



原位置熱脱着工法のメカニズムと VOCs浄化事例



SheGoTec
Japan Inc.

ブラーツ(湊)初枝

日本シーガテック株式会社 代表取締役社長
株式会社エンバイオ・ホールディングス 社外取締役

土壌を加熱する3つの方式

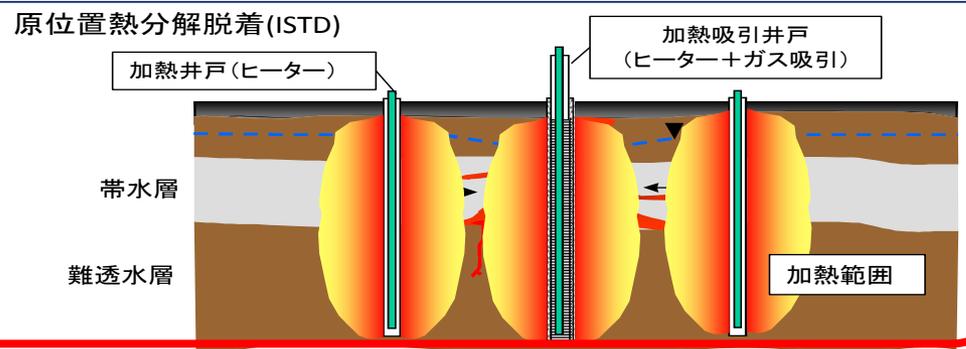
1) 熱伝導加熱法(TCH)

加熱温度: 100°C以上昇温可能

対象地質: 粘性地層、帯水層、不飽和帯

対象物質: VOCs、SVOCs

※地下水の遮水が必要な場合がある



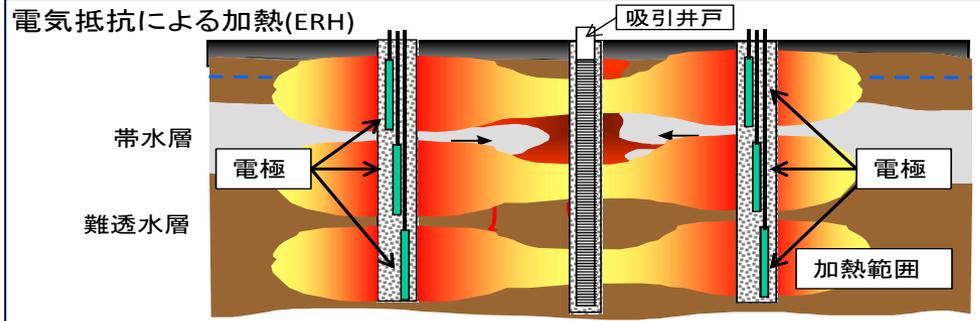
2) 電気抵抗加熱法(ERH)

加熱温度: 100°C未満(Max70~80°C)

対象地盤: 粘性地盤、帯水層

対象物質: VOCs

※水がないと加熱できない



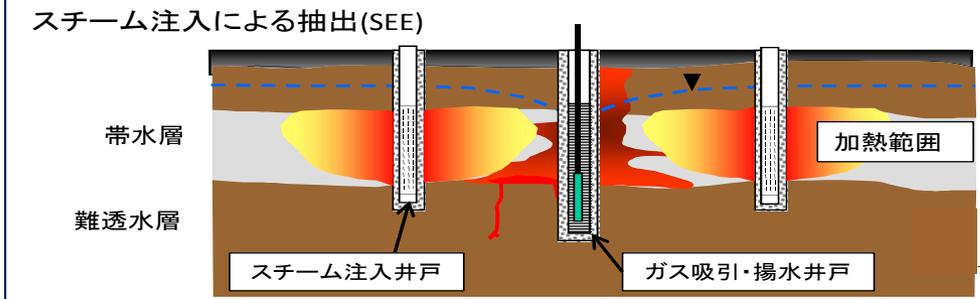
3) 蒸気加熱法(SEE)

加熱温度: 100°C未満

対象地盤: 帯水層

対象物質: VOCs

※蒸気が通らないと加熱できない



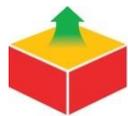
原位置熱脱着工法:ISTD

排ガス処理装置

IPTD(パイル式)

← ISTD

加熱井戸

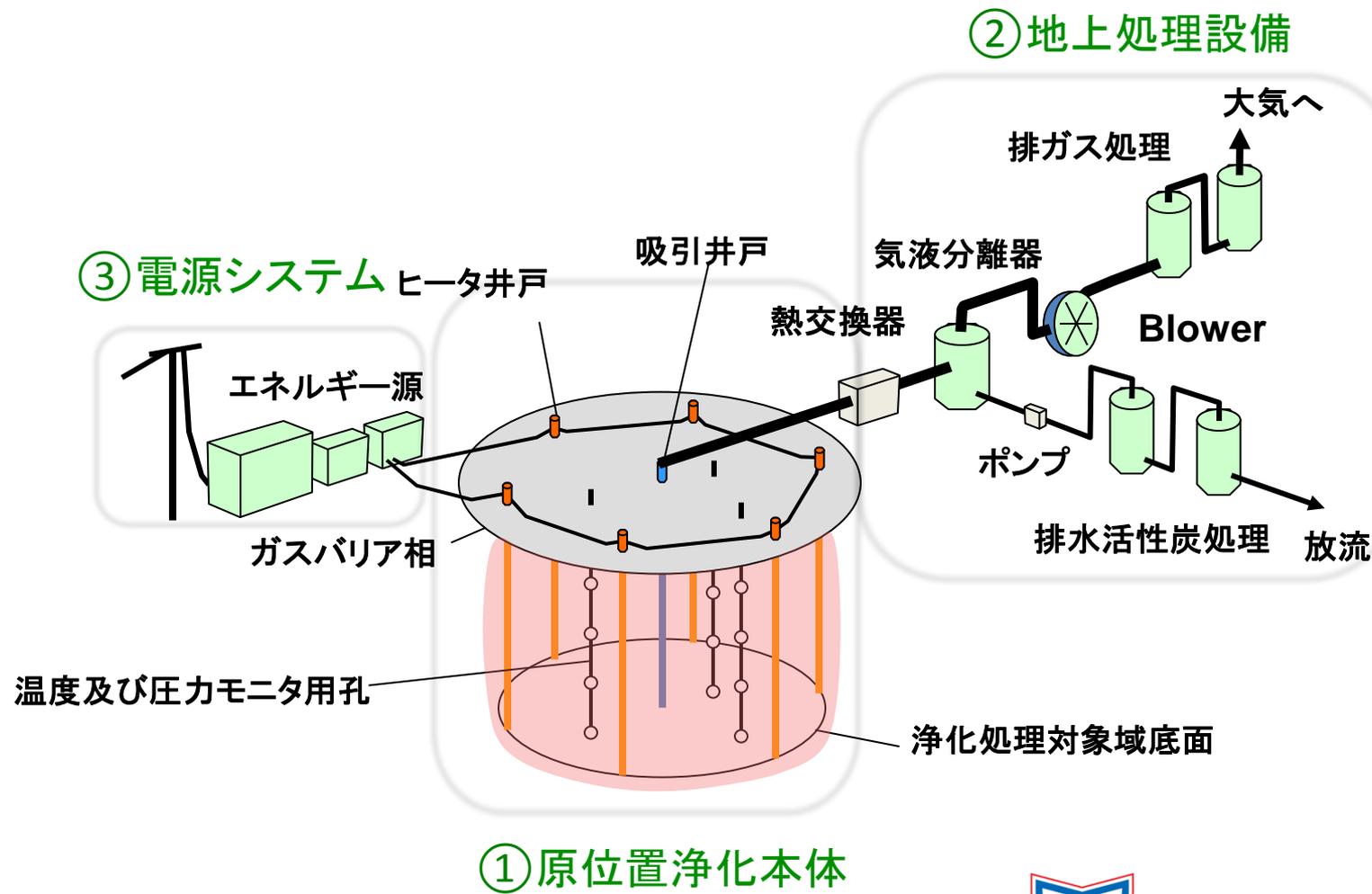


TERRATHERM
a Cascade Company



SheGoTec
Japan Inc.

典型的な原位置熱脱着 (ISTD) システム



どのような汚染物質に対応可能か？

- **有機汚染物質**

- 揮発性有機塩素化合物 (CVOCs)
- 油類 (BTEX, 重油など)

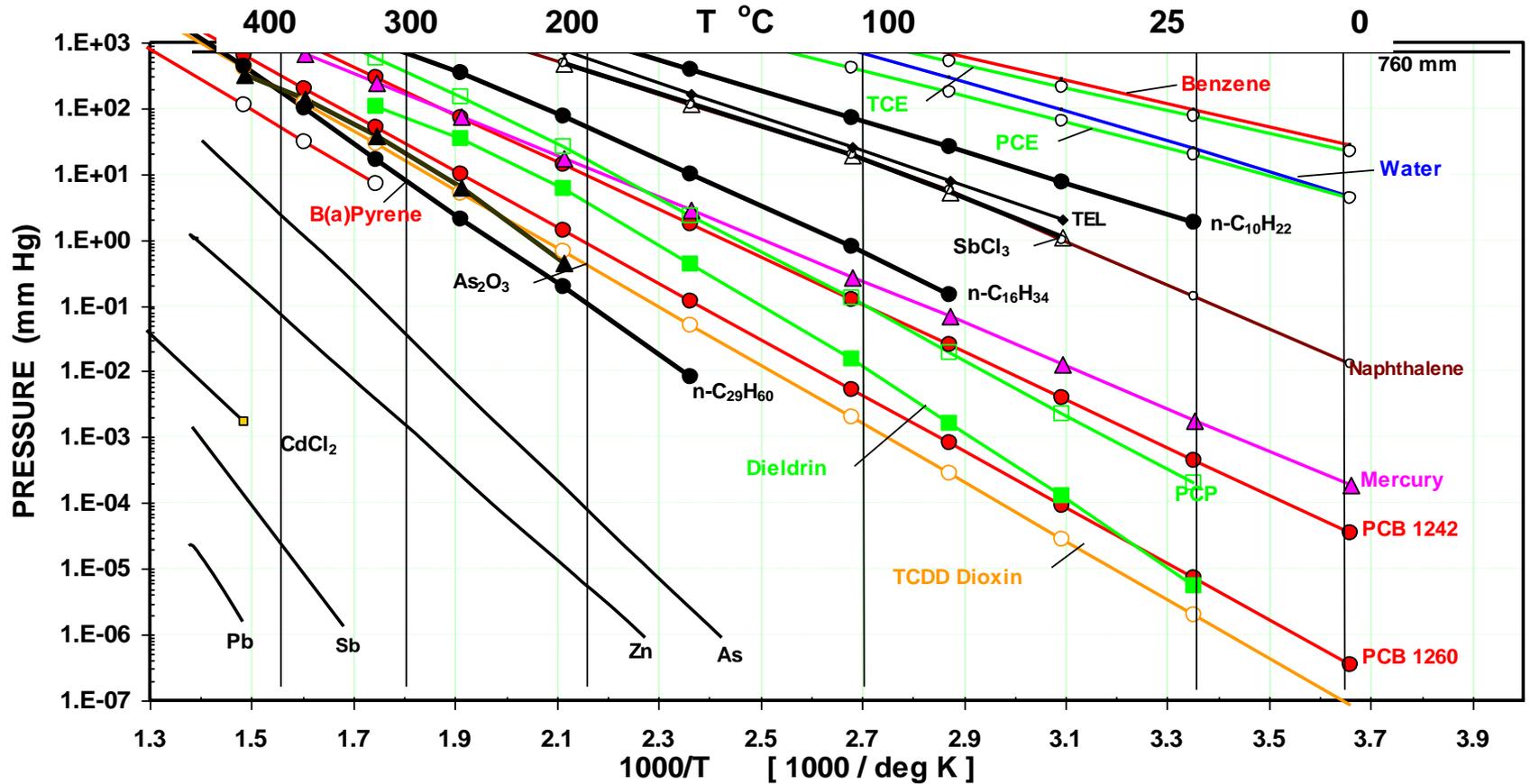
- **残留性有機汚染物質(POPs)**

- ポリ塩化ビフェニル (PCBs)
- 農薬類—ジクロロジフェニルトリクロロエタン (DDT), エンドリン, ディルドリン, アルドリン, クロルデン, トキサフェン, ヘプタクロール, マイレックス, ヘキサクロロベンゼン (HCB)等
- ダイオキシン類
- ベンゾ(a)ピレンのような多環芳香族炭化水素 (PAHs)

- **水銀**

汚染物質の温度と蒸気圧の関係

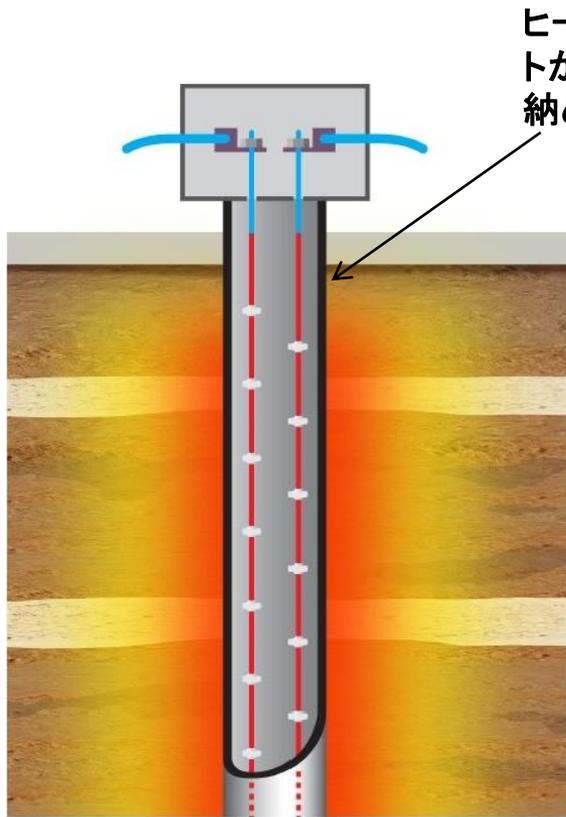
Vapor Pressures



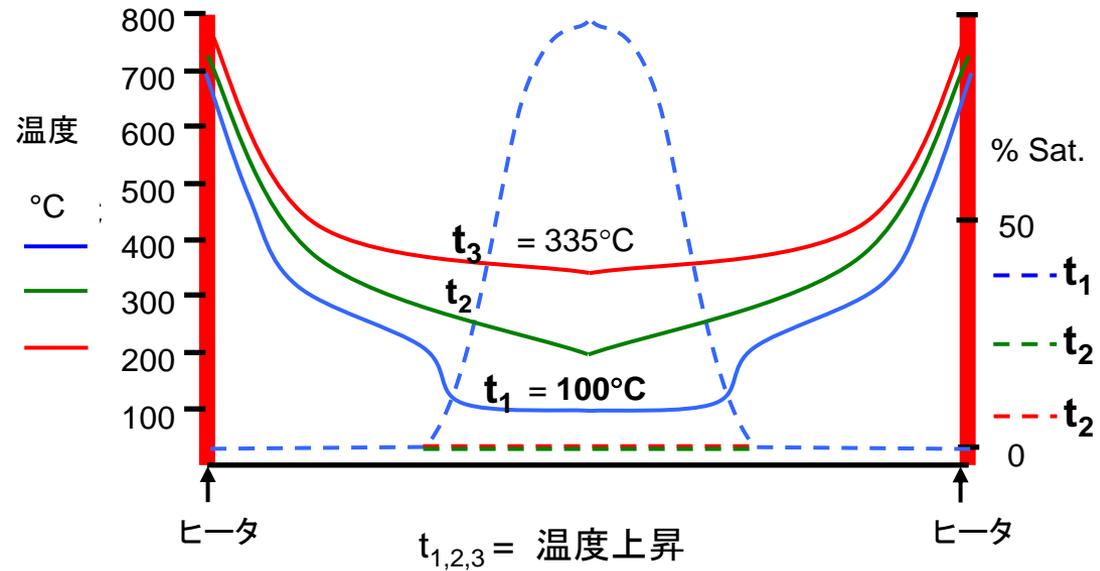
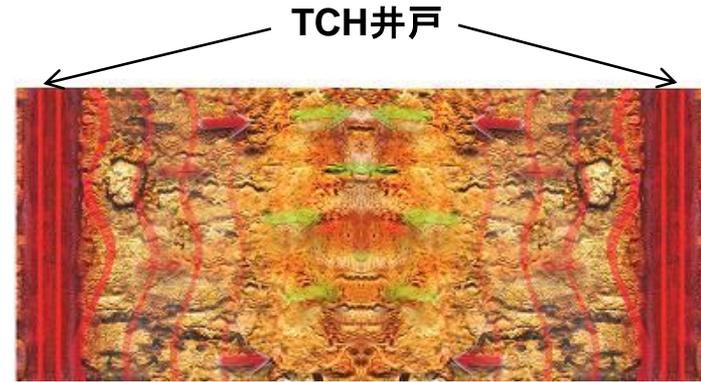
(Stegemeier and Vinegar, 2001)

熱伝導による加熱(TCH)とは？

熱は主に熱伝導により広がる → 均一な加熱



TCH 井戸

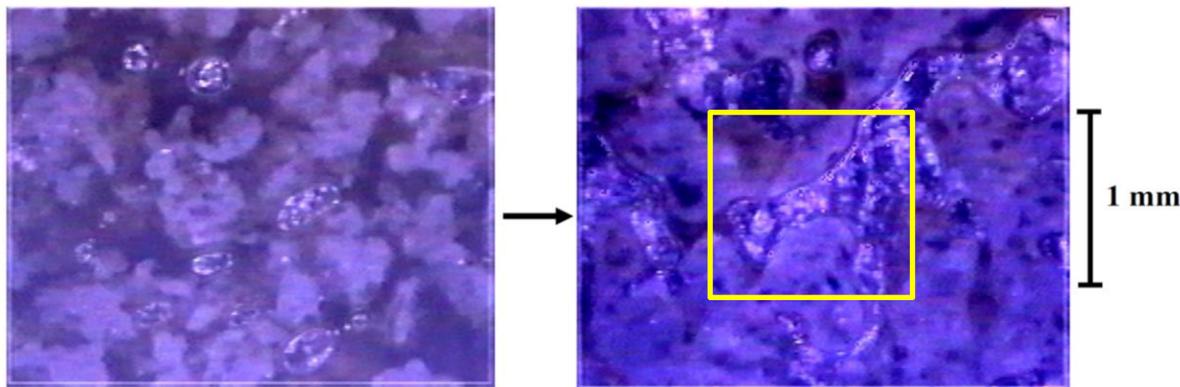
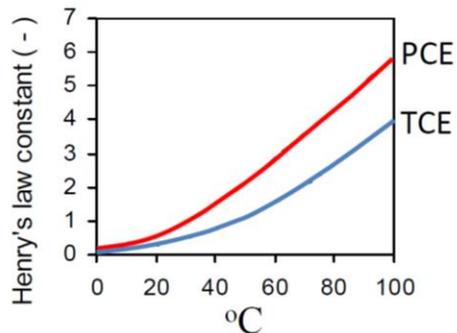
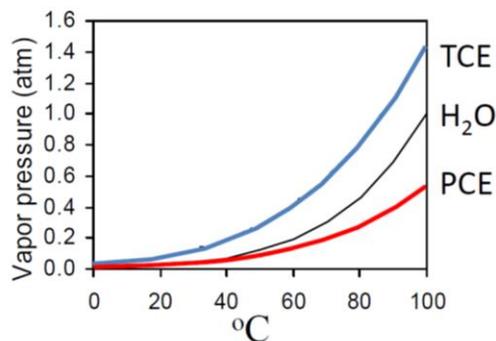


ヒータ間距離及び処理温度(初期判断基準)

対象物質例	浄化目標	処理温度(°C)	ヒータ間隔(m)	地下水対応
CVOCs、ベンゼン、トルエン、ガソリン	<1mg/kg	~100	4.6~5.2	不要
ガス製造工場DNAPL	安定化	100	3.7~4.6	不要
ナフタレン	<1mg/kg	100	3.7~4.6	不要
ディーゼル油	<10mg/kg	200	3.7	要
PCBs、DXNs、クレオソート、ガス製造工場DNAPL	<0.001mg/kg	335	2.4	要

原位置熱脱着ISTDによる浄化のメカニズム

- VOCs及び比較的ライトなSVOCs - 100°C
- 蒸発及び水蒸気による除去 (Steam Stripping)

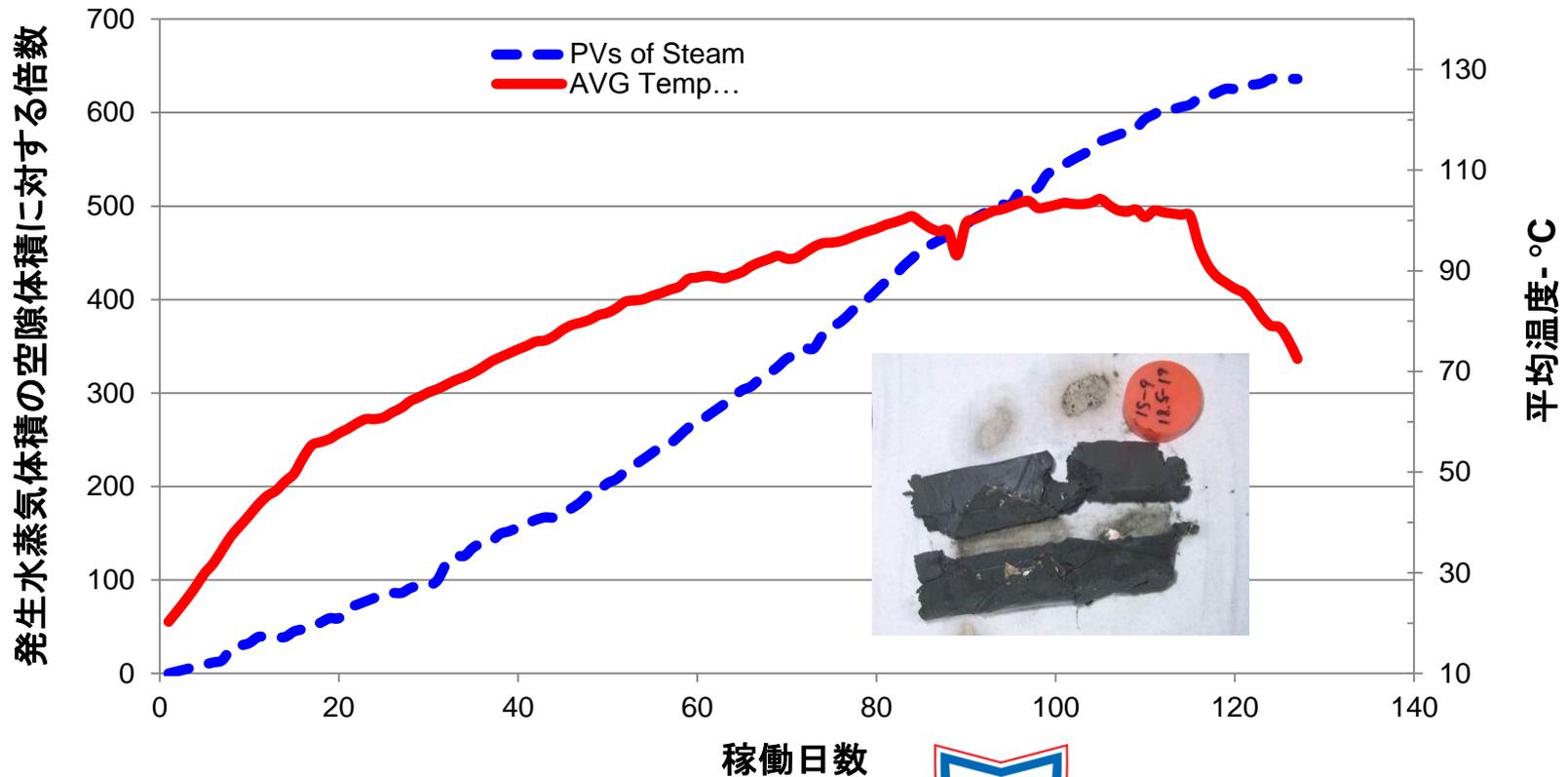


VOCs = Volatile Organic Compounds
SVOCs = Semi-VOCs

原位置熱脱着IPTDによる浄化のメカニズム

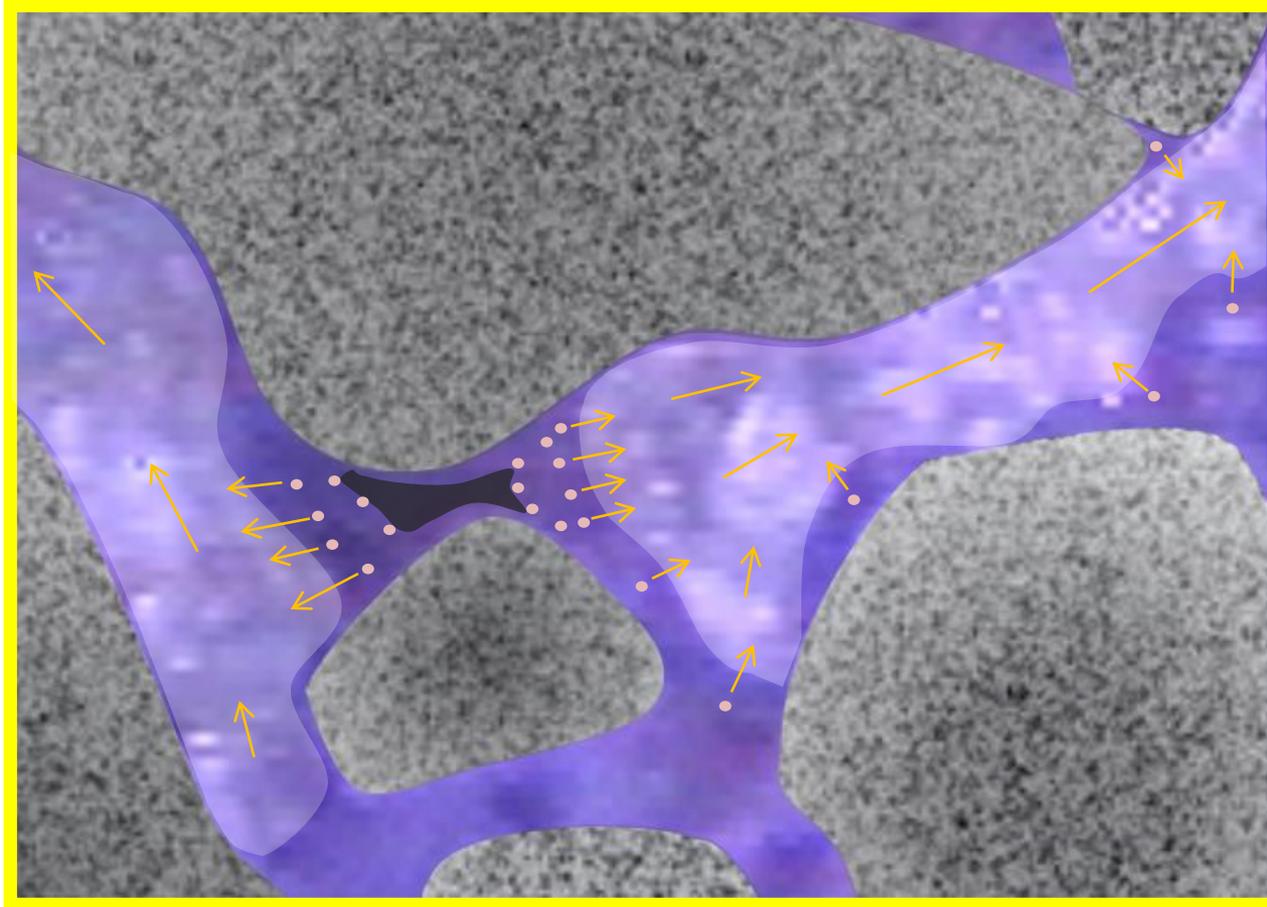
熱処理の間に空隙容量の400から600倍の水蒸気が発生し
対象物質除去される

処理対象域の水分の約30%に相当



蒸発及び水蒸気による除去

NAPL及び
水の沸騰



推定図 - 水蒸気とVOCの蒸発

ケーススタディ VOCs汚染現場の概要

- 背景：
 - ラジエーター、ボイラー、ドライクリーニング用洗浄機の製造工場跡地
 - 10年以上放置されていたが、商業施設に再開発される。
- 浄化対象範囲：

エリア	面積(m ²)	平均深度(m)	土量(m ³)	コメント
1	1,178	6.1	7,178	原位置熱脱着
2	780	5.5	4,282	原位置熱脱着
2-1	78	4.0	309	掘削後エリア2へ
3	113	5.5	622	原位置熱脱着
合計	2,149	最高深度8.2m	12,391	

- 地盤条件
 - 地下水面 GL-60cm~1.2m
 - 泥炭を含む泥灰土、シルト交じり粘土
 - TOC: 平均10.8%

現場全景

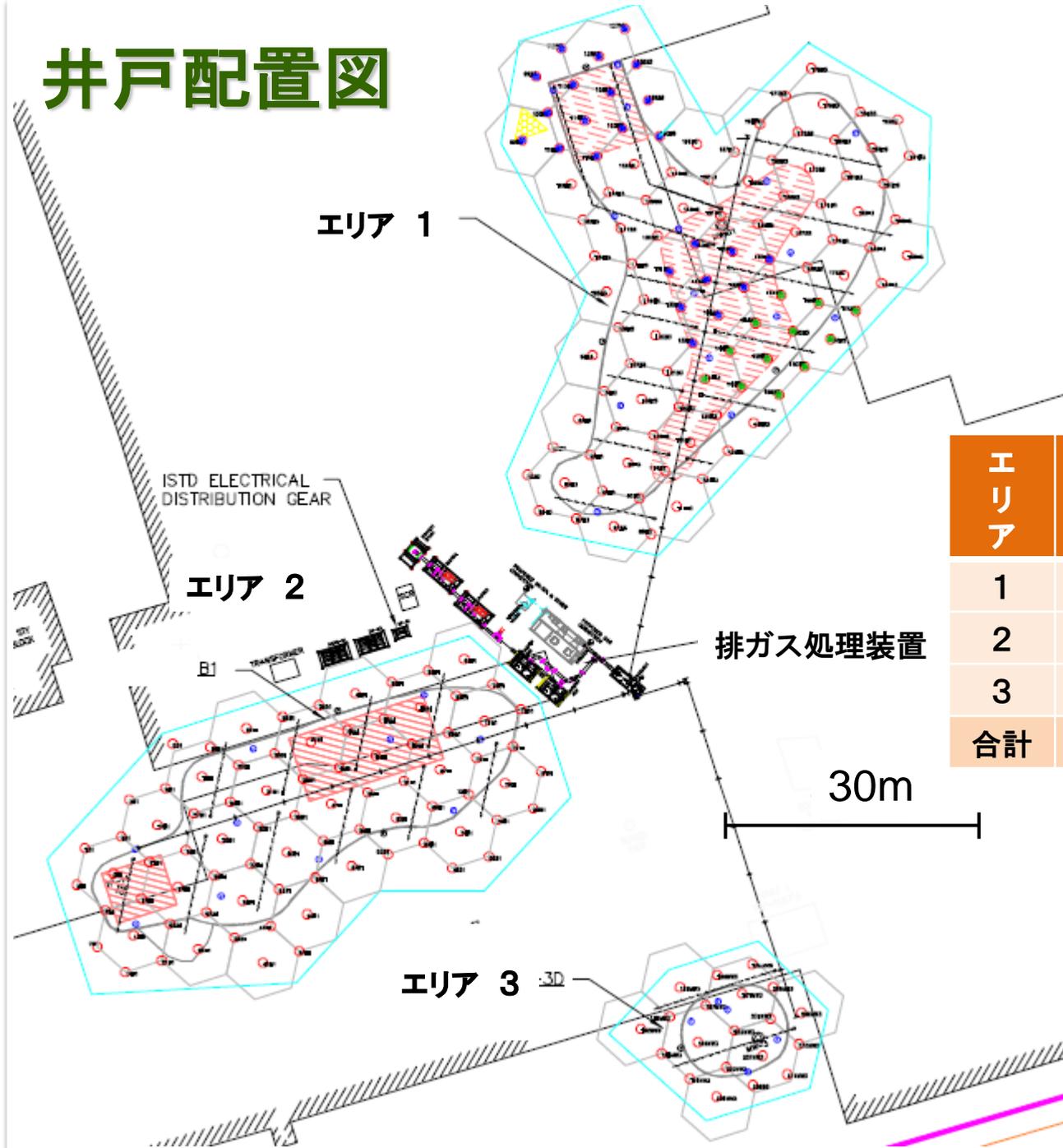


処理前濃度

対象物質 (mg/kg)	基準値	浄化前
テトラクロロエチレン	5.6	3,630
トリクロロエチレン	2.8	57.9
クロロエチレン	0.8	0.96
トランス-1,2-ジクロロエチレン	1.2	0.29

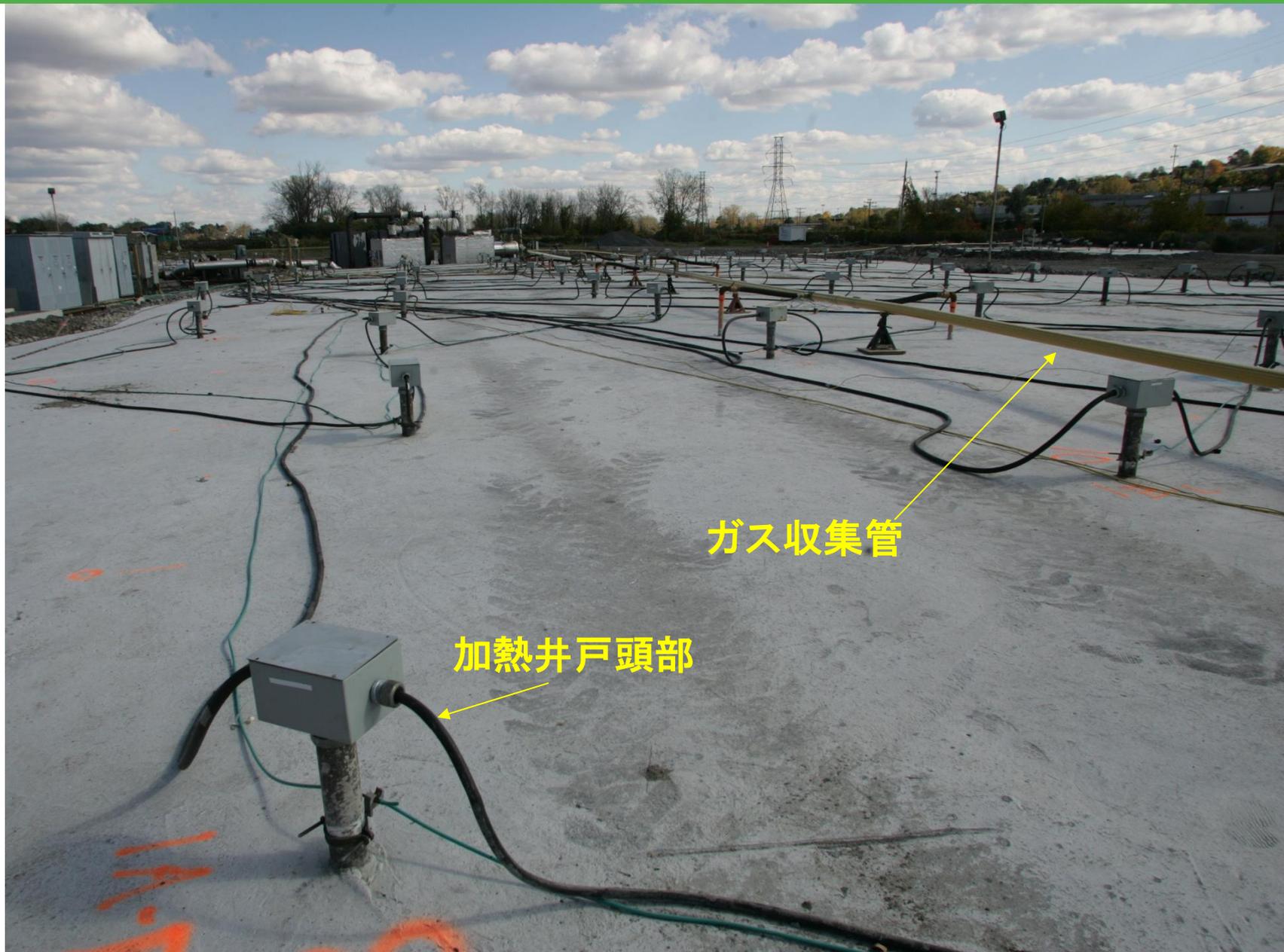
約99.8%
除去要達成

井戸配置図



エリア	加熱井戸	ガス収集井戸	温度計	圧力計
1	110	13	15	3
2	157	10	10	2
3	21	2	5	1
合計	288	25	30	6

現場全景



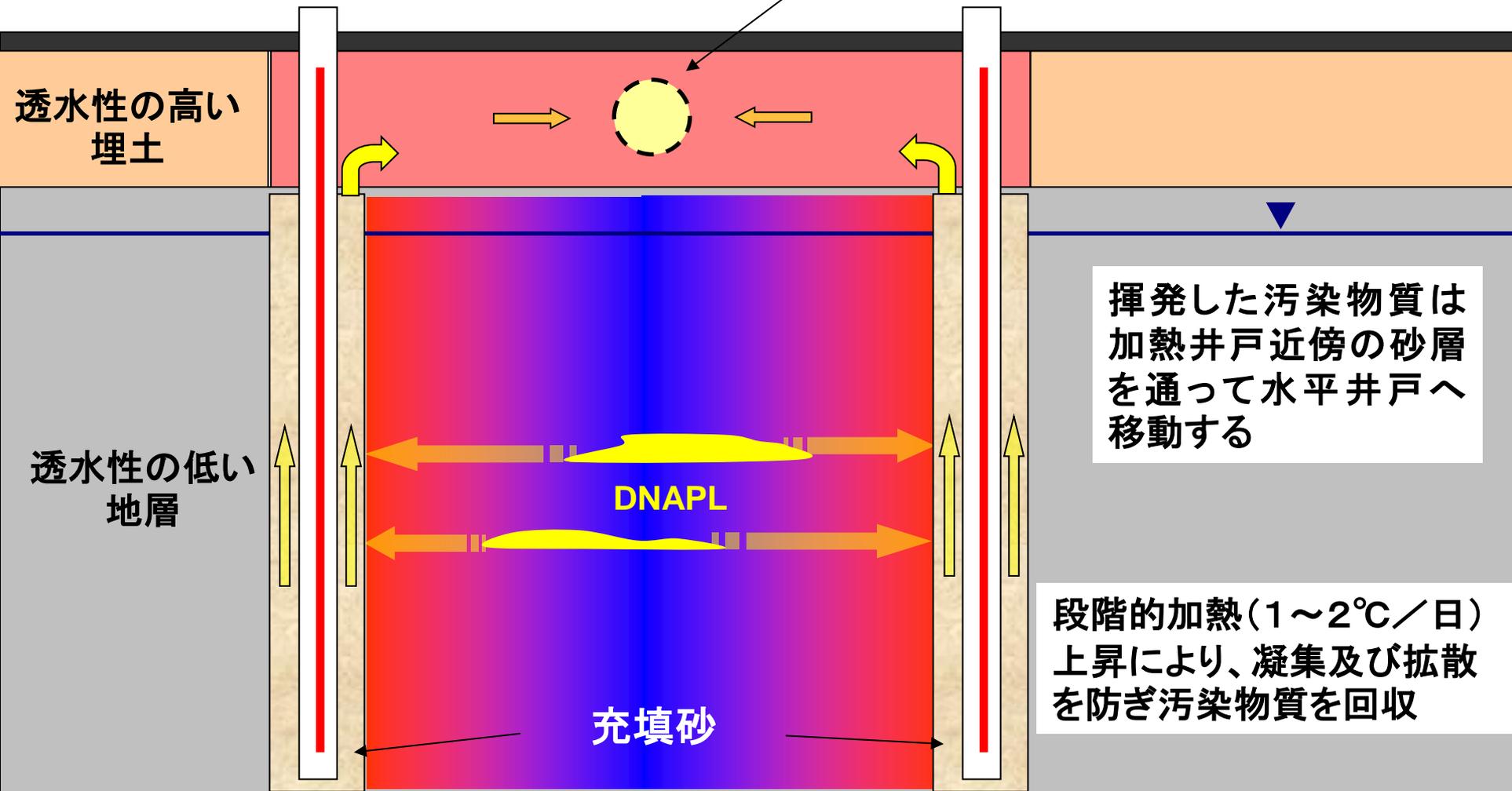
ガス収集管

加熱井戸頭部

揮発汚染物質の回収方法

加熱井戸

ガス回収用水平井戸

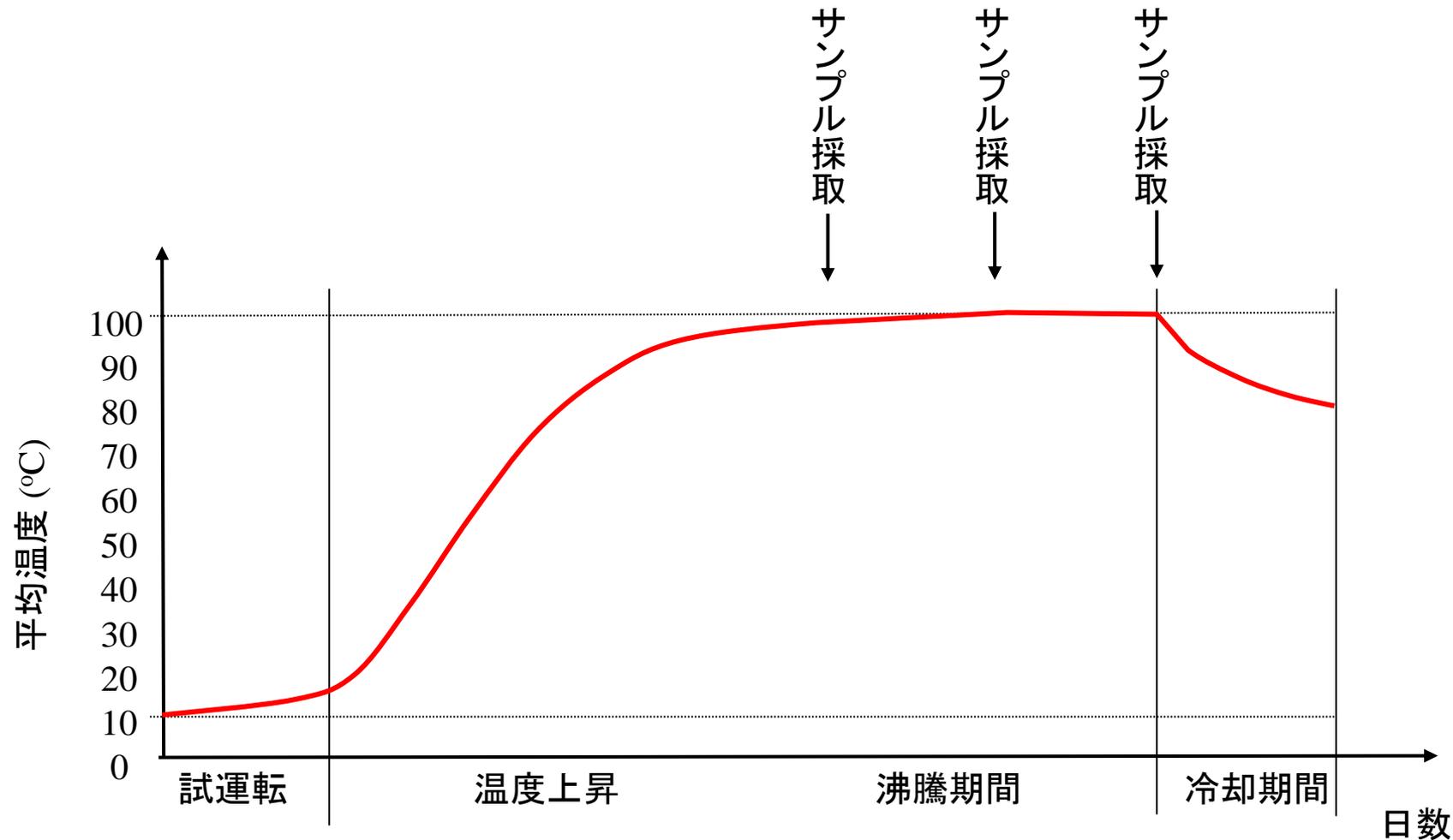


揮発した汚染物質は加熱井戸近傍の砂層を
通って水平井戸へ移動する

段階的加熱(1~2°C/日)
上昇により、凝集及び拡散
を防ぎ汚染物質を回収

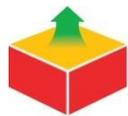
地中温度分布概念図

温度の推移 (加熱期間300日)



10日

Nov. 2006



TERRATHERM
a Cascade Company



SheGoTec
Japan Inc.

300日

Sep. 2007

浄化後濃度

基準値
達成！

対象物質	基準値 (mg/kg)	浄化後(mg/kg)		
		エリア1	エリア2	エリア3
テトラクロロエチレン	5.6	5.322	3.379	2.845
トリクロロエチレン	2.8	1.148	0.918	0.450
クロロエチレン	0.8	0.663	0.329	0.577
トランス-1,2-ジクロロエチレン	1.2	0.741	0.360	0.458

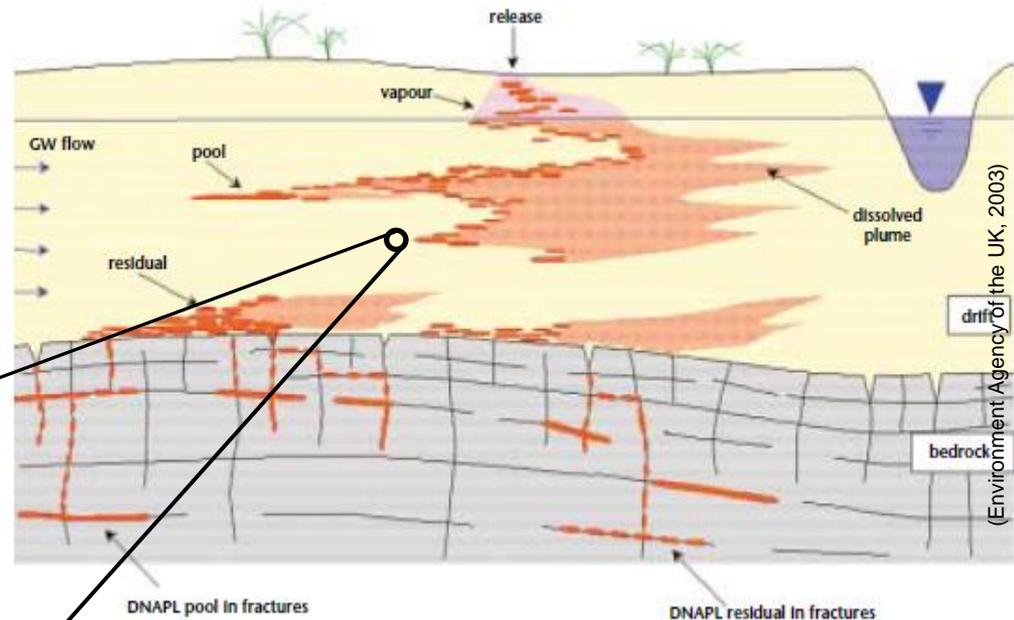
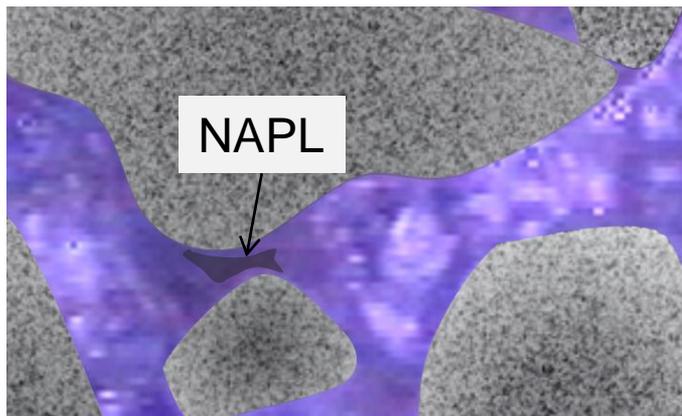
汚染物質の除去量

対象物質	除去量 (kg)
テトラクロロエチレン	37,554
トリクロロエチレン	2196
クロロエチレン	128
シス-1,2-ジクロロエチレン	1,055
トランス-1,2-ジクロロエチレン	33
合計	39,102

なぜ原位置熱脱着ISTDが有効か？

難易度の高い問題に対応

- 地層に左右されない。
- 例：粘性土、亀裂岩盤
- 汚染源、地下水面下のDNAPL
- LNAPL が染み出している部分
- 目標基準が低い
- 厳しいor短い浄化工程
- 掘削が現実的でない場合
(例、対象深度が深い15m<。
建物の下など)



ISTD法によるCVOC浄化の事例（目標温度100℃）

熱伝導加熱の概要/原位置熱脱着サイト - PCE 及び TCE 処理：目標温度 100℃							
所在地	土量	処理深度	主な対象汚染物質	土壌の種類(厚さ,深度) 地下水位	平均浄化前濃度	浄化目標	平均浄化後濃度
	m ³	m		m	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Midwest	8,790	0-4.6	TCE	シルト質粘土, 宙水地下水位 0.9m	99.7 (DNAPL存在の可能性)	1.0	0.070
Richmond, CA	5,350	0-6.1	PCE	埋立(砂)及び底泥, 地下水位 深度 0.9m	34.2 (DNAPL存在)	2.0	0.012
Southeast	6,880	0-26.5	TCE	埋土,風化岩石,片麻岩, 地下水位 16.8m	13,800 (DNAPL)	不飽和帯層: 0.060; 地下水: 汚染源濃度の低減	0.017
Syracuse, NY	12,400	0-7.6	PCE	埋土,泥炭,泥炭土,粘土, 地下水位 0.6-1.2m	2,864 (DNAPL存在)	5.6	3.8
Huntsville, AL	760 (パイロットテスト)	4.6-11.3	TCE	石灰岩上の角れき層上の粘土;地下水位 深度 9.75m	47.65 (最大濃度/履歴より DNAPL存在の可能性)	1.0	0.060
Odense, Denmark	2,500	4-11	PCE 及び DCE	粘土水河堆積物上の11mの埋土, 砂/砂利 帯水層上の埋土, 地下水位 深度 4.9m	340 (履歴よりDNAPL 存在の可能性)	5.0	0.51
Skudelev, Denmark	1,700	0-7.6	PCE	砂, 泥炭, 粘土, 地下水位 1.5m	128 (DNAPL存在)	5 ~ 10	0.13
Reerslev, Denmark	11,100	0-11.9	PCE	埋土,粘土水河堆積物,砂, 地下水位 3m	78 (履歴よりDNAPL 存在の可能性)	1.0	0.047
Endicott, NY	10,700	0-9.1	PCE	埋土,砂,シルト, 地下水位 6.4m	125	0.56 (目標処理エリア); < 5.5 (単一試料)	0.04
Tullahoma, TN	54,000	0-26	PCE	粘土堆積物,シルト,砂,砂利, 地下水位 4.6m	DNAPL存在, CVOC 74,800kg	最大 <100	平均5mg/kg未満
Teterboro, NJ	78,000	0-12.2	PCE	埋土,砂,しまシルト粘土, 地下水位 0.6m	PCE: 7,230	対象汚染物質 毎に1.0	PCE: 0.056

PCB浄化事例（目標温度325℃）

現場名	処理量	処理前	処理後	発生源調査
	[m ³]	土壤中平均濃度	土壤中平均濃度	排出ガス
		[pg-TEQ/g]	[pg-TEQ/g]	[ng-TEQ/Nm ³]
GE S. Glens Falls, New York USA	12.2	5,000	< 0.8	< 3.9
ミズーリ電気 (ユニオン電気) Cape Girardeau, Missouri USA	47	20,000	< 0.033	< 16
米海軍 Vallejo, California USA	134	2,200	< 0.033	N/A
U.S. Army Corps of Engineers Tanapag, Saipan, Commonwealth of the Northern Mariana Islands	765	10,000	< 1	N/A
U.S. Navy Ferndale, California USA	405	800	< 0.17	<0.005

(Sheldon et al. 1996; Vinegar et al. 1997; Conley and Jenkins 1998; Conley and Lonie 2000; Stegemeier and Vinegar 2001)



TERRATHERM
a Cascade Company



SheGoTec
Japan Inc.

ダイオキシン浄化事例（目標温度325℃）

現場名	処理量	処理前	処理後	発生源調査
	[m ³]	土壌中平均濃度	土壌中平均濃度	排出ガス
		[pg-TEQ/g]	[pg-TEQ/g]	[ng-TEQ/Nm ³]
環境省, Yamaguchi, Japan	3.0	1,800	67.75	0.000018
南カリフォルニア エジソン電力AOC-2, Alhambra, California USA	12,615	18,000	110	0.0071
ミズーリ電気 スーパーファントサイト Cape Girardeau, Missouri USA	5.7	6,500	3.2	0.0029
元米海軍施設 Centerville Beach, Ferndale, California USA	765	3,200	7.3	0.0055

TEQ = 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-dioxin Equivalents (WHO)



TERRATHERM
a Cascade Company



SheGoTec
Japan Inc.

ご清聴有難うございました。



TERRATHERM
a Cascade Company



SheGoTec
Japan Inc.