

2020年 9 月 7 日
中国電力株式会社

二次的な汚染の評価について（コメント回答）

年月日	指摘事項
令和 2 年 6 月 26 日	汚染メカニズム（原子炉の運転状況等を踏まえた二次的な汚染の履歴、機構）及び計算に用いたパラメータの選定理由を説明すること。

【回答】

放射能濃度確認対象物である低圧タービンのダイヤフラムと内部車室の二次的な汚染の評価に当たっては、二次的な汚染の生成メカニズムを考慮して設定した沈着・剥離挙動モデル⁽¹⁾⁽²⁾を用いて評価した。

その計算過程においては、放射性物質の種類が合理的な範囲で幅広く選定されるよう、各入力条件を設定している。

1. 評価手順

(1) 二次的な汚染の生成メカニズム及び評価手順

原子炉内では、原子炉内の構成材の腐食に伴い発生した腐食生成物及び給水系から持ち込まれた腐食生成物が燃料棒表面の被覆管に付着した後、中性子照射を受けて放射化腐食生成物が生成される。加えて燃料棒表面に付着した酸化ウラン粒子から核分裂生成物が生成される。

これらの放射性物質は、一部は燃料交換に伴い原子炉外に持ち出されるが、一部は運転中に燃料棒表面から剥離することで原子炉冷却材中に移行し、その後、蒸気乾燥器、気水分離器で除去されるが、主蒸気中に僅かに放射性物質が含まれ低圧タービンに放射性物質が付着または沈着し二次的な汚染が生じる。

1号炉及び2号炉の汚染移行経路を、第1図「汚染移行経路」に示す。

二次的な汚染の生成メカニズムから第2図「低圧タービンの二次的な汚染の評価手順」に示すフローに従い、放射能濃度確認対象物の放射能濃度を評価した。

なお、本評価においては合理的な範囲で幅広く評価対象となる核種選定ができるよう、入力条件を設定した。

(2) 評価手順の妥当性

「審査基準」3. 1. 評価に用いる放射性物質の選定(1)イ②項「二次的な汚染を放射化計算法等に基づいた計算及び評価によって算出する場合については、放射性物質の種類が幅広く選定されるよう、合理的な範囲で当該計算及び評価がなされていること。」が要求事項であることから、二次的な汚染の評価対象核種の選定においては、核種が幅広く選定されるよう評価条件を設定し評

価している。評価条件を第1表「二次的な汚染の評価条件の概要」に示す。

二次的な汚染の評価対象核種の選定の評価においては、評価条件を許認可の値、公開文献、実機の分析データを使用している。

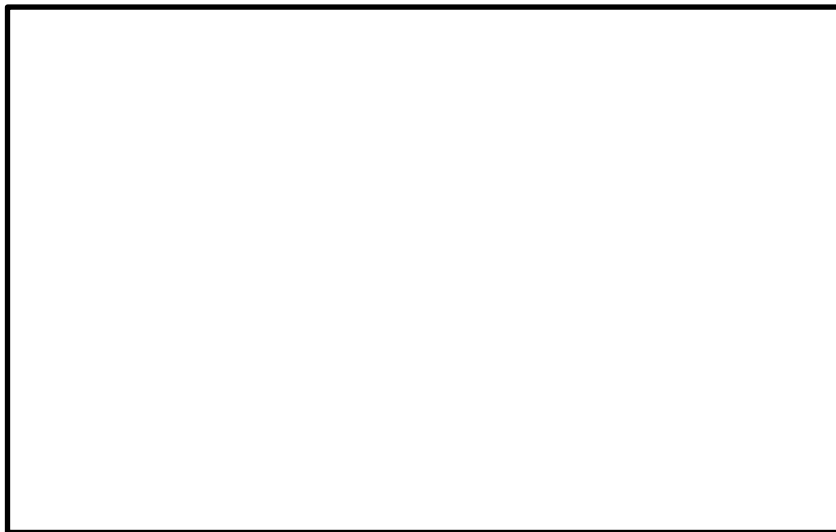
a. 炉水中の放射能濃度の計算

沈着・剥離挙動モデルの概要図を第3図「炉内での金属・放射能の移行挙動」⁽²⁾に示す。原子炉水中の放射性物質は、原子炉内の構成材や給水系から持ち込まれた腐食生成物が燃料棒表面に付着し、放射化して生じる放射化腐食生成物と、燃料製造時に燃料棒表面に付着した酸化ウラン粒子が原子炉の運転期間中に放射化して生じる核分裂生成物の2種類がある。

放射化腐食生成物の発生源には、原子炉内の機器材料が腐食し剥離したものと給水系から持ち込まれるものがある。

① 炉内発生腐食生成物量評価

原子炉の構成材は、一次系の配管等を構成する炭素鋼、炉内構造物の主要材料であるステンレス鋼、制御棒のピン・ローラに使用されているステライト（Co 基材料）またはステライト代替材、炉内構造物の部品材として使用されるインコネルである。炉内で発生する腐食生成物量の評価に当たっては、炉内機器情報として、原子炉の構成材の接水面積、溶出速度及び実効運転時間を設定することで、以下の計算式⁽³⁾⁽⁴⁾により、原子炉内の機器材料の腐食による発生量を金属材料別・サイクル毎に計算する。なお、金属材料のうち、炭素鋼は（1）式、ステンレス鋼及びステライトは（2）式、インコネルは（3）式を用いた。



入力パラメータとして、材料が腐食する面積は原子炉冷却材の接液面積とし、接液面積については、同型炉の評価結果を基に設定した。（ステンレス： m²，ステライト・ステライト代替材： m²，炭素鋼：

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

□ m², インコネル: □ m²) また, 溶出速度は文献値⁽³⁾を基に第2表「原子炉冷却材の溶出速度」のとおり設定した。

実効運転時間については, 実データを基に第3表「実効運転時間」のとおり設定した。なお, この評価においては実際の原子炉に即して複数種類の材料を対象とすることで, 選定対象となる核種を幅広く選定した。

② 腐食生成物給水持込量評価

給水金属濃度, 給水流量及び実効運転時間から, 以下の(4)式を用いて給水系から持ち込まれる腐食生成物量を金属材料別・サイクル毎に求めた。



給水金属濃度は, 実際の分析データを基に第4表「給水金属濃度」のとおり設定した。給水流量は, 第5表「島根原子力発電所 緒元」のとおり設定した。

実効運転時間は, 第3表「実効運転時間」のとおり設定した。

③ 燃料付着ウラン量

燃料棒表面に付着するウラン量は, 1号炉及び2号炉のオフガス系の希ガス濃度から以下の(5)式を用いてサイクル毎に設定した。



1号炉及び2号炉の核分裂生成物は, 燃料破損の履歴がなくオフガスが有意に上昇した履歴がない。そのため, オフガス系の希ガス濃度で求めるウラン量は, 全て燃料製造時に燃料棒表面に付着した酸化ウラン粒子が中性子で照射され発生した核分裂生成物であるとした。

オフガスから燃料棒表面に付着するウラン量を求めた。オフガス発生率は, Xe-138, Kr-87, Kr-88, Kr-85m, Xe-135, Xe-133 及び Xe-135m の

本資料のうち, 枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

7 核種についての実測値データをサイクル平均とし、オフガス発生率の設定値を、第 6 表「オフガス濃度」に示す。その他燃料棒表面への付着ウラン量の計算に用いる設定値を第 7 表「ウラン付着率評価におけるパラメータ」に示す。

④ 燃料棒表面での核種放射エネルギー

上記①②③で求めた炉内腐食生成物量、給水持ち込み金属量及び燃料付着ウラン量から燃料棒表面への金属不純物の付着量を求めた。燃料棒表面への金属不純物の付着量は、文献⁽⁵⁾を基に炉内機器から生成する腐食生成物量及び給水系から持ち込まれる腐食生成物量の内、その 80%が燃料棒表面に付着することとし、燃料棒表面のウラン量は全量燃料棒表面に付着するとした。

これらの材料の元素組成は、同等のコールド材料を用いた定量分析結果、文献値・規格値を基に設定した。しかし、文献値が無く、定量分析値を取得していない元素については、1,000ppm 存在すると仮定し元素組成を設定した。なお、微量元素の検出値が 1,000ppm 未満のため、1 桁上げて 1,000ppm に設定した。分析値を取得した元素については、分析データの 99%信頼区間の上限値を中心とした対数正規分布の平均に相当する値を設定した。また、分析結果が検出限界未満の元素は検出限界値を設定した。各構造材料の材料組成を第 8 表「原子炉構成材の材料組成」に示す。

核種放射エネルギーの評価では、ORIGEN-2.2UPJ を用い、断面積ライブラリは ORIGEN 内蔵のライブラリである JENDL3.3、ボイド率 40%のライブラリを選定した。同位体組成は自動的に同位体組成の計算が為される ORIGEN-2.2UPJ に内蔵された組成を、半減期は ORIGEN-2.2UPJ の断面積データに内蔵されたデータを用いた。その他燃料付着放射エネルギーを求めるに当たって必要となるインプット条件は、対象燃料、燃焼度、ウラン組成、炉心全ウラン量及び原子炉熱出力であり、第 9 表「燃料仕様」のとおり設定した。対象燃料は、運転期間中に最も二次的な汚染に寄与した燃料として、1 号炉は高燃焼度 8 × 8 燃料、2 号炉は 9 × 9 燃料（A 型）を選定した。

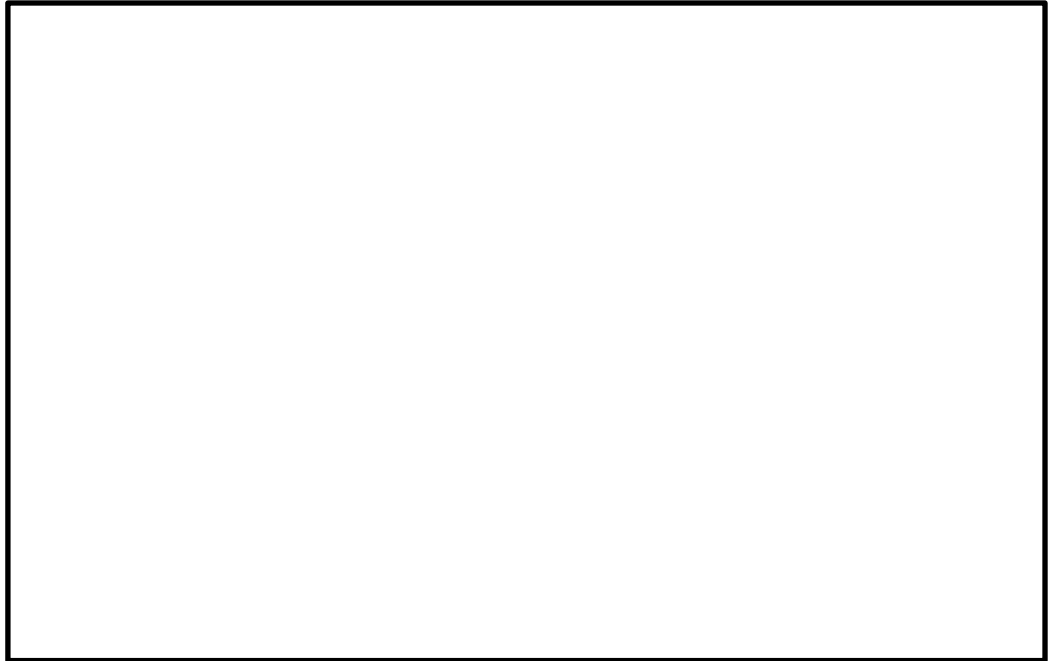
なお、放射化に用いる対象燃料、中性子フルエンス率が設定されるが、中性子フルエンス率の大小は放射性核種の生成量には寄与するものの放射性核種間の生成量の比には影響を与えないとされている。⁽⁶⁾

燃料交換の実績から、1 号炉は定期検査の度に 1/5 炉心ずつ、また 2 号炉は 1/4 炉心ずつ燃料を取り換えるとして取替燃料に付着した燃料のクラッドは原子炉外に持ち出され、新燃料上に付着した腐食生成物、給水金属及び酸化ウラン粒子が照射され放射性核種となる評価を行った。

⑤ 核種剥離

燃料棒表面から剥離する放射性物質の割合（炉水中放出率）は，総放射エネルギーの計算結果と原子炉冷却材の Mn-54, Fe-59, Co-58 及び Co-60 の分析データを基に（6）式⁽¹⁾を用いて設定した。

本計算式の概要については，別紙 1 参照。



運転サイクル毎の炉水放射能濃度のサイクル毎の測定結果を，第 10 表「炉水放射能濃度」に示す。また，第 5 表「島根原子力発電所 緒元」に各々の計算条件を示す。これらの条件を（6）式へ代入し，それぞれの核種に対する溶出率を求めた。Mn-54 と Fe-59 の分析データから求めた溶出率の平均値をクラッド性核種の溶出率，Co-58 と Co-60 の分析データから求めた溶出率の平均値をイオン性核種の溶出率とした。

1 号炉ではクラッド性核種の溶出率を $\square$ (h^{-1})，イオン性核種の溶出率 $\square$ (h^{-1}) とし，2 号炉ではクラッド性核種の溶出率を $\square$ (h^{-1})，イオン性核種の溶出率 $\square$ (h^{-1}) と設定した。

⑥ 炉水放射能濃度

燃料棒表面から剥離する放射性物質による炉水放射能濃度は，④で求めた燃料棒表面へ付着する各核種の放射エネルギー，⑤で求めたイオン／クラッドの溶出率を放射能バランス式（6）式へ代入することで求めた。

なお，H-3 は原子炉冷却材（水）と同様の挙動を示し，イオン性・クラッド性に区分できない。そこで，原子炉冷却材の分析データをそのまま炉水放射能濃度とした。

本資料のうち，枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

b. 低圧タービンへの付着放射エネルギーの計算

燃料棒表面から剥離した放射性物質は、原子炉冷却材に含まれ原子炉内を循環後、主蒸気中にごく僅かに含まれ放射能濃度確認対象物に付着し二次的な汚染を生成する。

放射能濃度確認対象物の付着放射能濃度は、炉水放射能濃度にキャリーオーバー率、付着速度係数及び実効運転時間を乗じて求めた。

低圧タービンへの付着放射能濃度は、1号炉の運転開始から第29サイクルまで、2号炉の運転開始から第17サイクルまで、サイクル毎に求めた。

・キャリーオーバー率

原子炉冷却材の放射性物質は主蒸気系に移行することから、原子炉冷却材から主蒸気系への放射性物質の移行割合であるキャリーオーバー率を設定した。同型炉の実データを基に、第5表「島根原子力発電所 緒元」のとおり設定した。

・付着速度係数

放射能濃度確認対象物である低圧タービンへの放射性核種の付着速度係数は、同型炉の実データを基に低圧タービンでの付着放射能濃度を炉水放射能濃度と実効運転時間で除して求めた。設定値は、トリチウムは (cm/h)、イオン系核種は (cm/h)、クラッド系核種は (cm/h) とした。

(3) 比率の設定

上記で求めた低圧タービンの付着放射能濃度から二次的な汚染の比率を設定した。

低圧タービンに付着または沈着した放射化腐食生成物及び核分裂生成物は、評価対象核種が幅広く選定されるよう規則別表第1の第1欄に示す33種類の放射性物質を評価した。

33種類の放射性物質の計算結果(Bq/cm²)を全核種の合計値(Bq/cm²)で除したものを百分率(%)にし、それを評価結果の規則別表第1の第2欄の放射能濃度(Bq/g)で除して比率を求めた。

占有率の大きい順から90%を超えるまでの放射性物質を低圧タービンの評価に用いる放射性物質に選定した。

1号炉の低圧タービンは、1994年度、1996年度及び1997年度に発生した。1994年度及び1996年度に発生した低圧タービンは、1997年度まで二次的な汚染が継続したとみなし、第20サイクルの付着放射能濃度を摘要し比率を設定した。

2号炉の低圧タービンは、第17サイクルに交換したことから第17サイクル

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

の付着放射能濃度を摘要し比率を設定した。

2. 評価結果

第 11 表「二次的な汚染の比率」に放射能濃度確認対象物の発生時点、発生から 1 号炉は 23 年後（放射能濃度の測定及び評価を開始する予定時点）、48 年後（放射能濃度の測定及び評価を完了する予定時点）、2 号炉は 9 年後（放射能濃度の測定及び評価を開始する予定時点）、34 年後（放射能濃度の測定及び評価を完了する予定時点）の 33 種類の放射性物質の放射能濃度の評価結果を示す。

3. 放射能濃度の測定及び評価に用いる放射性物質の選択結果

第 11 表「二次的な汚染の比率」のそれぞれの放射性物質の比率を各放射性物質の比率の合計で除した値を第 12 表「放射性物質の占有率」に示す。

第 12 表「放射性物質の占有率」及び第 13 表「放射性物質の選択」より Co-60 が、1 号炉が発生から 23 年後から、48 年後まで、2 号炉が発生から 9 年後から、34 年後までを評価時点とした場合、総和の 90%以上であると評価した。

第 14 表「放射能濃度確認対象物の分析結果」に放射能濃度確認対象物の分析結果を示す。検出された放射性核種は Co-60 が支配的であるため、この度の評価による選択結果と整合性がとれている。

以上のことから、低圧タービンの放射能濃度の評価に用いる放射性物質は Co-60 とする。

以 上

第1表 二次的な汚染の評価条件の概要

項目		設定条件の概要
①炉内発生腐食生成物	復水浄化系以降の金属材料からの原子炉水中へ溶出する腐食生成物量	- 金属材料として、炭素鋼、ステンレス鋼、ステライト・ステライト代替材、インコネルを設定し、それぞれの接水面積を設定（ステライト代替材は Co を含まない） - 実機の実効運転時間を設定
②腐食生成物給水持込量	給水系から原子炉水中へ持ち込まれる腐食生成物量	実機データ及び運転中の分析データを設定
③燃料付着ウラン量	希ガス濃度から燃料棒表面に付着しているウラン量	実機データ及び運転中の分析データを設定
④燃料棒表面核種放射能量	燃料棒表面に付着した腐食生成物及び燃料棒表面に付着したウランが中性子照射により放射化し、発生する放射能量	文献値等を基に構造材の元素濃度を設定 主な不明元素は、1,000ppm と設定し、検出限界値以下の元素は、検出限界値を設定することで、Co 以外の元素濃度が高く評価されるように設定

第2表 原子炉冷却材の溶出速度

材質	溶出速度 (mdm) ※5	時間依存
炭素鋼※1		
ステンレス鋼※2※3		
ステライト※2※4		
インコネル※2		

※1 “Corrosion and Corrosion Product Release in Neutral Feedwater”, E. G. BRUSH etc., CORROSION-NACE, Vol. 28, No. 4, 1972, Table 2

※2 以下の図書において示される，1年後の溶出率を示す。
放射性廃棄物の放射能濃度決定方法－原子炉発電所から発生する低レベル放射性廃棄物の放射能濃度決定方法に関する基本手順：2007－浅地中ピット処分廃棄物について－（AESJ-SC-F010:2007）

※3 ステンレス鋼の溶出速度は SUS304 相当とし，上記出典のガンマ線照射場の溶出率とする。

※4 ステライト代替材はステライトの溶出速度を用いる。

※5 $\text{mdm} = (\text{mg}/\text{dm}^2) / \text{month}$

第3表 実効運転時間

単位：EPFH

1 号炉			2 号炉				
サイクル	実効運転時間	累積運転時間	サイクル	実効運転時間	累積運転時間		
1			1				
2			2				
3			3				
4			4				
5			5				
6			6				
7			7				
8			8				
9			9				
10			10				
11			11				
12			12				
13			13				
14			14				
15			15				
16			16				
17			17				
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

第4表 給水金属濃度

単位：ppb

1 号炉				2 号炉			
サイクル	鉄	ニッケル	コバルト	サイクル	鉄	ニッケル	コバルト
1				1			
2				2			
3				3			
4				4			
5				5			
6				6			
7				7			
8				8			
9				9			
10				10			
11				11			
12				12			
13				13			
14				14			
15				15			
16				16			
17				17			
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

第5表 島根原子力発電所 緒元

		1号炉	2号炉
原子炉保有水量 (ton)		150	200
原子炉浄化系流量 (ton/h)		172.8	225
主蒸気流量 (ton/h)		2,468	4,740
給水流量 (ton/h)		2,458	4,724
原子炉浄化系での不 純物除去割合	トリチウム		
	イオン		
	クラッド		
原子炉内への付着速 度係数 (cm/h)	トリチウム		
	イオン		
	クラッド		
キャリーオーバー率	トリチウム		
	イオン		
	クラッド		
	よう素		

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

第6表 オフガス濃度（1／2）
（1号炉）

単位：Bq/s

サイクル	Kr-85m	Kr-87	Kr-88	Xe-133	Xe-135	Xe-135m	Xe-138
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

第6表 オフガス濃度（2／2）
（2号炉）

単位：Bq/s

サイクル	Kr-85m	Kr-87	Kr-88	Xe-133	Xe-135	Xe-135m	Xe-138
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

第7表 ウラン付着率評価におけるパラメータ

項目	設定値	単位	出典
天然ウラン中の U-235 含有率		wt%	JAEA-Data/Code 2012-014
核分裂断面積（1 群） ／ 1 号炉		barn ($=10^{-24}\text{cm}^2$)	ORIGEN Jendle-3.3 STEP2 の40%ボイド の断面積 (BS240J33)
核分裂断面積（1 群） ／ 2 号炉		barn ($=10^{-24}\text{cm}^2$)	ORIGEN Jendle-3.3 STEP3 の40%ボイド の断面積 (BS340J33)

核種	Xe-138	Kr-87	Kr-88	Kr-85m	Xe-135	Xe-133	Xe-135m
収率／％ ^{※1}							
半減期 ^{※2}							
単位	min	min	h	h	h	d	min

※1 JAERI-M 9715 (1981), 収率 (%) はCumulative yield の ^{235}U (T) を使用した

※2 JAEA-Data/Code 2012-014 Table of Nuclear Data (JENDL/TND-2012)

第 8 表 原子炉構成材の材料組成（1／3）

単位：％

元素	炭素鋼	ステンレス鋼※1		インコネル	ステライト	ステライト 代替材
		SUS304	SUS316L			
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						

※1 1号炉は SUS304，2号炉は SUS316L

本資料のうち，枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

第 8 表 原子炉構成材の材料組成（2／3）

単位：％

元素	炭素鋼	ステンレス鋼※1		インコネル	ステライト	ステライト 代替材
		SUS304	SUS316L			
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41						
42						
43						
44						
45						
46						
47						
48						
49						
50						

※1 1号炉は SUS304，2号炉は SUS316L

第 8 表 原子炉構成材の材料組成（3／3）

単位：％

元素	炭素鋼	ステンレス鋼※1		インコネル	ステライト	ステライト 代替材
		SUS304	SUS316L			
51						
52						
53						
54						
55						
56						
57						
58						
59						
60						
61						
62						
63						
64						
65						
66						
67						
68						
69						
70						
71						
72						
73						
74						
75						
76						
77						
78						

※1 1号炉は SUS304，2号炉は SUS316L

本資料のうち，枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

第 9 表 燃料仕様

	1 号炉	2 号炉
対象燃料	高燃焼度 8 × 8 燃料	9 × 9 (A型) 燃料
燃焼度	39, 500 MWd/t	45, 000 MWd/t
ウラン 235 濃縮度	約 3. 4wt%	約 3. 7wt%
炉心全ウラン量	約 68ton	約 97ton
原子炉熱出力	1, 380MW	2, 436MW

第 10 表 炉水放射能濃度（1／2）
（1 号炉）

単位：Bq/cm³

サイクル	H-3	Mn-54	Fe-59	Co-58	Co-60
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					

本資料のうち，枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

第 10 表 炉水放射能濃度 (2 / 2)
(2 号炉)

単位 : Bq/cm³

サイクル	H-3	Mn-54	Fe-59	Co-58	Co-60
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

第 11 表 二次的な汚染の比率（1 / 2）
（1 号炉）

No	放射性物質の種類	低圧タービン		
		発生時点	23 年後	48 年後
1	H-3			
2	C-14			
3	Cl-36			
4	Ca-41			
5	Sc-46			
6	Mn-54			
7	Fe-55			
8	Fe-59			
9	Co-58			
10	Co-60			
11	Ni-59			
12	Ni-63			
13	Zn-65			
14	Sr-90			
15	Nb-94			
16	Nb-95			
17	Tc-99			
18	Ru-106			
19	Ag-108m			
20	Ag-110m			
21	Sb-124			
22	Te-123m			
23	I-129			
24	Cs-134			
25	Cs-137			
26	Ba-133			
27	Eu-152			
28	Eu-154			
29	Tb-160			
30	Ta-182			
31	Pu-239			
32	Pu-241			
33	Am-241			

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

第 11 表 二次的な汚染の比率（2 / 2）
（2 号炉）

No	放射性物質の種類	低圧タービン		
		発生時点	9 年後	34 年後
1	H-3			
2	C-14			
3	Cl-36			
4	Ca-41			
5	Sc-46			
6	Mn-54			
7	Fe-55			
8	Fe-59			
9	Co-58			
10	Co-60			
11	Ni-59			
12	Ni-63			
13	Zn-65			
14	Sr-90			
15	Nb-94			
16	Nb-95			
17	Tc-99			
18	Ru-106			
19	Ag-108m			
20	Ag-110m			
21	Sb-124			
22	Te-123m			
23	I-129			
24	Cs-134			
25	Cs-137			
26	Ba-133			
27	Eu-152			
28	Eu-154			
29	Tb-160			
30	Ta-182			
31	Pu-239			
32	Pu-241			
33	Am-241			

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

第 12 表 放射性物質の占有率（1 / 2）
（1 号炉）

No	放射性物質の種類	低圧タービン（％）	
		23 年後	48 年後
1	H-3		
2	C-14		
3	Cl-36		
4	Ca-41		
5	Sc-46		
6	Mn-54		
7	Fe-55		
8	Fe-59		
9	Co-58		
10	Co-60		
11	Ni-59		
12	Ni-63		
13	Zn-65		
14	Sr-90		
15	Nb-94		
16	Nb-95		
17	Tc-99		
18	Ru-106		
19	Ag-108m		
20	Ag-110m		
21	Sb-124		
22	Te-123m		
23	I-129		
24	Cs-134		
25	Cs-137		
26	Ba-133		
27	Eu-152		
28	Eu-154		
29	Tb-160		
30	Ta-182		
31	Pu-239		
32	Pu-241		
33	Am-241		
33 種類合計			

本資料のうち，枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

第 12 表 放射性物質の占有率（2 / 2）
（2 号炉）

No	放射性物質の種類	低圧タービン（％）	
		9 年後	34 年後
1	H-3		
2	C-14		
3	Cl-36		
4	Ca-41		
5	Sc-46		
6	Mn-54		
7	Fe-55		
8	Fe-59		
9	Co-58		
10	Co-60		
11	Ni-59		
12	Ni-63		
13	Zn-65		
14	Sr-90		
15	Nb-94		
16	Nb-95		
17	Tc-99		
18	Ru-106		
19	Ag-108m		
20	Ag-110m		
21	Sb-124		
22	Te-123m		
23	I-129		
24	Cs-134		
25	Cs-137		
26	Ba-133		
27	Eu-152		
28	Eu-154		
29	Tb-160		
30	Ta-182		
31	Pu-239		
32	Pu-241		
33	Am-241		
33 種類合計			

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

第 13 表 放射性物質の選択

単位：％

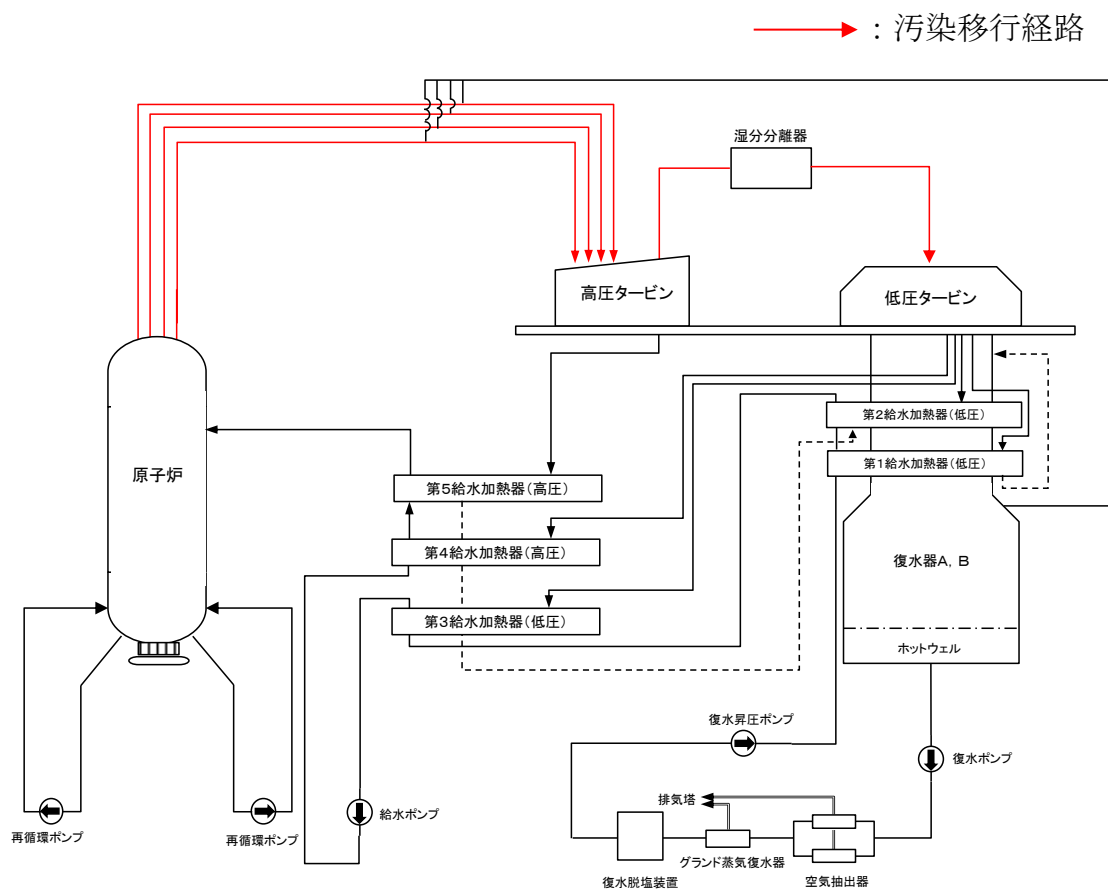
号 炉	時 点	放射性物質	
		Co-60	Co-60 以外※
1 号炉	23 年後		
	48 年後		
2 号炉	9 年後		
	34 年後		

※ 第 12 表「放射性物質の占有率」の Co-60 以外の 32 種類の放射性物質の占有率の総和

第 14 表 放射能濃度確認対象物の分析結果

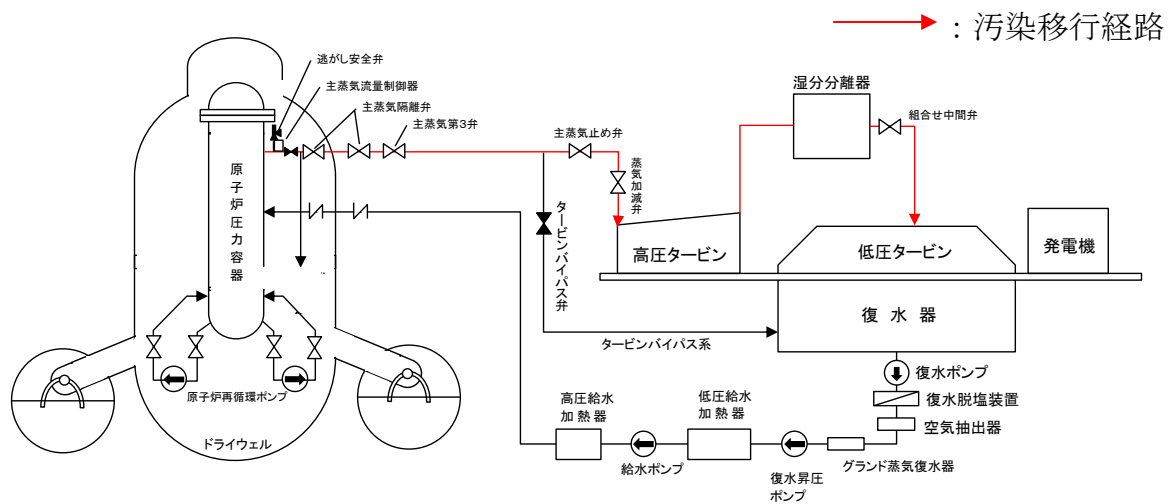
号 炉	放射能濃度確認対象物	Co-60 (Bq/g)	Co-60 以外

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



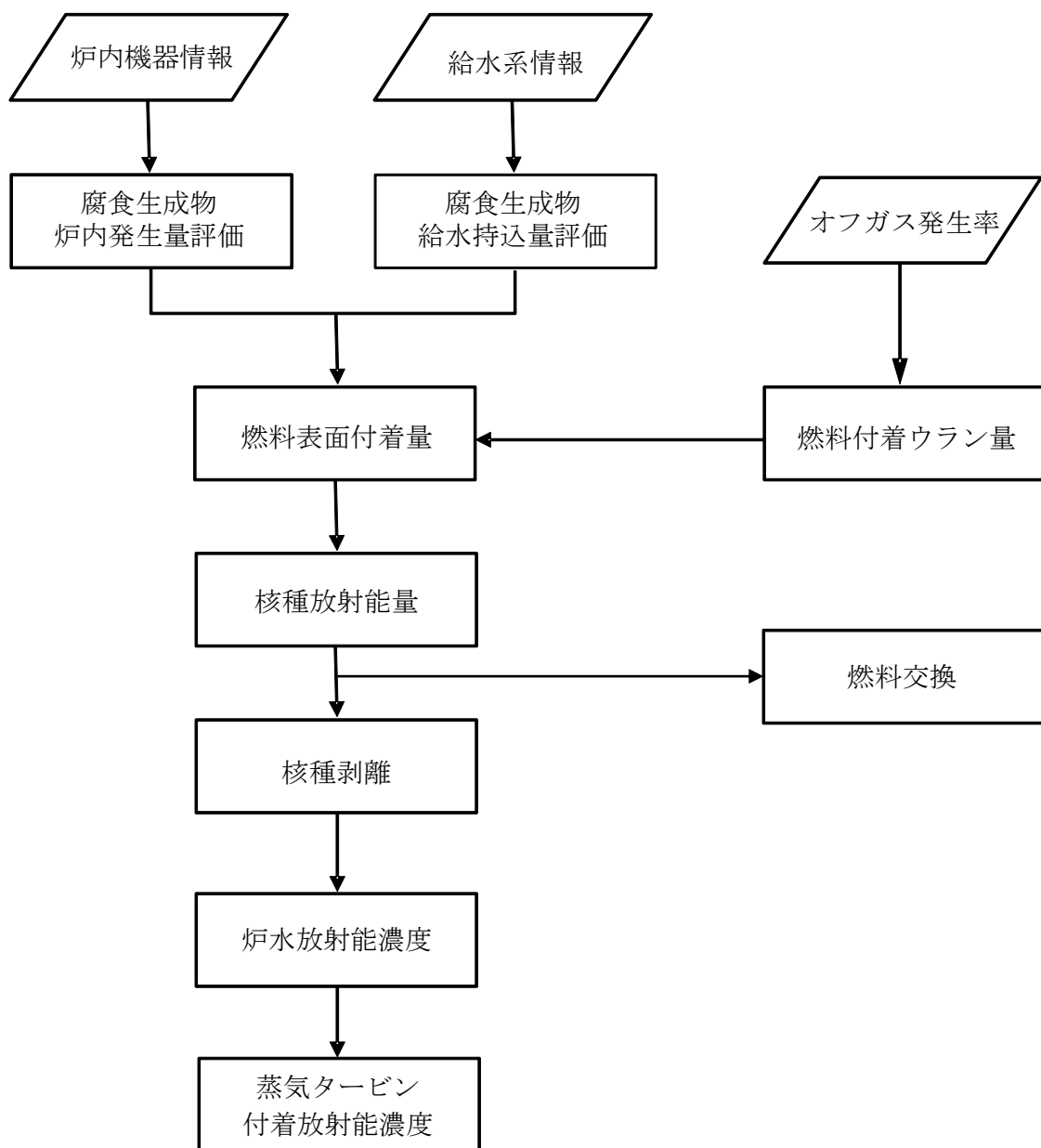
【1号炉】

第1図 汚染移行経路 (1 / 2)



【2号炉】

第1図 汚染移行経路（2／2）



第2図 低圧タービンの二次的な汚染の評価手順



出典：原子炉水化学ハンドブック 日本原子力学会編（コロナ社 2000 年 12 月 17 日）

第 3 図 炉内での金属・放射能の移行挙動

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

参考文献

- (1) クリアランスの判断方法：2005 (AESJ-SC-F005:2005)
- (2) 原子炉水化学ハンドブック 日本原子力学会編 (コロナ社 2000年12月17日)
- (3) 放射性廃棄物の放射能濃度決定方法－原子力発電所から発生する低レベル放射性廃棄物の放射能濃度決定方法に関する基本手順：2007－浅地中ピット処分廃棄物について－ (AESJ-SC-F010:2007)
- (4) “Corrosion and Corrosion Product Release in Neutral Feedwater”, E. G. BRUSH etc., CORROSION-NACE, Vol. 28, No. 4, 1972, Table 2
- (5) Water chemistry for nuclear reactor systems 4. BNES, London, 1986 Fig.8
Correlation between iron input and deposit on fuel surface
- (6) ピット処分及びトレンチ処分対象廃棄物の放射能濃度決定に関する基本手順：2011
1 (AESJ-SC-F022:2011)

放射能バランス式の概要について

原子力学会標準 「クリアランスの判断方法：2005」（2005年7月
社団法人 日本原子力学会）にて、炉水中の放射能濃度を算出するための計算
モデルは以下のように表されている。

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{系統水} \\ \text{中の放} \\ \text{射性物} \\ \text{質濃度} \\ \text{時間変} \\ \text{化} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{放射性物質} \\ \text{発生源から} \\ \text{系統水への} \\ \text{単位時間当} \\ \text{たりの放出} \\ \text{量} \\ \hline \end{array} - \left(\begin{array}{|c|} \hline \text{崩壊} \\ \text{による減} \\ \text{少} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{沈着} \\ \text{による減} \\ \text{少} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{浄化} \\ \text{による減} \\ \text{少} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{キャリア} \\ \text{オーバー} \\ \text{及び気水} \\ \text{分離によ} \\ \text{る減少} \\ \hline \end{array} \right) + \begin{array}{|c|} \hline \text{接液汚染} \\ \text{の剥離に} \\ \text{よる増加} \\ \hline \end{array}$$

炉水の放射能濃度を求めるに当たり、以下の条件を考慮した。

これらの前提の基に式変形を行うと、以下の通りである。（放射能バランス式）

二次的な汚染の評価において、本計算モデルを用いる目的は、実際の原子炉水の分析では放射能濃度が低く検出されない様々な核種の原子炉水中の放射性物質濃度を計算により求めて、幅広い核種選定の検討を行うためである。①から⑤に示すとおり入力パラメータを設定することで、各核種の放射能濃度 C_i (Bq/g) を求める。なお、原子炉水は $1\text{ g} = 1\text{ cm}^3$ とした。



以上

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。