

小破断 LOCA 時高圧注入系不作動事象への統計的手法の適用 ～破断口感度解析～

Application of the statistical safety evaluation method to the small break LOCA with high pressure injection failure
～sensitivity analyses to determine the break conditions～

鳥毛 俊秀 (Toshihide Torige)*¹ 木下 郁男 (Ikuo Kinoshita)*¹ 山田 実 (Minoru Yamada)*²

要約 統計的安全評価手法の適用により、最適評価結果に対する不確かさが定量的に評価され、過度の保守性を合理的に排除することで信頼性の高い評価結果が期待される。現在、小破断 LOCA（冷却材喪失事故）時高圧注入系不作動事象におけるアクシデントマネジメント「2次系強制冷却による低圧注入」解析への統計的安全評価手法の適用を進めている。小破断 LOCA 時において、破断口のサイズ等の条件は PCT（被覆管最高温度）に影響するため、重要なパラメータである。そこで本研究では、2次系強制冷却を開始するタイミングが実際の事故時運転操作条件より厳しい条件のもとで、実機プラントを対象に破断口のサイズ、向き、位置を変更した感度解析を行った。感度解析の結果から、破断口の条件に依存して変わる事象進展の違いを評価するとともに、低温側配管3インチ下向き破断を統計的安全評価の基本ケースに決定した。

キーワード 小破断 LOCA, 高圧注入系不作動, 統計的安全評価手法, RELAP5/MOD3.2, 感度解析

Abstract By applying a statistical safety evaluation method, the uncertainties of best estimate results can be estimated quantitatively, and as a consequence, excessive conservatism can be reasonably removed to obtain evaluation results with enhanced reliability. Application of a statistical evaluation method is being made to analyses of the “low pressure injection by intentional depressurization of the steam generator secondary side” which is an accident management approach in a SBLOCA (small break loss-of-coolant accident) with HPI (high pressure injection) failure. At the time of a SBLOCA, the break conditions such as the break size are important parameters since they influence PCT (peak cladding temperature). In this research, sensitivity analyses about the break size, direction and position were carried out for a system plant under a condition which the start timing of the steam generator secondary side intentional depressurization is severer than an actual abnormal operating condition. From the result of the sensitivity analyses, differences in the phenomena progression which change depending on the break conditions were evaluated, and a 3 inch facing-down break of the cold-leg was determined as the base case of a statistical safety evaluation.

Keywords SBLOCA, HPI failure, statistical safety evaluation method, RELAP5/MOD3.2, sensitivity analyses

1. 緒言

小破断 LOCA（冷却材喪失事故）時高圧注入系不作動事象は設計基準を超えた事象であり、アクシデントマネジメント「2次系強制冷却による低圧注入」によって炉心の冷却を維持し、炉心の健全性を確保する必要がある。この事象に対して過去に試験や試験解析

(1)～(4)が行われているが、我々の一連の研究では日本原子力学会標準に沿った統計的安全評価手法⁽⁵⁾の適用を進めることで、本アクシデントマネジメントの信頼性向上を図っている。統計的安全評価手法の適用により、最適評価結果に対する不確かさが定量的に評価され、過度の保守性を合理的に排除することで信頼性の高い評価結果が期待される。解析コードは RE-

* 1 (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所

* 2 MHI 原子力エンジニアリング(株)

LAP5/MOD3.2⁽⁶⁾を用いる。

統計的安全評価手法ではPIRT（現象の同定及びランク表）を作成して重要現象を抽出し、それに関連する解析モデルの不確かさを定量化して、モデル不確かさの解析結果への影響を示す必要がある。PIRTは対象事象の中で生じる現象を抽出整理し、評価対象パラメータに対する影響の観点から重要度をランク付けして作成する。小破断LOCA時高圧注入系不作動事象を対象にしたPIRTの作成及び重要現象の抽出は実施済みである⁽⁷⁾。

本研究では、抽出した重要現象のうち「破断口の臨界流及び向き」に関連して、実機プラントを対象に破断口のサイズ、向き、位置を変更した感度解析を行い、破断口の条件に依存して変わる事象進展の違いを評価するとともに、統計的安全評価の基本ケースとする破断口の条件を決定した。

2. 解析条件

表1に示す条件で、破断口感度解析を行った。2次系強制冷却は炉心出口温度が350℃以上となった場合の操作のみを考慮し、実際の事故時運転操作条件よりも炉心冷却の観点で厳しい条件としている。

表1 主要解析条件

機器動作・設定	解析条件
初期炉出力	定格
原子炉トリップ	加圧器圧力低
タービントリップ	原子炉トリップと同時
SI(安全注入)信号	加圧器圧力低
1次冷却材ポンプ	SI信号発信と同時にコストダウン開始
主給水	原子炉トリップと同時に停止
補助給水	破断開始から60秒後、全ループ給水
主蒸気逃し弁	自動作動
高圧注入	不作動
蓄圧注入	全ループ作動
低圧注入	全ループ作動
2次系強制冷却	炉心出口温度 $\geq 350^{\circ}\text{C}$ 到達後、遅れ時間2分で主蒸気逃し弁を全開

3. 破断口感度解析

2次系強制冷却を開始するタイミングが実際の事故時運転操作条件より厳しい条件のもとで、破断口のサイズ、向き、位置を変更した感度解析を行った。感度解析のケースは、PIRT作成時に抽出した重要現象を網羅する破断口の条件が求められるよう、次のケースを選定した。破断サイズの解析ケースは、加圧器接続ループの低温側配管下向き破断に対する0.5, 1, 2, 3, 4, 6, 8インチ破断とした。破断向きの解析ケースは、加圧器接続ループの低温側配管3インチ破断に対する下向き、横向き、上向き破断とした。破断位置の解析ケースは、低温側配管以外に加圧器接続ループの高温側配管とクロスオーバ配管水平部、また原子炉容器底部、加圧器気相部での破断とした。高温側配管とクロスオーバ配管水平部破断の解析は0.5, 3, 8インチ下向き破断を実施し、3インチ破断については上向き、横向き破断の解析も実施した。原子炉容器底部破断は0.6インチ（炉内計装筒1本相当）破断、加圧器気相部破断は5.1インチ（安全弁配管1本相当）破断の解析を実施した。

以上のケースについて実施した感度解析結果の一覧を表2、表3に、事象進展の説明を次節以降に示す。

3.1 破断サイズ感度解析

破断サイズ感度解析の結果から、3インチ破断でPIRT作成時に抽出した重要現象を網羅でき、且つ今回の解析条件ではPCT（被覆管最高温度）が最大となることが分かった（表2）。3インチ破断解析の事象進展を、PIRT作成時に分類した5フェーズ（図1～図5）に沿って下記に纏める。

表2 破断サイズ、破断向き感度解析 解析結果一覧

項目	解析ケース、解析結果											
	低温側配管											
	0.5		1		2		3		4		6	
破断条件	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	下
破断位置												
破断サイズ (in)	0.5	1	2	3	4	6	8					
破断向き	下	下	下	下	下	下	下	下	下	下	下	下
主要解析結果												
PCT (K)	1045	976	954	1211	1030							
LS 期間ヒートアップ	無	無	有	無	無	無	無	無	無	無	無	無
BO 期間ヒートアップ	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有
PCT 分類	BO	BO	BO	BO	BO	BO	BO	BO	BO	BO	BO	BO
2次系強制冷却	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有
BO 期間ヒートアップ開始時の崩壊熱 (MW)	-	-	59	74	80	-	-	-	-	-	-	-
蓄圧注入開始時の炉心保有水 (kg)	-	-	3371	2059	3699	8055	6343					
BO 期間ヒートアップ開始～蓄圧注入開始までの所要時間 (s)	-	-	629	428	206	-	-					
蓄圧注入開始～PCT 発生までの所要時間 (s)	-	-	-	97	-	-	-					
事象進展												
破断発生 (s)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
原子炉トリップ (s)	668	187	42	15	15	15	15	15	15	15	15	15
主給水停止 (s)	668	187	42	15	15	15	15	15	15	15	15	15
主蒸気隔離 (s)	668	187	42	15	15	15	15	15	15	15	15	15
SI 信号発信 (s)	678	197	52	25	25	25	25	25	25	25	25	25
RCP トリップ (s)	678	197	52	25	25	25	25	25	25	25	25	25
補助給水開始 (s)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
自然循環終了 (s)	13070	3626	960	435	433	434	253	160	91	無	無	無
LS 期間ヒートアップ開始 (s)	無	無	2397	無	無	無	無	無	無	無	無	無
LS 解除 (s)	33720	7996	2490	1027	1010	1012	539	247	126	247	247	247
LS 期間ヒートアップ終了 (s)	無	無	2507	無	無	無	無	無	無	無	無	無
BO 期間ヒートアップ開始 (s)	38430	9968	2632	1199	1284	1254	827	無	無	無	無	無
2次系強制冷却開始 (s)	42235	11259	3002	1466	1554	1523	1088	無	無	無	無	無
蓄圧注入開始 (s)	42630	11656	3261	1627	1707	1681	1033	442	244	442	442	442
PCT 発生 (s)	42240	11268	3274	1724	1779	1780	1211	無	無	無	無	無
BO 期間ヒートアップ終了 (s)	42710	11848	3485	1860	1881	1907	1232	無	無	無	無	無
低圧注入開始 (s)	43360	12402	3995	2289	2334	2315	1699	1288	647	1288	1288	1288

表3 破断位置感度解析 解析結果一覧

項目		解析ケース、解析結果											
破断条件		高温側配管				クロスオーバー配管				原子炉容器底部		加圧器気相部	
破断位置	破断向き	3		8		3		8		0.6	5.1		
		下	上	下	上	下	上	下	上				
主要解析結果													
PCT (K)		1012	1064	1129	1145	無	1099	1260	1249	1254	無	1239	778
LS 期間ヒートアップ		-	-	-	-	-	無	無	無	無	無	無	-
BO 期間ヒートアップ		有	有	有	有	無	有	有	有	有	無	有	有
PCT 分類		BO	BO	BO	BO	無	BO	BO	BO	BO	無	BO	BO
2次系強制冷却		有	有	有	有	無	有	有	有	有	無	有	無
PCT 発生期間ヒートアップ開始時の崩壊熱 (MW)		-	67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
蓄圧注入開始時の炉心保有水 (kg)		-	3800	-	-	6208	-	2025	-	-	6942	-	-
蓄圧注入開始～PCT 発生までの所要時間 (s)		-	16	-	-	-	-	82	87	86	-	-	-
BO 期間ヒートアップ開始～2次系強制冷却開始までの所要時間 (s)		-	307	367	367	-	-	-	-	-	-	-	-
事象進展													
破断発生 (s)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
原子炉トリップ (s)		1042	29	29	29	3	689	16	16	16	1	478	2
主給水停止 (s)		1042	29	29	29	3	689	16	16	16	1	478	2
主蒸気隔離 (s)		1042	29	29	29	3	689	16	16	16	1	478	2
SI 信号発信 (s)		1052	38	38	38	11	699	26	26	26	10	488	9
RCP トリップ (s)		1052	38	38	38	11	699	26	26	26	10	488	9
補助給水開始 (s)		60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
自然循環終了 (s)		15030	517	578	589	94	13070	445	445	444	93	9470	149
LS 期間ヒートアップ開始 (s)		-	-	-	-	-	無	無	無	無	無	無	-
LS 解除 (s)		-	-	-	-	-	34020	988	990	994	162	22010	-
LS 期間ヒートアップ終了 (s)		-	-	-	-	-	無	無	無	無	無	無	-
BO 期間ヒートアップ開始 (s)		45860	1748	1848	1937	無	36750	1234	1237	1234	無	24380	3665
2次系強制冷却開始 (s)		50199	2055	2215	2304	無	40319	1500	1504	1501	無	26170	無
蓄圧注入開始 (s)		50600	2157	2295	2381	273	40720	1661	1661	1659	269	26580	815
PCT 発生 (s)		50200	2173	2314	2400	無	40330	1743	1748	1745	無	26200	4251
BO 期間ヒートアップ終了 (s)		50660	2278	2445	2530	無	40790	1846	1834	1870	無	26760	4752
低圧注入開始 (s)		51370	2783	2902	2933	409	41420	2271	2272	2255	598	27300	2043

①ブロードダウン期間 (略称:BLD. プラント状態:図1)

破断後, 1次系圧力は急低下していく(図6のA). 1次系圧力が原子炉トリップ設定圧まで低下し, 原子炉トリップ信号発信と同時に主蒸気隔離及び主給水停止となる. その後, 1次系圧力はSI信号設定圧まで低下するが, 高压注入は解析条件につき不動作である. SI信号発信と同時にRCP(1次冷却材ポンプ)のコーストダウンが始まる. 1次系圧力の低下がさらに進み, 1次系内での減圧沸騰が顕著になる. やがて1次系圧力の低下は停滞し, 1次系圧力が2次系圧力よりやや高い平衡状態に達する(図6のB).

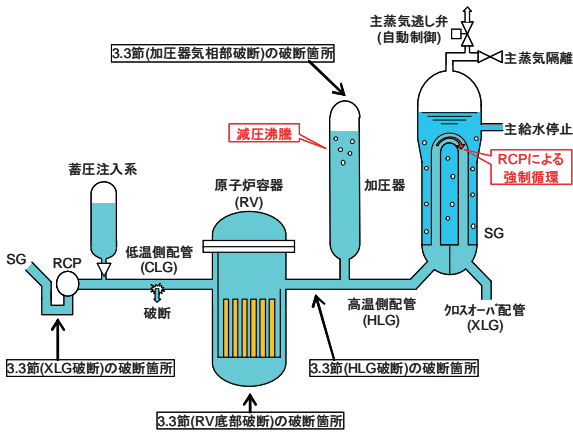


図1 プラント状態(ブロードダウン期間)

②自然循環期間(略称:NC. プラント状態:図2)

破断後60秒の遅れ時間をもって, 補助給水が作動する. 1次冷却材が破断口からの流出により減少していくことで, やがて伝熱管頂部での液相流量がゼロになり, 二相自然循環が途切れる.

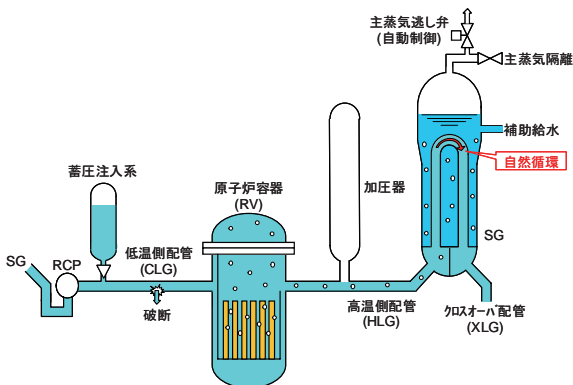


図2 プラント状態(自然循環期間)

③ループシール期間(略称:LS. プラント状態:図3)

1次冷却材が破断口からの流出により減少していくこと, 及びループシールにより原子炉容器内の水位が押し下げられることで, 上部プレナム, 炉心水位は低下していくが(図7のA), 被覆管のヒートアップには至らない(図8のA). やがて, 1次冷却材の減少によりループシールが解除する.

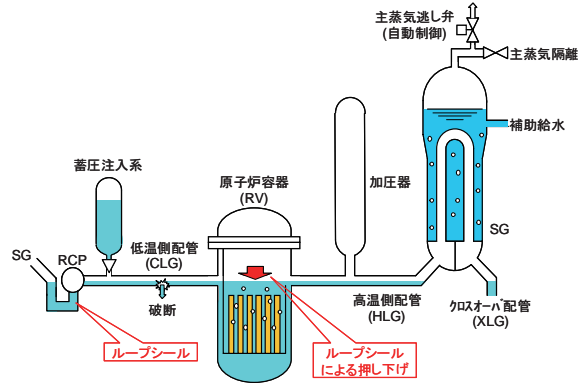


図3 プラント状態(ループシール期間)

④ボイルオフ期間(略称:BO. プラント状態:図4)

ループシールが解除したことで破断口からの蒸気流出が顕著になり(図9のA), 1次系圧力は再び低下していく(図6のC). また, ループシールの解除により上部プレナム, 炉心水位は一旦回復する(図7のB). しかしながら, 高压注入系不動作の影響もあり, 1次冷却材の減少により上部プレナム, 炉心水位は再び低下していき, やがて被覆管のヒートアップに至る(図8のB). 露出した炉心出口部の気相温度が2次系強制冷却の開始設定温度に達し, その2分後(運転員操作遅れ時間)に2次系強制冷却を開始する(図6のD). 2次系強制冷却が開始した後, 2次系圧力が1次系圧力を下回ると, 1次系圧力は2次系圧力に追従して低下し(図6のE), やがて蓄圧注入開始に至る.

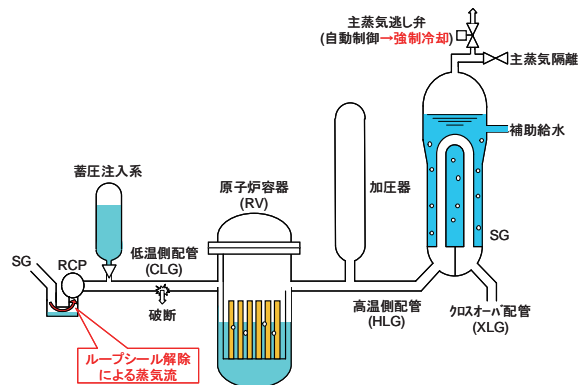


図4 プラント状態(ボイルオフ期間)

⑤ 炉心リカバリ期間(略称: REC. プラント状態: 図5)
蓄圧注入により炉心水位が回復することで (図7のC), 被覆管温度はターンアラウンドし PCT が発生した後, 飽和温度近傍まで低下する (図8のC). その後に低圧注入も作動し, 炉心の冷却は維持される.

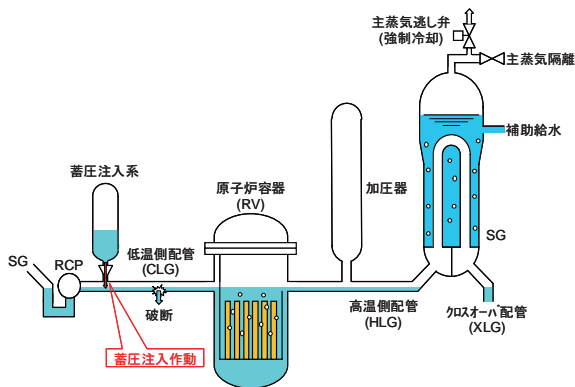


図5 プラント状態 (炉心リカバリ期間)

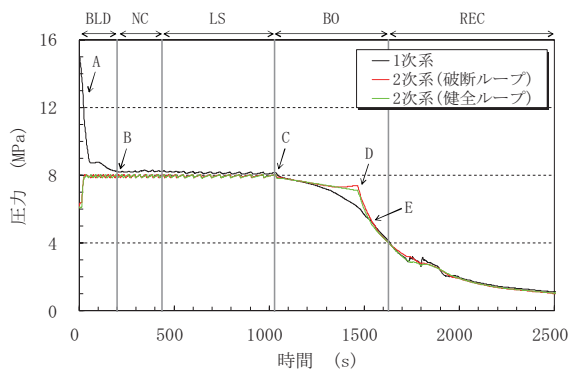


図6 1次系、2次系圧力 (CLG3in 下向き破断)

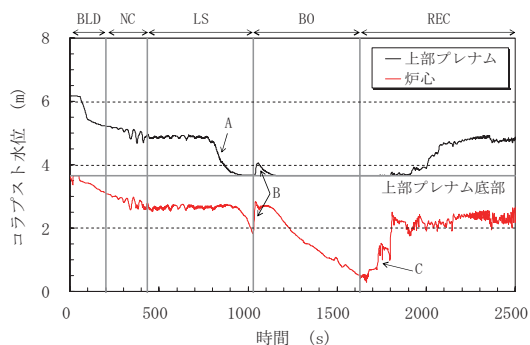


図7 上部プレナム、炉心コラプスト水位 (CLG3in 下向き破断)

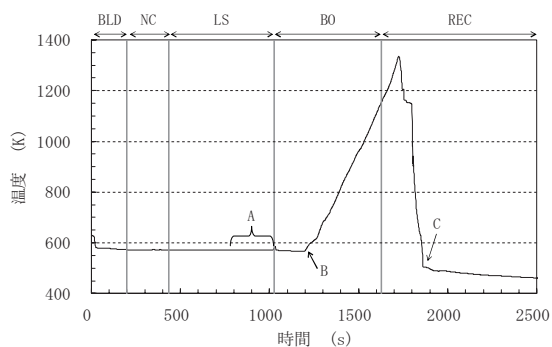


図8 PCT (CLG3in 下向き破断)

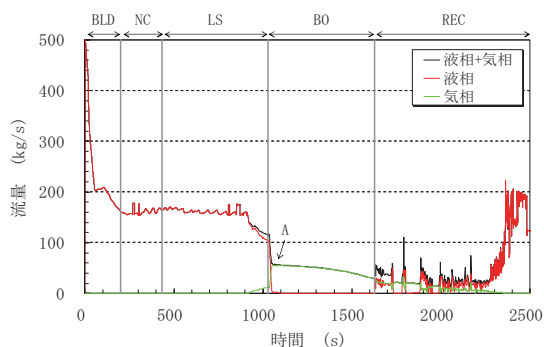


図9 破断流量 (CLG3in 下向き破断)

他の破断サイズについては, 感度解析の結果から, 破断サイズを事象進展の類似性の観点で, 小口径破断 (1 インチ破断以下), 中口径破断 (2~4 インチ破断), 大口径破断 (6 インチ破断以上) とグループ分けできることが分かった. 各破断グループの事象進展の違いのうち, PCT への影響が大きいものを下記に纏める.

① 小口径破断では, 2次系強制冷却の開始後, 蓄圧注入が始まる前に PCT が発生する (表2). これは, 2次系強制冷却により伝熱管で凝縮が生じ, 炉心に対して伝熱管が負圧となり炉心内の液相が伝熱管側へ引っ張られ (図10のA), 炉心の二相水位が回復するためである. また, 各破断サイズを比べると, 0.5 インチ破断は1インチ破断よりも被覆管温度の上昇勾配は小さいが (図11), 炉心出口温度の上昇勾配も小さくなり (図12), ヒートアップ期間 (ヒートアップ開始から2次系強制冷却開始まで) が長いので, PCTは高い (図11).

② 中口径破断では, 蓄圧注入の開始後に PCT が発生する (表2). 各破断サイズを比べると, 2インチ破断は3インチ破断よりもヒートアップ期間 (ヒートアップ開始から蓄圧注入開始まで) は長いものの, ヒー

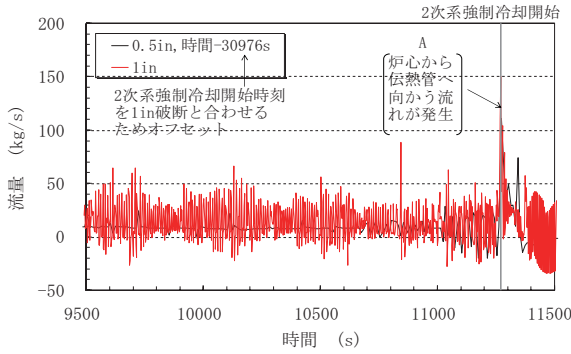


図10 炉心入口液相流量 (CLG0.5、1in 下向き破断)

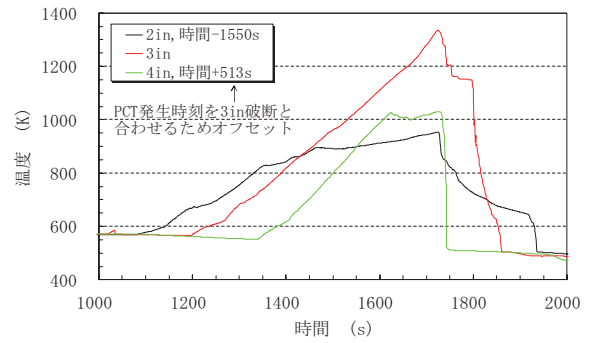


図13 PCT (CLG2~4in 下向き破断)

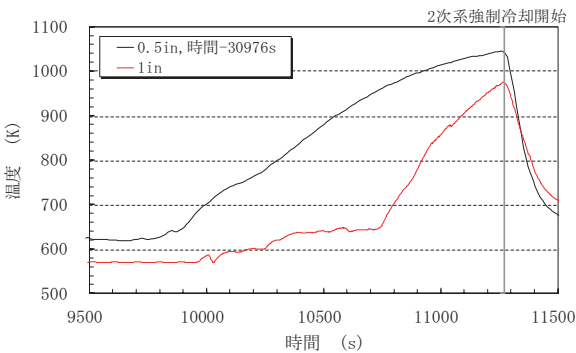


図11 PCT (CLG0.5、1in 下向き破断)

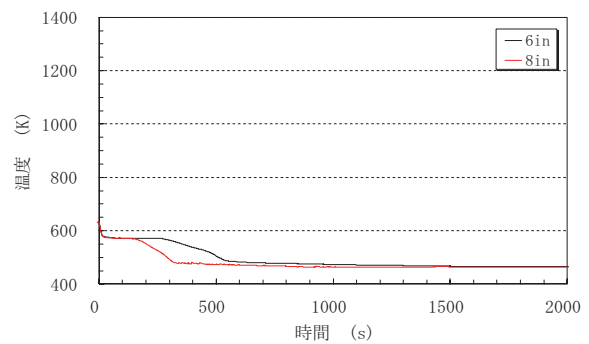


図14 PCT (CLG6、8in 下向き破断)

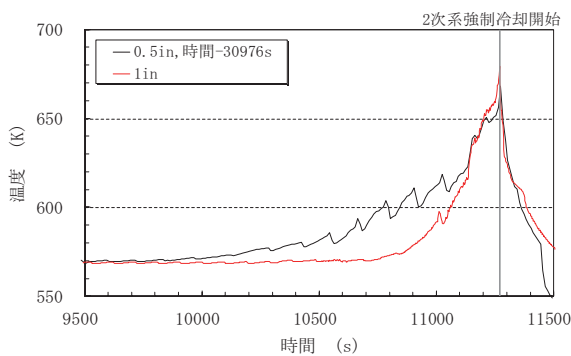


図12 炉心出口温度 (CLG0.5、1in 下向き破断)

トアップ時の崩壊熱が小さいため (表2), PCTは低い (図13). また, 4インチ破断は3インチ破断よりもヒートアップ時の崩壊熱は大きいものの, ヒートアップ期間が短いため (表2), PCTは低い (図13).

③ 大口径破断では, ヒートアップに至らない (図14). これは, 蓄圧注入開始時の炉心保有水が中口径破断よりも多いためである (表2).

3.2 破断向き感度解析

破断向き感度解析の結果から, 今回の解析条件では下向き破断でPCTが最大となることが分かった (表2). また, 各破断向きで事象進展に違いがあり, そのうちPCTへの影響が大きいものを下記に纏める.

- ① 横向き破断と上向き破断ともに, 下向き破断よりも蓄圧注入水は破断口から流出しにくい (図15のA), つまり蓄圧注入水はダウンカマへ流入しやすい (図16のA). このため, 下向き破断よりも蓄圧注入による炉心水位の回復が早まり (図17のA), 蓄圧注入開始後の被覆管温度の上昇勾配が緩和されるとともに, 横向き破断では被覆管温度のターンアラウンドも早まることで (図18のA), PCTは低くなる.
- ② 横向き破断と上向き破断を比べると, どちらも蓄圧注入水の破断口からの流出量はほぼゼロであり (図15のA), 炉心水位の回復勾配は同程度であるため (図17のA), PCTにほとんど差はない (表2).

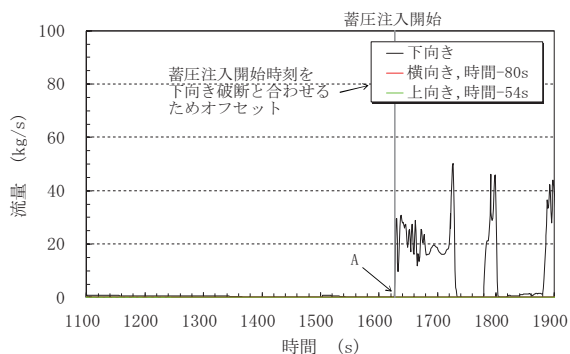


図 15 破断液相流量 (CLG3in 下, 横, 上向き破断)

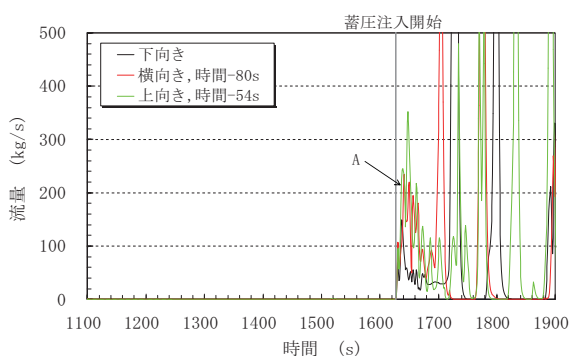


図 16 低温側配管からダウンコマへの液相流量 (CLG3in 下, 横, 上向き破断)

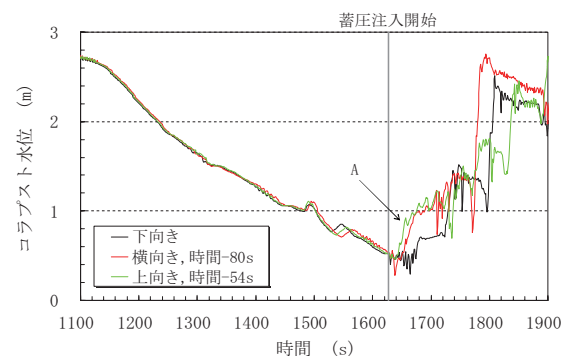


図 17 炉心コラプスト水位 (CLG3in 下, 横, 上向き破断)

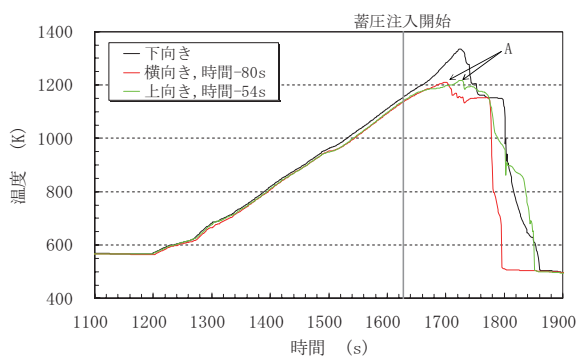


図 18 PCT (CLG3in 下, 横, 上向き破断)

3.3 破断位置感度解析

破断位置感度解析の結果から、低温側配管破断で PIRT 作成時に抽出した重要現象を網羅でき、且つ今回の解析条件では PCT が最大となることが分かった (表 2, 表 3)。また、各破断位置で事象進展に違いがあり、そのうち PCT への影響が大きいものを下記に纏める。

A. 高温側配管破断

- ① 炉心〜クロスオーバー配管間での破断のため、ループシール期間は存在しない。
- ② 0.5 インチ破断では、低温側配管での小口径破断と同様に、2 次系強制冷却の開始後、蓄圧注入が開始する前に PCT が発生する (表 3)。
- ③ 3 インチ下向き破断では、低温側配管での同破断条件よりも PCT が低い (表 2, 表 3)。これは、破断流量が少ないことで (図 19) 事象進展が遅くヒートアップ開始時の崩壊熱が小さいこと (表 2, 表 3)、及び蓄圧注入水が破断口から流出しにくく (図 20 の A) 蓄圧注入開始から PCT 発生までの期間が短い

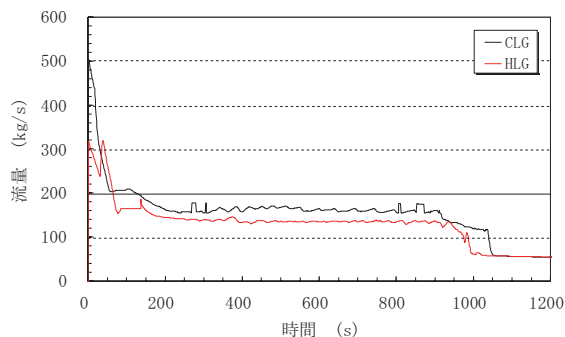


図 19 破断流量 (CLG, HLG3in 下向き破断)

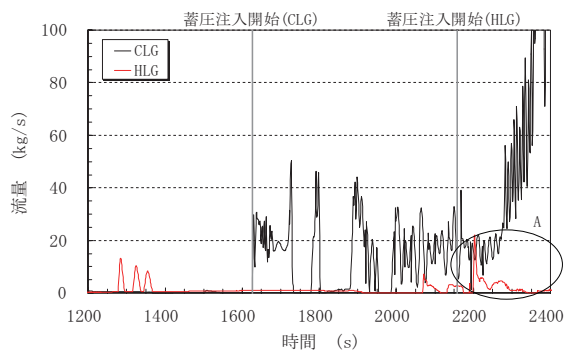


図 20 破断液相流量 (CLG, HLG3in 下向き破断)

(表 2, 表 3) ためである。

④ 8 インチ破断では、低温側配管での大口径破断と同様に、ヒートアップに至らない (図 21)。これは、蓄圧注入開始時の炉心保有水が 3 インチ破断よりも多いためである (表 3)。

⑤ 3 インチ破断の横向き破断と上向き破断では、下向き破断よりも高温側配管から上部プレナム、炉心出口への落水が多く (図 22 の A)、炉心出口温度が上昇しにくい (図 23 の A)。このため、ヒートアップ開始から 2 次系強制冷却開始までの期間が長くなり (表 3)、蓄圧注入開始が遅くなることで、PCT は高くなる (表 3)。

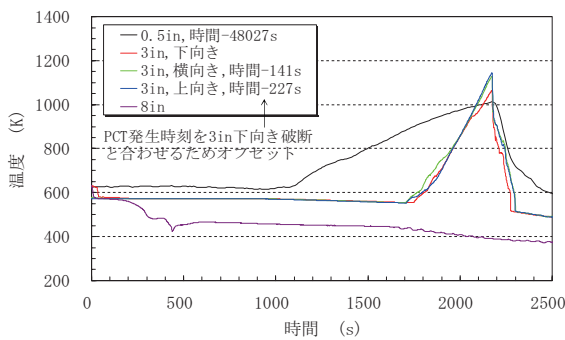


図 21 PCT (HLG 破断)

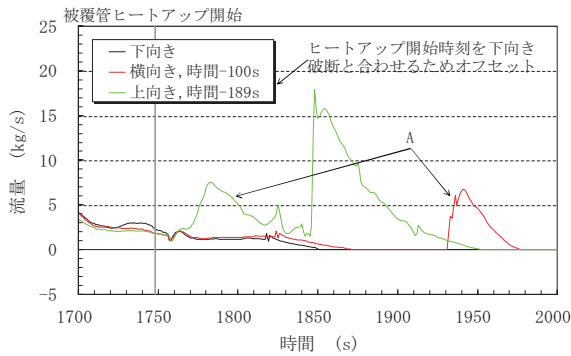


図 22 炉心落水流量 (HLG3in 下, 横, 上向き破断)

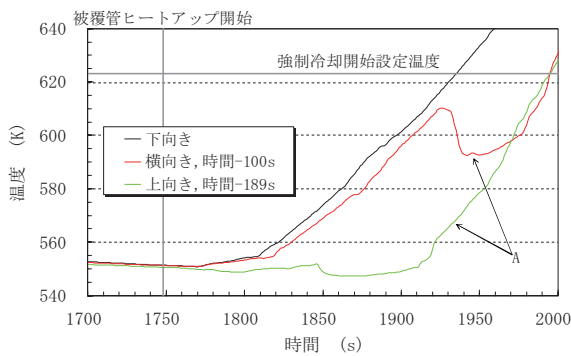


図 23 炉心出口温度 (HLG3in 下, 横, 上向き破断)

B. クロスオーバ配管水平部破断

① 0.5 インチ破断では、低温側配管での小口径破断と同様に、2 次系強制冷却の開始後、蓄圧注入が開始する前に PCT が発生する (表 3)。

② 3 インチ下向き破断では、低温側配管での同破断条件よりも PCT が低い (表 2, 表 3)。これは、蓄圧注入水が破断口から流出しにくく (図 24 の A)、蓄圧注入開始から PCT 発生までの期間が短いためである (表 2, 表 3)。

③ 8 インチ破断では、低温側配管での大口径破断と同様に、ヒートアップに至らない (図 25)。これは、蓄圧注入開始時の炉心保有水が 3 インチ破断よりも多いためである (表 3)。

④ 3 インチ破断の横向き破断と上向き破断では、下向き破断と比べ、蓄圧注入水の破断口からの流出量は同程度であり (図 26 の A)、炉心水位の回復勾配も同程度であるため (図 27 の A)、PCT にほとんど差はない (表 3)。

C. 原子炉容器底部破断

① 低温側配管 3 インチ下向き破断よりも PCT は低い (表 2, 表 3)。

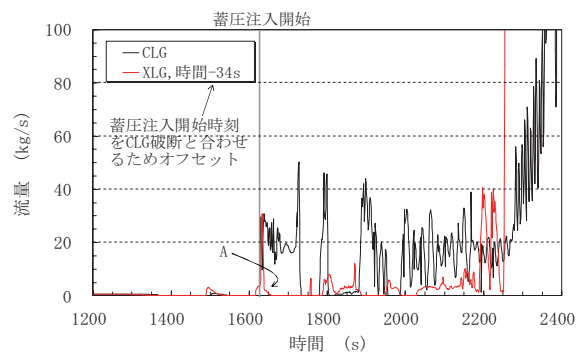


図 24 破断液相流量 (CLG, XLG3in 下向き破断)

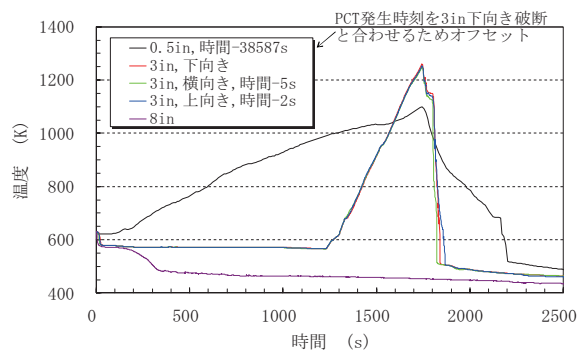


図 25 PCT (XLG 破断)

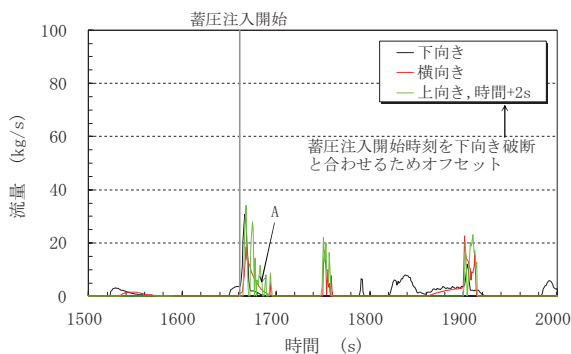


図 26 破断液相流量 (XLG3in 下, 横, 上向き破断)

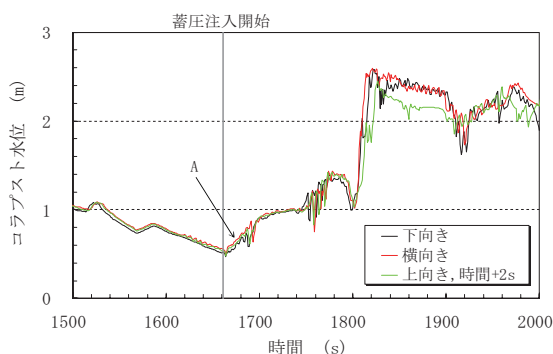


図 27 炉心コラプスト水位 (XLG3in 下, 横, 上向き破断)

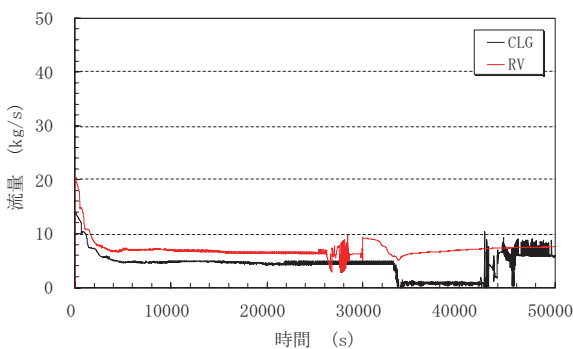


図 28 破断液相流量 (CLG3in 下向き, RV 底部破断)

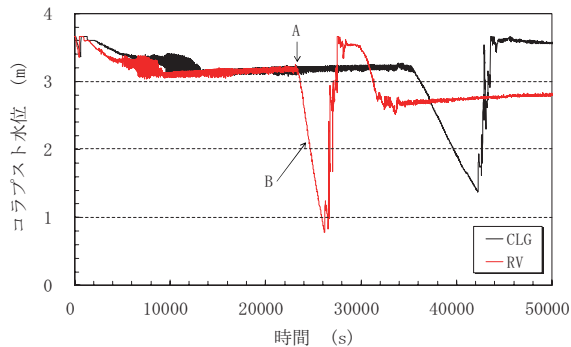


図 29 炉心コラプスト水位 (CLG3in 下向き, RV 底部破断)

② 破断サイズが同程度である低温側配管 0.5 インチ破断よりも PCT は高い (表 3). これは, 破断液相流量が多いことで (図 28), 炉心露出のタイミングが早い (図 29 の A), 及び炉心水位の低下勾配が大きいためである (図 29 の B).

D. 加圧器気相部破断

- ① 炉心〜クロスオーバー配管間での破断のため, ループシール期間は存在しない.
- ② 低温側配管 3 インチ下向き破断よりも PCT は低い (表 2, 表 3).
- ③ 被覆管のヒートアップには至るものの, ループシール期間が存在せずにボイルオフ期間へ移行するため, 蓄圧注入及び低圧注入が早期に開始し, 炉心出口温度の上昇量が小さく, 2 次系強制冷却は開始されない (表 3).

以上の破断口のサイズ, 向き, 位置を変更した感度解析の結果から, 低温側配管 3 インチ下向き破断で PIRT 作成時に抽出した重要現象を網羅でき, 且つ今回の解析条件では PCT が最大となることが分かった. このため, 本条件を統計的安全評価の基本ケースとする破断口の条件に決定した.

4. 結言

小破断 LOCA 時高圧注入系不動作事象は設計基準を超えた事象であり, アクシデントマネジメント「2 次系強制冷却による低圧注入」によって炉心の冷却を維持し, 炉心の健全性を確保する必要がある. 我々の一連の研究では日本原子力学会標準に沿った統計的安全評価手法の適用を進めることで, 本アクシデントマネジメントの信頼性向上を図っている.

本研究では, PIRT 作成により抽出した重要現象のうち破断口の臨界流及び向きに関連して, 2 次系強制冷却を開始するタイミングが実際の事故時運転操作条件より厳しい条件のもとで, 実機プラントを対象に破断口のサイズ, 向き, 位置を変更した感度解析を行った. 感度解析の結果から, 破断口の条件に依存して変わる事象進展の違いを評価するとともに, 低温側配管 3 インチ下向き破断を統計的安全評価の基本ケースに決定した.

参考文献

- (1) H. Asaka et al., "Secondary-Side Depressurization during PWR Cold-Leg Small Break LOCAs Based on ROSA-V/LSTF Experiments and Analyses", Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 35, No. 12, pp.905-915, Dec. (1998)
- (2) H. Asaka and Y. Kukita, "Intentional Depressurization of Steam Generator Secondary Side during a PWR Small-Break Loss-of-Coolant Accident", Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 32, No. 2, pp.101-110, Feb. (1995)
- (3) H. Asaka et al., "Core Liquid Level Responses Due to Secondary-Side Depressurization during PWR Small Break LOCA", Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 35, No. 2, pp. 113-119, Feb. (1998)
- (4) M. Suzuki et al., "Effects of Secondary Depressurization on Core Cooling in PWR Vessel Bottom Small Break LOCA Experiments with HPI Failure and Gas Inflow", Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 43, No. 1, pp.55-64 (2006)
- (5) 日本原子力学会, "統計的安全評価の実施基準 : 2008", AESJ-SC-S001:2008, May (2009)
- (6) The RELAP5 Code Development Team, "RELAP5/MOD3 Code Manual", NUREG/CR-5535, June (1995)
- (7) 山田実, 南雲宏一, 木下郁男, 村瀬道雄, 吉田至孝, 川崎郁夫, "小破断 LOCA 時高圧注入系不作動事象の PIRT 作成および重要現象の感度解析", INSS JOURNAL, Vol.18, pp.294-309 (2011)