

## JSMCWM-0101 環境最大溶出可能量試験 解説（案）

この解説書は、廃棄物学会試験規格「JSMCWM-0101 環境最大溶出可能量試験」（以下、本試験規格と言う）に関して有用と思われる情報を記述したものである。なお、この解説書は、本試験規格の一部ではない。

### 構成

- 1 本試験規格制定の趣旨
- 2 試験条件設定の考え方
- 3 評価方法の考え方
- 4 精度評価結果
- 5 試験データ集（参考情報）
- 6 試験条件の影響に関する検討（参考情報）

## 1. 本試験規格制定の趣旨

### 1.1 システム規格提案の背景

循環型社会の構築に向けて、発生が避けられない廃棄物や副産物（合わせて「循環資源」と呼ぶ）の利用の推進がなされているが、その中でも特に、土石類の代替を主な用途とする「土石系循環資源」は、発生量が極めて膨大であるため、環境安全品質の確保を確実にし、社会に着実に受け入れられて行かなければならない。

土石系循環資源の環境安全品質確保のための評価法については、影響を受ける媒体が主に土壌・地下水であることから、「環告 46 号」<sup>a</sup>や「スラグ JIS 試験」<sup>b</sup>などの判定試験が用いられている。これらの判定試験はシンプルな単一バッチ試験<sup>c</sup>であり、環境安全品質の管理という側面において必要十分な機能を発揮すると思われる。一方、土石系循環資源や、それを材料として使用した再生製品や施工現場（「建設系再生製品」または単に再生製品と呼ぶ）の長期的な安全性に対する答えとして、シンプルな判定試験を補完し、様々な使用環境条件や使用期間に対する環境影響の評価方法の開発が求められている。

なお EU では、建設製品指令 基本的要件第 3 項に基づき、天然資源や循環資源に関わらずあらゆる建設製品の環境安全品質評価法を策定するための取り組みが進められている。その成果として、建設製品の様々な使用環境シナリオに対して、既に欧州標準化機構（CEN）で規格化されている pH 依存性試験などの特性化試験を割り当てた評価ガイドラインが提示される予定である<sup>1)</sup>。

本試験規格をはじめとする一連の特性化試験規格群は、このような EU の考え方を参考とし、建設系再生製品中に含まれる重金属類等無機物質の溶出による土壌・地下水への影響を詳細に評価するための手順を示そうとするものである。規格群は、各試験を適用し評価するための「評価フレーム」と、その中に位置づけられる個々の「試験規格」で構成される。個々の試験規格は評価フレームに基づいて適用することの他、単独での適用においても、それぞれの試験の持つ意義は失われるものではない。  
(2008/09/01)

### 1.2 環境最大溶出可能量試験の目的

環境最大溶出可能量試験（本規格）は、固体試料（循環資源や再生製品）に含まれる成分の、環境中へ溶出し得る最大量（最大溶出可能量、または、アベイラビリティと呼ぶ）を評価することを目的とする<sup>2)</sup>。

環境最大溶出可能量は、固体試料の基本特性の一つとして、環境条件を含めた「利用シナリオ」を描いての詳細評価を行う必要性を判断するための材料とできる。また、詳細評価を行うに際して注目すべき有害物質の絞り込みに用いることができる<sup>3)</sup>。

その他の目的として、最大溶出可能量は溶出挙動予測モデル計算における最大値や、固体試料内部の濃度ポテンシャルとして用いることができる<sup>4)</sup>。

本試験規格は溶出に起因する土壌・地下水影響を評価するための特性化試験の 1 つであるが、蓄積性の高い物質については、固体試料から溶出後の蓄積量としての評価も 1 つの考え方と思われる。

---

a 平成 3 年環境庁告示第 46 号「土壌の汚染に係る環境基準について」付表

b JIS K 0058 「スラグ類の化学物質試験方法」

c 溶出操作（一定量の溶媒と一定量の試料を混合した後、これらの分離を行う一連の操作）を 1 回のみ行う試験方法

## 2 試験条件設定の考え方

### 2.1 基本的な考え方

環境最大溶出可能量とは、前述したように、環境中へ溶出し得る最大量をその概念とする。環境最大溶出可能量には含有量の様に真値は存在しないため、環境条件を適切に与え、決定する必要がある。なお固体試料中の含有量（全量）については、通常環境では溶出し得ない、化学的に極めて安定な鉱物やケイ酸ネットワーク中に存在するものも考慮されるので、環境最大溶出可能量とみなすには過大と考えられている<sup>2)</sup>。

一般に、固体試料からより多くの成分を溶出させるには、試料粒径を小さく（試料表面積を大きくすることと同義）、溶媒をより酸性に（または、よりアルカリ性に）、溶媒量を多く、溶出時間を長く、攪拌強度を強くすれば良い（勿論、多くの例外がある）。そこで、環境最大溶出可能量のための試験条件は、これらについて、一般環境で想定し得る範囲内の最大値に設定すれば良いこととなる。

また、それと同時に、室内試験という制約条件の下で、試験規格としての一定以上の試験精度を持つことが要求される。

### 2.2 既往の試験方法の考え方と本試験規格との整合性について

本試験規格は、既往の環境最大溶出可能量試験と同様に、試験規格としての環境最大溶出可能量を規定することを目指して開発したものである。

本文「1.序文」に述べたように、本試験規格はオランダ規格 NEN 7371 “The maximum availability leaching test”（以下、「NEN アベイラビリティ試験」と言う）を出発点とし、諸条件について検討を重ねている。NEN アベイラビリティ試験の試験条件を見ると、例えば「環告 46 号」と比較すれば、溶出時間が合計 6 時間（本試験規格と同様、各溶出ステップ 3 時間の 2 段階のバッチ試験）で環告 46 号と同じであることを除いて、全ての条件において溶出量を増加させるよう設定がなされている。特に、試料粒径 125  $\mu\text{m}$  以下という条件は固体試料の擦り減りや長期劣化による微粉化を、また pH 4 の酸性環境条件は酸性雨などへの長期暴露を想定したものとして、環境中で想定され得る極めて過酷な条件と捉えられる。さらに、各溶出ステップの液固比を 50 L/kg とすることで、飽和に達することによる溶出量の制限（頭打ち）を緩和している。

溶出量をさらに高めるための試験条件の検討は Fällman (1997)<sup>5)</sup>に詳しく述べられている。それによれば、NEN アベイラビリティ試験や北欧 5ヶ国の自主規格 Nordtest NT ENVIR003 “Solid waste, granular inorganic material: Availability test”等をベースに、焼却灰（Bottom ash）に対して溶出量が最大となる条件について検討を行い、各段階の液固比を 100 に、溶出時間を 18 時間にするのをそれぞれ推奨している。

しかしながら、本試験規格では、液固比の増加は測定濃度のさらなる低下につながることで、pH の保持は自動調整装置だけではなく手操作での試薬添加を考慮すべきであり 18 時間という溶出時間は手操作では極めて困難であることから、NEN アベイラビリティ試験と同じ試験条件を採用することとした。これにより、NEN アベイラビリティ試験との調和も確保されたこととなる。

### 2.3 アルカリ系列の設定について

さらに本試験規格では、アルカリ性環境における最大溶出可能量の評価を行うこととした。この視点は NEN アベイラビリティ試験や Nordtest では採用されておらず、本試験規格におけるユニークな試験操作項目である。アルカリ性環境での評価を採用した理由として、循環資源は高アルカリ性を示すものが少なからず存在すること（例えば、廃コンクリート、電気炉スラグ、一般廃棄物焼却灰）、セメントと混合され強アルカリ性環境に循環資源が利用される可能性があること（例えば、コンクリート骨材や、セメントを併用する地盤改良材など）、そして、そのような高アルカリ性環境中では、鉛などの両性金属の溶解度が高いため、酸性環境での最大溶出可能量を超える可能性が指摘されていること<sup>6)</sup>、等が挙げられる。

アルカリ性環境の評価方法を従来の酸性環境とどのように組み合わせるかが当初の課題であったが、

酸性環境を NEN アベイラビリティ試験と整合できるという利点から、各々を「酸系列」、「アルカリ系列」として独立させて、別立てで試験を行うこととした。そして、最大溶出可能量は、両者のうちの最大値を採用することを基本とした（目的によっては、一方の pH 環境のみ評価しても良い）。各系列で 2 段階の評価を行うことにより、第 1 段階では pH 7 およびナチュラル pH における溶出量が、第 2 段階では pH 4 および pH 12 における溶出量がそれぞれ評価されることとなり、どの pH 条件で溶出量が最大と成りうるかという評価が可能となったことは、大きなメリットと思われる。また、このような視点から、NEN アベイラビリティ試験では第 1 段階と第 2 段階の両溶出液を混合し測定を行うこととしているが、本試験規格では、両溶出液を混合せずに測定することを基本とした。その他、NEN アベイラビリティ試験と本試験規格との相違点をまとめると、表 A-1 のとおりとなる。

表 A-1 NEN アベイラビリティ試験と本試験規格との相違点

	NEN アベイラビリティ試験	本試験規格	相違の理由
試料粒径	95%以上が 125 mm 未満	125 mm 未満	「95%以上が」として良い？
攪拌方法	マグネチックスターラー（サイズ未規定）により、全ての粒子が懸濁液中に浮遊させる	マグネチックスターラーまたはプロペラ攪拌（サイズ規定有り）、200 rpm	高密度粒子（スラグ等）の場合、全ての粒子の浮遊は困難であり、攪拌条件の相違による影響を最小化するため明確化。
容器のフタ	未規定	開口部 1～5 %のフタを設置	特にアルカリ系列で開口部影響が大きいため明確化。発生ガスを排出するため完全密閉は避けることとした。
pH 調整	1 分後と 10 分後の pH により判定	10 分後以降、所定の pH 範囲を外れないように調整	
固液分離	1 時間以内にメンブランろ過を行う。	20±5 分間の静置。その後、遠心分離を推奨、さらにメンブランろ過	
ろ紙の扱い	Step 1 のろ紙は Step 2 に投入する	Step 1 のろ紙は、ろ紙上の残渣を流し混んだ後に廃棄する	ろ紙の浮遊／壁面付着などの状態の影響を排除するため
溶出液の扱い	Step 1 と Step 2 の両溶液を混合し測定	基本として、Step 1 と Step 2 の溶液を別々に測定	どの段階で溶出量が最大となるか、等の試験結果の情報を最大限に活用するため

本試験規格の策定にあたっては、攪拌方法、攪拌強度、容器開口面積の各条件の影響について実験的に検討を行っている。本解説書第 5 章ではその概要を紹介している。

なお、本試験規格は土石類を主な対象として試験条件の検討とデータの蓄積を進めてきたため、木材、プラスチック類、金属類などへの適用性の確認については、今後の課題である。

### 3 評価方法の考え方

前述したように、環境最大溶出可能量を測定することにより、更なる詳細評価の必要性の判断や、注目すべき有害物質の絞り込みを行うことが可能である。しかしながら、そのための評価方法や判断基準については、議論を重ねなければならない段階にある。そこで、この解説では、判断基準の考え方の一案を提示するに留める。

#### 3.1 土壌環境基準に基づく判断基準の考え方（素案）

最大溶出可能量は溶出量の最大値を表そうとするものであるが、実際には、全てが一度に溶出する可能性はほとんどゼロに近い。実際の溶出濃度の程度については、他の試験を実施して検討する必要がある。

前述したように、循環資源や再生製品からの有害物質溶出の側面については、環告 46 号や JIS 溶出試験を実施して判断するケースが多い。また、その際の判断基準としては、土壌環境基準値が用いられる場合がほとんどである。

そこで、環境最大溶出可能量が土壌環境基準値（いずれも、溶出量 mg/kg に換算）以下であるならば、有害物質溶出のポテンシャルは無いと判定することは十分妥当と思われる。むしろ、「全てが一度に溶出する可能性はほとんどゼロに近い」ことから、過剰に安全な考え方と思われるかも知れない。この過剰安全さを調整するための係数を導入するための議論が待望される。例えば、循環資源・再生製品は土壌へ環境負荷物質を排出するものとしての位置づけから、表 A-2 に示す様に、水質環境基準と排水基準の関係と同様に、10 倍値まで許容することは一つの考え方として検討に値するものと思われる。

表 A-2 水質環境基準、排水基準、土壌環境基準（いずれも抜粋）およびその 10 倍値

	水質環境基準	排水基準	土壌環境基準	土壌環境基準 10 倍値 (案)
	mg/L	mg/L	mg/L (mg/kg 換算)	mg/kg
対応関係	—	水質環境基準の 10 倍値	水質環境基準と同じ溶出濃度値 (mg/L)。液固比 10 L/kg を乗じて mg/kg に換算	土壌環境基準の 10 倍値 (mg/kg 換算)
Cd	0.01	0.1	0.01 (0.1)*	1
Pb	0.01	0.1	0.01 (0.1)	1
Cr(VI)	0.05	0.5	0.05 (0.5)	5
As	0.01	0.1	0.01 (0.1)*	1
T-Hg	0.0005	0.005	0.0005 (0.005)	0.05
Se	0.01	0.1	0.01 (0.1)	1
F	0.8	8 (海域 15)	0.8 (8)	80
B	1	10 (海域 230)	1 (10)	100

\*農用地は別規定

#### 3.2 価数（化学形態）によって毒性が大きく変化する物質の考え方

クロム (Cr) のように毒性が価数によって大きく変化する物質は、毒性の高い価数の状態に限定して基準値が設定される場合がある。ただし、環境最大溶出可能量は最も過酷な環境を想定するという考え方から、溶出後に有害性の高い価数へ変化することも考慮して、価数によらず全溶出量を評価することが適切と思われる。

## 4 精度評価

本試験規格の方法を確立するために、精度評価（および、そのための事前予備検討）は、約3年にわたり、計3回行い、その都度、試験規格の改良を重ねてきた。本解説では、本試験規格に示した方法で実施した第3回の精度評価について概要を述べる。

### 4-1 実施方法

#### (1) 参加機関数

7機関

#### (2) 配布試料

銅スラグ（酸系列の評価に使用）、および、都市ごみ焼却主灰（アルカリ系列の評価に使用）の2種類とした。酸系列とアルカリ系列で異なる試料を用いた理由は、銅スラグを使用した第2回精度評価との結果比較を酸系列で行うとともに、焼却主灰を用いることによりアルカリ系列で十分高い測定濃度を得ようとしたためである。

2試料とも、風乾後、ボールミルで粉碎し0.125 μmふるいを通過したものを配布した。

#### (3) 試験実施回数など依頼事項

各機関において、酸系列とアルカリ系列のそれぞれについて、3回実施した。酸系列ステップ1（以下、A1と略す）とアルカリ系列ステップ1（以下、B1と略す）では、いずれもpH調整を行わないこととした。酸系列ステップ2（以下、A2と略す）とアルカリ系列ステップ2（以下、B2と略す）では、pHを所定の範囲（それぞれ3.9～4.1、11.9～12.1）に調整することとした。

#### (4) 装置条件

表A-3に、装置条件を示す。また、図A-1に装置写真を示す。試験容器の内径は90～115 mmであり、それに応じて初期液面高さも異なっている。回転子設置位置は10 mm以下、回転子の長さは43～70 mm、攪拌方法は機関Bのみ磁カスターラーで、他はプロペラを用いている。滴下方法は、機関Bのみ自動滴定で、他は手動のビュレットまたはピペットを使用している。

#### (5) 測定項目等

予備検討結果から、十分な測定濃度が得られるホウ素（B）、銅（Cu）、モリブデン（Mo）、鉛（Pb）、全クロム（T-Cr）および亜鉛（Zn）を各機関で測定した。さらに、各機関の測定ミスを避けるために、各試験検液を国立環境研究所（以下、国環研と言う）にて一括して測定した。その際、他の元素測定も併せて行っている。各試験検液には濃硝酸を体積割合で0.5%試験検液に添加し測定を行っている。

表A-4に各項目の測定方法を示す。BはICP-AES、他はICP-MSまたはICP-AESを使用する機関が多い。機関Eはフレイムレス原子吸光を用いている。表A-5に各元素の濃度計算方法を示す。内部標準を用いた検量線法、または、絶対検量線法のいずれかがほとんどである。表A-6に各測定項目の定量下限を示す。機関Dは酸系列とアルカリ系列で異なる測定条件を適用しているため、定量下限が異なっている。

表 A-3 装置条件等

機関	容器内径	初期液面高さ	底面から回転子下端までの高さ	回転子長さ	回転子高さ	容器上面の開口面積率	pH電極校正点	攪拌方法	回転子形状	滴下方法	回転子回転数
A	90	130	10	70	10	4.4	4, 7, 12	プロペラ	半月状	手動ビュレット	200±10
B	106	94	0	50	8	1.6	4, 7, 12	スターラー	円柱	自動滴定	186-190/ 208-220*
C	93	123	10	50	19	2	4, 7, 9	プロペラ	半月状	ピペット	200±2
D	115	81	10	50	14	1.8	4, 7, 9	プロペラ	半月状	ピペット	200±2
E	108	89	9	50	19	2.7	4, 7, 9#	プロペラ	半月状	手動ビュレット	200±20
F	104	95	10	60	16.7	4.3	4, 7, 9	プロペラ	上部；角、下部；扇形	手動ビュレット	200
G	100	90	10	43	12	1.5	4, 7, 9	プロペラ	半月状	手動ビュレット	200

# 酸系列は 4, 7、アルカリ系列は 7, 9 の各 2 点校正。\* 酸系列/アルカリ系列

表 A-4 各元素の測定方法

機関	B	Cu	Mo	Pb	T-Cr	Zn
A	ICP-AES	ICP-AES/ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS
B	ICP-AES	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS
C	ICPAES	ICPAES	ICPAES	ICPAES	ICPAES	ICPAES
D	ICP-AES	ICP-AES	ICP-AES	ICP-AES	ICP-AES	ICP-AES
E	未測定	Flameless-AAS	未測定	Flameless-AAS	Flameless-AAS	Flame-AAS
F	ICP-AES	ICP-AES	ICP-AES	ICP-AES	ICP-AES	ICP-AES
G	ICP-AES	ICP-AES	ICP-AES	ICP-AES	ICP-AES	ICP-AES
国環研	ICP-AES	ISP-MS	ISP-MS	ISP-MS	ISP-MS	ISP-MS

ICP-AES：誘導結合プラズマ発光分析法、ICP-MS：誘導結合プラズマ質量分析法、Flameless-AAS：フレイムレス原子吸光法

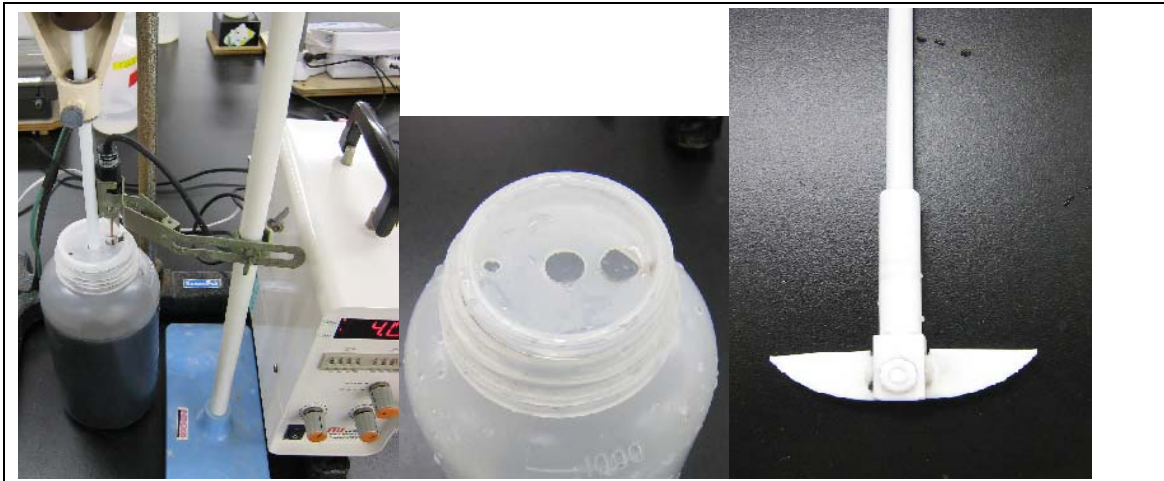
表 A-5 各元素の濃度計算方法

機関	B	Cu	Mo	Pb	T-Cr	Zn
A	検量線法	検量線法/ 内部標準法	内部標準法	内部標準法	内部標準法	内部標準法
B	検量線法	検量線法	検量線法	検量線法	検量線法	検量線法
C	検量線法	検量線法	検量線法	検量線法	検量線法	検量線法
D	内部標準法/ 未測定	内部標準法	内部標準法	内部標準法	内部標準法	内部標準法
E	未測定	検量線法	未測定	標準添加法	検量線法	検量線法
F	検量線法	検量線法	検量線法	検量線法	検量線法	検量線法
G	内部標準法	内部標準法	内部標準法	内部標準法	内部標準法	内部標準法
国環研	検量線法	検量線法	検量線法	検量線法	検量線法	検量線法

記号“/”の前後について、前側が酸系列、後ろ側がアルカリ系列の濃度決定方法を表す。

表 A-6 各元素の定量下限

機関	B	Cu	Mo	Pb	T-Cr	Zn	備考
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
A	0.05	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
B	0.01	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
C	0.01	0.01	0.01	0.001	0.01	0.01	
D	0.007	0.002	0.0007	0.004	0.0002	0.0002	酸系列
	未測定	0.004	0.003	0.01	0.003	0.001	アルカリ系列
E	未測定	0.001	未測定	0.001	0.001	0.050	
F	0.02	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
G	0.05	0.01	0.005	0.01	0.001	0.01	
国環研	0.001	0.0005	0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	



機関 A



機関 B



機関 C

図 A-1 試験装置



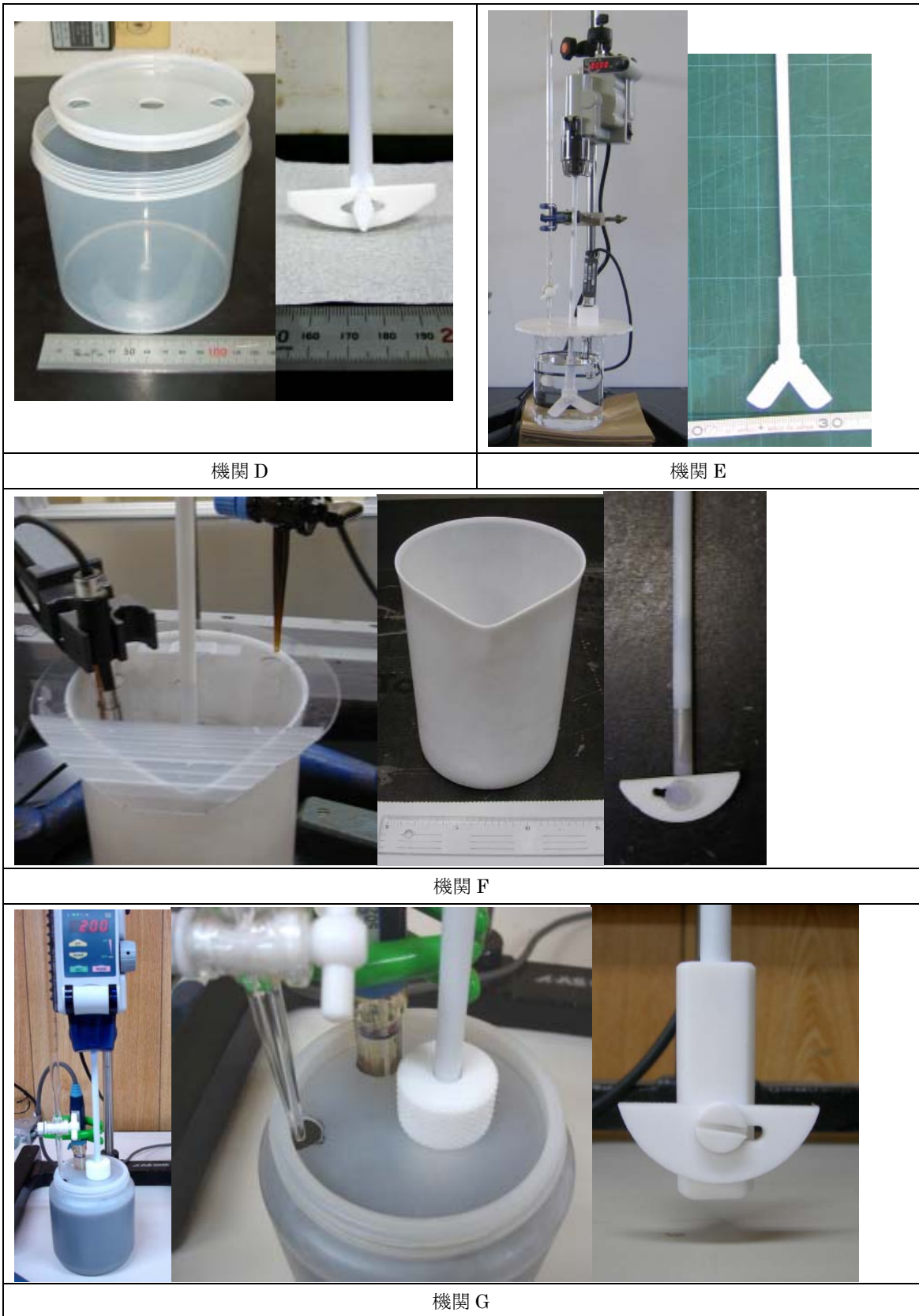


図 A-1 試験装置 (つづき)

## 4-2 結果

### (1) pH および試薬添加量

表 A-7 に、pH および試薬添加量を示す。図 A-2 と図 A-3 は、3 時間後の pH と試薬添加量を示したものである。なお、STEP 1 では、酸系列、アルカリ系列ともに試薬無添加で試験を実施しており、試薬添加を行ったのは STEP 2 のみである。

酸系列の結果を見ると、STEP 1 の pH は 6.5～7.0 の範囲でややばらつきが見られる。STEP 2 は pH 4.0～4.1 の範囲内である。試薬（硝酸）添加量は 0.008～0.013 mol/kg で、平均 0.010 mol/kg、併行標準偏差 7.2%、(室間)再現標準偏差 11.0%であった<sup>d</sup>。

アルカリ系列では、STEP 1 の pH 範囲は 11.2～12.2 で、酸系列よりデータの範囲が大きい。機関 B と機関 D を除けば 11.6～11.7 の間に収まっている。STEP 2 では、機関 B を除いて 11.9～12.0 の範囲にある。機関 B では規格案の設定範囲（11.9～12.1）を超える結果となり、特に試験 No. 3 では試薬添加を行っていないにも関わらず pH が徐々に上昇した。STEP 2 での試薬（水酸化ナトリウム水溶液）添加量を見ても、機関 B と機関 D が特異的である。機関 B では試験回数を経るごとに試薬添加量は少なくなっている。この原因として、pH 電極の表示値が高 pH 側へシフトしたことが予想される。また、機関 D では STEP 1 の pH 値が低い 1 回目と 3 回目で、STEP 2 での試薬添加量が多い結果となっている。機関 D の試験担当機関の報告では、1 回目と 3 回目は同じ電極を使用しており、2 回目は別の電極を使用したとのことである。このことから、1・3 回目に使用した電極は実際値よりも低く表示されていたと考えられる。以上の状況から、機関 B、および、機関 D の試験 No.1 と試験 No.3 の結果を除外してデータを整理した結果、平均 0.27 mol/kg、併行標準偏差 4.4%、(室間)再現標準偏差 24.0%であった。

本精度調査の実施にあたっては、電極の確実な校正を重ねて依頼した。しかし、既に劣化が進んでいたガラス電極を使用した、もしくは、高アルカリ性の溶液に長時間浸漬することで電極の劣化が進行したため、pH が正しく測定されなかったケースのあることが示唆された。後述するように、試薬の過剰／過小添加は試験結果に大きく影響する。そのため、電極は出来るだけ新しいものを使用し、pH は測定時のみ浸漬するなどの工夫が重要である。

---

<sup>d</sup> JIS Z 8402-2 測定方法及び測定結果の精確さ（真度及び精度）—第 2 部：標準測定方法の併行精度及び再現精度を求めるための基本的な方法 (ISO 5725-2 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - Part 2 : Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method)

表 A-7(1) 各系列・ステップの pH と試薬添加量データ

機関	試験 No.	酸系列 (銅スラグ)			アルカリ系列 (焼却主灰)		
		STEP 1	STEP 2		STEP 1	STEP 2	
		pH	pH	試薬添加量 mol/kg	pH	pH	試薬添加量 mol/kg
A	1	6.73	4.04	0.011	11.69	11.95	0.20
	2	6.72	4.02	0.012	11.70	11.94	0.19
	3	6.63	4.01	0.012	11.72	11.94	0.19
B	1	6.96	4.06	0.010	11.77	(12.18)	(0.27)
	2	6.77	4.07	0.011	11.89	(12.27)	(0.17)
	3	6.80	4.09	0.013	12.26	(12.18)	(0.00)
C	1	6.90	4.09	0.010	11.61	11.90	0.30
	2	6.83	4.01	0.010	11.60	11.97	0.30
	3	6.86	4.07	0.010	11.63	11.95	0.30
D	1	6.67	4.09	0.009	11.42	11.90	(0.60)
	2	6.73	4.06	0.008	11.57	11.92	0.27
	3	6.64	4.05	0.009	11.23	11.89	(0.99)
E	1	6.53	4.04	0.011	11.58	11.99	0.39
	2	6.52	4.04	0.011	11.61	11.99	0.35
	3	6.73	4.04	0.010	11.56	11.99	0.36
F	1	6.62	4.03	0.010	11.58	11.99	0.28
	2	6.58	4.03	0.009	11.65	12.00	0.27
	3	6.66	4.02	0.011	11.61	11.99	0.28
G	1	6.63	4.00	0.010	11.70	11.99	0.22
	2	6.61	4.01	0.010	11.69	12.00	0.22
	3	6.69	4.00	0.010	11.69	11.98	0.23

※試薬添加量の括弧書き数値は異常値として精度評価から除外した

表 A-7(2) ステップ 2 試薬添加量の JIS Z 8402-2 による統計量計算結果

	酸系列 STEP 2 試薬添加量	アルカリ系列 STEP 2 試薬添加量
試験室数	7	6
一般平均 (mol/kg)	0.010	0.27
併行標準偏差 (%)	7.2	4.4
(室間)再現標準偏差 (%)	11.0	24.0

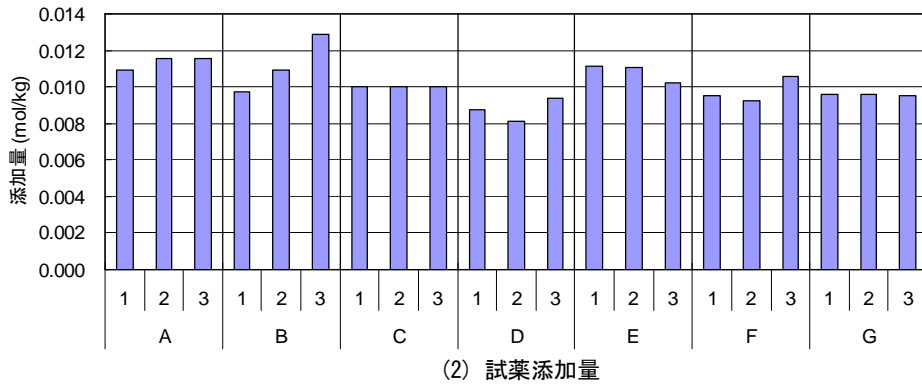
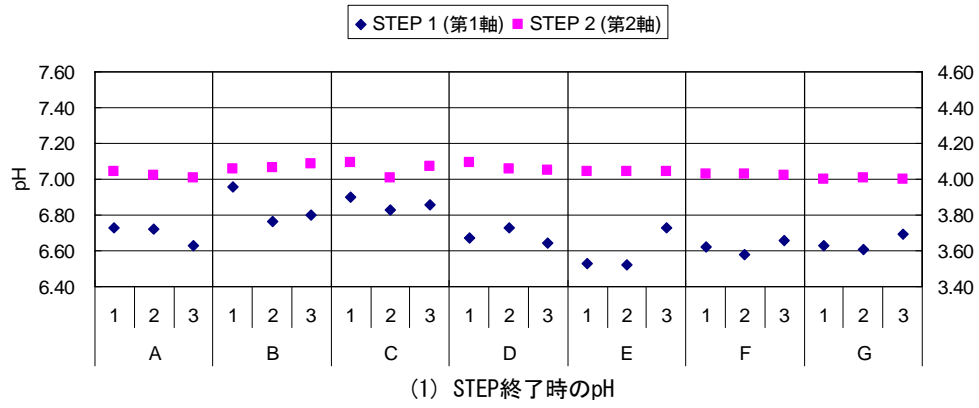


図 A-2 酸系列各 STEP 終了時の pH と試薬添加量

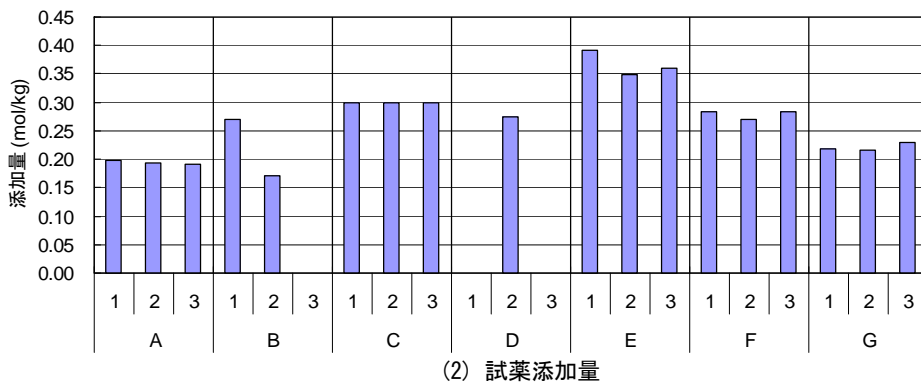
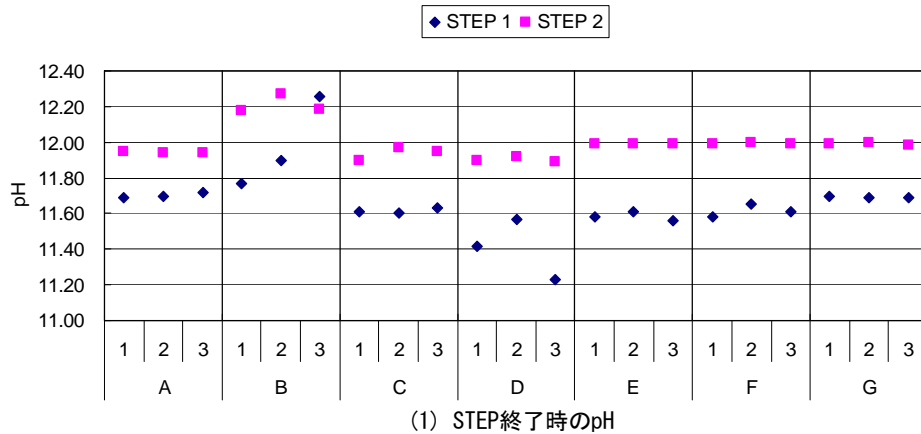


図 A-3 アルカリ系列各 STEP 終了時の pH と試薬添加量

## (2) 測定データ解析結果

図 A-4 に測定結果をステップごとに示す。

各機関と国環研の両方で試験検液の測定を実施したが、ここでは、次の理由により、どちらの値も評価することとした。すなわち、各機関から国環研への試料液の梱包・送付そして開封作業等によって試験検液が何らかの汚染を受ける可能性がある。また、単純に、時間の経過によって極微量成分濃度のばらつきは大きくなることが知られている。一方で、各試験検液の測定方法や濃度計算方法を共通化することにより、それらを原因とするばらつきを取り除くことが出来る。したがって、このようなばらつきの要因の違いを念頭に置いて測定結果を評価することが重要である<sup>e</sup>。

各機関と国環研の結果を比較すると、一部、やや大きな差異が見られるが、そのような傾向が見られるのはごく一部であり、データのばらつき方は大きな違いは認められない。

表 A-8 に、測定結果を JIS Z 8402-2 に基づいて整理し、元素ごとに、併行標準偏差と(室間)再現標準偏差を整理した。表には国環研のみ測定した元素 (Mn, Ni, Cd, Se, Sb) も含めた。

併行標準偏差は、ある測定機関において試験を繰り返し行った際の標準偏差を表す。各ステップの最大値は、酸系列・ステップ 1 では 14.3% (Ni)、ステップ 2 では 12.9% (Cu・国環研)、アルカリ系列・ステップ 1 では 13.9% (Ni)、ステップ 2 では 10.0% (Pb・国環研) であった。ステップ 1 と 2 の合計量で表す環境最大溶出可能量については、酸系列 15.1% (Ni)、アルカリ系列 10.5% (Mn) であった (いずれも測定は国環研)。他の元素の値は、概ね 10%前後、または、それよりもさらに低く、良好な結果が得られた。

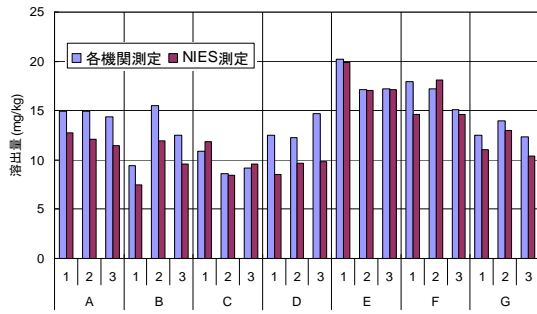
(室間)再現標準偏差は、測定機関の間での結果の標準偏差を表す。はじめに酸系列について見ると、各機関と国環研の両方で値の得られた元素は少ないが、酸系列・ステップ 2 の Pb を除き、いずれも各機関測定値の方がばらつきは小さい結果となった。その値の範囲は、各機関：11.3～23.1%、国環研：17.7～29.0%であった。国環研のみ測定した Mn, Ni, Cd はばらつきがやや大きく 11.9～32.0%の範囲であったが、これは測定値が定量下限付近であったことも留意する必要がある。次に、アルカリ系列について見ると、各機関と国環研の違いはあまり明確ではなく、中には Mo や Cr のように、国環研の方が小さくなる結果も見られた。国環研のみ測定した Mn, Ni, Se, Sb を含めて見ても、値が 20%を超えたのは Pb と Zn のみであった。図 A-4 の Pb と Zn の結果は図 A-3 のアルカリ系列の試薬添加量と良く似ていることから、両元素については試薬添加による pH の影響を顕著に受けたと思われる。すなわち、Pb と Zn の溶解度はアルカリ側ではわずかな pH の違いにより急激に変化することから、懸濁液の pH 値を反映した可能性が考えられる。

## (3) まとめ

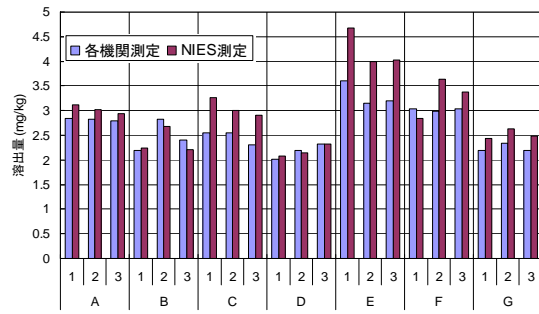
精度調査の結果、本試験規格案による (室間)再現標準偏差はおおむね 20%程度を確保していることが確認された。ただし、Pb や Zn などアルカリ系列で pH の影響を顕著に受ける元素があるため、電極の状態には常に留意する必要がある。

---

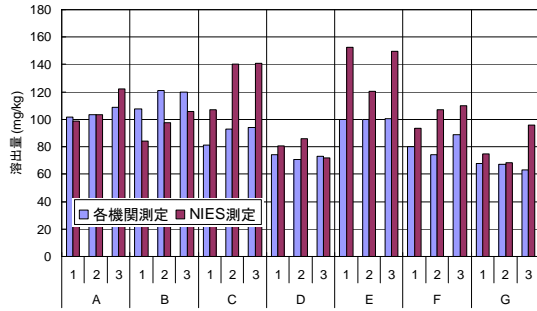
<sup>e</sup> 結果整理開始当初は各機関と国環研で値が大きく異なる場合があり、各機関との確認作業、そして再測定を重ねた結果、測定ミスなどを確認することができた。このような経緯から、複数機関での測定は極めて有効に機能したと思われる。



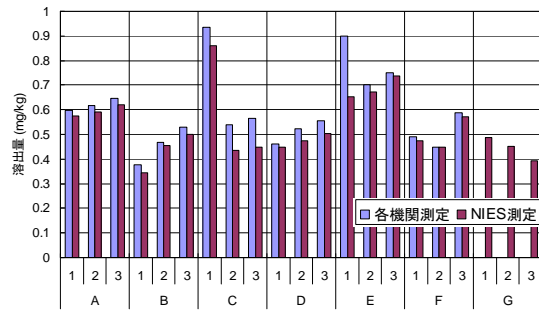
(1) 酸系列 STEP1 Cu



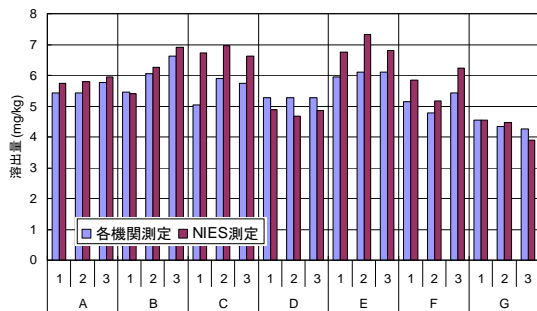
(2) 酸系列 STEP1 Zn



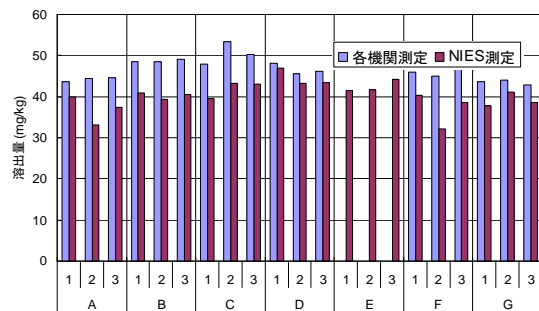
(3) 酸系列 STEP2 Cu



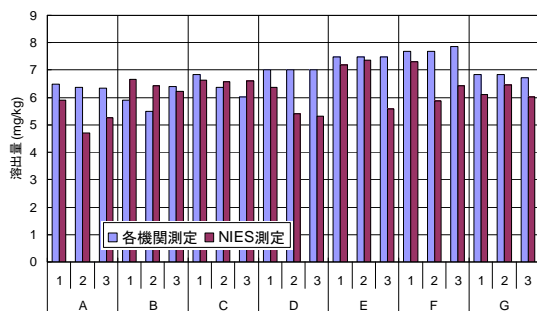
(4) 酸系列 STEP2 Pb



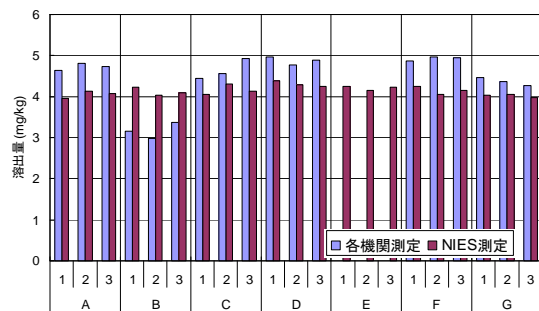
(5) 酸系列 STEP2 Zn



(6) アルカリ列 STEP1 B

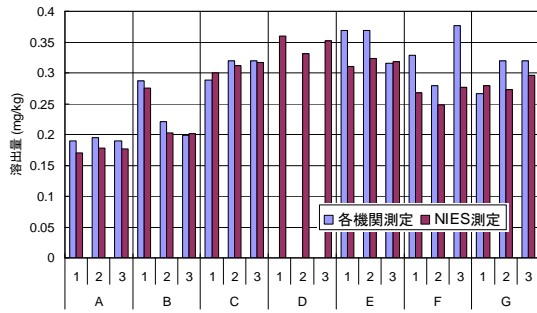


(7) アルカリ系列 STEP1 Cu

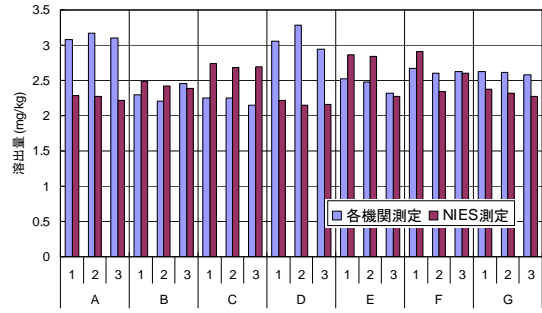


(8) アルカリ系列 STEP1 Mo

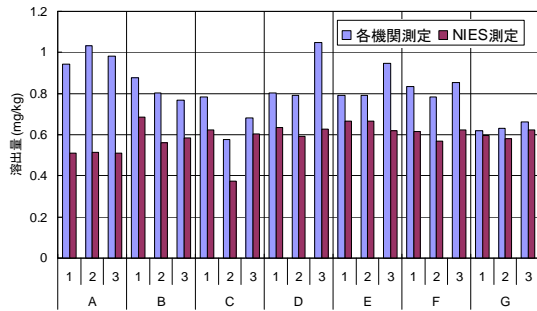
図 A-4 精度調査 測定結果



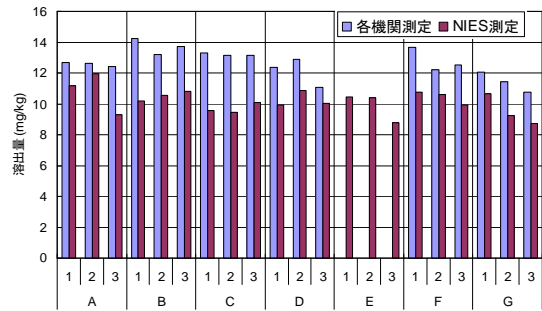
(9) アルカリ系列 STEP1 Pb



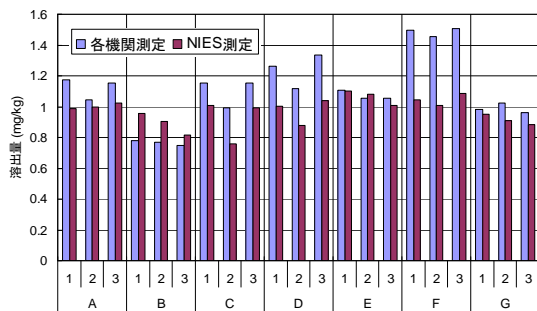
(10) アルカリ系列 STEP1 Cr



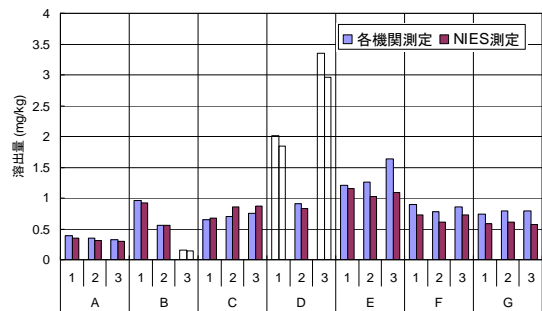
(11) アルカリ系列 STEP1 Zn



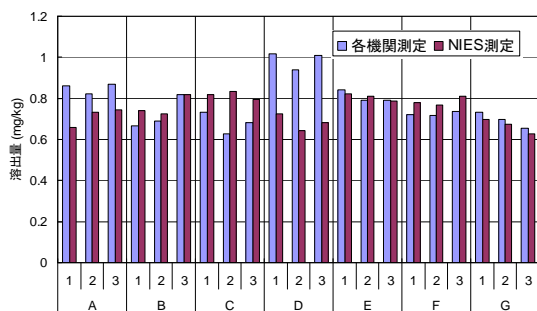
(12) アルカリ系列 STEP2 B



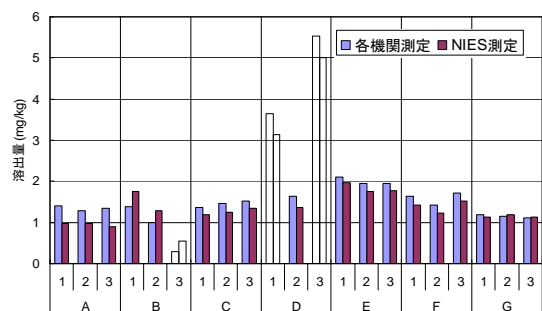
(13) アルカリ系列 STEP2 Cu



(14) アルカリ系列 STEP2 Pb



(15) アルカリ系列 STEP2 Cr



(16) アルカリ系列 STEP2 Zn

図 A-4 精度調査 測定結果 (つづき)

表 A-8 (1) 酸系列

	測定機関	酸系列・ステップ 1				酸系列・ステップ 2				酸系列・ステップ 1+ステップ 2			
		試験室数	一般平均 (mg/kg)	併行標準偏 差(%)	(室間)再現 標準偏差(%)	試験室数	一般平均 (mg/kg)	併行標準偏 差(%)	(室間)再現 標準偏差(%)	試験室数	一般平均 (mg/kg)	併行標準偏 差(%)	(室間)再現 標準偏差(%)
Cu	各機関	7	14.0	11.7	22.7	7	90	5.8	20.6	7	104	5.3	18.4
	国環研	7	12.3	12.7	29.0	7	105	12.9	24.5	7	118	11.5	23.5
Pb	各機関	—	—	—	—	6	0.57	12.3	23.1	—	—	—	—
	国環研	—	—	—	—	7	0.51	9.7	20.4	—	—	—	—
Zn	各機関	7	2.6	6.7	16.9	7	5.4	5.9	11.7	7	8.1	4.7	11.3
	国環研	7	3.0	8.6	24.6	7	5.8	6.9	17.7	7	8.8	4.8	18.0
Mn	国環研	7	0.14	6.8	20.4	7	0.29	4.4	17.3	7	0.43	4.3	17.9
Ni	国環研	7	0.11	14.3	<b>32.0</b>	7	0.16	8.4	19.9	7	0.28	15.1	27.6
Cd	国環研	7	0.02	10.2	26.5	7	0.045	6.7	11.9	7	0.063	5.9	14.1

表 A-8 (2) アルカリ系列

	測定機関	アルカリ系列・ステップ 1				アルカリ系列・ステップ 2				アルカリ系列・ステップ 1+ステップ 2			
		試験室数	一般平均 (mg/kg)	併行標準偏 差(%)	(室間)再現 標準偏差(%)	試験室数	一般平均 (mg/kg)	併行標準偏 差(%)	(室間)再現 標準偏差(%)	試験室数	一般平均 (mg/kg)	併行標準偏 差(%)	(室間)再現 標準偏差(%)
B	各機関	6	47	3.1	6.2	6	12.6	5.0	7.6	6	59	2.7	6.0
	国環研	7	40	6.2	8.8	7	10.1	7.2	7.2	7	51	4.5	6.2
Cu	各機関	7	6.8	3.5	9.8	7	1.1	5.7	20.4	7	7.9	3.1	10.6
	国環研	7	6.2	9.2	11.4	7	0.97	7.5	9.2	7	7.2	8.3	10.1
Mo	各機関	6	4.5	3.4	15.0	6	0.54	6.5	21.2	6	5.0	3.3	13.5
	国環研	7	4.1	2.1	2.9	7	0.48	4.2	7.9	7	4.6	1.9	2.5
Pb	各機関	6	0.29	12.2	23.4	6	0.76	6.1	<b>37.7</b>	5	1.0	7.1	<b>34.7</b>
	国環研	7	0.27	3.8	22.8	6	0.71	10.0	<b>39.3</b>	6	0.98	7.7	<b>33.5</b>
Cr	各機関	7	2.6	3.7	13.9	7	0.78	5.8	14.9	7	3.4	3.3	13.4
	国環研	7	2.5	7.0	10.3	7	0.75	4.8	9.0	7	3.2	5.7	9.5
Zn	各機関	7	0.81	10.2	16.8	7	1.5	5.9	20.1	7	2.3	4.2	15.8
	国環研	7	0.60	5.4	8.5	7	1.3	7.0	24.8	7	1.9	6.4	20.1
Mn	国環研	7	0.030	6.1	11.9	7	0.02	4.4	11.3	7	0.05	10.5	12.2
Fe	国環研	6	0.21	14.9	29.1	6	0.21	11.7	19.3	6	0.47	9.9	9.9
Ni	国環研	7	0.025	13.9	18.9	—	—	—	—	—	—	—	—
Se	国環研	7	0.089	12.5	15.2	—	—	—	—	—	—	—	—
Sb	国環研	7	1.7	3.3	4.4	7	1.0	2.9	6.8	7	2.7	2.4	4.7



## 5 参考データ集

- ここに掲載したデータは参考情報であり、各種類の試料の特性を代表するものではない。
- 試薬添加量 (mol/kg) は、酸系列、アルカリ系列それぞれの「酸中和容量 (Acid Neutralization Capacity, ANC)」と「アルカリ中和容量 (Base Neutralization Capacity, BNC)」を表す。
  - 試薬添加量から、最低限必要とする試薬濃度  $C_{min}$  (mol/L) (液固比 50 L/kg の 10%以内、すなわち、液固比換算で 5 L/kg 以内に納めるための値) は次式で計算される。  

$$C_{min} = (\text{ANC or BNC}) / 5$$
  - 試験で通常使用する 16 g 試料+800 mL 初期溶媒量に対して、試薬添加量を 16 mL (液固比換算で 1 L/kg) とすれば、表中の試薬添加量をそのまま試薬濃度 (mol/L) に読み替えることができる。例：表の値が 0.038 mol/kg → 0.038 mol/L を 16 mL 添加
- 環境最大溶出可能量は、酸系列とアルカリ系列の Total の数値のうちで値の大きい方を採用する。「Total」の表記方法については、本試験規格 X.X を参照のこと。
- 各測定値の空欄は、未測定であることを表す (pH の Total の空欄を除く)。
- 各測定値 (mg/kg) を 50 (Step 1, Step 2) または 100 (Total) で除すことにより、分析装置での測定濃度が得られる。

表 A-9 (1) 産業廃棄物溶融スラグ (一般廃棄物および建設系廃棄物が主原料)

		産業廃棄物溶融スラグ(一般廃棄物、建設系廃棄物)							含有量
		酸系列			アルカリ系列				
試薬添加量	mol/kg	Step 1	Step 2	Total	Step 1	Step 2	Total		
		0.038	0.086	0.124	0	0.63	0.63		
pH		7.0	4.4		9.6	12.1			
As	mg/kg	<0.05	<0.05	<0.1	<0.05	<0.05	<0.1	<0.5	
B	mg/kg	23	11	33	26	14	40	410	
Cd	mg/kg	<0.05	<0.05	<0.1	<0.05	<0.05	<0.1	<0.05	
Cu	mg/kg	0.05	0.7	0.75	<0.05	<0.05	<0.1	210	
Mo	mg/kg	<0.05	<0.05	<0.1	<0.05	<0.05	<0.1	14.7	
Ni	mg/kg	0.2	0.6	0.8	<0.05	<0.05	<0.1	141	
Pb	mg/kg	<0.05	0.3	0.35 *	<0.05	0.1	0.15 *	12	
T-Cr	mg/kg	<0.05	0.30	0.35 *	<0.05	0.20	0.25 *	845	
Zn	mg/kg	0.95	9.5	10	0.10	0.50	0.60	214	

表 A-9 (2) 銅スラグ

		銅スラグ							含有量
		酸系列			アルカリ系列				
試薬添加量	mol/kg	Step 1	Step 2	Total	Step 1	Step 2	Total		
		0.000	0.013	0.013	0	0.85	0.85		
pH		6.8	4.0		6.8	12.0			
As	mg/kg	0.09	0.78	0.87	0.34	3.4	3.7	1745	
B	mg/kg	<0.05	0.06	0.11 *	0.05	0.08	0.13	120	
Cd	mg/kg	<0.05	0.21	0.26 *	0.05	<0.05	0.10 *	22	
Cu	mg/kg	3.1	65	69	3.5	1.5	5.1	7769	
Mo	mg/kg	0.94	0.08	1.0	1.3	0.44	1.7	2665	
Ni	mg/kg	0.35	4.9	5.2	0.50	<0.05	0.55 *	141	
Pb	mg/kg	<0.05	1.1	1.1	0.14	<0.05	0.19 *	981	
T-Cr	mg/kg	<0.05	<0.05	<0.1	<0.05	<0.05	<0.1	236	
Zn	mg/kg	4.0	11	15	6.1	1.7	7.8	12653	

表 A-9 (3) 一般廃棄物焼却飛灰

		一般廃棄物焼却飛灰 GFA00							含有量
		酸系列			アルカリ系列				
試薬添加量	mol/kg	Step 1	Step 2	Total	Step 1	Step 2	Total		
		1.7	1.8	3.5	0	0.92	0.92		
pH		7.4	4.1		11.9	12.0			
As	mg/kg	1.8	7.7	9.5	0.08	<0.05	0.13 *		
B	mg/kg	23	19	42	0.18	<0.05	0.23 *		
Cd	mg/kg	11	23	34	0.12	<0.05	0.17 *	45	
Cu	mg/kg	0.73	81	81	0.90	0.50	1.4	401	
Mo	mg/kg	5.4	0.41	5.8	4.4	0.84	5.2		
Ni	mg/kg	5.0	66.7	71.7	<0.05	<0.05	<0.1		
Pb	mg/kg	0.68	5.4	6.1	143	40.4	183	669	
T-Cr	mg/kg	11	2.4	14	5.7	2.0	7.8	126	
Zn	mg/kg	99	2777	2877	193	129	322	5150	

表 A-9 (4) 石炭灰 (フライアッシュ)

		石炭灰 (フライアッシュ) TCF06							含有量
		酸系列			アルカリ系列				
試薬添加量	mol/kg	Step 1	Step 2	Total	Step 1	Step 2	Total		
		0.14	0.092	0.23	0	0.40	0.40		
pH		7.3	4.0		11.1	12.0			
As	mg/kg	1.8	1.8	3.6	1.0	1.1	2.1	8.7	
B	mg/kg	46	13	60	41	11	52	112	
Cd	mg/kg	<0.5	<0.5	<1	<0.5	<0.5	<1	<0.05	
Cu	mg/kg	<5	<5	<10	<5	<5	<10	22	
Mo	mg/kg	5.9	0.15	6.1	5.5	1.1	6.6	9.2	
Ni	mg/kg	<0.5	0.6	1.1 *	<0.5	2.1	2.6 *	15	
Pb	mg/kg	<5	<5	<10	<5	<5	<10	12	
T-Cr	mg/kg	1.3	<1	2.3 *	<1	<1	<2	17	
Zn	mg/kg	<0.5	2.7	3.2 *	<0.5	<0.5	<1	42	

表 A-9 (5) 産業廃棄物溶融スラグ (自動車シュレッダーダストを主原料)

		産業廃棄物溶融スラグ(B) M002							含有量
		酸系列			アルカリ系列				
試薬添加量	mol/kg	Step 1	Step 2	Total	Step 1	Step 2	Total		
		0.006	0.15	0.16	0.0	0.51	0.51		
pH		7.3	4.1		9.3	12.2			
As	mg/kg	0.023	0.12	0.15	0.67	0.83	1.5	1.2	
B	mg/kg	0.61	5.1	5.7	44	18	62	750	
Cd	mg/kg	0.038	0.14	0.18	<0.0025	<0.0025	<0.005	<1	
Cu	mg/kg	4.5	531	536	<0.005	0.027	0.032 *		
Mo	mg/kg	0.097	0.16	0.25	3.9	0.51	4.4		
Ni	mg/kg	2.6	12	15	0.008	<0.005	0.013 *		
Pb	mg/kg	<0.0025	11	11	<0.0025	<0.0025	<0.005	940	
T-Cr	mg/kg	<0.005	0.50	0.51 *	1.8	0.88	2.6	620	
Zn	mg/kg	5.5	105	110	<0.005	0.024	0.029 *		
Se	mg/kg	0.028	0.020	0.048	1.2	0.34	1.5	<0.5	
Fe	mg/kg	0.084	1317	1317	0.25	1.2	1.4		
Mn	mg/kg	2.4	14	17	0.004	0.029	0.032		
Sb	mg/kg	0.97	4.7	5.7	0.38	0.31	0.69		
V	mg/kg	<0.0025	0.21	0.21	7.2	5.1	12		

表 A-9 (6) 一般廃棄物溶融スラグ

		一般廃棄物溶融スラグ							含有量
		M014 酸系列			アルカリ系列				
		Step 1	Step 2	Total	Step 1	Step 2	Total		
試薬添加量	mol/kg	0.12	1.3	1.5	0.0	0.0	0.0		
pH		6.7	4.0		10.8	12.1			
As	mg/kg	0.014	0.025	0.039	<0.0025	0.010	0.013 *	1.1	
B	mg/kg	1.8	16	17	0.41	0.69	1.1	260	
Cd	mg/kg	<0.0025	<0.0025	<0.005	<0.0025	<0.0025	<0.005	<1	
Cu	mg/kg	0.019	<0.005	0.024 *	0.065	0.063	0.13		
Mo	mg/kg	0.038	0.005	0.04	1.2	0.60	1.8		
Ni	mg/kg	1.2	4.6	5.8	0.073	0.024	0.097		
Pb	mg/kg	0.004	0.004	0.008	0.006	<0.0025	0.009 *	16	
T-Cr	mg/kg	<0.005	1.3	1.3	1.0	0.90	1.9	140	
Zn	mg/kg	0.94	71	72	<0.005	<0.005	<0.01		
Se	mg/kg	0.023	<0.005	0.028 *	0.039	0.018	0.056	1.1	
Fe	mg/kg	6.3	1602	1608	0.067	0.067	0.13		
Mn	mg/kg	13	146	160	<0.005	0.008	0.013 *		
Sb	mg/kg	0.51	0.059	0.57	0.014	0.06	0.071		
V	mg/kg	<0.0025	0.35	0.35	0.009	0.21	0.22		

表 A-9 (7) 高炉スラグ

		高炉スラグ							含有量
		M027 酸系列			アルカリ系列				
		Step 1	Step 2	Total	Step 1	Step 2	Total		
試薬添加量	mol/kg	0.520	5.804	6.3	0.0	0.0	0.0		
pH		7.1	4.1		11.5	12.0			
As	mg/kg	0.011	0.066	0.076	0.12	0.023	0.14	<0.5	
B	mg/kg	4.3	22	27	0.81	0.81	1.6	96	
Cd	mg/kg	<0.0025	<0.0025	<0.005	<0.0025	<0.0025	<0.005	<1	
Cu	mg/kg	<0.005	<0.005	<0.01	0.15	0.061	0.21		
Mo	mg/kg	0.020	<0.0025	0.023	0.015	0.003	0.018		
Ni	mg/kg	0.17	0.56	0.73	0.062	<0.005	0.067 *		
Pb	mg/kg	<0.0025	<0.0025	0.01	0.003	0.007	0.010	<10	
T-Cr	mg/kg	<0.005	0.15	0.16 *	0.14	0.10	0.24	<2	
Zn	mg/kg	0.041	0.45	0.5	0.010	0.056	0.066		
Se	mg/kg	<0.005	0.026	0.031 *	0.069	<0.005	0.074 *	1.3	
Fe	mg/kg	5.3	343	348	0.63	0.40	1.0		
Mn	mg/kg	33	576	609	0.026	0.067	0.09		
Sb	mg/kg	0.008	<0.005	0.013 *	0.17	0.092	0.26		
V	mg/kg	0.23	1.5	1.8	0.037	0.064	0.10		

表 A-9 (8) 下水汚泥焼却灰

		下水汚泥焼却灰							含有量
		M079 酸系列			アルカリ系列				
		Step 1	Step 2	Total	Step 1	Step 2	Total		
試薬添加量	mol/kg	3.0	1.2	4.1	0.0	0.0	0.0		
pH		11.8	4.1		12.7	12.0			
As	mg/kg	4.2	11	15	0.019	0.075	0.094	33	
B	mg/kg	19	12	31	0.23	1.2	1.4	53	
Cd	mg/kg	0.008	0.69	0.70	<0.0025	<0.0025	<0.005	4.4	
Cu	mg/kg	0.12	25	25	0.39	0.058	0.45		
Mo	mg/kg	9.7	1.1	11	7.2	1.5	8.7		
Ni	mg/kg	0.83	5.3	6.2	0.053	0.019	0.072		
Pb	mg/kg	<0.0025	0.015	0.018 *	0.52	0.010	0.53	100	
T-Cr	mg/kg	1.5	0.20	1.7	1.0	0.73	1.8	53	
Zn	mg/kg	0.25	376	376	0.46	0.028	0.48		
Se	mg/kg	3.8	2.3	6.1	0.69	0.79	1.5	5.4	
Fe	mg/kg	0.10	39	39	<0.05	0.31	0.36 *		
Mn	mg/kg	8.7	225	234	<0.005	0.12	0.13		
Sb	mg/kg	0.57	0.25	0.81	<0.005	0.064	0.069 *		
V	mg/kg	4.5	0.66	5.2	0.059	1.2	1.2		

表 A-9 (9) 石炭灰 (フライアッシュ)

		石炭灰(フライアッシュ) M030						含有量
		酸系列			アルカリ系列			
		Step 1	Step 2	Total	Step 1	Step 2	Total	
試薬添加量	mol/kg	0.25	0.06	0.32	0.0	0.0	0.0	
pH		7.3	4.0		11.6	12.0		
As	mg/kg	1.9	1.0	3.0	0.13	0.33	0.46	8.9
B	mg/kg	76	13	88	0.86	0.28	1.1	160
Cd	mg/kg	<0.0025	0.027	0.030 *	<0.0025	<0.0025	<0.005	<1
Cu	mg/kg	<0.005	3.6	3.6	0.53	6.3	6.8	
Mo	mg/kg	4.3	0.14	4.5	0.15	0.076	0.23	
Ni	mg/kg	0.43	0.63	1.1	0.069	0.035	0.10	
Pb	mg/kg	<0.0025	0.008	0.010 *	0.030	0.132	0.16	19
T-Cr	mg/kg	3.1	1.0	4.1	<0.005	0.012	0.017 *	13
Zn	mg/kg	0.045	2.4	2.5	0.11	1.5	1.6	
Se	mg/kg	1.30	0.19	1.5	0.089	0.23	0.32	<0.5
Fe	mg/kg	0.023	1.6	1.6	1.1	5.3	6.4	
Mn	mg/kg	1.9	6.4	8.3	0.13	0.10	0.23	
Sb	mg/kg	0.49	0.23	0.72	0.41	0.42	0.82	
V	mg/kg	15	4	19	<0.0025	0.024	0.027 *	

表 A-9 (10) 石炭灰入りプレキャストコンクリート製品

		石炭灰入りプレキャストコンクリート製品 P030						含有量
		酸系列			アルカリ系列			
		Step 1	Step 2	Total	Step 1	Step 2	Total	
試薬添加量	mol/kg	2.4	1.6	4.0	0.0	0.16	0.16	
pH		7.3	4.1		12.3	12.0		
As	mg/kg	0.19	0.023	0.21	0.006	<0.0025	0.009 *	5.8
B	mg/kg	10	2.6	13	2.8	1.2	3.9	<50
Cd	mg/kg	0.011	0.27	0.28	<0.0025	<0.0025	<0.005	<1
Cu	mg/kg	0.051	12	12	0.093	0.10	0.19	
Mo	mg/kg	2.4	0.007	2.4	0.004	<0.0025	0.007	
Ni	mg/kg	0.92	3.6	4.5	0.032	0.007	0.039	
Pb	mg/kg	<0.0025	0.40	0.40	<0.0025	<0.0025	<0.005	13
T-Cr	mg/kg	2.5	0.17	2.7	0.015	0.013	0.028	7.4
Zn	mg/kg	0.22	32	32	<0.005	<0.005	<0.01	
Se	mg/kg	0.082	0.011	0.093	<0.005	<0.005	<0.01	<0.5
Fe	mg/kg	0.27	268	268	0.19	0.063	0.25	
Mn	mg/kg	6.0	110	116	0.014	0.027	0.041	
Sb	mg/kg	0.32	0.032	0.35	0.010	<0.005	0.015 *	
V	mg/kg	0.98	<0.0025	0.99 *	0.70	0.60	1.3	

表 A-9 (11) 廃瓦入り透水性舗装材

		廃瓦入り透水性舗装材 P050						含有量
		酸系列			アルカリ系列			
		Step 1	Step 2	Total	Step 1	Step 2	Total	
試薬添加量	mol/kg	1.1	2.7	3.8	0.0	0.0	0.0	
pH		7.4	4.1		12.0	12.0		
As	mg/kg	0.31	0.040	0.35	0.045	0.062	0.11	4.3
B	mg/kg	6.0	6.2	12	0.72	0.67	1.4	140
Cd	mg/kg	<0.0025	0.17	0.17 *	<0.0025	<0.0025	<0.005	<1
Cu	mg/kg	0.096	9.1	9.2	0.074	0.030	0.10	
Mo	mg/kg	2.8	0.10	2.9	1.1	0.19	1.3	
Ni	mg/kg	0.53	2.9	3.4	0.016	<0.005	0.021 *	
Pb	mg/kg	<0.0025	0.22	0.22	<0.0025	<0.0025	<0.005	51
T-Cr	mg/kg	2.7	2.0	4.7	1.2	0.43	1.6	22
Zn	mg/kg	0.076	44	44	<0.005	<0.005	<0.01	
Se	mg/kg	0.035	0.042	0.076	0.035	0.010	0.045	<0.5
Fe	mg/kg	0.066	11	11	<0.05	0.060	0.11 *	
Mn	mg/kg	0.387	31	32	<0.005	0.11	0.11	
Sb	mg/kg	0.33	0.16	0.49	0.11	0.066	0.17	
V	mg/kg	2.4	0.070	2.5	1.1	0.85	2.0	

表 A-9 (12) 電気炉スラグ利用再生路盤材

		電気炉スラグ利用再生路盤材A P080						含有量
		酸系列			アルカリ系列			
		Step 1	Step 2	Total	Step 1	Step 2	Total	
試薬添加量	mol/kg	3.9	3.0	6.9	0.0	0.0	0.0	
pH		7.1	4.0		12.2	12.1		
As	mg/kg	0.15	0.17	0.32	<0.0025	0.007	0.010 *	2.7
B	mg/kg	91	68	160	7.0	11	18	330
Cd	mg/kg	<0.0025	<0.0025	<0.005	<0.0025	<0.0025	<0.005	<1
Cu	mg/kg	<0.005	0.024	0.029 *	<0.005	0.006	0.011	
Mo	mg/kg	0.71	0.027	0.74	0.051	0.15	0.20	
Ni	mg/kg	0.15	1.4	1.5	0.030	0.062	0.092	
Pb	mg/kg	<0.0025	0.40	0.40	<0.0025	<0.0025	<0.005	15
T-Cr	mg/kg	<0.005	2.8	2.8 *	<0.005	<0.005	<0.01	6500
Zn	mg/kg	0.018	14	14	<0.005	<0.005	<0.01	
Se	mg/kg	<0.005	0.051	0.056 *	<0.005	<0.005	<0.01	1.4
Fe	mg/kg	11	2871	2882	0.15	0.58	0.73	
Mn	mg/kg	335	2383	2717	0.015	0.16	0.18	
Sb	mg/kg	0.11	0.011	0.12	<0.005	0.029	0.034 *	
V	mg/kg	2.4	2.4	4.8	<0.0025	0.061	0.063 *	

表 A-9 (13) 製砂汚泥入り改良安定材

		製砂汚泥入り改良安定材 P090						含有量
		酸系列			アルカリ系列			
		Step 1	Step 2	Total	Step 1	Step 2	Total	
試薬添加量	mol/kg	1.0	1.4	2.4	0.0	0.0	0.0	
pH		7.5	4.0		12.1	12.0		
As	mg/kg	0.039	0.12	0.16	0.014	0.027	0.040	7.0
B	mg/kg	1.0	1.2	2.2	0.35	0.26	0.61	<50
Cd	mg/kg	<0.0025	0.069	0.072 *	<0.0025	<0.0025	<0.005	<1
Cu	mg/kg	<0.005	1.6	1.7	0.046	0.016	0.062	
Mo	mg/kg	0.35	0.004	0.36	0.27	0.075	0.35	
Ni	mg/kg	0.09	1.4	1.5	0.012	<0.005	0.017 *	
Pb	mg/kg	<0.0025	0.29	0.29	<0.0025	<0.0025	<0.005	<10
T-Cr	mg/kg	0.093	0.055	0.15	0.13	0.059	0.2	29
Zn	mg/kg	<0.005	7.2	7.2 *	<0.005	<0.005	<0.01	
Se	mg/kg	0.011	0.018	0.028	0.021	0.008	0.029	<0.5
Fe	mg/kg	0.051	873	873	0.070	0.31	0.38	
Mn	mg/kg	5.2	416	421	<0.005	0.12	0.13	
Sb	mg/kg	0.037	0.002	0.039	0.010	0.014	0.023	
V	mg/kg	0.023	<0.0025	0.026 *	0.23	0.67	0.91	

表 A-9 (14) 造粒再生採石

		造粒再生砕石(RC-40)1:3 P104						含有量
		酸系列			アルカリ系列			
		Step 1	Step 2	Total	Step 1	Step 2	Total	
試薬添加量	mol/kg	0.79	14.8	15.6	0.0	0.46	0.46	
pH		7.4	4.0		11.3	11.9		
As	mg/kg	0.14	0.094	0.24	<0.0025	0.043	0.045 *	7.0
B	mg/kg	5.8	6.3	12	2.5	1.4	3.8	<50
Cd	mg/kg	<0.0025	0.80	0.80 *	<0.0025	<0.0025	<0.005	3.3
Cu	mg/kg	0.39	41	41	0.23	0.13	0.36	
Mo	mg/kg	0.84	0.049	0.89	0.49	0.065	0.56	
Ni	mg/kg	0.28	2.0	2.2	0.023	0.055	0.078	
Pb	mg/kg	<0.0025	4.1	4.1	<0.0025	<0.0025	<0.005	110
T-Cr	mg/kg	0.64	0.55	1.2	0.30	0.10	0.39	22
Zn	mg/kg	0.37	175	175	<0.005	0.049	0.054 *	
Se	mg/kg	0.021	0.027	0.048	0.023	0.016	0.039	<0.5
Fe	mg/kg	0.059	110	110	0.082	0.35	0.43	
Mn	mg/kg	1.2	48	49	<0.005	0.19	0.20	
Sb	mg/kg	1.2	0.25	1.5	0.69	0.58	1.3	
V	mg/kg	0.44	0.13	0.57	0.45	0.44	0.89	

## 6 試験条件の影響に関する検討（参考情報）

### 6-1 はじめに

本試験規格では、試料と試薬を混合した懸濁液を攪拌しながら、自動滴下装置またはビュレットなどの手操作により試薬を滴下することで pH の制御を連続的に行う。そのため、試薬滴下と pH 電極挿入用として試験容器上部に開口部を設ける必要がある。また、懸濁液の攪拌方法は磁力攪拌子、もしくは、攪拌軸を介したプロペラなど、容器を固定した方法となる。規格案を検討に着手した当初は、これらの項目や攪拌強度（回転数）について明確な規定を行わなかったが、試験結果に重要な影響を及ぼす可能性が示唆されたことから、これらの試験条件の影響について実験的に検討を行った。

### 6-2 実験方法

試料はストーカ式焼却炉より発生した都市ごみ焼却主灰を予めボールミルで微粉碎し 125  $\mu\text{m}$  ふるいを通過した画分を使用した。実験条件を表 A-10 に示す。表に示す項目以外は、本試験規格とほぼ同じ条件で行った。

表 A-10 実験条件

No.	呼称	攪拌方法	開口度 (容器上面に占める割合)	回転子回転数 rpm	備考
1	P-Close-R80	プロペラ	約 1%	80	
2	P-Open-R80	プロペラ	50%以上	80	
3	S-Close-R80	スターラー	約 1%	80	A2 ろ紙巻き上げ B 系列 pH 低下
4	S-Open-R80	スターラー	50%以上	80	
5	P-Close-R500	プロペラ	約 1%	518	
6	P-Open-R500	プロペラ	50%以上	518	
7	S-Close-R500	スターラー	約 1%	518	
8	S-Open-R500	スターラー	50%以上	518	B2 酸添加
9	P-Close-R140	プロペラ	約 1%	140	攪拌強度検討
10	P-Close-R200	プロペラ	約 1%	200	攪拌強度検討
11	P-Close-R350	プロペラ	約 1%	354	攪拌強度検討

### 6-3 実験結果

#### (1) 各条件の影響比較

pH 条件と結果の概要は次のようである。酸系列では、ステップ 1 とステップ 2 はそれぞれ硝酸により  $7.0 \pm 0.3$ 、 $4.0 \pm 0.1$  に調整した。アルカリ系列では、ステップ 1、ステップ 2 とともに約 12.3 であったため、水酸化ナトリウム水溶液の添加は行っていない。

図 A-5 に、各金属の溶出量の実験条件による差異を、最大値を 1.0 として比較した（ただし表 A-10 の No.3 と No.8 については別途考察する）。図から、特に酸系列において、回転数は 80 rpm よりも 500 rpm の方が明らかに大きいことがわかる。この傾向はアルカリ系列・ステップ 1 でもほぼ認められるが、ステップ 2 では不明瞭であった。

#### (2) 回転子回転数と溶出量の関係

溶出量への影響が顕著な回転子回転数について、80 rpm と 500 rpm の間の条件を設定し、検討を重ねた。図 A-6 に、回転数と溶出量の関係を示す。回転数以外の条件は、プロペラ攪拌、開口度 < 1% とした。この図から、酸系列では回転数の増加とともに溶出量も増加することがわかる。

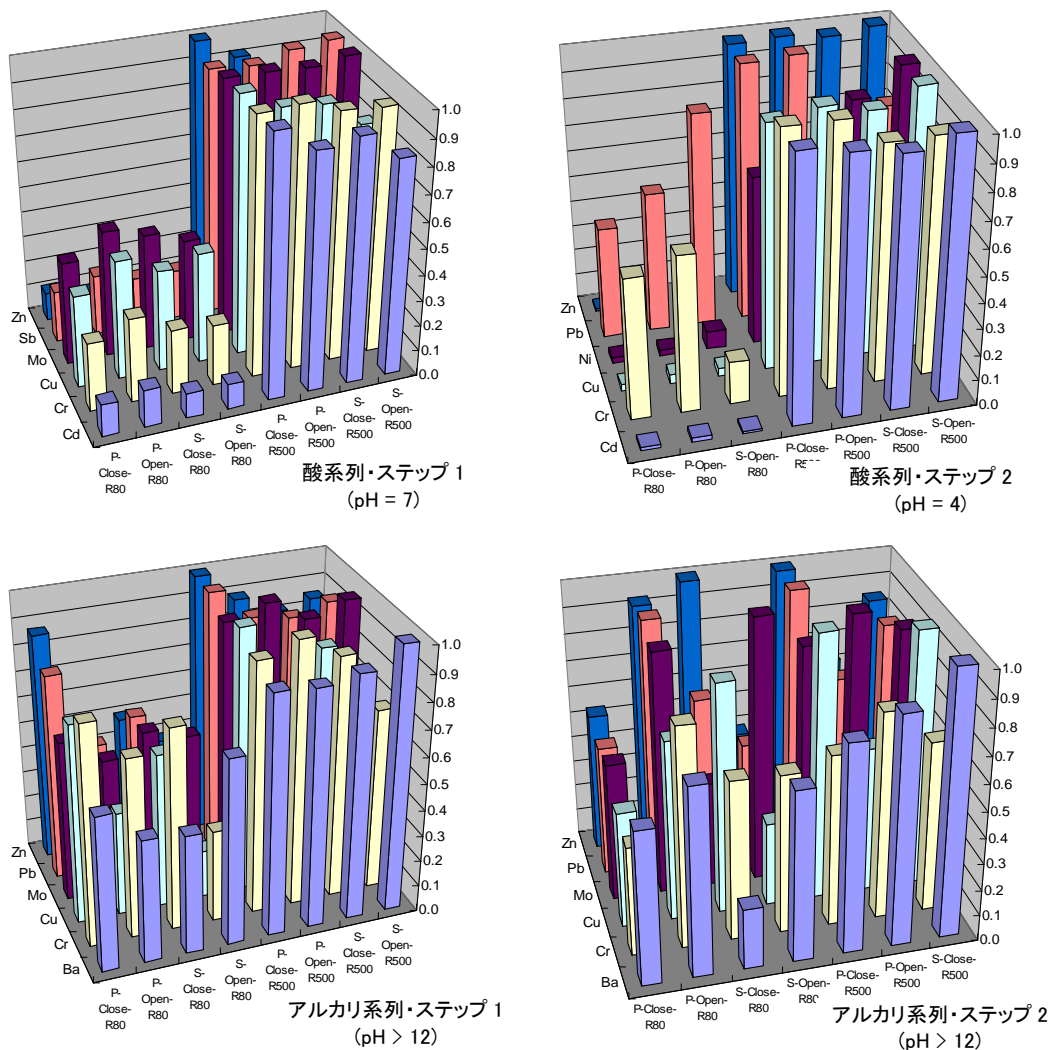


図 A-5 攪拌条件の影響

(各条件において溶出量最大値を 1.0 として表示)

アルカリ系列では、ステップ 1 で 80 rpm から 140 rpm にかけて溶出量の少ない元素 (図では Cu, Pb, Zn) も見受けられるが、そのときの溶出量は最大値の 60% 前後、またはそれ以上であり、減少量はあまり大きくはない。ステップ 2 では、元素によって様々なパターンを描き、Pb と Zn は回転数の増加に比例しているように見受けられる。

80 rpm のように低い回転数では、溶出量は極めて少ない場合 (特に酸系列・ステップ 2) もあることから、ある程度の回転数を設定することが必要である。一方、回転数を高めることに関しては、図 A-6 に示したように、回転数に対する溶出量変化のパターンは様々であり、例えばアルカリ系列・ステップ 2 で、Cr は 200 rpm で最大であり 500 rpm での溶出量は最大値の約 60% となっている。このように、回転数を高めることは必ずしも溶出量を増加させない。また、500 rpm のように回転数が高すぎると、液面の乱れが非常に大きくなり (図 A-7) 大気中 CO<sub>2</sub> の急激な溶け込みなどが懸念されること、回転数を表示できる装置に限定されることなどの問題がある。200 rpm 前後の回転数では溶出量はやや低い元素もあるものの、液面乱れと回転数表示確認の問題は回避できる。ただし、回転数の影響は顕著であるので、誤差範囲は限定する必要がある。以上より、実際的な回転数として 200±20 rpm を試験条件に設定した。

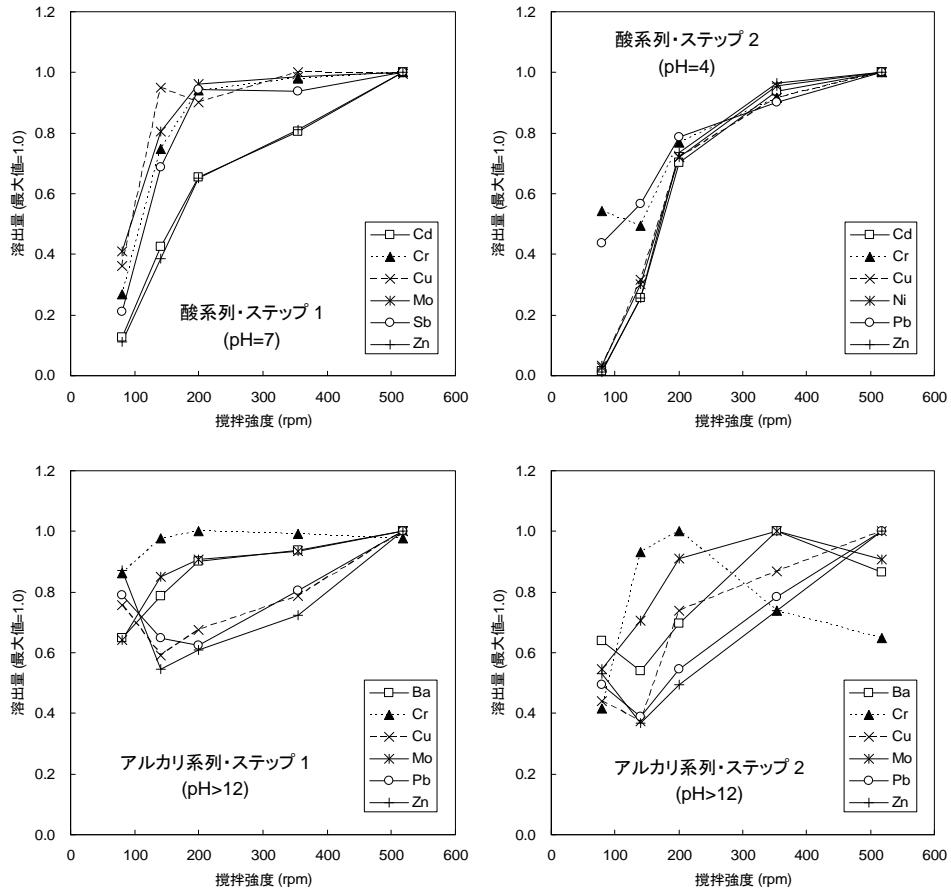


図 A-6 攪拌強度の影響例 (焼却主灰)  
 (元素ごとに、溶出量最大値を 1.0 として表示)



図 A-7 攪拌強度 500 rpm の液面の状況 (焼却主灰)



### (3) 攪拌方法と開口部分の大きさの影響

表 A-11 に、攪拌方法と開口部分の大きさ（開口度）の影響をまとめたものを示す。回転数 500 rpm のデータを用いて、攪拌方法 2 水準と開口度 2 水準の計 4 水準の間で、 $|RSD| > 15\%$ であった元素について、最も溶出量の多い条件欄に各元素名を記入した。例えば、酸系列・ステップ 1 において、Zn はプロペラ攪拌で溶出量が多いことを表す。

表から、攪拌方法と開口度は、それぞれ酸系列とアルカリ系列に影響を与える傾向が伺われる。まず、攪拌方法の影響が見られた元素では、Ni と Pb の結果の差異は最大値の 30%程度に収まっていたことから、試験規格では攪拌方法は限定しないこととした。次に開口度については、やや影響が大きい。この結果は CO<sub>2</sub> 溶け込みなどが影響した可能性が考えられるが、発生ガスを放出するための小孔は必要である。そこで、試験規格では一定程度の開口部を設けることが妥当と判断し、開口度 1~5%に試験条件を設定することとした。

表 A-11 攪拌方法と開口度の影響

溶出促進条件	攪拌方法		開口度		不明 (ばらつき大)
	プロペラ	スターラー	開口度大	開口度小	
酸系列・ステップ 1	Zn				
酸系列・ステップ 2	Al, Pb	Fe, K, Ni			
アルカリ系列・ステップ 1				Cu	
アルカリ系列・ステップ 2	(Pb)		Cr, Mg, Si	B, Ca, Cu, Pb, Zn	Fe

注) 回転数 500 rpm、 $|RSD| > 15\%$ の元素について溶出量を増加させる条件に元素名を記入

### (4) 回転数回転数の試薬滴下量への影響（ろ紙の除去に関して）

図 A-8 に、試験中の試薬累積滴下量と pH の変化の例を示す。pH の調整は攪拌開始から 10 分後に開始している。

S-Close-r80 はステップ 1 でのろ過に使用したろ紙も投入した結果である。試験開始当初、ろ紙は壁面に付着していたが、開始から 45 分後に浮遊しはじめると同時に pH の急激な上昇が観察された。そこで pH を 4 に低下させるために、500 rpm の条件とほぼ同量の酸を投入する結果となった。これは、ろ紙が試験容器中で浮遊することにより、容器底面に堆積していた試料が巻き上げられ、試料表面が新たに露出し溶媒と接触し、酸を消費したためと思われる。ろ紙の付着や浮遊に関する状態は制御できないことから、試験規格においてはろ紙を除去することとした。

また、S-Open-80 rpm の結果を見ると、試薬滴下量は 3 時間経過時点でも上昇傾向にある一方、500 rpm の条件では約 1 時間程度でほぼ落ち着き、平衡状態に近い状況になっていることが伺われる。このことから、回転数回転数は一定程度以上の大きさが必要である。

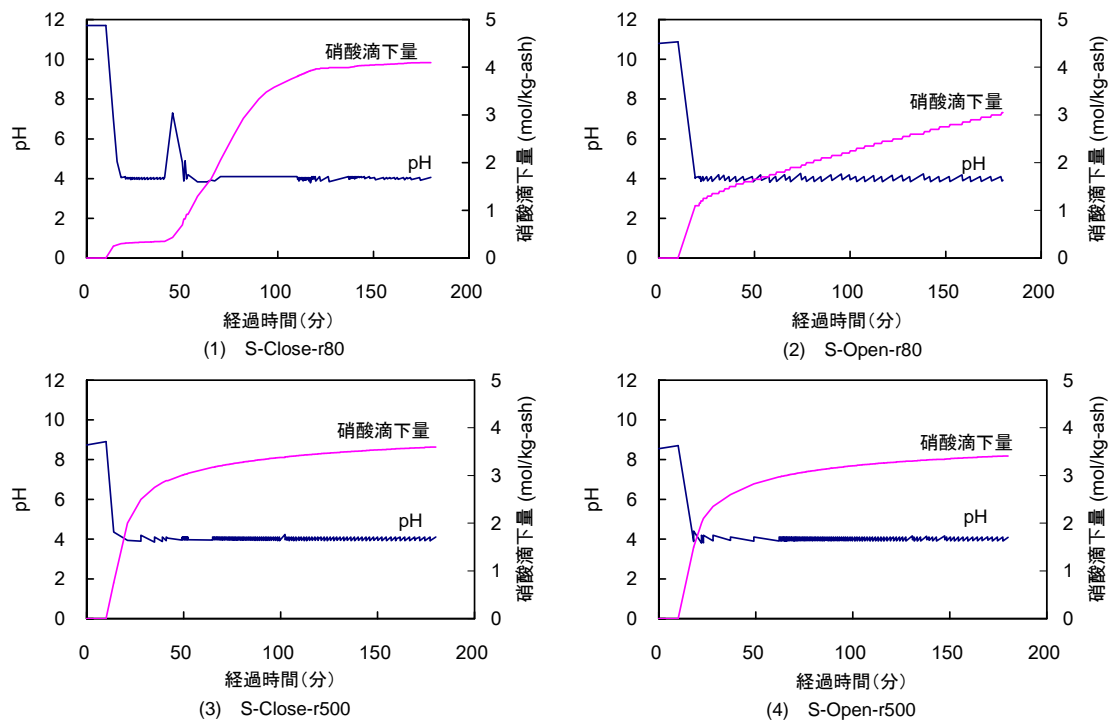


図 A-8 試薬滴下量と pH 変化への影響  
(酸系列・ステップ 2・スターラー攪拌)

## 参考文献

---

- <sup>1</sup> J.J. Dijkstra, H.A. van der Sloot, G. Spanka, G. Thielen (2005) How to judge release of dangerous substances from construction products to soil and groundwater, ECN-C—05-045
- <sup>2</sup> 酒井伸一、水谷聡、高月紘、1996. 溶出試験の基本的考え方、廃棄物学会誌、7 (5) 383-393
- <sup>3</sup> Wahlström, M., 1996. Nordic recommendation for leaching tests for granular waste materials, *The Science of the total environment*, 178, 96-102.
- <sup>4</sup> Chandler AJ, Kosson DS, Eighmy TT et al. An international perspective on characterisation and management of residues from municipal solid waste incineration. Summary Report. International Ash Working Group, 1994.
- <sup>5</sup> Ann-Marie Fällman, 1997. Performance and design of the availability test for measurement of potentially leachable amounts from waste materials, *Environ. Sci. Technol.* 31, 735-744.
- <sup>6</sup> 酒井伸一、水谷聡、高月紘、岸田拓郎、1995. 廃棄物の溶出試験に関する研究—アベイラビリティ試験と pH 依存性試験—、廃棄物学会論文誌、6 (6) 225-234.