

平成19年度低コスト・低負荷型土壤汚染調査・対策技術検討調査 及びダイオキシン類汚染土壤浄化技術等確立調査結果

代表機関名		技術の名称	
日本アイ・ティー・エス(株)		汚染重金属成分自動均質化機構つき オンサイト蛍光 X 線分析システム	
技術の概要			
調査／対策	技術の区分	実証試験の対象物質	実証試験の場所
調査	蛍光 X 線分析	鉛、砒素、カドミウム	現場及び現場外

(技術の原理)

本技術はエネルギー分散型の小型蛍光 X 線分析装置により、第二種特定有害物質の非破壊分析を行うものである。蛍光 X 線分析で分析対象となるのは、分析装置 X 線管から発生する一次 X 線ビーム照射範囲に限定されるため、試料を固定した通常の測定状態では、その照射位置に存在する元素のみを分析する結果となる。このため、対象成分が不均一に分布する試料の場合、その分布を均一化するための試料調製が不可欠となり、蛍光 X 線分析を現場迅速分析に適用する上での律速となっている。

“汚染重金属成分自動均質化機構つきオンサイト蛍光 X 線分析システム”とは「エネルギー分散型の小型蛍光 X 線分析装置」と、分析装置の X 線管からの一次 X 線ビーム照射を受ける「測定試料台」を組み合わせたシステムである。同測定試料台が測定試料を往復移動、回転、揺動することにより、一次 X 線ビーム（約 5mm 角）が測定試料面全面に均等に照射を繰り返すことで、不均一に分布する対象元素の平均存在量に近い蛍光 X 線強度が比較的容易に得られる。したがって、試料調製の工程を簡略化し易く、分析の迅速化を図れる（全面スキャン機能）。

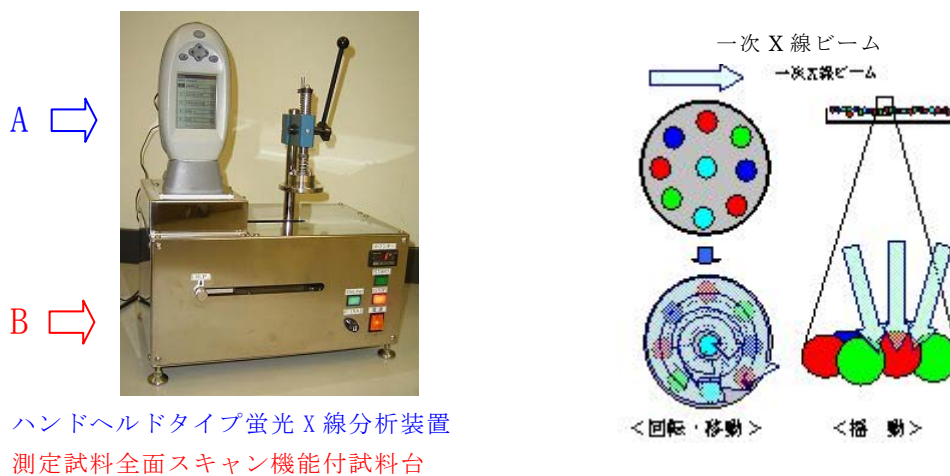


図1 オンサイト蛍光 X 線分析システム外観と全面スキャンのイメージ

技術保有会社のコスト・環境負荷低減の考え方

土壤汚染状況の評価は公定法による分析結果に基づくと定められており、本実証調査に用いた“汚染重金属成分自動均質化機構つきオンサイト蛍光 X 線分析システム”による分析結果は公定法による分析結果に替わるものではない。しかし、本システムを適用して分析評価することで、評価対象となるサイト内のエリア情報（汚染マップ）を迅速・容易に把握できることにより、約 1～2 週間を要する公定法による分析結果を待たずに掘削除去・搬出処理等の設計が可能となる。その結果、土壤処理対策費用の削減にも寄与する。

本システムは小型かつ軽量の構造を持ち、メンテナンスが容易であり、また公定法と比較して操作簡便である。

調査結果の概要

(1) 実証調査方法

汚染土壌浄化施設に搬入される土壌から選別された試料を主な実証調査対象として本システムにより含有量の分析を行った。

① 全面スキャン法とスポット法の精度比較試験

試料土壌を用いての“全面スキャン法（全面スキャン機能を用いた測定）”と“スポット法（全面スキャン機能を動作させない測定）”による精度比較を始めとする各種精度調査を行った。

② 公定法分析値との比較試験

公定法分析（環告 19 号）のための試料選別及び同分析結果と蛍光 X 線分析結果の比較等を行った。

(2) 対象土壌

本調査では鉛、砒素、カドミウムによる汚染土壌を試料としたが、砒素、カドミウムについては基準値を超過する濃度の試料が少なかったことから、以下は鉛における調査結果を示す。

① 全面スキャン法とスポット法の精度比較試験

調査対象となった試料土壌は 4 試料であり、性状としてはいずれも泥混じり砂状であるが、うち 2 試料（試料 1, 2）は泥の混入が多く、砂と泥がほぼ半々であった。

② 公定法分析値との比較試験

調査対象となった試料土壌は約 70 サイトからの 206 試料であり、様々な性状であった。

(3) 技術の有効性の評価

① 全面スキャン法とスポット法の精度比較試験

鉛含有量の異なる 4 試料につき両法による精度比較を行った結果は表 1 に示すとおりであり、いずれの試料についても全面スキャン法がスポット法より高い精度であった。

表1 全面スキャン法とスポット法による精度比較

試料	鉛測定平均値 (mg/kg)	全面スキャン法		スポット法	
		$\sigma n-1$ (mg/kg)	CV (%)	$\sigma n-1$ (mg/kg)	CV (%)
1	62	5.5	8.8	31.8	47.1
2	126	4.2	3.3	16.7	12.4
3	1618	15.6	1.0	143.1	9.0
4	1942	14.2	0.7	152.5	7.6

n=8回/試料

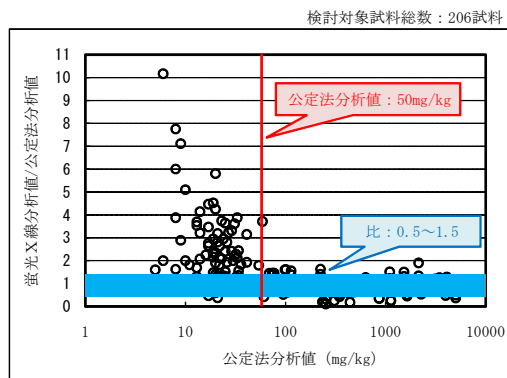
$\sigma n-1$: 精度(標準偏差)、CV: 変動係数($\sigma n-1$ /平均値 $\times 100$)

[鉛基準値: 150mg/kg・鉛定量下限値: 25mg/kg]

② 公定法分析値との比較試験

a) 共通検量線による X 線分析値と公定法分析値との比較

各種土壌を、公定法分析値既知の試料を中心に作成した検量線（以下、「共通検量線」と呼ぶ）により測定し、X 線分析値を求めた。全試料（206 試料）についての公定法分析値と X 線分析値の関係を図 2 に示す。50mg/kg 以下の試料ではばらつきが大きかったが、50mg/kg を超える試料では、82%（124 試料のうち 102 試料）が公定法分析値に対する X 線分析値の誤差比率 50% 以内であった。



[鉛基準値: 150mg/kg・鉛定量下限値: 25mg/kg]

図2 共通検量線による公定法分析値と蛍光 X 線分析値の関係

b) サイト*別検量線による補正值と公定法分析値との比較

共通検量線による分析値の公定法に対する誤差比率が50%を超えかつ50mg/kg超の試料を含み、試料数が4以上のサイトについて、サイト毎の公定法分析値と共通検量線によるX線分析値の相関を図3に示す。サイトによりX線分析値と公定法分析値の比に差が認められ、X線分析値を補正する必要性が認められた。そこで、公定法分析値とX線分析値の相関式をサイト別に求め、同式で補正を行い、その誤差比率結果を表2に示す。サイト別の相関式による補正で全般に誤差の改善が図られたが、相関の見られないサイトもあった。また、サイトcでは、同一サイトでも性状が異なるものがあり、補正に複数の相関式が必要であった。相関の見られないサイトがあった原因としては、蛍光X線による分析は土壤中の対象物質の全含有量を測定するものであるが、公定法（環告19号）は1N塩酸で抽出した検液を測定するものであることから、一部の試料では蛍光X線と公定法の分析値に差が生じたものと考えられる。

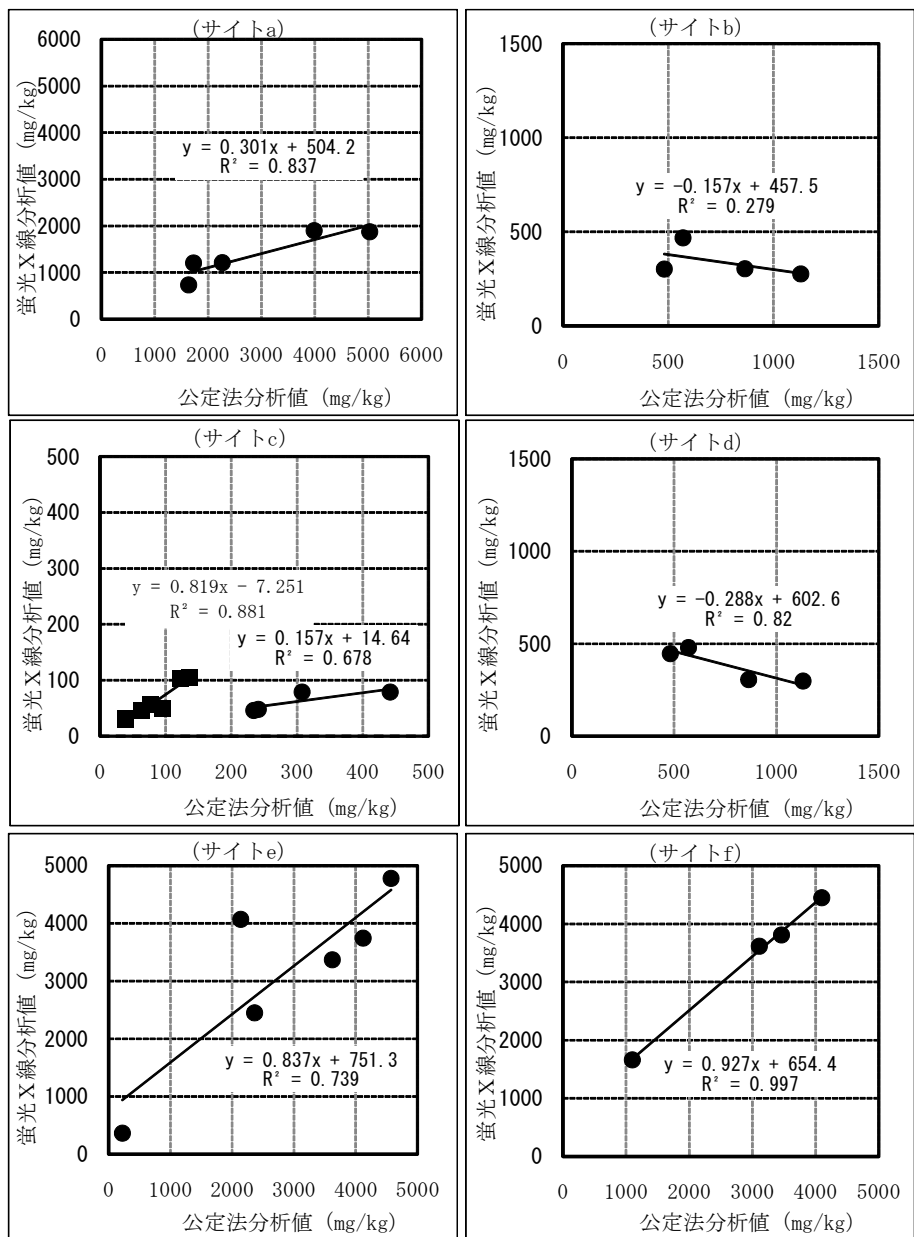


表2 サイト別検量線補正による誤差比率改善

サイト	試料数	誤差比率 (%)	
		共通検量線	サイト別検量線
a	5	30~63	7.6~41
		49.4	20.8
b	4	18~76	5~71
		49.0	26.5
c1	4	74~82	0.4~22
		79.0	9.5
c2	6	21~47	2.6~33
		28.5	12.6
d	4	7.3~74	12~20
		40.6	15.0
e	6	4.2~90	5.2~78
		29.6	32.5
f	4	8~51	0.3~2.7
		24.0	1.4

上段: 範囲
下段: 平均値

誤差比率
= (X線測定値 - 公定法分析値) / 公定法分析値 × 100 (%)

図3 共通検量線による公定法分析値と蛍光X線分析値の相関 (対象: 同一サイト内の試料数が4以上のサイト及び>50mg/kgの試料)

(4) 実用性についての考察

① 安定性

鉛を含む土壌標準試料（市販）を 17 時間連続 75 回測定した結果、その CV(変動係数)は約 3% であった。

② 適用範囲

参考として、過去に実施した実証試験結果からの本技術の定量（検出）下限及び忌避条件を表 3 に示す。

なお、今回対象とした試料土壌の最高水分率は約 20% であり、同調査の範囲では特にその影響（湿・乾試料間の分析結果のかたより）は認められなかった。

表3 定量範囲

	鉛	ひ素	セレン	カドミウム	クロム	水銀
検出下限 (mg/kg)	15	7	4	23	40	12
定量下限 (mg/kg)	25	25	20	50	130	15
条 件	SiO ₂ マトリックス・妨害元素 [※] なし・120秒測定					

※妨害元素例（ピークの重なり）

ひ素K α と鉛L α 、ひ素K β と臭素K α 、鉛L β と鉄SUMピーク（多量の鉄が共存する場合）

(5) 経済性についての考察

① 効率性

サイト別検量線を使用した場合の作業効率は、鉛に対して約 12 検体/人・h^{*}である。

※現地での試料採取、試料搬送等の所要時間を含めない。

② 経済性

実証調査におけるコストは 1 検体あたり約 26,000 円/検体（公定法分析費含む）であった。

汚染土壌 100 検体を分析すると仮定した場合のコストは、414 円/検体^{*} [人件費(290 円)、システム償却費(123 円)、使用電力料(1 円)] と算出された。（算出根拠は別紙参照）

※現地での試料採取、試料搬送等のコストを含めない。

(6) 周辺環境への負荷

① 環境大気

ガスは発生しない。

② 排水・廃液

排水・廃液は発生しない。

③ 騒音

騒音は発生しない。

④ 二酸化炭素排出量

汚染土壌 100 検体を分析すると仮定した場合、エネルギー消費量（電力量）は、蛍光 X 線分析装置作動と試料台全面スキャン機構稼働に要する電力のみであり、二酸化炭素量排出量は約 0.04kg/検体と算出された。（算出根拠は別紙参照）

⑤ その他

蛍光 X 線分析装置本体は安全機構を有し、試料測定部はステンレス製筐体に収納された構造である。また、過去に実施した実証試験においても X 線の漏洩は認められていない。

検討会概評

本技術は、「エネルギー分散型の小型蛍光 X 線分析装置」と、測定試料をセットし同分析装置の X 線管からの一次 X 線ビーム照射を受ける「測定試料台」を組み合わせたシステムである。

全面スキャン法とスポット法の精度比較試験（鉛含有量）においては、全面スキャン法はスポット法より高い精度を示した。

公定法分析値との比較試験（鉛含有量）においては、共通検量線による分析値は、公定法分析値が 50mg/kg 以下の試料ではばらつきが大きかったものの、50mg/kg 以上の試料では約 8 割の試料が公定法分析値と $\pm 50\%$ に入っていた。公定法分析値が 50mg/kg 以上の試料で公定法分析値との誤差が 50% を超えた試料については、サイト毎の公定法分析値と X 線分析値の相関式から X 線分析値を補正すると、公定法分析値との誤差が改善できる場合もあった。

今後は鉛以外の成分についても実証データを積み重ねることが望まれる。

1. 費用の算出

○実証対象技術のコストについて

コスト計算に当たっては、以下の条件を前提として試算している。

1) 試算前提の主要諸元

対象土壌の土質、性状	: >2mm 粒除外土壌
対象土壌濃度（含有量）	: 特に制限はない (定量下限(mg/kg)目安: Pb 25, As 25, Cd 50, Cr 130, Se 20, Hg 15)
1 検体当たり対象土壌量 (g)	: 約 30g
測定・分析時間 (日 or 月)	: <5 分/試料
測定・分析条件	: 通常 180 秒 (目的 (精度確保等) により可変)
減価償却期間 (年)	: 5 年
費用の試算範囲内	: システム償却費、人件費、使用電力料
費用の試算範囲外	: 公定法分析費用、消耗品

2) 測定・分析費用の算出

上記を基に本実証試験で得られたデータから経済性を試算すると以下の様に算定された。

総費用 (100 検体分析時)	41,400 円
測定分析単価	414 円/検体

2. 二酸化炭素排出量の算出

二酸化炭素排出量の算出に当たっては、上記の費用算出と同条件とし、地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第三条一のロ（平成 18 年 3 月 24 日 一部改正）の排出係数一覧表の数値を用いて算出した。

$$\text{二酸化炭素排出量 (kg)} = \text{消費電力 (kW)} \times \text{使用時間 (h)} \times 0.555$$

総排出量 (100 検体分析時)	0.004t
排出原単位	0.04kg/検体