

2/5 からの修正箇所を赤字で示す。

2021年2月10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.3

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 ($0.12\mu\text{Sv/h}$ 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、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。

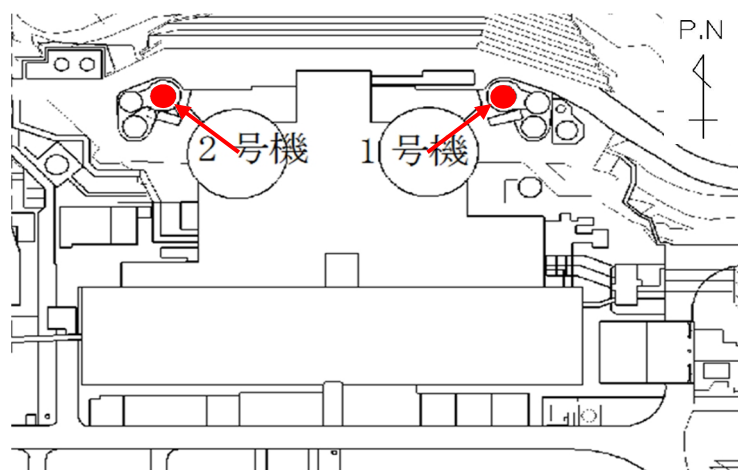


図1 原子炉格納容器と燃料取替用水タンクの位置関係

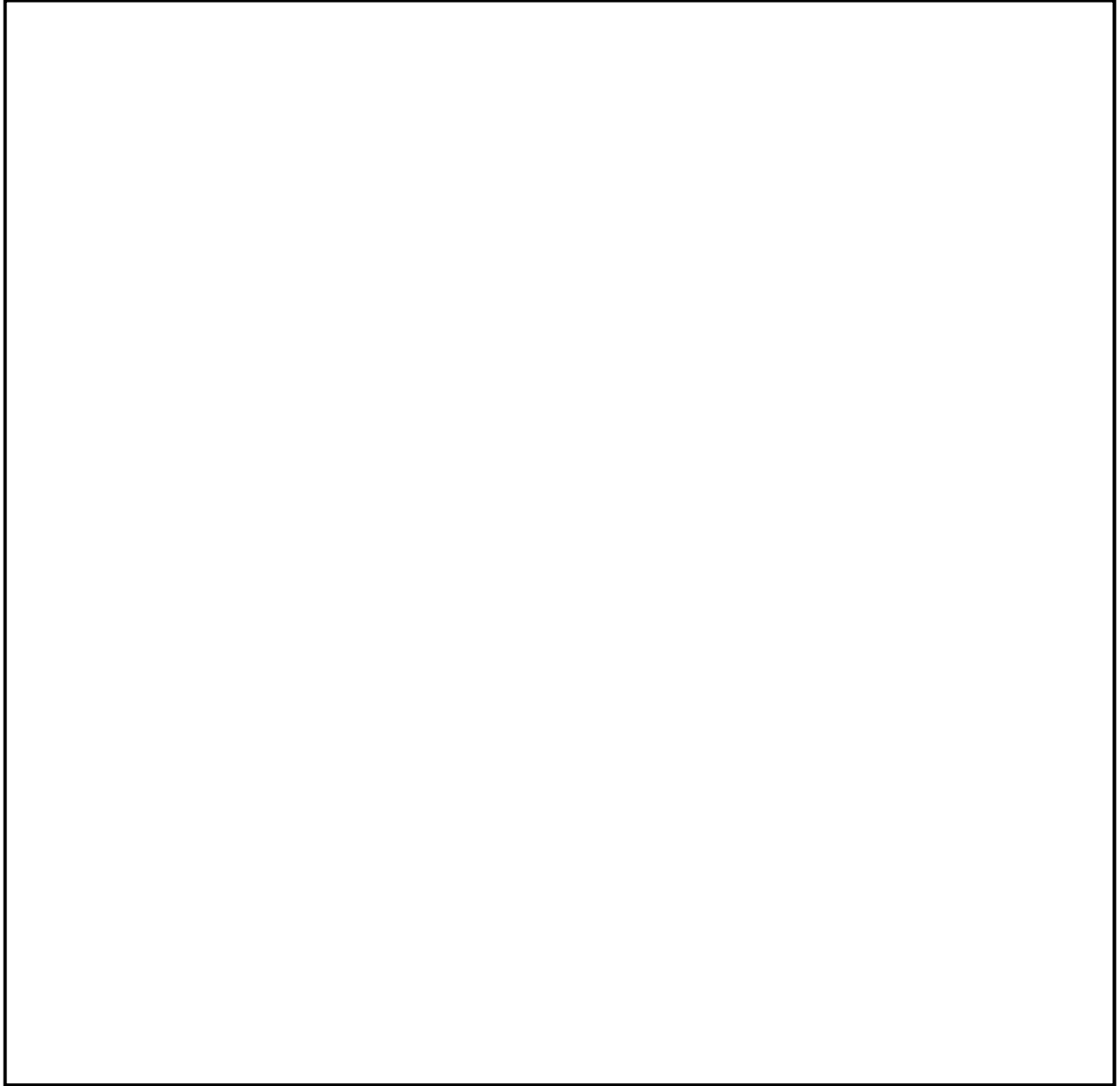


図 2 原子炉格納容器等の平面図及び断面図

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) 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. 33 核種からの放射性物質の抽出

放射能濃度確認対象物は、1 次冷却材による二次的な汚染であり、放射化汚染は無く、トラブル及び燃料破損も無く、かつ材質は金属（ステンレス鋼）であり、解体・除染後約 15 年経過している。

33 核種のうち、半減期が約 1 年以下の短半減期の放射性物質については、十分減衰していることから、**Sc-46、Mn-54、Fe-59、Co-58、Zn-65、Nb-95、Ru-106、Ag-110m、Sb-124、Te-123m、Tb-160、Ta-182** は除外する。

また、コンクリート等の放射化により生成する核種（**Ca-41、Fe-55、Ag-108m、Ba-133、Eu-152、Eu-154**）は、放射能濃度確認対象物の汚染源では無いことから除外する。

従って、放射能濃度確認対象物の二次的な汚染に影響がある可能性がある放射性物質として、**H-3、C-14、Cl-36、Co-60、Ni-59、Ni-63、Nb-94、Sr-90、Tc-99、I-129、Cs-134、Cs-137、Pu-239、Pu-241、Am-241** を確認対象として抽出する。

b. 大飯 1 号炉及び 2 号炉の運転履歴等の考慮

大飯 1 号炉及び 2 号炉については運転開始から放射能濃度確認対象物解体までの間、放射性物質による汚染に影響を及ぼすような事故、トラブル及び燃料破損は発生していないことから、二次的な汚染における **Cs-137** を代表とする FP 核種の影響は僅かとなることから、FP 核種（**Sr-90、I-129、Cs-134、Cs-137、Pu-239、Pu-241、Am-241**）は除外可能と考えられるが、FP 核種についても確認する。

c. 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 2 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 2 に示す通り、**Co-60** の D/C が最大値となった。

表2 放射能濃度確認対象物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 | |
| H-3 | |
| C-14 | |
| Co-60 | |
| Sr-90 | |
| Nb-94 | |
| Cs-134 | |
| Cs-137 | |
| Pu-239 | |
| Am-241 | |

※ 試料採取箇所は図6に示す。

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 はPWRの充填固化体のスケーリングファクタを基にD/Cを算出した。表3にNi-59、Ni-63、Tc-99、I-129 及び Pu-241 の算出結果、表4にCl-36の算出結果を示す。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3及び表4に示す通り、いずれもCo-60のD/Cが最大値となった。

表3 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年度の平均値：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 に対する Co-60 の D/C の比率 |
|----------------------|-------------------------|-----------|----------------------------------|
| 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-04 | 6.70E-08 |
| 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

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 4 大飯 1・2号炉の濃縮廃液の難測定核種の分析結果を基に算出した D/C
(2004~2006 年度の平均値 : 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 に対する Co-60 の D/C の比率 |
|-------|----------------------------|----------|----------------------------------|
| Co-60 | 2.07E+02 | 2.07E+03 | 1 |
| Cl-36 | 3.53E-02 | 3.53E-02 | 1.71E-05 |

ここで、表 2 に示す結果において、Co-60 に次いで Cs-137 の放射能濃度が高い値であったことから、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 放射能濃度となった部位に対して、2021 年 1 月に Ge 波高分析装置を用いて核種分析を行った。表 5 に核種分析結果を示す。

表 5 に示す通り、Cs-137 放射能濃度は検出限界値未満であり、保守的に Cs-137 が検出限界相当の放射能濃度であると仮定した場合においても、Cs-137/Co-60 の放射能濃度比は約 1/10 であった。

以上のことから、Co-60 が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である。

表 5 放射能濃度確認対象物の核種分析結果 (2021 年 2 月 1 日時点まで減衰補正した値)

| 試料名※ | Co-60 | | Cs-137 | | Cs-137 の D/C に対する Co-60 の D/C の比率 |
|----------|--------------|----------|--------------|------------|-----------------------------------|
| | 放射能濃度 (Bq/g) | D/C | 放射能濃度 (Bq/g) | D/C | |
| 1u-16-49 | 6.19E-04 | 6.19E-03 | < 6.04E-05 | < 6.04E-04 | < 9.75E-02 |
| 2u-12-16 | 4.80E-04 | 4.80E-03 | < 7.04E-05 | < 7.04E-04 | < 1.47E-01 |

※ 試料採取箇所は図 6 に示す。

(2) 公開文献との整合性確認

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、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 Co-60 以外の放射性物質が僅かであることが示されており、当該文献と 1.2(1) 項に示す結果は概ね整合している。

【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 6 年後（解体廃棄物） | | | | |
|------|--------------------|--------|---------------|---------------|---|
| | 放射化物 | | | 汚染物 | |
| | ステンレス | 炭素鋼 | コンクリート | 汚染 | 燃料損傷 |
| 最重要 | Co-60 | Co-60 | Eu-152 | Co-60 | Co-60 |
| 1 桁目 | | | Co-60 | | |
| 2 桁目 | | | H-3 Eu-154 | | Sr-90 Cs-137 Pu-238 |
| 3 桁目 | | 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

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 **6** 及び表 **7** 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 **6** 及び表 **7** 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 **6** 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 7 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 5 に示す。表 5 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**となった。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)

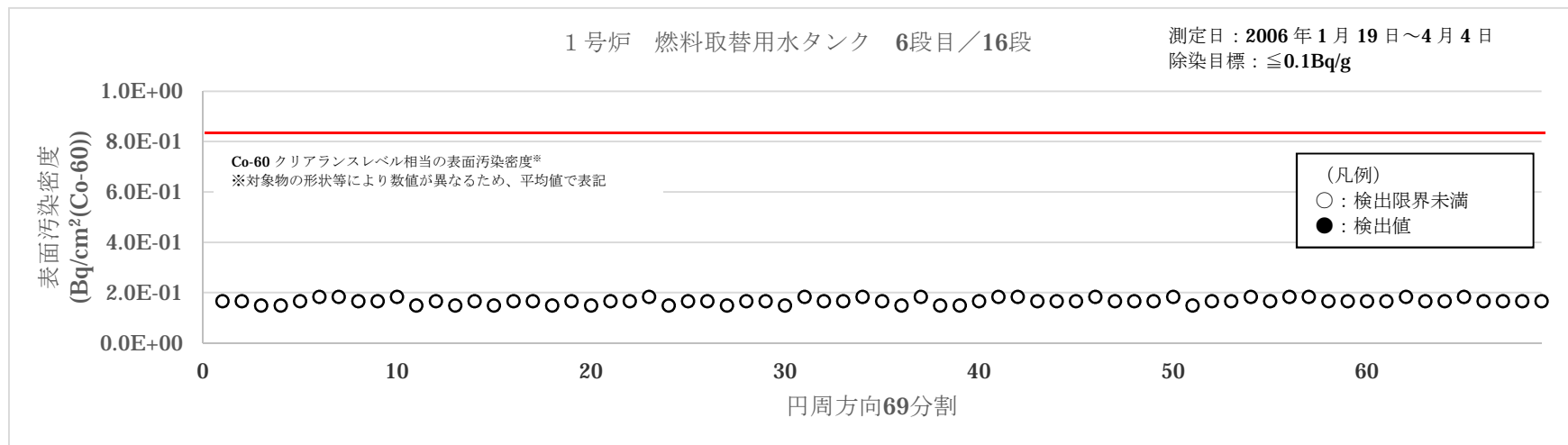
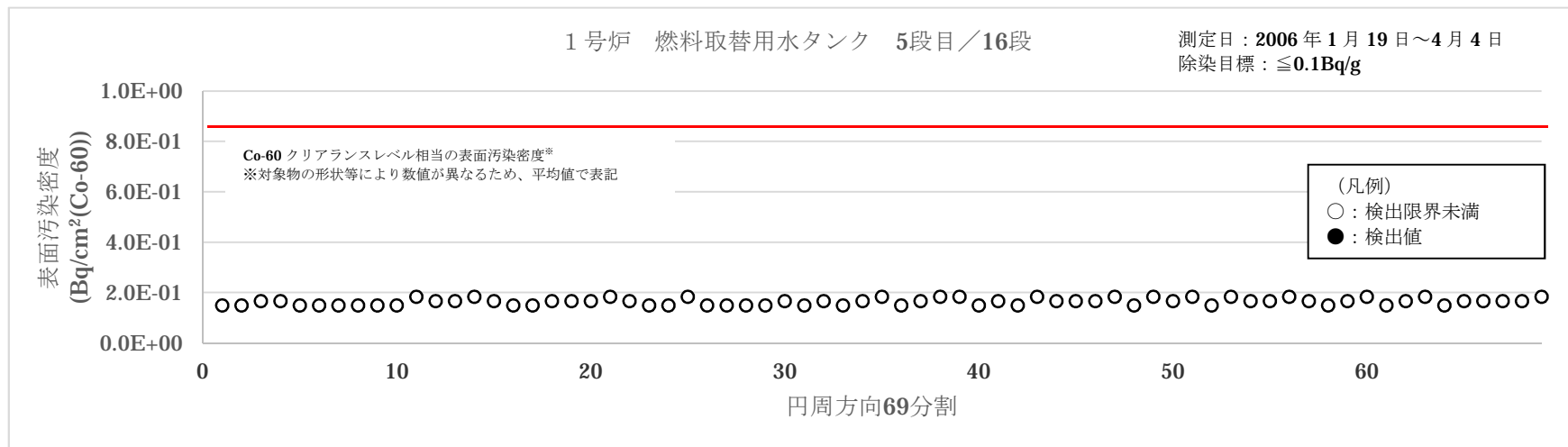


図3 大飯1号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (3/8)



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)

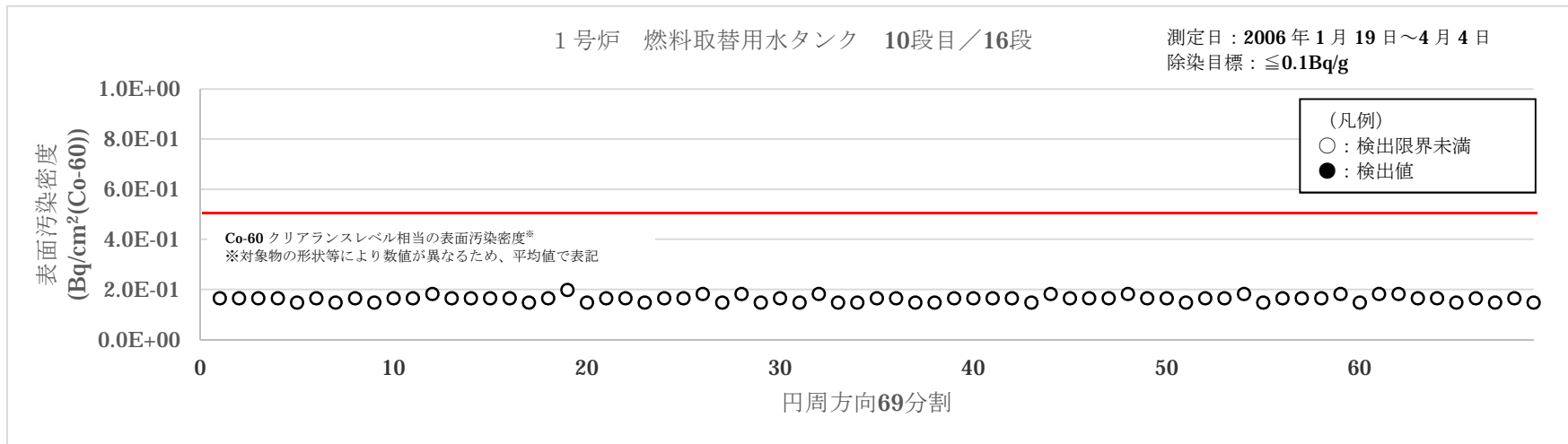


図3 大飯1号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (5/8)

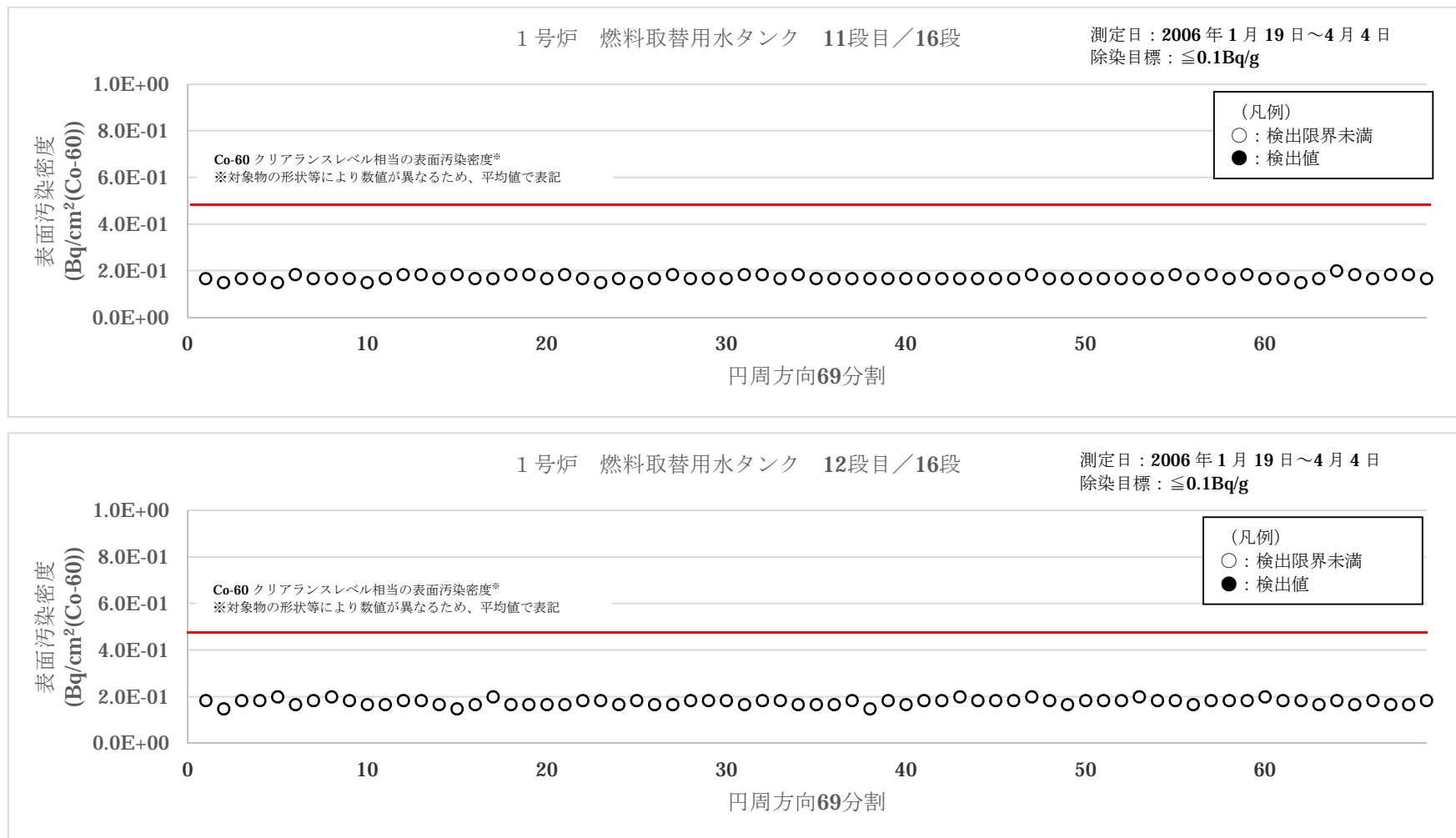


図3 大飯1号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (6/8)

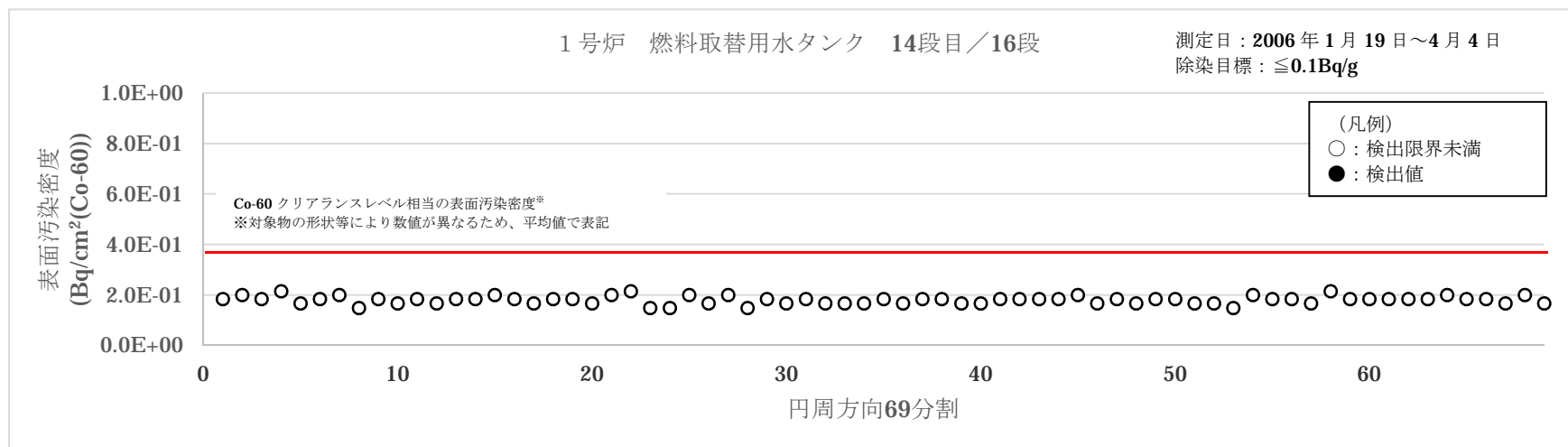


図3 大飯1号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (7/8)

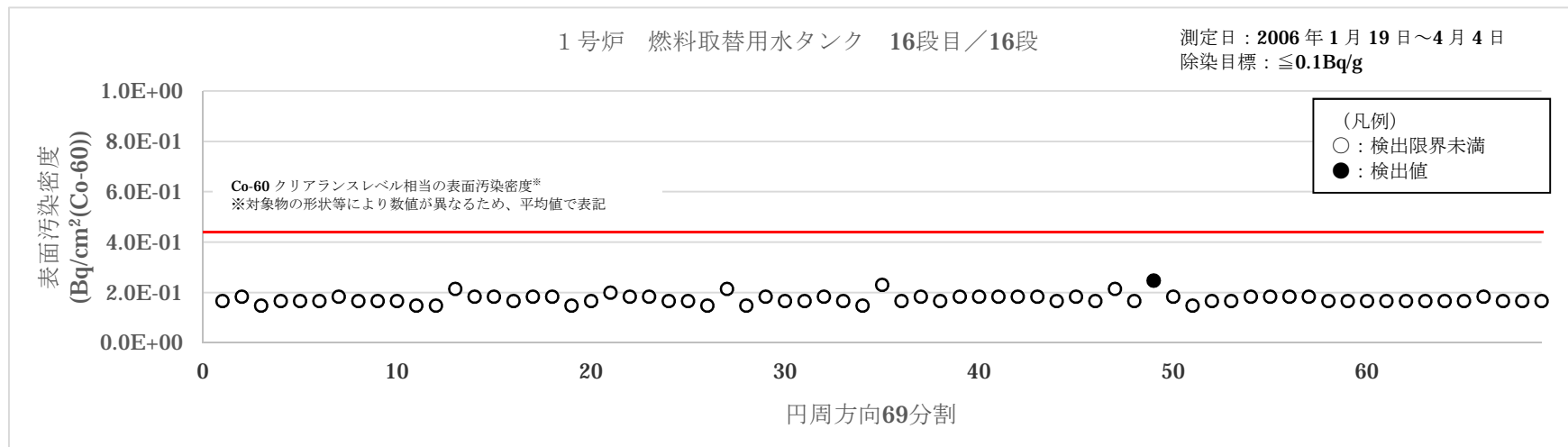
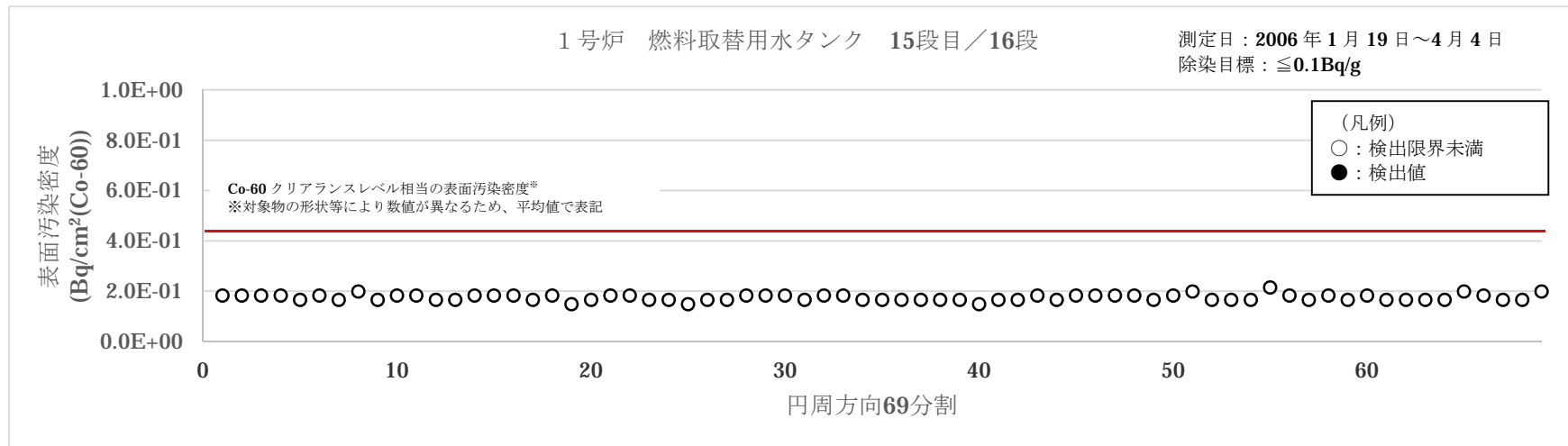


図3 大飯1号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (8/8)

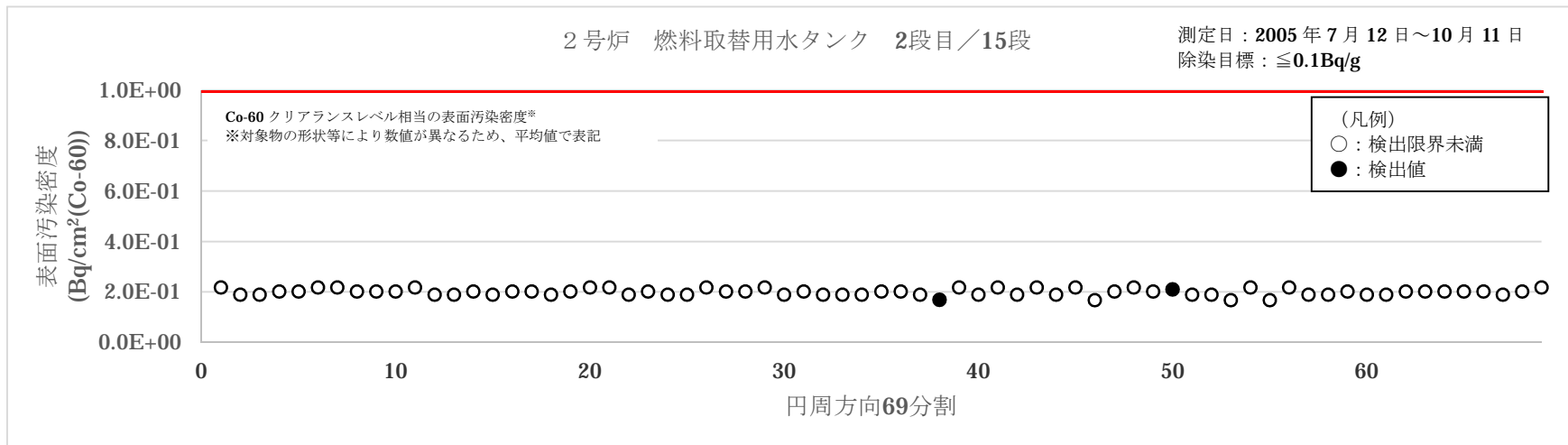
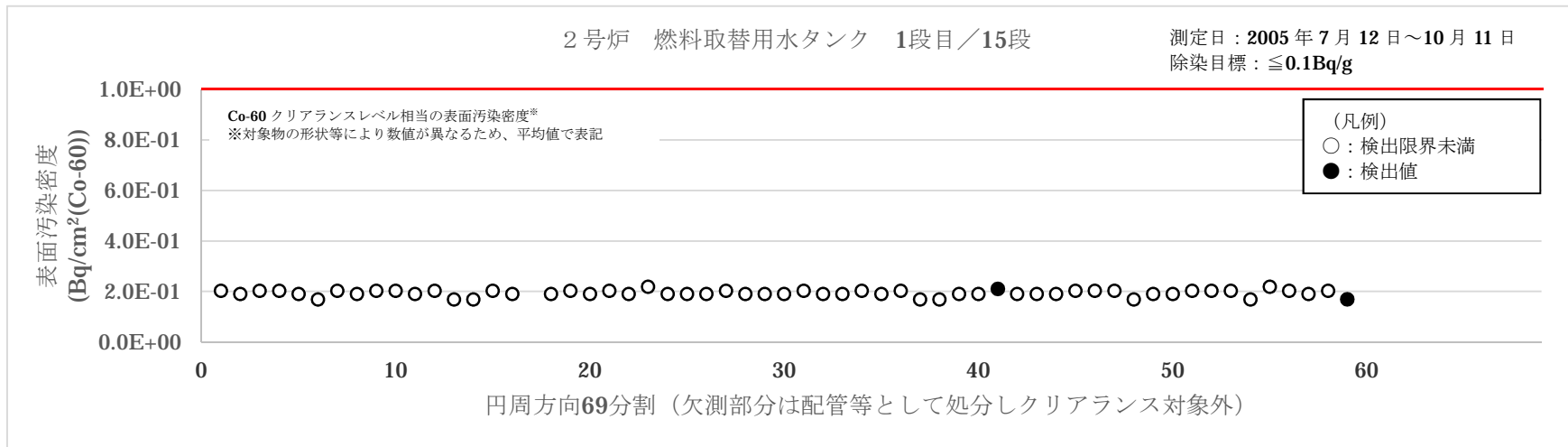


図4 大飯2号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (1/8)

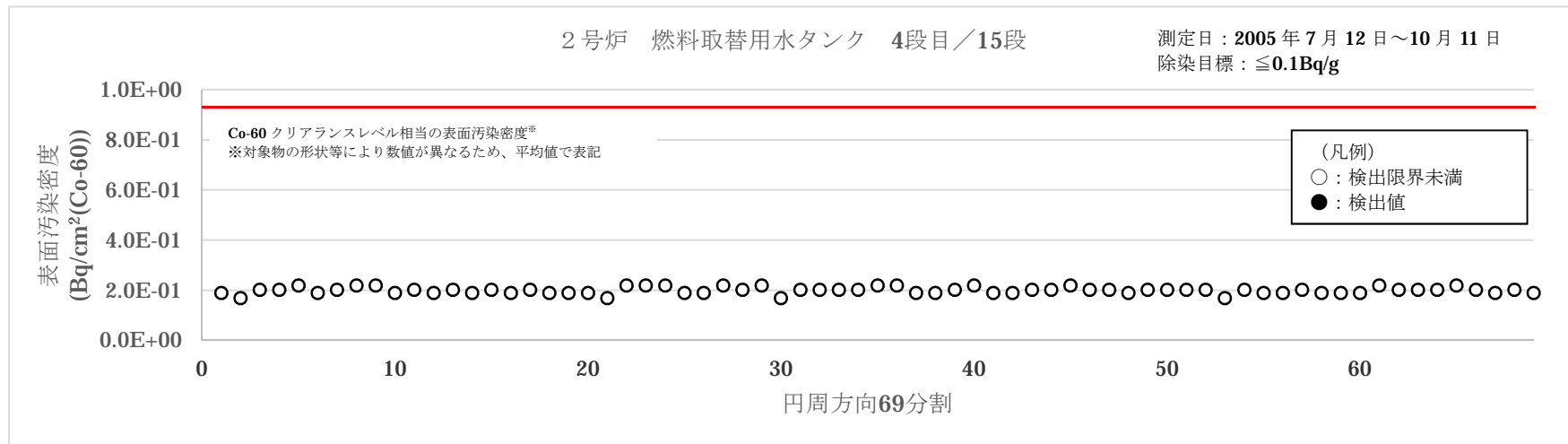
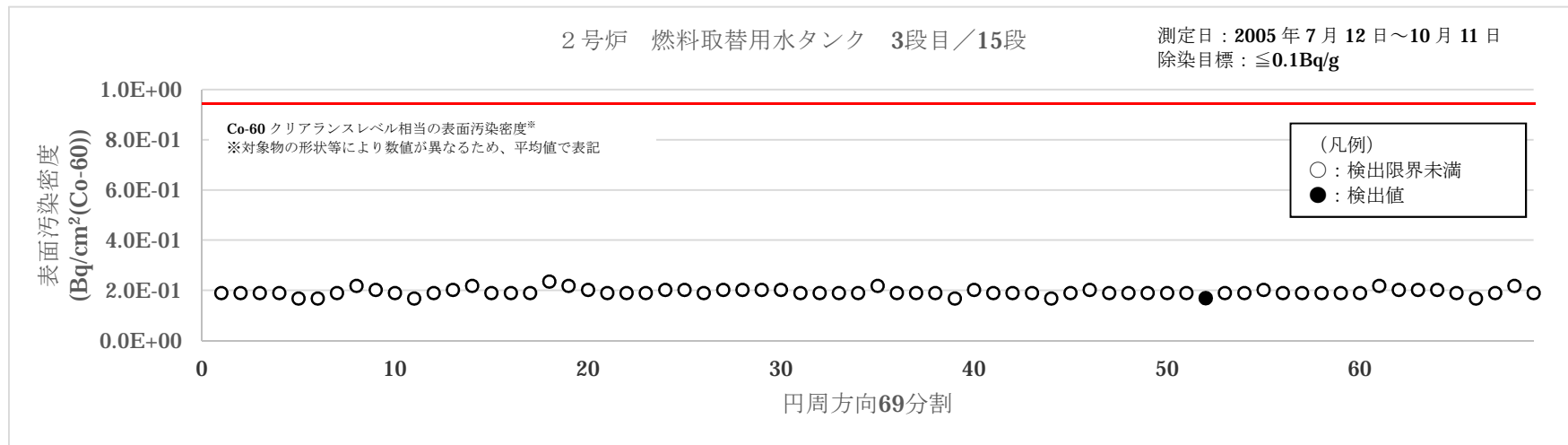


図4 大飯2号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (2/8)

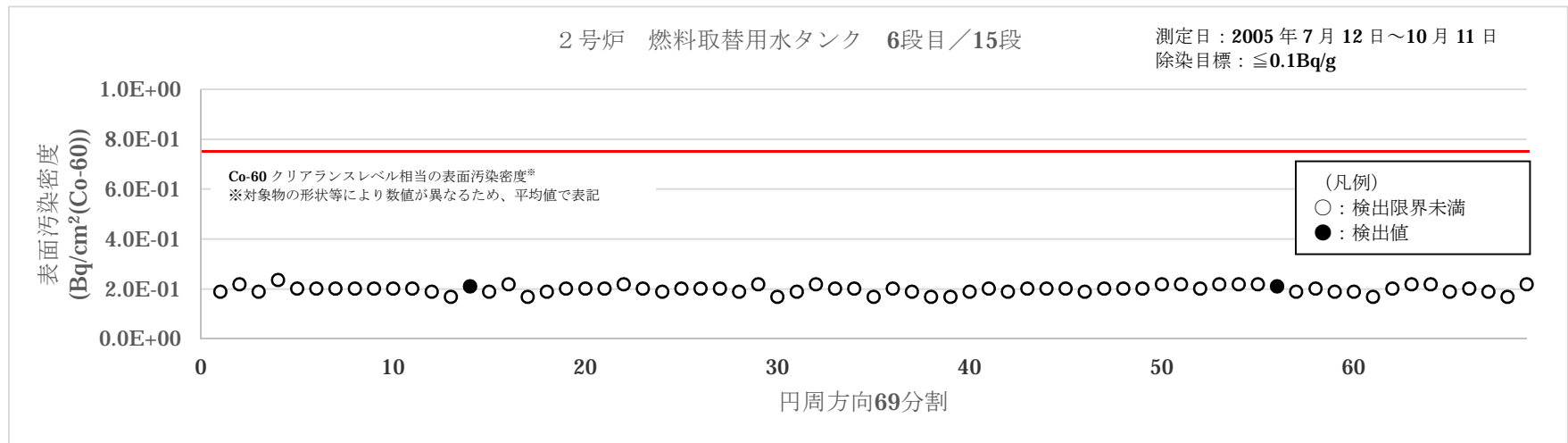
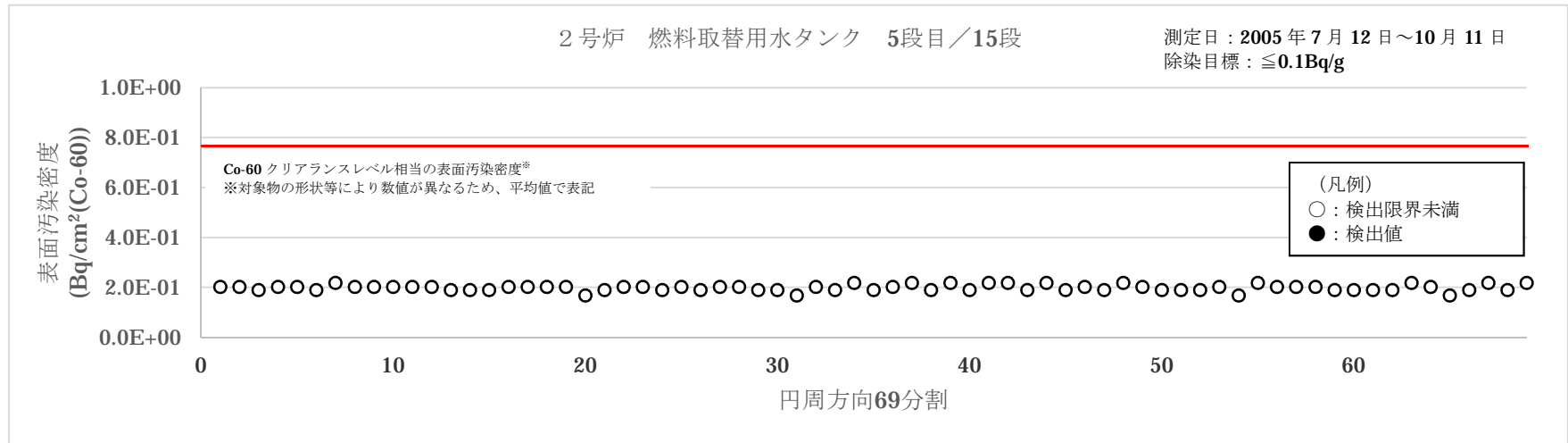


図4 大飯2号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (3/8)

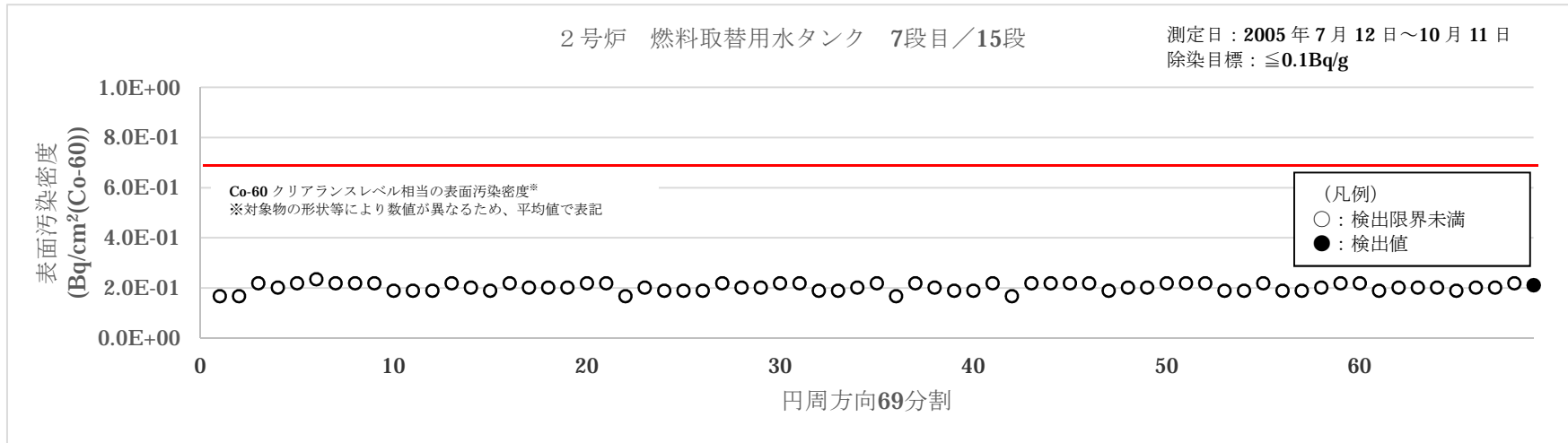


図4 大飯2号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (4/8)

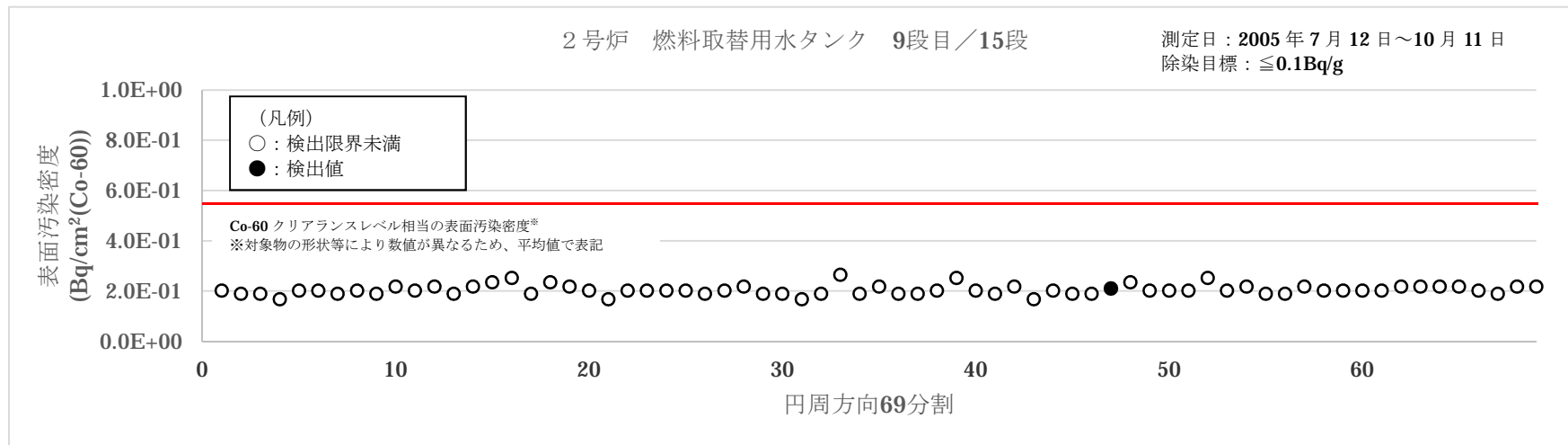


図4 大飯2号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (5/8)

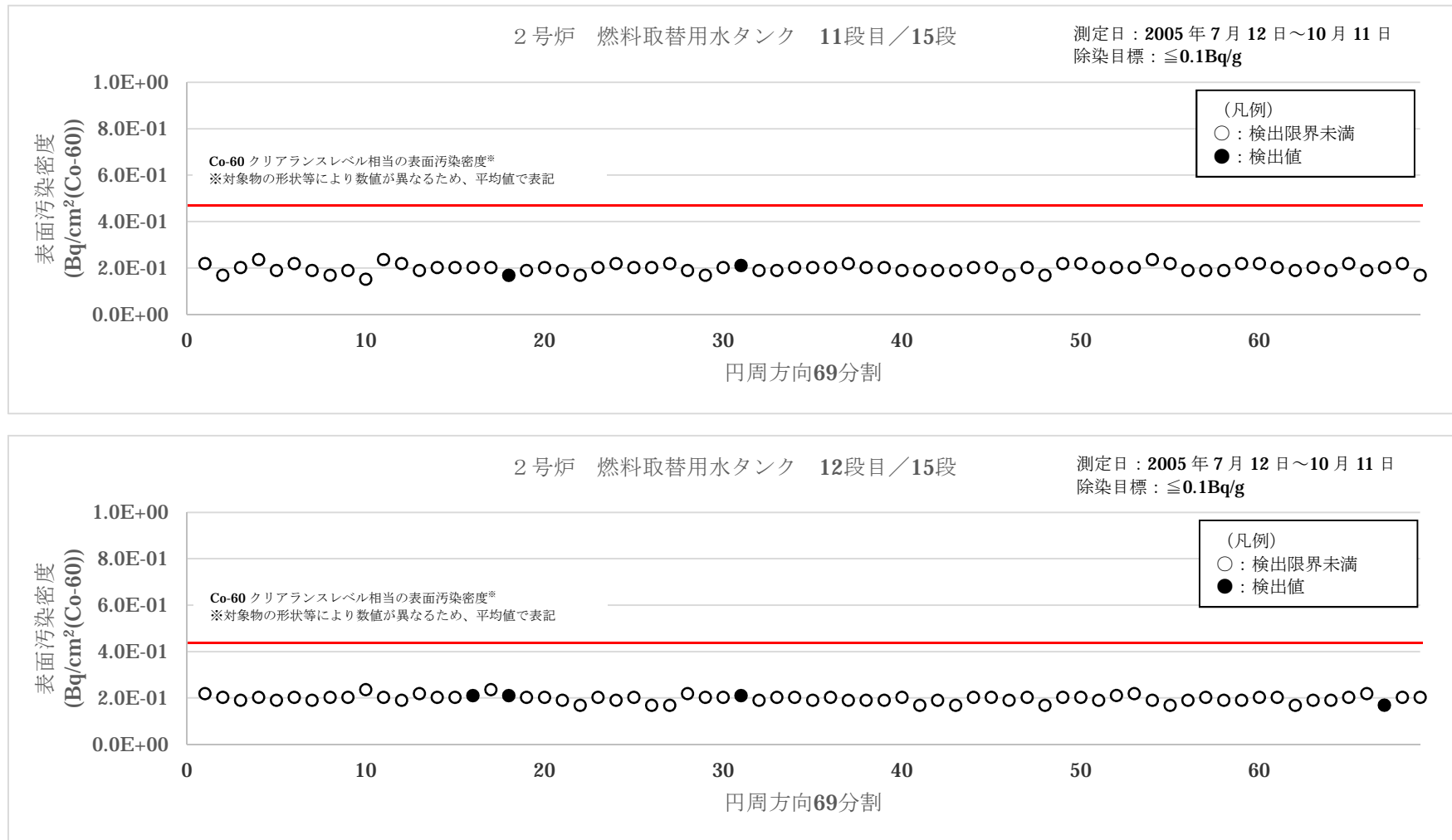


図4 大飯2号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (6/8)

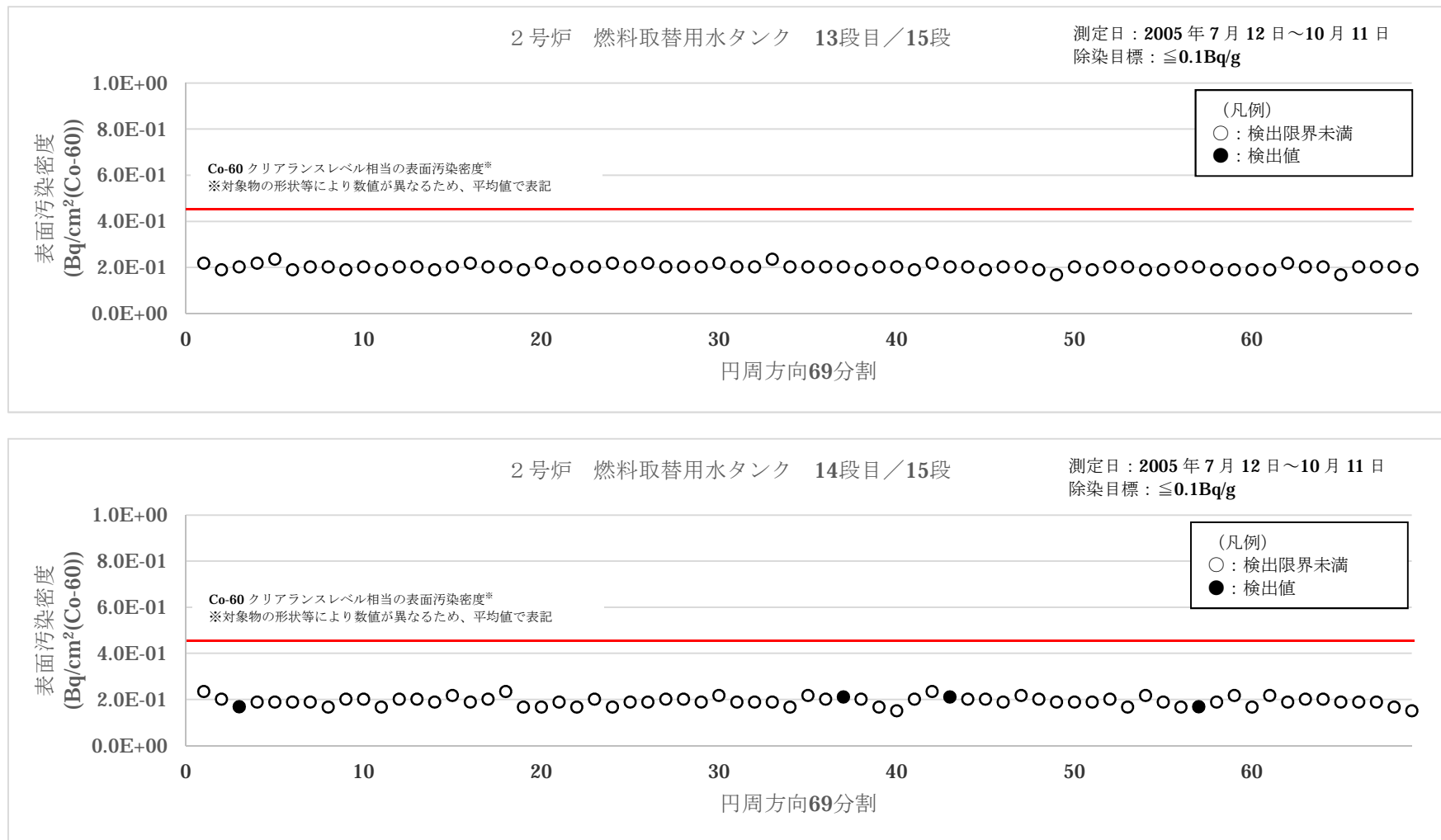


図4 大飯2号炉 燃料取替用水タンク表面汚染密度測定結果 (7/8)



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 $4.6\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 以下であり、全ての試料において、**D/C (Co-60)** は1以下となった。

【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

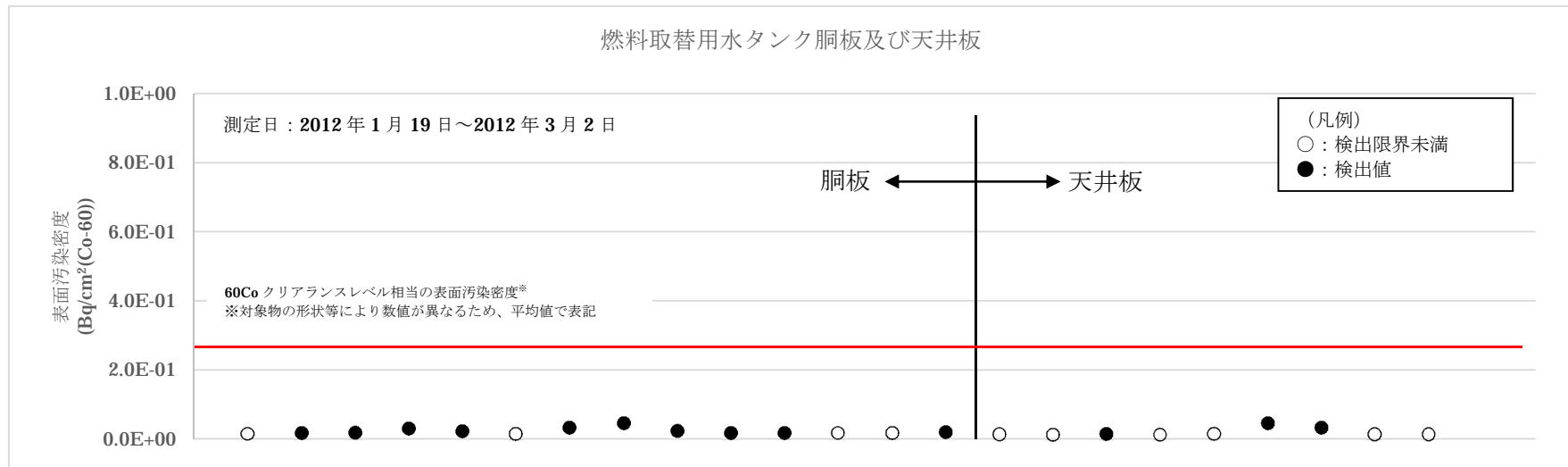
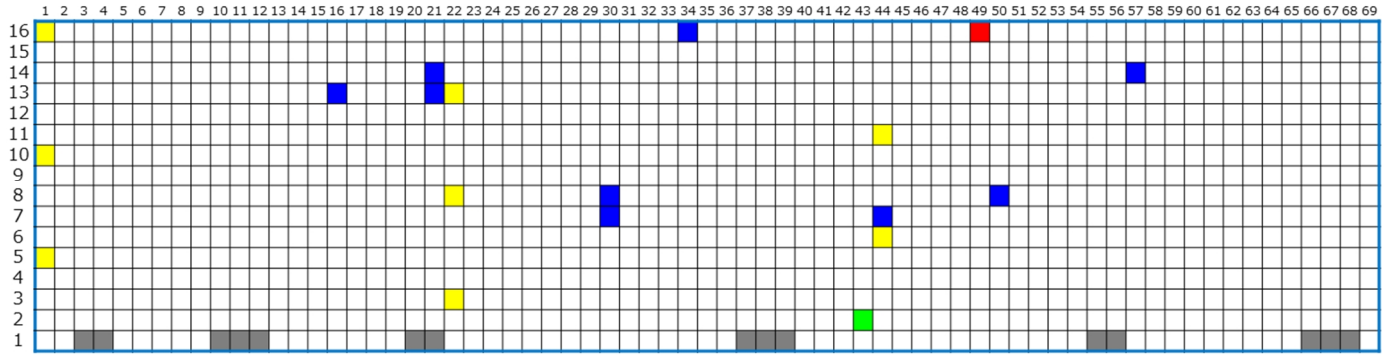
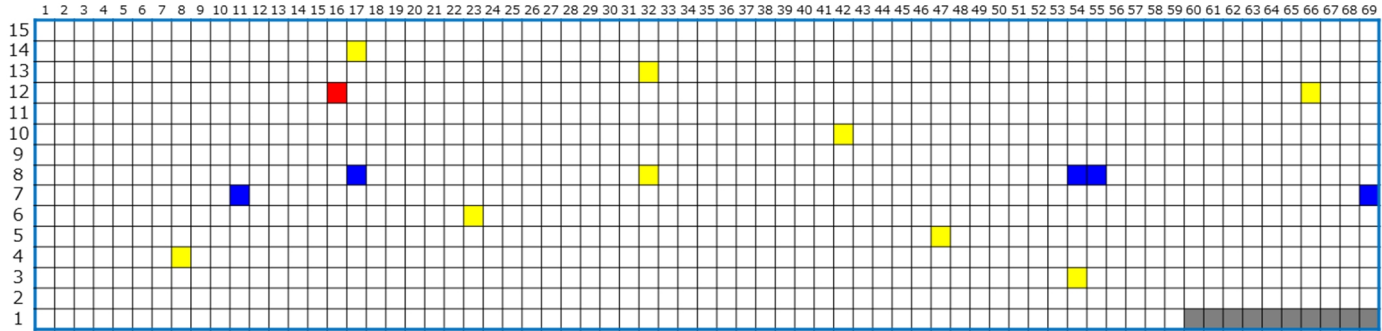


図5 燃料取替用水タンク胴板及び天井板の測定結果

○ 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 2 及び表 6 中の測定箇所
- : 表 5 中の測定箇所
- : 表 6 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 5 中の測定箇所
- : 表 7 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