

平成 15 年 11 月 7 日
東京電力株式会社

圧力抑制室内異物による運転中プラントの安全性評価について

1. 目的

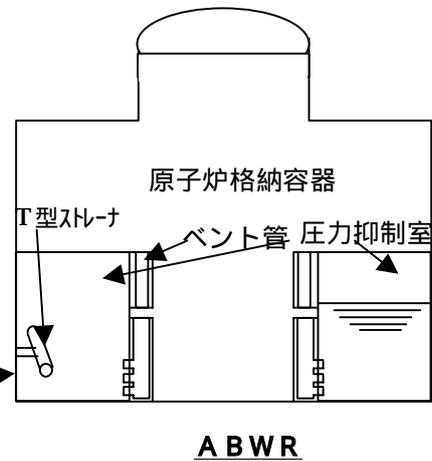
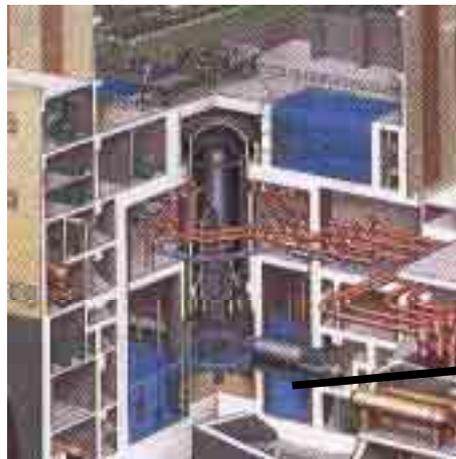
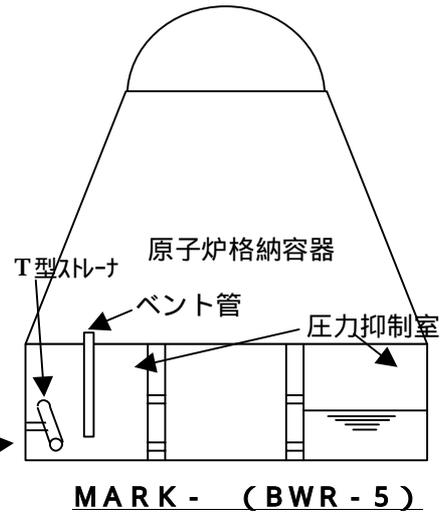
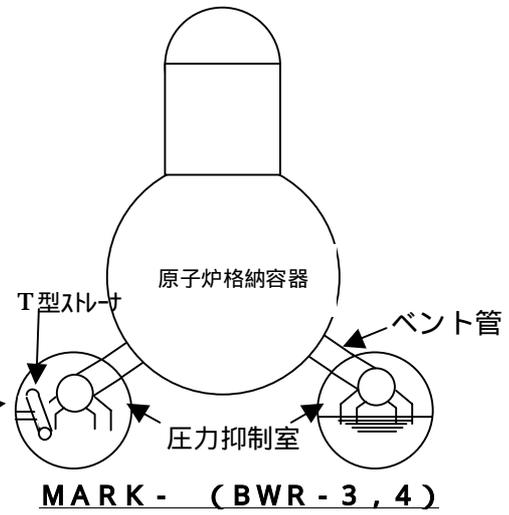
福島第一原子力発電所 2号機で発見された圧力抑制室 (以下 S/C という)内の異物に鑑み、現在運転中の福島第一原子力発電所 3、5号機、福島第二原子力発電所 1号機、柏崎刈羽原子力発電所 4、6号機の安全性について評価を行う。なお、異物混入に係わる原因調査並びに今後の対策等については、別途報告する。

2. 事象経緯と安全性評価の手順

第 20 回定期検査中である福島第一原子力発電所 2号機において、9 月 17 日に S/C 内に異物 (針金)を確認した。その後、漏斗、足場パイプ等も確認されたため、10 月 1日～8日にかけて S/C 内の異物の点検を実施し、結果を 10 月 9 日に運転保守情報として公表するとともに、この調査結果をもとに直ちに運転中プラントの暫定的安全性評価を行った。

その後、福島第一原子力発電所 2号機においてはこれらの異物を回収するとともに、他の停止中プラント(福島第一原子力発電所 1、4、6号機、福島第二原子力発電所 2、3、4号機、柏崎刈羽原子力発電所 1、2、3、5、7号機)についても 10 月 10 日より順次 S/C 内異物の点検調査並びに回収を行ってきており、これらの結果を踏まえ、運転中プラントの安全性評価を行った。

(図 圧力抑制室の形状)



炉 型	プラント
MARK - (BWR - 3 , 4)	1 F - 1 ~ 5
MARK - (BWR - 5)	1 F - 6 , 2 F - 1 ~ 4 , KK - 1 ~ 5
ABWR	KK - 6 , 7

圧力抑制室の形状

3.福島第一原子力発電所 2号機異物映像調査結果を基にした暫定安全評価

福島第一原子力発電所 2号機の未回収異物は水中テレビカメラ調査の結果、足場パイプ、漏斗、シート片、針金等 39点であった。

運転中プラントの安全性評価の緊急性に鑑み、これらの異物の映像調査結果をもとに、保守的にその形状などを評価し、それらが運転中プラントの安全性に影響を与えるか否かの暫定的評価を行った。

3- 1.安全評価の考え方

S/C 内の保有水は事故時の非常用炉心冷却系 (以下 ECCS 系)ポンプの水源であり、ECCS 系ポンプサクションストレーナ (以下ストレーナ)が S/C 底部に設置されている。したがって、ECCS系ポンプの機能を保つためには、ストレーナの機能を阻害するような破損、変形があってはならず、また、機能低下につながるような閉塞があってはならない。

3- 2.暫定的安全評価結果

通常運転中の定例試験によるECCSポンプ起動時にS/C内に水の流動が生じて足場パイプ等の重い異物を動かし、ストレーナに衝突してこれを破損させることがないか検討したところ、ストレーナ表面での水の接近流速はせいぜい0.3(m/s)程度であり、足場パイプを浮かせることはないと評価した。

冷却材喪失事故 (以下「LOCA」という)時のベント管からのブローダウン、安全弁排気管からの蒸気吹き出しによってS/C内に水の流動が生じた場合に、異物が水流によって巻き上げられ、ストレーナに衝突してこれを破損させることがないかどうか検討したところ、足場パイプ (重さ 4.0 kg)のように重い異物の場合にも、ストレーナを破損させるほどの速度で巻き上げられることはないと評価した。

シート片等閉塞の可能性のある異物は、大きく見積もっても0.22m²程度であった。仮に同量の異物が運転中プラントに混入していてもストレーナの表面積に比べて十分小さいことから、閉塞による安全問題が生じることはないと評価した。(表 各プラントの ECCS ストレーナ表面積)

なお、ストレーナのメッシュ間隔よりも小さな微少な金属粉もしくは針金等がストレーナを通過してECCS系ポンプに侵入したとしても、ポンプの構造および材料(ステンレス鋳鋼等)の強度を考慮すると、ポンプの機能を阻害するような影響はない。

表 各プラントのECCSストレーナ表面積

プラント	系統	員数	ストレーナ表面積 (m ² /個) ¹	総表面積 (m ²) ¹	許容閉塞率 (%)	許容閉塞面積 (m ²) ¹	総許容閉塞面積 (m ²) ¹	要評価異物の 総閉塞面積 (m ²) ²	ストレーナ形 状
1F-1	CS CCS HPCI	3	0.83	2.5	33	0.27	0.83	0.01	I
1F-2	RHR	2	4.0	15	50	2.0	8.7	0.08	T
	CS	2	2.1		76 ³	1.6			T
	HPCI	1	2.6		50	1.3			T
1F-3	RHR	2	5.9	19	50	2.9	9.8	(運転中)	T
	CS	2	2.0		50	1.0			T
	HPCI	1	3.7		50	1.8			T
1F-4	RHR	2	7.8	20	83 ³	6.5	16	0.11	T
	CS	2	2.1		79 ³	1.6			T
	HPCI	1	0.84		50	0.42			T
1F-5	RHR	2	7.6	18	50	3.8	9.3	(運転中)	T
	CS	2	1.0		50	0.53			T
	HPCI	1	1.1		50	0.58			T
1F-6	RHR	3	2.6	13	50	1.3	6.6	0.22	T
	LPCS	1	2.6		50	1.3			T
	HPCS	1	2.6		50	1.3			T
2F-1	RHR	3	2.6	13	50	1.3	6.6	(運転中)	T
	LPCS	1	2.6		50	1.3			T
	HPCS	1	2.6		50	1.3			T
2F-2	RHR	3	2.2	11	50	1.1	5.5	0.12	T
	LPCS	1	2.1		50	1.0			T
	HPCS	1	2.1		50	1.0			T
2F-3	RHR	3	3.9	19	50	1.9	9.8	0.07	T
	LPCS	1	3.9		50	1.9			T
	HPCS	1	3.9		50	1.9			T
2F-4	RHR	3	2.2	11	50	1.1	5.5	0.42	T
	LPCS	1	2.1		50	1.0			T
	HPCS	1	2.1		50	1.0			T
K-1	RHR	3	3.9	19	50	1.9	9.8	0.08	T
	LPCS	1	3.9		50	1.9			T
	HPCS	1	3.9		50	1.9			T
K-2	RHR	3	2.6	13	50	1.3	6.6	0.05	T
	LPCS	1	2.6		50	1.3			T
	HPCS	1	2.6		50	1.3			T
K-3	RHR	3	2.6	13	50	1.3	6.6	0.06	T
	LPCS	1	2.6		50	1.3			T
	HPCS	1	2.6		50	1.3			T
K-4	RHR	3	2.2	11	50	1.1	5.5	(運転中)	T
	LPCS	1	2.1		50	1.0			T
	HPCS	1	2.1		50	1.0			T
K-5	RHR	3	2.2	11	50	1.1	5.5	0.02	T
	LPCS	1	2.1		50	1.0			T
	HPCS	1	2.1		50	1.0			T
K-6	RHR	3	1.8	9.1	50	0.92	4.5	(運転中)	T
	HPCF	2	1.6		50	0.80			T
	RCIC	1	0.39		50	0.19			T
K-7	RHR	3	1.8	9.3	50	0.91	4.6	0.04	T
	HPCF	2	1.6		50	0.84			T
	RCIC	1	0.41		50	0.20			T

1:「ストレーナ表面積」「総表面積」「許容閉塞面積」「総許容閉塞面積」は切り捨てした値を示している。
 2:「総閉塞面積(実績)」は小数点第3位を切り上げた値を示している。
 K-1, 3のビニール袋, K-7の青色養生シートは含めていない。
 3:1F-2のCS及び1F-4のRHR, CSはストレーナを交換しており、表面積が増えているため。
 注) 低圧注水系(LPCI, LPFL)はRHR系統の1つの運転モードである。

4.停止中プラントの異物調査結果を基にした運転中プラントの安全性評価

運転中プラントの安全性評価をさらに信頼できるものとするため、停止中のプラントに混入している異物の詳細な点検と回収を行い、これを基にした安全性評価を行った。

安全性評価は、3-1項で述べたとおり、ストレーナの破損、変形を生じさせる可能性のある異物と、ストレーナを閉塞させる可能性のある異物に分けて行った。

4-1.ストレーナ破損、変形につながるS/C内異物の評価

通常運転中の定例試験によるECCSポンプ起動時にS/C内に水の流動が生じて電動グラインダ等の重い異物を動かし、ストレーナに衝突してこれを破損させることがないか検討したところ、ストレーナ表面での水の接近流速はせいぜい0.3(m/s)程度であり、電動グラインダ等を浮かせることはないと評価した。

LOCA時のベント管からのブローダウン、安全弁排気管からの蒸気吹き出しによって圧力抑制室内に水の流動が生じた場合に、異物が水流によって巻き上げられ、ストレーナに衝突してこれを破損させることがないかどうか検討したところ、足場パイプ(重さ4.0 kg)のように重い異物の場合にも、ストレーナを破損させるほどの速度で巻き上げられることはないと評価した。

現在停止中のプラントについてストレーナの点検を行った結果、金網の脱落、及び、金属パイプ、木片等異物によるへこみ等の変形は無かった。

従って、柏崎刈羽原子力発電所1号機で発見された電動グラインダや福島第一原子力発電所2号機で発見された足場パイプ、漏斗等と類似する異物が仮に運転中のプラントに混入していても、損傷等の問題は生じないものと評価できるため、これらは以下では評価の対象外とする。

4-2.ストレーナ閉塞につながるS/C内異物の評価

ストレーナを閉塞させ、差圧によって構造健全性を損なったり、またはポンプの必要有効吸込水頭を確保できなくなる観点から考慮すべき異物は、各種のシート類、テープ類等のような材質、形状のものである。(以下「要評価異物」という)

以下にこれら要評価異物による運転中プラントの安全性評価を行った。

4-2-1.停止中プラントにおいて確認した要評価異物の状況

停止中の全プラントについて、S/C 内の異物を回収調査した結果を下表に示す。

表 停止中プラントにおける要評価異物まとめ 単位 (m²)

プラント	要評価異物の 総面積	左記の内 最大の物	その他異物
1F-1	0.01	0.005	
1F-2	0.08	0.027	
1F-4	0.11	0.018	
1F-6	0.22	0.021	
2F-2	0.12	0.020	
2F-3	0.07	0.008	
2F-4	0.42	0.050	
K-1	0.08	0.014	ビニール袋 1個 0.40
K-2	0.05	0.021	
K-3	0.06	0.015	ビニール袋 2個 0.53、0.07
K-5	0.02	0.010	
K-7	0.04	0.009	青色養生シート1枚 5.76

要評価異物の総面積に含めず

注)面積は「左記の内、最大の物」を除き、小数点第3位を切り上げ

全ての回収した異物の分類及び個数と写真を以下に示すが、要評価異物はほとんどが一辺が数 cm から10 数 cm 程度のシート片、テープ片等であり、その総面積は一部プラントを除き、概ね 0.1m²程度であった。また、その他の物として柏崎刈羽原子力発電所 7号機の青色養生シート、柏崎刈羽原子力発電所 1、3号機のビニール袋があった。

福島第一原子力発電所 プラント毎の回収異物の分類及び個数

単位：(個)

	1F- 1	1F- 2	1F- 4	1F- 6	備考
紙類 (親水)	0	1	9	12	
紙類 (疎水)	0	1	2	5	
金属類	1	23	6	37	
工具類	0	1	0	0	
機材類	0	4	0	0	
ゴム類	1	3	0	98	
シート片類	0	7	4	16	
テープ片類	2	12	19	37	
布類	0	0	0	5	
紐・繊維類	1	24	1	82	
プラスチック類	0	1	2	31	
木片類	0	13	9	1	
スラッジ類	0	2	0	0	
合計	5	92	52	324	

福島第二原子力発電所 プラント毎の回収異物の分類及び個数

単位：(個)

	2F- 2	2F- 3	2F- 4	備考
紙類 (親水)	20	4	33	
紙類 (疎水)	2	0	1	
金属類	22	13	44	
工具類	1	1	1	
機材類	0	0	0	
ゴム類	0	0	2	
シート片類	2	8	11	
テープ片類	39	24	111	
布類	0	0	3	
紐・繊維類	17	27	36	
プラスチック類	12	0	12	
木片類	4	1	12	
スラッジ類	0	0	0	
合計	119	78	266	

柏崎刈羽原子力発電所 プラント毎の回収異物の分類及び個数

単位：(個)

	KK- 1	KK- 2	KK- 3	KK- 5	KK- 7	備考
紙類 (親水)	8	1	2	1	0	
紙類 (疎水)	1	3	13	0	0	
金属類	12	10	14	7	2	
工具類	5	1	0	0	0	
機材類	1	0	0	0	0	
ゴム類	1	1	0	1	0	
シート片類	8	4	2	2	4	
テープ片類	7	10	3	1	11	
布類	1	0	0	0	0	
紐・繊維類	8	3	0	1	4	
プラスチック類	7	3	2	2	2	
木片類	0	0	0	0	0	
スラッジ類	0	0	0	0	0	
合計	59	36	36	15	23	

福島第一原子力発電所 1号機 S/C 内異物回収結果



福島第一原子力発電所 2号機 S/C 内異物回収結果



福島第一原子力発電所 4号機 S/C 内異物回収結果



シート・テープ類



金属類・その他

福島第一原子力発電所 6号機 S/C 内異物回収結果



シート・テープ類



金属類・その他

福島第二原子力発電所 2号機 S / C内異物回収結果



シート・テープ類



金属類・その他

福島第二原子力発電所 3号機 S / C内異物回収結果



福島第二原子力発電所 4号機 S / C内異物回収結果



柏崎刈羽原子力発電所 1号機 S / C内異物回収結果



シートテープ類 (作業靴、ビデオテープ、懐中電灯は下記の分類)



ベント管から回収された異物

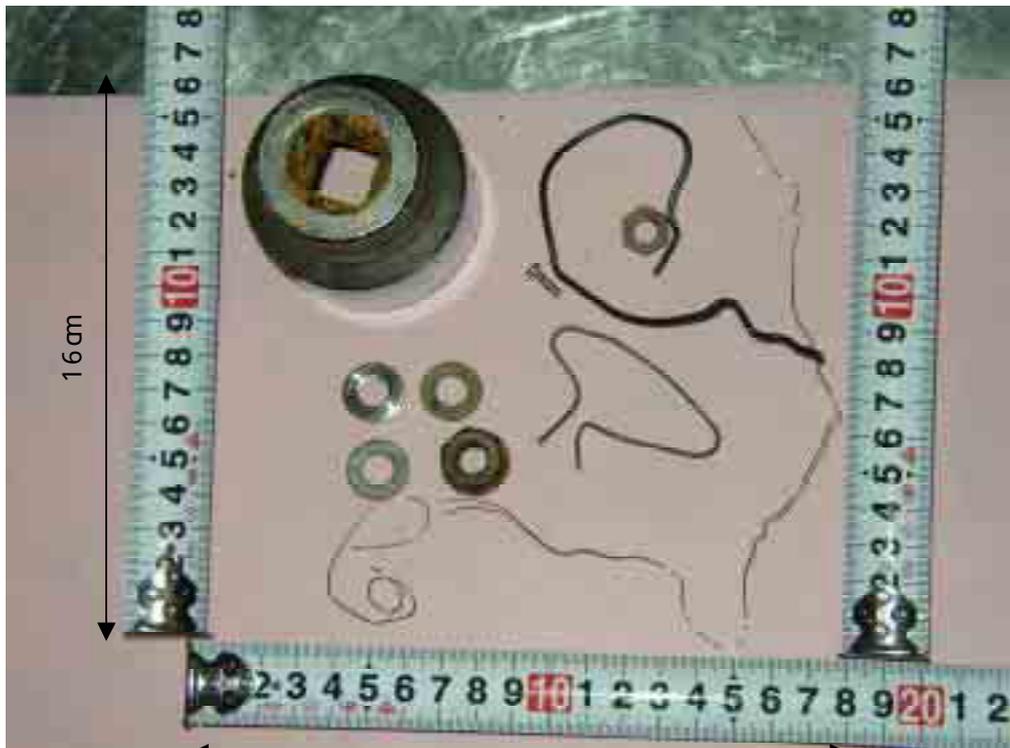


金属類・その他

柏崎刈羽原子力発電所 2号機 S / C内異物回収結果

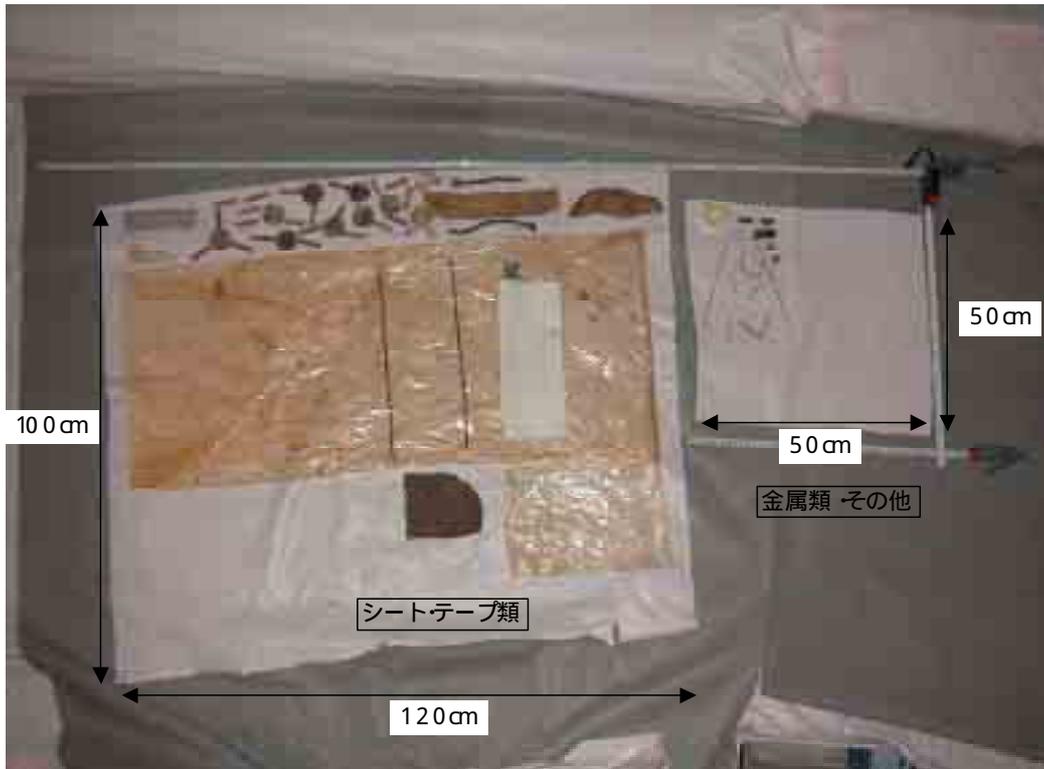


15 cm
シート・テープ類



16 cm
18 cm
金属類 その他

柏崎刈羽原子力発電所 3号機 S / C内異物回収結果



柏崎刈羽原子力発電所 5号機 S / C内異物回収結果



柏崎刈羽原子力発電所 7号機 S / C内異物回収結果



4-2-2.要評価異物の分類と混入原因

(1)要評価異物の分類

停止中プラントで回収された要評価異物を調査した結果、要評価異物は大別して以下の通り分類される。

カテゴリ …難燃テープの切れ端、ビニールシートの切れ端等、細かいもの

カテゴリ …ビニール袋

カテゴリ …ビニールシート

(2)要評価異物の混入原因

a.シート片等の微少な異物 - カテゴリ

S/C 内の異物は S/C 内全域にわたって発見されており、足場パイプ等、員数管理が可能なものが若干あるものの、ほとんどが針金、紐、布、シート片、テープ片等の小物であった。過去の S/C 内工事を調査した結果、仮設足場を全面に設置するような工事があり、本設機器の養生をするために S/C 内でシートを切断するような作業を行っていることが分かった。このような現場でのシート類の切断作業中に、シート片等が落下してしまったものと考えられるが、これらの S/C 内への持ち込み、持ち出しにおける員数管理は、1巻、1束単位で行っており、切れ端等使用後に廃棄するものはゴミ袋に入れて持ち出すため、持ち出し時に正確な員数管理ができていなかったものと考えられる。

例えば福島第一原子力発電所 2号機のプラント運転開始以降の S/C 内における工事としては、真空破壊弁簡易点検、原子炉格納容器 (PCV)点検 (基準容器点検、計測器の取付け、取外し)等の点検と、格納容器雰囲気モニタ取替工事、原子炉格納容器漏えい率試験 (以下 PCVL/T という)基準容器修理工事等の修理改造工事があり、これらの点検、修理・改造工事をほぼ毎定検時に実施しており、他のプラントにおいても過去に類似の工事を実施してきている。

その際、ビニール袋、キムタオル、難燃テープ、懐中電灯、仮設足場用機材、スパナ、針金、溶接用機材、難燃シート等多くの物品が S/C 内に持ち込まれ、この内のシートやテープ等の切れ端が S/C 内に落下したのと考えられる。

b.ビニール袋 - カテゴリ

柏崎刈羽原子力発電所 1号機で発見されたビニール袋は、袋に記載されている社名 (ここでは A社とする)及び中に入っていた電動工具の点検識別シールから、A社のものであることが分かっている。

当該号機におけるA社の全工事实績を確認したところ、これまでに S/C 内での工事は実施していないこと、ドライウェル (以下 D/W という)内でグライндаを用いた工事は今定検に実施した1件しかないこと、この作業は養生されていないベント管の付近で実施していたことから、今定検時の D/W 内作業で工具の持ち運びの際に誤ってベント管開口部から当該物を S/C に落下させたものと推定される。

柏崎刈羽原子力発電所 3号機で発見されたビニール袋は、中に入っていたスミヤク紙に弁点検前のサーベイと思われる識別 (ボンネット、ステム、座上、出口等)が記載されていた。S/C 内に設置されている弁は真空破壊弁 11 台と原子炉隔離時冷却 (以下 RCIC という)系の逆止弁 2台のみであり、いずれもスイング逆止弁であることから「座上」「ステム (弁棒)」が存在しない。従って、これは D/W 内にある弁の分解点検によるものであり、一時的に仮置きした当該物がベント管開口部から S/C へ落下したものと推定される。

以上の通り、これらのビニール袋は S/C 内の作業で落下させたものではなく、いずれも D/W からベント管を通して落下したものであると考えられる。

c.シート- カテゴリ

福島第一原子力発電所 2号機における異物発見を受けた以降の点検以前に、柏崎刈羽原子力発電所 7号機 S/C 内に青色養生シートが浮いていることが発見され、これを回収している。

前回中間停止時に S/C 閉止前の最終点検で異常がないことを確認していることから今回定検時にこのシートが混入したものと考えられる。

また、青色養生シートは S/C 内では使用実績がなく、原子炉建屋では格納容器下部 D/W と原子炉建屋最上階オペレーティングフロアの天井にしか用いられていないことから、下部 D/W 内の養生に使用されたものが連通孔と呼ばれる開口部を通じてベント管に落下したものと推定される。

4- 2- 3.運転中プラントの安全性評価

4- 2- 2で述べた各要評価異物が運転中プラントの S/C 内に混入している可能性検討結果をもとに運転中プラントの安全性を評価した。

(1)各要評価異物の混入の可能性

a.シート片等の混入の可能性 - カテゴリ

4- 2- 2.(2)aに記載した通り、運転中プラントの過去の S/C 内工事調査の結果、停止中プラントと同様な工事が行われており、シート等の切れ端を誤って落下させた可能性がある。また、異物管理状況も運転中プラントと停止中プラントに特段の差異はない。従って、運転中プラントにおいてもこれらの異物

が存在する可能性はある。

なお、福島第一原子力発電所 2号機では第 8回定検及び第 17回定検時に S/C 塗装修理工事を実施している。これは S/C 内の水を抜き、S/C 内表面を全て気中で塗装するもので、その際最終確認として S/C 内に異物がないことを確認している。従って、現時点で S/C 内にある異物の大部分は S/C 塗装修理工事の後実施された工事によって混入したものと考えられる。

その他のプラントにおいても同様に S/C 塗装修理工事を実施している。福島第二原子力発電所、柏崎刈羽原子力発電所では、福島第一原子力発電所において実施した気中塗装とは異なり、潜水土が水中で剥離、劣化した箇所を部分的に塗装するものであるが、S/C 内に異物があれば回収する点は同じであり、現時点で S/C 内にある異物の大部分はその後に実施された工事によって混入したものと考えられる。

以上のことから、運転中プラントの S/C 内に混入している異物量は、停止中プラントの量と同等の約 0.1m^2 程度と推定され、許容閉塞面積 $4.5\text{m}^2 \sim 9.8\text{m}^2$ に対し十分小さいことから安全上問題となるものではないと考える。

b. ビニール袋の混入の可能性 - カテゴリ

停止中プラントにて点検・回収した合計約 1100 個の異物の中で、ビニール袋は 2個であったことから、運転中プラントに混入している可能性は低いと考えられる。

また、柏崎刈羽原子力発電所 1、3号機で見つかったビニール袋の混入原因は、D/W からベント管を通じて S/C に落下したものであるが、運転中プラントにおいてはベント管開口部の養生の状況等が異なっており、同様の要因によりベント管から落下する可能性は柏崎刈羽原子力発電所 1、3号機に比べ低いと考えられる。以下に、検討結果の概要を示す。

S/C 内作業以外の S/C 内への異物混入経路としては、系統（主蒸気逃し安全弁の排気管等）からのもの、マンホールからの混入、D/W からベント管を通じての混入がある。

系統からの異物混入は、弁、ポンプ等の機器を分解点検する際に生じる可能性があるが、各機器は閉止板等の異物混入防止、復旧前の異物確認を実施しており、これらの点検は S/C に比べ局所的であり、また、水中での作業箇所がないため、異物が混入しても発見が容易であることから、可能性は低いと

考えられる。

マンホールについては全プラントとも落下防止用のネットを張っており、異物混入の可能性は低い。

ベント管については、BWR-4 (福島第一原子力発電所 3、5号機)、BWR-5 (福島第二原子力発電所 1号機、柏崎刈羽原子力発電所 4号機)、ABWR (柏崎刈羽原子力発電所 6号機)で構造が異なるものの、以下に述べる理由で、運転中プラントにおいてはいずれも異物混入の可能性は小さいと考えられる。

- ・ 福島第一原子力発電所 3、5号機 (BWR-4)は定期検査開始直後に、ベント管開口部全面に異物混入防止の閉止板を取り付けており、異物混入の可能性は小さい。
- ・ 福島第二原子力発電所 1号機、柏崎刈羽原子力発電所 4号機 (BWR-5)のベント管は柏崎刈羽原子力発電所 1、3号機と同じ構造であり全部で 108 本ある。その内、グレーチング、金網等によって異物混入しづらい構造となっているベント管の本数は、柏崎刈羽原子力発電所 1号機が 27 本、柏崎刈羽原子力発電所 3号機が 62 本であるのに対し、福島第二原子力発電所 1号機は 92 本、柏崎刈羽原子力発電所 4号機は 93 本である。また、福島第二原子力発電所 1号機、柏崎刈羽原子力発電所 4号機において養生されていないベント管は、配管やサポート等の構造物がベント管開口部の近くに設置されており人が接近しづらい場所にあることから、機材等の仮置きをすることはなく、異物混入の可能性は低い。
- ・ 柏崎刈羽原子力発電所 6号機 (ABWR)ではベント管が 10 本あり、上部 D/W に開口部がある他、下部 D/W に連通孔と呼ばれる開口部がある。上部開口部は完全に金網で覆われていることから、ここからの異物混入の可能性は低い。また連通孔は下部 D/W の床面から 1.8 ~ 2.7mの高さに位置しているため、特別な要因 (後に柏崎刈羽原子力発電所 7号機の事例で詳述)がない限り異物混入の可能性は低い。また、ABWR は S/C 浄化系という系統を有し、水が澄んでいることから、大きいシートのようなものであれば、格納容器漏えい率検査時の点検、或いは S/C 閉止前のパトロールの際に、発見される可能性が高い。

また、S/C 内工事においてビニール袋を落下させる可能性は否定できないが、柏崎刈羽原子力発電所 1、3号機以外のプラントで見つかっていないことから、S/C 内工事で落下させた可能性は低いものと考えられる。

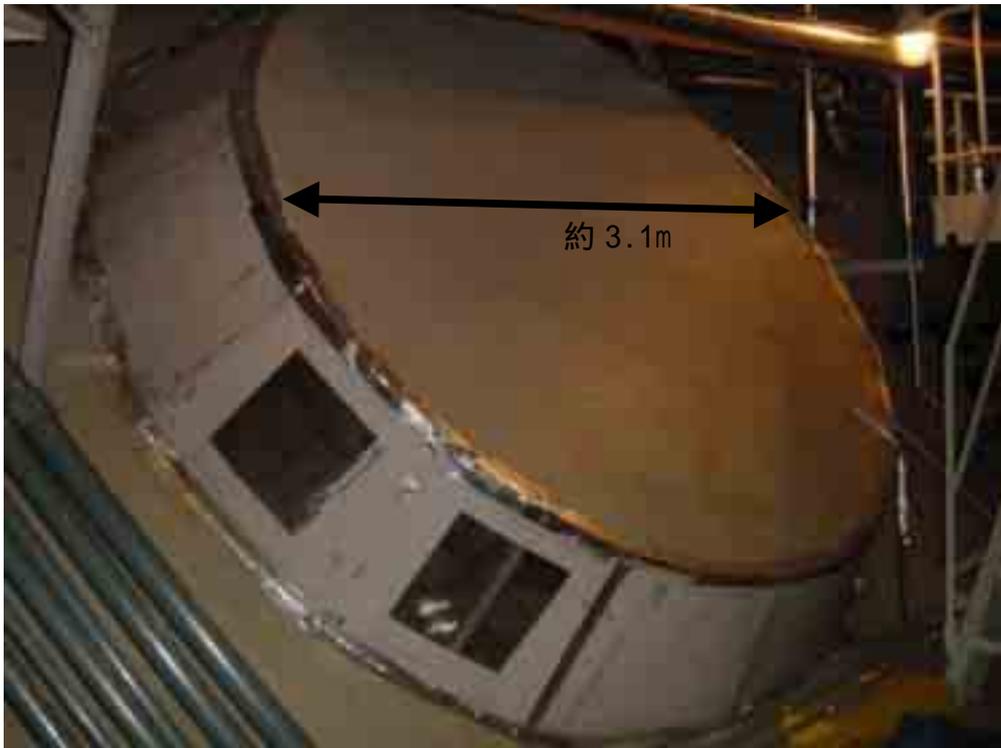
(表・写真 各プラントのベント管養生及びベント管内点検状況)

各プラントのベント管養生及びベント管内点検状況

プラント名	ベント管 全本数	グレーチング、 金網が設置してある ベント管の本数	点検本数 ^{*1}	点検結果	備考
1F-1	8本	0本 ^{*3 *4}	8本	良	ベント管とベントヘッダー接 続部近傍の点検を実施
1F-2	8本	0本 ^{*2}	今後点検予定 ^{*6}		
1F-3	8本	0本 ^{*2}	運転中	-	
1F-4	8本	0本 ^{*3 *5}	8本	良	ベント管とベントヘッダー接 続部近傍の点検を実施
1F-5	8本	0本 ^{*2}	運転中	-	
1F-6	108本	36本	72本 + (5本) ^{*7}	良:74本 異物あり:3本	
2F-1	108本	92本	点検不要 (運転中)	-	
2F-2	108本	108本	点検不要	-	
2F-3	108本	108本	点検不要	-	
2F-4	108本	108本	点検不要	-	
KK-1	108本	27本	80本 + (17本) ^{*7}	良:81本 異物あり:16本	1本未点検 (接近不可)
KK-2	108本	108本	点検不要	-	全数金網あり
KK-3	108本	62本	31本 + (3本) ^{*7}	良	15本未点検 (接近不可)
KK-4	108本	93本	運転中	-	
KK-5	108本	87本	19本 + (15本) ^{*7}	良:33本 異物あり:1本	2本未点検 (接近不可)
KK-6	10本	上部D/W:10本 下部D/W:0本	運転中	-	
KK-7	10本	上部D/W:2本 下部D/W:2本	10本	良:6本 異物あり:4本	

- *1 上部に機器 (HVH)、グレーチングがあるベント管や、養生が実施されているベント管は混入の可能性が少ないため点検対象から除外。
- *2 定検開始時に異物混入防止のため、ベント管の養生を実施。
- *3 大型工事を実施する場合、ベント管の養生を実施。
- *4 既養生は上部2/3周実施中であるが、ベント管内点検後下部開口部に金網養生追加実施。
- *5 養生取り外し後であったため、ベント管内点検後再養生実施。
- *6 既養生でD/WよりS/Cに異物混入はないと判断出来るため、D/W内作業終了後の取り外し時ベント管内を点検する予定。
- *7 ()は上部にグレーチング (或いは金網) が設置してあるが、アクセスが可能であったため点検した箇所数を示す。

BWR 4 ベント管、マンホール養生状況



福島第一原子力発電所 2号機 ベント管養生状況（定検時）



福島第一原子力発電所 2号機 S / C マンホール養生状況（定検時）

BWR 5ベント管 養生状況



養生有りの例 (KK - 2)



養生無しの場合 (KK - 3)

c.シート- カテゴリ

4-2-2c.で述べたとおり、青色養生シートは連通孔を經由して落下したというABWR特有の構造に起因する事象である。

柏崎刈羽原子力発電所7号機では作業エリア(下部D/W)の床面、側面の壁、連通孔の開口部をシートで養生している。当該エリアは狭いため、未使用の養生シートを邪魔にならないよう連通孔開口部に折りたたんで仮置きし、それが落下したと思われる。連通孔開口部は床面から1.8~2.7mの高さにあるが、連通孔開口部の養生作業用の踏み台があり、物を置きやすかったと考えられる。

柏崎刈羽原子力発電所6号機においても同様の事象が起こる可能性はあるが、柏崎刈羽原子力発電所7号機と比べ、連通孔開口部が狭隘であり物を置きにくい構造となっていること、連通孔開口部を養生する作業がなく、開口部に接近することがないことから、本事象が発生する可能性は低いと考えられる。

(注)運転中プラントのS/C内点検状況について

運転中プラントについては、起動前にS/C内の最終点検を行っているが、この点検はS/C内機器の状況の点検並びに機材類の置き忘れ等がないかの確認を目的としたものでありS/C内の異物に着目したものではない。

しかし、現在運転中のプラントにおいては、格納容器漏えい率検査の際に「厳格な検査」として通常よりも入念なS/C内点検を行っており、水中に上記b.c.で検討したような大きなシート類の異物があつた場合には、これらが発見される可能性が高かつたものと考えられる。

(2)安全性評価のまとめ

以上の検討結果から、シート片、ビニール片のような小さな要評価異物は運転中プラントにおいても混入している可能性は否定できないが、過去の工事内容等の比較から、混入していたとしてもその量は停止中プラントで発見されたと同量程度であると推測され、ECCS系ポンプの機能に影響を与えるようなストレーナ閉塞を生じることはない。

また、ビニール袋、ビニールシートは発見された異物約1100点の中で3点と極めて少ないこと、混入原因調査結果からD/Wからベント管を通じてS/C内に入った特殊な要因によるものであり、運転中プラントでこのような事象が発生する可能性は極めて低いものと推定される。

以上からS/C内要評価異物が運転中プラントのストレーナを閉塞しECCS系ポンプの機能を阻害する可能性は極めて低いものと考えられる。

5. 運転中プラントの冷却材喪失事故時(LOCA)の影響

5-1 ビニール袋の影響

柏崎刈羽原子力発電所 3号機では 2枚のビニール袋が回収され、それらの合計面積は約 0.6m² であった。これと同程度の大きさのビニール袋が運転中プラントに混入していたと仮定しても、この大きさは、ほとんどの ECCS 系ポンプストレーナ面積の 1/2 以下であり、ストレーナは表面積の 1/2 が閉塞された状態で、ECCS の機能が維持できる設計となっているため、ECCS ポンプ性能に影響を与えない。

しかしながらごく一部の ECCS ポンプ、例えば福島第一原子力発電所 5号機 (BWR4) の炉心スプレイ系 (以下 CS という) や高圧注水系 (以下 HPCI という) 及び柏崎刈羽原子力発電所 6号機 (ABWR) の原子炉隔離時冷却系 (以下 RCIC という) の T型ストレーナの片側の面積を上回る。この安全評価は 5-2 において行う。

5-2 青色養生シートの影響

柏崎刈羽原子力発電所 7号機で、面積が約 5.8m² の青色養生シートが回収された。このシートが現在運転中プラントに混入していると仮定した場合、ECCS ポンプのどれか一つの系統のストレーナを全面閉塞させ、当該ポンプの機能を喪失させる可能性があることから、運転中のプラントに対し、冷却材喪失事故 (LOCA) 解析結果への影響を検討した。

5-1 で述べたビニール袋については、その総面積が青色養生シートに比べ小さいため、青色養生シートによる閉塞を考慮しておけばこれに包絡することができる。

(1) BWR4 (福島第一原子力発電所 3、5号機) の場合

BWR4 の ECCS 系統構成は、原子炉圧力の高い状態において炉水を確保するとともに原子炉圧力を低下させる HPCI 1系統 (ポンプ 1 台とストレーナ 1基、系統流量 : 約 270 l/s)、減圧後に炉水位を回復維持させる低圧注水系 (以下 LPCI という) 2系統 (1系統あたりポンプ 2台とストレーナ 1基、系統流量 : 約 970l/s)、減圧後に炉心を冷却し炉水位を回復維持させる CS 2系統 (1系統あたりポンプ 1 台とストレーナ 1基、系統流量 : 約 300l/s) から構成される。なお、LPCI は残留熱除去系 (以下 RHR という) の使用モードの一つであるため、RHR ストレーナと LPCI ストレーナとは同一のものである。

HPCI はタービン駆動であり LOCA (大破断) 発生時、すぐに動力源の蒸気圧が低下し機能喪失に至り、解析上の影響は小さいため、LPCI と CS 各 2系統のうち、流量の大きい LPCI 1系統のストレーナがシートにより全面閉塞して、LPCI の残りの 1系統、CS 2系統及び HPCI により注水すると想定する。この場

合においても、炉心の冷却機能が維持されることを確認している。

(2) BWR5 (福島第二原子力発電所 1号機、柏崎刈羽原子力発電所 4号機)の場合

BWR5 の ECCS 系統構成は、原子炉圧力の高い状態においては炉水の確保と減圧、低圧時においては炉心を冷却し炉水位を回復維持させる高圧炉心スプレイ系(以下 HPCS という)1系統(ポンプ 1 台とストレーナ 1基、系統流量 約 410 l/s)、減圧後に炉水位を回復維持させる LPCI 3系統(1系統あたりポンプ 1 台とストレーナ 1基、系統流量 約 450l/s)、減圧後に炉心を冷却し炉水位を回復維持させる低圧炉心スプレイ系(以下 LPCS という)1系統(ポンプ 1 台とストレーナ 1基、系統流量 約 400l/s)から構成される。

HPCS、LPCS 及び LPCI は流量的には大きな違いはないが、早期に注水可能な HPCS の機能喪失が最も厳しくなるため、HPCS のストレーナが閉塞すると想定する。この場合においても、炉心の冷却機能が維持されることを確認している。

(3) ABWR (柏崎刈羽原子力発電所 6号機)の場合

ABWR の ECCS 系統構成は、原子炉圧力の高い状態において炉心を冷却させる RCIC 1系統(ポンプ 1 台とストレーナ 1基、系統流量 約 180 m³/h(約 50l/s))、及び高圧炉心注水系(以下 HPCF という)2系統(1系統あたりポンプ 1 台とストレーナ 1基、系統流量 約 730 m³/h(約 200l/s))、減圧後に炉心を冷却させる低圧注水系(以下 LPFL という)3系統(1系統あたりポンプ 1 台とストレーナ 1基、系統流量 約 950 m³/h(約 260l/s))から構成される。

HPCF 1系統は最も厳しい LOCA の発生条件である HPCF 配管破断により、機能を喪失すると仮定する。また、RCIC はタービン駆動であり LOCA 発生後、いずれ機能喪失に至ること、かつ流量も小さいことから、ストレーナが閉塞する系統として、HPCF、LPFL 3系統のうちの 1系統を想定することが影響を厳しく見積もることとなる。HPCF のストレーナ、LPFL のストレーナのいずれが閉塞した場合にも、炉心の冷却機能が維持されることを確認している。

6. 運転中プラントの安全性について(まとめ)

運転中プラントについては、今サイクル起動以降の ECCS ポンプサーベイランステストの結果、それぞれの系統に要求されているポンプ吐出圧力(または揚程)、流量が判定値を満足しており、ポンプの運転状態にも異常が認められないことを確認している。また、ポンプの運転状態における有効吸込水頭(実測値)が、必要有効吸込水頭(要求値)を満足していることから、異物による ECCS ポンプストレーナの閉塞は生じておらず、現時点ではプラントの安全に影響を与

えるような問題はないと考えられる。

また、異物調査の結果、運転中プラントにおいても、過去の S/C 内工事の際に、小さなテープ片等の異物が S/C 内に混入している可能性はあるものと思われるが、その総量は工事件名の調査結果から、停止中プラントにおいて回収された量と同等程度と推定される。これらの異物は評価の結果、ECCS ポンプストレーナの許容閉塞面積に比べて十分に少なく、安全性に影響を与えるものではないと考えられる。

さらに、柏崎刈羽原子力発電所 1、3、7号機で発見された比較的大きなシート類は、D/W 側の作業の際に混入した可能性が高く特殊な事象であり、運転中プラントにおいてはこのような比較的大きなシート類が D/W 側作業によって混入した可能性は低いものと考えられる。

また足場パイプのような比較的重い異物が LOCA 発生時のブローダウン中に巻き上げられ、ストレーナを損傷させるほどの速度で衝突する可能性は低いものと考えられる。

以上から、運転中プラントにおいては S/C 内の異物が ECCS 系の機能を阻害する可能性は極めて低いと考えられるが、万が一、柏崎刈羽原子力発電所 1、3号機で発見されたような大きさのビニール袋が混入していたと仮定した場合においても、一つの吸い込みラインの片側ストレーナを閉塞する程度で ECCS 系の機能を阻害するものではない。また、柏崎刈羽原子力発電所 7号機で発見されたような大きさのビニールシートが混入していた場合には、最悪一つの吸い込みラインの両側ストレーナ全面を閉塞し、当該系統の機能を喪失することとなるが、ECCS 系の多重性により炉心の冷却機能は維持される。

運転中プラントについては、今後 ECCS 系ポンプサーベイランステスト実施時のデータを入念に監視測定し有効吸込水頭等の評価を行うこととし、万が一これらのデータにストレーナ閉塞によると考えられる異常が見られた際はプラントを停止して S/C 点検を実施するものとする。

また、次回定期検査において S/C 内の徹底した点検を実施し、異物が発見された場合は速やかに回収を実施することとする。

以 上