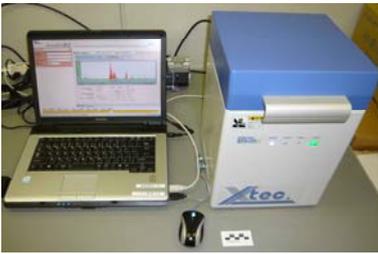
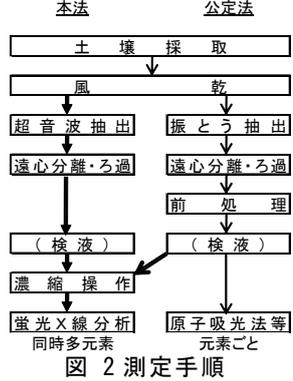


平成20年度低コスト・低負荷型土壤汚染調査対策技術検討調査 及びダイオキシン類汚染土壤浄化技術等確立調査結果

代表機関名		技術の名称	
大成基礎設計株式会社		小型蛍光X線分析装置を用いた簡易分析法	
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, 水銀	現場+現場外
<p>(技術の原理)</p> <p>本技術は、土壤汚染対策法の重金属溶出量及び含有量の簡易分析法として、前処理により得られた土壤抽出液を濃縮し、蛍光X線分析を行う簡易分析法である。</p> <p>超音波抽出などによる抽出液を、鉛、カドミウム、砒素については試薬により不溶化してろ別し、水銀についてはイオン交換膜に捕捉して濃縮し、蛍光X線分析に供する。</p> <p>試料にX線を照射し発生する蛍光X線を測定し、得られるピーク強度から定量値を算出する。</p> <p>蛍光X線分析装置を図1に、測定手順の公定法との違いを図2に示す。</p> <p>第二種特定有害物質中の測定可能元素は、鉛、カドミウム、砒素、水銀、セレン及びクロムである。</p>			
			
<p>図1 蛍光X線分析装置 (ED-05S: X線技術研究所製)</p>		<p>図2 測定手順</p>	
技術保有会社のコスト・環境負荷低減の考え方			
<p>抽出方法として超音波抽出を行うことによる抽出時間の短縮と、蛍光X線分析の持つ迅速性や多元素同時分析できる特徴により、コスト削減が可能である。</p> <p>抽出、測定とも公定法と比較して消費電力が少なく、廃液量も少ないなど環境負荷も低い技術である。</p>			
調査結果の概要			
<p>(1) 実証調査方法</p> <p>① 現地簡易分析試験</p> <p>現地で簡便、迅速に分析できることを確認するために、現地（2サイト）にて実施した。</p> <p>1) 公定法との相関を確認（超音波抽出 XRF^{注1}と公定法を比較）</p> <p>2) 試料の風乾、未風乾の確認</p> <p>② 分析精度確認試験</p> <p>公定法との相関、各工程の再現性及び土質による影響を確認するため室内で実施した。</p> <p>1) 公定法との相関確認（超音波抽出 XRF と公定法、同一検液 XRF^{注2}と公定法分析^{注3}を比較）</p> <p>2) 超音波抽出の妥当性確認</p> <p>3) 前処理, 濃縮操作, 測定装置各段階の再現性確認</p> <p>注1：超音波抽出した検液を濃縮し蛍光X線分析 注2：超音波抽出した検液又は公定法抽出・前処理した検液を濃縮し蛍光X線分析 注3：同一検液 XRF に用いた検液を公定法分析</p>			
<p>(2) 土壤の性状等</p> <p>① 現地簡易分析試験</p> <p>実証場所1 土質：シルト、砂、礫、泥炭、火山灰、対象物質：鉛、砒素 15 検体</p> <p>実証場所2 土質：粘土 対象物質：鉛、カドミウム、砒素 15 検体</p> <p>② 分析精度確認試験（水銀の含有は実汚染土の試験を行えなかった）</p> <p>一般市街地の汚染土（粘土、シルト、砂）及び標準液を混合して作成した模擬試料 58 検体</p>			

(3)有効性についての考察

①公定法との相関

現地簡易分析における超音波抽出 XRF と公定法との相関、回帰式の傾きは表 1 のとおりであるが、全体的に現地採取した試料濃度が低いことから相関・傾きともに採取した場所によって結果がばらついた。また、風乾、未風乾の結果の差も明瞭ではなかった。

分析精度確認試験では、一般市街地の汚染土及び模擬試料を用いて超音波抽出 XRF 又は公定法検液 XRF^{注4}を行い公定法分析又は公定法と比較した。同一検液 XRF と公定法分析の回帰式の傾きは、溶出量で 0.84~1.12、含有量で 0.81~0.95、また相関係数は、溶出量で 0.9870~0.9954、含有量で 0.9406~0.9931 であった (図 3)。抽出・前処理の工程が同一であり、濃縮・分析の工程にしか差が出ないことから相関は高かった。超音波抽出 XRF と公定法の回帰式の傾きは、溶出量で 0.87~2.54、含有量で 0.68~0.88、また相関係数は、溶出量で 0.7971~0.9991、含有量で 0.9326~0.9915 であった (図 4)。カドミウムを除き、溶出量、含有量の傾きは、公定法から 20%以上外れていた。

表 1 現地簡易分析における超音波抽出 XRF と公定法との相関

		溶出量		含有量		
		鉛	砒素	鉛	砒素	
風乾	相関係数	実施場所1	0.4357	0.3409	0.9940	0.8243
		実施場所2	0.9446	0.9081	0.9422	0.2490
	傾き	実施場所1	1.8041	2.2023	0.7451	0.6688
		実施場所2	0.4302	1.0133	0.4958	0.5786
未風乾	相関係数	実施場所1	-	0.3208	0.9906	0.8721
		実施場所2	0.9558	0.9871	0.9441	0.5108
	傾き	実施場所1	1.9564	3.6501	0.7045	0.6086
		実施場所2	0.4352	0.8348	0.5887	0.4483

注 4：公定法抽出・前処理した検液を濃縮し蛍光 X 線分析

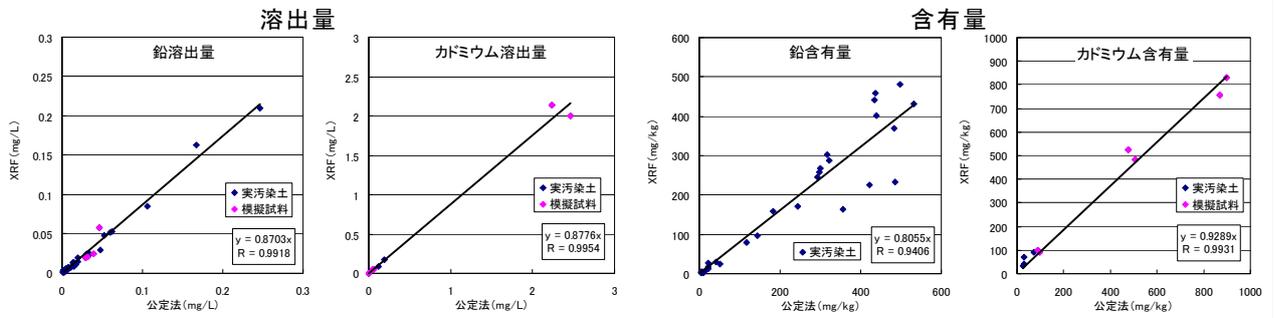


図 3 同一検液 XRF と公定法分析との相関

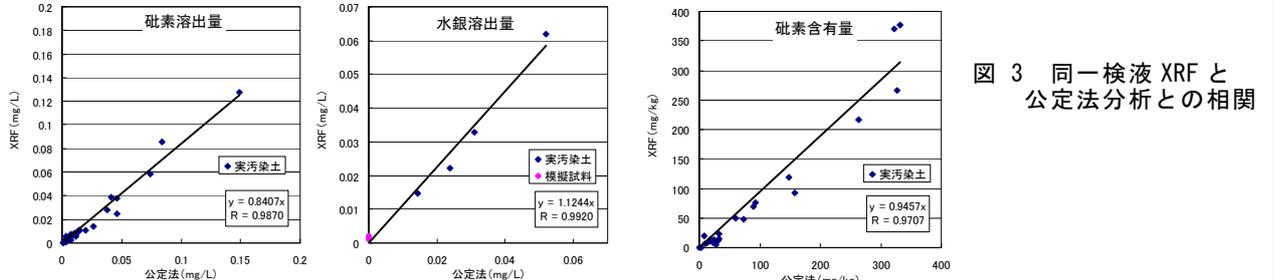


図 4 超音波抽出 XRF と公定法との相関

公定法との比を土質別に検討した結果、土質による比の違いはみられなかった。同士の標準偏差（ばらつき）は、同一検液 XRF では 0.4 以下と小さいが、超音波抽出 XRF ではシルト、粘土では数倍大きな値となる項目もあった（図 5）。

(4) 実用性についての考察

① 安定性

超音波抽出操作の変動は溶出量で概ね 20～30% 程度、含有量 10～15% 程度となった（表 2）。また、濃縮操作及び蛍光 X 線分析装置測定が 10% 以内となった。

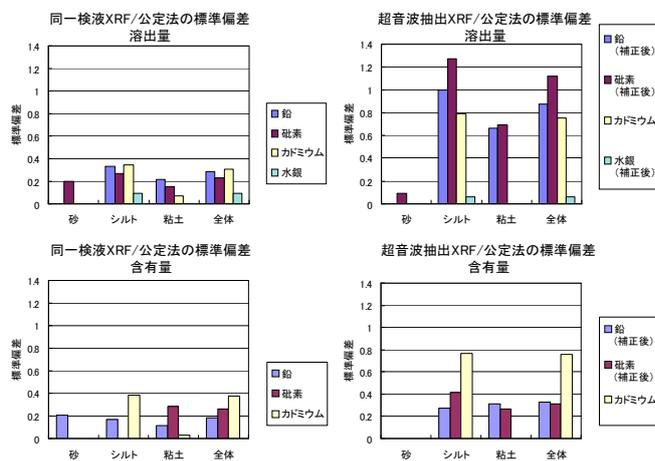


図 5 土質による標準偏差の違い

表 2 超音波抽出 繰返し試験結果

溶出量試験				
項目	鉛	カドミウム	砒素	水銀
公定法	0.014	0.18	0.011	0.023
超音波抽出液 平均値(公定法)	0.0623	0.1096	0.0033	0.0380
標準偏差	0.0179	0.0276	0.000752	0.00705
変動係数	28.7%	25.2%	22.6%	18.5%

含有量試験			
項目	鉛	カドミウム	砒素
公定法	430	30	140
超音波抽出液 平均値(公定法)	480	66	140
標準偏差	62.34	5.898	19.43
変動係数	13.0%	8.9%	13.9%

表 3 定量範囲

物質名	溶出量試験(mg/L)	含有量試験(mg/kg)
鉛	0.004～0.1 (0.01)	2～330 (150)
カドミウム	0.005～0.1 (0.01)	7～330 (150)
砒素	0.004～0.06 (0.01)	2～200 (150)
水銀	0.01～0.1 (0.0005)	—

() 内は指定基準

② 適用範囲

定量範囲を表 3 に示す。定量下限は JIS K 0470 に従って繰返し試験結果から算出し、定量上限値は検量線を作成したときの最高濃度とした。水銀溶出量については定量範囲が高く、法基準値を判定できない。

(5) 経済性についての考察

○ 効率性

1 項目 1 試料での作業効率は、公定法に準じた前処理での溶出量試験は 0.13～0.14 検体/人・h、含有量試験は 0.31～0.36 検体/人・h、超音波抽出法の前処理での溶出量試験は 0.60～0.86 検体/人・h、含有量試験は 0.82～1.25 検体/人・h であった。複数試料同時処理の場合効率は上がり、鉛、カドミウム、砒素の同時分析する場合は、公定法に準じた前処理での溶出量試験は 2.5 項目/人・h、含有量試験は 5.5 項目/人・h、超音波抽出法の前処理での溶出量試験は 4.4 項目/人・h、含有量試験は 5.6 項目/人・h であった。

○ 経済性

現地簡易分析のコストは 23,200 円/検体であった。汚染土壌 100 検体を実証調査と同じ分析項目 6 項目を分析すると仮定した場合のコストは 16,700 円/検体である。公定法の試算値 (30,500 円/検体) より 45% 程度安価である。

(6) 周辺環境への負荷

① 環境大気

ガスは発生しない。

② 廃棄物

廃液が 1 分析あたり 80ml 発生する。分析で発生する廃液などの廃棄物については、産業廃棄物として適正に処分する必要がある。

③ 騒音

発電機を用いる場合は、発電機による騒音が発生する。

④エネルギー消費量・二酸化炭素排出量

エネルギー消費量（電力量）は、超音波抽出 SV の場合、溶出量 1 分析あたりで約 0.5kWh、含有量で約 0.4kWh と非常に少なかった。CO₂ 発生量はそれぞれ約 0.3kg、約 0.2kg であった。100 検体の含有量及び溶出量分析時の CO₂ 発生量は 0.203kg-CO₂/検体と試算された。

検討会概評

本技術は、小型蛍光 X 線装置により、現地で迅速な分析結果を得ることをめざした簡易分析法であり、溶液抽出した対象成分に不溶化等の処理を施した上で蛍光 X 線分析を行うものである。特徴としては、抽出条件を調整することで、溶出量と含有量の両方への適用をめざした点があげられる。

現地簡易分析においては、全体的に現地採取した試料濃度が低かったことなどから相関・傾きともに採取した場所によって結果がばらつき、風乾と未風乾の試験結果についても明瞭な差がみられなかった。

分析精度確認試験においては、鉛、砒素及びカドミウムの同一検液 XRF における相関係数が、溶出量・含有量ともに XRF 法としては十分に高い結果となった。しかし、前処理手順については、公定法の前処理に濃縮を追加するという工程となるため、簡易測定法として利用するには、簡素化が課題となった。なお、前処理に超音波抽出を利用した超音波抽出 XRF は同一検液 XRF と比較すると相関係数が低くなった。

本実証により、鉛、カドミウム、砒素の溶出量について濃縮と XRF を組み合わせた簡易測定法が XRF 法として十分に高い相関が得られることがわかった。一方、この簡易測定法は、現場条件（試料採取環境、土質、特定有害物質の種類等）や抽出方法によって、公定法との差が大きくなるため、基準超過汚染土が基準以下と誤判定されないよう適切な補正係数等を設定することが課題であることがわかった。また、簡易分析法としては、前処理手順が複雑であるため、より簡素化及びより低コスト化することが望まれる。

別紙（小型蛍光X線分析装置を用いた簡易分析法）

1. 費用の算出

○ 実証対象技術のコストについて

1) 試算前提の主要諸元

対象土壌の土質、性状	: 砂, シルト, 粘土
対象土壌濃度（溶出量・含有量）	: 鉛、砒素、カドミウムの溶出量・含有量
1 検体当たり対象土壌量（g）	: 30
測定・分析時間（日 or 月）	: 13 日間
測定・分析条件	: 一日の作業時間 7.5 時間
減価償却期間（年）	: 5
費用の試算範囲外	: 交通費

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）	1,670,000 円
測定分析単価	16,700 円/検体

2. 二酸化炭素排出量の算出

二酸化炭素排出量の計算に当っては、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第一項第一号（平成 18 年 3 月 24 日一部改正）”の排出係数の数値を用いて二酸化炭素排出量を算出した。

算出根拠

100 検体の溶出量・含有量試験時使用電力量：36.68 kWh

算出式

使用電力量(36.58 kWh) × 排出係数(0.555 kg-CO₂/kWh) = 20.3 kg-CO₂

総排出量（100 検体分析時）	20.3 kg-CO ₂
排出原単位	0.203 kg-CO ₂ /検体