

日立グループの土壌汚染調査・浄化事業への取り組み

Soil Diagnosis and Remediation Business of Hitachi Group

本地 章夫 Akio Honji

金子 朋子 Tomoko Kaneko

大谷津紀之 Noriyuki Ôyatsu

橋本 久儀 Hisayoshi Hashimoto

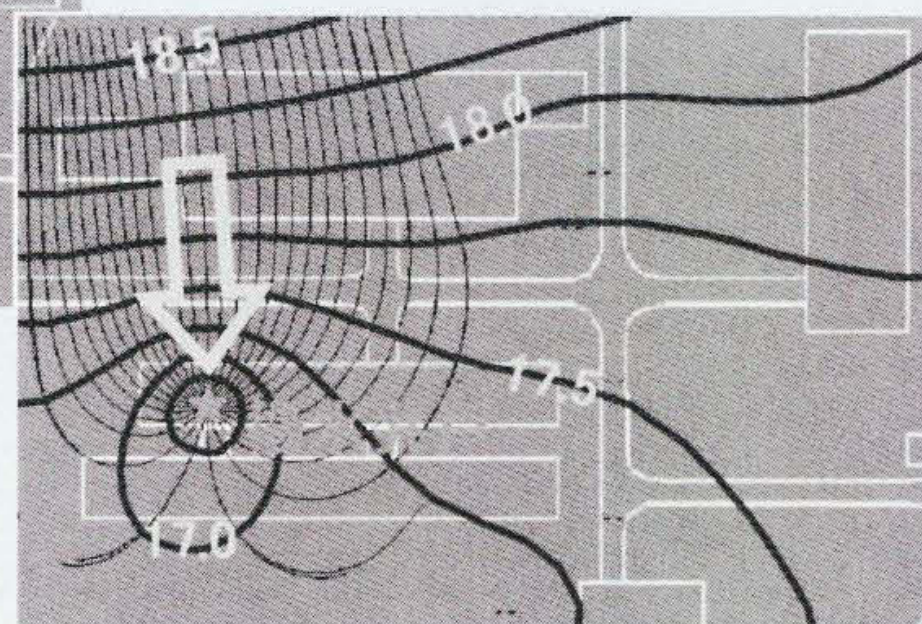
館 隆広 Takahiro Tachi

永田 利夫 Toshio Nagata

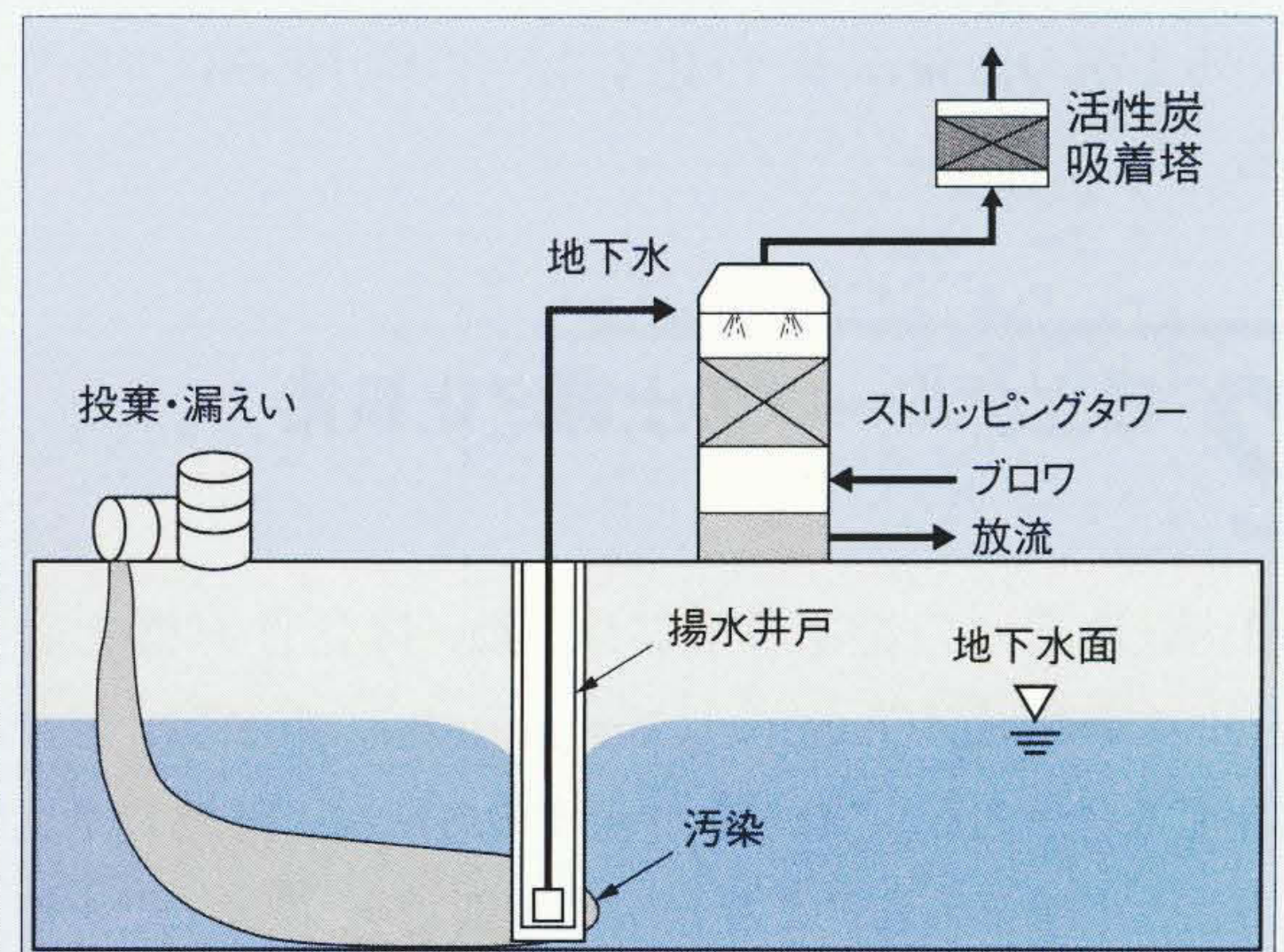
村井 行男 Yukio Murai



(a) 自然の地下水位と流れ



(b) 揚水範囲, 流れの変化予測



(c) 地下水揚水法の概要



(d) 揚水による汚染浄化予測

地下水揚水法の概要と地下水・汚染物質流動解析例

日立グループは、地下水汚染状況の把握と処理対策後のモニタリングのために、三次元差分法による地下水の流れと汚染物質の拡散予測技術を開発中である。この技術は、井戸の揚水範囲の予測や汚染浄化予測に有効である。

わが国では、有害物質で汚染された可能性のある土地を調査、浄化する費用が13兆円にも上ると推定されている。また、土壌汚染対策法により、土壌汚染が厳しく規制されようとしている。このため、日立グループは、土壌の調査・診断、シミュレーション、計画策定、浄化、アフタケアに至るまでの事業構築を目指している。

地下水汚染の拡散予測シミュレーション技術を用いれば、適切な揚水井戸の位置や揚水量を求めることが可能であり、浄化計画策定ツールとして活用できる。その結果として、処理時間の短縮と低コスト化を図る

ことができる。

浄化処理については、汚染された土壌を現地で浄化することが経済的である。日立グループは、(1) 地中に電極を差し込んで、電気を用いて重金属を原位置で除去する方法、(2) 高圧水の噴射により、深部の汚染土壌だけをばっ気処理の容易なスラリー状で排出する方法、および(3) 建設発生土の土質を現地で改良し、含まれる汚染物質を同時に除去あるいは不溶化、固化する方法を開発した。いずれも実証試験を終えており、すでに保有している技術と組み合わせて活用していく。

1 はじめに

社団法人土壤環境センターでは、有害物質で汚染された可能性のある土地を調査、浄化する費用の総額は約13兆円と試算している¹⁾。

一方、工場跡地などでの土壤汚染による国民の健康被害を防止する土壤汚染対策法が2003年1月から施行されることになった。この法律のポイントは、工場跡地を住宅地などに転用する際、土地所有者が汚染の実態調査を行い、都道府県知事に報告することが義務づけられ、汚染発覚時には汚染除去などの対策命令を受けることである。

ここでは、環境保全事業の一環として日立グループが進めている土壤の汚染調査・浄化事業への取り組みについて述べる。

2 日立グループの土壤浄化事業

土壤・地下水の汚染物質には、油、揮発性有機化合物(VOC: Volatile Organic Compounds)、重金属、難分解性物質などがある。これらを浄化する方法は、現地で浄化する方法と土壤を入れ替える方法に大別でき、薬剤などを使用した化学的処理、加熱や水洗などの物理的処理、生物を用いた処理など、多様な技術が開発されている。

浄化事業を進めるにあたっては、計画策定時に汚染物質の種類や量、汚染土壤の地質構造や汚染の履歴などを調査し、適切な浄化方法を選定することが大切である。浄化期間の短縮と浄化コストの低減を図るためには、浄化計画策定の手法を確立し、調査・診断、シミュレーション、計画策定、浄化、アフタケアに至る対応が必要となる。

日立グループは、長年培ってきた環境保全技術を基に、さまざまな土壤浄化関連技術を保有しており、多くの浄化実績を上げている。また、新たな技術開発も同時に進めている。土壤・地下水浄化対策技術と対象汚染物質、および日立グループの保有技術をまとめたものを表1に示す。

汚染浄化の成否のかぎとなる調査と浄化計画策定の手法、および日立グループの保有する最新技術について以下に述べる。

3 地下水汚染拡散の予測と防止

3.1 揮発性有機化合物による地下水汚染の特徴

主に洗浄剤として広く使われてきたテトラクロロエチレンやトリクロロエチレンなどのVOCは、揮発しやすい一方、比重が水よりも大きく、粘性が低い。そのため、土壤中を垂直方向に

表1 土壤浄化対策技術と日立グループの対応

土壤・地下水浄化対策技術と対象汚染物質、および日立グループの保有技術をまとめたものを示す。

浄化対策技術				汚染物質			日立グループの保有技術
				重金属	揮発物	農薬ほか	
土壌	封じ込め	遮断	遮断、遮水	○	○	○	実施済み
		不溶化	化学固化(セメント)	○	○	○	
	除去	除去	掘削除去	○	○	○	開発中
		洗浄	溶媒抽出	△	—	△	
	分離	気化	加熱	○	○	○	実施済み
			真空吸引	—	○	—	
		吸着	キレートほか	○	—	○	
		移動	電気泳動・浸透	○	—	—	
	分解	熱	焼却、溶融、固化	○	○	○	
		物理化学	光(紫外線)、触媒、オゾン	△	○	—	
		微生物	バイオレメディエーション	—	△	△	開発中
地下水	分離	揚水	ばっ気、吸着	—	○	—	実施済み
		物理化学	光(紫外線)、触媒、オゾン	△	○	—	
	分解	微生物	バイオレメディエーション	△	○	△	

注：○(有効)、△(有効性未確認)、—(該当せず)

深く浸透するとともに、地下水流に乗って水平方向にも大きく移動する。汚染が地下水まで到達した場合、井戸を設置し、汚染された地下水をくみ上げてVOCを回収する「地下水揚水法」が適用される事例が多い。上述したように、VOCは移動性が高いため、適切な浄化処理と二次汚染防止のためには、地下水の流れや地層構造を考慮した浄化計画が必要となる。

3.2 シミュレーションを用いた浄化計画

VOCによる地下水汚染は、地下水の流れのほか、土壤への吸着や微生物による分解などの影響を受けて時間的、空間的に進行する。

シミュレーションによる浄化計画の手順は、まず始めに、汚染サイトのボーリング調査で得られる地質情報と地下水位の測定結果から、自然状態での地下水の流れを解析する。それと同時に、採取した地下水の汚染物質濃度から現在の汚染の三次元分布を推定する。この汚染分布から汚染源の推定が可能となる。次に、井戸を設置し、揚水した場合の地下水と汚染物質の流動解析を行う。揚水位置と揚水量を変えることにより、地下水の流動状態は変化する。このため、動的シミュレーションにより、地下水の流れのコントロールが可能となる。シミュレーション結果の例を49ページの図に示す。汚染拡散シミュレーションでは、汚染物質の土壤粒子への吸脱着、微生物による分解、化学反応など、解析誤差を生む原因が多い。そのため、予測される状態と実際の浄化の進行状況とを常に照らし合わせ、必要に応じて計画を修正することが重要である(図1参照)。

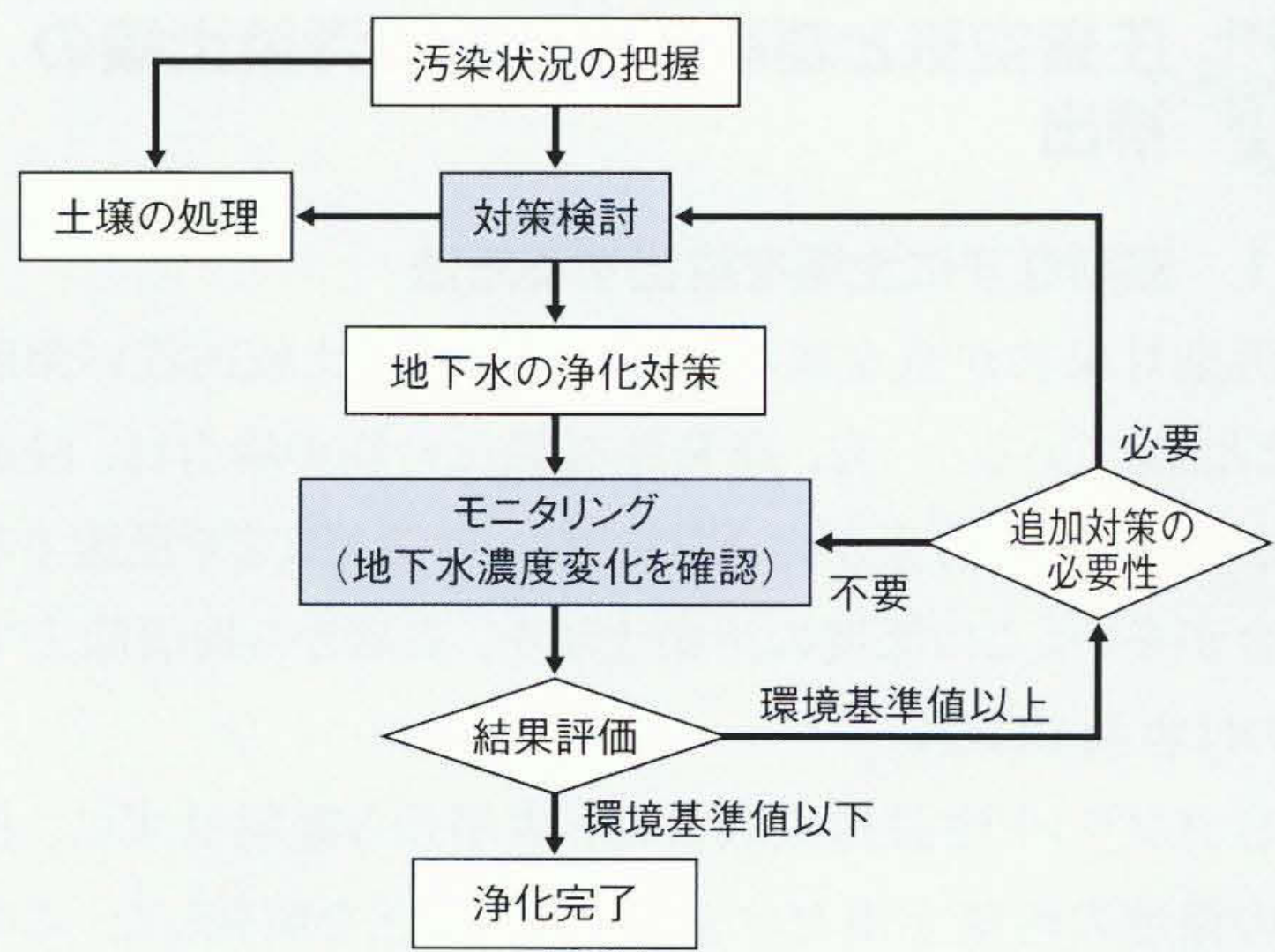
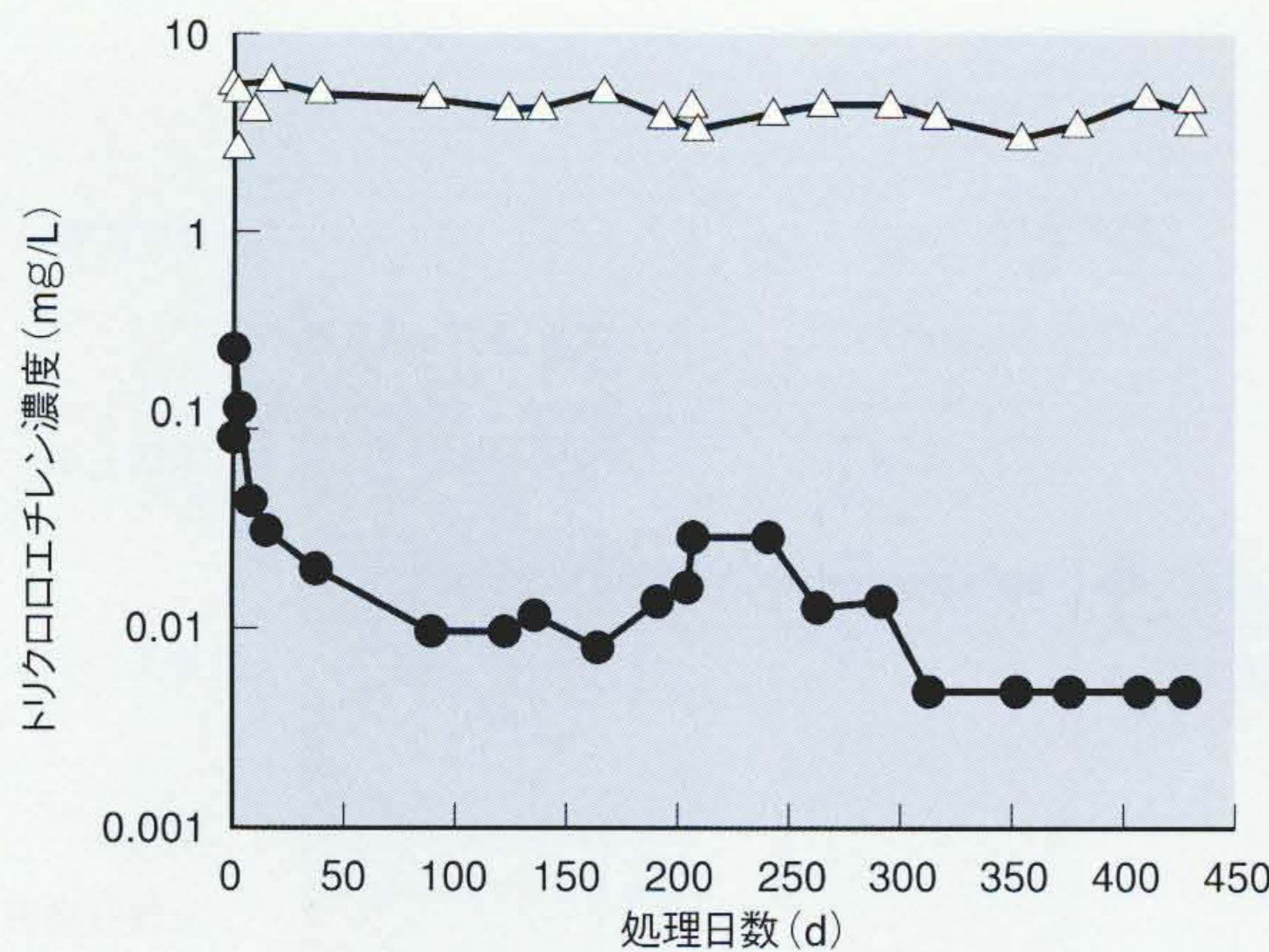


図1 地下水汚染対策のフロー
対策検討とモニタリングの工程にシミュレーションを適用することにより、計画と実際の進行状況のずれが明確になり、的確な追加対策を行うことができる。

3.3 浄化段階でのシミュレーション

一般的な地下水揚水法による浄化工事は、(1) 汚染状況の把握、(2) 揚水井戸と汚染水処理装置の設置、および (3) モニタリングの順序で進められる。

トリクロロエチレンで汚染された地下水の揚水法による浄化事例を図2に示す。同図のケース1の場所では、井戸の設置場所と揚水量が適切であり、対策によって濃度が低下し、ほぼ1年で浄化が完了している。一方、ケース2の事例のように、浄化の効果が認められない場合もある。これは、揚水量に対して汚染物質の存在量が予想以上に多いときや、調査が困難な建屋の下に汚染源があり、予測できなかった場合に多く見られる。このような場合には、再調査と対策の見直しが必要となる。再調査では、時間と費用の関係から、ボーリングなどによって汚染状況を詳細に調査するのは困難である。このような場合にも、シミュレーションを適用することで、従来よりも短時間、低コストで対策が提案できると考えられる。まず、地



注：●[ケース1(浄化完了)], △[ケース2(追加対策が必要)]

図2 地下水揚水法による浄化事例

進行中の浄化工事で追加対策が必要な場合も、シミュレーションによる経過分析と計画見直しが有効である。

層と地下水位から地下水と汚染物質の流動状態を解析し、得られた結果を浄化の経時データや現在の汚染分布と比較する。これにより、当初見逃していた汚染源や汚染物質の存在量が推定でき、それに基づいて適切な調査位置を提案することができる。

4 電気を利用した重金属の除去

4.1 重金属除去技術の原理

バブcock日立株式会社は、土壌に電極を埋設し、電氣的に土壌中の重金属を除去回収する土壌浄化技術を開発した。この技術は、水溶液を加えた汚染土壌に正極と負極の電極を差し込み、直流電流を印加した際に生ずる電気化学現象を利用して重金属を除去するものである。

土壌中の陽イオンが負極へ、陰イオンが正極へそれぞれ移動する電気泳動現象と、土壌中の水溶液が負極側に流れる電気浸透現象により、重金属イオンを水溶液とともに負極に引き寄せて吸引回収する。その際、浄化に使用する水溶液の量が少なく、電極間にかかる電圧も小さいことから、処理費用が少なく済み、かつ汚染土壌を現場で浄化できるので、重金属を含む土壌を周辺に飛散させるといった問題も最小限に抑えることができる。

4.2 土壌浄化装置の概要と重金属除去特性

バブcock日立株式会社が開発した土壌浄化装置の概要を図3に示す。汚染土壌に対して約20 wt%の水溶液を加え、電極を差し込んで、正極側には給水管を、負極側には揚水管をそれぞれ設置し、土壌に電気を流す。これにより、重金属を含む水溶液は負極に移動し、揚水管から吸引される。吸引した水溶液は、凝集沈殿槽で重金属が回収され、重金属を除かれた水溶液は給水管を通して再び土壌に供給される。この操作を繰り返すことにより、汚染土壌から重金属を除去する。

これまでに、硝酸カドミウムと硝酸鉛を用い、カドミウム(Cd)と鉛(Pb)の土壌に対する含有量が、それぞれ50 mg/kgと500 mg/kgになるように混入した模擬汚染土壌で、このシステムの実証試験を実施した。この試験では、約4 tの土壌を入れた処理槽に、正極と負極をそれぞれ2本ずつ埋設して並列で電場をかけ、正極と負極の電極間距離を1 mとし、電圧値を30 V(定電圧)とした。また、水の電気分解によって負極近傍はアルカリ性になり、重金属が水酸化物として沈殿することを防止するため、負極側から酸溶液を供給し、揚水のpH値を調整した。この結果、揚水中に含まれる重金属イオンを分析して回収量を算出したところ、土壌の吸着状況や物質によって除去速度は異なるが、時間的にほぼ比例して除去され、試験開始から約1か月経過した時点で、Cdを約70

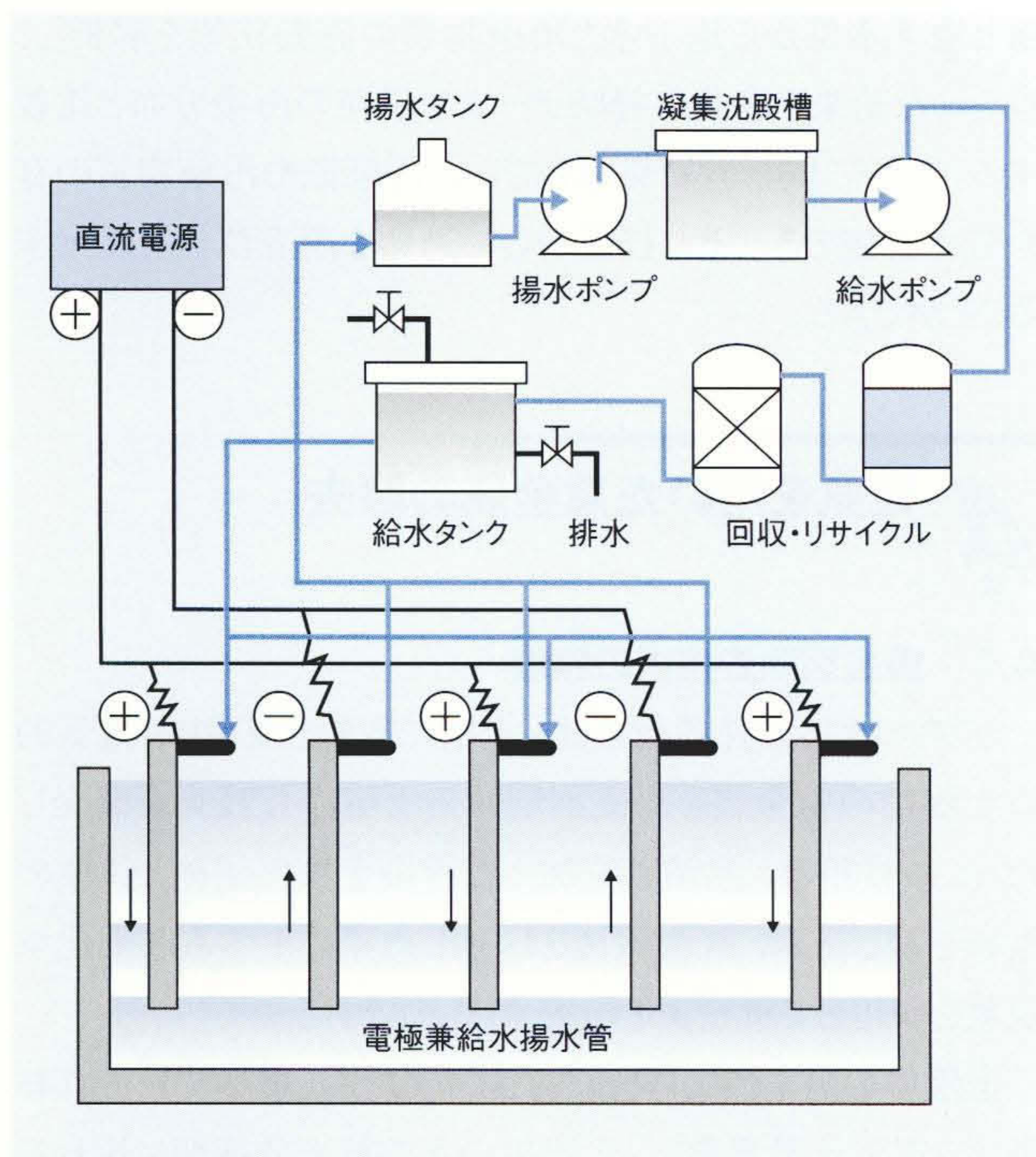


図3 土壌浄化装置の概要

重金属に汚染された土壌に電極を埋設して電気を流し、重金属を含む揚水を陰極側から回収し、処理した後、陽極側から給水する。

wt%, Pbを約40 wt%回収することができた(図4参照)。

さらに、土壌酸性化の促進と電場印加方法のくふうによって重金属除去速度の高速化を図り、1か月の処理で80 wt%以上の重金属〔上記Cd, Pb以外、セレン(Se), 水銀(Hg)も含む〕が除去できることを基礎試験で確認した。また、現在、九州大学農学部および静岡大学工学部と共同で、この処理促進技術の開発を推進しているほか、実際のCd汚染土壌を用いた浄化試験にも取り組んでおり、この分野でのビジネス展開を計画中である。

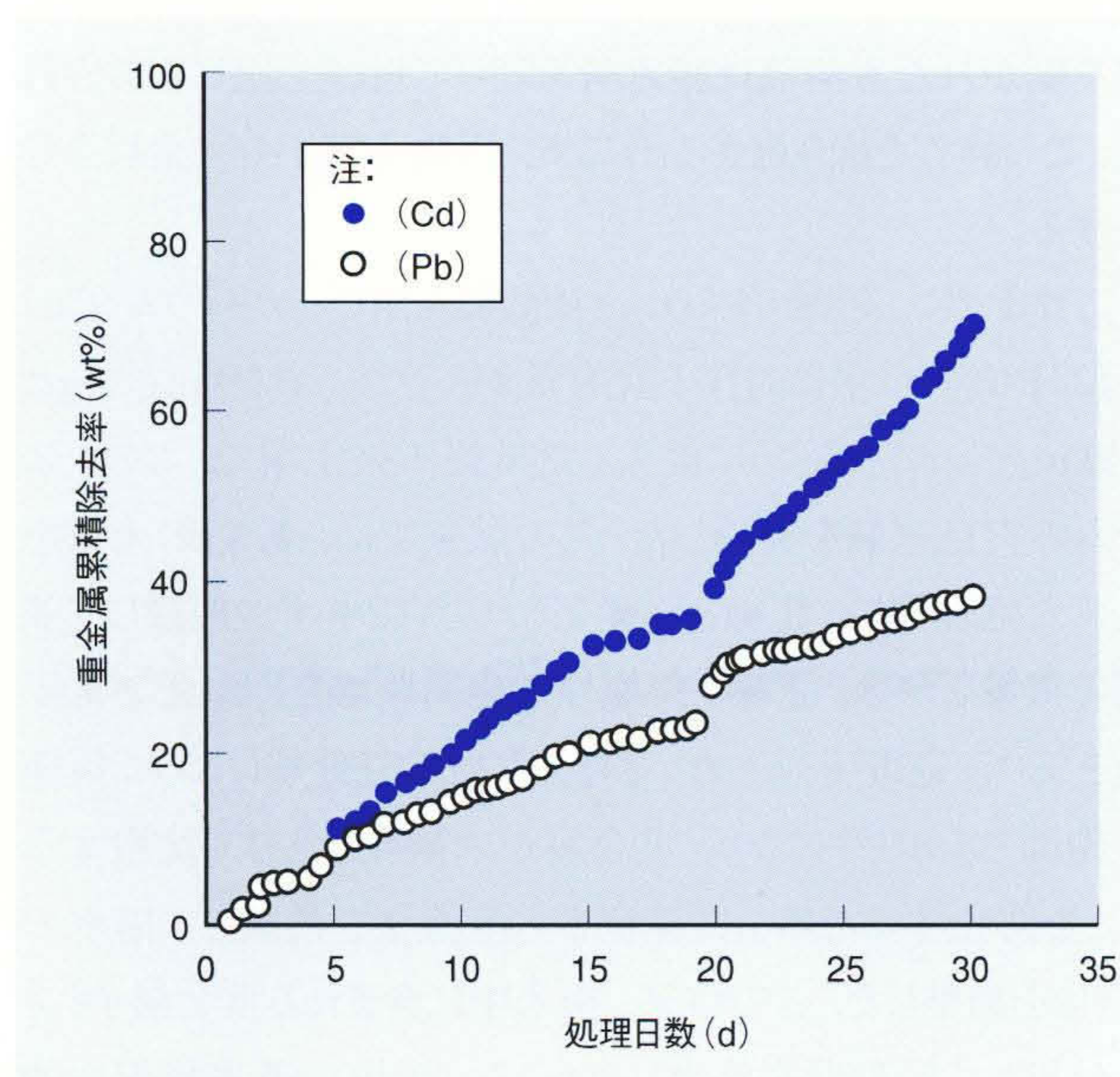


図4 実証試験によるCdとPbの除去特性

模擬汚染土壌を用いた実証試験での処理日数に対する重金属(CdとPb)の累積除去率の変化を示す。

5 圧縮空気と超高压水による汚染土壌の排出

5.1 掘削せずに土壌を排出する方法

汚染対象物が重金属の場合は、汚染が比較的浅い深度にとどまっている。一方、揮発性有機化合物の場合は、浸透性が強いので、汚染が地下10～20 mの深部にまで浸透するケースが多い。この深度の汚染土壌を、表層から掘削除去するのは容易ではない。

日立プラント建設株式会社は、表層から掘削せずに、任意の深度の汚染土壌だけを排出する方法を開発した。この技術について以下に述べる。

5.2 原理

汚染土壌中に圧縮空気・超高压水を噴射してスラリー化し、置換剤と入れ替えることにより、スラリー化した土壌を地上に排出する。その手順は以下のとおりである(図5参照)。

- (1) 専用ロッドから圧縮空気と超高压水を下方に噴射させながら、所定の深度まで削孔する。
- (2) 所定の深度に達したら噴射を水平方向に変更し、専用ロッドを回転させながら上方に引き上げることで、地中の土壌を円柱状にスラリー化させる。
- (3) セメント系硬化剤を噴射し、スラリー化した土壌を硬化剤で置換し、土壌を地上に排出する。硬化剤は地中で硬化し、円柱状の固結体となる。

5.3 土壌浄化への適用

この方法は、粘土層など難透水性土壌の浄化に適している。以前は、粘土層など難透水性土壌に汚染は浸透しないと考えられていた。しかし、現実には、これら地層にも汚染が浸透していることが多い。

このような粘度質の地層が汚染されている場合、ガス吸引

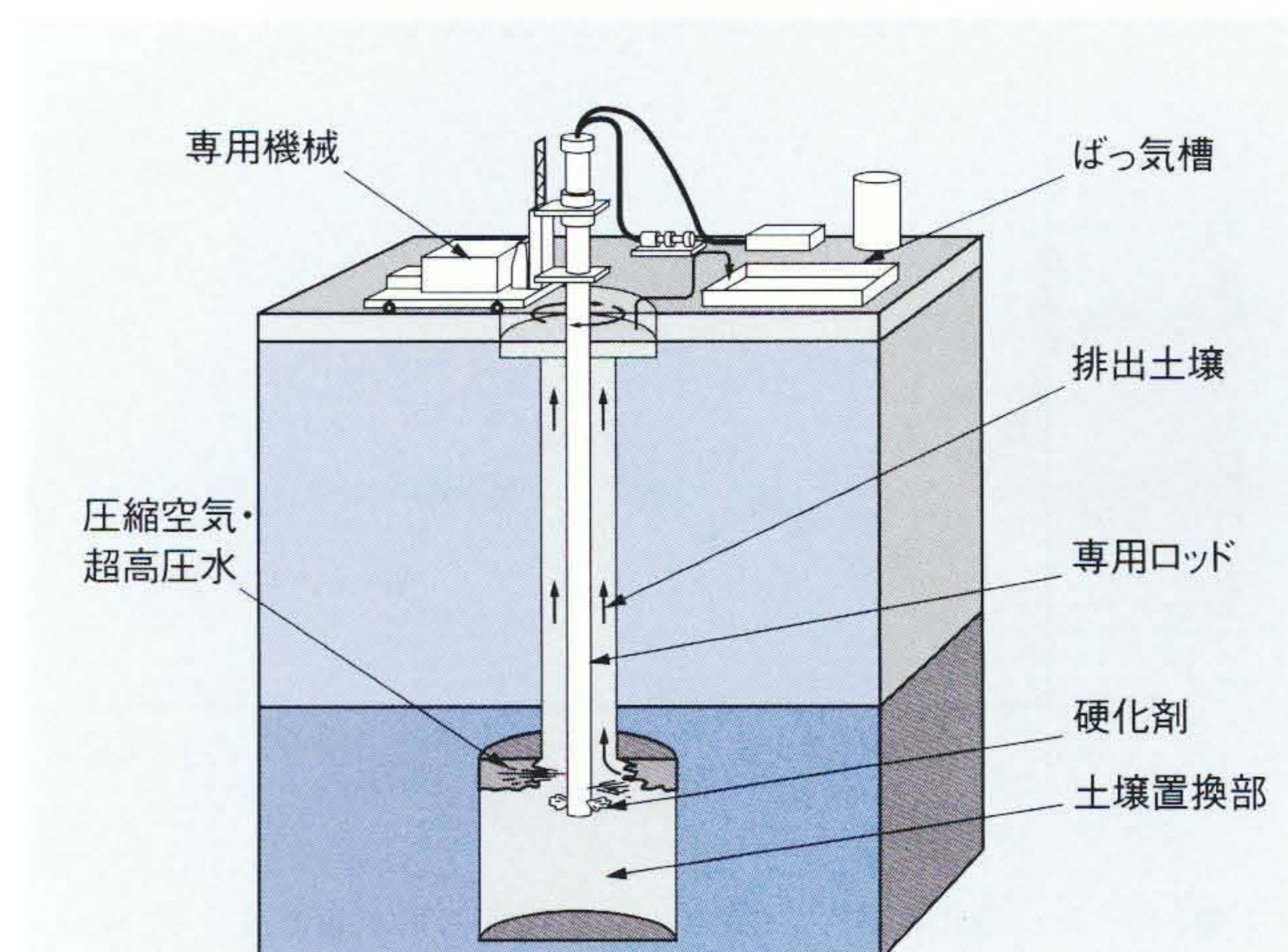


図5 圧縮空気と超高压水による汚染土壌の排出原理

任意の深度の汚染土壌だけが排出される。

表2 土壌置換法の比較

高圧水噴射法は、掘削法に比べて取扱土量が少なく、ばっ気処理が容易である。

項 目	高圧水噴射法	掘 削 法
(1) 取扱土量	汚染部だけを置換するので、少ない。	表層から掘削するため、多い。
(2) 汚染土壌の処理	スラリー状であるためばっ気しやすく、処理時間が短い。	大型設備が必要で、時間がかかる。
(3) 局所的な高濃度汚染	高濃度部分だけを置換できるので、適している。	掘削中に、周囲に汚染が拡散するおそれがある。
(4) 再汚染の危険性	不透水性の固結体で置換するので、残存汚染が周囲に拡散しない。	汚染が残存していると、周囲に拡散するおそれがある。

や揚水などの方法では、浄化は不可能である。また、汚染されている難透水性土壌が未浄化のままで、ローム層や砂れき層だけを完全に浄化することは困難である。浄化作業によって汚染が低濃度域になったときに浄化が鈍化するの、未浄化の難透水性土壌から少量ずつ汚染物質が流出するからである。したがって、粘土層などの難透水性土壌を短期間で浄化するには、土壌置換法が適している。

土壌置換法として、高圧水噴射法と掘削法の比較を表2に示す。高圧水噴射法では、掘削法に比べて取扱土量が少なく、ばっ気処理が容易である。すなわち、高圧水噴射法を用いた土壌置換では、短期間に浄化することができる。

6 建設発生土のリサイクル

6.1 土質改良への取り組み

日立建機株式会社は、1999年7月に土質改良機“SR-P1200”を発売し、土質改良の分野に進出した。主要機器構成を図6に示す。混合性能に優れた2軸パドルミキサと土量を直接計測するコンベヤスケールの採用により、固化材と土砂を高精度に混合できる構成としている。

この土質改良機は混合性能が評価され²⁾、発生土のリサイクルプラント、道路の路盤・路床材製造装置、脱水ケーキ処理装置などとして広く用いられてきた。

6.2 汚染土壌処理への適用

土質改良機は、高い混合性能と高速大量処理能力により、土壌汚染対策にも活用され、2001年度末までに施工した現場は9か所、対策土量は9万m³に達している。

掘削作業を伴う土壌汚染対策作業の代表的な例として、揮発性有機化合物(VOC)に対するホットソイル工法(株式会社片山化学工業研究所の工法特許。ホットソイルは同社の登録商標)と、重金属に対する不溶化・固化処理工法がある。

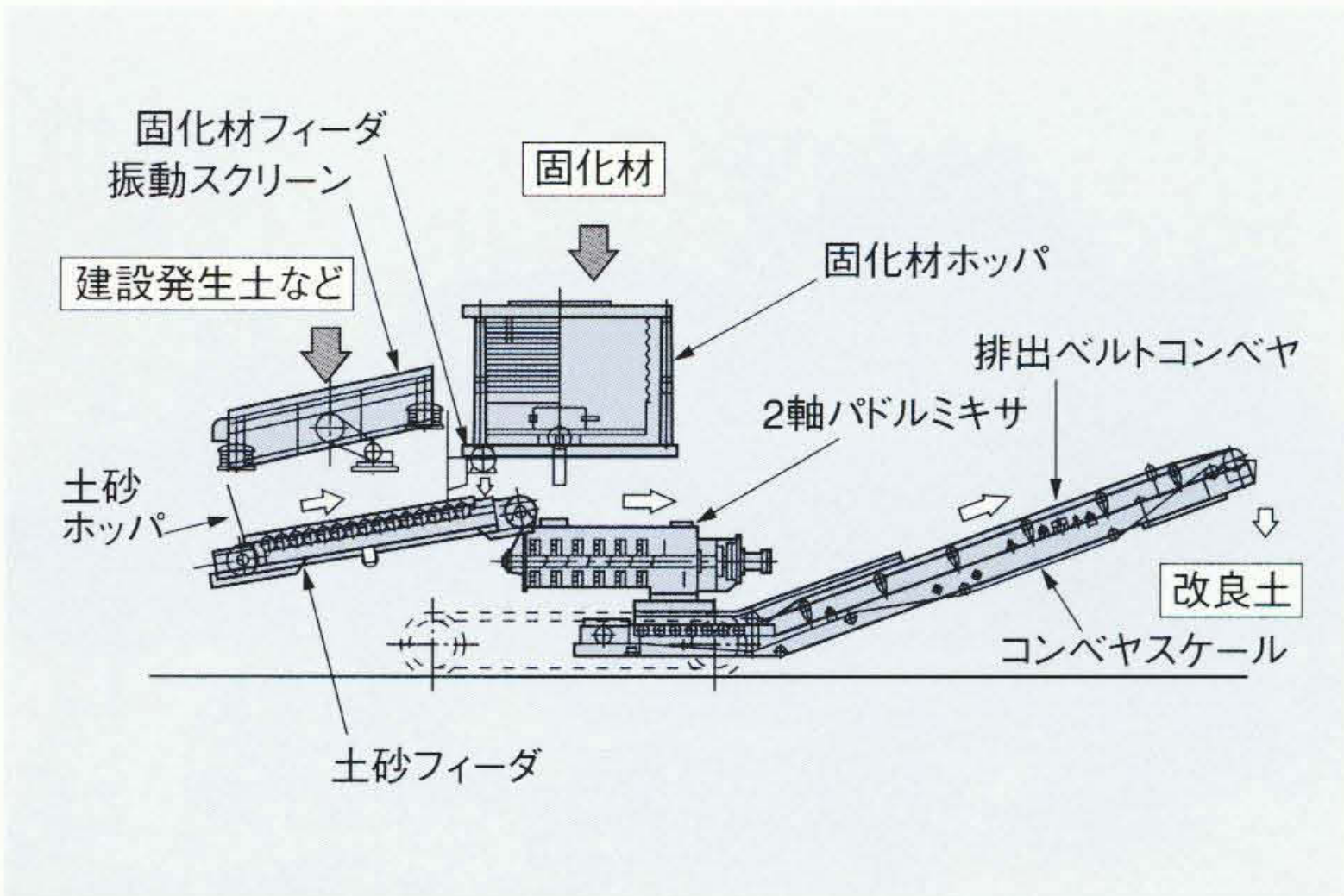


図6 土質改良機の主要機器構成

混合性能の優れた2軸パドルミキサと土量を直接計測するコンベヤスケールを採用することにより、固化材と土砂を高精度に混合することができる。

ホットソイル工法の模式図を図7に示す。この工法は、VOCで汚染された土壌に生石灰を添加し、反応熱でVOCを蒸発させ浄化する方法である。VOCの蒸発以外は、前節の土質改良工法と同じである。

これらの処理方式への土質改良機の有用性を確認するため、六価クロムとトリクロロエチレンで汚染された土壌数トンを実験的に作製し、これらの浄化処理と不溶化処理を実規模レベルで行った。六価クロムの不溶化処理に適用した土質改良機の外観を図8に、この汚染土壌を処理した結果を表3にそれぞれ示す。

ホットソイル工法では、混合時に10 wt%の生石灰を添加している。また、混合処理の前に汚染土壌の細粒化処理を行い、浄化効率を上げるくふうをしている。これにより、短時間にトリクロロエチレンの浄化が可能である。いずれの汚染土壌も、土質改良機での連続処理により、環境基準値以下になっている。

上述した土質改良機を基にした汚染土壌処理方式は、現場で、安全、確実に処理ができることから、VOCや重金属だけでなく、今後は油の処理への適用も期待できる。

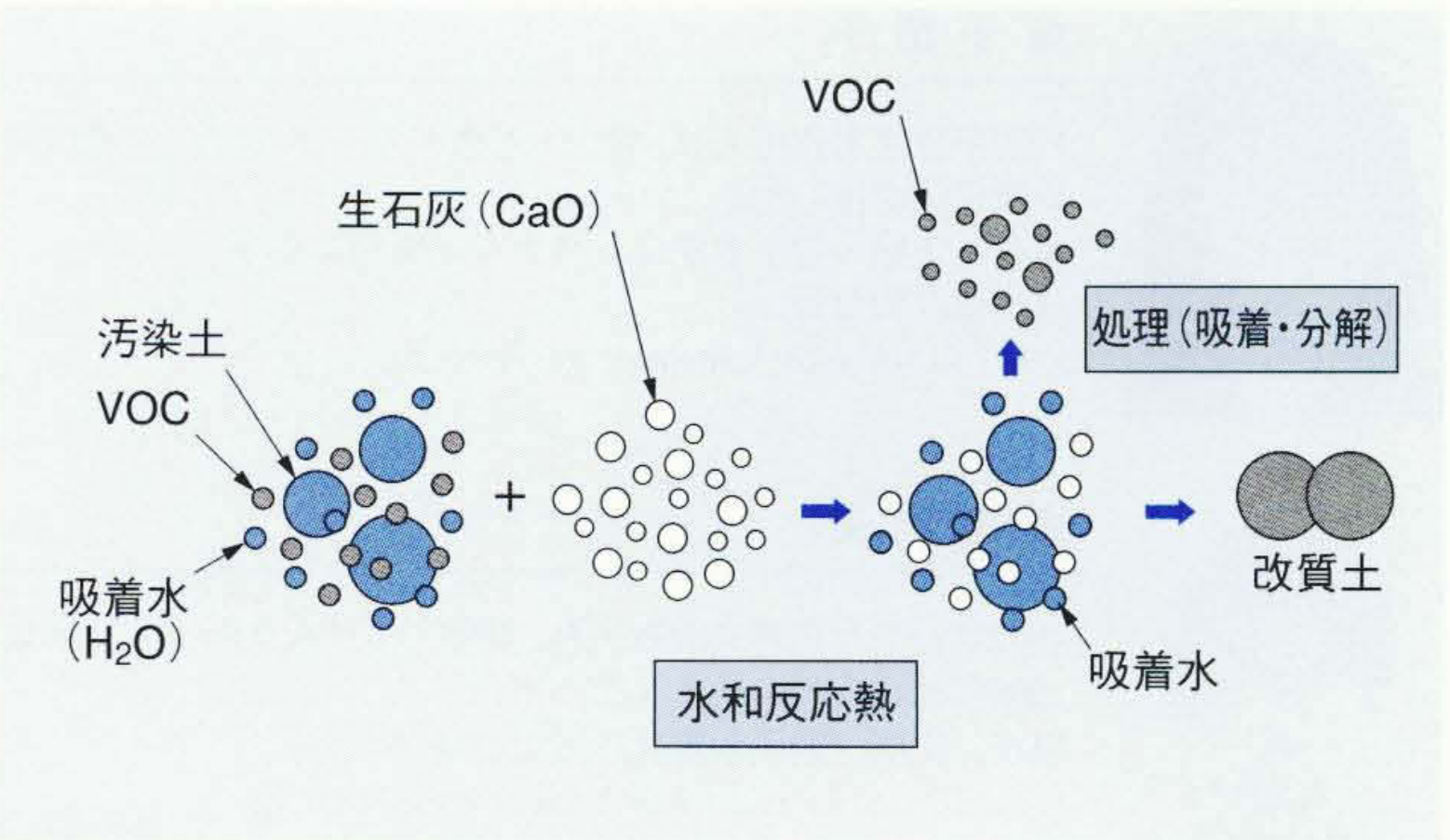


図7 ホットソイル工法の模式図

VOCで汚染された土壌に生石灰を添加し、反応熱でVOCを蒸発させて浄化する。



図8 不溶化処理に用いた土質改良機の外観

中央に見える円筒状の容器が固化材ホップ、右側が薬液供給用タンクで、左側の土砂フィーダで汚染土壌を送る。

表3 土質改良機を用いた処理結果

10 wt%の生石灰を添加する前に汚染土壌の細粒化処理を行い、浄化効率を上げている。

物質名	処理方式	溶出量 (mg/L)		
		処理前	処理後	基準値
六価クロム	不溶化、固化	0.28	<0.01 (直後)	0.05
トリクロロエチレン	ホットソイル工法	1.07	0.02 (20 min)	0.03

注：カッコ内はサンプル取得時期を示す。

7 おわりに

ここでは、日立グループの土壌浄化に対する取り組みについて述べた。

今後は、さらに高い信頼性と経済性を持つ新しい技術についても開発を進め、土壌浄化を通じて社会に貢献していく考えである。

参考文献

- 1) 社団法人土壌環境センター：我が国における土壌汚染対策費用の推定 (2000.7)
- 2) 高橋，外：掘削土砂リサイクル処理機械内土砂挙動解析用シミュレータの開発に関する基礎研究，資源と素材，116，502～508 (2000)

執筆者紹介



本地章夫

1980年日立製作所入社，電力・電機グループ 電力・電機開発研究所 第四部 所属
現在，環境化学システムの開発に従事
工学博士
日本化学会会員，触媒学会会員，電気化学会会員
E-mail: akio_honji @ pis. hitachi. co. jp



館 隆 広

1984年日立製作所入社，電力・電機グループ 社会システム事業部 環境システム本部 所属
現在，環境システム関連業務に従事
触媒学会会員，日本エネルギー学会会員
E-mail: takahiro_tachi @ pis. hitachi. co. jp



金子 朋 子

1992年日立製作所入社，電力・電機グループ 電力・電機開発研究所 第四部 所属
現在，土壌・地下水浄化システムの開発に従事
日本化学会会員
E-mail: tomoko_kaneko @ pis. hitachi. co. jp



永 田 利 夫

1992年日立金属株式会社入社，環境システムカンパニー 所属
1999年株式会社ハイメックへ出向
現在，土壌・地下水浄化の設計に従事
E-mail: toshio_nagata @ hitachi-metals. co. jp



大谷津紀之

1978年バブコック日立株式会社入社，呉研究所 環境研究部 所属
現在，廃棄物の焼却と非燃焼技術，土壌浄化技術の研究・開発に従事
日本機械学会会員
E-mail: ohyatsu-n @ arl. bhk. co. jp



村 井 行 男

1972年日立プラント建設株式会社入社，環境装置事業部 産業装置部 所属
現在，土壌・地下水浄化システムの事業推進に従事
E-mail: y-murai @ hitachiplant. co. jp



橋 本 久 儀

1979年日立建機株式会社入社，環境システム事業部 ジオビジネスプロジェクト 所属
現在，土質改良機による土壌処理技術の開発に従事
工学博士
日本機械学会会員
E-mail: hashimoto79 @ hitachi-kenki. co. jp