

2/10 からの修正箇所を赤字で示す。

2021年4月23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 Rev.4

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、中性子の直接線及びストリーミング線による放射化の影響はない。

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 ($<0.12\mu\text{Sv/h}$) 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、N-17の半減期(約4秒)及びN-17の崩壊により発生する中性子の寿命(約15分)はいずれも短時間であることからN-17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。

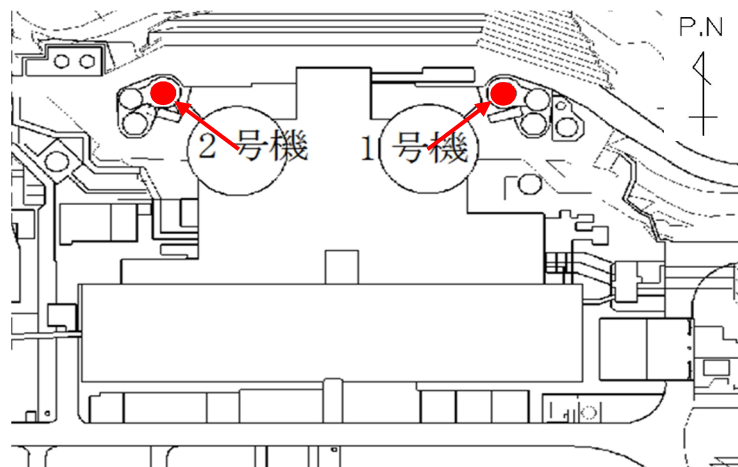


図1 原子炉格納容器と燃料取替用水タンクの位置関係

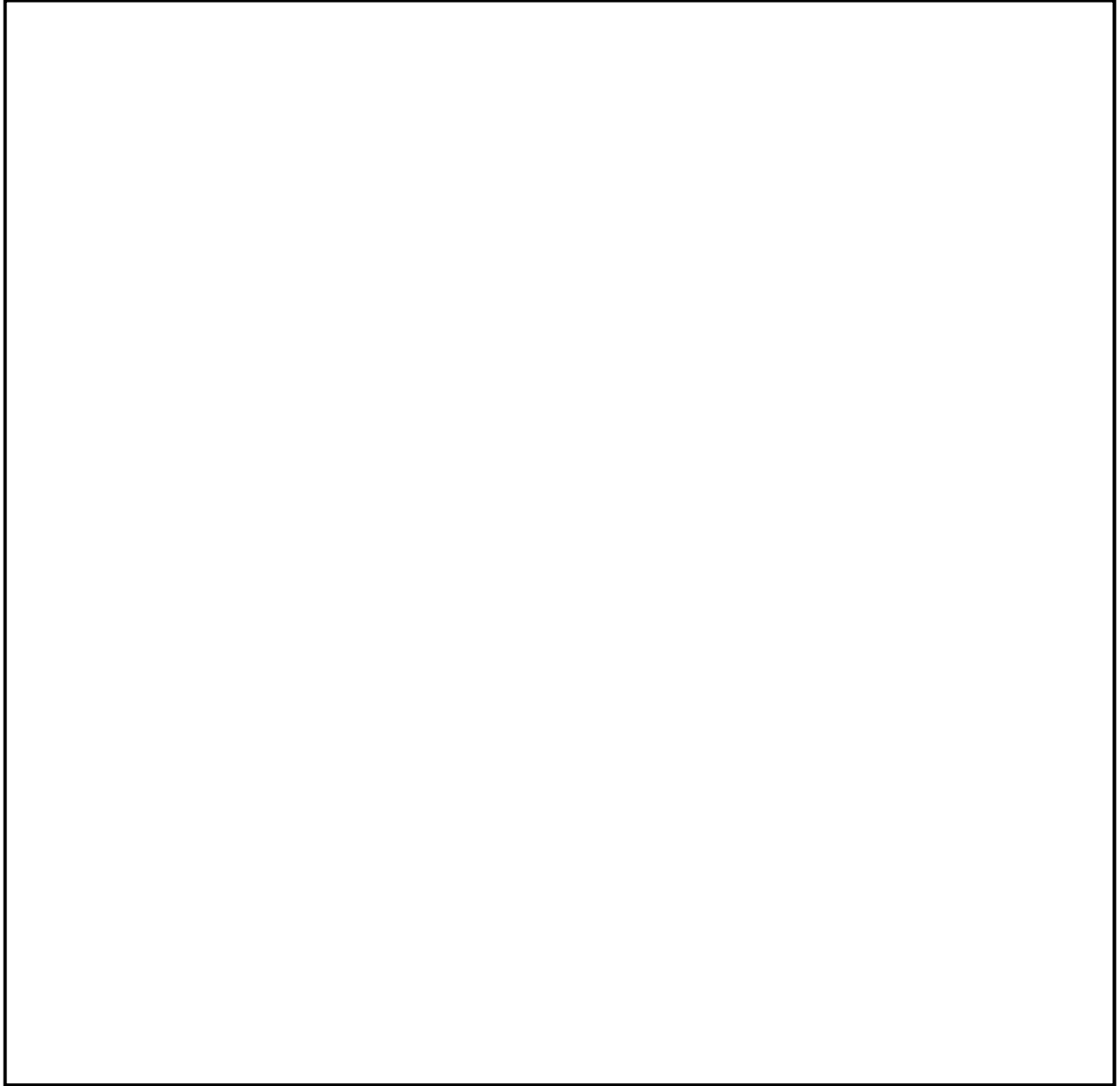


図 2 原子炉格納容器等の平面図及び断面図

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号炉停止中、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) 二次的な汚染における主要な放射性物質選定の考え方

放射能濃度確認対象物の材質は金属（ステンレス鋼）であることから、「放射能濃度についての確認を受けようとする物に含まれる放射性物質の放射能濃度の測定及び評価の方法に係る審査基準」（令和 2 年 7 月 29 日 原規規発第 2007294 号 原子力規制委員会決定）（以下、「審査基準」という。）の別記第 1 号に掲げられている 33 種類の放射性物質（以下、「33 核種」という。）に対して、放射能濃度確認対象物の二次的な汚染において主要となる放射性物質を以下の考え方により選定した。

a. 燃料取替用水タンクの汚染のメカニズム及び大飯 1, 2 号炉の運転履歴

放射能濃度確認対象物の CP 核種による二次的な汚染は、プラント停止後の燃料取扱時に、系統水を循環することから、炉水と燃料取替用水タンク貯留水が混合され、その際に 1 次冷却材系統の設備から溶出した腐食生成物が炉心の中性子により放射化されることによって生成した放射性物質がタンクに移行し、内面に沈着することにより生じる。

一方、FP 核種は、大飯 1 号炉及び 2 号炉の運転開始から放射能濃度確認対象物解体までの間、燃料リークが大飯 1, 2 号炉で合計 8 回（1 号炉：6 回、2 号炉：2 回）発生している。1 号炉の燃料リーク前後で Cs-137 濃度の上昇はたかだか 1 桁以内であり、放射能濃度確認対象物の FP 核種による二次的な汚染への影響は大きくないと考えられるが、炉水の核種分析結果により燃料リークによる FP 核種の影響について確認する。ここで、燃料リークによる FP 核種の影響確認については、FP 核種の代表として Cs-137 濃度と CP 核種の代表として Co-60 濃度を比較する。

表 2 及び表 3 にプラント停止中の炉水の核種分析結果を示す。表 2 及び表 3 に示す通り、炉水中の Cs-134 及び Cs-137 濃度は全て検出限界未満であり、Co-60 の D/C と比較して、最大で約 7%（検出限界値を評価値とした場合）となり、Co-60 の D/C が最大であった。

また、表 4 に示す 2006 年に実施した放射能濃度確認対象物（2005 年～2006 年に実施した解体・除染後の 1 号炉燃料取替用水タンクの胴板）の核種分析結果及び他の除染後の 1 号炉及び 2 号炉の燃料取替用水タンクの胴板の核種分析結果から、Co-60 の D/C と比較して、Cs-137 の D/C は、最大でも約 20%であった。

これらのことから、放射能濃度確認対象物に対する二次的な汚染における Cs-137 を代表とする FP 核種の影響は、CP 核種と比較して小さいことが明らかである。

b. 放射能濃度確認対象物の核種分析結果等を基にした確認結果

放射能濃度確認対象物の二次的な汚染における主要な放射性物質を確認するために、**2006**年に実施した放射能濃度確認対象物（**2005**年～**2006**年に実施した解体・除染後の1号炉燃料取替用水タンクの胴板）の核種分析結果を、**2021**年**2**月**1**日時点まで減衰補正した結果を基に、各放射性物質（**H-3**、**C-14**、**Co-60**、**Nb-94**、**Sr-90**、**Cs-134**、**Cs-137**、**Pu-239**、**Am-241**）のD/Cを算出した。算出結果を表**5**に示す。この際、検出限界未満の核種については検出限界値を評価値と設定した。表**5**に示す通り、**Co-60**のD/Cが最大値であった。

また、前述の放射能濃度確認対象物において、核種分析を実施しなかった**Cl-36**、**Ni-63**、**Tc-99**、**I-129**及び**Pu-241**については、大飯1・2号炉の濃縮廃液（**Ni-63**、**Tc-99**、**I-129**及び**Pu-241**は**1991**～**2006**年、**Cl-36**は**2004**～**2006**年）の核種分析結果を基に、**Ni-59**については充填固化体スケーリングファクタを基にD/Cを算出した。算出結果を表**6**及び表**7**に示す。表**6**及び表**7**に示す通り、**Cl-36**、**Co-60**、**Ni-59**、**Ni-63**、**Tc-99**、**I-129**、**Pu-241**のD/Cについて、**Co-60**のD/Cが最大値であった。

表2 大飯1号炉 燃料取替用水タンクに供給される
炉水の核種分析結果（単位：Bq/cm³）

号炉		1号炉					
運転サイクル		16	18	20	平均	D/C (平均)	Co60との 割合
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	9.41E-01	9.41E+00	—
	¹³⁴ Cs	<4.65E-02	<7.11E-02	<3.25E-02	<5.00E-02	<5.00E-01	<5.32E-02
	¹³⁷ Cs	<5.89E-02	<9.09E-02	<3.75E-02	<6.24E-02	<6.24E-01	<6.63E-02

表3 大飯2号炉 燃料取替用水タンクに供給される
炉水の核種分析結果（単位：Bq/cm³）

号炉		2号炉				
運転サイクル		17	19	平均	D/C (平均)	Co60との 割合
試料採取日		2002/10/26	2005/3/22			
不 溶 解 性	⁶⁰ Co	4.43E-01	5.49E+00	2.97E+00	2.97E+01	—
	¹³⁴ Cs	<6.89E-02	<7.61E-02	<7.25E-02	<7.25E-01	<2.44E-02
	¹³⁷ Cs	<7.83E-02	<8.12E-02	<7.98E-02	<7.98E-01	<2.69E-02

表 4 除染後の 1 号炉及び 2 号炉の燃料取替用水タンクの胴板の核種分析結果
(2021 年 2 月 1 日時点まで減衰補正した値)

試料名※	Co-60		Cs-137		比率
	放射能濃度 (Bq/g)	D/C	放射能濃度 (Bq/g)	D/C	
1u-2-43	2.61E-04	2.61E-03	5.51E-05	5.51E-04	2.11E-01
1u-16-49	5.86E-04	5.86E-03	< 4.25E-05	< 4.25E-04	< 7.25E-02
2u-12-16	4.90E-04	4.90E-03	< 4.93E-05	< 4.93E-04	< 1.01E-01

※ 試料採取箇所は図 6 に示す。

表 5 放射能濃度確認対象物 (試料名 : 1u-2-43) の放射化学分析による
核種分析結果を基に算出した D/C※

(2006 年 6 月から 7 月に分析した結果を 2021 年 2 月 1 日時点まで減衰補正した値)

放射性物質	D/C	各放射性物質の D/C に対する Co-60 の D/C の比率
H-3	7.84E-05	3.01E-02
C-14	< 2.91E-04	< 1.12E-01
Co-60	2.61E-03	1.00E+00
Sr-90	< 4.65E-06	< 1.78E-03
Nb-94	1.30E-04	4.98E-02
Cs-134	< 3.46E-06	< 1.33E-03
Cs-137	5.51E-04	2.11E-01
Pu-239	< 4.74E-06	< 1.82E-03
Am-241	< 1.79E-06	< 6.86E-04

※ 試料採取箇所は図 6 に示す。

表 6 大飯 1・2 号炉の濃縮廃液の難測定核種の分析結果等を基に算出した D/C
 (1991~2006 年度の 16 年度分の平均値：
 Co-60、Ni-59、Ni-63、Tc-99、I-129 及び Pu-241)

放射性物質	濃縮廃液等から算出した 放射能濃度 (Bq/g)	D/C	各放射性物質の D/C の Co-60 の D/C に対する比率
Co-60	2.71E+02	2.71E+03	1
Ni-59 ^{※1}	4.01E+00	4.01E-02	1.48E-05
Ni-63	5.01E+02	5.01E+00	1.85E-03
Tc-99	1.82E-04	1.82E-03	6.70E-07
I-129	<7.68E-04	<7.68E-02	<2.83E-05
Pu-241 ^{※2}	2.81E-04	2.81E-05	1.04E-08

※1 : Ni-59 の放射能濃度は、JNES-SS レポート (JNES-SS-0403) に基づき算出。

※2 : Pu-241 を含む全 α 核種の分析結果より算出。

表 7 大飯 1・2 号炉の濃縮廃液の難測定核種の分析結果等を基に算出した D/C
 (2004~2006 年度の 3 年度分の平均値 : Cl-36)

放射性物質	濃縮廃液から算出した 放射能濃度 (Bq/g)	D/C	Cl-36 の D/C の Co-60 の D/C に対する比率
Co-60	2.07E+02	2.07E+03	1
Cl-36	3.53E-02	3.53E-02	1.71E-05

c. 半減期及び核種生成源等を基にした確認結果

b.項までに確認した核種以外については、以下の確認結果等より、**Co-60** に対して **D/C** は小さいと判断した。

- **33** 核種のうち、**Co-58** 等の半減期が **1** 年程度以下の核種 (**Sc-46**、**Mn-54**、**Fe-59**、**Co-58**、**Zn-65**、**Nb-95**、**Ru-106**、**Ag-110m**、**Sb-124**、**Te-123m**、**Tb-160**、**Ta-182**) は、**Co-60** と比較して炉水中の放射能濃度が若干高い核種 (**Co-58**) があるものの、半減期が **1** 年程度以下で短く、かつ放射能濃度確認対象物が発生より **15** 年以上経過していることから、**Co-60** に対して **D/C** は非常に小さい (例：**Co-58** の場合、**<1.0E-20**)。
- **33** 核種のうち、**Eu-154** 等は、主な生成源としてコンクリート等の放射化により生成するが、**1** 次冷却材系統には生成源が極僅かであることから、**Co-60** に対して **D/C** は小さくなる (**Ca-41**、**Ag-108m**、**Ba-133**、**Eu-152**、**Eu-154**)。
- **33** 核種のうち、**Fe-55** の生成源は **1** 次冷却材系統の **SUS304** 材中に存在するものの、**Fe-55** は **Co-60** と比較して、中性子捕獲断面積が小さいこと、半減期が短いこと及びクリアランスレベルが高いことから、**Co-60** に対して **D/C** は **<0.01** となる。

以上のことから、放射能濃度確認対象物の二次的な汚染における主要な放射性物質は **Co-60** であることが明らかである。

2. 評価対象核種の選択

1.項において、放射能濃度確認対象物の二次的な汚染における主要な放射性物質は **Co-60** と設定した。そこで、**Co-60** の放射能濃度 (Bq/g) が審査基準に規定される **D/C** が **33** 分の **1** 以下であることを確認する。**2005** 年度、**2006** 年度及び **2011** 年度に放射能濃度確認対象物の核種分析を行った。**表 8** 及び **表 9** に **2005** 年度、**2006** 年度及び **2011** 年度に実施した放射能濃度確認対象物の **Ge** 波高分析装置を用いた核種分析結果を **2021** 年 **2** 月 **1** 日まで減衰補正した結果を示す。なお、放射能濃度確認対象物の胴板及び天井板の核種分析試料は無作為に選定した。**表 8** 及び **表 9** に示す通り、大飯 **1** 号炉においては最大で **6.94E-04Bq/g**、大飯 **2** 号炉においては最大で **1.15E-03Bq/g** であり、いずれにおいてもクリアランス判断基準の **1/33** (約 **3.0E-3Bq/g**) 以下であった。

表 8 大飯 1 号炉 放射能濃度確認対象物の **Co-60** の放射能濃度及び **D/C (Co-60)**
(大飯 1 号炉 2021 年 2 月 1 日時点まで減衰補正した値)

	試料名	試料測定日	Co-60 放射能濃度 (Bq/g)	D/C (Co-60) (-)
胴 板	1u-2-43 ^{※1,2}	2006 年 6 月 12 日	2.61E-04	2.61E-03
	1u-3-22 ^{※1}	2005 年 9 月 20 日	6.94E-04	6.94E-03
	1u-5-1 ^{※1}	2005 年 9 月 20 日	3.57E-04	3.57E-03
	1u-6-44 ^{※1}	2005 年 9 月 20 日	6.18E-04	6.18E-03
	1u-8-22 ^{※1}	2005 年 9 月 20 日	4.86E-04	4.86E-03
	1u-10-1 ^{※1}	2005 年 9 月 20 日	2.12E-04	2.12E-03
	1u-11-44 ^{※1}	2005 年 9 月 20 日	4.75E-04	4.75E-03
	1u-13-22 ^{※1}	2005 年 9 月 20 日	1.89E-04	1.89E-03
	1u-16-1 ^{※1}	2005 年 9 月 20 日	6.63E-04	6.63E-03
天 井 板	1u-天-1 ^{※1}	2012 年 3 月 1 日	6.86E-05	6.86E-04
	1u-天-2 ^{※1}	2012 年 3 月 1 日	8.44E-05	8.44E-04
	1u-天-3 ^{※1}	2012 年 3 月 2 日	<7.85E-05	<7.85E-04

※1：胴板の試料採取箇所は図 6 に示す。天井版は採取箇所の記録なし。

※2：放射化学分析結果。なお、他試料は試料を直接 Ge 測定装置で計測。

表 9 大飯 2 号炉 放射能濃度確認対象物の **Co-60** の放射能濃度及び D/C (**Co-60**)
(大飯 2 号炉 2021 年 2 月 1 日時点まで減衰補正した値)

試料名	試料発生日	Co-60 放射能濃度 (Bq/g)	D/C (Co-60) (-)	
胴板	2u-3-54 ^{※1}	2005 年 3 月 16 日	2.39E-04	2.39E-03
	2u-4-8 ^{※1}	2005 年 3 月 16 日	3.20E-04	3.20E-03
	2u-5-47 ^{※1}	2005 年 3 月 16 日	3.56E-04	3.56E-03
	2u-6-23 ^{※1}	2005 年 3 月 16 日	1.15E-03	1.15E-02
	2u-8-32 ^{※1}	2005 年 3 月 16 日	4.60E-04	4.60E-03
	2u-10-42 ^{※1}	2005 年 3 月 16 日	2.67E-04	2.67E-03
	2u-12-66 ^{※1}	2005 年 3 月 16 日	1.52E-04	1.52E-03
	2u-13-32 ^{※1}	2005 年 3 月 16 日	3.30E-04	3.30E-03
	2u-14-17 ^{※1}	2005 年 3 月 16 日	2.93E-04	2.93E-03

※1：胴板の試料採取箇所は図 6 に示す。試料は直接 Ge 測定装置で計測。

また、2005 年～2006 年に実施した解体・除染後の放射能濃度確認対象物胴板の表面汚染密度測定結果のうち、検出限界以上でかつ最大の **Co-60** 放射能濃度を示した部位（1 号炉：**1u-16-49**、2 号炉：**2u-12-16**）に対して、2021 年 1 月に Ge 波高分析装置を用いて核種分析を行った結果を表 4 に示す。表 4 に示す通り、大飯 1 号炉及び 2 号炉いずれの試料においてもクリアランス判断基準の 1/33（約 **3.0E-3Bq/g**）以下であった。

以上のことから、**Co-60** 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 **Co-60** の 1 核種とする。

3. 放射能濃度確認対象物の汚染の偏在確認

3.1 放射能濃度確認対象物の表面汚染密度分布（胴板）

放射能濃度確認対象物において汚染の偏在の有無を確認するために、**2005年7月**から**10月**、**2006年1月**から**4月**に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、測定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。また、併せて図**3**及び図**4**に各段の**Co-60**クリアランスレベル相当の表面汚染密度を示す。ここで、**Co-60**クリアランスレベル相当の表面汚染密度は放射能濃度確認対象物の形状等により異なるため、平均値で示した。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。

また、図**3**及び図**4**に示す通り、全測定単位の表面汚染密度は約**2.5E-01Bq/cm²**以下であり、**D/C (Co-60)**は**1**以下であった。なお、胴板の表面汚染密度測定は燃料取替用水タンクの解体・除染後の**2005年～2006年**に実施した結果であること、及び放射能濃度確認対象物の単位重量あたりの表面積が大きく、検出限界値が高くなることから、比較的高い数値となる。燃料取替用水タンク胴板の表面汚染密度の測定条件を下記に示す。

【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
- ・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)

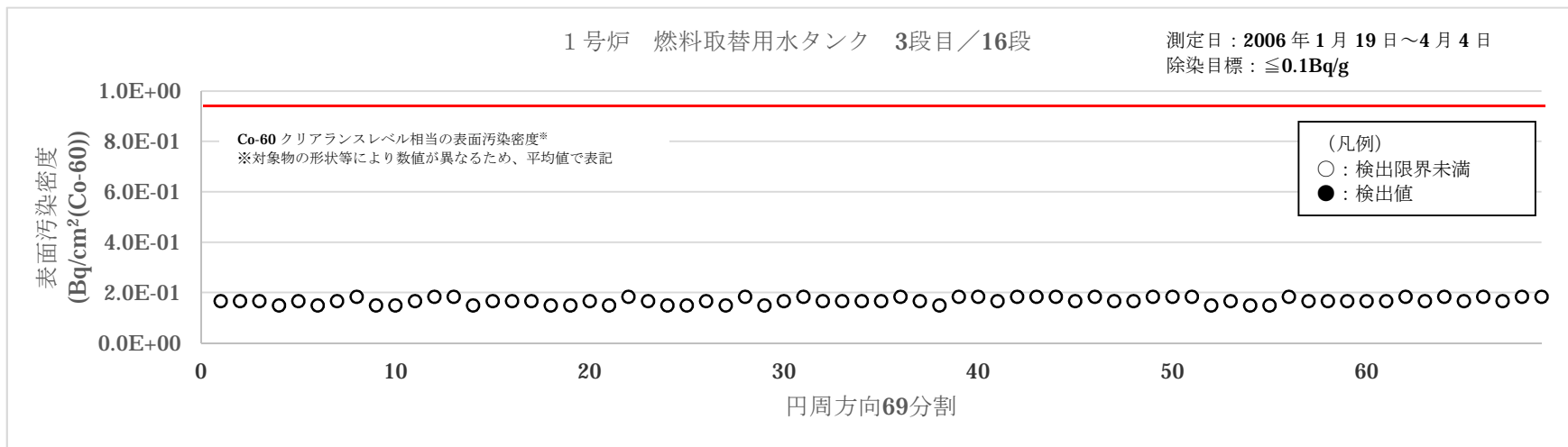


図3 大飯1号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (2/8)



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)

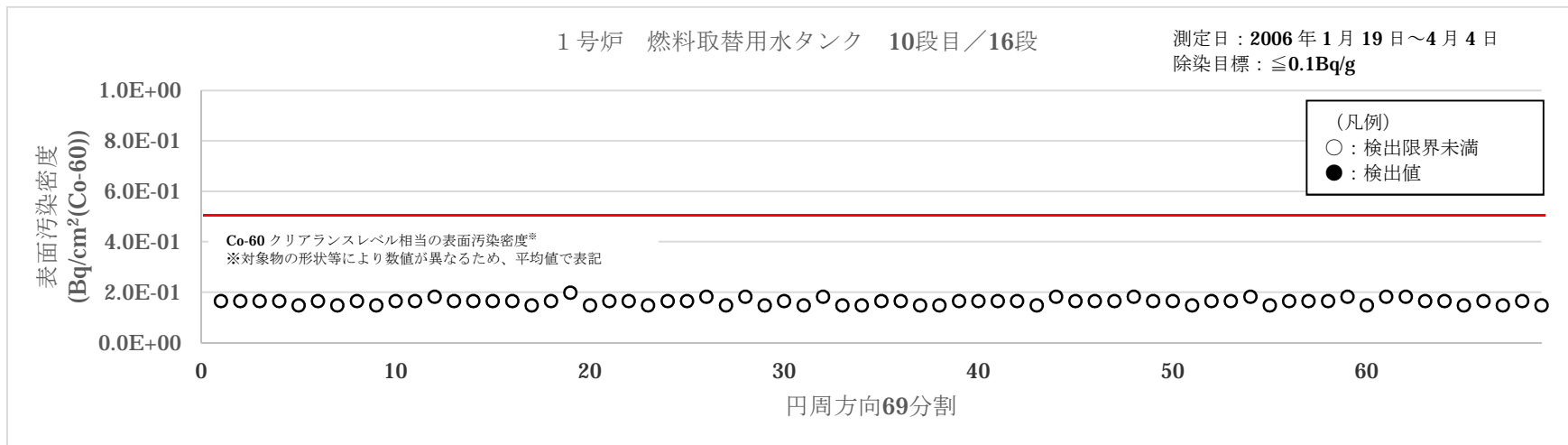


図3 大飯1号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (5/8)

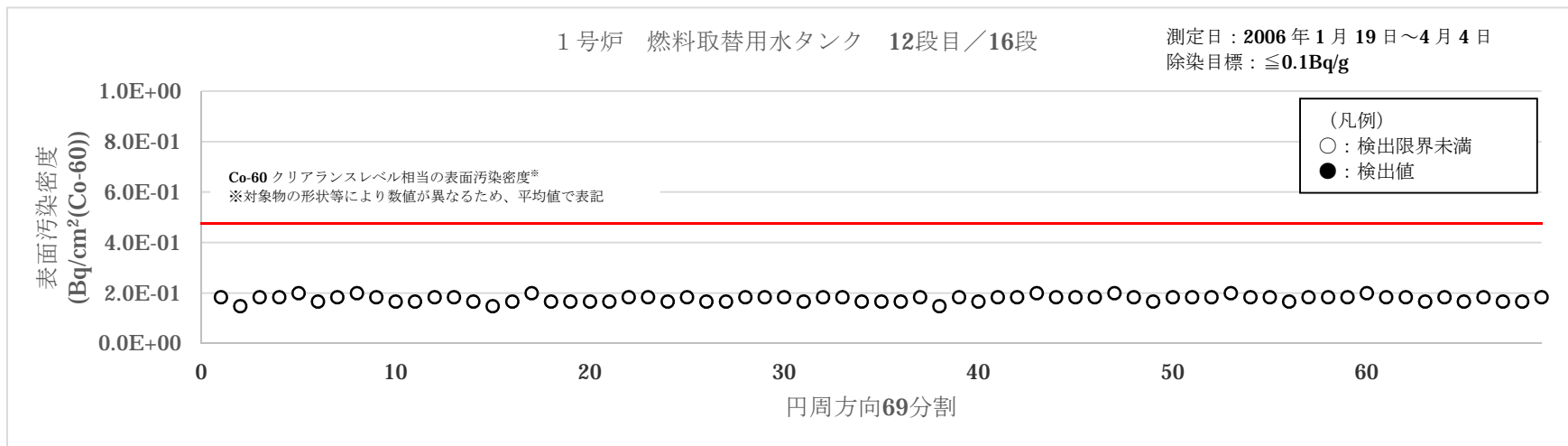
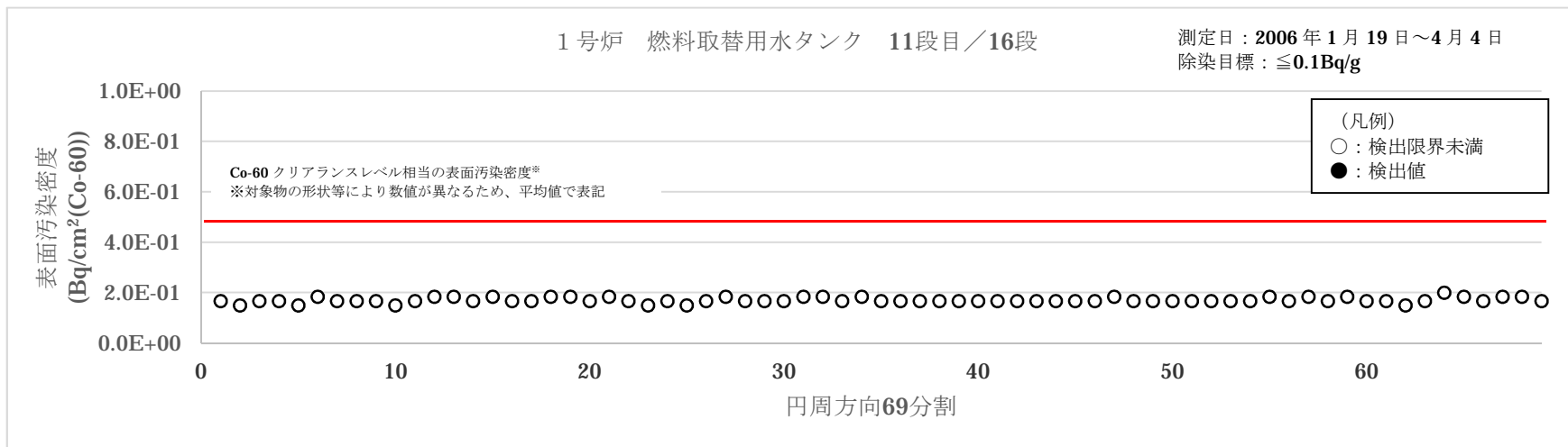


図3 大飯1号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (6/8)

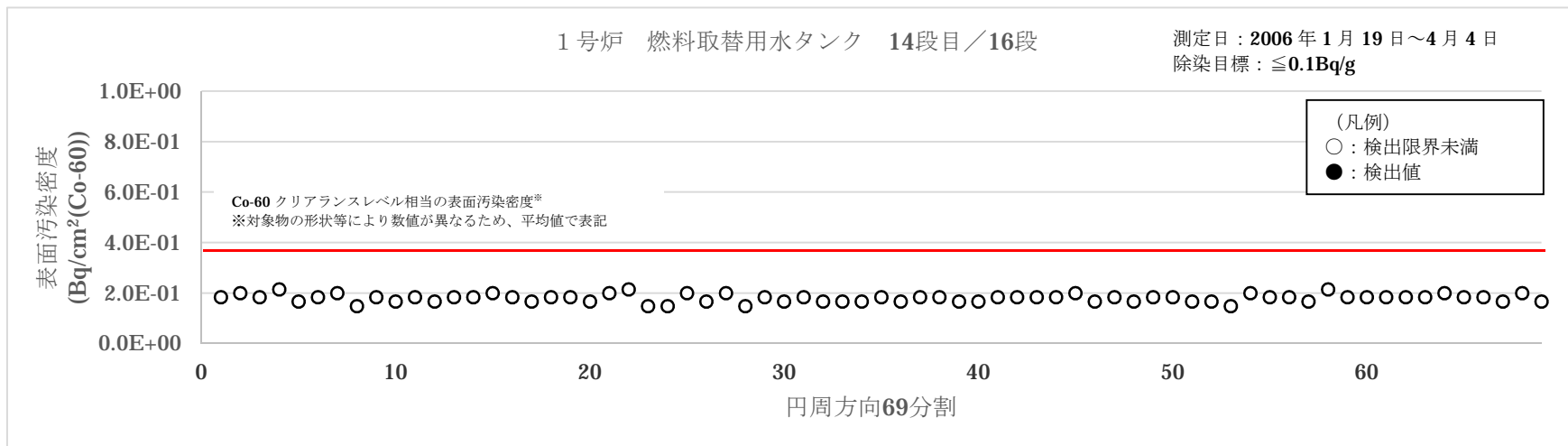
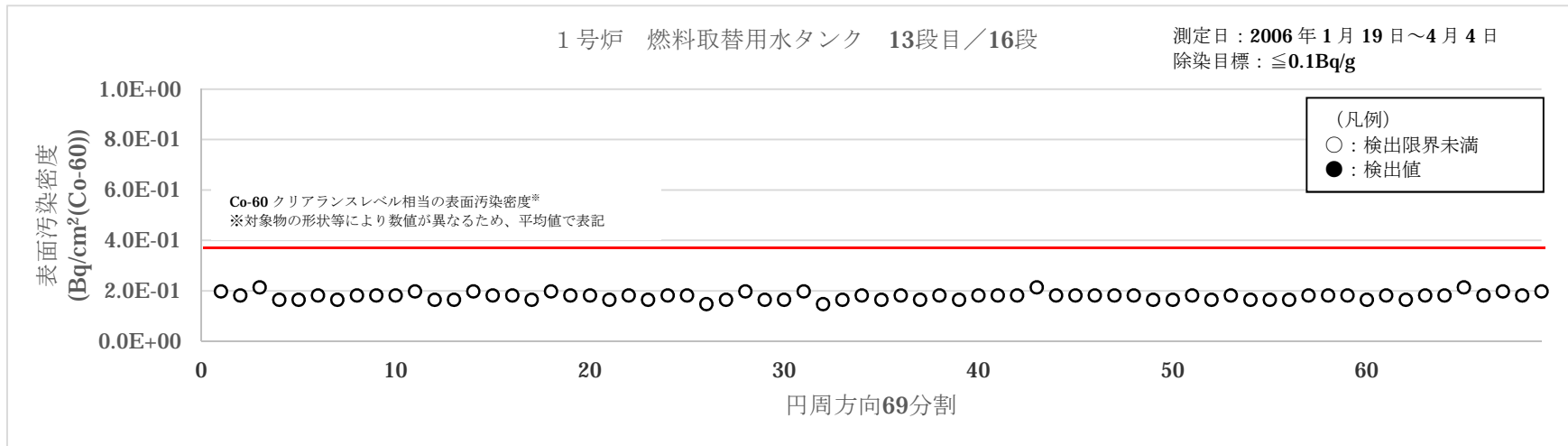


図3 大飯1号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (7/8)

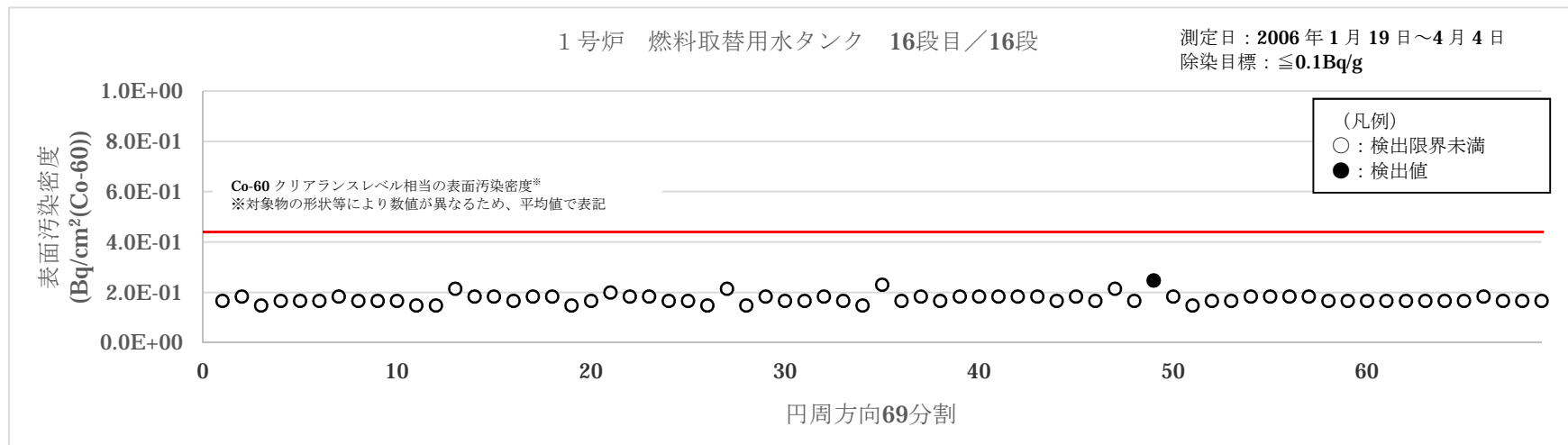
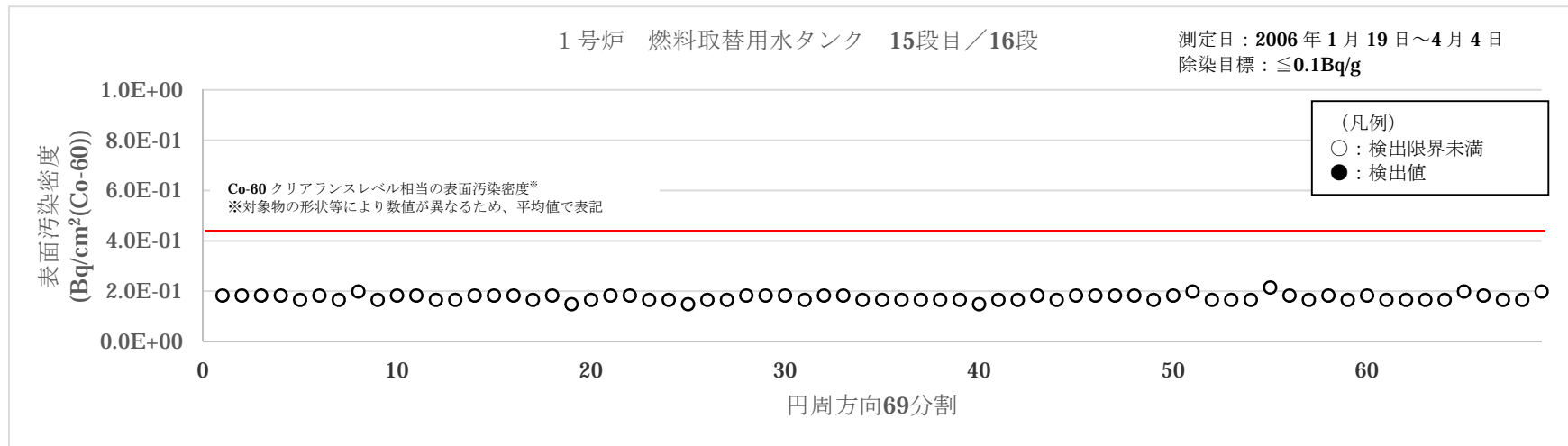


図3 大飯1号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (8/8)

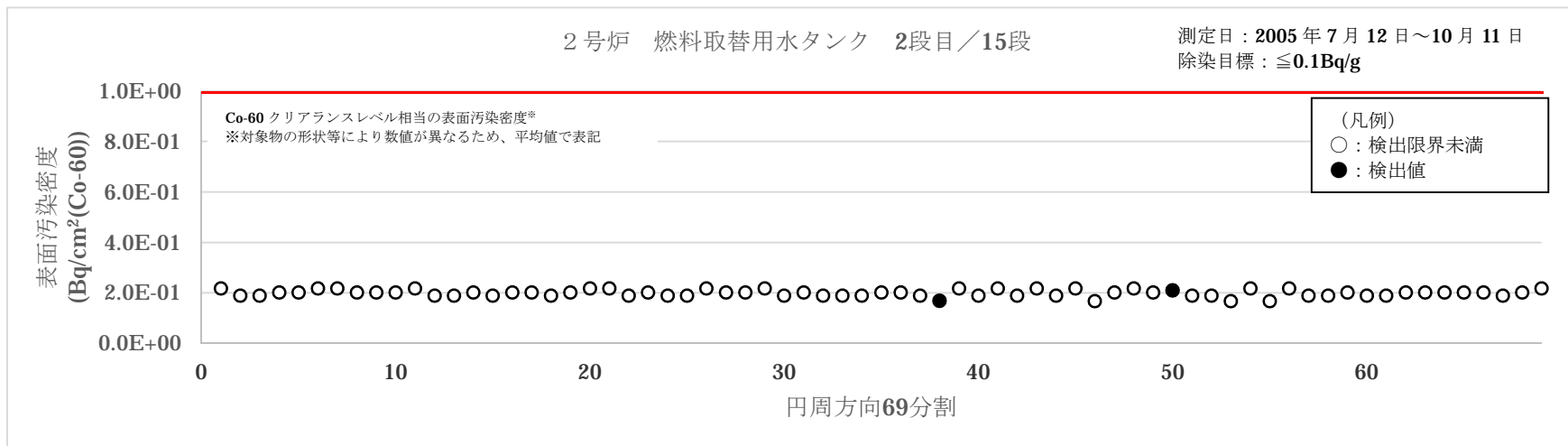
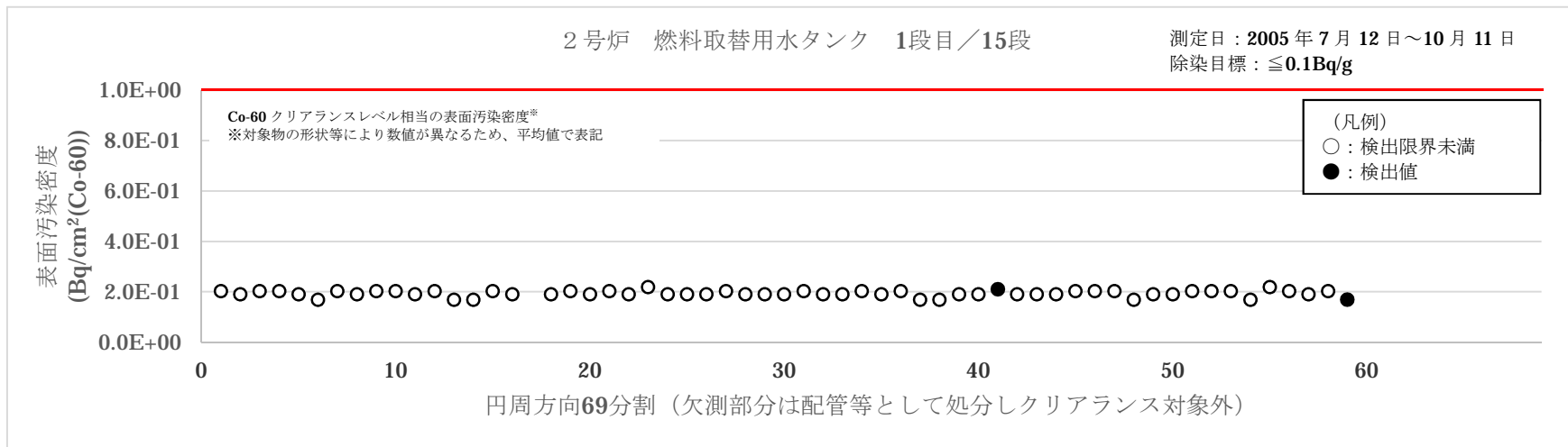


図4 大飯2号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (1/8)

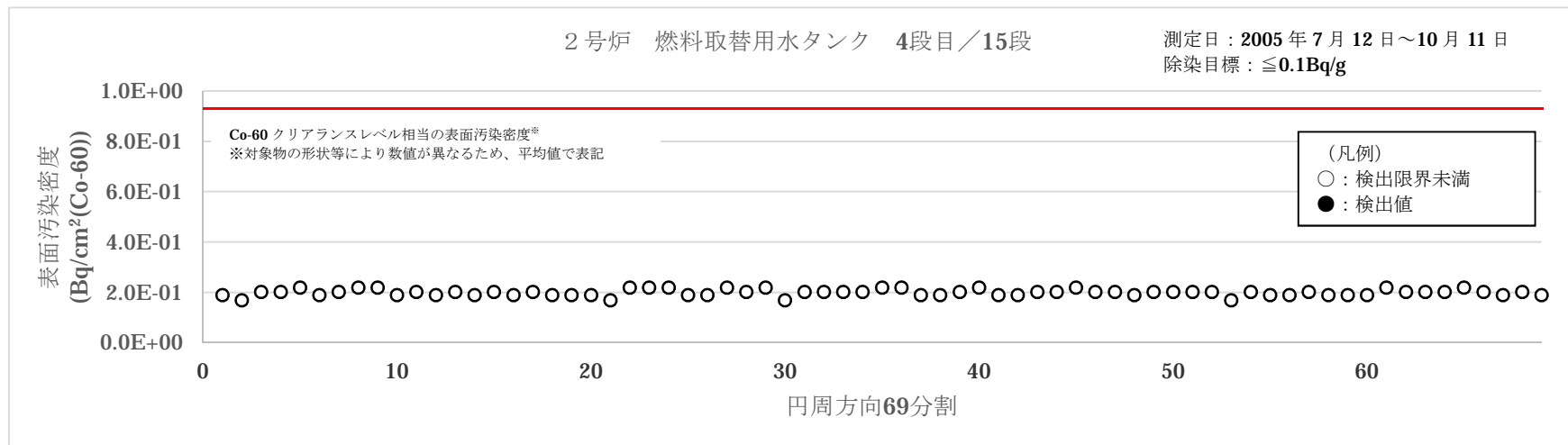
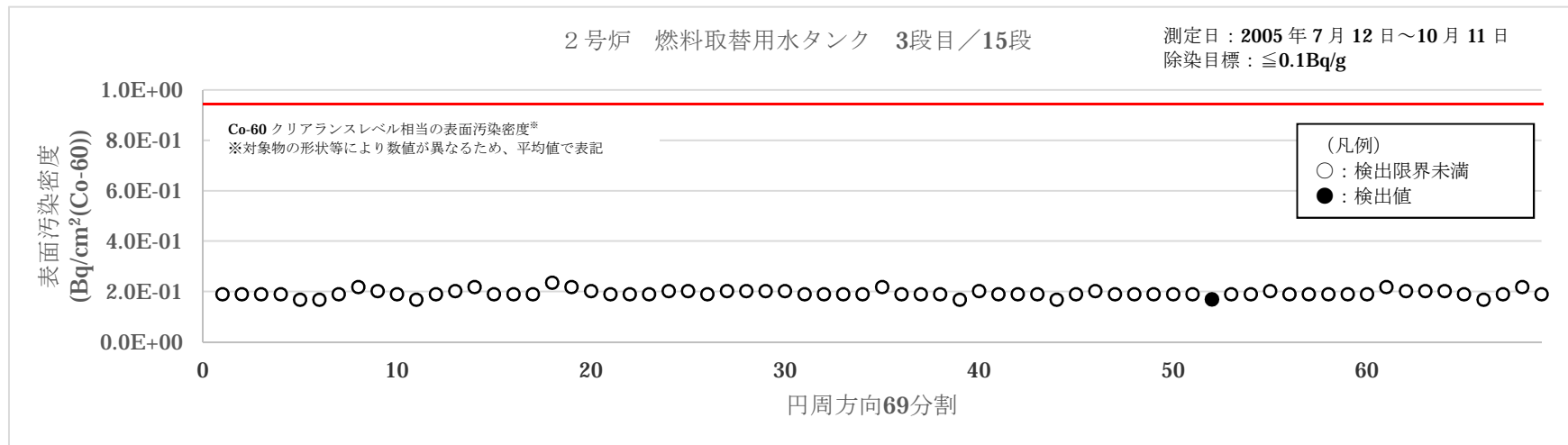


図4 大飯2号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (2/8)

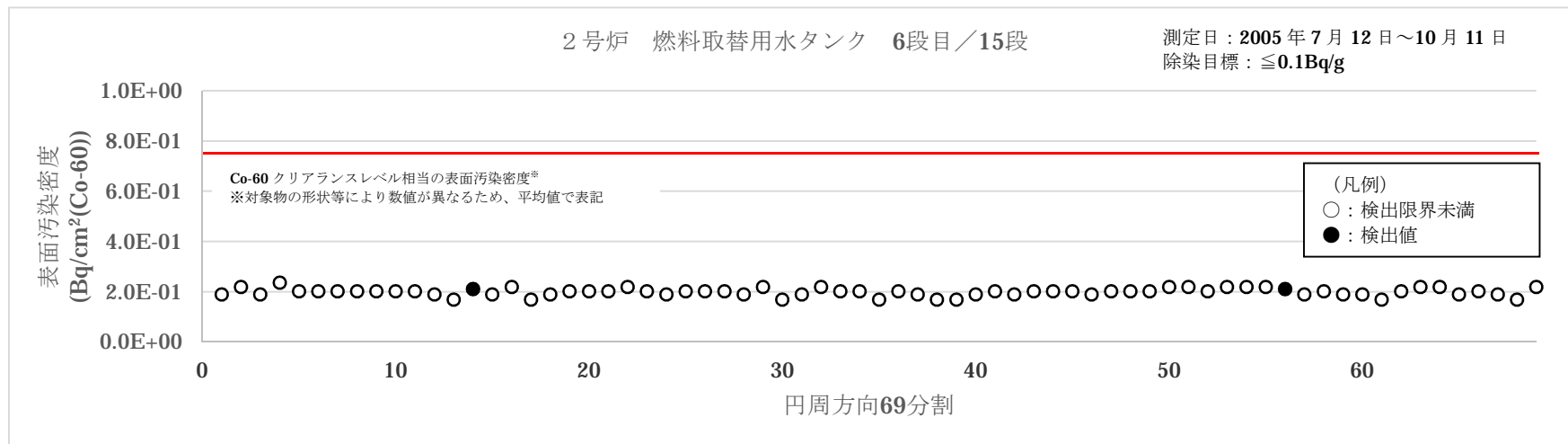
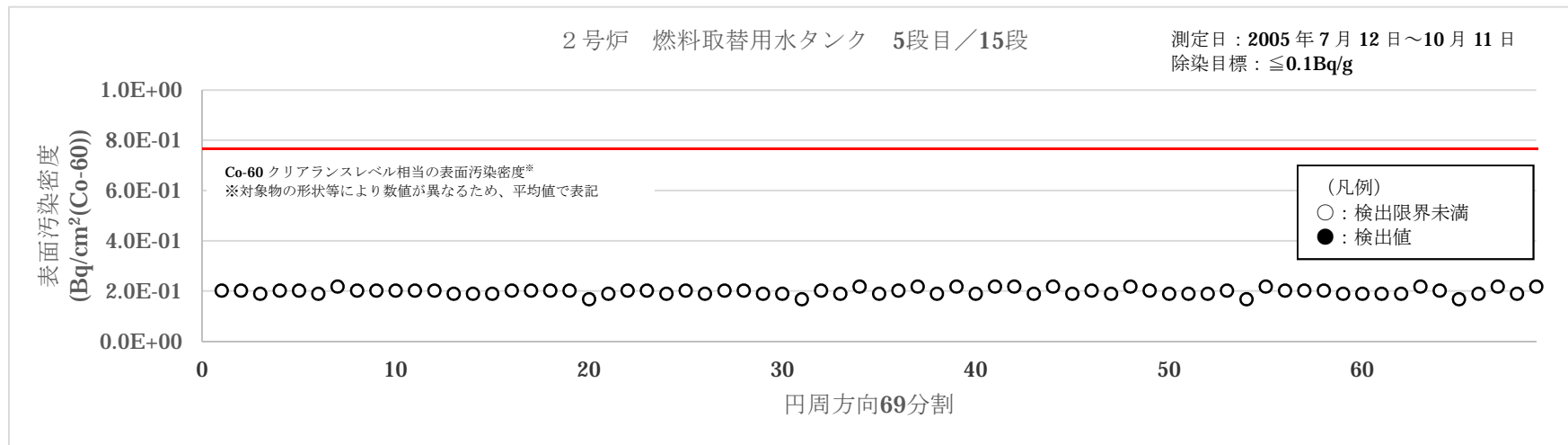


図4 大飯2号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (3/8)



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)

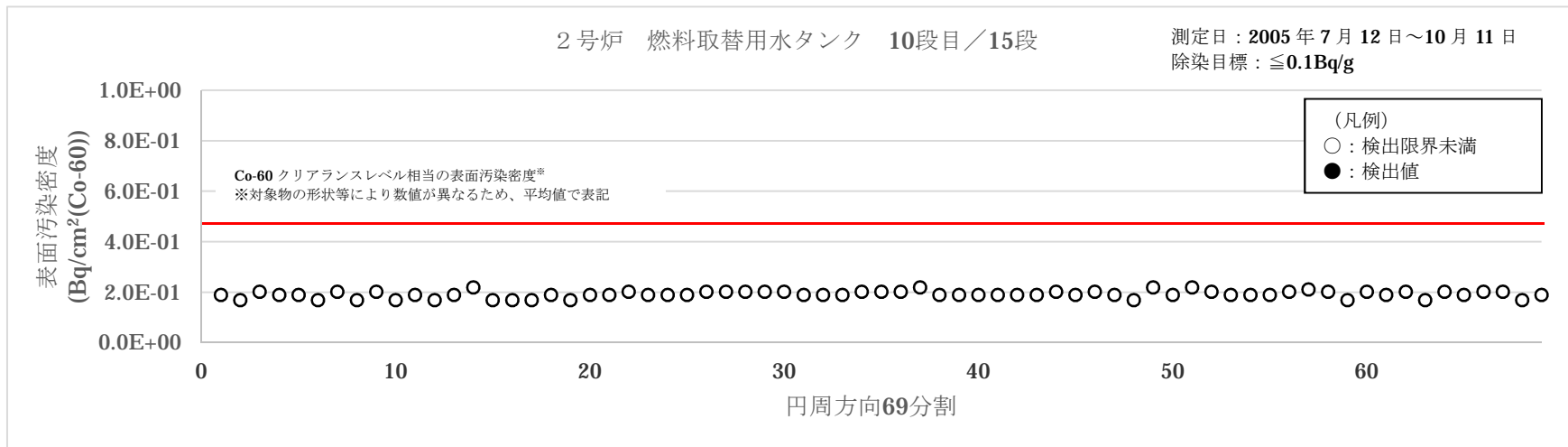
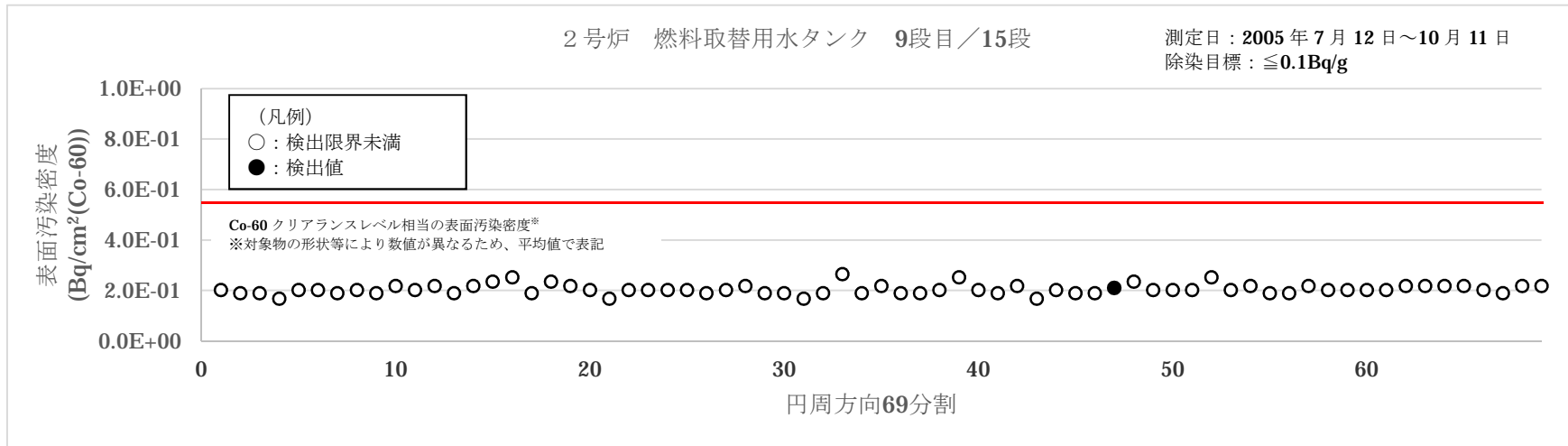


図4 大飯2号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (5/8)

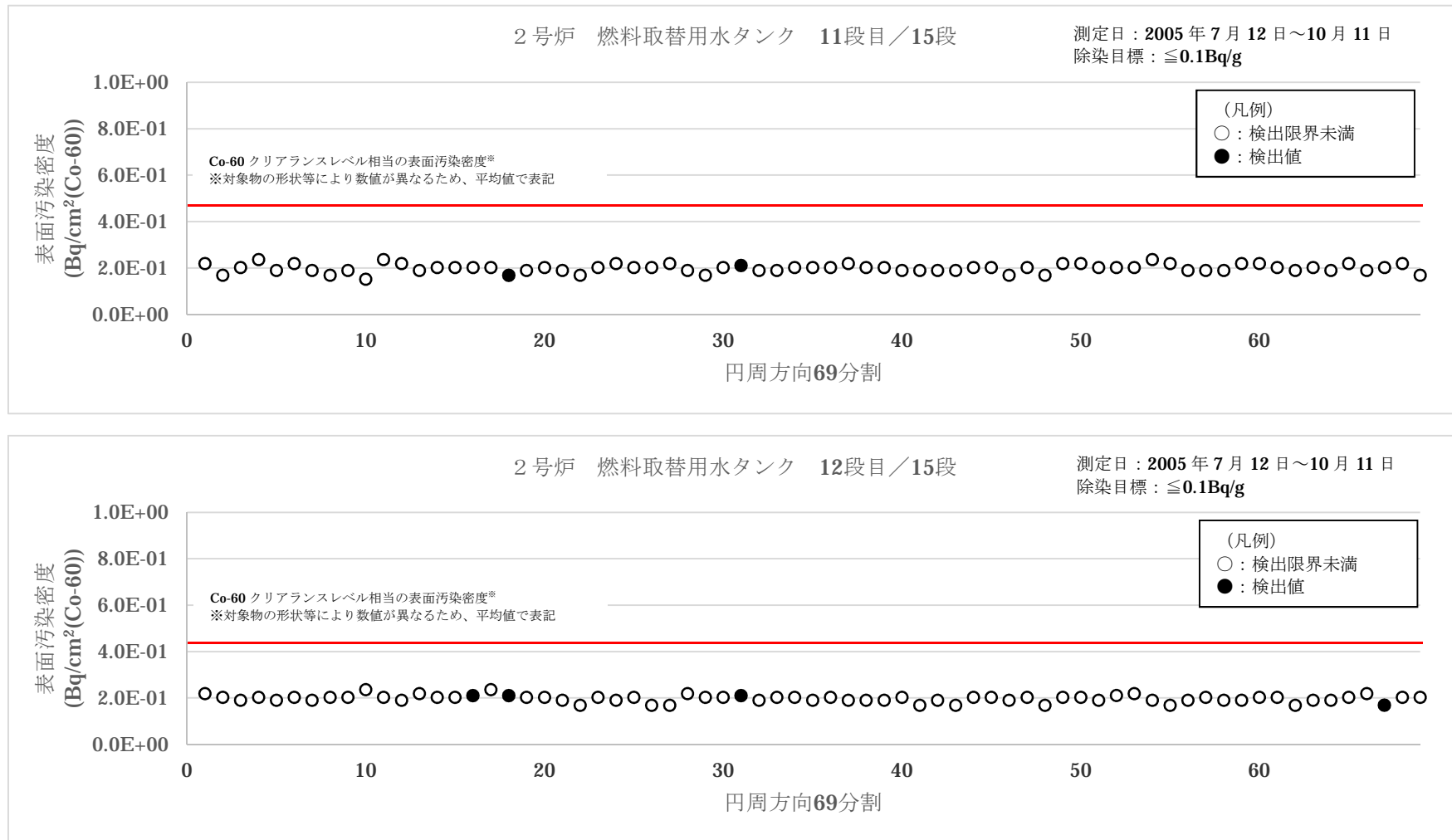


図4 大飯2号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (6/8)

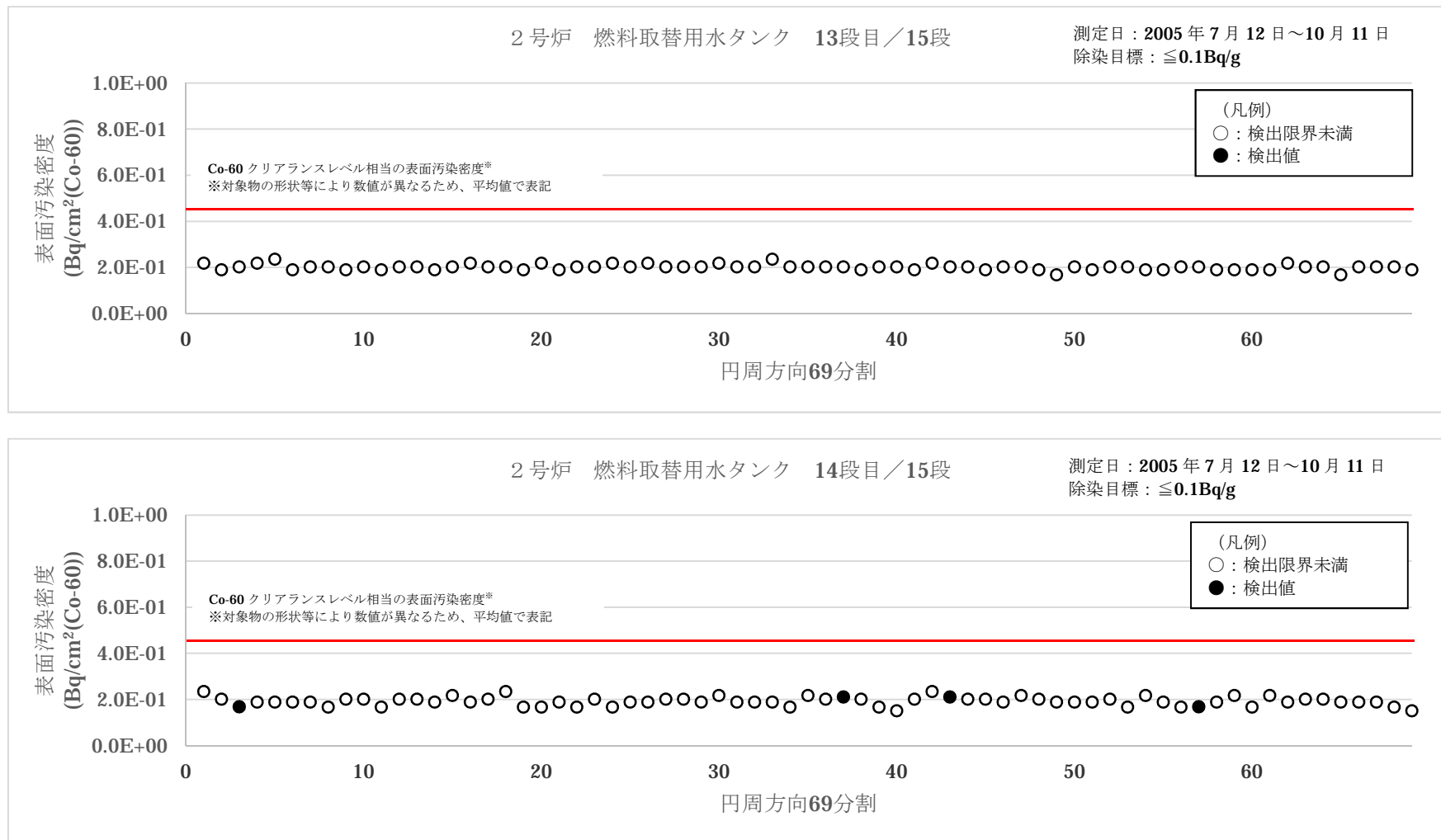


図4 大飯2号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (7/8)



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密度分布（天井板）

2012年1月から3月に、1号炉の燃料取替用水タンクの天井板について、胴板と比較し汚染の偏在が無いことを確認するために、表面汚染密度の測定を行った。測定条件を下記に、測定結果を図5に、胴板の試料採取箇所を図6に示す。また、併せてCo-60クリアランスレベル相当の表面汚染密度を図5に示す。ここで、Co-60クリアランスレベル相当の表面汚染密度は放射能濃度確認対象物の形状等により異なるため、平均値で示した。なお、天井板及び胴板共に無作為に試料を採取し測定を行った。図5に示す通り、天井板においては汚染の偏在が無いことを確認し、加えて胴板と比較しても汚染の偏在が無いことを確認した。

また、天井板の表面汚染密度は約 $4.6E-02Bq/cm^2$ 以下であり、全ての試料において、D/C (Co-60) は1以下であった。

【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

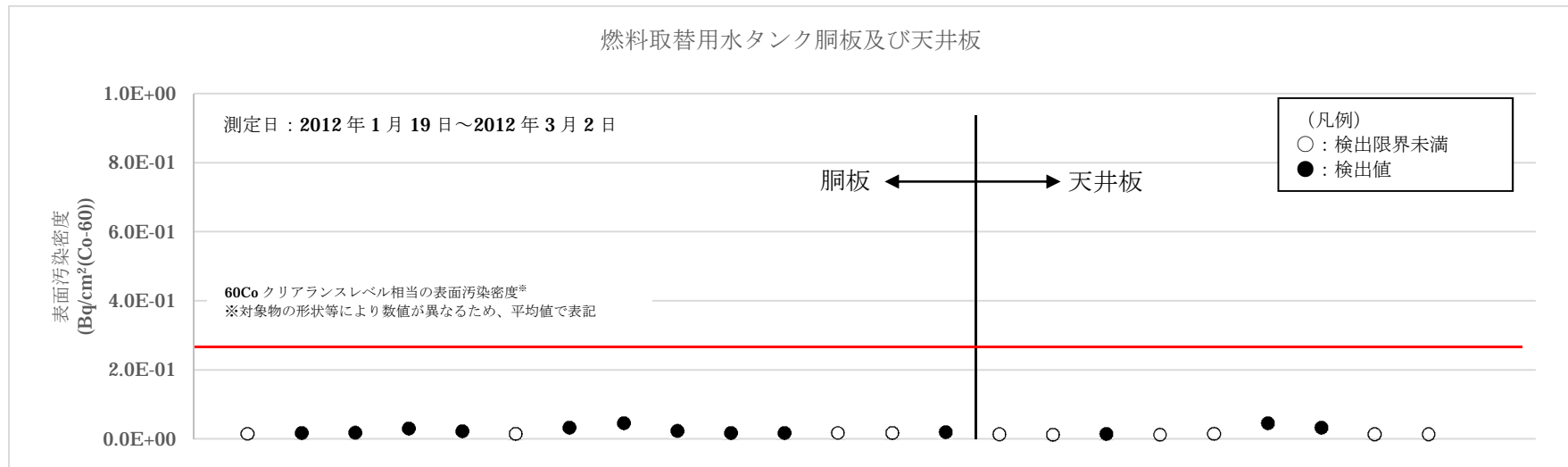
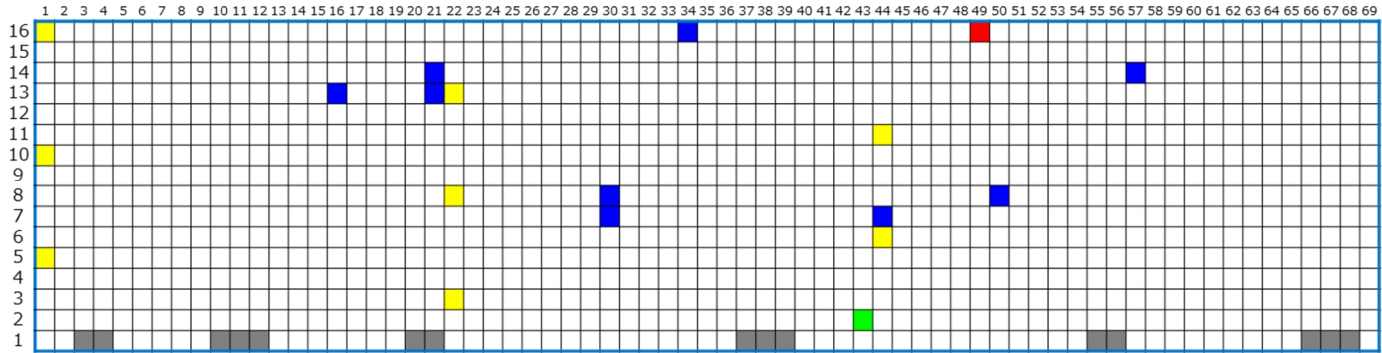
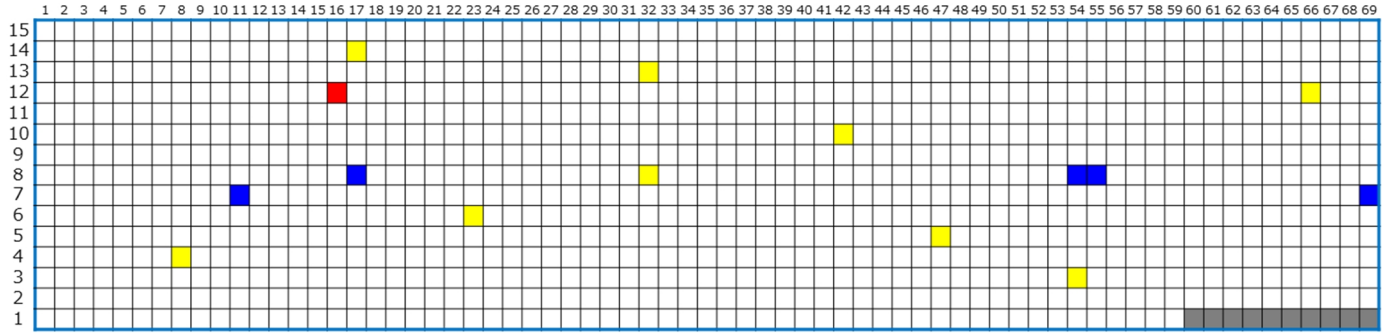


図5 燃料取替用水タンク胴板及び天井板の測定結果

○ 大飯 1 号炉 燃料取替用水タンク胴板



○ 大飯 2 号炉 燃料取替用水タンク胴板



(大飯 1 号炉凡例)

- : 表 4 及び表 5 中の測定箇所
- : 表 4 中の測定箇所
- : 表 8 中の測定箇所
- : 図 5 中の測定箇所
- : 放射能濃度確認対象物対象外

(大飯 2 号炉凡例)

- : 表 4 中の測定箇所
- : 表 9 中の測定箇所
- : 図 5 中の測定箇所
- : 放射能濃度確認対象物対象外

図 5 中の試料採取箇所

試料名
1u-7-30
1u-7-44
1u-8-30
1u-8-50
1u-13-16
1u-13-21
1u-14-57
1u-14-21
1u-16-34
2u-7-11
2u-7-69
2u-8-17
2u-8-54
2u-8-55

図 6 大飯 1, 2 号炉 燃料取替用水タンク 胴板の試料採取箇所