

2023 年度
第 12 回放射能クロスチェック
報告書

2023 年 11 月

一般社団法人日本環境測定分析協会
放射能測定分析技術研究会

目 次

1	クロスチェックの実施概要	2
1.1	実施機関.....	2
1.2	試験項目および実施期間.....	2
1.3	試験方法.....	2
1.4	参加状況.....	2
2	実施方法	4
2.1	試料の調製.....	4
2.2	均一性確認試験.....	5
3	試験結果	6
3.1	試験結果記載要領.....	6
3.2	参加機関数及び報告件数.....	7
3.3	測定結果.....	8
3.3.1	測定結果概要	8
3.3.2	測定方法.....	9
3.3.3	統計解析結果概要.....	10
4	考察.....	14
4.1	放射性セシウムの検出状況	14
4.2	測定時間と検出下限	15
4.3	測定時間と測定精度	17
4.4	NaI シンチレーションスペクトロメータについて.....	18
5	参加機関（五十音順）	19

はじめに

2011年（平成23年）3月11日に発生した東日本大震災に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質の対策が行われる中、その測定における技術や精度管理の確立が重要であると考えられ、（一社）日本環境測定分析協会では、「放射能測定分析技術研究会（RADI研）」を立ち上げました。その活動の一環として2012年度から毎年1回、放射能クロスチェックを実施しています。

2023年度は第12回放射能クロスチェックを実施いたしました。参加いただいた機関の皆様にお礼を申し上げますとともに、本クロスチェックが各機関の放射能測定分析技術向上の一助となれば幸甚です。

1 クロスチェックの実施概要

1.1 実施機関

一般社団法人 日本環境測定分析協会
放射能測定分析技術研究会 (RADI 研)
〒134-0084 東京都江戸川区東葛西二丁目3番4号
TEL 03-3878-2811 FAX 03-3878-2639

1.2 試験項目および実施期間

試験番号： RADI2023-01
試験名： 第12回放射能クロスチェック
試験試料： 固体試料（飛灰溶出液をろ過後、放射性セシウムをゼオライトに吸着させたもの）（試料1，試料2。500mLポリ容器入り）
試験項目： セシウム-137 (Cs-137) (NaI シンチレーションスペクトロメータの場合はセシウム-134を含むセシウム含量)
申込受付： 2023年7月28日（金）から8月28日（月）まで
試料配付： 2023年9月4日（月）
結果報告期限： 2023年9月25日（月）

1.3 試験方法

- 1) 容器充填：配付試料を各機関で使用する測定容器へ充填
- 2) 測定機器：ゲルマニウム半導体検出器または NaI シンチレーションスペクトロメータ
- 3) 試験結果：測定装置により以下の放射能濃度（単位：Bq/kg）を報告
 - ゲルマニウム半導体検出器：セシウム-137 (Cs-137)
 - NaI シンチレーションスペクトロメータ：セシウム-134 (Cs-134) 及びセシウム-137 (Cs-137) の合計
- 4) 試験方法：
 - ゲルマニウム半導体検出器：放射能測定シリーズ7「ゲルマニウム半導体検出器によるγ線スペクトロメトリー」（令和2年9月改訂 原子力規制庁監視情報課）
 - NaI シンチレーションスペクトロメータ：放射能測定法シリーズ6「NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータ機器分析法」（昭和49年文部科学省）
 - 上記以外の方法による場合は結果報告書に分析方法の記載を求めた

1.4 参加状況

- 参加機関 55 機関（57 機関の申し込みがあったが 2 機関はキャンセル）

- 報告機関 55 機関
 - 報告結果数 58 データ
- (参加機関は5に示した)

2 実施方法

2.1 試料の調製

試料調製方法を図 2-1 に示した。

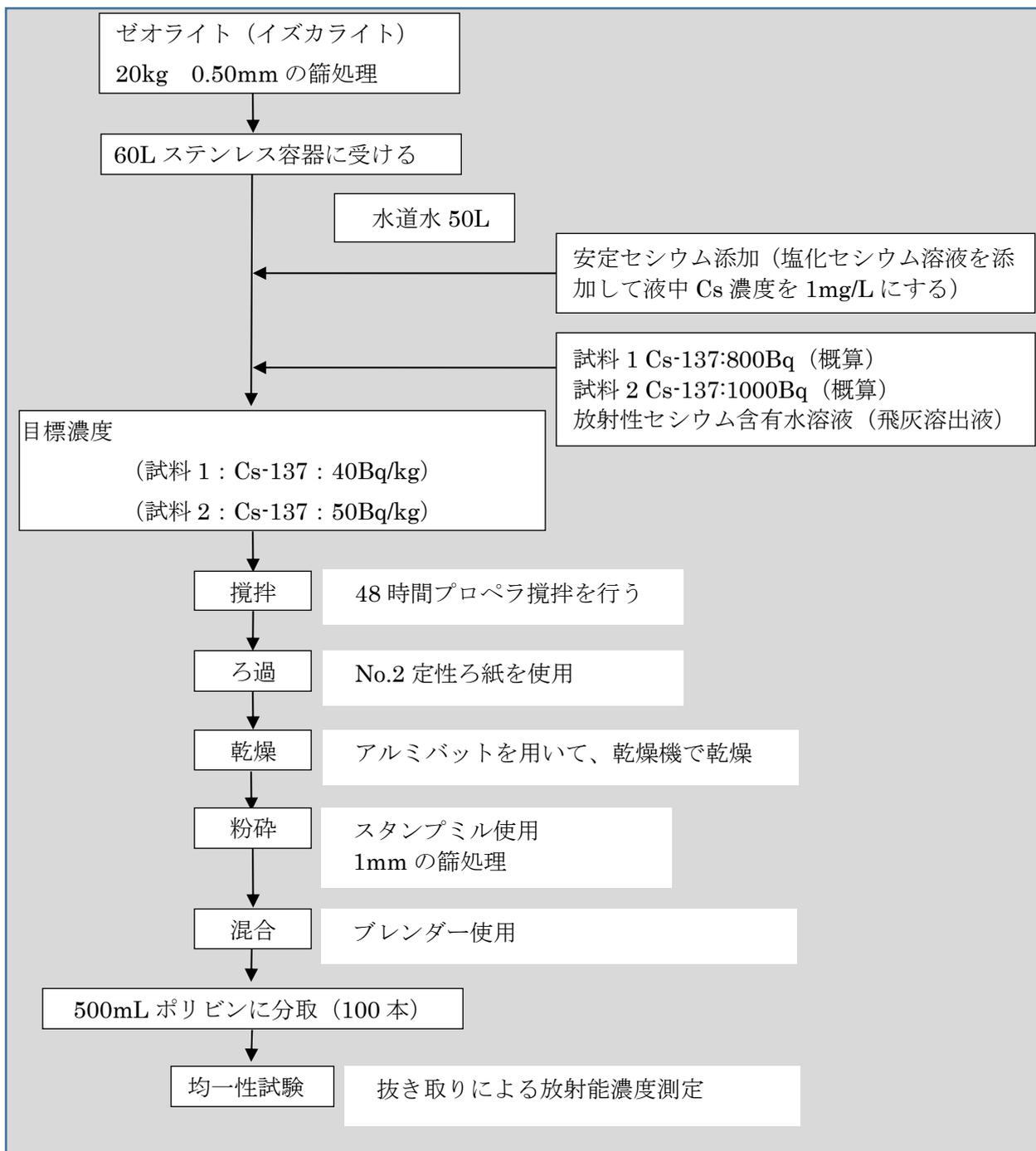


図 2-1 試料調製方法

2.2 均一性確認試験

調製した試料1及び試料2からそれぞれ10本毎及びランダムに3本を抜き取った計13試料について放射性セシウム（Cs-137）の測定を行い、各試料の均一性を確認した。均一性確認試験結果を表2-1、表2-2及び図2-2に示した。

試料1は変動係数4.9%、試料2は変動係数3.6%であった。各試料の均一性については問題がないと判断した。

表 2-1 均一性確認試験結果

試行		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
試料1	Cs-137	41.5	37.5	39.7	38.6	40.0	37.3	39.2	42.6	43.3	38.5	40.5	42.8	40.5
試料2	Cs-137	53.3	52.1	50.5	48.5	51.5	48.1	53.7	51.5	51.8	50.0	49.1	48.4	50.9

単位: Bq/kg

表 2-2 均一性確認試験結果まとめ

まとめ		平均値(Bq/kg)	標準偏差(Bq/kg)	変動係数(%)
試料1	Cs-137	40.1	1.96	4.9
試料2	Cs-137	50.7	1.83	3.6

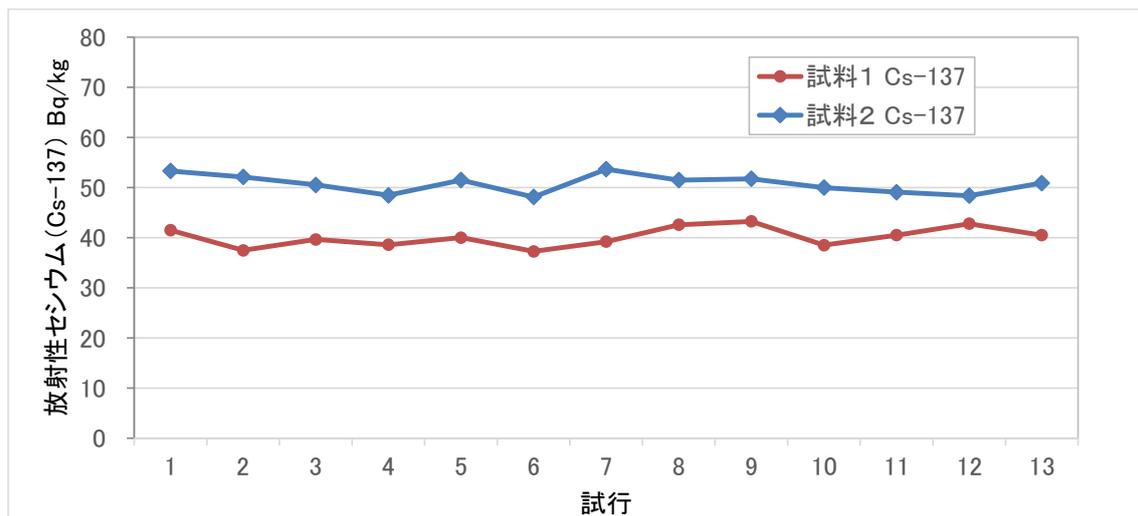


図 2-2 均一性確認試験結果

3 試験結果

3.1 試験結果記載要領

測定結果は所定の報告様式へ各機関により入力し、実施機関事務局へご報告いただいた。報告様式の記載事項は以下のとおりであった。

- 1) 連絡先の記載
 - 測定機関名
 - 測定機関担当者氏名、所属、電話、FAX 及びメールアドレス
- 2) 分析方法（以下から選択）
 - ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー
 - NaI シンチレーションスペクトロメータ機器分析法
 - その他（「その他」の内容を記載）
- 3) 測定装置
 - 測定機器のメーカー、型番
 - 型式 P 型、N 型、その他、不明
- 4) 装置の校正
 - 効率校正頻度、最近の校正日
- 5) 測定日
- 6) 測定時間（Live time（秒））（試料ごと）
- 7) 使用容器（以下から選択）
 - マリネリ容器
 - U-8 容器
 - その他（「その他」内容を記載）
- 8) 充填量（kg）（含水率補正不要）（試料ごと）
- 9) 備考 任意記載
- 10) 測定結果（試料ごと）（ゲルマニウム半導体検出器においては Cs-137 の結果として、NaI シンチレーションスペクトロメータにおいては Cs-134 と Cs-137 の合計量の結果として報告いただいた）
 - （ゲルマニウム半導体検出器のみ）定量の用いた γ 線のエネルギー（keV）
 - 基準日（2023 年 9 月 1 日 12:00）における放射能（Bq/kg）
 - 計数誤差
 - 検出下限値
 - BG 補正の有無

3.2 参加機関数及び報告件数

- 1) 参加機関数： 57機関
- 2) 報告機関数： 55 機関^{※1}
- 3) 報告件数： 58 件^{※2}

※1 参加機関 57 機関中 2 機関はキャンセル。報告機関は同一団体の別所属の申し込み (2 団体、各 2 所属) については異なる試験場と判断し 1 機関と数えた。

※2 報告機関 55 機関中、3 機関は装置が異なると考えられる 2 件の結果を報告した。

3.3 測定結果

3.3.1 測定結果概要

測定結果の概要を表 3-1 に示した。Cs-137 の値はゲルマニウム半導体検出器による報告値、Cs-134+Cs-137 の値はNaI シンチレーションスペクトロメータによる報告値である。

表 3-1 放射性セシウム測定結果概要

試料	統計値	単位	Cs-137 (ゲルマニウム半導体検出器結果)	Cs-134+Cs137 (NaI シンチレーションスペクトロメータ結果)	全報告値
試料 1	報告数	個	54	4	58
	平均値	Bq/kg	40.6	39.4	40.5
	最大値	Bq/kg	48.2	41.7	48.2
	最小値	Bq/kg	37.2	35.6	35.6
	標準偏差	Bq/kg	2.0	2.6	2.0
試料 2	報告数	個	54	4	58
	平均値	Bq/kg	50.5	47.0	50.2
	最大値	Bq/kg	55.8	49.7	55.8
	最小値	Bq/kg	46.8	43.4	43.4
	標準偏差	Bq/kg	2.0	2.7	2.2

3.3.2 測定方法

ゲルマニウム半導体検出器 52 機関 54 報告値

NaI シンチレーションスペクトロメータ 3 機関 4 報告値

報告機関 55 機関中、以下の機関が複数の結果を報告値として報告した。

- 2 機関はゲルマニウム半導体検出器による測定結果として 2 件の報告があった。
- 1 機関は NaI シンチレーションスペクトロメータによる測定結果として 2 件の報告値があった。

上記 3 機関からの複数の報告値は全て統計処理の対象とした。以降の統計結果等の表記では試験所番号に枝番号 (-1, -2) を付して区別した。

3.3.3 統計解析結果概要

ゲルマニウム半導体検出器による測定結果（Cs-137）及びNaIシンチレーションスペクトロメータによる測定結果（Cs-134+Cs-137）の58件の報告値を対象として、 z スコア解析を行った結果の概要を表 3-2 に示した。また、測定結果のヒストグラムを図 3-1 に、各機関の報告値と z スコアを表 3-3 に、複合評価図を図 3-2 に示した。

z スコアの絶対値3以上となった報告値の割合は、試料1が8.6%（5件/58件）、試料2が6.9%（4件/58件）だった。

z スコアの絶対値2以下の良好と判断された報告値は試料1で84.5%（49件/58件）、試料2で82.8%（48件/58件）であった。

表 3-2 放射性セシウム 解析結果概要

	試料 1	試料 2	試験所間	試験所内
試験所の数	58	58	58	58
中央値(median) : Q_2	40.15	50.05	63.92	7.00
第1四分位数 : Q_1	39.53	49.13	62.90	6.26
第3四分位数 : Q_3	41.00	51.15	64.97	7.64
四分位数範囲 $IQR=Q_3-Q_1$	1.48	2.03	2.07	1.38
正規四分位数範囲 $IQR \times 0.7413$	1.09	1.50	1.53	1.02
ロバストな変動係数 $(IQR \times 0.7413 / Q_2) \times 100$	2.7	3.0	2.4	14.6
$ z \leq 2$ (%)	84.5 (49)	82.8 (48)	82.8 (48)	81.0 (47)
$2 < z < 3$ (%)	6.9 (4)	10.3 (6)	10.3 (6)	8.6 (5)
$3 \leq z $ (%)	8.6 (5)	6.9 (4)	6.9 (4)	10.3 (6)

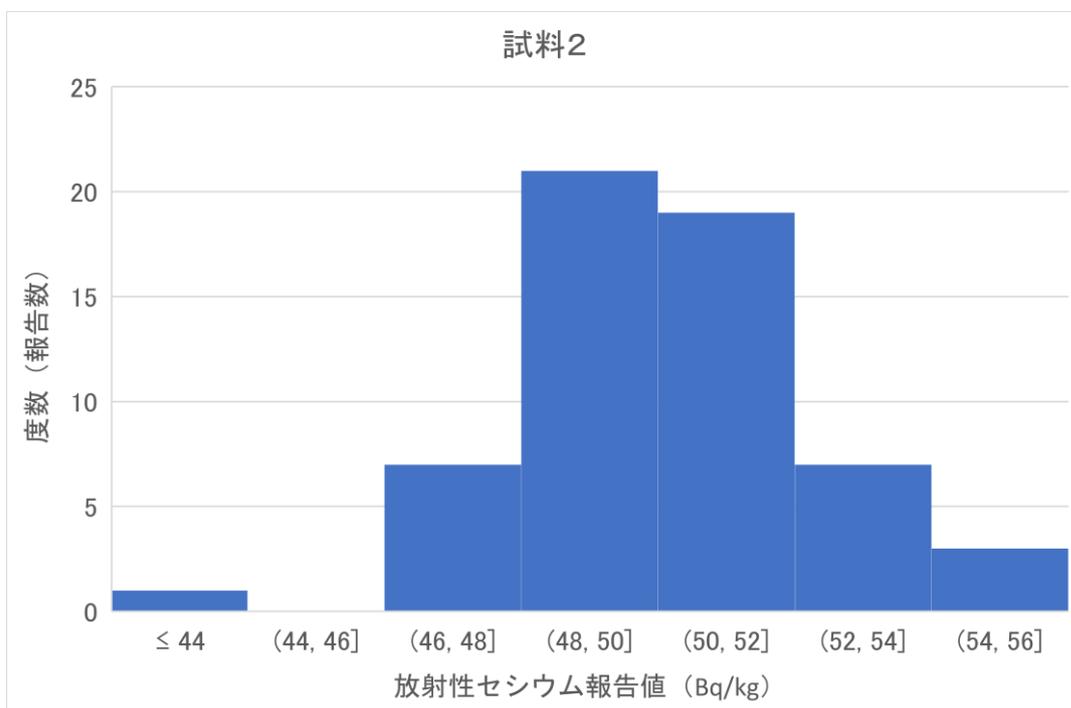
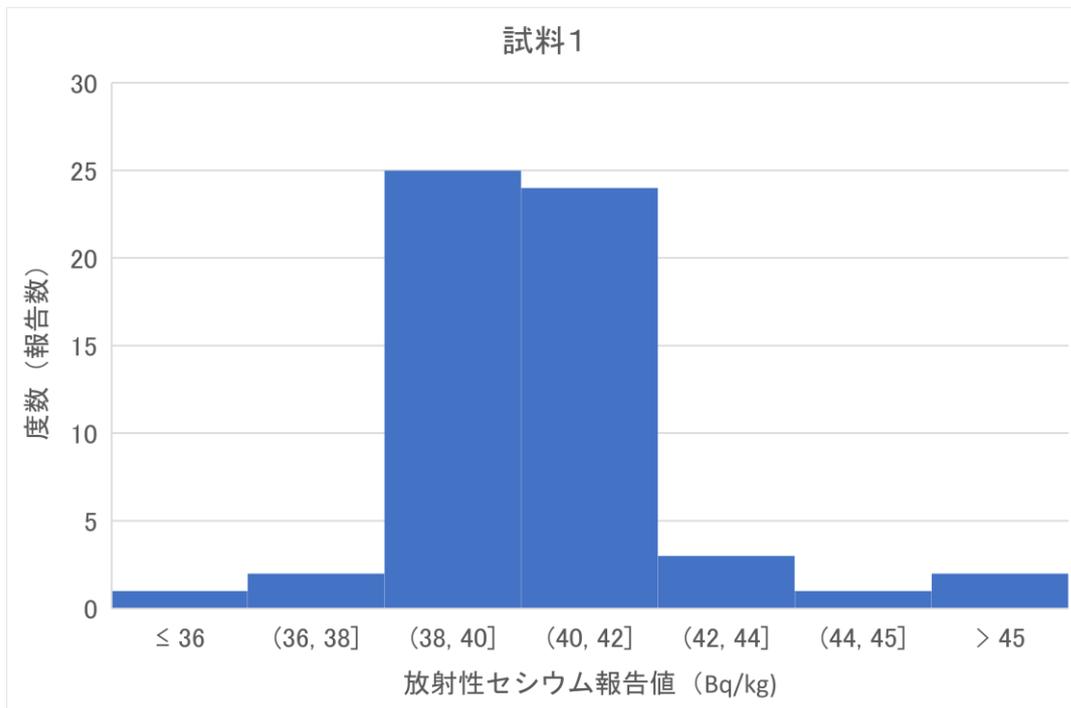


図 3-1 放射性セシウム ヒストグラム

表 3-3 放射性セシウム 報告値と zスコア

試験所番号	測定方法	試料1		試料2		試験所間		試験所内	
		報告値 (Ai)	zスコア	報告値 (Bi)	zスコア	(Ai+Bi)/√2	zスコア	(Bi-Ai)/√2	zスコア
12R-101	Ge	41.3	1.052	50.5	0.300	64.91	0.646	6.51	-0.484
12R-103	Ge	41.0	0.777	53.9	2.565	67.10	2.075	9.12	2.075
12R-104	Ge	40.0	-0.137	49.9	-0.100	63.57	-0.231	7.00	0.000
12R-105	Ge	39.4	-0.686	50.0	-0.033	63.22	-0.461	7.50	0.484
12R-106	Ge	41.6	1.326	48.2	-1.232	63.50	-0.277	4.67	-2.283
12R-107	Ge	42.0	1.692	47.5	-1.699	63.29	-0.415	3.89	-3.044
12R-108	Ge	40.7	0.503	50.8	0.500	64.70	0.507	7.14	0.138
12R-109	NaI	40.4	0.229	46.5	-2.365	61.45	-1.614	4.31	-2.629
12R-110	Ge	39.5	-0.594	47.8	-1.499	61.73	-1.430	5.87	-1.107
12R-111	Ge	41.4	1.143	49.9	-0.100	64.56	0.415	6.01	-0.968
12R-112	Ge	39.3	-0.777	49.5	-0.366	62.79	-0.738	7.21	0.208
12R-113	Ge	39.8	-0.320	55.3	3.497	67.25	2.168	10.96	3.874
12R-114	Ge	43.8	3.338	54.6	3.031	69.58	3.690	7.64	0.623
12R-115	Ge	40.3	0.137	48.8	-0.833	63.00	-0.600	6.01	-0.968
12R-116	Ge	39.6	-0.503	50.7	0.433	63.85	-0.046	7.85	0.830
12R-117	Ge	41.0	0.777	50.9	0.566	64.98	0.692	7.00	0.000
12R-118	Ge	38.7	-1.326	55.8	3.830	66.82	1.891	12.09	4.981
12R-119	Ge	40.7	0.503	49.8	-0.167	63.99	0.046	6.43	-0.553
12R-120-1	Ge	48.2	7.362	51.5	0.966	70.50	4.289	2.33	-4.566
12R-120-2	Ge	47.7	6.905	47.3	-1.832	67.18	2.121	-0.28	-7.125
12R-121	Ge	41.0	0.777	50.0	-0.033	64.35	0.277	6.36	-0.623
12R-122	Ge	38.7	-1.326	49.1	-0.633	62.08	-1.199	7.35	0.346
12R-123	Ge	41.9	1.600	52.0	1.299	66.40	1.614	7.14	0.138
12R-124	Ge	39.2	-0.869	49.0	-0.699	62.37	-1.015	6.93	-0.069
12R-125	Ge	38.7	-1.326	49.5	-0.366	62.37	-1.015	7.64	0.623
12R-126	Ge	38.9	-1.143	49.7	-0.233	62.65	-0.830	7.64	0.623
12R-127	Ge	40.3	0.137	49.9	-0.100	63.78	-0.092	6.79	-0.208
12R-129-1	NaI	39.9	-0.229	48.2	-1.232	62.30	-1.061	5.87	-1.107
12R-129-2	NaI	35.6	-4.161	43.4	-4.430	55.86	-5.258	5.52	-1.453
12R-130	Ge	39.9	-0.229	49.0	-0.699	62.86	-0.692	6.43	-0.553
12R-131	Ge	37.4	-2.515	52.2	1.432	63.36	-0.369	10.47	3.390
12R-132-1	Ge	37.2	-2.698	47.3	-1.832	59.75	-2.721	7.14	0.138
12R-132-2	Ge	41.8	1.509	52.3	1.499	66.54	1.706	7.42	0.415
12R-133	Ge	42.5	2.149	52.9	1.899	67.46	2.306	7.35	0.346
12R-134	Ge	40.0	-0.137	50.4	0.233	63.92	0.000	7.35	0.346
12R-135	Ge	40.7	0.503	46.9	-2.098	61.94	-1.291	4.38	-2.560
12R-136	Ge	39.8	-0.320	49.4	-0.433	63.07	-0.553	6.79	-0.208
12R-137	Ge	40.3	0.137	50.9	0.566	64.49	0.369	7.50	0.484
12R-138	Ge	39.4	-0.686	49.2	-0.566	62.65	-0.830	6.93	-0.069
12R-139	Ge	41.0	0.777	50.1	0.033	64.42	0.323	6.43	-0.553
12R-140	NaI	41.7	1.418	49.7	-0.233	64.63	0.461	5.66	-1.314
12R-141	Ge	40.4	0.229	50.1	0.033	63.99	0.046	6.86	-0.138
12R-142	Ge	39.6	-0.503	50.5	0.300	63.71	-0.138	7.71	0.692
12R-143	Ge	40.3	0.137	49.7	-0.233	63.64	-0.184	6.65	-0.346
12R-144	Ge	38.6	-1.418	46.8	-2.165	60.39	-2.306	5.80	-1.176
12R-145	Ge	40.0	-0.137	51.0	0.633	64.35	0.277	7.78	0.761
12R-146	Ge	40.1	-0.046	53.8	2.498	66.40	1.614	9.69	2.629
12R-147	Ge	40.3	0.137	49.7	-0.233	63.64	-0.184	6.65	-0.346
12R-148	Ge	39.4	-0.686	51.0	0.633	63.92	0.000	8.20	1.176
12R-149	Ge	39.9	-0.229	50.5	0.300	63.92	0.000	7.50	0.484
12R-150	Ge	39.9	-0.229	51.2	0.766	64.42	0.323	7.99	0.968
12R-151	Ge	38.2	-1.783	48.9	-0.766	61.59	-1.522	7.57	0.553
12R-152	Ge	42.8	2.424	50.4	0.233	65.90	1.291	5.37	-1.591
12R-153	Ge	41.5	1.235	51.0	0.633	65.41	0.968	6.72	-0.277
12R-154	Ge	40.0	-0.137	51.3	0.833	64.56	0.415	7.99	0.968
12R-155	Ge	40.2	0.046	52.9	1.899	65.83	1.245	8.98	1.937
12R-156	Ge	39.7	-0.412	51.3	0.833	64.35	0.277	8.20	1.176
12R-157	Ge	44.4	3.887	53.2	2.098	69.01	3.321	6.22	-0.761

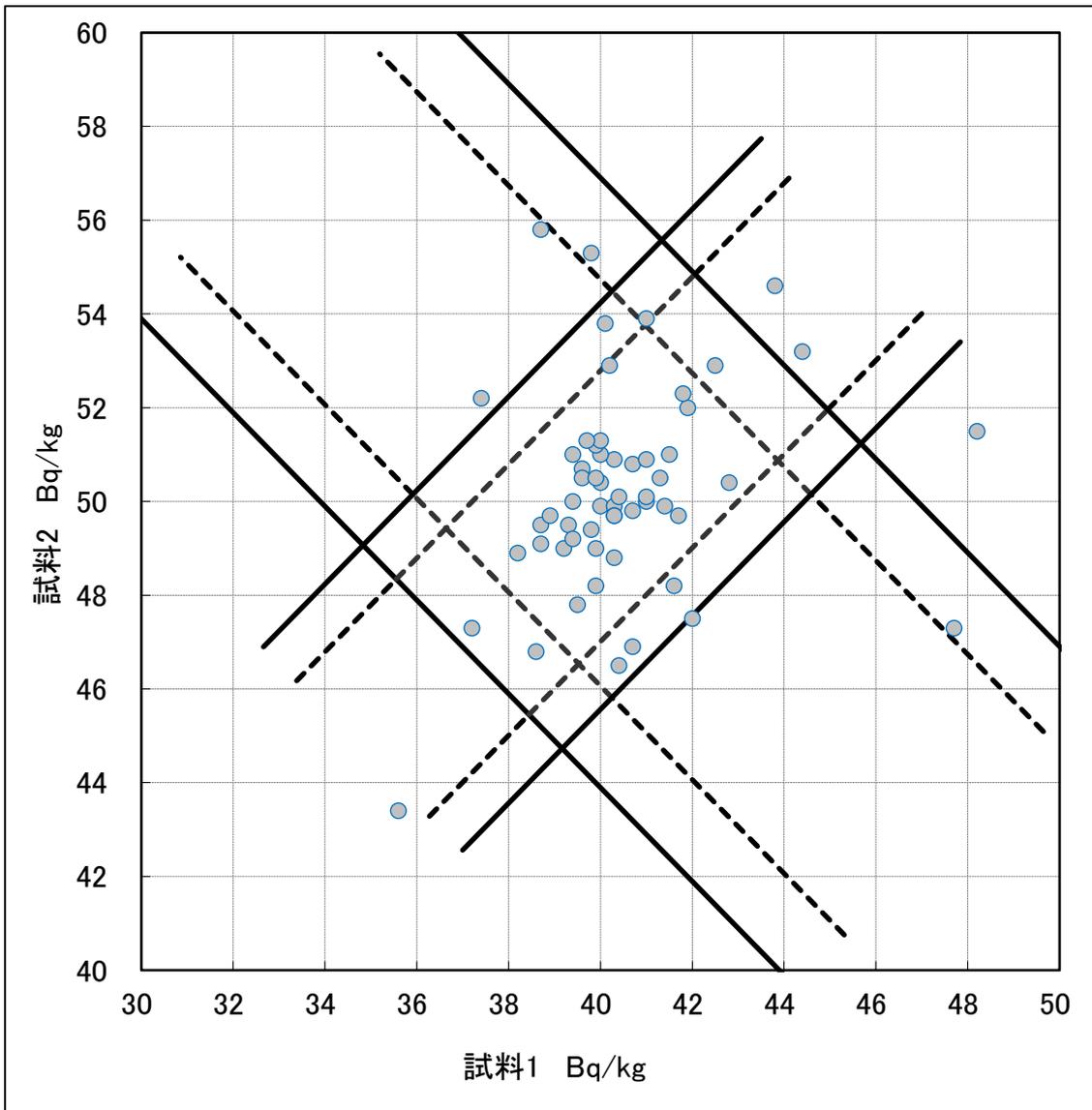


図 3-2 放射性セシウム 複合評価図

4 考察

4.1 放射性セシウムの検出状況

東日本大震災に伴う原子力発電所の事故による放射性物質の放出から 12 年以上経過し、半減期約 2 年の Cs-134 の環境試料中の濃度は事故当初の 50 分の 1 程度まで減衰により減少しており、測定が難しくなっている。表 4-1 に 2011 年 3 月を 100% としたときの Cs-134、Cs-137 及び Cs-134/Cs-137 の経年の存在割合を示した。(但し、2011 年 3 月時点の Cs-134 と Cs-137 の放射能は等しかった (Cs134/Cs137=100%) ものとした。)

表 4-1 放射性セシウム (Cs-134 と Cs-137) の存在比の変遷

年月	Cs-134	Cs-137	Cs134/137	クロスチェック
2011年3月	100%	100%	100%	-
2011年9月	85.2%	98.9%	86.2%	-
2012年9月	60.9%	96.7%	63.0%	第1回
2013年9月	43.5%	94.5%	46.1%	第2回
2014年9月	31.1%	92.3%	33.7%	第3回
2015年9月	22.3%	90.2%	24.7%	第4回
2016年9月	15.9%	88.1%	18.0%	第5回
2017年9月	11.4%	86.1%	13.2%	第6回
2018年9月	8.1%	84.2%	9.7%	第7回
2019年9月	5.8%	82.3%	7.1%	第8回
2020年9月	4.2%	80.4%	5.2%	第9回
2021年9月	3.0%	78.6%	3.8%	第10回
2022年9月	2.1%	76.8%	2.8%	第11回
2023年9月	1.5%	75.0%	2.0%	第12回(今回)
2024年9月	1.1%	73.3%	1.5%	

令和 4 年度の環境省の福島県内の底質のモニタリング結果概要 (環境省 HP) を見ると、公共用水域等水環境中の放射性物質濃度は

<河川底質>

Cs-134 : 検出下限値未満 ~ 64 Bq/kg (乾泥)、

Cs-137 : 検出下限値未満 ~ 2,600 Bq/kg (乾泥)

<湖沼・水源地>

Cs-134 : 検出下限値未満 ~ 4,200 Bq/kg (乾泥)

Cs-137 : 検出下限値未満 ~ 160,000 Bq/kg (乾泥)

<沿岸域>

Cs-134 : 検出下限値未満 ~ 15 Bq/kg (乾泥)

Cs-137 : 1.6 ~ 630 Bq/kg (乾泥)

となっており、依然湖沼では高濃度の底質が存在するが、Cs-134 については個別のデータをみても検出下限値未満として記載されるデータが多い。

また、厚生労働省の「食品中の放射性物質の検査結果について(1368報)」(厚生労働省 HP)においても、放射性物質濃度(Cs-134+Cs-137)は一部のキノコ類で78Bq/kgの検出値がみられるものの、食品中の放射性物質の基準値(一般食品:100Bq/kg)は下回る測定値がほとんどである。

今回のクロスチェックでは固形物中の放射性物質を対象とし、調製試料の放射能(Cs-137)濃度は40~50Bq/kgの範囲で設定した。表4-1のCs-134/Cs-137の割合から、Cs-134濃度は0.8~1.0Bq/kgの範囲となり、通常の測定条件ではほぼ不検出となることが予想された。

そのため、今回のクロスチェックではCs-134は対象核種から除外した。

4.2 測定時間と検出下限

各機関から報告のあった測定時間のヒストグラムを図4-1に示した。また、放射性セシウムの検出下限値と測定時間の散布図を図4-2に示した。

試料1、試料2で測定時間を変えて測定した機関はなかった。

各機関で選択した測定時間は1,800~200,000秒(平均28,000秒)の範囲にあった。クロスチェックということで、各機関とも通常通りか精度を上げるため通常より長時間の測定を行ったのではないかと考えられた。

検出下限値と測定時間の関係は各機関の検出器は異なるもののゲルマニウム半導体検出器については測定時間が長いほど検出下限値が低くなる傾向がみられた。

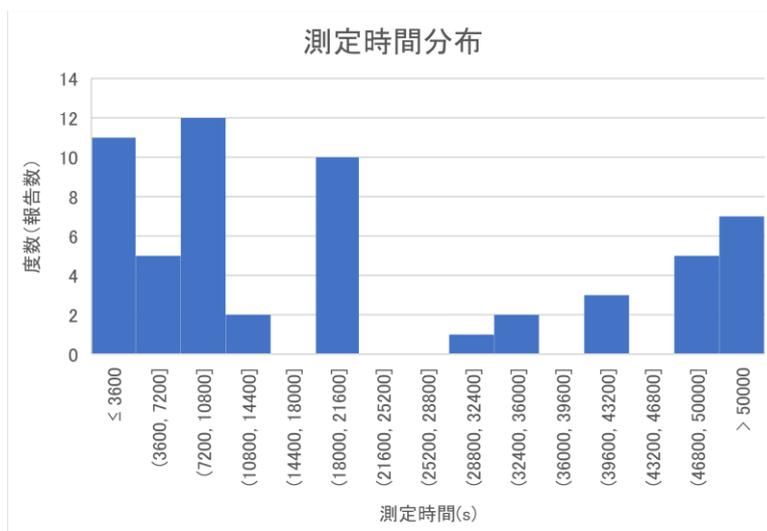


図 4-1 測定時間のヒストグラム

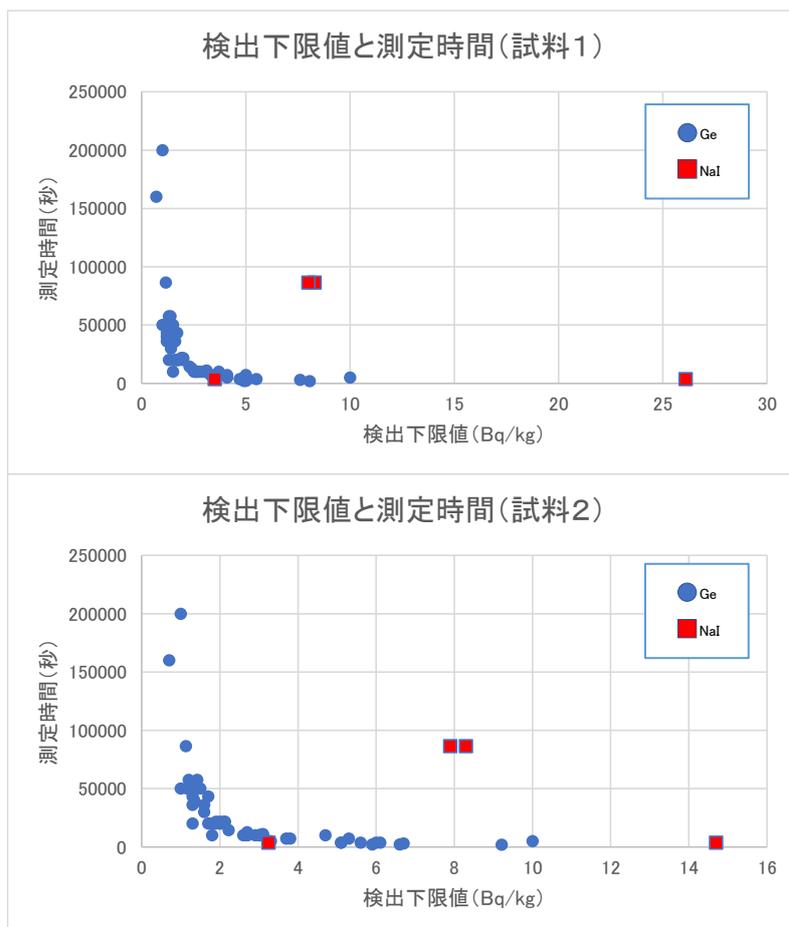


図 4-2 検出下限値と測定時間の散布図(上段: 試料1、下段: 試料2)

4.3 測定時間と測定精度

放射性セシウムのzスコアと測定時間の散布図を図4-3に示した。ゲルマニウム半導体検出器とNaI双方の結果を示した。今回のクロスチェックではzスコアの絶対値で2以下の機関が多かったが、測定時間と測定精度の関係はそれほど顕著には見られなかった。

ゲルマニウム半導体検出器における環境省の底質モニタリング結果等を考慮すると、各核種10Bq/kg未満程度の検出・不検出が正確に判別できる方が望ましいと考えられる。必要に応じて十分な計数值や下限値を得られる測定時間を設定されたい。図4-3中zスコアの絶対値が3以上となった機関については、校正の状況や測定時のパラメータについて再度ご確認いただきたい。

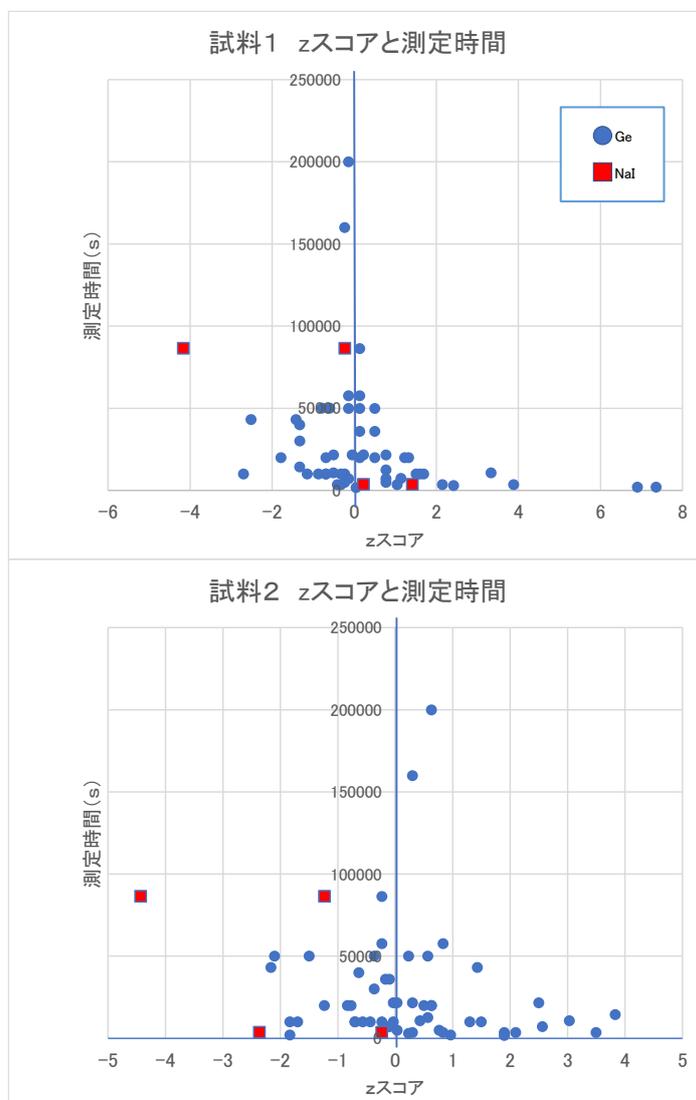


図 4-3 放射性セシウムのzスコアと測定時間の分布
(上段：試料1、下段：試料2)

4.4 NaI シンチレーションスペクトロメータについて

今回のクロスチェックにおいて、NaI シンチレーションスペクトロメータによる測定（以下 NaI 測定）が、4 件報告された。放射性セシウム複合評価図中 NaI 測定による結果を塗分けして図 4-4 に示した。NaI 測定の結果は 2 試料とも測定値が小さくなる結果がみられた。同一機関の別の装置とみられるが、測定時間は 86400 秒と十分な時間設定と考えられた。

NaI シンチレーションスペクトロメータは、測定時の温度や印加電圧の調整の状況により、スペクトルのエネルギーピークにずれが生じることが知られており、それにより低い値を示した可能性なども考えられるが、低い値を示した装置では検出器の劣化や校正上の問題があったのではないかと考えられた。

今回の結果でも食品の基準である 100Bq/kg や飲料水の基準である 10Bq/L などのスクリーニングを目的とした測定への使用は問題ないと思われた。

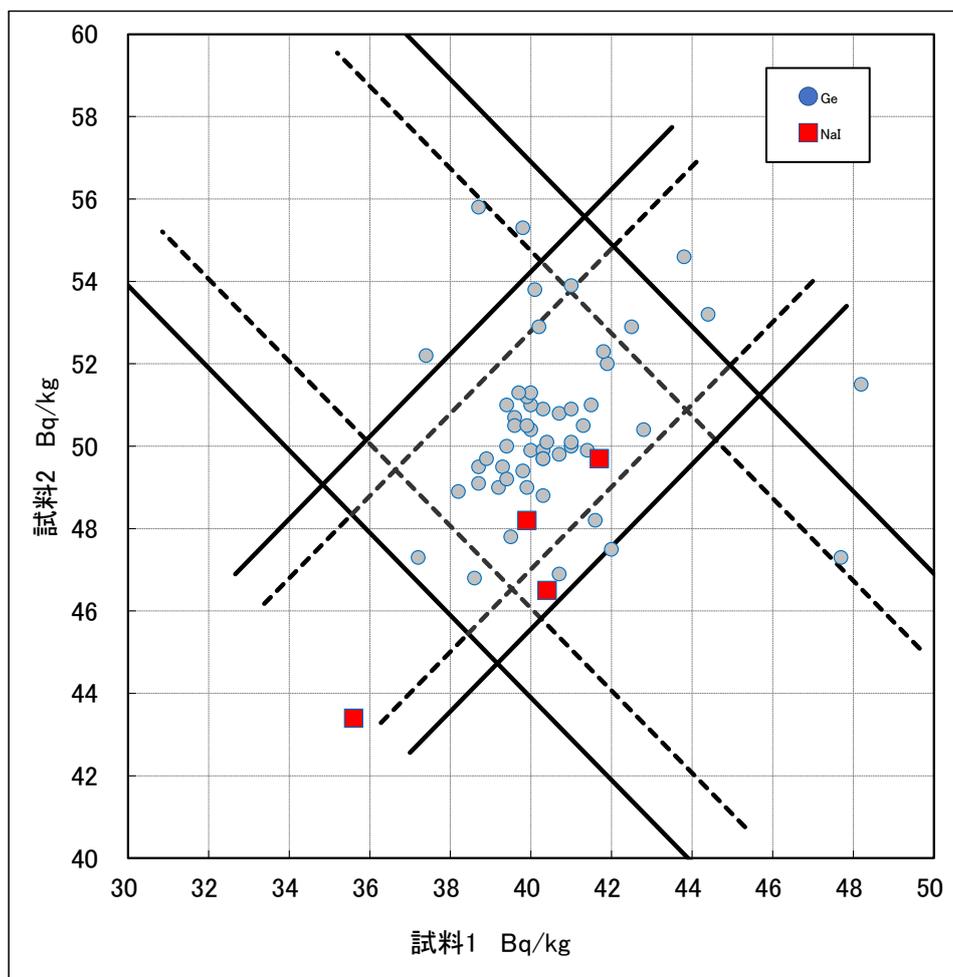


図 4-4 放射性セシウム複合評価図 (NaI 塗分け)

5 参加機関（五十音順）

DOWAテクノリサーチ（株）

（株）秋田県分析化学センター

（株）アクアパルス

いであ（株）

（株）エオネックス

（株）エヌ・イーサポート

エヌエス環境（株）

（株）化研

（一財）鹿児島県環境技術協会

（株）上総環境調査センター

川俣町役場

（株）環境管理センター

（株）環境技研

（株）環境研究センター

（株）環境総合リサーチ

（株）環境分析研究所

環境保全（株） 仙台支店

（一財）九州環境管理協会

（株）熊谷環境分析センター

（株）クレハ分析センター

（株）群馬分析センター

（株）江東微生物研究所

鮫川村役場

（株）産業公害・医学研究所 八戸分室

（株）サンコー環境調査センター

株式会社島津テクノリサーチ

（一財）上越環境科学センター

常磐開発（株）

白河市役所

（株）新環境分析センター 福島県分析センター

（株）静環検査センター

（株）総合保健センター

（株）太平洋コンサルタント

（一財）千葉県環境財団

（一財）千葉県薬剤師会検査センター

中外テクノス（株） 関東環境技術センター
東京テクニカル・サービス（株）
東京パワーテクノロジー（株） 分析センター
東京パワーテクノロジー（株） 環境事業部 復興支援センター 分析測定 Gr
東邦化研（株）
東北緑化環境保全（株）
（一財）新潟県環境衛生研究所
（一財）新潟県環境分析センター
日鉄環境（株） 分析ソリューション事業本部 東日本センター
（株）日本化学環境センター
（株）日吉
（公財）福島県保健衛生協会
福島県林業研究センター
平成理研（株）
（一財）北海道薬剤師会公衆衛生検査センター
（一財）三重県環境保全事業団
（一財）宮城県公衆衛生協会
（株）むさしの計測
ユーロフィン日本総研（株）
（株）理研分析センター

※報告時の報告書記載の測定機関名よりまとめた。ただし、測定機関名が同一で別の機関として扱った機関については所属を含む表記で区別した。