

第8章 地質汚染

昭和62年3月、内箕輪地区の民家の井戸水から有機塩素化合物のトリクロロエチレンが検出された。調査の結果、原因者は半導体部品の製造工場であることを特定した。

平成元年には、久留里市場地区の時計部品工場を原因としたトリクロロエチレンによる地下水汚染を確認した。

また、八重原及び外箕輪地区では、ドライクリーニングで使用されたテトラクロロエチレンによる地下水汚染も確認した。

市では、各事業者と連携して汚染浄化のための取り組みを行い、現在も水質調査を継続している。

国は、飲料水の水質保全の観点から、平成元年4月に「化学物質の審査及び製造等に関する法律」でトリクロロエチレン等を有害物質として定め、使用や廃棄などの適正化を図った。さらに、水道水の水質基準、土壌の汚染に係る環境基準、水質汚濁に係る環境基準、地下水の水質汚濁に係る環境基準などが定められた。

千葉県は、トリクロロエチレン等による地下水汚染の防止を図るため、平成元年に「地下水汚染防止対策指導要綱」を制定した。当初は、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエタン、四塩化炭素の4物質を対象としたが、平成9年には、ジクロロメタン、1,2-ジクロロエタン、1,1,2-トリクロロエタン、1,1-ジクロロエチレン、シス-1,2-ジクロロエチレンの5物質が追加された。その後、水質汚濁防止法の改正や土壌汚染対策法の制定など地質汚染対策に必要な法整備が進んだことから、同指導要綱は平成19年度末をもって廃止された。

さらに、県では平成20年7月に「千葉県地質汚染防止対策ガイドライン」を制定し、重金属や揮発性有機化合物等の28物質による地質汚染の未

然防止対策や汚染時の対応等、事業者が自主的に取り組む際の具体的な方法を定めた。

第1節 揮発性有機塩素化合物による地質汚染

大地は、固体、液体、気体からなる地質体で構成される。固体では、礫、砂、泥などの粒子があり、天然ではそれらが集まって、礫層、砂層、粘土層といった地層となる。また、地層には廃棄物最終処分場や埋立て造成など、特定の目的をもって造りだされた固体廃棄物層や埋土層などの人工地層もある。

一方、それらの地層間隙には、地下水、ガスかん水、石油などの天然の液体が存在するが、使用済みの廃油や廃液など、人為的な液体が浸入して貯留されることもある。

地層間隙が水で飽和すると、透水層や難透水層が形成され、最上部には地下水面が現われる。それより上位の部分では水と空気が共存し、ここを通気帯と呼んでいる。

トリクロロエチレン等の漏洩などにより、汚染物質が地下浸透した場合、地層構成物質に結合、吸着するほか、地層間隙や割れ目へ貯留することがある。また、微生物が関与する脱ハロゲン分解過程で、よりリスクの高い物質へ変態する。これらを総称して地層汚染と呼ぶ。

次に、汚染物質が地質圏を循環する地下水に溶解、懸濁した場合を地下水汚染と呼ぶ。汚染地下水の移動、拡散は、水文地質構造のほか井戸の揚水などによっても影響を受ける。汚染物質がトリクロロエチレンなどのように揮発性を有する場合は、汚染物質、地層汚染物質、地下水汚染物質の三者から、通気帯や空洞へ気化して地下空気汚染を伴う。このような、地下水汚染、地層汚染、地下空気汚染の三者を総称して地質汚染と呼ぶ。地

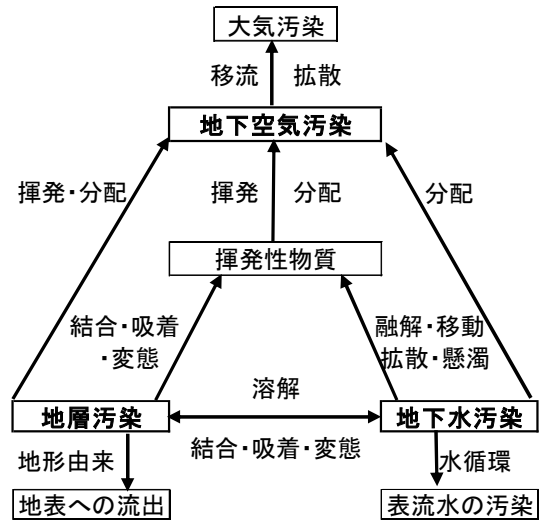
質汚染の仕組みを図 8-1 に、地質汚染の概念図を図 8-2 に示す。

地質汚染の現場では、地下空気の移流や発散によって汚染物質が大気中へ移行するほか、水循環で河川や湖沼などの表流水汚染に連動するなど、しばしば「クロスメディアの汚染」を引き起こす。

地下水の汚染を考えるうえで重視しなければならないのは、地層汚染、地下水汚染、地下空気汚染といった個々の地質汚染の実態である。

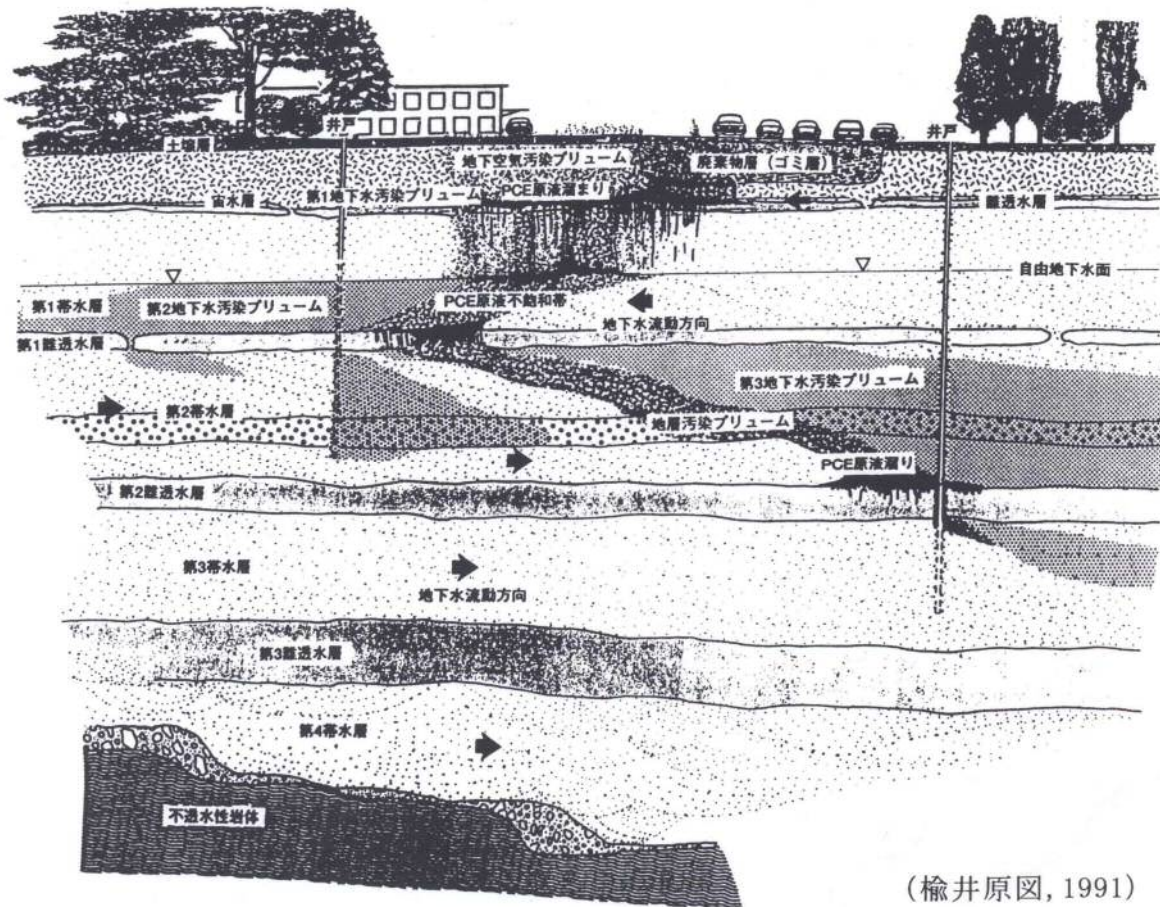
土壌の汚染に係る環境基準を表 8-1 に、地下水の水質汚濁に係る環境基準を表 8-2 に示す。

(図 8-1) 地質汚染の仕組み



(鈴木ほか 1992)

(図 8-2) 地質汚染の概念図



(楡井原図, 1991)

(表 8-1) 土壌の汚染に係る環境基準

項 目	基 準 値
1 カドミウム	検液 1ℓ につき 0.01 mg以下であり、かつ、農用地においては、米 1 kgにつき 0.4 mg以下であること。
2 全シアン	検液中に検出されないこと。
3 有機燐	検液中に検出されないこと。
4 鉛	検液 1ℓ につき 0.01 mg以下であること。
5 六価クロム	検液 1ℓ につき 0.05 mg以下であること。
6 砒素	検液 1ℓ につき 0.01 mg以下であり、かつ、農用地(田に限る。)においては、土壌 1 kgにつき 15 mg未満であること。
7 総水銀	検液 1ℓ につき 0.0005 mg以下であること。
8 アルキル水銀	検液中に検出されないこと。
9 PCB	検液中に検出されないこと。
10 銅	農用地(田に限る。)において、土壌 1 kgにつき 125 mg未満であること。
11 ジクロロメタン	検液 1ℓ につき 0.02 mg以下であること。
12 四塩化炭素	検液 1ℓ につき 0.002 mg以下であること。
13 1,2-ジクロロエタン	検液 1ℓ につき 0.004 mg以下であること。
14 1,1-ジクロロエチレン	検液 1ℓ につき 0.1 mg以下であること。
15 シス-1,2-ジクロロエチレン	検液 1ℓ につき 0.04 mg以下であること。
16 1,1,1-トリクロロエタン	検液 1ℓ につき 1 mg以下であること。
17 1,1,2-トリクロロエタン	検液 1ℓ につき 0.006 mg以下であること。
18 トリクロロエチレン	検液 1ℓ につき 0.03 mg以下であること。
19 テトラクロロエチレン	検液 1ℓ につき 0.01 mg以下であること。
20 1,3-ジクロロプロペン	検液 1ℓ につき 0.002 mg以下であること。
21 チウラム	検液 1ℓ につき 0.006 mg以下であること。
22 シマジン	検液 1ℓ につき 0.003 mg以下であること。
23 チオベンカルブ	検液 1ℓ につき 0.02 mg以下であること。
24 ベンゼン	検液 1ℓ につき 0.01 mg以下であること。
25 セレン	検液 1ℓ につき 0.01 mg以下であること。
26 ふっ素	検液 1ℓ につき 0.8 mg以下であること。
27 ほう素	検液 1ℓ につき 1 mg以下であること。

(表 8-2) 地下水の水質汚濁に係る環境基準

項 目	基 準 値
1 カドミウム	0.003 mg/ℓ 以下
2 全シアン	検出されないこと
3 鉛	0.01 mg/ℓ 以下
4 六価クロム	0.05 mg/ℓ 以下
5 砒素	0.01 mg/ℓ 以下
6 総水銀	0.0005 mg/ℓ 以下
7 アルキル水銀	検出されないこと
8 PCB	検出されないこと
9 ジクロロメタン	0.02 mg/ℓ 以下
10 四塩化炭素	0.002 mg/ℓ 以下
11 塩化ビニルモノマー	0.002 mg/ℓ 以下
12 1,2-ジクロロエタン	0.004 mg/ℓ 以下
13 1,1-ジクロロエチレン	0.1 mg/ℓ 以下
14 1,2-ジクロロエチレン	0.04 mg/ℓ 以下
15 1,1,1-トリクロロエタン	1 mg/ℓ 以下
16 1,1,2-トリクロロエタン	0.006 mg/ℓ 以下
17 トリクロロエチレン	0.01 mg/ℓ 以下
18 テトラクロロエチレン	0.01 mg/ℓ 以下
19 1,3-ジクロロプロペン	0.002 mg/ℓ 以下
20 チウラム	0.006 mg/ℓ 以下
21 シマジン	0.003 mg/ℓ 以下
22 チオベンカルブ	0.02 mg/ℓ 以下
23 ベンゼン	0.01 mg/ℓ 以下
24 セレン	0.01 mg/ℓ 以下
25 硝酸性窒素及び 亜硝酸性窒素	10 mg/ℓ 以下
26 ふっ素	0.8 mg/ℓ 以下
27 ほう素	1 mg/ℓ 以下
28 1,4-ジオキサン	0.05 mg/ℓ 以下

第2節 君津市の地質汚染問題

1 内箕輪地区

昭和62年3月にトリクロロエチレンによる地下水汚染が確認された内箕輪地区では、井戸水利用者の健康被害の防止を図るための緊急対策として、木更津保健所と合同で飲用指導を行った。

また、昭和63年4月には地質汚染問題に対する調査、対策、監視及び未然防止を網羅する総合的な取組みを規定した「内箕輪地区地下水汚染対策基本計画」を策定し対策にあたってきた。

内箕輪地区における地下の地質区分を行い、その中の水や空気の流れを明らかにするとともに、地質区分に沿った汚染物質の分布を調べることで、汚染の原因や範囲などのメカニズムを解明し、地下水を甦らせるための対策が講じられた。

地質ボーリングを主体とした地下水汚染機構解明調査は、昭和63年8月から行った。実施した調査は表8-3のとおりで、各調査地点を結ぶ包絡線の内側の面積は約53haである。

調査の結果は、平成元年1月に「地下水汚染機構調査第1次報告書」、同年4月に「地下水汚染機構調査第2次報告書」としてまとめ、汚染機構解明調査報告書として公表した。

また、平成5年3月には、汚染浄化の具体策や到達点などについて「地質汚染浄化対策第1次報告書」としてまとめ公表した。

図8-3は、調査で明らかになった内箕輪地区の地質の断面図の一例である。工場敷地内から浸透したトリクロロエチレンが、市街地へ移動拡散していく過程を示す。

また、内箕輪地区で実施した浄化対策を表8-4に示す。工場内における汚染物質の地下浸透部位のうち、最も高濃度な箇所については、平成元年7月から12月にかけて汚染地層の掘削除去（約2,700 m³）が行われた。その際、汚染物質の流出

防止策として、鋼矢板による締切り措置を講じた。掘削された汚染地層は、廃棄物処分場に持ち込むことなく、工場内で無害化处理したのち、元の位置に埋め戻した。この場所では、集水ますや三連曝気装置なども設置した。その他の浸透部位では、地下空気汚染吸引法によってトリクロロエチレンの回収を行った。

次に、敷地境界付近に設けた複数の井戸群から揚水して汚染物質や汚染地下水を地下から強制排出し、結果的に工場内から市街地への汚染物質の移動拡散を防止する「バリア井戸システム」という技術を施した。このシステムは、平成元年5月から試験運転を行い、同年11月からは本稼働に移り、現在も継続して行っている。

さらに、市街地の帯水層に拡散した汚染物質の低減を促進させるため、内みのわ運動公園と久保浄水場の2か所において、揚水、曝気処理が行われている。

このように、工場内の汚染の除去、工場からの汚染物質の移動拡散防止、市街地での汚染対策などにより地下水汚染の浄化が図られており、土壌の汚染に係る環境基準や地下水の水質汚濁に係る環境基準の達成という目標に向かって浄化が継続されている。

地下水中のトリクロロエチレン濃度の推移は表8-5に示すとおりで、当初に比べ大幅に改善されている。

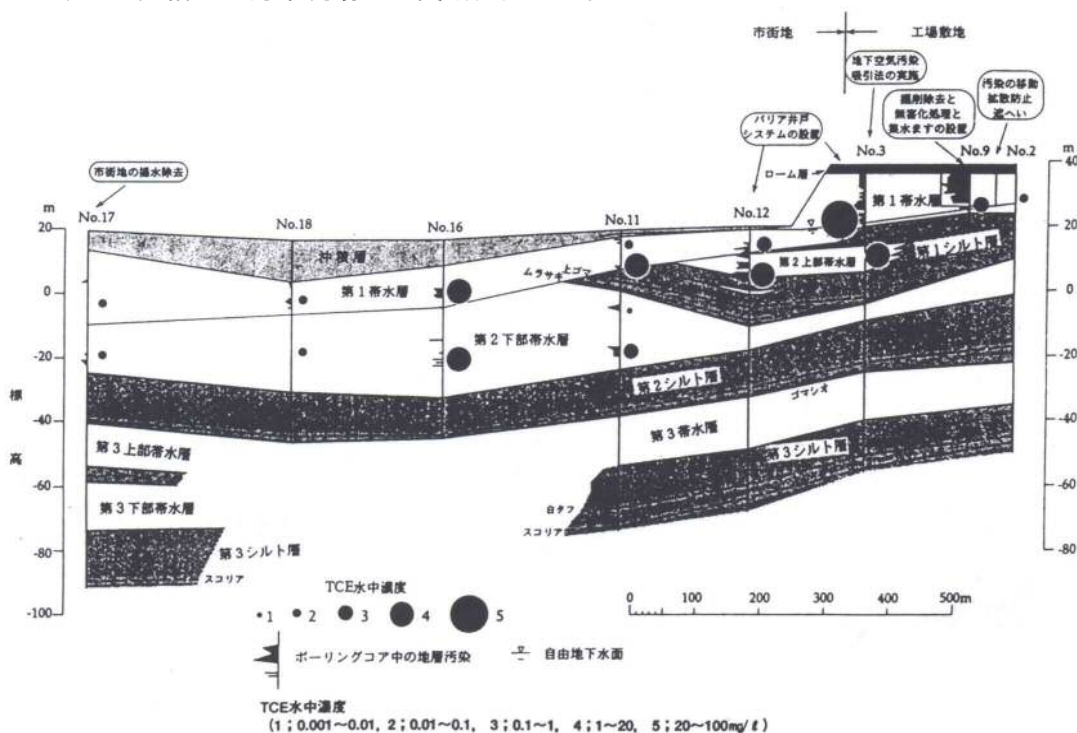
しかしながら、平成22年8月にトリクロロエチレンの分解生成物である1,2-ジクロロエチレンの調査を行ったところ、観測井2か所、曝気処理装置2か所から環境基準値を超過する値が検出された。

このため、新たな汚染浄化対策の検討に向け、1,2-ジクロロエチレン、塩化ビニルモノマーについても分析項目に加え水質調査等を実施している。

(表 8-3) 地質ボーリング調査等の実施状況

調査の対象	調査地点数	ボーリング数	掘削延長[m]	観測井数
工場敷地内	9	17	724.50	33
市街地	9	9	782.80	33
バリア井戸適地	8	8	313.85	11
合計	26	34	1,821.15	77

(図 8-3) 内箕輪地区汚染現場の地質断面図の一例



(表 8-4) 内箕輪地区汚染現場の浄化対策

対象	浄化対策の概要	地下水汚染	地層汚染	地下空気汚染
汚染原因箇所	鋼矢板による締切り	◎	○	
	汚染地層の掘削除去		◎	
	汚染地層の無害化処理		◎	
	地下空気汚染吸引法		◎	◎
	集水ますの揚水による強制排出	◎	○	
	三連曝気塔による宙水処理	◎	○	
敷地境界	バリア井戸システムによる汚染物質の移動拡散防止と強制排出	◎		
市街地	市街地の揚水排出と爆気処理	◎		

備考 ◎は最適、○は適を意味する。

(表 8-5) 内箕輪地区汚染現場におけるトリクロロエチレンの濃度推移 (単位: mg/ℓ)

	運 動 公 園 (市水旧 20 号井)	市 水 道 水 源 (市水 3 号井)	工場敷地内集水 ます (9-4a)	バ リ ア 井 戸 (13-C)
H 1. 12	2. 0	0. 036	112	132
H 3. 12	0. 86	0. 074	1. 1	3. 4
H 5. 12	0. 40	0. 024	0. 24	3. 6
H 7. 12	0. 25	0. 025	0. 086	0. 12
H 9. 12	0. 19	0. 034	0. 077	0. 62
H11. 12	0. 17	0. 049	0. 069	0. 82
H13. 12	0. 15	0. 073	0. 091	2. 0
H15. 12	0. 13	0. 073	0. 057	3. 7
H17. 12	0. 096	0. 050	0. 026	2. 6
H19. 12	0. 037	0. 033	0. 013	0. 35
H21. 12	0. 019	0. 015	0. 009	0. 17
H23. 11	0. 016	0. 010	0. 013	0. 11
H25. 10	0. 011	0. 007	0. 006	1. 1
H26. 10	0. 008	0. 006	0. 006	1. 2

2 久留里市場地区

久留里市場地区の汚染は、時計部品等の旋盤加工工場が有機塩素系溶剤を不適正に使用して地下水や地層を汚染させたものである。それらの詳細は、平成元年 5 月 31 日に「久留里市場地区地下水汚染機構調査報告書」として公表した。

この現場では、透水層から汚染地下水を揚水し、曝気処理で浄化する方式が採られ、平成 2 年から平成 7 年まで実施されてきた。

また、工場周辺における地下水汚染や地層汚染は現存するものの、汚染された帯水層を利用する民家の井戸が無いことから、飲用指導や水源転換、あるいは健康調査といった被害防止対策はとらなかった。

その後、平成 7 年度から平成 12 年度にかけて、通商産業省（当時）のバイオレメディエーション研究技術開発プロジェクトにより汚染浄化が行われ、本市は共同研究機関として参加した。

このプロジェクトの研究開発目標は、微生物の機能を利用して難分解性環境汚染物質を効果的に分解、無毒化し、地質環境を浄化するための技術開発を行うことで、達成すべき目標及び明らかにすべき技術事項として、①バイオレメディエーシ

ョンの原位地処理法の有効性の確認、②ブラックボックスであった「バイオ」部分の寄与の解明、③バイオレメディエーションによる環境への影響調査、の 3 点が挙げられた。

また、研究開発目標を達成するためのテーマとして、①難分解性物質分解能を有する微生物の探索、育種、遺伝子情報解析、②地質汚染の微生物処理技術の開発、③微生物分析技術の開発、④研究支援調査、の 4 点が挙げられた。

平成 11 年度には、①バイオレメディエーションの現場適応のための地質汚染精査、②微生物の探索・育種・遺伝子情報解析、③地質汚染の微生物処理技術の開発、④微生物分析技術の開発、⑤研究支援調査、⑥情報開示とパブリックアクセプタンス（公衆受容）の取得などをベースに、微生物による汚染浄化の現場実証が行われた。

この現場では、プロジェクトの終了をもって汚染浄化対策を終了し、現在は水質調査のみ継続しているが、平成 26 年度の調査では、2 地点で環境基準値超過があり、最大 0.026mg/ℓ のトリクロロエチレンが検出されている。

3 八重原地区

内箕輪周辺地域のトリクロロエチレン等による地下水汚染調査の際に、区域内の3戸の井戸から地下水の水質汚濁に係る環境基準を上回るテトラクロロエチレンが確認された。汚染は局所的で、比較的低濃度であったが、汚染機構解明調査を行い、平成5年3月に原因者を特定し、「八重原地区地下水汚染機構解明調査報告書」を公表した。

この汚染現場は、八重原地区に立地するクリーニング店に起因するもので、同所における有機溶剤の取扱いの不備などによることが判明した。

汚染除去対策は、隣接地である内箕輪地区のトリクロロエチレンの浄化対策で補完することとした。

4 外箕輪地区

外箕輪地先のクリーニング店は、ドライクリーニングの洗浄剤としてテトラクロロエチレンを使用しており、千葉県地下水汚染防止対策指導要綱及び水質汚濁防止法の特定事業場に該当する。

このため、平成5年6月に県・市による立入検査を実施したところ、所有する井戸から基準値の約1/5の濃度のテトラクロロエチレンが検出された。

テトラクロロエチレンは自然界に存在しない物質であることから、事業者の費用負担により、事業場内及び敷地境界で汚染調査を実施した。その結果、3か所の汚染源が確認され、事業場内に設置した観測井から最大 38 mg/ℓ のテトラクロロエチレンが検出された。

また、高濃度のスラッジが投棄された場所では汚染構造を明確にするとともに、平成7年1月に汚染地層の掘削除去を行った。

平成26年度は、事業場内に設けた4か所の観測井でトリクロロエチレン等の水質調査を実施したところ、3か所では環境基準を満足したが、乾燥

室脇では最大 0.12mg/ℓ のテトラクロロエチレンが検出されている。

第3節 君津市で生まれた技術

1 特許技術

本市では、市内4か所で発生した地質汚染問題の解決のため、千葉県や民間企業と共同で地質汚染の調査及び浄化に取り組んだことにより、新たな対策技術を開発することができた。そして、これらの技術を平成4年に特許出願し、平成11年に特許番号2140003号「地質汚染状況の検出方法及

び汚染物質の除去方法」の特許権を取得した。(平成24年2月特許期間満了)

また、久留里市場地区でのバイオレメディエーション研究技術開発プロジェクトの際に開発された技術である特許番号3505260号「微生物観察用マイクロ検知装置及びそれを用いた汚染された地下水脈の浄化方法」の特許権の譲渡を受けた。(平成27年4月特許期間満了)

【特許番号2140003号の特許の概要】

本特許は、有害物質で汚染された地域において、その汚染状況を検査する方法、並びにその検査結果に基づき汚染物質を除去する方法であり、汚染物質が滞留する地層を正確に検出するとともに、その汚染地層毎に汚染物質を除去し、汚染領域をクリーンにしようとするものである。

特許は下記のとおり1つの検出方法と5つの除去方法からなる、6つの方法で構成されている。

- ①井戸を設けセンサーを吊り下げて地層単位ごとの汚染状況を検出する方法
- ②汚染地層毎に吸引井戸を設けて吸引除去する方法
- ③吸引井戸の周辺に観測井戸を設け汚染度を調査しながら吸引除去する方法
- ④井戸装着部材に通気性部分を設け汚染地層に対し吸引領域を設ける除去方法
- ⑤工場や建物など障害物のある時は、斜めから井戸を設けて除去する方法
- ⑥観測井から熱風を供給し強制揮発させる吸引方法

2 特許以外の技術

市内の地質汚染現場で、土地の汚染状況を的確に把握するための技術が開発され、「君津式表層汚染調査法」として、全国で地質汚染の機構解明に利用されている。

君津式表層汚染調査法とは、地表面付近の地下水空気を採取し、汚染物質の濃度分布を調べること

により、汚染物質の地下浸透箇所を把握するものであり、ボーリング調査など他の調査結果との照合により、汚染地下水の移動経路や地下の汚染状況なども明らかにできる。測定に要する時間は1地点あたり3分程度であるため、測定点を多く設けることにより、短時間で汚染物質の濃度分布を把握することに優れている。

