

多核種除去設備等処理水の全ベータ値と 主要 7 核種の合計値のかい離について

TEPCO

2020年12月22日

東京電力ホールディングス株式会社

3-1. 主要 7 核種の選定

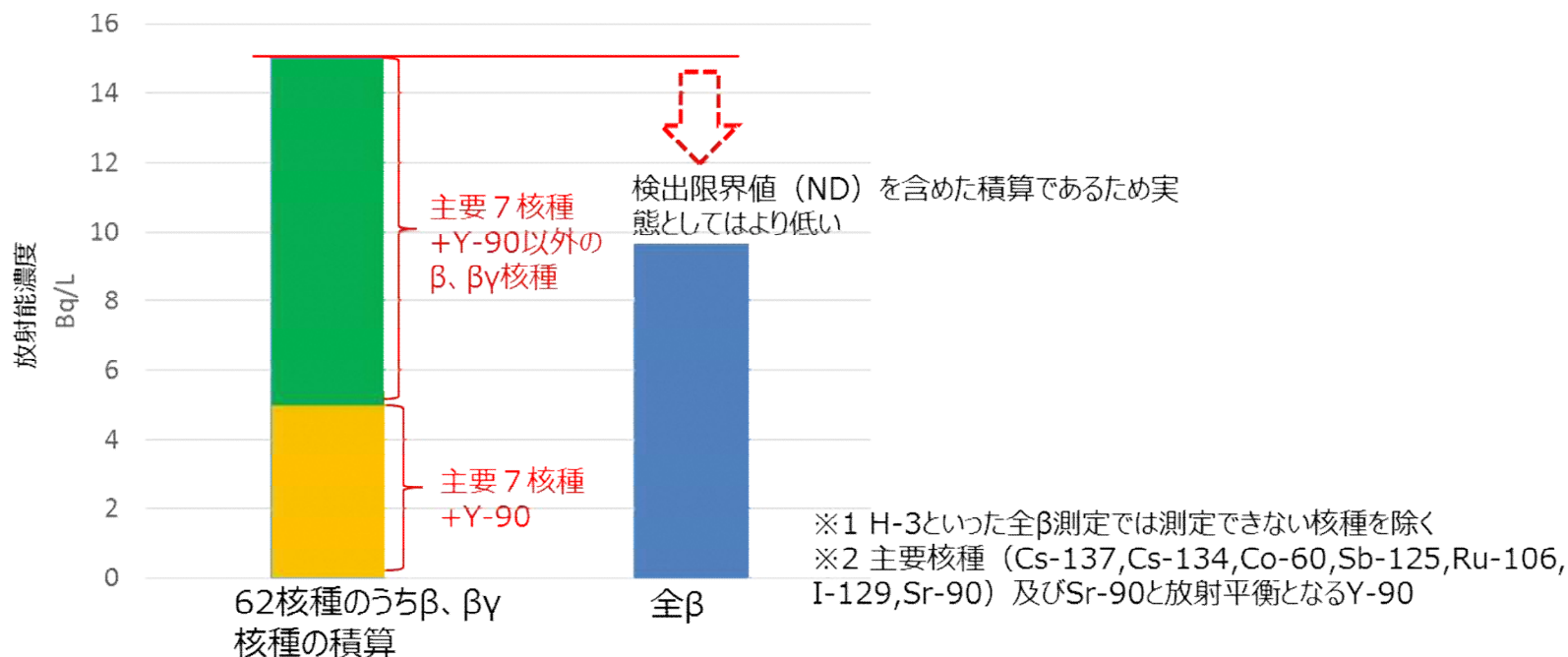
- 多核種除去設備は、62核種を除去対象として、これら核種の告示濃度限度との比の総和が 1 を下回るよう処理性能を有している。
- 一方、62核種全ての分析には長時間を要するため、廃炉作業を遅延させずに多核種除去設備の性能確認やタンク群に含まれる核種濃度の把握するためには代表的な核種を選定し、それらの測定値をもって評価する必要がある。
- そのため、処理水の62核種分析を実施し、告示濃度限度に対して有意に検出された以下の 7 核種を“主要 7 核種”として選定した。
- この際の主要 7 核種及びその他除去対象核種の濃度から、その他除去対象核種の告示濃度限度比の和を0.3と定め、主要 7 核種の分析を実施することで多核種除去設備等処理水の除去対象核種の告示濃度限度比の総和を評価することとした。

多核種除去設備等処理水の主要 7 核種

Cs-134, Cs-137, Sr-90, I-129, Ru-106, Co-60, Sb-125

3-2. 主要7核種合計値と全ベータ値のかい離の認識

- 2018年度上期時点において、多核種除去設備等処理水の主要7核種分析結果の合計値と全ベータ値に一定のかい離が生じているタンクの存在が確認された。
- この事実に対して、当初は主要7核種以外の除去対象核種が検出下限値以下の濃度で存在しており、それらの核種から放出されるベータ線の影響を受けた結果、主要7核種の合計値よりも全ベータ値が高くなったと評価した。



K4タンクにおけるβ、βγ核種 (62核種) の積算と全βの比較

3-3. 調査の実施（第1回）

- 前項の評価はあくまで推察であったため、かい離に影響を及ぼしている具体的な核種を絞り込むため調査を実施した。
- 調査対象は主要7核種放射能濃度合計値と全ベータ値のかい離が最も大きなH4N-A6タンクを選択した。
- ALPS出口水及びH4N-A6タンク水のベータ線スペクトルを確認したところ、定性されていないスペクトル2本（I-129と同等の最大エネルギー及びそのエネルギーの2倍程度のエネルギー）の存在も示唆された。

H4N-A6タンク水の主要7核種濃度※及び全β値

核種	Cs-137	Cs-134	Sr-90	Y-90	I-129	Ru-106	Rh-106	Co-60	Sb-125	合計値	全β値
濃度 (Bq/L)	0.34	<0.17	0.19	0.19	1.77	5.77	5.77	0.46	0.65	15.31	40.74

※主要7核種の評価にはSr-90及びRu-106と放射平衡の関係にある娘核種Y-90及びRh-106を含む

3-3. 調査の実施（第1回）

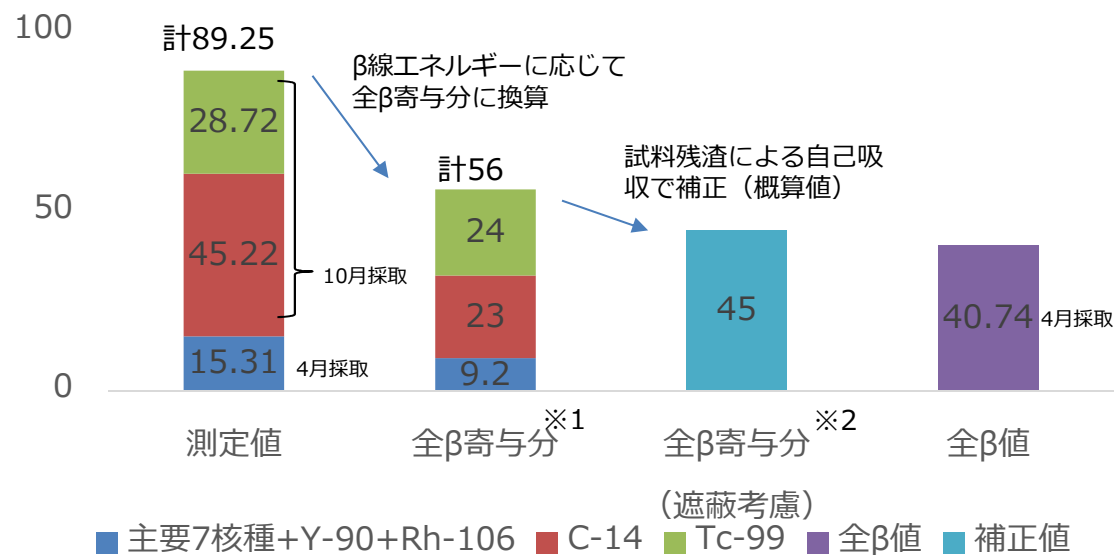
- この結果からC-14（I-129と同等の最大エネルギーのベータ線を放出）とTc-99（I-129の2倍程度の最大エネルギーを放出）の存在に着目し，それぞれの核種を測定したところ，有意な濃度で検出された。
- また，最大エネルギーの大きなベータ線を放出する核種ほど全ベータ値へ与える影響が大きいことが分かっており，文献値を基に核種毎の全ベータ値への影響を加味した評価を行った。

C-14及びTc-99の測定結果

核種	測定器	濃度 (Bq/L)
C-14	LSC	45.22
Tc-99	ICP-MS	28.72

※1：「egs5による東京電力福島第一原子力発電所における測定対象核種毎の全ベータ換算係数の計算 (KEK Internal 2018-6 January 2019 R)」に基づき全ベータ寄与分を計算

※2：アイソトープ手帳に記載されている自己吸収の補正式を使用



C-14及びTc-99を含めた全β値評価結果 (Bq/L)

- 本調査結果を第67回特定原子力施設監視・評価検討会（2019年1月21日）にて報告

3-4. 調査の実施（第2回）

- その後、かい離の大きな3タンク、かい離の小さい2タンクを対象として主要7核種、C-14、Tc-99及び全ベータの分析を行った。
- この時、主要7核種（Y-90とRh-106を含む）の合計値と全ベータ値の差が10Bq/L以上、比が3倍以上あるものを「かい離の大きいタンク」と定義した。
- 分析の結果、かい離の大きなタンクからはC-14が有意に検出された。
- かい離の小さいタンクからもC-14は検出されたものの低濃度であった。

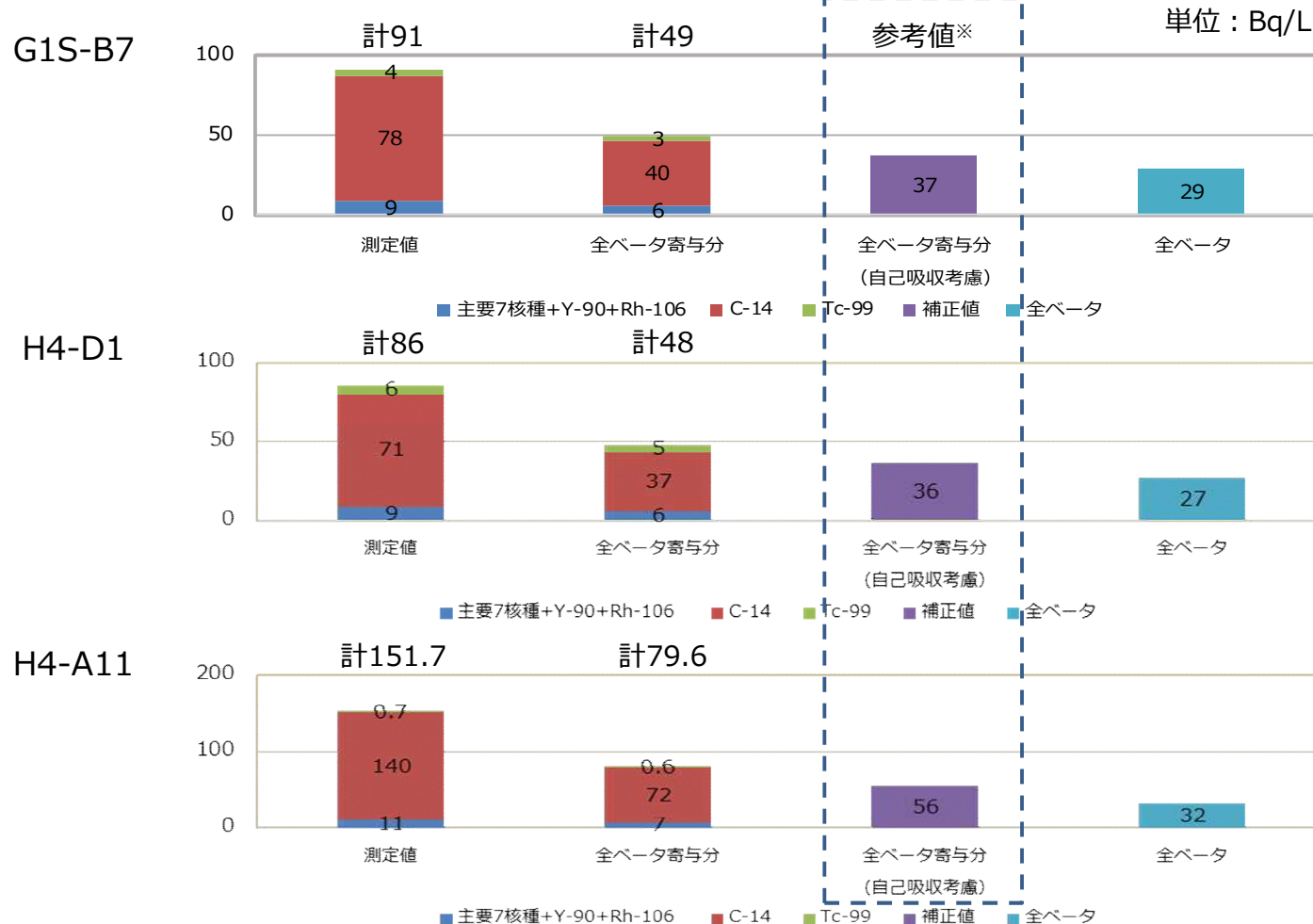
◆ タンク群分析結果

単位：Bq/L

		主要7核種							C-14	Tc-99	
No.	選定タンク	Cs-134	Cs-137	Co-60	Sb-125	Ru-106	Sr-90	I-129			
かい離大	1	G1S-B7	<0.061	0.19	0.60	0.45	1.2	1.1	3.0	78	3.8
	2	H4-D1	<0.071	0.14	0.51	0.32	1.9	0.35	3.4	71	6.5
	3	H4-A11	<0.063	0.067	0.95	0.42	<0.46	0.49	7.3	140	<0.70
かい離小	4	J3-B1	0.16	0.96	0.92	0.75	<0.47	<0.27	9.0	14	<0.70
	5	K4-D1	0.16	0.12	0.64	0.17	<0.48	<0.19	3.0	10	<0.70

3-4. 調査の実施（第2回）

➤ C-14とTc-99の全ベータ値への影響を加味した合計値は全ベータ値と同等となった。



※全ベータ寄与分（自己吸収考慮）については、自己吸収の原因物質が試料中に均一に存在したと仮定して、アイソトープ手帳記載の自己吸収の補正式によって評価した値であり、存在形態によっては、自己吸収の程度が変わる可能性もあるため、参考値扱いとしている

➤ 本調査結果を第72回特定原子力施設監視・評価検討会（2019年6月17日）にて報告

- 第1回、第2回の調査でかい離の原因は概ねC-14とTc-99であるとしたものの、これまでの調査結果を裏付けるために、残りのかい離の大きなタンク全てに対しても主要7核種、C-14、Tc-99及び全ベータの分析を実施した。
- かい離の大きなタンクの選定基準は、2回目の調査と同様とした。
- なお、2019年度以降に満水となったタンク群については、かい離の大きなものだけでなく、全てのタンク群について主要7核種、C-14、Tc-99及び全ベータの分析を実施している。
- 調査の結果、主要7核種（Y-90とRh-106を含む）、C-14、Tc-99の合計値が全ベータ値を下回ることはなく、改めてかい離の原因がC-14とTc-99によるものであったことを示した。
(p.14～18の図参照)

選定基準（第2回の調査と同様）

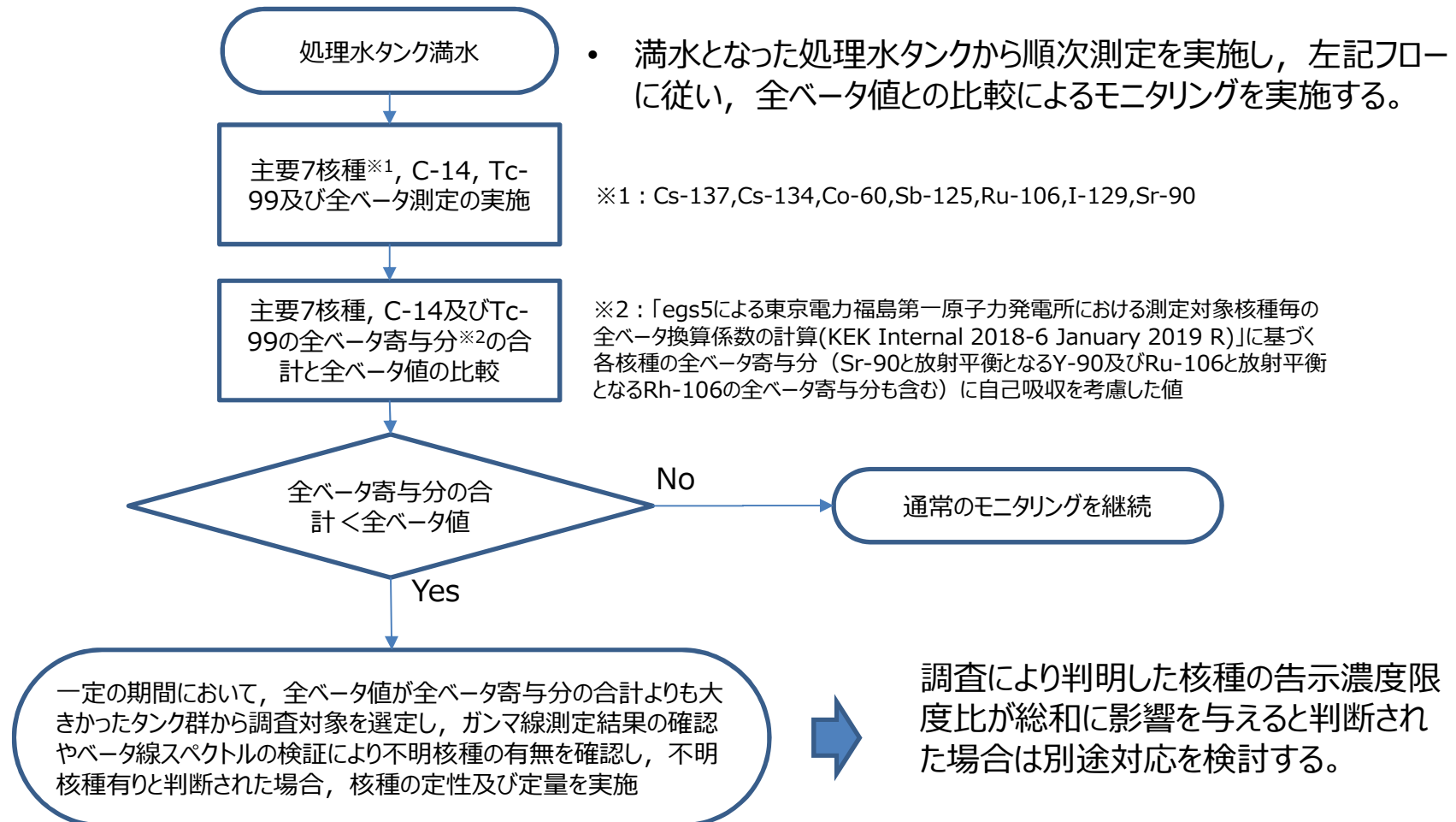
全ベータ／主要7核種(換算) > 3 (3倍以上の開き) 且つ
全ベータ－ 主要7核種(換算) > 10Bq/L (絶対値が10以上の開き)

- 本調査結果を第79回特定原子力施設監視・評価検討会（2020年3月16日）にて報告

- 現時点で満水となっているタンクについては、主要 7 核種とC-14及びTc-99の全ベータ寄与分を合計すれば概ね全ベータ値と同等の結果が得られたことから、全ベータ値と主要 7 核種の合計値のかい離の原因はC-14とTc-99によるものであると考える。
- したがって、今後、満水となったタンクは主要 7 核種だけでなく、C-14及びTc-99の分析も併せて実施していくこととする。
- 今後発生するタンクに関して不明な核種の増加が無いことを確認するために、核種分析結果と全ベータ値との比較も引き続き実施し、かい離が見られることがあれば、別の核種の存在を疑い、別途調査を実施する。

(p.9 「3-7. 今後のタンクモニタリング方針」参照)

3-7. 今後のタンクモニタリング方針



- 2019年度以降に満水となったタンク群について、第3回調査以降から2020年6月までに分析を完了したタンク群に対して前項フローに従いモニタリングを実施した結果、不明な核種はないと判断した。
- ◆ 主要7核種、C-14及びTc-99の全ベータ寄与分の合計が全ベータ値よりも低かったタンク群より下記の基準で調査対象を選定した。
 1. 全ベータ値と全ベータ寄与分の合計の差の絶対値が最も大きいタンク
 2. 全ベータ値と全ベータ寄与分の合計の差の全ベータに対する比率が最も大きいタンク
 3. 全ベータ寄与分の合計に占めるSr-90及びY-90の割合が最も小さいタンク
- ◆ 調査対象タンクに対して以下の調査を実施
 - ① ガンマ線スペクトロメトリーの詳細帳票確認により定性されていない核種の有無を確認
 - ② ベータ線のスペクトルを確認し、検出されているベータ放出核種以外のエネルギー分布の有無を確認
 - ③ ①, ②により不明核種有りと判断された場合、核種の定性及び定量を実施
- 各タンク群の分析結果については、p.11～13を参照。

3-8. 第3回調査以降のモニタリング実績

放射能濃度の単位：Bq/L

タンク名	Cs-134	Cs-137	Sr-90	Y-90	Ru-106	Rh-106	I-129	Co-60	Sb-125	C-14	Tc-99	全β寄与分 (換算値)	析出重量 (mg)	全β寄与分 (遮蔽考慮)	全β値
G6-C1	<0.20	<0.23	1.1	1.1	<1.8	<1.8	<0.35	0.36	<0.70	26	<1.4	20	38	17	11
G6-A1	<0.32	0.44	1.5	1.5	<1.9	<1.9	<0.35	0.92	<0.66	38	<1.4	28	54	22	8.5
G6-C10	<0.18	<0.26	1.9	1.9	<1.7	<1.7	2.6	0.36	<0.72	25	<1.4	23	54	19	13
G6-A9	<0.40	0.58	31	31	<1.8	<1.8	<0.35	0.45	<0.61	116	<1.4	132	94	104	56
H6(2)-C3	<0.22	0.42	5.1	5.1	<1.9	<1.9	<0.35	1.1	<0.69	57	<1.4	46	57	37	23
H6(2)-C1	<0.23	0.32	313	313	<2.2	<2.2	<0.35	1.1	<0.73	32	<1.4	699	60	672	720
K4-C5	<0.12	0.63	8.0	8.0	<1.3	<1.3	1.3	0.28	<0.40	17	<1.0	30	40	28	19
K4-E1	<0.15	0.59	7.3	7.3	<1.1	<1.1	1.9	0.43	<0.45	14	6.2	32	48	29	31
K4-A1	<0.13	0.16	6.3	6.3	<1.2	<1.2	0.49	0.29	<0.37	14	<1.0	24	47	22	7.4
K4-B1	<0.19	0.47	8.6	8.6	<1.2	<1.2	1.3	0.56	<0.41	18	<1.0	32	46	29	13
J4-L1	<0.16	0.69	11	11	<1.3	<1.3	0.70	0.44	<0.60	21	<1.0	38	58	34	22
J4-C1	<0.20	1.2	12	12	<1.2	<1.2	2.2	<0.15	1.1	5.8	<1.0	35	34	34	25
J7-A1	<0.13	0.81	4.8	4.8	<1.2	<1.2	3.2	0.33	<0.41	14	<1.0	23	70	19	14

 : 全ベータ寄与分<全ベータ値となったタンク

※ 全ベータ寄与分<全ベータ値となったタンクの内、換算値の合計に占めるSr-90及びY-90の割合が最も小さいものとして調査を実施

3-8. 第3回調査以降のモニタリング実績

放射能濃度の単位：Bq/L

タンク名	Cs-134	Cs-137	Sr-90	Y-90	Ru-106	Rh-106	I-129	Co-60	Sb-125	C-14	Tc-99	全β寄与分 (換算値)	析出重量 (mg)	全β寄与分 (遮蔽考慮)	全β値
H1E-A1	<0.21	0.50	4.4	4.4	<1.2	<1.2	3.8	0.91	<0.45	14	<1.0	23	51	20	13
H2-C1	<0.22	0.87	2.5	2.5	<1.3	<1.3	6.3	0.27	<0.44	59	<1.2	44	43	36	20
H2-B1	<0.29	0.29	3.3	3.3	1.9	1.9	5.9	1.2	<0.46	22	13	36	58	30	26
H2-D1	<0.26	0.45	2.8	2.8	<1.2	<1.2	2.7	0.42	<0.42	14	<1.2	19	46	16	10
H2-J1	<0.18	0.51	2.1	2.1	<1.3	<1.3	2.5	0.56	0.52	39	12	39	94	28	25
J9-A1	<0.20	0.29	2.2	2.2	<1.2	<1.2	0.71	0.48	<0.45	17	<1.2	17	66	14	10
J1-N1	<0.13	1.3	2.0	2.0	<1.3	<1.3	2.2	0.43	<0.45	15	<1.2	18	65	15	12
K1-B1	<0.24	0.26	297	297	<1.3	<1.3	4.9	0.83	3.4	2.5	<1.2	650	22	642	678
K4-D1	<0.21	0.14	2.5	2.5	<1.3	<1.3	2.2	0.50	0.44	13	<1.7	17	46	15	12
G1S-B1	<0.17	0.44	2.4	2.4	<1.3	<1.3	3.0	0.63	0.51	96	5.6	64	65	47	35
G6-D1	<0.14	<0.13	2.2	2.2	<1.3	<1.3	<0.23	0.47	<0.43	24	<1.7	21	53	17	9.7
G6-D6	<0.22	<0.15	1.2	1.2	<1.3	<1.3	1.3	0.43	0.74	48	<1.7	32	57	25	22

 : 全ベータ寄与分<全ベータ値となったタンク

3-8. 第3回調査以降のモニタリング実績

放射能濃度の単位：Bq/L

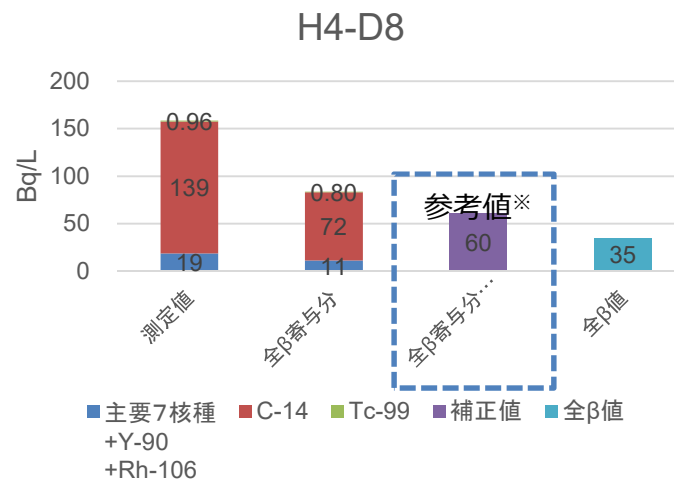
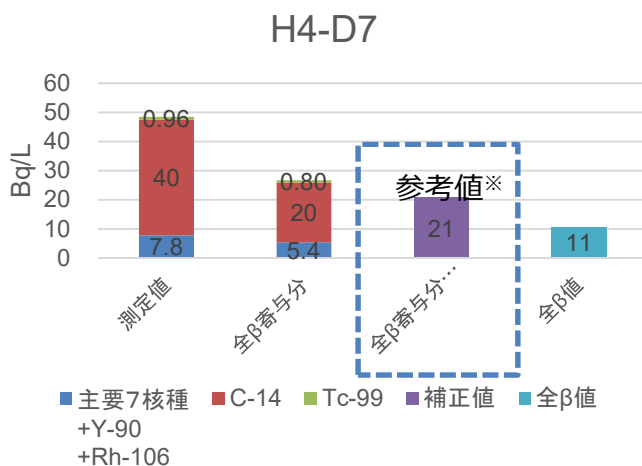
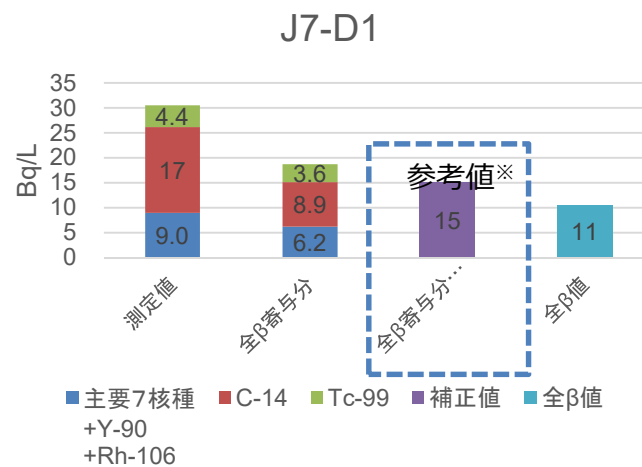
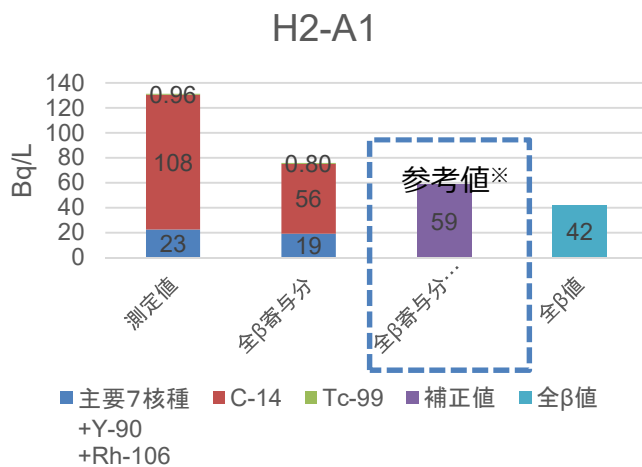
タンク名	Cs-134	Cs-137	Sr-90	Y-90	Ru-106	Rh-106	I-129	Co-60	Sb-125	C-14	Tc-99	全β寄与分 (換算値)	析出重量 (mg)	全β寄与分 (遮蔽考慮)	全β値
B-B1	<0.14	<0.13	1.1	1.1	<1.2	<1.2	<0.23	0.43	<0.45	24	<1.7	18	55	15	11
B-B5	<0.16	<0.12	4.1	4.1	<1.1	<1.1	<0.23	0.37	<0.31	32	<1.7	29	53	24	18
B-A1	<0.43	1.3	9230	9230	<3.0	<3.0	52	0.69	2.7	16	5.8	20000	90	19000	20300
B-A5	<0.30	0.48	2490	2490	<1.5	<1.5	54	0.66	2.0	15	5.9	5430	96	5150	5910
B-D7	<0.70	3.0	22600	22600	<4.6	<4.6	45	0.43	4.8	14	5.9	48800	110	46000	52800
B-D6	<0.50	2.2	17100	17100	<3.6	<3.6	47	0.43	2.8	14	5.5	36900	97	35000	40400
B-D5	<2.0	2.8	11200	11200	<17	<17	47	<1.3	<6.2	16	5.2	24300	91	23100	24400
B-D4	<1.5	1.5	9260	9260	<12	<12	48	<1.2	4.9	13	5.0	20100	82	19200	20200
B-D3	<0.38	0.92	5920	5920	<2.7	<2.7	48	0.49	2.5	11	5.1	12800	77	12300	13700
B-D2	<0.47	1.1	6100	6100	<3.1	<3.1	42	0.59	2.4	9.5	4.9	13200	81	12600	14200
B-D9	<0.48	2.1	14200	14200	<3.4	<3.4	46	0.65	3.0	13	5.1	30800	86	29400	32700
B-D8	<0.61	1.9	14200	14200	<4.2	<4.2	35	0.38	1.8	12	4.3	30800	85	29400	30200
H2-E1	<0.19	0.34	2.0	2.0	<1.2	<1.2	4.2	0.21	0.50	17	18	33	56	27	19

 : 全ベータ寄与分<全ベータ値となったタンク

※1 全ベータ寄与分<全ベータ値となったタンクの内、全ベータ値と換算値の合計の差の絶対値が最も大きいものとして調査を実施

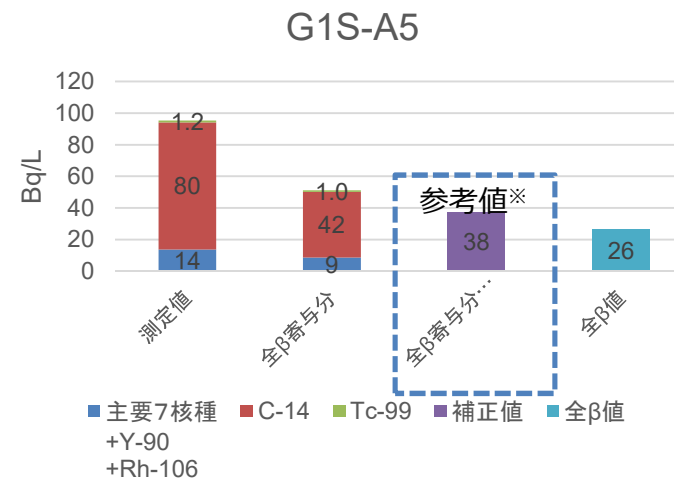
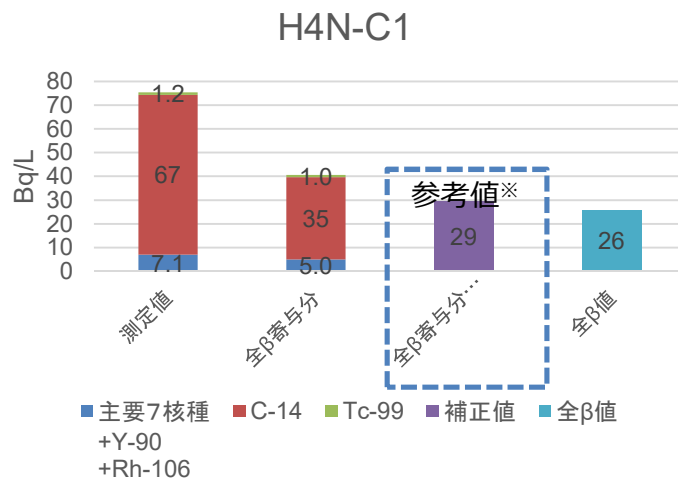
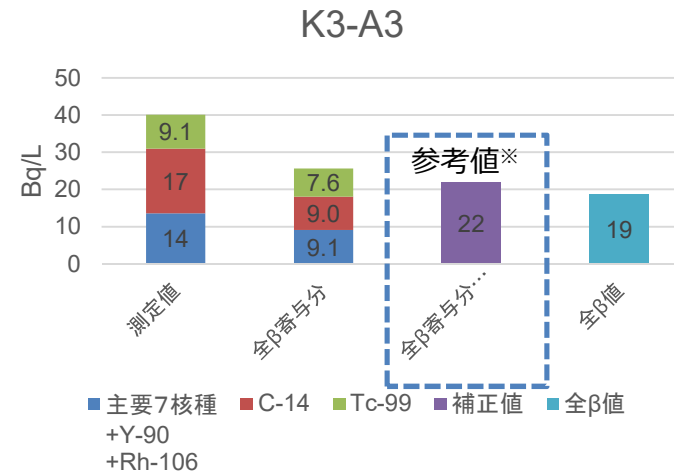
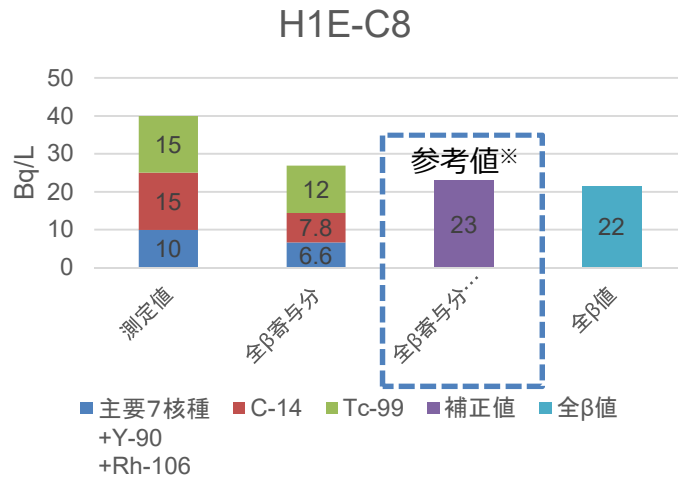
※2 全ベータ寄与分<全ベータ値となったタンクの内、全ベータ値と換算値の合計の差の全ベータに対する比率が最も大きいものとして調査を実施

3. 【参考】 調査の実施（第3回）



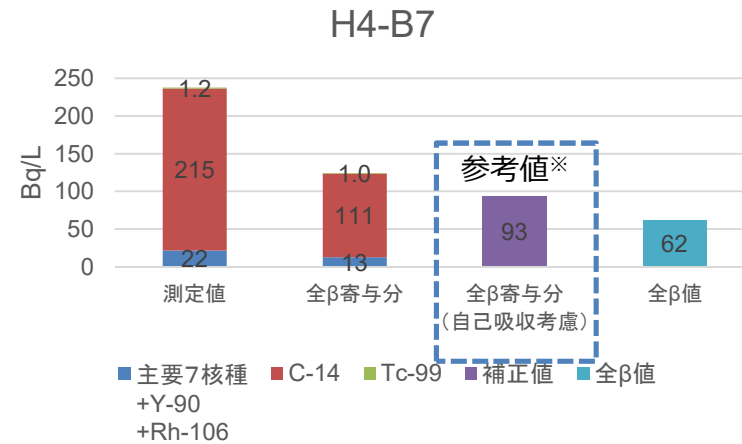
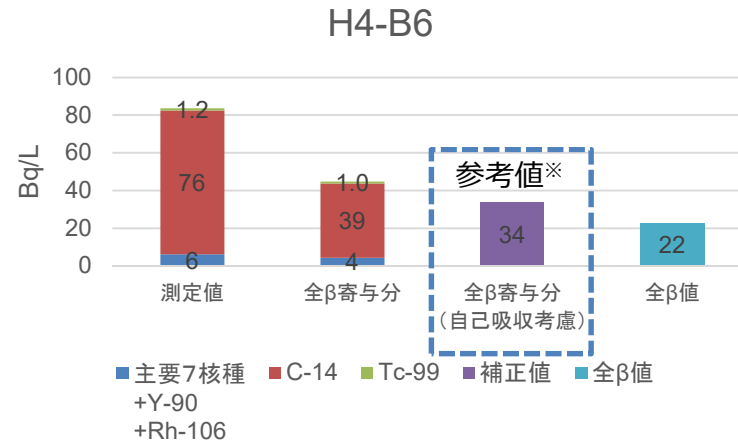
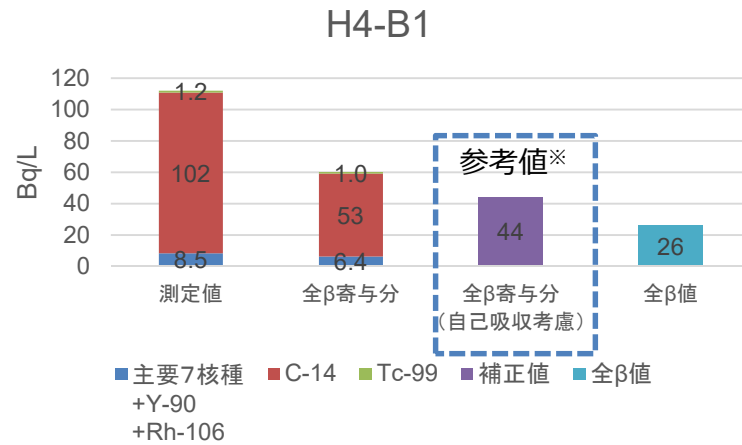
※全ベータ寄与分（自己吸収考慮）については、自己吸収の原因物質が試料中に均一に存在したと仮定して、アイソトープ手帳記載の自己吸収の補正式によって評価した値であり、存在形態によっては、自己吸収の程度が変わる可能性もあるため、参考値扱いとしている

3. 【参考】 調査の実施（第3回）



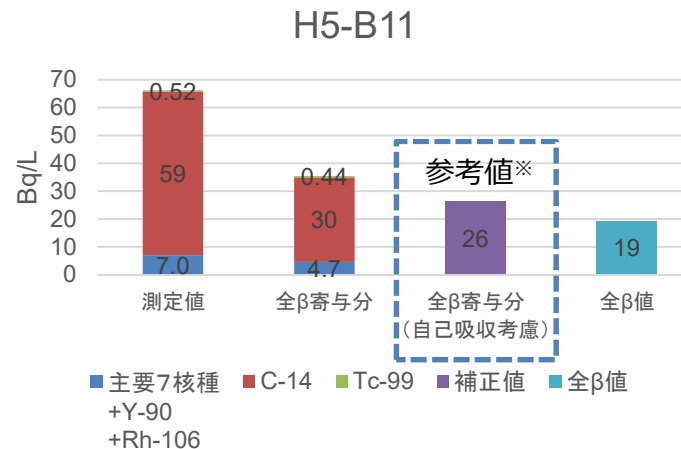
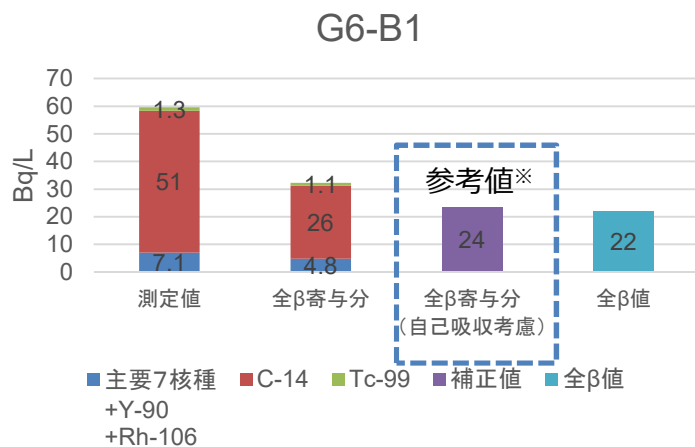
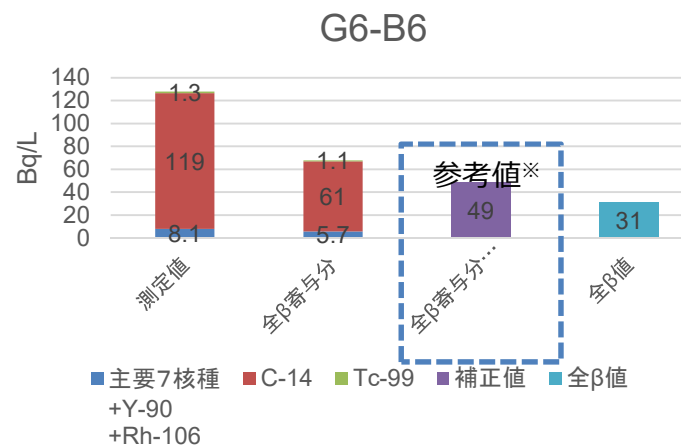
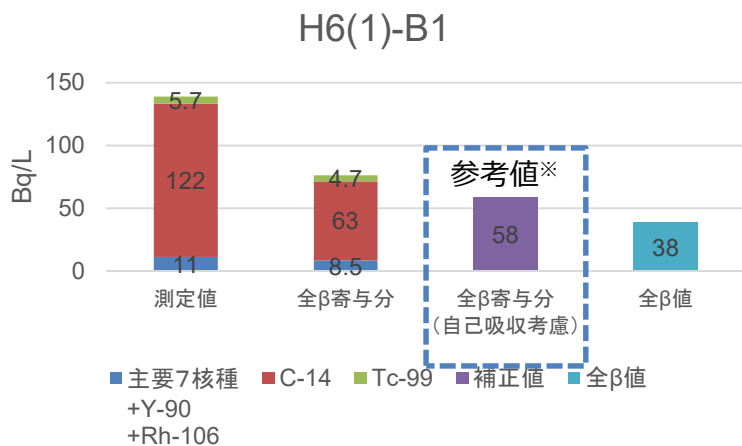
※全ベータ寄与分（自己吸収考慮）については、自己吸収の原因物質が試料中に均一に存在したと仮定して、アイソトープ手帳記載の自己吸収の補正式によって評価した値であり、存在形態によっては、自己吸収の程度が変わる可能性もあるため、参考値扱いとしている

3. 【参考】 調査の実施（第3回）



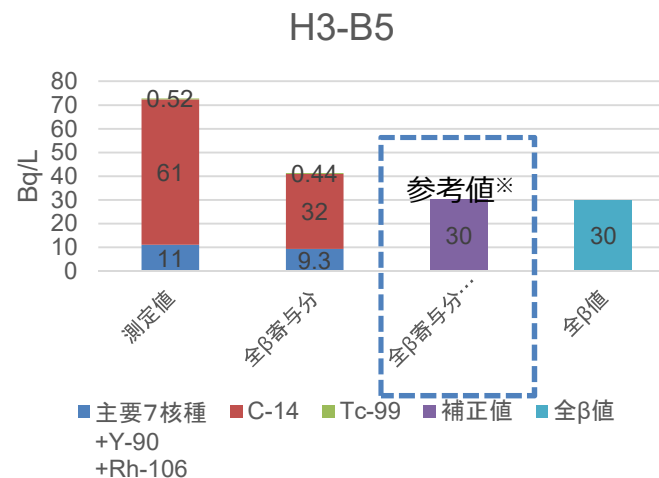
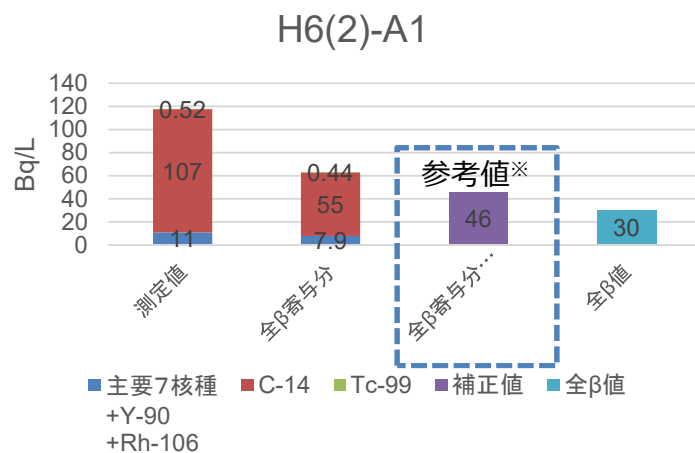
※全ベータ寄与分（自己吸収考慮）については、自己吸収の原因物質が試料中に均一に存在したと仮定して、アイソトープ手帳記載の自己吸収の補正式によって評価した値であり、存在形態によっては、自己吸収の程度が変わる可能性もあるため、参考値扱いとしている

3. 【参考】 調査の実施（第3回）



※全ベータ寄与分（自己吸収考慮）については、自己吸収の原因物質が試料中に均一に存在したと仮定して、アイソトープ手帳記載の自己吸収の補正式によって評価した値であり、存在形態によっては、自己吸収の程度が変わる可能性もあるため、参考値扱いとしている

3. 【参考】 調査の実施（第3回）



※全ベータ寄与分（自己吸収考慮）については、自己吸収の原因物質が試料中に均一に存在したと仮定して、アイソトープ手帳記載の自己吸収の補正式によって評価した値であり、存在形態によっては、自己吸収の程度が変わる可能性もあるため、参考値扱いとしている

3. 【参考】 調査の実施（第3回）

放射能濃度の単位：Bq/L

選定タンク	Cs-134	Cs-137	Co-60	Ru-106	Rh-106	Sb-125	Sr-90	Y-90	I-129	C-14	Tc-99	全β寄与分 (換算値)	析出重量 (mg)	全β寄与分 (遮蔽考慮)	全β
H2-A1	<0.43	<0.25	0.23	<1.7	<1.7	<0.66	6.2	6.2	5.2	108	<1.0	76	56.78	59	42
J7-D1	<0.24	<0.25	0.95	<1.4	<1.4	<0.45	0.75	0.75	2.8	17	4.4	19	57.16	15	11
H4-D7	<0.18	0.31	0.49	<1.4	<1.4	<0.48	0.69	0.69	2.2	40	<1.0	27	52.51	21	11
H4-D8	<0.21	<0.20	1.3	<1.4	<1.4	0.81	<0.40	<0.40	13	139	<1.0	84	60.07	60	35
H1E-C8	<0.22	0.47	0.86	<2.0	<2.0	<0.64	<0.51	<0.51	2.8	15	15	27	47.58	23	22
K3-A3	<0.39	1.3	0.51	<2.8	<2.8	<1.1	<0.47	<0.47	3.8	17	9.1	26	48.40	22	19
H4N-C1	<0.15	<0.24	1.6	<1.4	<1.4	<0.46	<0.42	<0.42	1.0	67	<1.2	41	64.37	29	26
G1S-A5	<0.19	0.34	1.3	<1.4	<1.4	<0.48	<0.50	<0.50	7.6	80	<1.2	51	59.44	38	26

3. 【参考】 調査の実施（第3回）

放射能濃度の単位：Bq/L

選定タンク	Cs-134	Cs-137	Co-60	Ru-106	Rh-106	Sb-125	Sr-90	Y-90	I-129	C-14	Tc-99	全β寄与分 (換算値)	析出重量(mg)	全β寄与分 (遮蔽考慮)	全β
H4-B1	<0.20	0.40	2.1	<1.5	<1.5	<0.47	0.81	0.81	0.80	102	<1.2	60	60.17	44	26
H4-B6	<0.15	0.44	0.70	<1.2	<1.2	<0.43	<0.40	<0.40	1.3	76	<1.2	45	55.20	34	22
H4-B7	<0.17	<0.24	0.70	<1.2	<1.2	0.56	<0.39	<0.39	17	215	<1.2	125	51.78	93	62
H6(1)-B1	<0.13	0.70	2.9	<1.3	<1.3	<0.42	1.1	1.1	2.3	122	5.7	76	52.45	58	38
G6-B6	<0.28	0.22	1.7	<1.2	<1.2	<0.44	0.55	0.55	1.9	119	<1.3	68	62.07	49	31
G6-B1	<0.16	<0.23	0.94	<1.3	<1.3	<0.47	<0.45	<0.45	1.8	51	<1.3	32	63.45	24	22
H5-B11	<0.12	<0.20	0.68	<1.2	<1.2	<0.39	0.41	0.41	2.3	59	<0.52	35	56.11	26	19
H6(2)-A1	<0.24	<0.23	1.3	<1.3	<1.3	<0.46	1.2	1.2	3.7	107	<0.52	63	60.40	46	30
H3-B5	<0.27	0.44	1.7	<1.2	<1.2	<0.39	2.3	2.3	1.4	61	<0.52	41	71.94	30	30