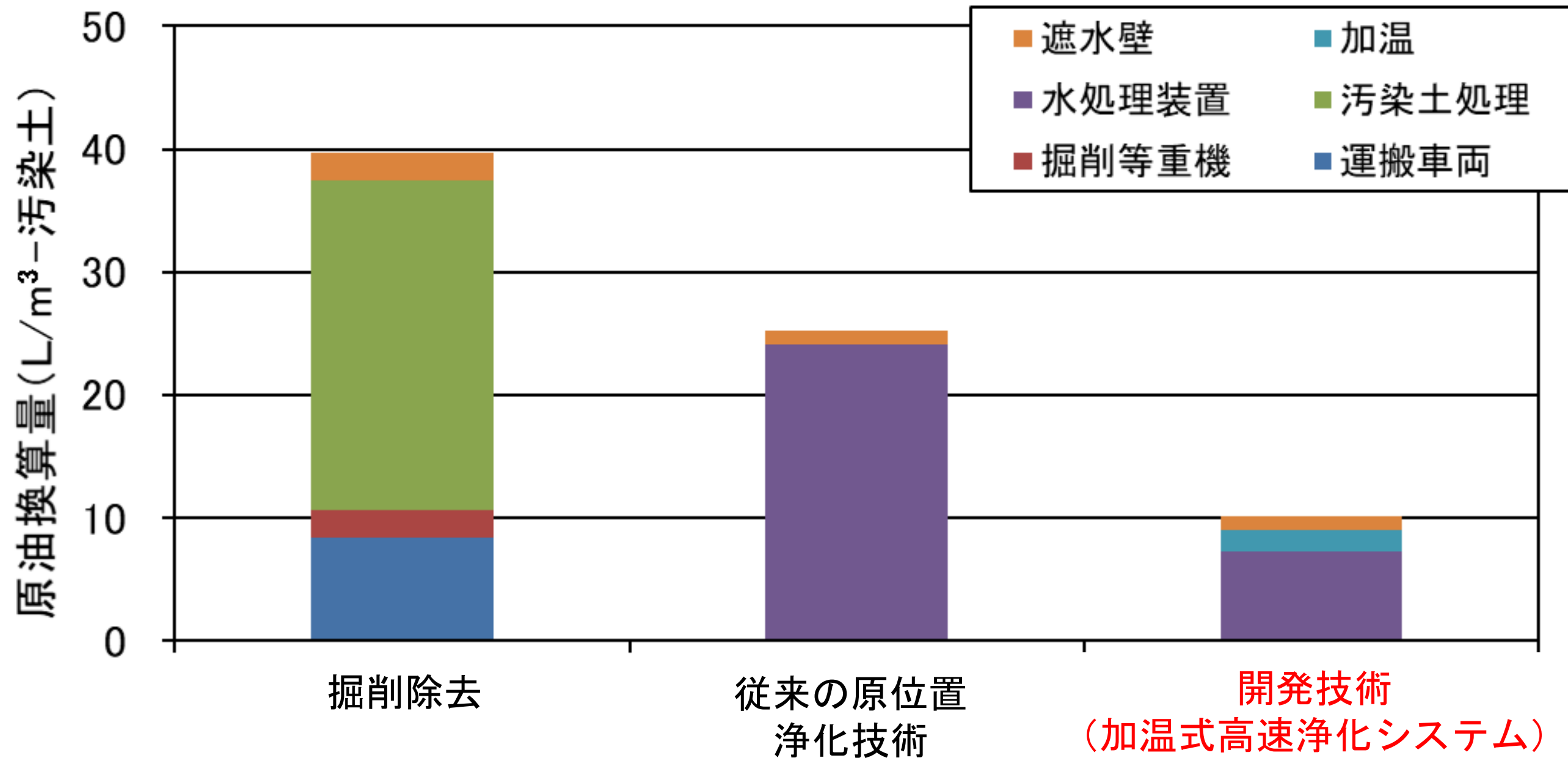
3-1. 従来技術との比較と開発技術適用のメリット

技 術	掘削除去	従来の原位置浄化技術	加温式高速浄化システム
概 要	 汚染土壌を掘削 場外処理	 浄化剤を注入し、 地盤内の汚染物質を分解	 加温浄化剤を注入し、 地盤内の汚染物質を分解
コ ス ト 比	100 (基準)	47	42
浄化期間	0.5年	4～10年	2～2.5年
省エネ	原油換算39.7L/m ³	原油換算 25.2L/m ³	原油換算10.2L/m ³
省人化	—	2～3名の作業員がサイト常駐	2週に1回の補給のみ：大幅省人化

※【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・低負荷型土壤汚染調査対策技術検討調査 報告書を一部参考。

従来の原位置浄化技術よりも**60%の省エネルギー効果**、かつコストも同等以下を達成

3-2. 省エネルギー効果の試算



※【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・低負荷型土壤汚染調査対策技術検討調査 報告書を一部参考。

浄化期間の短縮効果により、従来の原位置浄化技術と比べて
大幅な省エネルギーを達成

3-3. 開発技術を用いた土壌汚染地の再生

土地開発に応じた浄化手法を選択し、不動産収益力を向上

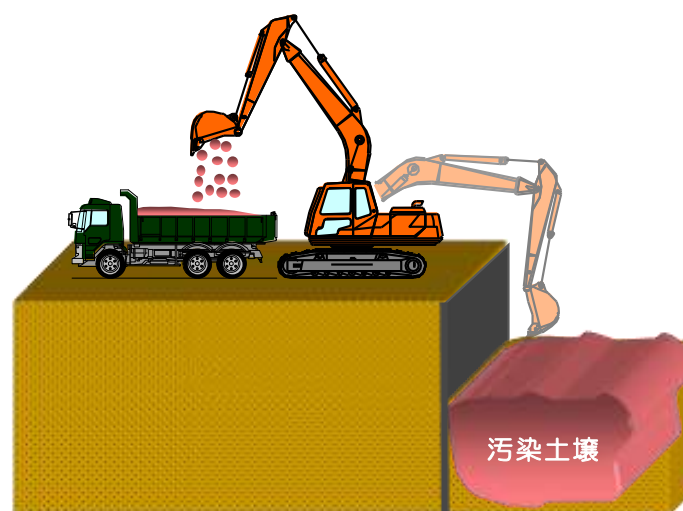
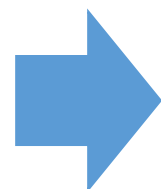
➡モデルサイトで、浄化工法による収益力の違いをNOI利回り※で試算

※NOI利回り: 不動産の収益率を示す指標
 •数値が高いほど収益率が高い不動産。
 •4.00%が開発実施可否の判断基準

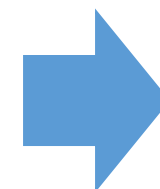
①掘削除去の場合(解体→対策→新築)



従前の土地利用

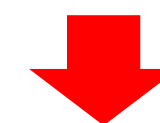


掘削除去



再開発

NOI利回り : 3.90% (<4.0%)

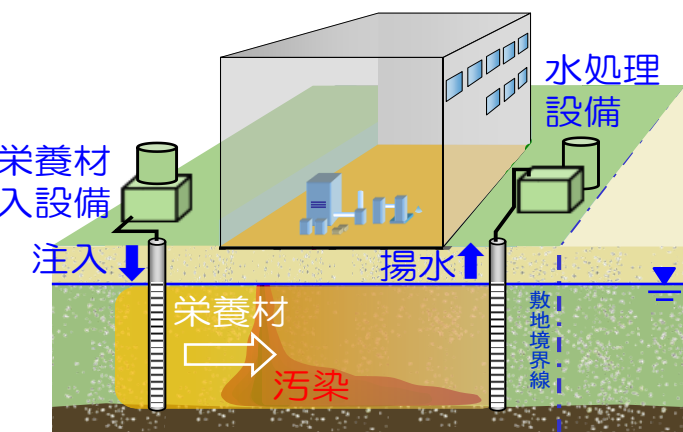


0.13%UPし 4.0 % 越え!!

②開発技術の場合(解体→対策と新築を並行実施)



従前の土地利用



温促バイオ™



浄化しながら再開発

NOI利回り : 4.03% (>4.0%)

本技術の採用により
 不動産収益力が改善、
 停滞する汚染地再生の
 推進力に！

加温式高速浄化システム「温促バイオ™」の適用により、
 土壌汚染地（ブラウンフィールド）を再生し
 持続可能なまちづくりによる地域経済の活性化に貢献します。

