

2021年1月20日
関西電力株式会社

放射能濃度確認対象物の汚染状況の調査結果

1. 放射能濃度確認対象物の汚染の状況

1.1 放射化汚染

放射能濃度確認対象物である燃料取替用水タンクは、原子炉格納容器から離れており、かつプラント運転中に発生する中性子は、原子炉格納容器の外部遮蔽壁等にて遮断される位置であることから、放射化汚染の影響はない。

燃料取替用水タンクの設置位置を含め、発電所構内における中性子線量当量率測定結果は、プラント運転中においても検出限界未満 ($0.12\mu\text{Sv/h}$ 以下) であったことから、放射化汚染の影響はないと判断した。また、1次冷却材が燃料取替用水タンクに移行するのはプラント停止中であり、 ^{17}N の半減期及び ^{17}N の崩壊により発生する中性子の寿命はいずれも短時間であることから ^{17}N による影響もない。

原子炉格納容器と燃料取替用水タンクの位置関係を図 1 に、原子炉格納容器等の平面図及び断面図を図 2 に、中性子線量当量率の測定結果を表 1 に示す。

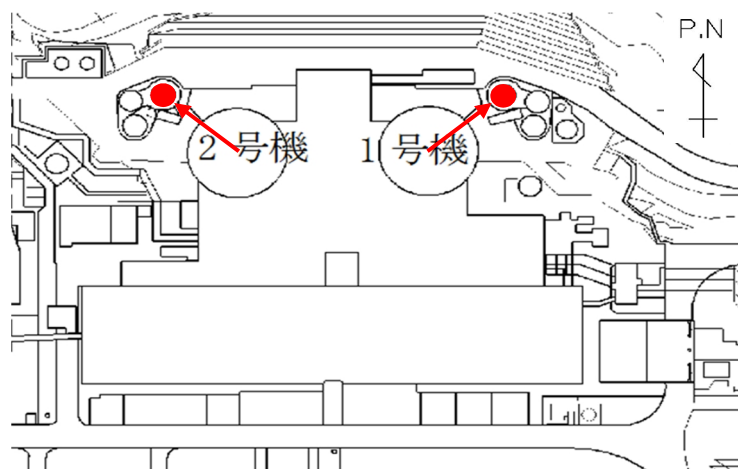


図 1 原子炉格納容器と燃料取替用水タンクの位置関係

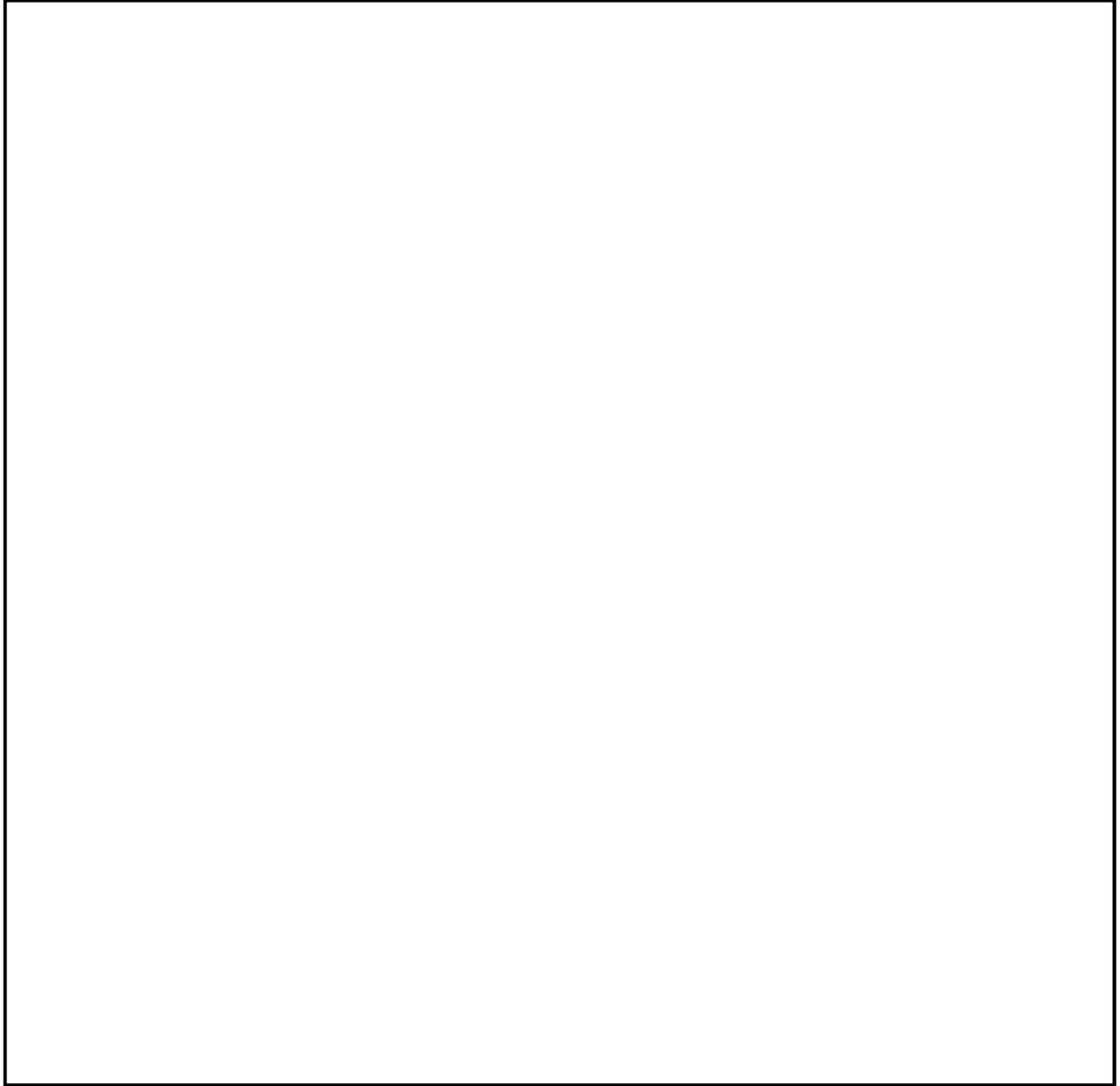


図 2 原子炉格納容器等の平面図及び断面図

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表 1 中性子線量当量率の測定結果

測定場所		測定日	測定器	測定結果 [$\mu\text{Sv/h}$]
①	1号炉 原子炉格納容器廻り (E.L.+31.8m)	2009.05.15 ^{*1} 2009.12.18 ^{*2} 2010.02.05 ^{*3} 2011.04.01 ^{*4}	中性子 サーベイメータ (TPS-461)	< 0.12
②	1号炉 原子炉格納容器廻り (屋上)			
③	1, 2号炉 原子炉補助建屋 (背面道路側) (E.L.+31.8m)			
④	2号炉 原子炉格納容器廻り (E.L.+31.8m)			
⑤	2号炉 原子炉格納容器廻り (屋上)			
⑥	1号炉 原子炉格納容器廻り (E.L.+22.0m)			
⑦	2号炉 原子炉格納容器廻り (E.L.+22.8m)			
⑧	1, 2号炉原子炉補助建屋[東側] (E.L.+11.3m)			
⑨	1, 2号炉原子炉補助建屋[西側] (E.L.+11.3m)			
⑩	3号炉 原子炉格納容器廻り (E.L.+42.6m)			
⑪	4号炉 原子炉格納容器廻り (E.L.+42.6m)			
⑫	4号炉 見学通路廻り (E.L.+42.6m)			
⑬	3号炉 原子炉格納容器廻り (E.L.+33.6m)			
⑭	3号炉 原子炉周辺建屋[背面道路側] (E.L.+33.6m)			
⑮	4号炉 原子炉格納容器廻り (E.L.+33.6m)			
⑯	4号炉 原子炉周辺建屋[背面道路側]			
⑰	3号炉 原子炉周辺建屋廻り (E.L.+10.0m)			
⑱	4号炉 原子炉周辺建屋廻り (E.L.+10.0m)			

※1：大飯1～4号炉定格熱出力一定運転中。

※2：大飯1, 4号炉定格熱出力一定運転中、大飯2号炉休転中、大飯3号炉定期検査中。

※3：大飯1～4号炉定格熱出力一定運転中。

※4：大飯1, 2, 4号炉定格熱出力一定運転中、大飯3号炉定期検査中。

1.2 二次的な汚染

(1) 大飯1, 2号炉の1次冷却材の核種分析結果

放射能濃度確認対象物が使用されていた期間の2サイクル及び撤去後の1サイクルにおける1次冷却材の濃度測定を実施している核種の濃度を表2,3に示す。表2,3に示す通り、1次冷却材で顕著に検出される核種は ^{60}Co である。

表2 大飯1号炉 1次冷却材の核種分析結果 (単位: Bq/cm^3)

号炉		1号炉		
運転サイクル		16	18	20
試料採取日		2000/8/9	2003/4/19	2005/9/27
不溶解性	^{60}Co	1.24E-01	1.21E+00	1.49E+00
	^{134}Cs	<4.65E-02	<7.11E-02	<3.25E-02
	^{137}Cs	<5.89E-02	<9.09E-02	<3.75E-02
	^{54}Mn	<2.40E-02	1.03E-01	2.28E-01
溶解性	^{60}Co	1.09E+01	2.66E+01	1.76E+01
	^{134}Cs	<7.74E+00	<1.32E+00	<2.98E-01
	^{137}Cs	<9.11E+00	<1.68E+00	<3.22E-01
	^{54}Mn	<4.05E+00	1.62E+00	5.47E-01

表3 大飯2号炉 1次冷却材の核種分析結果 (単位: Bq/cm^3)

号炉		2号炉		
運転サイクル		15	17	19
試料採取日		2000/3/16	2002/10/26	2005/3/22
不溶解性	^{60}Co	6.70E-01	4.43E-01	5.49E+00
	^{134}Cs	<4.24E-01	<6.89E-02	<7.61E-02
	^{137}Cs	<6.00E-01	<7.83E-02	<8.12E-02
	^{54}Mn	2.36E-01	1.29E-01	9.94E-01
溶解性	^{60}Co	1.44E+00	1.47E+01	2.37E+01
	^{134}Cs	<1.37E+00	<5.52E-01	<9.96E-01
	^{137}Cs	<2.00E+00	<7.09E-01	<5.00E-01
	^{54}Mn	6.48E-01	1.46E+00	1.28E+00

(2) 大飯 1, 2 号炉の事前調査（放射能濃度確認対象物の分析結果）

放射能濃度確認対象物である燃料取替用水タンクの解体・除染後に代表試料を採取し、Ge 波高分析装置を用いて核種分析を行った結果を表 4,5 に示す。また、表 6 に除染前の放射能濃度確認対象物の放射化学分析結果を示す。表 4,5,6 に示す通り、 ^{60}Co が最も高い値であった。

表 4 大飯 1 号炉 除染後の放射能濃度確認対象物の核種分析結果 (2005 年 9 月 20 日時点)

	胴板 1u-1	胴板 1u-2	胴板 1u-3	胴板 1u-4	胴板 1u-5	胴板 1u-6	胴板 1u-7	胴板 1u-8
⁵⁴ Mn	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2.53E-04 (Bq/g)	N.D.
⁵⁹ Fe	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
⁵⁸ Co	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
⁶⁰ Co	5.24E-03 (Bq/g)	2.70E-03 (Bq/g)	4.67E-03 (Bq/g)	3.67E-03 (Bq/g)	1.60E-03 (Bq/g)	3.59E-03 (Bq/g)	1.43E-03 (Bq/g)	5.01E-03 (Bq/g)
⁶⁵ Zn	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
^{110m} Ag	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
¹²⁴ Sb	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
¹³⁴ Cs	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
¹³⁷ Cs	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
¹⁵² Eu	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
¹⁵⁴ Eu	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

表 5 大飯 2 号炉 除染後の放射能濃度確認対象物の核種分析結果 (2005 年 3 月 16 日時点)

	胴板 2u-1	胴板 2u-2	胴板 2u-3	胴板 2u-4	胴板 2u-5	胴板 2u-6	胴板 2u-7	胴板 2u-8	胴板 2u-9
⁵⁴ Mn	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
⁵⁹ Fe	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
⁵⁸ Co	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
⁶⁰ Co	1.93E-03 (Bq/g)	2.59E-03 (Bq/g)	2.88E-03 (Bq/g)	9.30E-03 (Bq/g)	3.72E-03 (Bq/g)	2.16E-03 (Bq/g)	1.23E-03 (Bq/g)	2.67E-03 (Bq/g)	2.37E-03 (Bq/g)
⁶⁵ Zn	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
^{110m} Ag	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
¹²⁴ Sb	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
¹³⁴ Cs	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
¹³⁷ Cs	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
¹⁵² Eu	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
¹⁵⁴ Eu	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

表 6 大飯 1, 2号炉 除染前の放射能濃度確認対象物の放射化学分析結果

試料名	試料発生日	^{60}Co 放射能濃度(Bq/g)	^{137}Cs 放射能濃度(Bq/g)
胴板 1u-9	2005 年 9 月 20 日	3.62E-01	1.56E-03
胴板 1u-10	2005 年 9 月 20 日	4.52E-01	1.06E-03
胴板 1u-11	2005 年 9 月 20 日	1.78E-01	1.08E-03
胴板 1u-12	2005 年 9 月 20 日	1.19E-01	2.30E-04
胴板 1u-13	2005 年 9 月 20 日	1.90E-01	9.83E-04
胴板 1u-14	2005 年 9 月 20 日	1.38E-01	5.28E-04
胴板 2u-11	2005 年 3 月 16 日	2.11E-01	1.34E-03
胴板 2u-12	2005 年 3 月 16 日	2.01E-01	3.20E-04
胴板 2u-13	2005 年 3 月 16 日	2.44E-01	6.87E-04
胴板 2u-14	2005 年 3 月 16 日	8.08E-02	1.13E-03

(3) 公開文献の調査結果

旧原子力安全委員会報告書「主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて」（平成 11 年 3 月 17 日 原子力安全委員会 放射性廃棄物安全基準専門部会）において、「線量評価の観点から影響度の大きい限られた放射性核種の濃度を制限することによって、その他の放射性核種もおのずと制限されることになる」との観点から、「最大となった放射性核種の D/C を 1 として、他の放射性核種の D/C を規格化（相対重要度）する。その結果、規格化された D/C が 0.01 以上（2 桁の範囲に入る）の放射性核種を重要放射性核種として抽出する」とされており、重要 10 核種が選択されている経緯がある。

当該報告書において、実用発電用原子炉施設（軽水炉）における放射性核種ごとに求めた相対重要度（規格化した D/C）がまとめられており、PWR における二次的な汚染としては ^{60}Co が最重要核種として抽出されていることから、 ^{60}Co が主要な放射性物質となることは明らかである。

【放射性物質組成に基づく相対重要度評価結果（旧原子力安全委員会報告書「主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて」より抜粋）】

PWR	原子炉停止後 0.5 年（運転廃棄物）					原子炉停止後 6 年後（解体廃棄物）				
	放射化物			汚染物		放射化物			汚染物	
	ステン	炭素鋼	コンクリート	汚染	燃料損傷	ステン	炭素鋼	コンクリート	汚染	燃料損傷
最重要	Co-60	Co-60	Co-60	Co-60	Co-60	Co-60	Co-60	Eu-152	Co-60	Co-60
1 桁目		Mn-54	Mn-54 Eu-152					Co-60		
2 桁目	Mn-54 Co-58	Fe-59	H-3 Sc-46 Cs-134	Mn-54 Co-58	Mn-54 Co-58 Sr-90			H-3 Eu-154		Sr-90 Cs-137 Pu-238
3 桁目	Fe-59 Zn-65	Fe-55 Co-58 Zn-65 Eu-152	Fe-59 Co-58 Tc-123m Tb-160 Ta-182	Nb-94	Nb-94 Ru-106 Eu-154 Pu-238 Pu-239 Pu-240 Pu-241 Cm-244		Eu-152	Cs-134	C-14 Nb-94	C-14 Nb-94 Cs-134 Eu-154 Pu-239 Pu-240 Pu-241 Cm-244

2. 評価対象核種の選択

主要核種 ^{60}Co の放射能濃度 (Bq/g) は、放射能濃度確認対象物の Ge 測定及び放射化学分析により求めた結果、平均で $4.55\text{E-}04\text{Bq/g}$ 、最大で $1.26\text{E-}03$ であり、いずれも基準値の $1/33$ ($3.0\text{E-}3\text{Bq/g}$) 以下である。

表 7 大飯 1 号炉 放射能濃度確認対象物の ^{60}Co の放射能濃度及び D/C (^{60}Co)
(大飯 1 号炉 2020 年 6 月 1 日時点)

試料名	^{60}Co 放射能濃度 (Bq/g)	D/C (^{60}Co) (-)
胴板 1u-1	7.58E-04	7.58E-03
胴板 1u-2	3.90E-04	3.90E-03
胴板 1u-3	6.75E-04	6.75E-03
胴板 1u-4	5.31E-04	5.31E-03
胴板 1u-5	2.31E-04	2.31E-03
胴板 1u-6	5.19E-04	5.19E-03
胴板 1u-7	2.07E-04	2.07E-03
胴板 1u-8	7.24E-04	7.24E-03
胴板 1u-15*	2.59E-04	2.59E-03

※ 放射化学分析結果

表 8 大飯 2 号炉 放射能濃度確認対象物の ^{60}Co の放射能濃度及び D/C (^{60}Co)
(大飯 2 号炉 2020 年 6 月 1 日時点)

試料名	^{60}Co 放射能濃度 (Bq/g)	D/C (^{60}Co) (-)
胴板 2u-1	2.61E-04	2.61E-03
胴板 2u-2	3.50E-04	3.50E-03
胴板 2u-3	3.89E-04	3.89E-03
胴板 2u-4	1.26E-03	1.26E-02
胴板 2u-5	5.03E-04	5.03E-03
胴板 2u-6	2.92E-04	2.92E-03
胴板 2u-7	1.66E-04	1.66E-03
胴板 2u-8	3.61E-04	3.61E-03
胴板 2u-9	3.20E-04	3.20E-03

3. サンプルング測定

3.1 放射能濃度確認対象物の表面汚染密度分布（胴板）

燃料取替用水タンクの解体・除染後に胴板の表面汚染密度の測定を行った。表面汚染密度の測定は、タンク水が接液する胴板を高さ方向に **16** 分割、円周方向に **69** 分割（大飯 2 号炉は高さ方向に **15** 分割、円周方向に **69** 分割）し、切断単位毎に測定を行った。大飯 1 号炉の測定結果を図 **3** に、大飯 2 号炉の測定結果を図 **4** に示す。図 **3** 及び図 **4** に示す通り、表面汚染密度の測定値は、胴板全体で同程度であり、部位毎に表面汚染密度の偏在は無かった。燃料取替用水タンク胴板の表面汚染密度の測定方法を下記に示す。

【測定条件】

- ・測定日：2005 年 7 月 12 日～10 月 11 日（大飯 2 号炉）
2006 年 1 月 19 日～4 月 4 日（大飯 1 号炉）
- ・測定機器：GM 汚染サーベイメーター
- ・時定数：30 秒
- ・測定時間：90 秒



図3 大飯1号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (1/8)

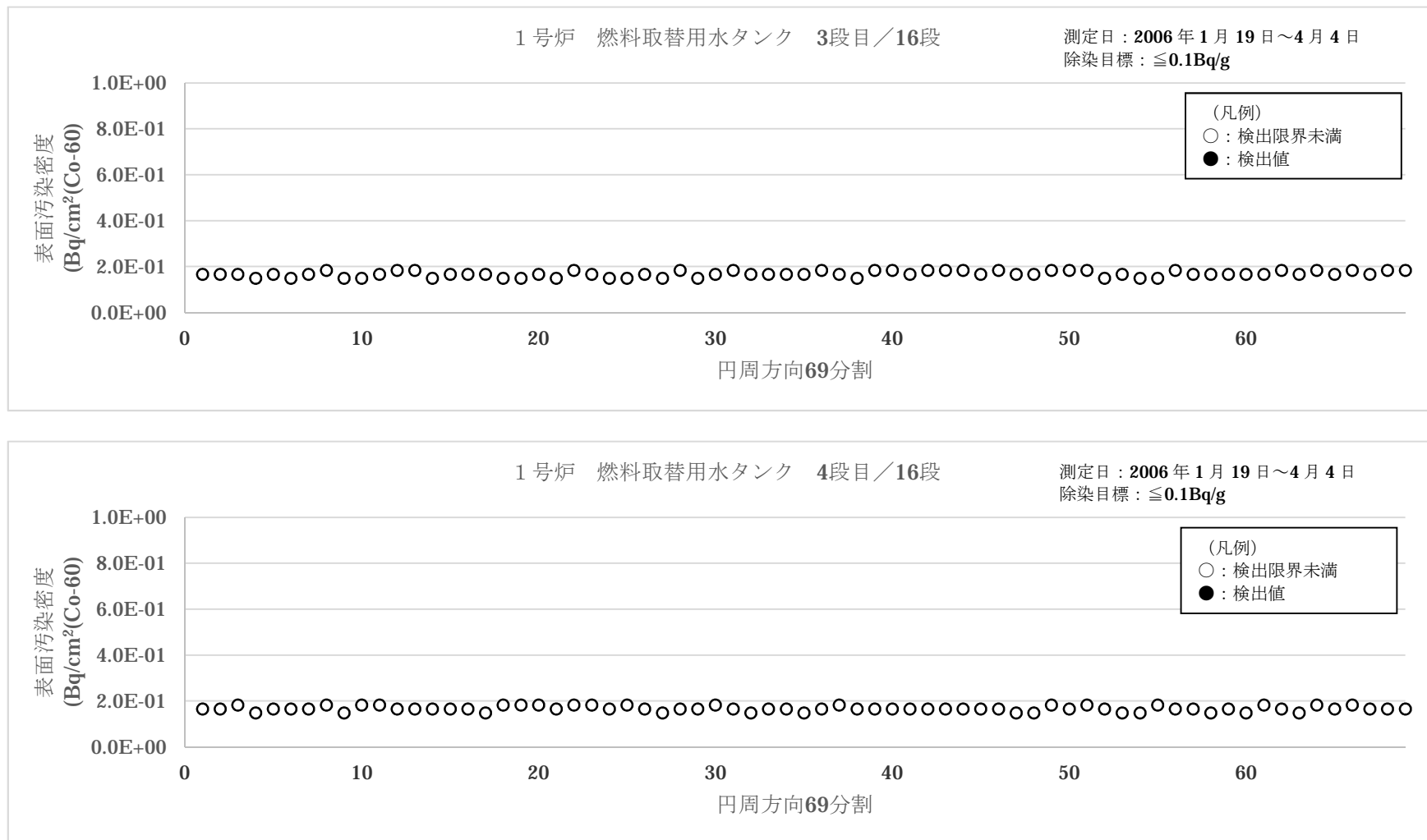


図3 大飯1号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (2/8)

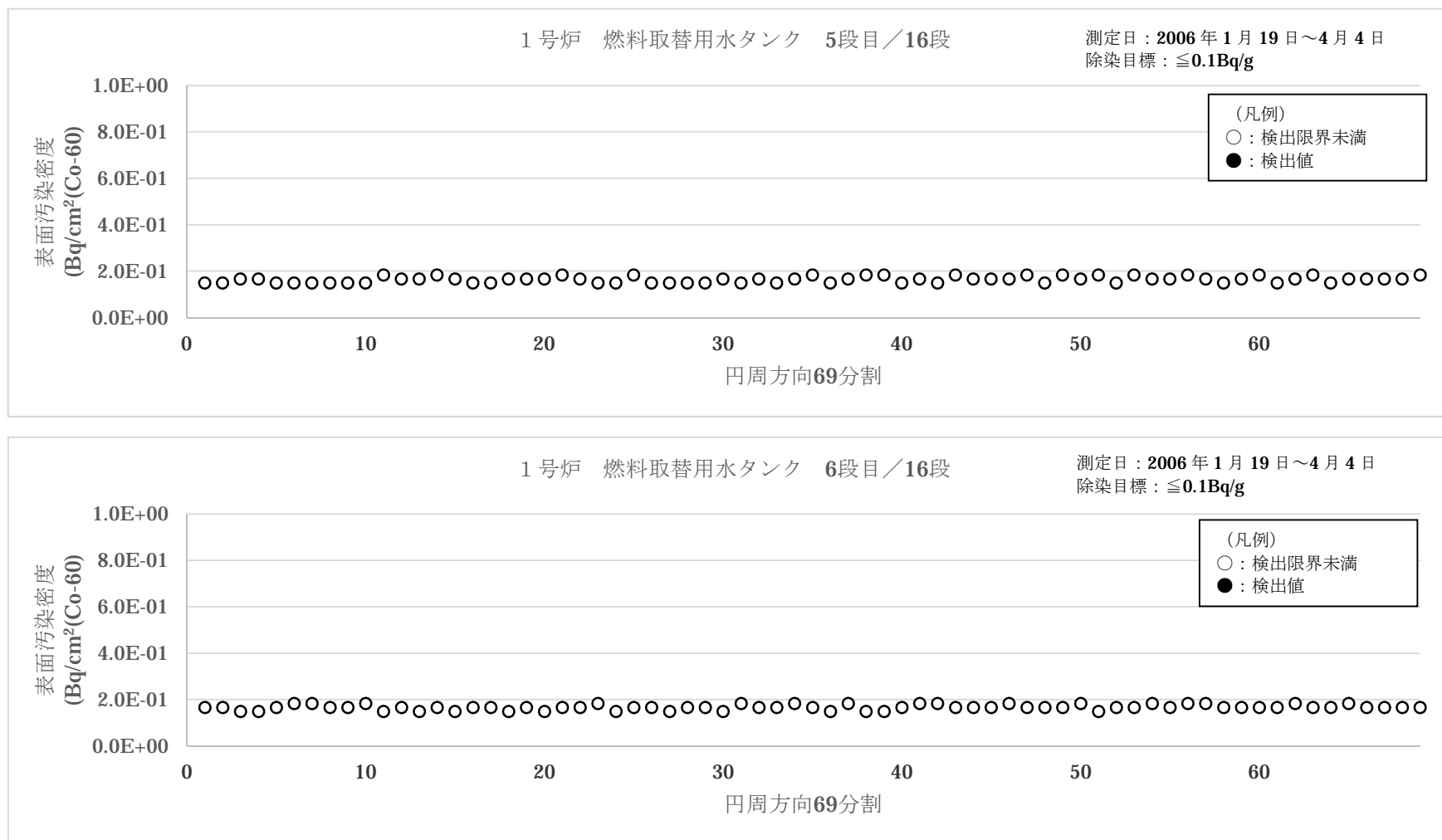


図3 大飯1号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (3/8)

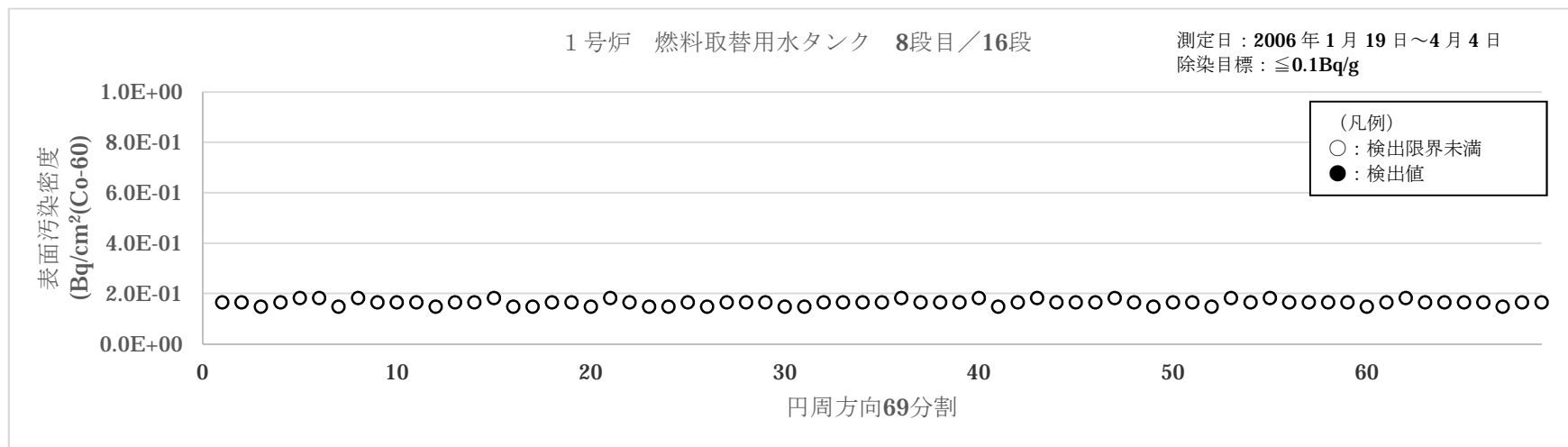
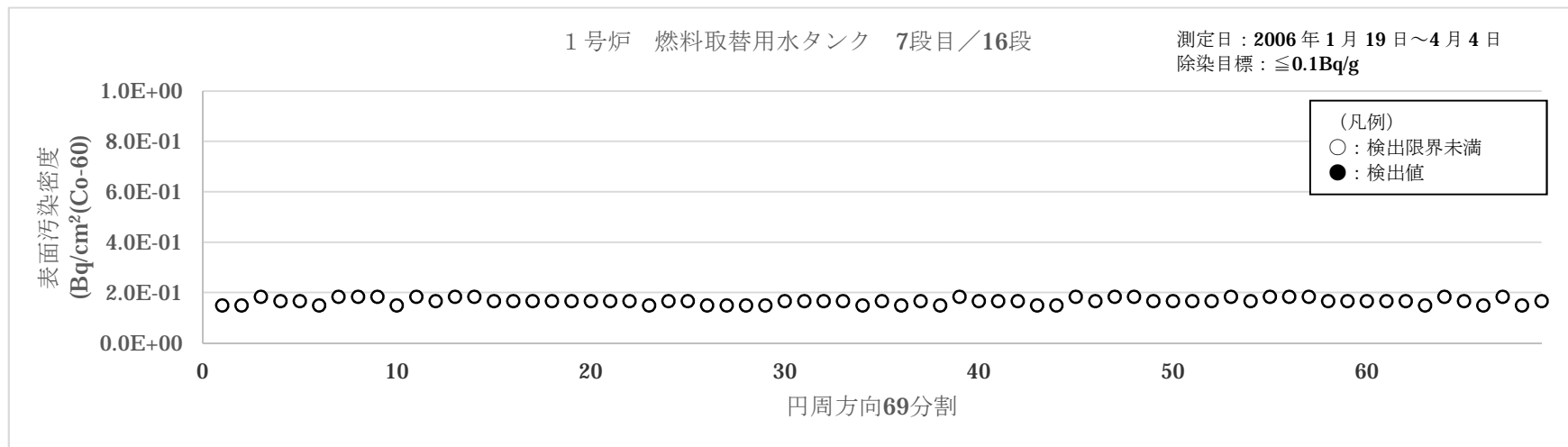


図3 大飯1号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (4/8)

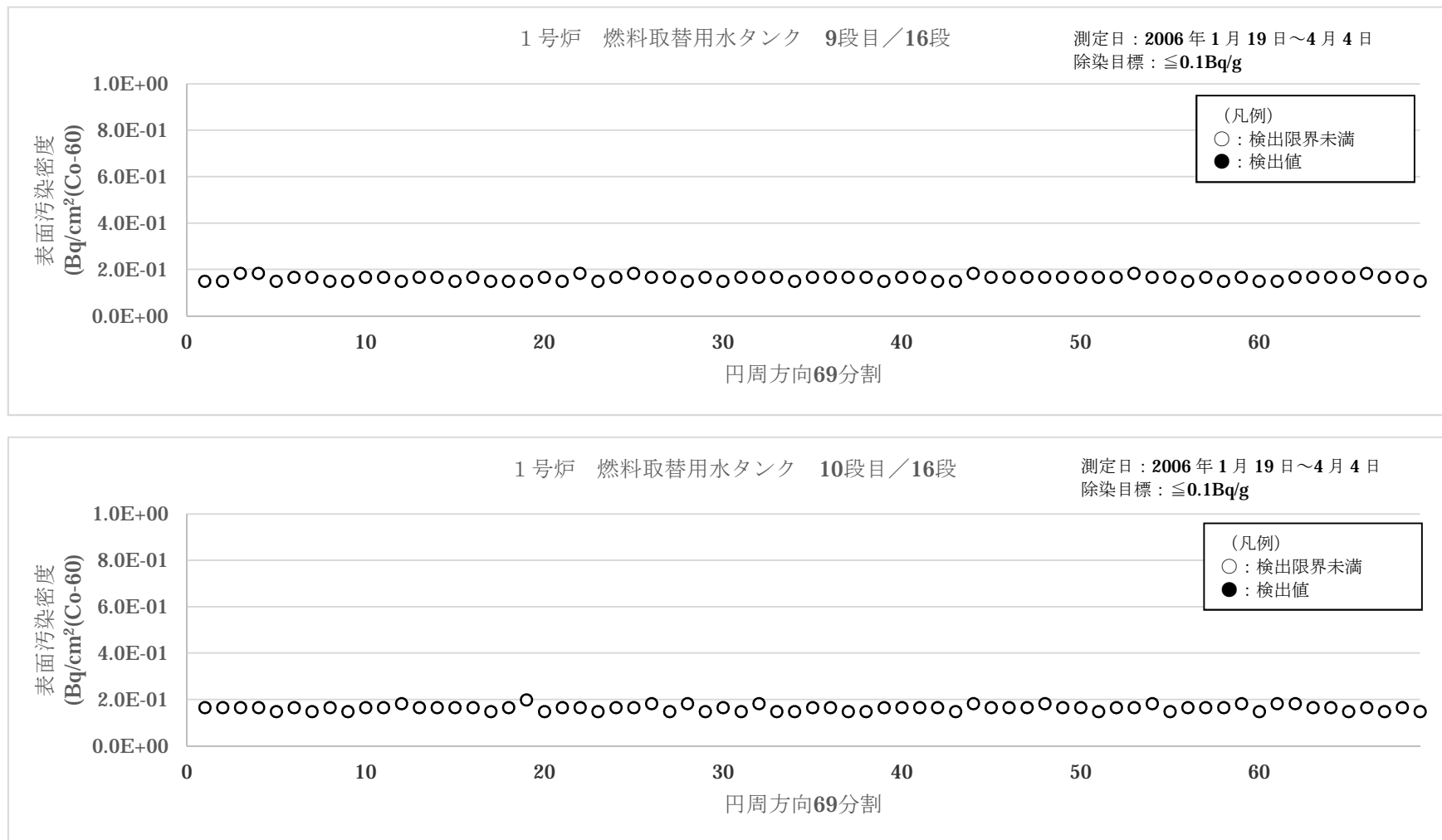


図3 大飯1号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (5/8)

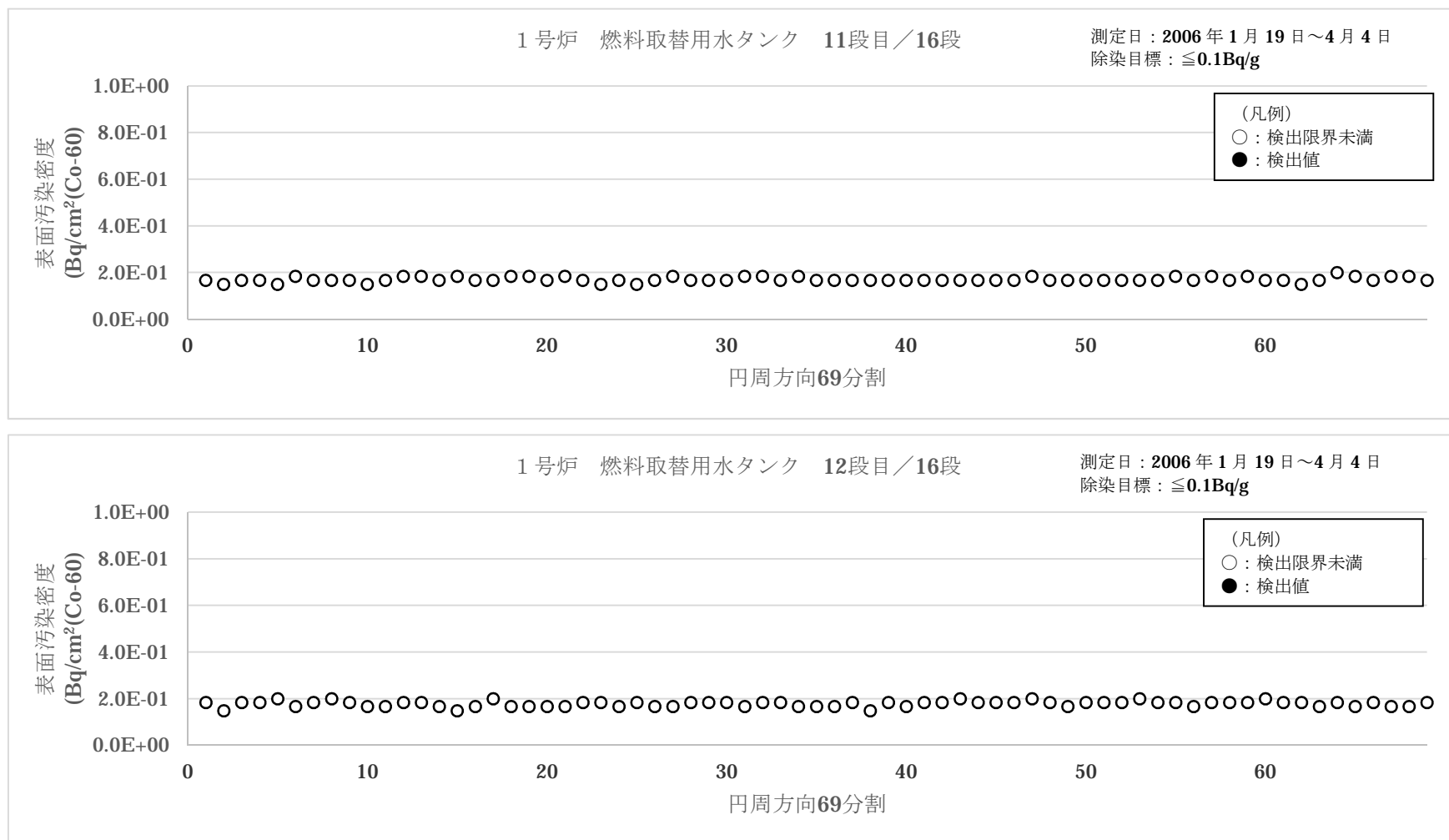


図3 大飯1号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (6/8)

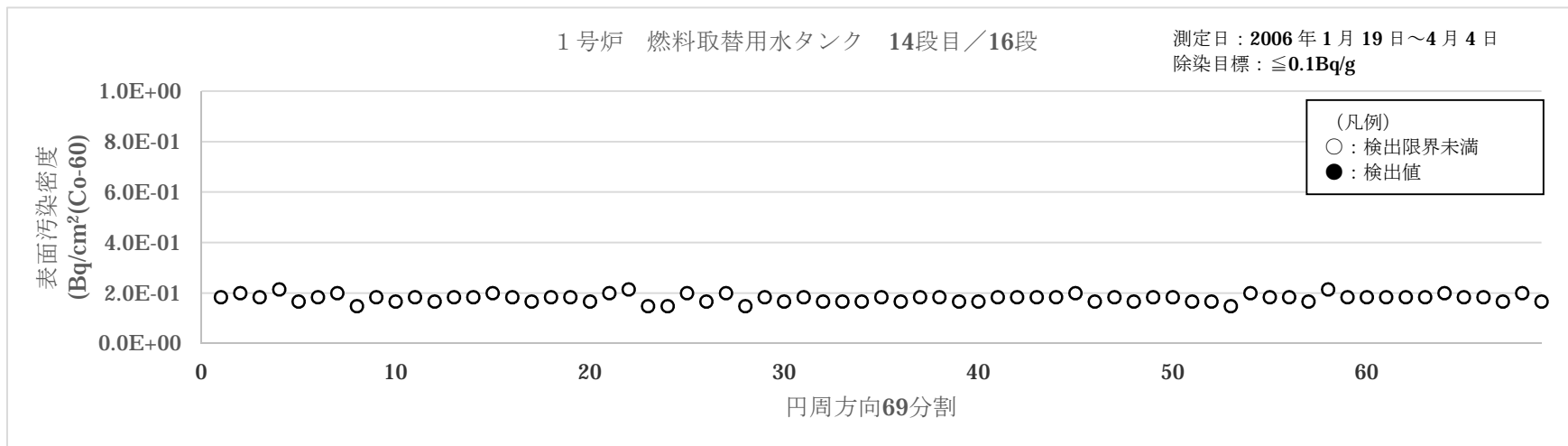
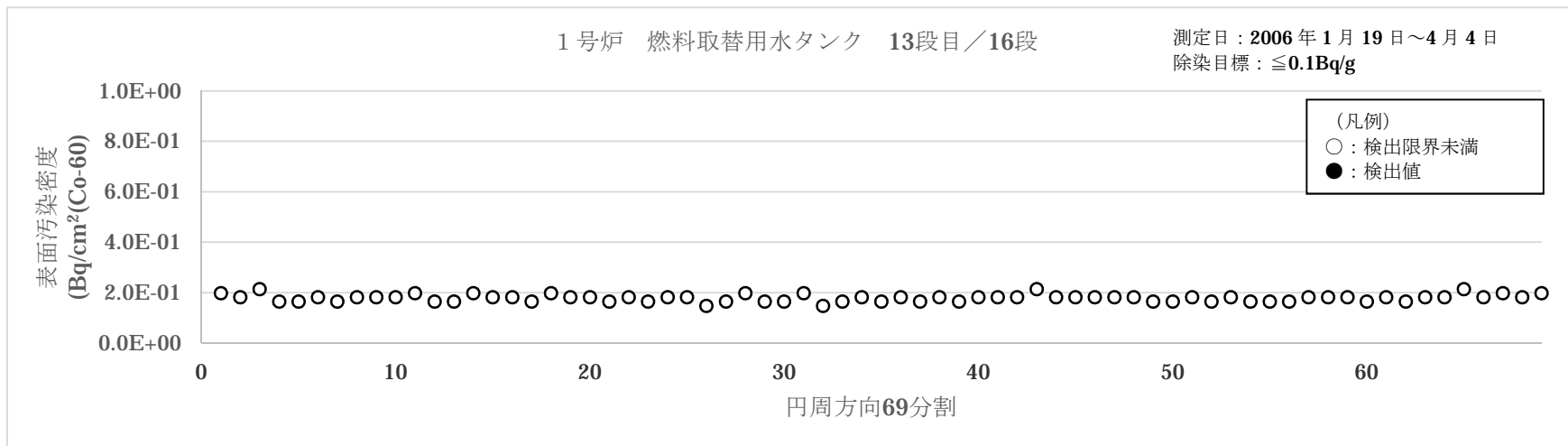


図3 大飯1号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (7/8)

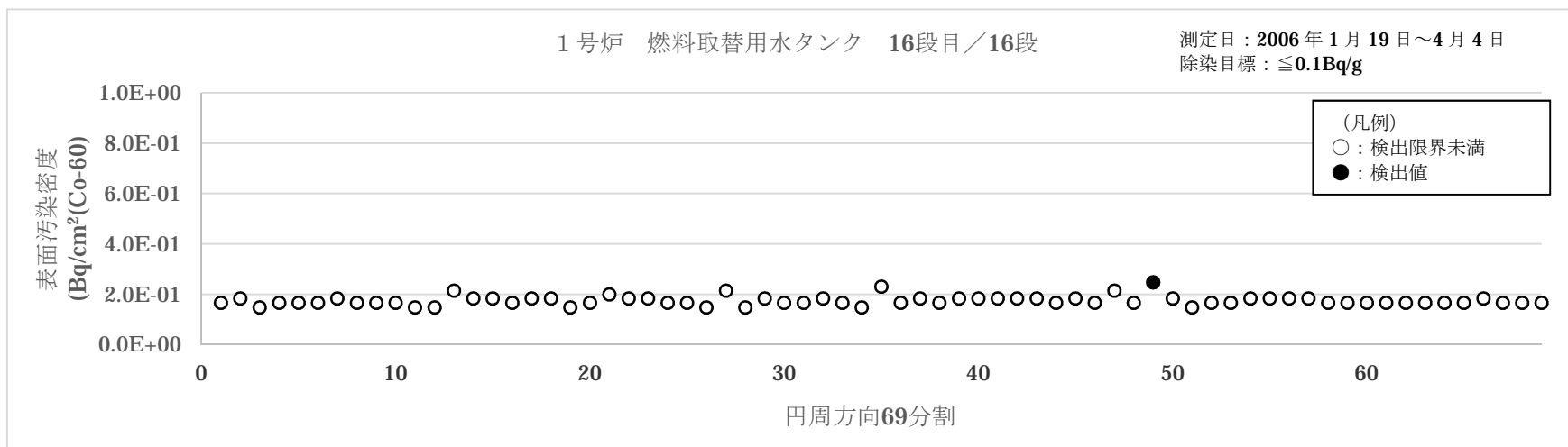
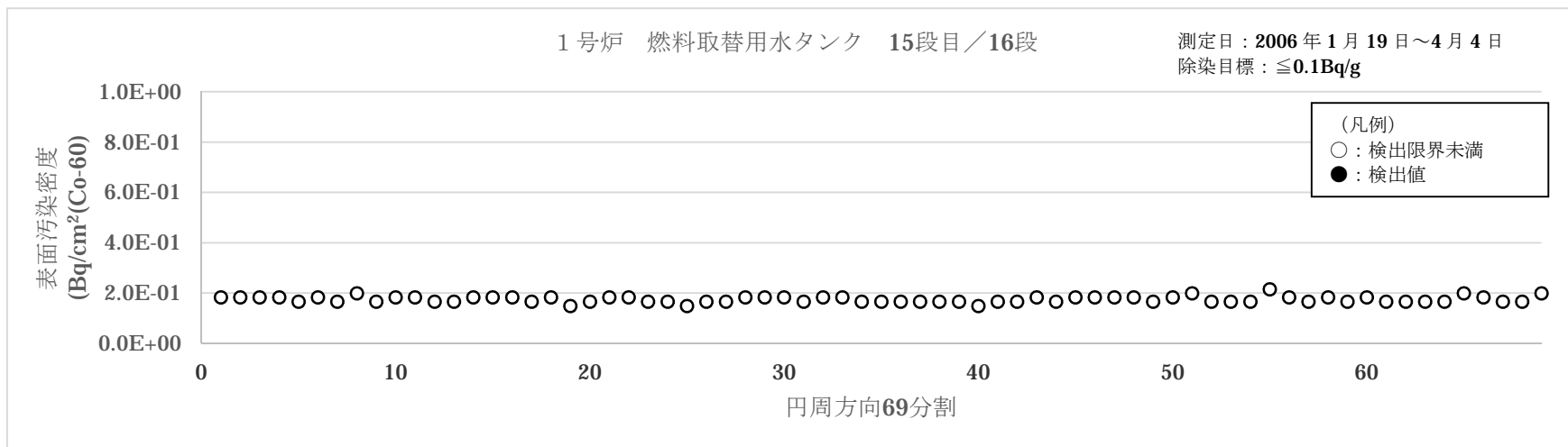


図3 大飯1号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (8/8)

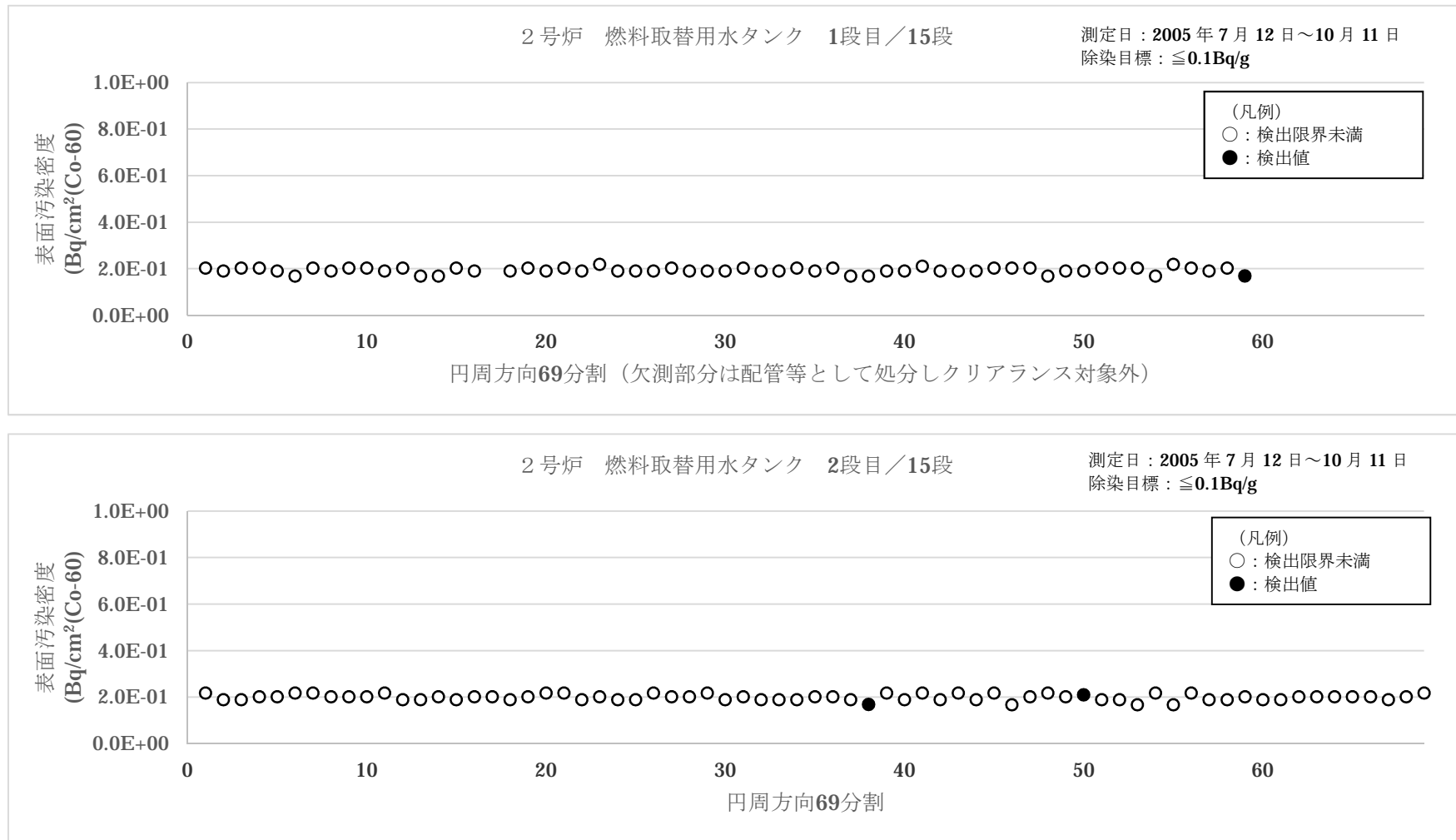


図4 大飯2号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (1/8)

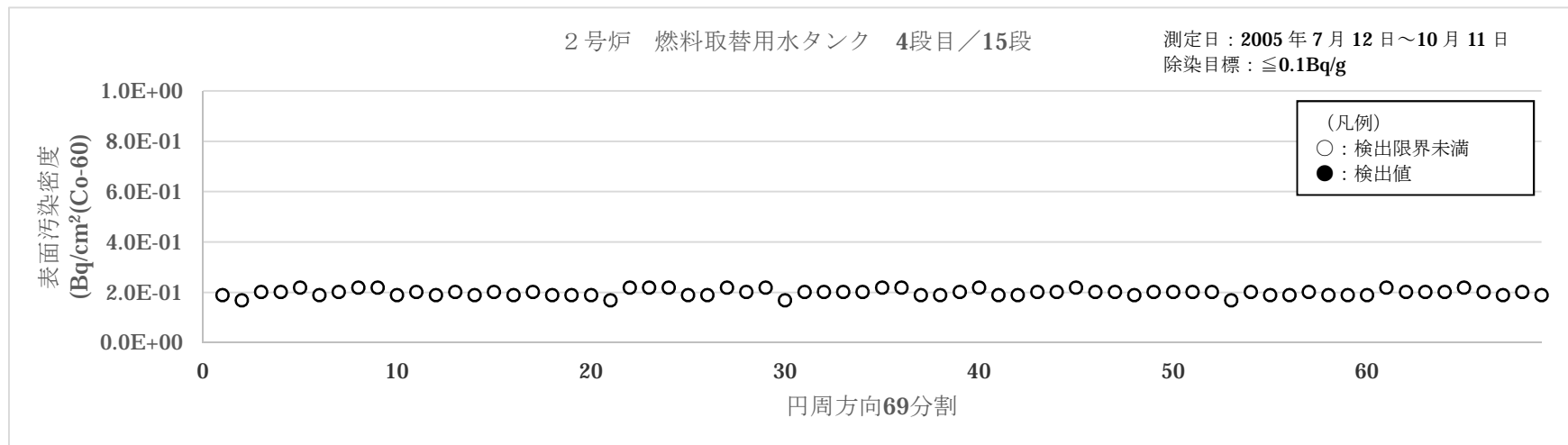
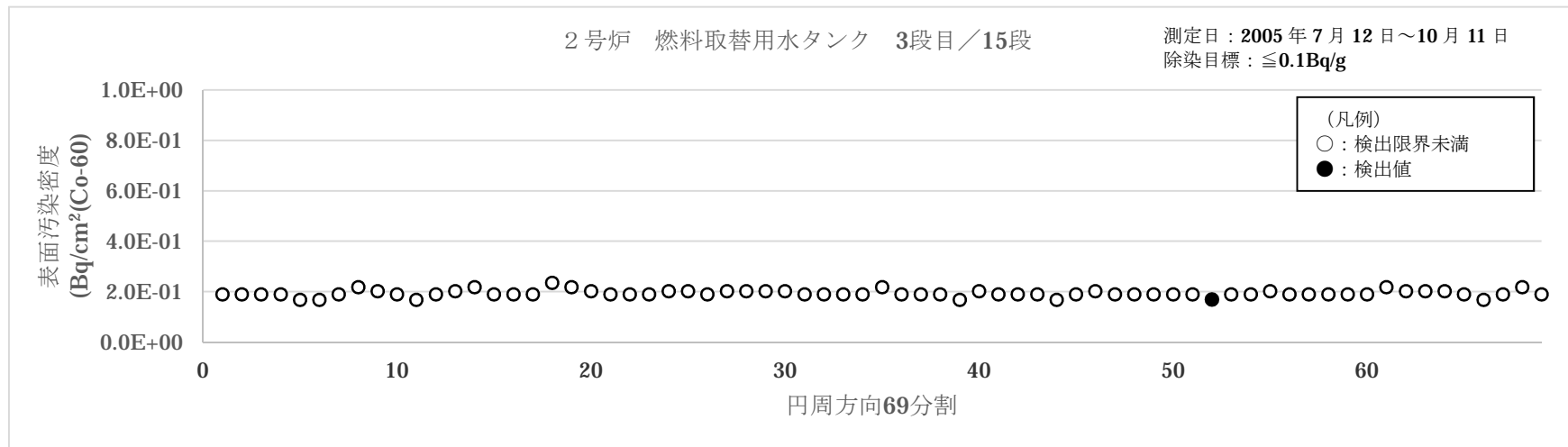


図4 大飯2号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (2/8)

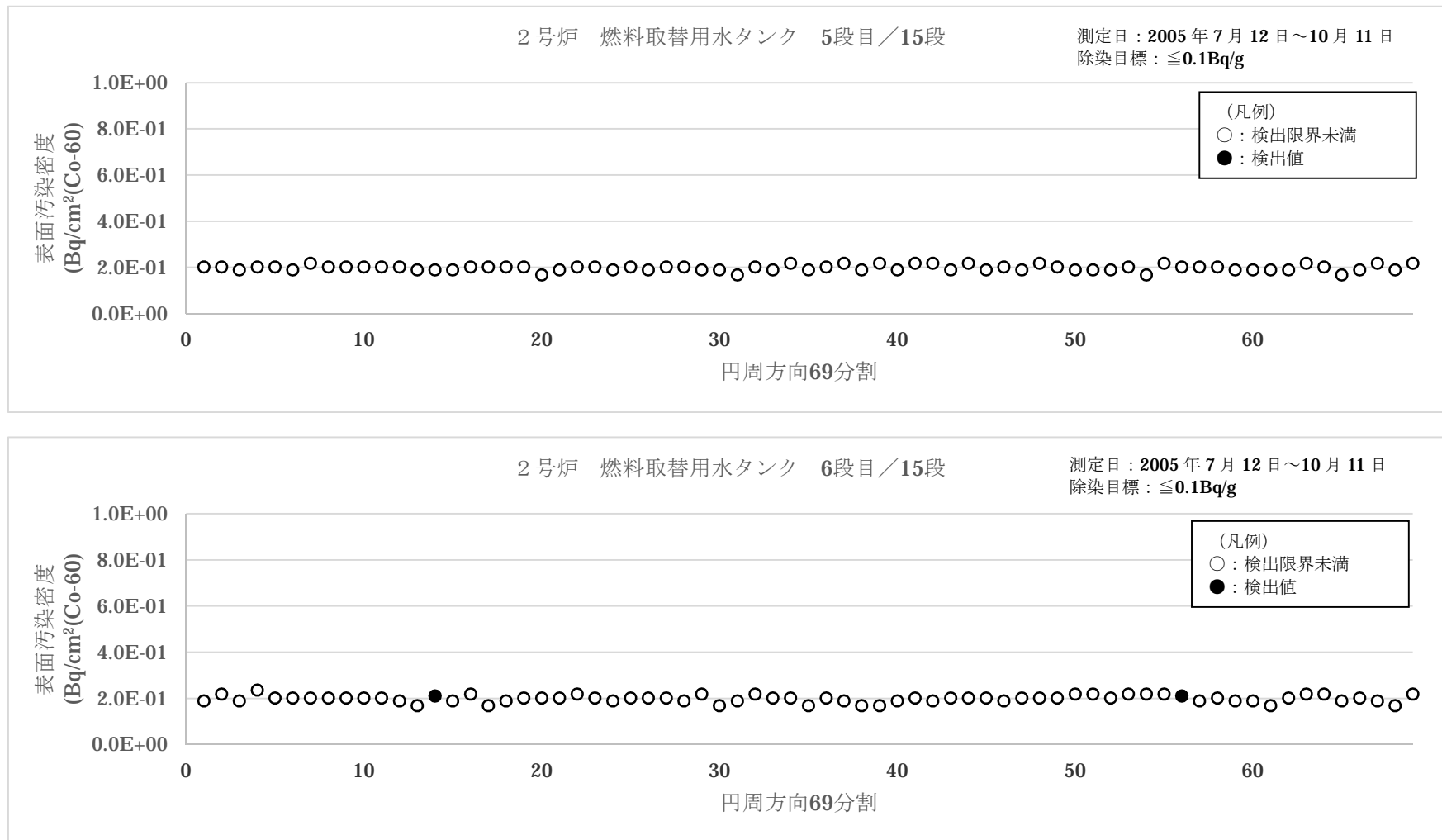


図4 大飯2号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (3/8)

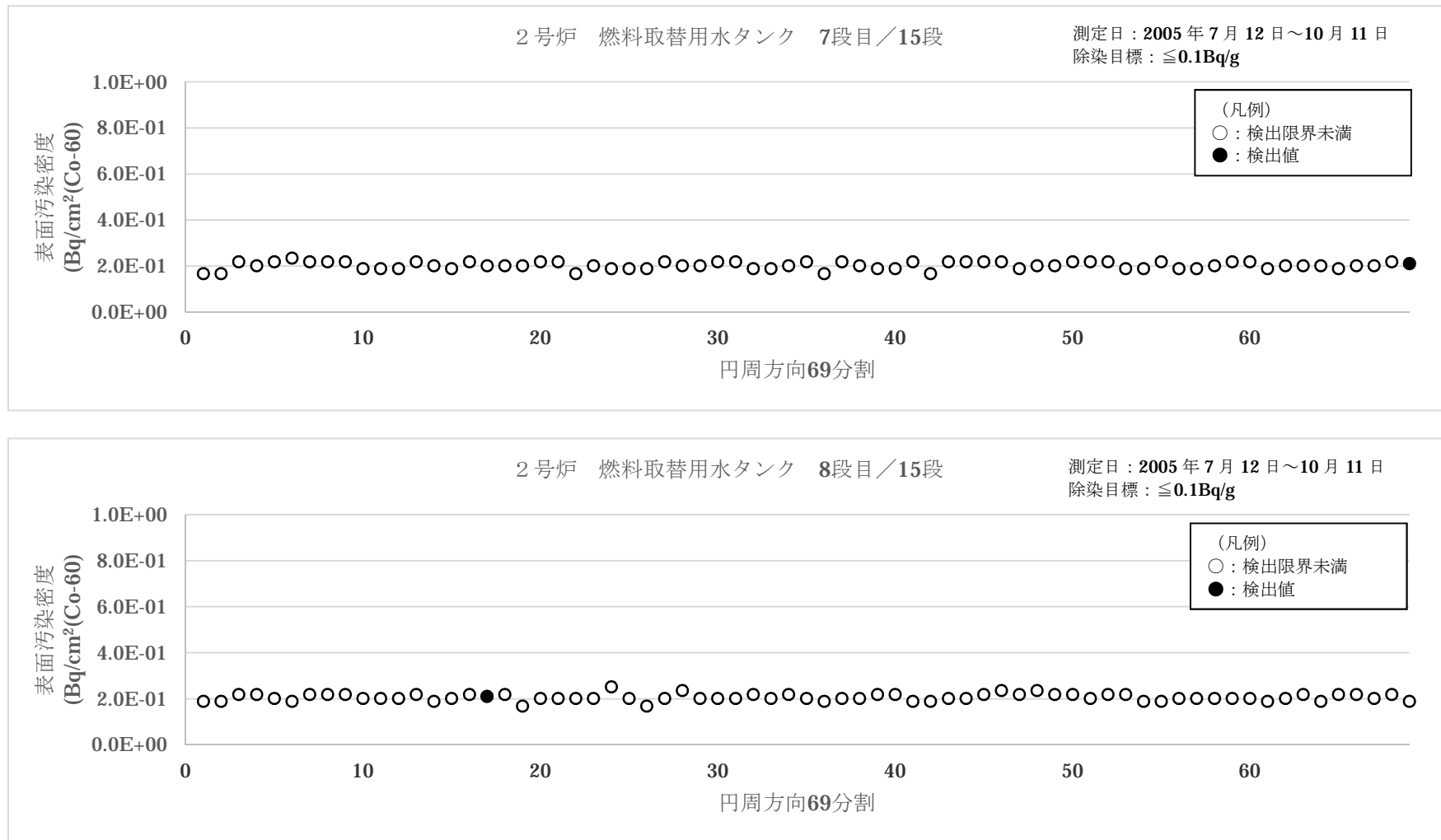


図4 大飯2号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (4/8)

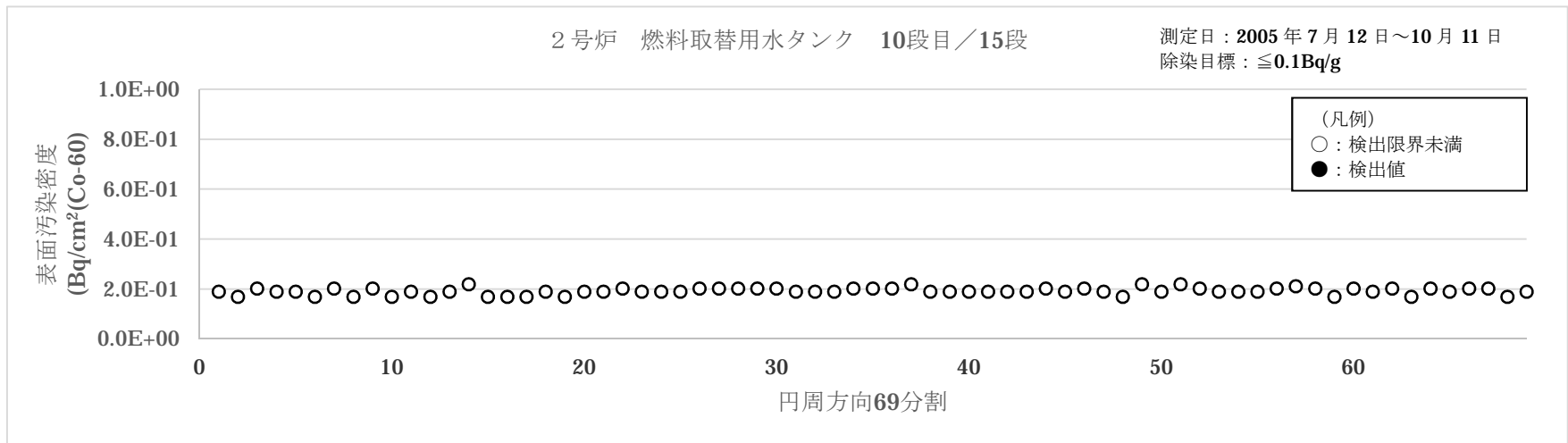
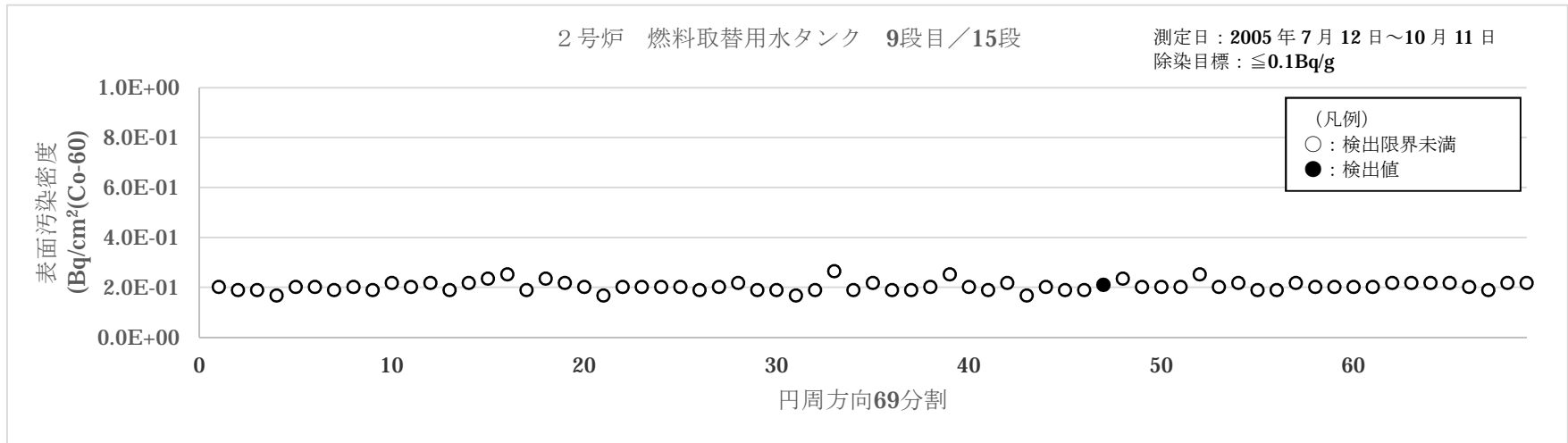


図4 大飯2号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (5/8)

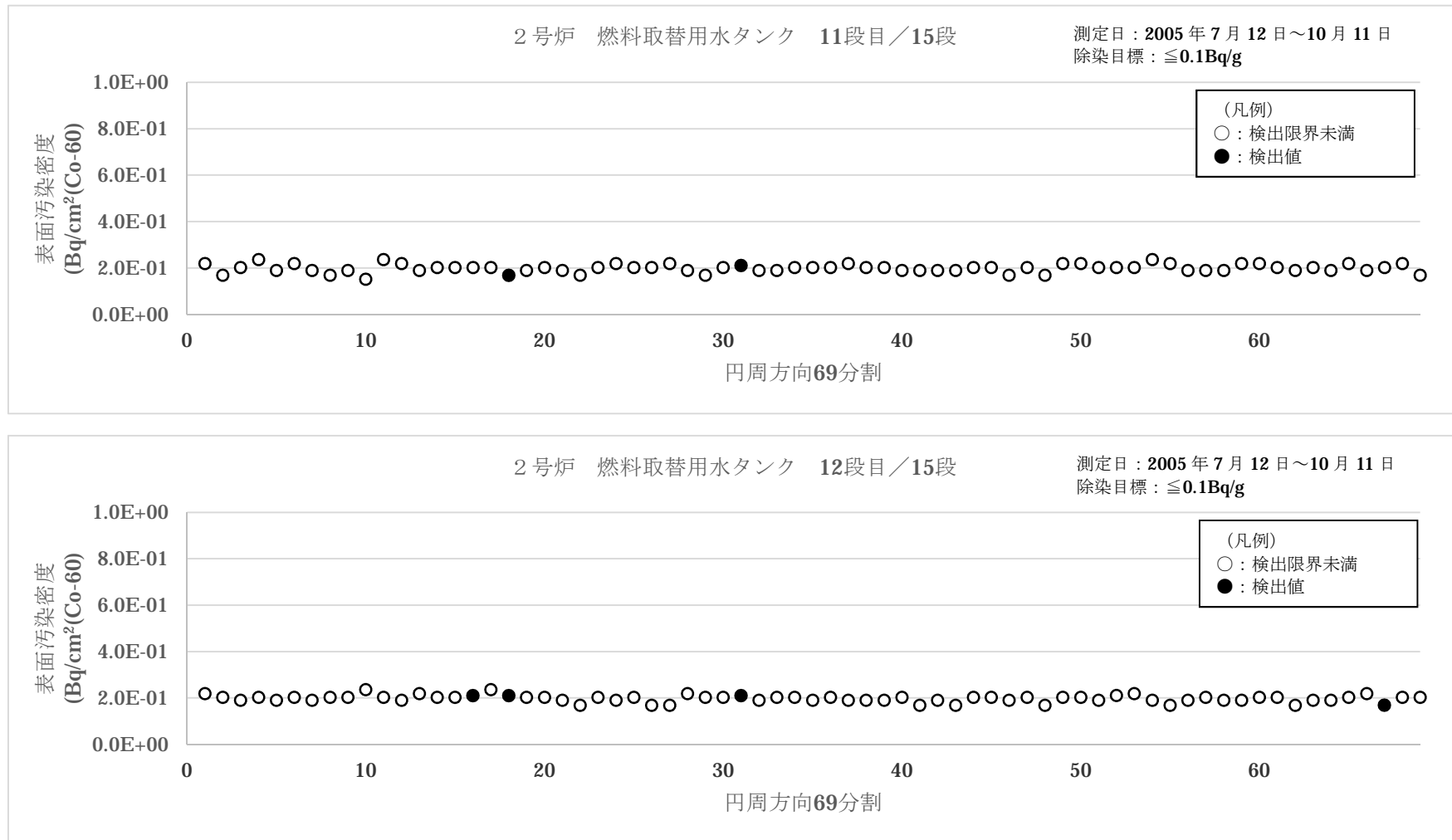


図4 大飯2号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (6/8)

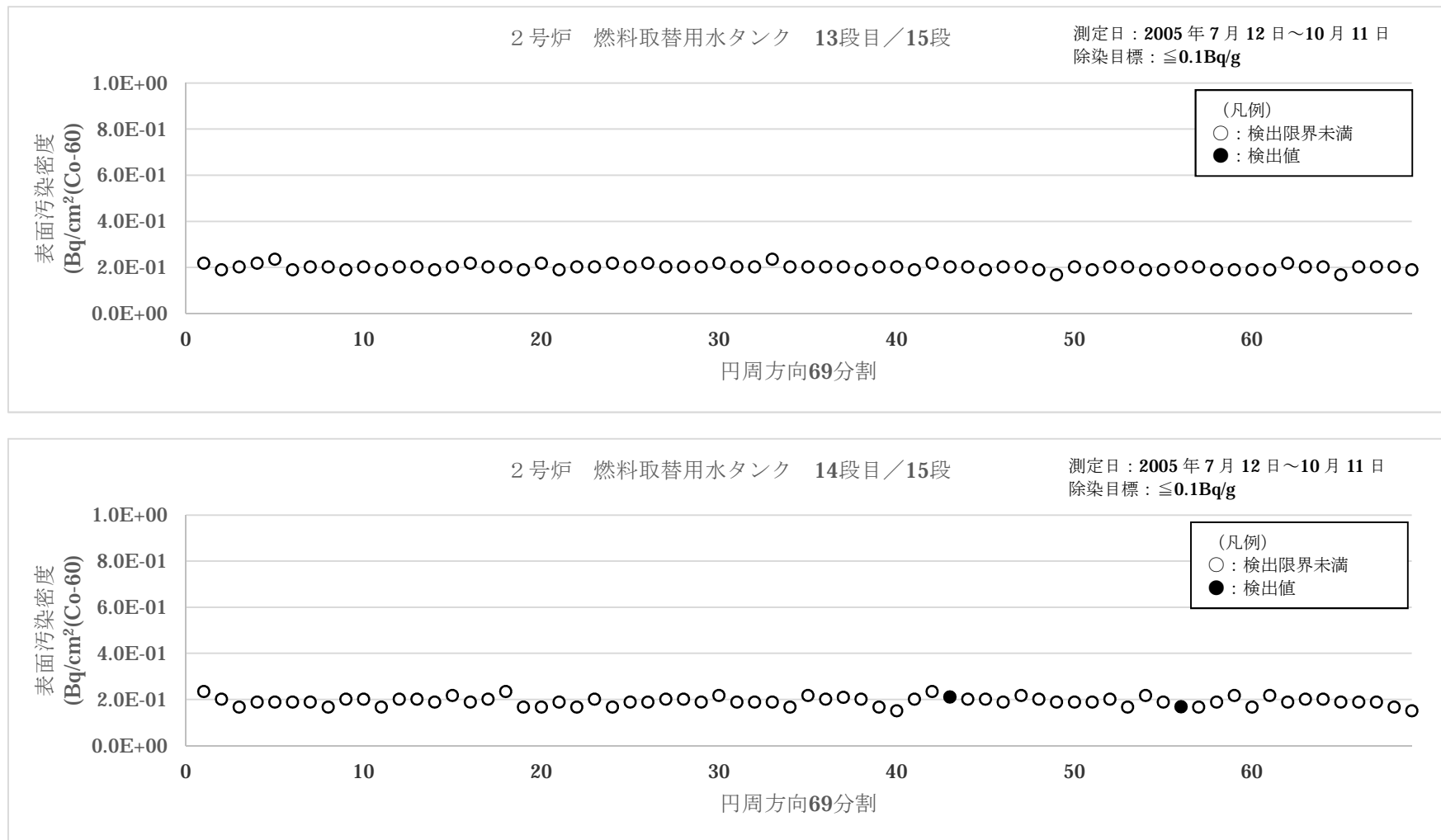


図4 大飯2号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (7/8)

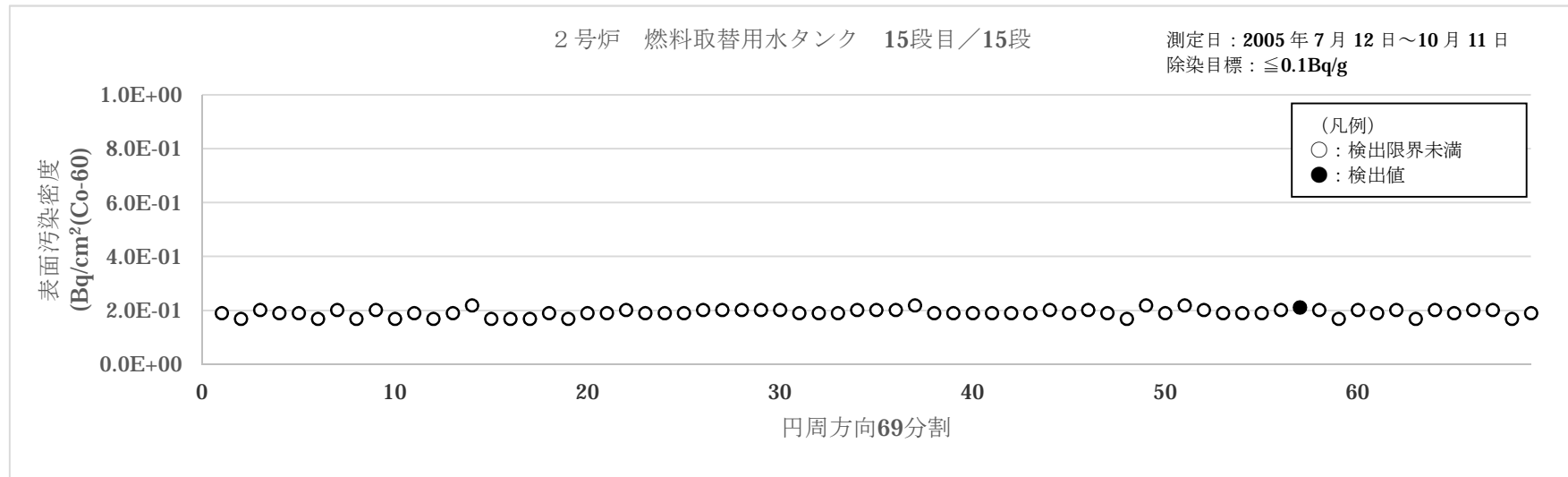


図4 大飯2号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (8/8)

3.2 放射能濃度確認対象物の表面汚染の偏在確認（天井板と胴板との比較）

1号炉の燃料取替用水タンクの天井板についても、胴板と比較し表面汚染密度のばらつきが無いことを確認した。測定方法を下記に、測定結果を図5に示す。

【測定条件】

- ・測定日：2012年1月19日～2012年3月2日
- ・測定機器：プラスチックシンチレータ
- ・測定時間：90秒

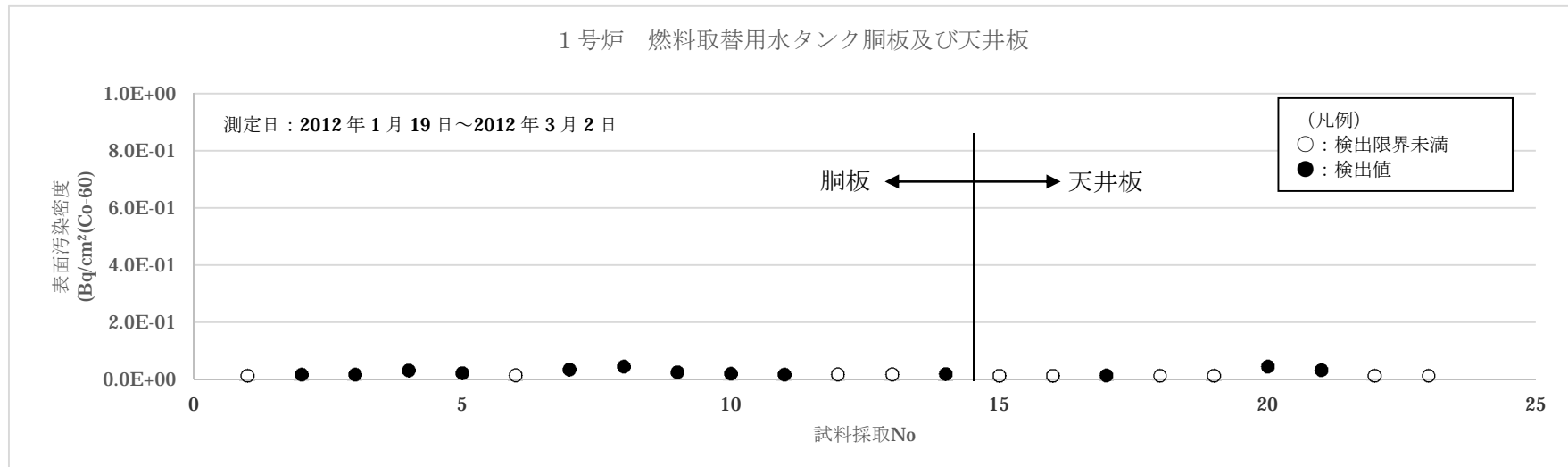


図5 燃料取替用水タンク胴板及び天井板の測定結果

放射能濃度確認対象物の汚染状況等の調査結果のエビデンス

1. 「 ^{60}Co が主要な核種であることが明らかである。これは事前調査結果（放射能濃度確認対象物の分析結果）から明らかであり、であり、公開文献等（「主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて」（平成 11 年 3 月 17 日 原子力安全委員会 放射性廃棄物安全基準専門部会）等）からも明らかである。」ことを示すエビデンス
 - ① 1 次冷却材の核種分析結果
 - ② 大飯 1 号炉 除染後の放射能濃度確認対象物の核種分析結果（2005 年 9 月 20 日時点）
 - ③ 大飯 2 号炉 除染後の放射能濃度確認対象物の核種分析結果（2005 年 3 月 16 日時点）
 - ④ 大飯 1, 2 号炉 除染前の放射能濃度確認対象物の放射化学分析結果
 - ⑤ 公開文献について

2. 「燃料取替用水タンク近傍における中性子線量当量率測定結果が、プラント運転中においても検出限界未満であったことから明らかである。」ことを示すエビデンス
 - ⑥ 原子炉格納容器と燃料取替用水タンクの位置関係
 - ⑦ 原子炉格納容器等の平面図及び断面図
 - ⑧ 中性子線量当量率の測定結果

3. 「主要核種 ^{60}Co の放射能濃度は、事前調査に基づき算出した結果、D/C (^{60}Co) で 1/33 以下であった。従って、 ^{60}Co 以外の核種は考慮する必要ないと判断し、評価対象核種は ^{60}Co の 1 核種とする。」ことを示すエビデンス
 - ⑨ 大飯 1 号炉 放射能濃度確認対象物の ^{60}Co の放射能濃度及び D/C (^{60}Co)
(大飯 1 号炉 2020 年 6 月 1 日時点)
 - ⑩ 大飯 2 号炉 放射能濃度確認対象物の ^{60}Co の放射能濃度及び D/C (^{60}Co)
(大飯 2 号炉 2020 年 6 月 1 日時点)

4. 「放射能濃度確認対象物の表面汚染密度測定結果から明らかである。」ことを示すエビデンス
 - ⑪ 大飯 1 号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果
 - ⑫ 大飯 2 号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果
 - ⑬ 燃料取替用水タンク胴板及び天井板の測定結果

5. 放射線測定装置及び現場運用に関する図表
別途提出予定。