

島根1, 2号炉 低圧タービン認可申請書の核種選定について

1. 33核種からの15核種への絞り込みについて

- ・33核種からの絞り込みは、「島根1, 2号炉低圧タービン認可申請書の核種選定の基本ロジックについて(令和3年2月17日)」に示すとおり15核種とした。

【選定結果】(15核種)

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

2. 核種分析結果について

- ・放射能濃度確認対象物と同様に主蒸気にさらされていたタービン建物の機器(1号炉:給水加熱器(2007年度発生), 2号炉:低圧タービン動翼(放射能濃度確認対象物と同じ使用履歴))の核種分析結果を基に各放射性物質(H-3, Mn-54, Co-60, Sr-90, Cs-134, Cs-137)のD/Cを算出した結果, Co-60のD/Cが最大となった。Co-60以外の核種の比率の割合は, 1号炉が約5.9%, 2号炉が約1.3%であり, Co-60が90%以上となった(参考1)。
- ・島根1号炉の制御棒駆動系のインナーフィルター(1998年度)及び2号炉の濃縮廃液(2011年度)のCl-36並びにCs-134以外の13種類の核種分析結果(Ni-59はJNES-SSレポートに基づき算出)を基に, 次に島根1, 2号炉の濃縮廃液(2009年度)のCl-36の核種分析結果を基にD/Cを算出した結果, Co-60のD/Cが最大値となった。Co-60以外の核種の比率の割合は, 1号炉が約0.0021%, 2号炉が約0.018%, Cl-36は1, 2号炉とも4乗%以下であり, Co-60が90%以上となった。(参考2~4)。

3. 核種の選定について

- ・低圧タービン(低圧ダイヤフラム第7段噴口部及び低圧内部車室入口側)の分析結果から, Co-60以外の核種の比率の割合は, 低圧ダイヤフラムで約2.2%, 低圧内部車室で約5.2%であり, Co-60が90%以上である。(参考5)。
- ・Co-60の核種の比率の割合は, 参考1~参考5のいずれも90%以上である。
- ・以上より, 低圧タービンの主要な核種は, Co-60を選定する。

4. 選定結果の妥当性

- ・低圧タービンの核種は, 原子炉内で生成した核種が原子炉水から主蒸気に移行して付着したものである。
- ・制御棒駆動系のインナーフィルターの核種は, 原子炉水の接触によるものである(参考6)。
- ・JNES-SS-0403の図-1により, 原子炉水, 固体状廃棄物及び濃縮廃液には移行及び濃縮による関係が成立することが示されている。島根1, 2号炉の状況はJNES-SS-0403の考え方と合致している(参考7)。このため, 原子炉水, 制御棒駆動系のインナーフィルター及び濃縮廃液には関係が成立する。
- ・低圧タービン, 制御棒駆動系のインナーフィルター及び濃縮廃液は, 原子炉水の核種が生成源である。生成源が原子炉水の核種のため, 低圧タービンの核種の選定に制御棒駆動系のインナーフィルター及び濃縮廃液の分析結果を適用することは妥当である。

以上

(参考1) 島根1, 2号炉のタービン建物の機器の放射化学分析結果

放射性物質 <sup>※1</sup>	1号炉		2号炉	
	D/C	比率 <sup>※2</sup>	D/C	比率 <sup>※2</sup>
H-3	<1.84E-05	<1.31E-04	<8.83E-06	<1.69E-05
Mn-54	<1.75E-04	<1.25E-03	<3.92E-04	<7.49E-04
Co-60	1.40E-01	1	5.23E-01	1
Sr-90	<1.08E-04	<7.71E-04	<9.49E-05	<1.82E-04
Cs-134	<1.42E-03	<1.01E-02	<1.11E-03	<2.12E-03
Cs-137	<7.06E-03	<5.03E-02	<5.44E-03	<1.04E-02
—	比率の合計	1.06E+00	比率の合計	1.01E+00
—	Co-60の比率の割合 <sup>※3</sup>	94.1%	Co-60の比率の割合 <sup>※3</sup>	98.7%
—	Co-60以外の比率の割合 <sup>※4</sup>	5.9%	Co-60以外の比率の割合 <sup>※4</sup>	1.3%

※1：「放射能濃度の測定及び評価の方法の認可について（内規）」に基づき重要10核種から分析する核種を選定した。コンクリート起源のEu-152及びEu-154を除外，燃料破損がないため，Cs-137をFP核種の代表とし，Pu-239及びAm-241を除外した。

※2：各放射性物質のD/Cに対するCo-60のD/Cの比率

※3：Co-60の比率／比率の合計（参考2～参考5共通）

※4：Co-60以外の核種の比率の合計／比率の合計（参考2～参考5共通）

（注1）「<」は検出限界値未満であることを示す（参考1～参考6共通）

（注2）2014年度に実施した核種分析結果を申請時（2020年4月7日時点）に減衰補正した。

(参考2) 島根1号炉の制御棒駆動系のインナーフィルターの  
 難測定核種の分析結果等を基に算出したD/C  
 (1998年度<sup>※1</sup>の分析結果)

放射性物質 <sup>※2</sup>	1号炉		
	放射能濃度 <sup>※3</sup>	D/C	比率 <sup>※4</sup>
H-3	<1.04E-01	<1.04E-03	<2.09E-08
C-14	3.96E-03	3.96E-03	7.95E-08
Co-60	4.98E+03	4.98E+04	1
Ni-59 <sup>※5</sup>	4.35E-01	4.35E-03	8.74E-08
Ni-63	5.44E+01	5.44E-01	1.09E-05
Sr-90	<1.67E-03	<1.67E-03	<3.35E-08
Nb-94	2.98E-02	2.98E-01	5.98E-06
Tc-99	<1.57E-04	<1.57E-04	<3.15E-09
I-129	<2.15E-04	<2.15E-02	<4.32E-07
Cs-137	<1.69E-02	<1.69E-01	<3.39E-06
Pu-239	5.64E-04 <sup>※6</sup>	5.64E-03	1.13E-07
Pu-241	5.64E-04 <sup>※6</sup>	5.64E-05	1.13E-09
Am-241	5.64E-04 <sup>※6</sup>	5.64E-03	1.13E-07
—	比率の合計		1.00E+00
—	Co-60の比率の割合		99.9979%
—	Co-60以外の比率の割合		0.0021%

- ※1：1号炉の対象物の発生時期（1994年度～1997年度）に近い分析結果を選定  
 ※2：スケーリングファクタの継続申請の核種を選定し核種分析を実施  
 ※3：JNES-EV レポート（JNES-EV-2012-9006）において代表性を有する試料と認められた  
 島根1号炉の制御棒駆動系のインナーフィルターから算出した放射能濃度（Bq/g）  
 ※4：各放射性物質のD/Cに対するCo-60のD/Cの比率  
 ※5：JNES-SS レポート（JNES-SS-0403）に基づき算出  
 ※6：保守的に全αの分析結果とした。全α核種には、Pu-239、Pu-241及びAm-241を含む。

(参考3) 島根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  
(2011年度<sup>※1</sup>の分析結果)

放射性物質 <sup>※2</sup>	2号炉		
	放射能濃度 <sup>※3</sup>	D/C	比率 <sup>※4</sup>
H-3	8.69E+01	8.69E-01	4.16E-05
C-14	1.29E-02	1.29E-01	6.17E-06
Co-60	2.09E+03	2.09E+04	1
Ni-59 <sup>※5</sup>	6.59E-01	6.59E-03	3.15E-07
Ni-63	8.24E+01	8.24E-01	3.94E-05
Sr-90	3.00E-02	3.00E-02	1.44E-06
Nb-94	6.23E-02	6.23E-01	2.98E-05
Tc-99	<2.29E-04	<2.29E-04	<1.10E-08
I-129	<2.19E-04	<2.19E-02	<1.05E-06
Cs-137	1.31E-01	1.31E+00	6.27E-05
Pu-239	3.28E-04 <sup>※6</sup>	3.28E-03	1.57E-07
Pu-241	3.28E-04 <sup>※6</sup>	3.28E-05	1.57E-09
Am-241	3.28E-04 <sup>※6</sup>	3.28E-03	1.57E-07
—	比率の合計		1.00E+00
—	Co-60の比率の割合		99.982%
—	Co-60以外の比率の割合		0.018%

※1：2号炉の対象物の発生時期（2016年度）に近い分析結果を選定

※2：スクーリングファクタの継続申請の核種を選定し核種分析を実施

※3：濃縮廃液から算出した放射能濃度（Bq/g）

※4：各放射性物質のD/Cに対するCo-60のD/Cの比率

※5：JNES-SSレポート（JNES-SS-0403）に基づき算出

※6：保守的に全αの分析結果とした。全α核種には、Pu-239、Pu-241及びAm-241を含む。

(参考4) 島根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  
(2009年度)

放射性 物質	1号炉			2号炉		
	放射能濃度※1	D/C	比率※2	放射能濃度※1	D/C	比率※2
C1-36	1.06E-03	1.06E-03	5.41E-08	2.38E-03	2.38E-03	1.78E-07
Co-60	1.96E+03	1.96E+04	1	1.34E+03	1.34E+04	1
—	比率の合計		1.00E+00	比率の合計		1.00E+00
—	Co-60の比率の割合		99.9999946%	Co-60の比率の割合		99.999982%
—	Co-60以外の比率の割合		0.0000054%	Co-60以外の比率の割合		0.000018%

※1：濃縮廃液等から算出した放射能濃度 (Bq/g)

※2：各放射性物質のD/Cに対するCo-60のD/Cの比率

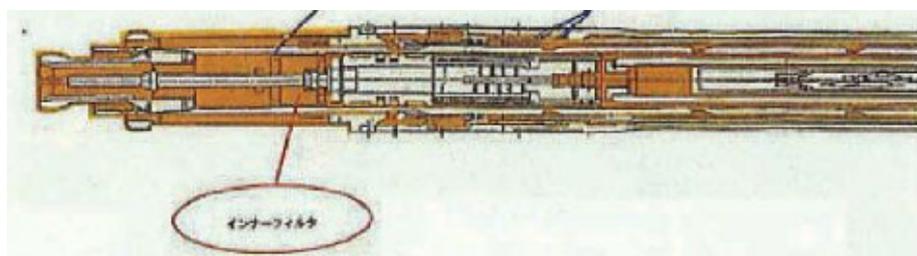
(参考5) 島根2号炉低圧タービンの分析結果を基に算出したD/C

放射性物質 <sup>※1</sup>	低圧ダイヤフラム			低圧内部車室		
	放射能濃度	D/C	比率 <sup>※2</sup>	放射能濃度	D/C	比率 <sup>※2</sup>
Co-60	8.38E-01	8.38E+00	1	5.41E-02	5.41E-01	1
Mn-54	<1.73E-02	<1.73E-01	<2.06E-02	<2.68E-03	<2.68E-02	<4.95E-02
Co-58	<1.82E-02	<1.82E-02	<2.17E-03	<3.01E-03	<3.01E-03	<5.56E-03
—	比率の合計		1.02E+00	比率の合計		1.06E+00
—	Co-60 の比率の割合		97.8%	Co-60 の比率の割合		94.8%
—	Co-60 以外の比率の割合		2.2%	Co-60 以外の比率の割合		5.2%

※1：「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 原子力安全委員会）」のBWRの汚染物の2桁目までの核種を選定

※2：各放射性物質のD/Cに対するCo-60のD/Cの比率

(参考6) 制御棒駆動系のインナーフィルターが原子炉水と接触した根拠



(1) 試料の代表性について

JNES-SS-0711 では、固体状廃棄物の分析により SF 等継続使用を判断する場合の試料採取方法を以下のように述べている。

固体状廃棄物では、放射能濃度に個体差がある可能性があるため、固体状廃棄物をサンプリング対象とする場合には、一次冷却水中の難測定核種の濃度変動を捉える観点から、採取する試料は、一次冷却水と直接接触していた放射能濃度が比較的高いと想定される固体状廃棄物を選定することが適当である。

(JNES-SS-0711 より抜粋)

したがって、事業者が分析した試料の代表性について確認した。

事業者が分析した試料一覧を表 4. 1 に、試料の採取位置を図 4. 6 に示す。分析試料はいずれも制御棒駆動系から採取しており、平成 12 年度はシールリングを、平成 13 年度はフィルタを分析している。これらの採取位置は、図 4. 6 に示すとおり、いずれも原子炉水（一次冷却水）によって直接汚染される部位である。また、発電所での聞き取り調査の結果、試料選定にあたっては廃棄物の管理記録を元に表面線量の高い廃棄物を選定している。

以上から、事業者が分析した試料は JNES-SS-0711 の考え方に沿ったものであり、代表性のある試料と判断できる。

(出典) JNES-SS-1002 中国電力(株) 島根原子力発電所 2 号機の充填固化体の SF 等の平成 10 年度以降の継続使用について

(参考7) 原子炉水, 固体状廃棄物及び濃縮廃液の関係 (1/2)

本文1. で選定した島根1, 2号炉のCs-134, Ni-59, Cl-36を除く12核種の比率が原子炉水, 固体状廃棄物(制御棒駆動系のインナーフィルター)及び濃縮廃液の間で変動しないことがJNES-SS-0403で示されている。

1, 2号炉の状況がJNES-SS-0403の考え方と合致していることを下表に示す。

JNES-SS-0403の考え方	島根1, 2号炉の状況
<p><b>【前提】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・燃料破損<sup>※1</sup>, 大規模な原子炉構成材料の交換<sup>※2</sup>がないこと</li> <li>※1: FP核種が原子炉内で増加し比率に影響がある。</li> <li>※2: CP核種が原子炉内で増加し比率に影響がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1, 2号炉とも燃料破損<sup>※1</sup>及び大規模な原子炉構成材料の交換はない。<sup>※2</sup></li> <li>※1: 原子炉水のI-131放射能濃度に変動は見られない(3月9日提出補正書本文案第4図)。</li> <li>※2: 原子力施設運転管理年報(経済産業省, 原子力安全基盤機構)及び定期検査結果報告書(当社)に報告されていないこと及び原子炉水のCo-60放射能濃度(3月9日提出補正書本文案第4図)に変動は見られない。1号炉は, シュラウド等を2000年度に交換したが大規模な原子炉構成材料の交換に該当しない。</li> </ul>
<p><b>【Ni-63, Nb-94, Tc-99, Sr-90, Co-60, Cs-137, 全α (Pu-239, Pu-241 及び Am-241)】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・不揮発性(Ni-63/Co-60, Nb-94/Co-60, Tc-99/Co-60, Sr-90/Cs-137, 全α/Cs-137)の核種は液側に残存する。原子炉水の比率と濃縮廃液の比率は同等の関係が成立する。</li> <li>・固体状廃棄物のC-14及びI-129を除く核種はKey核種(Co-60, Cs-137)と一定の比率を示す。発生系統や汚染形態(直接又は間接汚染)が異なっても有意な差異はない。</li> <li>・原子炉水の核種比の変動を把握することにより固体状廃棄物の核種比の変動把握が</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1, 2号炉の運転条件(給水流量, 原子炉熱出力及び炉心全ウラン量等)に大きな変更はない。原子炉水から固体状廃棄物への移行, 原子炉から濃縮廃液への濃縮による移行挙動に変動はない。</li> <li>・制御棒駆動系のインナーフィルターは, 発生系統は原子炉系で, 汚染形態は原子炉水が接触する直接汚染である。</li> </ul>

JNES-SS-0403 の考え方	島根 1, 2 号炉の状況
可能	
<p><b>【C-14】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ C-14 は、原子炉冷却材中の 0-17 の放射化で生成する。運転条件が一定ならば C-14 の生成量に大きな変動はなく一定の移行挙動を示すことから、スケーリングファクタに大きな変動はない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1, 2 号炉の運転条件（給水流量, 原子炉熱出力及び炉心全ウラン量等）に大きな変更はない。</li> <li>・ 運転条件に変更がないため, C-14 の揮発性の特性は変わらない。原子炉水から固体状廃棄物への移行, 原子炉から濃縮廃液への濃縮による移行挙動は同じである。</li> </ul>
<p><b>【I-129】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ I-129 は検出が困難である。検出限界値を用いて算出した比率がスケーリングファクタと比べて有意な差異が生じる可能性がある。燃料破損が全くない場合は有意な変動はない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 上記の前提のとおり, 1, 2 号炉に燃料破損はない。</li> <li>・ 燃料破損がないため, 原子炉水, 固体状廃棄物及び濃縮廃液の関係に変動はない。</li> </ul>
<p><b>【H-3】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 原子炉冷却材中の H-3 濃度は, 各運転サイクルを通じてほぼ一定であること, 水と同じくプラント内で吸着・濃縮されることはない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 化学的な挙動が一定であるため, 原子炉水, 固体状廃棄物及び濃縮廃液の関係に変動はない。</li> </ul>

(2/2) に原子炉水, 固体状廃棄物 (炉水と接触した金属) 及び濃縮廃液との関係性を示す。

