

福島第一発電所構内で採取した 建屋内瓦礫の放射能分析

平成27年10月1日

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構/
日本原子力研究開発機構

本資料には、経済産業省平成26年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金
(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発)」の成果の一部が含まれている。

無断複製・転載禁止 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

概要

- 事故後に発生した固体廃棄物は、従来の原子力発電所で発生した廃棄物と性状が異なるため、廃棄物の処理・処分の安全性の見通しを得る上で試料の分析が不可欠である。
- これまでの瓦礫試料と比較して建屋内瓦礫が ^{90}Sr や ^{137}Cs などの放射能濃度が高い傾向であることから、処分の安全評価において重要と考えられる β 核種であり、瓦礫で検出されていない ^{36}Cl , ^{63}Ni , ^{79}Se , ^{129}I の追加分析を実施し、得られた結果を報告する。
- 今回の結果は、これまでに得られた分析結果などから想定されるもので特異な結果はないと考えている。
- 今後も継続的にデータを蓄積し、処理・処分の研究開発に活用していく。

年度	試料	試料数	発表等	
23-26	汚染水・RO濃廃水	<ul style="list-style-type: none"> 1~4号機タービン建屋滞留水等 集中RW地下高汚染水 濃縮廃水(RO) 高温焼却炉建屋地下滞留水 処理水(セシウム吸着装置、第二セシウム吸着装置) 	25	http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/images/handouts_110522_04-j.pdf http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/120924/120924_01j.pdf http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/130627/130627_02kk.pdf http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/131128/131128_01st.pdf
	ボーリングコア	<ul style="list-style-type: none"> 1号機 1階(床、壁) 2号機 1階(床) 	3	http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/130828/130828_01nn.pdf
	瓦礫 伐採木	<ul style="list-style-type: none"> 1、3、4号機周辺瓦礫 伐採木(枝、葉)、3号機周辺 生木(枝) 	24	http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/140130/140130_01tt.pdf
	立木 落葉、土壌	<ul style="list-style-type: none"> 構内各所の立木(枝葉)及びそれに対応する落葉、土壌 	121	http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/140227/140227_02ww.pdf http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/150326/150326_01_3_7_04.pdf
	建屋内瓦礫	<ul style="list-style-type: none"> 1号機・3号機原子炉建屋1階瓦礫 2号機原子炉建屋5階ボーリングコア 	10	http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/150326/150326_01_3_7_04.pdf
27	汚染水	<ul style="list-style-type: none"> 集中RW地下高汚染水 高温焼却炉建屋地下滞留水 処理水(セシウム吸着装置、第二セシウム吸着装置) 	9	http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2015/pdf/0730_3_4c.pdf
	スラリー	<ul style="list-style-type: none"> 多核種除去設備スラリー(既設) 	2	http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2015/pdf/0827_3_4c.pdf
	建屋内瓦礫	<ul style="list-style-type: none"> 1号機・3号機原子炉建屋1階瓦礫 2号機原子炉建屋5階ボーリングコア 	3	今回報告内容(建屋内瓦礫について ³⁶ Cl, ⁶³ Ni, ⁷⁹ Se, ¹²⁹ Iの放射能データ追加取得)
	瓦礫	<ul style="list-style-type: none"> 1号機・3号機原子炉建屋1階瓦礫 1号機原子炉建屋1階ボーリングコア 1号機タービン建屋砂 覆土式一時保管施設で採取した瓦礫(第1槽、第2槽) 	50	分析中
	スラリー	<ul style="list-style-type: none"> 多核種除去設備スラリー(既設、増設) 	5	分析中

- 原子炉建屋の解体廃棄物は発生量(体積、質量)と放射能の観点で重要であり、早期にインベントリを評価することが望まれる。このために、建屋の内部で得られる試料は、汚染状態を把握する上で優先度が高い。
- 原子炉建屋内の瓦礫(コンクリート、保温材)とボーリングコア(表面塗膜)の試料について、³⁶Cl, ⁶³Ni, ⁷⁹Se, ¹²⁹Iの放射能を追加分析した。
- 分析試料は、各建屋内瓦礫試料のうち、⁶⁰Coと¹³⁷Cs濃度が高い試料を選定した。
- 以下の核種を対象として分析した。
β線放出核種 : ³⁶Cl, ⁶³Ni, ⁷⁹Se, ¹²⁹I
- 取得した放射能データは、次の方法で整理。
 - 検出核種の放射能濃度
 - ⁶⁰Coまたは¹³⁷Csとの濃度相関

■ コンクリート片・保温材

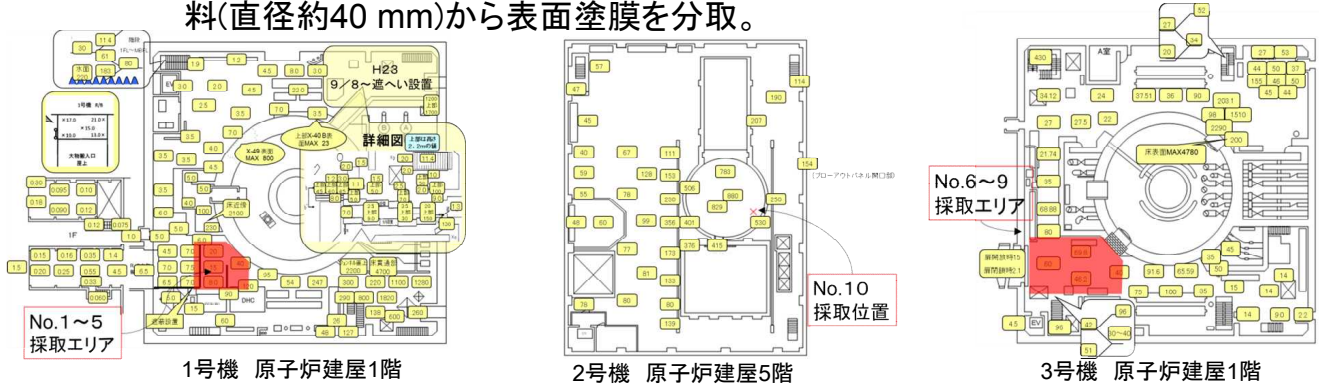
場所: 1号機 1階コンクリート片・保温材(平成25年10月)、3号機 1階コンクリート片(平成26年3月)

方法: 遠隔重機「ASTACO-SoRa」を用いた障害物撤去作業において大量に回収された瓦礫から、建屋搬出時に握り拳程度の大きさのものを分取。

■ ボーリングコア

場所: 2号機 5階表面塗膜(平成26年3月)

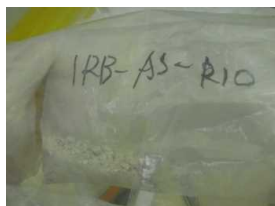
方法: 国プロ「建屋内の遠隔除染技術の開発」において、採取されたボーリングコア試料(直径約40 mm)から表面塗膜を分取。



No.	形状等	試料名	場所	表面線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	質量 (g)	面積 (cm^2)
1	コンクリート	1RB-AS-R1	1号機1階	100	50.9	—
2	コンクリート	1RB-AS-R3	1号機1階	74.5	50.0	—
3	コンクリート	1RB-AS-R4	1号機1階	87	51.0	—
4	コンクリート	1RB-AS-R6	1号機1階	93	26.0	—
5	保温材	1RB-AS-R10	1号機1階	970	26.0	—
6	コンクリート	3RB-AS-R3	3号機1階	340	26.0	—
7	コンクリート	3RB-AS-R4	3号機1階	17	26.0	—
8	コンクリート	3RB-AS-R6	3号機1階	13	26.0	—
9	コンクリート	3RB-AS-R8	3号機1階	91	26.0	—
10	コア表面塗膜	2RB-DE-C2	2号機5階	73	5.0	12.56 [※]

: 今回の分析試料

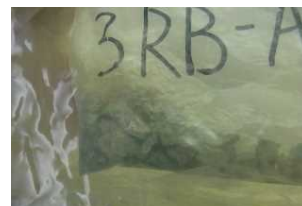
※ 塗膜(樹脂)の表面積



1号機保温材
(1RB-AS-R10)

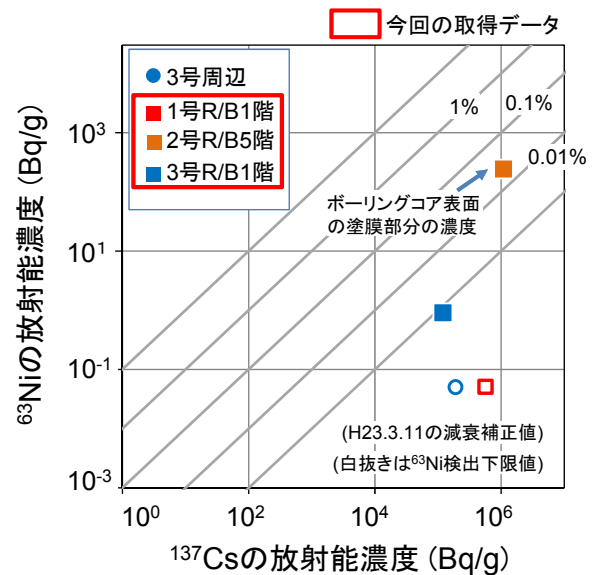
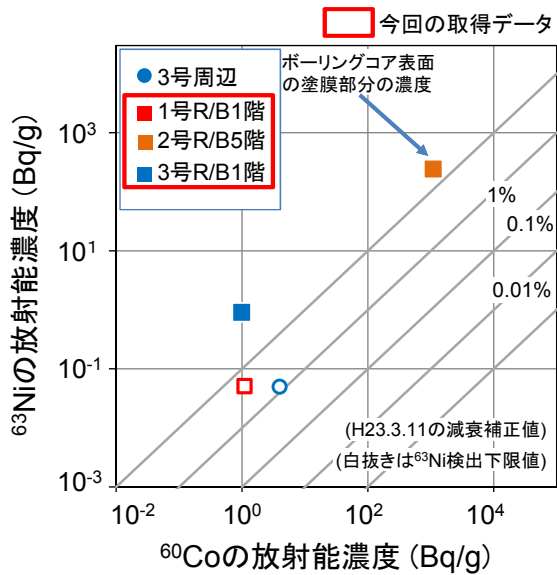


2号機コア表面塗膜
(2RB-DE-C2)



3号機コンクリート
(3RB-AS-R3)

^{63}Ni と ^{60}Co または ^{137}Cs 濃度の関係

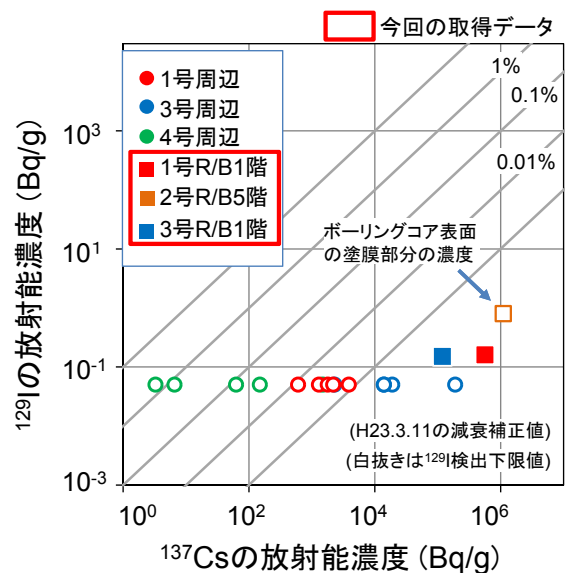
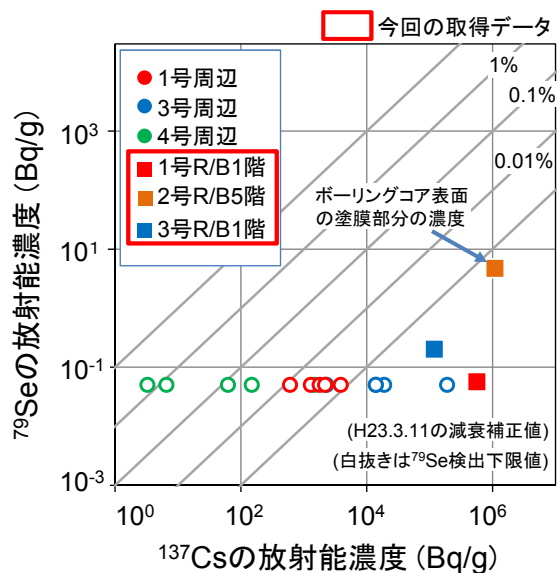


➤ 建家周辺瓦礫では検出されなかった ^{63}Ni を2、3号機建屋内瓦礫で検出。

$^{63}\text{Ni}/^{60}\text{Co}$ 比	
分析濃度	計算値※1
22.2%	437%

$^{63}\text{Ni}/^{137}\text{Cs}$ 比	
分析濃度	計算値※1
0.004%	0.006%

^{79}Se , ^{129}I と ^{137}Cs 濃度の関係



➤ 建家周辺瓦礫では検出されなかった ^{79}Se を1、2、3号機建屋内瓦礫で検出。 $^{79}\text{Se}/^{137}\text{Cs}$ 比は滞留水の値(0.00009%)と同程度。

$^{79}\text{Se}/^{137}\text{Cs}$ 比	
分析濃度	計算値※1
0.00009%	0.00004%

➤ 建家周辺瓦礫では検出されなかった ^{129}I を1、3号機建屋内瓦礫で検出。 $^{129}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ 比は滞留水の値(0.00011%)と同程度。

$^{129}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ 比	
分析濃度	計算値※1
0.00006%	0.00003%

- 検出された核種
 - ^{63}Ni (放射化生成物)
 - ^{79}Se , ^{129}I (核分裂生成物)
- 周辺瓦礫で未検出であった ^{63}Ni , ^{79}Se , ^{129}I が瓦礫では初めて検出された。
- 核分裂生成物核種(代表的には ^{137}Cs や ^{90}Sr)とともに、放射化生成物核種についても事故進展に伴い移行した可能性が確認された。
- 平成23年度より廃棄物試料の分析を実施している。処理・処分方策を検討する基礎となる放射能インベントリの精度向上に向け、引き続き廃棄物の分析を進め、放射能データを蓄積、活用していく。

参考資料

No.	試料名	放射能濃度(Bq/g)				
		⁶⁰ Co (約5.3年)	⁹⁴ Nb (約2.0×10 ⁴ 年)	¹³⁷ Cs (約30年)	¹⁵² Eu (約14年)	¹⁵⁴ Eu (約8.6年)
1	1RB-AS-R1	$(4.0 \pm 0.4) \times 10^{-1}$	$< 7 \times 10^{-2}$	$(2.6 \pm 0.1) \times 10^4$	$< 6 \times 10^{-1}$	$< 3 \times 10^{-1}$
2	1RB-AS-R3	$< 2 \times 10^{-1}$	$< 7 \times 10^{-2}$	$(1.8 \pm 0.1) \times 10^4$	$< 6 \times 10^{-1}$	$< 3 \times 10^{-1}$
3	1RB-AS-R4	$(4.7 \pm 0.5) \times 10^{-1}$	$< 7 \times 10^{-2}$	$(2.3 \pm 0.1) \times 10^4$	$< 6 \times 10^{-1}$	$< 3 \times 10^{-1}$
4	1RB-AS-R6	$(7.3 \pm 0.7) \times 10^{-1}$	$< 7 \times 10^{-2}$	$(6.1 \pm 0.1) \times 10^4$	$< 6 \times 10^{-1}$	$< 3 \times 10^{-1}$
5	1RB-AS-R10	$(1.1 \pm 0.1) \times 10^0$	$< 7 \times 10^{-2}$	$(5.7 \pm 0.1) \times 10^5$	$< 7 \times 10^{-1}$	$< 3 \times 10^{-1}$
6	3RB-AS-R3	$(4.0 \pm 0.1) \times 10^0$	$< 7 \times 10^{-2}$	$(1.2 \pm 0.1) \times 10^5$	$< 7 \times 10^{-1}$	$< 3 \times 10^{-1}$
7	3RB-AS-R4	$< 2 \times 10^{-1}$	$< 7 \times 10^{-2}$	$(5.8 \pm 0.1) \times 10^3$	$< 6 \times 10^{-1}$	$< 3 \times 10^{-1}$
8	3RB-AS-R6	$(1.5 \pm 0.3) \times 10^{-1}$	$< 7 \times 10^{-2}$	$(4.2 \pm 0.1) \times 10^3$	$< 6 \times 10^{-1}$	$< 3 \times 10^{-1}$
9	3RB-AS-R8	$(1.2 \pm 0.1) \times 10^0$	$< 7 \times 10^{-2}$	$(4.9 \pm 0.1) \times 10^4$	$< 6 \times 10^{-1}$	$< 3 \times 10^{-1}$
10	2RB-DE-C2	$(1.1 \pm 0.1) \times 10^3$	$< 1 \times 10^0$	$(1.1 \pm 0.1) \times 10^6$	$< 9 \times 10^0$	$(3.5 \pm 0.1) \times 10^2$

放射能濃度は、H23.3.11に補正。
分析値の±より後ろの数値は、計数値誤差である。

No.	試料名	放射能濃度(Bq/g)			
		³ H (約12年)	¹⁴ C (約5.7×10 ³ 年)	³⁶ Cl (約3.0×10 ⁵ 年)	⁶³ Ni (約1.0×10 ² 年)
1	1RB-AS-R1	$(1.1 \pm 0.1) \times 10^0$	$(5.9 \pm 0.1) \times 10^0$	—	—
2	1RB-AS-R3	$(6.9 \pm 0.1) \times 10^0$	$(6.4 \pm 0.1) \times 10^0$	—	—
3	1RB-AS-R4	$(7.2 \pm 0.1) \times 10^0$	$(1.0 \pm 0.1) \times 10^1$	—	—
4	1RB-AS-R6	$(4.4 \pm 0.1) \times 10^0$	$(1.3 \pm 0.1) \times 10^1$	—	—
5	1RB-AS-R10	$(3.2 \pm 0.1) \times 10^1$	$(7.9 \pm 0.1) \times 10^0$	$< 5 \times 10^{-2}$	$< 6 \times 10^{-2}$
6	3RB-AS-R3	$(8.8 \pm 0.3) \times 10^{-1}$	$(2.7 \pm 0.1) \times 10^0$	$< 5 \times 10^{-2}$	$(9.0 \pm 0.2) \times 10^{-1}$
7	3RB-AS-R4	$(4.9 \pm 0.3) \times 10^{-1}$	$< 5 \times 10^{-2}$	—	—
8	3RB-AS-R6	$(6.8 \pm 0.3) \times 10^{-1}$	$< 5 \times 10^{-2}$	—	—
9	3RB-AS-R8	$(6.7 \pm 0.3) \times 10^{-1}$	$(5.5 \pm 0.2) \times 10^{-1}$	—	—
10	2RB-DE-C2	$(3.5 \pm 0.1) \times 10^2$	$(2.5 \pm 0.1) \times 10^1$	$< 8 \times 10^{-1}$	$(2.3 \pm 0.1) \times 10^2$

放射能濃度は、H23.3.11に補正。
分析値の±より後ろの数値は、計数値誤差である。
—は分析未実施を示す。

■ : 今回の取得データ

No.	試料名	放射能濃度 (Bq/g)			
		⁷⁹ Se (約6.5 × 10 ⁴ 年)	⁹⁰ Sr (約29年)	⁹⁹ Tc (約2.1 × 10 ⁵ 年)	¹²⁹ I (約1.6 × 10 ⁷ 年)
1	1RB-AS-R1	—	(1.3±0.1) × 10 ²	< 5 × 10 ⁻²	—
2	1RB-AS-R3	—	(5.9±0.1) × 10 ¹	< 5 × 10 ⁻²	—
3	1RB-AS-R4	—	(3.5±0.1) × 10 ¹	< 5 × 10 ⁻²	—
4	1RB-AS-R6	—	(2.0±0.1) × 10 ²	< 5 × 10 ⁻²	—
5	1RB-AS-R10	(5.6±0.8) × 10 ⁻²	(2.4±0.1) × 10 ³	< 5 × 10 ⁻²	(1.6±0.1) × 10 ⁻¹
6	3RB-AS-R3	(2.0±0.1) × 10 ⁻¹	(5.4±0.1) × 10 ¹	< 5 × 10 ⁻²	(1.5±0.1) × 10 ⁻¹
7	3RB-AS-R4	—	(3.6±0.1) × 10 ⁰	< 5 × 10 ⁻²	—
8	3RB-AS-R6	—	(4.0±0.1) × 10 ⁰	< 5 × 10 ⁻²	—
9	3RB-AS-R8	—	(8.1±0.1) × 10 ¹	< 5 × 10 ⁻²	—
10	2RB-DE-C2	(4.7±0.2) × 10 ⁰	(2.1±0.1) × 10 ⁴	(7.6±0.1) × 10 ¹	< 8 × 10 ⁻¹

放射能濃度は、H23.3.11に補正。
分析値の±より後ろの数値は、計数値誤差である。
—は分析未実施を示す。

: 今回の取得データ

No.	試料名	放射能濃度 (Bq/g)			
		²³⁸ Pu (約88年)	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu (約2.4 × 10 ⁴ 年 約6.6 × 10 ³ 年)	²⁴¹ Am (約4.3 × 10 ² 年)	²⁴⁴ Cm (約18年)
1	1RB-AS-R1	(4.6±0.8) × 10 ⁻³	(3.6±0.6) × 10 ⁻³	< 3 × 10 ⁻³	< 4 × 10 ⁻³
2	1RB-AS-R3	(2.2±0.5) × 10 ⁻³	(1.5±0.4) × 10 ⁻³	< 3 × 10 ⁻³	< 4 × 10 ⁻³
3	1RB-AS-R4	(2.1±0.4) × 10 ⁻³	(1.0±0.3) × 10 ⁻³	< 2 × 10 ⁻³	< 3 × 10 ⁻³
4	1RB-AS-R6	(1.7±0.4) × 10 ⁻³	(1.1±0.3) × 10 ⁻³	< 2 × 10 ⁻³	< 4 × 10 ⁻³
5	1RB-AS-R10	(8.2±0.9) × 10 ⁻³	(2.4±0.5) × 10 ⁻³	(4.7±1.0) × 10 ⁻³	(1.0±0.2) × 10 ⁻²
6	3RB-AS-R3	(2.7±0.2) × 10 ⁻²	(1.3±0.1) × 10 ⁻²	(2.4±0.2) × 10 ⁻²	(2.2±0.2) × 10 ⁻²
7	3RB-AS-R4	(2.7±0.8) × 10 ⁻³	(1.3±0.6) × 10 ⁻³	< 4 × 10 ⁻³	< 5 × 10 ⁻³
8	3RB-AS-R6	(2.9±0.7) × 10 ⁻³	(1.2±0.5) × 10 ⁻³	< 2 × 10 ⁻³	(2.5±0.7) × 10 ⁻³
9	3RB-AS-R8	(1.5±0.2) × 10 ⁻²	(5.4±0.8) × 10 ⁻³	(5.6±0.9) × 10 ⁻³	(1.0±0.2) × 10 ⁻²
10	2RB-DE-C2	(6.1±0.3) × 10 ¹	(2.5±0.2) × 10 ¹	(2.4±0.2) × 10 ¹	(5.1±0.3) × 10 ¹

放射能濃度は、H23.3.11に補正。
²³⁹⁺²⁴⁰Puの半減期補正は²⁴⁰Puの半減期(約6.6 × 10³年)を使用。
分析値の±より後ろの数値は、計数値誤差である。

核種選定の方針

- ◆ 重要核種の候補としている38核種(暫定)から分析法が確立していない核種(緑字)を除く。
- ◆ 福島第一発電所試料(瓦礫等)で検出された核種(青字)を優先する。
- ◆ 滞留水でこれまで検出された核種、ならびに気相に移行しやすい核種(赤字)について検出を試みる。

重要核種候補38核種(暫定)

γ線放出核種: ⁶⁰Co, ⁹⁴Nb, ¹³⁷Cs, ¹⁵²Eu, ¹⁵⁴Eu

β線放出核種: ³H, ¹⁴C, ³⁶Cl, ⁴¹Ca, ⁵⁹Ni, ⁶³Ni, ⁷⁹Se, ⁹⁰Sr, ⁹³Zr, ⁹³Mo, ⁹⁹Tc, ¹⁰⁷Pd, ¹²⁶Sn, ¹²⁹I, ¹³⁵Cs, ¹⁵¹Sm, ²⁴¹Pu

α線放出核種: ²³³U, ²³⁴U, ²³⁵U, ²³⁶U, ²³⁸U, ²³⁷Np, ²³⁸Pu, ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu, ²⁴²Pu, ²⁴¹Am, ^{242m}Am, ²⁴³Am, ²⁴⁴Cm, ²⁴⁵Cm, ²⁴⁶Cm

当該分析に係る工程

	H25			H26									H27										
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
試料採取	1号機1階			1号機1階			2号機5階、3号機1階																
試料輸送				輸送準備									▽9/25										
前回の分析作業				原子炉建屋内瓦礫(10試料)分析作業 ※ ³⁶ Cl, ⁶³ Ni, ⁷⁹ Se, ¹²⁹ I以外									前処理	分析作業 データ確認・まとめ									
規制庁からの指導対応														▽3/26報告 1F試料管理方法変更									
前処理														今回報告分試料の所内移動									
³⁶ Cl														前処理									
⁶³ Ni														分析作業 データ確認・まとめ									
⁷⁹ Se														分析作業 データ確認・まとめ									
¹²⁹ I														分析作業 データ確認・まとめ									